

106-036-7936
MOTC-IOT-105-H2DA001d

105 年港域近岸底床輸沙之 現場觀測研究



交通部運輸研究所

中華民國 106 年 4 月

106-036-7936
MOTC-IOT-105-H2DA001d

105 年港域近岸底床輸沙之 現場觀測研究

著 者：林柏青、衛紀淮、何良勝

交通部運輸研究所

中華民國 106 年 4 月

港域近岸底床輸沙之現場觀測研究. 105 年 / 林柏青, 衛紀淮, 何良勝著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運研所, 民 106. 04

面 ; 公分

ISBN 978-986-05-2311-9(平裝)

1. 海洋動力學 2. 河口

351.982

106005554

105 年港域近岸底床輸沙之現場觀測研究

著 者：林柏青、衛紀淮、何良勝

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：10548 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) 26587132

出版年月：中華民國 106 年 4 月

印 刷 者：

版(刷)次冊數：初版一刷 60 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：200 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1•電話：(02) 25180207

五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

GPN：1010600555

ISBN：978-986-05-2311-9 (平裝)

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部份內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

106

105
年港域近岸底床輸沙之現場觀測研究

交通部運輸研究所

GPN : 1010600555

定價 200 元

交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：105 年港域近岸底床輸沙之現場觀測研究			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN978-986-05-2311-9 (平裝)	政府出版品統一編號 1010600555	運輸研究所出版品編號 106-036-7936	計畫編號 105-H2DA001d
主辦單位：港灣技術研究中心 主管：邱永芳 總計畫主持人：何良勝 計畫主持人：林柏青 研究人員：衛紀淮、陳志弘 聯絡電話：(04)26587132 傳真號碼：(04)26560661			研究期間 自 105 年 01 月 至 105 年 12 月
關鍵詞：現場調查、河口、漂沙			
摘要： 本研究針對淡水河下游河口段的水理輸砂特性及河口左岸挖子尾地形演變進行探討。近二十年(1996 - 2014) 淡水河口段之河床變動呈逐年淤積的趨勢，河口底床則淤積約 1m。依據水利署十河局的河口斷面觀測，2005 年及 2008 - 2014 年間的通水面積較年平均値小 7% 以上，達需疏濬作業的條件。非暴雨期間時的懸浮固體濃度小於 0.5 g/L，歷次颱風關渡測站的最大懸浮濃度値約 1.7- 4.2 g/L，並常出現於颱風後 1-2 日。颱風期間石門水庫排砂可能導致河口段的細料淤積。水下沙丘之型態以 Van Rijn(1984) 方法進行分析，並估算沙丘運移距離。臺北港北堤淤砂區被北堤結構物、海岸沙灘及 A 形沙洲等三面包圍，形成一 U 形袋狀地形，外海入射波浪很可能在此種水域內形成強烈振盪現象。例如位於袋形淤沙區底端測點 A 與測點 E 的水位與流場振盪，其週期由 15 分鐘至 1 個小時不等，而且振盪現象被局限在底床上約 50cm 範圍內，此為外海入射波浪或長波能量在此淺水海域內產生的港池共振現象，或可稱之為淺盆效應，水面高度超越潛沒沙洲時因能量洩溢則共振現象減弱或無法形成。 本計畫完成臺北港附近海域的海氣象觀測與漂沙特性分析，可作為決定碎波帶漂沙輸沙量估算之參數依據，已獲得良好之結果。應用上可提供各港務局或學術研究單位於探討近岸輸沙量推算與海岸漂沙數值模擬之參考。			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
106 年 4 月	176	200	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: 105 Field investigation of sediment transport in the shore vicinity of harbors			
ISBN (OR ISSN) 978-986-05-2311-9 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010600555	IOT SERIAL NUMBER 106-036-7936	PROJECT NUMBER 105-H2DA001d
DIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER DIVISION DIRECTOR: Yung-fang Chiu PROJECT ADVISOR: Liang-Sheng Ho PRINCIPAL INVESTIGATOR: Po-Ching Lin PROJECT STAFF: Chi-Huai Wei, Chih-Hung Chen PHONE: 04-26587132 FAX: 04-26560661			PROJECT PERIOD FROM January 2016 TO December 2016
KEY WORDS: field investigation; Estuaries; sediment transport			
ABSTRACT: Both the hydraulics and sediment transport and the geomorphic variation near the Danshui River mouth are explored in this study. The river bed in the river mouth is in aggradation during last two decades (1996 – 2014) and the ratio of reduction of cross-sectional area exceeding 7% within years 2008– 2014. Dredging operations may be required by meeting the requirement of both environmental and ecological concerns. The suspended sediment concentrations reach 0.5 g/L and 1.7- 4.2 g/L for dry seasons and typhoon seasons, respectively. Sediment discharges from Shihmen Reservoir may cause temporarily deposition of fine sediments in the river mouth. Type of underwater sand dunes to Van Rijn (1984) analysis method, and the dune migration distance is estimated. The U-shaped terrain surrounded by North breakwater, coast beaches and sandbars is likely to form a strong oscillation by incident long waves. Periods of such oscillation are from 15 minutes to 1 hour, and oscillations are confined to bed in range of 50cm. Which is a shallow-basin effect on U-shape harbor resonance, the resonance energy could leak out when water surface surpass the height of submerged sandbars. The current, wave and information of sediment transport near Taipei Harbor were observed and well analyzed. Good consequences have been achieved and results are accessible for reserch on Taipei Harbor sediment transport simulations.			
DATE OF PUBLICATION April 2017	NUMBER OF PAGES 176	PRICE 200	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	VI
圖目錄	VII
第一章 緒論.....	1
1.1 計畫緣起與目的.....	1
1.2 計畫重要性.....	3
1.3 研究內容及方法.....	4
第二章 淡水河流域水理資料分析.....	7
2.1 淡水河地理環境.....	7
2.2 地質環境.....	8
2.3 氣候與海象.....	10
2.3.1 氣候.....	10
2.3.2 海象.....	13
2.4 臺北港建後淡水河之輸砂水理及地形改變.....	15
2.4.1 歷史疏浚記錄.....	17
2.4.2 全潮流量觀測.....	18
2.5 颱風期間淡水河下游之輸砂量分析.....	20
2.6 淡水河河口地形特性與影響因素.....	25
2.7 淡水河河口斷面積與潮汐關係.....	29
2.8 淡水河口水下砂丘及粒徑分佈.....	30

第三章 現場觀測與資料分析.....	43
3.1 剖面流場觀測與流量分析.....	43
3.2 淡水河口底床質分析及近海地形變遷.....	52
3.3 淡水河口波浪及流況調查.....	58
3.4 淡水河口與關渡流場觀測.....	65
3.5 北堤淤砂區現場觀測.....	69
3.5.1 測點 A.....	74
3.5.2 測點 B.....	80
3.5.3 測點 C.....	81
3.5.4 測點 D.....	84
3.5.5 測點 E.....	87
3.5.6 測點 F.....	94
3.6 觀測結果與說明.....	101
第四章 淡水河口斷面變化及輸砂特性.....	105
4.1 淡水河下游段河道斷面變化.....	105
4.1.1 下游段河床之縱斷面.....	105
4.1.2 河口處之橫斷面.....	108
4.2 淡水河下游段河道輸砂特性.....	111
4.3 淡水河下游段河道輸砂濃度與潮流關係探討	117
第五章 結論與建議.....	119
5.1 結論.....	119
5.2 建議.....	122
5.3 成果效益.....	122
參考文獻.....	125

附錄一	期末報告審查意見處理情形表.....	133
附錄二	期末報告簡報資料.....	137

表目錄

表 1-1	臺灣北部 15 個河口主要營力類型比較	3
表 2-1	統計全年平均降雨日	11
表 2-2	歷年淡水河水系重大災害	12
表 2-3	近年淡水河河口及流域之工程設施	26
表 2-4	淡水河河口附近地形演變及影響因素	27
表 2-5	各航次採樣點之 D^*	34
表 2-6	各點位之參數 T	34
表 3-1	北堤淤砂區之測點坐標及說明	69
表 3-2	2015~2016 年有發警報之颱風列表	71
表 3-3	2015/7/30 測點 A 之儀器與測點高度	76
表 3-4	2015/9/10 測點 B 之儀器與測點高度	81
表 3-5	2015/10/15 測點 C 之儀器與測點高度	83
表 3-6	2015/11/9 測點 D 之儀器與測點高度	85
表 4-1	關渡橋測站懸浮值濃度與與潮流流速關係式	118

圖目錄

圖 1.1	淡水河口衛星影像及鄰近區域位置.....	4
圖 1.2	現場調查使用之觀測平台.....	5
圖 1.3	徑向斷面流場觀測作業.....	6
圖 2.1	淡水河系之示意圖.....	7
圖 2.2	挖仔尾濕地示意圖.....	8
圖 2.3	臺北周邊地質分布圖.....	9
圖 2.4	統計全年降雨量分布圖.....	11
圖 2.5	臺北港 1996 至 2002 年海上觀測風場.....	14
圖 2.6	臺北港 1996 至 2002 年海上觀測浪場.....	15
圖 2.7	關渡橋全潮流量觀測紀錄.....	18
圖 2.8	關渡橋全潮流量觀測紀錄.....	18
圖 2.9	土地公鼻水位站潮位變化圖(象神、納莉期間).....	19
圖 2.10	2014 年 4 月關渡橋測站濃度峰值段的水理資料	21
圖 2.11	2013 年 6 月關渡橋測站濃度峰值段的水理資料(無颱風)	22
圖 2.12	2013 年 7 月關渡橋測站濃度峰值段的水理資料(2 颱風)	22
圖 2.13	2013 年 8 月關渡橋測站濃度峰值段的水理資料(2 颱風)	23
圖 2.14	2013 年 9 月關渡橋測站濃度峰值段的水理資料(1 颱風)	23
圖 2.15	2013 年 10 月關渡橋測站濃度峰值段的水理資料(1 颱風)	24

圖 2.16	淡水河河口斷面積與潮稜關係.....	30
圖 2.17	2014 River-Ray ADCP 在淡水河口進行量測之航跡	32
圖 2.18	D*與 T 之關係圖	35
圖 2.19	2014 年 8 月 7 日 A 段水深及輸砂量變化.....	36
圖 2.20	2014 年 10 月 20 日 A 段水深及輸砂量變化.....	36
圖 2.21	2015 年 4 月 21 日 A 段水深及輸砂量變化.....	37
圖 2.22	2014 年 8 月 7 日 B 段水深及輸砂量變化.....	38
圖 2.23	2014 年 10 月 20 日 B 段水深及輸砂量變化.....	38
圖 2.24	2015 年 4 月 21 日 B 段水深及輸砂量變化.....	39
圖 2.25	表面阻抗水深分量與流速之關係式.....	41
圖 2.26	具底床波形時表面阻抗佔底床剪應力值的比例	42
圖 3.1	淡水河關渡測站剖面流速儀安裝圖.....	45
圖 3.2	2016 年 4 月關渡測站水位變化.....	45
圖 3.3	第一次小潮時關渡水位(D)、表層流(U1)與底層流(U2)	46
圖 3.4	第一次大潮時關渡水位(D)、表層流(U1)與底層流(U2)	46
圖 3.5	第二次小潮時關渡水位(D)、表層流(U1)與底層流(U2)	47
圖 3.6	第二次大潮時關渡水位(D)、表層流(U1)與底層流(U2)	47
圖 3.7	第一次小潮時關渡水位(D)、表層流(U)與流量(CMS)	48
圖 3.8	第一次大潮時關渡水位(D)、表層流(U)與流量(CMS)	48

圖 3.9	第二次小潮時關渡水位(D)、表層流(U)與流量(CMS)	49
圖 3.10	第二次大潮時關渡水位(D)、表層流(U)與流量(CMS)	49
圖 3.11	四月上旬關渡水位(D)與漲潮或退潮時段之流量(m^3)	50
圖 3.12	四月下旬關渡水位(D)與漲潮或退潮時段之流量(m^3)	50
圖 3.13	四月上旬關渡水位(D)與一次漲退潮之淨流量(m^3)	51
圖 3.14	四月下旬關渡水位(D)與一次漲退潮之淨流量(m^3)	51
圖 3.15	關渡潮位(D)與懸浮質濃度(C)關係	52
圖 3.16	2006 年淡水河口地形數值圖	54
圖 3.17	挖子尾長堤東西側沙灘之淤積演變	54
圖 3.18	挖子尾沙嘴形態(灘線)之歷年演變(1978-2011)	55
圖 3.19	1995-2011 淡水河口南岸淺水區之地形演變	55
圖 3.20	2013 年度淡水河下游底質採樣點衛星航照圖	56
圖 3.21	2013 年 4 月橫向底質採樣位置與 D_{50} 分佈	56
圖 3.22	河口區底床質之縱向底質採樣位置與 D_{50} 分佈	57
圖 3.23	河口區底床質之縱向 D_{50} 變化	58
圖 3.24	淡水河河口及臺北港北堤觀測站位置	61
圖 3.25	北堤袋形淤沙區等高線及立體示意圖	61
圖 3.26	北堤測站之波向與潮位變化	62
圖 3.27	河口測站之潮位與波向關係	63
圖 3.28	淡水河河口平日流況示意圖	64
圖 3.29	淡水河河口洪流時之流況示意圖	64

圖 3.30	淡水河河口流場觀測站位置.....	65
圖 3.31	關渡附近流場觀測站位置.....	66
圖 3.32	漲潮下旬之河口流場(紅色上層流、菊色中層流、黑色下層流)	66
圖 3.33	漲潮下旬時關渡流場(紅色上層流、菊色中層流、黑色下層流)	67
圖 3.34	退潮上旬之河口流場(紅色上層流、黑色下層流).....	67
圖 3.35	退潮下旬之河口流場(紅色上層流、黑色下層流).....	68
圖 3.36	漲潮上旬之東防波堤流場(紅色上層流、黑色下層流)	68
圖 3.37	北堤淤砂區灘線與其相對水位.....	70
圖 3.38	觀測基地 X 與各測點之實地相關位置.....	70
圖 3.39	蘇迪勒颱風路徑圖	72
圖 3.40	杜鵑颱風路徑圖	72
圖 3.41	尼伯特颱風路徑圖	73
圖 3.42	梅姬颱風路徑圖	73
圖 3.43	測點 A 之現場儀器觀測平台	76
圖 3.44	測點 A 在底床上不同高度處之流速與流向.....	77
圖 3.45	測點 A 在底床上不同高度處之水溫變化.....	78
圖 3.46	測點 A 在底床上不同高度處之懸浮質濃度變化.....	78
圖 3.47	測點 A 之淺灘振盪現象.....	79
圖 3.48	測點 B 之水位、流、溫度與懸浮質濃度變化.....	81
圖 3.49	測點 C 之水位、流速與流向變化.....	83
圖 3.50	測點 C 之懸浮質濃度變化.....	84

圖 3.51	測點 D 第 1 潮之水位、流速、流向與懸浮質濃度變化	86
圖 3.52	測點 D 第 2 潮之水位、流速、流向與懸浮質濃度變化	86
圖 3.53	測點 E 第 1 次潮之水位與各水層流速變化	88
圖 3.54	測點 E 第 1 次潮之水位與各水層流向變化	89
圖 3.55	測點 E 第 2 次潮之水位與各水層流速變化	90
圖 3.56	測點 E 第 2 次潮之水位與各水層流向變化	91
圖 3.57	測點 E 第 1 次潮之水位與各水層流羽狀圖	92
圖 3.58	測點 E 第 2 次潮之水位與各水層流羽狀圖	93
圖 3.59	測點 F 之現場觀測平台	94
圖 3.60	測點 F 第 1 次潮之水位與各水層流速變化	95
圖 3.61	測點 F 第 1 次潮之水位與各水層流向變化	96
圖 3.62	測點 F 第 2 次潮之水位與各水層流速變化	97
圖 3.63	測點 F 第 2 次潮之水位與各水層流向變化	98
圖 3.64	測點 F 第 1 次潮之水位與各水層流羽狀圖	99
圖 3.65	測點 F 第 2 次潮之水位與各水層流羽狀圖	100
圖 3.66	低潮時臺北港北堤淤砂區之海岸沙洲	103
圖 4.1	淡水河口下游斷面測站位置	106
圖 4.2	斷面 T00-T10A 歷年最低點深度(與河口距離)	107
圖 4.3	斷面 T00-T10A 歷年平均高程	107
圖 4.4	斷面 T00 之逐年比較 2004-2014 年	108
圖 4.5	2014 年實測淡水河下游至河口等水深線	109
圖 4.6	1995-2014 淡水河口斷面 T00 之通水面積逐年變化	110

圖 4.7	非洪水期間關渡橋測站懸浮值與水流之歷程變化 (2014/04)	111
圖 4.8	洪水期間關渡橋測站懸浮值與水流之歷程變化(2013/07)	112
圖 4.9	洪水期間關渡橋測站懸浮值與水流之歷程變化(2013/08)	112
圖 4.10	非洪水期間關渡橋測站懸浮質濃度與水流速度之關係	113
圖 4.11	洪水期間關渡橋測站懸浮質濃度與水流之關係	114
圖 4.12	洪水期間關渡站潮流及輸砂特性(2013/07)	115
圖 4.13	非洪水期間關渡站潮流及輸砂特性(2014/04)	116
圖 4.14	關渡站瞬時及月累積之輸砂量之特性(2013-2014)	117
圖 4.15	關渡橋枯水期懸浮質濃度與潮流關係	118

第一章 緒 論

主導海岸變化的沿岸及向-離岸輸砂其基礎理論尚未完全清楚，主要是因為我們對於砂粒傳輸機制並非完全瞭解，就算是簡單的單向流情況，儘管百年來有許多學者不斷投入研究，並提出河川輸砂量的推算公式，但其結果仍有相當大的差異。有些機制可能會影響河川輸砂量，Lane, Carlson, and Manson (1949)指出當水溫下降 10°F 時河川懸浮載增加約 33%，由於缺乏更多的數據驗證，縱然水溫在一年內可能變化很大，仍未能將溫度列入一般輸砂機制的考量內。影響海岸輸砂的機制則更為複雜，包括波浪、近岸流、風、碎波效應、碎波帶紊流、底床、地形與顆粒特性等等。

1.1 計畫緣起與目的

本研究為四年期(2013~2016 年)研究，針對臺北港近岸水域之流況與漂砂現象進行現場觀測，由於臺北港位於淡水河口受淡水河逕流與輸沙排洪影響甚鉅，因此觀測範圍包括河口及往上游約十公里之河道區域。臺灣西部海岸在地殼運動上是屬於上升海岸，於十七世紀初葉，臺南、岡山一帶曾有優良港灣，可泊大型帆船，近海貿易興盛。後來因河川輸砂量豐富，沿岸漂沙淤積，產生許多沙洲，沙洲群不斷成長逐漸與岸連接形成感潮湖，經移民開墾後變成海埔新生地。至二十世紀，因工商業發展及人口成長，河川上游興建水庫或攔砂壩，大量減少由河口出海之砂源，加上沿岸諸多工商、漁港，大型突堤完全阻斷沿岸漂沙的平衡傳遞，造成海岸侵蝕或淤積現象。

臺北港位於淡水河口南岸，其北防波堤向外海延伸約千餘公尺，已產生明顯突堤效應阻擋沿岸輸砂，使防波堤北側呈現淤積現象，而防波堤南側近岸地區則呈侵蝕現象。臺北港建設工程仍持續進行中，為瞭解並掌握臺北港工程對近岸海域流場、波浪及地形變遷的影響，有必要對淡水河口及臺北港附近海域進行長期監測，建立該區海域的

流況、波浪、漂沙以及地形變遷相關資料，以提供建港單位即時性評估及政府相關防治對策研擬的參考。

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。當河川輸砂至河口，即受潮流或沿岸流之搬運作用而形成沿岸漂沙，並在河口處形成三角洲、沙洲、潮汐灘地等形態。若河川上游之供砂量大於波浪及潮流的輸砂能力則易形成河岸三角洲，沙嘴及堆積海岸；反之則形成侵蝕海岸或灘線後退。

淡水河是臺灣北部第一大河也是最長的感潮河川。在石門水庫興建(民國 48 年)前，淡水河系上游輸送充分的泥砂量至河口，下游淡水與八里間河道中出現大型沙洲(當地居民稱之為浮線)，河口及八里地區的海岸線呈現向外擴張的現象。淡水河口南岸八里則有平行海岸長約 3 公里，高約 18 m，風吹砂形成的砂丘(許，2001)。石門水庫完工(民國 53 年)後，攔阻大量河源泥砂，使河口地區沈積物的供需失去平衡，致使海岸線開始向內陸退縮。另一方面，民國 50-70 年間，臺北都會區之工程建設的砂源大都由淡水河抽砂供應，曾造成多處橋墩逐漸裸露，故淡水河自民國 78 年實行全面禁止採砂措施。比較民國 37 年的航空照片及民國 67 年的像片基本圖可知，30 年間八里地區的海岸線普遍退縮達 180 m，河口的挖子尾附近最大退縮量更達 320 m。民國 75 年，翡翠水庫完工後，攔阻上游更多泥砂，使河口泥砂的沖淤平衡更加失調。比較民國 67 年的像片基本圖及民國 81 年的航空照片可知，八里污水處理廠附近海岸退縮達 150 m；挖子尾附近海岸也退縮達 200 m。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(1996)所分析臺灣北部 15 個河口的河海主要營力類型(表 1-1)，淡水河口屬風浪營力型或風浪、逕流及潮汐三個營力之中混合型。故在淡水河口地形及輸砂機制之分析應一併考慮風浪、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、淡水河、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	淡水河	-
	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

為提供淡水河河口漂沙及臺北港漂沙之防治對策，本研究根據既有淡水河河口輸砂資料，即淡水河下游不同時期之輸砂、流量、潮流等資料外，並分析淡水河口水下砂丘、挖子尾砂嘴及風吹砂的地形變化，並探討臺北港興建對淡水河輸砂及排洪之影響。

1.2 計畫重要性

淡水河口在 1960 前為淤積形態；1960 之後在上游築壩阻砂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。由 2013 年之 SPOT 衛星影像(圖 1.1)可知，近年來在淡水河南岸側臺北港之北防波堤，因其突出海岸達 1.6 km，幾乎與河口北側之突岬齊平，而造成突堤效應，阻斷南向沿岸漂沙運移，造成河源輸砂及沿岸砂源在河口與北防波堤間沉積；並使臺北港南側防波堤以南海岸之侵蝕。在突堤效應及沿岸漂沙之持續運移下，淡水河口通水斷面預期將趨於淺化。如遇颱風及暴潮的情況，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，河口淤砂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，防範未然。



圖 1.1 淡水河口衛星影像及鄰近區域位置(Google 2013 影像)

1.3 研究內容及方法

本研究之研究範圍為淡水河河口段-界定為從關渡隘口至臺北港北防波堤與淡水第二漁港間之近岸海域。因淡水河口之波浪以東北方向為主，沿岸輸砂由北向南，且冬季效應大於夏季西南向波浪。臺北港北防波堤興建後導致突堤效應，使淡水河南岸至臺北港北堤處之沿岸逐漸由侵轉淤，其中更以挖子尾地區之地形改變最為顯著。

本研究進行之步驟包含：(一)現場資料收集：(1)現場觀測並收集不同季節或颱風期間河口與臺北港附近海域之波浪、流場與漂沙資料，(2)收集颱風期間及淡水河長期之流量、輸砂量資料、粒徑、河道淤積情形，(3)於不同季節進行底床質與懸浮質採樣分析以及河床高程與河

床型態資料，(4)於不同季節進行海氣象或河川資料的收集與相關性作探討，(5)進行北堤淤砂區之波浪、流與漂沙觀測，圖 1.2 為現場波、流調查使用之觀測平台，將多具流速儀、濁度計及水位計等安裝於不同高程位置以進行同步觀測作業。(二)資料分析與探討：(1)進行淡水河下游水理資料之季節相關性探討，(2)依河口與臺北港附近海域現場收集之波浪、流場與漂沙資料探討河口海域之波浪、流場與漂沙特性，圖 1.3 為徑向斷面流場觀測作業情形，(3)分析河道移動特性及顆粒礦物分析以判定臺北港北堤之淤沙的主要來源。



圖 1.2 現場調查使用之觀測平台



圖 1.3 徑向斷面流場觀測作業

第二章 淡水河流域水理資料分析

2.1 淡水河地理環境

淡水河位於臺灣北部，發源地於標高 3529 公尺之品田山，淡水河全長 158.7 公里，總流域面積約 2726 平方公里，河系主支流總長 327.6 公里。淡水河系就流域面積及河流長度而言，則次於高屏溪及濁水溪，為全臺第三大河川。淡水河由新店溪、大漢溪、基隆河三大支流注入本流，向下流至淡水鎮油車口附近，注入臺灣海峽，淡水河主流自關渡隘口出臺北盆地，由南至北經淡水、八里向西北流入臺灣海峽，如圖 2.1 所示。三條支流中以大漢溪為最長，全長約 135 公里，流域面積約 1163 平方公里，主要支流有三峽河與橫溪。新店溪全長約 84.6 公里，流域面積 916 平方公里，主要支流為北勢溪與南勢溪。基隆河流域全長 87 公里，流域面積 501 平方公里，為三條支流中流量最小者。



圖 2.1 淡水河系示意圖(環保署國土資訊系統)

淡水河口處河道彎曲入海，左岸有砂嘴地形，位於新北市八里區淡水河口南岸，與北岸淡水區共扼淡水河口。因淡水河口段河道地形彎曲，俗稱「挖子」，又處河口故將河口左岸稱為「挖仔尾」(圖 2.2)，其緊臨觀音山，周圍有大屯山系和觀音山系。挖仔尾中有挖仔尾自然保留區，面積約 30 公頃，為一典型的河口生態系。濕地中的水筆仔攔截淡水河水挾帶之大量泥砂及有機物，形成一片沼澤地，於退潮時露出廣大灘面；漲潮或洪水量較大時，整個保留區被淹沒。挖仔尾砂嘴是淡水河口地形變遷最顯著之處，其沿岸地形、水泥堤防等都因受波浪侵蝕而破壞。



圖 2.2 挖仔尾濕地示意圖(農林航測所)

2.2 地質環境

淡水河流經臺灣最大的盆地-臺北盆地，屬構造盆地。淡水河北岸區域的地質以大屯火山群的安山岩為主，海岸則多屬礫灘及礁岩地形；南岸有觀音山的安山岩區及林口台地的礫石層，並以砂質海岸為主，河流沖積物除火山灰、礫石外，大部分為上游流域的板岩與砂、頁岩之風化物，河口沉積物以砂粒為主 (李錫堤，1998)。河口至關渡間，

顆粒粒徑分布愈往上游愈細，顯示海相沉積的可能性，其詳細臺北周邊地質分布圖如圖 2.3 所示（張瑞津，1989）。



圖 2.3 臺北周邊地質分布圖(資料來源：臺灣地景保育網)

因淡水河各支流的流量與集水區之岩層存在差異，所搬運至下游沈積之礦物亦不盡相同，與北部河川沿岸較為相關之礦物來源共分為兩類：其一為角閃石及輝石，屬北部安山岩風化產物；第二類為西部山麓之第三紀沈積岩之火成岩碎屑，包含鋁石、石榴子石與獨居石等礦物(張，1997)。由於臺北盆地有大屯及觀音兩個火山，該區岩石主要為安山岩質或石英安山岩流及岩屑所構成。淡水河流域內輸砂其主要礦物為紫蘇輝石、普通輝石與紅棕色角閃石，反映北部料源區屬第三紀火成岩層(黃，1995)，臺灣北部海岸沉積物之漂流方向為南向，即淡水河沿岸輸砂是由北向南傳輸。海岸沉積物中的重礦物如安山岩風化後產生之鎂鐵礦物如角閃石、輝石等，受海岸侵蝕、河川輸砂與沿岸流搬運作用所控制，大致沿北部海岸往南漂移，造成該類礦物密度往南逐漸遞減。

2.3 氣候與海象

2.3.1 氣候

對於淡水河流域之雨量而言，基隆河流域年雨量 3969mm 為最高，其次為新店溪流域為 3251mm，而以大漢溪流域 2430mm 最小。就流量而言，淡水河流域水位流量觀測始於民國 25 年，歷年來設水位流量站及流量站共 48 處。根據各觀測站的統計分析得知，淡水河流域三支流之流量以新店溪最大，大漢溪次之，基隆河最小；枯水期則略有不同，大漢溪與新店溪為每年十一月至翌年五月，而基隆河則為三月至八月。

根據中央氣象局(2010)淡水氣象站統計 1981 年至 2010 年間降雨資料，顯示平均年累積降雨量為 2155.4 mm，一年之中平均月累積雨量有兩個月份呈現較高值，分別是 6 月及 9 月，由此可推估淡水地區受到梅雨及颱風的影響甚深，其中 1 月及 12 月的降雨量為最少如圖 2.4 所示。但由中央氣象局統計資料顯示，平均降雨日則以冬季較多，夏季較少，其全年平均降雨天數如表 2-1 所示。

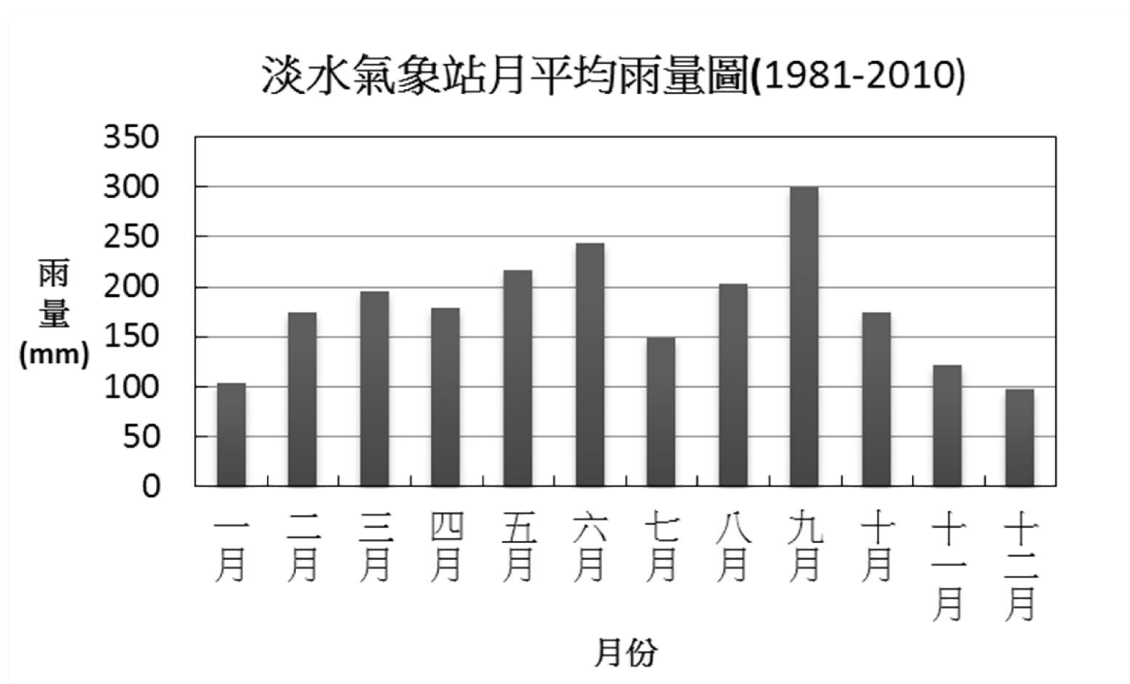


圖 2.4 統計全年降雨量分布圖(資料來源：中央氣象局)

表 2-1 統計全年平均降雨日

月 份	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	合 計
天 數	17	16	16	14	14	13	8	11	12	13	14	13	161

(資料來源：中央氣象局)

表 2-2 歷年淡水河水系重大災害

年份 (民國)	日期	原因	主要淹水區域
52年	9/9至9/11	葛樂禮颱風	三重、新莊、蘆洲、五股、泰山、社子、關渡、板橋、士林、基隆、樹林、土城
76年	10/22至10/27	琳恩颱風	臺北市社子、松山、內湖、南港、汐止、五堵等地區
85年	7/30至8/1	賀伯颱風	北投、士林、三重、蘆洲、泰山、新莊、土城、板橋、永和、中和
87年	10/13至10/17	瑞伯颱風	基隆、汐止
87年	10/25至10/27	芭比絲颱風	基隆、汐止
89年	10/30至11/1	象神颱風	基隆、汐止
90年	9/13至9/19	納莉颱風	基隆、瑞芳、汐止、南港、松山、內湖、信義、中山、中正、中和、永和、新店、板橋、土城、三重、蘆洲、五股、新莊北投樹林
93年	8/23至8/26	艾利颱風	三重、新莊、樹林
96年	10/4至10/7	柯羅莎颱風	北投、士林、五股
97年	9/11至9/16 9/26至9/29	辛樂克颱風 薔蜜颱風	北投、士林、五股、樹林、土城 北投
101年	6/10	610豪雨	士林、大安、萬華、北投、板橋、樹林、三峽、泰山、新莊、五股、土城、三重、蘆洲、中和、永和、淡水、新店、林口
101年	7/30至8/3	蘇拉颱風	三峽、樹林
102年	7/12-13	蘇力颱風	淡水、基隆河淤砂

(資料來源:水利署第十河川局，2013)

統計歷年颱風降雨及災害範圍如表 2-2 所示，由該表中可知洪災多出現於 6-10 月，歷年颱風洪水所導致的淹水範圍，雖多位於淡水河上游，但下游更仍須注意河道暢通與否；由於淡水河流域地區的雨量主要集中在夏季，因此平均雨量大部分集中於夏季，但淡水河流域位於臺灣北部，於冬季時受到東北季風及鋒面影響仍時常降雨，也仍有 100 公釐以上的月平均雨量。而在風向、風速方面，除了夏季為西南季風外，其他季節多受到東北季風的吹襲，東北季風對此地的影響時間相當長，風速多介於 0 至 5 m/s 之間。資料顯示此地平均風速約為 4.5 m/s。根據臺北港資料顯示，淡水河口海域季風的風速強弱與波浪之間呈正相關，風速越強則示性波高越大，因此季風的轉換之間亦改變了海流與波浪的強弱(港灣技術研究中心，2003)。

2.3.2 海象

淡水河口為半日潮，每日有二次的漲退潮，潮流方向幾乎與海岸平行，即漲潮流為西南方向，退潮流為東北方向(交通部基隆港務所，2003)。根據臺北港附近海域的監測資料顯示，此區的海流與風向較無直接相關性，主要為每日漲退潮的潮流；此區海流流速皆小於 80 cm/s，主要流向為東北東及西南方向之往復運動(邱永芳等，2000)。依基隆港務局(1997)報告指出，由於海流與波浪的結合會影響河口附近的漂沙，因此本區的漂沙方向主要為由北向南的方向為主，每年可帶動約 164 萬立方公尺的漂沙量。潮汐方面，根據水利處淡海測站的潮汐觀測結果顯示，淡水河口為半日潮為主的混合潮，每日會有二次的高低潮，夏秋之際水位較高、水位差較大；冬春之際水位較低、水位差較小。平均潮位為 0.03 公尺，平均潮差為 1.93 公尺，大潮時的潮差為 2.89 公尺。此為受到天文潮的影響。漲潮時潮流約略朝西南方向，而退潮時則逐漸轉向東北(邱永芳，2000)。根據林聖烈(2006)論文資料，M2、S2、N2、K1、O1 這五個天文潮振幅比例總和佔全部振幅 90%以上，其中以 M2 為最主要的分潮，約佔全振幅 40%。從調和分析的計算，可以看出淡水河口潮位主要受到半日潮(M2、S2 與 N2)與全日潮(K1 與 O1)的影響，其中又以半日潮影響較大，為半日潮為主之混合潮型。

依據本中心 1996 至 2002 年臺北港海上觀測站之資料，每月平均風速變化顯著，全年最大風速出現於東北季風盛行時期，東北季風的平均風速大約是夏季的 3 倍，如圖 2.5；中央氣象局在河口右岸淡水區之測站資料顯示，此區年平均風速為 2.0 m/s，而冬季平均風速為 2.1 m/s，顯現出河口內外局部氣候差異非常顯著。淡水河口海域季風的風速強弱與波高呈正相關，風速越大則波高越大，如圖 2.6(交通部基隆港務局，2004)。海流與波浪強弱之變化，隨著季風的方向與風速大小；東北季風增強，從 9 月一直持續至隔年，使波浪的能量增強造成海岸地形侵蝕，至東北季風減弱，對海岸侵蝕才稍減，此處之海岸地形不斷經歷侵蝕與堆積的週期性循環

春季波浪以東北與北向為主；夏季波浪以西北與北向為主；秋季以北北東-北北西向；冬季以北-東北向之間為主；秋、冬兩季受東北季風與颱風影響。此區域海流以潮流為主，春冬兩季之流向主要是於東北東與西南西，夏秋兩季退潮時以東北東為主，漲潮則為西-西南。漲潮時段大多為東北往西南方向，表面流速易受風向與風速影響（交通部基隆港務局，2004）。

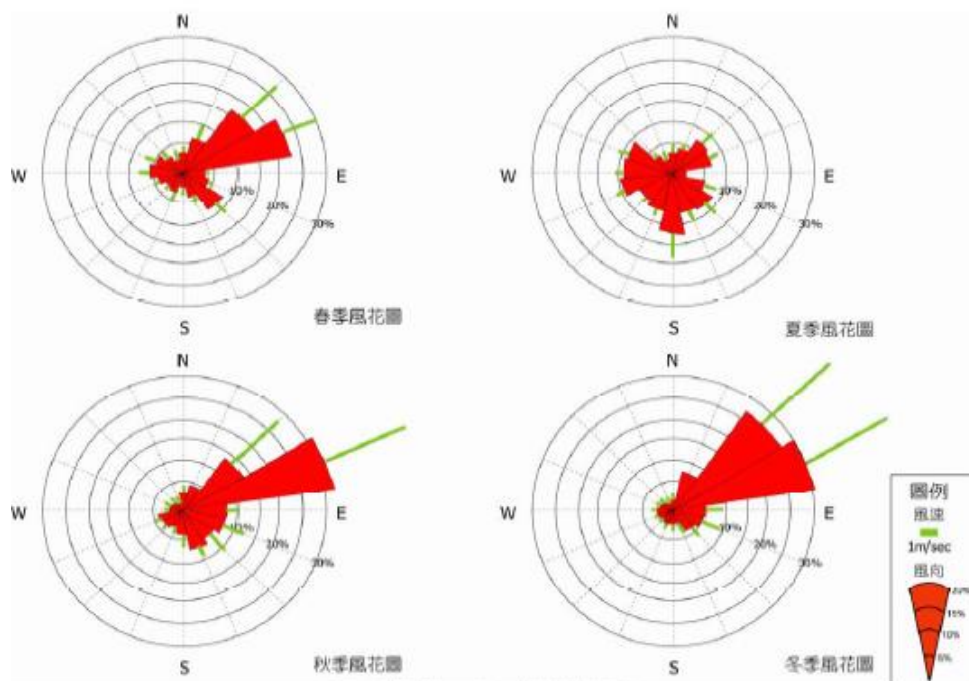


圖 2.5 臺北港 1996 至 2002 年海上觀測風場

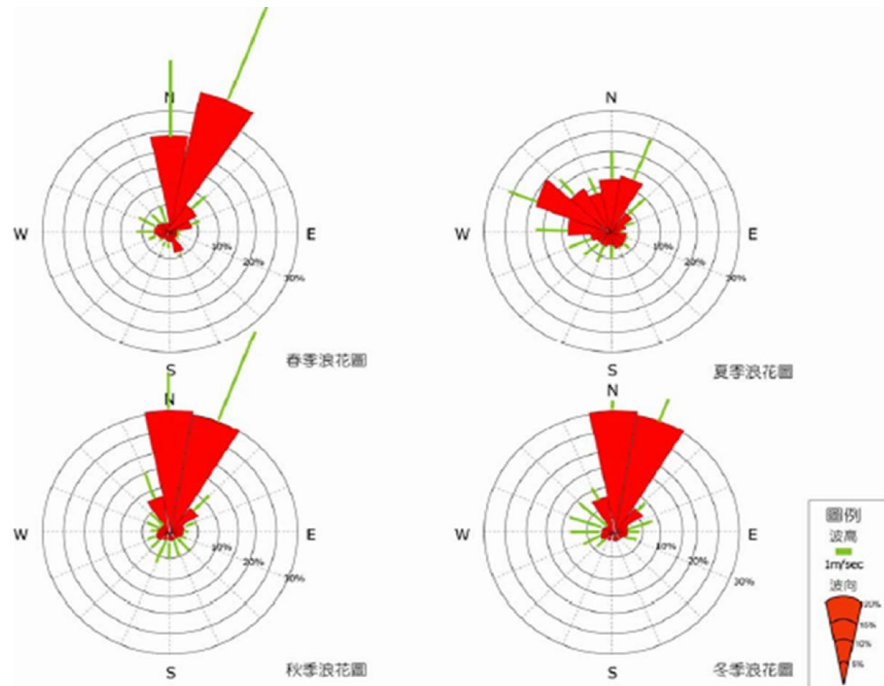


圖 2.6 臺北港 1996 至 2002 年海上觀測浪場(楊嵐雅，2007)

2.4 臺北港建港後淡水河之輸砂水理及地形改變

臺北國際商港位於淡水河河口南岸，港區用地全以填海造地方式，於 1993 年動工，1998 年完成第一期進度，主要設施為砂石碼頭兩座、工作船渠、防波堤、連外道路與填築新生地 84 公頃等；第二期計畫為三個五年計畫分期施作 (1997-2011 年)，至 2004 年北外堤長 4459 公尺，2005 年底完工後北堤長再延伸 1287 公尺 (基隆港務局臺北分公司，2006)。

臺北港建港後近十年來，淡水河口北側海岸變化甚微；而挖子尾延伸至河口南側海岸則變動劇烈，主要因為河源泥砂短少及臺北港北堤所致。林(1989)以 HEC-6 一維模式計算淡水河口斷面之輸砂量，若海相條件不變，則河流輸砂僅影響河口以南海岸之變化。許等(1993)使用人工岬灣理論推估河口及八里海岸之變化，認為淡水第二漁港(漁人碼頭)之興建使河口以南七公里內之海岸嚴重退縮，退縮程度並隨河源泥砂之供應有所增減。羅(1995)以單線模式模擬河口附近海岸線之變

化，結果顯示河口以北海岸呈現沖淤動態平衡；河口以南海岸則具後退之趨勢。上述研究係根據臺北港建港前之海岸地形變遷分析，即忽略臺北港之影響。臺北港建港後，北防波堤以北之淡水河口南側已由侵蝕轉為淤積。黃(2006)蒐集並彙整十河局提供之淡水河口南北岸近海底床地形資料(民國 75 年至 94 年)，以及淡水河系歷年河道斷面地形資料(民國 58 年至 94 年)，初步分析河口地形之變動及沿岸侵淤趨勢，結果顯示淡水河口在臺北港未興建前已有淤積產生。由此推測水庫興建後某時間點河流輸砂量曾經增加。李(1998)認為自 1994 年後，臺北港各期工程之動作及北防波堤的興建可阻擋沿岸漂沙及淡水河之輸砂，繼而評估建港後海岸將由原來之侵蝕型轉為淤積型態，並使河口內側淺灘擴大，河道增長窄縮，河口範圍逐漸外移。邱等(2000)認為臺北港建後在淡水河口內側左岸將因淤積形成沙洲，低潮時可露出水面，且該區域之河床具季節性變化；另外在河口西南之林口發電廠前方海域亦有沙洲形成，顯示有離岸漂沙活動，同樣具季節侵淤變化。魏(2001)根據 Savage 公式及改良之 Bijker 公式計算得到：臺北港建後，全年波浪可推動 164 萬立方公尺之漂沙量，少於淡水河系年平均輸砂量 185 萬立方公尺，故海岸應逐漸淤積。黃(2006)使用動床條件輔以擬三維河口水動力計算模式評估河口輸砂情況，同樣得到河口段淤積之推論。即建港後將使河口以南海岸及其內側左岸呈現淤積趨勢，理由應為波浪營力之削弱，另可由觀測影像判讀得到驗證。

2.4.1 歷史疏浚記錄

淡水河自民國七十八年後全面禁止採砂，民國九十二年才因河道淤積開始疏浚，歷年疏浚次數以基隆河為最，景美溪、內溝溪等次之，多為配合防洪工程、藍色公路附屬清淤工作及年度河道維護者，疏浚轄區所屬單位多為北市政府。歷年單次最大清淤量為 50 萬立方公尺(南湖大橋至大直橋段)，最低清淤量為 69 立方公尺。淡水河主流部分僅於民國九十三年三月因航運所需實施過一次疏浚(八里部分)。在疏浚總量管制上，水利署亦訂立疏浚規劃量分配管控表，舉民國九十六年為例，淡水河系預估抽砂量為 20.36 萬立方公尺(鬆方)，屬北部四個核定疏浚集水區中最低者(其餘為：蘭陽溪系 230 萬立方公尺；後龍溪系 40 萬立方公尺；石門水庫 50.8 萬立方公尺)。全河系分配抽砂量受上游石門水庫定期抽砂節制，疏浚時段主要以四至十一月之豐水期為主。

2.4.2 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 2.7 為 100 年 7 月 01 日流量觀測記錄(潮汐週期平均入海流量=455.2 cms)，潮差 2.69 公尺，最大漲(退)潮之斷面平均流速為每秒 0.64(0.92)公尺，最大漲潮流速小於最大退潮流速。最大漲(退)潮流量為 2066(2668) cms，即最大漲潮流量亦小於最大退潮流量。

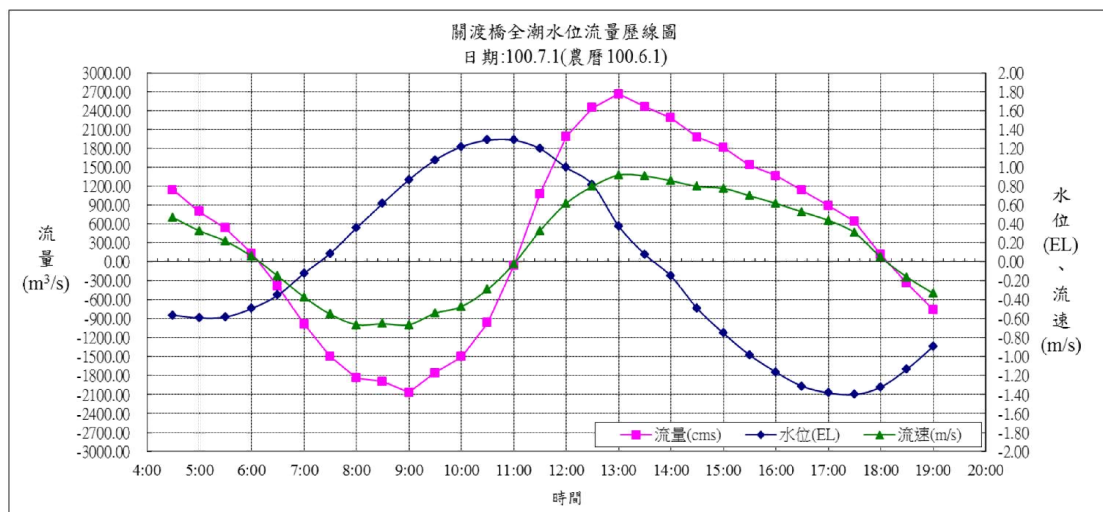


圖 2.7 關渡橋全潮流量觀測紀錄(第十河川局，100/07/01)

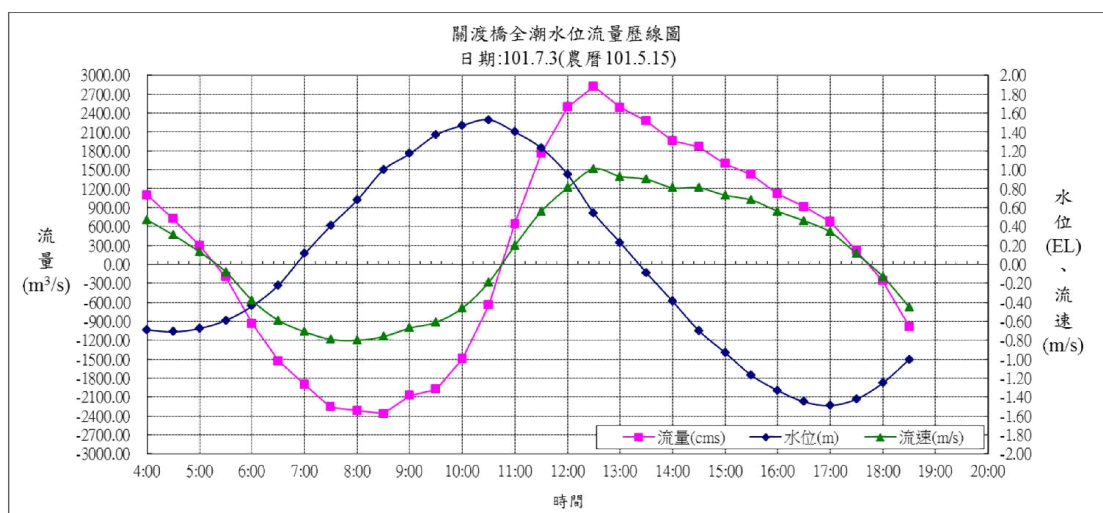


圖 2.8 關渡橋全潮流量觀測紀錄(第十河川局，101/07/03)

另一次全潮流量觀測(101/07/03)如圖 2.8。潮差 3.02 公尺，因潮汐週期平均入海流量 (215.1 *cms*)較大，故斷面最大漲潮流速每秒 0.80 公尺明顯小於最大退潮流速每秒 1.01 公尺。最大漲(退)潮流量為 2362(2823) *cms*，得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。而為北部帶來強大暴雨及逕流之颱風，如象神(89/10/30 ~ 89/11/1)及納莉(90/09/13 ~ 19)(圖 2.9)，在土地公鼻水位站實測潮位資料中皆可看出：河道內潮位受洪水量暴增及颱風暴潮影響而上升，且有潮差縮小之情形。以象神為例，來臨期間最小潮差僅 0.91 公尺，最高水位 2.03 公尺，持續有 44 小時水位高於平均海平面。納莉來臨期間最小潮差僅 0.85 公尺，最高水位達 2.28 公尺，亦持續有 47 小時水位高於平均海平面，且連續四次最高潮位均大於 2.2 公尺。推測主要原因為颱風路徑(6)使河口正迎風面生成風浪阻滯水流加以颱風暴潮所致。

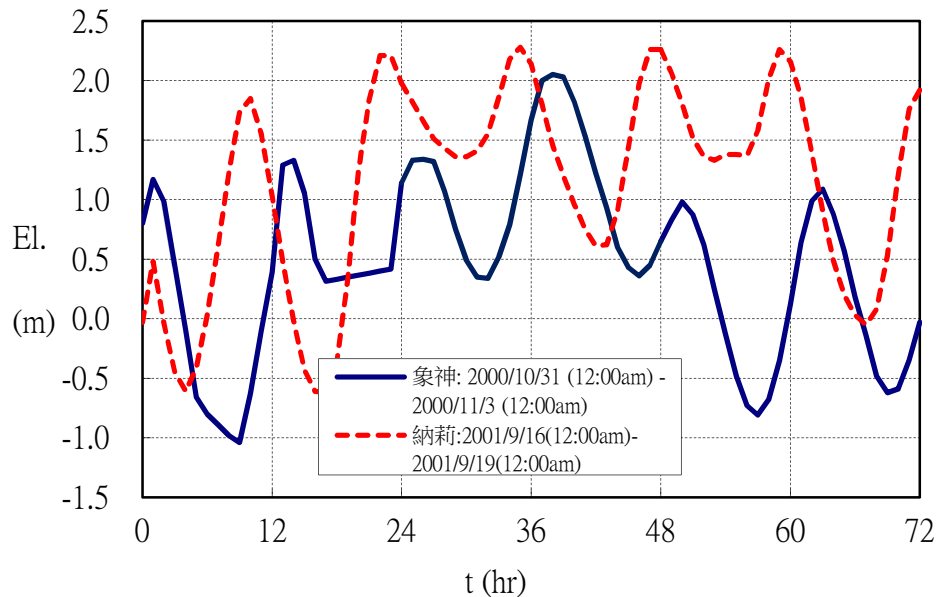


圖 2.9 土地公鼻水位站潮位變化圖(象神、納莉期間)

Dadson et al. (2003) 根據 1970-1999 台灣各河川懸浮質的量測資料推估各流域的年侵蝕量，結果顯示淡水河的年輸砂量約 5 Mt/y，且

大漢溪的年侵蝕率約 1.3 mm/y。王(2004)以數值模式計算淡水河之推移載及總輸砂量。推移載最多可佔總輸砂量之 10% ~ 50%，一般則小於 10%。藉由誤差分析得知以 Engelund and Hansen 公式計算總輸砂量及 Meyer-Peter and Muller 公式計算底床載結果最佳。沖洗載之數量則分別根據流域測站的豐、枯流量與懸浮濃度的率定曲線推估求得。根據 1980 ~ 2000 年之水理及地文條件得知新店溪(秀朗站)總輸砂量為每年 837,764 噸，其中以沖洗載最多 50%；大漢溪(三鶯橋站)總輸砂量為每年 1,458,648 噸，其中以懸浮載最多佔 47%；基隆河(五堵站)之總輸砂量則為每年 631,537 噸，其中以懸浮載最多佔 89%。故淡水河流域之整體輸砂量約為每年 2,927,949 噸。新店溪、大漢溪及基隆河之年侵蝕量分別為 0.77, 1.05, 1.87 mm/yr (王, 2004)。淡水河流域中上述測站皆位於中下游，且未包含翡翠水庫及石門水庫上游流域的侵蝕砂量，故可能低估流域之產砂能力或侵蝕速率。加上北部地區之地殼隆起率較台灣中南部為低，因此小於台灣西部流域的年侵蝕量 5-16 mm/yr (Dadson et al., 2003)。

2.5 颱風期間淡水河下游之輸砂量分析

本研究曾採集辛樂克颱風期間(2008/09/12 ~ 09/15)退潮階段(2008/09/14 pm2:00 ~ 4:00)在淡水河下游關渡宮、龍形渡船口、龍形溪出口及河口挖子尾等四處採樣。因採樣時間接近低潮，故潮流之效應可忽略不計。淡水河口表層河水含砂量約 3.49 g/L，龍形渡船口因位於束縮地形尾端，洪流速度約 1.5 ~ 2 m/s，且其含砂量較高(4.20 g/L)。龍形溪因源於觀音山屬火成岩風化土，水樣顏色偏黃、顆粒較粗，故濃度較低(1.60 g/L)且亦在出口處產生淤積。龍形溪之顆粒特性與淡水河北側之公司田溪相近，皆屬火成岩風化土，而其黃褐色與淡水河本流之黑灰色亦有明顯差別。關渡宮採樣點之河幅較寬且岸邊紅樹林阻礙水流，使流速較河中心為緩，故所取之含砂濃度較低(1.57 g/L)。

本中心於淡水河下游關渡橋設置一水理觀測站(位於底床以上 1.5 m 處，平均潮位之水深為 6.5 m)以收集長期淡水河之水理資料，該站

量測項目包含濃度、溫度、水位及水流速度等。前期之流速可參看前期報告，然 2002-2008 歷年非汛期與颱風期間漲潮流速及所對應之懸浮載濃度關係顯示：非汛期且流速甚低情況下仍有高濃度產生，如 93 年 6 月因基隆河疏浚工程(南湖大橋-大直橋段)造成低流量高濃度情況發生。該測站之最大濃度值常出現於颱風後 1-2 日。2013 年 7-10 月共有 6 個颱風侵台並帶來豪雨。

關渡橋測站觀測得 2013 年 6 月至 2014 年 4 月間每月最大濃度期間之水理資料整理如圖 2.10-2.15 所示。圖中縱軸為濃度(g/L), 水位(m), 流速(m/s, 以向海為正值)的每小時測值，橫軸為天數(以每月 1 日零時為原點)。

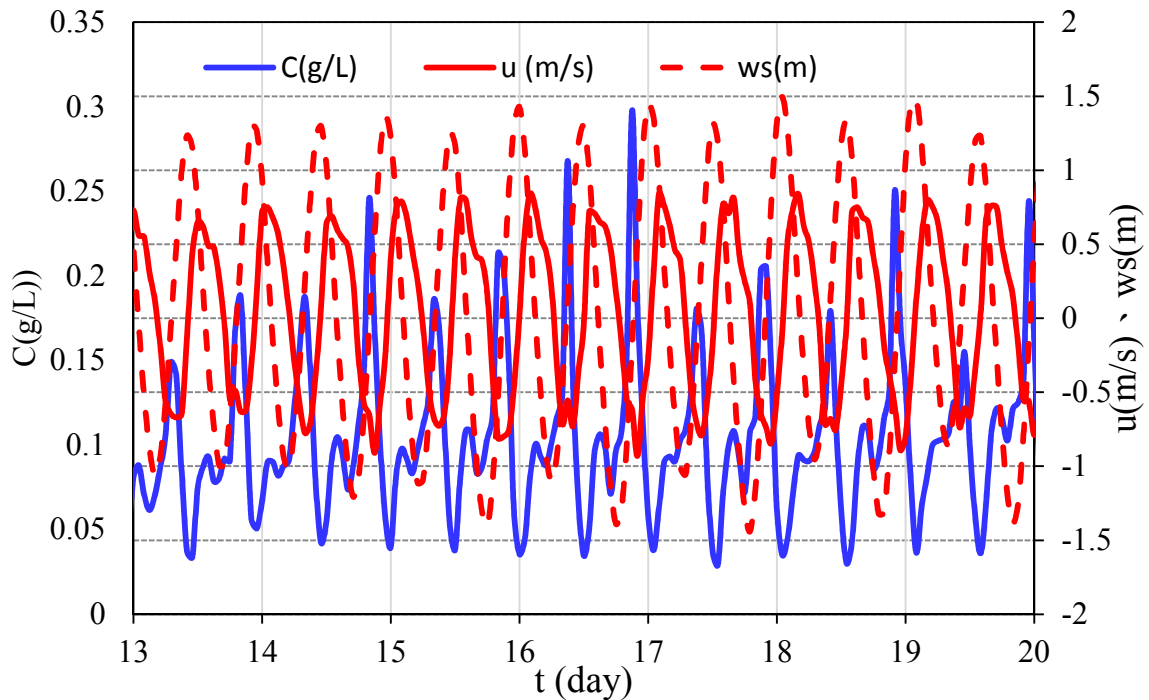


圖 2.10 2014 年 4 月關渡橋測站濃度峰值段的水理資料

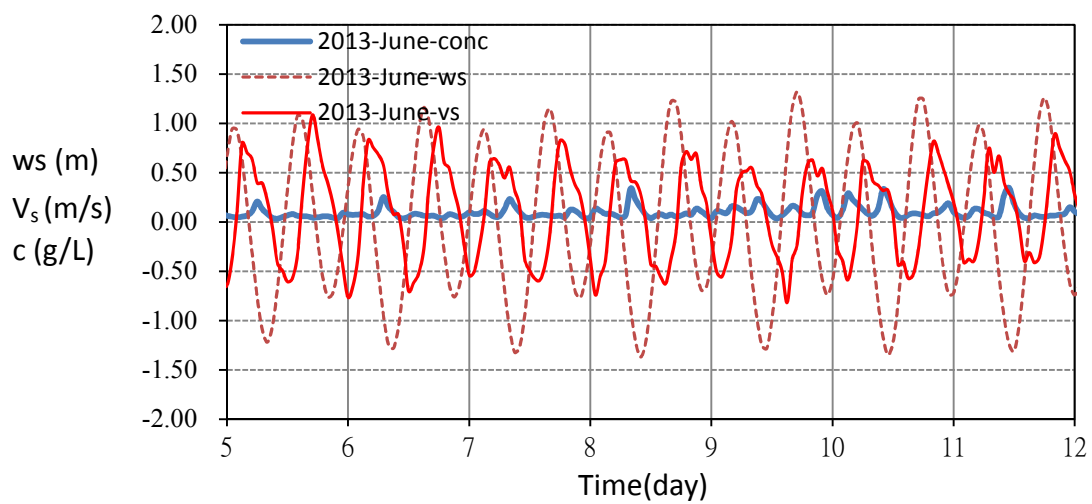


圖 2.11 2013 年 6 月關渡橋測站濃度峰值段的水理資料(無颱風)

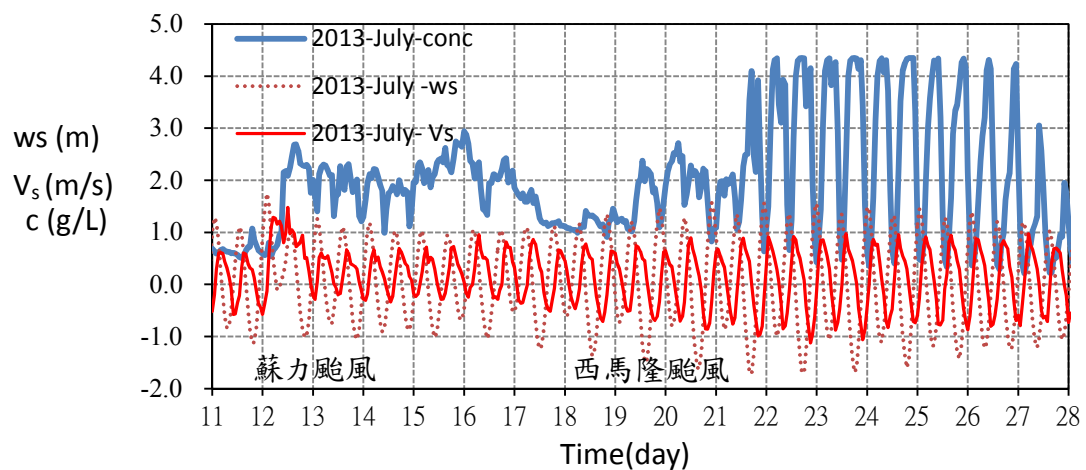


圖 2.12 2013 年 7 月關渡橋測站濃度峰值段的水理資料(2 颱風)

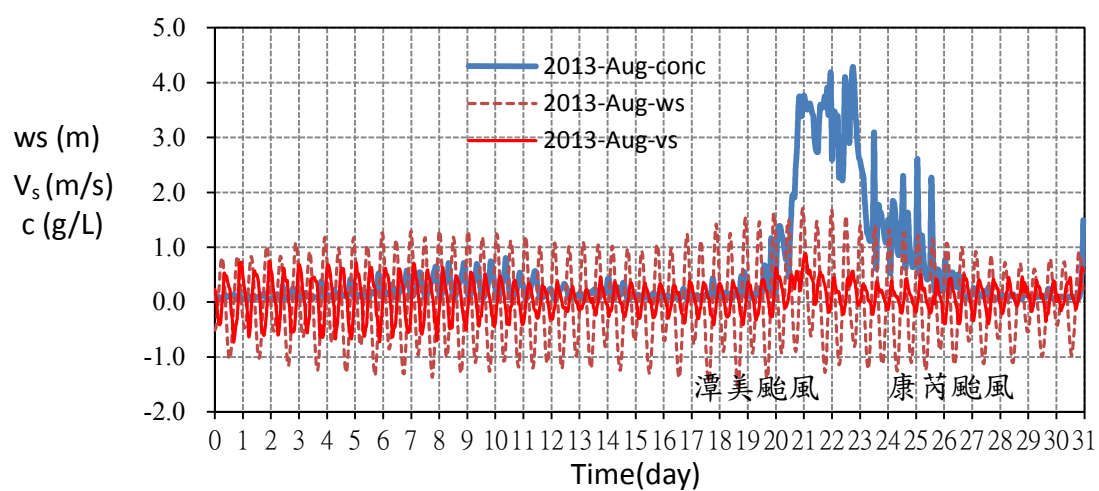


圖 2.13 2013 年 8 月關渡橋測站濃度峰值段的水理資料(2 颱風)

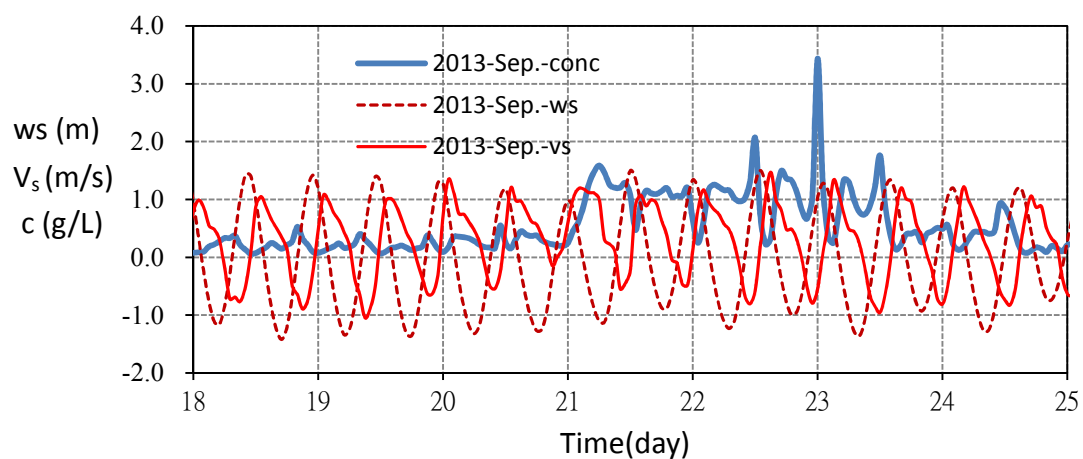


圖 2.14 2013 年 9 月關渡橋測站濃度峰值段的水理資料(1 颱風)

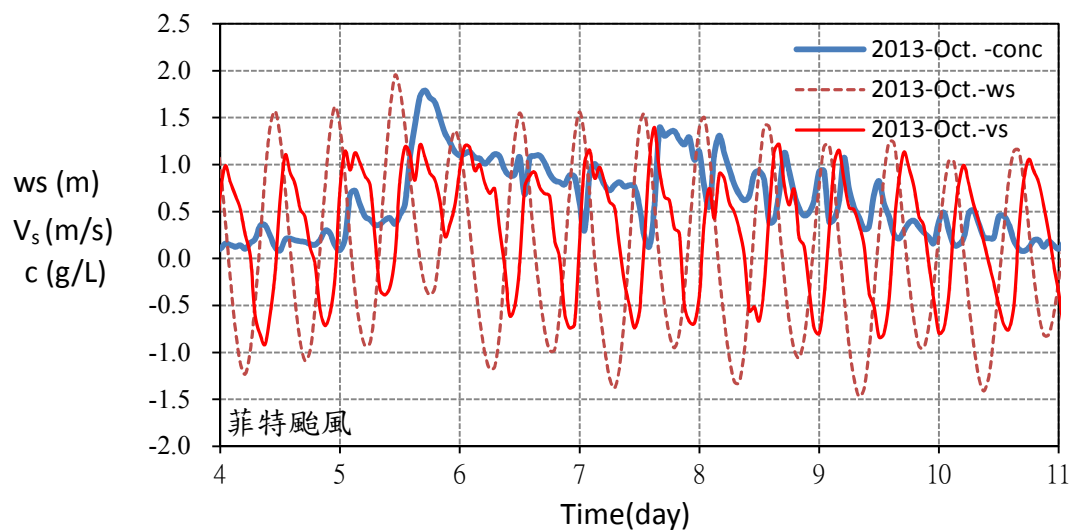


圖 2.15 2013 年 10 月關渡橋測站濃度峰值段的水理資料(1 颱風)

由圖 2.10-11 可知非颱風及暴雨期間，淡水河下游段(以關渡橋為代表)之懸浮固體濃度大多小於 0.5 g/L，且懸浮固體濃度的峰值多發生在最低潮、及最大漲(退)潮流速度時；反之，濃度的谷值則大都發生在最高潮位，即海水提供陸源懸浮物的稀釋效應。淡水河口的漲退潮流可將底床細顆粒捲增於水體中，且最大漲潮流時的濃度高於最大退潮流時之濃度。2013 歷次颱風(7-10 月) 淡水河下游段的濃度峰值則介於 1.7 g/L(菲特颱風, 圖 2.15)- 4.2 g/L (潭美颱風,圖 2.13)，濃度範圍值與 2008 辛樂克颱風期間採樣值相近。水體濃度峰值發生前，向海流速及大於平均水位的時間比例明顯增加，顯示洪水強化往復潮流的不對稱，及潮水頂托造成下游水位上升的效應。有關颱風期間(豐水期) 及非颱風期間(枯水期)淡水河下游之懸浮泥沙輸送將於第四章說明。

2.6 淡水河河口地形特性與影響因素

河口及沙灘為由波浪、海流及風等之外營力與沉積物，長期交互影響與作用下呈現的地形。除了幾近平衡狀態的彎型海岸較為不易產生變動外，其餘海岸地形皆無法長期維持穩定狀態；沉積物之輸入與輸出的改變，會迅速的反應於地形變化上。於海岸興建垂直海岸之人工構造物，亦會對地形產生改變。郭(2004)指出垂直海岸結構物(或突堤)產生之地形改變的原因即為直接切斷漂沙的供給，原本的漂砂堆積於結構物和沙灘之交界，上游堤的等深線呈弧形向海發展。改變波場及流場，波浪斜向流入時，流入區沙灘的沉積物被帶往下游，堆積於遮蔽區，使其無法向下游搬運；下游區入射波仍帶動沿岸輸砂，但無上游供應沉積物，因此下游沙灘產生侵蝕。影響海岸變遷重要作用的人為因素包括：流域變遷、河水利用、河流築壩、抽採河沙、突堤與防波堤、海濱保護結構物等。近 30 年來，淡水河河口及流域之工程設施如表 2-3 所示。石門水庫興建前，由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趨勢。民國五十三年，石門水庫完工後，攔阻大量泥砂，造成河口地區沈積物的供需失去平衡，使海岸線侵蝕向內陸退縮。民國七十五年翡翠水庫完工後，攔阻更多的泥砂，使河口侵淤平衡更為失衡。民國六十七年及民國八十一年期間，八里污水處理廠附近海岸退縮達 150m；挖子尾附近海岸亦退縮達 200 m。臺北港北防波堤的興建使北防波堤處外側沿岸無退縮現象。近年來石門水庫放淤(2013)可能會使高灘地淤積及顆粒細化，另新北市政府自 2013 年 12 月進行八里淡水航道暨碼頭疏浚工程及將浚泥置於淡水河口左岸拋淤區域，此一疏濬工程對下游河道及左岸砂嘴及海岸的效應需進一步考量。

表 2-3 近年淡水河河口及流域之工程設施

年代	河口周圍結構物工程	流域整治與水利工程
1980	淡水第二漁港興建防波堤工程(1982-1983)	新店溪翡翠水庫完工蓄水(1987.6) 臺北地區防洪計畫工程(1982-1996)
1990	八里汙水處理廠海洋放流管(1990-1995) 淡海新市鎮開發(1993-2001)	基隆河截彎取直工程(1990-) 基隆河治理疏浚工程(1998-2001)
1993	臺北港及北防波堤	
2000 之後	新北市八里淡水航道暨碼頭疏浚工程(2013-2015) 淡江大橋及引道(2015 規劃中)	員山子分洪工程(2002-2005) 低窪地區防洪區段工段(2004) 滯洪區建置計畫(2004) 石門水庫放淤(2013)

近二十年來有關淡水河河口地形變遷之研究成果整理如表 2-4 所示。淡水河河口北岸基本上因屬礁岩地質加上河海堤工保護，地形改變很少；南岸則因水庫攔砂及下游採砂先形成侵蝕(1904-1993)；而臺北港興建後(1998)因北堤阻擋南向漂沙，地形改變趨勢由侵蝕轉為淤積。

表 2-4 淡水河河口附近地形演變及影響因素

作者	年代	海岸位置	變化幅度	主要影響因子
郭金棟 (1990)	1904-1987	河口北岸	共增加 100 m	海岸隆升
	1904-1958	河口南岸	淤積	
	1958 以後		每年退後 2m	上游水庫完成及大量抽沙
許時雄 (1991)	1986-1989	河口以北	變化幅度較少	礁岩地質
		河口北岸	每年退後 2.7m	1. 河川出海後沿岸邊分流冲刷 2. 大量採砂
許硯蓀等 (1993)	1986-1992	河口北岸	無明顯侵淤變化	礁岩海岸地形
		河口南岸	河口以南約 7 公里處的海岸，皆為侵蝕區，越近河口越嚴重	1. 上游水庫興建及大量採砂 2. 人工岬灣影響
郭金棟等 (1993)	1990-1993	河口北岸	除了緊鄰河口處外，其餘地形變化幅度小	礁岩海岸及海岸坡度較陡
		河口南岸	岸上近年來明顯侵蝕退後	砂質海岸
羅致堅 (1995)		河口北岸	侵淤互現	
		河口南岸	侵蝕退後	
林雪美 (1996)	1980-1989	河口北岸	河口中心向西南移動	河海堤工程完成
石再添等 (1996)	1904-1989	河口南岸	沙洲向內陸彎入	受波浪侵蝕影響

邱永芳 (2000)	1996-2000	河口 南岸	淡水河口南側部分河道因淤積逐漸形成沙洲，河床有季節性變化	1993 年臺北國際商港興建
魏震 (2001)	1993-2000	河口 北岸	北岸呈現淤積狀態，河口三角洲向外前進，北淤砂逐漸形成河口淺灘濕地	1993 年臺北國際商港興建
		河口 南岸	呈侵蝕狀態	
張苑文 (2002)	1986-2000	河口 北岸	竹圍侵蝕後退	沉積物收支影響
賴春婷 (2003)	2002-2003	河口 南岸	颱風事件後，挖子尾地區的灘面由侵轉淤	東北季風轉弱 (3 月至 5 月)
楊嵐雅 (2006)	1987-2003	河口 南岸	1998 年後，整體由侵轉淤	臺北國際商港北防波堤興建完成

資料來源：修改自(楊嵐雅，2006)

因淡水河口之波浪以東北方向為主，沿岸輸砂由北向南，且冬季效應大於夏季西南向波浪。臺北港北防波堤興建後導致突堤效應，使淡水河南岸至臺北港北堤處之沿岸逐漸由侵轉淤，其中更以挖子尾地區之地形改變最為顯著。由 97~100 年本中心的觀測資料可看出其變化；淡水河口與臺灣海峽交界處之沙洲，仍受侵蝕作用而逐年退縮。在淡水河口左岸區域，沙嘴逐漸轉向與擴大，往河道上游延伸，且將原本沙脊區域逐漸填補，沙灘變廣。如未來沙嘴持續堆積增高並向上游延伸，使得海水無法接觸到紅樹林，將嚴重影響挖子尾保育區紅樹林的生態。臺北港的北側防波堤興建後，河口之南岸海灘地形，於 1994 至 2011 年淤積情況相當顯著，原本沿岸的人工結構物，及許多的防波結構物已被沿岸漂沙覆蓋，而呈現廣闊的灘面。

2.7 淡水河河口斷面積與潮汐關係

潮稜(Tidal Prism)是指河口內漲潮最高潮與最低潮間所夾的水體積。

O'Brien(1969) 首先提出河口斷面積 (A) 與潮稜(P)間的關係如下:

$$A = aP^m \quad (2.1)$$

其中 A: 河口斷面積(m^2), P: 潮稜(m^3), 係數 a 與 m 會因不同河口而改變。O'Brien 觀察美國 28 條不同地區的河口, 整理出 $a=4.69 \times 10^{-4}$, $m=0.85$ 。潮稜 P 與平均潮流量 $\bar{Q}$ ($\bar{Q} = \frac{2}{\pi} Q_{max}$) 與潮汐週期 T 之關係如下:

$$P = \frac{T\bar{Q}}{2} = \frac{TQ_{max}}{\pi} \quad (2.2)$$

將式(2.1),(2.2) 結合得

$$A = a\left(\frac{T}{2}\right)^m \bar{Q}^m \quad (2.3)$$

給定半日潮 $T=44,700s$ 及 O'Brien's 公式的係數($a=4.69 \times 10^{-4}$, $m=0.85$)代入方程式(2.3) 可得

$$A = 2.3\bar{Q}^{0.85} \quad (2.4)$$

Blench (1961) 整理不受潮汐影響的河口斷面積及流量關係如下:

$$A = 1.51Q_r^{0.85} \quad (2.5)$$

當 $\bar{Q}/Q_r \geq 20$ 時，河口受河流的影響較弱，可視為潮汐主宰 (tide-dominated flow)。Powell 等人(2006)依美國大西洋海岸和佛羅里達州墨西哥灣沿岸河口整理得(2.1)式中， $a=6.25 \times 10^{-5}$, $m=1$ 。將淡水河的潮汐及河口特性資料： $Q_{\max}=2700 \text{ cms}$, $T=12.5 \text{ hr}$, $A=4100 \text{ m}^2$, $H=2.2 \text{ m}$, $P=3.87 \times 10^7 \text{ m}^3$ 與前人關係式(式 2.1)比較，其結果如圖 2.16 所示。淡水河河口斷面積與潮稜關係接近於經驗式下緣，顯示淡水河河口斷面積長期演化由潮流來決定，惟在洪水期間因洪峰大於最大漲潮流且潮位頂托(圖 2.9)，可能造成淡水河下游兩岸的溢淹災情。

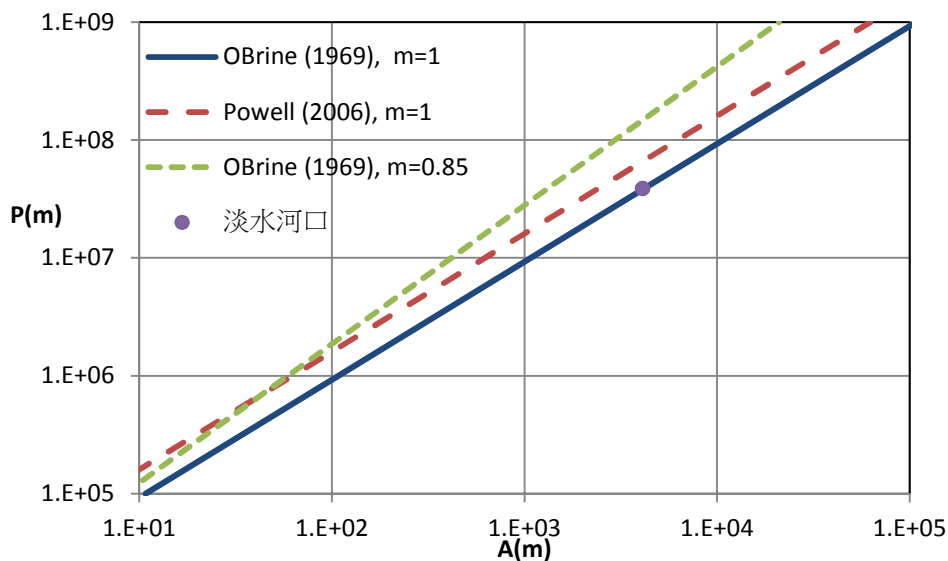


圖 2.16 淡水河河口斷面積與潮稜關係

2.8 淡水河口水下砂丘及粒徑分佈

本研究對 2014 年 8 月 7 日、2014 年 10 月 20 日及 2015 年 4 月 21 日之 ADCP 量測水深流速資料進行分析。粒徑資料則是分析 2014 年 8 月 22 日，2015 年 3 月及 6 月之採樣資料。2014 年 8 月 7 日及 10 月 20 日 17:00-18:00 pm 本研究分別於淡水河口就上述 A,B 段河床，以船掛式 River-Ray ADCP 進行斷面速度之量測並就床底形態與多音束掃描成果比對。現場量測時為漲潮且潮位介於 -0.19 m 至 0.15 m。

淡水河的流場資料是藉由 Teledyne RD 儀器公司發展的都普勒流速剖面儀 RiverRay ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler) 如圖 1.3 所示，並根據都普勒效應來量測水中三維水流速度。都普勒流速剖面儀 (ADCP)的基本原理是於水中發射一聲波，聲波在水中傳播時遇到懸浮粒子，便會反射產生回波，藉發射的聲波頻率和接收到的回波頻率及聲波波速，便可利用都普勒效應，求得水中的懸浮子速度(即水流流速)。除用 River-Ray 船掛式 ADCP 測得的 A,B 段底床剖面及流場水流速度外，本研究並於 2014/08/22 及 2015/ 4/20 於現場由潛水俠取得 A,B 段底床八個點的砂樣，進行粒徑分析以探討水流、水下砂丘、粒徑三者之關係。

圖 2.17 為 2014/08/07、2014/10/20 及 2015/4/20-21 分別以 River-Ray ADCP 在淡水河口段進行水深及流速量測的航跡圖，航跡分為 3 個區段: A 段、B 段、轉折段 C。其中實線為 8/7 的量測路徑，虛線則為 10/22 之量測路徑。兩者之航段 A, B 皆根據前述 2008/2011 自強公司多音束水深量測 A, B 段的路徑以 GPS 定位以供比對，量測方向皆由上游向下游緩速前行。8/7 及 10/22 量測時間之潮位階為漲潮階段，潮位範圍分別為 -0.19 至 0.15 公尺。由圖中可看知 ADCP 兩個航次的軌跡相近，然因船行軌跡受現場操作可行性的干擾，兩者在 B 段的起點和終點不盡相同。

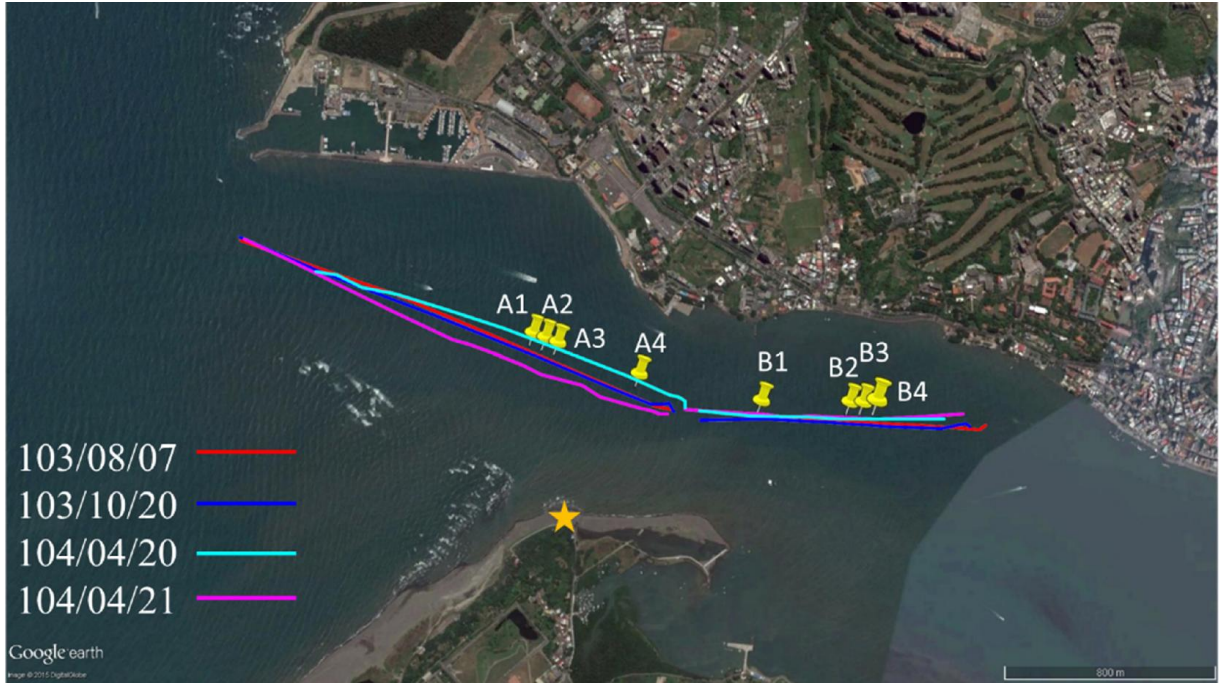


圖 2.17 2014 River-Ray ADCP 在淡水河口進行量測之航跡

本研究水下沙丘的分析資料，主要是藉由都普勒流速剖面儀 ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) 和於 ADCP 測量航跡上做定點採樣。淡水河口水下沙丘型態是以 Van Rijn (1984) 方法進行分析。可藉由定點採樣所得之粒徑計算出參數 D_* (式 2.6)；再藉由 ADCP 量測之流速，便可計算出傳輸階段 T (式 2.7)。於 D_* - T 圖的分布，即可知道水下沙丘屬於何種分類型態。

$$D_* = D_{50} \left(\left[\frac{(s-1)g}{\nu^2} \right] \right)^{1/3} \quad (2.6)$$

D_{50} : 底床顆粒通過總重 50% 的粒徑、 s : 比重、 g : 重力加速度

ν : 運動黏滯係數

並給定底床顆粒的剪應力 τ' 和臨界剪應力 τ_c 來定義沙丘的傳輸階段 T (Transport stage)。

$$T(\text{Transport stage}) = \frac{\tau' - \tau_c}{\tau_c} = \frac{(u'_*)^2 - (u_{*c})^2}{(u_{*c})^2} \quad (2.7)$$

$$u'_* = \left(\frac{g^{0.5}}{C'} \right) \bar{u} ; C' = 18 \log \left(\frac{12R_b}{3D_{90}} \right)$$

u'_* : 底床的剪力速度 (bed shear velocity)、 C' : chézy coefficient、

R_b : 水力半徑、 D_{90} : 底床顆粒通過總重 90% 的粒徑、 $\bar{u}$ 平均流速、

u_{*c} : 底床臨界剪應力

淡水河之輸砂量估計是使用 Van Rijn (1984)，可分別對懸浮載及底床載進行估算。估算所需之流速、水深參數可由 ADCP 取得，粒徑則可使用採樣資料。底床載 q_b 和懸浮載 q_s 輸送量的估算：

$$\frac{q_b}{\bar{u}h} = 0.005 \left(\frac{\bar{u} - \bar{u}_{cr}}{[(s-1)gD_{50}]^{0.5}} \right)^{2.4} \left(\frac{D_{50}}{h} \right)^{1.2} \quad (2.8)$$

$$\frac{q_s}{\bar{u}h} = 0.012 \left(\frac{\bar{u} - \bar{u}_{cr}}{[(s-1)gD_{50}]^{0.5}} \right)^{2.4} \left(\frac{D_{50}}{h} \right) (D_*)^{-0.6} \quad (2.9)$$

$\bar{u}$: 平均流速， $\bar{u}_{cr}$: 臨界流速， h : 水深， D_{50} : 中值粒徑

式(2.8)-(2.9)中臨界速度會受粒徑影響，其計算如式(2.10)及(2.11)所示。

$$\bar{u}_{cr} = 0.19(D_{50})^{0.1} \log \left(\frac{12R_b}{3D_{90}} \right), \quad for \ 100 \leq D_{50} \leq 500 \ \mu m \quad (2.10)$$

$$\bar{u}_{cr} = 8.5(D_{50})^{0.6} \log \left(\frac{12R_b}{3D_{90}} \right), \quad for \ 500 \leq D_{50} \leq 2000 \ \mu m \quad (2.11)$$

由於本研究只僅有兩次採樣資料，因此我們假設 2014 年 8 月 7 日及 2014 年 10 月 20 日進行 ADCP 測量時，其粒徑與 2014 年 8 月 22 日採樣之粒徑相同，2015 年 4 月 21 日進行 ADCP 測量時，其粒徑與 2015 年 3 月 31 日採樣之粒徑相同；參數 T 則是與流速相關。各採樣點之 D_* 如

表 2-5；2014 年 8 月 7 日、2014 年 10 月 20 日及 2015 年 4 月 21 日進行 ADCP 測量之流速經計算所得傳輸階段(transport regime)參數 T 如表 2-6。

表 2-5 各航次採樣點之 D_*

點位	(103/08/22) D_*	(104/03/31) D_*
A1	7.32	4.43
A2	7.29	6.43
A3	5.85	7.78
A4	6.81	6.88
B1	8.52	7.81
B2	9.77	9.81
B3	9.77	9.42
B4	10.01	9.52

表 2-6 各點位之參數 T

點位	(103/08/07) T	(103/10/20) T	(104/04/21) T
A1	4.24	4.90	5.10
A2	14.39	6.99	2.61
A3	5.30	3.92	4.83
A4	7.13	1.16	8.12
B1	5.50	5.37	6.95
B2	5.19	6.01	3.13
B3	7.02	4.32	7.08
B4	5.59	4.76	1.75

圖 2.18 為基於 Van Rijn(1984) 的分類方式所得，可以看到淡水河之底床形式大多落在 $1 \leq D_* \leq 10$ 及 $3 \leq T \leq 15$ 間，分類上屬於砂丘的形式居多，且由於 $3 \leq T \leq 15$ ，砂丘是會有往下游運移的情況。

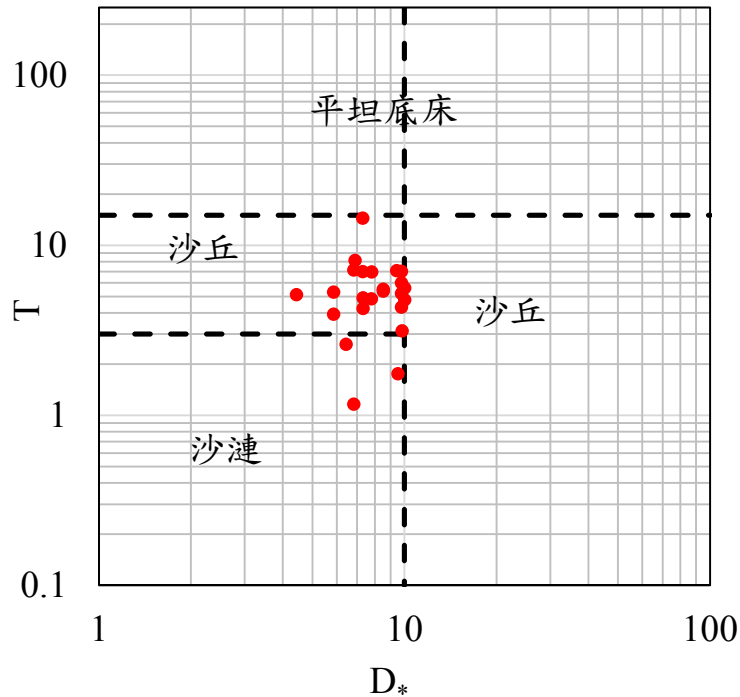


圖 2.18 D_* 與 T 之關係圖

根據 2014 年 8 月 7 日、2014 年 10 月 20 日及 2015 年 4 月 21 日 ADCP 測量得到流速及水深後，分 A、B 兩段進行輸砂量估計及砂丘運移之結果。圖 2.19 至圖 2.24 內所標記之黃點及紅點分別代表波峰及波谷；圖中所示之起點皆是由下游起算，由於 ADCP 在進行測量時，每次的航跡皆會有些許偏差，在探討砂丘運移時，便無法直接做比對，因此，本研究在量測航跡上標記距離砂丘採樣點最近的位置，以作為固定參考點。

圖 2.19 至圖 2.24 中之輸砂量估算需考慮到底床顆粒之粒徑。由於本研究每段之採樣點僅有 4 點，因此，於航跡上每個位置之輸砂量估

算式中的粒徑大小是取離該位置最近的採樣點資料。

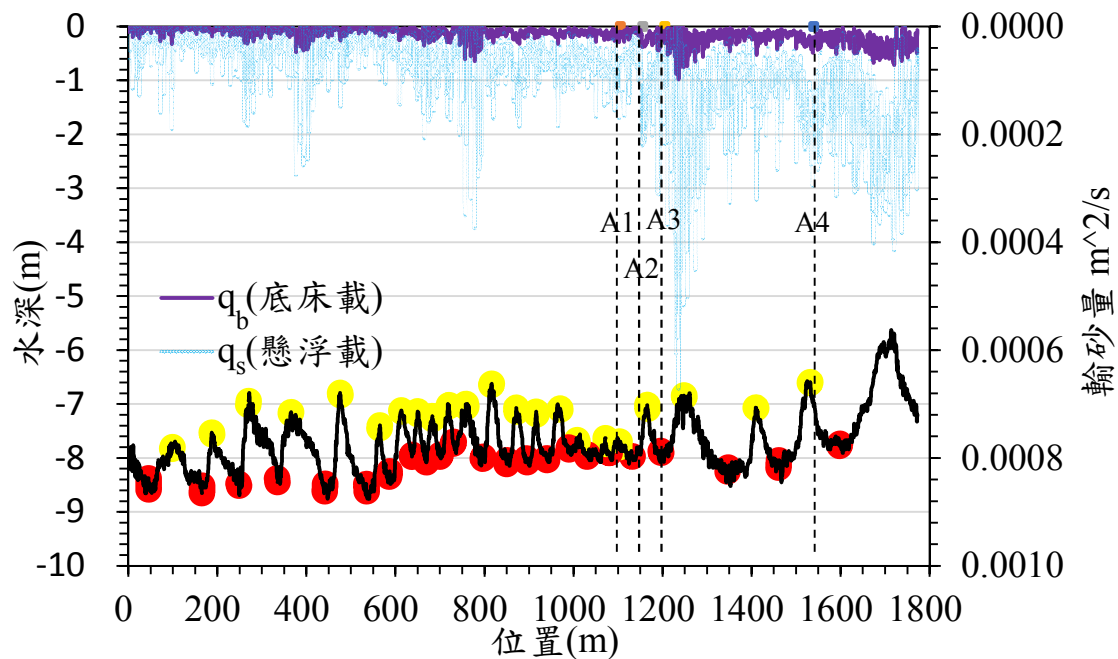


圖 2.19 2014 年 8 月 7 日 A 段水深及輸砂量變化

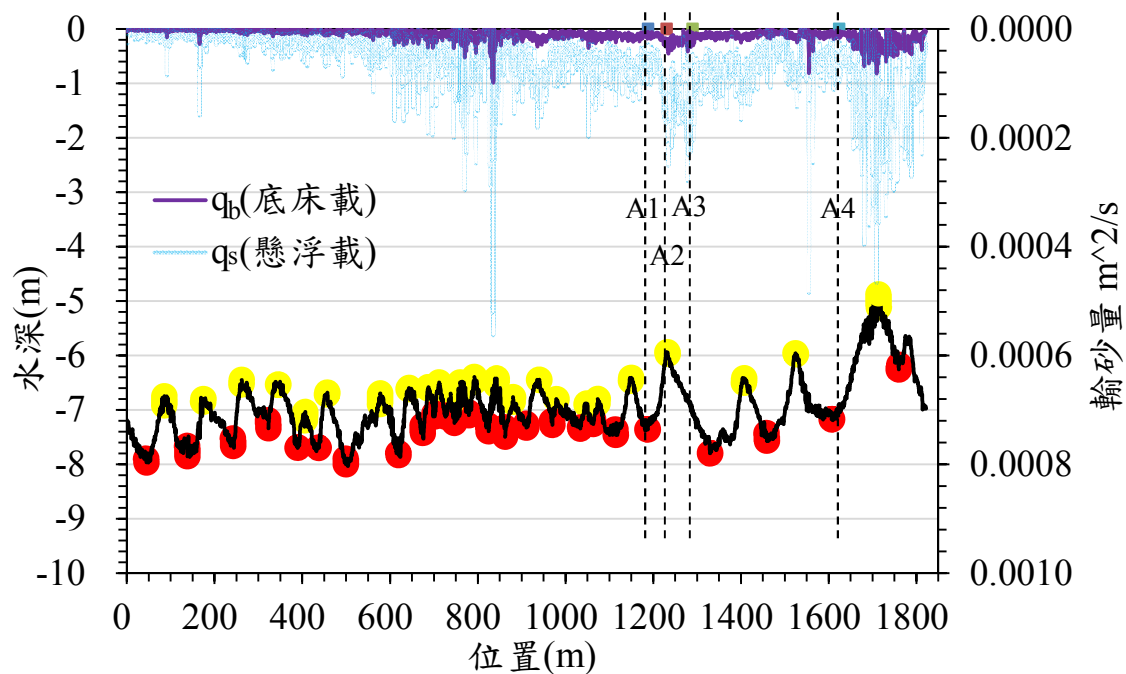


圖 2.20 2014 年 10 月 20 日 A 段水深及輸砂量變化

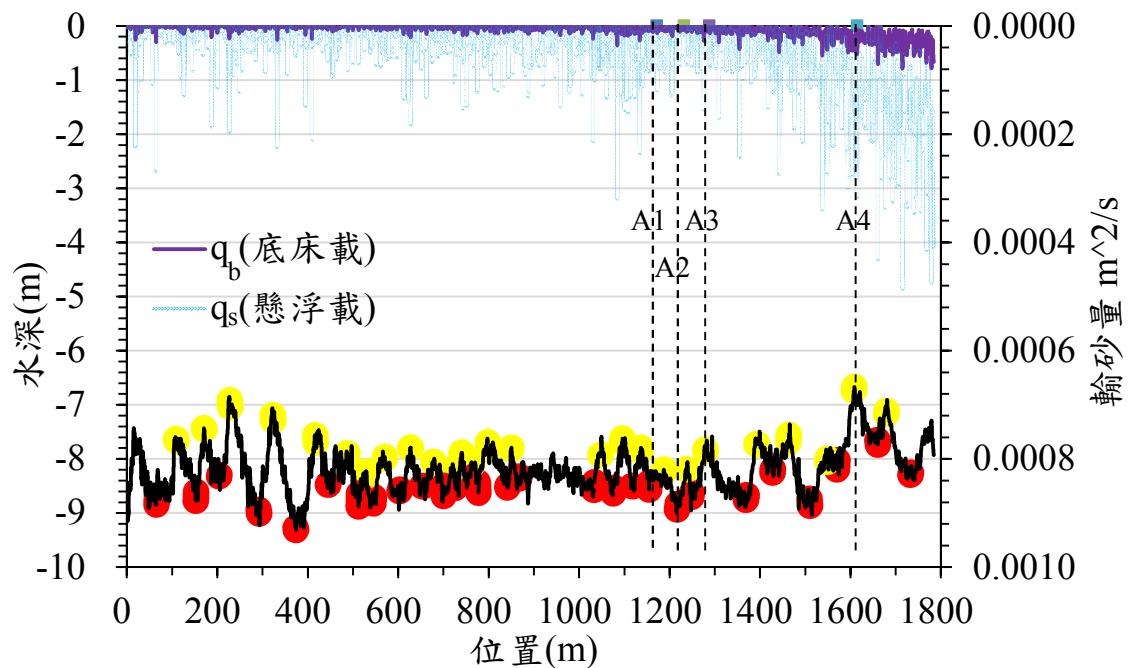


圖 2.21 2015 年 4 月 21 日 A 段水深及輸砂量變化

由於底床砂丘之運移主要受控於底床載。對比圖 2.19 及圖 2.20 可知運移砂丘的相對位置約位於本研究之固定參考點 A2、A3 及 A4。在圖 2.19 砂丘運移前位置，可觀察到在運移砂丘的位置處，估算之底床載輸砂量皆相對高於附近底床載輸砂量。

比較圖 2.19 及圖 2.20，可以看到原先在圖 2.19 為於固定參考點 A2、靠近參考點 A3 約 50 公尺處及位於參考點 A4 上的三個波峰，於圖 2.19 之固定參考點 A2、A3 及 A4 附近，皆可看到原先波峰向下游位移的情況，於固定參考點 A2 之波峰向下游運移約 101 公尺；位在參考點 A3 上游處之波峰向下游運移約 98 公尺；位在參考點 A4 之波峰向下游運移約 82 公尺。即平均運移約 93.67 公尺。而在圖 2.21 A 段之底床型態，可以看到與圖 2.19 及圖 2.20 迥然不同，造成不同情況之原因，推斷可能是由於測量時間相距過久造成底底床樣貌完全改變亦或是 2015 年 4 月 21 日測量之航跡較 2014 年 8 月 7 日及 2014 年 10 月 20 日兩次航跡偏離較多之緣故。

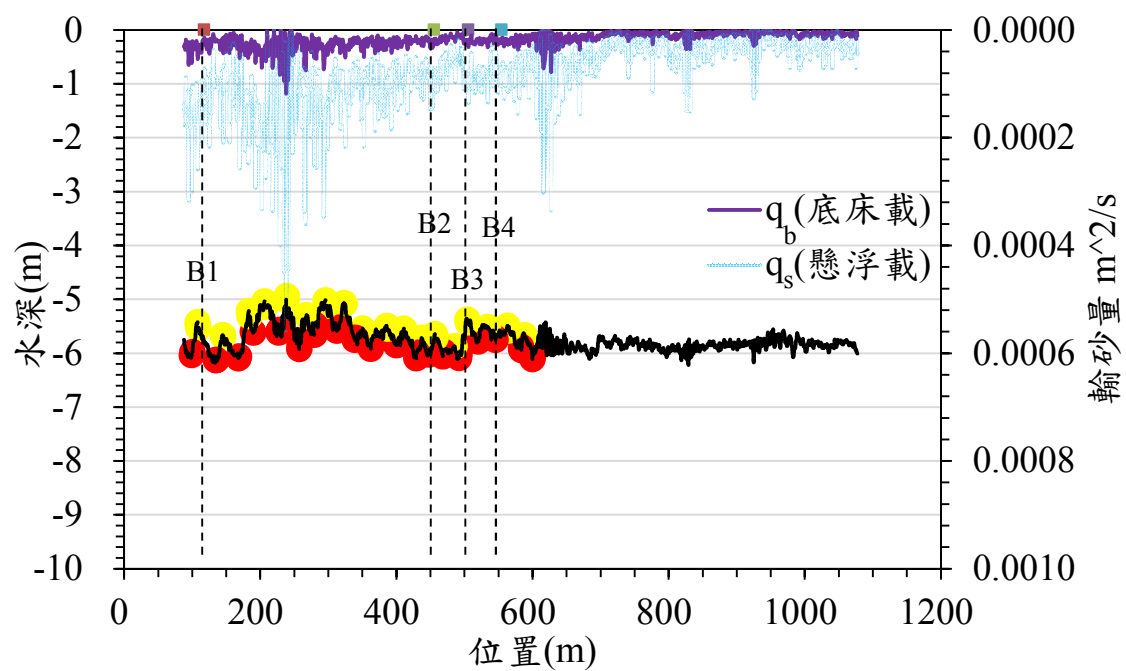


圖 2.22 2014 年 8 月 7 日 B 段水深及輸砂量變化

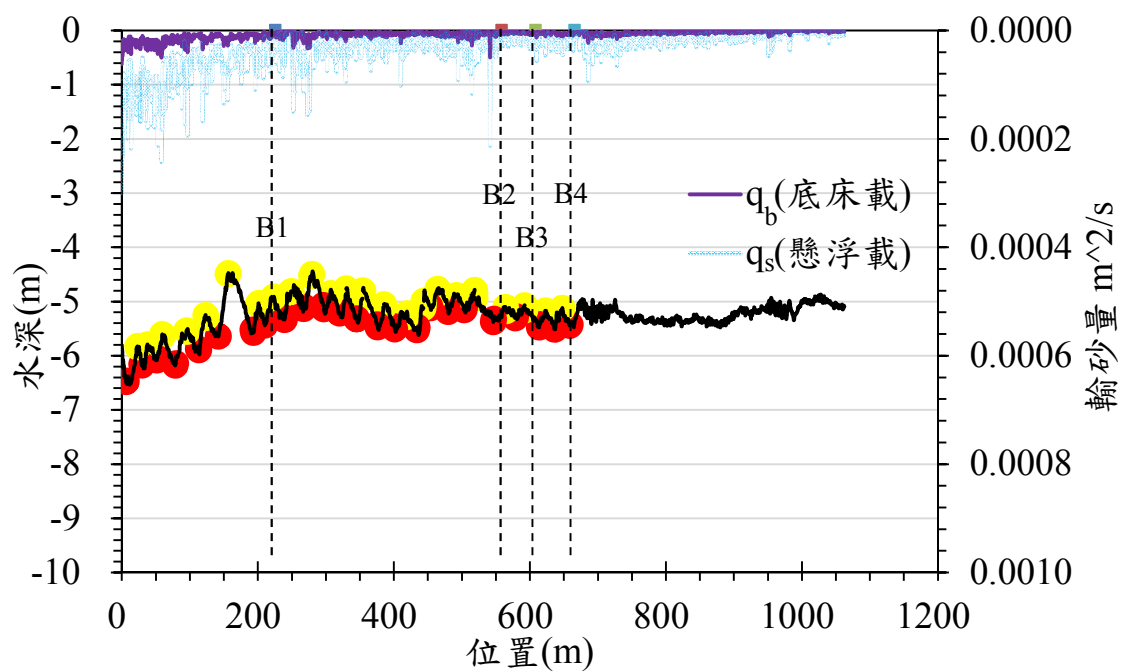


圖 2.23 2014 年 10 月 20 日 B 段水深及輸砂量變化

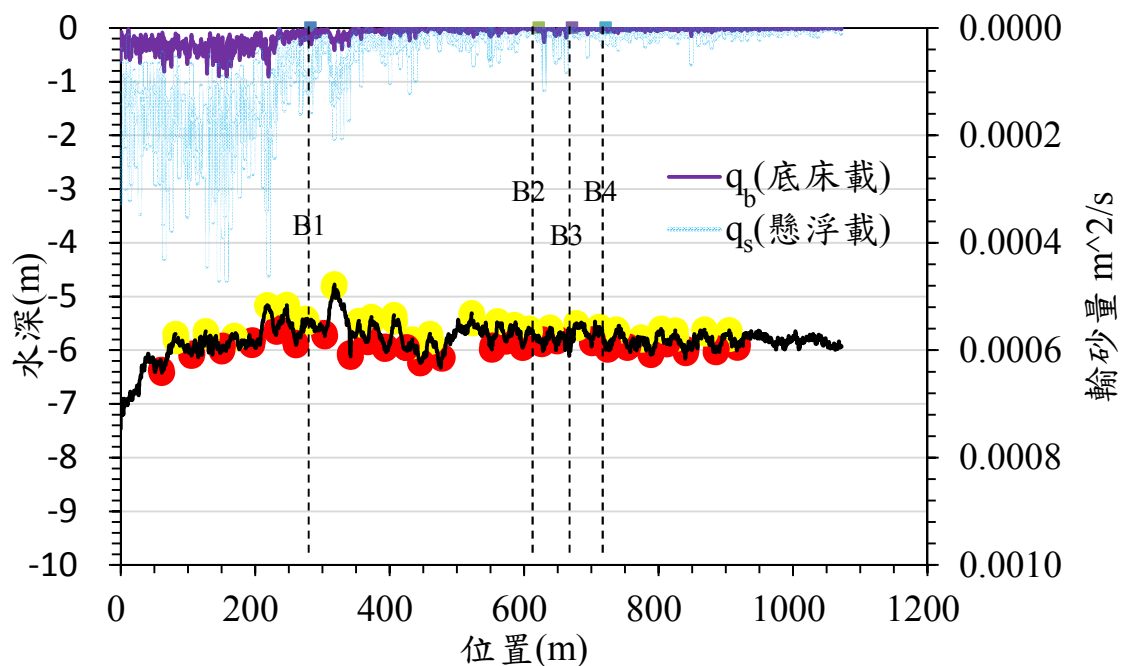


圖 2.24 2015 年 4 月 21 日 B 段水深及輸砂量變化

圖 2.22 至圖 2.24 為 B 段分析結果，圖中可以看到越靠近下游水深較深處，估算的輸砂量越大，這部份是由於流速較快之緣故。比較圖 2.22 及圖 2.23 可以看到於固定參考點 B2、B3 及 B4 附近之砂丘(約為圖 5.6 中 500 至 600 公尺處)有運移之情況，砂丘運移距離約 165 公尺。比較圖 2.23 及圖 2.24，由於測量間隔時間較長可以看到整體的砂丘樣貌變化很多。

河川水流在底床附近因床面的砂丘阻擋而產生渦流，造成表面阻抗之外的能量損失或剪應力-即形狀阻抗。在相同流量下，底床有砂丘時的水深會較平整底床之水深為大。因此一般將含砂丘底床的剪應力 τ 分解為表面剪阻抗(skin friction) τ_s 及型態剪阻抗(form drag) τ_f 二部份之和，即

$$\tau = \tau_s + \tau_f \quad (2.12)$$

剪應力無因次化的型態可用沉體顆粒的摩擦力來量化，如下式所列：

$$\tau_* = \frac{\tau}{R\gamma d}, \quad \tau_{s*} = \frac{\tau_s}{R\gamma d}, \quad \tau_{f*} = \frac{\tau_f}{R\gamma d} \quad (2.13 \text{ a,b,c})$$

其中 $R = \frac{\rho_s}{\rho_w} - 1$ ($=1.65$,細砂的水中比重), d = 平均粒徑, $\gamma = \rho g$ 單位重。

底床輸砂量及流速分佈僅與表面剪阻抗(skin friction) τ_s 直接相關，常用之平均速度 U 的關係式為：

$$\frac{U}{u_{*s}} = 6.0 + 5.75 \log \left(\frac{h_s}{2d_{65}} \right) \quad (2.14)$$

上式中：表面剪阻抗的剪力速度 u_{*s} 與水深 h 的表面阻抗的水深分量 h_s ($h = h_s + h_f$, h_f 為水深 h 的形狀阻抗的水深分量) 及砂丘上水流能量坡度 S 可表示為：

$$u_{*s} = \sqrt{\frac{\tau_s}{\rho}} = \sqrt{gh_s S} \quad (2.15)$$

由式(2.13),(2.15) 可得

$$\tau_* = \frac{hS}{Rd}, \quad \tau_{s*} = \frac{h_s S}{Rd}, \quad \tau_{f*} = \frac{h_f S}{Rd} \quad (2.16 \text{ a,b,c})$$

在已知平均速度 U 及砂丘整體坡度 S 的情況，可由 (2.14),(2.15) 聯立求得表面阻抗的水深分量 h_s 的關係如式 (2.17) 及圖 2.25 所示。

$$\frac{U}{\sqrt{gd_{65}S}} = \sqrt{\frac{h_s}{d_{65}}} \left[6.0 + 5.75 \log \left(\frac{h_s}{2d_{65}} \right) \right] \quad (2.17)$$

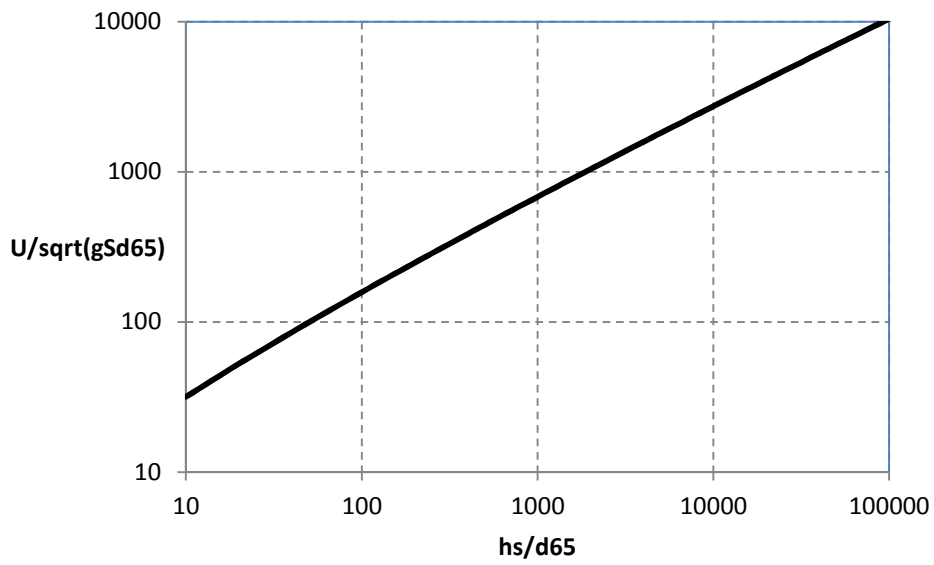


圖 2.25 表面阻抗水深分量與流速之關係式

Engelund and Hansen (1967) 提出底床有砂丘型態時的剪力分配經驗式為：

Lower Regime (砂丘): $\tau_{s*} = 0.06 + 0.4\tau_*^2$, $\tau_* < 1.0$ (2.18a)

Upper Regime (逆砂丘): $\tau_{s*} = \tau_*$, $\tau_* > 2.5$ (2.18b)

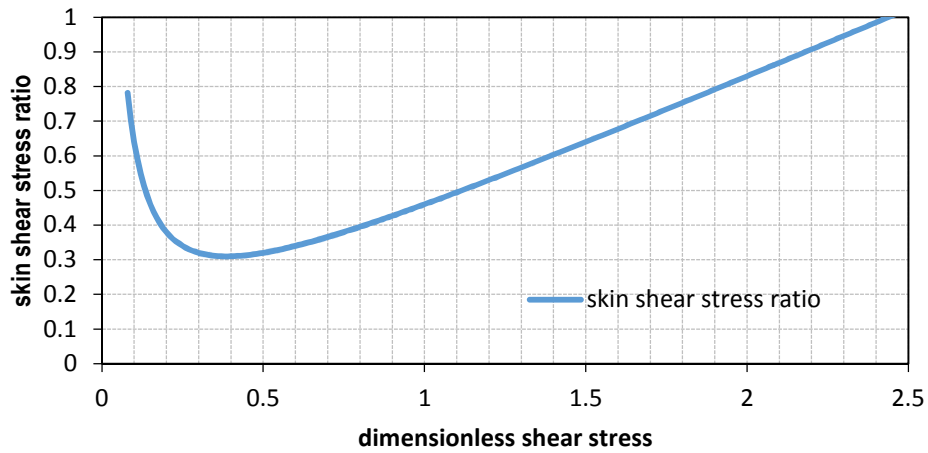


圖 2.26 具底床波形時表面阻抗佔底床剪應力值的比例

由式(2.13a)可知表面阻抗 τ_{s*} 小於形狀阻抗 τ_{f*} 的流況($\tau_{s*}/\tau_* \leq 0.5$)約在較小的流速或剪應力($0.13 \leq \tau_* \leq 1.1$) (圖 2.26)。在高流速或高剪應力時，表面阻抗主導，即底床顆粒運動以掃流(sheet flow)為主，底床趨於平整，故此時之形狀阻抗 τ_{f*} 可忽略 ($\tau_{s*}/\tau_* \cong 1$)。

由前述資料 B 段平均粒徑約為 0.4 mm ($d_{65}=0.50$ mm)，A 段底床平均粒徑約為 0.3 mm ($d_{65}=0.40$ mm)。B 段水深約 5.7 m，A 段水深約 7.6 m。流速方面，B 段平均流速約 0.79 m/s，A 段平均流速約 0.76 m/s。在平均流速及水深已知情況下，可由式(2.17)及(2.18a)聯立求得具水下砂丘之水流能量坡度 S 及表面阻抗的水深分量 h_s 。A, B 砂丘二段之能量坡度分別為 3.49×10^{-5} 及 5.72×10^{-5} ，表面阻抗的水深分量 h_s 則為 2.48 m 及 1.82 m。可得淡水河口 A, B 段的 τ_* 值分別為 0.54 及 0.49，即由圖 2.26 可知 A, B 段的表面阻抗分別佔總剪應力的 33% 及 32% ($\tau_{s*}=0.17$ 及 0.16)。即河口段水下砂丘(A 段及 B 段)的形狀阻力約佔總阻力之 67-68%，故淡水河水下砂丘產生的額外水流阻力(形狀阻力)應予考慮。

第三章 現場觀測與資料分析

河口因位處河川下游，如經河流之水力篩選，則底床顆粒應較上游為細，然淡水河口處歷年來之底床顆粒採樣分析卻較上游顆粒為粗，其原因主要為潮汐與波浪營力顯著影響河口原有之沉積淘選型態。Dyer(1994)指出：一般河系年輸砂量的 90% 會以懸浮載型態在全年 5% 之較高流量中自河口流出。而全年約有 80% 的時間，水流中幾乎無懸浮輸砂量存在。如黃河整年輸砂量為 10^9 噸，其中約有 30% 之輸砂量是在為期 2~3 天的洪水中流入渤海灣。由前述可知淡水河系輸砂主要以懸浮載為主，然因淡水河之支流多、砂源區錯綜複雜，故運移至河口之沉積物很難判斷其來源，加上波浪潮汐營力導致河口沉積物具有往復運動特性。惟有針對淡水河口底床質進行系統性分析，才能判定其輸砂來源及分析下游河床之變化趨勢。

3.1 剖面流場觀測與流量分析

淡水河口屬於感潮河段，由關渡上游至河口間普遍存在雙層流結構，亦即在轉潮階段上下層流水方向互為反向，且其時間延續有可能達到 1~3 個小時，端視當時潮流大小以及上游逕流而定。由於現場進行水流測量一般是將流速計置於水面附近，因此取得水流數據僅能代表表層流的流速，倘若以此流速計算河川斷面流量並進而推算懸浮質輸沙量即有可能造成誤判。本研究於 2016 年 3 月 31 日至 4 月 28 日期間安裝超音波式剖面流速儀於關渡附近底床上，如圖 3.1，流速探頭向上，每 10cm 一個測點，由底床向上至水面邊界層最多可取得 100 個測點之三維流速資料，該測站水深介於 5.5 米至 8.5 米之間，隨著潮位大小改變。

由觀測資料中之水位及各層流速計算不同水層之平均流速、流向及流量，表層流取水面附近 1 米厚度之流速平均、底層流取底床附近 1 米厚度之流速平均，包括垂直斷面流量(CMS)均以向下游方向為正，向

上游方向為負。圖 3.2 為 2016 年 4 月關渡測站之水位變化，圖 3.3~圖 3.6 分別為小潮(4 月 1 日、4 月 15 日)與大潮時(4 月 8 日、4 月 22 日)之關渡水位(D)、表層流(U1)與底層流(U2)之時序列變化；圖 3.7~圖 3.10 則分別為小潮(4 月 1 日、4 月 15 日)與大潮時(4 月 8 日、4 月 22 日)之水位(D)、表層流(U)與流量(CMS)之時序列變化。

根據小潮與大潮之全潮水位、分層流速與流量觀測結果，小潮時表層流在水位達到高潮頂前約 1 個小時即由漲潮流轉為退潮流；而底層流則在水位達高潮頂後才轉為退潮流，表層與底層在高潮點轉潮的時間差可達到 2 個小時。反之在低潮點時，表層流轉潮可能延後 2 個小時；而底層流則提早約 1 個小時，兩者轉潮時間差可達到 3 個小時。因此小潮時水位漲、退潮時間約各為 6 個小時，但表層之退潮流時間可能長達 9 個小時，而漲潮流時間則可能縮短為 3 個小時；反之底層退潮流時間可能僅有 4 個小時，而漲潮流時間則可能延長為 8 個小時。因此，純粹由表層流觀測來推算流量或輸沙量時，在小潮時段可能造成較大誤判。

大潮時由於外海進入河道的潮流較強，抵消上游的逕流作用，因此漲潮或退潮時的時間延遲較小，時間差距也較小，由表層流觀測來推算流量或輸沙量時，在大潮時段其估算誤差會比較小。圖 3.11 與圖 3.12 為四月份關渡水位(D)與漲潮或退潮時段流量(m^3)之時序列變化，大潮時因外海引入大量海水，所以在退潮流及漲潮流都產生較大流量；不過四月中旬及下旬北部地區降雨量增加因此小潮時仍有較大退潮流。計算每次漲退潮之淨流量即可知道上游是否發生強降雨使得淨流量增加，圖 3.13 與 3.14 即為一次漲退潮週期淨流量的時序列變化。

另外由圖 3.15 關渡潮位與懸浮質濃度之關係，顯示較大懸浮質濃度發生在低潮底至漲潮初這段期間，而漲潮中後期及退潮初期由於外海帶進較乾淨海水，因此水中懸浮質濃度偏低。

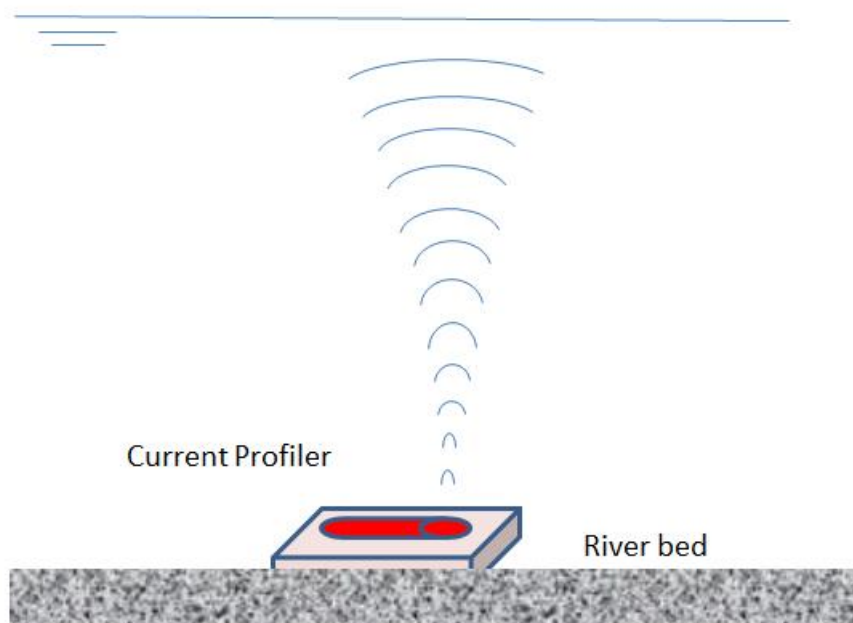


圖 3.1 淡水河關渡測站剖面流速儀安裝圖

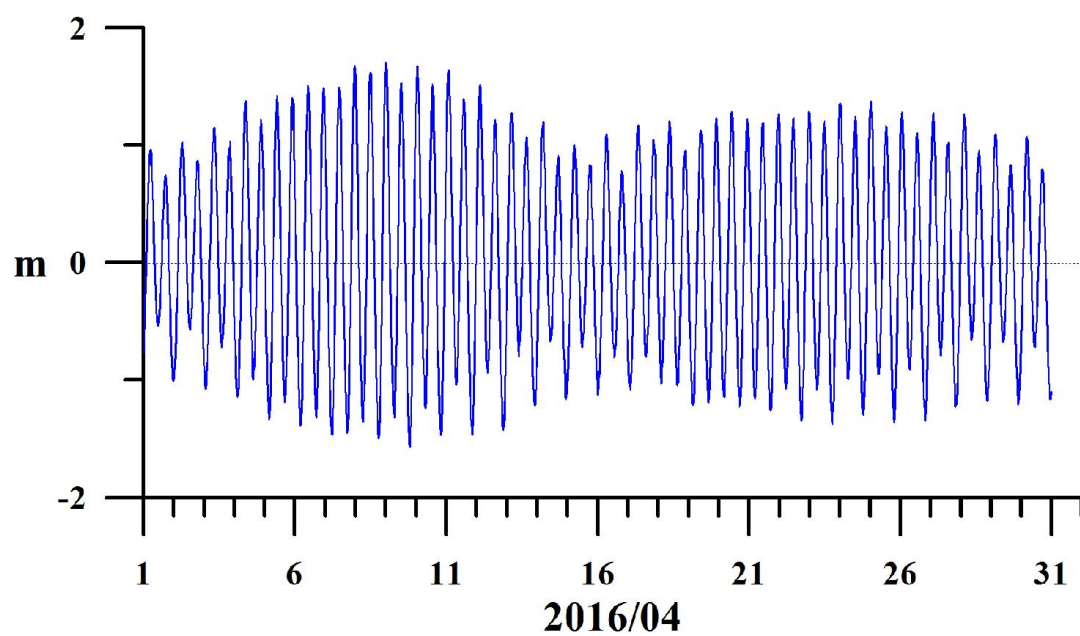


圖 3.2 2016 年 4 月關渡測站水位變化

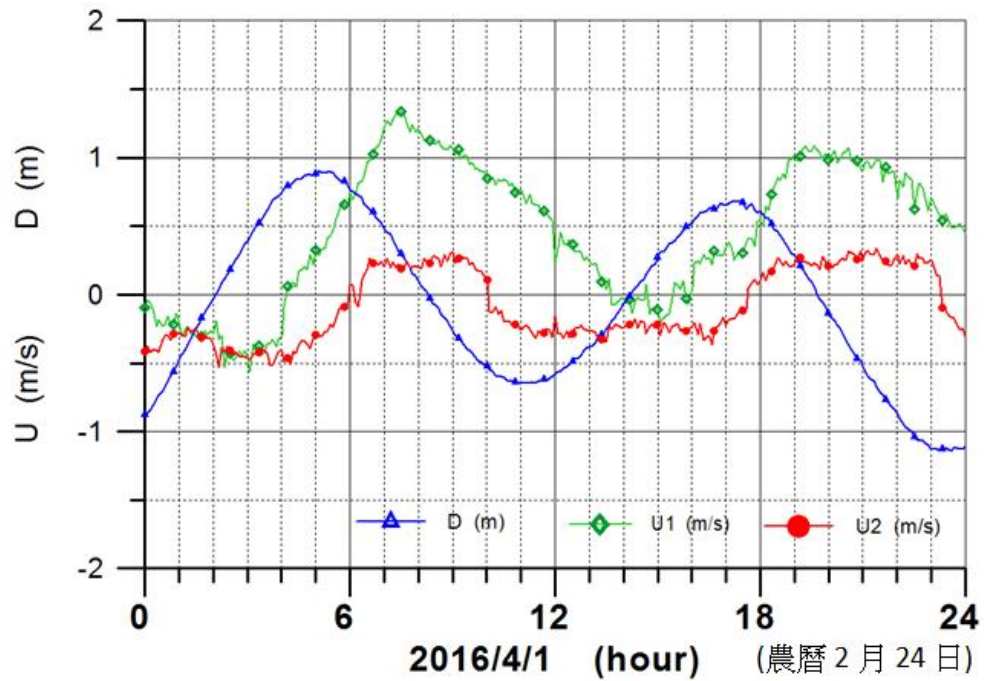


圖 3.3 第一次小潮時關渡水位(D)、表層流(U1)與底層流(U2)

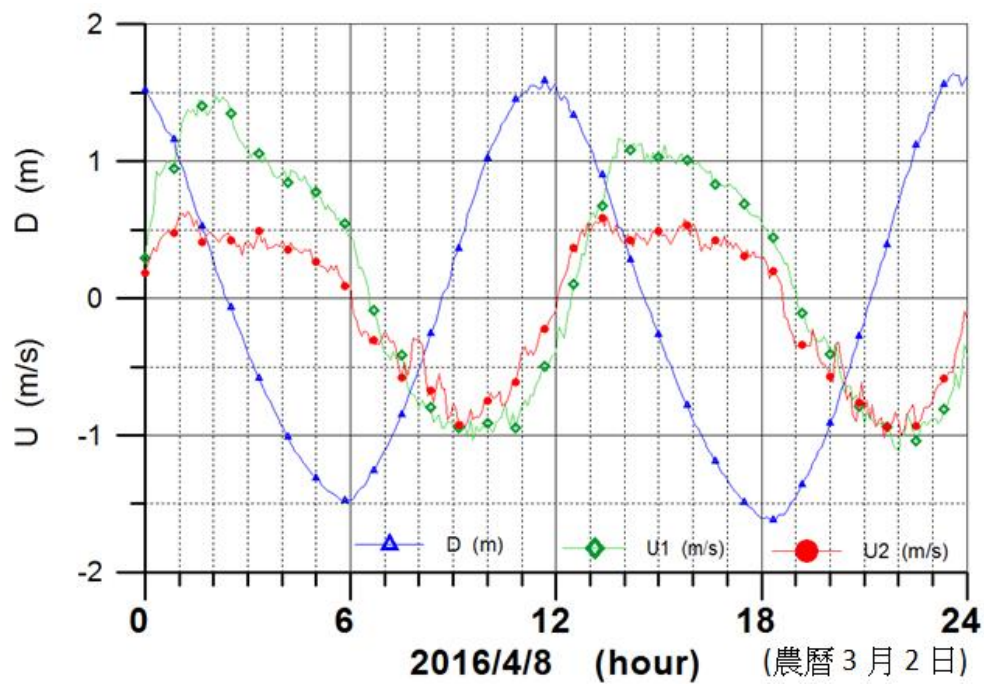


圖 3.4 第一次大潮時關渡水位(D)、表層流(U1)與底層流(U2)

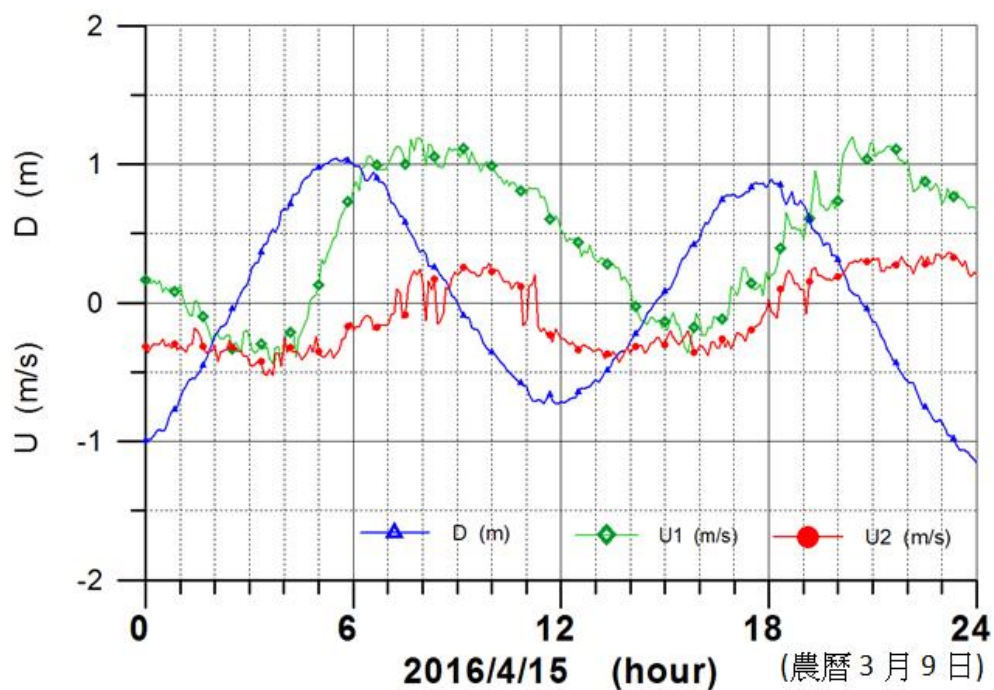


圖 3.5 第二次小潮時關渡水位(D)、表層流($U1$)與底層流($U2$)

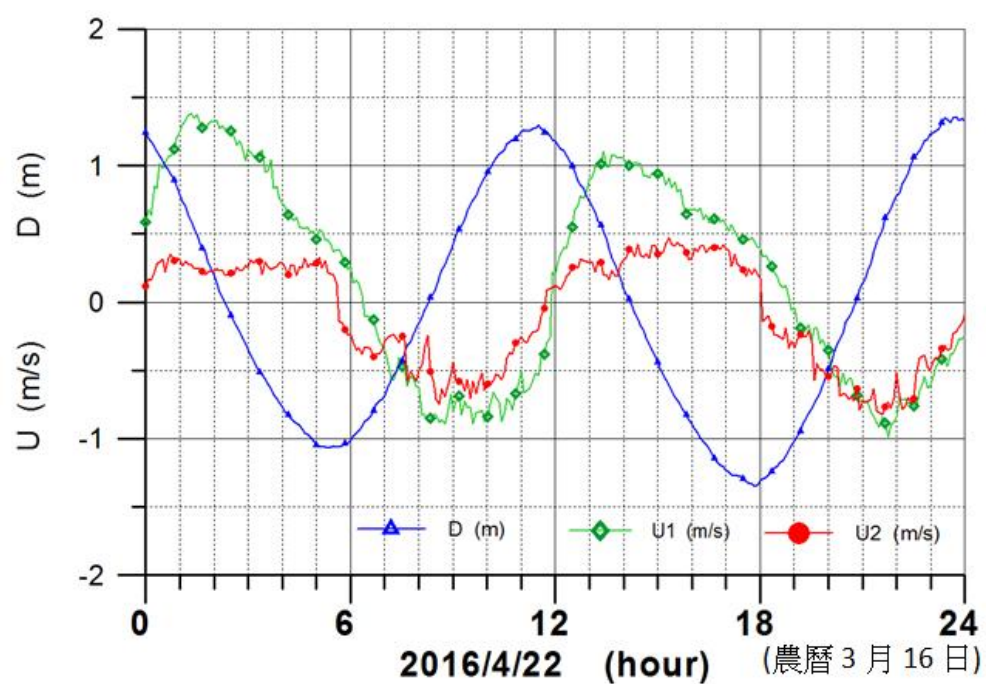


圖 3.6 第二次大潮時關渡水位(D)、表層流($U1$)與底層流($U2$)

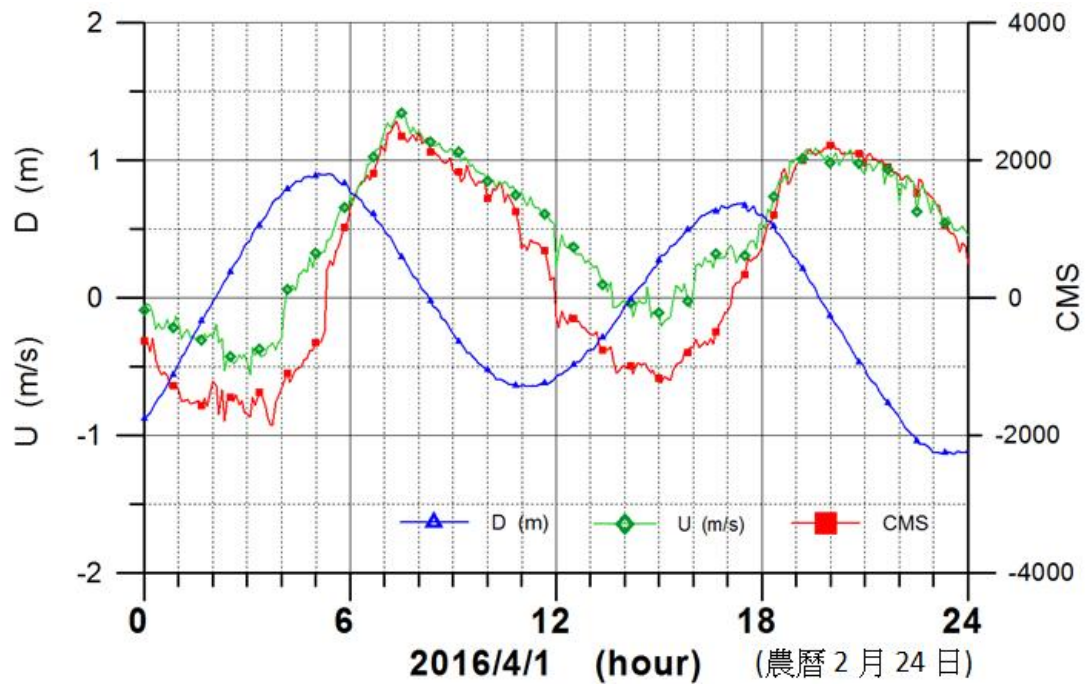


圖 3.7 第一次小潮時關渡水位(D)、表層流(U)與流量(CMS)

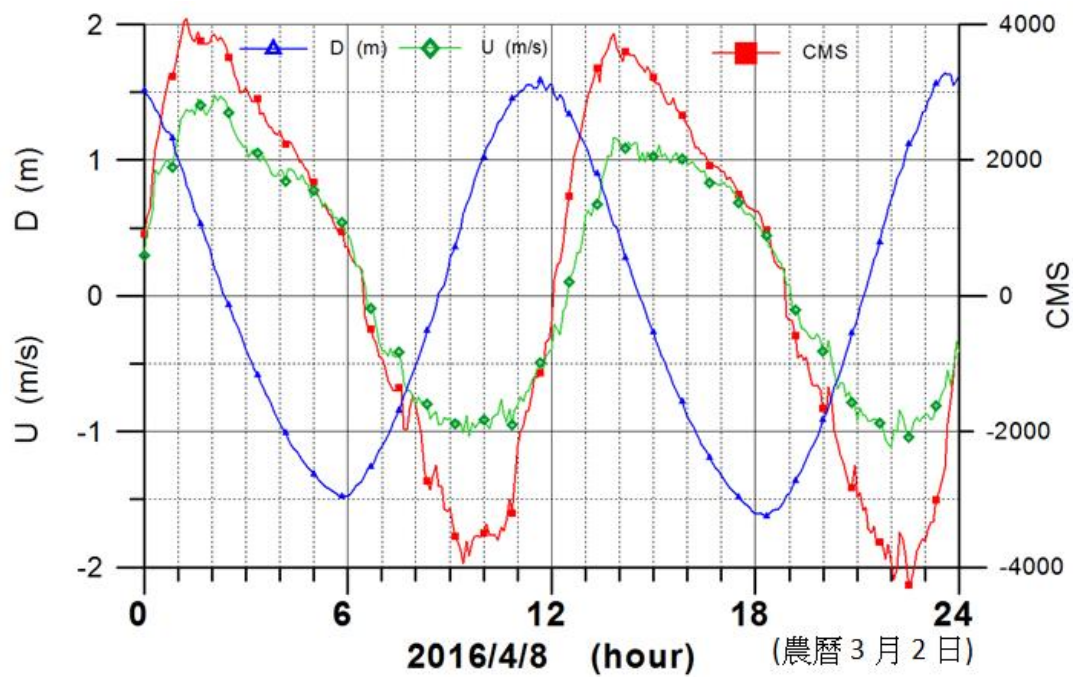


圖 3.8 第一次大潮時關渡水位(D)、表層流(U)與流量(CMS)

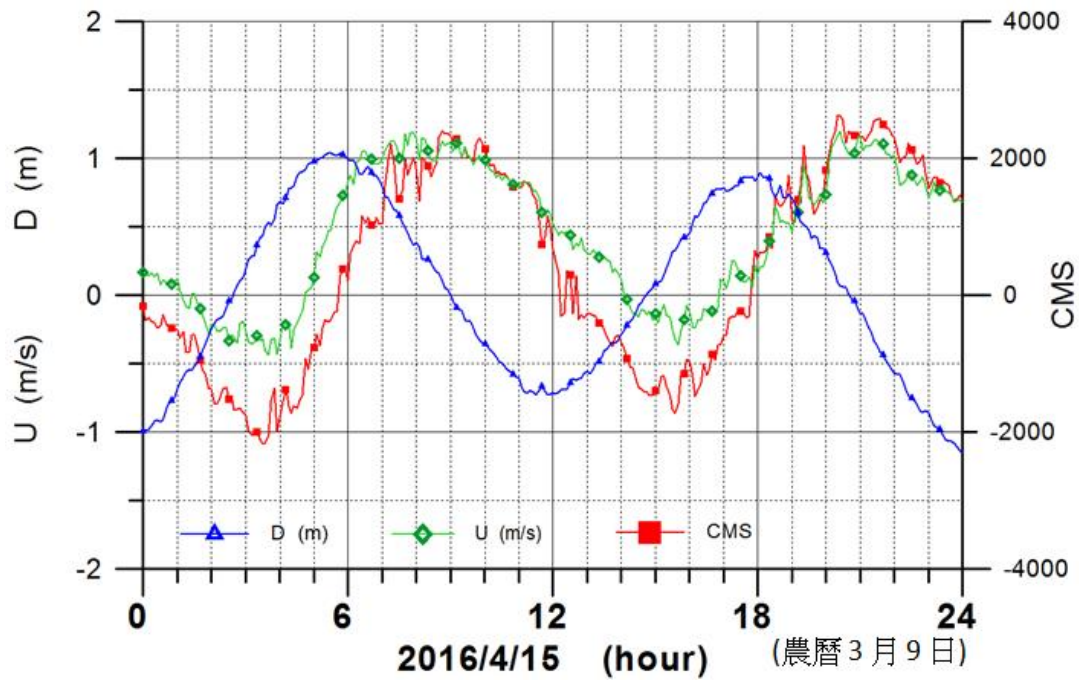


圖 3.9 第二次小潮時關渡水位(D)、表層流(U)與流量(CMS)

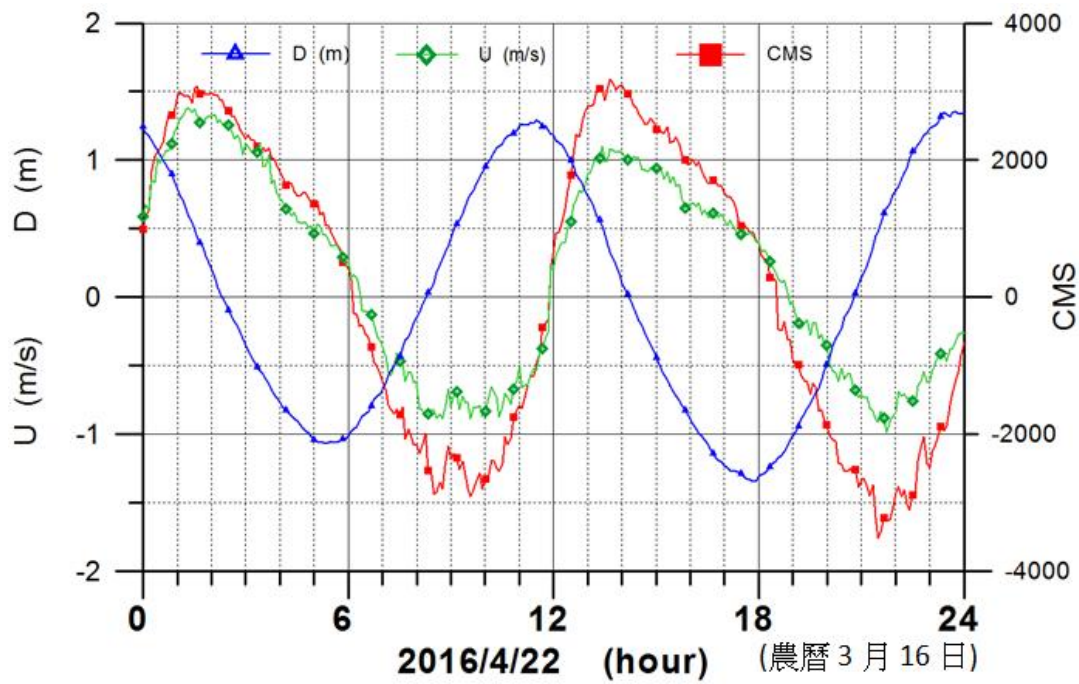


圖 3.10 第二次大潮時關渡水位(D)、表層流(U)與流量(CMS)

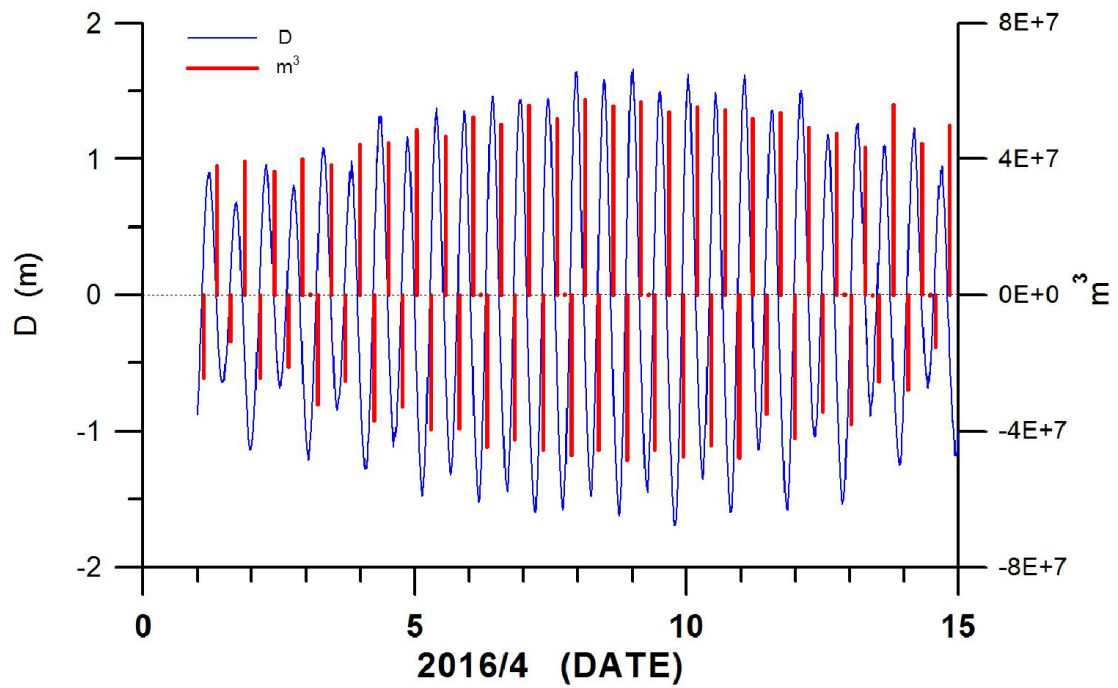


圖 3.11 四月上旬關渡水位(D)與漲潮或退潮時段之流量(m^3)

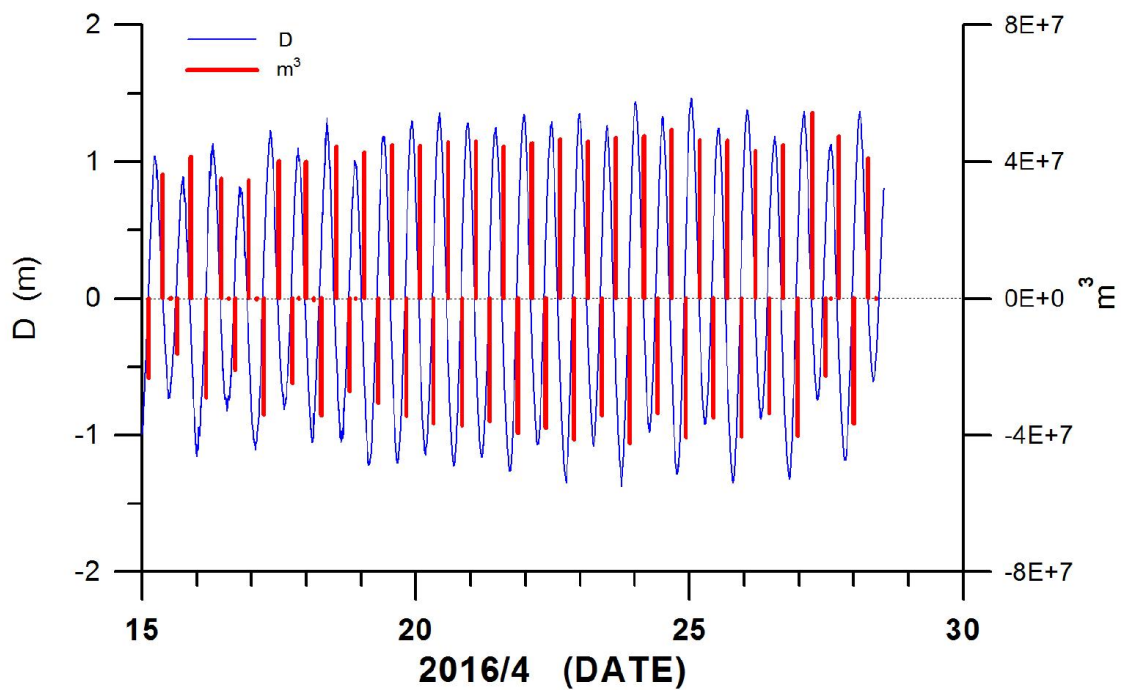


圖 3.12 四月下旬關渡水位(D)與漲潮或退潮時段之流量(m^3)

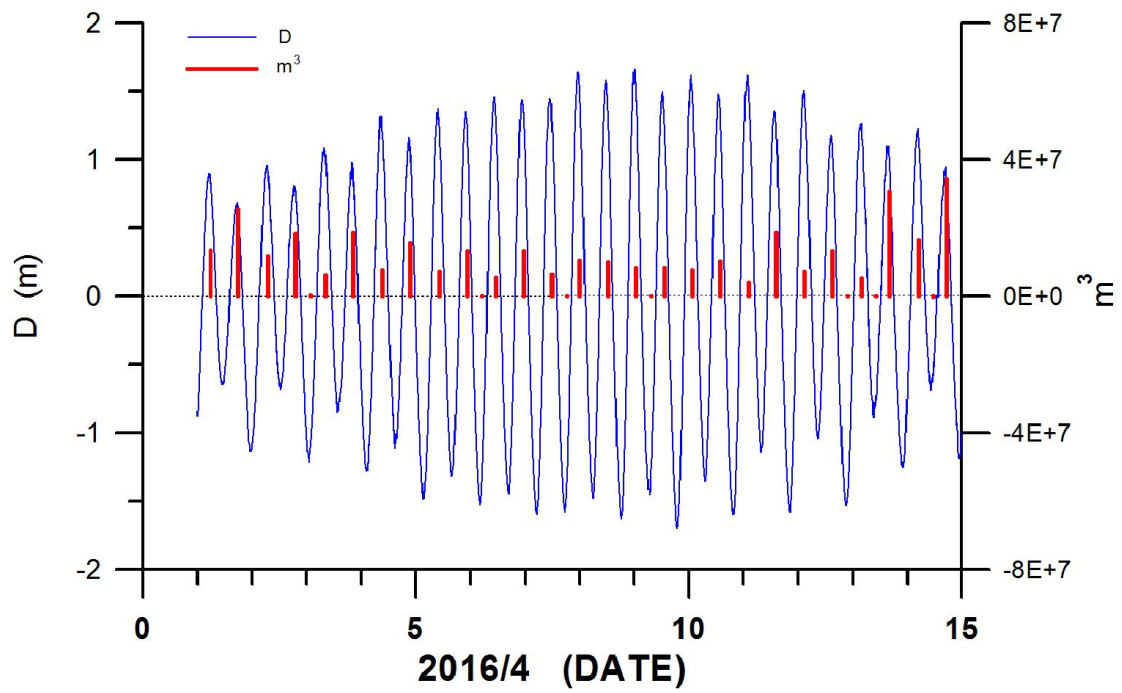


圖 3.13 四月上旬關渡水位(D)與一次漲退潮之淨流量(m^3)

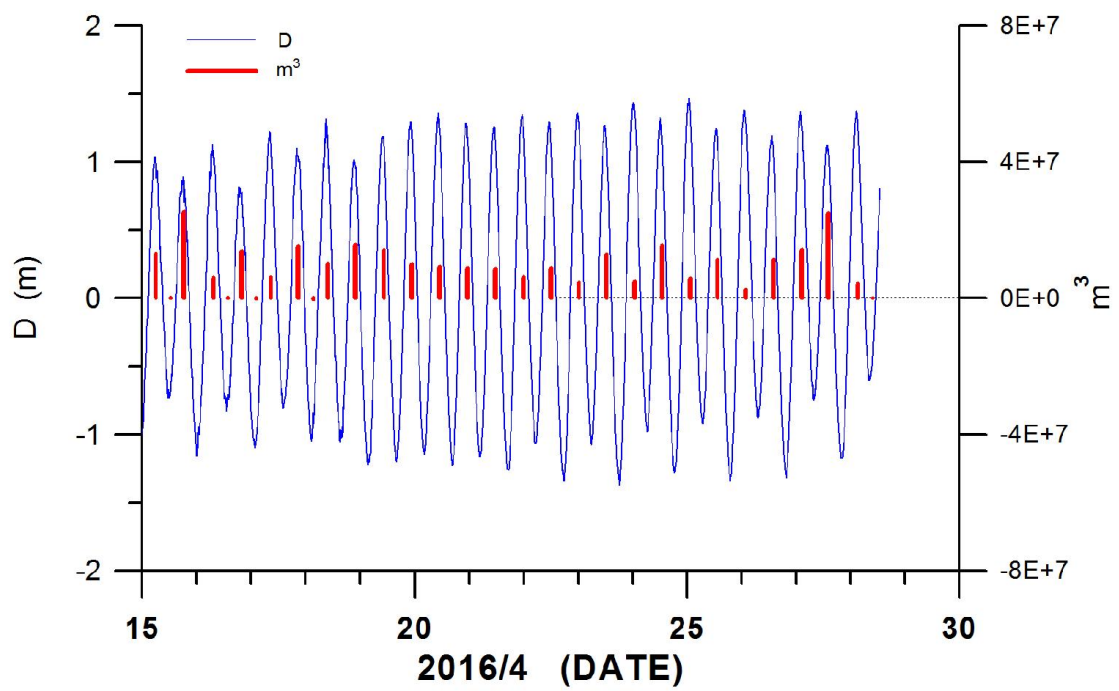


圖 3.14 四月下旬關渡水位(D)與一次漲退潮之淨流量(m^3)

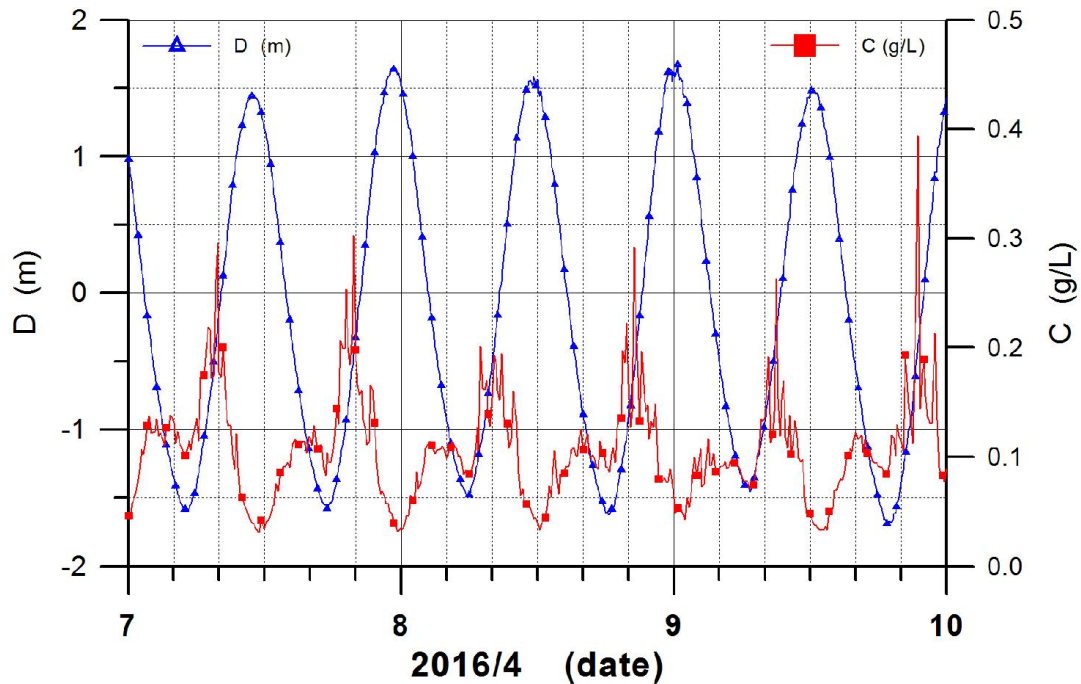


圖 3.15 關渡潮位(D)與懸浮質濃度(C)關係

3.2 淡水河口底床質分析及近海地形變遷

本研究旨在探討港域附近海岸之地形變化與輸沙現象，尤其臺北港緊鄰淡水河口，受淡水河上游三大支流及水庫排洪輸沙影響，下游河口沿岸又有季節風或颱風帶動沿岸漂沙，加上臺北港防坡堤之突堤效應，使得港域附近波浪、流、漂沙與底床地形相互影響而更加複雜。本研究以現場觀測探討河口段底床地形、底床質、懸浮質、波浪以及流場在當地潮汐作用下之變化。圖 3.16 為 2006 年淡水河口之地形數值圖，挖子尾沙岬位於河口受附近流場及漂沙影響不斷變化消長，挖子尾沙洲上建有長堤檢查哨，從 2006~2013 演變最後被沙洲完全包圍檢查哨功能盡失，圖 3.17 即為挖子尾長堤東西側沙灘之淤積演變情形。

近年(1978~2011)來，以高程為 0 的等高線為灘線代表挖子尾沙嘴地形，沙嘴變動劇烈，其型態受波浪作用、海岸侵蝕及周圍港口的興建呈現堆積、轉向、退縮等形態上的變化如圖 3.18。1978 年挖子尾沙

嘴規模較小，2005 年臺北港北側海灘則轉為淤積趨勢，至 2008 年則離岸堤及放流管導流堤皆淤為淺灘，與 1978 相較挖子尾沙嘴在 30 年間溯河延伸約 400m，沙嘴與八里風帆碼頭間的瀉湖也趨於淤塞淺化。淡水河口南岸淺水區的地形，在靠近北防坡堤處-5m 等高線逐年向岸侵蝕，15 年間向陸移約 400m，與該處之灘線向海淤積相反，應是此處有逆時鐘向岸海流將泥沙帶到灘線淤積所致。河口向外延伸之砂脊頂點亦有逐年侵蝕趨勢。在挖子尾沙嘴處之-5m 等高線則稍有向中心內移，即逐漸淤積的趨勢，15 年間向河心移約 80m，圖 3.19 即為 1995-2011 淡水河口南岸淺水區之地形演變。

本研究自 2013 年 4 月開始於淡水河關渡橋下游至河口間進行底質採樣，採樣位置如圖 3.20 所示。為凸顯下游至河口之河床位置與底床粒徑的關係，取樣地點由關渡橋下游延伸至淡水河口，每一斷面側向等間距取樣約 5 - 6 點。採樣方式為船舶 GPS 衛星定位後，潛水夫下潛至指定座標底床採取底床質裝入罐內，再將所取得之泥砂密封編號並攜回實驗室分析。取回底床樣品之分析步驟如下：首先將砂樣烘乾一天以上，再使用機械篩析及比重沉降試驗作粒徑分析，並同步觀察顏色、礦物組成、雜質含量及氣味，圖 3.21 為底質採樣位置與 D_{50} 分佈，河道北側因流速急沉積顆粒較粗；河道南側則因流速緩沉積顆粒較細。

河道底床所採砂樣經初步處理後，觀察其烘乾後之顏色、氣味可知大部份顆粒為灰色、黑色及白色，顯示採樣時間前後流量穩定，上游無顯著異常泥沙來源，意即上游無大型水文事件發生，且該類砂樣少有褐色出現，雜質與離散顆粒亦較河口淤沙少。但倘若上游集水區近期曾發生大型水文事件，則洪水易將上游崩坍地及水庫內之懸浮載挾帶至河道沉積，使原應偏灰黑色的河口底泥出現淺褐色覆蓋層，影響採樣分析。經由現場採樣觀察可知淡水河北岸公司田溪出口之淤砂以黃褐色為主，反之南岸挖子尾至臺北港北堤間則以為藍黑色為主並與淡水河本流底床樣本顏色相近。此一結果與前人研究成果符合 (Boggs et. al, 1974)，故可初步推斷挖子尾至八里間沿岸淤砂來自淡水

河本流，北岸漂砂之貢獻應可忽略。

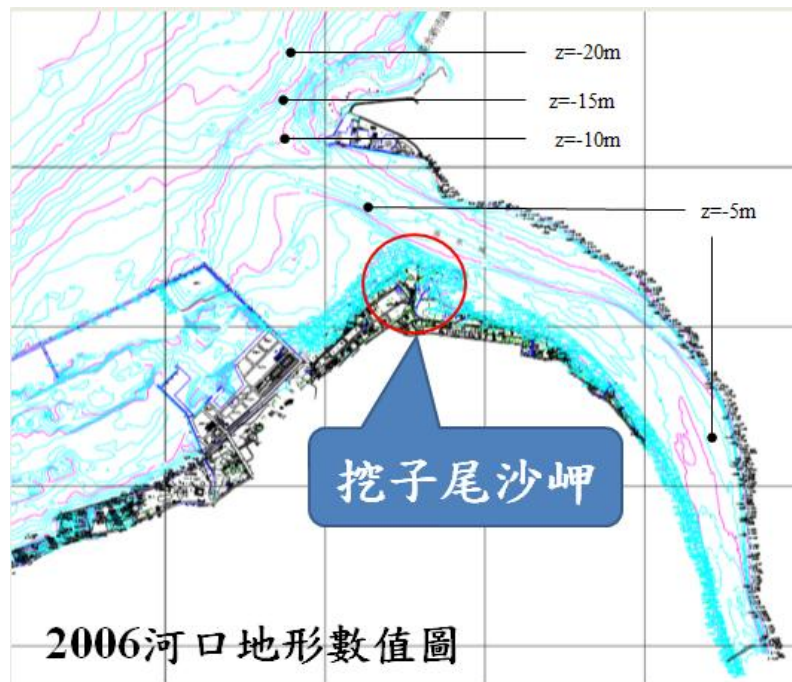


圖 3.16 2006 年淡水河口地形數值圖



圖 3.17 挖子尾長堤東西側沙灘之淤積演變

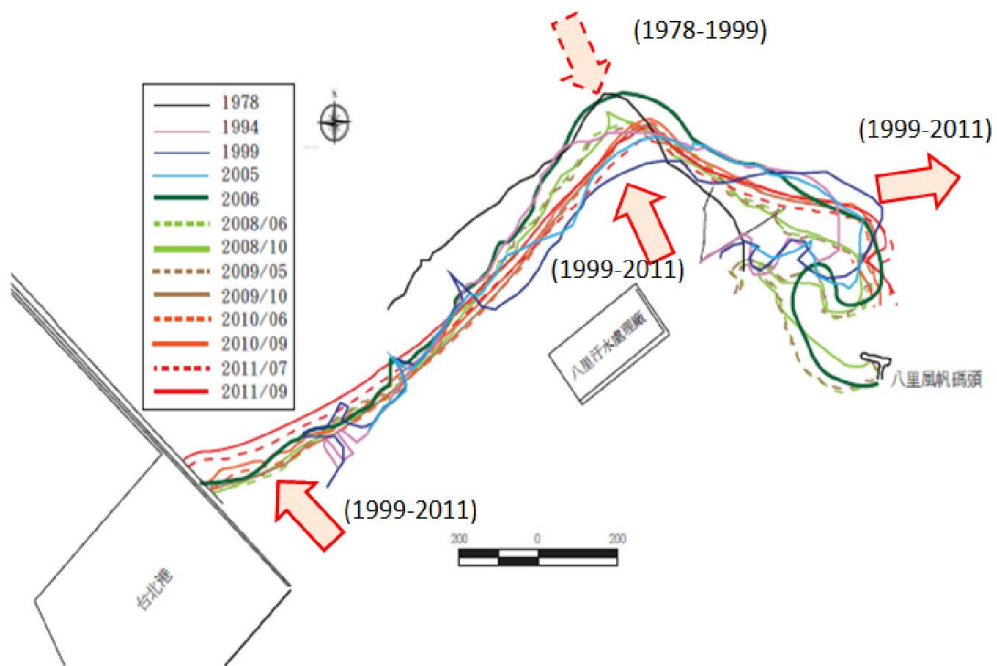


圖 3.18 挖子尾沙嘴形態(灘線)之歷年演變(1978-2011)



圖 3.19 1995-2011 淡水河口南岸淺水區之地形演變

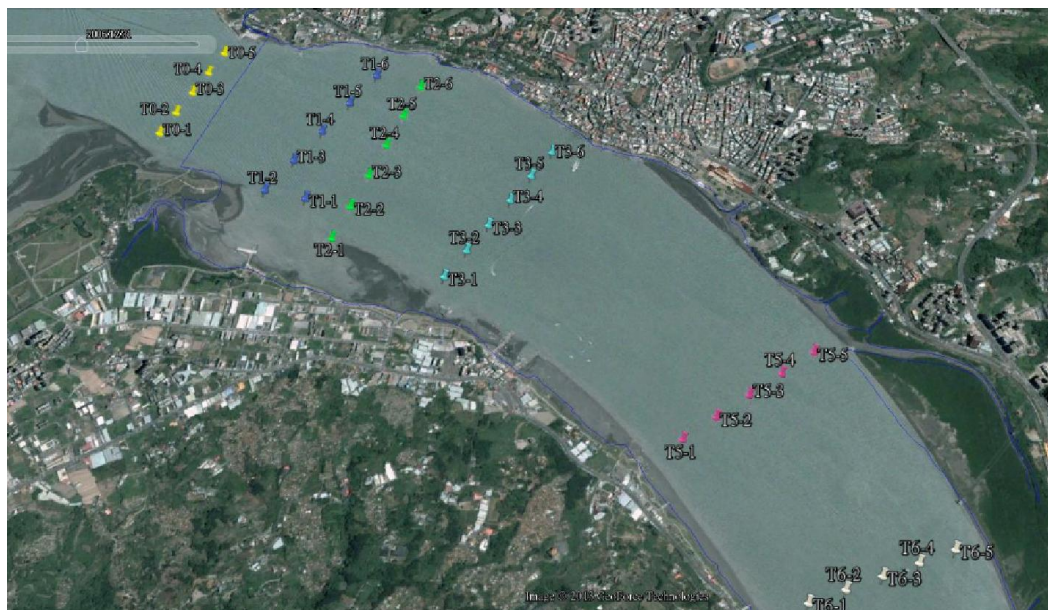


圖 3.20 2013 年度淡水河下游底質採樣點衛星航照圖

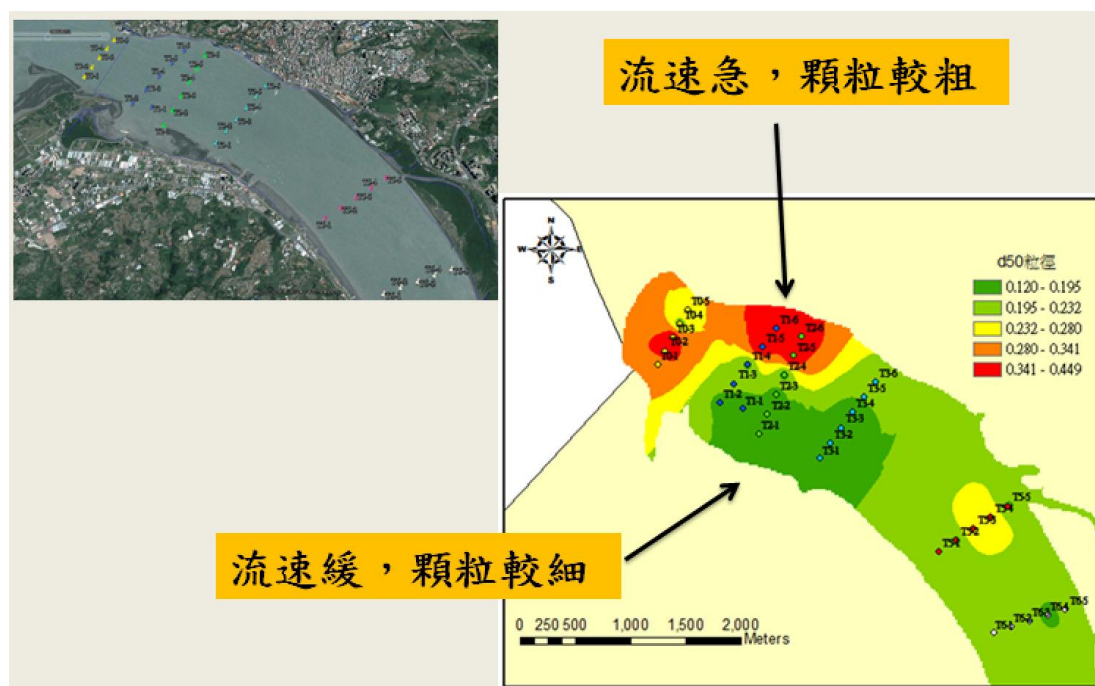


圖 3.21 2013 年 4 月橫向底質採樣位置與 D_{50} 分佈

另據本研究在淡水河下游進行縱向之底質採樣分析，圖 3.22 與圖 3.23 為取樣點位置及其 D_{50} 變化，淡水河河口區底質粒徑由上游往下游

方向粒徑逐漸增加，在測點 11 處達到最大，然後往外海方向逐漸減小。其中基隆河支流之底質粒徑較粗，可能是其上游沒有大型水庫攔阻，所以較粗顆粒能沿河沖流至下游地區；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。測點 3 之粒徑主成份與測點 1 及測點 2 相同，但可能受到附近排水溝排放污水沙源影響，有部份較粗顆粒成份出現，使 D_{50} 值偏大。測點 4 位於兩支流匯集處，附近水域較寬水深深達 16 米，或許是因水勢在此突然變緩，細顆粒較容易在此區域沉澱淤積，作業時測得較厚淤泥層。河口地區淤沙受到外海波浪的自然篩選作用，在測點 11 處出現最大粒徑，並向外海方向逐漸減小。

上述分析顯示淡水河下游至河口前其底質大都為淤泥，如 KD-01 之粒徑範圍由 $0.05\sim 50\mu\text{m}$ ， $D_{50}=11.4\mu\text{m}$ ，主要成份為沉泥與部份黏土；而位於基隆河的測點 KD-05 其粒徑範圍由 $13\sim 500\mu\text{m}$ ， $D_{50}=193\mu\text{m}$ ，主要成份為沙與部份沉泥，可見淡水河之主要較粗沙源來自基隆河。

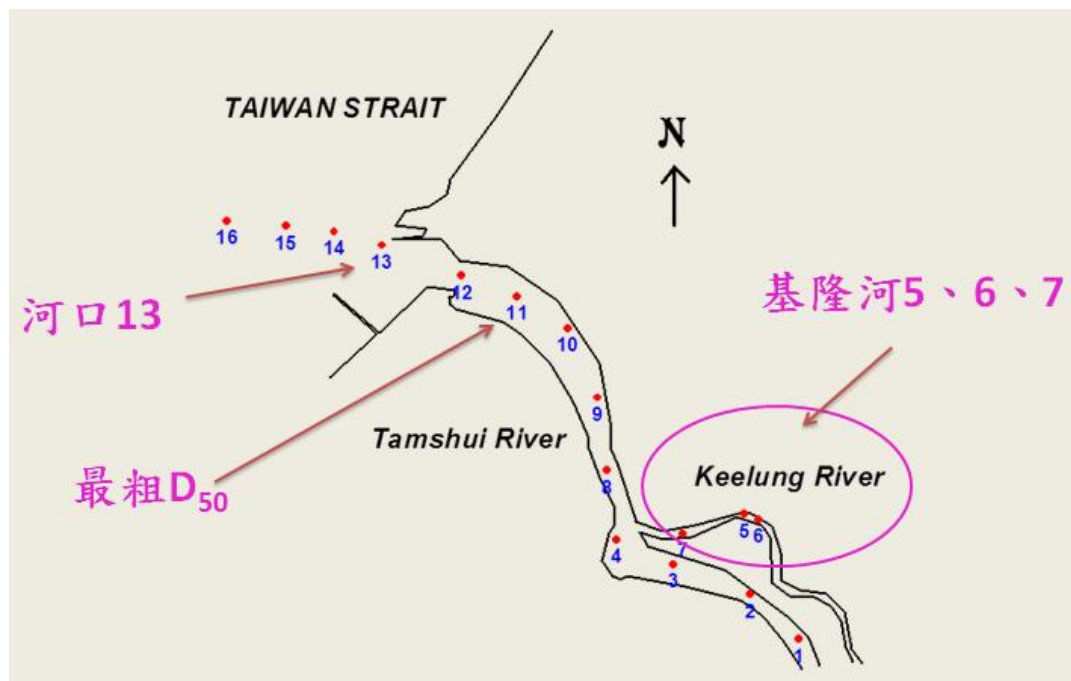


圖 3.22 河口區底床質之縱向底質採樣位置與 D_{50} 分佈

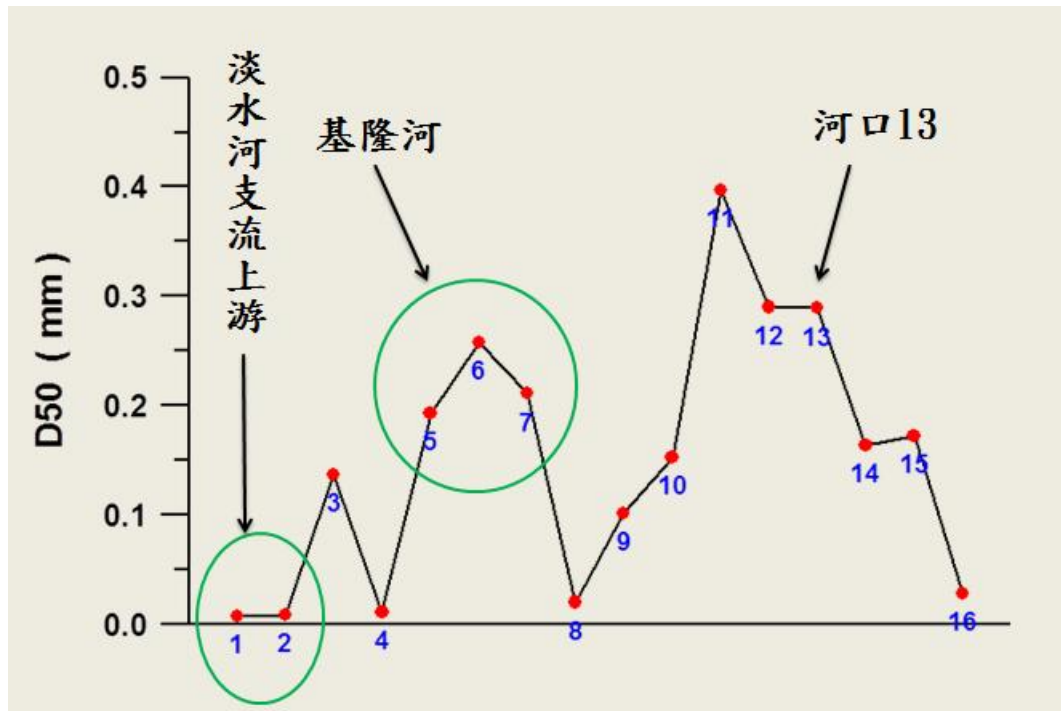


圖 3.23 河口區底床質之縱向 D_{50} 變化

3.3 淡水河口波浪及流況調查

2013 年本研究於淡水河河口及臺北港北防波堤近岸地區分別設立觀測站，安裝剖面流速儀 Aquadopp Profiler、流速計、水位計及懸浮質濁度計等觀測儀器於底床上，可量測底床流速、懸浮沙濃度、波浪及垂直剖面流場。測站相關位置及河口沙洲(river bars)示如圖 3.24，河口測站位於淡水河出海口，水深約 9 米，測站水面有綠色警示浮燈標；北堤測站位於臺北港北側近岸海域，水深約 3 米，測站水面有紅色浮標及警示浮燈。兩者儀器皆以鋼架固定於底床砂面上方約 10 公分位置，可避免波浪通過時強大底流沖擊而移動，又不會因接觸底床引發亂流造成底質砂大量懸浮。

北堤測站位於臺北港北防波堤與淡水河河口延伸沙洲之間，為一梯形袋狀區，低潮時該水域袋底寬約 600 公尺，袋口寬約 1200 公尺，

河口延伸沙洲於低潮底時會 露出水面，此袋形水域使外海入射波能集中於此水域內，造成水域內波濤洶湧，漂沙活動劇烈，圖 3.25 為該海域地形之等高線及立體示意圖。外海入射波浪進入臺北港北防波堤北側之淺水袋狀區後受到底床磨擦及淺化影響，於近岸測點處波高衰減約 2 分之 1，因袋狀地形之能量聚集效應，袋形區內波高比附近河口水域顯得波濤洶湧。放大檢視北堤測站之波向發現其波向會隨著潮位之高低而改變，如圖 3.26，高潮時波向約在 145° 至 150° 之間，而低潮時因波浪淺化折射，波向指向約 130° ，可能影響袋形區內之沿岸漂沙方向。

臺北港北防波堤北側與淡水河河口南岸延伸沙洲間之淺水袋狀區於退潮時在袋狀區內產生順時針方向沿岸流，沿著北防波堤將碎波捲起之懸浮沙帶往外海，此順時針迴流一直延續至低潮底並持續到漲潮 1/3 時才在很短時間內(大約 20 分鐘左右)方向逆轉變為逆時針方向迴流；此時漲潮迴流逆轉袋狀區內的沿岸漂沙方向，將漂沙帶往河口，並隨著漲潮流將河口沙源往上游方向推送。或許這正是造成淡水河河口沙洲成長以及河口底床沙往上游方向移動的原因之一，此淤沙區內逆時針迴流一直持續到高潮頂才再方向逆轉並於很短時間內(大約 15 分鐘左右)反轉為順時針方向迴流。

河口測站位於淡水河出海口，觀測淡水河河口區之波浪與流場變化，水深約 9 米，儀器安裝於底床上約 10cm 高處。冬季東北季節風時，外海風浪愈大，淡水河河口的波浪愈偏向東南方，使波浪更容易直接進入淡水河內，可能對河口區出入頻繁的娛樂遊艇行駛、漁船佈網作業或淡水渡船頭的載客運輸造成影響。放大檢視河口測站之波向發現其波向也會隨著潮位之高低而改變，如圖 3.27，高潮時波向約在 154° 至 158° 之間，而低潮時波向則指向約 142° 左右，顯示低潮且浪大時，河口波浪偏向淡水河入口，對於河內水面靜穩度有較大影響。

河口區域受外海潮流及河川逕流排水之雙重影響，其流況較為複雜。河口表層流在退潮時段流速約 1.5~2m/s，流向 280° ，約平行於河口淡水第二漁港的南防波堤，流向外海方向；底層流速較小，約小於

1m/s，流向與上層同向。漲潮時段表層流速約小於 0.5m/s 與底層流速相同，漲潮初期河口表層流向仍維持約 280° 流向外海，但底層流向則隨著河口潮汐變化轉潮，流向逆轉為 140°，指向河川上游方向，形成鹽楔，造成河口環流現象，直至漲潮中段時間，表層流才轉為與底流同向，流向河川上游，流速則上下層一致，大致小於 0.5m/s。

10 月 6~7 日，中度颱風菲特由臺灣北部海面掠過，為北部地區帶來豐沛雨量，淡水河流量急劇增加。河口表層流受上游排洪影響，出現連續 24 小時之退潮流，流速達 1.9m/s，流向 290°，較平日流向偏北 10°；底層流流速也達 1m/s，較平日的 0.5m/s 高出一倍，流向 250° 較平日流向偏南約 30°，第 2 天的底層退潮流流向 190° 與表層流流向更相差約 100°。洪流時河口退潮流上下層流向出現 40°~100° 的偏離，較平日上下層流向一致的情形不同，主要是表層流受上游洪流推擠，洪水快速從河口上層噴出，而底層水流速較小容易受河口較重海水及河口附近沿岸流或地形影響改變流向。

圖 3.28 與圖 3.29 分別為淡水河河口平日流況與洪流流況示意圖，洪流時的漲潮時段，表層流仍持續流向外海，流速較小，約 0.7m/s，流向也短暫恢復為平日的 280° 方向，底層流受上游龐大排水的壓力並未像平日般指向河口上游方向，流速約 0.3m/s，流向 50°~80° 方向，大約是河口北岸，或許會沿著淡水河河口北岸向上游方向移動。



圖 3.24 淡水河河口及臺北港北堤觀測站位置

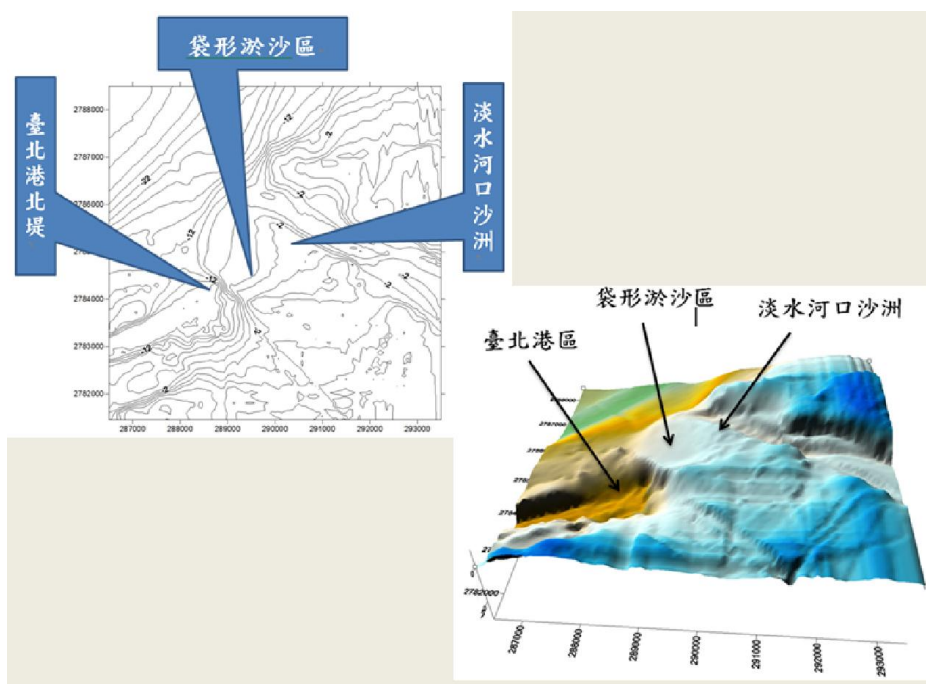


圖 3.25 北堤袋形淤沙區等高線及立體示意圖

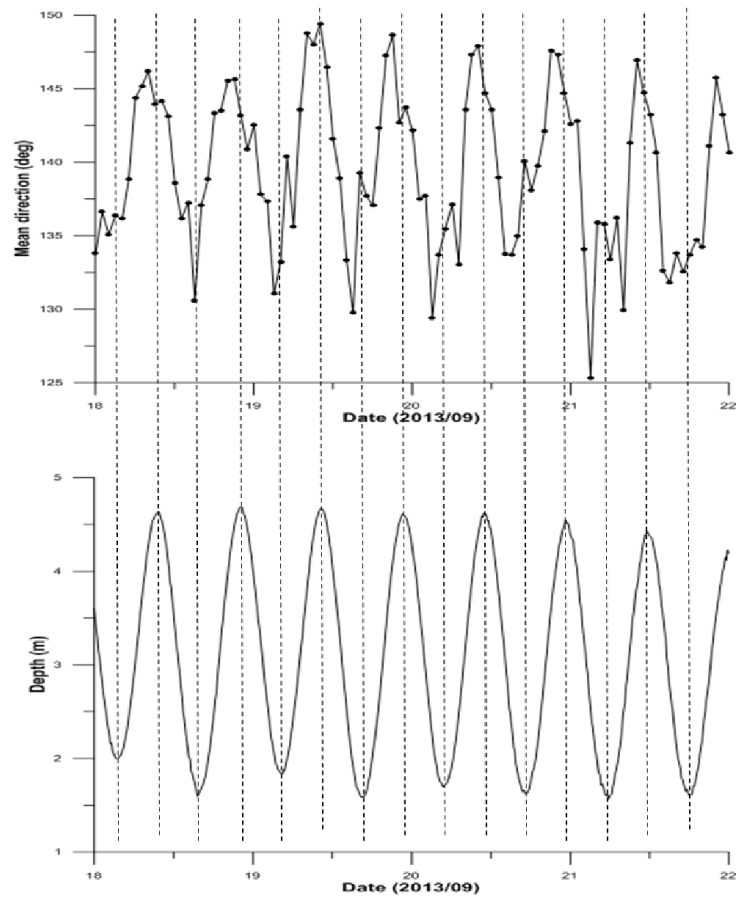


圖 3.26 北堤測站之波向與潮位變化

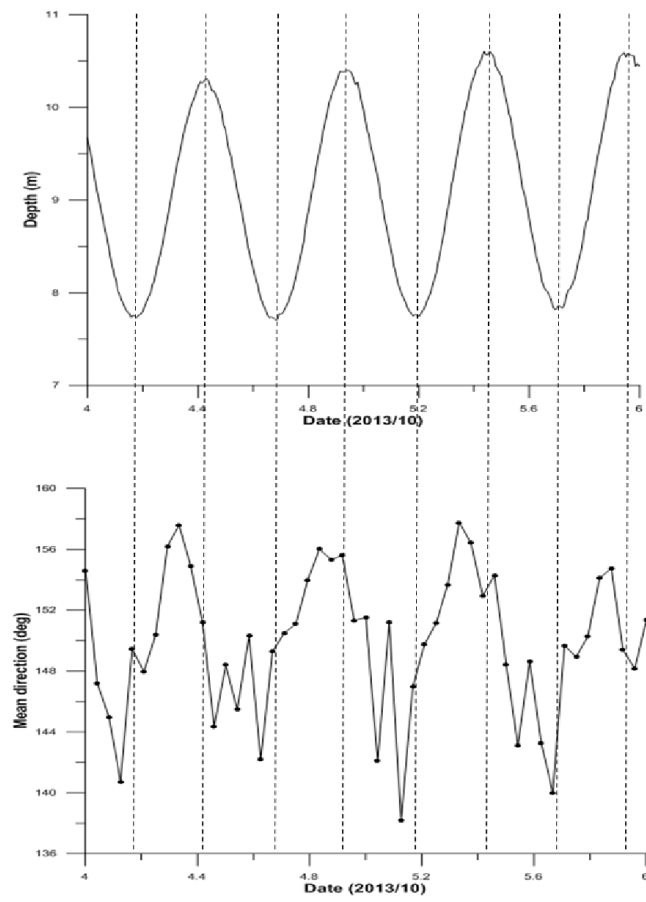


圖 3.27 河口測站之潮位與波向關係



圖 3.28 淡水河河口平日流況示意圖



圖 3.29 淡水河河口洪流時之流況示意圖

3.4 淡水河口與關渡流場觀測

2014 年分別在淡水河口及關渡等地進行多點測量，希望能更進一步瞭解淡水河口的流場分佈。圖 3.30 與 3.31 分別為河口與關渡地區共 10 個測站之位置圖，圖 3.32 至圖 3.36 顯示各個測站之斷面流層變化。根據河口與北堤淤沙區多測點剖面流場觀測結果，雙層流現象普遍存在，探討河口底床輸沙時應注意底流與表層流不同向時。對於輸沙優勢方向的影響。北堤淺水淤砂區在退潮時產生順時針方向環流，沿著北防波堤將碎波捲起之懸浮沙帶往外海，1/3 漲潮後反轉為逆時針方向環流，將沙帶入河道。河口漲潮初期因底層漲潮流流向上游方向，形成鹽楔，造成河口垂直環流現象。

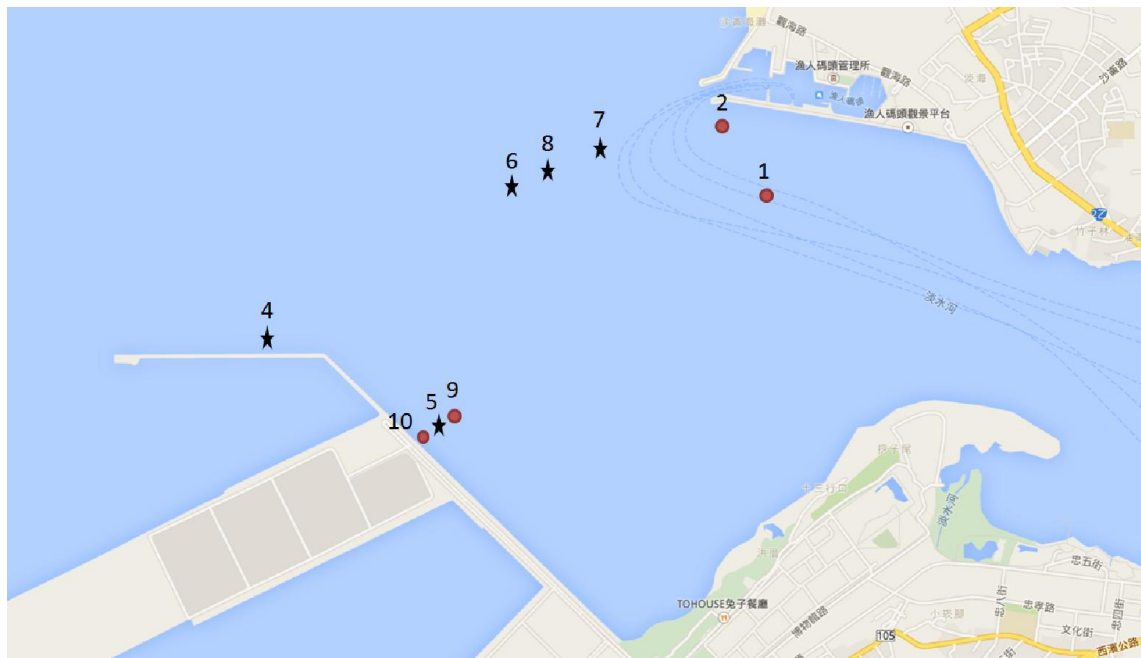


圖 3.30 淡水河河口流場觀測站位置



圖 3.31 關渡附近流場觀測站位置

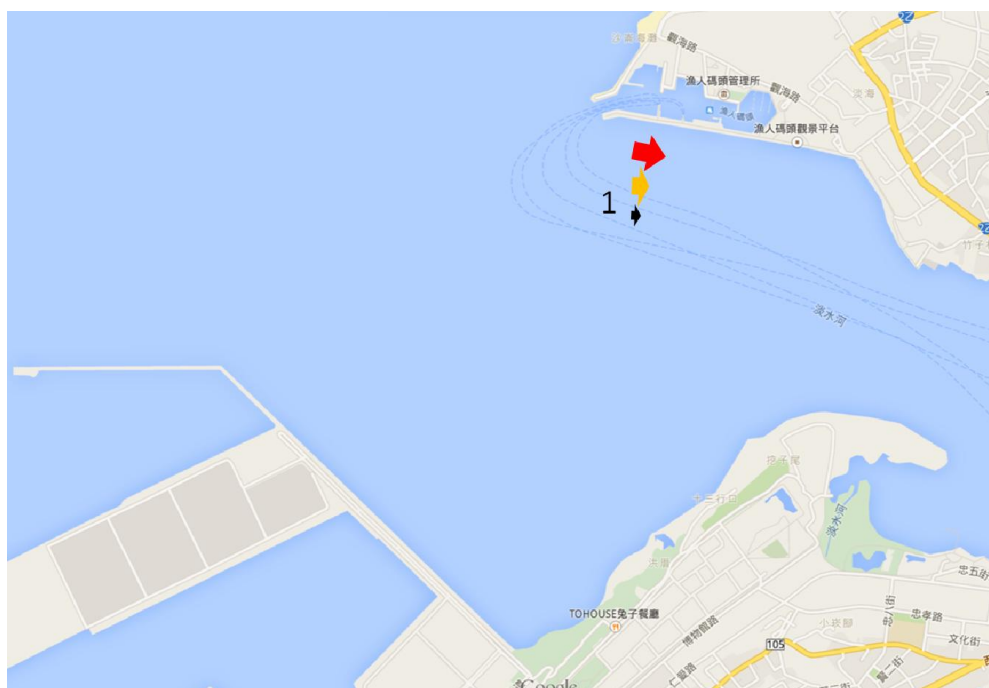


圖 3.32 漲潮下旬之河口流場(紅色上層流、菊色中層流、黑色下層流)



圖 3.33 漲潮下旬時關渡流場(紅色上層流、菊色中層流、黑色下層流)

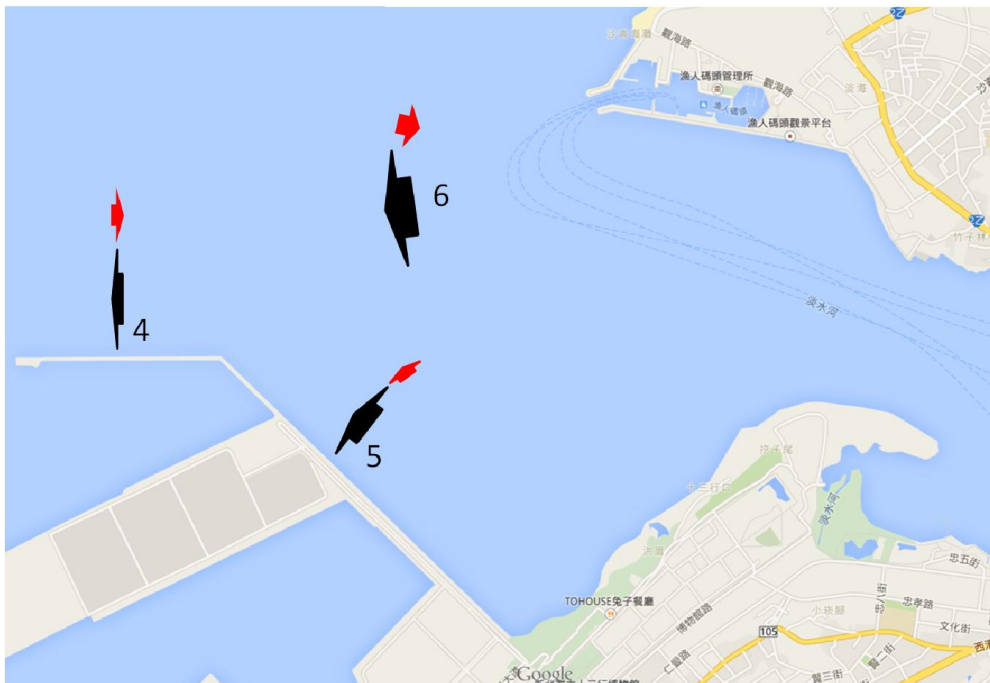


圖 3.34 退潮上旬之河口流場(紅色上層流、黑色下層流)

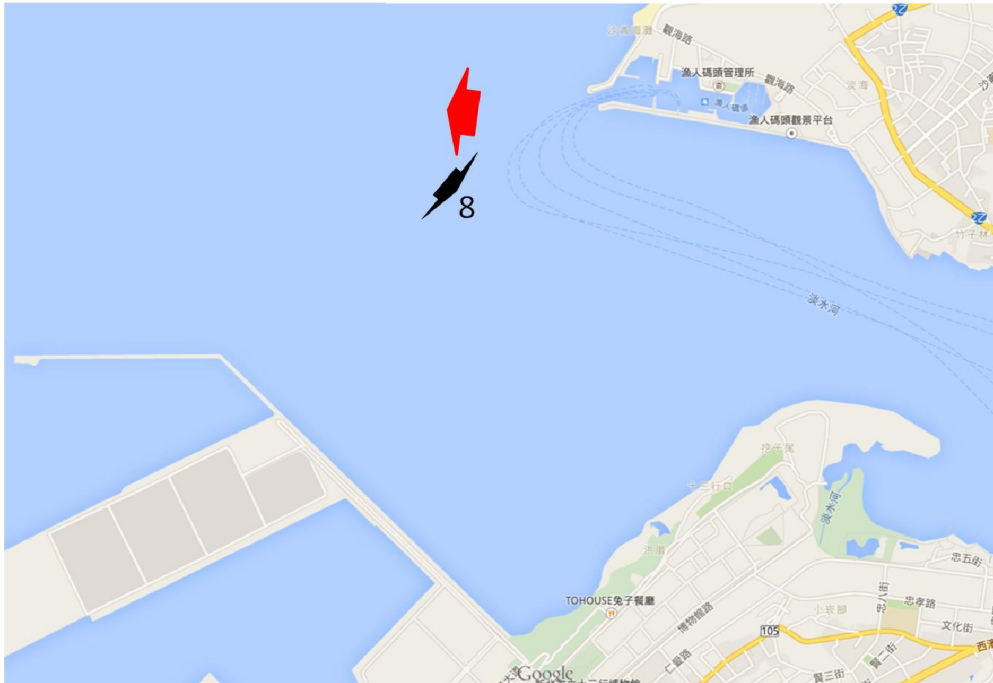


圖 3.35 退潮下旬之河口流場(紅色上層流、黑色下層流)



圖 3.36 漲潮上旬之東防波堤流場(紅色上層流、黑色下層流)

3.5 北堤淤砂區現場觀測

由於臺北港北堤淤砂區不斷蓄積來自淡水河的上游輸砂或河口北側之沿岸漂沙，在該區波浪及流場作用下，漂砂分布及淤積型態與輸砂量形成互動關係。該區底床地形複雜，同時伴隨多道潛沒沙洲，在潮汐、波浪、沿岸流及河川排水相互作用下，形成特有流場並影響漂沙分布。2015~2016 年本研究在該區近岸海域安裝水位計、波浪儀、分層流速計及濁度計，觀測地點沿著袋形淤砂區及沙洲海岸分別設置測點 A、B、C、D、E、F 及基地站 X，測點坐標與相關位置如表 3-1、圖 3.37 及圖 3.38，觀測基地位於木棧橋自行車道旁的空地，適於進行觀測儀器之準備與測後整理作業。

圖 3.37 為北堤淤砂區灘線與其相對水位，圖中 3 條實線分別為 2015 年 11 月 10 日 10:20、13:20 及 15:20 於不同水位時測得之 0m 線位置，作業方法為利用四輪驅動車於大約 20 分鐘內繞行水線邊緣一次，同時記錄沿線各點之經緯度。

表 3-1 北堤淤砂區之測點坐標及說明

日期	E	N	測點	說明
2015	121.414109	25.168646	X	觀測基地
2015/7/30	121.4059722	25.1676389	A	蘇迪勒颱風前
2015/9/10	121.4075667	25.1742167	B	颱風後
2015/10/15	121.4110833	25.1714167	C	水線測量
2015/11/9	121.4090278	25.1690833	D	水線測量
2016/5/4	121.404795	25.1669006	E	颱風前
2016/8/29	121.4030277	25.1647222	F	尼伯特颱風過後

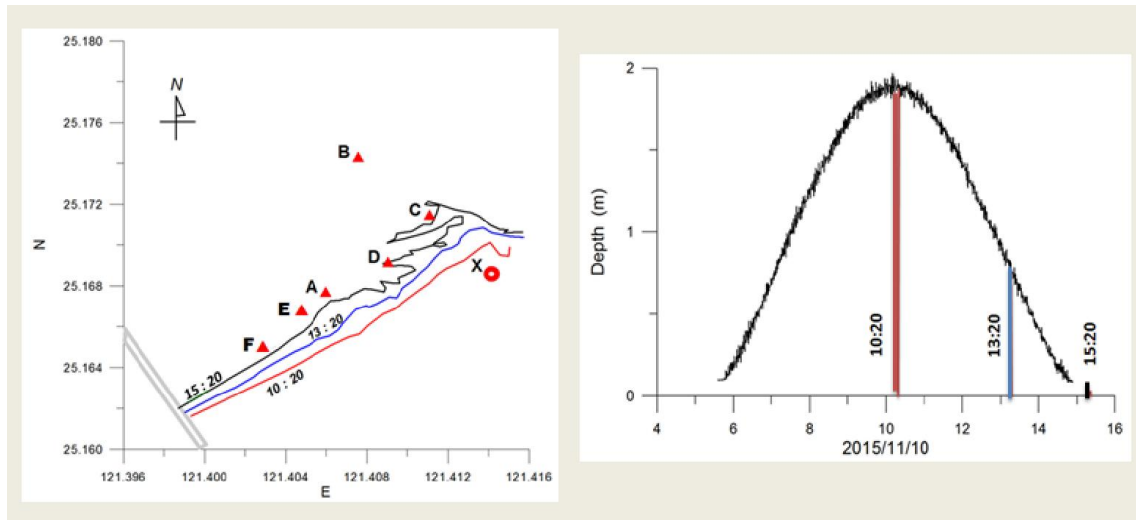


圖 3.37 北堤淤砂區灘線與其相對水位



圖 3.38 觀測基地 X 與各測點之實地相關位置

颱風侵襲臺灣時常帶來強風豪雨及山洪爆發，夾帶大量土石對沿岸地形之侵蝕與淤積有重大影響，2015 及 2016 年有發布警報之颱風合計 11 個，如表 3-2，其中以蘇迪勒、杜鵑及梅姬颱風直接穿越臺灣對中北部影響最大，強颱風尼伯特因中心經過高屏地區也對南部造成重大

災害，如圖 3.39~圖 3.42。2015 年 8 月 8 日蘇迪勒颱風侵襲臺灣後，淡水河河口地形起了極大變化，在上游洪流及大浪衝擊下，原先之河口沙洲縮小並偏移向南，北堤淤砂區內之沿岸海灘也遭受颱風波浪直接侵襲，致大量泥砂被沖刷入海，加上淡水河之侵淤作用，淤砂區內底床地形丕變。

表 3-2 2015~2016 年有發警報之颱風列表(中央氣象局)

年份	編號	中文名稱	英文名稱	侵臺路徑分類	警報期間	近臺強度	近臺				警報發布報數
							最低氣壓(hPa)	最大風速(m/s)	7級風暴風半徑(km)	10級風暴風半徑(km)	
2016	201619	艾利	AERE	---	2016-10-05 11:30 2016-10-06 14:30	輕度	998	18	120	---	10
2016	201617	梅姬	MEGI	3	2016-09-25 23:30 2016-09-28 17:30	中度	940	45	250	100	23
2016	201616	馬勒卡	MALAKAS	---	2016-09-15 23:30 2016-09-18 08:30	中度	940	45	180	60	20
2016	201614	莫蘭蒂	MERANTI	7	2016-09-12 23:30 2016-09-15 11:30	強烈	900	60	220	80	21
2016	201601	尼伯特	NEPARTAK	4	2016-07-06 14:30 2016-07-09 14:30	強烈	905	58	200	80	25
2015	201521	杜鵑	DUJUAN	2	2015-09-27 08:30 2015-09-29 17:30	強烈	925	51	220	80	20
2015	201515	天鵝	GONI	---	2015-08-20 17:30 2015-08-23 20:30	強烈	925	51	200	80	26
2015	201513	蘇迪勒	SOUDELOR	3	2015-08-06 11:30 2015-08-09 08:30	中度	930	48	300	100	24
2015	201510	蓮花	LINFA	---	2015-07-06 08:30 2015-07-09 05:30	輕度	975	30	120	30	24
2015	201509	昌鴻	CHAN-HOM	---	2015-07-09 05:30 2015-07-11 11:30	中度	935	48	280	100	19
2015	201506	紅霞	NOUL	---	2015-05-10 08:30 2015-05-11 20:30	強烈	925	51	200	80	13

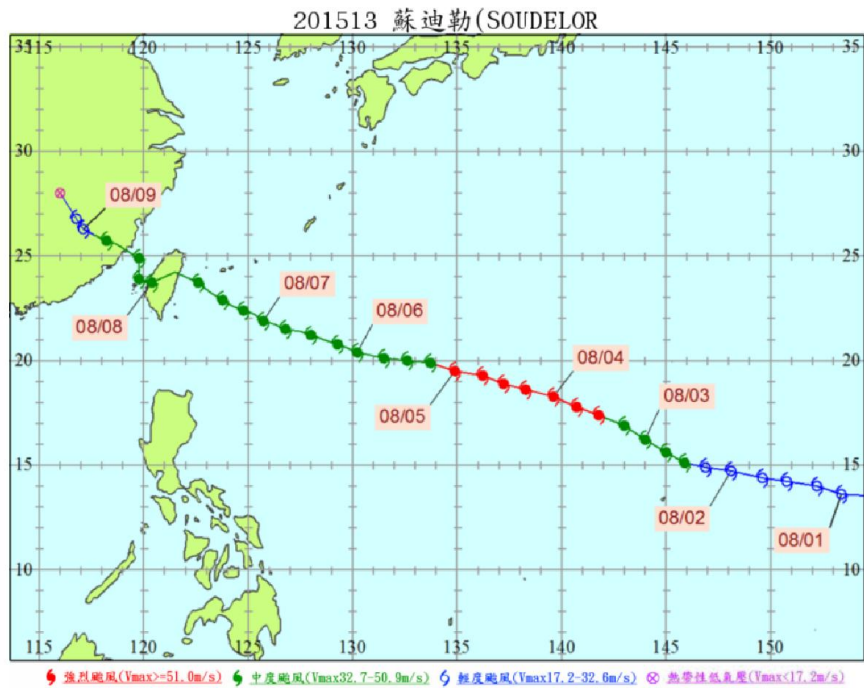


圖 3.39 蘇迪勒颱風路徑圖(中央氣象局)

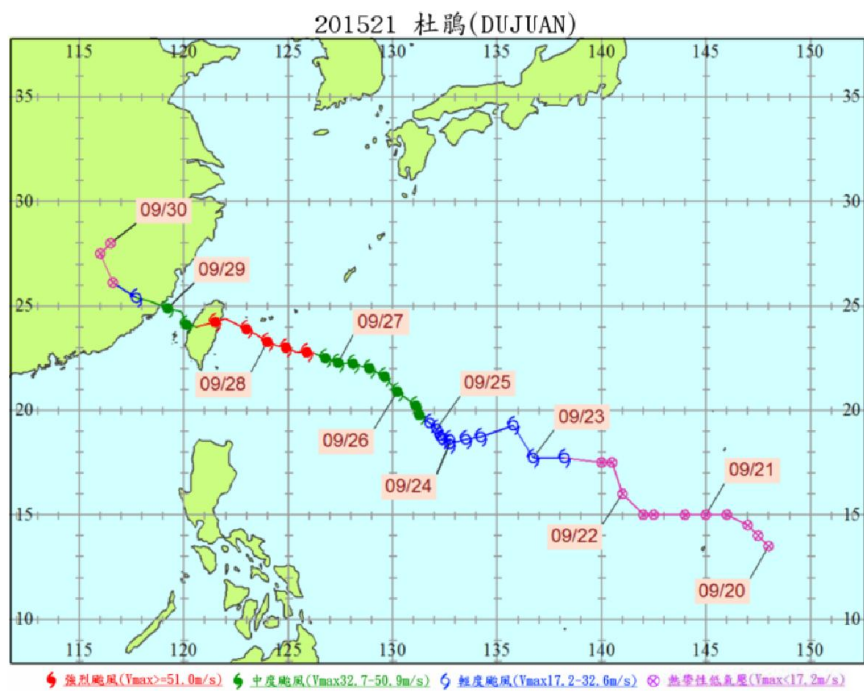


圖 3.40 杜鵑颱風路徑圖(中央氣象局)

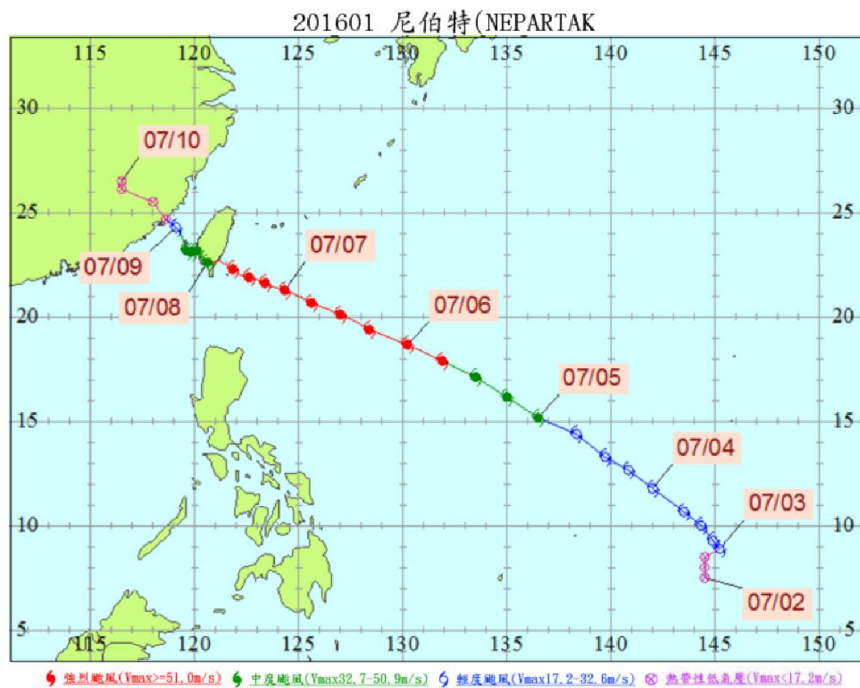


圖 3.41 尼伯特颱風路徑圖(中央氣象局)

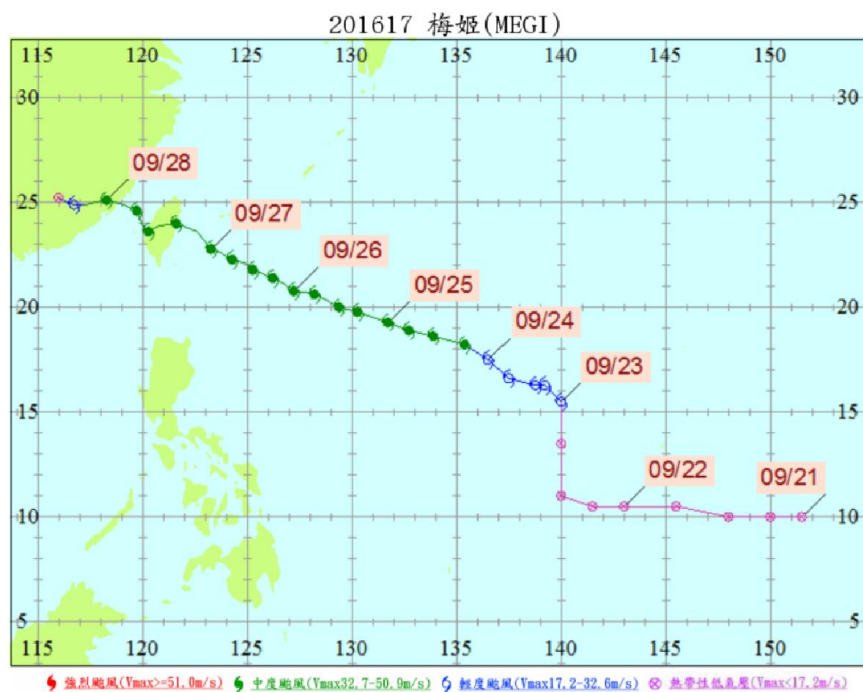


圖 3.42 梅姬颱風路徑圖(中央氣象局)

2015 年~2016 年，本研究陸續於臺北港北堤淤砂區近岸碎波帶 6 個測點分別進行波浪、分層流速、流向及懸浮質濃度觀測，多部儀器固定在測點的不同高程位置並以 10Hz 頻率連續量測 24 小時，隨著潮位變化起落，測點相對於海岸線位置也不斷移動，因此各測點之現場量測數據包含垂直海岸並穿越碎波帶斷面的三維流場資料。

觀測現場位於淡水河河口左側，河的出口方向約 290° ，左側有臺北港北防坡堤向 315° 方向延伸約 2500m，形成一 U 形淤砂區，沿岸沙灘走向約 55° 。由於河口寬度在挖子尾處突然變寬，流速減緩，因此在沿河口方向形成一 A 型沙洲，潮流進出時易在 U 形淤砂區產生環流，加上不同方向的波浪作用使得該區流況較為複雜。漂沙移動受流影響，欲探討該區海域的漂沙狀況，首須深入瞭解近岸的流場現象，尤其是碎波帶。各測點經緯度及相關位置如表 3-1 與圖 3.38 說明，以下分別說明各測點之觀測結果。

3.5.1 測點 A

2015 年 7 月 30 日於臺北港北堤淤砂區 A 形沙洲左方 U 形淤沙區內側近岸位置安裝儀器進行觀測。圖 3.43 與表 3-3 為測點 A 使用之觀測儀器與測點高度說明，其中 ALU393、INU587、INU582 及 INU119 為電磁式流速計，ALC327、INC123 及 INC122 為濁度計，Aquadopp Profiler 則為剖面式流速儀，可同時進行波浪觀測。所有儀器安裝在同一觀測架上，也確定不會彼此干擾，觀測時間為一個漲退潮時段。

圖 3.44 為進行現場觀測時 A 點之水深變化與底床上不同高度處之流速與流向。測點 A 位於北堤淤砂區海岸中間，沙洲向海突出部的底端內側，漲潮或退潮時底層流與表層流會出現明顯差異。離底 8cm 之最底層流於漲潮或退潮時都會出現 2 次較大流速，而離底 72.5cm 的上層流則為單純的漲潮流與退潮流，流向分別為 60° 及 275° 。漲潮時水位較高，漲潮流沿著海岸越過 A 形沙洲流入淡水河，退潮時河水同樣可以越過 A 形沙洲沿北堤方向流向外海。底層流在流速減弱時也同時改變方向，而且首先發生於底床上 24.5cm 處，然後逐漸往下發展，流

向偏向南南東大約 170° 方向，而離底 72.5cm 高的上層流則仍維持約 60° 方向。此可能是漲潮時，外海湧入之潮水受到河口 A 形沙洲之阻擋，使較底層水流流速減小並改變流向。

退潮時離底 72.5cm 高的上層流始終維持 270° 方向流向外海，而在水深降至約 1m 以下後，下層水流開始受到 A 形沙洲逐漸浮現的影響，出現方向振盪現象，離底 8cm 高的底層流甚至由西轉向東。由以上觀測資料分析，可以瞭解河口 A 形沙洲對北堤淤砂區流場變化的影響，同時也會影響淤砂區內漂沙的動向。

圖 3.45 為測點 A 離底高 72.5cm 及 8cm 處之水溫變化，上下層差異不大，高潮點大約在 7 月 30 日 22:35。因為退潮時沿岸退潮流會將淡水河較冷的上游排水往北帶，當漲潮開始時，首先進入北堤淤砂區的是河口外南側較溫暖的海水，一段時間後，退潮時流往北方的較冷河水才會被沿岸漲潮流帶回淤砂區，而退潮時較冷河水則直接越過 A 形沙洲進入淤砂區內。

圖 3.46 為測點 A 離底高 27.5cm 及 8cm 處之懸浮質濃度變化，下層儀器較接近底床，於低潮位時碎波捲起底床砂，因此兩端有較高濃度。但是 7 月 30 日 21:00 至 22:00 間漲潮末時，當較冷河川水回流進入淤砂區測點 A 時，底層附近之懸浮質濃度亦同時增加，而上層水則無此現象，是否與底床上 16.5cm 附近出現的較強流有關，其原因尚待進一步探討。根據水位計資料，觀測當時波高大約只有 10cm，在 7 月 31 日下午 2 時至 4 時之間出現明顯的淺灘動盪現象，其振盪週期約 15 分鐘，如圖 3.47，與底床附近流振盪發生時間及振盪週期相同，兩者間有密切關係。



圖 3.43 測點 A 之現場儀器觀測平台

表 3-3 2015/7/30 測點 A 之儀器與測點高度

儀器名稱	儀器測點離底高(cm)	儀器種類
ALU393	72.5	單點流速計
ALC327	53.5	單點濁度計
INC123	27.5	單點濁度計
INU587	24.5	單點流速計
INU583	16.5	單點流速計
Aquadop Profiler	11	流速剖面儀
INU119	8	單點流速計
INC122	8	單點濁度計

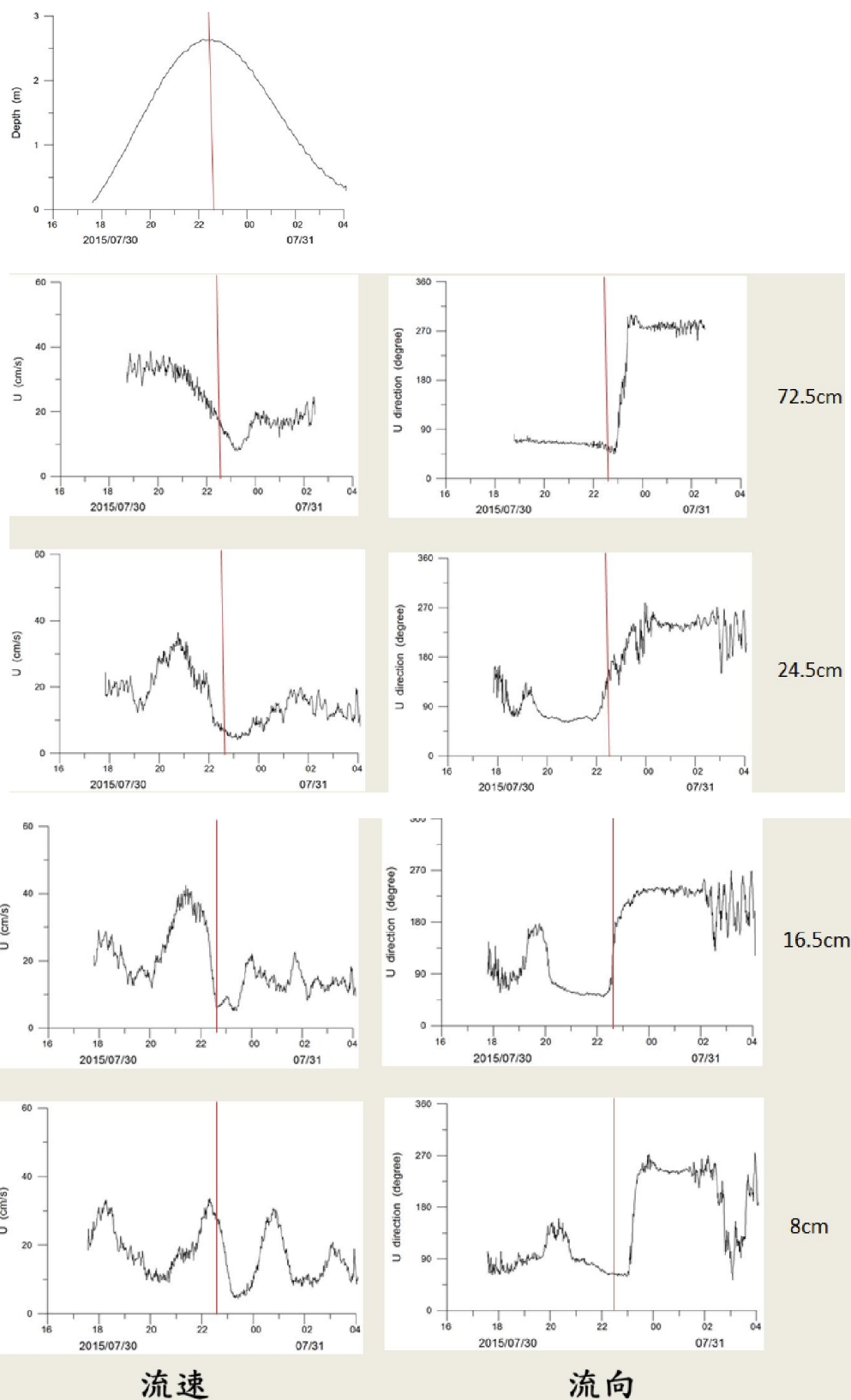


圖 3.44 測點 A 在底床上不同高度處之流速與流向

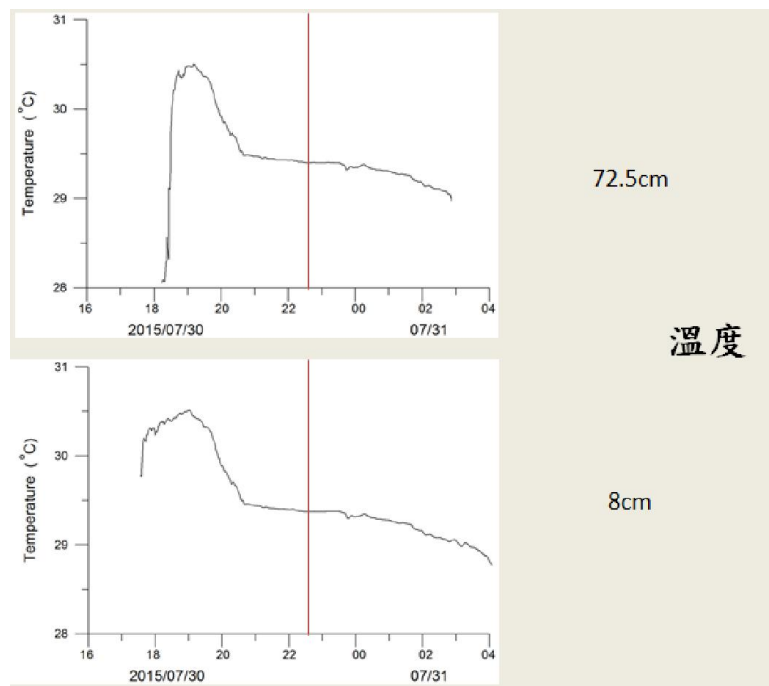


圖 3.45 測點 A 在底床上不同高度處之水溫變化

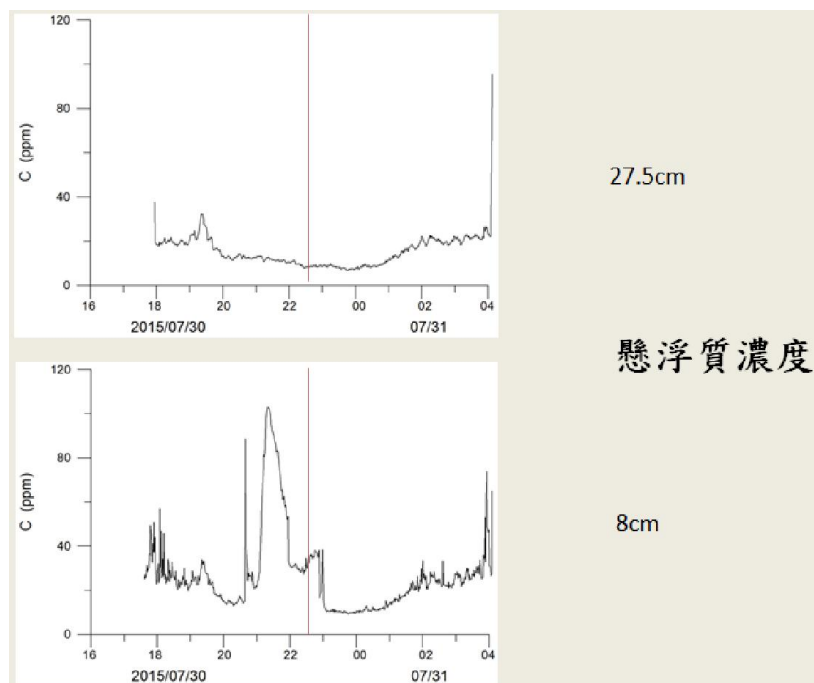
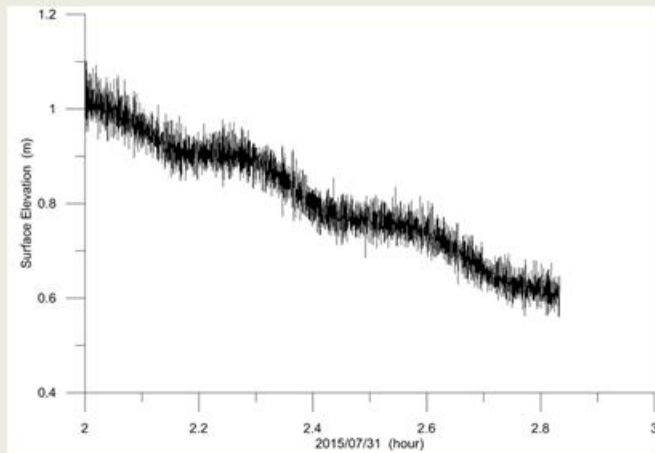


圖 3.46 測點 A 在底床上不同高度處之懸浮質濃度變化



波高：10cm

振盪週期：15分鐘

振幅：10cm

圖 3.47 測點 A 之淺灘振盪現象

3.5.2 測點 B

2015 年 9 月 10 日於臺北港北堤淤砂區 A 形沙洲頂端距岸約 1200m 處安裝儀器進行觀測，測點 B 經緯度及相關位置如表 3-1 與圖 3.38 說明。表 3-4 為測點 A 使用之觀測儀器與測點高度說明，其中 INU119 為電磁式流速計，INC122 為濁度計可同時測量水位，Aquadopp Profiler 則為剖面式流速儀，可同時進行波浪觀測。所有儀器安裝在同一觀測架上，不會彼此干擾，觀測時間為一個半漲退潮時段。

現場位於淡水河河口 A 形沙洲頂端，由於觀測時沙洲已遭受蘇迪勒颱風大浪侵襲與洪流沖刷而支離破碎，無法由岸徒步前往，只能用船載運相關器材並由潛水人員將儀器等安裝在沙洲上。圖 3.48 為測點 B 之水位、流速、流向、溫度與懸浮質濃度變化，因測點 B 位於河口 A 形沙洲頂端，距岸較遠，其流場主要受河流影響。退潮流小於漲潮流是因河口變寬的結果，退潮時流速有雙波峰現象，是因退潮時水位不斷下降，當沙洲浮出水面，主河道受限，截面積突然減小，因此流速會再度增加。最低水溫發生於低潮底時，與河口海水溫度相差約 2 度，顯示河川水溫越上游越冷。較大懸浮質濃度發生於較大流速時，可能是較大流速之底床剪力大，較容易捲起底床砂粒。觀測當時波高約 60cm，波向來自北北西。

表 3-4 2015/9/10 測點 B 之儀器與測點高度

儀器名稱	儀器測點離底高(cm)	儀器種類
INU119	18	單點流速計
Aquadopp Profiler	16	流速剖面儀
INC122	13	單點濁度計

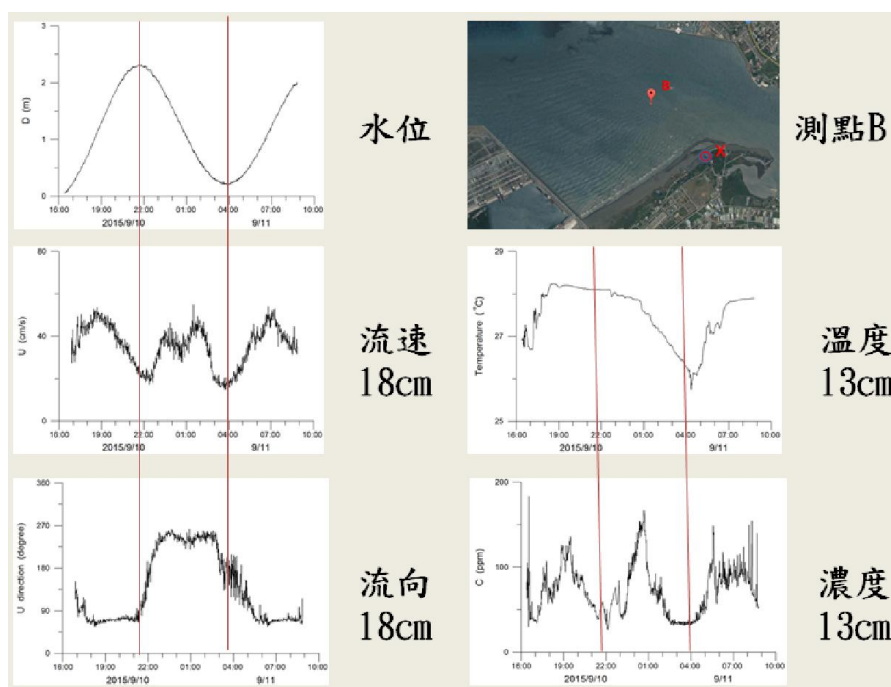


圖 3.48 測點 B 之水位、流、溫度與懸浮質濃度變化

3.5.3 測點 C

2015 年 10 月 15 日於臺北港北堤淤砂區 A 形沙洲近岸中段靠近河道位置安裝儀器進行觀測，測點 C 經緯度及相關位置如表 3-1 與圖 3.38 說明。表 3-5 為測點 C 使用之觀測儀器與測點高度說明，其中 ALU393、INU585、INU583 及 INU119 為電磁式流速計，ALC327、INC123 及 INC122 為濁度計可同時測量水位，Aquadopp Profiler 則為剖面式流速儀，可同時進行波浪觀測。所有儀器安裝在同一觀測架上，不會彼此干擾，觀測時間為一個漲退潮時段。

測點現場距離觀測基地 X 大約 600m，所有觀測器材全用人工搬運方式運至觀測地點。圖 3.49 為測點 C 之水位、流速與流向變化，因測點 C 位於 A 形沙洲中段靠近河岸位置，主要流向受沙洲及沿岸地形影響，流向為東北東-西南西方向，底層流因水淺底床磨擦，流速較小。

漲潮時，北堤淤砂區內的水會直接越過沙洲流入河川主幹道；同樣的，退潮時河川主幹道的水也會直接越過沙洲流入淤砂區內。亦即，漲潮時淤砂區的水團可能來自臺北港南側或外海較溫暖海水，而河口北側近岸水團主要來自淡水河上游較冷河水，漲潮時此冷水團迴流進入主水道北側，兩水團間的拉鋸戰以及沙洲地形造成溫度突降現象。圖 3.50 為測點 C 離底高 28.3cm 及 18.8cm 處之懸浮質濃度變化，較大懸浮質濃度皆發生於較大流速時。

表 3-5 2015/10/15 測點 C 之儀器與測點高度

儀器名稱	儀器測點離底高(cm)	儀器種類
ALU393	69.5	單點流速計
ALC327	45.2	單點濁度計
INU585	34.8	單點流速計
INC122	28.3	單點濁度計
INU583	24.3	單點流速計
INC123	18.8	單點濁度計
Aquadop Profiler	17.2	流速剖面儀
INU119	14.2	單點流速計
INH019	8	水位計

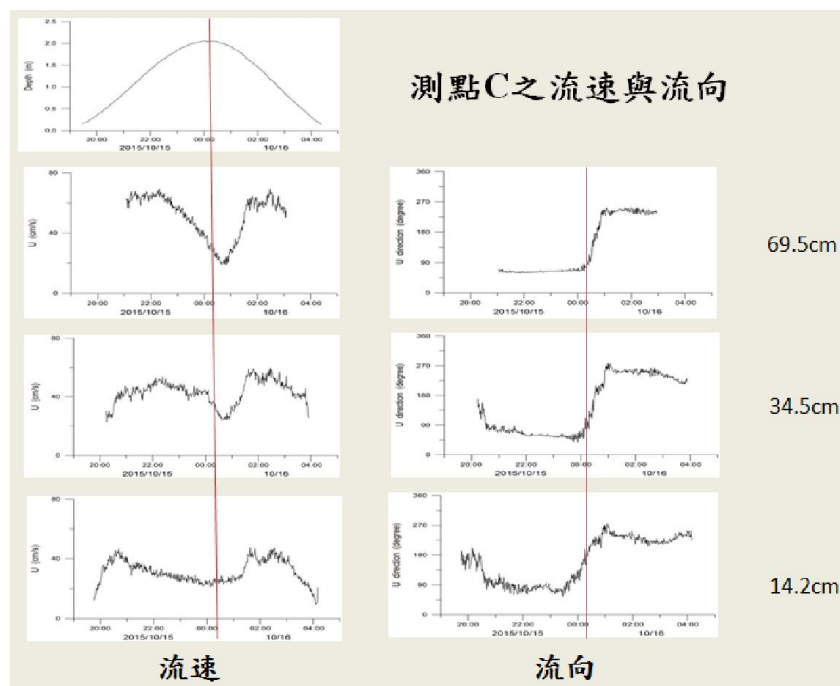


圖 3.49 測點 C 之水位、流速與流向變化

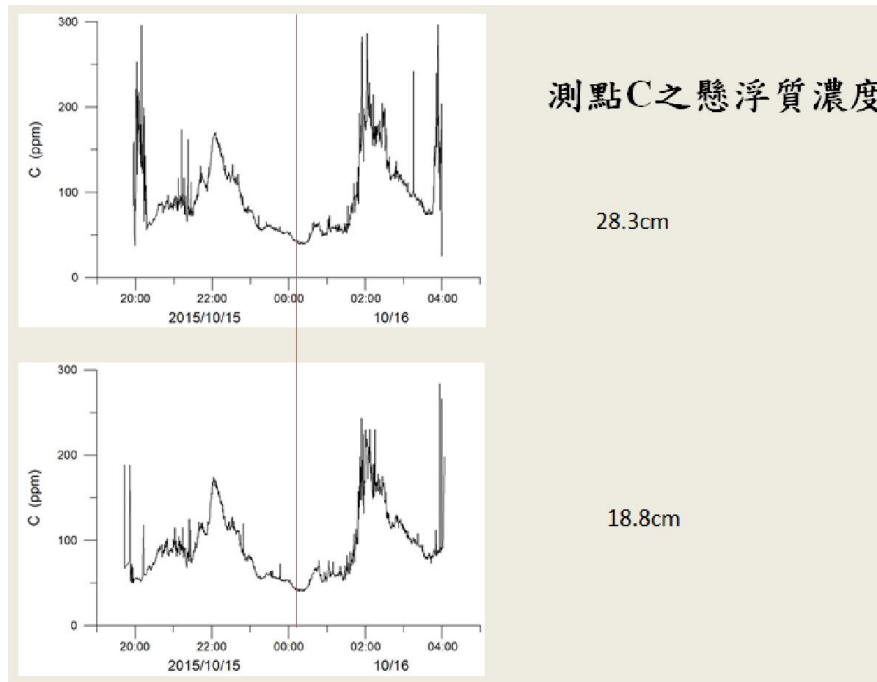


圖 3.50 測點 C 之懸浮質濃度變化

3.5.4 測點 D

2015 年 11 月 9 日於臺北港北堤淤砂區 A 形沙洲左側近岸安裝儀器進行觀測，測點 D 經緯度及相關位置如表 3-1 與圖 3.38 說明。表 3-6 為測點 D 使用之觀測儀器與測點高度說明，其中 ALU393、INU585、INU583 及 INU119 為電磁式流速計，ALC412、INC123 及 INC122 為濁度計可同時測量水位，Aquadopp Profiler 則為剖面式流速儀，可同時進行波浪觀測。所有儀器均安裝在同一觀測架上，不會彼此干擾，觀測時間為二個漲退潮時段。

測點現場距離觀測基地 X 大約 750m，所有觀測器材以四輪驅動車搬運至觀測地點，可大量節省時間與人力。圖 3.51 與圖 3.52 分別為測點 D 第一次與第二次漲退潮之水位、不同離底高處之流速、流向與懸浮質濃度變化，由於觀測當時外海風浪較大，群波現象明顯。因測點 D 位於 A 形沙洲近岸左側位置，主要流向受沙洲及沿岸地形影響，當潮位變化時，海岸及底床地形隨著沙洲浮現程度而呈現不同走向，因此

水流方向也不斷改變，其流向變化較為滑順，不若其他測點在高潮點時會快速轉變方向。

低潮底漲潮初期，A 形沙洲整體浮現，外海波浪可能沿著沙洲西側形成向南的沿岸流，但由北堤進入淤砂區的漲潮流則沿著北堤東側侵入，此兩股水流在測點 D 形成底層流向西南、中層流向南，而表層流向東南東的分層流；漲潮中期，上層流仍偏東，而下層流則偏東南，上層流速較大；退潮時，流向大都偏向南或西南方向。測點 D 第 1 次潮與第 2 次潮離底高 28cm 及 19cm 處之懸浮質濃度變化，顯示在水深較淺地區，近岸碎波會引起較多砂粒懸浮。愈接近底床其懸浮質濃度愈高，但是 28cm 高處之懸浮質高濃度發生時間卻似乎比底層 19cm 處延遲一些，其原因尚待進一步分析。

表 3-6 2015/11/9 測點 D 使用之觀測儀器與測點高度

儀器名稱	儀器測點離底高(cm)	儀器種類
ALU393	66	單點流速計
ALC412	46	單點濁度計
INU585	34	單點流速計
INC123	28	單點濁度計
INU119	24	單點流速計
INC122	19	單點濁度計
Aquadopp Profiler	17	流速剖面儀
INU583	14	單點流速計
INH019	7.5	水位計

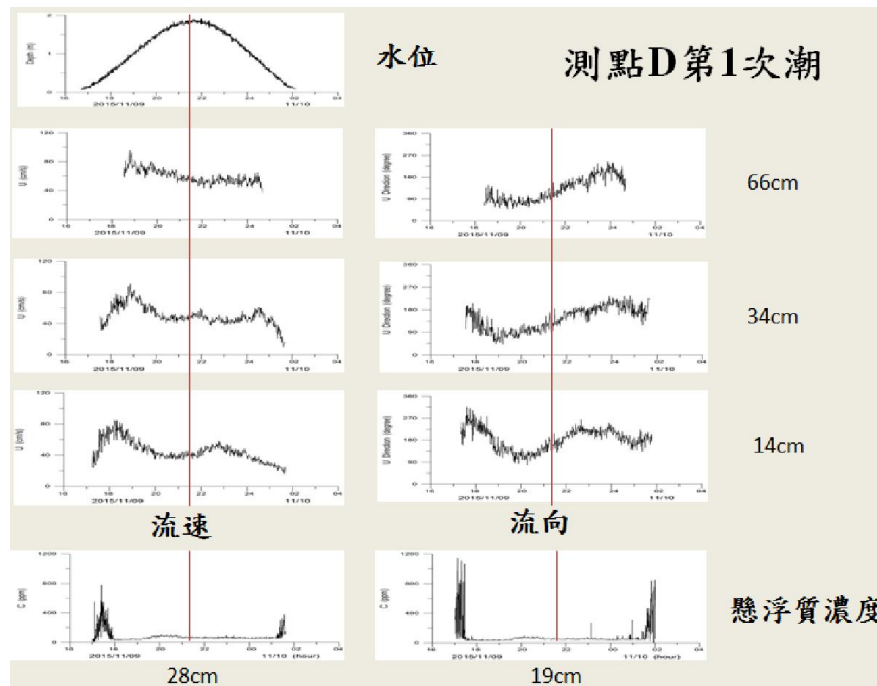


圖 3.51 測點 D 第 1 潮之水位、流速、流向與懸浮質濃度變化

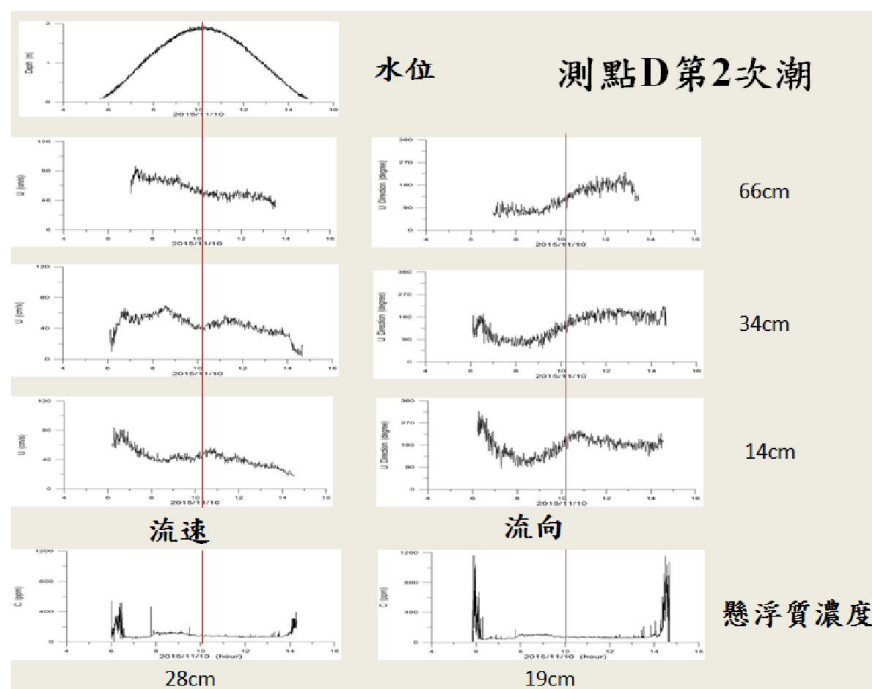


圖 3.52 測點 D 第 2 潮之水位、流速、流向與懸浮質濃度變化

3.5.5 測點 E

2016 年 5 月 4 日於臺北港北堤淤砂區 A 形沙洲近岸左側位置安裝儀器進行觀測，測點 E 經緯度及相關位置如表 3-1 與圖 3.38 說明。現場使用 5 台單點電磁式流速儀，3 台濁度計及 1 台水位計。所有儀器均安裝在同一觀測架上，進行同步觀測不會彼此干擾，觀測時間為連續二個漲退潮時段。

觀測當時現場波浪不大，波高約只有 30cm，吹東北風。圖 3.53 與圖 3.54 為測點 E 第 1 次潮之水位與各水層流速、流向變化；圖 3.55 與圖 3.56 則為測點 E 第 2 次潮之水位與各水層流速、流向變化，再將流速與流向繪成流羽狀圖得圖 3.57 與圖 3.58。圖中顯示上層水與下層水流有極大的差異性，第 1 次潮時底床上約 35cm 以上的水流變化由漲潮流轉為退潮流時其流向變化是逆時針方向旋轉，且越上層其流向翻轉越有延遲現象，而約 35cm 以下水層則為順時針方向旋轉，而且在 25cm 以下水層之流速與流向會出現振盪現象，從流羽狀圖可以清楚看到各不同流層之流向量變化；第 2 次潮之轉潮方向似乎上下層一致，但是方向翻轉時間則往下延遲，約 25cm 以下水層之流速與流向仍會出現振盪現象，這似乎是該海域的特有現象。

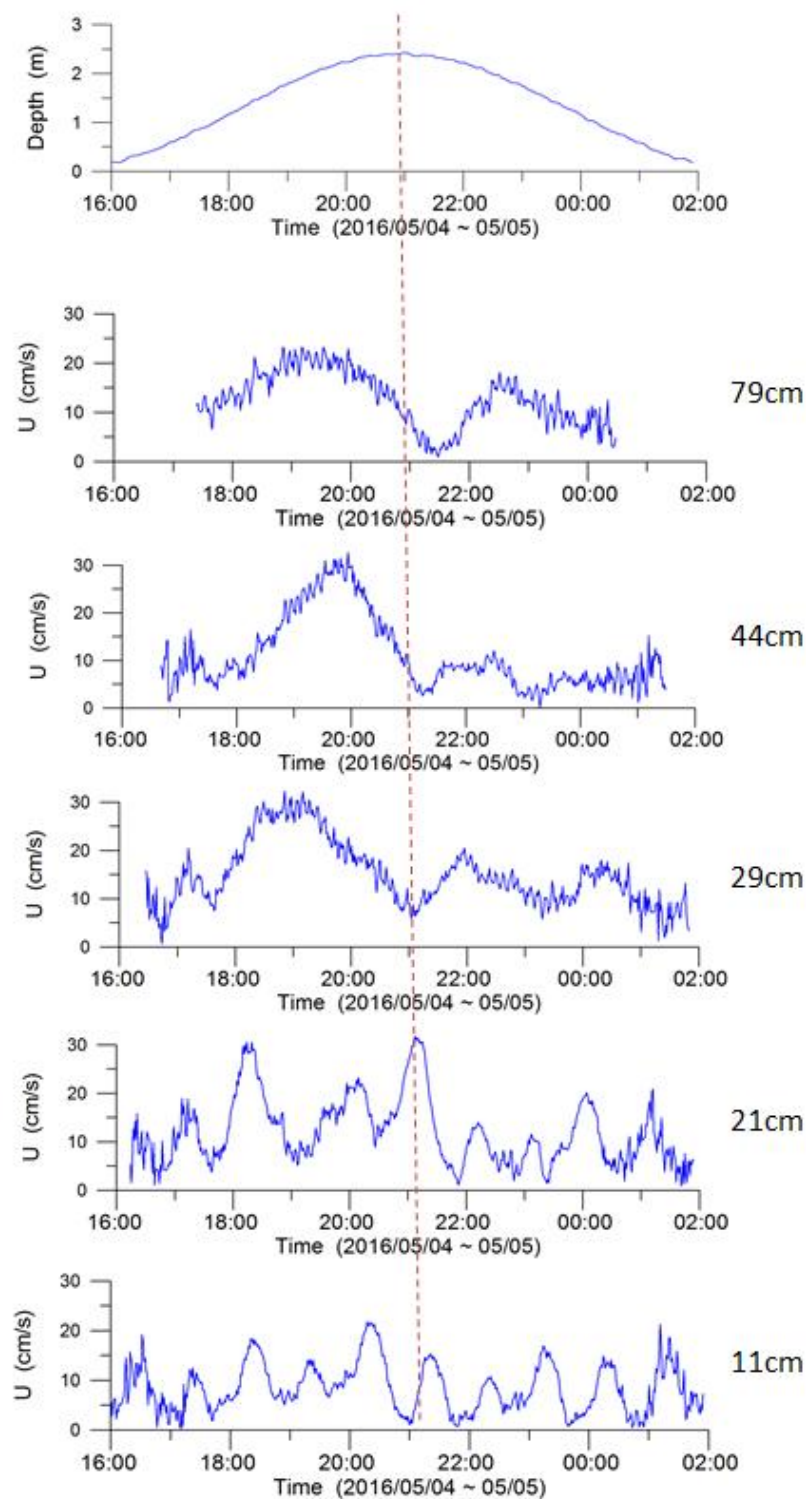


圖 3.53 測點 E 第 1 次潮之水位與各水層流速變化

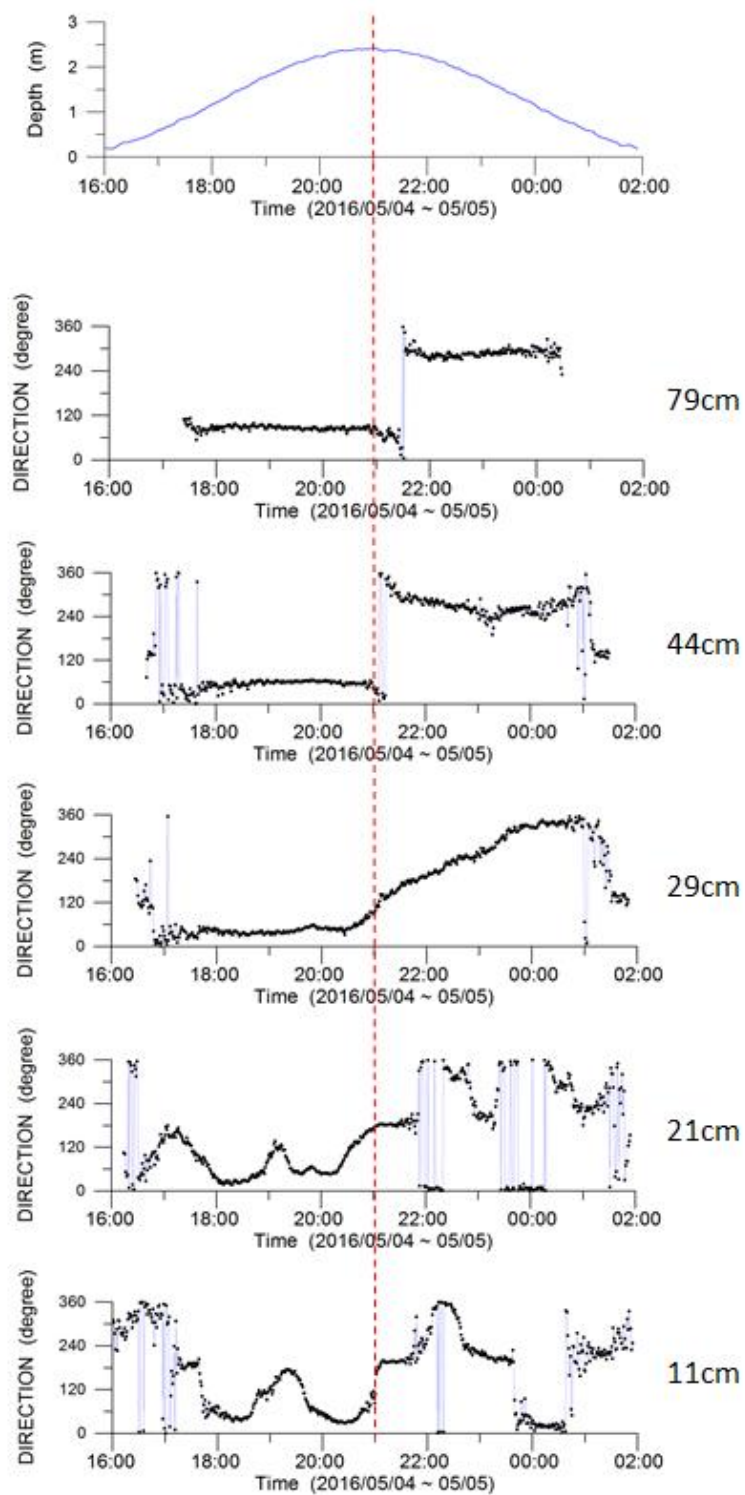


圖 3.54 測點 E 第 1 次潮之水位與各水層流向變化

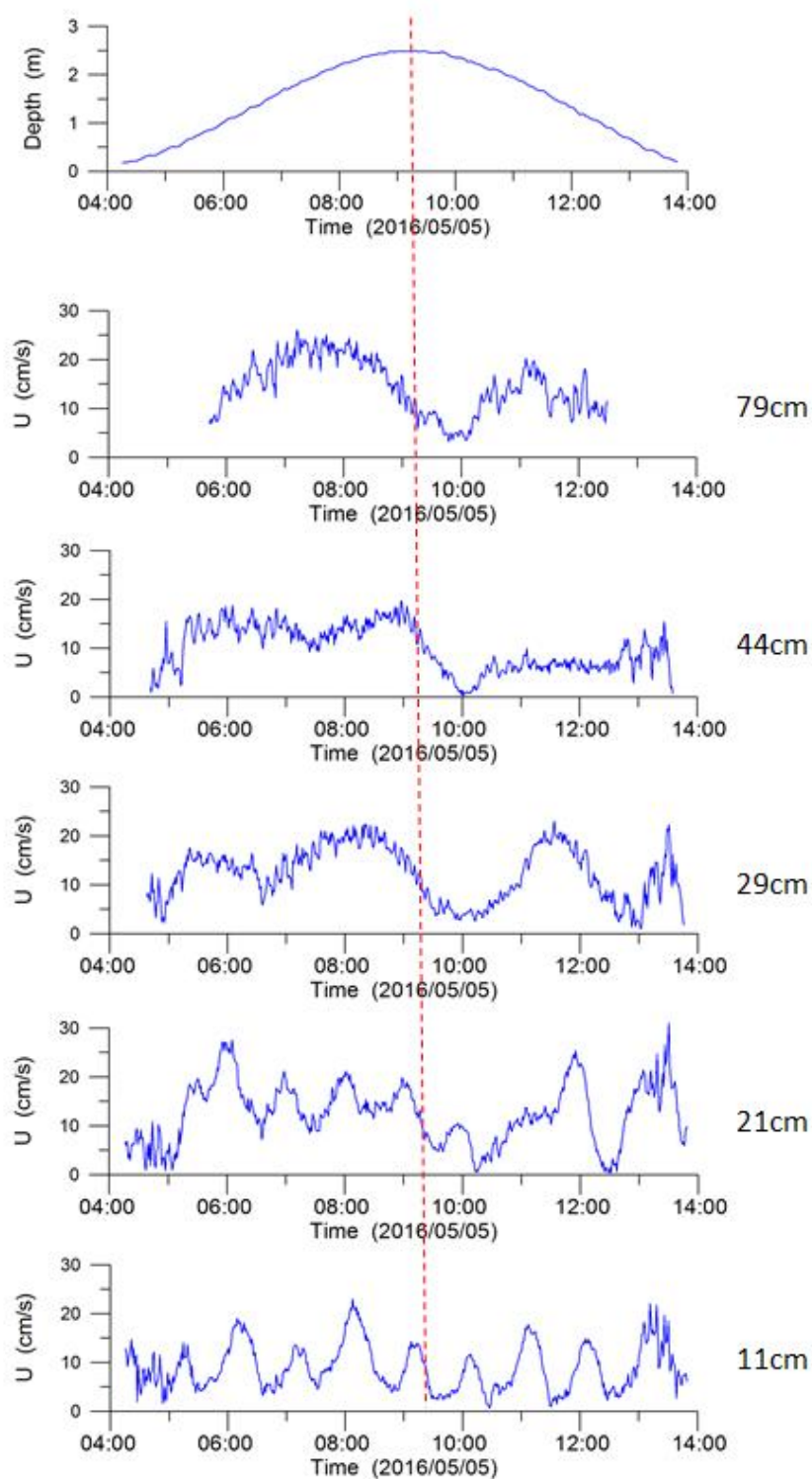


圖 3.55 測點 E 第 2 次潮之水位與各水層流速變化

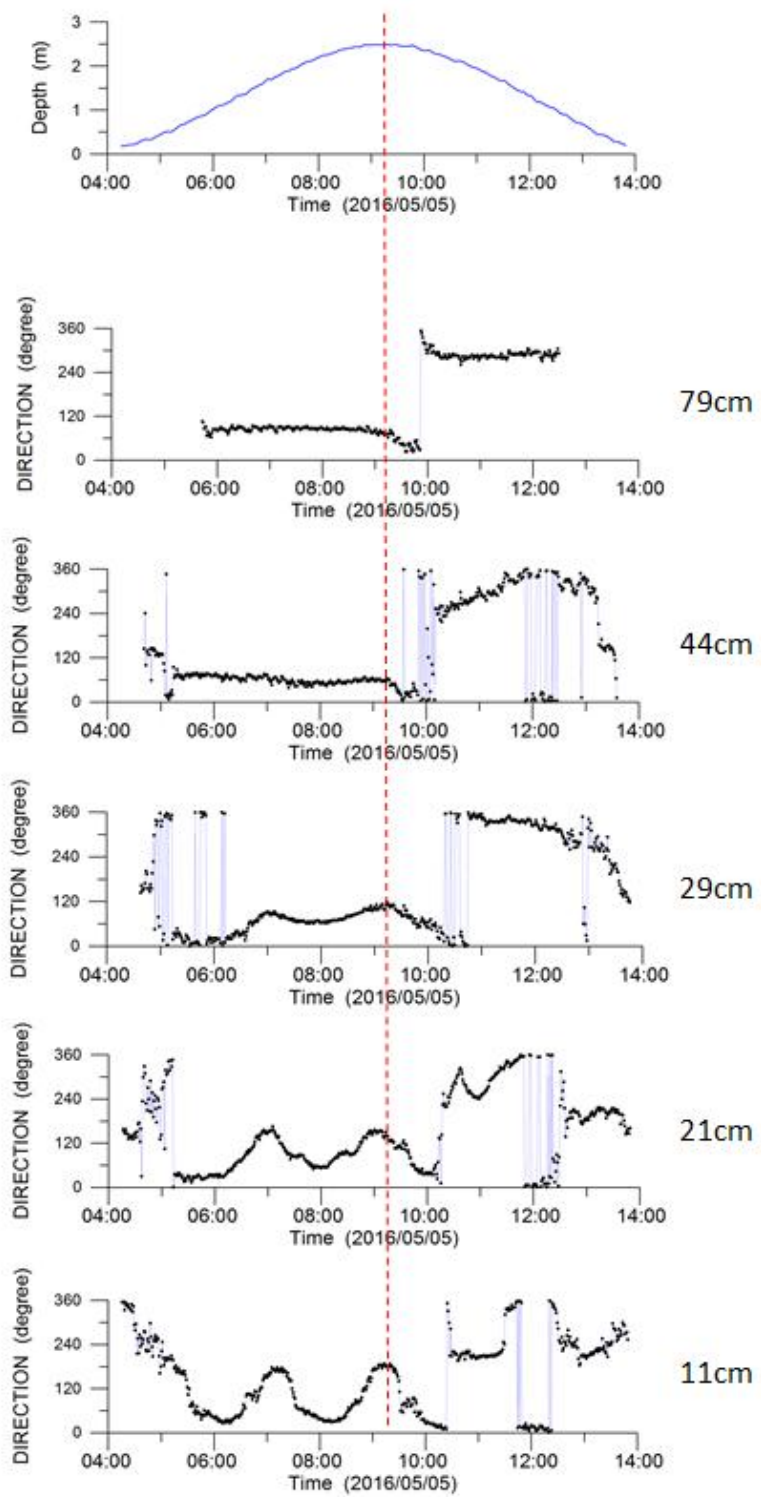


圖 3.56 測點 E 第 2 次潮之水位與各水層流向變化

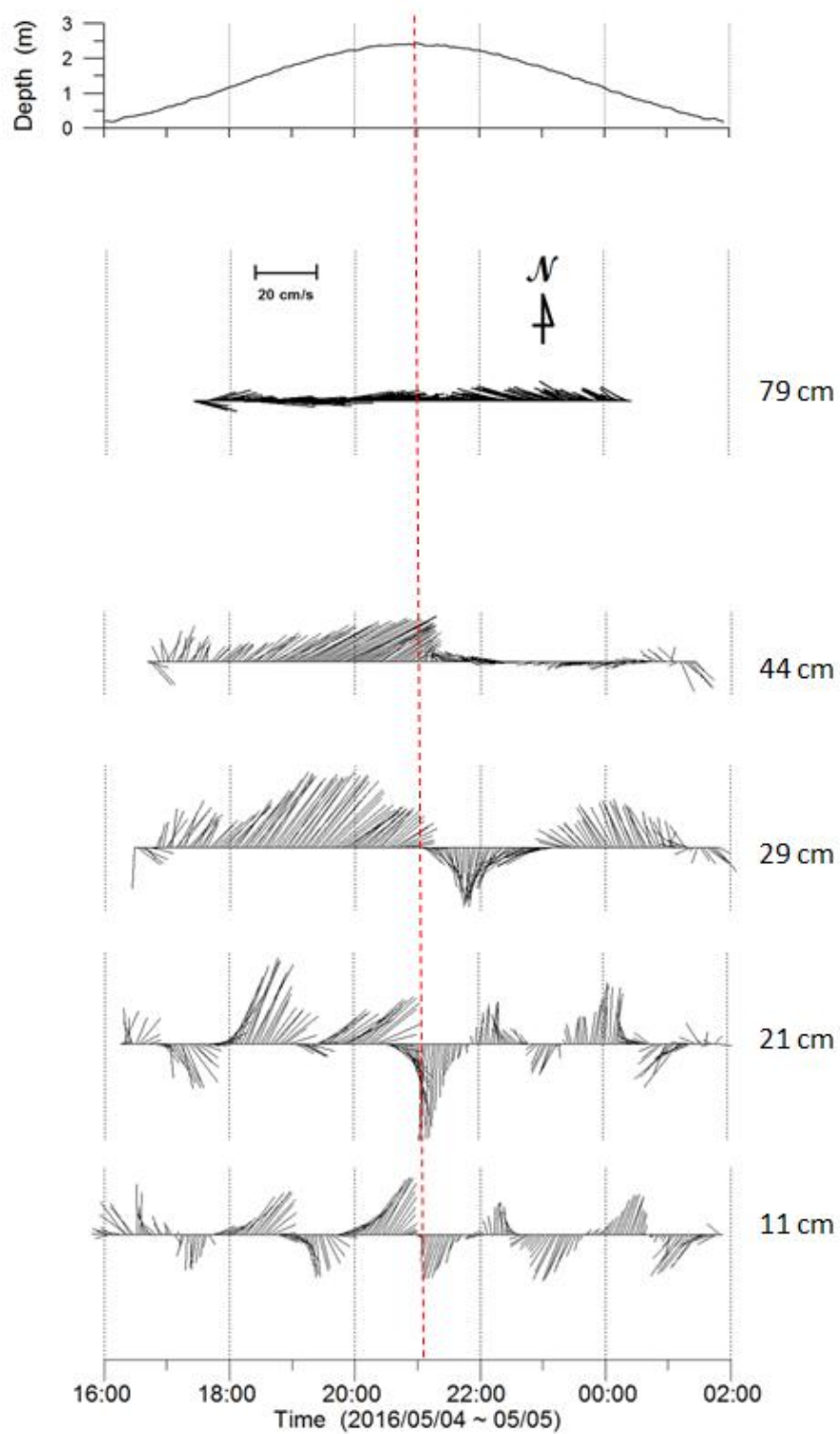


圖 3.57 測點 E 第 1 次潮之水位與各水層流羽狀圖

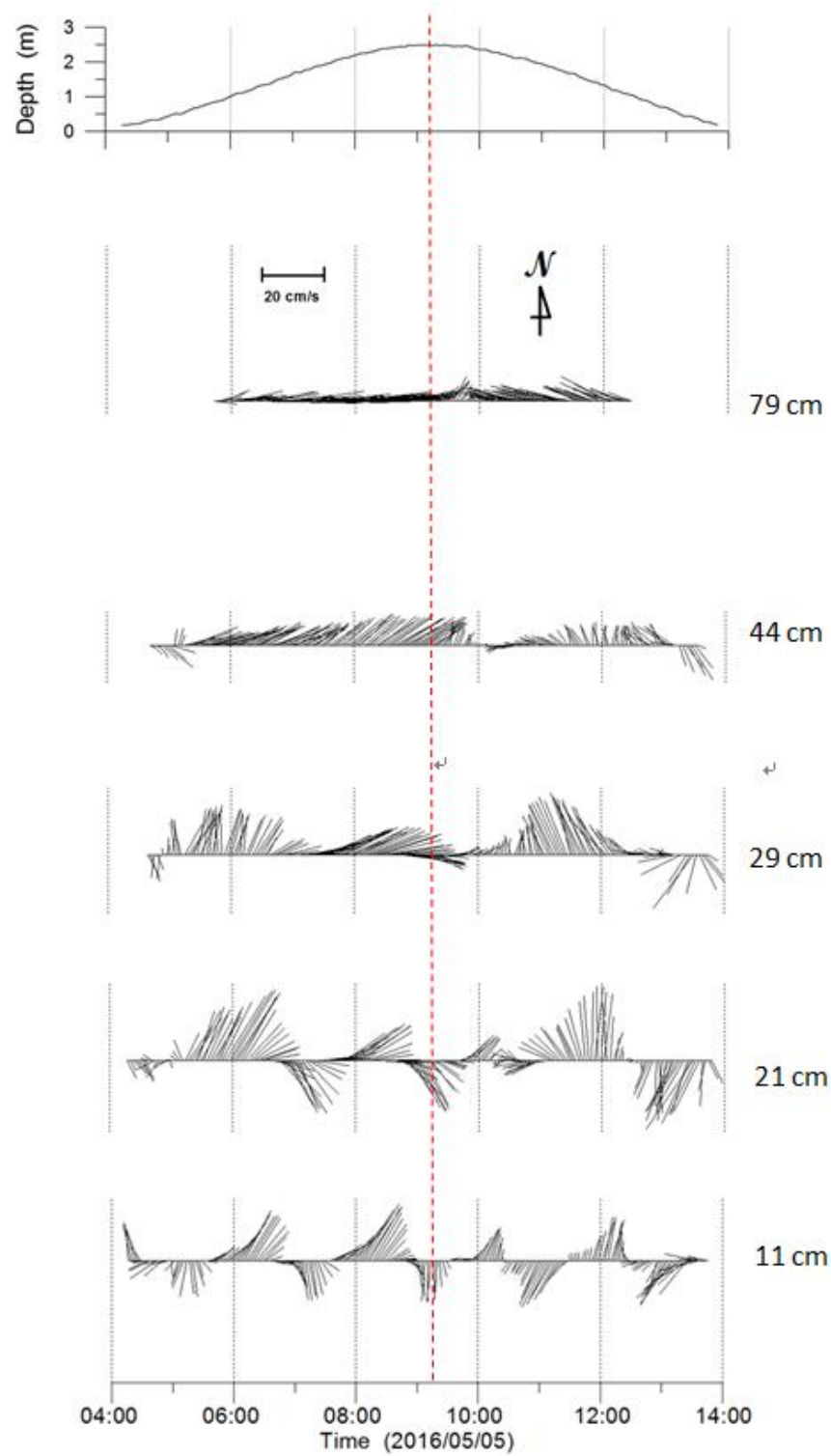


圖 3.58 測點 E 第 2 次潮之水位與各水層流羽狀圖

3.5.6 測點 F

2016 年 8 月 29 日於臺北港北堤淤砂區 A 形沙洲近岸左側位置安裝儀器進行觀測，測點 F 經緯度及相關位置如表 3-1 與圖 3.38 說明。現場使用 8 台單點電磁式流速儀，2 台濁度計及 1 台水位計。圖 3.59 為測點 F 之現場觀測平台，所有儀器均安裝在同一觀測架上，進行同步觀測時不會彼此干擾，觀測時間為二個漲退潮時段，觀測時近岸浪高約 1m，吹東北風。

圖 3.60 與圖 3.61 為測點 F 第 1 次潮之水位與各水層流速、流向變化；圖 3.62 與圖 3.63 則為測點 F 第 2 次潮之水位與各水層流速、流向變化，再將流速與流向繪成流羽狀圖得圖 3.64 與圖 3.65。圖中顯示漲潮與退潮時較大流速發生在離底 14cm 至 35cm 之間，而且有往下延遲現象，其流向與 85cm 的上層流有明顯差異，上層流在漲潮時流向往東，開始退潮後約 1~2 個小時才轉為流向西，極可能是因退潮河口沙洲露出水面截斷淤沙區與淡水河主河道通路，使得淤沙區內的水往西方外海方向流去。最底層處水流則維持一固定流向，不受漲退潮的影響，可能是大浪在碎波帶內形成的底床迴流所致，方向偏北。



圖 3.59 測點 F 之現場觀測平台

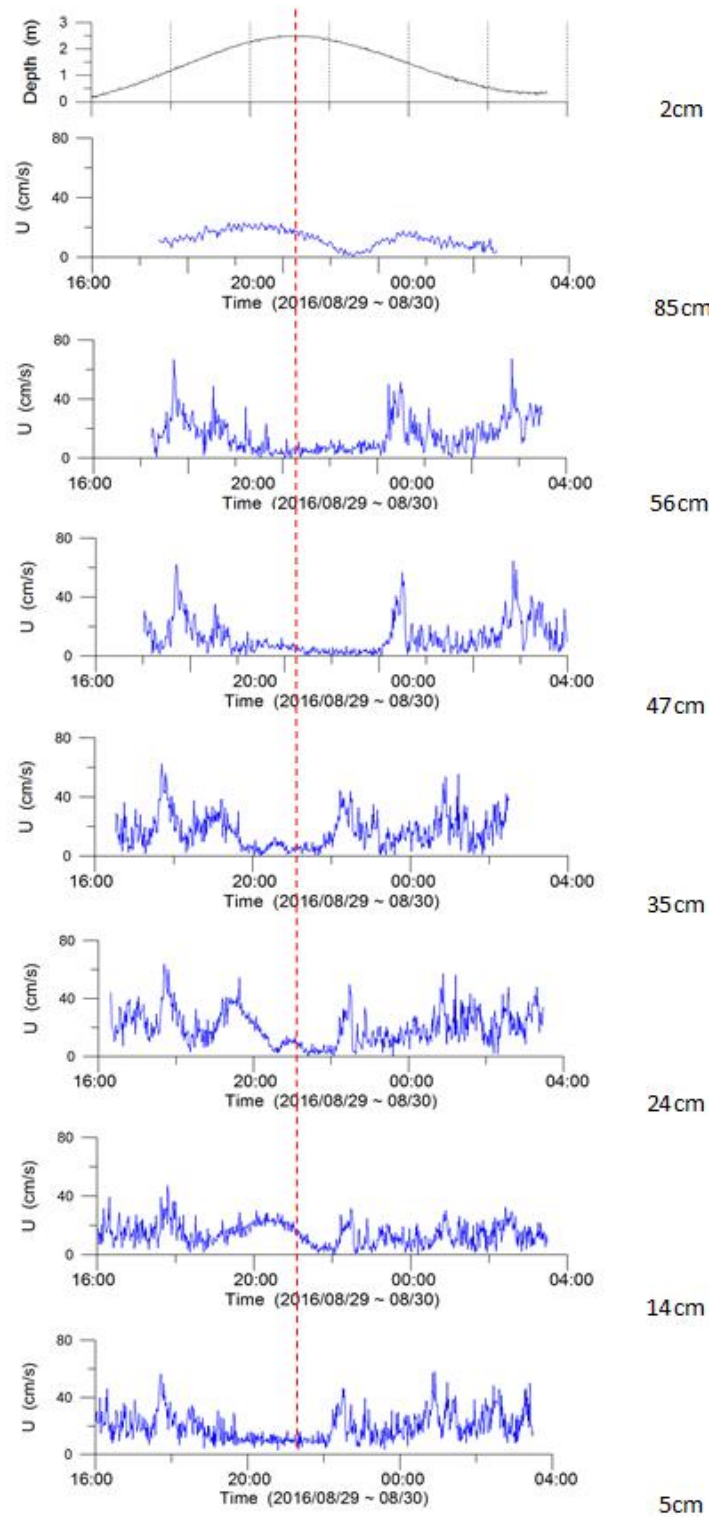


圖 3.60 測點 F 第 1 次潮之水位與各水層流速變化

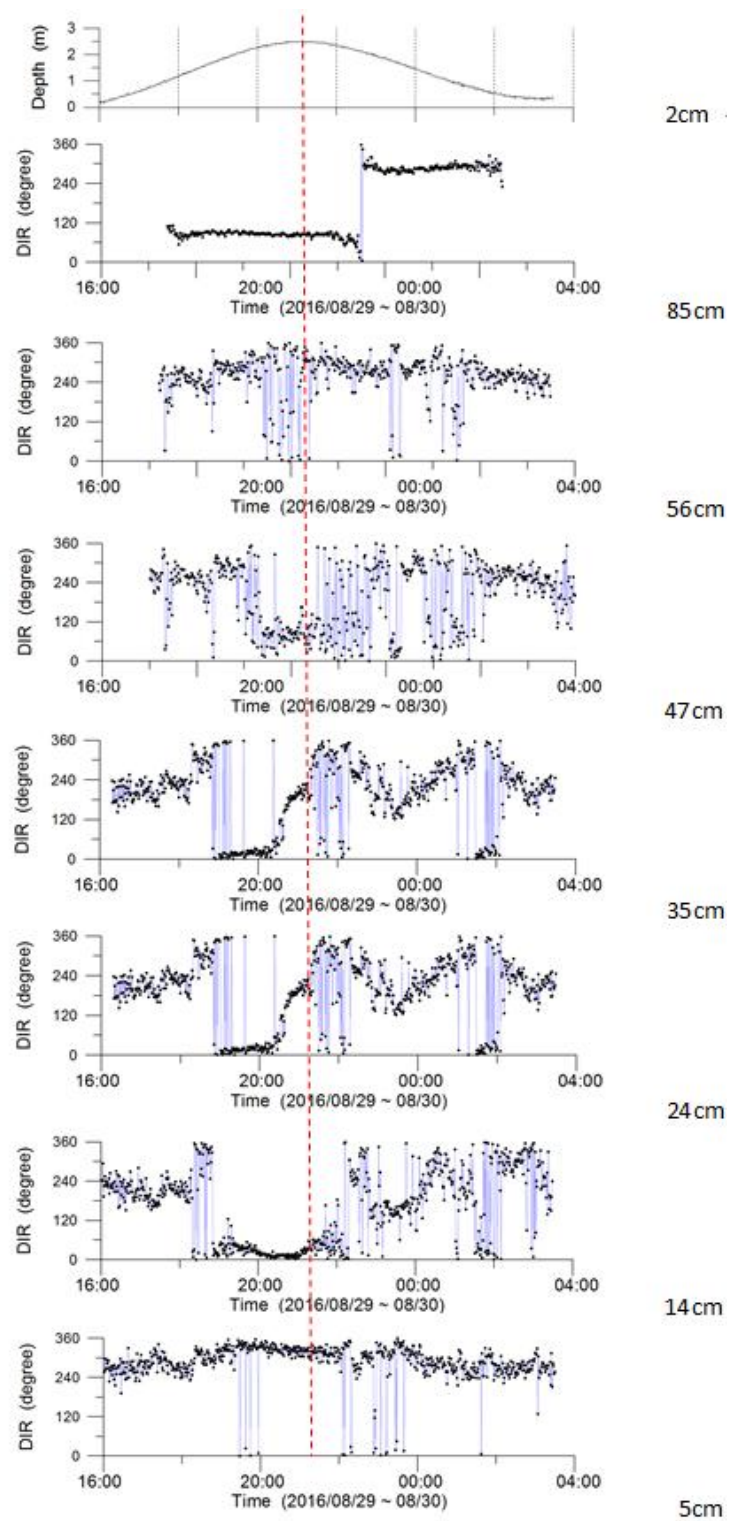


圖 3.61 測點 F 第 1 次潮之水位與各水層流向變化

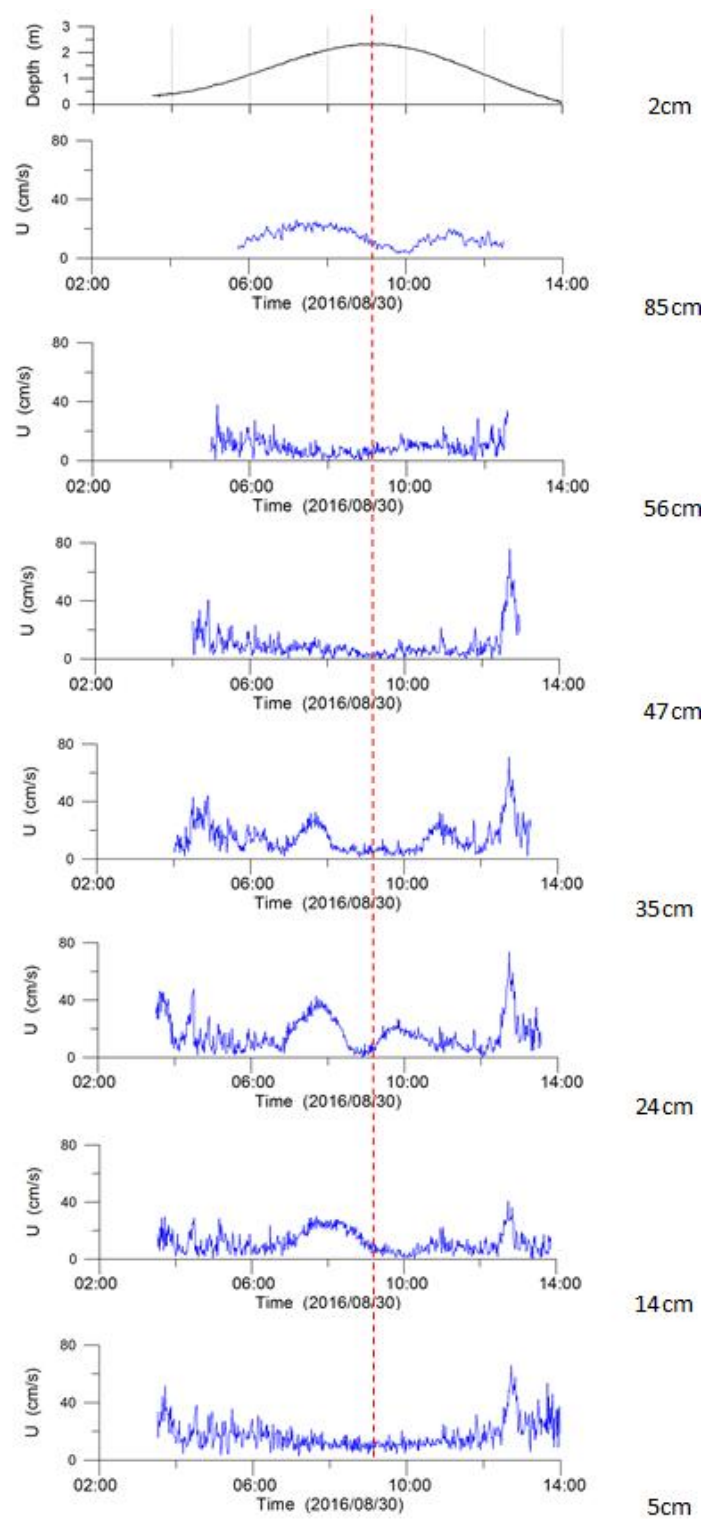


圖 3.62 測點 F 第 2 次潮之水位與各水層流速變化

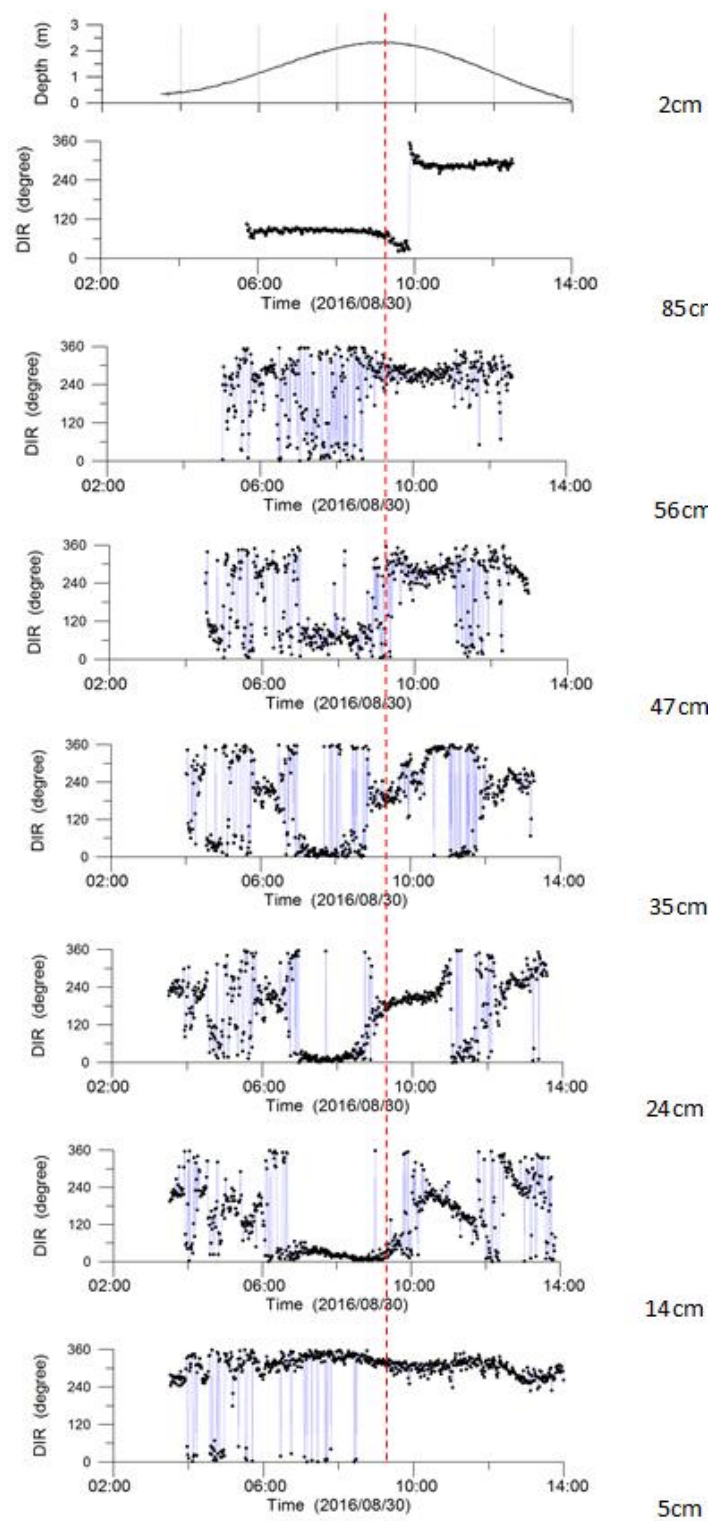


圖 3.63 測點 F 第 2 次潮之水位與各水層流向變化

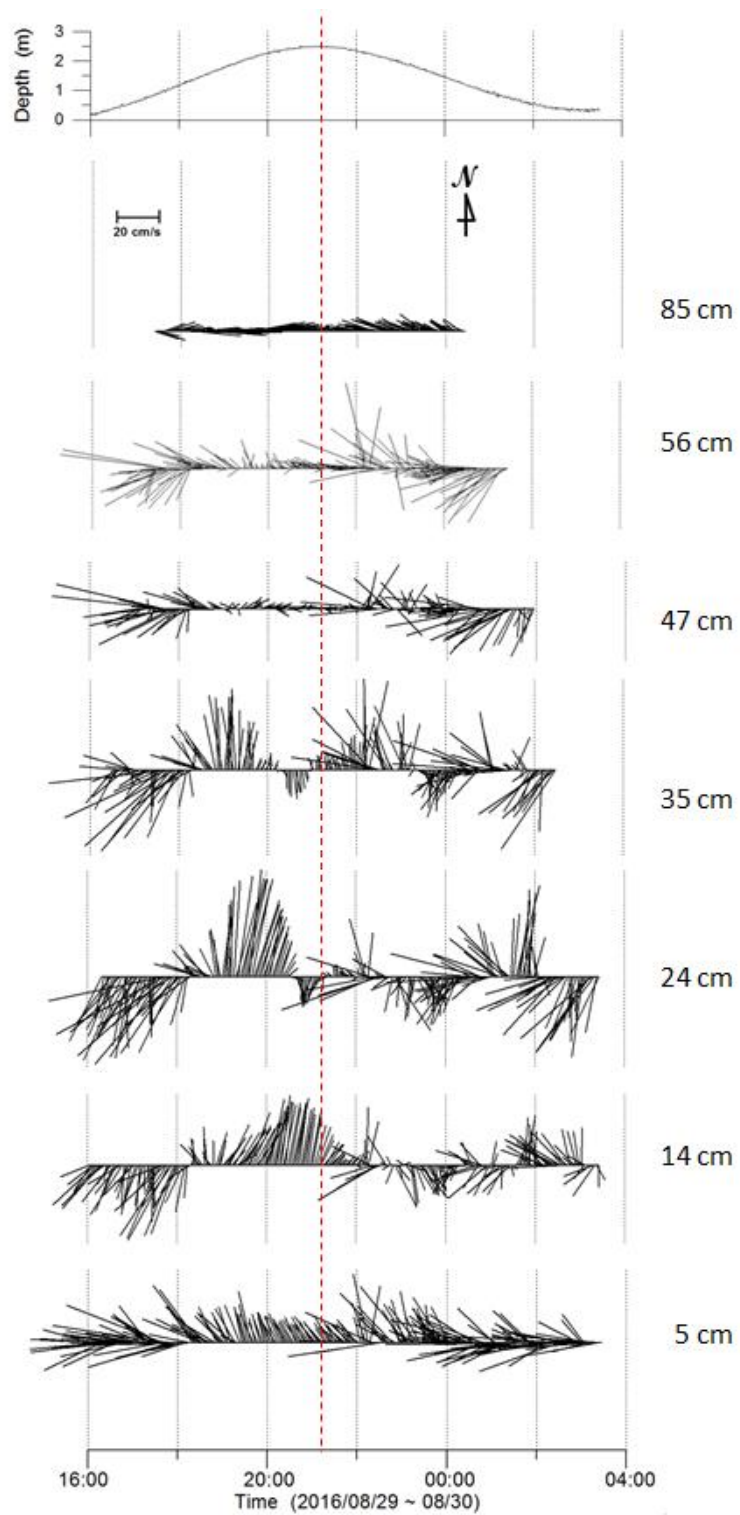


圖 3.64 測點 F 第 1 次潮之水位與各水層流羽狀圖

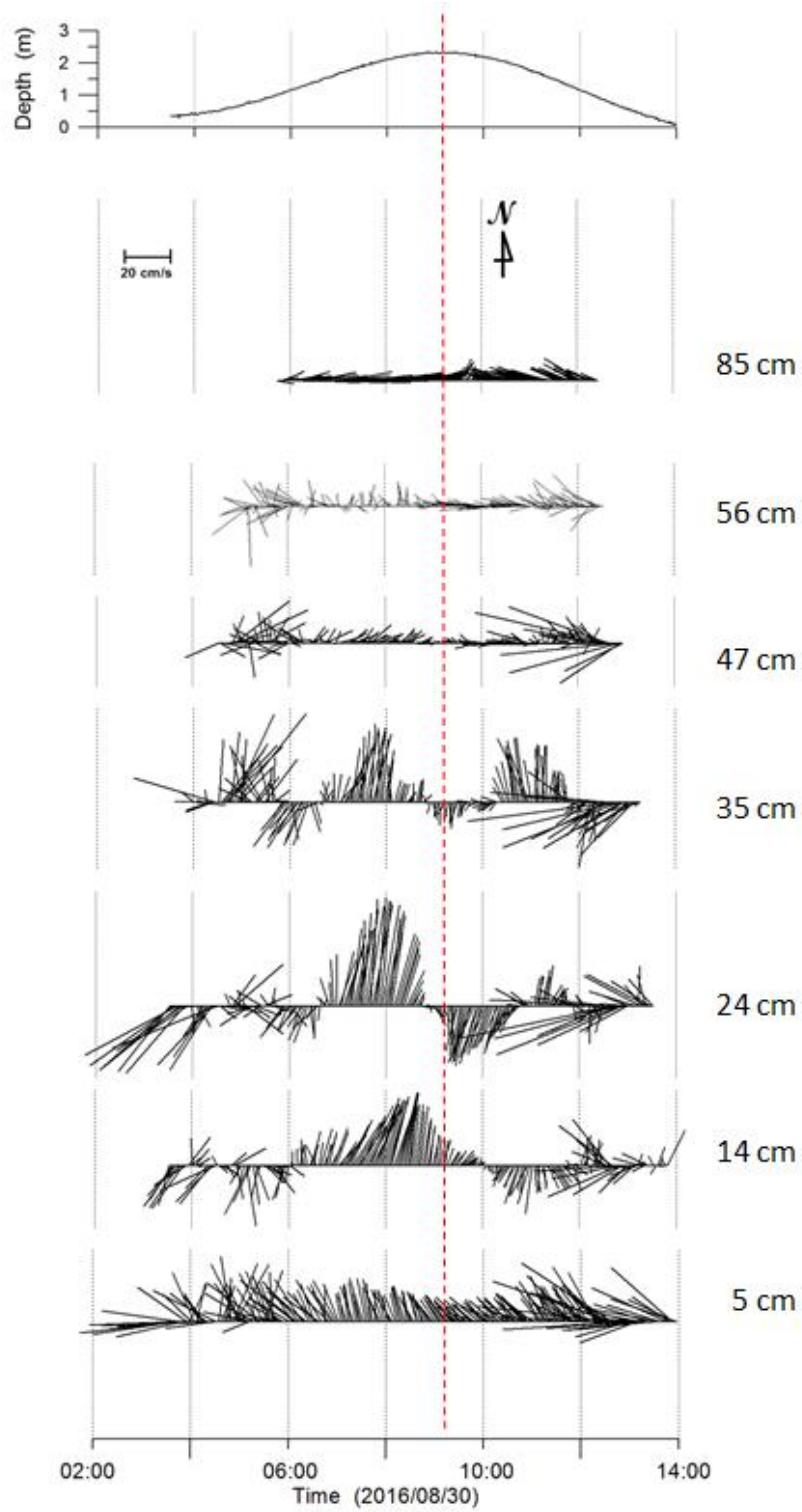


圖 3.65 測點 F 第 2 次潮之水位與各水層流羽狀圖

3.6 觀測結果與說明

控制淡水河河口輸沙的主要因素為潮汐、波浪、河川流量、河口地形及懸浮質及底床質特性等，挖子尾沙嘴灘線逐年變動並有持續溯河延伸及外擴的趨勢，砂嘴內凹的淺灘潟湖則趨淤淺。臺北港靠近北防坡堤處之淺水淤砂區逐年向岸侵蝕，灘線則向海淤積，根據本研究在淡水河下游至河口橫向及縱向底質取樣分析以及多點測流結果，淡水河靠河口處之粒徑則以中砂為主，河口內左側顆粒較細，右側顆粒較粗，反映主深槽凹岸顆粒較凸岸粒徑為粗。淡水河沙丘存在於底床為中砂粒徑範圍，水流速度則介於 0.5 - 1.0 m/s，而淡水河口屬低水流況。臺北港北防波堤北側與淡水河河口南岸延伸沙洲間之淺水袋狀區內會在退潮時於袋狀區內產生逆時針方向迴流，沿著北防波堤將碎波捲起之懸浮沙帶往外海，漲潮則會形成順時針迴流，將漂沙帶往河口，並隨著漲潮流將河口沙源往上游方向推送，淡水挖子尾沙嘴地形演變及河口之河槽斷面有逐漸淤積的演變趨勢。

近二十年(1996 - 2013)淡水河口段之河床變動呈逐年淤積的趨勢，河口底床則淤積約 1m。依據本研究在關渡測站之水位、流速及懸浮質濃度之長期監測結果，非暴雨期間時的懸浮固體濃度小於 0.5 g/L，歷次颱風關渡測站的最大懸浮濃度值約 1.7 - 4.2 g/L，並常出現於颱風後 1-2 日。颱風期間石門水庫排砂可能導致河口段的細料淤積。本研究以超聲波剖面流速儀進行船行沿線之垂直斷面流速及底床形態量測並探討水流、水下沙丘、粒徑三者之關係。淡水渡船頭到第二漁港的水下沙丘以中砂為主，河口內、外砂丘長度約 20 - 120 m，水深約 5.3 - 7.7 m，沙丘高度約 0.5 - 1.5m，漲潮流的水深平均流速約 0.7 - 0.91 m/s，河口內流速大於河口外，底部且有迴流。淡水河口段的二次流混合效應並不明顯，河口內的沙丘因水深較淺且顆粒較粗，故仍會增加約 10% 的形狀阻力。在風浪、潮汐與河川逕流相互作用下，河口地區有普遍的層化二層流現象。

臺北港北堤淤砂區被北堤結構物、海岸沙灘及 A 形沙洲等三面包圍，形成一 U 形袋狀地形，外海入射波浪很可能在此種水域內形成強

烈振盪現象。圖 3.66 為低潮時臺北港北堤淤砂區之衛星影像，A 形沙洲沿著河道向海延伸，沙洲上有數道平行海岸的溝渠結構。退潮時，浮出水面的沙洲阻隔淡水河主河道與北堤淤砂區；漲潮時，上昇的水位使河道與淤砂區水體可以透過平行溝渠交流，最後完全越過沙洲。例如位於袋形淤沙區底端測點 A 與測點 E 的水位與流場振盪，其週期約 15 分鐘至 1 個小時，而且振盪現象僅發生在底床上約 50cm 範圍內之淺層水域，此可能為北堤淤沙區被堤防、海岸及潛沒沙洲圍成一 U 形水域，外海入射波浪或長波能量在此淺水海域內發生港池共振，或可稱之為淺盆效應(shallow-basin effect)，當水面高度超越潛沒沙洲時因能量洩溢則振盪現象減弱或消失。

檢視不同測點之流速、流向資料，除了位於 A 形沙洲頂端的 B 測點外，其他各測點在底床上 70cm 內大都有分層流現象。亦即，上、中、下層不但流速不盡相同，流向也有相當差異，主要原因為當地位於河口，有淡、海水交會，有河口潛沒沙洲阻隔，又有潮汐與波浪作用，加上袋狀地形產生的振盪現象，其流場並非一般簡易模式可以完整模擬。北堤淤砂區內主要輸砂來自近岸碎波帶之沿岸漂沙，但在探討其漂沙現象時，應該注意實際帶動底床懸浮砂的底層流，而非一般平均流。



圖 3.66 低潮時臺北港北堤淤砂區之海岸沙洲(Google map)

第四章 淡水河口斷面變化及輸砂特性

河口因位處河川下游，經由河流之水力篩選，則底床顆粒應較上游為細，然淡水河口處歷年來之底床顆粒採樣分析卻較上游顆粒為粗，其原因主要為潮汐與波浪營力顯著影響河口原有之沉積淘選型態。Dyer(1994)指出：一般河系年輸砂量的 90% 會以懸浮載型態在全年 5% 之較高流量中自河口流出。而全年約有 80% 的時間，水流中幾乎無懸浮輸砂量存在。如黃河整年輸砂量為 10^9 噸，其中約有 30% 之輸砂量是在為期 2~3 天的洪水中流入渤海灣。由前述可知淡水河系輸砂主要以懸浮載為主，然因淡水河之支流多、砂源區錯綜複雜，故運移至河口之沉積物很難判斷其來源，加上波浪潮汐營力導致河口沉積物具有往復運動特性。惟有針對淡水河口底床質進行系統性分析，才能判定其輸砂來源及分析下游河床之變化趨勢。

4.1 淡水河下游段河道斷面變化

4.1.1 下游段河床之縱斷面

由水利署第十河川局提供之淡水河口下游（河口(T00)－關渡(T10A)）各斷面（位置如圖 4.1 所示）的底床高程量測資料(表 4-1)，整理 1995 年至 2013 年間各斷面最低點與河口距離的關係，如圖 4.2 所示。從 1995 年至 2013 年各觀測點的河床呈現逐年淤積的趨勢，其中以關渡站之淤積最嚴重，淤積近 7m (由 -17 m 到 -10 m)；河口處約淤積 2m。在距河口 5km 到關渡處，河床為逆坡；距河口 5km 內則為正坡。而點位 T03(距離河口 1.3 km)處，從 1995 年後即開始有明顯堆積，至 2005 年後才開始出現侵蝕現象，於 2007 年後至 2013 年地形快速堆積，上升約 0.73 m，達到最高峰。除 T03 在 2013 年出現最高淤積外，點位 T06、T09、T10、T10A 亦在近年出現明顯淤積。



圖 4.1 淡水河口下游斷面測站位置

圖 4.3 為河床平均高程，整體而言亦呈現逐年淤積的現象；其中關渡站之淤積最嚴重，淤積近 2.5m (由 -8 m 到 -5.5 m)；河口處約淤積 1m (由 -5.5 m 到 -4.5 m)。整個下游段之底床平均淤高約 0.88 m (由 -5.27m 到 -4.39 m)。T00 之 2013 年平均高程較 2005 年及 2009 年低，堆積現象減緩出現微幅的侵蝕，平均高程降低約 0.07 m。測站 T04 (距離河口 2 km) 的最低點雖呈下刷，但平均河床卻呈現淤積，可知下游河床仍在動態演變中。比較圖 4.3 之水下平均高程趨勢與圖 4.2 大致相同，可初步認定淡水河下游至河口處呈現逐年淤積之狀態。而從平均河床的剖面可知，淡水河口屬河口灣(estuary) 的特性更明顯，從距河口 0.6 km 以上皆為水平或逆坡。因河床之逐年淤高，通水面積減少，在面臨颱風或暴潮時，發生淡水河兩岸溢淹的情形，應予及早因應。

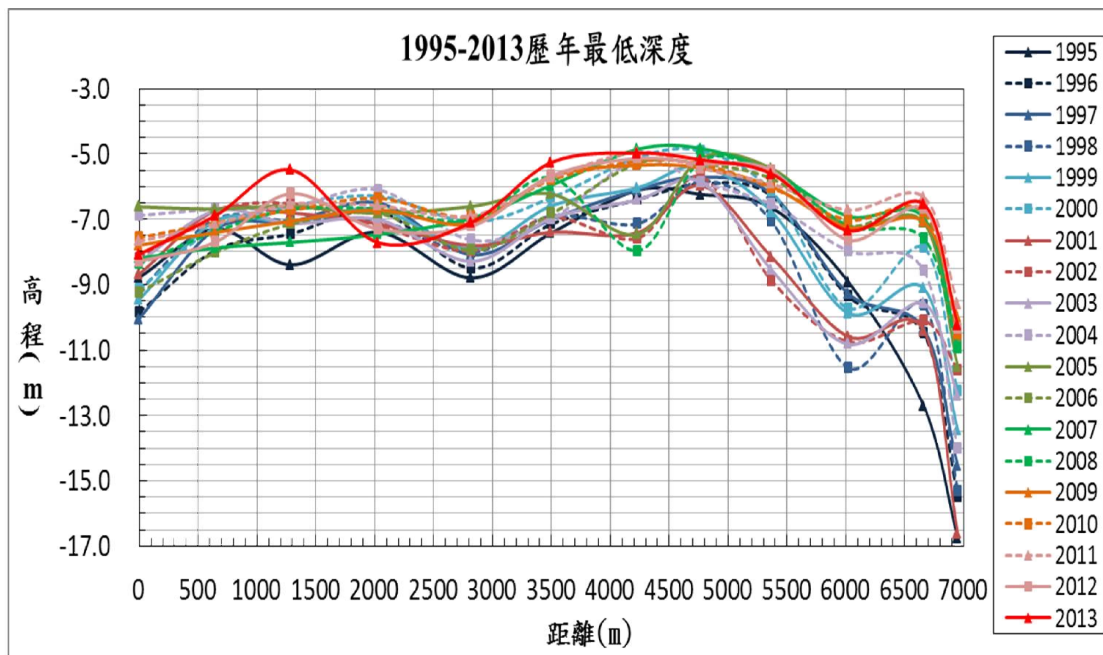


圖 4.2 斷面 T00-T10A 歷年最低點深度(與河口距離)

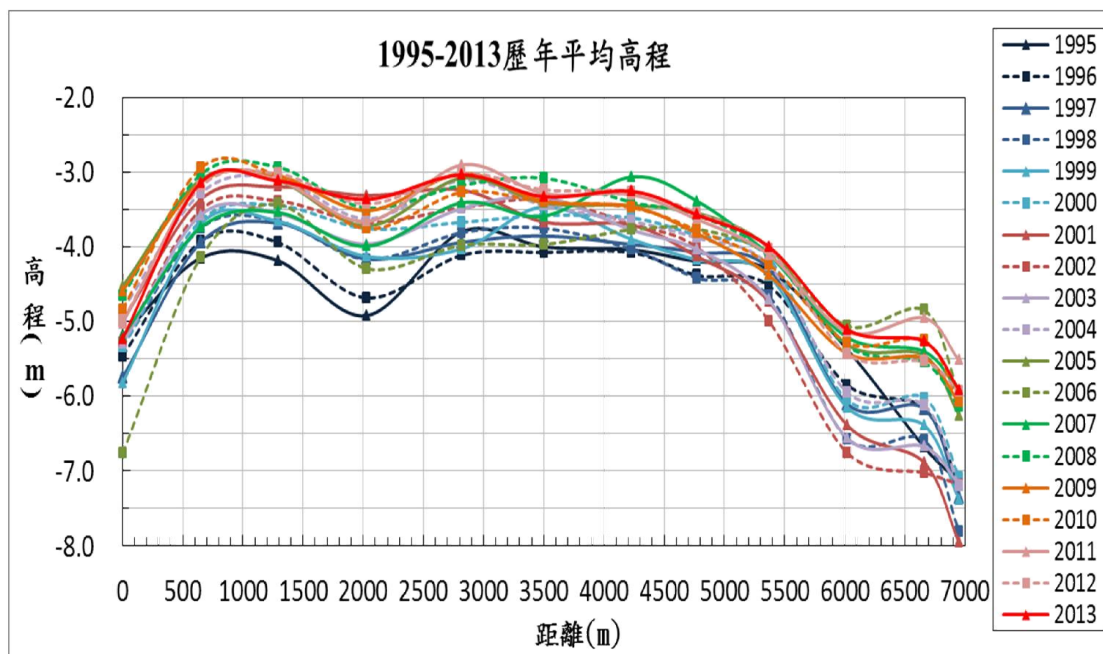


圖 4.3 斷面 T00-T10A 歷年平均高程

4.1.2 河口處之橫斷面

挖子尾位於觀測點 T00 及 T01 的左岸，因此將此兩區 2004 年至 2014 年之河床觀測進行分析。河口因屬彎道(圖 1.4)，呈現外岸(右岸)沖深，內岸(左岸)淤淺的現象。圖 4.4 中可看出 T00 斷面之變動幅度相當大，河心(最深點)由偏向右岸轉而趨向河中央(2004-2014)，河道在 2006 年則有最大通水面積。河床靠左岸(200-700 m)的整體高程變動從 1995 年至 2006 年出現侵蝕現象，再從 2006 年至 2013 年由侵轉淤，在近年淤積最為嚴重，尤其靠近岸處(300-500 m)於 2013 年出現淤積。河心至右岸(700-1200 m)的整體高程變動，呈現逐年淤積趨勢。近河心處(700-1000 m)呈現侵蝕之現象，直至 2006 年達到最低點，此後便呈現淤積之趨勢。

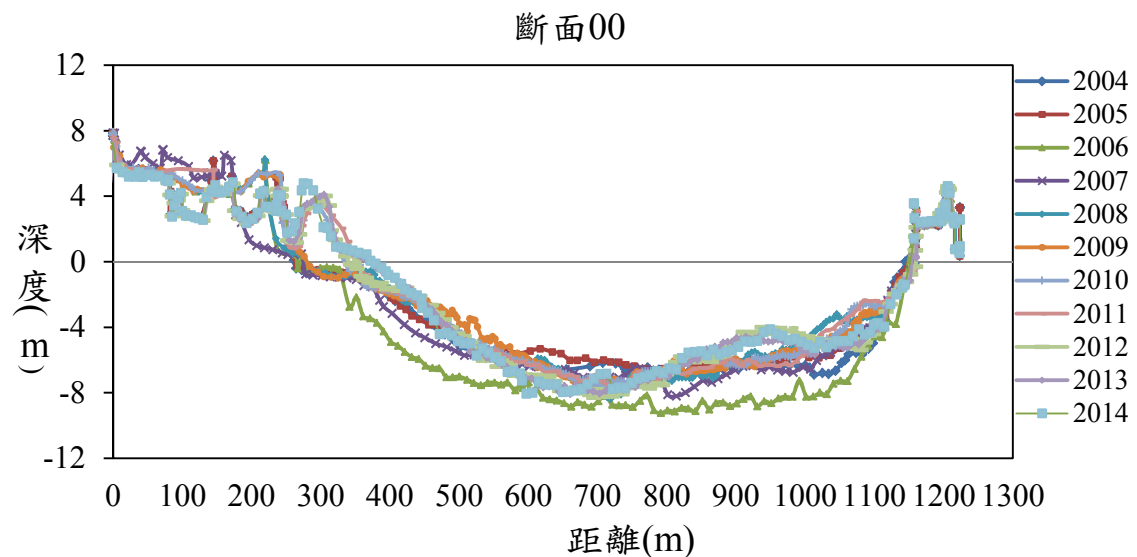


圖 4.4 斷面 T00 之逐年比較 2004-2014 年

將水利署第十河川局提供之淡水河口下游（河口(T00)－關渡(T10A)）各斷面（位置如圖 4.1 所示）的 2014 年底床高程分析等深線如圖 4.5 所示。可知淡水河河口之水深由河口往上游遞減，約在竹圍紅樹林處最淺，再往上游至關渡橋則因地形束縮效應，水深變大。

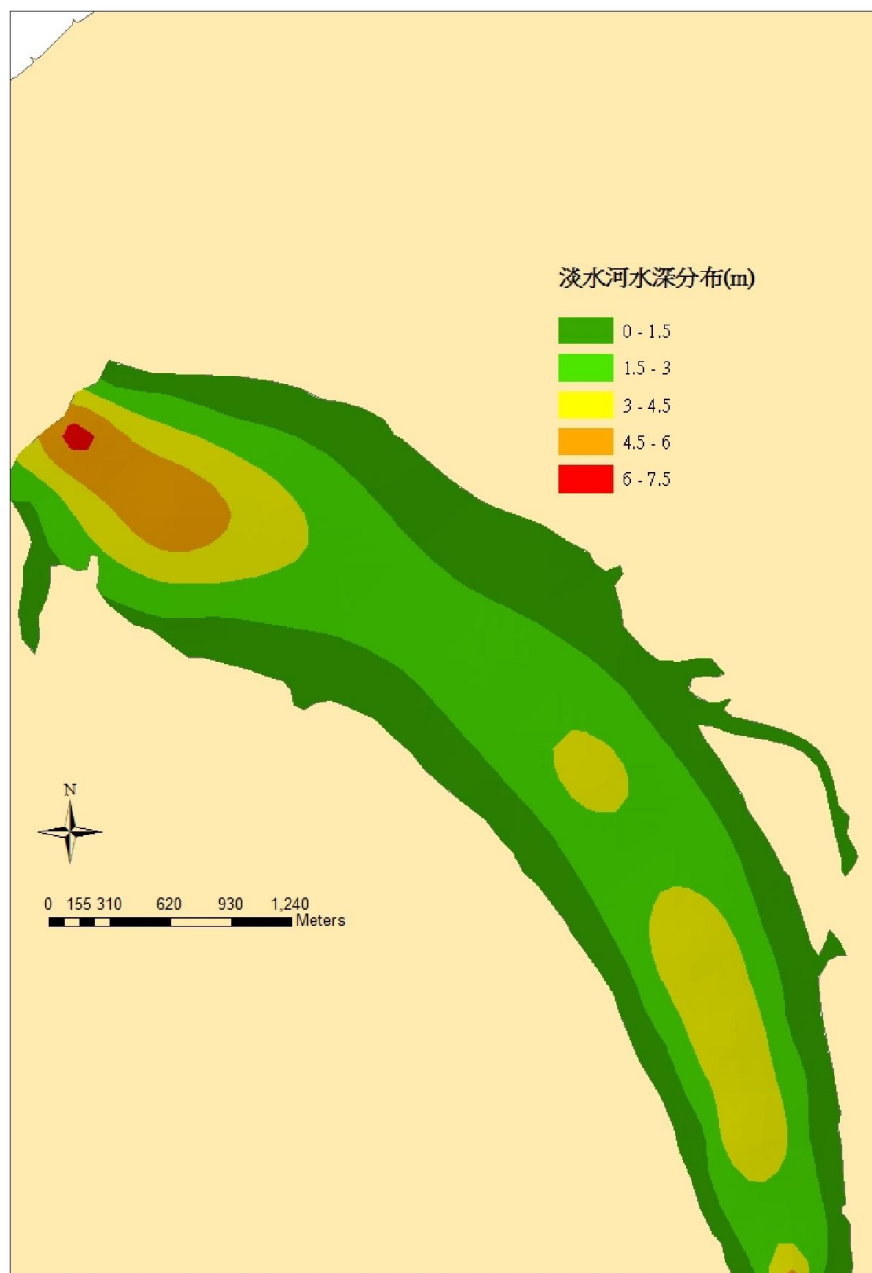


圖 4.5 2014 年實測淡水河下游至河口等水深線

因應淡水河口淤積對排洪的影響，臺北港營運處依相關研究(2006)建議河口疏濬作業實施之條件為：(1)河口斷面 T00(即挖子尾砂嘴處)之通水面積受淤積減少達 7%以上，或(2)水利機關依 200 年回歸期洪峰值之回水演算，河口以上水位超過淡水河 200 年回歸期的警戒值時。T00 斷面之通水面積整理如圖 4.6 所示，其值介於 4000m^2 – 5875m^2 ，其中 2006 年之極端值(5875m^2)高於年平均值為 4423m^2 (圖中實線)甚多。因淤積達到需實施疏濬作業的通水面積(即通水面積小於年平均值的 93%)為 4114m^2 (圖中虛線)。由圖 4.6 可知 2005 年及 2008–2014 年之量測值皆小於此臨界通水面積，如 2014 年的通水面積為 4031m^2 ，即已達需疏濬作業的條件。

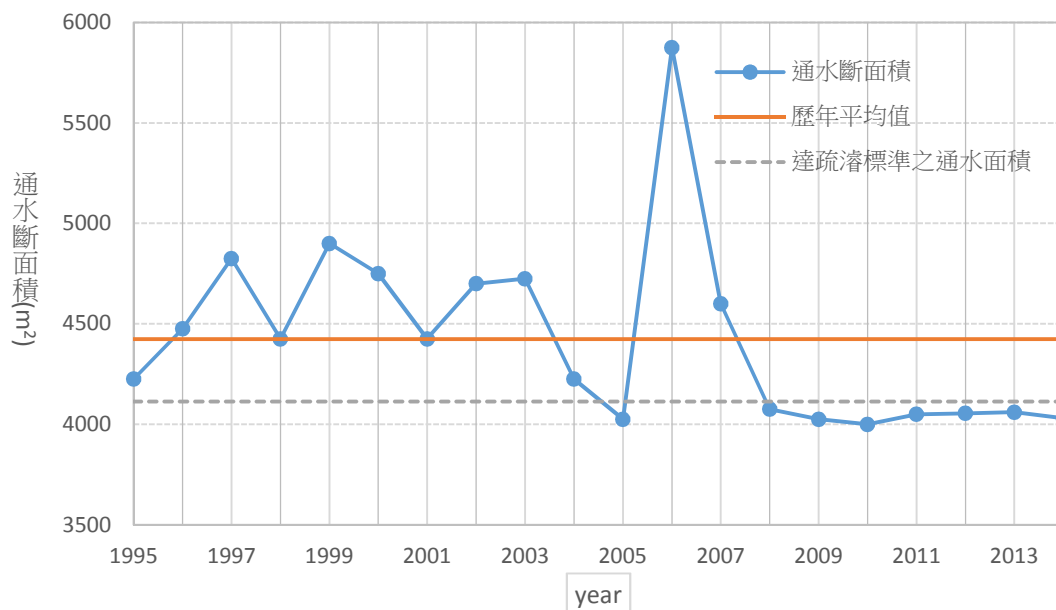


圖 4.6 1995-2014 淡水河口斷面 T00 之通水面積逐年變化

4.2 淡水河下游段河道輸砂特性

本節根據關渡橋測站 2013/06-2014/10 之流速(u)、水位(WS)及濃度(C)觀測資料探討淡水河口懸浮質的輸砂特性。由圖 4.7 可知在非洪水(枯水)期時，淡水河口懸浮質濃度在最大漲潮流時有最大濃度值出現，最高潮水位時之濃度則為最小，最大退潮流時之濃度會出現局部峰值，且最低潮時的濃度則普遍高於最高潮流時的濃度值。故關渡橋下游之懸浮泥砂來源主要為底床淤泥受漲潮流捲增所致。亦此驅動力即河口重力循環之下層鹽楔水流及關渡橋河床下游淺緩，上游深陡的地形所致。

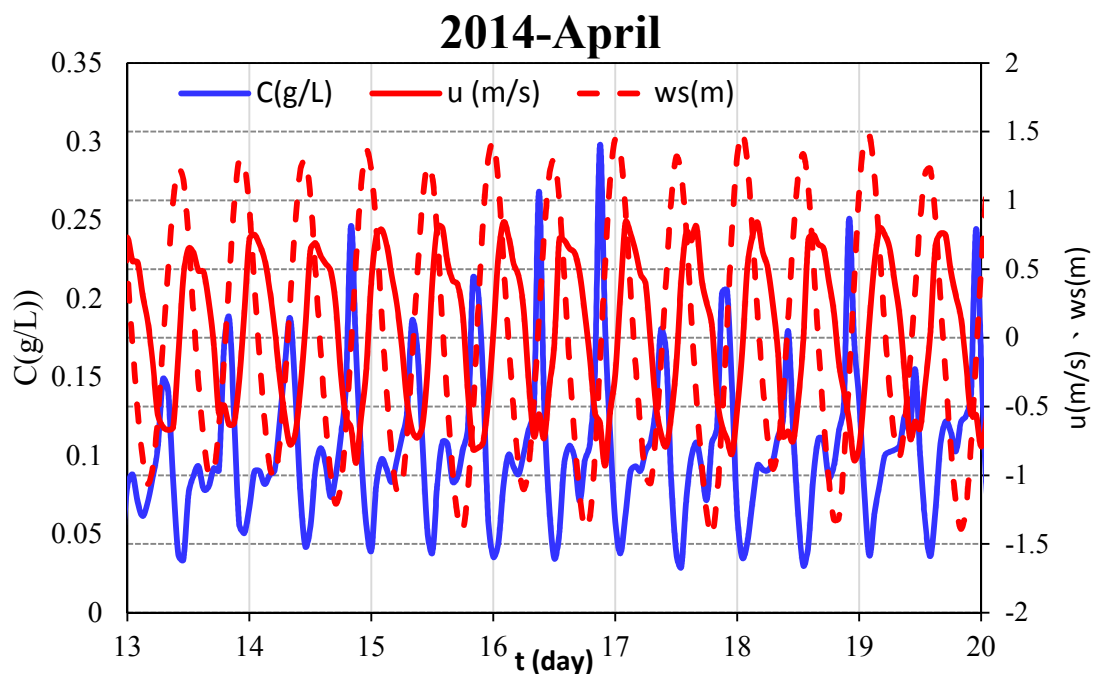


圖 4.7 非洪水期間關渡橋測站懸浮值與水流之歷程變化 (2014/04)

反之，由圖 4.8 及圖 4.9 可知在豐水期間(7-10 月)，淡水河下游之泥砂濃度最大值可達 4.5 g/L，濃度高低與潮流速度值無關。反之，在枯水期間(11-6 月)之濃度則小於 1 g/L，且最大濃度出現於最大漲潮流(圖 4.7)。由此可知洪水期間，泥砂來自河川上游，並沉積於河口。非洪水期間則由漲潮流捲增底床顆粒向上游輸送。

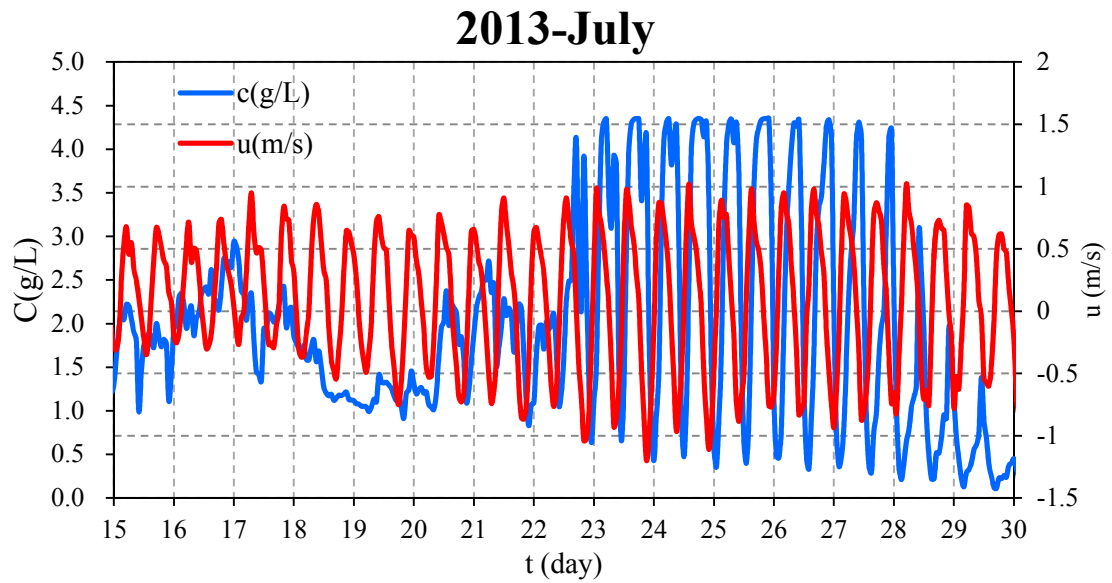


圖 4.8 洪水期間關渡橋測站懸浮值與水流之歷程變化(2013/07)

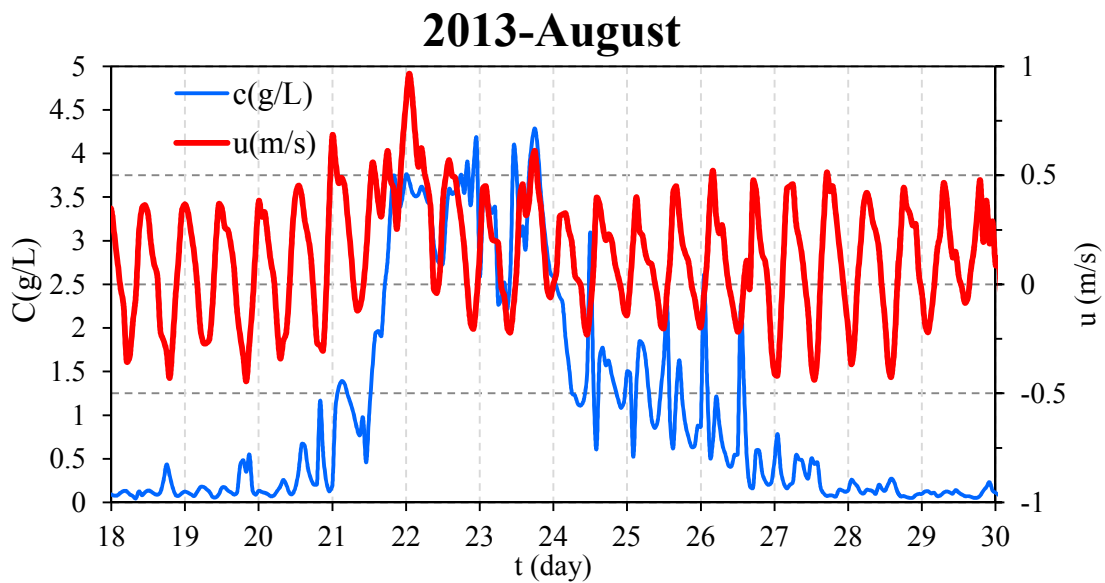
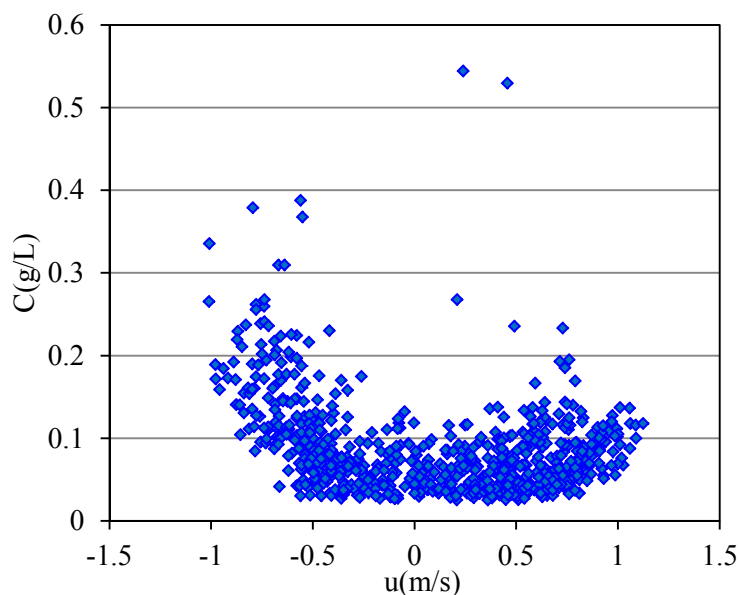


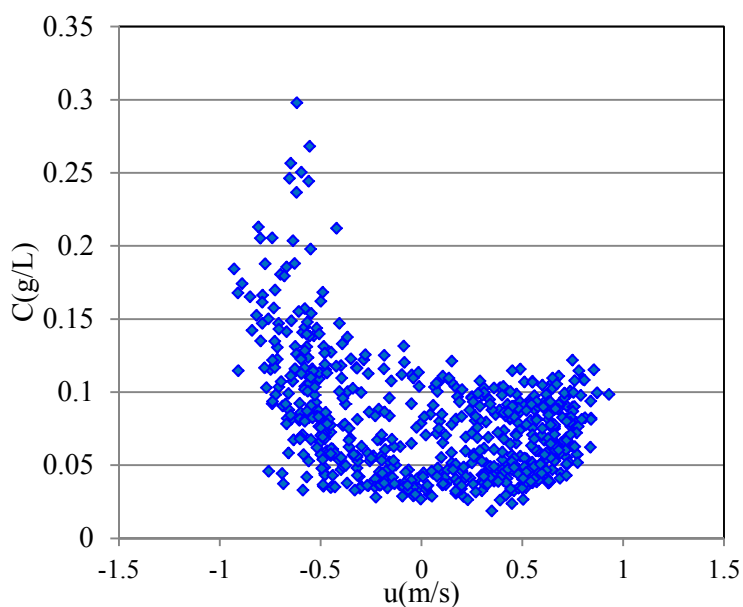
圖 4.9 洪水期間關渡橋測站懸浮值與水流之歷程變化(2013/08)

整理非洪水期間及洪水期間關渡橋測站懸浮質與水流速度之關係如圖 4.10 及圖 4.11 所示，圖 4.10~4.11 中水流速度正值為退潮流，負值為漲潮流。圖 4.10 顯示非洪水的漲潮流期間濃度較高，且速度與濃

度有正相關；退潮流速度則與濃度無明顯關係。洪水或豐水期間，關渡橋測站懸浮值約可達 3-4.5 g/L，明顯高於非洪水期間；但濃度高低與水流速度並無明顯關係如圖 4.11 所示，因泥砂主要來自河川上游，豐水期間之高濃度仍出現於退潮流期間（圖 4.11）。

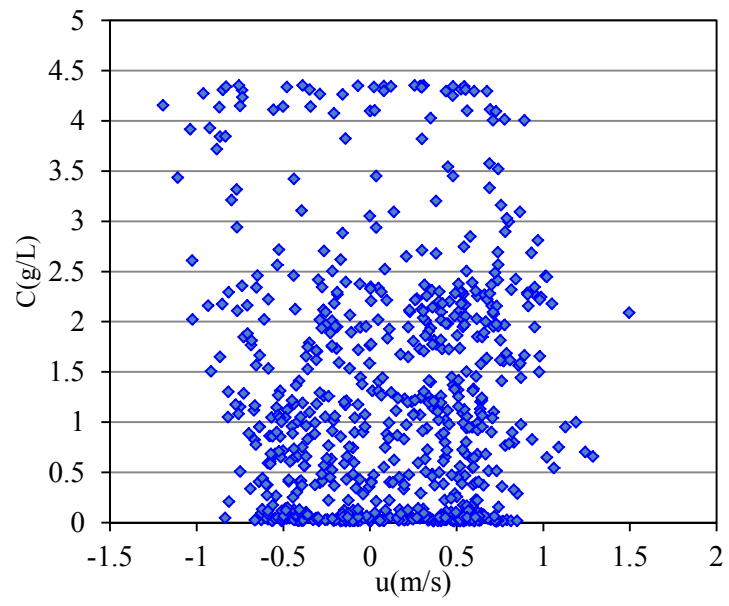


(a) 2013 年 11 月

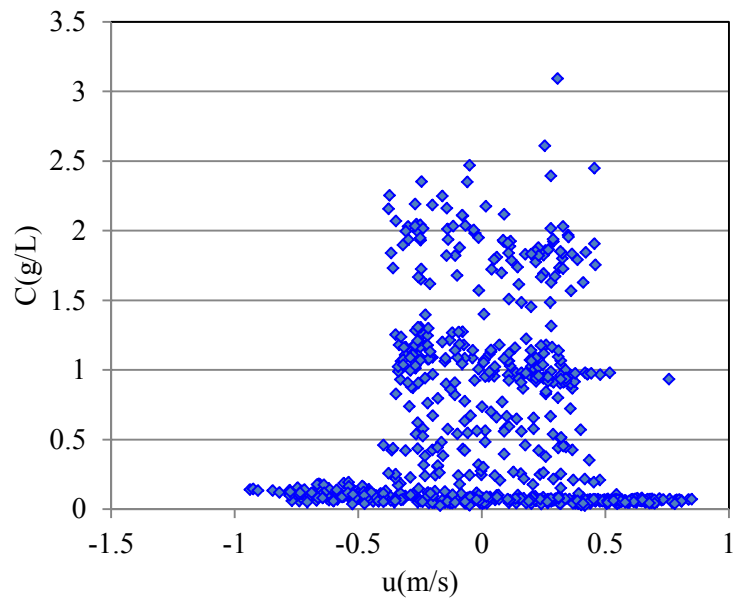


(b) 2014 年 4 月

圖 4.10 非洪水期間關渡橋測站懸浮質濃度與水流速度之關係



(a) 2013 年 7 月



(b) 2014 年 9 月

圖 4.11 洪水期間關渡橋測站懸浮質濃度與水流之關係

河口懸浮值的瞬時輸砂量 Q_{sw} 為濃度 $C(t)$ 與流速 $u(t)$ 相乘之斷面積分值，即

$$Q_{sw}(t) = \int C(t)u(t)dA = XC_1U_1A \quad (4.1)$$

上式中 C_1 及 U_1 為斷面代表濃度及代表速度， X 為積分常數， A 為斷面積。因無關渡站之流速及濃度剖面，本研究先進行定性研究，即由測點之濃度與流速相乘得單位面積之輸砂量，再乘以關渡橋之通水面積(5000 m^2)來估算整個斷面的輸砂量。洪水期間及非洪水期間關渡橋測站的瞬時輸砂量如圖 4.12 及圖 4.13 所示。2013 年 7 月的懸浮質輸砂量顯示向海輸砂量主要發生於 7 月 13-19 間，而 7 月 23-28 期間雖有當月最大濃度，並造成水體嚴重汙染，但此階段之泥砂隨潮汐在淡水河往復移動，累積量呈輕微向海輸送。反之，2014 年 4 月非洪水期的懸浮質輸砂量如圖 4.13 所示。懸浮值在漲平潮時有最大濃度值出現，在此也產生最大輸砂量，潮汐週期累積之輸砂量則向上游傳輸，亦即河口底床淤泥受漲潮流捲增往上游輸送。

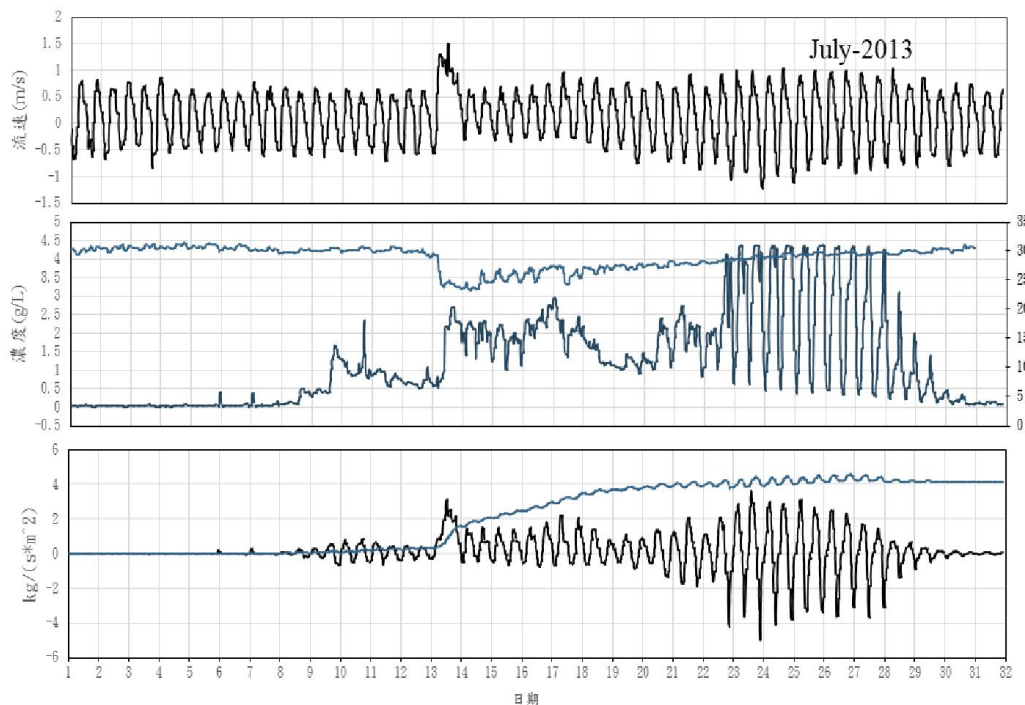


圖 4.12 洪水期間關渡站潮流及輸砂特性(2013/07)

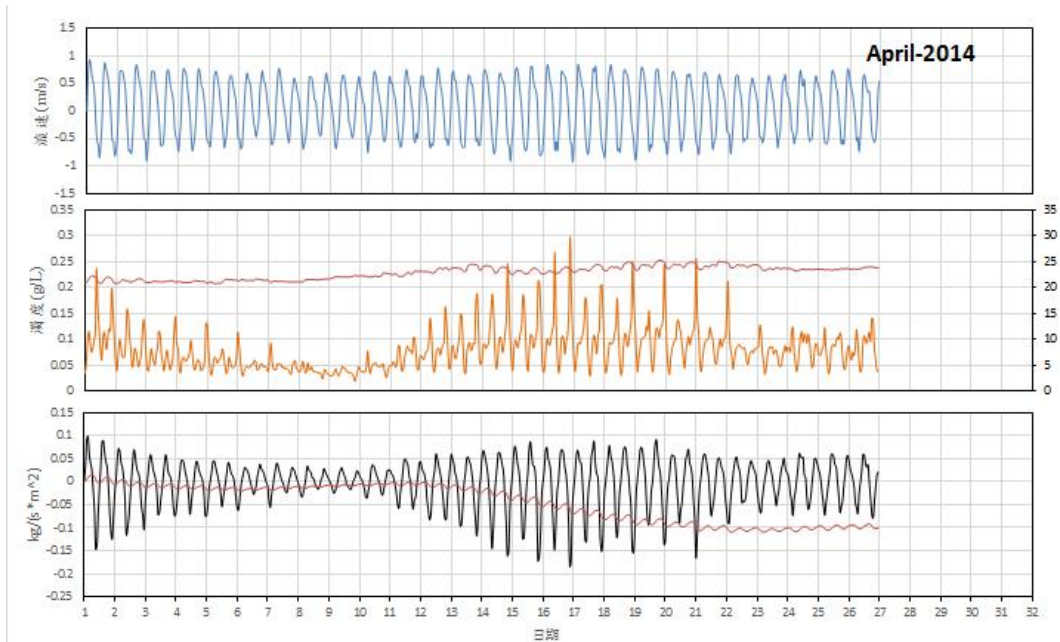


圖 4.13 非洪水期間關渡站潮流及輸砂特性(2014/04)

圖 4.14 為 2013-2014 關渡站瞬時及月累積之輸砂量之特性。圖上虛線代表當月出現之最大單位面積瞬時輸砂量(正值為向海，負值向上游)，實線則分別代表當月單位面積正負輸砂量的累積值。兩值之和乘以關渡通水斷面積 (5000 m^2)可估算當月之淨入海輸砂量 (以條狀圖表示)。由圖 4.14 可知最大的瞬時輸砂量及累積輸砂量皆發生於洪水期間，其中 2013 年 7-8 月的向海懸浮質輸送量約 1.80 及 1.3 Mt (與蘇力颱風期間及之後石門水庫排砂量共計 316.54 萬噸相近)。枯水期間 (11 月-隔年 4 月)則有累積輸砂量則向上游輸送的情形，惟其輸砂量在關渡橋時遠小於洪水期之月累積量。

各月份比較

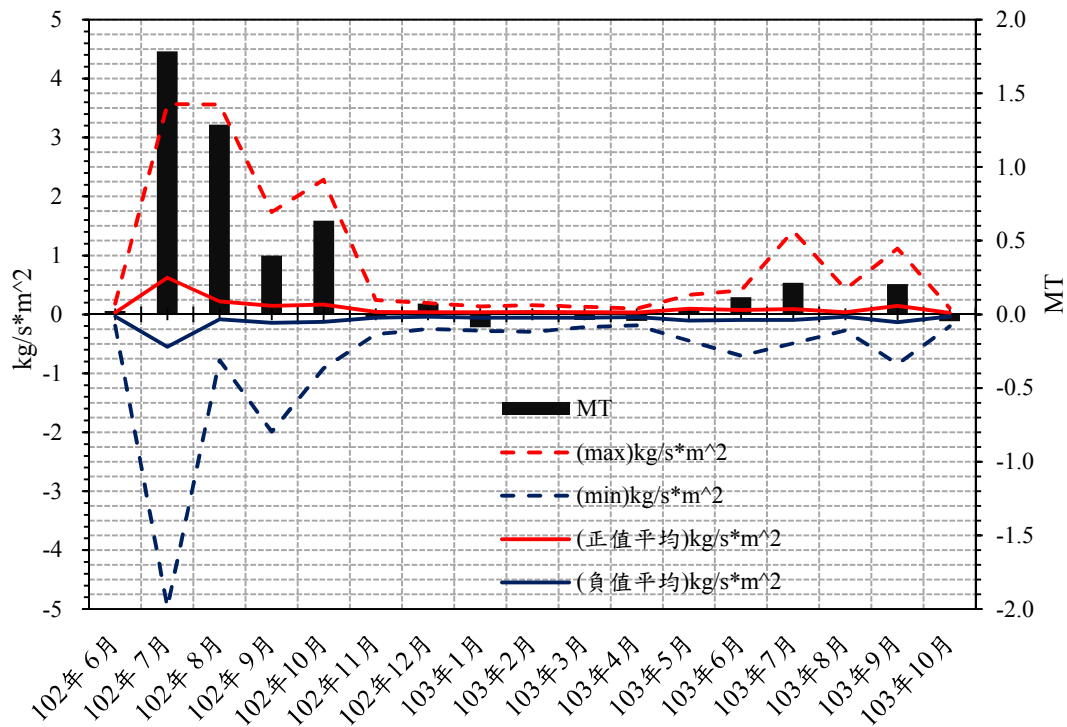


圖 4.14 關渡站瞬時及月累積之輸砂量之特性(2013-2014)

4.3 淡水河下游段河道輸砂濃度與潮流關係探討

由圖 4.14 可知淡水河口洪水期(5-10 月)的輸砂量向海輸送且遠大於枯水期間(11 月-隔年 4 月)向上游輸送的輸砂量。洪水期間關渡橋測站懸浮質濃度高低與水流強弱之關係不明顯(圖 4.11)，反之在枯水期懸浮質濃度高低與潮流大小則有明顯正相關，且在相同流速下漲潮流之濃度大於退潮流之濃度(圖 4.10)。關渡橋之流速測站為水表面流速，濃度則為底床以上 1.5 m 之測點，兩者高程不同。懸浮質濃度高低與水流強弱會產生不對稱之關係，其原因應與漲退潮流垂直剖面因重力環流造成之差異。將 102 年 11 月-103 年 4 月的懸浮質濃度與潮流關係彙整如表 4-1 及圖 4.15 所示，濃度(g/L)與潮流(m/s,以向海為正)之迴歸關係可用下式表示：

$$C = 0.0849u^2 - 0.0342u + 0.065 \quad (4.2)$$

表 4-1 關渡橋測站懸浮值濃度與與潮流流速關係式

Month	Regression: $y=C(g/L), x=u (m/s)$
Nov, 2013	$y = 0.097x^2 - 0.0467x + 0.0608$
Dec, 2013	$y = 0.074x^2 - 0.0304x + 0.0655$
Jan, 2014	$y = 0.1136x^2 - 0.0539x + 0.0564$
Feb, 2014	$y = 0.0737x^2 - 0.0423x + 0.0763$
Mar, 2104	$y = 0.0683x^2 - 0.0399x + 0.0739$
Apr, 2014	$y = 0.0875x^2 - 0.0342x + 0.0592$

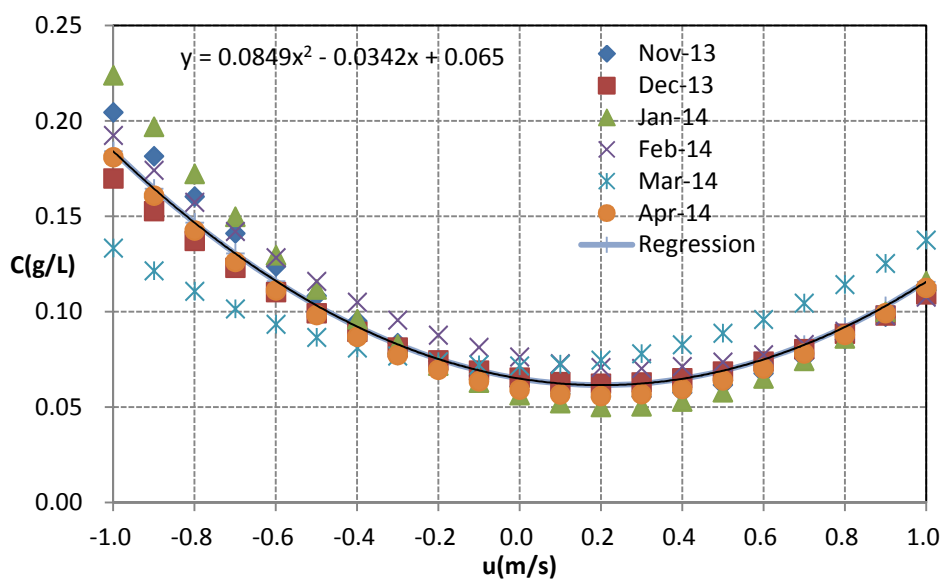


圖 4.15 關渡橋枯水期懸浮質濃度與潮流關係

第五章 結論與建議

5.1 結論

1. 根據本研究在關渡橋附近底床上裝設儀器平台於 2016 年 9 月 26 日被梅姬颱風洪流帶來泥沙淹埋約 1 米深，之後於同年 11 月 28 日發現儀器平台淹埋深度僅剩約 30cm，顯示淡水河底床侵淤為一動態平衡，端視河川懸浮砂沉降與流水對底床之侵蝕狀況而定，颱風洪流可能造成河床大量淤積，但平日低懸浮質濃度則會使底床逐漸侵蝕。
2. 臺北港興建後近 20 年間(1993-2011)，因河口南岸的北防波堤淤砂提供砂源，向岸風浪引起之沿岸漂沙使得挖子尾砂嘴灘線呈現逐年溯河延伸約 400m，並呈向河心外擴的趨勢；砂嘴內凹的淺灘及潟湖則趨於淺。臺北港北側海灘有淤積現象，淡水河槽在挖子尾斷面的-5m 等高線則有向河心內移，即通水斷面減少。依據水利署十河局河口斷面(T00)觀測，2005 年及 2008 - 2014 年的通水面積較年平均値小 7% 以上。
3. 枯水期間淡水河下游段的懸浮質濃度小於 0.5 g/L，且濃度峰值發生在最大漲潮流，故下游之懸浮泥砂來源主要為河口底床淤泥受漲潮流捲增所致，在最大潮位時則有最小懸浮質濃度。
4. 颱風期間濃度與潮流相位的關係並不明顯，主要由上游颱風洪泥砂歷程決定，歷次颱風的最大懸浮濃度值約 1.7- 4.2 g/L，並常出現於洪峰抵達後 1-2 日。
5. 因水庫攔阻粗顆粒泥砂，水庫下游洪流中之懸浮質以細顆粒為主，並在河口段淤積。重要洪水事件如 2013/07 蘇力颱風使下游平均河床質粒徑變細；反之，因 2014 年無重大洪水事件，2015/06 測得河口底床平均粒徑有粗化現象，與蘇力颱風前 2013/04 的型態相近。由底床斷面多點取樣顯示砂源多來自河

流上游。在平時潮流是河口底床質運動的驅動力，故河床粒徑分佈有由河口向上游變細的現象。

6. 淡水渡船頭與挖子尾河口間的深槽區底床粒徑最粗，為 0.32-0.4 mm 的中砂，河口到第二漁港的平均粒徑則介於 0.25-0.3 mm。河口外砂丘長度約 35-120 m，水深約 6.9 - 7.7 m，砂丘高度約 1.0-1.5m；河口內砂丘波長則介於 20-100 m，水深約 5.3-5.7 m，砂丘高度約 0.5-1.0 m。河口內漲潮流速大於河口外，水深平均流速約 0.7-0.91 m/s。
7. 淡水河水下砂丘依 van Rijn 分類為往下運移砂丘。由 2014 年 8 月 7 日及 10 月 20 日對水下砂丘的觀測結果可知，河口外砂丘(A 段)向下游運移約 82 m。河口內砂丘(B 段)則向下游運移約 165 公尺。砂丘之運移仍需多次量測才能確定其長期演變趨勢。
8. 根據水下砂丘的流速及水深資料，河口外(A 段)、內砂丘(B 段)的表面阻抗分別佔總剪應力的 33% 及 32%，即河口段水下砂丘的形狀阻力約佔總阻力之 67-68 %。故淡水河水下砂丘產生的額外水流阻力(形狀阻力)約為表面阻抗的二倍，應予考慮。
9. 臺北港北堤淤砂區被北堤結構物、海岸沙灘及 A 形沙洲等三面包圍，形成一 U 形袋狀地形，外海入射波浪很可能在此種水域內形成強烈振盪現象。例如位於袋形淤沙區底端測點 A 與測點 E 的水位與流場振盪，其週期由 15 分鐘至 1 個小時不等，而且振盪現象被局限在底床上約 50cm 範圍內，此為外海入射波浪或長波能量在此淺水海域內產生的港池共振，或可稱之為淺盆效應(shallow-basin effect)，當水面高度超越潛沒沙洲時因能量洩溢則振盪現象減弱或消失。
10. 淤砂區位於河口，有淡、海水交會，有河口潛沒沙洲阻隔，又有潮汐與波浪作用，加上袋狀地形產生的振盪現象，其流場並

非一般簡易模式可以完整模擬。北堤淤砂區內主要輸砂來自近岸碎波帶之沿岸漂沙，但在探討其漂沙現象時，應該注意實際帶動底床懸浮砂的底層流，而非一般平均流。

5.2 建議

1. 淡水挖子尾沙嘴地形演變及河口之河槽斷面有淤積的趨勢，故應持續進行定期水深量測及地形監測，並須考慮在兼顧生態及環境保育的條件下，評估於河口段進行疏濬作業的可行性。
2. 為探討淡水河流場與砂丘運移之分析，並探討水下砂丘在不同水位的阻力效應，River-Ray ADCP 是可行且有效之量測技術。然因潮位的時空變化應予考慮，故除提高測線之定位精度外，建議施測作業搭載即時 DGPS(RTK)定位以提高分析的精度及代表性。
3. 因應挖子尾沙嘴的擴展，挖子尾潟湖的淤積與紅樹林生態的關係應進行更深入之監測與分析。
4. 淡水河下游目前除關渡橋測站外仍缺乏長期性之颱風期間之實測流量及同時間之濃度資料。建議持續收集河道斷面量測資料、河床質分佈、疏浚資料及流量資料等以驗證淡水河口在洪水期及枯水期之輸砂及水理特性。
5. 臺北港北堤淤砂區不斷蓄積來自淡水河的上游輸砂或河口北側之沿岸漂沙，在該區波浪及流場作用下，漂沙分布及淤積型態與河川輸砂形成互動關係。該區底床地形複雜，同時伴隨多道潛沒沙洲，在潮汐、波浪、沿岸流及河川排水相互作用下，形成特有流場及河口沙洲足以影響河川排水，建議對淤砂區之波浪、流場及漂沙狀態持續觀測並探討其地形變遷與淡水河輸沙之關係。

5.3 成果效益

1. 臺北港北防波堤北側與淡水河河口南岸延伸沙洲間之淺水袋狀區內，因波能匯聚，經常波濤洶湧，漂砂活動劇烈，地形複雜，

宜持續進行進一步不同時期、測點及斷面，淡水河河口流場與漂沙運移之分析。

2. 本研究長時間在臺北港及淡水海域地區進行不同月份與季節的流速分佈、濃度分佈、波浪與底床地形變化等現場觀測作業。分析多年現場資料可以獲得河口與近岸地區沿岸輸沙率之迴歸曲線經驗公式，可作為決定海岸地區漂沙輸沙量估算之參數依據，已獲得良好之結果。應用上可提供各港務局或學術研究單位於探討近岸輸沙量推算與海岸漂沙數值模擬之參考。

參考文獻

1. 王安得，「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，2004。
2. 李錫堤、黃俊鴻、劉進金、蔡榮君、洪國華、林書毅，「林口台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，1998。
3. 周憲德、卡艾偉、李璟芳，「95 年淡水河河口輸砂及水理之研究」，交通部運輸研究所港灣技術研究中心辦理研究計畫，2006。
4. 周憲德、卡艾偉、李璟芳、林煒傑，「96 年淡水河河口輸砂及水理之研究」，交通部運輸研究所港灣技術研究中心辦理研究計畫，2007。
5. 林俊全、賴春婷、任家弘，「河口短時距地形變動之研究以淡水河口挖子尾為例」，地理學報第 35 期，pp.17~34，2004。
6. 林柏青、周憲德、江金德、蔡金吉，「淡水河流況與懸浮質調查分析」，第 25 屆海洋工程研討會論文集，pp.669 ~ 676，國立臺灣海洋大學，基隆市，2003。
7. 林清泉，「臺北盆地周緣坡地的特徵與土地利用的相關研究」，臺灣師範大學地理研究所碩士論文，1989。
8. 林雪美，「臺灣西部河口之地形學研究」，國立臺灣師範大學地理學研究所博士論文，1996。
9. 林聖烈，「淡水河口環流與淡水舌之研究」，國立中央大學水文科學研究所碩士論文，2006。
10. 邱永芳、洪憲中、吳基、林柏青、廖慶堂、王胃、徐如娟，「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，1999。

11. 洪奕星，「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，2000。
12. 基隆港務局，「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」，2-1~4-20、7-2~7-4，基隆港務局，基隆市，1997。
13. 基隆港務局，「臺北港港址北側疏濬淤沙及港址南側設置離岸潛堤方法研究」，民國 95 年 2 月(2006)。
14. 張石角，「臺灣海岸之自然環境與國土資源評估」，工程環境特刊，第五號，pp.91~112，1997。
15. 張菟文，「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，2002。
16. 張瑞津，「淡水河下游的水文地理研究—第一年度研究報告」，11:69~110，地理學研究，1985。
17. 張瑞津、石再添、曾正雄、陳美鈴、高鵬飛，「淡水河下游感潮的研究」，11:69~110，地理學研究，1985。
18. 許泰文，「近岸水動力學」，中國土木水利學會出版，科技圖書公司，2003。
19. 許泰文、張憲國，「永續的鑽石海岸」，經濟部水資源局出版，2001。
20. 許時雄 (1991) 淡水河口海岸地形觀測研究，中國民國第十三屆海洋工程研討會論文集，426-440。
21. 許硯蓀、廖學瑞、朱志誠「淡水八里海岸地形變遷研究及人工岬灣之應用」，中華技術，17：59-66，1993。
22. 許銘熙，「淡水河口生態系統模式」，第一屆生態工法研討會報告，2005。
23. 郭金棟，「臺灣海岸地形變化及其未來之開發利用研究報告」，交通

- 部運輸研究所港灣技術研究中心，1990。
24. 郭金棟，「海岸保護－海岸環境創造序論」，科技圖書股份有限公司，pp.30-40，2004。
 25. 陳筱華、陳嘉元、連永順，「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，2000。
 26. 港灣研究中心，「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，2004。
 27. 港灣研究中心，「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，2005。
 28. 黃序文，「臺灣西部近岸沈積物之重礦物組成－由Q型因子分析法推測近岸沉積物傳輸方向」，國立臺灣大學海洋研究所碩士論文，1995。
 29. 黃良雄、楊錦川、許泰文，「臺北港設置後對淡水河口海岸地形變遷之影響」，經濟部水利署第十河川局辦理研究計畫，2006。
 30. 楊嵐雅，「淡水河口南側海岸地形變遷之研究」，國立臺灣大學地理環境資源研究所碩士論文，2007。
 31. 經濟部水利署第十河川局，「淡水河水系河川環境管理計畫規劃」，2013。
 32. 鄧國雄，「淡水河下游河道變遷研究」，9:125～177，地理學研究，1985。
 33. 鄧國雄、高慶珍、許哲明、蔡佩娥，「淡水河下游河道形態及演育」，11:135～169，地理學研究，1987。
 34. 國立臺灣大學水工試驗所 (2014)，「石門水庫放淤對下游河道變遷影響分析」－成果報告，經濟部水利署北區水資源局委託計畫，2014年3月。

35. 逢甲大學 (2014), 「石門水庫放淤對下游河道生態影響之調查研究計畫」—成果報告, 經濟部水利署北區水資源局委託計畫, 2014年3月。
36. 魏震, 「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, 2001。
37. 羅志堅, 「淡水河口處海岸變遷之研究」, 國立臺灣大學土木工程研究所碩士論文, 1995。
38. 蔡清標 (2014), 「103 臺北港海岸地形變遷數值監測模式研」—成果報告, 交通部運輸研究所港灣技術研究中心委辦研究計畫。
39. Allen, J.R.L., 1968. The nature and origin of bedform hierarchies. *Sedimentology* 10, 161–172.
40. Ashley, Gail M. "Classification of large-scale subaqueous bedforms: a new look at an old problem-SEPM bedforms and bedding structures." *Journal of Sedimentary Research* 60.1 (1990).
41. Bagnolds, R. A. (1941) *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes*. Methuen, London.
42. Bagnolds, R.A. (1963), *Mechanics of marine sedimentation*. In "The Sea: Ideas and Observations" ed. by M.N. Hill, Vol.III, Interscience, New York.
43. Boggs, S., Jr., W. C. Wang & J. C. Chen (1974), "Textural and compositional patterns of Taiwan shelf sediment", *Acta Oceanographica Taiwanica*, 4, 13-56.
44. Boggs, S. JR., W. C. Wang, and J. C. Chen (1979), "Sediment properties and water characteristics of the Taiwan shelf and slope." *Acta Oceanogr Taiwanica*, 10:10-49.
45. Dong, Z., Liu, X., Wang, H., & Wang, X. (2003). Aeolian sand transport: a wind tunnel model. *Sedimentary Geology*, 161(1), 71-83.

46. Nordin, C. F. and J. H. Alpert, "Discussion of 'Geometrical properties of sand waves'," by M. S. Yalin, J. Hydr. Div. 91, 367 (1965).
47. 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.
48. Coleman, S. E. "Equilibrium hydrodynamics concept for developing dunes." *Physics of Fluids* 18 (2006): 105104.
49. 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.
50. Dong, Z., Wang, H., Qian, G., Luo, W., & Zhang, Z. (2006). Wind shear with a blowing-sand boundary layer. *Geophysical research letters*, 33(22).
51. 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.
52. Engelund, F. and E. Hansen (1967), *A Monograph on Sediment Transport in Alluvial Streams*, Teknisk Forlag, Copenhagen, Denmark.
53. 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.
54. Hsu, S. A. (1977), "Boundary Layer Meteorological Research in the Coastal Zone," *Geoscience and Man*, H. J. Walker, ed., School of Geoscience, Louisiana State University, Baton Rouge, LA, Vol 18, pp 99-111.
55. Hsu, S. A. (1986), "Correction of Land-Based Wind Data for Offshore Applications: A Further Evaluation," *Journal of Physical Oceanography*, Vol 16, pp 390-394.

56. Huang, Norden E. (1998), "The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis", Proc. R. Soc. Lond. A, Vol.454, 903-995.
57. Hjulstrøm, F.(1939), "Transportation of debris by moving water", in Trask, P.D., ed., Recent Marine Sediments; A Symposium: Tulsa, Oklahoma, American Association of Petroleum Geologists, p. 5-31.
58. Julien, Pierre Y., and G. J. Klaassen. "Sand-dune geometry of large rivers during floods." Journal of Hydraulic Engineering 121.9 (1995): 657-663
59. Kachel, N.B. and R.W. Sternberg (1971), "Transport of bedload as ripples during an ebb current," Marine Geology, Vol.19, pp.229-244.
60. Kadiba, A. (1965) A Function of sand Movement by Wind. Univ. Calif. Tech. Rept. HEL-2-12,91pp.
61. Kawamura, R. (1951) Study of Sand Movement by Wind. Univ. Tokyo, Rept. Inst. Sci. &Technology, 5.
62. Lettau, K. & H. Lettau (1977) Experimental and micrometeorological field studies of dune migration. In: Exploring the World's Driest Climate (Ed. by K. Lettau & H. Lettau). University of Wisconsin Press, Madison.
63. O'Brien, M .P. & B. D. Rindlabubb(1936) The transport of sand by wind. Civil Engineering, 6,325-27.
64. O'Brien, M.P.(1969) Equilibrium flow areas of inlets on sandy coasts. J Waterway Port Coast Ocean Eng 95 (1): 43—52.
65. Powell, M.A. R.J. Thieke and A.J. Mehta (2006) Morphodynamic relationships for ebb and flood delta volumes at Florida's entrances. Ocean Dynamics 56: 295-307.
66. Sarre, R. D. (1988). Evaluation of aeolian sand transport equations using intertidal zone measurements, Saunton Sands, England. Sedimentology, 35(4), 671-679.

67. Stive, M. J.F. and R.D. Rakhorst, (2008) Review of empirical relationships between inlet cross-section and tidal prism, *Journal of Water Resources and Environmental Engineering*, 23, pp89-95.
68. van Rijn, L. C. (1984). Sediment transport, part III: bed forms and alluvial roughness, *J. Hydraul. Eng.* 110, 1733.
69. White, B.R. (1979) Soil transport by winds on Mars. *J .geophys. Res.*, 84, 4643-51.
70. Zingg, A .W. (1953) Wind tunnel studies of the movement of sedimentary material. *Proc. 5th Hydraul. Conf; Bull. Iowa State Univ, Studies in Engineering*, 34, 11 1-135.

附錄一 期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：臺灣港灣長期性海氣象調查及資訊應用系統建置之研究

子計畫 4：105 年港域近岸底床輸沙之現場觀測研究

執行單位：交通部運輸研究所港灣技術研究中心

參與審查人員及其所提之意見	執行單位處理情形
一、郭一羽委員： 1. 本計畫釐清輸沙現象與水理現象之關係，對地形變遷的物理機制有所貢獻。 2. 若能了解輸沙與地形變化的關係，對未來地形變遷的預測會有更多貢獻。 3. 未來能否對地形變遷與輸沙粒徑變化，有一些正面的工程建議。 4. 建議此成果應有後續研究，以利成果的實質應用。	1. 謝謝肯定。 2. 是的，謝謝。 3. 持續研究。 4. 謝謝建議，遵照辦理。
二、張金機委員： 1. P.27、28 表 2-4，建議能將前幾年蔡長泰教授河口地形變化模擬研究列入，並作為本研究結果比較探討資料。 2. P.43 Dyer(1994)一般河川輸沙量比例是否適用臺灣陡且短，地質又脆弱河川建議稍加說明。 3. P.45~52 潮汐變化建議加註農曆日期。 4. 圖 a.利用衛星航照標示位置不清楚。 b.彩色符號黑白印刷及部份符號、說明、數字等字形太小無法判讀。 5. 淤沙區流速觀測資料相當完整，且層流現象相當明顯。建議能整理各時段	1. 列入日後研究參考。 2. 各地河川特性不同，僅列入參考。 3. 謝謝建議，遵照辦理。 4. 改為彩色印刷。 5. 各時段各水層之流速、流向已繪在圖 3.57、圖 3.58 圖、3.64 及圖 3.65 的

平均流速及主流向。層流如此明顯更要在結論提醒未來在此區從事數值模擬時應更注意測點校驗。也增加校驗困難。 6. P.119, 結論第二點, 通水面積平均年減 7% 以上。九年達 63% 以上, 可能嗎?	流羽狀圖上。 6. 其結論謂這些年之通水面積較往年平均值小, 並非年減 7%。
三、李忠潘委員: 1. P.20, 文內推移載、沖洗載、底床載、懸浮載, 名詞請統一。 2. P.21~24, 圖 2.10~15 的橫縱軸建議一致, 橫軸取全月, 縱軸 scale 也應一致, P.24 所謂的峰值及谷值的發生時段及對應流速有誤, 請修正。 3. P.29, $\bar{Q}$: 平均潮流量, P.42, 式(5.13a) 無此式。 4. P.79, 測點 A 之淺灘振盪, 請加說明如何由圖中看出在 8 小時內有 32 個 15 分週期的振盪。 5. 文內圖示有彩色部分, 請以彩色印出。	1. 推移載與底床載皆指 bed load 而沖洗載(wash load)則包含部分懸浮載(suspended load)與推移載。 2. 謝謝指正, 此為現場實測資料, 流速峰值發生於退潮段是正確的; 而濃度受上游降水及流速影響, 颱風時濃度峰值發生在流速峰值稍後應無疑問, 橫軸不取全月及縱軸 scale 調整是讓資料能清楚呈現。 3. 謝謝指正, 已更正。 4. 非常抱歉, 可能印刷不清楚, 2~2.8 時為 0.8 小時非 8 個小時。 5. 謝謝建議, 遵照辦理。
四、劉景毅委員: 1. 海岸碎波帶附近底床的流速與懸浮值濃度資料相當缺乏, 本計畫以設計之平台, 組合多台儀器進行現場量測, 提供相當有用的參考資料。 2. 臺北港北淤沙區因位處淡水河口, 受波潮流與淡水河入流之影響, 外力相當複雜, 地形水深經常變化, 因此在不同的時間、空間進行量測, 預期會得到相當不一樣的量測結果。本研究在 A 站與 E 站測到較長週期的底層流, 其週期為 15 分~1 小時, 相當特	1. 謝謝肯定。 2. 謝謝建議, 列入日後研究參考。

殊。但畢竟只是單點短時間的測量成果，是持續或偶發現象，成因為何，目前尚難定論，建議可再做長時間多點的量測，進一步再確認。 3. 圖 3.57、3.58 羽狀圖的最上層否有誤，再確認。北淤沙區 A~F 測點是否在碎波帶內？A 形沙洲是否常變動？是否有相關高程資料？ 4. 結論 1 的內容，建議再修正，下結論的依據要確實。 5. 圖 3-3~3-6 的退潮時段、上下層流速相差很大可能因素為何？水深地形因素？鹽水 ？ 6. 圖 2.19~2.21 有關沙丘移動變化的討論洪水因素的影響為何？是否會降低沙丘高度？	3. 檢視圖 3.53~圖 3.56 之流速與流向，因其位置離底 79cm 較不受潛沒沙洲影響，流向僅隨漲退潮流變化應屬合理。A 形沙洲形狀始終存在但颱風過後潛沒沙洲及淤沙區底床地形確實會有變動，本所針對此區近岸及淡水河下游河口每年都有進行水深測量。 4. 謝謝建議,儀器平台以打樁方式固定在底床上，不會因底床沖刷而沉陷或傾斜，所以量測得之掩埋深度變化可信度高。 5. 此段區域因河道較窄，較下游區水深流強，底層流受底床摩擦之粘滯力及底層鹽楔入侵影響因此上下層流速差異大。 6. 洪水期流速大，理論上應該會加速沙丘的移動並降低沙丘高度。
---	--

附錄二 期末報告簡報資料

105年度交通部運輸研究所港研中心自辦計畫

105年港域近岸底床輸沙之 現場觀測研究

MOTC-IOT-105-H2DA001d

期末簡報

總計畫主持人：何良勝

計畫主持人：林柏青

研究人員：衛紀淮、陳志弘、蔡瑞成

簡報日期：2017.02.22



1

簡報大綱

- 1 計畫概要說明
- 2 淡水河口地形變遷
- 3 淡水河流場觀測與底質分析
- 4 北堤淤砂區現場觀測
- 5 結論

2

各年度研究主題

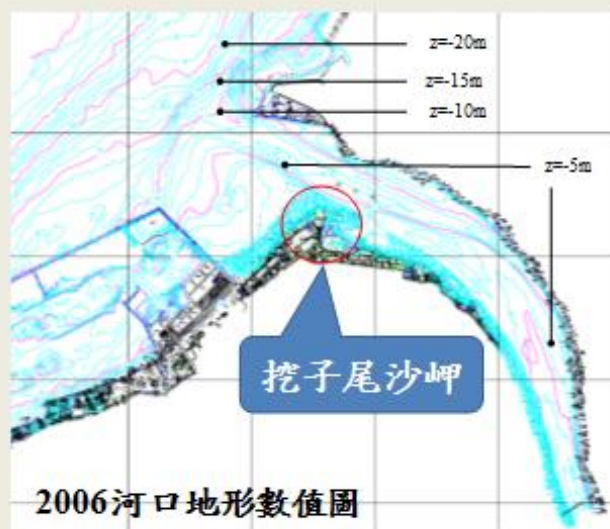
- 102 探討淡水河口流場與底床地形變化
- 103 觀測徑向流場及底床粒徑的變化
- 104 進行淡水河流場與砂丘運移之分析
- 105 探討北堤淤砂區之低頻振盪現象

3

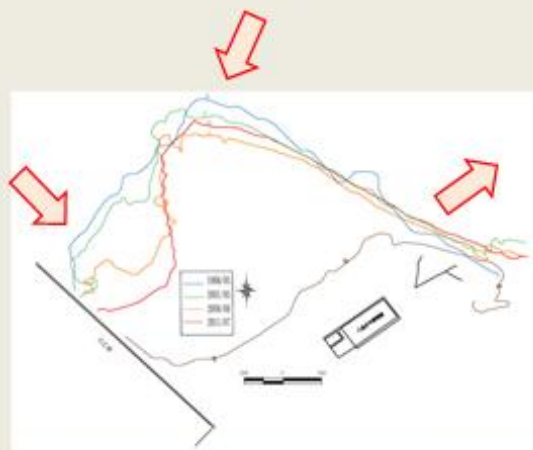
建港影響漂沙 漂沙影響海岸



河口及近海地形變遷

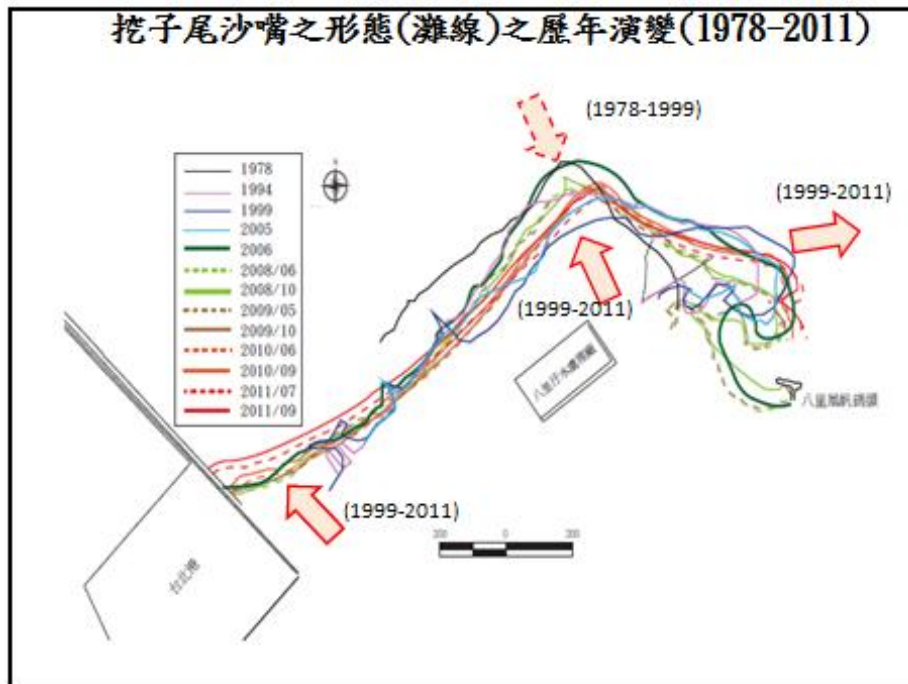


1995-2011 淡水河口南岸淺水區(-5m等深線)之地形演變

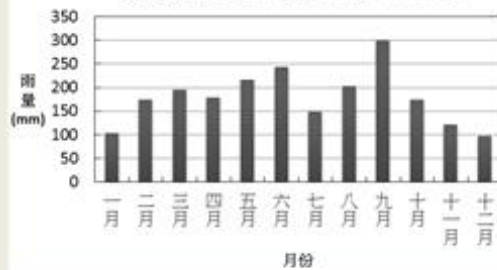


以-5m 等高線到高程0 的灘線代表淺水區範圍

挖子尾沙嘴之形態(灘線)之歷年演變(1978-2011)



淡水氣象站月平均雨量圖(1981-2010)



魏(2001)根據Savage公式及改良之Bijker公式計算得到：臺北港建後，全年波浪可推動164萬立方公尺之漂沙量，少於淡水河系年平均輸砂量185萬立方公尺，故海岸應逐漸淤積。

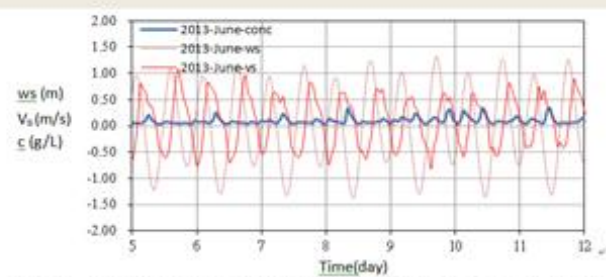


圖 2.11 2013 年 6 月關渡橋測站濃度峰值段的水理資料(無颱風)

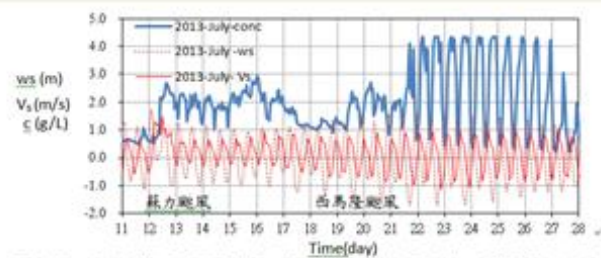


圖 2.12 2013 年 7 月關渡橋測站濃度峰值段的水理資料(2 颱風)



都普勒流速剖面儀
RiverRay ADCP



圖 2.17 2014 River-Ray ADCP 在淡水河口進行量測之航路

基於Van Rijn(1984)的分類方式所得，可以看到淡水河之底床形式大多落在 $1 \leq D^* \leq 10$ 及 $3 \leq T \leq 15$ 間，分類上屬於砂丘的形式居多，且由於 $3 \leq T \leq 15$ ，砂丘是會有往下游遷移的情況。

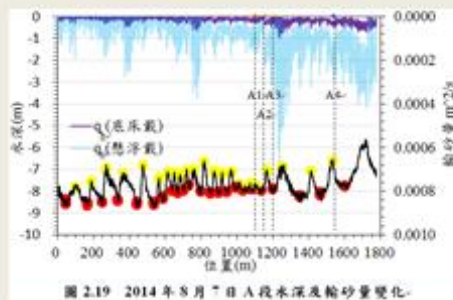
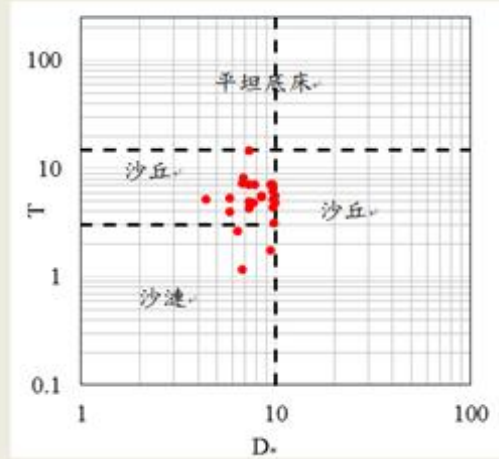


圖 2.19 2014 年 8 月 7 日 A 段水深及輸砂量變化

往下遷移砂丘

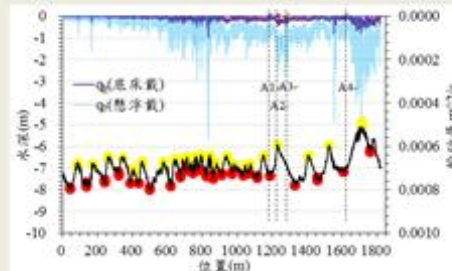


圖 2.20 2014 年 10 月 20 日 A 段水深及輸砂量變化

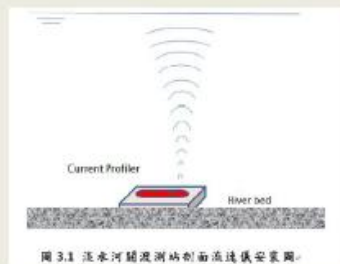


圖 3.1 淡水河關渡測站剖面流速儀安裝圖。

剖面流場觀測與 流量分析

流速探頭向上，每10cm一個測點，由底床向上至水面邊界層最多可取得100個測點之三維流速資料

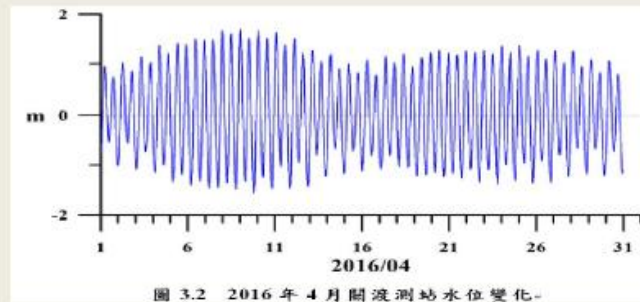


圖 3.2 2016 年 4 月關渡測站水位變化。

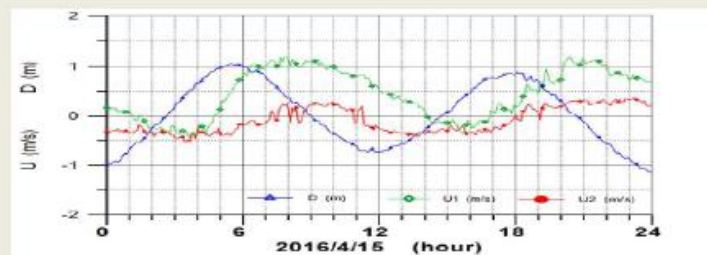


圖 3.5 第二次小潮時關渡水位(D)、表層流(U1)與底層流(U2)

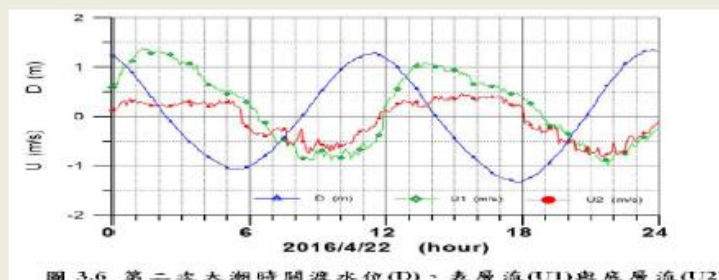


圖 3.6 第二次大潮時關渡水位(D)、表層流(U1)與底層流(U2)

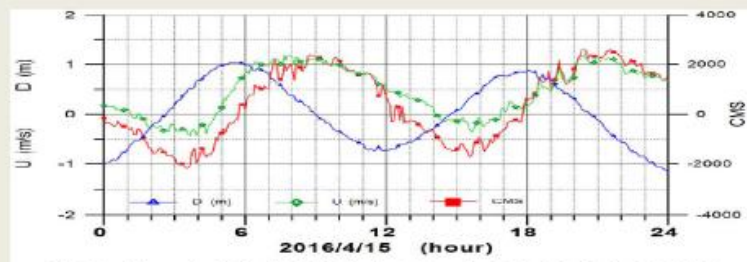


圖 3.9 第二次小潮時關渡水位(D)、表層流(U)與流量(CMS)。

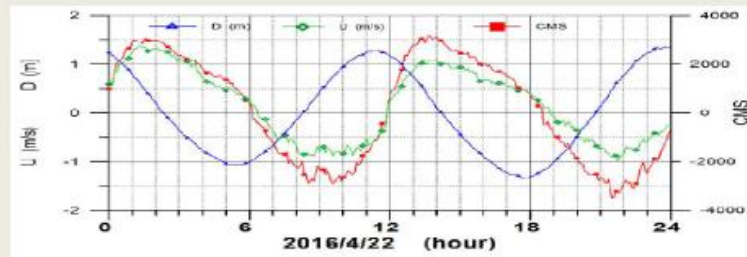
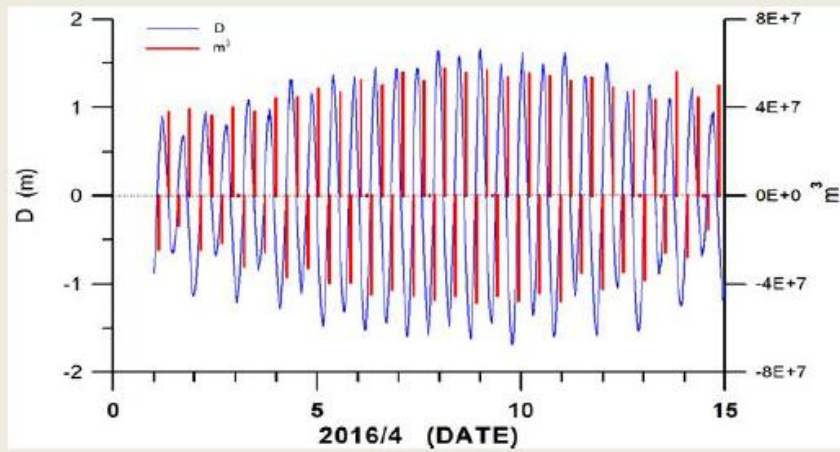
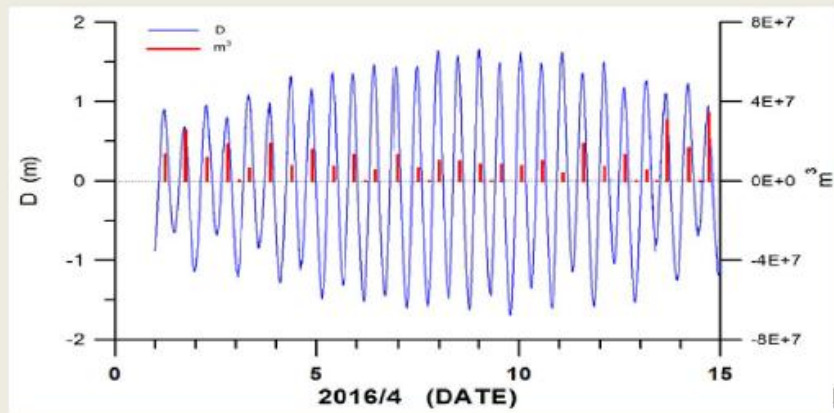


圖 3.10 第二次大潮時關渡水位(D)、表層流(U)與流量(CMS)。

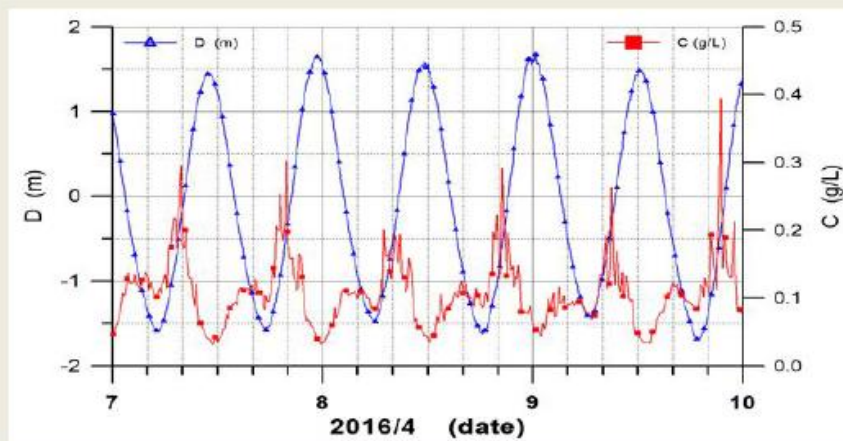
四月上旬關渡水位(D)與漲潮或退潮時段之流量(m^3)



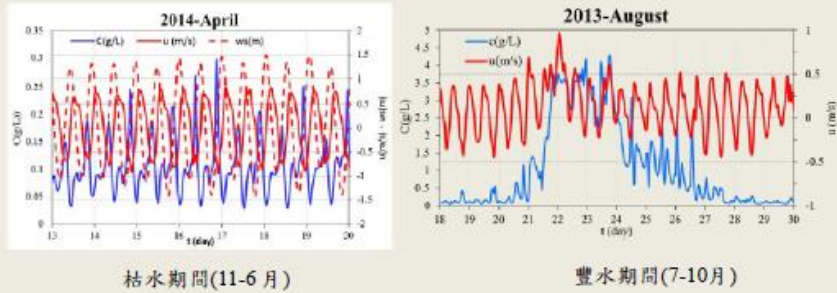
四月上旬關渡水位(D)與一次漲退潮之淨流量(m^3)



關渡潮位(D)與懸浮質濃度(C)關係



淡水河下游段河道輸砂特性



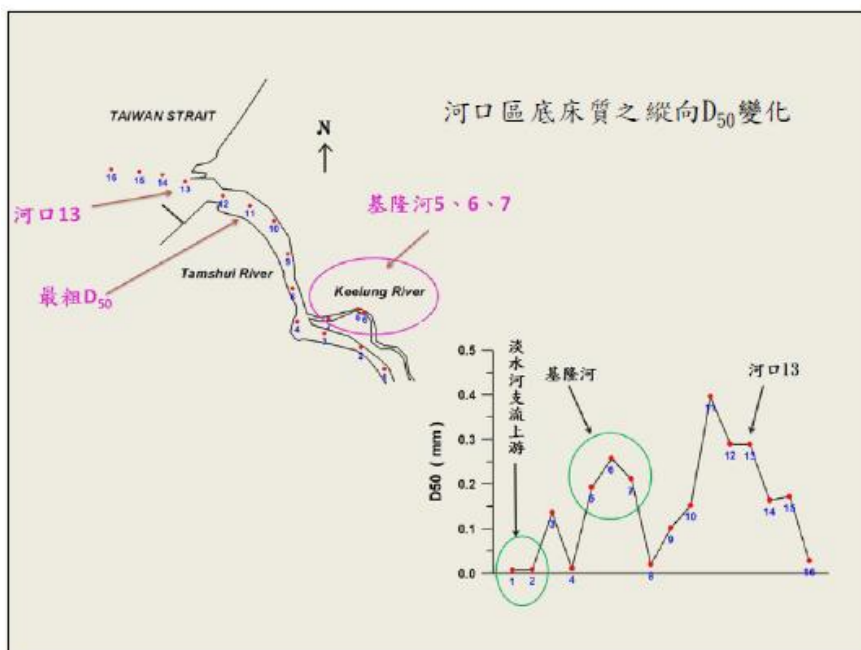
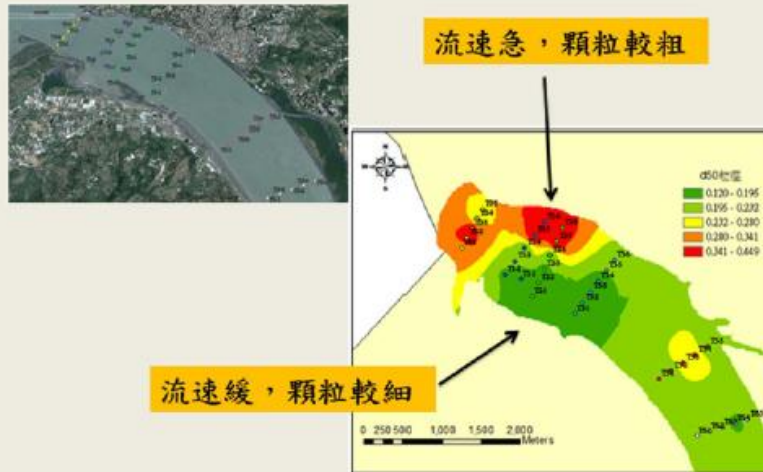
非洪水的漲潮流期間濃度較高，且速度與濃度有正相關；退潮流速度則與濃度無明顯關係。洪水或豐水期間，關渡橋測站懸浮值約可達3-4.5 g/L，明顯高於非洪水期間；但濃度高低與水流速度並無明顯關係

2013-2014關渡站瞬時及月累積之輸砂量



最大的瞬時輸砂量及累積輸砂量皆發生於洪水期間，其中2013年7-8月的向海懸浮質輸送量約1.80及1.3 Mt (與蘇力颱風期間及之後石門水庫排砂量共計316.54萬噸相近)。枯水期間(11月-隔年4月)則有累積輸砂量則向上游輸送的情形，惟其輸砂量在關渡橋時遠小於洪水期之月累積量。

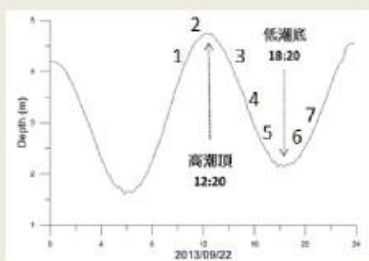
2013年4月橫向底質採樣位置與 D_{50} 分佈



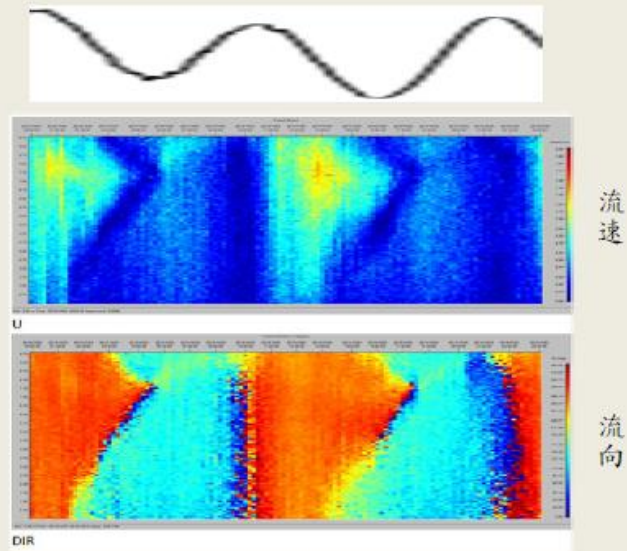
北堤測站與河口測站



北堤測站(3m)



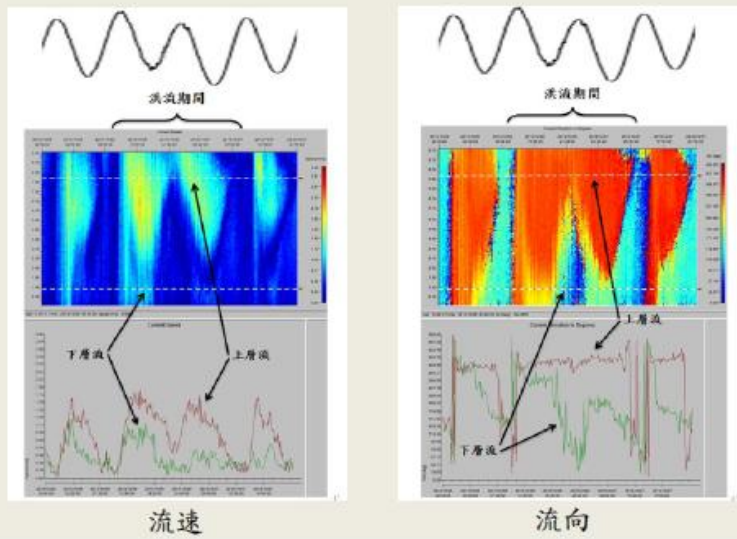
102年10月3日 河口測站之剖面 流速與流向



淡水河河口平日流況示意圖



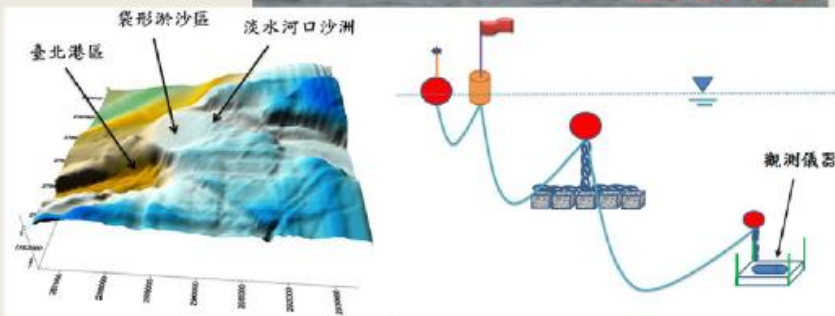
淡水河河口測站對應潮位、剖面流與
不同流層之流速與流向變化



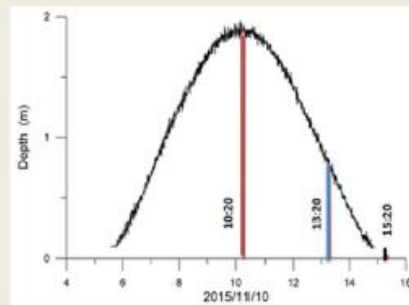
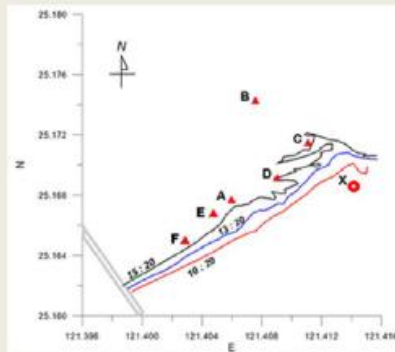
淡水河河口洪流時之流況示意圖



北堤淤砂區



北堤淤砂區之測點、灘線 與其相對水位



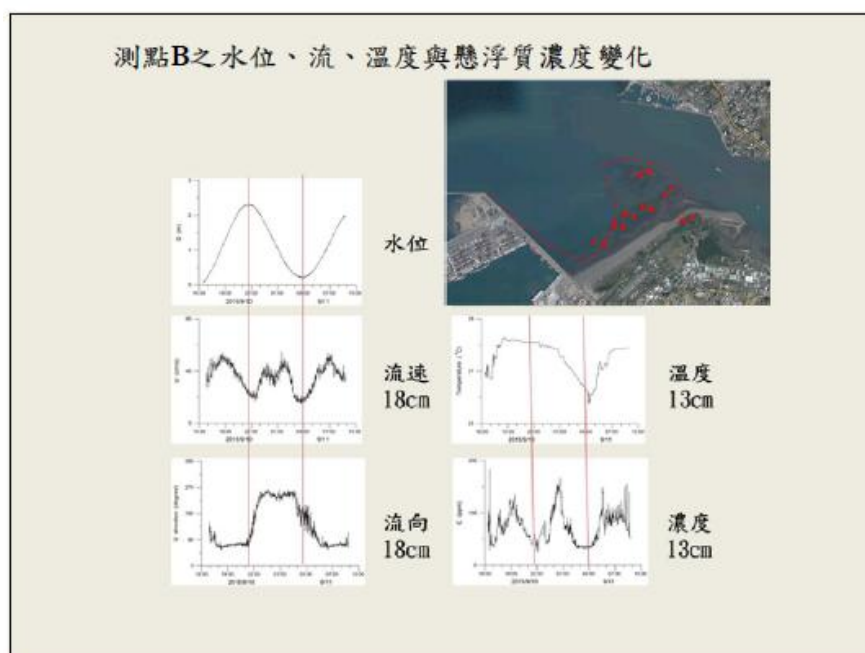
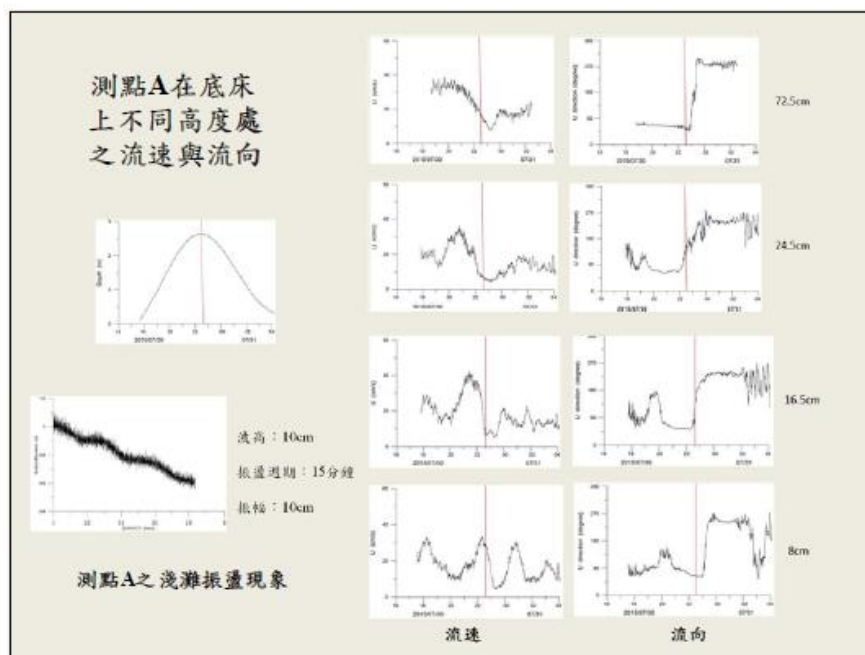
北堤淤砂區各測點之實地相關位置

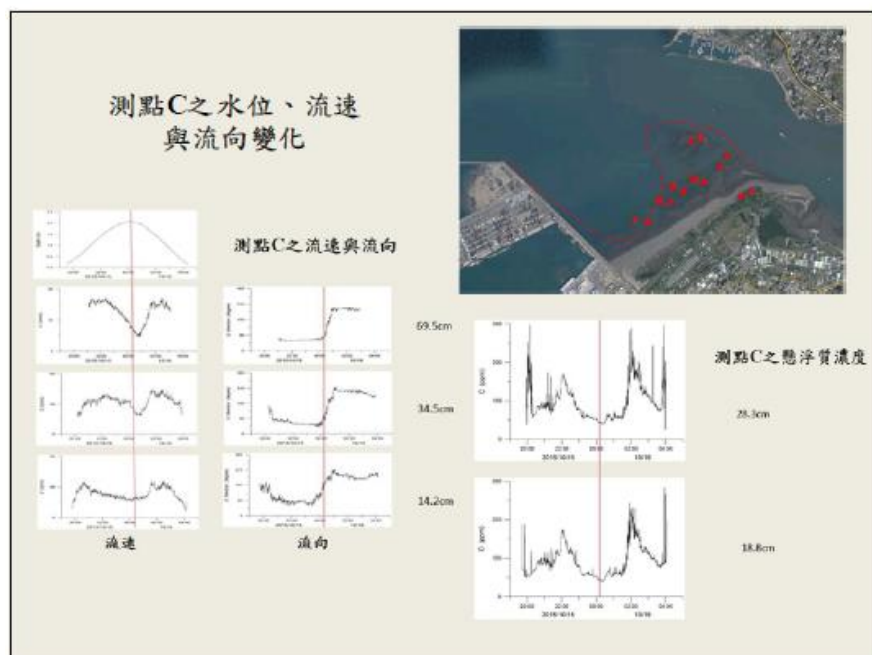


測點A之現場
儀器觀測平台

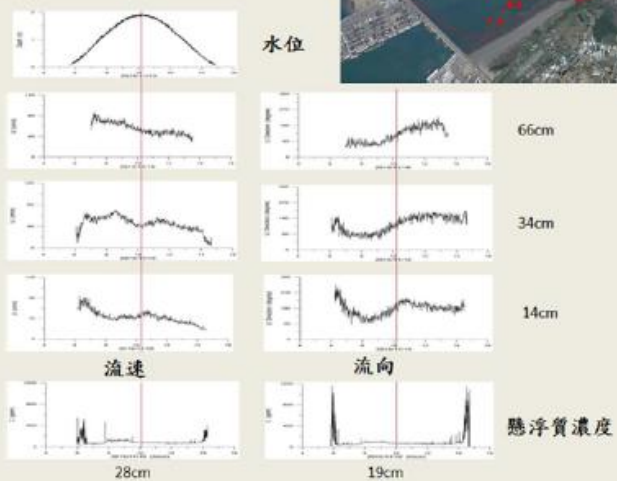


儀器名稱	儀器測點離底高(cm)	儀器種類
ALU393	72.5	單點流速計
ALC327	53.5	單點濁度計
INC123	27.5	單點濁度計
INU587	24.5	單點流速計
INU583	16.5	單點流速計
Aquadopp Profiler	11	流速剖面儀
INU119	8	單點流速計
INC122	8	單點濁度計





測點D第2潮之水位、流速、流向與懸浮質濃度變化



北堤淤砂區現場觀測

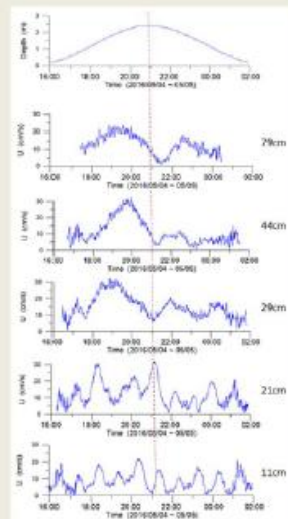


測點E之現場觀測平台
觀測時間為二個漲退潮時段，觀測
時近岸浪高約30cm，吹東北風

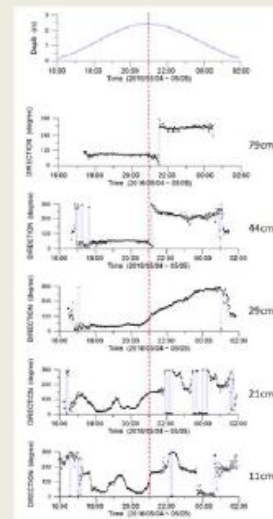


測點E第一次潮之水位與各水層流速、流向變化

流速

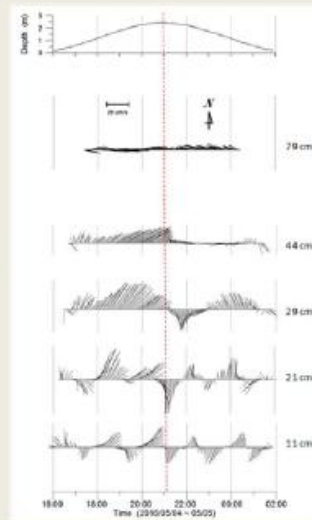


流向

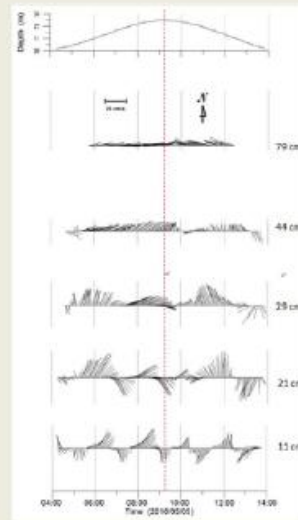


測點E之水位與各水層流羽狀圖

第一次潮



第二次潮

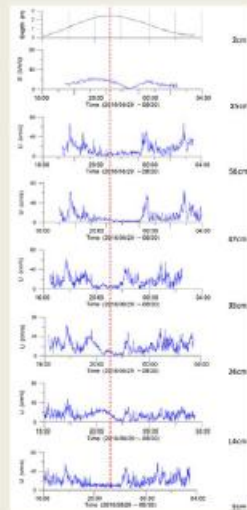


測點F之現場觀測平台
觀測時間為二個漲退潮時段，觀測
時近岸浪高約1m，吹東北風

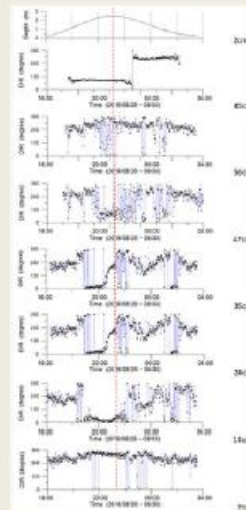


測點F第一次潮之水位與各水層流速、流向變化

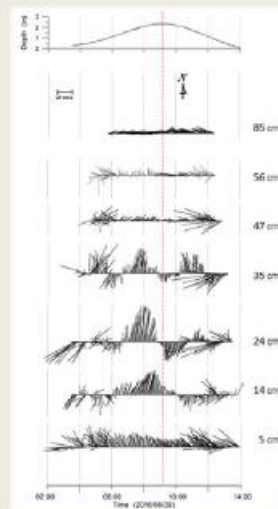
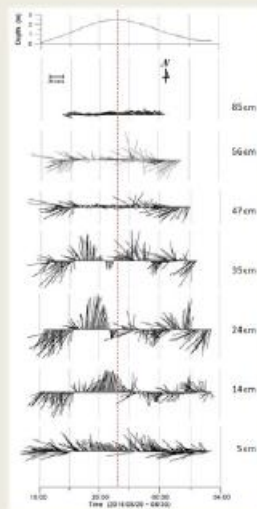
流速



流向



測點F之水位與各水層流羽狀圖



結論與說明：

1. 控制淡水河河口輸沙的主要因素為潮汐、波浪、河川流量、河口地形及懸浮質及底床質特性等。
2. 臺北港靠近北防坡堤處之淺水淤砂區逐年向岸侵蝕，灘線則向海淤積，河口內左側顆粒較細，右側顆粒較粗，反映主深槽凹岸顆粒較凸岸粒徑為粗。
3. 北防波堤北側與淡水河河口南岸延伸沙洲間之淺水袋狀區內會在退潮時於袋狀區內產生逆時針方向迴流，沿著北防波堤將碎波捲起之懸浮沙帶往外海，漲潮則會形成順時針迴流，將漂沙帶往河口，河槽斷面有逐漸淤積的演變趨勢。
4. 河口內的沙丘因水深較淺且顆粒較粗，故仍會增加約10%的形狀阻力。在風浪、潮汐與河川逕流相互作用下，河口地區有普遍的二層流現象。

5. 淡水河水下砂丘依van Rijn 分類為往下運移砂丘。由2014年8月7日及10月20日對水下砂丘的觀測結果可知，河口外砂丘(A段)向下游運移約82 m。河口內砂丘(B段)則向下游運移約165公尺。
6. 臺北港北堤淤砂區被北堤結構物、海岸沙灘及A形沙洲等三面包圍，形成一U形袋狀地形，外海入射波浪能量因地形之淺盆效應(shallow-basin effect)，形成局限高度之流場振盪現象，當水面高度超越潛沒沙洲時因能量洩溢則振盪現象減弱或消失。
7. 北堤淤砂區位於河口，有淡、海水交會，有河口潛沒沙洲阻隔，又有潮汐與波浪作用，加上袋狀地形產生的底層流場振盪，探討北堤淤砂區內的漂沙現象時，應該注意實際帶動底床懸浮砂的底層流，而非一般模式推算的平均流。

報告完畢 敬請 指教

