

100-81-7550
MOTC-IOT-99-H2DA001-4

臺灣港灣近岸海域漂沙調查研究 (2/4)



交通部運輸研究所

中華民國 100 年 5 月

100-81-7550
MOTC-IOT-99-H2DA001-4

臺灣港灣近岸海域漂沙調查研究 (2/4)

著 者：林柏青、江玟德、陳志弘

交通部運輸研究所

中華民國 100 年 5 月

100

臺灣港灣近岸海域漂沙調查研究
(2/4)

交通部運輸研究所

GPN：1010000942

定價 100 元

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

臺灣港灣近岸海域漂沙調查研究(2/4)

/林柏青、江玟德、陳志弘著. --初版.-- 臺北市：

交通部運輸研究所， 民 100.05

面 ； 公分

ISBN 978-986-02-7748-7 (平裝)

1. 海洋動力學 2. 海岸 3. 砂石 4. 數值分析 5. 臺灣

351.982

100007548

臺灣港灣近岸海域漂沙調查研究(2/4)

著 者：林柏青、江玟德、陳志弘

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) 26587176

出版年月：中華民國 100 年 5 月

印 刷 者：良機事務機器有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 90 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： 100 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：1010000942

ISBN：978-986-02-7748-7 (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。

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：臺灣港灣近岸海域漂沙調查研究(2/4)			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN978-986-02-7748-7（平裝）	政府出版品統一編號 1010000942	運輸研究所出版品編號 100-81-7550	計畫編號 99-H2DA001-4
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：江玟德、陳志弘、林受勳、蔡瑞成 聯絡電話：(04)26587121 傳真號碼：(04)26560661			研究期間 自 99 年 01 月 至 99 年 12 月
關鍵詞：碎波帶、輸沙、底床觀測			
摘要： 近岸主要輸沙活動發生在碎波帶及溯昇波帶兩淺水區域，掌握現場波浪、流場與底床輸沙現象對於輸沙量推算及當地輸沙模式的發展極為重要，但在現場觀測時往往不瞭解底床隨著漂沙活動造成的瞬時侵淤情況，以致無法精確計算各項作用力及瞬時輸沙量。本研究攝影觀察現場水流與底床輸沙現象並以 10MHz 超音波及濾波方法測得底床的細微瞬變，發現碎波帶底床表面在觀測期間有高約 2~4cm、週期約 200~400 秒的起伏振盪，並得出回波訊號強度與懸浮質濃度的對數反比關係，本方法有助於瞭解碎波帶現場漂沙現象的瞬變互動機制，提供現場輸沙模式作精確計算時參考使用。			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
100 年 5 月	68	100	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: Near-shore Investigation of Sediment Transport in Taiwan Harbor Areas (2/4)			
ISBN (OR ISSN) ISBN978-986-02-7748-7 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010000942	IOT SERIAL NUMBER 100-81-7550	PROJECT NUMBER 99-H2DA001-4
DIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER DIVISION DIRECTOR: Yung-fang Chiu PROJECT ADVISOR: Liang-sheng Ho PRINCIPAL INVESTIGATOR: Po-ching Lin PROJECT STAFF: Wen-der Jiang, Chih-hung Chen, Shou-shiun Lin, Juei-cheng Tsai PHONE: 04-26587121 FAX: 04-26560661			PROJECT PERIOD FROM January 2010 TO December 2010
KEY WORDS: Surf zone; Sediment transport; Bed level investigation			
ABSTRACT: In the near shore, the main sediment transport occurred in the surf and swash zones. Field measurements and data analysis of wave, current and suspended sediment concentration in these zones is important for sediment flux estimation and shore protection. Fail to understand the instantaneous bed level variations in the process of sediment transport may be accounted for significant measurement error. Visual inspection by video camera and measurement by a 10 MHz single-point acoustic altimeter revealed that 2~4cm bed level undulation and 200~400 seconds period occurred in the surf zone. The backscatter signal intensity is found reversely correlated with suspended sediment concentration. The results indicate that changes in bed-level, particularly those sheet flow dominated area, must be accounted for when processing OBS data if reliable estimates of sediment transport rates are to be obtained in the field.			
DATE OF PUBLICATION May 2011	NUMBER OF PAGES 68	PRICE 100	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.....	IV
圖目錄.....	V
第一章 前言.....	1-1
1.1 安平測站儀器設置與觀測作業.....	1-2
1.2 淡水測站儀器設置與觀測作業.....	1-9
第二章 文獻回顧.....	2-1
第三章 攝影觀察溯昇帶之底床變化.....	3-1
第四章 現場觀測作業及儀器安裝說明.....	4-1
第五章 觀測資料分析與說明.....	5-1
5.1 底床邊界之測距資料分析.....	5-1
5.2 懸浮質濁度與測距資料分析.....	5-11
5.3 懸浮質濁度與回波強度.....	5-17
第六章 結論與建議.....	6-1
6.1 結論.....	6-1
6.2 成果效益及後續應用情形.....	6-2
參考文獻.....	7-1

表目錄

表 1.1 底質取樣之粒徑分析	1-2
表 4.1 使用不同頻率時 UVP 之可量測範圍、最大速率與解析度...	4-5
表 4.2 現場底床量測試次時間說明	4-5

圖目錄

圖 1.1 現場觀測位置說明	1-3
圖 1.2 8 月 16 日現場觀測基線之儀器位置及底床地形	1-3
圖 1.3 9 月 30 日現場觀測基線之儀器位置及底床地形	1-4
圖 1.4 現場儀器下水前固定於儀器架上情形	1-5
圖 1.5 OBS-3 ⁺ 濁度計 A-1 之率定結果	1-6
圖 1.6 OBS-3 ⁺ 濁度計 A-2 之率定結果	1-6
圖 1.7 OBS-3 ⁺ 濁度計 B-1 之率定結果	1-7
圖 1.8 OBS-3 ⁺ 濁度計 B-2 之率定結果	1-7
圖 1.9 OBS-3 ⁺ 濁度計 C-1 之率定結果	1-8
圖 1.10 OBS-3 ⁺ 濁度計 C-2 之率定結果	1-8
圖 1.11 臺北港北側之沙崙觀測站位置	1-10
圖 1.12 現場觀測基線之儀器位置及底床地形	1-10
圖 1.13 測站底床攝影裝置與觀測儀器組合	1-11
圖 1.14 漲潮時測點相對位於內碎波帶情形	1-11
圖 3.1 現場攝影裝置示意圖	3-1
圖 3.2 潮水侵入測點前之沙面位置安平	3-3
圖 3.3(1)~(26) 單一溯昇波事件之連續攝影畫面	3-8
圖 3.4 單一溯昇波事件之水位與底床面變化	3-9
圖 3.5 潮水上升後之沙面位置	3-9
圖 4.1 安平近岸海流、波浪及漂沙觀測站位置圖	4-3
圖 4.2 測站垂直海岸線地形及測點位置圖	4-3
圖 4.3 測站垂直海岸線地形及測點位置圖	4-4

圖 4.4 超音波式流速剖面儀探頭安裝示意圖	4-4
圖 4.5 UVP 與超音波測距儀近視圖	4-6
圖 5.1 觀測期間測點 A 之水深與示性波高變化	5-1
圖 5.2 超音波測距儀量測之原始資料	5-2
圖 5.3 以超音波測距儀偵測底床界面位置	5-4
圖 5.4(a) CASE 1 回波訊號相對於底床($z=0$)之平均強度分佈(上)，及 回波訊號相對於底床($z=0$)之數量分佈(下)	5-5
圖 5.4(b) CASE 2 回波訊號相對於底床($z=0$)之平均強度分佈(上)，及 回波訊號相對於底床($z=0$)之數量分佈(下)	5-6
圖 5.4(c) CASE 3 回波訊號相對於底床($z=0$)之平均強度分佈(上)，及 回波訊號相對於底床($z=0$)之數量分佈(下)	5-7
圖 5.4(d) CASE 4 回波訊號相對於底床($z=0$)之平均強度分佈(上)，及 回波訊號相對於底床($z=0$)之數量分佈(下)	5-8
圖 5.4(e) CASE 5 回波訊號相對於底床($z=0$)之平均強度分佈(上)，及 回波訊號相對於底床($z=0$)之數量分佈(下)	5-9
圖 5.5 經過濾波處理後之底床邊界變化	5-10
圖 5.6(a) CASE1 水中懸浮質濁度與測距資料點分佈之對應關係 ...	5-12
圖 5.6(b) CASE2 水中懸浮質濁度與測距資料點分佈之對應關係 ...	5-13
圖 5.6(c) CASE3 水中懸浮質濁度與測距資料點分佈之對應關係 ...	5-14
圖 5.6(d) CASE4 水中懸浮質濁度與測距資料點分佈之對應關係 ...	5-15
圖 5.6(e) CASE5 水中懸浮質濁度與測距資料點分佈之對應關係 ...	5-16
圖 5.7 超音波測距儀及 OBS-3 ⁺ 濁度計安裝位置示意圖	5-17
圖 5.8 懸浮質濁度(上)、回波測距(中)與回波強度(下)	5-18
圖 5.9 時間歷程(x)、回波測距(y)與回波強度(z)之分佈	5-19
圖 5.10 懸浮質濁度(上)、回波測距(中)與回波強度(下)	5-20

圖 5.11 時間歷程(x)、回波測距(y)與回波強度(z)之分佈	5-21
圖 5.12(a) case1 時序列 6 秒平均懸浮質濁度與回波強度對照圖	5-22
圖 5.12(b) case2 時序列 6 秒平均懸浮質濁度與回波強度對照圖	5-22
圖 5.12(c) case3 時序列 6 秒平均懸浮質濁度與回波強度對照圖	5-23
圖 5.12(d) case4 時序列 6 秒平均懸浮質濁度與回波強度對照圖	5-23
圖 5.12(e) case5 時序列 6 秒平均懸浮質濁度與回波強度對照圖	5-24
圖 5.13 平均懸浮質濁度與回波強度相關性分析	5-24

第一章 前言

本章主要說明本計畫於臺北與安平等國內商港附近海域之近岸碎波帶內設置漂沙調查觀測站，相關觀測站設置、觀測儀器性能與觀測作業紀事概要等。臺灣西南部海岸在地殼運動上是屬於上升地形，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。後來因河川輸沙量豐富，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沙壩，大量減少由河口出海之沙源，加上沿岸諸多工商、漁港，大型突堤阻斷沿岸漂沙的平衡傳遞，造成海岸侵蝕或淤積現象。台南黃金海岸即為其中之一典型案例，該海岸早期有廣大沙灘，近年來因二仁溪口出海沙源減少，河口以南海岸都已設置離岸堤發揮定沙作用，而黃金海岸北方 4 km 有安平商港防波堤阻斷沿岸漂沙的北移或南下。依海岸地理位置看，本區海岸屬為一半封閉型海岸，然而在全年吹風能量以西南風為優勢的季風作用下 (林等，2006)，以及北邊防波堤對東北季風的遮蔽效應使沿岸漂沙優勢方向為向北。長期下來，二仁溪河口北側海岸遂逐漸遭受侵蝕，而北邊安平商港防波堤南側則形成淤積。

根據港研中心 (2003) 在安平海域之觀測樁測量及蘇等 (2002) 的分析，當地平均潮差約 0.50 m，平均最大潮差約 1.01 m。冬季之平均示性波高為 0.45 m，春季為 0.39 m，夏季最大，達到 0.91 m，秋季則為 0.58 m；週期約 3~6 秒。波向則以冬季的 NNE、NE 方向及夏季的 SW 方向為主。另外，由岸沿垂直海岸線至水深 20 m，離岸約 7 km

底質取樣分析結果，如表 1.1 所示，碎波帶內 D_{50} 為 0.251 mm (林等，2002)。而由林等 (2006) 在黃金海岸同一試驗場地進行的長期灘面測量，顯示灘面會隨季節發生往復侵淤現象，本區海岸受季節風及颱風影響侵蝕大於回淤，主要漂沙趨勢往北，海岸沙灘逐年被侵蝕縮減。

表 1.1 底質取樣之粒徑分析

水深 (m)	0	-5	-10	-15	-20
距岸 (km)	0	0.76	1.36	3.79	6.97
D_{50} (mm)	0.251	0.192	0.017	0.017	0.092

1.1 安平測站儀器設置與觀測作業

為瞭解台南黃金海岸之近岸流場及碎波帶內之漂沙現象，港研中心自 2005 年 11 月起在黃金海岸南側佈設一由岸垂直向海的觀測基線，位置如圖 1.1 所示，並在基線上適當位置安裝多部流速儀、水位計及濁度計等進行觀測，同時定期量測其高程變化，基線全長 100 m 包含逐年減少由寬約 50 m 縮減至 10m 的陸上灘面。圖 1.2 及圖 1.3 分別為 2010 年 8 月 16 日及 9 月 30 日兩次基線測量結果，由岸向海方向基線之灘面及海面下底床地形，基線 0 點位置為設於灘面上之固定基準點，所有測點高程皆引自附近灣裡濱海陸橋之測地水準點 (G090)。兩次測量期間共發生四次颱風警報分別為萊羅克、南修、莫蘭蒂、及凡那比，其中萊羅克與莫蘭蒂颱風路徑經過臺灣西南海域，而凡那比颱風更是由東向西直接穿過中央山脈在嘉義沿海出海，因此對臺灣西南海岸造成重大影響。比較颱風前後兩次基線測量結果發現 9 月 30 日之灘面與碎波帶底床都被嚴重侵蝕至少 50cm，灘線退縮至離

岸約 10m 處，黃金海岸已快成為歷史名詞了。

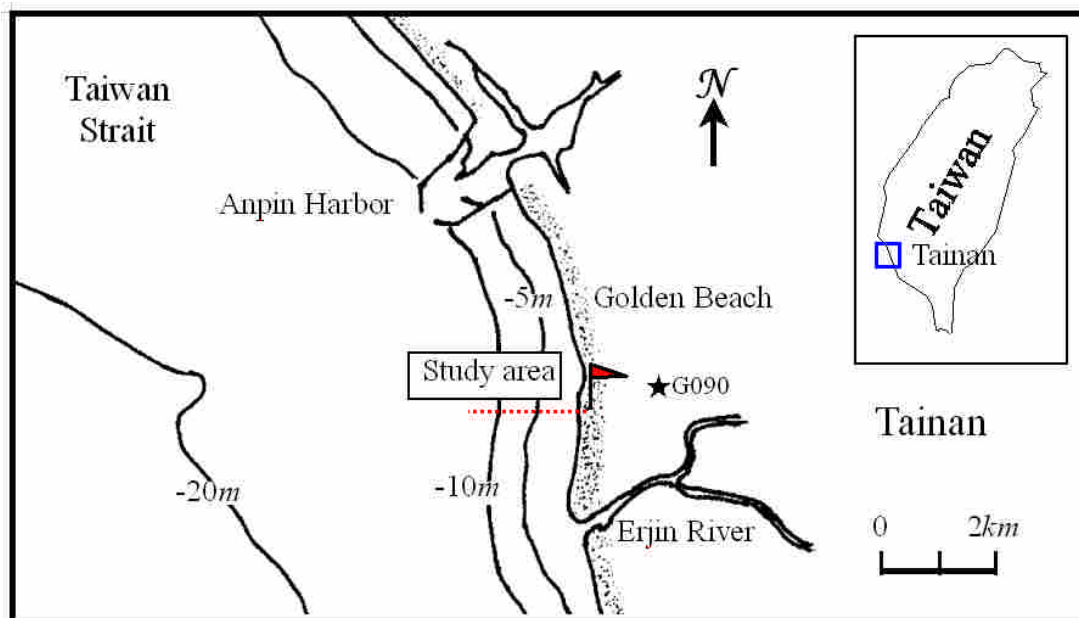


圖 1.1 現場觀測位置說明

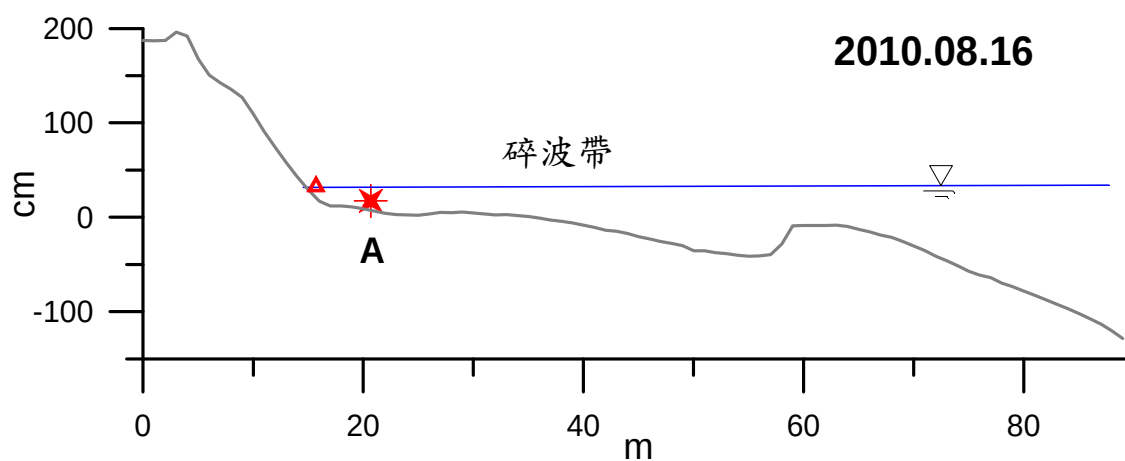


圖 1.2 8 月 16 日現場觀測基線之儀器位置及底床地形

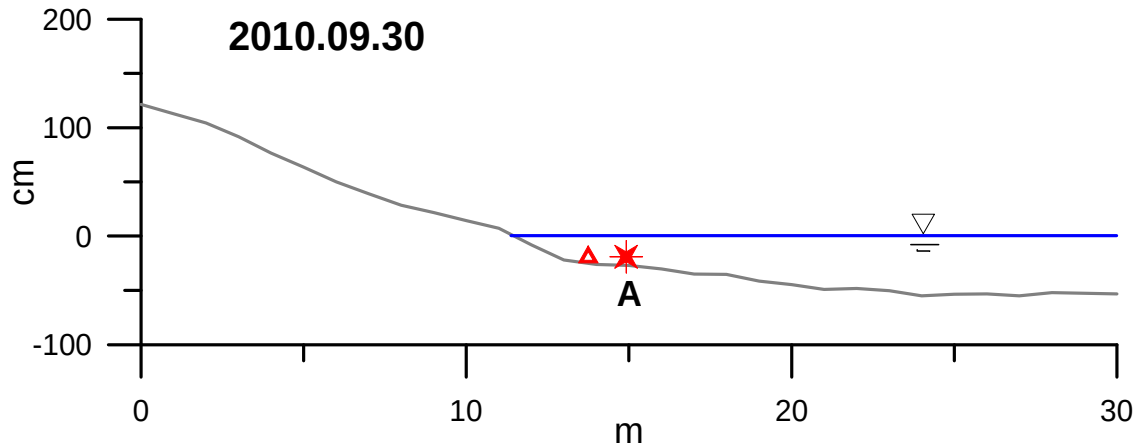


圖 1.3 9 月 30 日現場觀測基線之儀器位置及底床地形

2010 年 9 月 30 日測站主要儀器安裝於測點 A，由 6 具 OBS-3⁺濁度計組成垂直陣列，儀器探頭寬約 1cm，可量測沙濃度至 50g/L，測點高程依序分別為 0cm、0.5cm、3cm、7.5cm、11.7cm 及 15cm，濁度計連接 3 組 VECTOR 流速計訊號接收端，擷取頻率可達 8Hz，VECTOR 超音波式流速計可測單點三維流場，分別安裝於底床上 5.3cm、22.7 與 40.2cm 位置。圖 1.4 為儀器下水前固定於儀器架上情形，所有儀器於安裝前都必須經過嚴格的率定與時間校正程序。



圖 1.4 現場儀器下水前固定於儀器架上情形

海岸漂沙主要來自碎波帶之底沙懸浮與輸送，因此濁度計率定與安裝非常重要，6 具 OBS-3⁺ 濁度計組成垂直陣列，分別連接 VECTOR 流速計，取樣頻率可達 8Hz，率定時必須取用現場觀測位置之底床沙，在實驗室內進行率定作業，圖 1.5 至圖 1.10 分別為 6 部濁度計之率定結果。

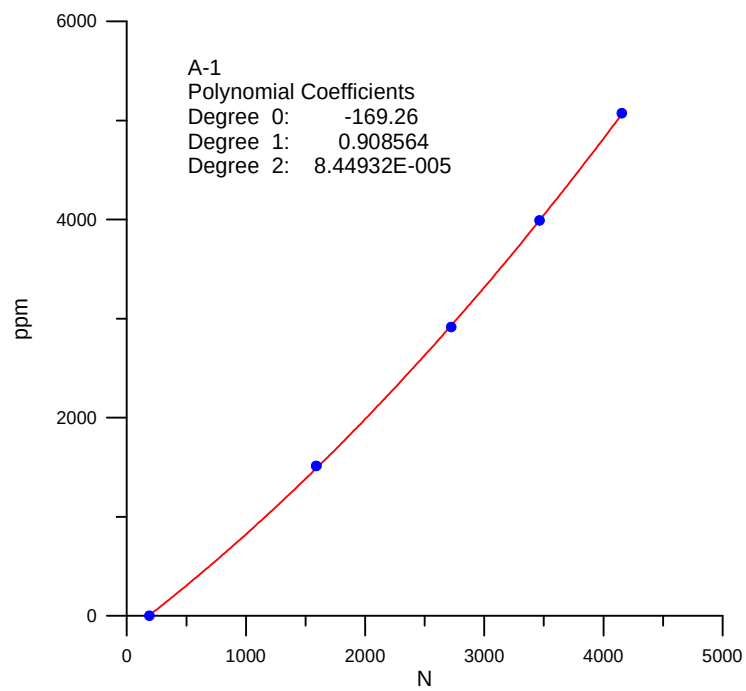


圖 1.5 OBS-3⁺濁度計 A-1 之率定結果

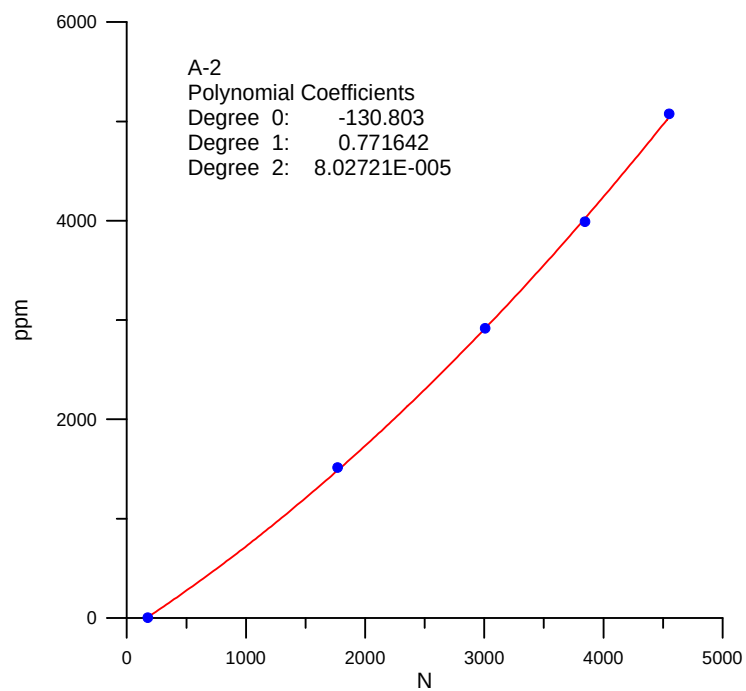


圖 1.6 OBS-3⁺濁度計 A-2 之率定結果

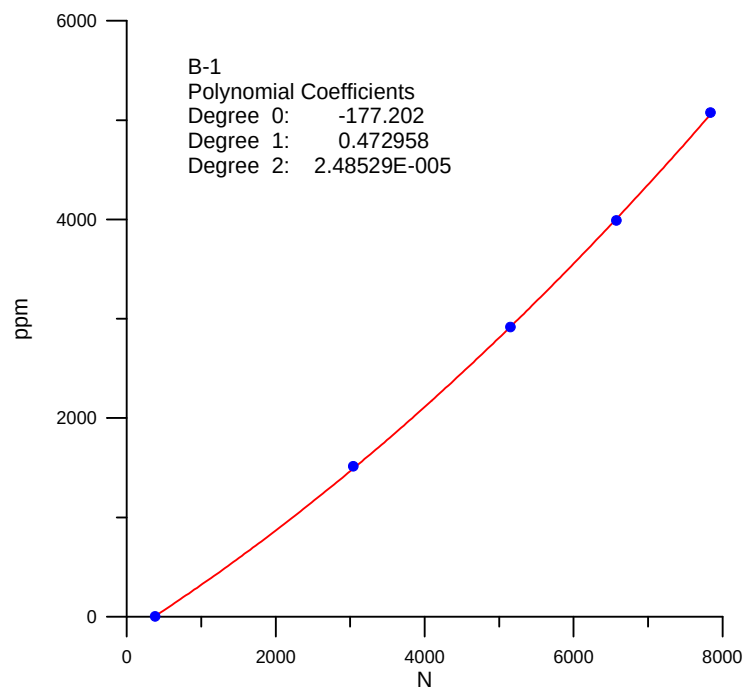


圖 1.7 OBS-3⁺濁度計 B-1 之率定結果

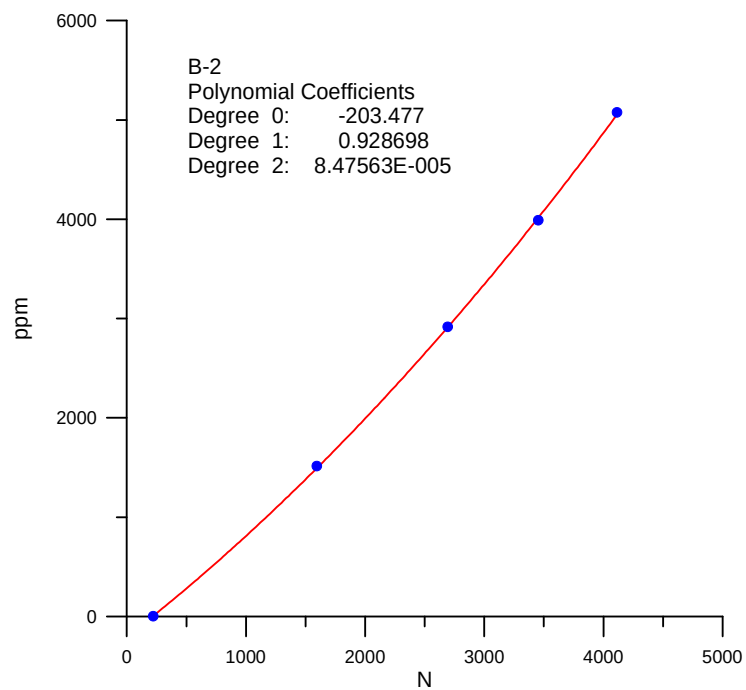


圖 1.8 OBS-3⁺濁度計 B-2 之率定結果

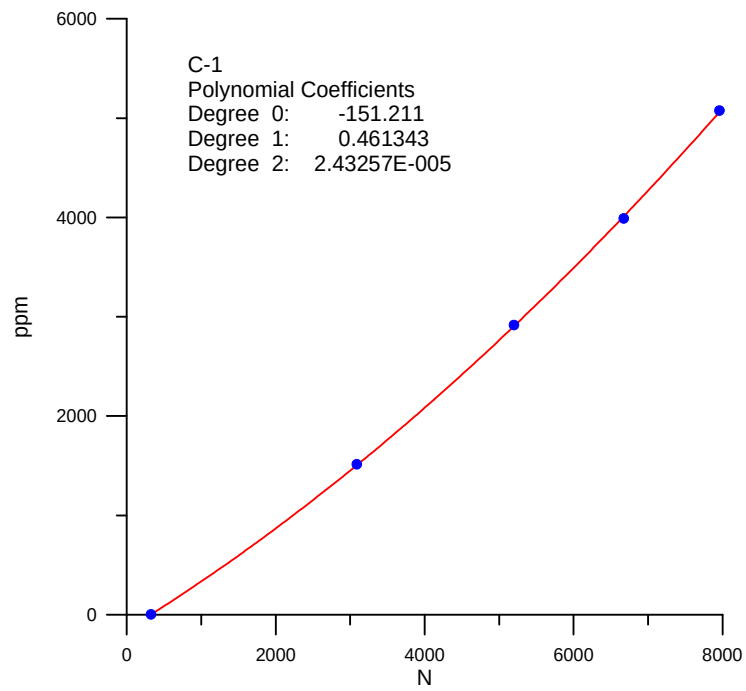


圖 1.9 OBS-3⁺濁度計 C-1 之率定結果

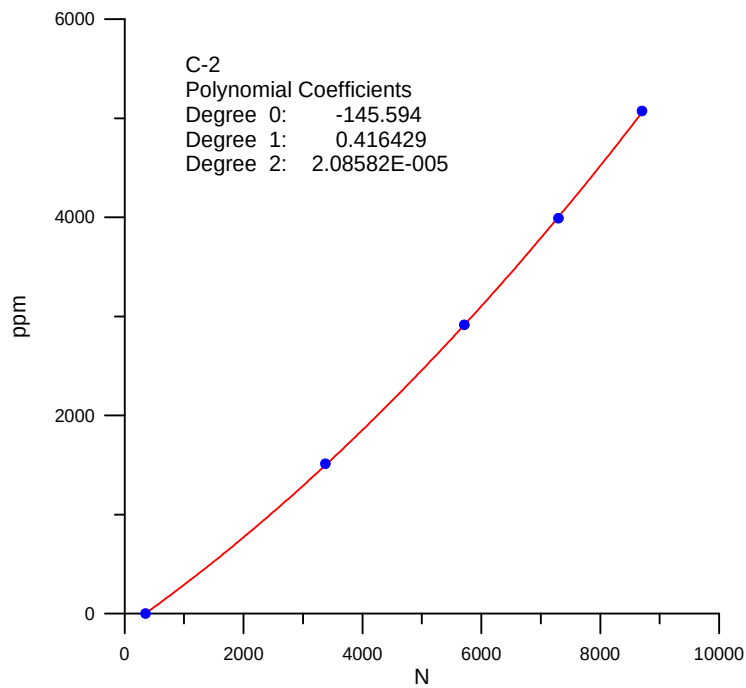


圖 1.10 OBS-3⁺濁度計 C-2 之率定結果

1.2 淡水測站儀器設置與觀測作業

對於海岸地形之影響除了河川輸沙外，波浪作用力產生之沿岸漂沙或向離岸輸沙對於海岸侵淤變化也是重要影響因素。臺北港位於淡水河口南側，本研究於淡水河口北側之沙崙海灘亦設置觀測站，如圖 1.11，測站上由岸向海建立一觀測基線，基線長 100 m，垂直海岸向外，如圖 1.12，測點 A 位於基線上 60m 位置，該處潮差約 2~3m，儀器安裝時間選擇低潮時段，安裝完成後利用當地潮位變化即可取得由溯昇波帶至內碎波帶不同相對位置之波浪、流場與懸浮質濃度分佈等資料。圖 1.13 為淡水測站之觀測儀器組合，包含流速計陣列，由 5 支電磁式流速計、1 支三維超音波式流速計及剖面流速儀等組成，測點分別位於底床上 2 cm、5 cm、10 cm、20 cm、35 cm、50 cm 等處，取樣頻率有 2 Hz 及 8 Hz 兩種；濁度計陣列則包含 4 支光散射式濁度計，測點分別位於底床上 8 cm、18 cm、28 cm、38 cm 等處，取樣頻率 2 Hz，以及 2 支 OBS-3⁺ 濁度計，測點在底床上 1 cm 及 3 cm 位置，取樣頻率 8 Hz；以及 1 支壓力式水位計，取樣頻率 10 Hz。另外還安裝底床攝影裝置，觀察現場底床沙粒運動，所有儀器設備皆以同步方式獨立運作。圖 1.14 則為潮水上漲，測點相對位於內碎波帶情形。



圖 1.11 臺北港北側之沙崙觀測站位置

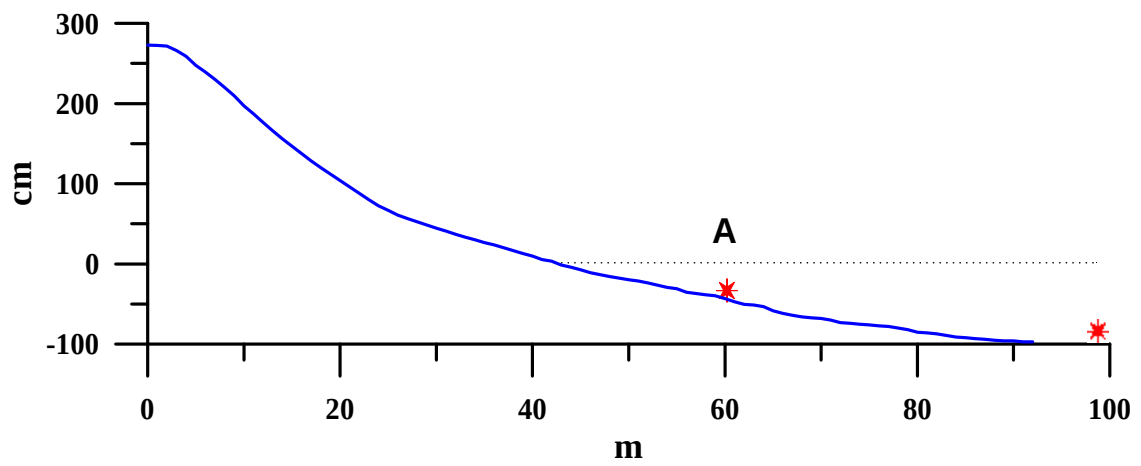


圖 1.12 現場觀測基線之儀器位置及底床地形



圖 1.13 測站底床攝影裝置與觀測儀器組合



圖 1.14 漲潮時測點相對位於內碎波帶情形

第二章 文獻回顧

波浪由深海傳播至淺海時，因水深逐漸變淺，其波長減少、波高增大且波速變小。波浪形態呈現波峰尖銳度 (wave steepness) 增加，波谷平緩，波形前後不對稱之不穩定情況，其前緣較後面陡。當波形超出安定界限時，波峰前傾捲入空氣，波浪形態破碎稱為碎波 (wave breaking)。此時約有 60 % 之波浪能量逸出，對於沿岸流、近岸漂沙、及海域地形變化有極大之影響。一般計算近岸漂沙已有許多區域性半經驗公式，其適用範圍僅能應用在經過調查的特定區域，主要原因為我們對於現場水流與底床輸沙過程的互動細微變化尚未能完全瞭解。本研究終能突破困難，在碎波帶取得現場底床侵淤的瞬時細微變化，有助於瞭解波浪、水流與底床輸沙的相互關係，對於碎波帶輸沙量推算及近岸輸沙模式的發展有重大的幫助。

近岸海域漂沙現象多發生在碎波帶(surf zone)與溯昇帶(swash zone)內，外海入射波浪在碎波帶外因觸底與底床磨擦，於接近碎波帶時，波浪逐漸變形、崩潰並重擊底床，最後以波潮(bore)形態穿過內碎波帶。在海水與灘面交界處波潮崩解，水體以溯昇流(up-rush)沿著灘面向上攀升，波潮崩解的紊流激起底床沙懸浮，同時被帶往前灘(foreshore)高處並在流速減弱時淤積在灘面上。高處水體受重力作用沿著灘面流回海面形成回溯流(backwash)，在較陡坡面上回溯流容易形成薄層流(sheet flow)，底床沙受較大底床剪應力(bed shear stress)作用，以高濃度薄層底移載(bed load)輸沙方式將灘面的沙帶回海裡。溯昇流與回溯流由內碎波帶波潮崩解水體形成，其溯昇舌(swash lens)在溯昇過程中因水體拉長，水深迅速變淺，甚至露出底床。溯昇帶此種流層薄、流速大、高濃度及斷續露出水面的特性對於現場觀測形成極大挑戰。

在研究海岸近岸輸沙時，最常見的現場量測方式就是在垂直海岸方向的直線上將各式量測儀器如光學散射式濁度儀(Downing, 2006)，電磁式流速儀(ECM)或音響式都卜勒流速儀(ADV)，佈放於溯昇帶或碎

波帶內。佈放、調整或收回儀器時通常選擇在低潮時刻，尤其是潮差較大海域，所安裝儀器之離底高度僅在現場觀測前或觀測前後記錄儀器之高程，而忽略了觀測期間之底床變化，或僅將底床變化趨勢視為一種線性變化。

推算沿岸或向離岸輸沙量時必須知道底床上不同高程之流速與懸浮沙濃度，Jaffe et al. (1984)將輸沙率分解為平均項和變動項

$$\langle q_{net} \rangle = \langle uc \rangle = \overline{uc} + \langle u'c' \rangle \quad (2-1)$$

其中 $\langle \rangle$ 表示平均項，當現場流速儀與濁度儀位於同一高程時，該高程之懸浮輸沙率便可據以推算，如 Hanes and Huntly (1986); Huntly and Hanes (1987); Osborne and Greenwood (1992); Masselink and Pattiaratchi (2000); Greenwood et al. (2004)等。但實際進行現場量測時，流速儀與濁度儀有可能並非位於同一高程上，此時必須假設其分佈狀態或以內、外插方式來推算不同高程之輸沙率，例如 Aagaard et al. (1998)。Ogston and Sternberg (1995)則認為由不同高程流速儀與濁度儀推算之輸沙率，其誤差可能高達 50~100%。

近年來，現場量測輸沙量大多使用多部流速儀及濁度儀分別安裝在底床上不同高程位置，以便取得更精確之輸沙率計算依據。由於碎波帶內屬於高能量衝擊區，波能在碎波帶內消散或轉換為搬運懸浮沙之動能，當底床沙被懸浮運移或沉降淤積，底床之高程發生變化，現場佈放儀器之離底高度因之改變。為瞭解波動水流對底床地形變化的影響，Sallenger and Richmond (1984)及 Howd and Holman (1987)以木樁網格置於溯昇波帶，間隔 40~50 秒觀察沙面變化，持續約 1~2 小時；Horn and Walton (2004)以同樣方法但間隔時間縮短為 10~25 秒，並持續 3 小時；Larson et al. (2004) 改以照相方式而非徒手記錄每分鐘的沙面與木樁的相對變化，時間長達 2 小時；Holland and Puleo (2001)以三台攝影機同步觀測溯昇波運動及灘面變化。以上觀測方法皆須將木樁插入沙面，水流經木樁時有可能在木樁周圍形成掏刷現象，不利於灘面高程之正確判讀，而且也只能使用於會間斷露出灘面的溯昇波帶。

Turner and Nielsen (1997) 假設飽和地下水位線與灘面吻合，將水壓計埋入沙面下以避免灘面掏刷現象，但無法消除地下水位變化的影響；Waddell (1980) 利用電容式水位計量測灘面變化，但在記錄過程並未說明如何區分實際灘面與溯昇波水面；Austin and Masselink (2008) 則以直立式多元件光學感測器插入灘面，光學元件間隔 1cm，藉此量測灘面變化，其 1cm 間隔其實無法偵測到灘面的細微與快速變化；Turner et al. (2008) 以 95kHz 超音波由灘面上方 0.8m 位置向下量測灘面或水面距離，再根據測距波型變化剔除溯昇波事件時段即得時序列實際灘面變化，此方法只能應用於水線上方之灘面觀測。

超音波測距儀不直接接觸量測物體，對量測物體影響最小，但超音波本身受水中氣泡及懸浮沙粒散射結果，會有較大噪訊比。碎波帶內容易產生大量氣泡及懸浮沙粒，並不完全適用超音波式觀測儀器，但由於超音波式觀測儀器於安裝時大多懸空固定在鋼架上，可避免干擾或直接碰觸底床，仍是遠距觀測最佳利器。現場觀測時若能同步獲得流場、懸浮沙濃度分佈及底床變化資料，對於碎波帶底床輸沙現象的瞭解與輸沙量推算有極大幫助。

根據 Turner et al. (2008) 在灘面溯昇波帶以超音波量測灘面變化的結果，單一溯昇波對灘面的最大沉積與侵蝕量分別為 18mm 與 -26mm，如以 10 秒週期溯昇波計算 1 小時後灘面侵淤量可能高達 9m，但在實際自然界並沒有此等現象發生，因為底床變化基本上是維持在一種動態的平衡狀態；Austin and Masselink (2008) 在碎波帶使用內置式小型光學散射感測系列(MOBS)測得 5cm 波高的沙漣通過測點；本中心在中芸港近岸曾在水下觀察到 10cm 高的沙漣以約每小時 50cm 的速度向岸方向移動，也曾經利用水下攝影裝置記錄得碎波帶底床沙漣的運移與變動過程，以及溯昇波帶薄層流輸沙現象(林等,2006)；因此可知碎波帶及溯昇波帶的底床灘面在波浪與流作用下隨時都可能發生變化，以動態平衡的方式持續侵淤互見，影響動態平衡作用的可能是底床或灘面坡度變化、波浪衝擊、懸浮質濃度、瞬時流速與流向等因素。由於近岸主要輸沙活動著重在碎波帶及溯昇波帶兩淺水區域，底床變動不但

改變觀測儀器的相對位置，對於輸沙量估算也有非常重要影響。

第三章 攝影觀察淤昇帶之底床變化

本研究於淡水沙崙海灘佈置超音波流速儀、散射式濁度儀、壓力式水位儀及水下攝影系統等裝置觀測淤昇波運動及灘面底床侵淤變化。水下攝影裝置是以攝影機朝下方式置於防水箱中，並以鏡面反射原理，使攝影箱裝置對底床流場及沙面有最小干擾及接觸面之情況下，進行現場底床漂沙活動之觀測攝影，攝影裝置如圖 3.1 說明。

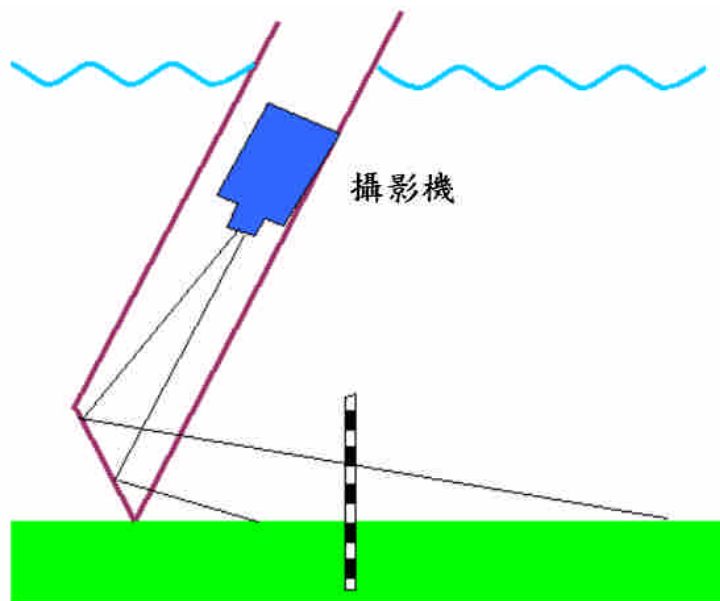


圖 3.1 現場攝影裝置示意圖

現場灘面插入一支直徑 6mm 長 100cm 之不鏽鋼桿子，尾端露出沙面 20cm，表面間隔 1cm 以紅色、黑色標誌依序排列。觀測期間正值漲潮，潮差 173cm，圖 3.2 為潮水侵入測點前之沙面起始位置，假設 $Z=0$ 位於桿子上第二個紅色刻度下方，則原始沙面位於 $Z=-1.8\text{cm}$ 處，右上角為經鏡面反射之手錶時間，左右顛倒，此時為下午 3 點 19 分，左上角標示影片放映時間，由 0 分 0 秒開始即 00:00。每一秒再以影像擷取軟體取出 4 張連續圖像，分別為 -0、-1、-2、-3，圖中粗箭頭表示當時水流方向。圖 3.3-(1)~(26) 為在單一淤昇波事件時間內，攝得底床流況、懸浮沙運移與高程之變化，全程時間約 27 秒，觀測點位在灘面

斜坡下層，當入射波進入碎波帶後會在灘面斜坡底崩解產生溯昇波，以下逐一說明溯昇波過程之底床變化。

圖 3.3-(1)為前一溯昇波結束時，沙面 $Z=-2.2\text{cm}$ 幾乎露出於空氣中；圖 3.3-(2)為波潮(bore)崩解產生溯昇波由左往右向灘面溯升；圖 3.3-(3)標尺瞬間沒入水中，捲起的沙使標尺完全遮蔽，因標尺與攝影系統為固定裝置，其 $Z=0\text{cm}$ 刻度位置不變；圖 3.3-(4)為溯昇波峰通過後水位下降，水中懸浮沙濃度稍微下降，標尺隱約可見；圖 3.3-(5)~(7)為溯昇流(up-rush)持續向右，水位下降，沙面降至 $Z=-3.0\text{cm}$ ，被侵蝕懸浮的沙隨溯昇流往灘面高處移動；圖 3.3-(8)~ (9)有一未崩解小波潮通過，水位抬升後落下，波峰通過時底床附近迴轉水流將一部份沙帶回，沙面 $Z=-2.9\text{cm}$ ；圖 3.3-(10)緊接著又一崩解小波潮通過，捲入空氣產生大量氣泡，內部水流由上往下；圖 3.3-(11)為轉流瞬間，底流靜止；圖 3.3-(12)~(14)回溯流(backwash)開始，水流向左，初期因之前溯昇流攜帶的懸浮沙已大部份沉降，因此迴流初期仍造成沙面瞬間侵蝕 $Z=-3.0\text{cm}$ ；圖 3.3-(15)~(24)持續回溯流，水位迅速下降，流速增加同時將灘面高處沙帶往低處，沙面回填 $Z=-2.2\text{cm}$ ；圖 3.3-(25)~(26)為另一波溯昇波侵入。可見得每一次溯昇波通過會使沙面產生微小變化，本次觀察一次溯昇波通過期間 $\Delta Z \approx 0.8\text{cm}$ ，但在環境不變的狀況下，溯昇波通過後灘面仍會恢復原來狀態。當環境條件有大的變動，例如潮汐、波浪、流況、底床坡度變化等，沙面侵淤情況才會隨之改變以達到另一種平衡狀態，此即為動態平衡。

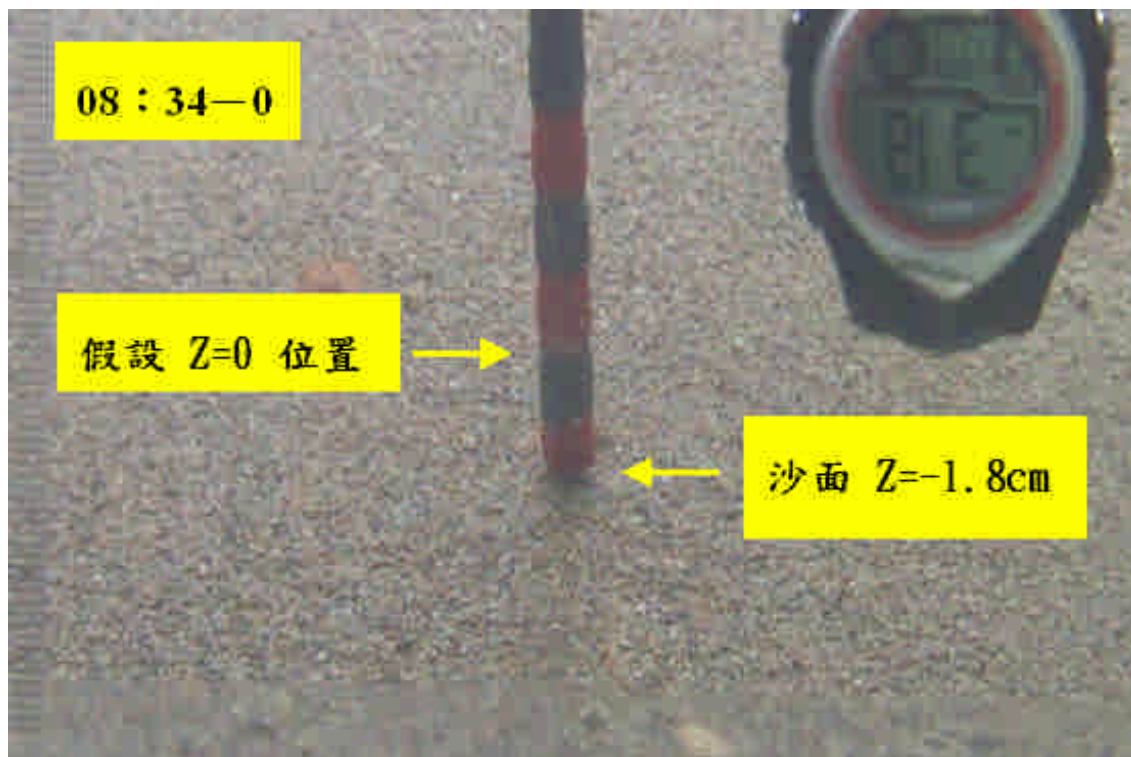
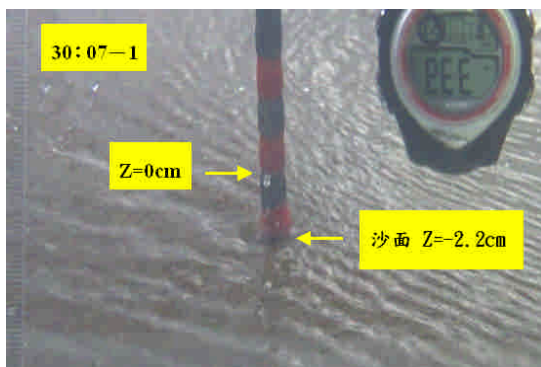


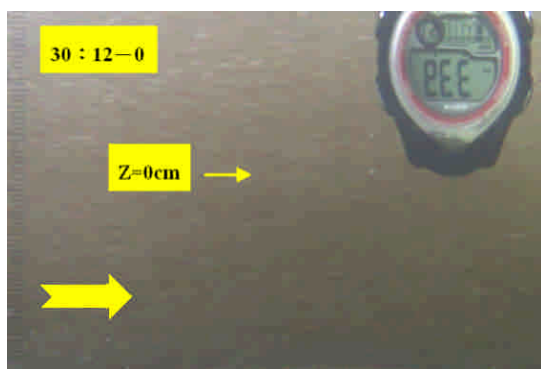
圖 3.2 潮水侵入測點前之沙面位置



(1)



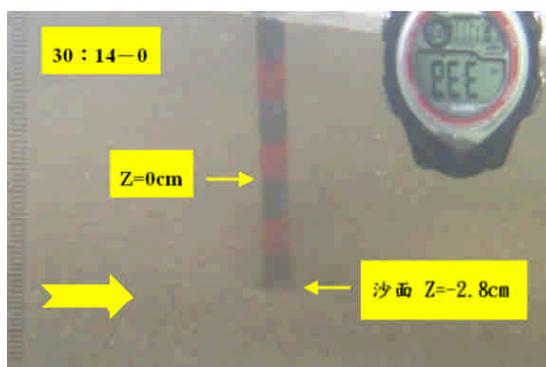
(2)



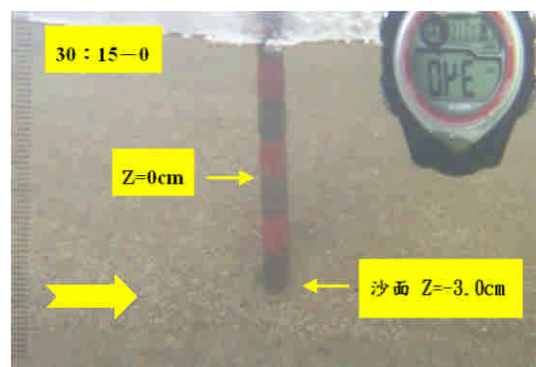
(3)



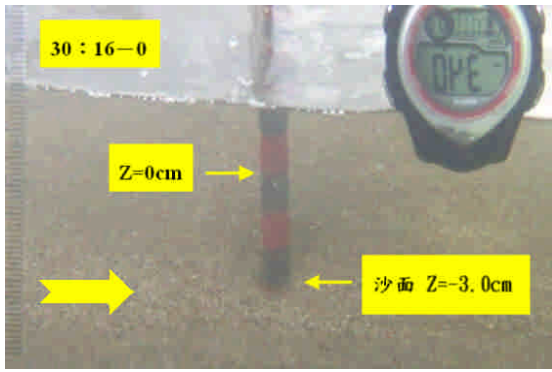
(4)



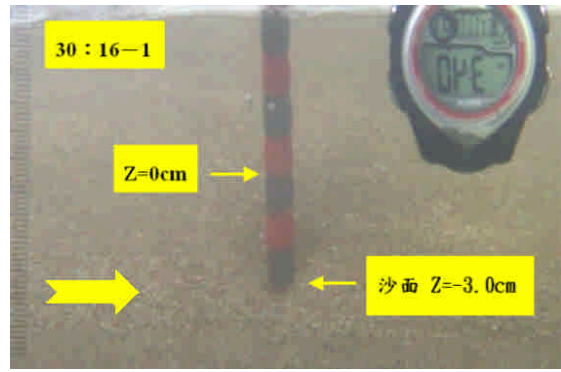
(5)



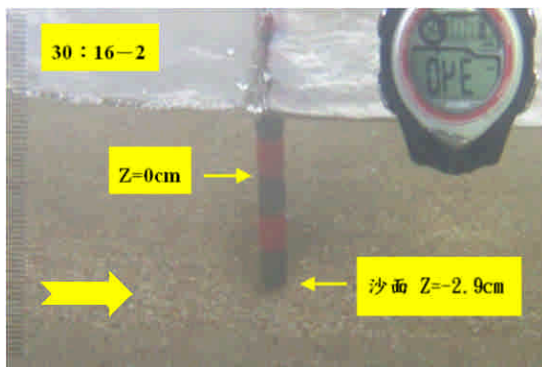
(6)



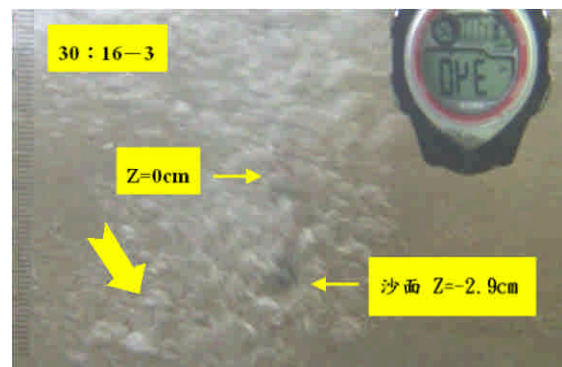
(7)



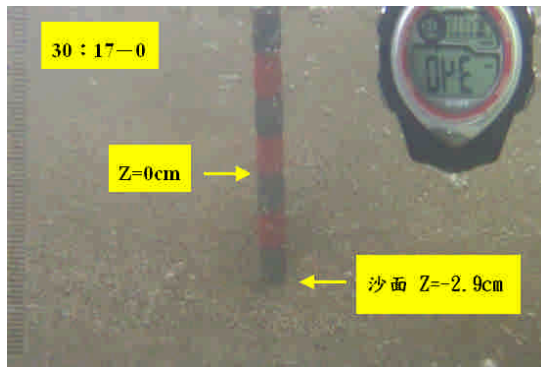
(8)



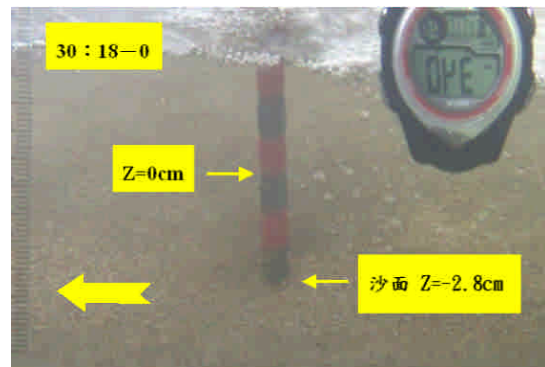
(9)



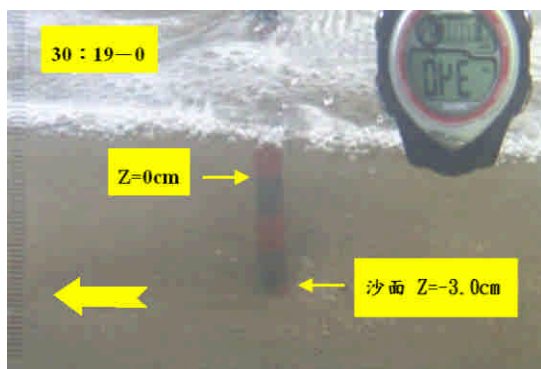
(10)



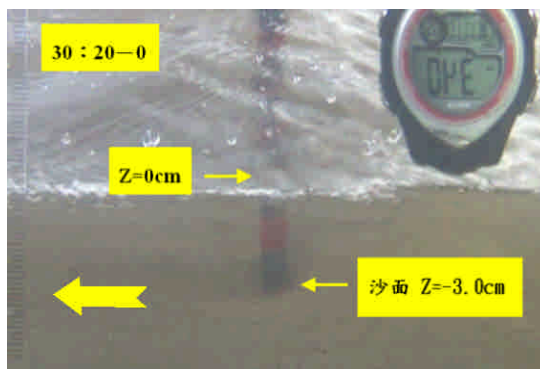
(11)



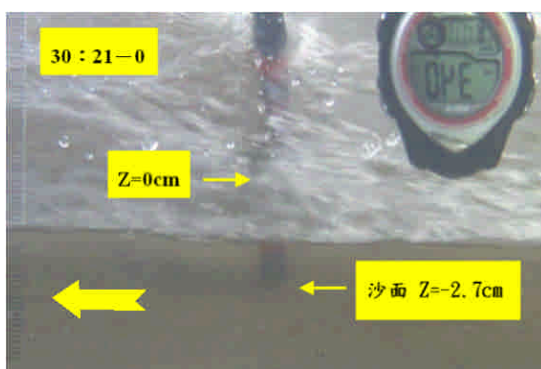
(12)



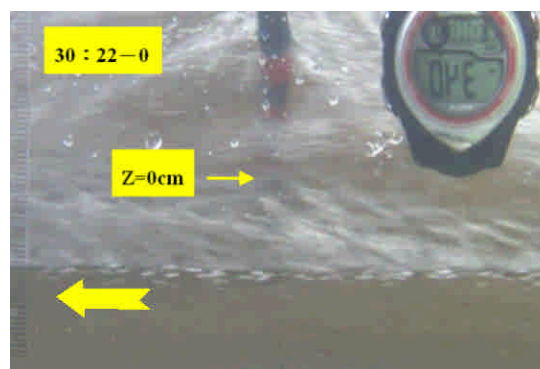
(13)



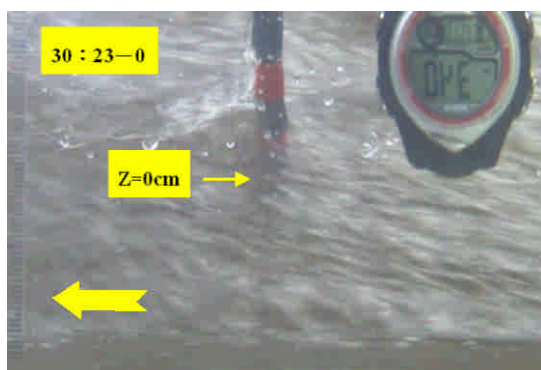
(14)



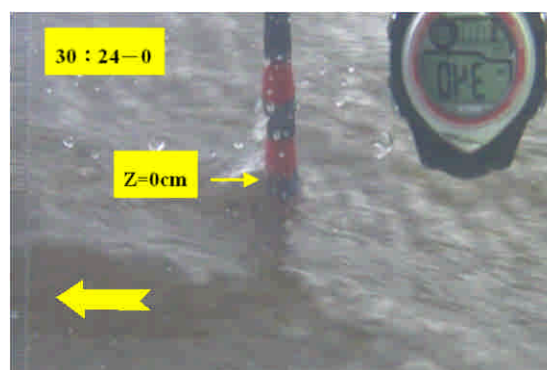
(15)



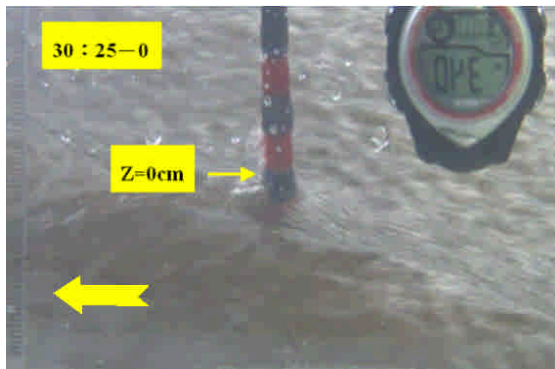
(16)



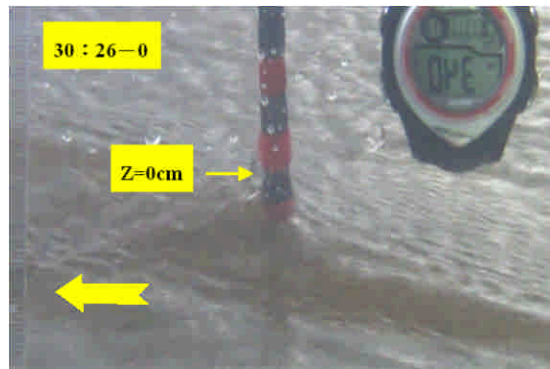
(17)



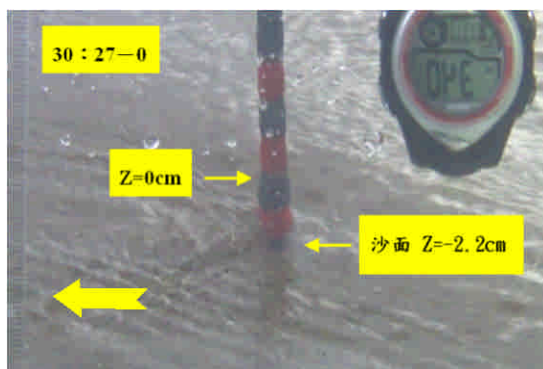
(18)



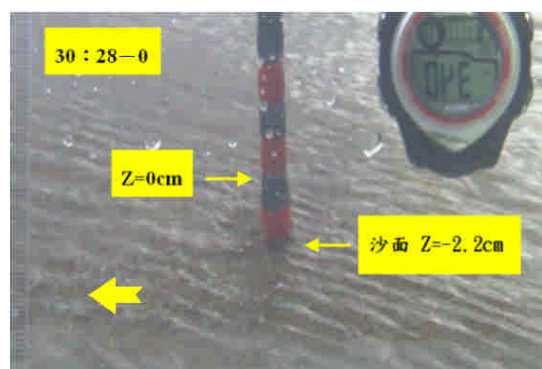
(19)



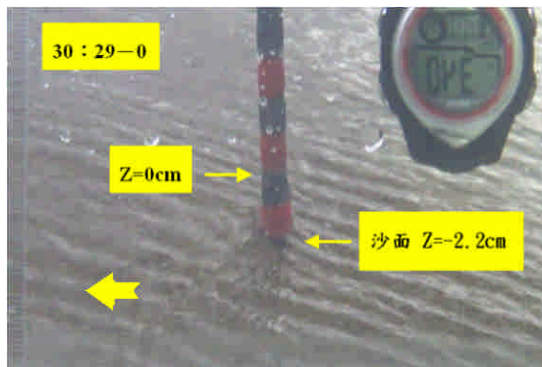
(20)



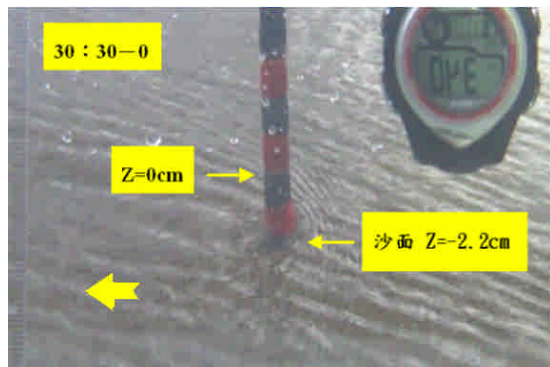
(21)



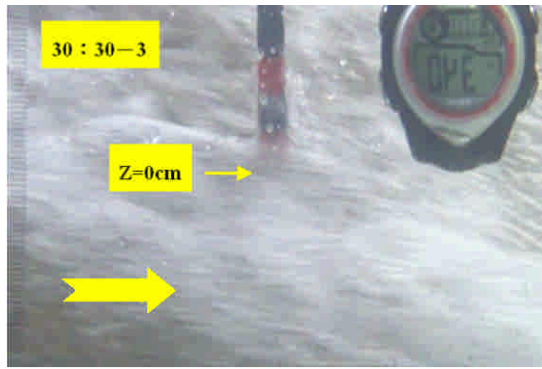
(22)



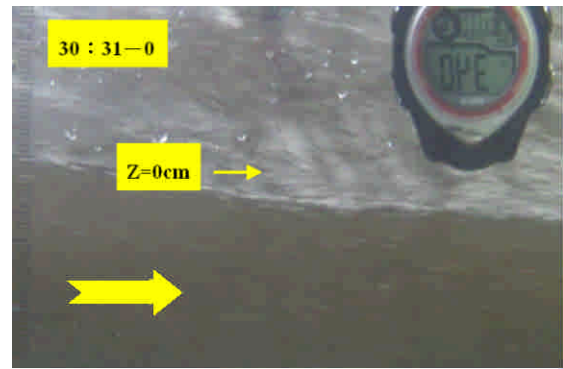
(23)



(24)



(25)



(26)

圖 3.3(1)~(26) 單一溯昇波事件之連續攝影畫面

以上拍攝之溯昇波過程中，同時有壓力式水位計記錄水位變化，壓力測點位於零水位沙面上，取樣頻率 10Hz。如以圖 3.2 潮水侵入測點前之沙面位置，即鏡頭前標竿 $Z=-1.8\text{cm}$ 處作為 Y 軸之零點位置， $y=0\text{cm}$ ；X 軸為圖 3.3 各小圖左上角顯示之時間，單位秒。結合水位與底床變化，繪如圖 3.4，顯示 10 秒至 18 秒期間為溯昇流階段，底床被侵蝕約 1cm，溯昇流將懸浮沙帶往灘面高處，溯昇流停止時部份懸浮沙立即沉降，底床回淤 0.2cm；18 秒至 30 秒期間為回溯流階段，回溯流初期因停流或流速較緩時懸浮沙沉降致水中含沙量降低，底床再度被侵蝕刷深，但隨後之回溯流流速增加將灘面高處沙捲入攜帶落淤於低處灘面上，底床逐漸回淤。由以上單次溯昇波過程之底床變化知道一次溯昇波過程中，沙面可能先遭溯昇流(up-rush)侵蝕把沙帶往高處，而隨後之回溯流(backwash)則可能又把高處的沙帶回原處，但是否完全恢復原狀則視當時環境條件而定，因此每一次溯昇波事件結束都可能有稍微的沙面調整。由於本次觀測是在漲潮期間，隨著潮位升高，檢視底床沙面之高程確有逐漸被侵蝕之情況，圖 3.5 為 44 分 30 秒時之沙面高程， $Z=-3.8\text{cm}$ ，比較圖 3.2 時間 8 分 34 秒潮水侵入測點前之沙面位置， $Z=-1.8\text{cm}$ ，底床被侵蝕了 2cm，這即是潮位環境改變造成的變化。

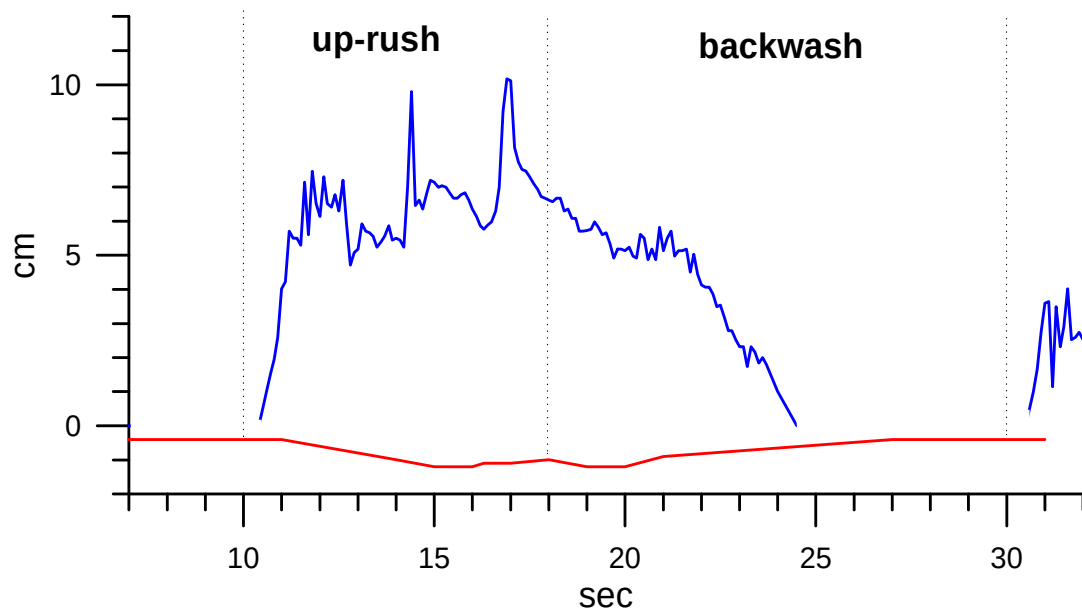


圖 3.4 單一溯昇波事件之水位與底床面變化

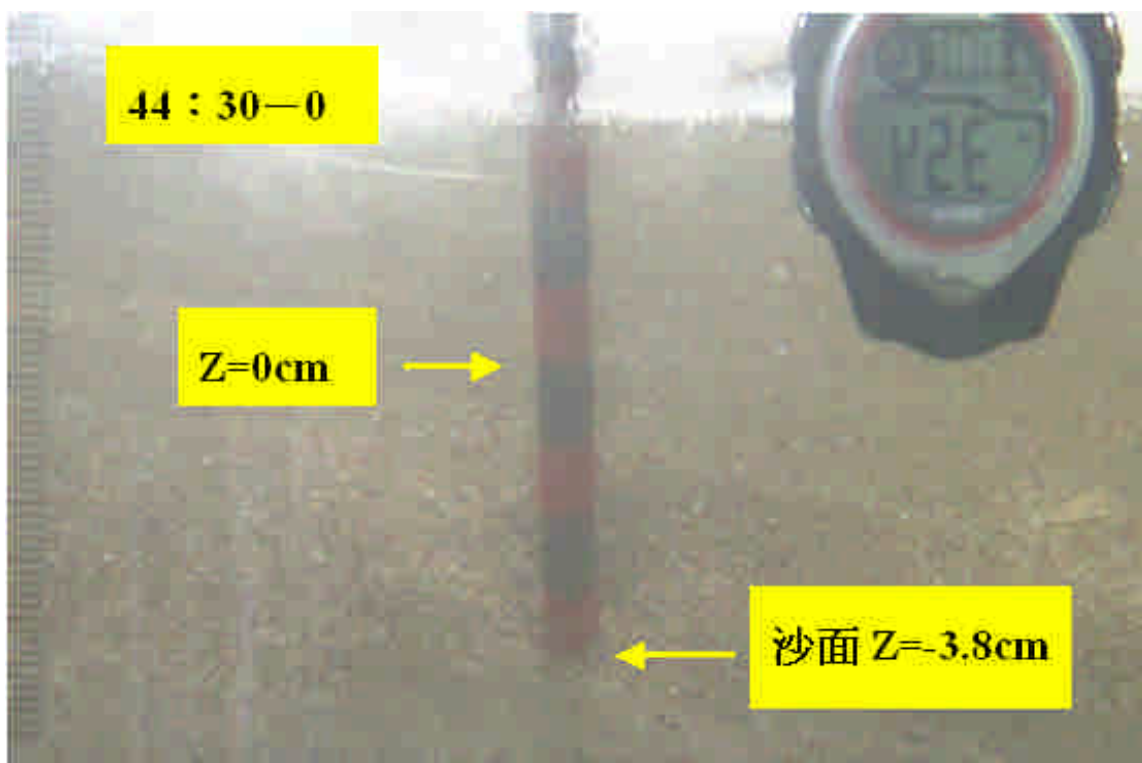


圖 3.5 潮水上升後之沙面位置

第四章 現場觀測作業及儀器安裝說明

長久以來各研究團隊對於碎波帶之現場觀測作業皆將儀器以高架方式事先佈放於碎波帶內，並假設儀器高程沒有變化的的情況下計算及分析所有相關記錄資料。由於計算碎波帶內波浪作用之底床剪應力及輸沙量推算皆需要正確的儀器高程或沙面位置，而觀測期間的沙面位置因量測困難度很高，例如直立式沙面測定儀將多元件光學感測器內置於直立桿子內，各感測器間隔 1cm，桿子直徑 32mm，其適用於大範圍沙面變化大而緩慢的區域，對於水淺又多變化的碎波帶底床沙面則無法快速並精確反應沙面的瞬間變化，何況桿子本身直徑會造成周圍沙面掏空現象，無法正確記錄沙面位置。碎波帶內因波浪淺化碎波及底床剪應力作用，水中懸浮沙濃度高，也不容易以水下攝影法判定沙面位置。埋入式水壓計或電容式水位計都無法應用在仍有水深的碎波帶沙面監測，以標尺及水平儀在碎波帶內移動定時量測底床沙面的人工作業方式過程緩慢又粗糙，無法反應沙面瞬時微變的效果。

比較可行的是利用音響式測深儀，來量測沙面距離，因為音波測距儀器與沙面無直接碰觸，但仍會受水中懸浮沙粒散射影響產生雜訊，因此主要困難點在如何選擇適當的音波頻率範圍及資料解析方法上。Turner et al. (2008) 以 95kHz 超音波由灘面上方 0.8m 位置向下量測灘面或水面距離，再根據資料波型變化剔除溯昇波事件時段即得時序列實際灘面變化。其方法是將超音波測距儀安裝在空氣中直接測量儀器到水面或沙面的距離，然後利用計算方法將不屬於沙面量測資料剔除，剩下部份即為沙面距離，不過其方法只能用於溯昇波帶之灘面測量，不能用於碎波帶內。本研究經測試後發現 10MHz 的超音波波頻可以在淺水中獲得相當可靠的距離量測，因此於 99 年 9 月 30 日在安平近岸碎波帶內佈置超音波式流速計、濁度計、水位計及超音波式測距儀，安裝地點如圖 4.1 所示位於台南安平港以南約四公里，二仁溪口以北約二公里處沙灘區，現場海岸線為南北走向，沙灘寬約 30 公尺，

該沙灘面對臺灣海峽，一年中受冬季的東北季風，夏季的西南季風、颱風，以及潮流等影響，漂沙活躍，地形變化極大。

圖 4.2 為測站垂直海岸線地形及測點位置，主要儀器位於測點 A，由 5 具 OBS-3⁺濁度計組成垂直陣列，可量測沙濃度至 50g/L，測點高程依序分別為 0.5cm、3cm、7.5cm、11.7cm 及 15cm，濁度計連接 3 組 VECTOR 流速計訊號接收端，擷取頻率可達 8Hz，VECTOR 超音波式流速計可測單點三維流場，分別安裝於底床上 5.3cm、22.7cm 與 40.2cm 位置如圖 4.3，為儀器下水前固定於儀器架上情形，所有儀器於安裝前都必須經過嚴格的率定與時間校正程序。

碎波帶主要輸沙層位於底床邊界附近，本研究使用瑞典製超音波式剖面流速儀(UVP)，探頭直徑 13mm，發射音頻 2MHz，適合在高濃度懸浮質液體中進行觀測。超音波探頭以 θ 角斜向入射，量測底床附近之流場，使用單一探頭必須假設流場為一維之水平流場。現場 UVP 探頭離底高 16cm，安裝方式如圖 4.4，其使用頻率與可量測範圍、最大速率及解析度關係如表 4.1。另外為瞭解觀測過程中底床輸沙對沙面高程的影響，在離底 8.5cm 高處安裝一具挪威製超音波式測距儀，由上向下以 10MHz 音頻測量沙面距離，取樣頻率為 10Hz。現場進行了 5 個試次的底床測量，每次測量時間約 10 分鐘，起始時間選擇 99 年 9 月 30 日當天下午 3 時為全部儀器同步啟動觀測之基準點以及分析資料時之 0 秒時間原點，5 次試次時間分別列於表 4.2。圖 4.5 為 UVP 與超音波測距儀，全部儀器於岸上組裝完成後即將整組儀器移至水下測點 A 位置，並以鋼釘懸空固定。

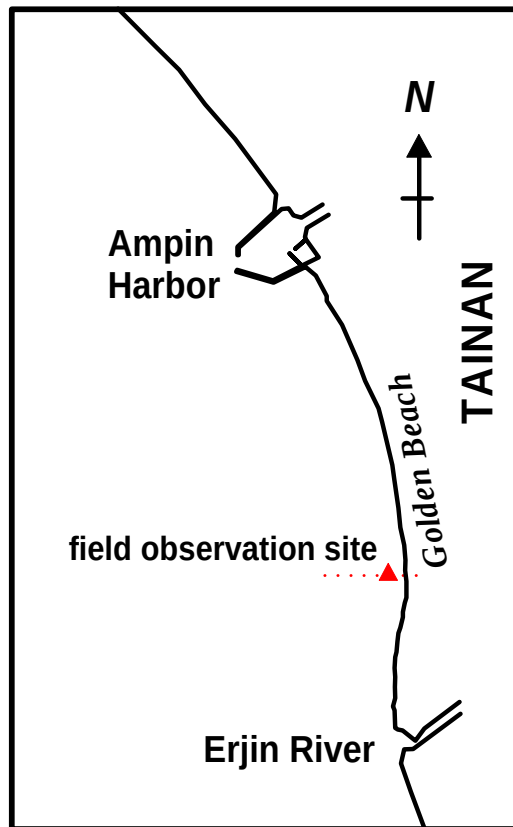


圖 4.1 安平近岸海流、波浪及漂沙觀測站位置圖

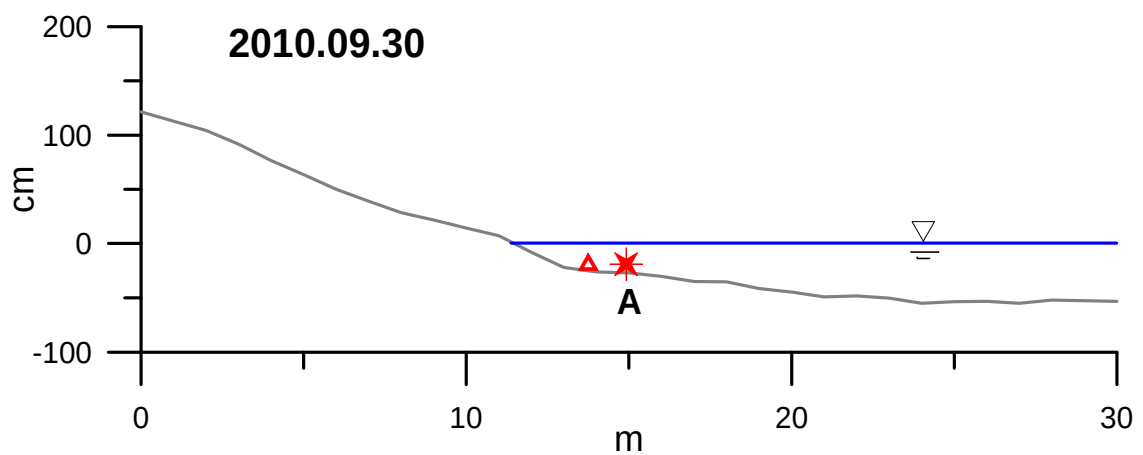


圖 4.2 測站垂直海岸線地形及測點位置圖

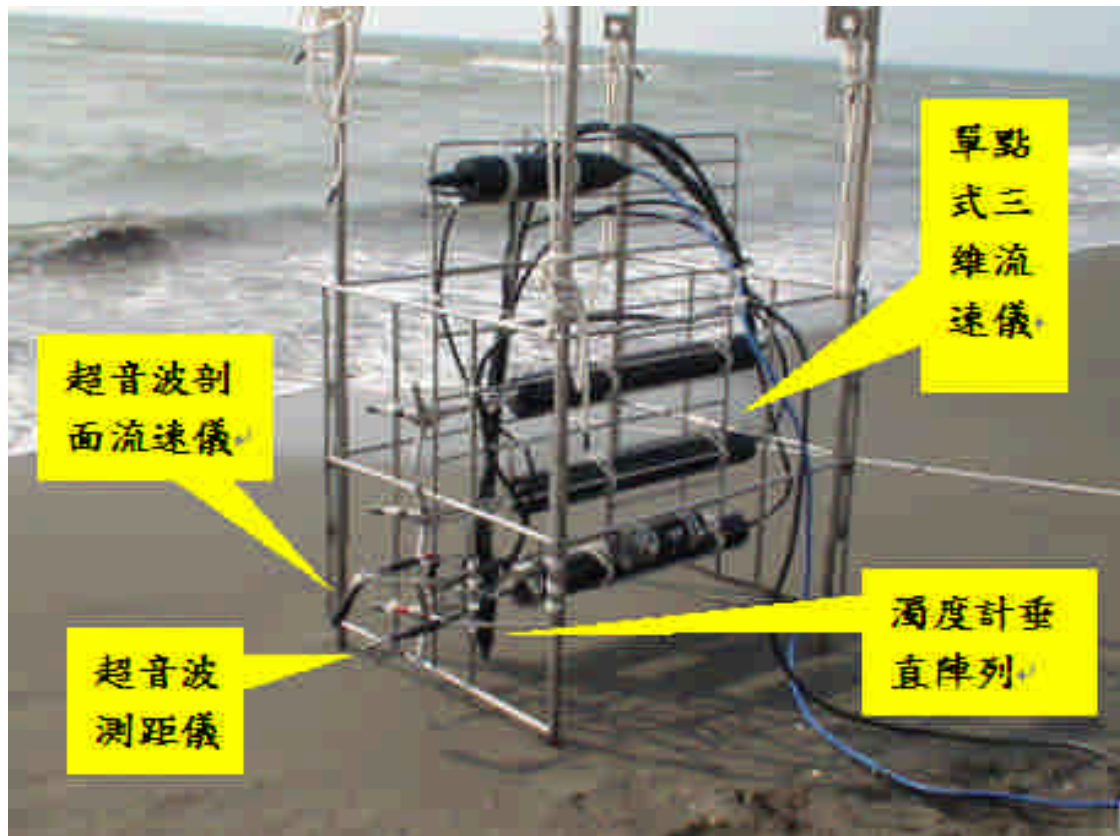


圖 4.3 測點 A 儀器佈置說明

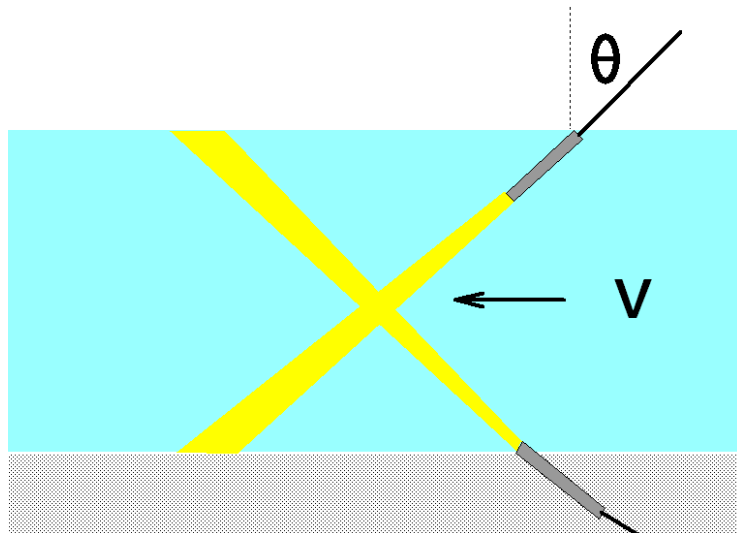


圖 4.4 超音波式流速剖面儀探頭安裝示意圖

表 4.1 使用不同頻率時 UVP 之可量測範圍、最大速率與解析度

f_0 (MHz)	$P_{\max}$ (mm)	V_{range} (mm/s)	ΔV (mm/s)
0.5	100	10,952	42.78
	750	1,460	5.70
1	100	5,476	21.39
	750	730	2.85
2	100	2,738	10.70
	750	365	1.43
4	100	1,369	5.35
	750	183	0.71
8	100	685	2.68
	750	91	0.36

f_0 : ultrasound basic frequency

表 4.2 現場底床量測試次時間說明

試 次	時間歷程(sec)	起始時間
1	360 ~ 960	15 : 06 : 00
2	960 ~ 1560	15 : 16 : 00
3	1570 ~ 2170	15 : 26 : 10
4	2800 ~ 3400	15 : 46 : 50
5	3420 ~ 4000	15 : 57 : 00

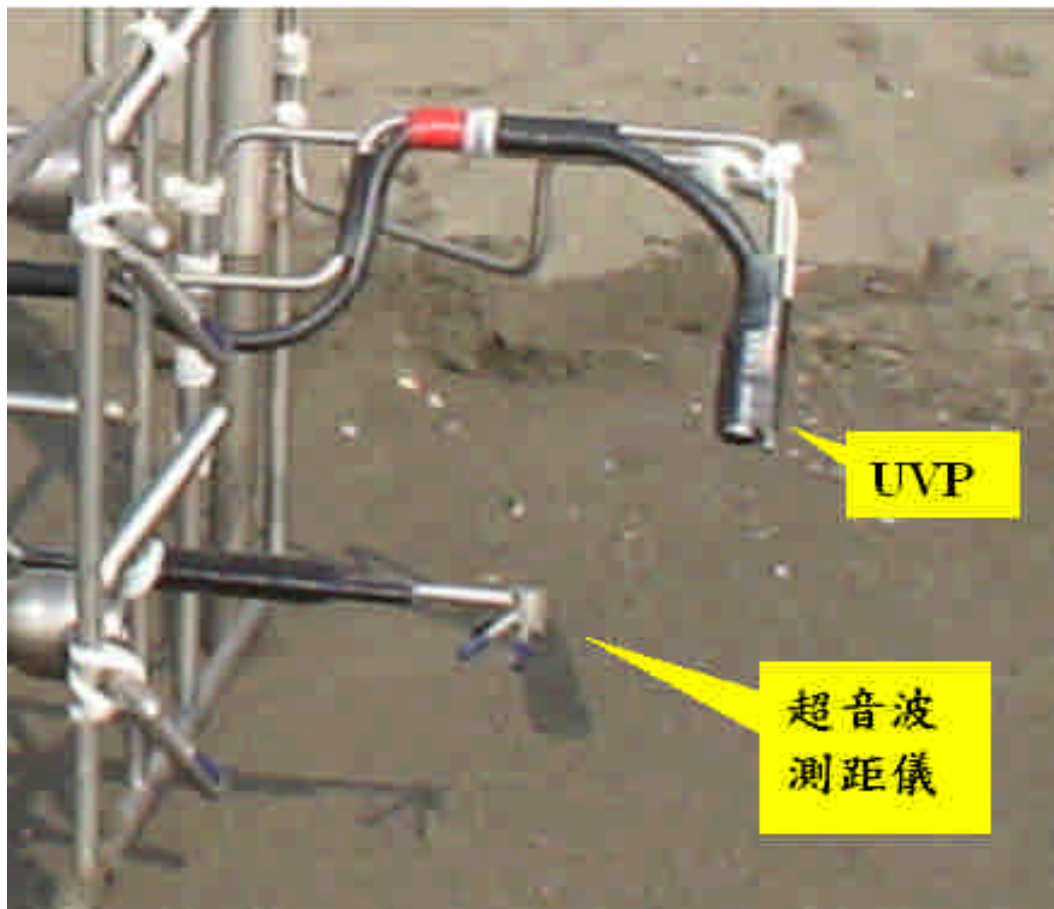


圖 4.5 UVP 與超音波測距儀近視圖

第五章 觀測資料分析與說明

5.1 底床邊界之測距資料分析

觀測期間正值小潮，計算觀測期間測點 A 之水深與示性波高變化如圖 5.1，x 軸為時間軸，配合觀測時間將 0 秒起算點設在下午 3 點，退潮落差只有約 5cm，示幸波高維持約 30cm，潮位及波高變化影響非常小。測點 A 儀器安裝在內碎波帶，接近波潮(bore)崩解產生溯昇波區域，超音波測距儀由上向下發射 10MHz 音頻，離底高 8.5cm。由於碎波及底床剪應力作用，常有大量沙粒或氣泡懸浮水中，反射音頻，造成雜訊，但也可顯示沙粒質點散佈水中狀況。圖 5.2 為 5 組不同時段以超音波測距儀進行觀測之 10 分鐘量測原始資料，其中由密集高強度反射訊號標誌之線段即為底床界面位置，而分散其上的點則為受懸浮沙粒散射造成的低強度訊號。

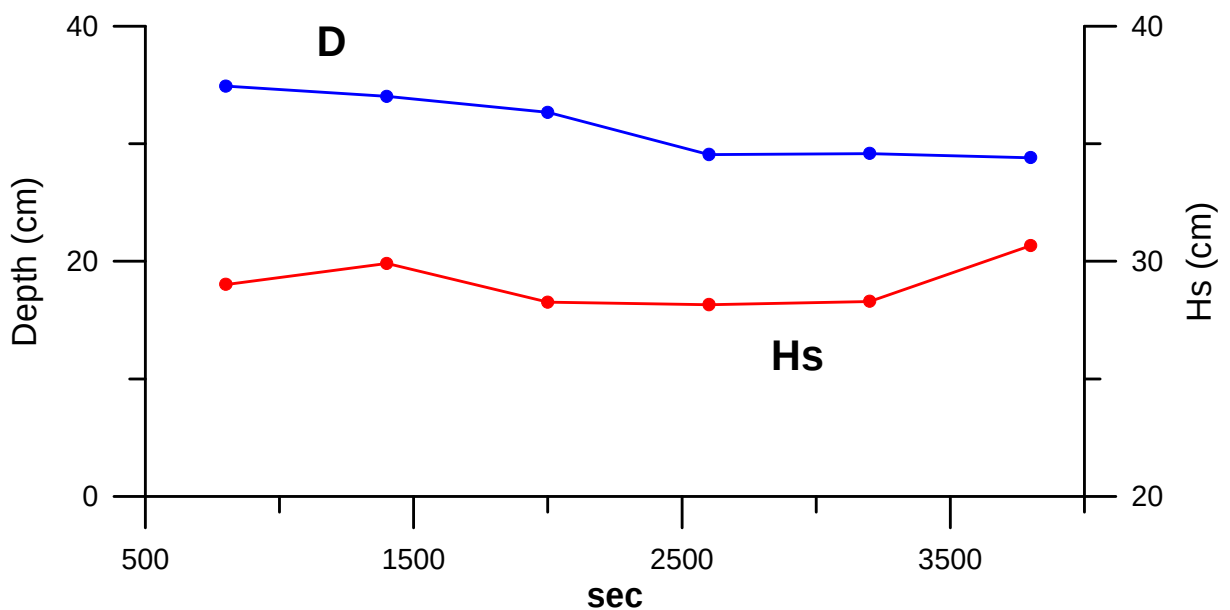


圖 5.1 觀測期間測點 A 之水深與示性波高變化

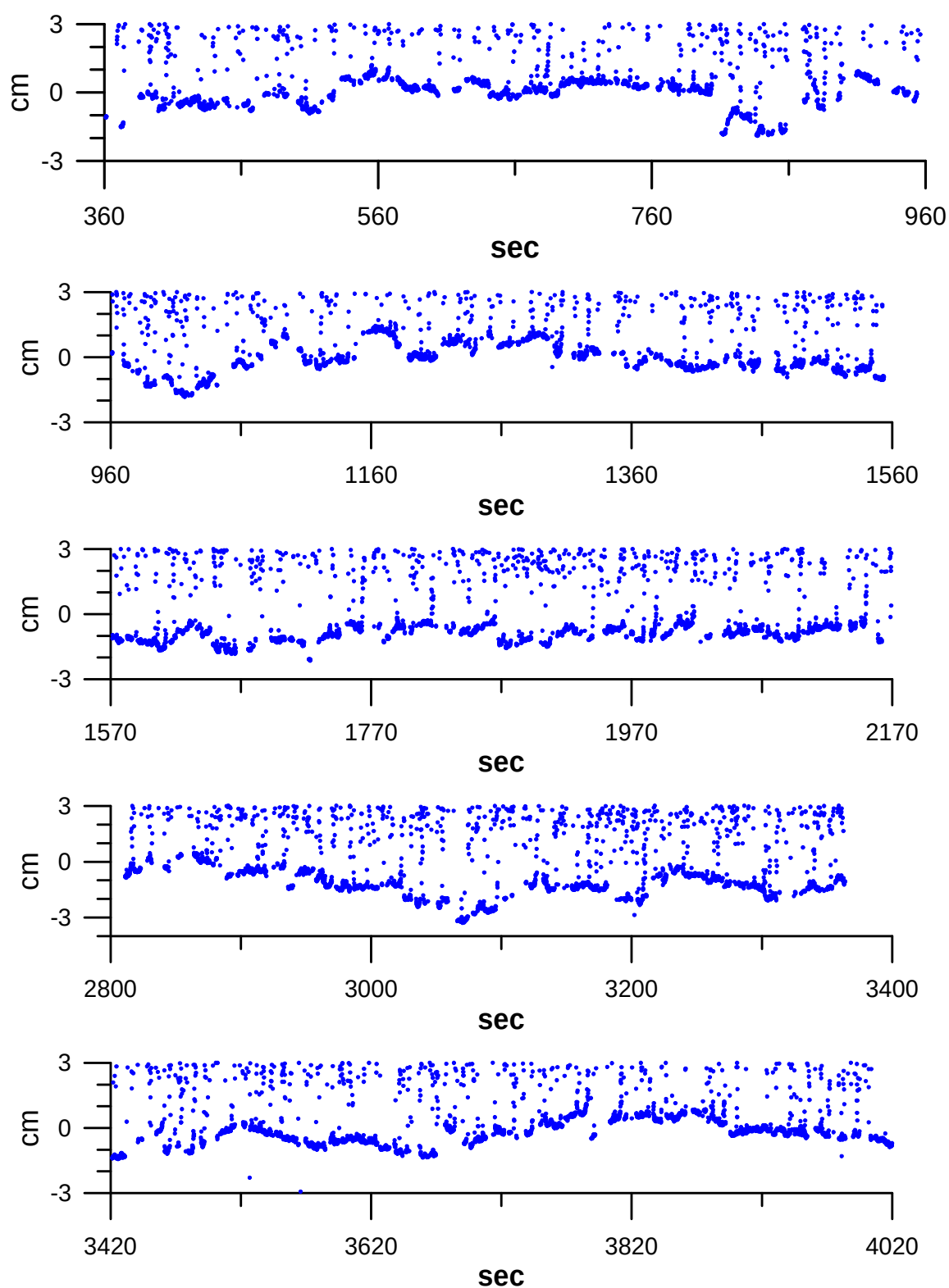


圖 5.2 超音波測距儀量測之原始資料

根據現場水中測得音速 1512.8m/s，音頻 10MHz 的音波波長為 0.151mm，略小於現場底床沙粒之中值粒徑 0.25mm，剛好可以對懸浮的較粗顆粒產生散射效果，反射部份音波，訊號回波強度小；對於非常細小的粉狀常懸浮物質則可繞射通過，減少回波雜訊，可以更容易判斷底床界面及沙粒懸浮狀態。圖 5.3 顯示部份時段的訊號分佈與回波強度，x 軸為垂直底床高度，0 點為試驗開始前儀器安裝時之底床面位置，作為基準點；y 軸為回波強度，訊號回波最強處即當時底床位置。圖中顯示底床位置的回波訊號包含弱訊號至強訊號，是因為水中懸浮物並非一次全部沉降底床，尚未沉降之懸浮物濃度足夠讓音波傳遞到達底床而又有部份遮蔽作用造成較弱訊號；強訊號則是水中懸浮物已大致沉降，訊噪比增強的結果。

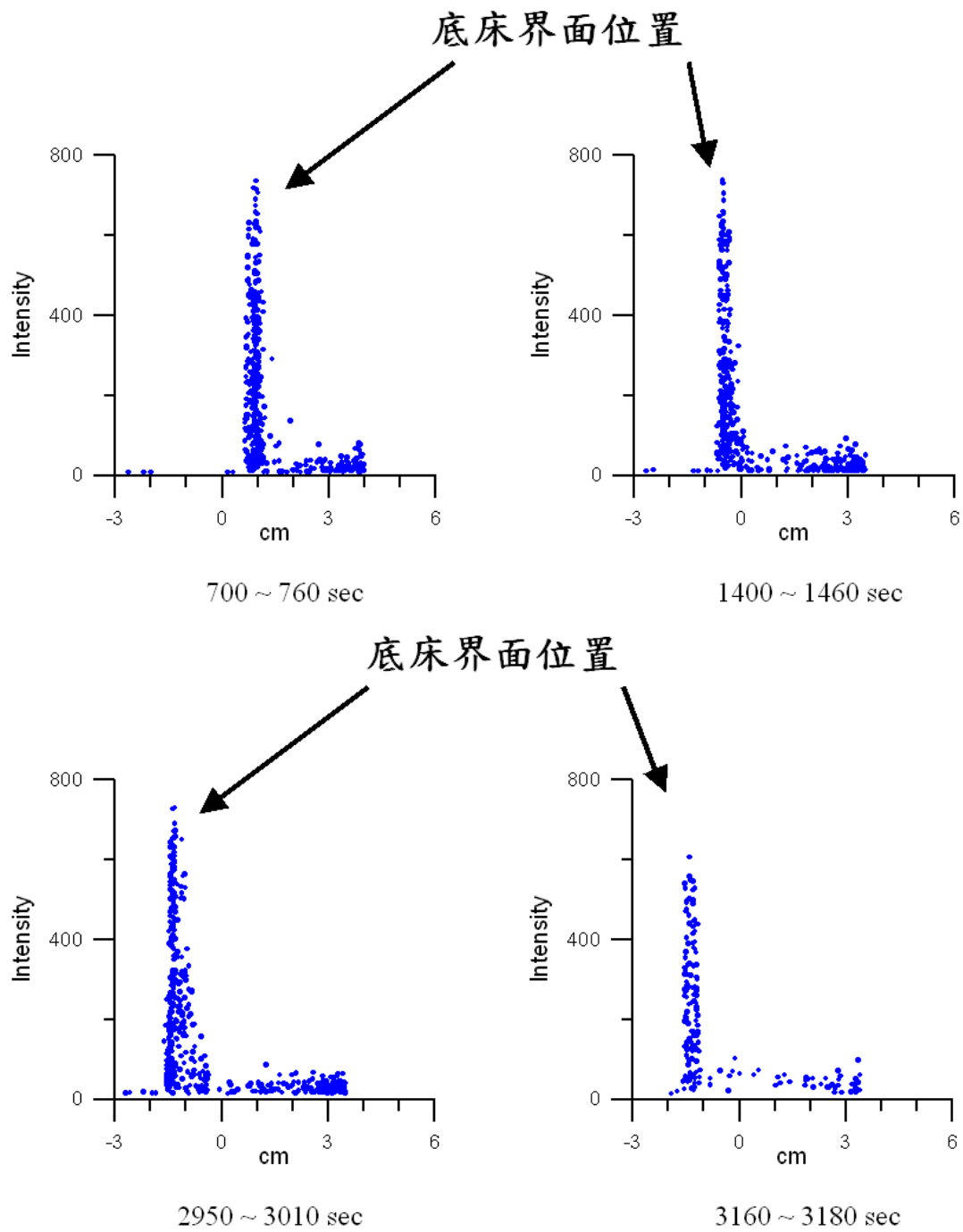


圖 5.3 以超音波測距儀偵測底床界面位置

分別計算不同試次所有回波強度相對於底床邊界距離的平均值發現主要強回波皆集中在底床邊界上，並依回波訊號數量百分比相對於底床邊界距離分佈繪如圖 5.4(a)~(e)。發生在底床邊界下 $z < 0$ 的訊號應

該是受顆粒多次反射產生的雜訊，其量很少強度也很弱，因此不影響底床邊界判讀的精確度。根據以上超音波回波訊號特性，我們可以清楚判讀底床位置，據以瞭解底床在碎波帶內受波浪作用及輸沙過程中的變化。

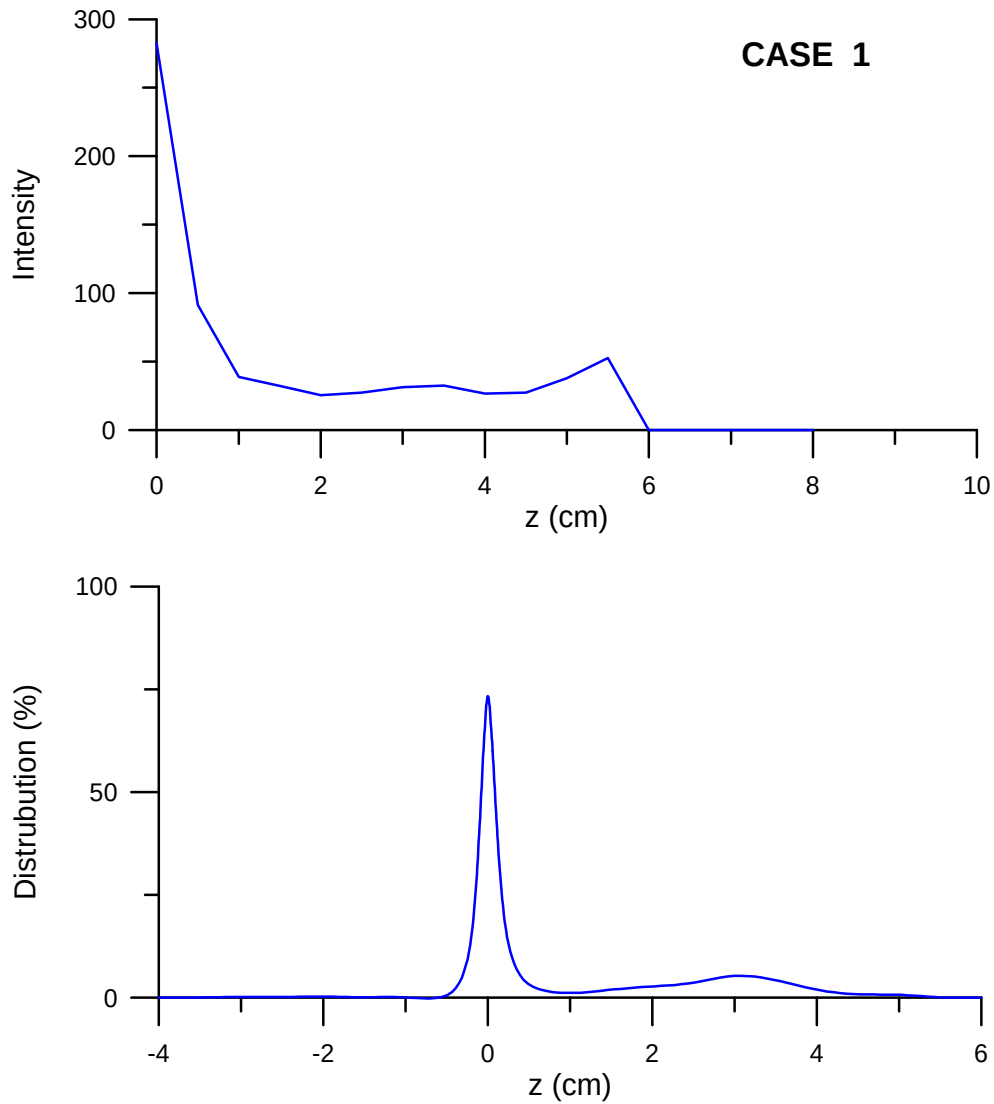


圖 5.4(a) CASE 1 回波訊號相對於底床($z=0$)之平均強度分佈(上)，及回波訊號相對於底床($z=0$)之數量分佈(下)

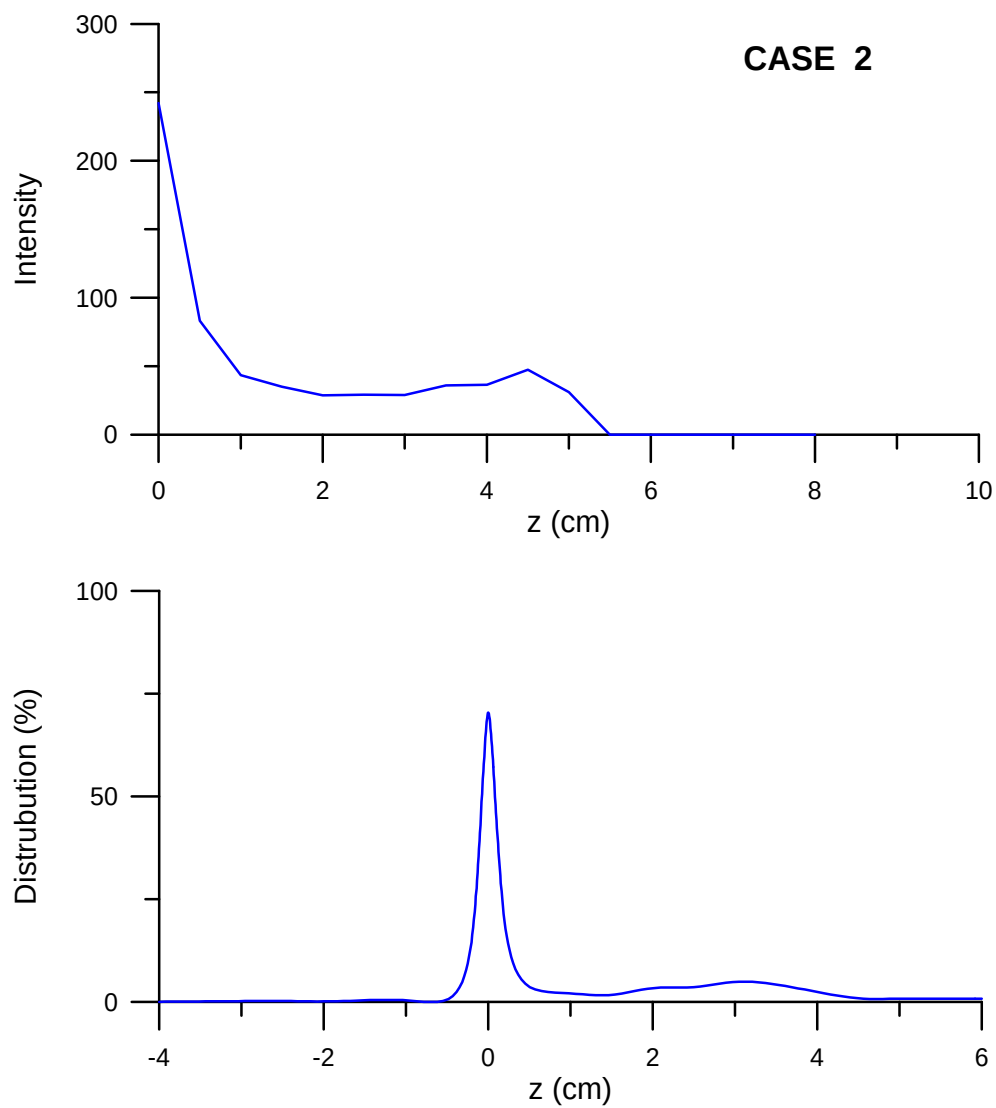


圖 5.4(b) CASE 2 回波訊號相對於底床($z=0$)之平均強度分佈(上)，及回波訊號相對於底床($z=0$)之數量分佈(下)

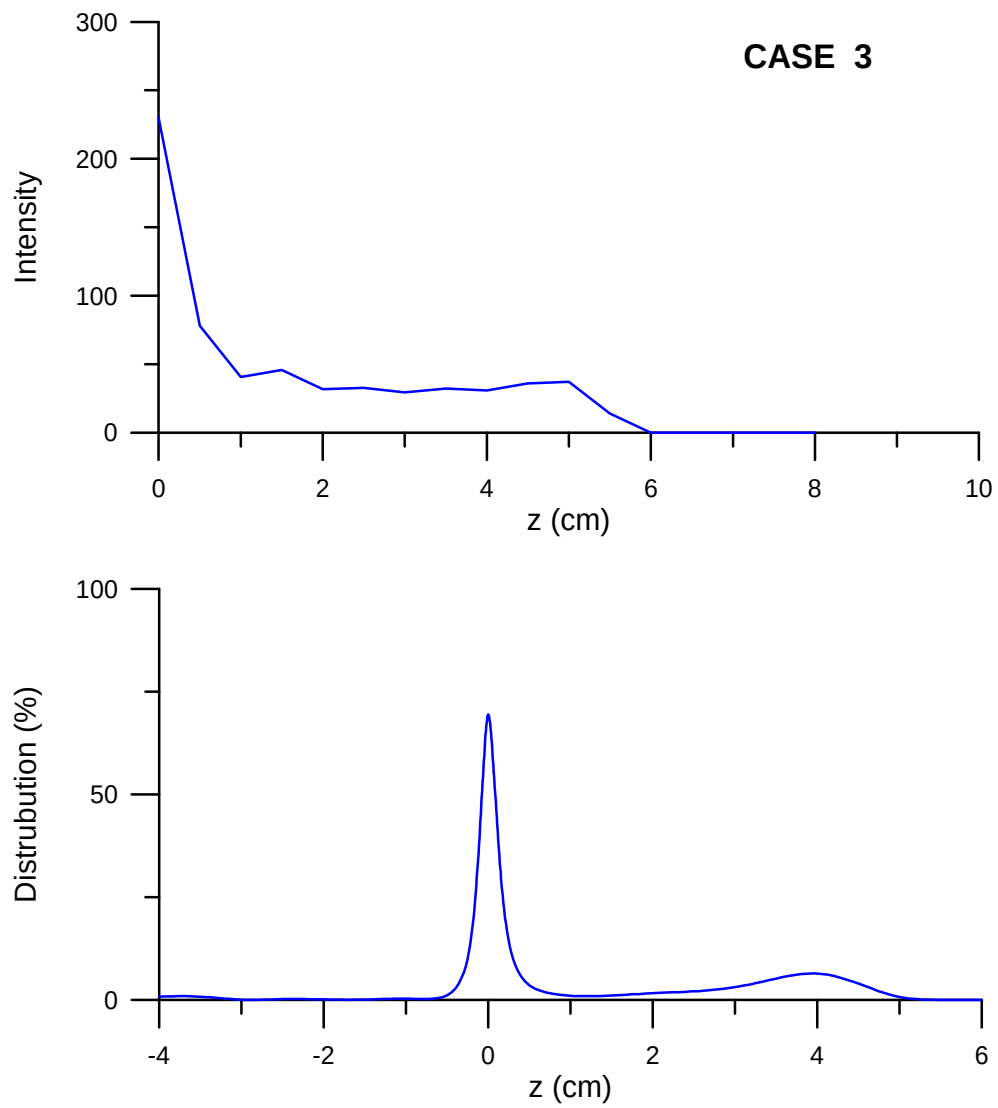


圖 5.4(c) CASE 3 回波訊號相對於底床($z=0$)之平均強度分佈(上)，及回波訊號相對於底床($z=0$)之數量分佈(下)

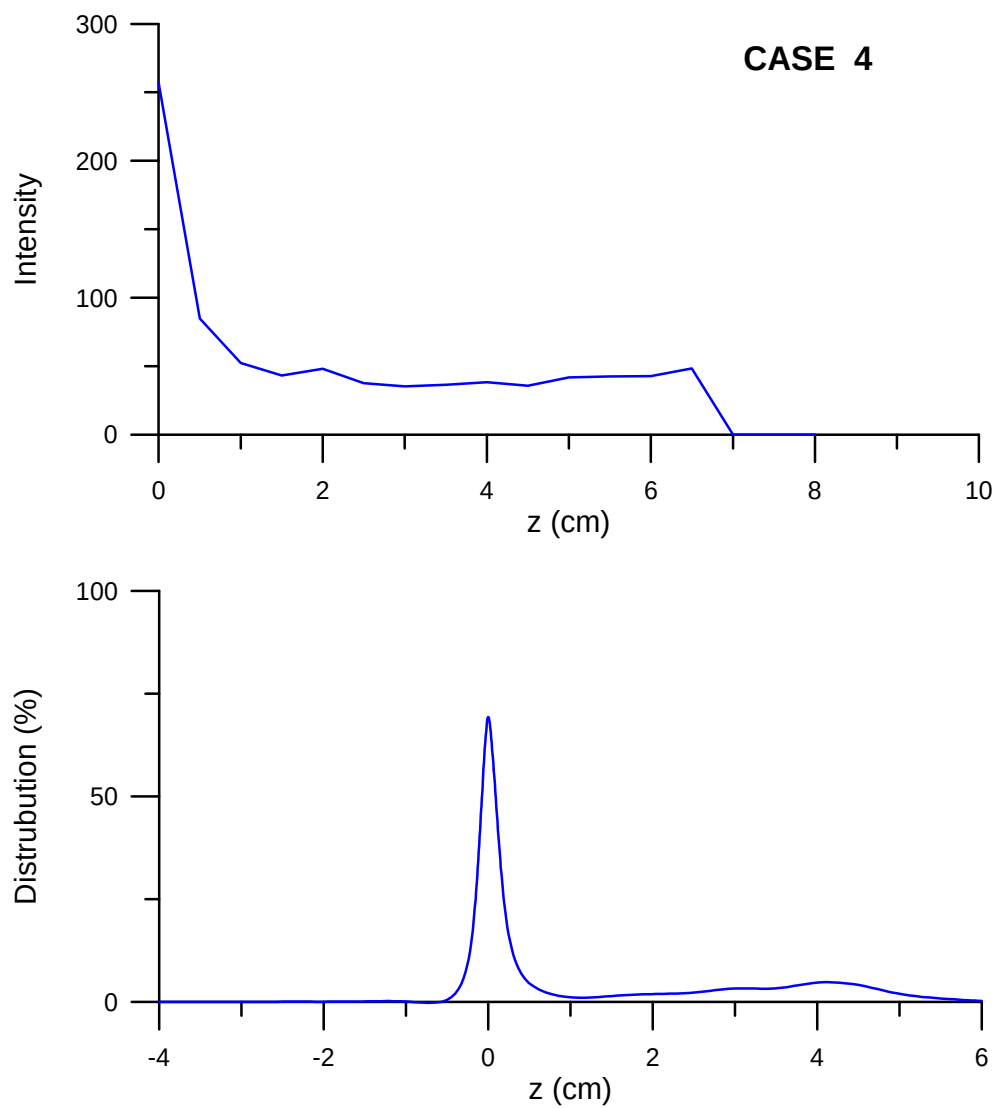


圖 5.4(d) CASE 4 回波訊號相對於底床($z=0$)之平均強度分佈(上)，及回波訊號相對於底床($z=0$)之數量分佈(下)

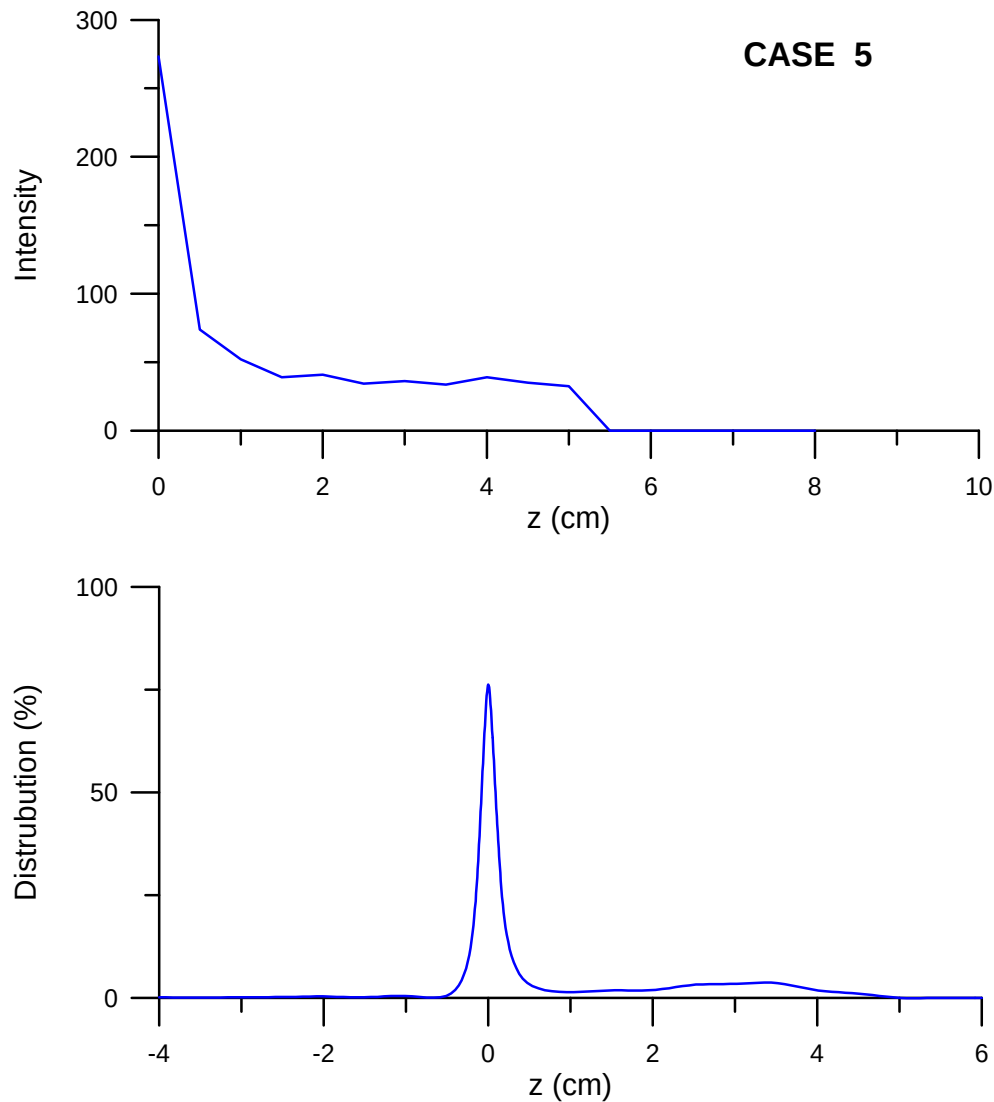


圖 5.4(e) CASE 5 回波訊號相對於底床($z=0$)之平均強度分佈(上)，及回波訊號相對於底床($z=0$)之數量分佈(下)

根據回波訊號強度進行濾波即可得到底床邊界位置，圖 5.5 為觀測資料經過訊號強度濾波處理後之底床邊界變化。觀測期間為小潮之退潮時段，潮差約只有 5cm，由 360 秒~4200 秒大約 1 小時時間內，共進行 5 試次的底床測量，潮位與示性波高變化極小。在潮位及波高環境條件變化甚小的情況下，底床表面在觀測期間雖有高約 2~4cm、週期約 200~400 秒的起伏振盪，基本上在短時間內其底床位置仍維持在一個穩定的平衡狀態。

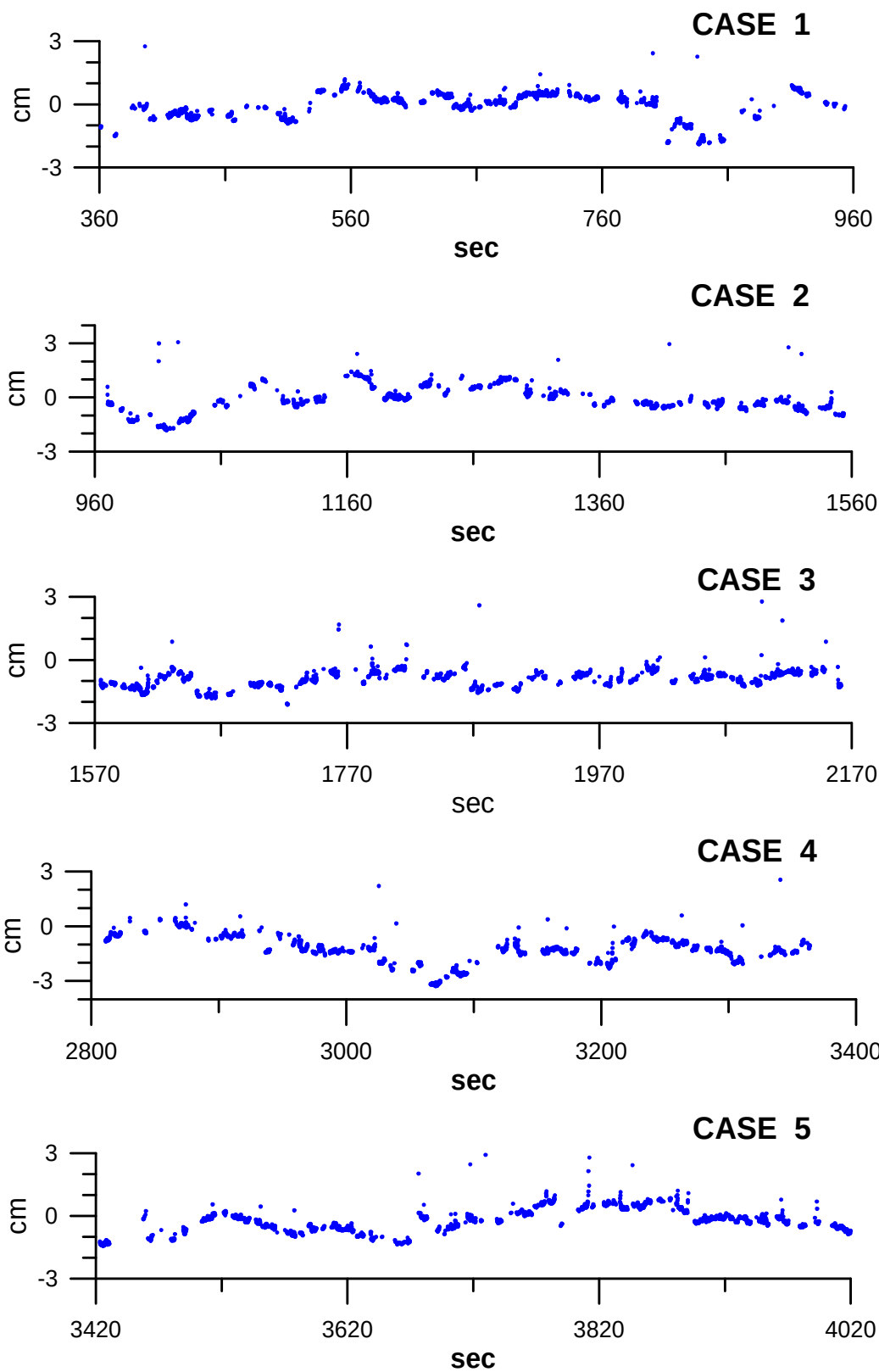


圖 5.5 經過濾波處理後之底床邊界變化

5.2 懸浮質濁度與測距資料分析

由於超音波測距儀於水中量測距離是根據發射音波與回波訊號時間差來判斷反射物之距離，當水中懸浮物增加時，水中粗顆粒懸浮物會散射或阻礙音波與回波訊號通過造成接收回波訊號減弱，其訊噪比 (Signal-to-noise ratio, SNR) 太低，大約小於 60counts($\approx 27\text{dB}$) 則無法正確反應目標物的距離，其測距會散亂分佈於底床與音波探頭之間。

$$SNR = 20\log_{10}\left(\frac{Amplitude_{signal}}{Amplitude_{noise}}\right) \quad (5-1)$$

當大多數粗顆粒懸浮物沉降後，回波訊號會繞射通過細顆粒懸浮物直接抵達底床，反射之回波訊號強並得出正確的底床距離。因此我們可以該特性來判斷水中是否發生沙粒懸浮現象以及懸浮沙粒之濃度狀態，最重要的是底床沙面在波浪與水流作用下之侵淤狀況可以即時並正確的掌握。

對照試驗開始時安裝在原始底床上 3cm 高之 OBS-3⁺ 濁度計同步觀測資料，如圖 15.16(a)~(e)。下圖為超音波測距儀之時序列測距資料，上圖為相對時間之懸浮質濁度資料，向上紅色箭頭代表水中懸浮質濃度大量增加時，此時超音波測距儀的資料點會分開散佈在底床與儀器探頭之間，無法顯示出底床位置；而綠色向下箭頭則代表水中懸浮物沉降，濃度較低時，超音波測距儀的高強度訊噪比訊號集中在底床面上，此時即可清楚顯示出底床位置。因此根據超音波測距儀資料點的分佈方式即可判斷當時水中懸浮質濃度之起伏狀況，同時也可隨時瞭解底床面的侵淤變化。

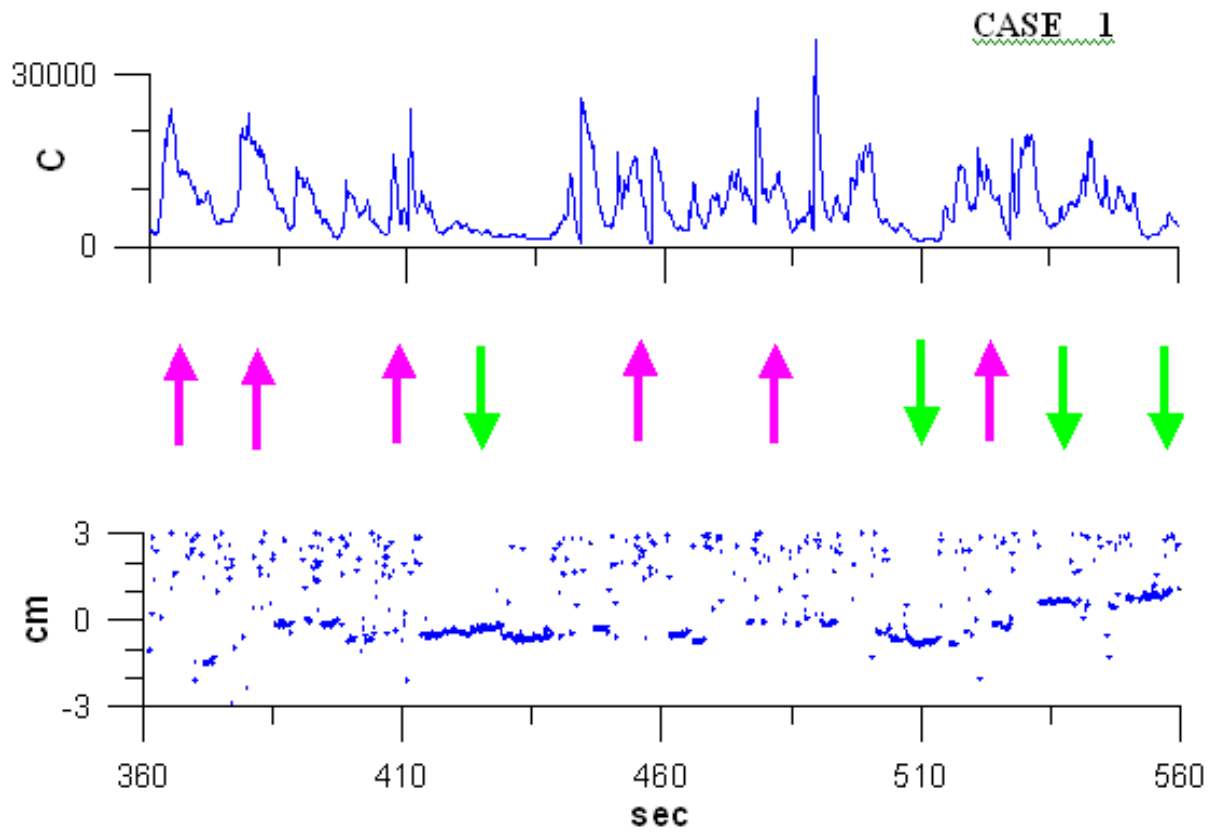


圖 5.6(a) CASE1 水中懸浮質濁度與測距資料點分佈之對應關係

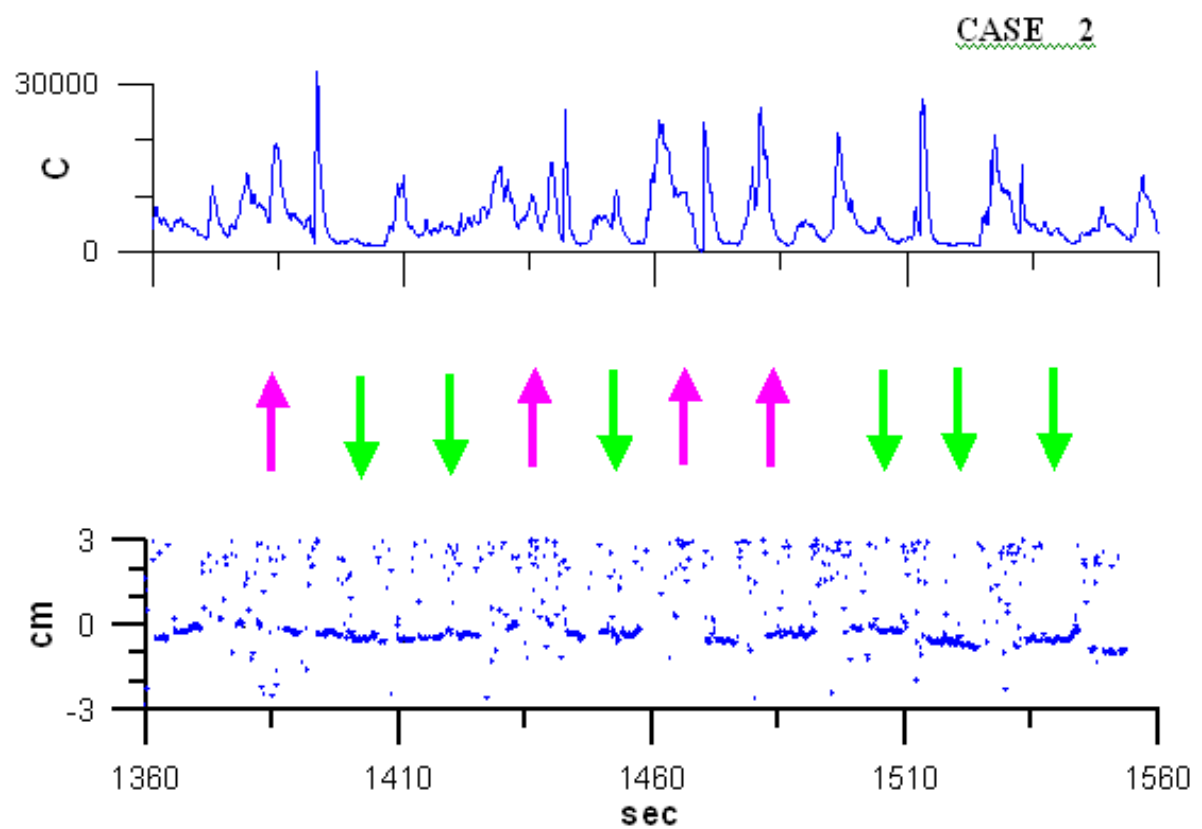


圖 5.6(b) CASE2 水中懸浮質濁度化與測距資料點分佈之對應關係

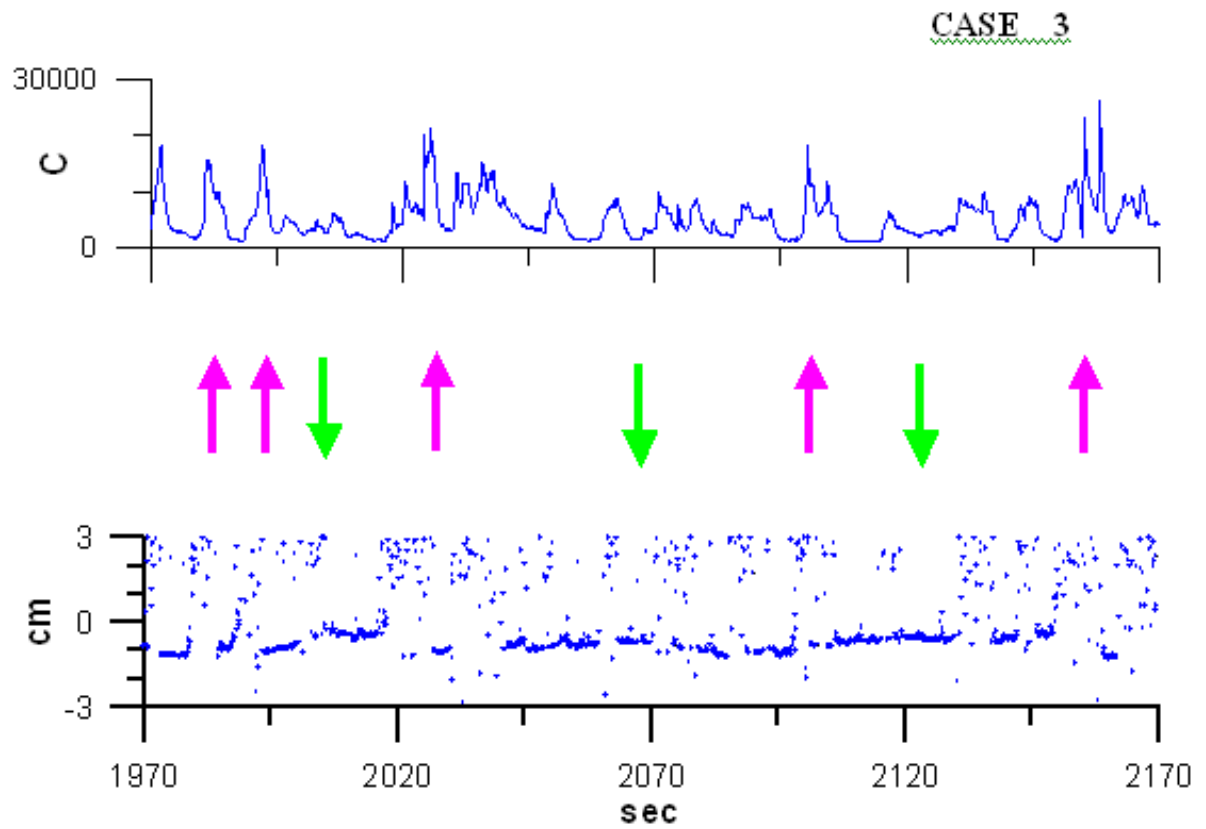


圖 5.6(c) CASE3 水中懸浮質濁度與測距資料點分佈之對應關係

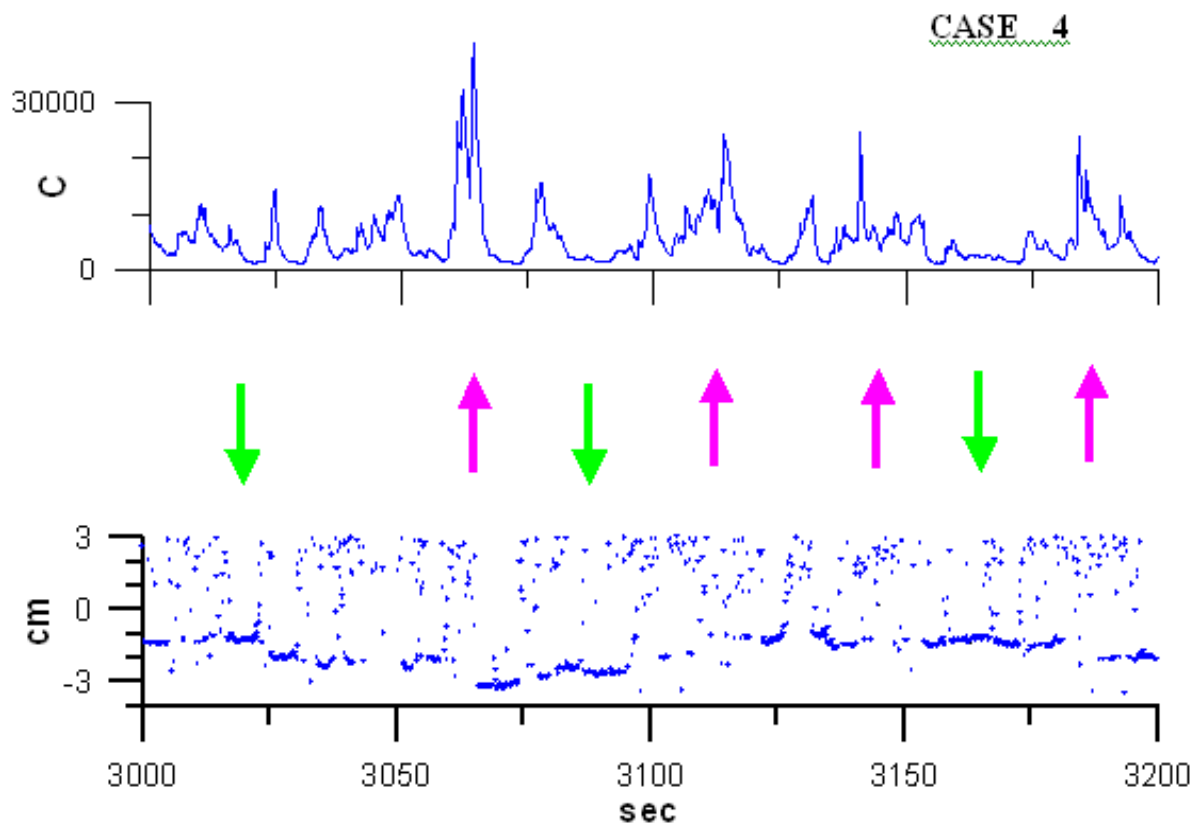


圖 5.6(d) CASE4 水中懸浮質濁度與測距資料點分佈之對應關係

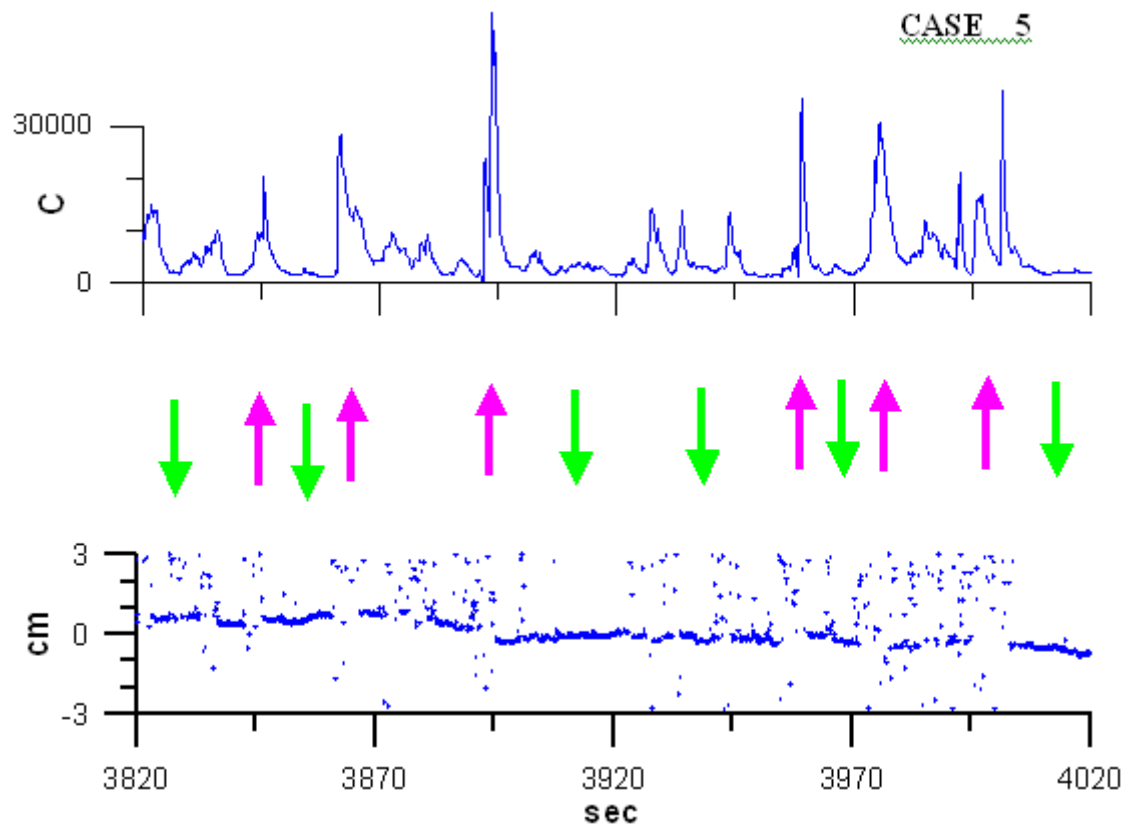


圖 5.6(e) CASE5 水中懸浮質濁度與測距資料點分佈之對應關係

5.3 懸浮質濁度與回波強度

圖 5.7 為現場觀測儀器 OBS-3⁺濁度計及超音波測距儀安裝位置示意圖，試驗開始時超音波測距儀之訊號接收探頭離底高 8.5cm，由於該型儀器音波探頭與偵測目標物間有約 5cm 的量測空白區(Blank area)，因此實際可量測範圍在離探頭 5cm 外區域，OBS-3⁺濁度計則直接量測底床上 3cm 高處之懸浮質濁度。

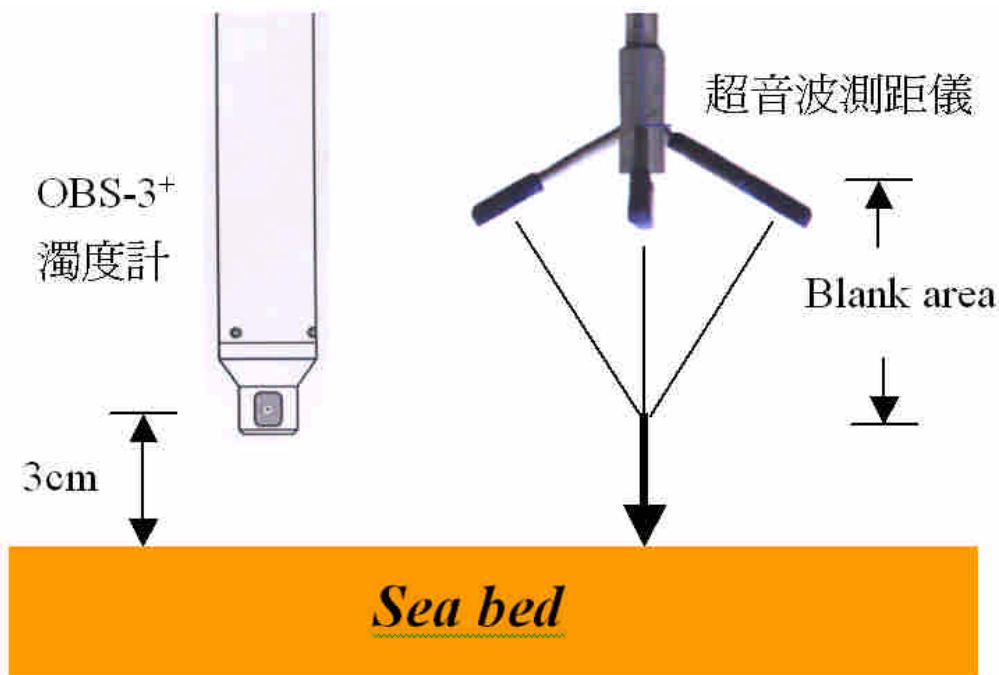


圖 5.7 超音波測距儀及 OBS-3⁺濁度計安裝位置示意圖

檢視圖 5.8 取 380 ~ 400 秒間超音波測距儀資料與 OBS-3⁺之濁度資料，上圖為懸浮質濁度，中圖為回波測距分佈(原底床面 $y = 0\text{cm}$)，下圖則為回波強度。由圖顯示當水中懸浮質濃度大時，超音波被粗懸浮顆粒阻擋，因為粗懸浮顆粒為球狀其球面反射形成散射現象，返回超音波接收探頭的能量減少，回波測距散亂分佈於底床與音波探頭之間；當粗懸浮顆粒大量沉降時，超音波直接從底床面反射，屬於平面反射，因此回波強度較強，能精確顯示底床面位置。注意中圖之 380~381 秒間沒有顯示回波位置，可能是捲起懸浮物太高，反射回波點位於儀

器無法偵測的空白區內，圖 5.9 為同時段之回波強度與反射目標物位置之二維等高線分佈與三維立體分佈圖。圖 5.10 與圖 5.11 則為不同時段 2135 ~ 2155 秒之回波強度與反射目標物位置分佈關係，以上分析清楚顯示底床面在不同懸浮狀態下之回波特性。

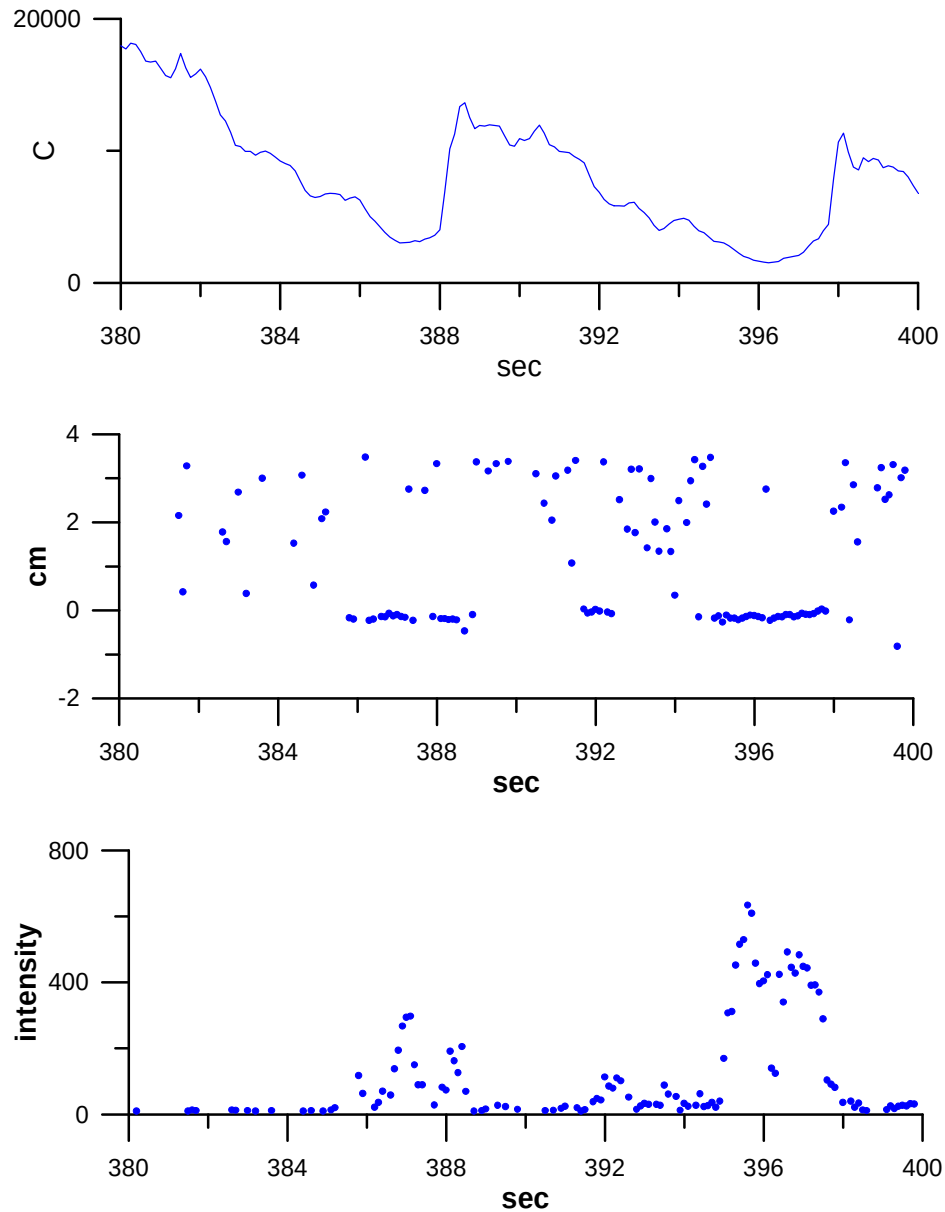


圖 5.8 懸浮質濁度(上)、回波測距(中)與回波強度(下)

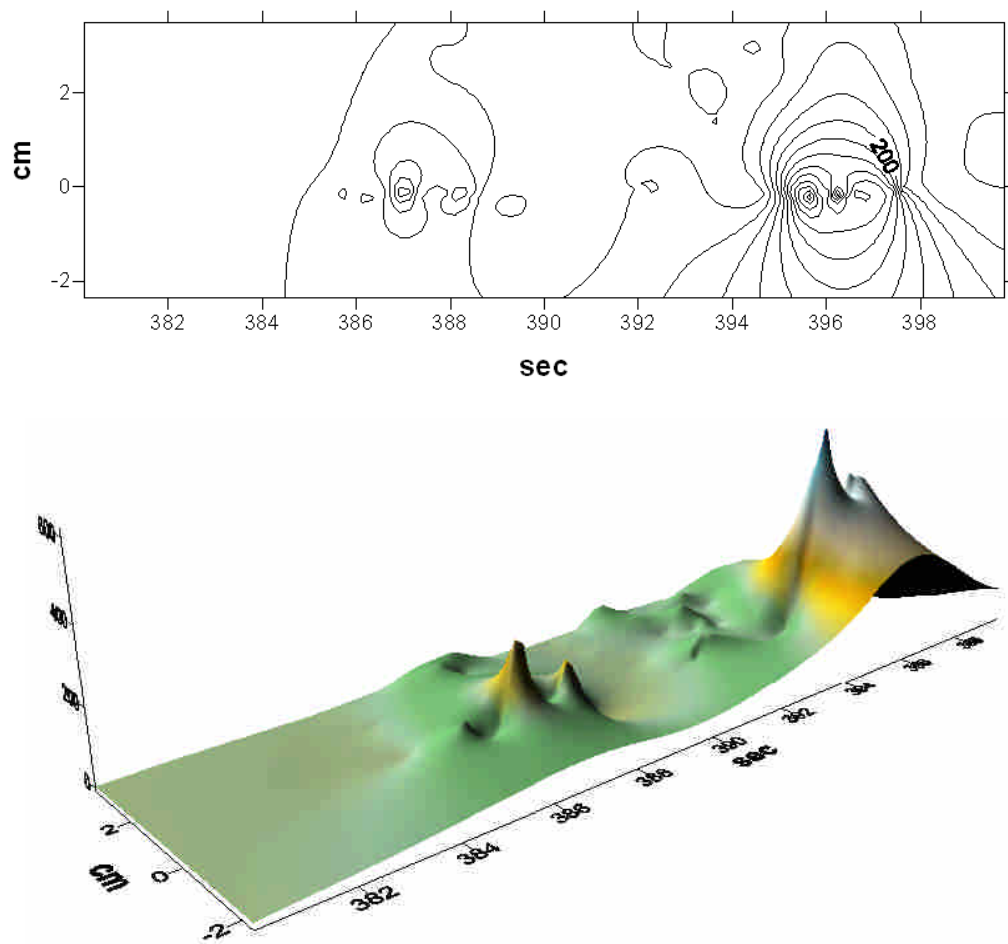


圖 5.9 時間歷程(x)、回波測距(y)與回波強度(z)之分佈

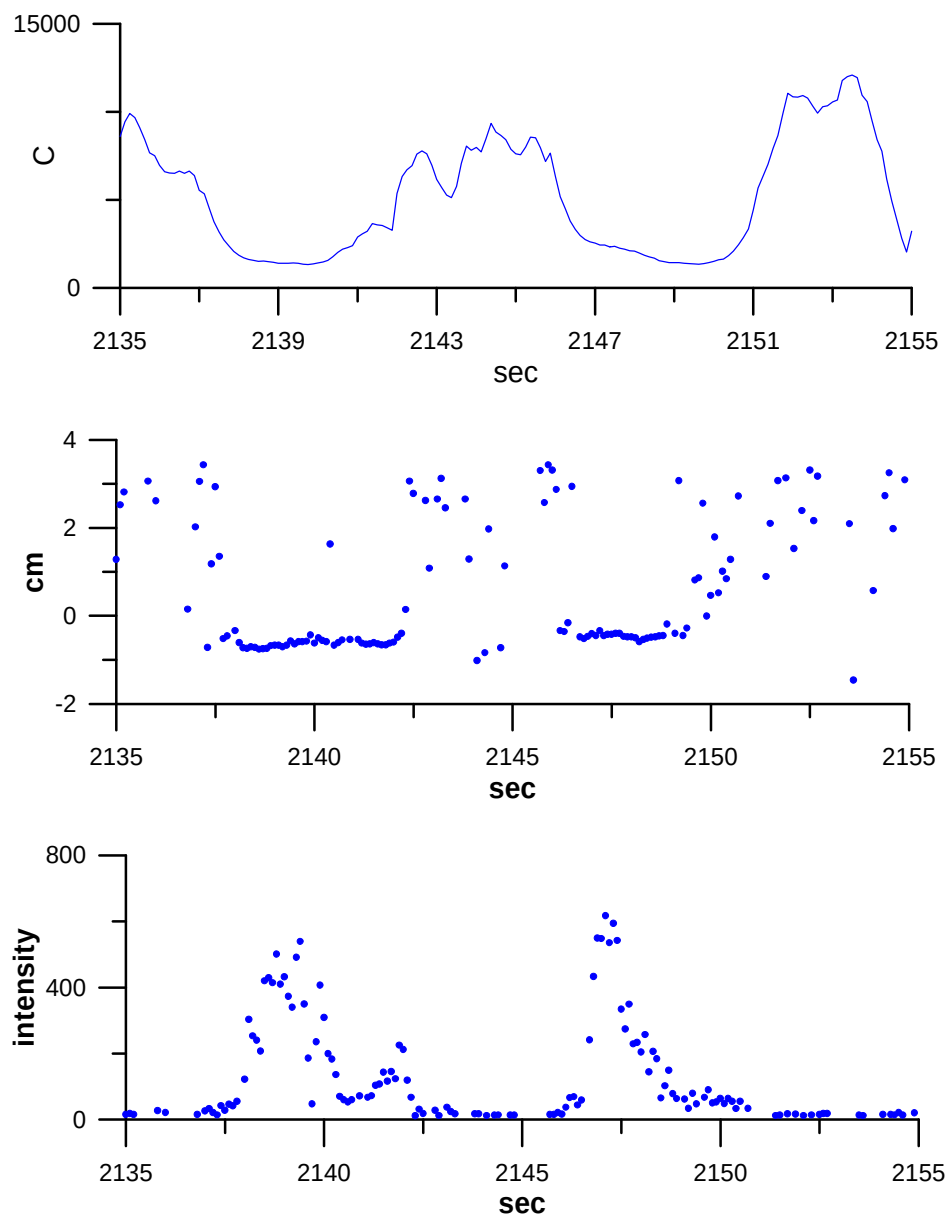


圖 5.10 懸浮質濁度(上)、回波測距(中)與回波強度(下)

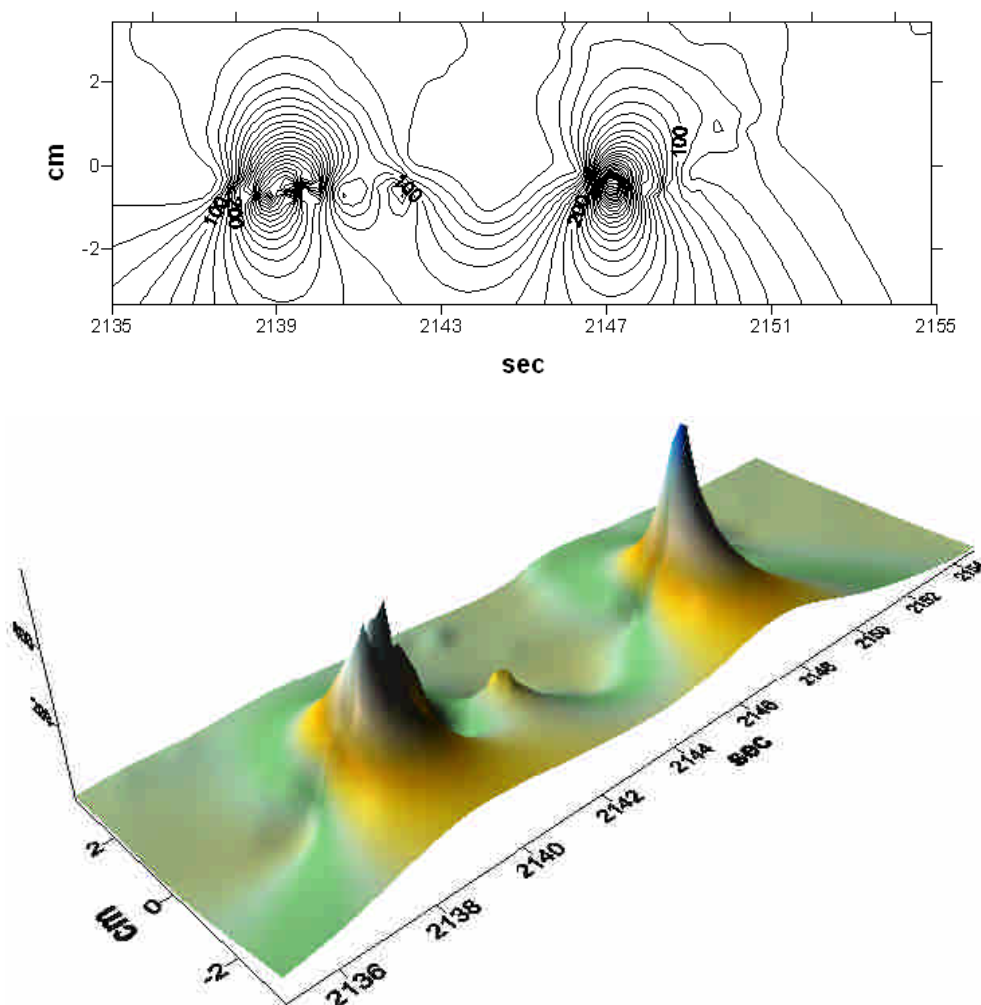


圖 5.11 時間歷程(x)、回波測距(y)與回波強度(z)之分佈

以上分析清楚描述底床面與懸浮物間的不同回波特性，我們可利用其回波特性的不同來界定底床面位置，進而瞭解底床隨水面波動與水流輸沙作用造成的底床侵淤細微變化。不過水中懸浮物濃度與回波強度間是否有特定的關係？剔除真正底床回波訊號，取時序列懸浮質濁度與回波強度之平均資料對照如圖 5.12(a)~(e)，兩者似乎有強烈相對應關係。將全部資料繪於圖 5.13，即可看出兩者成對數反比關係。

$$\log(y) = -0.867007 * \log(x) + 11.4804 \quad (5-2)$$

其中 x 為回波強度， y 為懸浮質濁度，也就是水中懸浮質濃度愈大，回波訊號就愈弱。

探究為何懸浮質濃度會與回波訊號強度成反比，其主要原因在使用波長的長短，量測水中懸浮質濃度的 OBS-3⁺濁度計使用波長 850nm 的紅外線，其波長遠小於水中懸浮顆粒 $D_{50}=0.25\text{mm}$ ，發射波碰到顆粒是反射或散射，水中顆粒愈多感測器接收到回波訊號愈強，因此能直接反應懸浮質濃度大小；而測距儀使用超音波，波長約 0.15mm，碰到顆粒會繞射或散射，主要反射機制在碰到平坦的底床面時，水中顆粒愈多只會干擾或減少其反射效果，因此接收訊號強度反而與懸浮質濃度成反比。

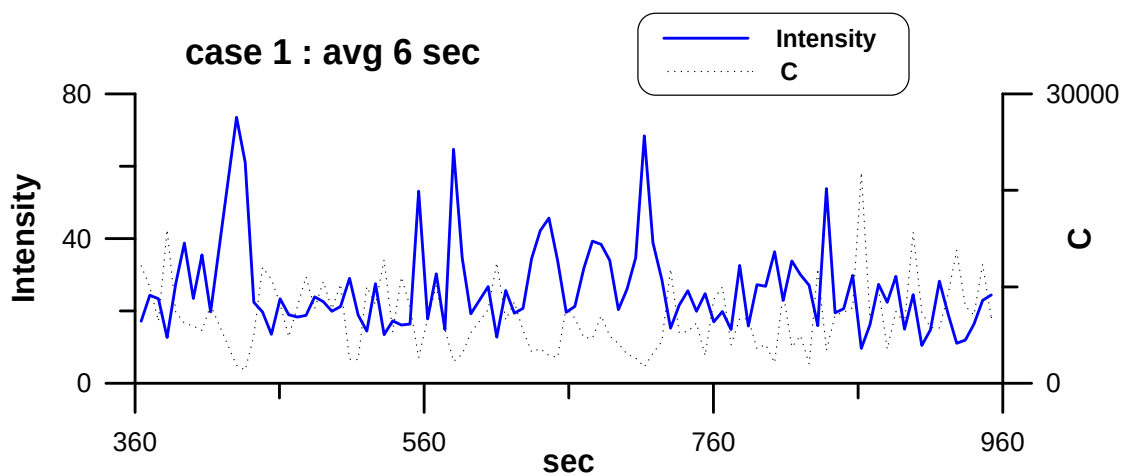


圖 5.12(a) case1 時序列 6 秒平均懸浮質濁度與回波強度對照圖

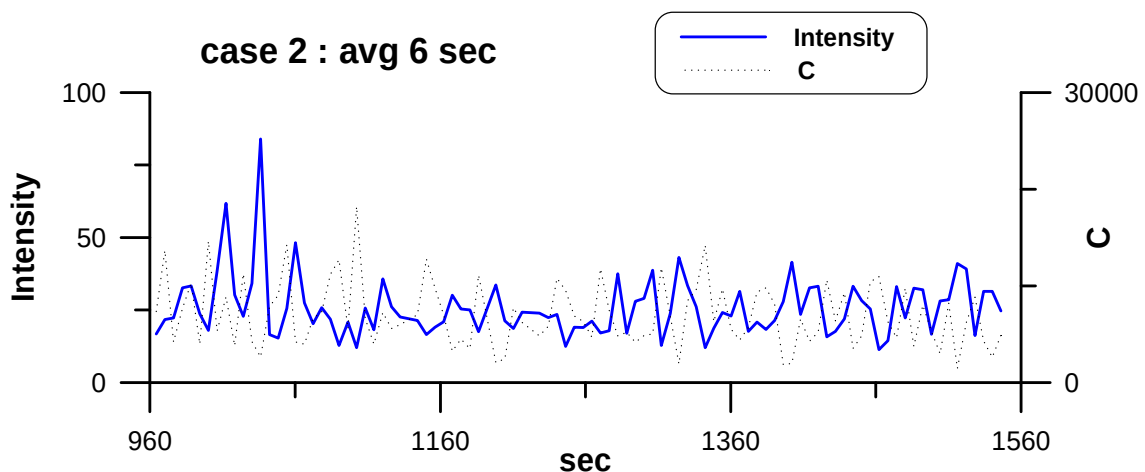


圖 5.12(b) case2 時序列 6 秒平均懸浮質濁度與回波強度對照圖

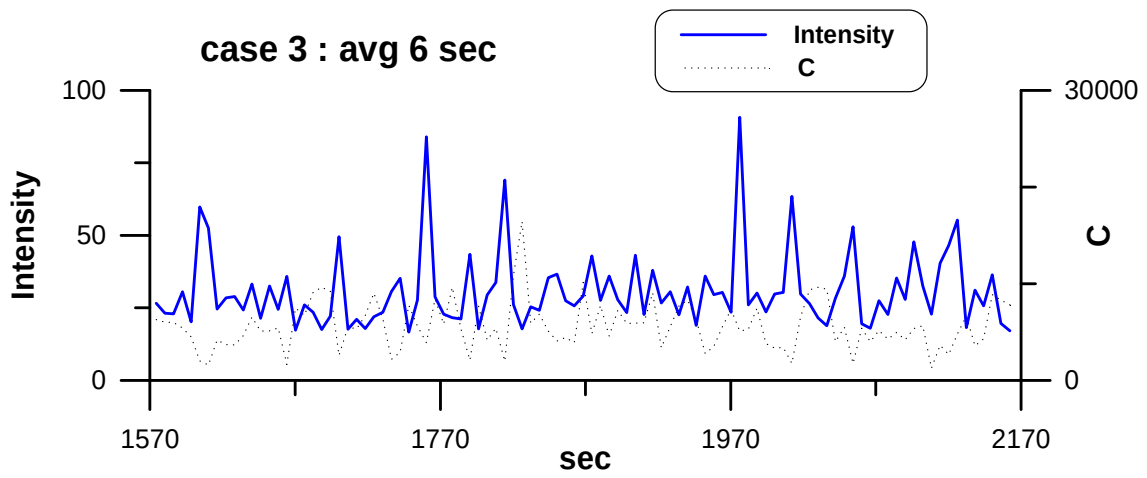


圖 5.12(c) case3 時序列 6 秒平均懸浮質濁度與回波強度對照圖

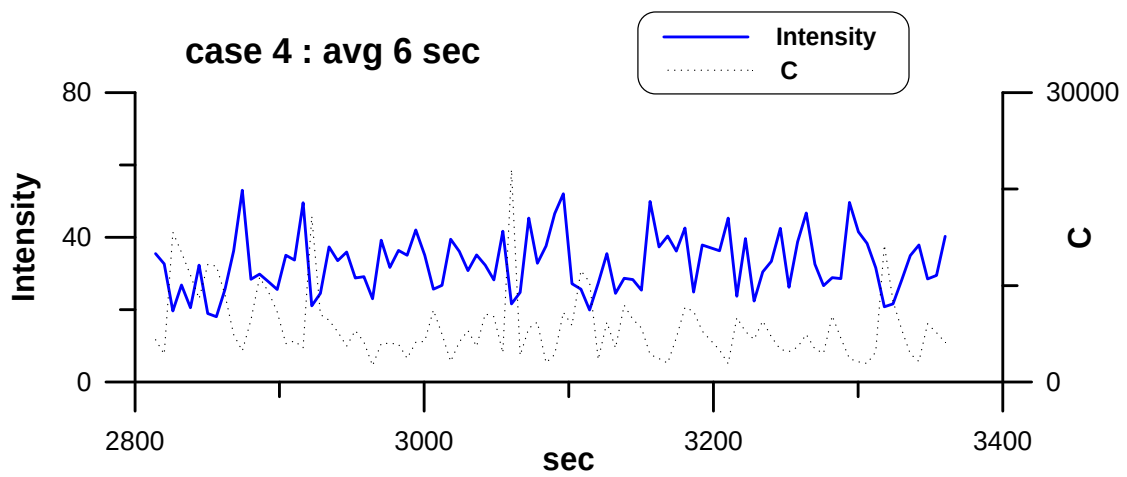


圖 5.12(d) case4 時序列 6 秒平均懸浮質濁度與回波強度對照圖

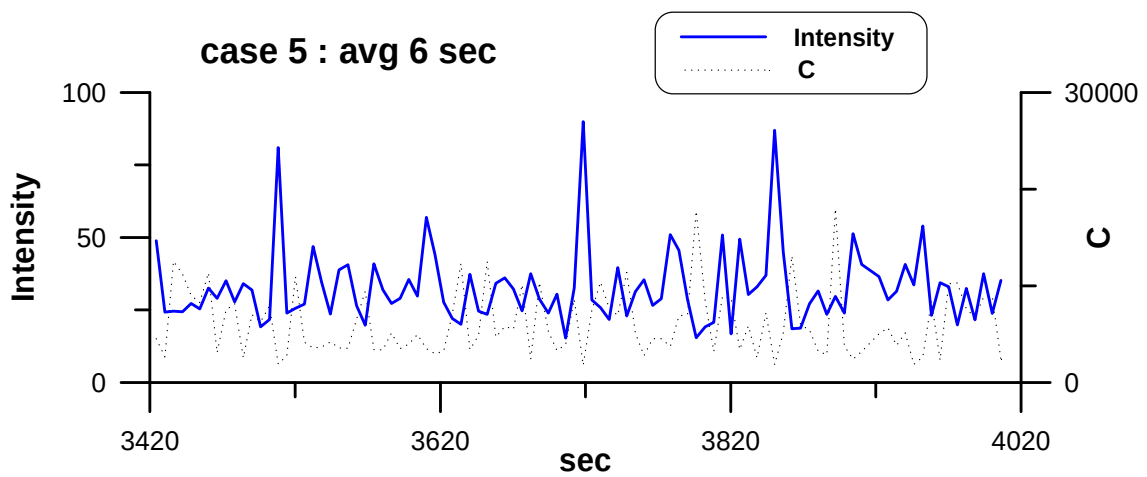


圖 5.12(e) case5 時序列 6 秒平均懸浮質濁度與回波強度對照圖

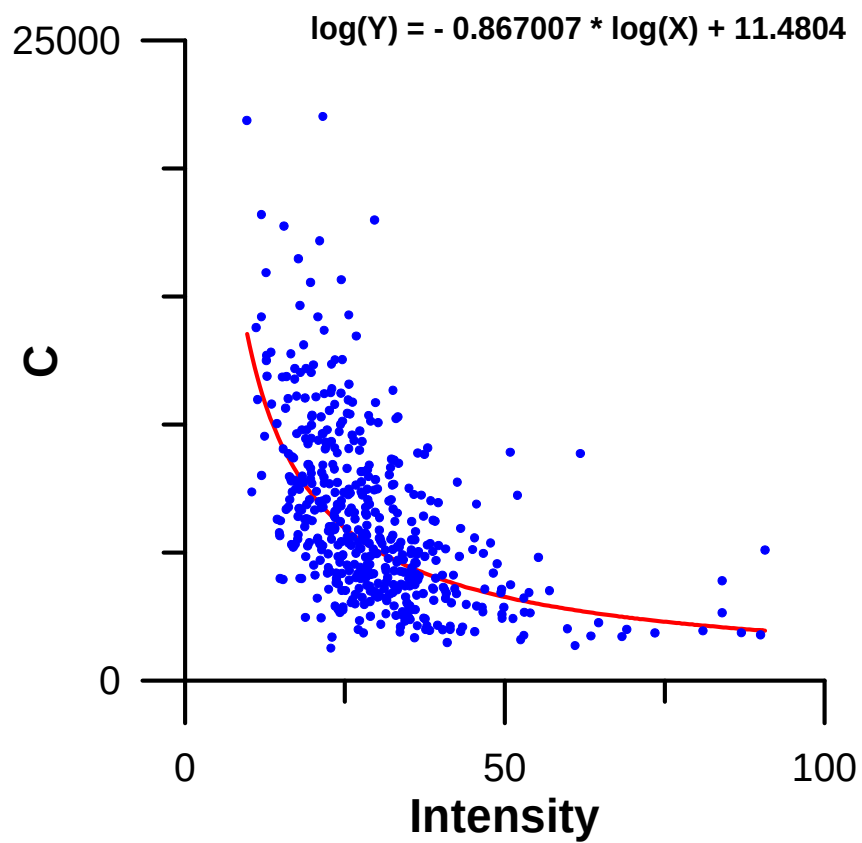


圖 5.13 平均懸浮質濁度與回波強度相關性分析

第六章 結論與建議

6.1 結論

近岸主要輸沙活動發生在碎波帶及溯昇波帶兩淺水區域，掌握現場波浪、流場與底床輸沙現象對於輸沙量推算及當地輸沙模式的發展極為重要，但在現場觀測時往往不瞭解底床隨著漂沙活動造成的瞬時侵淤情況，以致無法精確計算各項作用力及瞬時輸沙量。

本研究於淡水沙崙海灘佈置超音波流速儀、散射式濁度儀、壓力式水位儀及水下攝影系統等裝置觀測溯昇波運動及灘面底床侵淤變化，觀察發現每一次溯昇波通過會使沙面產生微小變化。在一次溯昇波過程中，沙面先遭溯昇流(up-rush)侵蝕把沙帶往高處，隨後之回溯流(backwash)則可能又把高處的沙帶回原處。一次溯昇波通過期間 $\Delta Z \approx 0.8\text{cm}$ ，在環境不變的狀況下，溯昇波通過後灘面仍可能會恢復原來狀態，但是否完全恢復原狀則視當時環境條件而定，因此每一次溯昇波事件結束都可能有稍微的沙面調整。

此種底床變化影響固定裝置在現場之 OBS 測點觀測濃度的相對位置，由於底床附近懸浮沙濃度梯度大，計算懸浮輸沙量時會造成嚴重誤差。安平港南側海岸受季節風浪與潮流作用，漂沙活躍，但沿岸漂沙受到防波堤阻擋，加上二仁溪沙源減少，在北向優勢漂沙作用下，安平港南側海岸正逐漸被侵蝕，每年大約退縮十公尺。本研究自 95 年起，持續進行灘面底床測量、近岸流場、懸浮質濃度分佈及碎波帶觀測等，以瞭解該海域波浪與漂沙之關係。溯昇帶與碎波帶水淺、輸沙量大是近岸主要漂沙區域，瞭解輸沙現象與底床變化的關係有助於正確估算現場輸沙量。

6.2 成果效益及後續應用情形

本研究在港區附近海岸安裝觀測儀器直接量測溯昇帶與碎波帶底床上之流速分佈、波高及懸浮沙濃度分佈，以底床攝影直接觀察溯昇波對底床之侵淤作用，利用超音波測距儀觀測底床面變化並得出回波強度與懸浮沙濃度之關係式，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。

參考文獻

1. Holland, K.T. and Puleo, J.A. (2001) "Variable swash motions associated with foreshore profile change," *Journal of Geophysical Research*, 196(C3), pp. 4613-4623.
2. Horn, D.P., and Walton, S.M. (2004) "Sediment-level oscillations in the swash zone of a mixed sand and gravel beach," *Proceedings, 29th International Conference on Coastal Engineering*. ASCE, vol. 3. World Scientific Publishing Co., New Jersey, pp. 2390-2402.
3. Howd, P.A. and Holman, R.A. (1987) "A simple model of beach foreshore response to long-period waves," *Journal of Marine Geology*, 78, pp. 11-22.
4. Larson, M., Kubota, S. and Erikso, L. (2004) "Swash-zone sediment transport and foreshore evolution: field experiments and mathematical modeling," *Journal of Marine Geology*, 212, pp. 61-79.
5. Ogston, A.S. and Sternberg, R.W. (1995) "On the importance of nearbed sediment flux measurements for estimating sediment transport in the surf zone," *Continental Shelf Research*, 15(13), pp. 1515-1524.
6. Sallenger, A.H., and Richmond, B.M. (1984) "High-frequency sediment level oscillations in the swash zone," *Journal of Marine Geology*, 60, pp. 155-164.
7. Turner, I.L. and Nielsen, P. (1997) "Rapid watertable fluctuations at the beach face: implications for sediment mobility in the swash zone?" *Coastal Engineering*, 32(1), pp. 45-60.