

96-73-7287

MOTC-IOT-95-H2DA001-4

臺灣地區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 96 年 5 月

96-73-7287

MOTC-IOT-95-H2DA001-4

臺灣地區港灣近岸海域漂沙調查 研究 (2/4)

著 者：林柏青、江玟德、徐如娟

交通部運輸研究所
中華民國 96 年 5 月

國家圖書館出版品預行編目資料

臺灣地區港灣近岸海域漂沙調查研究. (2/4) /
林柏青, 江玟德, 徐如娟著. -- 初版. -- 臺
北市: 交通部運研所, 民 96

面: 公分

參考書目:面

ISBN 978-986-00-9800-6(平裝)

1. 海岸動力學 2. 海岸 - 臺灣

351. 982

96009254

臺灣地區港灣近岸海域漂沙調查研究 (2/4)

著 者: 林柏青、江玟德、徐如娟

出版機關: 交通部運輸研究所

地 址: 台北市敦化北路 240 號

網 址: www.ihmt.gov.tw (中文版>中心出版品)

電 話: (04)26587176

出版年月: 中華民國 96 年 5 月

印 刷 者: 承亞興企業有限公司

版(刷)次冊數: 初版一刷 110 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

國家書坊臺視總店: 臺北市八德路 3 段 10 號 B1•電話: (02)25781515

五南文化廣場: 臺中市中山路 2 號 B1•電話: (04)22260330

GPN: 1009601223

ISBN: 978-986-00-9800-6 (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：臺灣地區港灣近岸海域漂沙調查研究(2/4)			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN:978-986-00-9800-6(平裝)	政府出版品統一編號 1009601223	運輸研究所出版品編號 96-73-7287	計畫編號 95-H2DA001-4
主辦單位：港灣技術研究中心 主管：邱永芳 計畫主持人：林柏青 研究人員：江玟德、徐如娟 聯絡電話：04-26587190 傳真號碼：04-26560661			研究期間 自 95 年 01 月 至 95 年 12 月
關鍵詞：近岸流、碎波帶、薄層流、底床輸沙			
摘要： 瞭解碎波帶內受波浪與水流運動作用下之底床輸沙現象對於近岸底床侵淤與海岸線變化之合理預測非常重要。由於碎波帶附近波浪能量大量釋出，造成劇烈水流與底床質懸浮運動，強勁底床剪應力更產生薄層流輸沙。本研究利用多部小型電磁式流速計、濁度計及水位計等對碎波帶進行詳盡的觀測與分析。為瞭解實際底床漂沙現象，本研究於底床上安裝攝影機並以小型電阻式探針進行量測，估算薄層流發生時侵入底床之深度及其厚度。根據現場觀測結果，沙連常存在於碎波帶內，此由於實際波浪之群波現象，θ m 無法經常維持在 0.8 以上，因此薄層流與沙連底床交互出現，由於輸沙層厚度有時可達 10mm 以上，對實際漂沙量估算有重大影響。本研究目的在瞭解碎波帶漂沙現象，解析影響碎波帶漂沙之沿岸流、底迴流、淺灘動盪與薄層流現象等機制。可進一步探討碎波帶輸沙與各項影響因素之關係，以提供近岸漂沙預測模式之驗證與改進。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
96 年 5 月	58	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【限】條件： ☐ 年 月 日解密， ☐ 公布後解密， ☐ 附件抽存後解密， ☐ 工作完成或會議終了時解密， ☐ 另行檢討後辦理解密） ☒ 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

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

TITLE: Near shore sediment transport investigation around Taiwan harbors Areas (2/4)			
ISBN (OR ISSN) 978-986-00-9800-6 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009601223	IOT SERIAL NUMBER 96-73-7287	PROJECT NUMBER 95-H2DA001-4
DIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Lin Po-ching PROJECT STAFF: Jiang Wen-der, Shiu Ju-chuan PHONE: 886-4-26587190 FAX: 886-4-26560661			PROJECT PERIOD FROM January 2006 TO December 2006
KEY WORDS: near shore current, surf zone, sheet flow, bed sediment transport			
ABSTRACT: The understanding of the sediment transport in the surf zone is important for estimation of shoreline variations. Wave energy is largely released in the surf zone due to the sheet flow sediment transport generated by strong bed shear stresses. Several tiny EM current meters, turbidity meters and one sophisticated wave meter are deployed to make elaborate measurements in the surf zone. A camera and a CCM probe are also installed on top of the bed to monitor the sheet flow and to estimate its intrusion depth. According to the field investigation, sand ripples and sheet flow are found to appear in the surf zone alternately. The maximum shields number θ_m isn't always greater than 0.8 due to the wave grouping phenomenon. As thick as 10 mm it might be, the impact of sheet flow phenomenon to the overall sediment transport in a coastal area cannot be ignored. For progressive improvement on sediment transport modeling in the near shore area, analysis of the field longshore currents, undertow, surf beat and sheet flow is conducted in this study.			
DATE OF PUBLICATION May 2007	NUMBER OF PAGES 58	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 計畫緣起與文獻回顧.....	1-1
1.2 工作項目與內容.....	1-3
第二章 理論說明.....	2-1
2.1 薄層流結構說明.....	2-1
2.2 薄層流之濃度剖面分佈.....	2-3
2.3 薄層流之侵蝕深度.....	2-4
2.4 薄層流之流速量測.....	2-6
第三章 現場觀測與分析.....	3-1
3.1 觀測地點說明.....	3-1
3.2 現場地形測量.....	3-3
3.3 現場觀測作業與資料分析.....	3-7
3.3.1 西南季節風時之現場觀測與資料分析.....	3-9
3.3.2 東北季節風時之現場觀測與資料分析.....	3-20
3.4 輸砂率與侵淤分析.....	3-24
3.5 淺灘動盪造成之沿岸流振盪現象.....	3-26
3.6 底床薄層流之現場觀測.....	3-28
第四章 結論與建議.....	4-1
參考文獻.....	5-1

表目錄

表 3.1 沿岸與向離岸方向之懸浮砂輸砂率.....	2-24
表 3.2 灘面與底床侵淤量.....	2-24

圖目錄

圖 2.1	薄層流輸沙層之圖解示意圖	2-2
圖 3.1	安平近岸海象及漂沙觀測站位置圖	3-3
圖 3.2	安平海域全年波浪能量分佈	3-3
圖 3.3	灘面地形與高程測量示意圖	3-4
圖 3.4	94 年 11 月至 95 年 3 月之灘面與近岸底床地形變化	3-5
圖 3.5	95 年 3 月至 95 年 8 月之灘面與近岸底床地形變化	3-6
圖 3.6	95 年 9 月至 95 年 11 月之灘面與近岸底床地形變化	3-6
圖 3.7	碎波帶附近地形與相關測點位置	3-8
圖 3.8	現場觀測儀器配置圖	3-8
圖 3.9	現場碎波之連續照片	3-10
圖 3.10	碎波帶內底床上 5cm 處之平均流速與流向	3-11
圖 3.11	碎波點附近之垂直剖面流況	3-11
圖 3.12	碎波帶內之斷面流場分佈示意圖	3-12
圖 3.13	碎波帶內垂直剖面之平均懸浮砂濃度分佈	3-13
圖 3.14	由岸向海垂直斷面之平均懸浮砂濃度分佈	3-13
圖 3.15	灘面出現波浪侵蝕作用所造成之斷崖結構	3-15
圖 3.16	現場觀測儀器配置	3-15
圖 3.17	距岸 20m 處之剖面流速分佈	3-16
圖 3.18	距岸 35m 處之剖面流速分佈	3-16
圖 3.19	距岸 60m 處之剖面流速分佈	3-17
圖 3.20	斷面沿岸方向之平均流流速變化	3-17
圖 3.21	斷面上各測點底床上 4cm 之流場	3-18

圖 3.22	平均剖面懸浮砂濃度分佈	3-18
圖 3.23	懸浮砂濃度之斷面分佈	3-19
圖 3.24	斷面流場環流系統之示意圖	3-19
圖 3.25	東北風時之溢波(spilling breaker)形態碎波	3-20
圖 3.26	近岸之波高變化	3-21
圖 3.27	近岸離底 6cm 高之流速與流向分佈	3-22
圖 3.28	平均懸浮質濃度分佈	3-22
圖 3.29	各測點之剖面懸浮質濃度	3-26
圖 3.30	剖面平均懸浮質濃度分佈	3-23
圖 3.31	灘面與底床侵淤量變化	3-23
圖 3.32	西南風時現場測得沿岸流變化	3-27
圖 3.33	東北風時現場測得沿岸流變化	3-27
圖 3.34	2006 年 6 月 8 日沿岸流振盪分析	3-28
圖 3.35	2006 年 6 月 8 日現場水位資料分析	3-28
圖 3.36	薄層流濃度剖面示意圖	3-29
圖 3.37	碎波帶內懸浮質與波能及 θ_m 之比較	3-30
圖 3.38	碎波帶內各測點 $\theta_m > 0.8$ 之比例分佈	3-31
圖 3.39	薄層流觀測之儀器配置	3-32
圖 3.40	底床下 0 至 5cm 深度之砂濃度變化	3-32

第一章 前言

近岸漂沙常是決定海岸侵淤現象的重要因素，由於碎波帶漂沙現象複雜及現場觀測困難，一般僅以能量轉換及沿岸流輸沙模式來簡易評估漂沙之優勢方向，對於實際之碎波帶漂沙過程及其機制，則仍未能完全理解。本計畫擬利用本所港研中心於臺灣地區主要港口附近海域長期觀測之風、海流等海、氣象資料，並配合近岸碎波帶內現場漂沙運動觀測系統之建立，探討近岸海域漂沙與波動之相關特性。

1.1 計畫緣起與文獻回顧

近岸漂沙主要發生於碎波帶，過去估算其漂沙量多同時利用多部流速計與濁度計量測碎波帶內之垂直與剖面分佈，如 Ifuku(1988), Kawata et al.(1990), Conley and Inman(1992), Kawata et al. (1992), Nishi et al. (1992), Kos'yan et al. (1999)等等。沙質海灘沙粒在波浪及沿岸流作用下產生輸沙現象，即在動床面(movable bed)上，薄層流(sheet-flow)常發生在作用於底床剪力較大之情況，此時流況呈掃流狀態而產生輸沙現象，根據 Dohmen-Janssen (1999)之研究，其體積濃度可達 52%，且分佈侷限於一薄層區域；薄層流上方則為懸浮層(suspension layer)，體積濃度約小於 8%，各別顆粒間距大於沙粒直徑，沙粒間碰撞效應減少。自然界中許多地方都可觀察到薄層流，例如河川中單向流情況(Sumer et al., 1994)，在高底床剪應力時，沙波消失，底質以薄層流方式移動，其狀態有別於一般之底移輸砂。或在海邊朔昇波帶(swash zone)，由於坡度較陡，薄層流現象常發生於朔昇迴流時(Yu et al., 1990; Berry & Tom, 2002)。另外在碎波帶內，Lin et al.(2002)，以水下攝影機觀察底床漂砂活動時，發現在底床仍有砂漣情況下，薄層流輸砂現象即非常活躍，加上普遍存在之海灘動盪(surf beat)引起的長週期流場振盪，使得碎波帶內漂砂現象錯綜複雜，不能單純以懸浮輸砂模式來推算海岸漂砂。

本研究為進一步瞭解碎波帶輸砂現象，在底床上加裝一具攝影機，以觀察波動下現場底床薄層流之發生與變化過程，由於薄層流之高濃度與薄層特性，僅能以小型電阻式探針進行量測，並估算薄層流發生時侵入底床之深度及其厚度。在實際海域中，薄層流多發生於碎波帶附近，其水理現象對於海岸地形變化之預測相當重要。

薄層流輸沙現象為二相流(two-phase flow)之流體運動，流體與底質交互作用，現象極為複雜，其輸沙量的估算影響海岸地形變化數值計算結果之正確性。為便於解析，海岸地形變化之數值模式，如 Trowbridge and Young (1989)，常引用輸沙經驗公式，如 Madsen and Grant (1977) 及 Kobayashi and Seo (1985)，進行計算。這些經驗公式大都由實驗室有限的試驗數據迴歸求出，其適用情形如何並未進一步考量。Horikawa et al. (1982) 在 U 形槽中以電阻式濃度計量測底部不同高度的濃度變化，試驗用底質為天然沙及塑膠屑，並由試驗結果界定薄層流發生的起始條件和輸沙濃度。Ahilan and Sleath (1987) 利用照相信號轉換為觀測底質之運動速度，並據此推算輸沙量。Staub et al. (1984) 則使用虹吸探測棒(siphon probe)於 U 形槽中施測瞬間輸沙濃度。

誠如前述，試驗室內有限的環境條件僅能提供有限的試驗數據，以作定性上之判別。然如擬正確估算近岸輸沙量，仍須由現場觀測直接取得相關參數，進行數值模式驗證與定量之推算方能得到更準確的相關性。此外，碎波帶附近底床其底床沙因波浪作用而懸浮致形成懸浮漂沙，此方面研究早期學者如 Fairchild (1959), Homma and Horikawa (1962)以及 Noda (1967)等皆曾以虹吸管抽取水中懸浮液分析，但在瞬息萬變的現場碎波帶內此種方法難於控制，終被放棄。

隨著科技進步，學者開始改用濁度計直接量測水中懸浮質濃度，比如 Sleath(1982), Brenninkmeyer(1975)以及 Wright et al.(1982)等。他們發現當波浪通過，在底床附近流向作 180°反向運動時在沙漣上方會產生較大懸浮質濃度。隨後又有許多學者利用各式器材針對碎波帶進行研究，以進一步瞭解碎波帶內波動、流場及懸浮質分佈的關係，如

Ifuku(1988), Kawata et al.(1990), Conley and Inman(1992), Kawata et al. (1992), Nishi et al. (1992), Kos'yan et al. (1999)等等，皆以現場觀測方式解析碎波帶內各因子間之相關特性。其中 Kawata et al.(1990)在沙灘上建立 250 公尺長、100 公尺寬的 T 型棧橋橫跨碎波帶，來回拉動拖橈以測量底床地形的變化，Conley and Inman(1992)則在底床上加裝一具攝影機，以觀察波動下沙漣形成之初始過程，當然觀測位置位於碎波帶外相當距離才能取得清晰影像，碎波帶附近的攝影觀察在當時仍是一大挑戰。

Niemeyer and Bakker (1990) 在現場以電阻式探針直接量測薄層流之濃度，並估算薄層流發生時侵入底床之深度及其厚度。Lin et al. (2002) 則以渠道式攝影裝置直接觀察現場薄層流運動及其侵入底床行為。碎波帶內波浪因觸底施予底床極大剪應力，發生薄層流時會伴隨底床侵蝕及上層懸浮。此為產生薄層流輸沙之主要因素，另外，碎波帶內底床沙漣結構發達，在不對稱波型作用下，底床輸沙行為極為複雜，需要全方位的觀測方法避免以偏概全。

本研究目的在瞭解碎波帶懸浮砂與流況分佈以及底床薄層流輸沙之啟動機制，解析薄層流瞬間輸沙、輸沙量、流速剖面與摩擦係數等邊界層物理量，進而探討平均輸沙量與影響因素之關係，以提供近岸漂沙預測模式之驗證與改進。

1.2 工作項目與內容

綜合以上說明，我們大致瞭解近岸漂沙現象複雜，觀測困難，目前採行之漂沙模式大抵以非常簡化的手法，應用經驗係數來略估輸沙量，在定性分析上也許尚可適用，但由於漂沙現象有強烈地區特性，因此任何環境因素的影響都有賴正確控制模式與參數才能因時因地獲得正確的定量評估，本計畫執行之主要工作內容如下：

1. 長期監測觀測地區之灘面與底床高程變化，以瞭解當地波況與漂沙現象對海岸之侵淤影響。

2. 蒐集外海入射波浪與流況資料，可獲得近岸海況之基本輸入條件。
3. 進行近岸海象之波浪、流與懸浮質等之觀測，可瞭解近岸地區之懸浮漂沙現象。
4. 以水下攝影系統深入觀察底床薄層流之輸沙現象。
5. 建立現場薄層流輸沙之觀測機制並取得相關流速、濃度與厚度等資料，以分析獲得其對應之行為模式。
6. 結合懸浮漂沙與底床薄層流輸沙以建立相關之輸沙模式。

由於相關研究工作將在極困難之情況下進行，唯有賴研究團隊不斷努力，逐一克服困難，希望能將多年研究成果提供各海域海岸侵淤之研判及輸沙量推估使用，以作為未來港灣工程建設之重要依據。

第二章 理論說明

在海岸地區當波浪之底流太大在平坦底床上形成一薄層高濃度輸沙現象稱為薄層流(sheet-flow)，隨波浪通過作往復運動，其重要性在高濃度的輸沙量對整體海岸漂沙有極大影響。近年來逐漸受到許多學者重視並試圖深入瞭解薄層流輸沙之發展過程與運動機制，但是因為機制複雜、觀測困難度高，所以大部份研究結果偏重於定性描述。欲將薄層流輸沙模式成功應用於海域漂沙推算仍然須要現場的實際觀測與驗證，只是現場觀測不但作業困難度高且缺乏適當的觀測儀器，因此至今仍資料闕如，亟待各界努力。而與現場現象較為類似又不受模型縮尺影響的量測資料則來自一些大型振盪水槽的觀測試驗(Wright, 2002; Dohmen-Janssen, 1999)，其觀測結果對薄層流內濃度與輸沙率有些具體數據，但對於輸沙量推算相當重要的流場結構仍所知有限。

Horikawa et al. (1982)首先嘗試量測 sheet-flow 濃度。Ribberink and Al-Salem, 1995; Katopodi et al., 1994; Chatelus et al., 1998; Dohmen-Janssen, 1999; McLean et al., 2001 等利用 Delft Hydraulics 的大型振盪水槽(Large Oscillating Water Tunnel(LOWT)) 量測 sheet-flow 濃度，不過結果多為定性的描述。Zala-Flores and Sleath, 1998; Sleath, 1999 等利用人造沙粒研究 sheet-flow 過程，對其發展有進一步瞭解，但人造沙與實際沙之基本性質仍有極大差異。

2.1 薄層流結構說明

水流通過沙漣時會發生渦流及流分離現象，Blondeaux et al.(1990)及黃等(1992)以數值方法模擬探討此流場之渦流結構。在波浪作用下，沙質海岸之底床為動床面(movable bed)，近岸地區由海向岸沙漣規模逐漸增大，尤其在碎波帶附近達到最大，根據觀察沙漣波高可達十數公分，波長約一米。波動底流作用在底床上使砂粒懸浮或底移形成漂沙，但是在碎波帶附近至灘線地區還有另一種重要的輸沙方式即薄層流

(sheet flow)輸沙。薄層流發生於底床作用剪力較大之情況，此時流況呈掃流狀態，輸沙濃度分佈侷限於一薄層區域，如圖 2.1 所示。由於該薄層區域流速大且濃度高，因此對近岸輸沙量估算會有重大影響，故逐漸受學者重視。

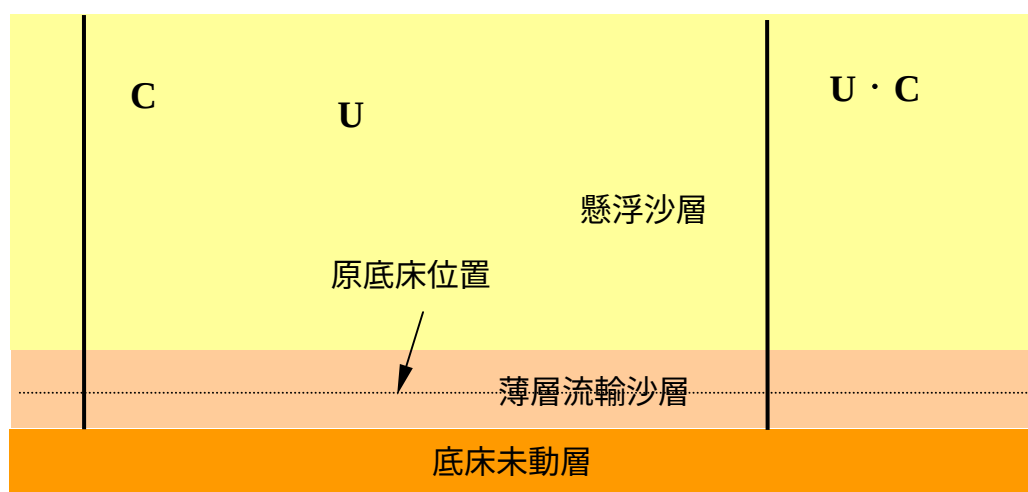


圖 2.1 薄層流輸沙層之圖解示意圖

薄層流輸沙為流體與底質交互作用的二相流(two-phase flow)，Horikawa et al.(1982)在 U 型槽中以電阻式濃度檢測器觀測薄層流的起始條件與輸沙濃度。Yu et al.(1990)則將該電阻式濃度檢測器用於現場灘面(swash zone)薄層流之觀測，發現薄層流下侵深度約 2~5mm 而移動層厚度則約 8mm。歐與許(1992)由輸沙延散方程式及流體運動方程式解析薄層流瞬間輸沙濃度分佈、輸沙量、流速剖面與摩擦係數等邊界層物理量，發現平均輸沙量約與最大徐爾滋數(maximum Shields number)的三次方成正比。Dong and Zhang(1999)則將薄層流輸沙分為三層，移動層(moving layer)下流速小於十分之一最大流速部份為不動層(immovable bed)，移動層之上界限則設為二十分之一最大濃度處，並分別根據流體與底質運動之連續方程式及動量方程式提出平坦底床受振動流作用的二相流模式。其控制方程式分別如下：

1. 流體相與底質相之連續方程式

$$\frac{\partial \rho(1-C)}{\partial t} + \frac{\partial \rho(1-C)u_j}{\partial x_j} = \frac{\partial \overline{\rho C' u'_j}}{\partial x_j} \dots\dots\dots(2-1)$$

$$\frac{\partial \rho_s C}{\partial t} + \frac{\partial \rho_s C u_{sj}}{\partial x_j} = - \frac{\partial \overline{\rho_s C' u'_{sj}}}{\partial x_j} \dots\dots\dots(2-2)$$

2.流體相與底質相之動量方程式

$$\frac{\partial \rho(1-C)u_i}{\partial t} + \frac{\partial \rho(1-C)u_i u_j}{\partial x_j} = -\rho(1-C)g\delta_{i2} - (1-C)\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial T_{ij}}{\partial x_j} - f_i \dots\dots\dots(2-3)$$

$$\frac{\partial \rho_s C u_{si}}{\partial t} + \frac{\partial \rho_s C u_{si} u_{sj}}{\partial x_j} = -\rho_s C g \delta_{i2} - C \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial T_{sij}}{\partial x_j} + f_i \dots\dots\dots(2-4)$$

上些式中， $x_i(i=1,2,3)$ 為卡式座標系統， t 為時間， ρ 為流體密度， ρ_s 為底質密度， C 為底質體積濃度， u_j 與 u_{sj} 分別為 x_j 方向之水粒子與底質顆粒分速， p 是壓力， g 為重力加速度， δ_{ij} 為Kronecker delta， T_{ij} 為紊流應力張量， T_{sij} 為底質顆粒間之應力張量， f_i 為 x_i 方向上流體與底質顆粒間作用力， C' 與 u' 則代表其變動量。

2.2 薄層流之濃度剖面分佈

O'Donoghue 在振盪水槽(Aberdeen Oscillatory Flow Tunnel)以CCM量測薄層流之濃度剖面，以未動底床層之濃度($C_0 = 1600\text{g/l}$)為1無因次化得

$$\bar{c}(z,t) = \frac{\beta(t)^\alpha}{\beta(t)^\alpha + [z + \delta_e(t)]^\alpha} \dots\dots\dots(2-5)$$

c 為無因次化濃度， z 為無流時之底床上高程， t 時間， δ_e 為瞬時侵

蝕深度(erosion depth), $c = 1$ 在 $z = -\delta_e$ 時。 α , β 則為描述 erosion depth 上瞬時濃度剖面之參數, β 值愈小則隨高度增加濃度降得愈快, β 稱為 "distribution depth" 決定捲起沙層(entrained sediment)之垂直分佈。在 $z = z_a$ 之參考濃度為

$$\bar{c}(z = z_a, t) = \bar{c}_a = \frac{\beta^\alpha}{\beta^\alpha + [z + \delta_e]^\alpha} \dots\dots\dots (2-6)$$

c , δ_e , α , β 皆為 time-dependent, 重組得

$$\beta = \left\{ \frac{\bar{c}_a}{1 - \bar{c}_a} \right\}^{\frac{1}{\alpha}} (z_a + \delta_e) \dots\dots\dots (2-7)$$

代入(2-5)得

$$\bar{c} = \frac{(z'_a)^\alpha}{(z'_a)^\alpha + \left\{ \frac{1}{\bar{c}_a} - 1 \right\} (z')^\alpha} \dots\dots\dots (2-8)$$

其中 $z'_a = z_a + \delta_e$, $z' = z + \delta_e$

(2-8)式的優點為以參考濃度 c_a 來描述濃度剖面可以讓人對底床情況有較清楚的概念。

2.3 薄層流之侵蝕深度

試驗水槽振盪流實驗觀測得(1)流與侵蝕深度(erosion depth) δ_e 間有相位差, (2) δ_e 決不為零, 就算反流流速為零時也一樣。以互相關分析 $\delta_e(t)$ 及流速 $u(t)$ 可得其相位差 ψ , ψ 隨 $\theta_{\max}$ 增加而增加。其原因可能是薄層

流厚度增加或近底床濃度增加或較大侵蝕深度的發生。

$$\phi = 0.1\theta_{\max} \dots\dots\dots(2-9)$$

$$\theta(t) = \frac{\frac{1}{2} f_w u(t)^2}{(s-1)gd_{50}} \dots\dots\dots(2-10)$$

$$\theta_{\max} = \frac{\frac{1}{2} f_w u_{\max}^2}{(s-1)gd_{50}} \dots\dots\dots(2-11)$$

其中，s 為 sediment 比重(s=2.65 for sand)，g 為重力加速度， f_w 為磨擦係數， $\theta_{\max}$ 為最大 Shields number。

Dick and Sleath, 1992; Zala-Flores and Sleath, 1998; Wright, 2002 等皆指出底床邊界效應會使底床流速領先主流速約 20%。粗沙或中沙時 $\theta(t)$ 與無因次侵蝕深度有明顯線性關係，

$$\frac{\delta_e(t)}{d_{50}} = C_1\theta(\omega t - \phi) + C_2 \dots\dots\dots(2-12)$$

C 為直線坡度， C_1 、 C_2 與流及底床條件有關。 $\omega = 2\pi/T$ 為 flow circular frequency，T 為 flow period。細沙時因流懸浮沉澱較慢而有偏移現象，不適用上式。由實驗可得

$$\frac{\delta_e(t)}{d_{50}} = 2.8\theta(\omega t - 0.1\theta_{\max}) + 5.5(\theta_{\max} - 1) \dots\dots\dots(2-13)$$

同樣不適用於細沙時。另外

$$\frac{\delta_{e\max}}{d_{50}} = 8.3\theta_{\max} - 5.5 \dots\dots\dots(2-14)$$

許多輸沙公式選擇 $z_a=2d_{50}$ 處之濃度為參考濃度，但資料顯示正弦流(sinusoidal flow)時 pick-up layer 頂 $z_p = 0\text{mm}$ 處濃度變化較小；而不對稱流(asymmetric flow)時 pick-up layer 頂 $z_p = -1\text{mm}$ 處濃度變化較小。如以 z_p 作為參考高度則其時間平均、無因次參考濃度為 0.44。濃度峰值易發生於細沙、不對稱流之流速反向時，且在薄層流頂部最明顯。薄層流厚度是以體積濃度(volumetric concentration)為 8%即 $c=0.13$ 為薄層流頂部，當然以粗沙較薄而細沙較厚。

2.4 薄層流之流速量測

薄層流之流速測量困難在於流層很薄而濃度很高，Horikawa et al. (1982)在水槽試驗以逐格分析的照相法成功測得未流動底床上 2mm 處之沙粒子移動速度；Asano(1995)以相同方法量測塑膠顆粒移動速度。Dick and Sleath (1991, 1992)及 Zala Flores and Sleath(1998)分別用 LDA(laser Doppler anemometry)測 pvc 顆粒及 0.41mm 沙之薄層流流速；Ribberink and Al-Salem(1995)也以 LDA 觀測振盪流下 0.21mm 沙的薄層流運動，發現在未動底床上方 20mm 內的流速觀測並不可靠。McLean et al.(2001)在大型水槽以濃度互相關方法估算薄層流中沙粒通過兩組間隔 15~20mm 之 CCM 的速度，使用沙粒粒徑為 0.13mm 及 0.32mm；Dohmen-Janssen and Hanes (2002)則使用 0.24mm 的沙粒進行觀測。儘管學者不斷努力，但因量測技術與儀器的限制，使得定量觀測方面成果有限，主要的困難即在薄層流內非常高濃度的沙使得 LDA 或 ADV 等儀器都無法測得內部深層的顆粒運動速度。O'Donoghue(2004)則首先利用 UVP(ultrasonic velocity profiler)與 CCM 在實驗室內對薄層流內部流場及濃度分佈獲得較詳細的觀察。

當波浪作用下底床剪應力之最大 Shields parameter 約大於 0.8 時即

可能產生 sheet flow(Nielsen, 1992)

$$\theta(t) = \frac{\tau_o(t)}{\rho(s-1)gd} = \frac{\frac{1}{2} f_w u_o^2(t)}{(s-1)gd} \dots\dots\dots(2-15)$$

$$\theta_m = \frac{\tau_{om}}{\rho(s-1)gd} = \frac{\frac{1}{2} f_w u_m^2}{(s-1)gd} \dots\dots\dots(2-16)$$

其中， $\tau_o(t)$ 為底床剪應力(bed shear stress)， $u_o(t)$ 為波浪作用下底床邊界層外水平流速， u_m 為最大水平流速， s 為底質沙比重， d 為底質沙粒徑， f_w 為波浪摩擦係數，是流粒子軌道振幅 A 與底床粗糙度 k 比值的函數($k=2.5d$)，但 Wilson(1989)則認為薄層流之摩擦係數與 d 無關；而與 A 及振盪流週期有關。不對稱振盪流實驗結果發現近底床流速領先主流速約 21° ，且邊界層厚度 δ_b 計算結果合乎 Fredsoe and Diegaard (1992)提出之公式

$$\frac{\delta_b}{k_N} = 0.09 \left(\frac{A}{k_N} \right)^{0.82} \dots\dots\dots(2-17)$$

其中，粗糙度 $k_N=2.5d$ 。粗沙之平均淨輸沙量向岸並局限於底床附近；但細沙時薄層流內淨輸沙方向向海而懸浮層輸沙則向岸。

以上相關薄層流模式或可應用於底床平坦地形之輸沙量估算，但是根據 Lin et al. (2002)在現場攝得之底床輸沙活動顯示，碎波帶內底床沙鏈結構發達，在波動之往復振動底流作用下，沙鏈結構上之輸沙活動包括懸浮質、底移質及薄層流三者同時出現情況。因此以數值方法估算近岸輸沙量必須將三者同時應用在有沙鏈結構之輸沙模式上，但是在缺乏適當的觀測儀器下，現場薄層流輸沙至今仍無法作有效的量測，只能作定性上的觀察。

本研究初期將以安平近岸海域為主要觀測現場，因為該地點潮間帶灘面較陡，碎波線離岸較近，方便儀器安裝。本研究擬利用微型多光點沙面活動監測儀、高頻剖面流速儀以及新型渠道底床攝影裝置等進行現場觀測，將可以清楚觀察出現場底床沙粒之運動、流速與濃度分佈等。計畫執行時將分別在不同季節針對不同波況條件下進行觀測，蒐集現場波浪、底床沙之運動、流速與濃度分佈等資料。據以分析薄層流輸沙之啟動機制，解析薄層流瞬間輸沙、輸沙量、流速剖面與摩擦係數等邊界層物理量之關係。可能遭遇困難為夏季颱風發生時將影響現場資料之蒐集，必須妥善避開颱風期以維現場作業安全。

第三章 現場觀測與分析

近岸海域漂沙現象多發生在碎波帶內，外海入射波浪在碎波帶外開始因觸底與底床磨擦，於接近碎波帶時，波浪逐漸變形、崩潰並重擊底床，在進入碎波帶後將所有波能釋出，在此一區域內激烈攪動起底床沙並將懸浮沙帶離現地形成漂沙。至今我們知道碎波帶內的漂沙作用不只有懸浮沙部份，底床附近的薄層流輸沙因濃度高、速度大，對近岸漂沙更為重要。以往相關漂沙研究為方便計多採用實驗室觀測方式，其研究因沙粒特性無法配合縮尺，因此結論多只能作定性描述。為瞭解現場海域之實際漂砂狀況，則必須將儀器安裝於現場碎波帶附近，實際量測碎波帶內的流場與懸浮質濃度分佈，並推算其輸砂量。

海岸漂沙現象包括懸浮漂沙與薄層流輸沙，由於薄層流輸沙部份須要較特殊之觀測儀器，本年度研究主要仍針對懸浮質輸沙及地形變化進行觀測。

3.1 觀測地點說明

台南安平商港以南至二仁溪口間有一綿延約六公里之沙灘，當地稱為黃金海岸，灘地寬闊適合提供民眾各種休閒活動。不過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。由於附近有安平商港及興達漁港，有必要對當地海岸漂沙活動進行瞭解。現場觀測站設立於安平港以南約四公里，二仁溪口以北約二公里處，位置如圖 3.1。現場海岸線約南北走向，沙灘寬約 60 公尺，不過在季節風與颱風作用下可能會有相當大的變化，因此進行灘面高程測量時特別延伸至海下底床部份。

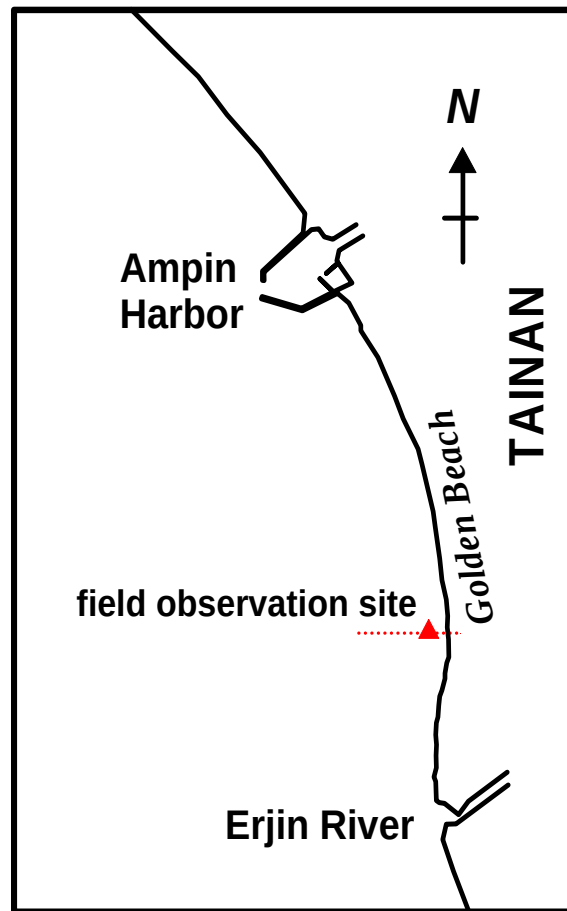


圖 3.1 安平近岸海象及漂沙觀測站位置圖

測點附近海岸線為南北走向，冬、夏季時分別受東北與西南季風影響，海岸地形受不同方向的優勢漂砂作用而有不同變化。圖 3.2 顯示當地主要波浪能量來自 SSW 及 WSW 方向間，並集中於每年 5 月至 9 月，即夏季西南季節風時。如以 S、SSW、WSW 及 WNW、NNW、N 分別代表沿岸向北及向南方向之輸沙作用能量，其能量比約為 4:1，所以全年漂沙優勢方向為向北。

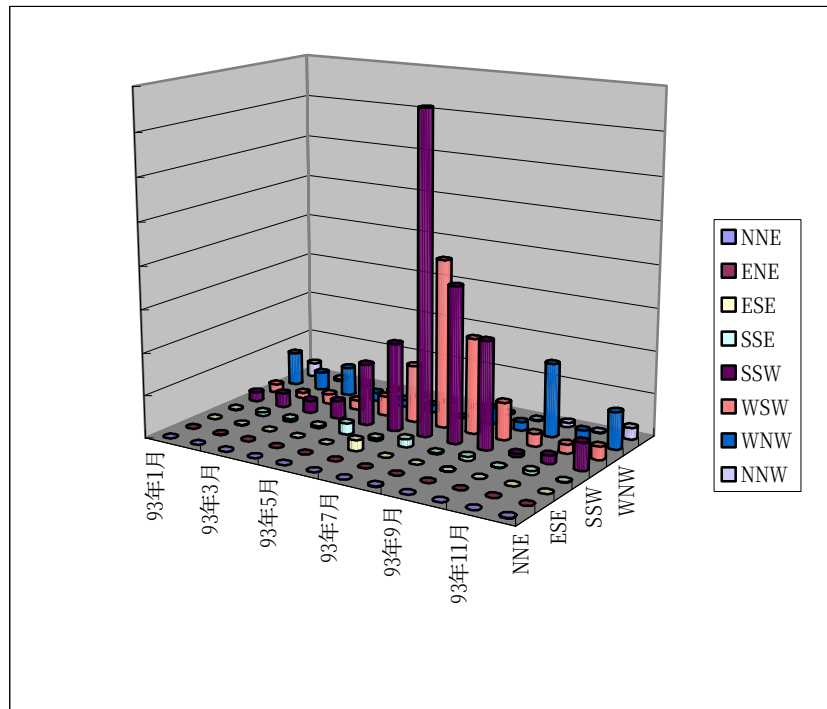


圖 3.2 安平海域全年波浪能量分佈

3.2 現場地形測量

安平海岸漂沙活躍，海岸線受季節風浪與潮流作用，不斷改變，底床漂沙移動方向除沿岸方向外還有向、離岸方向，因此有必要持續進行灘面與底床測量，以瞭解該海域波浪與漂沙之關係。地形測量高程由附近灣裡濱海陸橋之 G090 水準點引入，並在近岸碎波帶觀測站附近堤防上選擇一固定地面參考點，以經緯儀及水準儀逐一定點量測灘面高程，說明如圖 3.3。至於水面下較淺部份則由潛水人員協助扶持標桿尺，而較深部份則須由水位儀之觀測資料逐點校正潮位差後計算取得。

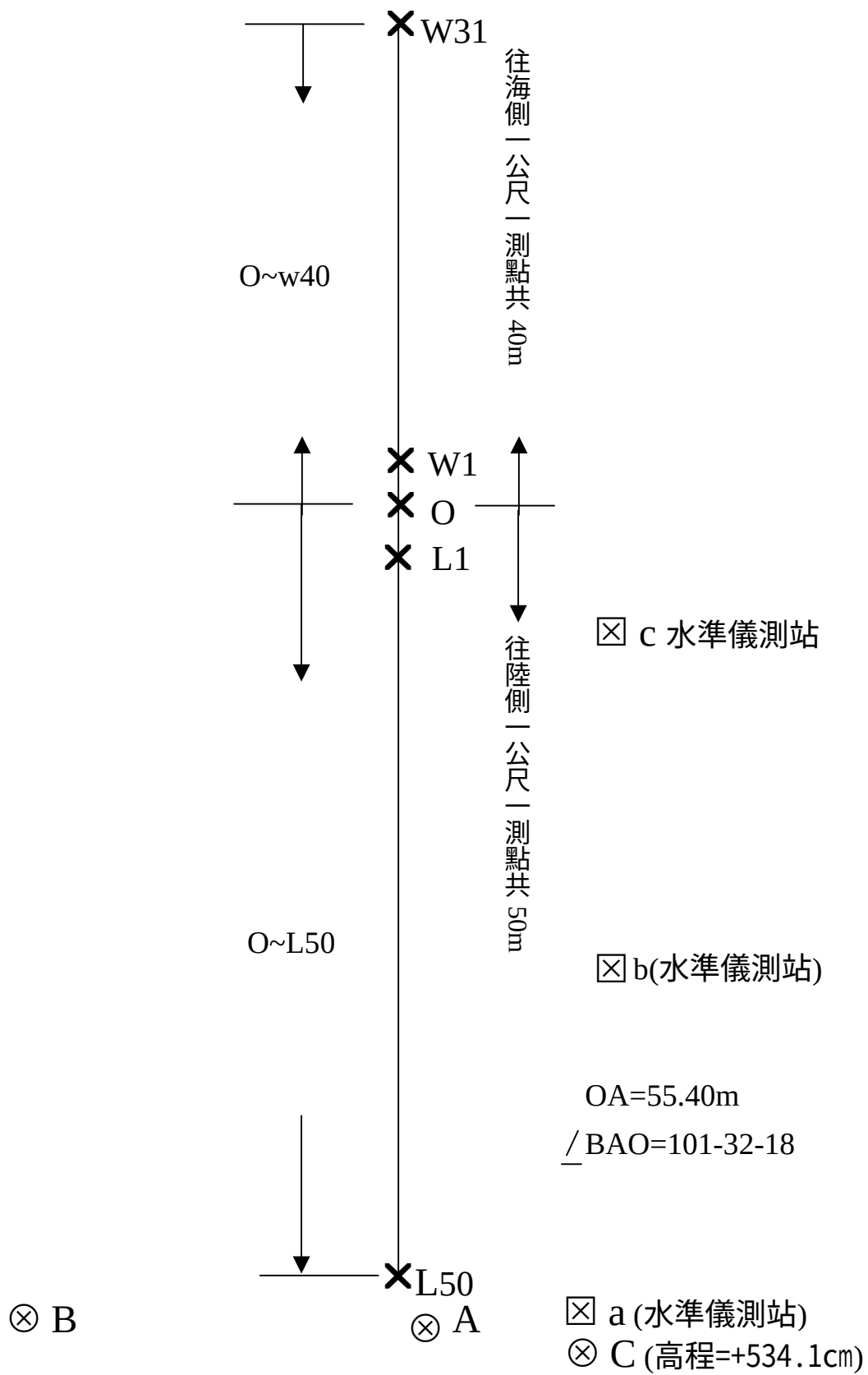


圖 3.3 灘面地形與高程測量示意圖

圖 3.4、圖 3.5 及圖 3.6 分別為 94 年 11 月至 95 年 3 月、95 年 3 月至 95 年 8 月以及 95 年 9 月至 11 月之海岸灘面與水面下底床高程變化情形。顯示冬季期間，北方布袋斜向西北方向延伸之陸地海岸阻擋了北風浪進入該海域的能量，使該海域灘面與近岸底床地形變化不大，水面下底床則有稍許淤積情形。每年 3 月至 8 月該海域逐漸盛行西南風，強烈風浪直接侵入該海域，在碎波帶以較大入射角形成向北沿岸流，碎波帶不但捲起大量懸浮砂，沿岸流及底迴流更將懸浮砂向北及外海方向帶走，因此造成該海域灘面與近岸底床地形之強烈侵蝕。

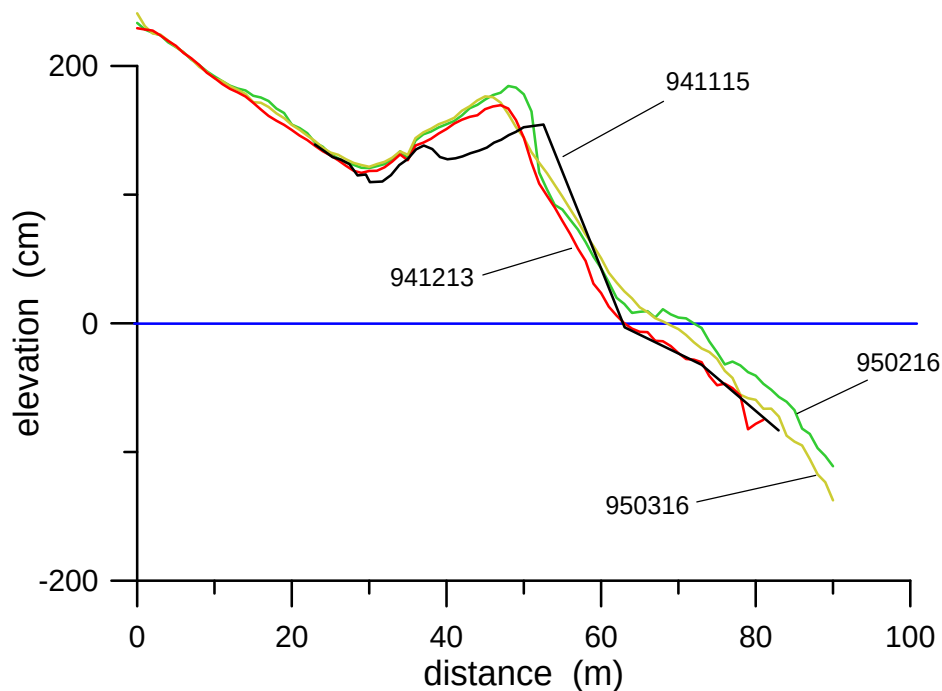


圖 3.4 94 年 11 月至 95 年 3 月之灘面與近岸底床地形變化

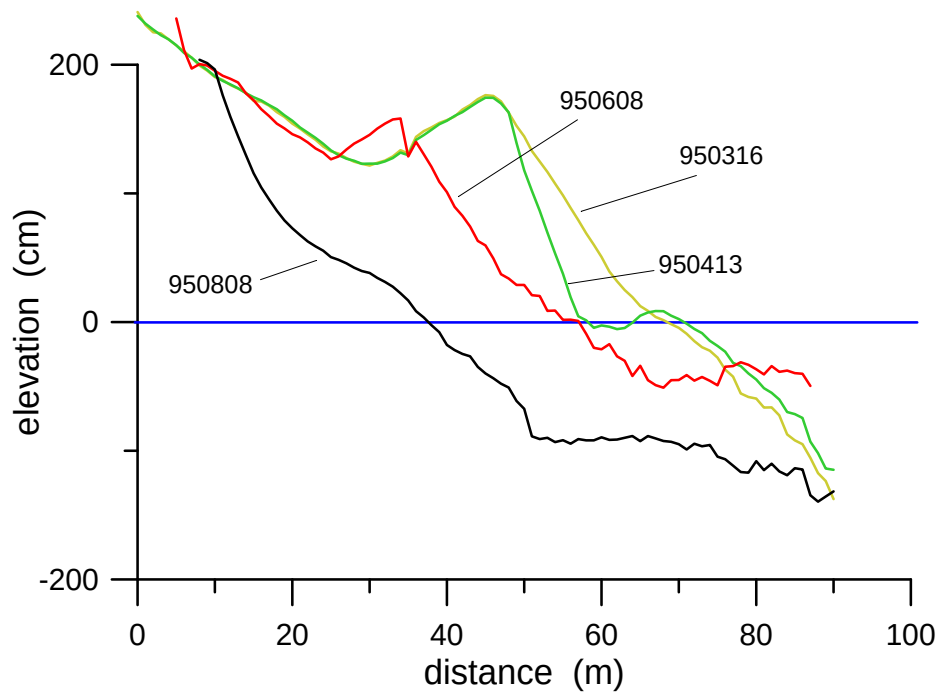


圖 3.5 95 年 3 月至 95 年 8 月之灘面與近岸底床地形變化

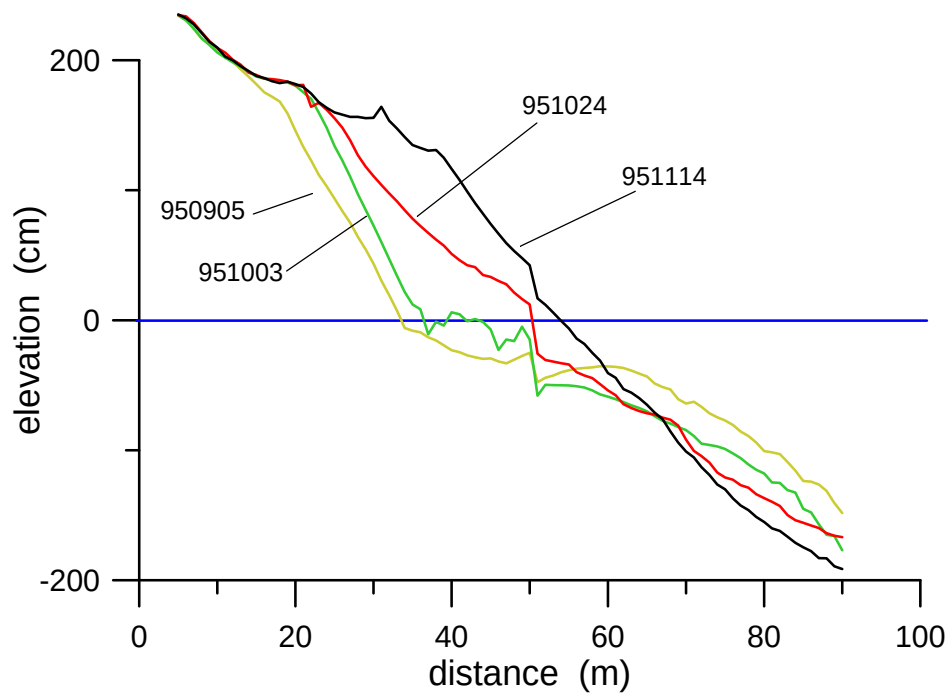


圖 3.6 95 年 9 月至 95 年 11 月之灘面與近岸底床地形變化

該海域於 9 月後西南風逐漸減弱，並進入東北季節風時節，微弱風浪與稍微向南的碎波入射角度使該海域灘面又逐漸回填淤積，雖然較深水域仍有少許侵蝕現象。該海域南側有二仁溪為主要漂砂來源，夏季強烈西南風浪將沿岸懸浮砂帶往外海及北方，由於北方海岸建有向海延伸的安平港防波堤，阻擋沿岸輸砂並使漂砂在防波堤南側淤積。冬季東北風風浪受北方陸地地形阻擋，風浪大受影響，接近海岸時碎波角度將近垂直，碎波時向南輻射應力小，往南輸砂能力也大為減弱。此時沿岸輸砂主要受南、北向變化的潮流影響，由於現場海域南有二仁溪口，溪口多淺灘，未受遮蔽的東北風風浪在此因碎浪產生大量懸浮砂，較之北方受遮蔽的海岸，由二仁溪上游攜帶出海的漂砂便逐漸在該海域淤積，此為海岸不平衡輸砂的結果。本研究將持續進行測量監控，以瞭解該海域海岸變化趨勢與波浪、潮流等之關係。

3.3 現場觀測作業與資料分析

本研究分別於冬、夏兩季在測點碎波帶內外裝設多層次流速計及濁度計等，以 2Hz 取樣方式量測離底不同高度之流速與懸浮質濃度，波浪儀取樣頻率則為 4Hz，每個測點觀測時間約十分鐘，同時將整組儀器在最短時間內沿垂直海岸線方向移動，最後經潮位修正、時間校正與觀測值率定後可以獲得近岸碎波帶附近不同相對位置之波浪及剖面流場與懸浮質濃度分佈，圖 3.7 為 2006 年 6 月 8 日進行現場觀測時之碎波帶附近地形與相關測點位置。流速計、水位計及濁度計等儀器配置如圖 3.8。

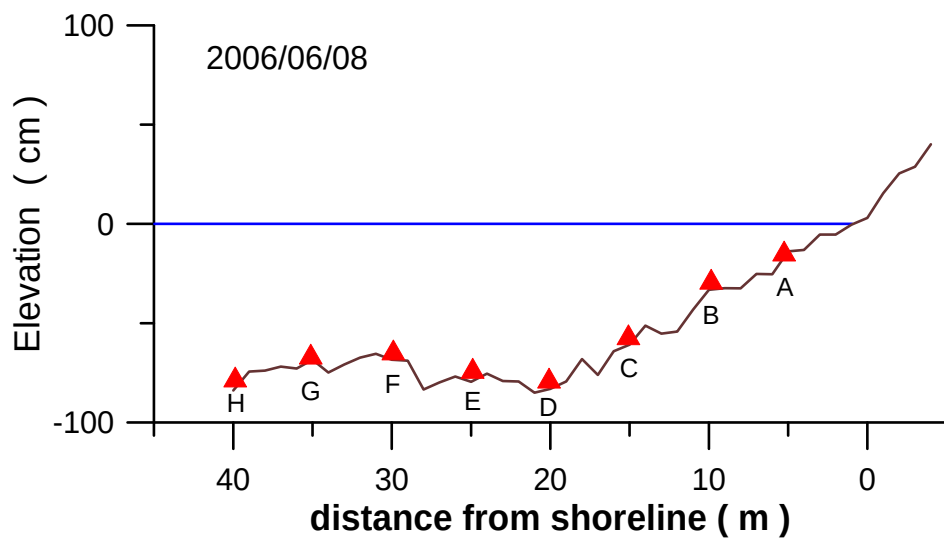


圖 3.7 碎波帶附近地形與相關測點位置

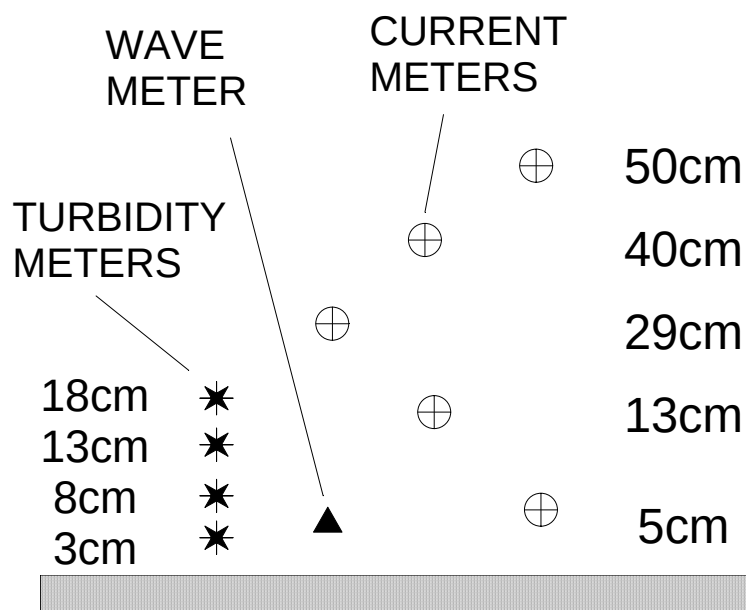


圖 3.8 現場觀測儀器配置圖

3.3.1 西南季節風時之現場觀測與資料分析

本(95)年 6 月 8 日進行現場觀測時，海面吹西南風，5 至 6 雷雨區陣風 9 級，中至大浪。碎波帶內底床坡度約為 0.047，夏季浪大，碎波相似參數(surf similarity parameter)介於 0.5 與 3.3 之間，碎波多為捲波(plunging breaker)形態，碎波點波高將近 1m，圖 3.9 為現場碎波之連續照片。





圖 3.9 現場碎波之連續照片

波浪由外海向岸前進並於近岸地區碎波帶內崩解，波能瞬間大量釋出，引起漂沙現象。在現場進行觀測時，為考量儀器安全及取得資料的正確性，大多採用自記式儀器，避免外部訊號線路被碎浪、急流毀損。近岸碎波點距岸約 40 公尺，視當時浪況而定。作業時由岸向海方向選取 8 個測點，每個測點相距 5m。五組二維電磁式流速計分別安裝於離底 5cm、13cm、29cm、40cm 及 50cm 位置，進行現場量測，取樣頻率為 2Hz。碎波帶內底床上 5cm 處之平均流速與流向如圖 3.10，圖中右側 y 軸為岸線位置，顯示碎波帶內底床附近之平均流場為向北及向外海方向，較大流速發生於碎波點附近。向北之沿岸流不斷將懸浮砂往北帶，如果南側二仁溪口之砂源補充不及，則造成海岸侵蝕。圖 3.11 則為碎波點附近之垂直剖面流況，y 軸為離底高度，x 軸負值為向外海方向流速，圖中顯示底床上 50cm 高度內有向海之底迴流存在，該底迴流將碎波捲起之懸浮砂帶往外海，也會造成海岸侵蝕。整合碎波帶內各個測點之觀測結果，其流場分佈如圖 3.12，強烈的底迴流將近岸侵蝕的砂帶至碎波帶外形成暫時性沙洲。

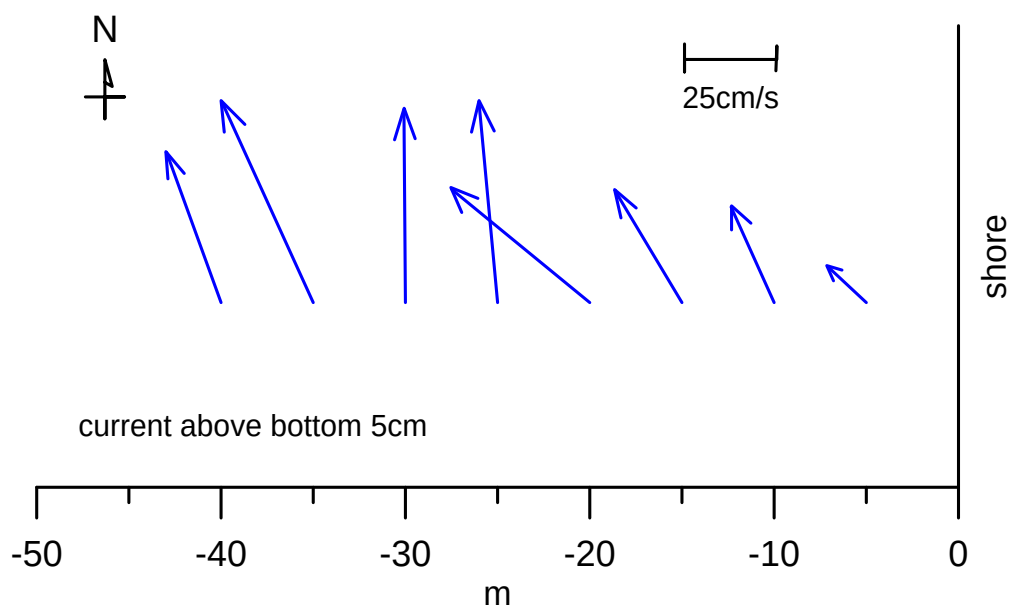


圖 3.10 碎波帶內底床上 5cm 處之平均流速與流向

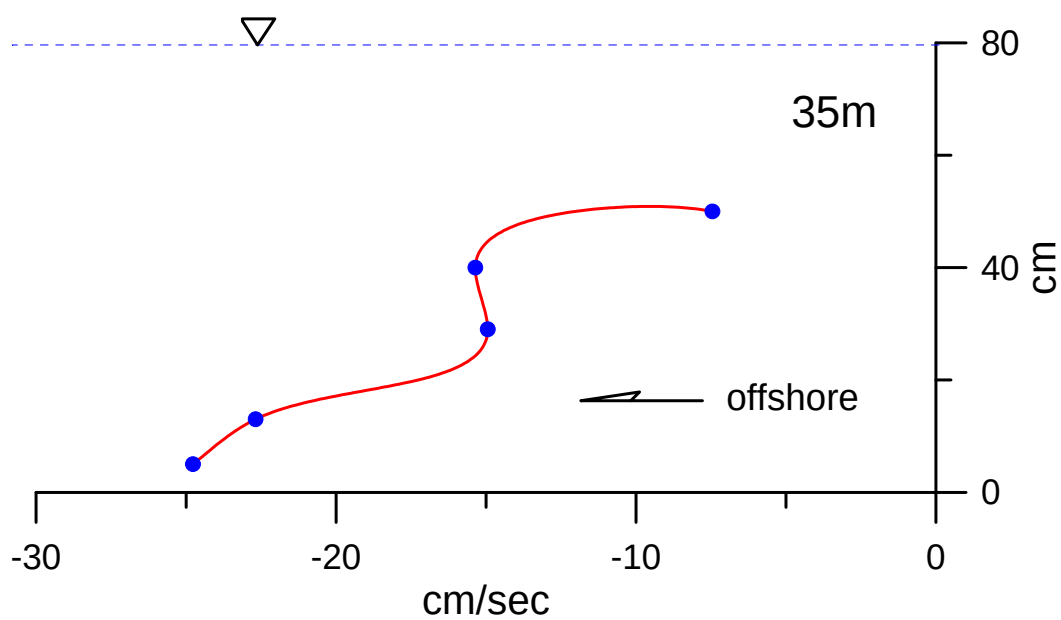


圖 3.11 碎波點附近之垂直剖面流況

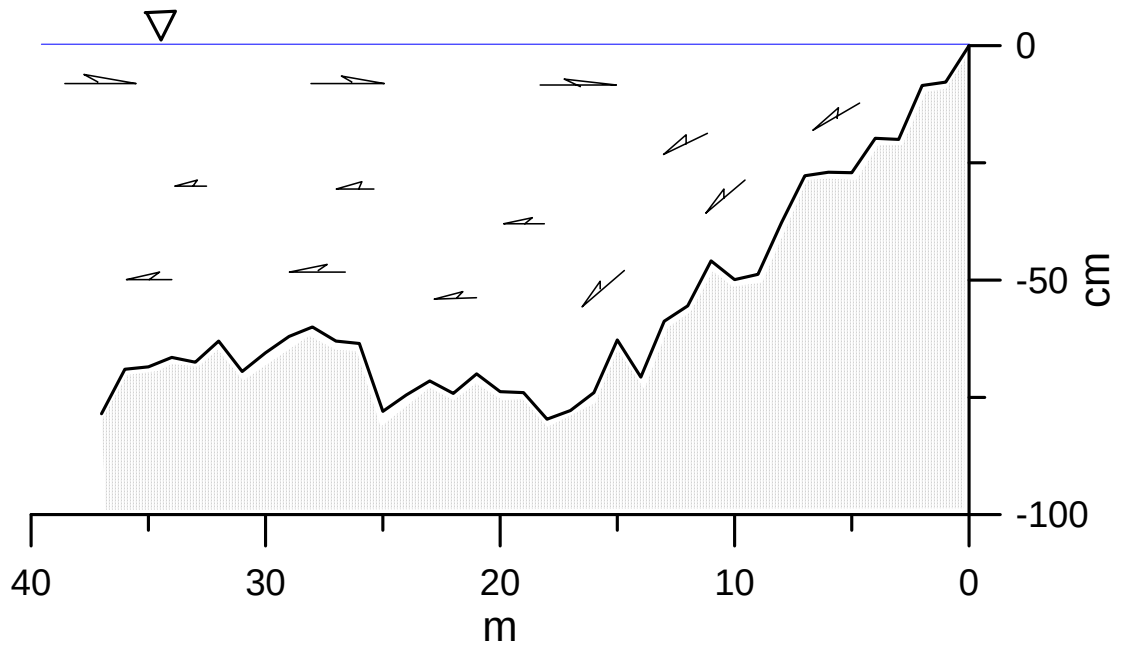


圖 3.12 碎波帶內之斷面流場分佈示意圖

另外，安裝於離底 3cm、8cm、13cm 及 18cm 高度的濁度計則分別觀測底床附近不同高度位置的懸浮質濁度，經率定轉換後可得懸浮砂之濃度。圖 3.13 為碎波帶內垂直剖面之平均懸浮砂濃度分佈，其濃度在離底 20cm 高度內高達 4g/L 且呈均勻分佈，顯示碎浪在碎波帶內之劇烈攪拌作用。圖 3.14 則為由岸向海垂直斷面之平均懸浮砂濃度分佈，圖中顯示在距岸約 30m 位置出現最大懸浮砂濃度，其位置正好位於碎波點前方，由於該處之沿岸流最強，因此也是最大沿岸輸砂量位置。

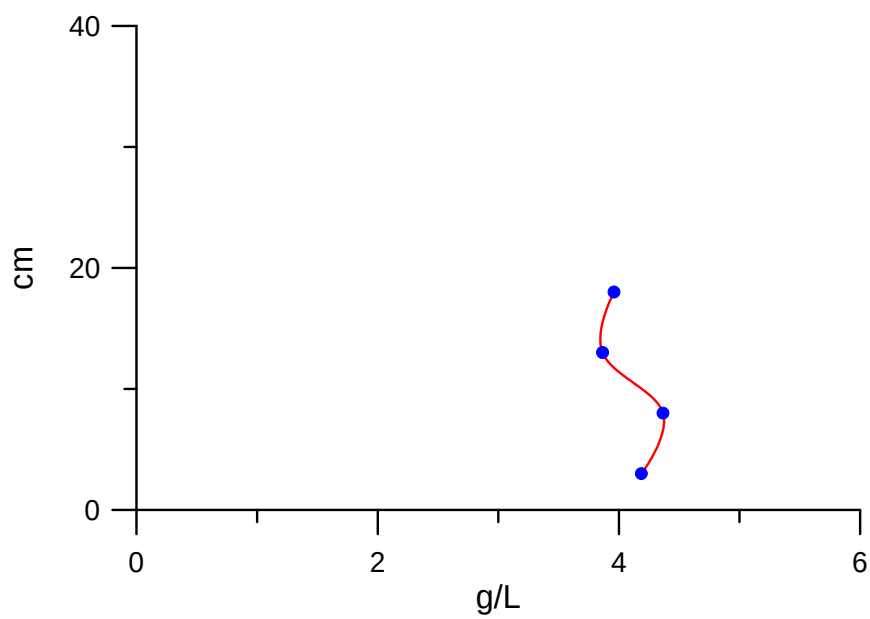


圖 3.13 碎波帶內垂直剖面之平均懸浮砂濃度分佈

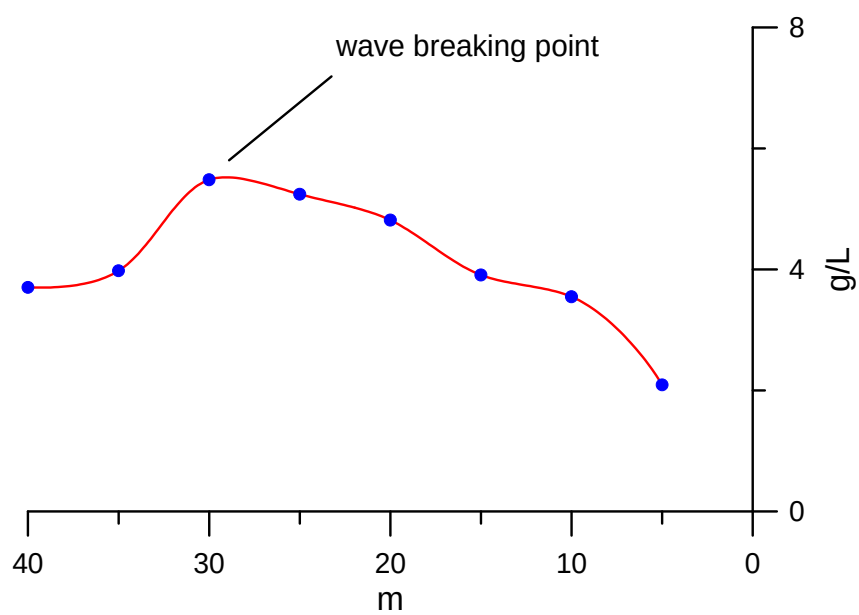


圖 3.14 由岸向海垂直斷面之平均懸浮砂濃度分佈

2 月當臺灣海峽東北季節風稍微減弱之際，南部海域已開始吹起西南風，雖然風浪不大但對本地海岸已開始發生侵蝕作用，圖 3.15 即顯示海岸灘面由淤積轉為侵蝕之際，灘面出現波浪作用所造成之斷崖結構。本次觀測由岸向外海方向共設置 15 個觀測點，分別位於離岸 15m、20m、25m、30m、35m、40m、45m、50m、55m、60m、70m、80m、90m、100m 及 110m 等位置架設儀器進行現場觀測，儀器配置如圖 3.16。在各個測點以垂直剖面配置之電磁式流速計及濁度計等進行剖面及斷面觀測，流速量測點分別位於離底 4cm、10cm、16cm、27cm、39cm、58cm 及 85cm 等高度位置，濁度量測點則位於 2cm、8cm、13cm、18cm 及 26cm 等高度位置，另外還有水位計分別量測各測點之水位與波高。

圖 3.17、圖 3.18 及圖 3.19 分別為離岸 20m、35m 及 60m 等不同位置之垂直剖面流況，圖中顯示在底床上約 30cm 高度內存在一流向外海方向的底迴流，而 30cm 以上至水面之間則有流向岸的平均流，兩者形成一環流系統，由於波浪捲起之懸浮砂主要分佈於底床附近，因此該環流系統的形成為造成海岸侵蝕的主要原因之一。觀測當時海面吹西南風，4 至 5 陣風 7 級，小至中浪，碎波帶只有約 25m 寬，碎波帶內受碎波角度形成之輻射應力作用使沿岸流方向向北，但碎波帶外由於沒有碎波之輻射應力作用，在當時之退潮流作用下，流向往南，圖 3.20 為斷面沿岸方向之平均流流速變化，右側 y 軸為陸地灘線位置。考量懸浮砂濃度主要集中於底床附近，繪出斷面上各測點底床上 4cm 之流場如圖 3.21，顯示碎波帶內懸浮砂被帶往西北方向，如南來砂源補充不及，則會造成海岸侵蝕現象。

圖 3.22 為平均剖面懸浮砂濃度分佈，主要懸浮砂濃度集中於底床上 10cm 厚度內，圖 3.23 則為懸浮砂濃度之斷面分佈情形，在 45m 及 20m 位置出現較高懸浮砂濃度，分別是當時碎波點位置。圖 3.24 為斷面流場環流系統之示意圖。



圖 3.15 灘面出現波浪侵蝕作用所造成之斷崖結構



圖 3.16 現場觀測儀器配置

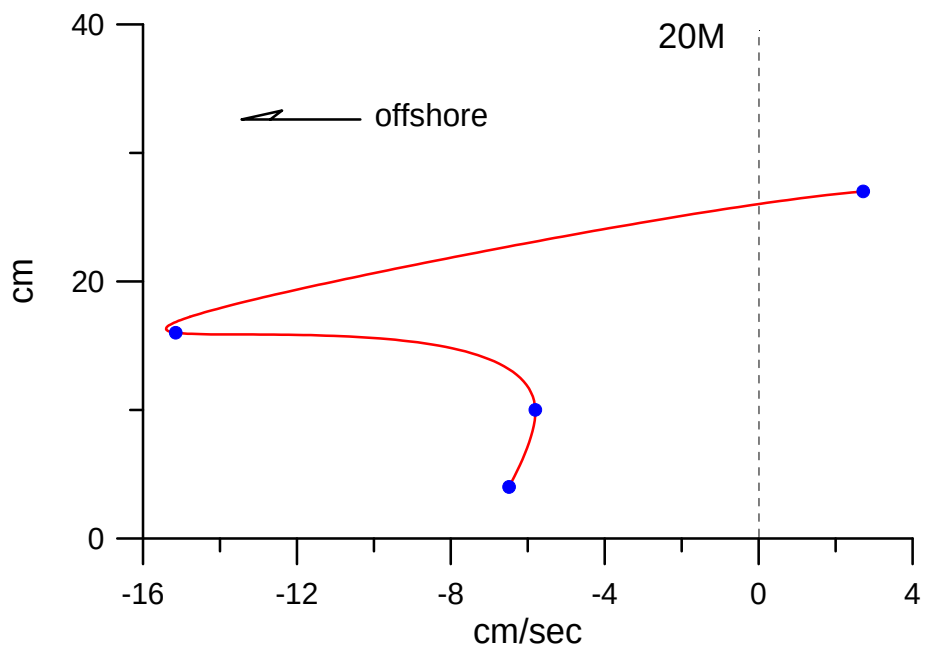


圖 3.17 距岸 20m 處之剖面流速分佈

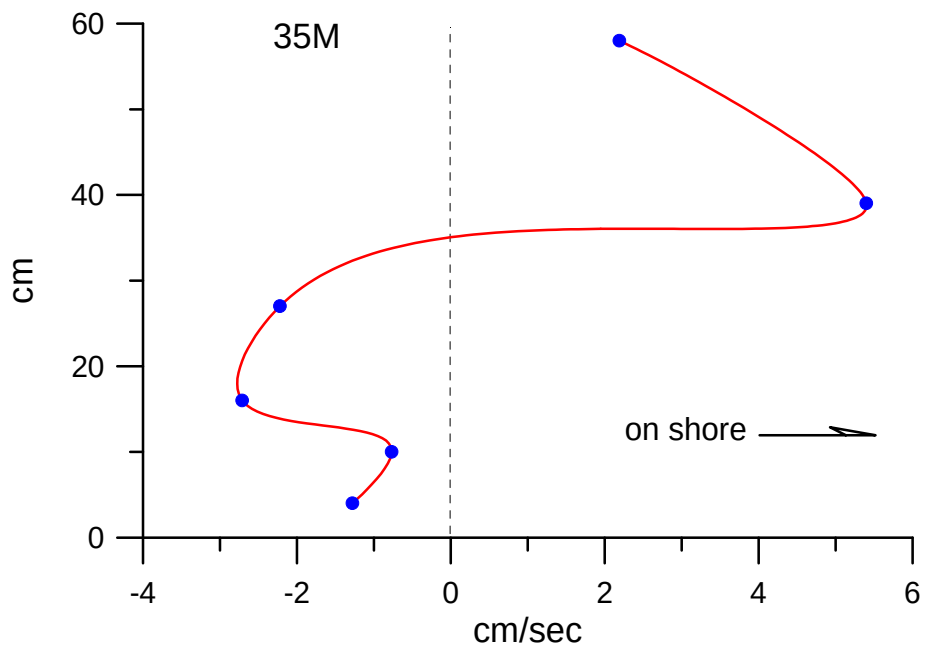


圖 3.18 距岸 35m 處之剖面流速分佈

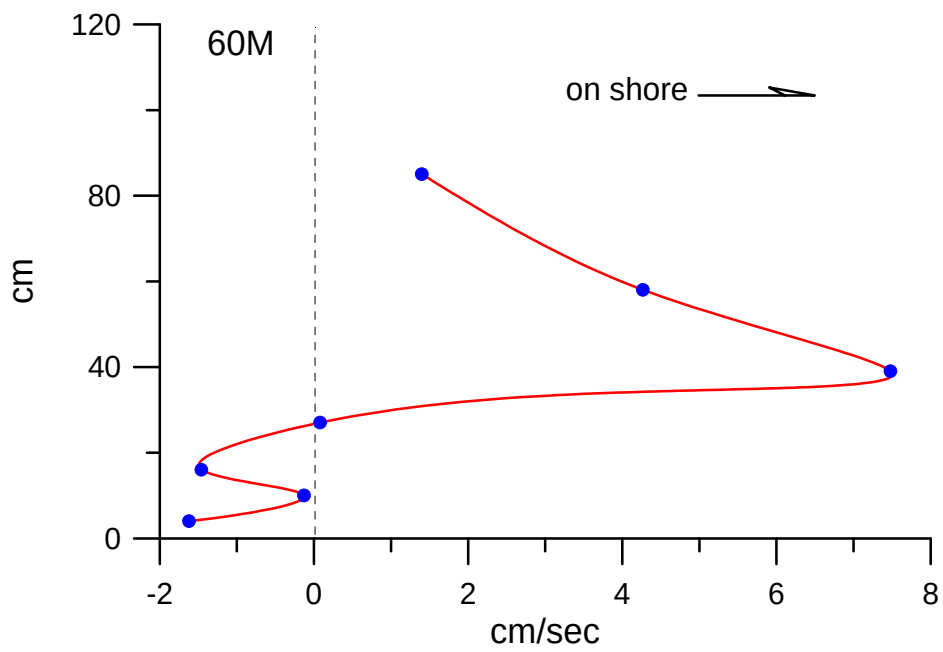


圖 3.19 距岸 60m 處之剖面流速分佈

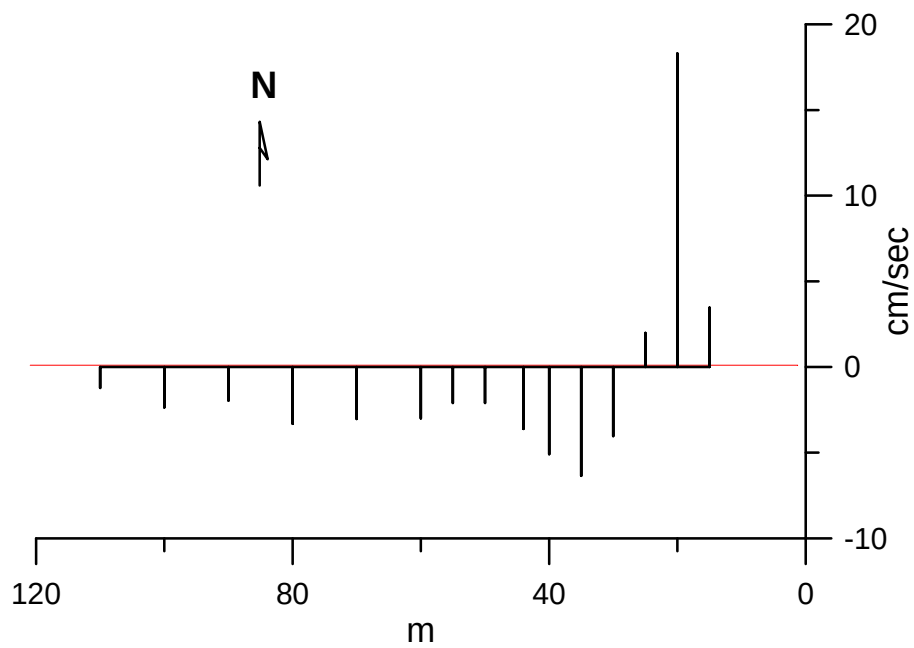


圖 3.20 斷面沿岸方向之平均流流速變化

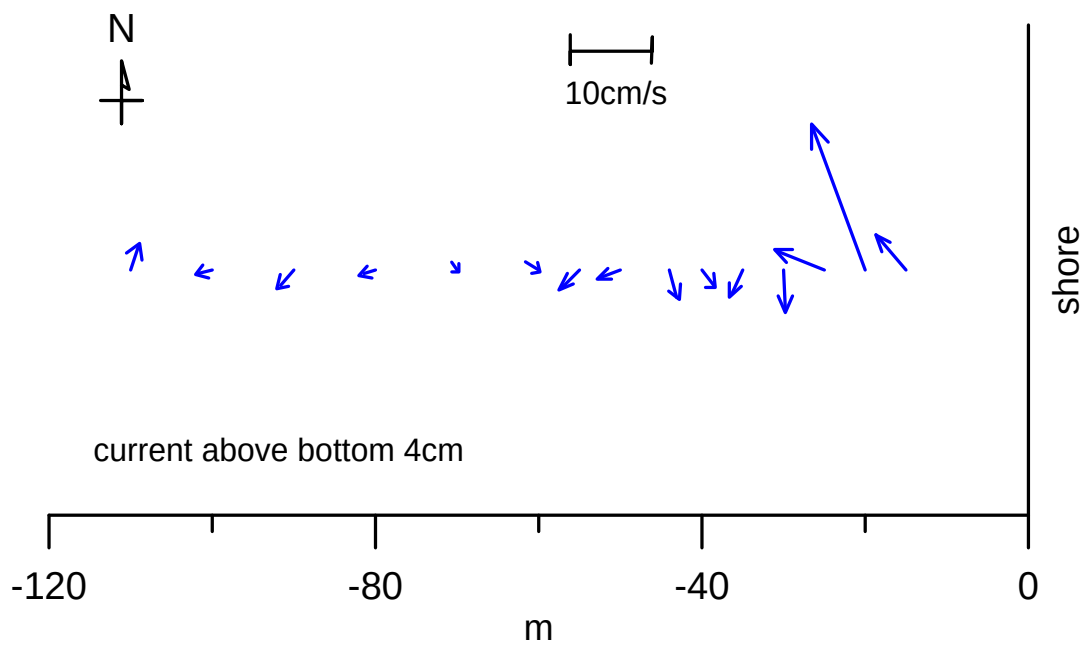


圖 3.21 斷面上各測點底床上 4cm 之流場

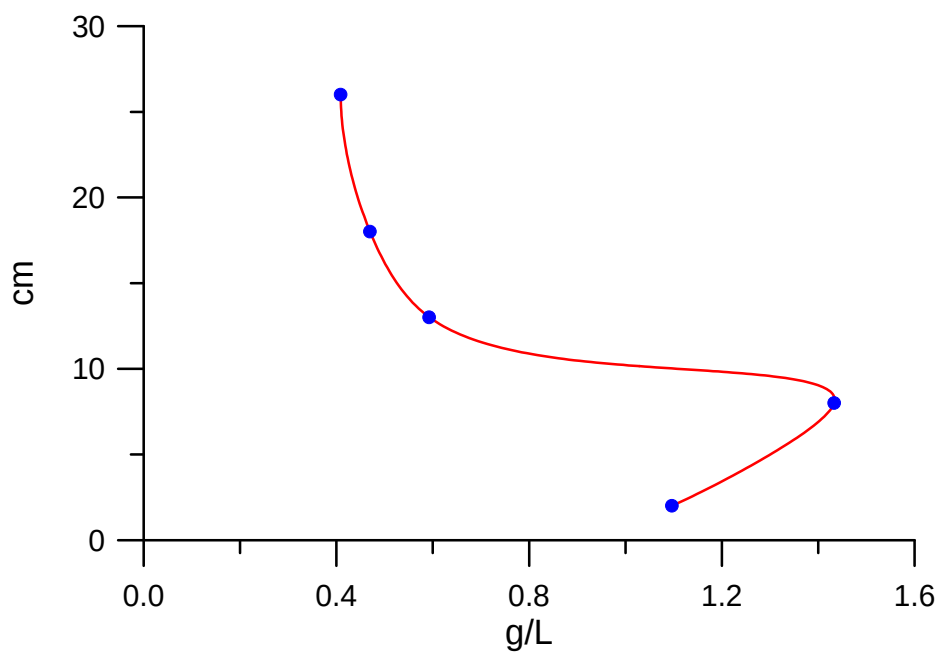


圖 3.22 平均剖面懸浮砂濃度分佈

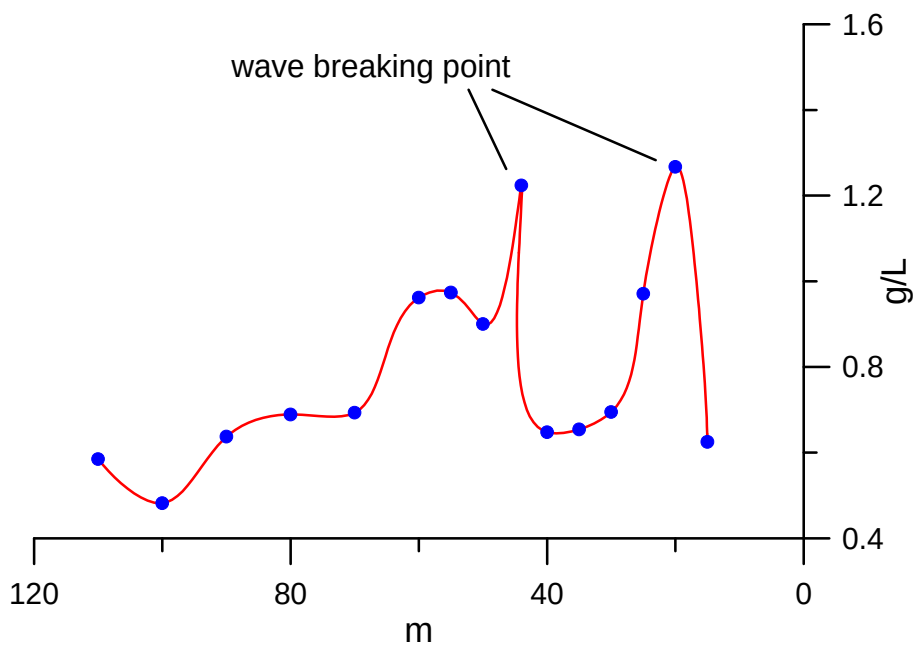


圖 3.23 懸浮砂濃度之斷面分佈

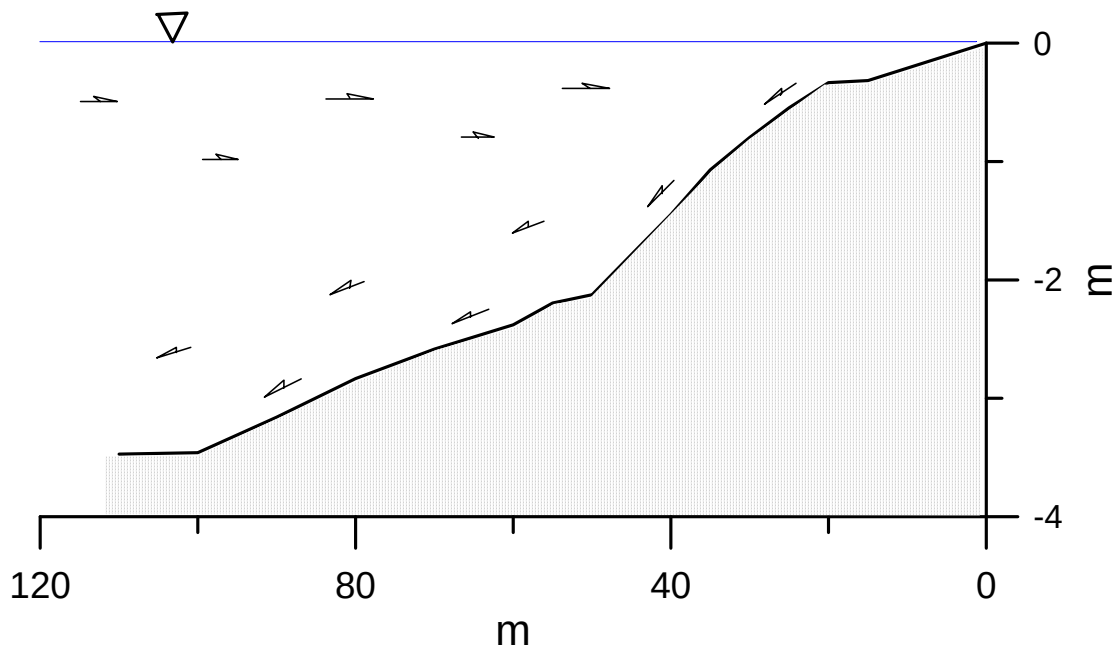


圖 3.24 斷面流場環流系統之示意圖

3.3.2 東北季節風時之現場觀測與資料分析

本(95)年 10 月進行現場觀測時，碎波帶內底床坡度約為 0.036。檢視圖 3.4、圖 3.5 及圖 3.6，該海域於夏季末西南季節風開始減弱，即 9 月至 11 月平均水位上之陸地灘面明顯淤積，但平均水位下較深部份之底床則被侵蝕，因此碎波帶之靠岸內側灘面逐漸變陡，直至 2、3 月時達到最陡，其平均水面下之碎波帶內側底床坡度約為 0.063。3 月起該海域西南風逐漸增強，3 月至 8 月平均水位上之陸地灘面被明顯侵蝕，而平均水位下較深部份之底床則有淤積情形，因此碎波帶之靠岸內側灘面逐漸變緩，直至 9 月時達到最緩坡度，其平均水位下之碎波帶內側底床坡度約為 0.012。

該海域東北季節風時，近岸海域因陸地遮蔽效應使波浪大為減小，其碎波相似參數(surf similarity parameter)小於 0.5，碎波多以溢波(spilling breaker)形態出現，如圖 3.25。



圖 3.25 東北風時之溢波(spilling breaker)形態碎波

本(95)年 10 月於現場進行水面波高測量，海面吹東北風，4 至 5 陣風 7 級，小至中浪，其近岸之波高變化如圖 3.26，在近岸約 37m 與 20m 附近各有一個碎波點，波向幾與岸垂直。量測時正好是退潮時段，潮流加上因波浪碎波引起的向南輻射應力使近岸地區有較大向南沿岸流，底床附近同樣出現底迴流可將底床附近懸浮砂往外海方向攜帶，如圖 3.27 為近岸離底 6cm 高之流速與流向分佈，較大流速發生於近岸 20m 範圍內。平均懸浮質濃度分佈則如圖 3.28，在碎波點及近岸地區有較大平均懸浮質濃度出現，檢視各測點之剖面懸浮質濃度如圖 3.29，底床附近有較大懸浮質濃度，碎波點濃度變化斜率最大，剖面平均懸浮質濃度分佈則如圖 3.30。

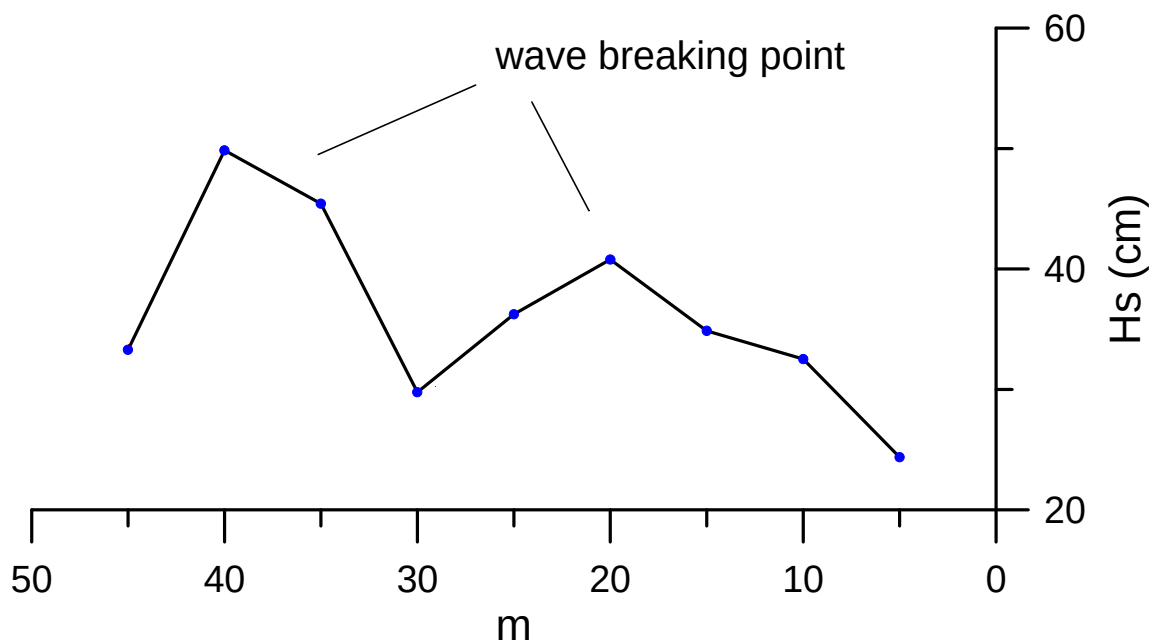


圖 3.26 近岸之波高變化

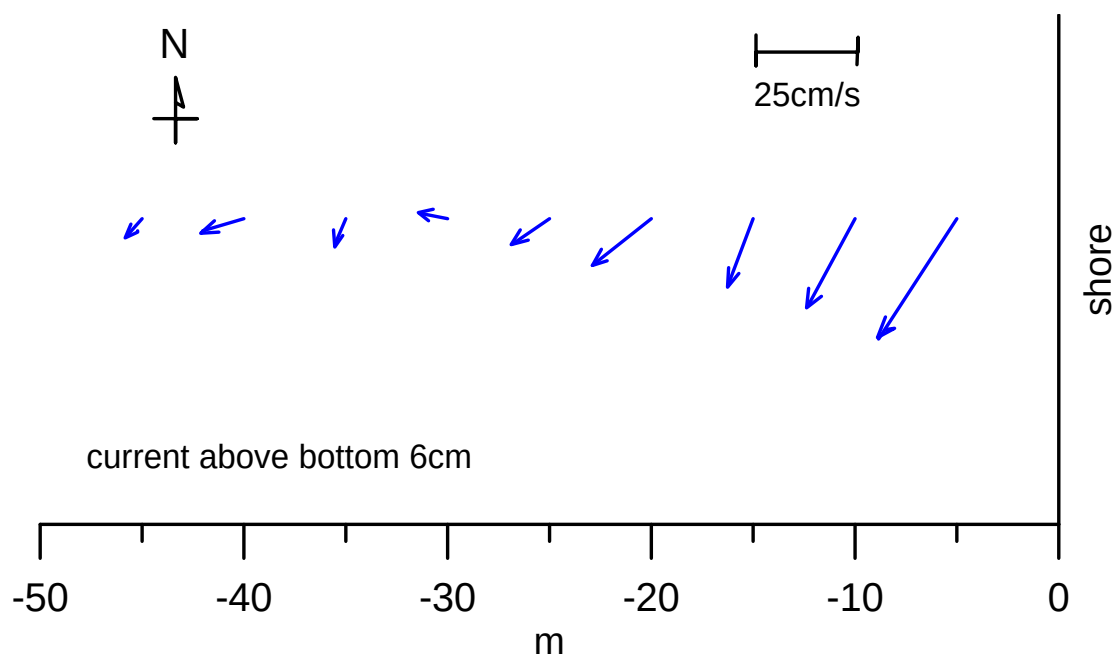


圖 3.27 近岸離底 6cm 高之流速與流向分佈

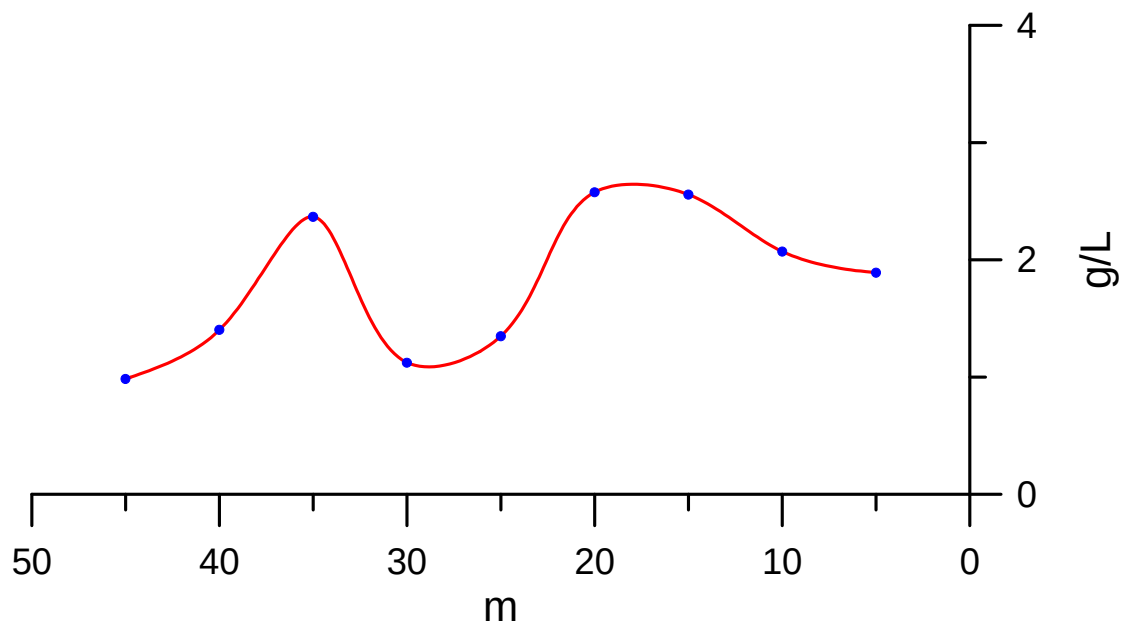


圖 3.28 平均懸浮質濃度分佈

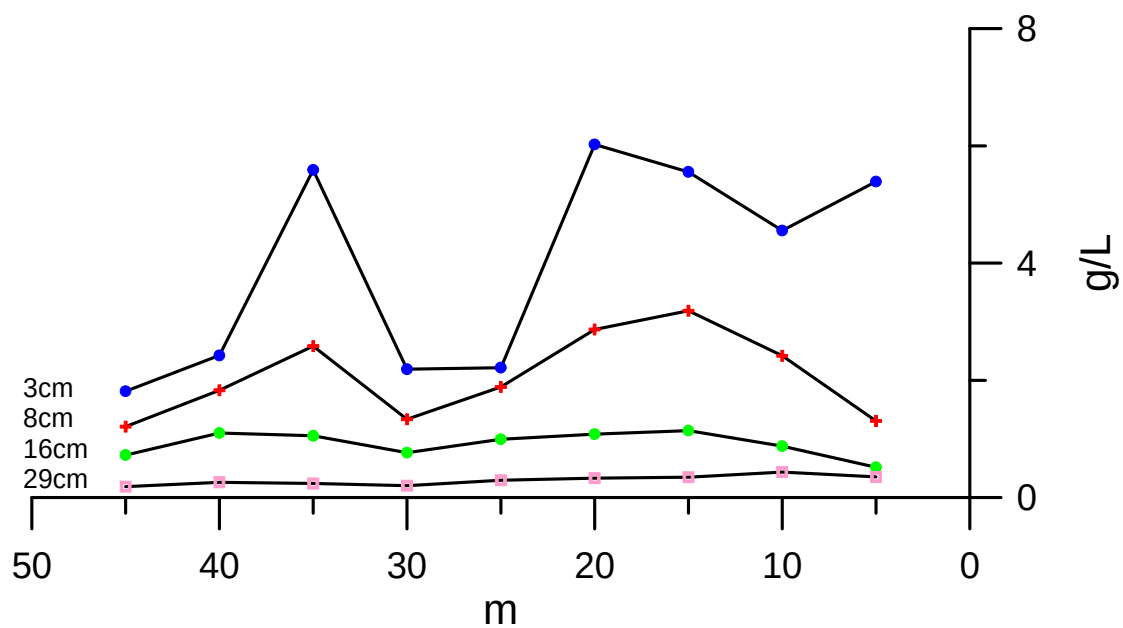


圖 3.29 各測點之剖面懸浮質濃度

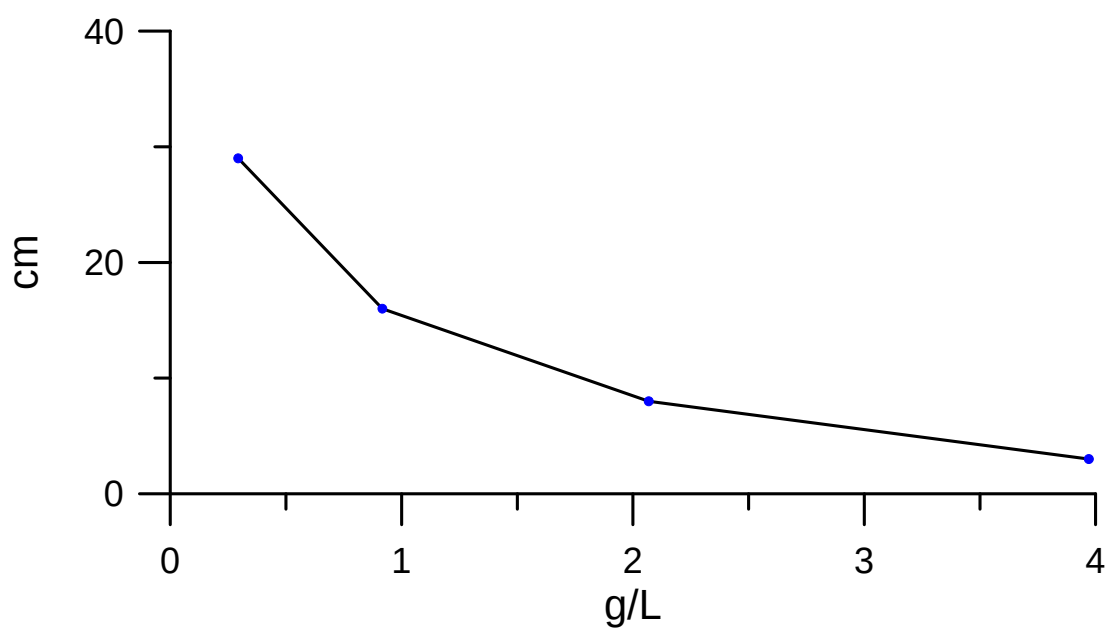


圖 3.30 剖面平均懸浮質濃度分佈

3.4 輸砂率與侵淤分析

由上述三個時段 2 月 16 日、6 月 8 日及 10 月 24 日之現場觀測資料，分別計算其沿岸與向離岸方向之懸浮砂輸砂率，如表 3.1。其中，向離岸方向輸砂率為沿岸每 m 寬向海方向之輸砂率，而沿岸輸砂率則為當時碎波帶寬沿岸方向之輸砂率。百分比部份則代表向離岸與沿岸方向輸砂率的比值，由表中分析可知大部份輸砂量為沿岸輸砂，而西南風風浪大時會產生大量的向北輸砂。不論東北風或西南風都會產生向海之底迴流，將底床懸浮砂帶往外海，其量雖然不大，卻沒有向岸的輸砂機制可以平衡，唯有靠沿岸輸砂加以補充，長久下來其侵蝕量仍相當可觀。

表 3.1 沿岸與向離岸方向之懸浮砂輸砂率

觀測日期	風向	碎波點波高	向離岸輸砂率 kg/hr-m	沿岸輸砂率 kg/hr
2 月 16 日	西南風	31cm	30.35 向海 2.6%	1121.75 向北 97.6%
6 月 8 日	西南風	100cm	920.4 向海 0.94%	96637 向北 99.06%
10 月 24 日	東北風	50cm	108.1 向海 3.27%	3200.9 向南 96.73%

計算全年各月份平均海平面上 0m 水線垂直向岸 50m 之陸地灘面至 0m 水線向海方向延伸 40m 之底床的侵淤量變化，如圖 3.31 及表 3.2。顯示夏季強烈西南風時輸砂量大也造成海岸大量侵蝕，不過在隨後之東北風季節，海岸會再度發生淤積並逐漸恢復，但總計一年來之侵淤量，發現仍為侵蝕狀況，顯示該區海岸正逐漸遭受侵蝕，若不設法改善，臺南海域美麗的黃金海岸將走入歷史。

表 3.2 灘面與底床侵淤量

項次	計算起訖時間	侵淤量(m ³)
1	94 年 11 月 15 日 ----- 94 年 12 月 13 日	2.57
2	94 年 12 月 13 日 ----- 95 年 02 月 16 日	8.96
3	95 年 02 月 16 日 ----- 95 年 03 月 16 日	-3.44
4	95 年 03 月 16 日 ----- 95 年 04 月 13 日	-4.40
5	95 年 04 月 13 日 ----- 95 年 05 月 09 日	3.95
6	95 年 05 月 09 日 ----- 95 年 06 月 08 日	-22.39
7	95 年 06 月 08 日 ----- 95 年 07 月 06 日	-2.22
8	95 年 07 月 06 日 ----- 95 年 08 月 08 日	-63.45
9	95 年 08 月 08 日 ----- 95 年 09 月 05 日	22.28
10	95 年 09 月 05 日 ----- 95 年 10 月 03 日	0.53
11	95 年 10 月 03 日 ----- 95 年 10 月 24 日	10.84
12	95 年 10 月 24 日 ----- 95 年 11 月 14 日	11.52
	總計	-35.24

正值：淤積；負值：侵蝕。

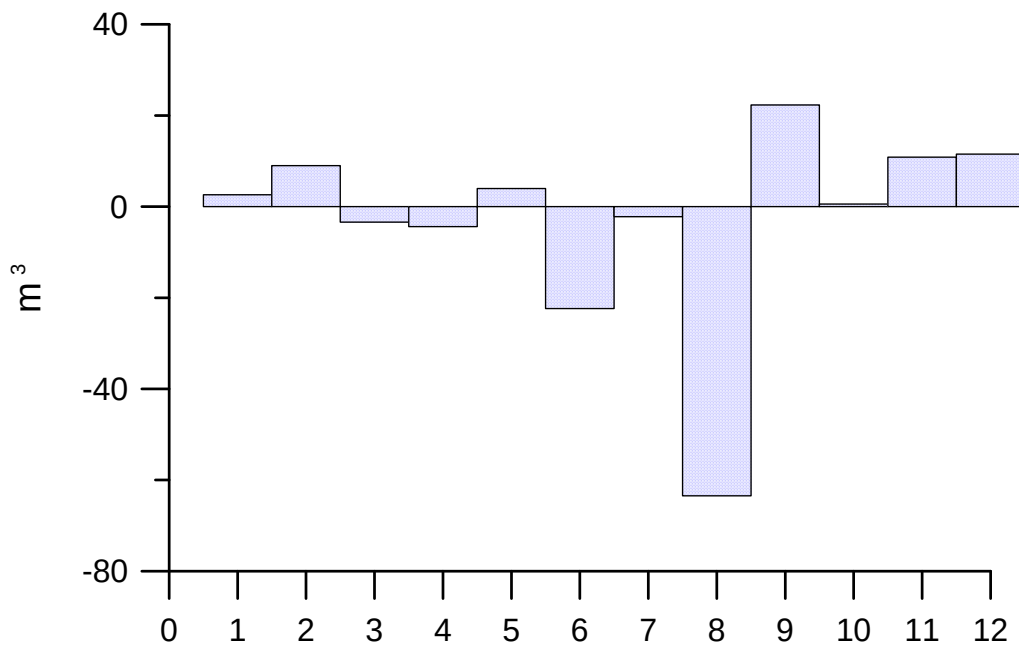


圖 3.31 灘面與底床侵淤量變化

3.5 淺灘動盪造成之沿岸流振盪現象

波浪由外海折射進入近岸海域，可能受當地地形及防波堤等構造物影響，極易形成振盪現象(surf beat)，尤其是沿岸流之流速變動最為明顯。圖 3.32 及圖 3.33 分別為西南風(6 月 8 日)及東北風(10 月 24 日)時現場測得沿岸流之振盪情形，振盪週期分別約為 170 及 120 秒。以 hht (Hilbert Transform)分析 6 月 8 日沿岸流振盪及當地水位資料，分別得圖 3.34 與圖 3.35 之邊際能譜(Marginal Spectrum)，顯示水位分析資料在 170 秒附近確有長波振盪能量存在，該些振盪現象對海岸輸砂之影響仍須進一步觀察與分析探討。

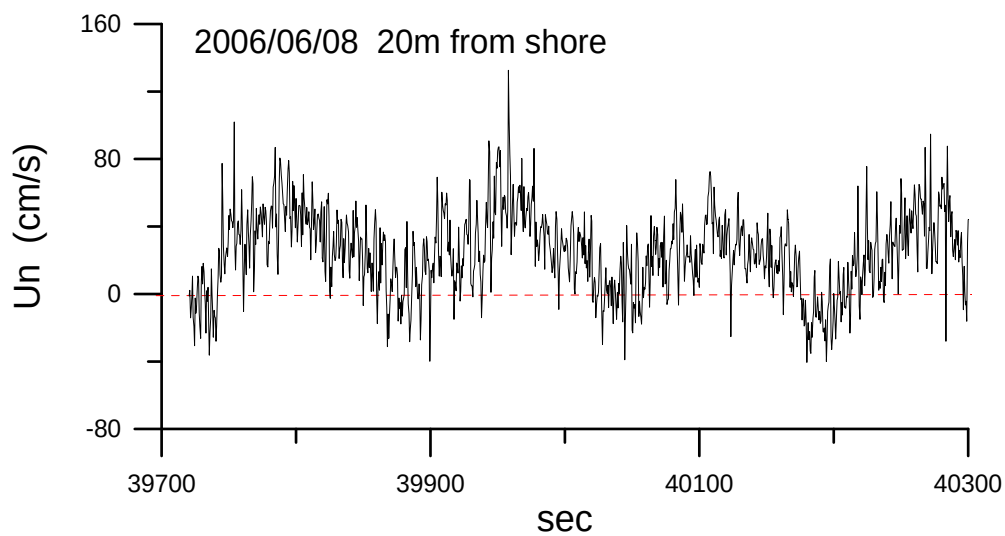


圖 3.32 西南風時現場測得沿岸流變化

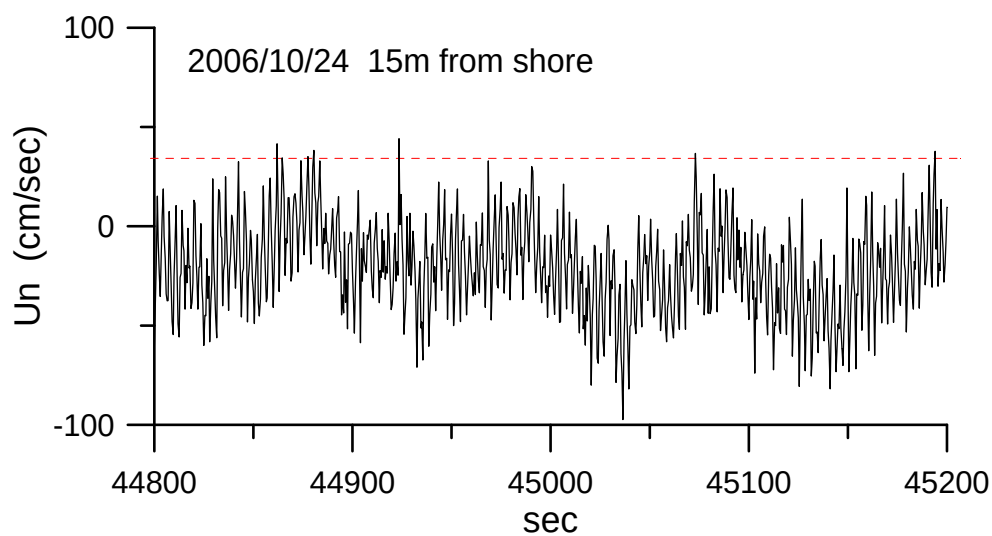


圖 3.33 東北風時現場測得沿岸流變化

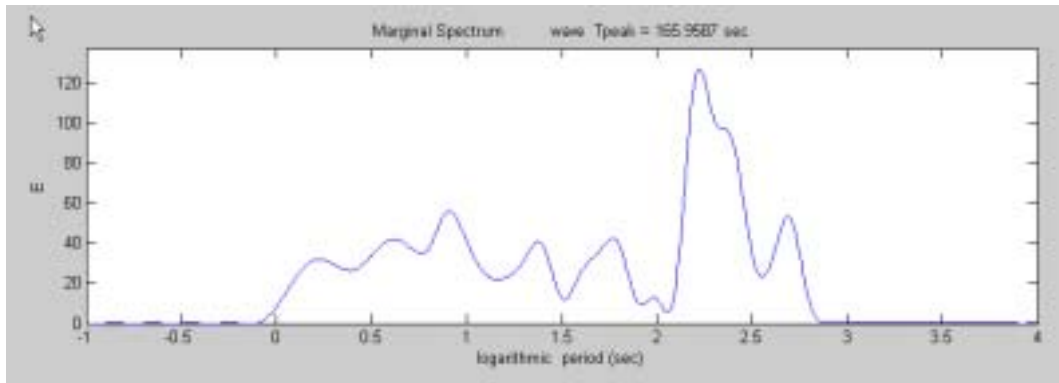


圖 3.34 2006 年 6 月 8 日沿岸流振盪分析

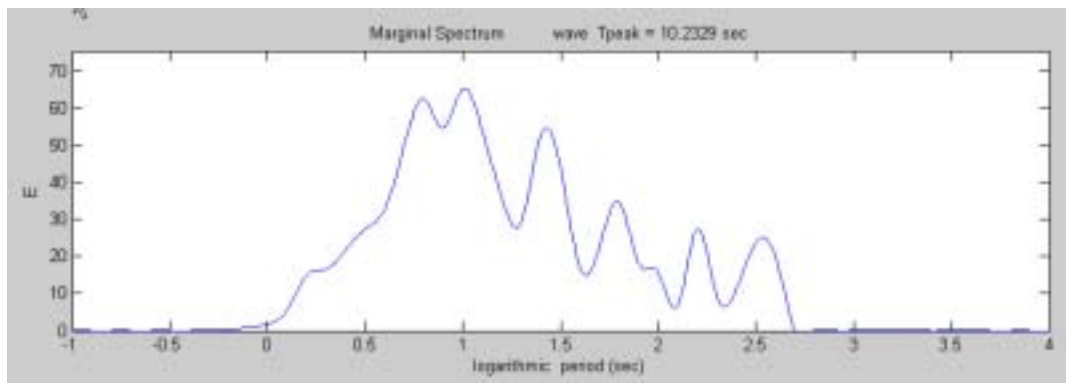


圖 3.35 2006 年 6 月 8 日現場水位資料分析

3.6 底床薄層流之現場觀測

近岸輸砂多發生在碎波帶內，波浪由外海向岸折射經淺化觸底，在強大波動水粒子帶動下底床砂跟著移動。實際海域波浪為不規則波又有不同成份波形成的群波效應，進入近岸受底床作用而變形不對稱，此皆影響底床薄層流之輸砂量與方向。

一般認為薄層流輸砂現象僅發生於 shields number $\theta > 0.8$ 時，此時底床平坦，波漣(ripple)消失，底床砂粒運動成掃流狀態。

$$\theta = \frac{\tau_b}{\rho(s-1)gd_{50}} = \frac{\frac{1}{2}f_w u_b^2}{(s-1)gd_{50}} \quad (3-1)$$

式中， τ_b 為底床剪應力， u_b 為底床邊界層上水平流速， s 為底質比重， g 為重力加速度， d_{50} 為底質中值粒徑， f_w 為波浪摩擦係數。

設無流時未擾動之底床高程為 $z=0$ ，水深 h ，則在薄層流作用下，根據 Dohmen-Janssen (1999) 之定義，薄層流之上邊界濃度 $c_\delta=8\%$ ；下邊界濃度 $c_b=52\%$ ，如底床侵入深度 ζ ，薄層流厚度為 δ ，則濃度分佈：

$$\int_{-\zeta}^0 c_b = \int_{-\zeta}^{\delta-\zeta} cdz + \int_{\delta-\zeta}^h cdz \quad (3-2)$$

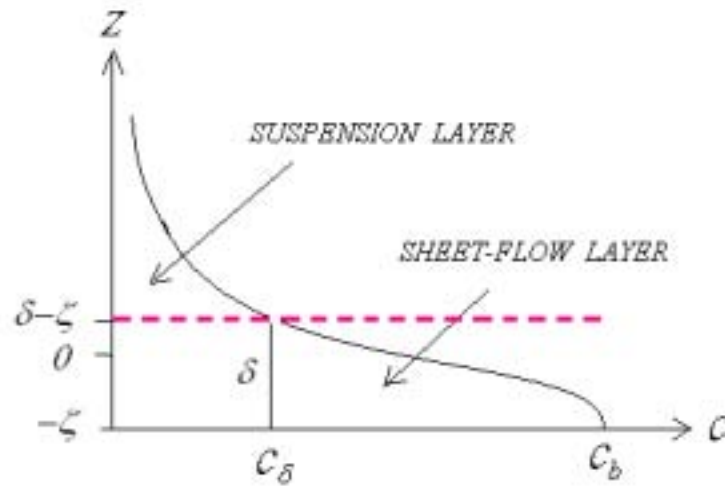


圖 3.36 薄層流濃度剖面示意圖

薄層流觀測一般仍以實驗室為主，主要原因為現場若要達到發生薄層流的標準，即 shields number $\theta > 0.8$ ，則海上可能已是暴風浪狀

況，此時進行現場觀測非常困難，尤其在碎波帶內更是危險。本研究以上述儀器組合在碎波帶內移動，觀測各不同點位之波浪、流場及懸浮質濃度分佈，並根據式(3-1)計算其 θ 值，發現每一個波的最大 shields number θ_m 與底床懸浮質濃度變化有較密切關係，如圖 3.37。

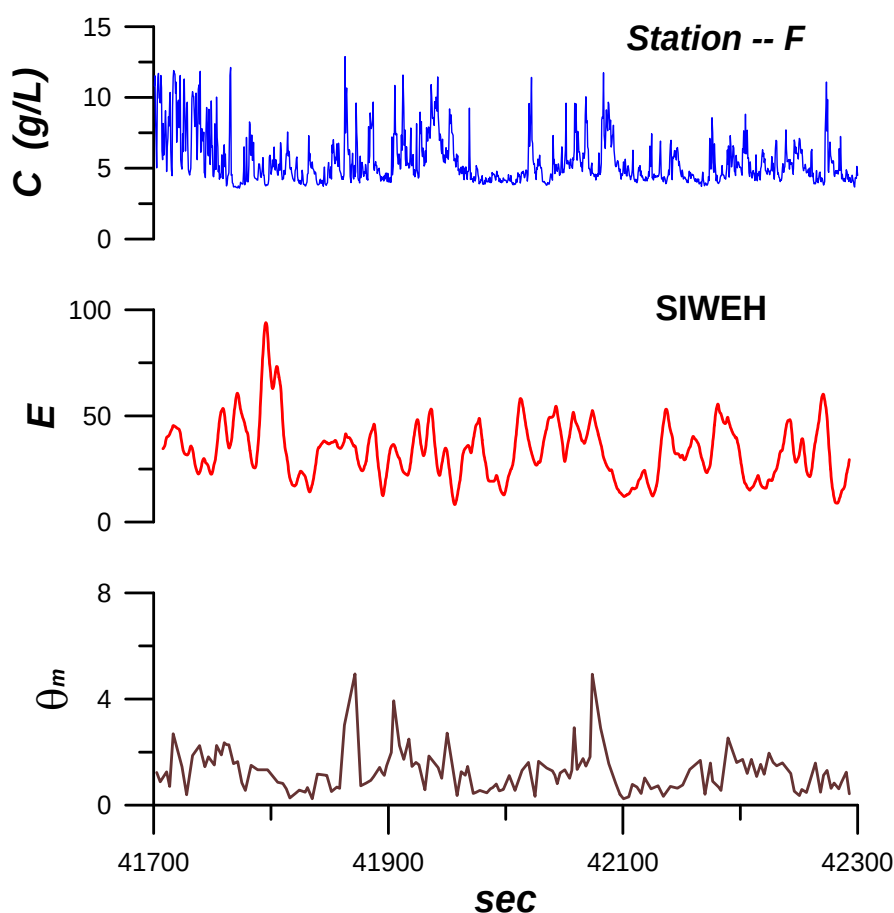


圖 3.37 碎波帶內懸浮質與波能及 θ_m 之比較

而由 SIWEH(Smoothed Instantaneous Wave Energy History, Funke and Mansard,1980)計算之波能變化由於碎波帶內碎波與未碎波混合及波浪非線性現象致波能與懸浮質濃度間相關性較差。深海入射波一般有群波現象，以 $\theta_m > 0.8$ 統計碎波帶內各測點可能發生薄層流之比例，如圖 3.38 由岸向外比例逐漸升高，A、B 兩點因位於較陡斜面上，比例稍大。

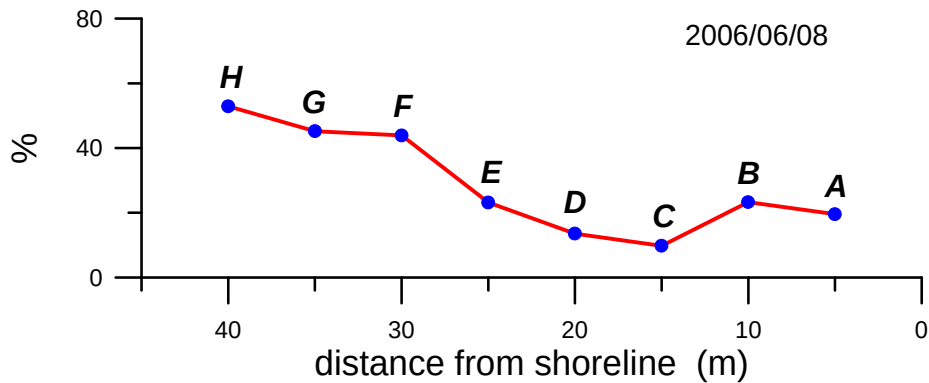


圖 3.38 碎波帶內各測點 $\theta_m > 0.8$ 之比例分佈

由於薄層流輸沙為侵入底層並以極高濃度平移之輸沙現象，如僅量測並估算懸浮質在流場中的輸送量，在薄層流現象發達的碎波帶內可能會產生極大偏差。本研究在現場以水下攝影機拍攝碎波帶底床薄層流輸沙，並以 1/30 秒之格點播放，檢視薄層流侵入底床深度，發現現場正確量測極為困難，因為在非線性波作用下，懸浮後不同沉降速度之懸浮沙使得底床零點不斷變動，其底床侵入深度與薄層流厚度則明顯隨底流強度而增加。現場觀測使用電導式濁度計，如圖 3.39，並以高精度水位計進行高程定位，圖 3.40 為底床下 0 至 5cm 深度之砂濃度變化。根據現場觀察，沙漣常存在於碎波帶內，此由於實際波浪之群波現象， θ_m 無法經常維持在 0.8 以上，因此薄層流與沙漣底床交互出現。當底流強度達 1m/s 時，薄層流之輸沙層厚度可達 10mm 以上，對碎波帶輸沙有相當大影響。

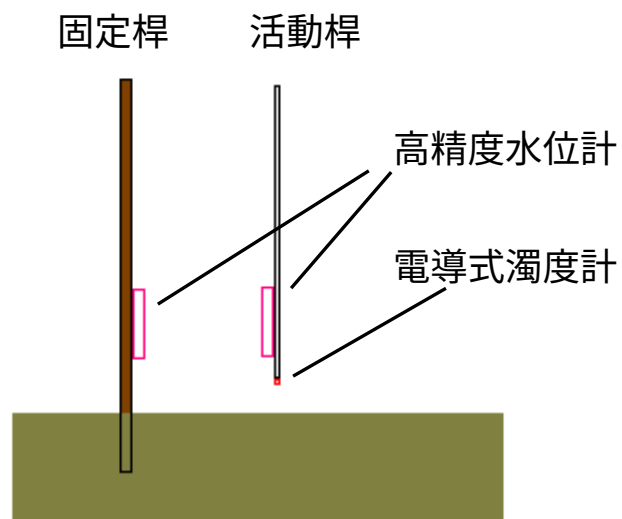


圖 3.39 薄層流觀測之儀器配置

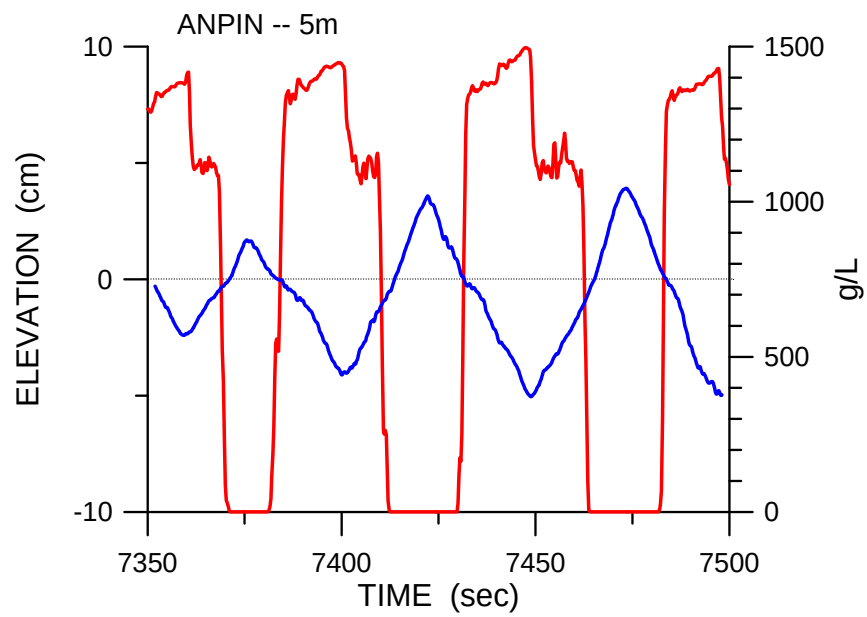


圖 3.40 底床下 0 至 5cm 深度之砂濃度變化

第四章 結論與建議

本計畫係利用本所港研中心於臺灣地區主要港口附近海域長期觀測之波浪、海流等海象資料，並配合近岸碎波帶內現場流況與懸浮質濃度觀測系統之建立，探討近岸海域漂沙與波浪之關係。本年度主要工作首先建立碎波帶現場觀測與灘面測量模式，累積長期觀測結果以瞭解近岸海域漂沙與地形變化關係，建立相關模式可提供各海域海岸侵淤之研判及輸沙量推估使用，以作為未來港灣工程建設之重要依據。

1. 根據目前觀測結果，冬季東北季風期間，北方海岸向海延伸的安平港防波堤阻擋了北風浪進入該海域的能量，使該海域灘面與近岸底床地形變化量不大，水面下較深底床部份則有稍許淤積情形。每年3月至8月該海域逐漸盛行西南風，強烈風浪直接侵入該海域，在碎波帶以較大入射角形成向北沿岸流，碎波不但捲起大量懸浮砂，沿岸流及底迴流更將懸浮砂向北及外海方向帶走，因此造成該海域灘面與近岸底床地形之強烈侵蝕。該海域於9月後西南風逐漸減弱，並進入東北季節風時節，微弱風浪與稍微向南的碎波入射角度使該海域灘面又逐漸回填淤積，雖然較深水域仍有侵蝕現象。
2. 該海域於夏季末西南季節風開始減弱，即9月至11月平均水位上之陸地灘面明顯淤積，但平均水位下較深部份之底床則被侵蝕，因此碎波帶之靠岸內側灘面逐漸變陡，直至2、3月時達到最陡，其平均水面下之碎波帶內側底床坡度約為0.063。3月起該海域西南風逐漸增強，3月至8月平均水位上之陸地灘面被明顯侵蝕，而平均水位下較深部份之底床則有淤積情形，因此碎波帶之靠岸內側灘面逐漸變緩，直至9月時達到最緩坡度，其平均水位下之碎波帶內側底床坡度約為0.012。
3. 冬季時浪小，碎波相似參數(surf similarity parameter)小於0.5，碎波多以溢波(spilling breaker)形態出現；而夏季浪大時，碎波相似參數介於0.5與3.3之間，碎波多為捲波(plunging breaker)形態，易產生

較強底迴流將底床砂帶往外海，造成海岸侵蝕。

4. 海岸輸砂中大部份輸砂量為沿岸方向輸砂，該海域以西南風為主要風場能量，浪大時會產生大量的向北輸砂。不論東北風或西南風都會產生向海之底迴流，將底床較高濃度懸浮砂帶往外海，其量雖然不大，卻沒有向岸的輸砂機制可以平衡，唯有靠沿岸輸砂加以補充，長久下來其侵蝕量仍相當可觀。
5. 計算全年各月份平均海平面上 0m 水線垂直向岸 50m 之陸地灘面至 0m 水線向海方向延伸 40m 之底床的侵淤量變化，顯示夏季強烈西南風時輸砂量大也造成海岸大量侵蝕，不過在隨後之東北風季節，海岸會再度發生淤積並逐漸恢復，但總計一年來之侵淤量，發現仍為侵蝕狀況，顯示該區海岸正逐漸遭受侵蝕。
6. 波浪由外海折射進入近岸海域，可能受當地地形及防波堤等構造物影響，極易形成振盪現象，尤其是沿岸流之流速變動最為明顯。該些振盪現象普遍存在於東北風或西南風形成的沿岸流振盪中，其對海岸輸砂之影響仍須進一步觀察與分析探討。
7. 碎波帶為近岸海域主要的漂砂活動區域，其輸砂機制分別有碎波紊流、沿岸流、底迴流及波浪水粒子運動造成的砂粒懸浮與薄層流。現場觀測發現淺灘動盪造成的沿岸流振盪普遍存在於安平近岸海域，由於實際波浪之群波現象， θ m 無法經常維持在 0.8 以上，因此薄層流與沙漣底床交互出現。當底流強度達 1m/s 時，薄層流之輸沙層厚度可達 10mm 以上，對碎波帶輸沙有相當大影響。推算碎波帶輸砂量時應同時考量懸浮輸砂與薄層流輸砂，捲波型碎波因產生較強的離岸底迴流，容易造成海灘侵蝕，而不同季風波向與向海延伸堤防的遮蔽效應使沿岸輸砂不平衡。

由於影響安平海域的風浪除東北季風外還有西南季風及颱風，現場資料的蒐集與分析極為重要，有必要繼續進行觀察與監測。如前所述，現場漂沙活動包括懸浮沙及底床薄層流輸沙，由於薄層流輸沙為

位於底床附近極高濃度之高速薄層流輸沙運動，觀測極為困難，必須等待適當儀器到位才能作有效的觀測，其輸沙量可能佔總輸沙量一半以上因此重要性不容忽視。

參考文獻

1. 黃煌輝、賴泉基、張裕弦 1992. “波浪運動下沙漣流場之數值模擬,” 第十四屆海洋工程研討會論文集, pp. 575-589。
2. 歐善惠、許泰文, 1992. “薄層流輸沙量之研究,” 第十四屆海洋工程研討會論文集, pp. 602-615。
3. Ahilan, R.V. and Sleath, J.F.A., 1987. “Sediment transport in oscillatory flow over flat bed,” *Journal of Hydraulic Engineering* (ASCE), 113(3), pp. 308-322.
4. Asano, T., 1995. “Sediment transport under sheet flow conditions,” *ASCE Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering* 121 (5), pp. 239-246.
5. Blondeaux, P. and G. Vittor, 1990. “Oscillatory flow and sediment motion over a rippled bed,” *Proc. 22nd Coastal Eng. Conf., ASCE*, pp. 2186-2199.
6. Brenninkmeyer, B.M., 1975. “Mode and period of sand transport in the surf zone,” *Proc. 14th Coastal Eng. Conf.* Pp. 812-827.
7. Conley, D.C. and D.L. Inman, 1992. “Field observation of the fluid-granular boundary layer under near-breaking waves,” *J. Geophysical research*, Vol. 97, No. C6, pp. 9631-9643.
8. Dick, J.E., Sleath, J.F.A., 1991. “Velocities and concentrations in oscillatory flow over beds of sediment,” *Journal of Fluid Mechanics* 233, pp. 165-196.
9. Dick, J.E., Sleath, J.F.A., 1992. “Sediment transport in oscillatory sheet flow,” *Journal of Geophysical Research* '97, pp. 5745-5758.
10. Dohmen-Janssen, C.M., 1999. “Grain size influence on sediment transport in oscillatory sheet flow: phase lags and mobile bed effects,” PhD thesis, Delft University of Technology.
11. Dohmen-Janssen, C.M., Hanes, D.M., 2002. “Sheet flow dynamics under monochromatic non-breaking waves,” *Journal of Geophysical Research-Oceans* 107 (C10), 13-1 – 13-21, (art. no. 3149).

12. Dong, P. and K. Zhang, 1999. "Two-phase flow modeling of sediment motions in oscillatory sheet flow," *Coastal Eng.*, 36, pp. 87-109.
13. Fairchild, J.C., 1959. "Suspended sediment sampling in oscillatory wave action," *Beach Erosion Board, Tech. Memo* 115.
14. Fredsoe, J. and Deigaard, R., 1992. "Mechanics of coastal sediment transport," Singapore: World Scientific 369p.
15. Homma, M. and K. Horikawa, 1962. "Suspended sediment due to wave action," *Proc. 8th Coastal Eng. Conf.*, pp. 168-193.
16. Horikawa, K., Watanabe, A. and Katori, S. 1982. "Sediment transport under sheet flow condition," *Proc. 18th Int. Conf. On Coastal Eng.*, Cape Town. ASCE, New York, pp. 1335-1352.
17. Ifuku, M., 1988. "Field observation and numerical calculation of suspended sediment concentration in the surf zone," *Coastal Eng. In Japan*, Vol. 30, No. 2, pp. 75-88.
18. Katopodi, I., Ribberink, J.S., Roul, P., Lodahl, C., 1994. "Sediment transport measurements in combined wave-current flows," *ASCE, Proceedings Coastal Dynamics '94*, Barcelona, pp. 837-851.
19. Kawata, Y., H. Yoshioka and Y. Tsuchiya, 1990. "The in-situ measurements of sediment transport and bottom topography changes," *Coastal Eng.*, pp. 2332-2345.
20. Kawata, Y., T. Shirai and Y. Tsuchiya, 1992. "Field observation on sand ripples under rough sea state," *Coastal Eng.*, pp. 2164-2175.
21. Kobayashi, N. and Seo, N.J., 1985. "Fluid and sediment interaction over a plan bed," *Journal of Hydraulic Engineering (ASCE)*, 111(6), pp. 903-921.
22. Kos'yan, R., I. Podymov and N. Pykhov, 1990. "Investigation of suspended sediment dynamics in the course of nearshore experiment in the Ob sea," *MEDCOAST '99 – EMECS '99 Joint Conference*, pp. 1675-1691.
23. Lin, P.C., H.T., Chou and J.T. Juang, 2002. "The influence of energy grouping and undulating on sediment suspension in the surf zone," *J. Marine Science and Technology*, Vol. 10, No. 2, pp. 83-91.

24. Madsen, O.S. and Grant, W.D., 1977. "Quantitative description of sediment transport by waves," Proceedings of the 15th Conference on Coastal Engineering (New York, ASCE), pp. 1093-1112.
25. McLean, S.R., Ribberink, J.S., Dohmen-Janssen, C.M., Hssan, W.N., 2001. "Sand transport in oscillatory sheet flow with mean current," ASCE, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering 127 (3), 141-151.
26. Nishi, R., M. Sato and K. Nakamura, 1992. "Grain-size distribution of suspended sediments," Coastal Eng., pp. 2293-2306.
27. Noda, H., 1967. "Sediment suspension by waves," Proc. 14th Japanese Conf. On Coastal Eng., pp. 306-314.
28. O'Donoghue, T., Wright, S., 2004. "Concentrations in oscillatory sheet flow for well sorted and graded sands," Coastal Engineering 50 (3), pp. 117-138.
29. Ribberink, J.S., Al-Salem, A.A., 1995. "Sheet flow and suspension of sand in oscillatory boundary layers," Coastal Engineering 25, 205-225.
30. Sleath, J.F.A., 1982. "The suspension of sand by waves," J. Hydr. Res., Vol. 19, pp. 439-452.
31. Staub, C., Jonsson, I.G. AND Svendsen, I.A., 1984. "variation of sediment suspension in oscillatory flow," Proceedings of 19th Conference on Coastal Engineering (Houston, ASCE), pp. 2310-2321.
32. Wilson, K.C., 1989. "Friction of wave-induced sheet flow," Coastal Engineering 12 (4), pp. 371-379.
33. Wright, L.D., R.T. Guza and A.D. Short, 1982. "Dynamics of high energy dissipative surf zone," Marine Geology, Vol. 45, pp. 41-61.
34. Wright, S., 2002. "Well-sorted and Graded Sands in Oscillatory Sheet-flow," PhD Thesis, University of Aberdeen.
35. Yu, Z., H.D. Niemeyer and W.T. Bakker, 1990. "Site investigation on sand concentration in the sheet flow layer," Coastal Eng., pp. 2360-2371.
36. Zala-Flores, N., Sleath, J.F.A., 1998. "Mobile layer in oscillatory sheet flow." Journal of Geophysical Research 103 (C6), 12783-12793.