

台灣西南海域海底底床淘刷成因之初探

黃清哲¹ 林演斌² 范揚洺³ 施孟憲⁴ 薛安瀛⁵ 江燈星⁶

摘要

台灣每年夏秋之際飽受颱風引起的巨浪威脅，依據中央氣象局資料顯示平均每年約有 5~6 個颱風侵台，主要是在每年四至十一月間，並以七、八月是侵襲頻率最高。98 年莫拉克颱風過後，發現台灣西南海域曾文溪口外海約於 8 公里處約有一平方公里之海床塌陷狀況，且海床仍遭強勁海流淘刷。為了探討造成海底淘刷原因，本研究利用蒐集的海流資料進行分析。由於海流儀本身的盲區限制，因此距離海床 6 公尺以下的海流資料利用觀測的各層流速流向資料以 Logarithmic velocity Profile 方法計算得到。分析結果顯示海床上方 1 公尺的海流流速約為 1~2 節，流向主要集中於南南西向~東南向，與海底淘刷的方向相似。為了了解海流與海底淘刷的關聯性，本研究進一步以徐爾滋數(Shields number)描述此現象發生與否(Nielsen, 1992)，分析結果顯示過去半年期間，約有一半時間的海流會導致漂砂發生。

Preliminary Study on the Scour of Seabed over Southwestern Taiwan Water

Huang, Ching-Jer¹ Yen-Pin Lin² Yang-Ming Fan³ Mon-Shen Shi⁴
A. I. Shiue⁵ Danny Jiang⁶

ABSTRACT

The huge wave has been brought by typhoons each summer and fall in Taiwan. According to the record from Central Weather Bureau, there are about 5-6 typhoons attack Taiwan every year, mainly in the period between April and November, especially in July and August is the invasion of the highest frequency. The seabed subsidence was found over Southwestern Taiwan water after Typhoon Morakot passed in 2009, which about one square kilometer. And strong seabed currents are still scouring the seabed. In order to investigate the reason of the scour of seabed, this study analyzes the current data, which was measured by buoy. Due to the limit on the blind area of the instrument of Acoustic Doppler Current Profile (ADCP), the ocean current data from 6 meters below is calculated via Logarithmic velocity Profile method. The analytic result showed that the seabed currents are approximately 1~2 knots, and the mainly direction is in the southeast to south-southwest, which is similar to the direction of seabed scour. Compare with the direction of scour, they have similar characteristic. In order to understand the relevance between seabed current and seabed scour, Shield number was used in this study to describe this phenomenon of drift sand or not (Nielsen, 1992), the analytic result showed that there were about half time can cause the drift sand in the past six months.

1. 成功大學水利及海洋工程學系，教授；

成功大學近海水文中心，主任

2. 成功大學近海水文中心，計畫經理

3. 成功大學近海水文中心，研發組組長

4. 成功大學近海水文中心，系統工程師

5. 台灣中油公司天然氣事業部南區營業處，處長

6. 台灣中油公司天然氣事業部南區營業處，副處長

一、緒論

台灣每年夏秋之際飽受颱風引起的巨浪威脅，依據中央氣象局資料顯示平均每年約有 5~6 個颱風侵台，主要是在每年四至十一月間，並以七、八月是侵襲頻率最高。98 年莫拉克颱風過後，發現台灣

西南海域曾文溪口外海約於 8 公里處約有一平方公里之海床塌陷狀況，且海床仍遭強勁海流淘刷。

為了探討造成海底淘刷原因，需充分掌握海床塌陷區域內三維度空間內之流場資訊，方能全盤解析渦流，因此方法有二：一為實測流場、另一為流場模擬。實測方式需要布設非常多的底碇式海流儀，以形成海底海流觀測網，布設間距取決於所欲量測渦流之尺度，量測愈小尺度渦流需要愈細密之儀器間距與剖面解析度。然而目前渦流是否存在與其尺度資訊皆不得而知，於此情況下，若貿然以此方式進行觀測，恐怕將發生觀測解析度過密或不足之問題，進而導致經費過於龐大或無法解析渦流。另一作法為進行凹陷區域空間之流場模擬，具體呈現底床凹陷區域三維流場特性，由於模式之網格解析度為可調整，有利於從中解析是否存在渦流之問題。又為使模擬結果具一定之可信度，必須以長時間的實測海流資料校正模式，且須包含不同季節與颱風期間之實測資料。

由上述說明可知，不論哪種方法都需要長期的海流實測資料。收集長期的海流實測資料的方式，主要有資料浮標與底碇式海流儀兩種。依據以往經驗，由於底碇式海流儀容易受到漁船拖網纏住，或遭較強海流沖走、以及泥沙覆蓋等因素的影響，使得利用底碇式海流儀常無法取得長期的海流實測資料。此外，海床塌陷附近海域水深達 130 公尺，在此水深條件下進行底碇式海流儀的操作，也有一定的難度。因此，為取得足夠的海流資料供模式校驗，本研究以資料浮標方式觀測長期海流資料。

二、海象資料浮標佈放規劃

海象資料浮標是海上的無人海流及波浪監測站，可佈放於任何水深海域之全自動即時海流及波浪觀測設備，過去 10 多年來歷經無數次巨浪期間，皆可順利觀測海氣象資料。海象資料浮標下方裝設有錨鍊與繩索連接錨碇塊，固定於底床，可進行各種海流及波浪觀測作業。同時為了觀測作業與海上航行船隻的安全，海象資料浮標設置有航行警示燈與雷達反射器。

由於本研究以流速儀進行海流觀測，為了確保流速儀的音波發射訊號品質穩定，測點不得放置於高低差太大之海床，因此考慮海象資料浮標雖然錨碇於海底底床，但海象資料浮標仍有 165 公尺的迴

轉半徑，再加上海象資料浮標最大傾斜角度(15 度)、流速儀的音波本身傾斜角度(20 度)及音波發射訊號的範圍為 15 度，上述 3 個角度加起來計算得到音波半徑為 155 公尺，因此佈放錨碇須距離邊坡 320 公尺以上(圖 1)。

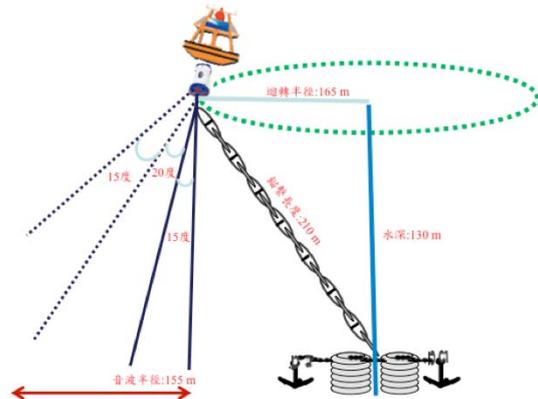


圖 1 海象資料浮標之錨碇規劃

三、海流觀測

3.1 系統觀測設定

海象資料浮標的海流觀測時間間隔是 6 分鐘，其運作流程為 6 分鐘內每隔 8 秒量測一次，共量測 45 次後計算平均值作為一筆觀測資料。海表面下的觀測為設定 15 層，如圖 2，第 1 層流速流向資料距海面 7.5 公尺，最底層(第 15 層)距底床 6 公尺，每層間距 8 公尺。

分析儲存之後即開始進行海流觀測資料通訊，因海象資料浮標位置離岸較遠，若以 GPRS 傳輸恐有漏失，故採用衛星通訊。

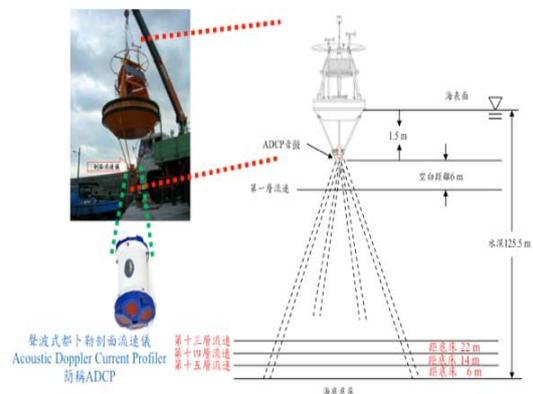


圖 2 海流資料觀測設定

3.2 系統監控

海象資料浮標之監控，須於平日對觀測系統進行監控作業，以隨時掌握測站狀況，及早發現測站異常狀況，調派維護人員進行處理，以縮短資料中斷時間，減少資料遺漏。該監控作業為透過監控各站系統電力狀況、資料傳輸狀況、海上測站位置等資訊，隨時掌握各站運作狀況，其作業包含：

(一)系統是否依設定完成觀測作業：檢測資料收錄系統(電腦)是否工作完畢、是否儲存正確資料。

(二)資料傳輸是否正常：檢查監控中心電腦是否接收正確檔案名稱和大小、發射至測站訊號是否正常接收與回訊等。

(三)系統電力是否正常：從電瓶電壓值加以判斷系統電力是否低於安全標準值。

(四)測站位置是否偏移：以 GPS 定位資料確認海上測站位置。

測站之監控必須透過自動化程式的輔助再由專人判讀確認之，透過測站監控介面，能夠迅速掌握測站情況。可查詢即時之各項觀測資料、系統參數等，並具有即時繪圖之功能。可以瞭解過去 24 小時各測站資料回傳率。假使發現有測站資料回傳率不佳時，可以透過前述監控主畫面查詢觀測狀況。透過該畫面可以瞭解各觀測項目時序列變化及測站電力，以確認是否因測站電力問題致使觀測作業或傳輸作業發生狀況。若是發現觀測資料無法自動回傳時，另配備有無線通訊接收程式及遠端檔案傳送系統，可以讓監控人員以手動方式回傳資料，以確保觀測資料的完整性。

3.3 資料品管

透過資料品管作業程序，可確保觀測資料品質與可信度。資料在經由觀測、編碼、通訊傳遞、接收解碼、儲存等複雜的流程中，可能因為儀器設備的故障、人為疏忽或是一些不明原因的干擾，造成資料的錯誤或漏失。這些失真的資料若不經過適當的品質檢測，其謬誤極易誤導學術研究、造成施工設計錯誤甚至是影響防災預警的決策，故對資料進行檢測及品質管制有其必要性。依照中央氣象局「資料浮標品管及作業規範」手冊所列之標準與規範執行觀測數據品管程序，以確保資料之準確性，包括：

(一)檢測資料傳輸系統是否正常運作，傳輸資料包括

海流與波浪及其他監測資料。(二)資料傳輸系統未正常運作，通知維護人員加以排除。

資料品管的消極意義在找出並標記可疑的資料，而在積極面上則是進一步對資料作驗證。由於資料品管與整個資料處理流程的每一步驟息息相關，故對量測儀器的特性、設計及校正、量測方法的理論及限制、通訊儀器的維護與核定、資料處理的方法、環境背景資料的相關性、及資料保管方法都必須深入研究，如此方能對資料在不同時空上的特性作長期而完整的分析探討，進而有效管制資料的品質。

為確保觀測資料的品質，本案參考美國國家資料浮標中心(National Data Buoy Center, NDBC)的品管規範及品管步驟，配合臺灣環島實測海氣象資料進行分析，發展符合臺灣本地海域的近海水文資料品管系統。藉由標準化、作業化的數據檢測系統，定常性檢測觀測資料，過濾出異常的觀測數據，確保觀測資料品質與可靠度。

透過電腦自動化品管作業以及人工檢驗作業的雙重檢驗流程，確保資料的品質。錯誤的資料比無資料更可怕。資料品管把關是確保觀測資料正確性最重要的步驟。採用自動品管目的是利用運算快速的計算機對觀測資料篩選過一次，找出可疑資料減少人工檢測時間。

觀測資料透過程式中的演算法以判斷實測資料的正確性，其判斷依據包括資料的合理性、連續性、關聯性等三個原則，將任何異常或是可疑的資料加以註記。

四、海流資料統計分析

4.1 海流與潮汐相關性

由於流速儀本身有 6 公尺的盲區限制，意即最接近海床的觀測資料為距離海床 6 公尺，雖然 6 公尺以下的流速資料無法由流速儀直接觀測取得，但可以利用觀測的各層流速流向資料以 Logarithmic velocity Profile 方法計算得到更接近底層的流速流向資料，如式(1)。本研究計算出距海底 1 公尺處的流速流向資料進行分析。

$$u(z) = (u^*/\kappa) \ln(z/z_0) \quad (1)$$

$u(z)$: 流速儀量測之不同水深流速資料(流速轉換為主要流向的分量)

u^* : friction velocity

z : 距離底床高度

z_0 : 底床粗糙度

κ : von Karman 常數=0.4

台灣西岸每逢漲潮時，海水由台灣海峽南北兩端沿著海岸往台中、彰化附近海域前進，退潮時，潮水又順著原路往台灣島南北兩端退去。因此在西南海域的漲潮為北流，退潮為南流。為了了解研究海域每日海流流向的變化與潮汐漲退潮造成的海水流動是否有關聯，本研究以海流流矢圖與潮位資料進行討論。

圖 3 的上圖為距海底 22 公尺處的海流流矢圖，下圖為永安潮位資料，上圖顯示流向在一天之內有兩次南北流向的變化，而永安的潮位資料顯示一天之內有兩次的漲退潮，因此海流流向變化與潮汐變化相似，即一天兩次南北往返。圖 4 為距海底 1 公尺處的海流流矢圖，圖中顯示底床的海流變化與潮汐變化無明顯相關，但流速流向以南向為主，即海流由北往南流居多。

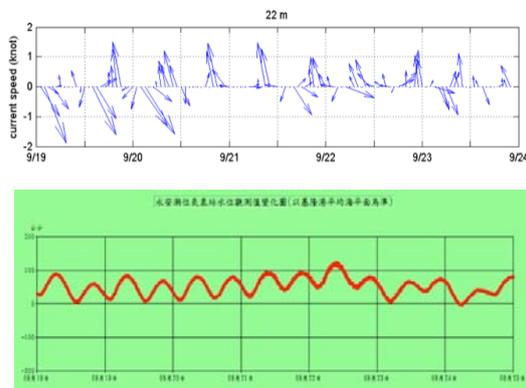


圖 3 距海底 22 公尺處的海流流矢圖與永安潮位資料

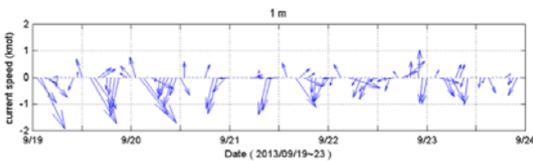


圖 4 距海底 1 公尺處的海流流矢圖

4.2 海流流速與流向分析

海流的流向定義為去向，本研究將每筆海流資料依據流速流向分類在海流玫瑰圖的極坐標系上，圖上將流向分為 16 個方位，方位上的每個扇形長度

代表該流向出現的頻率，最長的部分表示該流向出現的頻率最高。扇形內的區塊顏色代表不同流速大小，扇形內不同顏色區塊的大小代表該流速出現的頻率。由海流玫瑰圖可以看出整個海域的海流特性，包括主要流向及其出現的頻率，以及流速大小對應流向和出現的頻率，進而得知此海域主要屬於哪種流向，流速達到的大小等級，以及各別出現的頻率。綜合 102 年 8 月至 103 年 2 月各層的海流玫瑰圖分析結果，如圖 5，顯示此海域第 13 層(底床上方 22 公尺處)流速較強，流速可以達到 4~5 節，流向多為北北西向和北向；第 14、15 層(底床上方 14 公尺、6 公尺處)流速均小於 2 節，流向大多為南南西向和南向及南南東向(圖 6 與圖 7)；圖 8 為海底底床上方 1 公尺的海流，流速達到 1~2 節，流向主要集中於南南西向~東南向，即底床的海流主要由北往南流，與海底主要淘刷的方向相似。

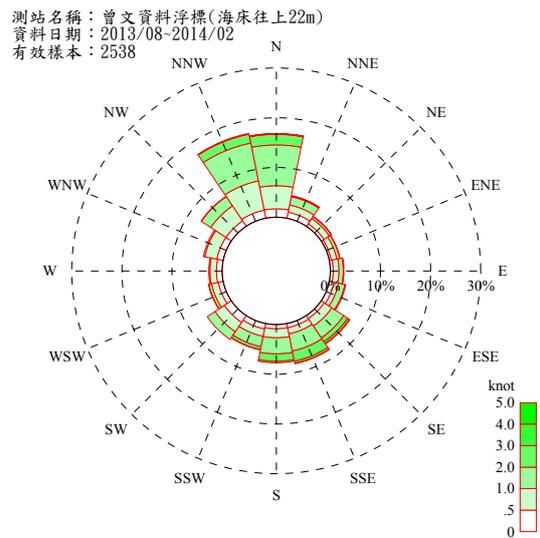


圖 5 最接近底層之海流玫瑰圖

測站名稱：曾文資料浮標(海床往上14m)
資料日期：2013/08-2014/02
有效樣本：2272

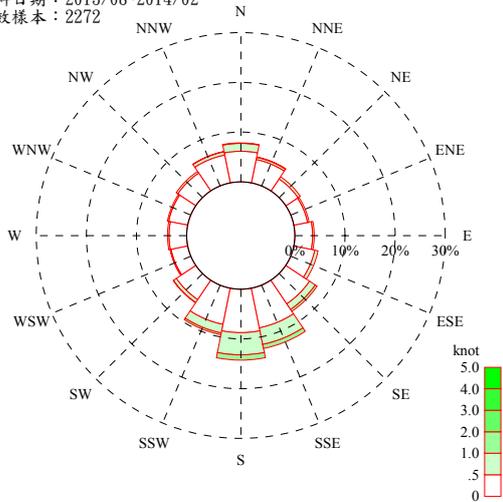


圖 6 最接近底層之海流玫瑰圖

測站名稱：曾文資料浮標(海床往上1m)
資料日期：2013/08-2014/02
有效樣本：2815

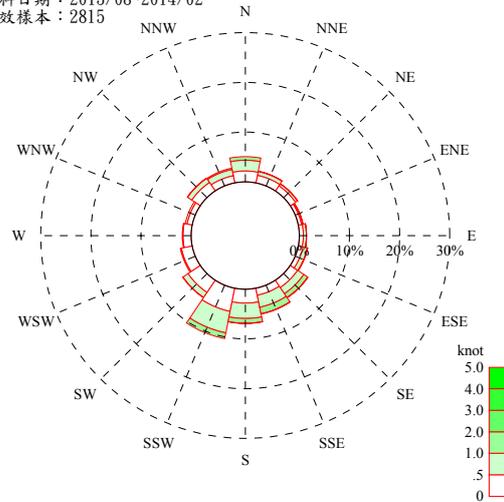


圖 8 最接近底層之海流玫瑰圖

測站名稱：曾文資料浮標(海床往上6m)
資料日期：2013/08-2014/02
有效樣本：2336

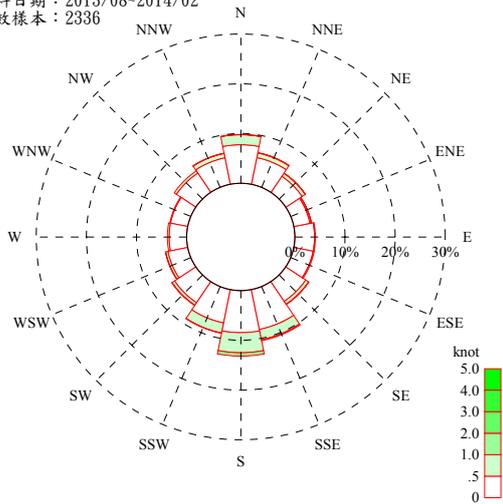


圖 7 最接近底層之海流玫瑰圖

4.3 海流對底層漂砂影響

水流通過砂漣時會發生渦流及流分離現象，水流作用在底床上使砂粒懸浮或底形形成漂砂，此為薄層流輸砂現象，可用徐爾滋數(Shields number)描述此現象發生與否(Shield, 1936; Nielsen, 1992)。由理論反推得知，底床流速只要達到 0.5 節即發生漂砂現象，因此分別假設底質中值粒徑 0.26mm 與 0.15mm，依據徐爾滋數(Shields number)描述漂砂現象發生與否(Nielsen, 1992)，結果顯示過去 180 天中，約有 90 天會發生漂砂。

$$\theta = \frac{\tau_b}{\rho(s-1)gD_{50}} \quad (2)$$

θ : 徐爾滋數(Shields number)

τ_b : 底床剪應力

s : 底質比重

g : 重力加速度

D_{50} : 底質中值粒徑

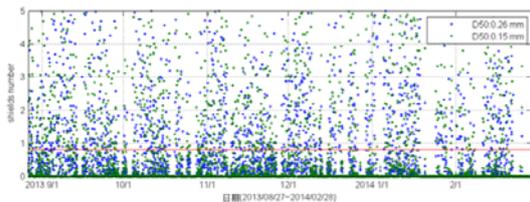


圖 9 中值粒徑分別為 0.26mm 與 0.15mm 的徐爾滋數

五、結論與建議

以 Logarithmic velocity Profile 方法計算出距海底 1 公尺處的流速流向資料與潮位資料比對，結果顯示底床的海流變化與潮汐變化無明顯相關，但流速流向以南向為主，即海流由北往南流居多，與海底主要淘刷的方向相似。

假設底質中值粒徑 0.26mm 與 0.15mm，以徐爾滋數分析漂砂現象發生與否，結果顯示過去 180 天中，約有 90 天會發生漂砂。

建議未來應利用包含不同季節與颱風期間的長期海流資料校正海流模式，進行海床塌陷區域空間之流場模擬，進而充分掌握海床塌陷區域內三維度空間內之流場資訊。

謝誌

本論文承蒙台灣中油股份有限公司天然氣事業部南區營業處經費之補助使本研究得以順利完成，謹致謝忱。

參考文獻

1. Nielsen, P., 1992, Coastal bottom boundary layers and sediment transport, World Scientific Publication, Singapore, 324 p..
2. Shield A., 1936, Anwendung der Aehnlichkeitsmechanik und Turbulenzforschung auf die Geschiebebewegung, Mitt Preuss Versuchsanstalt fur Wasserbau und Schiffbau, No. 26, Berlin.