

98-44-7401

MOTC-IOT-97-H3DA002

潮殘餘流與臺灣西海岸長期 沖淤潛勢之研究(2/2)

- 臺灣環島海域潮殘餘流之數值模擬 -



交通部運輸研究所
中華民國 98 年 4 月

98-44-7401
MOTC-IOT-97-H3DA002

潮殘餘流與臺灣西海岸長期 沖淤潛勢之研究(2/2)

- 臺灣環島海域潮殘餘流之數值模擬 -

著 者：莊文傑、廖建明

交通部運輸研究所
中華民國 98 年 4 月

國家圖書館出版品預行編目資料

潮殘餘流與臺灣西海岸長期沖淤潛勢之研究. (2
/2) : 臺灣環島海域潮殘餘流之數值模擬 /
莊文傑, 廖建明著. -- 初版. -- 臺北市 :
交通部運研所, 民98. 04
面 ; 公分
參考書目: 面
ISBN 978-986-01-8257-6(平裝)

1. 潮流 2. 海岸 3. 海流 4. 數值分析

351.9719

98006965

潮殘餘流與臺灣西海岸長期沖淤潛勢之研究(2/2)

- 臺灣環島海域潮殘餘流之數值模擬 -

著 者：莊文傑、廖建明

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 98 年 4 月

印 刷 者：良機事務機器有限公司

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：1009800939

ISBN：978-986-01-8257-6 (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分內容者，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：潮殘餘流與臺灣西海岸長期沖淤潛勢之研究(2/2) - 臺灣環島海域潮殘餘流之數值模擬 -			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-01-8257-6 (平裝)	政府出版品統一編號 1009800939	運輸研究所出版品編號 98-44-7401	計畫編號 97-H3DA002
主辦單位：港灣技術研究中心 主管：邱永芳 計劃主持人：莊文傑 共同主持人：廖建明 研究助理：馬維倫、錢爾潔 聯絡電話：(04)26587185 傳真號碼：(04)26564415			研究期間 自 97 年 01 月 至 97 年 12 月
關鍵詞：潮殘餘流、潮流、海流、輸沙潛勢、海岸沖淤、水下大型沉積沙體、臺灣海域			
報告內容重點摘要： 潮殘餘流為在近岸淺水海域因潮流的非線性本質所衍生的淨平均流，與近岸海域漂沙物質的長期性輸送趨勢甚具關聯性。因此，潮殘餘流相關的研究成果，不僅可用以評估臺灣環島海岸長期性的沖淤趨勢，更可作為政府從事海岸永續經理及釐訂海岸自然保育策略的參考。 本研究為政府科技計畫地球環境科技群組 2 年(96 至 97 年度)固定期程之任務導向型一般研究計畫。主要的研究目的，在應用新近引進建置之 POM 三維海洋環流數值模式，藉以詳細模擬計算臺灣鄰近海域的潮流，從而計算潮殘餘流之主要流向及強弱分布特性，進而評估其所引致之沖淤潛勢對海岸自然長期侵蝕趨勢的影響。主要研究項目，在模擬計算並陳現臺灣鄰近海域大小潮期間之 Euler 及 Lagrange 潮殘餘流特性與型態。 相關研究結果顯示：在臺灣西海岸，潮殘餘流主要係以和緩的流速順沿海岸向北流動；在臺灣中西部外海，潮殘餘流明顯會以近於 10 cm/s 的較大流速，順沿雲彰隆起水下大型沉積沙體地形，蜿蜒向北流動；在澎湖群島及臺灣灘等淺水海域，潮殘餘流流速普遍最強勁，同時具有順時針方向旋轉的大型環流型態。此外，結合潮流流場與輸沙模式進行沖淤潛勢評估，再與臺灣鄰近海域在水深 50 米內所自然陳現的水下大型沉積沙體相對照驗證，可確認潮殘餘流對漂沙物質的長期輸運作用，在臺灣鄰近的淺水海域，不僅與水下大型沙體的沉積形成有關，更與臺灣環島沿岸海域的長期輸沙優勢方向與海岸的自然沖淤趨勢相吻合。			
研究成果之效益： (1) 學術成就：發表國內外研討會學術論文 4 篇，並出版研究報告 2 冊。 (2) 技術創新：應用三維非線性海洋環流水動力模式 POM，在國內首先完成臺灣鄰近海域潮殘餘流流場的建構；應用 MIKE21_HD 二維非線性淺水波水動力模式，再結合二維輸沙模式 MIKE21_ST，進一步創新建構臺灣鄰近海域之輸沙潛勢圖。 (3) 經濟效益：配合政府推展海洋國家之永續發展目標，落實海洋經理政策，補充既有海象監測及防災資料庫之完整，強化海岸侵蝕治理之決策資訊，敦節海岸			

保育之人力及物力投注，輔助海岸保育採行自然工法之有效施行。

- (4) 社會影響：擴展科研成果之政策應用，充實藍色國土資訊，促進本土化海洋環境的瞭解，深化海洋水文與地球科學教育之內涵。

可供本所或其他政府機關後續應用情形：

- (1) 本研究在國內首先完成建構的臺灣鄰近海域潮殘餘流流場，可提供本所、各港務局及經濟部水利署等相關政府單位從事港灣開發、規劃、設計、擴建及維護的應用參考。
- (2) 本研究在國內創先建構的臺灣鄰近海域輸沙潛勢圖，可提供本所、各港務局及經濟部水利署等相關政府單位從事臺灣環島海岸長期性沖淤趨勢評估的完整資訊，同時更可作為本所、各港務局及經濟部水利署等相關政府單位採用柔性自然工法從事海岸永續經理及釐訂海岸自然保育策略的應用參考。
- (3) 本研究在臺灣鄰近海域所構建的潮流及潮殘餘流流場與輸沙潛勢圖，不僅可充分提供本所、各港務局及經濟部水利署等相關政府單位，面對「沙到那裡去了？」的海岸經營管理課題的完美闡釋，更可提供教育部及國科會，補充本土性詳實的海洋水文資訊，豐富地球科學教育之內涵。

出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
97 年 4 月	140	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: Investigations on Tidally Residual Currents and Evaluating the Long Term Potential of Erosion and Deposition on the West Coast of Taiwan (2/2)			
ISBN (OR ISSN) ISBN978-986-01-8257-6 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009800939	IOT SERIALNUMBER 98-44-7401	PROJECT NUMBER 97-H3DA002
DIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-fang PROJECT ADVISOR: Juang Wen-jye PRINCIPAL INVESTIGATOR: Juang Wen-jye, Liao Jian-ming PROJECT STAFF: Maa Wei-luen; Chien Er-jier PHONE: 04-26587185 FAX: 04-26564415			PROJECT PERIOD FROM January 2008 TO December 2008
KEY WORDS: Tidally Residual Currents; Tidal Currents; Ocean Circulation; Potential of Sediment Transport; Trend of Coastal Erosion and Deposition; Large-Scale Submerged Salient; Seas around Taiwan			
ABSTRACT: The tidally residual current that was induced from the essential non-linearity of tidal currents is a kind of mean current in nearshore and shallow water regions. It is generally closely related to the long-term trend of sediment transport. Prospective research results, therefore, could apply on not only evaluating the long-term trend of coastal erosion and deposition, but also making the coastal management strategies around Taiwan. This study is the final part of mission-oriented research with an overall two-year period (2007, 2008) granted by the projects of terrestrial environment under scientific-technical programs of the government. The main purpose of this study is set to apply the 3-D model of POM, the Princeton Ocean Model, to simulate the tidal current such that the tidally residual current in forms of Euler as well as Lagrange could be computed and investigated in more detail. From the results, it is found that the flow patterns of tidally residual current in the Euler form appear almost the same with the Lagrange form. The prevailing flow velocities are mild and directions are mainly northward going along the west coast of Taiwan. On the central west coast of Taiwan, however, strong flow with velocities approximating to 10 cm/s and direction meandering along the Chang-yun Rise are found. Nearing to the southern entrance of the Taiwan Strait, there are flow patterns of two circulations rotating in clockwise sense with velocities higher than 10 cm/s exhibiting around the Peng-hu Islet and on the Taiwan Bank, respectively. Furthermore, by coupling the hydrodynamic model: MIKE21_HD with sediment transport model: MIKE21_ST, a potential map of sediment transport is generated. Based on the map, it is noted that the flow patterns of tidally residual current associated with the long-term trend of sediment transport show good agreement with many of the observed appearances of large-scale submerged salient that are found on an ancient sea map and located in-between a depth of 50m around the coasts of Taiwan. The tidally residual current show predominant effects on both the sediment transport and the erosion and deposition trends around the coasts of Taiwan, and therefore, are verified.			
DATE OF PUBLICATION April 2007	NUMBER OF PAGES 140	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

目錄	IV
圖目錄	VII
表目錄	XIII
第一章 緒論	1-1
1.1 研究緣起	1-1
1.2 研究方法	1-3
1.3 工作項目	1-4
1.4 預期目標	1-4
第二章 POM模式之理論概要	2-1
2.1 模式特性	2-1
2.2 控制方程式	2-2
2.2.1 三維連續方程式與動量方程式	2-2
2.2.2 紊流閉合模式	2-4
2.2.3 σ 座標轉換	2-5
2.2.4 水深積分方程式	2-8
2.2.5 邊界條件	2-10
2.3 數值方法	2-11
2.3.1 網格配置	2-11
2.3.2 數值離散	2-12
2.3.3 穩定條件	2-13

第三章 POM海洋水動力模式之潮流數值模擬	3-1
3.1 硬體設備	3-1
3.2 軟體環境	3-1
3.2.1 作業系統	3-1
3.2.2 必要配合軟體	3-2
3.3 資料蒐集	3-3
3.3.1 海表面風場資料	3-3
3.3.2 海平面大氣壓力資料	3-4
3.3.3 海面溫度	3-4
3.3.4 海洋鹽度與溫度	3-4
3.3.5 潮位資料	3-5
3.4 POM模式建置	3-5
3.5 POM模式的相關應用與驗證	3-6
3.5.1 風剪力推升水位	3-6
3.5.2 淡鹽水混合	3-7
3.5.3 臺灣鄰近海域洋流的模擬計算	3-8
3.6 臺灣鄰近海域潮流的模擬計算	3-9
第四章 臺灣四周海域的潮波系統與潮殘餘流	4-1
4.1 潮波系統概述	4-1
4.2 矩形海峽內之凱文波交會	4-2
4.3 臺灣鄰海內之潮波同潮圖	4-5
4.4 EULER及LAGRANGE潮殘餘流	4-8

4.5 潮流與可能形成潮殘餘流之機制	4-9
4.6 臺灣鄰近海域的潮殘餘流	4-10
第五章 潮殘餘流與長期性海岸的沖淤	5-1
5.1 臺灣環島海岸之沖淤課題	5-1
5.2 臺灣環島海域的地形水深與沖淤變遷	5-2
5.3 臺灣環島海域的海流與潮流	5-3
5.3 臺灣環島海域的水下大型沉積沙體	5-4
5.4 臺灣環島海域的輸沙潛勢與潮殘餘流	5-7
第六章 結論與建議	6-1
6.1 研究目的與問題簡述	6-1
6.2 結論	6-1
6.3 建議	6-3
6.4 研究成果之效益	6-4
6.5 可供本所或其他政府機關後續應用情形	6-4
參考文獻	參-1
附錄 1 期末報告審查簡報資料	附 1-1
附錄 2 期末報告審查會議及審查委員意見處理表	附 2-1

圖目錄

圖 2-1 σ 座標系統 (Mellor, 2003)	2-15
圖 2-2 內外模相嵌示意圖 (Mellor, 2003).....	2-15
圖 2-3 二維外部模式網格配置圖 (Mellor, 2003).....	2-16
圖 2-4 三維內部模式網格配置圖 (Mellor, 2003).....	2-16
圖 2-5 POM 模式之計算流程圖	2-17
圖 3-1 Linux SUSE_10.2 電腦作業系統總體資訊.....	3-13
圖 3-2 POM 模式建置完成後之操作使用與資料處理流程.....	3-14
圖 3-3 風力引致水位推升之 POM 模式運轉測試設定示意圖	3-15
圖 3-4 風力引致水位推升之 POM 模式運轉測試模擬計算結果	3-15
圖 3-5 POM 模式模擬計算淡鹽水混合交換過程之長形渠道配置與 其中剖面第 0 小時之初始條件	3-16
圖 3-6 POM 模式模擬計算淡鹽水混合交換過程之長形渠道配置與 其中剖面第 2 小時之模擬計算結果	3-16
圖 3-7 POM 模式模擬計算淡鹽水混合交換過程之長形渠道配置與 其中剖面第 12 小時之模擬計算結果	3-17
圖 3-8 POM 模式模擬計算淡鹽水混合交換過程之長形渠道配置與 其中剖面第 72 小時之模擬計算結果	3-17
圖 3-9 東亞邊緣海模式洋流之模擬計算結果	3-18
圖 3-10 臺灣周邊海域模式洋流之模擬計算結果	3-19
圖 3-11 臺灣鄰近海域模式之計算範圍與地形水深	3-20
圖 3-12 應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 00:00	

	當臺灣海峽正值漲潮期的潮位(色階)與潮流(箭矢向量)流 場逐時變化型態	3-21
圖 3-13	應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 01:00 當臺灣海峽正值漲潮期的潮位(色階)與潮流(箭矢向量)流 場逐時變化型態	3-21
圖 3-14	應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 02:00 當臺灣海峽正值漲潮期的潮位(色階)與潮流(箭矢向量)流 場逐時變化型態	3-22
圖 3-15	應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 03:00 當臺灣海峽正值漲潮期的潮位(色階)與潮流(箭矢向量)流 場逐時變化型態	3-22
圖 3-16	應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 04:00 當臺灣海峽接近滿潮時刻的潮位(色階)與潮流(箭矢向量) 流場逐時變化型態	3-23
圖 3-17	應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 05:00 當臺灣海峽接近滿潮時刻的潮位(色階)與潮流(箭矢向量) 流場逐時變化型態	3-23
圖 3-18	應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 06:00 當臺灣海峽正值退潮期的潮位(色階)與潮流(箭矢向量)流 場逐時變化型態	3-24
圖 3-19	應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 07:00 當臺灣海峽正值退潮期的潮位(色階)與潮流(箭矢向量)流 場逐時變化型態	3-24
圖 3-20	應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 08:00 當臺灣海峽正值退潮期的潮位(色階)與潮流(箭矢向量)流 場逐時變化型態	3-25

圖 3-21	應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 09:00 當臺灣海峽接近乾潮時刻的潮位(色階)與潮流(箭矢向量) 流場逐時變化型態	3-25
圖 3-22	應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 10:00 當臺灣海峽接近乾潮時刻的潮位(色階)與潮流(箭矢向量) 流場逐時變化型態	3-26
圖 3-23	應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 11:00 當臺灣海峽接近乾潮時刻的潮位(色階)與潮流(箭矢向量) 流場逐時變化型態	3-26
圖 3-24	應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 12:00 當臺灣海峽接近乾潮時刻的潮位(色階)與潮流(箭矢向量) 流場逐時變化型態	3-27
圖 3-25	應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 13:00 當臺灣海峽正值漲潮期的潮位(色階)與潮流(箭矢向量)流 場逐時變化型態	3-27
圖 3-26	應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 14:00 當臺灣海峽正值漲潮期的潮位(色階)與潮流(箭矢向量)流 場逐時變化型態	3-28
圖 3-27	應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 15:00 當臺灣海峽正值漲潮期的潮位(色階)與潮流(箭矢向量)流 場逐時變化型態	3-28
圖 3-28	應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 16:00 當臺灣海峽接近滿潮時刻的潮位(色階)與潮流(箭矢向量) 流場逐時變化型態	3-29
圖 3-29	應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 17:00 當臺灣海峽接近滿潮時刻的潮位(色階)與潮流(箭矢向量) 流場逐時變化型態	3-29

圖 3-30	應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 18:00 當臺灣海峽正值退潮期的潮位(色階)與潮流(箭矢向量)流 場逐時變化型態	3-30
圖 3-31	應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 19:00 當臺灣海峽正值退潮期的潮位(色階)與潮流(箭矢向量)流 場逐時變化型態	3-30
圖 3-32	應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 20:00 當臺灣海峽正值退潮期的潮位(色階)與潮流(箭矢向量)流 場逐時變化型態	3-31
圖 3-33	應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 21:00 當臺灣海峽接近乾潮時刻的潮位(色階)與潮流(箭矢向量) 流場逐時變化型態	3-31
圖 3-34	應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 22:00 當臺灣海峽接近乾潮時刻的潮位(色階)與潮流(箭矢向量) 流場逐時變化型態	3-32
圖 3-35	應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 23:00 當臺灣海峽接近乾潮時刻的潮位(色階)與潮流(箭矢向量) 流場逐時變化型態	3-32
圖 3-36	應用 MIKE21_HD 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2002/11 /21 13:00 當臺灣海峽正值退潮期的潮位(色階)與潮流(箭矢 向量)流場逐時變化型態	3-33
圖 3-37	應用 MIKE21_HD 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2002/11 /21 09:00 當臺灣海峽正值漲潮期的潮位(色階)與潮流(箭矢 向量)流場逐時變化型態	3-34
圖 3-38	應用 POM 模式模擬計算 2005 年 2 月臺灣鄰近海域之潮流 流場於臺灣西部海岸 (a)基隆 (b)新竹 (c)台中 (d)高雄 等 驗潮站位上之計算(紅實線)與實測(黑標點線)潮位之驗證	

比較.....	3-35
圖 3-39 應用 POM 模式模擬計算 2000 年 12 月臺灣鄰近海域之潮流流場於臺灣西部海岸 (a)基隆 (b)新竹 (c)台中 (d)高雄等驗潮站位上之計算(紅實線)與預測(黑實線)潮位之驗證比較.....	3-36
圖 3-40 應用 POM 模式模擬計算 2000 年 12 月臺灣鄰近海域之潮流流場於臺灣東部及離島海岸 (a)蟬廣嘴 (b)成功 (c)花蓮 (d)蘇澳 (e)澎湖 (f)金門 等驗潮站位上之計算(紅實線)與預測(黑實線)潮位之驗證比較.....	3-37
圖 4-1 忽略底床摩擦力作用之矩形海峽內凱文波交會之旋轉潮波系統同潮圖(黑：同振幅線；紅：同潮時線).....	4-15
圖 4-2 考量底床摩擦力作用之矩形海峽內凱文波交會之旋轉潮波系統同潮圖(黑：同振幅線；紅：同潮時線).....	4-15
圖 4-3 臺灣鄰近海域的水深地形(左)及真實潮波模擬計算的海域範圍(右).....	4-16
圖 4-4 臺灣環島沿岸海域依據中央氣象局 1997 年 6 月 23 日預報資料所整理之日滿潮同潮時圖(左)及沿岸潮時變化(右).....	4-16
圖 4-5 臺灣鄰近海域之同潮差圖(單位：呎).....	4-17
圖 4-6 臺灣四周海域月大小潮期間台中港接近乾潮及滿潮位瞬時之逐時潮位與潮流變化	4-17
圖 4-7 臺灣四周海域月小潮期間之同潮圖(黑：同振幅線；紅：同潮時線)	4-18
圖 4-8 臺灣四周海域月大潮期間之同潮圖(黑：同振幅線；紅：同潮時線)	4-19
圖 4-9 臺灣鄰近海域月小潮期間 1 日之 Euler 潮殘餘流流場	4-20

圖 4-10	臺灣鄰近海域月小潮期間 1 日之 Lagrange 潮殘餘流流場	4-20
圖 4-11	臺灣鄰近海域月大潮期間 1 日之 Euler 潮殘餘流流場	4-21
圖 4-12	臺灣鄰近海域月大潮期間 1 日之 Lagrange 潮殘餘流流場	4-21
圖 4-13	臺灣鄰近海域月小潮期間 7 日之 Euler 潮殘餘流流場	4-22
圖 4-14	臺灣鄰近海域月小潮期間 7 日之 Lagrange 潮殘餘流流場	4-22
圖 4-15	臺灣鄰近海域月大潮期間 7 日之 Euler 潮殘餘流流場	4-23
圖 4-16	臺灣鄰近海域月大潮期間 7 日之 Lagrange 殘餘流流場	4-23
圖 4-17	臺灣鄰近海域月小潮期間 15 日之 Euler 潮殘餘流流場	4-24
圖 4-18	臺灣鄰近海域月小潮期間 15 日之 Lagrange 潮殘餘流流場 ..	4-24
圖 5-1	臺灣環島近岸海域的水深地形(詹森，2002).....	5-11
圖 5-2	臺灣環島海岸的沖淤趨勢分佈(張、黃，1997).....	5-11
圖 5-3	臺灣海峽海域應用 1999-2001 年 Sb-ADCP 觀測資料分析所得之平均流(王玉懷，2002).....	5-12
圖 5-4	臺灣環島海域實測之年平均表層海流型態(國家海洋科學研究中心資料庫).....	5-12
圖 5-5	存在於臺灣環島近岸海域之水下大型沈積沙體	5-13
圖 5-6	台灣鄰近海域於含括月大小潮期間連續 15 日逐時潮流作用下模擬計算之輸沙潛勢強弱分布(色階)及輸沙主要運移方向(箭矢).....	5-14

表目錄

表 3-1	QSCAT/NCEP 混合風場資料格式	3-11
表 3-2	NCEP/NCAR 分析風場資料格式	3-11
表 3-3	NCEP/NCAR 海平面大氣壓力資料格式	3-11
表 3-4	NOAA OI 海面溫度資料格式	3-12
表 3-5	WOA05 海洋資料庫格式	3-12

第一章 緒論

1.1 研究緣起

臺灣為一典型之海島國家，四面環海，除本島外，另有 85 個離島，海岸線全長約 1,520 公里（臺灣環島海岸線全長約 1,200 公里；澎湖等離島海岸線總長約 320 公里）（經濟部水利處, 2001），陸地面積約 36,000 平方公里，陡峻之山地佔國土之 30%；丘陵地佔 40%；而平原僅有 30%（歐 等，2001）。基於地形之特性，大多之社會、經濟活動皆集中於環島之沿海及平原地區，近岸海域環境因此與人民生活息息相關，海岸亦成為甚重要之國土資源，但由於地理位置—東亞大陸棚架緣、天然海氣象條件—潮汐、潮流與季風、颱風波浪、以及過去數十年間之海岸開發利用與河川整治等因素影響，政府雖曾為防治海岸災害以確保沿岸居民之安全，自民國六十二年以來即由臺灣省水利局（經濟部水利署前身）釐訂全國海堤整建計畫，並陸續於臺灣環島沿岸海岸災害較嚴重地區，採行興建海堤、突堤、及離岸堤等硬性海岸保護工法，惟部分海岸依舊面對海岸之沖蝕問題，原來綿延 1,520 公里長之海岸線，現今 80% 仍顯現侵蝕趨勢（Hou et al., 2000），鑑此，為海岸國土之永續經營，保育近岸海域環境並防護海岸已成為政府海洋事務權責機關目前當急之務。

眾所週知，近岸海域漂沙輸送運移不平衡將導致海岸沖淤變遷，而影響近岸海域漂沙輸送運移不平衡之因素，依據其時空尺度變化型態通常可分為三類：（一）大尺度變遷，如全球氣候暖化導致平均海面上昇、地下水超抽導致地層下陷、及潮流長期攜運等所引起之長期大規模海岸與近岸海域地形變化；（二）中尺度變遷，如海岸或海埔地過度開發或過當保護、港灣超限擴建利用、港灣大規模防波堤等結構物興建、與河川流域經理與砂石開採盜挖導致河流供沙減少等，由於局部近岸海域漂沙之輸送平衡被阻隔破壞，以致引起近岸海域地形水深產生變化；（三）小尺度變遷，如海岸受颱風暴潮巨浪衝擊與季風波浪作

用，由於近岸海域近岸流系統之短期變化，以致引起海岸前灘之沖蝕(歐等，2001)。以上有關臺灣環島中、小尺度之海岸侵蝕變遷課題及相關之保育、防護對策，國內已有甚多學者專家，如：郭(1990)；許、溫(1997)；張、黃(1997)；黃 等(2000)；歐 等(2001)；郭、簡(2001)等曾從事精闢之調查與深入之研究，但對於大尺度之海岸侵蝕變遷及其保育、防護對策課題，近年來，除中國大陸學者林琿 等(2000)曾針對「東中國海陸架水下沙體與潮流作用」進行研究探討外，國內相關之研究與文獻則尚不多見。其間之困難處，除臺灣環島近岸海域海床底質粒徑分佈調查與漂沙濃度(concentration)分析資料庫尚不夠完備、漂沙輸送之優勢海潮流方向尚待確立外，環島近岸海域直接面對廣闊之開放海域，而開放海域上並無適切、準確地長期潮位及海潮流等資訊可供研究應用應為最重要之原因。

近年來，政府正逐漸重視研發各類型近岸災害之防救課題與技術。其中，近岸海域長期性的沖淤潛勢，不僅與永續海岸環境保育課題息息相關，更與近岸災害防救課題關係密切。

對於我國海岸的保育、開發、利用、管理及在短期的海岸沖淤災害防治對策上，國內的產官學研各界，歷經 30 餘年的努力(國內海年召開一次的海洋工程研討會，目前已過第 29 屆)，迄今不僅在波、流、風、潮、輸沙、與海岸地形變遷等領域，累積有大量的近岸海象調查資料，更具有豐富的研究成果與豐碩的應用經驗。在此一基礎上，有關近岸海域長期性的沖淤趨勢研究，適值得推展並加以深化。

在國內外，目前欲有效地評估海岸長期性的沖淤潛勢，普遍依賴於國內學者許榮中教授 1989 年旅居西澳洲大學時所發表的岬頭控制之「靜態岬灣經驗式」。不過，靜態岬灣經驗式，主要係針對具岬頭之海岸或在近岸海灘構建適當人工構造物，藉以達成保育、穩定海岸之目的，至於對近岸海域長期性的水下漂沙沉積特性及其運移潛勢的衝擊影響評估，國內相關的研究成果尚甚少見。

潮殘餘流是潮波在特定海域的運動過程中，因非線性作用所引起

的持久性平均流，一般只會在具有複雜地形的近岸海灣或河口海域，潮殘餘流才比較明顯，並會與近岸海域物質的傳輸過程產生密切的關聯。

基於潮殘餘流之特質，配合國家海洋科學研究中心的實測海流及近年本研究先期所完成臺灣四周海域海流計算之成果與經驗，再依據臺灣環島近岸海域早期地圖所呈現明顯之大型水下沙體的沉積型態，初步研判其係海流長期的移運所造成，而在眾多海流成分中，潮殘餘流應具有主導性的角色與地位。

為改善國內災害風險評估系統，促進既有監測體系的完整，強化救災及預警科技之評估效能及應用，提升災害應變與預警能力，達成國家永續發展之目標，因此，依據第七次全國科學技術會議結論、國家科技發展綱領，並配合海洋科技發展相關策略及措施，在政府科技計畫地球環境科技群組下，研訂本任務導向型的一般研究計畫。

1.2 研究方法

為克服以往從事大尺度海岸侵蝕與近岸海域地形變遷課題所面對之研究限制，本研究將從海洋物理及潮汐殘餘流(tidal-residual current)之觀點出發，應用新近引進建置之 POM 三維海洋水動力模式(莊，2007)，針對臺灣環島鄰近海域，首先，模擬計算含括大、小潮期間之長期逐時潮流流場；其次，再依據尤拉(Euler)及拉格郎吉(Lagrange)殘餘流之理論定義，藉以探討與大尺度長期平均輸沙潛勢(sediment transport capacity)密切相關的潮汐殘餘流大小及型態；接著，再與臺灣環島鄰近海域所自然呈現的大型水下沙體沉積型態進行相互配合驗證，從而詳細確認臺灣環島鄰近海域的潮殘餘流特性；最後，相關之研究成果，再進一步應用以闡釋臺灣環島海岸大尺度之長期沖淤變遷趨勢，評估潮殘餘流對臺灣四週近岸海域環境所可能造成之長期性衝擊，提供釐定相關海岸保育與防護對策之參考。

1.3 工作項目

為詳細確認臺灣環島近岸海域的潮殘餘流特性，並評估其可能對海域環境所造成之長期性衝擊。本研究計畫擬定重點工作項目如下：

- (1) 蒐集與建置模式計算所需的海底地形水深、海氣象、潮流與潮位資料，並購置及建置數值模擬及成果展示所需之軟、硬體作業環境。
- (2) 引進及建置美國普林斯頓大學研發之 POM 海洋數值計算模式，並研習適應其相關資料輸出、輸入處理系統與模擬成果展示系統；建立與完成模式計算所需的軟硬體電腦環境。
- (3) 完成臺灣環島海域三維海潮流之模擬，並驗證模擬結果之正確性。
- (4) 進行臺灣環島海域潮殘餘流的計算，確立臺灣環島海域潮殘餘流與大型水下沉積沙體型態之相關性。
- (5) 評估潮殘餘流對臺灣四週近岸海域環境所可能造成之長期性衝擊。

1.4 預期目標

- (1) 掌握臺灣環島海域潮波與潮流之影響因子，推廣前置研究：『臺灣四周海域海流數值模擬研究』之應用，全面性模擬計算並掌握臺灣環島鄰近海域之潮殘餘流特性。
- (2) 確立潮殘餘流與臺灣環島海域大型水下沉積沙體型態之相關性，進而瞭解並評估潮殘餘流對臺灣環島近海環境所可能造成之衝擊。
- (3) 充實臺灣環島海域執行海岸調查、開發、利用、防護、及保育決策所需長期性相關之海象資訊。
- (4) 從海岸到海洋，整合地科、大氣、及海洋之科研成果，強化海洋科技－藍色科技之科研能力，充實臺灣大百科知識庫、海洋科研資料庫，深耕海洋文化，厚植海洋科技發展相關產業之基礎。

- (5) 落實科技的民生應用，強化社會與海洋環境科技的互動，研發新災害課題之防治方法與技術。
- (6) 配合建立近岸防災預警與風險管理機制之關鍵技術，精進災害風險評估系統，以降低生態環境衝擊，並因應全球環境之變遷，補充既有監測體系的完整，強化救災及預警科技之評估效能及應用，提升災害應變與預警能力，達成國家海洋資源永續保育、利用之目標。

第二章 POM模式之理論概要

2.1 模式特性

計算海洋水動力所使用的數值模式，一般以水深平均之模式進行模擬，如此可以節省計算時間，增加模式執行之效率。但在水深方向的物理量變化很大時，這些模式的功能將無法描述，此時必須使用三維模式來模擬。本研究使用的美國普林斯頓大學 POM 三維海洋水動力模式是由 Blumberg 和 Mellor (1987) 所發展及撰寫，POM 模式屬於三維的數值模式，含有紊流閉合模式 (turbulence closure model) 來處理垂直方向的混合作用，能描述三維的海洋變化物理現象。另外在數值技巧方面，水平網格也可根據地形的需要，利用正交曲線網格，提高局部解析度並增加計算效率。

POM 模式之數值技巧分為外模式 (external mode) 和內模式 (internal mode) 兩組不同的模式功能，前者計算二維，後者計算三維的流場。模式演算上先計算外模式的水深平均流場，計算速度較快，所需計算時距較短，再計算內模式垂直方向各層的流速流場，計算速度較慢，時距可以取得較長，如此兩種不同計算技巧的運用可以大量節省電腦運算時間。

POM 模式垂直方向的座標採用 Phillips (1957) 創立之 σ 座標系統，此座標可以解析地形變化梯度很大的地方，例如複雜起伏多變的河口及沿岸海域地形、大陸棚斜坡或斷層等。模式中也包含熱動力學理論，可輸入或計算熱含量和熱通量，也可輸入邊界水位、邊界流速或大尺度的風應力求來驅動模式中的流場。另者，模式在河口區也可以加入河流排放量來研究河口的物理動力機制，由於海水與淡水在此交會，兩者密度不同，故存在鹽、淡水混合的問題，透過鹽度狀態方程式，亦可以描述河口附近海域鹽度的變化。以下則簡介該模式之控制方程式、邊界條件與數值方法。

2.2 控制方程式

2.2.1 三維連續方程式與動量方程式

POM 模式的基本控制方程式為質量守恆和動量守恆方程式，為了簡化 POM 的方程式，模式採用了兩個假設，第一個假設為流體為不可壓縮，則在卡式座標下的連續方程式表示如下：

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z} = 0 \dots\dots\dots (2-1)$$

式中 U 、 V 為水平方向的流速， W 為 z 方向上為正的流速， x 方向為向岸座標， y 方向為沿岸座標， z 方向則為水深方向之座標。第二個假設則是使用近似的方法簡化流體的動力方程式，引用包氏近似 (Boussinesq approximation)，因此流體的水平方向動量方程式可寫為：

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + W \frac{\partial U}{\partial z} - fV = -\frac{1}{\rho_o} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial U}{\partial z} \right) + F_u \dots\dots\dots (2-2)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + W \frac{\partial V}{\partial z} + fU = -\frac{1}{\rho_o} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial V}{\partial z} \right) + F_v \dots\dots\dots (2-3)$$

水深方向的動量方程式，因為水深方向流速 (W) 的大小比起水平方向的海流 (U, V) 尺度小了許多，故可以把水深方向的動量方程式化簡為靜水壓方程式來代替，則變成下面的形式：

$$\rho g = -\frac{\partial p}{\partial z} \dots\dots\dots (2-4)$$

式 (2-4) 為靜水壓方程式， $\rho = \rho_o + \rho'$ 為海水混合密度， ρ_o 為平均海水密度， ρ' 為密度擾動量， K_M 為動量垂直渦旋混合擴散係數 (vertical eddy viscosity diffusivity of turbulent momentum mixing)， g 為重力加速度， f 為科氏力參數， F_u 為 x 方向之雷諾應力， F_v 為 y 方向之雷諾應力。

水深方向的壓力可以藉由對動量方程式，式 (2-4) 的垂直分量作

積分，可得

$$p(x, y, z, t) = p_{atm} + g\rho_o\eta + g\int_z^0 \rho(x, y, z', t)dz' \dots\dots\dots(2-5)$$

溫度、鹽度的守恆方程式分別為：

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + U \frac{\partial \theta}{\partial x} + V \frac{\partial \theta}{\partial y} + W \frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_H \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) + F_\theta \dots\dots\dots(2-6)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + U \frac{\partial S}{\partial x} + V \frac{\partial S}{\partial y} + W \frac{\partial S}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_S \frac{\partial S}{\partial z} \right) + F_S \dots\dots\dots(2-7)$$

其中， θ 表示溫度； S 為鹽度； K_H 與 K_S 分別為熱能和鹽度的垂直渦旋混合擴散係數 (vertical eddy viscosity diffusivity of turbulent of heat and salt)； F_θ 為水平方向由溫度擴散產生之側向混合力； F_S 為水平方向由鹽度擴散產生之側向混合力。

海水混合密度為溫度和鹽度之函數，可表示為：

$$\rho = \rho(\theta, S) \dots\dots\dots(2-8)$$

在控制方程式中的 F_u 、 F_v 、 F_θ 、 F_S 分別表示如下：

$$F_u = \frac{\partial}{\partial x} \left(2A_M \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ A_M \left[\left(\frac{\partial U}{\partial y} \right) + \left(\frac{\partial V}{\partial x} \right) \right] \right\} \dots\dots\dots(2-9)$$

$$F_v = \frac{\partial}{\partial x} \left\{ A_M \left[\left(\frac{\partial U}{\partial y} \right) + \left(\frac{\partial V}{\partial x} \right) \right] \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left(2A_M \frac{\partial V}{\partial y} \right) \dots\dots\dots(2-10)$$

$$F_\phi = \frac{\partial}{\partial x} \left(A_H \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A_H \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) \dots\dots\dots(2-11)$$

式 (2-11) 中的 ϕ 可分別用 θ 和 S 來表示。

A_M 、 A_H 分別為動量及熱量與鹽度之水平渦旋擴散係數，可利用 Smagorinsky 公式 (Smagorinsky 等人，1965) 求得，其表示式為

$$(A_M, A_H) = (C_{vis}, C_{dif}) \Delta x \Delta y \left[\left(\frac{\partial U}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial U}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial y} \right)^2 \right]^{1/2} \dots\dots\dots (2-12)$$

其中 C 為 Horcon 參數，範圍在 $0.1 \leq C \leq 0.2$ 之間， Δx 、 Δy 表示 x 和 y 方向的格網間距。而 POM 模式利用 Schmidt 數以之與 A_M 相關聯，即 $A_H / A_M \equiv TPRNI$ ，該值通常設定為一個很小的數，例如 0.2 或甚至在某些例子為零 (Oey 等人，1985a；1985b)。

2.2.2 紊流閉合模式

在式 (2-2)、(2-3)、(2-6) 及 (2-7) 中的渦旋混合擴散係數 K_M 、 K_H 利用 Mellor 和 Yamada (1982) 所發展的二階紊流模式來計算。將動量垂直渦黏擴散係數 K_M 以及熱能和鹽度垂直渦黏擴散係數 K_H ，以紊流的動能 $q^2/2$ 及紊流的尺度參數 l 分別表示如下：

$$\begin{aligned} \frac{\partial q^2}{\partial t} + \frac{\partial q^2 U}{\partial x} + \frac{\partial q^2 V}{\partial y} + \frac{\partial q^2 W}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_q \frac{\partial q^2}{\partial z} \right) + 2K_M \left[\left(\frac{\partial U}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial z} \right)^2 \right] \\ + \frac{2g}{\rho_o} K_H \frac{\partial \rho}{\partial z} - \frac{2q^3}{B_1 l} + F_q \end{aligned} \quad (2-13)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial q^2 l}{\partial t} + \frac{\partial U q^2 l}{\partial x} + \frac{\partial V q^2 l}{\partial y} + \frac{\partial W q^2 l}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K_q \frac{\partial (q^2 l)}{\partial z} \right] \\ + E_1 l \left\{ K_M \left[\left(\frac{\partial U}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial z} \right)^2 \right] \right. \dots\dots\dots (2-14) \\ \left. + E_3 \frac{g}{\rho_o} K_H \frac{\partial \rho}{\partial z} \right\} - \frac{q^3}{B_1} \tilde{W} + F_l \end{aligned}$$

式中 $\tilde{W}$ 為接近壁面函數 (wall proximity function)，定義為：

$$\tilde{W} = 1 + E_2 \left(\frac{l}{\kappa L} \right) \dots\dots\dots (2-15)$$

其中 L 表示為：

$$(L)^{-1} = (\eta - z)^{-1} + (H - z)^{-1} \dots\dots\dots(2-16)$$

此處 H 為任意水深， E_1 、 E_3 為經驗係數， $\kappa = 0.4$ 為 von Karman 常數。

動量以及熱能和鹽度之垂直渦旋擴散係數分別表示如下：

$$K_M = q l S_M \dots\dots\dots(2-17)$$

$$K_H = q l S_H \dots\dots\dots(2-18)$$

$$K_q = q l S_q \dots\dots\dots(2-19)$$

其中 S_M 、 S_H 、 S_q 定義為穩定函數，而以下式表示：

$$S_H [1 - (3A_2 B_2 + 18A_1 A_2) G_H] = A_2 [1 - 6A_1 / B_1] \dots\dots\dots(2-20)$$

$$S_M [1 - 9A_1 A_2 G_H] - S_H [(18A_1^2 + 9A_1 A_2) G_H] = A_1 [1 - 3C_1 - 6A_1 / B_1] \dots\dots\dots(2-21)$$

$$S_q = 0.20 \dots\dots\dots(2-22)$$

上二式中

$$G_H \equiv \frac{l^2}{q^2} \frac{g}{\rho_o} \frac{\partial \rho}{\partial z} \dots\dots\dots(2-23)$$

其中參數分別為

$$(A_1, A_2, B_1, B_2) = (0.92, 0.74, 16.6, 10.1)$$

$$(E_1, E_2, E_3) = (1.8, 1.33, 1.0)$$

$$C_1 = \frac{1}{3} (1 - 6A_1 B_1^{-1} - A_1^{-1} B_1^{-1/3}) = 0.08$$

2.2.3 σ 座標轉換

由於傳統卡式座標系統 (x, y, z, t) 在地形水深變化複雜處計算上不方便，POM 模式利用 Phillips (1957) 所創立之 σ 座標系統將所有的控

制方程式自卡式座標系統轉換至 σ 座標系統。 σ 座標是將不同的水深等分為固定的垂直分層，垂直方向的水深雖然都不同，網格數卻都一樣，但網格間的距離會隨水深的不同而改變。如此邊界上的分層不會變化，對模式計算上帶來很大的便利。卡式座標與 σ 座標轉換關係如下所示：

$$x^* = x \quad , \quad y^* = y \quad , \quad \sigma = \frac{z - \eta}{H + \eta} \quad , \quad t^* = t \quad \dots\dots\dots(2-24)$$

應用上式之轉換，任何物理變數 G 在兩座標系之微分式可由以下方程式建立關聯：

$$\frac{\partial G}{\partial x} = \frac{\partial G}{\partial x^*} - \frac{\partial G}{\partial \sigma} \left[\frac{\sigma}{D} \frac{\partial D}{\partial x^*} + \frac{1}{D} \frac{\partial \eta}{\partial x^*} \right] \quad \dots\dots\dots(2-25)$$

$$\frac{\partial G}{\partial y} = \frac{\partial G}{\partial y^*} - \frac{\partial G}{\partial \sigma} \left[\frac{\sigma}{D} \frac{\partial D}{\partial y^*} + \frac{1}{D} \frac{\partial \eta}{\partial y^*} \right] \quad \dots\dots\dots(2-26)$$

$$\frac{\partial G}{\partial z} = \frac{1}{D} \frac{\partial G}{\partial \sigma} \quad \dots\dots\dots(2-27)$$

$$\frac{\partial G}{\partial t} = \frac{\partial G}{\partial t^*} - \frac{\partial G}{\partial \sigma} \left[\frac{\sigma}{D} \frac{\partial D}{\partial t^*} + \frac{1}{D} \frac{\partial \eta}{\partial t^*} \right] \quad \dots\dots\dots(2-28)$$

其中 x 、 y 、 z 是一般的卡式座標， $D \equiv H + \eta$ 而 $H(x, y)$ 是底部地形， $\eta(x, y, t)$ 為表面高程。將上列 (2-25) 至 (2-28) 式代入控制方程式，則上列所有的方程式將自卡式座標系統轉換至 σ 座標系統，而經此座標轉換後垂直方向之範圍將由 $z = \eta$ （水面）至 $z = -H$ （水底）轉變為 $\sigma = 0$ 至 $\sigma = -1$ ，如圖 2-1 所示。

假設一變量是 ξ 是 x^* 、 y^* 、 σ 和 t^* 的函數 $\xi = \xi(x^*, y^*, \sigma, t^*)$ ，則 z 垂直方向之流速分量 W 可表示為 $W = dz/dt$ ，如下式：

$$W = \frac{dz}{dt} = \frac{\partial z}{\partial t^*} + U \frac{\partial z}{\partial x^*} + V \frac{\partial z}{\partial y^*} + \omega \frac{\partial z}{\partial \sigma} \quad \dots\dots\dots(2-29)$$

將 $z = D\sigma + \eta$ 帶入上式，則 σ 垂直座標上之流速分量 ω 表示為，

$$\omega \equiv \frac{1}{D} \left\{ W - U \left[\sigma \frac{\partial D}{\partial x^*} + \frac{\partial \eta}{\partial x^*} \right] - V \left[\sigma \frac{\partial D}{\partial y^*} + \frac{\partial \eta}{\partial y^*} \right] - \left[\sigma \frac{\partial D}{\partial t^*} + \frac{\partial \eta}{\partial t^*} \right] \right\} \dots\dots\dots (2-30)$$

則轉換至 x^* 、 y^* 、 σ 和 t^* 座標上之連續方程式：

$$\frac{\partial DU}{\partial x^*} + \frac{\partial DV}{\partial y^*} + \frac{\partial \omega}{\partial \sigma} + \frac{\partial \eta}{\partial t} = 0 \dots\dots\dots (2-31)$$

動量守恆方程式：

$$\begin{aligned} \frac{\partial UD}{\partial t^*} + \frac{\partial U^2 D}{\partial x^*} + \frac{\partial UVD}{\partial y^*} + \frac{\partial U\omega}{\partial \sigma} - fVD + gD \frac{\partial \eta}{\partial x^*} \\ + \frac{gD^2}{\rho_o} \int_{\sigma}^0 \left[\frac{\partial \rho}{\partial x^*} - \frac{\sigma}{D} \frac{\partial D}{\partial x^*} \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} \right] d\sigma = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_M}{D} \frac{\partial U}{\partial \sigma} \right] + DF_u \dots\dots\dots (2-32) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial VD}{\partial t^*} + \frac{\partial UVD}{\partial x^*} + \frac{\partial V^2 D}{\partial y^*} + \frac{\partial V\omega}{\partial \sigma} + fUD + gD \frac{\partial \eta}{\partial y^*} \\ + \frac{gD^2}{\rho_o} \int_{\sigma}^0 \left[\frac{\partial \rho}{\partial y^*} - \frac{\sigma}{D} \frac{\partial D}{\partial y^*} \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} \right] d\sigma = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_M}{D} \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right] + DF_v \dots\dots\dots (2-33) \end{aligned}$$

溫度守恆方程式：

$$\frac{\partial \theta D}{\partial t^*} + \frac{\partial U\theta D}{\partial x^*} + \frac{\partial V\theta D}{\partial y^*} + \frac{\partial \theta \omega}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_H}{D} \frac{\partial \theta}{\partial \sigma} \right] + DF_{\theta} \dots\dots\dots (2-34)$$

鹽度守恆方程式：

$$\frac{\partial SD}{\partial t^*} + \frac{\partial USD}{\partial x^*} + \frac{\partial VSD}{\partial y^*} + \frac{\partial S\omega}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_H}{D} \frac{\partial S}{\partial \sigma} \right] + DF_s \dots\dots\dots (2-35)$$

紊流的動能 $q^2/2$ 及紊流的尺度參數 l 表示：

$$\begin{aligned} \frac{\partial q^2 D}{\partial t^*} + \frac{\partial q^2 U D}{\partial x^*} + \frac{\partial q^2 V D}{\partial y^*} + \frac{\partial q^2 \omega}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{K_q}{D} \frac{\partial q^2}{\partial \sigma} \right) \\ + \frac{2K_M}{D} \left[\left(\frac{\partial U}{\partial \sigma} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial \sigma} \right)^2 \right] \dots\dots\dots (2-36) \\ + \frac{2g}{\rho_o} K_H \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} - \frac{2q^3 D}{B_1 l} + DF_q \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial q^2 l D}{\partial t^*} + \frac{\partial q^2 l U D}{\partial x^*} + \frac{\partial q^2 l V D}{\partial y^*} + \frac{\partial q^2 l \omega}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_q}{D} \frac{\partial (q^2 l)}{\partial \sigma} \right] \\ + \frac{E_1 l}{D} \left\{ K_M \left[\left(\frac{\partial U}{\partial \sigma} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial \sigma} \right)^2 \right] \right\} \dots\dots\dots (2-37) \\ + E_3 \frac{g}{\rho_o} K_H \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} - \frac{q^3 D}{B_1} \tilde{W} + DF \end{aligned}$$

式中 U 、 V 與 ω 分別為 x^* 、 y^* 與 σ 座標方向之流速。

2.2.4 水深積分方程式

在海洋變動中包含了快速的慣性重力波與緩慢變化的內波，為了可以有效率的模擬海洋變動，所以將上述的三維方程式利用水深積分技巧轉換成二維模式。如此可依波動變化速度的分別，將模式分成二維模式來模擬快速變動的慣性重力波，而三維模式來模擬緩慢變化的內部波動或熱動力變化等，其分割技巧(Simons, 1974; Madala 和 Piacsek, 1977)可以有效率的解決三維模式模擬速度較慢的缺陷。因此將式 (2-31) 至 (2-33) 由 $\sigma = -1$ 積分至 $\sigma = 0$ 的水深積分方式消除所有垂直方向的變化，則二維方程式可表示成，

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial \bar{U} D}{\partial x} + \frac{\partial \bar{V} D}{\partial y} = 0 \dots\dots\dots (2-38)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{U}D}{\partial t} + \frac{\partial \bar{U}^2 D}{\partial x} + \frac{\partial \bar{U}\bar{V}D}{\partial y} + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} = & + \bar{f}\bar{V}D - \langle wu(0) \rangle + \langle wu(-1) \rangle \\ & + \tilde{F}_x + G_x \\ & - \frac{gD}{\rho_0} \int_{-1}^0 \int_{\sigma}^0 \left[D \frac{\partial \rho'}{\partial x} - \frac{\partial D}{\partial x} \rho' \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma} \right] d\sigma' d\sigma \end{aligned} \quad (2-39)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{V}D}{\partial t} + \frac{\partial \bar{U}\bar{V}D}{\partial x} + \frac{\partial \bar{V}^2 D}{\partial y} + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} = & - \bar{f}\bar{U}D - \langle wv(0) \rangle + \langle wv(-1) \rangle \\ & + \tilde{F}_y + G_y \\ & - \frac{gD}{\rho_0} \int_{-1}^0 \int_{\sigma}^0 \left[D \frac{\partial \rho'}{\partial y} - \frac{\partial D}{\partial y} \rho' \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma} \right] d\sigma' d\sigma \end{aligned} \quad (2-40)$$

式中，

$$\bar{U} = \int_{-1}^0 U d\sigma, \quad \bar{V} = \int_{-1}^0 V d\sigma \dots\dots\dots (2-41)$$

而 $-\langle wu(0) \rangle$ 與 $-\langle wv(0) \rangle$ 為海表面風剪應力， $\langle wu(-1) \rangle$ 與 $\langle wv(-1) \rangle$ 為底床摩擦剪應力。 $\tilde{F}_x$ 與 $\tilde{F}_y$ 定義為，

$$\tilde{F}_x = \frac{\partial}{\partial x} \left(2H\bar{A}_M \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left[H\bar{A}_M \left(\frac{\partial \bar{U}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{V}}{\partial x} \right) \right] \dots\dots\dots (2-42a)$$

$$\tilde{F}_y = \frac{\partial}{\partial y} \left(2H\bar{A}_M \frac{\partial \bar{V}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left[H\bar{A}_M \left(\frac{\partial \bar{U}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{V}}{\partial x} \right) \right] \dots\dots\dots (2-42b)$$

而 G_x 與 G_y 定義為，

$$G_x = \frac{\partial \bar{U}^2 D}{\partial x} + \frac{\partial \bar{U}\bar{V}D}{\partial y} - \tilde{F}_x - \frac{\partial \bar{U}^2 D}{\partial x} - \frac{\partial \bar{U}\bar{V}D}{\partial y} + \tilde{F}_x \dots\dots\dots (2-43a)$$

$$G_y = \frac{\partial \bar{U}\bar{V}D}{\partial x} + \frac{\partial \bar{V}^2 D}{\partial y} - \tilde{F}_y - \frac{\partial \bar{U}\bar{V}D}{\partial x} - \frac{\partial \bar{V}^2 D}{\partial y} + \tilde{F}_y \dots\dots\dots (2-43b)$$

2.2.5 邊界條件

連續方程式 (2-31) 的垂直邊界條件

$$\omega(x^*, y^*, 0, t^*) = \omega(x^*, y^*, -1, t^*) = 0 \quad (2-44a,b)$$

動量方程式 (2-32)、(2-33) 兩式的表面邊界條件

$$\frac{K_M}{D} \left(\frac{\partial U}{\partial \sigma}, \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right) = (\langle \omega U(0) \rangle, \langle \omega V(0) \rangle), \quad \sigma \rightarrow 0 \quad (2-45a,b)$$

底部邊界條件

$$\frac{K_M}{D} \left(\frac{\partial U}{\partial \sigma}, \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right) = C_z [U^2 + V^2]^{1/2} (U, V), \quad \sigma \rightarrow -1 \quad (2-45c,d)$$

其中

$$C_z = \text{MAX} \left[\frac{\kappa^2}{[\ln\{(1 + \sigma_{kb-1})H / z_0\}]^2}, 0.0025 \right] \quad (2-45e)$$

其中 von Karman 常數： $\kappa = 0.4$ ， z_0 ：摩擦參數， σ_{kb} 表示當垂直層 $k = kb$ 層時的值， kb 表示垂直層的最底層。

溫度和鹽度方程式 (2-34)、(2-35) 的邊界條件

$$\frac{K_H}{D} \left(\frac{\partial \theta}{\partial \sigma}, \frac{\partial S}{\partial \sigma} \right) = (\langle \omega \theta(0) \rangle), \quad \sigma \rightarrow 0 \quad (2-46a)$$

$$\frac{K_H}{D} \left(\frac{\partial \theta}{\partial \sigma}, \frac{\partial S}{\partial \sigma} \right) = 0, \quad \sigma \rightarrow -1 \quad (2-46b)$$

式 (2-36)、(2-37) 的邊界條件：

$$(q^2(0), q^2 l(0)) = (B_1^{2/3} u_\tau^2(0), 0), \quad \sigma \rightarrow 0 \quad (2-47a,b)$$

$$(q^2(-1), q^2 l(-1)) = (B_1^{2/3} u_\tau^2(-1), 0), \quad \sigma \rightarrow -1 \quad (2-47c,d)$$

其中 B_1 為紊流閉合常數， u_τ 為在表面與底部的摩擦速度。開放邊界流

速邊界條件

$$H\bar{U} \pm c_e \eta = BC^2 \dots\dots\dots(2-48)$$

開放邊界水位邊界條件

$$\eta = BC \dots\dots\dots(2-49)$$

式中

$$c_e = \sqrt{gH} \dots\dots\dots(2-50)$$

其中 H 為任意水深， g 為重力加速度， $\bar{U}$ 為垂直平均速度， η 為水位， BC 表示由使用者自行指定。

2.3 數值方法

2.3.1 網格配置

模式中的控制方程式包含了傳輸速度較快的表面重力波，以及傳輸速度較慢的內部重力波，在數值計算上區分為計算正壓流的外部模式及計算斜壓流的內部模式，此種方法就是所謂的 mode splitting，如下圖 2-2 所示。模式的計算上外部模式為計算速度較快的表面重力波，計算時間較短且將流速依垂直方向取平均值，以求得水平傳輸量，因此只有二維的運算。內部模式則為計算速度較慢的內部重力波，計算時距可以取的較長但是需要較高的空間解析度，所以採用三維空間網格。如此兩種不同計算技巧的運用可以大大減少電腦運算時間。在空間網格的設定上，水平方向採用 Arakawa C-grid 系統，是一種交錯的網格分布，如圖 2-3、2-4 所示。水平速度 U 、 V 分別位於東、西、南、北向的格網中間，至於其他的變量，例如水位 η ，垂直方向的流速 W ，溫度 T 以及鹽度 S 等等，則位於網格中間。

2.3.2 數值離散

關於數值離散方面，在三維模式中可將計算分為垂直與水平傳導與擴散兩步驟，在 POM 模式中將垂直方向分量以隱式 (implicit) 積分，而水平分量以顯式 (explicit) 積分。例如以溫度平衡方程式可離散成

$$\frac{\partial DT}{\partial t} + Adv(T) - Dif(T) = \frac{1}{D} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(K_H \frac{\partial T}{\partial \sigma} \right) - \frac{\partial R}{\partial \sigma} \dots\dots\dots (2-51)$$

其中 $Adv(T)$ 與 $Dif(T)$ 分別表示水平傳導項與水平擴散項。而時間積分採用兩步驟法分割水平與垂直分量，如下式表示，

$$\frac{\tilde{D}\tilde{T} - D^{n-1}T^{n-1}}{2\Delta t} = -Adv(T^n) + Dif(T^{n-1}) \dots\dots\dots (2-52)$$

$$\frac{D^{n+1}T^{n+1} - \tilde{D}\tilde{T}}{2\Delta t} = \frac{1}{D^{n+1}} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(K_H \frac{\partial T^{n+1}}{\partial \sigma} \right) - \frac{\partial R}{\partial \sigma} \dots\dots\dots (2-53)$$

式中 n 表示積分時間。由於模式在時間計算上採用蛙跳差分法的技巧，為了消除微小數值震盪，故需藉由濾波器來使數值結果平滑化，如下式所示，

$$T_s = T + \frac{\alpha}{2} (T^{n+1} - 2T^n + T^{n-1}) \dots\dots\dots (2-54)$$

其中 T_s 是平滑化的解， α 取 0.05。

在空間離散方面，POM 模式採用有限體積 (finite volume) 的概念，則水平傳導項可離散為，

$$-Adv(T)h_x h_y = \delta_x (Dh_y UT) + \delta_y (Dh_x VT) + h_x h_y \frac{\delta_\sigma(\omega T)}{\Delta \sigma} \dots\dots\dots (2-55)$$

式中， h_x 與 h_y 分別表示 x 與 y 方向格網間距。 δ 表示不同方向之離散方法，在 POM 模式預設為中央差分法。而模式的計算流程與相對應的副程式如圖 2-5 中所示。

2.3.3 穩定條件

在水深積分模式中即外部模式，以及傳輸方程式計算時所取時距限制是根據 Courant-Friedrichs-Levy (CFL) 計算穩定條件

$$\Delta t_E \leq \frac{1}{C_t} \left| \frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right|^{-1/2} \dots\dots\dots (2-56)$$

其中

$$C_t = 2(gH)^{1/2} + U_{\max} \dots\dots\dots (2-57)$$

式中 $U_{\max}$ 是可預期的最大速度，實際應用上的穩定條件會比上式的估計約小 90%。而以類似的方式估計內部模式計算時所取時距限制為，

$$\Delta t_I \leq \frac{1}{C_T} \left| \frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right|^{-1/2} \dots\dots\dots (2-58)$$

其中

$$C_T = 2c + U_{\max} \dots\dots\dots (2-59)$$

C_T 是最大內部重力波速，一般尺度約為 2 m/s， c 表示波速。 $U_{\max}$ 是最大傳導速度。在一般應用於海岸模式的情況下， $\Delta t_I / \Delta t_E$ 的比率約為 30 至 80 之間。除上述條件之外，仍有兩個額外的限制會影響 POM 模式的數值穩定性，其中與動量方程式中水平擴散項有關的穩定條件，依照上述方式可推論其條件為：

$$\Delta t_I \leq \frac{1}{4A} \left| \frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right|^{-1} \dots\dots\dots (2-60)$$

其中 $A = A_M$ 或 $A = A_H$ 。而科氏力項可能造成的穩定條件為：

$$\Delta t_I \leq \frac{1}{2\Omega \sin \phi} \dots\dots\dots (2-61)$$

根據上述條件，在計算時必須注意計算時距大小的設定。此外，由於 σ 座標的關係，會在靠近海岸處形成不可計算的奇異點，故在水深給定時必需設定最小水深，在 POM 模式預定的最小水深為 10 公尺，但可隨計算案例的不同給定可能的最小水深。

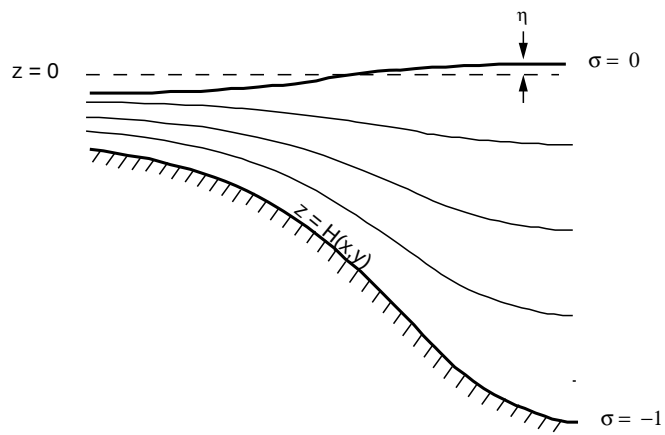


圖 2-1 σ 座標系統 (Mellor , 2003)

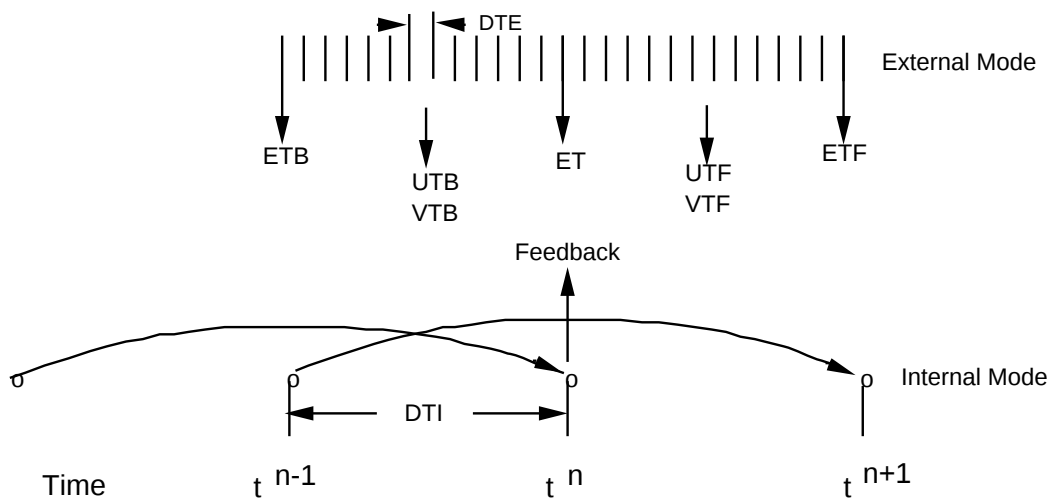


圖 2-2 內外模相嵌示意圖 (Mellor , 2003)

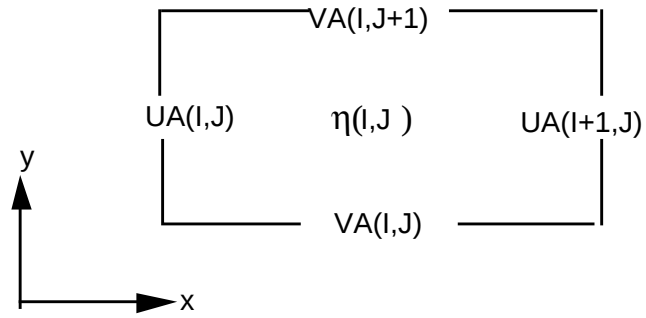


圖 2-3 二維外部模式網格配置圖 (Mellor , 2003)

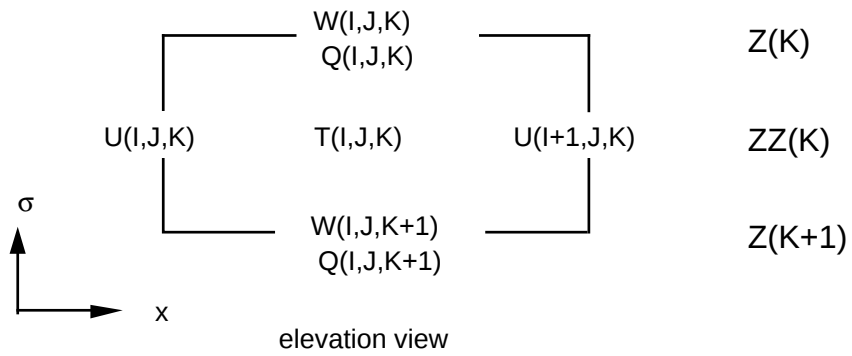
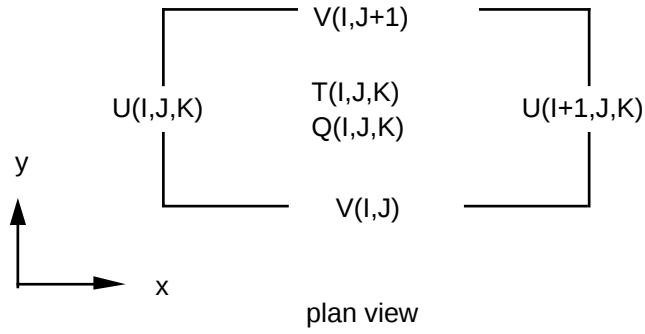


圖 2-4 三維內部模式網格配置圖 (Mellor , 2003)
(Q 表示 K_m 、 K_h 、 q^2 或 $q^2 l$ 。T 表示 T 、 S 或 ρ)

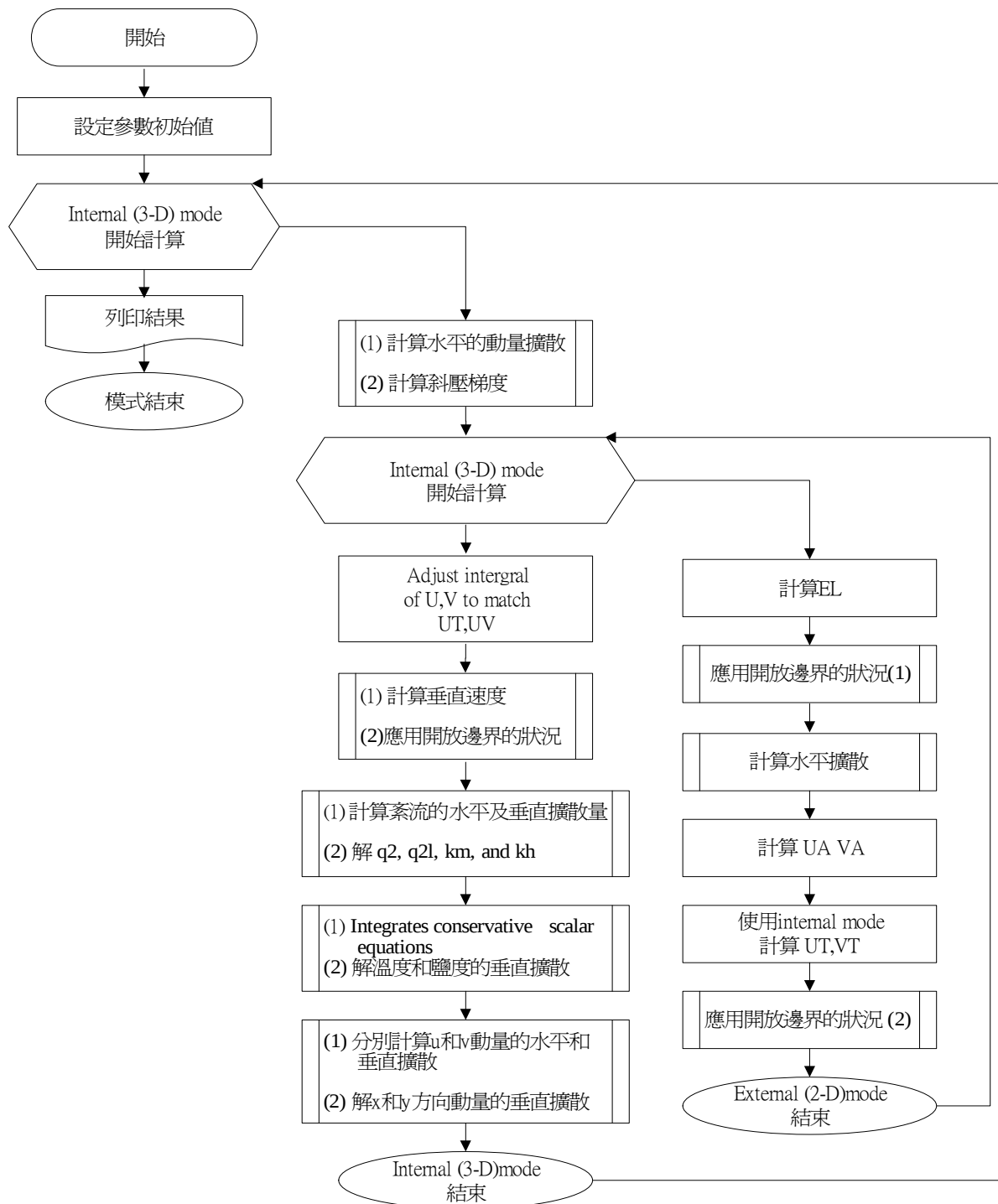


圖 2-5 POM 模式之計算流程圖

第三章 POM海洋水動力模式之潮流數值模擬

3.1 硬體設備

本研究應用新近引進建置之 POM 三維海洋水動力模式進行臺灣環島鄰近海域之潮流流場數值模擬計算。而為配合 POM 模式的運作需要，硬體設備以建置一台個人電腦為主。主要的配置包含：Intel Core 2 CPU 6600 2.4GHz 雙核心處理器、高效能 Intel 處理器相容主機板、DDR2 2GB 隨機動態主記憶體、兩部 200GB SATA 硬碟、ATI 3D 顯示卡、及一台液晶顯示器。

3.2 軟體環境

3.2.1 作業系統

POM 模式並未限制模式之執行環境，惟考量未來的擴充性及為降低模式發展與執行時所遭遇的阻礙，本研究因此選定以 Linux 作業系統作為主要的系統環境。

Linux 作業系統近幾年來發展迅速，不論是伺服器或桌面應用，皆有相當數量的開放性源碼(open source)軟體可供支援選擇，尤其在科學運算與數據處理上，更是有許多自由軟體(freeware)可供應用，如此可大大降低軟體購置費用，同時可有效增加系統未來的擴充性。

在眾多的Linux作業系統中，本研究採用美國Novell公司所負責維護的openSUSE 10.2 (x86_64)套件，使用Linux-2.6.18.8-0.13-default x86_64 核心，主要的採用考慮，包括其具有執行速度最佳化、更廣泛的硬體支援、有效率的檔案系統與電源管理等特點。使用者可自由地自官方網站：http://en.opensuse.org/Welcome_to_openSUSE.org下載安裝光碟。本研究所下載安裝的作業系統為openSUSE 10.2 64bit版本。圖3-1所示即為軟硬體安裝建置完成後，電腦作業系統之總體資訊。

3.2.2 必要配合軟體

POM 模式為一源碼開放軟體，其利用標準 FORTRAN 77 程式語言開發，故需要 FORTRAN 編譯器才可編譯程式。為了程式執行與開發，本研究由合作研究單位購置 Intel Fortran for Linux 來解決編譯程式的問題。而 Intel Fortran for Linux 具有標準 FORTRAN 77、90 與 95 的編譯能力，有卓越的浮點計算能力、最佳化的執行速度、多執行緒程式的編譯能力與支援 64 位元作業系統等特點。其安裝方式與步驟如下：

- (1) 放入安裝光碟，以終端機視窗與管理者身分鍵入『./media/Linux_CD1/CD/common/BITS/FCOMP/install.sh』指令進入安裝程序。
- (2) 輸入授權密碼檔案路徑與檔案名稱。
- (3) 選擇安裝 EMT64 之 64 位元版本與 32 位元版本之編譯器。
- (4) 選擇安裝 Intel Debug 除錯器，即完成全部安裝程序。
- (5) 安裝程序完成後，必須再以管理者身分在終端機視窗中鍵入『echo 'source /opt/intel/fc/9.1.036/bin/ifortvars.sh' >> /etc/bash.bashrc.local』，其中/opt/intel 為安裝目錄，而 fc 為版本型態可分為 fc 之 32 位元版本與 fce 之 64 位元版本，9.1.036 為版本編號依其安裝版本進行變更，而/etc/bash.bashrc.local 為系統環境變數設定檔。
- (6) 完成上述步驟後，本機使用者即皆可透過 ifort 指令，進行 FORTRAN 程式的編譯。

除了編譯器的設定外，由於 POM2K 版本增加了 NetCDF 程式庫的支援，而 NetCDF (network Common Data Format) 最早是由美國國家科學委員會資助之 Unidata 計畫所發展，其用意是提供一種可以通用的資料存取方式，資料的形狀包括單點的觀測值、時間序列、規則排列的網格、以及人造衛星或雷達之影像檔案。其資料格式廣泛應用於大氣與海洋研究中，為一自我描述資料的格式、並且可以跨越平台和機器的限制，現有之 NetCDF 程式庫可提供 C、Fortran、C++、Perl、或其

他語言的聯結，以讓程式發展者可以快速的讀寫資料檔案。

NetCDF 亦為開放源碼軟體，其官方網站為<http://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/>，使用者可自由下載，其最新版本為 NetCDF 4.0。

NetCDF 檔案，主要均包括下列幾個部分：維度 (dimensions)，多維資料結構，例如 latitude、longitude、layers 與 time 等；變數 (variables)，各種變數，例如 temperature、salinity 與三維流速資料等；屬性 (attributes)，輔助記憶的說明檔頭；資料 (data)，主要的資料部分。由於 NetCDF 是利用位元形式來儲存資料，故讀寫資料都必須透過 NetCDF 程式庫來完成，以下簡述其安裝步驟：

- (1) 下載 NetCDF 軟體後，將解壓縮檔案，自由選擇安裝之目錄位置。
- (2) 解壓縮的方式與步驟，可於終端機視窗的命令列中，輸入『gunzip netcdf-3.6.2.tar.gz』及『tar -xf netcdf-3.6.2.tar』以完成解壓縮程序。
- (3) 執行目錄下之組態設定，輸入『cd netcdf-3.6.2』及『./configure -prefix=/opt/netcdf』，其中安裝目錄/opt/netcdf 使用者可自行指定。
- (4) 編譯程式，輸入『make check』，並利用系統管理者身分(root)安裝程式，輸入『make install』，即可將 NetCDF 程式庫安裝至使用者指定之目錄位置。

3.3 資料蒐集

3.3.1 海表面風場資料

在風場資料方面，本研究蒐集美國 UCAR (University Corporation for Atmospheric Research) 資料庫中 QSCAT/NCEP 混合風場資料，其資料混合了 QuickSCAT 衛星風場資料與 NCEP 氣象中心模式的分析場，其資料時間範圍為 1999 年 07 月至 2006 年 06 月，時間解析度為 6 小時，空間解析度為 0.5 度，資料範圍涵蓋全球，資料格式說明如表 3-1 所示。原資料網址為<http://dss.ucar.edu/datasets/ds744.4/>。

此外，本研究亦蒐集了NCEP/NCAR分析風場資料，其資料為模式運算後資料同化之輸出結果，資料時間範圍自 1948 年至今，時間解析度為 6 小時，空間解析度約為 2.0 度，資料範圍涵蓋全球，資料格式說明如表 3-2 所示。原資料網址為 <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis.html>。

3.3.2 海平面大氣壓力資料

關於海平面大氣壓力資料，本研究蒐集了NCEP/NCAR分析海平面大氣壓力場資料，其資料與NCEP/NCAR海表面風場資料相同為模式運算後資料同化之輸出結果，資料時間範圍自 1948 年至今，時間解析度為 6 小時，空間解析度為 2.0 度，資料範圍涵蓋全球，資料格式說明如表 3-3 所示。資料網址為 <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis.html>。

3.3.3 海面溫度

關於海面溫度資料，本計畫蒐集了NOAA海面溫度資料，其資料為資料測站與衛星資料利用最佳內插法之輸出結果，資料時間範圍自 1990 年至今，時間解析度為 7 天，空間解析度為 1.0 度，資料範圍涵蓋全球，資料格式說明如表 3-4 所示。資料網址為 <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.noaa.oisst.v2.html>。

3.3.4 海洋鹽度與溫度

關於海洋鹽度與溫度，本計畫蒐集了NODC (National Oceanographic Data Center) 的WOA (World Ocean Atlas) 海洋水文資料庫，其分析場資料包含海洋溫度、鹽度、溶氧、磷酸鹽、矽酸鹽等資料，資料時間為 2005 年，水平空間解析度為 1.0 度，垂直方向共有 33 層，分別位於 0、10、20、30、50、75、100、125、150、200、250、300、400、500、600、700、800、900、1000、1100、1200、1300、1400、1500、1750、2000、2500、3000、3500、4000、4500、5000 與 5500

公尺，其資料範圍涵蓋全球，資料格式說明如表 3-5 所示。資料網址為 http://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOA05/pr_woa05.html。

3.3.5 潮位資料

潮位資料的來源是利用NAO99b潮位模式，其係為日本國家天文觀測局(National Astronomical Observatory) 所建立，該潮位模式曾利用TOPEX/POSEIDON衛星測高儀資料進行模式資料同化處理，並配合Schwiderski (1980)所推導的潮汐動力學方程，發展出可計算全球海域各主要分潮特性分布的資料庫。該資料庫中包括有兩種解析度，第一種為日本近海的區域模式，解析度為 1/12 度；第二種為全球模式，解析度為 0.5 度。主要資料的下載網址為http://www.miz.nao.ac.jp/staffs/nao99/README_NAOTIDE_En.html。有興趣的使用者可前往該網址自由下載。

3.4 POM模式建置

POM 模式為一源碼開放軟體，可由官方網站上，依其需要自由下載、修正、與安裝，其網址為<http://www.aos.princeton.edu/WWWPUBLIC/htdocs.pom/index.html>，本研究所使用的是 POM2K 版本，發表日期為 2006 年 5 月 3 日。

由於 POM 模式的原始程式中，並未提供完整的前置資料輸入選項，因此，使用者必須自行建立輸入資料的介面，並依計算方案的不同，提供相對應的輸入控制資料。而為了方便模式之應用與執行，本研究因此先進行前置資料輸入介面的發展，俾在研究期間，提供快速的前置資料輸入準備。圖 3-2 所示即為應用 POM 模式之前後資料整理流程圖。由圖觀察可見，輸入的資料，必需先經由前置處理程式，將海面邊界與側向潮位邊界資料等，透過內插法內插至 POM 模式格網上，再透過 POM 模式進行模擬，之後輸出格網上流速、鹽度、溫度、密度等變數資料，再經由後置處理程式，分析各種變量之變化趨勢並

繪製圖表。

在現有模擬應用上，POM 模式的運作與相關檔案，大致上可分為：原始程式、可執行程式、輸出入資料、與命令腳本檔等四大類檔案。在原始程式方面，主要是以 Fortran 程式開發，故其副檔名為 f90、f、inc 與 h，經編譯後之可執行程式則是以 exe 做為附加檔名；在輸出入資料方面，副檔名 in 為可執行程式之命令輸入檔，inp 與 dat 則為可執行程式之資料輸出入檔，nc 則為 NetCDF 資料格式檔案；在命令腳本檔方面，其主要是使用 linux shell script 所自行開發，當有長期距大量執行 POM 模式計算模擬與資料分析需求時，使用者可以透過此命令腳本，藉以省去繁複資料輸入檔製作之不便。

POM 模式建置完成後，總體詳細的操作使用與資料處理流程，如圖 3-2 所示。至於 POM 模式的運作與相關檔案的詳細說明，請參考本研究合作研究計畫：『臺灣環島海域海洋數值模式之引進及建置』(計畫編號：MOTC-IOT-96-H3DB005)報告書(歐 等，2008)之附錄。

3.5 POM模式的相關應用與驗證

POM三維海洋水動力模式的相關應用與研究，國內外皆有不少學者專家不斷的從事投入，詳細的應用資料，可參考下列的網頁資訊：<http://www.aos.princeton.edu/WWWPUBLIC/htdocs.pom/publications.htm>。至於國內的相關應用研究與驗證，整理說明如后。

3.5.1 風剪力推升水位

由於海面風力的作用，在 POM 模式中，風力會以海面風剪應力的形式造成海面變動與海水的流動，此種現象在渠道或大陸棚上，將特別明顯。例如在臺灣西海岸，由於海岸坡度平緩，故而，由風所引致的水位變化常是不可忽略的。基於此一海洋物理的水動力特性，歐 等(2008)曾以 POM 模式，測試均勻向岸風力在海岸上所造成的水位推升特性，並將其結果與理論分析結果相比較，以下即為其研究應用與驗

證的簡略摘述。

在應用 POM 模式進行模擬計算之前，首先選取一東西向長 50 公里、寬 25 公里的計算範圍，如圖 3-3 所示。在計算範圍內，設定格網間距為 500 公尺，垂直方向取為 31 層，西側邊界之水深設定為 20 公尺，東側邊界則取為海岸線，底床坡度因此為 1/250，風場假定為具 32 m/s 風速之均勻向岸風。依據 Dean & Dalrymple (1991) 之經驗理論，若只考慮底床與水表面之剪應力作用，則斜坡底床上，風所引致之水位推升高度變化可寫成下式，

$$\frac{x}{l} = \left(1 - \frac{h + \eta}{h_o}\right) - A \ln \left(\frac{\frac{h + \eta}{h_o} - A}{1 - A} \right) \dots\dots\dots (3-1)$$

式中 $A = n\tau_{wx}l / \rho gh_o^2$ ， τ_{wx} 為海表面風剪應力， $n = 1 - \tau_{bx} / \tau_{wx}$ 的範圍為 1.15 至 1.30 (Shore Protection Manual, 1977)，在此採用 1.22。 l 為吹風距離，在此取為計算領域之長度。 h_o 為外海水深。應用 POM 模式進行模擬計算，所得相關水位推升高度變化之模擬計算結果，如圖 3-4 所示，圖中，圓點為 POM 模式之模擬計算值，實線則為理論計算值，由圖比較理論值與計算值可知，兩者的結果彼此甚相符合，足見，POM 模式對於風力所引致近岸海域之水位推升高度變化模擬，具有甚佳的準確性。

3.5.2 淡鹽水混合

眾所週知，由於鹽度會影響水體密度，進而造成水體交換的現象，故此種測試，通常又稱為鎖定交換(lock exchange)測試。為進一步測試 POM 模式模擬海洋水體鎖定交換的準確性，歐 等(2008)再針對一長形等深渠道，在不同區域設定不同的起始鹽度，然後進行複雜的淡鹽水混合情況模擬。以下即為其研究應用與驗證的簡略摘述。

在一長 50 公里、寬 25 公里的長形等深渠道計算範圍內，設定格網間距為 500 公尺，垂直方向取 51 層，水深為 20 公尺，四周為封閉

邊界，渠道右側設定鹽度為 35 psu，與海水鹽度相近，而左側設定為 0.5 psu，與淡水鹽度相近。則在模擬計算之起始時刻(第 0 小時)，沿著 $y=12500$ 公尺處之橫切面鹽度分布圖，將可得如圖 3-5 所示。應用 POM 模式進行模擬計算，則在第 2 小時後，計算所得之鹽度分布圖，如圖 3-6 所示，由圖可看出，底層的鹽水，將向淡水側入侵，而表層的淡水則向鹽水側移動，形成淡鹽水自然交換的現象。圖 3-7 所示則為模擬第 12 小時後，計算所得的鹽度分布圖，由圖中可看到鹽水已經移動至 $x=42000$ 處，移動速度約為 0.4 公尺每秒。至於圖 3-8 則為第 72 小時後之模擬計算鹽度分布圖，由圖可見鹽度分布漸趨穩定，並形成均勻的分層狀態。

經由本測試，從淡鹽水混合情況之模擬結果可判知，POM 模式應用於模擬淡鹽水的混合交換過程，仍具有其符合實際之合理性。

3.5.3 臺灣鄰近海域洋流的模擬計算

為實際測試 POM 模式應用於模擬計算臺灣鄰近海域洋流的能力，國科會國家海洋科學研究中心亦曾應用 POM 模式進行北太平洋海域 (North Pacific Ocean, NPO)、東亞邊緣海域 (East Asian Marginal Seas, EAMS)、南海海域 (South China Sea Model, SCS)、北南海海域 (Northern South China Sea, NSCS)、臺灣周邊海域 (Seas Around Taiwan, SAT)、及臺灣海峽海域 (Taiwan Strait Mode, TS) 洋流的模擬研究 (Wu et al., 2005; Wu and Hsin, 2005; Wu and Chang, 2005; 盧、吳, 2005; 張 等, 2006; 江 等, 2006; 盧 等, 2007)，相關研究成果可參照該中心海洋資料庫之「海流數值模式展示」(<http://www.ncor.ntu.edu.tw/ODBS/Achievement/numerical/main.html> ; <http://140.112.65.17/odbs/Achievement/numerical/main.html>)。圖 3-9 及圖 3-10 分別即為其東亞邊緣海及臺灣周邊海域模式之洋流模擬結果。

由圖綜合觀察可見，在臺灣鄰近海域，尤其是在臺灣南北兩端近岸海域的洋流，其詳細的洋流流場型態與特性，明顯可應用 POM 模式加以準確的模擬並呈現。

3.6 臺灣鄰近海域潮流的模擬計算

從 ETOPO2 地形水深資料庫，萃取圖 3-11 所示之臺灣鄰近海域模式計算範圍與地形水深，格網範圍為東經 116 度至東經 126 度，南北範圍為北緯 19 度至 29 度，格網間距取為 0.05 度。邊界條件採用 Matsumoto 等人(2000)所提出的 NAO99b 模式進行天文潮位邊界設定，即以 NAO99b 天文潮位模式的輸出結果，做為 POM 模式進行天文潮推算所需的驅動動力，忽略氣壓及風力的影響，設定 imode=4，即在計算海域內設定等溫鹽度，再設定計算時距為 5 秒，因此，應用 POM 模式進行臺灣鄰近海域一年期的潮流模擬計算後，可得 2005 年 2 月臺灣鄰近海域全月之逐時潮流流場型態變化，分別如圖 3-12 至圖 3-35 所示。圖中，潮位的變化型態，以色階圖表示；而流場的變化型態，則以箭矢方向及大小表示。

連續觀察圖 3-12 至圖 3-35 所示臺灣鄰近海域全月之逐時潮流流場型態變化可知，當臺灣海峽處於潮汐之漲潮時期，潮流會分別自海峽南北兩端向海峽中段海域匯集流入；而當臺灣海峽處於潮汐之退潮時期，潮流會自海峽中段海域分流，並分別向海峽南北兩端流出。另外，不論在漲退潮期，在臺灣南北兩測的陸架緣區，潮流的流速皆甚強勁。其中，值得特別注意的是，在澎湖南端及臺灣灘海域，潮流在一漲退潮週期內，流速大小及流向並不完全相似，可見，在此一特殊的淺水海域中，潮殘餘流的存在性及其型態與流速強弱大小的變化，將特別值得關注。

有關臺灣鄰近海域的潮流，莊、江(2000~2005)曾應用二維非線性淺水波模式：MIKE21_HD 進行系列的研究。圖 3-36 與圖 3-37 分別即為其在臺灣鄰近海域臺灣海峽正值退潮與漲潮期的潮位與潮流模擬結果。

將應用不同海流水動力模式模擬計算所得的潮流型態變化相互對照比較，概略的可發現，本研究現階段經初步運轉測試的潮流模擬結果(圖 3-18 及圖 3-28)與莊、江(2000~2005)之相關結果(圖 3-36 及圖

3-37)，總體上在流場的空間分布與流速大小的變化型態上，彼此是甚相近似地。此一事實說明，本研究應用新近引進建置的 POM 模式，確實已可充分準確地模擬計算臺灣鄰近海域潮流的逐時變化型態。

而為進一步驗證應用 POM 模式模擬潮波逐時變化特性的準確性，本研究因此在臺灣西部海岸上，蒐集整理基隆、新竹、台中、及高雄等驗潮站位的實測潮位資料，並與模擬計算潮位進行驗證，結果如圖 3-38 所示。從圖觀察可知，在新竹及台中驗潮站上，具有大潮差的半日潮型實測特性(莊、江，2005)，透過模擬計算皆可對其準確掌握；至於在基隆及高雄驗潮站上，僅管其具有小潮差徧全日潮之混合潮型實測特性(莊、江，2005)，但透過模擬計算，潮位的總體特性與複雜地逐時變化型態，仍可充分準確地展現，至於其中部分模擬計算與實測的細微偏差，經檢討，應係選取計算海域範圍之人為邊界限制影響，及邊界控制潮位係應用 NAO99b 模式進行僅含括 16 個有限天文分潮進行預報邊界潮位設定所導致。進一步的檢核驗證，從比較基隆、新竹、台中、高雄、蟬廣嘴、成功、花蓮、蘇澳、澎湖、及金門等十處不同驗潮站位的的模擬計算與預報潮位的逐時變化結果之一致符合性，如圖 3-39 及圖 3-40 所示，可獲得確認。

基於以上應用 POM 模式針對臺灣鄰近海域模擬計算潮流逐時變化型態的良好展現，可預期地，相關的流場逐時資料(參見圖 3-12 至圖 3-35)將可進一步準確地應用於潮殘餘流流場的計算與評估。

表 3-1 QSCAT/NCEP 混合風場資料格式

屬性	設定值
時間範圍(period)	1999/07~2006/06
變數(variable)	表面風速(surface winds)
高度(level)	海平面 10 公尺高(10m)
資料型式(type)	格網化資料(grid)
資料範圍	時間解析度：6 小時；空間解析度為 0.5 度， 範圍含括：0.5E~360.0E；88.0S~88.0N
資料來源(source)	NWRA/CORA

表 3-2 NCEP/NCAR 分析風場資料格式

屬性	設定值
時間範圍(period)	1948/01/01~迄今
變數(variable)	表面風速(surface winds)
高度(level)	海平面 10 公尺高(10m)
資料型式(type)	192×94 格網化資料(Gaussian grid)
資料範圍	時間解析度：6 小時；空間解析度為 2.0 度， 範圍含括：0.0E~358.12E；88.542S~88.542N
資料來源(source)	NCEP/NCAR

表 3-3 NCEP/NCAR 海平面大氣壓力資料格式

屬性	設定值
時間範圍(period)	1948/01/01~迄今
變數(variable)	海平面大氣壓力(sea level pressure)
高度(level)	近海面(0.995 sigma level)
資料型式(type)	144×73 格網化資料(grid)
資料範圍	時間解析度：6 小時；空間解析度為 2.0 度， 範圍含括：0.0E~357.5E；90.0S~90.0N
資料來源(source)	NCEP/NCAR

表 3-4 NOAA OI 海面溫度資料格式

屬性	設定值
時間範圍(period)	1990~迄今
變數(variable)	海面溫度(sea surface temperature)
高度(level)	海面
資料型式(type)	180×360 格網化資料(grid)
資料範圍	時間解析度：7 天；空間解析度為 1.0 度， 範圍含括：0.5E ~ 359.5E；89.5S ~ 89.5N
資料來源(source)	NOAA

表 3-5 WOA05 海洋資料庫格式

屬性	設定值
時間範圍(period)	2005
變數(variable)	溫度 (temperature)、鹽度 (salinity)
高度(level)	33 層
資料型式(type)	格網化資料(grid)
資料範圍	空間解析度為 1.0 度， 範圍含括：0.0E ~ 359.0E；89.5S ~ 89.5N
資料來源(source)	NODC WOA

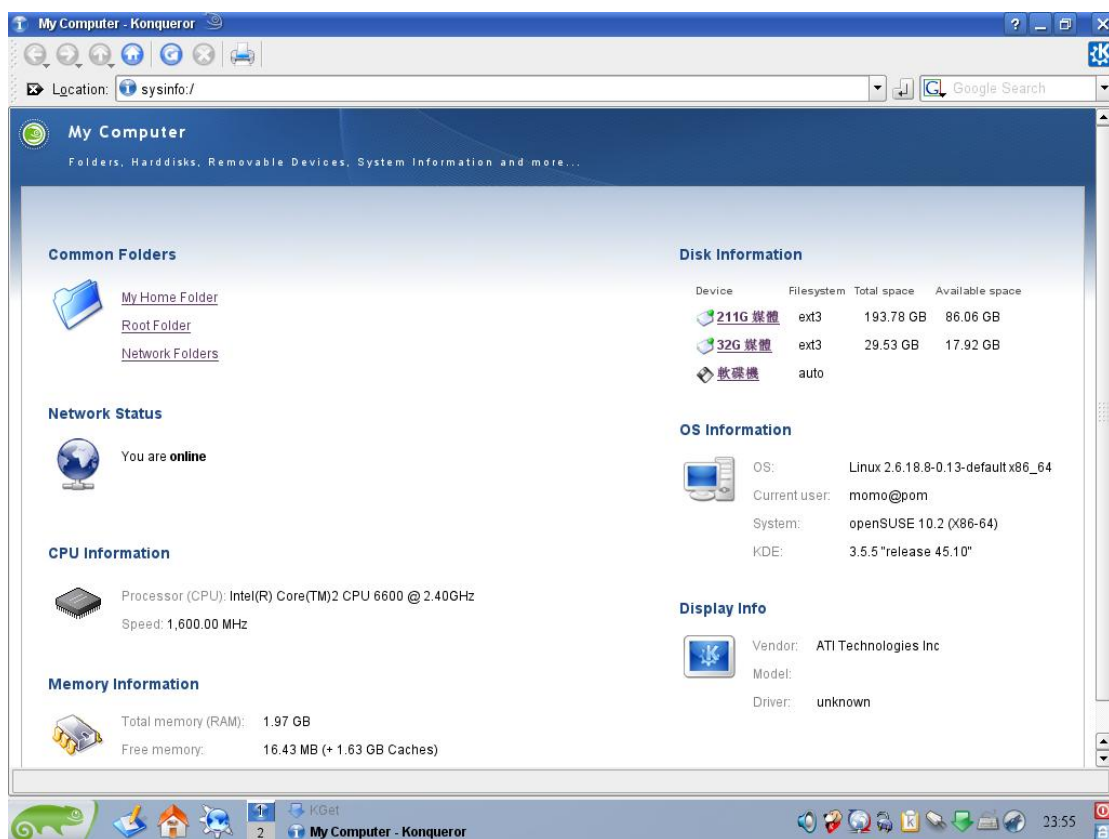


圖 3-1 Linux SUSE_10.2 電腦作業系統總體資訊

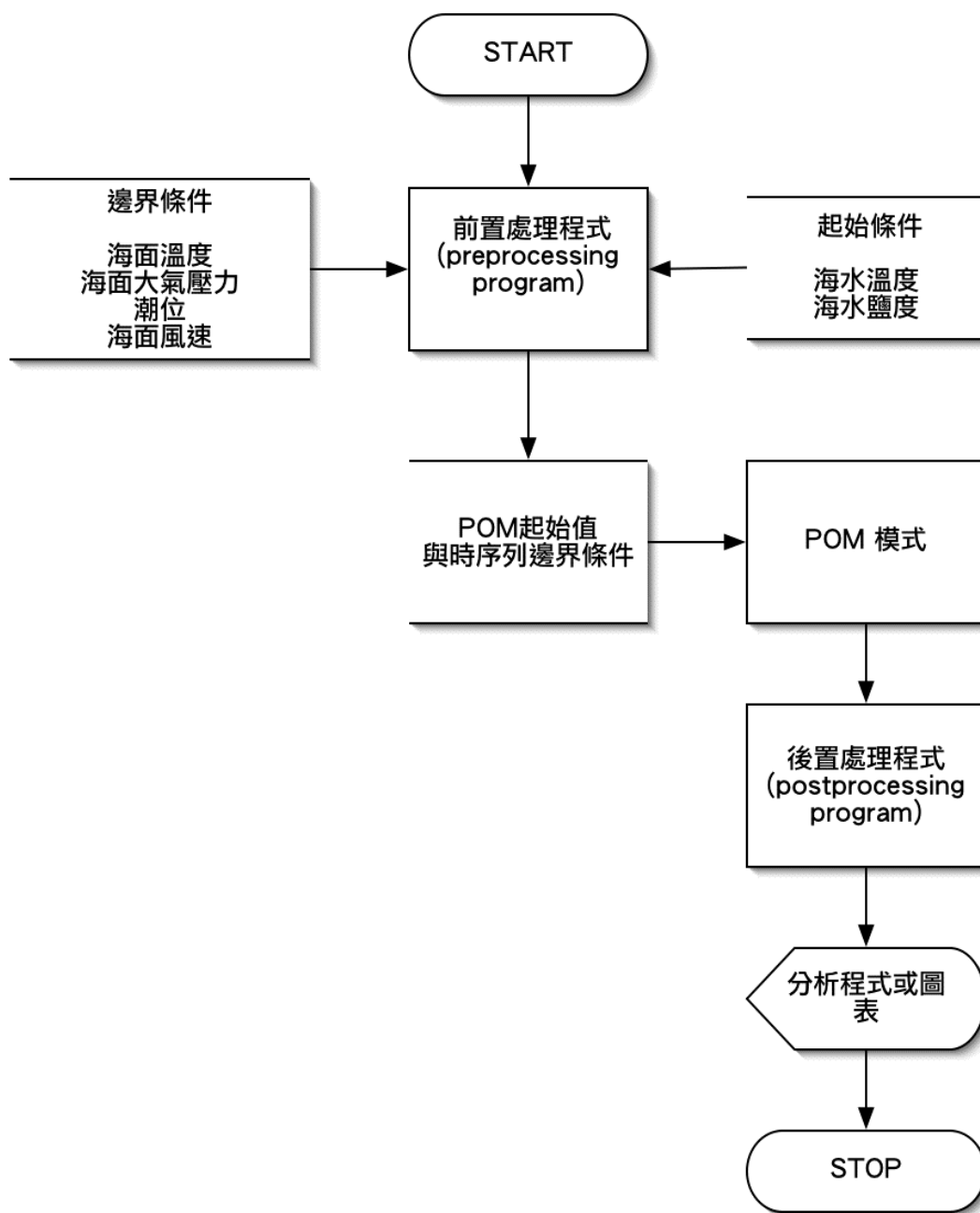


圖 3-2 POM 模式建置完成後之操作使用與資料處理流程

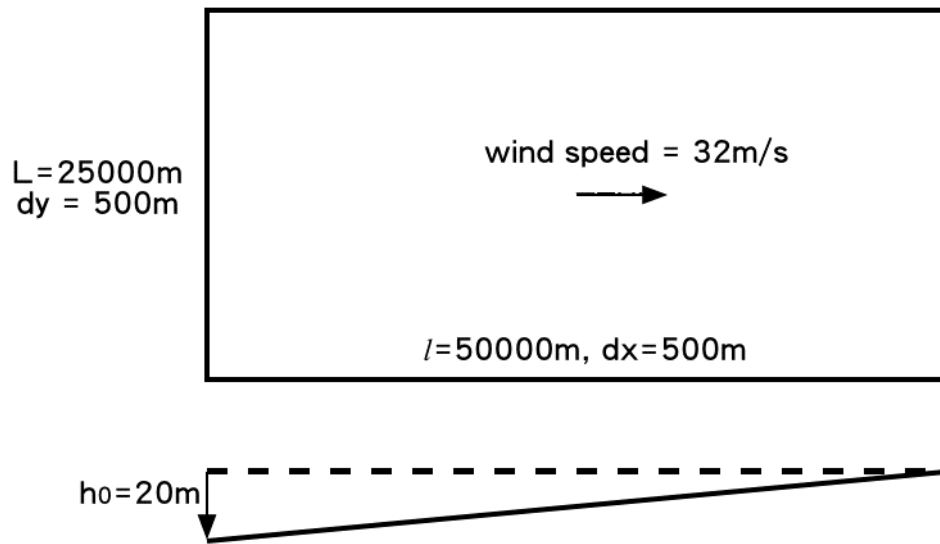


圖 3-3 風力引致水位推升之 POM 模式運轉測試設定示意圖

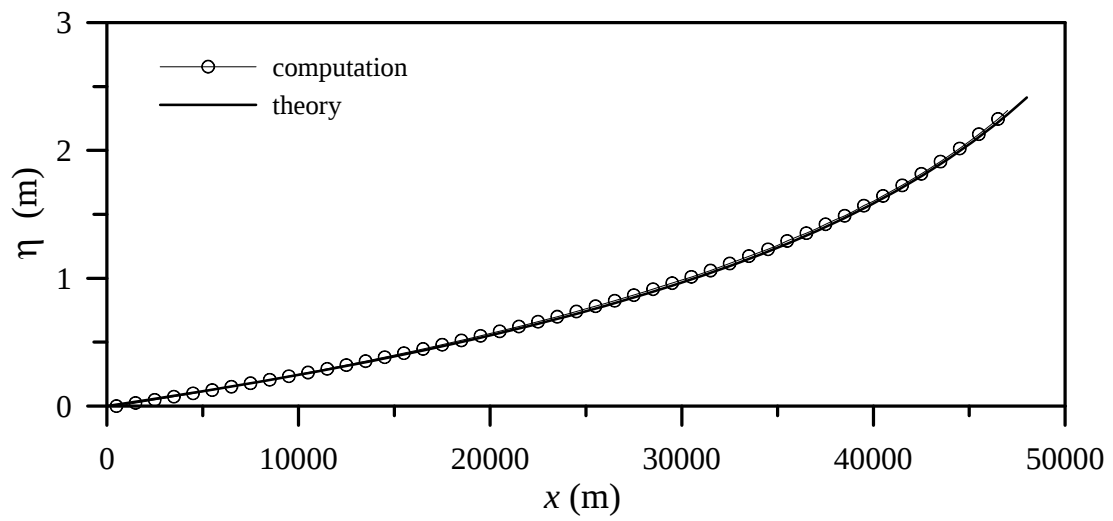


圖 3-4 風力引致水位推升之 POM 模式運轉測試模擬計算結果

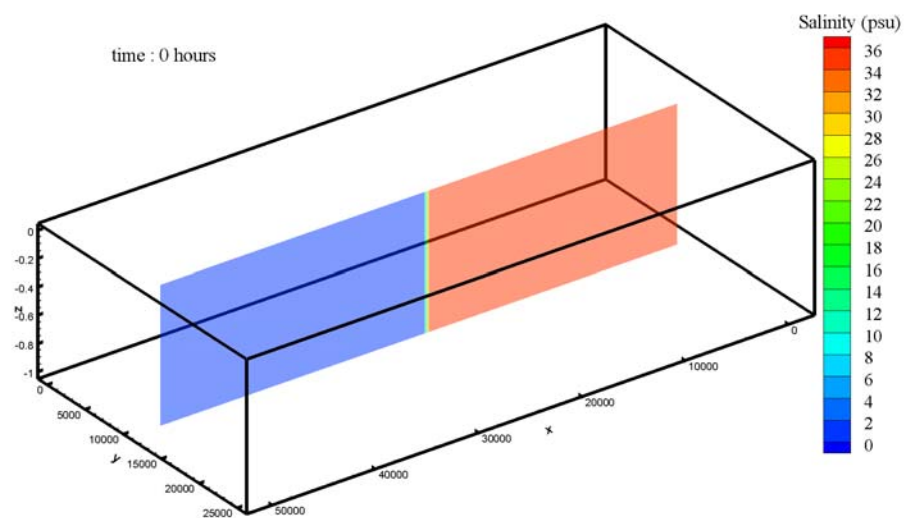


圖 3-5 POM 模式模擬計算淡鹽水混合交換過程之長形渠道配置與其中剖面第 0 小時之初始條件

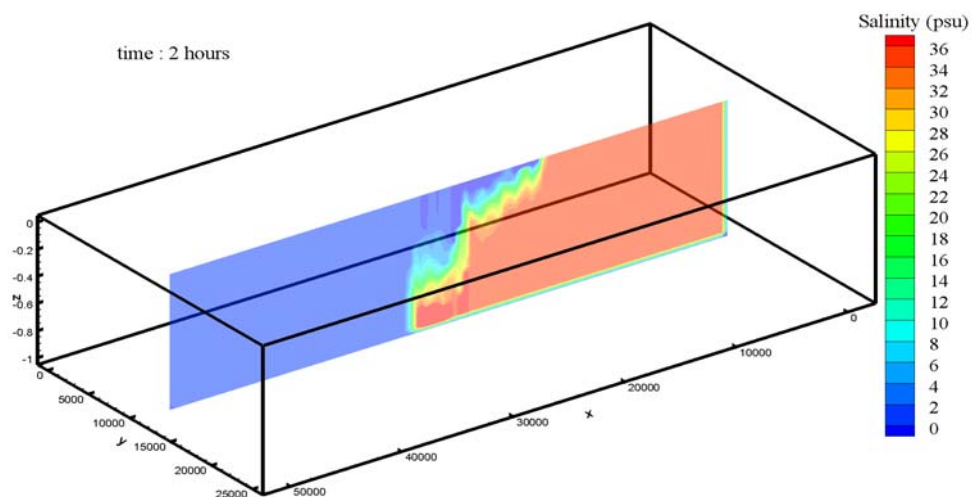


圖 3-6 POM 模式模擬計算淡鹽水混合交換過程之長形渠道配置與其中剖面第 2 小時之模擬計算結果

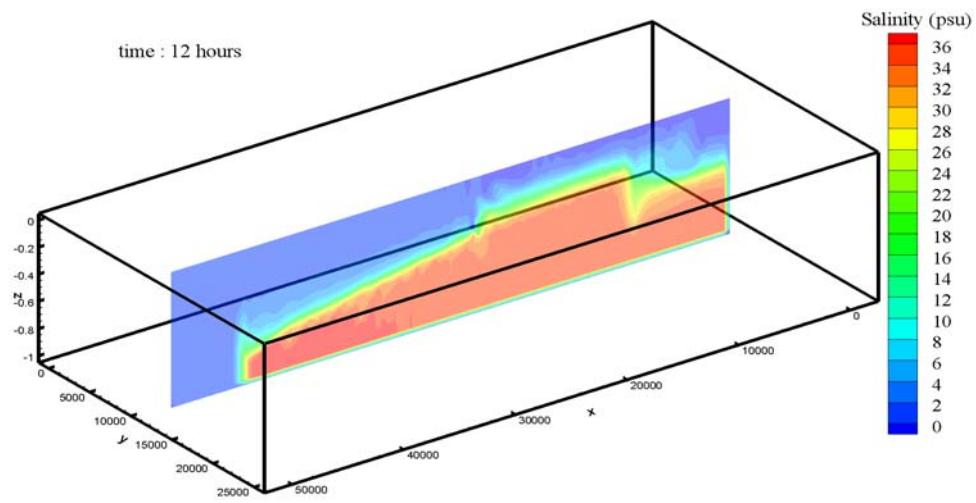


圖 3-7 POM 模式模擬計算淡鹽水混合交換過程之長形渠道配置與其中剖面第 12 小時之模擬計算結果

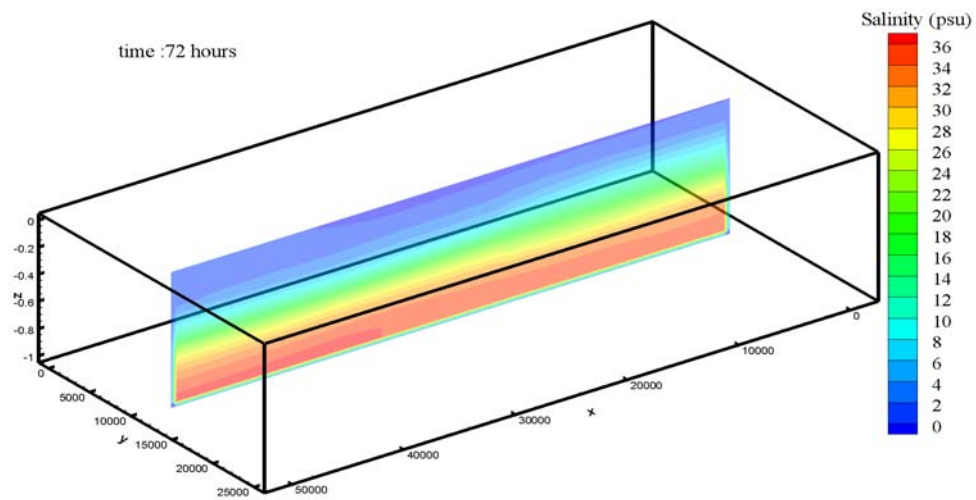
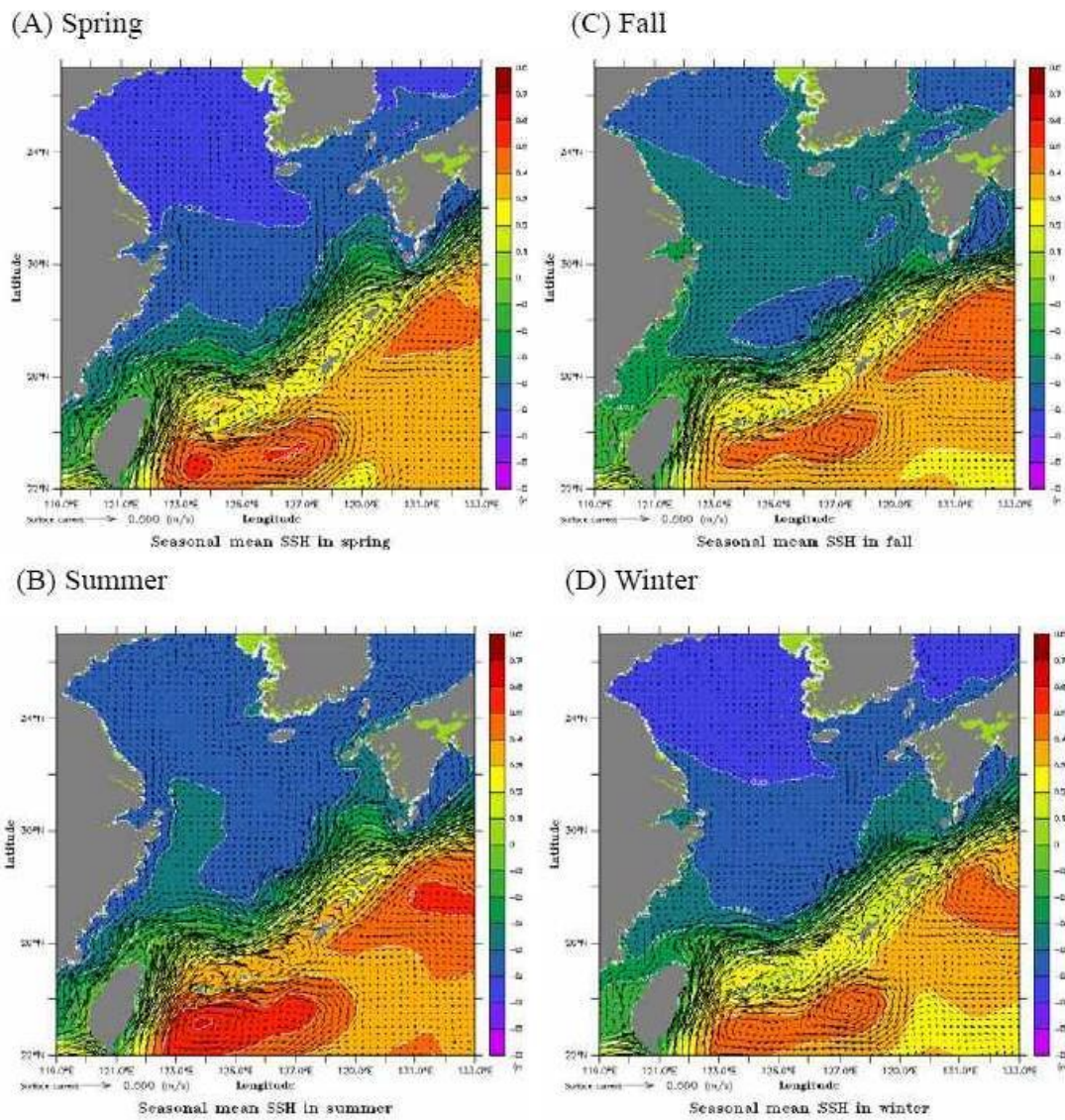


圖 3-8 POM 模式模擬計算淡鹽水混合交換過程之長形渠道配置與其中剖面第 72 小時之模擬計算結果



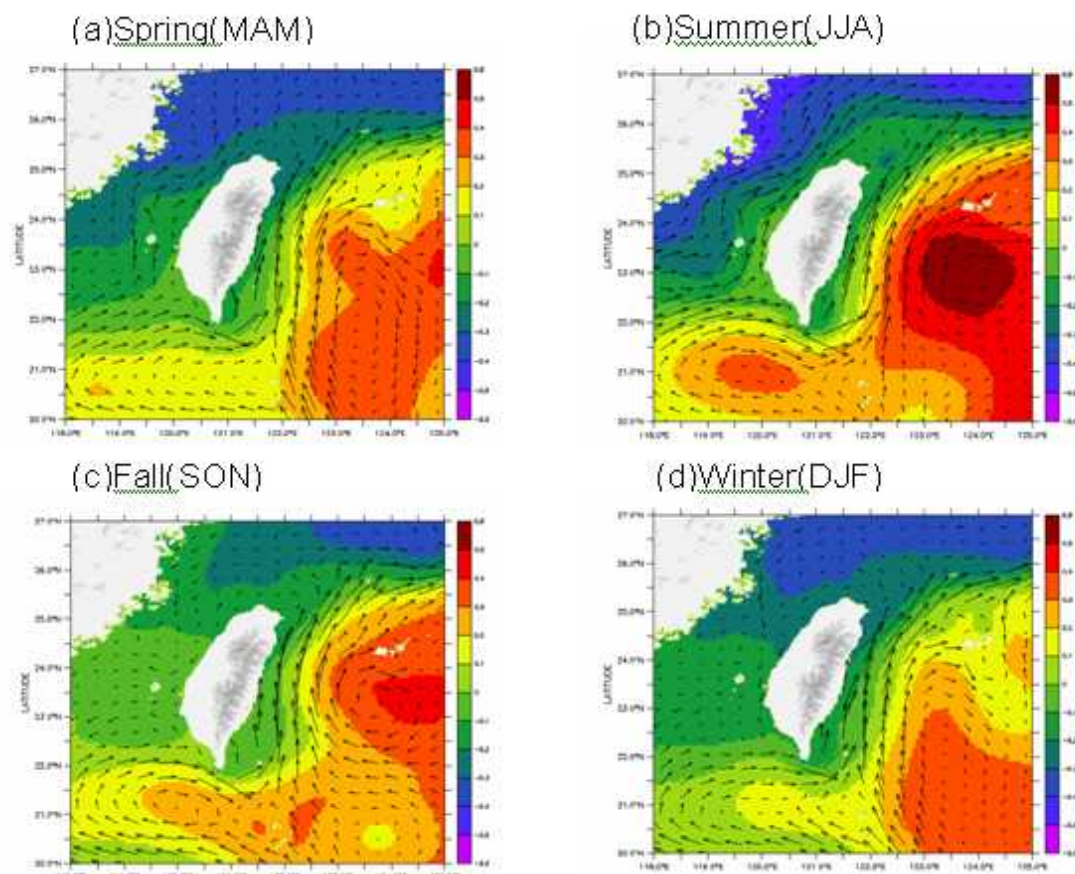
東海之四季表面流況及海平面分布

<http://www.ncor.ntu.edu.tw/ODBS/Achievement/numerical/main.html>

圖 3-9 東亞邊緣海模式洋流之模擬計算結果

(資料來源：國家海洋科學研究中心海洋資料庫：

<http://www.ncor.ntu.edu.tw/ODBS/Achievement/numerical/main.html>)



SAT 模式之春(a)、夏(b)、秋(c)及冬(d)季之
平均海水表面高度場與速度場之分佈圖。

 <http://www.ncor.ntu.edu.tw/ODBS/Achievement/numerical/main.html>

圖 3-10 臺灣周邊海域模式洋流之模擬計算結果

(資料來源：國家海洋科學研究中心海洋資料庫：

<http://www.ncor.ntu.edu.tw/ODBS/Achievement/numerical/main.html>)

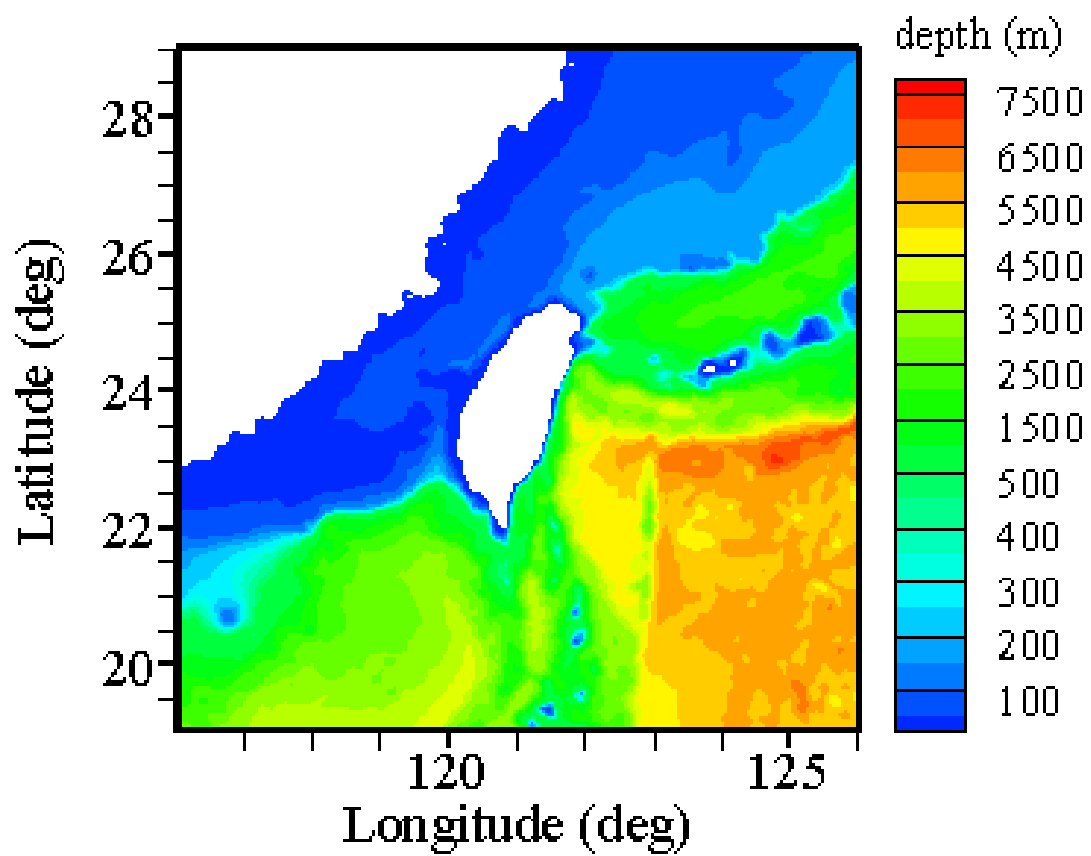


圖 3-11 臺灣鄰近海域模式之計算範圍與地形水深

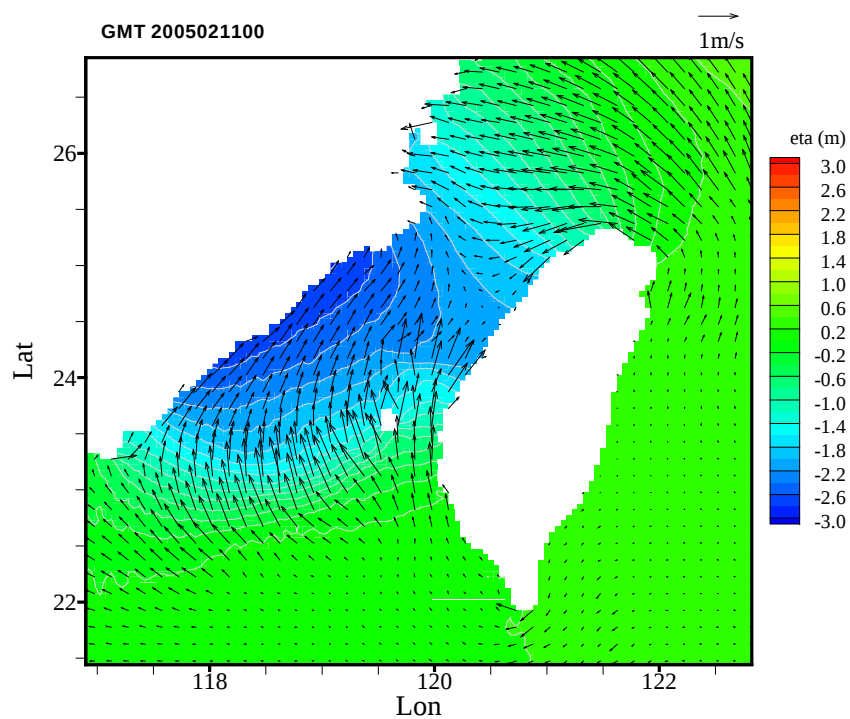


圖 3-12 應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 00:00 當臺灣海峽正值漲潮期的潮位(色階)與潮流(箭矢向量)流場逐時變化型態

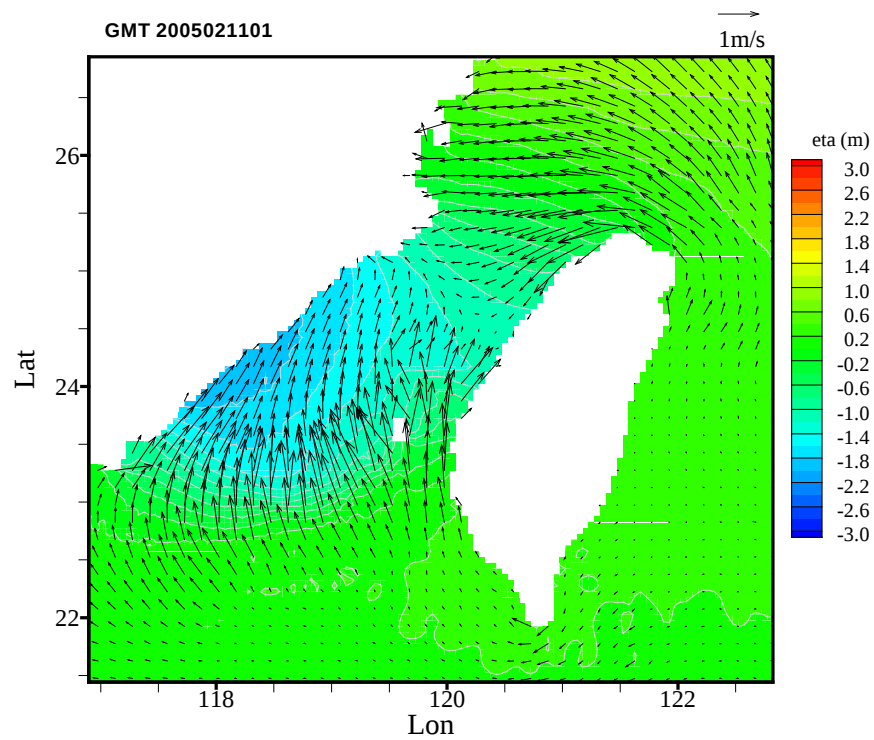


圖 3-13 應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 01:00 當臺灣海峽正值漲潮期的潮位(色階)與潮流(箭矢向量)流場逐時變化型態

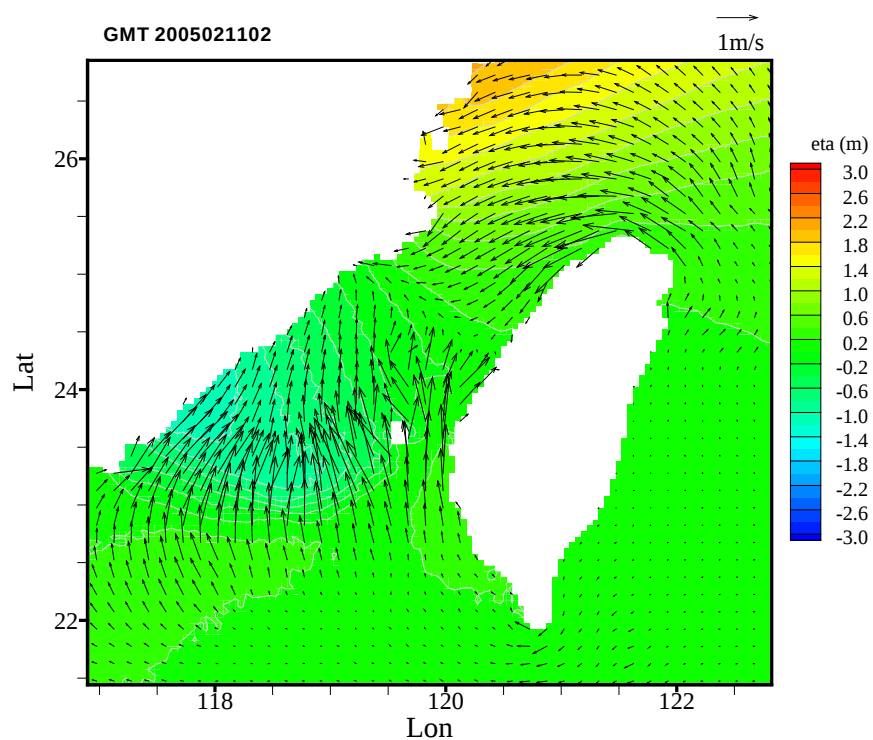


圖 3-14 應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 02:00 當臺灣海峽正值漲潮期的潮位(色階)與潮流(箭矢向量)流場逐時變化型態

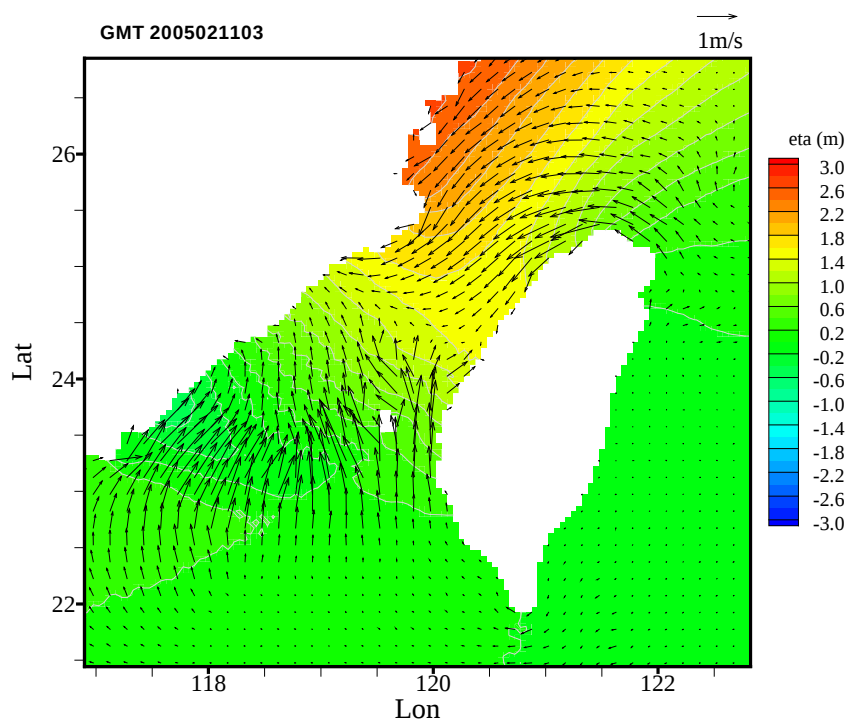


圖 3-15 應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 03:00 當臺灣海峽正值漲潮期的潮位(色階)與潮流(箭矢向量)流場逐時變化型態

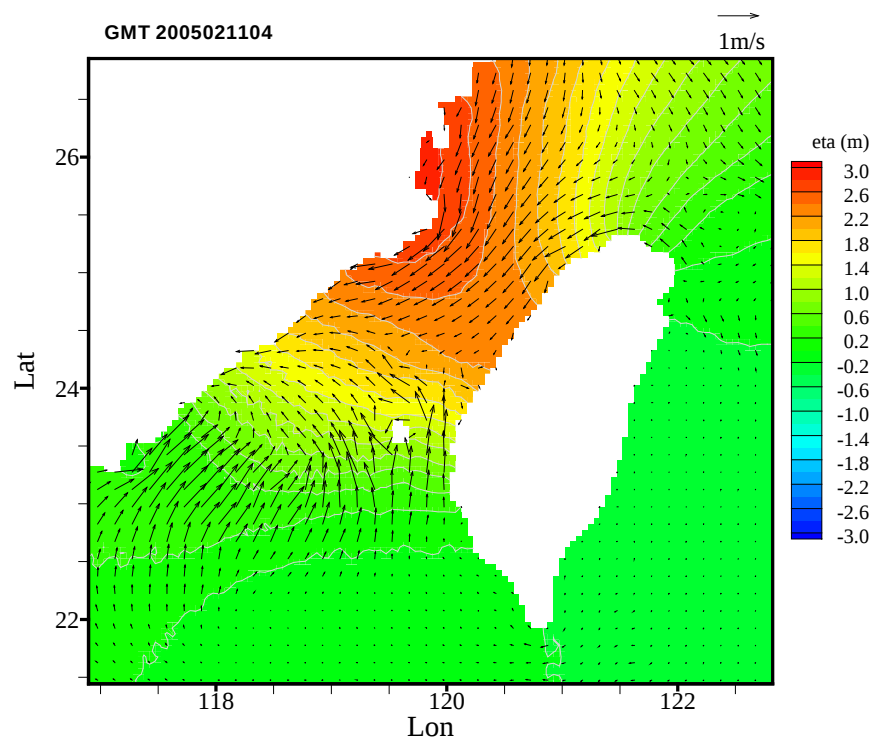


圖 3-16 應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 04:00 當臺灣海峽接近滿潮時刻的潮位(色階)與潮流(箭矢向量)流場逐時變化型態

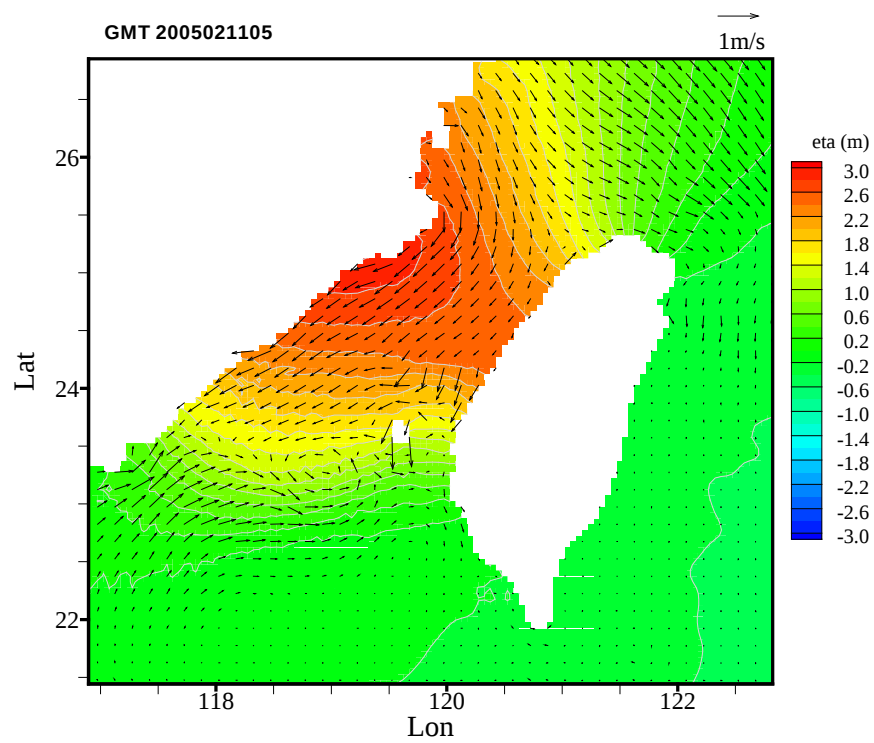


圖 3-17 應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 05:00 當臺灣海峽接近滿潮時刻的潮位(色階)與潮流(箭矢向量)流場逐時變化型態

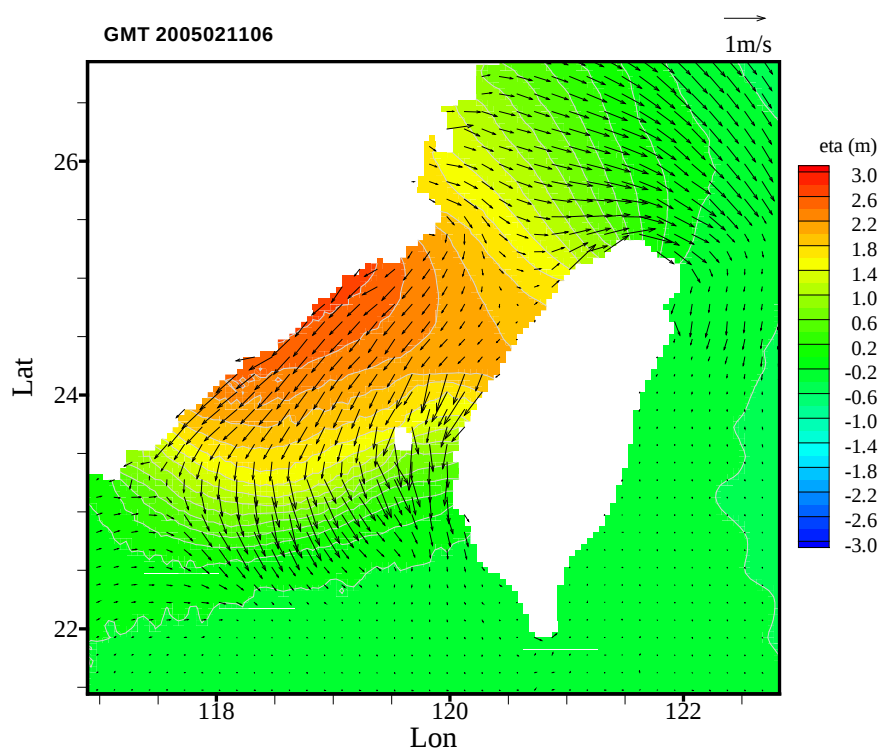


圖 3-18 應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 06:00 當臺灣海峽正值退潮期的潮位(色階)與潮流(箭矢向量)流場逐時變化型態

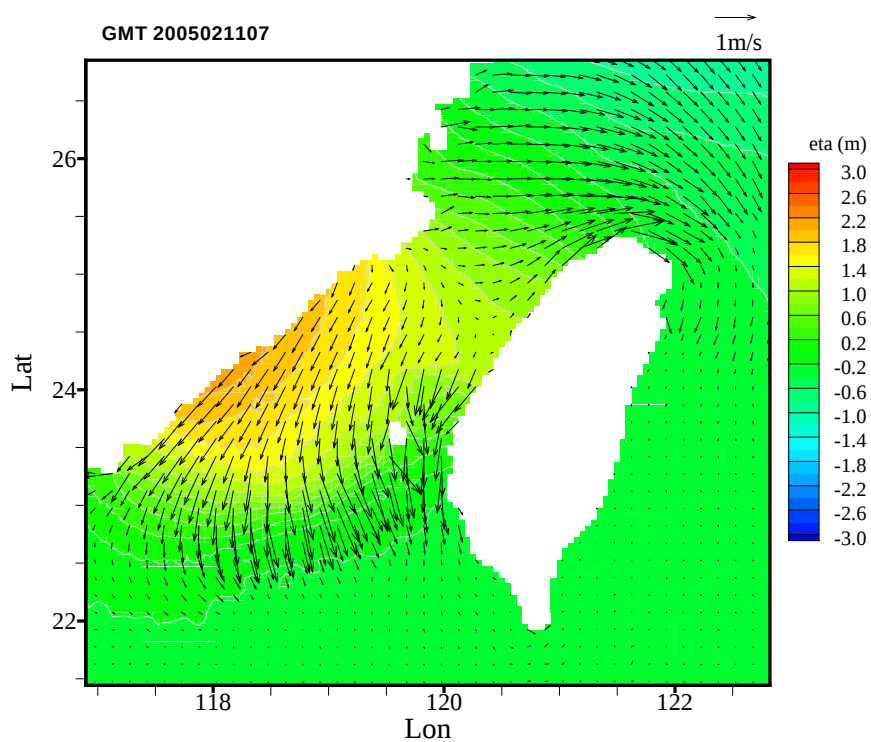


圖 3-19 應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 07:00 當臺灣海峽正值退潮期的潮位(色階)與潮流(箭矢向量)流場逐時變化型態

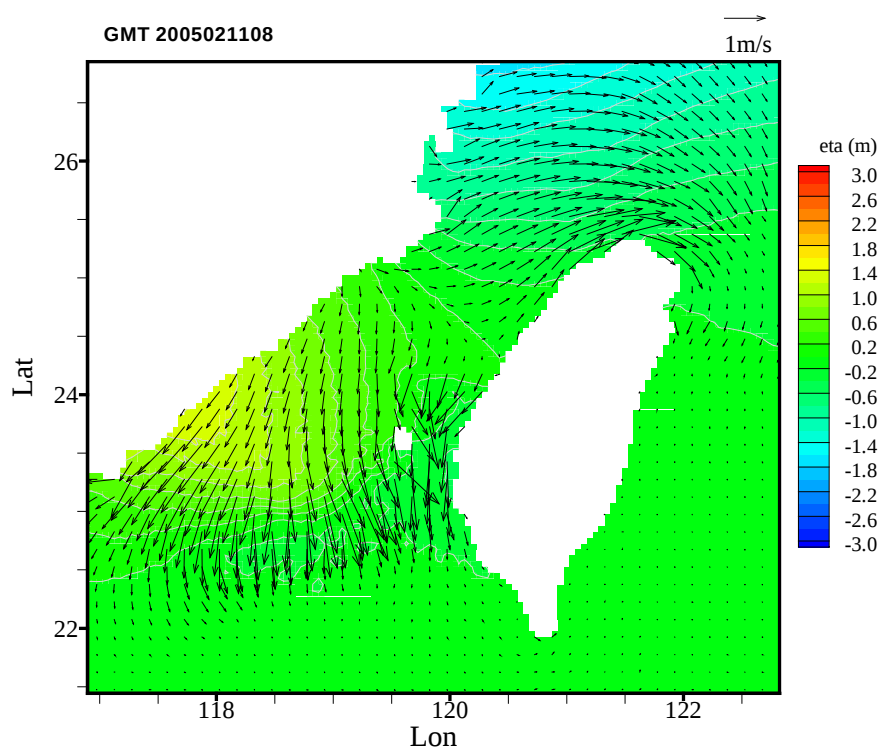


圖 3-20 應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 08:00 當臺灣海峽正值退潮期的潮位(色階)與潮流(箭矢向量)流場逐時變化型態

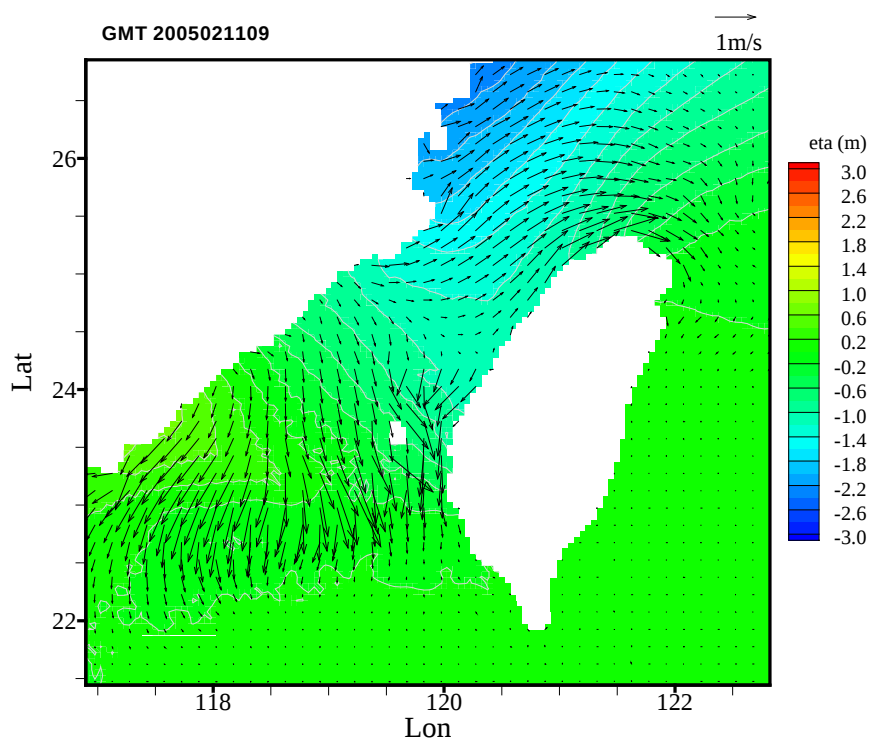


圖 3-21 應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 09:00 當臺灣海峽接近乾潮時刻的潮位(色階)與潮流(箭矢向量)流場逐時變化型態

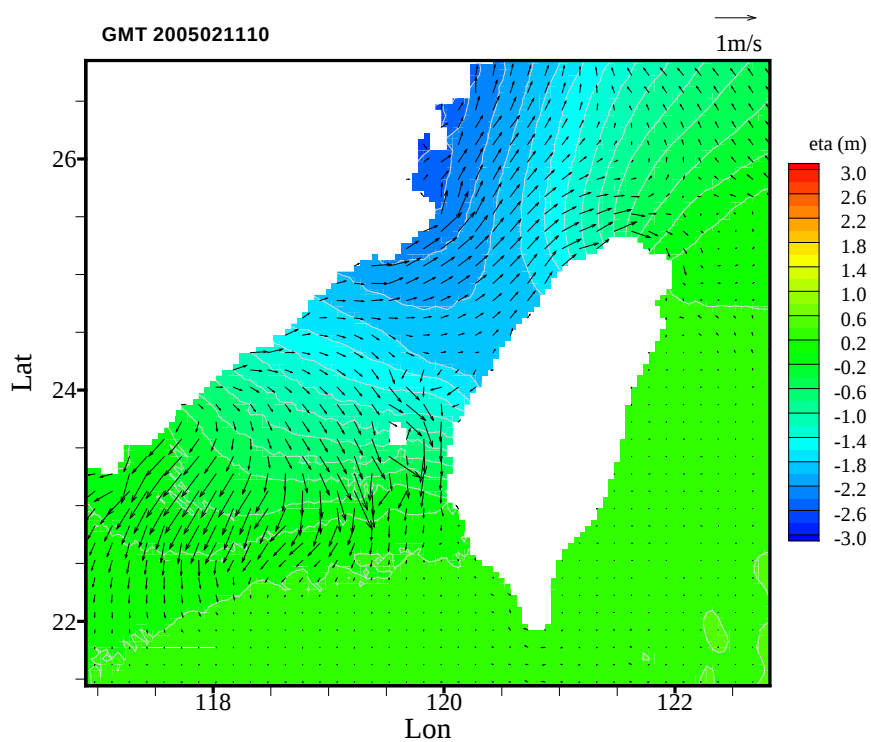


圖 3-22 應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 10:00 當臺灣海峽接近乾潮時刻的潮位(色階)與潮流(箭矢向量)流場逐時變化型態

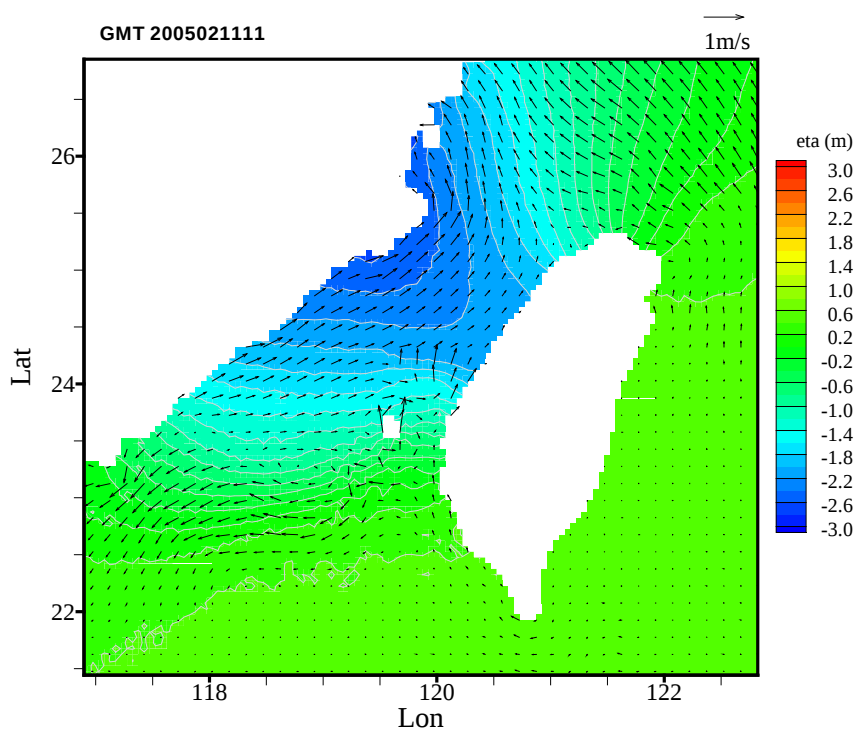


圖 3-23 應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 11:00 當臺灣海峽接近乾潮時刻的潮位(色階)與潮流(箭矢向量)流場逐時變化型態

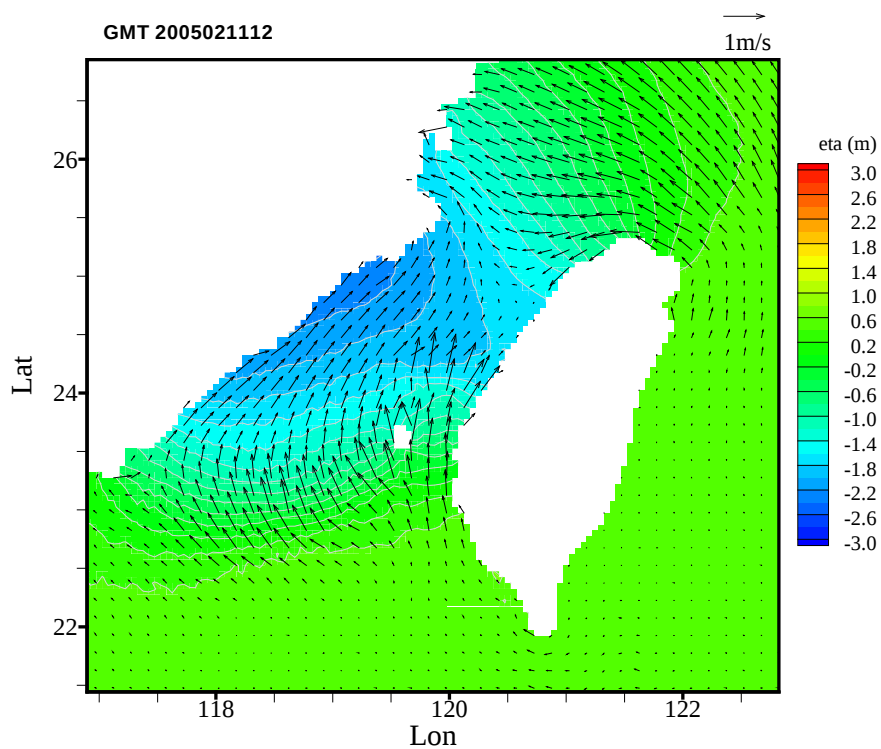


圖 3-24 應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 12:00 當臺灣海峽接近乾潮時刻的潮位(色階)與潮流(箭矢向量)流場逐時變化型態

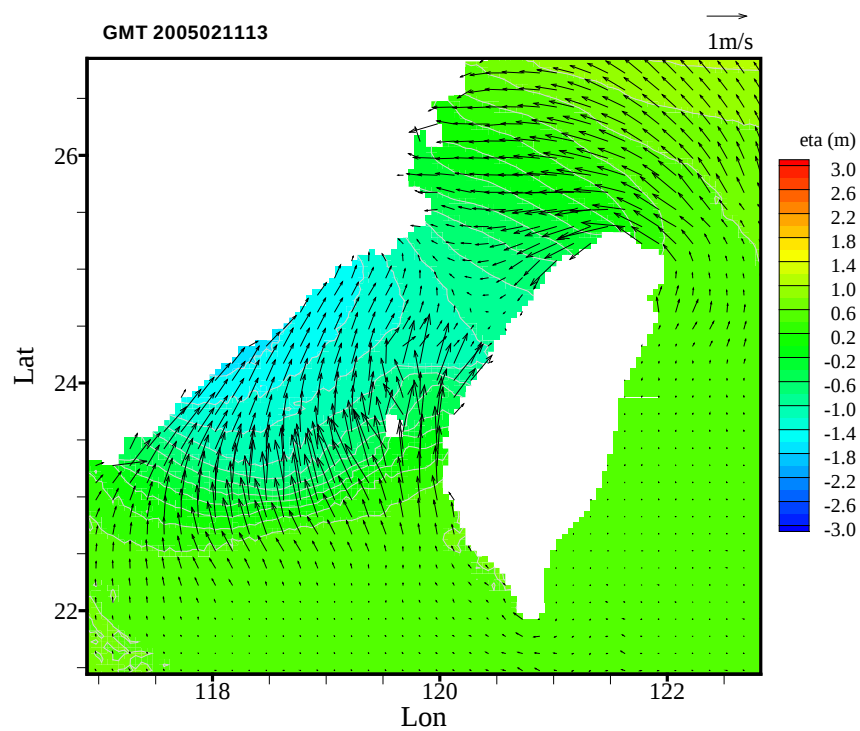


圖 3-25 應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 13:00 當臺灣海峽正值漲潮期的潮位(色階)與潮流(箭矢向量)流場逐時變化型態

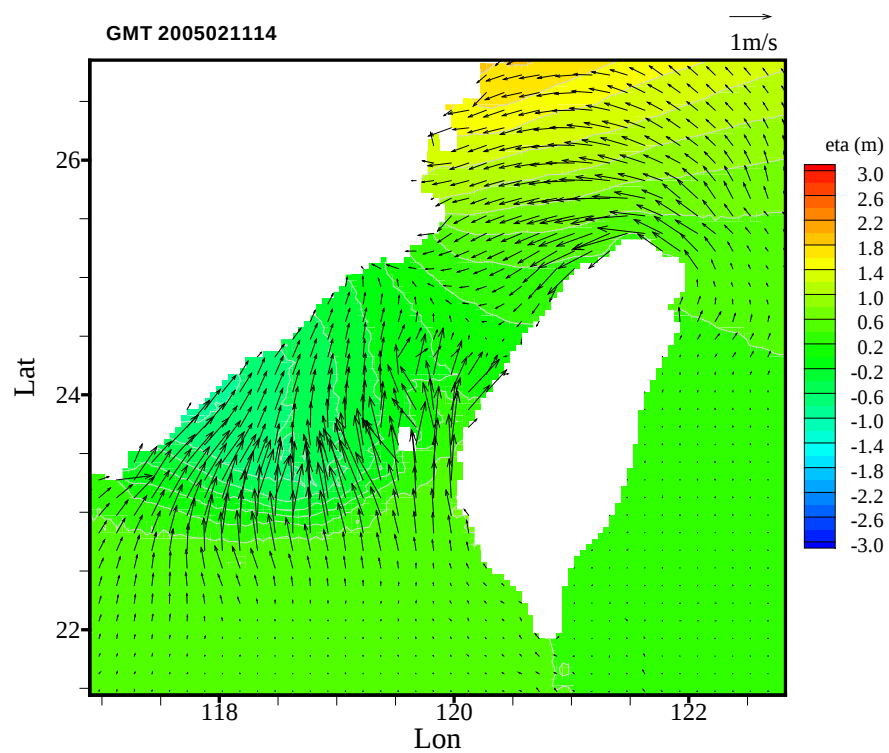


圖 3-26 應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 14:00 當臺灣海峽正值漲潮期的潮位(色階)與潮流(箭矢向量)流場逐時變化型態

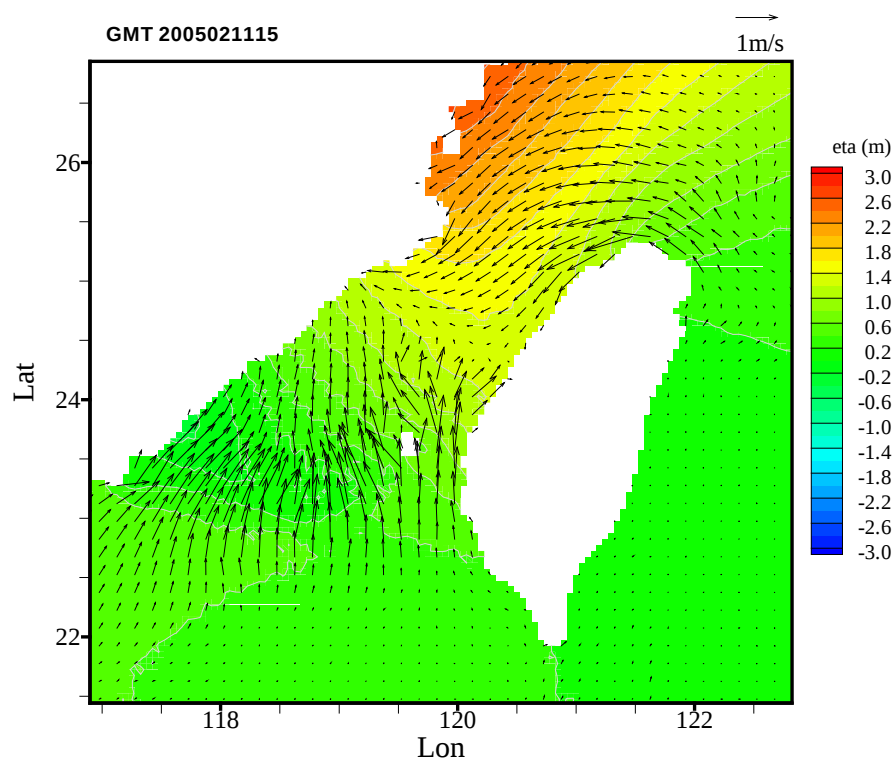


圖 3-27 應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 15:00 當臺灣海峽正值漲潮期的潮位(色階)與潮流(箭矢向量)流場逐時變化型態

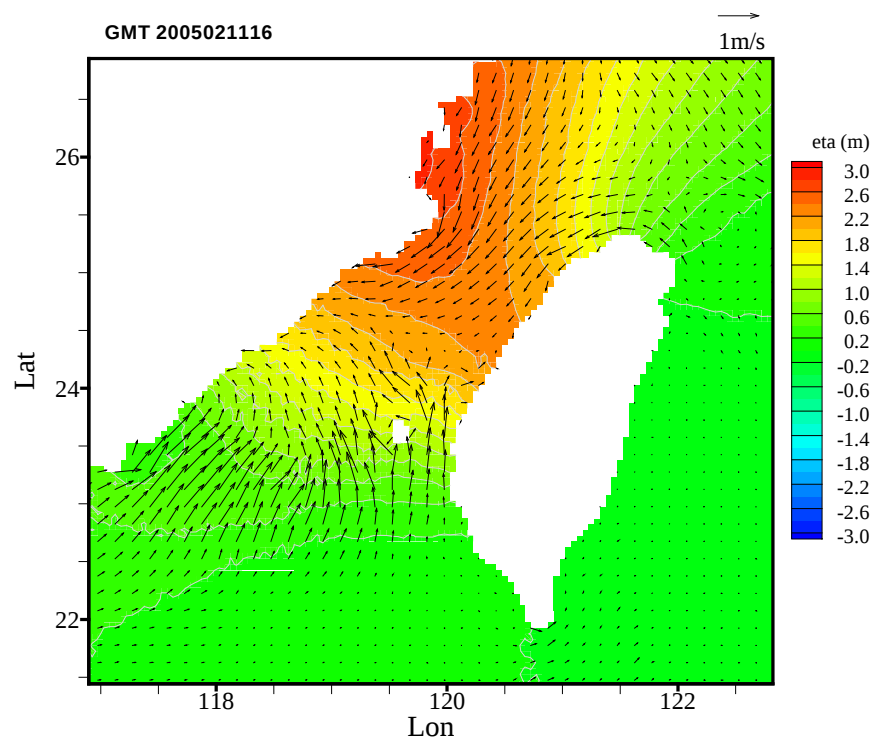


圖 3-28 應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 16:00 當臺灣海峽接近滿潮時刻的潮位(色階)與潮流(箭矢向量)流場逐時變化型態

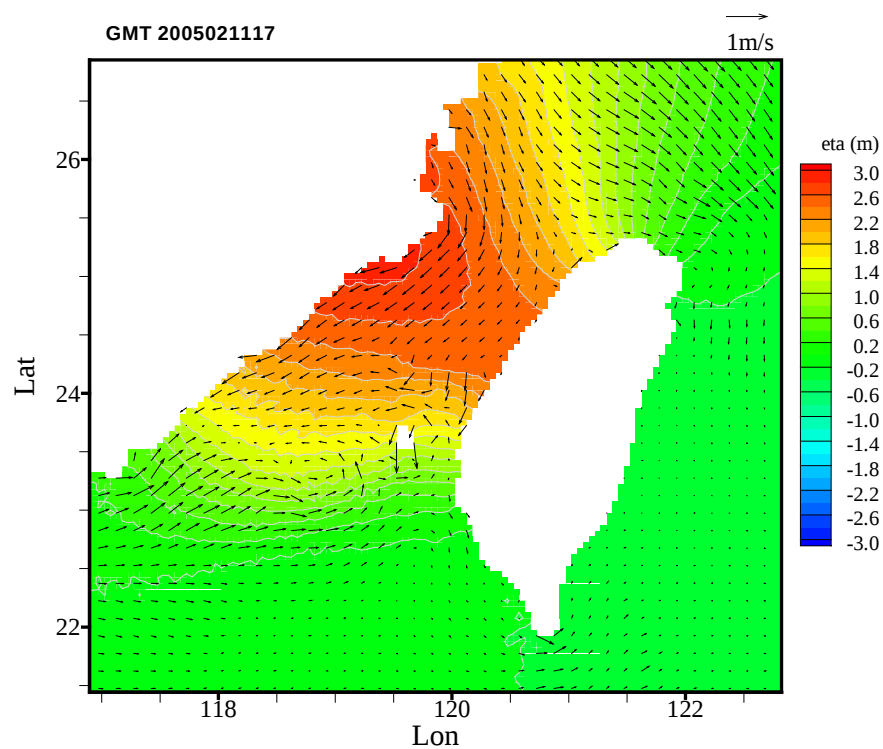


圖 3-29 應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 17:00 當臺灣海峽接近滿潮時刻的潮位(色階)與潮流(箭矢向量)流場逐時變化型態

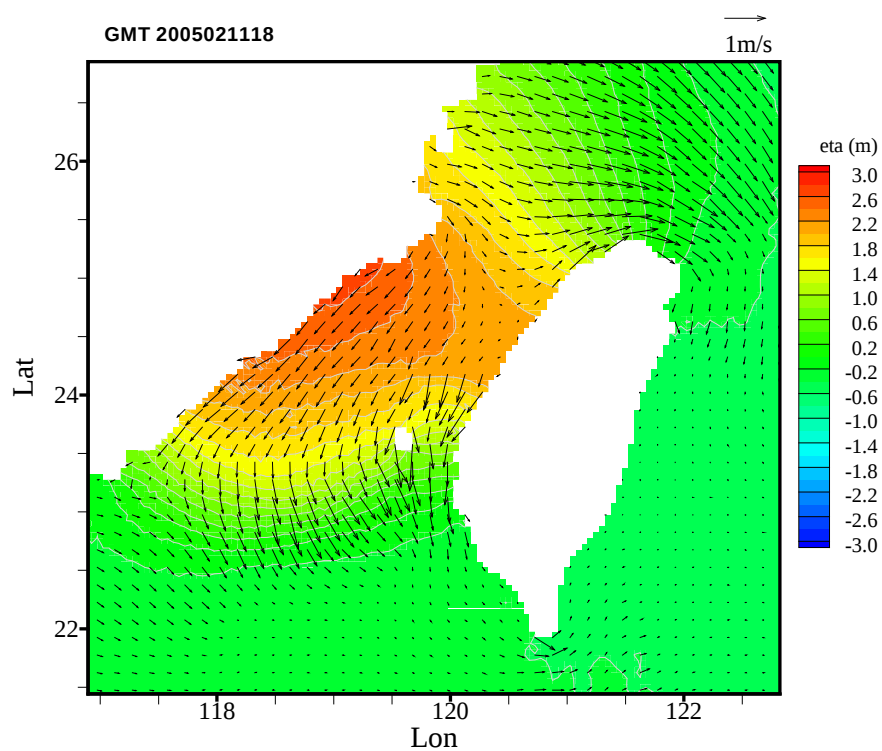


圖 3-30 應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 18:00 當臺灣海峽正值退潮期的潮位(色階)與潮流(箭矢向量)流場逐時變化型態

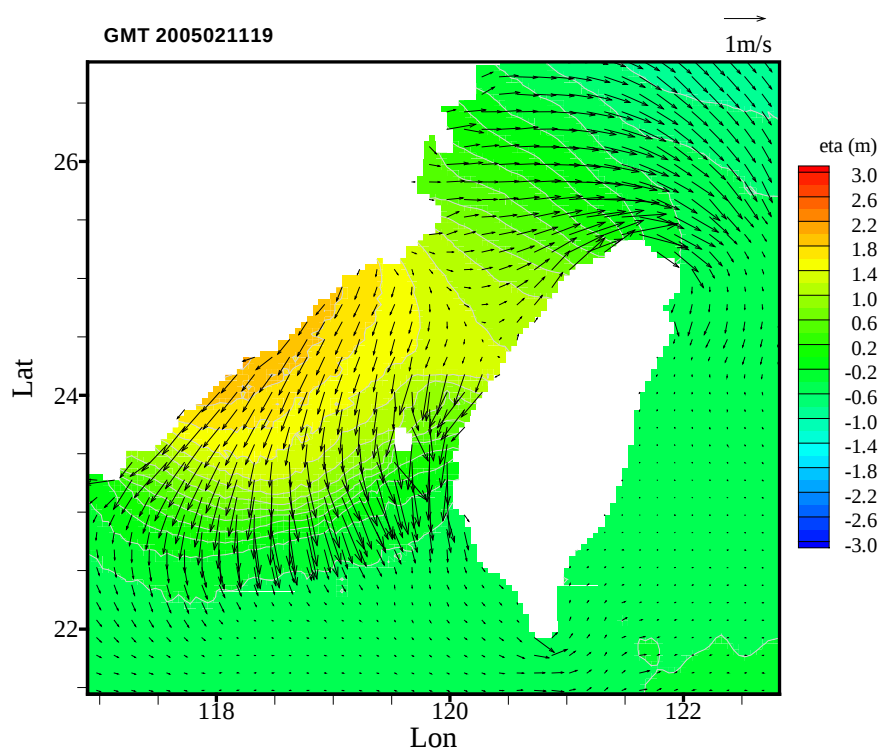


圖 3-31 應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 19:00 當臺灣海峽正值退潮期的潮位(色階)與潮流(箭矢向量)流場逐時變化型態

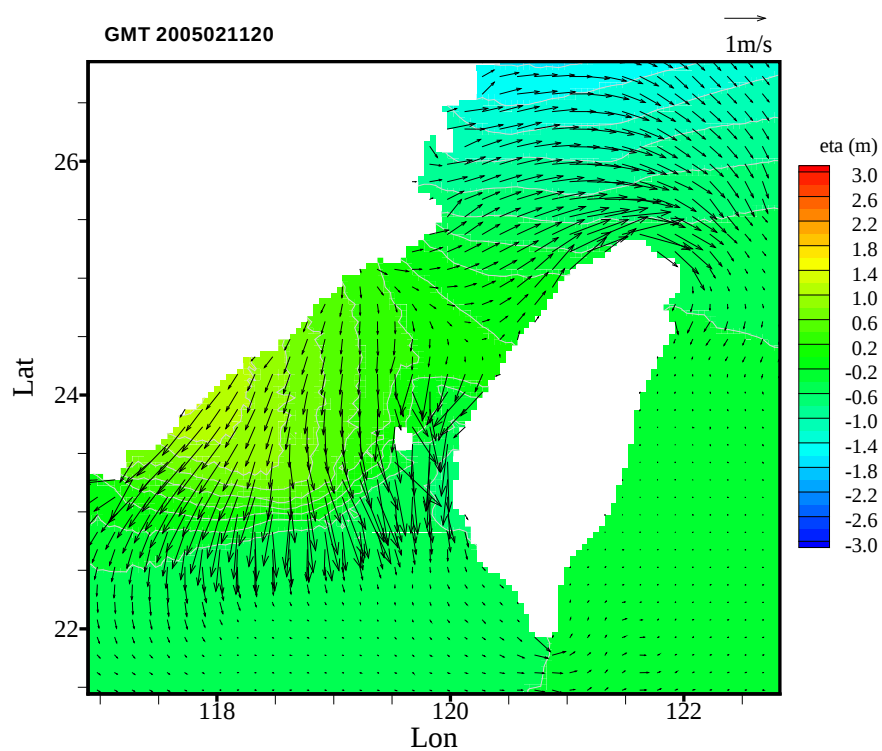


圖 3-32 應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 20:00 當臺灣海峽正值退潮期的潮位(色階)與潮流(箭矢向量)流場逐時變化型態

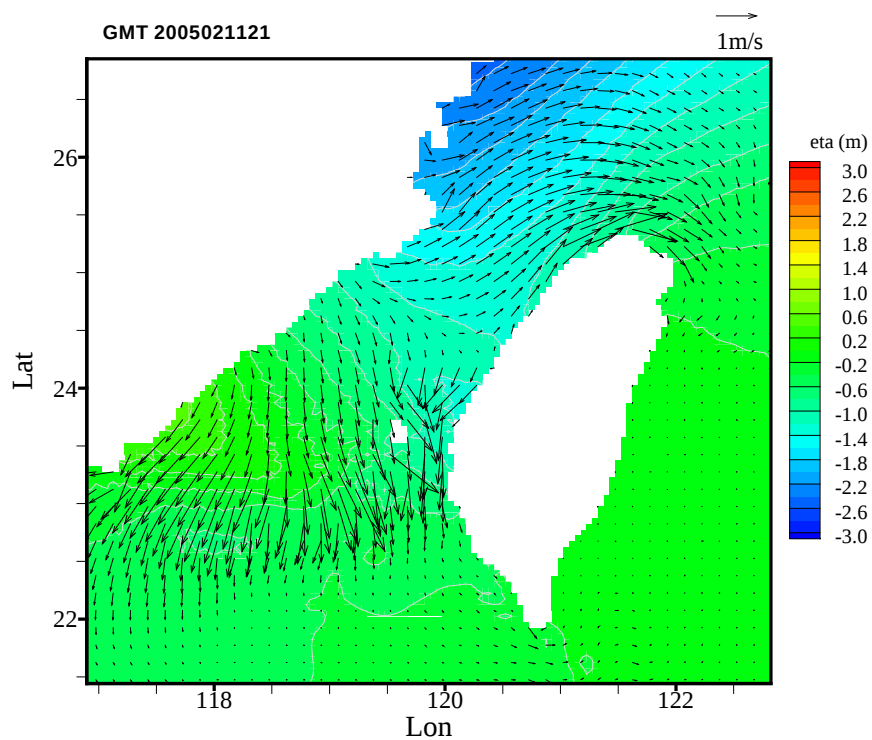


圖 3-33 應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 21:00 當臺灣海峽接近乾潮時刻的潮位(色階)與潮流(箭矢向量)流場逐時變化型態

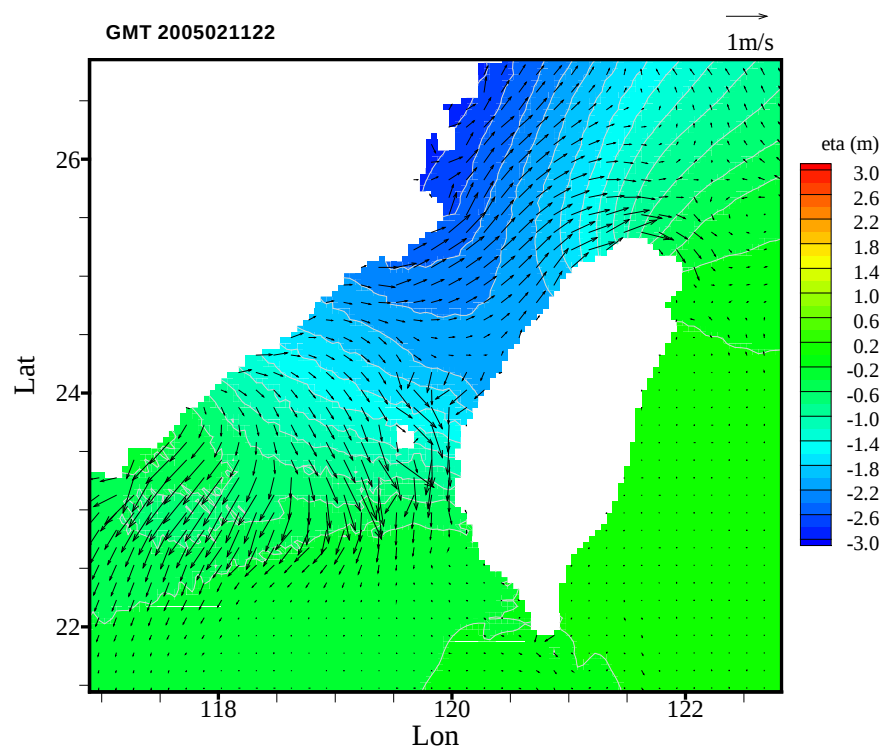


圖 3-34 應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 22:00 當臺灣海峽接近乾潮時刻的潮位(色階)與潮流(箭矢向量)流場逐時變化型態

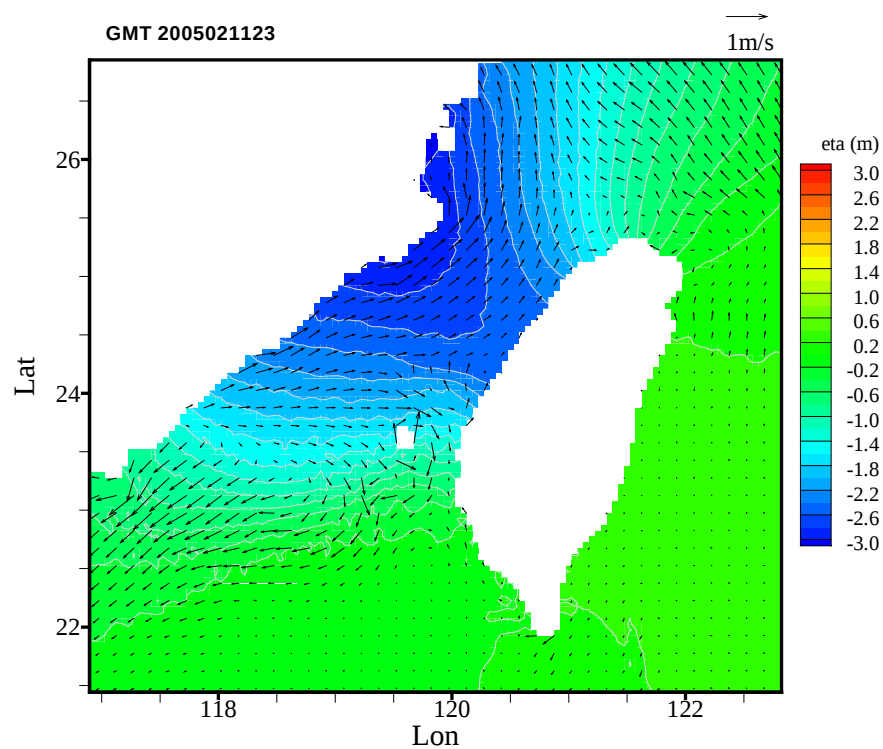


圖 3-35 應用 POM 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2005/02/11 23:00 當臺灣海峽接近乾潮時刻的潮位(色階)與潮流(箭矢向量)流場逐時變化型態

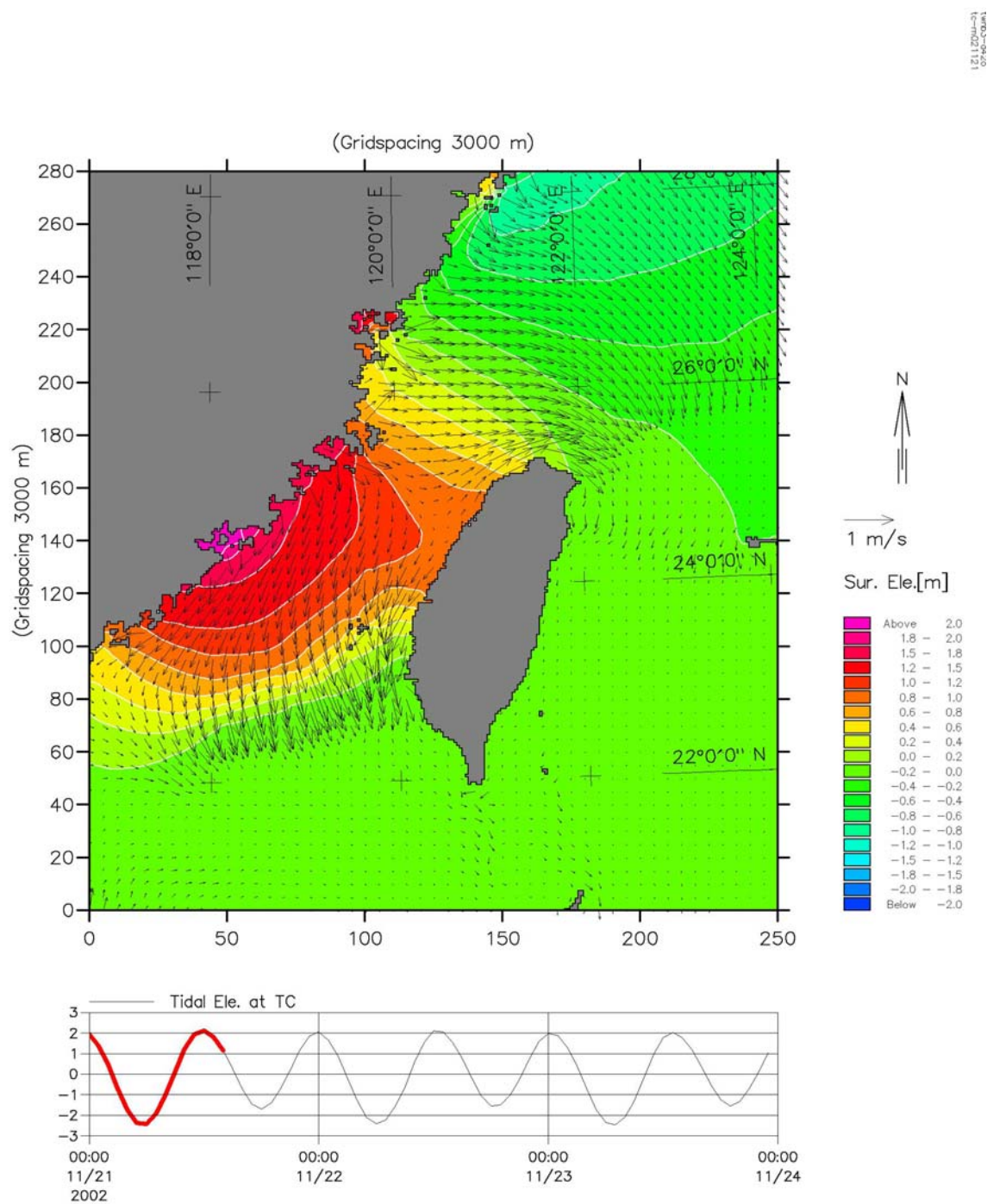


圖 3-36 應用 MIKE21_HD 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2002/11/21 13:00 當臺灣海峽正值退潮期的潮位(色階)與潮流(箭矢向量)流場逐時變化型態

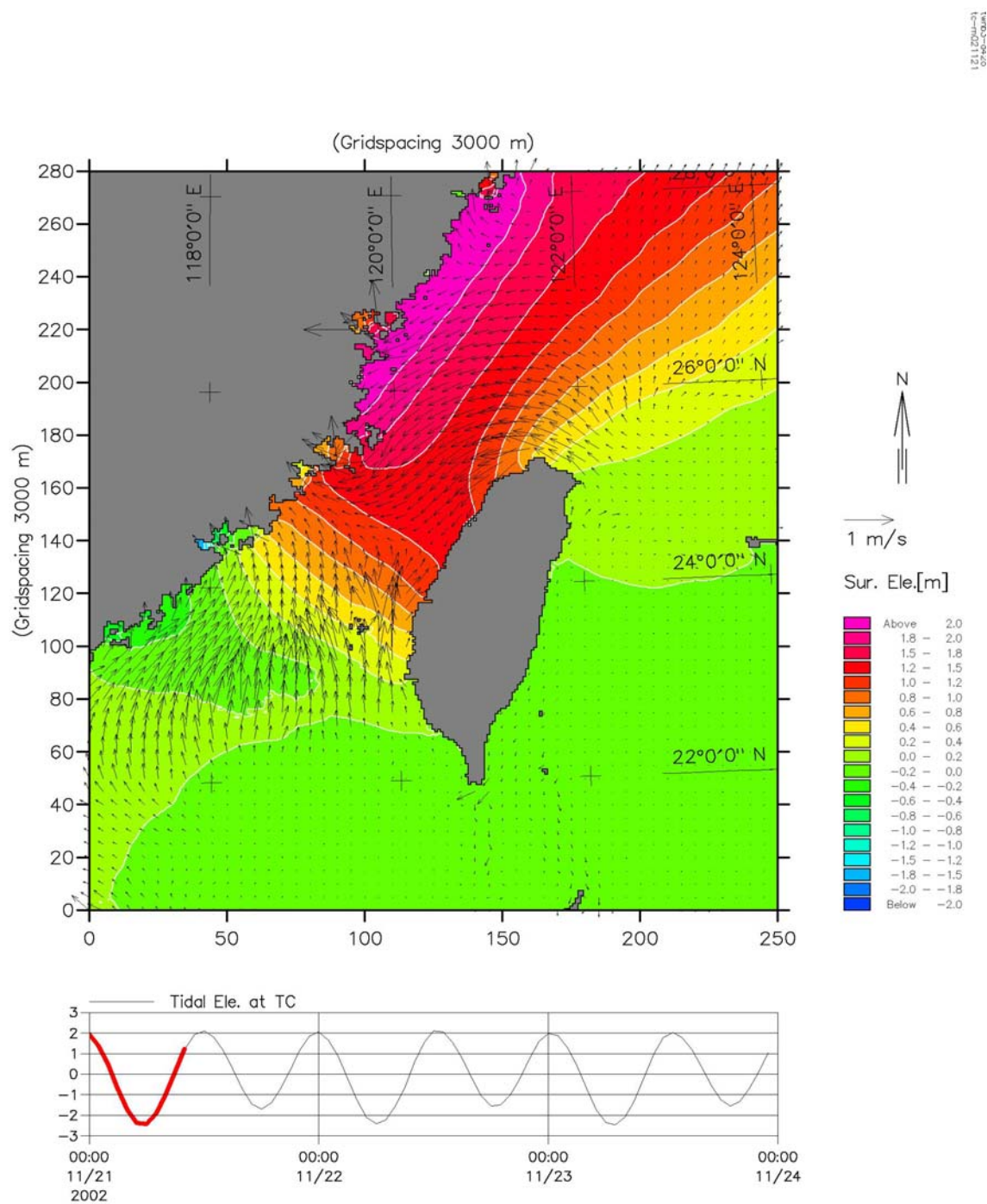


圖 3-37 應用 MIKE21_HD 模式模擬計算臺灣鄰近海域於 2002/11/21 09:00 當臺灣海峽正值漲潮期的潮位(色階)與潮流(箭矢向量)流場逐時變化型態

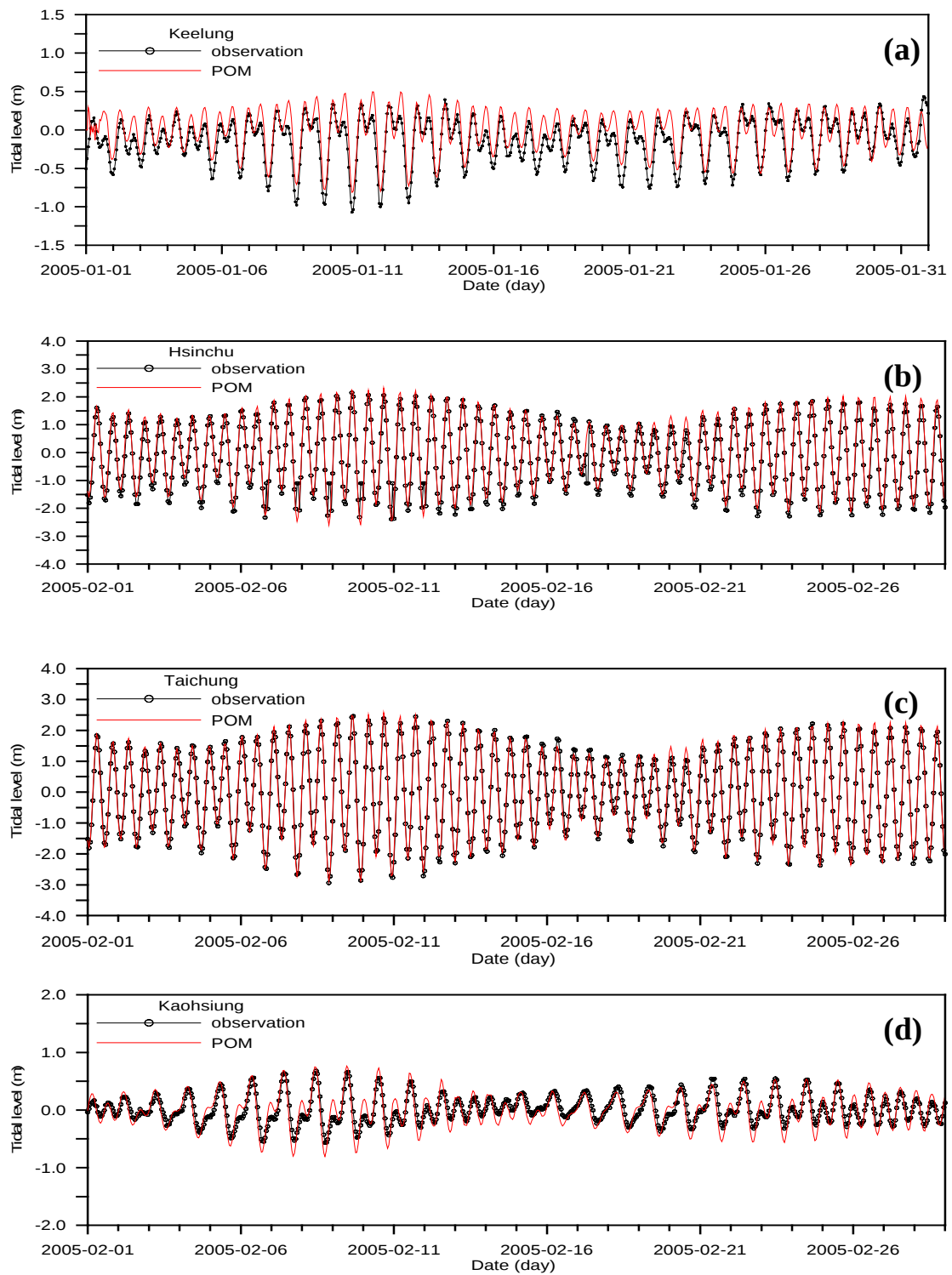


圖 3-38 應用 POM 模式模擬計算 2005 年 2 月臺灣鄰近海域之潮流流場於臺灣西部海岸 (a)基隆 (b)新竹 (c)台中 (d)高雄 等驗潮站位上之計算(紅實線)與實測(黑標點線)潮位之驗證比較

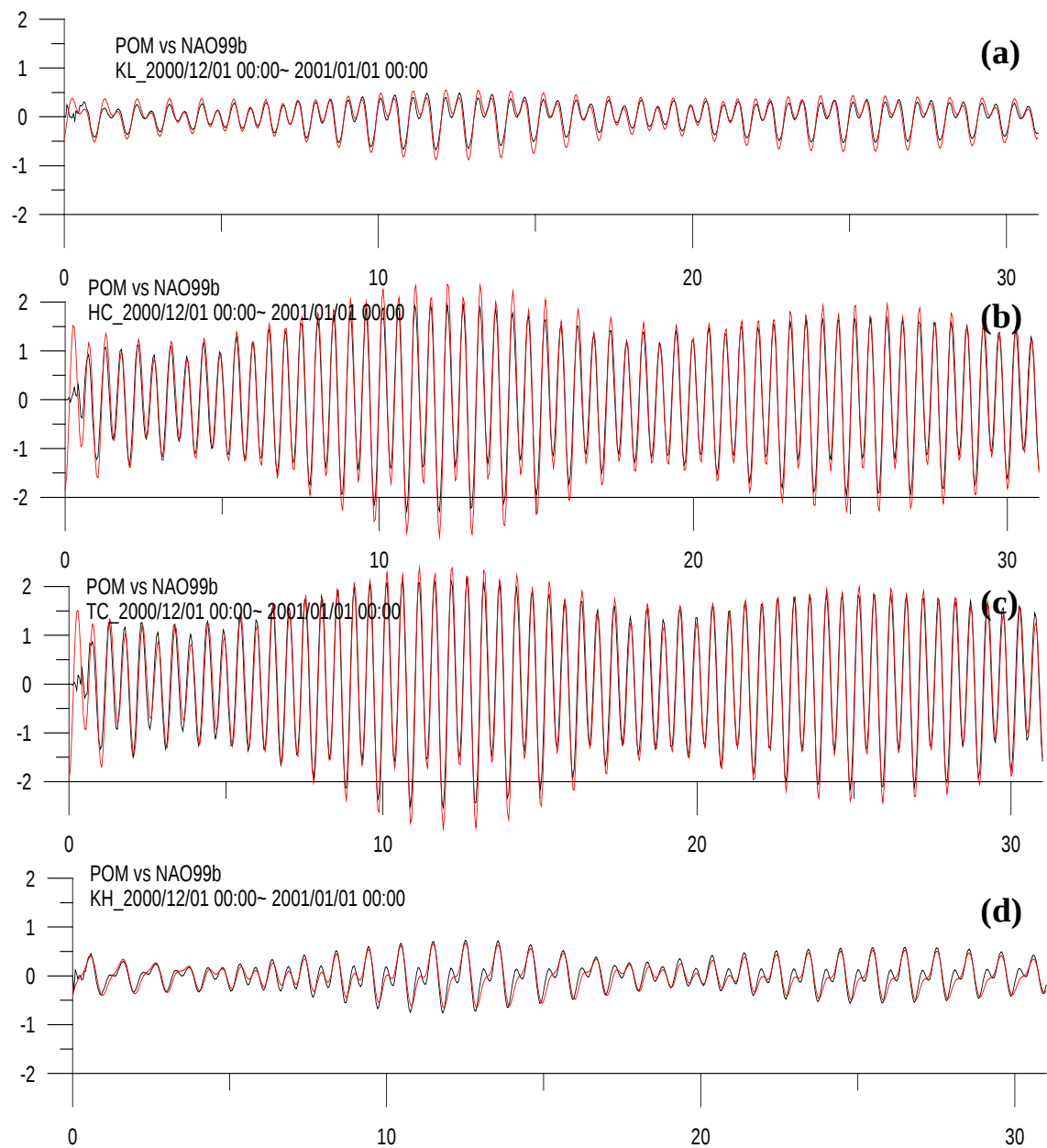


圖 3-39 應用 POM 模式模擬計算 2000 年 12 月臺灣鄰近海域之潮流流場於臺灣西部海岸 (a)基隆 (b)新竹 (c)台中 (d)高雄 等驗潮站位上之計算(紅實線)與預測(黑實線)潮位之驗證比較

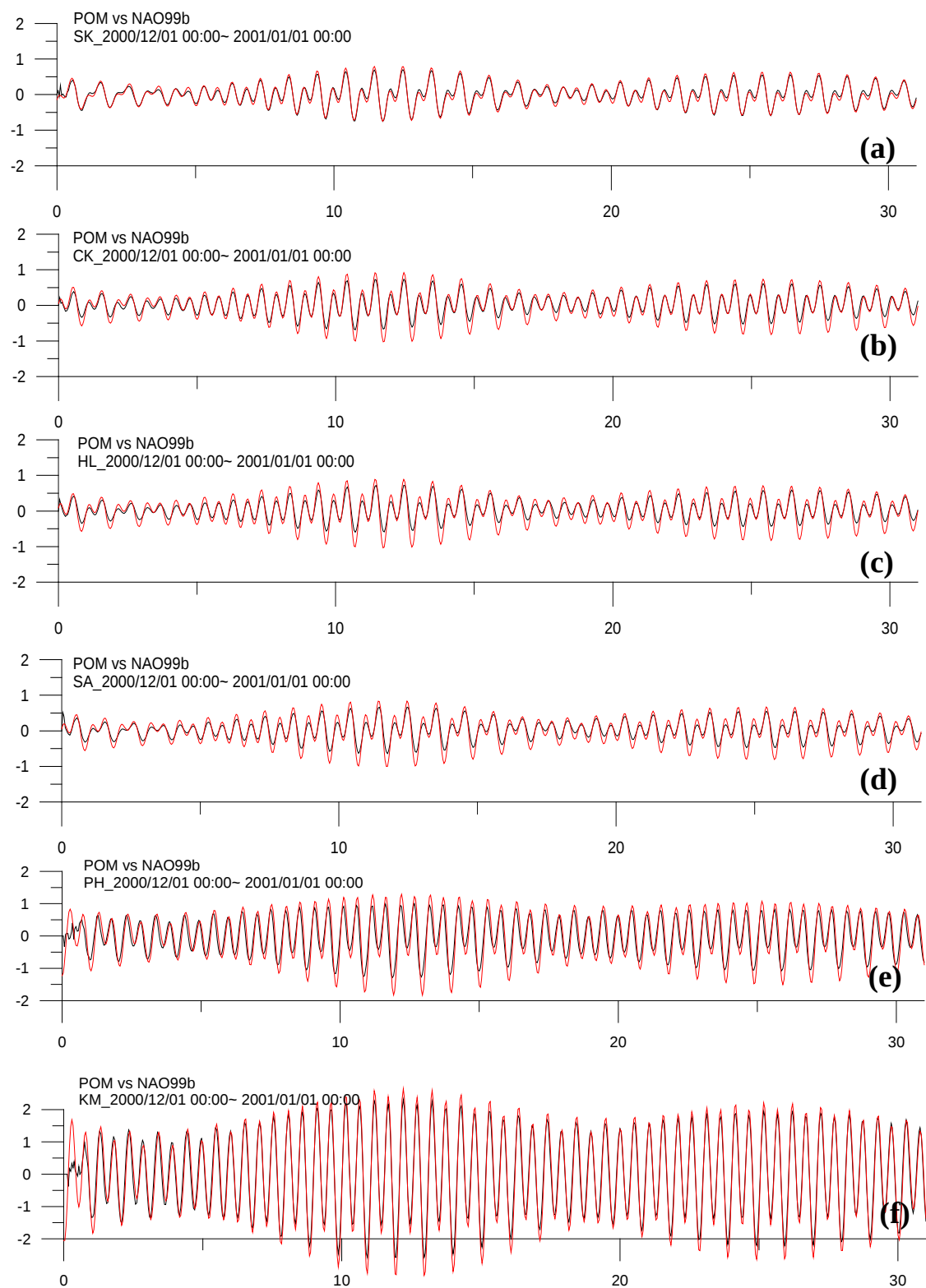


圖 3-40 應用 POM 模式模擬計算 2000 年 12 月臺灣鄰近海域之潮流流場於臺灣東部及離島海岸 (a)鵝廣嘴 (b)成功 (c)花蓮 (d)蘇澳 (e)澎湖 (f)金門等驗潮站位上之計算(紅實線)與預測(黑實線)潮位之驗證比較

第四章 臺灣四周海域的潮波系統與潮殘餘流

4.1 潮波系統概述

潮波是一種具有長週期性的波動。在實際的近岸海域，由於海岸地形、水深與地球自轉偏向力(科氏力)的影響，使得潮波的運動傳播特性，從一般單純的進行波或駐波系統，轉化為複雜的旋轉潮波系統。對於此種實際的潮波系統及其運動特徵，包括潮位的空間變化及潮波隨時間變化的傳播過程，一般可用同潮圖(cotidal chart)來充分加以描述。而同潮圖係由兩種不同的等值線所組成：其中一種是潮位的等振幅線(co-amplitude lines)，其係在某一特定海域空間之特定期間內(針對單一頻率之分潮，則為其週期)，聯結具有相同滿潮位的不同地點連線所組成，又因振幅(單一頻率分潮之滿潮位)的兩倍通常相當於潮差，故有時也用等潮差線(co-range lines)來代替等振幅線；另一種則是同潮時線(co-phase lines)，其係在某一特定海域空間之特定期間內，由聯結同時發生滿潮位的不同地點連線所組成。在某些特定之海域，當同潮時線具有會合點時，由於在會合點處，滿潮與乾潮的發生時間是不確定的，也就是說不存在滿潮和乾潮，或潮波振幅是近似於零，故而一般稱同潮時線的會合點為無潮點(amphidromic point)。

在臺灣鄰近海域，基於海峽、海脊、海槽及東亞大陸棚架等水深地形之影響與面對深邃太平洋之環境因素，因此，潮波系統實際上具有其個別的特殊性(莊、江，2000；Lin et al., 2000；Juang et al., 2001)。而為潮汐的分析與預報應用，劉(1983)及李(1989)分別曾針對全日及半日型分潮建構臺灣鄰近海域的潮波同潮圖。林等(2000)為探討東中國海的潮波系統及潮流與海岸的演變關聯、Lin et al.(2001)為闡釋臺灣海峽中段海域的潮波異常放大現象、Jan et al. (2002；2004)及莊、江(2000；2005)為探討臺灣海峽及東亞陸架地形水深對臺灣四周海域潮波運動特性與振盪型態之影響，分別亦曾針對全日及半日型分潮建構潮波同潮圖。

依據以上針對分潮潮波所曾建構的同潮圖，雖然已可清礎地展現臺灣鄰近海域的潮波運動特徵，不過，因其解析度與準確性各異，又由於真實的潮波，實際上係各主要分潮潮波的綜合組成，因此，本研究之目的，將再針對臺灣四周海域，專注於高解析度與及高準確性的真實旋轉潮波系統之同潮圖建構，並冀期透過所建構之潮波同潮圖，能提供更多關於潮流、潮殘餘流與大型水下沙體沉積相關性的海象資訊。

4.2 矩形海峽內之凱文波交會

為熟悉同潮圖對潮波特性之展現，也為真實潮波同潮圖之研析、比較與對照，因此，配合臺灣海峽的水深地形，將其以矩形海峽近似後(莊、江，2000)，首先再對主控臺灣海峽潮波特性的半日型 M_2 分潮潮波入射與相交會後之同潮圖進行探討。

研究深海的潮波運動，一般係採用球面坐標系統，但在非線性效應顯著的淺水海域，潮波的運動方程則宜採用卡氏直角坐標系統表示(林等，2000)。按照潮波運動具有水平尺度遠大於垂直尺度的本質特性，透過水深平均，因此，可得平面二維的潮波運動及連續方程分別為

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} = fV - g \frac{\partial}{\partial x}(\zeta - \bar{\zeta}) + A_H \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) - \kappa U \quad \dots\dots\dots(4-1)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} = -fU - g \frac{\partial}{\partial y}(\zeta - \bar{\zeta}) + A_H \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right) - \kappa V \quad \dots\dots\dots(4-2)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(UD) + \frac{\partial}{\partial y}(VD) = 0 \quad \dots\dots\dots(4-3)$$

式中， (x, y) 分別為以東向與北向為正向之直角坐標， U 、 V 分別為潮流在正東及正北向的流速分量， $D = h + \zeta$ 為總水深， h 為靜水深， ζ 為波動值， $f = 2\omega \sin \varphi$ 為科氏力參數， $\omega (= 7.29 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1})$ 為地球自轉角速率， φ 為地球面的緯度， A_H 水平渦度係數， κ 為底床摩擦係數， $\bar{\zeta}$ 代表

因強迫力的引潮勢所引致的靜力潮高(或可稱為平衡潮高)。

在等深矩形海峽海域內，定義正東向順沿矩形海峽之長軸，於忽略非線性、引潮力及渦粘度擴散等效應，而僅考量科氏力及摩擦力之作用下，則潮波的運動及連續方程式可分別簡化為

$$\frac{\partial U}{\partial t} - fV = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} - \kappa U \dots\dots\dots(4-4)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + fU = -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} - \kappa V \dots\dots\dots(4-5)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + h \frac{\partial U}{\partial x} + h \frac{\partial V}{\partial y} = 0 \dots\dots\dots(4-6)$$

針對具有頻率 σ 的特定單一分潮潮波，令其波動及流速為 $(U, V, \zeta) = (u, v, \varsigma) e^{i\sigma t}$ ，且配合潮波運動特性之描述，令 $c = \sqrt{gh}$ ， $\mu = \kappa / \sigma$ ， $\varsigma = Ae^{\alpha x + \beta y}$ ，因此可解得潮波運動的分散關係為

$$\alpha^2 + \beta^2 + \frac{\sigma^2(1 - i\mu)^2 - f^2}{c^2(1 - i\mu)} = 0 \dots\dots\dots(4-7)$$

$$\alpha = \pm i \frac{\sigma}{c} \sqrt{1 - i\mu} ; \quad \beta = \pm \frac{f}{c} \sqrt{\frac{1}{1 - i\mu}} \dots\dots\dots(4-8)$$

沿著矩形海峽邊岸，再應用流速無穿透之邊界條件：即令 $v = 0$ ，因此，即可解得沿 x 軸正向傳播的潮波，其波動與流速之時空變化分別為

$$\zeta_+ = Ae^{-\psi} \text{Cos}(\vartheta - \sigma t) \dots\dots\dots(4-9)$$

$$U_+ = \frac{gA}{c} \frac{1}{\sqrt{p}} e^{-\psi} \text{Cos}(\vartheta - \sigma t - \delta) \dots\dots\dots(4-10)$$

式中，

$$\psi = \alpha_1 x + \beta_1 y ; \quad \vartheta = \alpha_2 x + \beta_2 y \dots\dots\dots(4-11)$$

$$\alpha_1 = \frac{\sigma}{c} \sqrt{\frac{p-1}{2}} ; \beta_1 = \frac{f}{c} \sqrt{\frac{p+1}{2p^2}} \dots\dots\dots(4-12)$$

$$\alpha_2 = \frac{\sigma}{c} \sqrt{\frac{p+1}{2}} ; \beta_2 = \frac{f}{c} \sqrt{\frac{p-1}{2p^2}} \dots\dots\dots(4-13)$$

$$\delta = \text{Tan}^{-1} \sqrt{\frac{p-1}{p+1}} ; p = \sqrt{1+\mu^2} ; \mu = \frac{\kappa}{\sigma} \dots\dots\dots(4-14)$$

上列在等深矩形海峽中之潮波波動，當不考量摩擦力時，因其波動與流速，在隨時間的變化上，彼此間並無相位差($\delta=0^\circ$)，故是同步的，而具有這種波動型態的潮波，一般即稱為行進潮波。而且，在北半球海域，因 $f \geq 0$ ，故而在 x 軸方向，潮波除具行進特性外，在 y 軸方向，順沿行進方向尚可見波動具有由右而左遞減的特性，具有這種波動特性的行進波動，因其最早係由 Kelvin 所研究得出，故又稱為凱文波(Kelvin waves)。可是，在考量底床摩擦力作用下，其最高潮位和最大流速是不同時發生的，兩者相差一相位角度 δ ，且當摩擦力影響最大時， $\delta \approx 45^\circ$ ，可見，在真實海域中，兩者的相位角差實際應介於 0° 和 45° 之間。此外，由於底床摩擦力之存在與作用，將使 $1/\sqrt{P} < 1$ ，因而亦會使潮流的流速振幅變小，故而潮波的波動形態因此產生變化，亦即其不再只是單純的行進潮波的運動。

沿用以上的解析結果，在等深矩形海峽海域中，若同時存在兩個行進方向相反，但振幅相同的凱文波，則其相交會後的波動： $\zeta = \zeta_+ + \zeta_-$ ，在忽略及考量底床摩擦力作用下，經化簡可分別表示為

$$\zeta = 2A \left[\text{Cosh}\left(\frac{f}{c}y\right) \text{Cos}\left(\frac{\sigma}{c}x\right) \text{Cos}(\sigma t) - \text{Sinh}\left(\frac{f}{c}y\right) \text{Sin}\left(\frac{\sigma}{c}x\right) \text{Sin}(\sigma t) \right] \dots\dots\dots(4-15)$$

$$\zeta = 2A [\text{Cosh}(\psi) \text{Cos}(\vartheta) \text{Cos}(\sigma t) - \text{Sinh}(\psi) \text{Sin}(\vartheta) \text{Sin}(\sigma t)] \dots\dots\dots(4-16)$$

進一步設定此一等深矩形海峽海域之長度為 1200 公里、寬度為 600 公里、平均代表水深為 80 米、代表緯度為北緯 23.5° 、相交會凱文波各別具有 M_2 分潮之週期(12.4296 小時)、底床摩擦係數 $\mu = 0.2$ ，則依據式(4-15)與式(4-16)計算，可得潮波系統之同潮圖分別如圖 4-1 及圖

4-2 所示。由圖相互對照比較可看出，相交會的凱文波潮波系統，總體上具有逆時鐘方向旋轉的特性，而且只要海峽的長寬尺寸足夠，海域中自然會存在無潮點，且無潮點的位置明顯會因底床摩擦力的作用而偏離中軸線，並隨著沿 x 軸正向距離的增加，偏移程度會增大，亦即無潮點位置具有順時鐘方向旋轉的偏移特性。此外，沿無潮點連線之剖面或沿著岸壁，潮位或潮差的變化，明顯皆具有駐波的型態，且沿岸壁側的潮位或潮差較大，而沿無潮點連線之剖面上，潮位或潮差則較小，因而在海峽中軸線之垂直方向(y 軸向)，旋轉潮波系統會自然產生潮位梯度，進而引致該方向亦具有週期性的潮位波動和水體流動。

4.3 臺灣鄰海內之潮波同潮圖

臺灣鄰近海域的水深地形如圖 4-3 所示。在真實潮波之同潮圖未建置前，莊、江(2000)曾依據中央氣象局預報臺灣沿岸的日滿潮時資料，整理臺灣近海的潮波同潮時圖，如圖 4-4 所示；劉(1996)曾整理臺灣鄰近海域的同潮差圖，如圖 4-5 所示。綜合圖 4-4 與圖 4-5 即為真實潮波的同潮圖。但因圖 4-4 潮波同潮時圖的解析性僅限於臺灣沿岸海域，而圖 4-5 同潮差圖準確性亦有待驗證。為此，本研究將應用真實潮波的水動力模擬結果，重新著手臺灣鄰近海域真實潮波系統的同潮圖建構。

選用臺灣鄰近海域的水動力模擬計算範圍與水深地形如圖 4-3 所示，為真實潮波模擬計算與驗證之需要，因此，本研究計算海域與其邊界上的真實潮波波動特性，係應用 NAO (National Astronomical Observatory)潮汐預報模式加以準確掌握。而關於 NAO 潮汐預報模式，其係 Matsumoto et al. (2000)應用衛星測高儀資料，並結合水動力模式與資料同化(assimilating)技術研發而成。為空間解析度及相關應用性的考量，該模式設計包含環球及區域模式兩部分：環球模式(NAOTIDE)具有 0.5 度的空間解析度，可針對環球特定海域地點、特定期間之逐時潮位進行預報；而區域模式(NAOTIDEJ)則可針對日本鄰近之細部海域，進行特定期間之逐時潮位預報，其空間解析度為 5 分，細部海域

包括東經 110 度至 165 度、北緯 20 度至 65 度之範圍。整體模式中，NAO99b 及 NAO99Jb 模式使用 M_2 、 S_2 、 K_1 、 O_1 、 N_2 、 P_1 、 K_2 、 Q_1 、 M_1 、 J_1 、 OO_1 、 $2N_2$ 、 Mu_2 、 Nu_2 、 L_2 、 T_2 等共 16 個主要分潮常數以進行短期的逐時潮位預報；而 NAO99L 模式則使用 Mtm 、 Mf 、 Msf 、 Mm 、 MSm 、 Ssa 、 Sa 等共 7 個主要分潮常數以進行長期逐時潮位預報。張、黃(2001)曾針對 NAO99b 模式進行應用評估，並確認其在臺灣西海岸之短期逐時潮位預報上具有相當的準確性。

配合圖 4-3 所示臺灣鄰近海域之計算範圍，選用二維非線性淺水波水動力數值模式：MIKE21_HD (DHI, 1998)，並應用 NAO 模式之逐時預報潮位設定邊界條件，從而即可針對特定期間(2001 年 7 月)，求得真實潮波在臺灣四周海域內之逐時潮位與潮流變化。圖 4-6 所示分別即為月大、小潮期間，臺灣四周海域在台中港潮位接近乾潮及滿潮位瞬時之部分水動力模擬計算結果。

進一步將臺灣四周海域內模擬計算所得之真實潮波逐時潮位變化，與式(4-15)或式(4-16)相類比，再依循等深矩形海峽內兩相向交會潮波同潮圖之建構程序，擇定 1 日期間之真實潮波逐時潮位變化進行振幅與滿潮時之資料處理，從而可得臺灣四周海域內真實潮波在月大、小潮期間之同潮圖，分別如圖 4-7 及圖 4-8 所示。圖中，紅色實線表示同潮時線，潮時以圖左上標示之計算起始時間為參考基準；而黑實線表示同振幅線，振幅並以公尺為單位。

針對臺灣四周海域真實潮波之同潮圖，首先檢視圖 4-7 與圖 4-8 之同潮時線可知，不論月大、小潮期間，潮波自太平洋海域入射後，會先抵達臺灣東部海岸，然後受地形影響，潮波分別會旋轉而繞行臺灣北部及南部海岸，其中，繞行臺灣北部海岸的潮波，主要旋轉方向為逆時鐘方向，並在宜蘭頭城至淡水麟山鼻間的海岸，展現密集的同潮時線變化，而後即順沿臺灣海峽由北往西南行進；而繞行臺灣南部海岸的潮波，主要旋轉方向則為順時鐘方向，並在高雄至雲林東石間的西南部海岸，同樣亦展現密集的同潮時線變化，不過，其在繞行臺灣南部海岸後，總體上並未順沿臺灣海峽由南往北運行，反而在臺灣海

峽的南端，即約在臺灣淺灘南側之東亞陸架陡變陸架坡上，即與繞行臺灣北部海岸而後向南行進的潮波相匯合，且值得注意的是，在匯合海域的右側，即在澎湖與雲林東石以南至高雄之臺灣西南沿海，潮波的主要旋轉方向，與繞行臺灣北部海岸的潮波相同，依舊保持為逆時鐘方向。僅管如此，圖 4-4 所示真實潮波在臺灣南、北端海岸所具有的快速潮時變化的特性，仍可經由圖 4-7 與圖 4-8 之同潮時線充分予以重現，足證本研究同潮圖的準確性。

將圖 4-2 所示的等深矩形海峽海域同潮圖以逆時鐘方向旋轉 90 度，然後將臺灣海峽海域內真時潮波相匯合與等深矩形海峽海域內半日型分潮潮波相交會之同潮時線變化相對照，由對照比較結果可知，真時潮波與半日型分潮潮波，其同潮時線的變化與密集特性，在臺灣海峽南、北端海域，確實皆具有頗為一致的旋轉潮波型態，不過，在臺灣海峽南端海域，因潮波主要的旋轉方向不同，故可判定，真實潮波的南北向相匯合，應與潮波相交會有所差異與區別。尤其是，相匯合的海域位在臺灣海峽南端海域，其與傳統認知之相交會的海域位在海峽中段海域明顯不同。

其次，檢視圖 4-7 與圖 4-8 之同振幅線可知，在月大、小潮期間，僅管潮波振幅的大小具差異性，但其型態基本上大同小異，且總體的特徵與圖 4-5 所示同潮差圖亦相吻合，再次可證本研究同振幅圖的準確性。特別值得一提的是，在大潮期間，配合同潮時線，則在臺灣北部的基隆近海及在臺灣海峽南端的臺灣淺灘南側海域，明顯可見潮波振幅甚小的兩個近似無潮點。另外，在南、北兩無潮點連線之臺灣海峽縱剖面上，潮波振幅的分布不僅明顯具有駐波的特質，其振幅尚且呈現潮波系統主要由北往南行進的凱文波特特性，亦即順沿行進方向右側(海峽左側)的潮波振幅，將普遍大於左側(海峽右側)。

再將圖 4-2 所示的等深矩形海峽海域同潮圖以逆時鐘方向旋轉 90 度，然後將真時潮波相匯合與等深矩形海峽海域內半日型分潮潮波相交會之同振幅線變化相對照，由無潮點連線左側之對照比較結果可知，臺灣海峽內的真實潮波系統，實際上與理想性等深矩形海峽內的

交會潮波系統是彼此相近似且可相互比擬的。其中，最值得注意的是，兩無潮點的位置與距離。在圖 4-2 之等深矩形海峽中，兩無潮點的直線距離約 650 公里，而在圖 4-7 與圖 4-8 所示的臺灣海峽內，考量其實際形狀與東亞大陸棚架的地形水深，亦可概約得到兩無潮點的弧線距離約 620 公里(莊、江，2005)。至於位置，以南端的無潮點為準，在海峽邊界及底床摩擦力的影響下，可見臺灣海峽內的北端無潮點位，亦如等深矩形海峽一樣，會向兩無潮點連線的順時鐘方向偏移。所以，只要理想性等深矩形海峽內的半日型潮波交會系統，在地形與形狀上能配合臺灣海峽做適當調適(將臺灣西海岸類比為兩無潮點連線)，其即可用以描述臺灣海峽內之真實潮波系統。不過，配合臺灣四周海域的實際水深地形及同潮時線所呈現之潮波匯合特質，在臺灣海峽內，若潮波系統確實具有交會特性，則其構成機制，主要應來自於入射潮波與反射潮波的相交會(Jan et al., 2004；莊、江，2005)。而反射潮波，主要係因潮波繞行臺灣北部海岸，由北而南入射臺灣海峽海域後，受存在於臺灣南、北兩端外海之東亞陸架緣陡變水深地形阻攔所造成。此與傳統認知之潮波經由臺灣南部海岸由南而北行進的繞射波明顯具差異。

4.4 Euler及Lagrange潮殘餘流

潮殘餘流是潮波運動過程中因非線性作用所引起的持久性平均流，一般只有在近岸淺水海域和地形複雜的海灣或河口區，潮殘餘流才比較明顯。

根據不同的表示方法，潮殘餘流通常尚可細分為 Euler 餘流和 Lagrange 餘流兩種。其中，Euler 餘流(U_R, V_R)是指特定地點潮流的流速(U, V)，其在特定期間或一個週期 T 內，經時間平均所得出之流速大小，即

$$(U_R, V_R) = \frac{1}{T} \int_0^T (U, V) dt \dots\dots\dots(4-17)$$

而 Lagrange 餘流(U_L, V_L) 則為 Euler 餘流(U_R, V_R) 與 Stokes 漂移流(U_S, V_S) 之總和，即

$$(U_L, V_L) = (U_R, V_R) + (U_S, V_S) \dots\dots\dots(4-18)$$

至於 Stokes 漂移流(U_S, V_S)，其可依據下列定義計算

$$(U_S, V_S) = \frac{1}{TD} \int_0^T (U, V) \zeta dt \dots\dots\dots(4-19)$$

式中， $D = h + \zeta$ 為特定海域在某一特定時間之總水深； h 為特定海域地點的平均水深， ζ 為特定海域地點上逐時變化的潮位。

近岸海域內特定物質長期性的傳輸過程，主要係依賴於 Euler 餘流和 Lagrange 餘流的傳輸。但因近岸海域內特定物質的運移方向，實際上與水質點的運動軌跡具有緊密性地關聯，故而對探討近岸淺水海域的物質運移過程而言，Lagrange 餘流應較 Euler 餘流更具有直接的意義(林琿 等，2000)。此外，在近岸海域內，與潮餘流相對應的水位變化，稱為潮餘水位，其為潮位在一個潮汐週期內的時間平均值，該值的大小，並與海平面的變化有關。

4.5 潮流與可能形成潮殘餘流之機制

在淺水海域，由於潮流與地形水深的非線性交互作用，潮流在一漲退潮週期內，常具有非對稱(asymmetry)的特性，而此一潮流水動力特性的展現，對於漂沙長期性的輸運與沉積型態，常扮演著極重要的角色(Friedrichs and Aubrey, 1988；Gomez-Valdes et al., 2003)。至於，由潮流非對稱特性所引致的潮殘餘流(tidal residual current)，Parker (1991) 曾指出，若潮殘餘流主要係由潮流的非線性效應所衍生，則進行潮流流速的調和分析後，用平均值表示潮殘餘流，即可獲得甚準確的估算。此外，Le Provost and Fornerino (1985)、Werner and Lynch (1987)、Westerink et al. (1989)、Davis and Jones (1996)等皆曾從事潮殘餘流的相關研究。Gomez-Valdes et al. (2003)近期亦曾應用二維淺水波模式，模

擬計算墨西哥 Ensenada de la Paz 潟湖的潮流特性，並以潮流流速的調和分析平均值估算潮殘餘流，最後確認在進入該潟湖的聯接水道內，潮殘餘流具有與聯接水道寬度尺度(1.2 公里)相同的環流流場，其最大流速並約可達 10 cm/s 的大小等級。

針對臺灣四周海域，本研究透過二維非線性淺水波水動力模式的應用，不僅可對真實潮波系統加以掌握，尚可求得具高解析性與高準確度的同潮圖，如圖 4-7 與圖 4-8 所示。進一步觀察同潮圖可知，臺灣四周海域的真實潮波系統，明顯具有相向行進凱文波相交會之旋轉潮波特性，即真實潮波自太平洋海域由西向東入射臺灣東部海域後，其在環島海域的旋轉以逆時鐘方向為主，在臺灣海峽海域內，主要的行進方向因此為由北而南，並會與繞經臺灣南端海岸而直接西行之入射潮波，在臺灣海峽南端的臺灣淺灘南側海域相匯合。整體旋轉潮波系統，受東亞大陸棚架緣的突變地形水深影響甚顯著，因此，在臺灣海峽南北兩端海域，皆有旋轉潮波系統之無潮點存在，其中，北端的無潮點恰位在基隆近海，而南端的無潮點則形成於澎湖群島南側，並約位於臺南將軍與七股外海。

此外，從圖 4-7 與圖 4-8 中尚可觀察到，環繞臺灣環島海域的旋轉潮波系統，其南北兩無潮點的強弱性(明顯度)，實際上會隨月大、小潮期間的潮波特性而變動，此意謂著不僅潮波的波動水位高低會逐月變化，其所相對應的潮流流速大小亦會逐月而有所不同。故依據式(4-18)或式(4-19)，就臺灣環島特定海域的潮流流速而言，積累其長期間的往復流動變化，必將因此而衍生具有平均流特性的潮殘餘流。

4.6 臺灣鄰近海域的潮殘餘流

針對臺灣鄰近海域潮流流場的逐時變化型態，參見圖 3-12 至圖 3-35，再配合圖 3-38(c)所示臺灣海峽中段海域內的全月潮位逐時變化特性，在月小潮(2005/02/04)及大潮期間(2005/02/11)，依據式(4-17)及式(4-18)之 Euler 及 Lagrange 潮殘餘流定義，選定特定期間 T 分別為 1

日(24 小時)、7 日(一星期)、及 15 日(半月)的示性潮位平均時間，因此，可得臺灣鄰近海域不同示性潮位期間的 Euler 及 Lagrange 潮殘餘流流場，分別如圖 4-9 至圖 4-18 所示。

配合不同示性潮位的期間，首先綜合觀察圖 4-9 至圖 4-18 的 Lagrange 潮殘餘流流場型態可知，儘管其包含 Stokes 漂移流的特性，但基於潮位的對稱性，因此，其總體流場型態與特性，與 Euler 潮殘餘流流場型態對照比較，兩者間的差異，實際上甚為有限，亦即不論地形水深的深淺變化，在臺灣鄰近海域，Euler 及 Lagrange 潮殘餘流，皆具有近乎相似的流場型態。故而，以下將僅就 Euler 潮殘餘流流場型態與特性，進行不同示性潮位期間的比較討論。

為檢視潮流日以繼夜的作用效應，在月小潮(2005/02/04)之 1 日期間，觀察圖 4-9 所示 Euler 潮殘餘流流場可見，在臺灣東部海岸，潮殘餘流的流速皆甚微弱；但在臺灣西部海岸及臺灣海峽海域內，潮殘餘流的流速，則有強弱及型態不同的變化，其中，在臺灣西南部海岸，儘管潮殘餘流的流速不大，但皆具有沿海岸而向北流動的趨勢；在臺灣中西部海岸，潮殘餘流的流速較強勁，並會順沿雲彰隆起的水下地形，蜿蜒地向北流動；而在臺灣西北部海岸，潮殘餘流的流速雖亦可觀，但流向呈現混雜的向離岸變化，總體流向趨勢不明顯，不過，約略仍具有沿海岸向東流動的特性。至於在臺灣海峽內的澎湖群島及臺灣灘海域，潮殘餘流不僅明顯具有甚強勁的流速，同時尚具有順時針方向旋轉的環形渦流流場型態。

為檢視潮流日以繼夜的作用效應，在月大潮(2005/02/11)之 1 日期間，觀察圖 4-11 所示 Euler 潮殘餘流流場可見，在臺灣東部海岸，潮殘餘流的流速，普遍亦甚微弱；但在臺灣西部海岸及臺灣海峽海域內，與月小潮(2005/02/04) 1 日期間之潮殘餘流流速對照，其強弱變化及型態，似乎皆有強化之趨勢，其中，在臺灣西南部海岸，可見潮殘餘流，不僅其流速增強，其更明顯具有沿海岸而向北流動的趨勢；在臺灣中西部海岸，原順沿雲彰隆起水下地形蜿蜒地向北流動的潮殘餘流，其流速更轉趨強勁；而在臺灣西北部海岸，潮殘餘流的流速更趨可觀，

但在近岸的流向，仍呈現混雜的向離岸變化，總體流向趨勢不明顯，不過，在臺灣北部海岸的外海，明顯可見約略沿海岸向西流動的潮殘餘流。至於在臺灣海峽內的澎湖群島及臺灣灘海域，潮殘餘流的強弱變化及型態，與月小潮(2005/02/04) 1日期間之潮殘餘流特性相似，有所不同的，是其不僅具有高達 10cm/s 以上更強勁的流速，同時原具有順時針方向旋轉的環形渦流流場型態，尚更明顯展現，。

配合月潮位的逐時變化特性，為檢視潮流從月小潮至大潮期間的作用效應，在月小潮(2005/02/04)後之連續 7 日期間，觀察圖 4-13 所示 Euler 潮殘餘流流場可見，其總體特性，與月小潮(2005/02/04)之 1 日期間的潮殘餘流(如圖 4-9)略具差異，其中，在臺灣東部海岸，儘管潮殘餘流的流速仍皆甚微弱，但在宜蘭的蘭陽溪口，明顯可見順沿溪口外水下沙舌蜿蜒向南的較強流速；另外，在臺灣西部海岸及臺灣海峽海域內，潮殘餘流的型態與特性，亦有強弱及型態上的變化，例如：在臺灣西南部海岸，儘管潮殘餘流的流速不大，但皆具有沿海岸而向北流動的較強流速；在臺灣中西部海岸，潮殘餘流的流向亦明顯為北向，並且在雲彰隆起的水下沉積沙體地形上，明顯存在甚強勁的順時針方向環流流場；而在臺灣西北部海岸，潮殘餘流的流速大小亦甚可觀，而且流向明顯呈現為順沿北部海岸而向東流動的特性。至於在臺灣海峽內的澎湖群島及臺灣灘海域，潮殘餘流仍明顯具有甚強勁的流速，而且呈現有順時針方向旋轉的環形渦流流場型態。

配合月潮位的逐時變化特性，為檢視潮流從月大潮至小潮期間的作用效應，在月大潮(2005/02/04)後之連續 7 日期間，觀察圖 4-15 所示 Euler 潮殘餘流流場可見，其總體特性，與月大潮(2005/02/11)之 1 日期間的潮殘餘流(如圖 4-11)約略相似，即在臺灣東部海岸，潮殘餘流的流速，普遍亦甚微弱；但在臺灣西部海岸及臺灣海峽海域內，與月大潮(2005/02/11) 1 日期間之潮殘餘流流速對照，其強弱變化及型態，似乎皆有弱化之趨勢，不過，在臺灣西南部海岸，仍可見潮殘餘流以相對較大的流速，順沿海岸而向北流動；在臺灣中西部海岸，潮殘餘流之流速更轉趨強勁，流向並會順沿雲彰隆起之水下沉積沙體地形蜿蜒地

向北流動；而在臺灣西北部海岸，潮殘餘流的流速亦尚可觀，但在近岸的流向，仍呈現混雜的向離岸變化，惟總體潮趨勢，在臺灣北部海岸，約略為沿海岸向東流動。至於在臺灣海峽內的澎湖群島及臺灣灘海域，潮殘餘流的強弱變化及型態，仍與月大潮(2005/02/11) 1日期間之潮殘餘流特性相近似，亦即其不僅具有相對最強勁的流速，同時尚具有順時針方向旋轉的環形渦流流場型態。

配合月潮位的逐時變化特性，為檢視潮流經年累月的長期作用效應，從月小潮經月大潮再回歸至月小潮的連續半月期間(2005/02/04 ~ 2005/02/19)，觀察圖 4-17 所示 Euler 潮殘餘流流場可見，其總體型態與特性，明顯是月小潮(2005/02/04)與月大潮(2005/02/11)後連續 7 日期間(參見圖 4-13 與圖 4-15)潮殘餘流的綜合，而且與圖 4-9 所示在月小潮(2005/02/04)之 1 日期間的 Euler 潮殘餘流流場甚相近似。亦即在臺灣東部海岸，潮殘餘流的流速皆甚微弱；但在臺灣西部海岸及臺灣海峽海域內，潮殘餘流的流速，則有強弱及型態不同的變化，其中，在臺灣西南部海岸，僅管潮殘餘流的流速不大，但皆具有沿海岸而向北流動的趨勢；在臺灣中西部海岸，潮殘餘流的流速較強勁，約可達 10cm/s 的大小等級，主要流向並會順沿雲彰隆起的水下沉積沙體地形，蜿蜒地向北流動；而在臺灣西北部海岸，潮殘餘流的流速雖亦可觀，但流向呈現混雜的向離岸變化，總體流向趨勢不明顯，不過，約略仍具有沿海岸向東流動的特性。至於在臺灣海峽內的澎湖群島及臺灣灘海域，潮殘餘流不僅明顯具有甚強勁的流速，同時尚具有順時針方向旋轉的環形渦流流場型態，較大的潮殘餘流流速，亦約可達 10cm/s 的大小等級。

配合臺灣鄰近海域月潮位的逐時變化特性，綜合圖 4-9 至圖 4-18 所示 1 日(24 小時)、7 日(一星期)、及 15 日(半月)不同示性潮位平均時間所得之 Euler 及 Lagrange 潮殘餘流流場型態與特性可知，潮流經年累月的長期(15 日示性期間)淨作用效應，實際上，其與潮流日以繼夜的短期(1 日示性期間)淨作用效應相當，並可由其代表。此外，值得一提的是，在臺灣西海岸上，潮殘餘流的流向普遍為北向，較大流速可

達 10cm/s 的大小等級。潮殘餘流對漂沙等特定物質長期性的傳輸作用效應，在屏東恒春、雲彰及台中、及淡水與基隆等近岸海域，尤其值得特別關注。

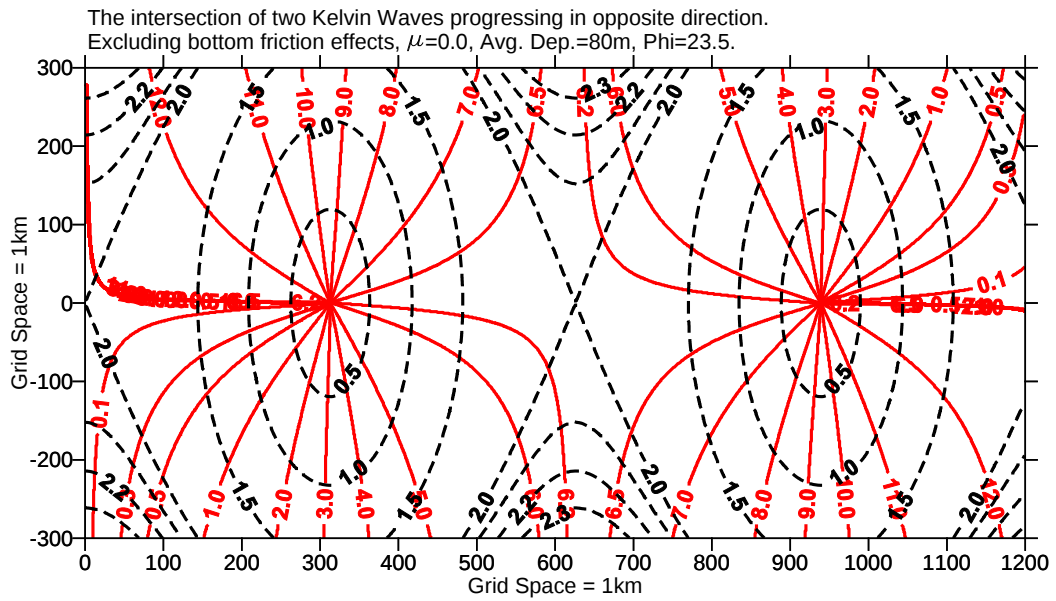


圖 4-1 忽略底床摩擦力作用之矩形海峽內凱文波交會之旋轉潮波系統同潮圖
(黑：同振幅線；紅：同潮時線)

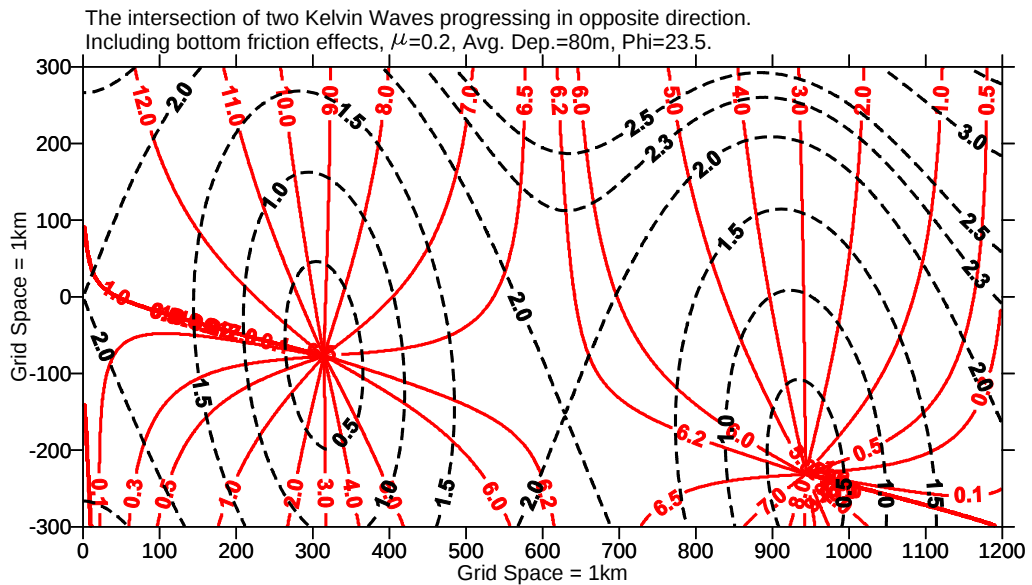


圖 4-2 考量底床摩擦力作用之矩形海峽內凱文波交會之旋轉潮波系統同潮圖
(黑：同振幅線；紅：同潮時線)

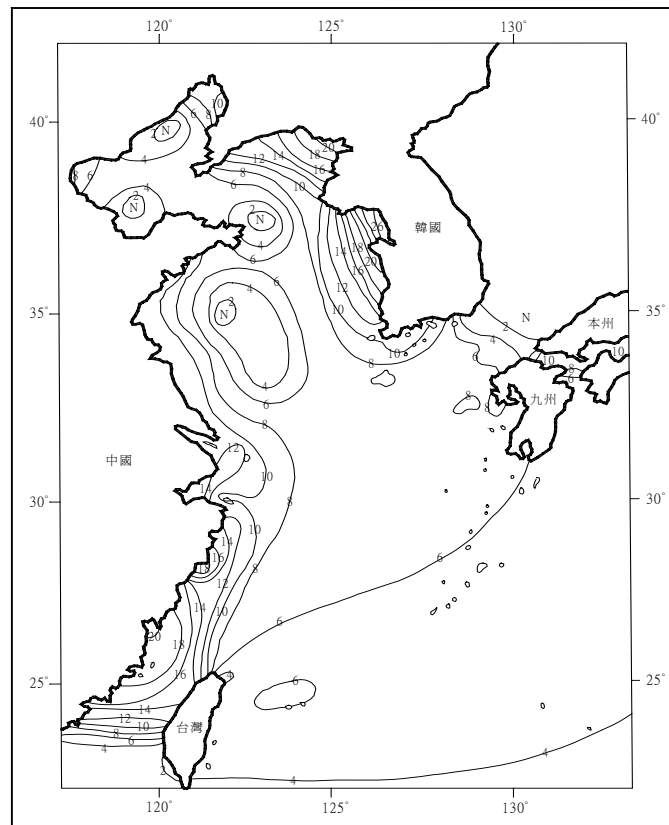


圖 4-5 臺灣鄰近海域之同潮差圖(單位：呎)

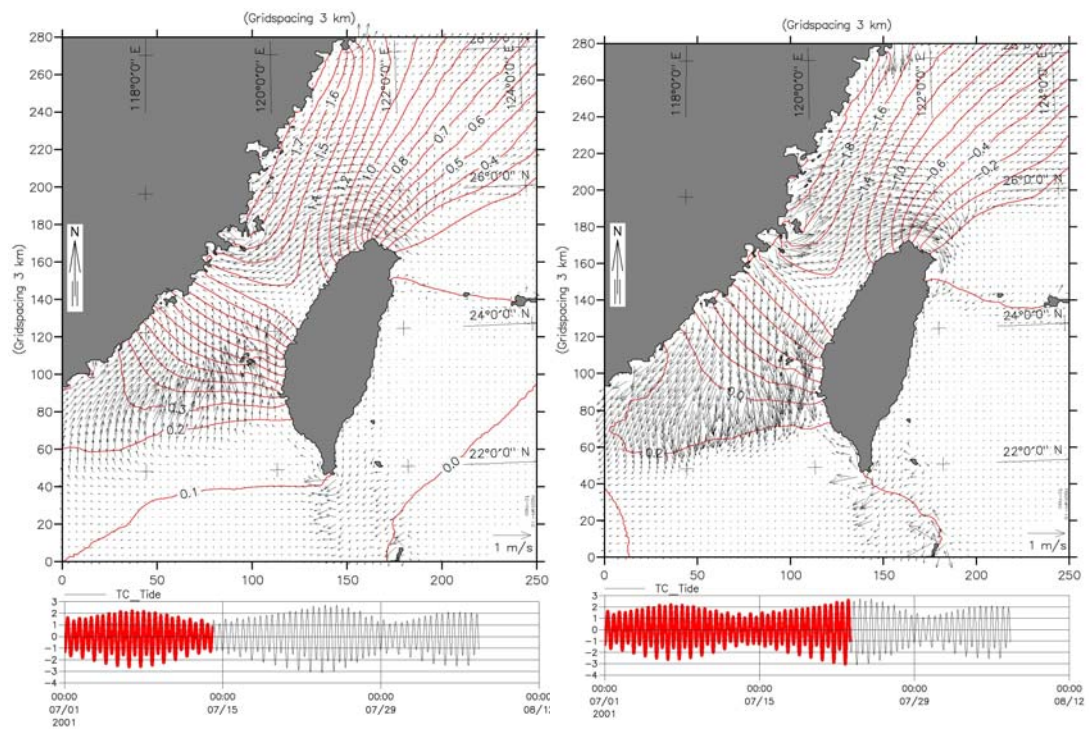


圖 4-6 臺灣四周海域月大小潮期間台中港接近乾潮及滿潮位瞬時之逐時潮位與潮流變化

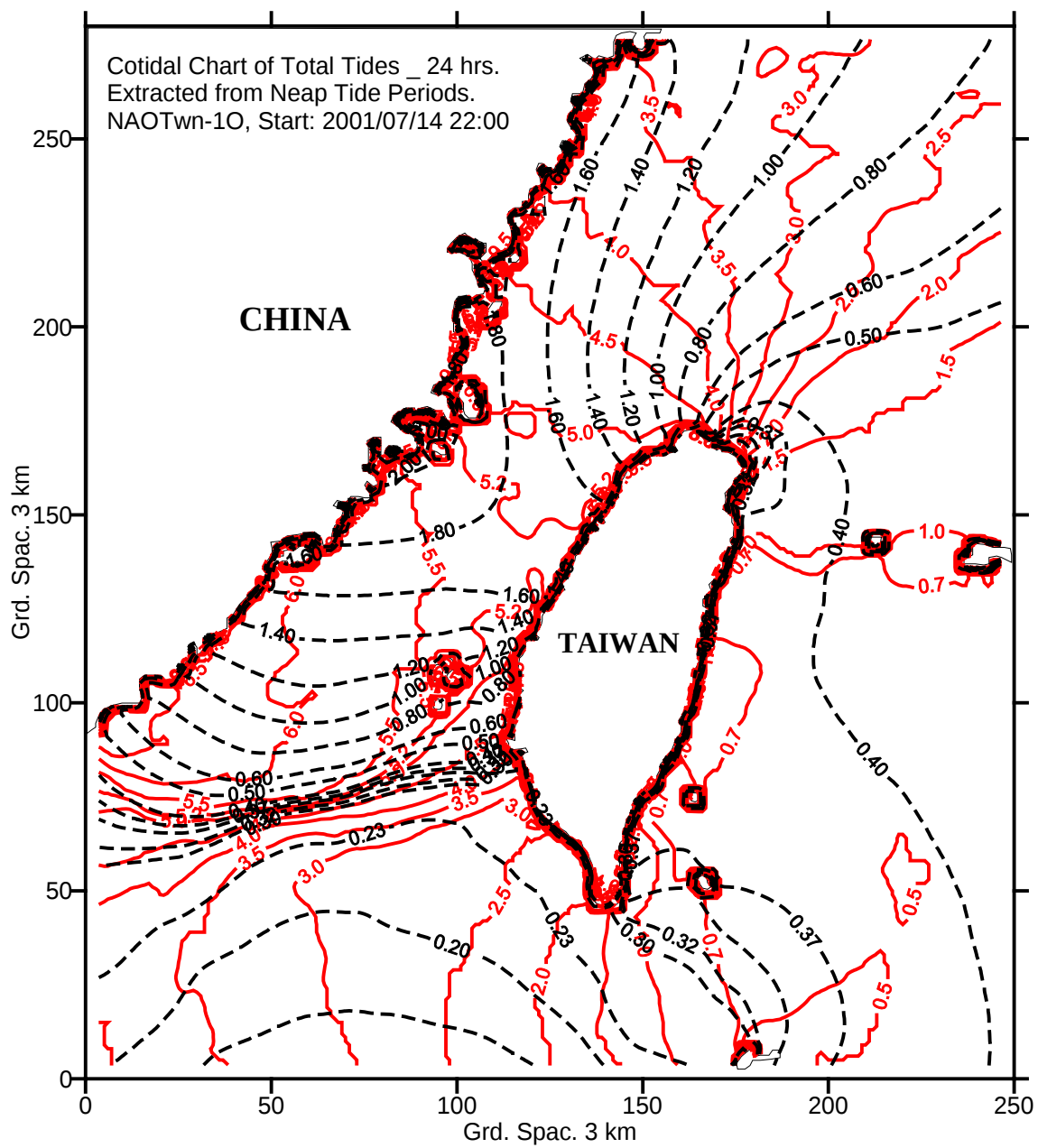


圖 4-7 臺灣四周海域月小潮期間之同潮圖(黑：同振幅線；紅：同潮時線)

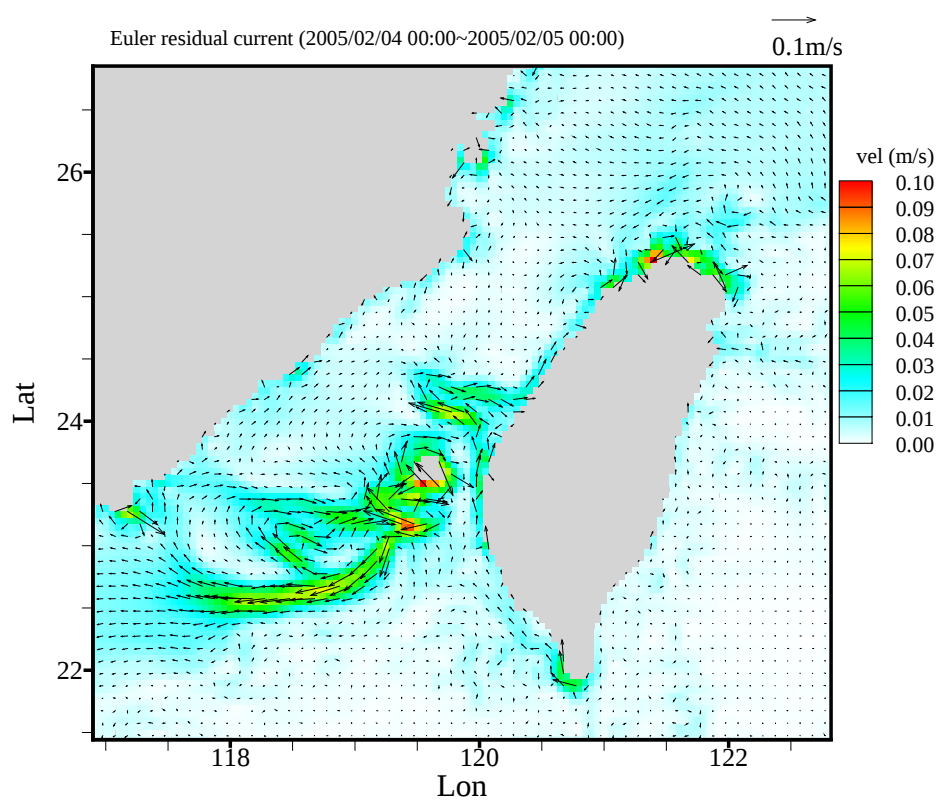


圖 4-9 臺灣鄰近海域月小潮期間 1 日之 Euler 潮殘餘流流場

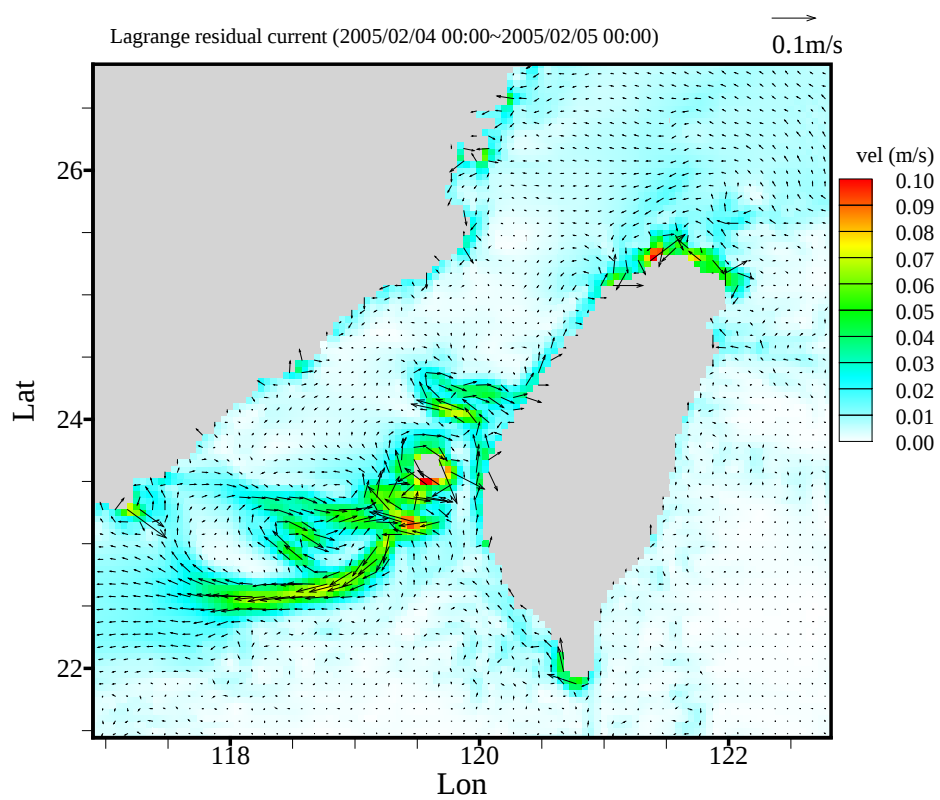


圖 4-10 臺灣鄰近海域月小潮期間 1 日之 Lagrange 潮殘餘流流場

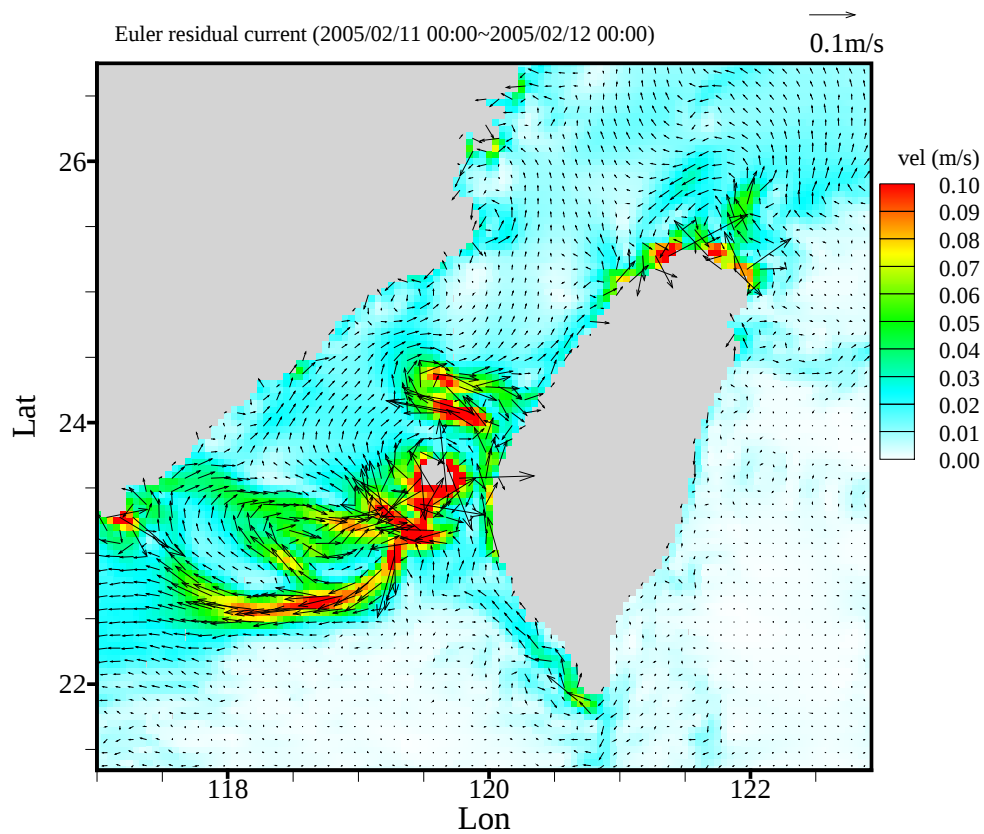


圖 4-11 臺灣鄰近海域月大潮期間 1 日之 Euler 潮殘餘流流場

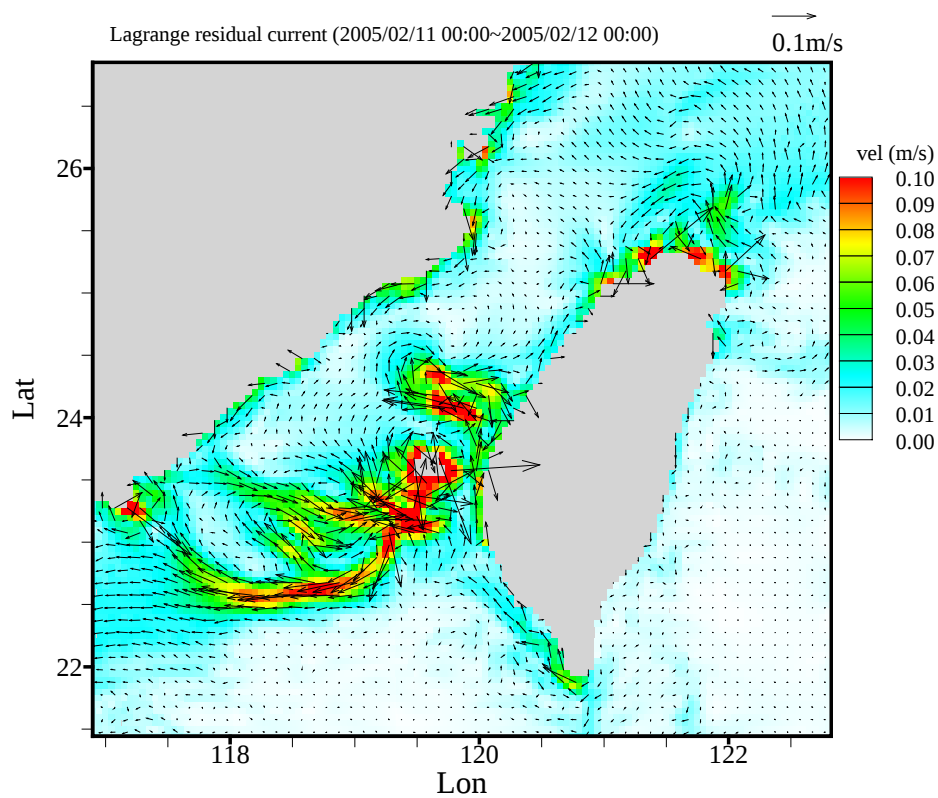


圖 4-12 臺灣鄰近海域月大潮期間 1 日之 Lagrange 潮殘餘流流場

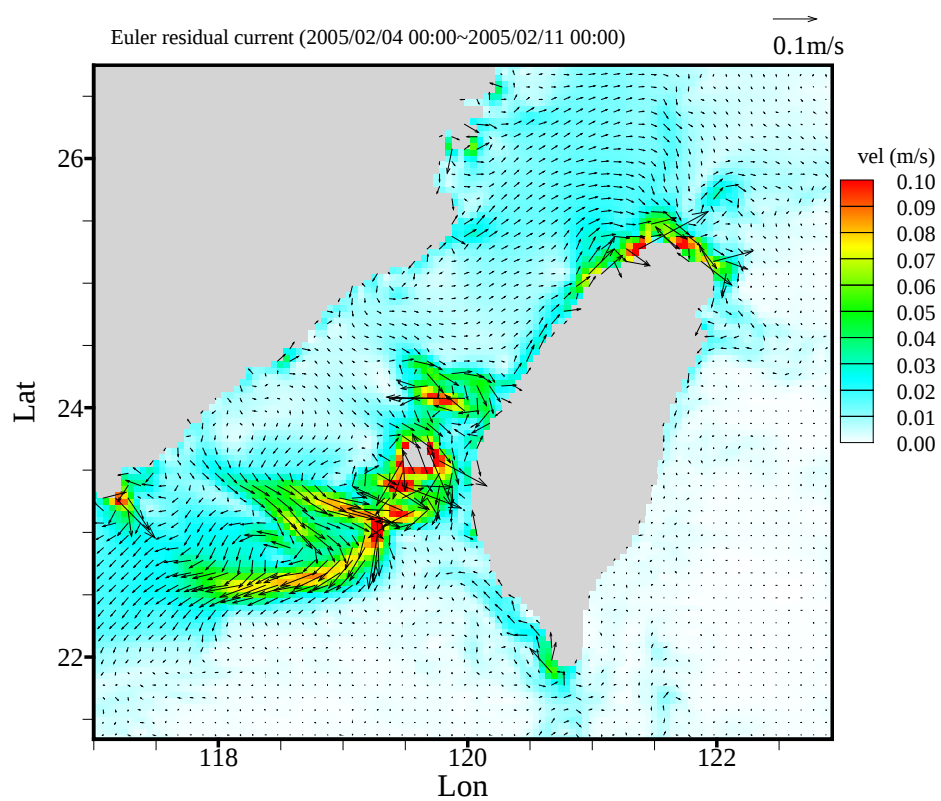


圖 4-13 臺灣鄰近海域月小潮期間 7 日之 Euler 潮殘餘流流場

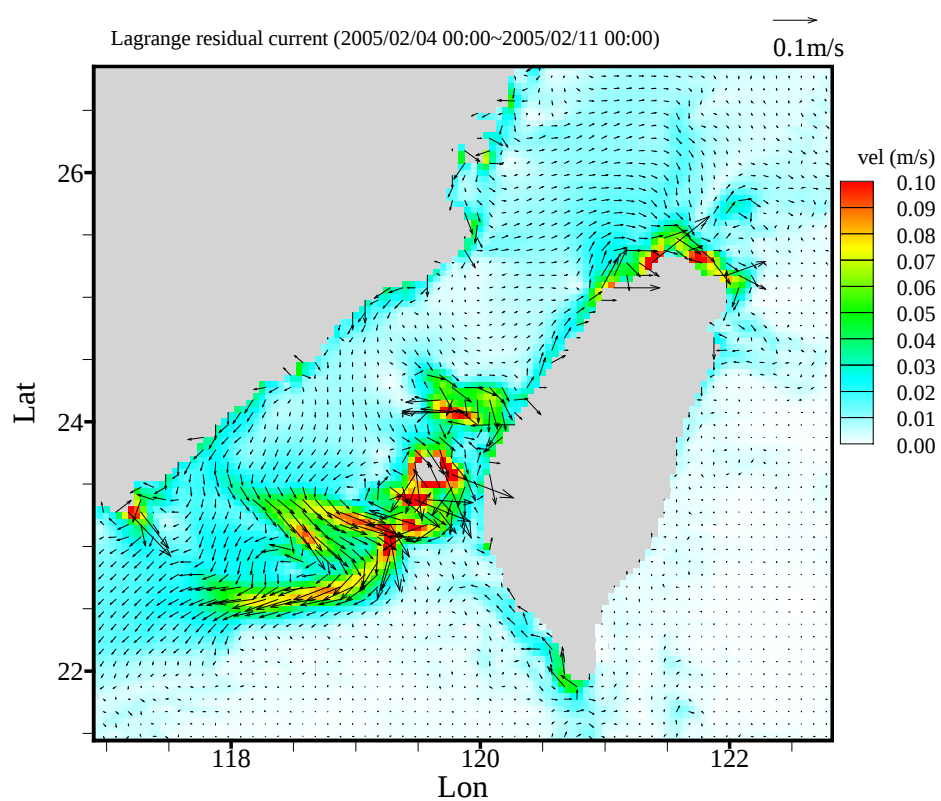


圖 4-14 臺灣鄰近海域月小潮期間 7 日之 Lagrange 潮殘餘流流場

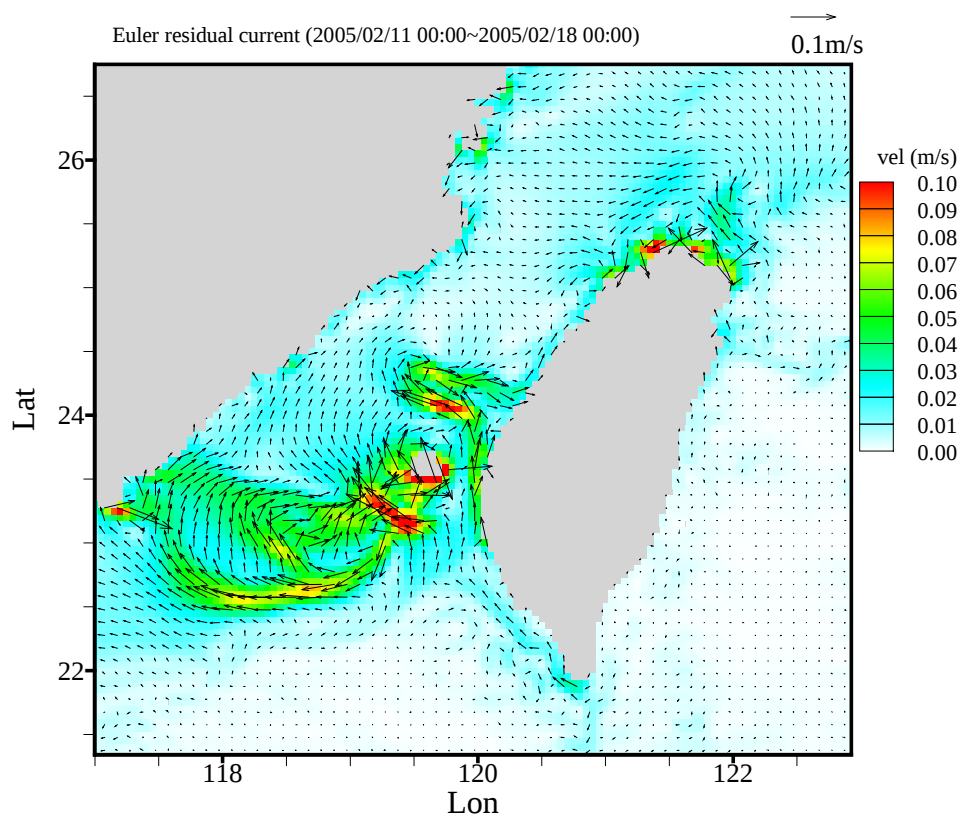


圖 4-15 臺灣鄰近海域月大潮期間 7 日之 Euler 潮殘餘流流場

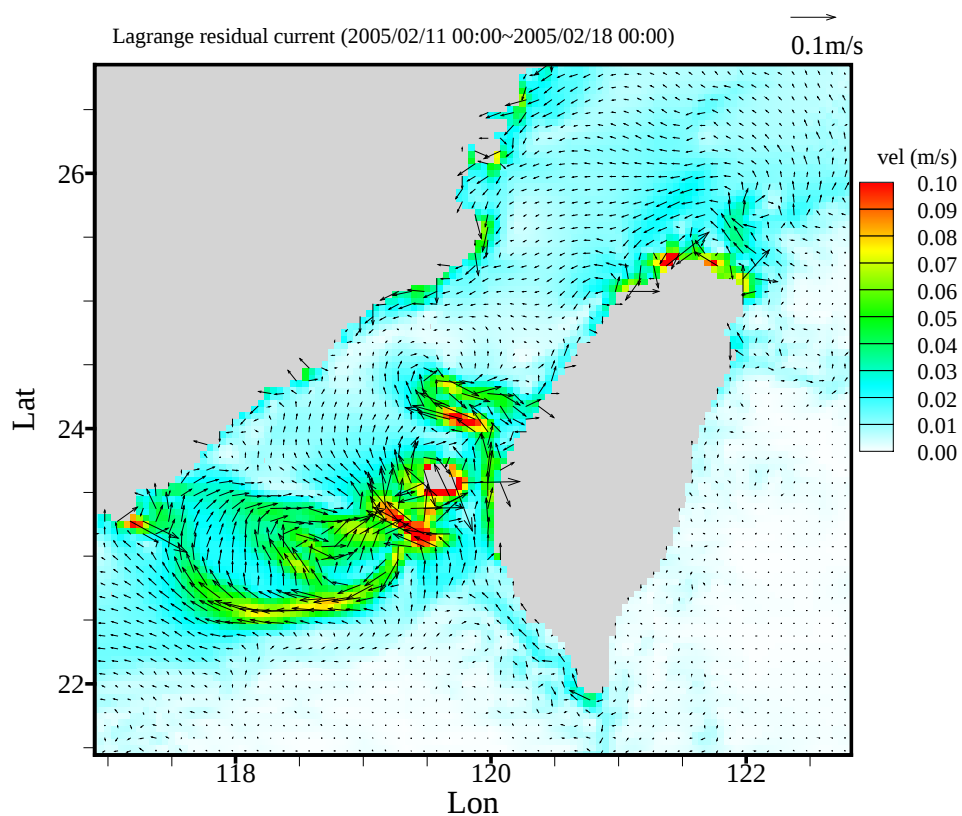


圖 4-16 臺灣鄰近海域月大潮期間 7 日之 Lagrange 殘餘流流場

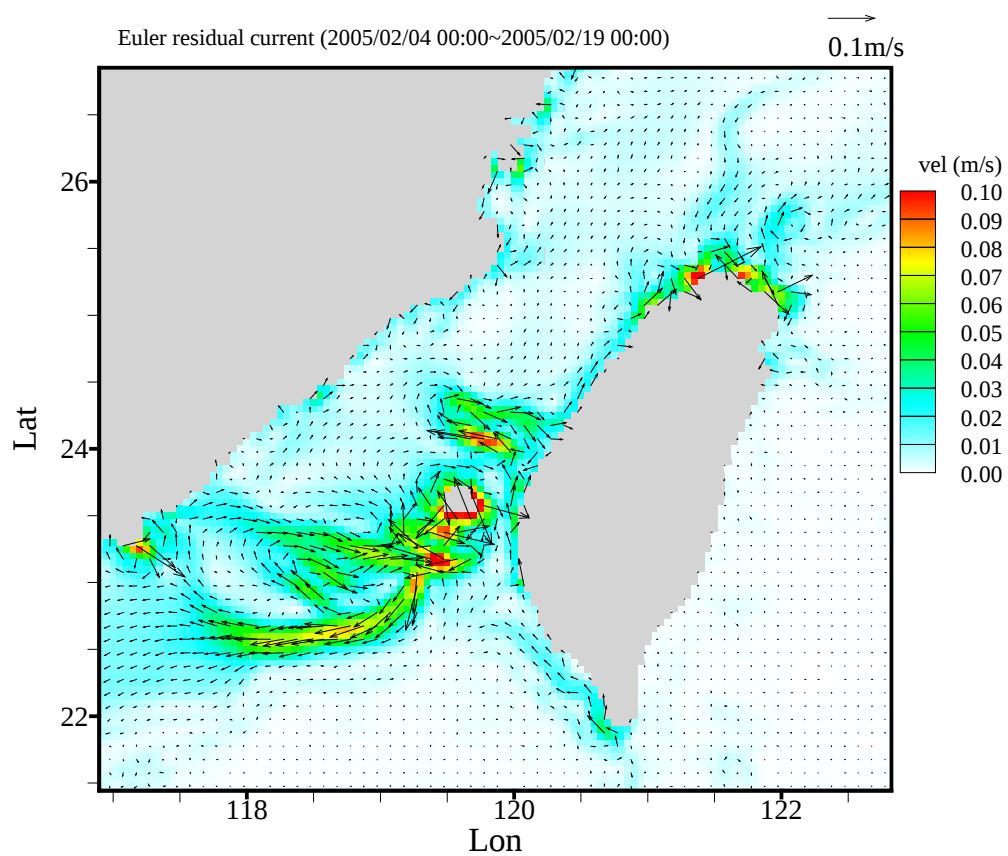


圖 4-17 臺灣鄰近海域月小潮期間 15 日之 Euler 潮殘餘流流場

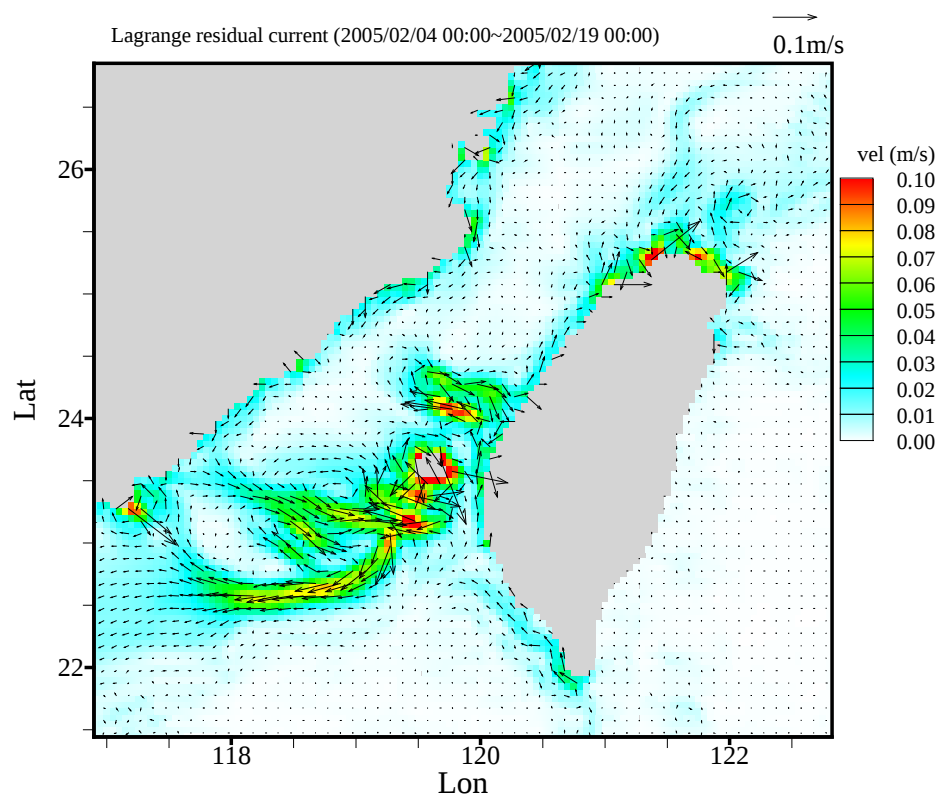


圖 4-18 臺灣鄰近海域月小潮期間 15 日之 Lagrange 潮殘餘流流場

第五章 潮殘餘流與長期性海岸的沖淤

5.1 臺灣環島海岸之沖淤課題

「綠色矽島」及「藍色國土」為政府對我國領土的建設目標。臺灣四面環海，海岸線的總長度約 1,600 公里，陸域國土面積約 36,000 平方公里，每單位面積擁有的海岸線長約 44 公尺，雖較丹麥及日本等國少，但比美、英、荷等國為高，尤其是我國領海面積約達 17 萬平方公里，「領海」約為「領土」的 4.72 倍，因此，海域環境不僅創造了廣大美麗的「藍色國土」，同時也提供了許多資源、能源和遊憩活動空間。不過，在海域環境與資源尚未能透過環境調查及科學研究完全予以充分瞭解掌握之情況下，過度開發、超限利用、過當保護與過多冒然「人為因素」的介入干擾，在「近岸海域」仍難免會因「預防」與「救濟」相關措施及對策尚未臻週全完備而導致「民生」、「環境」及「生態」等「近岸災害」(蔡丁貴 等，2002)。鑑此，為近岸災害防救的需要，也為「藍色國土」環境、資源、能源和遊憩活動空間的充分經營、有效管理及永續利用，政府對「藍色國土」相關之調查與研究，其投注的各類人力與物力資源皆應是「前瞻的」、「全面的」、「週詳的」、「整合的」、「有效的」、「即時的」、「永續的」。

臺灣環島海岸，由於東亞大陸棚架緣的地理自然環境，促使潮汐與潮流皆具有特殊性，加上季風與颱風波浪等天然的海氣象條件，以及過去數十年間之海岸超限開發利用與河川整治等因素影響，致使政府各相關部門與單位，迄今必需面對海岸長年沖蝕的課題。

眾所週知，海岸的侵蝕變遷，主要係因近岸海域漂沙運移輸送不平衡所導致。而影響近岸海域漂沙輸送運移不平衡的因素，除颱風暴潮巨浪沖襲、季風波浪作用、海岸港灣或海埔地的過度開發、超限利用或過當保護等導致近岸海域近岸流系統短期局部變化而引起海岸前灘之中、小尺度沖蝕(許、張，2001)外，潮流長期大規模攜運所引起近

岸海域漂沙輸送運移不平衡，應為海岸與近岸海域大尺度地形變化及侵蝕變遷之最重要原因(林 等，2000)。

針對臺灣環島海岸之侵蝕變遷，國內學者專家近年來多已積極主張「永續經營」對策並建議採用柔性近自然工法以進行整體海岸之防護與保育(黃，2000；許、張，2001；郭、簡，2001)。只是限於海岸漂沙與海氣象資料之充實性，「沙從那裡來？」或「沙到那裡去了？」常是評估與執行海岸防護保育對策所必須優先面對之課題(郭、簡，2001)，而欲有效面對此一課題，則尚有賴於臺灣環島近岸海域大尺度自然沖淤趨勢與長期漂沙移運優勢方向的準確掌握。

5.2 臺灣環島海域的地形水深與沖淤變遷

依據國家海洋科學研究中心測量及整理所得之數位化水深資料，臺灣環島近岸海域之地形水深如圖 5-1(詹，2002)所示。由圖上色階或水深等值線變化可看出，在臺灣環島近岸海域存在有海脊、海谷、深溝、隆起等複雜的地形構造。其間，在臺灣海峽之中北部，明顯可見兩個呈東北－西南走向的凹陷，在桃園外海的凹陷稱為「觀音凹陷」，最深處水深超過 80 米；鄰近烏坵海域南側的凹陷稱為「烏坵凹陷」，水深較淺；在海峽中間，由彰化、雲林海岸向西北延伸約達臺灣海峽中線附近且呈東西走向的水下隆起沙體地形稱為「雲彰隆起」，水深約在 50 米以內；在臺灣海峽的南部海域，於澎湖群島與嘉義海岸間存在有俗稱黑水溝的「澎湖水道」，此海溝水道北由「雲彰隆起」南側起，向南呈喇叭狀開口，水深由北端 60 米起往南驟增，水道開口端水深可約達 1000 米；於澎湖水道以西及臺灣海峽西南端海域尚有一片淺灘地形，俗稱「臺灣灘」，淺灘上水深僅約 20 米左右。以上所述存在於臺灣環島近岸海域的凹陷、深溝、淺灘及水下隆起沙體等地形，不僅會對臺灣海峽的海流型態造成很大的影響(詹，2002)，其地形構造型態與其上的沉積物及沉積層厚度，更是本研究探討臺灣環島海岸沖淤變遷及長期漂沙移運優勢方向的重要指標。

另外，依據實際調查及測量資料統計分析顯示，臺灣環島海岸，除部分礁岩海岸外，其餘大部分皆陳現沖蝕趨勢(張、黃，1997；歐 等，2001；郭、簡，2001)，如圖 5-2 所示。從傳統之波浪作用及輸沙平衡之觀點出發，仔細觀察圖 5-2 可知，位於臺灣西部之海岸，由於較少直接面對颱風巨浪或季風波浪之經常衝擊，因此，海岸發生沖蝕之區段普遍較其他海岸和緩，部分海岸區段甚致尚存在有淤積之趨勢，僅管如此，分別位於臺灣西部海岸南、北兩端之鵞丁及淡水海岸，仍呈現明顯之侵蝕。

5.3 臺灣環島海域的海流與潮流

海流及潮流是近岸海域漂沙長期運移的主要動力。為探討臺灣環島近岸海域大尺度海岸的自然沖淤趨勢與長期漂沙運移的優勢方向，因此有必要先瞭解臺灣環島近岸海域的海流及潮流特性。

在實測海流特性方面，台大海洋研究所莊文思、王甯等教授曾使用錨碇海流儀直接進行臺灣海峽海流的量測，並依據量測分析結果證實臺灣海峽的海流經年向北流，惟於冬季東北季風強盛時，偶而有南流的現象(王，2002)。在 1999~2001 年期間，海研一、二、三號研究船曾進行臺灣海峽的海流觀測，國家海洋科學研究中心王玉懷博士針對觀測結果分析(王，2002)，所得的平均流場如圖 5-3 所示；圖 5-4 所示則為台大海洋研究所唐存勇教授等為測量黑潮洋流所彙整得到臺灣環島海域冬、夏季全年平均之海流流場(劉，2002)。由圖 5-3 及圖 5-4 綜合觀察可清楚看出，除黑潮洋流以甚強的流速順著臺灣東部海域由南往北流外，臺灣海峽的海流年平均也確實是由南往北流動，流速在臺灣這一側明顯比靠大陸側強，在澎湖水道中較強流速可達 40 cm/s，海流北上通過雲彰隆起處，會受淺灘阻擋而偏流，之後又貼回臺灣西北部海岸。另由平均流及水深計算，可得臺灣海峽全年的平均流量為 1.8 Sv($10^6 \text{ m}^3/\text{s}$)，其中約有一半是流經寬約 30 公里的澎湖水道，另一半則流經寬度超過 130 公里的臺灣淺灘，因此，前者水流湍急，而後者水

流則較為和緩(王，2002)。

在臺灣環島近岸海域潮流的數值模擬計算方面，交通部運輸研究所港灣技術研究中心(莊、江，2000~2005)結合中國大陸、韓國、日本、及菲律賓等國部分鄰近臺灣驗潮站的預報資料，於含括大、小潮之半月期間內，應用水深積分後之二維非線性淺水波水動力計算模式 MIKE21_HD (DHI,1996)，可得臺灣環島近岸海域，在一潮汐的漲退週期內，潮流之計算流場分別如圖 3-36 至圖 3-37 所示。圖中，潮位以台中港為參考基準，色階表示計算海域潮位的高低；箭矢則表示潮流之大小及方向。至於應用 POM 三維非線性海洋環流水動力模式進行臺灣鄰近海域潮流之模擬計算，相關結果分別如圖 3-12 至圖 3-35 所示。

對照圖 5-1 的地形水深，觀察圖 3-12 至圖 3-35 可知：臺灣環島近岸海域之計算潮流，受東亞大陸棚架地形的影響甚為顯著，故在臺灣海峽南、北端的大陸棚架緣以及懇丁、將軍、淡水及富貴角等海域，潮流的流速普遍甚強，而在臺灣海峽中段的台中、臺灣西南部的高雄以及臺灣東部海域，潮流的流速普遍皆甚弱。此外，當台中港潮位自滿潮退降至乾潮期間，潮流會從海峽中段分別向南、北兩端開口以極強的流速輻散流出；而當台中港潮位自乾潮漲昇至滿潮期間，潮流會分別從臺灣海峽之南、北端開口以甚快的流速流入，並向海峽中段海域匯聚。

此外，針對臺灣環島近岸海域漲退潮期間之計算潮流而言，參考圖 3-12 至圖 3-35，值得特別注意的是，因潮流的非線性本質及因局部海岸地形的影響，潮流分別自臺灣海峽南、北端開口流出的速度平均將比流入快，因此，在臺灣環島近岸海域看似極具週期性往復流動的潮流，仍會衍生具特定流速與方向的潮殘餘流。

5.3 臺灣環島海域的水下大型沉積沙體

為更全面深入地掌握臺灣環島近岸海域的沖淤趨勢，配合臺灣環

島近岸海域實測的平均流與模擬計算的潮流特性，依據 1998 年我國聯合勤務總司令部測量署製繪五十萬分之一比例尺之「臺灣省全圖」，如圖 5-5 所示，從圖中由南而北以順時針方向圍繞臺灣環島近岸海域，觀察白色階之 50 米內等深線可發現：

- (a) 在臺灣南部懇丁南灣海域，存在有一朝西之魚尾型水下沙體，此魚尾型之水下沙體，由於其存在之水深深達 50 米，應遠非波浪作用所能影響，故本研究推論其應係臺灣南端海域因潮流衍生地形殘餘流之恒常運移作用所造成。
- (b) 在臺灣南部高屏溪及東港溪河口，於聯結高雄港一港口、枋寮、及小琉球島之三角形海域內，存在有一寬敞之弧形水下沙體，由於本區海域潮流流速甚弱(莊、江，2000)，故本研究推論此弧形水下沙體應與高屏溪及東港溪河流之輸砂沉積直接相關，只是受高屏溪口外之高屏峽谷影響，弧形水下沙體因此於小琉球島北側顯現一海溝型態之缺口，此外，沿著澎湖水道北上，自高雄港第一港口至嘉義濁水溪口間，水下沙體之寬度普遍甚大，且有由南向北遞增之趨勢，鑑於本區海域經常波浪之波高一般並不大，因此，本研究推論自台南七股海岸以北海域，潮流應為影響水下沙體型態之主要因素，且因潮流衍生地形殘餘流之優勢運移方向應是由南而北。
- (c) 在臺灣中西部海域，於彰化、台中海岸外，存在有一形狀非常清晰之三角形大型水下沙體，此即為「雲彰隆起」，依據臺灣環島半日型潮波之共振理論(Lin et al., 2000)及共振潮波顯現之部分重複駐潮型態(莊、江，2000；Juang et al., 2001)可知，雲彰隆起恰約位在部分重複駐潮之腹點(anti-node)海域，雖然本海域冬季風浪較大，但因季風浪引起之近岸流勢難影響水深及於 50 米之水下沙體沉積，因此，本研究由駐潮腹點潮流應具弱流速且應充分展現輻散聚合特性，推論雲彰隆起水下沙體之形成，應係臺灣海峽內駐潮腹點潮流之恒常輻散匯聚運移作用所直接造成，此外，雲彰隆起水下沙體之存在規模與其變化，應可作

為臺灣西部海岸發生沖淤，而究竟「沙從那裡來」、「沙往那裡去」等相關疑問之闡釋輔助。

- (d) 在臺灣西北部淡水河口海域，甚至南達桃園、新竹海域，50 米等深線以內之水下沙體寬度普遍較臺灣西南部海域狹窄，尤其在淡水河口海域外，原應有發達之沙舌型(salient)水下沙體，不過，在本海域內未明顯呈現，殘存之遺蹟僅可見於「觀音凹陷」與桃園之北部海域間，因此，本研究推論臺灣西北部海域之潮流仍應為影響水下沙體存在型態之重要因素，且因潮流衍生殘餘流之優勢運移方向也應是由南往北。
- (e) 在礁岩型之臺灣北部海域，50 米等深線以內之水下沙體與臺灣東部海域類似皆不發達，僅管如此，在鼻頭角北部海域仍清楚可見 200 米等深線之沙舌型水下沙體沉積，復依據臺灣環島半日型潮波之共振理論(Lin et al., 2000)可知，臺灣北部基隆海域約洽位於部分重複駐潮之結點(node)海域，由於駐潮結點強盛潮流輻散流速之移運(莊、江，2000；Juang et al., 2001)，因此，本研究推論臺灣北部基隆海域外 200 米等深線之沙舌型水下沙體，應係臺灣西北部及北部海域近岸沙源被潮流衍生地形殘餘流之優勢運移作用所形成之總沉積。
- (f) 在臺灣東北部之宜蘭海域，雖然本海域經常遭受季風與颱風波浪之衝擊，但於正對蘭陽溪口外，即使從 200 米等深線觀察，仍明顯可見一型態完整之沙舌型水下沙體，可見本海域之潮流與其衍生之地形殘餘流，其流速普遍應甚弱，對水下沙體之沉積型態影響勢必甚為有限，漂沙之優勢運移方向因此應主要取決於波浪之作用，也基於本海域海象水理特性之差異及河口沙舌型水下沙體之完整呈現，故本研究乃可據以推論潮流與其衍生之地形殘餘流對水下沙體之發展與海岸沖淤變遷之長期影響。

勵志俗諺有云：“凡人走過必留下足跡”。對海流與輸沙間的自然

因果關係，同理應是：“凡水流過必留下沙痕”。所以，在臺灣環島近岸海域所陳現的大型淺灘或水下沙體，應皆是近岸漂沙長年被海流及潮流運移後，經長期性的沉積所遺留下來的自然痕跡。

5.4 臺灣環島海域的輸沙潛勢與潮殘餘流

在臺灣環島海域，由近岸漂沙長年沉積所形成的大規模水下沙體，因其存在的水深係在 50 米等深線的範圍，部分甚至深達 200 米，所以，因颱風巨浪沖蝕及因風浪作用所引起短期性的近岸流輸送，勢必難以影響近岸漂沙長年的沉積型態。因此，在近岸海域各種足以影響近岸輸沙的可能因素中，潮殘餘流不僅應是近岸漂沙甚為重要的輸運動力，潮殘餘流的大小及方向，更可用以研判海岸長期的變遷趨勢與輸沙運移的優勢方向。

為克服以往從事大尺度海岸侵蝕與近岸海域地形變遷課題所面對之研究限制，本研究將從圖 4-9 至圖 4-18 所示 1 日(24 小時)、7 日(一星期)、及 15 日(半月)不同示性潮位平均時間所得之 Euler 及 Lagrange 潮殘餘流觀點出發，應用近期針對臺灣環島近岸海域模擬計算所求得含括大、小潮共半月期間之長期逐時潮流流場(莊、江，2000；Juang et al., 2001)，使用一般近岸海域海床底質粒徑分佈參數與 Engelund & Hansen (1976)之總漂沙(total load)濃度公式，配合丹麥水力研究所之 MIKE21_ST 漂沙計算模式(DHI, 1996)，藉潮流之漂沙攜運動力，以探討臺灣環島近岸海域大尺度長期平均之輸沙潛勢(sediment transport capacity)，並闡釋臺灣環島海岸之沖淤變遷趨勢，進而提供釐定相關海岸保育與防護對策之參考。

為確認潮殘餘流對近岸輸沙的決定性影響，應用臺灣環島近岸海域含括月大、小潮期間之潮流逐時計算流場，配合 MIKE21_ST 輸沙模式(DHI, 1996)，使用 Engelund & Hansen(1976)之總輸沙(total load)公式，經進一步模擬計算後，可得臺灣環島近岸海域半月平均的長期輸沙潛勢(sediment transport capacity)，結果如圖 5-6 所示。圖中，輸沙潛

勢的強弱大小，以色階深淡值表示，其單位為每公尺距離內每年以立方公尺計算的輸沙量($\text{m}^3/\text{yr}/\text{m}$)；箭矢長短與指向分別表示長期平均的優勢輸沙量之大小與方向。故而，在局部海域內，若有深藍色階的高輸沙潛勢呈現，將意謂該海域的潮殘餘流運移作用較強勁，並且具有沖蝕(erosion)趨勢；反之，若呈現淺藍色階的低輸沙潛勢，則意謂該海域潮殘餘流的運移作用較微弱，並且具有淤積(deposition)的趨勢。

依據以上輸沙潛勢與潮殘餘流的相關性，對照圖 4-9 至圖 4-18 所示 1 日(24 小時)、7 日(一星期)、及 15 日(半月)不同示性潮位平均時間所得之 Euler 及 Lagrange 潮殘餘流流場型態與特性，從圖 5-6 中，首先觀察臺灣環島近岸海域總體輸沙潛勢強弱的分布變化可知：在臺灣東部、中西部及西南部近岸海域，輸沙潛勢普遍甚小，可見潮殘餘流在該三部分海域的流速甚微弱，故皆應具有近岸漂沙淤積的趨勢，不過，在臺灣東部及西南部近岸海域，由於該二部分海域的水深甚深，故漂沙的沉積不易展現，但在水深較淺的中西部海域，由於近岸漂沙大量的沉積，因此，形成「雲彰隆起」海域的水下沙體；另外，在臺灣西北部及臺灣海峽南端陸架緣海域，輸沙潛勢一般甚大，潮殘餘流在該二部分海域的流速也甚強勁，故皆應具有海域沖蝕的趨勢，因此，在臺灣西北部海域有「觀音凹陷」及「烏坵凹陷」的形成，而在臺灣海峽南端陸架緣端海域，從地形水深南北縱剖面亦可見陸架緣端附近明顯存在的沖蝕斜坡。將以上臺灣環島近岸海域總體輸沙潛勢所顯示的海域沖淤特性，與圖 5-1 所示的臺灣環島近岸海域地形水深相對照，可確認兩者具有完全相符的趨勢，且潮殘餘流確實在其間扮演甚為重要的角色。

其次，在臺灣海峽海域，因潮殘餘流長期固定大小與方向的持續輸沙作用，導致臺灣海峽長期平均的輸沙優勢方向明顯地為由南往北，此輸沙優勢方向的導出，不僅與臺灣海峽的海流經年是由南往北流的特性一致，以輸沙潛勢大小及方向展現的潮殘餘流，更與圖 5-3 及圖 5-4 所示實測平均海流的分布型態密切地吻合。可見，在臺灣海峽的實測平均海流，實際上可能與潮殘餘流的型態與特性相關。此一依

據輸沙潛勢大小及方向所作的推論，將待後續研究作進一步的確認。

最後，就局部沿岸海域觀察圖 5-6 的輸沙潛勢變化可得：在臺灣南部的懇丁南灣沿岸海域，可見輸沙潛勢甚大，潮殘餘流之沖蝕作用甚強，因此，該局部海域應具有海岸長期的侵蝕趨勢，且其輸沙的優勢方向主要為由東向西，再與圖 5-5 中所示存在於懇丁南灣海域的魚尾型水下沙體對照，可確認具由東向西優勢作用方向的強潮殘餘流，確實是懇丁南灣海域魚尾型水下沙體形成的主要動力。

在臺灣西南部的屏東、高雄及安平港沿岸海域，輸沙潛勢甚小，潮殘餘流之沖蝕作用極弱，所以，該海域局部海岸的侵蝕趨勢，主要應取決於當地短期的波浪作用，不過，仔細觀察圖 5-6，在屏東小琉球島海域仍可見潮殘餘流的方向為由南往北，而在安平港近岸海域，潮殘餘流的方向則轉為由北往南。

在澎湖南側及澎湖水道海域，相對於臺灣西南部具微小輸沙潛勢的其他海域，本海域普遍具有極高的輸沙潛勢，潮殘餘流之沖蝕作用也極強，最明顯的沖蝕海域大多位於鄰近臺灣海峽南端的大陸棚架緣，只是，在大陸棚架緣南側，潮殘餘流之優勢沖蝕作用方向主要為南向，而在大陸棚架緣北側，潮殘餘流之優勢沖蝕作用方向反轉為北向，因此，澎湖海域主要的輸沙優勢方向為由南往北，至於「臺灣灘」的形成，可能係因為潮殘餘流北向輸沙潛勢降低，因而導致漂沙的自然沉積。

在澎湖水道海域東側的台南與嘉義一帶近岸海域，仔細觀察圖 5-6 可得，近岸海域的輸沙潛勢有由北往南遞減的趨勢，可見，本段沿岸海域的輸沙優勢方向與澎湖水道西部海域正好相反，在強潮殘餘流的作用下，本段海岸除應具有長期自然的侵蝕特性外，尚可看出沿岸海域輸沙優勢方向主要為由北往南。

在臺灣中西部的彰化、台中及苗栗一帶近岸海域，由圖 5-6 明顯可見，本段海岸的輸沙潛勢甚微小，潮殘餘流的沖蝕作用也極微弱，所以，本段海岸原應具有自然的漂沙淤積趨勢，因此，可能造就「雲彰

隆起」的形成，僅管如此，再仔細觀察「雲彰隆起」海域細部輸沙潛勢的變化可得，臺灣中西部海域因潮殘餘流作用所衍生的輸沙優勢方向，總體而言，仍為由南向北，故本段海岸局部發生的侵蝕，主要應係當地短期波浪的作用所導致。

在桃園觀音、淡水至基隆一帶的臺灣西北部及北部近岸海域，觀察圖 5-6 可得，本海域的輸沙潛勢與臺灣西南部的台南至嘉義海域類似，普遍皆具有極高的輸沙潛勢，潮殘餘流之沖蝕作用也最強勁，因潮殘餘流所造成的整體輸沙優勢方向很明顯地為順臺灣北部海岸由南而北再向東，故本段海岸除具有長期的自然侵蝕趨勢外，「觀音凹陷」及「烏坵凹陷」可能也因強勁潮殘餘流的輸沙移運作用而在本海域內發展。

在臺灣北部海岸，從圖 5-6 所示的輸沙潛勢強弱變化觀察可發現，本段海岸的沖蝕以富貴角海域最明顯，不過，在鼻頭角及三貂角附近海域，漂沙仍具有局部淤積的趨勢，因此可能促成圖 5-5 中位在鼻頭角及三貂角北部，水深 200 米海域，沙舌型水下沉積沙體的形成。

在宜蘭沿岸海域，輸沙潛勢甚小，潮殘餘流對輸沙的影響明顯降低，但仔細觀察圖 5-6，在頭城附近的海岸仍應具自然的淤積趨勢。

在臺灣東部的海岸，由圖 5-6 可明顯地看出，本段海岸整體的輸沙潛勢甚微小，潮殘餘流的運移作用應微不足道，故臺灣東部海岸的侵蝕與輸沙優勢方向，主要將取決於當地短期型態的波浪作用。

至於臺灣環島沿岸總體實際的侵淤變遷趨勢，依據圖 5-2(張、黃，1997)可知，臺灣環島沿岸，除部分礁岩海岸外，其餘大部分海岸皆具有長年侵蝕的趨勢。將圖 5-2 與圖 5-5 及圖 5-6 所示的海岸沖淤趨勢相互對照，可得彼此間具有甚高的吻合度，足證本研究從近岸海域輸沙潛勢圖與水下沙體的存在型態觀點出發，不僅可準確地掌握臺灣環島海岸長期沖淤變遷的自然趨勢，透過輸沙潛勢運移方向的展現，更可充分提供近岸海域潮殘餘流的優勢輸沙方向資訊。

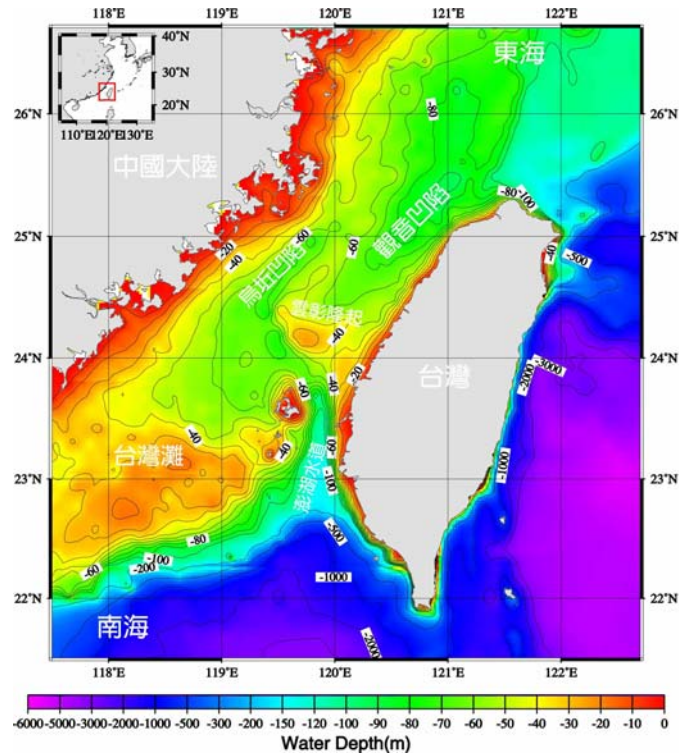


圖 5-1 臺灣環島近岸海域的水深地形(資料來源：詹森，2002)



圖 5-2 臺灣環島海岸的沖淤趨勢分佈(資料來源：張、黃，1997)

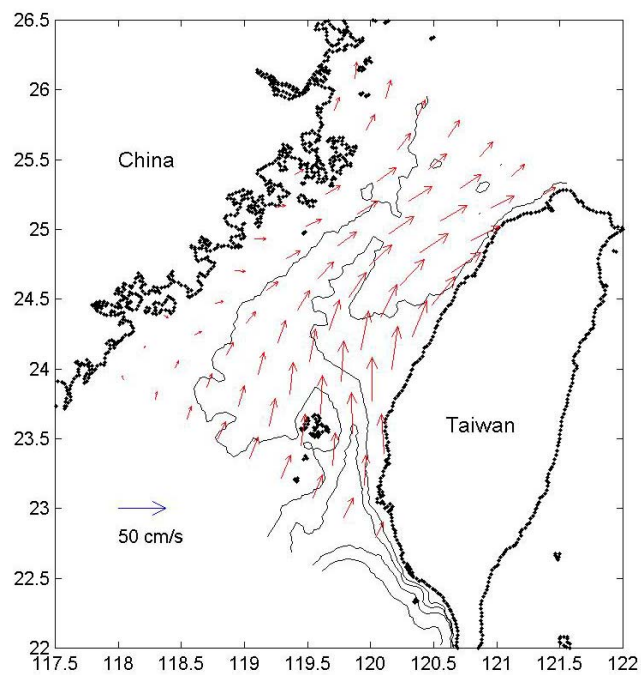


圖 5-3 臺灣海峽海域應用 1999-2001 年 Sb-ADCP 觀測資料分析所得之平均流
(資料來源：王玉懷，2002)

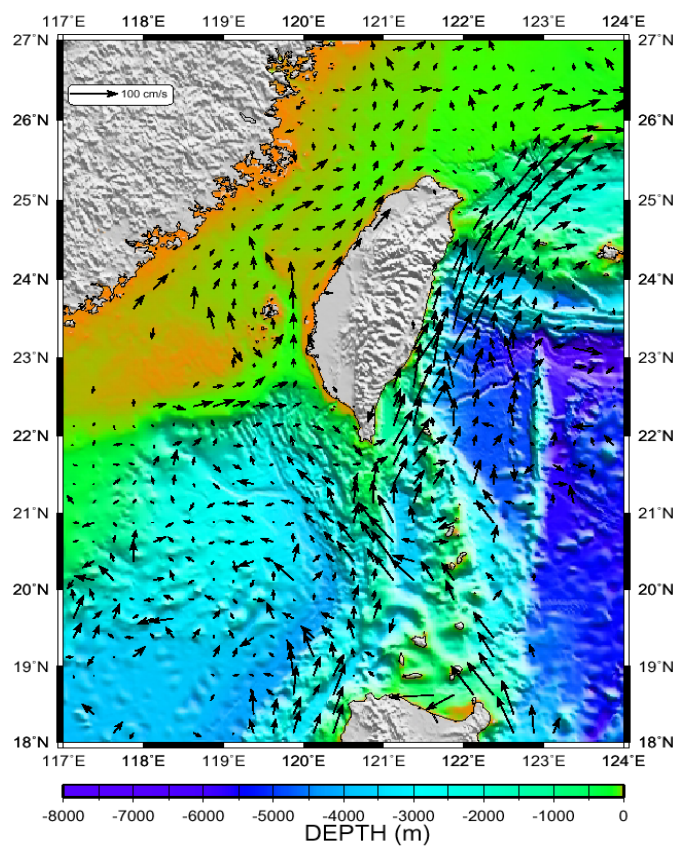


圖 5-4 臺灣環島海域實測之年平均表層海流型態
(資料來源：國家海洋科學研究中心資料庫)



圖 5-5 存在於臺灣環島近岸海域之水下大型沈積沙體

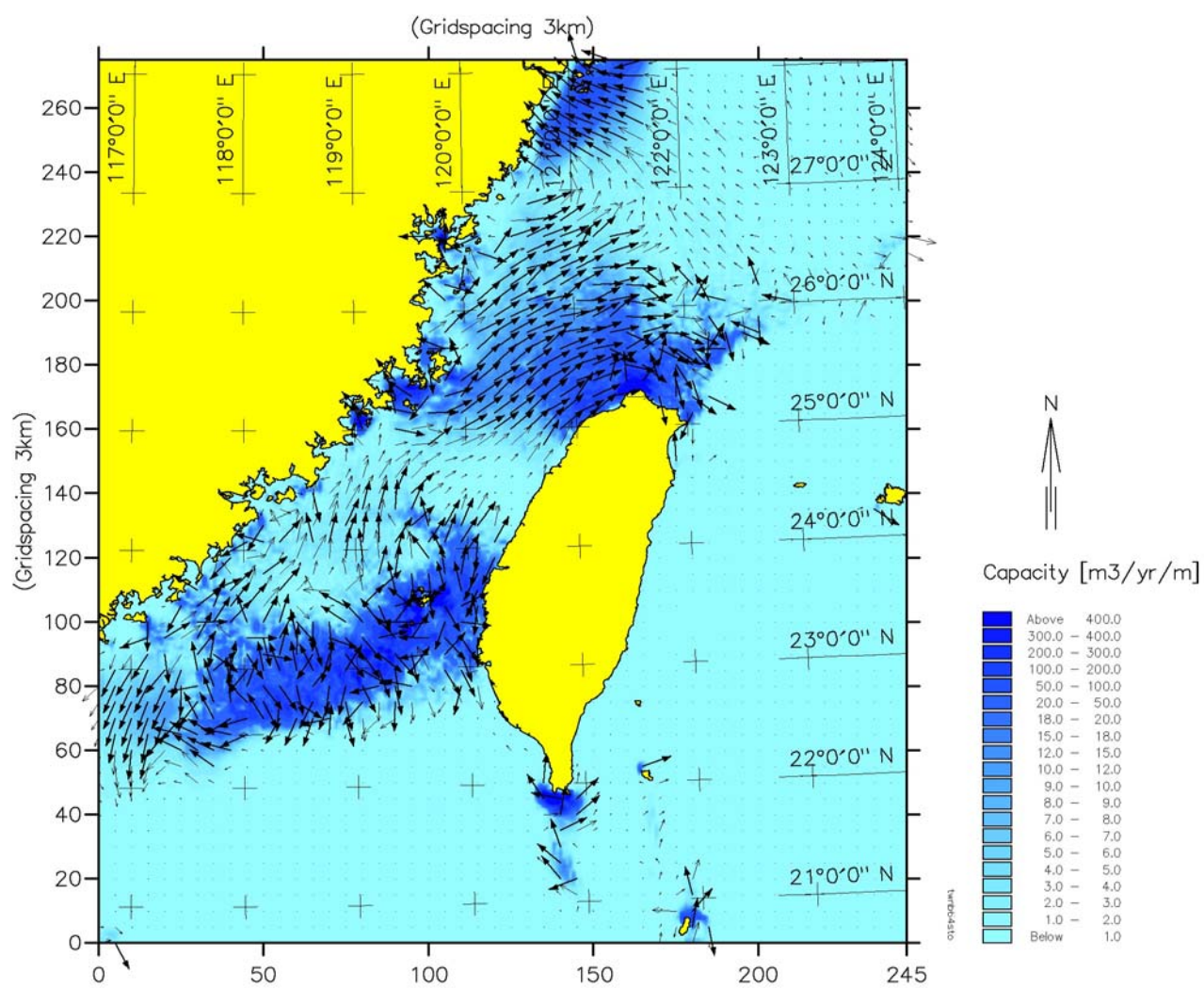


圖 5-6 台灣鄰近海域於含括月大小潮期間連續 15 日逐時潮流作用下模擬計算之輸沙潛勢強弱分布(色階)及輸沙主要運移方向(箭矢)

第六章 結論與建議

6.1 研究目的與問題簡述

波浪碎波引致的近岸流及因潮汐漲退所自然衍生的潮流，皆是近岸海域漂沙物質的主要輸送動力。自民國六十二年以來，僅管政府已釐訂全國海堤整建計畫，並陸續於臺灣環島沿岸海岸沖蝕災害較嚴重地區，採行興建海堤、突堤、及離岸堤等硬性海岸保護工法，惟部分海岸，一般在僅考量極短期的特定波浪碎波所引致的近岸流作用下，依舊面對長期性與全面性之海岸沖蝕問題，原來綿延 1,520 公里長之海岸線，現今 80% 仍顯現侵蝕趨勢。顯見，造成海岸沖蝕的原因，除了近岸流的局部短期性作用外，尚須全面性考量長期的潮流作用影響，惟國內有關此一課題的研究，迄今仍甚有限。

鑑此，本研究目的，設定在強化日以繼夜從不間歇的潮流輸送動力之探討，並透過臺灣鄰近海域潮流的模擬計算，評估潮殘餘流的特性與型態，進而構建輸沙潛勢圖，藉以能充分瞭解並掌握造成臺灣環島海岸長期性與全面性沖蝕之原因。

6.2 結論

潮殘餘流為在近岸淺水海域因潮流的非線性本質所衍生的淨平均流，與近岸海域漂沙物質的長期性輸送趨勢甚具關聯性。因此，潮殘餘流相關的研究成果，不僅可用以評估臺灣環島海岸長期性的沖淤趨勢，更可作為政府從事海岸永續經理及釐訂海岸自然保育策略的應用參考。

本研究透過臺灣鄰近海域潮流的模擬計算、潮殘餘流的影響探討、輸沙潛勢圖的構建與評估，可得結論如下：

- (1) 本研究應用三維非線性海洋環流水動力模式 POM，可全面準

確的模擬計算臺灣鄰近海域的潮流。

- (2) 配合臺灣海峽海域內月潮位的逐時變化特性，在月小潮及大潮期間，分別選定 1 日(24 小時)、7 日(一星期)、及 15 日(半月)之示性潮位平均時間，進一步可求得 Euler 及 Lagrange 潮殘餘流流場。
- (3) 基於潮流與地形非線性交互作用的本質及潮流在一特定期間的非對稱特性，在臺灣環島鄰近海域，依據不同的潮位特性及選定不同的示性潮位平均時間，經計算所求得的 Euler 及 Lagrange 潮殘餘流流場，其型態與特性，彼此間甚相近似。
- (4) 比較不同示性潮位平均時間的 Euler 潮殘餘流流場可知，在月大潮之 1 日期間的潮殘餘流流速，相對上，比月小潮之 1 日期間的流速略微顯著與強勁，但主要流向之差異不大。
- (5) 月小潮之 1 日期間的潮殘餘流流場，其總體型態與特性，與月大小潮之 15 日期間的潮殘餘流流場相近似，此一結果顯示，潮流經年累月的長期近岸物質輸送作用，實際上可由月小潮之 1 日期間日以繼夜從不間歇作用的潮殘餘流流場，完全承擔並代表陳現。
- (6) 在臺灣西海岸上，從月小潮之 1 日期間的潮殘餘流流場綜合觀察可見，潮殘餘流的流向，普遍為北向，較大流速可達 10cm/s 的大小等級。
- (7) 潮殘餘流對漂沙等特定物質長期性的傳輸作用效應，在屏東恒春、雲彰及台中、及淡水與基隆等近岸海域，尤其值得特別關注。
- (8) 應用 MIKE21_HD 二維非線性淺水波水動力模式，再結合二維輸沙模式 MIKE21_ST，可進一步求得臺灣環島鄰近海域因潮流長期性的作用所引致的輸沙潛勢及輸沙優勢方向，從而可進行臺灣環島長期性大尺度的海岸沖淤趨勢評估。

- (9) 依據臺灣鄰近海域的輸沙潛勢圖，有關潮流夜以繼日的沖流作用所引致的輸沙潛勢大小與優勢運移方向，配合存在於臺灣環島近岸海域的水下大型沉積沙體型態之對照驗證，可發現近岸海域長期大尺度的輸沙潛勢，明顯與潮殘餘流的長期運移作用有關，更與潮殘餘流的流速大小及優勢流動方向關係密切。
- (10) 從臺灣鄰近海域輸沙潛勢大小的變化與潮殘餘流流場型態可知，除位在臺灣中西部的彰化、台中與苗栗一帶海岸，具有自然的局部淤積趨勢外，臺灣南部的懇丁南灣、西南部的台南、嘉義及西北部的桃園、淡水與基隆等沿岸海域，皆應具有明顯而嚴重的自然沖蝕趨勢。
- (11) 本研究所模擬計算的潮殘餘流流場及所構建的輸沙潛勢圖，可提供永續海岸經營管理所經常面對之課題：「沙到那裡去了？」的詳細完美闡釋。

6.3 建議

政府在海岸及海洋領域的科研重點，近年來偏重在近岸颱風期間的防災預警與風險管理機制之建立，對於海岸及海洋具時空大尺度特性的防災預警基礎科研課題及人力與物力等資源的投注，尚甚欠缺長期持續性、全面性的總體規劃。為配合政府推展海洋國家之永續發展目標，落實海洋經理政策，本研究因此建議應強化規劃應用海洋水動力數值模擬科技之學能，並充實既有水海資源資料庫之基本資訊，藉以掌握臺灣環島近岸海域海灘長期性的沖淤變遷趨勢，推展適合本土性的自然工法，研發先期水海環境保育與經理之關鍵技術，俾有效提昇近岸海域防救災相關科研成果之應用範疇，豐富數位臺灣之海洋 e 化內涵，落實國家海洋政策。

6.4 研究成果之效益

- (1) 學術成就：發表國內外研討會學術論文 4 篇，並出版研究報告 2 冊。
- (2) 技術創新：應用三維非線性海洋環流水動力模式 POM，在國內首先完成臺灣鄰近海域潮殘餘流流場的建構；應用 MIKE21_HD 二維非線性淺水波水動力模式，再結合二維輸沙模式 MIKE21_ST，進一步創新建構臺灣鄰近海域之輸沙潛勢圖。
- (3) 經濟效益：配合政府推展海洋國家之永續發展目標，落實海洋經理政策，補充既有海象監測及防災資料庫之完整，強化海岸侵蝕治理之決策資訊，敦節海岸保育之人力及物力投注，輔助海岸保育採行自然工法之有效施行。
- (4) 社會影響：擴展科研成果之政策應用，充實藍色國土資訊，促進本土化海洋環境的瞭解，深化海洋水文與地球科學教育之內涵。

6.5 可供本所或其他政府機關後續應用情形

- (1) 本研究在國內首先完成建構的臺灣鄰近海域潮殘餘流流場，可提供本所、各港務局及經濟部水利署等相關政府單位從事港灣開發、規劃、設計、擴建及維護的應用參考。
- (2) 本研究在國內創先建構的臺灣鄰近海域輸沙潛勢圖，可提供本所、各港務局及經濟部水利署等相關政府單位從事臺灣環島海岸長期性沖淤趨勢評估的完整資訊，同時更可作為本所、各港務局及經濟部水利署等相關政府單位採用柔性自然工法從事海岸永續經理及釐訂海岸自然保育策略的應用參考。
- (3) 本研究在臺灣鄰近海域所構建的潮流及潮殘餘流流場與輸沙

潛勢圖，不僅可充分提供本所、各港務局及經濟部水利署等相關政府單位，面對「沙到那裡去了？」的海岸經營管理課題的完美闡釋，更可提供教育部及國科會，補充本土性詳實的海洋水文資訊，豐富地球科學教育之內涵。

參考文獻

1. Aikman, F., Mellor, G. L., Rao, D. B., Ezer, T., Shenin, D., Bosley, K. and P. Chen (1996). "Toward an operational nowcast/forecast system for the U.S. east coast." *Modern Approaches to Data Assimilation in Ocean Modeling*, P. Malanotte-Rizzoli, Ed., Elsevier, pp. 347-376.
2. Bowden, K. F. and P. Hamilton (1975) "Some experiments with a numerical model of circulation and mixing in a tidal estuary." *Estuarine and Coastal Marine Science*, 3(3), pp. 281-301.
3. Blumberg, A. F. and G. L. Mellor (1983) "Diagnostic and prognostic numerical circulation studies of the South Atlantic Bight," *J. Geophys. Res.*, 88, pp. 4579-4592.
4. Blumberg, A. F. and G. L. Mellor (1987) "A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model," *Three-Dimensional Coastal Ocean Models*, American Geophysical Union, Washington, D.C., 4, edited by N. Heaps, 208p.
5. Cheng, R. T., Casulli, V. and J. W. Gartner (1993). "Tidal, Residual, Intertidal Mudflat (TRIM) model and its applications to San Francisco Bay, California. Estuarine," *Coastal and Shelf Science* 36, 235-280.
6. Cheng, R. T., Feng, S. and P. Xi (1986). "On Lagrangian residual ellipse. Physics of Shallow Estuaries and Bays." *J. van de Kreeke*, Ed., Springer-Verlag, 102-113.
7. Dworak, A. J. and J. GÓMEZ-VALDÉS (2003). "Tide-induced residual current in a coastal lagoon of the Gulf of California." *Estuarine, Coastal and Shelf Sci.* 57, 99-109.
8. Dean, R. G. and R. A. Dalrymple (1991). *Water wave mechanics for engineering and scientists*, Advanced Series on Ocean Engineering, 2, World Scientific Publishing, 353p.
9. DAVIS, A. M. and J. E. JONES (1996). "Sensitivity of tidal bed stress distributions, nearbed currents, overtides, and tidal residuals to frictional effects in the Eastern Irish Sea." *J. Phys. Oceanogr.*, 26, 2553-2575.
10. DHI (1996). MIKE21 Sediment Process (MIKE21_ST): Sand Transport Module-Pure Current (Part I) and Current/Wave (Part II). User Guide and Reference Manual, Release 2.6, Danish Hydraulic Institute.
11. DHI (1998). *MIKE21_HD Coastal Hydraulics and Oceanography Hydrodynamic Module*. User Guide and Reference Manual, Release 2.7, Danish Hydraulic Institute.
12. Engelund, F. and E. Hansen (1976). "A Monograph on Sediment Transport in Alluvial Channels." *Nordic Hydrology*, 7, pp.293-306.

13. Ezer, T. and G. L. Mellor (1991) "A gulf stream model and an altimetry assimilation scheme." *J. Geophys. Res.*, 96, pp. 8779-8795.
14. Ezer, T. and G. L. Mellor (1997). "Simulations of the Atlantic Ocean with a free surface sigma coordinate ocean model." *J. Geophys. Res.*, 102, pp. 15647-15657.
15. Ezer, T. (1999). "Decadal variabilities of the upper layers of the subtropical North Atlantic: An ocean model study," *J. Phys. Oceanogr.*, 29(12), pp. 3111-3124.
16. Ezer, T. and G. L. Mellor (2000). "Sensitivity studies with the North Atlantic sigma coordinate Princeton Ocean Model." *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 32, pp. 155-208.
17. Friedrichs, C. T. and D. G. Aubrey (1988). "Nonlinear tidal distortion in shallow-water mixed estuaries." A synthesis. *Estuarine, Coastal and Shelf Sci.*, 27, 521-545.
18. Gilcoto, M., Aulvarez-Salgado, X. A. and F. F. Pe'rez (2001). "Computing optimum estuarine residual fluxes with a multiparameter inverse method (OERFIM): application to the Ria de Vigo (NW Spain)." *Journal of Geophysical Research* 106 (C12), 31303–31318.
19. Gómez-Valdés, J., Delgado, J. A. and J. A. Dworak (2003). "Overtides, compound tides, and tidal-residual current in Ensenada de la Paz lagoon, Baja California Sur, Mexico." *Geofísica Internacional*, 42 (4), 623-634.
20. Hou, H. S., Hsu, T. W., and T. Y. Lin (2000). "An Overview of Coastal Erosion along Taiwan Coast." *Proc. 22nd Ocean Engrg.*, Conf. In Taiwan, National Sun Yat-sen University, pp.417-424.
21. Jan, S., Chern, C. S. and J. Wang (2002). "Transition of Tidal Waves from the East to South China Seas over the Taiwan Strait: Influence of the Abrupt Step in the Topography." *J. Oceanography*, Vol. 58, No.6, pp. 837-850.
22. Juang, W. J., Lin, M. C. and W. J. Liou (2001). "Peculiar Appearance of Nearly Symmetrical Flooding Time along the Western Coast of Taiwan." *The Chinese Journal of Mechanics*, Vol. 17, No. 4, pp. 211-220.
23. Juang, W. J., Chiang, C. C. and M. C. Lin (2001). "Tidal Current Simulations on Seas Surrounding Taiwan." *Proc. 1st Conf. Asian and Pacific Coastal Engineering (APACE2001)*, Dalian, China, Vol.1, pp.86-95.
24. Juang, W.J., Lin, M. C. and C.C. Chiang (2004). "Visualization of tidal oscillation in the Taiwan Strait.", *Proc. 2nd International Conference of Asian and Pacific Coasts 2003*, Japan, p.apac010.1-12.
25. Juang, W.J. (2004). "Morphological Impacts of Tidal Residual Currents in the Taiwan Strait." *Proc. 2nd Sino-German Joint Symposium*, Nanjing, China, pp.249-260.
26. Lardner, W. and H. M. Cekirge (1988). "A new algorithm for three- dimensional tidal and storm surge computation." *Appl. Math. Modelling*, 12, pp. 471-481.

27. Leendertse, J. J. (1967) "Aspects of a computational model for long-period water-wave propagation." RM-5294-PR, Rand Corp. Santa Monica, California.
28. Le Provost, C. and M. Fornerino (1985). "Tidal spectroscopy of the English Channel with a numerical model." *J. Phys. Oceanogr.*, 15, 1009-1031.
29. Lin, M. C., Juang, W. J. and T. K. Tsay (2000). "Applications of the Mild-Slope Equation to Tidal Computations in the Taiwan Strait." *J. Oceanography*, Vol. 56, pp. 625-642.
30. Lin, M. C., Juang, W. J. and T. K. Tsay (2001). "Anomalous Amplification of Semidiurnal Tides along the Western Coast of Taiwan." *Ocean Engineering*, Vol. 28, No. 9, pp. 1171-1198.
31. Loder, J. W., Yingshuo, S. and H. Ridderinkhof (1997). "Characterization of Three-Dimensional Lagrangian Circulation Associated with Tidal Rectification over a Submarine Bank." *J. Phys. Oceanogr.*, 27, 1729-1742.
32. Lynch, D. R., and C. E. Naimie (1993). "The M2 tide and its residual on the outer banks of the Gulf of Maine." *J. Phys. Oceanogr.*, 23, 2222-2253.
33. Li, C. and J. O'Donnell (1997). "Tidally driven residual circulation in shallow estuaries with lateral depth variation." *Journal of Geophysical Research* 102 (C13), 27915-27929.
34. Masselink, M. and C. Pattiaratchi (2000). "Tidal asymmetry in sediment resuspension on a macrotidal beach in northwestern Australia." *Marine Geology.*, 163, 257-274
35. Marinone, S. G., (1997). "Tidal residual currents in the Gulf of California: Is the M2 tidal constituent sufficient to induce them?" *J. Geophys. Res.*, 102, 8611-8623.
36. Murty, T. S., Barber, F. G. and J. D. Taylor (1980). "Role of advective terms in tidally generated residual circulation." *Limnol. Oceanogr.*, 25, 529-533.
37. Naimie, C. E., (1996). "Georges Bank residual circulation during weak and strong stratification periods: Prognostic numerical model results." *J. Geophys. Res.*, 101, 6469-6486.
38. Madala, R. V. and S. A. Piacsek (1997). "A semi-implicit numerical model for baroclinic oceans." *J. Comput. Phys.*, 23, pp. 167-178.
39. Matsumoto, K., Takanezawa, T. and M. Ooe (2000). "Ocean tide models developed by assimilating TOPEX/POSEIDON altimeter data into hydrodynamical model: A global model and a regional model around Japan." *J. Oceanogr.*, 56, pp. 567-581.
40. Mellor, G. L. (2003). *Users guide for a three-dimensional, primitive equation, numerical ocean model*, Program in Atmospheric and Oceanic Sciences. Princeton University, Princeton, NJ 08544-0710.

41. Mellor, G. L., Hakkinen, S., Ezer, T. and R. Patchen (2002). "A generalization of a sigma coordinate ocean model and an intercomparison of model vertical grids." *Ocean Forecastings: Conceptual Basis and Applications*, Pinardi, N., Wood, J. D. (Eds), Springer, Berlin, pp. 55-72.
42. Mellor, G. L. and T. Yamada (1982). "Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems." *Rev. Geophys. Space Phys.*, 20, pp. 851-875.
43. Nihoul, J. C. J. (1977). "Three-dimensional model of tides and storm surges in a shallow well-mixed continental sea." *Dyn. Atmos. Oceans*, 2, pp. 29-47.
44. Oey, L. Y., Mellor, G. L. and R. I. Hires (1985a). "A three-dimensional simulation of the Hudson-Raritan estuary, Part I: Description of the model and model simulations." *J. Phys. Oceanogr.*, 15, pp. 1676-1692.
45. Oey, L. Y., G. L. Mellor and R. I. Hires (1985b). "A three-dimensional simulation of the Hudson-Raritan estuary, Part II: Comparison with observation." *J. Phys. Oceanogr.*, 15, pp. 1693-1709.
46. Oey, L. Y., Mellor, G. L. and R. I. Hires (1985c). "A three-dimensional simulation of the Hudson-Raritan estuary, Part III: Salt flux analyses." *J. Phys. Oceanogr.*, 15, pp. 1711-1720.
47. Park, K. and A. Y. Kuo (1993). "A vertical two dimensional model of estuarine hydrodynamics and water quality," Special Report in Applied Marine Science and Ocean Engineering, 321, Virginia Institute of Marine Science.
48. Parker, B. B. (1991). The relative importance of the various nonlinear mechanisms in a wide range of tidal interactions (review). In: *Tidal hydrodynamics* (Parker, B. B., ed.). John Wiley and Sons, New York, pp.237-268.
49. Phillips, N. A. (1957). "A coordinate system having some special advantages for numerical forecasting." *J. Meteorol.*, 14, pp. 184-185.
50. Schwiderski, E. W. (1980). "Ocean tides, Part I, Global ocean tidal equations." *Mar. Geod.*, 3, pp. 161-217.
51. Simons, T. J. (1974). "Verification of numerical models of Lake Ontario. Part I, circulation in spring and early summer." *J. Phys. Oceanogr.*, 4, 507-523.
52. Smagorinsky, J., Manabe, S. and J. L. Holloway (1965). "Numerical results from a nine-level general circulation model of the atmosphere." *Mon. Weather Rev.*, 93, pp. 727-768.
53. Stelling, G. S., Wiersma, A. K. and J. B. T. M. Willemse (1986). "Practical aspects of accurate tidal computations." *J. Hydr. Eng.*, ASCE, 112(9), pp. 802-817.
54. Stacey, M. T., Burau, J. R. and S. G. Monismith (2001). "Creation of residual flows in a partially stratified estuary." *Journal of Geophysical Research*, 106 (C8), 17013-17037.

55. Tee, K. T. (1977). "Tide-induced residual current – Verification of a numerical model." *J. Phys. Oceanogr.*, 7, 396-402.
56. Tang, Y. and K. T. Tee (1987). "Effects of mean and tidal current interaction on tidally induced residual current." *J. Phys. Oceanogr.*, 17, 215–230.
57. Uncles, R. J. (2002). "Estuarine Physical Processes Research: Some Recent Studies and Progress." *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 55, 829–856.
58. U.S. Army, Coastal Engineering Research Center (1977): *Shore Protection Manual*, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C..
59. Walters, R. A. (1997). "A model study of tidal and residual flow in Delaware Bay and River." *Journal of Geophysical Research* 102, 12689–12704.
60. Wang, Y. H., Jan, S. and D. P. Wang (2003). "Transports through Taiwan Strait from Shipboard ADCP Observations (1999-2001)." *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 57, 195-201.
61. Werner, F. E. and D. R. Lynch (1987). "Field verification of wave equation tidal dynamics in the English Channel and Southern North Sea." *Adv. Water Resour.*, 5, 115-129.
62. Westerink, J. J., K. D. Stolzenbach and J. J. Connor (1989). "General spectral computations of the nonlinear shallow water tidal interactions within the Bight of Abaco." *J. Phys. Oceanogr.*, 9, 1348-1371.
63. Wong, K. C. (1985). "On the effects of spatial variation in amplitude and phase of the oscillatory tidal currents on the residual Lagrangian drifts." *Water Resour. Res.*, 21, 769–774.
64. Wu, C. R., Tang, T. Y. and S. F. Lin (2005). "Intra-seasonal variation in the velocity field of the northeastern South China Sea." *Continental Shelf Research*, 25, 2075-2083.
65. Wu, C. R. and Y. C. Hsin (2005). "Volume transport through the Taiwan Strait: A numerical study." *Terrestrial, Atmospheric, and Oceanic Sciences, TAO*, 16(2), 377-391.
66. Wu, C. R. and C. W. J. Chang (2005). "Interannual variability of the South China Sea in a data assimilation model." *Geographical Research Letters*, 32, L17611, 4pp.
67. Yanagi, T. (1999). *Coastal oceanography*. Kluwer Academic Publishers, Boston, 162 pp.
68. Zavatarelli, M. and G. L. Mellor (1995). "A numerical study of the Mediterranean Sea Circulation," *J. Phys. Oceanogr.*, 25, pp. 1384-1414.
69. Zervas, C. (1999). "Tidal Current Analysis Procedures and Associated Computer Programs." *NOAA Technical Memorandum NOS CO-OPS 0021*, U.S. Department of Commerce, National Ocean Service, Silver Spring, Maryland, 103 pp.

70. Zimmerman, J. T. F. (1979). "On the Euler-Lagrange transformation and the Stokes drift in the presence of oscillatory and residual currents." *Deep-Sea Res.*, 26, 505-520.
71. Zimmerman, Z. T. F. (1981). "Dynamics, diffusion and geomorphological significance of tidal residual eddies." *Nature*, 290, 549-555.
72. 聯勤 (1978), 「臺灣省全圖-五十萬分之一比例尺」, 中華民國聯合勤務總司令部測量署。
73. 孫湘平 等(1981) "中國沿岸海洋水文氣象概況", 科學出版社, 中國。
74. 劉肖孔 (1983) 「中國海域三度空間數值模式」, 行政院科技顧問組, 共 156 頁。
75. 李賢文 (1989) 「台灣鄰近海域潮汐預報數值模式」, 第二屆海洋數值模式研習會論文集, 港灣技術研究所, pp.179-195 頁。
76. 郭金棟 (1990), 「臺灣省海岸地形變化及其未來之開發利用」, 國立成功大學水利及海洋工程研究所, 共 219 頁。
77. 許泰文、溫志中 (1997), 「河川與海岸穩定對策之研究-宜蘭海岸侵蝕對策之研究(III)」, 國立成功大學水利及海洋工程研究所, CKHOTR-97-005, 共 65 頁。
78. 張金機、黃清和 (1997), 「臺灣四周海岸侵蝕現況分析」, 八十六年度海岸工程研討會-臺灣四周海岸沖蝕防治技術, 港灣技術研究所, 台南, pp.1-26。
79. 吳仁友 (1997), 「擬似三維海岸水動力計算模式之發展」, 國立臺灣大學土木工程研究所碩士論文。
80. 林政偉 (1999), 「感潮河段之計算研究」, 國立臺灣大學土木工程研究所碩士論文。
81. 林琿、閻國年、宋志堯 (2000), 「東中國海潮波系統與海岸演變模擬研究」, 科學出版社, 中國, 共 266 頁。
82. 黃煌輝 等 (2000), 「外傘頂洲保護措施進行數值分析及水工模型試驗研究」, 期初報告, 國立成功大學水工試驗所, 共 145 頁。
83. 莊文傑 (2000), 「臺灣海峽潮波協振盪之研究」, 國立臺灣大學造船及海洋工程學研究所博士論文。
84. 莊文傑、江中權 (2000), 「臺灣四周海域海流數值模擬研究」, MOTC-IOT-IHMT-NA8916 基本研究報告, 交通部運輸研究所港灣技術研究中心, 共 282 頁。
85. 郭金棟、簡仲和 (2001), 「臺灣地區既有海堤功能檢討」, 國立成功大學水利及海洋工程研究所, 共 173 頁。

86. 歐善惠、許泰文、張憲國 (2001), 「永續的鑽石海岸-臺灣海岸災害防救與永續利用規劃」, 經濟部水資源局, 共 150 頁。
87. 黃良雄、吳仁友、曾鈞敏 (2001), 「感潮河口之水理計算—以鹽水溪為例」, 中國土木水利工程學刊, 第十三卷, 第三期, pp.533-541。
88. 經濟部水利處 (2001), 「臺灣海岸概況」, <http://www.wca.gov.tw/2001/wr/coast.htm> .
89. 劉康克 (2002), 「認識臺灣附近的海洋環境」, 科學月刊, 第三十三卷第二期, pp.102-111。
90. 詹森 (2002), 「全方位探索臺灣海峽」, 科學月刊, 第三十三卷第二期, pp.127-131。
91. 王玉懷 (2002), 「臺灣海峽流量知多少」, 科學月刊, 第三十三卷第二期, pp.132-136。
92. 葉姍霈 (2002), 「臺灣海域高解析度潮汐模式之建立—敏感度試驗」, 國立成功大學水利暨海洋工程學研究所碩士論文。
93. 莊文傑、江中權 (2002), 「臺灣四周海域海流數值模擬研究(二)—高雄港海域潮汐與潮流之數值模擬」, MOTC-IOT-IHMT-NA9017 基本研究報告, 交通部運輸研究所, 共 182 頁。
94. 莊文傑、江中權 (2002), 「潮流與臺灣環島沿岸之水下沙體」, 第 24 屆海洋工程研討會論文集, 臺灣海洋工程學會, 梧棲, pp.579-586。
95. 莊文傑、江中權 (2002), 「臺灣環島海域潮流引致之輸沙潛勢」, 第 7 屆海峽兩岸水利科技交流研討會, 美華水利學會 等, 台南, pp.621-628。
96. 蔡丁貴、莊文傑、蘇青和 (2002), 「近岸災害防救系統發展構想」, 第 24 屆海洋工程研討會論文集—專題講座論文集, 臺灣海洋工程學會, 梧棲, pp.43-54。
97. 莊文傑、江中權 (2003), 「臺灣海峽海域潮波振盪型態之確認」, 第 25 屆海洋工程研討會論文集, 臺灣海洋工程學會, 基隆, pp.31~38。
98. 莊文傑、江中權 (2003), 「臺灣四周海域海流數值模擬研究(三)—基隆港海域潮汐與潮流之數值模擬」, MOTC-IOT-91-HA15 基本研究報告, 交通部運輸研究所, 共 262 頁。
99. 莊文傑、江中權 (2004), 「臺灣四周海域海流數值模擬研究(四)—蘇澳及花蓮港海域潮汐與潮流之數值模擬」, MOTC-IOT-92-H3BA02 基本研究報告, 交通部運輸研究所, 共 350 頁。
100. 莊文傑、江中權 (2005), 「臺灣海峽的水深地形對潮波振盪之影響研究」, MOTC-IOT-93-H3DA004 基本研究報告, 交通部運輸研究所, 共 438 頁。

101. 盧鴻復、吳朝榮 (2005), 「臺灣周邊海域水文及洋流特徵」, 海洋技術在軍事上應用(三)專輯, 海洋技術, 第十四卷, 第四期, pp.8-14。
102. 莊文傑、江中權 (2005), 「臺灣海峽的水深地形對潮波振盪之影響研究」, MOTC-IOT-93-H3DA004 基本研究報告, 交通部運輸研究所港灣技術研究中心, 共 438 頁。
103. 莊文傑、江中權 (2005), 「臺灣四周海域的潮波系統」, 第 27 屆海洋工程研討會論文集, 臺灣海洋工程學會, 台中, pp.154~161。
104. 莊文傑、江中權 (2006), 「臺灣四周海域旋轉潮波系統之同潮圖」, 第 28 屆海洋工程研討會論文集, 國立中山大學, 臺灣海洋工程學會, pp.325-330。
105. 張育綾、吳朝榮、陳陽益 (2006), 「納莉颱風強度變化與黑潮之關係」, 第 28 屆海洋工程研討會論文集, 國立中山大學, 臺灣海洋工程學會, pp.301-306。
106. 江紫綾、吳朝榮、李忠潘 (2006), 「呂宋海峽渦流之脫離與運動」, 第 28 屆海洋工程研討會論文集, 國立中山大學, 臺灣海洋工程學會, pp.331-336。
107. 盧鴻復、吳朝榮、李忠潘 (2007), 「臺灣東北海域湧升流之時空變化」, 第 29 屆海洋工程研討會論文集, 國立成功大學, 臺灣海洋工程學會, pp.613-618。
108. 莊文傑 (2008), 「潮殘餘流與臺灣西海岸長期沖淤潛勢之研究(1/2)－臺灣環島海域海洋數值模式之引進及建置」, MOTC-IOT-96-H3DA002 基本研究報告, 交通部運輸研究所港灣技術研究中心, 共 200 頁。
109. 歐善惠、廖建明、許泰文、辛志勇、莊文傑 (2008), 「臺灣環島海域海洋數值模式之引進及建置」, MOTC-IOT-96-H3DB005 合作研究報告, 交通部運輸研究所港灣技術研究中心, 共 116 頁。
110. 國家海洋科學中心, <http://140.112.65.17/odbs/Achievement/numerical/main.html>, 海洋資料庫, 國科會, 台北, 臺灣, 中華民國。

附錄 1 期末報告審查簡報資料

潮殘餘流與台灣西海岸長期沖淤潛勢之研究(2/2)
—臺灣環島海域潮殘餘流之數值模擬—

交通部運輸研究所/港灣技術研究中心
97 年度政府科技計畫期末報告審查

潮殘餘流與台灣西海岸長期沖淤潛勢之研究(2/2)
—臺灣環島海域潮殘餘流之數值模擬—

研究人員：莊文傑、廖建明

研究方式：自行研究

研究經費：15萬元

計畫依據：

- ◆ 96 年度政府科技計畫概算編製暨審議手冊 (部會署群組審)

政策依據：

- ◆ 第七次全國科學技術會議結論；
- ◆ 全國科學技術會議—交通部配合辦理之科技發展；
- ◆ 國家災害防救科技中心96-99年「強化災害防救科技研發與落實運作方案」；
- ◆ 行政院海洋事務推動委員會94年04月25日第3次委員會議決定通過「海洋事務政策發展規劃方案」；
- ◆ 行政院研究發展考核委員會「海洋政策白皮書」(2006年)

03/20/2009

潮殘餘流與台灣西海岸長期沖淤潛勢之研究(2/2)
—臺灣環島海域潮殘餘流之數值模擬—

簡報內容

潮殘餘流與台灣西海岸長期沖淤潛勢之研究(2/2)
—臺灣環島海域潮殘餘流之數值模擬—

- 研究緣起與目的
- 研究方法
- 潮殘餘流簡介
- 研究成果與討論
- 結論
- 成果效益自評
- 建議

03/20/2009

研究緣起與目的

- 波浪碎波引致的**近岸流**及因潮汐漲退所自然衍生的**潮流**，皆是近岸海域漂沙物質的主要輸送動力。
- 自**民國六十二年**以來，僅管政府已釐訂全國海堤整建計畫，並陸續於臺灣環島沿岸海岸沖蝕災害較嚴重地區，採行興建海堤、突堤、及離岸堤等硬性海岸保護工法，惟部分海岸，一般在**僅考量極短期的特定波浪碎波**所引致的近岸流作用下，依舊面對**長期性與全面性之海岸沖蝕問題**，原來綿延1,520公里長之海岸線，現今**80%仍顯現侵蝕趨勢**。
- **在近岸流作用下，近岸的漂沙沉積到那裡去了？總體海岸為何未陳現沖淤平衡？**
 - 顯見：造成海岸沖蝕的原因，除了近岸流的**局部短期性**作用外，尚必須**全面性考量長期**的潮流作用影響，
 - 國內有關此一**時空大尺度**課題的研究，迄今仍甚有限。
 - **研究目的**：基於地形影響及潮流的非線性本質，應用數值模擬科技，針對臺灣環島近岸海域，建構潮殘餘流流場及輸沙潛勢圖，俾提供永續海岸經營管理之參考依據。

03/20/2009

研究方法

- **數值模式與數值模擬：**
 - **潮殘餘流流場**
 - POM三維海洋水動力模式
 - **輸沙潛勢圖**
 - MIKE21_HD二維近岸水動力模式
 - MIKE21_ST輸沙模式

03/20/2009

Euler及Lagrange潮殘餘流

- 潮殘餘流為在近岸淺水海域因潮流的非線性本質所衍生的持久性淨平均流，與近岸海域漂沙物質的長期性輸送趨勢甚具關聯性。
- 潮殘餘流一般只有在近岸淺水海域和地形複雜的海灣或河口區，潮殘餘流才比較明顯（林琿 等，2000）。
- 潮殘餘流通常尚可細分為Euler餘流和Lagrange餘流兩種。
- Euler餘流是指特定地點潮流的流速 (U_R, V_R) ，其在特定期間或一個週期內，經時間平均所得出之流速大小，即

$$(U_R, V_R) = \frac{1}{T} \int_0^T (U, V) dt$$

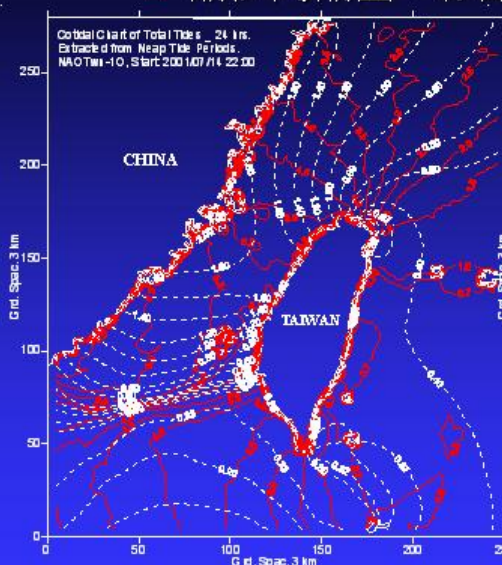
- Lagrange餘流則為Euler餘流 (U_R, V_R) 與Stokes漂移流 (U_S, V_S) 之總和，即 $(U_L, V_L) = (U_R, V_R) + (U_S, V_S)$ ，至於Stokes漂移流 (U_S, V_S) ，其可依據下列定義計算：

$$(U_S, V_S) = \frac{1}{TD} \int_0^T (U, V) \zeta dt$$

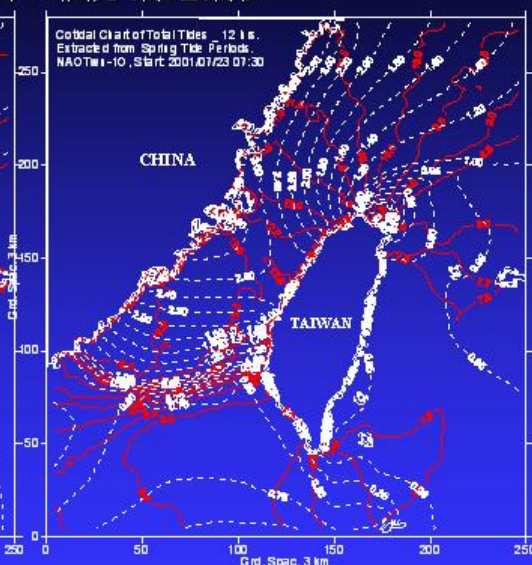
03/20/2009

研究成果及討論_潮餘流形成機制

- 潮汐同潮圖：綜合13個分潮之潮汐



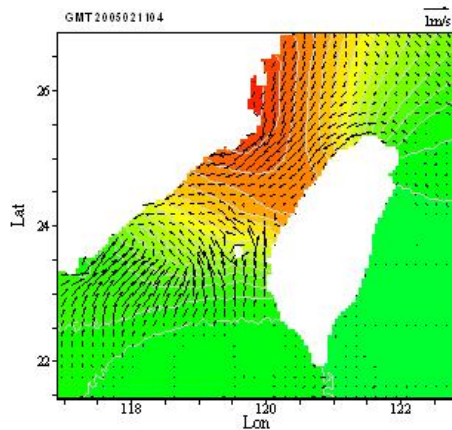
臺灣環島海域月小潮期間之同潮圖
(白：同振幅線；紅：同潮時線)



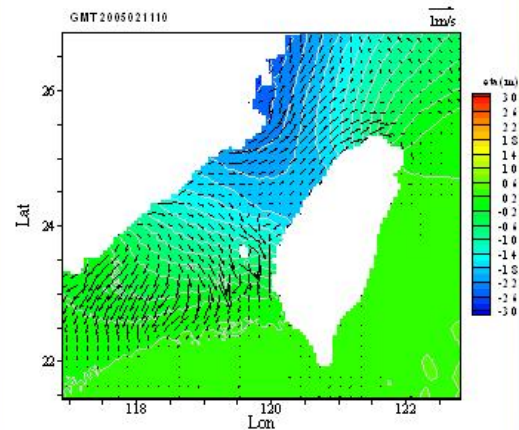
臺灣環島海域月大潮期間之同潮圖
(白：同振幅線；紅：同潮時線)

研究成果及討論_潮流流場

- 潮流流場：綜合13個分潮之潮流
- 潮位邊界：NAO99b；地形水深：ETOPO2
- 空間解析度：5公里網格；時間解析度：1小時；計算時距：5秒



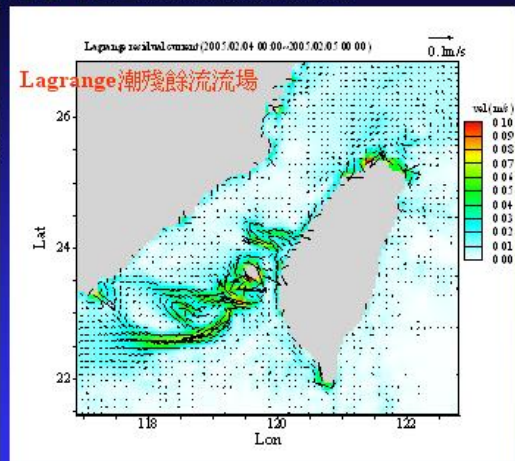
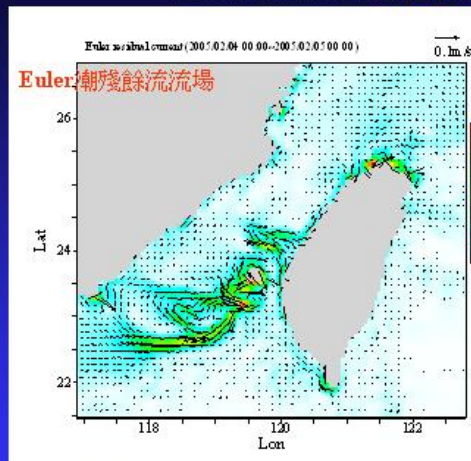
臺灣海峽漲潮



臺灣海峽退潮

研究成果及討論_潮餘流流場

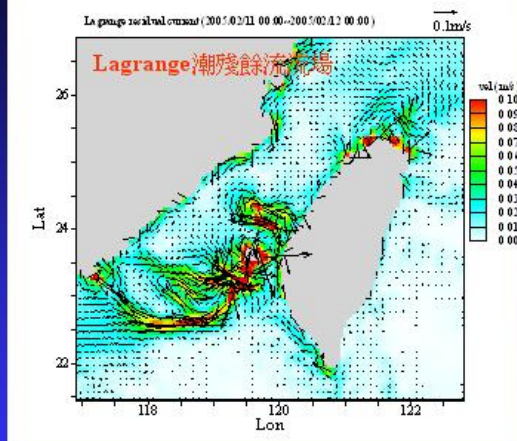
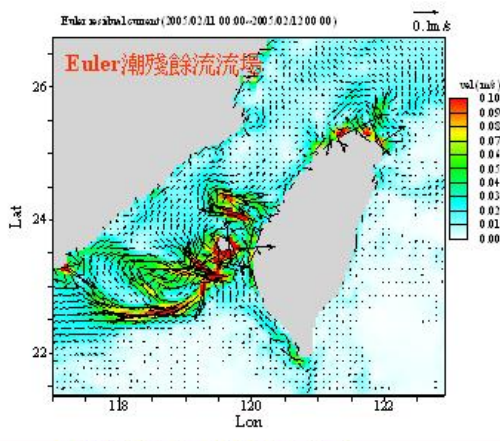
- 臺灣鄰近海域月小潮期間1日之潮殘餘流流場



- ▶ 檢視潮流日以繼夜的作用效應。
- ▶ 在臺灣鄰近海域，Euler及Lagrange潮殘餘流，具有近乎相似的流場型態。
- ▶ 在臺灣西南部海岸，潮殘餘流的流速不大，但皆具有沿海岸而向北流動的趨勢；
- ▶ 在中西部海岸，潮殘餘流的流速較強勁，並會順沿雷影隆起的水下地形，蜿蜒地向北流動。
- ▶ 在西北部海岸，潮殘餘流的流速雖亦可觀，但流向呈現混雜的向離岸變化，總體流向趨勢不明顯，不過，約略仍具有沿海岸向東流動的特性。
- ▶ 至於在臺灣海峽內的澎湖群島及臺灣灘海域，潮殘餘流不僅明顯具有甚強勁的流速，同時尚具有順時針方向旋轉的環形渦流流場型態。

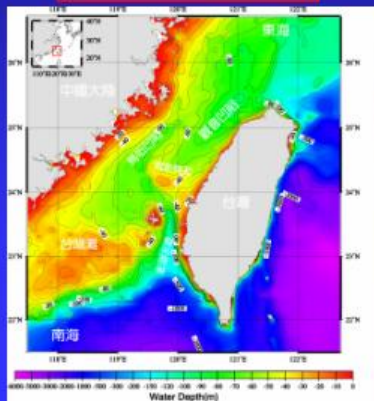
研究成果及討論_潮餘流流場

■ 臺灣鄰近海域月大潮期間 1 日之潮殘餘流流場



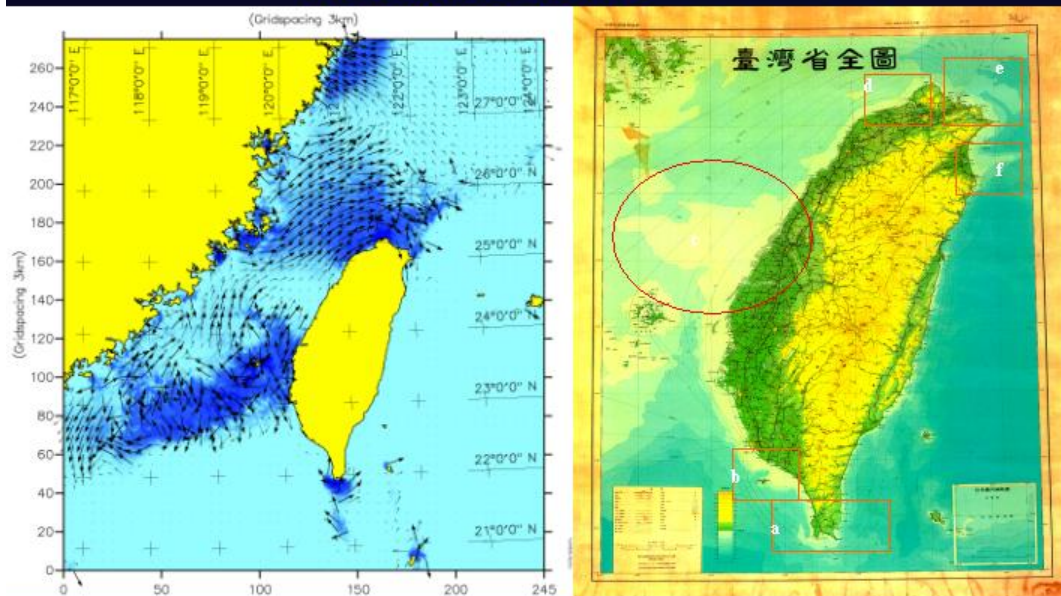
- 檢視潮流日以變換的作用效應。
- 在臺灣鄰近海域，Euler及Lagrange潮殘餘流，具有近乎相似的流場型態。
- 在臺灣西南部海岸，潮殘餘流的流速不大，但皆具有沿海岸而向北流動的趨勢；
- 在中西部海岸，潮殘餘流的流速較強勁（ $> 10\text{cm/s}$ ），並會順沿雲影隆起的水下地形，蜿蜒地向北流動
- 在西北部海岸，潮殘餘流的流速雖亦可觀，但流向呈現混雜的向離岸變化，總體流向趨勢不明顯，不過，均略仍具有沿海岸向東流動的特性。
- 至於在臺灣海峽內的澎湖群島及臺灣灘海域，潮殘餘流不僅明顯具有甚強勁的流速，同時尚具有順時針方向旋轉的環形渦流流場型態。

研究成果及討論_大型水下沉積沙體



1978聯合勤務總司令部

研究成果及討論_輸沙潛勢圖



- 輸沙潛勢圖可正確描述台灣環島近岸海域水下沙體之沉積型態
- 輸沙潛勢之大小與方向，應較可陳現潮殘餘流之特性！！

結論(1/2)

潮殘餘流與台灣西海岸長期沖淤潛勢之研究(2/2)
臺灣環島海域潮殘餘流之數值模擬

- 本研究應用三維非線性海洋環流水動力模式POM，可全面準確的模擬計算臺灣鄰近海域的潮流。
- 配合臺灣海峽海域內月潮位的逐時變化特性，在月小潮及大潮期間，分別選定1日(24小時)、7日(一星期)、及15日(半月)之示性潮位平均時間，進一步可求得Euler及Lagrange潮殘餘流流場。
- 基於潮流與地形非線性交互作用的本質及潮流在一特定期間的非對稱特性，在臺灣環島鄰近海域，依據不同的潮位特性及選定不同的示性潮位平均時間，經計算所求得的Euler及Lagrange潮殘餘流流場，其型態與特性，彼此間甚相近似。
- 比較不同示性潮位平均時間的Euler潮殘餘流流場可知，在月大潮之1日期間的潮殘餘流流速，相對上，比月小潮之1日期間的流速略微顯著與強勁，但主要流向之差異不大。
- 月小潮之1日期間的潮殘餘流流場，其總體型態與特性，與月大小潮之15日期間的潮殘餘流流場相近似，此一結果顯示，潮流經年累月的長期近岸物質輸送作用，實際上可由月小潮之1日期間日以繼夜從不間歇作用的潮殘餘流流場，完全承擔並代表陳現。
- 在臺灣西海岸上，從月小潮之1日期間的潮殘餘流流場綜合觀察可見，潮殘餘流的流向，普遍為北向，較大流速可達10cm/s的大小等級。
- 潮殘餘流對漂沙等特定物質長期性的傳輸作用效應，在屏東恒春、雲彰及台中、及淡水與基隆等近岸海域，尤其值得特別關注。

03/20/2009

03/20/2009

結論(2/2)

- 應用MIKE21_HD二維非線性淺水波水動力模式，再結合二維輸沙模式MIKE21_ST，可進一步求得臺灣環島鄰近海域因潮流長期性的作用所引致的輸沙潛勢及輸沙優勢方向，從而可進行臺灣環島長期性大尺度的海岸沖淤趨勢評估。
- 依據臺灣鄰近海域的輸沙潛勢圖，有關潮流夜以繼日的沖流作用所引致的輸沙潛勢大小與優勢運移方向，配合存在於臺灣環島近岸海域的水下大型沉積沙體型態之對照驗證，可發現近岸海域長期大尺度的輸沙潛勢，明顯與潮殘餘流的長期運移作用有關，更與潮殘餘流的流速大小及優勢流動方向關係密切。
- 從臺灣鄰近海域輸沙潛勢大小的變化與潮殘餘流流場型態可知，除位在臺灣中西部的彰化、台中與苗栗一帶海岸，具有自然的局部淤積趨勢外，臺灣南部的墾丁南灣、西南部的台南、嘉義及西北部的桃園、淡水與基隆等沿岸海域，皆應具有明顯而嚴重的自然沖蝕趨勢。
- 臺灣西部沿岸海域，依據輸沙潛勢圖研判，長期性的輸沙優勢方向，主要為由南向北。
- 本研究所模擬計算的潮殘餘流流場及所構建的輸沙潛勢圖，可提供永續海岸經營管理所經常面對之課題：「沙到那裡去了？」的詳細完美闡釋。

成果效益自評

- **學術成就：**發表國內外研討會學術論文4篇，並出版研究報告。
- **技術創新：**應用三維非線性海洋環流水動力模式POM，在國內首先完成臺灣鄰近海域潮殘餘流流場的建構；應用MIKE21_HD二維非線性淺水波水動力模式，再結合二維輸沙模式MIKE21_ST，進一步創新建構臺灣鄰近海域之輸沙潛勢圖。
- **經濟效益：**應用有限的經費與人力，配合政府推展海洋國家之永續發展目標，落實海洋經理政策，補充既有海象監測及防災資料庫之完整，強化海岸侵蝕治理之決策資訊，敦節海岸保育之人力及物力投注，輔助海岸保育採行自然工法之有效施行。
- **社會影響：**擴展科研成果之政策應用，充實藍色國土資訊，促進本土化海洋環境的瞭解，深化海洋水文與地球科學教育之內涵。
- **其他：**本研究在國內首先完成建構的臺灣鄰近海域潮殘餘流流場及輸沙潛勢圖，可提供本所、各港務局及經濟部水利署等相關政府單位從事海岸保育及港灣開發、規劃、設計、擴建及維護的應用參考；並可提供臺灣環島海岸長期性沖淤趨勢評估的完整資訊，

03/20/2009

03/20/2009

建議

- 政府在海岸及海洋領域的科研重點，近年來偏重在近岸颱風期間的防災預警與風險管理機制之建立，對於海岸及海洋具時空大尺度特性的防災預警基礎科研課題及人力與物力等資源的投注，尚甚欠缺長期持續性、全面性的總體規劃。
- 為配合政府推展海洋國家之永續發展目標，落實海洋經理政策，本研究因此**建議**應強化規劃應用海洋水動力數值模擬科技之學能，並充實既有水海資源資料庫之基本資訊，藉以掌握臺灣環島近岸海域海灘長期性的沖淤變遷趨勢，推展適合本土性的自然工法，研發先期水海環境保育與經理之關鍵技術，俾有效提昇近岸海域防救災相關科研成果之應用範疇，豐富數位臺灣之海洋e化內涵，落實國家海洋政策。
- 本研究計畫主持人，長期講究海岸水動力數值模擬科技學能之精進，自省多年來，皆僅應用有限的經費與人力，配合政府推展海洋國家之永續發展目標，落實海洋經理政策，對於先期水海環境保育與經理之關鍵技術研發，更是以積極進取之態度，戰戰兢兢的從事。**惟相關研究的努力與成果，自民國94年以來，迭遭否定，4年的考績有3年經核列為乙等，因此，嚴肅地建議：**
相關業務主管對於研究人員的考核，應具有公正性與客觀性，俾鼓舞研究士氣！

03/20/2009

03/20/2009

交通部運輸研究所/港灣技術研究中心
97年度政府科技計畫期末報告審查

敬請 指教 賜正！

感恩！

勞力！

□計畫主持人：莊文傑 研究員

研究績效與近4年之考績

94年	95年	96年	97年
乙	乙	甲	乙

附錄 2 期末報告審查會議及審查委員意見處理表

交通部運輸研究所港研中心

第三科 97 年度自辦研究計畫

「潮殘餘流與臺灣西海岸長期沖淤趨勢之研究(2/2)」期末審查會議

壹、會議時間：民國 98 年 3 月 20 日（星期五）上午 9 時 45 分

貳、會議地點：本所港研中心辦公大樓一樓會議室

參、主持人：港研中心 簡科長仲璟

紀錄：李俊穎

肆、出席單位及人員：

<u>審查委員：</u>	
中山大學 李教授忠潘	李忠潘
成功大學 李教授兆芳	李兆芳
建國科技大學莊教授甲子	莊甲子
臺灣大學 梁教授乃匡	梁乃匡
臺灣海洋大學翁教授文凱	請假
<u>本所港研中心：</u>	
簡科長仲璟	簡仲璟
莊研究員文傑	莊文傑
	李俊穎

審查委員及評審意見與建議	處理情形
一、 李忠潘委員 1. 海岸漂沙主控於波浪，流主要扮演輸送的角色，在外海也會與懸浮細泥較相關。 2. 海底地形對沖淤是波流長期作用後的結果，除了與潮殘餘流相關外，與波場及沙源的相關性，何者較為重要，應可進一步比較後，更能瞭解地形沖淤的特性。 3. 現場實測之流場，主要可包含潮流、風漂流、恆流(較長期穩定，自他處來)，其他因素造成的流，而在近岸可能再加上河口入流、密度流及波引起的流場。因此，如何將其他因素造成的流濾掉，而剩下潮殘餘流，將是關鍵問題。 4. 各種流對懸浮質的傳輸與地形的相關，似可為下一階段的研究重點。 5. 第二章方程式，相關的符號上有未定義者，請補上。(或可建立符號對照表)	感謝李委員忠潘教授的出席指導。所賜教指正之意見處理如后： 1. 波浪引致的海岸漂沙，近岸海流的輸送確實扮演主要之角色，而在外海，漂沙也會與懸浮細泥較相關。惟綜觀臺灣總體海岸的沖蝕現況，波浪引致的海岸漂沙，並未陳現沖淤平衡特性，故不論是近岸或外海，海流中的潮流成分，亦應為近岸漂沙的主要輸送動力之一。 2. 波浪碎波引致的近岸流、風力作用引致的風趨流、及因潮汐作用引致之潮流等，皆是造成水下地形沖淤的重要輸送動力。何者較為重要的課題，應可依據時空尺度的不同性比較，作出進一步的判釋。因此，從臺灣總體海岸長久性及全面性的沖蝕現況，配合臺灣環島近岸海域水下 50 米大型沙體的沉積型態，本研究認為，進一步納入具時空大尺度特性的潮殘餘流作用影響，應更能瞭解近岸地形之沖淤特性。 3. 現場實測的海流，如何將不同因素所造成的海流成分分離，而僅剩下潮殘餘流，著實是實測海流分析與近岸漂沙動力探討的關鍵課題。鑑此，本研究乃應用數值模擬方法，單純考量潮流因素，進行潮殘餘流之影響評估。 4. 謹遵期勉與建議。其中，有關潮流對懸浮質的傳輸與地形的沖淤變化趨勢，部分粗略成果可酌參本研究第 5 章—潮殘餘流與長期性海岸的沖淤之論述說明。 5. 第二章pom模式相關方程式的符號有未定義者，已補訂。至於，符號對照表，謹請酌參有關pom模式之原始使用手冊及參考文件：POM User's Guide & Model

6. 本研究頗具學術價值，但將潮殘餘流與外海地形的長期沖淤直接相關，尚需更強的證據。 7. 潮流部分的成果頗佳。	Description。 6. 感謝肯定。相關期勉及建議，待後續研究努力。 7. 感謝肯定。
二、李兆芳委員 1. 潮殘餘流的產生機制可以釐清。 2. POM 模式中，2D 計算和 3D 計算，後者計算可以再敘述。 3. 所使用模式的非線性是否產生潮殘餘流，可以後續研究。	感謝李委員兆芳教授的出席指導。所賜教指正之意見處理如后： 1. 潮殘餘流，為在特定空間定點之潮流流速，經一特定時間平均所衍生的淨流速向量，一般可區分為不含潮位變動的 Euler 潮殘餘流及含括潮位變動的 Lagrange 潮殘餘流等二種型態，兩者皆與近岸海域內特定物質長期性的傳輸過程息息相關。依據潮流的運動及動力特性，其產生機制，主要係因近岸地形水深的摩擦影響及潮流水動力的非線性效應所致。詳細機制的釐清，謹請酌參本研究第四章—臺灣四周海域的潮波系統與潮殘餘流之闡釋。 2. 本研究係應用 POM 模式，先進行臺灣鄰近海域 3D 的潮流模擬計算，惟模擬計算中，在計算海域內，有關溫、鹽度的時空變化，皆以均值設定，同時，不考量氣壓及風力的影響，依此計算求得計算海域內純化之 3D 潮流逐時流場後，再經水深平均之 2D 化，並依據潮殘餘流的定義，針對不同之日潮位變化特性，進而可計算求得 2D 化後不同型態的潮殘餘流流場。詳細敘述，謹請酌參本研究第 3.6 節—臺灣鄰近海域潮流的模擬計算。 3. 本研究應用 POM 水動力模式進行臺灣鄰近海域 3D 的純化潮流模擬計算。僅管模擬計算中，在計算海域內，有關海面下的溫鹽度變化及海面上之氣壓及風力的作用影響，皆未納入考量，但主要的水動力，係透過計算海域之邊界，引進潮汐 13 個長短期分潮之綜合引潮力作用，外加科氏力效應及臺灣鄰近海域實際地形水深的摩擦影響，應用 POM 三維非線性水動力模式，即可產生本研究第 4 章圖 4-9 至圖 4-18 所示的潮殘餘流場。

4. 利用近岸流和潮流探討地形變化，研究動機正確，且參考文獻豐富。	4. 感謝肯定與期勉。
三、莊甲子委員 1. 控制方程式中，K_H 為熱能和鹽度的垂直渦旋擴散係數(P2-3)，理論上該二擴散係數應具不同之值，宜加慎重認定。 2. 海水混合密度為溫度和鹽度之函數，其函數變化影響度亦宜加以認定，以利模式應用。 3. 圖 3-4 風力所引致水位推升之高度，理論上，在達相當水深之外海後，似乎應趨於定值，建請確認。 4. 研究結果述及臺灣西海岸上，潮殘餘流的流向普遍為北向(p. 4-13)，惟臺灣西海岸的漂沙卓越方向為由北向南(冬季季風期，郭金棟，2004)，兩者相關性宜加補充。 5. 本研究利用 pom 模式計算臺灣四周海域潮殘餘流對臺灣四周海域及海岸長期沖淤影響甚具學術與應用價值，整體研究結果亦已達到預期目標，值得肯定。 6. 後續研究如能加重潮殘餘流對臺灣西部海岸近岸海域變遷的影響並深入探討，將對臺灣海岸永續經營更具貢獻。	感謝莊委員甲子教授的出席指導。所賜教指正之意見處理如后： 1. 感謝提示與指正。熱能和鹽度的垂直渦旋擴散係數說明已作更正，且將於後續相關研究中，慎重認定。 2. 感謝提示與指正。本研究應用 POM 水動力模式進行臺灣鄰近海域 3D 的純化潮流模擬計算中，目前尚未詳細考量溫度和鹽度的影響。有關海水混合密度為溫度和鹽度之函數及其函數變化之影響度，將於後續相關研究及應用中，審慎評估。 3. 圖 3-4 所示有關風力所引致水位推升高度之理論與模擬計算結果驗證，其對應風力及等坡度的海岸水深地形定義，如圖 3-3 所示。對照圖 3-3 與圖 3-4 可確認，在達相當水深之外海後，強風力所引致水位之推升高度，確實是趨於定值無誤。 4. 冬季季風期，臺灣西海岸的漂沙卓越方向為由北向南(郭金棟，2004)，應係季風期波浪所引致近岸流及風趨流對近岸漂沙輸送影響的研究結論。惟本研究從長期全面性大尺度的觀點出發，卻顯示潮殘餘流對近岸漂沙之優勢傳輸方向為由南向北。兩者的差異性，應係所考量的時空尺度及主要輸運動力不同所致。至於兩者的相關性，尚待後續作進一步時空尺度的關聯研究。 5. 感謝肯定與期勉。 6. 謹遵期勉，有關潮殘餘流對臺灣西部海岸近岸海域變遷的影響探討，已自 98 年度起經核列為本研究後續 4 年期之重點研究課題，研究主題為：臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估。

四、梁乃匡委員 1. 本研究以數值模式探討臺灣四周潮汐所造成的殘餘流，是過去海洋工程界比較少研究的課題。主持人以其學識能力在短時間完成九項重要成果，實屬可貴。以數值模擬探討殘餘流與臺灣西海岸長期沖淤趨勢，具創新性，值得肯定。 2. 本計畫成果可作為海洋污染物漂流及追蹤海難人員漂流去向之用。未來建議模式中增加黑潮及其他洋流成份，以增加其實用性。	感謝梁委員乃匡教授的出席指導。所賜教指正之意見處理如后： 1. 感謝肯定與期勉。 2. 黑潮及其他洋流特性的相關研究，已自 98 年度起經核列為本研究後續 4 年期之重點研究課題，研究主題為：臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估。
---	---