

92-86-765
MOTC-IOT-91-HA15

台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研究 —



交通部運輸研究所

中華民國九十二年六月

92-86-765
MOTC-IOT-91-HA15

台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研究—

著 者：莊文傑、江中權

交通部運輸研究所

中華民國九十二年六月

台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研究 -

著 者：莊文傑、江中權

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：台北市敦化北路 240 號

網 址：www.iot.gov.tw

電 話：(02)23496789

出版年月：中華民國九十二年六月

印 刷 者：全能辦公事務用品有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 180 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定 價：400 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

三民書局重南店：台北市重慶南路一段 61 號 4 樓•電話：(02)23617511

三民書局復北店：台北市復興北路 386 號 4 樓•電話：(02)25006600

國家書坊台視總店：台北市八德路三段 10 號 B1•電話：(02)25787542

五南文化廣場：台中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

新進圖書廣場：彰化市中正路二段 5 號•電話：(04)7252792

青年書局：高雄市青年一路 141 號 3 樓•電話：(07)3324910

交通部運輸研究所出版品摘要表

出版品名稱：台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研究			
國際標準書號(或叢刊號)	政府出版品統一編號 1009202117	運輸研究所出版品編號 92-86-765	計畫編號 91-HA15
主辦單位：港灣技術研究中心 主 管：邱永芳 計畫主持人：莊文傑 研究人員：江中權、李江澤 聯絡電話：(04)26587185 傳真號碼：(04)26564415			研究期間 自 91 年 01 月 至 91 年 12 月
關鍵詞：台灣、環島海域、基隆港、潮位、潮汐、潮流、海流、數值模擬			
摘要： <p>台灣四面環海，且恰位處東亞大陸棚架之邊緣。由於台灣西海岸陸架地形長度與水深之顯著影響效應，環島近岸海域之潮汐具有甚為特殊之波動共振與部分重複駐波特性(莊、江，2000)。鑑於基隆港約位在部分重複駐波之節點海域，且長久以來，台灣北部及基隆港海域，除有限的海象測站能提供局部的海象資訊外，目前台灣北部及基隆港海域並無全平面性的海流資料可據以改善港灣水理環境並滿足各類近岸海域災害防救之即時需要，因此，本研究延續應用政府海洋領域科技發展方案中程綱要計畫【台灣四周海域海流數值模擬研究】第一及第二年之研究成果，針對台灣北部及基隆港海域面對之開放海域特性，使用經水深積分後之二維水動力數值計算模式 MIKE21_HD，配合自美國國家地球物理資料中心(NGDC: National Geophysical Data Center)取得 5 分地理弧度(約 9km)解析度之數位水深地形，進而模擬計算並探討台灣北部及基隆港海域全平面性之潮流與潮位特性。從模擬計算與實測資料之驗證結果得知，儘管計算潮位準確度尚有待提昇，但計算潮流之大小與方向仍與實測海流之特性甚為吻合。可見，沿用【台灣四周海域海流數值模擬研究】之研究成果可充分準確地掌握台灣北部海域潮流與潮位之整體時空變化特性。除此之外，進一步應用本研究成果尚可準確地計算台灣環島海域之輸沙潛勢分佈及優勢漂沙方向，並可追蹤颱風期後台灣北部海域之浮木漂流路徑及推估其可能沉積的海岸位置。</p>			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
92 年 6 月	262	400	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： 限閱 機密 極機密 絕對機密 (解密【限】條件： 年 月 日解密， 公布後解密， 附件抽存後解密， 工作完成或會議終了時解密， 另行檢討後辦理解密) 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

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

TITLE: Tidal Current Simulation on the north coast of Taiwan and around the Kee-Lung Port			
ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009202117	IOT SERIAL NUMBER 92-86-765	PROJECT NUMBER 91-HA15
DIVISION: CENTER OF HARBOR & MARINE TECHNOLOGY DIVISION CHIEF: Yung-Fang Chiu PRINCIPAL INVESTIGATOR: Wen-Jye Juang PROJECT STAFF: Chung-Chiuan Chiang, Chiang-Tse Lee PHONE: +886-4-26587185 FAX: +886-4-26564415 E-mail: jye@mail.ihmt.gov.tw ; wjuang@msl.hinet.net			PROJECT PERIOD FROM Jan. 2002 TO Dec. 2002
KEY WORDS: Taiwan, Seas around Taiwan, Tides, Tidal Elevation, Tidal Currents, Numerical Simulation			
ABSTRACT: <p style="text-align: justify;"> This study is the third part of a series of studies of the tidal current simulation on seas surrounding Taiwan. In the previous studies, resonance of tides induced mainly by the semidiurnal constituents and the oscillation pattern appearing as partially standing waves has been demonstrated based on the predominant effects of the Asia Continental Shelf. The Kee-Lung Port is located right next to one of the nodes of the partially standing tides; therefore, the main purpose of present study is to apply the related numerical results to further investigate the local characteristics of tides and tidal currents on sea surrounding the north coast of Taiwan as well as around the Kee-Lung Port. The bathymetry was set up using the coastal relief database ETOPO5, downloaded from the National Geophysical Data Center (NGDC), USA. Based on the two-dimensional depth-integrated shallow water waves equations, the nested grid scheme was adapted, and the MIKE21_HD model, developed by Danish Hydraulic Institute, was applied. The computation results indicated that even though the local characteristics of tides around the Kee-Lung Port were hard to simulate because the bathymetry precision was too coarse to well describe the topographical effects of the Asia Continental Shelf, the computation tidal currents corresponded those of the measurements. With the excellent validations, the computation currents were then further applied to assess the capacity of sediment transport around the coasts of Taiwan and to track the deposition sites of floating woods and garbage that were flushed into the sea after the attacks of typhoons. Consistency was also achieved as compared to the field surveys. </p>			
DATE OF PUBLICATION June 2003	NUMBER OF PAGES 262	PRICE 400	CLASSIFICATION SECRET CONFIDENTIAL UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

台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研究

目 錄

	頁次
中文摘要	I
英文摘要	II
表 目 錄	V
圖 目 錄	VI
第一章 導 論	1-1
1.1 研究緣起	1-1
1.2 研究目的與方法	1-4
1.3 相關研究	1-5
第二章 基隆港港域環境	2-1
2.1 港口位置及港區概況	2-1
2.2 海氣象環境	2-2
2.2.1 風力	2-3
2.2.2 波浪	2-3
2.2.3 潮汐	2-4
2.2.4 海流	2-5
2.3 基隆港海域沿岸之潮位梯度	2-6
第三章 台灣北部及基隆港海域海流之水動力模擬	3-1
3.1 概 述	3-1
3.2 相關模擬研究回顧	3-2
3.3 二維水動力系統方程式 MIKE21_HD	3-4
3.4 有限差分法	3-5
3.5 計算海域	3-8
3.6 初始與邊界條件之設定	3-10
3.7 計算參數	3-12
3.8 東亞海域逐時潮位與海流之計算模擬	3-13
3.8.1 東亞海域之計算結果	3-13
3.8.2 東亞海域之計算潮位驗證	3-16
3.8.3 中國與台灣沿岸海域的潮波振盪型態	3-17
3.9 台灣環島海域逐時潮位與海流之計算模擬	3-18
3.9.1 台灣環島海域之計算結果	3-18
3.9.2 台灣環島海域潮位與潮流之計算驗證	3-19

3.10	台灣北部海域逐時潮位與海流之計算模擬	3-24
3.11	富基至澳底海域逐時潮位與海流之計算模擬	3-25
3.11.1	無風影響下之潮位與海流計算結果	3-25
3.11.2	無風影響下之計算潮流驗證	3-26
3.11.3	風力影響下之潮位與海流計算結果	3-28
3.11.4	風力影響下之計算潮流驗證	3-29
3.12	基隆港海域逐時潮位與海流之計算模擬	3-30
3.12.1	潮位與海流計算結果	3-30
3.12.2	計算潮流之驗證	3-31
第四章	台灣環島及北部海域計算海流之應用	4-1
4.1	概述	4-1
4.2	台灣北部海域颱風期後漂流木之追蹤應用	4-3
4.3	台灣還島海域輸沙潛勢之計算應用	4-5
4.3.1	台灣近岸海域的地型水深	4-5
4.3.2	台灣還島海域之海流	4-5
4.3.3	台灣還島沿岸的水下沙體	4-6
4.3.4	潮殘餘流與近岸輸沙	4-9
4.3.5	結語	4-12
第五章	結論與建議	5-1
5.1	結論	5-1
5.2	建議	5-2
	參考文獻	6-1
	簡報內容	7-1

表 目 錄

	頁次
表 2-1 基隆與澎佳嶼測侯站風力之比較	2-8
表 2-2 鼻頭角海域實測波浪資料之統計	2-9
表 2-3 基隆港潮汐調和分析之分潮振幅與相位	2-10
表 2-4 基隆港海拋區海流監測作業之期間與點位	2-11
表 3-1-1 東亞大範圍計算海域之邊界潮汐站編號與位置	3-33
表 3-1-2 東亞大範圍計算海域邊界潮汐站位置與其主要分潮之調和分 析常數	3-34
表 3-2 東亞大範圍計算海域用以校驗模式計算結果之驗潮站與其網 格之座標位置	3-35

圖目錄

	頁次
圖 1-1 東亞及台灣環島海域環境與水深地形.....	1-11
圖 1-2 台灣環島海域環境與水深地形.....	1-12
圖 1-3 台灣環島海域陸架地形與水深.....	1-13
圖 1-4 台灣環島海域之潮位觀測站位置.....	1-14
圖 1-5 台灣環島海域，離岸約 50 公里之距離上，萃取之水深地形剖面.....	1-15
圖 1-6 東亞地區平均最大半月潮差分佈圖(USNWS, 1977)	1-16
圖 1-7 台灣環島沿岸海域之日第一次滿潮之潮時相位分布(1987 年 6 月 23 日，中央氣象局發佈).....	1-17
圖 1-8 台灣環島海域理想性之滿潮潮時(莊文傑,2000)與 1987 年 6 月 23 日中央氣象局實際預報之日第一次滿潮之潮時分布.....	1-18
圖 1-9 基隆港及台灣環島各主要國際商港之位置.....	1-19
圖 2-1 基隆港域之地理位置.....	2-12
圖 2-2 基隆港域環境及港區配置.....	2-13
圖 2-3 基隆港瀏覽：(a)港口光華島(b)港區遠眺基隆嶼(c)西岸貨櫃儲運場(d)東岸貨櫃儲運場(e)進港船舶艘數統計	2-14
圖 2-4 基隆測候站 1951~1990 年(上)及 1991~1994 年(下)之年統計風玫瑰圖.....	2-15
圖 2-5 基隆測候站 1991~1994 之分月統計風玫瑰圖.....	2-16
圖 2-5(續)基隆測候站 1991~1994 之分月統計風玫瑰圖.....	2-17
圖 2-6 澎佳嶼測候站 1951~1990 年之年統計風玫瑰圖.....	2-18
圖 2-7 澎佳嶼測候站 2002 年 1 月之部分實測風向(上)、風速(中)及基隆港之預報潮位(下).....	2-18
圖 2-8 基隆港海域 1983~1990 年示性波高之年分布累積曲線.....	2-19

圖 2-9	基隆港海域 1983~1990 年示性波高之年分布累積曲線.....	2-19
圖 2-10	基隆港海域海拋區海流觀測站之位置.....	2-20
圖 2-11	基隆港海域海拋區第二季測站 B 之實測海流流向(上)、流速(中)及基隆港之預報潮位(下).....	2-21
圖 2-12	基隆港東防波堤堤頭之海流測站位置(a)及實測海流流向(b)、流速(c)及基隆港之預報潮位(d).....	2-22
圖 2-13	澳底(OD)、基隆港(KL)及富基(FG)漁港隨時間變化之預報逐時潮位.....	2-23
圖 3-1	MIKE21_HD 計算模式使用交替方向隱式有限差分法之空間網格分割..	3-36
圖 3-2	MIKE21_HD 計算模式使用交替方向隱式有限差分法之時階分割.....	3-36
圖 3-3	東亞大範圍計算海域與巢狀網格之配置.....	3-37
圖 3-4	東亞大範圍計算海域與其邊界及地形水深.....	3-38
圖 3-5-1	台灣環島計算海域與其邊界及地形水深.....	3-39
圖 3-5-2	台灣北部計算海域與其邊界及地形水深.....	3-39
圖 3-6-1	富基至澳底計算海域與其邊界及地形水深.....	3-40
圖 3-6-2	基隆港計算海域與其邊界及地形水深.....	3-40
圖 3-7-1	東亞大範圍計算海域北邊界潮位站之預報逐時潮位.....	3-41
圖 3-7-2	東亞大範圍計算海域東邊界北段部潮位站之預報逐時潮位.....	3-42
圖 3-7-3	東亞大範圍計算海域東邊界中段潮位站之預報逐時潮位.....	3-43
圖 3-7-4	東亞大範圍計算海域東邊界南段潮位站之預報逐時潮位.....	3-44
圖 3-7-5	東亞大範圍計算海域南邊界潮位站之預報逐時潮位.....	3-45
圖 3-8-1	東亞大範圍計算海域之全平面性等潮位線與潮流分佈，參考潮位：台中港，2001/07/17 07:00:00.....	3-46
圖 3-8-2	東亞大範圍計算海域之全平面性等潮位線與潮流分佈，參考潮位：台中港，2001/07/17 11:00:00.....	3-47
圖 3-8-3	東亞大範圍計算海域之全平面性等潮位線與潮流分佈，參考潮位：	

	台中港，2001/07/17 12:00:00	3-48
圖 3-8-4	東亞大範圍計算海域之全平面性等潮位線與潮流分布，參考潮位： 台中港，2001/07/17 14:00:00	3-49
圖 3-8-5	東亞大範圍計算海域之全平面性等潮位線與潮流分布，參考潮位： 台中港，2001/07/17 17:00:00	3-50
圖 3-8-6	東亞大範圍計算海域之全平面性等潮位線與潮流分布，參考潮位： 台中港，2001/07/17 19:00:00	3-51
圖 3-9	東亞大範圍計算海域台灣環島驗潮站之計算逐時潮位與預報潮位之 驗證比較：蘇澳港(a)；基隆港(b)；淡水港(c)	3-52
圖 3-9(續)	東亞大範圍計算海域台灣環島驗潮站之計算逐時潮位與預報潮位之 驗證比較：台中港(d)；高雄港(e)；富岡(f).....	3-53
圖 3-10	中國近岸香港至長江口剖面上之逐時潮位變化(上)及地形水深(下)	3-54
圖 3-11	台灣環島近岸剖面上之逐時潮位變化(上)及地形水深(下)	3-55
圖 3-12	台灣西部近岸墾丁至三貂角剖面上之逐時潮位變化(上)及地形水深 (下).....	3-56
圖 3-13	台灣環島開放海域邊界上的入射潮波振盪形態.....	3-57
圖 3-14-1	台灣環島計算海域之全平面性等潮位線與潮流分佈，參考潮位：台 中港，2001/07/17 07:00:00	3-58
圖 3-14-2	台灣環島計算海域之全平面性等潮位線與潮流分佈，參考潮位：台 中港，2001/07/17 10:00:00	3-59
圖 3-14-3	台灣環島計算海域之全平面性等潮位線與潮流分佈，參考潮位：台 中港，2001/07/17 12:00:00	3-60
圖 3-14-4	台灣環島計算海域之全平面性等潮位線與潮流分佈，參考潮位：台 中港，2001/07/17 14:00:00	3-61
圖 3-14-5	台灣環島計算海域之全平面性等潮位線與潮流分佈，參考潮位：台 中港，2001/07/17 17:00:00	3-62
圖 3-14-6	台灣環島計算海域之全平面性等潮位線與潮流分佈，參考潮位：台 中港，2001/07/17 19:00:00	3-63

圖 3-15	台灣環島海域驗潮站計算逐時潮位之驗證比較(上)蘇澳港；(中)基隆港；(下)淡水港	3-64
圖 3-16-1	台灣環島海域蘇澳港計算海流之流向(上)、流速(中)及與台中港計算潮位之對照比較(下)	3-65
圖 3-16-2	台灣環島海域基隆港計算海流之流向(上)、流速(中)及與台中港計算潮位之對照比較(下)	3-66
圖 3-16-3	台灣環島海域台中港計算海流之流向(上)、流速(中)及潮位(下).....	3-67
圖 3-16-4	台灣環島海域高雄港計算海流之流向(上)、流速(中)及與台中港計算潮位之對照比較(下)	3-68
圖 3-16-5	台灣環島海域富岡計算海流之流向(上)、流速(中)及與台中港計算潮位之對照比較(下).....	3-69
圖 3-17	台灣環島海域基隆港半月期間之計算海流流向(上)、流速(中)及潮位(下)與台中港計算潮位之對照比較.....	3-70
圖 3-18-1	台灣北部海域全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2001/07/17 11:00:00.....	3-71
圖 3-18-2	台灣北部海域全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2001/07/17 13:00:00.....	3-72
圖 3-18-3	台灣北部海域全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2001/07/17 17:00:00.....	3-73
圖 3-18-4	台灣北部海域全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2001/07/17 21:00:00.....	3-74
圖 3-18-5	台灣北部海域全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2001/07/18 01:00:00.....	3-75
圖 3-18-6	台灣北部海域全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2001/07/18 05:00:00.....	3-76
圖 3-18-7	台灣北部海域全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2001/07/18 11:00:00.....	3-77
圖 3-18-8	台灣北部海域全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2001/07/18 15:00:00.....	3-78

圖 3-19-1	台灣北部海域鼻頭角計算潮流之流向(上)、流速(中)及潮位(下)與基隆港計算潮位之對照比較	3-79
圖 3-19-2	台灣北部海域富貴角計算潮流之流向(上)、流速(中)及潮位(下)與基隆港計算潮位之對照比較	3-80
圖 3-19-3	台灣北部海域淡水計算潮流之流向(上)、流速(中)及潮位(下)與基隆港計算潮位之對照比較	3-81
圖 3-20-1	富基至澳底海域全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2001/07/17 11:00:00.....	3-82
圖 3-20-2	富基至澳底海域全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2001/07/17 13:00:00.....	3-83
圖 3-20-3	富基至澳底海域全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2001/07/17 17:00:00.....	3-84
圖 3-20-4	富基至澳底海域全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2001/07/17 23:00:00.....	3-85
圖 3-20-5	富基至澳底海域全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2001/07/18 01:00:00.....	3-86
圖 3-20-6	富基至澳底海域全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2001/07/18 04:00:00.....	3-87
圖 3-20-7	富基至澳底海域全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2001/07/18 06:00:00.....	3-88
圖 3-20-8	富基至澳底海域全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2001/07/18 12:00:00.....	3-89
圖 3-21	富基至澳底海域無風力作用及相似計算潮位(下)特性下基隆港測站 B 之計算流向(上)、流速(中)與實測海流驗證比較	3-90
圖 3-22-1	富基至澳底海域考量風力影響之全平面性計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2002/01/05 07:00:00.....	3-91
圖 3-22-2	富基至澳底海域考量風力影響之全平面性計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2002/01/05 12:00:00.....	3-92

圖 3-22-3	富基至澳底海域考量風力影響之全平面性計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2002/01/05 17:00:00.....	3-93
圖 3-22-4	富基至澳底海域考量風力影響之全平面性計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2002/01/05 19:00:00.....	3-94
圖 3-22-5	富基至澳底海域考量風力影響之全平面性計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2002/01/05 23:00:00.....	3-95
圖 3-22-6	富基至澳底海域考量風力影響之全平面性計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2002/01/06 04:00:00.....	3-96
圖 3-22-7	富基至澳底海域考量風力影響之全平面性計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2002/01/06 07:00:00.....	3-97
圖 3-22-8	富基至澳底海域考量風力影響之全平面性計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2002/01/06 09:00:00.....	3-98
圖 3-23-1	富基至澳底海域在風力作用下富貴角計算海流之流向(上)、流速(中)及潮位(下)與基隆港計算潮位之對照比較	3-99
圖 3-23-2	富基至澳底海域在風力作用下野柳岬計算海流之流向(上)、流速(中)及潮位(下)與基隆港計算潮位之對照比較	3-100
圖 3-23-3	富基至澳底海域在風力作用下鼻頭角計算海流之流向(上)、流速(中)及潮位(下)與基隆港計算潮位之對照比較.....	3-101
圖 3-24-1	富基至澳底海域在風力作用下富貴角計算海流之流向(上)、流速(中)及潮位(下)與基隆港計算潮位之對照比較	3-102
圖 3-24-2	富基至澳底海域在風力作用下野柳岬計算海流之流向(上)、流速(中)及潮位(下)與基隆港計算潮位之對照比較	3-103
圖 3-24-3	富基至澳底海域在風力作用下鼻頭角計算海流之流向(上)、流速(中)及潮位(下)與基隆港計算潮位之對照比較	3-104
圖 3-25	富基至澳底海域在風力作用下測站 B 之計算流向(上)、流速(中)及潮位(下)與實測海流之驗證之比較	3-105
圖 3-26	富基至澳底海域在風力作用下測站 B 之計算流向(上)、流速(中)及潮位(下)與實測海流之詳細驗證比較	3-106

圖 3-27-1	基隆港海域全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港， 2001/07/17 11:00:00	3-107
圖 3-27-2	基隆港海域全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港， 2001/07/17 13:00:00	3-108
圖 3-27-3	基隆港海域全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港， 2001/07/17 15:00:00	3-109
圖 3-27-4	基隆港海域全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港， 2001/07/17 17:00:00	3-110
圖 3-27-5	基隆港海域全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港， 2001/07/17 19:00:00	3-111
圖 3-27-6	基隆港海域全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港， 2001/07/17 21:00:00	3-112
圖 3-27-7	基隆港海域全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港， 2001/07/17 23:00:00	3-113
圖 3-27-8	基隆港海域全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港， 2001/07/18 01:00:00	3-114
圖 3-27-9	基隆港海域全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港， 2001/07/18 03:00:00	3-115
圖 3-27-10	基隆港海域全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港， 2001/07/18 05:00:00	3-116
圖 3-27-11	基隆港海域全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港， 2001/07/18 06:00:00	3-117
圖 3-27-12	基隆港海域全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港， 2001/07/18 07:00:00	3-118
圖 3-27-13	基隆港海域全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港， 2001/07/18 09:00:00	3-119
圖 3-27-14	基隆港海域全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港， 2001/07/18 11:00:00	3-120
圖 3-27-15	基隆港海域全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港， 2001/07/18 13:00:00	3-121

圖 3-28	基隆港海域無風力作用下基隆港東防波堤堤頭之計算流向(上)、 流速(中)及潮位(下)與實測海流之驗證比較	3-122
圖 3-29	基隆港海域無風力作用下基隆港東防波堤堤頭之計算流向(上)、 流速(中)及潮位(下)與實測海流之詳細驗證比較.....	3-123
圖 3-30-1	基隆港鄰近海域全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基 隆港，2001/07/17 11:00:00	3-124
圖 3-30-2	基隆港鄰近海域全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基 隆港，2001/07/17 13:00:00	3-125
圖 3-30-3	基隆港鄰近海域全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基 隆港，2001/07/17 15:00:00	3-126
圖 3-30-4	基隆港鄰近海域全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基 隆港，2001/07/17 17:00:00	3-127
圖 3-30-5	基隆港鄰近海域全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基 隆港，2001/07/17 19:00:00	3-128
圖 3-30-6	基隆港鄰近海域全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基 隆港，2001/07/17 21:00:00	3-129
圖 3-30-7	基隆港鄰近海域全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基 隆港，2001/07/17 23:00:00	3-130
圖 3-30-8	基隆港鄰近海域全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基 隆港，2001/07/18 01:00:00	3-131
圖 3-30-9	基隆港鄰近海域全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基 隆港，2001/07/18 03:00:00	3-132
圖 3-30-10	基隆港鄰近海域全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基 隆港 2001/07/18 05:00:00	3-133
圖 3-30-11	基隆港鄰近海域全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基 隆港，2001/07/18 07:00:00	3-134

圖 3-30-12	基隆港鄰近海域全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2001/07/18 09:00:00	3-135
圖 3-30-13	基隆港鄰近海域全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2001/07/18 11:00:00	3-136
圖 3-30-14	基隆港鄰近海域全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2001/07/18 13:00:00	3-137
圖 3-31-1	基隆港海域無風力作用下野柳岬計算海流之流向(上)、流速(中)及潮位(下)與基隆港計算潮位之對照比較.....	3-138
圖 3-31-2	基隆港海域無風力作用下基隆嶼及和平島間計算海流之流向(上)、流速(中)及潮位(下)與基隆港計算潮位之對照比較.....	3-139
圖 3-31-3	基隆港海域無風力作用下八斗子計算海流之流向(上)、流速(中)及潮位(下)與基隆港計算潮位之對照比較.....	3-140
圖 3-32-1	基隆港港口及港內全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2001/07/17 11:00:00	3-141
圖 3-32-2	基隆港港口及港內全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2001/07/17 13:00:00	3-142
圖 3-32-3	基隆港港口及港內全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2001/07/17 15:00:00	3-143
圖 3-32-4	基隆港港口及港內全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2001/07/17 17:00:00	3-144
圖 3-32-5	基隆港港口及港內全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2001/07/17 19:00:00	3-145
圖 3-32-6	基隆港港口及港內全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2001/07/17 21:00:00	3-146
圖 3-32-7	基隆港港口及港內全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2001/07/17 23:00:00	3-147
圖 3-32-8	基隆港港口及港內全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2001/07/18 01:00:00	3-148

圖 3-32-9	基隆港港口及港內全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2001/07/18 03:00:00	3-149
圖 3-32-10	基隆港港口及港內全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2001/07/18 05:00:00	3-150
圖 3-32-11	基隆港港口及港內全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2001/07/18 07:00:00	3-151
圖 3-32-12	基隆港港口及港內全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2001/07/18 09:00:00	3-152
圖 3-32-13	基隆港港口及港內全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2001/07/18 11:00:00	3-153
圖 3-32-14	基隆港港口及港內全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2001/07/18 13:00:00	3-154
圖 3-32-15	基隆港港口及港內全平面性之計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2001/07/18 15:00:00	3-155
圖 4-1	台灣北部海域，在無風力影響下，以連續點放數值浮標模擬浮木的漂移及聚積.....	4-13
圖 4-2	台灣北部海域，在無風力影響下，以單質點數值浮標模擬潮流的流動軌跡.....	4-14
圖 4-3	台灣北部海域，在東北向 2 m/s 的輕風吹送下，以單質點數值浮標模擬潮流的流動軌跡.....	4-14
圖 4-4	台灣環島近岸海域水深地形.....	4-15
圖 4-5	台灣海峽 1999-2001 年用 Sb-ADCP 觀測分析之平均海流	4-16
圖 4-6	台灣環島海域實測年平均之表層海流.....	4-17
圖 4-7	台灣環島近岸海域之水下沙體.....	4-18
圖 4-8	台灣環島海域輸沙潛勢與潮殘餘流的強弱及主要漂沙運移方向.....	4-19
圖 4-9	台灣環島海岸的侵淤趨勢分佈.....	4-20

第一章 導 論

1.1 研究緣起

台灣四面環海，環島海域環境與水深地形如圖 1-1 至圖 1-3 所示。從圖觀察可知，台灣之總體地理座標位置約在東經 120 度至 122 度；北緯 22 度至 25.5 度間，北部海域面向東海、東部海域迎向西太平洋、南部海域為巴士海峽與南海所環繞、西部海域面對寬度僅約 150 公里之台灣海峽並與中國大陸福建沿岸相望。就大陸棚架水深地形而言，台灣恰座落於東亞大陸棚架上，東部海岸約位在大陸棚架之邊緣，東亞大陸棚架並分別延伸於台灣之東北與西南海岸外。

台灣環島沿岸海域，政府各相關部門與單位所設置之驗潮站位置如圖 1-4 所示。參考台灣環島沿岸既市驗潮站位置，並以台東之蘭嶼島為起點，於台灣環島離岸約 50 公里之距離上，萃取台灣環島海域之水深地形剖面(莊文傑, 2000)可得如圖 1-5 所示。觀察圖 1-5 可知，由蘭嶼(LY)開始，經東部沿岸之成功(CK)、花蓮(HL)到蘇澳(SA)，其剖面地形水深大多深於 4,000 米；而在蘇澳外海，因蘇澳海脊(Su-Ao Ridge)之存在，部分水深淺於 1,000 米；在蘇澳、梗枋(KF)及福隆(FL)之間，因沖繩海槽(Okinawa Trough)之存在，最大水深約達 2,000 米。從蘇澳到台灣東北角之龍峒(LT)，由水深地形剖面圖可清楚看出，龍峒已明顯跨越過了大陸棚架，深澳(SO)與基隆(KL)恰位於台灣東北部之陸架緣內，且自龍峒起沿著台灣西部海岸以逆時鐘方向南下，直至台灣南部海岸之安平(AP)與高雄(KS)間，水深實際並無太大之變化，平均皆在 100 米內，而此段平坦之地形，其長度約為 650 公里，其中，新竹(HC)、苗栗(ML)、大安(TA)及台中(TC)適巧約座落於此平坦地形之中段，因此，位於台灣西部海岸之台灣海峽，約整體座落於大陸棚架上且其有效之陸架地形長度概略地可以 650 公里為代表；自安平往南經高雄港至東港(TK)，其相對位置實際為高屏斜坡(Kao-Ping Slope)之所在，平

均坡度約達 3/100，通過台灣南端之蟬廣嘴(SK)回至蘭嶼，其間因恒春海脊(Heng-Chun Ridge)、台東海槽(Tai-Tung Trough)及蘭嶼海脊(Lan-Yu Ridge)之存在，因此水深又呈現複雜之變化。僅管如此，於台灣環島海域中，若忽略各處海脊與海槽之地形，則台灣海峽與台灣西海岸在大陸棚架上之代表地形實際上將可視為一形狀頗為規則之矩形陸架(Shelf) (莊文傑, 2000)，其總長度約為 650 公里；平均水深約 80 米；陸架外之水深約 4,000 米。

針對台灣環島海域之環境與水深地形，整理分析台灣環島沿岸海域 1993 年全年實測潮位資料(劉文俊, 1996；1999)可得，在平均潮差方面：基隆為 79.5 公分、淡水 247.1 公分、桃園竹圍 278.2 公分、新竹南寮 371.4 公分、台中港 400.8 公分、澎湖馬公 223.2 公分、嘉義東石 169.8 公分、高雄港 68.5 公分、台東成功 125.3 公分；而在最大潮差方面：基隆為 132 公分、淡水 352 公分、桃園竹圍 378 公分、新竹南寮 503 公分、台中港 532 公分、澎湖馬公 301 公分、嘉義東石 220 公分、高雄港 126 公分、台東成功 207 公分。綜合比較以上潮差之統計資料可知，在台灣環島海域，潮差以台灣南部海域最小、北部次之，中西部海域潮差最大，其中值得注意的是，基隆與高雄海域，潮差實際上頗為近似，而東石與成功亦甚相當。此外，對照圖 1-6 所示之東亞地區平均最大半月潮差分佈圖(USNWS, 1977)亦可知，平均最大半月潮差係以台灣中西部海域最大且分布約具南北對稱性，最大潮差約可達 5 公尺左右，其次為潮差分布較平均之東部海域，東北部基隆港海域之潮差較小，而西南部高雄港海域之潮差最小。

另就台灣環島沿岸海域之日第一次滿潮之潮時相位分布而言，整理分析 1987 年 6 月 23 日中央氣象局發佈之預報潮時資料(莊文傑、江中權, 2000a；2000b)，結果可得如圖 1-7 與圖 1-8 所示。由圖觀察可看出，台灣東部海域日第一次滿潮之潮時最早，台灣南端之南灣與北端之福隆相當，高雄與鼻頭角近似，將軍與石門、淡水潮時相同，近中部海域之澎湖、台西則與台中港相當。在潮時之特性上，鼻頭角至基隆近在咫尺，直線距離不及 20 公里，但潮時差異竟達約三小時，淡

水至台中雖海岸線距離在 200 公里以上，唯潮時差異僅約三十分鐘不到。此外，在台灣西南部沿海，恒春南灣至台南將軍之海岸線距離約與將軍至台中港之距離相當，但前者潮時差異亦高達約三個小時又三十分鐘左右，而後者僅有約一小時之潮時差異而已。若將以上台灣西海岸及東北部海岸之日第一次滿潮分布與陸架地形相對照，則由圖 1-8 可明顯看出，從台灣南端之南灣(Ta-Pan-Lieh; 7187)，經東港(Tung-Kang; 7184)到高雄，在此段相距約 100 公里之海域，潮時之變化甚為有限，大約僅在 1 小時內；但高雄到安平與安平至將軍(CC)，其各段海域相距之距離各約 80 公里，但潮時各皆有約兩小時之差距。此外，在台灣東北部海岸之蘇澳(SA)，其日第一次滿潮時間最早，且從台灣東部之蘇澳到鹽寮(YL)，在此段相距約 40 公里之海域，潮時僅約有 0.5 小時之變化；但從鹽寮到基隆(KL)，距離亦約為 40 公里，但潮時之變化約達 1.5 小時；而從基隆繞過富貴角到淡水(TS)，海岸距離不及 60 公里，潮時之變化卻高達 3.2 小時。可見，在台灣西南部及東北部海域，由於大陸棚架地形之影響，因此，潮汐具有潮差特別小，但潮時變化卻甚為劇烈之特性。

基隆港位於台灣之北部海域，如圖 1-9 所示，港口位置扼台灣海峽與東北亞海運之要衝。惟基於台灣北部海域水深地形與潮汐呈現之特殊潮差及潮時特性，於基隆港海域進行近岸潮流之相關水動力(hydrodynamic)模擬計算時，預期將嚴重面對開放海域與離岸邊界條件無從據以決定之難題。往昔，在水深約 50 米之近岸海域內，雖政府相關部門與機構曾進行各項海象特性之定點式現場觀測，但對潮汐與潮流之水動力模擬計算而言，現場定點之觀測方式與數量，其對計算模擬所需之水動力邊界條件設定需求，基本上仍甚難充分滿足。以過去於高雄港海域曾進行之近岸潮流流場模擬計算(莊文傑、江中權，1997；2001)為例，雖然在台灣環島沿岸海域，政府相關單位曾陸續設置有綿密之驗潮站(圖 1-4)，但由於高雄港海域之潮流模擬計算牽涉到與實測潮流時間區段之對應驗證問題，故海岸側之邊界潮汐水位控制，在南端必須取恒春罈廣嘴驗潮站之潮位為依據；在北端必須用台

南將軍驗潮站之潮位為基準，至於在海側開放水域之時序性(time series)水位與流速，在無適當之相關實測資料對應配合下，其僅能依據海岸側之邊界時序潮位以線性外差(linear extrapolation)方式延伸設定。僅管以上遷就海岸側既有驗潮站位置之邊界條件設定方式通常被採用以克服邊界條件無從據以決定之困擾，但在考量台灣南部整體海岸線形狀與複雜水深地形及海域內所具有之特殊潮汐特性影響下，僅應用海岸線上或近岸區域之有限實測潮位資料線性外差處理開放海域側之邊界條件，將造成對象(interested)研究海域水動力模擬計算結果之驗證誤差，甚至導致模擬計算結果無法準確。經由此數值計算經驗得知，充分且準確地掌握對象研究海域之各項水動力特性是甚為必要的。

1.2 研究目的與方法

本研究為四年期(民國 88 年 07 月起至 92 年 12 月止)政府年度科技計畫海洋領域科技發展方案中程綱要計畫『台灣四周海域海流數值模擬研究』(莊、江，2000a)之序列研究之三。研究重點主要在延續八十九及九十年度之具體成果，將台灣四周大範圍海域之潮汐與潮流數值模擬成果，實際應用於克服解決針對台灣北部及基隆港海域進行局部海域潮汐與潮流數值模擬時，海側邊界條件無從據以決定之難題。主要之研究方法為採用 MIKE21_HD 水動力數值計算模式(DHI, 1994)，其建構之理論係依據水深方向積分後之二維水動力控制方程組，計算海域採用巢狀網格(nested grids)配置，大範圍計算海域之初始及邊界條件以韓國、日本、菲律賓及中國大陸沿岸部分潮汐驗潮站之預報潮位時序變化值設定控制。至於台灣北部局部海域及基隆港細部海域之潮位與潮流計算，其海側水動力邊界條件將由大範圍計算海域之結果中逐次萃取應用。主要之研究目標為：

1. 全平面性細部模擬計算基隆港及台灣北部海域之潮位與潮流特性。

2. 進一步檢核『台灣四周海域海流數值模擬研究』研究成果之準確性與應用性，並掌握台灣環島海域潮位與潮流特性之影響因子。
3. 建置台灣環島大範圍海域之數位化地形與水深。
4. 解析台灣北部海域潮位與潮流具特殊變化之水理機制。
5. 建立台灣北部及基隆港海域之全平面性海流流場，提供改善港灣環境、提昇大型船舶進泊操航安全及各類近岸災害防救之必要海流資訊。
6. 充實台灣環島海域執行海岸調查、開發、利用、防護及保育決策所需「藍色國土」之相關海象資訊。
7. 提供台灣環島任意局部近岸海域海側之潮位與海流邊界條件，俾利於近岸海域進行水動力相關模擬計算之應用，補充實測資料之不足，節省海象調查實測人力與物力之投注。

1.3 相關研究

針對台灣海峽及台灣環島海域探討潮波特殊時空(潮時與潮差)分佈特性與振盪機制之研究，於國內外公開之文獻上尚不多見。Hwung & Tsai (1984)及 Hwung et al. (1986)曾針對台灣西海岸十一個驗潮站上之實測潮汐資料進行調和分析(harmonic analysis)及波譜分析(spectrum analysis)，並引用潮型判別指標(Pugh, 1987)判定台灣西海岸，北自淡水、南至臺西，其潮型皆屬半日潮型，其中，尤以 M_2 分潮最為顯著(dominate)；另依據其潮波能譜分析之結果，推算台灣西海岸具最大潮差之海域係發生於台中港以北 20.9 公里處。中央氣象局簡任技正劉文俊(1996; 1999)近年來曾針對台灣環島沿岸實測之潮汐資料做甚有系統之整理與分析。國家海洋科學研究中心為台灣海峽海況即時預報模式計畫(TSNOW)，近期內，曾透過現場觀測與數值模擬計算方式探討台灣海峽潮汐與潮流之特性，其中，王玉懷 (1998; 1999)依據實測潮汐資

料之調和分析結果，並依據凱文波(Kelvin wave)之理論，說明台灣海峽潮波之運動方向，其實際是由北而南傳遞行進，且由潮流實測資料分析得：布袋至馬公間，半日潮平均流速為 117cm/s；全日潮平均流速為 32cm/s，澎湖至金門間，半日潮平均流速為 46.7cm/s；全日潮平均流速為 7.9cm/s。詹森 等(1999)為模擬計算台灣海峽之潮汐與潮流，因此，採用 Semtner (1986)所建立之海洋環流三維模式，以一個通過台灣海峽由南而北之固定流量模擬平均流場做為初始條件，然後採用富基、東引和後壁湖三潮位站之調和分析常數預報其潮位，再加上由東引、馬祖、烏坵與金門之潮位外插東山島之潮位，然後按線性差分方式設定台灣海峽計算海域之南、北邊界。不過，依據其模擬結果顯示，潮汐與潮流在台灣海峽中、北部海域之準確度較佳，但在澎湖水道以南海域，台灣淺灘(Taiwan Bank)與台灣之間，則有較大之誤差。

相對於近期之相關研究，國內早期針對台灣環島海域進行潮汐水動力之模擬研究亦甚有限，劉肖孔(1983)為配合當時多項經濟建設之需要，曾應行政院科技顧問組之聘請，建置「中國海域三度空間數值模式」，並從事暴潮、天文潮及潮流等相關課題之應用研究(Liu, 1994)。但其模式之運作必須與其「太平洋之海流模式」銜接。Li (1987)；李賢文(1989)應用水深積分後之二維水動力模式，並引用 Ogura (1933)提供之調和分析常數預報特定邊界點之潮位，再以內差方式處理開放海域邊界條件，經計算求出台灣環島海域各重要分潮之等潮差圖(iso-amplitude chart)及等潮時圖(co-tidal chart)後，再將其計算結果進一步應用於潮汐與潮流之預報。綜合上列國內遠、近期以時變性水動力計算模式從事潮汐之相關研究過程可看出，選取及設定開放海域邊界條件，至今仍是迫切待克服、解決之課題。

鑑於國內大範圍海域地形與水深資料不易掌握與取得，故國內學者探討台灣環島海域之潮波動力特性甚少從總體地形之影響性著手。Tsay (1991)為探討地球自轉效應對長週期波動之影響，曾依據三維線性波動系統方程式，推導出包括科氏力(Corolis force)效應之地轉緩坡方程式(geophysical mild-slope equation)，並於具變動水深之大型人工圓島地

形上，以理論解析方式探討環繞圓島海域之長週期波動特性。郭思吟(1995)應用 Tsay (1991)之模式，於檢討不具透水性(impermeable)之海岸邊界條件後，使用有限元素法(finite element method)進行人工圓島週圍海域之潮汐波動特性模擬，並與 Tsay (1991)之理論解析結果驗證。陳柏旭、蔡丁貴(1990)為解決波動因海岸地形及人工構造物影響所產生之開放海域散射波(scattered wave)控制問題，因此，改良 Chen & Mei (1974)之開放邊界控制型式，提出局部輻射邊界條件(local radiation boundary condition)，該邊界控制條件經進一步計算驗證後，證實其不僅適於開放海域邊界具不等水深之實際海況，更可大幅度地縮小計算海域之範圍。對於海岸地形、水深影響性之考慮，當海床水深具不連續之階梯(step)地形時，Chen (1990)研創無限元素法(infinite elements)藉以解決河口、海灣及不規則海岸地形所造成之波動散射及輻射(scattering and radiation)問題。Tsay & Liu (1983)及 Tsay, et al. (1989)使用有限元素法計算變水深人工島周圍海域之波浪反射、折射及繞射效應。

台灣座落於東亞大陸棚架邊緣，因此，有必要瞭解大型陸架地形對其上波動特性之影響。Munk, et al.(1956)即依據觀測資料進行大陸棚架上之緣波(edge wave)探討。Reid (1958)使用線性淺水波方程式亦曾進行緣波之解析，同時，探討科氏力之影響。Munk, et al.(1964)以波動方程式針對波動抓陷(wave trapped)現象進行相關模態(modes)解析。Chamber (1965)使用淺水波方程式探討在地球自轉效應下，長週期波動之通式解(general solutions)，並且將其解析結果應用至海嘯(tsunamis)理論上。Rao (1966)結合實驗及理論探討矩形海灣在旋轉座標上，其波動所呈現之振盪模態。Mysak (1967)使用線性淺水波方程式亦對大陸棚架地形影響下之波動進行解析，並提出北半球之陸架波會以順時鐘方向作環形之傳播。Buchwald & Adams (1968)使用指數函數型式之陸架坡度，探討自由陸架波(free shelf wave)在陸架斜坡上之傳播特性，同時，並求出各模態之分散關係(dispersion curves)。Cartwright (1969)及 Cartwright et al.(1980)藉 St Kilda 海域實測潮流之不尋常(unusually)強流速分析結果，推論其可能係由陸架波所引致。Rhines (1969)於考慮地球

面曲度(curvature)及海底地形變化下，針對長週期波動進行解析，根據其解析結果指出，由於大陸棚架之攔阻(barriers)效果，即使對週期甚長之波動，地形之小變動(∇h)仍具有其甚為重要之影響效應，其研究中更引用實例說明，當海脊(ridge)地形之寬度夠大時，海脊地形可將最低模態之 Rossby 波完全反射。Momoi(1974)應用 L-型渠道模擬實際海灣形狀具大角度轉變下之波動模態，並探討其反射及透射特性。Mysak & Tang (1974)曾對不規則之海岸線進行凱文波(Kelvin wave)傳遞特性之探討。Thomson & Crawford (1982)曾於雷諾應力考量下，推導經水深積分後之渦度(vorticity)方程式，並據以解析潮流所引致之陸架波特性。Middleton et al.(1982)及 Crawford & Thomson (1984)皆使用線性淺水波模式，並分別以 Southern Weddell Sea 及溫哥華島(Vancouver Island)之潮流及陸架波為研究重點，進行理論解析探討並與實測資料相互驗證。

回顧台灣環島海域之地形可知，台灣不僅座落於大陸棚架邊緣，其形狀更似一大型之圓島。只是環島之水深具變化且約呈現東、西方向之不對稱分佈，並兼具有中國大陸不規則海岸線之影響。因此，台灣環島之波動特性，就地形水深之影響而言，其不僅可能具陸架波(shelf wave)之型式，也可能具緣波(edge wave)之特質。但最可能者為圓形島地形影響下之長波抓陷(wave trapped)特性。在地形產生抓陷波之研究上，Longuet-Higgins (1967; 1968; 1969; 1970)曾以一系列之研究加以探討。且對抓陷波之波動模態、抓陷條件、地形、水深、地球自轉效應之影響等皆作詳細剖析，並說明：在北半球海域中，圓島波動若具有抓陷波之特性，則其將是順時鐘方向環繞圓島而傳遞行進地，且在環繞圓島一圈後，其相位仍吻合(in phase)其繞行前之相位。針對台灣環島潮波之地形抓陷特性，莊文傑(2000)及 Lin, et al.(2000;2001)亦曾作詳細論證，除此而外，台灣東部多海脊(ridge)地形，有關海脊地形產生之波動抓陷解析，Shaw & Neu (1981)及 Hunkins (1986)曾有詳細之理論探討。

綜合上述相關之研究可知，儘管不同學者曾針對不同波動特性進行探討，但共通地是大部分學者皆以線性淺水波系統方程式為基礎，

並將大部分的研究重點置於海岸地形及海域水深之變化上。可見，即使採用架構簡單之理論模式，但在掌握特殊地形、水深影響下，複雜之波動特性仍是可完全呈現地。

為理論解析之必要，地形、水深之影響常是理想性或簡化地。電子計算機科技大幅進展後，使用數值模擬計算方式探討波動及相關流場之特性已是時代趨勢。Wang (1982)即以有限差分法研發有限域內具陸架地形變化之三維流場計算模式。Ye & Robinson (1983)使用二維非線性有限差分模式以研究南海潮波之分潮特性。Le Provost & Fornerino (1985)亦以二維非線性有限差分模式探討英倫海峽(English Channel)之潮波與潮流特性，在其研究中並強調開放海域上，邊界條件設定之方法。Lynch & Naimie (1993)以三維非線性有限元素法計算Maine 海灣中之 M_2 潮流及其殘餘流(Residual Current)。Lyard & Genco (1994)針對海洋潮波之有限元素計算法提出其開放海域邊界條件設定之優選方法(optimisation)。Nguyen & Ouahsine (1997)再使用二維有限差分模式進行多佛海峽(Dover Strait)之潮流及潮位計算。Yanagi & Takao (1998 a;b)同樣使用二維有限差分模式並針對南海及泰國灣(Gulf of Thailand)分別探討分潮潮波及潮流之傳播特性。Guo & Yanagi (1998)自行發展三維模式，並率定相關摩擦、粘滯係數後，結合部分台灣海峽潮汐資料，據以計算東海、黃海及台灣北部海域之分潮潮波及潮流特性。

根據以上數值研究結果可知，在數值計算模式中，雖理論及地形之簡化相對減小，但相關計算參數之率定與開放海域側之邊界條件設定，相對地仍是一大難題，而且其因計算海域不同所面對的困難與挑戰亦不一致。目前解決開放海域之邊界值問題已可依據衛星高度儀(altimeter)資料或藉由現場綿密觀測網所建置之分潮等潮幅(co-amplitude)及等潮時(co-tidal)圖來輔助。Luther & Wunsch (1975)即曾公布中太平洋區之分潮特性分佈圖。Bennett & McIntosh (1982)為應用特定海域上具有有限點之潮位資料，因此應用變分法(variational formulation)以反算(inverse)方式調整開放海域模式。Francis &

Mazzega (1990)曾針對環球海域(Global ocean) 進行解析度為 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 之潮汐荷載效應(loading effects)計算。Cartwright(1990)及 Cartwright & Ray (1991)應用 Geosat 衛星高度儀資料計算環球海域之潮汐分潮能量(admittance)分佈圖。Zahel(1991)透過實測潮汐資料之同化(assimilating)計算,探討環球海域潮汐分潮之振幅及相位分佈。Le Provost et al.(1994)採用有限元素法建置環球海域之分潮特性分佈圖,並採用 TOPEX/POSEIDON 衛星高度儀(altimeter)資料進行計算精度檢核及率定。Yanagi, et al.(1997)亦應用衛星高度儀資料設定開放海域邊界條件,並以南海為計算例,所得計算結果經與海域實際測站資料比對,證實計算精度甚為良好。Lefevre, et al.(2000)將應用衛星資料計算所得之大範圍海域(global ocean)分潮特性分佈圖,萃取局部海域(regional)所須之開放海域邊界條件,據以大幅改善局部海域內分潮特性分佈圖之精度。為台灣局部海域(regional)所須之開放海域潮位邊界條件之提供, Tsay, et al.(2000)及 Juang, et al.(2000)應用頻率領域(frequency domain)模式首先計算台灣海域各主要分潮振幅與相位空間分佈後,再結合 IOS(Institute of Ocean Sciences, Canada)之潮汐預報模式預報台灣環島開放海域側之潮位邊界條件,莊文傑 等(2001)依據上述之潮汐預報結果,進而計算台灣南部墾丁海域之潮流流場。

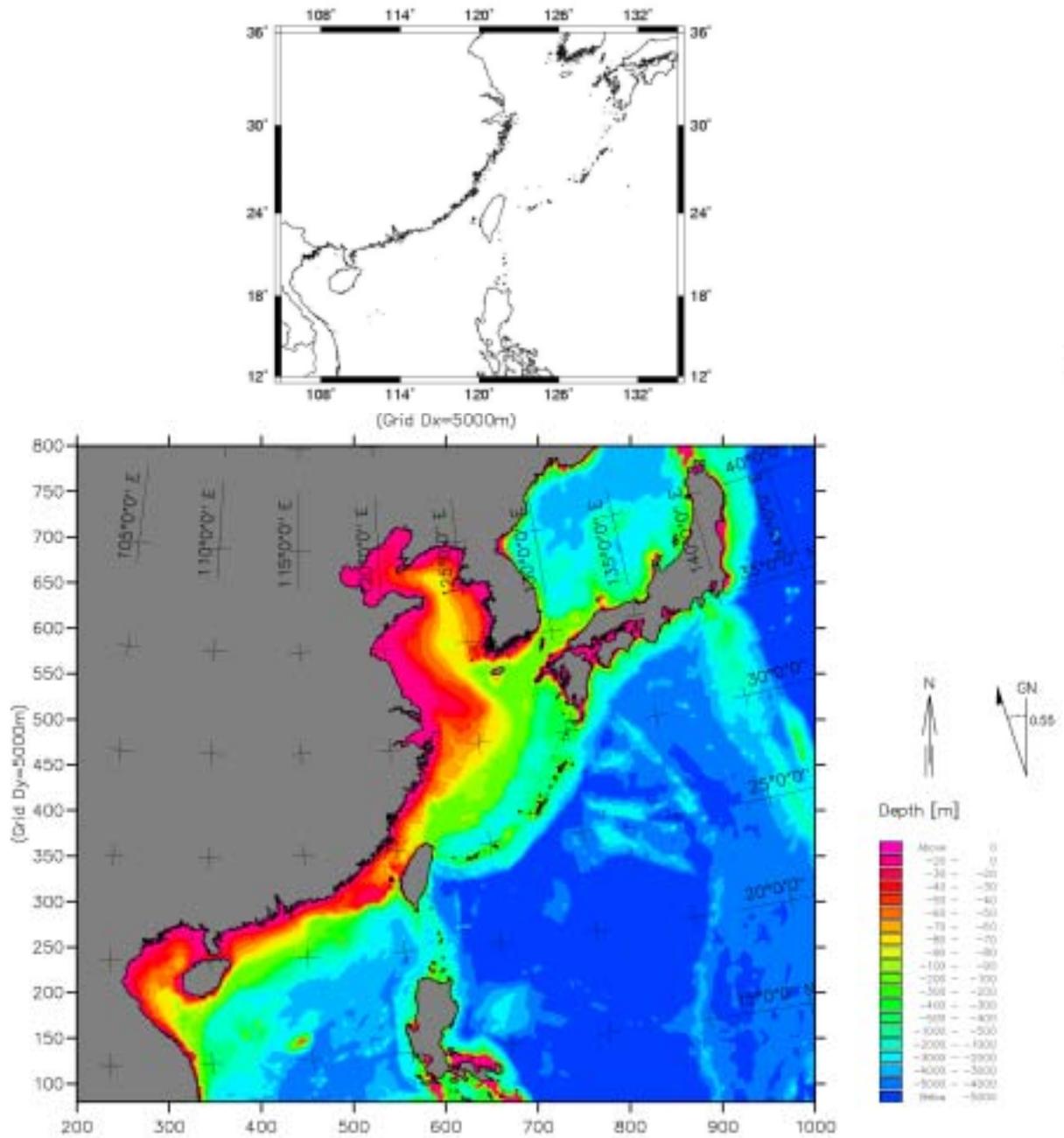


圖 1-1 東亞及台灣環島海域環境與水深地形

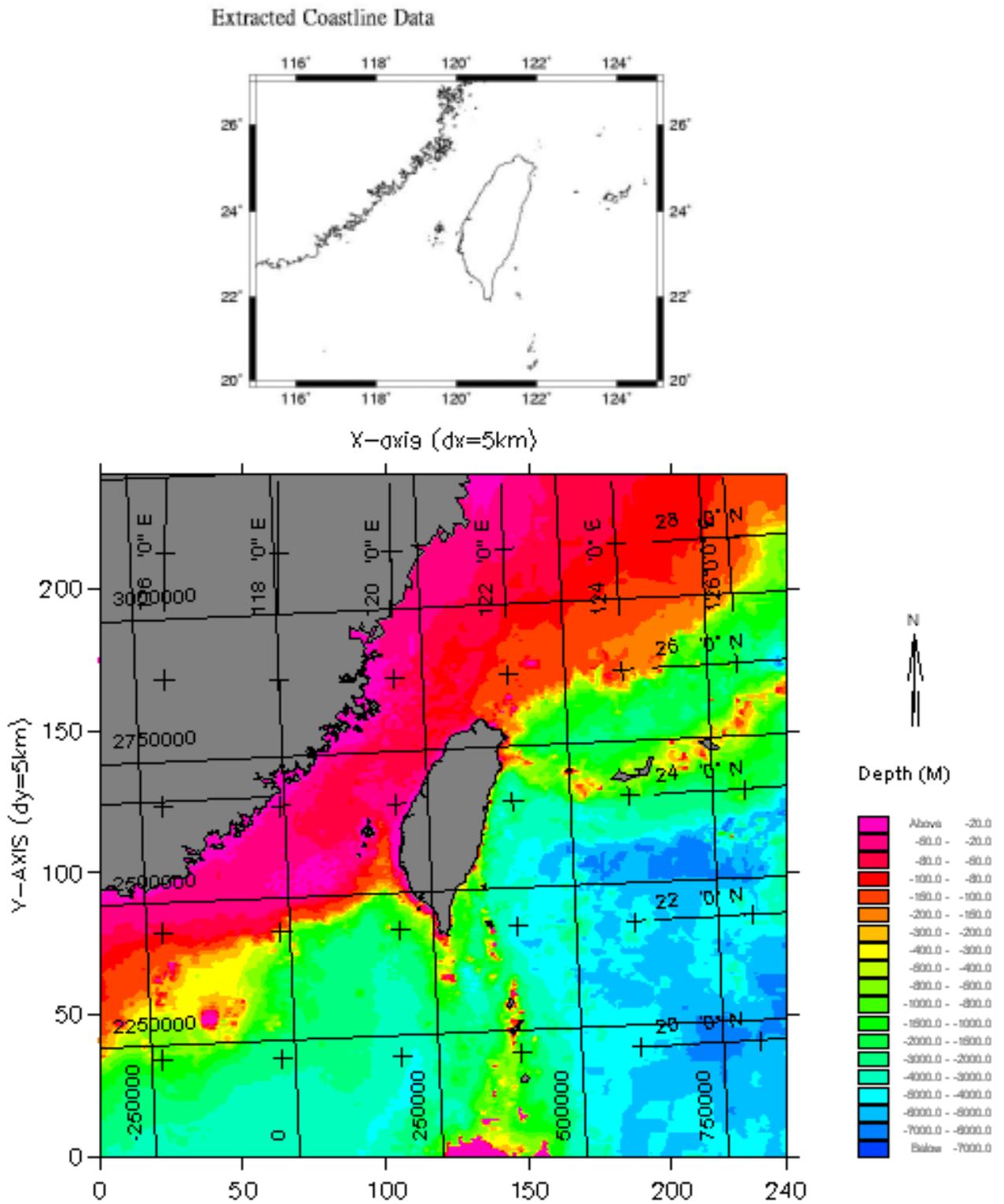


圖 1-2 台灣環島海域環境與水深地形

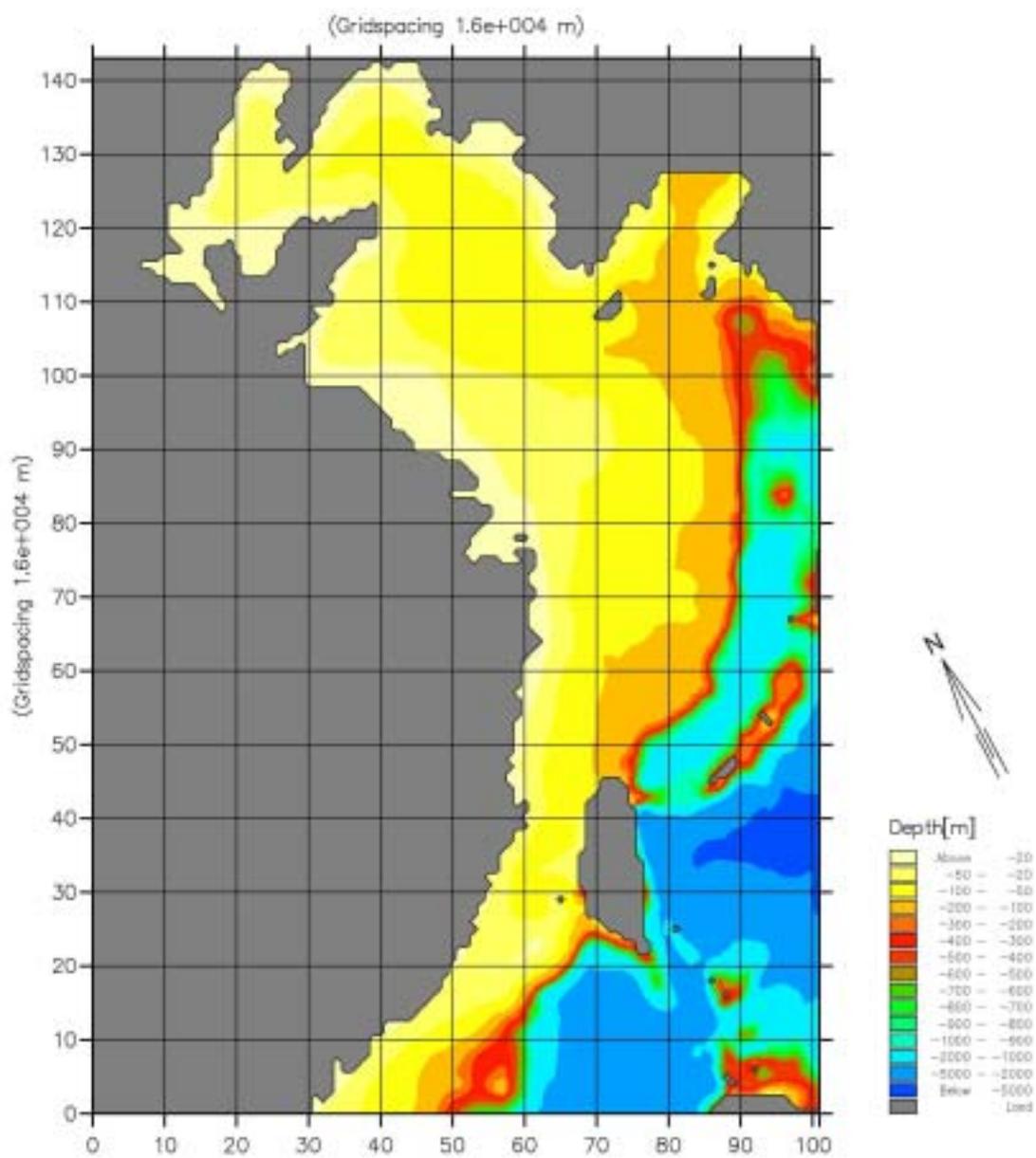


圖 1-3 台灣環島海域陸架地形與水深



圖 1-4 台灣環島海域之潮位觀測站位置
 (資料來源：中央氣象局)

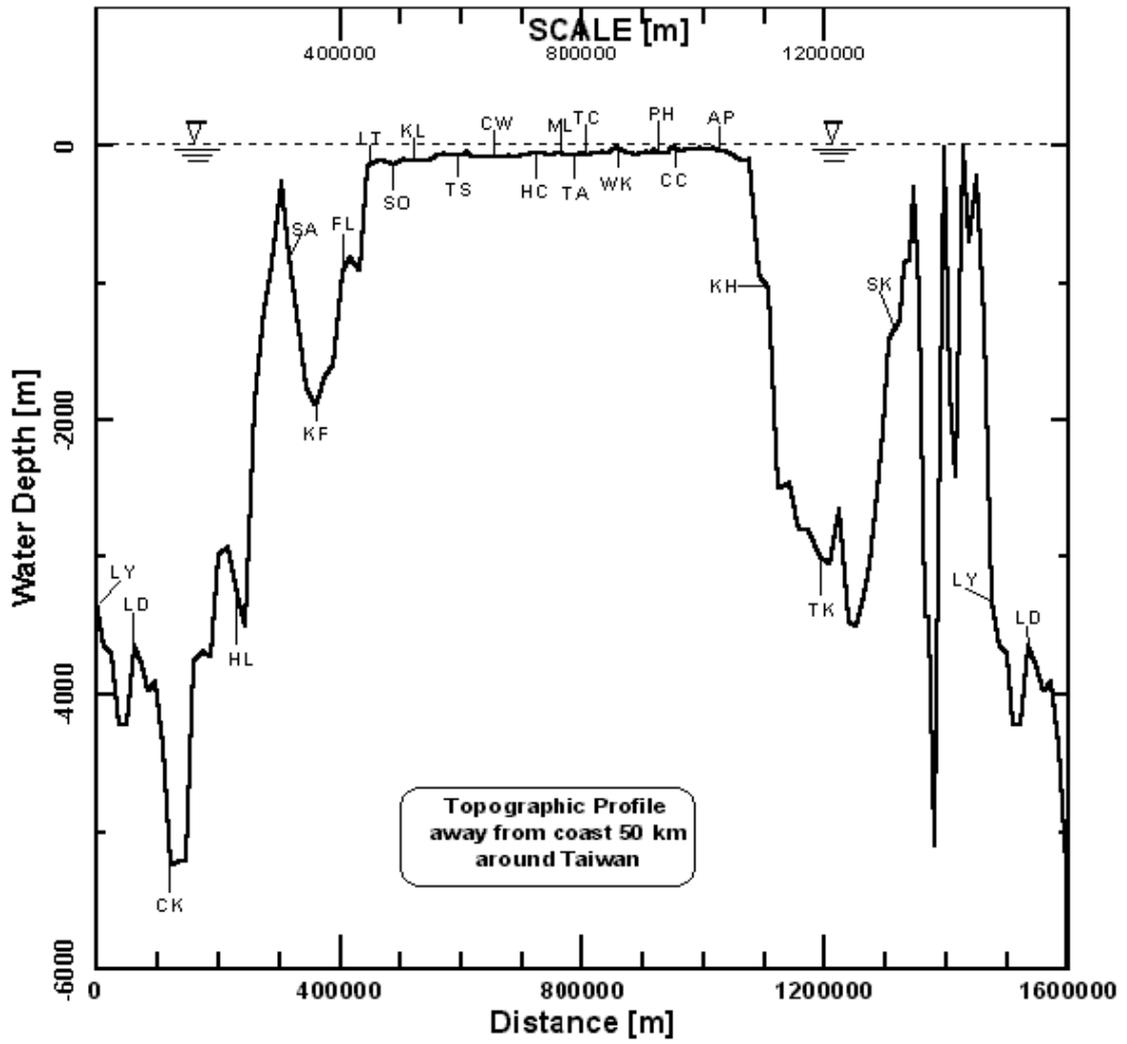


圖 1-5 台灣環島海域，離岸約 50 公里之距離上，萃取之水深地形剖面

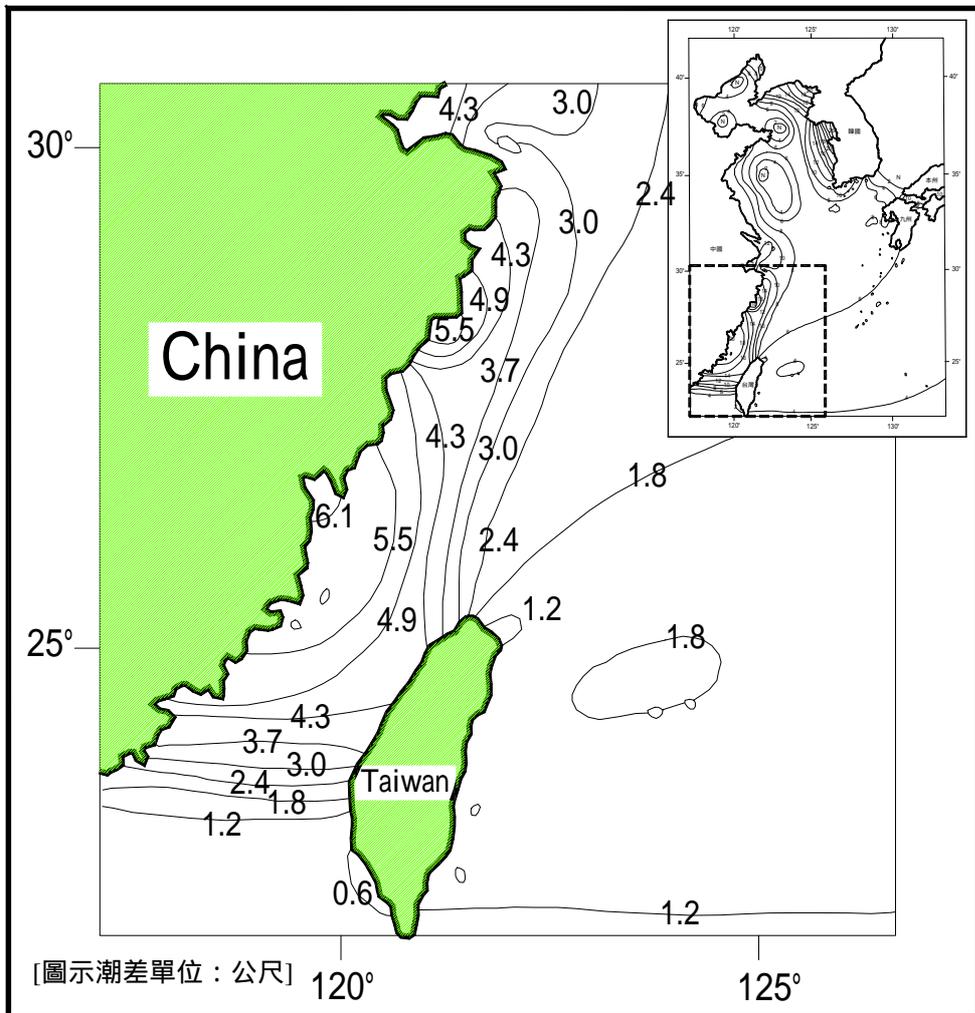
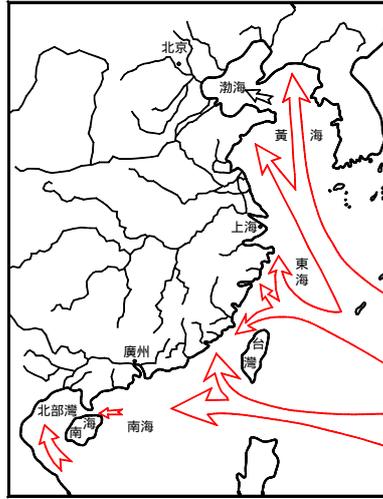


圖 1-6 東亞地區平均最大半月潮差分佈圖(USNWS, 1977)

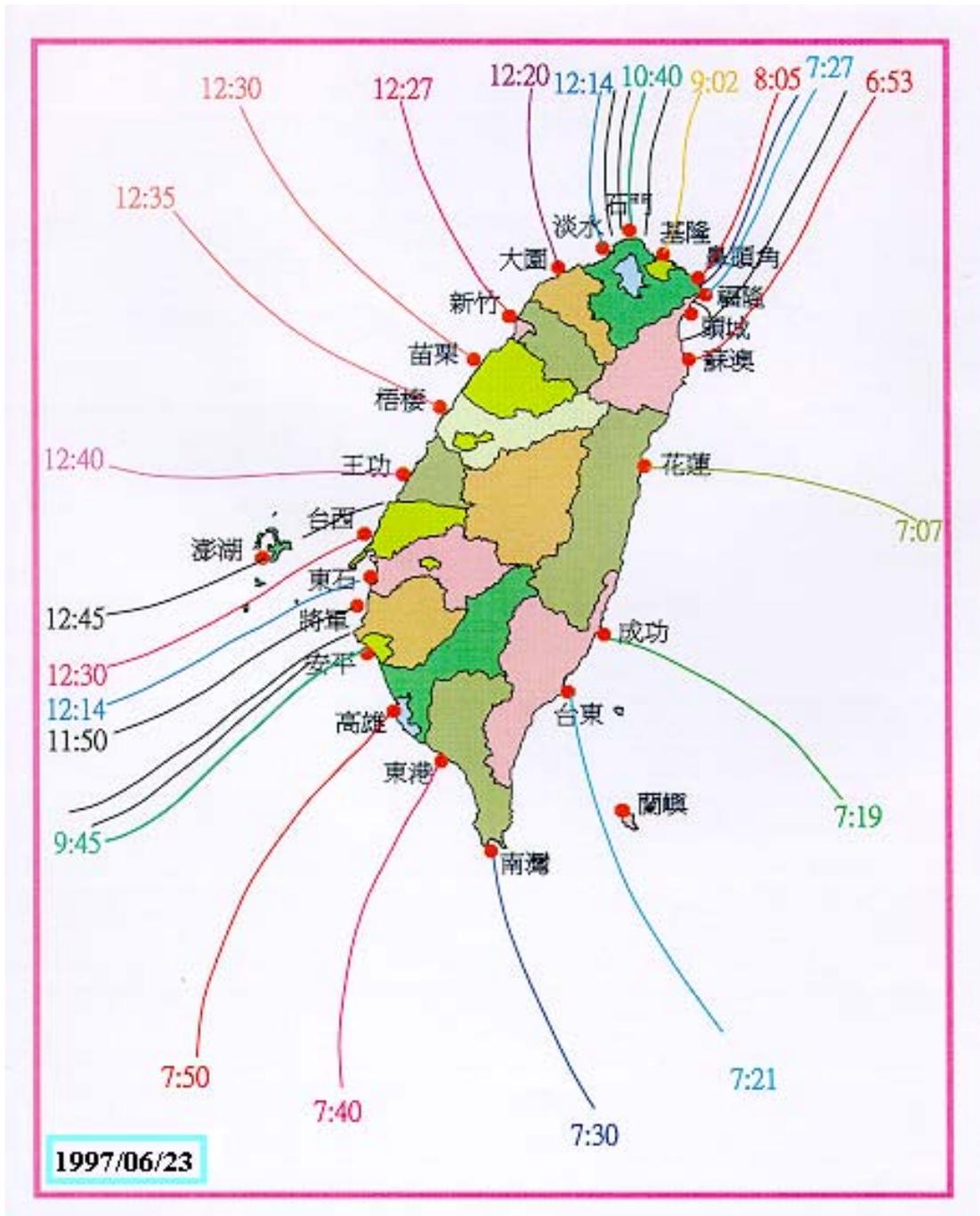


圖 1-7 台灣環島沿岸海域之日第一次滿潮之潮時相位分布
(1997年6月23日, 中央氣象局發佈)

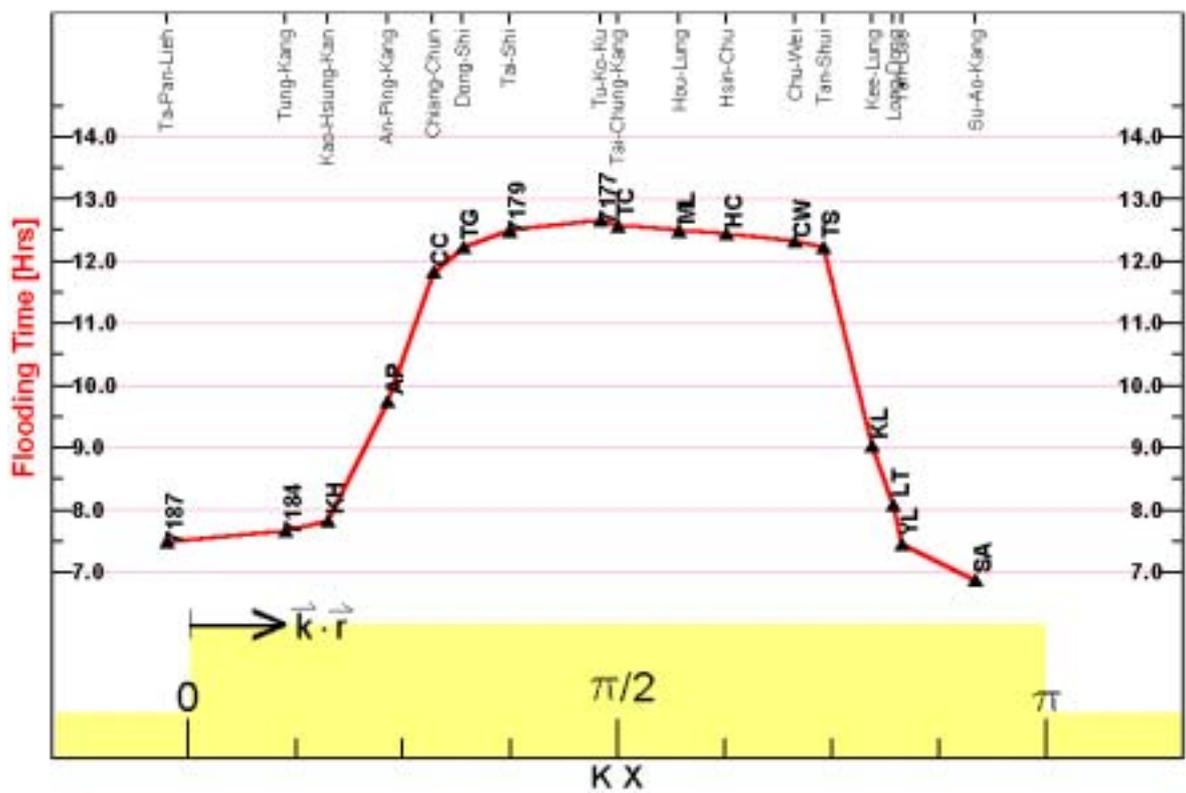
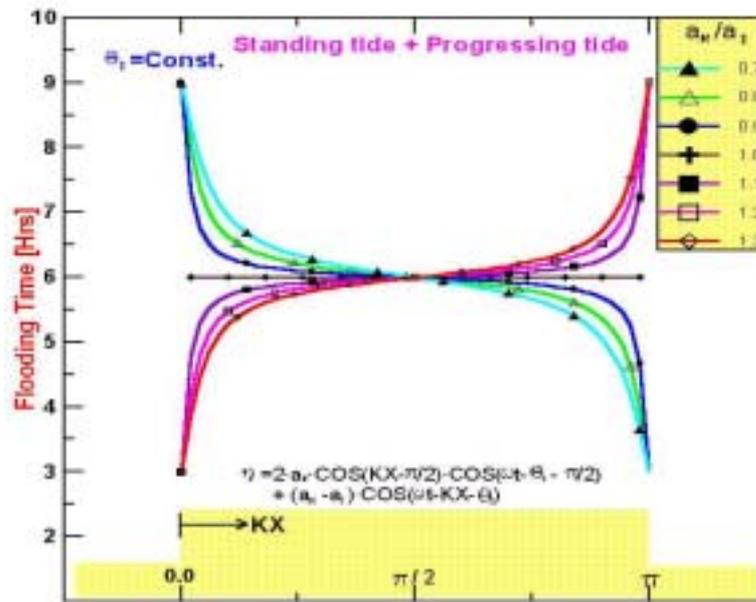


圖 1-8 台灣環島海域，理想性之滿潮潮時(莊文傑,2000)與 1987 年 6 月 23 日中央氣象局實際預報之日第一次滿潮之潮時分布

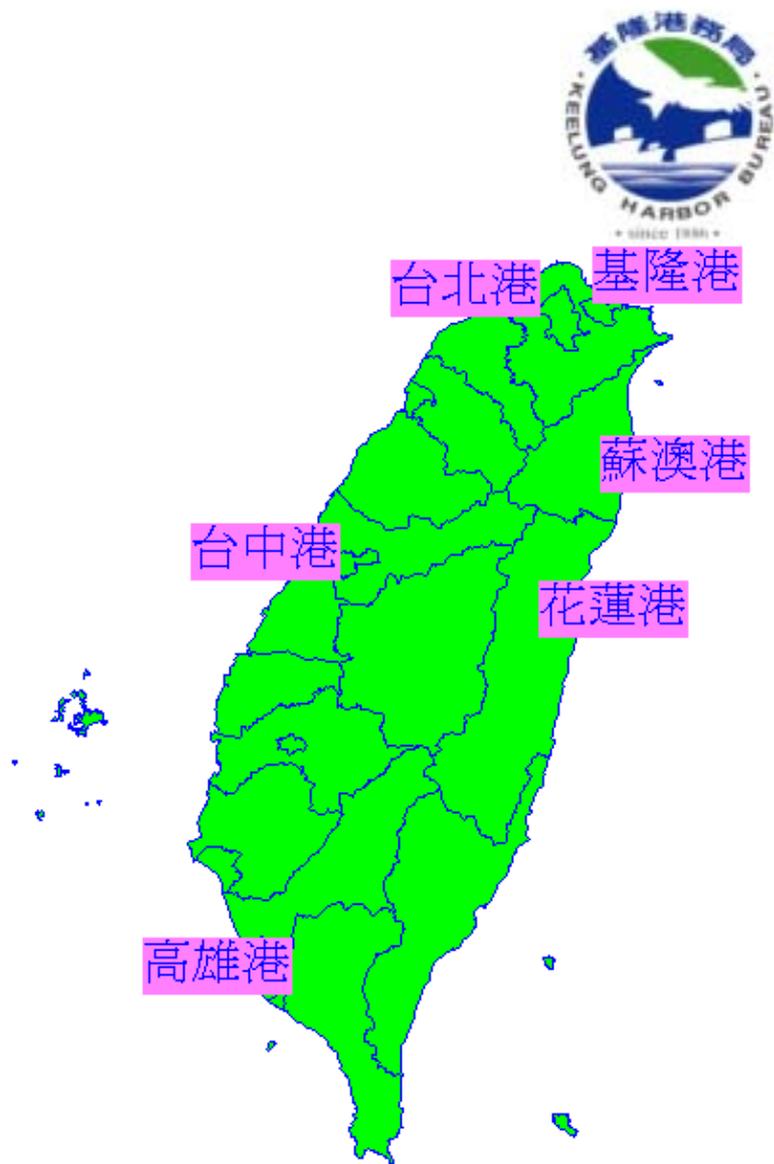


圖 1-9 基隆港及台灣環島各主要國際商港之位置
(資料來源：謝明志 等，2002)

第二章 基隆港港域環境

2.1 港口位置及港區概況

基隆港位於台灣北部，東南西三面環山，港埠形勢天成，為不可多得之天然良港，如圖 2-1 所示。早在光緒 12 年(1886 年)即完成起卸貨物之石岸碼頭 1 座，是為拓建之始(港研所，1996)。台灣割讓期間，日本政府鑑於基隆港位置之重要性，乃分 5 期計 44 年完成西岸 18 座碼頭之建設，遂初具規模。光復初期，因所有港埠設施悉遭盟軍轟炸破壞，其後以 4 年期間完成復舊工作。近 40 年來，基隆港為因應台灣經貿發展之需要，並為紓解日益增加之貨物運輸需求壓力，因此實施一系列之擴建、改善計畫，消除港口瓶頸，目前已成為世界知名之港埠。

基隆港位處泛太平洋海運必經航路，且緊鄰我國大台北都會區之政經中心，腹地廣大，人口稠密，資源豐富，向為我國高價值貨物吞吐最主要之門戶，港埠地位甚為顯要，為台灣北部甚為重要之國際商港，且在全球貨櫃港中佔居重要地位，曾肩負我國促進國際貿易及發展航業之重責大任(港研所，1996)。惟囿於港域狹小、水深不足及欠缺港區後線土地等自然條件之限制，港埠能量漸有不足之趨勢，因而嚴重影響該港未來之發展(2001 年一至七月之累計貨櫃裝卸量僅 104 萬 TEU)。為突破營運瓶頸，近年來，基隆港港務局除積極改善聯外道路系統外，亦進行淡水港之興建，並辦理基隆新港之規劃及基隆港土地整體規劃運用等相關計畫。

基隆港位於北緯 25°09'26.5"；東經 121°44'22.5"。引水站位置在北緯 25°11'00"；東經 121°43'59"。港區與港域配置如圖 2-2 所示，港區簡略之瀏覽則如圖 2-3 所示。港區水域面積約 572 公頃，水深在 10.5 到 13.5 米間，環港碼頭總長度約 9,862 公尺。現有船舶進出之港口一

個，港口方向約為 N16.7°W，港口寬度約 280 公尺。目前自東防波堤頭至迴船池中心距離之主航道長度僅約 1,400 公尺，航道水深為 15.5 米，迴船池直徑 650 公尺，計畫進港最大船型為 6.6 萬噸級巴拿馬極限散雜貨輪及 5,000TEU 之 Post-Panamax 貨櫃輪(基隆港網頁資訊)。為達成「大船入港」目標，並為配合 Post-Panamax 貨櫃輪之停船距離需求，現有東防波堤規劃將向外延伸 500 公尺。

西岸貨櫃碼頭為基隆港最主要貨櫃營運區域，目前船席水深僅約 10.5 至 13 米，僅可供 2,000 至 3,000TEU 之貨櫃輪靠泊，未來西 22、23、25、26 號碼頭可配合民間需求，將前段 355 公尺船席水域浚深至 CD.-14.5 米，以提供 5,000TEU 貨櫃輪靠泊；外港大宗散雜貨碼頭區包括西 29 至 32 號碼頭，目前主要供國內航線小型散雜貨船及 20,000 噸級散雜貨船靠泊，並供進口穀類、煤等大宗乾散貨使用，未來本區碼頭將規劃全面改建並將水深加深至 14 米，最大可供 6.6 萬噸級巴拿馬極限輪靠泊。東岸營運碼頭共 13 座，除東 8 至東 11 號為貨櫃碼頭外，其餘多半為雜貨碼頭，由於碼頭後線場地普遍縱深不足，故多以船邊提貨為主，碼頭作業效率不佳，全東岸碼頭之年營運量僅約佔基隆全港之 20% 左右；東 6 至東 8 號碼頭未來規劃將碼頭法線外移並與東岸貨櫃碼頭(東 9 至東 11 號)共線，且將浚深至 12 米，可供 2.5 萬噸級散雜貨輪靠泊使用；東岸貨櫃儲運場包括東 9 至 11 號碼頭，目前東 8 號改建即將完工加入營運，未來本區岸線可達 860 公尺，碼頭水深 13 米，可靈活調派同時供三艘 2,500TEU 或四艘 2,000TEU 貨櫃輪靠泊使用。

2.2 海氣象環境

為基隆港海域海流特性之分析比較，並為率定、檢驗海流數值計算之結果，在設定數值模式、進行實際模擬前，透過港域自然環境之調查結果以掌握基隆港域之海象影響因子及其概略特性是必要的。以下為摘錄自「基隆港整體規劃及未來發展計畫」(港研所，1996)有關基

隆港港域自然環境調查之簡要結果：

2.2.1 風力

依據中央氣象局基隆測候站之風力觀測記錄，基隆地區 1951~1990 年及 1991~1994 年之年統計風玫瑰圖如圖 2-4 所示，各月份之月統計風玫瑰圖如圖 2-5 所示。由圖 2-4 及圖 2-5 觀察可知，基隆地區出現最頻繁之風向為 NE 向，其次為 NNE 及 ENE 向，其出現百分比分別為 18.4%、12.8% 及 9.8%。風力七級(平均風速 13.9~17.1m/sec)以上的出現比例約 0.1%，主要出現在 NE 及 NNE 向。全年八成以上之風力在三級(平均風速介於 3.4~5.4m/sec)以下。且每年六月為東北風轉西南風之交換期，而每年八月則為西南風轉東風之交換期。

澎佳嶼位在基隆港之北方外海，風力觀測記錄受陸地地形之影響因素應可大幅減小，因此統計分析中央氣象局澎佳嶼風力測候站 1951~1990 年之風力資料，可得如圖 2-6 所示。觀察圖 2-6 可知，澎佳嶼出現最頻繁之風向為 NE 向，其次為 ENE 向及 NNE 向，其出現百分比分別為 19.0%、12.4% 及 12.2%，優勢風向為 NE 向，風速多介於 5.5m/sec~13.8 m/sec 間，主要風向與基隆測候站之年統計風玫瑰圖近似。惟澎佳嶼全年有六成以上之風力分布在四級至六級之間，風力七級以上之年平均出現比率為 6.2%，主要仍以 NE 向為主。表 2-1 所示為基隆測候站與澎佳嶼測候站 1979~1993 年實測年平均風速及最多風向與十分鐘最大風速及風向之統計比較。從表 2-1 中觀察可得，澎佳嶼測候站之年平均風速及十分鐘最大風速皆較基隆測候站大，且風速普遍強約 1.5 倍；而年平均最多風向約略近似，但十分鐘最大風速之風向則有甚大之差異。圖 2-7 所示即為澎佳嶼測候站 2002 年 1 月之風力觀測記錄。

2.2.2 波浪

基隆港海域常年之波浪狀況，依據 1983~1990 年在基隆港水深約 60 米，位置為 25° 10' 12" N；121° 44' 12" E 之長期波浪觀測結果，

經整理示性波高與週期,可得其全年之分布累積曲線分別如圖 2-8 及圖 2-9 所示。由圖觀察可知,基隆港海域全年有 95% 以上之示性波高均低於 4.0m,其中以 0.5~1.0m 之示性波高出現率最高,達 20.9%;週期則以 6~8 秒之出現率最高,約達 65.28%,並有 95%之波浪週期皆小於 11 秒。

另整理分析 1980 年 10 月至 1993 年 8 月中央氣象局在鼻頭角海域(水深 55m,超音波式,位置 25° 8'12" N; 121° 55'31" E)觀測之波浪資料,可得示性波月平均值及最大值與冬、夏季示性波高之百分比分佈如表 2-2 所示。表 2-2 顯示,鼻頭角海域冬季之平均波高較夏季大,但夏季因颱風影響,1993 年 8 月曾發生 9.59 m 之最大波高值。此外,鼻頭角海域夏季示性波高有 50.53%小於 0.5m; 77.71%小於 1.0m; 95.6%小於 2.0m,而冬季示性波高有 57.03%小於 3.0m,96.7%小於 4.0m。

至於波向,整理分析 1984 年 10 月至 1985 年 11 月於野柳信號台以 Racal-Decca 雷達系統進行波向觀測之記錄,可得基隆港海域在每年十月至翌年三月受東北季風影響期間,波向係以 NE 為最主要,ENE 居次,且偶而有 NNE 及 E 向波浪。

2.2.3 潮汐

根據基隆港驗潮站 1947 至 1996 年之長期潮位觀測資料,經統計整理分析(港研所, 1996),可得各種示性潮位如下:

最高高潮位(H.H.W.L.)	+2.31M
平均高潮位(M.H.W.L.)	+1.16M
平均潮位(M.W.L.)	+0.89M
平均低潮位(M.L.W.L.)	+0.63M
最低低潮位(L.L.W.L.)	-0.25M

基隆港各種水位全年各月呈不規則變化,通常,夏秋季節較高,

而春冬季節則較低。而基隆港最高高潮位為+2.31m，發生於 1976 年 8 月，最低低潮位為-0.25m，發生於民國 1950 年 12 月。

有關基隆港潮汐之分潮振幅與相位角，經以 1991 年 11 月 1 日至 1995 年 3 月 31 日之潮位連續記錄進行調和分析，可得 60 個對基隆港海域具較大影響之分潮調和常數如表 2-3 所示。由表可知，基隆港域潮汐分潮主要係由主太陰半日週潮(M_2)、主太陰日週潮(O_1)及日月合成日週潮(K_1)所支配，以法國制潮型指標 $R=(O_1+K_1)/(M_2+S_2)$ 判斷，高雄港域潮型指標 $R=1.16$ ，潮型應屬偏全日潮之混合潮型。

2.2.4 海流

工程應用上，一般海流係指潮流、恒流、風驅流及波浪造成之近岸流等成分，其影響因子主要為空間潮位梯度(gradient)變化、地球自轉偏向力、天體引力、海水之溫度、密度與鹽度差異、大氣壓力變化、風力、波浪、地形、水深及河川排水與放流管之海洋放流等項目。

有關基隆港海域之海流，從基隆新港海域之各種海流現場實測報告綜合可知，在 9 至 11 月間，漲潮流向以西北向為主，退漲流向為東南東向；在 1 至 4 月間，漲潮流向主要亦為西北向，退潮流向則為東南向。一般而言，流向約與海岸線平行，平均流速為 0.2~1.2 節(一節約 0.515 m/s)，表層、中層流速相差不大，流向約呈一致，但以中層流速稍大，最大流速一般大於 1.5 節，記錄最高流速曾達 2.23 節。另依據海軍海洋測量局 1992 年 6 月出版之 0353A 號基隆港海圖之註釋，於基隆港港口至外木山漁港中間，位置在北緯 25°09'47"；東經 121°44'18"，水深 30 米處，潮流約在基隆港高(低)潮之前 1~2 小時轉向；潮流速度在高(低)潮之後約 1~2 小時最強。

基隆港務局在 2001 年為因應港埠營運之需要，辦理港池浚深加寬，碼頭改建及年度水域浚挖維護等工作，曾委託國立高雄海洋技術學院海洋環境工程系進行「基隆港海拋區海流特性」監測(張國棟等，2002)。此監測作業共在基隆港外海選定三處觀測站，分兩季採用自記

式海流儀進行定點的海流觀測。分季監測日期及三處觀測站之位置如圖 2-10 及表 2-4 所示。其中，第二季(2002/01/03~2002/01/11)測站 B (水深：98.4 米；位置：25 ° 14' 01.09" N；121 ° 47' 32.22" E)之海流監測結果如圖 2-11 所示。綜合實際觀測結果顯示，基隆港海拋區之海流，在漲潮時流向大致主要為 WNW 至 NW 方向，退潮時流向主要為 ESE 至 SE 方向，換言之，海流之流向是以與海岸平行方向為主。不過，第二季 A 測站海流資料在 2002/01/18~20 日漲潮時流向主要為 WSW 至 SW 方向，退潮時流向為 NE 至 ENE 方向，海流有明顯與海岸不平行流動的現象。觀測期間，最大海流流速可達 144.32cm/s，而平均流速約 50~60cm/s。

在 2001 年 6 月中旬，交通部運輸研究所港灣技術研究中心在基隆港東防波堤堤頭外水深 44 公尺處，以挪威 NORTEK 公司出產的 AWCP 剖面波流儀完成海象觀測站的建置(曾相茂 等，2001)，並與基隆港務局測量隊合作，共同負責海象觀測站資料的收集及儀器的經常維護工作。在 2001 年 7 月的建置初期，海流觀測站建置之位置與所觀測的部分海流記錄如圖 2-12 所示。由圖觀察可知，基隆港東波堤堤頭附近的海流，其流向大多在 W-S-NE 間擺動變化，不過，流向以東北東向及北北西向為主，而流速的大小，一般約介在 40 至 80 cm/s 間，最大的流速約可達 100 cm/s。此外，若與同時期全月的預報潮位對照，尚可見潮流流速有隨月大、小潮作強弱變化的趨勢。

2.3 基隆港海域沿岸之潮位梯度

局部海域潮位隨時間的空間梯度(gradient)變化與海流的特性關係密切(莊文傑、江中權，2002)。基隆港海域沿岸隨時間變化之潮位空間梯度可從其東、西端鄰近海岸之澳底(OD)與富基(FG)漁港之逐時預報潮位對照研判。在 2001 年 7 月 17 日至 20 日期間，台灣北部海域基隆港之逐時預報潮位如圖 2-13 中之黑實線所示，同時期其東、西端鄰近海岸澳底與富基漁港之逐時預報潮位分別如圖 2-13 中之紅虛線及藍點

線所示。整體上，首先就每日的較高低潮位觀察圖 2-13 可知，澳底與基隆港每日的較高低潮位皆不明顯，可見太平洋潮波在基隆港以東海域仍清楚地具有全日潮的特性，而在基隆港以西的富基漁港海域，每日較高低潮位已甚明顯，足見潮波有逐漸轉變為半日潮明顯之趨勢。此外，比較潮位隨時間的振幅變化(潮差)可知，澳底的潮位振幅變化稍較基隆港大，而富基漁港潮位振幅變化又較澳底大，因此可見台灣北部海域潮位隨時間的振幅變化有由東往西增大的趨勢，潮位振幅變化並以基隆港海域最小，此一潮位振幅變化特性充分說明，在台灣環島海域的陸架地形影響下，基隆港海域應恰約座落在半日潮於台灣海峽形成部分重複駐波之北端節點內(莊、江，2000；Lin et al., 2000, 2001)，故基隆港海域潮位隨時間的振幅變化皆較澳底及富基漁港小。基於此一重複駐波之節點特性，再仔細觀察圖 2-13 可知，澳底、基隆港及富基漁港的潮位，在基隆港潮位接近滿潮及乾潮前，皆有一致的交匯點，且當基隆港海域在漲潮期間，澳底的潮位保持為局部海域之最高，基隆港海域次之，富基漁港最低；在退潮期間，則反逆，即富基漁港的潮位保持為局部海域之最高，基隆港海域次之，澳底的潮位則保持為局部海域之最低。可見基隆港東西兩側海域的潮位逐時變化，如此以近似翹翹板(以基隆港為支點)的空間梯度變化，週而復始不斷地傾盪著。而依據此一潮位的空間梯度變化特性可清楚地判知，台灣北部海域的海流，在基隆港漲潮期間，流向應為由東往西；而在基隆港退潮期間，流向應反轉為由西往東。至於實際之海流隨潮位變化的特性，可參考圖 2-11 所示之現場調查結果。因此可見，只要能準確地掌握台灣北部局部海域之潮位水動力邊界條件，應即可準確地模擬計算基隆港海域的全平面性海流。

表 2-1 基隆與澎佳嶼測候站風力之比較

(資料來源：港研所，1996)

	基隆測站		澎佳嶼測站	
	年平均風速 及最多風向	十分鐘最大 風速及風向	年平均風速 及最多風向	十分鐘最大 風速及風向
民國 68 年	3.4/NNE	13.8/N	8.2/NE	29.7/WSW
民國 69 年	3.4/NNE	19.2/NNE	8.0/NE	27.8/ESE
民國 70 年	3.4/NNE	18.5/NE	7.9/NE	33.3/ESE
民國 71 年	3.3/NE	25.0/SE	7.7/NE	32.3/ESE
民國 72 年	3.4/NE	15.8/SSW	7.4/NE	23.8/NW
民國 73 年	3.4/NE	16.7/NE	7.9/ENE	21.6/WNW
民國 74 年	3.2/NE	27.1/SW	7.9/NNE	62.7/ESE
民國 75 年	3.3/NE	20.3/NE	7.5/NNE	31.3/SSE
民國 76 年	2.9/NE	23.3/SSE	6.8/NNE	31.2/SSE
民國 77 年	2.9/NE	16.0/NNE	7.4/NNE	23.6/WNW
民國 78 年	2.6/NE	14.9/SSW	7.1/NNE	25.0/SE
民國 79 年	2.9/NE	31.0/N	7.9/ENE	42.6/W
民國 80 年	3.0/ENE	16.0/N	7.5/NE	34.2/SE
民國 81 年	3.0/E	13.9/NNE	7.3/ENE	28.2/SE
民國 82 年	2.7/NE	11.3/SSE	6.8/NE	26.0/WSW

表 2-2 鼻頭角海域實測波浪資料之統計 (1980 年
10 月至 1993 年 8 月。資料來源：港研所，1996)

鼻頭角示性波月平均值及最大值

月份	平均值		最大值
	波高(M)	週期(sec)	波高(M)
1	1.98	7.1	6.04
2	1.84	7.1	6.18
3	1.55	6.9	5.85
4	1.10	6.6	5.27
5	0.84	6.5	4.07
6	0.74	6.4	4.12
7	0.48	6.5	4.15
8	0.80	7.8	9.59
9	1.22	7.2	6.79
10	1.62	7.1	6.97
11	1.92	7.3	6.64
12	1.98	7.2	6.76
平均	1.34	7.0	6.04

資料來源：港灣技術研究所

鼻頭角夏、冬季示性波高分佈百分比

波高區間(M)	年季別	夏季		冬季	
		分別	累計	分別	累計
0.00<H≤0.25		10.30	10.30	0.12	0.12
0.25<H≤0.50		40.23	50.53	2.16	2.28
0.50<H≤0.75		16.66	67.19	5.72	8.00
0.75<H≤1.00		10.52	77.71	9.27	17.27
1.10<H≤1.25		7.09	84.80	10.34	27.61
1.25<H≤1.50		5.26	90.06	9.82	37.43
1.50<H≤1.75		3.19	93.25	10.02	47.45
1.75<H≤2.00		2.35	95.60	9.58	57.03
2.00<H≤2.50		2.41	98.01	17.39	74.42
2.50<H≤3.00		0.88	98.89	11.57	85.99
3.00<H≤3.50		0.51	99.40	7.13	93.12
3.50<H≤4.00		0.40	99.80	3.58	96.70
4.00<H≤4.50		0.14	99.94	1.82	98.52
4.50<H≤5.11		0.01	99.95	0.87	99.39
5.00<H≤6.00		0.01	99.96	0.54	99.93
6.00<H≤7.00		0.03	99.99	0.07	100.00
7.00<H≤8.00		0.03	100.00	0.07	100.00
7.00<H≤8.00		0.00	100.00	0.00	100.00
8.00<H≤9.00		0.00	100.00	0.00	100.00
9.00<H≤10.00		0.01	100.00	0.00	100.00
10.00<H≤11.00		0.00	100.00	0.00	100.00

資料來源：港灣技術研究所

表 2-3 基隆港潮汐調和分析之分潮振幅與相位

(1991 年 11 月 1 日至 1995 年 3 月 31 日之觀測潮位。

資料來源：港研所，1996)

基隆港潮位分潮調和分析表

順位	分潮名	角速度 (度/時)	振幅 (公尺)	位相角 (度)
1	M ₂	28.9841042	0.22399431	35.45312500
2	K ₁	15.0410690	0.18233590	16.75229450
3	O ₁	13.9430351	0.14692037	345.32409700
4	P ₁	14.9589310	0.06496900	67.22457120
5	N ₂	28.4397297	0.05934760	85.97268680
6	S ₂	30.0000000	0.05748877	283.63864100
7	S _a	0.0410686	0.03674163	321.46923800
8	S _{sa}	0.0821373	0.03212760	48.03784940
9	Q ₁	13.3986607	0.03107007	46.32037730
10	S ₁	15.0000000	0.02830079	25.39210510
11	μ ₂	27.9682083	0.02664684	358.07876600
12	φ ₁	15.0821352	0.01800059	22.27734570
13	M _a	0.5443747	0.01376008	338.98712200
14	K ₂	30.0821381	0.01372418	27.43794820
15	ν ₂	28.5125828	0.01358538	68.89678190
16	L ₂	29.5284786	0.01296004	46.55818940
17	M _{sr}	1.0158958	0.01265823	338.69998200
18	M ₁	14.4920521	0.01196904	65.47767640
19	T ₂	29.9589329	0.01167114	285.77383400
20	M _r	1.0980331	0.01085731	341.95629900
21	J ₁	15.5854435	0.01044533	310.59228500
22	M ₄	57.9682083	0.01042352	335.98123200
23	λ ₂	29.4556255	0.01008798	272.59179700
24	π ₁	14.9178648	0.00975645	87.41939540
25	2N ₂	27.8953552	0.00933151	299.84671000
26	R ₂	30.0410671	0.00790416	312.51867700
27	MS ₄	58.9841042	0.00754376	65.72199250
28	MNS ₂	27.4238338	0.00733137	49.58509830
29	M ₃	43.4761581	0.00653879	68.87770080
30	OO ₂	16.1391010	0.00629823	40.56343840
31	MKS ₂	29.0662422	0.00573855	47.70355990
32	σ ₁	12.9271402	0.00515229	58.07573700
33	MN ₄	57.4238319	0.00461059	41.41421510
34	2SM ₂	31.0158958	0.00438063	334.61175500
35	MP ₁	14.0251732	0.00422978	299.66549700
36	MSN ₂	30.5443745	0.00413946	9.05648232
37	ρ ₁	13.4715147	0.00410165	2.66594315
38	2Q ₁	12.8542862	0.00368198	314.48400900
39	X ₁	14.5695477	0.00315162	43.63518520
40	MO ₃	42.9271393	0.00262874	37.39548490
41	MK ₄	59.0662422	0.00250434	344.44714400
42	MK ₃	44.0251732	0.00247051	13.50081440
43	SO ₁	16.0569649	0.00244958	334.51080300
44	M ₆	86.9523163	0.00232997	27.28174210
45	OP ₂	28.9019661	0.00226667	28.54419900
46	φ ₁	15.1232061	0.00170376	31.23471830
47	SO ₃	43.9430351	0.00155803	283.69601400
48	SK ₃	45.0410690	0.00154642	275.09845000
49	KJ ₂	30.6265125	0.00135273	317.05160500
50	2MS ₆	87.9682083	0.00134395	348.23355100
51	SN ₄	58.4397278	0.00132250	302.94085700
52	2MN ₄	86.4079361	0.00128782	69.97441100
53	θ ₁	15.5125895	0.00113036	351.98254400
54	SK ₄	60.0821381	0.00090248	68.47373200
55	2MK ₆	88.0503464	0.00073430	285.61520400
56	OQ ₂	27.3416958	0.00072854	309.06530800
57	S ₄	60.0000000	0.00067686	291.40191700
58	2SM ₆	88.9841080	0.00036506	0.89625287
59	MSK ₆	89.0662384	0.00032030	30.87711330
60	MSN ₆	87.4238358	0.00024974	329.94921900

表 2-4 基隆港海拋區海流監測作業之期間與點位

(資料來源：張國棟，2002)

基隆外海海流觀測作業記錄表

觀測站(第一季)	A	B	C
位置	121°45'30.90" E 25° 15'31.69" N	121°47'33.22" E 25° 14'01.09" N	121°50'12.55" E 25° 11'02.12" N
儀器水深(M)	2.0	20.0	20.0
當地水深(M)	92.0	98.4	97.3
觀測日期	2001/10/27 11:25~ 2001/10/27 16:13	2001/08/02 08:10~ 2001/08/15 07:10	2001/08/26 11:25~ 2001/09/20 15:55
觀測方式	船測	RCM-4 海流儀	RCM-4 海流儀
觀測站(第二季)	A	B	C
位置	121°47'52.00" E 25° 16'55.00" N	121°47'33.22" E 25° 14'01.09" N	121°50'12.55" E 25° 11'02.12" N
儀器水深(M)	20.0	20.0	2.0
當地水深(M)	150.0	98.4	97.3
觀測日期	2002/01/02 10:00~ 2002/02/07 08:30	2002/01/03 11:35~ 2002/01/11 15:55	2002/02/26 08:55~ 2002/02/26 16:53
觀測方式	RCM-4 海流儀	RCM-4 海流儀	船測

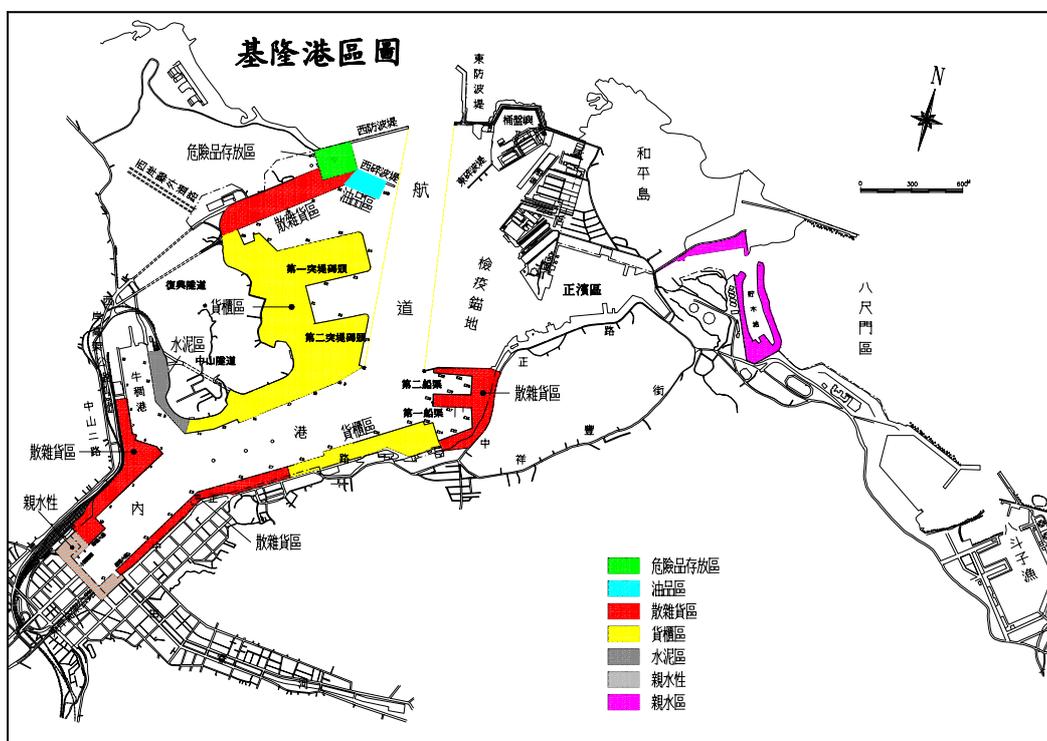
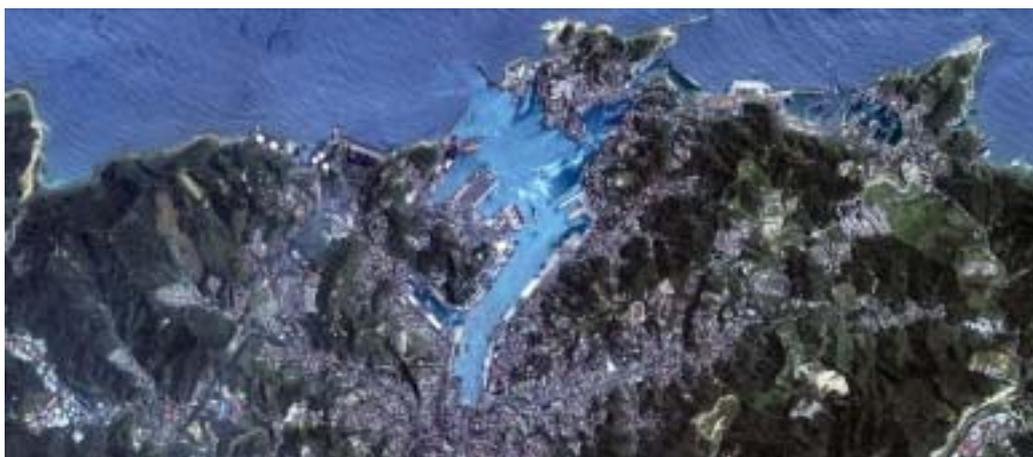


圖 2-2 基隆港域環境及港區配置
(資料來源：港研中心)



(a)



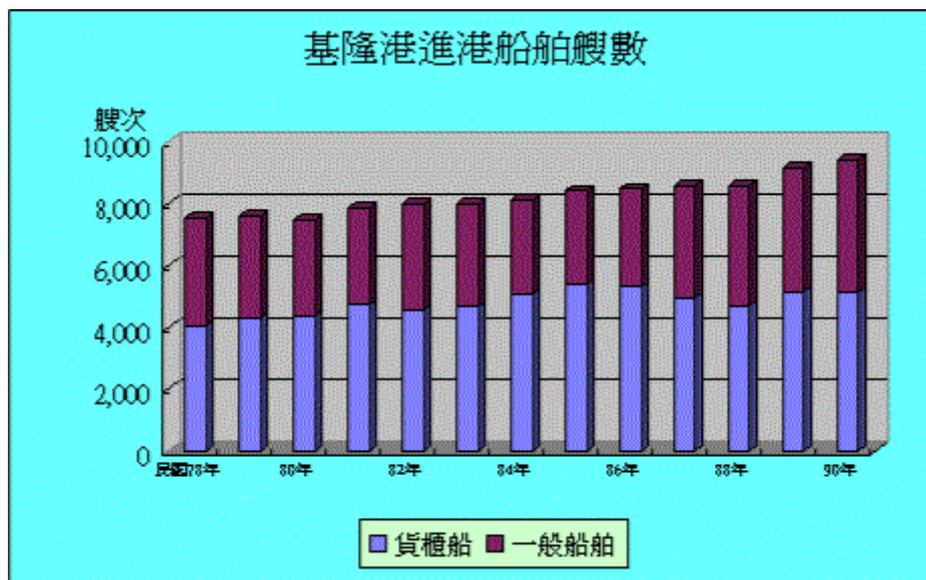
(b)



(c)

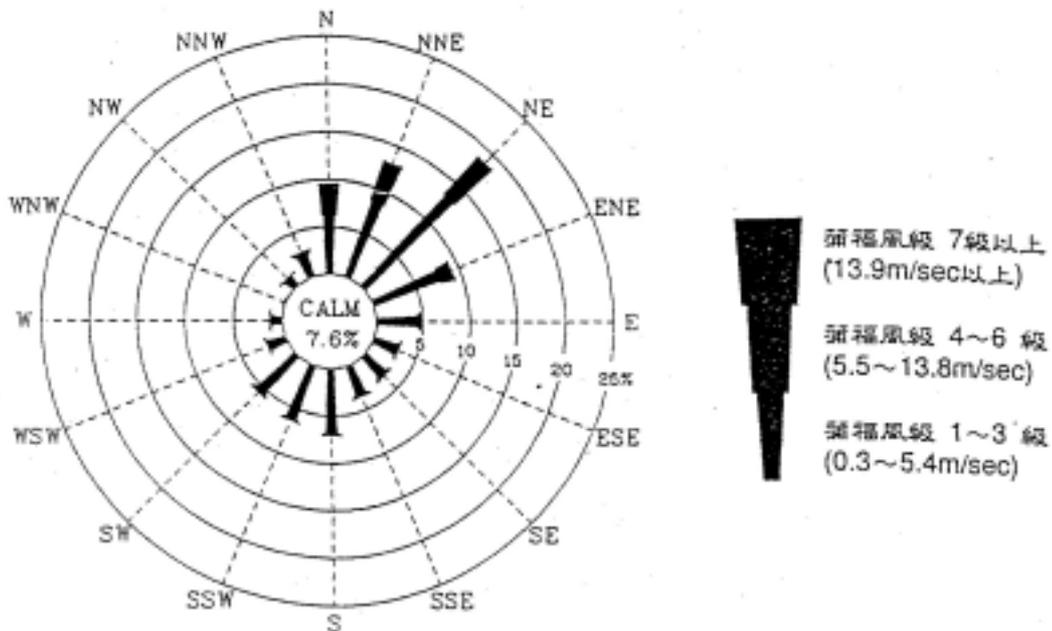


(d)

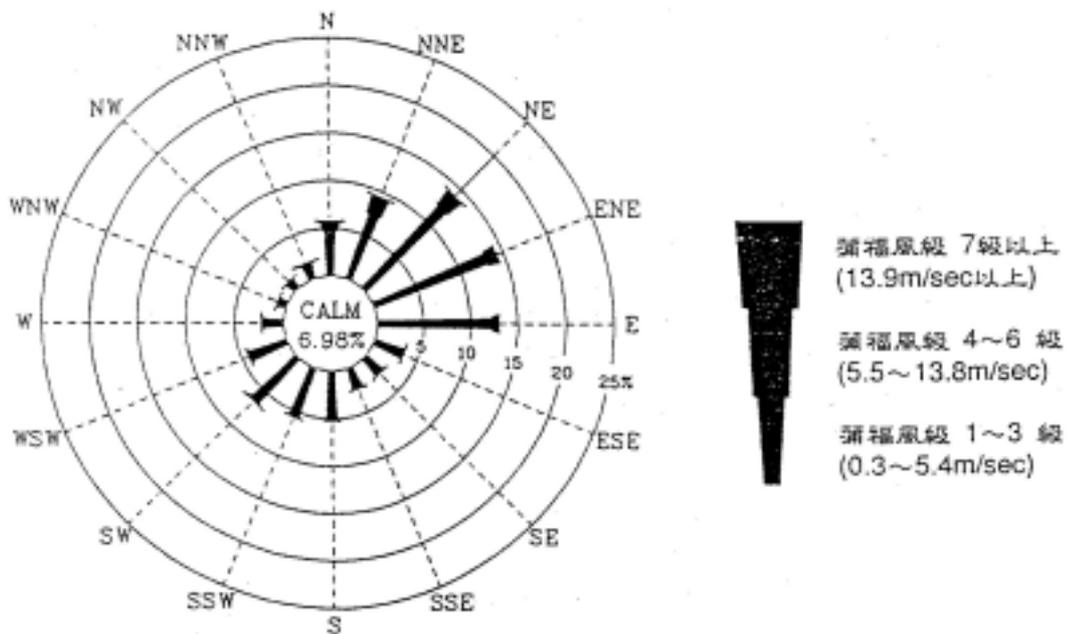


(e)

圖 2-3 基隆港瀏覽：(a)港口光華島(b)港區遠眺基隆嶼(c)西岸貨櫃儲運場(d)東岸貨櫃儲運場(e)進港船舶艘數統計
 (資料來源：基隆港網頁，www.klhb.gov.tw)

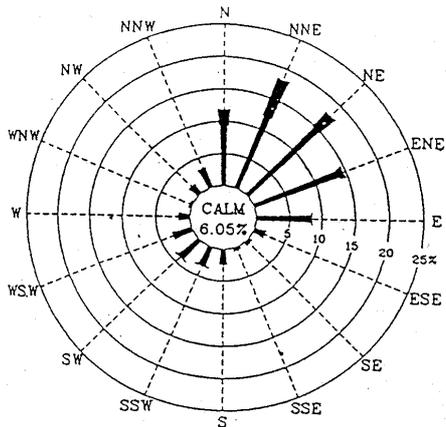


基隆1951~1990年測站全年風玫瑰圖

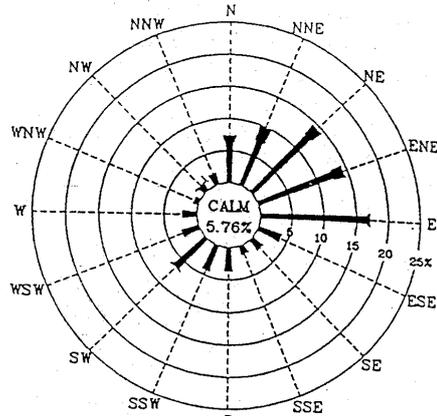


基隆1991~1994年測站全年風玫瑰圖

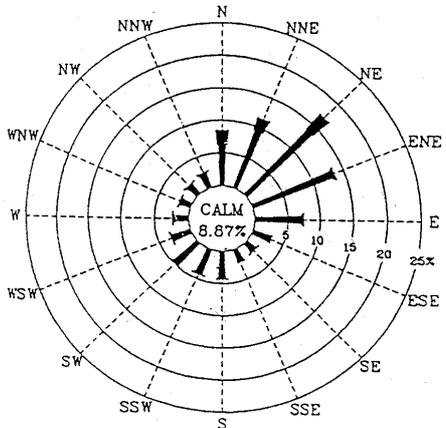
圖 2-4 基隆測候站 1951~1990 年(上)及 1991~1994 年(下)之
年統計風玫瑰圖 (資料來源：港研所，1996)



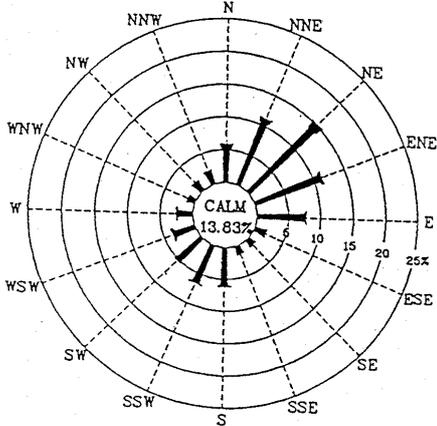
基隆測站一月份風玫瑰圖



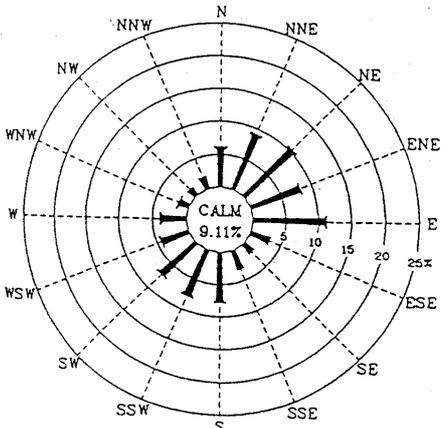
基隆測站二月份風玫瑰圖



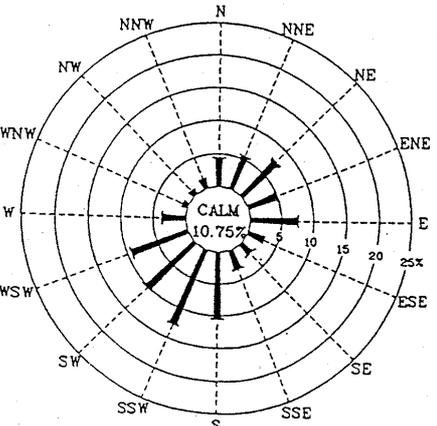
基隆測站三月份風玫瑰圖



基隆測站四月份風玫瑰圖



基隆測站五月份風玫瑰圖

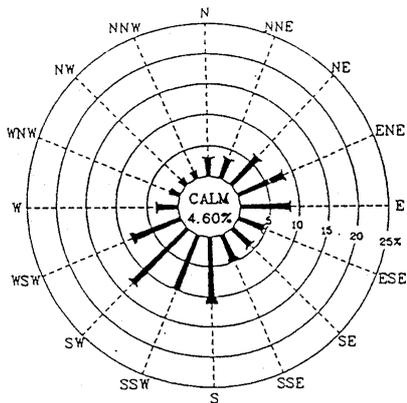


基隆測站六月份風玫瑰圖

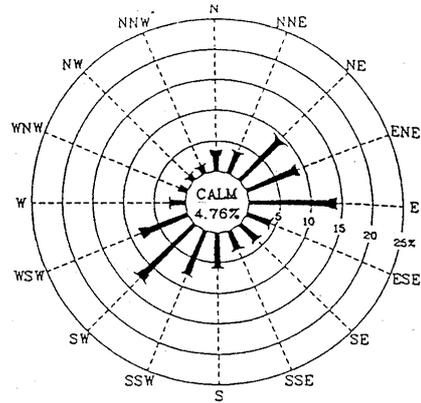
基隆1991~1994年各月份風玫瑰圖

圖 2-5 基隆測候站 1991~1994 之分月統計風玫瑰圖

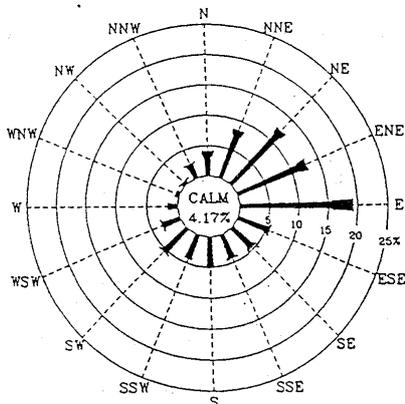
(資料來源：港研所，1996)



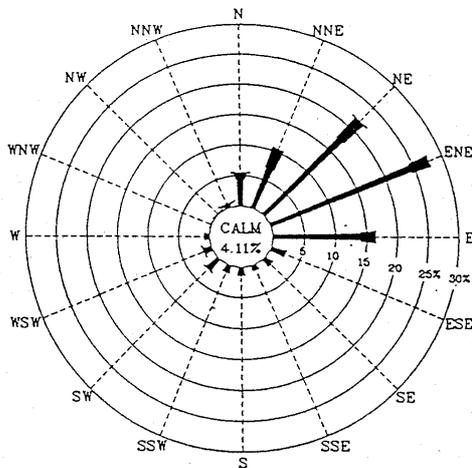
基隆測站七月份風玫瑰圖



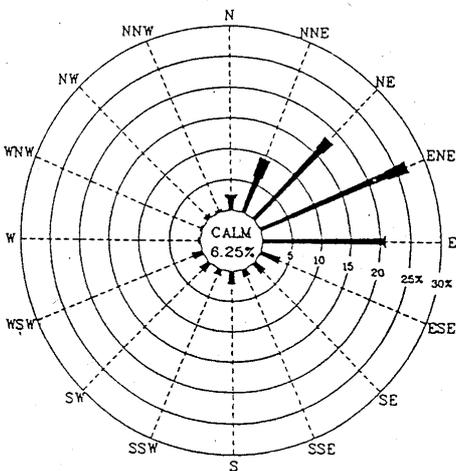
基隆測站八月份風玫瑰圖



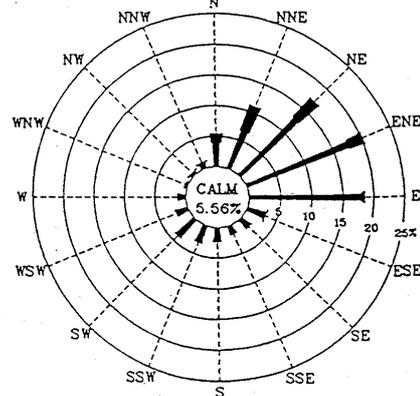
基隆測站九月份風玫瑰圖



基隆測站十月份風玫瑰圖



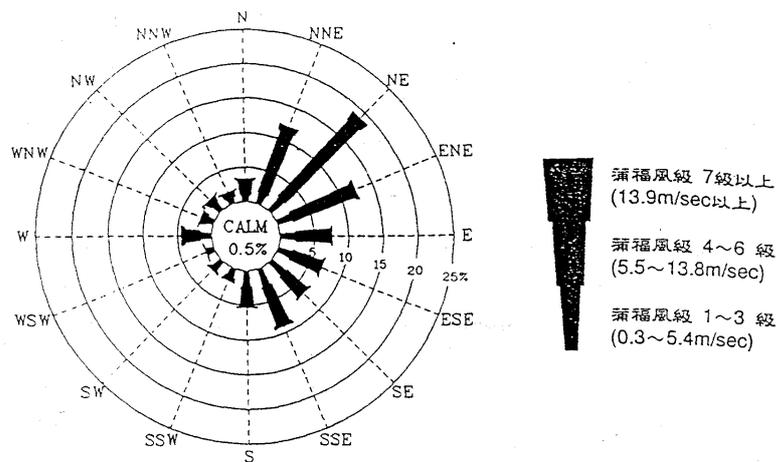
基隆測站十一月份風玫瑰圖



基隆測站十二月份風玫瑰圖

基隆1991~1994年各月份風玫瑰圖(續)

圖 2-5(續) 基隆測候站 1991~1994 之分月統計風玫瑰圖
(資料來源：港研所，1996)



彭佳嶼1951~1990年測站全年風玫瑰圖

圖 2-6 澎佳嶼測候站 1951~1990 年之年統計風玫瑰圖
(資料來源：港研所，1996)

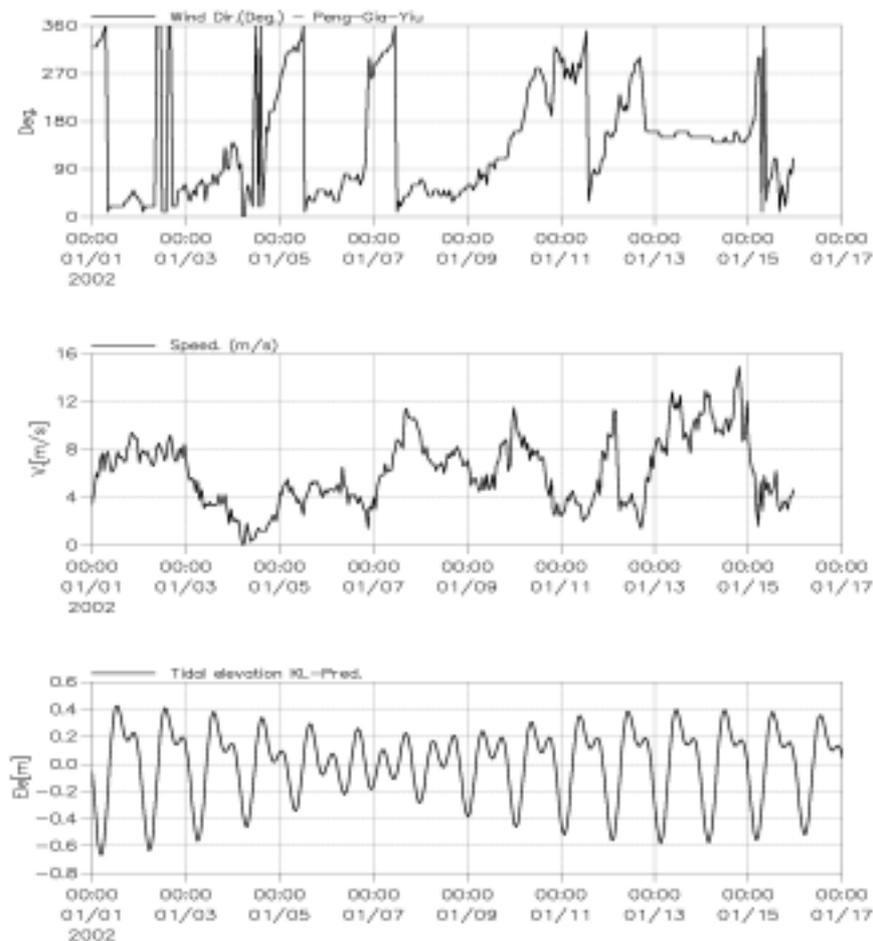
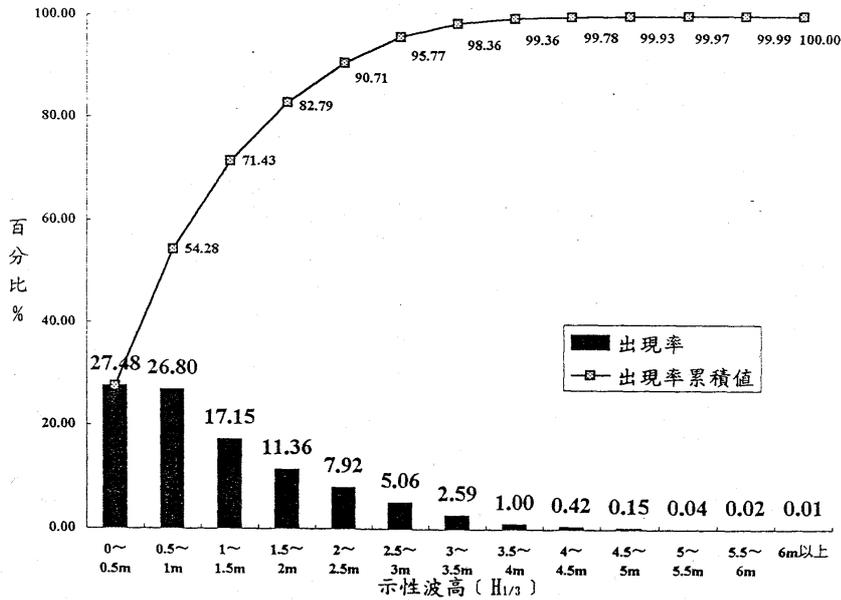
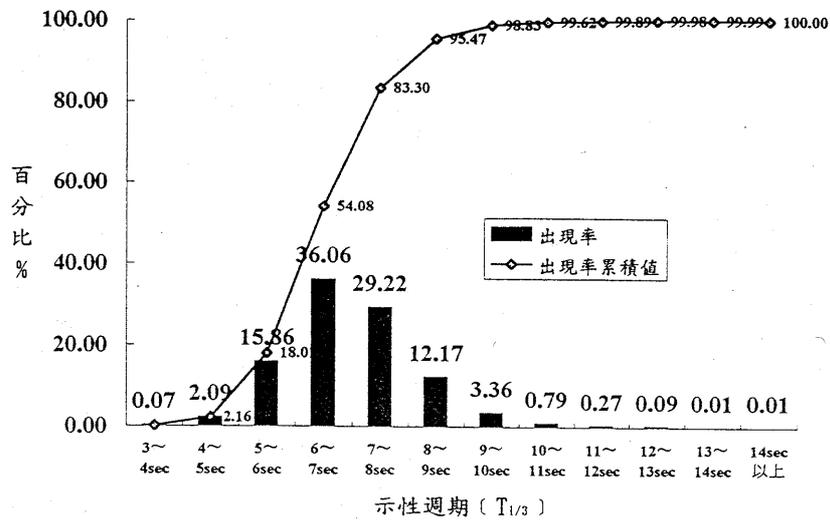


圖 2-7 澎佳嶼測候站 2002 年 1 月之部分實測風向(上)、風速
(中)及基隆港之預報潮位(下)



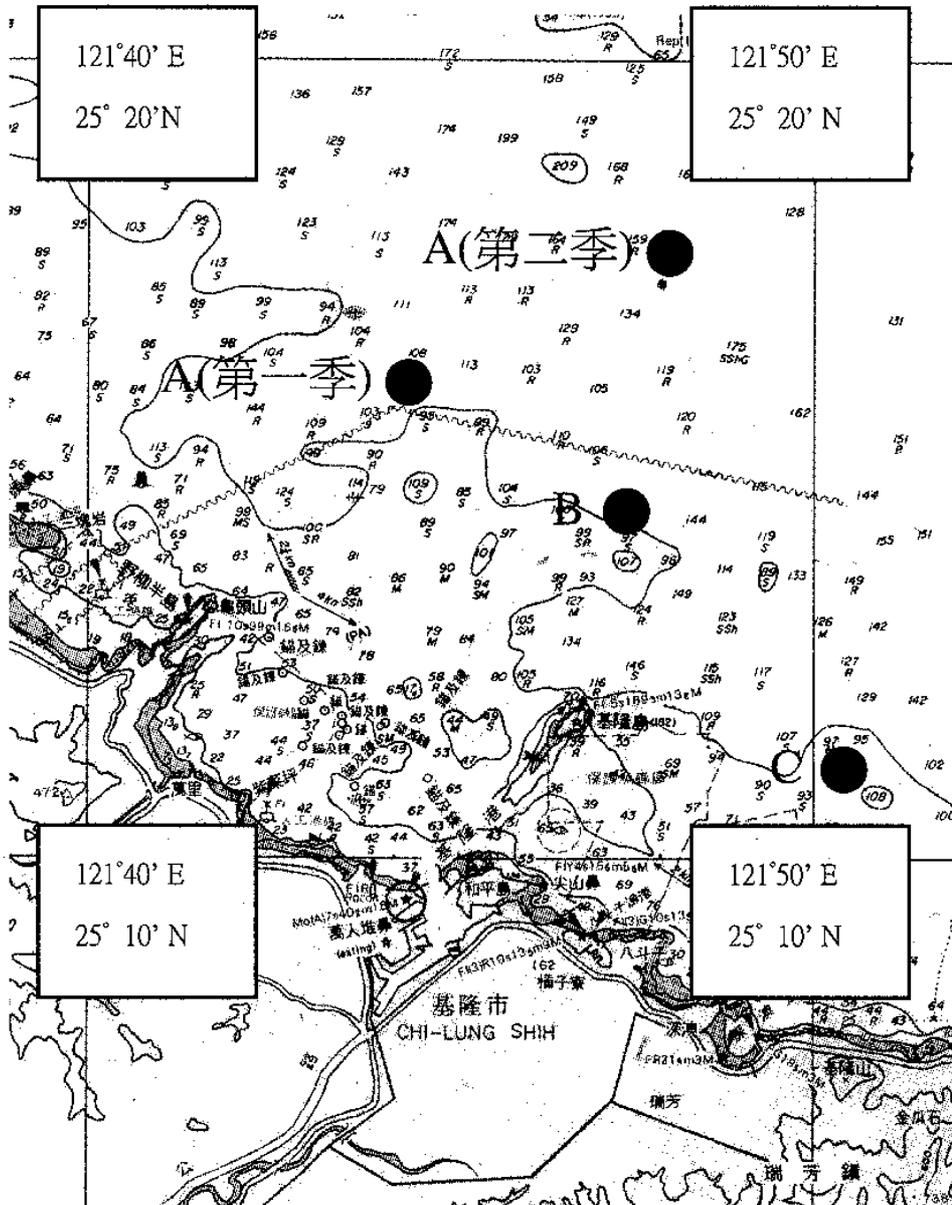
基隆1983~1990年測站全年波高分佈及累積曲線

圖 2-8 基隆港海域 1983~1990 年示性波高之年分布累積曲線
(資料來源：港研所，1996)



基隆1983~1990年測站全年週期分佈及累積曲線

圖 2-9 基隆港海域 1983~1990 年示性波週期之年分布累積曲線
(資料來源：港研所，1996)



基隆外海海流觀測站位置

圖 2-10 基隆港海域海拋區海流觀測站之位置

(資料來源：張國棟 等，2002)

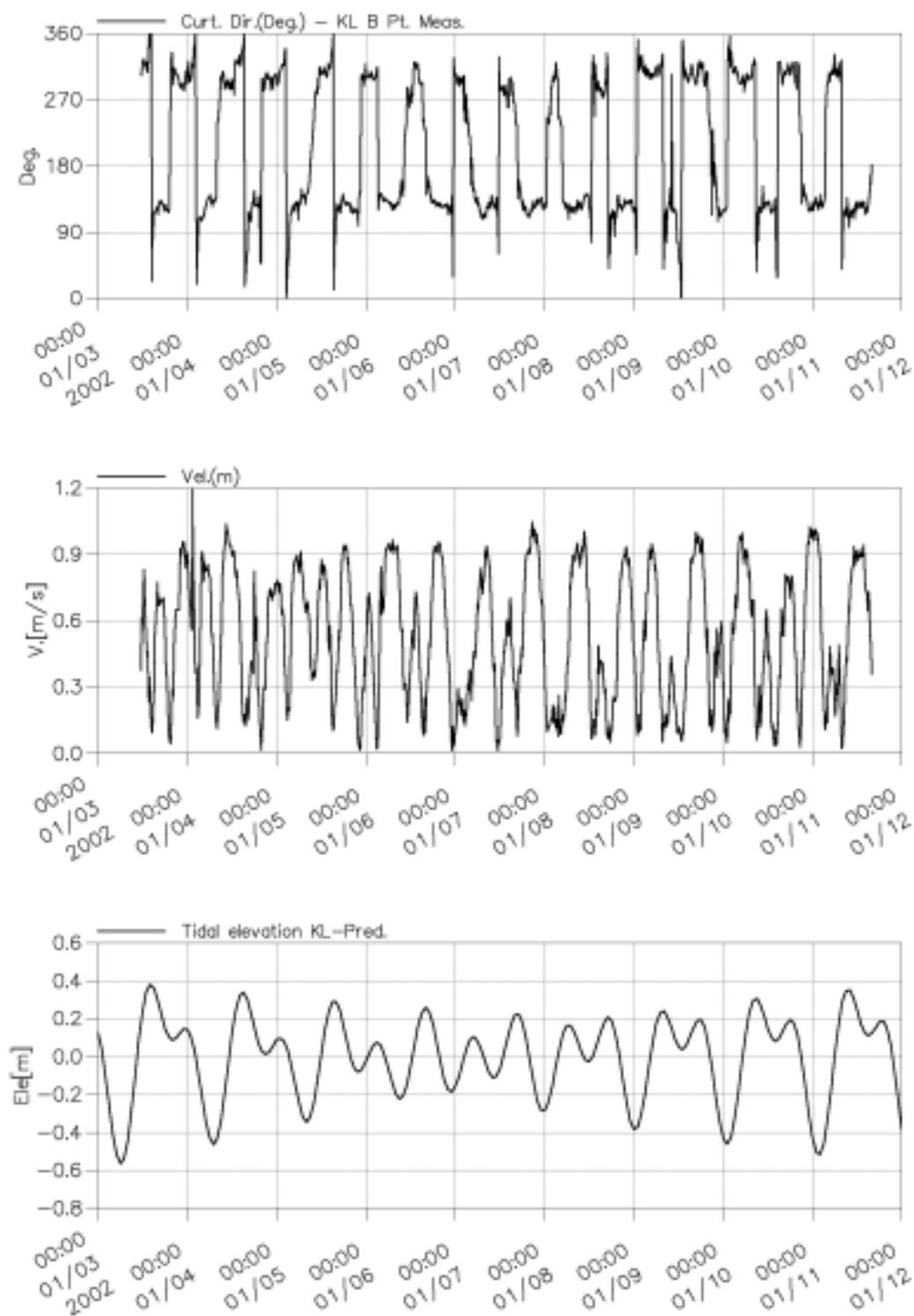
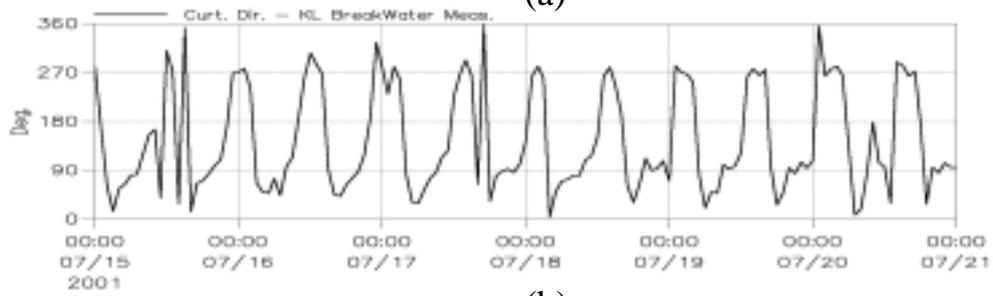


圖 2-11 基隆港海域海拋區第二季測站 B 之實測海流流向
(上)、流速(中)及基隆港之預報潮位(下)

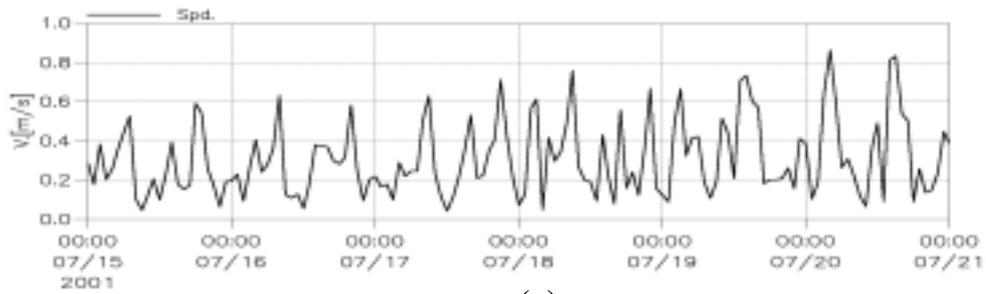
(資料來源：張國棟 等，2002)



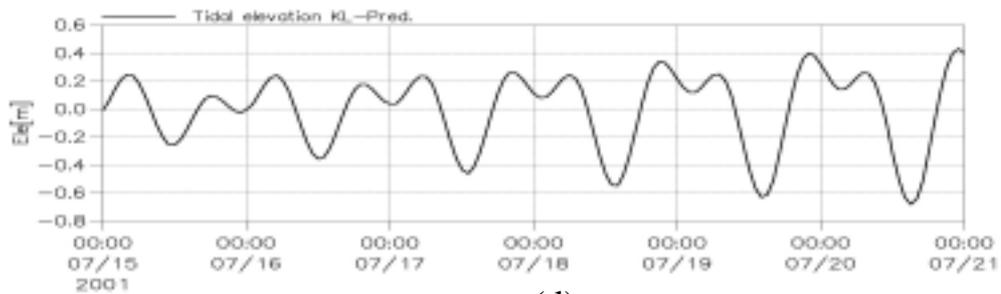
(a)



(b)



(c)



(d)

圖 2-12 基隆港東防波堤堤頭之海流測站位置(a)及實測海流流向(b)、流速(c)及基隆港之預報潮位(d)

(資料來源：曾相茂 等，2001)

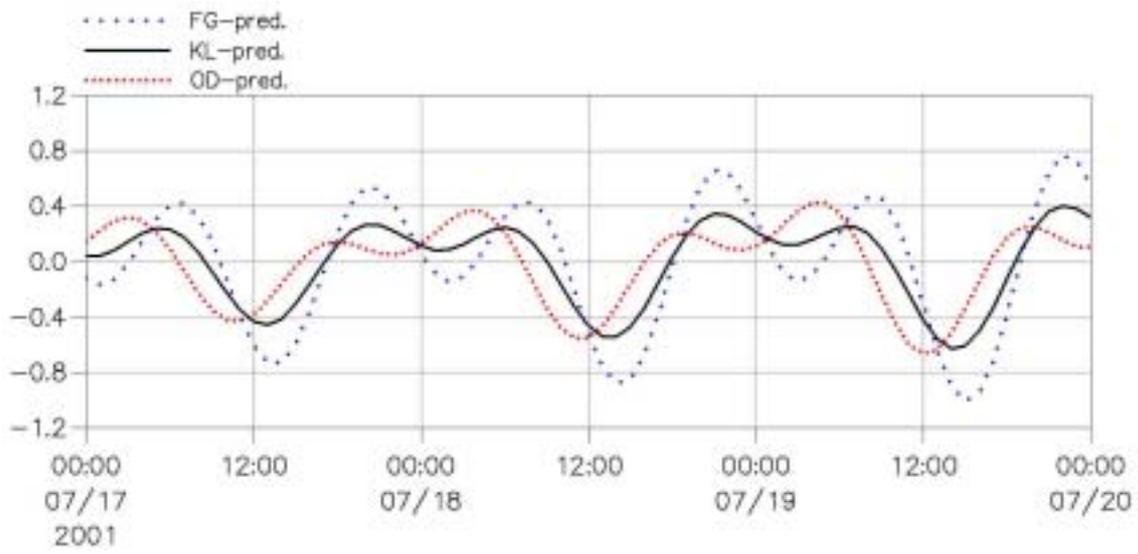


圖 2-13 澳底(OD)、基隆港(KL)及富基(FG)漁港隨時間變化之預報逐時潮位

第三章 台灣北部及基隆港海域海流之水動力模擬

3.1 概述

顧名思義，水動力模擬主要係在應用流體水動力理論，以數值模擬計算方式，探討流體之運動(kinematic)與動力(dynamic)特性。在台灣環島海域內，以往僅能根據台灣環島沿岸潮差與潮時等之實測潮汐特性以研判潮波之運動特性，唯真實之潮波運動特性實際上是應對時空動特性，並整體地考量時間、地形、水深、底床摩擦與渦度效應等之變化通盤加以考量的。鑑此，為能清楚洞悉台灣環島海域之潮波運動影響，本研究因此引用丹麥水力研究所(DHI: Danish Hydraulic Institute)研發完成之 MIKE21_HD 水動力計算模式(DHI, 1996)，配合韓國、日本、菲律賓及中國大陸等地部分潮汐測站之迴報(hindcast)資料據以設定邊界條件，進而針對台灣環島海域進行潮汐與潮流數值模擬計算，數值模擬計算結果經使用台灣環島部分潮汐測站之實測或迴報(Hindcast)資料驗證後，相關數值結果將進一步用以探討台灣南部及高雄港海域潮汐與潮流之運動與動力特性。

一般而言，海流、波浪、風及潮汐為從事海岸及港灣工程所必需首先面對與克服之自然海象要素。基隆港為適應不同階段擴建發展之需要，自清光緒十二年(1886)建港以來即曾進行多次之海象調查，唯實際海象調查工作人力及物力之耗費頗為龐大，欲全面廣泛地執行調查工作更是曠日費時，因此，以往的調查成果，僅足明瞭並推估局部區域已成事實之海象特性，對於配合港灣設施改變前後所需之全面即時及預期之海象變化尚無法滿足。近年來，因電腦科技之發展，結合理論與實際量測調查資料進行數值模擬，以計算方式取得港灣設施改變前後之即時及預期之全面性海象資料已為目前之趨勢。

基隆港位在台灣北部海岸，為西太平洋、東海及台灣海峽水體交換

循環之門戶。港口位於北緯 25°09'00"；東經 121°45'00"。港區與港域配置如圖 2-2 所示。鄰近海岸線曲折多變，港口東側海岸有和平島、八斗子漁港、長潭尾山、番子澳、深澳灣、鼻頭角及三貂角等陸岬灣澳；西側海岸有外木山漁港、大武崙船澳、萬里漁港、野柳半島(岬)、野柳漁港、石門洞、麟山鼻及富貴角等漁港陸岬；港口北側海域內有基隆嶼及澎佳嶼等小島嶼，基隆嶼西南側與和平島間並存在一水深在 30 米以內的岸頭堡石帶。總體地形而言，基隆嶼及其西南側的岸頭堡石帶呈東北—西南走向，正巧與野柳半島之走向約略平行，再將基隆嶼與澎佳嶼作一聯線，則可直指基隆港外海水深 200 米的東亞大陸棚架緣。可見，基隆港港域水深地形及地理位置之特殊性。

海流與海岸漂沙運移、海岸地形之變遷、港口內外污染質之擴散與追蹤、船舶進出港口之操航安全等關係密切，為一項極重要之海岸工程研究課題。因此，儘管基隆港鄰近海岸線曲折多變，港域水深地形及地理位置皆具有其特殊性，但港域之海流仍是數值模擬計算之極佳研究海域。

3.2 相關模擬研究回顧

傳統地，三維(3-dimensional)淺水長波(shallow-water wave)水動力方程組可表示如下：

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial(uu)}{\partial x} + \frac{\partial(uv)}{\partial y} + \frac{\partial(uw)}{\partial z} - fv + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{1}{\rho} \left[\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right] = 0 \quad (3.1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial(vu)}{\partial x} + \frac{\partial(vv)}{\partial y} + \frac{\partial(vw)}{\partial z} + fu + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} - \frac{1}{\rho} \left[\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \right] = 0 \quad (3.2)$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} + \rho g = 0 \quad (3.3)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3.4)$$

式中， (x, y, z) 分別為右手卡氏座標(Cartesian coordinate)系統之座標，座標原點置於平均水面， z 軸垂直水面向上為正； (u, v, w) 為與座標軸對應之水體運動速度分量； t 表時間； $f = 2\Omega \sin \phi$ 表科氏力參數(Coriolis parameter)； $\Omega = 7.3 \times 10^{-5} S^{-1}$ 為地球自轉角頻率(angular frequency)； ϕ 為計算水體所在之緯度值； p 表示水壓力； ρ 表水密度； $\tau_{ij} ; i, j = x, y, z$ ，為動量消耗應力張量(stress tensor)； $g = 9.8 ms^{-2}$ 為地球上之重力加速度。進一步應用淺水近似特性，即 $p = \rho g \zeta$ ，則在水深為 $h(x, y)$ 之水域裏，三維淺水長波動力方程組亦可表示如下：

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \bar{u} \cdot \nabla u - fv = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial z} \left(A_v \frac{\partial u}{\partial z} \right) + \frac{1}{\rho} A_h \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right), \quad (3.5)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \bar{u} \cdot \nabla v + fu = -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial z} \left(A_v \frac{\partial v}{\partial z} \right) + \frac{1}{\rho} A_h \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right), \quad (3.6)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \int_{-h}^0 u dz + \frac{\partial}{\partial y} \int_{-h}^0 v dz = 0. \quad (3.7)$$

式中， A_h 為水平方向之渦動滯度(horizontal eddy viscosity)； A_v 為垂直方向之渦動滯度(vertical eddy viscosity)，而 $\zeta(x, y, t)$ 表示淺水長波自由水面之波動位移。

針對台灣海峽及台灣環島鄰近海域潮汐水動力之模擬研究，劉肖孔(1983)為配合當時國內多項經濟建設之需要，在行政院科技顧問組禮聘下，即曾運用上列傳統性之三維(3-D)水動力方程組(式 3.1 至式 3.4)建置「中國海域三度空間數值模式」，並從事暴潮、天文潮及潮流等相關課題之應用研究(劉肖孔，1983;1994)。惟模式之運作必須與其「太平洋之海流模式」銜接運算。Li(1987)、李賢文(1989)亦使用上列傳統三維水動力系統，經水深積分處理簡化成二維模式後，引用 Ogura(1933)提供之調和分析常數，透過內差(interpolation)方式處理開放海域邊界條件，並據以研究台灣周圍海域潮流與潮汐水位之變化。Lu & Warren(1992)為探討嘉義外傘頂沙洲之變遷，曾使用丹麥水力研究所研發之 MIKE21_HD 二維水動力模式(DHI, 1994)進行台灣海峽潮流與潮位變

化模擬，但相關邊界條件之取用與設定並無清楚的描述。最近期內，國家海洋科學研究中心為發展台灣環島海域三維海況數值預報模式，詹森 等(1999)曾採用 Semtner(1986)依據上列傳統三維模式所研發之海洋環流模式，並結合富基、東引、後壁潮及中國大陸沿岸南端之東山島水位迴報(hindcast)資料，進行台灣海峽之潮汐與潮流數值模擬。

綜觀以上採用水動力模擬方式以探討台灣環島鄰近海域之相關研究結果可看出，接近二十年來，眾多學者專家雖曾努力地從大範圍海域著手，試圖藉環島海域大範圍潮汐特性之掌握以進一步提供相關應用所需之海象資訊。但限於大範圍海域之邊界控制條件設定、取用皆有其不準確性與困難度，因此，在台灣海峽水域內，潮波相關之運動與動力特性尚有待進行更廣泛、深入之探究。

3.3 二維水動力系統方程式 MIKE21_HD

在潮波之大尺度波長與地轉效應考量下，由於台灣環島海域之水深相對於潮波之大波長而言，其相對水深比值實際上仍甚小，因此可假定潮波之運動特性其在水深方向之變化不大，故而可對一般含時間因素之空間上三維的水動力系統方程式，式(3.1)至式(3.4)，以水深方向積分處理後，簡化為如下含時間變化之二維水動力計算系統(DHI, 1996):

連續方程式：

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = I - e \quad (3.8)$$

運動方程式：

x 方向：

$$\begin{aligned} & \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{C^2 \cdot h^2} \\ & - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega q - f_w V V_x + \frac{h}{\rho} \frac{\partial}{\partial x} (P_a) = 0 \end{aligned} \quad (3.9)$$

y 方向：

$$\begin{aligned} & \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gq\sqrt{p^2+q^2}}{C^2 \cdot h^2} \\ & - \frac{1}{\rho} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega p - f_w V V_y + \frac{h}{\rho} \frac{\partial}{\partial y} (P_a) = 0 \end{aligned} \quad (3.10)$$

上列式中， $p, q(x, y, t)$ ：分別為 x 及 y 向之流量強度 ($m^3/s/m$) = (uh, vh) ； I ：單位平面源流之大小 ($m^3/s/m^2$)； e ：蒸發損失率 (m/s)； $C(x, y)$ ：Chezy 阻力係數 ($m^{1/2}/s$)； f_w ：風摩擦係數； $V, V_x, V_y(x, y, t)$ ：分別為風速及其在 x 及 y 方向之速度分量 (m/s)； $\Omega(x, y)$ ：柯氏(Coriolis)力參數，與緯度有關 (S^{-1})； $P_a(x, y, t)$ ：大氣壓力 ($kg/m/s^2$)。

3.4 有限差分法

對於實際物理應用問題而言，水動力系統方程式之求解方法一般可分為有限差分法(F.D.M.)與有限元素法(F.E.M.)兩類。此二類求解方法，依前、後置處理 (pre-& post-processor) 工作、數值方法與技巧及邊界處理難易程度等而各有優劣點。本研究引用丹麥水力研究所(Danish Hydraulic Institute)使用之交替方向隱式(alternating direction implicit)有限差分法以求解式(3.8)至(3.10)之水動力系統方程式(DHI, 1996)。求解計算中，各計算網格位置上之時空變量並以雙向刮掃(double sweep)方式處理計算。空間網格分割與時階分割分別如圖 3-1 及圖 3-2 所示。

依據 A.D.I.有限差分法及時空網格分割之定義，因此，連續方

程式，式(3.8)，在無質量增損情況下，其 x 及 y 方向之差分型式可分別表示為

x—方向：

$$2 \cdot \left(\frac{\zeta^{n+1/2} - \zeta^n}{\Delta t} \right)_{j,k} + \frac{1}{2} \cdot \left\{ \left(\frac{p_j - p_{j-1}}{\Delta x} \right)^{n+1} + \left(\frac{p_j - p_{j-1}}{\Delta x} \right)^n \right\}_k + \frac{1}{2} \cdot \left\{ \left(\frac{q_k - q_{k-1}}{\Delta y} \right)^{n+1/2} + \left(\frac{q_k - q_{k-1}}{\Delta y} \right)^{n-1/2} \right\}_j = 0 \quad (3.11)$$

y—方向：

$$2 \cdot \left(\frac{\zeta^{n+1} - \zeta^{n+1/2}}{\Delta t} \right)_{j,k} + \frac{1}{2} \cdot \left\{ \left(\frac{p_j - p_{j-1}}{\Delta x} \right)^{n+1} + \left(\frac{p_j - p_{j-1}}{\Delta x} \right)^n \right\}_k + \frac{1}{2} \cdot \left\{ \left(\frac{q_k - q_{k-1}}{\Delta y} \right)^{n+3/2} + \left(\frac{q_k - q_{k-1}}{\Delta y} \right)^{n+1/2} \right\}_j = 0 \quad (3.12)$$

而動量方程式，在忽略大氣壓力、風力及其他波浪有效應力後，式(3.9)等號左右各項可逐項表示為

時間變化項：

$$\frac{\partial p}{\partial t} \approx \left(\frac{p^{n+1} - p^n}{\Delta t} \right)_{j,k} \quad (3.13)$$

重力影響項：

$$gh\zeta_x \approx g \left(\frac{h_{j,k} + h_{j+1,k}}{2} \right)^n \left(\frac{\zeta_{j+1,k} - \zeta_{j,k}}{\Delta x} \right)^{n+1/2} \quad (3.14)$$

其中，

$$h_{j,k}^n = d_{j,k} + \zeta_{j,k}^n \quad (3.15)$$

x—方向對流項：

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pp}{h} \right) \cong \left[\frac{(p_{j+1} + p_j)^{n+1}}{2} \cdot \frac{(p_{j+1} + p_j)^n}{2} \cdot \frac{1}{h_{j+1}^n} - \frac{(p_j + p_{j-1})^{n+1}}{2} \cdot \frac{(p_j + p_{j-1})^n}{2} \cdot \frac{1}{h_j^n} \right] \cdot \frac{1}{\Delta x} \quad (3.16)$$

$$\overline{u^2} \Delta t \frac{\Delta^2 p}{\partial x^2} \cong \Delta t \left(\frac{p_{j,k}^n}{h^*} \right)^2 \cdot \left(\frac{p_{j+1} - 2p_j + p_{j-1}}{(2\Delta x)^2} \right)_k^{n-1} \quad (3.17)$$

其中

$$h^* = \frac{1}{2} \cdot (h_{j+1} + h_j)_k^n \quad (3.18)$$

x—方向動量交換項：

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) \approx \left[\left(\frac{p_{k+1}^a + p_k^b}{2} \right)_j \cdot v_{j+1/2,k}^{n+1/2} - \left(\frac{p_k^a + p_{k-1}^b}{2} \right)_j \cdot v_{j+1/2,k-1}^{n+1/2} \right] \cdot \frac{1}{\Delta y} \quad (3.19)$$

其中， $a = n+1$ ， $b = n$ 表向下刮掃而 $a = n$ ， $b = n+1$ 表向上刮掃，

且

$$v_{j+1/2,k}^{n+1/2} = \frac{2(q_j + q_{j+1})_k^{n+1/2}}{(h_{j,k} + h_{j,k+1} + h_{j+1,k} + h_{j+1,k+1})^n} \quad (3.20)$$

$$v_{j+1/2,k-1}^{n+1/2} = \frac{2(q_j + q_{j+1})_{k-1}^{n+1/2}}{(h_{j,k-1} + h_{j,k} + h_{j+1,k-1} + h_{j+1,k})^n} \quad (3.21)$$

$$\overline{v^2} \Delta t \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} \approx \Delta t (v^*)^2 \cdot \frac{\{p_{k+1}^a - (p_k^{n+1} + p_k^n) + p_{k-1}^b\}_j}{(\Delta y)^2} \quad (3.22)$$

a 、 b 之定義同式(3.19)，而

$$v^* = \frac{1}{2} \cdot (v_{k+1/2} + v_{k-1/2})_{j+1/2}^{n+1/2} \quad (3.23)$$

摩擦阻力項：

$$\frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2} \approx \frac{gp_{j,k}^{n+1} \sqrt{p^{*2} + q^{*2}}}{C^2 h^{*2}} \quad (3.24)$$

其中，

$$p^* = p_{j,k}^n \quad (3.25)$$

$$q^* = \frac{1}{8}(q_{j,k}^{n-1/2} + q_{j+1,k}^{n-1/2} + q_{j,k-1}^{n-1/2} + q_{j+1,k-1}^{n-1/2} + q_{j,k}^{n+1/2} + q_{j+1,k}^{n+1/2} + q_{j,k-1}^{n+1/2} + q_{j+1,k-1}^{n+1/2}) \quad (3.26)$$

$$h^* = 1/2(h_{j+1} + h_j)_k^n \quad (3.27)$$

$$C = M \cdot h^{*1/6} \quad (3.28)$$

C 表 Chezy number, 而 M 表 Manning number

地轉效應項：

$$\Omega \cdot q \approx \Omega q^* \quad (3.29)$$

q^* 同式(3.26)。至於式(3.10)內各項之差分處理可仿照式(3.13)至式(3.29)方式編寫。

3.5 計算海域

為整體模擬台灣環島海域潮波運動特性之需要，引用自美國國家地球物理資料中心(NGDC: National Geophysical Data Center)下載解析度為 5 分地理弧度(約 9km)之 ETOPO5 東亞海域水深地形資料及 GSHHS (A Global Self-consistent Hierarchical High-resolution Shoreline Database)高解析度海岸線資料(NGDC, 1988)，可得東亞海域之數值水深地形如圖 3-3 所示。為取得台灣環島海域計算範圍開放海域上之邊界控制潮位與流速，因此，必須先就圖 3-3 中包含渤海、黃海、東海、西太平洋及南海海域之陸地或島嶼邊界，從英國皇家海軍潮汐表(UKHO, 1997)內搜尋登載有潮汐調和分析常數之潮汐站，然後規劃出含括台灣環島之東亞大範圍計算海域，本研究依據上述原則與需求所規劃之東亞大範圍計算海域如圖 3-4 所示。整個東亞大範圍計算海域之長度(Y 軸)為 2,300 公里；寬度(X 軸)達 1,500 公里，網格間距 10 公里，網格原點於 UTM-51 座標上取為 (-839910.201102, 2608499.833287)，網格 Y 軸與正北向之順時鐘夾

角為 21 度，建置之地形以 a-a10dep2.dt2 檔名存檔備用。表 3-1 所示即為東亞大範圍計算海域(圖 3-4)邊界上經查得之潮汐站位置與相關之調和分析常數。觀察表 3-1 中所列潮汐站之位置可知，潮汐站之地理位置不僅分布於不同之時區(time zone)，甚且其位置尚分布於韓國、對馬海峽、日本、琉球群島、菲律賓、東沙島及香港等不同國境或地區。因此，依據表 3-1 中所列潮汐站之迴報(hindcast)逐時潮位，由於缺少實測資料可供比較，故其準確度無法確實掌握，加以迴報之潮汐逐時資料跨時區，故而迴報同一時期之邊界潮位，其時間之對準對於二維水動力計算更是一大挑戰。儘管如此，本研究仍依據表 3-1 中所列潮汐站之迴報(hindcast)逐時潮位，進行東亞大範圍計算海域邊界水位之設定，數值模擬計算後，再依據台灣環島海域驗潮站之預報逐時潮位進行邊界水位正確性之校驗。必要時，表 3-1 中所列潮汐站之迴報(hindcast)逐時潮位，將依據潮汐站之時區、水深及地形等特性作逐時潮位大小與潮時之修正。於大範圍潮汐變化特性計算中，本研究用以校驗台灣環島海域計算逐時潮位準確性之驗潮站如表 3-2 所示。

東亞大範圍計算海域確立後，依據台灣環島海域、台灣北部海域及基隆港海域之水深地形及海岸線特性，於計算範圍邊界條件之掌握、地形解析度、計算網格大小、電腦之總計算時間及計算結果驗證之需要等因素考量下，本研究之計算海域因此採用不同大小範圍交疊配置之巢狀網格(nested grids)，即東亞大範圍計算海域包含台灣環島海域；台灣環島海域包含台灣北部海域；台灣北部海域包含富基至澳底海域；富基至澳底海域再包含基隆港海域。各不同大小範圍交疊配置之計算海域：台灣環島海域、台灣北部海域、富基至澳底海域及基隆港海域分別如圖 3-5-1 至圖 3-6-2 所示。其中，台灣環島海域計算範圍之 Y 軸格數為 280 網格；X 軸格數為 250 網格，網格間距 3 公里，網格原點於 UTM-51 座標上取為(-155340.0, 2301700.0)，網格 Y 軸為正北向，即與正北向之順時鐘夾角為 0 度，建置之地形以 twnb-depsq.dt2 檔名存檔備用。台灣北部海域計算範圍之 Y 軸格數

為 200 網格；X 軸格數為 250 網格，網格間距 1 公里，網格原點於 UTM-51 座標上取為(220000.0, 2780000.0)，網格 Y 軸與正北向之順時鐘夾角為 25 度，建置之地形以 twnc-depm3.dt2 檔名存檔備用。富甚至澳底海域計算範圍之 Y 軸格數為 120 網格；X 軸格數為 242 網格，網格間距 200 公尺，網格原點於 UTM-51 座標上取為 (348925.75, 2793500.0)，網格 Y 軸與正北向之順時鐘夾角為 30 度，建置之地形以 twne-depm.dt2 檔名存檔備用。基隆港海域計算範圍之 Y 軸格數為 280 網格；X 軸格數為 520 網格，網格間距 50 公尺，網格原點於 UTM-51 座標上取為(357941.09, 2788700.0)，網格 Y 軸與正北向之順時鐘夾角為 30 度，建置之地形以 twnh-depm1.dt2 檔名存檔備用。

3.6 初始與邊界條件之設定

對於水深積分處理後之二維水動力系統方程式，在進行計算前，處理必要之起始與邊界條件是必須的。對圖 3-4 所示之東亞計算海域範圍而言，不透水(no-flux)之邊界條件將應用於台灣環島沿岸、中國大陸東部沿海與計算海域內之島嶼。而開放海域上之邊界條件係依據表 3-1 所列潮汐站之調和分析常數，針對選定之模擬時段，如 2001 年 7 月，先行就計算範圍邊界驗潮站逐站迴報(hindcast)模擬時段對應之逐時潮汐序列，邊界上由北而南驗潮站上模擬時段之逐時潮位迴報結果分別如圖 3-7-1 至圖 3-7-5 所示，再依據圖 3-4 中所列示之驗潮站位置，應用線性差分(interpolation)方式聯結相鄰潮汐站之潮汐序列，最後再將其設定於開放海域之對應邊界上。至於計算初始條件，在計算初始時，全計算海域內之計算潮位皆設定為零，不過，相對應開放海域邊界潮汐序列亦皆配合修整自零水位起動，亦即採用軟起動(soft start)方式以設定初始計算條件，藉以避免模擬計算起動時，瞬間邊界水位變動所造成數值衝擊波(numerical shocks)之不穩定影響(DHI, 1996)。

值得一提的是，使用表 3-1 中所列潮汐站之調合分析常數迴報(hindcast)同一時期之邊界潮汐資料(圖 3-7-1 至圖 3-7-5)後，由於在大範圍計算海域邊界無額外實測潮汐資料可供進一步檢校，加以迴報之潮汐逐時資料係跨國境且跨時區，故而，邊界潮位之準確度與同一時期潮位之時間對準皆不易準確掌握。為克服以上邊界潮位之準確度與同時性問題，因此，本研究乃應用試誤法(try and error method)，於東亞大範圍計算海域原始邊界潮汐站上，選擇性且重點性地調整部分邊界潮汐站之預報潮時與振幅大小，相關之調整值大小並列入敏感性分析記錄，設定邊界條件並執行數值計算後，再以台灣環島海域潮汐測站之實測或迴報(hindcast)資料檢核數值模擬計算之結果，如此，週而復始，直至台灣環島海域潮汐測站之實測或迴報(Hindcast)資料，其比較之準確度可被接受為止。經以上述試誤法確立之潮位邊界調整條件，將作為往後針對不同計算時段進行相關二維水動力數值模擬計算之邊界潮位調整基準。

東亞大範圍計算海域之初始與邊界條件設定後，東亞海域之二維水動力數值模擬計算即可執行，至於台灣環島海域、台灣北部海域、富基至澳底海域及基隆港海域計算範圍之水動力邊界條件，於交疊配置之巢狀網格下，將可循序逐步地自其上較大範圍海域之水動力模式計算結果中就相對應位置分別萃取後應用。亦即，台灣環島海域計算範圍之水動力邊界條件係萃取自東亞大範圍計算海域之逐時潮位或流速；台灣北部海域計算範圍之水動力邊界條件再萃取自台灣環島海域之逐時潮位或流速；富基至澳底海域計算範圍之水動力邊界條件再萃取自台灣北部海域之逐時潮位或流速，而基隆港海域計算範圍之水動力邊界條件最後再萃取自富基至澳底海域之逐時潮位或流速。值得特別注意的是，在巢狀網格邊界條件之系列萃取應用中，當計算海域範圍愈小時，具流速型態之水動力邊界條件宜多考慮應用(莊文傑 等，2001)，因其除可適切地延續、保留上一較大範圍海域海潮流之水動力計算特性外，尚可有效地抑制因底床摩擦(friction)與紊流渦度黏滯(eddy viscosity)係數等水動力消散機

制不足所導致之數值計算發散(blow-up)問題。透過以上巢狀網格配置之交疊應用，相關之數值模擬計算結果遂得進一步用以探討台灣北部及基隆港海域之潮汐與潮流之運動與動力特性。

3.7 計算參數

使用有限差分法必須首先決定差分格距及時距，俾使數值之穩定條件(stability condition)得以達成。而一般採用之數值穩定條件係以 Courant Number(C_r)滿足下式加以規範：

$$C_r = \frac{C_{\max} \cdot \Delta t}{\Delta x} < 1 \quad (3.30)$$

式中， C_{\max} 為計算變數之最大計算訊號傳遞速度， Δx 與 Δt 分別為空間與時間格距。對東亞海域之大範圍計算而言，本研究 Δx 選定為 10 公里， Δt 設定為 60 秒，所得之 C_r 值因計算海域水深差異甚大而使最大值約達 1.5 (自台灣環島海域以下之計算範圍， C_r 值皆保持小於 1)，儘管如此，東亞海域之數值穩定度仍甚良好，且計算結果經與臺灣環島各實際驗潮站迴報或實測資料比較後，計算準確度亦甚佳。

底床摩擦係數一般可選擇 Chezy Number(C)或使用 Manning Number (M)表示，兩者之關係為 $C = Mh^{1/6}$ ， h 為計算區之水深， C 及 M 之單位分別為 $m^{1/2}/s$ 及 $m^{1/3}/s$ ，且 $M = 1/n$ ， n 為一般文獻使用之 Manning Number。當計算區域水深變化較大時，依據計算經驗建議使用 Manning Number，其選用範圍約在 20 至 40 間。

渦度係數(E)主要用來計算動量方程式中之紊流效應，藉以阻滯(damping)短衝擊波之振盪及表現小網格之尺度影響，一般其大小必須滿足下列限制：

$$E \leq \frac{\Delta x^2}{2\Delta t} \quad (3.31)$$

並可依下式估算

$$E = 0.1 \times \Delta x \times V \quad (3.32)$$

式中， Δt 為時距， Δx 為網格間距， V 為流速。對於流場係隨時空而變化時，渦度係數尚可依 Smagorinski 公式計算 (DHI, 1996)，即

$$E = C_s^2 \Delta^2 \left[\left(\frac{\partial U}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial y} \right)^2 \right] \quad (3.33)$$

式中， U, V 分別表示水深平均之 x 及 y 向流速分量， Δ 為網格間距， C_s 可於 0.25 至 1.0 間選用。綜觀上述， E 之大小與時距及網格距皆有分不開之關係。本研究於模式計算中對於渦度係數係使用式(3.33)之公式，並設定 $C_s = 0.5$ 。

風摩擦係數主要用來計算風剪力之大小，其係數一般可依下式計算：

$$f(V) = \begin{cases} f_o & \text{for } V < V_o \\ f_o + \frac{V - V_o}{V_1 - V_o} \cdot (f_1 - f_o) & \text{for } V_o \leq V \leq V_1 \\ f_1 & \text{for } V > V_1 \end{cases} \quad (3.34)$$

式中，

$$\begin{aligned} f_o &= 0.00063, V_o = 0m/s \\ f_1 &= 0.00026, V_1 = 30m/s \end{aligned} \quad (3.35)$$

在本研究計算中，當考慮風剪力影響時係以逐時實測風速資料輸入， f 直接由實測風速大小依上式線性插分求得。

3.8 東亞海域逐時潮位與海流之計算模擬

3.8.1 東亞海域之計算結果

使用圖 3-4 所示之東亞大範圍計算海域，配合表 3-1 所列潮汐站之逐站迴報(hindcast)逐時潮汐序列(圖 3-7-1 至圖 3-7-5)，檢定並設定邊界條件及相關參數後，依據式(3.8)至式(3.10)所示之水深積分後二維水動力系統方程式，可得東亞海域(含西太平洋、台灣海峽、巴士海峽、南海、東海、黃海、勃海)計算期間(自 2001/07/14 00:00 至 2001/07/31 10:00 共 16 日 10 小時)之計算潮位與潮流，其在一潮汐週期內之全平面性分布分別如圖 3-8-1 至圖 3-8-6 所示。全計算期間內，東亞海域及台灣環島鄰近海域潮位與潮流全平面性分布之逐時計算結果請參閱本報告後所附光碟內之相關圖文及動畫(以所附之\FLICplay\player 程式開啟 Asia_HD.flc 檔案)。在圖 3-8-1 至圖 3-8-6 所示的潮位與潮流之全平面性計算分布圖中，圖右之色階圖說代表計算海域內之等值潮位線；箭矢則表示計算海域內潮流之大小與方向；圖下方之逐時潮位則為計算海域內以台中港海域逐時迴報潮位為代表之檢視參考水位。

仔細觀察圖 3-8-1 至圖 3-8-6 所示之等潮位線分布可得，韓國濟州島南端、大陸長江口附近及台灣海峽中段海域，其滿潮位及乾潮位變化約與台中港同步，亦即約同時顯示達到當地之滿潮及乾潮位。值得一提的是，若以連續方式觀察圖 3-8-1 至圖 3-8-6 所示之等潮位線變化(或播放 Asia_HD.flc 動畫)，可發現台灣環島之潮波自西太平洋入射(incident)後，係約以逆時鐘方向環繞台灣環島陸地傳播運行(propagating)，進一步觀察尚可發現，台灣海峽中段水域漲退潮之潮波實際係順中國大陸海岸線單一地向南傳播運動(propagating)，且此一單向傳播潮波之最大或最低潮位始終保持在中國大陸東部海岸線上。從台灣海峽中段海域之潮波單向傳播運動特性，綜合大陸福建沿岸之滿潮及乾潮位皆較大於台灣中西部沿岸之潮位特性，再依據海洋物理學之波動相關理論(Pedlosky, 1982)，可確認此一單向傳播之潮波應為凱文波(Kelvin waves)。此外，當此單一方向行進之潮波進入台灣海峽中段海域後，因海峽寬度與陸架地形水深及長度之影響而使潮波整體之波動於台灣海峽南、北兩端海域形成形如部分重

複駐波波節點(node)及在中段形成如部分重複駐波波腹(anti-node)之振盪波形(莊文傑, 2000; Lin et al. 2000; 2001)。緣於此部分重複駐波在台灣海峽海域之振盪特性, 故而約在台灣海峽海域南、北兩端之陸架邊緣海域(南端約在將軍、澎湖以南, 北端約在基隆、鼻頭角以北), 海潮流之強度一般皆甚強。此外, 觀察圖 3-8-1 至圖 3-8-6 之海潮流大小與方向變化可知, 當台中港潮位接近滿潮位時, 海潮流分別從台灣海峽南、北兩端向中段海域匯流; 當台中港潮位接近乾潮位時, 海潮流將從中段海域分別向台灣海峽南、北兩端流出, 而在台灣海峽中段海域內, 海潮流之流速始終甚微弱。從以上海潮流強度與流向之變化特性, 亦可確認部分重複駐波在台灣海峽海域內之振盪運動痕跡。

為綜合性地檢視東亞大範圍計算海域之計算潮流特性, 於圖 3-8-1 至圖 3-8-6 中(或自 Asia_HD.flc 動畫中)分別取特定點代表台灣海峽北、中、南端之海域, 並以台中港區之迴報潮位為參考基準。則在台灣海峽內可觀察到, 不論北、中、南水域, 最大之潮流流速一般皆發生於當台中港之潮位為平潮位時。且在台灣海峽北端海域之最大流速約達 45cm/s, 最小流速約為 10cm/s 左右, 潮流流向隨潮位高低而作逆時鐘方向旋轉之變化。在漲潮期間, 最大流速約保持為正西(270°)方向; 在退潮期間, 最大流速約保持為正東(90°)方向。在台灣海峽中部海域, 其最大及最小流速之變化較不規則, 最大流速約在 17cm/s 至 28cm/s 間, 最小流速僅約 7cm/s 至 10cm/s, 潮流流向隨潮位高低亦作逆時鐘方向旋轉之變化, 惟漲潮時段最大流速約為正北(0°)方向, 退潮時段則轉變為正南(180°)方向。在台灣海峽南端海域, 其最大流速可達約 80cm/s, 最小流速仍約有 20cm/s, 潮流流向隨潮位高低作順時鐘方向旋轉之變化, 漲潮時段內, 最大流速為正北向, 退潮時段內, 最大流速為正南向。整體而論, 當台中港海域之潮位在漲潮時段, 則由低潮位開始, 台灣海峽南、北兩端之潮流將分別從陸架緣端外開始流向台灣海峽中部水域, 各陸架緣端內流向海峽中段水域之潮流速度於台中港區潮位漲至平潮時刻時達到最大, 並於台中港區潮位達到高潮時刻時減到最小, 其後, 當台中港潮位處於退潮時段, 由高潮時刻至平

潮位期間，台灣海峽南、北兩端之潮流分別以順時鐘及逆時鐘旋轉方向，潮流轉而自陸架上流向陸架外。流出之潮流速度於台中港水位為平潮位時再次達到最大，而後，隨著台中港區水位逐漸接近低潮位而流出之速度才漸減小。接著再回復至台中港潮位處於漲潮期間之流況，如此週而復始。

經由以上台灣海峽南、北兩端潮流流速大小與方向隨台中港海域潮位之變化關係可知，台灣海峽中段或台中港海域之潮位振盪起伏狀況，明顯地主控著台灣海峽水域整體潮流流速之變化特性。此外，在台灣西南部的七股、安平及東北部的富貴角、基隆外海，由於該兩海域皆接近台灣海峽半日型潮波入射陸架所形成部分重複駐波之波節點位置(莊文傑，2000)，故在潮流流速之分布上可明顯看出其皆呈現有流速較大之特性。只是在台灣東北部的龍峒、深澳及鹽寮外海，雖其亦為部分重複駐波波節點存在之鄰近海域，但因其於陸架緣端附近，因此，由於水深變化之影響以致大流速並未明顯地呈現於該海域。

3.8.2 東亞海域計算潮位之驗證

由於東亞大範圍海域潮波水動力模擬邊界水位係皆引用相關調和分析常數所迴報之結果，故而在以下有關計算潮位之驗證中，台灣環島部分驗潮站之水位於計算時段內，亦皆以迴報潮汐資料作為比較驗證之基準。

為確認東亞大範圍計算海域邊界潮位設定及相關計算結果之準確性，於台灣環島沿岸海域，取蘇澳(SA)、基隆(KL)、淡水(TS)、台中(TC)、高雄(KS)及富岡(FK)為驗潮站。各驗潮站在東亞計算海域之相對網格位置如表 3-2 所示，模擬計算潮位與各驗潮站之迴報潮位之驗證比較結果分別如圖 3-9 (a)至(f)所示。由圖所示之潮位驗證比較結果觀察可得，各驗潮站之計算潮位與潮時皆與迴報資料頗為吻合，但座落於台灣海峽南、北兩端之高雄與基隆驗潮站，其計算潮位及潮時與迴報值比較仍具有些微差異，造成計算潮位偏差的原因主要應係存在於台灣南、北兩端之大陸棚架地形水深較粗略而無法在計算中準確顯現其影

響性之故。儘管如此，應用 MIKE21_HD 水動力模式，配合本研究所選用之邊界潮位站，總體上，對台灣環島海域潮位與潮時之變化特性及分布趨勢仍可確實充分掌握並全面完整地呈現。

3.8.3 中國與台灣沿岸海域的潮波振盪型態

為清楚地呈現中國與台灣沿岸海域的潮波振盪型態，依據東亞海域潮波的長期計算結果(部分如圖 3-8-1 至圖 3-8-6 所示)，在中國沿岸南約自香港海域起，北至長江口海域選取一近岸地形縱剖面並萃取其上相對應的逐時計算潮位，可得中國沿岸一潮汐週期的潮波振盪型態如圖 3-10 所示，由圖(或潮波振盪動畫 China_tidos.flc)觀察可知，潮波在中國沿岸的汕頭及長江口海域的潮波振盪皆存在有部分重複駐波型態，且此二部分重複駐波型態以台灣海峽中段海域最明顯，此外，順沿中國海岸尚可觀察到振幅與部分重複駐波相當的凱文波(Kelvin Wave)由北往南行進，並在汕頭附近海域被大陸棚架地形反射。因此可見，中國沿岸的潮波振盪型態，主要係由行進與反射的凱文波及重複駐波所合成，而重複駐波主要係因緣於半日型潮波受陸架及台灣海峽地形影響所導致之共振效應(莊文傑，2000；Lin et al. 2000；2001)。

在台灣環島海域，自東部的花蓮海域起以順時鐘方向選取一近岸地形縱剖面並萃取其上相對應的逐時計算潮位，可得一潮汐週期的潮波振盪型態如圖 3-11 所示，由圖(或潮波振盪動畫 Taiwan_tidos.flc)觀察可知，潮波在台灣西部沿岸海域的潮波振盪，行進與反射的凱文波並不顯著，反而部分重複駐波型態卻特別地明顯，且此一部分重複駐波的節點，與地形相對照，很清楚地呈現出其皆約與存在台灣海峽的陸架地形邊緣相鄰近，可見，半日型潮波受陸架及台灣海峽地形影響所導致之共振效應，確實在台灣西部沿岸海域特別的顯著。

為進一步確認台灣西部沿岸海域，半日型潮波因共振導致部分重複駐波節點的位置，南約自恆春海域起，北至三貂角外海選取一近岸地形縱剖面並萃取其上相對應的逐時計算潮位，可得台灣西部沿岸海域一潮汐週期的潮波振盪型態如圖 3-12 所示，由圖(或潮波振盪動畫

Twcoast_tidos.flc)對照地形剖面觀察可知，部分重複駐波之南端節點約位在高雄至安平港間之海域；而北端節點約座落在基隆港至三貂角海域間。將以上部分重複駐波之南北端節點之計算位置與採用單頻波模式針對分潮潮波之等潮圖(co-tidal chart)計算結果(莊文傑，2000)相驗證，可得兩者是完全吻合的。

3.9 台灣環島海域逐時潮位與海流之計算模擬

3.9.1 台灣環島海域海流之計算結果

使用圖 3-5-1 所示台灣環島海域之計算範圍，並自東亞大範圍計算海域中，以相同計算期間(自 2001/07/14 00:00 至 2001/07/31 10:00 共 16 日 10 小時)，直接自東亞海域中萃取計算之水動力潮位與潮流邊界條件，可得台灣環島海域計算範圍的潮位邊界條件如圖 3-13 所示。再應用水深積分後之二維水動力模式進行計算，設定並檢定相關計算參數後，可得台灣環島海域在一潮汐週期內之全平面性計算潮位與潮流分布分別如圖 3-14-1 至圖 3-14-6 所示。全計算期間內，台灣環島海域潮位與潮流全平面性分布之逐時計算結果請參閱本報告後所附光碟內之相關圖文及動畫(以所附之\FLICplay\player 程式開啟 Taiwan_HD.flc 檔案)。在圖 3-14-1 至圖 3-14-6 所示的潮位與潮流之全平面性計算分布圖中，圖右之色階圖說代表計算海域內之等值潮位線；箭矢則表示計算海域內潮流之大小與方向；圖下方之逐時潮位則為計算海域內以台中港海域逐時迴報潮位為代表之檢視參考水位。

以連續方式仔細觀察圖 3-14-1 至圖 3-14-6 所示之等潮位線分布變化(或播放 Taiwan_HD.flc 動畫)可得，台灣環島海域之潮波自西太平洋入射(incident)後，將明顯地約以逆時鐘方向環繞台灣環島陸地運行(propagating)，進一步觀察尚可發現，台灣海峽中段水域漲退潮之潮波實際係順中國大陸海岸線單一地向南單向傳播運動(propagating)，且此一單向環繞台灣環島海域運行的潮波，其最大或最

低潮位始終保持在台灣海峽中段的中國沿海海岸線上，亦即中國福建沿岸之滿潮及乾潮位或潮差皆較台灣中西部沿岸大，且當台中港在滿潮及乾潮位時，台灣西南部及北部海域之等潮位線皆有甚大的增減梯度變化，可見，因台灣海峽寬度與陸架地形水深及長度之影響，將使潮波整體之波動於台灣海峽南、北兩端海域清楚地呈現部分重複駐波波節點(node)及在中段呈現部分重複駐波波腹(anti-node)之振盪波形，參見圖 3-12 所示。由於此一部分重複駐波在台灣海峽海域顯現之特殊振盪型態，故而約在台灣海峽海域南、北兩端之陸架邊緣海域(南端約在將軍、澎湖以南，北端約在基隆、鼻頭角以北)，海潮流之強度一般皆甚強。此外，觀察圖 3-14-1 至圖 3-14-6 之海潮流大小與方向變化可知，當台中港潮位接近滿潮位時，海潮流分別從台灣海峽南、北兩端向中段海域匯流；當台中港潮位接近乾潮位時，海潮流將從中段海域分別向台灣海峽南、北兩端流出，而在台灣海峽中段海域內，海潮流之流速始終甚微弱。從以上海潮流強度與流向之變化特性，亦可確認部分重複駐波在台灣海峽海域內之振盪痕跡。

3.9.2 台灣環島海域潮位與海流之計算驗證

由於台灣環島海域潮位與潮流的計算結果將被其後接續的巢狀網格海域萃取為水動力模擬之邊界條件，因此，為確認台灣環島海域，尤其是台灣北部海域潮位及潮流計算結果之準確性，於台灣北部海域沿岸取蘇澳(SA)、基隆(KL)及淡水(TS)為驗潮站。各驗潮站之迴報潮位與模擬計算潮位之驗證比較結果如圖 3-15 所示。由圖所示之驗證比較結果觀察可得，蘇澳及淡水驗潮站之計算潮位與潮時皆與迴報資料頗為吻合，而基隆驗潮站之計算潮時雖仍與迴報值相近似，但計算潮位與迴報值比較仍具有些微差異，造成計算潮位偏差的主要原因仍係台灣環島海域地形水深稍嫌粗略所致。儘管如此，鑑於蘇澳及淡水驗潮站之計算潮位與潮時尚可充分呈現台灣北部海域的潮汐變化特性，故台灣環島海域潮位與潮流之整體變化特性及分布趨勢因此可確實充分地加以確認。

台灣環島海域可供計算潮流驗證之實測資料尚甚缺乏。多年以來，在台灣環島沿岸為各項海岸防護或港口建設之需要，國內相關之研究及技術顧問機構雖曾於近岸地區進行海流觀測，但因海流之組成成分複雜，尤其於近岸區更易受局部陸地地形、海岸上人工結構物及風力等因素而影響特性，加以大範圍海域之網格間距太大，空間解析度不足，所依據之地形水深資料又較粗略，因此，引用近岸區所量測之海流資料進行計算潮流驗證實際上將有其困難度。

為綜合性地檢視台灣環島海域計算潮流之特性，於全計算期間(自 2001/07/14 00:00 至 2001/07/31 10:00 共 16 日 10 小時)之部分時段(自 2001/07/17 至 2001/07/19)內，取蘇澳(SA)、基隆(KL)、台中(TC)、高雄(KS)及富岡(FK)海域之計算潮流及潮位分別如圖 3-16-1 至圖 3-16-5 所示，並以台中港區之迴報潮位為參考基準。則在台灣東北部的蘇澳海域(如圖 3-16-1)，可見漲退潮期間之最大潮流流速一般皆發生於當台中港之潮位為平潮位時，且當台中港在漲潮期間，最大流速約可達 20 cm/s，流向約為正北(360°)方向；在退潮期間，最大流速約僅 13 cm/s，流向約為正南(180°)方向。此外，蘇澳海域潮流流向亦將隨台中港潮位之漲退而作不同的變化，概略而言，台中港潮位在日較高低潮之漲退期間，蘇澳海域潮流流向為順時鐘方向旋轉，而當台中港潮位在日較低低潮之漲退期間，蘇澳海域潮流流向轉為逆時鐘方向旋轉。

在台灣北部的基隆海域(如圖 3-16-2)，可見漲退潮期間之最大潮流流速一般發生於當台中港之潮位為平潮位時，且當台中港在漲潮期間，最大流速約可達 60 cm/s，流向約為西北西(300°)方向；在退潮期間，最大流速約為 55 cm/s，流向約為正東南東(110°)方向。此外，基隆海域潮流流向亦將隨台中港潮位之漲退而作不同的變化，概略而言，台中港潮位在日較高低潮之漲退期間，基隆海域潮流流向為順時鐘方向旋轉，而當台中港潮位在日較低低潮之漲退期間，蘇澳海域潮流流向轉為逆時鐘方向旋轉。

在台灣中部的台中海域(如圖 3-16-3)，可見漲退潮期間之最大潮流流速一般發生於當台中港之潮位為平潮位時，且當台中港在漲潮期

間，最大流速僅約 20 cm/s，流向約為東北(45°)方向；在退潮期間，最大流速約為 15 cm/s，流向約為西南(225°)方向。此外，當台中港潮位在退潮期間，潮流流向為逆時鐘方向旋轉，而當台中港潮位在漲潮期間，潮流流向轉為順時鐘方向旋轉。

在台灣南部的高雄海域(如圖 3-16-4)，可見漲退潮期間之最大潮流流速一般發生於當台中港之潮位為平潮位時，且當台中港在漲潮期間，最大流速約可達 13 cm/s，流向約為西北(320°)方向；在退潮期間，最大流速約為 11 cm/s，流向約為南南東(150°)方向。此外，高雄海域潮流流向亦將隨台中港潮位之漲退而作不同的變化，概略而言，台中港潮位在退潮期間，高雄海域潮流流向為逆時鐘方向旋轉，而當台中港潮位在漲潮期間，高雄海域潮流流向轉為順時鐘方向旋轉。

在台灣東南部的富岡海域(如圖 3-16-5)，可見漲退潮期間之最大潮流流速一般發生於當台中港之潮位為退潮段之平潮位時，且當台中港在漲潮期間，最大流速約僅 6 cm/s，流向約為西南(225°)方向；在退潮期間，最大流速約為 7 cm/s，流向約為東北(45°)方向。此外，富岡海域潮流流向亦將隨台中港潮位之漲退而作不同的變化，概略而言，台中港潮位在日較高低潮之漲退期間，富岡海域潮流流向約為逆時鐘方向旋轉，而當台中港潮位在日較低低潮之漲退期間，富岡海域潮流流向轉為順時鐘方向旋轉。

整體而論，當台中港海域之潮位在漲潮時段，則由低潮位開始，台灣海峽南、北兩端之潮流將分別從陸架緣端外開始流向台灣海峽中部水域，各陸架緣端內流向海峽中段水域之潮流速度於台中港區潮位漲至平潮時刻時達到最大，並於台中港區潮位達到高潮時刻時減到最小，其後，當台中港潮位處於退潮時段，由高潮時刻至平潮位期間，台灣海峽南、北兩端之潮流分別以順時鐘及逆時鐘旋轉方向，潮流轉而自陸架上流向陸架外。流出之潮流速度於台中港水位為平潮位時再次達到最大，而後，隨著台中港區水位逐漸接近低潮位而流出之速度才漸減小。接著再回復至台中港潮位處於漲潮期間之流況，如此週而復始。

經由以上台灣環島沿岸海域潮流流速大小與方向隨台中港海域潮位之變化關係可知，台灣海峽中段或台中港海域之潮位振盪起伏狀況，明顯地主控著台灣海峽水域整體潮流流速之變化特性。因此在台灣北部的基隆外海，由於該海域接近部分重複駐波之波節點位置(莊文傑，2000)，故在潮流流速之空間分布上可明顯看出其呈現有流速較大之特性，而在時間之分布上，如圖 3-17 所示，尚可明顯看出計算潮流流速亦有隨月大小潮潮位之變動而呈現強弱變化的趨勢。

單純的潮流係指水體隨潮汐的漲落而在水平方向上作週期性流動的現象。在近岸海域，依據實際調查之結果，潮流一般是沿海岸陸地之代表方向作往復性之流動，而其流速之大小係隨時都在變化的。通常，當潮流流向改變時稱作轉流(turn of tide)，而轉流時海水停止流動即稱為憩流(slack water)，遠離海岸外之潮流，由於其流速、流向時刻皆在改變，因此，一般並無憩流流況(永田丰 等, 1985)。鑑於上述潮流流速、流向之變動特性，加以遠離海岸外，潮流不易測量，所以，本研究於計算潮流驗證上，將採用定性方式，針對潮流整體流速大小與流向進行探討。

針對台灣海峽內之觀測潮流，國家海洋科學研究中心曾以海研三號使用船碇式流剖儀(VM-ADCP)進行兩航次(532 與 550 航次)觀測，王玉懷(1999)依據觀測結果分析後得：在布袋至馬公間，距離約 30 公里，半日潮平均流速為 117cm/s，全日潮平均流速為 32cm/s；在澎湖至金門間，距離約 130 公里，半日潮平均流速為 46.7cm/s，全日潮平均流速為 7.9cm/s。由於半日潮為台灣海峽水域之重要代表分潮，故以其為基準，定性上可看出，在台灣海峽南端陸架緣內(布袋至馬公間)，其東側海域之流速一般大於西側海域，且東側海域之潮流大小平均可達西側海域之 2.5 倍。

對於台灣海峽水域之計算潮流而言，依據劉肖孔(1983)於「中國海域三度空間數值模式」之研究，其有關之研究結論為：潮流的方向，在台灣海峽以南為順時鐘旋轉，海峽以北則相反，一般而言，離岸遠者為「旋迴形」，離岸近者呈「反覆型」。另外，台灣海峽各點之潮位

以廈門及台中以南最高，潮流流速變化並以下列三點較大：1.淡水以北(因總流量大)；2.布袋與澎湖之間(因水淺化及岸形之加速作用)；3.台灣灘附近(因水淺)。

為驗證上列觀測及計算潮流之特性，觀察本研究圖 3-14-1 至圖 3-14-6(或 Taiwan_HD.flc 動畫)之計算潮流可知，計算潮流在布袋至馬公間海域之平均最大流速約達 60cm/s；平均最小流速僅約 20cm/s 左右。潮流流速與流向明顯皆隨當地潮位之漲落而變化。當潮汐在漲潮期間，潮流保持約為正北(0°)之流向；當在退潮期間，則潮流轉而保持為約正南(180°)之流向。一個潮汐漲退週期間，潮流流向先順時鐘方向由北而南，其後反轉為逆時鐘方向由南而北。最大潮流流速皆發生於台中港海域之平潮位時刻。將本研究計算潮流呈現之特性與劉肖孔(1983)於布袋與澎湖間之計算潮流特性相對照，由對照結果可知，兩者計算潮流顯示之特性彼此是頗相吻合地。尤其，兩者計算潮流之結果皆顯示，在布袋至澎湖之間海域，當流向約為正北或正南方向時，其相對應之潮流流速皆為最大。只是本研所得之最大流速與王玉懷(1999)之觀測分析結果比較約略為偏小，造成此種差異之原因，除了潮流係由各主要分潮之潮流所合成外，計算使用之地形、水深及驗證點之代表位置亦皆可能為誤差造成之主因。至於在澎湖至金門間海域，觀察圖 3-14-1 至圖 3-14-6 之計算潮流流速大小、流向並參考台中港潮位可知，本研究計算潮流之最大流速一般約為 35cm/s；最小流速約僅 10cm/s。相對於布袋至馬公間之計算流速而言，本海域潮流速度較低之趨勢與王玉懷(1999)之觀測分析結果相近似，亦與劉肖孔(1983)之研究結論相吻合。其主要原因應係本海域較為寬闊所致。在流速與流向隨潮位漲落之變化特性上，明顯地，潮流流向將隨當地潮位之高低而呈現週期性逆時鐘方向旋轉之特性。且最大潮流流速與布袋至馬公間海域相似，其皆約發生於當地海域之平潮時刻，並於漲潮時段，最大流速為北向；於退潮時段，最大流速為南向。將上述流向之改變特性與劉肖孔(1983)於澎湖左側海域計算之流向變化圖相對照，可得兩者之特性亦是完全一致的。

3.10 台灣北部海域逐時潮位與海流之計算模擬

使用圖 3-5-2 所示台灣北部海域之計算範圍，並自台灣環島計算海域中，以相同計算期間(自 2001/07/14 00:00 至 2001/07/31 10:00 共 16 日 10 小時)，直接自台灣環島海域中萃取計算之水動力潮位與潮流邊界條件，再應用水深積分後之二維水動力模式進行計算，設定並檢定相關計算參數後，可得台灣北部海域在一潮汐週期內之全平面性計算潮流分布分別如圖 3-18-1 至圖 3-18-8 所示。各圖中，為清楚地探討台灣北部海域的流場特性，參考潮位係以基隆港的迴報逐時潮位(圖下方)為基準，計算海域內潮流之大小與方向並以箭矢表示，計算潮流之大小可參考圖右之標準箭矢長短作相對比例換算，計算潮流之流向可參考圖右之地理正北方位。

觀察圖 3-18-1 至圖 3-18-8 之海潮流大小與方向變化可知，當基隆港潮位接近日較低低潮位時，海潮流從台灣北部海域以甚強之流速流出至西太平洋海域，尤其是在富貴角西北方之外海海域，海流流速最是強勁；當基隆港潮位為日較低低潮位時，海潮流仍從台灣北部海域流出至西太平洋海域，惟整體海域之流速已稍減弱；當基隆港潮位通過日較低低潮位，且在漲潮段的平潮位時，海潮流之流向反轉，並以甚強的流速自西太平洋海域向台灣北部海域流入，整體海域之流速仍以富貴角西北方之外海海域較強勁；當基隆港潮位為日較高高潮位時，海潮流之流向再反轉，並以較弱的流速自台灣北部海域流出至西太平洋海域，在此時期，整體海域之流速仍以富貴角西北方之外海海域較強；當基隆港潮位接近日較高低潮位時，海潮流仍保持從台灣北部海域流出至西太平洋海域；當基隆港潮位接近日較低高潮位時，海潮流反轉並從西太平洋海域向台灣北部海域流入，富貴角西北方之外海海域再次出現較強流速；當基隆港潮位通過日較低高潮位，且在退潮時期，海潮流將再反轉並從台灣北部海域流出至西太平洋海域，如此週而復始，循環變化。

為仔細觀察台灣北部海域的潮流隨基隆港潮位的變化特性，自圖

3-18-1 至圖 3-18-8 中，於 2001 年 07 月 17 日至 18 日期間，取鼻頭角、富貴角及淡水河口海域潮流的計算流向、流速分別如圖 3-19-1 至圖 3-19-3 所示。圖中，同時並顯示當地計算潮位與基隆港潮位之比較。由圖綜合觀察可得，鼻頭角(圖 3-19-1)及淡水河口海域(圖 3-19-3)潮流的最大流速雖皆約為 60 cm/s，但淡水河口海域的計算潮位明顯比基隆海域大，不過其漲退潮之潮時卻相當；而鼻頭角海域(圖 3-19-2)的計算潮位與基隆海域相當，但漲退潮之潮時卻比基隆海域稍提前。此外，在富貴角海域，潮流的最大流速約可達 150 cm/s，流速明顯較鼻頭角及淡水河口海域強勁，且計算潮位稍較基隆海域大，惟漲退潮之潮時與基隆海域相當。可見，基隆海域的潮汐特性雖屬偏全日潮之混合潮型(參見本文 2.2.3 節)，但其每日潮汐漲退潮之潮時變化仍與淡水河口海域偏半日潮之混合潮型近似，所不同的僅是漲退潮之潮振幅大小差異而已。

台灣北部海域全平面性的潮流計算，於巢狀網格交疊配置下，主要目的在提供較小範圍計算海域之水動力邊界條件，故而台灣北部海域計算海潮流之大小與方向驗證，將留待於富基至澳底計算海域及基隆港計算海域之計算結果中一併檢視、討論。

3.11 富基至澳底海域逐時潮位與海流之計算模擬

3.11.1 無風影響下之潮位與海流計算結果

使用圖 3-6-1 所示富基至澳底海域之計算範圍，並以計算期間(自 2001/07/14 00:00 至 2001/07/31 10:00 共 16 日 10 小時)直接自台灣環島海域中萃取計算範圍之水動力潮位與潮流邊界條件，再應用水深積分後之二維水動力模式進行計算，於不考量風速的影響下，設定並檢定相關計算參數後，可得富基至澳底海域在一潮汐週期內(自 2001 年 7 月 17 日 11 時至 18 日 12 時)之全平面性計算潮流分布分別如圖 3-20-1 至圖 3-20-8 所示。各圖中，參考潮位係以基隆港的迴報逐時潮位(圖下

方)為基準，計算海域內潮流之大小與方向並以箭矢表示，計算潮流之大小可參考圖右之標準箭矢長短作相對比例換算，計算潮流之流向可參考圖右之地理正北方位。

觀察圖 3-20-1 至圖 3-20-8 之海潮流大小與方向變化可知，當基隆港潮位接近日較低低潮位時(圖 3-20-1)，海潮流從台灣北部海域以甚強之流速由富貴角(西)往鼻頭角(東)方向流動，在富貴角、野柳岬及鼻頭角岬頭外海，流速皆甚強勁，且在野柳岬以東至基隆港間之萬里漁港海域產生局部之環流流場；當基隆港潮位為日較低低潮位時(圖 3-20-2)，海潮流仍從台灣北部海域由富貴角(西)往鼻頭角(東)方向流動，惟整體海域之流速已稍減弱，但在野柳岬以東至基隆港間之萬里漁港海域產生之局部環流流場，其規模有擴大之趨勢；當基隆港潮位通過日較低低潮位，且在漲潮段的平潮位時(圖 3-20-3)，海潮流之流向反轉，並以甚大的流速自鼻頭角(東)往富貴角(西)方向流動，在富貴角、野柳岬及鼻頭角岬頭外海，流速仍甚強勁，且在野柳岬以西之野柳漁港海域產生局部之環流流場；當基隆港潮位通過日較高高潮位，且在退潮段的平潮位時(圖 3-20-4)，海潮流之流向再反轉為由富貴角(西)往鼻頭角(東)方向流動，流速較基隆港潮位接近日較低低潮位之退潮流況減弱，儘管如此，在野柳岬以東至基隆港間之萬里漁港海域間仍會產生局部之環流流場；當基隆港潮位接近日較高低潮位時(圖 3-20-5)，海潮流之流向仍保持為由鼻頭角(東)往富貴角(西)方向流動，在野柳岬以東之局部環流流場，其規模亦會擴大；當基隆港潮位接近日較低高潮位時(圖 3-20-6 及圖 3-20-7)，海潮流再反轉並自鼻頭角(東)往富貴角(西)方向流動，在富貴角、野柳岬及鼻頭角岬頭外海，流速仍甚強，且再次地在野柳岬以西之野柳漁港海域產生局部之環流流場；當基隆港潮位通過日較低高潮位，且在退潮時期，海潮流將再反轉(圖 3-20-8)，並普遍以甚強勁的流速從富貴角(西)往鼻頭角(東)方向流動，如此週而復始，循環變化。

3.11.2 無風影響下之計算潮流驗證

民國 90 年 6 月中旬，交通部運輸研究所港灣技術研究中心(曾相茂, 2001)即在基隆港東防波堤堤頭外水深 44 公尺處，以挪威 NORTEK 公司出產的 AWCP 剖面波流儀完成海象觀測站的建置。在民國 90 年 7 月的建置初期，所觀測的海流記錄如圖 2-12 所示。由圖觀察可知，基隆港東波堤堤頭附近的海流，其流向大多介在與正北成 100 度至 300 度夾角間，亦即流向普遍呈東南東向及北北西向，而流速的大小，一般約介在 60 至 80 cm/s 間，最大的流速約可達 100 cm/s。可惜本海象觀測站的位置距離基隆港東防波堤堤頭僅約 200 公尺，因此，在本計算海域(圖 3-6-1)的地形解析度限制下，由於不能充分考量防波堤構造物的影響，故目前尚無法據以驗證計算潮流的準確性，不過，配合潮位的特性與變化，將此一海象觀測站的實測海流特性與圖 3-20-1 至圖 3-20-8 之計算潮流相對照，從大小及方向可研判彼此仍具有粗略地吻合度。

民國 90 年 8 月，國立高雄海洋技術學院海洋環境工程系為配合基隆港務局辦理「基隆港浚渫海拋對海洋生態影響評估及監測計畫」，受中興工程顧問股份有限公司委託，在基隆港外海水深 92 米至 150 米間，選定三處海流觀測站，採用自記式 RCM-4 海流儀進行定點的海流觀測(張國棟 等，2002)。其中，編號 B 的測站在 2002/01/03 11:35 至 2002/01/11 15:55 期間所觀測的海流記錄如圖 2-11 所示。依據張國棟 等(2002)針對實測海流的分析結果可知：B 測站海流的流向，漲潮時主要為 WNW 至 NW 方向；退潮時主要為 ESE 至 SE 方向，累計以上漲退潮的主要流向約佔全部海流流向的 81%，亦即 B 測站的海流流向是以平行海岸方向為主，另依據海流的行進向量圖分析可得，海流的長期行進方向有略朝 SE 方向移動的趨勢，至於海流的流速大小，依據實測期間的統計結果，全期最大流速為 121.38cm/s，全期平均流速為 52.91cm/s，海流流速以 75 至 100 cm/s 的發生頻率最高，相對應的流向則為 SE 向。

由於國立高雄海洋技術學院海洋環境工程系所建置的海流測站 B，其位置約在基隆港港口與基隆嶼連線稍偏左側，離岸約 6 公里，水

深達 98.4 米處的海域，所實測的海流資料應已遠離防波堤構造物的影響，因此，可引用以驗證計算潮流的準確性。不過，由於本研究潮流的計算期間尚未與該實測資料期間充分搭配，故目前僅能就潮位漲落特性相同期間所對應的海流進行驗證。圖 3-21 所示即為富基至澳底計算海域，在海流測站 B 位置上，選擇基隆港潮位漲落具相同特性之不同期間，計算潮流與實測海流的驗證結果。由圖 3-21 的驗證結果觀察可知，除計算潮流的流速稍較實測海流流速小之外，計算潮流的流速大小與流向，其隨潮位漲落的變化，總體上與實測海流的特性是一致且相吻合的。至於潮流流速的計算誤差，應係風力作用尚未於計算中含括考量之故。因此，以下將針對海流測站 B 之位置及實測期間，考量風力作用，進行計算海潮流準確性之進一步驗證評估。

3.11.3 風力影響下之潮位與海流計算結果

為基隆港測站 B 實測海流(張國棟 等, 2002)驗證之需要，取計算期間自 2002/01/02 00:00 至 2002/01/15 23:00 共 12 日 23 小時，考量圖 2-7 所示之澎佳嶼實測風力，重新計算東亞及台灣環島海域的逐時潮位與流場，再使用圖 3-6-1 所示富基至澳底海域之計算範圍，並直接自台灣環島海域中萃取計算範圍之水動力潮位與潮流邊界條件，再應用水深積分後之二維水動力模式進行計算，於加入澎佳嶼實測風力(如圖 2-7 所示)之影響下，設定並檢定相關計算參數後，可得富基至澳底海域在一潮汐週期內(自 2002 年 1 月 5 日 7 時至 1 月 6 日 9 時)之全平面性計算潮流分布分別如圖 3-22-1 至圖 3-22-8 所示。各圖中，參考潮位係以基隆港的迴報逐時潮位(圖下方)為基準，計算海域內潮流之大小與方向並以箭矢表示，計算潮流的之大小可參考圖右之標準箭矢長短作相對比例換算，計算潮流的之流向可參考圖右之地理正北方位。

觀察圖 3-22-1 至圖 3-22-8 於考量風力作用效應之海流大小與方向變化，並與圖 3-20-1 至圖 3-20-8 所示無風力作用之海潮流平面特性比較對照，由比較對照結果可知，富基至澳底海域之計算海流，總體上

其隨基隆港潮位漲退之變化特性是約略近似的，亦即當基隆港潮位在退潮時期，受風力作用之海潮流仍是從台灣北部海域以甚大之流速由富貴角(西)往鼻頭角(東)方向流動，且會在富貴角、野柳岬及鼻頭角岬頭外海呈現強勁流速，並在野柳岬之東、西兩側皆可能產生局部之環流流場；當基隆港潮位在漲潮時期，受風力作用之海潮流流向亦將反轉，並以甚大的流速自鼻頭角(東)往富貴角(西)方向流動，且在富貴角、野柳岬及鼻頭角岬頭外海呈現強流速，並在野柳岬以西之野柳漁港海域產生局部之環流流場。至於在計算期間內，於富貴角、野柳岬及鼻頭角岬頭外海的流速大小與流向隨潮位之變化，以基隆港為參考比較基準，可分別得如圖 3-23-1 至圖 3-23-3 所示。由圖綜合觀察可知，在富基至澳底海域，於風力作用下，海流流速以富貴角岬頭外海流速最強，最大流速可高達 2 m/s 以上；其次為鼻頭角岬頭外海的流速，最大流速可大於 1.5 m/s 以上；野柳岬岬頭外海流速與鼻頭角岬頭外海流速相當，最大流速亦在 1.5 m/s 上下，最弱的流速在基隆港外海，其最大流速一般在 60 cm/s 左右。此外，為更詳細清楚地瞭解富貴角、野柳岬及鼻頭角岬頭外海潮流流向及流速隨基隆港潮位的變化並作潮位的比較，因此，重新整理圖 3-23-1 至圖 3-23-3，可分別得如圖 3-24-1 至圖 3-24-3 圖所示。

3.11.4 風力影響下之計算潮流驗證

以國立高雄海洋技術學院海洋環境工程系編號 B 測站，在 2002/01/03 11:35 至 2002/01/11 15:55 期間所觀測的海流記錄(如圖 2-11)為驗證基準，在圖 3-22-1 至圖 3-22-8 所示富基至澳底計算海域的計算海流結果中，於海流測站 B 位置上，萃取計算流向、流速並與實測海流資料直接比較驗證，結果如圖 3-25 所示，圖中，參考潮位主要係以基隆港之迴報潮位為基準，同時並呈現編號 B 測站之計算潮位，俾利相互對照比較。圖 3-26 所示則為圖 3-25 的局部詳細驗證。從圖 3-25(或圖 3-26)仔細比較驗證後可知，儘管基隆港海域編號 B 測站之計算潮位與基隆港之迴報潮位具有潮位與潮時之些微偏差，但計算與實測海流的流向與流速卻有甚佳的一致性與吻合度。因此，可確認本研究針對

富甚至澳底計算海域所計算的全平面性逐時海流流場，其準確度頗高且是值得信賴的。

3.12 基隆港海域逐時潮位與海流之計算模擬

3.12.1 潮位與海流計算結果

使用圖 3-6-2 所示之基隆港細部計算範圍，並以計算期間(自 2001/07/14 00:00 至 2001/07/31 10:00 共 16 日 10 小時)直接自圖 3-20-1 至圖 3-20-8 所示富甚至澳底海域之計算範圍中萃取計算所需的水動力潮位與潮流邊界條件，再應用水深積分後之二維水動力模式進行計算，於不考量風速的影響下，設定並檢定相關計算參數後，可得基隆港海域在一潮汐週期內(自 2001 年 7 月 17 日 11 時至 18 日 13 時)之詳細全平面性計算潮流分布分別如圖 3-27-1 至圖 3-27-15 所示。各圖中，參考潮位係以基隆港自身的迴報逐時潮位(圖下方)為基準，計算海域內潮流之大小與方向並以箭矢表示，計算潮流的之大小可參考圖右之標準箭矢長短作相對比例換算，計算潮流的之流向可參考圖右之地理正北方位。

觀察圖 3-27-1 至圖 3-27-15 之海潮流大小與方向變化可知，當基隆港潮位接近日較低低潮位時(圖 3-27-1)，海潮流從基隆港海域以甚強之流速由金山(西)往深澳灣(東)方向流動，在金山、野柳岬、基隆嶼與和平島間及八斗子漁港近海，流速皆甚強勁，且在野柳岬及基隆嶼以東之鄰近海域產生局部之環流流場；當基隆港潮位為日較低低潮位時(圖 3-27-2)，海潮流仍從基隆港海域由金山(西)往深澳灣(東)方向流動，惟整體海域之流速已稍減弱，但在野柳岬及基隆嶼以東海域之局部環流流場，其規模有擴大之趨勢；當基隆港潮位通過日較低低潮位時(圖 3-27-3)，海潮流之流向反轉為由深澳灣(東)往金山(西)方向流動，在野柳岬外海，流速仍甚強勁，且在野柳岬以西之岬頭海域產生局部之環流流場；當基隆港潮位通過日較低低潮位，且在漲潮段的平潮位時(圖

3-27-4)，海潮流之流向仍由深澳灣(東)往金山(西)方向流動，在基隆嶼與和平島間及野柳岬岬頭以西海域流速皆甚大，且在野柳岬以西之海域產生局部之環流流場；當基隆港潮位接近日較高高潮位時(圖 3-27-5)，海潮流之流向仍由深澳灣(東)往金山(西)方向流動，在基隆嶼與和平島間及野柳岬岬頭以西海域流速稍減弱，且在基隆港港口及野柳岬以西之海域有局部之逆時鐘方向環流流場產生；當基隆港潮位在日較高高潮位時(圖 3-27-6)，海潮流之流向反轉為由金山(西)往深澳灣(東)方向流動，基隆港港口仍可見逆時鐘方向之環流流場；當基隆港潮位通過日較高高潮位(圖 3-27-7)，且在退潮段之平潮位時，海潮流之流向保持為由金山(西)往深澳灣(東)方向流動，基隆港港口之環流流場消失，取而代之的是在野柳岬岬頭以東海域形成環流流場；當基隆港潮位在日較高低潮位時(圖 3-27-8)，海潮流之流向保持為由金山(西)往深澳灣(東)方向流動，野柳岬岬頭以東海域形成之環流流場規模及強度皆加大；當基隆港潮位通過日較高低潮位(圖 3-27-9)，且在漲潮段之平潮位時，海潮流之流向反轉為由深澳灣(東)往金山(西)方向流動，野柳岬岬頭海域之流速再次增強；當基隆港潮位接近日較低高潮位(圖 3-27-10 至圖 3-27-12)時，海潮流之流向保持為由深澳灣(東)往金山(西)方向流動，基隆海域之流速再次增強；且在基隆港港口及野柳岬以西之海域再產生局部之逆時鐘方向環流流場；當基隆港潮位通過日較低高潮位(圖 3-27-13)，且在退潮段之平潮位時，海潮流之流向反轉為由金山(西)往深澳灣(東)方向流動；當基隆港潮位再接近日較低低潮位，且在退潮時期(圖 3-27-14)，海潮流由金山(西)往深澳灣(東)方向流動之流速將再增強，如此週而復始，循環變化。

3.12.2 計算潮流之驗證

引用 2001 年 7 月交通部運輸研究所港灣技術研究中心(曾相茂，2001)在基隆港東防波堤堤頭外水深 44 公尺處之觀測海流記錄(如圖 2-12)。在圖 3-27-1 至圖 3-27-15 所示基隆港海域的計算海流結果中，於基隆港東防波堤堤頭之海流觀測位置上，萃取計算流向、流速並與實測海流資料直接比較驗證，結果如圖 3-28 所示，圖中，參考潮位主

要係以基隆港之迴報潮位為基準，同時並呈現海流觀測位置上之計算潮位，俾利相互對照比較。圖 3-29 所示則為圖 3-28 的局部詳細驗證。從圖 3-28(或圖 3-29)仔細比較驗證後可知，基隆港海域東防波堤堤頭測站之計算潮位與基隆港之迴報潮位具有潮位與潮時之些微偏差，至於計算流向與流速隨潮位之變化趨勢，總體上其與實測海流的之吻合度尚佳。惟實測海流流速略偏大，且實測海流之流向轉變略轉計算流向稍提前。

再引用海軍海洋測量局 1992 年 6 月出版之 0353A 號基隆港海圖之註釋(於基隆港港口至外木山漁港中間，位置在北緯 $25^{\circ}09'47''$ ；東經 $121^{\circ}44'18''$ ，水深 30 米處，潮流約在基隆港高(低)潮之前 1~2 小時轉向；潮流速度在高(低)潮之後約 1~2 小時最強)以進一步驗證圖 3-27-1 至圖 3-27-15 所示基隆港海域的全平面性計算海流，經比對驗證後可得，基隆港海圖之註釋與本計算海流流速與流向之變化特性是彼此相一致且相吻合的。因此，可確認本研究針對基隆港計算海域所計算的全平面性逐時海流流場，其準確度是頗高且是值得信賴的。鑑此，將基隆港鄰近港域一潮汐週期的詳細計算海流流場逐時列示如圖 3-30-1 至圖 3-30-14，俾提供相關應用之參考。其中，野柳岬、基隆嶼與和平島間及八斗子漁港的近海潮流流向與流速隨潮位的詳細逐時變化分別如圖 3-31-1 至圖 3-31-3 所示。基隆港港口及港內詳細的逐時計算海流流場隨潮位的變化分別如圖 3-32-1 至圖 3-32-15 所示。

表 3-1-1 東亞大範圍計算海域之邊界潮汐站編號與位置

Station Site	Station No.	Regional Grid Coordinate	Geo-Location		Notes
			Latitude-N	Longitude-E	
Xiachuan Dao	7063	(38.0,0.0)	21°37'	112°32'	T-8,1.0a,S11-1
Gaolan Dao	7066	(38.0,0.0)	21°54'	113°17'	T-8,1.0a,S11-1*
Pratas	7152	(76.0,0.0)	20°42'	116°43'	T-8,0.7a,S11-2
Nagabungan	5001	(123.0,0.0)	18°29'	120°34'	T-8,0.7a,S11-3
Port S. Vicente	5005	(150.0,1.0)	18°31'	122°08'	T-8,1.0a,E11-1
Port Bikobian	5016	(150.0,1.0)	17°16'	122°26'	T-8,0.8a,E11-1*
Hirara	7712	(150.0,84.0)	24°48'	125°17'	T-9,1.0a,E11-2*
Port Calibrated	1*0.5	(150.0,75.0)	25°30'	127°47'	T-9,0.5a,E11-2
Baten Ko	7717	(150.0,104.0)	26°11'	127°47'	T-9,1.0a,E11-3
Sukku	7719	(150.0,116.0)	26°33'	128°02'	T-9,1.0a,E2-1
Wadomani	7727	(150.0,126.0)	27°24'	128°40'	T-9,1.0a,E2-2
Kasari Wan	7732	(150.0,139.0)	28°27'	129°39'	T-9,1.0a,E3-1
Nakano Shima	7740	(150.0,158.0)	29°50'	129°51'	T-9,1.0a,E3-2
Isso	7742	(150.0,158.0)	30°28'	130°30'	T-9,1.0a,E3-2*
Kottoi	8073	(132.0,200.0)	34°19'	130°54'	T-9,1.0a,N-3
Sasuna Ko	7606	(118.0,200.0)	34°38'	129°24'	T-9,1.0a,N-2
Pusan Hang	7566	(113.0,200.0)	35°06'	129°02'	T-9,1.0a,N-1
Mazu Dao	7216	(79.7,71.5)	26°10'	119°55'	T-8,1.0a,W-0*

表 3-1-2 東亞大範圍計算海域邊界潮汐站位置與其主要分潮之調和分析常數

Station Site	Station No.	Geo-Location		M ₂		S ₂		K ₁		O ₁	
		Latitude-N	Longitude-E	Amp.	Phase	Amp.	Phase	Amp.	Phase	Amp.	Phase
Xiachuan Dao	7063	21°37'	112°32'	0.60	315	0.20	000	0.40	320	0.30	275
Gaolan Dao	7066	21°54'	113°17'	0.50	309	0.20	348	0.40	319	0.30	270
Pratas	7152	20°42'	116°43'	0.20	271	0.10	287	0.20	312	0.20	247
Nagabungan	5001	18°29'	120°34'	0.08	192	0.06	215	0.16	313	0.17	269
Port S. Vicente	5005	18°31'	122°08'	0.39	152	0.20	190	0.11	210	0.10	191
Port Bkobian	5016	17°16'	122°26'	0.47	166	0.22	199	0.13	200	0.10	190
Hirara	7712	24°48'	125°17'	0.48	210	0.20	241	0.19	227	0.16	200
Port Calibrated	1*0.5	25°30'	127°47'	0.53	200	0.21	233	0.21	219	0.16	191
Baten Ko	7717	26°11'	127°47'	0.57	190	0.22	224	0.22	212	0.17	182
Sukku	7719	26°33'	128°02'	0.56	186	0.26	216	0.20	203	0.16	178
Wadoman	7727	27°24'	128°40'	0.50	189	0.20	225	0.21	215	0.17	183
Kasari Wan	7732	28°27'	129°39'	0.61	202	0.23	240	0.20	208	0.16	181
Nakano Shima	7740	29°50'	129°51'	0.58	197	0.24	236	0.23	204	0.15	169
Isso	7742	30°28'	130°30'	0.64	199	0.27	233	0.25	204	0.19	178
Kottoi	8073	34°19'	130°54'	0.32	292	0.16	324	0.12	309	0.13	263
Sasuna Ko	7606	34°38'	129°24'	0.45	256	0.21	292	0.06	221	0.05	209
Pusan Hang	7566	35°06'	129°02'	0.40	236	0.19	273	0.04	143	0.02	109
Mazu Dao	7216	26°10'	119°55'	2.30	293	0.80	340	0.30	234	0.20	205

表3-2 東亞大範圍計算海域用以校驗模式計算結果之驗潮站與其網格之座標位置

站名	代號	編號	座標	備註
蘇澳	SA	7196	(106.0,63.0)	A:G;Y:G
基隆	KL	7198	(101.3,69.5)	A:L;Y:G
淡水	TS	7173	(98.0,68.1)	A:S;Y:G
新竹	HC	****	(95.0,62.8)	A:S;Y:G
台中	TC	7176a	(94.0,55.3)	A:G;Y:G
澎湖	PH	7169	(87.0,43.0)	A:G;Y:G
吉貝	CP	7171	(87.0,45.0)	A:G;Y:G
將軍	CC	7168	(94.6,42.0)	A:G;Y:G
安平	AP	7182	(97.0,40.5)	A:L;Y:G
高雄	KS	7183	(99.8,37.0)	A:G;Y:G
蟬廣嘴	SK	7187	(105.5,32.7)	A:S;Y:G
富崗	FK	7191	(108.0,42.5)	A:S;Y:G
花蓮	HL	****	(106.5,56.6)	A:G;Y:G
鎮海	ZH	7257	(77.95,117.67)	A:G;Y:G
三門灣海門	SMW	7236	(83,103.3)	A:G;Y:G
台州列島	TZD	7235	(86,103)	A:G;Y:G
東引	DY	7216a	(84.0,76.0)	A:G;Y:G
馬祖	MZ	7216	(79.7,71.5)	A:S;Y:G
烏坵	WC	7205	(80.9,57.7)	A:G;Y:G
廈門	SM	7163	(74.0,47.0)	A:S;Y:G
汕頭	ST	7155	(65.5,27.7)	A:F;Y:F

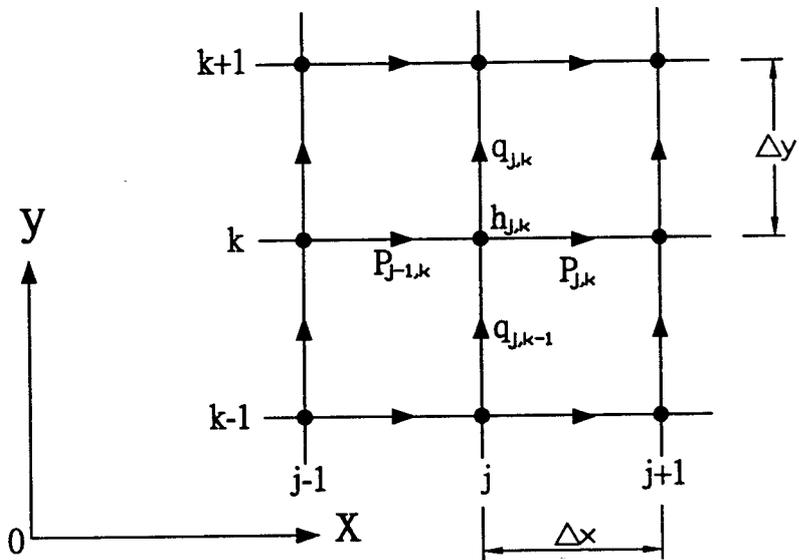


圖 3-1 MIKE21-HD 計算模式使用交替方向隱式有限差分法之空間網格分割

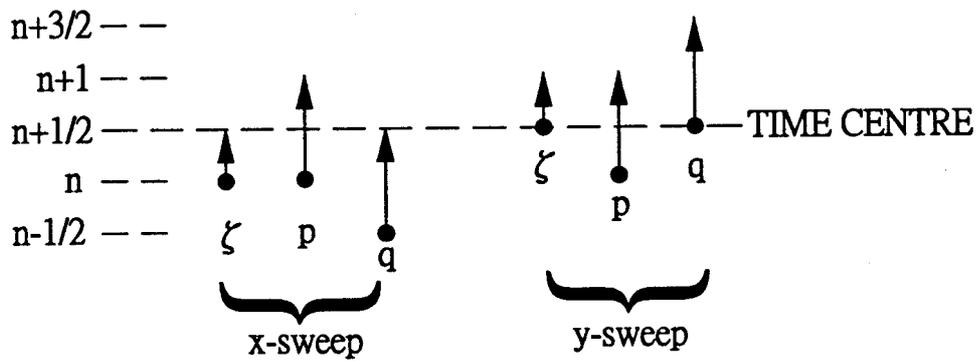


圖 3-2 MIKE21-HD 計算模式使用交替方向隱式有限差分法之時階分割

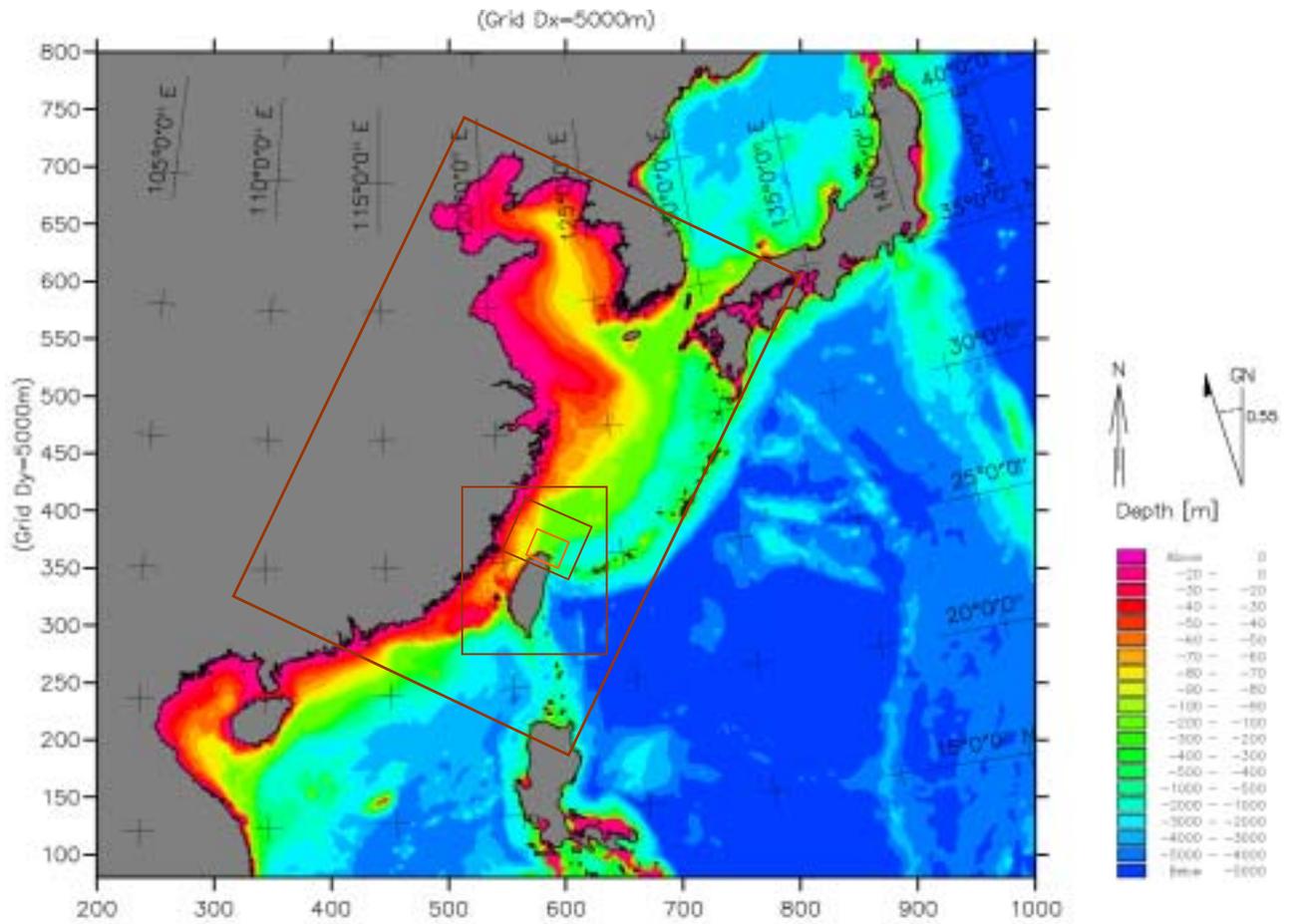


圖 3-3 東亞大範圍計算海域與巢狀網格之配置

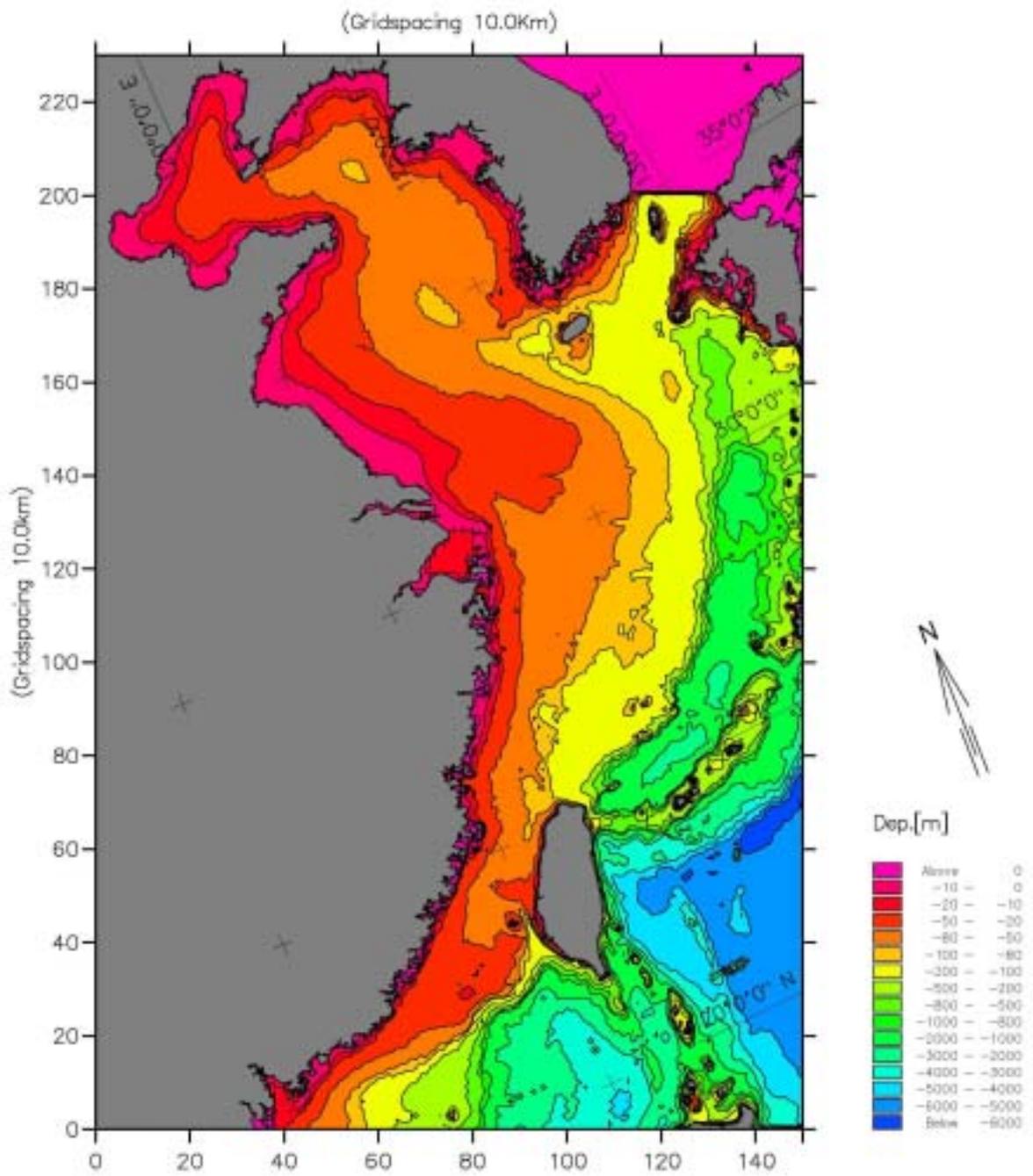


圖 3-4 東亞大範圍計算海域與其邊界及地形水深

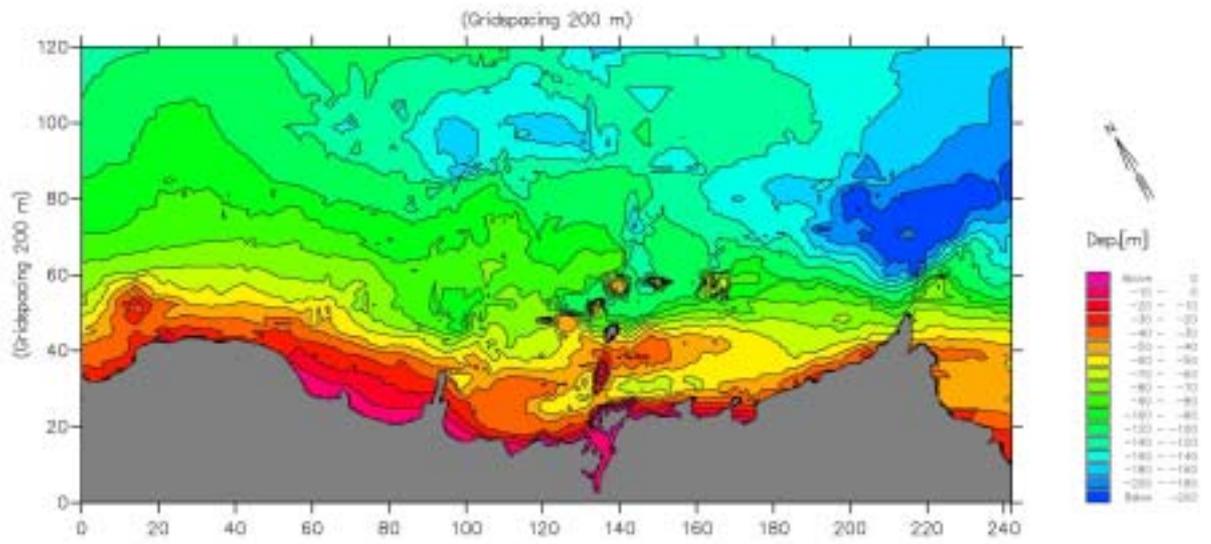


圖 3-6-1 富基至澳底計算海域與其邊界及地形水深

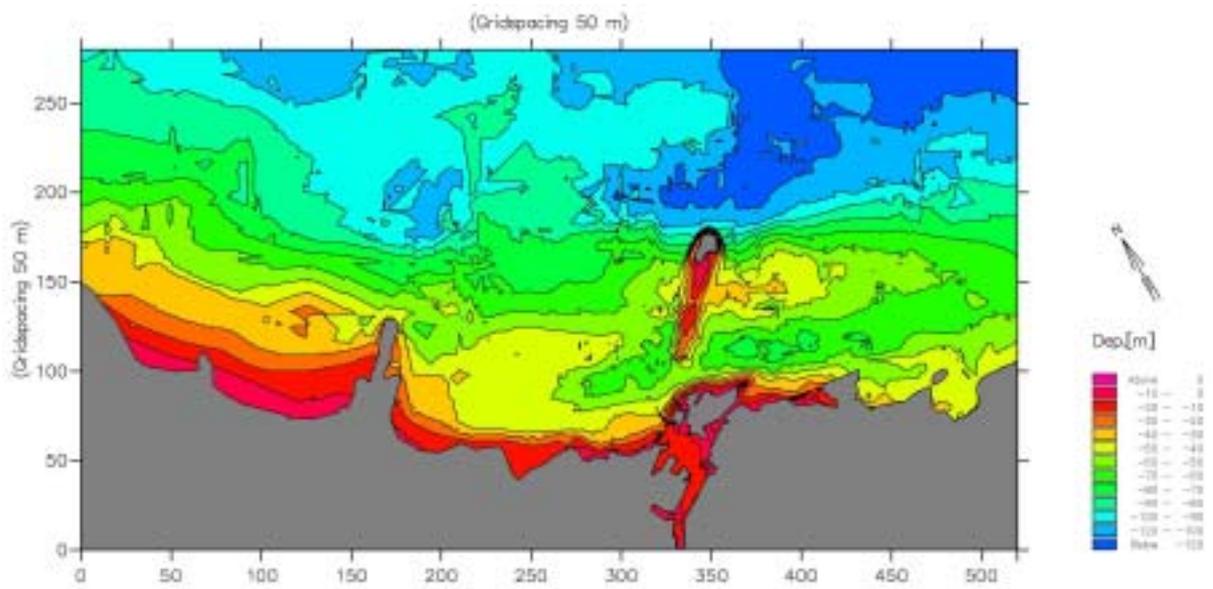


圖 3-6-2 基隆港計算海域與其邊界及地形水深

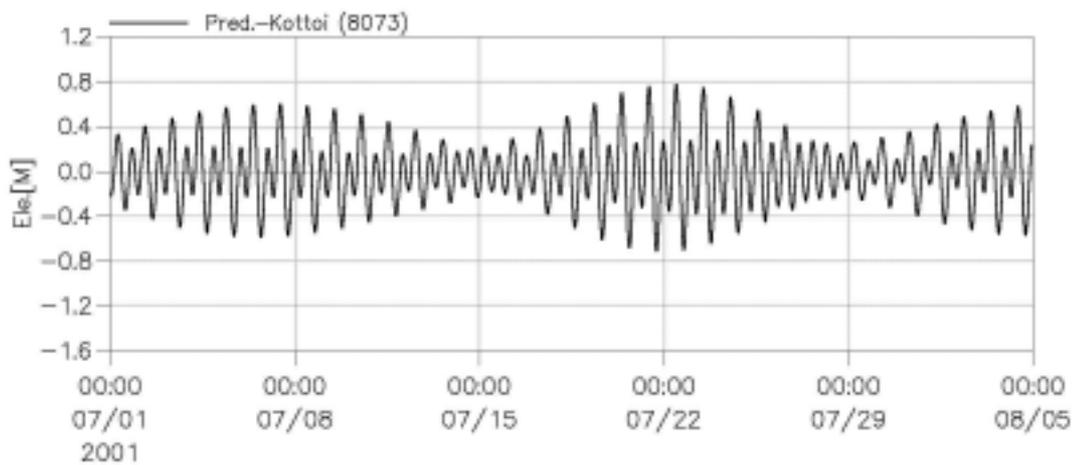
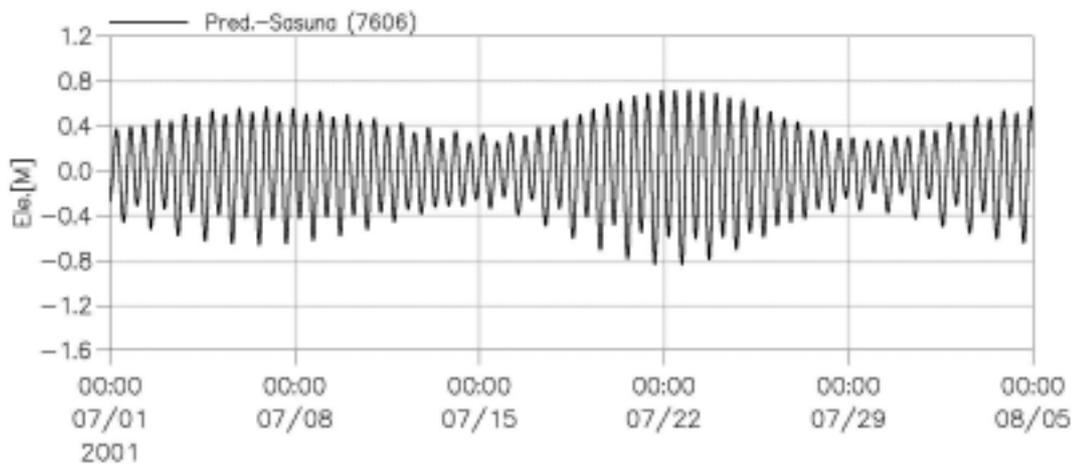
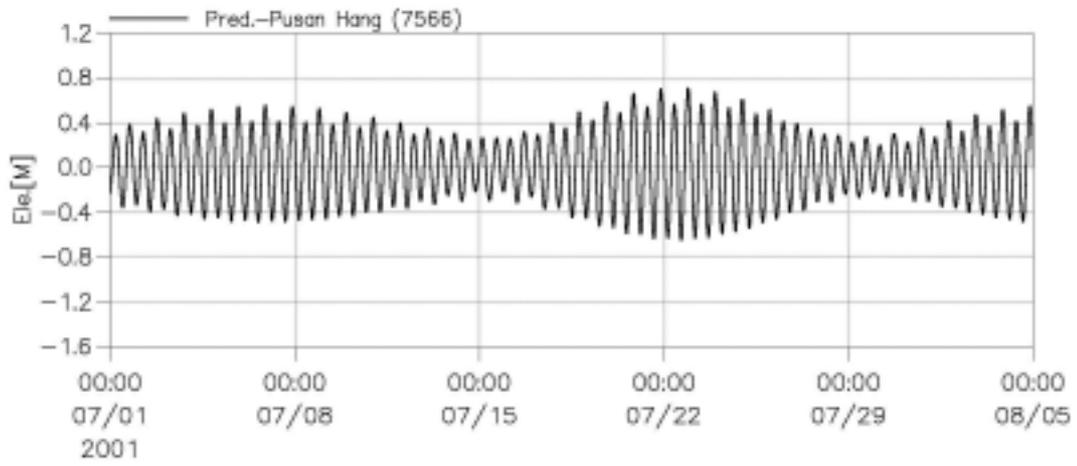


圖 3-7-1 東亞大範圍計算海域北邊界潮位站之預報逐時潮位

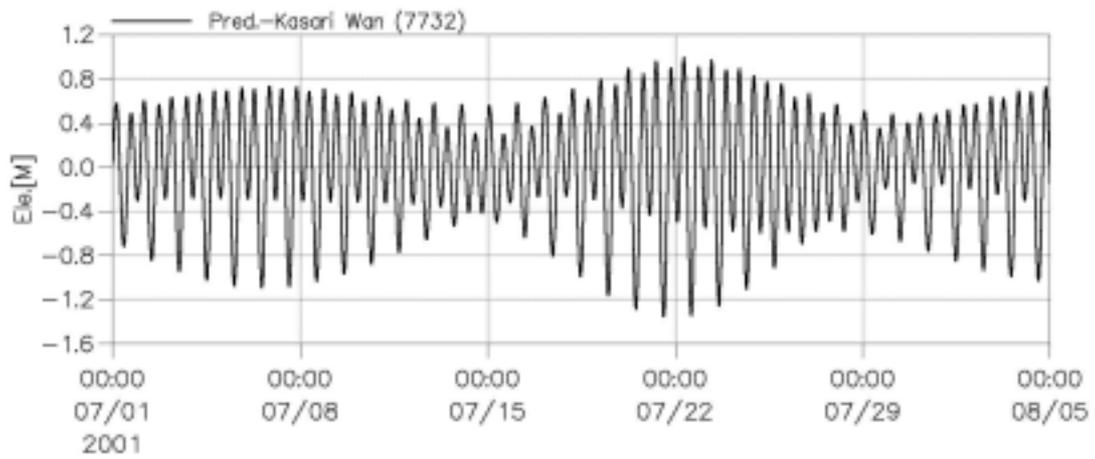
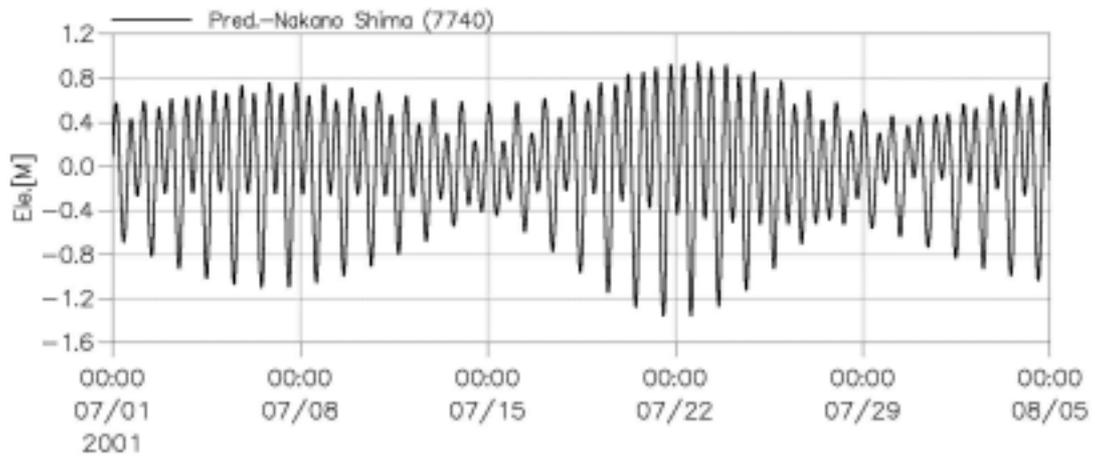


圖 3-7-2 東亞大範圍計算海域東邊界北段潮位站之預報逐時潮位

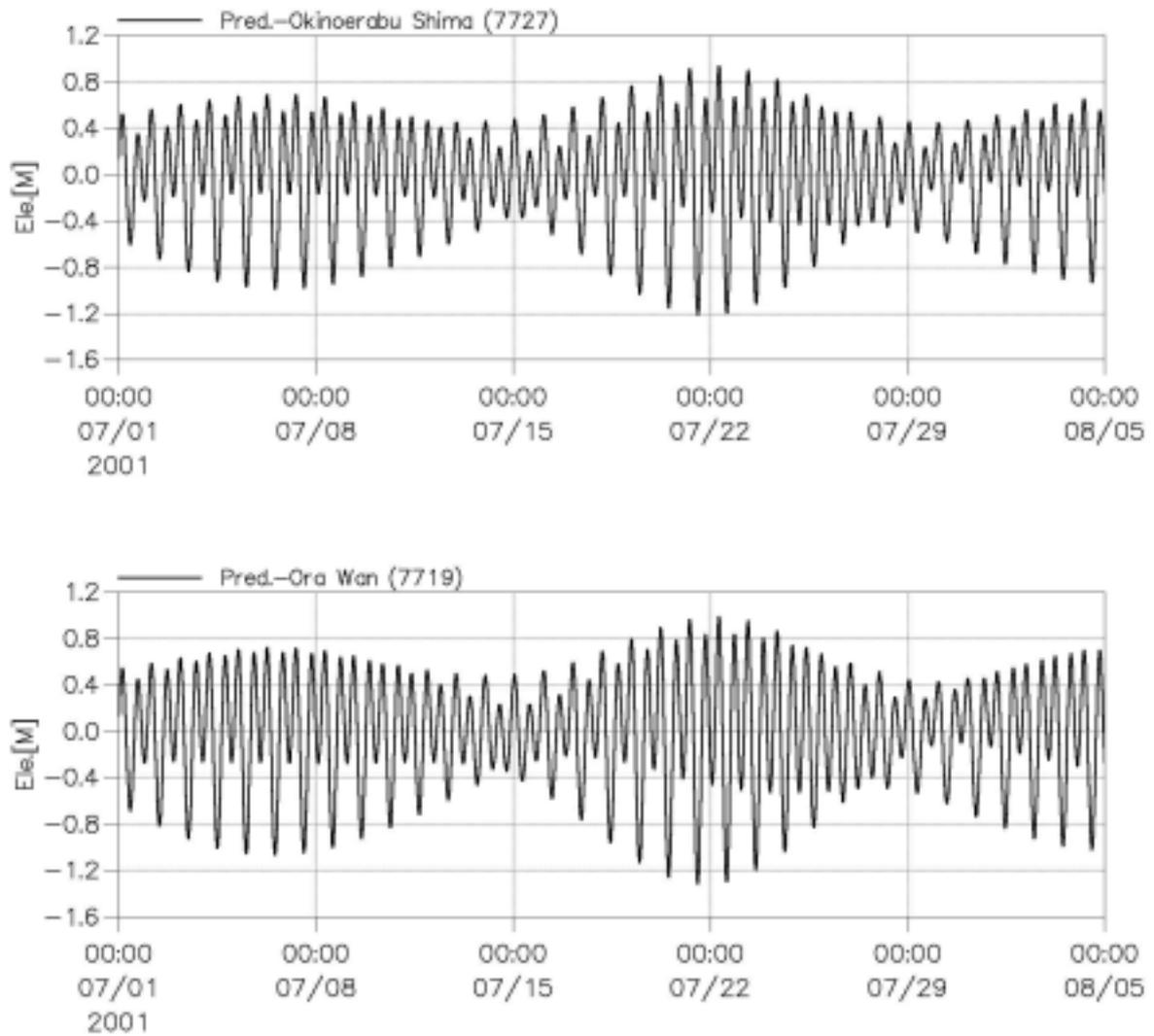


圖 3-7-3 東亞大範圍計算海域東邊界中段潮位站之預報逐時潮位

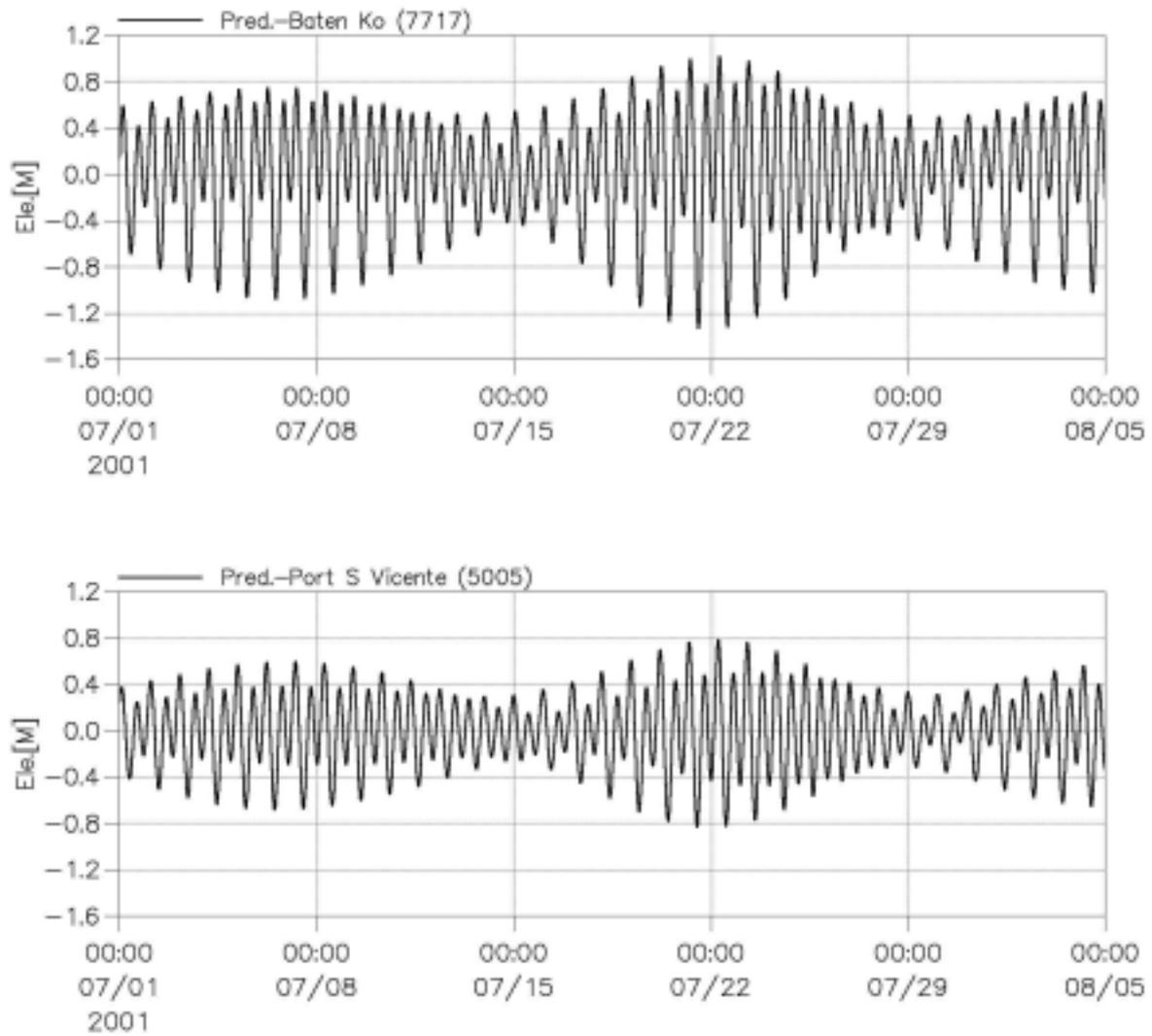


圖 3-7-4 東亞大範圍計算海域東邊界南段潮位站之預報逐時潮位

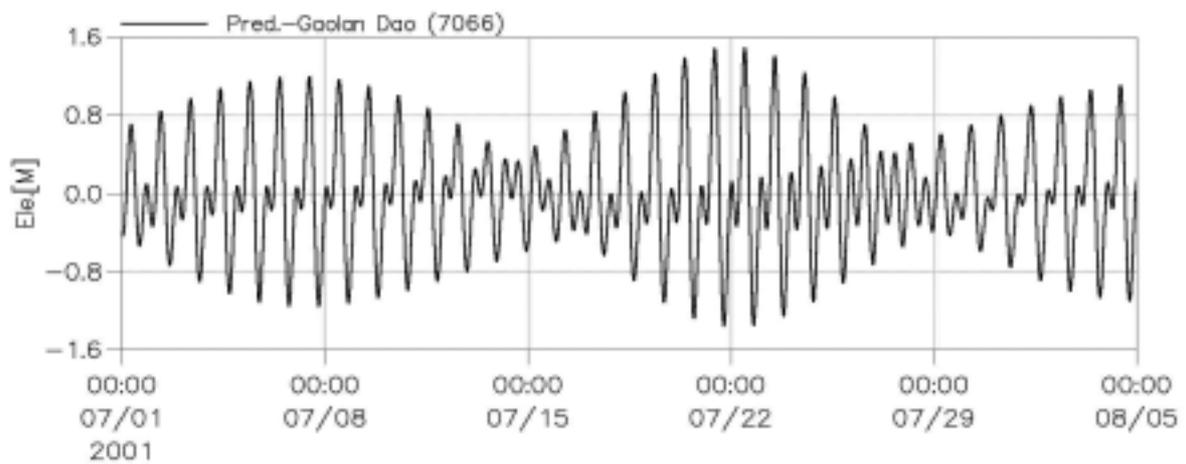
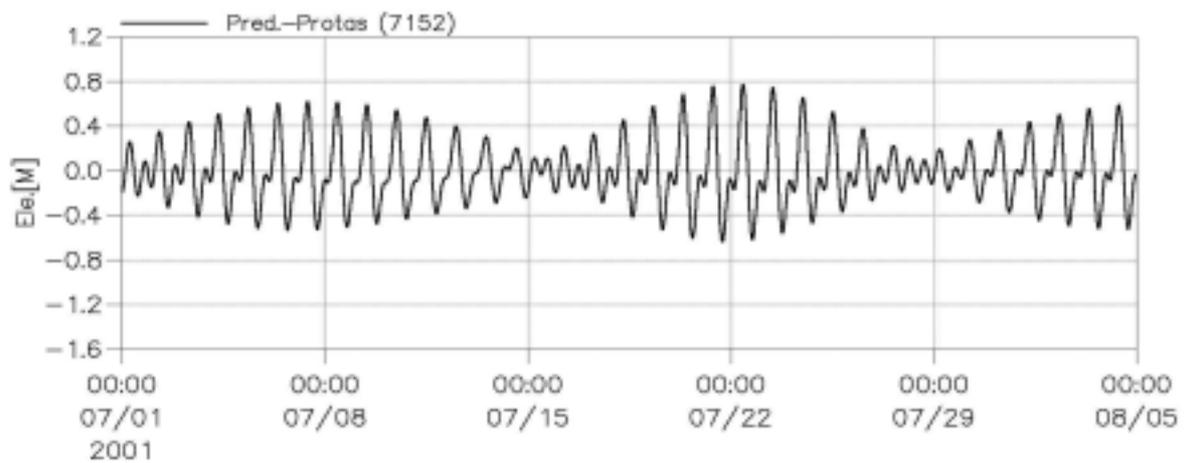
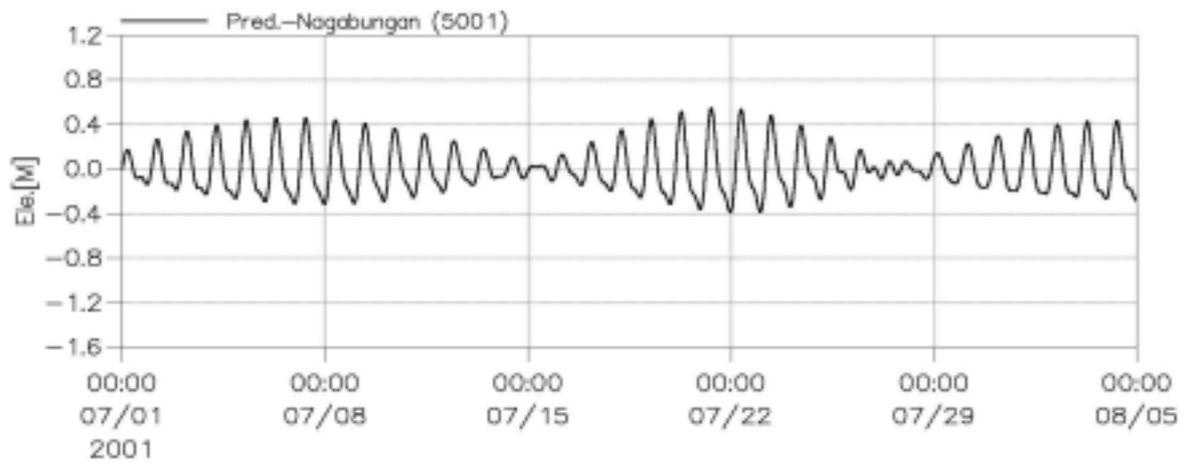


圖 3-7-5 東亞大範圍計算海域南邊界潮位站之預報逐時潮位

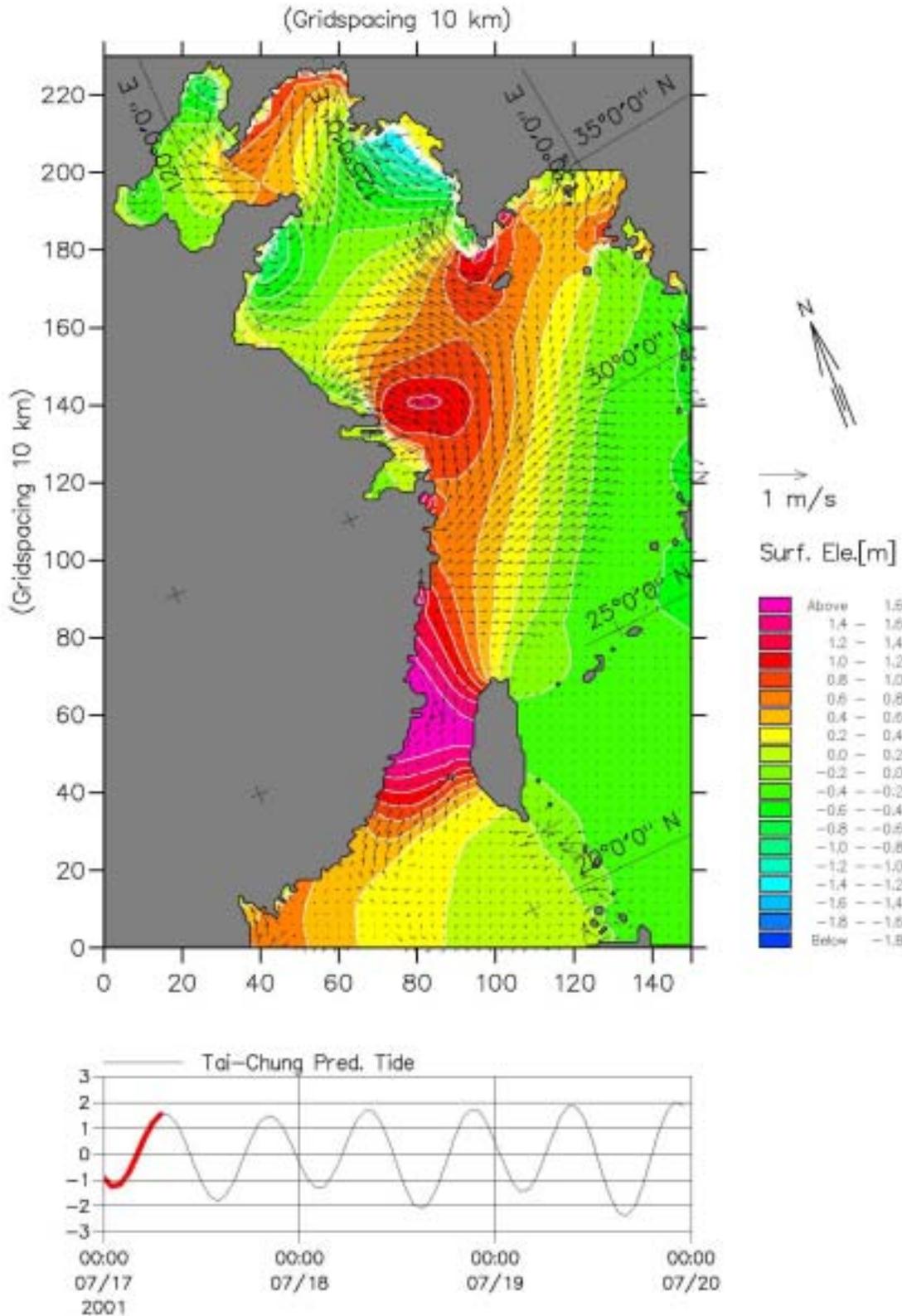


圖 3-8-1 東亞大範圍計算海域之全平面性等潮位線與潮流分佈
參考潮位:台中港,2001/07/17 07:00

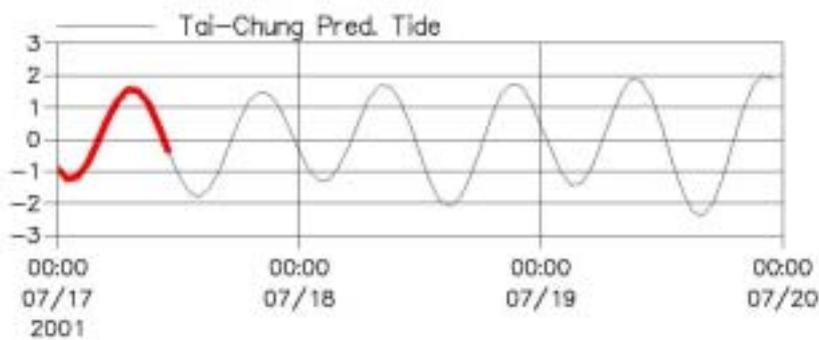
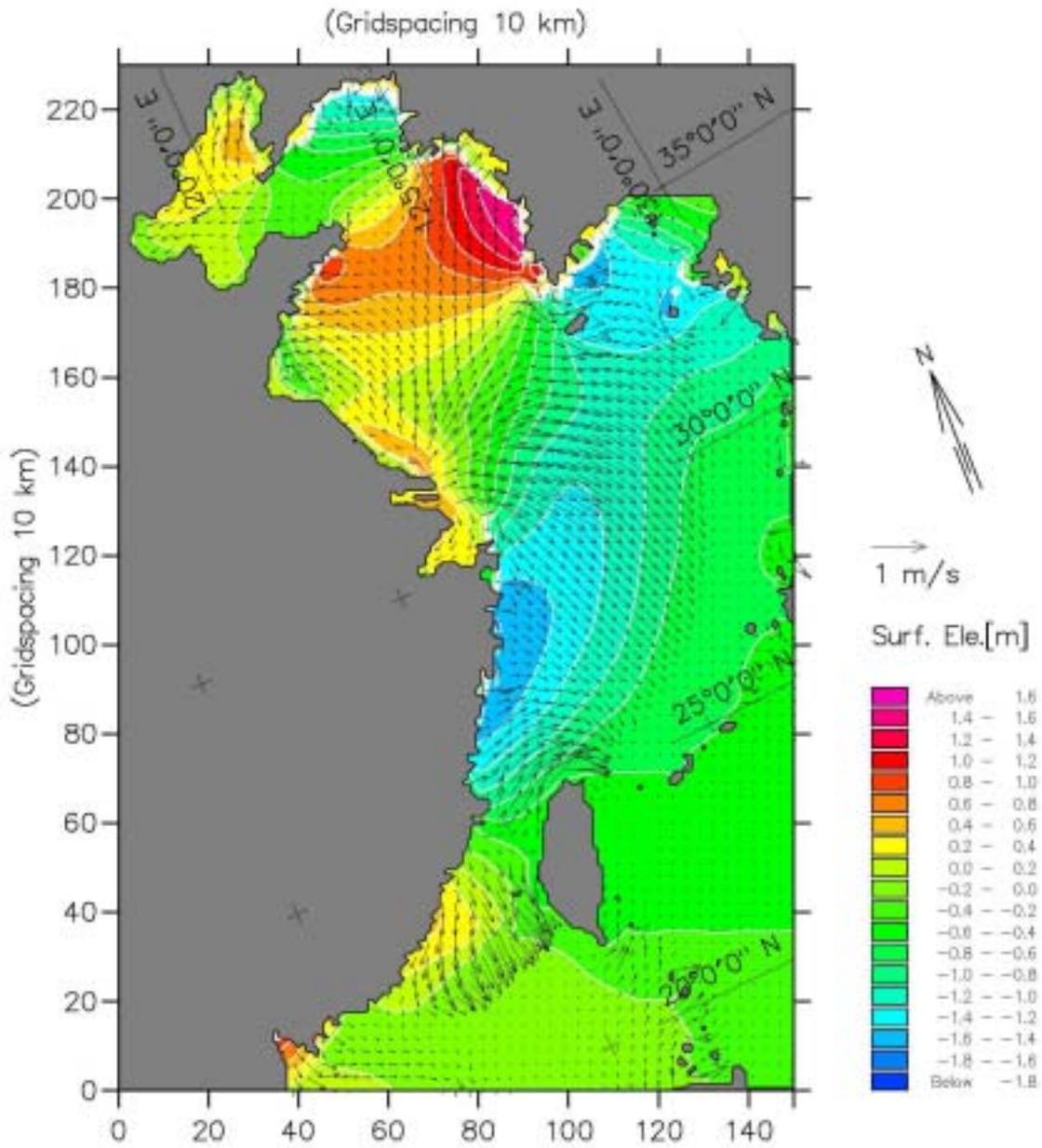


圖 3-8-2 東亞大範圍計算海域之全平面性等潮位線與潮流分佈
參考潮位:台中港,2001/07/17 11:00

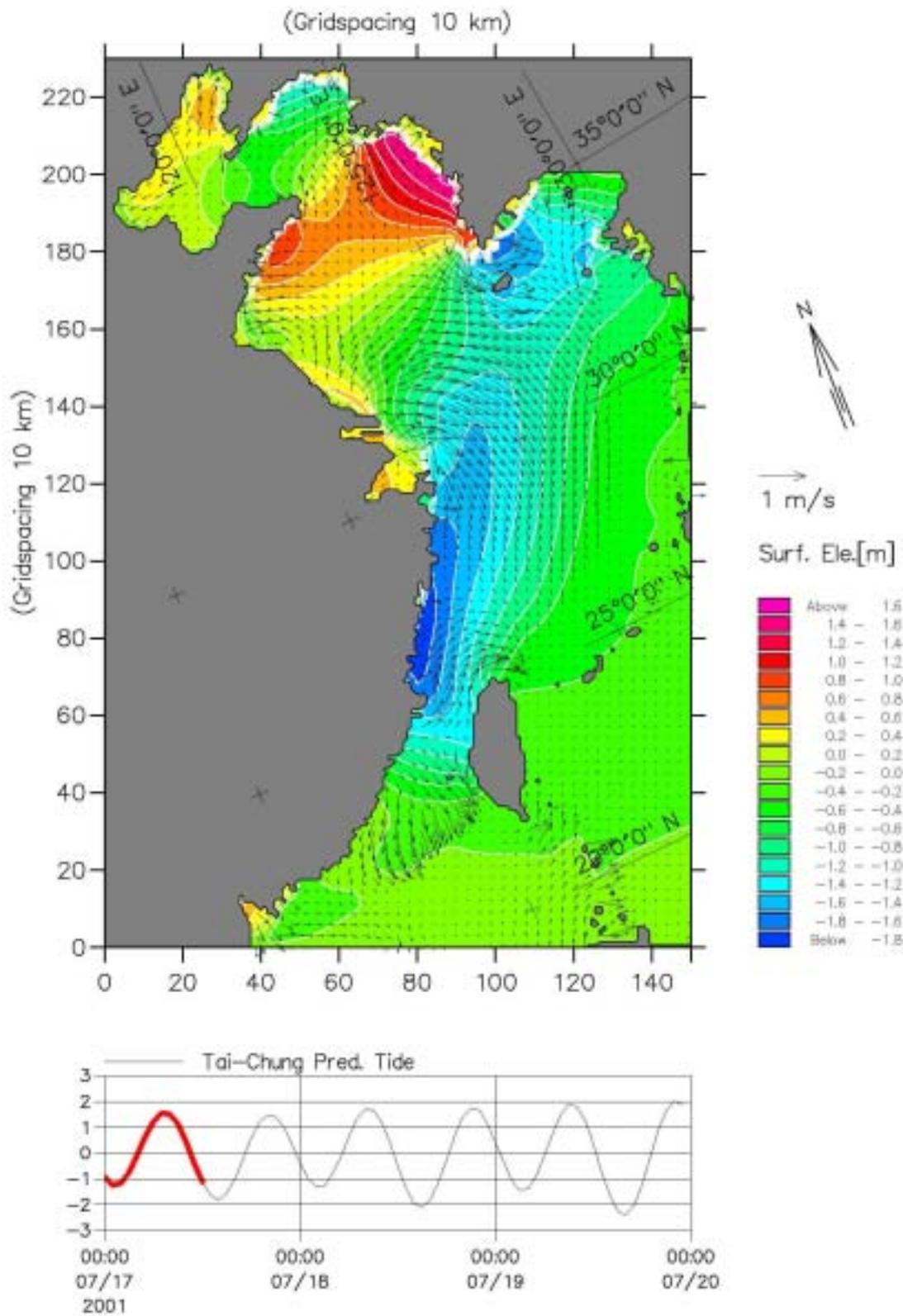


圖 3-8-3 東亞大範圍計算海域之全平面性等潮位線與潮流分佈
參考潮位:台中港,2001/07/17 12:00

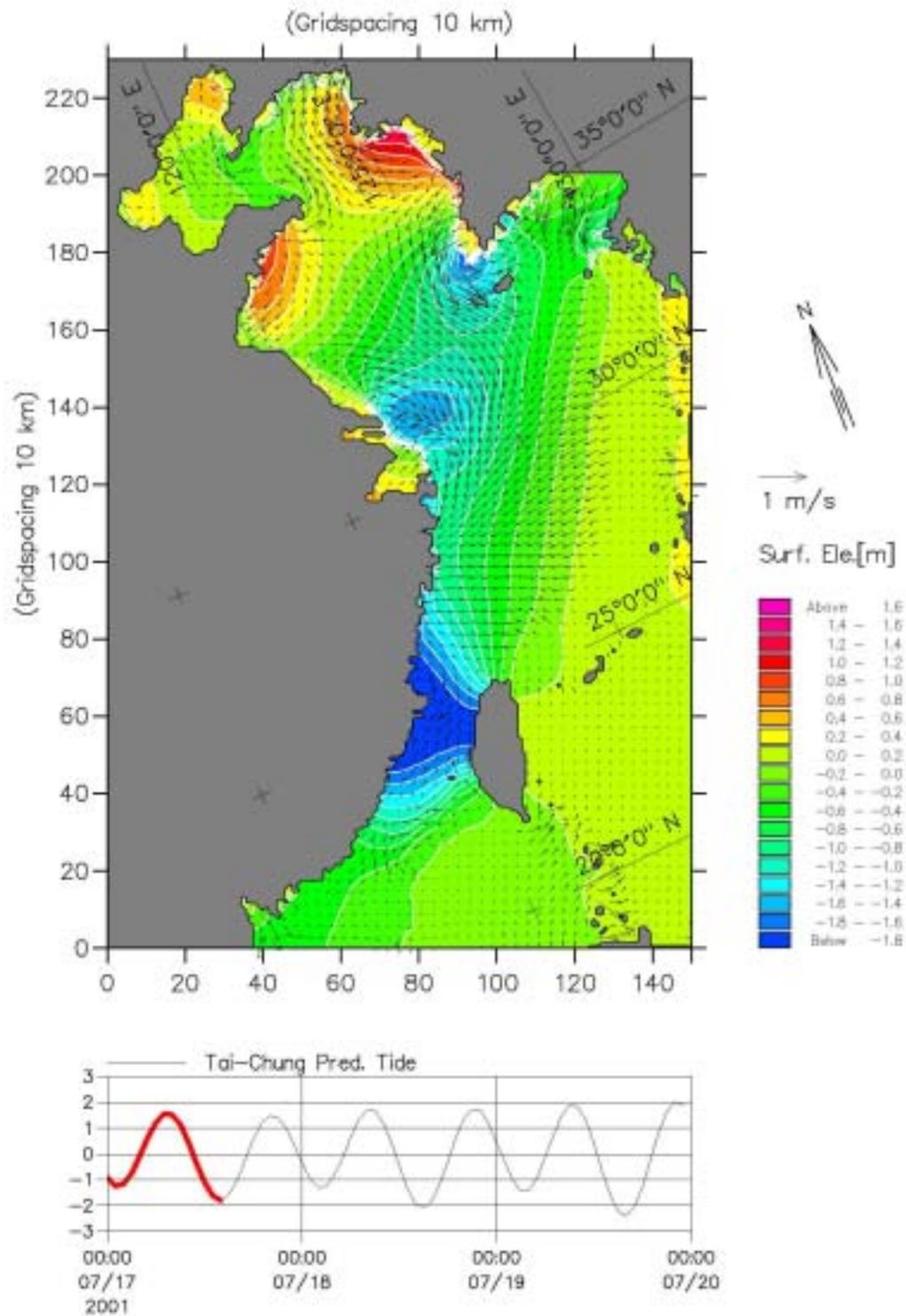


圖 3-8-4 東亞大範圍計算海域之全平面性等潮位線與潮流分佈
參考潮位:台中港,2001/07/17 14:00

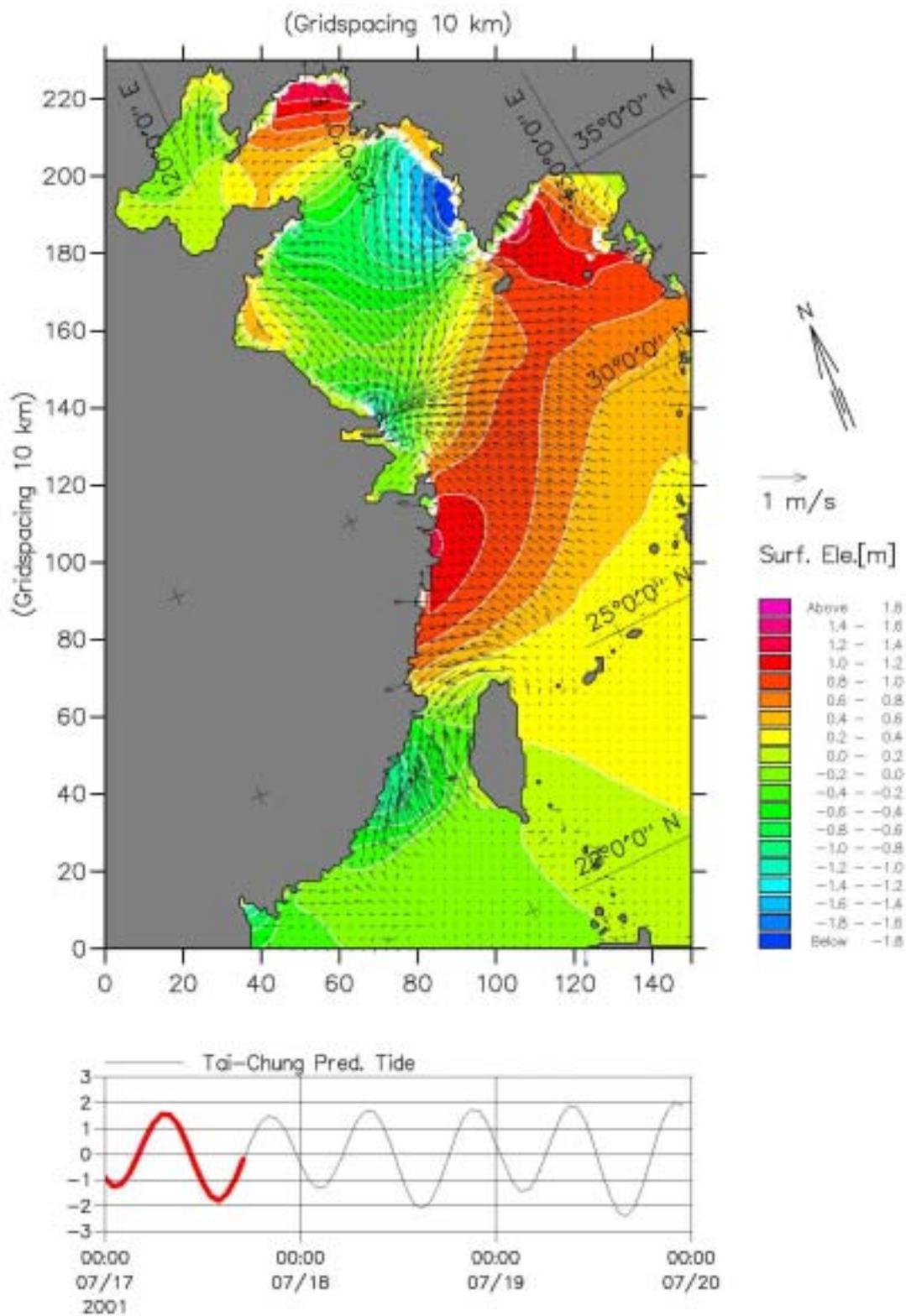


圖 3-8-5 東亞大範圍計算海域之全平面性等潮位線與潮流分佈
 參考潮位:台中港,2001/07/17 17:000

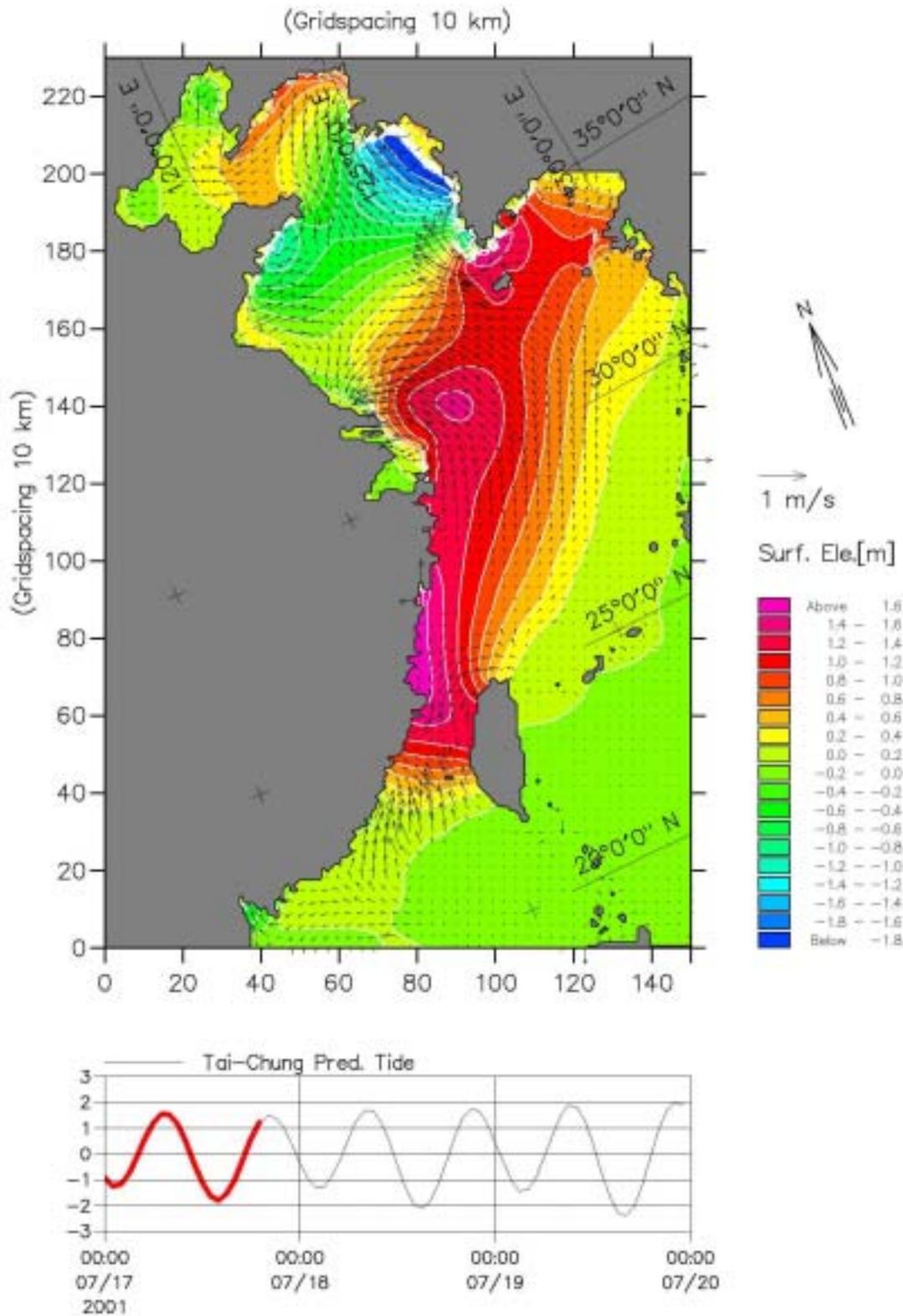


圖 3-8-6 東亞大範圍計算海域之全平面性等潮位線與潮流分佈
參考潮位:台中港,2001/07/17 19:00

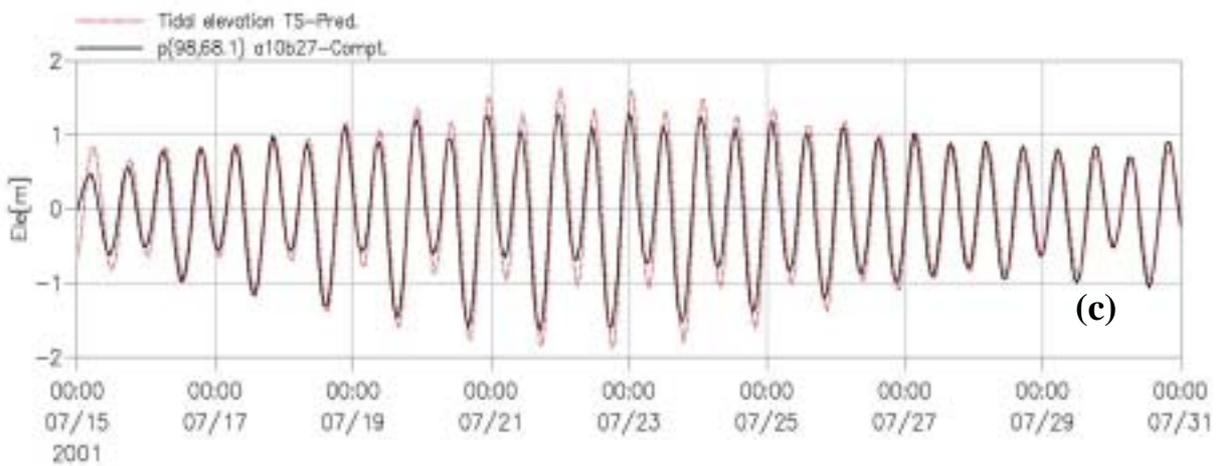
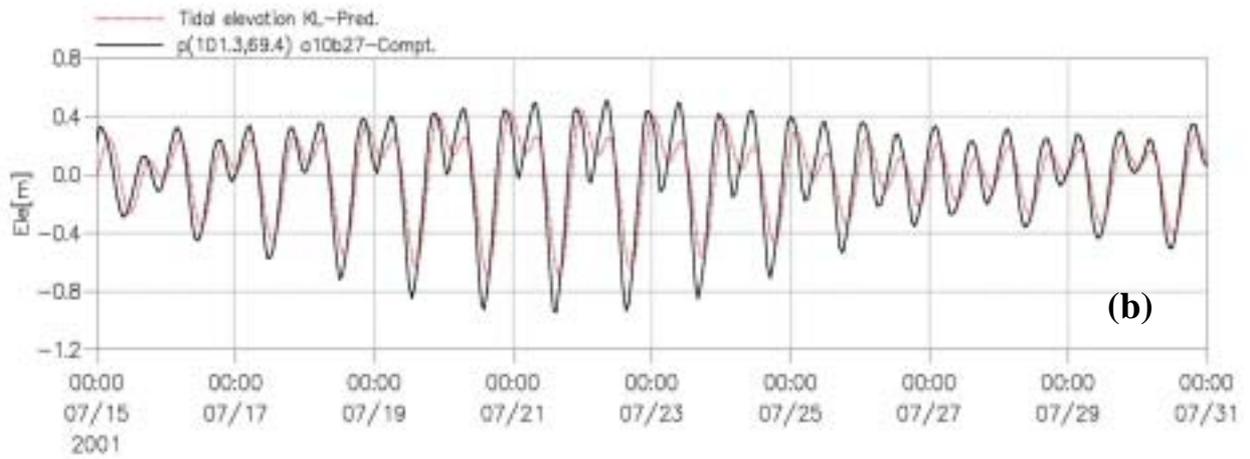
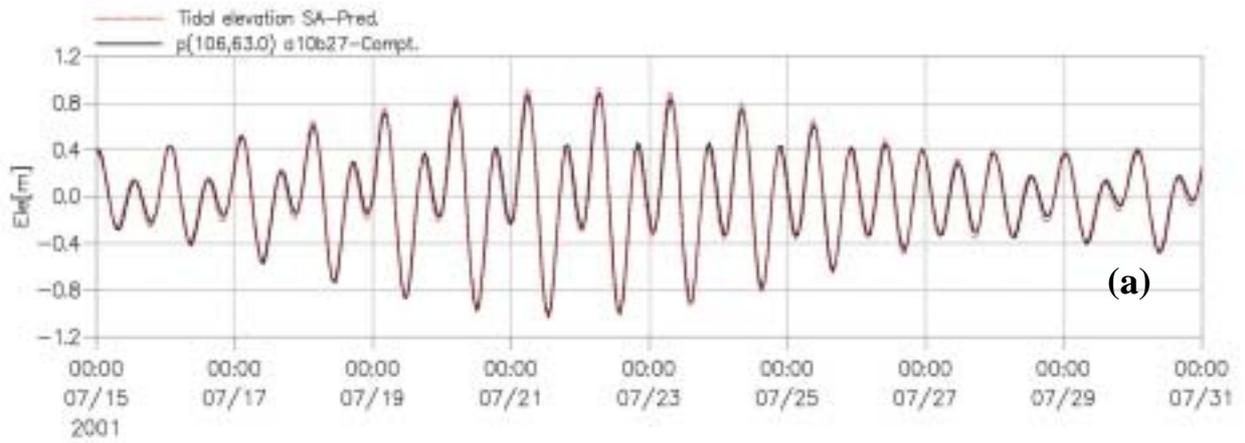


圖 3-9 東亞大範圍計算海域台灣環島驗潮站之計算逐時潮位與預報潮位之驗證比較：蘇澳港(a)；基隆港(b)；淡水港(c)

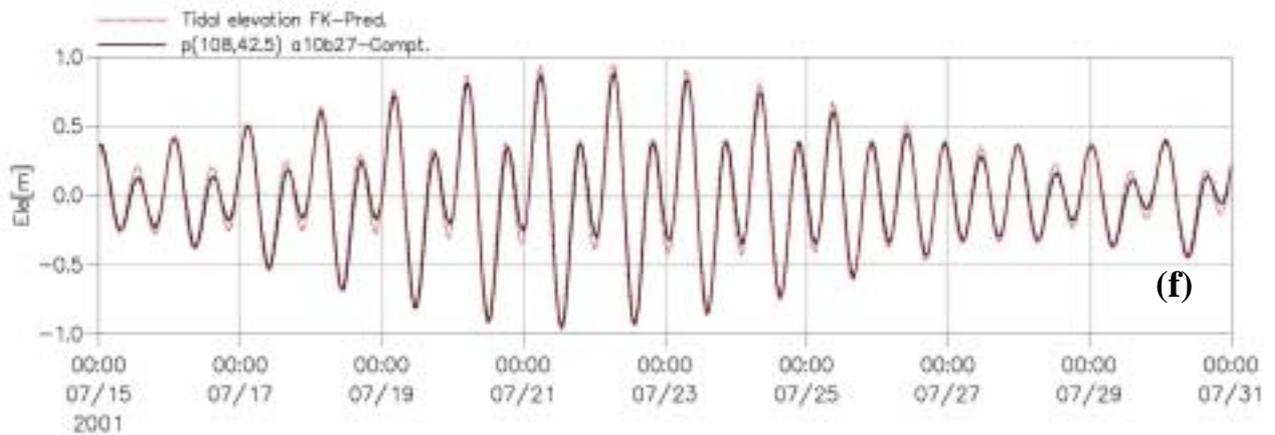
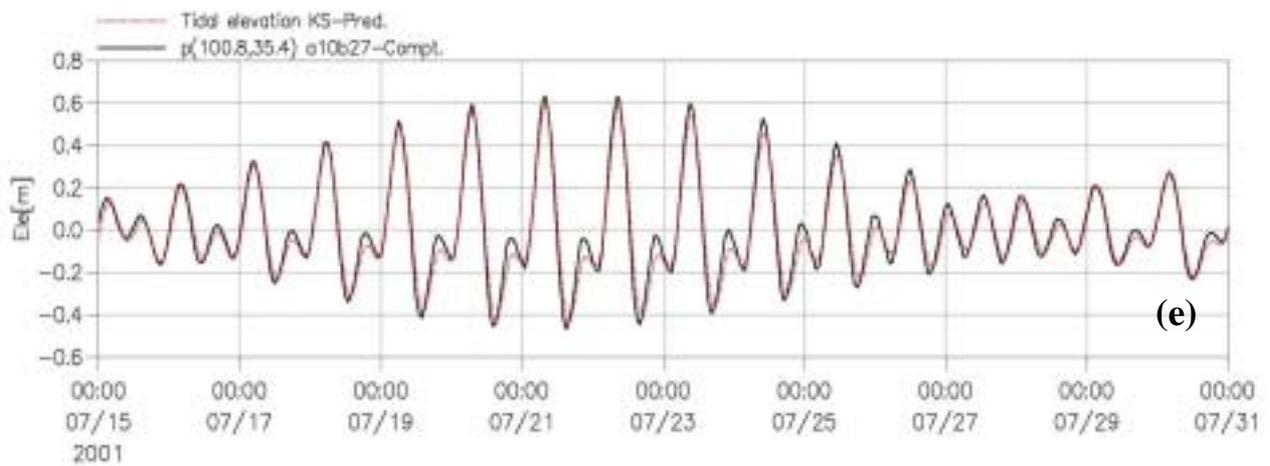
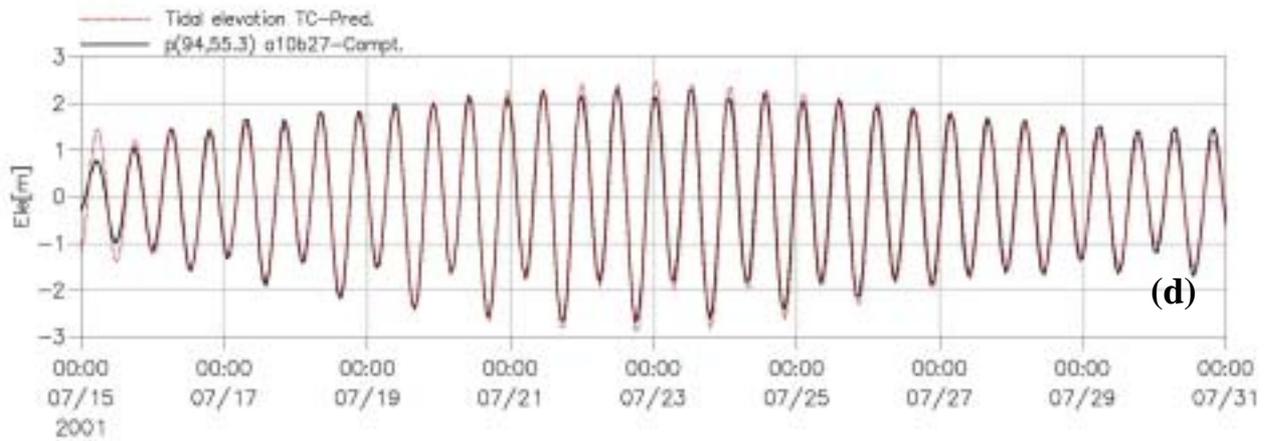


圖 3-9(續) 東亞大範圍計算海域台灣環島驗潮站之計算逐時潮位與預報潮位之驗證比較：台中港(d)；高雄港(e)；富岡(f)

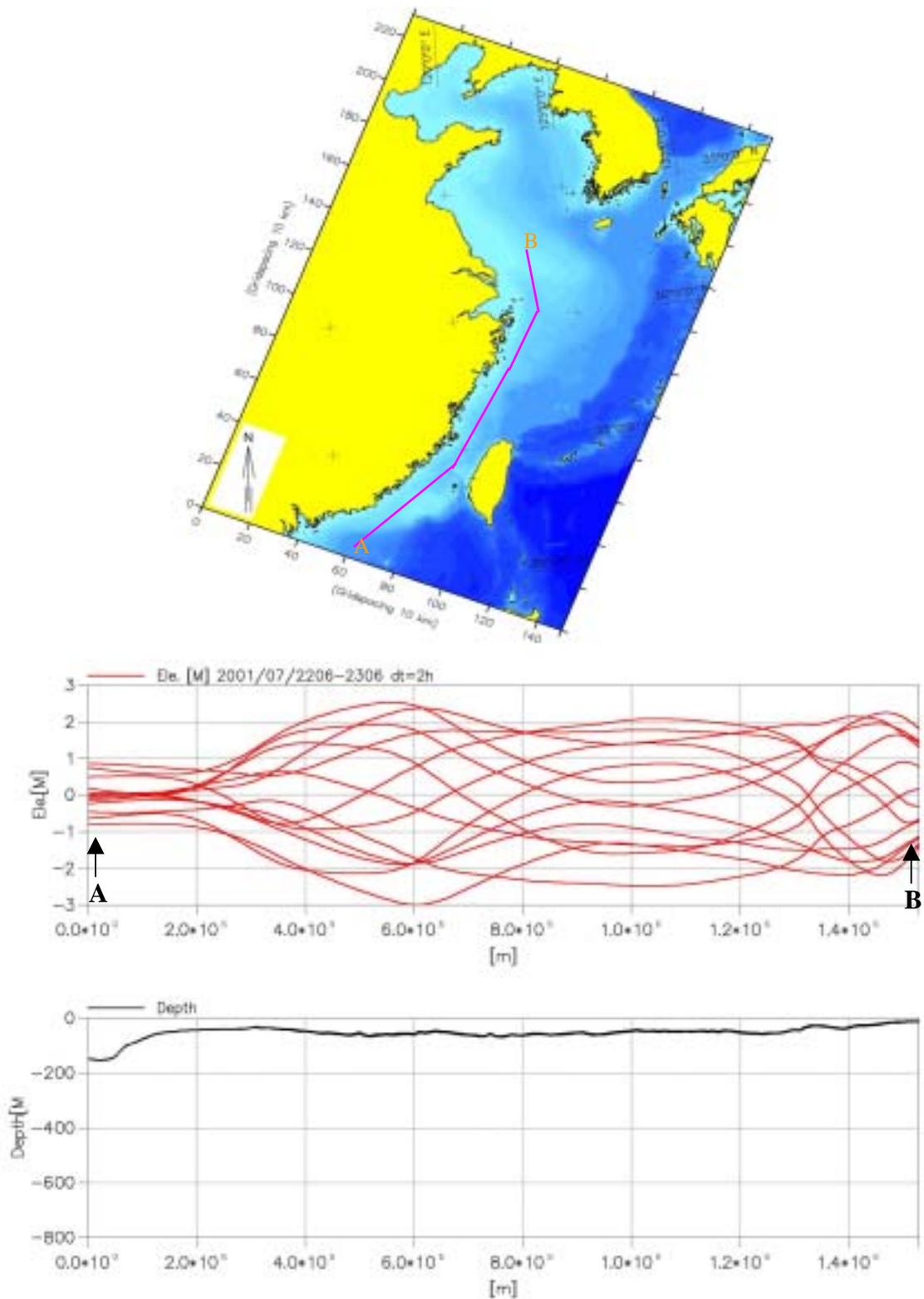


圖 3-10 中國近岸香港至長江口剖面(上)之逐時潮位變化(甲)及地形水深(下)
(期間:2001/07/22 06:00-2001/07/23 06:00 時距:2 小時)

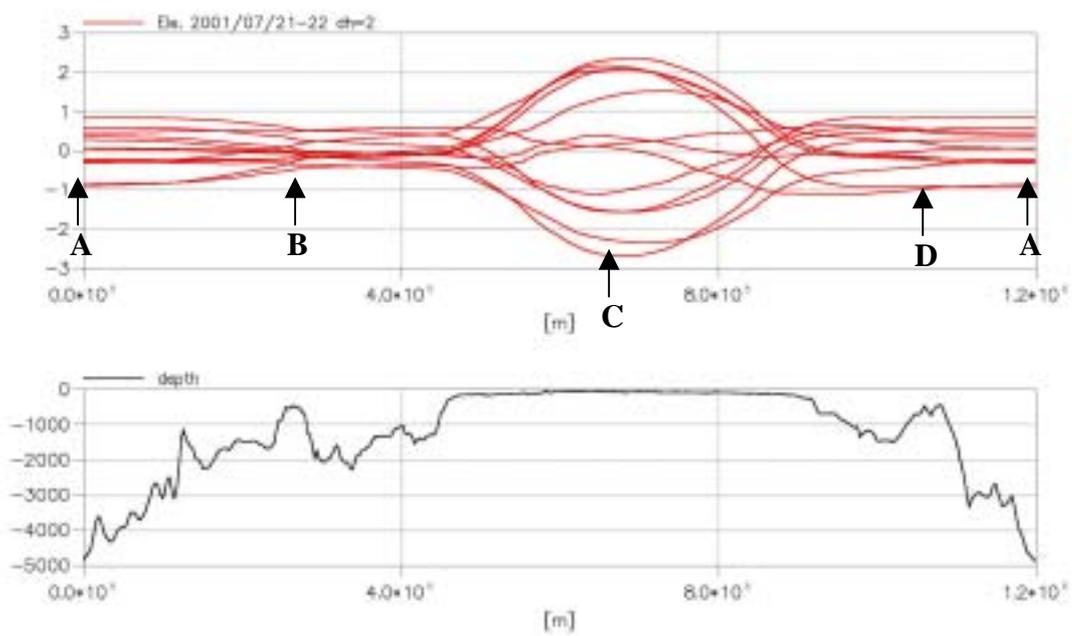
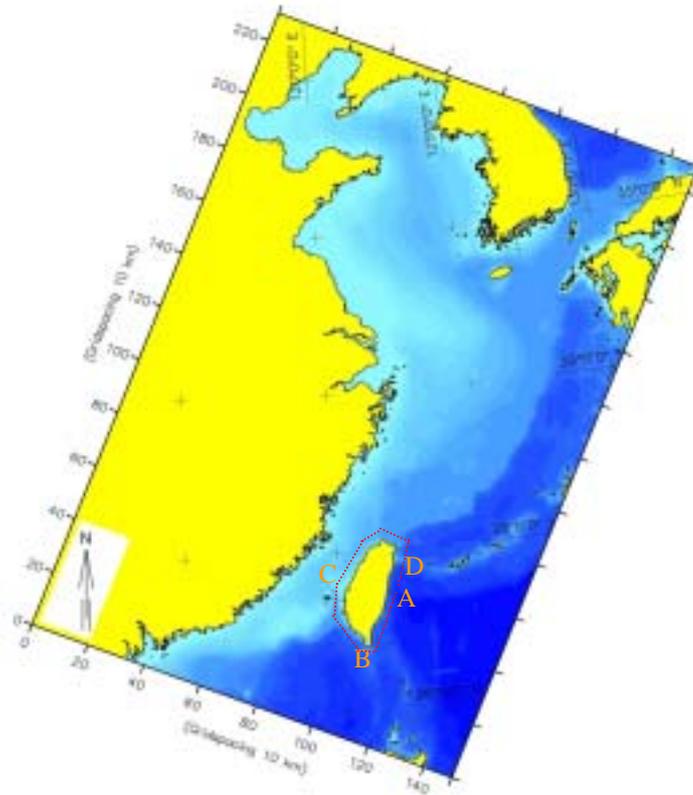


圖 3-11 台灣環島近岸剖面(上)之逐時潮位變化(中)及地形水深(下)
(期間:2001/07/22 06:00-2001/07/23 06:00 時距:2 小時)

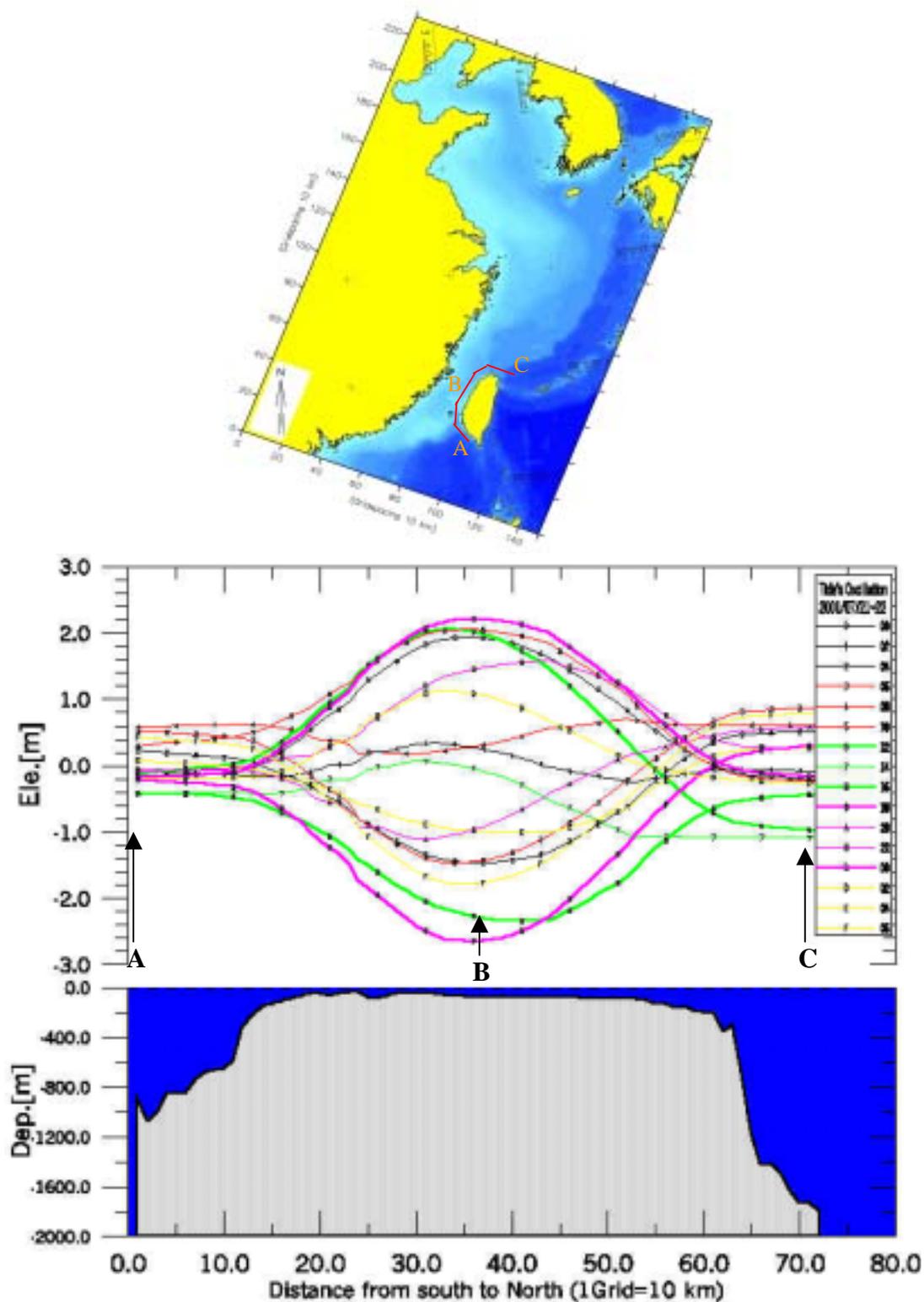


圖 3-12 台灣西部近岸墾丁至三貂角剖面(上)之逐時潮位變化(中)及地形水深(下)
(期間:2001/07/22 00:00-2001/07/23 00:00 時距:2 小時)

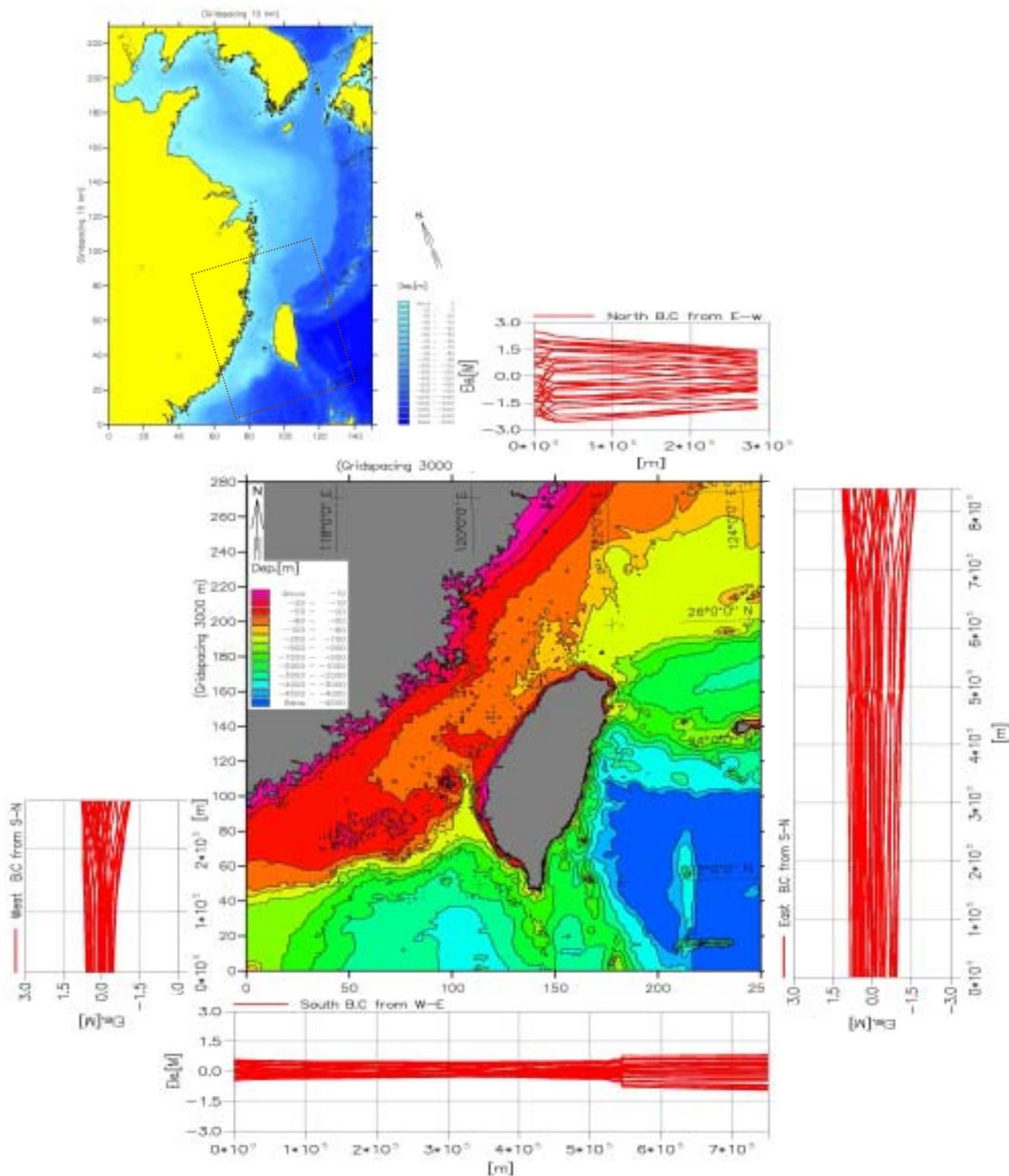


圖 3-13 台灣環島開放海域邊界上的入射潮波振盪形態

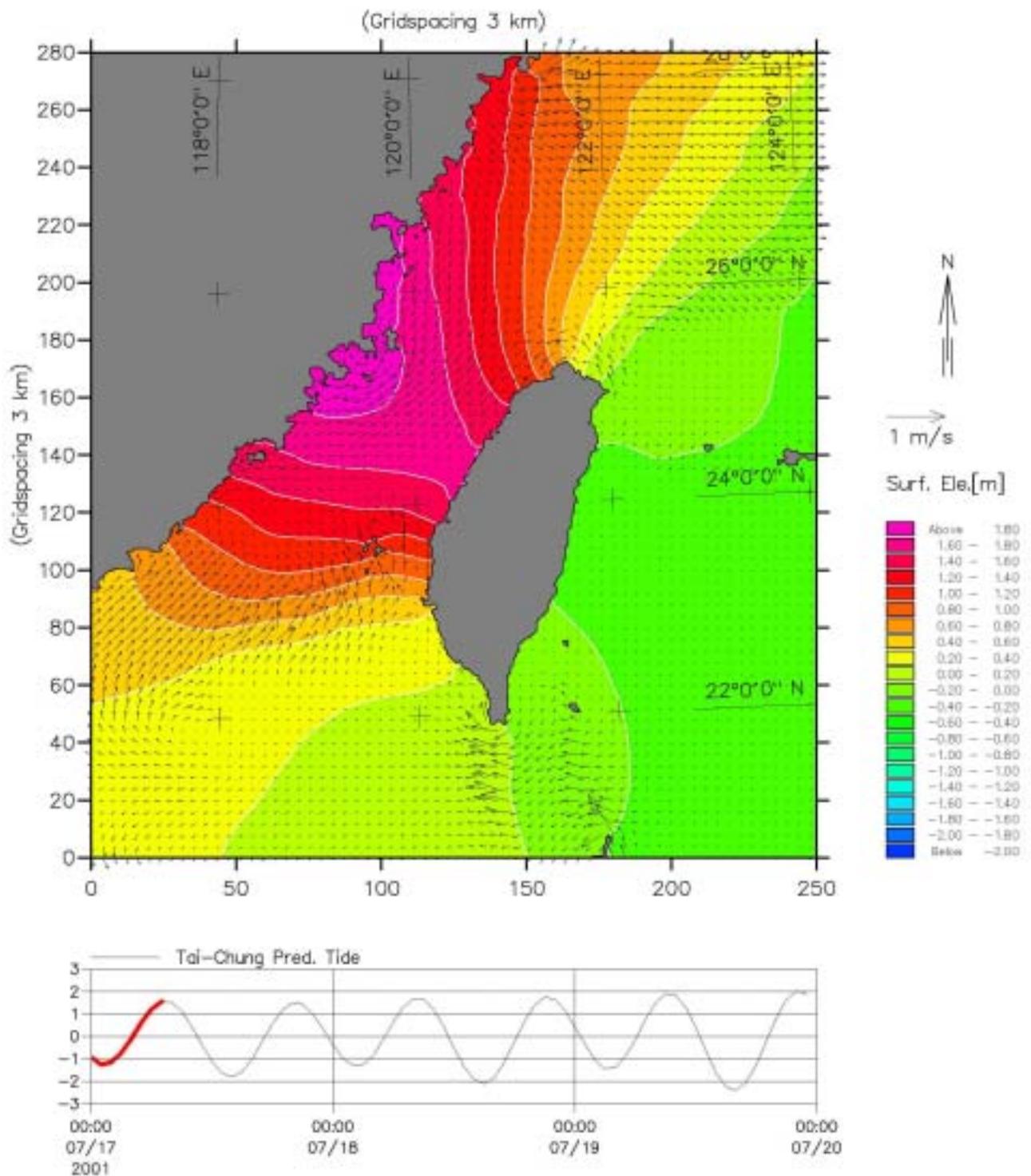


圖 3-14-1 台灣環島計算海域之全平面性等潮位線與潮流分佈
參考潮位:台中港, 2001/07/17 07:00

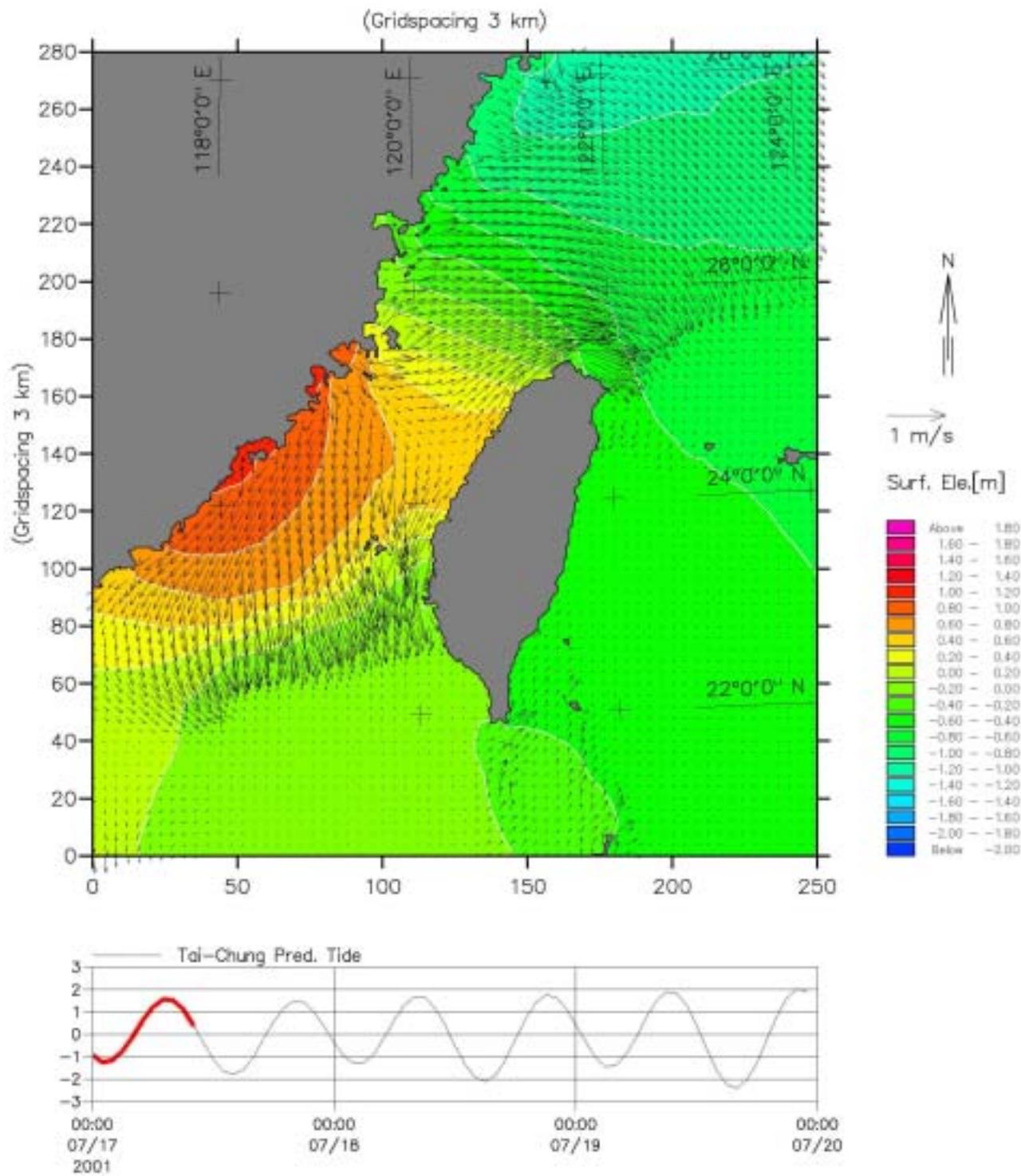


圖 3-14-2 台灣環島計算海域之全平面性等潮位線與潮流分佈
參考潮位:台中港, 2001/07/17 10:00

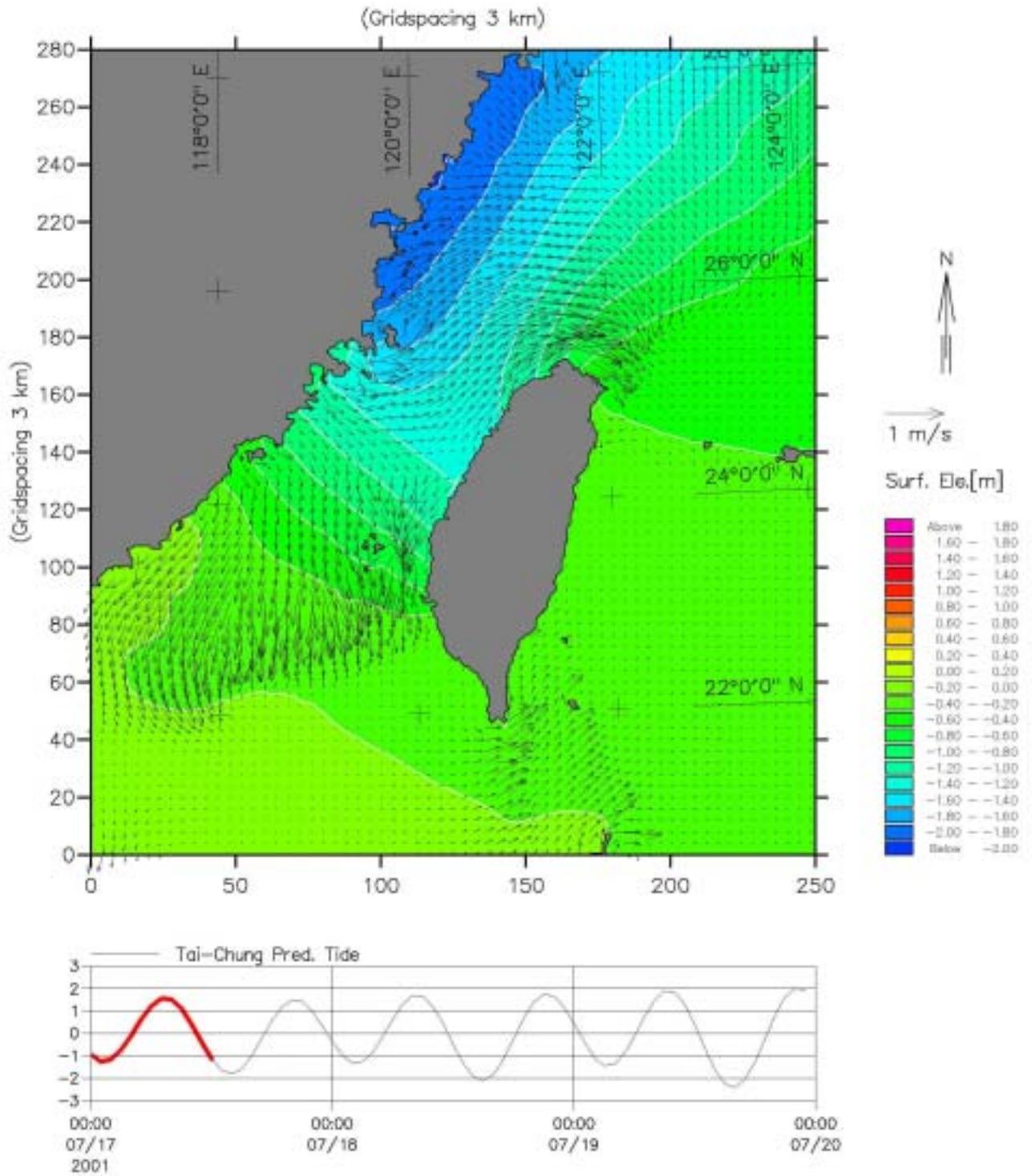


圖 3-14-3 台灣環島計算海域之全平面性等潮位線與潮流分佈
參考潮位:台中港, 2001/07/17 12:00

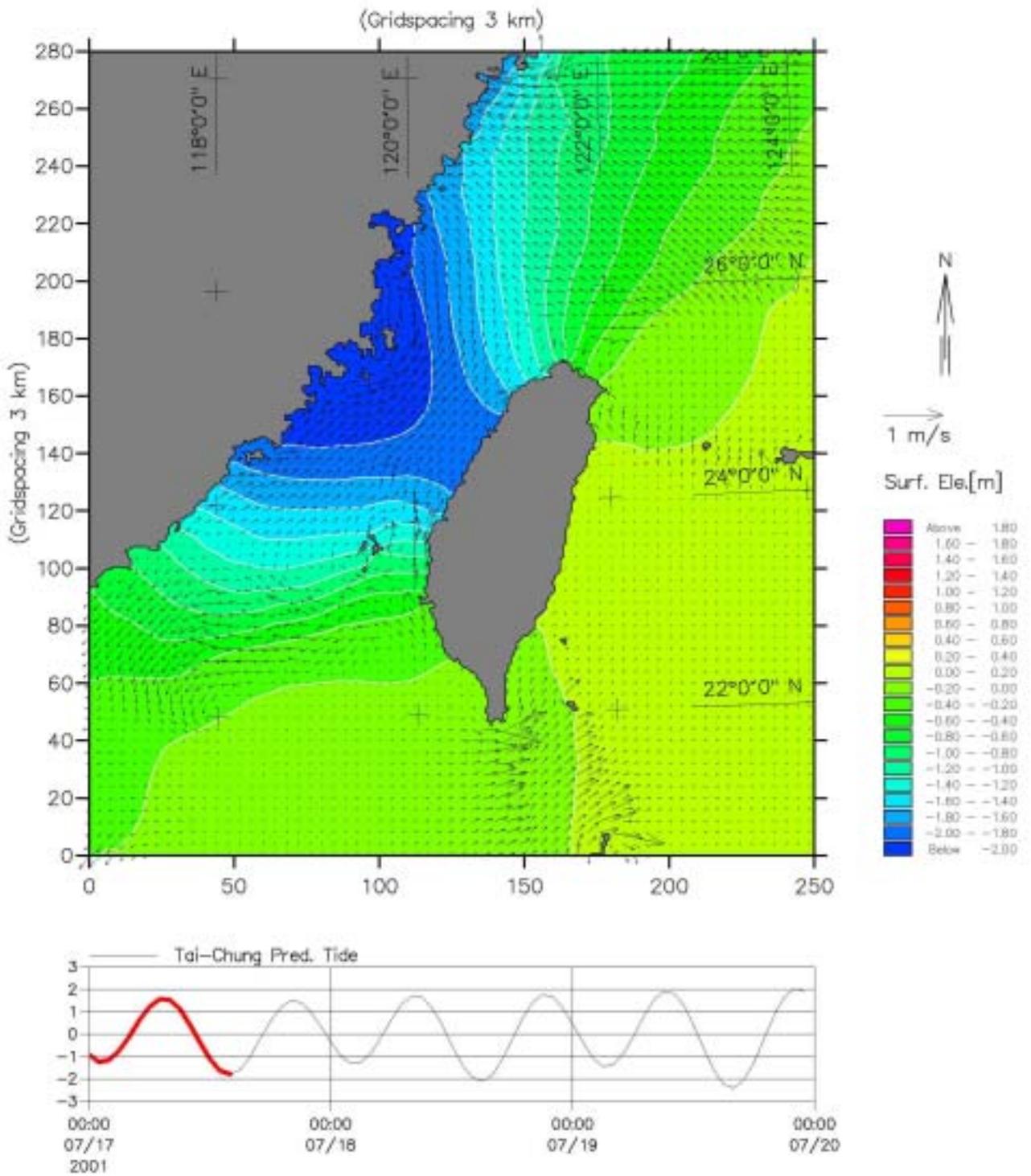


圖 3-14-4 台灣環島計算海域之全平面性等潮位線與潮流分佈
參考潮位:台中港, 2001/07/17 14:00

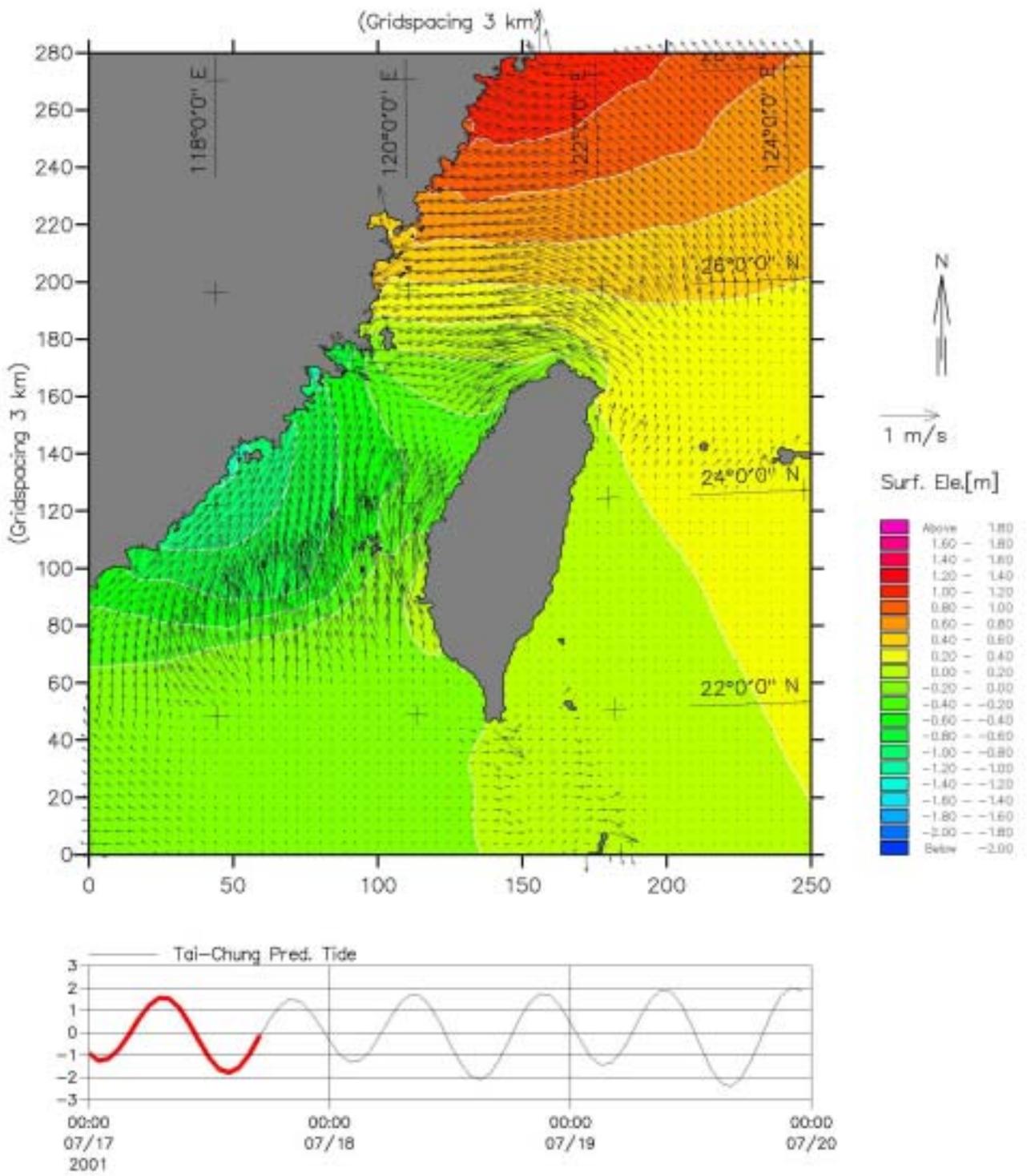


圖 3-14-5 台灣環島計算海域之全平面性等潮位線與潮流分佈
 參考潮位:台中港, 2001/07/17 17:00

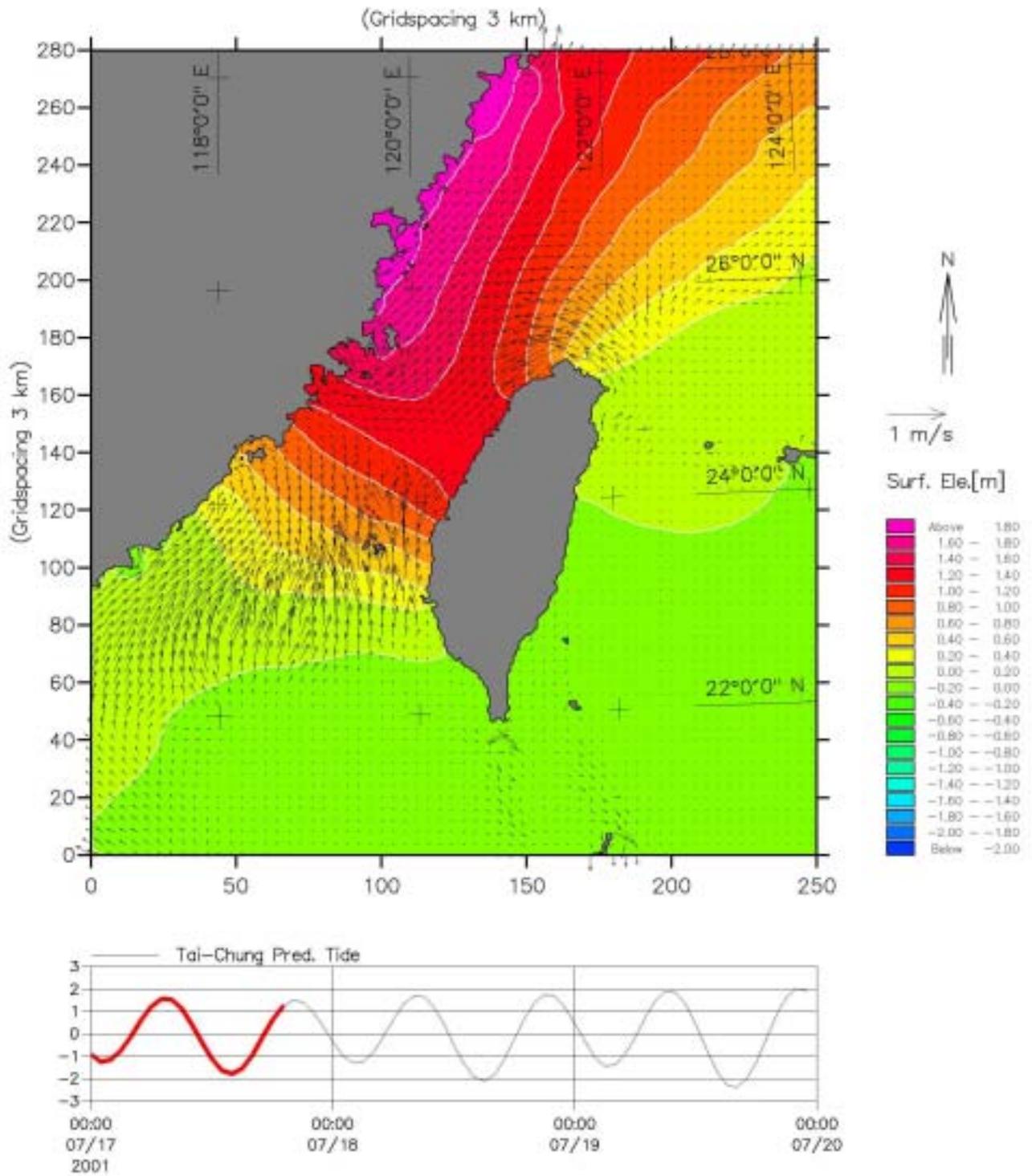


圖 3-14-6 台灣環島計算海域之全平面性等潮位線與潮流分佈
參考潮位:台中港, 2001/07/17 19:00

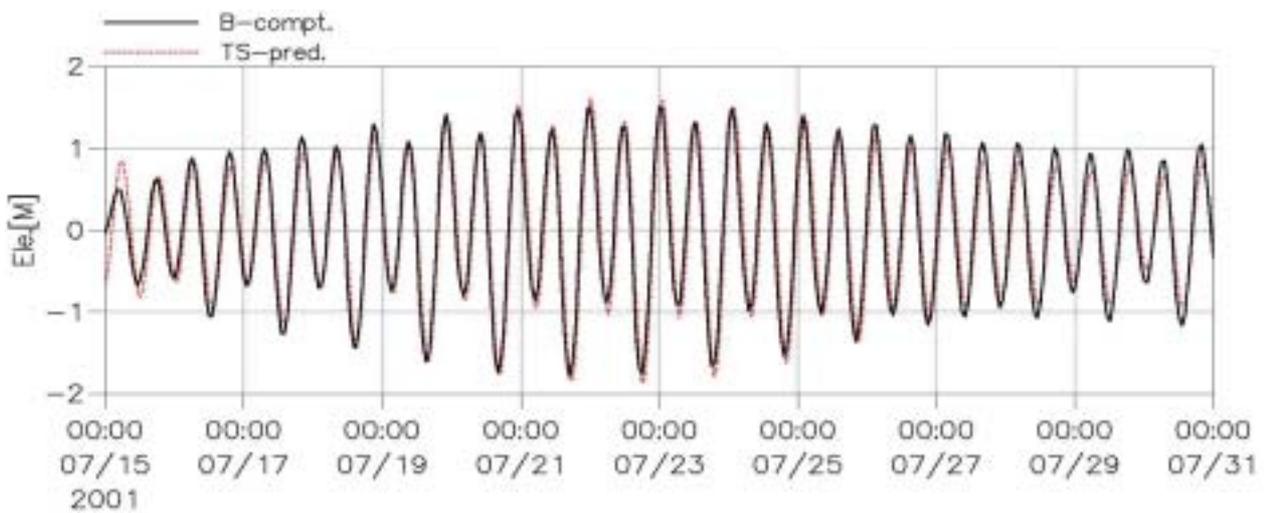
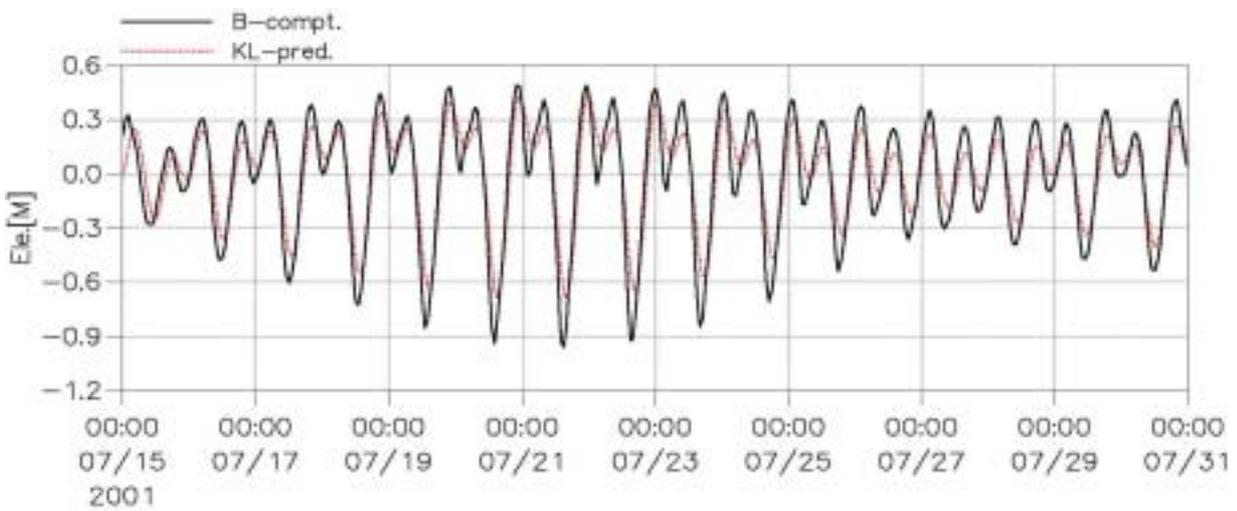
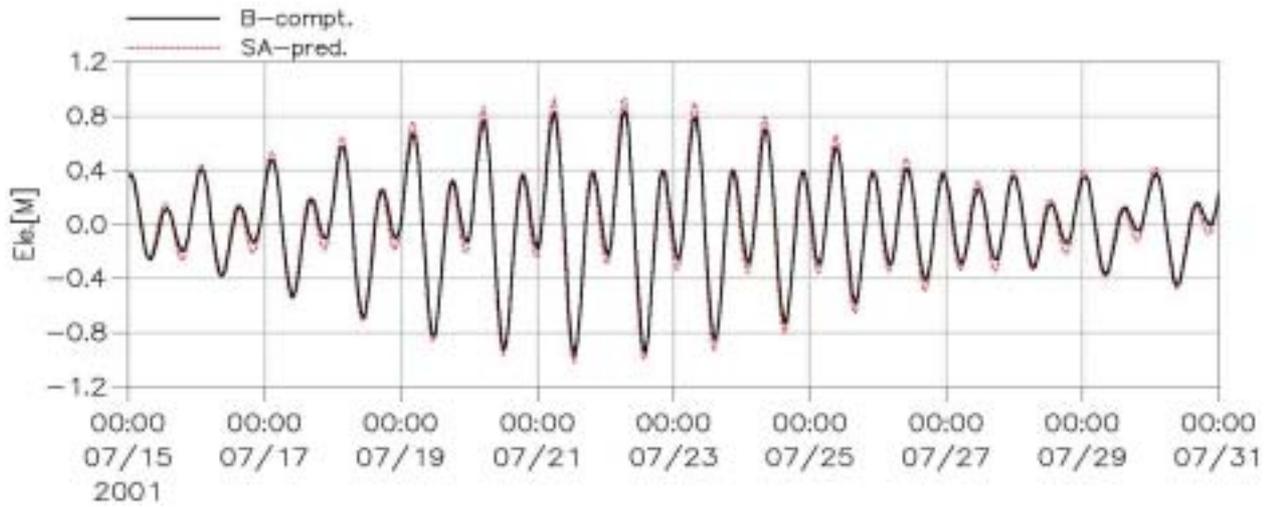


圖 3-15 台灣環島海域驗潮站計算逐時潮位之驗證比較
(上)蘇澳港；(中)基隆港；(下)淡水港

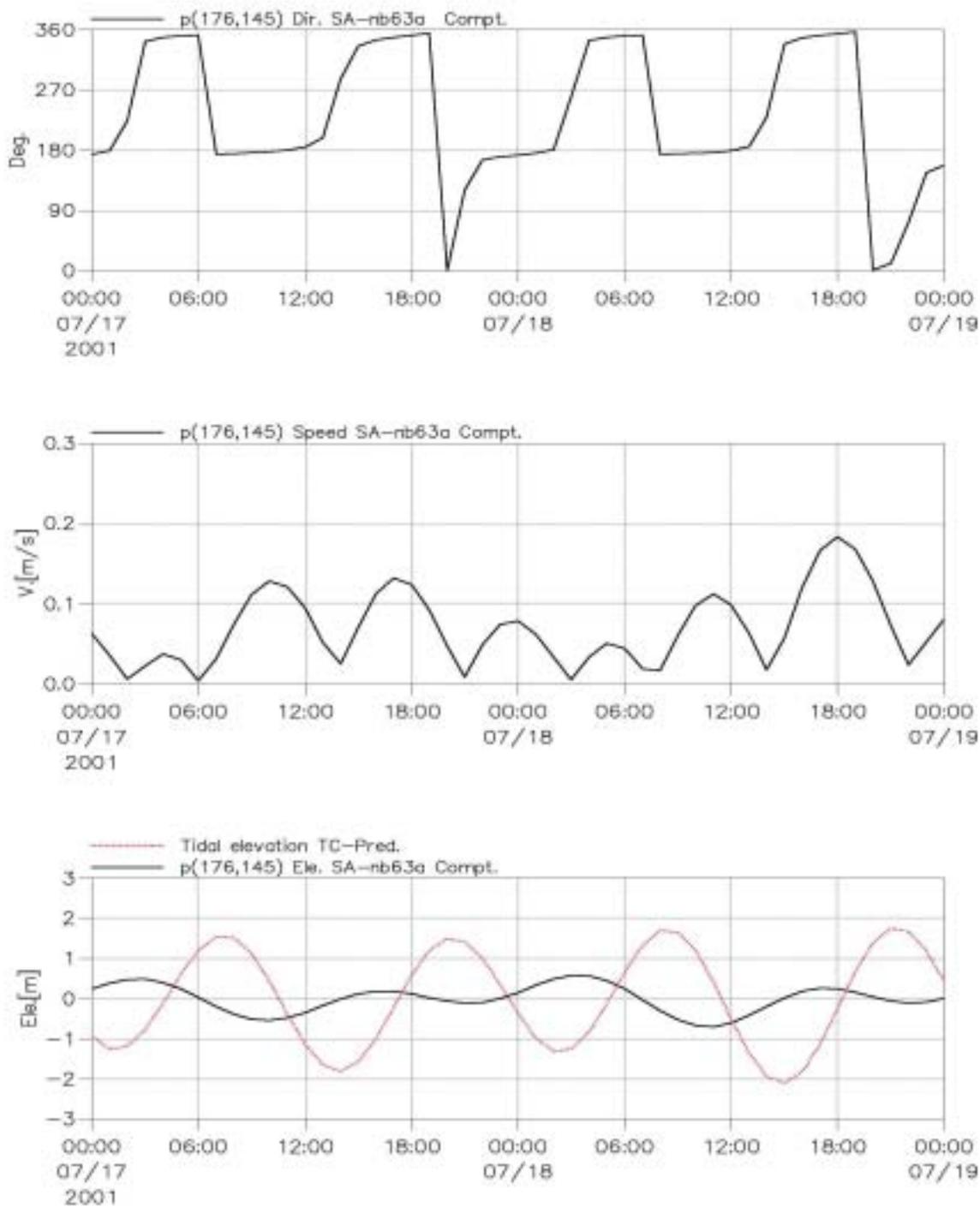


圖 3-16-1 台灣環島海域蘇澳港計算海流之流向(上)、流速(中)及與台中港計算潮位之對照比較(下)

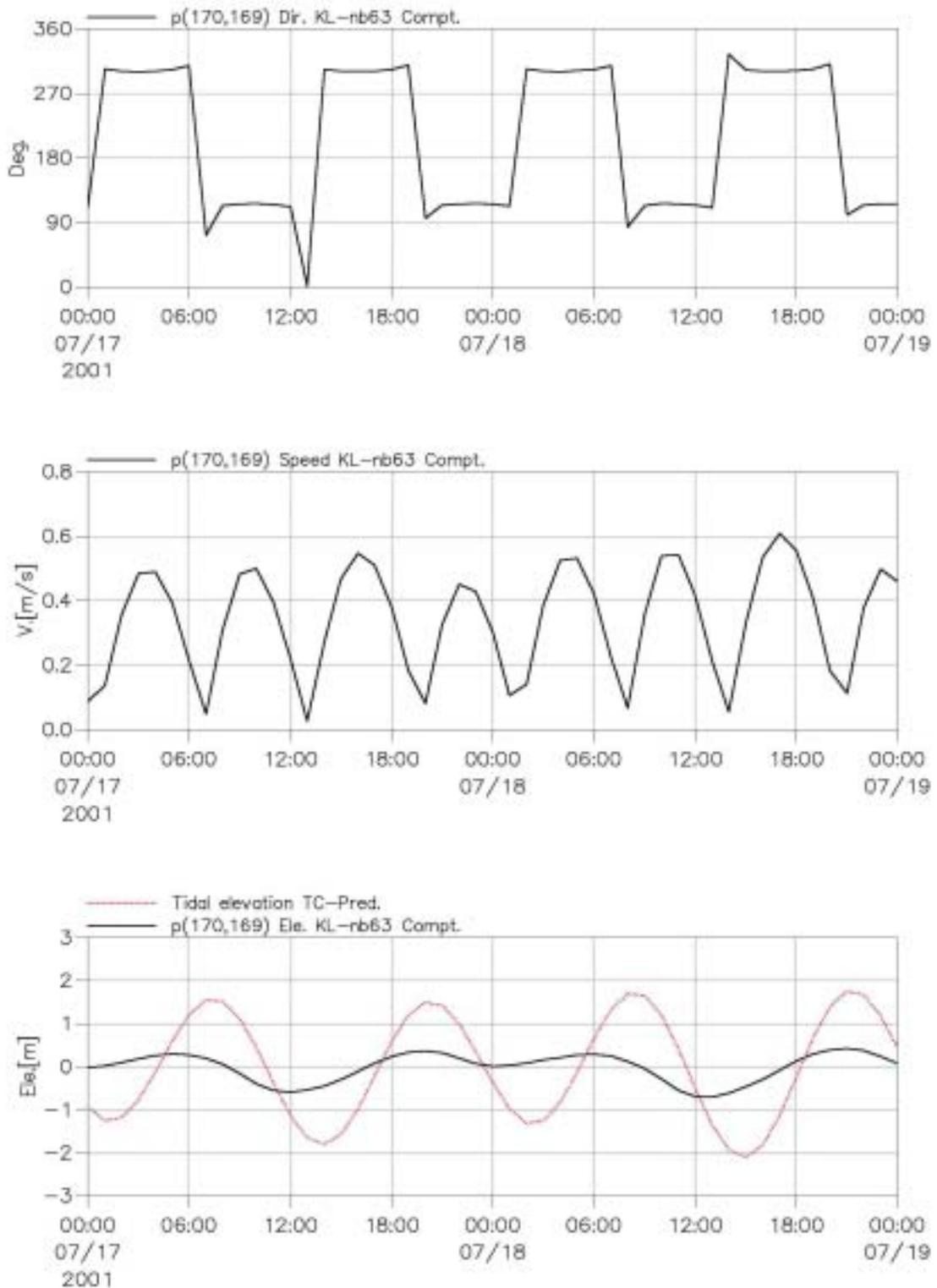


圖 3-16-2 台灣環島海域基隆港計算海流之流向(上)、流速(中)及與台中港計算潮位之對照比較(下)

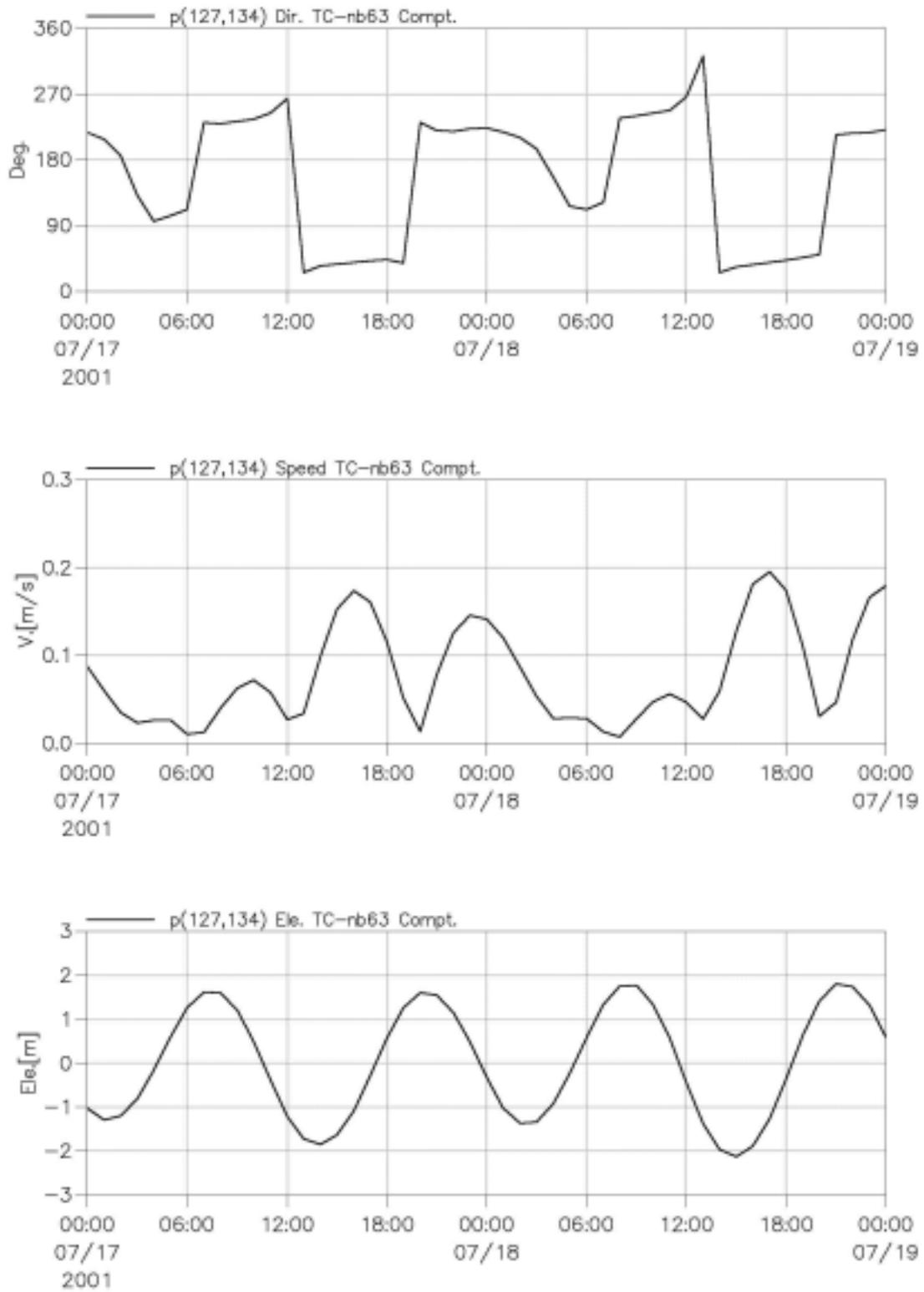


圖 3-16-3 台灣環島海域台中港計算海流之流向(上)、流速(中)及潮位(下)

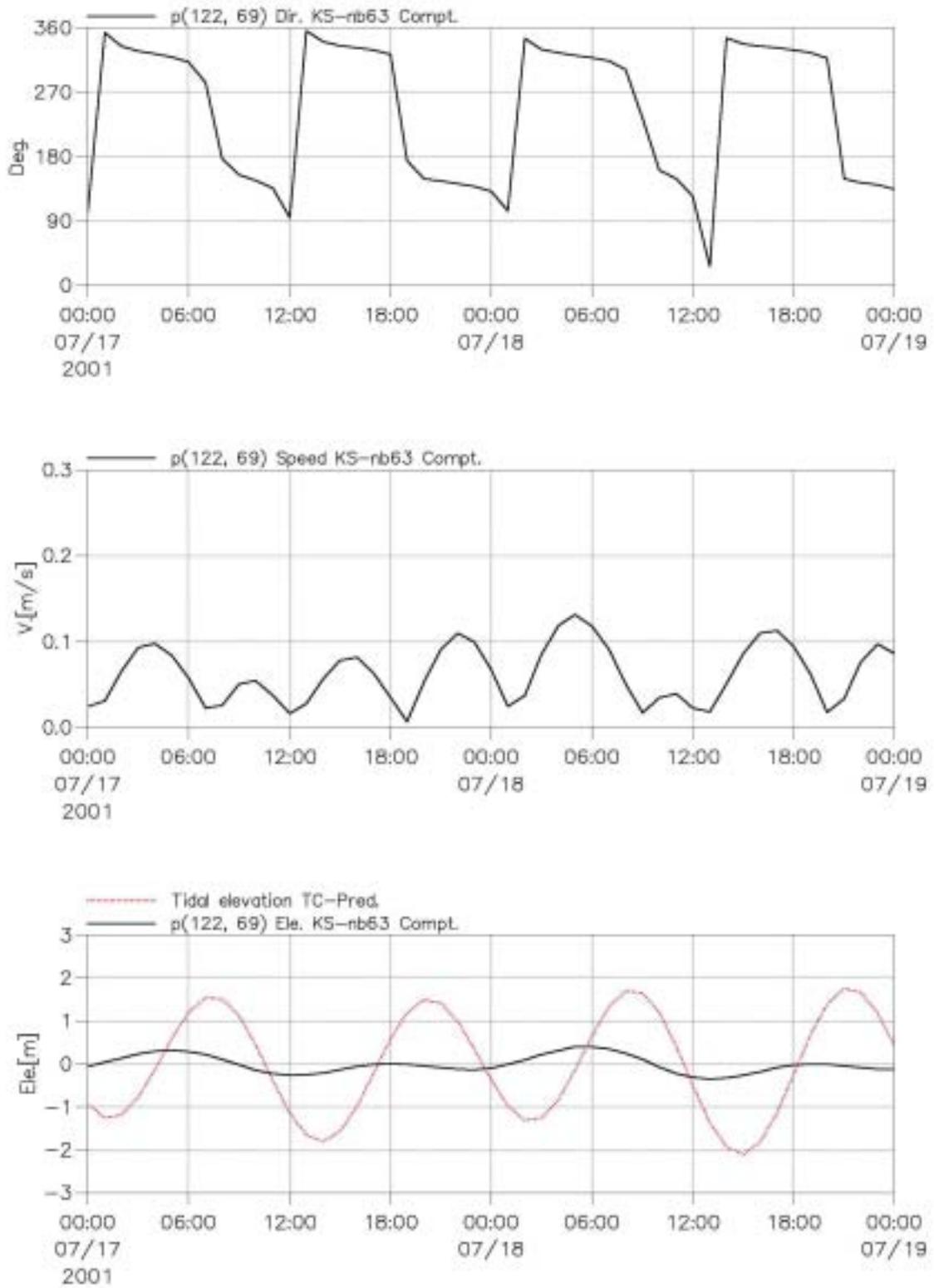


圖 3-16-4 台灣環島海域高雄港計算海流之流向(上)、流速(中)及與台中港計算潮位之對照比較(下)

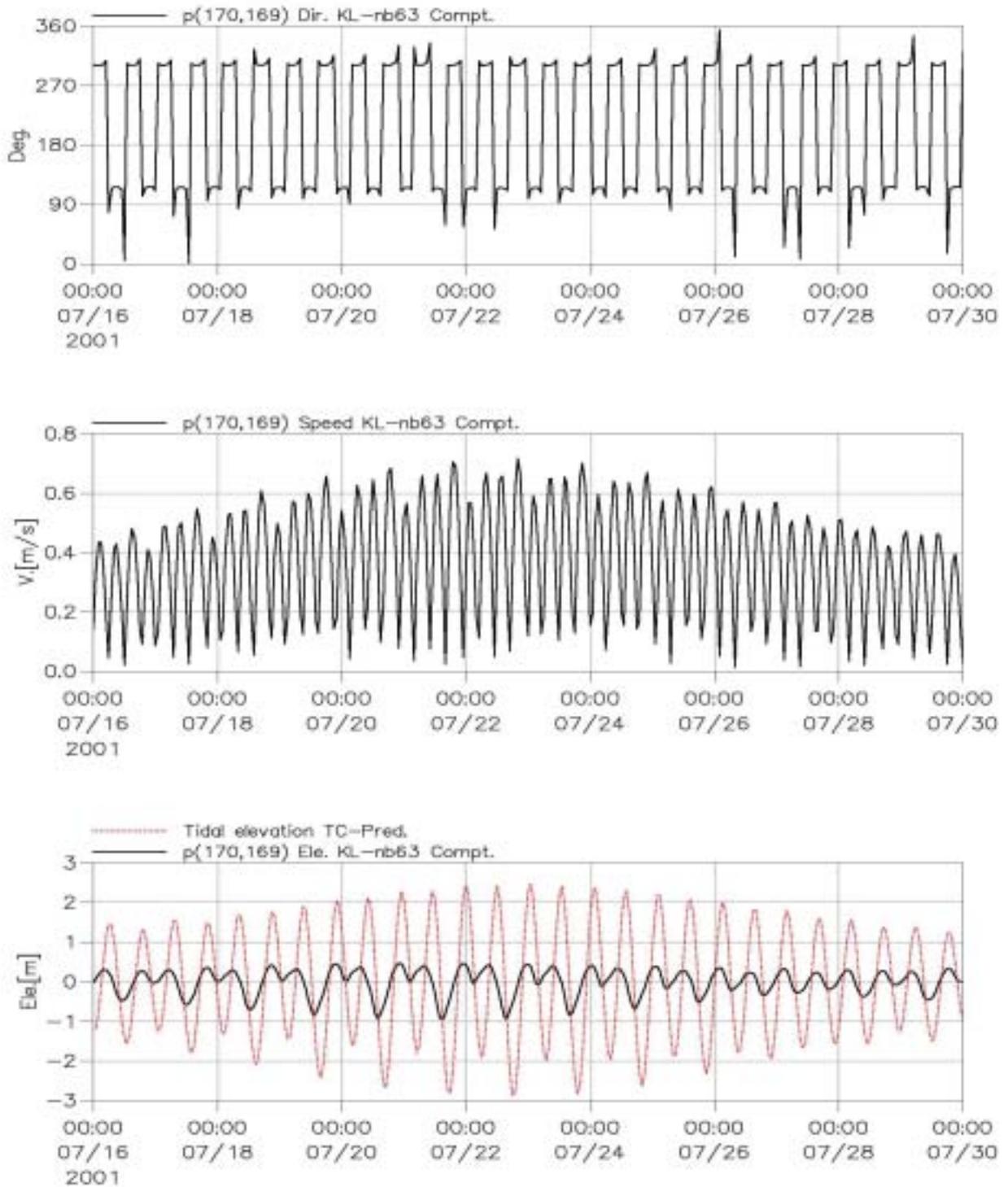


圖 3-17 台灣環島海域基隆港半月期間之計算海流流向(上)、流速(中)及潮位(下)與台中港計算潮位之對照比較

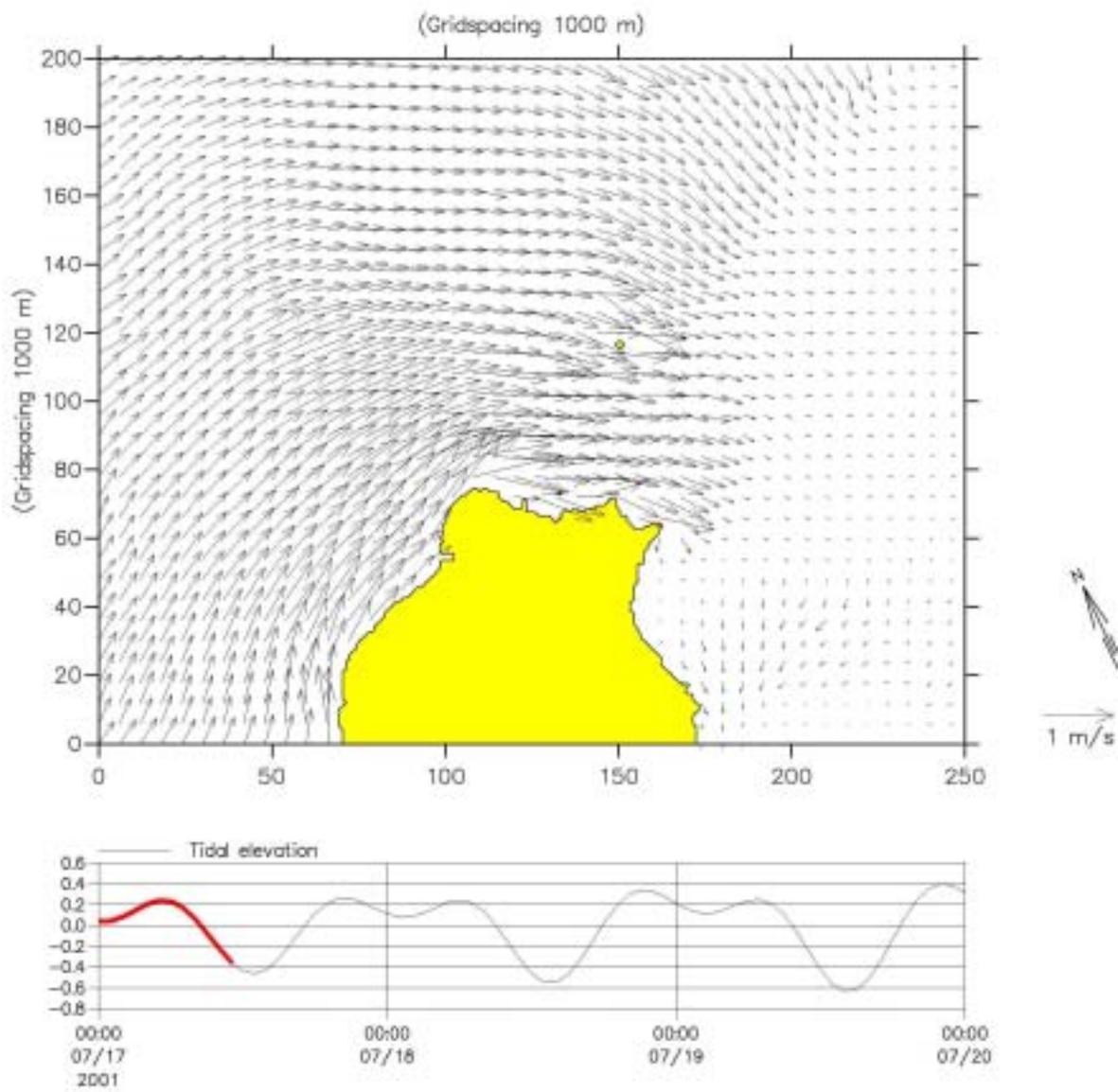


圖 3-18-1 台灣北部海域全平面性之計算潮流流速分佈
參考潮位:基隆港, 2001/07/17 11:00

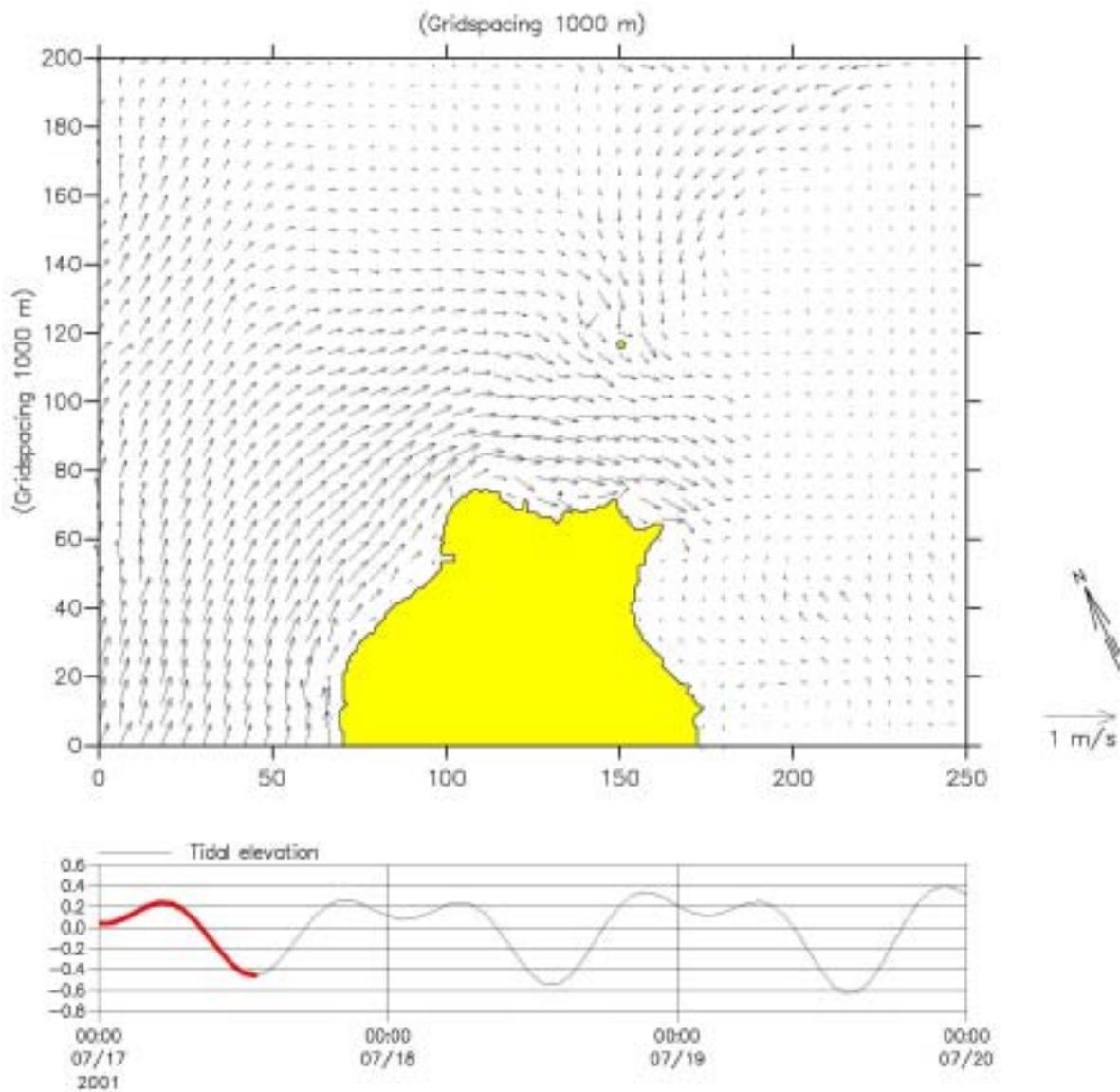


圖 3-18-2 台灣北部海域全平面性之計算潮流流速分佈
 參考潮位:基隆港, 2001/07/17 13:00

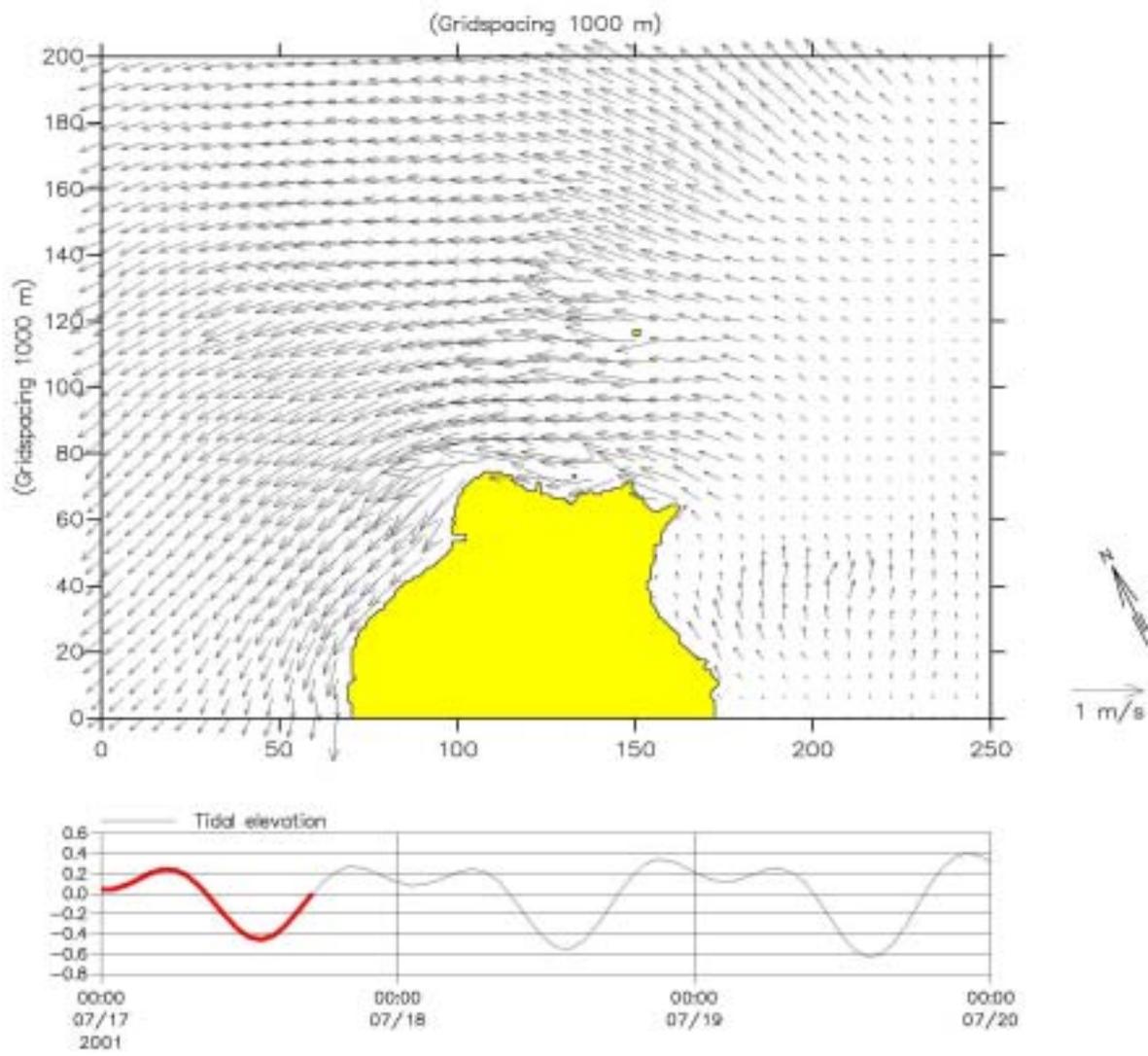


圖 3-18-3 台灣北部海域全平面性之計算潮流流速分佈
參考潮位:基隆港, 2001/07/17 17:00

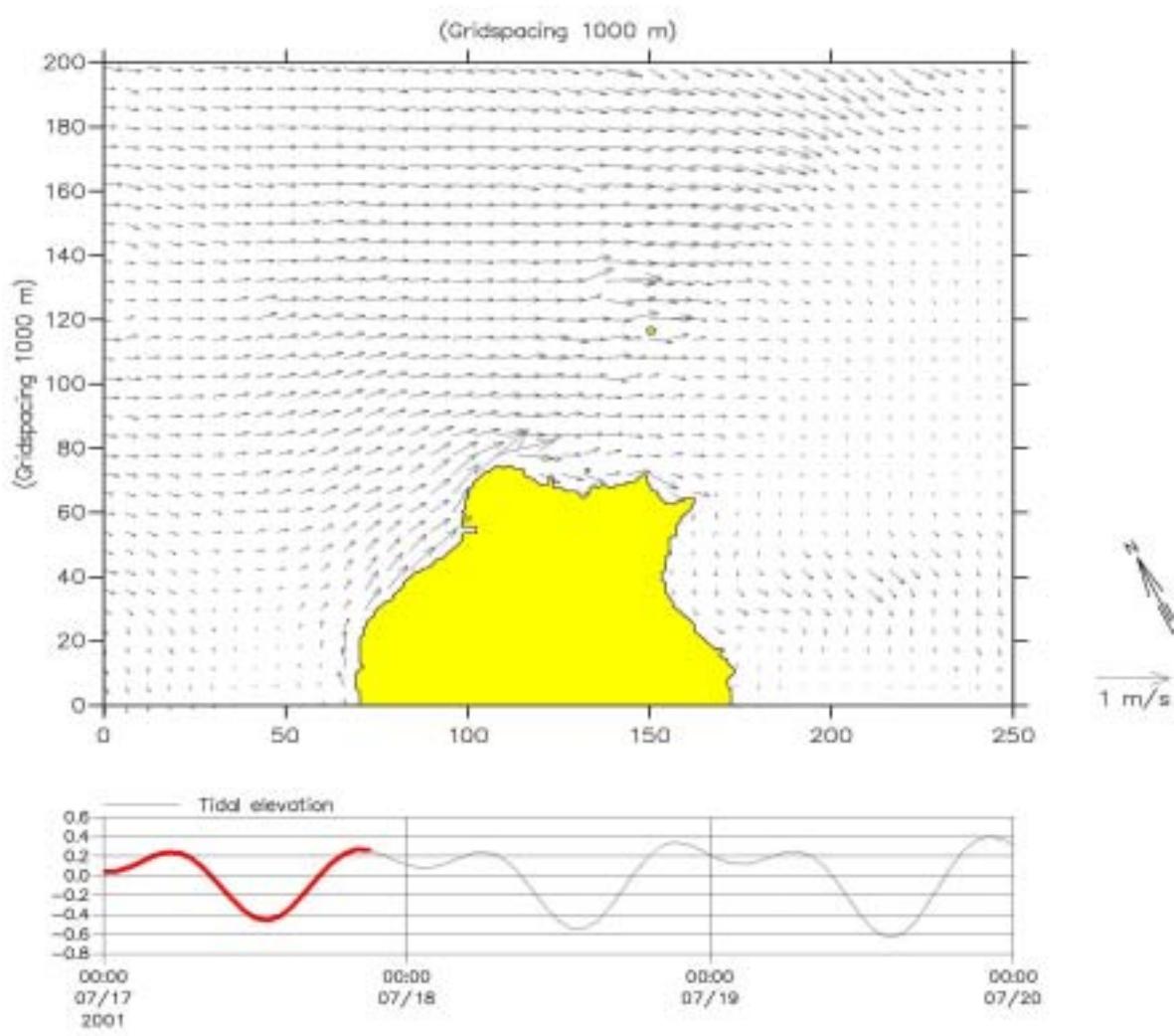


圖 3-18-4 台灣北部海域全平面性之計算潮流流速分佈
參考潮位:基隆港, 2001/07/17 21:00

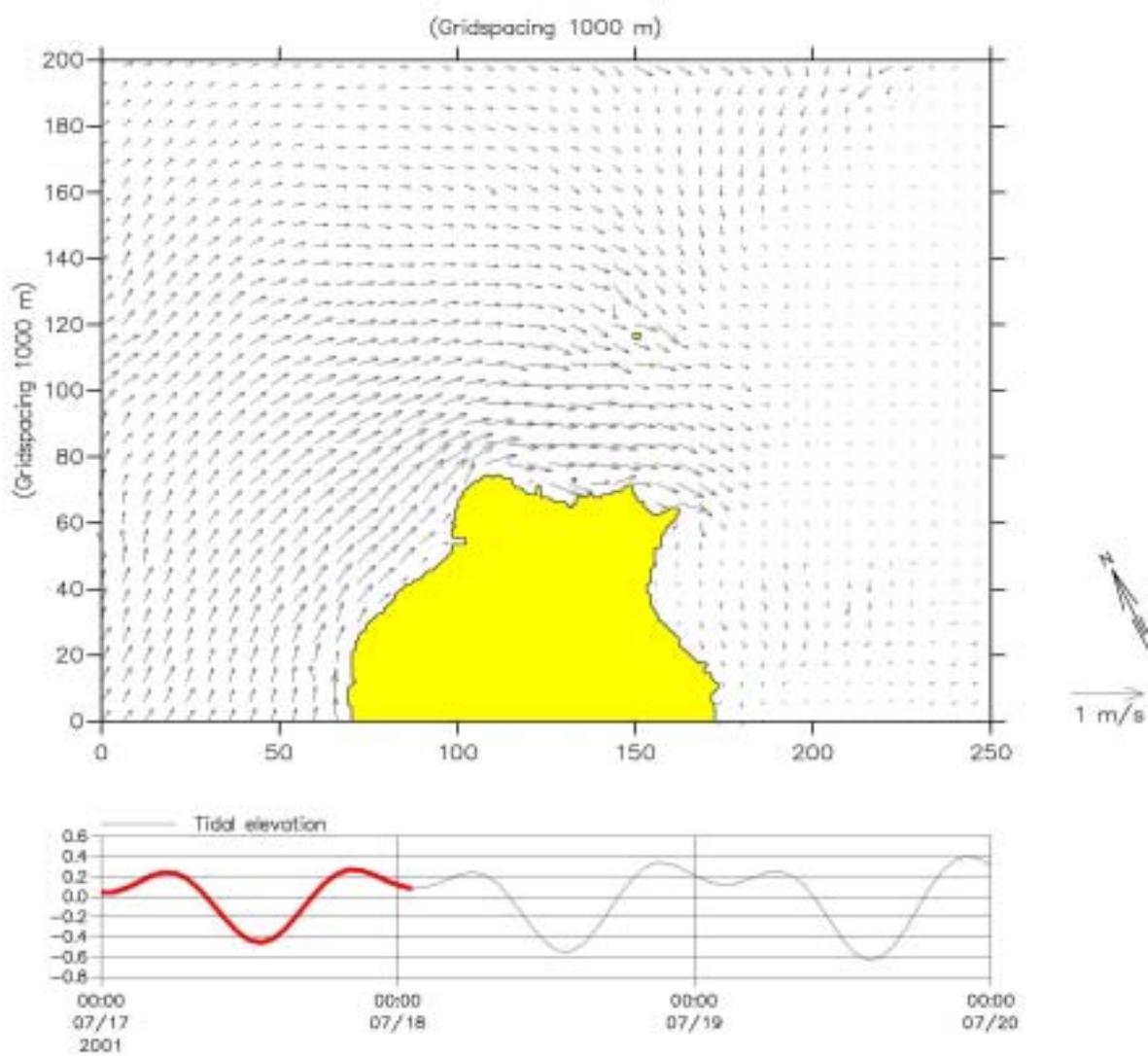


圖 3-18-5 台灣北部海域全平面性之計算潮流流速分佈
參考潮位:基隆港, 2001/07/18 01:00

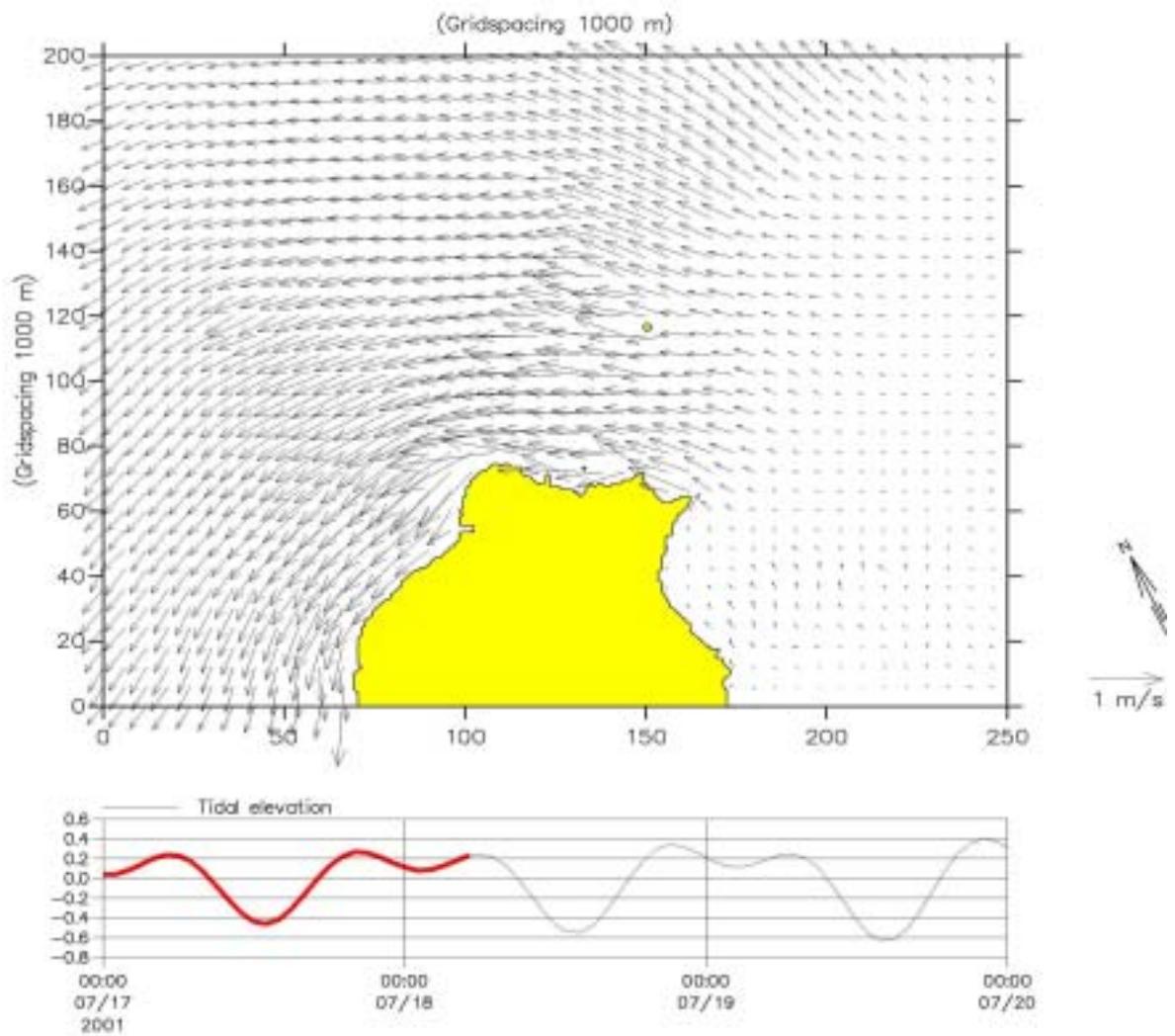


圖 3-18-6 台灣北部海域全平面性之計算潮流流速分佈
 參考潮位:基隆港, 2001/07/18 05:00

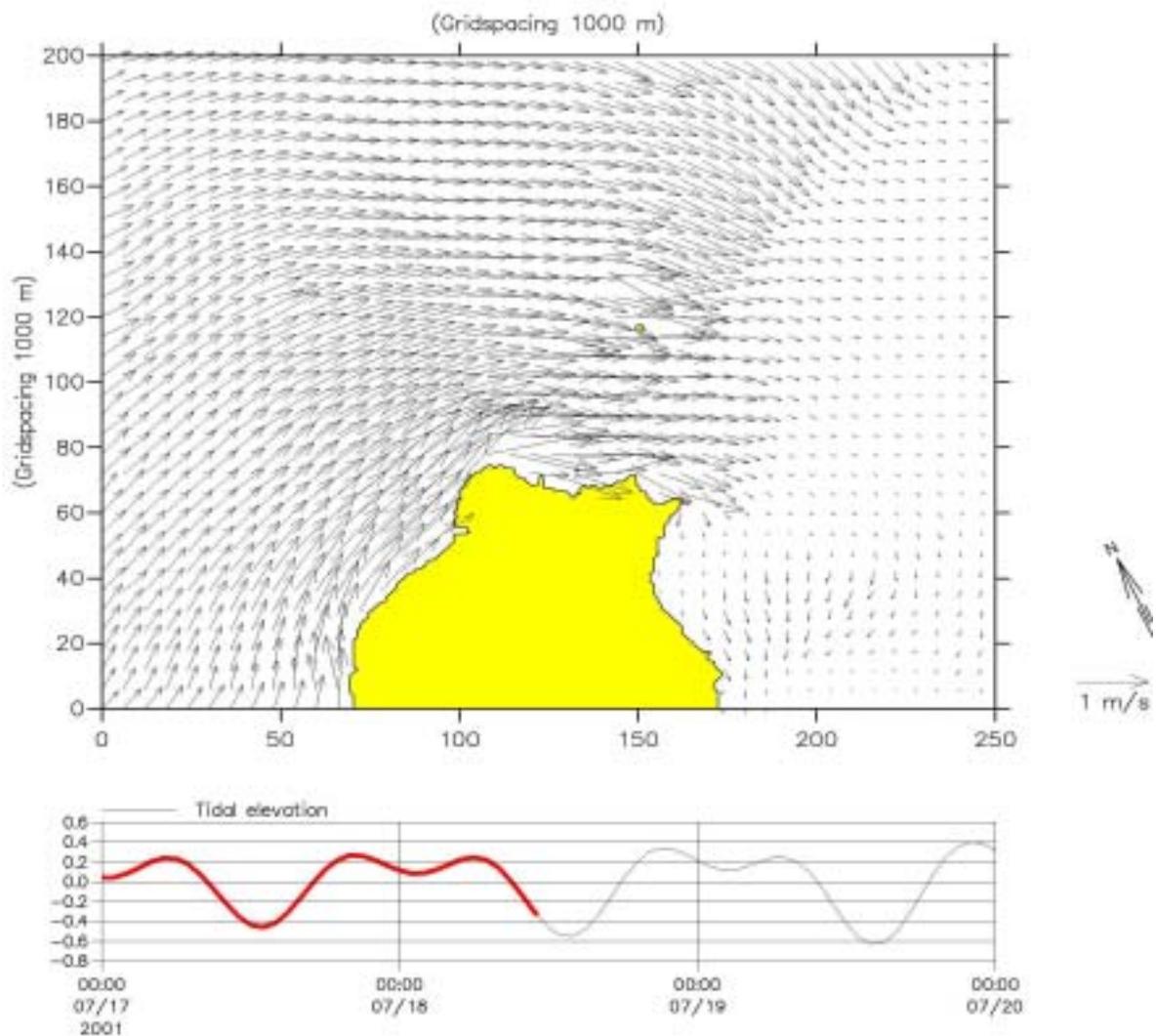


圖 3-18-7 台灣北部海域全平面性之計算潮流流速分佈
參考潮位:基隆港, 2001/07/18 11:00

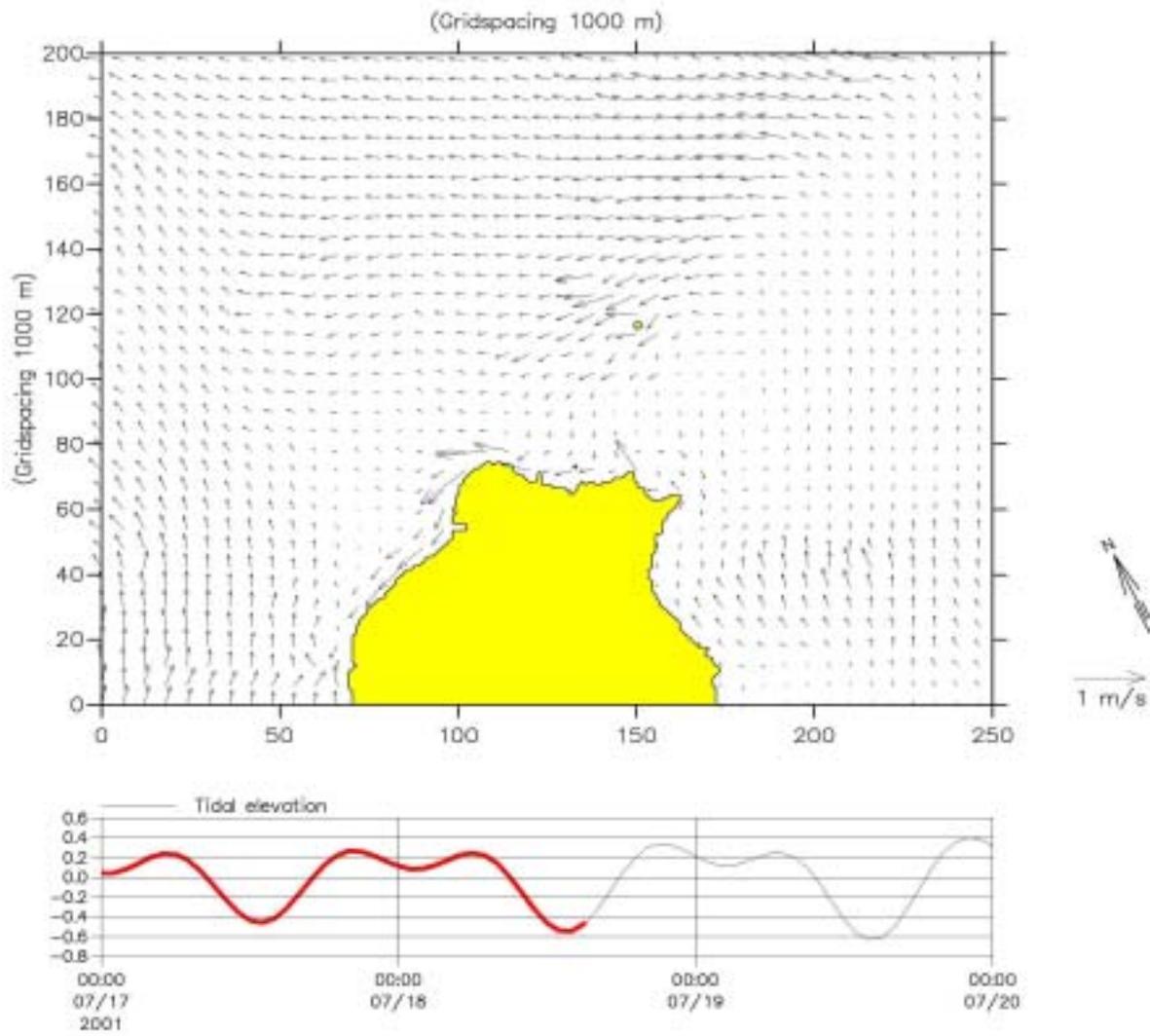


圖 3-18-8 台灣北部海域全平面性之計算潮流流速分佈
參考潮位:基隆港, 2001/07/18 15:00

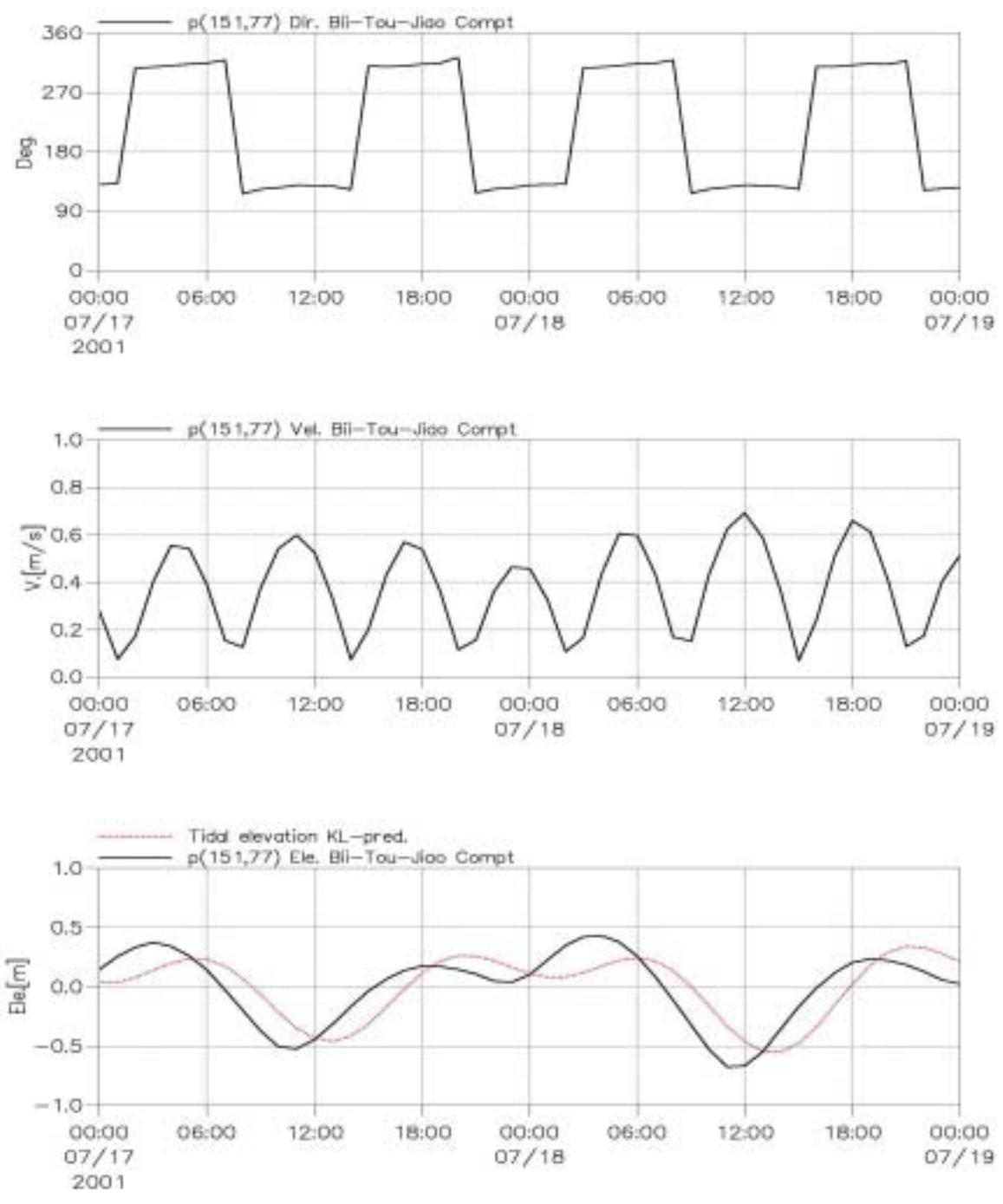


圖 3-19-1 台灣北部海域鼻頭角計算潮流之流向(上)、流速(中)及潮位(下)與基隆港計算潮位之對照比較

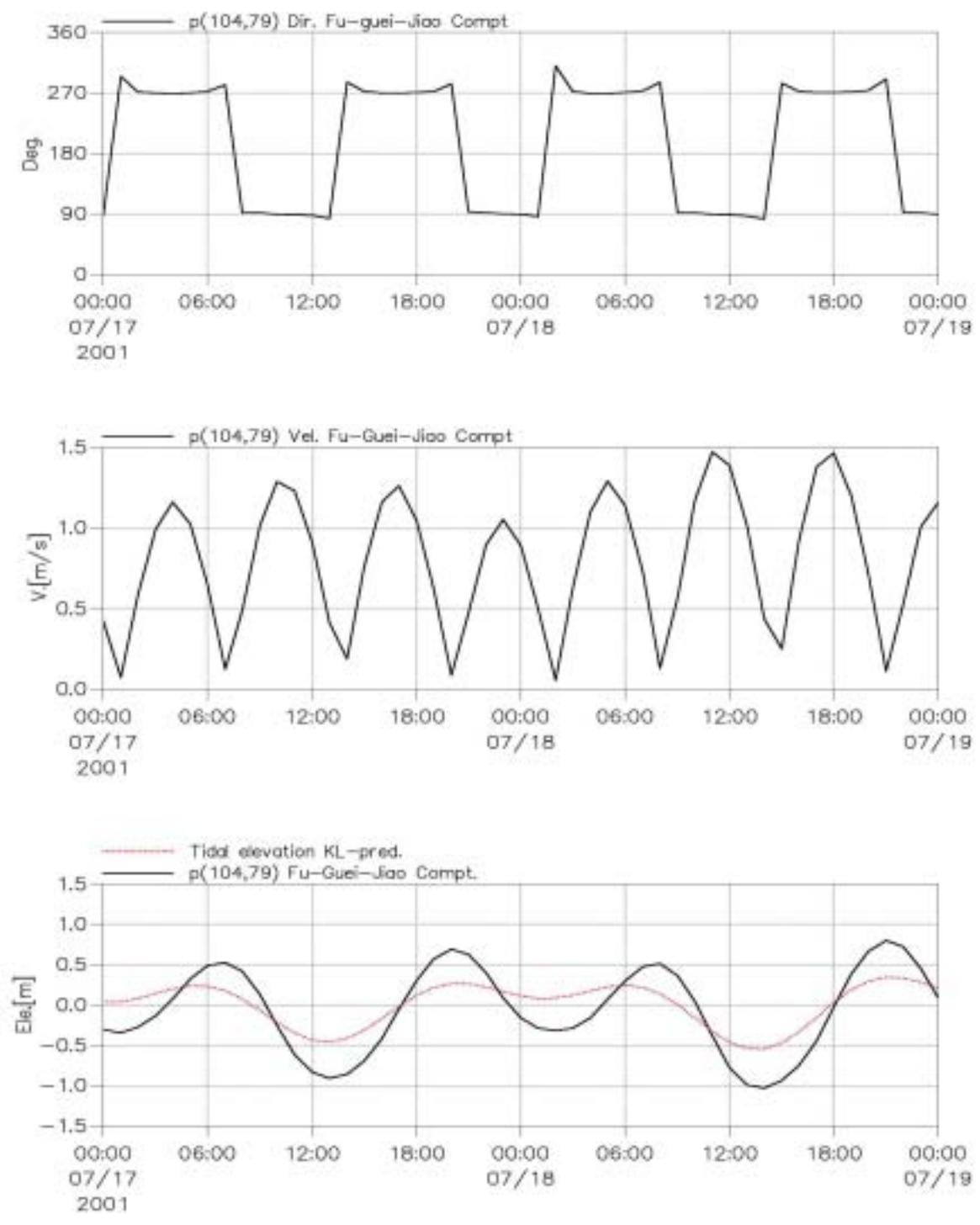


圖 3-19-2 台灣北部海域富貴角計算潮流之流向(上)、流速(中)及潮位(下)與基隆港計算潮位之對照比較

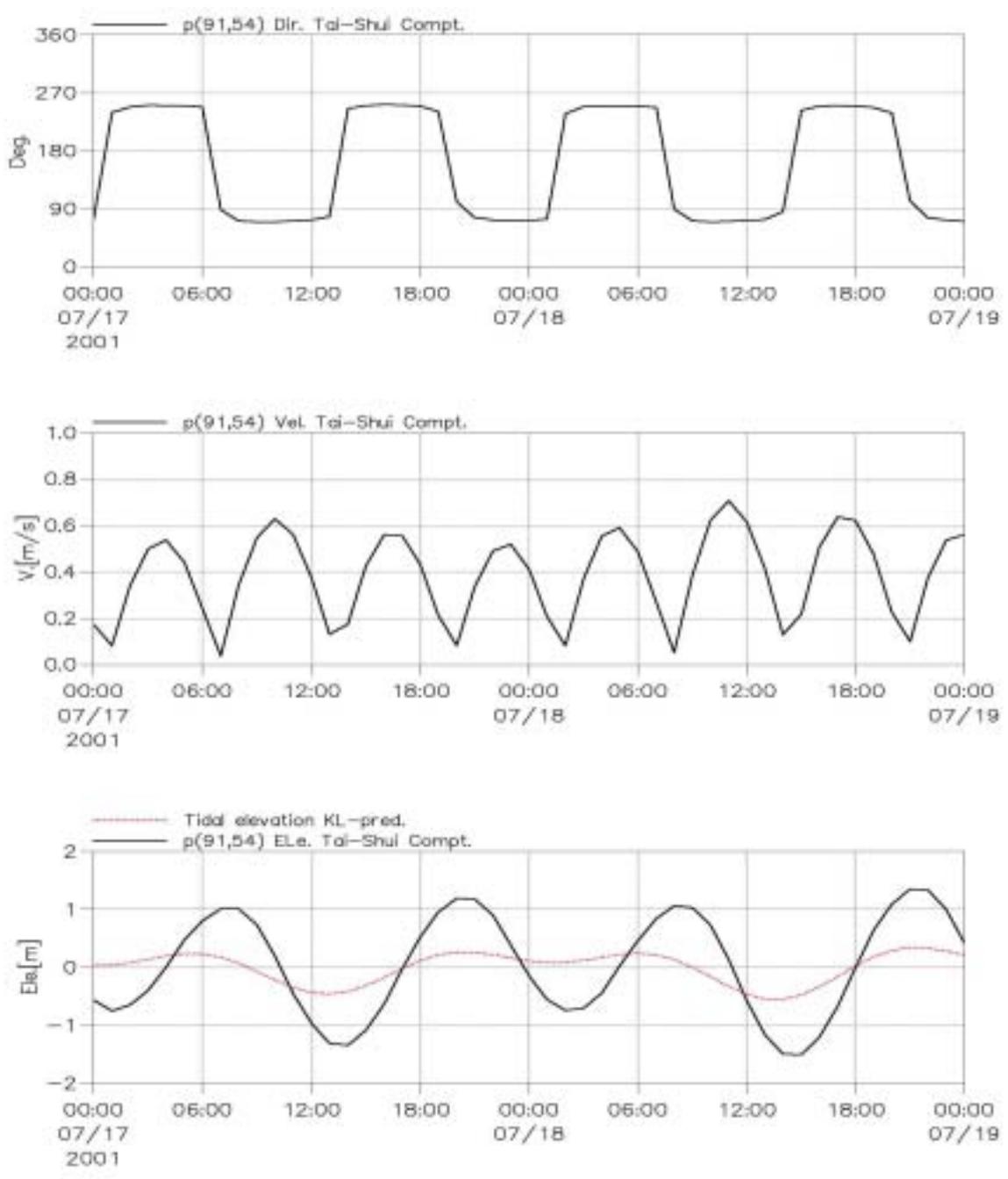


圖 3-19-3 台灣北部海域淡水計算潮流之流向(上)、流速(中)及潮位(下)與基隆港計算潮位之對照比較

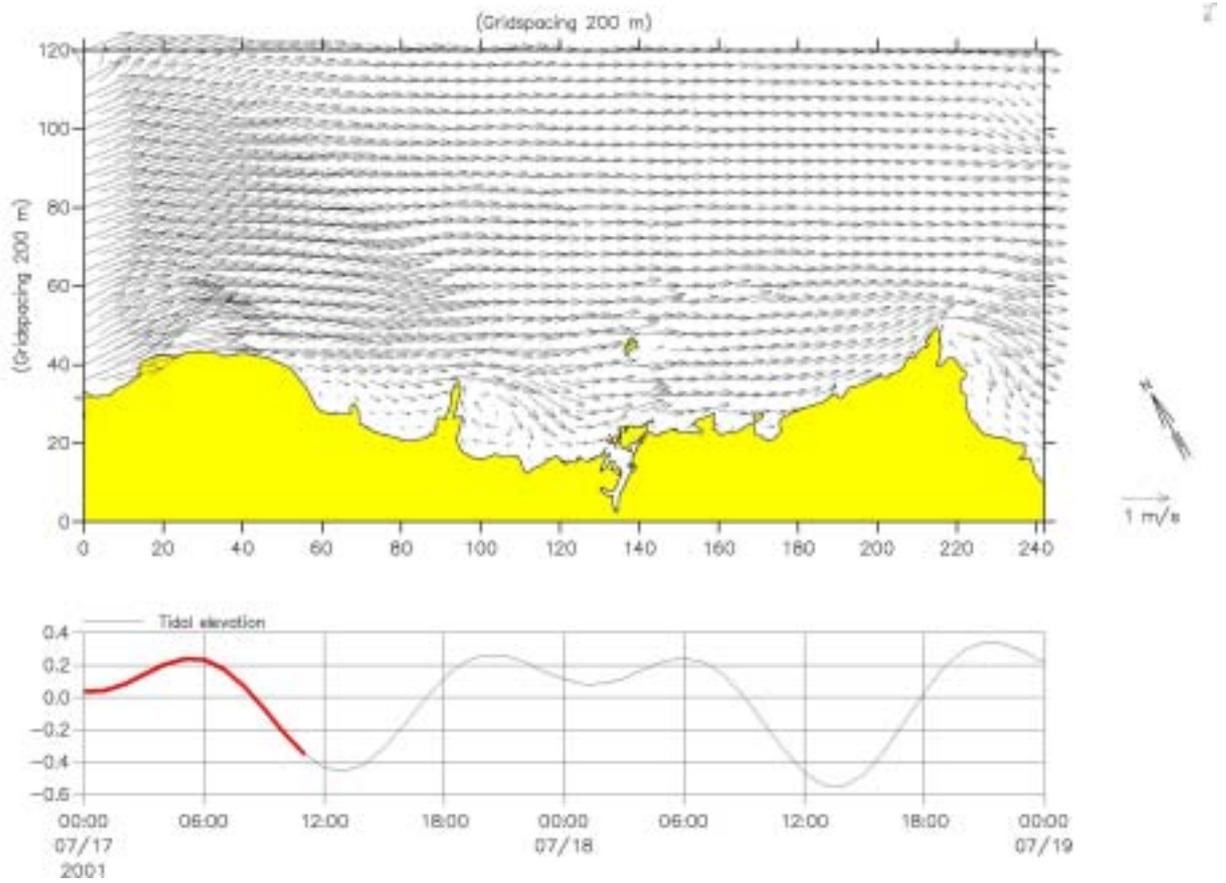


圖 3-20-1 富基至澳底海域全平面性之計算潮流流速分佈
 參考潮位: 基隆港, 2001/07/17 11:00

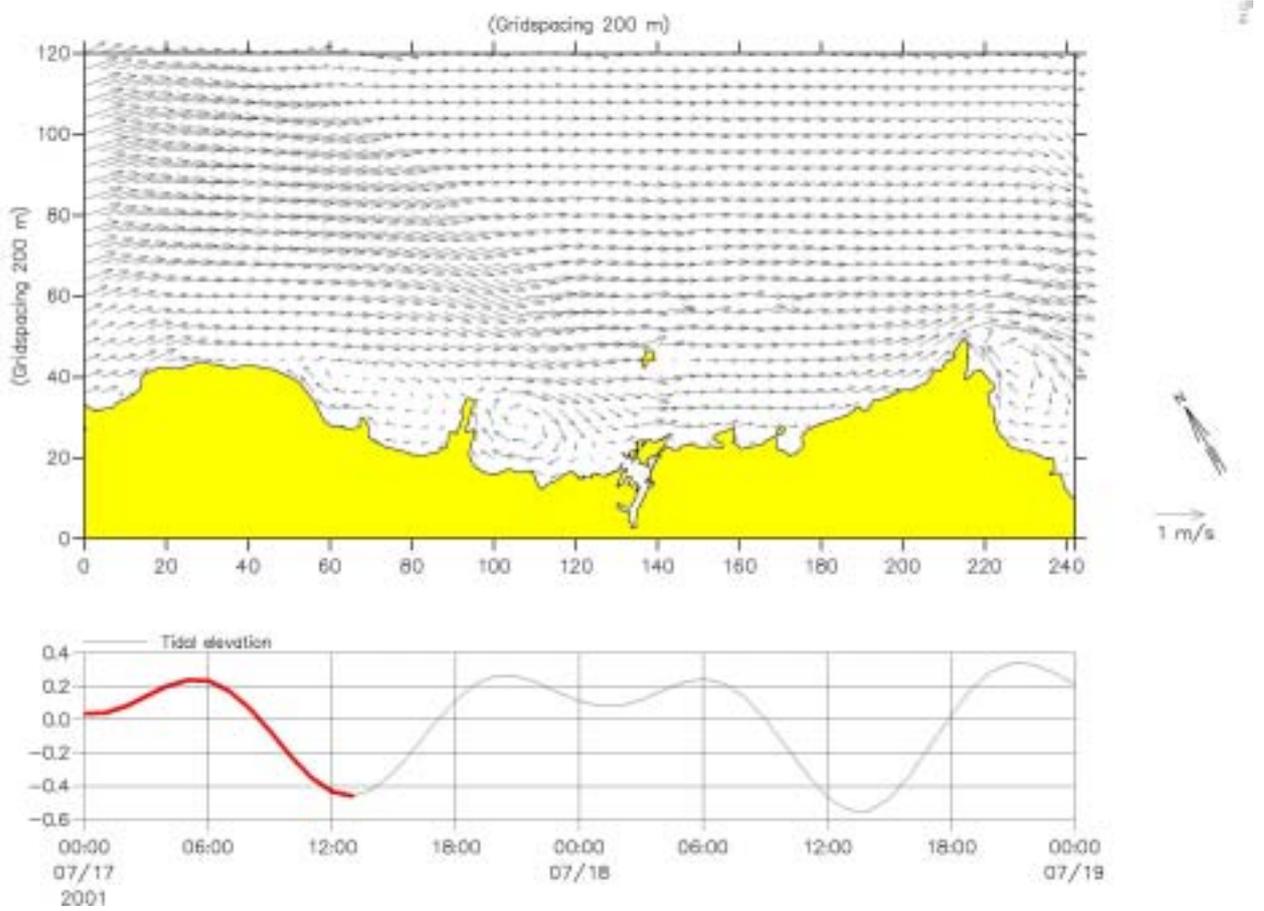


圖 3-20-2 富基至澳底海域全平面性之計算潮流流速分佈
參考潮位：基隆港，2001/07/17 13:00

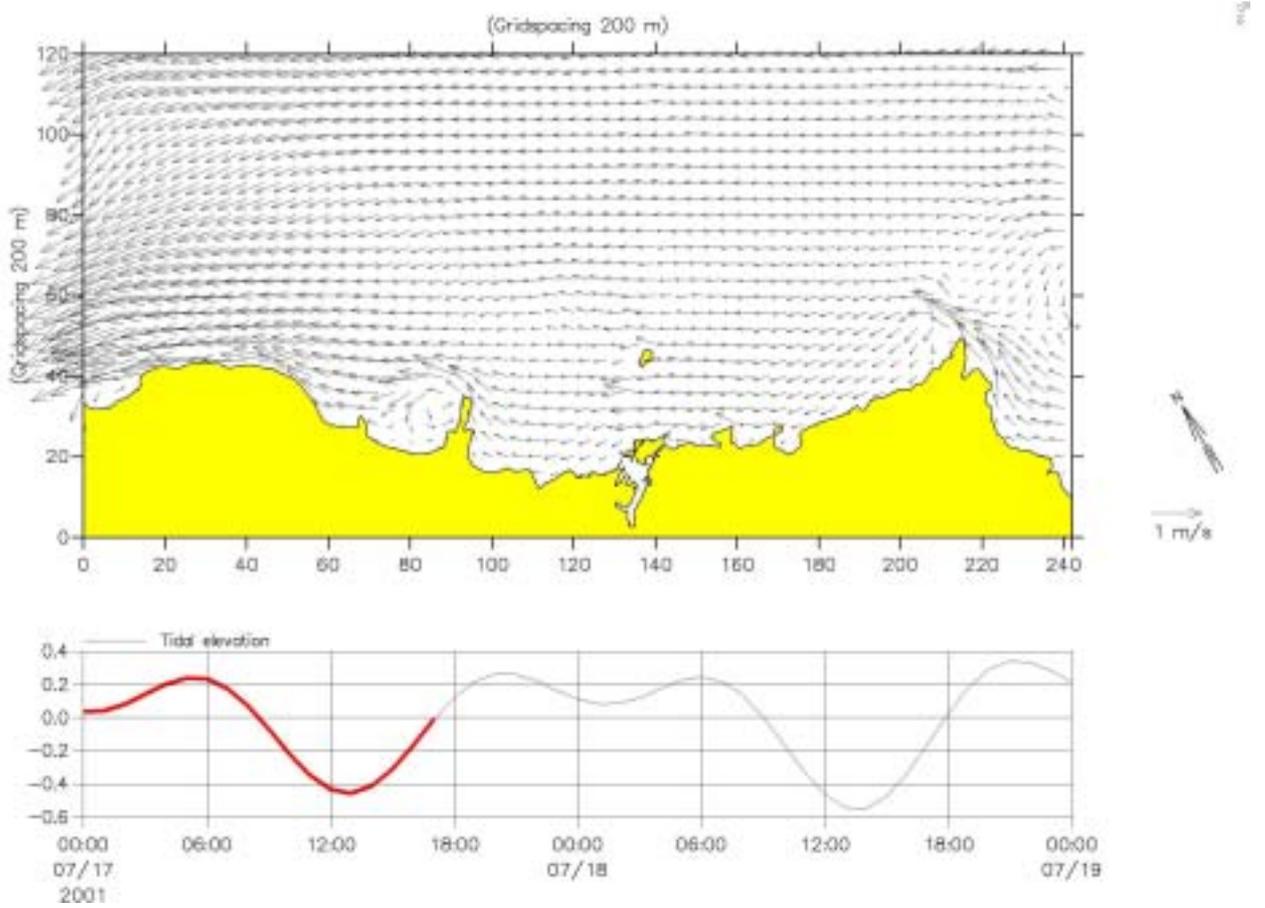


圖 3-20-3 富基至澳底海域全平面性之計算潮流流速分佈
 參考潮位: 基隆港, 2001/07/17 17:00

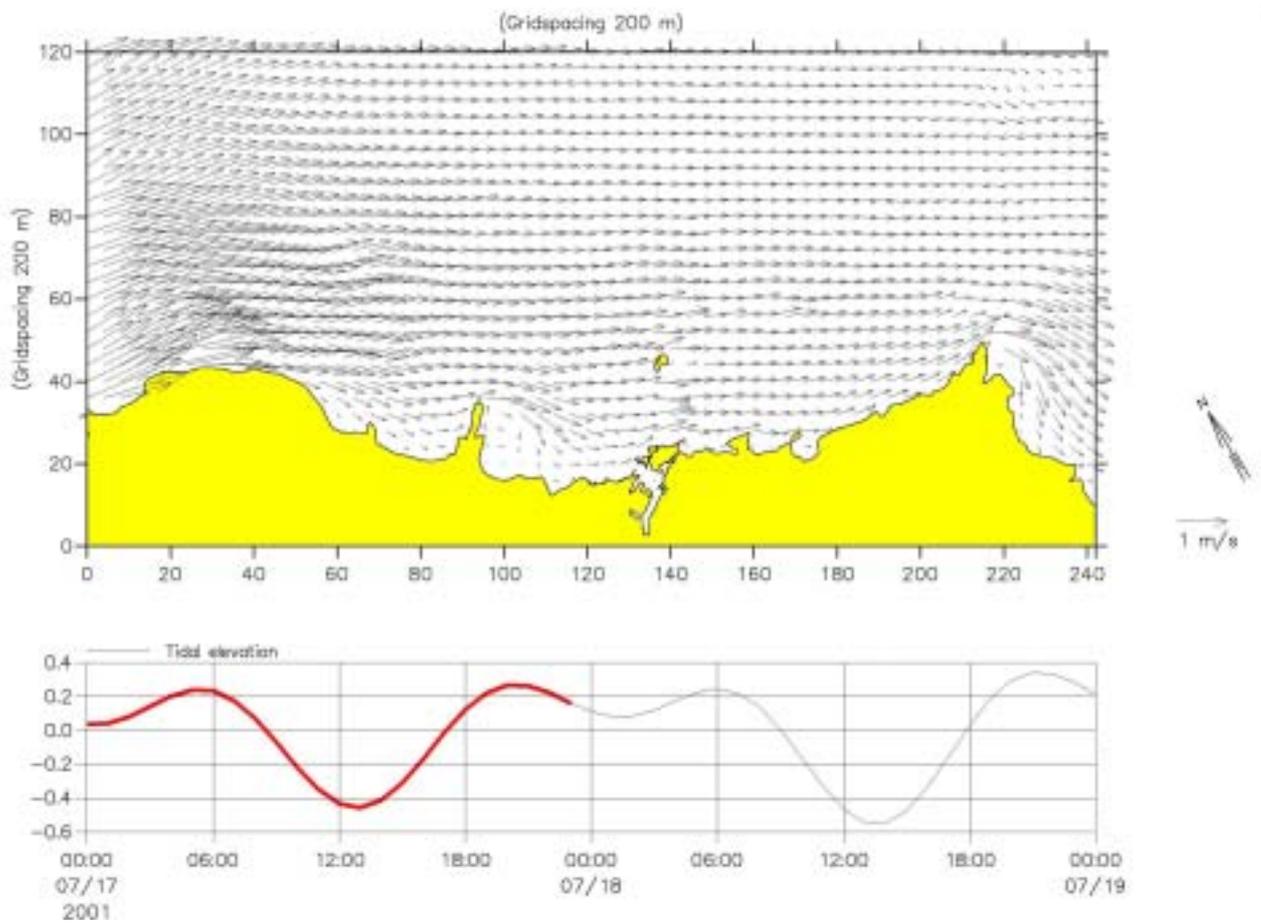


圖 3-20-4 富基至澳底海域全平面性之計算潮流流速分佈
 參考潮位: 基隆港, 2001/07/17 23:00

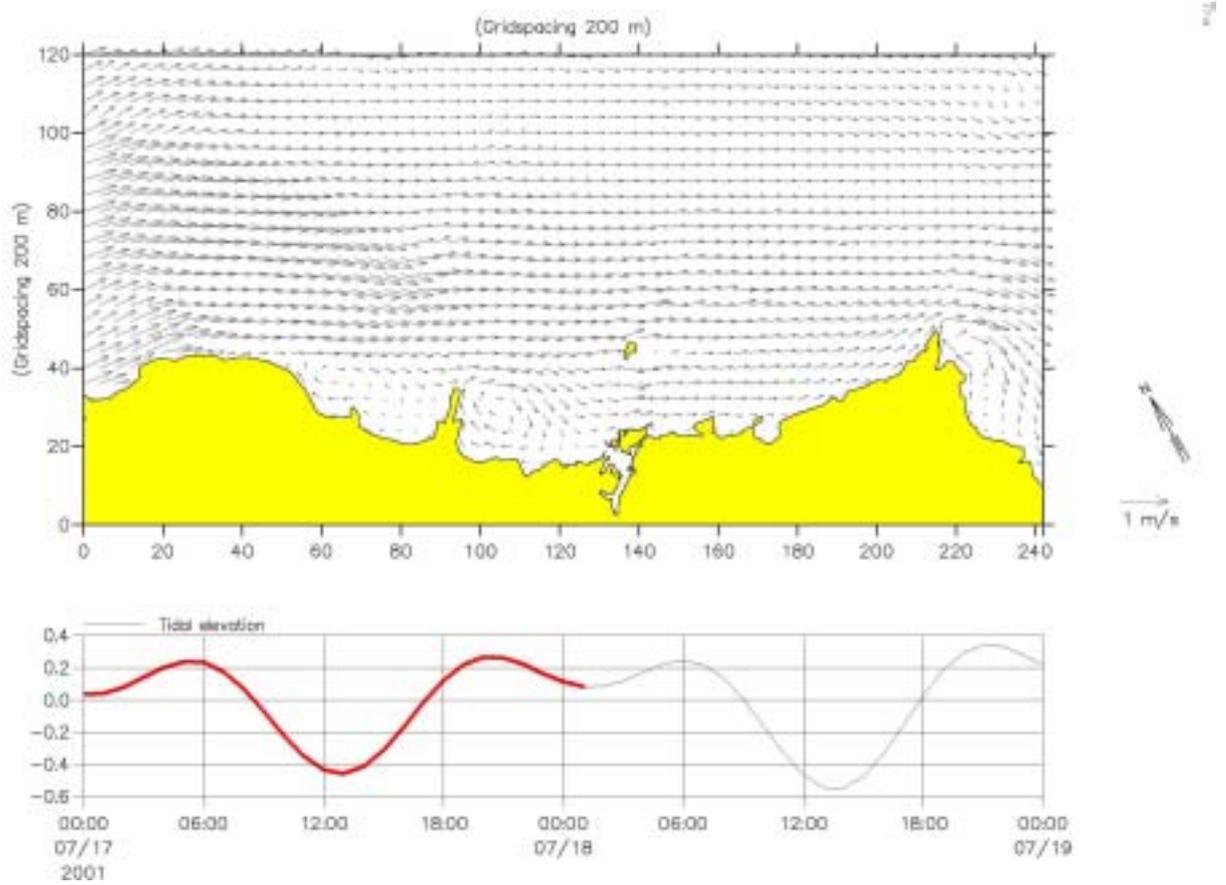
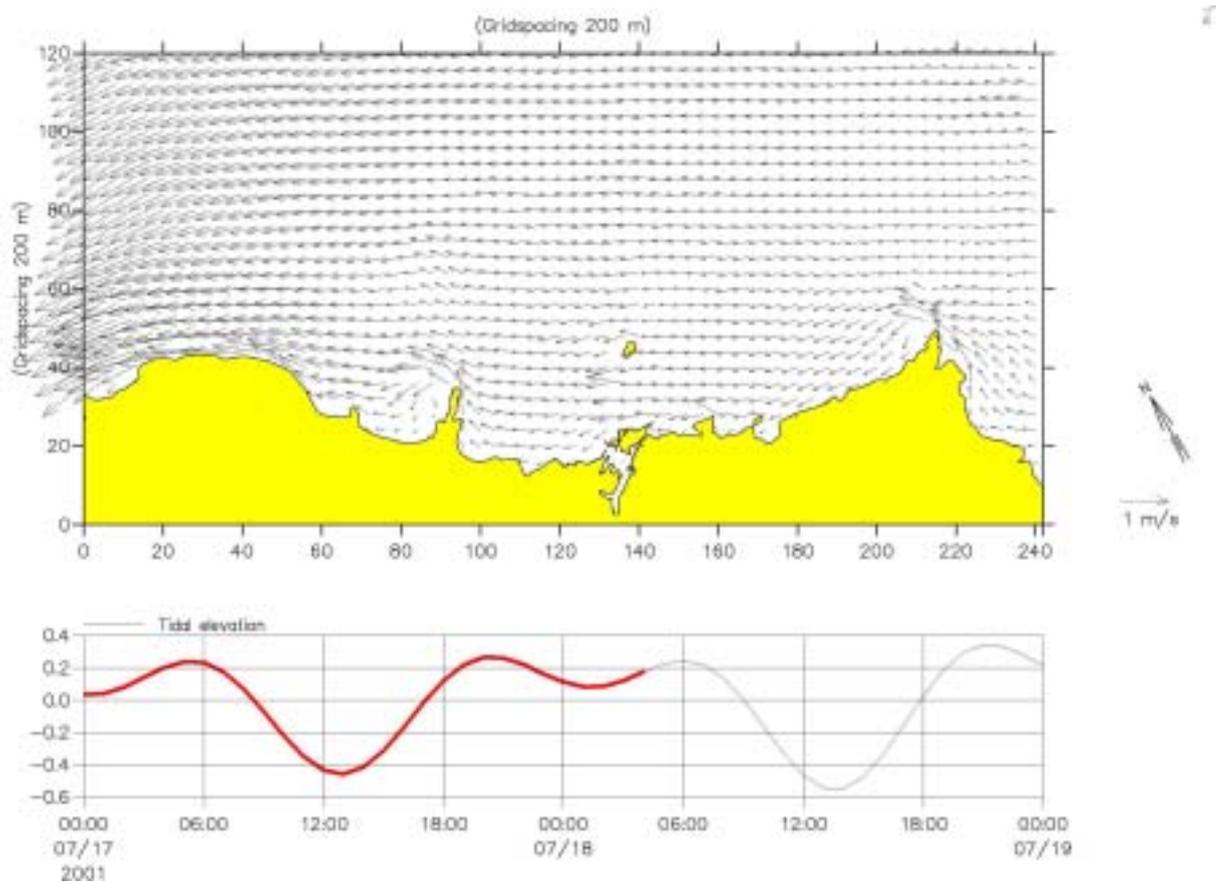


圖 3-20-5 富基至澳底海域全平面性之計算潮流流速分佈
 參考潮位：基隆港，2001/07/18 01:00



**圖 3-20-6 富基至澳底海域全平面性之計算潮流流速分佈
參考潮位：基隆港，2001/07/18 04:00**

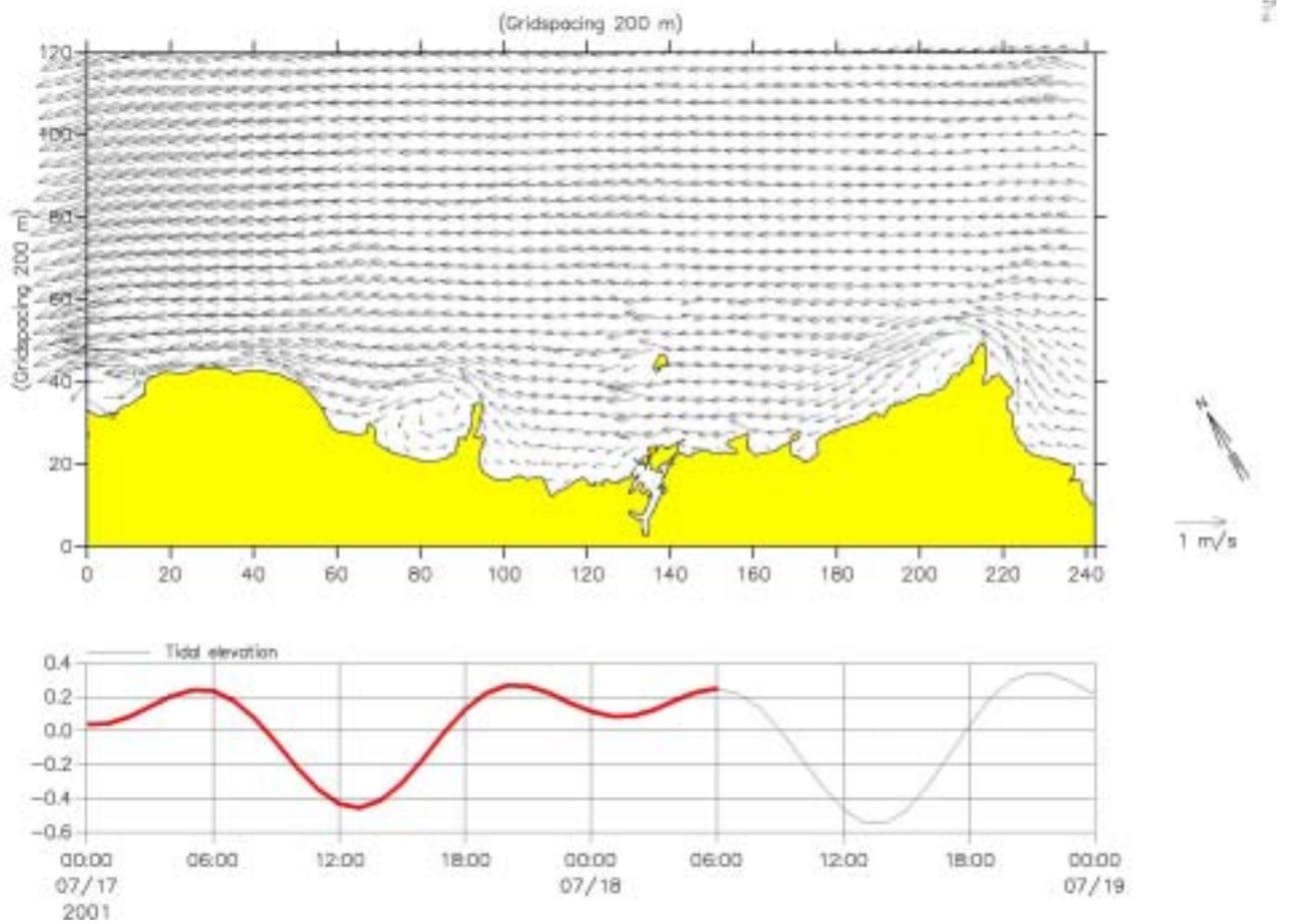


圖 3-20-7 富基至澳底海域全平面性之計算潮流流速分佈
 參考潮位: 基隆港, 2001/07/18 06:00

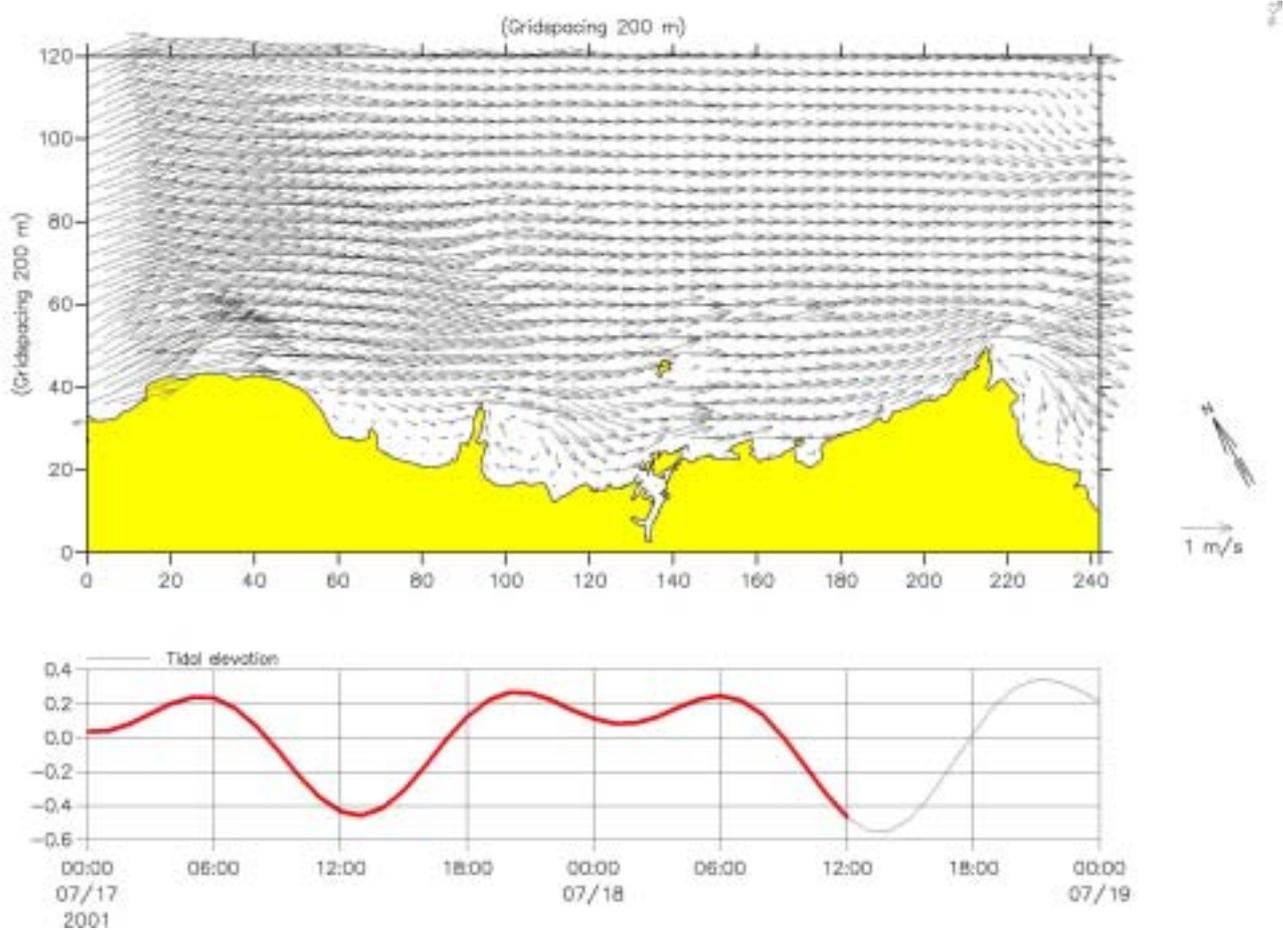


圖 3-20-8 富基至澳底海域全平面性之計算潮流流速分佈
參考潮位:基隆港, 2001/07/18 12:00

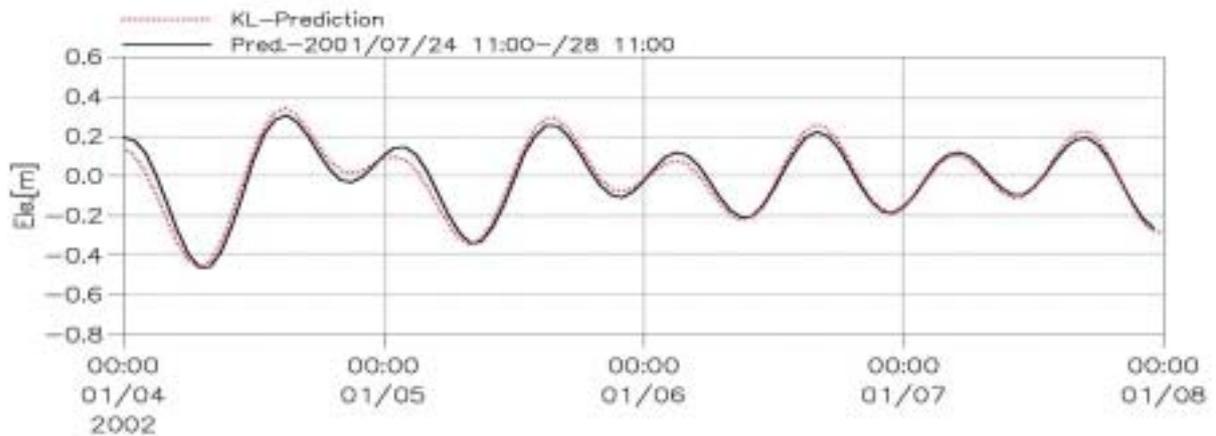
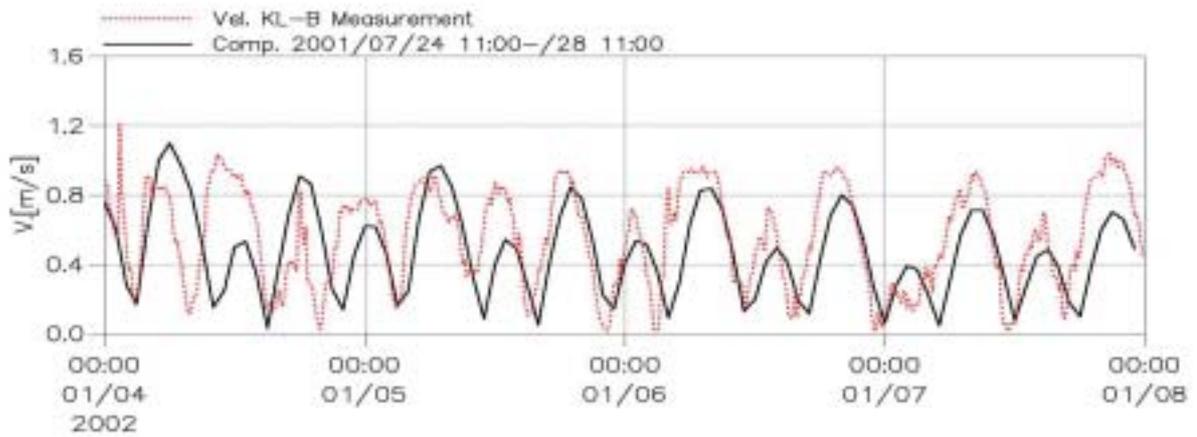
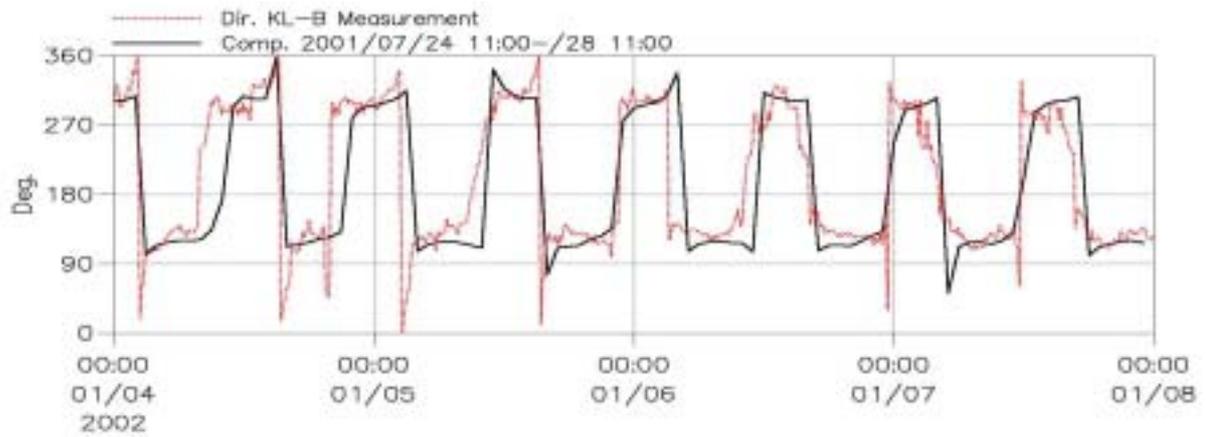


圖 3-21 富基至澳底海域無風力作用及相似計算潮位(下)特性下基隆港測站 B 之計算流向(上)、流速(中)與實測海流驗證比較

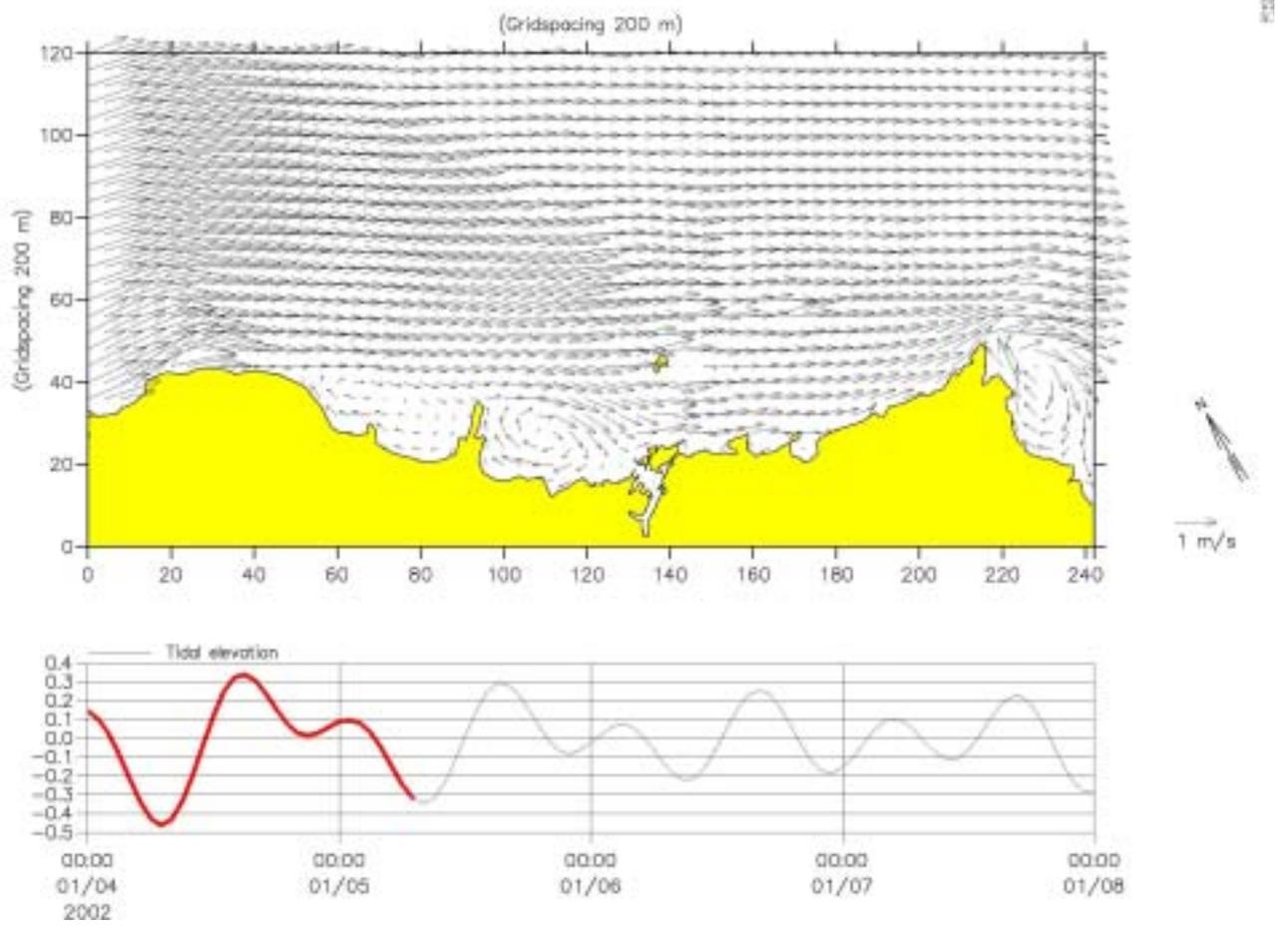


圖 3-22-1 富基至澳底海域考量風力影響之全平面性計算潮流流速分佈, 參考潮位:基隆港, 2002/01/05 07:00

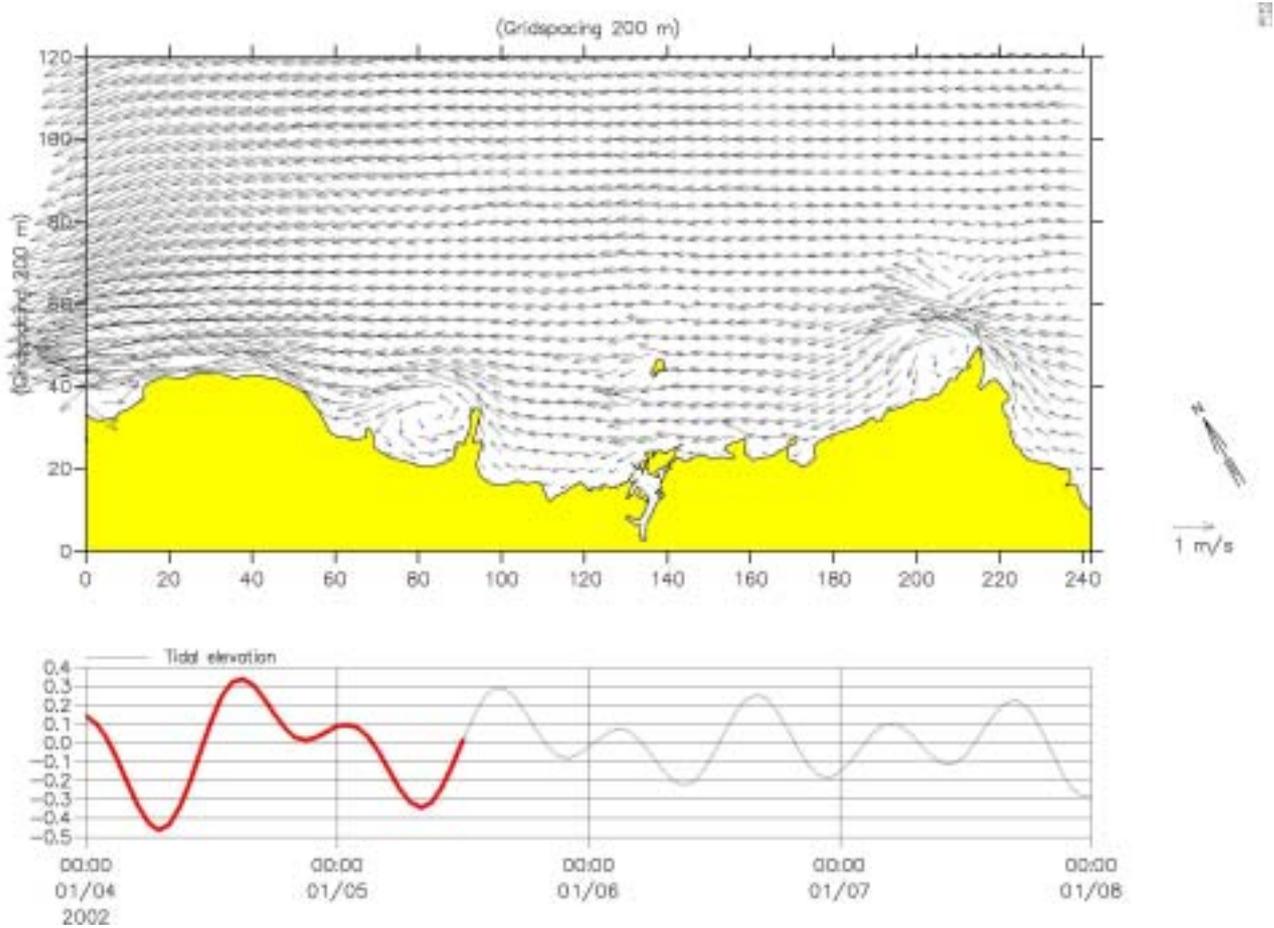


圖 3-22-2 富基至澳底海域考量風力影響之全平面性計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2002/01/05 12:00

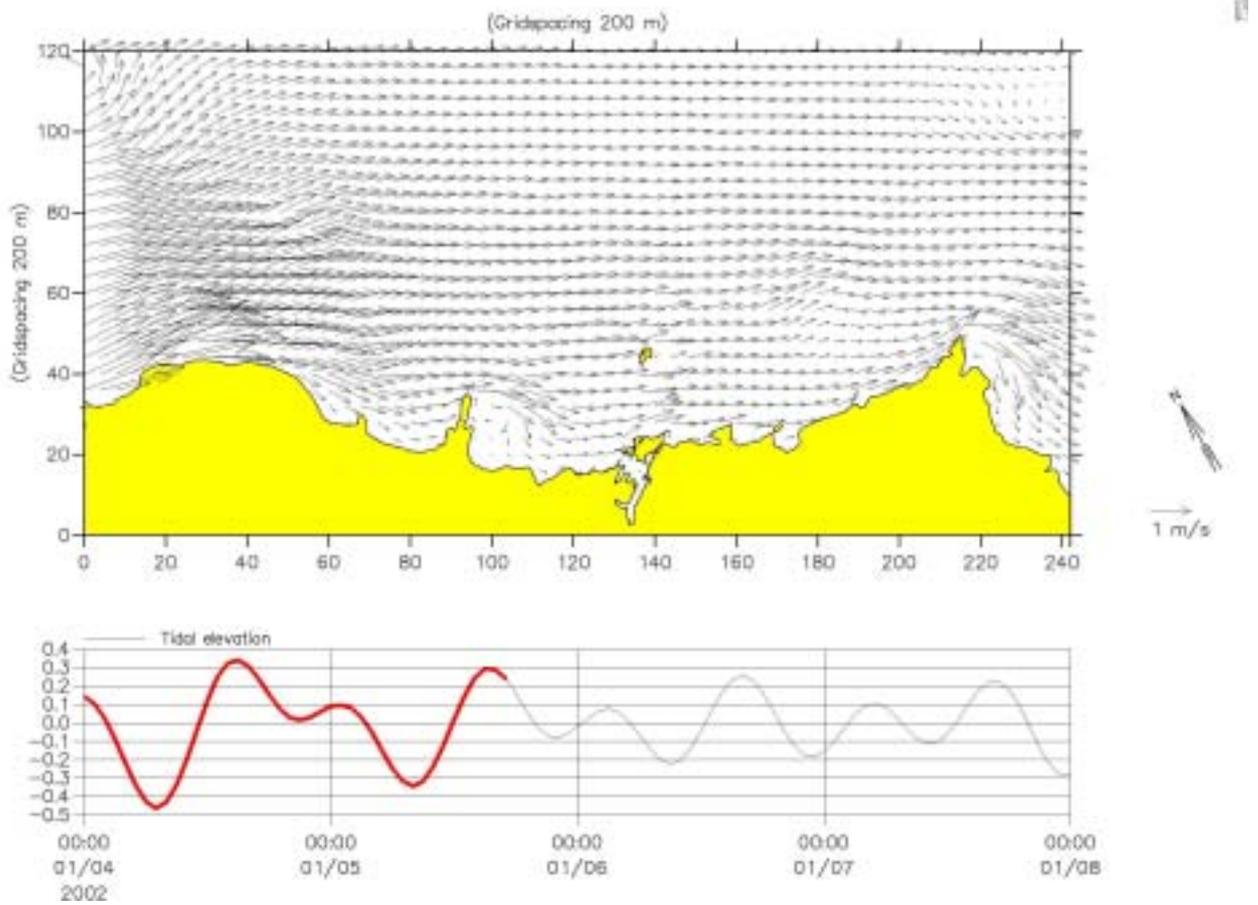


圖 3-22-3 富基至澳底海域考量風力影響之全平面性計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2002/01/05 17:00

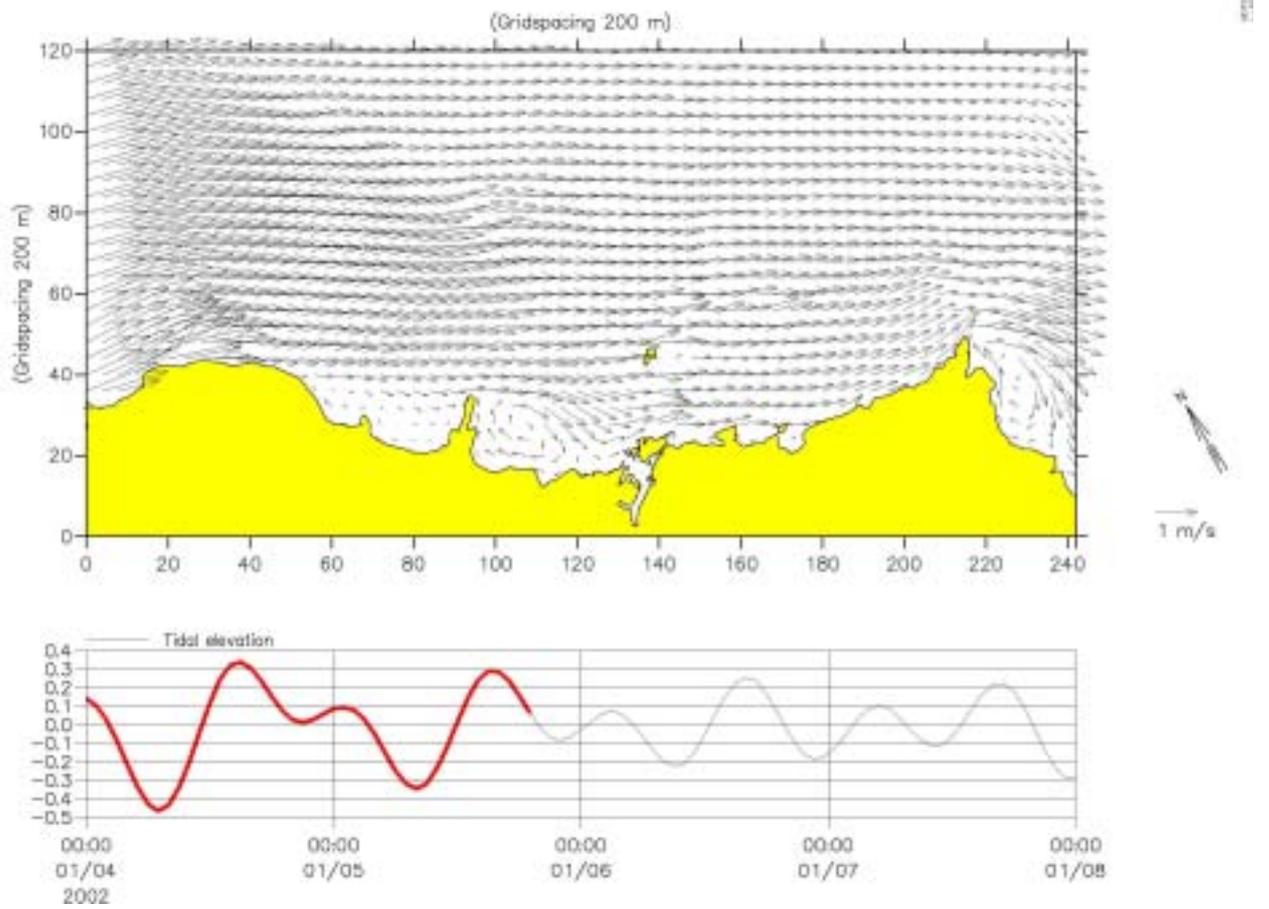


圖 3-22-4 富基至澳底海域考量風力影響之全平面性計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2002/01/05 19:00

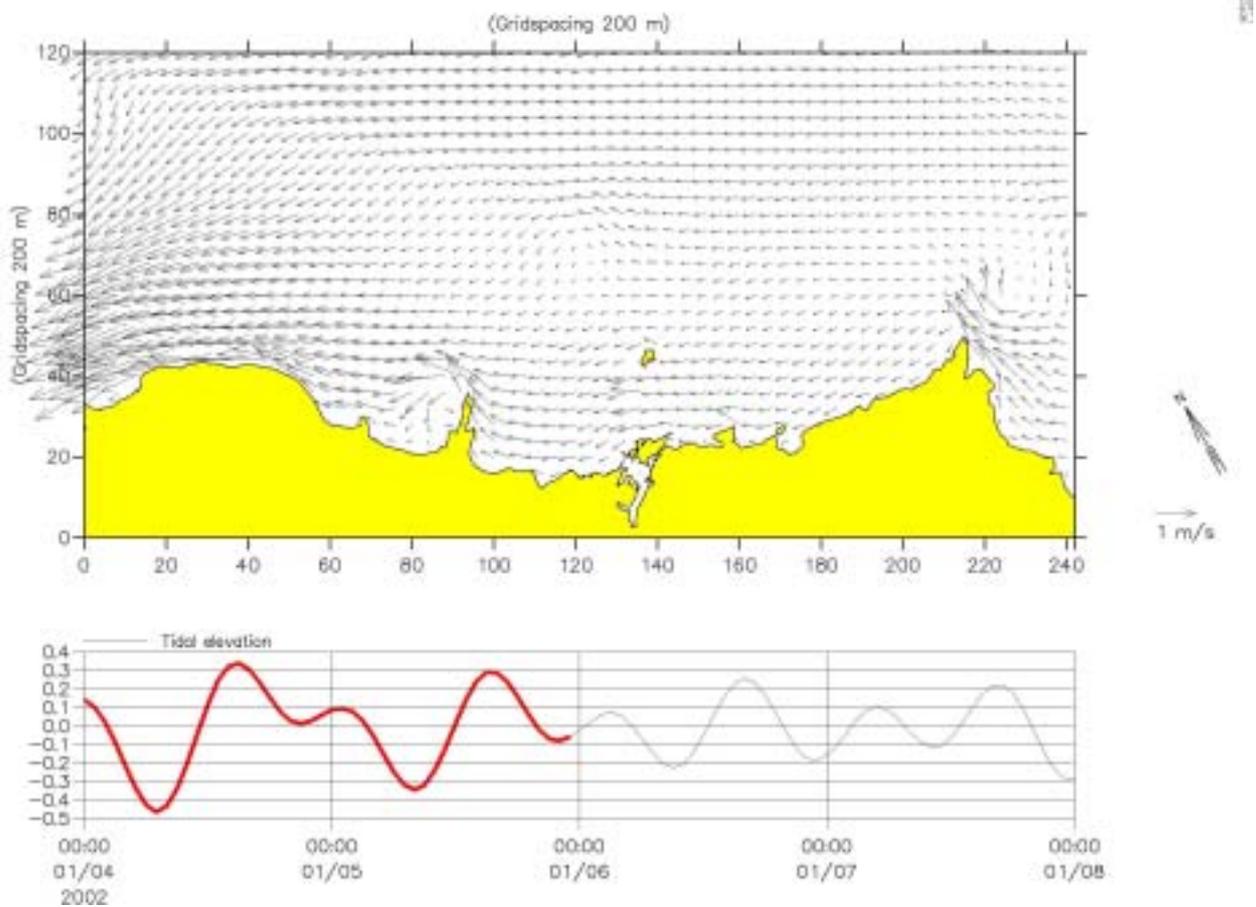


圖 3-22-5 富基至澳底海域考量風力影響之全平面性計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2002/01/05 23:00

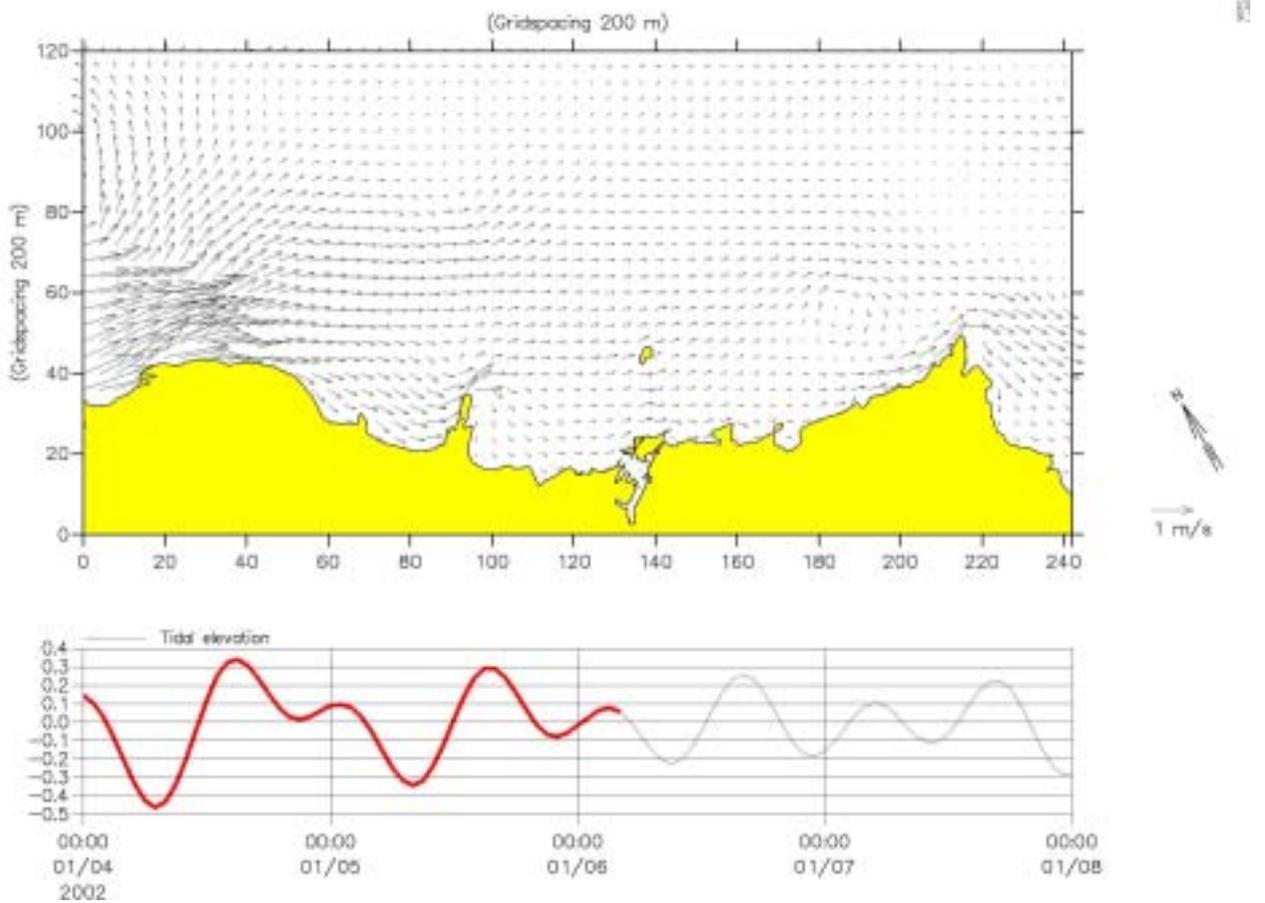


圖 3-22-6 富基至澳底海域考量風力影響之全平面性計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2002/01/06 04:00

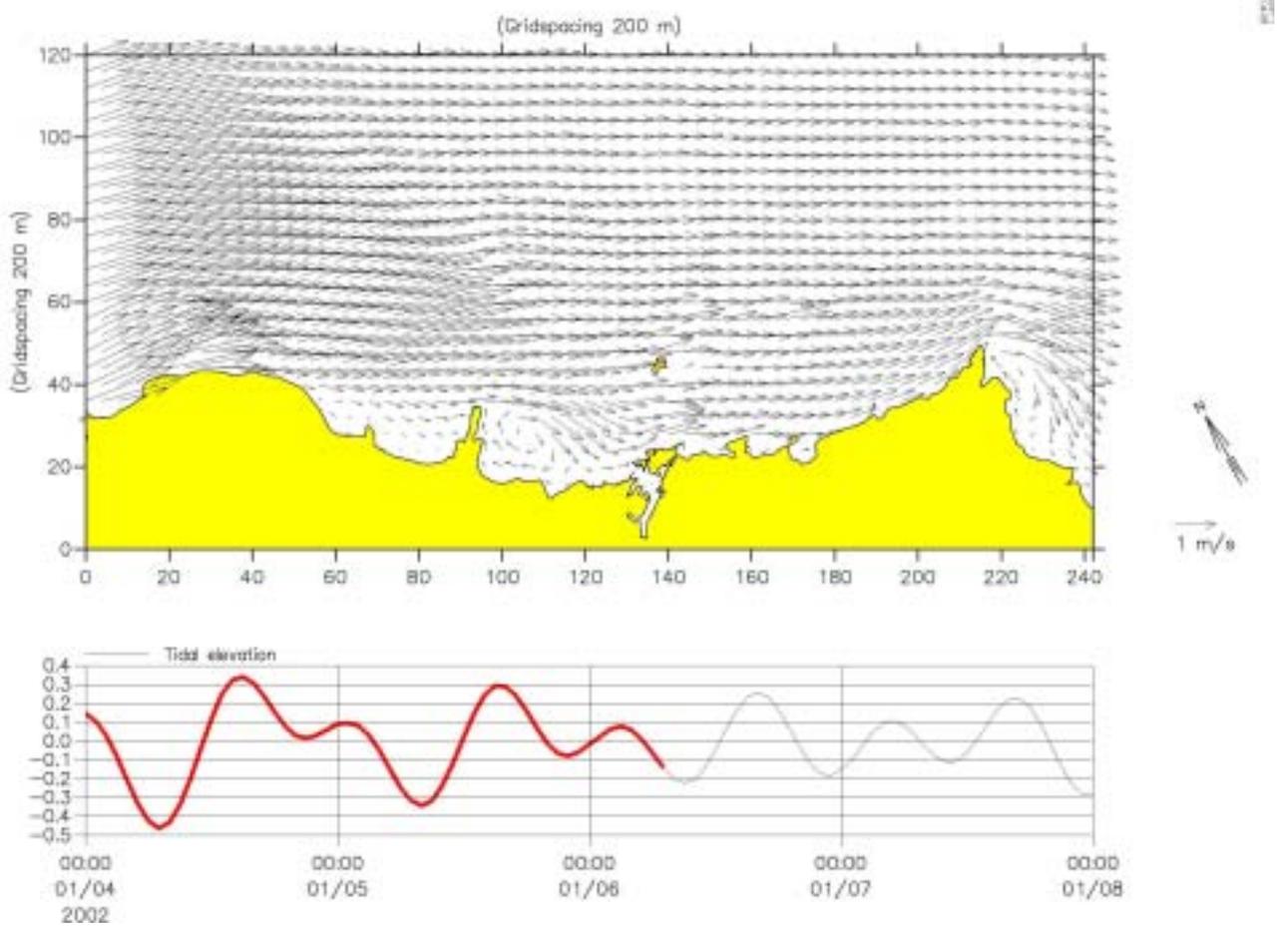


圖 3-22-7 富基至澳底海域考量風力影響之全平面性計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2002/01/06 07:00

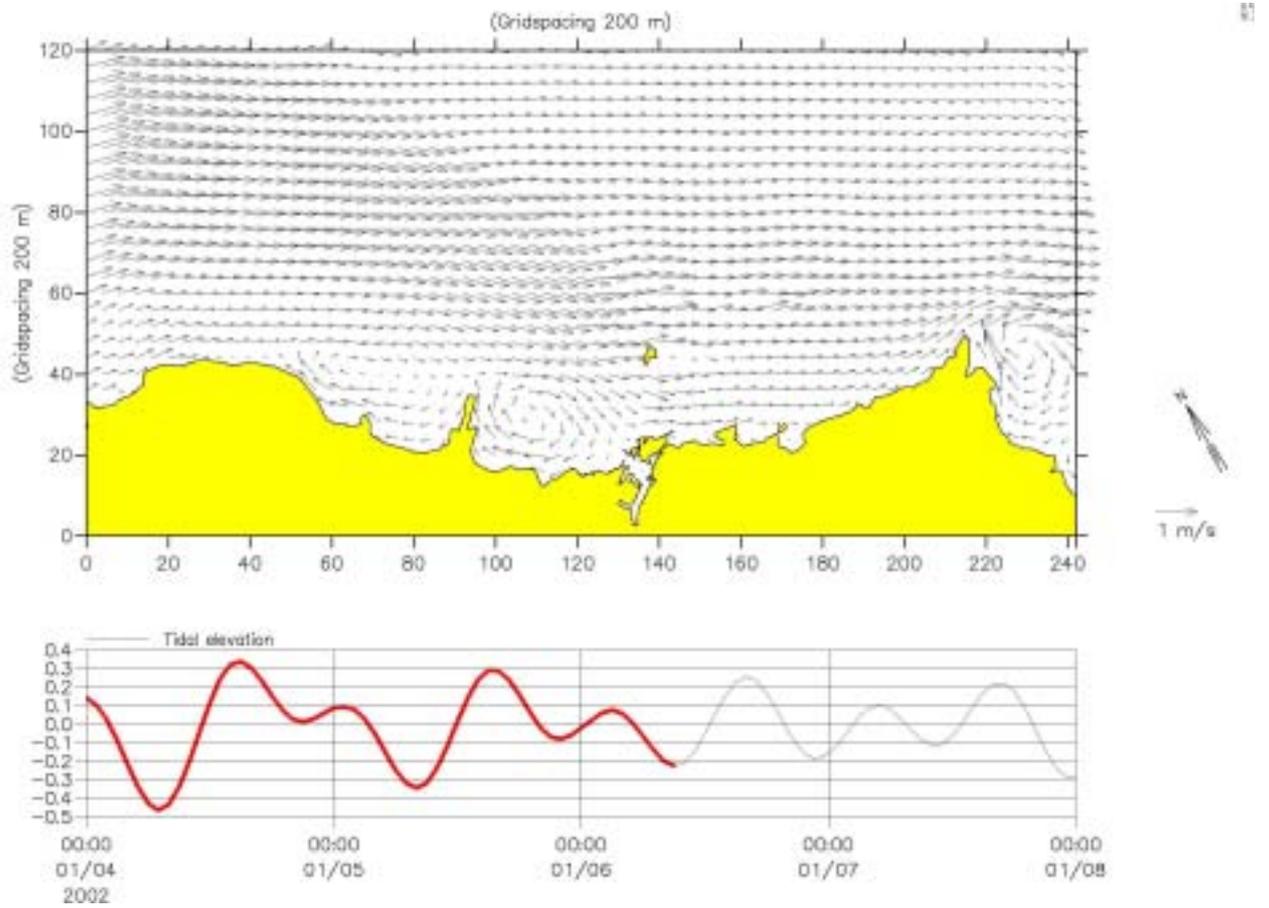


圖 3-22-8 富基至澳底海域考量風力影響之全平面性計算潮流流速分佈，參考潮位：基隆港，2002/01/06 09:00

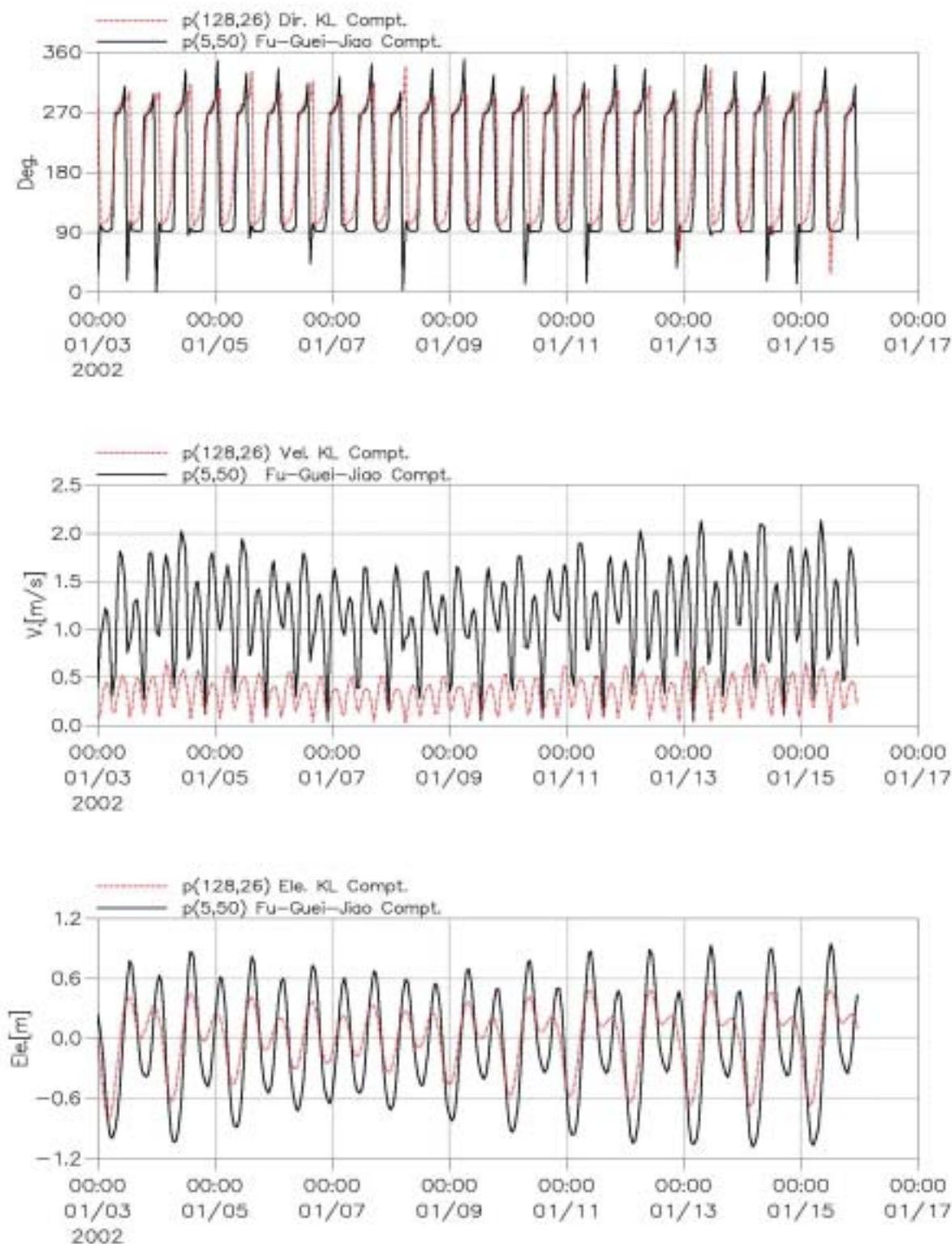


圖 3-23-1 富基至澳底海域在風力作用下富貴角計算海流之流向(上)、流速(中)及潮位(下)與基隆港計算潮位之對照比較

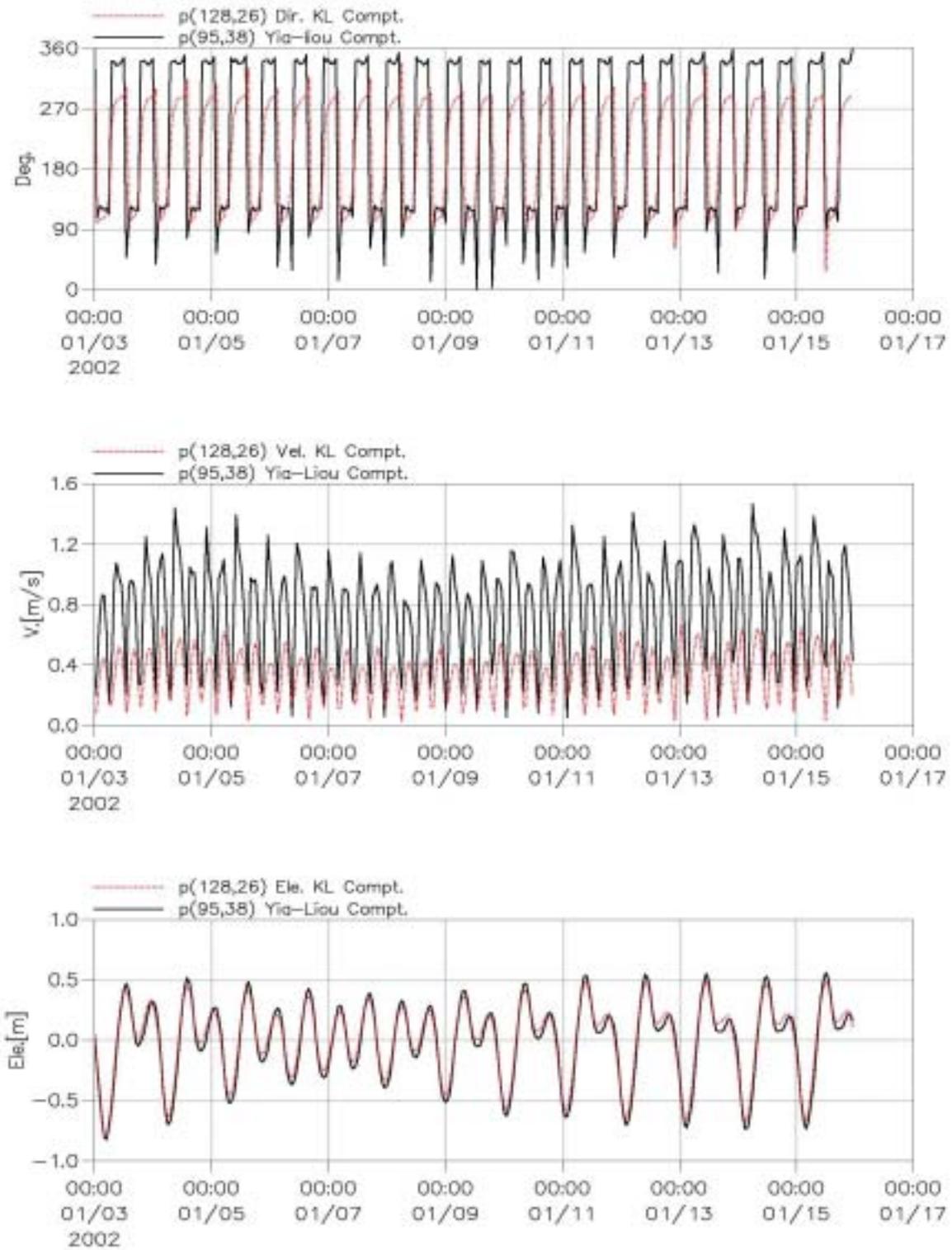


圖 3-23-2 富基至澳底海域在風力作用下野柳岬計算海流之流向(上)、流速 (中)及潮位(下)與基隆港計算潮位之對照比較

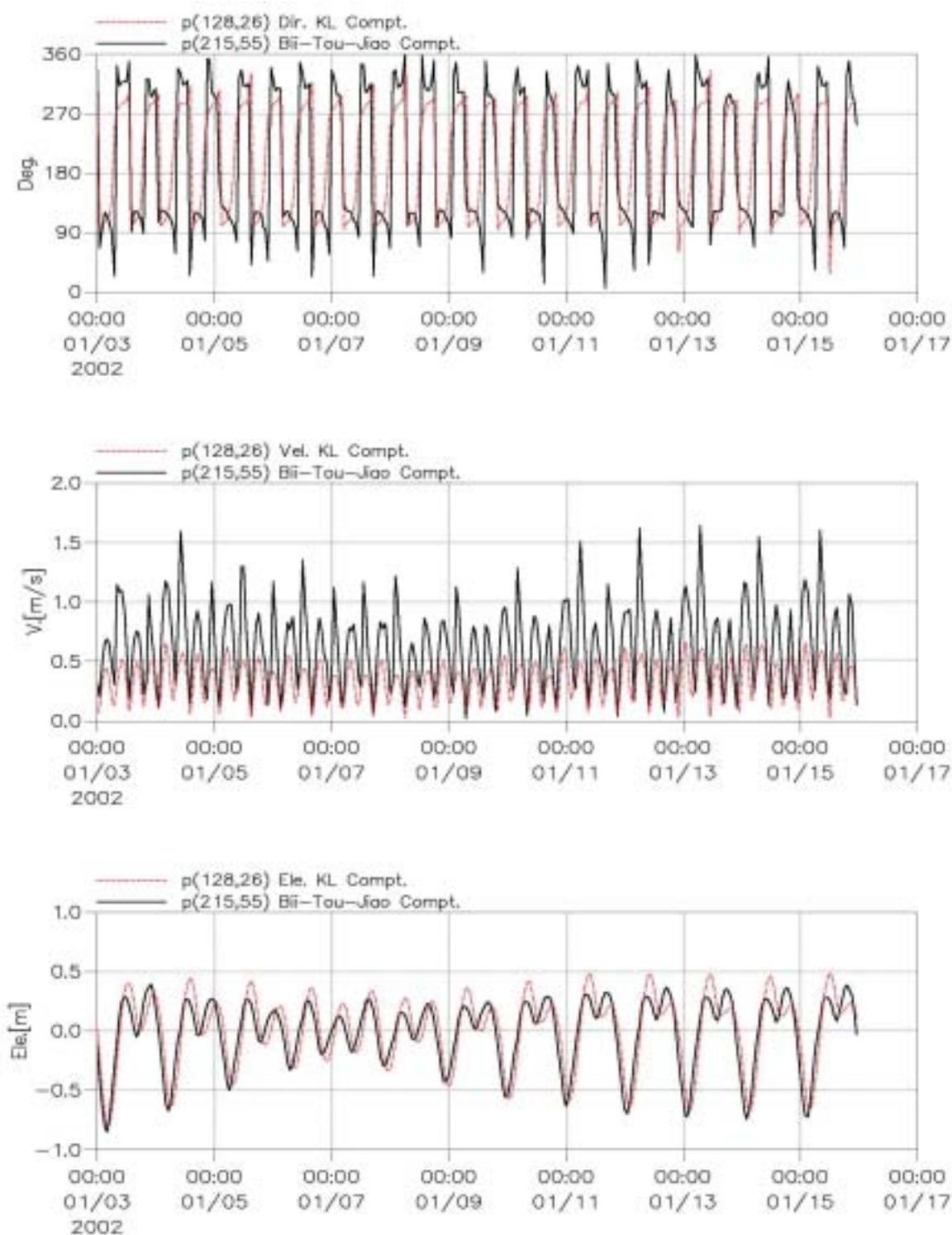


圖 3-23-3 富基至澳底海域在風力作用下鼻頭角計算海流之流向(上)、流速(中)及潮位(下)與基隆港計算潮位之對照比較

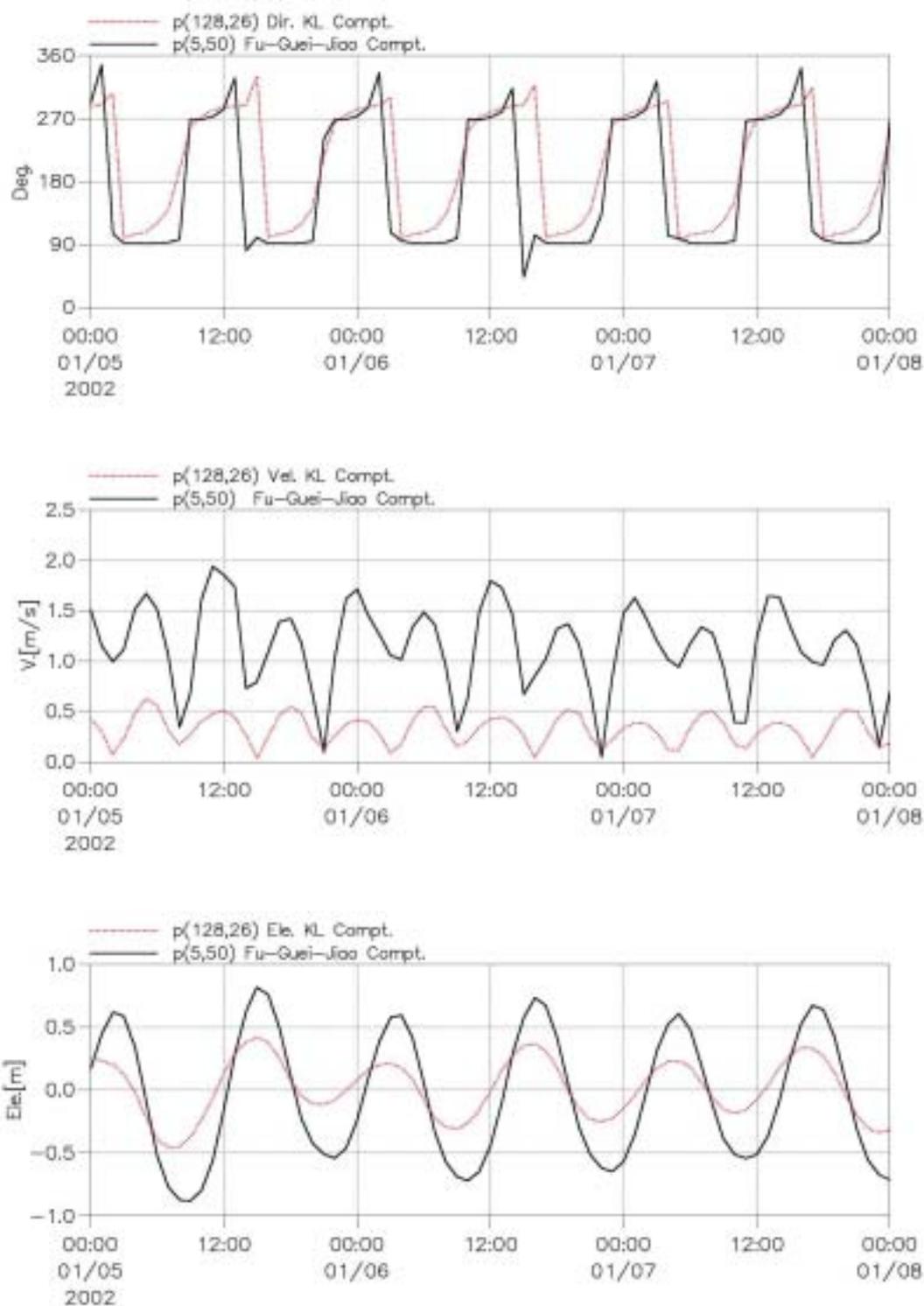


圖 3-24-1 富基至澳底海域在風力作用下富貴角計算海流之流向(上)、流速(中)及潮位(下)與基隆港計算潮位之對照比較

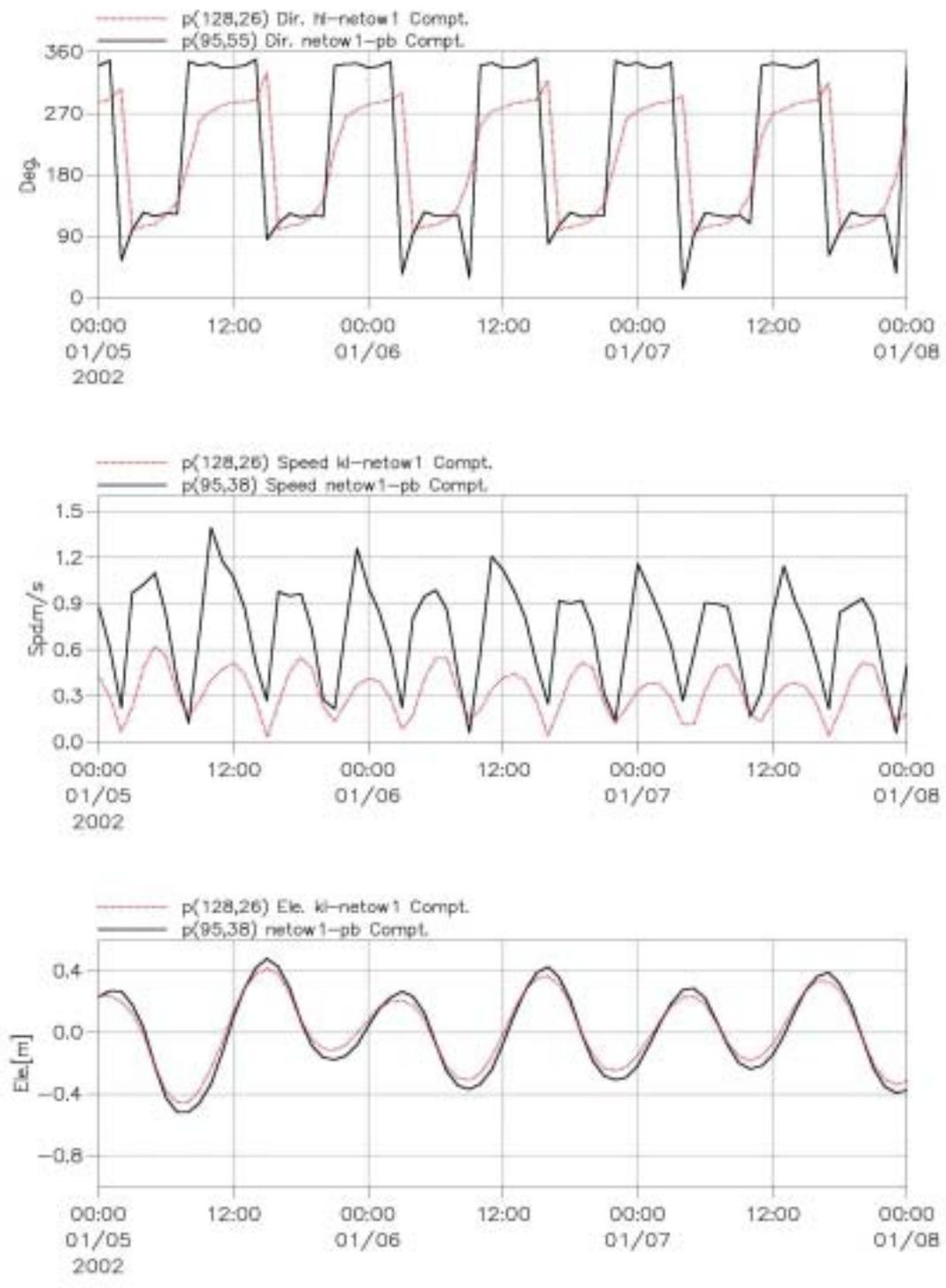


圖 3-24-2 富基至澳底海域在風力作用下野柳岬計算海流之流向(上)、流速(中)及潮位(下)與基隆港計算潮位之對照比較

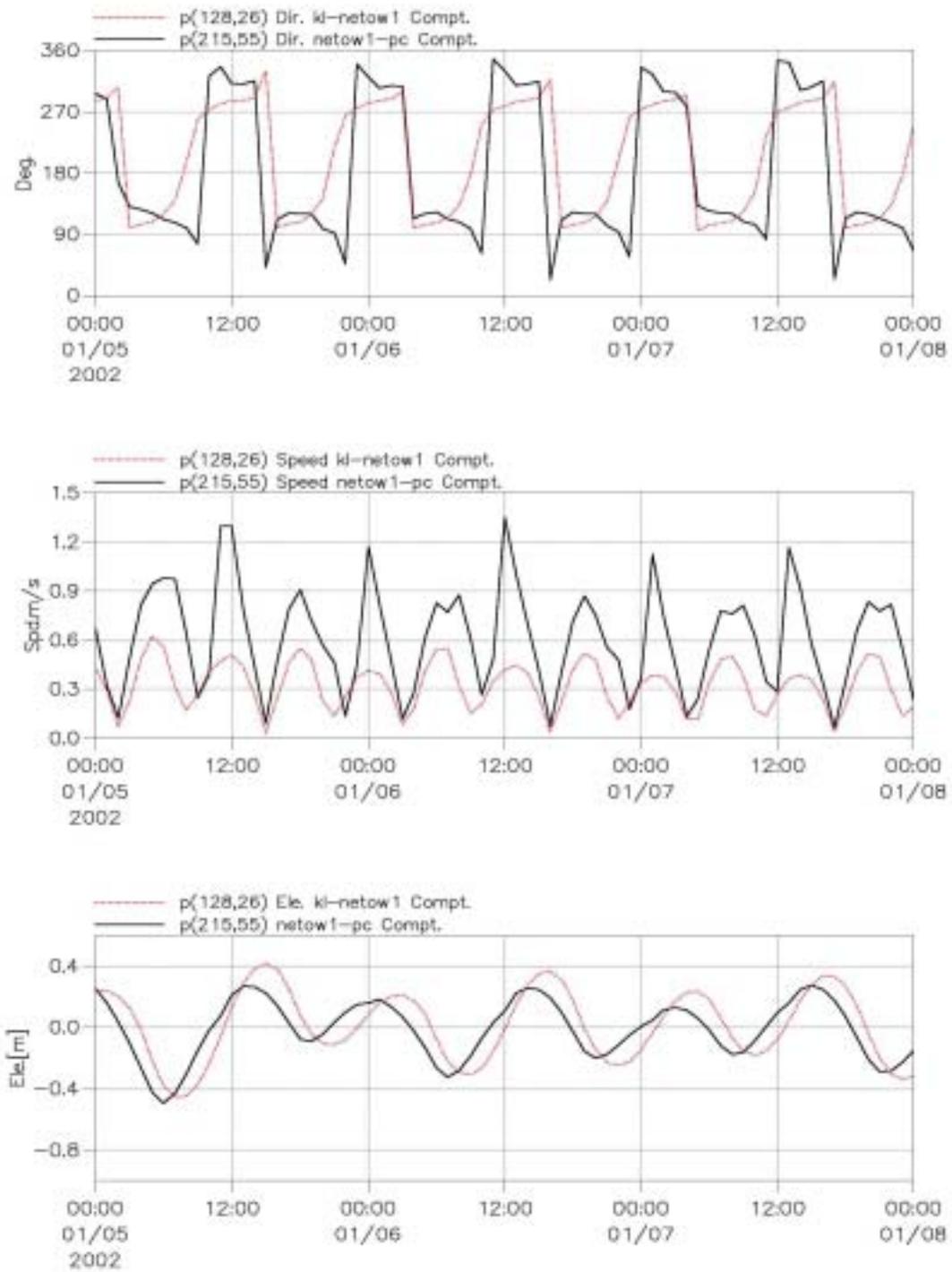


圖 3-24-3 富基至澳底海域在風力作用下鼻頭角計算海流之流向(上)、流速(中)及潮位(下)與基隆港計算潮位之對照比較

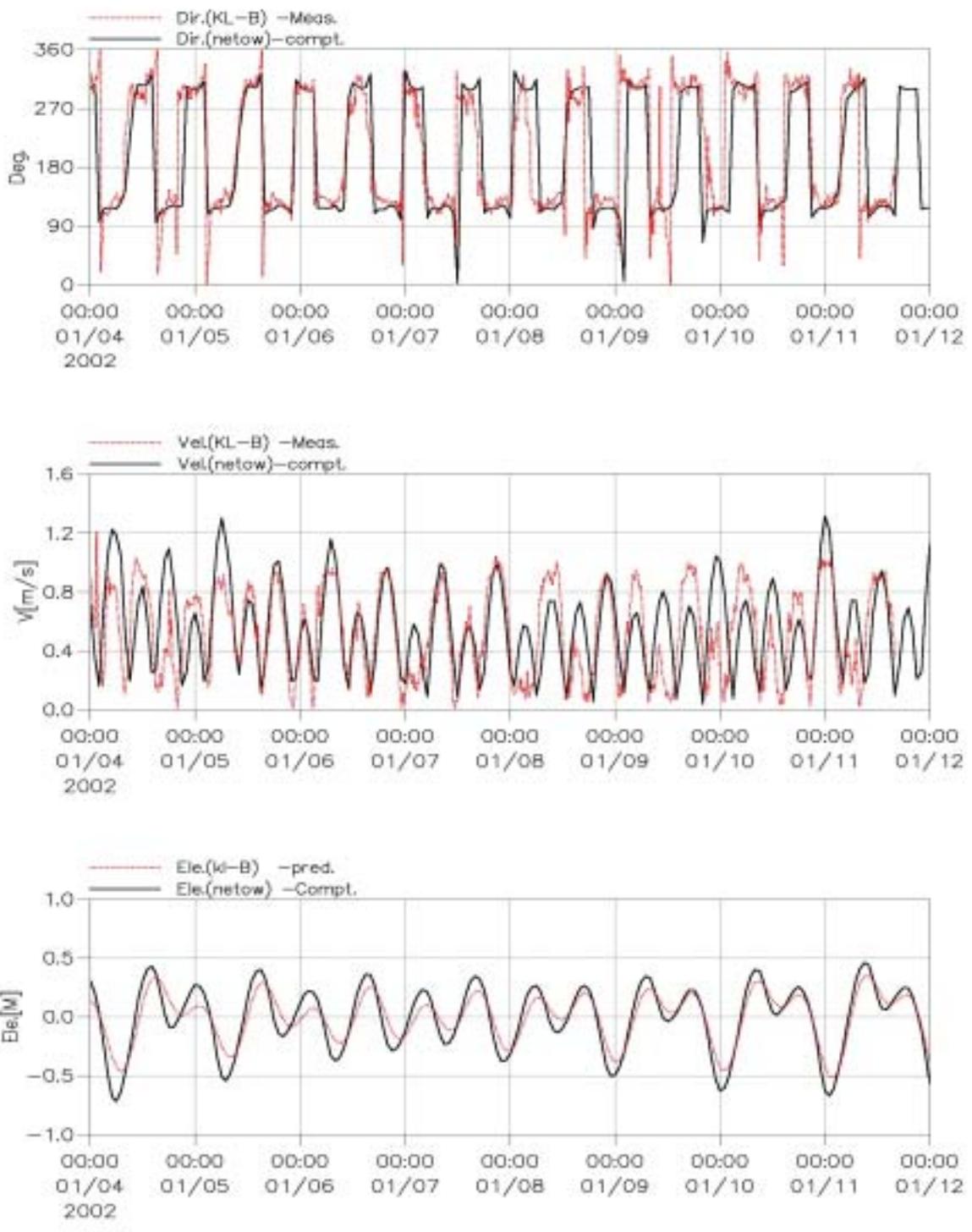


圖 3-25 富基至澳底海域在風力作用下測站 B 之計算流向(上)、流速(中)及潮位(下)與實測海流之驗證之比較

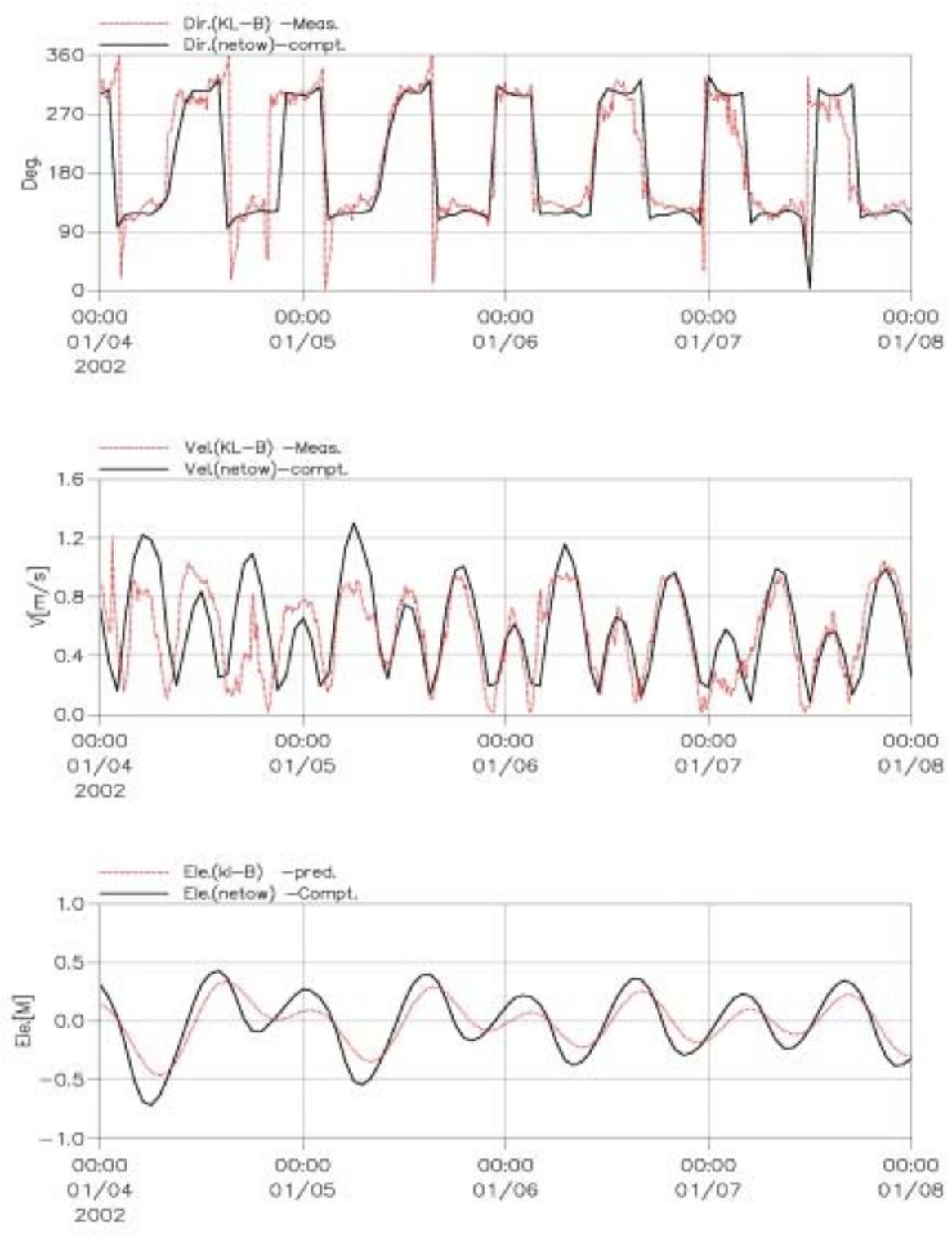


圖 3-26 富甚至澳底海域在風力作用下測站 B 之計算流向(上)、流速(中)及潮位(下)與實測海流之詳細驗證比較

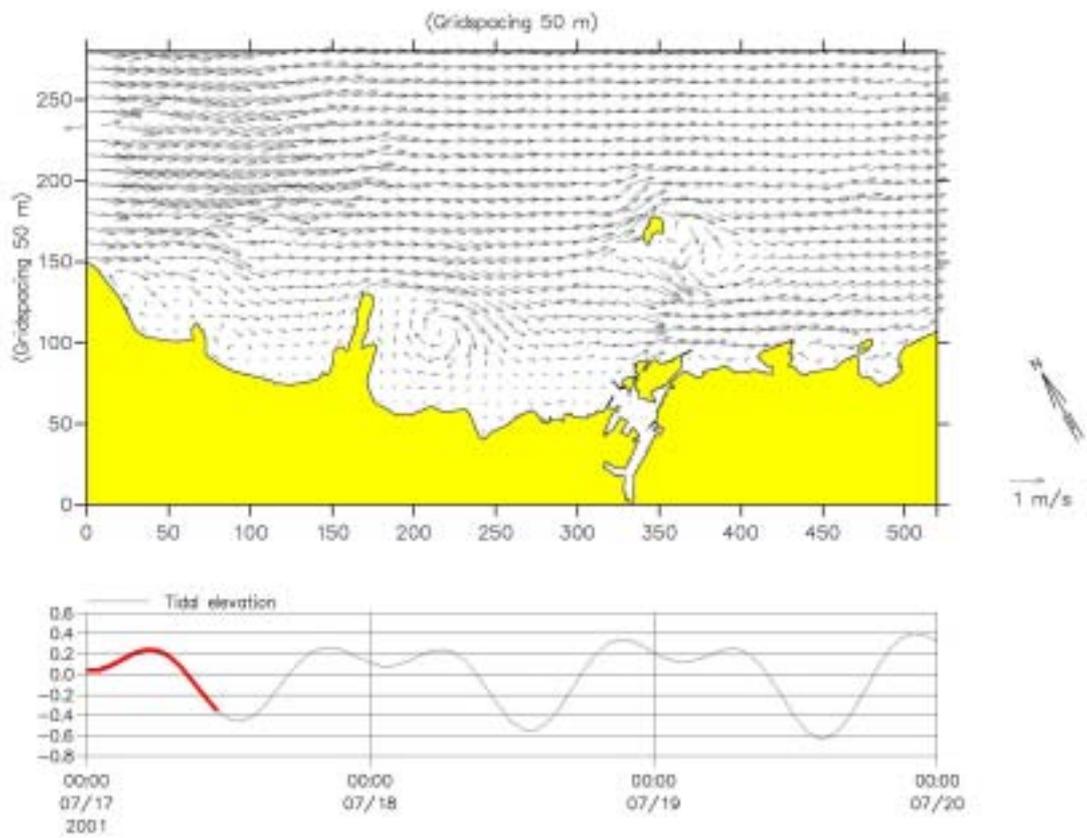


圖 3-27-1 基隆港海域全平面性之計算潮流流速分佈
 參考潮位:基隆港, 2001/07/17 11:00

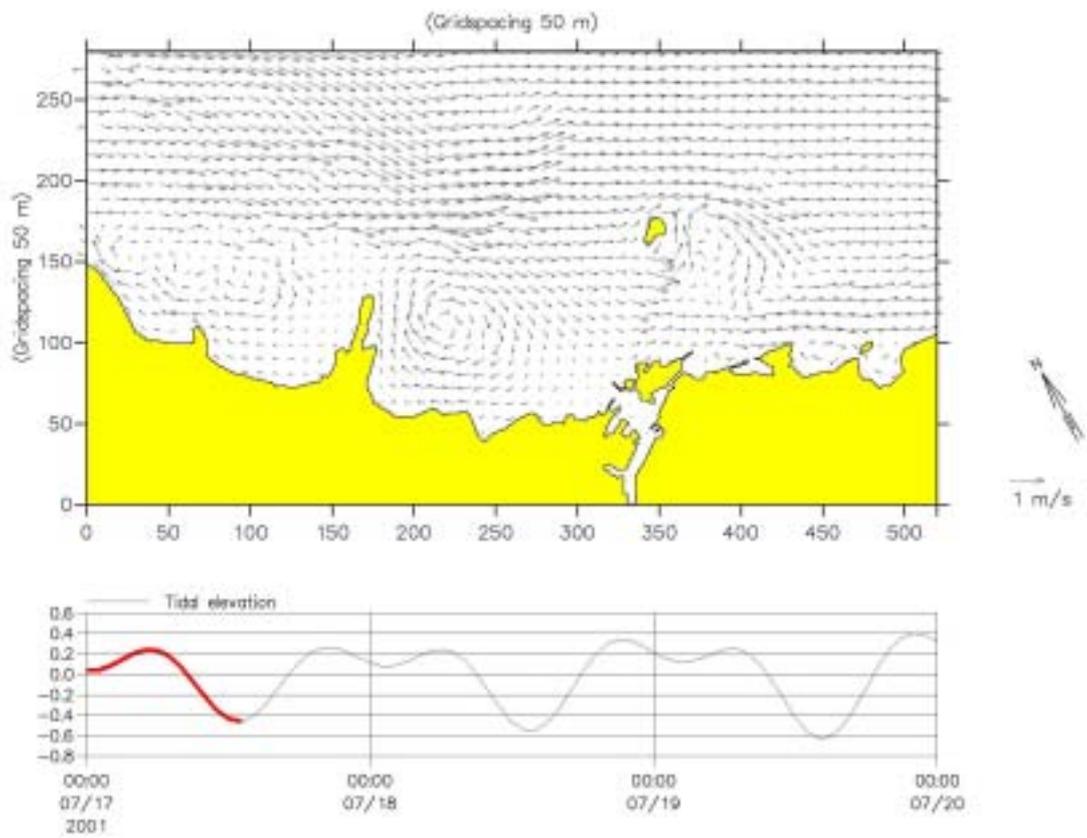


圖 3-27-2 基隆港海域全平面性之計算潮流流速分佈
 參考潮位:基隆港, 2001/07/17 13:00

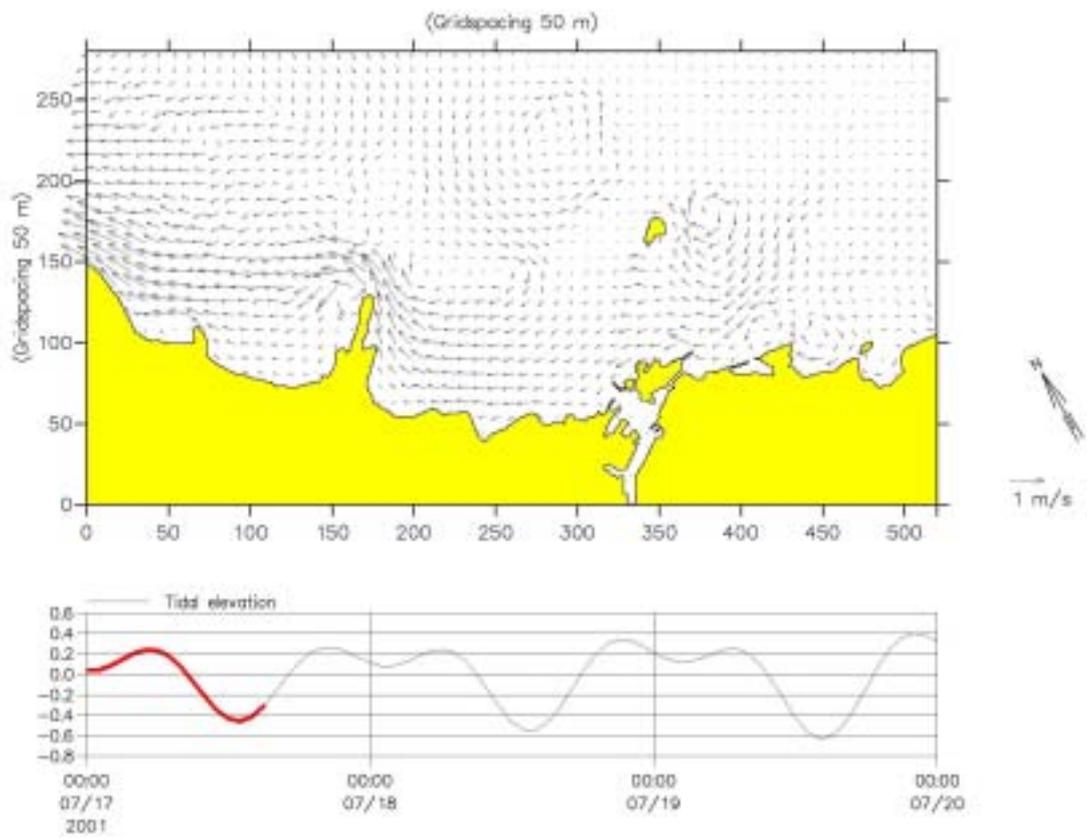


圖 3-27-3 基隆港海域全平面性之計算潮流流速分佈
參考潮位:基隆港, 2001/07/17 15:00

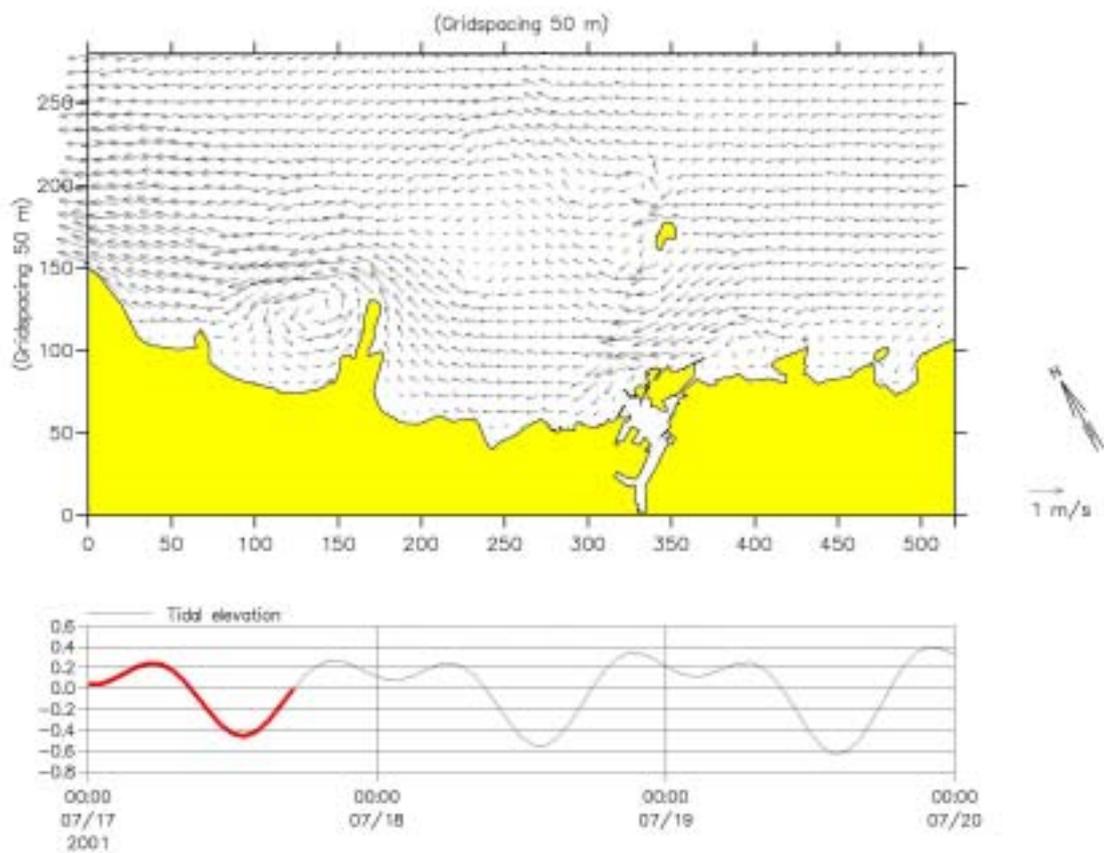


圖 3-27-4 基隆港海域全平面性之計算潮流流速分佈
參考潮位:基隆港, 2001/07/17 17:00

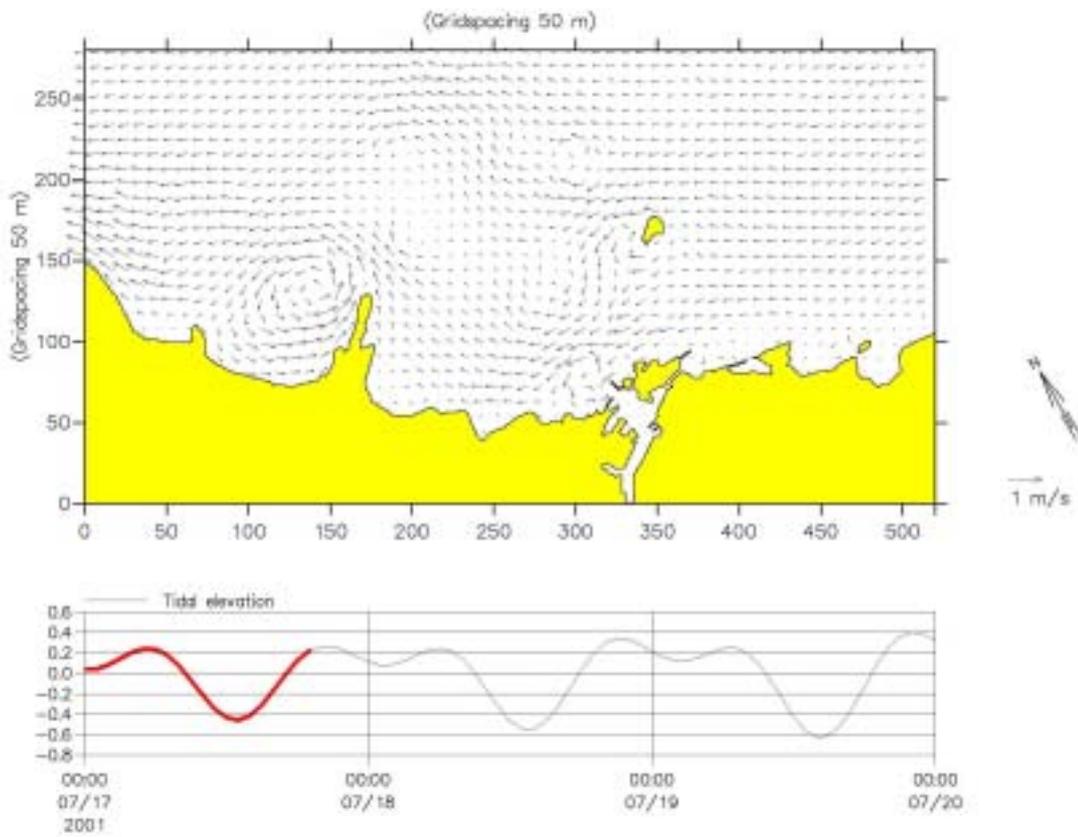


圖 3-27-5 基隆港海域全平面性之計算潮流流速分佈
參考潮位:基隆港, 2001/07/17 19:00

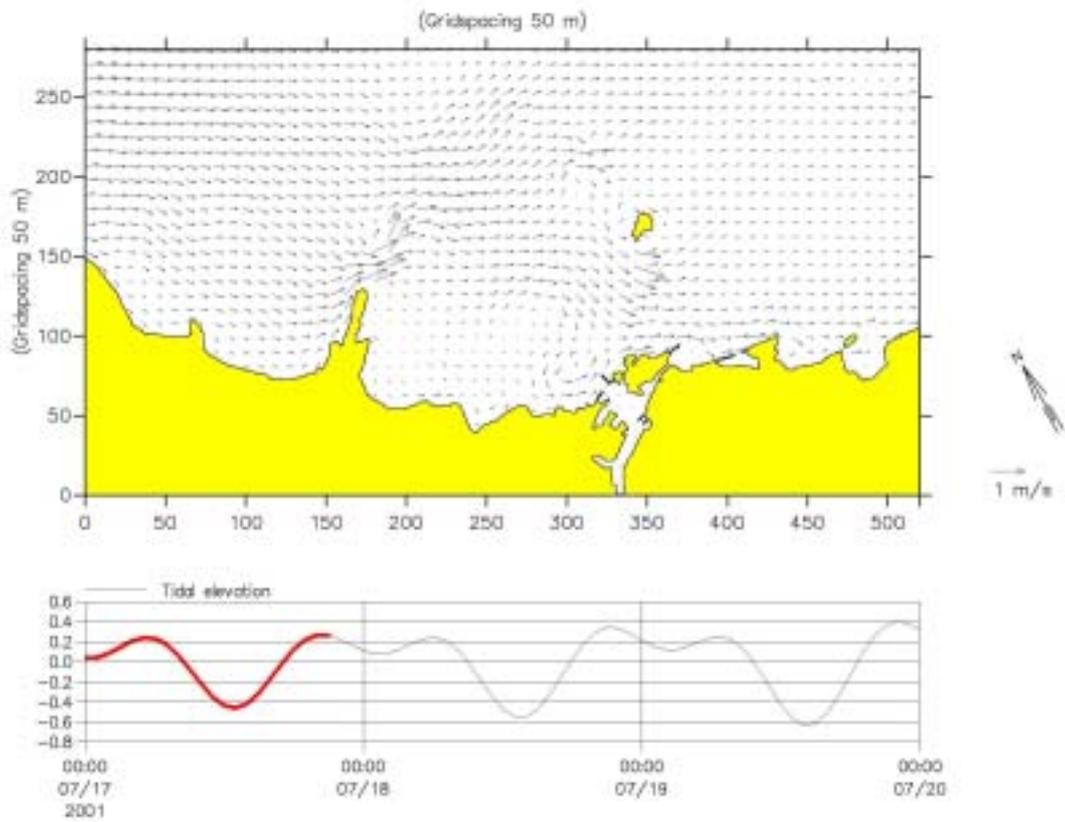


圖 3-27-6 基隆港海域全平面性之計算潮流流速分佈
參考潮位:基隆港, 2001/07/17 21:00

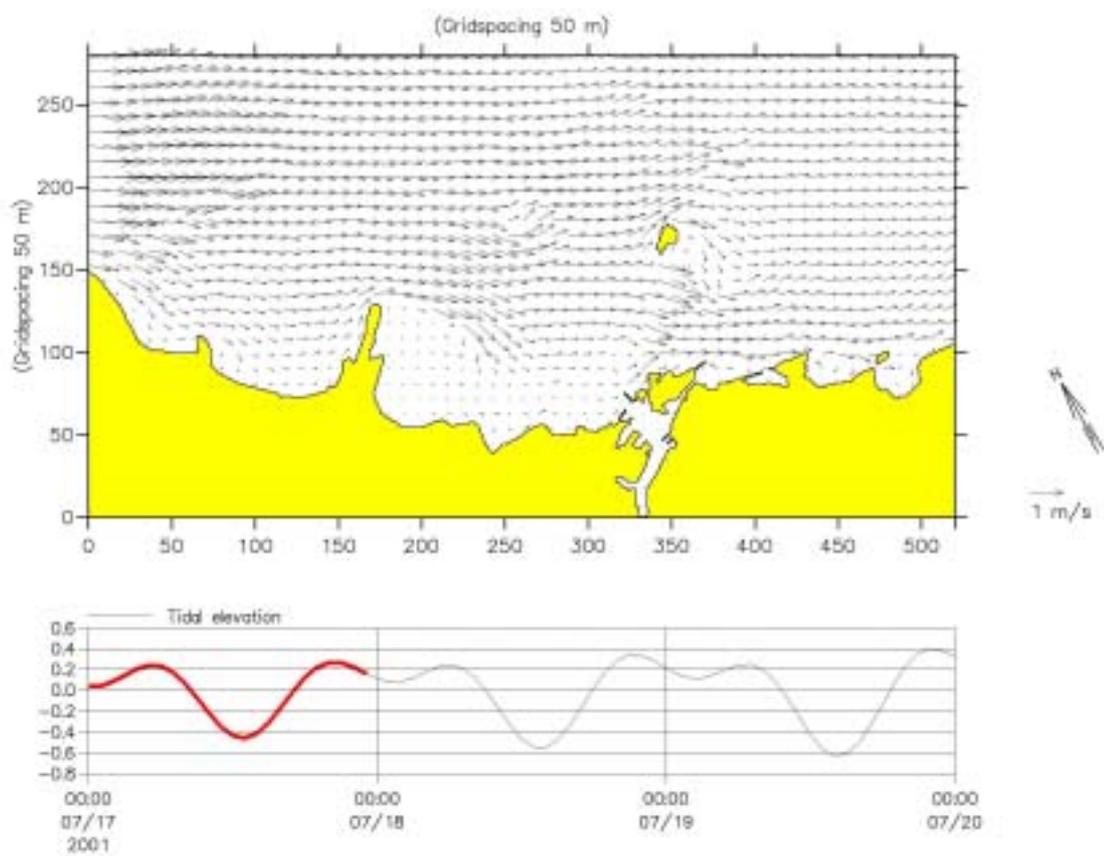


圖 3-27-7 基隆港海域全平面性之計算潮流流速分佈
參考潮位:基隆港, 2001/07/17 23:00

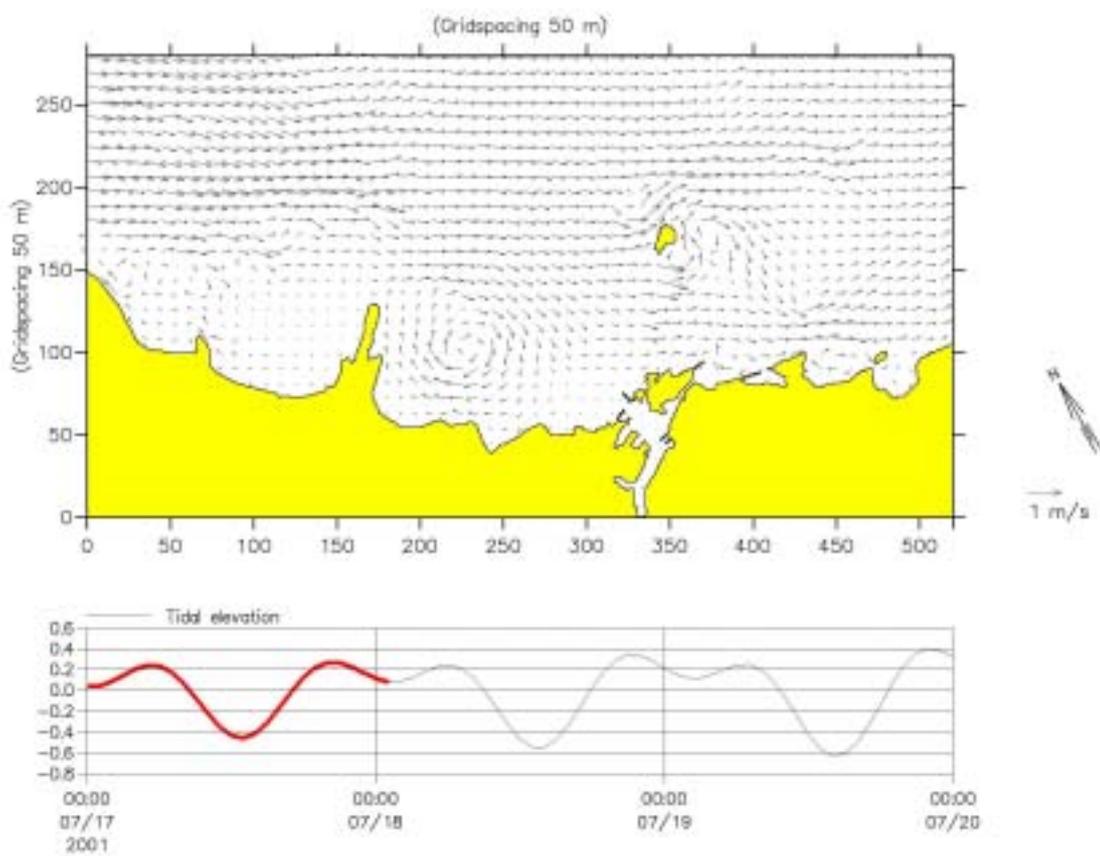


圖 3-27-8 基隆港海域全平面性之計算潮流流速分佈
參考潮位:基隆港, 2001/07/18 01:00

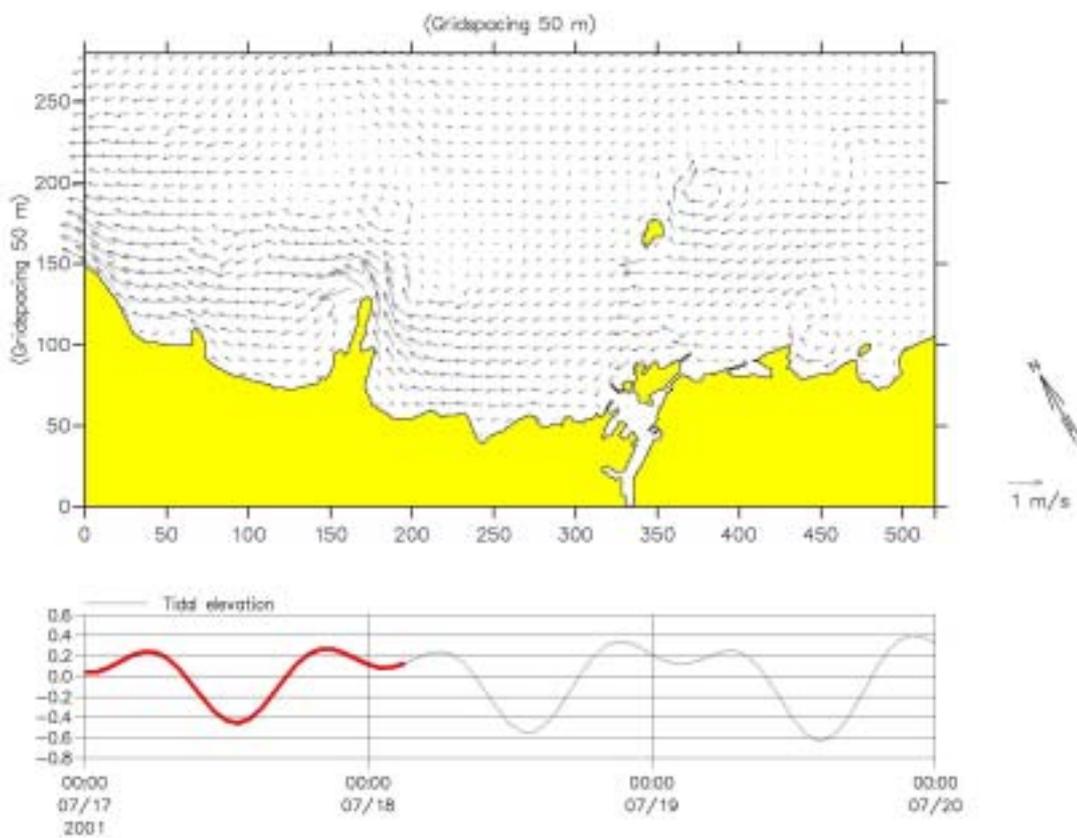
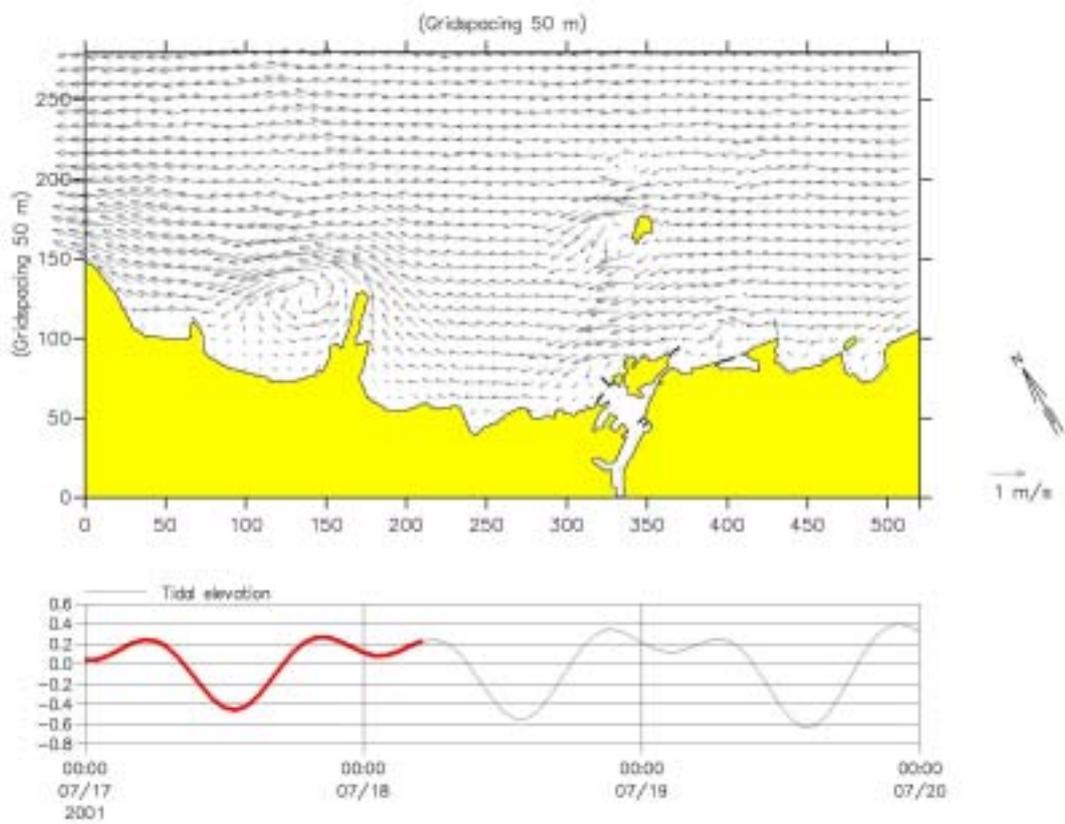


圖 3-27-9 基隆港海域全平面性之計算潮流流速分佈
 參考潮位:基隆港, 2001/07/18 03:00



**圖 3-27-10 基隆港海域全平面性之計算潮流流速分佈
參考潮位:基隆港, 2001/07/18 05:00**

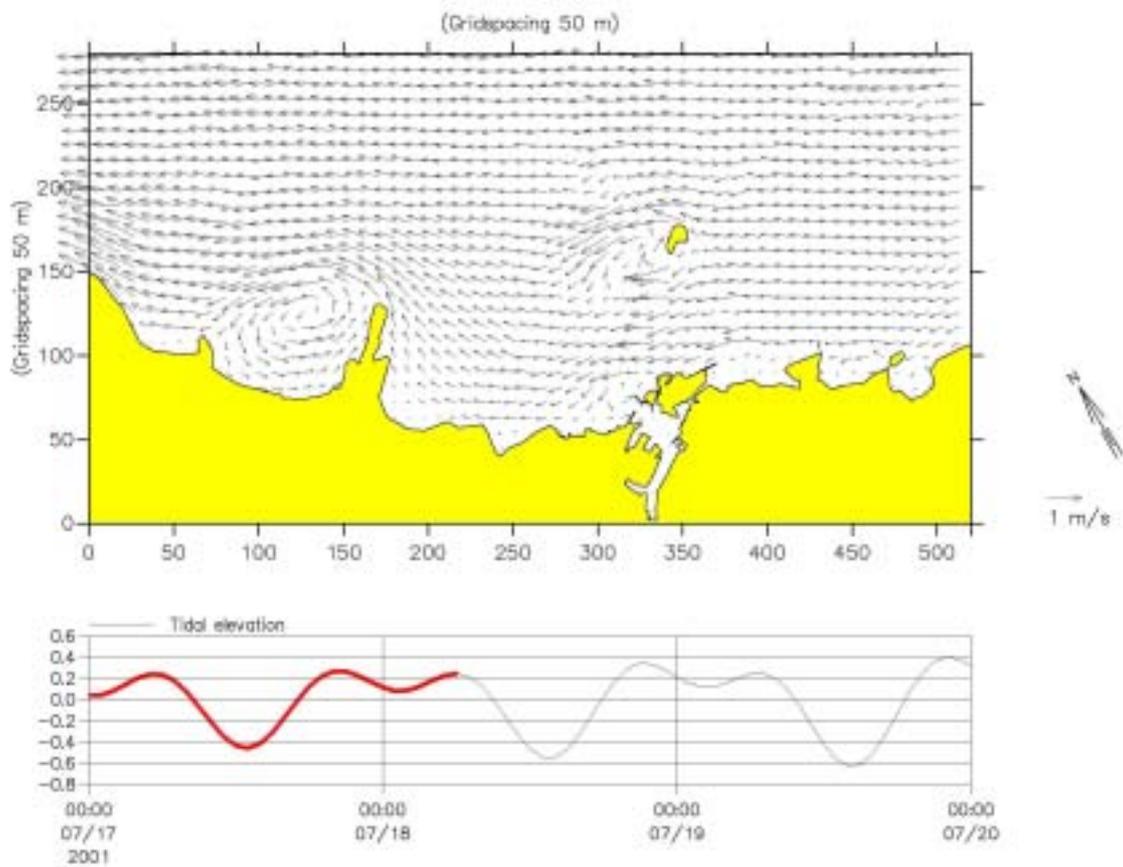


圖 3-27-11 基隆港海域全平面性之計算潮流流速分佈
 參考潮位:基隆港, 2001/07/18 06:00

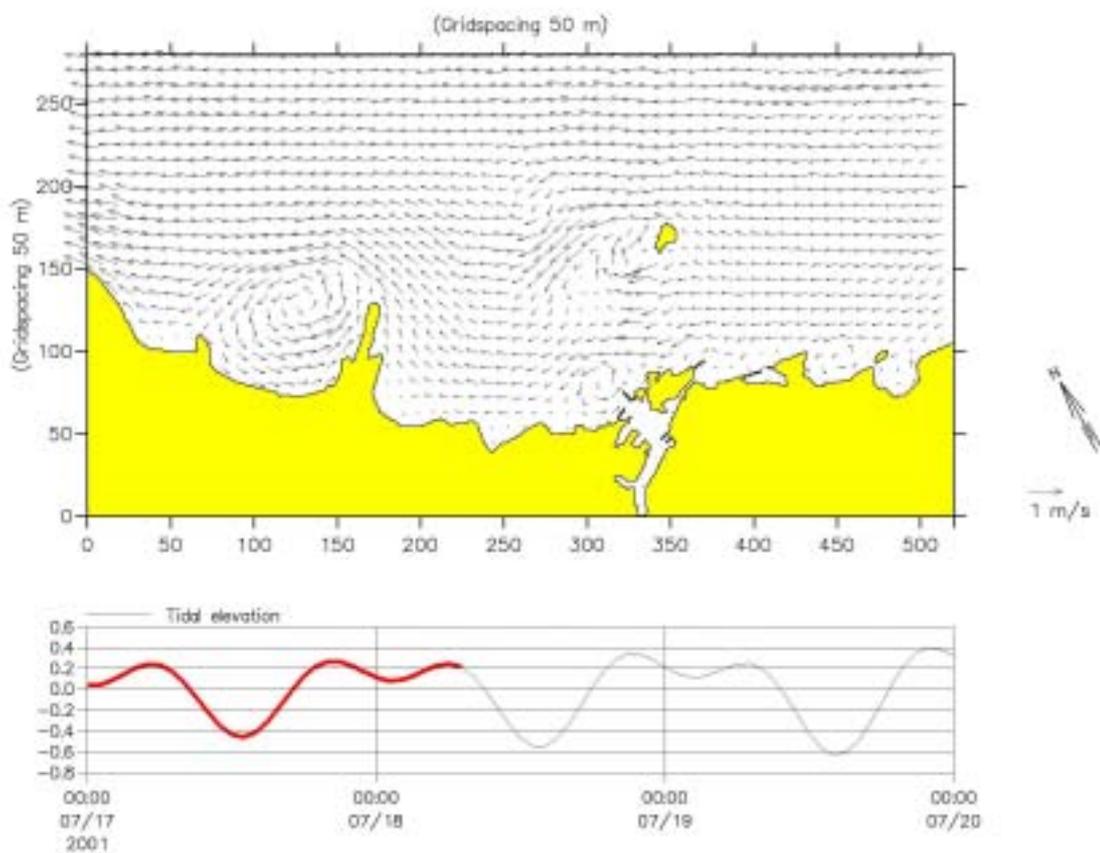


圖 3-27-12 基隆港海域全平面性之計算潮流流速分佈
 參考潮位:基隆港, 2001/07/18 07:00

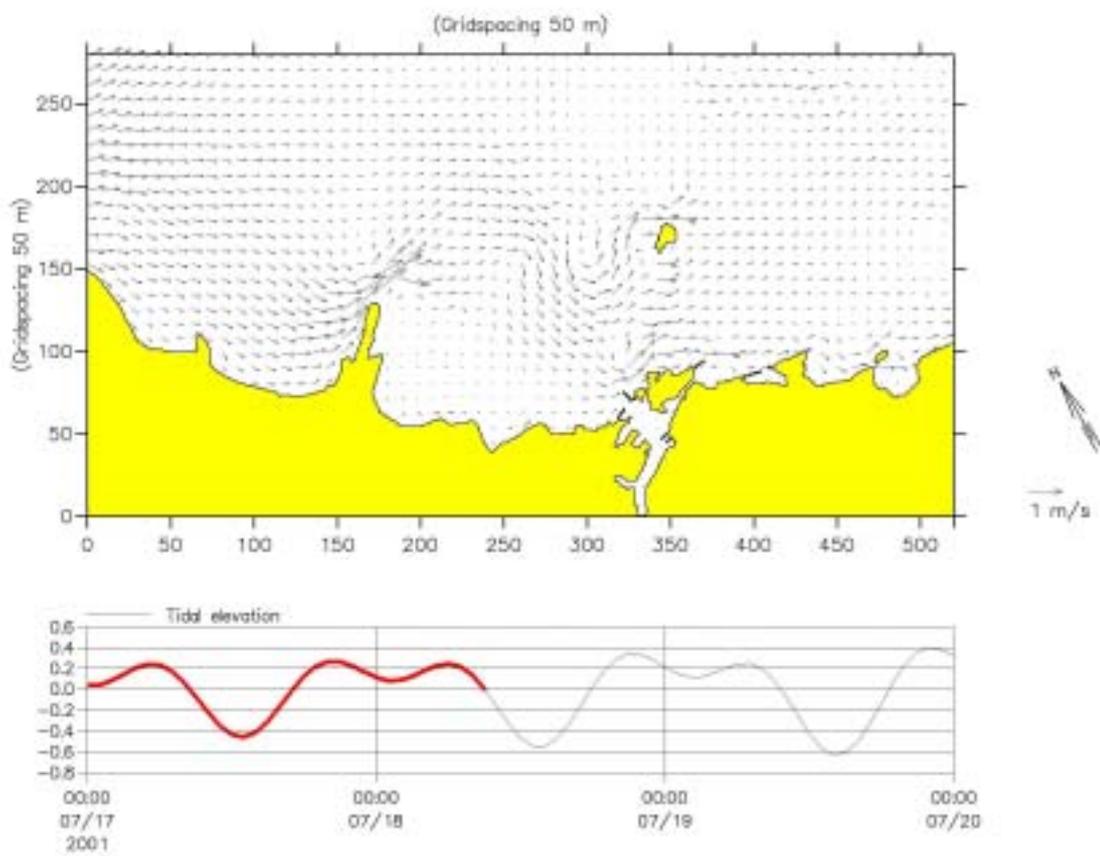


圖 3-27-13 基隆港海域全平面性之計算潮流流速分佈
參考潮位:基隆港, 2001/07/18 09:00

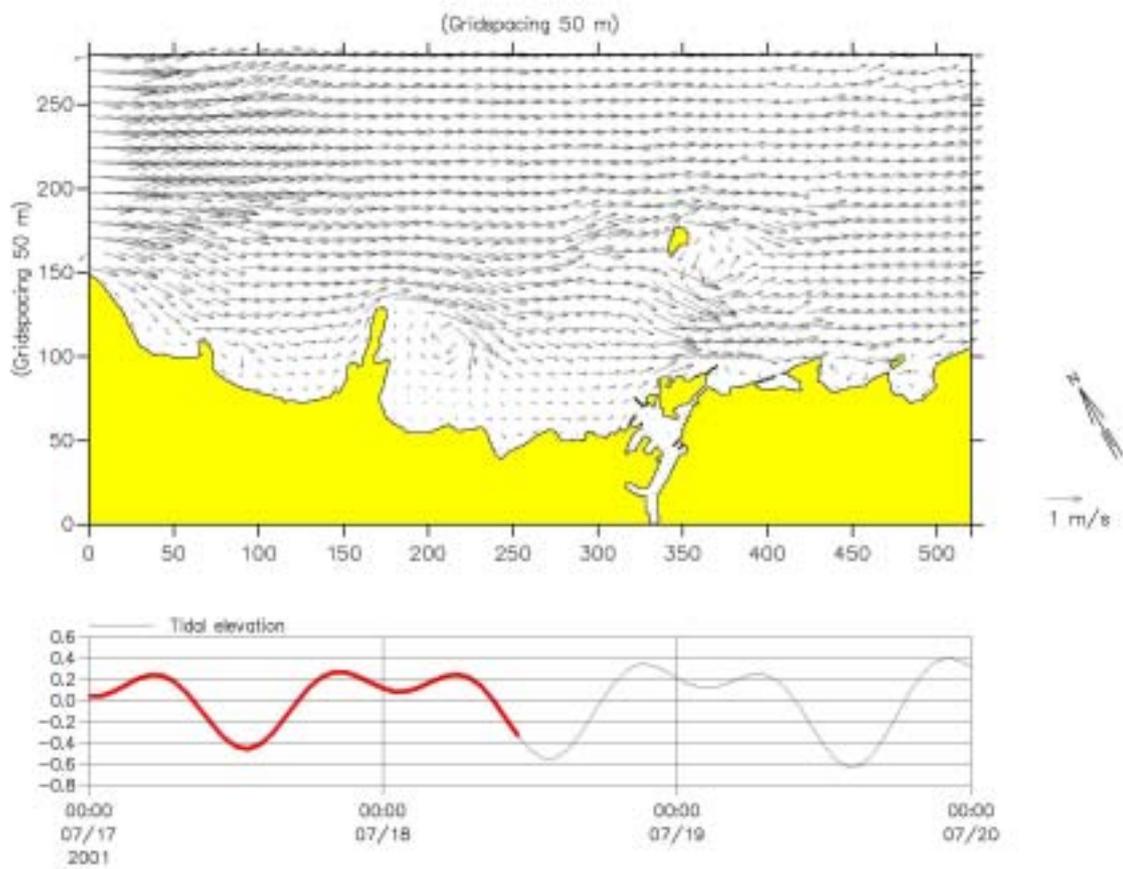


圖 3-27-14 基隆港海域全平面性之計算潮流流速分佈
 參考潮位:基隆港, 2001/07/18 11:00

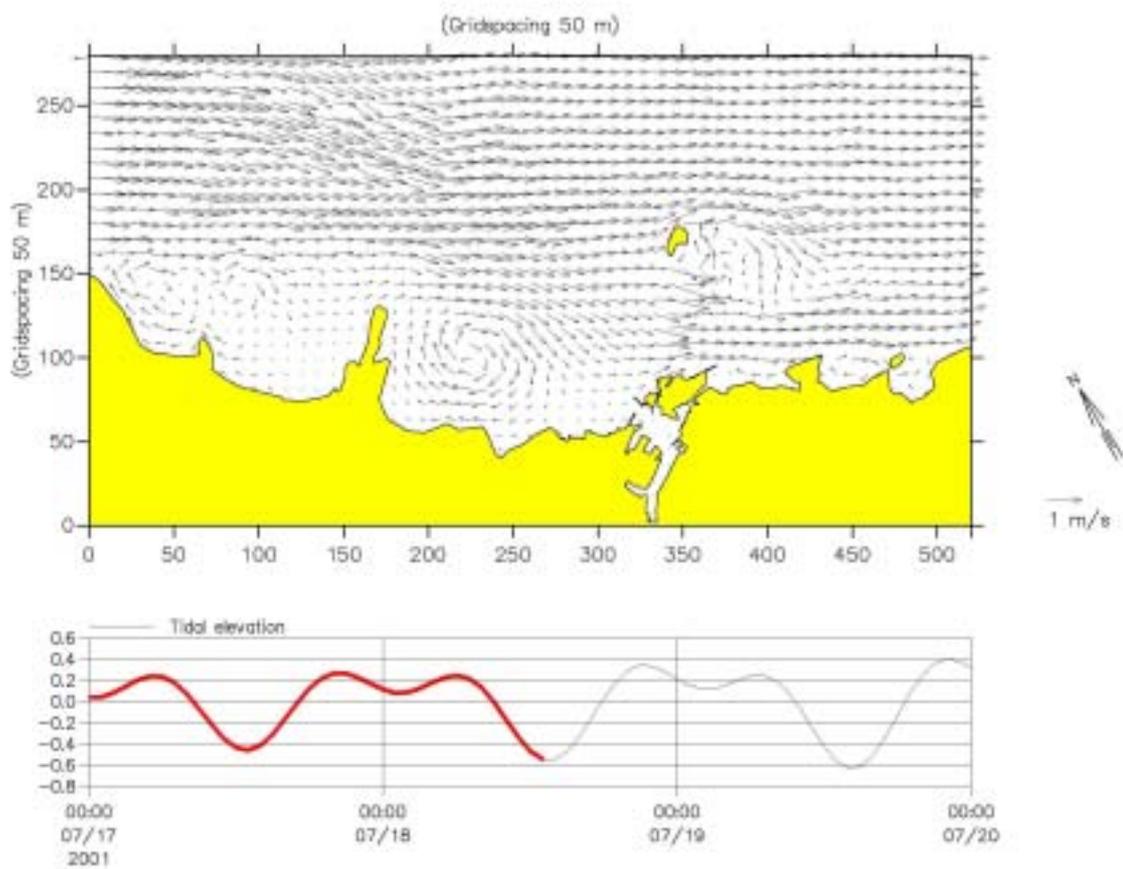


圖 3-27-15 基隆港海域全平面性之計算潮流流速分佈
 參考潮位:基隆港, 2001/07/18 13:00

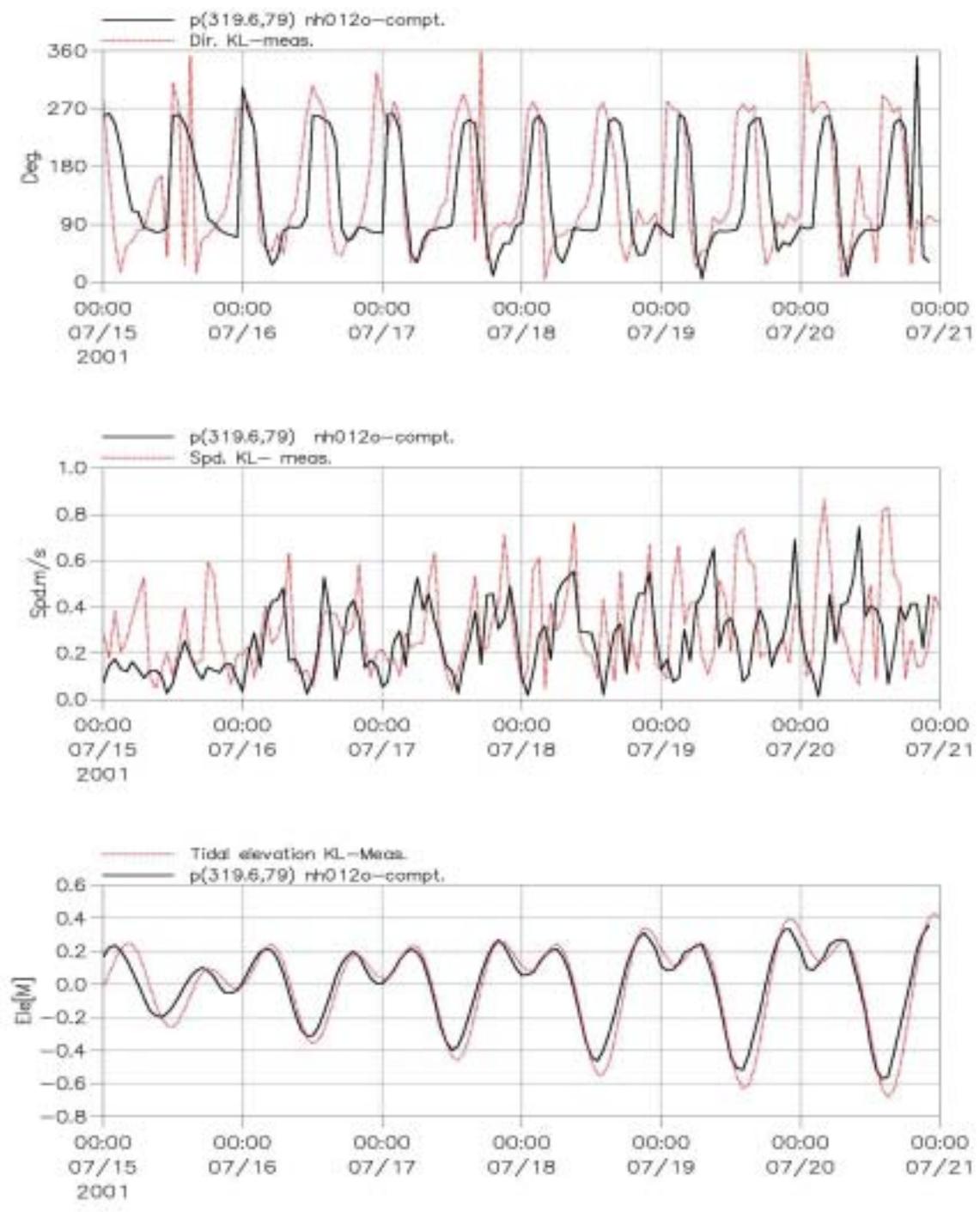


圖 3-28 基隆港海域無風力作用下基隆港東防波堤堤頭之計算流向(上)、流速(中)及潮位(下)與實測海流之驗證比較

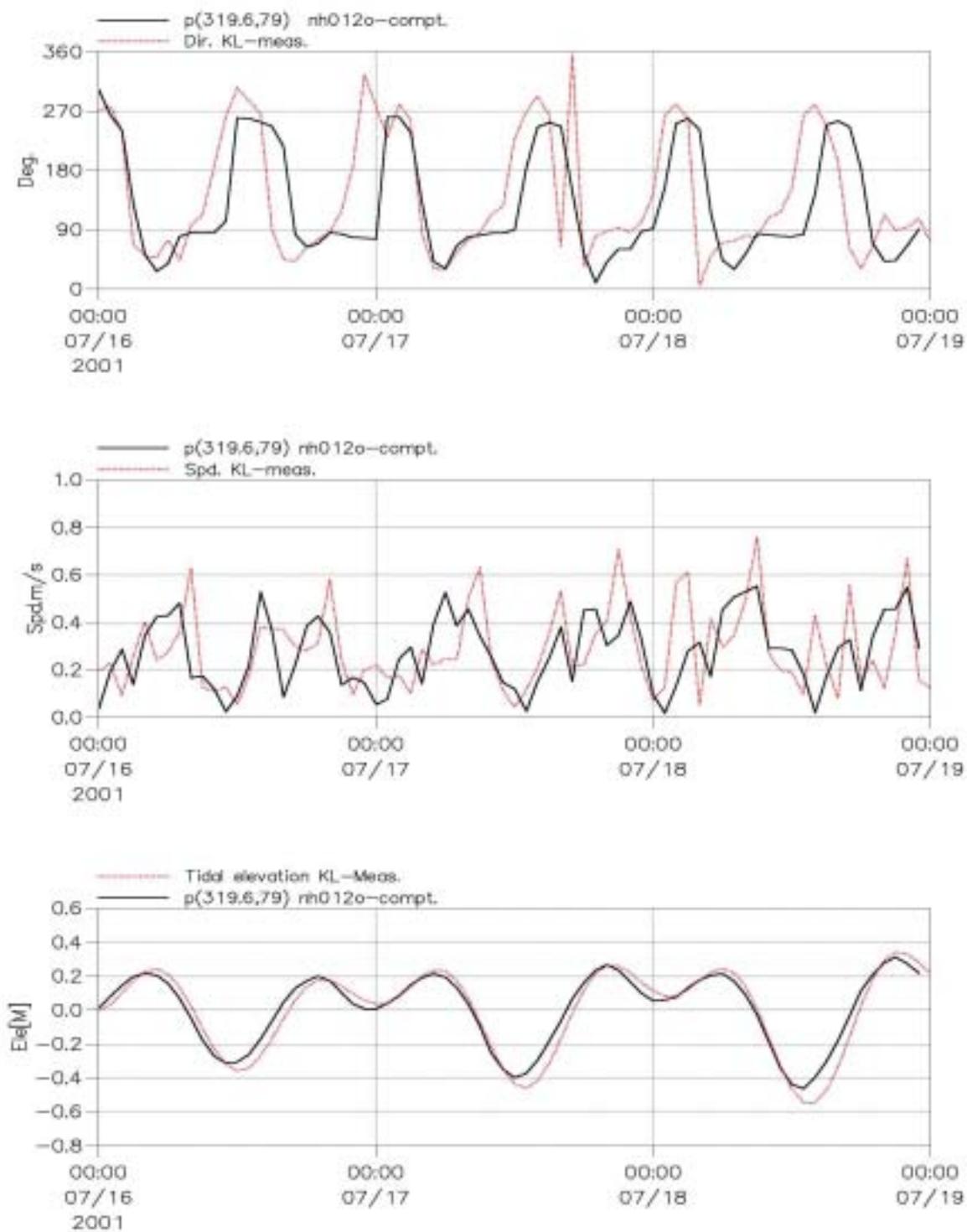


圖 3-29 基隆港海域無風力作用下基隆港東防波堤堤頭之計算流向(上)、流速(中)及潮位(下)與實測海流之詳細驗證比較

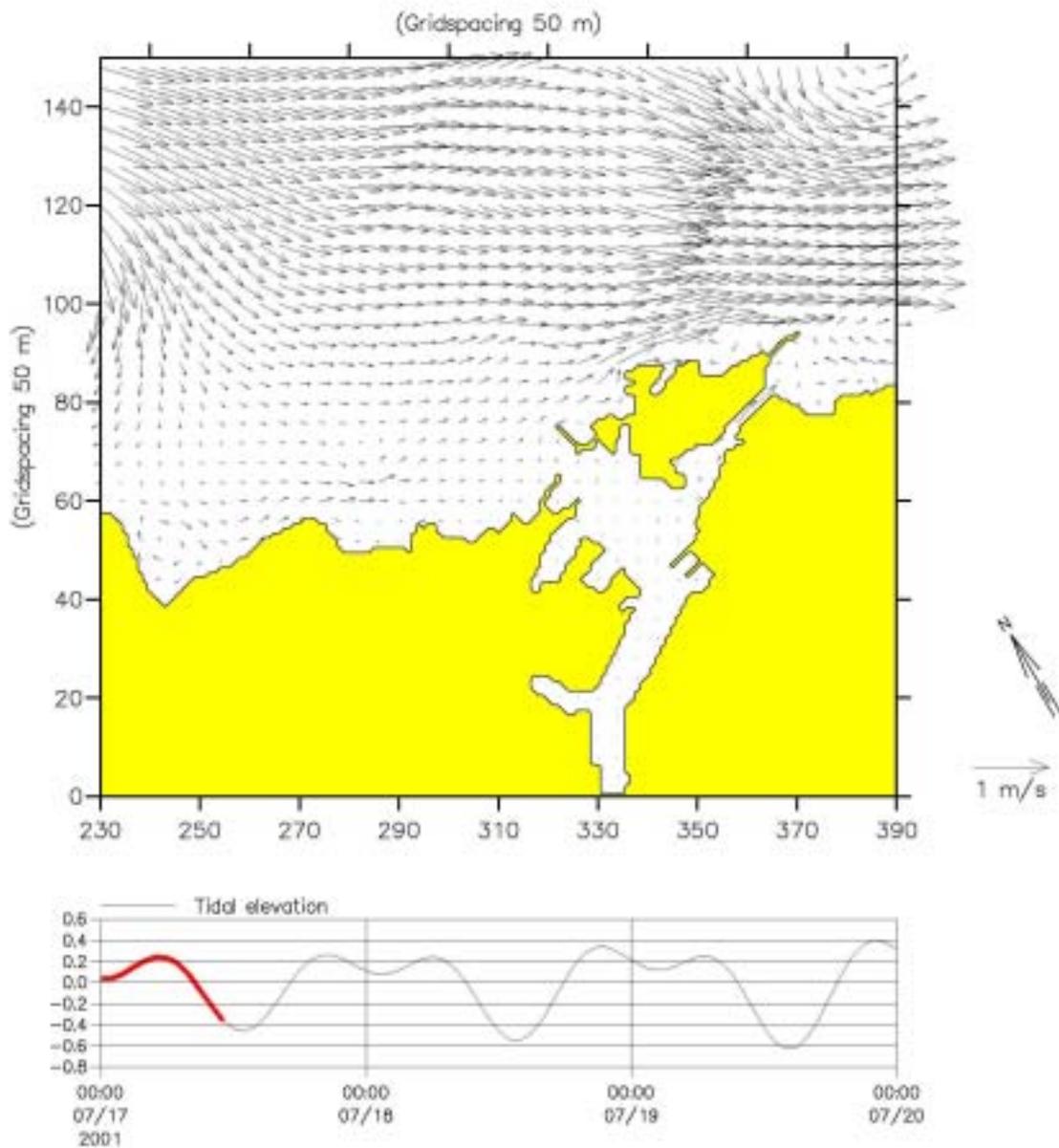


圖 3-30-1 基隆港鄰近海域全平面性之計算潮流流速分佈
參考潮位: 基隆港, 2001/07/17 11:00

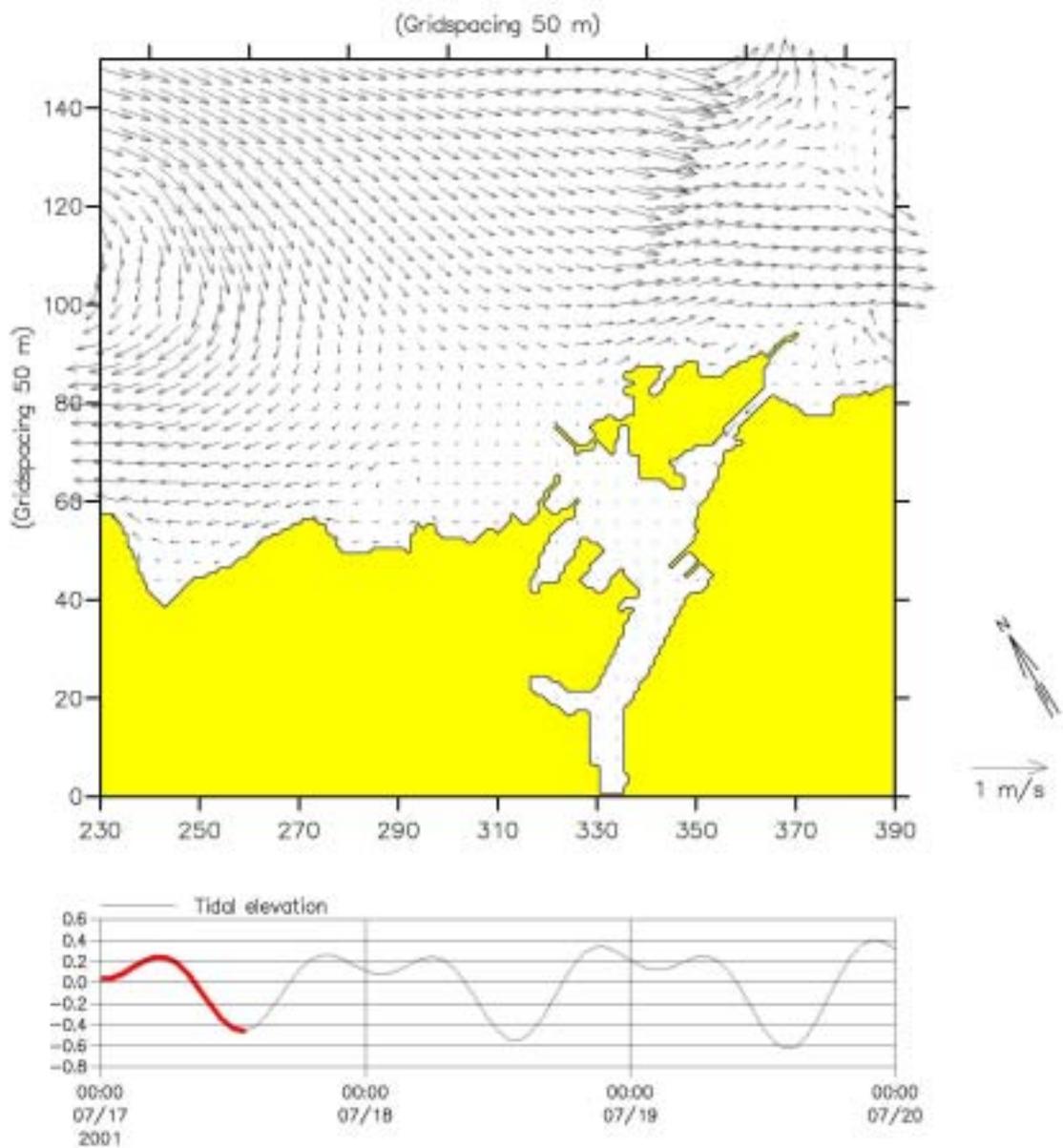


圖 3-30-2 基隆港鄰近海域全平面性之計算潮流流速分佈
 參考潮位：基隆港，2001/07/17 13:00

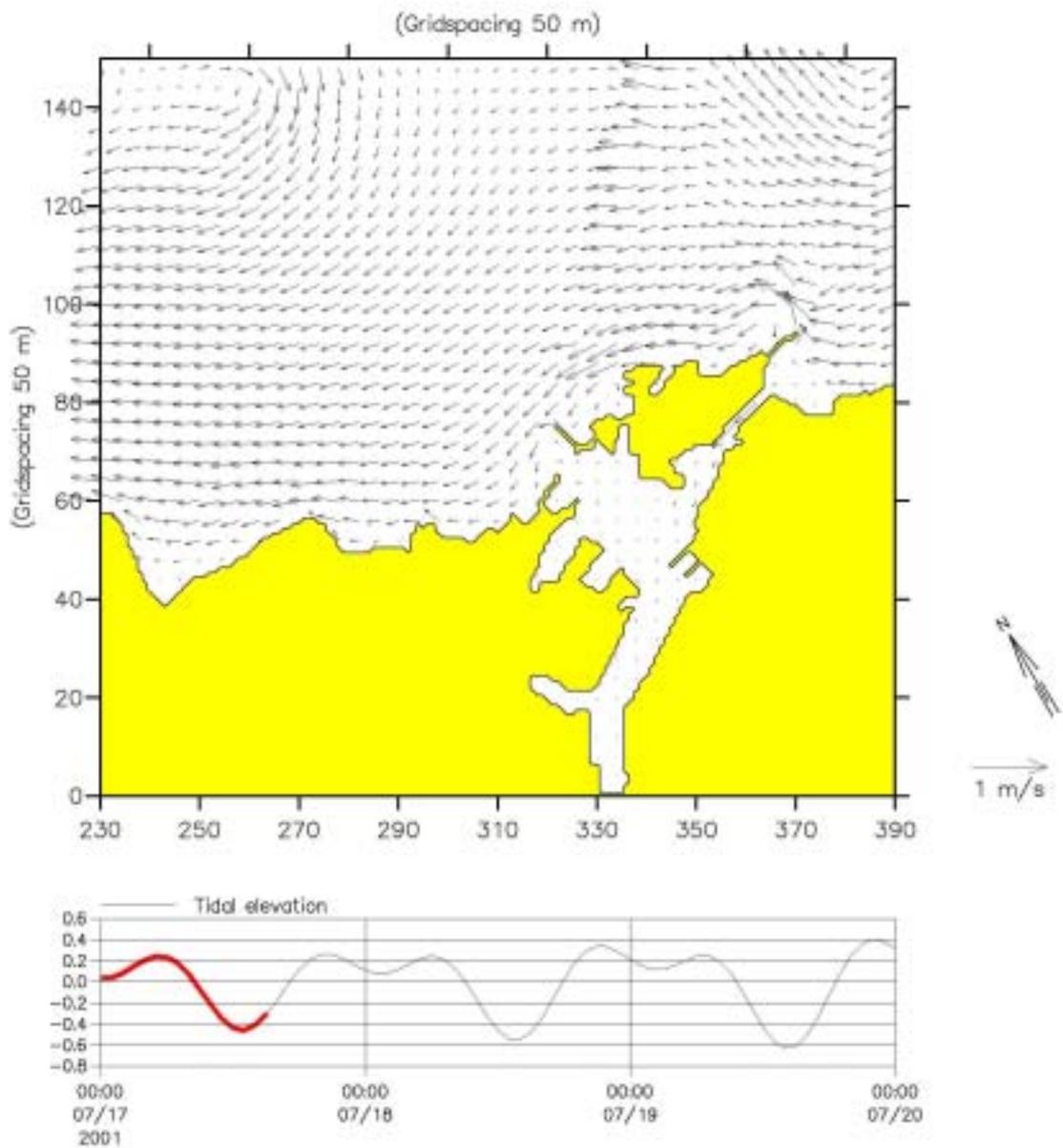


圖 3-30-3 基隆港鄰近海域全平面性之計算潮流流速分佈
參考潮位: 基隆港, 2001/07/17 15:00

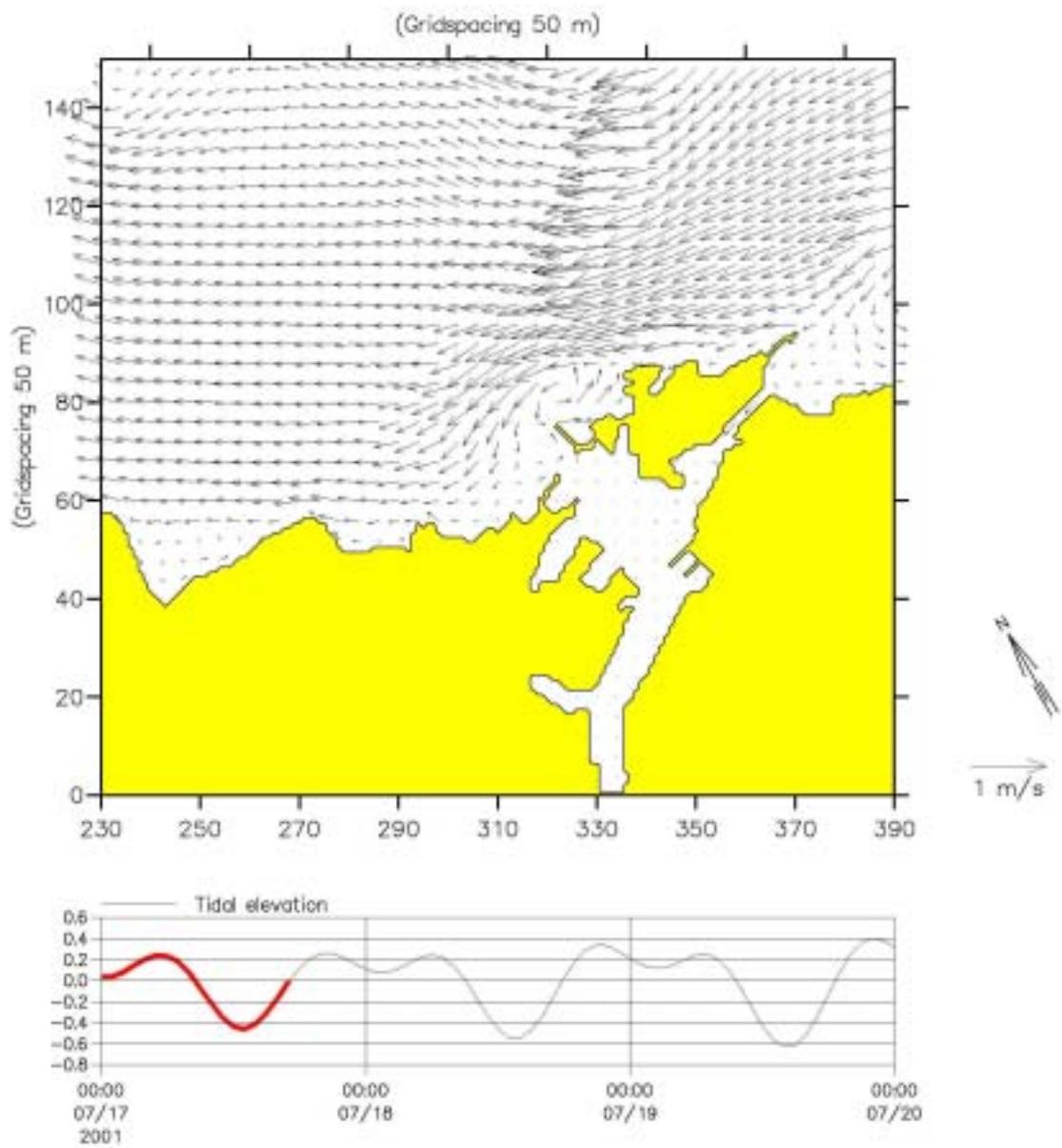


圖 3-30-4 基隆港鄰近海域全平面性之計算潮流流速分佈
參考潮位：基隆港，2001/07/17 17:00

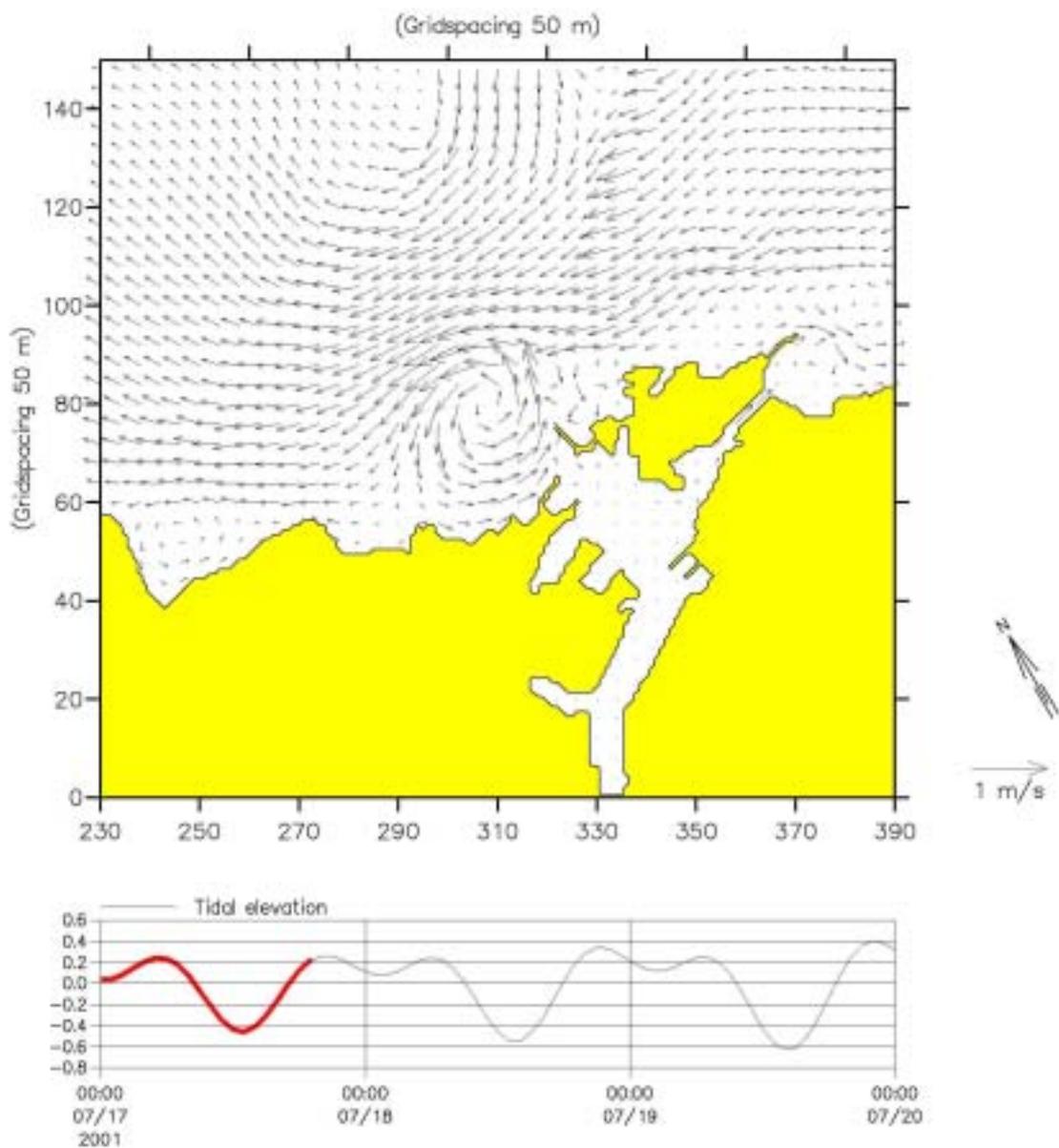


圖 3-30-5 基隆港鄰近海域全平面性之計算潮流流速分佈
參考潮位:基隆港, 2001/07/17 19:00

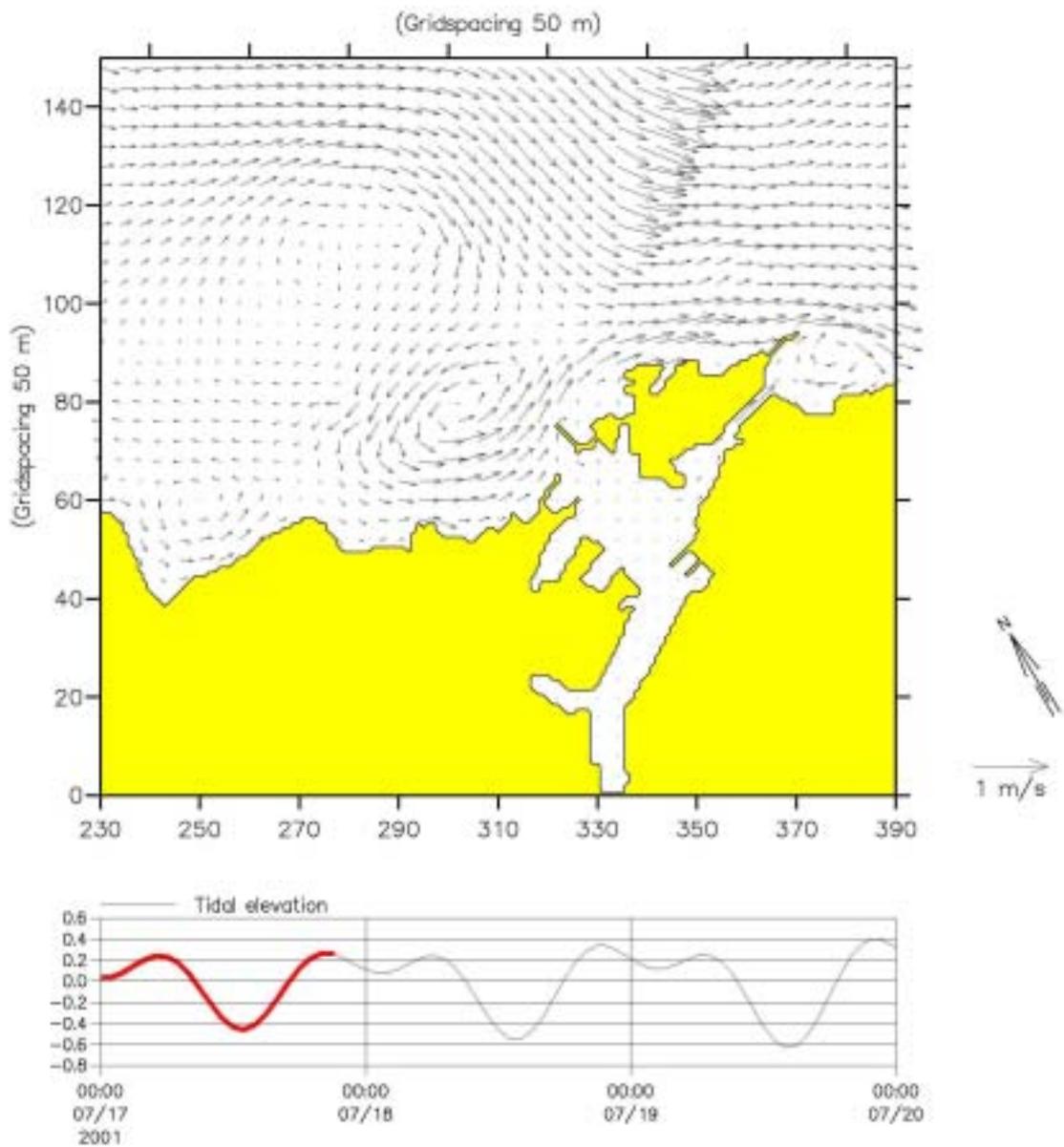


圖 3-30-6 基隆港鄰近海域全平面性之計算潮流流速分佈
參考潮位:基隆港, 2001/07/17 21:00

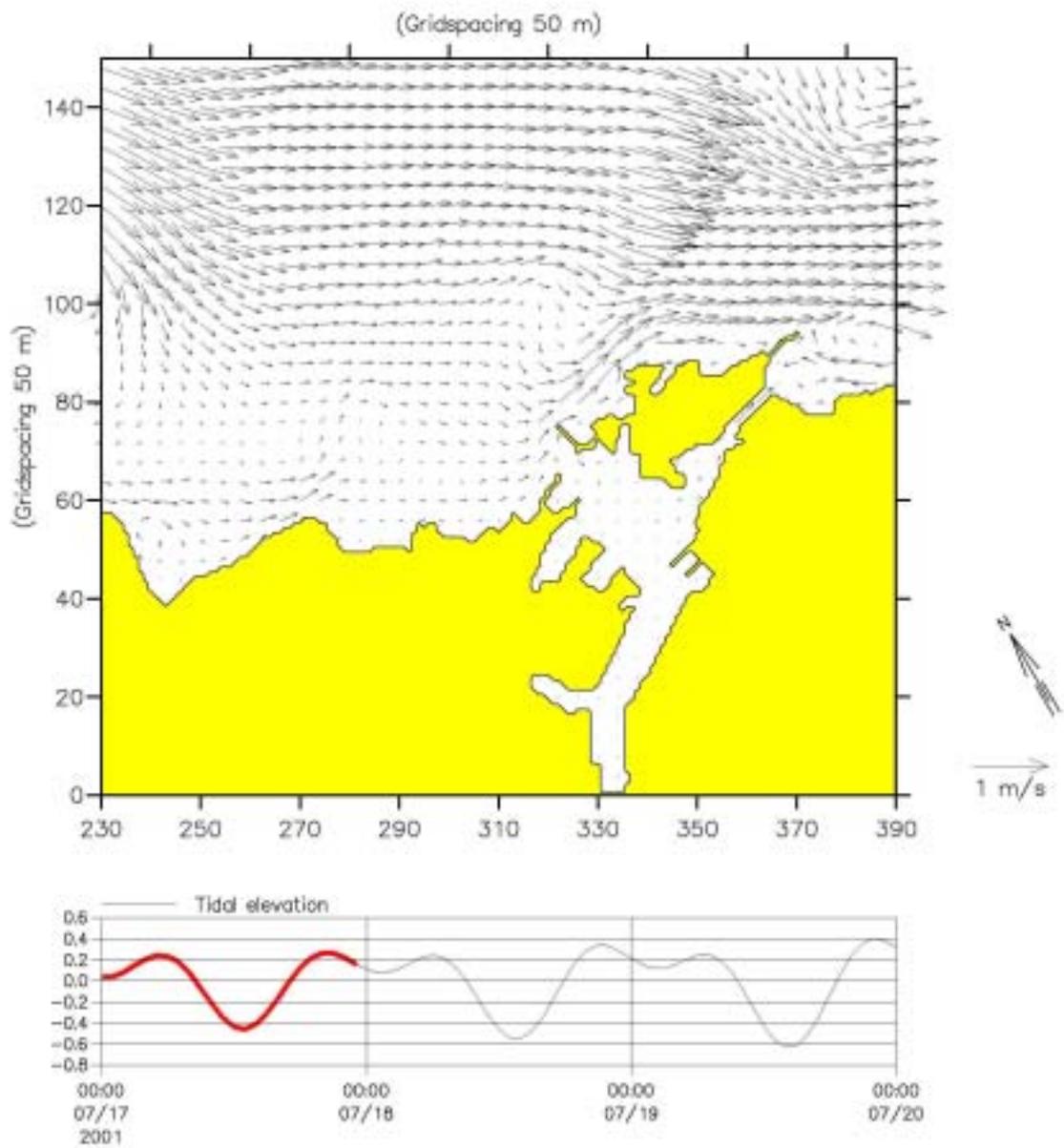


圖 3-30-7 基隆港鄰近海域全平面性之計算潮流流速分佈
參考潮位:基隆港, 2001/07/17 23:00

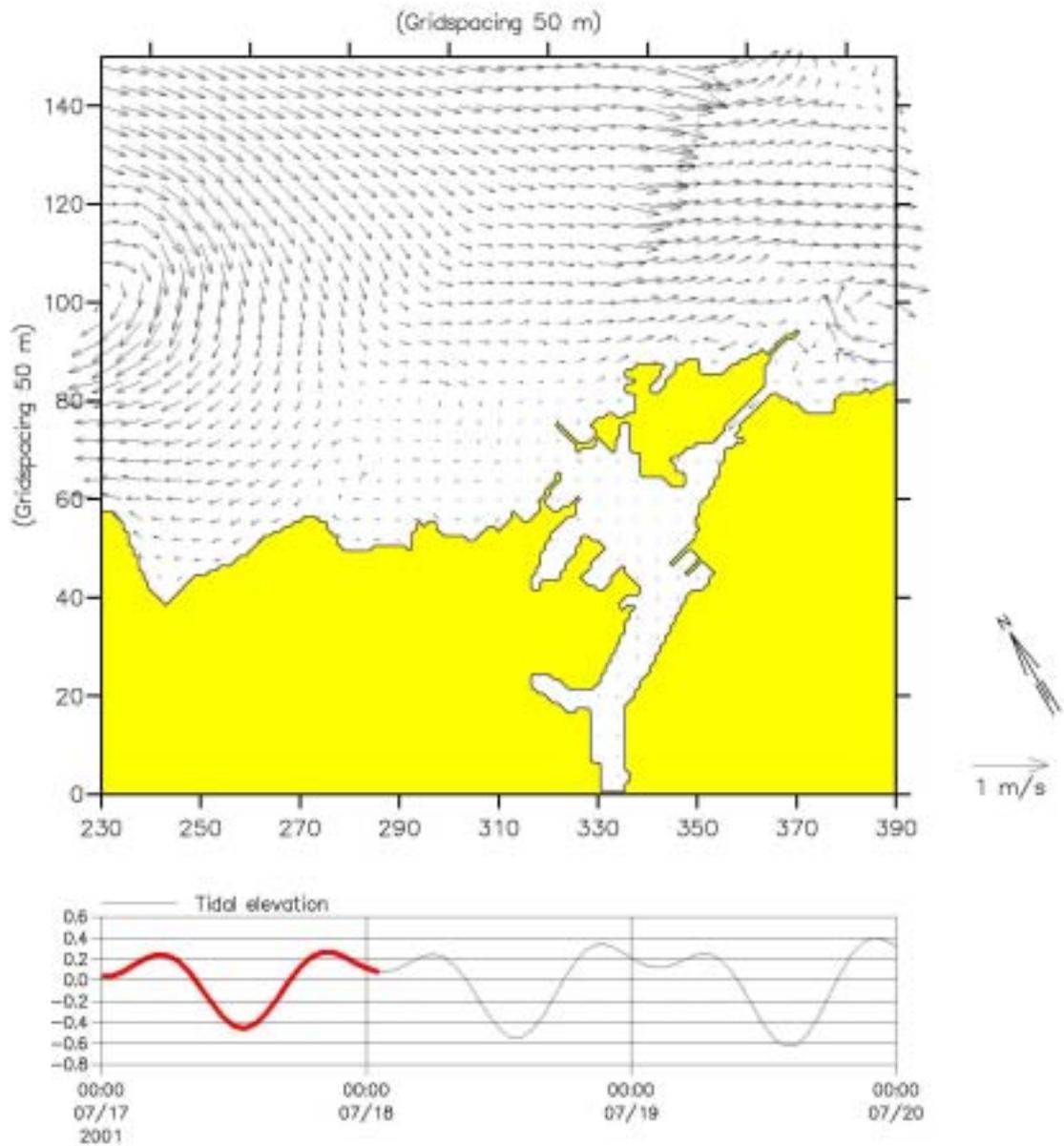


圖 3-30-8 基隆港鄰近海域全平面性之計算潮流流速分佈
參考潮位:基隆港, 2001/07/18 01:00

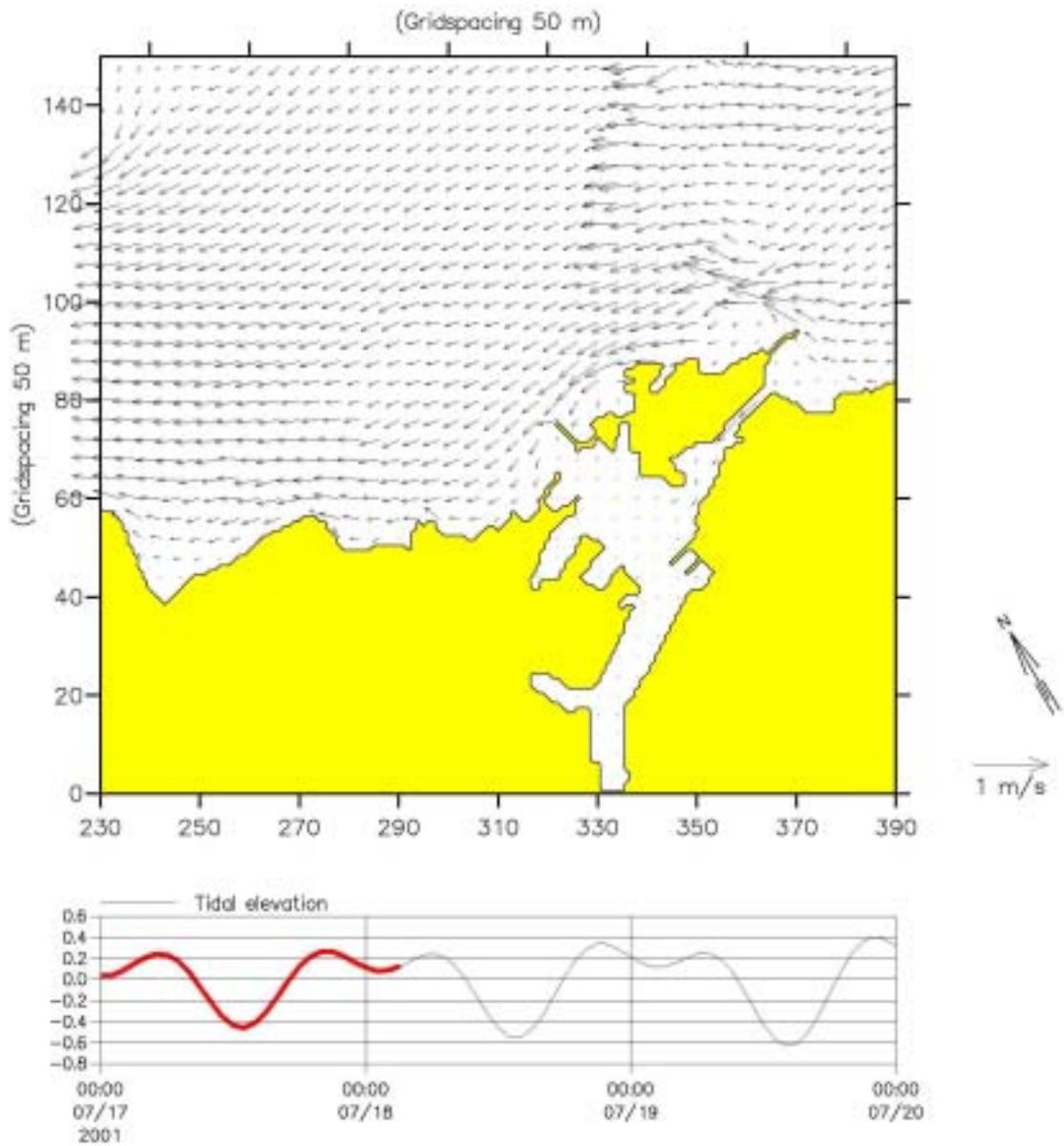


圖 3-30-9 基隆港鄰近海域全平面性之計算潮流流速分佈
參考潮位:基隆港, 2001/07/18 03:00

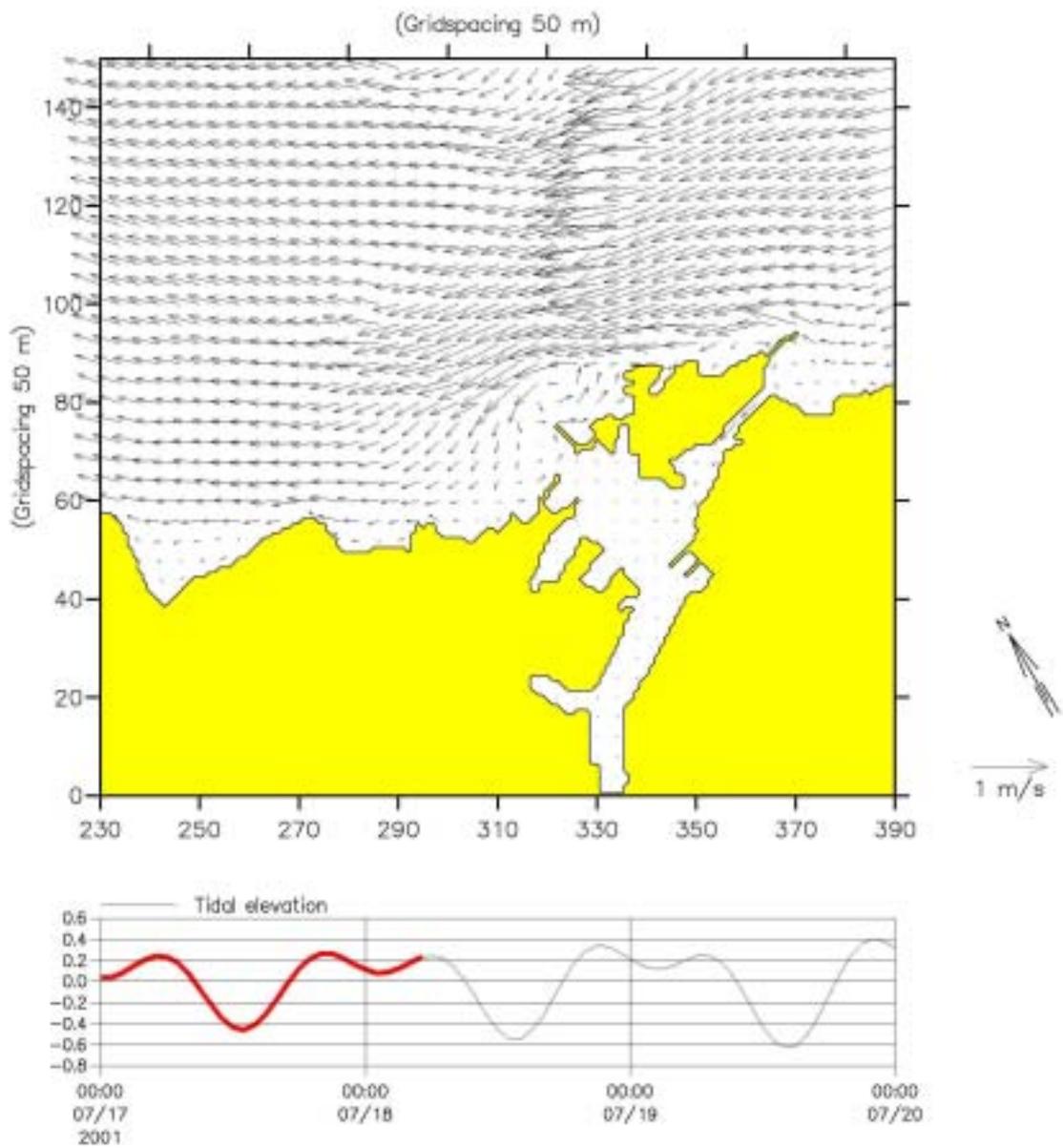


圖 3-30-10 基隆港鄰近海域全平面性之計算潮流流速分佈
參考潮位:基隆港, 2001/07/18 05:00

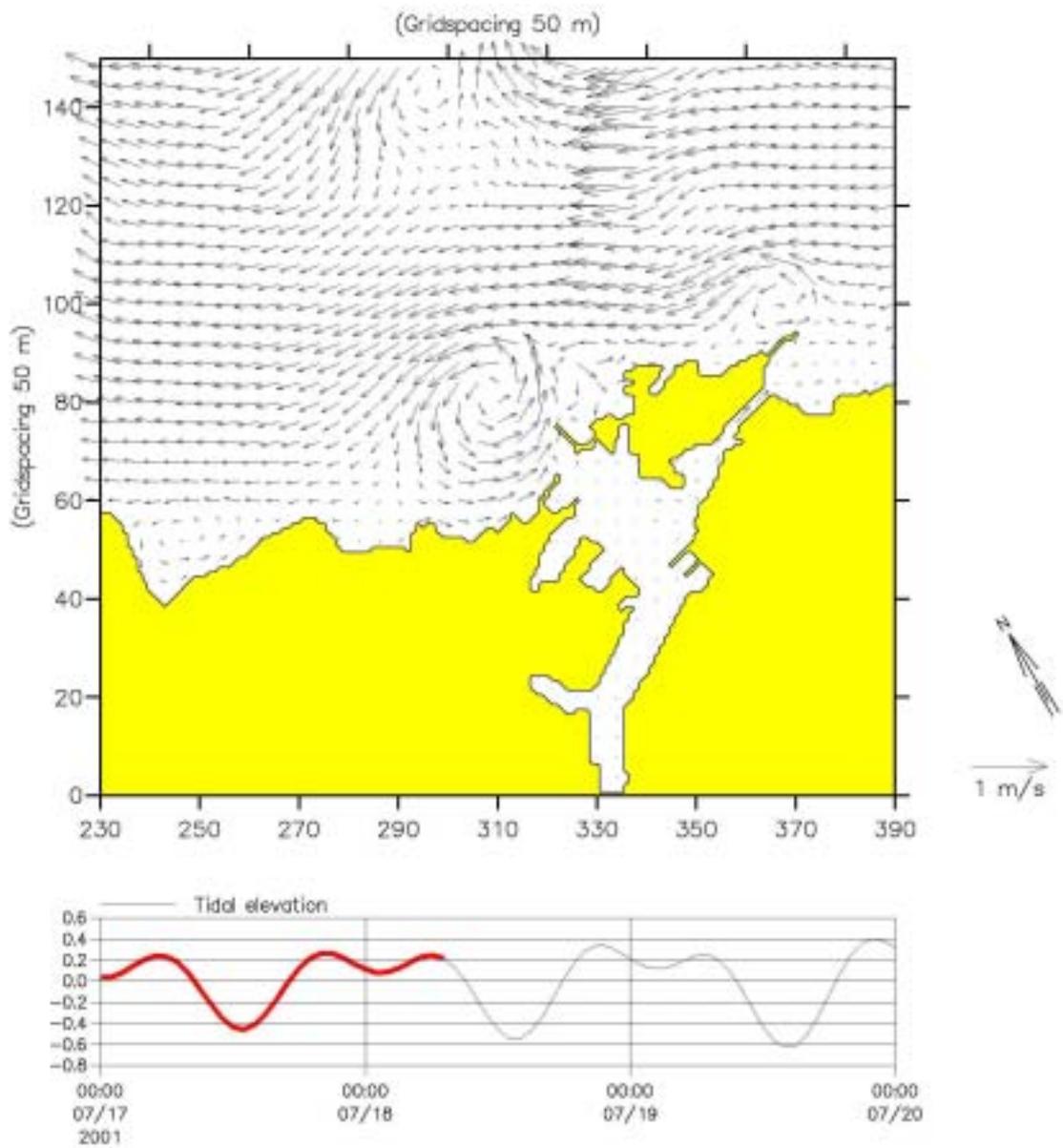


圖 3-30-11 基隆港鄰近海域全平面性之計算潮流流速分佈
 參考潮位:基隆港, 2001/07/18 07:00

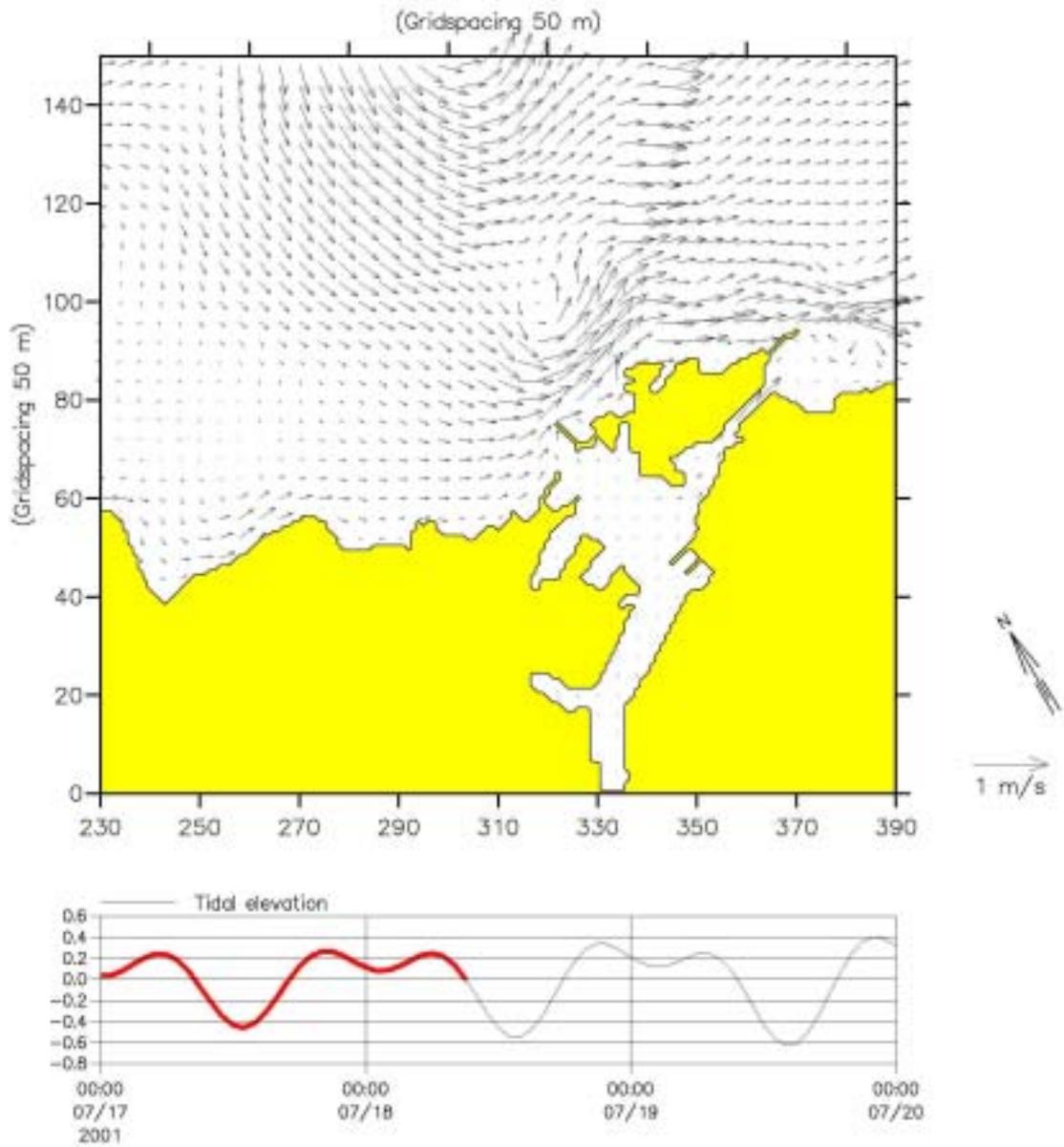


圖 3-30-12 基隆港鄰近海域全平面性之計算潮流流速分佈
參考潮位:基隆港, 2001/07/18 09:00

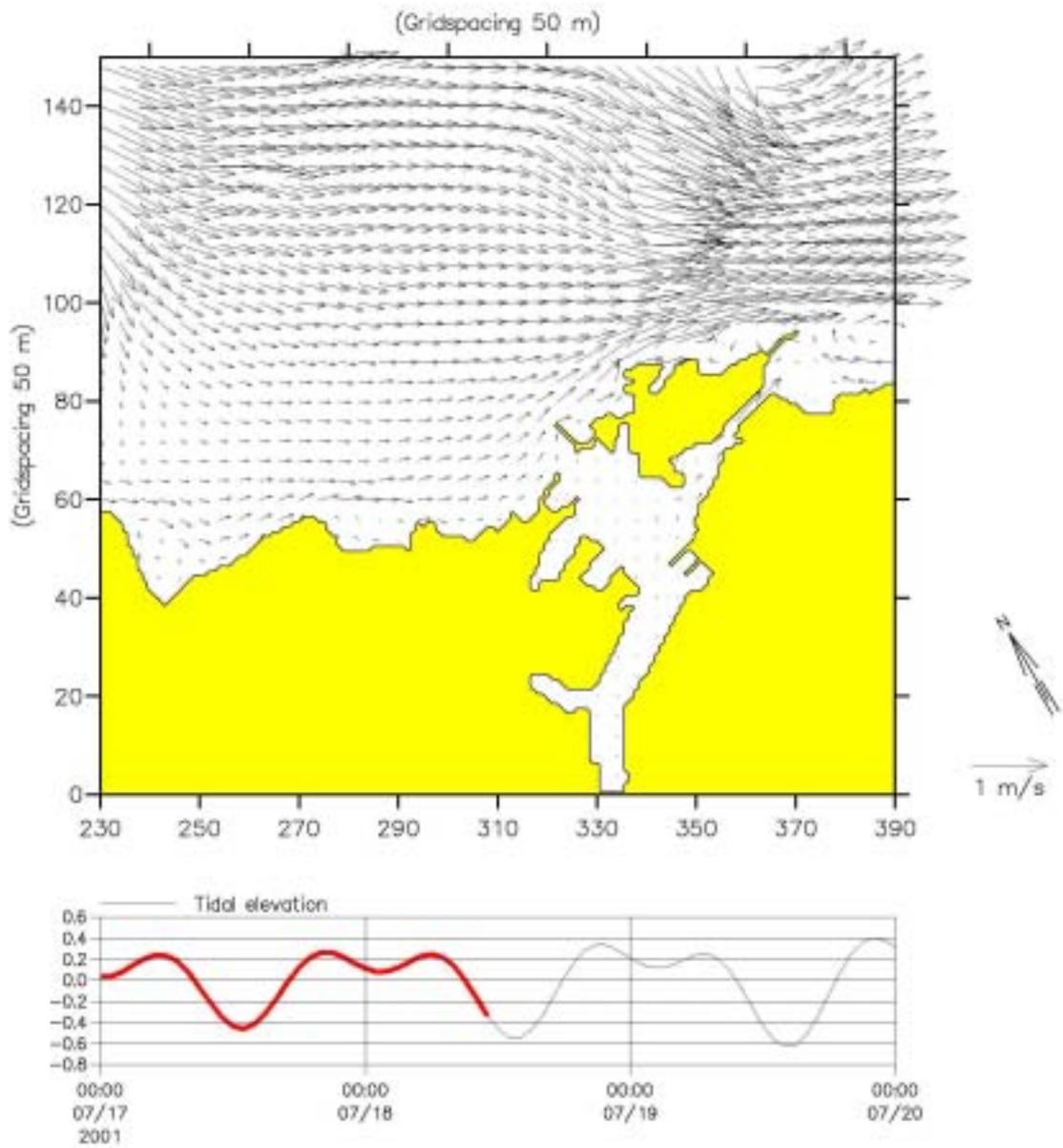


圖 3-30-13 基隆港鄰近海域全平面性之計算潮流流速分佈
參考潮位:基隆港, 2001/07/18 11:00

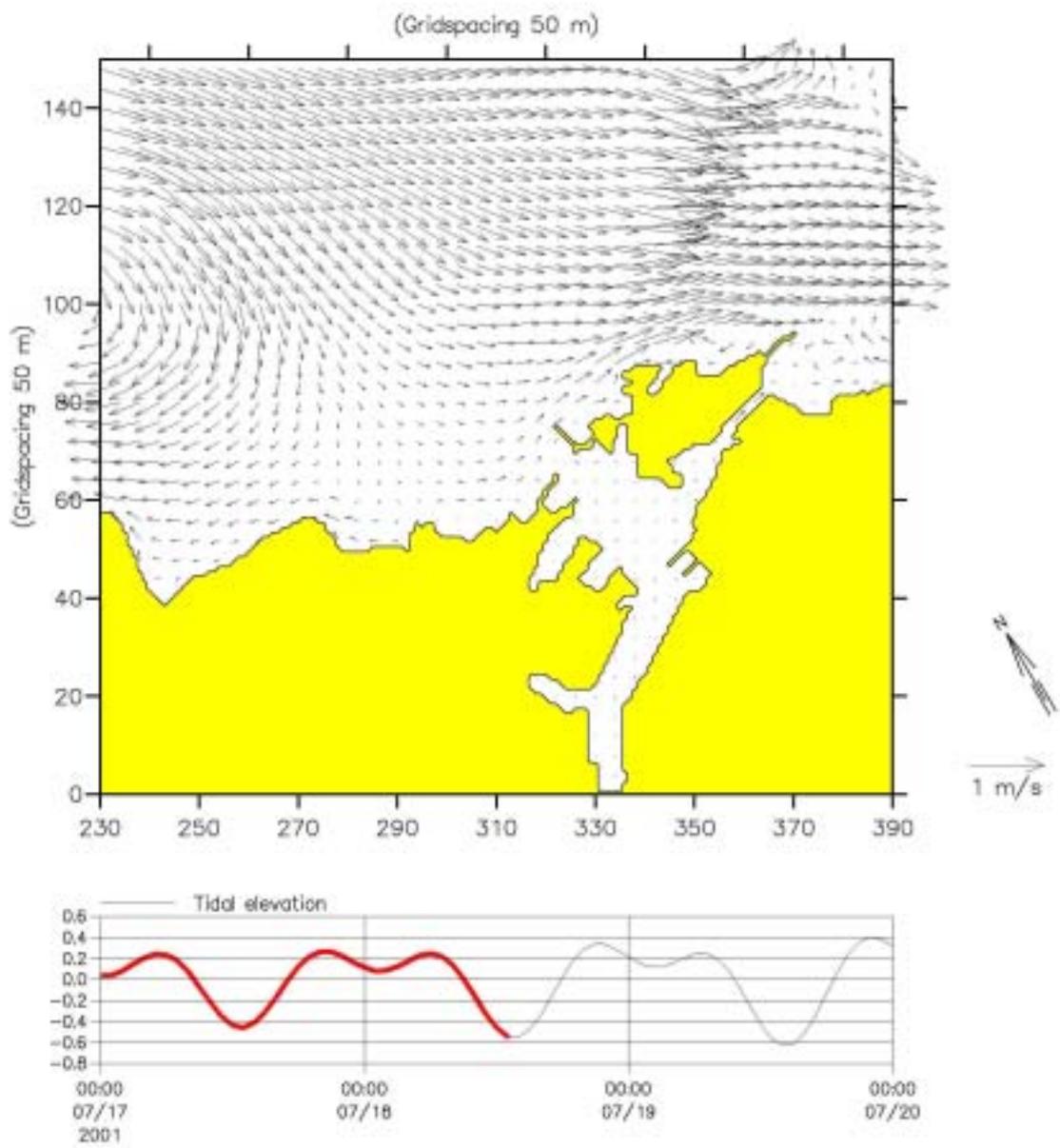


圖 3-30-14 基隆港鄰近海域全平面性之計算潮流流速分佈
參考潮位:基隆港, 2001/07/18 13:00

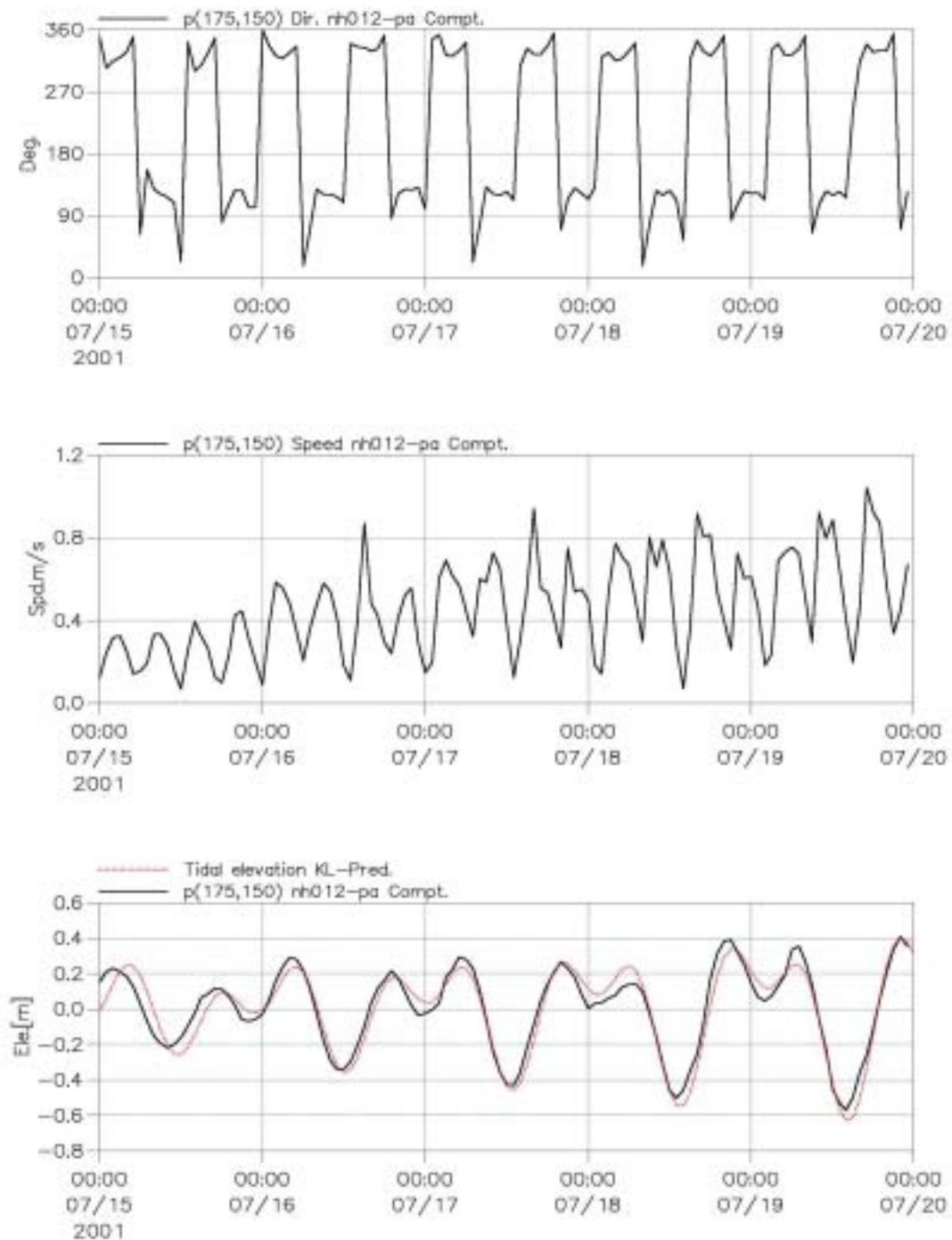


圖 3-31-1 基隆港海域無風力作用下野柳岬計算海流之流向(上)、流速(中)及潮位(下)與基隆港計算潮位之對照比較

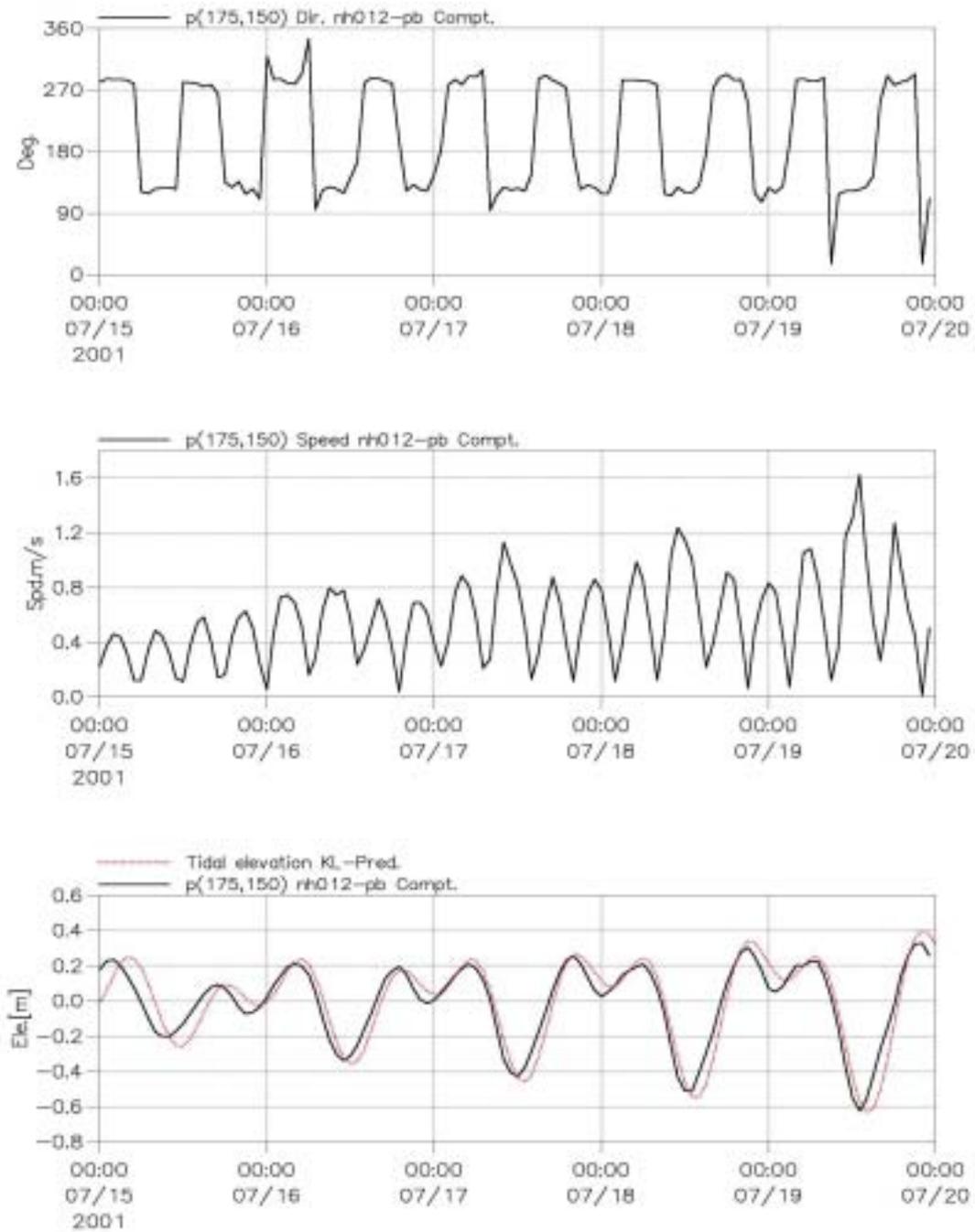


圖 3-31-2 基隆港海域無風力作用下基隆嶼及和平島間計算海流之流向(上)、流速(中)及潮位(下)與基隆港計算潮位之對照比較

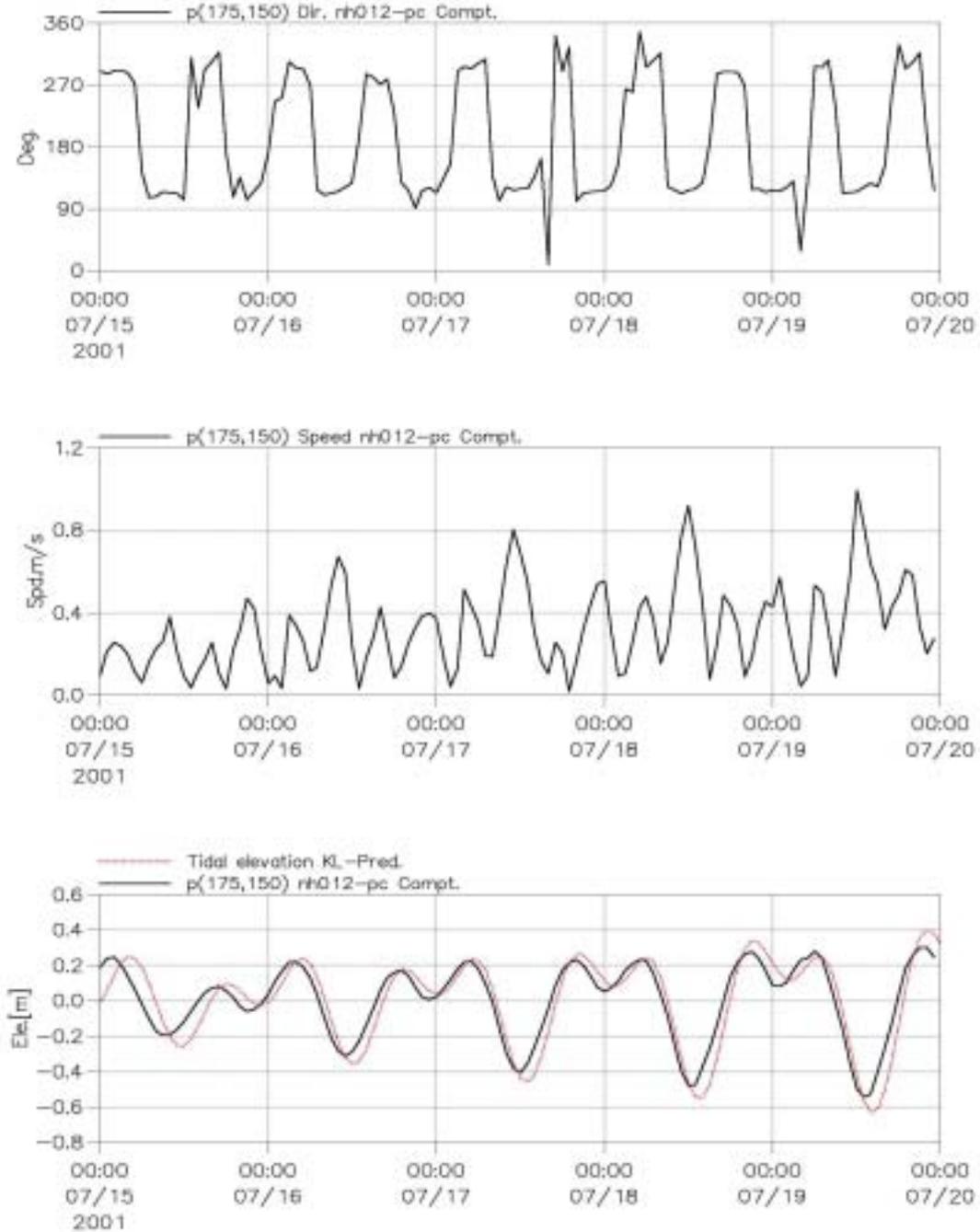


圖 3-31-3 基隆港海域無風力作用下八斗子計算海流之流向(上)、流速(中)及潮位(下)與基隆港計算潮位之對照比較

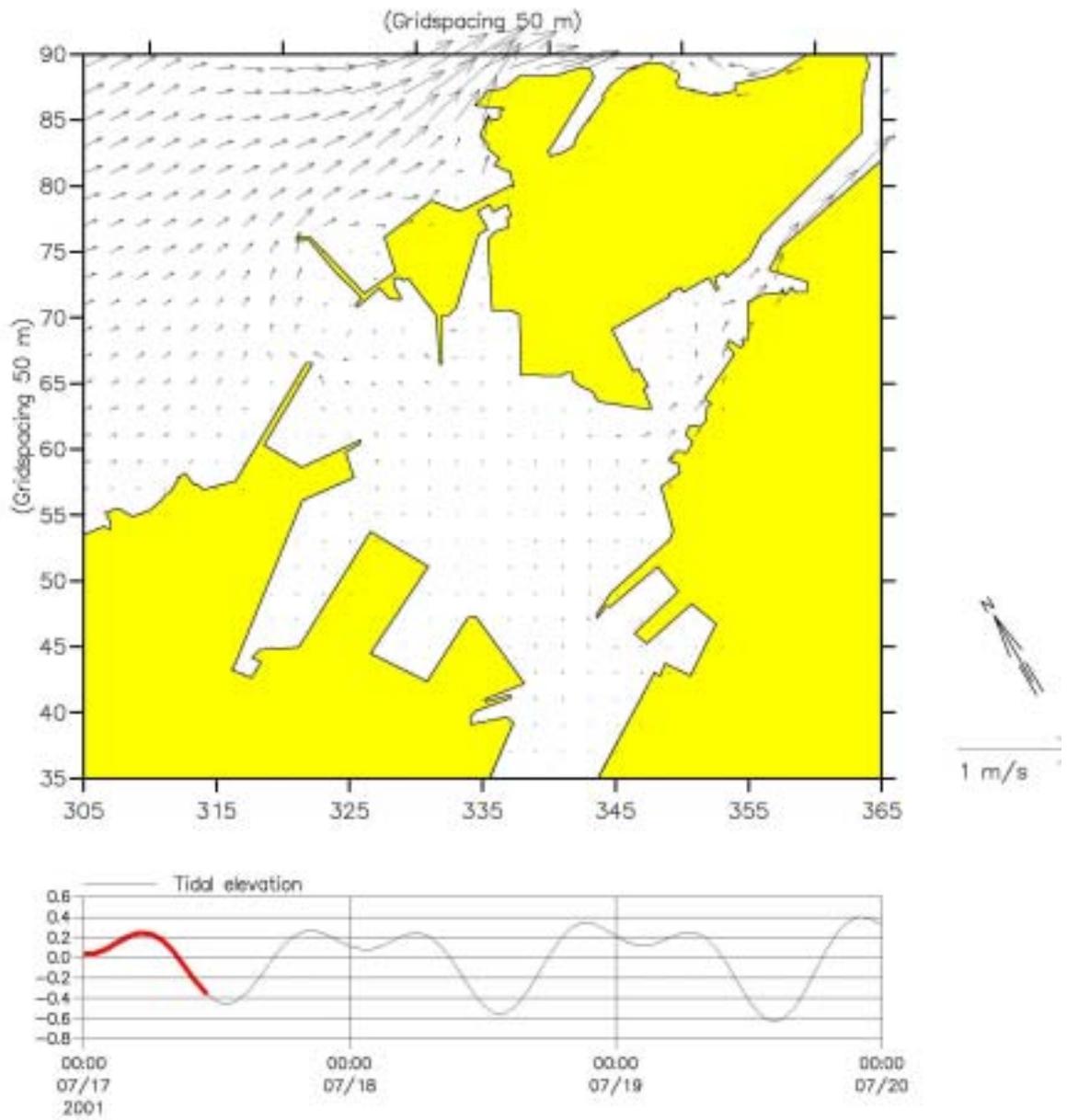


圖 3-32-1 基隆港港口及港內全平面性之計算潮流流速分佈
 參考潮位:基隆港, 2001/07/17 11:00

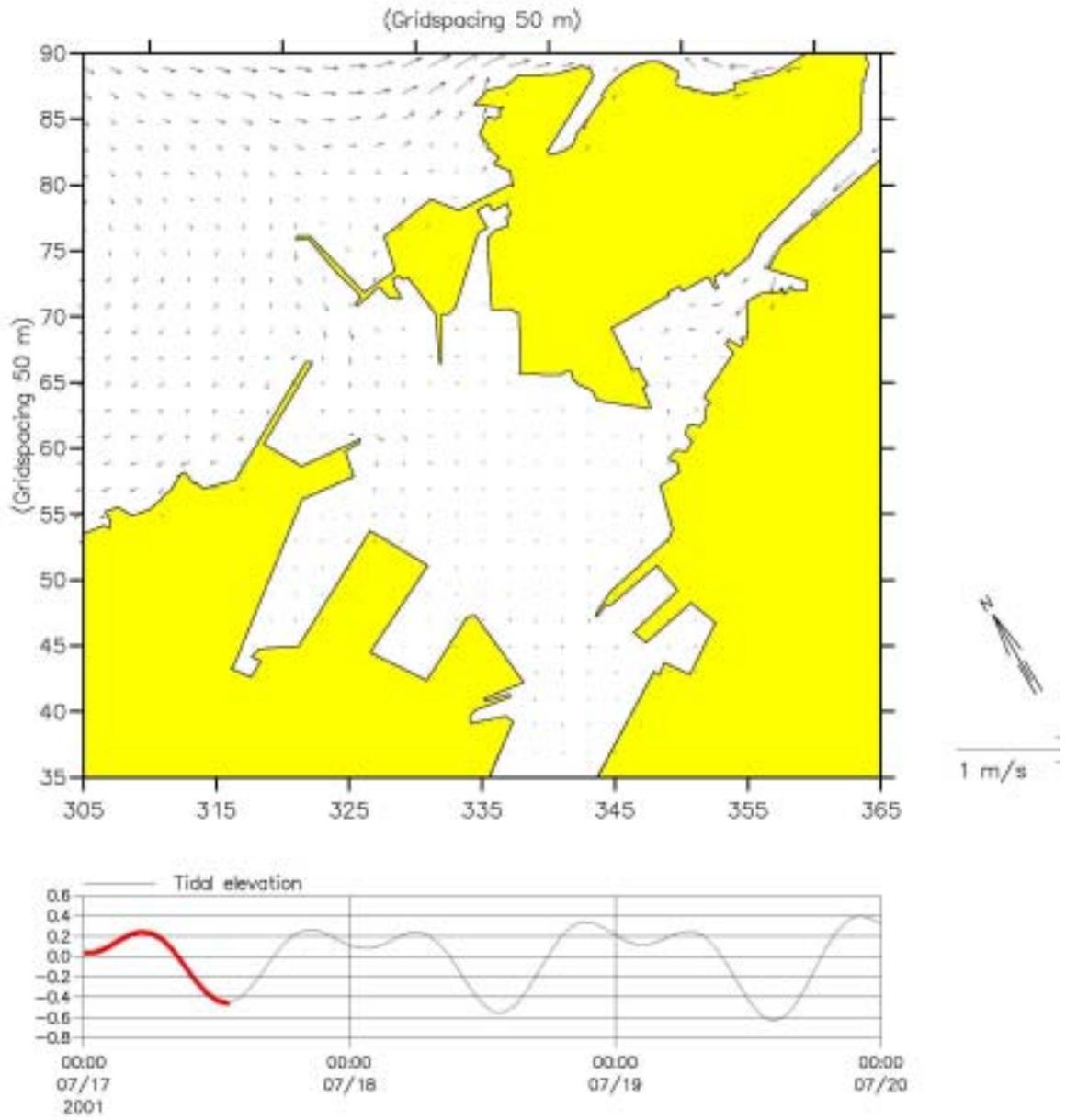


圖 3-32-2 基隆港港口及港內全平面性之計算潮流流速分佈
參考潮位:基隆港, 2001/07/17 13:00

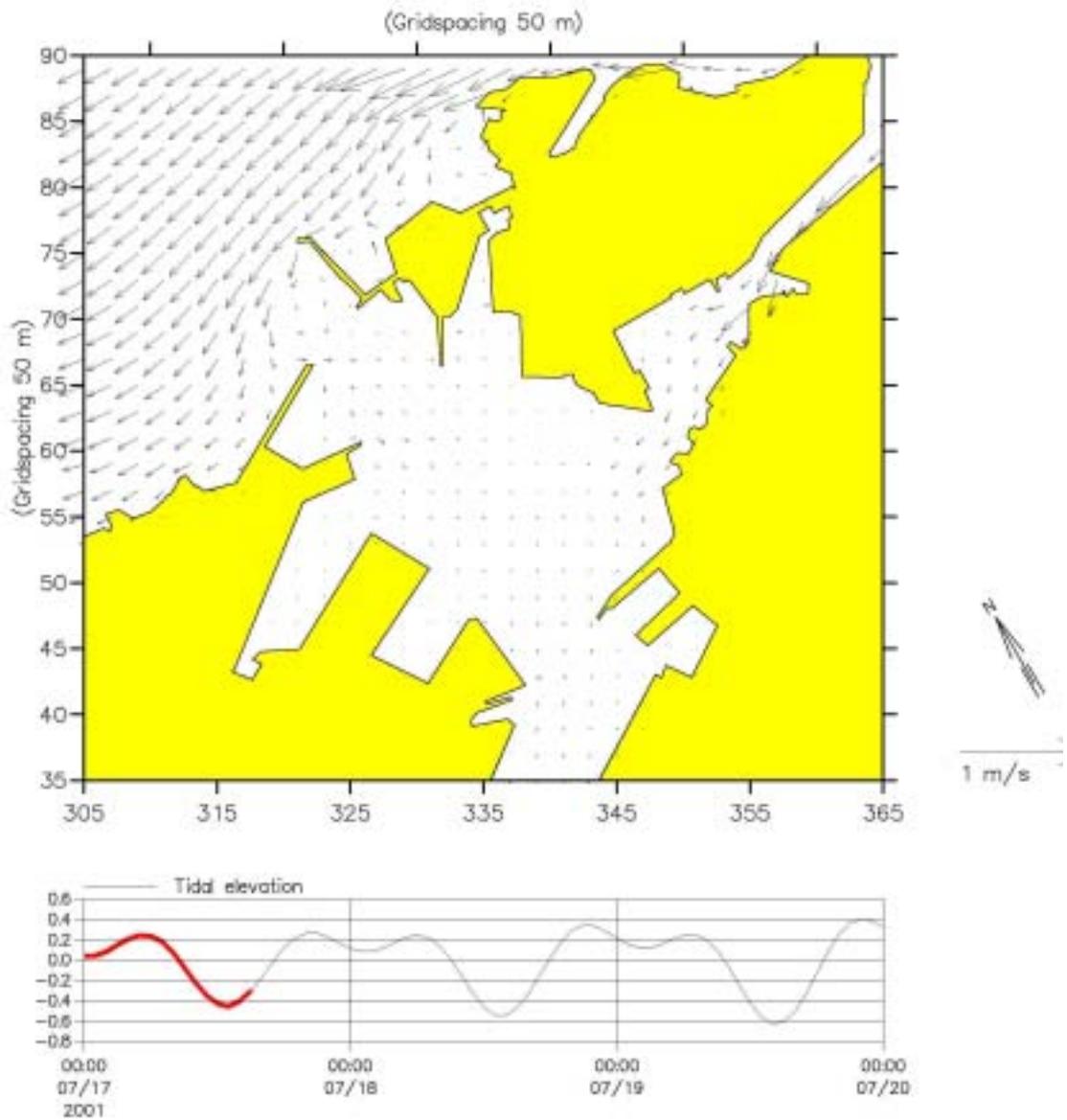


圖 3-32-3 基隆港港口及港內全平面性之計算潮流流速分佈
參考潮位:基隆港, 2001/07/17 15:00

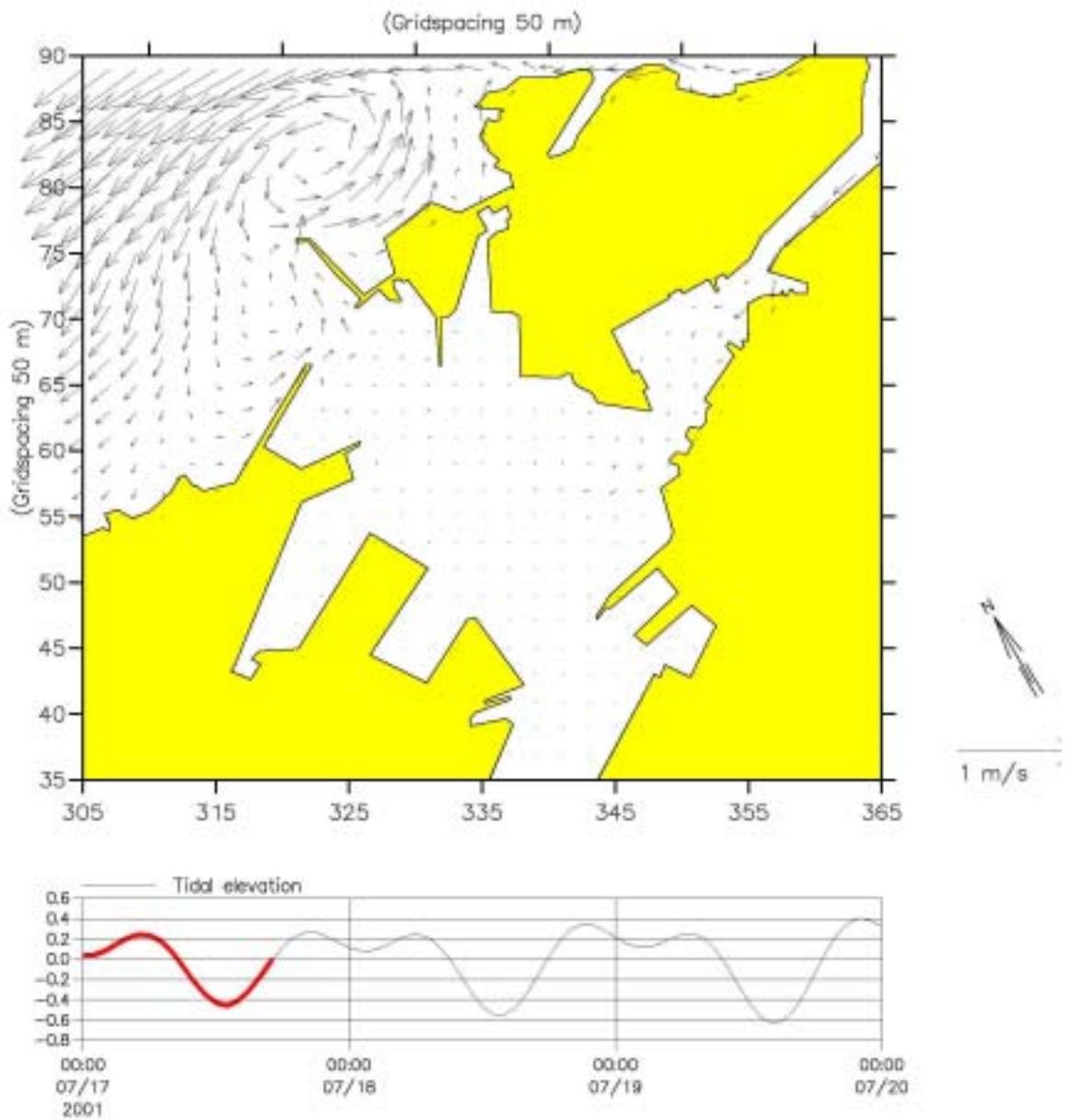


圖 3-32-4 基隆港港口及港內全平面性之計算潮流流速分佈
參考潮位:基隆港, 2001/07/17 17:00

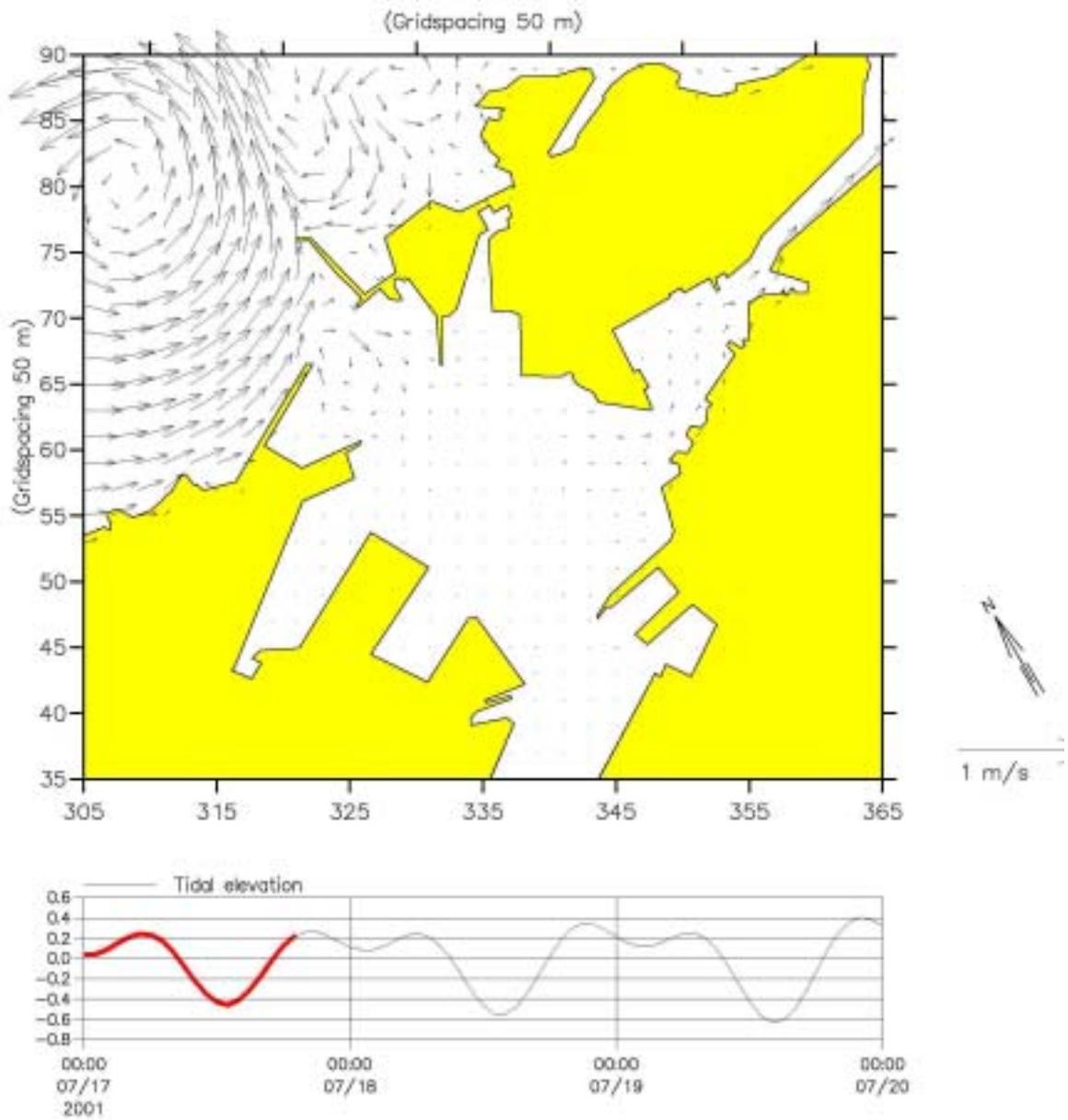


圖 3-32-5 基隆港港口及港內全平面性之計算潮流流速分佈
參考潮位:基隆港, 2001/07/17 19:00

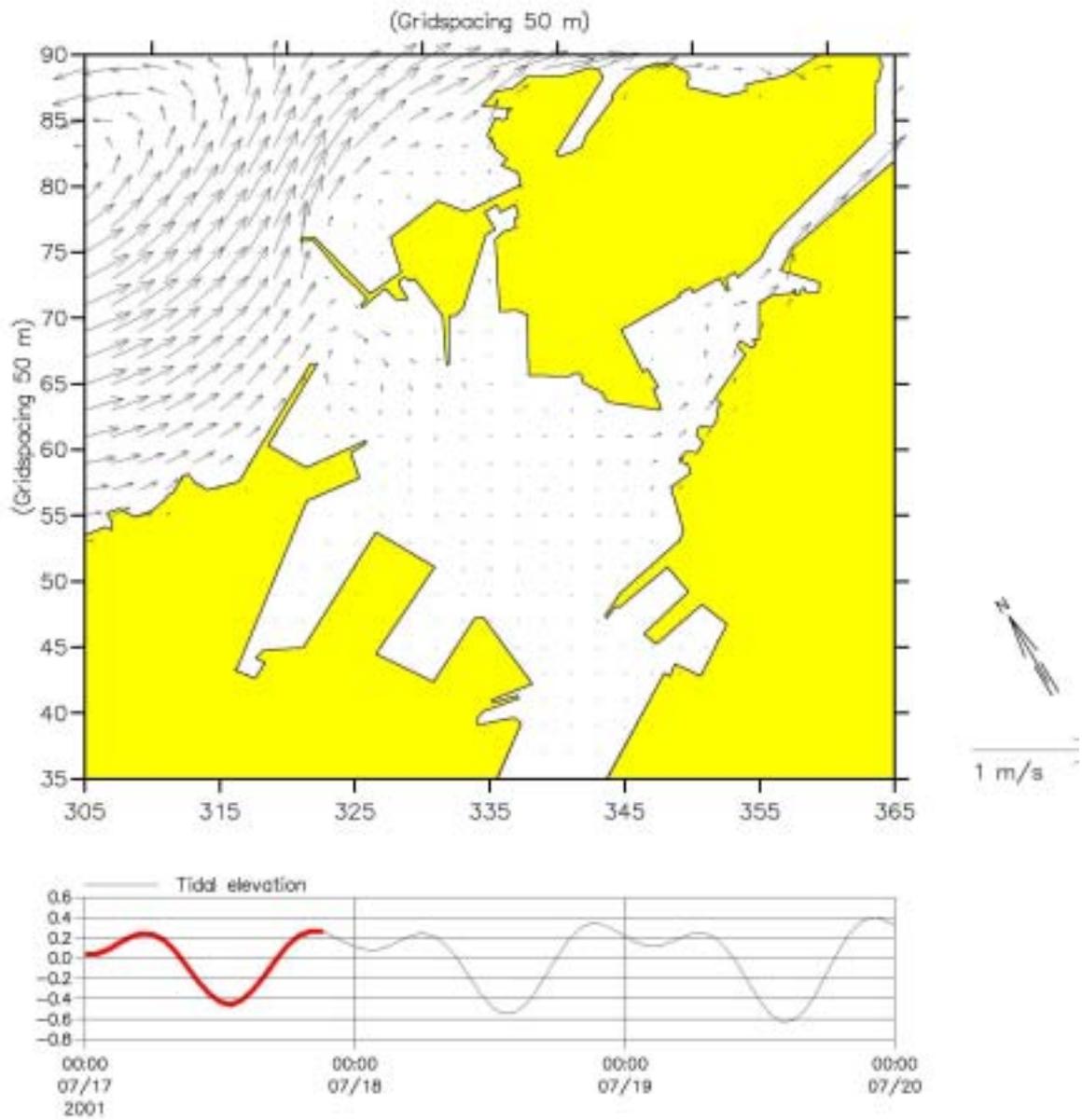


圖 3-32-6 基隆港港口及港內全平面性之計算潮流流速分佈
參考潮位:基隆港, 2001/07/17 21:00

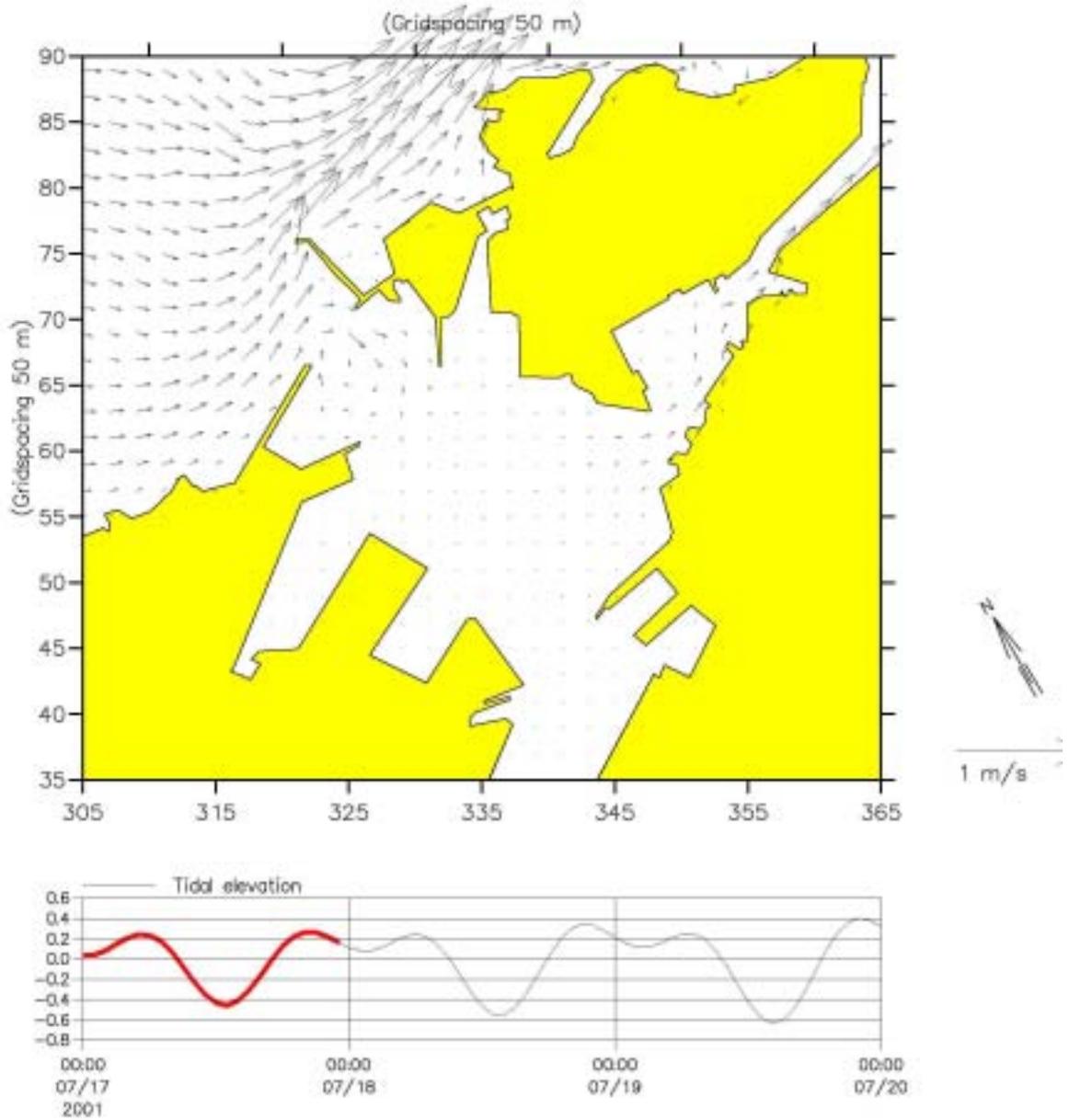


圖 3-32-7 基隆港港口及港內全平面性之計算潮流流速分佈
參考潮位:基隆港, 2001/07/17 23:00

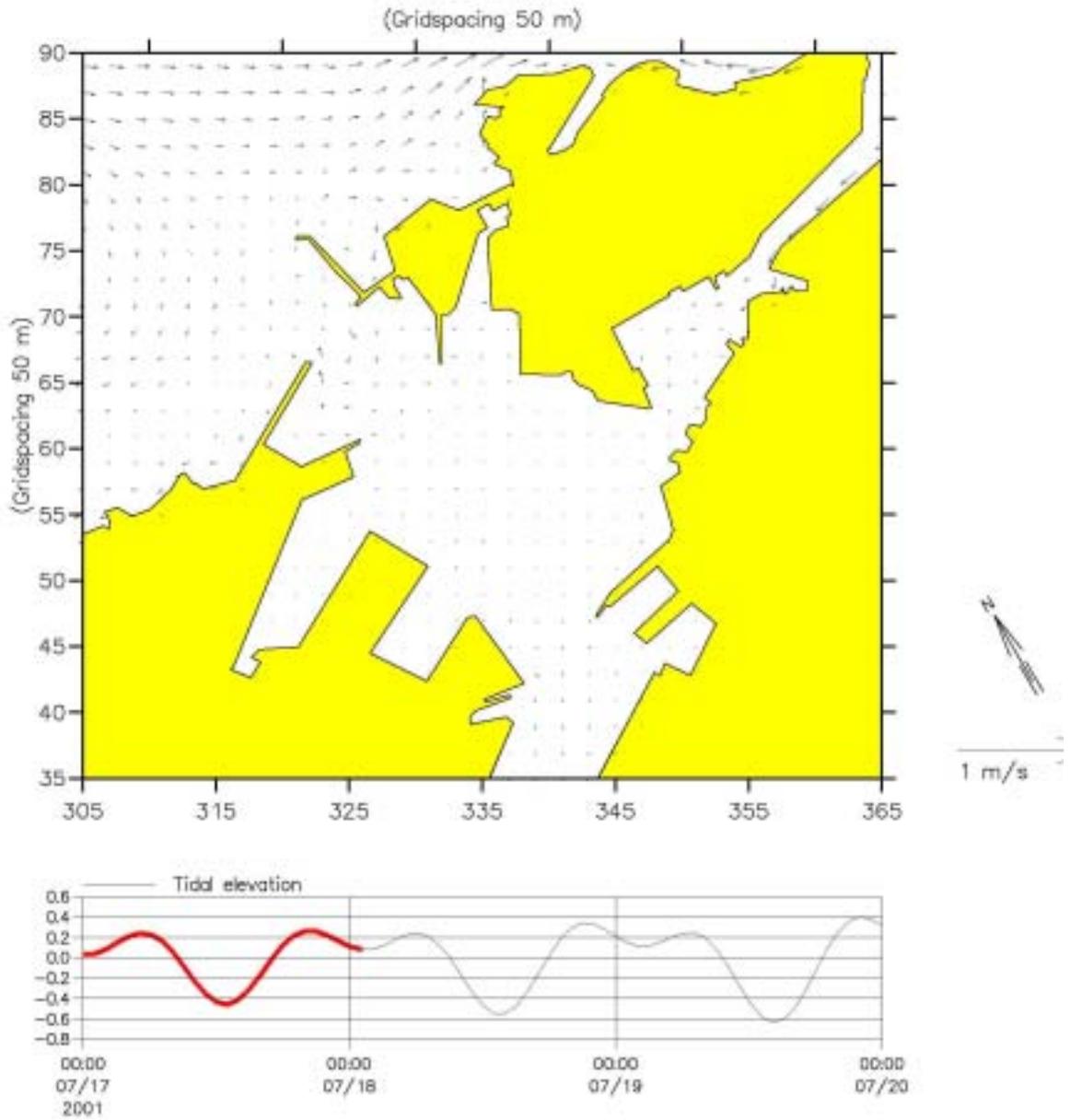


圖 3-32-8 基隆港港口及港內全平面性之計算潮流流速分佈
參考潮位:基隆港, 2001/07/18 01:00

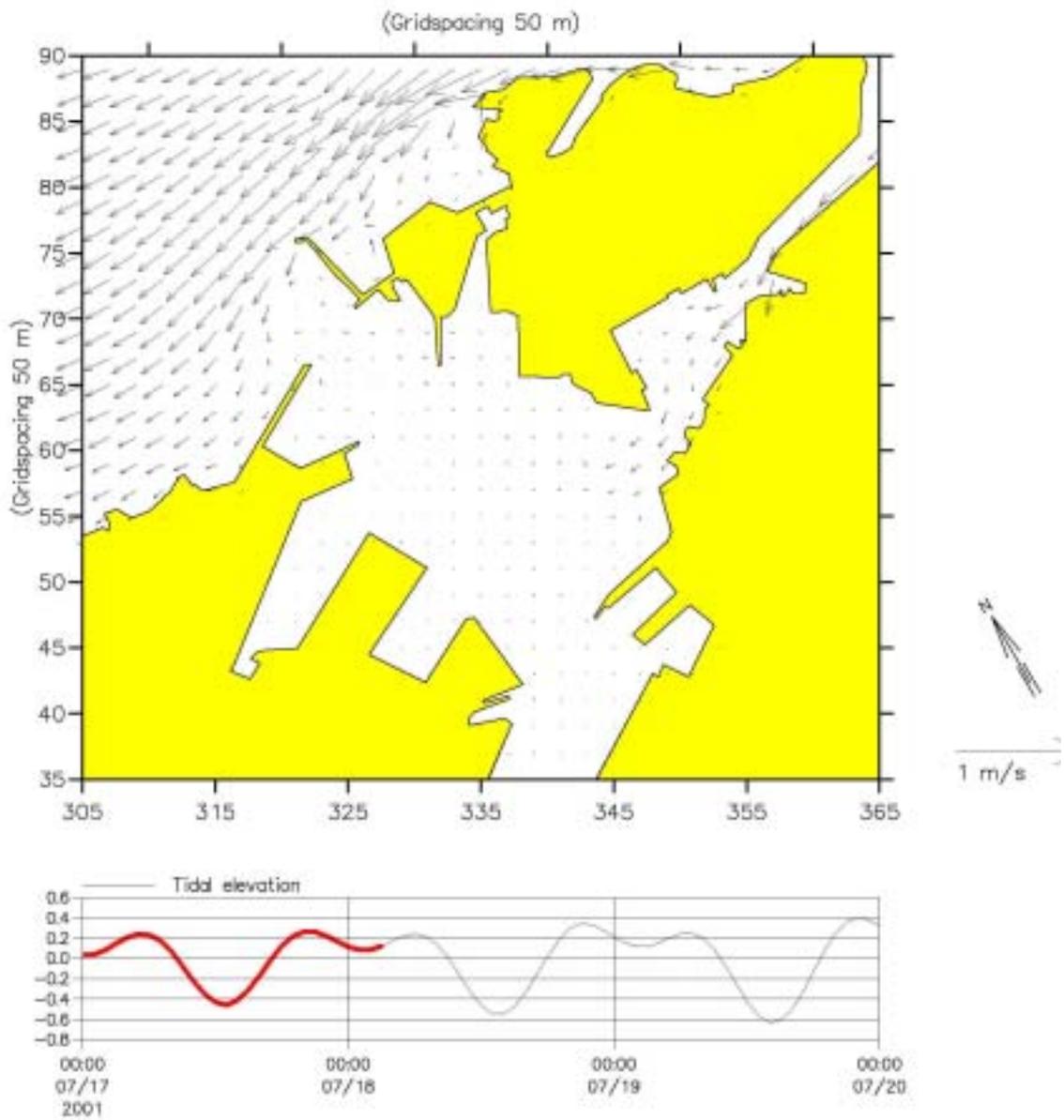


圖 3-32-9 基隆港港口及港內全平面性之計算潮流流速分佈
 參考潮位:基隆港, 2001/07/18 03:00



(Gridspacing 50 m)

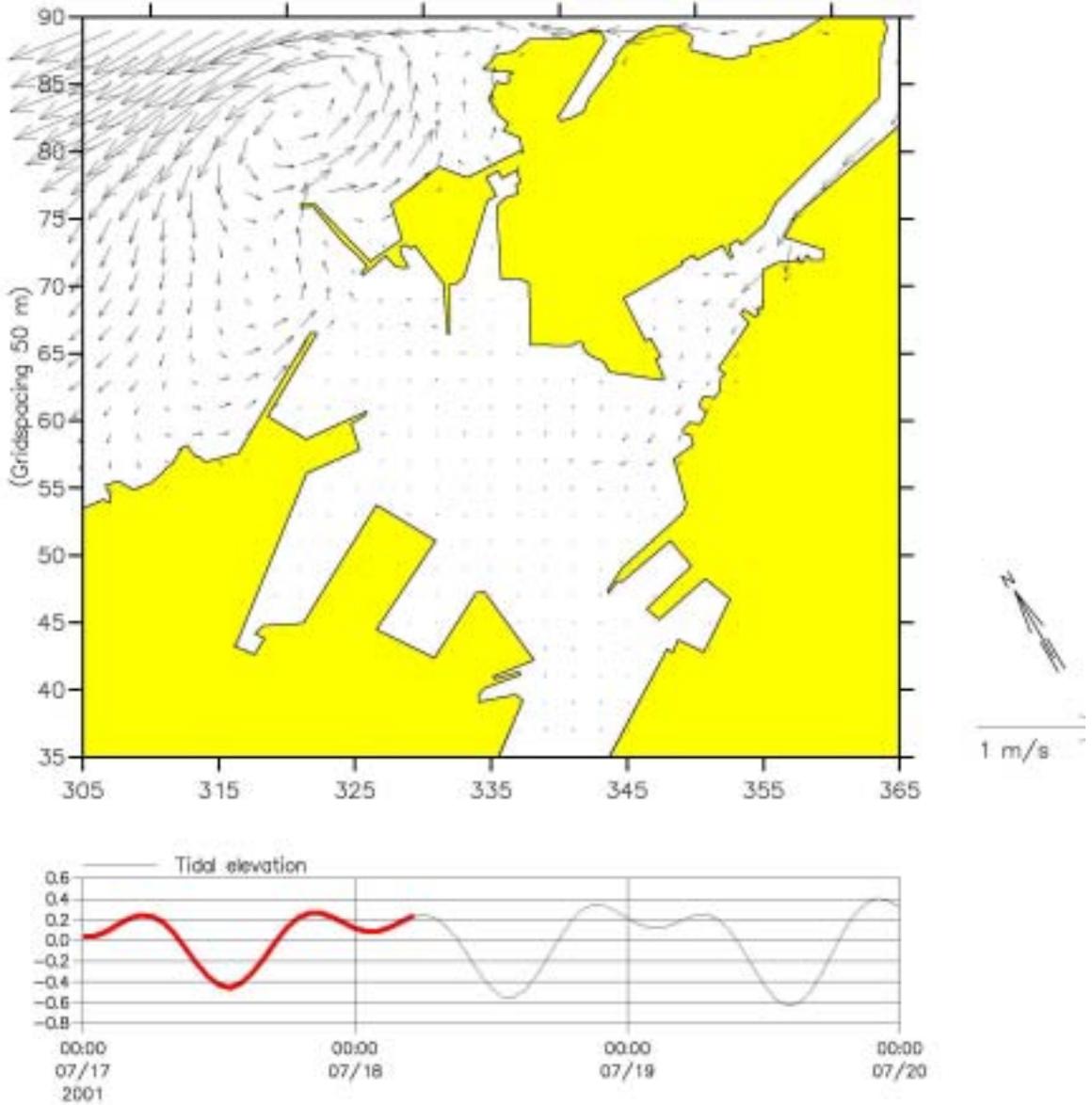


圖 3-32-10 基隆港港口及港內全平面性之計算潮流流速分佈
 參考潮位:基隆港, 2001/07/18 05:00

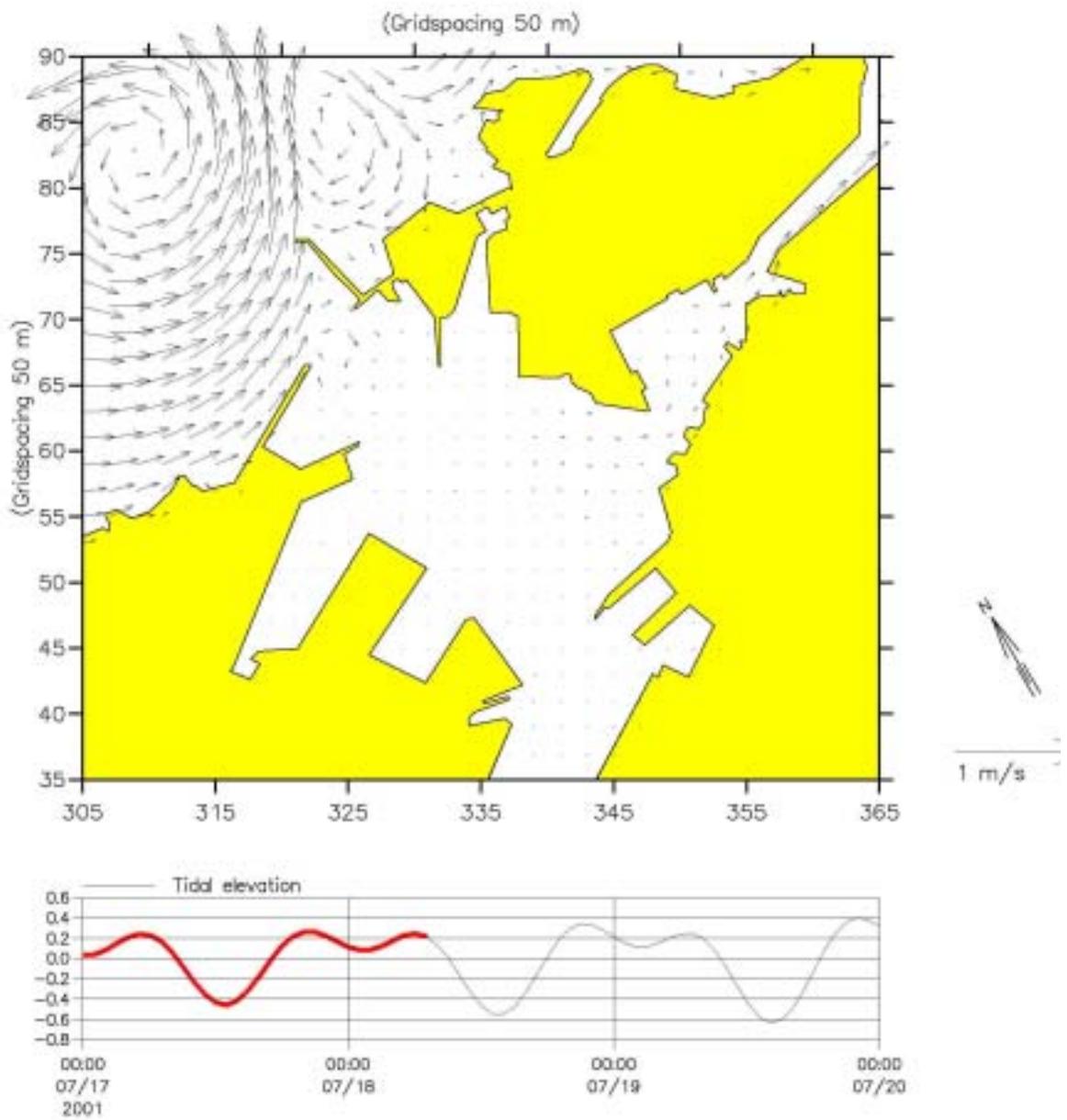


圖 3-32-11 基隆港港口及港內全平面性之計算潮流流速分佈
參考潮位:基隆港, 2001/07/18 07:00

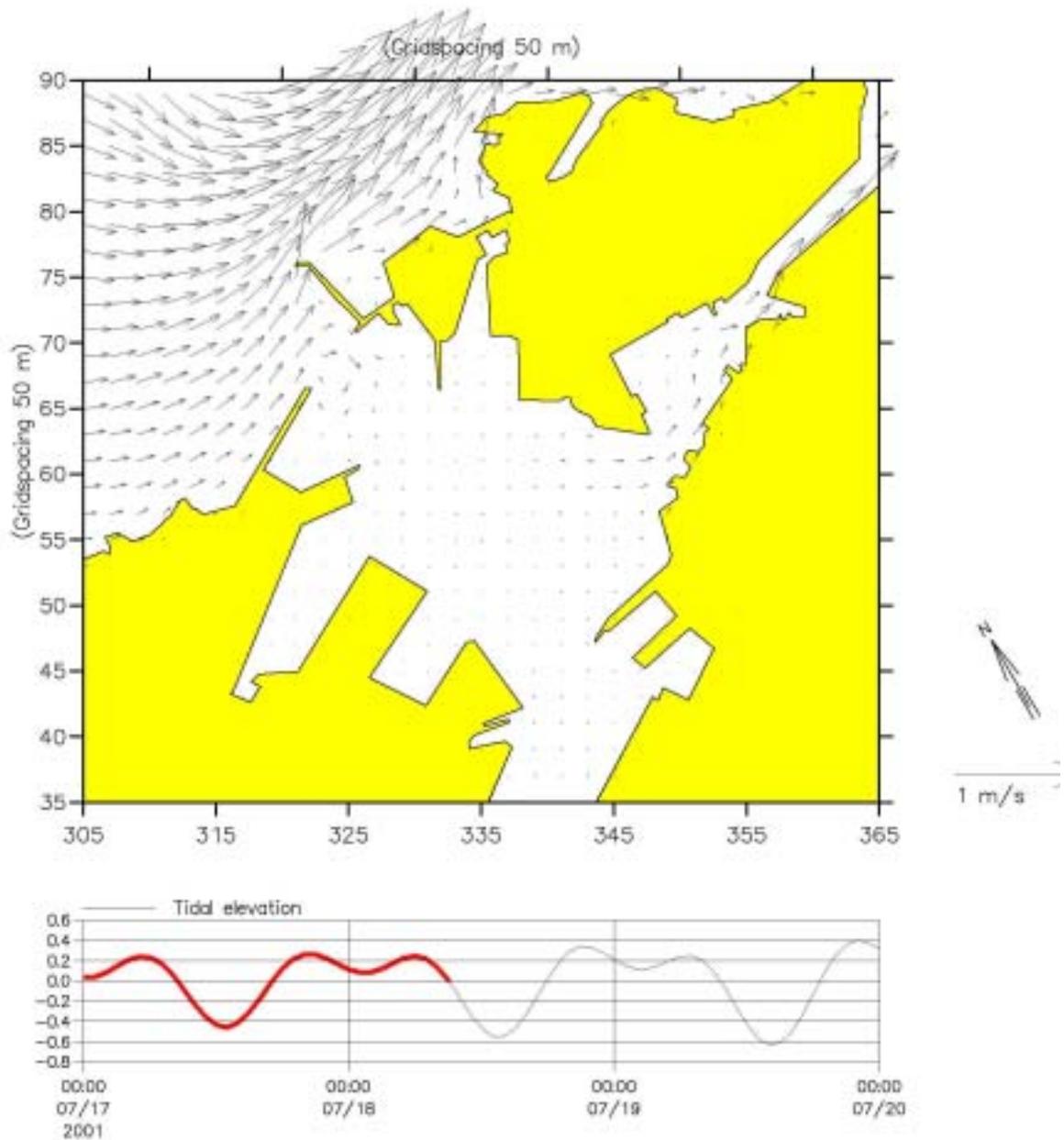


圖 3-32-12 基隆港港口及港內全平面性之計算潮流流速分佈
 參考潮位:基隆港, 2001/07/18 09:00

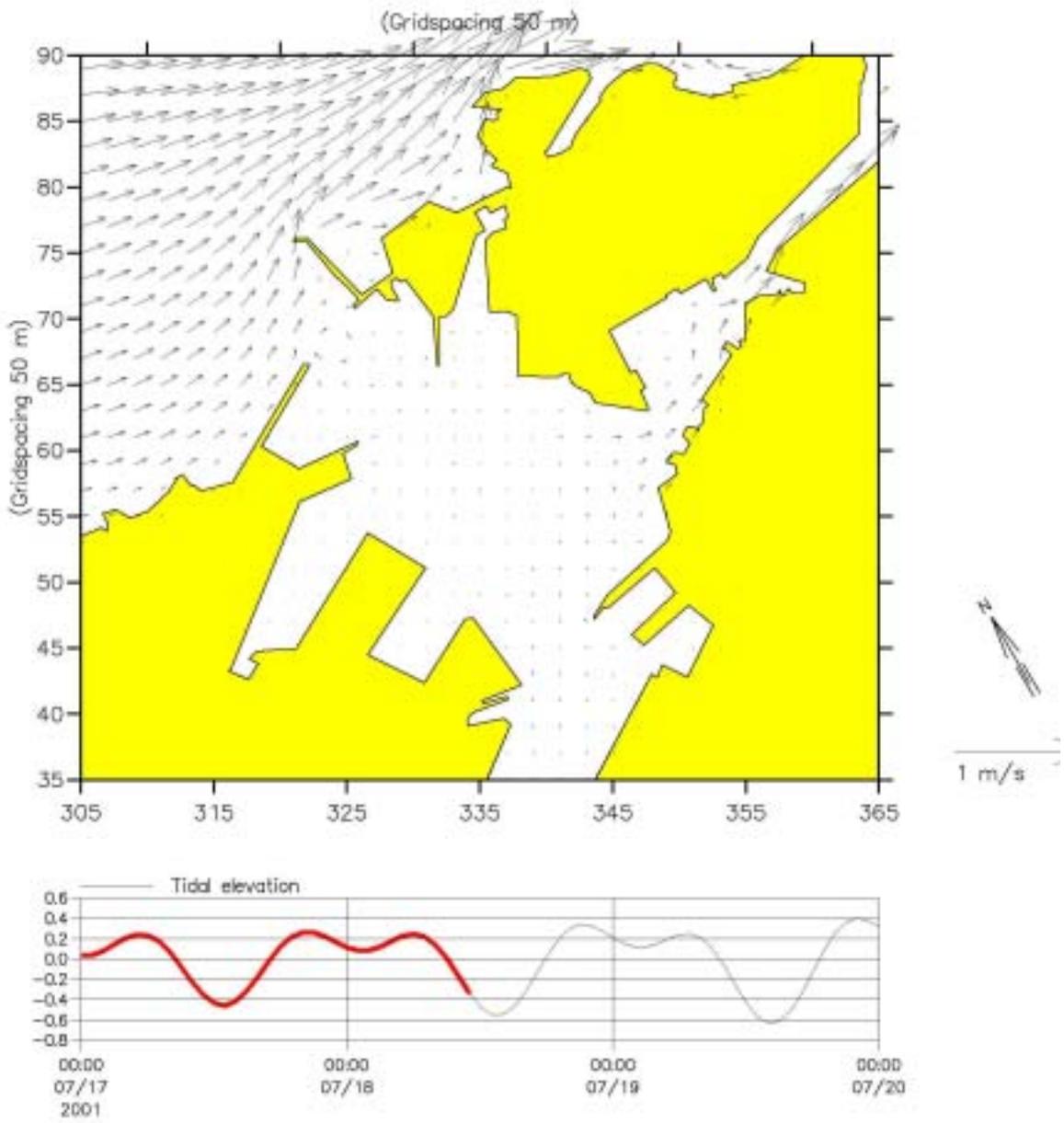


圖 3-32-13 基隆港港口及港內全平面性之計算潮流流速分佈
 參考潮位:基隆港, 2001/07/18 11:00

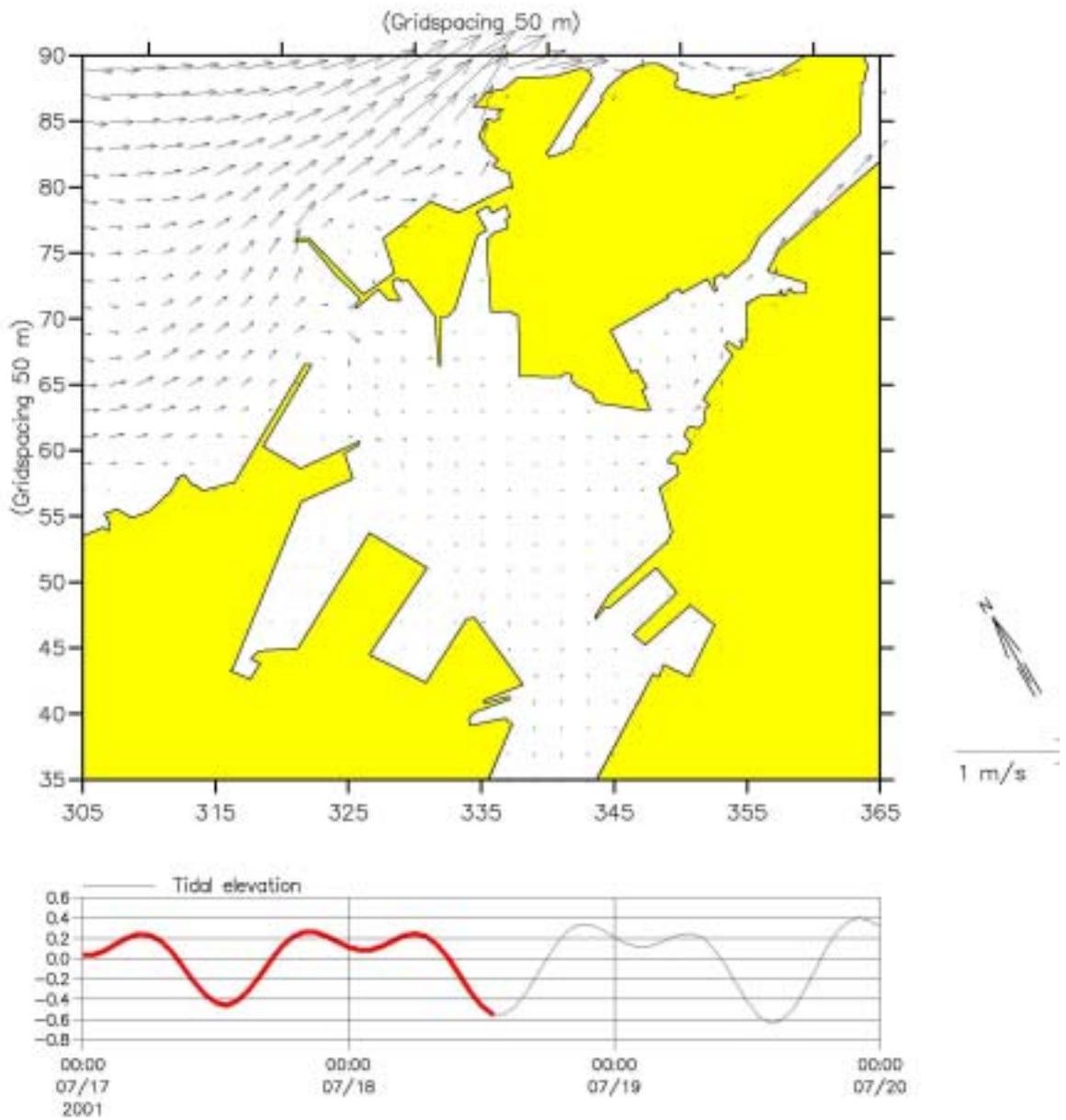


圖 3-32-14 基隆港港口及港內全平面性之計算潮流流速分佈
參考潮位:基隆港, 2001/07/18 13:00

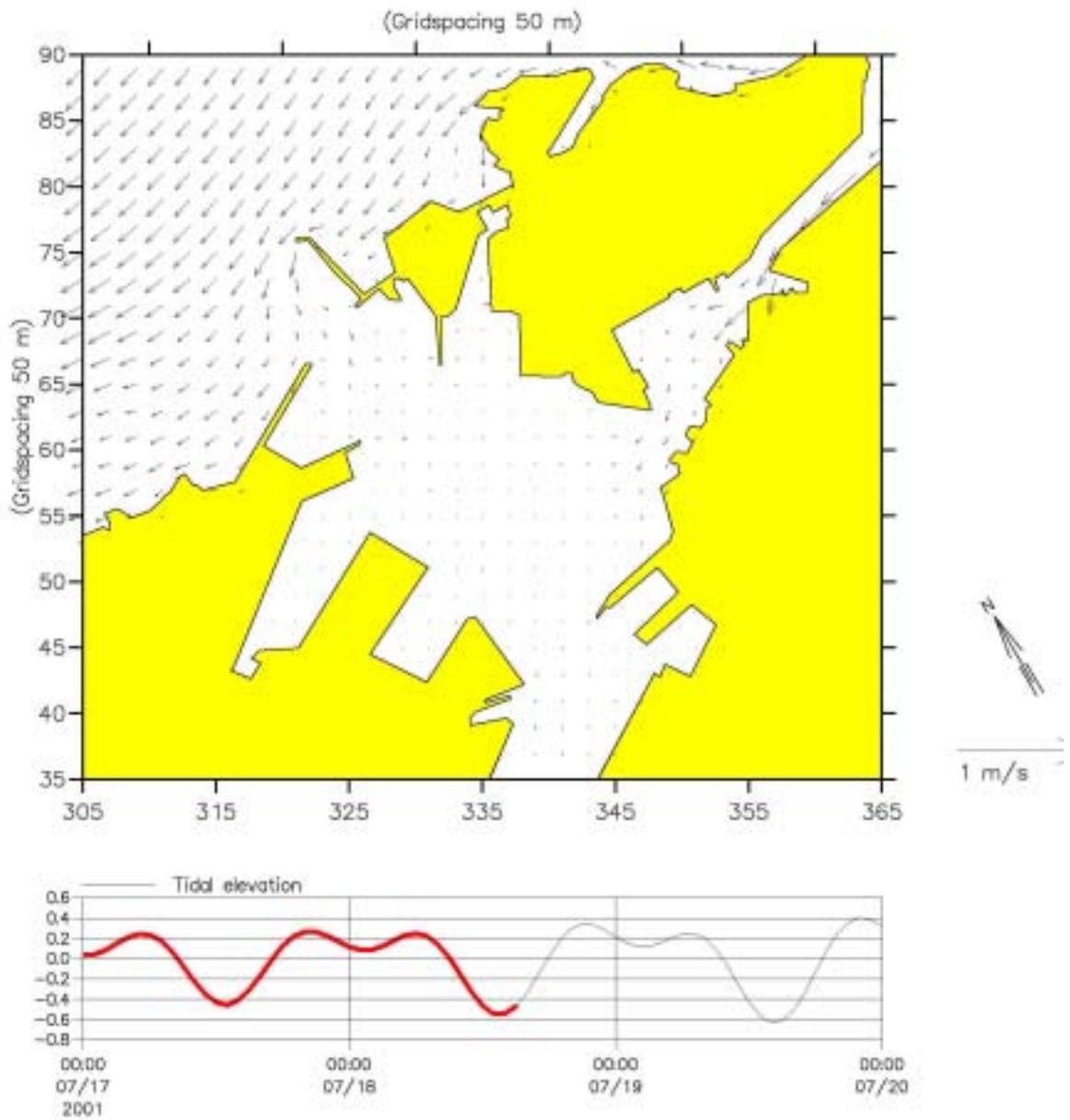


圖 3-32-15 基隆港港口及港內全平面性之計算潮流流速分佈
參考潮位:基隆港, 2001/07/18 15:00

第四章 台灣環島及北部海域計算海流之應用

4.1 概述

台灣北部海域，尤其是基隆港海域，依據相關驗潮站實測潮汐資料的分析結果與台灣環島海域潮位與潮流的計算結果顯示，本海域的潮汐與潮流特性，明顯受存在台灣東北部海域的大陸棚架地形水深所影響。因此，台灣環島海域及台灣北部海域的計算潮位與潮流，經檢核驗證後，可充分支援海岸防災及各項緊急應變等相關應用所需的全面海流資訊。

依據報載，在去年(民國九十年)八月間，於桃芝颱風(TORAJI: 2001/7/28~31)過後，台灣北部海域有大量自洪災區沖刷入海的的浮木隨著海流及風向大量漂流到東北部海岸及港口，並造成萬里漁港漁船機具受損，地方卡在經費及浮木是否屬國有財產認定問題而無法完成復舊，導致有立委曾邀集環保署長與萬里鄉各界座談並到場會勘，環保署長並承諾全力支持地方且儘快完成浮木來源鑑定，並考慮動用第二預備金協助清除。同年九月間，於納莉颱風(NARI: 2001/9/6~19)過後，宜蘭縣海岸線再度出現大量漂流木，嚴重情況較桃芝颱風過後有過之而無不及，宜蘭縣縣環保局曾派員親臨五結海邊勘查，發現事態不容小覷，將向環保署爭取經費清除，以避免這些漂流木在漲潮時再度被捲入海面，貽害作業船隻，同時，將動員環保義工淨灘，期盼短期內恢復海灘清純面貌；瑞芳鼻頭漁港區因納莉颱風造成的海漂浮木，九月中旬才由漁會雇工清除乾淨，但十月間的海燕颱風(HAIYAN: 2001/10/15~16)又讓港區佈滿浮木垃圾，造成漁船、舢舨航行困難，更有小鯨豚誤闖，猛撞浮木而傷重死亡，漁民因此希望相關單位儘快清理以免影響作業，並籲請有關單位儘快派員前往清除，瑞芳區漁會同時也表示，短期內將邀集農業局、鎮公所及東北角風景區管理處協商如何打撈善後，並一併研

究浮木如何處理，事後，鼻頭港區一帶打撈上岸的大批海漂浮木估計有數十噸，堆積在鼻頭服務區旁小公園二個多月，由於嚴重影響當地觀瞻，經過多方協調，東北角風景管理處決定自行雇工清理，整個作業預計需三天方可完成，漂浮木最終被運往貢寮垃圾掩埋場放置。海燕颱風過後約二個月(2001/11/16)，在基隆港的外木山海邊，據報也湧進大批浮木，因影響觀瞻，基隆市議員曾水源同時也建議市政府加以清除。綜合以上之報導可知，東北部的海岸及港口，每於颱風過後常滿布浮木及垃圾，其不僅造成漁民航行作業的困擾，浮木及垃圾來源、海漂路徑追蹤與可能大量聚集的海岸位置預測更考驗政府執行海洋環境保育的效能。

此外，台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(經濟部水利處，2001)。基於社會活動特性與經濟發展需求，環島沿岸及近岸海域不僅與人民生活息息相關，海岸更成為甚重要的國土資源。不過，由於地理環境 - 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，致使各類海岸災害仍經年發生。政府為防治海岸災害並確保沿岸居民生命財產之安全，自民國六十二年以來即由台灣省水利局(經濟部水利署前身)釐訂全國海堤整建計畫，並陸續於台灣環島沿岸採行興建海堤、突堤、及離岸堤等硬性海岸保護工法，使得台灣及澎湖沿海各種海岸保護工的總長度，截至近期約達 550 公里(郭金棟、簡仲和，2001)，其中，海堤的總長度即約達 393 公里。可見，除自然礁岩海岸外，台灣的沙質海岸幾乎被混凝土保護工所包圍保護，僅管如此，部分海岸至目前依舊面對海岸之沖蝕問題，原來綿延 1,520 公里長之海岸線，現今大部分仍顯現侵蝕趨勢。

眾所週知，海岸之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(許泰文、張憲國, 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(林琿 等, 2000)。

針對台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, 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(郭金棟、簡仲和, 2001), 而欲有效面對此一課題, 則有賴於台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。

鑑此, 本研究從台灣環島及北部海域的計算潮流應用著手, 冀期能提供台灣環島近岸海域大尺度自然沖淤趨勢評估及海岸防災與緊急應變所需的全面海流相關應用資訊。

4.2 台灣北部海域颱風期後漂流木之追蹤應用

海流一般包括洋流、風趨流、潮流及波浪引起的近岸流等成分。本研究應用的海流, 係單純以潮汐引起的潮流為對象。

台灣北部海域及基隆港海域之海流計算結果分別如圖 3-18-1 至圖 3-18-8 及圖 3-27-1 至圖 3-27-15 所示。鑑於計算潮流與實測海流總體性驗證之吻合度, 本研究因此應用台灣北部海域全面性逐時潮流流場, 在網格座標分別為(90,57)、(100,70)、(110,77)、(120,77)、(140,75)、(158,70)、(110,90)及(110,110)等八個點位上, 於 2001 年 7 月 16 日 0 時至 7 月 22 日 15 時的基隆港大潮期間, 以連續點放數值浮標漂移模擬及單一質點流動軌跡追蹤方式, 藉以探討颱風期後, 台灣北部海域不同地點的浮木漂移路徑及可能的聚積地點。

自 2001 年 7 月 16 日 0 時起, 在無風力的影響下, 於八個預先選定的位置上, 以連續點放數值浮標作漂移模擬, 5 日後, 數值浮標的漂移

分佈如圖 4-1 所示。由圖觀察可得，淡水河口的數值浮標有向北往富貴角海域漂移的趨勢；在富貴角海域，數值浮標有大量聚積的趨勢；在野柳岬至基隆港海域，離岸的數值浮標有向東南並往基隆港港口漂移的趨勢，且在野柳岬東側近岸，即約在萬里漁港及外木山沿岸聚積；在鼻頭角至三貂角海域，離岸的數值浮標部分會繞過三貂角岬頭並往南移動，部分則會在澳底漁港沿岸聚積。將以上數值浮標可能聚積的海岸位置，與桃芝、納莉及海燕颱風過後有關浮木的相關報導相對照，可發現大部分浮木在台灣北部海域所實際聚積的海岸位置是甚相吻合的。可見，應用正確的計算潮流流場，透過數值浮標的漂移模擬，即可概略掌握特定海域浮木的來源、漂移方向及可能發生聚積的海岸。

自 2001 年 7 月 16 日 0 時起至 7 月 22 日 15 時止，在無風力影響及考量東北向 2 m/s 的輕風吹送條件下，於以上八個預先選定的位置上，以單一質點追蹤潮流的流動，經計算後可得流動軌跡分別如圖 4-2 及圖 4-3 所示。首先觀察圖 4-2 可知，在無風力作用下，潮流的流動軌跡在富貴角海域有往北輻散流動的趨勢；在野柳岬、基隆港外及鼻頭角至三貂角海域，潮流的流動軌跡皆為向岸方向；而在宜蘭頭城近岸海域，總體潮流的流動軌跡為北向。其次，觀察圖 4-3 並與圖 4-2 對照可知，即使潮流的流動質點以東北向 2 m/s 的輕風吹送，仍清楚可見風力對潮流流動軌跡的影響。因此，欲準確掌握台灣北部海域浮木的來源、漂移路徑、漂移方向及可能發生聚積的海岸，除了正確的全面計算潮流流場外，尚必須將風力的吹送作用作完全充分的考量。

經由以上台灣北部海域計算海流的應用結果可知，應用二維非線性淺水波水動力數值模式，準確地掌握開放海域側所需的水動力數值計算邊界條件，可即時有效地模擬計算台灣北部及基隆港海域的潮流，並能提供台灣北部海域相關海岸防災及緊急應變所需的全面海流資訊。此外，應用計算的潮流流場，透過數值浮標的漂移模擬及潮流水質點流動軌跡的追蹤，也可概略掌握台灣北部及基隆港海域，在颱風期後，浮木的漂移路徑、方向及可能聚積的海岸。

4.3 台灣環島海域輸沙潛勢之計算應用

4.3.1 台灣近岸海域的地形水深

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，台灣環島近岸海域之地形水深如圖 4-4(詹森，2002)所示。由圖上色階或水深等值線變化可看出，在台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，在台灣海峽之中北部，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台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；在台灣海峽的南部海域，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；於澎湖水道以西及台灣海峽西南端海域尚有一片淺灘地形，俗稱「台灣灘」，淺灘上水深僅約 20 米左右。以上所述存在於台灣環島近岸海域的凹陷、深溝、淺灘及水下隆起沙體等地形，不僅會對台灣海峽的海流型態造成很大的影響(詹森，2002)，其地形構造型態與其上的沉積物及沉積層厚度，更是本應用研究探討台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。

4.3.2 台灣環島海域之海流

海流及潮流是近岸海域漂沙長期運移的主要動力。為探討台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，因此有必要先瞭解台灣環島近岸海域的海流及潮流特性。在實測海流特性方面，台大海洋研究所的莊文思、王胄等教授曾使用錨碇海流儀直接進行台灣海峽海流的量測，並依據量測分析結果證實台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(王玉懷，2002)。海研一、二、三號研究船過去三年(1999~2001)亦曾在台灣

海峽進行海流觀測，圖 4-5 為國家海洋科學研究中心王玉懷博士分析觀測結果所得到的平均流場(王玉懷，2002)；圖 4-6 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台灣環島海域冬、夏季全年平均之海流流場(劉康克，2002)。由圖 4-5 及圖 4-6 綜合觀察可清楚看出，除黑潮洋流以甚強的流速順著台灣東部海域由南往北流外，台灣海峽的海流年平均也確實是由南往北流動，流速在台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，之後又貼回台灣西北部海岸。另由平均流及水深計算，可得台灣海峽全年的平均流量為 1.8 Sv(106 m³/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 公里的台灣淺灘，因此，前者水流湍急，而後者水流則較為和緩(王玉懷，2002)。

在含括大、小潮之半月期間內，東亞大範圍計算海域及台灣環島海域的計算潮流流場分別如圖 3-8-1 至圖 3-8-6 及圖 3-14-1 至圖 3-14-6 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。觀察圖 3-14-1 至圖 3-14-6 可知：台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，故在台灣海峽南、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，而在台灣海峽中段的台中、台灣西南部的高雄以及台灣東部海域，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，潮流會分別從台灣海峽之南、北端開口以甚快的流速流入，並向海峽中段海域匯聚。值得注意的是，因潮流的非線性本質及因局部海岸地形的影響，潮流分別自台灣海峽南、北端開口流出的速度平均將比流入快，因此，在台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。

4.3.3 台灣環島沿岸的水下沙體

“凡人走過必留下足跡”，同理，“凡水流過必留下沙痕”。台灣四面環海，若能在環島沿岸發現淺灘或水下沙體，則顯然地這應是近岸漂沙長年被海流及潮流運移後，因沉積所遺留的自然痕跡。

我國聯合勤務總司令部測量署一九九八年製繪五十萬分之一比例尺之「台灣省全圖」如圖 4-7 所示。於圖中觀察以白色階顯示之 50 米等深線海域內可清楚地發現，台灣環島近岸海域存在有明顯的大型水下沙體。參照海岸相對應的海流、潮流型態及河口的相關位置，以分區方式進一步觀察水下沙體的存在型態可得：(a)在台灣東北部的宜蘭海域，雖然本海域經常遭受季風與颱風波浪的衝擊，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的沙舌型水下沙體，可見本海域潮流或潮殘餘流的流速普遍應甚弱，對水下沙體沉積型態的影響非常有限，致使正對河口的沙舌型水下沙體得以完整地發展及保留。故可確認本區近岸漂沙的優勢運移方向主要應取決於恒常波浪的作用。也基於本海域特殊的海象特性及河口沙舌型水下沙體型態的完整呈現，故潮流或潮殘餘流對其他分區海域水下沙體的發展型態、近岸漂沙的優勢運移方向及海岸長期沖淤變遷趨勢等的影響，將可以本區作為對照討論的基準；(b)在台灣南部懇丁南灣海域，存在有一朝西之魚尾型水下沙體，此魚尾型水下沙體，由於其存在的水深深達 50 米，應遠非波浪作用所能影響，故本區近岸海域水下沙體沉積的主要因素，明顯地應是潮殘餘流由東向西的恒常運移作用所導致；(c)在台灣南部高屏溪及東港溪河口，於聯結高雄港、枋寮、及小琉球島之三角形海域內，存在有一寬敞之三角形水下沙體，依據圖 4-5 或圖 4-6 所示的實測海流及對照圖 3-14-1 至圖 3-14-6 的計算潮流結果可知，本區海域潮流流速甚弱，故此一三角形水下沙體應與高屏溪及東港溪河口的輸砂沉積有直接的關係，只是受高屏溪口外之高屏峽谷影響，因此，三角形水下沙體在小琉球島的北側海域留下了一海溝型態的缺口，此外，沿著澎湖水道北上，自高雄港第一港口至濁水溪口間，水下沙體的寬度普遍甚大，且寬度有由南向北遞增的趨勢，鑑於本區北段海域經常波浪具較強的向南沖蝕作用，再加上圖 3-14-1 至圖

3-14-6 中計算潮流向南流出速度大於流入的速度，因此可綜合研判，自台南七股海岸以北的近岸海域，潮流與波浪應皆為影響水下沙體沉積型態的重要因素，且潮殘餘流的作用將導致近岸漂沙的優勢運移方向主要為由北往南；(d)在台灣中西部海域，於彰化、台中的近岸海域，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」，依據台灣環島半日型潮波的共振理論(Lin et al., 2000)及共振潮波顯現的部分重複駐波振盪型態(莊、江，2000；Juang et al., 2001)可知，雲彰隆起恰約位在部分重複駐潮的腹點(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，根據駐潮腹點潮流應具弱流速的特性，可研判雲彰隆起海域的水下沙體，應係台灣海峽內，駐潮腹點鄰近海域潮流的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，應可作為台灣中西部海岸發生沖淤，而究竟「沙從那裡來？」或「沙到那裡去了？」等相關疑問之闡釋輔助；(e)在台灣西北部的淡水河口海域，甚至南達桃園、新竹海域，50 米等深線以內的水下沙體寬度普遍較台灣西南部海域狹窄，尤其在淡水河口海域外，若與蘭陽溪口外所存在的沙舌型水下沙體對照，則本區淡水河口海域原應有型態發展完整的沙舌型水下沙體存在，不過，在本海域內並無法找到，可能殘存的遺蹟僅可見於「觀音凹陷」與桃園北部海域間，因此可概略研判台灣西北部海域的潮流或潮殘餘流仍應為影響水下沙體存在型態的重要因素，此外，配合圖 3-14-1 至圖 3-14-6 中顯示計算潮流順本區海岸流出的速度較流入速度大，故潮殘餘流對本區近岸海域的漂沙優勢運移方向應為由南往北；(f)在礁岩型的台灣北部海域，50 米等深線以內的水下沙體與台灣東部海域類似皆不發達，僅管如此，在鼻頭角北部，位在 200 米等深線海域，仍清楚可發現沙舌型水下沙體的沉積痕跡，再依據台灣環島半日型潮波共振理論部分重複駐潮所呈現的振盪型態可研判，台灣北部的基隆海域，由於恰約位在部分重複駐潮的結點(node)上，近岸漂沙受駐潮結點強盛輻散流速的移運作用後，勢必會在鼻頭角海域附近沉積，所以，台灣北部基隆海域外 200 米等深線的沙舌型水下沙體，應係潮殘餘流對台灣西北部及北部海域近岸漂

沙長期優勢運移作用所形成的總沉積。

4.3.4 潮殘餘流與近岸輸沙

台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引起近岸流的輸送，勢難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。

為確認潮殘餘流對近岸輸沙的決定性影響，本研究應用圖 3-14-1 至圖 3-14-6 所示台灣環島近岸海域自 2001 年 7 月 15 日至 31 日包括月大、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，可得台灣環島近岸海域長期平均的輸沙潛勢(sediment transport capacity)如圖 4-8 所示。圖 4-8 中，輸沙潛勢的大小以色階值表示，其單位為每公尺距離內每年以立方公尺計算的輸沙量($m^3/yr/m$)；箭矢表示長期平均的優勢輸沙方向。局部海域內若呈現高輸沙潛勢(深藍色階)，意謂該海域的潮殘餘流較強勁且具有侵蝕(erosion)趨勢；反之，局部海域若呈現低輸沙潛勢(淺藍色階)，則意謂該海域潮殘餘流較弱且具淤積(deposition)的趨勢。

依據圖 4-8 所示輸沙潛勢之計算結果，首先觀察台灣環島近岸海域總體輸沙潛勢大小之分布變化可知：在台灣東部、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，在台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，在台灣西北部及台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，在台灣西北部海域有「觀

音凹陷」及「烏坵凹陷」的形成，而在台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。將以上台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 4-4 所示的台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，在台灣海峽海域，因潮殘餘流長期固定大小與方向的持續輸沙作用，導致台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，不僅與台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 4-5 及圖 4-6 所示實測平均海流的分布型態密切地吻合。可見，在台灣海峽的實測平均海流，實際上可能應是潮殘餘流的展現。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 4-8 所示的輸沙潛勢變化可得：在台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 4-7 中存在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；在台灣西南部的屏東、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，該局部海域海岸的侵蝕趨勢，主要應取決於當地短期的波浪作用，不過，仔細觀察圖 4-8，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，相對於台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台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，而「台灣灘」可能係為潮殘餘流北向輸沙潛勢的降低而導致漂沙的自然沉積，另

外，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 4-8 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；在台灣中西部的彰化、台中及苗栗一帶近岸海域，由圖 4-8 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，台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、淡水至基隆一帶的台灣西北部及北部近岸海域，觀察圖 4-8 可得，本海域的輸沙潛勢與台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台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，此外，從輸沙潛勢的強弱變化觀察可發現，台灣北部海岸的沖蝕以富貴角海域最明顯，而漂沙主要將在鼻頭角及三貂角附近海域淤積，因此促成圖 4-7 中位在鼻頭角及三貂角北部，水深 200 米海域，沙舌型水下沙體的沉積；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 4-8，在頭城附近的海岸仍應具自然的淤積趨勢；至於在台灣東部的海岸，由圖 4-8 可明顯地看出，本段海岸整體的輸沙潛勢甚微小，潮殘餘流更是微不足道，故台灣東部海岸的侵蝕與輸沙優勢方向，主要將取決於當地波浪的作用。

有關台灣環島沿岸的侵淤變遷概況，張金機、黃清和(1997)依據實際調查及測量資料統計分析結果可得如圖 4-9 所示。由圖觀察可知，台灣環島除部分礁岩海岸外，其餘大部分海岸皆具有長年侵蝕的趨勢。將圖 4-9 與圖 4-7 及圖 4-8 所示的海岸侵淤情況相互對照，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，不僅可準確地掌握台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。

4.3.5 結語

經由以上台灣環島海域輸沙潛勢的計算評估結果可知，存在於台灣環島近岸海域的水下沙體，明顯係近岸漂沙長年的沉積結果，且與潮流長期的運移作用有關，更與因潮流的非線性本質所衍生潮殘餘流的優勢作用關係密切。其中，值得特別注意的是，國家海洋科學研究中心王玉懷博士針對台灣海峽海域分析海流觀測結果(王玉懷，2002)所得到的平均流場(圖 4-5)，實際上並無法用以對照說明台灣海峽海域水下沙體的沉積型態。可見，本研究透過潮殘餘流對近岸海域漂沙長期的輸運作用，再藉台灣環島近岸海域水下沙體既有存在型態之驗證，可充分提供台灣環島海岸普遍被波、流作用沖蝕後，「沙到那裡去了？」的完美闡釋。

此外，本研究現階段之計算海流應用係以輸沙潛勢大小及方向展現潮殘餘流，而其在台灣西部海域整體的分佈型態及優勢方向主要為由南向北，此不僅與國家海洋科學研究中心近期在台灣海峽的實測海流特性充分吻合，更可直接用以說明台灣西部沿岸海域長期的主要輸沙優勢方向亦應為由南往北。

針對台灣環島海岸長期的沖淤變遷課題，依據台灣環島海域輸沙潛勢大小的變化可知，除位在台灣中西部的彰化、台中與苗栗一帶海岸具有自然的淤積趨勢外，台灣南部的懇丁南灣、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，皆具有明顯而嚴重的自然侵蝕趨勢。鑑此，因潮殘餘流作用所導致台灣環島海岸的自然長期沖淤趨勢，可供政府相關單位於採用柔性近自然工法進行整體海岸防護與保育決策的參考。

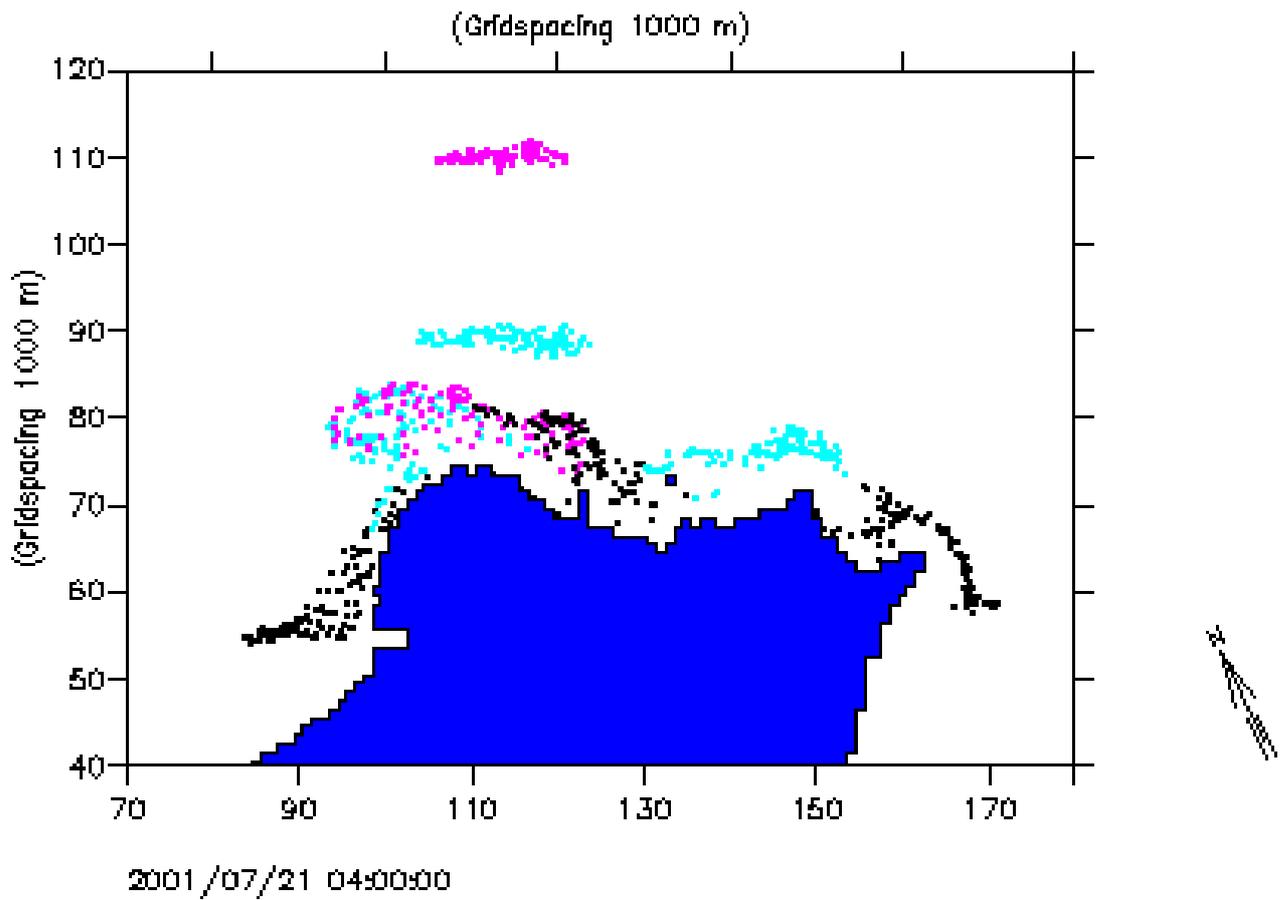


圖 4-1 台灣北部海域，在無風力影響下，以連續點放數值浮標模擬浮木的漂移及聚積

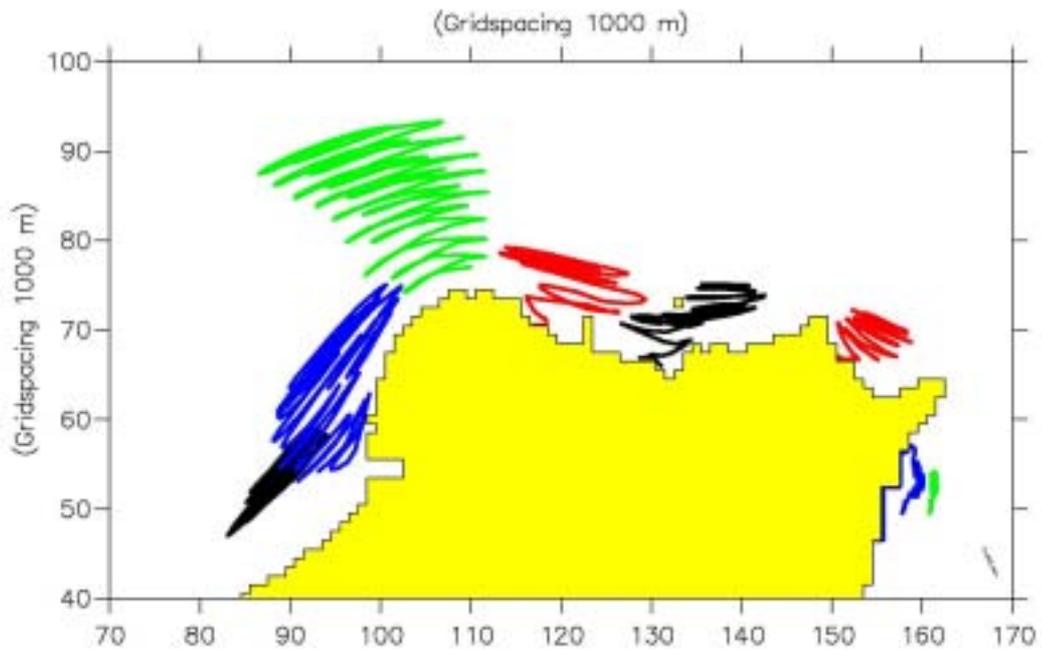


圖 4-2 台灣北部海域，在無風力影響下，以單質點數值浮標模擬潮流的流動軌跡

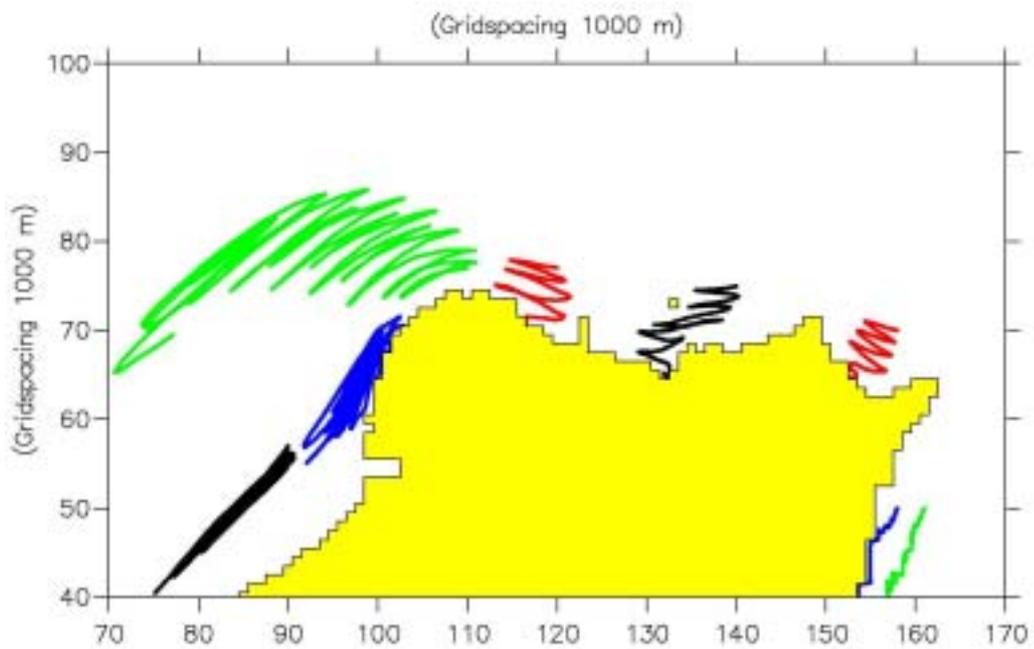


圖 4-3 台灣北部海域，在東北向 2 m/s 的輕風吹送下，以單質點數值浮標模擬潮流的流動軌跡

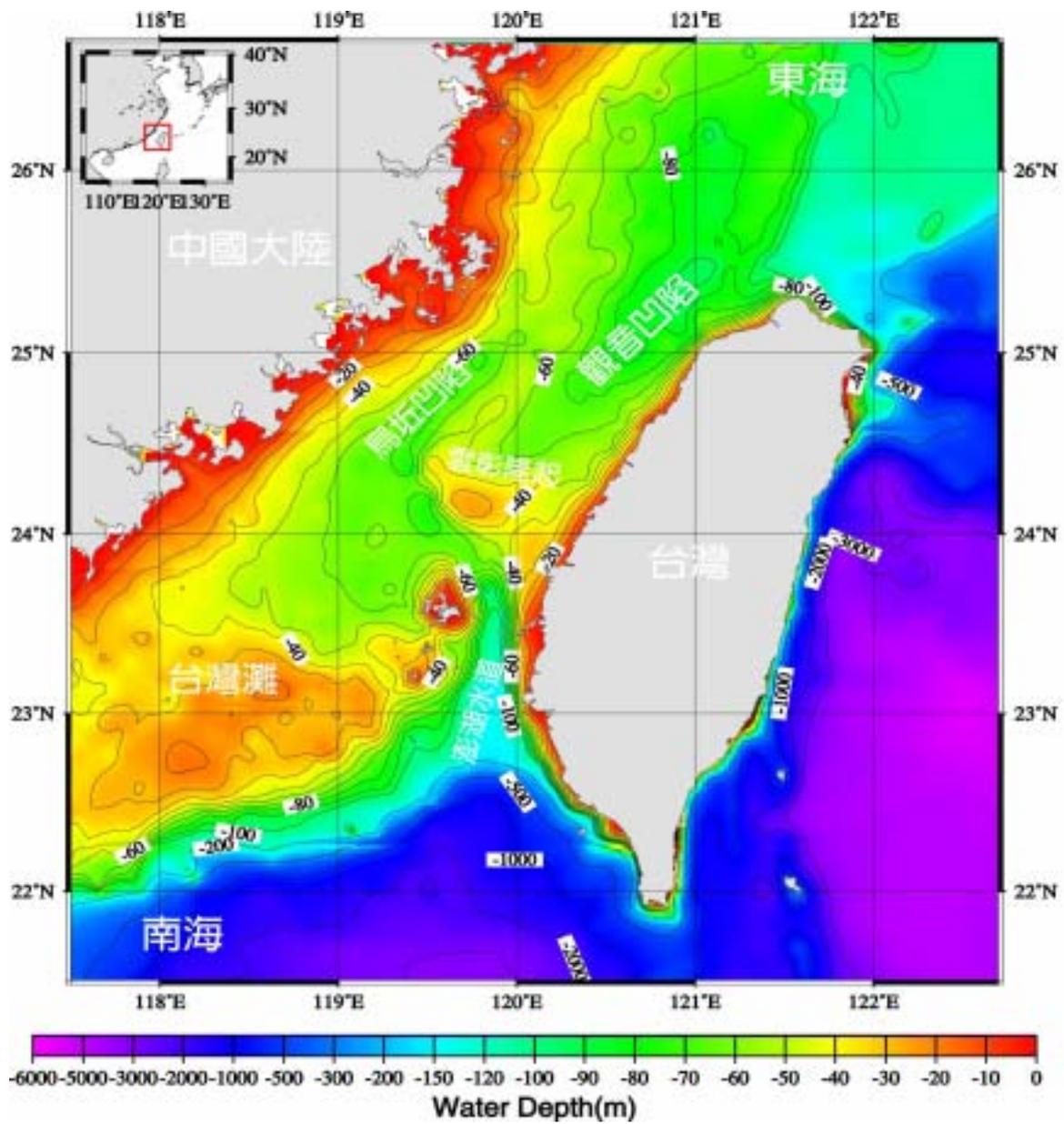


圖 4-4 台灣環島近岸海域水深地形(詹，2002)

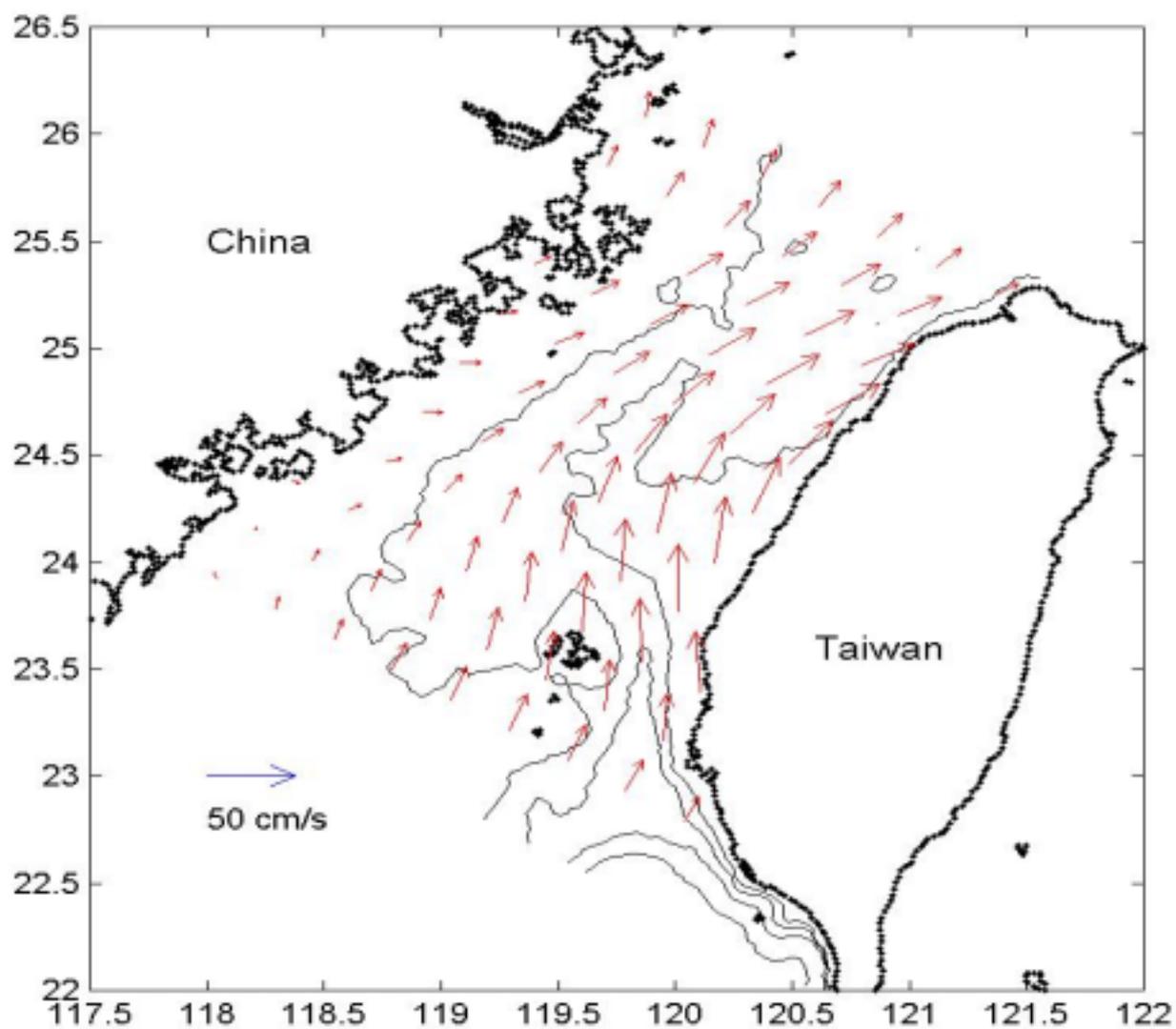


圖 4-5 台灣海峽 1999-2001 年用 Sb-ADCP 觀測分析之平均海流
(王, 2002)

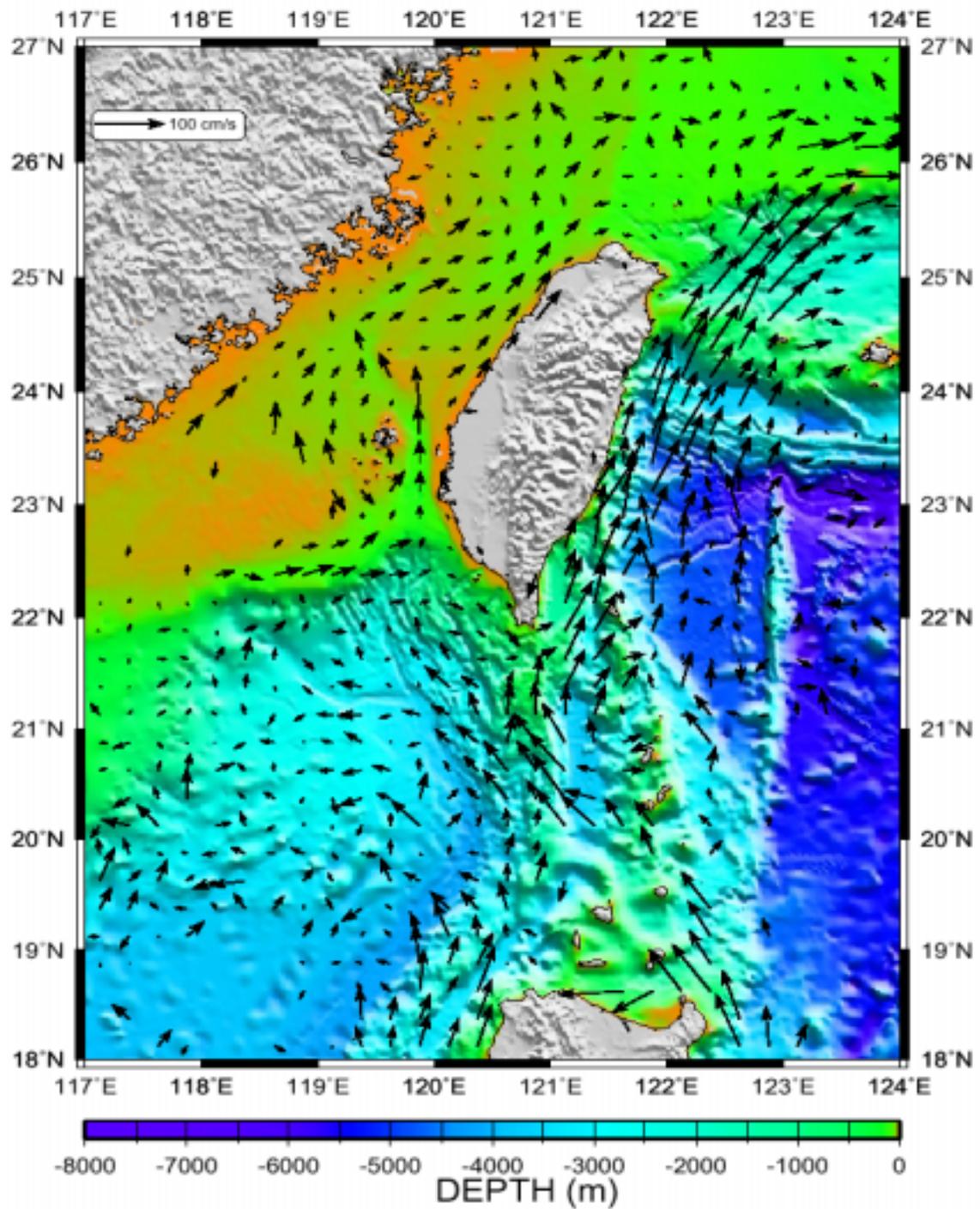


圖 4-6 台灣環島海域實測年平均之表層海流
(國家海洋科學研究中心資料庫)



圖 4-7 台灣環島近岸海域之水下沙體

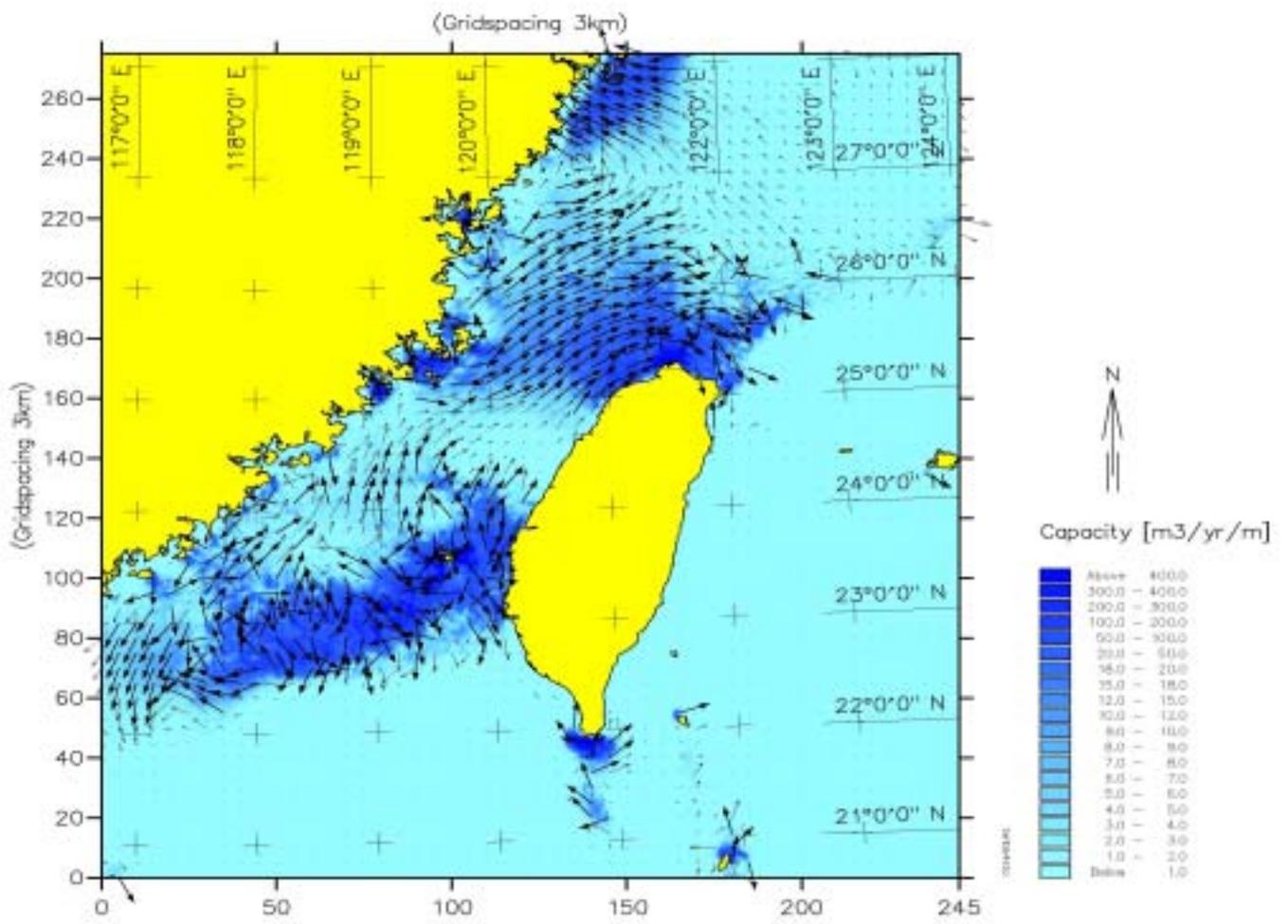


圖 4-8 台灣環島海域輸沙潛勢與潮殘餘流的強弱及主要漂沙運移方向



圖 4-9 台灣環島海岸的侵淤趨勢分佈(張、黃，1997)

第五章 結論與建議

5.1 結論

本研究為克服台灣環島面對開放海域之特性，解決開放海域無適當邊界條件可供應用之難題，因此，從東亞大範圍海域之海流流場及潮位計算著手，採用巢狀網格交疊配置，應用二維淺水波水動力計算模式，針對台灣環島、台灣北部、富基漁港至澳底及基隆港等海域進行系列之海流及潮位計算模擬，計算結果經與相關之實際調查資料相互驗證後，所得之主要結論如后：

1. 本研究可準確的計算台灣北部及基隆港海域海流隨潮位的逐時變化(參見圖 3-25 及圖 3-29)。
2. 潮波在台灣海峽及台灣西部沿岸海域，其振盪明顯具有部分重複駐波之型態(參見圖 3-10 至圖 3-12)，而基隆港約位處在此部分重複駐波之北端節點海域內，因此，潮流的流速普遍甚強勁。
3. 當基隆港潮位在退潮時期(參見圖 3-20-1 及圖 3-27-1)，海潮流在台灣北部海域以甚強之流速由富貴角(西)往鼻頭角(東)方向流動，在富貴角、野柳岬、基隆嶼與和平島間及鼻頭角岬頭等海域，流速皆甚強勁，且在野柳岬以東海域有局部之環流流場產生；當基隆港潮位在潮潮時期(參見圖 3-20-3 及圖 3-27-4)，海潮流在台灣北部海域亦以甚強之流速由鼻頭角(東)往富貴角(西)方向流動，在富貴角、野柳岬、基隆嶼與和平島間及鼻頭角岬頭等海域，流速亦皆甚強勁，並在野柳岬以東海域產生局部之環流流場，部分時期，環流流場亦會在基隆港港口形成。
4. 應用本研究之計算潮流流場，再透過數值浮標的漂移模擬及水質點流動軌跡的追蹤，可概略掌握台灣北部及基隆港海域，在颱風期後，浮木的漂移路徑、方向及可能聚積的海岸(參見圖 4-1 及圖 4-2)。

5. 存在於台灣環島近岸海域的水下沙體，與潮流長期的運移作用及漂沙長年的沉積有關，更與因潮流的非線性本質所衍生潮殘餘流的優勢作用關係密切。
6. 依據台灣環島海域輸沙潛勢之計算結果研判，台灣西部沿岸海域長期的主要輸沙優勢方向應為由南往北(參見圖 4-8)。而從台灣環島沿岸海域輸沙潛勢之強弱分布趨勢研判，除位在台灣中西部的彰化、台中與苗栗一帶海岸具有自然的淤積趨勢外，台灣南部的懇丁南灣、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，皆具有明顯而嚴重的自然侵蝕趨勢。
7. 因潮殘餘流作用所導致台灣環島沿岸海域輸沙潛勢之強弱分布趨勢及台灣環島海岸長期自然的沖淤趨勢，可提供政府相關單位於採用柔性近自然工法進行整體海岸防護與保育決策的參考。

5.2 建議

1. 台灣環島近岸海域水下沙體的沉積規模、型態及其沉積質值得政府相關單位深入調查研究，俾能進一步掌握台灣環島海岸大部分皆發生侵蝕，而究竟「沙跑到那裡去了？」的自然合理詮釋。
2. 潮殘餘流及其對台灣近岸海域漂沙的長期移運作用及影響應值得再深入研究探討。
3. 為數值模擬計算之需要，本研究之計算地形與水深資料皆依據美國國家地球物理資料中心(NGDC: National Geophysical Data Center)提供解析度為 5 分地理弧度(約 9km)之 ETOPO5 資料及 GSHHS (A Global Self-consistent Hierarchical High-resolution Shoreline Database)高解析度海岸線資料(NGDC, 1988)建置。雖然本研究總體數值模擬計算結果之準確性尚佳，但因台灣環島近岸海域之海岸地形與海域水深資料仍過於粗略或空間之密度與解析度不足，致使本研究在台灣北部海域潮位的數值模擬計算準確度尚具有

一些誤差。鑑此，迫切地建議政府應詳細地規劃、辦理台灣環島海域水深及海岸地形調查與量測，並收集台灣相鄰海域之水深與相關之海岸地形資料，藉以建置一標準水深地形資料庫供相關研究參照使用。在此一基礎上，數值模擬計算所依據之海岸地形及海域水深資料之品質與準確度可獲得確保，模擬計算之誤差因此可大幅度降低。除此之外，本研究已可將台灣環島海域之潮汐與海流加以計算模擬，但模擬計算後，並無充分且足夠之準確實測資料可供驗證比較。因此，本研究亦誠摯地呼籲政府相關部門與單位，在有限的人力、物力及財力下，可參照本研究相關之數值模擬計算結果，於海象特性明顯呈現特殊性與具差異性之海域(如台灣海峽中段部分重複駐波之波腹點水域及台灣之東北及西南部海岸外之波節點存在水域)作重點調查與量測，俾使總體國家資源得以樽節，海域環境得以掌握，政府效能得以展現，研究水準得以提昇。

參考文獻

- [1] 王玉懷 (1998), **台灣海峽的潮汐特性**. 八十七年國科會海洋成果發表會論文摘要集, 203-208.
- [2] 王玉懷 (1999), **TSNOW 現場觀測資料報告**. 台灣海峽海況即時預報模式計畫(TSNOW)研討會論文摘要集. 國家海洋科學研究中心, 16-21.
- [3] 王玉懷(2002), **台灣海峽流量知多少**. 科學月刊, 第三十三卷第二期, 132-136.
- [4] 永田丰、彥阪繁雄、宮崎正術 (1985), **物理海洋學**. 第三卷, 魯守范 譯,科學出版社。
- [5] 李賢文 (1989), **台灣鄰近海域潮汐預報數值模式**. 第二屆海洋數模式研習會論文集, 台灣省政府交通處港灣技術研究, 179-195.
- [6] 林瑋、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。
- [7] 莊文傑 (2000), **台灣海峽潮波協振盪之研究**. 國立台灣大學造船及海洋工程學研究所博士論文,共 284 頁。
- [8] 莊文傑、江中權 (1997), **高雄港港區水理數值模擬研究**. 86-研(十三)-1, 台灣省政府交通處港灣技術研究所.
- [9] 莊文傑、江中權 (2000a), **台灣四周海域海流數值模擬研究**. 基本研究報告 MOTC-IOT-IHMT-NA8916, 交通部運輸研究所港灣技術研究中心, 共 257 頁。
- [10] 莊文傑、江中權 (2000b), **臺灣海峽兩岸之潮汐特性**. 第十一屆水利工程研討會論文集, 臺灣大學, I:15~21.
- [11] 莊文傑、江中權 (2002), **台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研究. 基本研究報告 MOTC-IOT-IHMT-NA9017, 交通部運輸研究所/港灣技術研究中心, 共 182 頁。

- [12] 莊文傑、蔡丁貴、江中權(2001), 潮流數值模擬邊界條件之設定. 2001 海洋數值模式研討會論文集, MOTC-IOT-IHMT-HD9002, 交通部運輸研究所港灣技術研究中心, 16-1 頁-16-31 頁。
- [13] 許泰文、張憲國(2001), 永續的鑽石海岸-台灣海岸災害防救與永續利用規劃. 經濟部水資源局, 共 150 頁。
- [14] 陳柏旭、蔡丁貴 (1990), 局部輻射邊界條件在水波數值模式上之應用. 中華民國第十二屆海洋工程研討會論文集, 1-18.
- [15] 張國棟、邱啟敏、劉進益、林坤田 (2002), 基隆港海拋區海流特性行(I). 第十三屆水利工程研討會, 國立雲林科技大學水土資源及防災科技研究中心, I-7 - I-14。
- [16] 張金機、黃清和 (1997), 台灣四周海岸侵蝕現況分析. 八十六年度海岸工程研討會-台灣四周海岸沖蝕防治技術, 港灣技術研究所, 台南, 1-26.
- [17] 曾相茂 (2002), 台灣地區國際港附近海域海氣象現場調查分析研究 (1/4). 基本研究報告 MOTC-IOT-IHMT-CA9004, 交通部運輸研究所港灣技術研究中心, 共 374 頁。
- [18] 詹森(2002), 全方位探索台灣海峽. 科學月刊, 第三十三卷第二期, 127-131。
- [19] 詹森、邱朝聰、連榮慧 (1999), 海科中心台灣海峽海況即時預報模式第二年--潮汐、潮流數值模擬結果之驗證. 台灣海峽海況即時預報模式計畫(TSNOW)研討會論文摘要集. 國家海洋科學研究中心, 22-33.
- [20] 郭思吟 (1995), 海岸水域潮汐數值模式之研究. 國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文.
- [21] 郭金棟、簡仲和(2001), 台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。

- [22] 港研所 (1996), **基隆港整體規劃及未來發展計畫**. 期末報告, 港灣技術研究所。
- [23] 劉文俊 (1996), **台灣的潮汐**. ISBN 957-97179-5-8, 初版, 自費出版。
- [24] 劉文俊 (1999), **台灣的潮汐**. ISBN 957-97334-9-X, 第二版, 自費出版。
- [25] 劉肖孔 (1983), **中國海域三度空間數值模式**. 行政院科技顧問組. 156 pp.
- [26] 謝明志、單誠基、李豐博, **五大港區三維查詢系統建置研究(一)**. 基本研究報告 MOTC-IOT-IHMT-GA9014, 交通部運輸研究所/港灣技術研究中心, 共 106 頁。
- [27] 劉康克 (2002), **認識台灣的海洋環境**. 科學月刊, 第三十三卷第二期, 102~111。
- [28] Bennett, A.F. and P.C. McIntosh (1982), **Open ocean modeling as an inverse problem: Tidal theory**. *J. Phys. Oceanogr.*, 12: 1004-1018.
- [29] Buchwald, V.T. and J.K. Adams (1968), **The propagation of continental shelf waves**. *Proc. Roy. Soc.*, A(305): 235-250.
- [30] Cartwright, D.E. (1969), **Extraordinary tidal currents near St Kilda**. *Nature*, 223: 928-932.
- [31] Cartwright, D.E. (1990), **Oceanic tides from Geosat altimetry**. *J. Geophysical Research*, 95(C3): 3069-3090.
- [32] Cartwright, D.E., Huthnance, J.M., Spencer, R. and J.M. Vassie (1980), **On the St Kilda shelf tidal regime**. *Deep-Sea Research*, 27A: 61-70.
- [33] Cartwright, D.E. and R.D. Ray (1991), **Energetics of global ocean tides from Geosat altimetry**. *J. Geophysical Research*, 96(C9): 16897-16912.
- [34] Chambers, L.G. (1965), **On long waves on a rotating earth**. *J. Fluid Mech.*,

22(2): 209-216.

- [35] Chapman, D.C. (1985), **Numerical treatment of cross-shelf boundaries in a barotropic coastal ocean model**. *J. Phys. Oceanogr.*, 15: 1060-1075.
- [36] Chen, H.S. (1990), **Infinite Elements for water wave radiation and scattering**. *International J. for Numerical Methods in Fluids*, 11: 555-569.
- [37] Chen, H.S. and C.C. Mei (1971), **Scattering and Radiation of gravity waves by an elliptical cylinder**. Ralph M. Parsons Laboratory for Water Resources and Hydrodynamics, Dept. Civil Engrg., M.I.T., Cambridge, Mass., Report No. 140, 149 pp.
- [38] Chen, H.S. and C.C. Mei (1974), **Oscillations and wave forces in an offshore harbor**. Ralph M. Parsons Laboratory for Water Resources and Hydrodynamics, Dept. Civil Engrg., M.I.T., Cambridge, Mass., Report No. 190.
- [39] Crawford, W.R. and R.E. Thomson (1984), **Diurnal-period continental shelf waves along Vancouver Island: A comparison of observations with theoretical models**. *J. Physical Oceanography*, 14: 1629-1646.
- [40] DHI (1996), **User guide and reference manual of MIKE 21-coastal hydraulics and oceanography hydrodynamic module**. Danish Hydraulic Institute.
- [41] DHI (1998), **MIKE21 Coastal Hydraulics and Oceanography Hydrodynamic Module**. *User Guide and Reference Manual*, Release 2.7, Danish Hydraulic Institute.
- [42] Engelund, F. and E. Hansen (1976), **A Monograph on Sediment Transport in Alluvial Channels**. *Nordic Hydrology* 7, 293-306.
- [43] Francis, O. and P. Mazzega (1990), **Global charts of ocean loading effects**. *J. Geophysical Research*, 95(C7): 11411-11424.
- [44] Guo, X. and T. Yanagi (1998), **Three-dimensional structure of tidal current in the East China Sea and the Yellow Sea**. *J. Oceanogr.*, 54: 651-668.

- [45] Hunkins, K. (1986), **Anomalous diurnal tidal currents on the Yermak Plateau.** *J. Marine Res.*, 44: 51-69.
- [46] Hwung, H.H. and C.L. Tsai (1984), **The studies on the tidal frequency analysis and variation of mean sea level.** Bulletin No.69, Tainan Hydraulics Laboratory, National Cheng-Kung University.
- [47] Hwung, H.H., C.L. Tsai and C.C. Wu (1986), **Studies on the correlation of tidal elevation changes along the western coastline of Taiwan.** *Proc. 20th Int. Conf. Coastal Eng.*, 1, Taipei, Taiwan, 293-305.
- [48] Juang, W.J., T.K. Tsay and M.C. Lin (2000), **Tidal predictions using a frequency-domain model.** *Proc.-Ocean 2nd Int. Ocean and Atmosphere Conf.*, COAA-2000, Taipei, 235~240.
- [49] Juang, W.J., C.C. Chiang 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, 86~95.
- [50] Lefevre, F., Le Provost, C. and F.H. Lyard (2000), **How can we improve a global ocean model at a regional scale? A test on the Yellow Sea and the East China Sea.** *J. Geophysical Res.*, 105(C4), 8707-8725.
- [51] Le Provost, C., Genco, M.L., Lyard, F., Vincent, P. and P. Canceil (1994), **Spectroscopy of the world ocean tides from a finite element hydrodynamic model.** *J. Geophys. Res.*, 99(C12): 24777-24797.
- [52] Le Provost, C. and M. Fornerino (1985), **Tidal spectroscopy of the English Channel with a numerical model.** *J. Physical Oceanography*, 15: 1009-1031.
- [53] Li, H.W. (1987), **A numerical predictive model of tides in the seas adjacent to Taiwan.** Proc. the National Science Council, Part A: *Physical Science and Eng.*, 11(1), Taipei, Taiwan, 74- 89.
- [54] Lin, M. C., W. J. Juang 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.

- [55] Lin, M. C., W. J. Juang and T. K. Tsay (2001), **Anomalous Amplification of Semidiurnal Tides along the Western Coast of Taiwan**, *Ocean Engineering*, Vol.28 (9), pp.1171-1198.
- [56] Liu, S.K. (1994), **Recent developments in the three-dimensional modeling of the coastal China Seas**. The draft of a keynote speech, *16th Conf. on Ocean Eng.*, CICHE.
- [57] Louguet-Higgins, M.S. (1967), **On the trapping of wave energy round islands**. *J. Fluid Mech.*, 29(4): 781-821.
- [58] Louguet-Higgins, M.S. (1968), **On the trapping of wave along a discontinuity of depth in a rotating ocean**. *J. Fluid Mech.*, 31(3): 417-434.
- [59] Louguet-Higgins, M.S. (1969), **On the trapping of long-period waves round islands**. *J. Fluid Mech.*, 37(4): 773-784.
- [60] Louguet-Higgins, M.S. (1970), **Steady currents induced by oscillations round island**. *J. Fluid Mech.*, 42(4): 701-720.
- [61] Lu, Q.M. and R. Warren (1992), **Current simulation in the Taiwan Strait**. Proc. 14th Conf. Coastal Engineering, R.O.C., 128-147.
- [62] Luther, D.S. and C. Wunsch (1975), **Tidal charts of the Central Pacific Ocean**. *J. Physical Oceanography*, 5: 222-230.
- [63] Lyard, F. and M.L. Genco (1994), **Optimisation methods for bathymetry and open boundary conditions in a finite element model of ocean tides**. *J. Computational Physics*, 114: 234-256.
- [64] 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.
- [65] Meyer, R.E. (1979), **Surface-wave reflection by underwater ridges**. *J. Physical Ocean*, 9, 150-157.
- [66] Middleton, J.H., Foster, T.D. and A. Foldvik (1982), **Low-frequency currents and continental shelf waves in the Southern Weddell Sea**. *J. Physical Oceanography*, 12: 618-634.

- [67] Miles, J.W. (1972), **Wave propagation across the continental shelf**. *J. Fluid Mech.*, 54, 63-80.
- [68] Momoi, T. (1974), **A long wave in an L-shaped channel**. *J. Phys. Earth*, 22: 395-414.
- [69] Mysak, L.A. (1967), **On the theory of continental shelf waves**. *J. Marine Res.*, 25(3): 205-227.
- [70] Mysak, L.A. and C.L. Tang (1974), **Kelvin wave propagation along an irregular coastline**. *J. Fluid Mech.*, 64(2): 241-261.
- [71] Munk, W., Snodgrass, F. and G. Carrier (1956), **Edge Waves on the Continental Shelf**. *Science*, 123(3187): 127-132.
- [72] Munk, W., Snodgrass, F. and F. Gilbert (1964), **Long waves on the continental shelf: an experiment to separate trapped and leaky modes**. *J. Fluid Mech.*, 20(4): 529-554.
- [73] NGDC (1988). **Data Announcement 88-MGG-02, Digital relief of the Surface of the Earth**. NOAA, National Geophysical Data Center, Boulder, Colorado, USA.
- [74] Nguyen, K.D. and A. Ouahsine (1997), **2D numerical study on tidal circulation in Strait of Dover**. *J. Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 123(1): 8-15.
- [75] Ogura, S. (1933), **The tides in the sea adjacent to Japan**. Bulletin of the Hydrographic Department, Imperial Japanese Navy, No. 7, 189 pp.
- [76] Pedlosky, J. (1982), **Geophysical fluid dynamics**, Springer-Verlag, New-York, 624 pp.
- [77] Pugh, D.T. (1987), **Tides, surges and mean sea-level**, John Wiley and Sons, New York, 47.
- [78] Rao, D.B. (1966), **Free gravitational oscillations in rotating rectangular**

- basins.** *J. Fluid Mech.*, 25(3): 523-555.
- [79] Reid, R.O. (1958), **Effect of Coriolis force on edge waves (I) Investigation of the normal modes.** *J. Marine Res.*, 16(2): 109-144.
- [80] Rhines, P.B. (1969), **Show oscillations in an ocean of varying depth, Part 1, abrupt topography.** *J. Fluid Mech.*, 37(1): 1969.
- [81] Schureman, P. (1988), **Manual of Harmonic Analysis and Prediction of Tides**, Coast and Geodetic Survey, U.S. Department of Commerce, U.S. government printing office, Washington. 317 pp.
- [82] Semtner, A.J. (1986), **Finite difference formulation of a world ocean model.** *Proc. the NATO Advanced Study Institute on Advanced Physical Oceanographic Numerical Modeling*, Edit by J.J. O’brain, D. Reidel Publishing Co., Dordrecht, 608 pp.
- [83] Shaw, R.P. and W. Neu (1981), **Long-wave trapping by oceanic ridges.** *J. Physical Oceanography*, 11: 1334-1344.
- [84] Thomson, R.E. and W.R. Crawford (1982), **The generation of diurnal shelf waves by tidal currents.** *J. Physical Oceanography*, 12: 635-643.
- [85] Tsay, T.K. (1991), **Linear surface waves over rotating fluids.** *J. Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 117(2): 156-171.
- [1] Tsay, T.K., Juang, W.J. and Lin, M.C. (2000), **Tidal Prediction around Taiwan.** *Proc. the 4th Workshop on Ocean Models for the APEC Region (WOM-4)*, Tainan, Chinese Taipei, 12-1~12-20.
- [86] Tsay, T.K. and P.L.-F. Liu (1983), **A finite element model for wave refraction and diffraction.** *Appl. Ocean Res.*, 5(1): 30-37.
- [87] Tsay, T.K., Zhu, W. and P.L.-F. Liu (1989), **A finite element model for wave refraction, diffraction, reflection and dissipation.** *J. Applied Ocean Res.*, 11: 33-38.
- [88] UKHO (1997), **Admiralty TIDE TABLES and tidal stream tables.** Vol. 3, the Hydrographer of the Navy, UK Hydrographic Office, Somerset, U.K.,

498 pp.

- [89] USNWSD (1977), **U.S. Navy Marine climatic atlas of the world**, Vol. II, the Naval Weather Service Detachment, United States Naval Weather Service Detachment, Asheville, N.C.
- [90] Wang, D.P. (1982), **Development of a three-dimensional, limited-area (island) shelf circulation model**. *J. Phys. Oceanogr.*, 12: 605-617.
- [91] Yanagi, T. and K. Inoue (1994), **Tide and tidal current in the Yellow/East China Sea**. *La mer*, 32, 153-165.
- [92] Yanagi, T., Takao, T. and A. Morimoto (1997), **Co-tidal and co-range charts in the South China Sea derived from satellite altimetry data**. *La mer*, 35: 85-93.
- [93] Yanagi, T. and T. Takao (1998a), **Clockwise phase propagation of semi-diurnal tides in the gulf of Thailand**. *J. Oceanography*, 54: 143-150.
- [94] Yanagi, T. and T. Takao (1998b), **A numerical simulation of tides and tidal currents in the South China Sea**. *Acta Oceanographica Taiwanica*, 37: 17-29.
- [95] Ye, A.L. and I.S. Robinson (1983), **Tidal dynamics in the South China Sea**. *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 72: 691-707.
- [96] Zahel, W. (1991), **Modeling ocean tides with and without assimilating data**. *J. Geophysical Research*, 96(B12): 20379-20391.

台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研究

交通部運輸研究所

GPN : 1009202117

定價 400 元