

91-35-721

MOTC-IOT-IHMT-NA9017

# 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 —



交通部運輸研究所

中華民國九十一年三月

91-35-721

MOTC-IOT-IHMT-NA9017

# 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—

著者：莊文傑、江中權

交通部運輸研究所

中華民國九十一年三月

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 —

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](http://www.iot.gov.tw)

電 話：(02)23496789

出版年月：中華民國九十一年三月

印 刷 者：

版(刷)次冊數：初版一刷 160 冊

工 本 費：500

展 售 處：

交通部運輸研究所港灣技術研究中心 電話：(04)26564216

三民書局：台北市重慶南路一段 61 號 2 樓 電話：(02)23617511

五南文化廣場：台中市中山路 2 號地下 1F 電話：(04)22260330

新進圖書廣場：彰化市光復路 177 號 電話：(04)7252792

青年書局：高雄市青年一路 141 號 電話：(07)3324910

GPN：1009100812

# 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(二)--高雄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<br>1009100812 | 運輸研究所出版品編號<br>91-35-721 |                                                                |
| 主辦單位：港灣技術研究中心<br>主 管：邱永芳<br>計畫主持人：莊文傑<br>研究人員：江中權、李江澤<br>聯絡電話：(04)26564216 分機 419<br>傳真號碼：(04)26571329                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                         |                         | 研究期間<br>自 90 年 01 月<br><br>至 90 年 12 月                         |
| 關鍵詞：台灣、環島海域、高雄港、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)，相關之潮流特性因而值得進一步探討，除此之外，台灣環島海域之海象測站大多佈設於近海沿岸，設置之水深普遍在50米內，開放海域側因而普遍缺乏充分之海象實測資料可供從事潮流水動力相關研究應用，因此，本研究主要在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】第一年之研究成果，針對台灣南部及高雄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南部及高雄港海域之潮流與潮位特性。從模擬計算結果與實測資料驗證得知，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南部海域潮流與潮位之整體時空變化特性，但在鄰近高雄港之局部海域特定驗證點位上，由於台灣西南部特殊弧灣型海岸線地形與其鄰近東亞大陸棚架及高屏斜坡之複雜水深與駐波結點影響，儘管該局部海域之潮位整體時空變化特性依舊可被準確地掌握，不過，其計算潮流之大小與方向卻仍甚難與實測之海流特性吻合。高雄港海域準確之海流特性掌握尚有待未來實測與計算模擬研究之持續努力。</p> |                         |                         |                                                                |
| 出版日期                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 頁數                      | 工本費                     | 本 出 版 品 取 得 方 式                                                |
| 91 年 3 月                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 182                     | 500                     | 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中心免費贈閱；私人及私營機關團體可按工本費價購。 |
| 機密等級： <p> <input type="checkbox"/> 限閱   <input type="checkbox"/> 密   <input type="checkbox"/> 機密   <input type="checkbox"/> 極機密   <input type="checkbox"/> 絕對機密<br/>         （解密【限】條件：<input type="checkbox"/> 年   月   日解密，<input type="checkbox"/> 公布後解密，<input type="checkbox"/> 附件抽存後解密，<br/> <input type="checkbox"/> 工作完成或會議終了時解密，<input type="checkbox"/> 另行檢討後辦理解密）       </p> <p><input checked="" type="checkbox"/> 普通</p>                                                                                                                                                                                                                   |                         |                         |                                                                |
| 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 Seas surrounding the Southern Peninsula of Taiwan and around the Kaohsiung Port                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                     |                                                                       |                                                                                                                                                |
| ISBN(OR ISSN)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER<br><div style="text-align: center;">1009100812</div> | IOT SERIAL NUMBER<br><div style="text-align: center;">91-35-721</div> |                                                                                                                                                |
| DIVISION: Research Center of Harbor & Marine Technology<br>DIVISION CHIEF: Yung-Fang Chiu<br>PRINCIPAL INVESTIGATOR: Wen-Jye Juang<br>PROJECT STAFFS: Chung-Chiuan Chiang, Chiang-Tse Lee<br>PHONE: +886-4-26564216 Ext. 419<br>FAX: +886-4-26571329<br>E-mail: <a href="mailto:jye@mail.ihmt.gov.tw">jye@mail.ihmt.gov.tw</a> ; <a href="mailto:wjjuang@ms1.hinet.net">wjjuang@ms1.hinet.net</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | PROJECT PERIOD<br>FROM January 2001<br>TO December 2001               |                                                                                                                                                |
| KEY WORDS: Taiwan, Seas around Taiwan, Tides, Tidal Elevation, Tidal Currents, Numerical Simulation                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                     |                                                                       |                                                                                                                                                |
| ABSTRACT:<br><p style="text-indent: 2em;">This study is the second part of a series of studies on the tidal current simulation on seas surrounding Taiwan. The total period of the studies has been approved and scheduled to be 4 years. This study aims at the numerical investigations and simulations of regional tides as well as currents on seas surrounding the southern peninsula of Taiwan and around the Kaohsiung Port. The bathymetry is constructed by using the coastal relief database ETOPO5, managed by the National Geophysical Data center (NGDC), USA. Based on the two-dimensional depth-integrated shallow water waves equations, the nested grid scheme is adapted, and the MIKE21_HD module, developed by Danish Hydraulic Institute, is applied. The tides predicted at some of the stations of Japan, Philippine, and Malaysia are used to establish the essential open sea boundary conditions, whilst the non-reflective boundary conditions are directly applied to the coasts around Taiwan and along the coast of Mainland China. Some of the measurement data of tides of specific tidal stations around the coasts of Taiwan are used for computation verifications. Regional computation result indicates that the tidal characteristics, both of the variation of water level and currents, are match those of prediction and measurement. However, the currents computed in local sea around the Kaohsiung Port do not match those of recent measurements. The discrepancies are mainly induced from the local complex effects of the sewerage discharges, the wind, the non-dominant gradient of tidal level, and the nodal point of a partially standing tides appearing on the topographical shelf of the Taiwan Strait (Lin et al., 2000; 2001). Further measurements associated with numerical investigations and simulations of the local currents are still needed.</p> |                                                                                     |                                                                       |                                                                                                                                                |
| DATE OF PUBLICATION<br><div style="text-align: center;">Mar. 2002</div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | NUMBER OF PAGES<br><div style="text-align: center;">182</div>                       | PRICE<br><div style="text-align: center;">500</div>                   | CLASSIFICATION<br><input type="checkbox"/> SECRET<br><input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL<br><input checked="" type="checkbox"/> 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(二)

## —高雄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 高雄港港域環境 .....              | 2-1  |
| 2.1 港口位置 .....                 | 2-1  |
| 2.2 高雄港海域之海氣象環境 .....          | 2-1  |
| 2.2.1 風力 .....                 | 2-2  |
| 2.2.2 波浪 .....                 | 2-2  |
| 2.2.3 潮汐 .....                 | 2-4  |
| 2.2.4 海流 .....                 | 2-5  |
| 2.2.5 漂沙與地形變化 .....            | 2-7  |
| 2.3 高雄港海域之衛星照片與海流特性 .....      | 2-8  |
| 2.4 高雄港海域沿岸之潮位梯度 .....         | 2-9  |
| 第三章 台灣南部及高雄港海域海流之水動力模擬 .....   | 3-1  |
| 3.1 緒 言 .....                  | 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 .....           | 3-9  |
| 3.7 計算參數 .....                 | 3-11 |
| 3.8 台灣環島海域逐時潮位與海流之計算模擬.....    | 3-12 |
| 3.8.1 大範圍海域之計算結果 .....         | 3-12 |
| 3.8.2 大範圍海域之計算潮位驗證 .....       | 3-15 |
| 3.8.3 大範圍海域之計算潮流驗證 .....       | 3-16 |
| 3.9 台灣南部海域逐時潮位與海流之計算模擬.....    | 3-18 |
| 3.9.1 中範圍海域之計算結果 .....         | 3-18 |

|                              |      |
|------------------------------|------|
| 3.9.2 中範圍海域之計算潮位與潮流驗證 .....  | 3-19 |
| 3.10 高雄港海域逐時潮位與海流之計算模擬 ..... | 3-19 |
| 3.10.1 小範圍海域之計算結果 .....      | 3-19 |
| 3.10.2 小範圍海域之計算潮位與潮流驗證 ..... | 3-20 |
| <b>第四章 結論與建議</b>             |      |
| 4.1 結論 .....                 | 4-1  |
| 4.2 建議 .....                 | 4-2  |
| 參考文獻 .....                   | 5-1  |
| 摘要報告 .....                   | 6-1  |
| 簡報內容 .....                   | 7-1  |
| 審查意見 .....                   | 8-1  |

# 表 目 錄

|                                                                                           | 頁次   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 表 2-1 高雄港區潮汐調和分析之分潮振幅與相位(民國 65 年元月 31 日零時至民國 75 年 12 月 31 日 22 時之觀測潮位，共 96,359 筆數據) ..... | 2-10 |
| 表 3-1-1 台灣環島大(區域)範圍計算海域之邊界潮汐站位置 .....                                                     | 3-22 |
| 表 3-1-2 台灣環島大(區域)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 .....                                         | 3-23 |
| 表 3-2 台灣環島大(區域)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 .....                                         | 3-24 |

# 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 2-1 高雄港港區位置與港域配置 .....                                                   | 2-11 |
| 圖 2-2 高雄港港域配置及港口鄰近之海域 .....                                                | 2-12 |
| 圖 2-3 高雄港港口與港域 .....                                                       | 2-13 |
| 圖 2-4 高雄港港域月統計風速與中央氣象局高雄測候站 1992 年七月之實測風向與風速 .....                         | 2-14 |
| 圖 2-5 台灣附近海域水深地形圖(劉文俊，1996).....                                           | 2-15 |
| 圖 2-6 高雄港港域之河川排水及放流管 .....                                                 | 2-16 |
| 圖 2-7 高雄港港域南側大林蒲外海之海象調查儀器佈置之位置 .....                                       | 2-17 |
| 圖 2-8 大林蒲外海民國 81 年 7 月於 10 公尺水深處下層海流儀之全月逐時流量測結果與對應之潮位 .....                | 2-18 |
| 圖 2-9 大林蒲外海民國 81 年 7 月 25 日至 7 月 28 於 10 公尺水深處下層海流儀之逐時海流量測結果與對應之潮位 .....   | 2-19 |
| 圖 2-10 高雄港域民國 79 年與民國 83 年之水深地形變化比較圖 .....                                 | 2-20 |

|         |                                                                                  |      |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------|------|
| 圖 2-11  | 台灣西南部海域之 LANDSAT TM 1/3/4 衛星照片(工研院能源與資源研究所與中央大學太空與遙測中心共同製作，SCALE:1/250,000)..... | 2-21 |
| 圖 2-12  | 高雄港局部海域之 LANDSAT TM 1/3/4 衛星照片及永安液化天然氣碼頭外海之黃藍水色差異與推測之優勢海流流向 .....                | 2-22 |
| 圖 2-13  | 台灣西南部海域之 LANDSAT TM 衛星照片及永安液化天然氣碼頭外海之自然水色差異(1994/11/13 11:00:25).....            | 2-23 |
| 圖 2-14  | 台灣西南部海域之 LANDSAT TM 衛星照片及永安液化天然氣碼頭外海之自然水色差異(1988/11/28 09:57:15) .....           | 2-24 |
| 圖 2-15  | 台灣西南部沿岸海域安平港、高雄港、及蟬廣嘴之逐時預報潮位 .....                                               | 2-25 |
| 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...                                            | 3-25 |
| 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.....                                            | 3-25 |
| 圖 3-3   | 東亞海域與巢狀網格之計算海域配置 .....                                                           | 3-26 |
| 圖 3-4   | 台灣環島大(區域)範圍計算海域與其邊界及地形水深.....                                                    | 3-27 |
| 圖 3-5   | 台灣南部中(局部)範圍計算海域與其邊界及地形水域.....                                                    | 3-28 |
| 圖 3-6   | 高雄港小(細部)範圍計算海域與其邊界及地形水深.....                                                     | 3-29 |
| 圖 3-7-1 | 台灣環島大(區域)範圍計算海域南邊界潮位站之預報逐時潮位.....                                                | 3-30 |
| 圖 3-7-2 | 台灣環島大(區域)範圍計算海域東南邊界潮位站之預報逐時潮位.....                                               | 3-31 |
| 圖 3-7-3 | 台灣環島大(區域)範圍計算海域東邊界潮位站之預報逐時潮位....                                                 | 3-32 |
| 圖 3-7-4 | 台灣環島大(區域)範圍計算海域東北邊界潮位站之預報逐時潮位                                                    | 3-33 |
| 圖 3-7-5 | 台灣環島大(區域)範圍計算海域北邊界潮位站之預報逐時潮位 ....                                                | 3-34 |
| 圖 3-8-1 | 東亞大(區域)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，2001/01/09 04:00:00.....                    | 3-35 |
| 圖 3-8-2 | 東亞大(區域)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，2001/01/09 07:00:00.....                    | 3-36 |
| 圖 3-8-3 | 東亞大(區域)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，2001/01/09 11:00:00.....                    | 3-37 |

|                                                                       |      |
|-----------------------------------------------------------------------|------|
| 圖 3-8-4 東亞大(區域)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，2001/01/09 14:00:00..... | 3-38 |
| 圖 3-8-5 東亞大(區域)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，2001/01/09 15:00:00..... | 3-39 |
| 圖 3-9-1 台灣環島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，2001/01/09 04:00:00 .....  | 3-40 |
| 圖 3-9-2 台灣環島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，2001/01/09 07:00:00 .....  | 3-41 |
| 圖 3-9-3 台灣環島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，2001/01/09 11:00:00 .....  | 3-42 |
| 圖 3-9-4 台灣環島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，2001/01/09 14:00:00 .....  | 3-43 |
| 圖 3-9-5 台灣環島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，2001/01/09 15:00:00 .....  | 3-44 |
| 圖 3-10-1 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 (a)蘇澳，(b)基隆，(c)淡水 .....      | 3-45 |
| 圖 3-10-2 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 (a)新竹，(b)台中，(c)澎湖 .....      | 3-46 |
| 圖 3-10-3 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 (a)將軍，(b)安平，(c)高雄 .....      | 3-47 |
| 圖 3-10-4 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 (a)蟬廣嘴，(b)富岡，(c)花蓮 .....     | 3-48 |
| 圖 3-10-5 大範圍計算海域中國大陸沿岸驗潮站之計算逐時潮位與預報潮位之驗證比較 (a)馬祖，(b)廈門，(c)汕頭 .....    | 3-49 |
| 圖 3-11-1 台灣西南部大範圍計算海域之全平面性潮位與潮流分布，參考潮位：高雄港，2001/01/10 05:00:00 .....  | 3-50 |
| 圖 3-11-2 台灣西南部大範圍計算海域之全平面性潮位與潮流分布，參考潮位：高雄港，2001/01/10 11:00:00 .....  | 3-51 |

|                                                                                 |      |
|---------------------------------------------------------------------------------|------|
| 圖 3-11-3 台灣西南部大範圍計算海域之全平面性潮位與潮流分布，參考潮位：<br>高雄港，2001/01/10 12:00:00.....         | 3-52 |
| 圖 3-11-4 台灣西南部大範圍計算海域之全平面性潮位與潮流分布，參考潮位：<br>高雄港，2001/01/10 16:00:00.....         | 3-53 |
| 圖 3-11-5 台灣西南部大範圍計算海域之全平面性潮位與潮流分布，參考潮位：<br>高雄港，2001/01/10 17:00:00.....         | 3-54 |
| 圖 3-11-6 台灣西南部大範圍計算海域之全平面性潮位與潮流分布，參考潮位：<br>高雄港，2001/01/10 20:00:00.....         | 3-55 |
| 圖 3-11-7 台灣西南部大範圍計算海域之全平面性潮位與潮流分布，參考潮位：<br>高雄港，2001/01/10 23:00:00.....         | 3-56 |
| 圖 3-11-8 台灣西南部大範圍計算海域之全平面性潮位與潮流分布，參考潮位：<br>高雄港，2001/01/11 00:00:00.....         | 3-57 |
| 圖 3-11-9 台灣西南部大範圍計算海域之全平面性潮位與潮流分布，參考潮位：<br>高雄港，2001/01/11 01:00:00.....         | 3-58 |
| 圖 3-12-1 台灣南部中(局部)範圍計算海域無風力影響之全平面性潮位與潮流<br>分布，參考潮位：高雄港，2001/01/09 04:00:00..... | 3-59 |
| 圖 3-12-2 台灣南部中(局部)範圍計算海域無風力影響之全平面性潮位與潮流<br>分布，參考潮位：高雄港，2001/01/09 08:00:00..... | 3-60 |
| 圖 3-12-3 台灣南部中(局部)範圍計算海域無風力影響之全平面性潮位與潮流<br>分布，參考潮位：高雄港，2001/01/09 12:00:00..... | 3-61 |
| 圖 3-12-4 台灣南部中(局部)範圍計算海域無風力影響之全平面性潮位與潮流<br>分布，參考潮位：高雄港，2001/01/09 16:00:00..... | 3-62 |
| 圖 3-12-5 台灣南部中(局部)範圍計算海域無風力影響之全平面性潮位與潮流<br>分布，參考潮位：高雄港，2001/01/09 20:00:00..... | 3-63 |
| 圖 3-12-6 台灣南部中(局部)範圍計算海域無風力影響之全平面性潮位與潮流<br>分布，參考潮位：高雄港，2001/01/09 23:00:00..... | 3-64 |
| 圖 3-12-7 台灣南部中(局部)範圍計算海域無風力影響之全平面性潮位與潮流<br>分布，參考潮位：高雄港，2001/01/10 03:00:00..... | 3-65 |

|          |                                                                               |      |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------|------|
| 圖 3-13   | 應用於台灣南部中(局部)範圍計算海域之安平港 1 月份風向、風速<br>逐時變化以及高雄港之預報潮位 .....                      | 3-66 |
| 圖 3-14-1 | 台灣南部中(局部)範圍計算海域以安平港實測風力作用下之全平面<br>性潮位與潮流分布，參考潮位：高雄港 2001/01/09 04:00:00 ..... | 3-67 |
| 圖 3-14-2 | 台灣南部中(局部)範圍計算海域以安平港實測風力作用下之全平面<br>性潮位與潮流分布，參考潮位：高雄港 2001/01/09 08:00:00 ..... | 3-68 |
| 圖 3-14-3 | 台灣南部中(局部)範圍計算海域以安平港實測風力作用下之全平面<br>性潮位與潮流分布，參考潮位：高雄港 2001/01/09 12:00:00 ..... | 3-69 |
| 圖 3-14-4 | 台灣南部中(局部)範圍計算海域以安平港實測風力作用下之全平面<br>性潮位與潮流分布，參考潮位：高雄港 2001/01/09 16:00:00 ..... | 3-70 |
| 圖 3-14-5 | 台灣南部中(局部)範圍計算海域以安平港實測風力作用下之全平面<br>性潮位與潮流分布，參考潮位：高雄港 2001/01/09 20:00:00 ..... | 3-71 |
| 圖 3-14-6 | 台灣南部中(局部)範圍計算海域以安平港實測風力作用下之全平面<br>性潮位與潮流分布，參考潮位：高雄港 2001/01/09 23:00:00 ..... | 3-72 |
| 圖 3-14-7 | 台灣南部中(局部)範圍計算海域以安平港實測風力作用下之全平面<br>性潮位與潮流分布，參考潮位：高雄港 2001/01/10 03:00:00 ..... | 3-73 |
| 圖 3-15-1 | 高雄港小(細域)範圍計算海域以安平港實測風力作用下之全平面性<br>潮位與潮流分布，參考潮位：高雄港 2001/01/09 04:00:00.....   | 3-74 |
| 圖 3-15-2 | 高雄港小(細域)範圍計算海域以安平港實測風力作用下之全平面性<br>潮位與潮流分布，參考潮位：高雄港 2001/01/09 08:00:00.....   | 3-75 |
| 圖 3-15-3 | 高雄港小(細域)範圍計算海域以安平港實測風力作用下之全平面性<br>潮位與潮流分布，參考潮位：高雄港 2001/01/09 12:00:00.....   | 3-76 |
| 圖 3-15-4 | 高雄港小(細域)範圍計算海域以安平港實測風力作用下之全平面性<br>潮位與潮流分布，參考潮位：高雄港 2001/01/09 16:00:00.....   | 3-77 |
| 圖 3-15-5 | 高雄港小(細域)範圍計算海域以安平港實測風力作用下之全平面性<br>潮位與潮流分布，參考潮位：高雄港 2001/01/09 20:00:00.....   | 3-78 |
| 圖 3-15-6 | 高雄港小(細域)範圍計算海域以安平港實測風力作用下之全平面性<br>潮位與潮流分布，參考潮位：高雄港 2001/01/09 23:00:00.....   | 3-79 |

|          |                                                                             |      |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------|------|
| 圖 3-15-7 | 高雄港小(細域)範圍計算海域以安平港實測風力作用下之全平面性<br>潮位與潮流分布，參考潮位：高雄港 2001/01/10 03:00:00..... | 3-80 |
| 圖 3-16   | 高雄港海域近期設置於中洲放流管南側東三浮燈標附近之海象調<br>查儀器與位置 .....                                | 3-81 |
| 圖 3-17-1 | 高雄港海域近期於中洲放流管南側東三浮燈標附近民國 90 年 1 月<br>份實測之海流與預報之潮位 .....                     | 3-82 |
| 圖 3-17-2 | 高雄港海域近期於中洲放流管南側東三浮燈標附近民國 90 年 1 月 9<br>日至 15 日實測之海流與預報潮位 .....              | 3-83 |
| 圖 3-18-1 | 高雄港海域近期於中洲放流管南側東三浮燈標附近民國 90 年 2 月<br>份實測之海流與預報之潮位 .....                     | 3-84 |
| 圖 3-18-2 | 高雄港海域近期於中洲放流管南側東三浮燈標附近民國 90 年 2 月 9<br>日至 13 日實測之海流與預報潮位 .....              | 3-85 |
| 圖 3-19   | 高雄港小(細域)範圍計算海域之實測與計算流向(上)、流速(中)驗證<br>及預報與計算潮位(下)驗證.....                     | 3-86 |

# 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設置之潮位觀測站位置如圖 1-4 所示。參考台灣環島沿岸之潮位觀測站位置，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，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，通過台灣南端之鵝鑾嘴

(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。儘管如此，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，而高雄港海域即恰位於台灣西南部之陸架斜坡—高屏斜坡上。

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(USNWSD, 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。可見，在台灣西南部海域，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。

高雄港位於台灣之西南部海域，港口位置扼台灣海峽與巴士海峽海運交匯之要衝。惟基於台灣西南部海域水深地形與潮汐呈現之特殊潮差及潮時特性，於高雄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)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，在南端必須取恒春蟬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)之序列研究之二。研究重點主要在延續八十九年度之具體成果，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南部海岸及高雄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。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測站之預報潮位時序變化值設定控制。台灣南部局部海域及高雄港海域之潮位與潮流之計算海域水動力邊界條件將由大範圍計算海域之結果中萃取應用。主要之研究目標為：

- 1.探討高雄港及台灣南部海域之潮位與潮流特性，並進一步檢驗『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
- 2.建置台灣環島大範圍海域之數位化地形與水深。
- 3.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，推導出含括科氏力(Coriolis 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( $\nabla h$ )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海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。

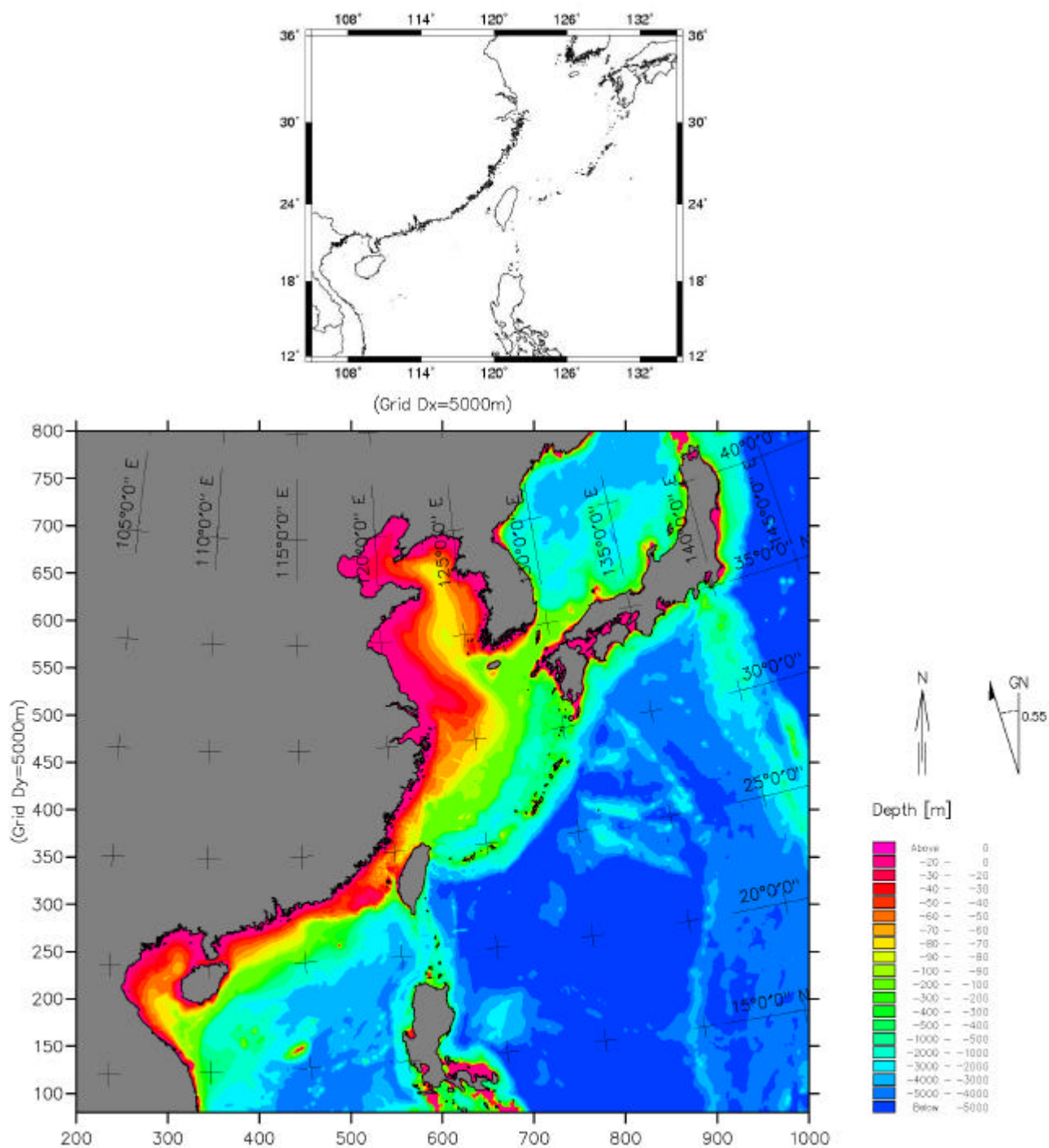


圖 1-1 東亞及台灣環島海域環境與水深地形

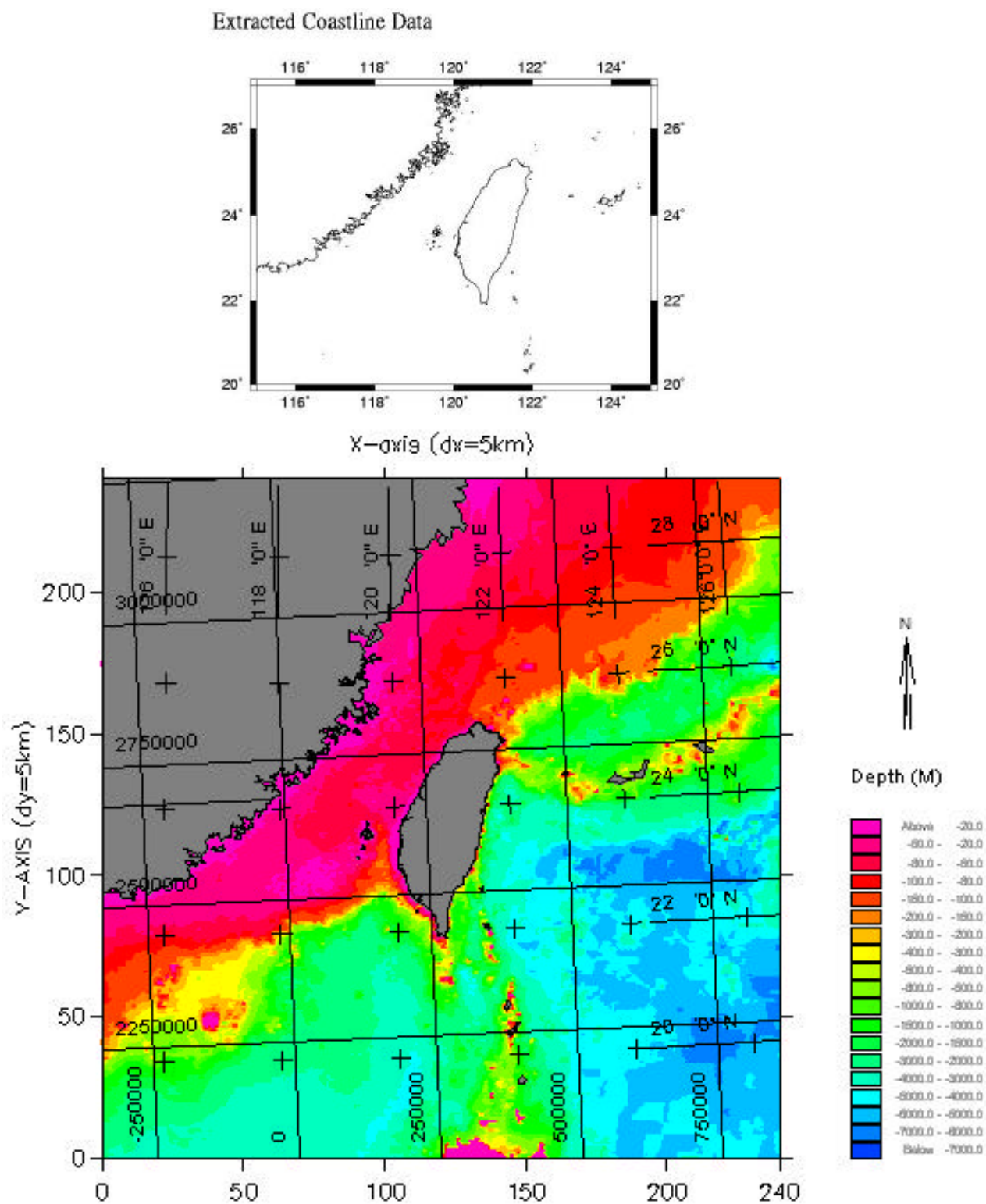


圖 1-2 台灣環島海域環境與水深地形

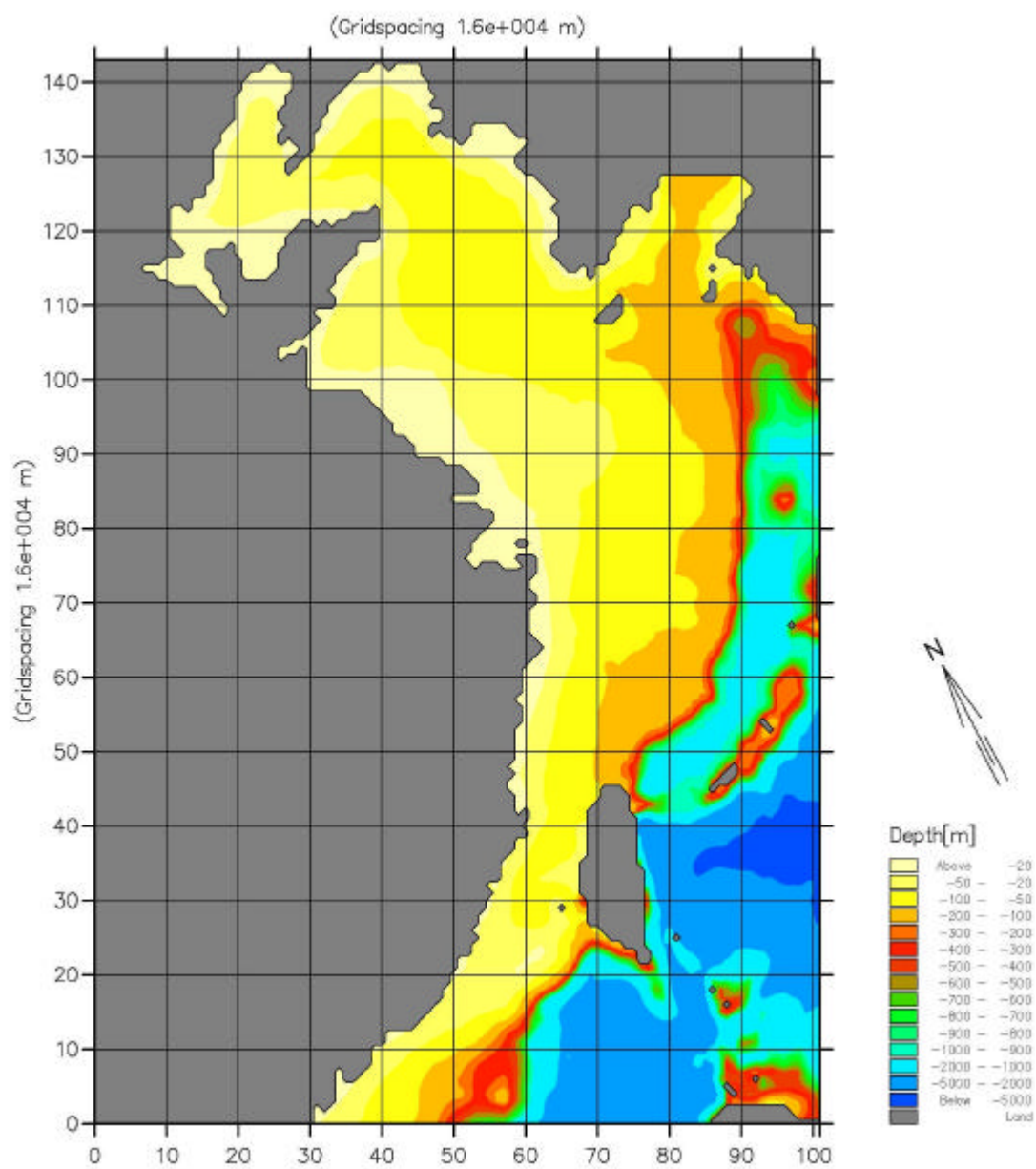


圖 1-3 台灣環島海域陸架地形與水深

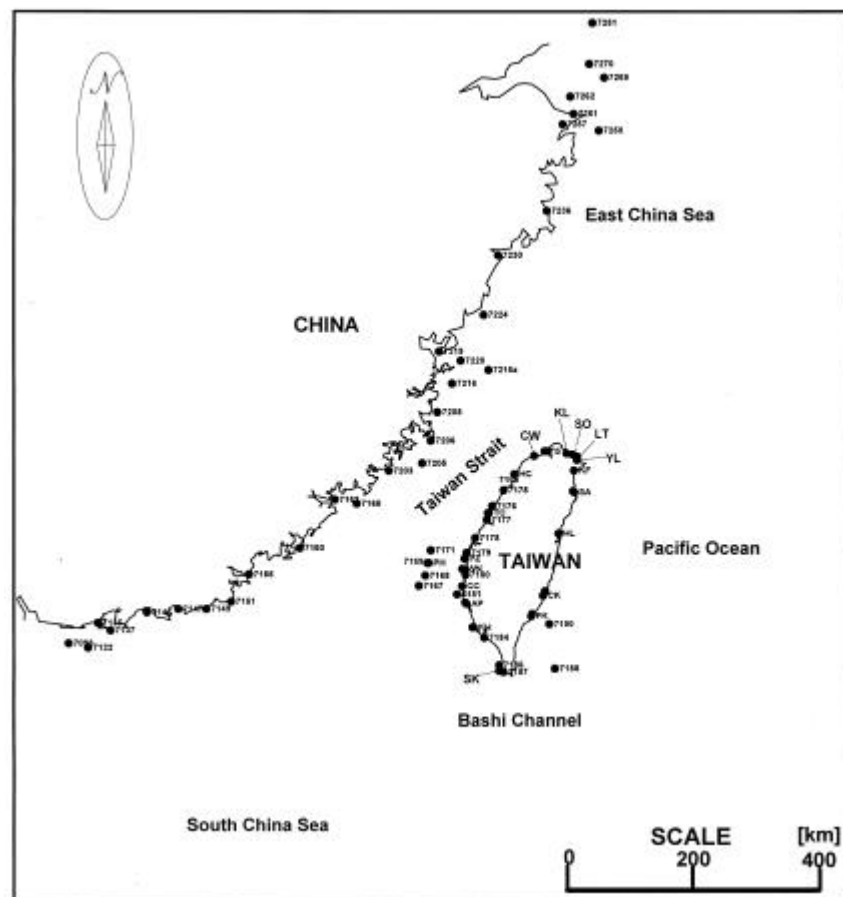


圖 1-4 台灣環島海域之潮位觀測站位置

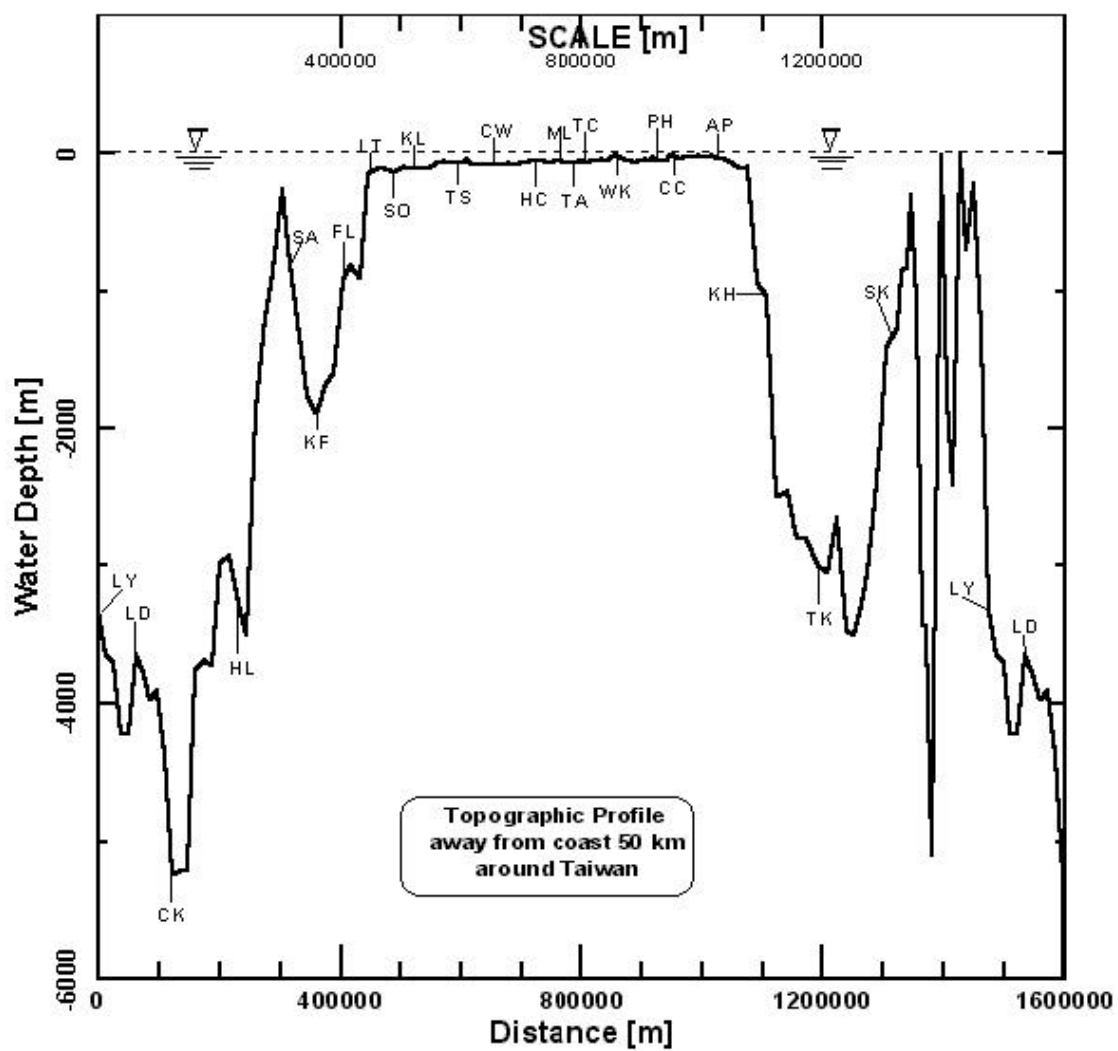


圖 1-5 台灣環島海域，離岸約 50 公里之距離上，萃取之水深地形剖面

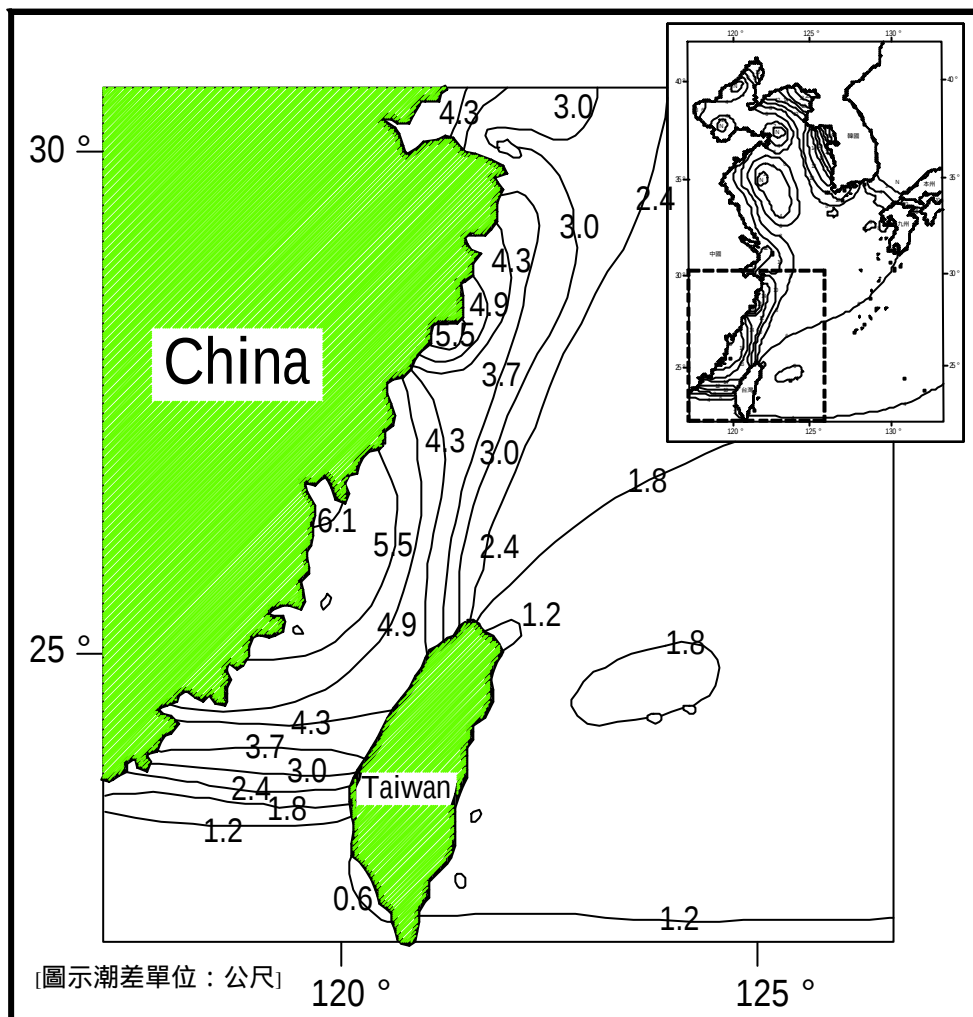
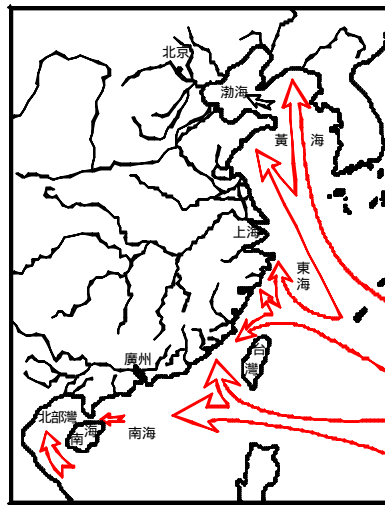


圖 1-6 東亞地區平均最大半月潮差分佈圖(USNWS, 1977)

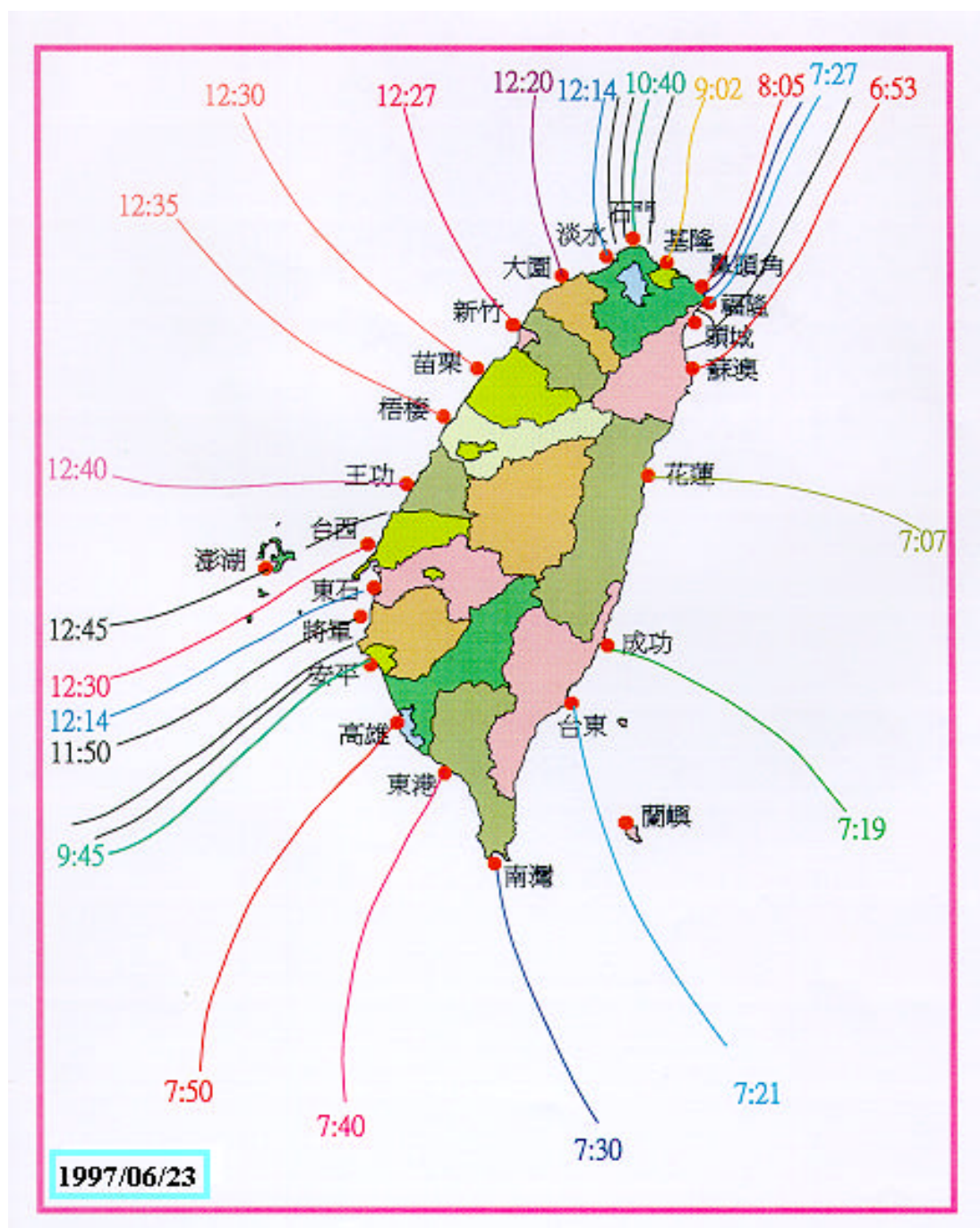


圖 1-7 台灣環島沿岸海域之日第一次滿潮之潮時相位分布  
(1987 年 6 月 23 日，中央氣象局發佈)

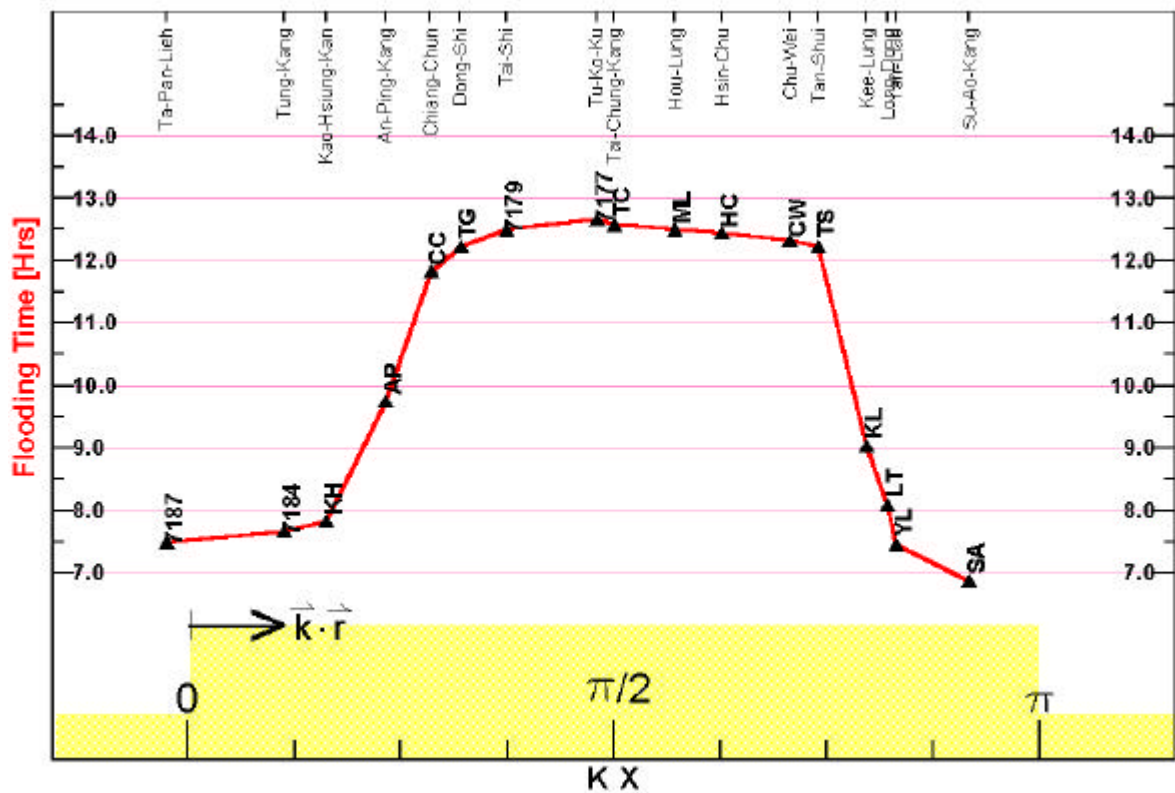
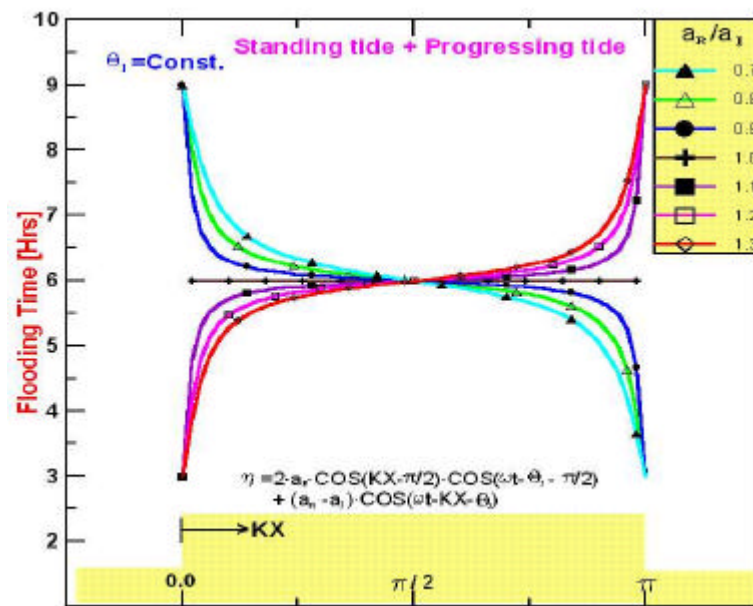


圖 1-8 台灣環島海域，理想性之滿潮潮時(莊文傑,2000)與 1987 年 6 月 23 日中央氣象局實際預報之日第一次滿潮之潮時分布

## 第二章 高雄港港域環境

### 2.1 港口位置

高雄港位於台灣之西南部海域，港口西臨台灣海峽，距菲律賓馬尼拉 543 海浬；西南距香港 342 海浬，距新加坡 1,621 海浬，位處台灣對中國大陸及東南亞航線之交通要衝，現為我國最大之國際港埠，港區位置與港域配置如圖 2-1 與圖 2-2 所示。

高雄港港域幅員遼闊，腹地廣大，臨海有狹長沙洲屏蔽，港灣形勢天成，地理條件優良，現有船舶進出之港口共有二個，如圖 2-3 所示。第一港口位於萬壽山與旗后山之間，港口位置為北緯  $22^{\circ}37'1''$ ，東經  $120^{\circ}15'25''$  (以高雄燈塔代表)；自旗后伸建之南堤為防波堤，長為 938.0 公尺，而自萬壽山西子灣伸建之北堤為防沙堤，長為 938.8 公尺，南北二堤堤口相距 350 公尺，港口有效寬度約 228 公尺，最窄有效寬度約為 100 公尺 (水面寬約 132m)；目前港口航道水深為 -11 公尺，主航道長度約 1000 公尺，計畫進港最大船型為 30,000DWT 級船舶，其港口方向為  $N75.7^{\circ}W$ ；第二港口位於北緯  $22^{\circ}33'21''$ ，東經  $120^{\circ}18'26''$  (以北岸信號台代表)，其中南防波堤長為 2,189.4 公尺，北防波堤長為 1,322.7 公尺，南北二堤堤口相距為 418.6 公尺，港口有效寬度為 200 公尺，最窄處為 148 公尺，目前港口航道水深為 -16.0 公尺，主航道長度約 1,537 公尺，計畫進港最大船型為 100,000DWT 船舶，其港口方向為  $W12.3^{\circ}S$ 。

### 2.2 高雄港海域之海氣象環境

為高雄港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

查結果以掌握高雄港域之海象影響因子及概略特性是必要的。以下為高雄港港域近期自然環境調查之簡要結果。

### 2.2.1 風力

依據中央氣象局高雄測候站民國 73 年至民國 83 年之觀測記錄統計分析結果(莊文傑、江中權, 1997)可知, 高雄地區冬季季風期約由每年 10 月至翌年 4 月, 風向以 NNE~WNW 間為主; 而 5 月及 6 月為轉型期, WNW 向及 SSE 向所佔比重相當, 7 至 9 月則為夏季季風期, 風向以 WNW、ENE、S 及 SSE 居多。全年而言, 風向以 WNW 出現頻率最高, N 向次之; 風速大都介於 0.1~5.0m/sec 之間, 超過 15.0m/sec 者極少。另依據風速之延時統計分析結果顯示, 本地區風速大於 5m/sec, 延時為 2 小時之全年發生頻率僅為 6.6%。再依據中央氣象局對高雄地區統計民國 68 年至民國 83 年之風速資料, 可得分月平均、最大及極大風速統計結果與民國 81 年 7 月夏季季風期之月逐時風力記錄分別如圖 2-4 所示。

### 2.2.2 波浪

高雄港區常年之波浪狀況, 依據高雄港務局自民國 55 年至 66 年間長期之波浪觀測統計結果可知, 高雄港區之平均波高並不大, 全年波高小於 1.0m 者佔 87.5%以上, 冬季時該比值則可提高到 95.3%, 全年波浪週期小於 9 秒者佔 89.4%。民國 81 年至民國 82 年間, 交通部運輸研究所為辦理高雄深水港先期規劃作業項目, 曾委託成功大學台南水工試驗所在高雄港第二港口外海海域進行波浪調查, 依據該調查結果可知, 近年來, 高雄港全年波高小於 1.0m 者達 94.53%, 週期集中在 8~10 秒間佔 67.9%, 其間小於 10 秒部份佔 83.9%。在高雄港鄰近海域內, 台灣省政府交通處港灣技術研究所自民國 79 年 11 月至民國 82 年 3 月間亦曾於屏東縣大鵬灣地區進行實際波浪觀測(張金機, 1993), 依據該波浪觀測冬、夏季波浪統計結果可知, 大鵬灣全年波高小於 1.25m 者佔 83.68%, 冬季時則可達 92.43%, 全年波浪週期小於 8.5 秒者則佔

95.24%。整體而言，高雄港港區波浪特性以往與近年並未有太大差異。以下再簡述冬夏季季風期及颱風期之波浪特性如后：

**冬季季風波浪：**冬季季風時台灣海峽盛行吹 NNE 向強風，然至新浮崙汕後，因地形呈喇叭狀而風力受分散之影響，風向變為 N 或 NNE 及 NNW，風速亦減低。故在冬季季風期，侵襲高雄地區之波浪，主要係由台灣海峽出口處折繞射而來。以近期大鵬灣所測得之資料為例，高雄港區冬季波高與台灣西海岸中、北部海域比較，其相對較小，波高小於 1.25m 部份可達 92.43%，週期小於 8.5 秒者佔 98.88%，且其機率等值線整體向橫軸(週期)偏移，湧浪特性顯著。故而高雄港區於冬季時因地理區位關係，東北季風所引致之波浪影響不若其他地區嚴重。

**夏季季風波浪：**夏季季風時，高雄港區之波浪主要由風浪與湧浪所組成，當熱帶移動性低氣壓接近或引進西南氣流時，可能帶來 1 至 2 公尺之波浪，而當颱風來襲時，更可能帶來 6 公尺（實測記錄）以上之波浪。依表 3-2-7 大鵬灣海域之波浪特性得，高雄港區夏季波浪因受颱風波浪影響，導致波高小於 1.25 公尺者下降至 69.10%，週期在 8.5 秒者亦降至 89.15%。故颱風對高雄地區之影響，已超過一般東北季風主導之型態。

**颱風波浪：**對高雄港區而言，平均每年約有 1.47 個颱風侵襲附近海域。當颱風在高雄港區附近海岸登陸，或其中心在極接近高雄海岸之處通過時，波浪較高，高雄港二港口歷年於颱風侵襲下實測所得之波浪曾有 5.0 至 6.4 公尺之示性波高( $H_{1/3}$ )及 10 至 12 秒示性週期之紀錄，紀錄中最大波高為 9.29 公尺，週期為 9 秒，發生於民國 62 年 10 月 10 日，當時係由於娜拉颱風經過所致。對於自巴士海峽向南海進行之颱風，如風力強大時，實測之波浪示性波高最大者為 4.2 公尺，週期 12 秒，當颱風橫越中央山脈或通過高雄以北地區時，在高雄港區所產生之波浪，幾乎都在 4.0 公尺以下，依過去實測紀錄，最大之示性波高為 3.6 公尺，週期 8.6 秒。

根據以上資料綜合可知，在高雄港區，由於冬季風向大多偏西北，

風速較小，且受喇叭狀地形影響，當波浪傳至本區海域時，波高均大為衰減，一般皆屬湧浪性質，波高通常在一公尺左右，週期約為八秒；而夏季雖受西南季風直接作用，又其間夾帶有颱風之侵襲，致夏季波浪分佈反而較冬季為大，如非受颱風之影響，波高均在一至二公尺範圍，其繼續時間約為一至二天，但有長達六至七天之記錄。

### 2.2.3 潮汐

高雄港區現有之潮汐觀測站共有二處，其一設置於蓬萊商港區#10碼頭，另一位於二港口內港第十船渠內，皆使用自記式潮位儀。歷年潮位記錄經統計分析後，可得平均潮位約在 0.75 公尺左右，各種示性潮位如下：

|            |        |
|------------|--------|
| H.H.W.L.   | +2.60M |
| H.W.O.S.T. | +1.24M |
| M.H.W.L.   | +1.11M |
| M.W.L.     | +0.75M |
| M.L.W.L.   | +0.45M |
| L.W.O.S.T. | +0.38M |
| L.L.W.L.   | -0.08M |
| * 水準零點高程   | -0.47M |

有關高雄港區潮汐之分潮振幅與相位角，經以民國 65 年元月 31 日零時至民國 75 年 12 月 31 日 22 時之觀測潮位(共 96,359 筆數據)進行調和分析，結果可得如表 2-1，由表可知，高雄港區潮汐分潮主要係由太陽年週潮(SA)、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  $R=(O_1+M_1)/(M_2+S_2)$  判斷，高雄港區  $R=1.436$ ，潮型應屬含混合潮之全日潮型。

#### 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，其影響因子主要為潮位梯度(gradient)變化、地球自轉、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。高雄港區之風力、波浪、潮位特性可參見本章前列各節所述。在水深及地形方面，參考圖 2-5 所示之台灣附近海域水深地形圖可知，高雄港港域約位處台灣海峽之最南端，港域海側最西端存在有水深僅約為 40 米之台灣灘，海側南北兩端分別由恒春海脊及高屏斜坡圍繞，海域水深 40 米至 200 米底床坡度陡峻，港域西南側外海水深可深達 2,000 米以上。海域水深地形變化甚大且甚為特殊。在河川排水及放流管之海洋放流方面，由圖 2-6 可知，高雄港港域北有典寶溪及後勁溪匯入，港區有仁愛河及前鎮河都市與工業區排水，港域南有林園排水、高屏溪及東港溪流入，另有左營放流管、中洲放流管及大林蒲放流管分別分佈於港域南北及西側，海流之影響因子多且複雜，因而海流特性之掌握相對地也較不容易。

歷年來曾在高雄港海域從海流調查之研究單位除台灣省政府交通處港灣技術研究所以外，尚有高雄海專、中山大學及成功大學等單位(莊文傑、江中權，1997)。高雄海專曾於民國 76 年在旗津外海設置三個海流測站，每月觀測一次，每次連續記錄 25 小時以上。其觀測結果顯示旗津海域之海流流向主要為沿著海岸向西北及東南流動，平均流速約在 0.15m/s 至 0.22m/s 之間，流速分佈以小於 0.25m/s 之流速所佔比例為最多，但觀測最大流速可達 0.5m/s。

中山大學亦曾於民國 77 年 2 月在左營海洋放流管附近海域施測海流，其結果顯示於施測期間海流之最大流速亦可達 0.5m/s，而上層流速較下層流速大，且流向大致與左營海洋放流管附近之海岸地形平行，淨流方向為東南向。民國 77 年 8 月至民國 78 年 5 月，中山大學又於左營海洋放流管附近測量海流並做降落傘式浮標追蹤(每次漂流時間介於 5.5~9.0 小時之間)。依浮標追蹤結果顯示，在海流強勁時浮標

於 5 小時內可由左營海域漂流至興達港海域。而在施測期間，浮標最南可漂流至高雄港海域北側柴山附近。

成功大學亦曾於民國 77 年至 79 年間受環保署委託進行中洲、大林蒲及左營海域的海象與水質調查研究。並於中洲、大林蒲及左營三條海洋放流管出口附近施放海流儀，總共進行五次連續十五日以上之測量，結果顯示，除了最後一次調查結果其淨流方向為西北向外，其餘四次調查均顯示海流有往東南的淨流方向，此結果與上述中山大學的調查結果相似。此外，民國 81 年交通部運輸研究所亦曾委託台灣省政府交通處港灣技術研究所在大林蒲外海域進行海象調查，此調查分別在 10 公尺與 20 公尺水深處分別分上、下層同時設置海流儀各一部，儀器設置位置如圖 2-7 所示，自民國 81 年元月至 82 年元月間共完成 19 次海流測量，民國 81 年 7 月在大林蒲外海 10 公尺水深處下層海流儀之海流測量結果如圖 2-8 與圖 2-9 所示，當時月逐時風力記錄則如圖 2-4 所示。由量測結果分析可知，大林蒲海域之海流主要係沿著海岸(西北--東南)方向做週期性的往返運動。對於在 2、3、4、9 月份所測得的海流，其西北向的海流分量較佔優勢，但在 6、8、10、11、12 月份測得的海流則以東南向的海流比例較大，海流之流向並隨潮位漲落而改變流向，總體趨勢上，西北西及東南東向為海流之主要流向，且潮汐漲潮時流向東南；潮汐退潮時流向西北，海流流向隨潮位漲落之變化特性甚為特殊，遠非使用傳統性上以局部海域之潮位梯度變化特性所能詮釋。另外，台灣省政府交通處港灣技術研究所亦曾在高雄二港口南防波堤與北防波堤堤頭附近進行海流浮標調查，每天取一點分別放置浮標一個(檔流板在水面下二公尺)，各追蹤七小時左右，並於民國 81 年 6 月 18、19 兩日及民國 81 年 12 月 1、2 兩日共施測二次，依浮標之追蹤結果大抵亦可得高雄港域之海流，其於潮汐漲潮時流向東南；潮汐退潮時流向西北，但小潮時退潮仍向東南流，因此向南流的機會較大。浮標的漂流速度約在 5cm/sec 至 30cm/sec 之間，當時之風速約 3 至 4 級，風向約為北向及西北向。另比較不同水深測站上、下層水體之流速大小可得，不論冬夏季，上層水體流速一般稍大於下層

水體，流速大小甚少有超過 50cm/s 者，絕大部分流速在 25cm/s 以下。

綜合以上針對高雄港港域海流特性之實測成果可知，高雄港港域海流特性變化確實具有其複雜度，所幸其流速大小普遍均甚小，對港灣工程及進出港船舶之操航安全並不致構成威脅，但其與潮汐漲退潮之水位關係及港域地形之影響程度則迫切需要加以進一步研究確認。

#### 2.2.5 漂沙與地形變化

漂沙及地形變化與港域之波浪、潮汐及海流作用息息相關。高雄港務局自第二港口完工後，為了解港域水深地形變化，即每年於第一及第二港口間進行港域水深測量，另台灣省政府交通處港灣技術研究所為配合交通部運輸研究所辦理高雄深水港先期規劃，曾於民國 81 年全年針對高雄港域進行漂沙調查分析研究，根據該研究結論指出：高雄海域漂沙特性主要係以向離岸(on-offshore)方向漂沙為主，當夏季颱風來臨時，往往造成侵蝕海岸，且在離岸 400~500 公尺外，水深 5~6 米處形成沿岸沙洲(alongshore bar)，愈往南端該沙洲特性愈明顯，迨夏季西南季風或冬季東北季風期，再逐漸將沙洲推向岸側。圖 2-10 所示為民國 79 年與民國 83 年高雄港域水深地形變化比較圖，比較該圖可知，高雄港港域在水深 12 米處仍有明顯漂沙活動，但該海域在沒有足夠沙源供給情況下，每年平均被侵蝕之漂沙量約為 30 萬立方公尺。於高雄港港域之中芸觀測斷面 I 上，於水深 1.5 公尺處以及水深 5 公尺處所測得之漂沙量分別為 437kg/m<sup>2</sup>/day 與 136kg/m<sup>2</sup>/day；惟同樣在水深約 5~6 公尺處之大林蒲觀測斷面 II 上，所觀測得之漂沙量則為 331kg/m<sup>2</sup>/day，漂沙移動之優勢方向為向岸(on shore)，在水深 1.6 公尺以及 2.8 公尺處，沿岸線每單位長度之淨向岸輸沙量則分別為 710kg/day 以及 231kg/day。而在懸浮砂濃度分佈觀測結果方面，高雄港港域當波高小於 0.8 公尺時，於水深 1.5 公尺處，即使在距底床 20 公分高度處，其懸浮砂活動性仍很小；惟當波高大於 1 公尺以上時，即使在水深 5 尺深距底床 40 公分高度處仍有明顯懸浮砂活動。大體上，其懸浮砂濃度垂直分佈以在距底床 0.1~0.2 倍水深相對位置處其值最大。

## 2.3 高雄港海域之衛星照片與海流特性

台灣西南部海域由工研院能源與資源研究所與中央大學太空與遙測中心共同製作之 LANDSAT TM 1/3/4 衛星照片(SCALE:1/250,000)如圖 2-11 所示，其中，高雄港局部海域之衛星照片由圖 2-11 中萃取處理可得如圖 2-12。觀察圖 2-12 顯示之水色差異可得，於台南七股至安平港之近海沿岸，明顯可見輕藍色之水色差異由北往南伸展，對照該海域之淺灘沙岸特性可確認，由北往南伸展之輕藍色水色差異，應係波浪掏動淺灘沙泥後，再由從北向南流動之優勢海流攜運所形成之自然渾濁水色。確認水色差異之成因後，再觀察圖 2-12 中自安平港至高雄港之近岸海域，同樣地，於永安液化天然氣碼頭外海亦可清楚地發現一狀似三角形之黃藍水色差異團塊。由於永安液化天然氣碼頭海域亦具有淺灘沙岸特性，因此，也可確認該黃藍水色差異團塊亦係波浪掏動淺灘沙泥後，因優勢海流攜運所形成之另一自然渾濁水色，只是，從水色差異團塊之形狀研判，永安液化天然氣碼頭海域之優勢海流流向應具有交匯特性，亦即在永安液化天然氣碼頭海域，從安平港近岸海域應具往南之優勢沿岸海流流向，而從高雄港近岸海域則應具往北之優勢沿岸海流流向。依據以上台灣西南部近岸海域所呈現之自然渾濁水色團塊形狀，因此，可將台灣西南部近岸海域之優勢沿岸海流流向綜合整理如圖 2-12 中之箭矢所示。此外，於永安液化天然氣碼頭海域，因優勢海流具流向交匯特性所造成之自然水色差異，亦可分別於 1994/11/13 11:00:25 及 1998/11/28 09:57:15 之 LANDSAT TM 衛星照片中，如圖 2-13 與圖 2-14 所示，觀察出相同之結果。值得注意的是，以上之 LANDSAT TM 衛星照片皆於冬季拍攝，而於冬季季風期間，由於高雄港近岸海域之主要風向約來自北向，因此，永安液化天然氣碼頭海域之優勢海流之交匯特性是否受該海域之離岸風力作用影響或純粹為近岸優勢海流特性尚值得進一步探討，同時，也有待夏季拍攝之 LANDSAT TM 衛星照片進一步比對確認。

## 2.4 高雄港海域沿岸之潮位梯度

高雄港海域沿岸之潮位梯度可從其南、北端海岸之蟬廣嘴與安平港預報之逐時潮位研判。在民國九十年一月十日至十二日期間，台灣西南部海域高雄港之逐時預報潮位如圖 2-15 中之紅線所示，同時期其南、北端海岸蟬廣嘴與安平港之逐時預報潮位分別如圖 2-15 中之黑線及藍線所示。仔細觀察圖 2-15 可知，由於高雄港海域約座落在半日潮於台灣海峽形成部分重複駐波之南端節點內(莊、江，2000；Lin et al., 2000, 2001)，故高雄港海域之潮差明顯較蟬廣嘴與安平港小，亦即高雄港海域之乾潮位較蟬廣嘴與安平港高；而滿潮位較蟬廣嘴與安平港低。因此，在每日退潮時期之平潮位至乾潮位間，如 2001/01/10 00:00~04:00 及 2001/01/11 00:00~04:00，高雄港海域之退潮位皆大於同時期蟬廣嘴與安平港之退潮位，亦即高雄港海域之潮位梯度係向其南、北端海岸傾斜，以致當高雄港海域處於平潮位至乾潮位之退潮時期，潮流會顯現向北流動之觀測結果。除此之外，從潮位空間梯度變化(趨動潮流之水動力)之物理觀點出發，高雄港海域之潮流大致上應呈現：漲潮時期潮流向北流動；退潮時期潮流向南流動之正常現象。惟圖 2-9 所示之實測海流卻顯示：高雄港海域之海流，其漲潮時期潮流向南流動；退潮時期潮流則向北流動之特性。可見，高雄港海域之海流特性，甚難從單純應用潮位空間梯度變化之物理觀點予以準確地掌握，衛星照片(圖 2-12 及圖 2-14)中所顯示流向具交匯特性之優勢海流，亦無法單純從局部海域之水動力潮位邊界正確設定著手而可準確地模擬計算。

表 2-1 高雄港區潮汐調和分析之分潮振幅與相位

(民國 65 年元月 31 日零時至民國 75 年 12 月 31 日 22 時之觀測潮位，共 96,359 筆數據)

(1976/01/31 00:00~1986/12/31 22:00)

| 分潮名稱   | 振幅(公尺)   | 相位角(度)     | 分潮名稱   | 振幅(公尺)   | 相位角(度)     |
|--------|----------|------------|--------|----------|------------|
| K1     | 0.176001 | 21.816300  | TH1A1  | 0.002259 | 331.175000 |
| M2     | 0.163274 | 189.675500 | P11    | 0.002196 | 167.371200 |
| O1     | 0.157076 | 346.171000 | MK3    | 0.002101 | 76.653080  |
| SA     | 0.127766 | 136.185100 | MSN2   | 0.001972 | 281.563800 |
| S2     | 0.068596 | 261.937000 | M4     | 0.001906 | 254.629600 |
| P1     | 0.056274 | 118.178900 | M1     | 0.001849 | 331.330200 |
| N2     | 0.033760 | 198.325100 | X1     | 0.001747 | 288.085100 |
| Q1     | 0.029074 | 345.526800 | SO3    | 0.001611 | 181.505300 |
| SSA    | 0.021374 | 27.559480  | R2     | 0.001569 | 205.938400 |
| K2     | 0.019409 | 111.836800 | MS4    | 0.001516 | 3.726855   |
| J1     | 0.008262 | 138.355700 | OO1    | 0.001499 | 332.791900 |
| OP2    | 0.007654 | 14.046870  | KJ2    | 0.001357 | 24.949800  |
| MKS2   | 0.006796 | 143.389100 | OQ2    | 0.001337 | 239.901900 |
| MJU2   | 0.005740 | 162.683100 | M6     | 0.001064 | 300.338600 |
| NJU2   | 0.005698 | 206.834700 | 2SM2   | 0.001015 | 336.325800 |
| S1     | 0.005684 | 216.360300 | 2MS6   | 0.000983 | 45.066060  |
| MF     | 0.005608 | 133.515200 | LUMDA2 | 0.000943 | 306.871400 |
| PSI1   | 0.005595 | 258.361700 | MNS2   | 0.000908 | 39.984720  |
| 2N2    | 0.005405 | 219.732300 | MK4    | 0.000708 | 136.230000 |
| RHO1   | 0.005256 | 345.749000 | FA11   | 0.000696 | 184.783100 |
| T2     | 0.005202 | 237.253000 | MN4    | 0.000628 | 244.356000 |
| MSF    | 0.005173 | 89.324290  | 2MN6   | 0.000459 | 292.376000 |
| MP1    | 0.003795 | 8.042664   | S4     | 0.000323 | 186.908500 |
| SO1    | 0.003641 | 168.617600 | SK4    | 0.000306 | 172.751800 |
| MM     | 0.003507 | 6.737741   | SN4    | 0.000278 | 287.784000 |
| M3     | 0.003060 | 352.042300 | MSN6   | 0.000272 | 30.408930  |
| 2Q1    | 0.002948 | 116.209300 | SK3    | 0.000196 | 90.396720  |
| SIGMA1 | 0.002705 | 5.269195   | 2MK6   | 0.000113 | 281.882700 |
| L2     | 0.002653 | 312.130300 | 2SM6   | 0.000111 | 219.338500 |
| MO3    | 0.002618 | 50.099620  | MSK6   | 0.000050 | 52.917450  |

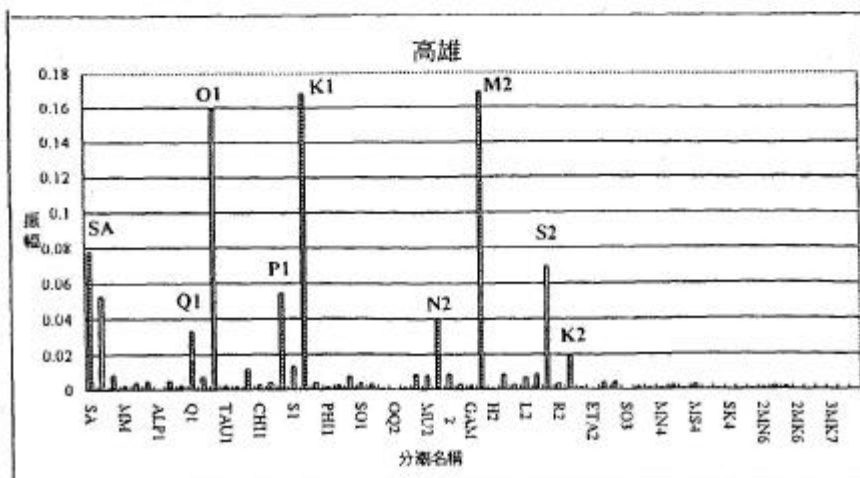






圖 2-2 高雄港港域配置及港口鄰近之海域

高雄港第一港口衛星影像圖

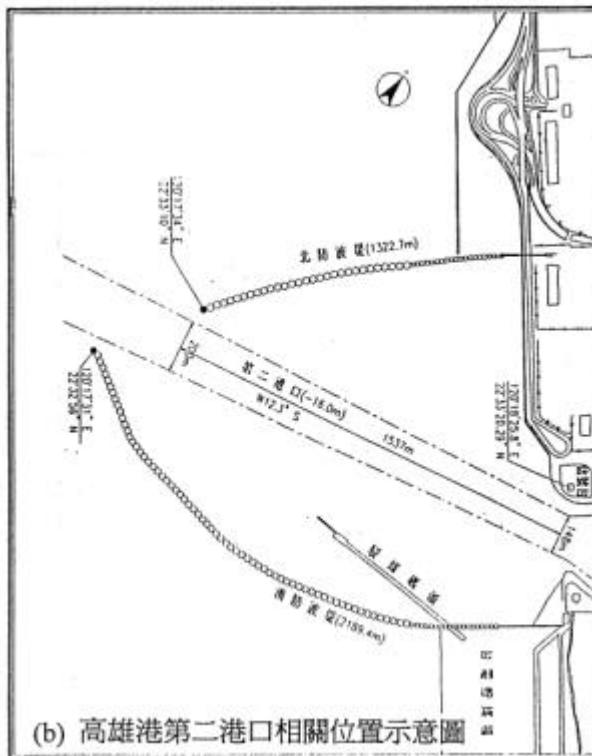


圖 2-3 高雄港港口與港域

| 高雄地區風統計    |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 項目/時期      | 全年  | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
| 平均         | 2.6 | 2.8  | 2.7  | 2.7  | 2.5  | 2.5  | 2.6  | 2.9  | 2.8  | 2.5  | 2.3  | 2.4  | 2.6  |
| 最大         | /   | 11.7 | 11.7 | 12.0 | 12.3 | 11.5 | 20.2 | 18.0 | 16.0 | 21.7 | 15.2 | 12.2 | 11.7 |
| 極大         | /   | 17.5 | 22.4 | 19.0 | 26.0 | 23.1 | 27.1 | 30.7 | 28.0 | 40.6 | 23.2 | 72.4 | 21.8 |
| 資料來源：中央氣象局 |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

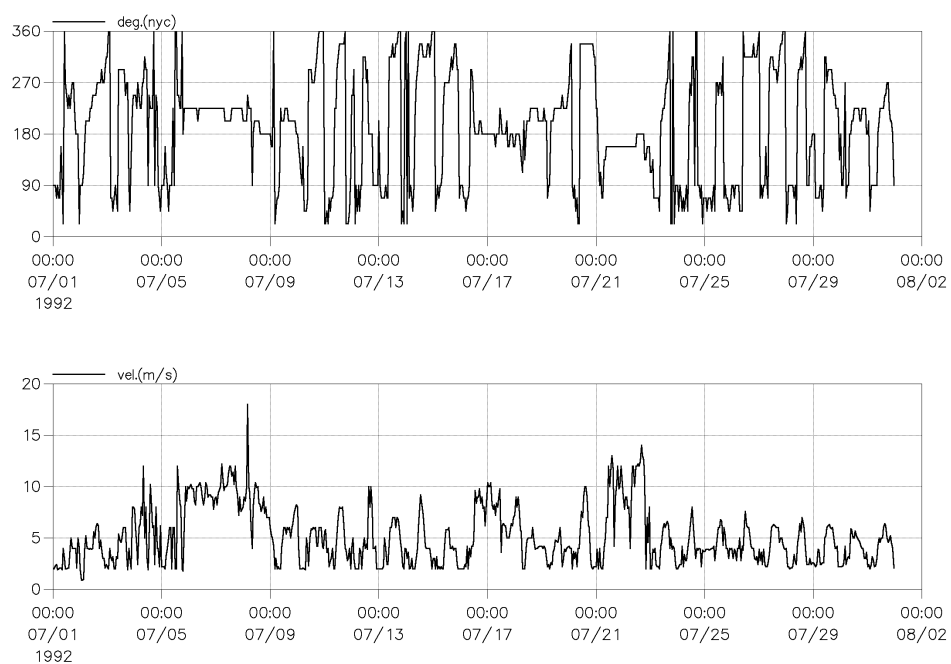


圖 2-4 高雄港港域月統計風速與中央氣象局高雄測候站  
1992 年七月之實測風向與風速

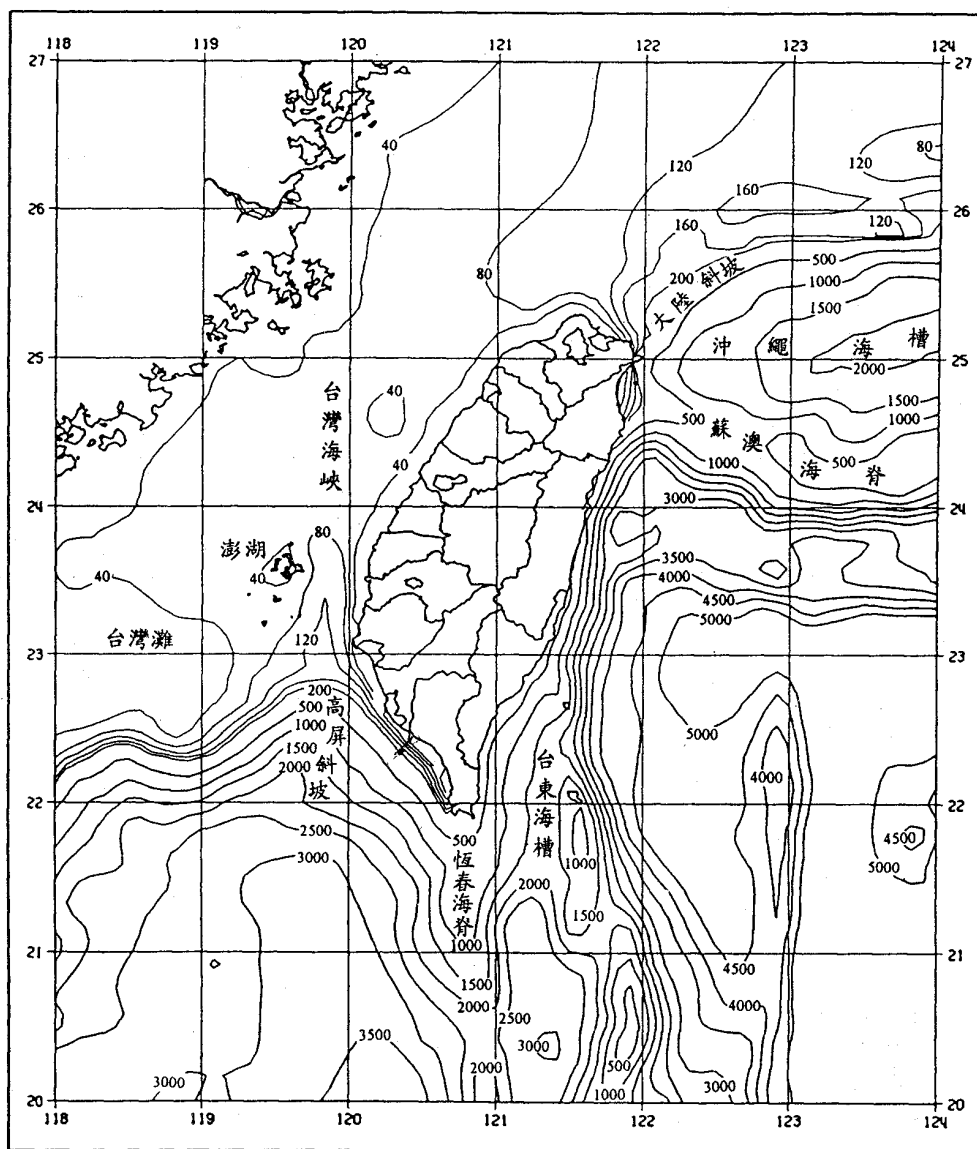


圖 2-5 台灣附近海域水深地形圖(劉文俊，1996)

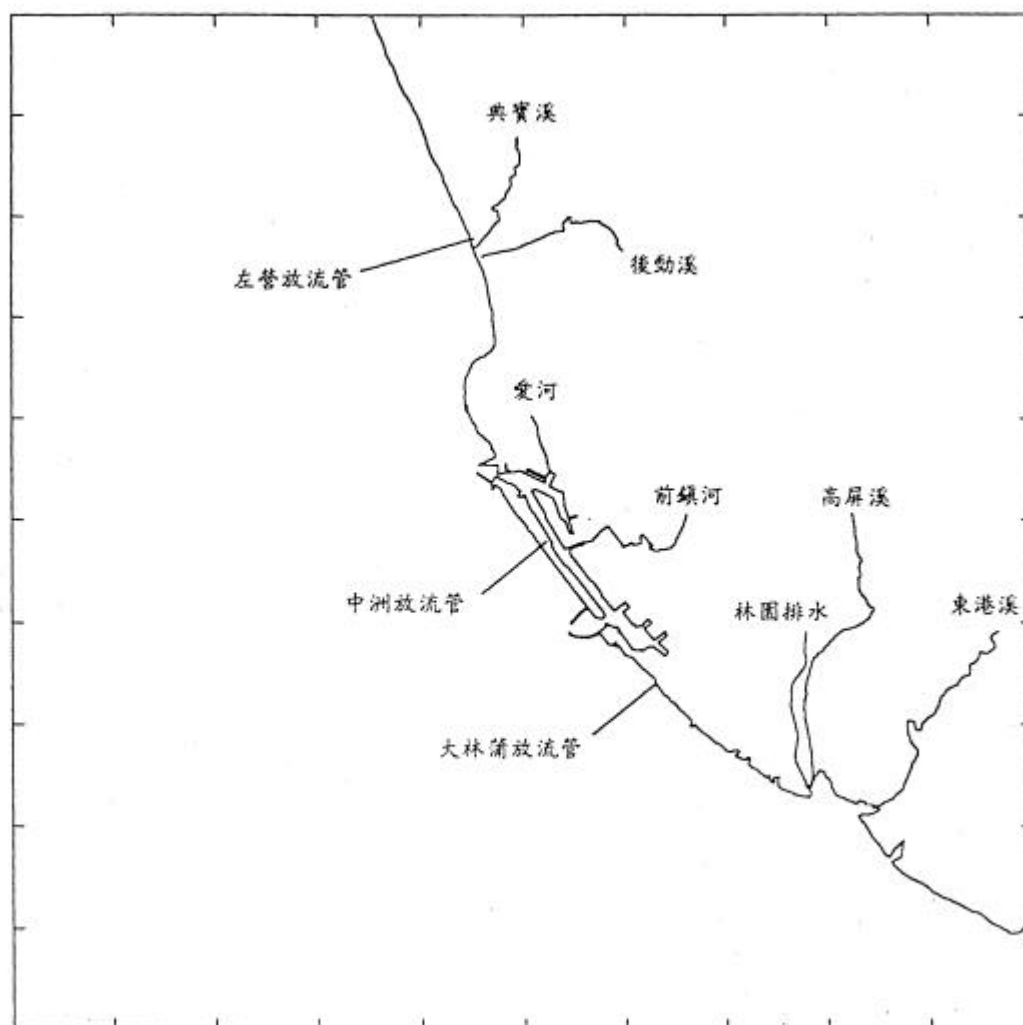


圖 2 - 6 高雄港港域之河川排水及放流管

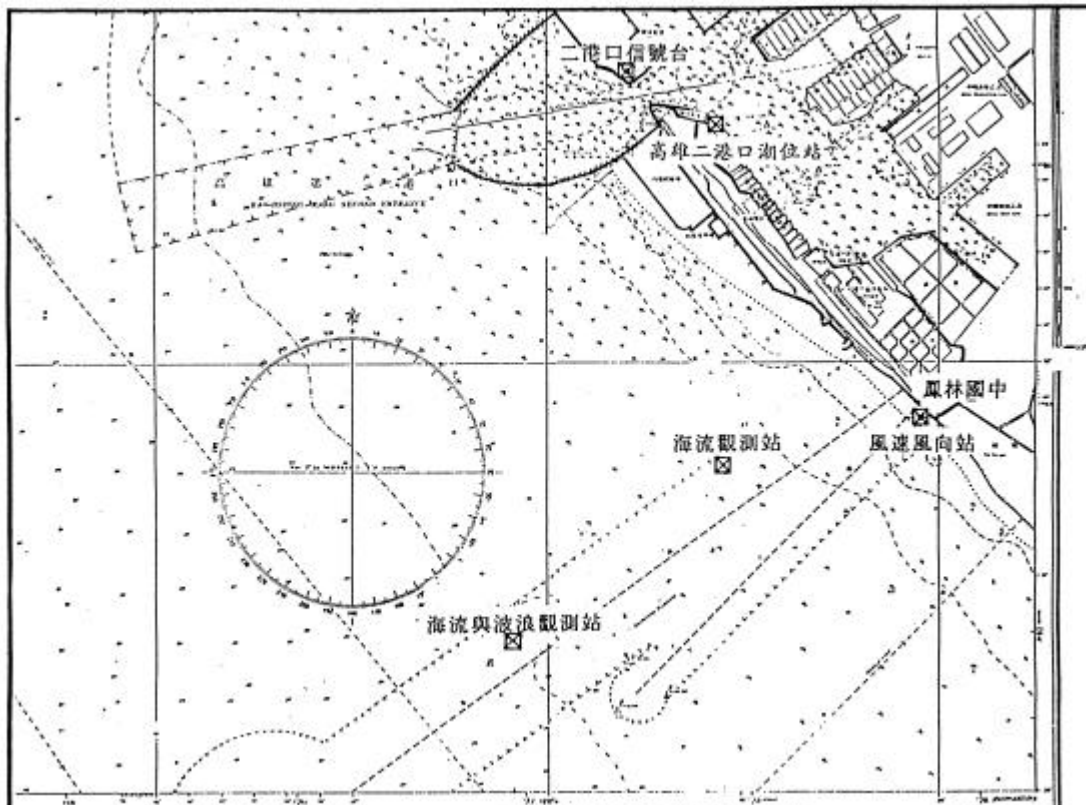


圖 2-7 高雄港港域南側大林蒲外海之海象調查儀器佈置之位置

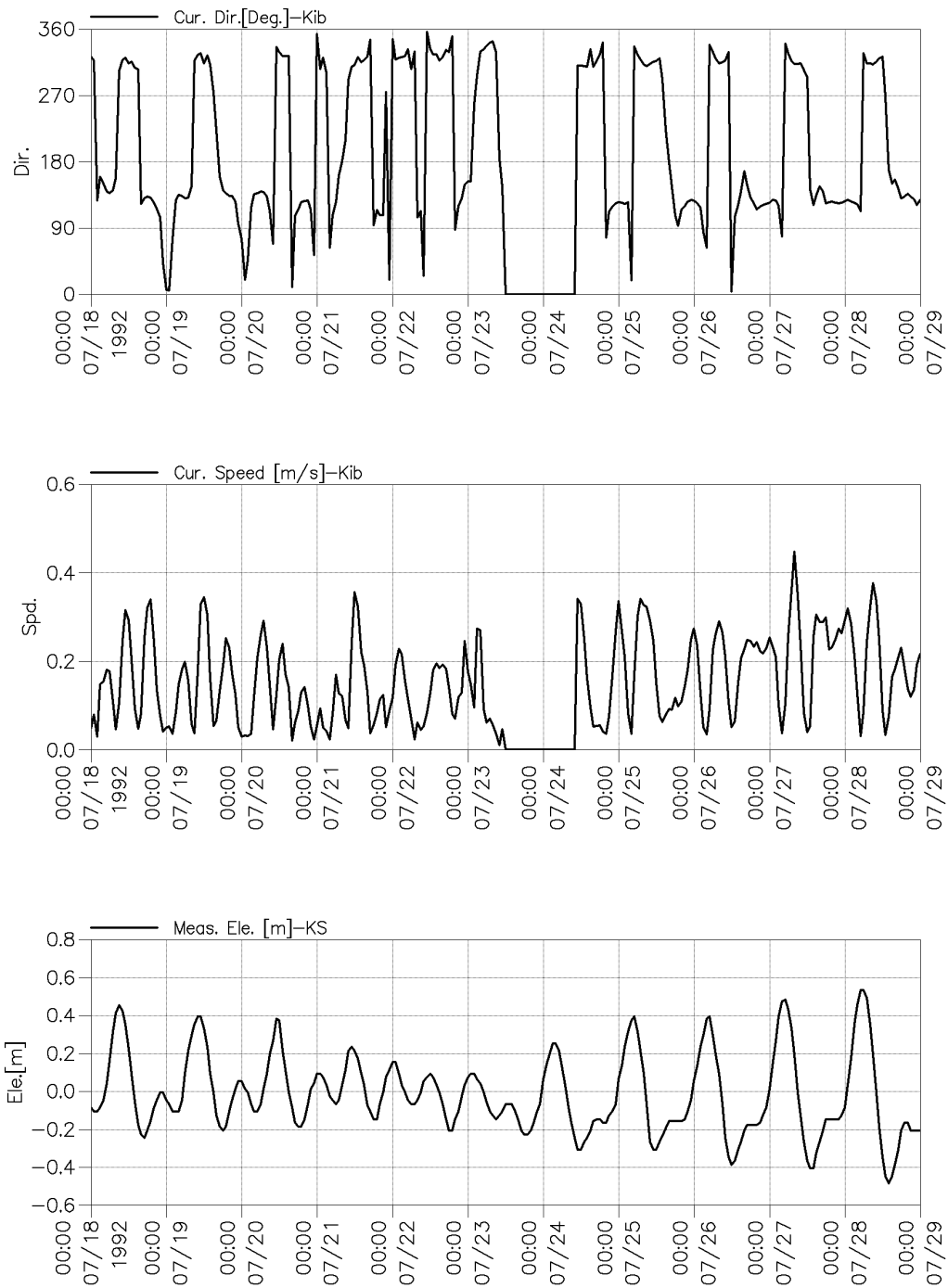


圖 2-8 大林蒲外海民國 81 年 7 月於 10 公尺水深處下層海流儀之  
全月逐時海流量測結果與對應之潮位

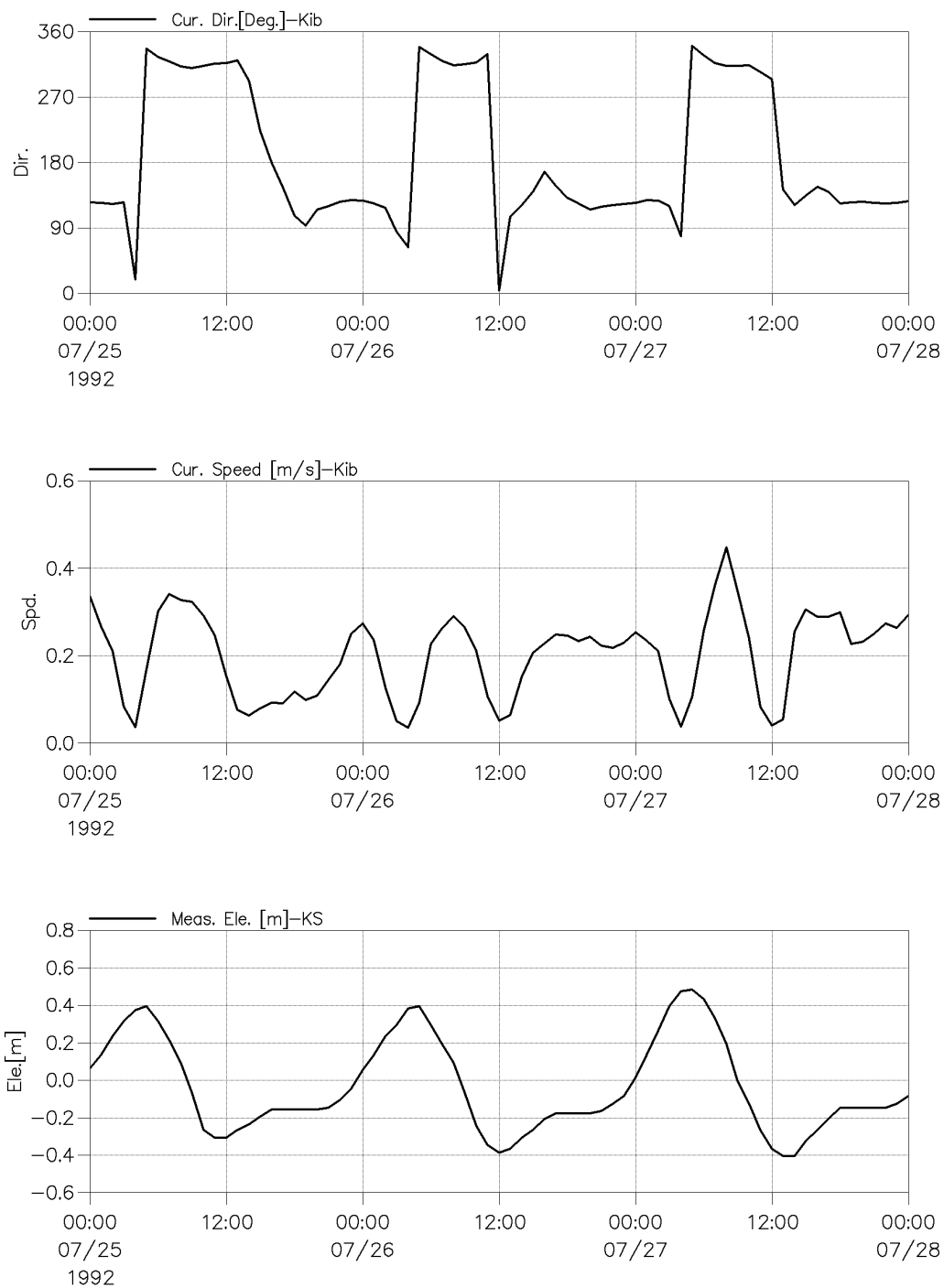


圖 2-9 大林蒲外海民國 81 年 7 月 25 日至 7 月 28 於 10 公尺水深處下層海流儀之逐時海流量測結果與對應之潮位

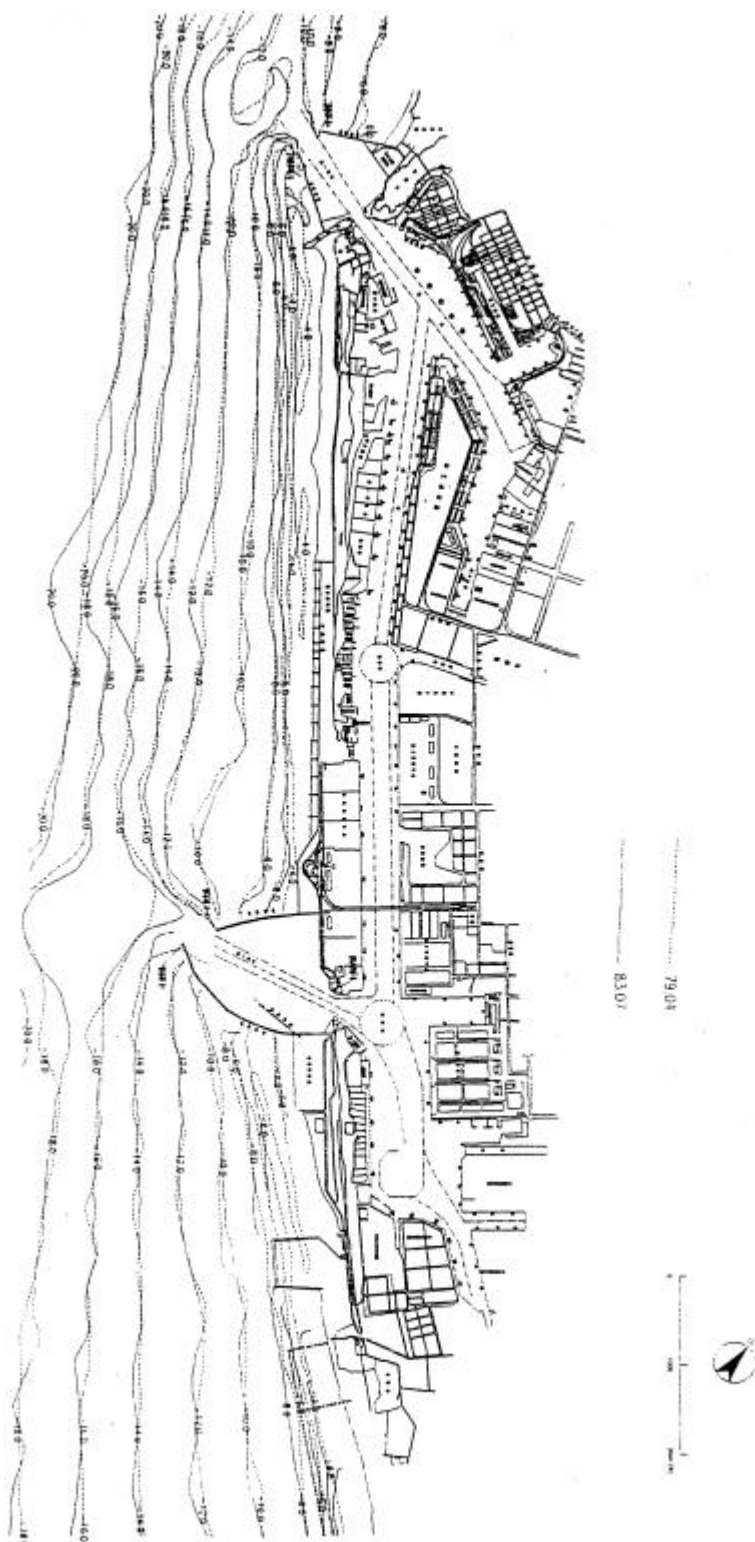


圖 2-10 高雄港域民國 79 年與民國 83 年之水深地形變化比較圖



圖 2-11 台灣西南部海域之 LANDSAT TM 1/3/4 衛星照片  
(工研院能源與資源研究所與中央大學太空與遙測中心共同製作, SCALE: 1/250,000)

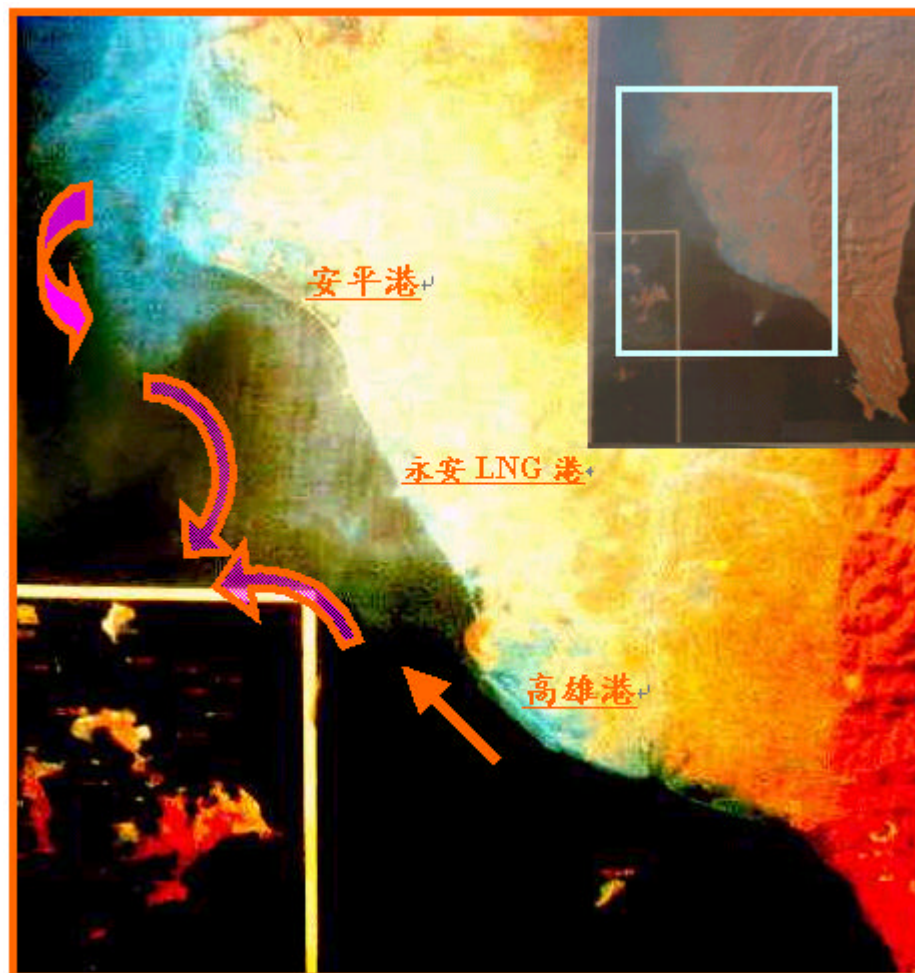
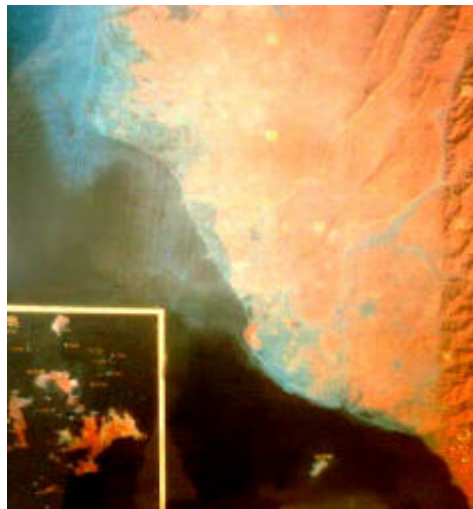


圖 2-12 高雄港局部海域之 LANDSAT TM 1/3/4 衛星照片及永安液化天然氣碼頭外海之黃藍水色差異與推測之優勢海流流向



圖 2-13 台灣西南部海域之 LANDSAT TM 衛星照片及永安液化天然氣碼頭外海之自然水色差異

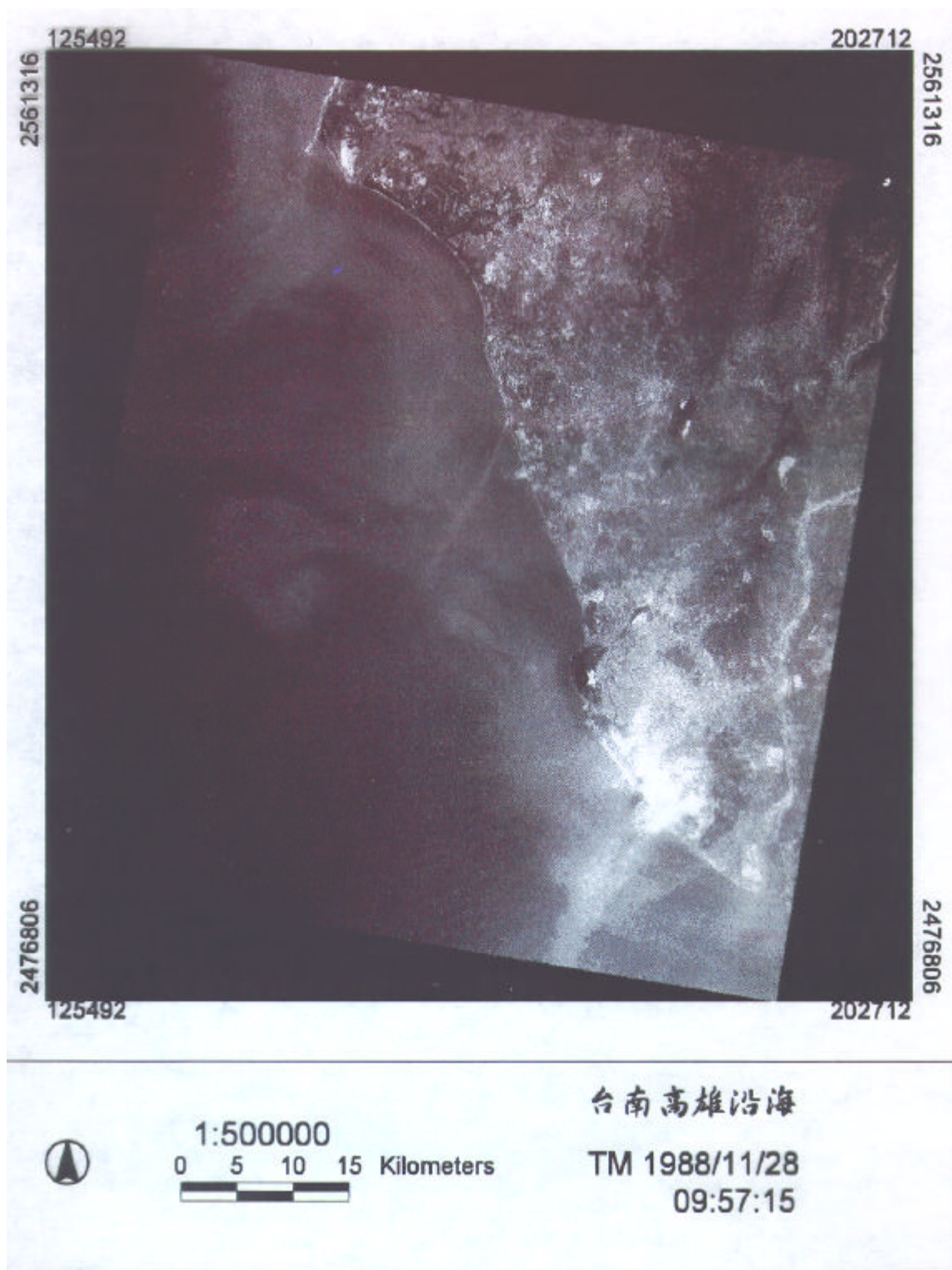


圖 2-14 台灣西南部海域之 LANDSAT TM 衛星照片及永安液化天然氣碼頭外海之自然水色差異

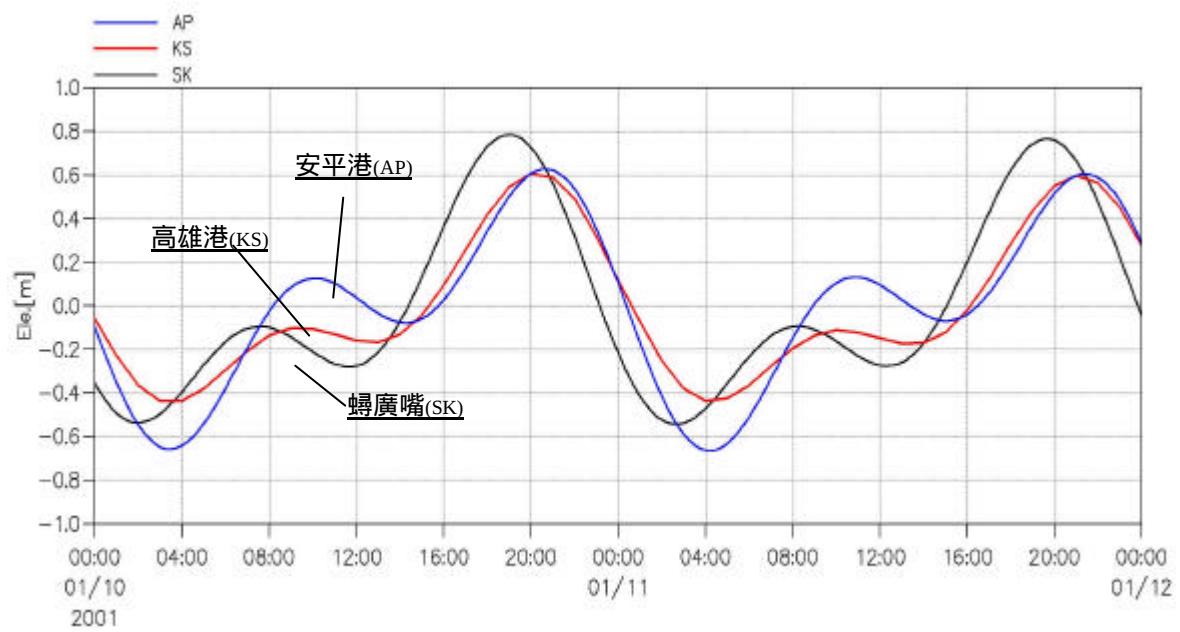


圖 2-15 台灣西南部沿岸海域安平港、高雄港、及鵝廣嘴之逐時預報潮位

## 第三章 台灣南部及高雄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的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, 1994)，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。高雄港為適應不同階段擴建發展之需要，自清光緒三十四年(1908)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。

高雄港港域面積遼闊，水域面積即有 1,270 公頃，並有第一及第二

港口分列於港埗之南北兩端，港域外並有台灣灘、高屏斜坡及恒春海脊環繞(參見圖 1-2 至圖 1-3 及圖 2-5)，更為台灣海峽、巴士海峽及南海水體交換循環之影響水域，因此，高雄港港域不僅地形、位置特殊，港口設施之配置獨特，潮汐水位與海流特性之變化更為國內僅見。

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等關係密切，為一項極重要之海岸工程研究課題。儘管高雄港港域海氣象實際調查結果顯示風、浪、潮及海流對現有港灣環境與設施之影響甚為輕微，但複雜之海流特性仍是海流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：

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

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

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

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

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； $f = 2\Omega \sin f$ 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)； $f$ 為計算水體所在之緯度值； $p$ 表示水壓力； $r$ 表水密度； $t_{ij}; i, j = x, y, z$ ，為動量消耗應力張量(stress tensor)； $g = 9.8 m s^{-2}$ 為地球上

之重力加速度。進一步應用淺水近似特性,即  $p = \rho gV$ , 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:

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

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

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

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  $V(x, y, t)$  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, 1994):

連續方程式：

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

運動方程式：

x 方向：

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

y 方向：

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

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, 1994)。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：

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

$y$ —方向：

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

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：

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

重力影響項：

$$ghz_x \approx g \left( \frac{h_{j,k} + h_{j+1,k}}{2} \right)^n \left( \frac{z_{j+1,k} - z_{j,k}}{\Delta x} \right)^{n+1/2} \tag{3.14}$$

其中，

$$h_{j,k}^n = d_{j,k} + z_{j,k}^n \tag{3.15}$$

x—方向對流項：

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

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

其中

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

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

為台灣環島海域潮波運動特性整體模擬之需要，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，然後規劃出包括台灣環島之大範圍計算海域，本研究依據上述原則與需求所規劃之大範圍計算海域如圖 3-4 所示。整個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 所示即為圖 3-4 大範圍計算海域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。僅管如此，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。

大範圍計算海域確立後，依據高雄港港域實際海流調查成果知道，高雄港港域之海流活動可能受台灣海峽、巴士海峽及南海水體流動所影響，其間，因地球自轉效應與半日型潮波在台灣海峽內因特殊陸架長度效應形成部分重複駐波波動(partially standing waves)與高雄港港域外之駐波節點(node)所造成之水位梯度與相位變化(莊文傑，2000；Lin, et al. 2000; 2001)亦為重要之影響因素。因此，理想上，進行台灣南部及高雄港海域之海流模擬計算，其計算範圍應含括台灣海峽之總體水域，但限於計算範圍及邊界條件之掌握，又為計算網格大小與地形解析度之考量，本研究之計算海域範圍乃從採用大(區域)、中(局部)、小(細部)巢狀網格(nested grids)交疊應用著手。其中，大(區域)計算海域如圖 3-4 所示，中(局部)、小(細部)計算海域則分別如圖 3-5 與圖 3-6 所示。

### 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 所示之計算範圍而言，不透水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 1 月，先行逐站迴報(hindcast)模擬時段對應之逐時潮汐序列，如圖 3-7-1 至圖 3-7-5 所示，再依據圖 3-4 中所列示之潮汐站位置，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邊界上。初始之計算潮位在全計算海域內皆設定為零，同時，相對應之開放海域邊界潮汐序列亦配合修整自零水位

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，瞬間水位變動所造成數值衝擊波(numerical shocks)之不穩定影響(DHI, 1994)。

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，其準確度可被接受、認同為止。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。

大範圍計算海域之初始與邊界條件設定後，大範圍計算海域之二維水動力數值模擬計算即可執行，至於中(局部)、小(細部)範圍計算海域之水動力邊界條件，於巢狀網格交疊配置下，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分別萃取後應用。亦即，中(局部)範圍計算海域之水動力邊界條件係萃取自大(區域)範圍計算海域之逐時潮位或流速；而小(細部)範圍計算海域之水動力邊界條件再萃取自中(局部)範圍計算海域之逐時潮位或流速。於巢狀網格邊界條件之系列萃取應用中，值得特別注意的是，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南部及高雄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， $\Delta x$  與  $\Delta t$  分別為空間與時間格距。對台灣海域之大範圍計算，本研究  $\Delta x$  選定為 10 公里， $\Delta t$  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 1.0，僅管如此，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，計算準確度仍甚良好。

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， $\Delta t$  為時距， $\Delta x$  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, 1994)，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， $\Delta$  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，

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

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 台灣環島海域逐時潮位與海流之計算模擬

#### 3.8.1 大範圍海域之計算結果

使用圖 3-4 所示之大(區域)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，可得計算期間(自 2001/01/09 04:00 至 2001/01/10 06:00 共 27 小時)，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)及台灣環島鄰近海域，潮位與潮流之全平面性計算分布分別如圖 3-8-1 至圖 3-8-5 與圖 3-9-1 至圖 3-9-5 所示。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或動畫(以所附之 \FLICplay\player 程式開啟 Asia.flc 或 Taiwan.flc 檔案)。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 3-8-5 所示之等潮位線分布可得，韓國濟洲島南端、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 3-8-5 所示之等潮位線變化(播放動畫)，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由北而南單向傳播運動(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 3-9-1 至圖 3-9-5 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。

為綜合性地檢視大(區域)計算海域之計算潮流特性，於圖 3-9-1 至圖 3-9-5 中分別以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，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( $270^{\circ}$ )方向；在退潮期間，最大流速約保持為正東( $90^{\circ}$ )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( $0^{\circ}$ )方向，退潮時段則轉變為正南( $180^{\circ}$ )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，在台灣西南部高雄外海，由於該海域接近部分重複駐波之波節點位置(莊文傑，2000)，故在潮流流速之分布上可明顯看出其呈現有流速較大之特性。但在台灣東北部龍峒、鹽寮外海，雖其亦為部分重複駐波對稱波節點存在之鄰近海域，但因其在陸架緣端附近，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。也因此，在台灣海峽南端之最大流速稍較北端之最大流速為大。

### 3.8.2 大範圍海域之計算潮位驗證

由於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)、新竹(HC)、台中(TC)、澎湖(PH)、將軍(CC)、安平(AP)、高雄(KS)、鵝鑾鼻(SK)、富岡(FK)及花蓮(HL)為驗潮站；於中國大陸沿岸海域取馬祖(MZ)、廈門(SM)及汕頭(ST)為驗潮站。各驗潮站在大範圍計算海域之位置如表 3-2 所示，各驗潮站之迴報潮位與模擬計算潮位之驗證比較結果分別如圖 3-10-1 至圖 3-10-5 所示。由圖 3-10-1 至圖 3-10-5 所示之驗證比較結果觀察可得，除了座落於台灣海峽南部之將軍、汕頭與座落於台灣海峽北部之基隆、淡水驗潮站，計算潮位及潮時與實測值比較具有部分差異外，其他驗潮站之計算潮位與潮時皆與迴報資料頗為吻合。可見，應用 MIKE21\_HD 水動力模式，配合本研究所選用之邊界潮位站，確實可充分掌握並完整地呈現台灣環島海域潮位與潮時之整體變化特性及分布趨勢。

### 3.8.3 大範圍海域之計算潮流驗證

台灣環島大範圍海域可供全面性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。

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及衛星照片因自然水色差異顯示之優勢海流型態進行探討。

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，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」。

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之潮流特性，觀察本研究圖 3-9-1 至圖 3-9-5 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( $0^\circ$ )之流向；當在退潮期間，則潮流轉而保持為約正南( $180^\circ$ )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。只是本研究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 3-9-1 至圖 3-9-5 之計算潮流流速大小、流向及潮位可知，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。

於高雄港漲退潮期間，本研究針對台灣西南部整體海域計算所得之潮流速度大小與流向分布變化如圖 3-11-1 至圖 3-11-9 所示(台灣西南部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)。將其與圖 2-12、圖 2-13 與圖 2-14 之衛星照片內因優勢海流型態造成之自然水色差異特性作對照比較，由對照比較結果可發現，當高雄港海域於退潮時段，在安平港及高雄港海域之近岸潮流確實會在永安液化天然氣碼頭外海域呈現流向交匯之特性。此外，仔細觀察高雄港海域外之計算流向變化，也可確認高雄港海域確實於一潮汐漲退週期間，呈現潮汐漲潮時流向東南；潮汐退潮時流向西北之特殊近岸實測潮流之型態。至於高雄港海域之計算流速大小，與高雄港二港口南側大林蒲海域實測海流大小相比較，可得兩者亦是相符合地，亦即計算潮流之流速大小絕大部分時間流速皆在 25cm/s 以下。

### 3.9 台灣南部海域逐時潮位與海流之計算模擬

#### 3.9.1 中範圍海域之計算結果

使用圖 3-5 所示之中(局部)範圍計算海域，配合萃取自大(區域)範圍計算海域之逐時潮位或流速，重複應用水深積分後之二維水動力系統計算模式，可得台灣南部海域，無風力作用之全平面性分時潮位與潮流計算結果，分別如圖 3-12-1 至圖 3-12-7 所示。由於在模擬計算時段內無高雄港海域之觀測風力資料，因此，於引用圖 3-13 所示之安平港觀測風力作用下，台灣南部海域全平面性分時潮位與潮流計算結果則分別如圖 3-14-1 至圖 3-14-7 所示。各圖中，圖右之色階圖說代表計算海域內之等潮位線；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高雄港海域逐時迴報潮位為代表之檢視參考水位。

仔細觀察圖 3-12-1 至圖 3-12-7 及圖 3-14-1 至圖 3-14-7 以色階所展現之台灣南部海域等潮位線分布與計算海潮流特性可知，在台灣南部沿岸海域，等潮位之空間分布變化甚大，尤其，在離岸之開放海域邊界上，潮位之空間分布變化實無法單純、輕易地由沿岸之實測潮位資料簡單外置而據以設定、描述。此外，由於等潮位之空間分布在台灣最南部海域顯示極大之變化梯度，故於墾丁鵝鑾鼻近岸海域，海潮流之大小亦相對地甚為顯著、可觀，若以高雄港潮位為參考基準，則高雄港潮位在接近滿潮時，海潮流於墾丁鵝鑾鼻近岸海域流速將較強勁，且會產生環流(circulation)型態之流場，海潮流之方向為自太平洋流入巴士海峽；當高雄港潮位在接近乾潮時，海潮流於墾丁鵝鑾鼻近岸海域之流速仍甚強，惟其海潮流之方向轉從巴士海峽流向太平洋，環流型態之流場並會於墾丁龍坑外海產生，只是強度較弱而已。

### 3.9.2 中範圍海域之計算潮位與潮流驗證

於巢狀網格交疊配置下，中(局部)範圍海域之潮位與潮流計算，其主要目的在提供小(細部)範圍計算海域之水動力邊界條件，故而台灣南部海域內計算海潮流之大小與方向驗證，將留待於小(細域)範圍海域計算結果中一併檢視、討論。

## 3.10 高雄港海域逐時潮位與海流之計算模擬

### 3.10.1 小範圍海域之計算結果

使用圖 3-6 所示之小(細域)範圍計算海域，配合萃取自中(局部)範圍計算海域之逐時潮位或流速，重複應用水深積分後之二維水動力系統計算模式，可得高雄港海域，於引用圖 3-13 所示之安平港觀測風力作用下之全平面性分時潮位與潮流計算結果，分別如圖 3-15-1 至

圖 3-15-7 所示。各圖中，圖右之色階圖說代表計算海域內之等潮位線；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高雄港海域逐時迴報潮位為代表之檢視參考水位。

觀察圖 3-15-1 至圖 3-15-7 以色階所展現之高雄港海域等潮位線分布可知，在高雄港海域，由於計算海域範圍甚小，因此，等潮位之空間梯度變化甚不明顯，從而造成計算海潮流之強度轉弱，導致潮流流向不易掌握並受風速與風向所支配。

### 3.10.2 小範圍海域之計算潮位與潮流驗證

有關高雄港小(細部)範圍海域計算海潮流之正確性驗證，本研究將引用本所港灣計技術研究中心近期於中洲放流管南側東三浮燈標所實測之逐時海潮流資料(曾相茂，2000)進行比較確認。

高雄港海域近期海潮流實測之位置如圖 3-16 所示，於計算時段內，實測海潮流之結果分別如圖 3-17 與圖 3-18 所示。觀察圖 3-17 可得，實測海潮流之較大流速普遍皆約可達 40cm/s 以上，平均流速約在 20cm/s 至 25cm/s 間。與以往於高雄港二港口南側大林蒲海域實測海流大小相比較，近期實測之海潮流流速有明顯偏強之趨勢，且無論在高雄港之漲退潮時段，海潮流流速皆甚大，流向大體上仍呈現漲潮時流向東南；退潮時流向西北之特殊海流型態。綜合觀察圖 3-17 與圖 3-18 所示之實測海潮流特性可推知，近期實測海潮流之特性應已明顯地受到風力與中洲放流管之排放流況所影響。

瞭解近期實測海潮流之特性後，為計算海潮流正確性之驗證需要，於高雄港小(細部)範圍計算海域內，取與近期海潮流實測點位對應之逐時計算潮位與海潮流進行比較，驗證結果如圖 3-19 所示。自圖 3-19 觀察比較可得，高雄港小(細部)範圍計算海域內之逐時計算潮位與預報之實際潮位甚為吻合，但計算之海潮流流速普遍較近期實測海潮流之流速低，流向之逐時變化亦具有相當之偏差。儘管如此，計算海潮流之流速大小與以往於高雄港二港口南側大林蒲海域實測海流之大小仍

甚相當，惟就總體之驗證結果而言，由於本研究未於計算中充分考量高雄港海域實際風力(由於在模擬計算時段內缺高雄港海域之觀測風力資料)與中洲放流管排放流況之影響，因此，高雄港小(細部)範圍海域計算海潮流之準確性尚有待進一步評估，或藉收集更廣泛之實測資料據以再檢討、改善。

表 3-1-1 台灣環島大(區域)範圍計算海域之邊界潮汐站位置

| 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 台灣環島大(區域)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<br>Site | Station<br>No. | Geo-Location |             | M <sub>2</sub> |       | S <sub>2</sub> |       | K <sub>1</sub> |       | O <sub>1</sub> |       |
|-----------------|----------------|--------------|-------------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|
|                 |                | 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 Bokobian   | 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   |
| Wadomani        | 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 台灣環島大(區域)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 |
| 鵝鑾嘴   | 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 |

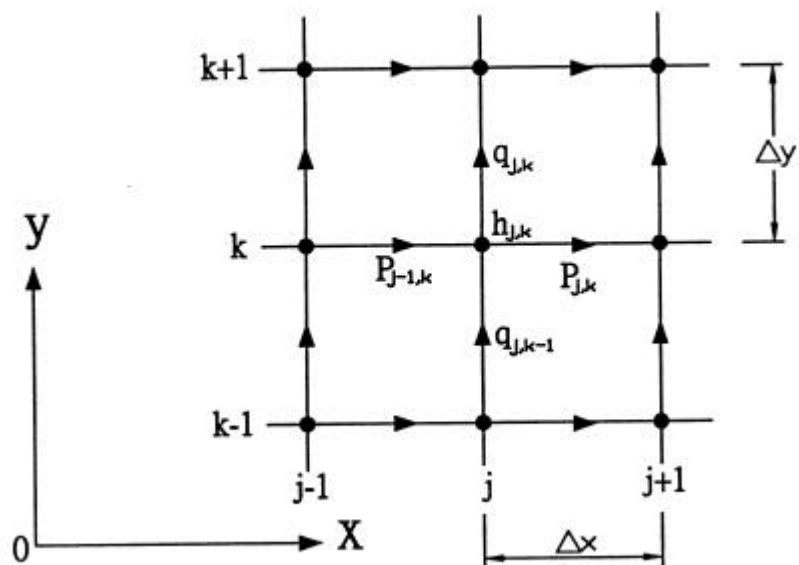


圖 3-1 MIKE21\_HD 計算模式使用交替方向隱式有限差分法之空間網格分割

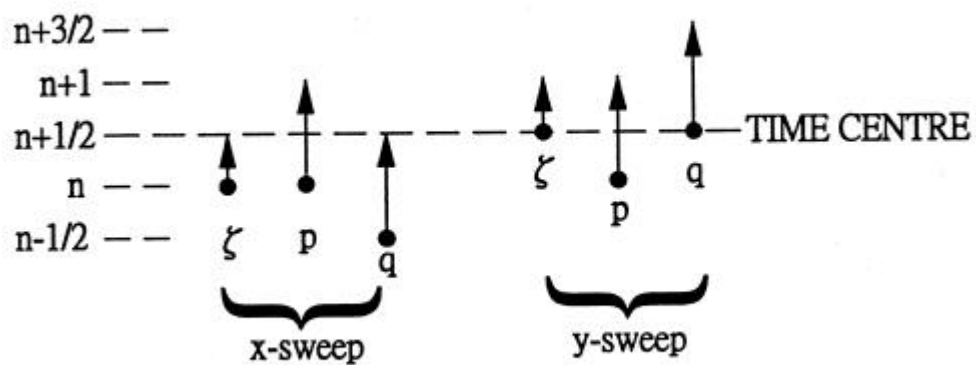


圖 3-2 MIKE21\_HD 計算模式使用交替方向隱式有限差分法之時階分割

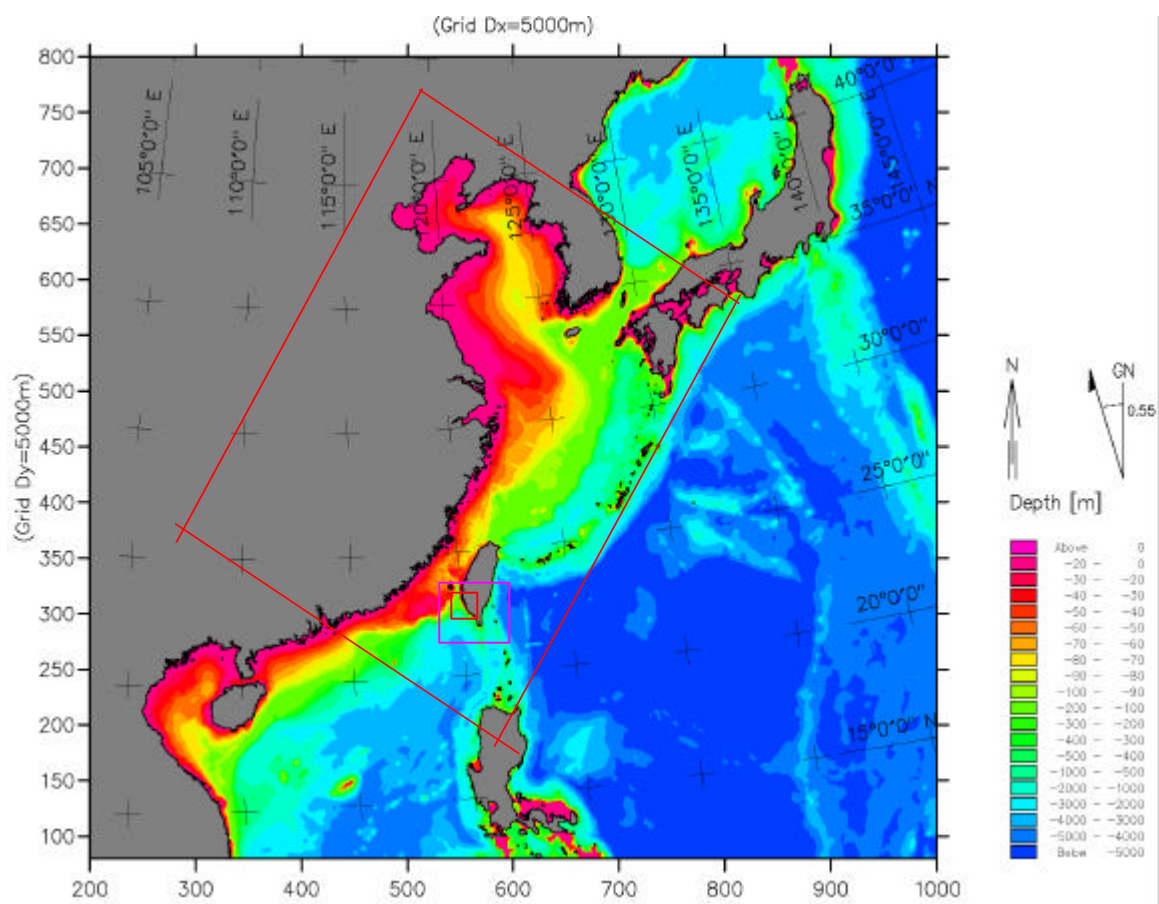


圖 3-3 東亞海域與巢狀網格之計算海域配置

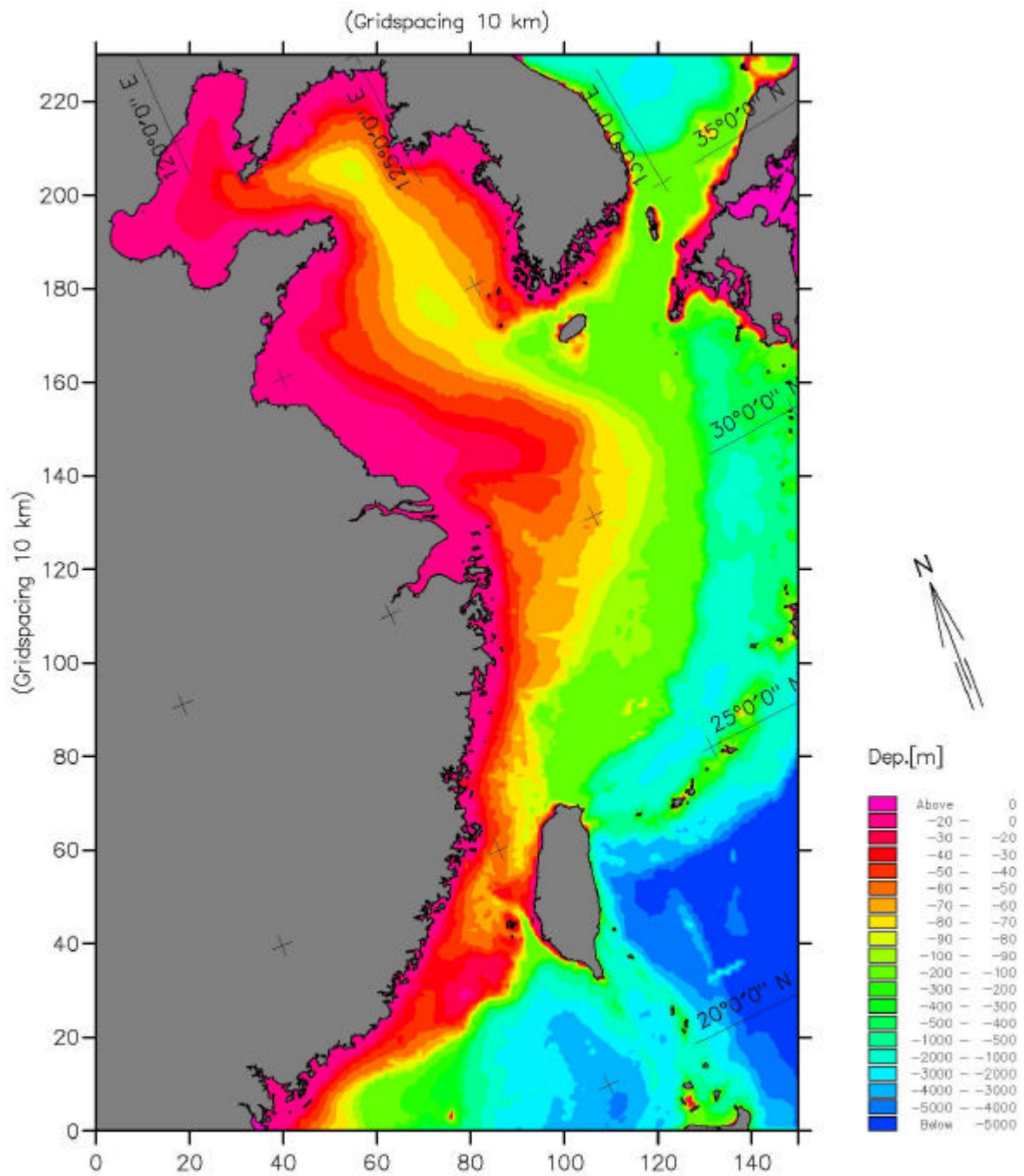


圖 3-4 台灣環島大(區域)範圍計算海域與其邊界及地形水深

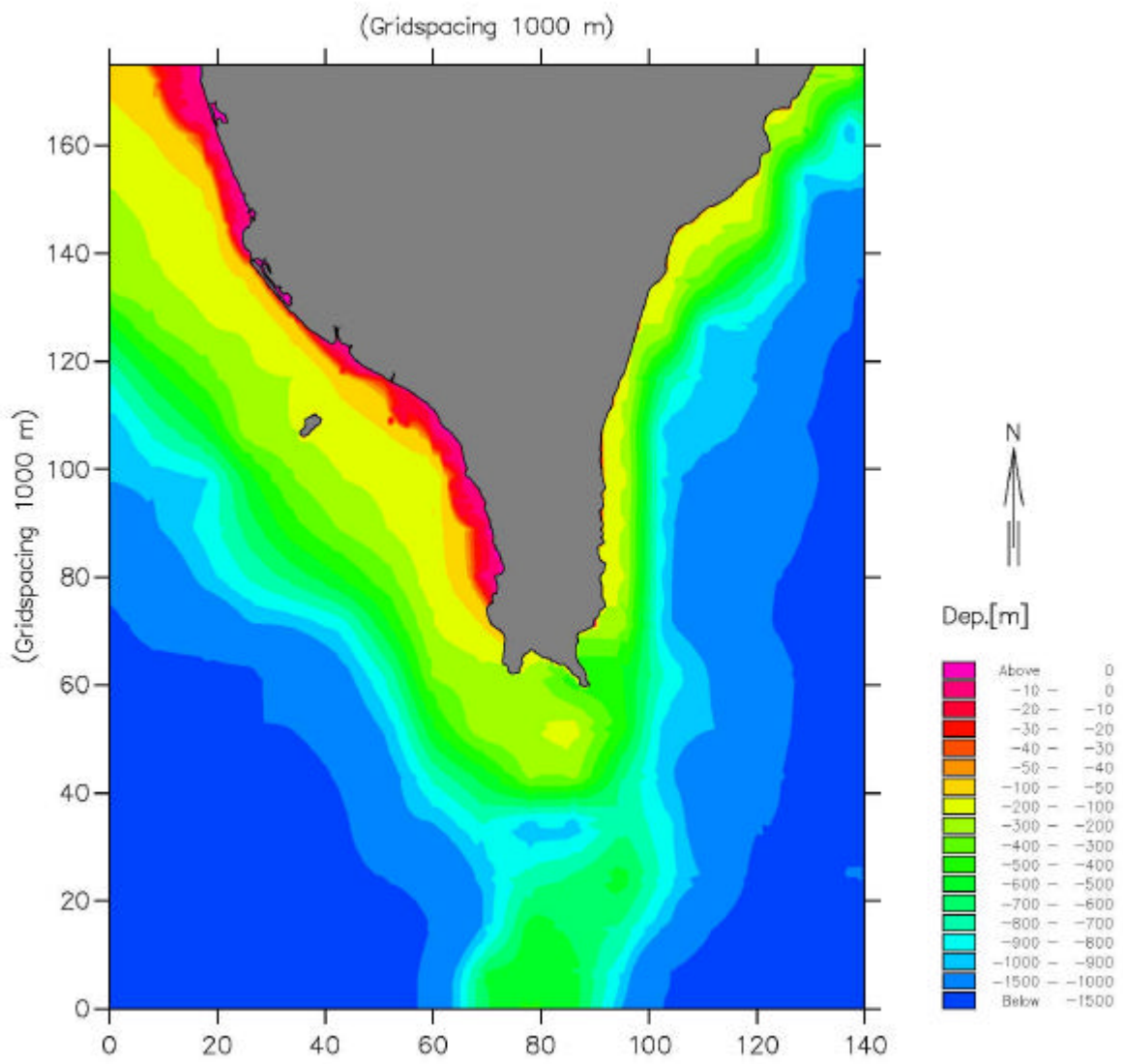


圖 3-5 台灣南部中(局部)範圍計算海域與其邊界及地形水深

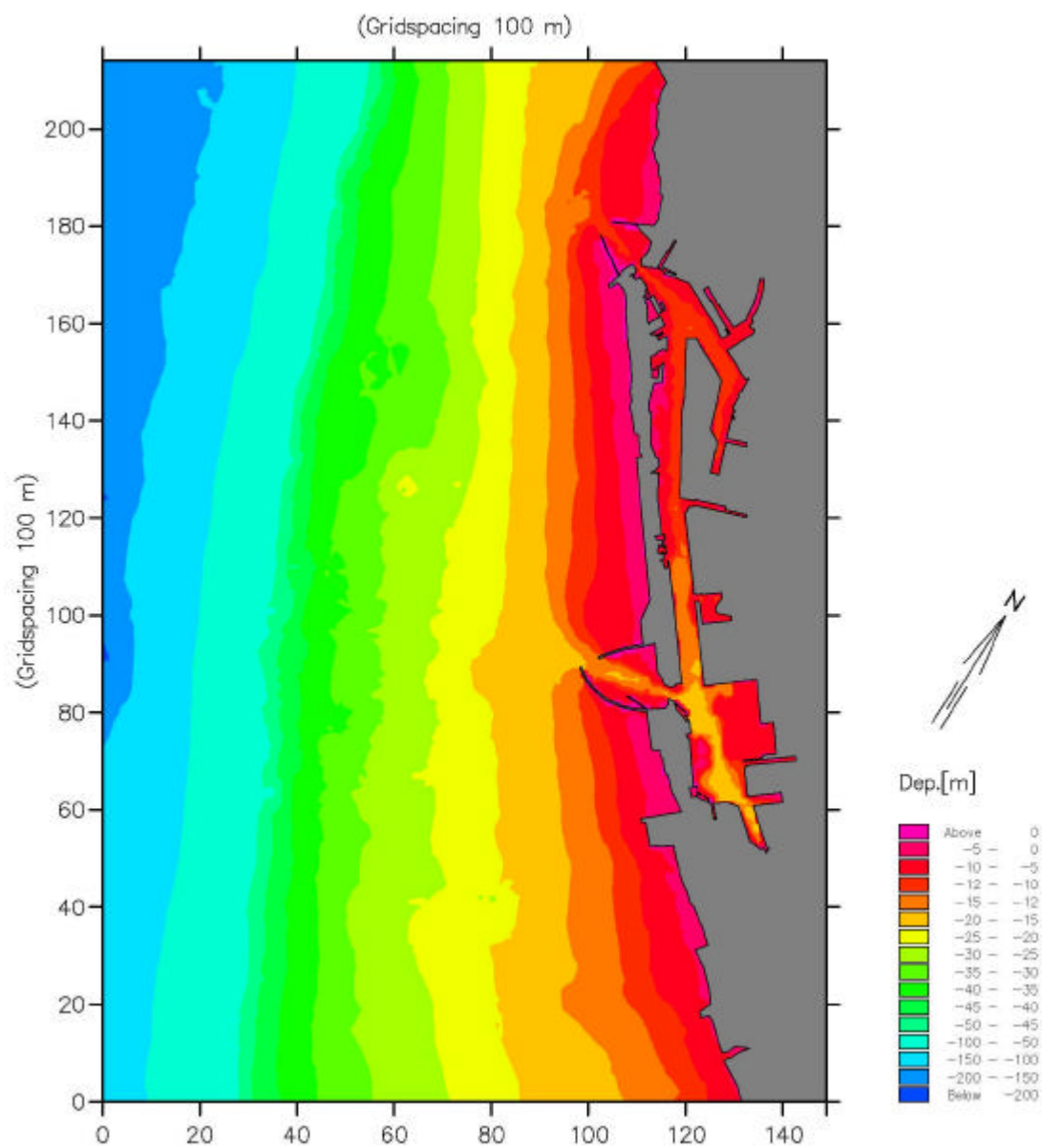


圖 3-6 高雄港小(細部)範圍計算海域與其邊界及地形水深

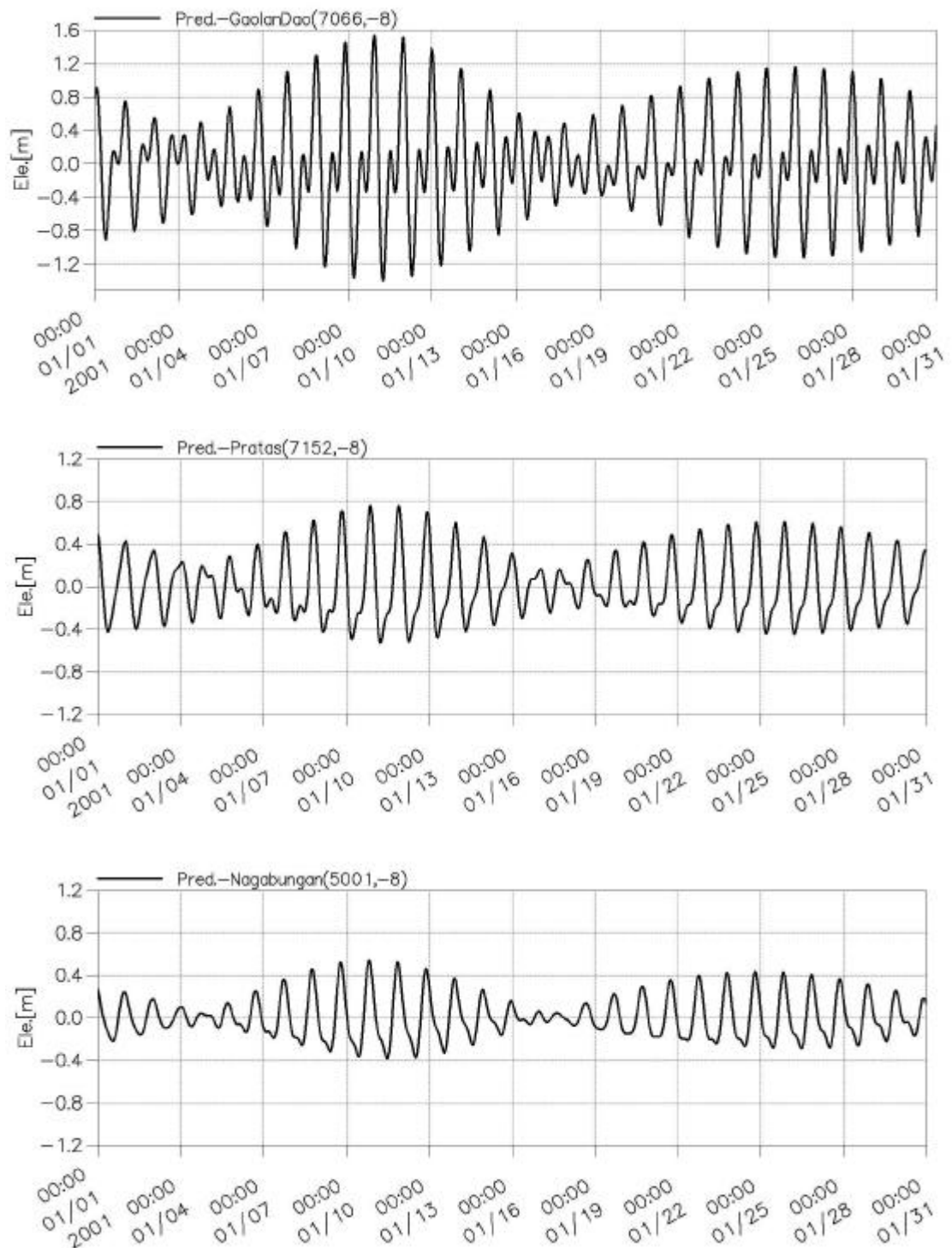


圖 3-7-1 台灣環島大(區域)範圍計算海域南邊界潮位站之  
預報逐時潮位

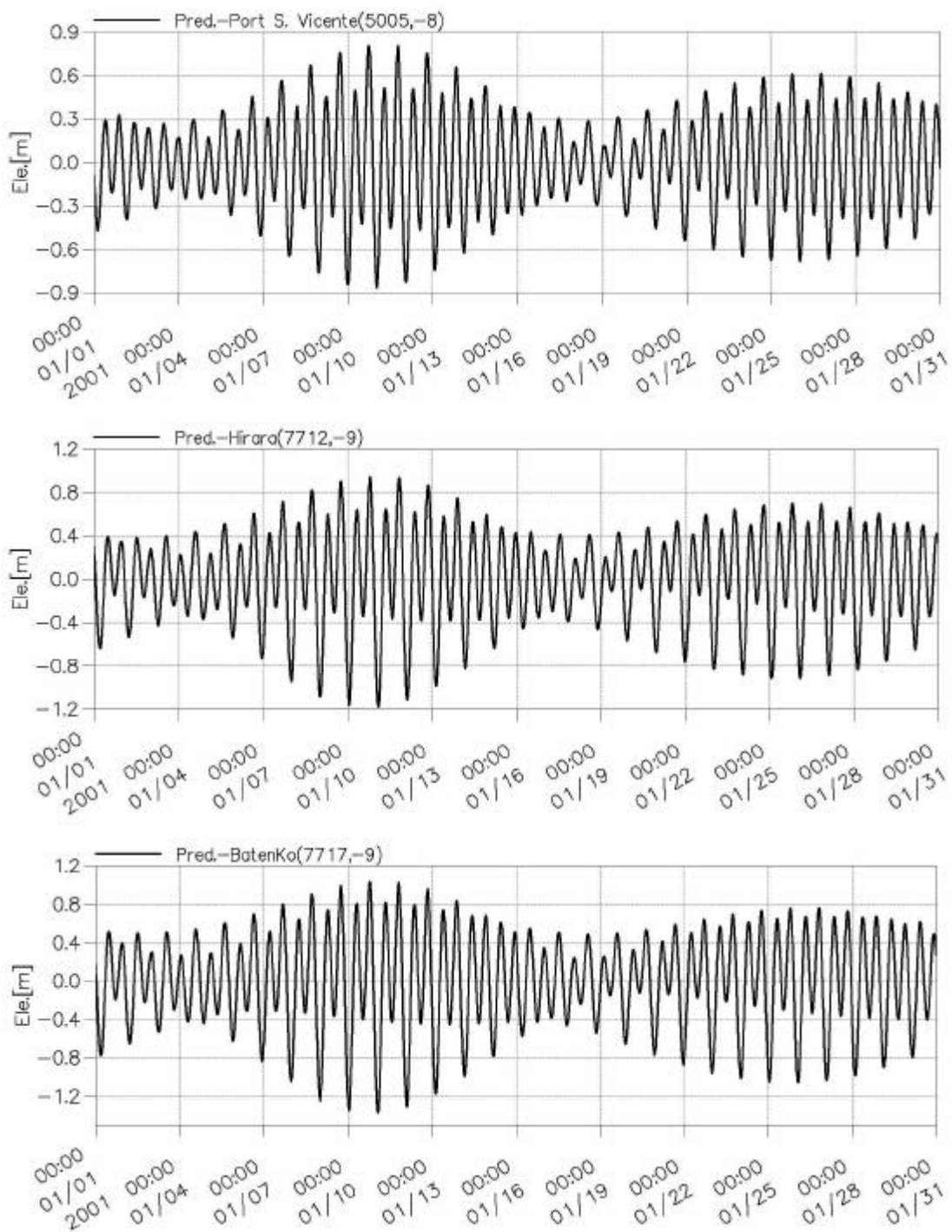


圖 3-7-2 台灣環島大(區域)範圍計算海域東南邊界潮位站之  
預報逐時潮位

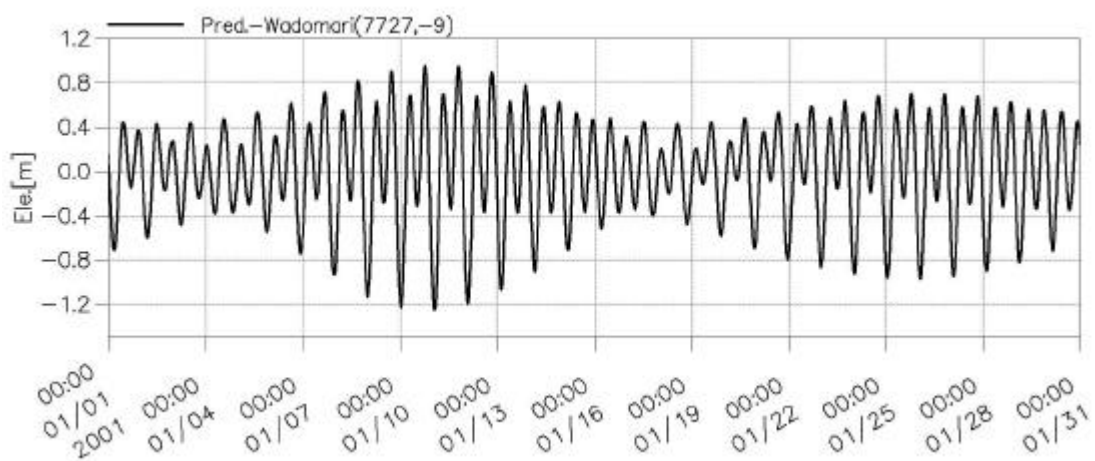
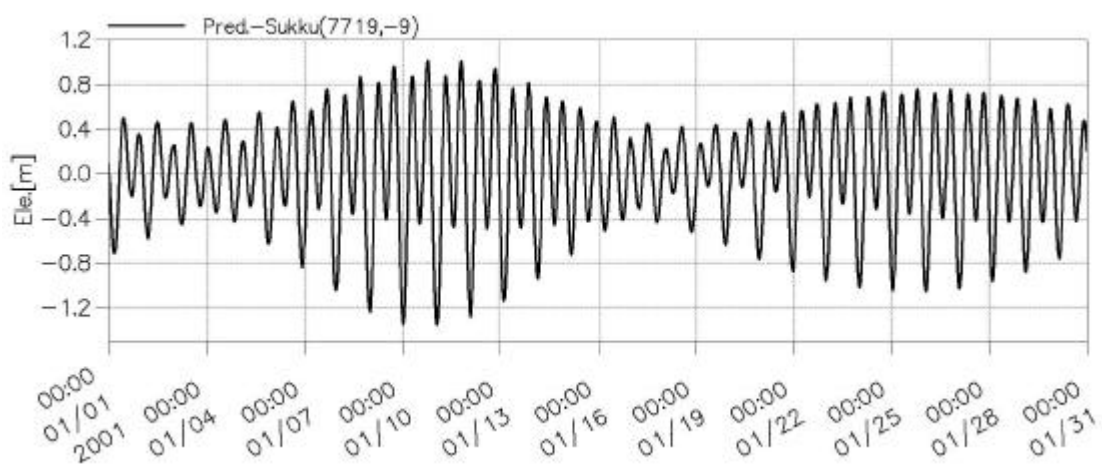


圖 3-7-3 台灣環島大(區域)範圍計算海域東邊界潮位站之  
預報逐時潮位

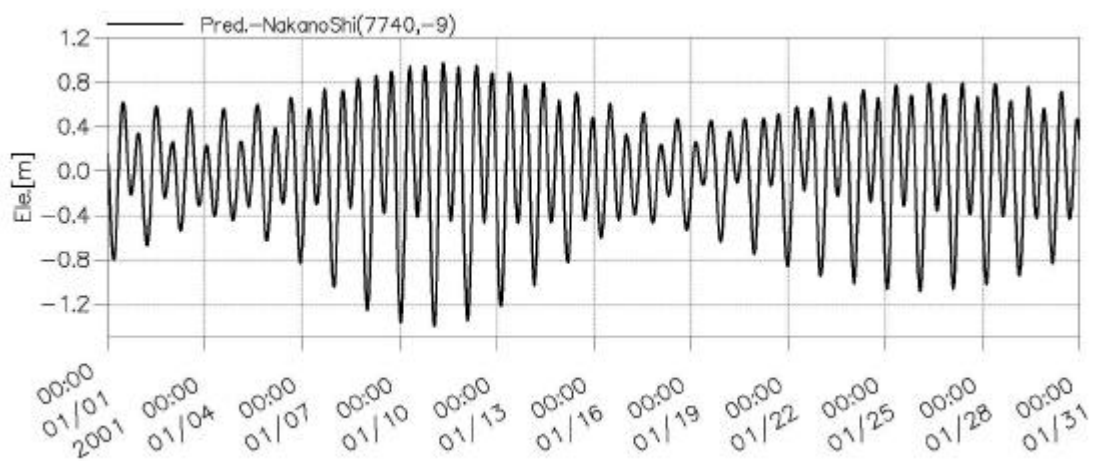
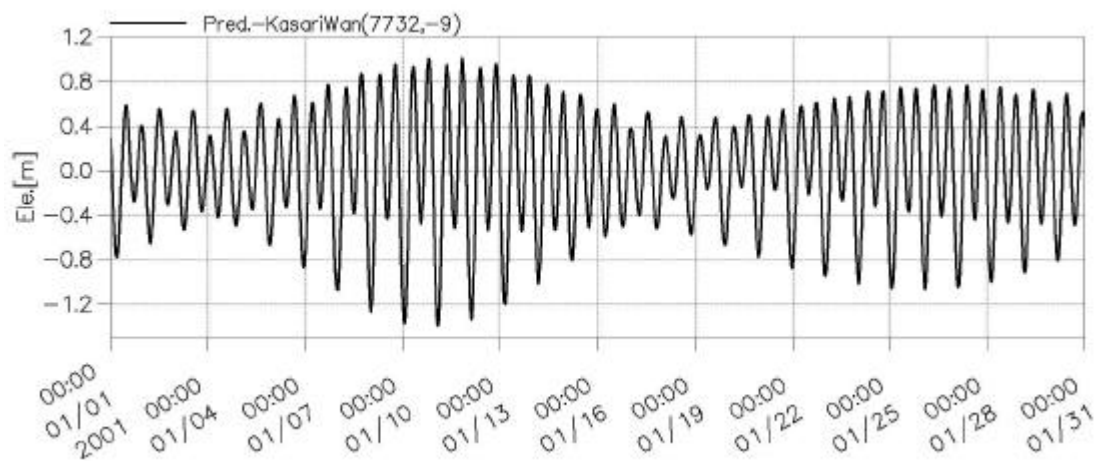


圖 3-7-4 台灣環島大(區域)範圍計算海域東北邊界潮位站之  
預報逐時潮位

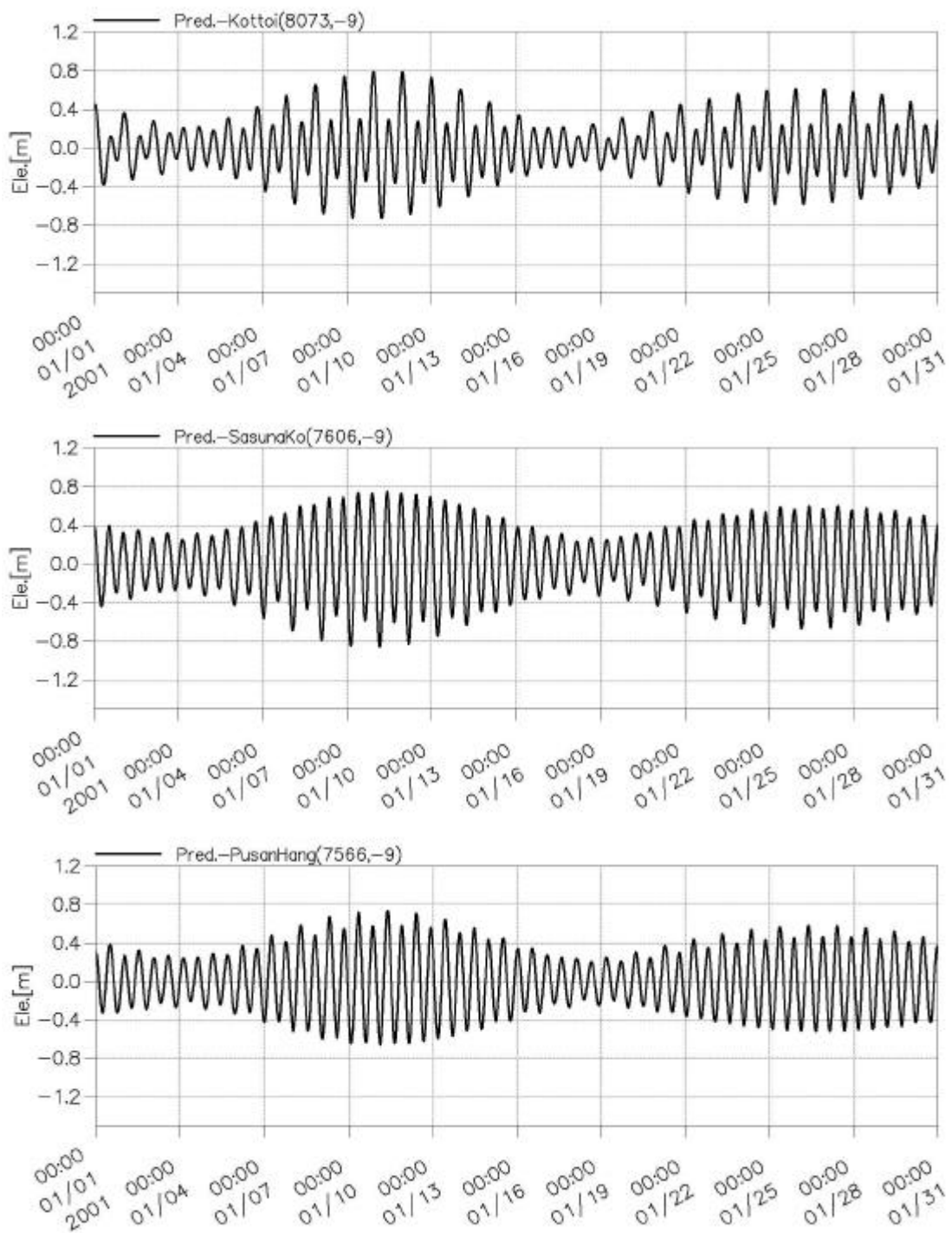


圖 3-7-5 台灣環島大(區域)範圍計算海域北邊界潮位站之  
預報逐時潮位

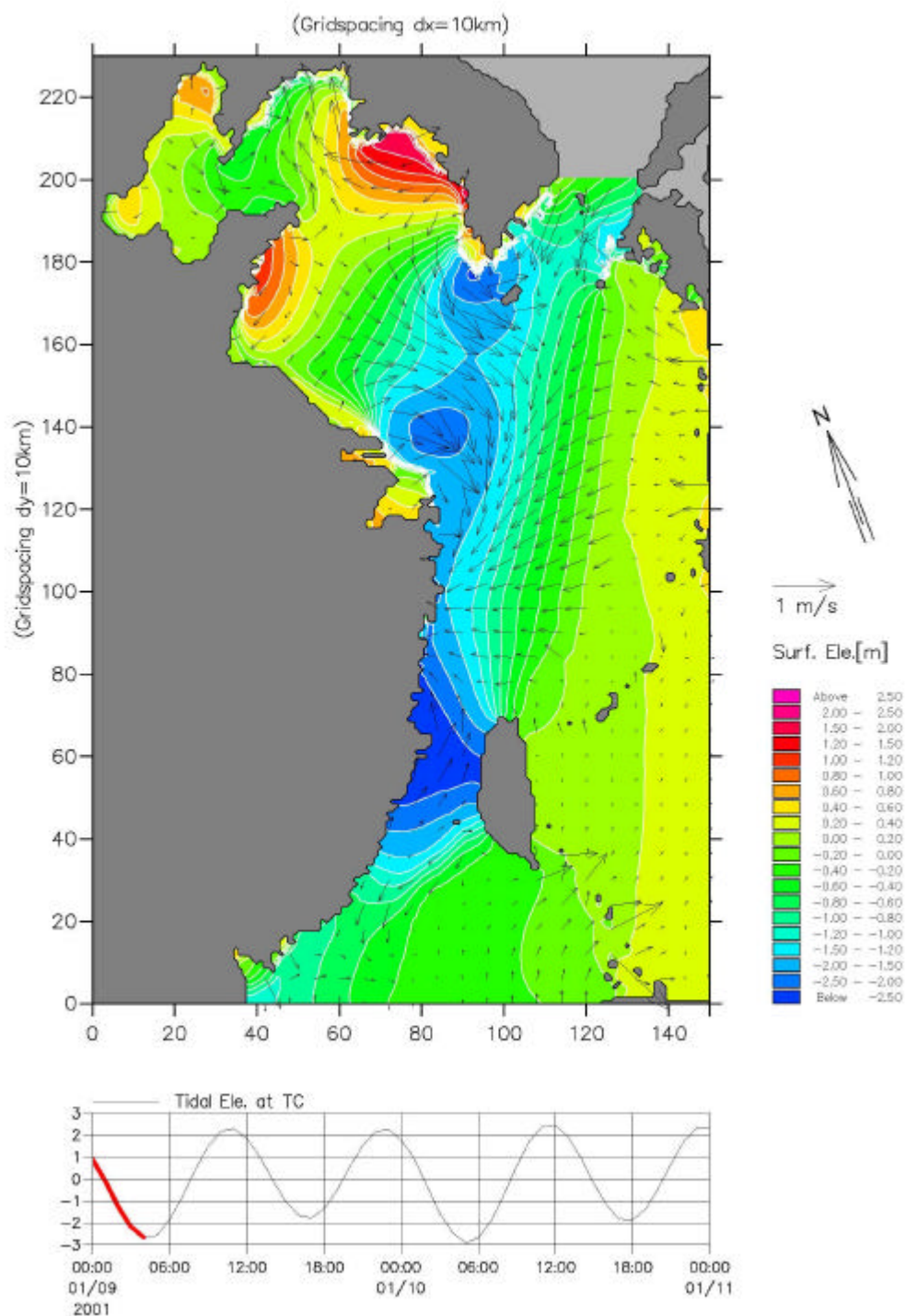


圖 3-8-1 東亞大(區域)範圍計算海域之全平面性等潮位線與潮流分布，參考潮位：台中港，2001/01/09 04:00:00

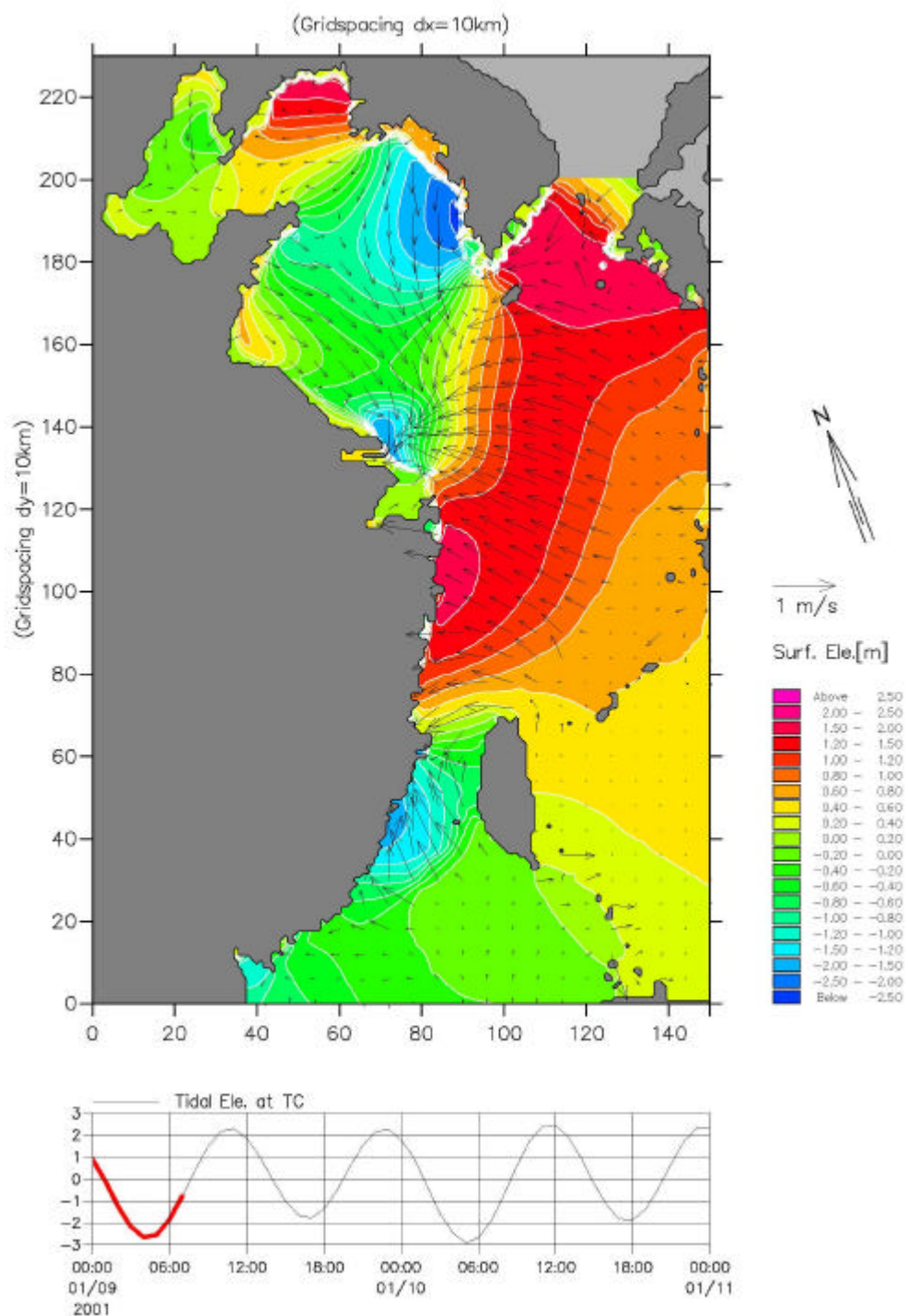


圖 3-8-2 東亞大(區域)範圍計算海域之全平面性等潮位線與潮流分布，參考潮位：台中港，2001/01/09 07:00:00

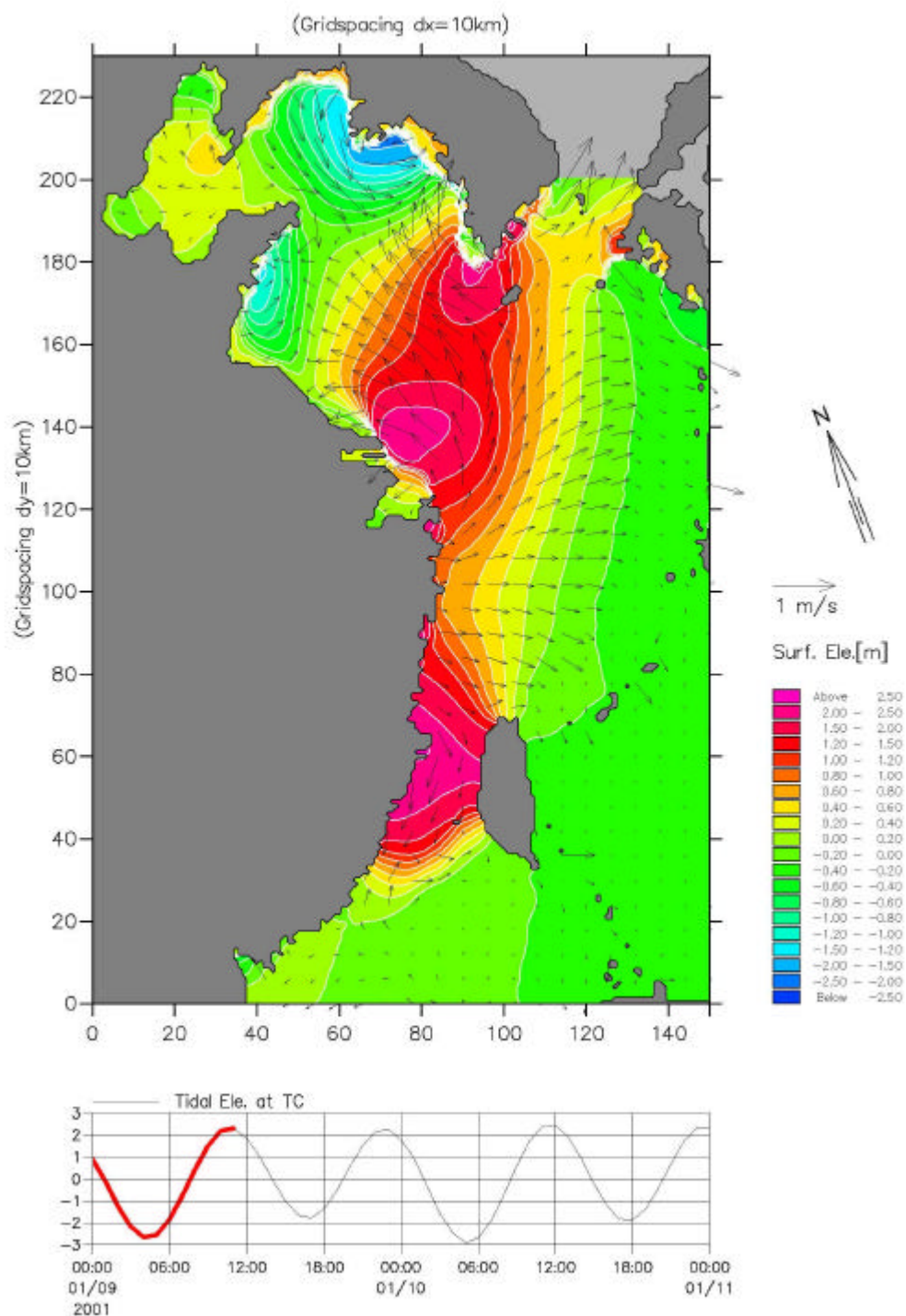


圖 3-8-3 東亞大(區域)範圍計算海域之全平面性等潮位線與潮流分布，參考潮位：台中港，2001/01/09 11:00:00

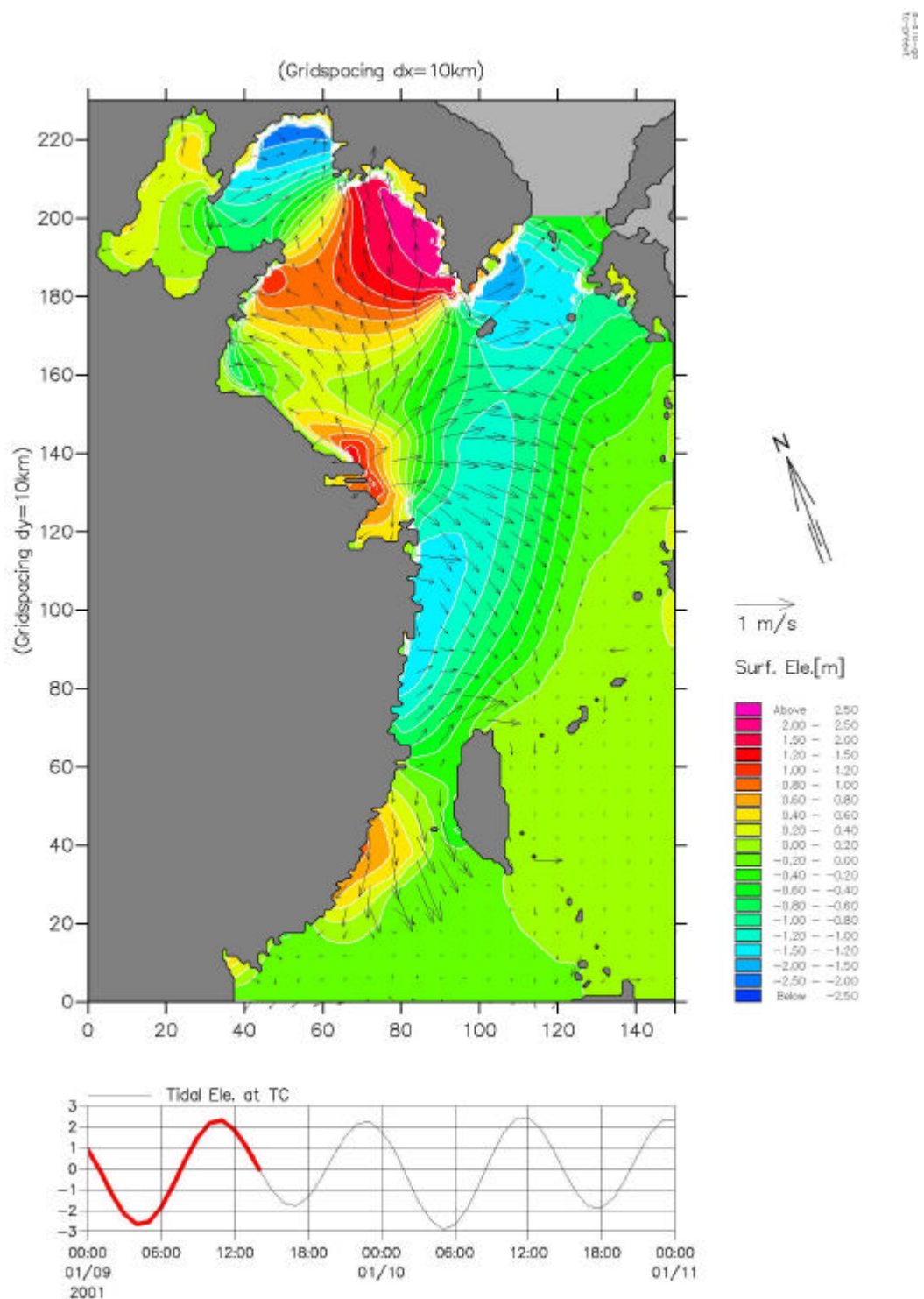


圖 3-8-4 東亞大(區域)範圍計算海域之全平面性等潮位線與潮流分布，參考潮位：台中港，2001/01/09 14:00:00

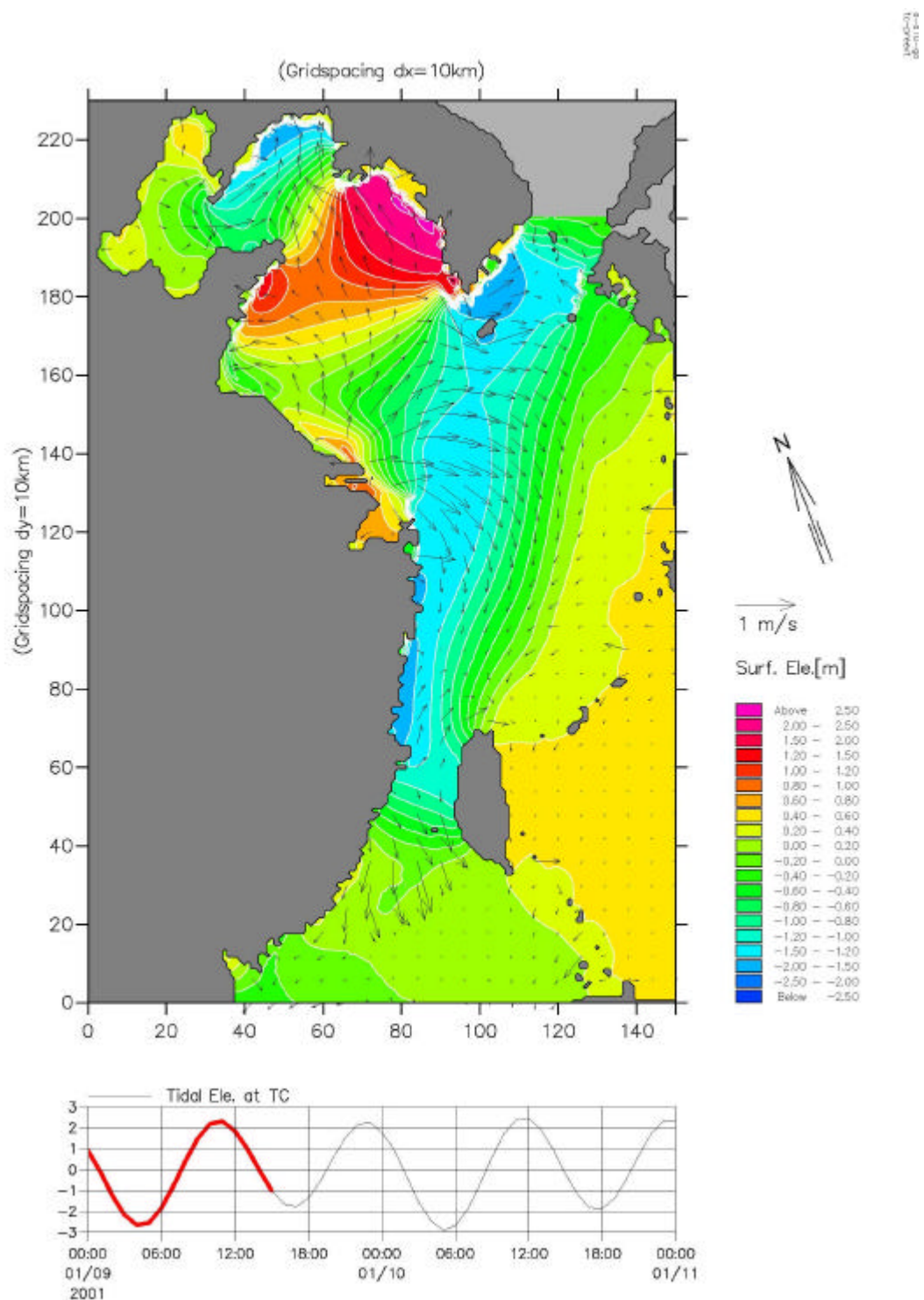


圖 3-8-5 東亞大(區域)範圍計算海域之全平面性等潮位線與潮流分布，參考潮位：台中港，2001/01/09 15:00:00

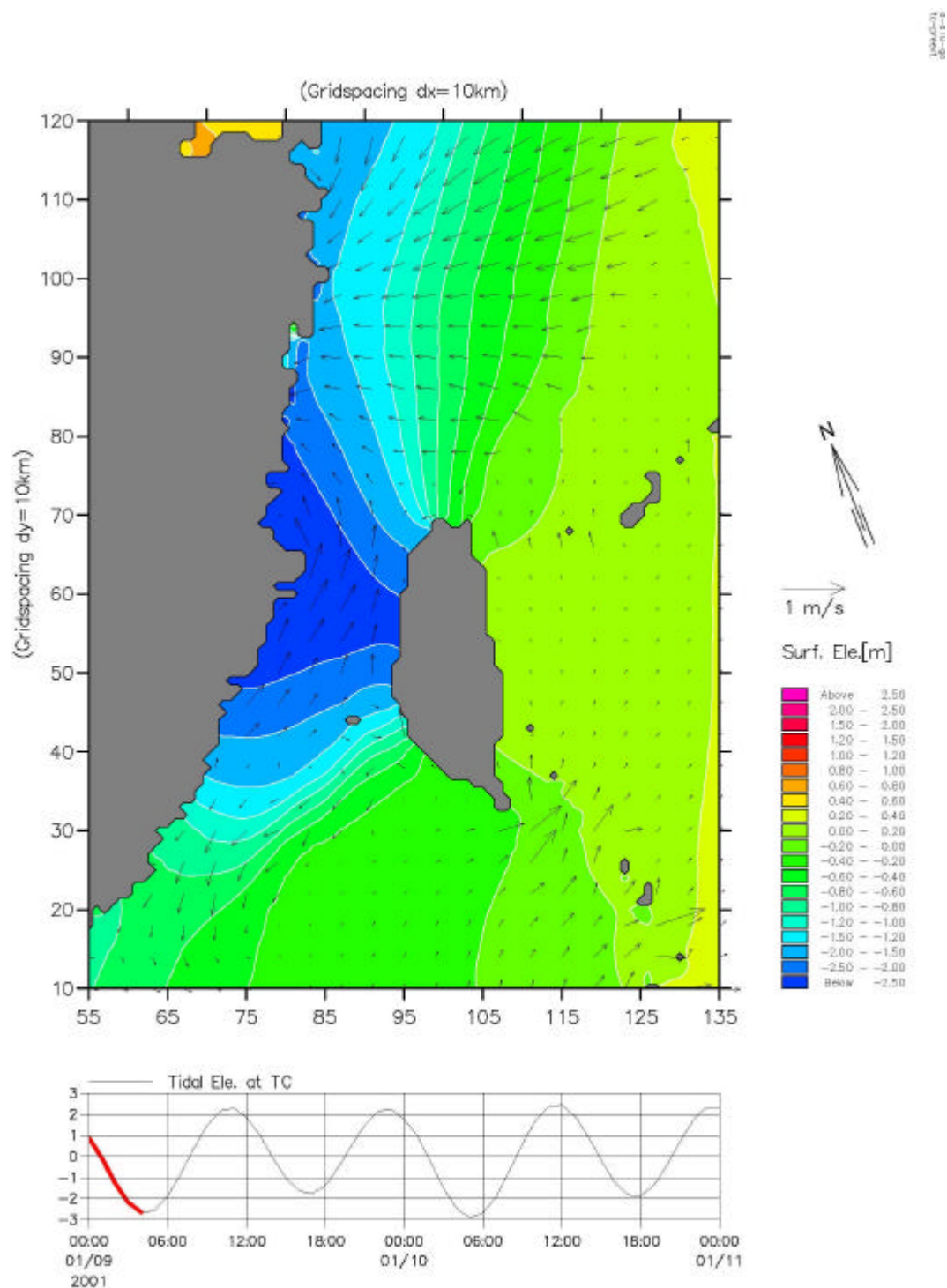


圖 3-9-1 台灣環島大範圍計算海域之全平面性等潮位線與潮流分布，參考潮位：台中港，2001/01/09 04:00:00

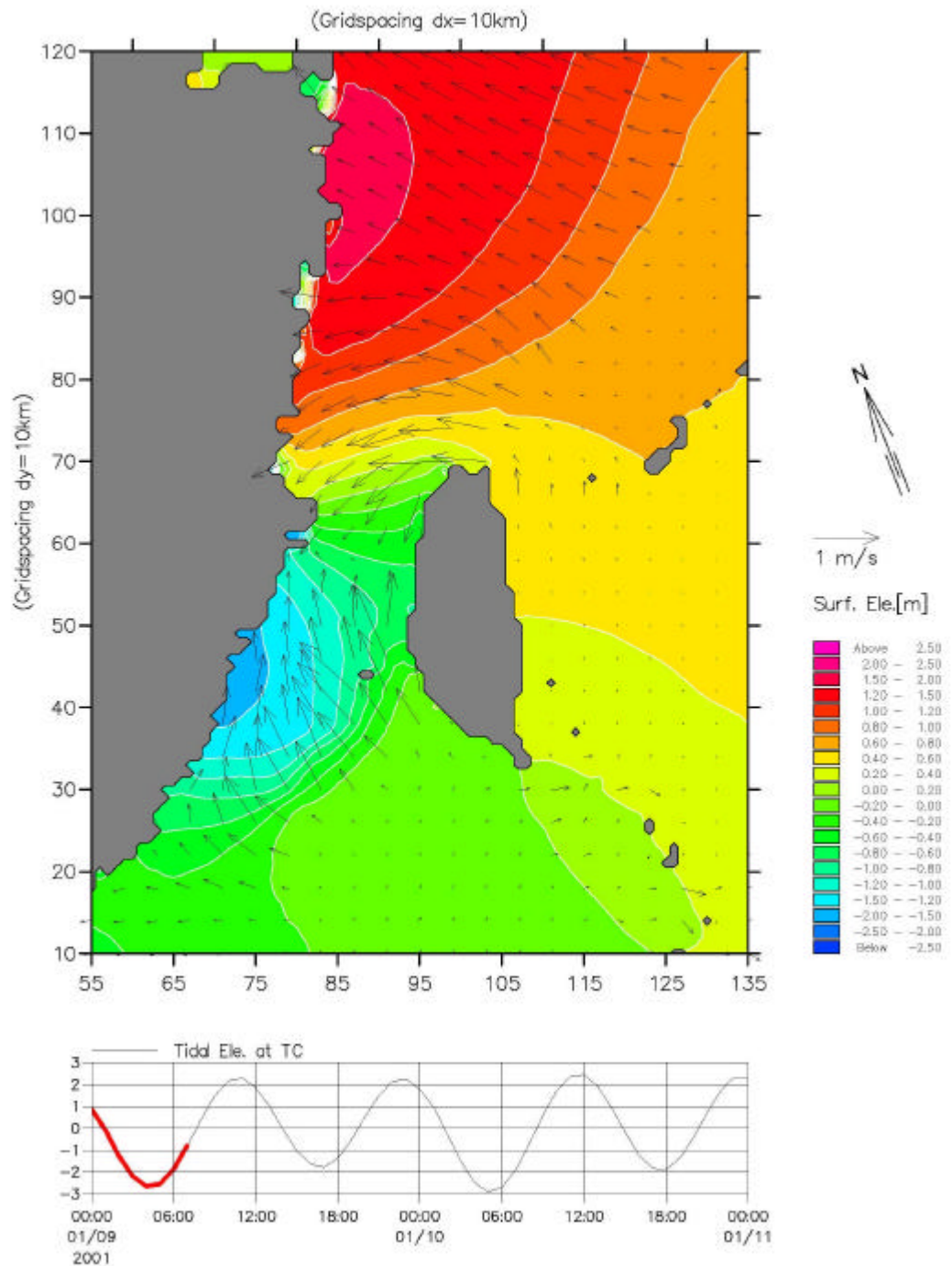


圖 3-9-2 台灣環島大範圍計算海域之全平面性等潮位線與潮流分布，參考潮位：台中港，2001/01/09 07:00:00

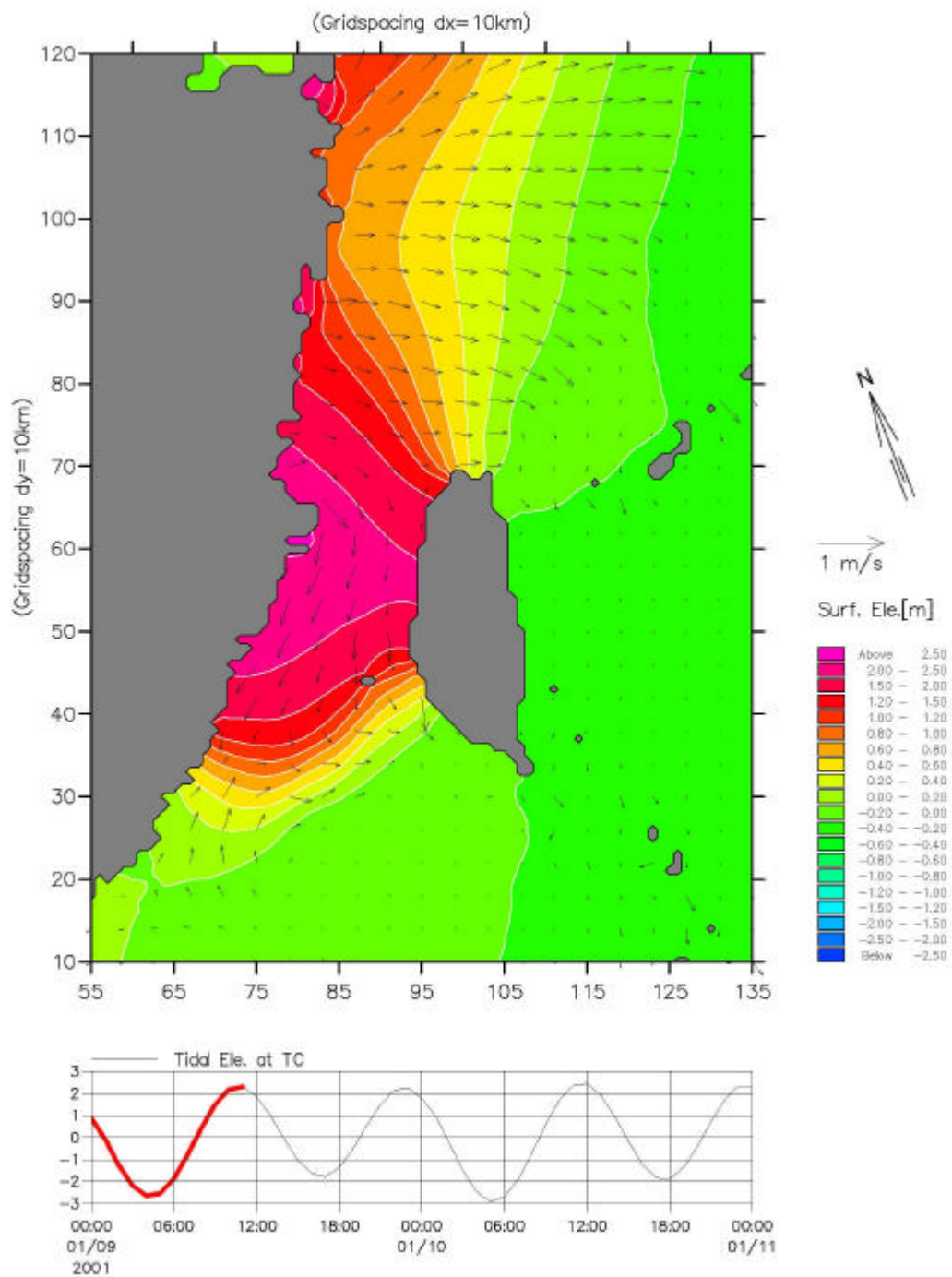


圖 3-9-3 台灣環島大範圍計算海域之全平面性等潮位線與潮流分布，參考潮位：台中港，2001/01/09 11:00:00

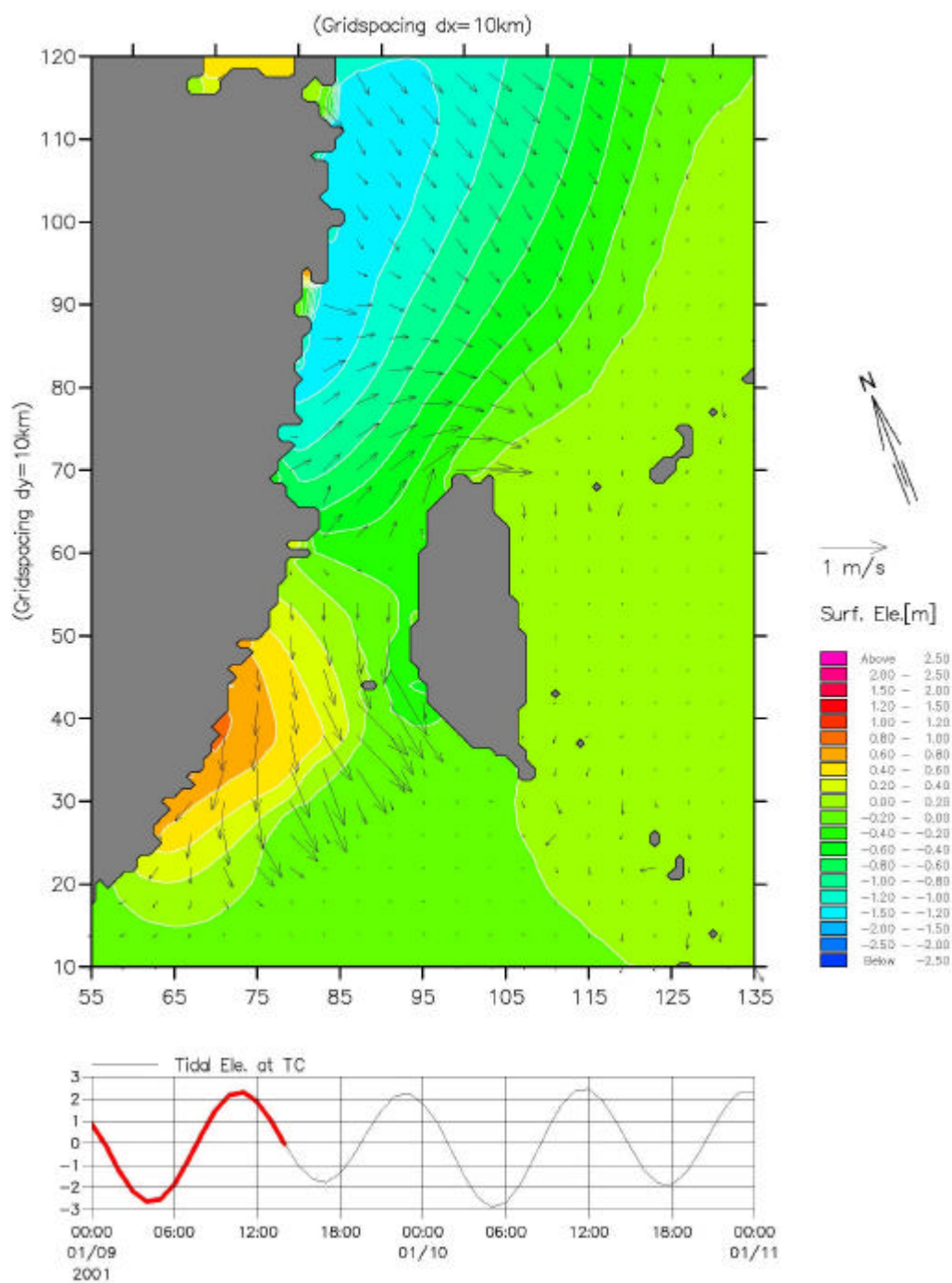


圖 3-9-4 台灣環島大範圍計算海域之全平面性等潮位線與潮流分布，參考潮位：台中港，2001/01/09 14:00:00

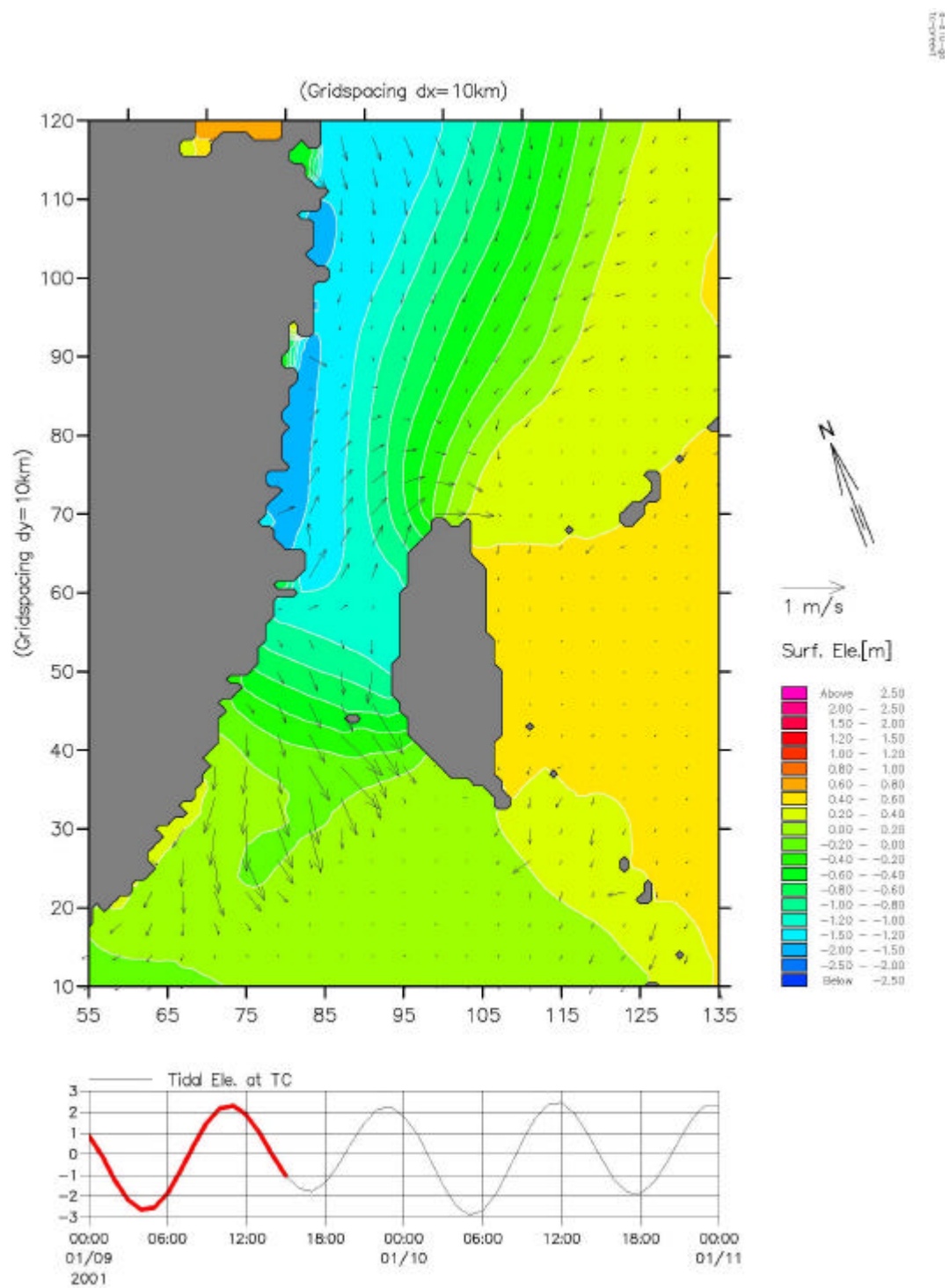


圖 3-9-5 台灣環島大範圍計算海域之全平面性等潮位線與潮流分布，參考潮位：台中港，2001/01/09 15:00:00

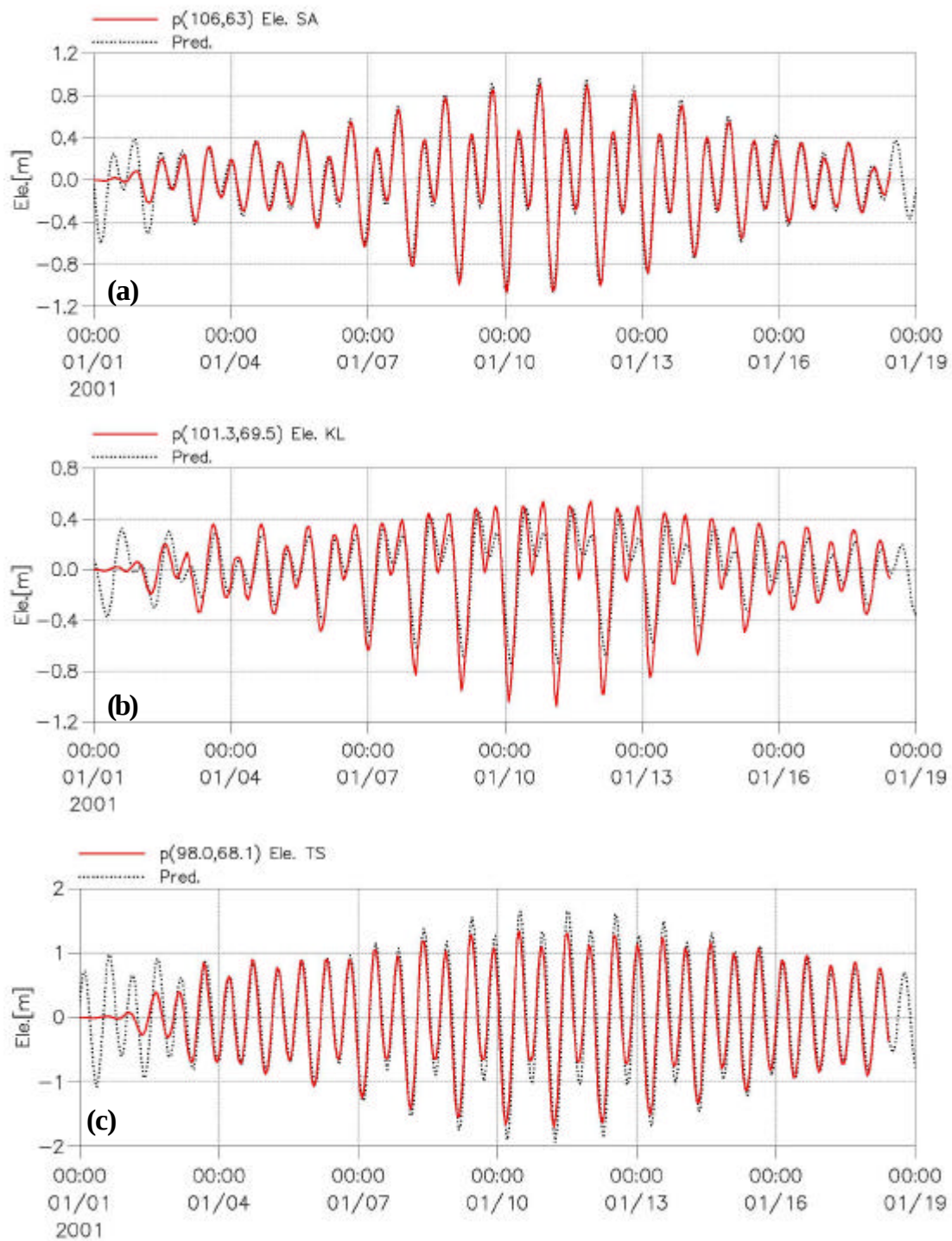


圖 3-10-1 大範圍計算海域台灣環島驗潮站之計算逐時潮位與預報潮位之驗證比較 (a)蘇澳，(b)基隆，(c)淡水

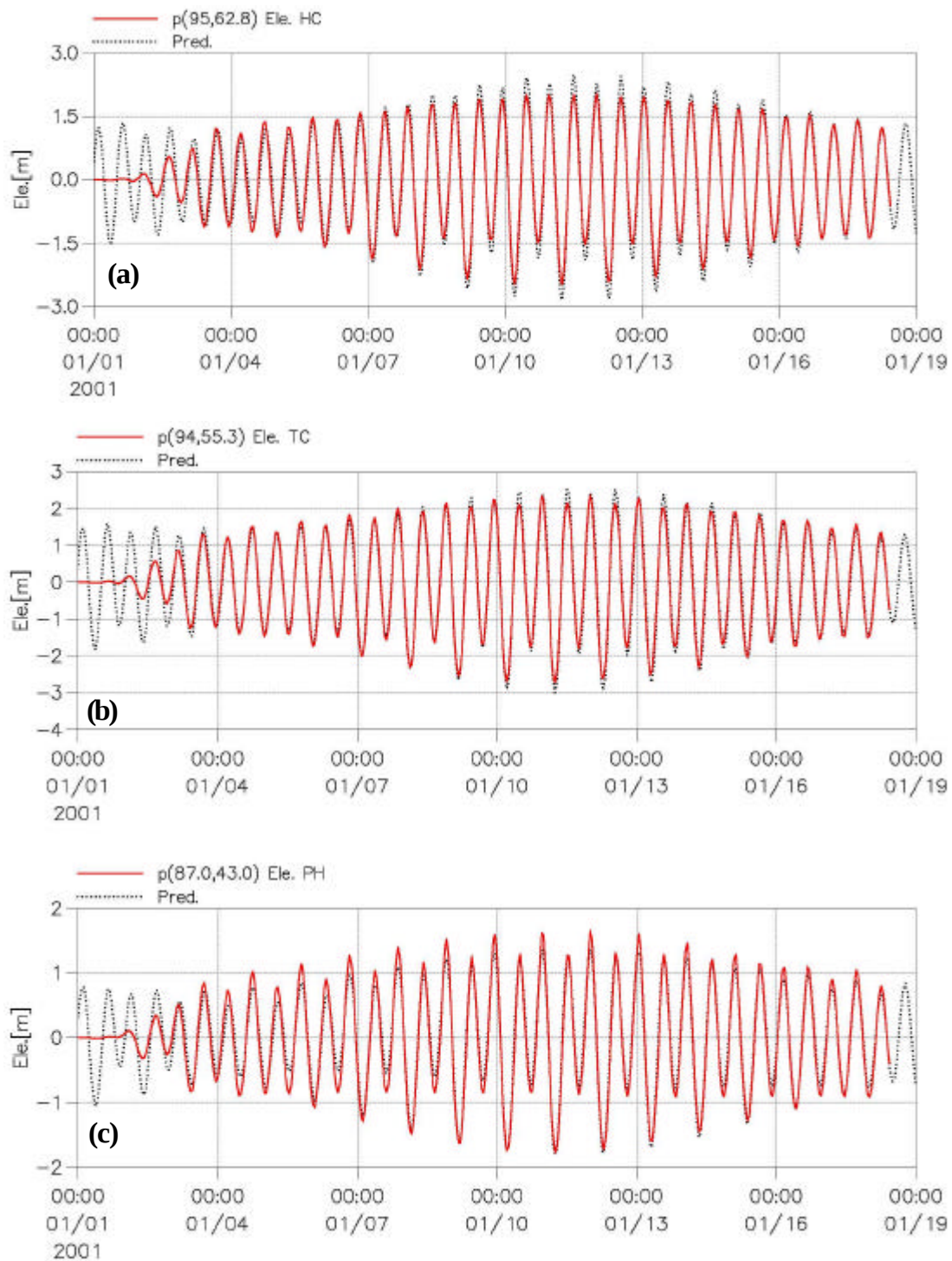


圖 3-10-2 大範圍計算海域台灣環島驗潮站之計算逐時潮位與預報潮位之驗證比較 (a)新竹，(b)台中，(c)澎湖

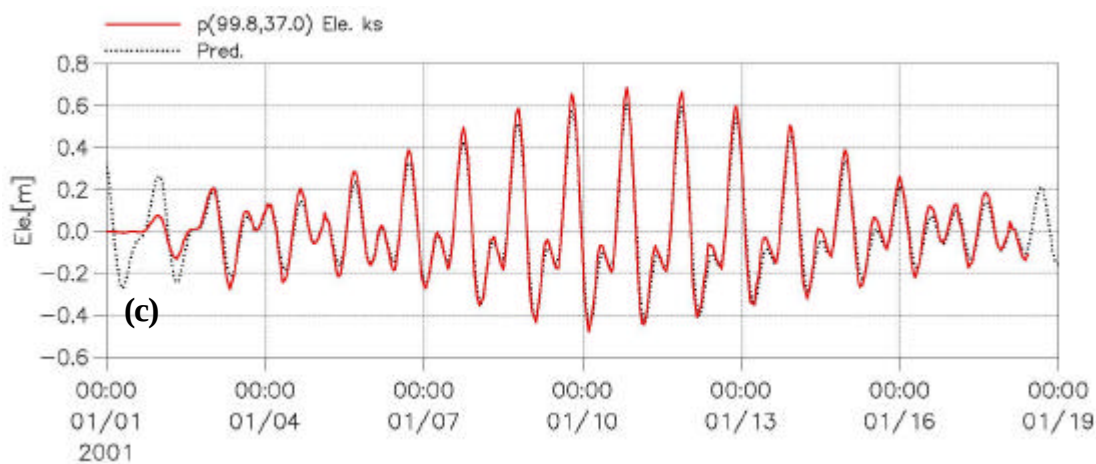
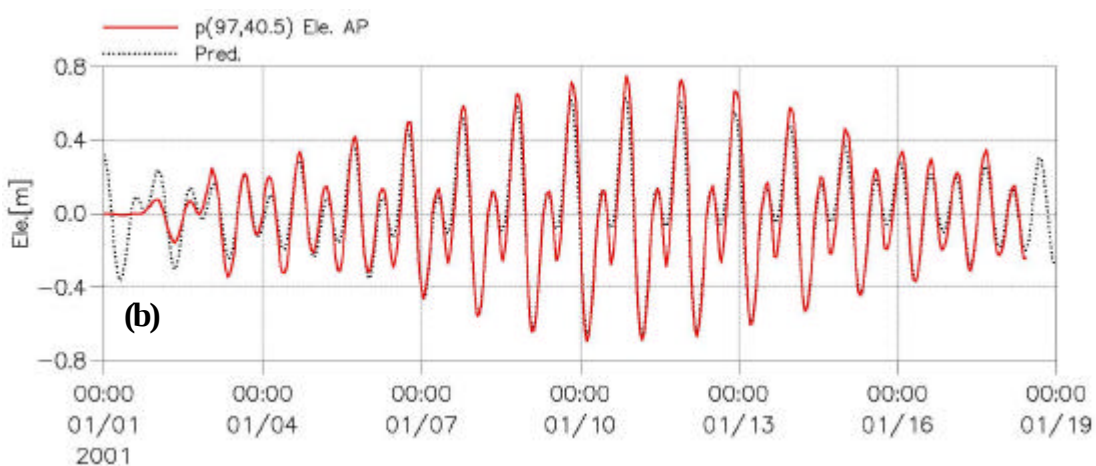
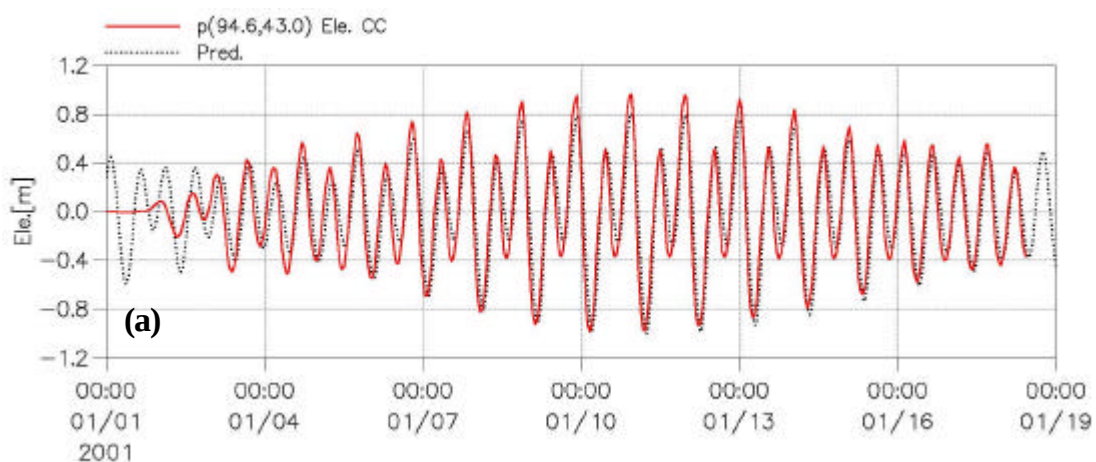


圖 3-10-3 大範圍計算海域台灣環島驗潮站之計算逐時潮位與預報潮位之驗證比較 (a)將軍，(b)安平，(c)高雄

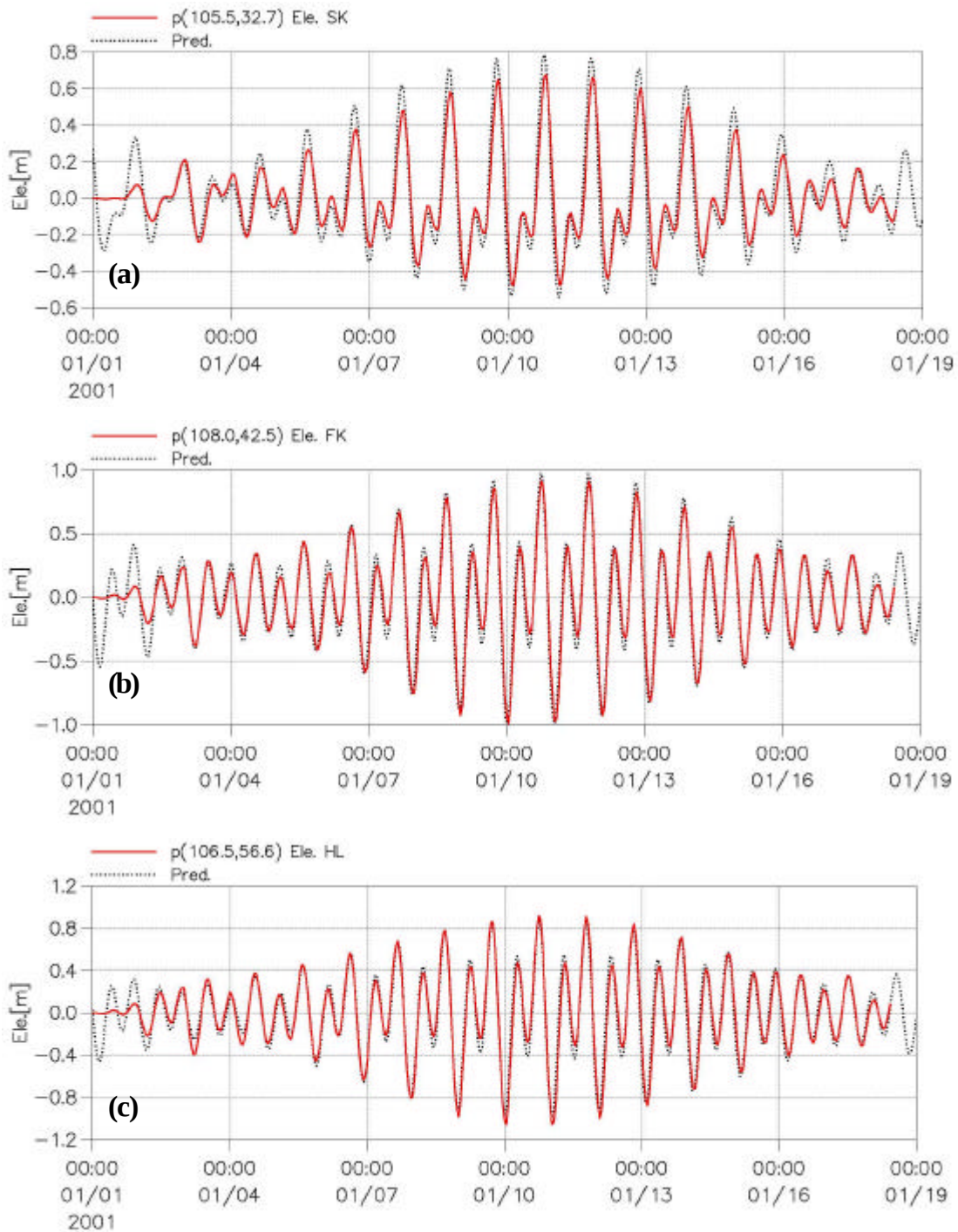


圖 3-10-4 大範圍計算海域台灣環島驗潮站之計算逐時潮位與預報潮位之驗證比較 (a)蜆廣嘴，(b)富岡，(c)花蓮

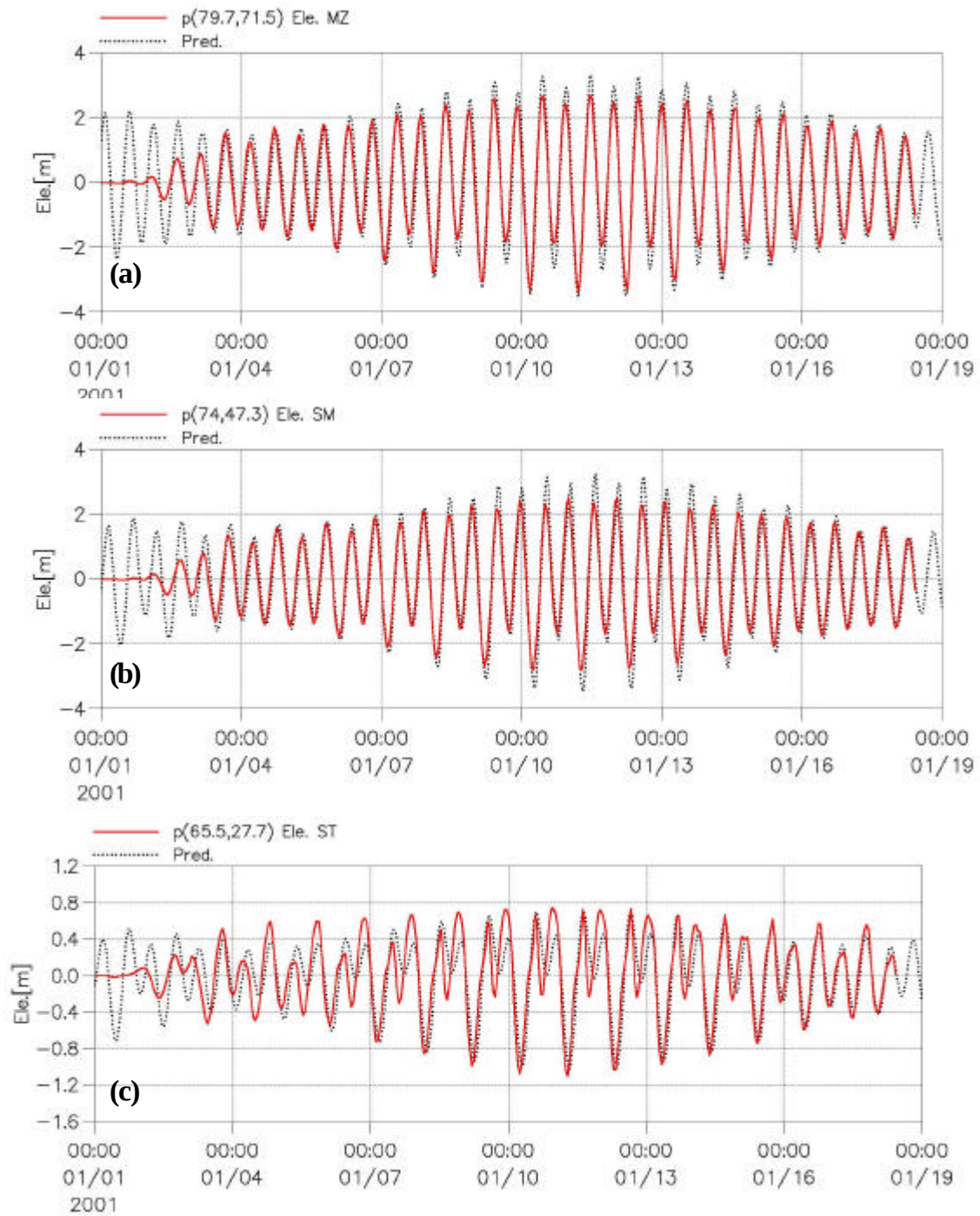


圖 3-10-5 大範圍計算海域中國大陸沿岸驗潮站之計算逐時潮位與預報潮位之驗證比較 (a)馬祖，(b)廈門，(c)汕頭

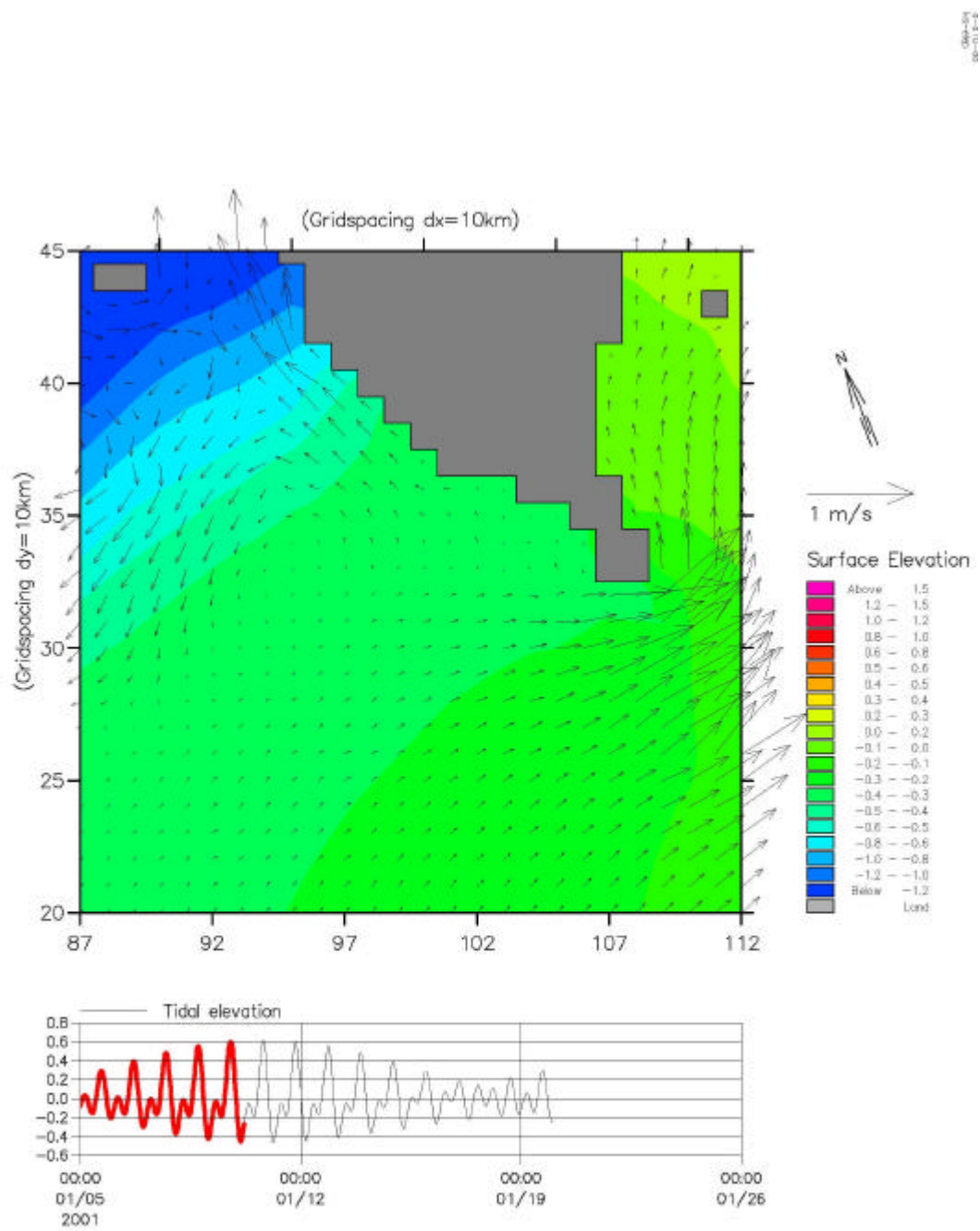


圖 3-11-1 台灣西南部大範圍計算海域之全平面性潮位與潮流分布，參考潮位：高雄港，2001/01/10 05:00:00

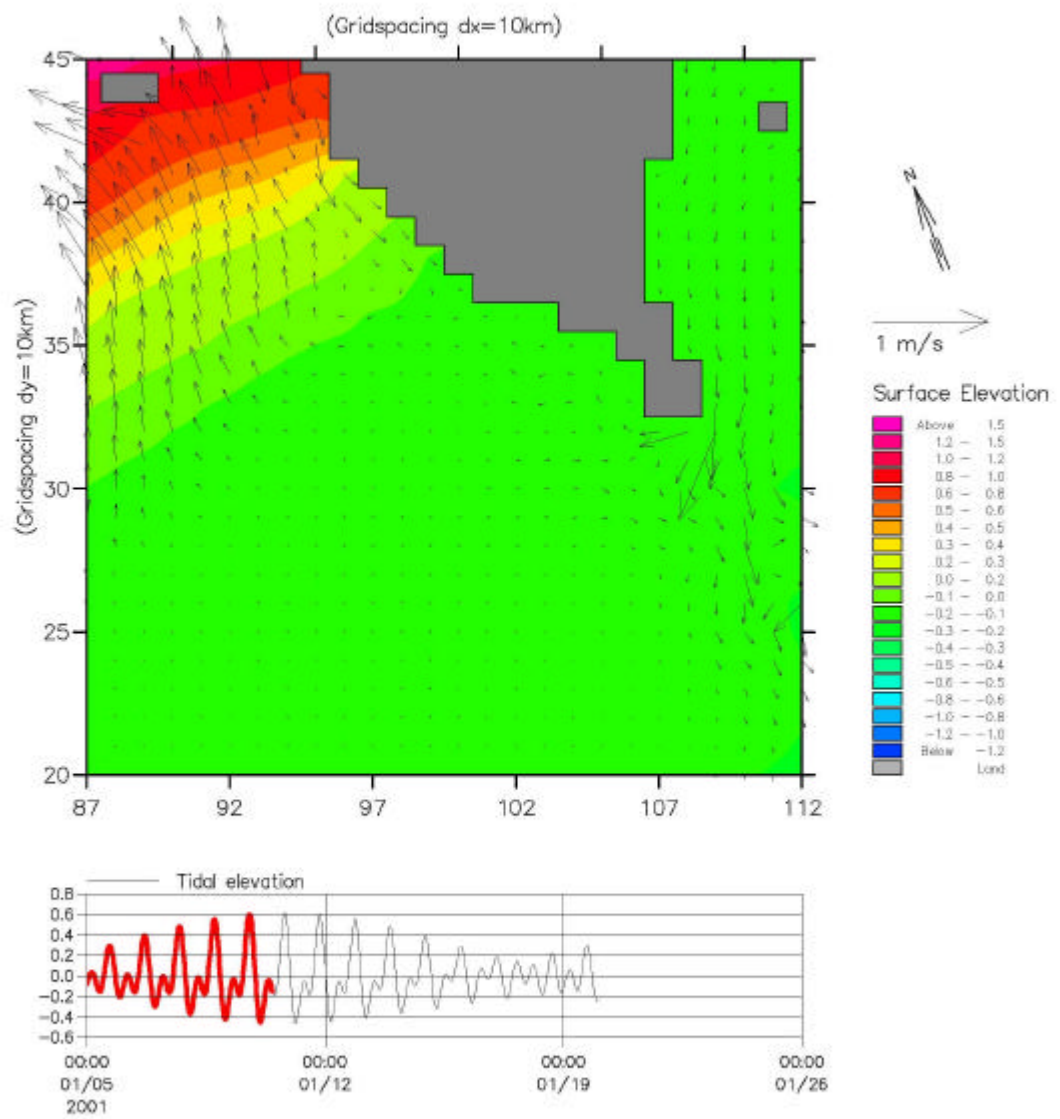


圖 3-11-2 台灣西南部大範圍計算海域之全平面性潮位與潮流分布，參考潮位：高雄港，2001/01/10 11:00:00

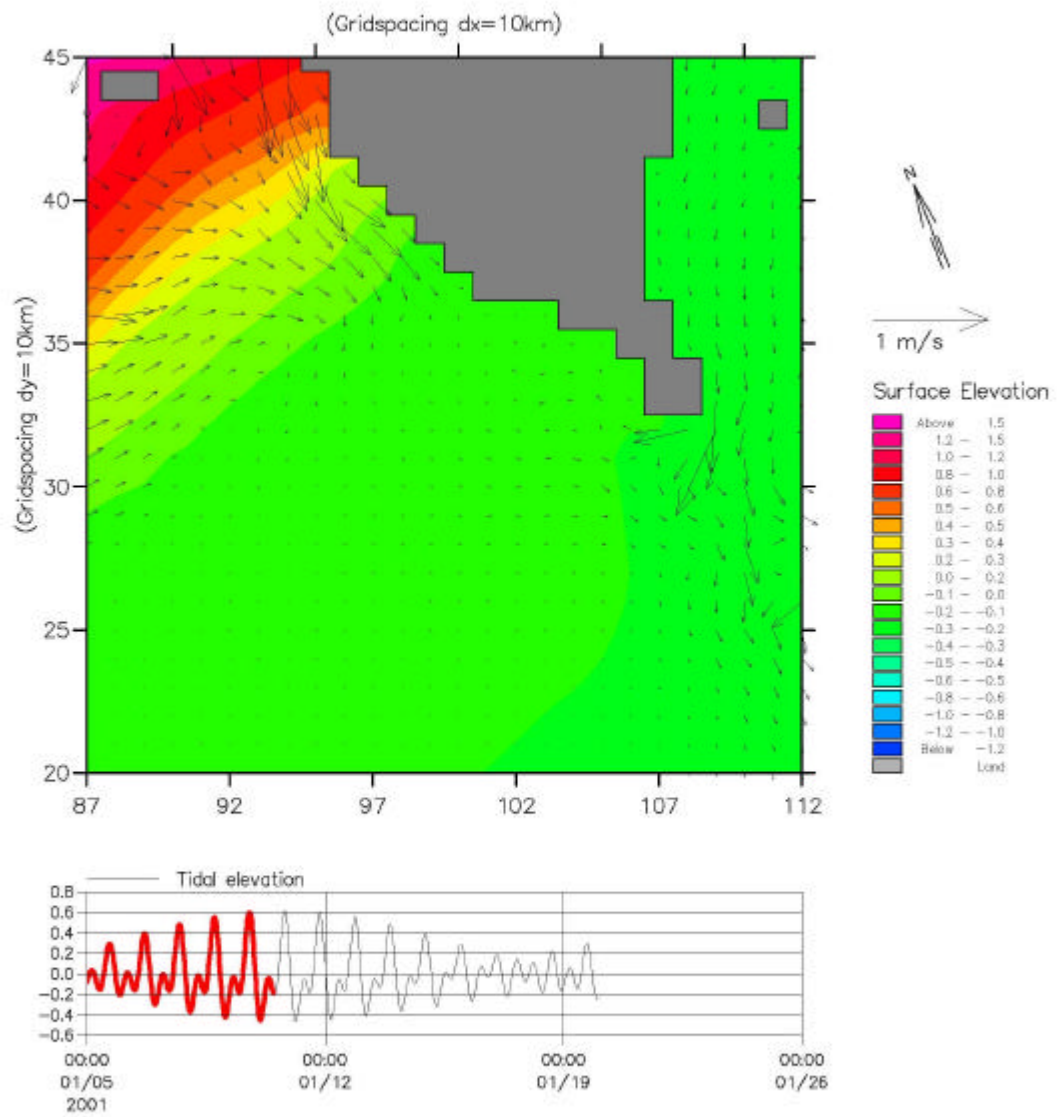


圖 3-11-3 台灣西南部大範圍計算海域之全平面性潮位與潮流分布，參考潮位：高雄港，2001/01/10 12:00:00

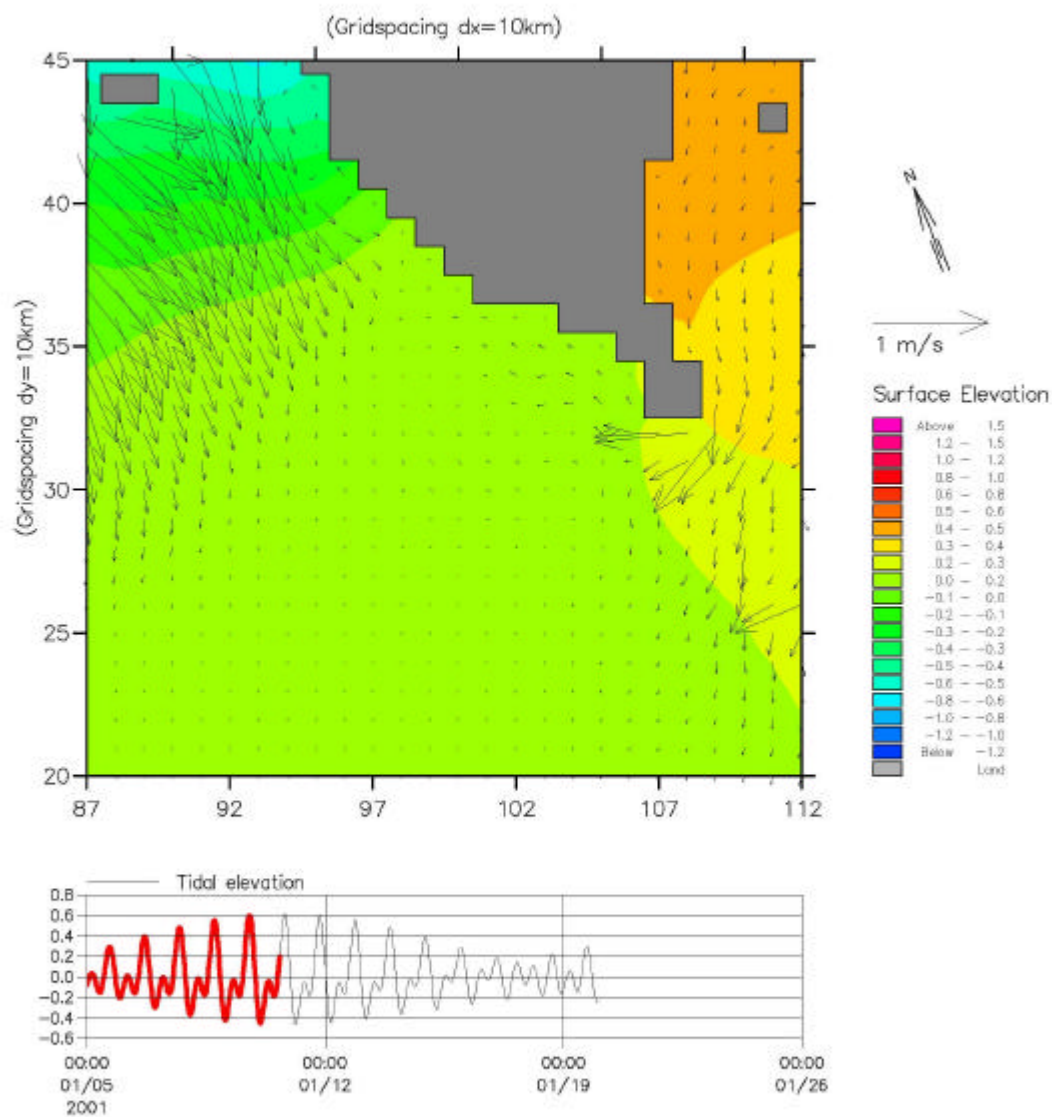


圖 3-11-4 台灣西南部大範圍計算海域之全平面性潮位與潮流分布，參考潮位：高雄港，2001/01/10 16:00:00

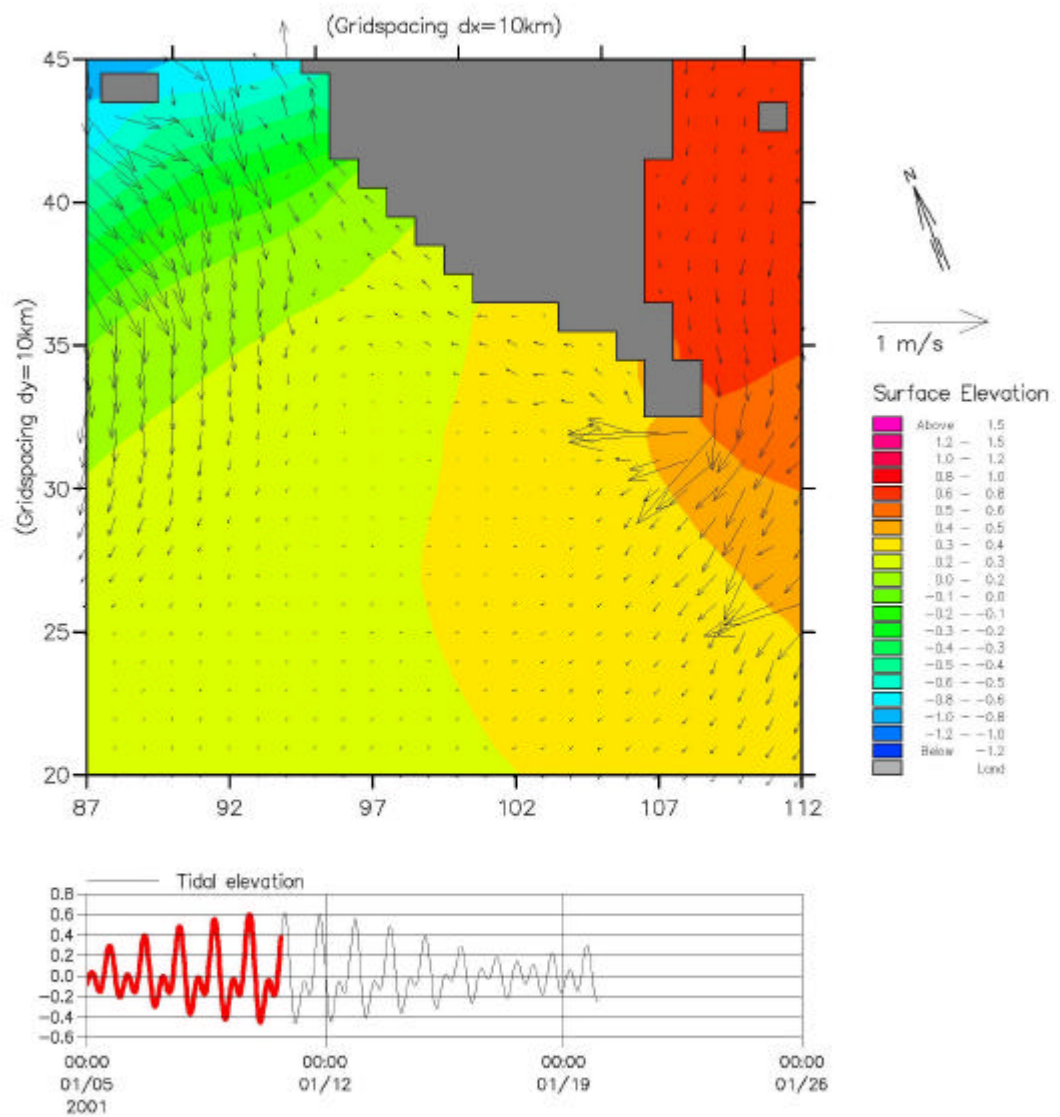


圖 3-11-5 台灣西南部大範圍計算海域之全平面性潮位與潮流分布，參考潮位：高雄港，2001/01/10 17:00:00

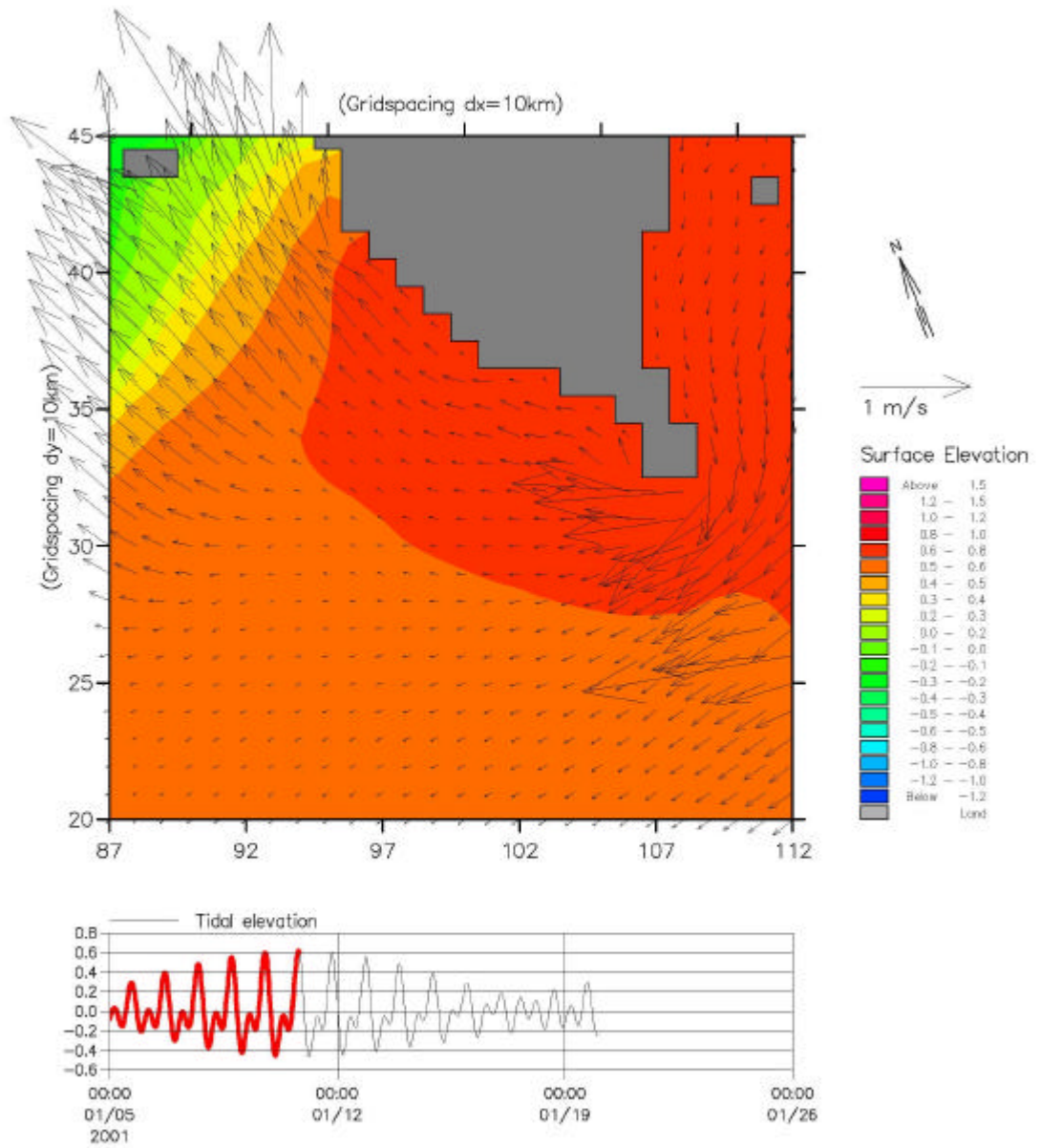


圖 3-11-6 台灣西南部大範圍計算海域之全平面性潮位與  
潮流分布，參考潮位：高雄港，2001/01/10 20:00:00

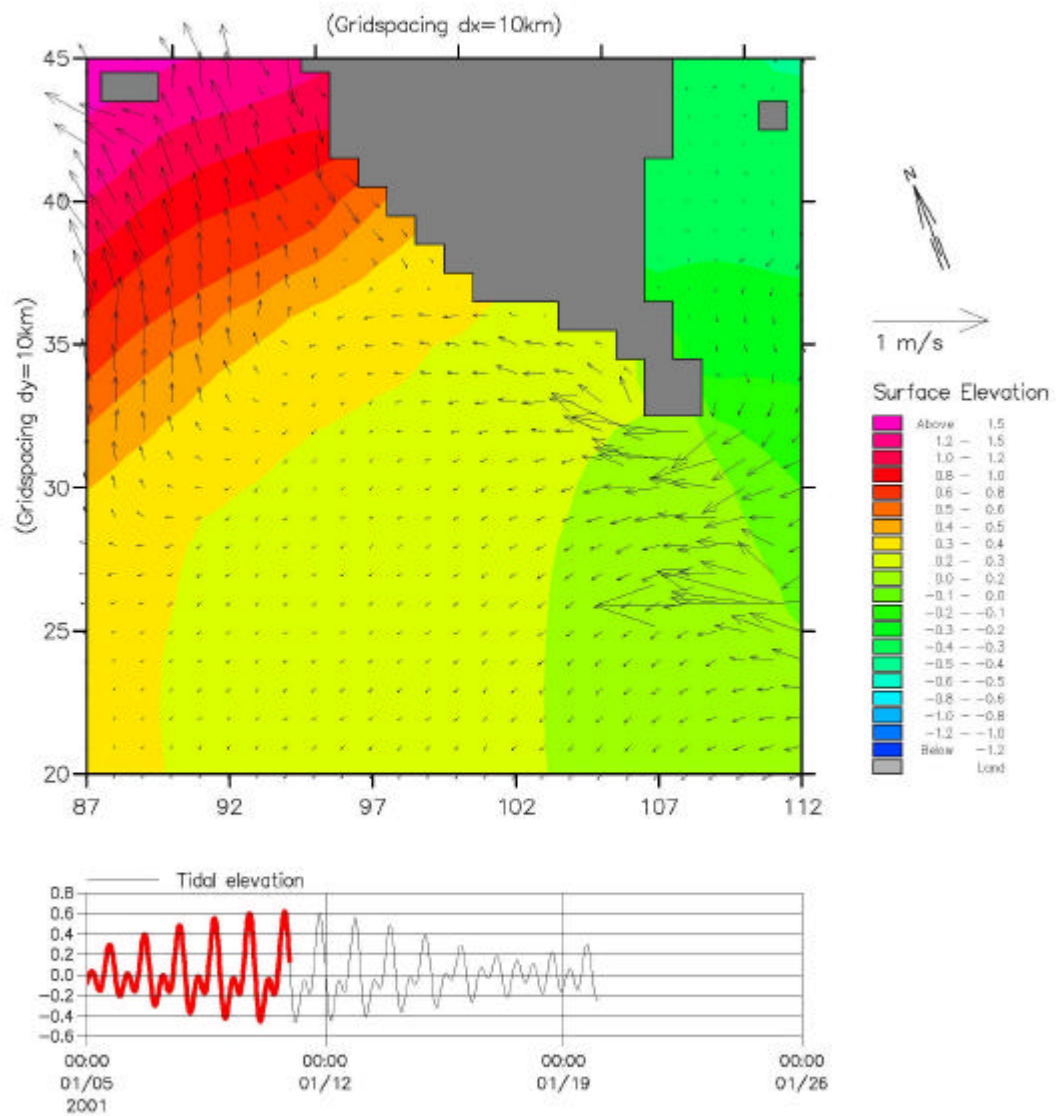


圖 3-11-7 台灣西南部大範圍計算海域之全平面性潮位與潮流分布，參考潮位：高雄港，2001/01/10 23:00:00

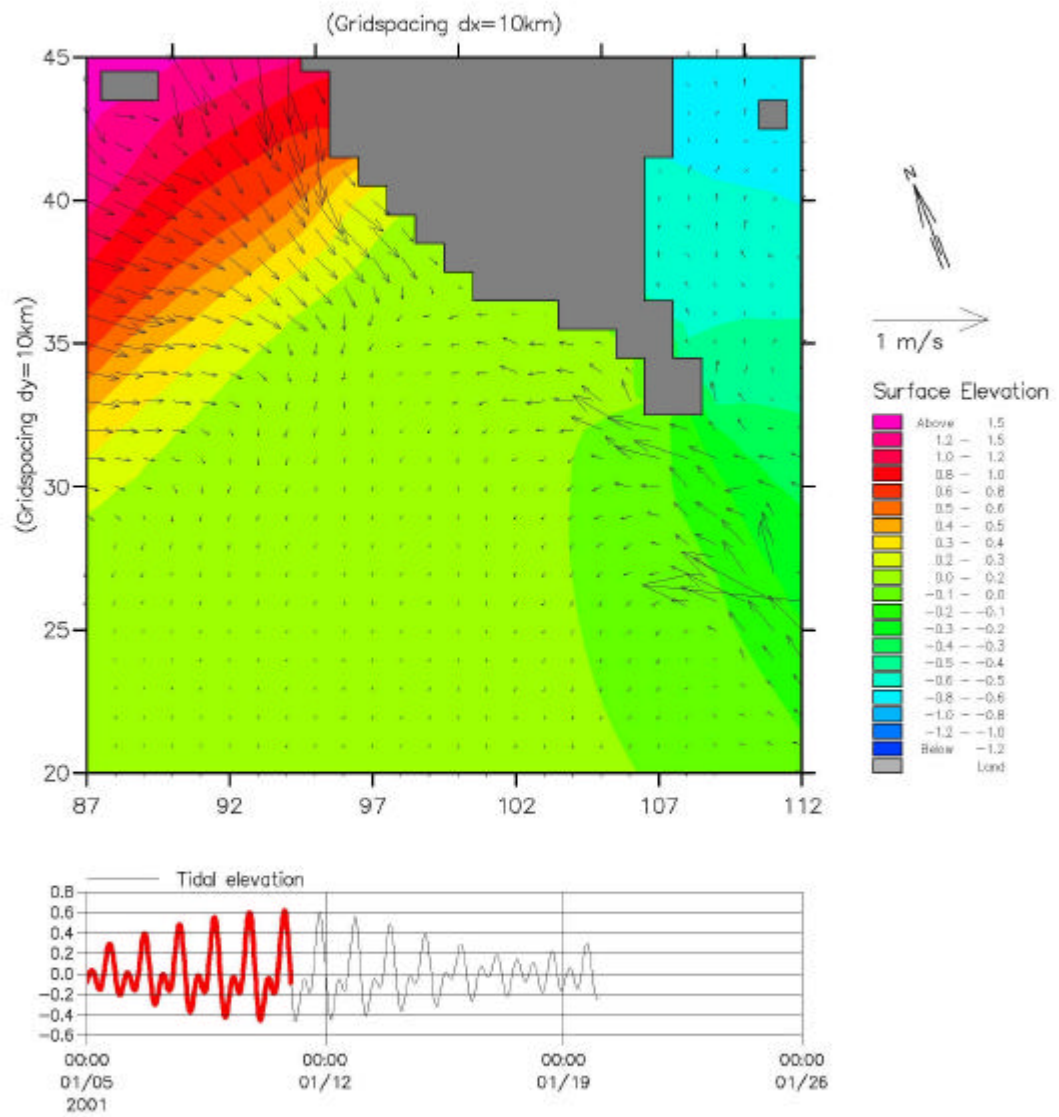


圖 3-11-8 台灣西南部大範圍計算海域之全平面性潮位與潮流分布，參考潮位：高雄港，2001/01/11 00:00:00

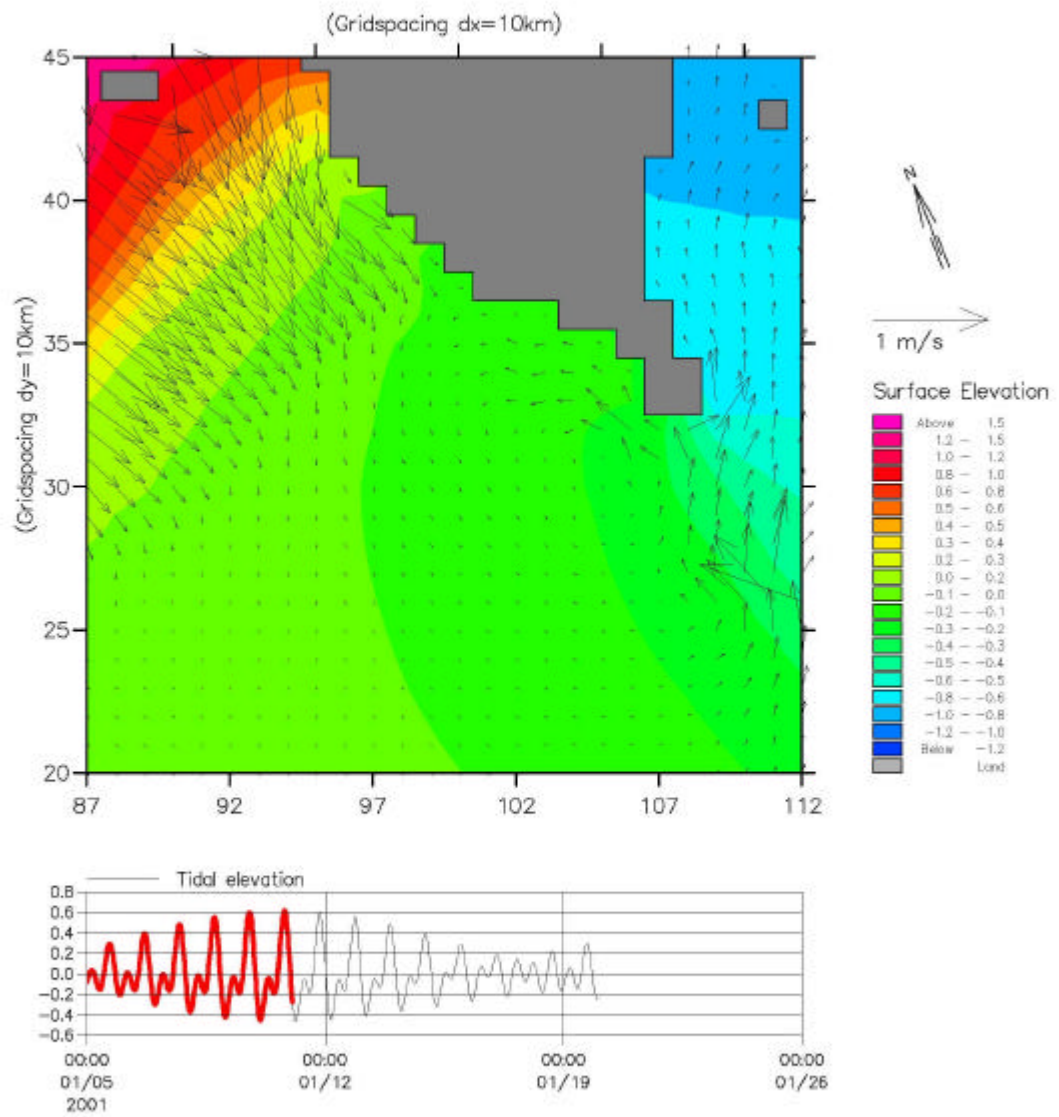


圖 3-11-9 台灣西南部大範圍計算海域之全平面性潮位與潮流分布，參考潮位：高雄港，2001/01/11 01:00:00

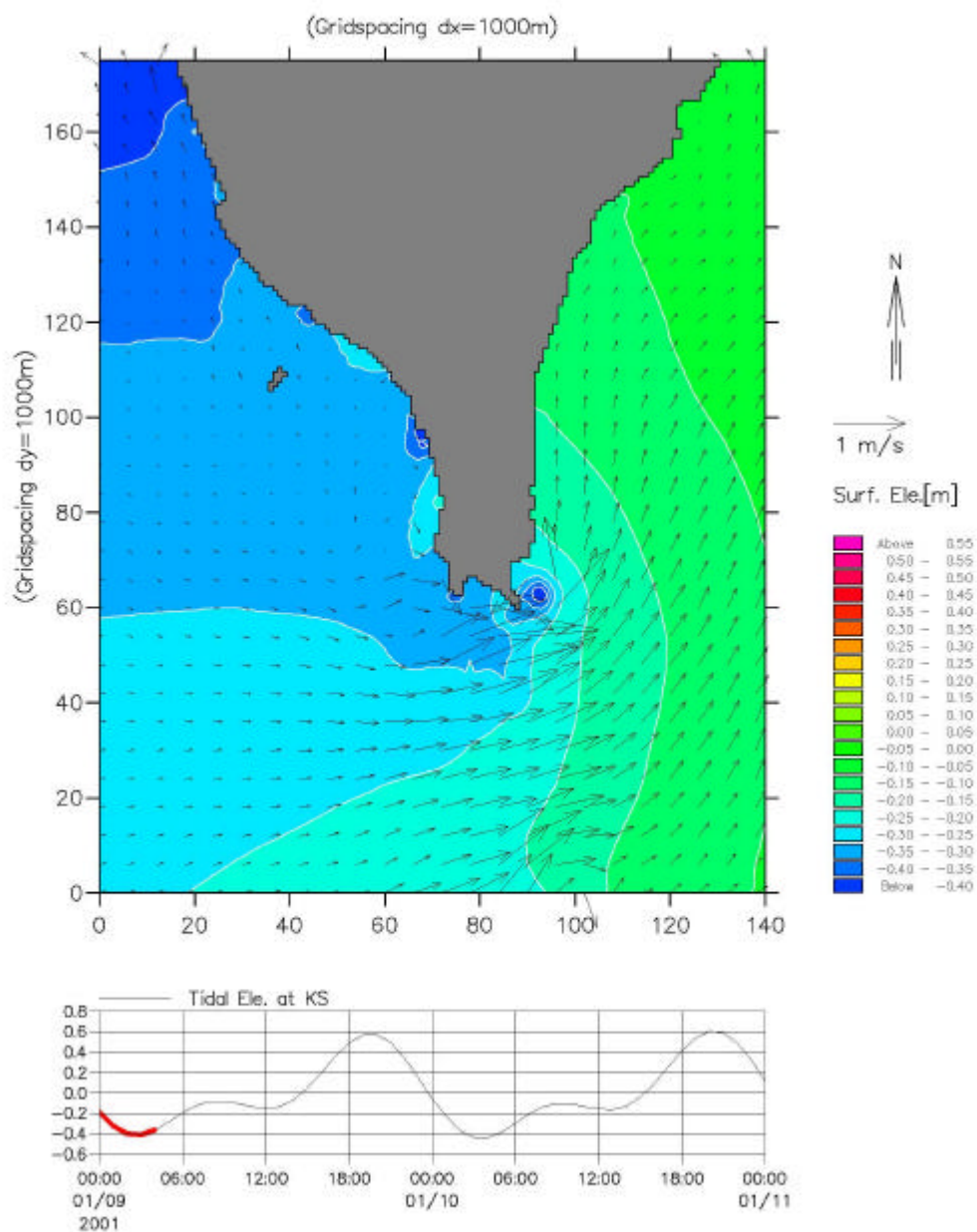


圖 3-12-1 台灣南部中(局部)範圍計算海域無風力影響之全平面性  
潮位與潮流分布，參考潮位：高雄港，2001/01/09 04:00:00

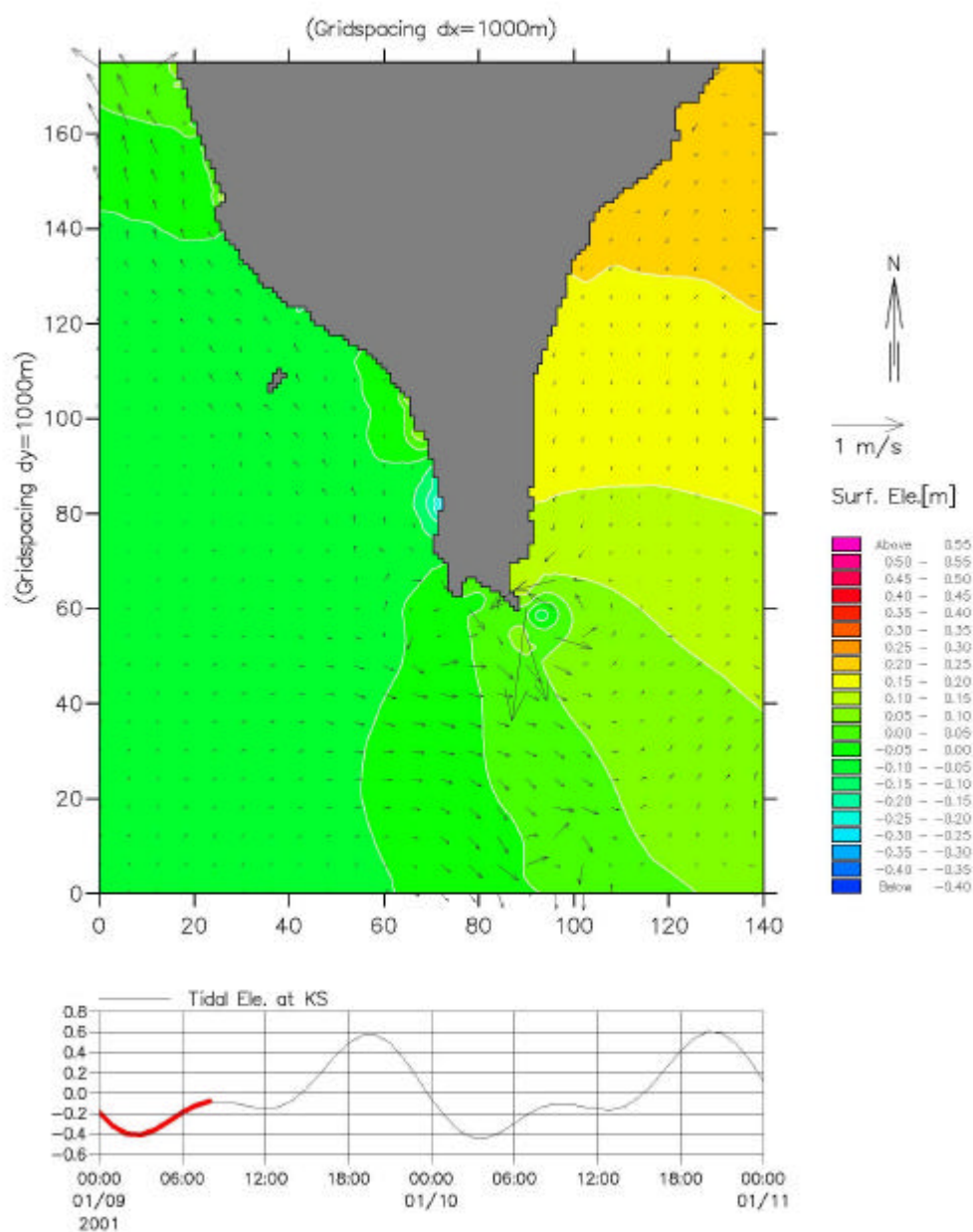


圖 3-12-2 台灣南部中(局部)範圍計算海域無風力影響之全平面性  
潮位與潮流分布，參考潮位：高雄港，2001/01/09 08:00:00

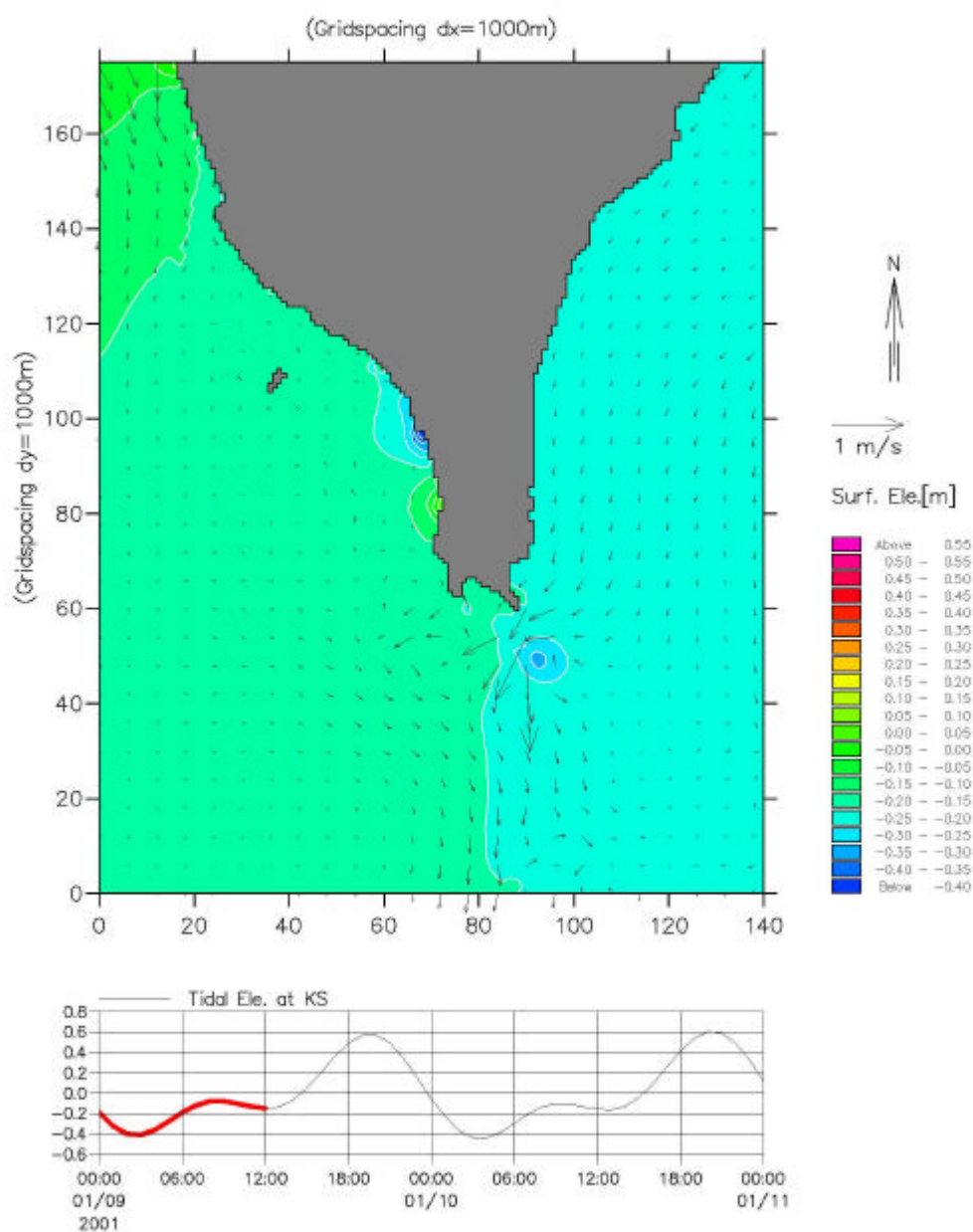


圖 3-12-3 台灣南部中(局部)範圍計算海域無風力影響之全平面性  
潮位與潮流分布，參考潮位：高雄港，2001/01/09 12:00:00

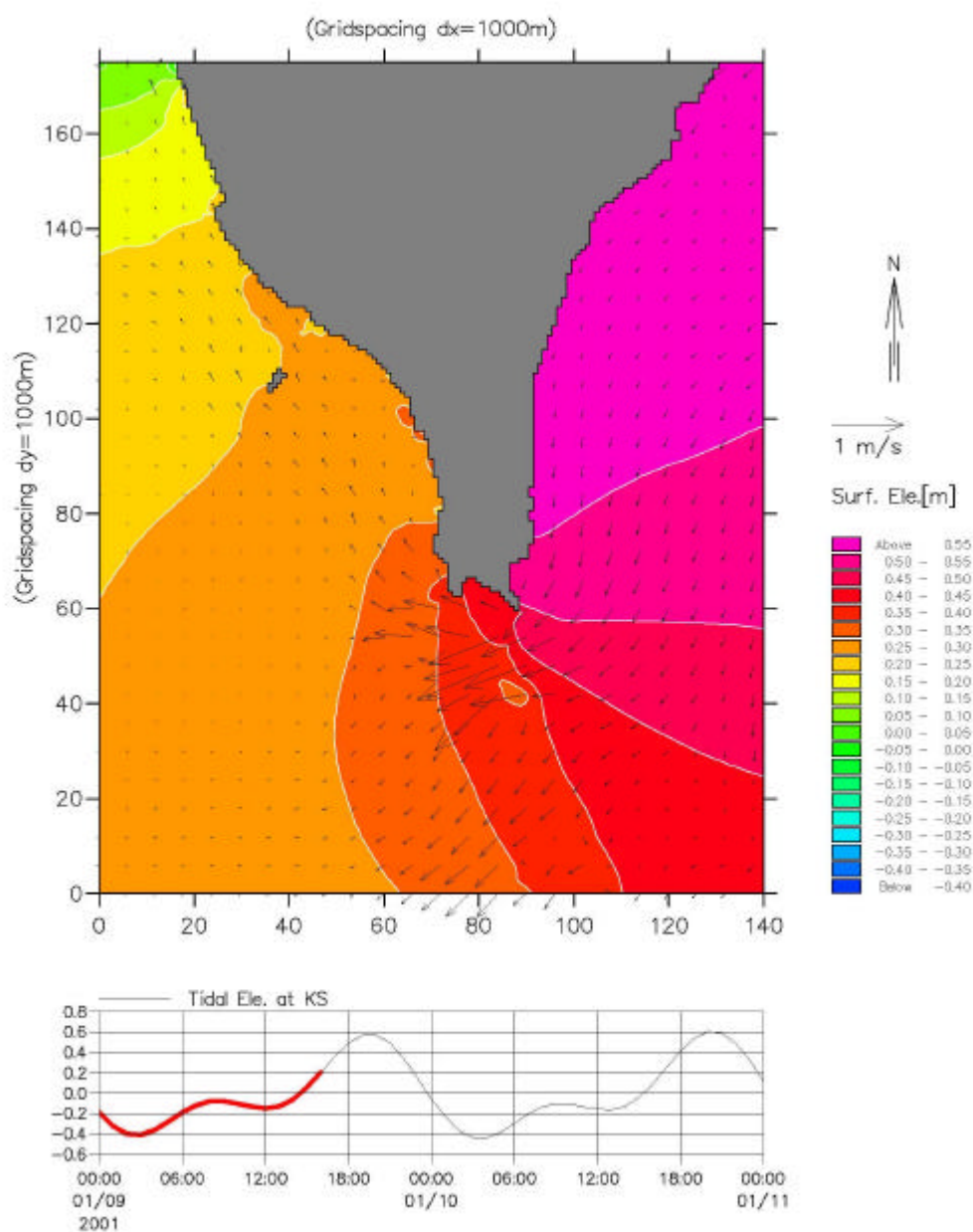


圖 3-12-4 台灣南部中(局部)範圍計算海域無風力影響之全平面性  
潮位與潮流分布，參考潮位：高雄港，2001/01/09 16:00:00

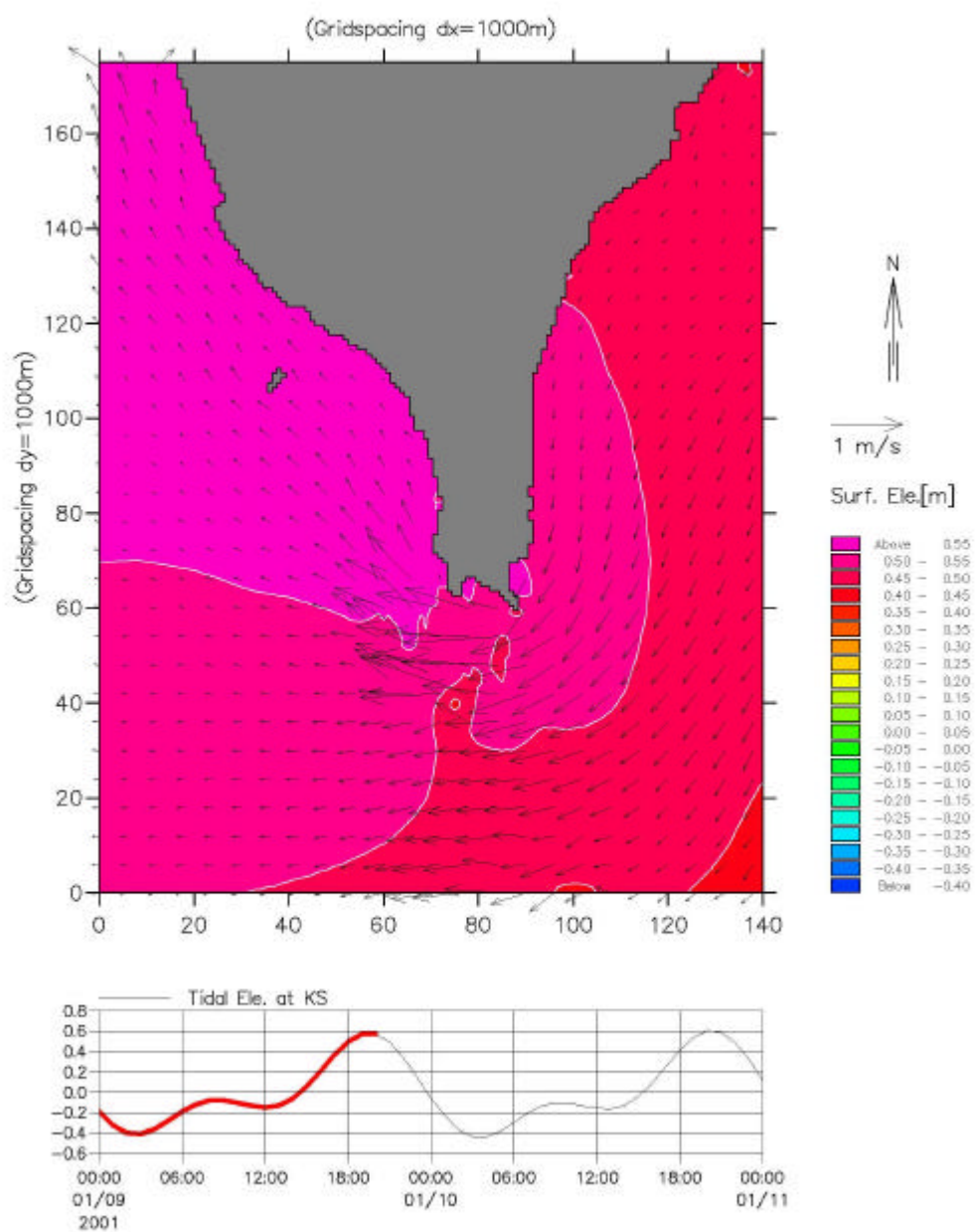


圖 3-12-5 台灣南部中(局部)範圍計算海域無風力影響之全平面性潮位與潮流分布，參考潮位：高雄港，2001/01/09 20:00:00

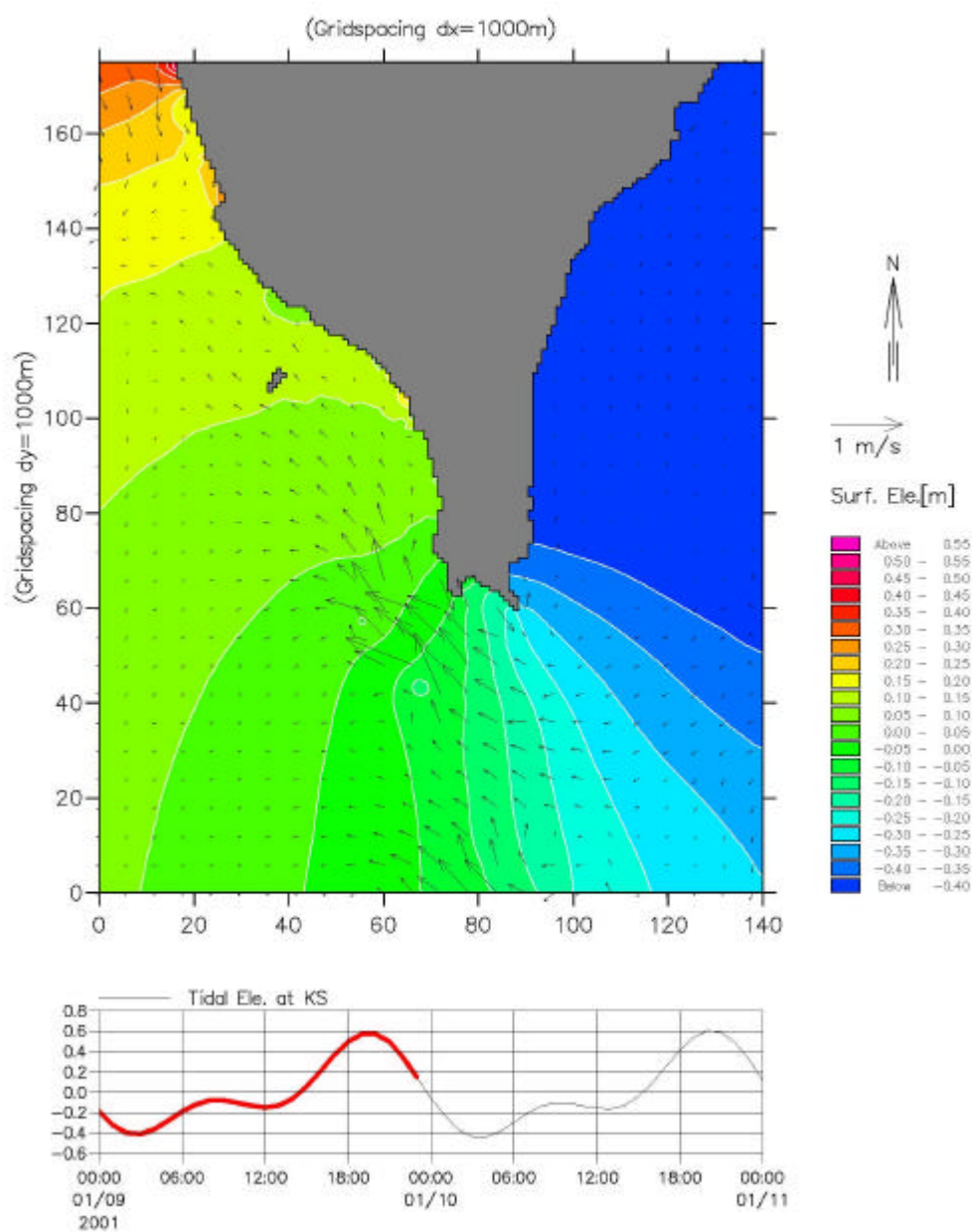


圖 3-12-6 台灣南部中(局部)範圍計算海域無風力影響之全平面性  
潮位與潮流分布，參考潮位：高雄港，2001/01/09 23:00:00

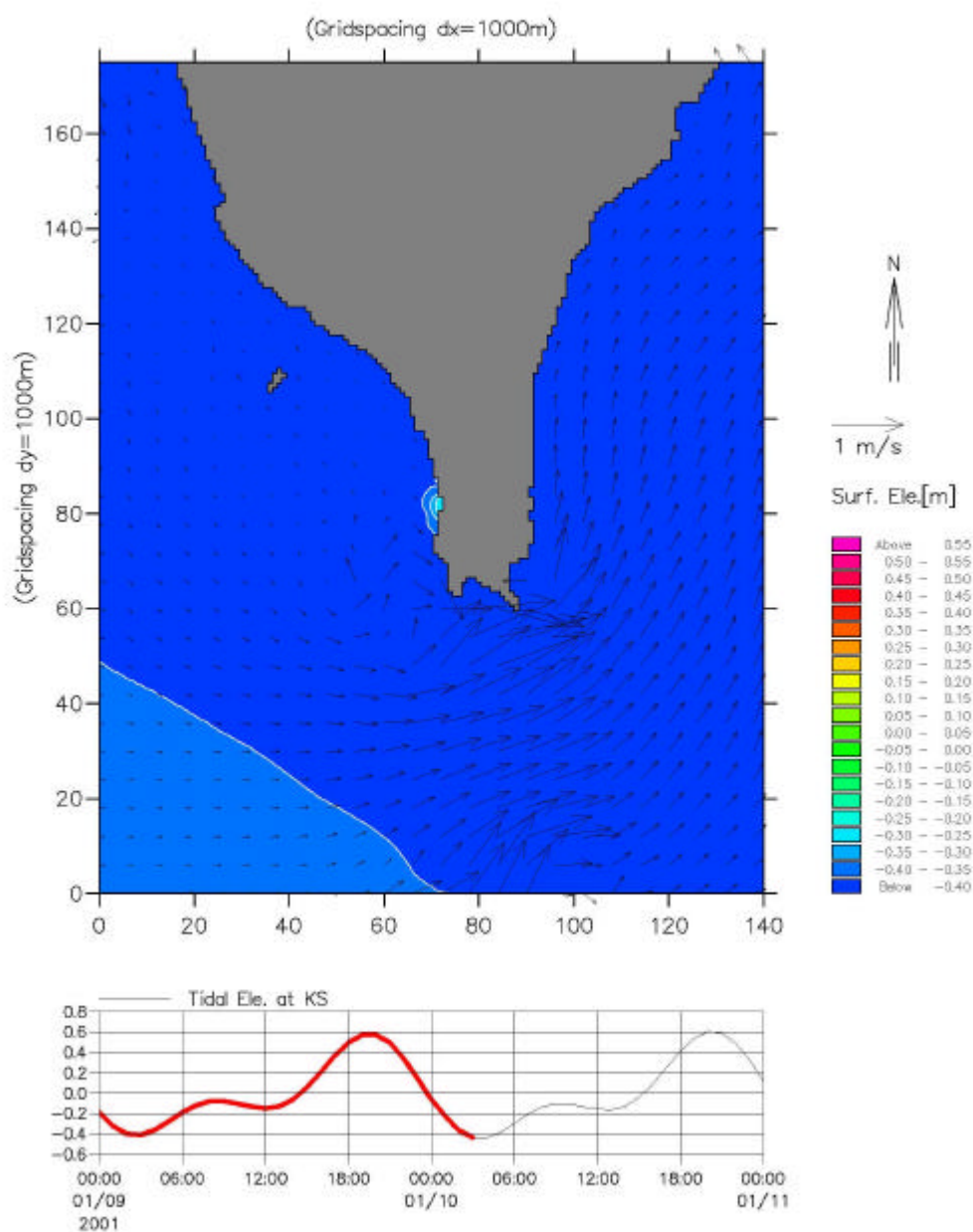


圖 3-12-7 台灣南部中(局部)範圍計算海域無風力影響之全平面性  
潮位與潮流分布，參考潮位：高雄港，2001/01/10 03:00:00

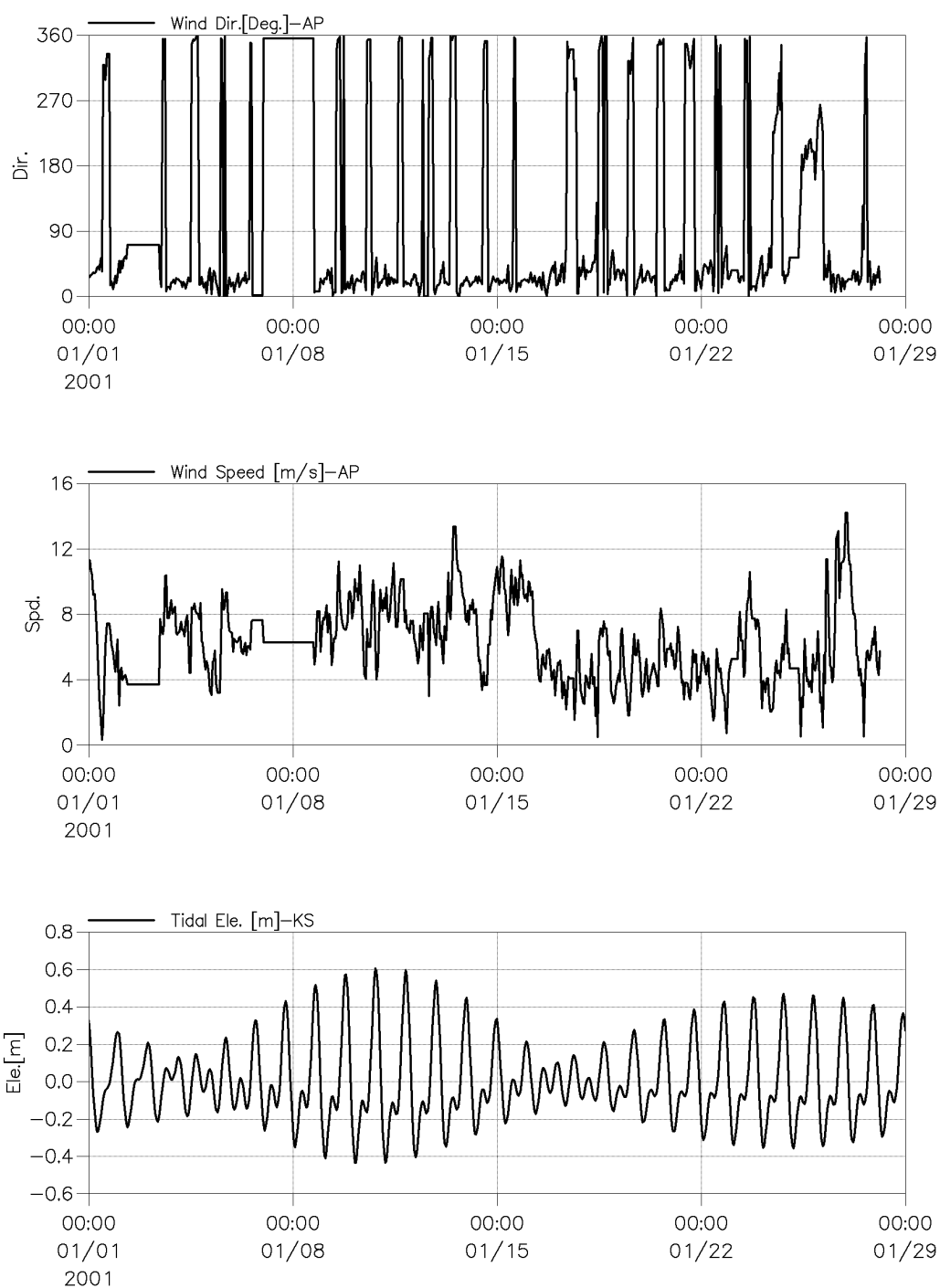


圖 3-13 應用於台灣南部中(局部)範圍計算海域之安平港 1 月份風向、風速逐時變化以及高雄港之預報潮位

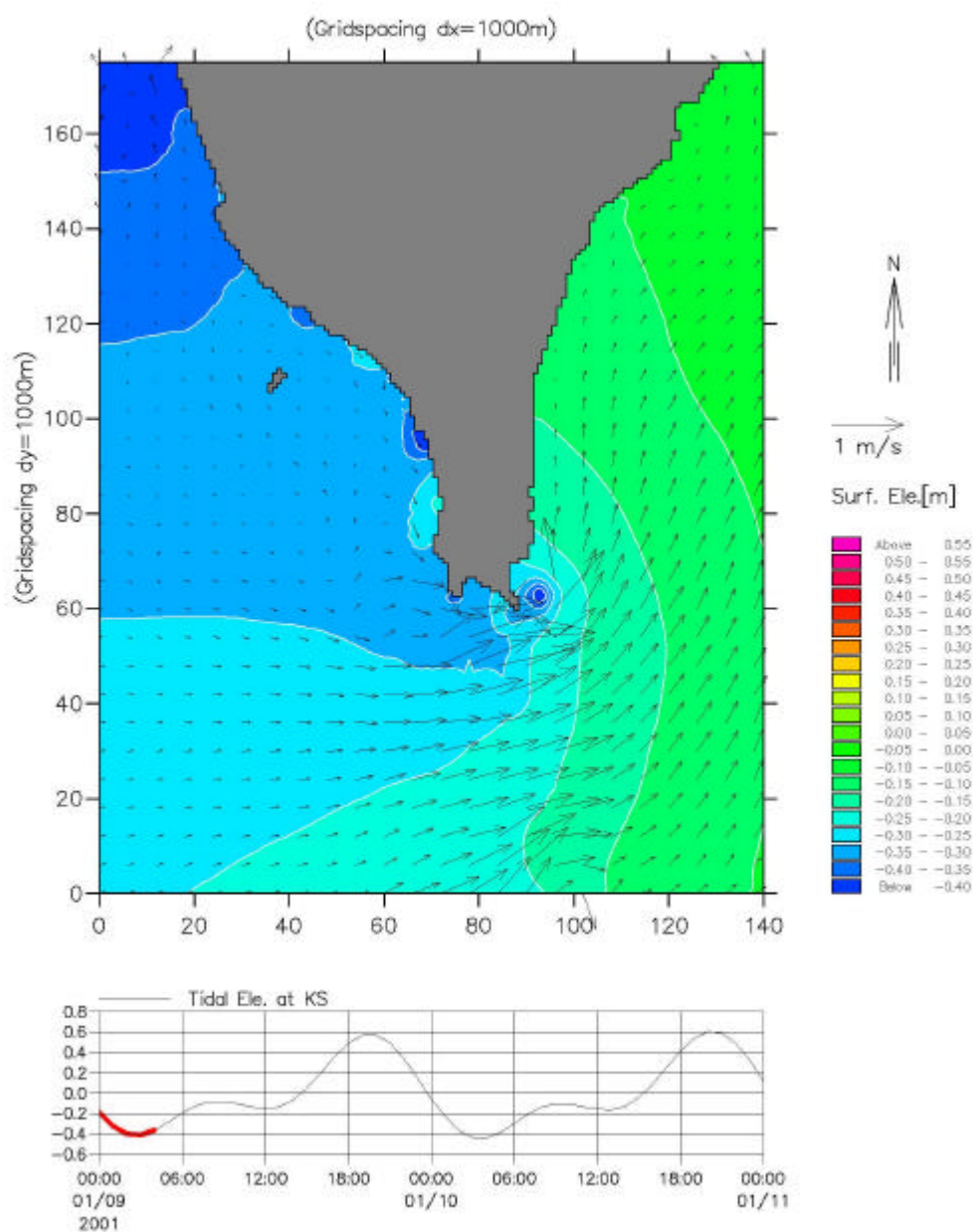


圖 3-14-1 台灣南部中(局部)範圍計算海域以安平港實測風力作用下之全平面性潮位與潮流分布，參考潮位：高雄港  
2001/01/09 04:00:00

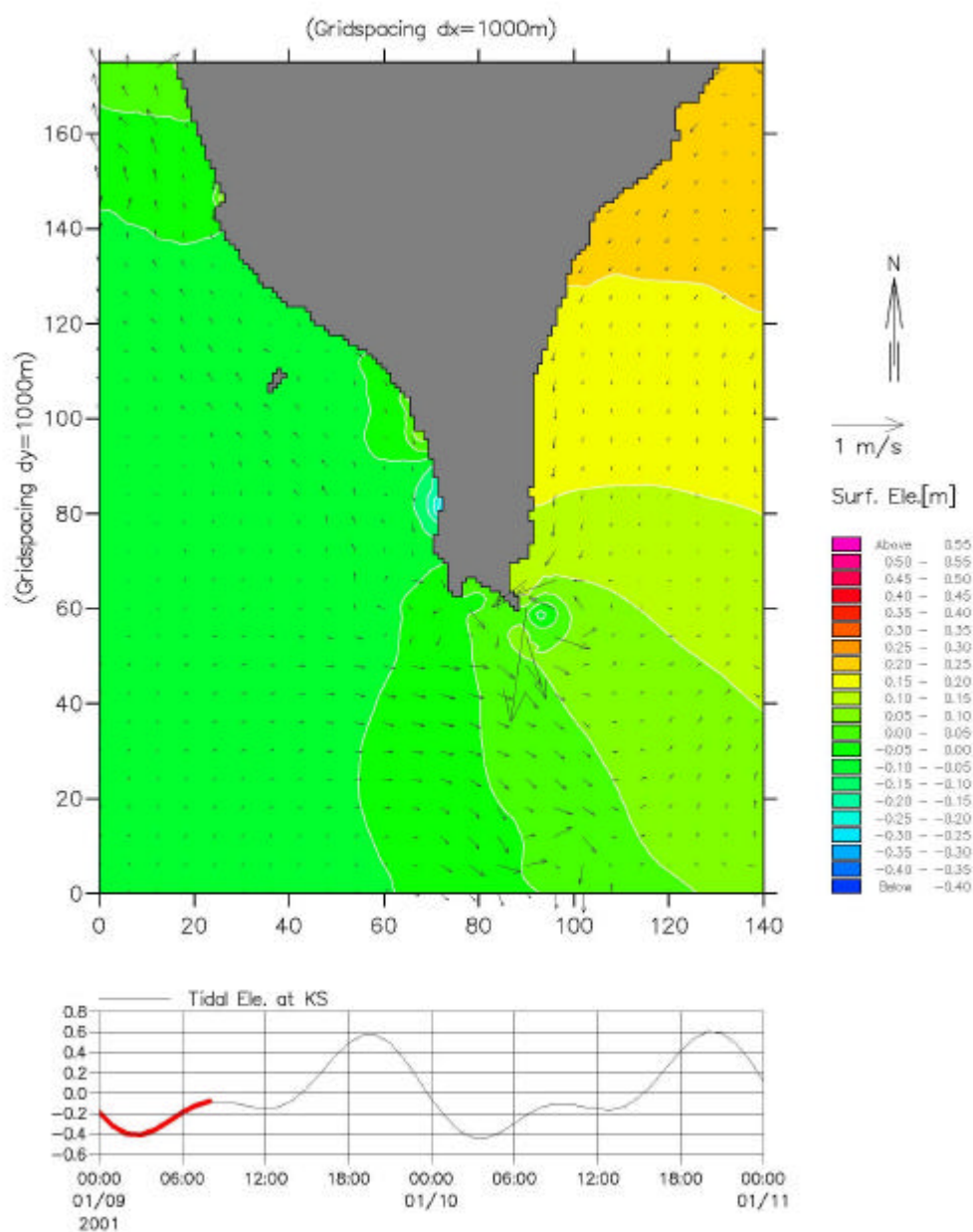


圖 3-14-2 台灣南部中(局部)範圍計算海域以安平港實測風力作用下之全平面性潮位與潮流分布，參考潮位：高雄港  
2001/01/09 08:00:00

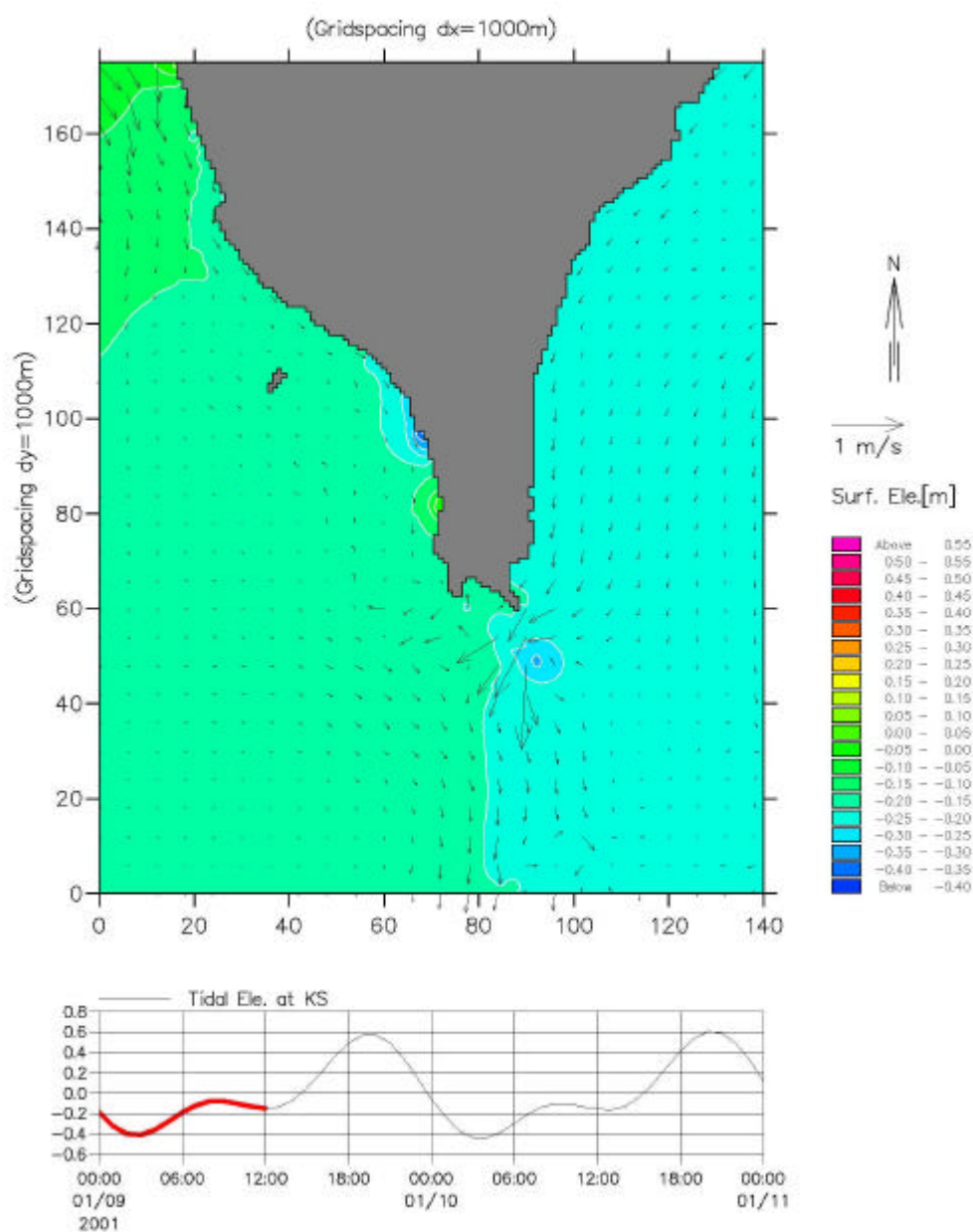


圖 3-14-3 台灣南部中(局部)範圍計算海域以安平港實測風力作用下之全平面性潮位與潮流分布，參考潮位：高雄港 2001/01/09 12:00:00

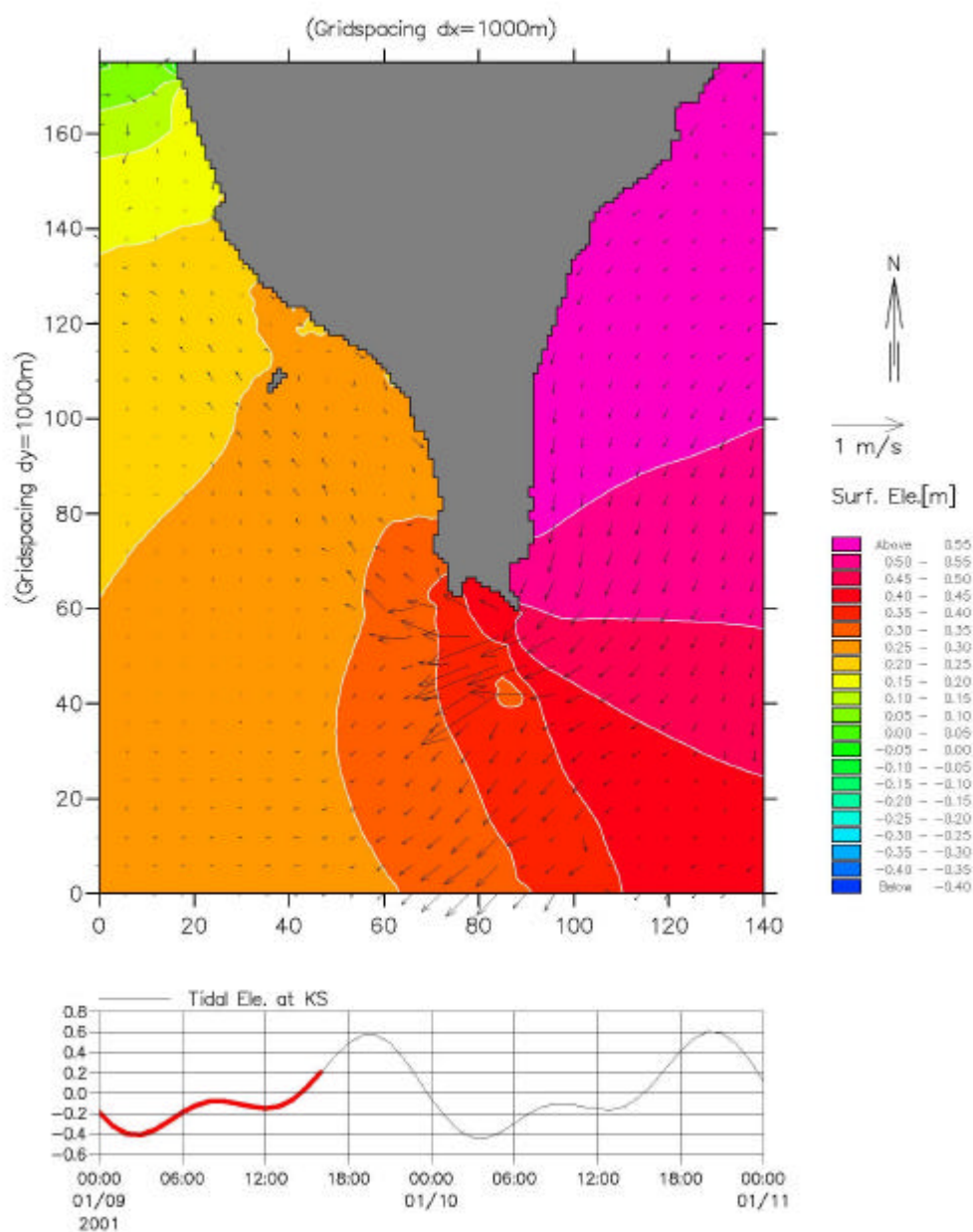


圖 3-14-4 台灣南部中(局部)範圍計算海域以安平港實測風力作用下之全平面性潮位與潮流分布，參考潮位：高雄港 2001/01/09 16:00:00

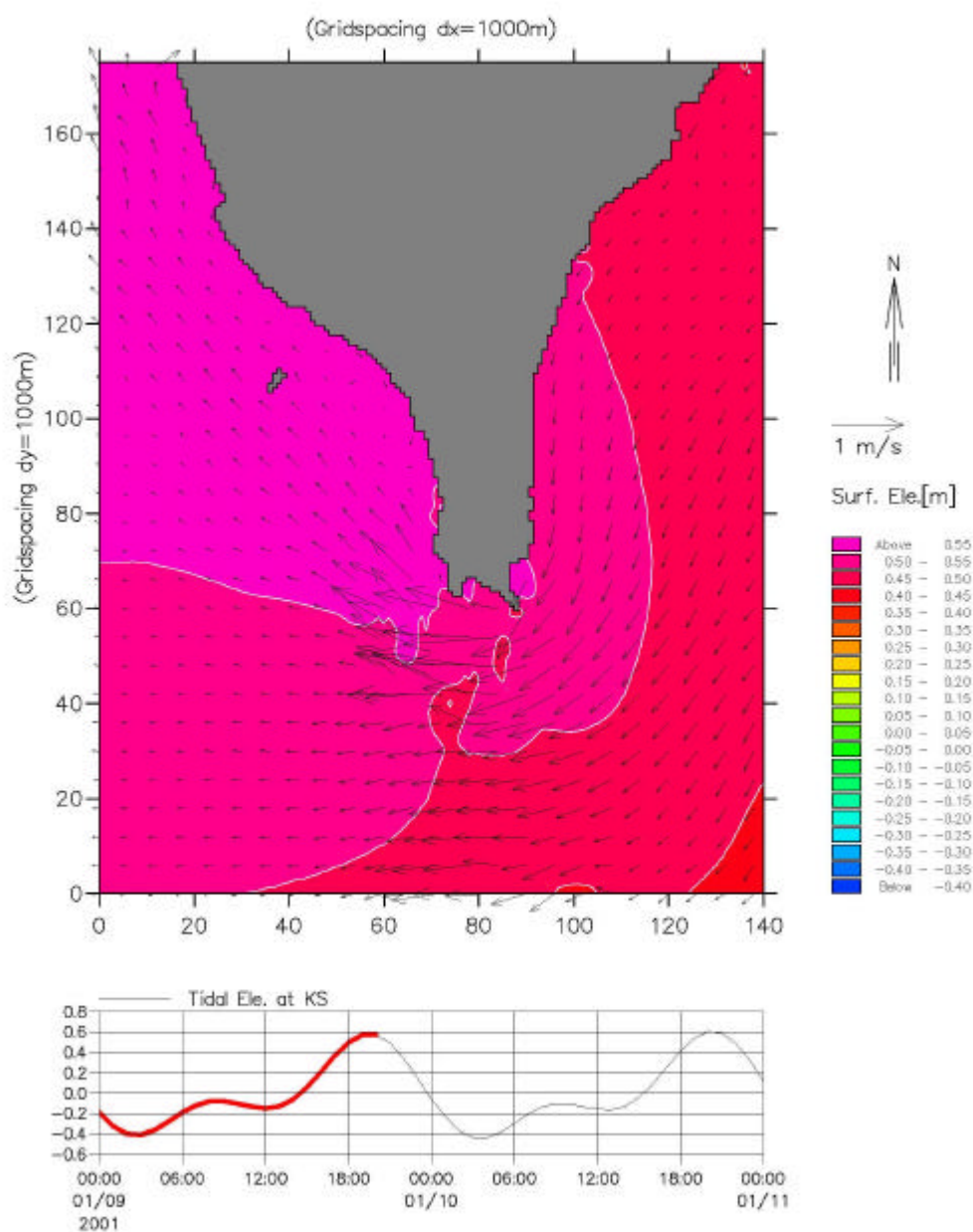


圖 3-14-5 台灣南部中(局部)範圍計算海域以安平港實測風力作用下之全平面性潮位與潮流分布，參考潮位：高雄港 2001/01/09 20:00:00

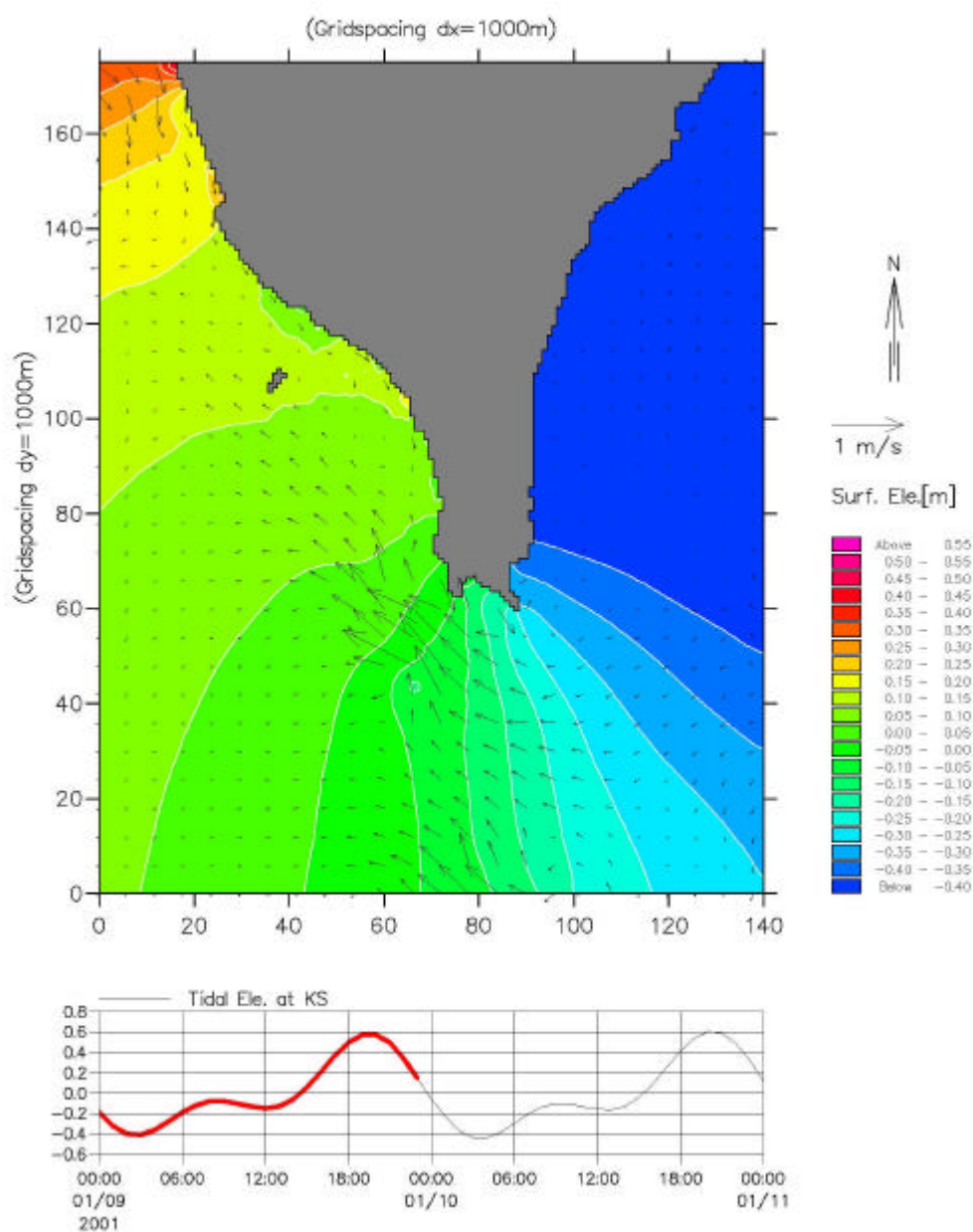


圖 3-14-6 台灣南部中(局部)範圍計算海域以安平港實測風力作用下之全平面性潮位與潮流分布，參考潮位：高雄港  
2001/01/09 23:00:00

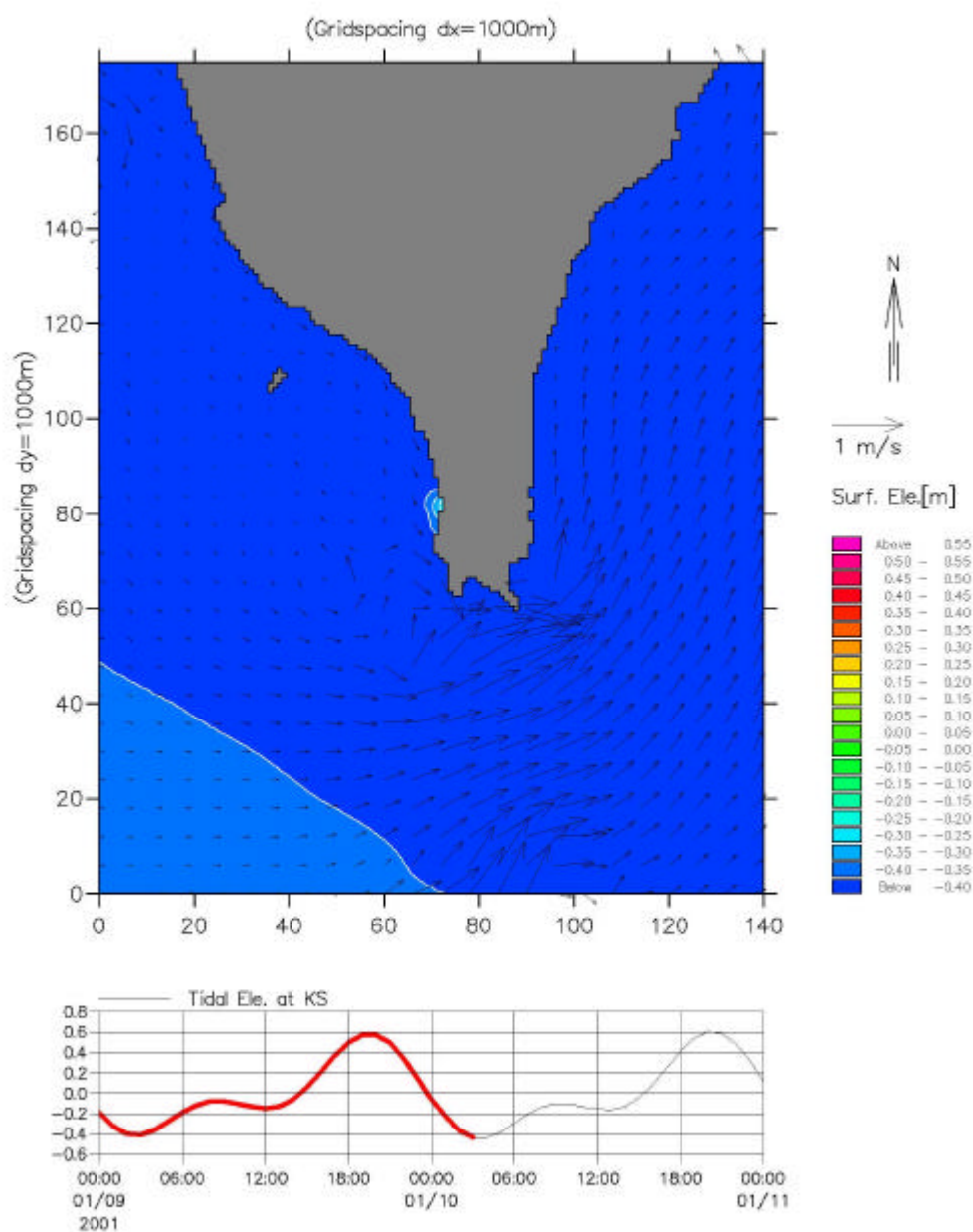


圖 3-14-7 台灣南部中(局部)範圍計算海域以安平港實測風力作用下之全平面性潮位與潮流分布，參考潮位：高雄港  
2001/01/10 03:00:00

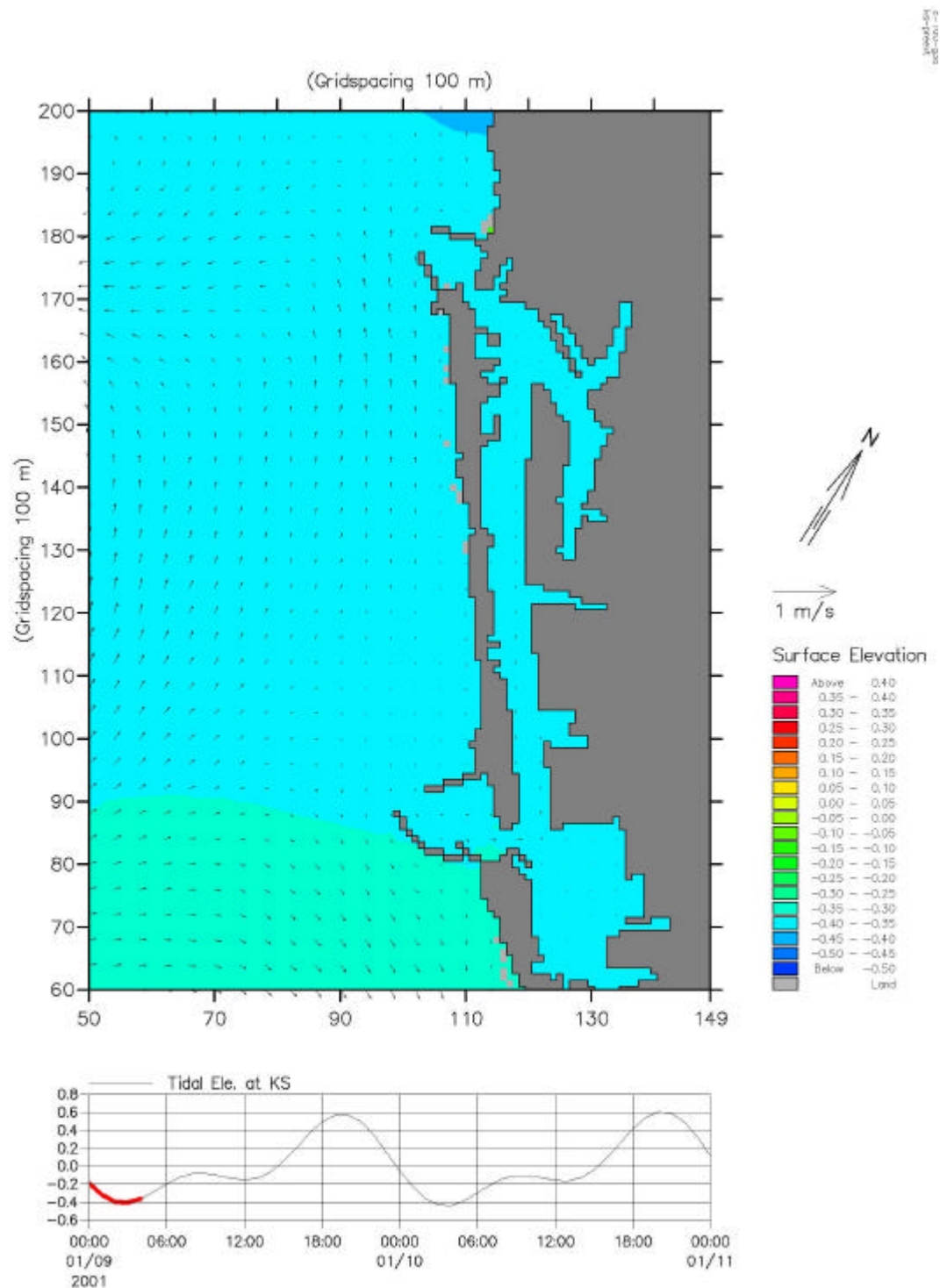


圖 3-15-1 高雄港小(細域)範圍計算海域以安平港實測風力作  
用下之全平面性潮位與潮流分布，參考潮位：高雄港  
2001/01/09 04:00:00

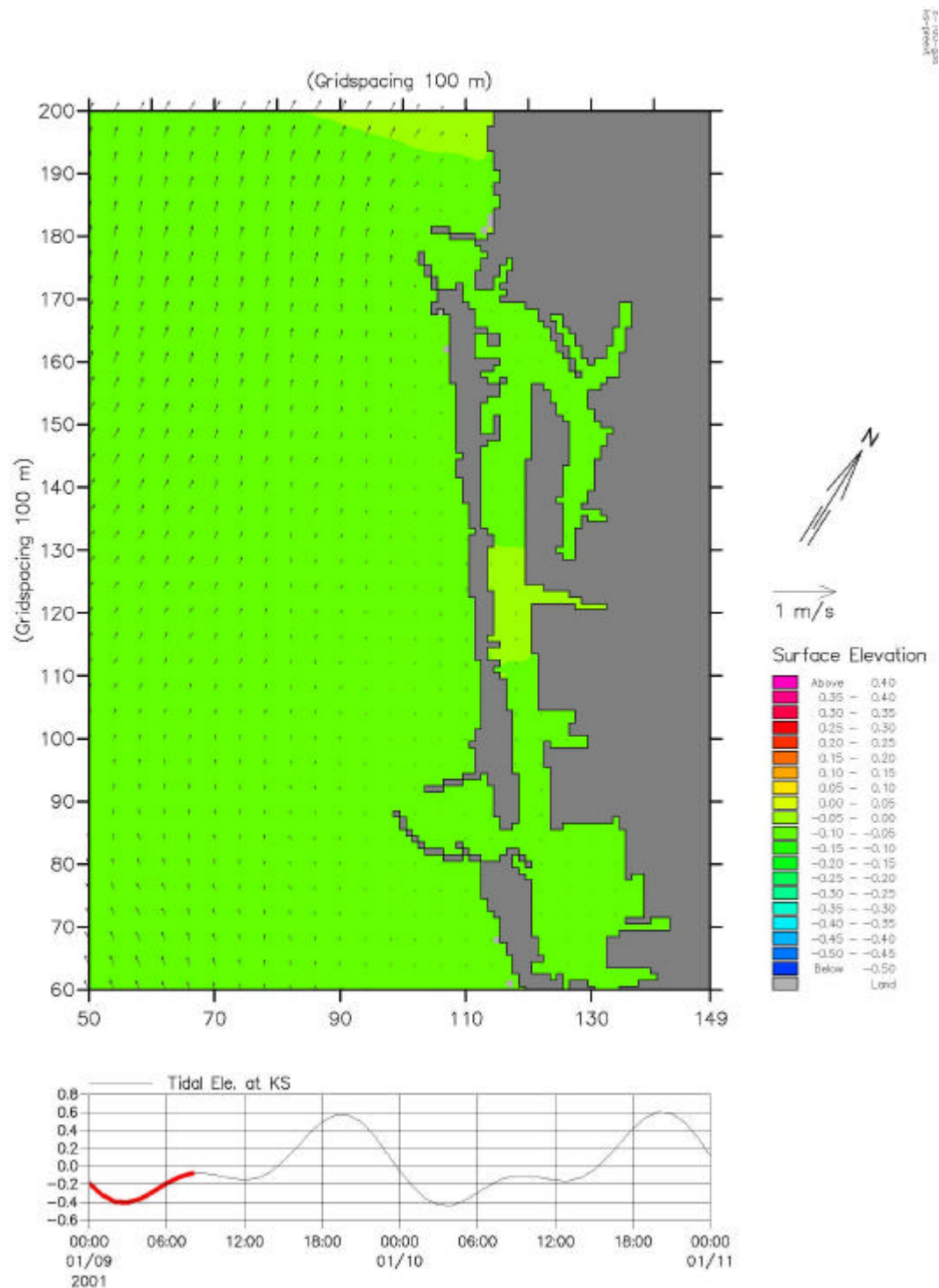


圖 3-15-2 高雄港小(細域)範圍計算海域以安平港實測風力作用下之全平面性潮位與潮流分布，參考潮位：高雄港  
2001/01/09 08:00:00

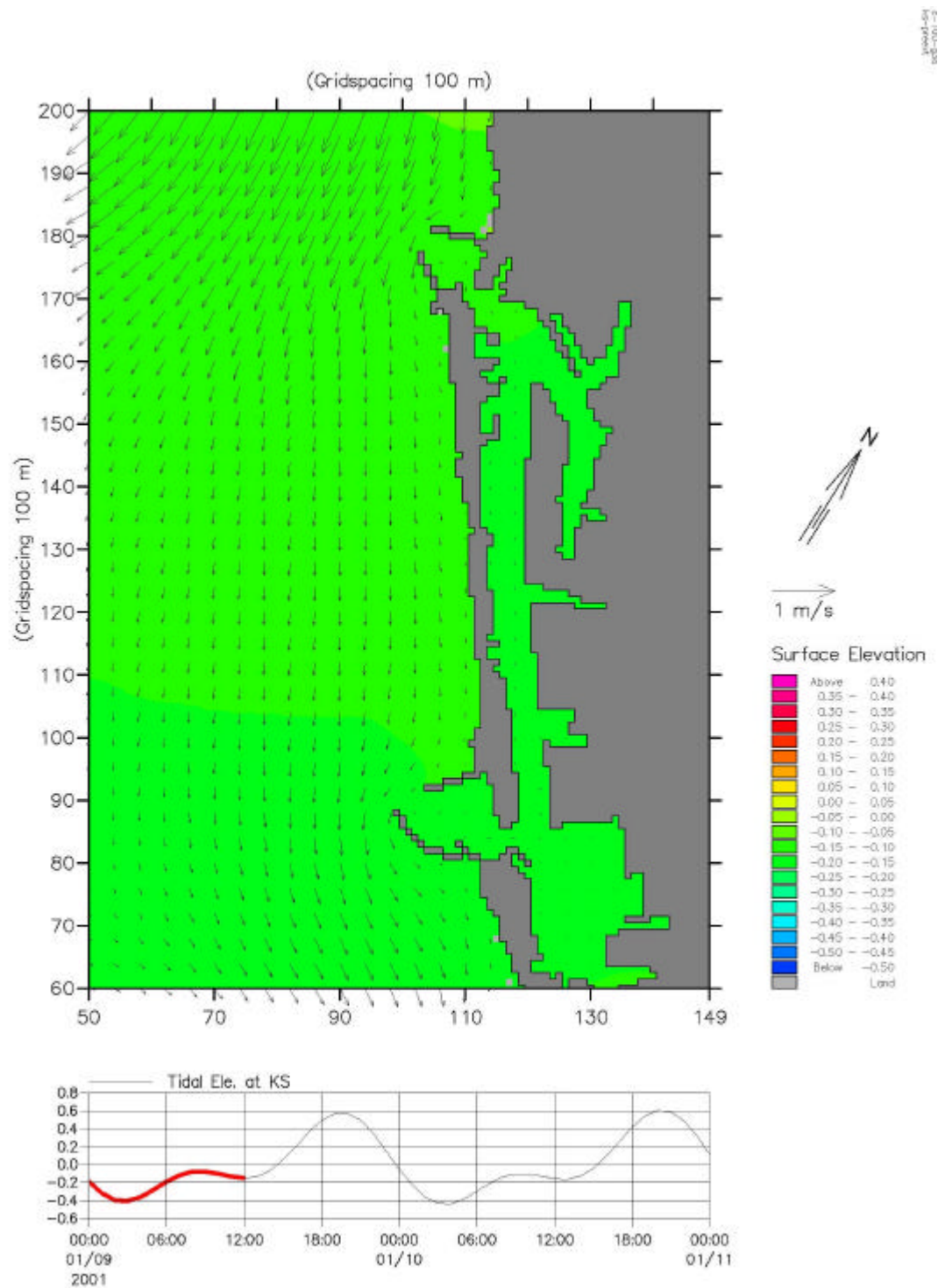


圖 3-15-3 高雄港小(細域)範圍計算海域以安平港實測風力作用下之全平面性潮位與潮流分布，參考潮位：高雄港 2001/01/09 12:00:00

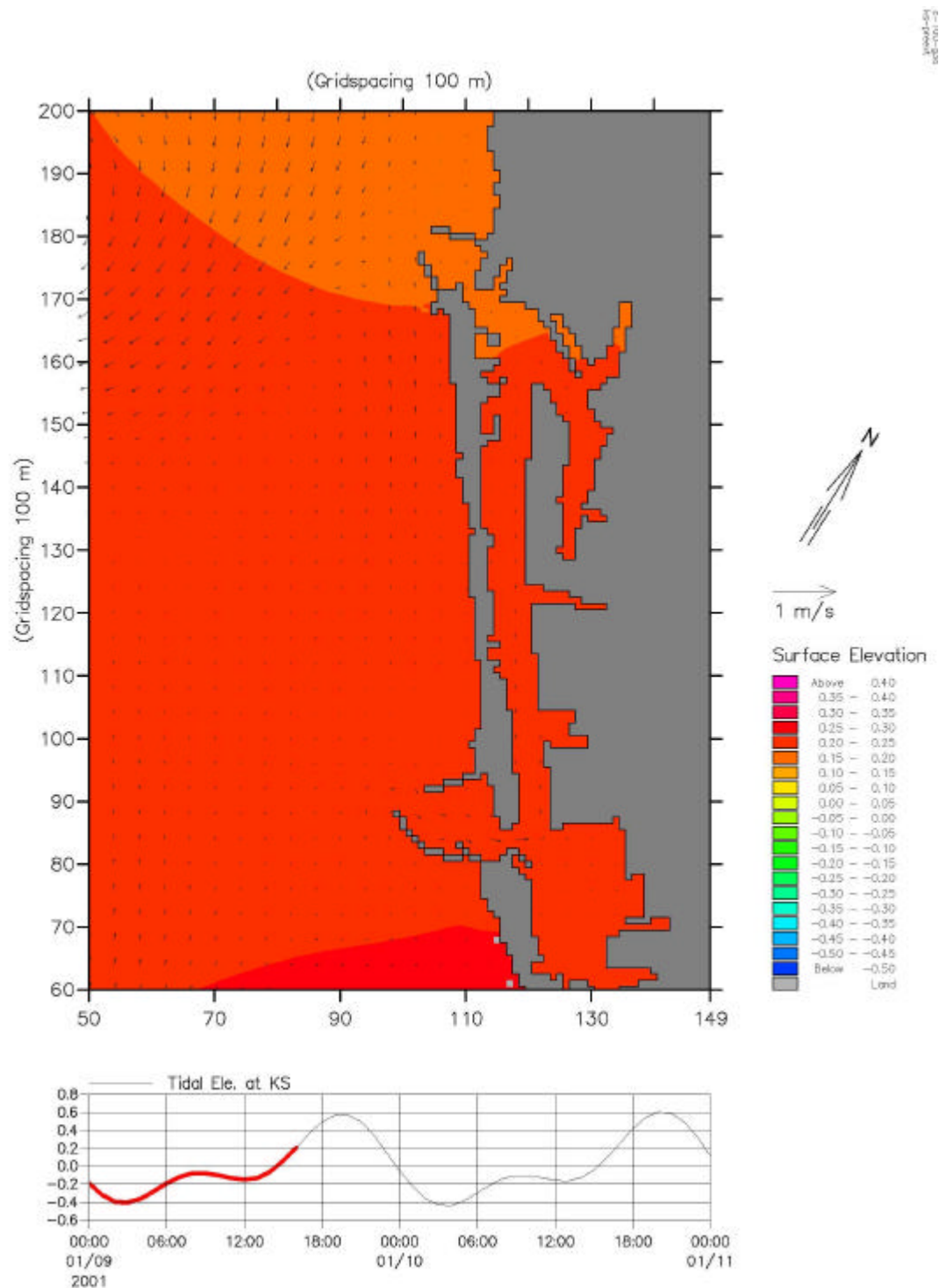


圖 3-15-4 高雄港小(細域)範圍計算海域以安平港實測風力作用下之全平面性潮位與潮流分布，參考潮位：高雄港  
2001/01/09 16:00:00

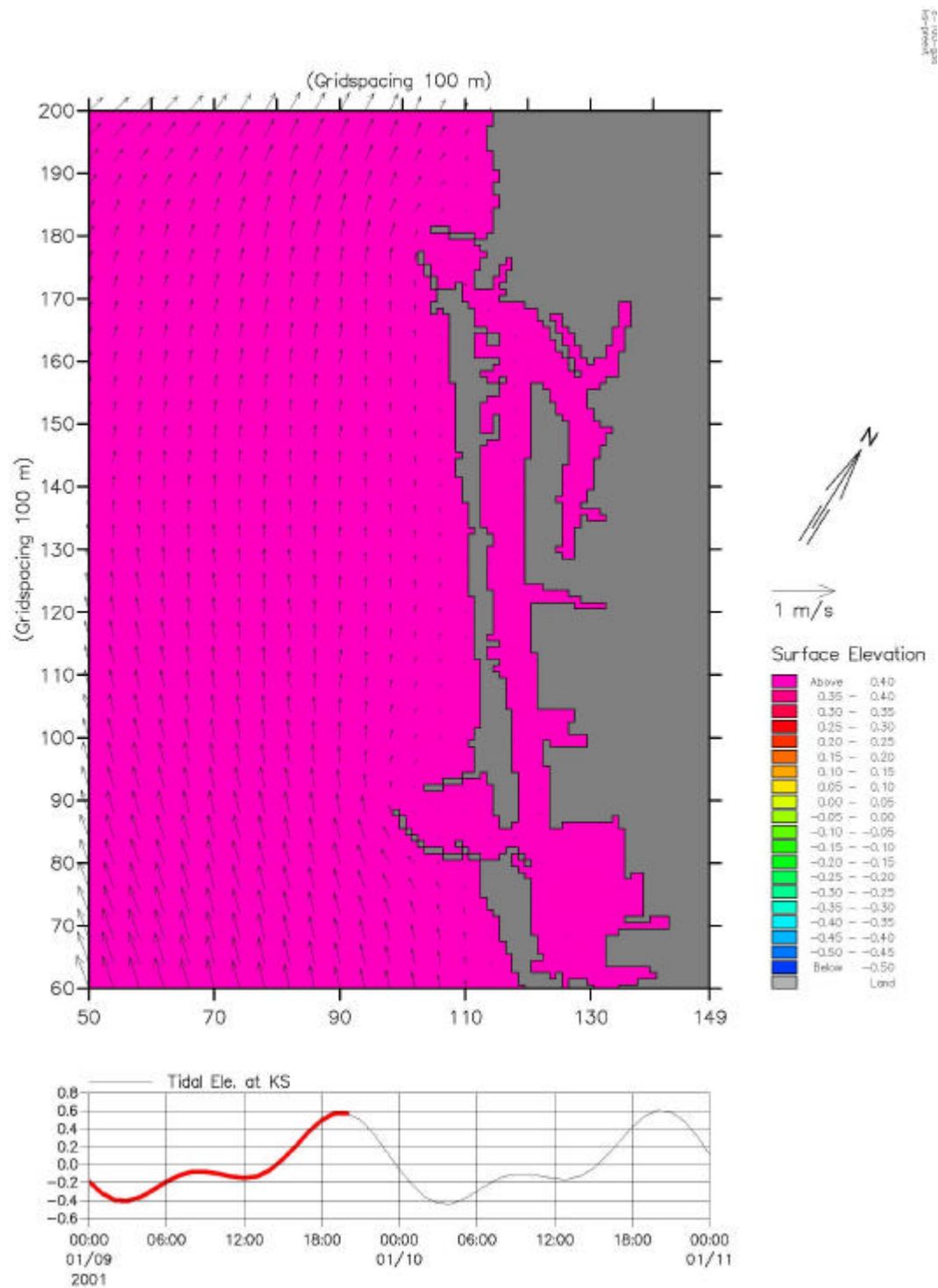


圖 3-15-5 高雄港小(細域)範圍計算海域以安平港實測風力作用下之全平面性潮位與潮流分布，參考潮位：高雄港  
2001/01/09 20:00:00

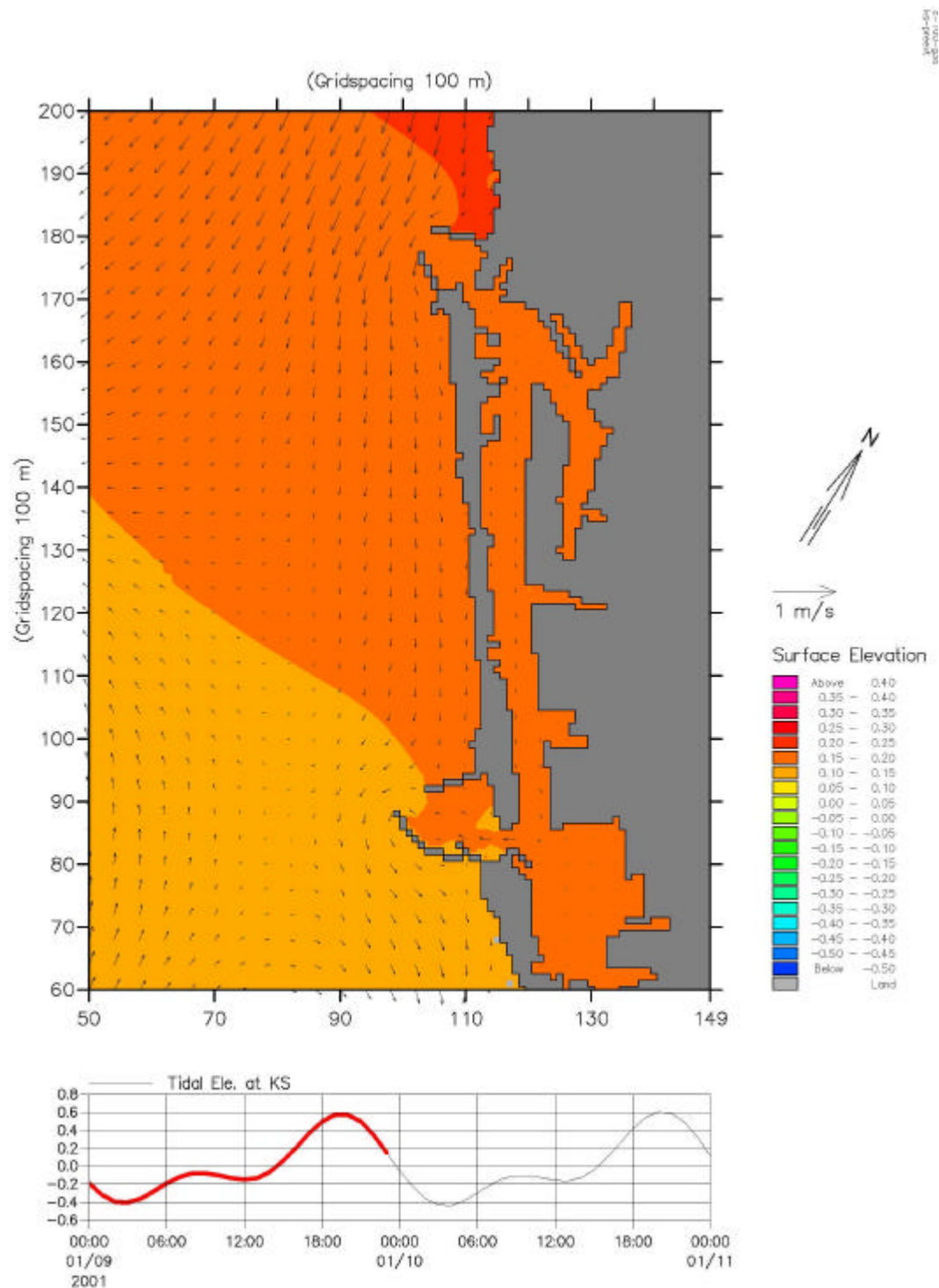


圖 3-15-6 高雄港小(細域)範圍計算海域以安平港實測風力作用下之全平面性潮位與潮流分布，參考潮位：高雄港  
2001/01/09 23:00:00

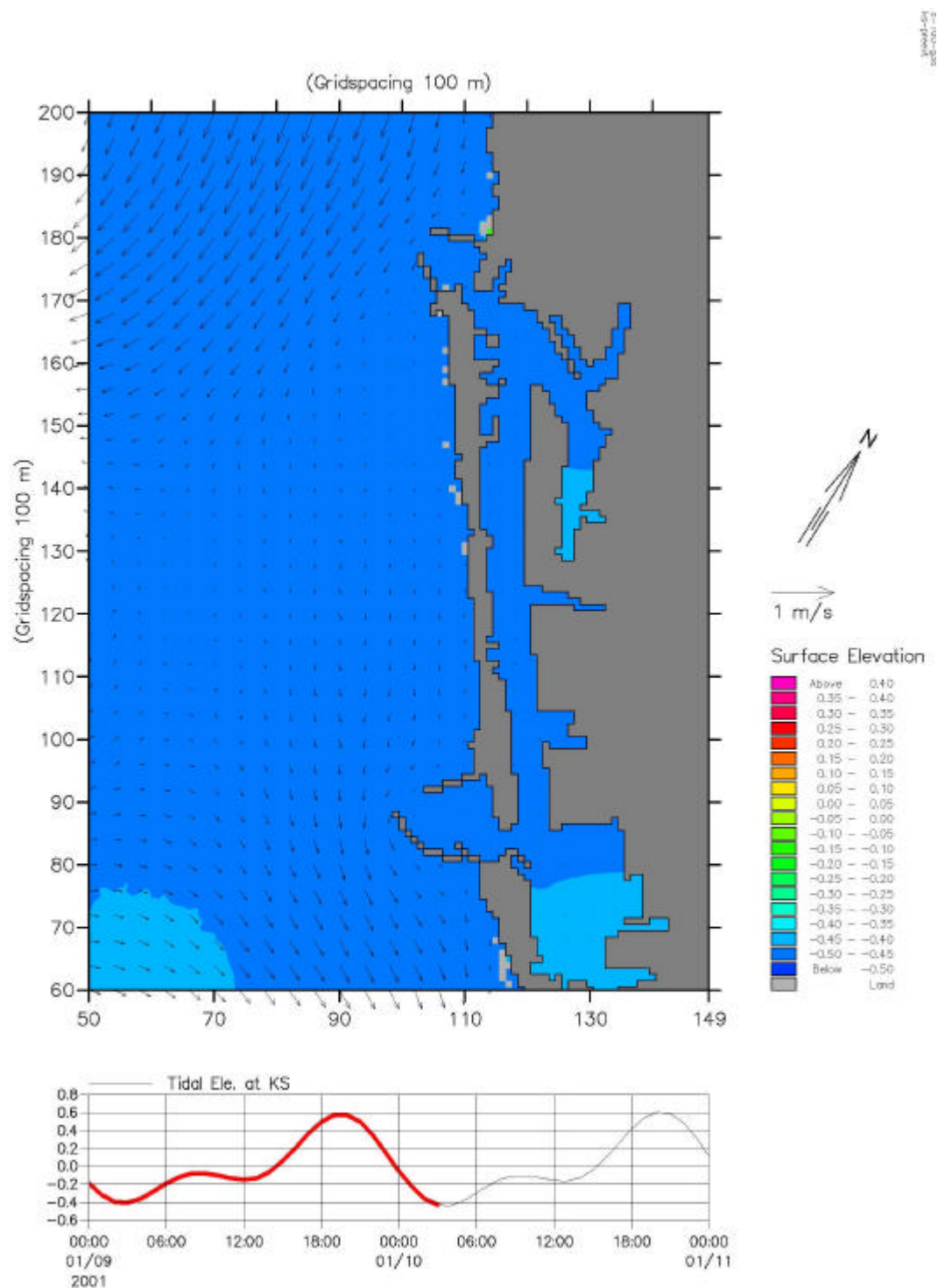


圖 3-15-7 高雄港小(細域)範圍計算海域以安平港實測風力作用下之全平面性潮位與潮流分布，參考潮位：高雄港  
2001/01/10 03:00:00

交通部運輸研究所港灣技術研究中心  
高雄港觀測站儀器安裝位置圖

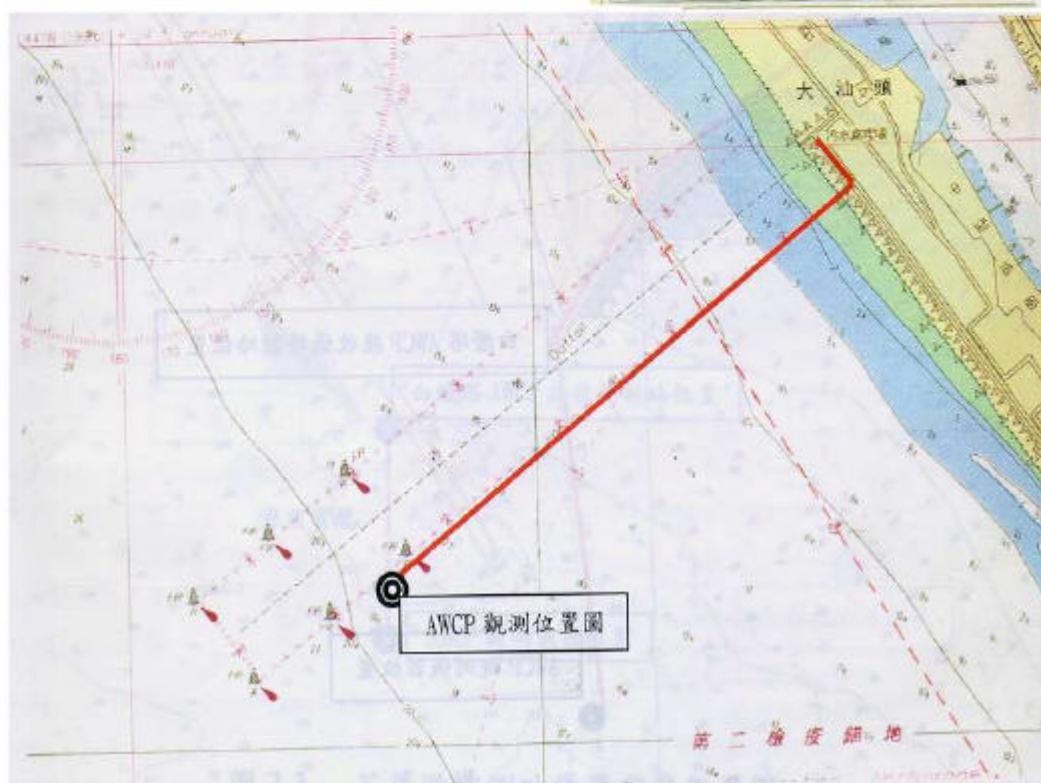
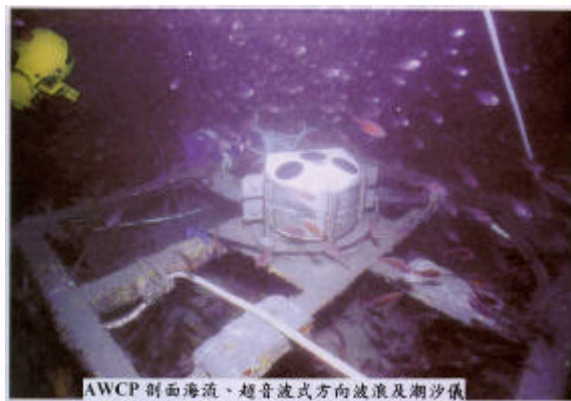


圖 3-16 高雄港海域近期設置於中洲放流管南側  
東三浮燈標附近之海象調查儀器與位置

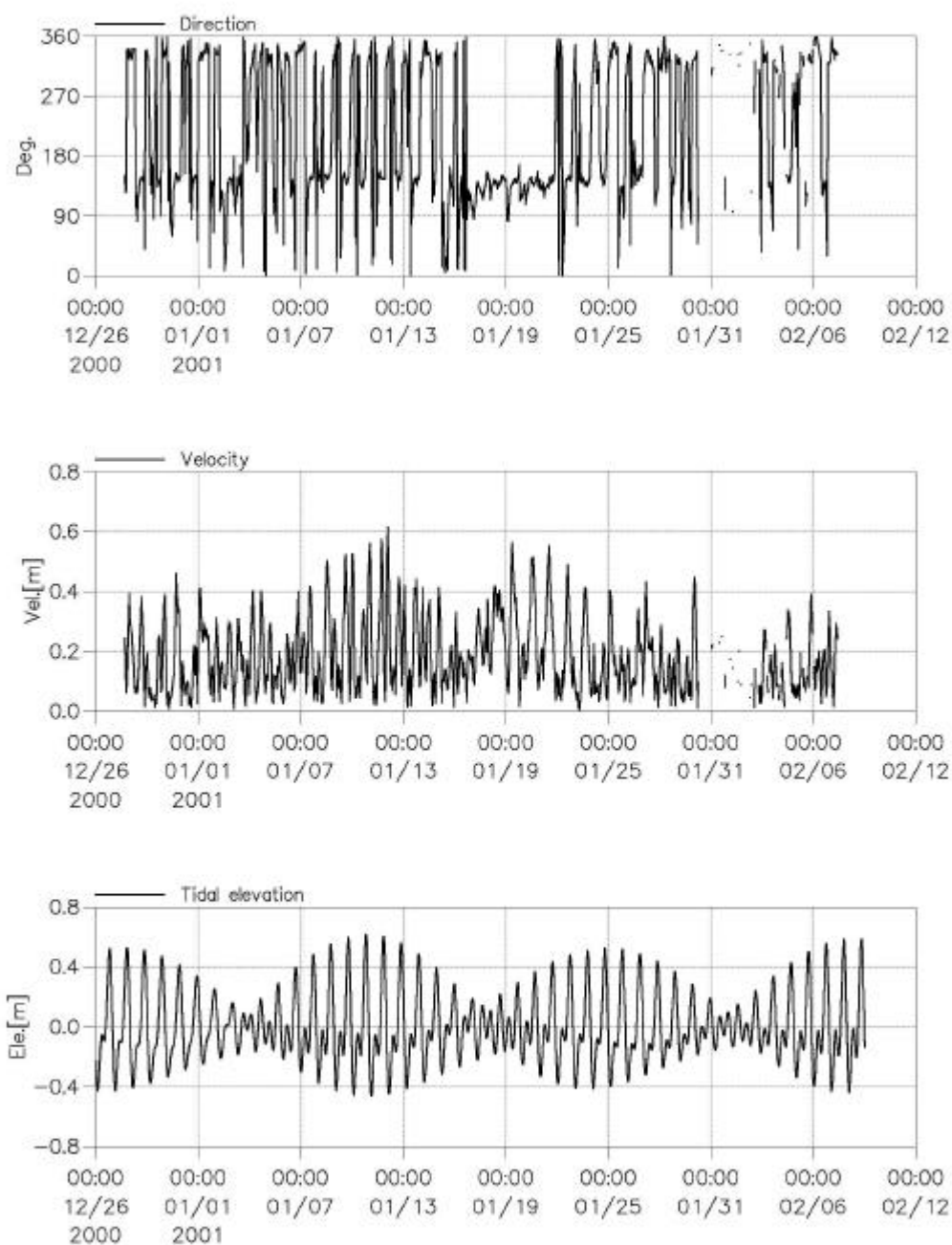


圖 3-17-1 高雄港海域近期於中洲放流管南側東三浮燈  
標附近民國 90 年 1 月份實測之海流與預報之潮位

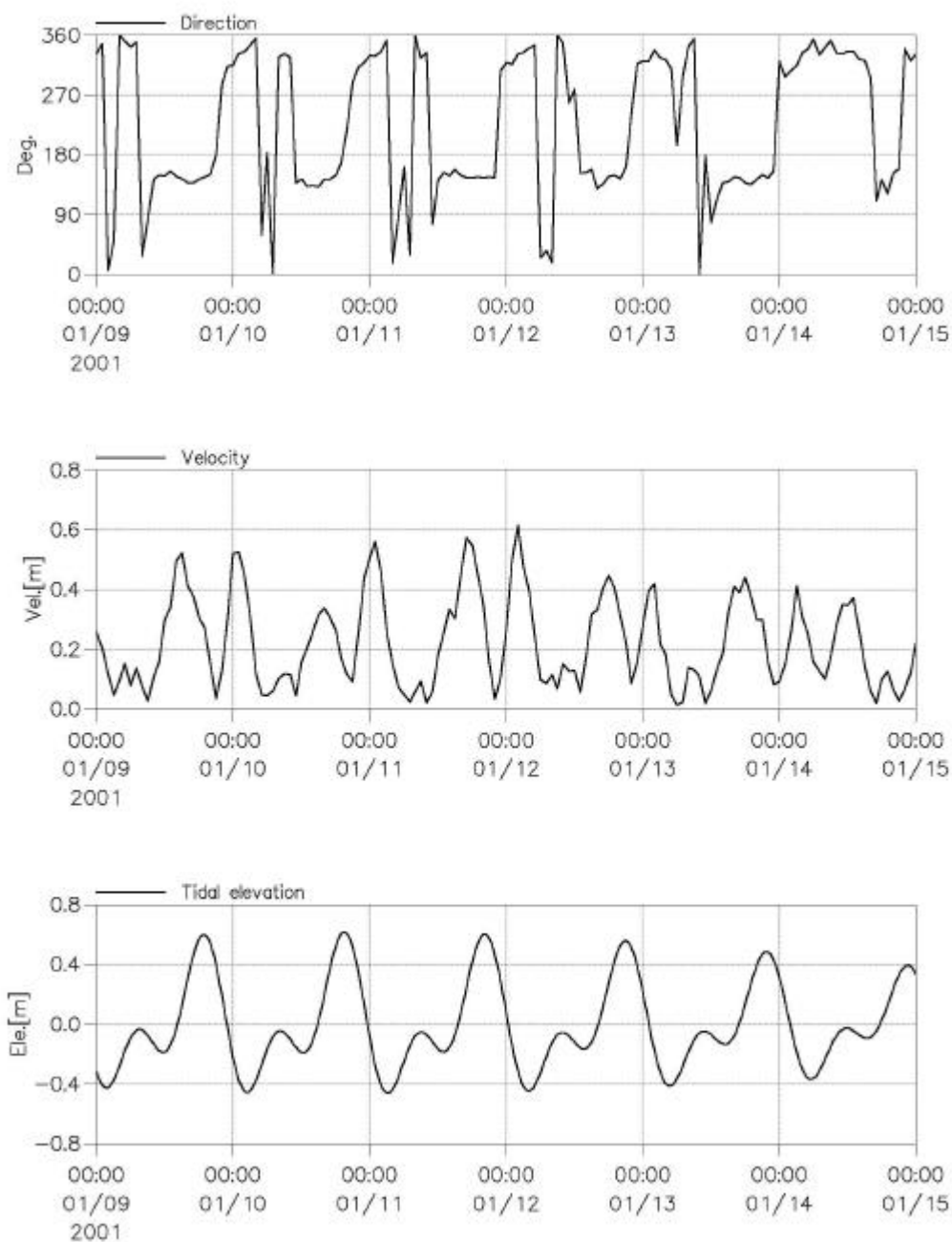


圖 3-17-2 高雄港海域近期於中洲放流管南側東三浮燈標附近  
民國 90 年 1 月 9 日至 15 日實測之海流與預報潮位

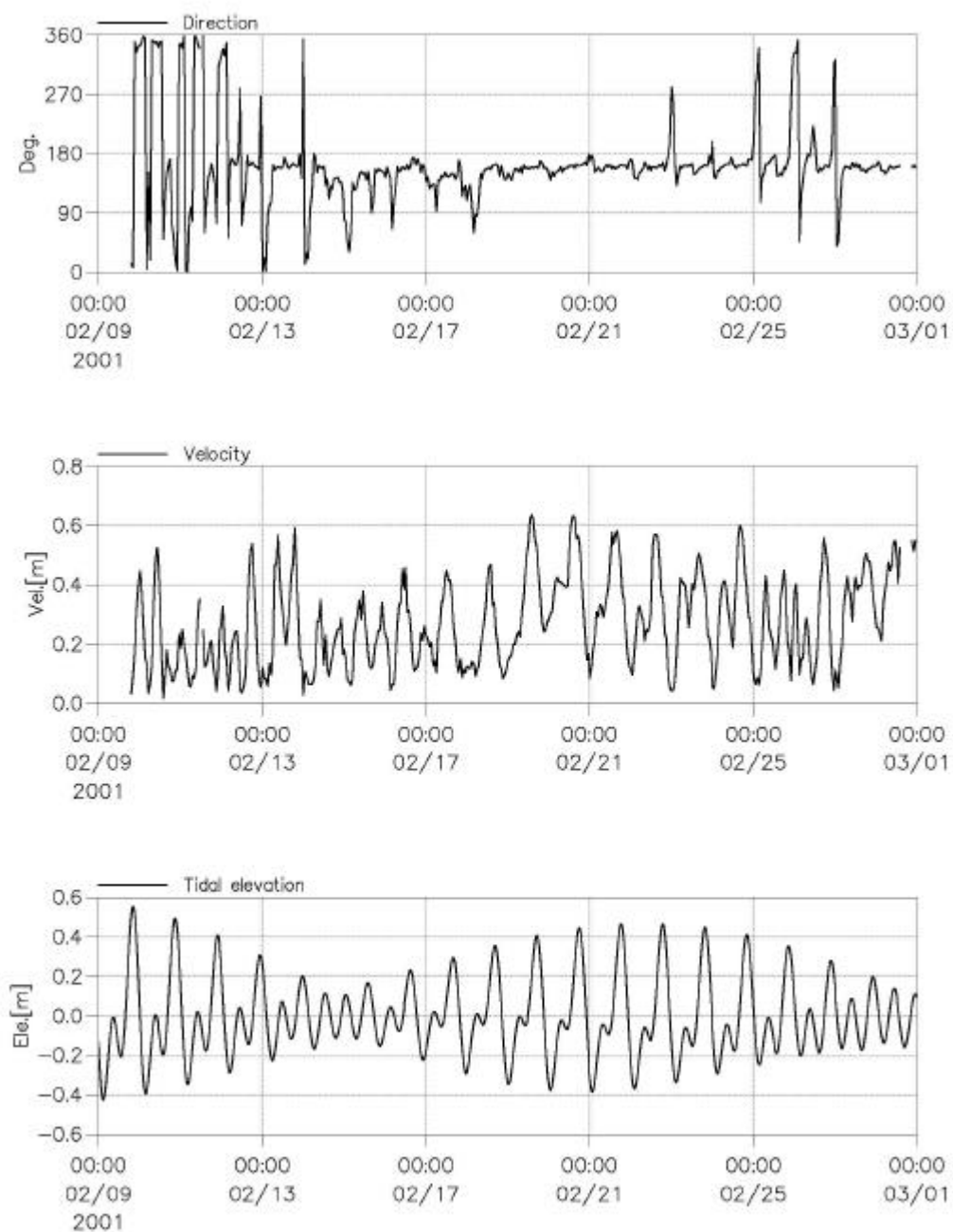


圖 3-18-1 高雄港海域近期於中洲放流管南側東三浮燈標附近  
民國 90 年 2 月份實測之海流與預報之潮位

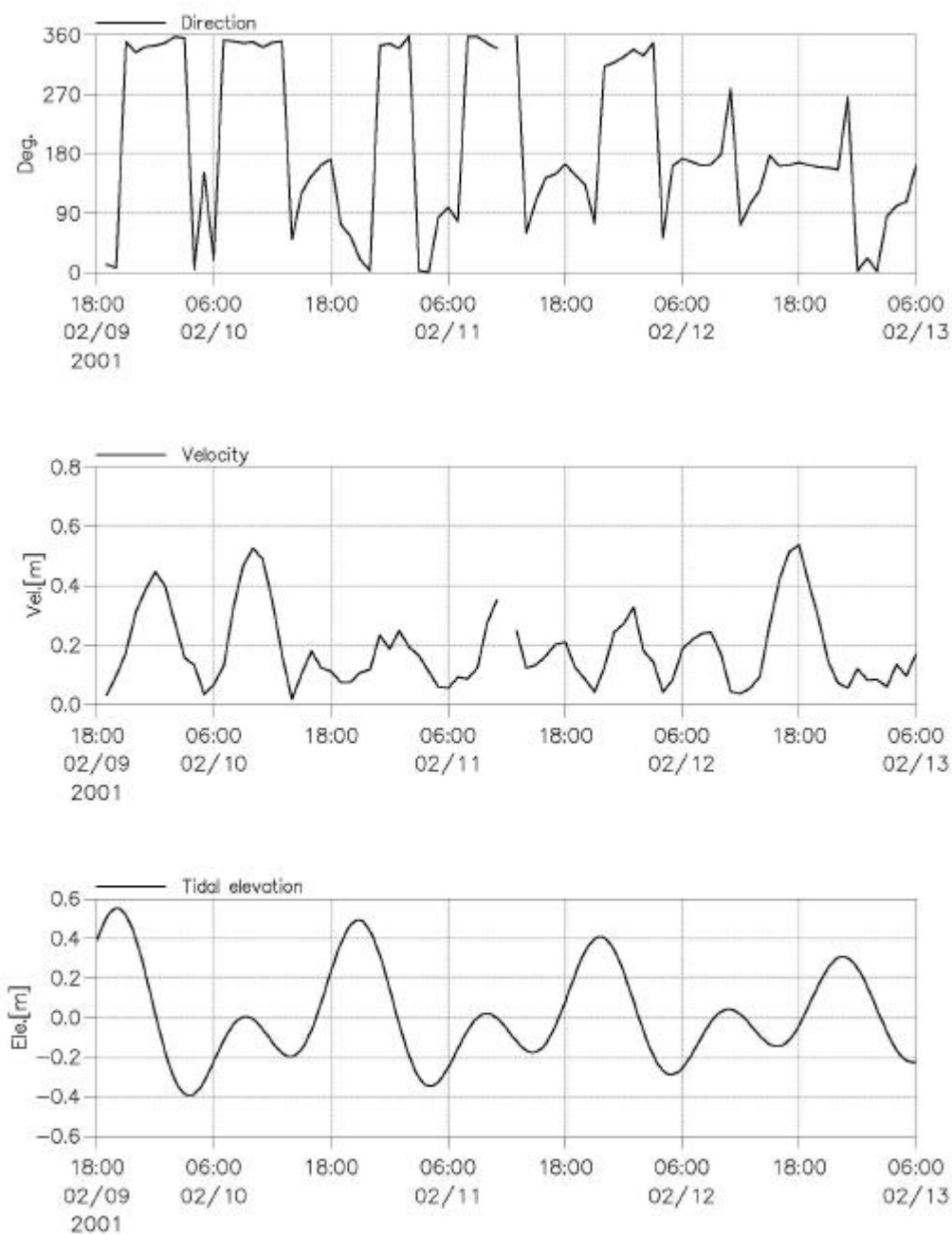


圖 3-18-2 高雄港海域近期於中洲放流管南側東三浮燈標附近  
民國 90 年 2 月 9 日至 13 日實測之海流與預報潮位

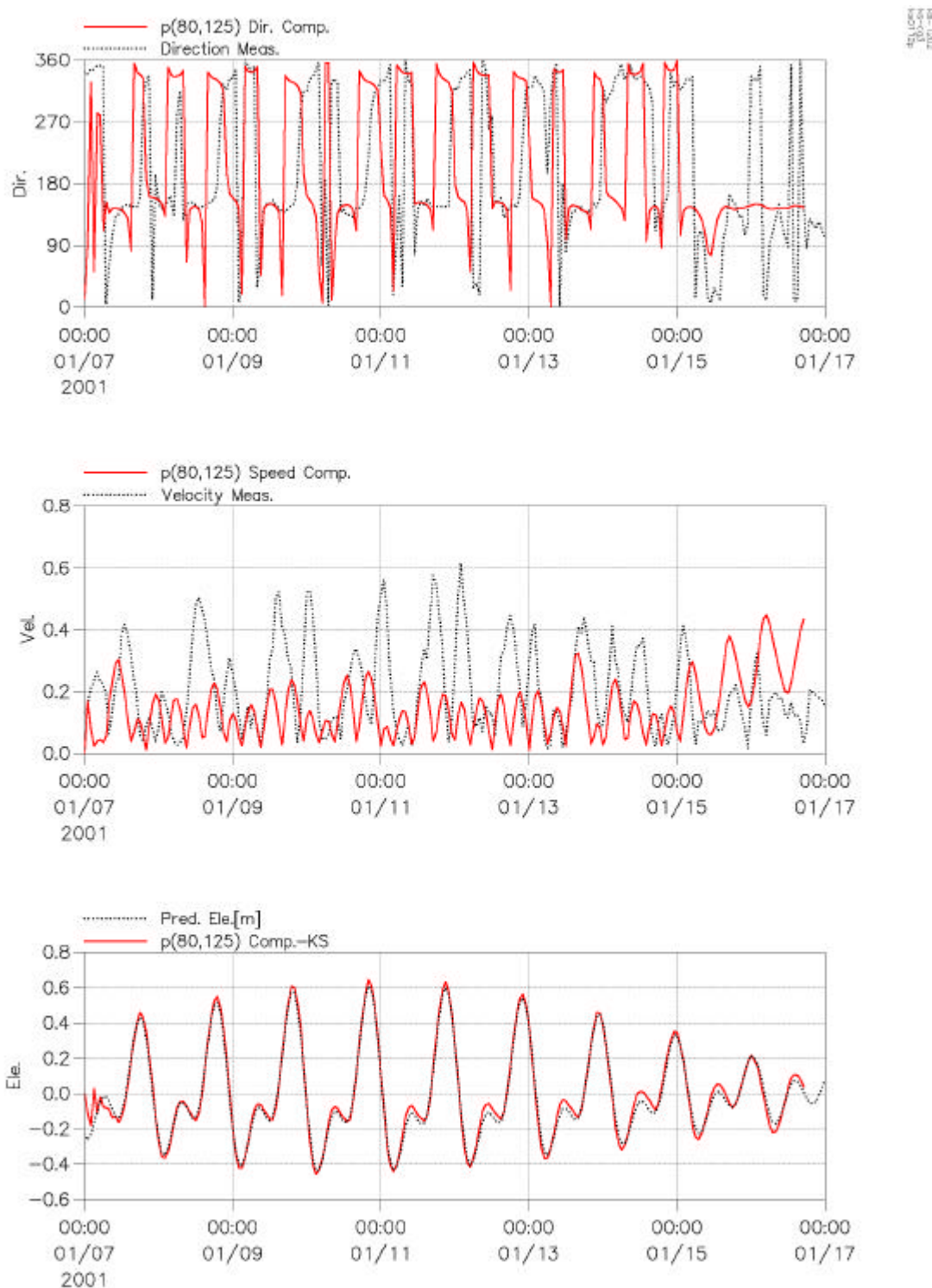


圖 3-19 高雄港小(細域)範圍計算海域之實測與計算流向(上)、流速(中)驗證及預報與計算潮位(下)驗證

## 第四章 結論與建議

### 4.1 結論

高雄港海域潮型特殊，近混合潮之全日潮型，在月小潮期間半日潮型明顯，在月大潮期間則全日潮型又較顯著，南北端之潮位梯度不明顯，海流流速普遍較我國其他國際商港海域低，但因港域海側具有頗為獨特之大陸棚架、高屏斜坡與恒春海脊等地形因素，外加中洲放流管之排放流況影響，促使高雄港域之海流特性顯得頗為多變且不易掌握。整理歷年海流之實測資料尚可發現，高雄港域之流向隨潮位之漲落變化大體上呈現漲潮時流向東南；退潮時流向西北之特殊海流型態。本研究對高雄港域之海流及潮位計算模擬後，所得之主要結論如后：

1. 本研究對於台灣環島、台灣南部及高雄港等海域之逐時潮位均可準確地計算並掌握，但針對高雄港海域潮位梯度不明顯、海流流速低、流向隨潮位漲落作異於常理變化之特殊海流型態，本研究即使從巢狀網格(nested grids)交疊應用著手，計算海域範圍採用大(區域)、中(局部)、小(細部)範圍等三種計算海域配置，惟驗證結果顯示，小(細部)範圍計算海域之計算結果仍與近期之實測海流特性具有相當程度之偏差。
2. 傳統上，探討近岸海域海潮流之變化特性，通常係依據逐點式之有限實測資料進行統計分析再予綜合推估。但於高雄港近岸海域，由於水深地形變化大，加以潮汐特性特殊，欲全面性獲得海潮流之即時及全平面性之變化資訊，開放海域側海象水動力特性之準確掌握是不可或缺地。
3. 從水動力數值模擬之觀點，準確之邊界條件設定與使用，較諸數值模式之選用、改進、或自行研發重要。本研究從數值模擬計算之觀

點出發，於有效整合與台灣鄰近國家之沿岸潮位站資料並經充分搭配現地實際調查之成果驗證確認後，研提了一有效設定台灣環島開放海域側水動力數值邊界條件之對策，藉以克服解決海側邊界條件因量測不易所衍生應用不確定性之難題。

4. 從歷年海流之實測資料可清楚地看出，高雄港域之流向隨潮位之漲落變化大體上呈現漲潮時流向東南；退潮時流向西北之特殊海流型態。此一奇異之海流特性，預期應顯著地受存在於高雄港海域外之半日潮部分重複駐波節點位置(莊文傑，2000)與其水動力振盪特性所影響、支配。
5. 由於本研究大(區域)範圍計算海域可充分考量大陸棚架地形之總體效應，因此，高雄港海域之特殊海流型態僅能於大(區域)範圍海域之計算結果中呈現。
6. 高雄港域由於水深、地形、放流管、風力及部分重複駐波波節點存在之特殊影響，進行高雄港域之細部海流模擬，其計算範圍邊界條件之取用與設定須謹慎調整、檢核。不精確之邊界條件取用與設定將引致極大之模擬誤差，並使計算海流特性變形，甚至完全偏離實測之海流特性。
7. 為提供高雄港海域執行環境維護、污染防治、污染源追蹤及各類緊急防災應變之應用需要，高雄港海域全面性之逐時計算流場尚有待持續努力研究，更需實測作業與數值模擬進一步充分配合。

## 4.2 建議

1. 本所港灣計技術研究中心近期於中洲放流管南側東三浮燈標所實測之逐時海潮流資料，其流速明顯較以往於高雄港二港口南側大林蒲海域實測海流流速大，其偏大之原因頗值得深入研究。而本數值模擬研究計算流場之準確性亦值得再深入評估。
2. 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差強人意，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，致使本研究數值模擬計算結果在台灣環島局部海域與近岸水域仍具有相當之誤差。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] 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.
- [4] 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.
- [5] 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, .284 pp.
- [6] 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.
- [7] 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。
- [8] 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.
- [9] 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。
- [10] 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.

- [11] 曾相茂 (2000), 台灣地區國際港附近海域海氣象現場調查分析研究 (I). 基本研究報告 MOTC-IOT-IHMT-CA8903, 交通部運輸研究所台灣技術研究中心, 共 286 頁。
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 劉文俊 (1996), 台灣的潮汐. ISBN 957-97179-5-8, 初版, 自費出版.
- [16] 劉文俊 (1999), 台灣的潮汐. ISBN 957-97334-9-X, 第二版, 自費出版.
- [17] Bennett, A.F. and P.C. McIntosh (1982), **Open ocean modeling as an inverse problem: Tidal theory.** *J. Phys. Oceanogr.*, 12: 1004-1018.
- [18] Buchwald, V.T. and J.K. Adams (1968), **The propagation of continental shelf waves.** *Proc. Roy. Soc.*, A(305): 235-250.
- [19] Cartwright, D.E. (1969), **Extraordinary tidal currents near St Kilda.** *Nature*, 223: 928-932.
- [20] Cartwright, D.E. (1990), **Oceanic tides from Geosat altimetry.** *J. Geophysical Research*, 95(C3): 3069-3090.
- [21] 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.
- [22] Cartwright, D.E. and R.D. Ray (1991), **Energetics of global ocean tides from Geosat altimetry.** *J. Geophysical Research*, 96(C9): 16897-16912.
- [23] Chambers, L.G. (1965), **On long waves on a rotating earth.** *J. Fluid Mech.*, 22(2): 209-216.

- [24] Chapman, D.C. (1985), **Numerical treatment of cross-shelf boundaries in a barotropic coastal ocean model**. *J. Phys. Oceanogr.*, 15: 1060-1075.
- [25] Chen, H.S. (1990), **Infinite Elements for water wave radiation and scattering**. *International J. for Numerical Methods in Fluids*, 11: 555-569.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] 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.
- [29] DHI (1994), **User guide and reference manual of MIKE 21-coastal hydraulics and oceanography hydrodynamic module**. Danish Hydraulic Institute.
- [30] Francis, O. and P. Mazzega (1990), **Global charts of ocean loading effects**. *J. Geophysical Research*, 95(C7): 11411-11424.
- [31] 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.
- [32] Hunkins, K. (1986), **Anomalous diurnal tidal currents on the Yermak Plateau**. *J. Marine Res.*, 44: 51-69.
- [33] 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.

- [34] 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.
- [35] 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.
- [36] 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.
- [37] 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. Geophy. Res.*, 99(C12): 24777-24797.
- [38] Le Provost, C. and M. Fornerino (1985), **Tidal spectroscopy of the English Channel with a numerical model** *J. Physical Oceanography*, 15: 1009-1031.
- [39] 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.
- [40] 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.
- [41] 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.
- [42] 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.
- [43] Louguet-Higgins, M.S. (1967), **On the trapping of wave energy round islands.** *J. Fluid Mech.*, 29(4): 781-821.

- [44] 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.
- [45] Louguet-Higgins, M.S. (1969), **On the trapping of long-period waves round islands.** *J. Fluid Mech.*, 37(4): 773-784.
- [46] Louguet-Higgins, M.S. (1970), **Steady currents induced by oscillations round island.** *J. Fluid Mech.*, 42(4): 701-720.
- [47] Lu, Q.M. and R. Warren (1992), **Current simulation in the Taiwan Strait.** Proc. 14<sup>th</sup> Conf. Coastal Engineering, R.O.C., 128-147.
- [48] Luther, D.S. and C. Wunsch (1975), **Tidal charts of the Central Pacific Ocean.** *J. Physical Oceanography*, 5: 222-230.
- [49] 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.
- [50] 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.
- [51] Meyer, R.E. (1979), **Surface-wave reflection by underwater ridges.** *J. Physical Ocean*, 9, 150-157.
- [52] 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.
- [53] Miles, J.W. (1972), **Wave propagation across the continental shelf.** *J. Fluid Mech.*, 54, 63-80.
- [54] Momoi, T. (1974), **A long wave in an L-shaped channel.** *J. Phys. Earth*, 22: 395-414.
- [55] Mysak, L.A. (1967), **On the theory of continental shelf waves.** *J. Marine Res.*, 25(3): 205-227.

- [56] Mysak, L.A. and C.L. Tang (1974), **Kelvin wave propagation along an irregular coastline**. *J. Fluid Mech.*, 64(2): 241-261.
- [57] Munk, W., Snodgrass, F. and G. Carrier (1956), **Edge Waves on the Continental Shelf**. *Science*, 123(3187): 127-132.
- [58] 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.
- [59] NGDC (1988). **Data Announcement 88-MGG-02, Digital relief of the Surface of the Earth**. NOAA, National Geophysical Data Center, Boulder, Colorado, USA.
- [60] 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.
- [61] Ogura, S. (1933), **The tides in the sea adjacent to Japan**. Bulletin of the Hydrographic Department, Imperial Japanese Navy, No. 7, 189 pp.
- [62] Pedlosky, J. (1982), **Geophysical fluid dynamics**, Springer-Verlag, New-York, 624 pp.
- [63] Pugh, D.T. (1987), **Tides, surges and mean sea-level**, John Wiley and Sons, New York, 47.
- [64] Rao, D.B. (1966), **Free gravitational oscillations in rotating rectangular basins**. *J. Fluid Mech.*, 25(3): 523-555.
- [65] Reid, R.O. (1958), **Effect of Coriolis force on edge waves (I) Investigation of the normal modes**. *J. Marine Res.*, 16(2): 109-144.
- [66] Rhines, P.B. (1969), **Show oscillations in an ocean of varying depth, Part 1, abrupt topography**. *J. Fluid Mech.*, 37(1): 1969.
- [67] 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.

- [68] 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.
- [69] Shaw, R.P. and W. Neu (1981), **Long-wave trapping by oceanic ridges**. *J. Physical Oceanography*, 11: 1334-1344.
- [70] Thomson, R.E. and W.R. Crawford (1982), **The generation of diurnal shelf waves by tidal currents**. *J. Physical Oceanography*, 12: 635-643.
- [71] 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 4<sup>th</sup> Workshop on Ocean Models for the APEC Region (WOM-4)*, Tainan, Chinese Taipei, 12-1~12-20.
- [72] 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.
- [73] 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.
- [74] UKHO (1997), **Admiralty TIDE TABLES and tidal stream tables**. Vol. 3, the Hydrographer of the Navy, UK Hydrographic Office, Somerset, U.K., 498 pp.
- [75] 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.
- [76] Wang, D.P. (1982), **Development of a three-dimensional, limited-area (island) shelf circulation model**. *J. Phys. Oceanogr.*, 12: 605-617.
- [77] Yanagi, T. and K. Inoue (1994), **Tide and tidal current in the Yellow/East China Sea**. *La mer*, 32, 153-165.

- [78] 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.
- [79] Yanagi, T. and T. Takao (1998a), **Clockwise phase propagation of semi-diurnal tides in the gulf of Thailand.** *J. Oceanography*, 54: 143-150.
- [80] 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.
- [81] Ye, A.L. and I.S. Robinson (1983), **Tidal dynamics in the South China Sea.** *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 72: 691-707.
- [82] 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(二)

--高雄港海域潮汐與潮流之數值模擬研究--

## 摘要內容

本研究主要在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】之第一年研究成果，針對台灣南部及高雄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 (DHI, 1994)，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(NGDC, 1988)，進而模擬計算並探討台灣南部及高雄港海域之潮流與潮位特性。從模擬計算結果與實測資料驗證得知，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南部海域潮流與潮位之整體時空變化特性，但在鄰近高雄港之局部海域特定驗證點位上，由於台灣西南部特殊弧灣型海岸線地形與其鄰近東亞大陸棚架及高屏斜坡之複雜水深與駐波結點影響，儘管該局部海域之潮位整體時空變化特性依舊可被準確地掌握，不過，其計算潮流之大小與方向卻仍甚難與實測之海流特性吻合。高雄港海域準確之海流特性掌握尚有待未來實測與計算模擬研究之持續努力。

本研究報告共分為六章，第一章為導論，說明研究緣起、研究目的、研究方法以及相關之文獻回顧。第二章介紹高雄港之海域環境與觀測之海流與潮位特性。第三章為潮流之數值模擬計算，其中包含潮流水動力模式之理論與計算架構、巢狀網格(nested grids)計算海域之配置、初始及邊界條件之設定、及數值模擬計算結果之驗證與討論。第四章為結論與建議。

## 第一章 緒論

台灣四面環海，環島沿岸海域，政府各相關部門與單位為特定港灣開發建設之需要雖曾設置許多潮位觀測站並進行海流觀測，但對環島海域全面海象資訊之瞭解與掌握仍屬杯水車薪。鑑此，針對台灣環島面對之開放海域特性，本研究之研究目的主要設定在延續應用政府

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】之第一年研究成果，將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南部海岸及高雄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。研究重點為

1. 探討高雄港及台灣南部海域之潮位與潮流特性，並進一步檢驗『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。
2. 建置台灣環島大範圍海域之數位化地形與水深。
3. 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，並補充實測資料之不足，節省實測人力與物力之投注。

## 第二章 高雄港港域環境

高雄港位於台灣之西南部海域，居處我國對中國大陸及東南亞航線之交通要衝，港域幅員遼闊，腹地廣大，臨海有狹長沙洲屏蔽，港灣形勢天成，地理條件優良，現有船舶進出之港口共二個，為我國最大之國際港埠。不過，由於台灣海峽及東亞大陸棚架地形水深之影響(莊、江, 2000；Lin et al., 2000, 2001)，高雄港海域實際約座落在半日潮於台灣海峽形成部分重複駐波之南端節點內(莊, 2000)，因此，高雄港海域不僅潮型特殊，潮差小，南北端之潮位梯度不明顯，實測海流隨潮位變化之特性也頗為奇異。依據近期及以往之實測海流資料顯示：高雄港域之海流，漲潮時流向為東南；退潮時流向為西北，海流流向明顯與正常之潮位梯度變化不一致。此外，高雄港海域尚有大林埔及中洲放流管之排放流況影響，以致高雄港域之海流特性，無法僅依據沿岸潮汐測站之潮位梯度變化而可直接有效地研判、計算模擬與掌握(莊、江，1997)。

此外，觀察台灣西南部及高雄港局部海域之 LANDSAT TM 衛星照片可得，於台南七股至安平港之近海沿岸，明顯可見輕藍色之水色差異由北往南伸展，同樣地，再自衛星照片中觀察安平港至高雄港之

近岸海域，於永安液化天然氣碼頭外海亦可清楚地發現一狀似三角形之黃藍水色差異團塊。因此，研判永安液化天然氣碼頭海域之優勢海流流向應具有南、北向之交匯特性，亦即在永安液化天然氣碼頭海域，從安平港近岸海域應具往南之優勢沿岸海流流向，而從高雄港近岸海域則應具往北之優勢沿岸海流流向。

### 第三章 台灣南部及高雄港海域海流之水動力模擬

為探討高雄港及台灣南部海域之奇異海流特性，並進一步檢驗本序列研究 - 『台灣四周海域海流數值模擬研究』第一年研究成果之準確性與應用性。使用經水深積分後之 MIKE21\_HD (DHI, 1994) 二維淺水波水動力數值計算模式，於地形之必要解析度考量下，建立大(區域)、中(局部)、小(細部)計算海域之巢狀網格(nested grids)配置。其中，大(區域)計算海域之邊界條件係依據自中國大陸、韓國、日本、及菲律賓等國沿岸所選列潮位站之主要分潮常數預報逐時潮位並經線性差分後直接設定，至於中(局部)、小(細部)計算海域之水動力邊界條件，則可循序地逐步自其上較大範圍海域之水動力模式計算結果中分別萃取後應用。

為確認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、基隆、淡水、新竹、台中、澎湖、將軍、安平、高雄、蟬廣嘴、富岡及花蓮為驗潮站；於中國大陸沿岸海域取馬祖、廈門及汕頭為驗潮站。觀察驗證比較結果可得，上述驗潮站上之計算潮位與潮時皆與迴報資料頗為吻合。因此，確認本研究可充分掌握並完整地呈現台灣環島海域潮位與潮時之整體時空變化特性及分佈趨勢。至於在高雄港小(細部)範圍計算海域內，取與近期海潮流實測點位對應之逐時計算潮位與海潮流進行比較，從驗證結果可得，高雄港小(細部)範圍計算海域內之逐時計算潮位與預報之實際潮位仍甚為吻合，但計算之海潮流流速普遍較近期實測海潮流之流速低，流向之逐時變化亦具有相當之偏差。儘管如此，計算海潮流之流速大小與以往於高雄港二港口南側大林蒲海域實測海流之大小仍甚相當，惟就總體之驗證結果而言，由於本研究未於計算中充分考量中洲放流管排放流況之影響，因此，高雄港小(細部)範圍海域計算海潮

流之準確性尚有待進一步評估，或藉收集更廣泛之實測資料據以再檢討、改善。

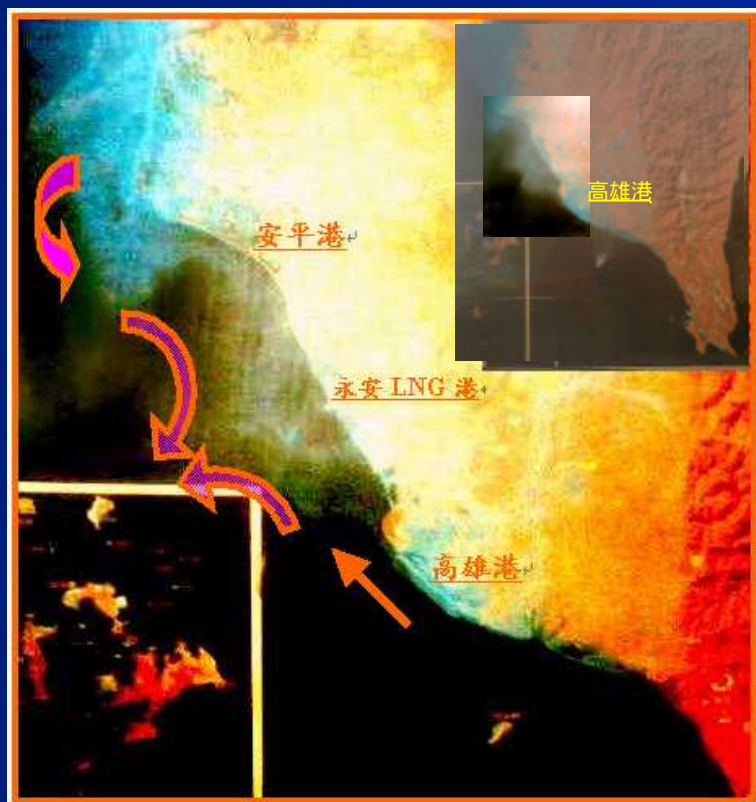
#### 第四章 結論與建議

本研究對高雄港域之海流及潮位計算模擬後，所得之主要結論與建議如后：

1. 本研究從數值模擬計算之觀點出發，於有效整合與台灣鄰近國家之沿岸潮位站資料並經充分搭配現地實際調查之成果驗證確認後，研提了一有效設定台灣環島開放海域側水動力數值邊界條件之對策，藉以克服解決海側邊界條件因量測不易所衍生應用不確定性之難題。
2. 本研究對於台灣環島海域之逐時潮位均可準確地計算並掌握，但針對高雄港海域潮位梯度不明顯、海流流速低、流向隨潮位漲落作異於常理變化之特殊海流型態，本研究之計算結果仍與近期之實測海流特性具有相當程度之偏差。
3. 於高雄港近岸海域，由於鄰近陸架斜坡，水深地形變化大，加以污水放流管排放流量與方式之影響，僅依據逐點式之有限實測資料進行近岸海域海潮流之變化特性統計分析與推估，將無法準確獲得全面性海潮流之即時及全平面性之變化資訊。克服解決之道應從開放海域側海象水動力特性之精確掌握著手。
4. 從高雄港近岸海域歷年海流之實測資料可清楚地看出，海流流向隨潮位之漲落變化大體上呈現漲潮時流向東南；退潮時流向西北之特殊海流型態。此一奇異之海流特性，除綜合有陸架邊緣水深、海岸線地形、放流管及風力等複雜影響因素外，預期應顯著地受存在於高雄港海域外之半日潮部分重複駐波節點位置與其水動力振盪特性所影響、支配。
5. 近期於中洲放流管口附近實測之逐時海潮流，其流速明顯較以往於高雄港二港口南側大林蒲海域實測海流流速大，其偏大之原因值得再深入研究與確認。



## 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--



計畫編號：MOTC-IOT-IHMT-NA9017  
執行單位：港灣技術研究中心 第三科

莊文傑 —研究員

江中權 —副研究員



## 研究目的與方法

- ❑ 研究依據：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』之序列研究之二。
- ❑ 研究重點：主要在延續八十九年度之具體成果，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南部海岸及高雄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。
- ❑ 研究方法：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。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測站之預報潮位時序變化值設定控制。台灣南部局部海域及高雄港海域之潮位與潮流之計算海域水動力邊界條件將由巢型網格配置之逐層計算海域結果中萃取應用。
- ❑ 研究目標為：
  - 探討高雄港及台灣南部海域之潮位與潮流特性，並進一步檢驗『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。
  - 建置台灣環島大範圍海域之數位化地形與水深。
  - 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，節省實測人力與物力之投注。



## 台灣環島海域之環境地形及水深

### □ Hydraulic Environment

#### ➤ Seas around Taiwan

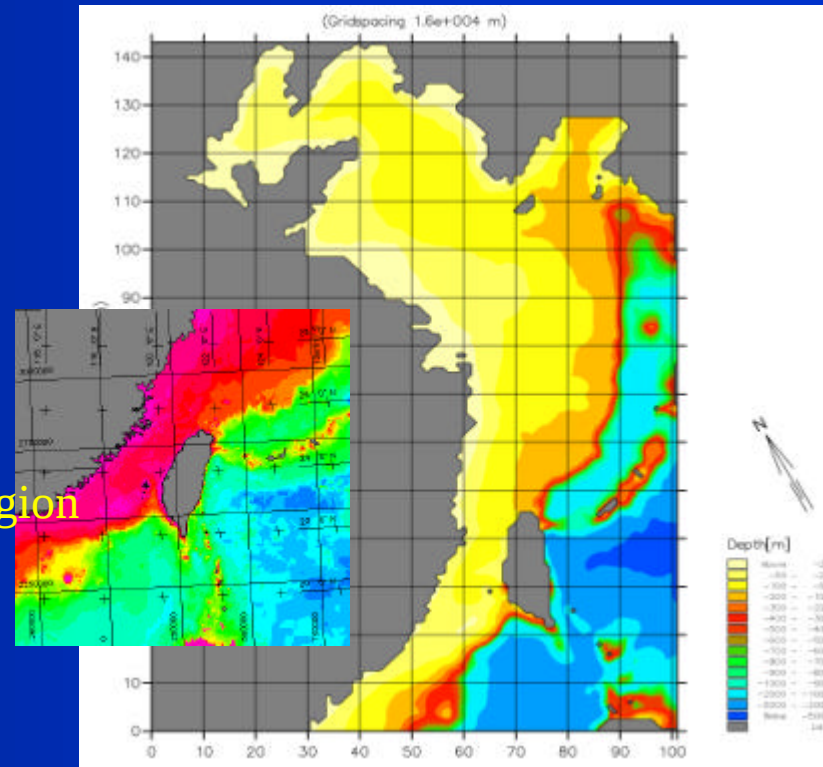
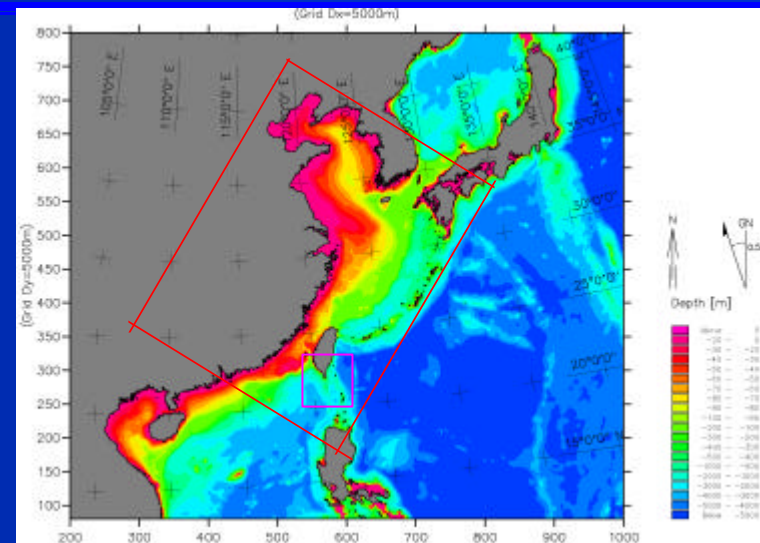
- Taiwan Strait; East & South China Sea;
- West Pacific Ocean; Bashi Channel

#### ➤ Asia Continental Shelf

- Shelf Waves and Topography Effects
- Co-oscillation; Resonance

### □ Requirements

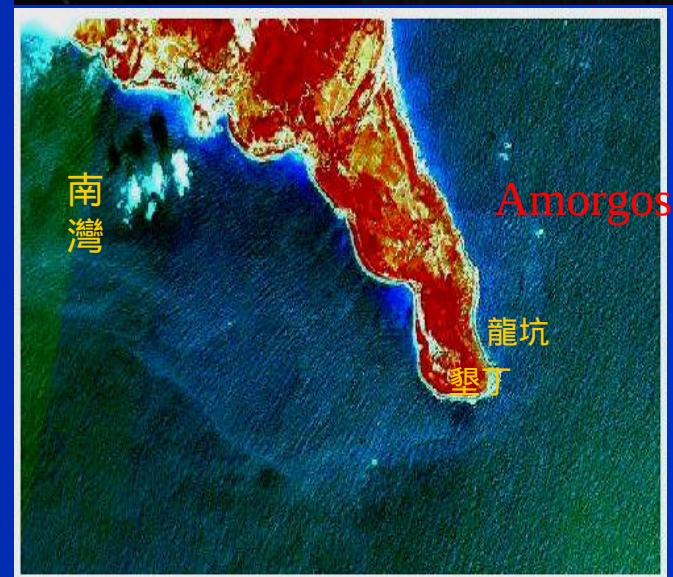
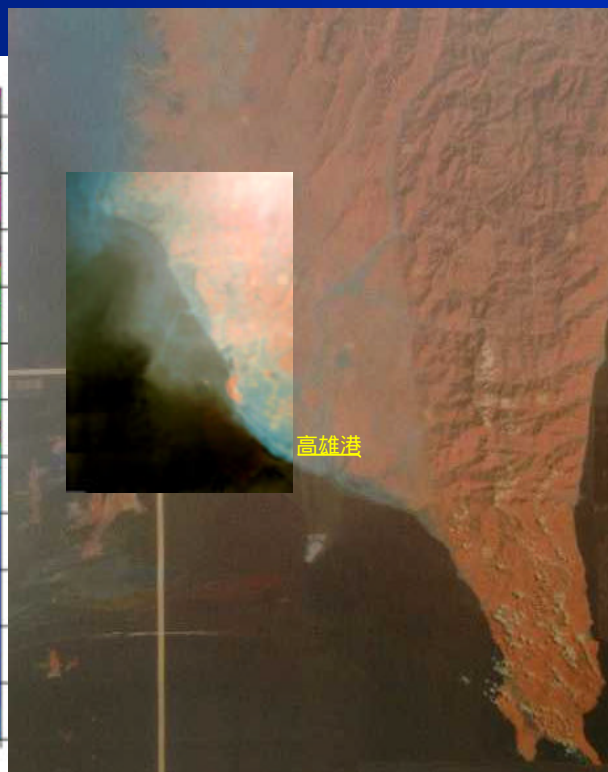
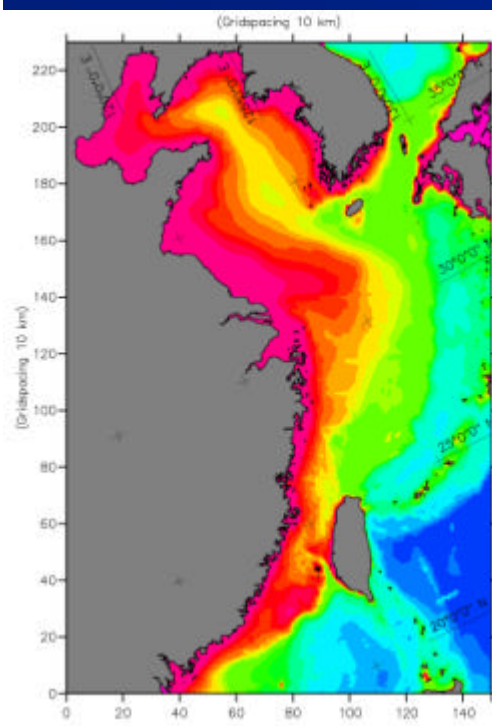
- Supplying the Offshore B.C.s for Hydrodynamic Simulation in Coastal Region
- Understanding the Regional tidal Characteristics
  - Variations of water elevation and tidal currents





## 台灣南部及高雄港海域

今年一月十四日約下午五點左右，滿載鐵砂之希臘籍三萬五千噸級貨輪阿瑪斯(AMORGOS)號，於墾丁國家公園龍坑自然生態保護區東北方外海，距岸約一千八百公尺、水深約二十米深處觸礁擱淺





# 水動力數值計算模式

## MIKE21\_HD

- Commercial package developed by Danish Hydraulic Institute
- A general depth-averaged shallow water wave model
  - ❑ Transient Model applied to simulate unsteady 2-D flows in one-layer
  - ❑ Numerical Solver: ADI finite difference scheme

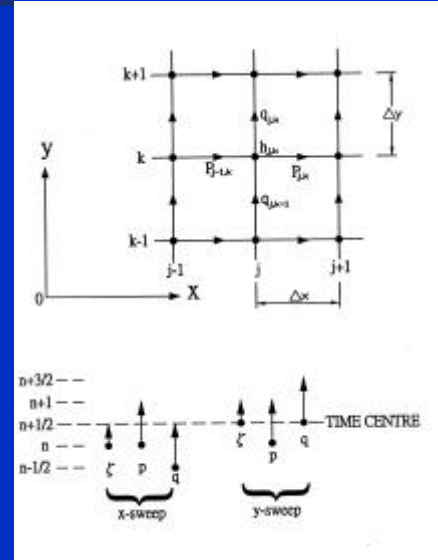
## System equations

- Cartesian coordinate; Depth integral flux base

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial z}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 \cdot h^2} - \frac{1}{r_w} \left[ \frac{\partial}{\partial x} (ht_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (ht_{xy}) \right] - \Omega q - f_w V V_x + \frac{h}{r} \frac{\partial}{\partial x} (P_a) = 0$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial z}{\partial y} + \frac{gq\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 \cdot h^2} - \frac{1}{r_w} \left[ \frac{\partial}{\partial y} (ht_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (ht_{xy}) \right] - \Omega p - f_w V V_y + \frac{h}{r} \frac{\partial}{\partial y} (P_a) = 0$$



- Bed resistance:
  - the Manning/Chezy number
- Effective shear stress
  - turbulent: eddy viscosity  
Smagorinsky (1963) formula
  - radiation stress: waves
- Coriolis forces
- Wind stress
- Atmospheric pressure



## 計算海域之地形、水深及海岸線資料

### Topography

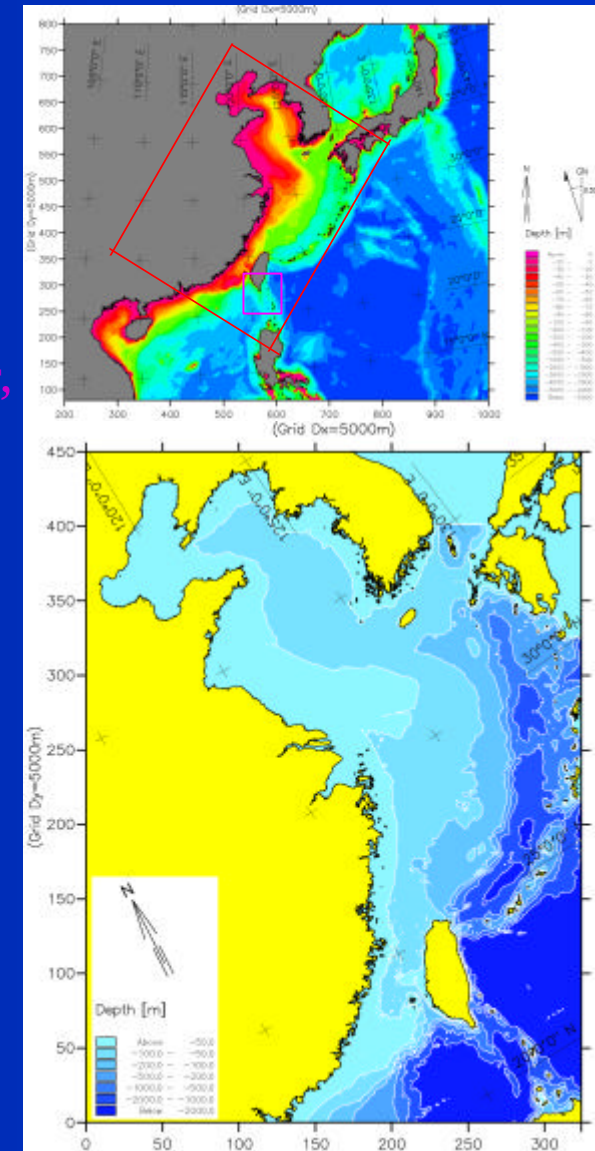
➤ ETOPO5 – land/sea-floor elevation digital database

- NGDC-National Geophysical Data Center,
  - Digital relief of the Surface of the Earth
  - Data Announcement 88-MGG-02, 1988.
  - 5 minute (~9km) geographical resolution

### Shorelines

➤ GSHHS – a Global Self-Consistent Hierarchical High-resolution Shoreline Database

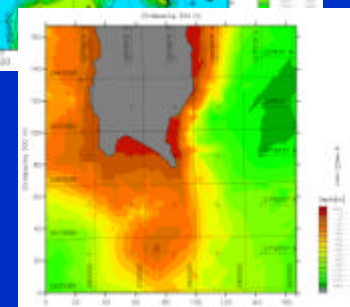
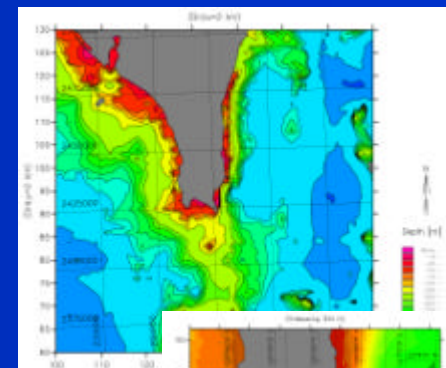
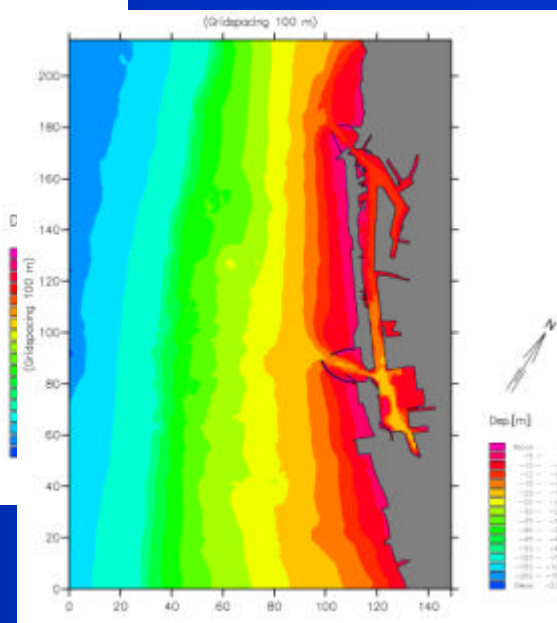
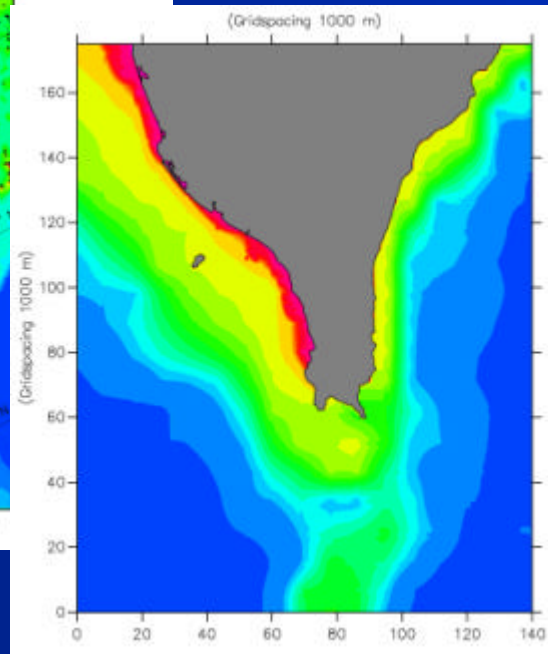
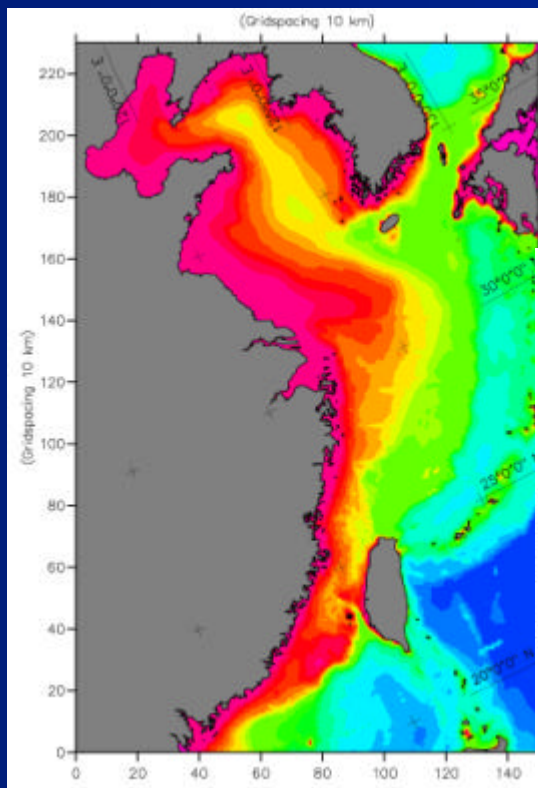
- Different terrains included





## 逐層配置之巢型網格 (Nested Grids)

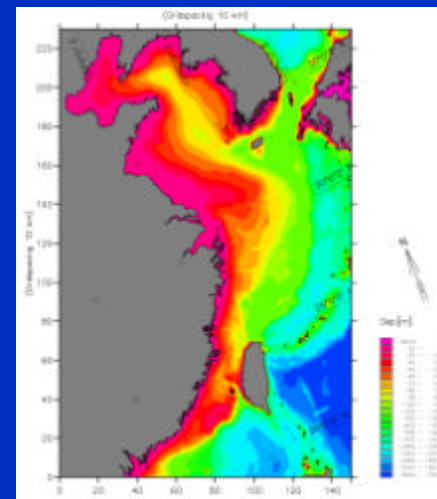
- Regional Grid
- Local Grid
- Fine Grid





## 潮位站與邊界條件

- Assuming the driving forces induced mainly from the gradients of free surface variation
- 5 open boundaries with 12 tidal stations located
- Setting the linear-interpolated hourly tidal elevations, predicted by applying the IOS(the Institute of Ocean Science, Canada) package, along the boundaries

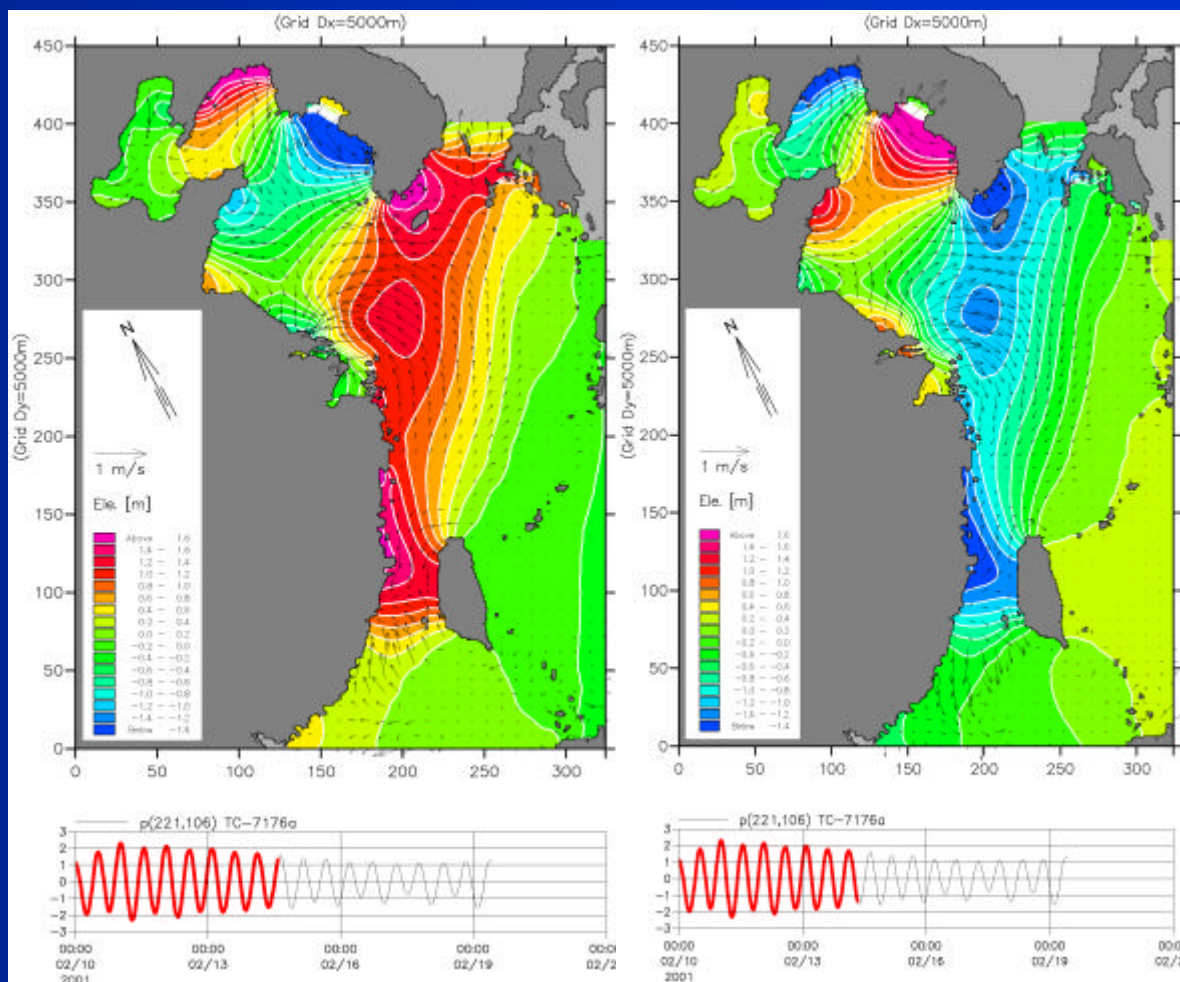


| Station         | Station | Regional Grid | Geo-Location |             | M <sub>2</sub> |       | S <sub>2</sub> |       | K <sub>1</sub> |       | O <sub>1</sub> |       |
|-----------------|---------|---------------|--------------|-------------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|
| Site            | No.     | Coordinate    | Latitude-N   | Longitude-E | Amp.           | Phase | Amp.           | Phase | Amp.           | Phase | Amp.           | Phase |
| Xiachuan Dao    | 7063    | (38.0,0.0)    | 21°37'       | 112°32'     | 0.60           | 315   | 0.20           | 000   | 0.40           | 320   | 0.30           | 275   |
| Pratas          | 7152    | (76.0,0.0)    | 20°42'       | 116°43'     | 0.20           | 271   | 0.10           | 287   | 0.20           | 312   | 0.20           | 247   |
| Nagabungan      | 5001    | (123.0,0.0)   | 18°29'       | 120°34'     | 0.08           | 192   | 0.06           | 215   | 0.16           | 313   | 0.17           | 269   |
| Port S. Vicente | 5005    | (150.0,1.0)   | 18°31'       | 122°08'     | 0.39           | 152   | 0.20           | 190   | 0.11           | 210   | 0.10           | 191   |
| Hirara          | 7712    | (150.0,84.0)  | 24°48'       | 125°17'     | 0.48           | 210   | 0.20           | 241   | 0.19           | 227   | 0.16           | 200   |
| Baten Ko        | 7717    | (150.0,104.0) | 26°11'       | 127°47'     | 0.57           | 190   | 0.22           | 224   | 0.22           | 212   | 0.17           | 182   |
| Sukku           | 7719    | (150.0,116.0) | 26°33'       | 128°02'     | 0.56           | 186   | 0.26           | 216   | 0.20           | 203   | 0.16           | 178   |
| Wadomari        | 7727    | (150.0,126.0) | 27°24'       | 128°40'     | 0.50           | 189   | 0.20           | 225   | 0.21           | 215   | 0.17           | 183   |
| Kasari Wan      | 7732    | (150.0,139.0) | 28°27'       | 129°39'     | 0.61           | 202   | 0.23           | 240   | 0.20           | 208   | 0.16           | 181   |
| Nakano Shima    | 7740    | (150.0,158.0) | 29°50'       | 129°51'     | 0.58           | 197   | 0.24           | 236   | 0.23           | 204   | 0.15           | 169   |
| Kottoi          | 8073    | (132.0,200.0) | 34°19'       | 130°54'     | 0.32           | 292   | 0.16           | 324   | 0.12           | 309   | 0.13           | 263   |
| Sasuna Ko       | 7606    | (118.0,200.0) | 34°38'       | 129°24'     | 0.45           | 256   | 0.21           | 292   | 0.06           | 221   | 0.05           | 209   |
| Pusan Hang      | 7566    | (113.0,200.0) | 35°06'       | 129°02'     | 0.40           | 236   | 0.19           | 273   | 0.04           | 143   | 0.02           | 109   |



## 大範圍海域(Regional)之計算結果

- ❑ Snapshot of specified time
- ❑ Water level referenced at station Taichung, Taiwan
- ❑ Currents (arrows) and water level distributions (hue scale)
  - Partially standing tide
  - Co-oscillation resonance
  - The kinematic behaviors of the regionally tidal waves appeared as the Kelvin wave propagating from north to south in counterclockwise direction (identified by higher water elevation appearing at the right hand side of the wave's propagation direction)

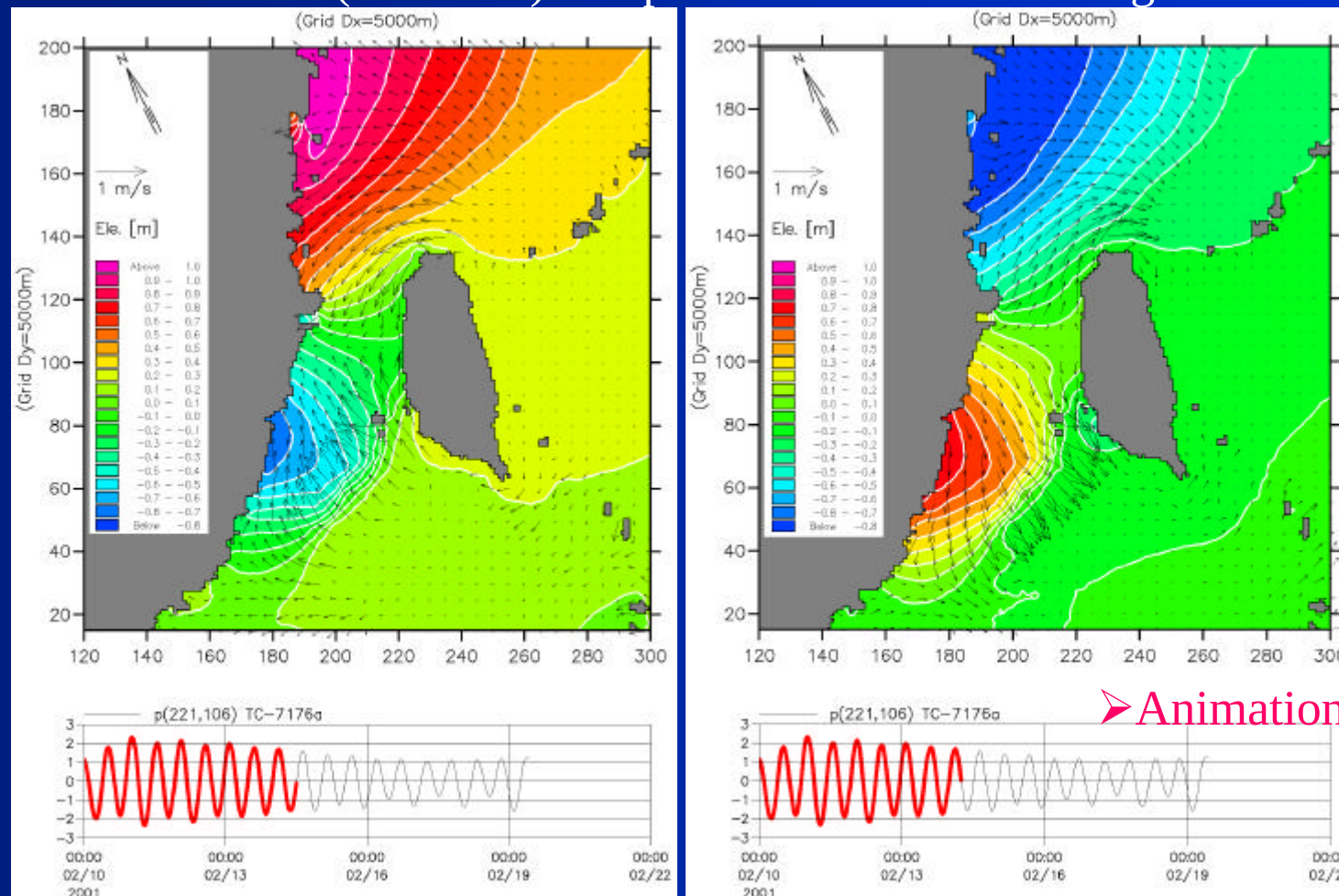


❖ Animation



## 台灣環島海域之計算潮位與潮流

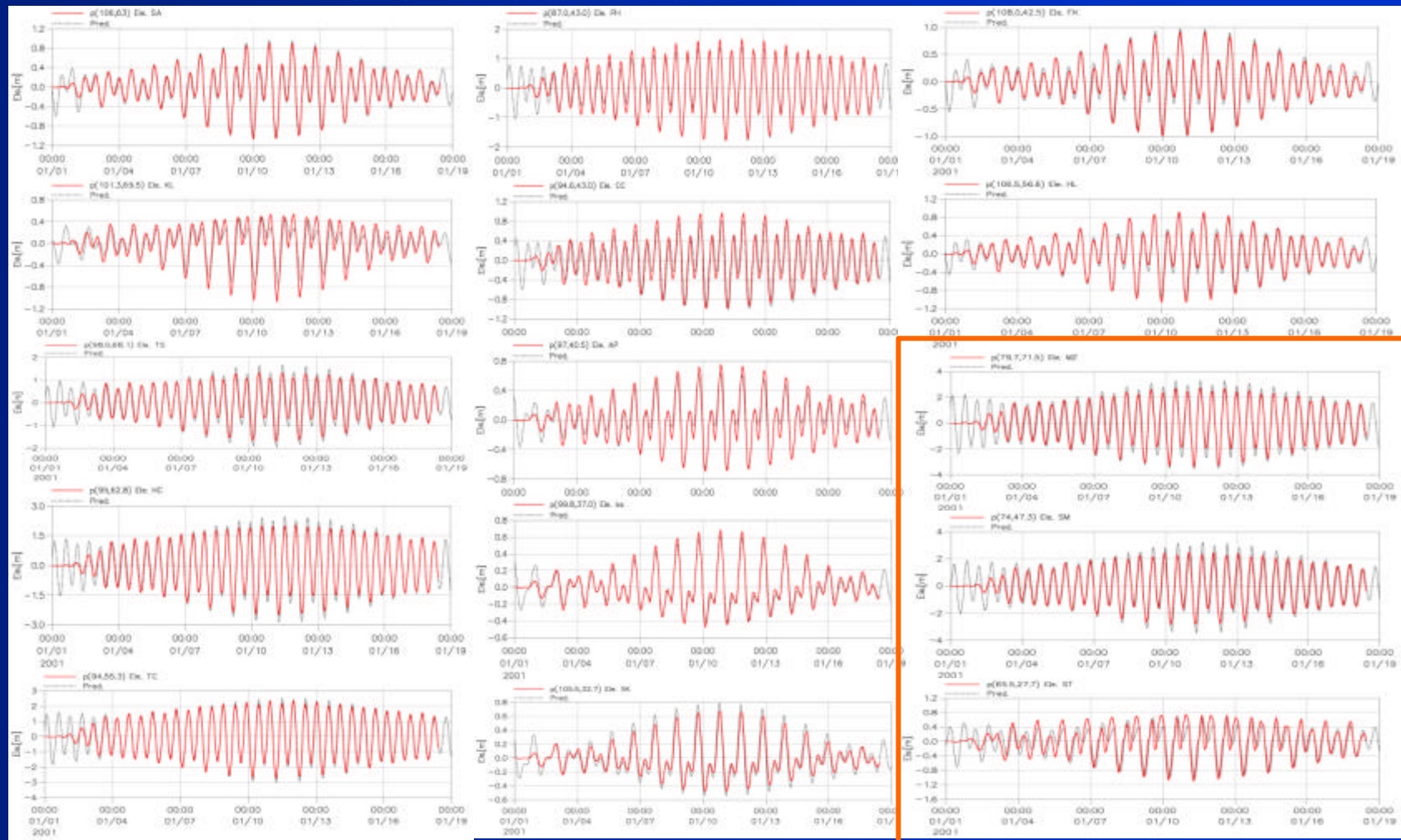
- Tidal characteristics of regional currents (**arrows**) and water level distributions (**hue scale**) computed on seas surrounding Taiwan





# 計算率定、檢核、及驗證—潮汐

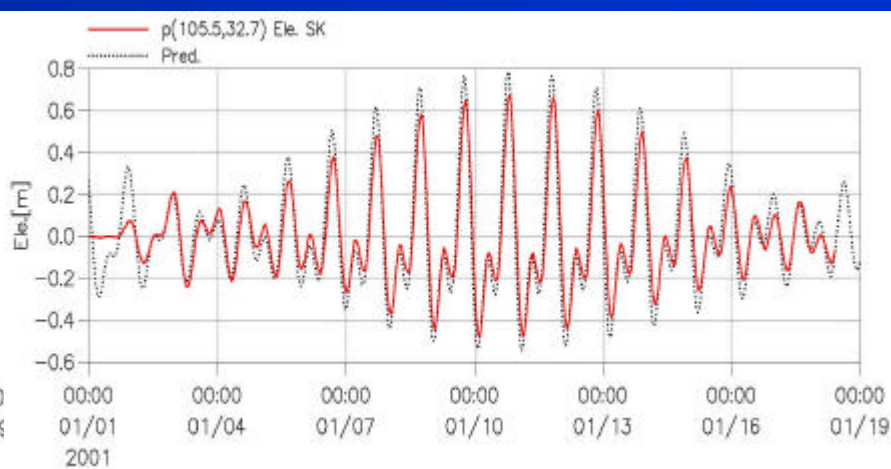
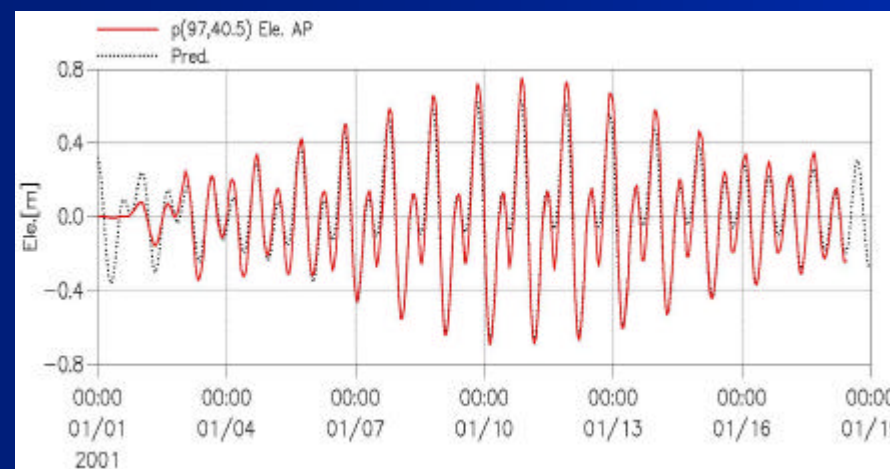
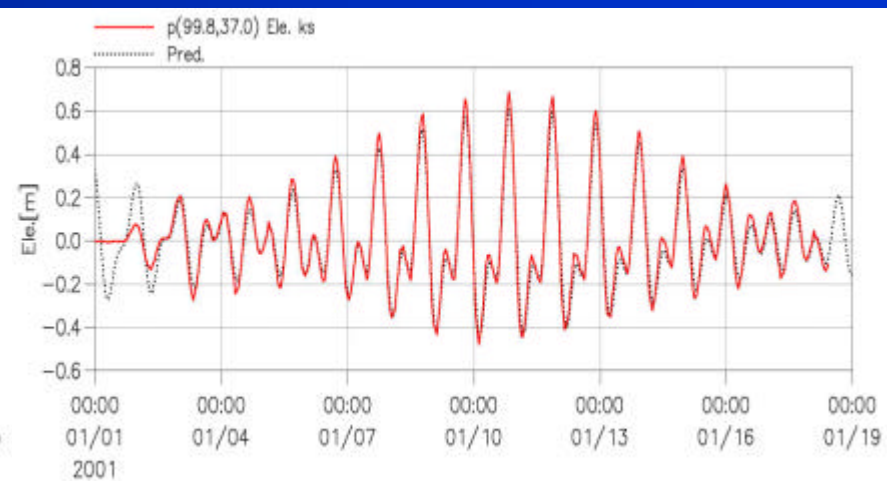
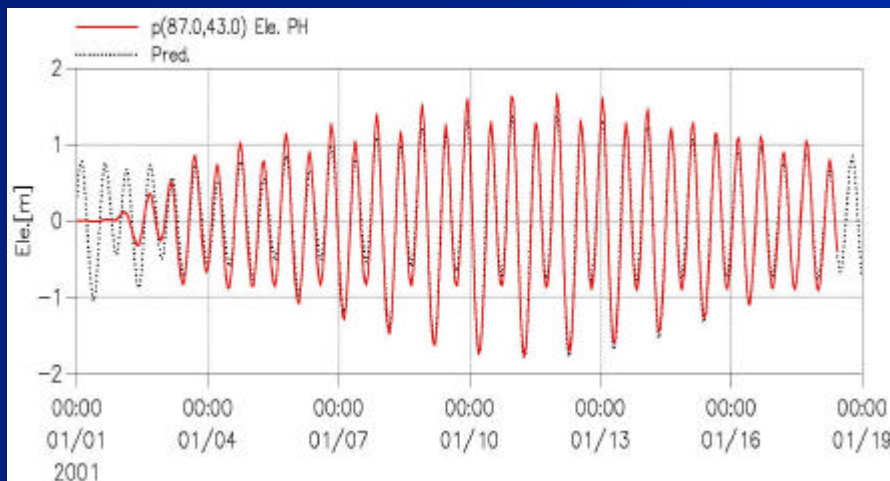
- 於台灣環島沿岸海域: 蘇澳(SA)、基隆(KL)、淡水(TS)、新竹(HC)、台中(TC)、澎湖(PH)、將軍(CC)、安平(AP)、高雄(KS)、鵝鑾嘴(SK)、富岡(FK)及花蓮(HL)為驗潮站
- 於中國大陸沿岸海域: 馬祖(MZ)、廈門(SM)及汕頭(ST)為驗潮站。





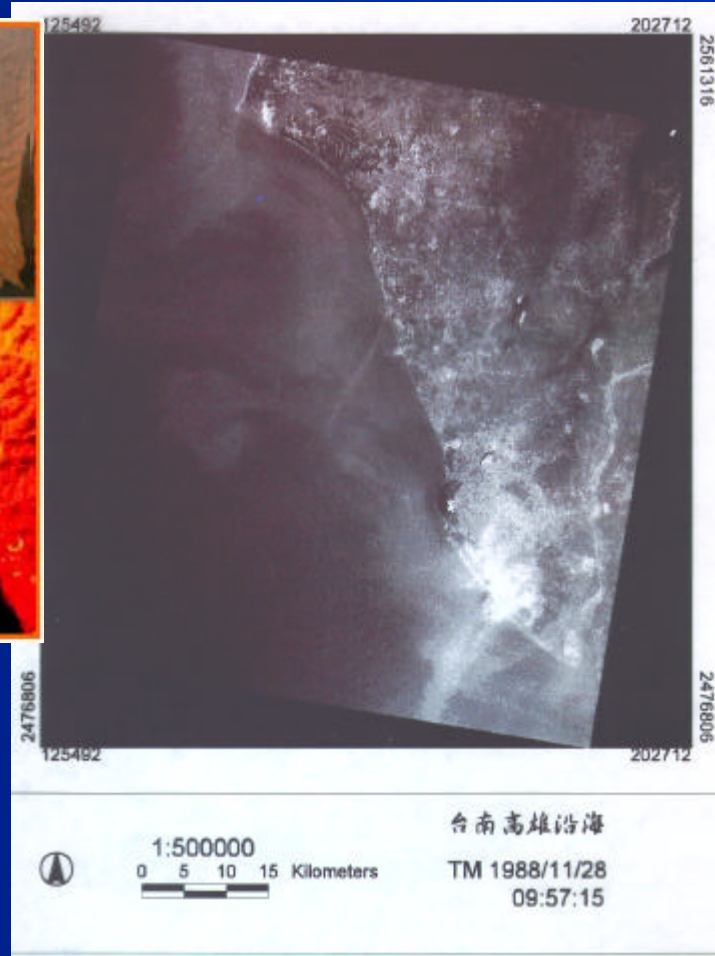
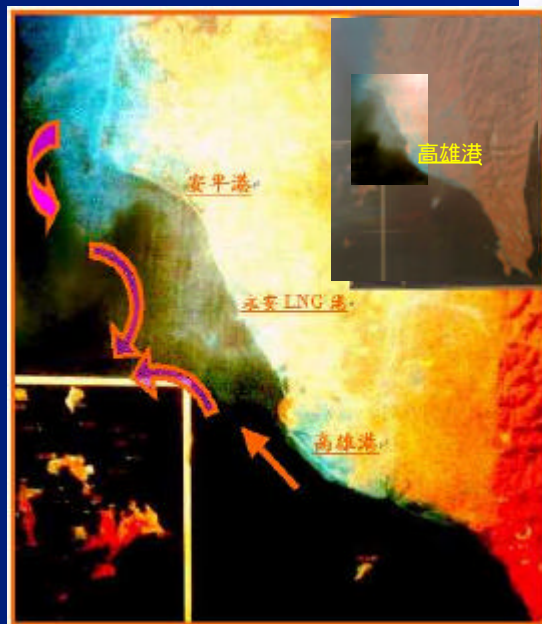
# 台灣西南部沿岸海域潮汐驗證

□ 台灣西南部沿岸海域: 澎湖(PH)、安平(AP)、高雄(KS)、蟬廣嘴(SK)



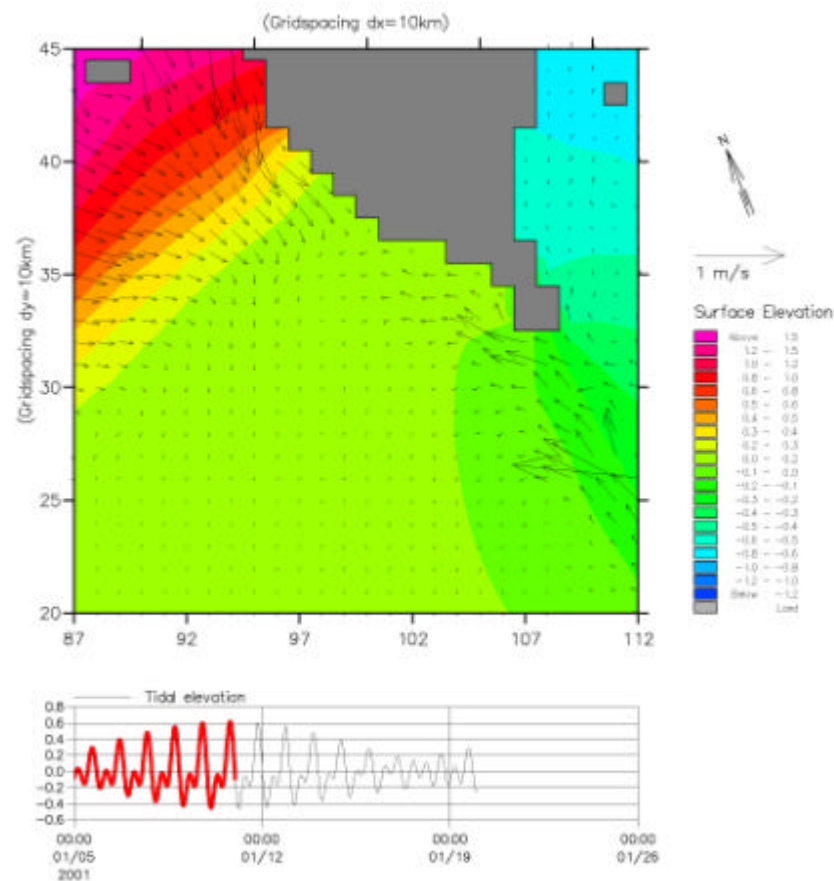
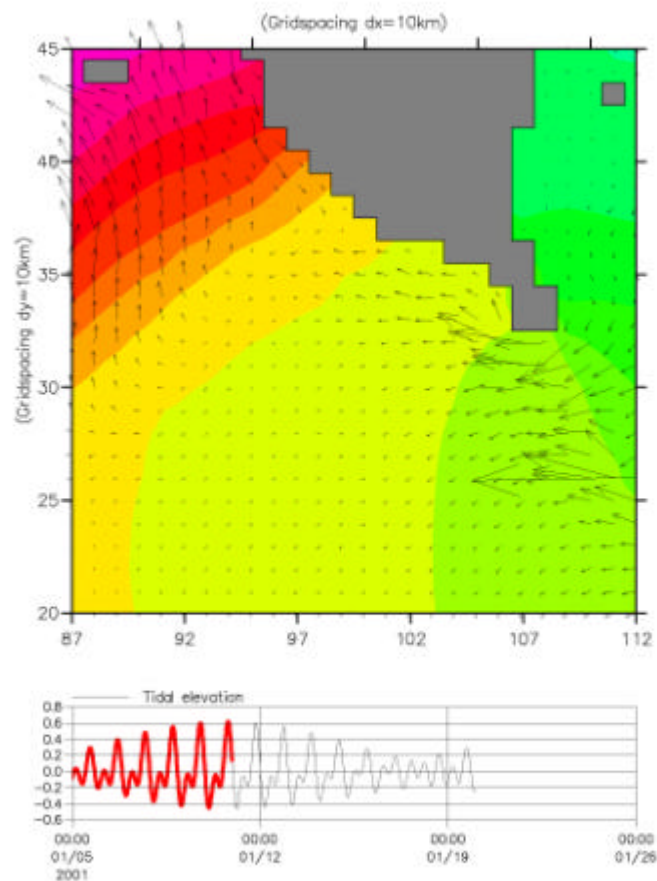


# 台灣西南部海域之優勢海流





# 台灣西南部海域之計算潮位與潮流

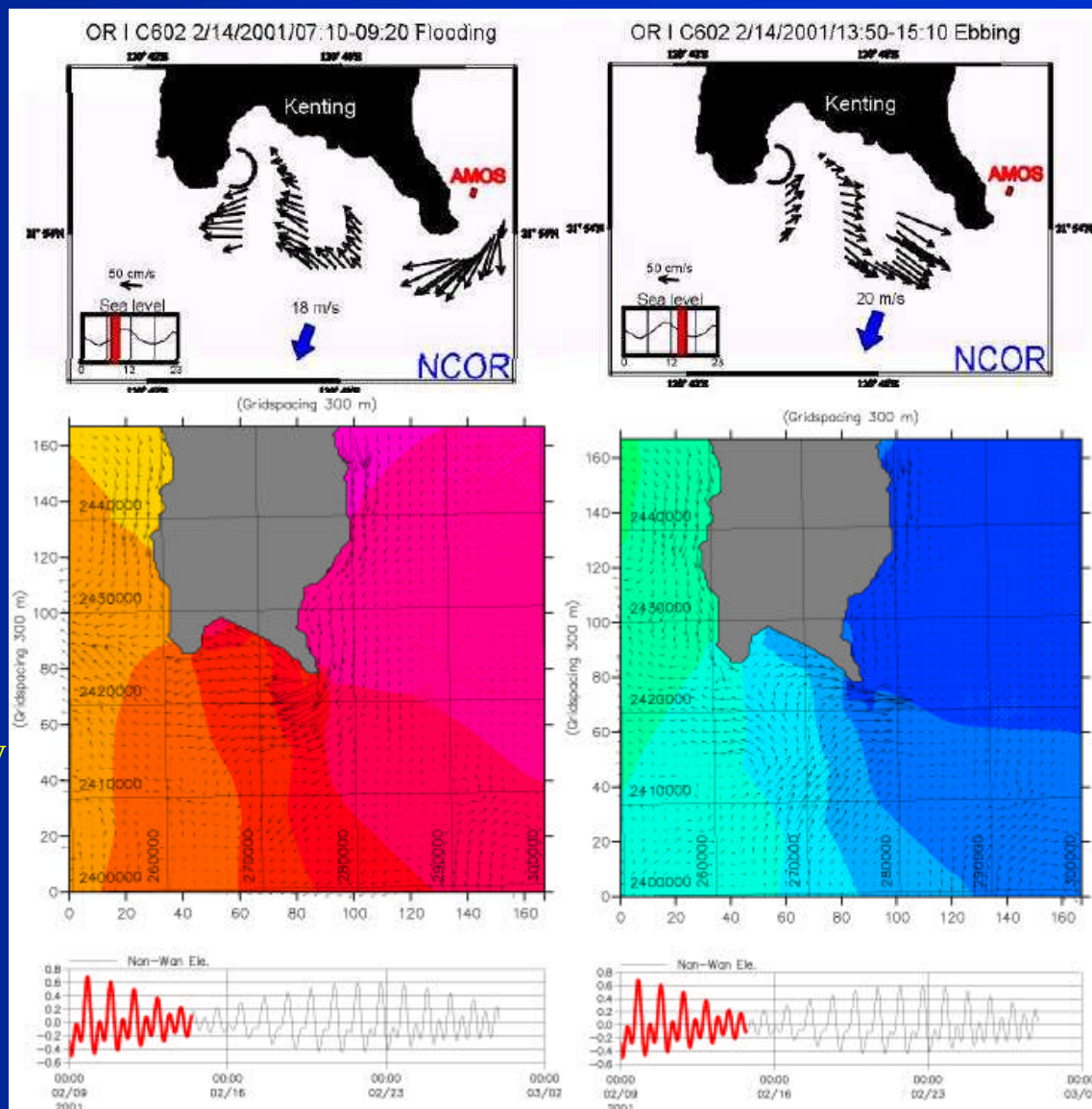


臺灣西南部海域高雄港退潮段之計算潮位與潮流分布



## 墾丁海域之計算潮流驗證

- ❑ Adopting the Nested grids scheme
- ❑ Verifications of the tidal currents measured on local sea surround the most southern peninsula of Taiwan (Surveyed by NCOR-National Center for Ocean Research, Taiwan, during the period of 02/14/2001 07:00~15:00)
  - The computation currents shows good agreement with the measurement ones
  - The characteristics of local currents could well be captured by present study

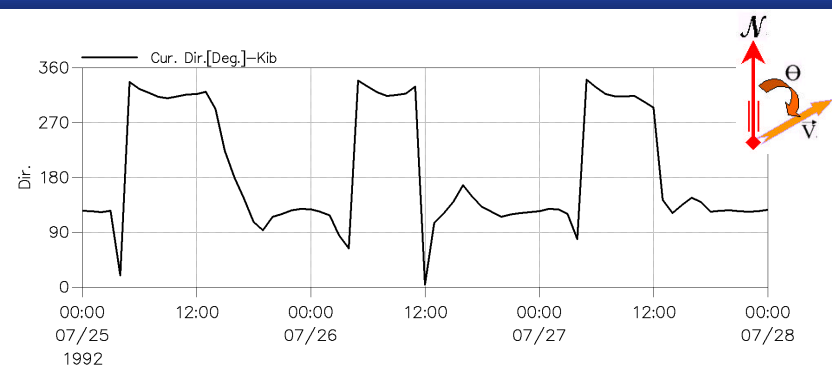
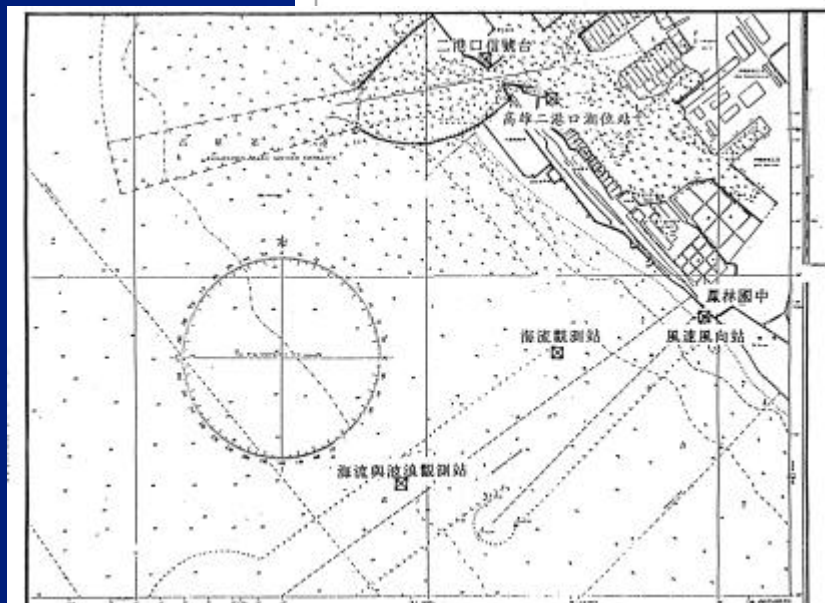
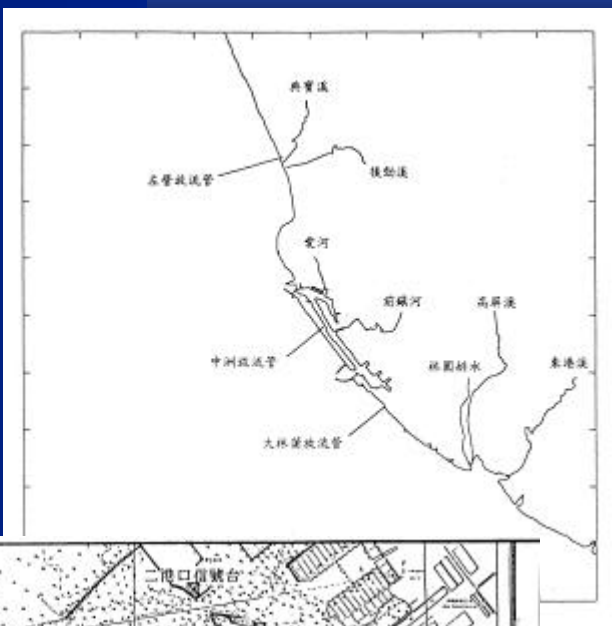




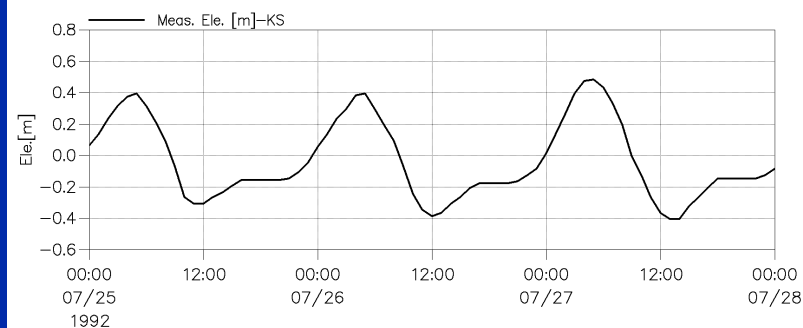
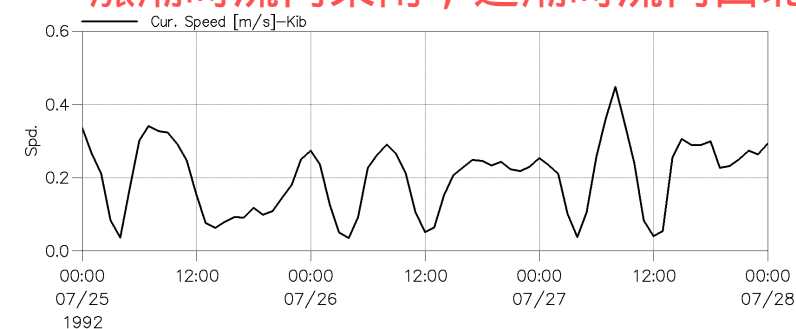
九十年代基本研究 期末簡報

## 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——

# 高雄港之實測流速-1992/07 大林蒲



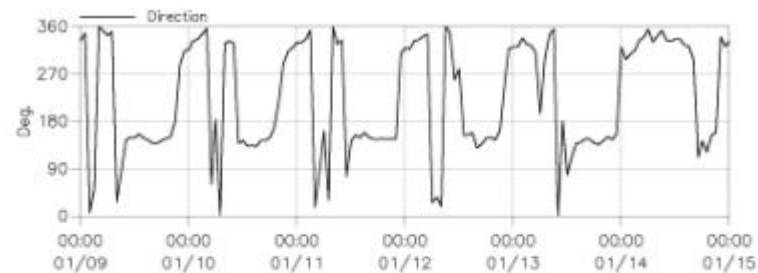
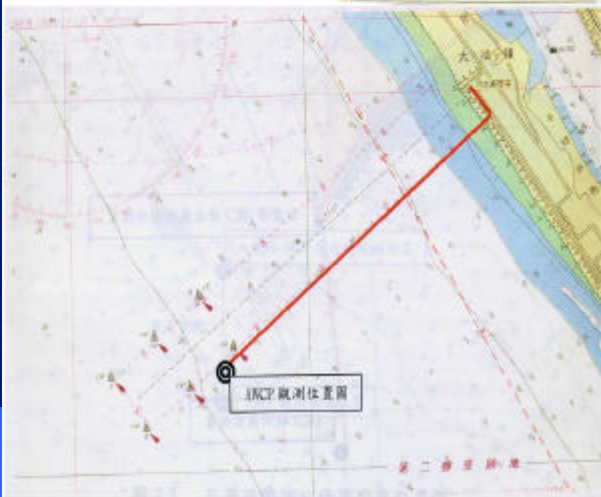
漲潮時流向東南；退潮時流向西北



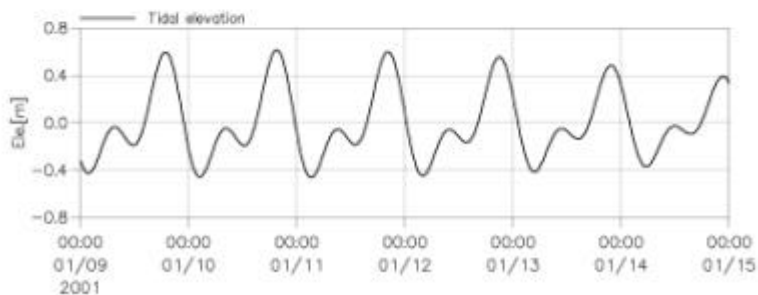
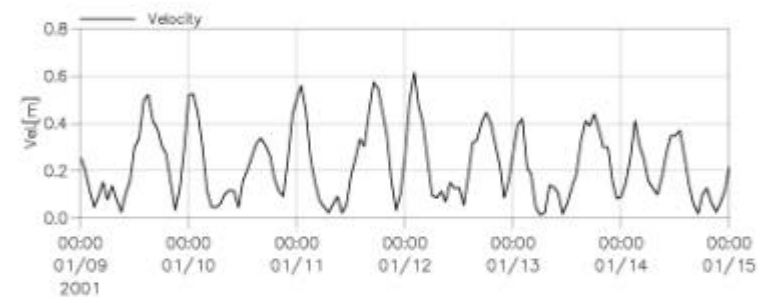


# 高雄港之實測流速-2001/01中洲放流管南側

交通部運輸研究所港灣技術研究中心  
高雄港觀測站儀器安裝位置圖

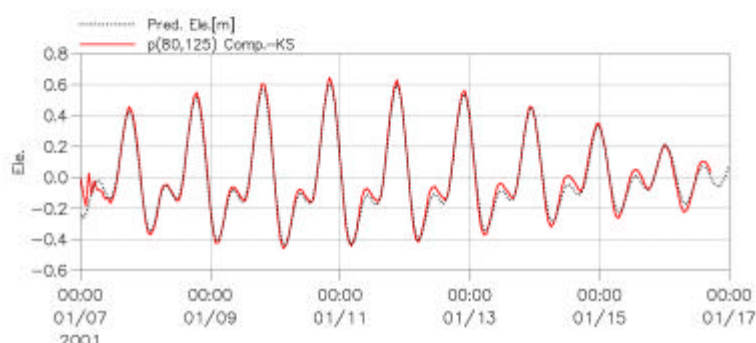
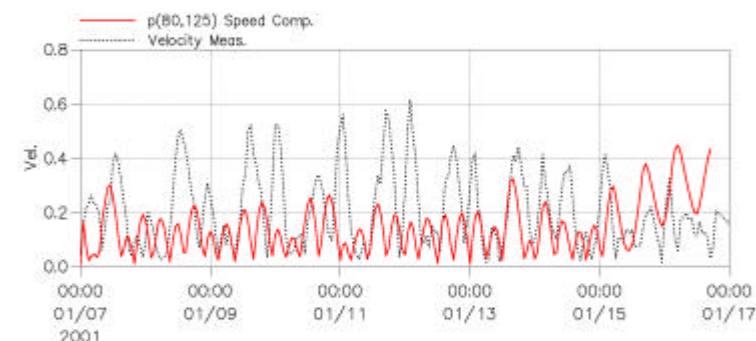
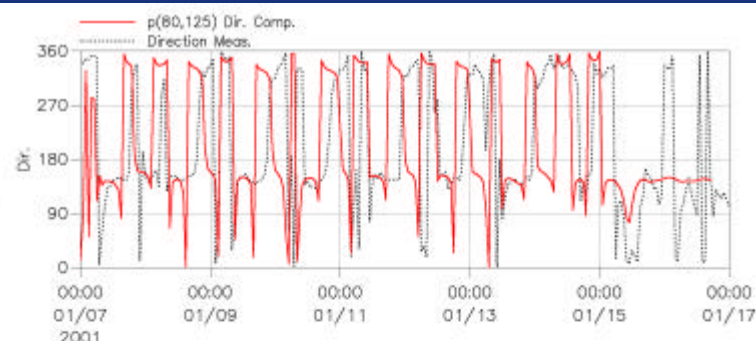
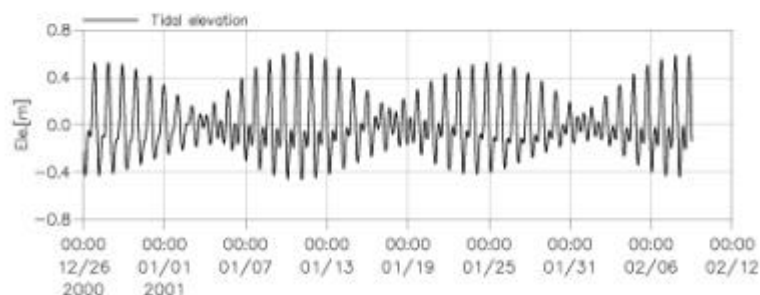
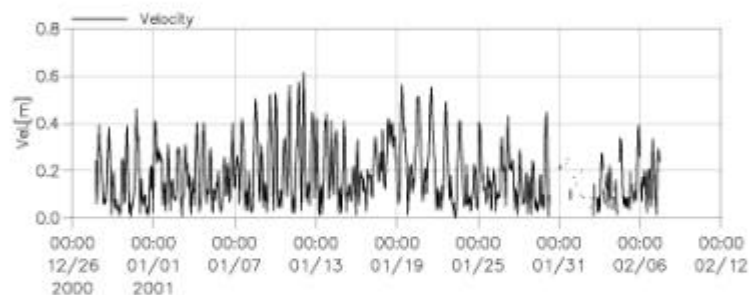
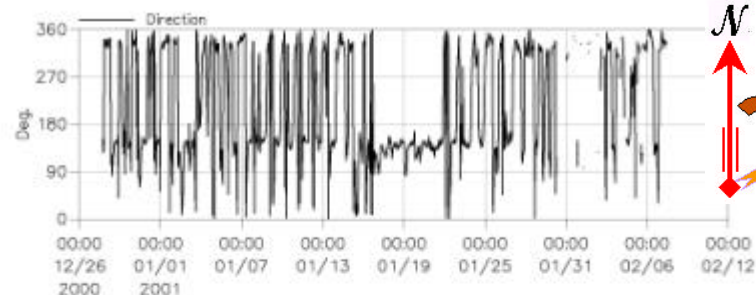


漲潮時流向東南；退潮時流向西北



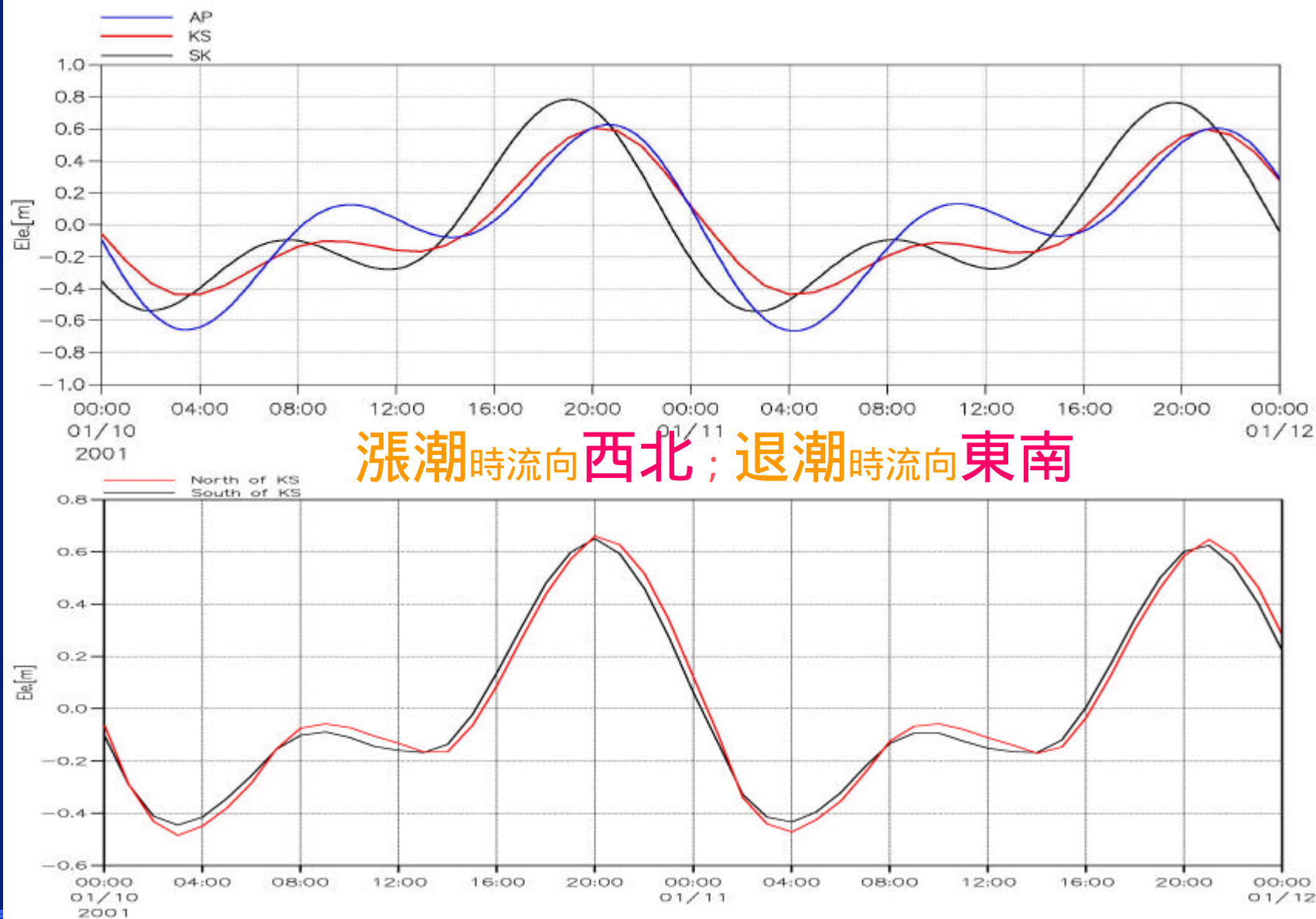


# 高雄港海域計算潮流之驗證



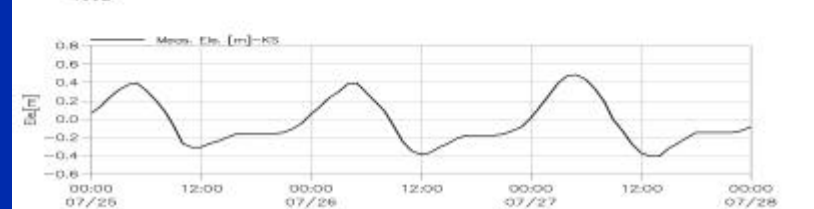
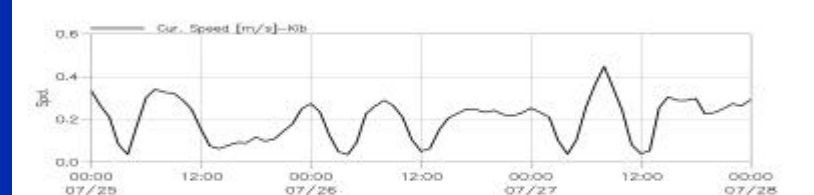
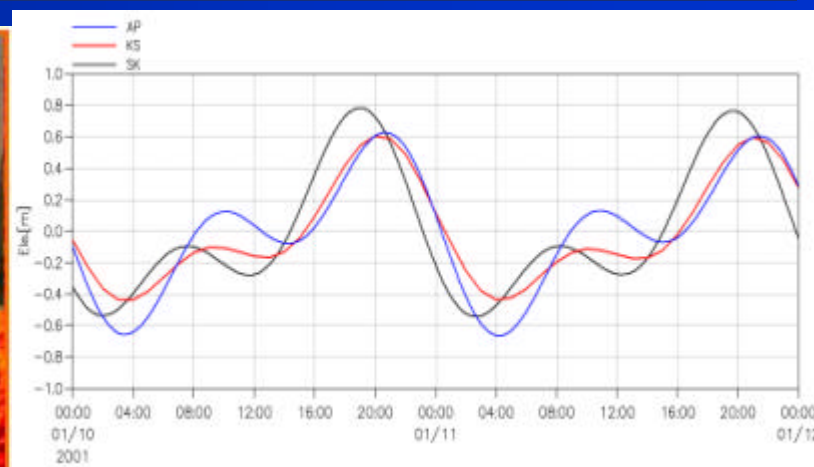
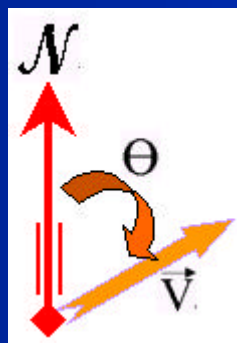
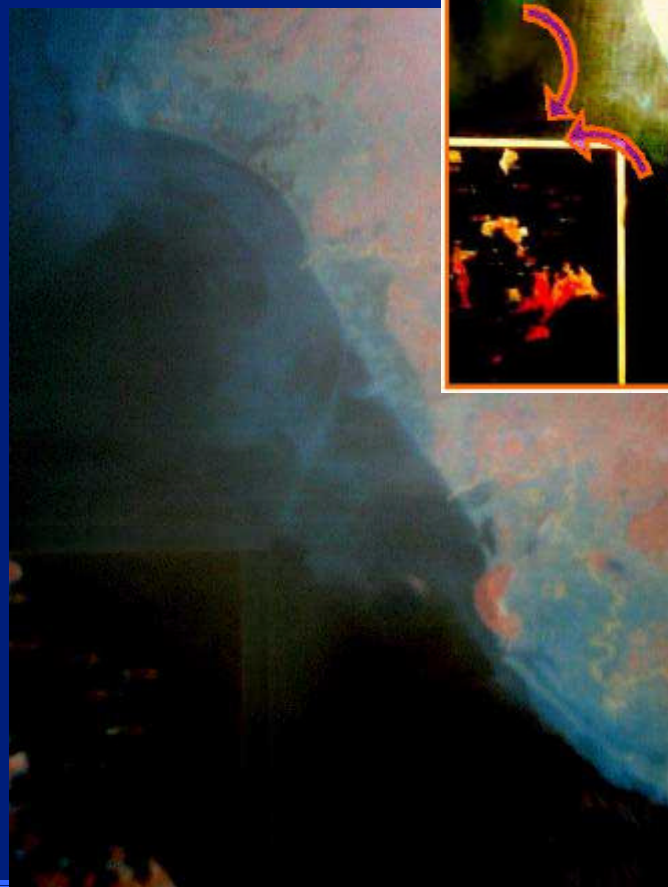
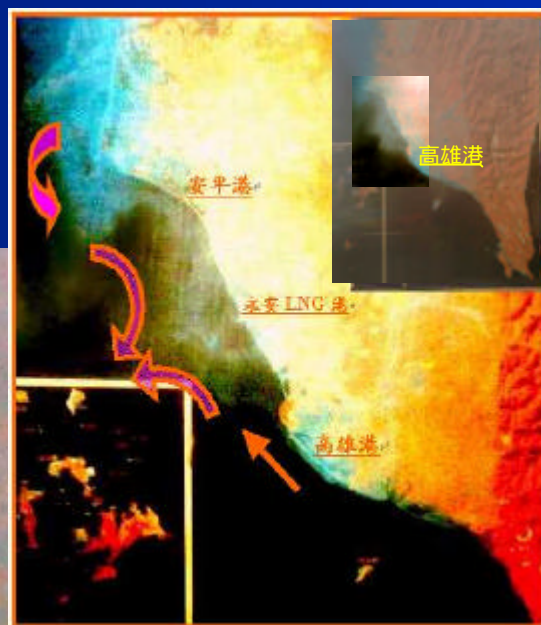


# 高雄港及鄰近海域之潮位梯度



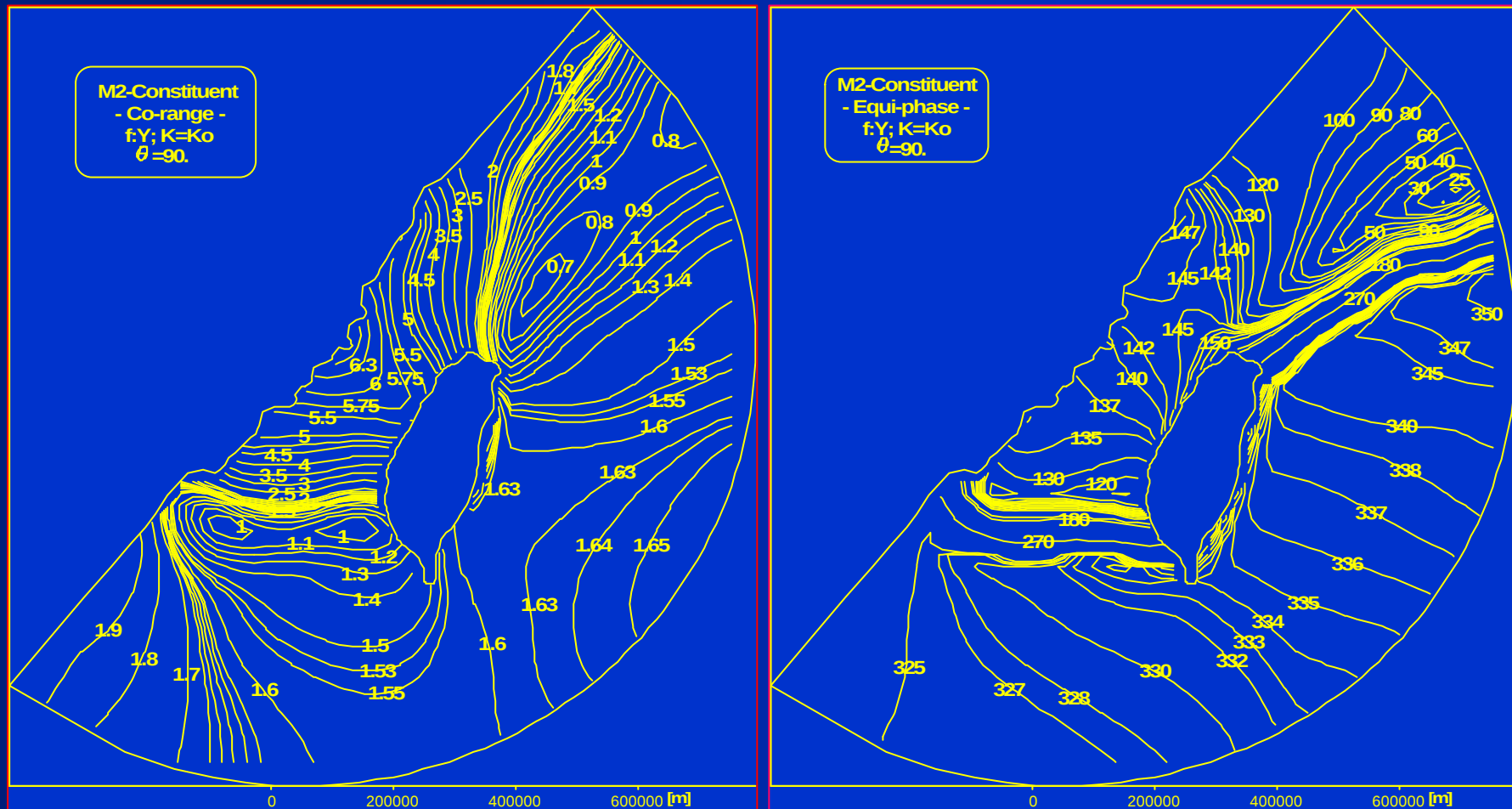


# 高雄港海域之潮位梯度與實測海流





## 高雄港海域之部分重複駐波與潮流



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.

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.



## 結論與建議

- ❑ 傳統上，探討近岸海域海潮流之變化特性，通常係依據逐點式之有限實測資料進行統計分析再予綜合推估。但於高雄港近岸海域，由於水深地形變化大，加以潮汐特性特殊，欲全面性獲得海潮流之即時及全平面性之變化資訊，開放海域側海象特性之準確掌握是不可或缺地。
- ❑ 本研究從數值模擬計算之觀點出發，於有效整合與台灣鄰近國家之沿岸潮位站資料並經充分搭配現地實際調查之成果驗證確認後，研提了一有效設定台灣環島開放海域側水動力數值邊界條件之對策，藉以克服解決海側邊界條件因量測不易所衍生應用不確定性之難題。
- ❑ 從水動力數值模擬之觀點，準確之邊界條件設定與使用，較諸數值模式之選用、改進、或自行研發重要。
- ❑ 高雄港海域潮型特殊，近混合潮之全日潮型，在月小潮期間半日潮型明顯，在月大潮期間則全日潮型又較顯著。儘管如此，南北端之潮位梯度仍不明顯，海流流速普遍較我國其他國際商港海域低，但因港域海側具有頗為獨特之大陸棚架、高屏斜坡與恒春海脊等地形與駐波結點因素，外加中洲放流管之排放流況影響，促使高雄港域之海流特性顯得頗為多變且不易掌握。



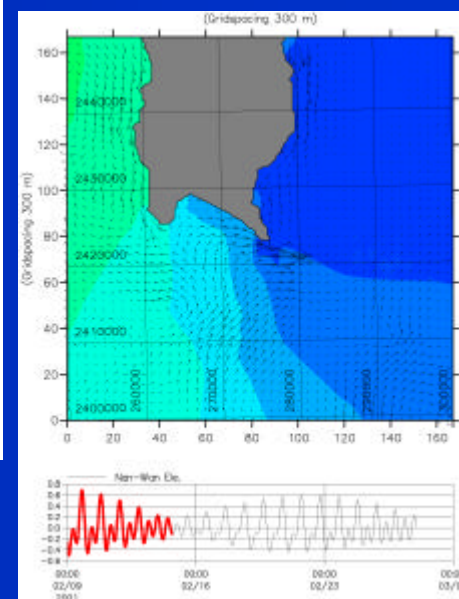
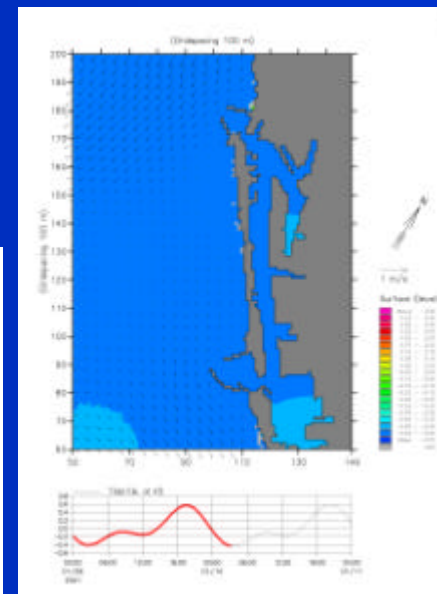
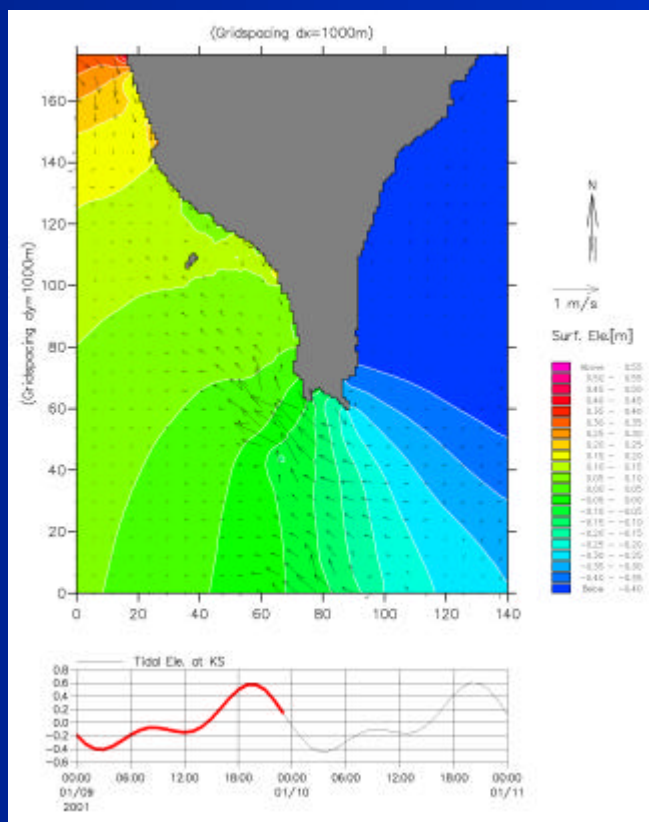
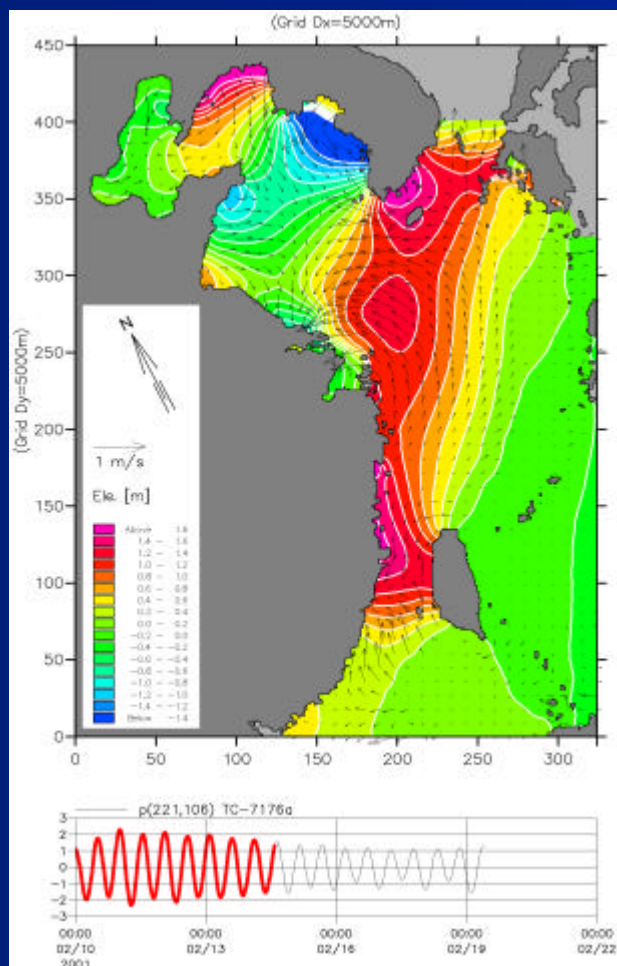
## 結論與建議

- ❑ 從歷年海流之實測資料可清楚地看出，高雄港域之流向隨潮位之漲落變化大體上呈現漲潮時流向東南；退潮時流向西北之特殊海流型態。
- ❑ 本研究對於台灣環島、台灣南部及高雄港等海域之逐時潮位均可準確地計算並掌握，但針對高雄港海域潮位梯度不明顯、海流流速低、流向隨潮位漲落作異於常理變化之特殊海流型態，本研究即使從巢狀網格(nested grids)交疊應用著手，計算海域範圍採用大(區域)、中(局部)、小(細部)範圍等三種計算海域配置，惟驗證結果顯示，小(細部)範圍計算海域之計算結果仍與近期之實測海流特性具有相當程度之偏差。
- ❑ 台灣位於東亞大陸棚架邊緣上，大陸棚架之地形、水深及其在台灣海峽水域之地形代表長度明顯地主控著台灣環島海域潮汐特性之呈現與變化。在大陸棚架地形影響下，台灣海峽之潮汐波動係以一部分重複駐波型態呈現，其波節點約分別呈現於台灣之東北部(蘇澳至富貴角)及西南部(鵝鑾嘴至安平)海岸外(Lin et al., 2000;2001)。此一部分重複駐波之波節點預測其應顯著地影響高雄港海域之特殊海流型態。
- ❑ 高雄港域由於水深、地形、放流管、風力及部分重複駐波波節點存在之特殊影響，進行高雄港域之細部海流模擬，其計算範圍邊界條件之取用與設定須謹慎調整、檢核。不精確之邊界條件取用與設定將引致極大之模擬誤差，並使計算海流特性變形，甚至完全偏離實測之海流特性。



謝謝 !!

敬請 指正



## 交通部運輸研究所九十年度 海洋領域自辦研究計畫期末審查會紀錄

一、時間：九十年十二月廿五日(星期二)上午九時卅分

二、地點：港灣技術研究中心簡報室

三、主席：邱主任永芳

紀錄：張惠華

四、審查委員：(如附件)

五、列席者：(如附件)

六、審查內容及答詢：(如附件)

七、主席裁示：

參照委員之意見修正。

交通部運輸研究所臺灣技術研究中心九十年度自辦研究計畫期末審查會

時間：中華民國九十年十二月廿五日上午九時卅分(星期二)

地點：港研中心二樓簡報室

主持人：邱主任永芳

| 機關單位名稱   | 姓 名    | 簽 名 |
|----------|--------|-----|
| 輔英技術學院   | 莊甲子教授  | 莊甲子 |
| 國立中興大學   | 蔡清標教授  | 蔡清標 |
| 國立成功大學   | 李兆芳教授  | 李兆芳 |
| 國立台灣大學   | 林銘崇教授  | 林銘崇 |
| 國立交通大學   | 張憲國教授  | 張憲國 |
| 國立海洋大學   | 蕭松山教授  | 蕭松山 |
| 臺灣技術研究中心 | 何良勝科長  | 何良勝 |
| 臺灣技術研究中心 | 張金機研究員 | 張金機 |
| 臺灣技術研究中心 | 簡仲璟科長  | 簡仲璟 |
| 臺灣技術研究中心 |        | 邱永芳 |
| 臺灣技術研究中心 |        | 曾相立 |
| 臺灣技術研究中心 |        | 陳文輝 |
| 臺灣技術研究中心 |        | 符仁志 |
| 臺灣技術研究中心 |        | 莊文輝 |
| 臺灣技術研究中心 |        | 李永芳 |
| 臺灣技術研究中心 |        |     |

交通部運輸研究所港灣技術研究中心辦理九十年自辦研究計畫期末審查分配表

會議日期：12月25日(星期二)

| 場次            | 時間          | 編號     | 研究計劃名稱                      | 會議主持人  | 計畫主持人 | 審查委員                                             | 備考 |
|---------------|-------------|--------|-----------------------------|--------|-------|--------------------------------------------------|----|
| 第一場次<br>簡報室   | 09:30-10:15 | CA9004 | 台灣地區國際港附近海域海氣象現象調查分析研究(1/4) | 邱主任永芳  | 曾相茂   | 外聘委員<br>輔英技術學院 莊教授甲子<br>中興大學 蔡教授清標<br>成功大學 李教授兆芳 |    |
|               | 10:15-11:00 | CA9005 | 台灣港灣及海岸數位圖像資料庫建立之研究         |        | 邱永芳   | 內聘委員<br>何科長良勝、張研究員金機                             |    |
|               | 11:15-12:00 | CA9008 | 台北港海域波浪標準頻譜之研究              |        | 洪憲忠   |                                                  |    |
|               | 13:15-14:00 | CA9007 | 花蓮港共震強度估算模式研究               |        | 徐進華   | 外聘委員<br>台灣大學 林教授銘崇                               |    |
|               | 14:00-14:45 | HA9009 | 波浪調變現象研究                    |        | 李勇榮   | 交通大學 張教授憲國                                       |    |
|               | 15:00-15:45 | NA9017 | 台灣四周海域海流數值模擬研究 2/5          |        | 莊文傑   | 海洋大學 蕭教授松山                                       |    |
|               | 15:45-16:30 | NA9018 | 波群特性及其在瘋狗浪之應用研究             |        | 陳冠宇   | 內聘委員<br>簡科長仲環、張研究員金機                             |    |
|               |             |        |                             |        |       |                                                  |    |
| 第二場次<br>一樓會議室 | 09:30-10:15 | DA9002 | 碼頭結構物耐震設計之研究                | 黃副主任清和 | 賴瑞應   | 外聘委員<br>成功大學 呂教授錦山                               |    |
|               | 10:15-11:00 | DA9003 | 碼頭出租專用制度對航商選擇海運轉運中心之影響研究    |        | 謝幼屏   | 成功大學 許教授泰文<br>逢甲大學 林教授朝福                         |    |
|               | 11:15-12:00 | HA9010 | 港口突堤效應保護對策之研究(I)            |        | 黃清和   | 內聘委員<br>朱科長金元、王研究員慶福                             |    |
|               | 13:15-14:00 | MA9011 | 碼頭鋼板樁現況調查與腐蝕防治研究            |        | 饒正    | 外聘委員<br>交通部技術顧問室 許技正書王                           |    |
|               | 14:00-14:45 | GA9013 | 港灣地區地震監測與土壤液化潛能評估之研究        |        | 賴聖耀   | 中山大學 李教授賢華<br>海洋大學 張教授建智                         |    |
|               | 15:00-15:45 | GA9014 | 五大港區三維查詢系統建置研究              |        | 謝明志   | 內聘委員                                             |    |
|               | 15:45-16:30 | GA9015 | 利用荷式錐調查台灣港區土壤工程性質之研究 2/2    |        | 陳圭璋   | 朱科長金元、李研究員豐博                                     |    |
|               |             |        |                             |        |       |                                                  |    |

交通部運輸研究所港灣技術研究中心九十年度  
海洋領域科技計畫學者專家意見回覆表

| 審查委員及審查意見                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 意見回覆                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 港灣技術研究海洋領域                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 台灣四周海域海流數值模擬研究(II)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <p>張教授憲國：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. P3-6 與 P3-127 的風力外力是否在模式中考慮。</li> <li>2. 選用潮位站的實測潮位資料如何引用在計算區域的邊界上。</li> <li>3. 圖 3-10-1~圖-10-5(P3-88~3-92)之實線與虛線是否相反。(應比較計算區域已達 Steady state)</li> <li>4. 水位比較應以 RAS(誤差均方根)為比較標準。</li> <li>5. 比較潮位的測站是否在計算網格上？</li> <li>6. 因季節性的海洋會造成台灣西部海岸的潮位影響，應可加入考慮及可用國際計算太平洋的潮位結果當作邊界輸入。</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. P3-127(圖 3-13)所示安平港之風力外力已於模式計算中考慮，參見原文第 3.9.1 節之敘述說明。</li> <li>2. 本研究大範圍計算海域係依據選用潮位站之位置劃定，故選用潮位站之預報逐時潮位資料已依據其地理座標位置置放於計算區域的邊界上。參見原文第 3.5 節之敘述說明。</li> <li>3. 圖 3-10-1~圖 3-10-5 (P3-88~P3-92)之實線為本研究採用暖起動(soft start)技術之計算結果，虛線為預報資料，經查實線與虛線皆為驗證之正確表示。於 Transient 模式中，實線之計算結果皆為計算區域驗潮站上各時階(time step)之穩態(steady state)解。參見原文第 3.3 及第 3.8.2 節之敘述說明。</li> <li>4. 本研究大範圍計算海域之水位驗證僅為證明計算結果之準確度，且其結果僅為補充提供局部圍計算海域之過度邊界條件。有關水位比較應以 RAS(誤差均方根)為比較標準之建議，未來於相關研究報告中將參酌辦理。</li> <li>5. 本研究比較潮位的測站不需恰位於計算網格上，參見原文表 3.2 列示之驗潮站位置與計算網格座標</li> <li>6. 有關國際上於期刊發表之全太平洋計算潮位結果，因其地理解析度</li> </ol> |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <p>不足及局部海域近岸地形影響未充分考量，因此沿用全太平洋計算潮位當作邊界輸入尚有應用及資料萃取之困難度，因此，本研究僅引用位於台灣鄰近海域小島上之預報潮位進行邊界條件之設定。整體之邊界設定方式與架構與委員之建議應是完全一致地。至於季節性的海洋會造成台灣西部海岸的潮位影響，本研究目前並未納入考量。尤其，季節性之時間尺度(time scale)已遠超過潮汐以日計之時間尺度，故應明顯非含括於本研究範疇。委員之建議，待實際觀測資料明確且進一步收集後，未來於相關研究報告中，將參酌辦理。</p>                             |
| <p>蕭教授松山：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本研究探討高雄港海域之潮位、潮流特性並進一步檢驗「台灣四周海域海流數值模擬研究」之準確性與應用性，研究成果具實用性。</li> <li>2. P1-18 圖 1-8 圖說漏打字。<br/>P2-18 圖 2-8、2-9 潮位為預報或實測(Meas)請檢查。<br/>P3-137~P3-140 缺圖</li> <li>3. 正式報告建議彩色列印部份成果圖以利閱讀。</li> <li>4. 建議結論部份文字改寫多展示本研究的努力成果。</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員之支持與肯定。</li> <li>2. P1-18，圖 1-8 圖說漏字已修訂。<br/>P2-18，圖 2-8、2-9 潮位為實測(Meas.)已檢查、修訂。P3-137~P3-140 缺圖已增補修訂。</li> <li>3. 遵照辦理。</li> <li>4. 由於本研究在高雄港之局部小範圍海域之計算結果尚不理想，計算精度亦有待持續努力研究以進一步提昇，因此，結論部份僅據實敘明本研之具體成果並提列有關之建議與未來待努力之方向。</li> </ol> |
| <p>林教授銘崇：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 針對台灣海域潮流數值模擬研究，對於台灣海域流場之了解有很大助益，亦同時提出一些突破性之看法，研究成果值得肯定。</li> <li>2. 本文所使用之數值模式，在大範</li> </ol>                                                                                                                                        | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員之支持與肯定。</li> <li>2. 本文所使用之二維非線性淺水波水動數值模式，由於地球自轉引起科氏力(Coriollis forces)效應之引入，因此在大範圍計算海域之應用性以及數值模式之應用能力</li> </ol>                                                                                                                     |

|                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>圍計算海域之應用性、準確性及數值模式之應用能力 (capability) 與限制如何？</p> <p>3. 是否需要針對高雄港海域進行較小規模(計算區域)之計算？</p>                                                                    | <p>與限制等顧慮，應可消除。此外，數值模式之計算結果，經以中國大陸及我國沿岸之實際驗潮站資料驗證後，由於其驗證結果比彼此甚吻合，故有關數值模式之應用性與計算之準確性，也應可確認。</p> <p>3. 從安平、高雄及蟬廣嘴實測潮位之逐時梯度研判，針對高雄港海域進行較小規模(計算區域)之計算，應仍無法掌握高雄港海域之實測海流特性。惟依據本年度之研究經驗與結果，未來有關高雄港海域較小計算區域之海流計算，本研究將引用頻率領域(frequency domain)模式之研究成果，作進一步之探討。</p>                                                         |
| <p>張研究員金機：</p> <p>1. 根據中洲測站流速向與潮位延時資料顯示漲潮時流向 SSE，退潮時為 NNW，在驗證時計算值每天出現四次較小峰值(約為實測值的三分之一)，因此建議先改進計算峰值數再修正大小值。</p> <p>2. Local 海域最新水深圖資料可向海下協會(交通部委託計畫)洽取。</p> | <p>1. 中洲測站流速、流向與潮位延時資料顯示漲潮時流向 SSE，退潮時為 NNW，此為中洲測站海流之實測結果，而本研究對於高雄港海域僅考量潮位梯度與風力引起之潮流，兩者之本質原已具有差異，況且，中洲放流管之放流量與放流方式亦可能影響實測之海流特性，其他可能之影響原因參見原文第 2.3 節、第 3.10.2 節及第 4 章之敘述說明。至目前為止，造成高雄港海域實測之特殊海流特性原因尚有待相關單位進行進一步研究加以確認。此外，潮流計算峰值(流向)與計算大小值(流速)之準確性，由於其為耦合 coupled)變量，故在數值計算上，無法分別調整。</p> <p>2. 感謝提供資訊。下年度積極行文函索。</p> |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>簡研究員兼科長仲璟：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本研究利用 MIKE-21 模組進行台灣四周主要國際港附近海域之海流模擬計算，除了瞭解各海域之海流特性外也對 MIKE-21HD 模組在各海域之適用性作深入的比較與探討，其研究成果值得肯定。</li> <li>2. 目前研究報中顯示 MIKE-21HD 在高雄港(台灣西南)海域之海流(潮流)模擬結果不是很理想，其原因如何？是否誠如結論中所言，應將計算海域之詳細地形，中洲放流管放流量逐時風力同時納入考量。目前這些因素在模式運算時是否尚未納入或是資料準確度不佳，建議補充說明。</li> <li>3. 報告 PP3-12 中顯示模式計算時，已將風摩擦效應納入，摩擦係數以實測風速(3.35)式線性插分求得。該實測風速是引用那一個測站(安平港？)的資料(逐時？)。若模式中考量風摩擦效應則此段宜修正。若有考慮則結論需修正。</li> <li>4. 圖 3-10-1~圖 3-10-5 中逐時潮位與預報潮位為何於開始時有較大之誤差，其原因為何？(計算起始之不穩態？)</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝科長之支持與肯定。惟為研究效率之提昇，謹請在研究設備上多給於支持。</li> <li>2. 台灣西南海域之潮流模擬，以墾丁海域之實測資料驗證結果顯示，本研究對台灣西南海域之潮流特性可準確地加以掌握，但在高雄港海域，由於實測海流隨潮位變化之特性甚為特殊，可能之部分原因已於文中提列並檢討。詳細之影響機制尚有待相關單位進行進一步研究加以確認。至於，中洲放流管放流量之實際影響，由於目前尚未收集、取得實際之資料，故於模式中確未考量其影響效應。但逐時風力影響已納入計算。本研究計算結果詳細之檢討，參見原文第 2.3 節、第 3.10.2 節及第 4 章之敘述說明。</li> <li>3. 實際風力影響已藉風摩擦係數考量引入模式之實際計算中。為海上風力特性之真實展現，因此，實測風速係引用本中心安平港觀測樁上之逐時風力資料。計算結果與討論，參見原文第 3.9.1 節、第 3.10.2 節及第 4 章之敘述說明。</li> <li>4. 圖 3-10-1~圖 3-10-5 中逐時計算潮位與預報潮位於計算開始時之不一致係本研究採用暖起動(soft start)技術之計算結果，並非計算誤差，亦非計算起始之不穩態問題。</li> </ol> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

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——交通部運輸研究所

GPN : 1009100812  
工本費:500 元