

97-64-7349  
MOTC-IOT-96-H2EB007

# 96 年高雄港域波流場數值模擬及 特性研究



交通部運輸研究所  
中華民國 97 年 4 月

97-64-7349  
MOTC-IOT-96-H2EB007

# 96 年高雄港域波流場數值模擬及 特性研究

著者：林受勳、張憲國、劉勁成、何良勝

交通部運輸研究所  
中華民國 97 年 4 月

國家圖書館出版品預行編目資料

高雄港域波流場數值模擬及特性研究. 96年 /  
林受勳等著. -- 初版. -- 臺北市：交通部  
運研所，民97.04

面；公分

參考書目：面

ISBN 978-986-01-4051-4(平裝)

1. 海洋動力學 2. 港埠 3. 數值分析

351.982

97007716

96年高雄港域波流場數值模擬及特性研究

著者：林受勳、張憲國、劉勁成、何良勝

出版機關：交通部運輸研究所

地址：臺北市敦化北路240號

網址：[www.ihmt.gov.tw](http://www.ihmt.gov.tw) (中文版>中心出版品)

電話：(04)26587176

出版年月：中華民國97年4月

印刷者：福島實業有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷110冊

本書同時登載於交通部運輸研究所港灣技術研究中心網站

定價：100元

展售處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

五南文化廣場：臺中市中山路6號•電話：(04)22260330

GPN：1009701034

ISBN：978-986-01-4051-4 (平裝)

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部份內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

## 交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：96 年高雄港域波流場數值模擬及特性研究			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN978-986-01-4051-4 (平裝)	政府出版品統一編號 1009701034	運輸研究所出版品編號 97-64-7349	計畫編號 96-H2EB007
本所主辦單位：港研中心 主管：邱永芳 計畫主持人：何良勝 研究人員：林受勳 聯絡電話：04-26587123 傳真號碼：04-26560661	合作研究單位：國立交通大學 計畫主持人：張憲國 研究人員：劉勁成 地址：新竹市大學路 1001 號 聯絡電話：03-5131488		研究期間 自 96 年 8 月 至 96 年 12 月
關鍵詞：高雄港、流場數值模擬、波浪統計			
<p>摘要：</p> <p>本計畫應用MIKE21_HD水動力數值計算模式，模式所需資料中，水深配合美國地球物理資訊中心（National Geophysical Data Center, NGDC）所釋出的量測資料，而水位邊界條件採用NAO.99b模式的計算結果，三層巢狀格網來模擬附近流況，分別為台灣環島附近、台灣南部及高雄港三種。本計畫同時進行高雄港海流的實測資料分析，發現在日潮不等較小的時候，並無一特定的特性，而在日潮不等較大的時候，僅能概略歸納出兩個特性，一為在潮位有小抬升(hump)時，海流一定會轉往南，另一為在小抬升後的大退潮，海流則一定會轉向北。從模擬結果與實測資料驗證可知，對於台灣環島、台灣南部及高雄港海域之潮位皆可準確的計算，但在流向方面，於局部區域僅能模擬出在潮位有小抬升時，海流一定會轉往南的特性。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
97 年 4 月	76	100	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
<p>機密等級：</p> <p><input type="checkbox"/>密 <input type="checkbox"/>機密 <input type="checkbox"/>極機密 <input type="checkbox"/>絕對機密</p> <p>（解密條件：<input type="checkbox"/>年 <input type="checkbox"/>月 <input type="checkbox"/>日解密，<input type="checkbox"/>公布後解密，<input type="checkbox"/>附件抽存後解密，  <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**

<b>TITLE: Numerical modeling of hydrodynamics and wave statistics in Kaohsiung Harbor Areas</b>			
ISBN (OR ISSN) ISBN978-986-01-4051-4 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009701034	IOT SERIAL NUMBER 97-64-7349	PROJECT NUMBER 96-H2EB007
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Ho Liang-Sheng PROJECT STAFF: Lin Tommy PHONE: (04) 26587123 FAX: (04) 26571329			PROJECT PERIOD FROM August 2006 TO December 2006
RESEARCH AGENCY: National Chiao Tung University PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chang Hsien-Kuo PROJECT STAFF: Liou Jin-Cheng ADDRESS: 1001 Ta Hsueh Road, Hsinchu, Taiwan 300, ROC PHONE: 886-3-513-1488			
KEY WORDS: KAOHSIUNG HARBOR; NUMERICAL MODELING OF HYDRODYNAMICS; WAVE STATISTICS			
ABSTRACT:  <p style="text-align: justify;">           A numerical model (MIKE21_HD), developed by Danish Hydraulic Institute and based on the two-dimensional depth-integrated shallow water wave equations, is used to simulate the hydrodynamics in the present Kaohsiung Harbor for this sequential project. The simulating validity of the MIKE21_HD model is examined using new field observation of current at some points inside and outside the harbor. A three-layer nested grid scheme is adapted in the MIKE21_HD module. The nested grids are the Taiwan domain, South Taiwan domain, and Kaohsiung domain. The imposed bathymetry in the model is the coastal database ETOPO2, managed by the National Geophysical Data Center (NGDC), USA. The tidal module of NAO.99b is used to compute the water levels at the open boundary of large Taiwan domain. The measured data of both tides and current are used for examining the verification of model. Two characteristics of measured current are found. One is that current flows southwards when the tide is during the hump. The other is that the current flows northwards when the tide ebbs behind the hump. After some examinations on the model so far, the MIKE21_HD model can provide to simulate the current flows during the tide at the hump. However, the computed currents at the ebbs don't agree with the measured current data at the corresponding period.         </p>			
DATE OF PUBLICATION April 2008	NUMBER OF PAGES 76	PRICE 100	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

# 目錄

中文摘要.....	錯誤! 尚未定義書籤。
英文摘要.....	錯誤! 尚未定義書籤。I
目錄.....	1
圖目錄.....	錯誤! 尚未定義書籤。
表目錄.....	錯誤! 尚未定義書籤。
第一章 前言.....	錯誤! 尚未定義書籤。
1.1 研究動機.....	錯誤! 尚未定義書籤。
1.2 研究目的.....	錯誤! 尚未定義書籤。
1.3 研究方法與步驟.....	錯誤! 尚未定義書籤。
1.4 文章架構.....	錯誤! 尚未定義書籤。
第二章 高雄港海氣象資料蒐集分析.....	錯誤! 尚未定義書籤。
2.1 氣象.....	錯誤! 尚未定義書籤。
2.1.1 風.....	錯誤! 尚未定義書籤。
2.1.2 颱風.....	錯誤! 尚未定義書籤。
2.2 海象.....	錯誤! 尚未定義書籤。
2.2.1 潮汐.....	錯誤! 尚未定義書籤。
2.2.2 波浪.....	錯誤! 尚未定義書籤。
2.2.3 海流.....	錯誤! 尚未定義書籤。
第三章 高雄港海域數值模式建立.....	錯誤! 尚未定義書籤。
3.1 2 維水動力控制方程組.....	錯誤! 尚未定義書籤。
3.2 有限差分法.....	錯誤! 尚未定義書籤。
3.3 計算海域.....	錯誤! 尚未定義書籤。
3.4 初始與邊界條件之設定.....	錯誤! 尚未定義書籤。
3.5 計算參數.....	錯誤! 尚未定義書籤。
第四章 高雄港海域數值模擬.....	錯誤! 尚未定義書籤。
4.1 高雄港海域實測資料分析.....	錯誤! 尚未定義書籤。
4.2 大區域之計算結果與驗證.....	錯誤! 尚未定義書籤。

4.3 中區域之計算結果 .....	錯誤! 尚未定義書籤。
4.4 局部區域之計算結果與驗證 .....	錯誤! 尚未定義書籤。
第五章 結論 .....	錯誤! 尚未定義書籤。
參考文獻 .....	錯誤! 尚未定義書籤。

## 圖目錄

圖 2.1-1 高雄地區全年風玫瑰圖(1984.1~2004.12).....	4
圖 2.1-2 高雄地區各月風玫瑰圖(1984.1~2004.12).....	5
圖 2.1-3 侵襲臺灣之颱風路徑統計圖(1897~2004).....	8
圖 2.2-1 旗津外海海流觀測作業位置圖 .....	14
圖 3.2-1 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 .....	20
圖 3.2-2 MIKE21_HD 計算模式使用交替方向隱式有限差分法之時間階分割 .....	20
圖 3.3-1 臺灣附近海域邊界及地形水深 .....	21
圖 3.3-2 臺灣南部海域邊界及地形水深 .....	22
圖 3.3-3 高雄附近海域邊界及地形水深 .....	22
圖 3.3-4 高雄港附近海域邊界及地形水深 .....	23
圖 4.1-1 高雄港 2 港口 2006/04 日潮不等小 .....	29
圖 4.1-2 高雄港 2 港口 2006/04 日潮不等大 .....	29
圖 4.1-3 高雄港 2 港口 2006/10 日潮不等小 .....	30
圖 4.1-4 高雄港 2 港口 2006/10 日潮不等大 .....	30
圖 4.1-5 高雄港 1 港口 2007/04 日潮不等小 .....	31
圖 4.1-6 高雄港 1 港口 2007/04 日潮不等大 .....	31
圖 4.1-7 高雄港 1 港口 2007/05 日潮不等小 .....	32
圖 4.1-8 高雄港 1 港口 2007/05 日潮不等大 .....	32
圖 4.1-9 高雄港 1 港口 2007/07 日潮不等小 .....	33
圖 4.1-10 高雄港 1 港口 2007/07 日潮不等大 .....	33
圖 4.1-11 高雄港 1 港口 2007/08 日潮不等小 .....	34
圖 4.1-12 高雄港 1 港口 2007/08 日潮不等大 .....	34
圖 4.2-1 臺灣附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/17 18:00:00.....	36
圖 4.2-2 臺灣附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/17 22:00:00.....	37

圖 4.2-3 臺灣附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/18 02:00:00.....	38
圖 4.2-4 臺灣附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/18 05:00:00.....	39
圖 4.2-5 臺灣附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/18 10:00:00.....	40
圖 4.2-6 臺灣附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/18 13:00:00.....	41
圖 4.2-7 臺灣附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/18 17:00:00.....	42
圖 4.2-8 大區域計算結果中安平港的驗證 .....	43
圖 4.3-1 臺灣南部海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/17 18:00:00.....	44
圖 4.3-2 臺灣南部海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/17 22:00:00.....	45
圖 4.3-3 臺灣南部海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/18 02:00:00.....	46
圖 4.3-4 臺灣南部海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/18 05:00:00.....	47
圖 4.3-5 臺灣南部海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/18 10:00:00.....	48
圖 4.3-6 臺灣南部海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/18 13:00:00.....	49
圖 4.3-7 臺灣南部海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/18 17:00:00.....	50
圖 4.3-8 高雄附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/17 18:00:00.....	51
圖 4.3-9 高雄附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/17 22:00:00.....	52
圖 4.3-10 高雄附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/18 02:00:00.....	53
圖 4.3-11 高雄附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/18	

	05:00:00.....	54
圖 4.3-12	高雄附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/18	
	10:00:00.....	55
圖 4.3-13	高雄附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/18	
	13:00:00.....	56
圖 4.3-14	高雄附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/18	
	17:00:00.....	57
圖 4.4-1	高雄港附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/17	
	18:00:00.....	59
圖 4.4-2	高雄港附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/17	
	22:00:00.....	60
圖 4.4-3	高雄港附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/18	
	02:00:00.....	61
圖 4.4-4	高雄港附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/18	
	05:00:00.....	62
圖 4.4-5	高雄港附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/18	
	10:00:00.....	63
圖 4.4-6	高雄港附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/18	
	13:00:00.....	64
圖 4.4-7	高雄港附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/18	
	17:00:00.....	65
圖 4.4-8	高雄港附近海域潮位及潮流驗證(日潮不等大).....	66

## 表目錄

表 2.1-1 侵臺颱風次數統計表(1897~2004).....	6
表 2.2-1 波浪資料綜合比較表 .....	10
表 2.2-2 高雄港 2 港口實測最大波浪統計表 .....	11
表 2.2-3 旗津外海各月份實測最大海流流速及其流向分析表 .....	15

# 第一章 前言

## 1.1 研究動機

高雄港位於臺灣地區之西南海岸，現有第 1 及第 2 港口，港域幅員遼闊，腹地廣大，臨海有狹長沙洲屏障，港灣形勢渾然天成，地理條件優良。依據行政院民國 90 年核定「高雄港整體規劃及未來發展計畫」及 92 年核定「臺灣地區整體國際港埠發展規劃」之貨櫃運量預測結果，民國 100 年起高雄港將面臨貨櫃碼頭供給不足之壓力，且隨貨櫃船大型化之發展，未來為具競爭力之國際貨櫃港埠，勢須具備因應發展趨勢之能力。因此，為期提昇高雄港整體效能、發揮港埠機能之最大綜效與滿足未來發展之需求，高雄港務局已擬定多項具整合功能之發展規劃計畫。

為因應高雄港未來擴建工程及環評要求所需之自然條件，除必要進行外海現場調查工作，用以建置較長時期之海氣象觀測資料庫，可充分瞭解高雄港附近海域之海氣象特性。本計畫另外考量高雄港擴建後港型改變對港內水理條件與船隻碇靠之影響，以及未來船舶大型化對港內碼頭造成的影響，亦有必要一併進行『高雄港域波流場數值模擬及特性研究』工作，以提供高雄港附近海域平面性之波浪與海流特性之參考依據。

## 1.2 研究目的

高雄港位於東經 120 度 10 分，北緯 22 度 27 分，亦即以旗後山上之燈塔為中心畫圈，半徑 2 哩範圍內之水域而言。高雄外港之潮流，漲潮時自北向南流，退潮時自南向北流，但因受到南方海上之黑潮自南向北流至港外回流之影響，外港潮流均沿陸岸附近流動，因而使退潮與漲潮之潮流，呈現不規則之狀態。港口之潮流，漲潮時由港外向

東流至港內，反之，退潮時由港內向西流至港外。內港北側沿新濱町之海域潮流及自運河河口至哨船頭海關派出所前方一帶之水域潮流，在退潮與漲潮時，均共同向西流動。但內港之潮流，在外港之防波堤建造完成，並完成港口之擴建後，預期將有若干之變化。本計畫將應用高雄港內外各項觀測資料，進行高雄港現有海域流場之數值模擬驗證比對。

國內針對臺灣環島及高雄港海域進行潮汐水動力之模擬研究有限，劉肖孔(1983)建置中國海域3度空間數值模式，然其模式之運作需配合其太平洋之海流模式銜接。孫(1999)應用2維模式模擬高雄港港池的流場並進行現場調查，研究顯示高雄港附近海域的海流主要受潮汐影響。莊和江(2000)應用DHI的MIKE21\_HD水動力模式進行台灣四周海域海流數值模擬，其邊界水位的給定主要來自於英國皇家海軍潮汐表(UKHO, 1997)中之潮汐站，因此無法任意調整模擬範圍。莊等人(2001)依據IOS(Institute of Ocean Sciences, Canada)之潮汐預報模式預報開放海域側之潮位邊界條件，進而計算臺灣南部墾丁海域之潮流流場。莊和江(2002)延續莊和江(2000)的研究模擬高雄港附近海域的潮汐與潮流。莊(2002)應用3維的POM模式(Princeton Ocean Model)探討高雄港垂直剖面上的流場，並說明風應力及河流對高雄港內垂直方向上流場分布的影響。

### 1.3 研究方法與步驟

#### 1. 歷年高雄港海氣象實測資料蒐集整理分析

本計畫將辦理海氣象資料蒐集分析，氣象內容包含季風與颱風資料，海象內容則包括潮汐、季風波浪、颱風波浪及海流。

#### 2. 建立高雄港現有海域之流場分析數值模式

本計畫主要研究方法為採用DHI(2002)開發的MIKE21\_HD水動力數值計算模式，其建構之理論係依據水深方向積分後之2維水

動力控制方程組。潮汐流場分別採大區域、中區域及局部區域為範圍進行模擬，大區域主要使用美國地球物理資訊中心（National Geophysical Data Center, NGDC）所釋出的水深量測資料來模擬臺灣環島附近之海域。中區域則模擬臺灣南部附近海域。局部模擬以高雄港附近流況為主要模擬對象，並採用高雄港現地實測的地形水深資料。

利用數值模式進行潮流計算時，推動潮流模式的主要動力為開放邊界水位變化，目前應用數值模式計算潮流的研究，其模式所需之邊界條件主要的來源有 2:1 個是在模式計算區域的邊界進行現場實際數據的收集；另 1 個則是擷取自另 1 個較大範圍模式的計算結果。然而取得水位變化資料最直接的方式為現場觀測，但是當開邊界地區位於大洋深海區時，便沒有實測水位資料可供應用。為了解決邊界水位取得的困難，以及模式邊界水位給定的問題，本計畫大區域利用全球潮汐模式的水位模擬結果作為邊界水位的輸入，直接採用 Matsumoto 等人(2000)針對 NAO Tide 提出的 NAO.99b 模式的輸出結果作為驅動 HD 模式進行天文潮推算所需的動力邊界條件，至於中區域及局部區域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，中區域計算海域之水動力邊界條件係萃取自大範圍計算海域之逐時潮位或流速；而局部區域計算海域之水動力邊界條件再萃取自中區域計算海域之逐時潮位或流速。

## 1.4 文章架構

本文於第二章歸納整理國內高雄港的海氣象資料文獻報告，作為本計畫及今後研究參考。第三章說明數值計算的原理。第四章探討高雄港現有海域流場數值模擬結果。第五章為本計畫的結論。

## 第二章 高雄港海氣象資料蒐集分析

### 2.1 氣象

#### 2.1.1 風

依據高雄測候站民國 73 年~93 年之逐時氣象資料，經分析得高雄地區之全年及每月風玫瑰圖如圖 2.1-1 及圖 2.1-2 所示，由圖可知高雄地區冬季之東北季風期約自每年 10 月至翌年 4 月，風向以 NNE~WNW 方向為主，5 月及 6 月處於季風轉型期，風向以 NW~WNW 方向與 S~SE 向所佔比例較高，7 月~9 月為夏季季風期，風向以 WNW、S、SSE、ENE 居多。全年而言，風向以 N 向出現頻率最高，WNW 向次之；風速大都介於 0.1~5.0m/sec 之間，超過 10m/sec 者極少。

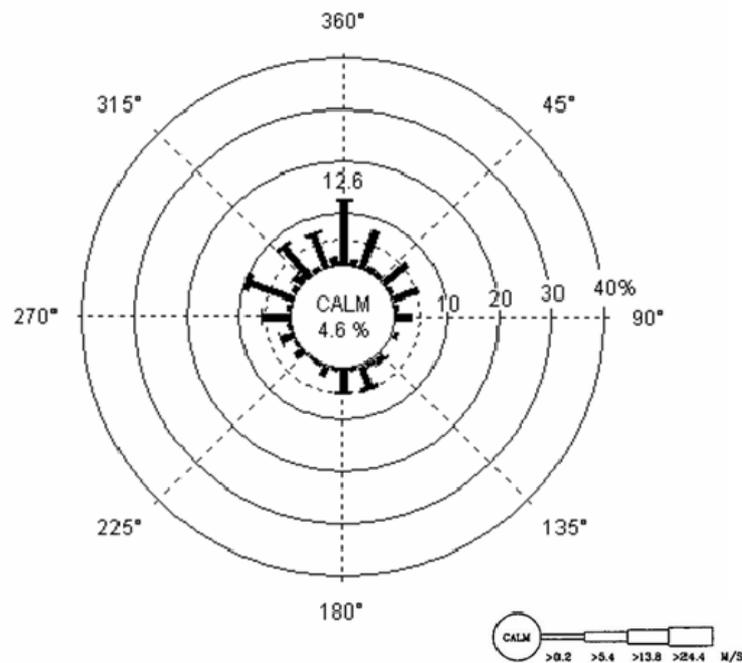


圖 2.1-1 高雄地區全年風玫瑰圖(1984.1~2004.12)

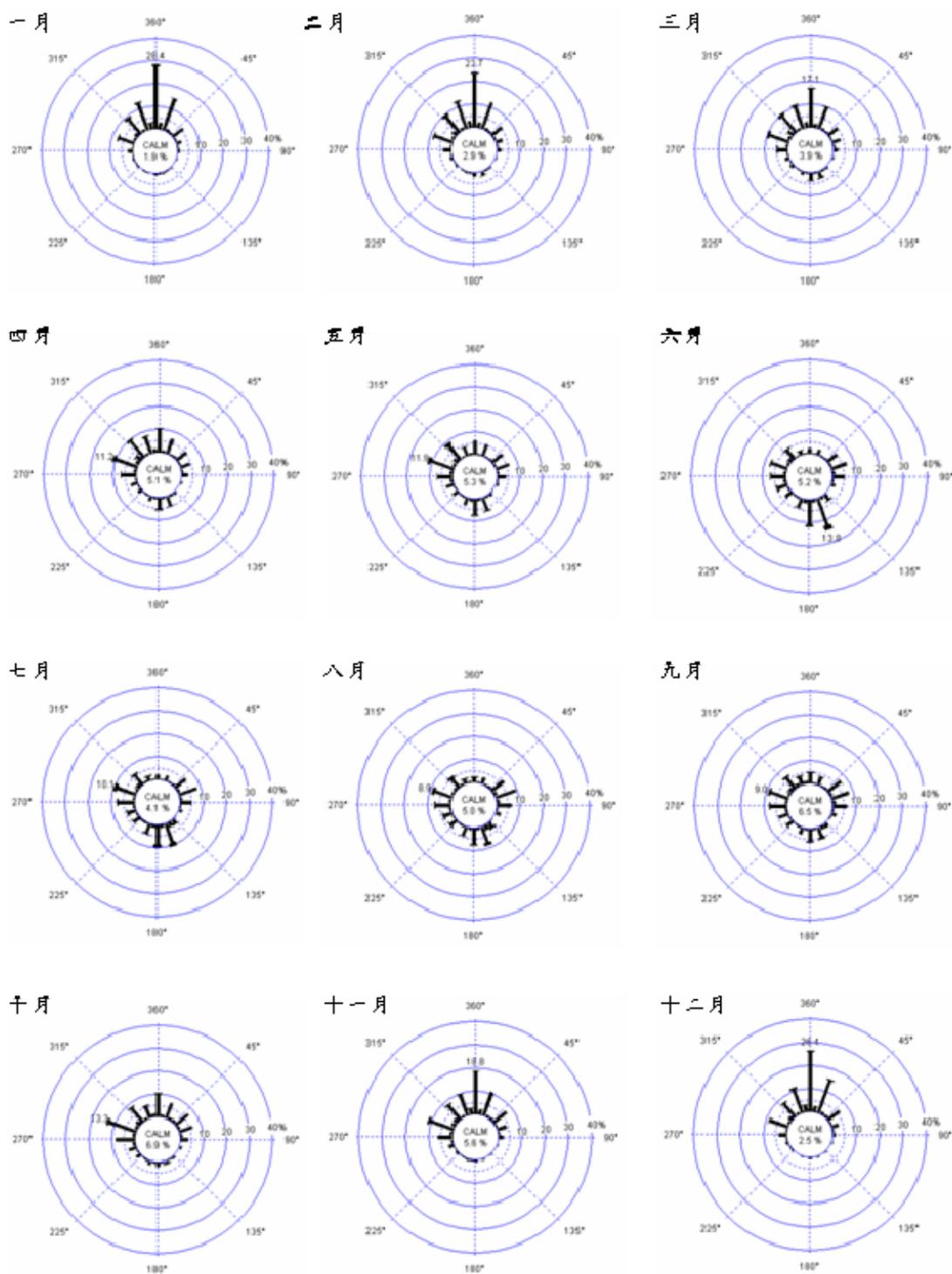


圖 2.1-2 高雄地區各月風玫瑰圖(1984.1~2004.12)

## 2.1.2 颱風

颱風為威脅臺灣地區最嚴重之自然災害，歷年來因颱風而損失之生命財產實不可勝數，尤其當颱風直接襲擊時，不僅影響海上船隻之作業，更對海岸結構物造成極大之衝擊，故對颱風之各項資料及特性，需詳予蒐集分析。

### 1. 颱風之發生

熱帶地區發生之強烈低氣壓稱為熱帶性低氣壓，其與寒帶發生者不同，常挾帶豪雨與強風，破壞力極大。凡介於東經 115°~180°、北緯 5°~30°，即西太平洋海面自菲律賓東方迄日本南方海面所發生熱帶性低氣壓均稱為颱風，其發源地多在馬利安納群島與菲律賓群島之間，南海地區次之。

### 2. 颱風侵台之頻率

一般颱風多見於夏、秋兩季，冬、春期間則較少發生。依據中央氣象局氣象研究科技中心彙整統計民國前 15 年至民國 93 年計 108 年間侵襲台灣及其附近海域之颱風，各月侵臺颱風總次數及頻率如表 2.1-1 所示。由表可知，侵臺颱風最早出現于 4 月，最晚為 12 月，侵臺颱風總數為 380 次，其中以 8 月份佔 116 次為最高，約佔總數之 30.5%；7 月份居次，共計 92 次，約佔總數之 24.2%，每年 1 月至 3 月間尚無侵台之記錄。

表 2.1-1 侵臺颱風次數統計表(1897~2004)

月 份	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二	合計
次 數	-	-	-	2	14	29	92	116	86	32	8	1	380
百 分 比	-	-	-	0.5	3.7	7.6	24.2	30.5	22.6	8.4	2.1	0.3	100
年平均次數	-	-	-	0.02	0.13	0.27	0.85	1.07	0.80	0.30	0.07	0.01	3.52

### 3. 侵臺颱風路徑

中央氣象局將侵臺颱風路徑按其特性之不同，劃分為 7 大類，依據過去 108 年(1897~2004 年)間之侵臺颱風，詳如圖 2.1-3 所示。各侵臺路徑之特性及發生次數統計說明如后：

第 1 類：為通過臺灣北部或北部海面，向西或西北進行者，共計發生 96 次，約佔侵台颱風總數之 25.3%，其頻率之高，僅次於第 3 類。

第 2 類：為穿過臺灣中部，向西或西北進行者，共計發生 51 次，約佔侵臺颱風總數之 13.4%。

第 3 類：為通過臺灣南部或南方近海，向西或西北進行者，共計發生 115 次，約佔總數之 30.3%，為侵臺颱風路徑頻率最高者。

第 4 類：為沿臺灣東岸或東部海面北上者，共計發生 51 次，約佔總數之 13.4%。

第 5 類：為沿臺灣西岸或臺灣海峽北上者，共計發生 23 次，約佔總數之 6.1%。

第 6 類：為通過臺灣中南部，再向東北出海者，共計發生 26 次，約佔總數之 6.8%。

第 7 類：為不屬於以上六類之特殊路徑，曾出現 18 次，約佔總數之 4.7%。

計畫區位於臺灣西海岸之南端，除第 5 與第 6 路徑之颱風將直接侵襲本區外，第 3 路徑亦有影響；依上述之統計結果，侵台颱風約有 43.2% 將直接影響本區海域，即平均每年約有 1.52 個颱風將影響附近海域。

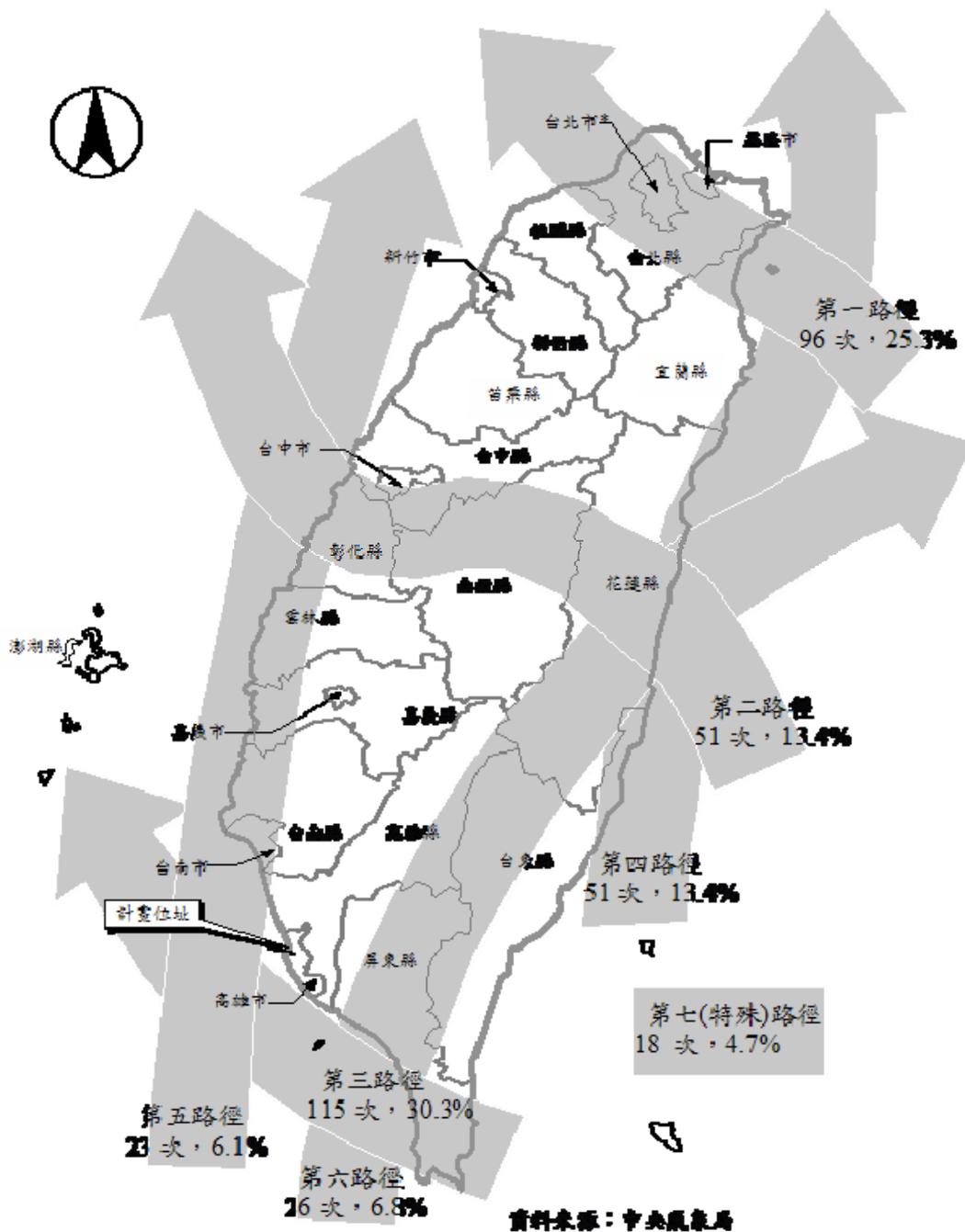


圖 2.1-3 侵襲臺灣之颱風路徑統計圖(1897~2004)

## 2.2 海象

### 2.2.1 潮汐

潮汐之成因主要為天體萬有引力作用於海面，並因海底及海岸地形之影響；海灣河口之共振；地球自轉所生之力等作用，使海面水位發生週期性變化之現象。依據「高雄港洲際貨櫃中心第 1 期基礎設計興建工程」中，採用高雄港務局 1976~2004 年之逐時潮位記錄，推算高雄地區天文潮之各潮位值如下

天文潮最高高潮位	H.H.W.L.	+1.51m
天文潮朔望平均高潮位	H.W.L.	+1.27m
天文潮平均較高高潮位	M.H.H.W.L.	+1.10m
平均高潮位	M.H.W.L.	+0.95m
平均潮位	M.T.L.	+0.73m
平均低潮位	M.L.W.L.	+0.51m
天文潮平均較低低潮位	M.L.L.W.L.	+0.43m
天文潮朔望平均低潮位	L.W.L.	+0.33m
天文潮最低低潮位	L.L.W.L.	+0.09m

### 2.2.2 波浪

#### 1. 季風波浪

為期瞭解高雄沿海地區之常年波浪狀況，特將蒐集現有實測並已發表之資料成果加以敘述、分析如後。經整理得計畫區附近波浪之資料來源有 4，1 為高雄港務局自民國 55 年~66 年間屬較長期性之觀測結果，2 為臺南水工所於民國 81 年~82 年間，在高雄港第 2 港口外側海域進行之測量成果，3 為高雄市政府環保局自民國 85 年 8 月起，於高雄港 2 港口南側大林蒲填海計畫外側海域海上觀測樁之波浪觀測資料(觀測至民國 87 年 2 月，因觀測樁傾斜而中止)，4 為交通部運輸研究所港灣技術研究中心民國 79 年 11 月至 82 年 3 月之

期間，於臨近高雄港之大鵬灣地區觀測之資料。茲將蒐集之波浪觀測成果摘錄如表 2.2-1：

表 2.2-1 波浪資料綜合比較表

測量單位	高雄港務局	國立成功大學臺南水工所	高雄市政府環保局	港灣技術研究中心	
測量時間	民國55年~66年	民國81年3月~82年6月	民國85年8月~87年2月	民國79年11月~82年03月	
測量位置	高雄港外海	高雄港第二港口外側海域	高雄港第二港口南側大林蒲外海	高雄港大鵬灣	
波向 (%)	全年	無波向	S~WNW(81.05%)	NW~S(67.2%)	無波向
	夏季	無波向	—	S、SSW、SW、W	無波向
	冬季	無波向	—	NW、WNW、W	無波向
波高 (%)	全年	≤1m，87.5%	波高≤1m，94.5%	≤1m，87.3%	≤1.25m，83.68%
	夏季	≤1m，79.2%	—	≤1m，67.6%	≤1.25m，69.10%
	冬季	≤1m，95.3%	—	≤1m，97.8%	≤1.25m，92.43%
週期 (%)	全年	≤9sec，89.3%	8.0~10sec，67.9% ≤10sec，83.9%	≤10sec，98%	≤9.5sec，97.92%
	夏季	≤9sec，89.3%	—	≤10sec，95.9%	≤9.5sec，94.65%
	冬季	≤9sec，89.4%	—	≤10sec，97.2%	≤9.5sec，99.72%
備註	未測波向	無分季資料		未測波向	

## 2. 颱風波浪

藉由高雄港 2 港口前述觀測作業所測得之最大波浪統計如表 2.2-2 所示，由該表可知，因颱風侵襲路徑之不同，所導致之最大波浪狀況亦有差異，茲分述如下：

(1) 颱風時之波浪，因颱風之強度及其路徑而異，颱風在高雄地區附近海岸登陸，或其中中心在高雄海岸極接近之處通過時，波浪較高，有實測 5 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，

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，當時係由於艾琳颱風經過。

(2)在高雄港外海，自巴士海峽向南海進行之颱風，如風力強大時，所測波浪最大者其示性波高為 4.2 公尺，週期 12 秒。

(3)橫越中央山脈之颱風或通過高雄以北地區之颱風在高雄地區所產生之波浪，幾乎都在 4.0 公尺以下，過去實測紀錄，最大之示性波高為 3.6 公尺，週期 8.6 秒。

表 2.2-2 高雄港 2 港口實測最大波浪統計表

年 別	最大波高 (米)	週期 (秒)	發生時間	當日最 多波向 (S(度)W)	備 註
54	3.70	7.60	8 月 20 日	1	8 月 18 日瑪麗颱風
55	7.00	7.60	5 月 30 日	45	5 月 30 日裘迪颱風
56	3.13	8.40	6 月 29 日	47	---
57	6.96	13.00	9 月 30 日	47	9 月 30 日艾琳颱風
58	5.30	9.30	7 月 28 日	—	7 月 27 日衛歐颱風
59	4.20	7.10	7 月 16 日	35	強烈南風
60	5.20	11.00	7 月 26 日	45	7 月 26 日娜定颱風
61	4.30	12.20	7 月 11 日	35	7 月 9 日蘇珊颱風
62	9.29	9.00	10 月 10 日	—	10 月 9 日娜拉颱風
63	6.00	12.00	6 月 13 日	33	---
64	8.50	11.00	9 月 23 日	75	9 月 22 日貝蒂颱風
65	5.10	11.00	6 月 28 日	78	---
66	6.80	11.00	7 月 25 日	57	7 月 22 日賽洛瑪颱風
67	2.70	10.00	6 月 25 日	52	6 月 23 日羅絲颱風
81	3.95	11.20	—	—	台南水工所測量
85	8.58	9.00	7 月 26 日	—	大林蒲海上觀測樁

### 2.2.3 海流

為瞭解高雄沿海地區之海潮流狀況，茲蒐集交通部運輸研究所及高雄海洋科技大學(前高雄海專)所發表之資料成果加以敘述、分析如后：

#### 1. 交通部運輸研究所

交通部運輸研究所於民國 81 年～82 年委託成功大學、台灣大學及前省交通處港灣技術研究所辦理「高雄港域海氣象調查研究成果」案，其海潮流調查設置 2 個流速觀測站，水深分別為 20m 及 10m，其中水深 20m 測站位置為(22°30'41.8"N，120°17'50.0"E)，水深 10m 測站位置為(22°31'30.4"N，120°18'54.6"E)。每 1 測站在上層與底層各安裝流速儀 1 台，水深 20m 測站，上層流速儀位於水面下約 3m～4m，底層流速儀則在水面下約 15m～16m；水深 10m 測站，上層流速儀位於水面下約 1.5m～2.5m，底層流速儀則在水面下約 8m～9m。自民國 81 年 1 月 17 日起至民國 82 年 1 月 5 日止共完成 19 次流速儀收放工作，由分析之海潮流分佈情形歸納如下結論：

(1) 由規劃分析之結果顯示冬季(1、2、11、12 月份)與夏季(5、6、7、8 月份)海流之特性類似，海流流向主要分佈在西北及東南 2 個方向，即海流是以沿海岸方向往復運動為主。夏秋交接季(9、10 月份)海流的特性仍集中分佈於西北及東南 2 個方向，但在 20 公尺測站東南向海流所佔比例較西北向為大。春夏交接季(3、4 月份)時，海流亦集中分佈於西北及東南 2 方向，惟於 20 公尺測站測得之北北西與南南東流向所佔比例有所增加，且較其他季別為大。若就全年海流狀況相互比較可發現，流向主要集中分佈於西北—東南 2 個方向上，為沿海岸方向往復之運動。10 公尺測站流向集中於這 2 個方向之比例較 20 公尺測站為大。上層流速較下層有稍大之趨勢，流速超過 1 節所佔比例很小。大體而言，水深 10 公尺測站與 20 公尺處流速與流向變化趨勢相似。

(2) 由實測結果可知，海流之流速與測站離岸遠近有關。一般而言，距岸較遠，水深較深，流速較大，原因是其所受到邊界及底部摩擦效應影響相對較少所致。

(3) 潮流振幅在 30cm/sec 左右，主要沿著平行海岸方向（西北—東南走向）做往復運動，潮位領先流速 4 小時，但其趨勢亦不十分明顯。不論上、下層之海流明顯地都有往南及往東之分量，大致與海岸平行。上層之海流較下層之流速大。有時不論漲退潮均有往同一方向流動之紀錄。流速大都小於 50cm/sec，而以 0~25cm/sec 所佔比例最多。

## 2. 高雄海洋技術學院

高雄市政府計畫於旗津外海興建「海洋文化世界」，曾委託高雄海洋技術學院(前高雄海專)於民國 75 年 12 月~76 年 12 月間在旗津外海進行海流觀測分析，其海流測站位置詳圖 2.2-1 所示，其觀測之各測站海流最大流速及海流流速、流向分佈詳表 2.2-3 所示。由海流流速、流向分佈可知，旗津地區之海流流向大抵皆為沿岸之西北—東南方向，其流向與漲退潮之潮位無明顯關係，不過一般而言，其流向與潮位昇降約有 1~2 小時之相位延遲，但趨勢不十分明顯。此外不管短期或長期之實測海流資料皆顯示，其流向十分集中於 NW-NNW 及 ESE-S 之 2 個狹小夾角內，亦即西北—東南方向之沿岸方向。其流速分佈大抵皆小於 50cm/sec，所佔比率約達 90% 以上，其中尤以 0~25cm/sec 所佔比率最多達 70% 以上，最大實測流速受大潮差及颱風影響可達 117.66cm/sec，平均流速約在 15.08~22.07cm/sec 之間，其主要流向則向南海流較向北海流為優勢。

綜上所述，本計畫區域範圍內，潮流振幅在 30cm/sec 左右，流速分佈小於 50cm/sec 所佔比率約達 90% 以上，主要沿著平行海岸方向（西北—東南走向）做往復運動，潮位領先流速 4 小時；上層流速較下層有稍大之趨勢，流速超過 1 節所佔比例很小，且海流之流速與測站離岸遠近有關。一般而言，距岸較遠，水深較深，流速較

大，原因是其所受到邊界及底部摩擦效應影響相對較少所致；另外，本計畫區域北側邊界海域，其流向十分集中於 NW-NNW 及 ESE-S 之 2 個狹小夾角內，其中尤以 0~25cm/sec 所佔比率最多達 70% 以上，最大實測流速受大潮差及颱風影響可達 117.66cm/sec，平均流速約在 15.08~22.07cm/sec 之間，其主要流向則向南海流較向北海流為優勢。

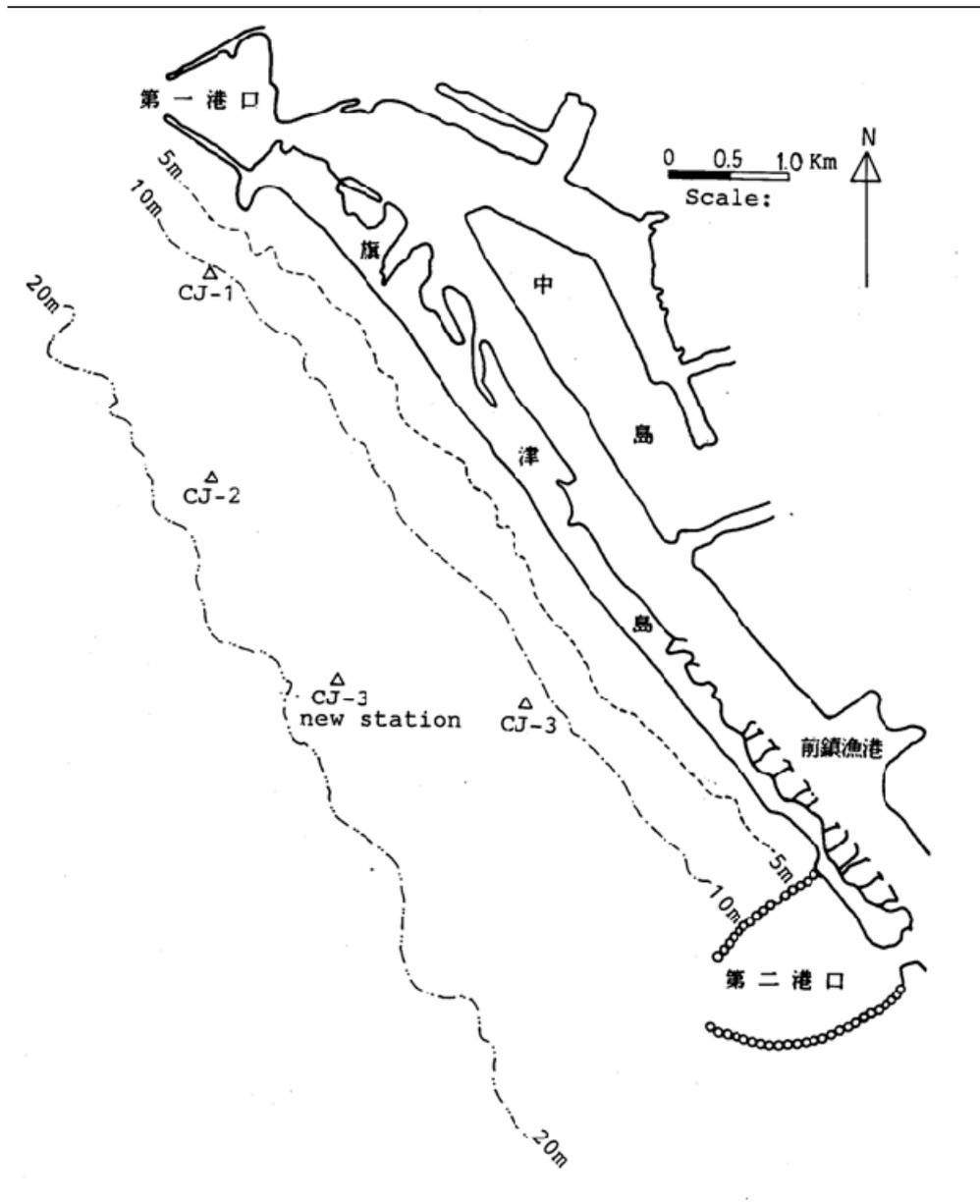


圖 2.2-1 旗津外海海流觀測作業位置圖

表 2.2-3 旗津外海各月份實測最大海流流速及其流向分析表

站 名	CJ-1		CJ-2		CJ-3		CJ-3(長期站)	
	最大速流	流向	最大速流	流向	最大速流	流向	最大速流	流向
76年1月	43.00	326°	46.00	332°	37.37	244°		
76年2月	51.76	139°	57.00	140°	42.38	153°		
76年3月	65.83	149°	53.00	137°	56.14	148°		
76年4月	38.62	149°	36.00	136°	28.62	150°		
76年5月	15.80	132°	儀器故障		33.31	124°	88.34	345°
76年6月	38.00	141°	儀器故障		51.76	145°	84.59	340°
76年7月	51.76	329°	45.00	315°	50.70	353°	75.50	347°
76年8月	颱風過境無法作業						94.91	154°
76年9月	34.25	140°	39.23	151°			87.72	152°
76年10月	22.68	133°	22.18	334°			117.66	348°
76年11月	20.17	144°	15.36	157°			75.52	345°
76年12月	24.04	329°	22.49	134°			87.41	335°
全年測得 最大流速	65.83	149°	57.00	140°	56.14	148°	117.66	348°

### 第三章 高雄港海域數值模式建立

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。在臺灣環島海域內，以往僅能根據臺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。為能清楚洞悉臺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, 2002)，配合 Matsumoto 等人(2000)針對 NAO Tide 提出的 NAO.99b 模式的輸出結果作為驅動 HD 模式進行天文潮推算所需的動力邊界條件，進而針對臺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臺灣環島部分潮汐測站之實測資料驗證後，相關數值結果將進一步用以探討臺灣南部及高雄港海域潮汐與潮流之運動與動力特性。

#### 3.1 2 維水動力控制方程組

在潮波之大尺度波長與地轉效應考量下，由於臺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，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, 2002)

連續方程式

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = I - e \quad (3.1)$$

x 方向運動方程式

$$\begin{aligned} & \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{C^2 \cdot h^2} \\ & - \frac{1}{\rho_w} \left[ \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega q - f_w V V_x + \frac{h}{\rho} \frac{\partial}{\partial x} (P_a) = 0 \end{aligned} \quad (3.2)$$

y 方向運動方程式

$$\begin{aligned} & \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gq\sqrt{p^2+q^2}}{C^2 \cdot h^2} \\ & - \frac{1}{\rho} \left[ \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega q - f_w V V_y + \frac{h}{\rho} \frac{\partial}{\partial y} (P_a) = 0 \end{aligned} \quad (3.3)$$

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 ( $kg/m/s^2$ )。

### 3.2 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 (3.1) 至 (3.3) 之水動力系統方程式 (DHI, 2002)。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 3.2-1 及圖 3.2-2 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 (3.1)，在無質量增損情況下，其  $x$  及  $y$  方向之差分型式可分別表

示為

x 方向

$$2 \cdot \left( \frac{\zeta^{n+1/2} - \zeta^n}{\Delta t} \right)_{j,k} + \frac{1}{2} \cdot \left\{ \left( \frac{p_j - p_{j-1}}{\Delta x} \right)^{n+1} + \left( \frac{p_j - p_{j-1}}{\Delta x} \right)^n \right\}_k \\ + \frac{1}{2} \cdot \left\{ \left( \frac{q_k - q_{k-1}}{\Delta y} \right)^{n+1/2} + \left( \frac{q_k - q_{k-1}}{\Delta y} \right)^{n-1/2} \right\}_j = 0 \quad (3.4)$$

y 方向

$$2 \cdot \left( \frac{\zeta^{n+1} - \zeta^{n+1/2}}{\Delta t} \right)_{j,k} + \frac{1}{2} \cdot \left\{ \left( \frac{p_j - p_{j-1}}{\Delta x} \right)^{n+1} + \left( \frac{p_j - p_{j-1}}{\Delta x} \right)^n \right\}_k \\ + \frac{1}{2} \cdot \left\{ \left( \frac{q_k - q_{k-1}}{\Delta y} \right)^{n+3/2} + \left( \frac{q_k - q_{k-1}}{\Delta y} \right)^{n+1/2} \right\}_j = 0 \quad (3.5)$$

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(3.2)等號左右各項可逐項表示為

時間變化項

$$\frac{\partial p}{\partial t} \approx \left( \frac{p^{n+1} - p^n}{\Delta t} \right)_{j,k} \quad (3.6)$$

重力影響項

$$gh\zeta_x \approx g \left( \frac{h_{j,k} + h_{j+1,k}}{2} \right)^n \left( \frac{\zeta_{j+1,k} - \zeta_{j,k}}{\Delta x} \right)^{n+1/2} \quad (3.7)$$

其中

$$h_{j,k}^n = d_{j,k} + \zeta_{j,k}^n \quad (3.8)$$

x 方向對流項

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{pp}{h} \right) \cong \left[ \frac{(p_{j+1} + p_j)^{n+1}}{2} \cdot \frac{(p_{j+1} + p_j)^n}{2} \cdot \frac{1}{h_{j+1}^n} - \frac{(p_j + p_{j-1})^{n+1}}{2} \cdot \frac{(p_j + p_{j-1})^n}{2} \cdot \frac{1}{h_j^n} \right] \cdot \frac{1}{\Delta x} \quad (3.9)$$

$$\overline{u^2} \Delta t \frac{\Delta^2 p}{\partial x^2} \cong \Delta t \left( \frac{p_{j,k}^n}{h^*} \right)^2 \cdot \left( \frac{p_{j+1} - 2p_j + p_{j-1}}{(2\Delta x)^2} \right)_k^{n-1} \quad (3.10)$$

其中

$$h^* = \frac{1}{2} \cdot (h_{j+1} + h_j)_k \quad (3.11)$$

x 方向動量交換項

$$\frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{pq}{h} \right) \approx \left[ \left( \frac{p_{k+1}^a + p_k^b}{2} \right)_j \cdot v_{j+1/2,k}^{n+1/2} - \left( \frac{p_k^a + p_{k-1}^b}{2} \right)_j \cdot v_{j+1/2,k-1}^{n+1/2} \right] \cdot \frac{1}{\Delta y} \quad (3.12)$$

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

$$v_{j+1/2,k}^{n+1/2} = \frac{2(q_j + q_{j+1})_k^{n+1/2}}{(h_{j,k} + h_{j,k+1} + h_{j+1,k} + h_{j+1,k+1})^n} \quad (3.13)$$

$$v_{j+1/2,k-1}^{n+1/2} = \frac{2(q_j + q_{j+1})_{k-1}^{n+1/2}}{(h_{j,k-1} + h_{j,k} + h_{j+1,k-1} + h_{j+1,k})^n} \quad (3.14)$$

$$\overline{v^2} \Delta t \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} \approx \Delta t (v^*)^2 \cdot \frac{\{p_{k+1}^a - (p_k^{n+1} + p_k^n) + p_{k-1}^b\}_j}{(\Delta y)^2} \quad (3.15)$$

$a$ 、 $b$  之定義同式(3.12)，而

$$v^* = \frac{1}{2} \cdot (v_{k+1/2} + v_{k-1/2})_{j+1/2}^{n+1/2} \quad (3.16)$$

摩擦阻力項

$$\frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2} \approx \frac{gp_{j,k}^{n+1} \sqrt{p^{*2} + q^{*2}}}{C^2 h^{*2}} \quad (3.17)$$

其中

$$p^* = p_{j,k}^n \quad (3.18)$$

$$q^* = \frac{1}{8} (q_{j,k}^{n-1/2} + q_{j+1,k}^{n-1/2} + q_{j,k-1}^{n-1/2} + q_{j+1,k-1}^{n-1/2} + q_{j,k}^{n+1/2} + q_{j+1,k}^{n+1/2} + q_{j,k-1}^{n+1/2} + q_{j+1,k-1}^{n+1/2}) \quad (3.19)$$

$$h^* = 1/2(h_{j+1} + h_j)_k^n \quad (3.20)$$

$$C = M \cdot h^{*1/6} \quad (3.21)$$

$C$  表 Chezy number, 而  $M$  表 Manning number

地轉效應項

$$\Omega \cdot q \approx \Omega q^* \quad (3.22)$$

$q^*$  同式(3.19)。至於式(3.3)內各項之差分處理可仿照式(3.6)至式(3.22)方式編寫。

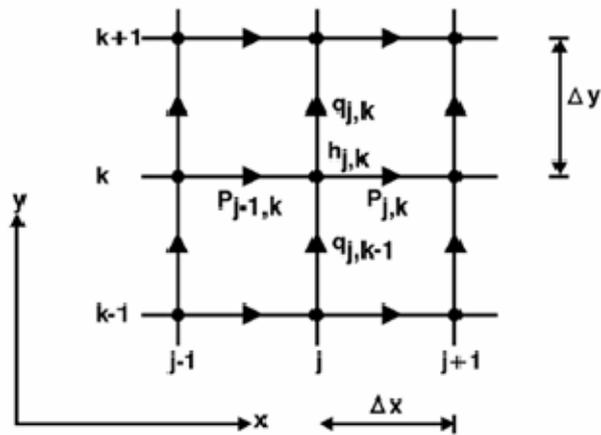


圖 3.2-1 MIKE21\_HD 計算模式使用交替方向隱式有限差分法之空間網格分割

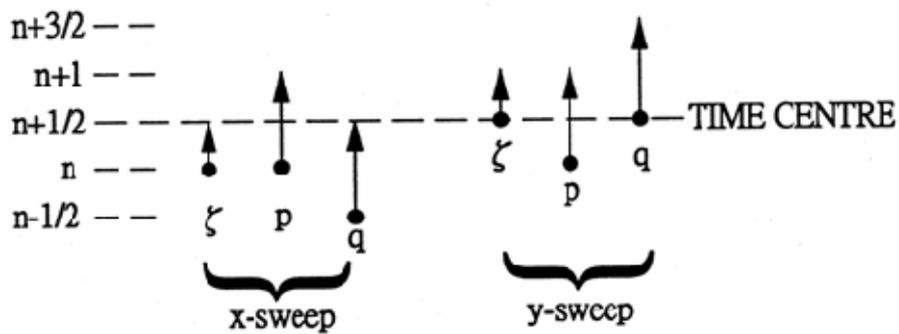


圖 3.2-2 MIKE21\_HD 計算模式使用交替方向隱式有限差分法之時階分割

### 3.3 計算海域

潮汐流場分別採大區域、中區域及局部區域為範圍進行模擬，大區域主要使用美國地球物理資訊中心(National Geophysical Data Center, NGDC)所釋出的水深量測資料來模擬臺灣環島附近之海域，網格大小為 5km，模擬範圍之地形水深如圖 3.3-1 所示。中區域則模擬臺灣南部附近海域，包含兩個部分，一部份為南臺灣海域，網格大小為 1km，如圖 3.3-2 所示，另一部份則為高雄附近海域，網格大小為 200m，如圖 3.3-3 所示。局部模擬以高雄港流況為主要模擬對象，並採用高雄港現地實測的地形水深資料，網格大小為 50m，如圖 3.3-4 所示。

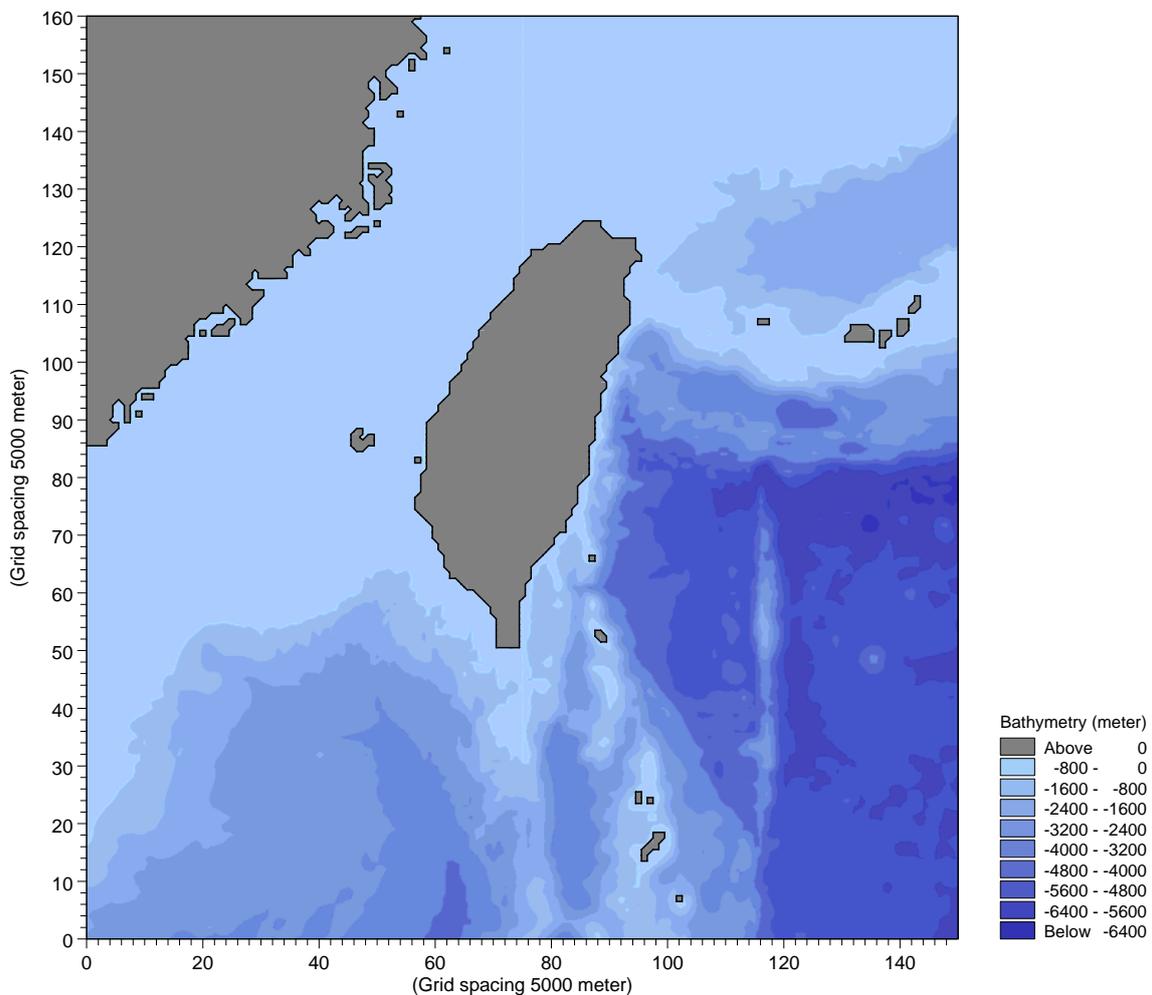


圖 3.3-1 臺灣附近海域邊界及地形水深

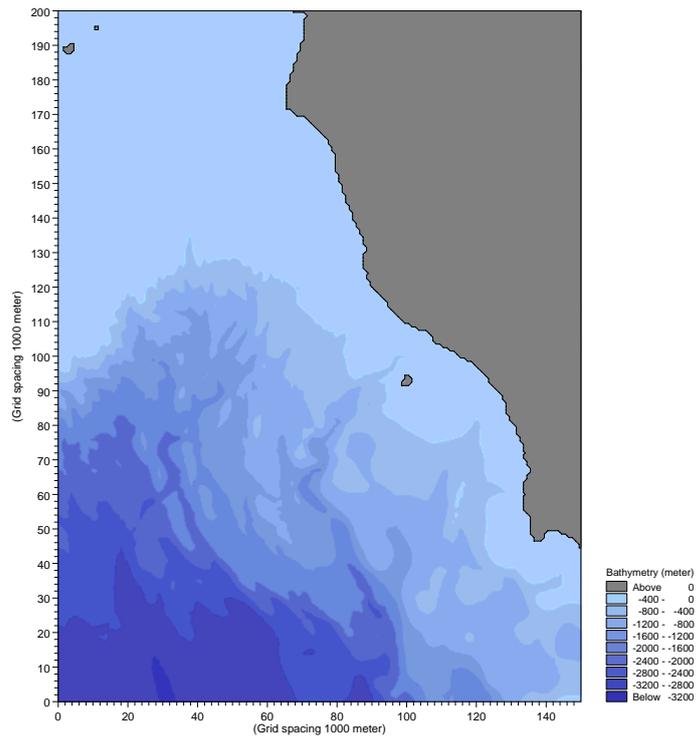


圖 3.3-2 臺灣南部海域邊界及地形水深

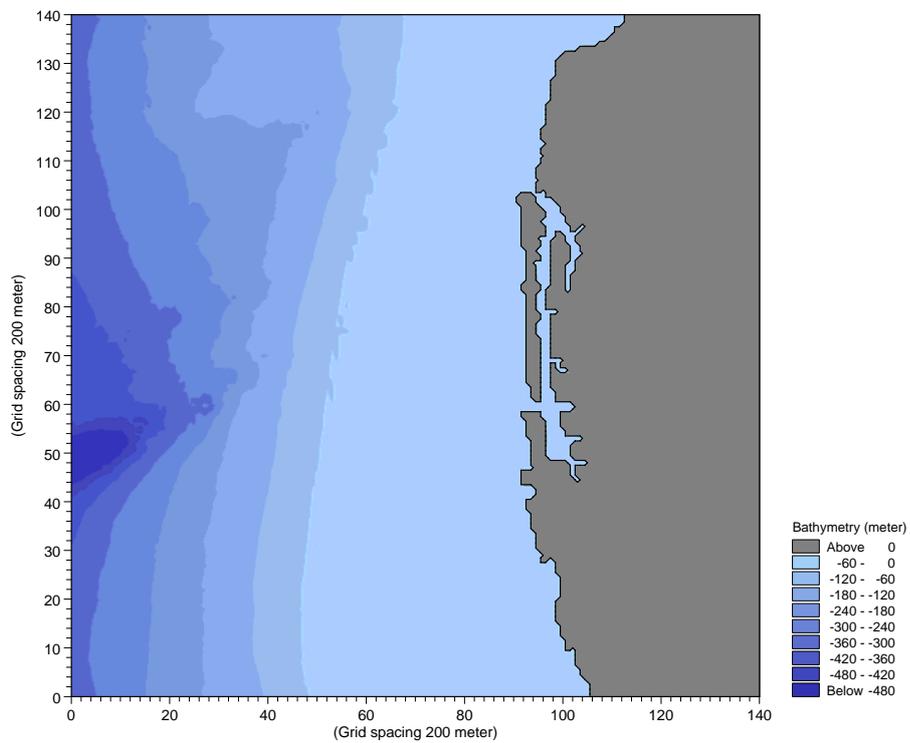


圖 3.3-3 高雄附近海域邊界及地形水深

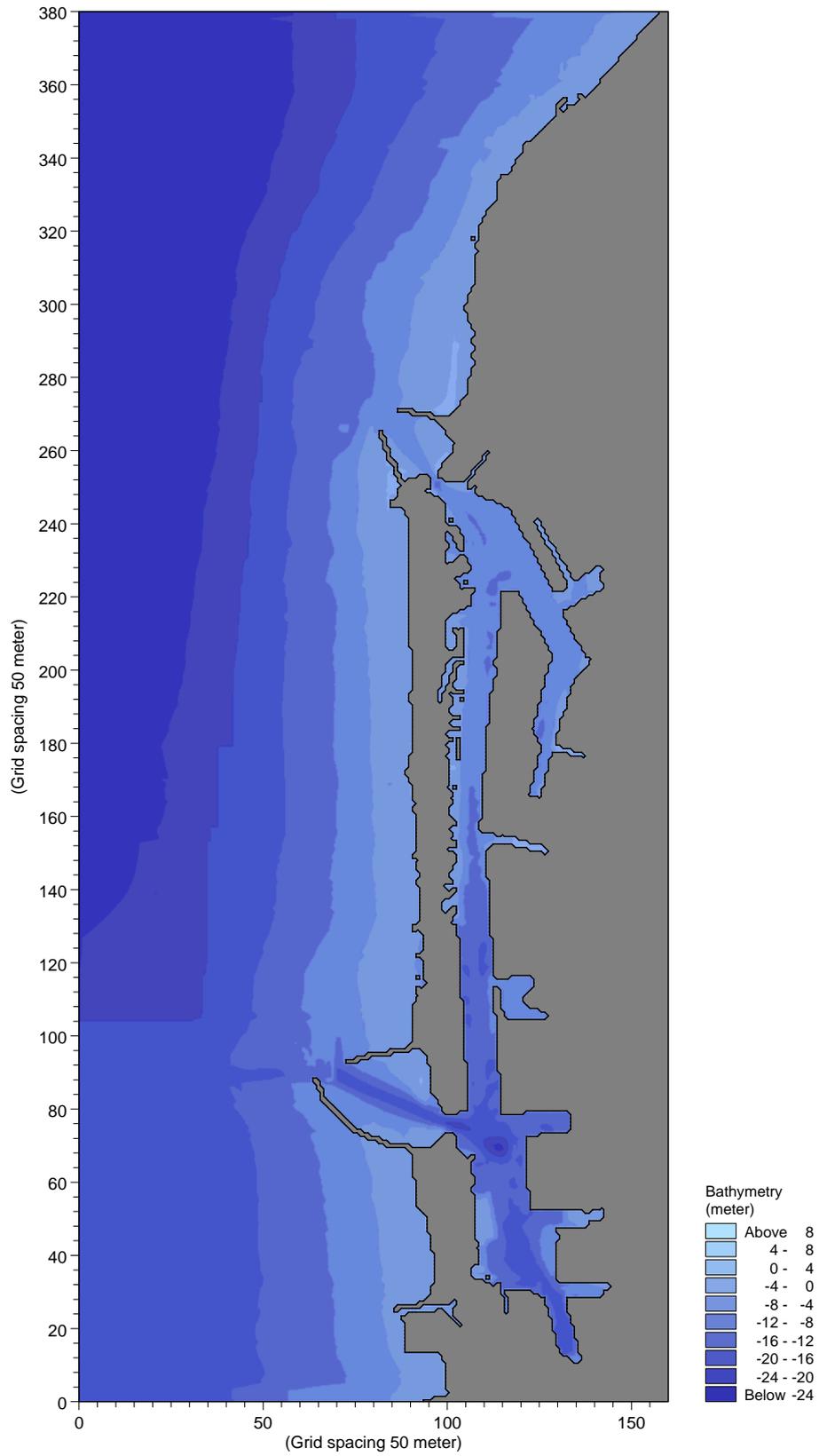


圖 3.3-4 高雄港附近海域邊界及地形水深

### 3.4 初始與邊界條件之設定

對於水深積分處理後之 2 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 3.3-1 所示之計算範圍而言，不透水之邊界條件將應用於臺灣環島沿岸、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 Matsumoto 等人 (2000) 針對 NAO Tide 提出的 NAO.99b 模式的輸出結果，針對選定之模擬時段，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, 2002)。

大區域計算海域之初始與邊界條件設定後，大區域計算海域之 2 維水動力數值模擬計算即可執行，至於中、局部區域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區域海域之水動力模式計算結果中分別萃取後應用。亦即，中區域計算海域之水動力邊界條件係萃取自大區域計算海域之逐時潮位或流速；而局部區域計算海域之水動力邊界條件再萃取自中區域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、保留上一較大區域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臺灣南部及高雄港海域之潮汐與潮流之運動與動力特性。

### 3.5 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

$$C_r = \frac{C_{\max} \cdot \Delta t}{\Delta x} < 1 \quad (3.23)$$

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。對臺灣海域之大範圍計算，本研究  $\Delta x$  選定為 5 公里， $\Delta t$  設定為 120 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 6.1，儘管如此，計算結果經與臺灣環島各實測資料比較後，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

$$E \leq \frac{\Delta x^2}{2\Delta t} \quad (3.24)$$

並可依下式估算

$$E = 0.1 \times \Delta x \times V \quad (3.25)$$

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, 2002)，即

$$E = C_s^2 \Delta^2 \left[ \left( \frac{\partial U}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{2} \left( \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial V}{\partial y} \right)^2 \right] \quad (3.26)$$

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(3.26)之公式，並設定  $C_s = 0.5$ 。

## 第四章 高雄港海域數值模擬

### 4.1 高雄港海域實測資料分析

本計畫主要進行高雄港海域海流數值模擬，在進行數值模擬前應先針對模擬對象進行深入瞭解，本計畫除於 2.2.3 節針對實測海流資料進行分析外，更收集港研中心 2006 年於高雄港 2 港口南側及 2007 年於高雄港 1 港口北側的實測資料，希望透過不同潮型、時間及地點的詳細分析比對，瞭解高雄港海域的海流特性。

圖 4.1-1 為 2006 年 4 月高雄港 2 港口日潮不等較小時，潮位與流場的狀況，由圖中可知，漲潮時海流流向北，退潮時海流流向南，且分別於高低潮處轉方向。2006 年 4 月高雄港 2 港口日潮不等較大時的情況示如圖 4.1-2，結果顯示，hump 前的漲潮，海流流向部分時候向南，部分時候向北，但至 hump 時流向會轉向北，過 hump 後流向轉向南，並至高潮時轉回向北。圖 4.1-3 為 2006 年 10 月高雄港 2 港口日潮不等較小時，潮位與流場的狀況，由圖中可知，流場特性與 4 月份的圖 4.1-1 恰好相反，漲潮時海流流向南，退潮時海流流向北，且分別於高低潮處轉方向。2006 年 10 月高雄港 2 港口日潮不等較大時的情況示如圖 4.1-4，結果顯示，hump 前的漲潮，海流流向南，但至 hump 時流向會轉向北，過 hump 後流向轉向南，並至高潮時轉回向北。

圖 4.1-5 為 2007 年 4 月高雄港 1 港口日潮不等較小時，潮位與流場的狀況，由圖中可知，時間在 350-360 之間，不論漲退潮，海流流向皆向南，時間在 360-390 之間，漲潮海流流向北，退潮流向南，時間在 390-400 之間，不論漲退潮，海流流向皆向北。2007 年 4 月高雄港 1 港口日潮不等較大時的情況示如圖 4.1-6，結果顯示，海流由高潮開始流向北，至 hump 高點時轉向南，並至下一個高潮前轉向北，且不論 hump 高於平均水位或低於平均水位，流向皆向南。圖 4.1-7 為 2007 年 5 月高雄港 1 港口日潮不等較小時，潮位與流場的狀況，由圖中可知，

時間在 300-320 之間，不論漲退潮，海流流向皆向南，時間在 320-340 之間，漲潮海流流向北，退潮流向南，時間在 340-350 之間，不論漲退潮，海流流向皆向南。2007 年 5 月高雄港 1 港口日潮不等較大時的情況示如圖 4.1-8，結果顯示，漲潮時流向向北，至 hump 高點處轉向南，並在平潮時轉向北。圖 4.1-9 為 2007 年 7 月高雄港 1 港口日潮不等較小時，潮位與流場的狀況，由圖中可知，時間在 160-170 之間，漲潮海流流向南，退潮流向北，時間在 170-180 之間，漲潮海流流向北，退潮流向南，特性與前一段時間相反，時間在 180-190 之間，不論漲退潮，海流流向皆向北。2007 年 7 月高雄港 1 港口日潮不等較大時的情況示如圖 4.1-10，結果顯示，漲潮時流向向北，至 hump 高點處轉向南，部分在平潮時轉向北，部分在高潮時轉向北。圖 4.1-11 為 2007 年 8 月高雄港 1 港口日潮不等較小時，潮位與流場的狀況，由圖中可知，部分時刻漲潮海流流向北，退潮海流流向南，部分時刻漲潮海流流向南，退潮海流流向北。2007 年 8 月高雄港 1 港口日潮不等較大時的情況示如圖 4.1-12，結果顯示，漲潮時流向向北，至 hump 低點處或平潮時轉向南，並至下一個高潮轉向北。

依據上述探討，發現不論在 1 港口還是 2 港口，高雄港海域現場實測資料皆非常混亂，並非如往昔研究所說，漲潮時海流一定會向南流，退潮時海流一定會向北流。在日潮不等較小的時候，並無一特定的特性，漲潮時海流時而向北時而向南，退潮時亦是如此，甚至出現不論漲退潮，海流流向皆向南或皆向北的情況。在日潮不等較大的時候亦呈現混亂的狀況，僅能概略歸納出兩個情況，海流遇到有 hump 時，一定會轉往南，但轉潮時間不固定，有時在 hump 高點轉向，有時在 hump 低點轉向，甚至亦有在平潮時轉向，而在 hump 後的大退潮則一定會轉向北。

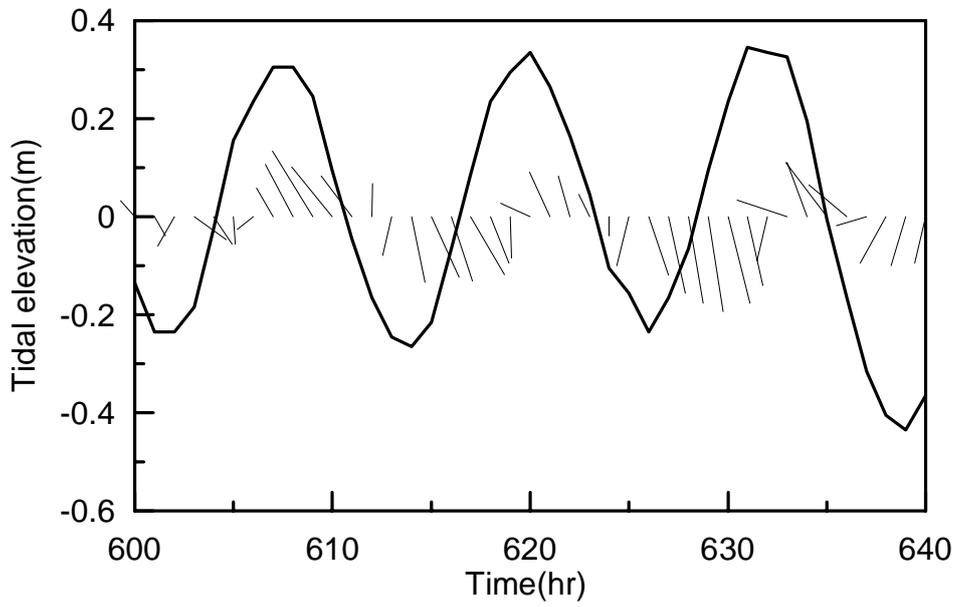


圖 4.1-1 高雄港 2 港口 2006/04 日潮不等小

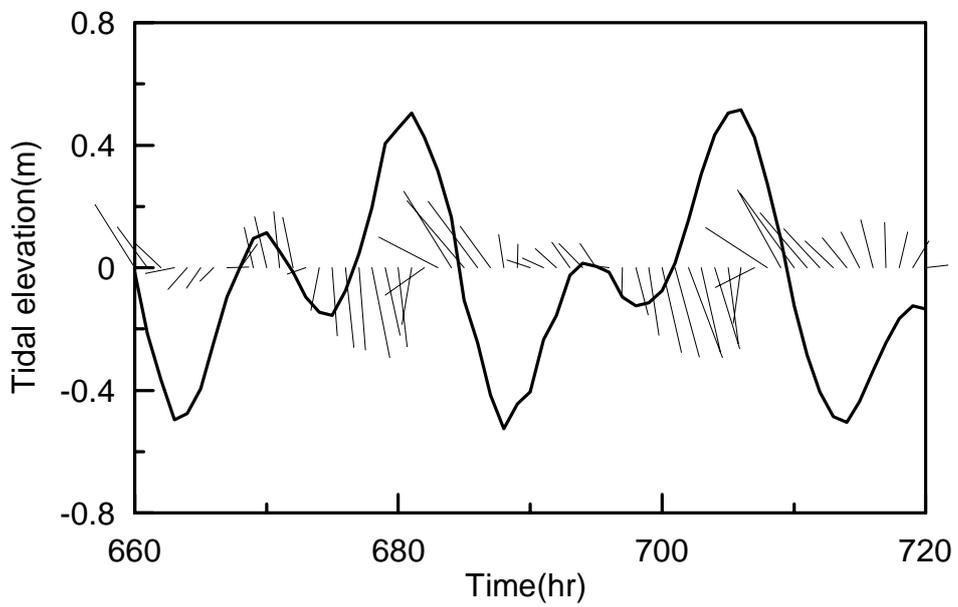


圖 4.1-2 高雄港 2 港口 2006/04 日潮不等大

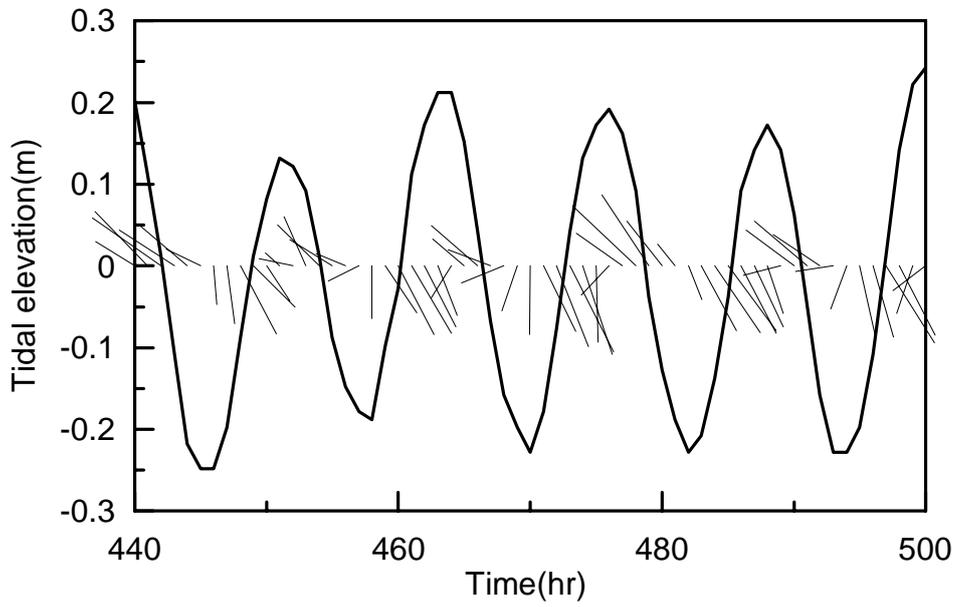


圖 4.1-3 高雄港 2 港口 2006/10 日潮不等小

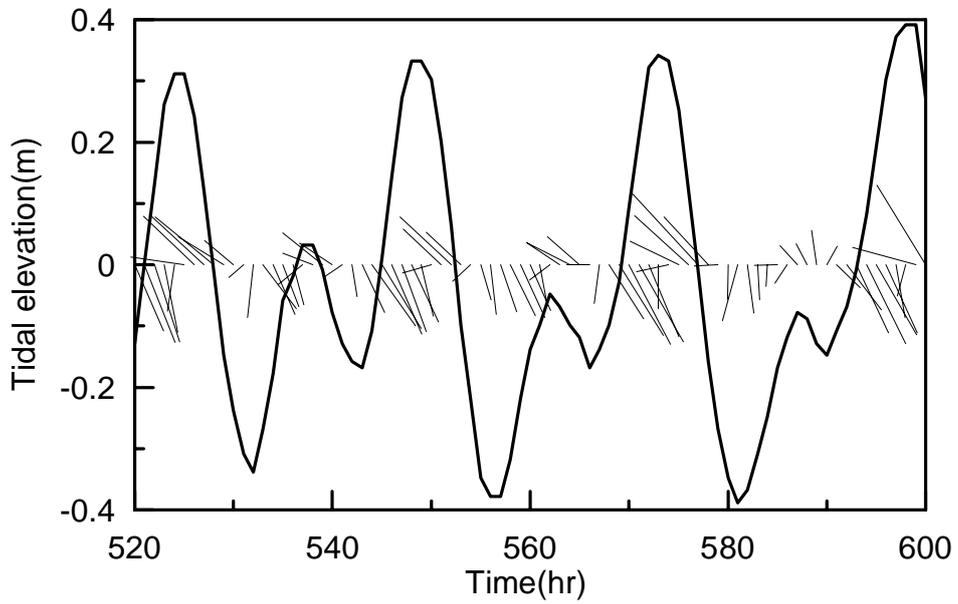


圖 4.1-4 高雄港 2 港口 2006/10 日潮不等大

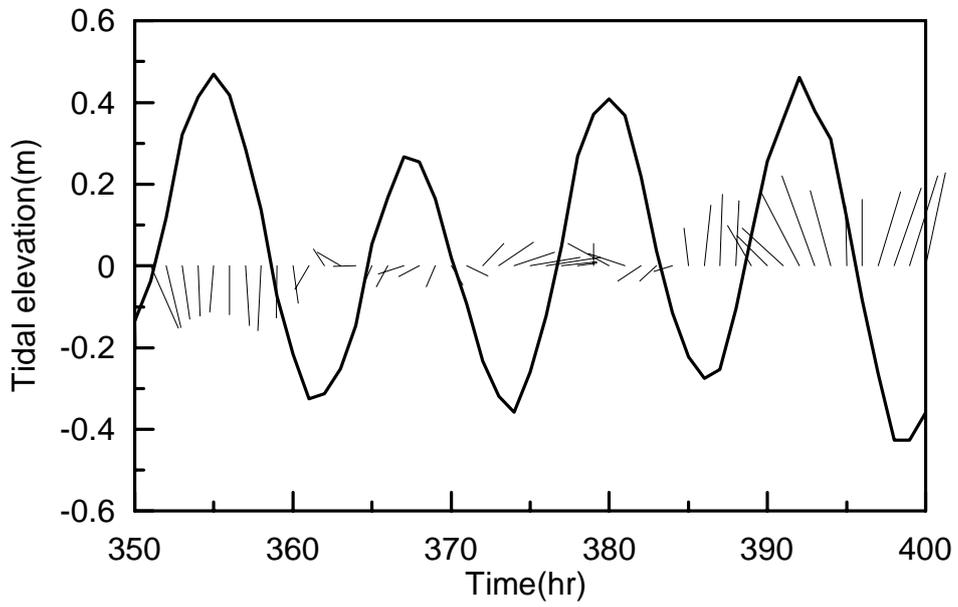


圖 4.1-5 高雄港 1 港口 2007/04 日潮不等小

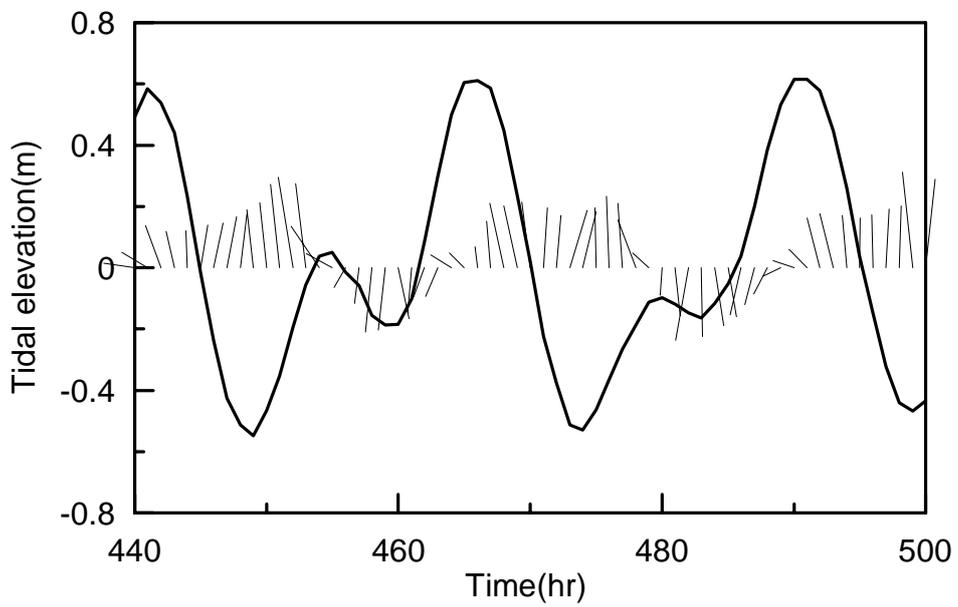


圖 4.1-6 高雄港 1 港口 2007/04 日潮不等大

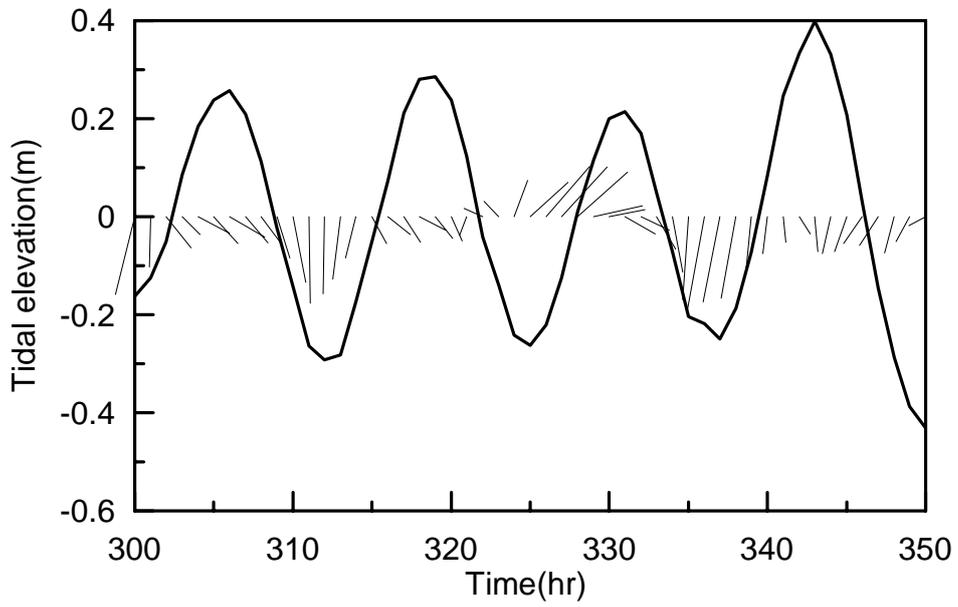


圖 4.1-7 高雄港 1 港口 2007/05 日潮不等小

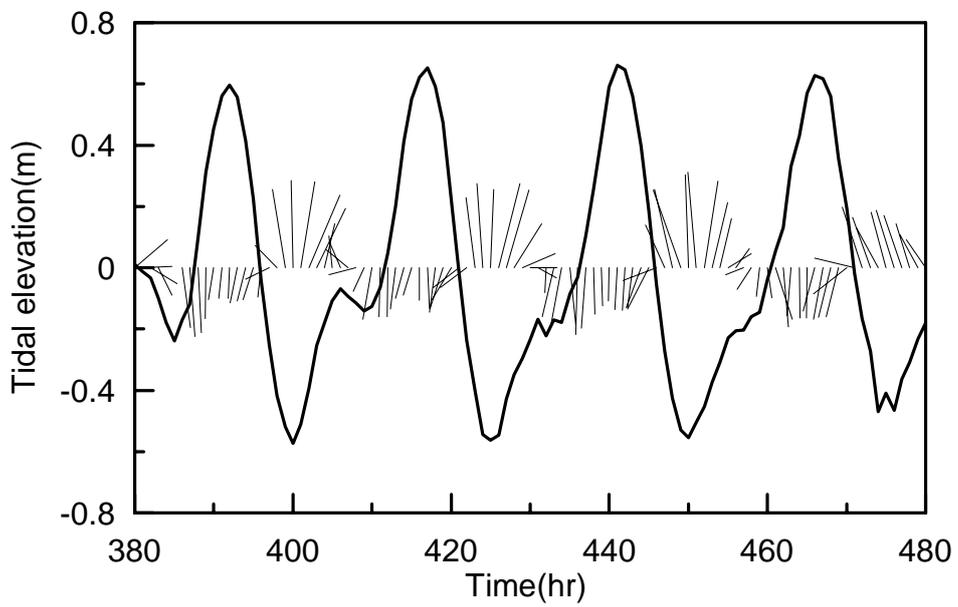


圖 4.1-8 高雄港 1 港口 2007/05 日潮不等大

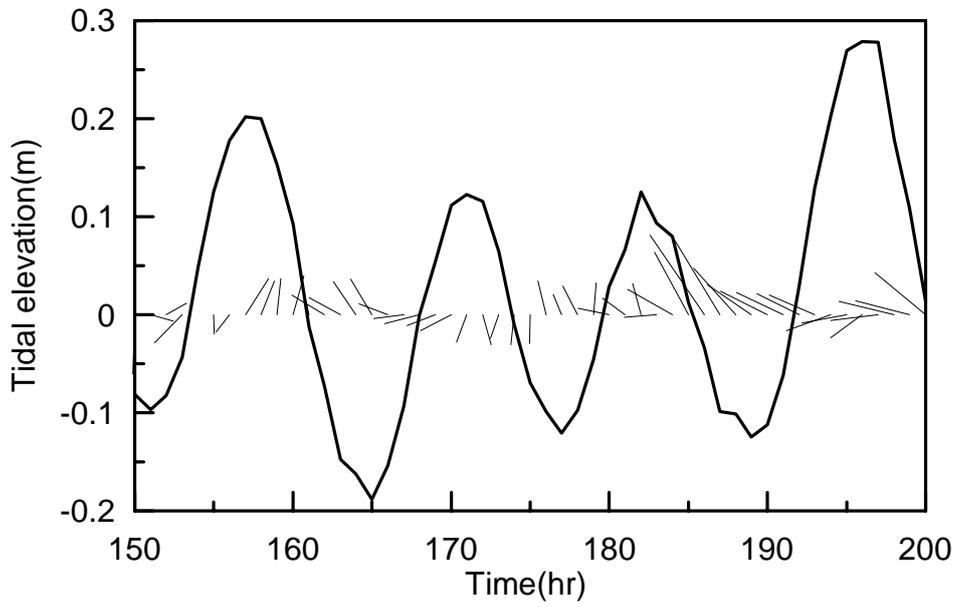


圖 4.1-9 高雄港 1 港口 2007/07 日潮不等小

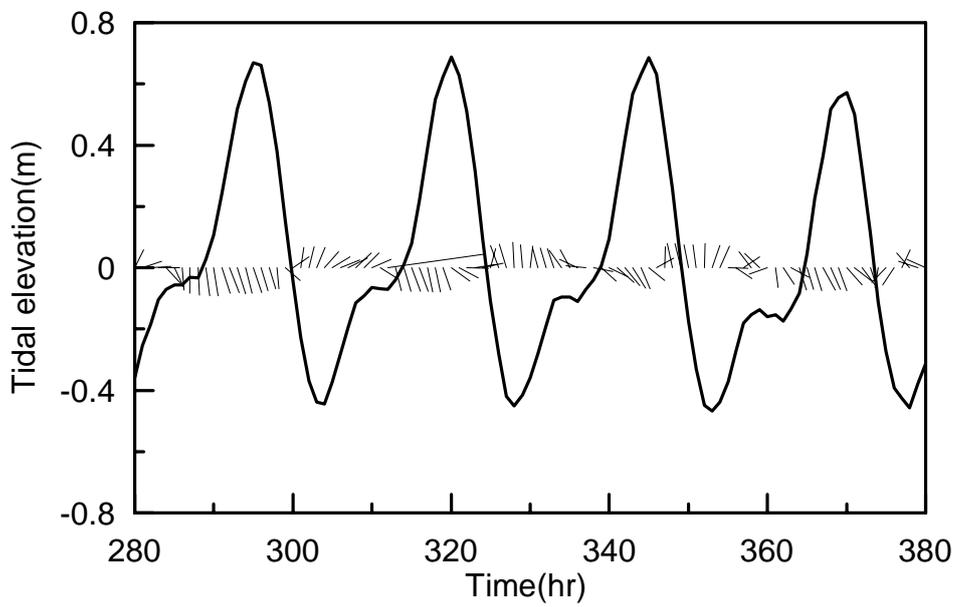


圖 4.1-10 高雄港 1 港口 2007/07 日潮不等大

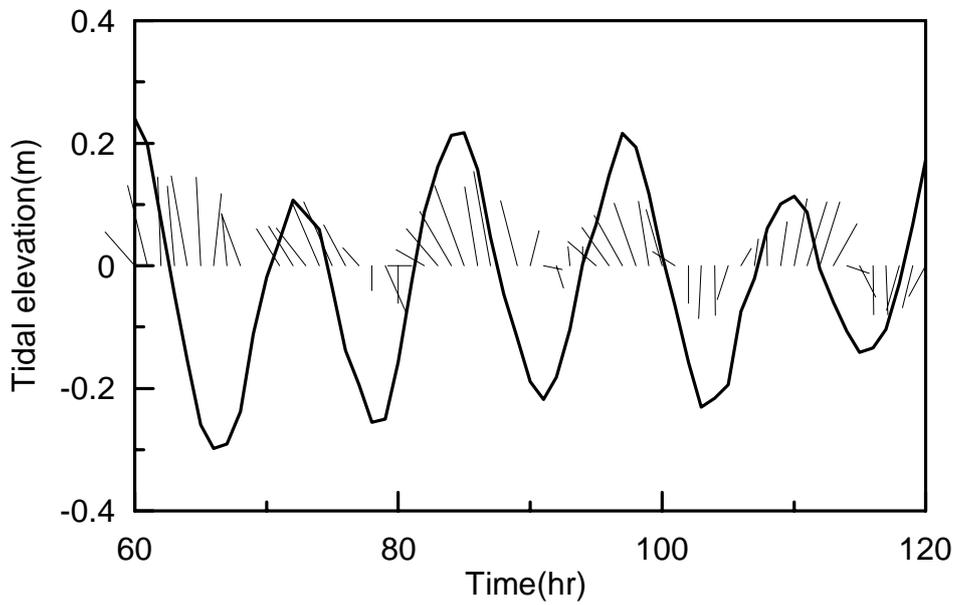


圖 4.1-11 高雄港 1 港口 2007/08 日潮不等小

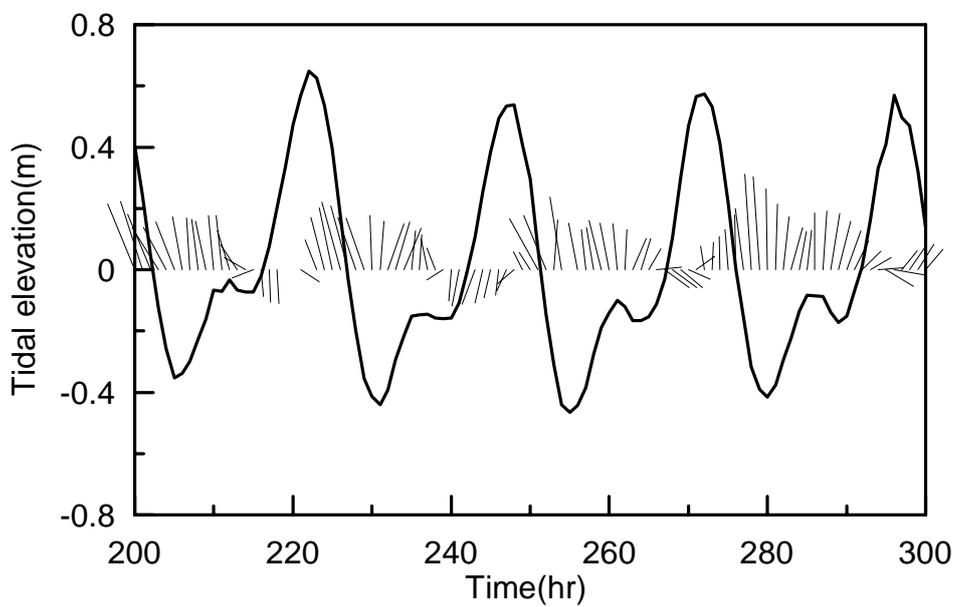


圖 4.1-12 高雄港 1 港口 2007/08 日潮不等大

## 4.2 大區域之計算結果與驗證

本計畫為得知在無風的影響下，潮汐流場受地形之影響，特別選擇 2006 年 4 月無風期高雄港 2 港口的實測資料為模擬對象，在此之前需先進行大區域的流場計算，使用圖 3.3-1 所示之大區域地形水深，配合 Matsumoto 等人(2000)的 NAO.99b 模式輸出結果做為邊界條件，可得臺灣附近海域流場分布如圖 4.2-1 至圖 4.2-7，圖中色階代表計算海域內之等潮位線，箭矢表示海域內潮流之大小與方向。

由模擬結果可知，漲潮時潮流分別從臺灣海峽南北兩端向中段海域匯流，退潮時則由中段海域分別向臺灣海峽南北兩端流出。另可發現臺灣環島之潮波自西太平洋入射後，約以逆時鐘方向環繞臺灣環島陸地傳播進行。由圖 4.2-1、4.2-3 及 4.2-4 可知，高雄港漲潮時，中部海域仍呈現退潮的狀況，由圖 4.2-5 及 4.2-6 可知，高雄港退潮時，中部海域則仍處於漲潮的情況。

為確認大區域計算海域邊界潮位設定及相關計算結果之準確性，必須選取一地點來進行檢驗，由於高雄港海域實測資料如同 4.1 節所探討，較無一特定的特性，故選取安平港實測資料來進行檢驗，檢驗結果如圖 4.2-8 所示，圖中粗實線為實測資料，細實線為預測結果，由圖中可知，在潮位方面，實測與預測的潮位非常接近，僅在高低潮部分有些許的誤差，而在流向方面，預測的流向與實測的流向趨勢亦非常接近，且實測的流向並不會如同高雄港一般混亂，而是呈現規則性的轉向。透過驗證可知，應用 MIKE21\_HD 水動力模式，配合本計畫所選用之邊界條件，確實可充分掌握並完整地呈現臺灣環島海域潮位與潮時之整體變化特性及分布趨勢。

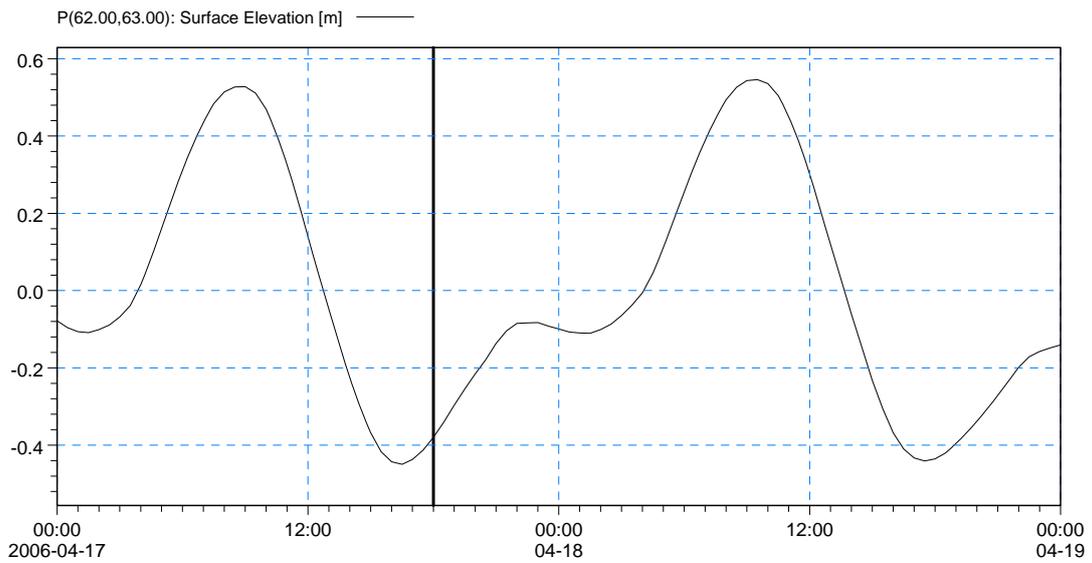
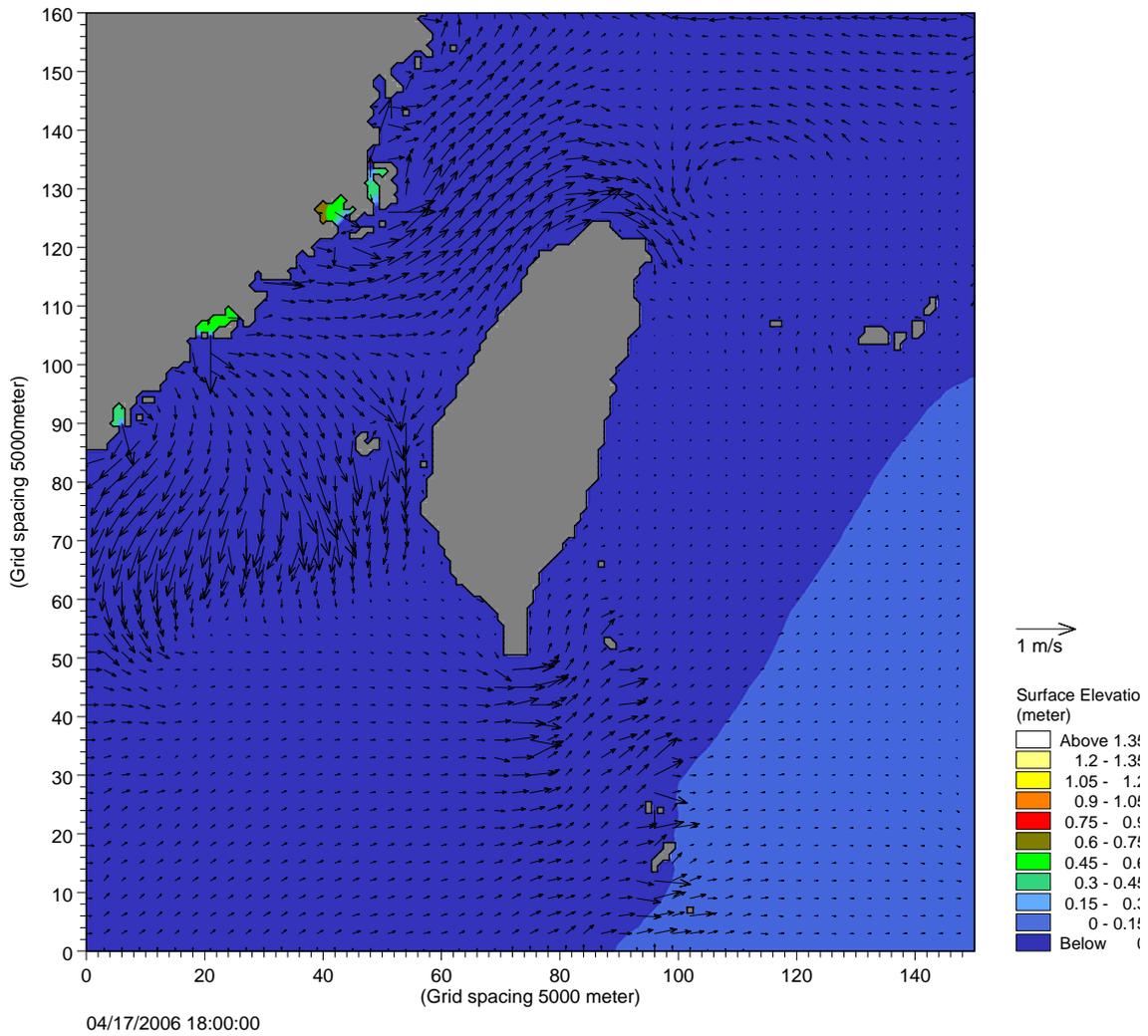


圖 4.2-1 臺灣附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/17 18:00:00

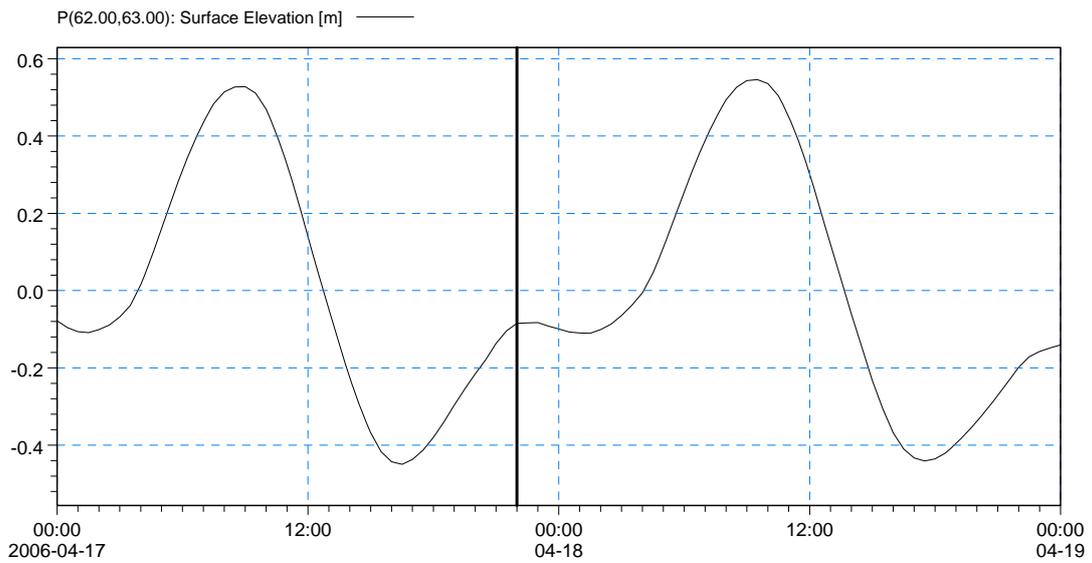
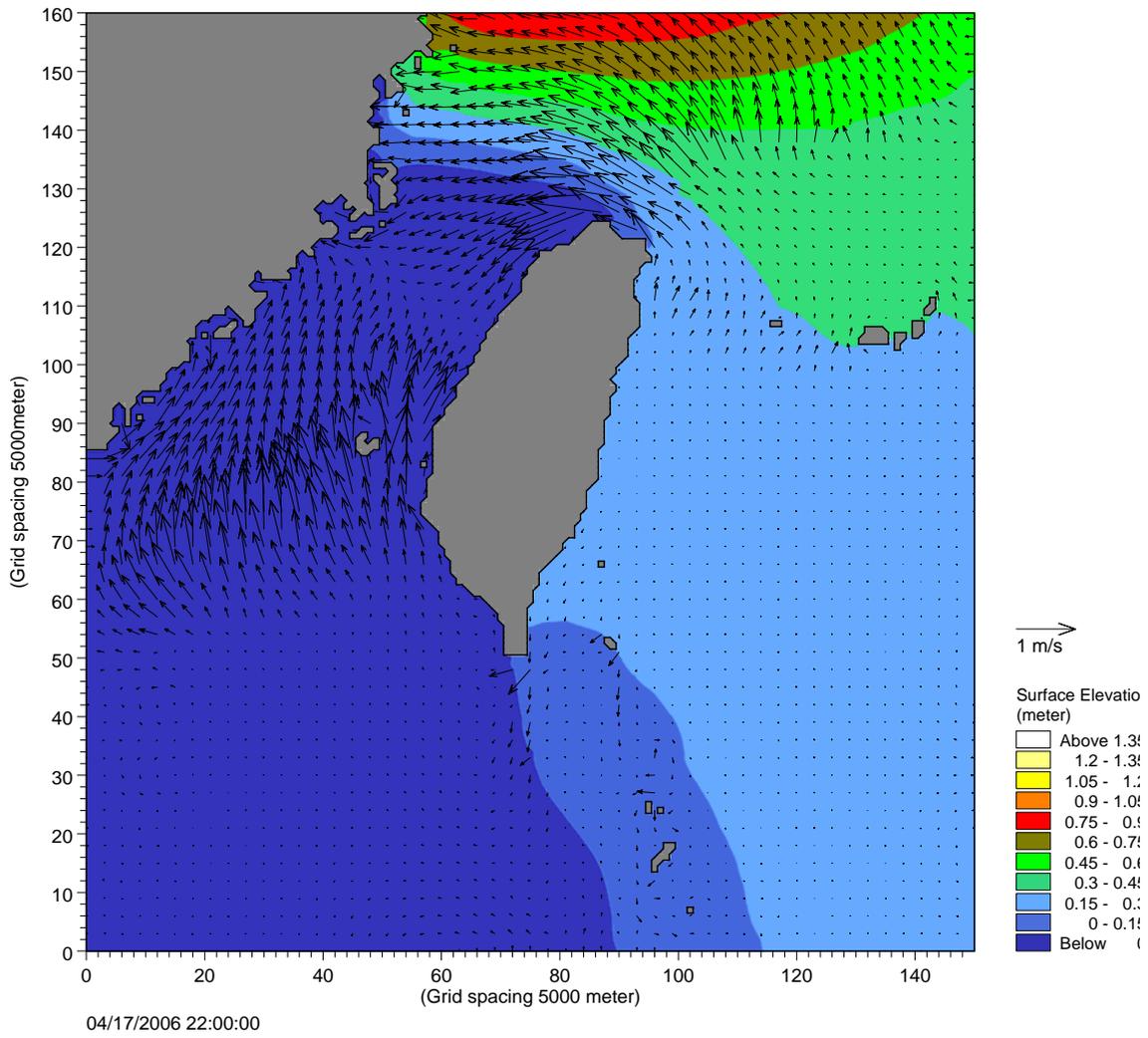


圖 4.2-2 臺灣附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/17 22:00:00

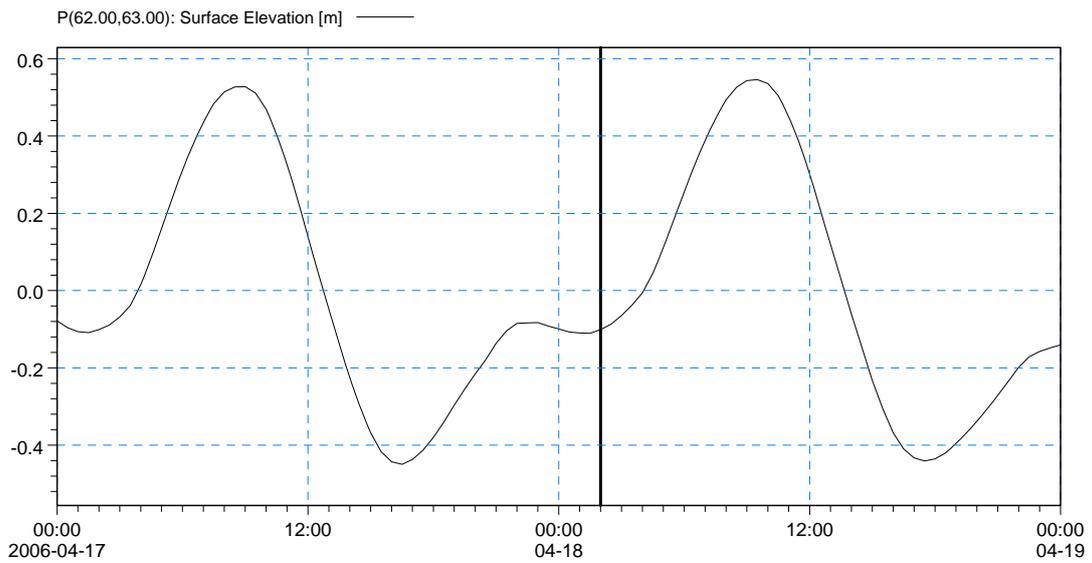
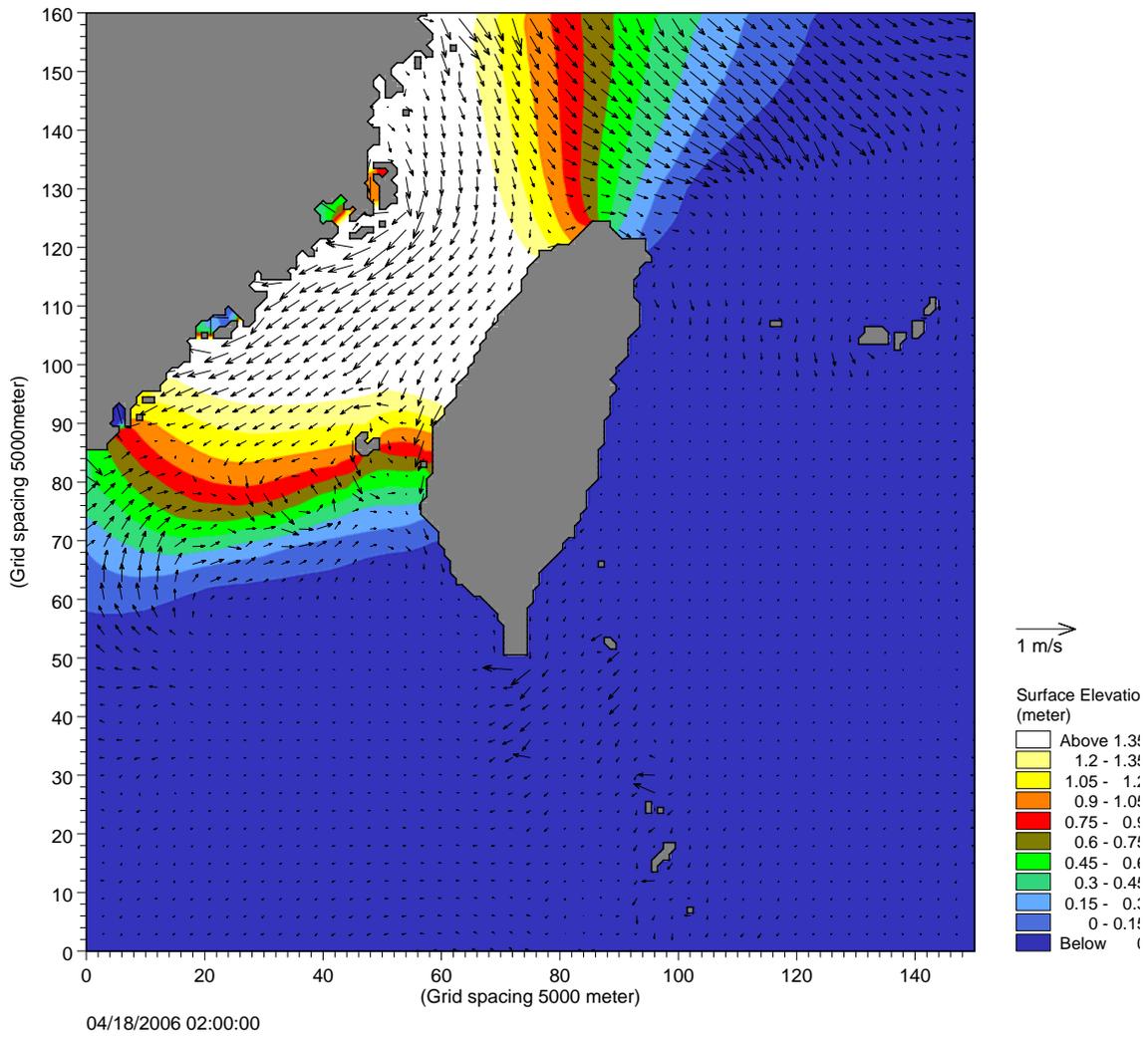


圖 4.2-3 臺灣附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/18 02:00:00

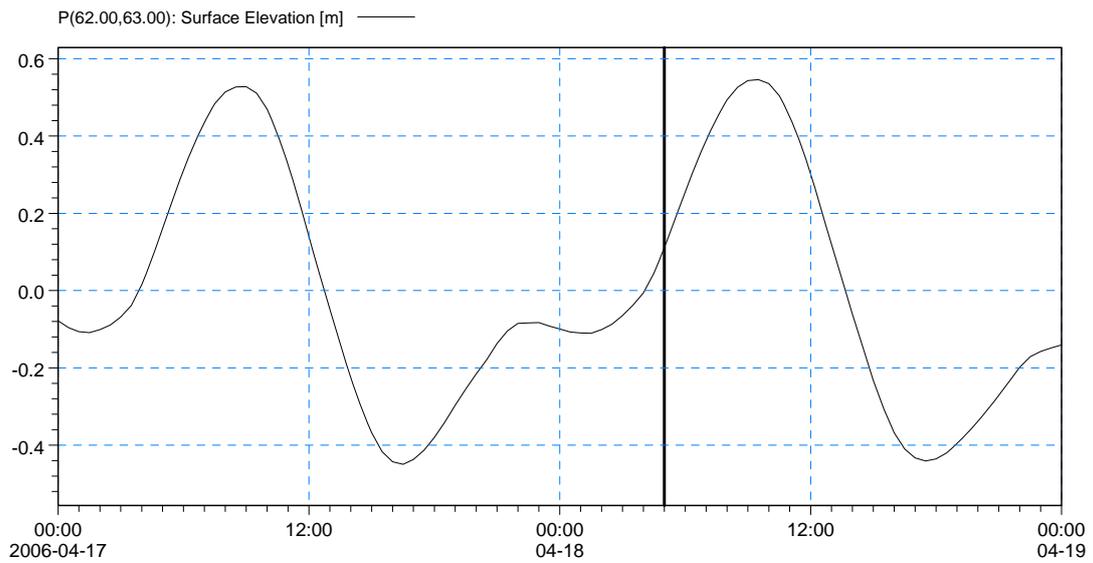
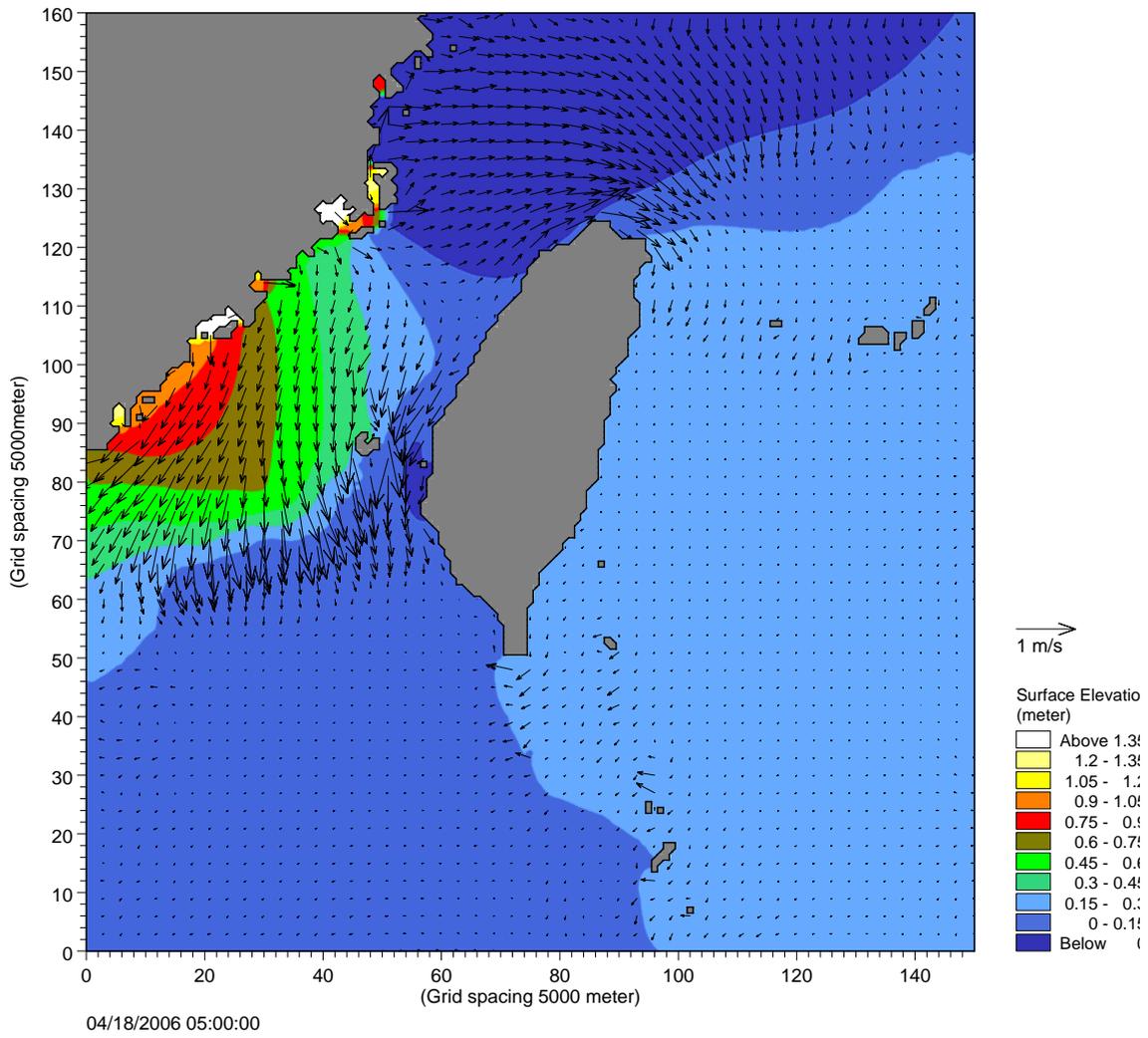


圖 4.2-4 臺灣附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/18 05:00:00

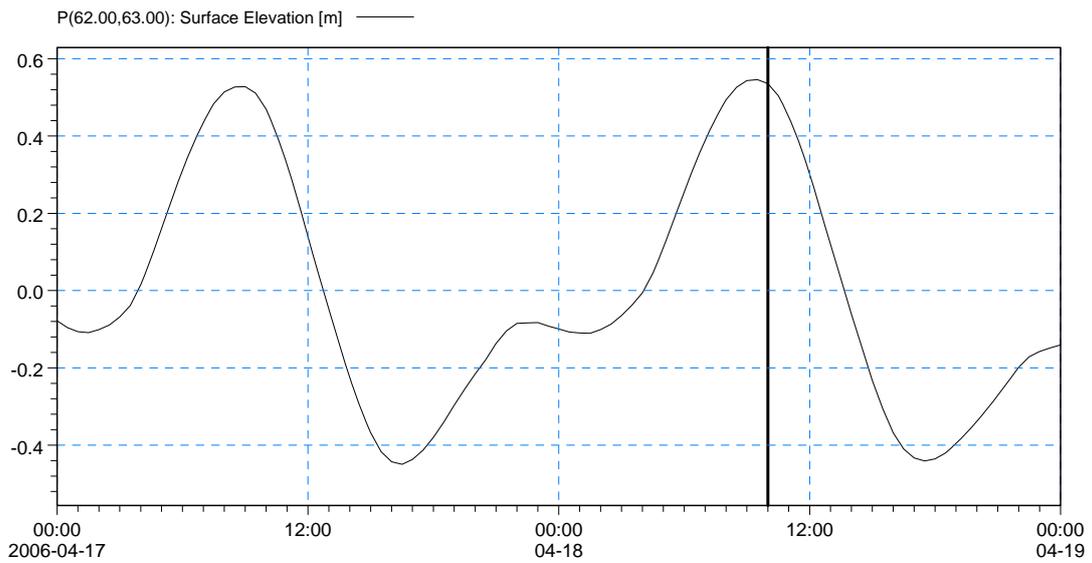
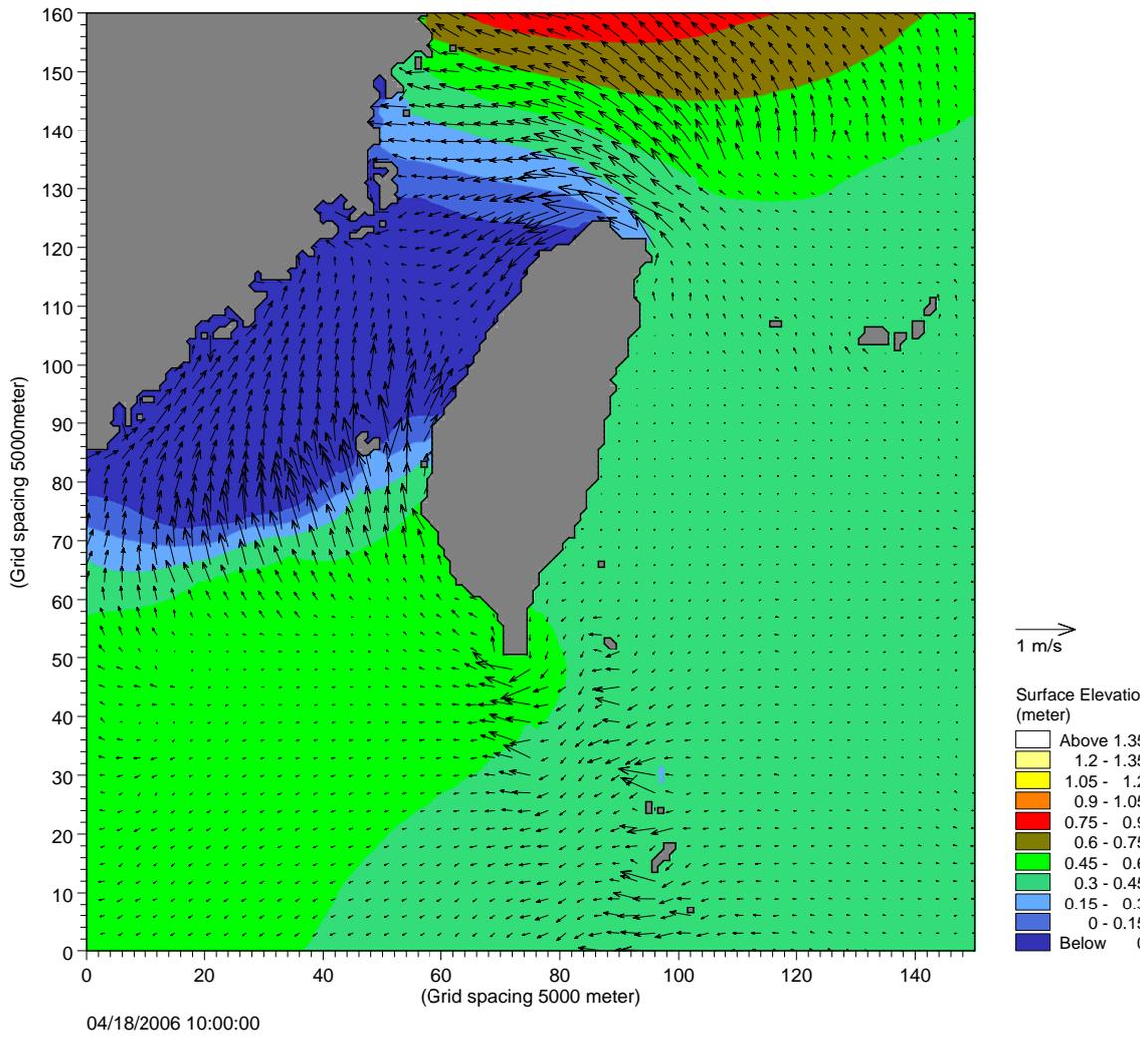


圖 4.2-5 臺灣附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/18 10:00:00

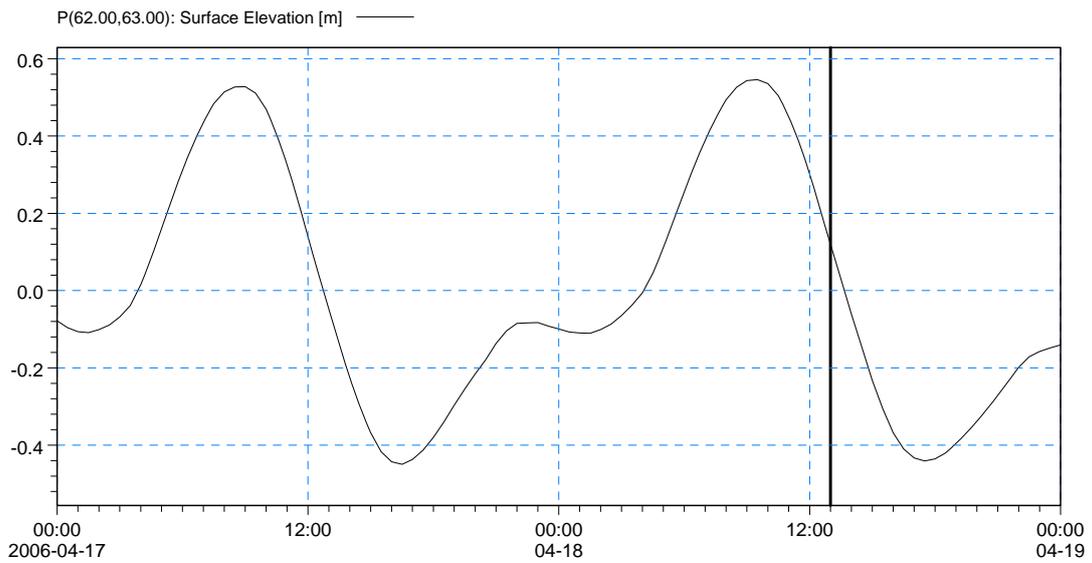
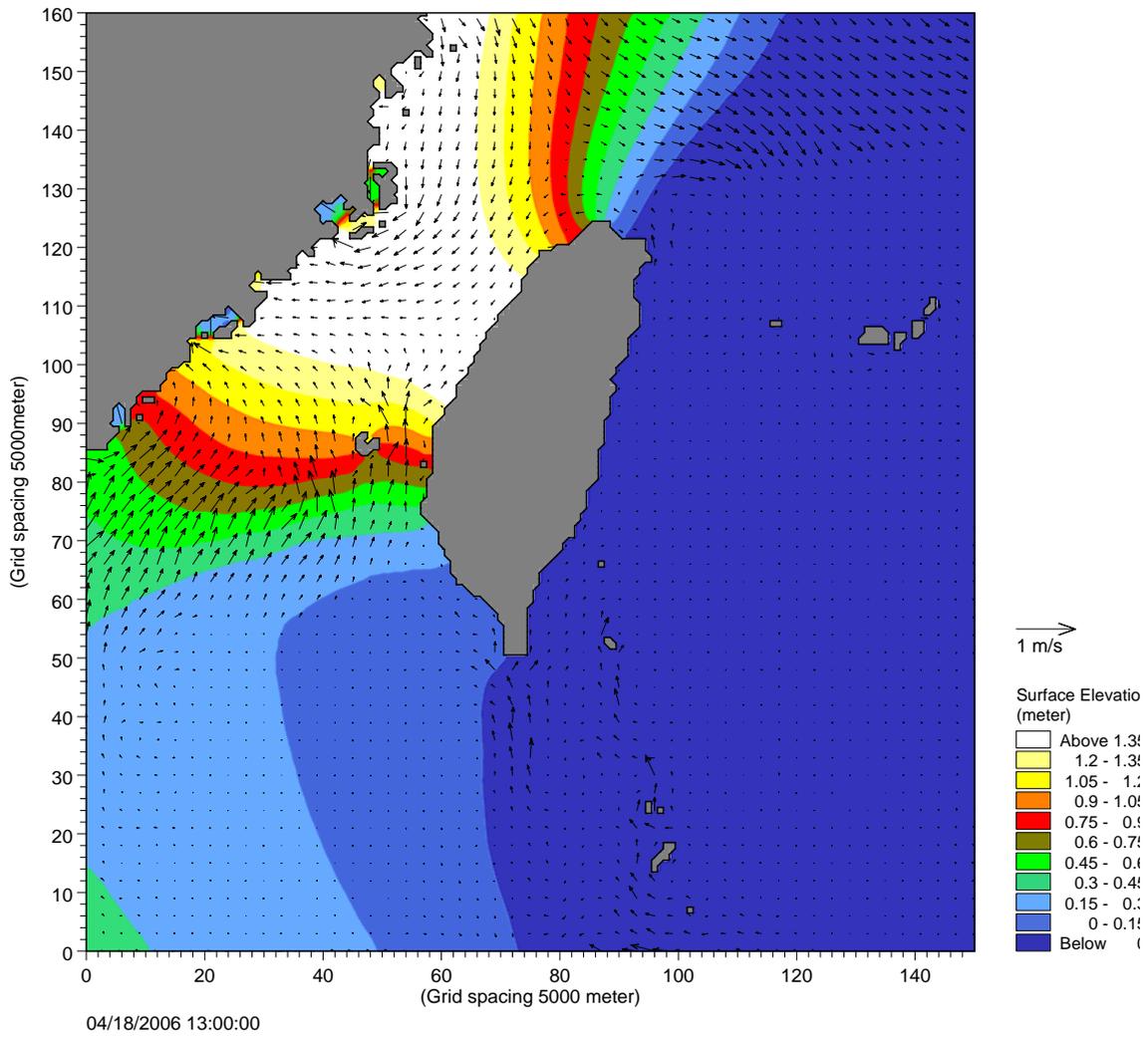


圖 4.2-6 臺灣附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/18 13:00:00

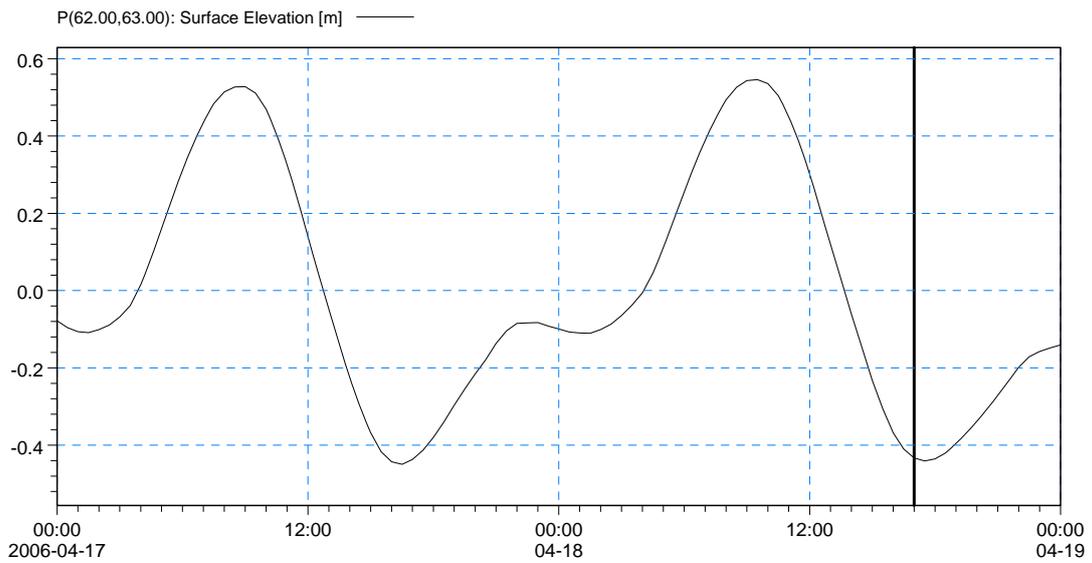
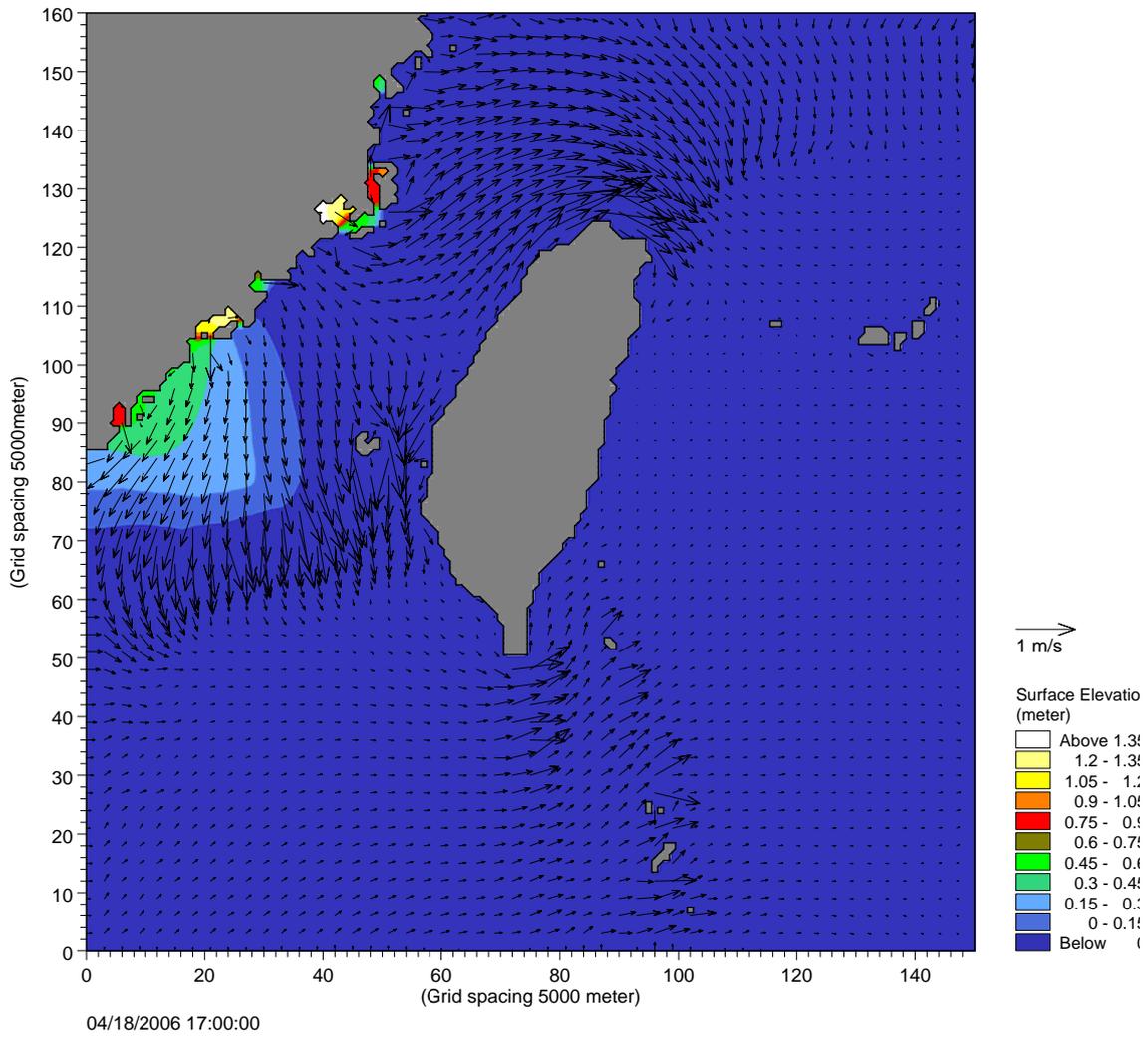


圖 4.2-7 臺灣附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/18 17:00:00

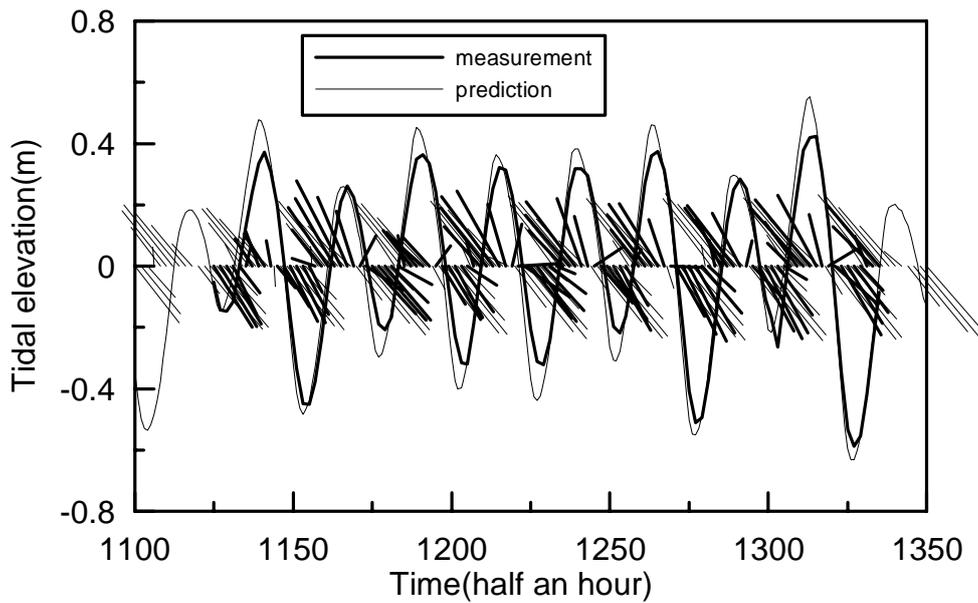


圖 4.2-8 大區域計算結果中安平港的驗證

### 4.3 中區域之計算結果

為避免網格內縮過快造成誤差增大，因此中區域採用 2 種不同大小的計算網格，首先使用圖 3.3-2 所示之臺灣南部地形水深資料，配合萃取自大區域計算海域之逐時潮位或流速，重複應用水深積分後之 2 維水動力系統計算模式，可得台灣南部海域潮流分布如圖 4.3-1 至圖 4.3-7 所示，接著再使用圖 3.3-3 所示之高雄附近海域地形水深資料，配合萃取自臺灣南部計算海域之逐時潮位或流速，重複應用水深積分後之 2 維水動力系統計算模式，可得高雄附近海域潮流分布如圖 4.3-8 至圖 4.3-14 所示，圖中色階代表計算海域內之等潮位線，箭矢表示海域內潮流之大小與方向。結果顯示，高雄港潮位在接近高潮和低潮時，潮流於墾丁、鵝鑾鼻附近流速將較強勁。

於巢狀網格交疊配置下，中區域海域之潮位與潮流計算，其主要目的在提供局部區域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，將於局部區域計算結果中探討。

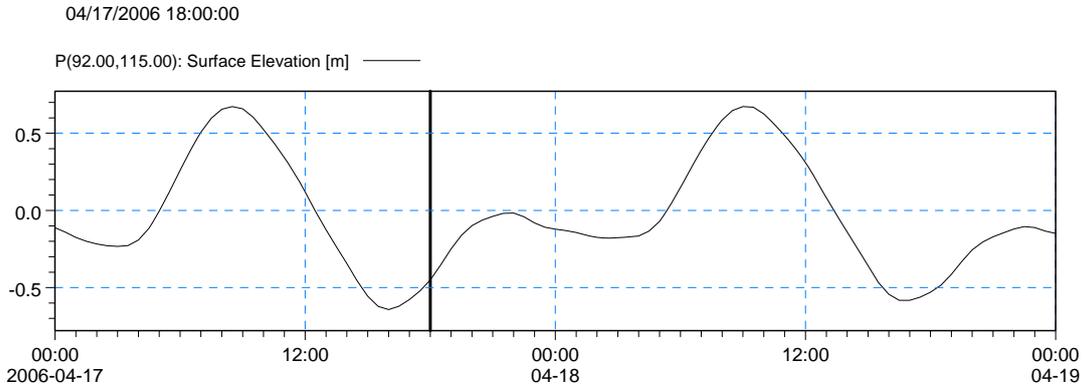
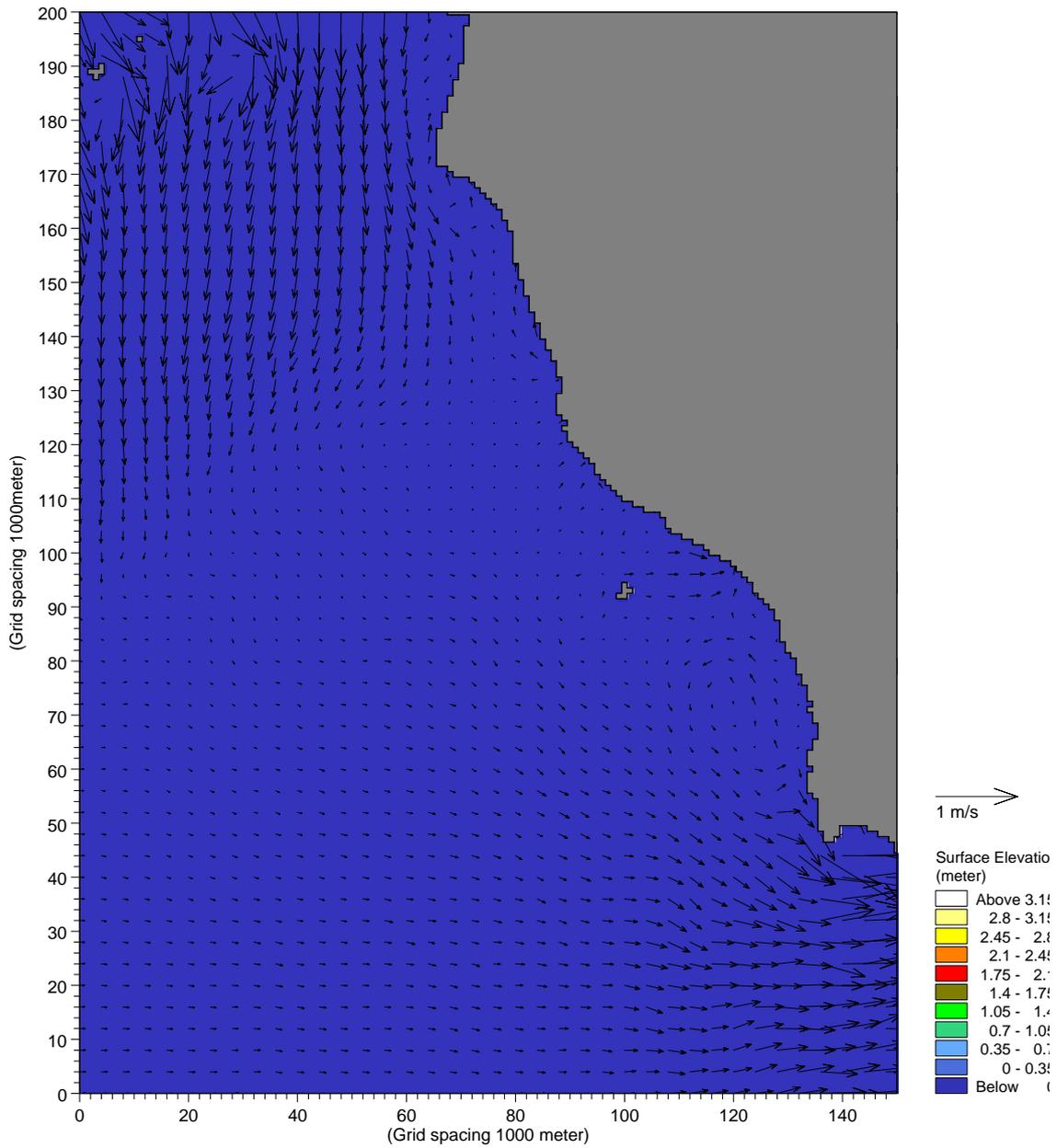
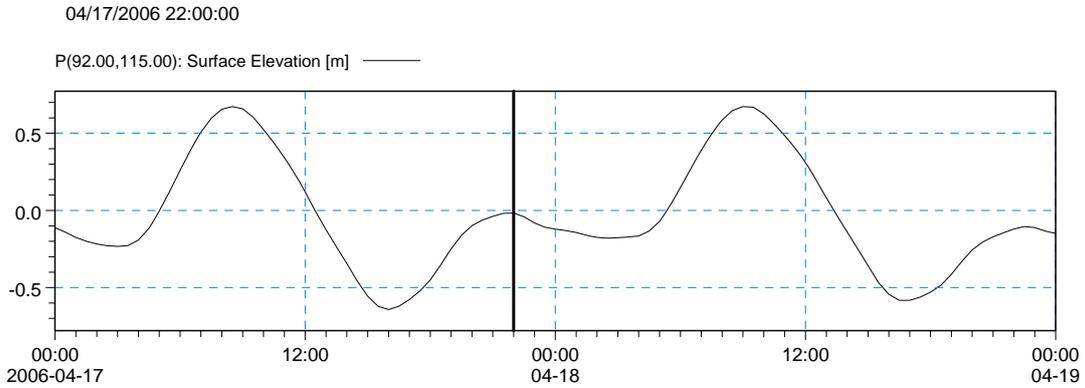
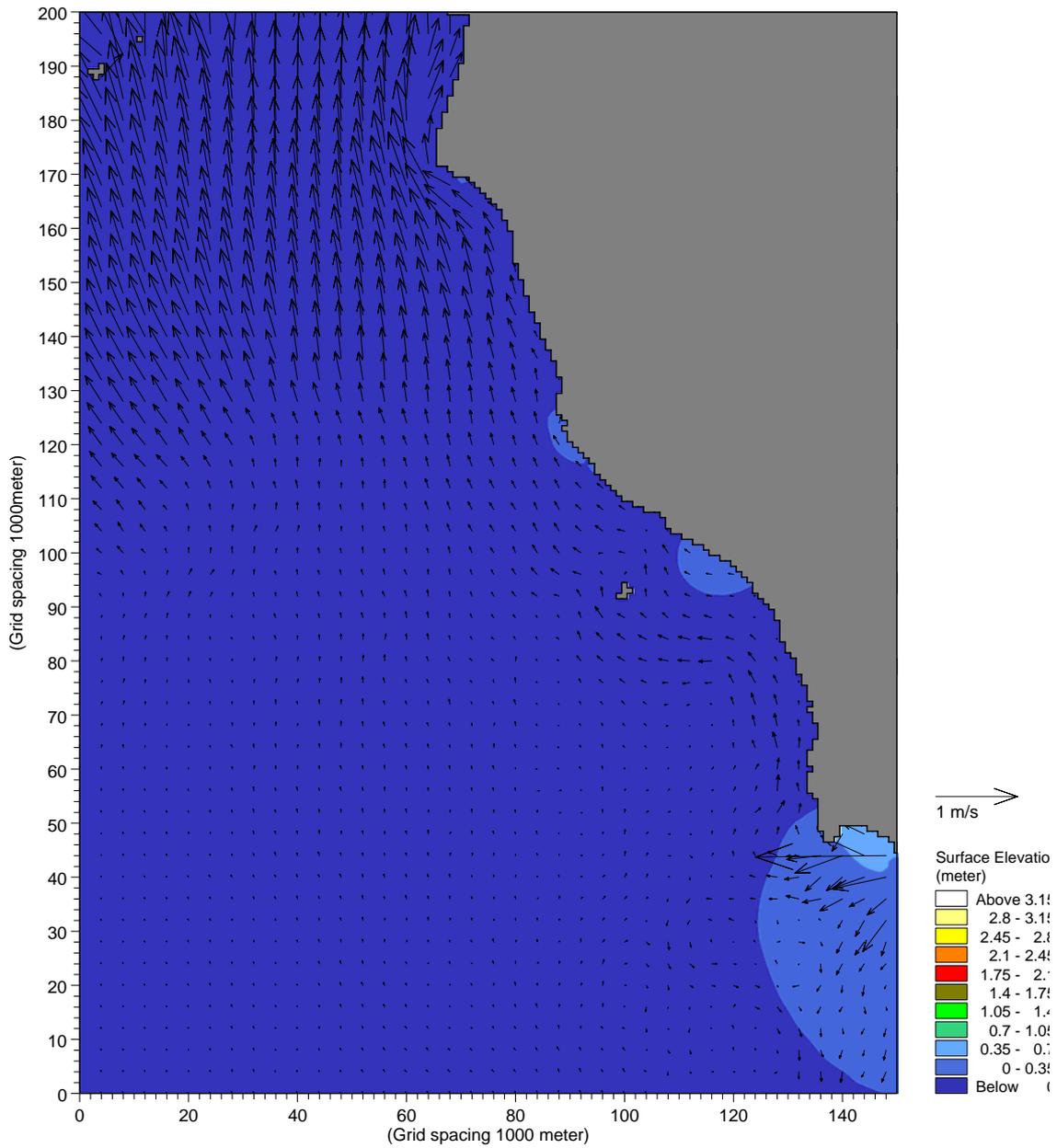
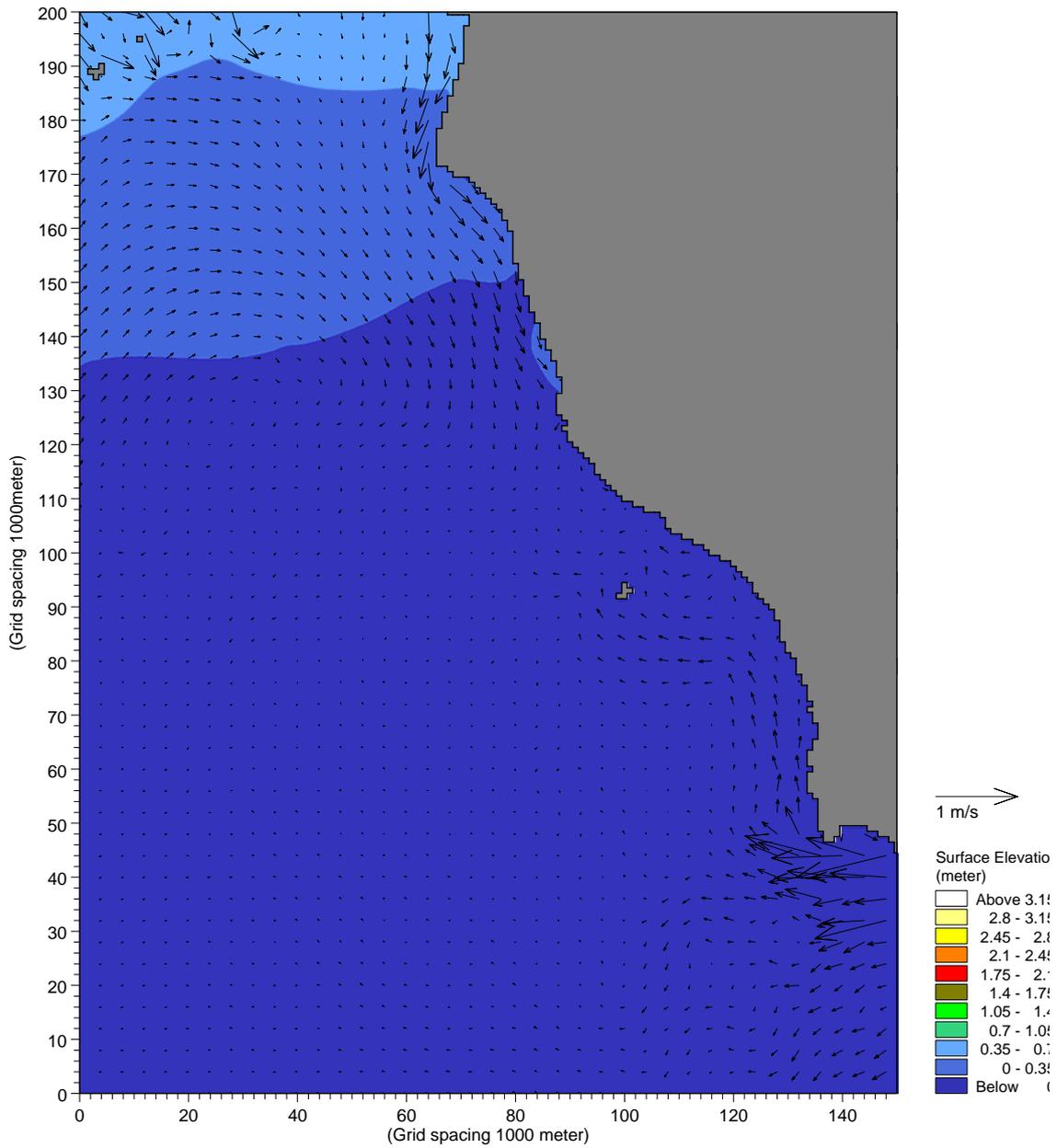


圖 4.3-1 臺灣南部海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/17 18:00:00



**圖 4.3-2 臺灣南部海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/17 22:00:00**



04/18/2006 02:00:00

P(92.00,115.00): Surface Elevation [m]

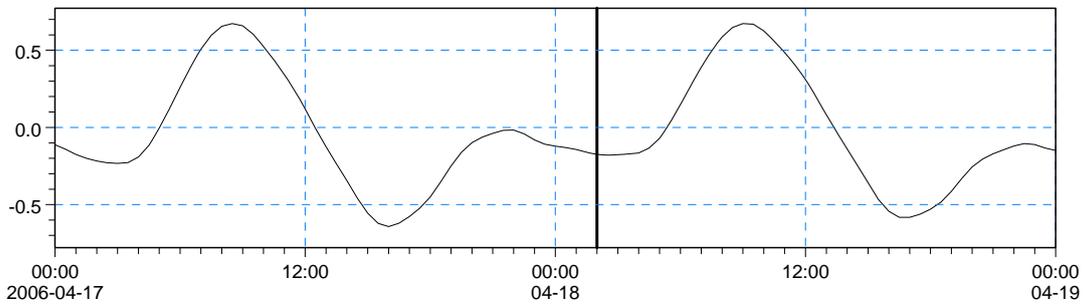


圖 4.3-3 臺灣南部海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/18  
02:00:00

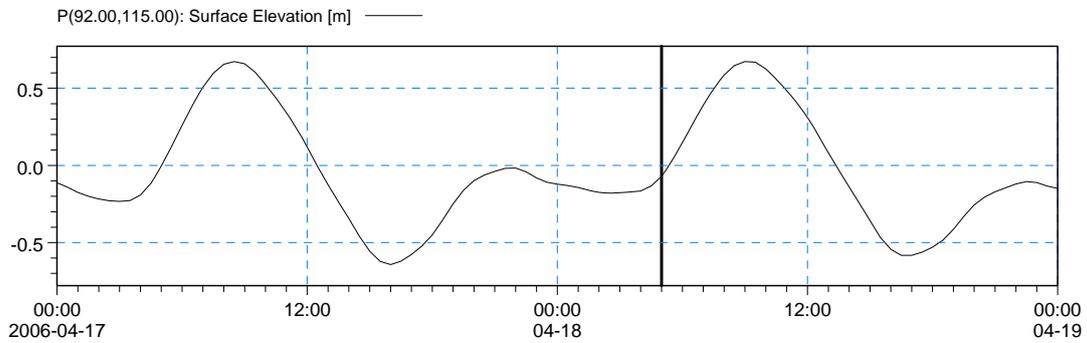
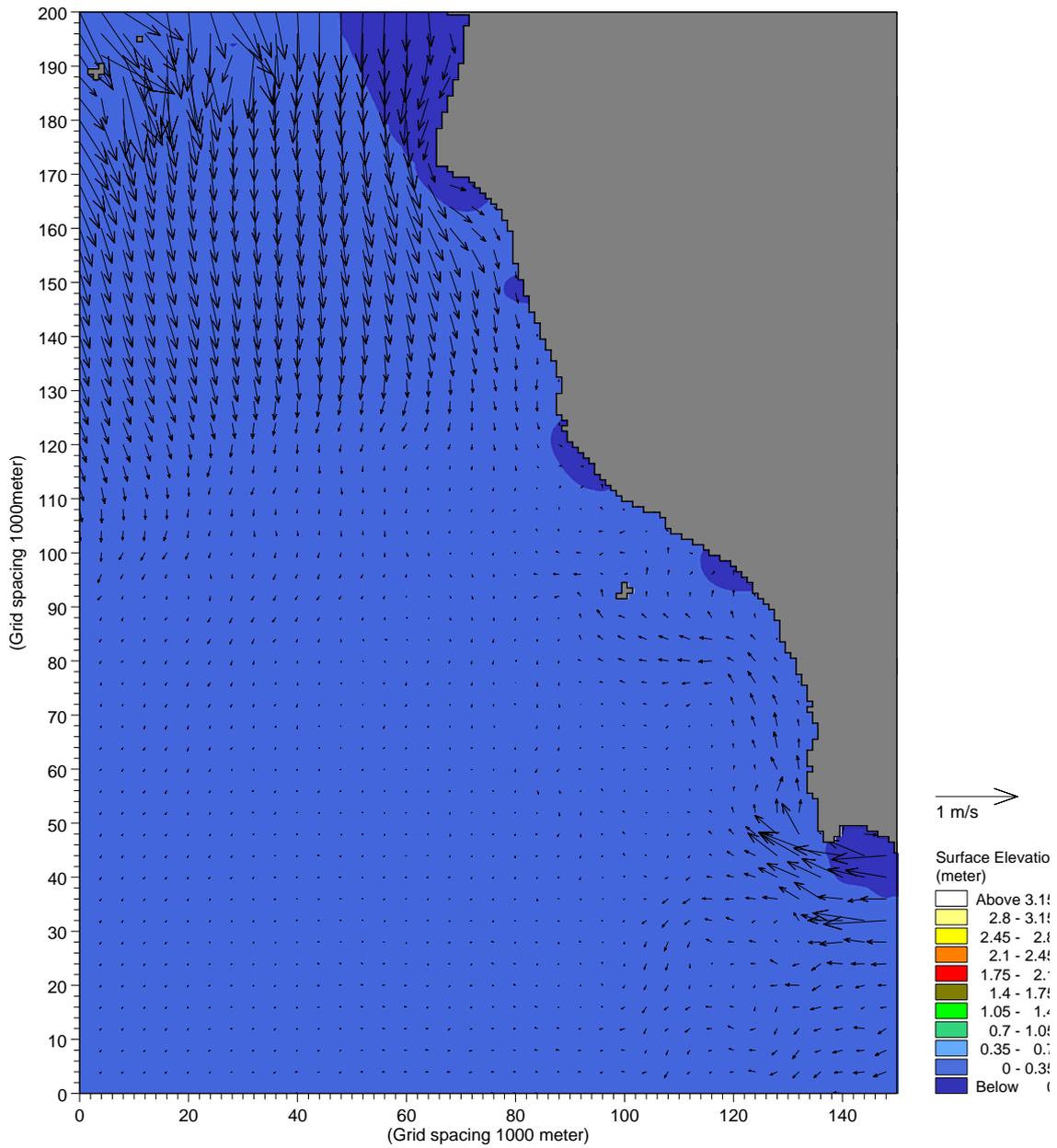
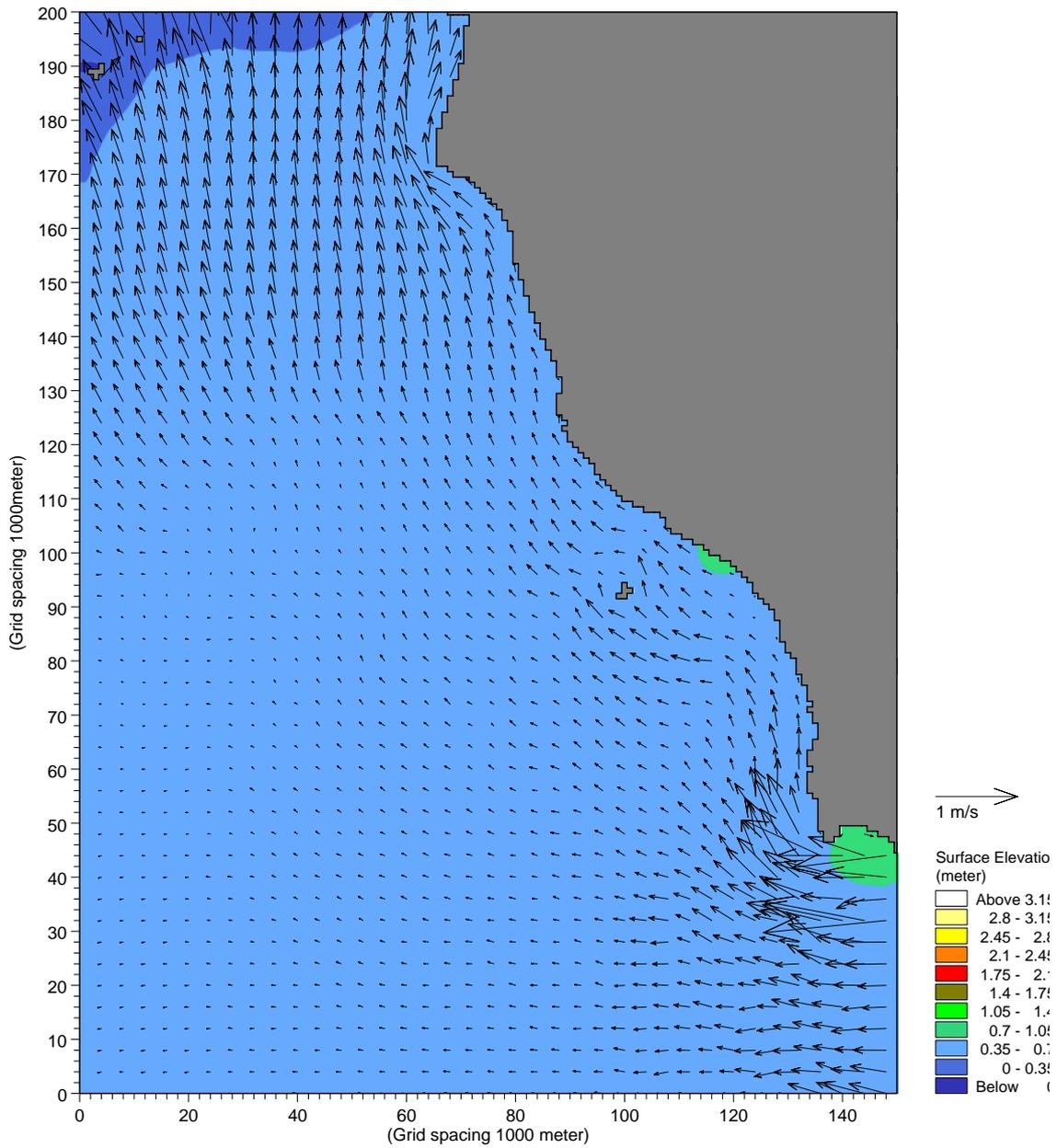


圖 4.3-4 臺灣南部海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/18  
05:00:00



04/18/2006 10:00:00

P(92.00,115.00): Surface Elevation [m]

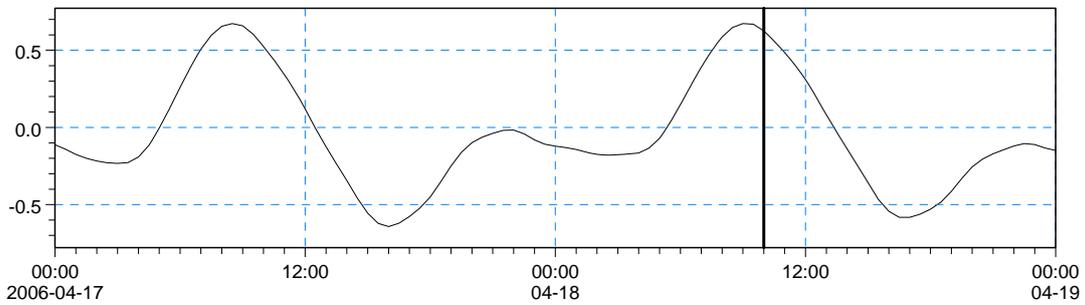


圖 4.3-5 臺灣南部海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/18 10:00:00

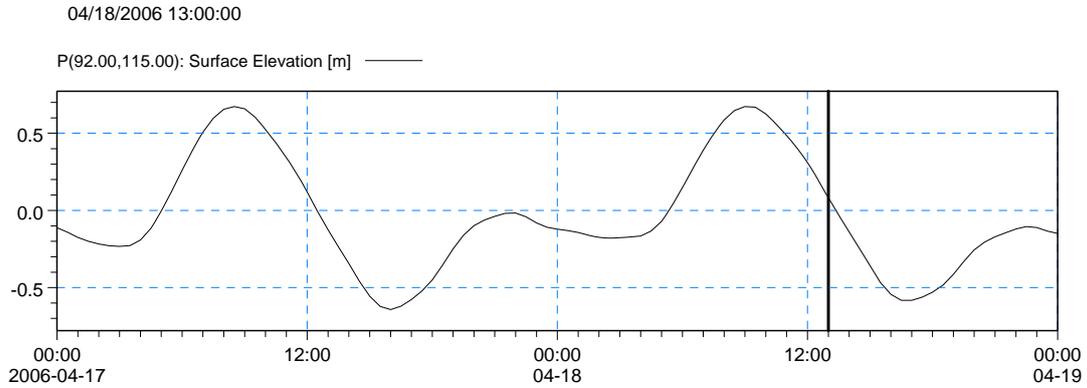
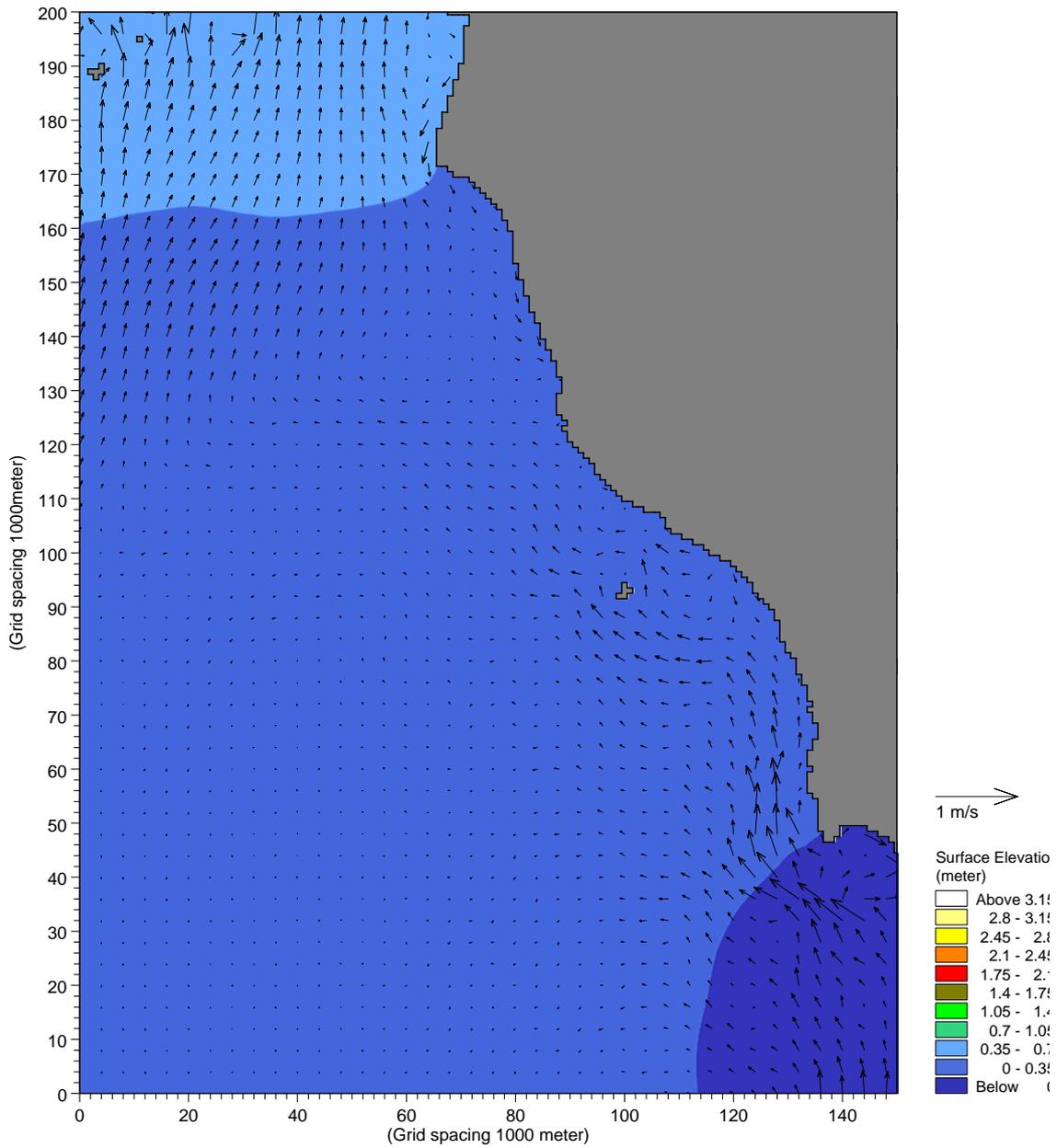
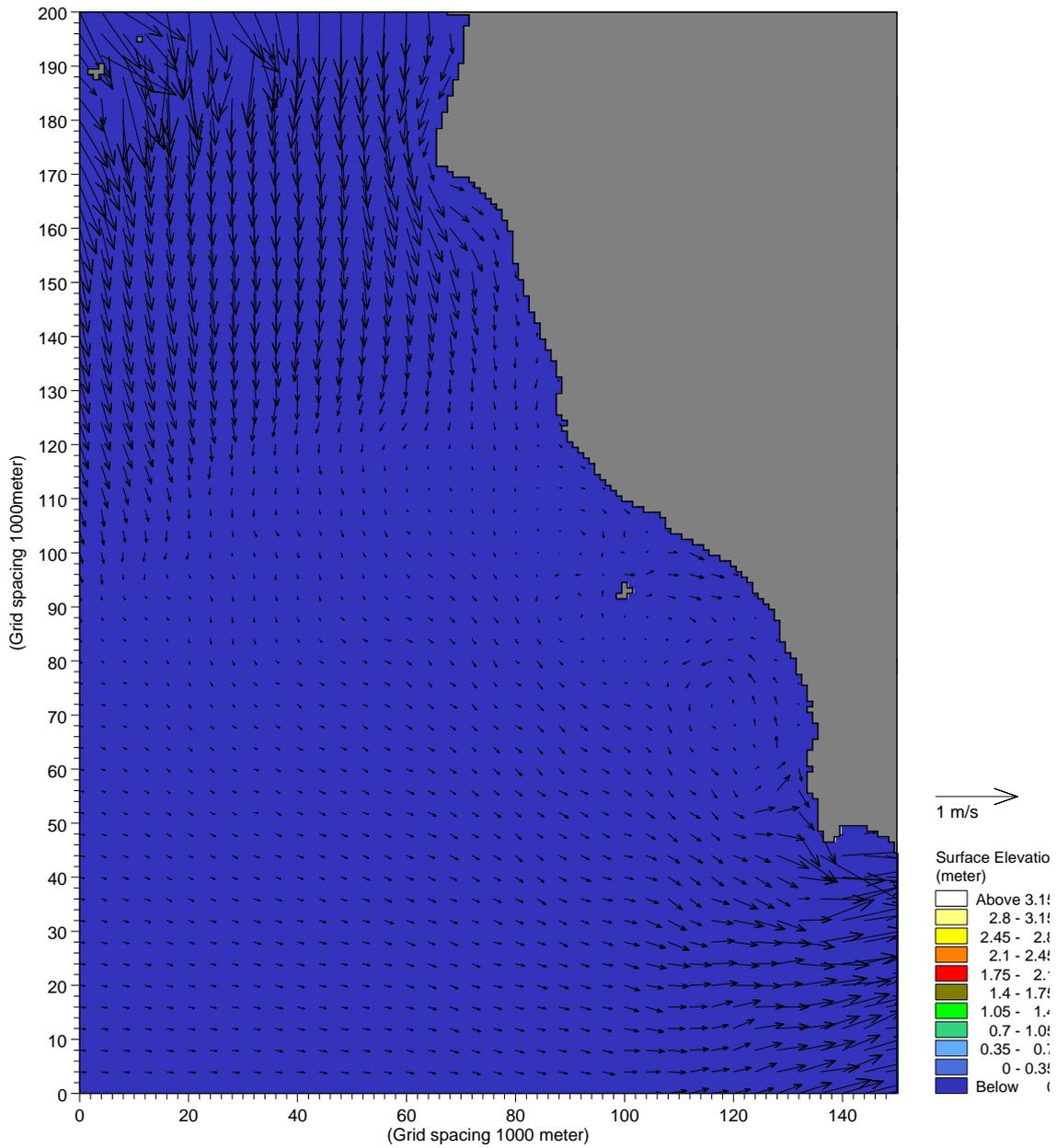


圖 4.3-6 臺灣南部海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/18 13:00:00



04/18/2006 17:00:00

P(92.00,115.00): Surface Elevation [m]

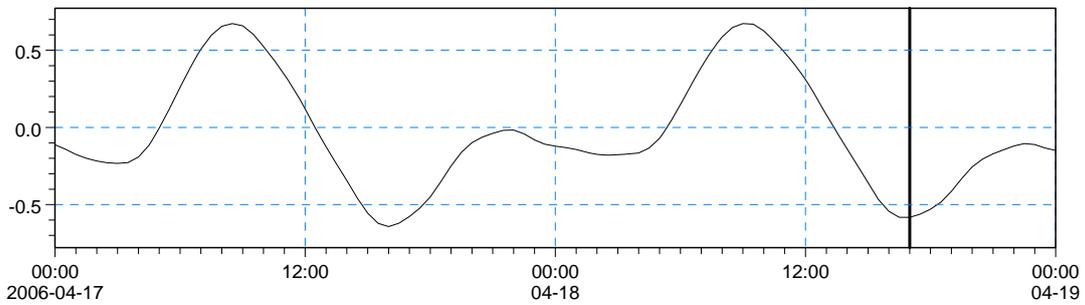
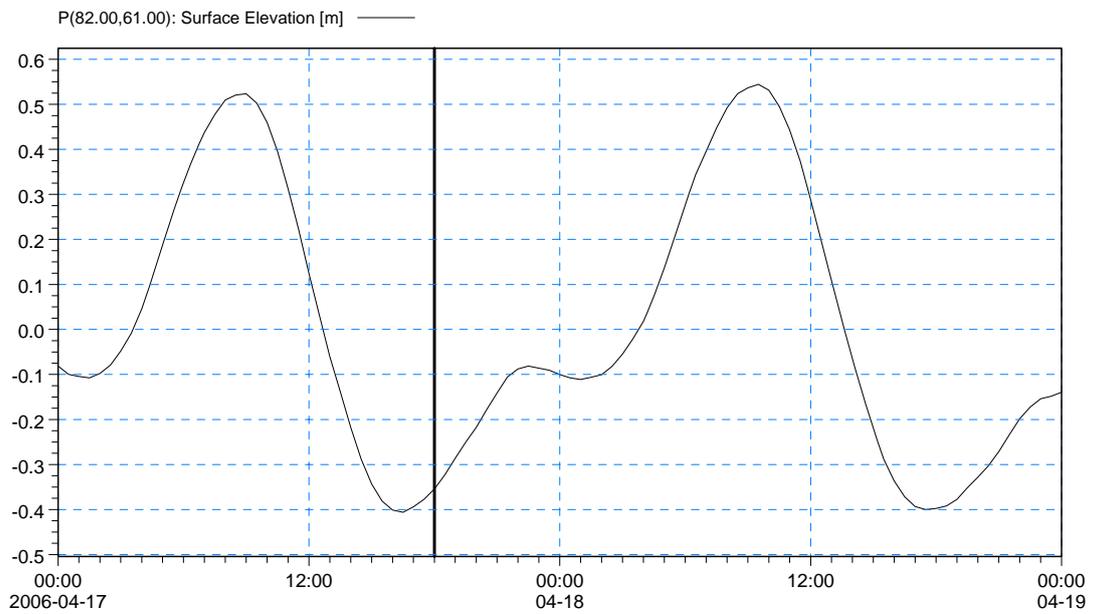
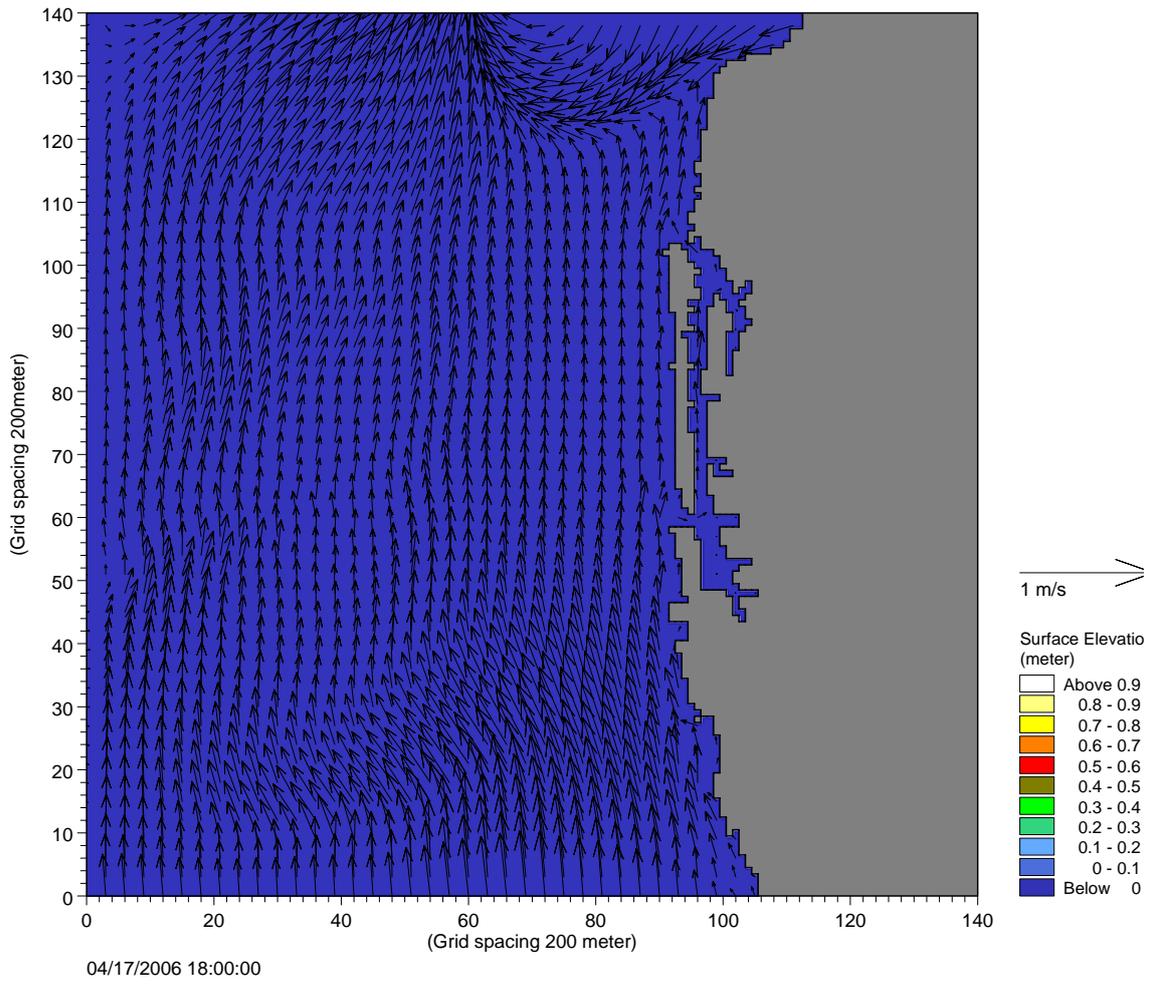


圖 4.3-7 臺灣南部海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/18 17:00:00



**圖 4.3-8 高雄附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/17 18:00:00**

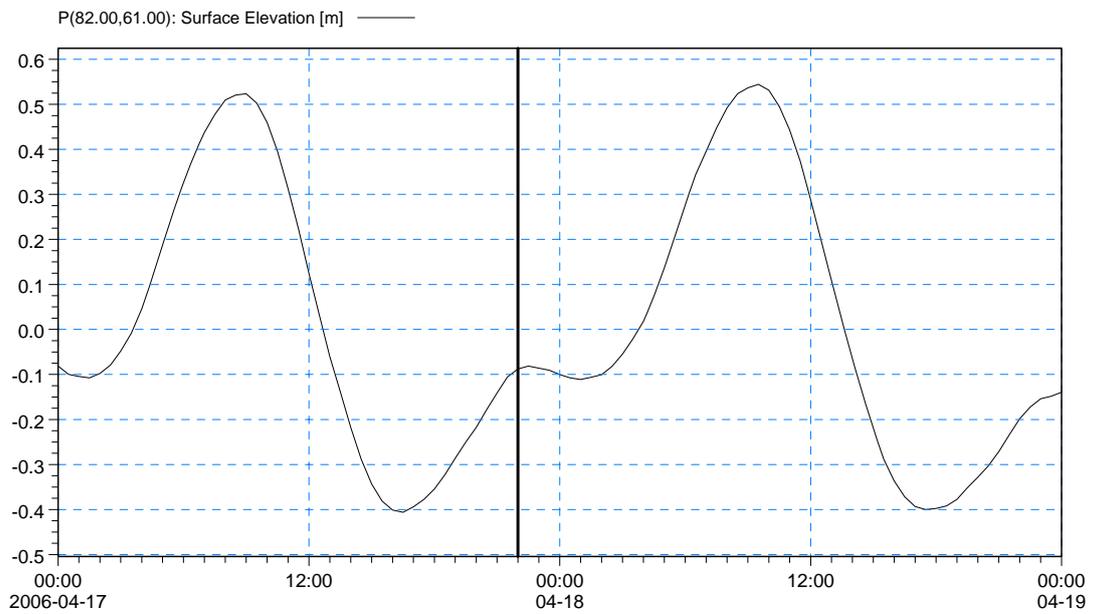
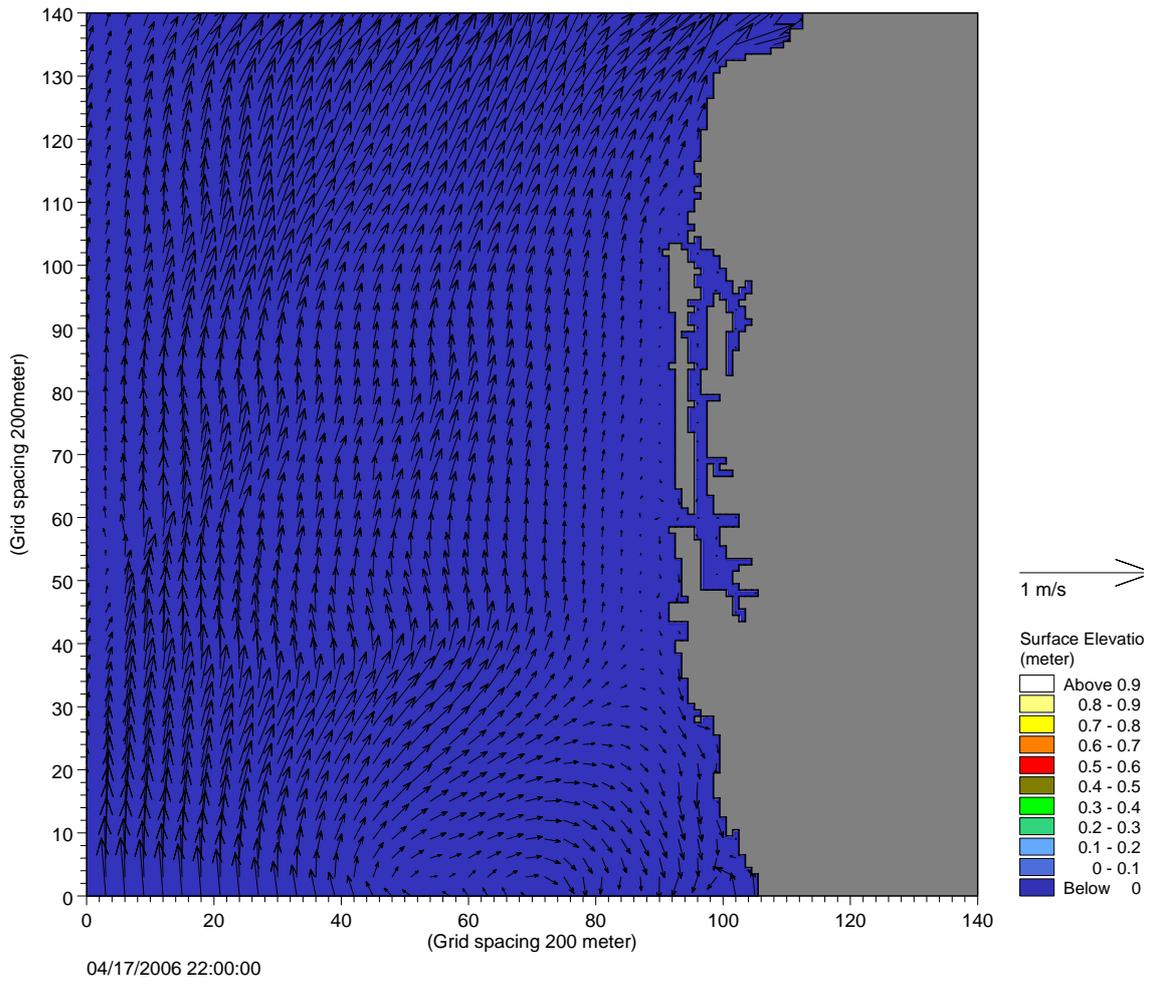


圖 4.3-9 高雄附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/17 22:00:00

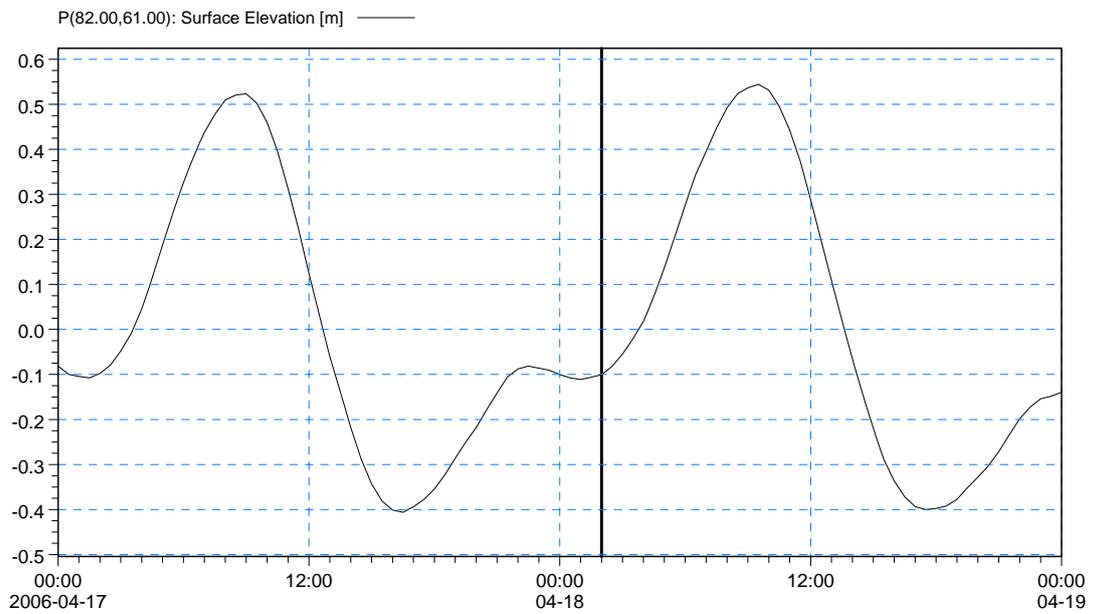
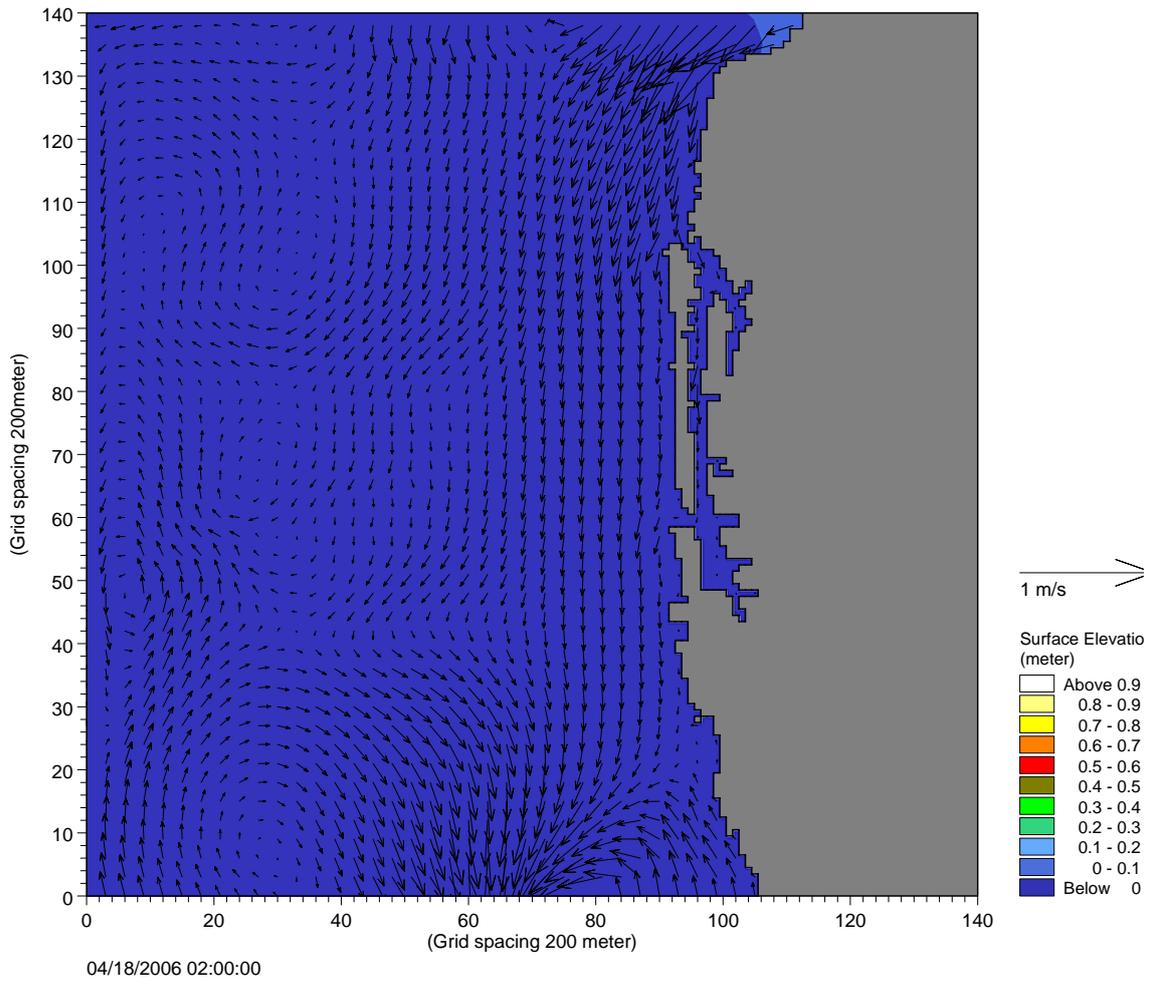


圖 4.3-10 高雄附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/18  
02:00:00

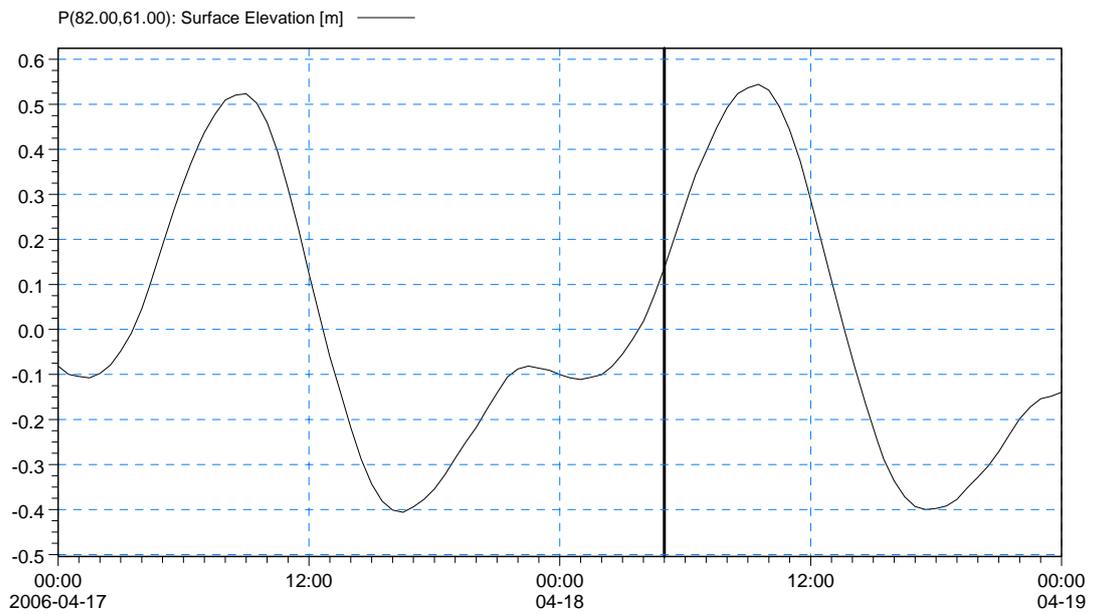
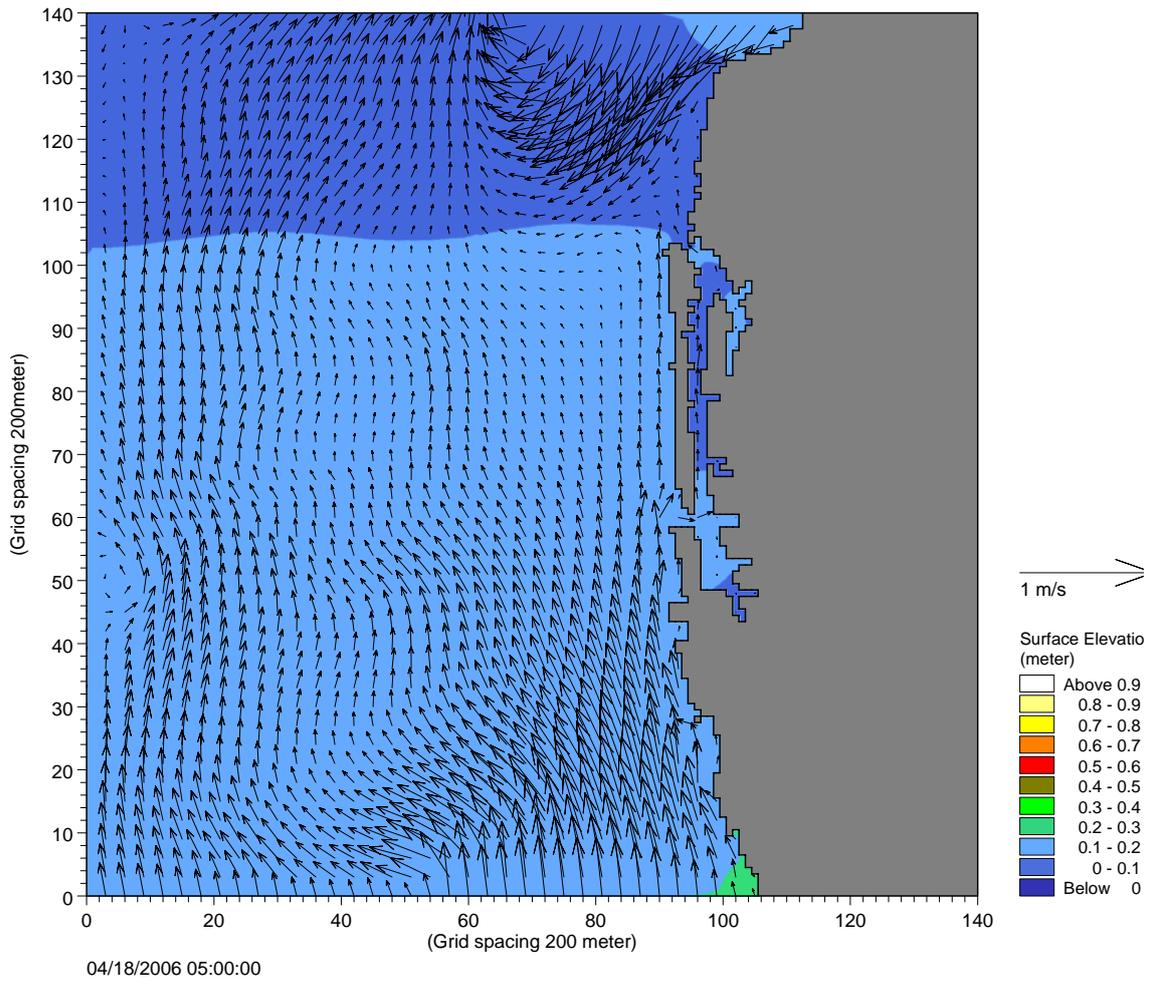


圖 4.3-11 高雄附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/18  
05:00:00

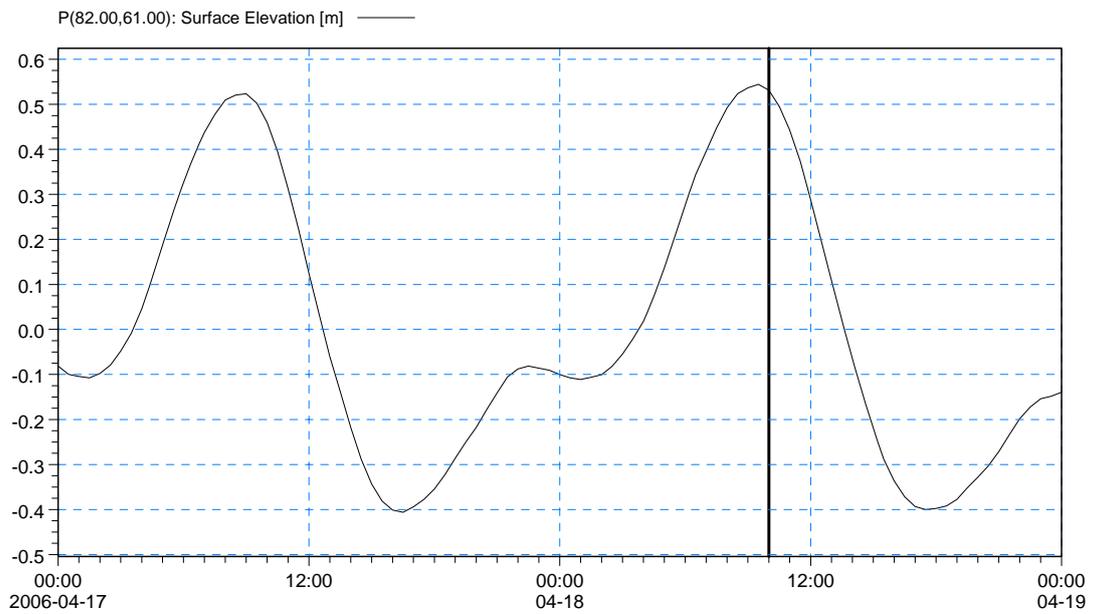
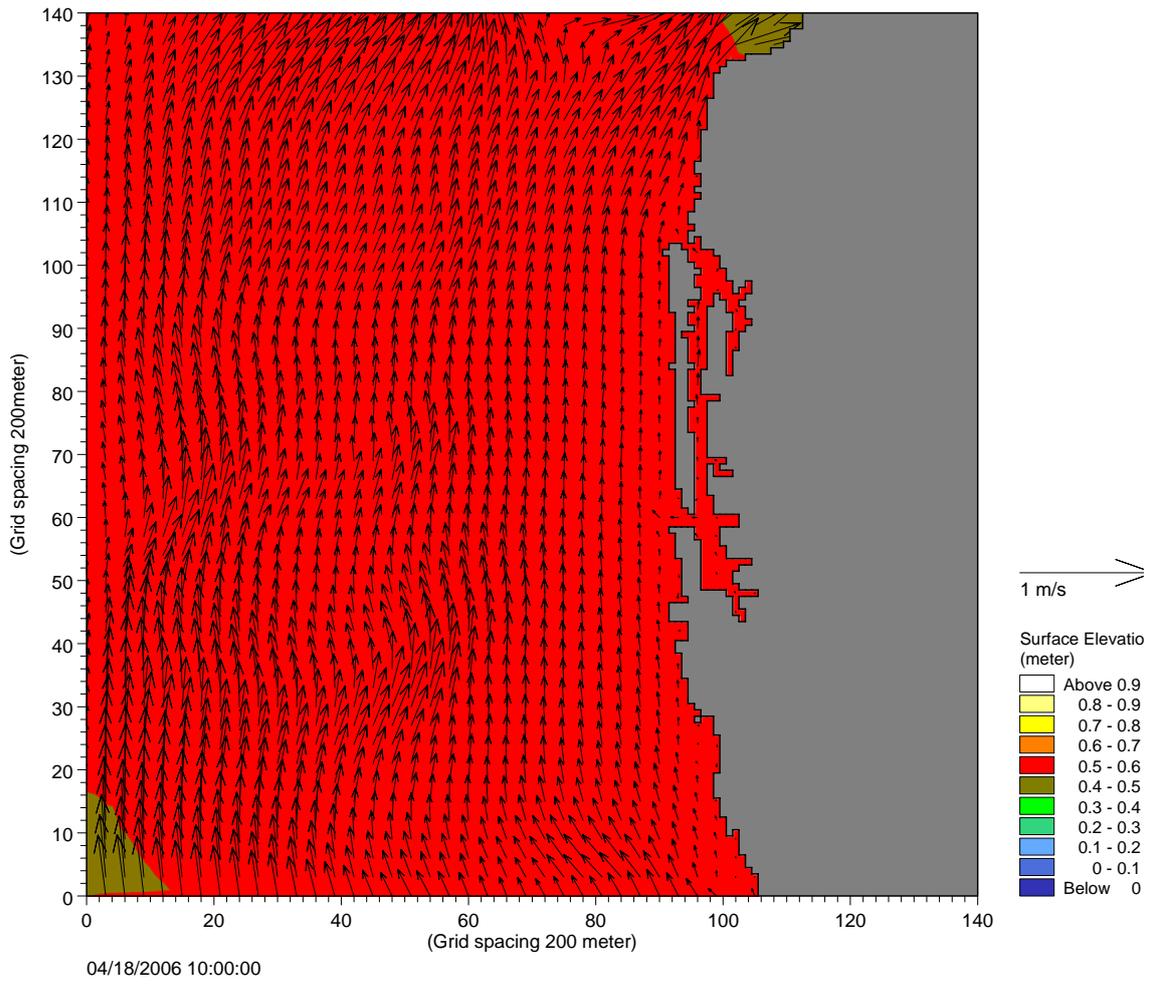


圖 4.3-12 高雄附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/18 10:00:00

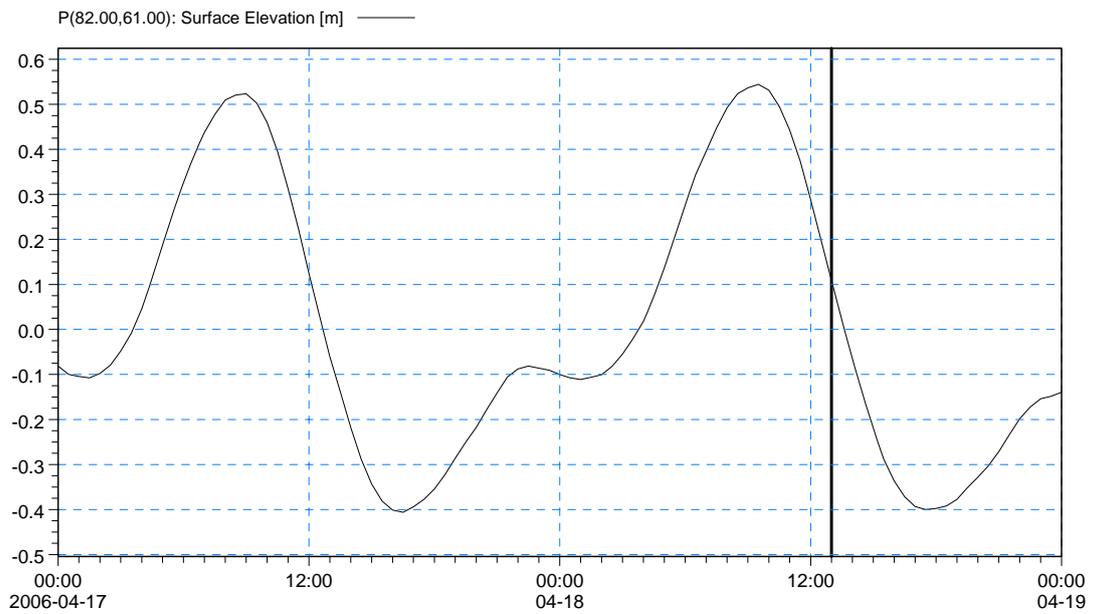
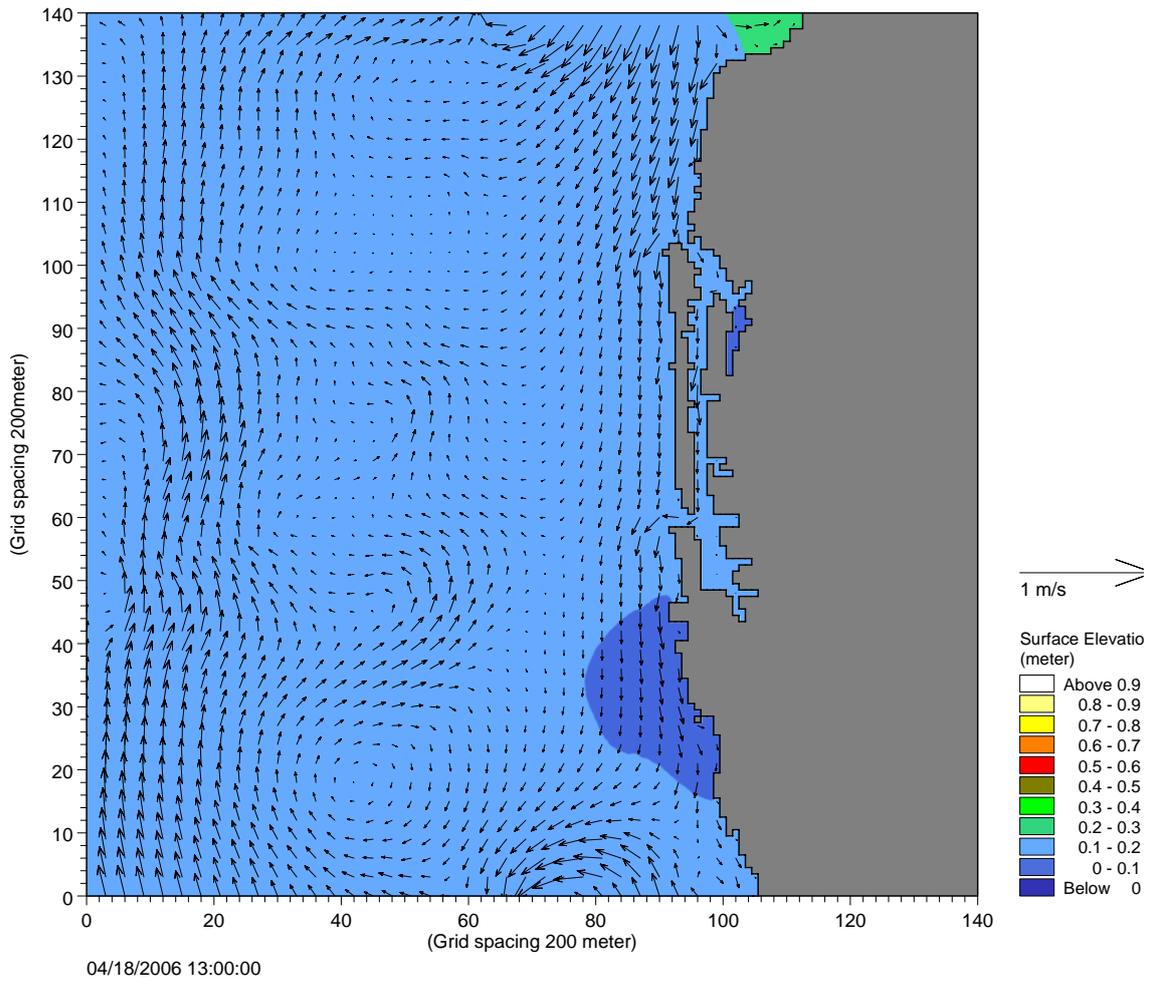


圖 4.3-13 高雄附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/18 13:00:00

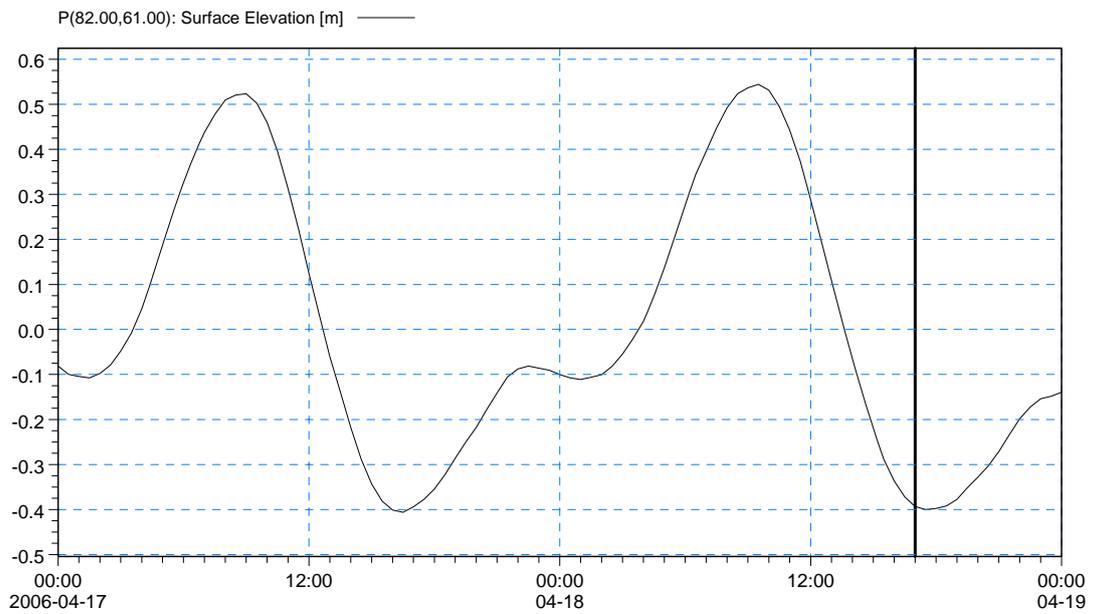
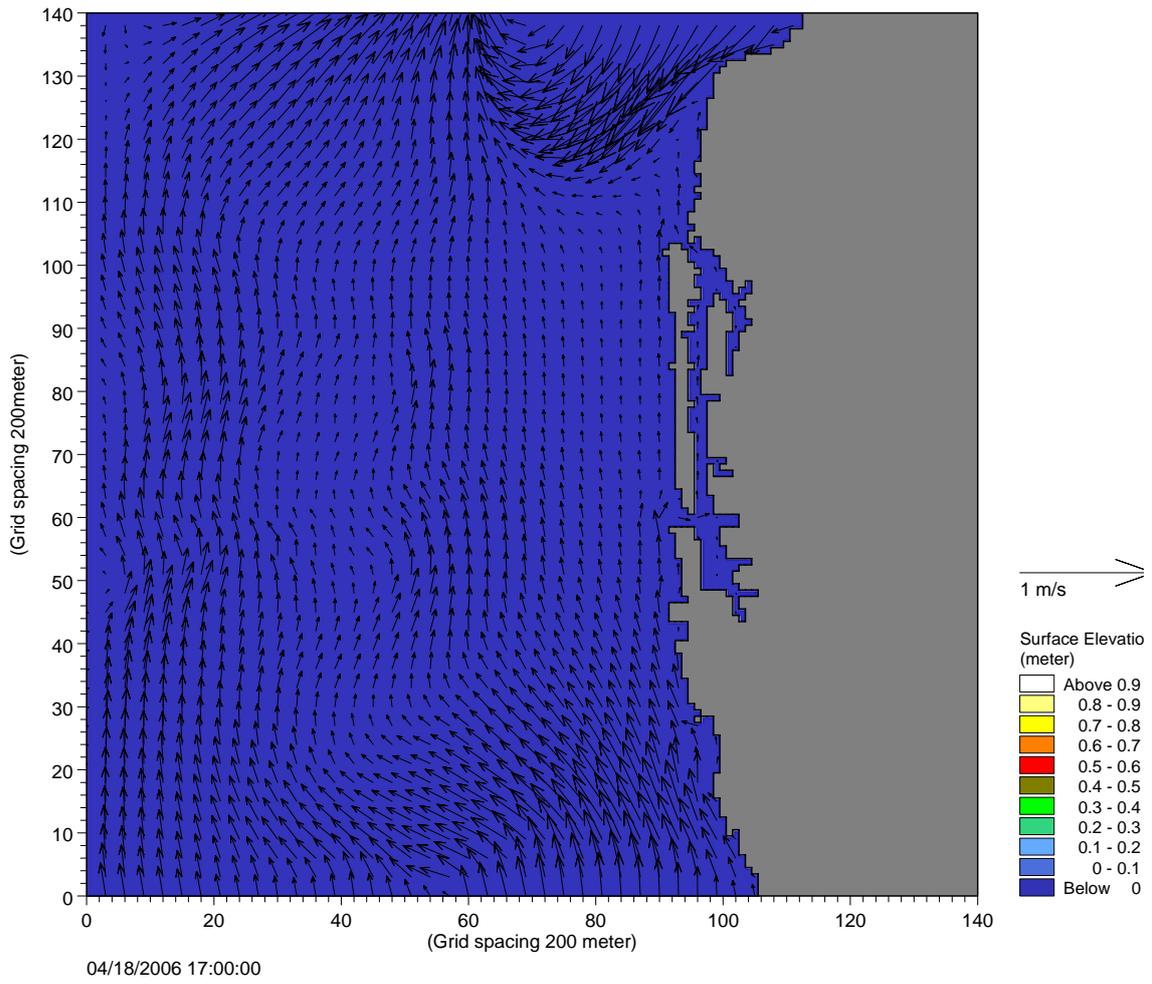


圖 4.3-14 高雄附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/18 17:00:00

#### 4.4 局部區域之計算結果與驗證

使用圖 3.3-4 所示之高雄港附近海域之地形水深資料，配合萃取自高雄附近海域計算結果之逐時潮位或流速，重複應用水深積分後之 2 維水動力系統計算模式，可得高雄港附近海域潮流分布如圖 4.4-1 至圖 4.4-7 所示，圖中色階代表計算海域內之等潮位線，箭矢表示海域內潮流之大小與方向。

本計畫將引用港研中心 2006 年 4 月於高雄港 2 港口的實測資料進行正確性驗證。由 4.1 節對實測資料的探討可知，在日潮不等較小的時候，並無一特定的特性，而日潮不等較大的時候，僅能概略歸納出兩個情況，海流遇到有 hump 時，一定會轉往南，而在 hump 後的大退潮則一定會轉向北。由於數值模式無法模擬較為混亂的情況，因此本計畫將針對日潮不等較大時的兩個特性去進行檢驗，檢驗結果如圖 4.4-8 所示，圖中粗實線為實測資料，細實線為預測結果，由圖中可知，在潮位方面，實測與預測的潮位非常接近，僅在高潮部分有些許的誤差，而在流向方面，本模式模擬的結果為漲潮時流向向北，至 hump 高點處轉向南，過 hump 後的平潮時轉向北，並於高潮時轉向南，故本模式僅能模擬出海流遇到有 hump 時，一定會轉往南的特性，顯示模式中尚有部分因素沒有考慮到，因此將藉由收集更廣泛的實測資料再加以改善。

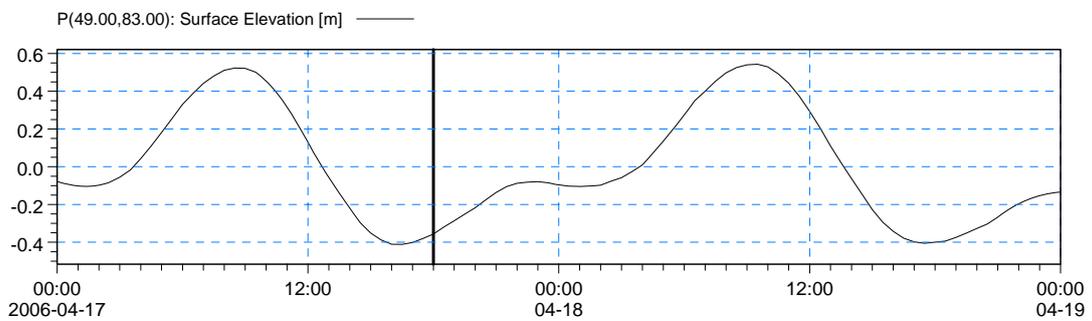
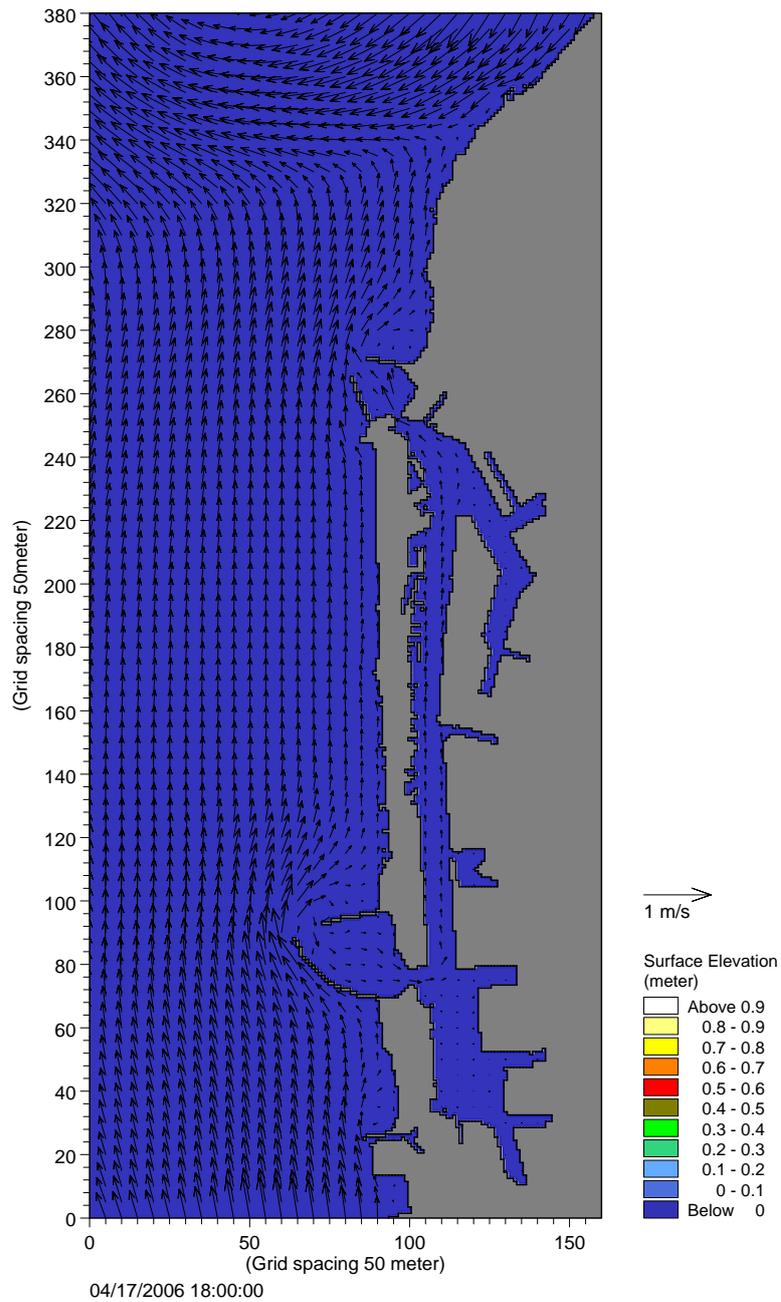


圖 4.4-1 高雄港附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/17 18:00:00

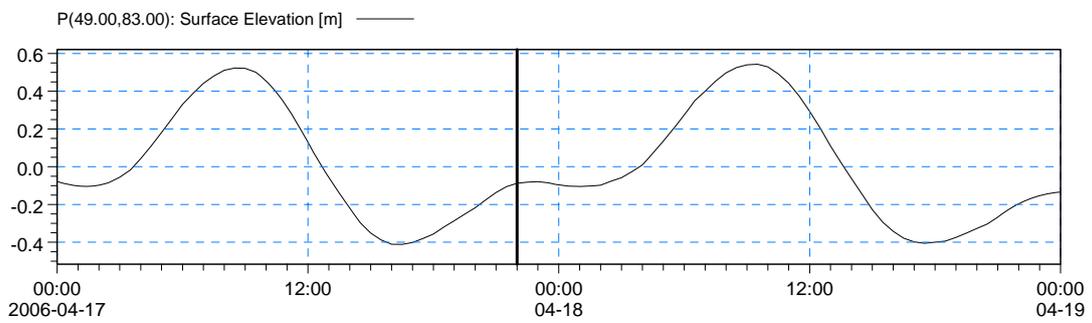
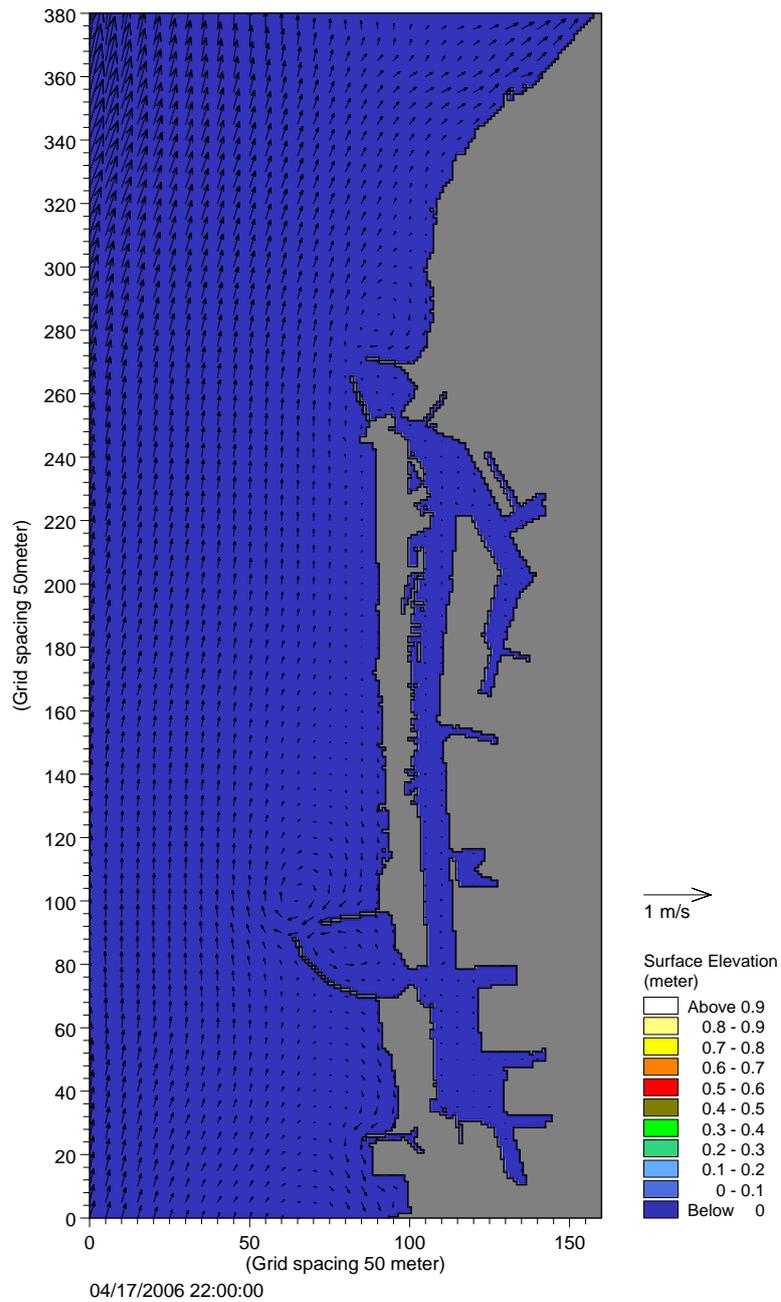


圖 4.4-2 高雄港附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/17 22:00:00

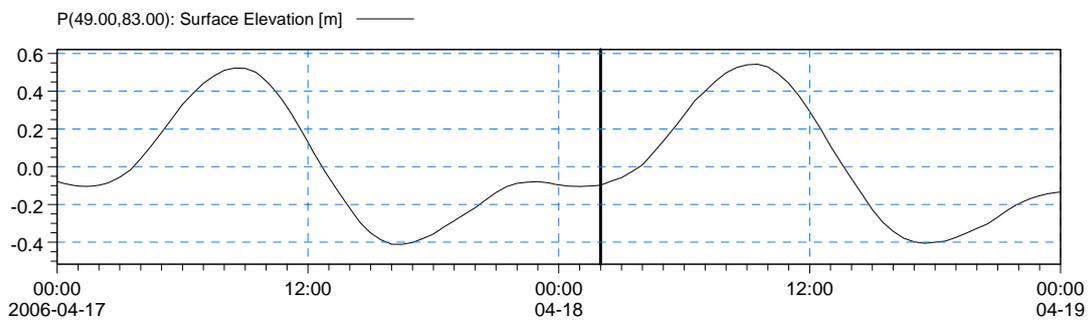
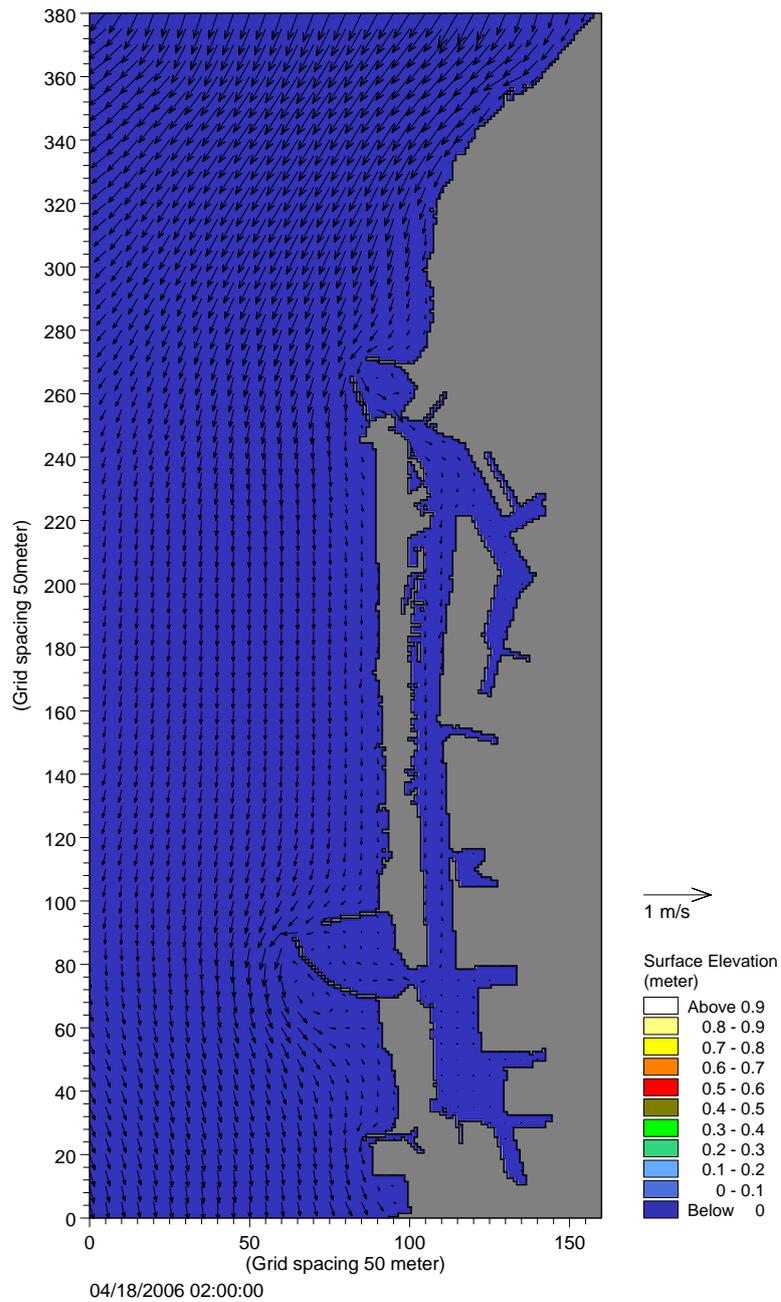


圖 4.4-3 高雄港附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/18 02:00:00

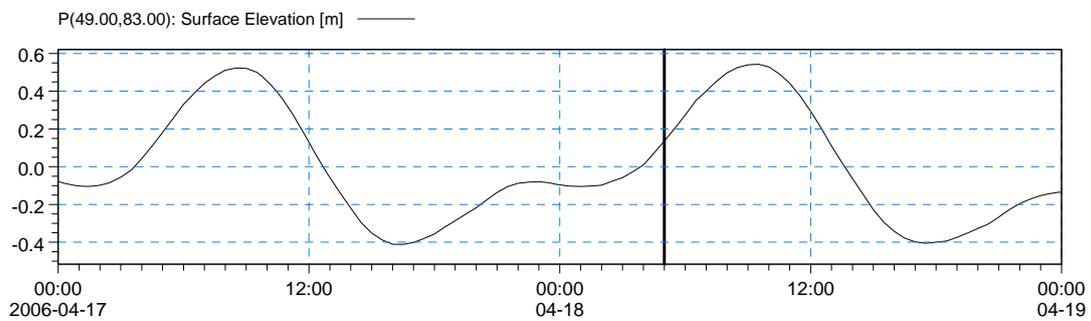
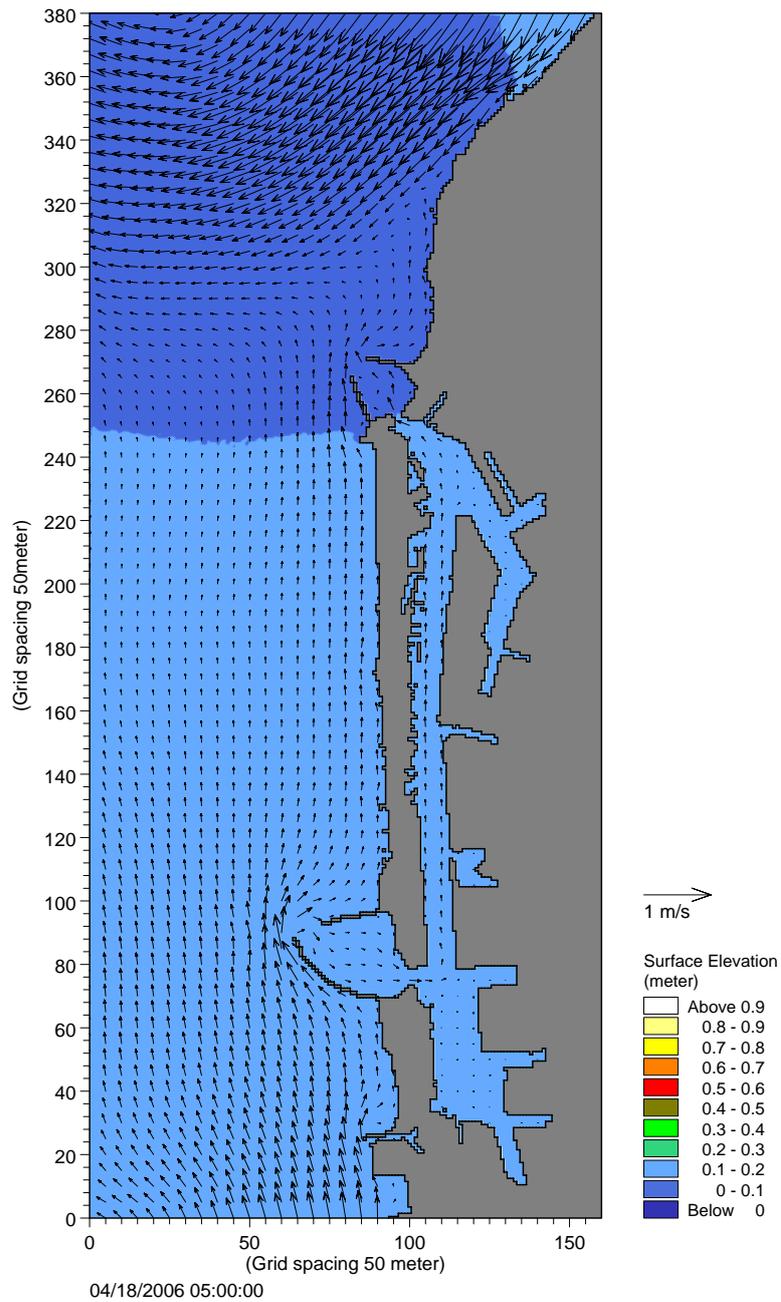


圖 4.4-4 高雄港附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/18 05:00:00

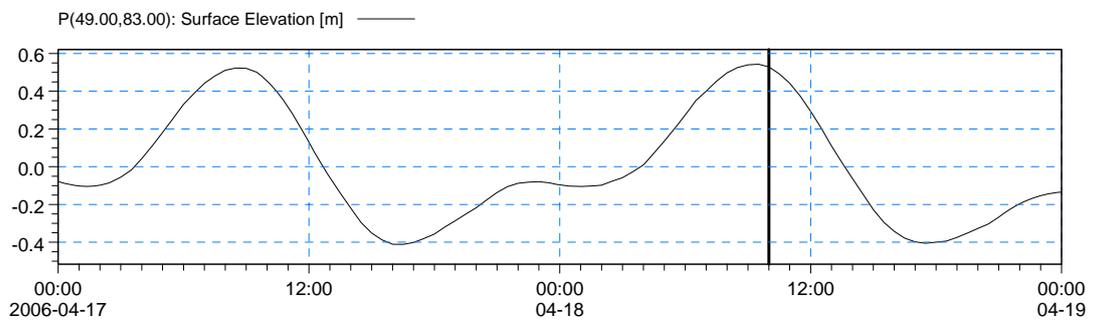
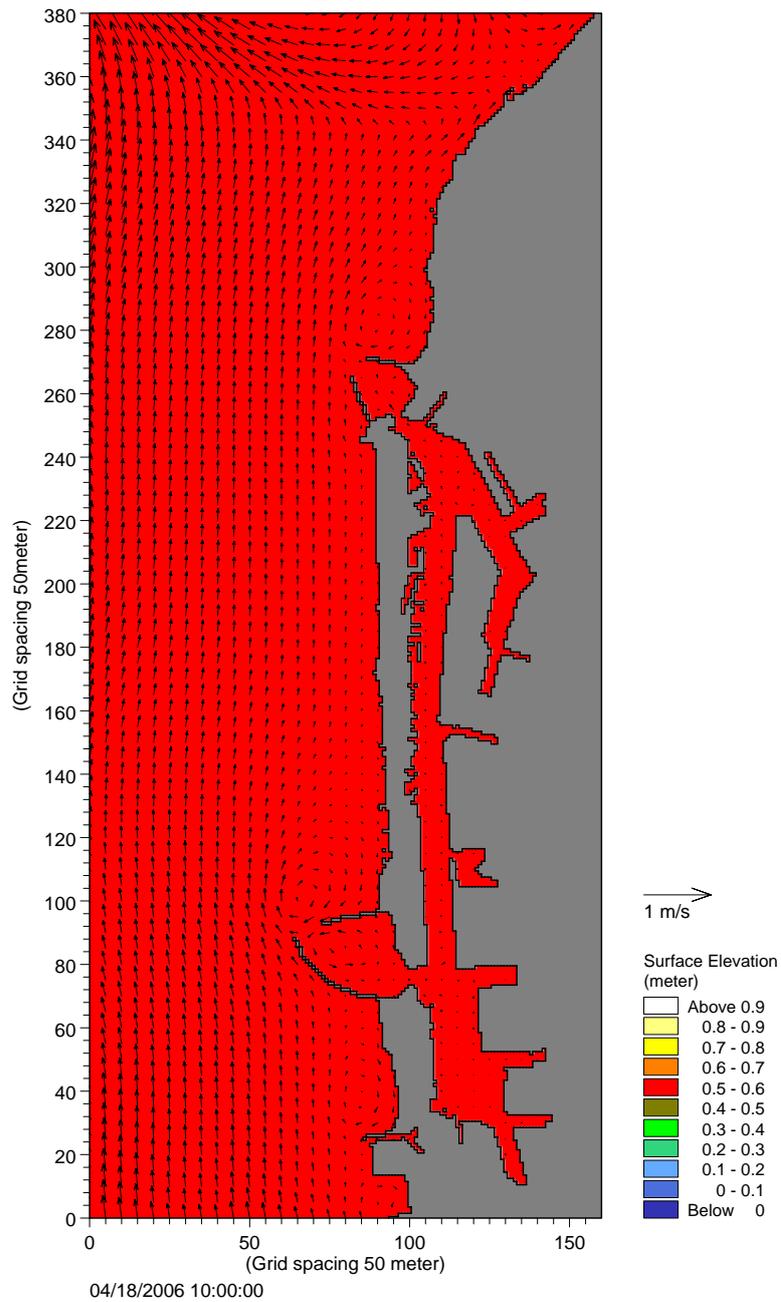


圖 4.4-5 高雄港附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/18 10:00:00

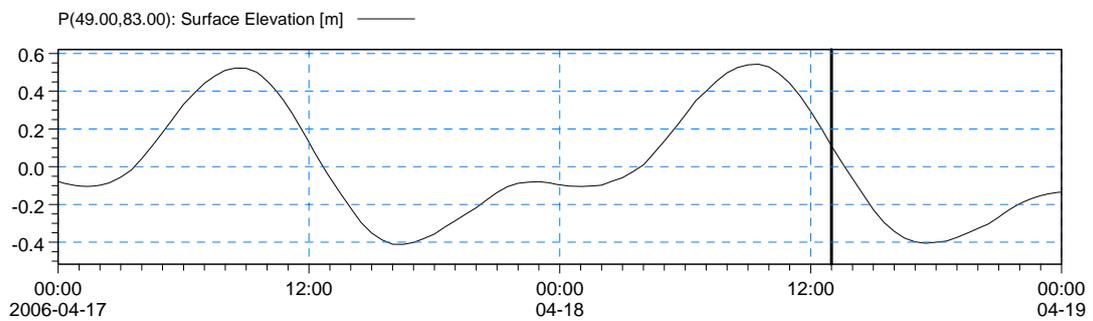
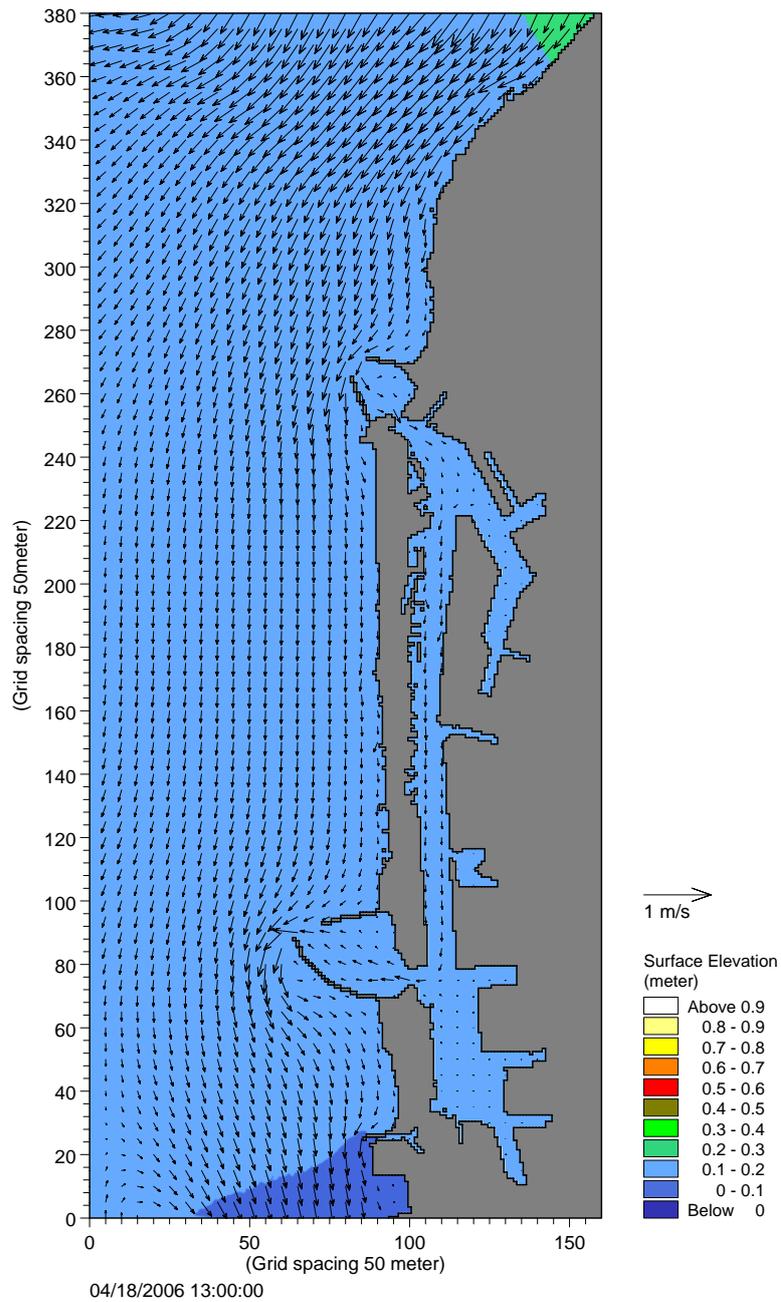


圖 4.4-6 高雄港附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/18 13:00:00

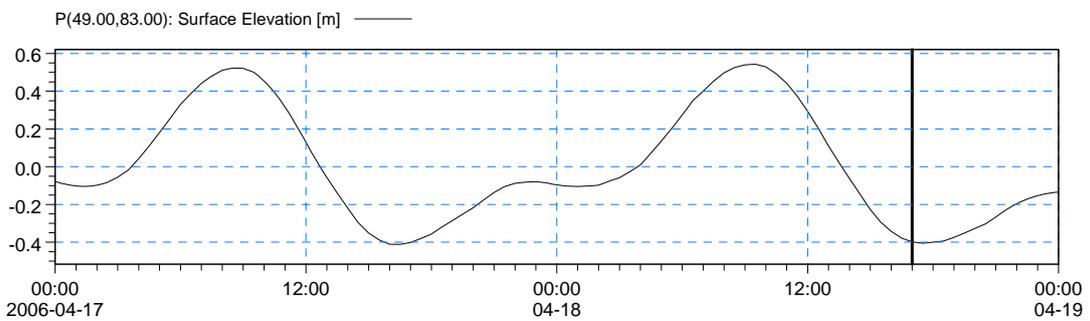
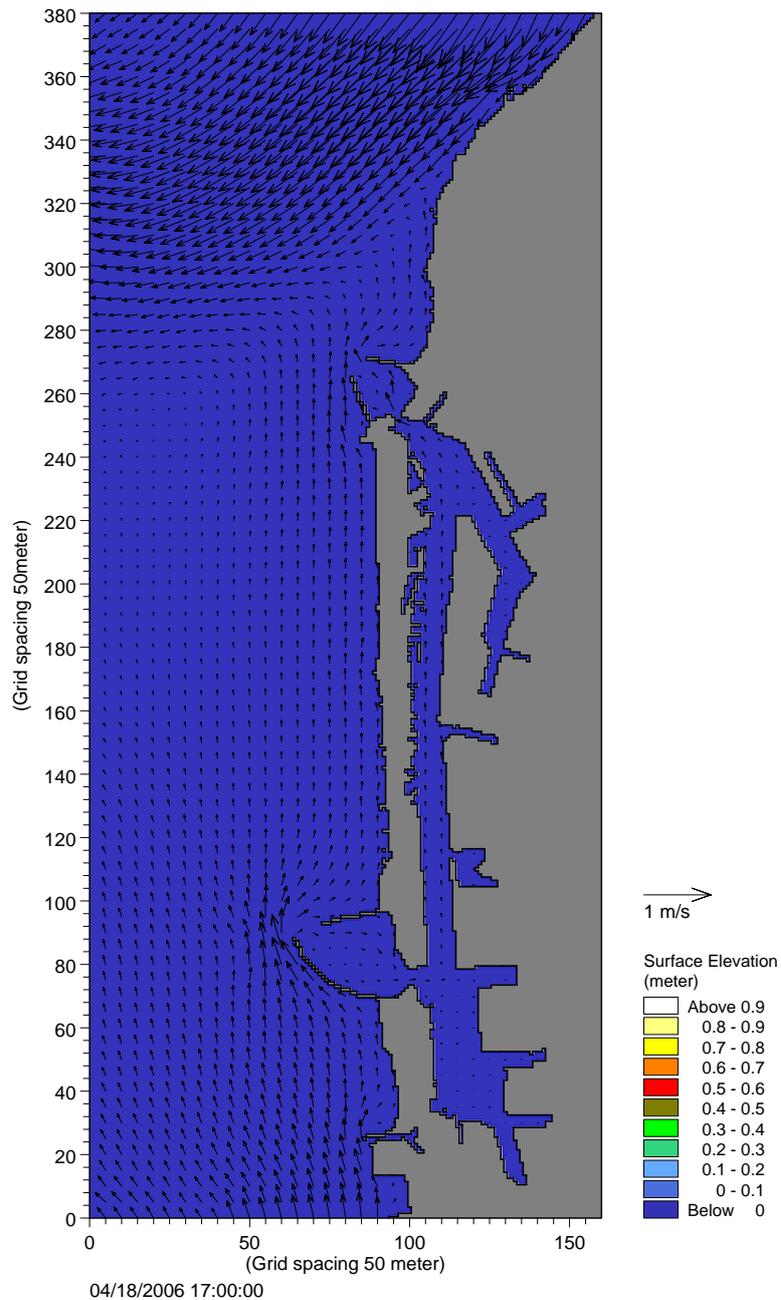


圖 4.4-7 高雄港附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/04/18 17:00:00

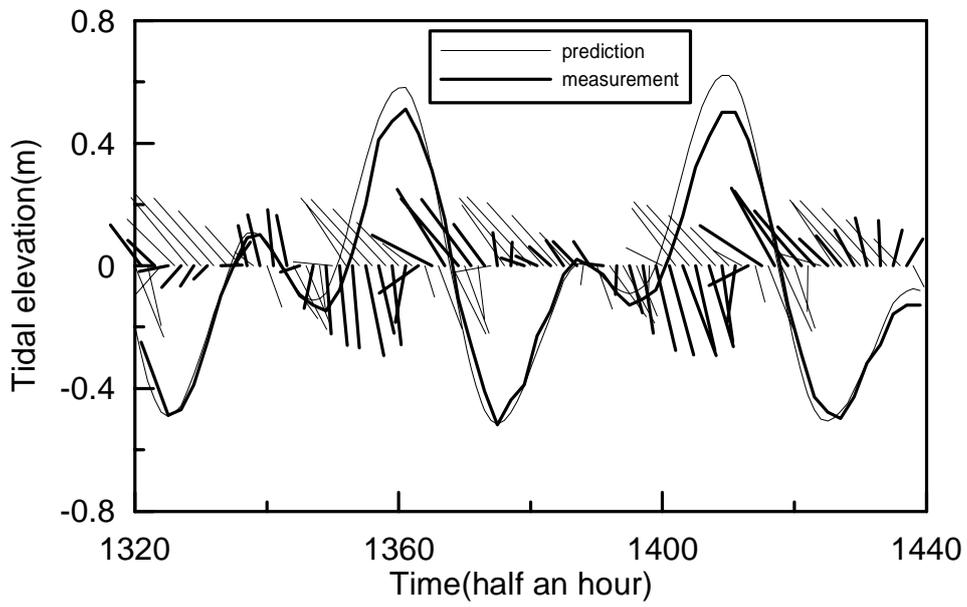


圖 4.4-8 高雄港附近海域潮位及潮流驗證(日潮不等大)

## 第五章 結論

1.高雄港位於臺灣海峽南端，港域海側最西端為水深僅約 40m 的台灣海灘，海側南北兩端分別為恆春海脊及高屏斜坡圍繞，海域水深 40m 至 200m 底床坡度陡峻，港域西南側水深可達 200m 以上，因此高雄港外海水深地形變化較為複雜，故造成較為特殊的海流狀況。

2.經由實測資料的探討可知，不論在 1 港口還是 2 港口，高雄港海域現場實測資料皆非常混亂。在日潮不等較小的時候，並無一特定的特性，漲潮時海流時而向北時而向南，退潮時亦是如此，甚至出現不論漲退潮，海流流向皆向南或皆向北的情況。在日潮不等較大的時候亦呈現混亂的狀況，僅能概略歸納出兩個情況，海流遇到有 hump 時，一定會轉往南，但轉潮時間不固定，有時在 hump 高點轉向，有時在 hump 低點轉向，甚至亦有在平潮時轉向，而在 hump 後的大退潮則一定會轉向北。

3.為確認大區域計算海域邊界潮位設定及相關計算結果之準確性，本計畫選取安平港實測資料來進行檢驗，在潮位方面，實測與預測的潮位非常接近，僅在高低潮部分有些許的誤差，而在流向方面，預測的流向與實測的流向趨勢亦非常接近。透過驗證可知，應用 MIKE21\_HD 水動力模式，配合本計畫所選用之邊界條件，確實可充分掌握並完整地呈現臺灣環島海域潮位與潮時之整體變化特性及分布趨勢。

4.本計畫對於臺灣環島、臺灣南部及高雄港海域之潮位皆可準確的計算，但在流向方面，即使從巢狀網格交疊應用著手，計算範圍採用大區域、中區域及局部區域，大區域邊界條件採用 Matsumoto 等人(2000)針對 NAO Tide 提出的 NAO.99b 模式的輸出結果，在局部區域仍僅能模擬出海流遇到有 hump 時，一定會轉往南的特性。

## 參考文獻

1. 劉肖孔(1983),「中國海域三度空間數值模式」,行政院科技顧問組。
2. 錢志春(1991),「海浪及其預報」,氣象出版社,第189頁。
3. 孫佩君(1999),「高雄港港池流場的現場調查與數值模擬」,中山大學海洋資源研究所碩士論文。
4. 莊文傑、江中權(2000),「台灣四周海域海流數值模擬研究」,交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究報告。
5. 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,交通部運輸研究所港灣技術研究中心,1-31頁。
6. 莊文傑、江中權(2002),「臺灣四周海域海流數值模擬研究(2)—高雄港海域潮汐與潮流之數值模擬研究」,交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究報告。
7. 莊士巧(2002),「高雄港流場與海水交換之數值模擬研究」,中山大學海洋資源研究所碩士論文。
8. DHI, (2002) User guide and reference manual of MIKE 21-coastal hydraulics and oceanography hydrodynamic model, Danish Hydraulic Institute.
9. Matsumoto, K., T. Takanezawa, and M. Ooe (2000) “Ocean Tide Model Developed by Assimilating TOPEX/POSEIDON Altimetry Data into Hydrodynamical Model: A Global and a Regional Model around Japan,” *Journal of Oceanography*, Vol. 56, pp. 567-581.
10. UK Hydrographic Office (UKHO), (1997) Admiralty Tide Tables and tidal stream tables, Vol. 3, the Hydrographic of the Navy, Somerset, U.K.