

MOTC-IOT-97-H2EB006

97 年高雄港域波流場數值模擬及特性研究

期末報告



交通部運輸研究所

國立交通大學

合作辦理

中華民國 97 年 12 月

MOTC-IOT-97-H2EB006

97 年高雄港域波流場數值模擬及特性研究

主持人：張憲國 教授

研究人員：劉勁成 博士

交通部運輸研究所
國立交通大學
合作辦理

中華民國 97 年 12 月

97年高雄港域波流場數值模擬及特性研究

ISBN 號碼
及條碼

GPN :
定價 元

交通部運輸研究所

97 年高雄港域波流場數值模擬及特性研究

著 者：張憲國

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：<http://www.iot.gov.tw/chinese/lib/lib.htm>

電 話：(02)23496789

出版年月：中華民國九十七年十二月

印 刷 者：

版(刷)次冊數：初版一刷 150 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定 價： 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

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

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

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

五南文化廣場：台中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

新進圖書廣場：彰化市中正路二段 5 號•電話：(04)7252792

青年書局：高雄市青年一路 141 號 3 樓•電話：(07)3324910

GPN：

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：97 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）	政府出版品統一編號	運輸研究所出版品編號	計畫編號 MOTC-IOT-9 7-H2EB006
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：04-26587126 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 97 年 3 月 至 97 年 12 月			
關鍵詞：高雄港、流場數值模擬、波浪統計			
摘要： 本計畫透過實測數據分析高雄港近岸的海流特性，結果顯示高雄港之海流受到潮流的影響較大，且潮流特性呈現漲潮流向向東南，退潮流向向西北。本計畫接著應用 MIKE21_HD 模式模擬高雄港近岸的潮流特性，並分析不同潮位特性區段下之潮流特性，透過所有潮型的驗證可知，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高雄港現有海域潮位與流向之整體變化特性及分布趨勢。			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
97 年 12 月	71		凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
機密等級： <input type="checkbox"/> 限閱 <input type="checkbox"/> 機密 <input type="checkbox"/> 極機密 <input type="checkbox"/> 絕對機密 （解密【限】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） <input checked="" type="checkbox"/> 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS

INSTITUTE OF TRANSPORTATION

MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS

TITLE: Numerical modeling of hydrodynamics and wave statistics in Kaohsiung Harbor			
ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER	PROJECT NUMBER MOTC-IOT-97-H2EB0 06
DIVISION: Center of Harbor & Marine Technology DIVISION CHIEF: Chiu Yung-Fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Ho Liang-Sheng PROJECT STAFF: Lin Tommy PHONE: (04)26587126 FAX: (04)26560661			PROJECT PERIOD FROM 03/2008 TO 12/2008
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: The characteristics of currents around Kaohsiung Harbor are analyzed and classified through data analysis of measured data. Results show that tides is a dominant factor on current in the waters and the current flows southeast during tide flood, and northwest during tide ebb, respectively. In this study MIKE21_HD model is applied to simulate the flow pattern around Kaohsiung Harbor. Good agreement between the measured current data and the calculated ones indicate that the prediction is accurate and the MIKE21_HD model is applicable to the tidal current around Kaohsiung Harbor.			
DATE OF PUBLICATION December 2008	NUMBER OF PAGES 71	PRICE	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <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	III
圖目錄	V
表目錄	VIII
第一章 前言	1
1.1 研究動機	1
1.2 研究目的	1
1.3 研究方法與步驟	2
第二章 高雄港海流資料蒐集分析	5
2.1 文獻回顧	5
2.1.1 現場實測	5
2.1.2 數值模式模擬	7
2.2 高雄港海域實測資料分析	9
第三章 高雄港海域數值模式建立	13
3.1 二維水動力控制方程組	13
3.2 有限差分法	14
3.3 計算海域	18
3.4 初始與邊界條件之設定	20
3.5 計算參數	21
第四章 高雄港海域數值模擬	23
4.1 大區域之模擬	23
4.2 局部區域之模擬	23
4.2.1 高雄港現有海域之計算結果與驗證	23
4.2.2 高雄港未來擴建後海域之計算結果	25
第五章 波浪特性分析	52
5.1 資料來源與處理	52
5.2 相關波高機率密度函數	52

5.3 平滑方法(Kernel Smoothing Method)	57
第六章 結論	61
參考文獻.....	63

圖目錄

圖 2.2-1 高雄港 2 港口測站位置	10
圖 2.2-2 高雄港 2 港口 2006 年全年流速流向分布圖	10
圖 2.2-3 高雄港 2 港口 2006 年 10 月流速流向分布圖	11
圖 2.2-4 高雄港 2 港口 2006/10 的潮位及潮流圖(日潮不等較小時) ...	11
圖 2.2-5 高雄港 2 港口 2006/10 的潮位及潮流圖(日潮不等較大時) ...	12
圖 2.2-6 高雄港 2 港口 2006/10 的潮位及潮流圖(全日潮)	12
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	17
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	17
圖 3.3-1 臺灣附近海域邊界及地形水深	18
圖 3.3-2 高雄港現有海域邊界及地形水深	19
圖 3.3-3 高雄港未來擴建後海域邊界及地形水深	20
圖 4.1-1 臺灣附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/10/24 05:00:00	27
圖 4.1-2 臺灣附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/10/24 10:00:00	28
圖 4.1-3 臺灣附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/10/24 14:00:00	29
圖 4.1-4 臺灣附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/10/24 17:00:00	30
圖 4.1-5 臺灣附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/10/24 21:00:00	31
圖 4.1-6 臺灣附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/10/25 00:00:00	32
圖 4.1-7 臺灣附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/10/25 04:00:00	33
圖 4.1-8 高雄港潮位驗證	34
圖 4.1-9 花蓮港潮位驗證	34

圖 4.2-1 高雄港現有海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/10/24 05:00:00.....	35
圖 4.2-2 高雄港現有海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/10/24 10:00:00.....	36
圖 4.2-3 高雄港現有海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/10/24 14:00:00.....	37
圖 4.2-4 高雄港現有海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/10/24 17:00:00.....	38
圖 4.2-5 高雄港現有海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/10/24 21:00:00.....	39
圖 4.2-6 高雄港現有海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/10/25 00:00:00.....	40
圖 4.2-7 高雄港現有海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/10/25 04:00:00.....	41
圖 4.2-8 高雄港現有海域潮位及潮流驗證(日潮不等較小時).....	42
圖 4.2-9 高雄港現有海域潮位及潮流驗證(日潮不等較大時).....	42
圖 4.2-10 高雄港現有海域潮位及潮流驗證(全日潮).....	43
圖 4.2-11 不同高雄港的潮位特性及其區段代號示意圖	43
圖 4.2-12 高雄港未來擴建後海域潮流分布，參考潮位：高雄港， 2006/10/24 05:00:00	45
圖 4.2-13 高雄港未來擴建後海域潮流分布，參考潮位：高雄港， 2006/10/24 10:00:00	46
圖 4.2-14 高雄港未來擴建後海域潮流分布，參考潮位：高雄港， 2006/10/24 14:00:00	47
圖 4.2-15 高雄港未來擴建後海域潮流分布，參考潮位：高雄港， 2006/10/24 17:00:00	48
圖 4.2-16 高雄港未來擴建後海域潮流分布，參考潮位：高雄港， 2006/10/24 21:00:00	49
圖 4.2-17 高雄港未來擴建後海域潮流分布，參考潮位：高雄港， 2006/10/25 00:00:00	50
圖 4.2-18 高雄港未來擴建後海域潮流分布，參考潮位：高雄港，	

2006/10/25 04:00:00	51
圖 5.3-1 Ksdensity 推估之機率密度函數圖	58
圖 5.3-2 不同 h 之機率函數圖	59
圖 5.3-3 波高與週期最適機率分佈之分析流程圖	60

表目錄

表 4.2-1 高雄港各區段流向模擬正確性	44
表 4.2-2 高雄港各種潮型流向模擬正確性	44
表 4.2-3 高雄港模擬與實測流速的比較	44

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，現有第一及第二港口，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。本次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劃圈，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，進行高雄港擴建前後海域流場之數值模擬驗證比對，以及辦理波潮流的各項統計特性分析，建立高雄港附近海域之海象特性模式。

1.3 研究方法與步驟

本計畫 96 年度已完成實測資料收集整理分析及高雄港現有海域之流場分析數值模擬，經由實測資料的分析可知，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，海流遇到有平潮突起時，一定會轉往南，但轉潮時間不固定，有時在平潮突起高點轉向，有時在平潮突起低點轉向，甚至亦有在平潮時轉向，而在平潮突起後的大退潮則一定會轉向北。透過數值模擬的研究成果可知，本模式對於臺灣環島、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平潮突起時，一定會轉往南的特性。本計畫今年度除了繼續進行模式的修正之外，將建立高雄港未來擴建海域之流場分析數值模式，並比較高雄港擴建前後之流場分布及流況改變情況，接著將初步建立高雄港海域波浪特性模式，其研究方法及進行步驟如下：

1. 建立高雄港未來擴建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二維水動力控制方程組。潮汐流場分別採大區域及局部區域為範圍進行模擬，大區域主要使用 MIKE C-Map 所釋出的水深量測資料來模擬臺灣環島附近之海域。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二：一個是在模式計算區域的邊界進行現場實際數據的收集；另一個則是擷取自另一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，但是當開放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，局部區域計算海域之水動力邊界條件萃取自大區域計算海域之逐時潮位或流速。

2. 比較高雄港擴建前後之流場分布及流況改變情況

透過 96 年度與今年度的模擬結果，比較高雄港擴建前後之流場分布及流況改變情況。

3. 初步建立高雄港海域波浪特性模式

本計畫將原始水位的資料，進行零上切法，經過統計後得到波高時序值，以此進行計算並繪出實際波高機率直方圖。藉由波高時

序資料求得不同機率密度分布之參數，以獲得對應的理論密度分布函數，並以最大概似法(Maximum Likelihood Estimator, MLE)求解各理論機率分布之參數，其各參數值均落在 95%信賴區間，最後再根據分組組數與資料分布的特性，分析波高與週期機率與直方圖分布，以誤差均方根(RMS)、相關性(R^2)、離島型直方圖($P_i=0$)與判斷是否為雙峰直方圖($|P_i-P_j|>1/N$)等四種參數來探討最適之機率分布特性和最佳分組組數。決定最佳組數與最適之機率分布，並以此探討波高與週期之統計特性，選定其最佳值以利波高與週期之特性分析。

第二章 高雄港海流資料蒐集分析

2.1 文獻回顧

本研究收集國內研究單位及學術單位從事高雄港海流實測及數值模擬相關的報告或論文，將其結論分現場實測及數值模式模擬分述如下：

2.1.1 現場實測

往昔現場實測高雄港海流的研究報告，結果依年代分述如下：

1. 洪等人(1974)指出「在第一港口附近，漲潮平均流速為 0.19m/s，流向 105°。落潮平均流速 0.16m/sec，流向 279°。在第二港口附近，漲潮平均流速為 0.16m/sec，流向 0.46°。落潮平均流速 0.14m/sec，流向 225°」。
2. 洪等人(1979)指出「在臨海工業區海域內潮流有三種基本型態：A.漲潮時往東南流，退潮往西北流，最大流速發生於平均水位附近，流向轉變發生於平潮時亦即潮流與潮位差 1/4 週期相位。B.漲退潮之流向與 A 同，但最大流速發生於平潮時，流向轉變發生於平均水位附近，亦即潮流與潮位同相位。C.漲潮時向西北偏北流，退潮往東南偏南流，流速與潮位關係與 B 相同，顯示相差週期相位。觀測中以 A、B 類之綜合型最多，C 最少亦不明顯。多數情形是介於這幾種型態之間」。
3. 國立高雄海事專科學校(1988)指出「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。其流速分布大抵皆小於 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」。

4. 台灣省政府交通處港灣技術研究所(1993)指出「高雄港二港口附近海域冬季(1、2、11、12 月份)與夏季(5、6、7、8 月份)海流之特性類似，海流流向主要分布在西北及東南兩個方向，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布於西北及東南兩個方向，但在-20m 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，海流亦集中分布於西北及東南兩方向，惟於-20m 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，流向主要集中分布於西北—東南兩個方向上，為沿海岸方向往復之運動。-10m 測站流向集中於這二個方向之比例較-20m 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-10m 測站與-20m 處流速與流向變化趨勢相似。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」。
5. 台南水工試驗所(1997)指出「高雄港二港口以南的大林蒲海域，調查期間各測站所記錄之流向主要分布在東南和西北這兩個方向，最大流速在 42cm/sec 至 76cm/sec 之間，對應流向皆為東南，大部份的流速記錄小於 50cm/sec」。
6. 曾等人(2002, 2003, 2004)指出「中洲污水處理廠附近海域海流流速、流向有週期性往復運動，運動方向主要集中在沿岸平行方向，即北北西-南南東為主，其流向與漲退潮無明顯的關係」。
7. 曾等人(2005)、廖等人(2005)及曾(2006)指出「流向主要為北北西與南南東，一港口偏北北西與南南東向而二港口偏西北與東南向，應與海

岸地形有一定關係。流速二港口較一港口大，可能原因為水深較深。夏季明顯較其他季節大許多，而上層流速有較下層大的驅勢；大致漲潮時偏南退潮時偏北，但在複合潮(混合潮)時較不一致」。

8.曾(2007)指出「中洲與二港口的海流於漲潮時流向大約為東南方向，退潮時為西北方向，但此二測站於部分漲潮期間的流向以西北方向較為明顯，也有部分時間顯現不同的流動特性，二測站海流流速以小於25cm/s發生的頻率為最多，二港口的流速明顯大於中洲，此二測站之海流受到潮流的影響較大」。

2.1.2 數值模式模擬

本研究收集往昔以數值模式模擬高雄港海流之報告及論文 11 篇，依年代分述如下：

- 1.劉肖孔(1983)建置中國海域三度空間數值模式，然其模式之運作需配合其太平洋之海流模式銜接。
- 2.莊(1997)應用 DHI 的 MIKE21_HD 水動力模式模擬高雄港海域之海流與潮位特性，結果顯示相位稍有偏移不吻合。
- 3.孫(1999)應用二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。
- 4.莊和江(2000)應用 DHI 的 MIKE21_HD 水動力模式進行臺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。
- 5.財團法人中華顧問工程司(2000)利用 Kawahara 等人(1982)所提出的選擇性二階段顯式有限元素法計算高雄港大林商港區興建前後之潮位與潮流流速變化，並指出「計算與實測流速大小變化趨勢一致，但實測流速大部份大於 10cm/sec 與計算值在轉潮時流速幾近為零有相當的差距，計算之潮流流向與實際潮流流向大致相符」。然因沒有比

較指標及詳細分段比對，故難以顯現模擬與實測資料吻合程度的高低。

6. 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。
7. 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，結果顯示計算結果與實測海流特性具有相當程度之偏差。
8. 莊(2002)應用三維的 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。
9. 楊等人(2003, 2004)應用 DHI 的 MIKE21_HD 水動力模式模擬高雄港海域之海流與潮位特性，結果顯示水位模擬較佳，流速及流向雖亦能掌握到其大小及趨勢，但仍有改進空間。
10. 財團法人中華顧問工程司(2003)應用 DHI 的 MIKE21_HD 水動力模式模擬高雄港洲際貨櫃中心興建前後的差異，並指出「模擬成果大致與實測資料吻合，故本計畫所建立之模擬流場，可進一步供本計畫進行興建後之流況模擬分析。外海貨櫃中心及大林商港區之興建，將使二港口防波堤堤頭處之流速減小，而外海貨櫃中心南防波堤於退潮時流速大小與現有二港口南防波堤相似，漲潮時流速則較現有二港口南防波堤稍大。其他範圍之流況則無多大差異，且興建前後流速分佈差異亦不大」。然因沒有比較指標及詳細分段比對，故難以顯現模擬與實測資料吻合程度的高低。
11. 財團法人中華顧問工程司(2005)應用 DHI 的 MIKE21_HD 水動力模式模擬高雄港洲際貨櫃中心第一期工程圍堤造地興建前後的差異，並指出「模擬與實測資料比較，兩者相近，故模式可進一步用於本計畫圍堤前後之流況分析及溫排水影響分析。由模擬結果可知，本計畫區現況之漲、退潮潮流大致上係沿著海岸線流動，遠岸流速較

近岸為大，第二港口堤頭附近及大林電口溫排水出水渠道口附近有局部流速偏大的現象，第二港口堤頭附近之流速可達 0.7m/sec，而大林電口溫排水出水渠道口附近之流速則可達 0.5m/sec。圍堤後之流場亦有相同的特性，僅圍堤附近之流場有些微改變。由此可知，本計畫執行不致對鄰近流堤有顯著之改變，故不致影響二港口船舶之進出」。然因沒有比較指標及詳細分段比對，故難以顯現模擬與實測資料吻合程度的高低。

2.2 高雄港海域實測資料分析

本研究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，本研究收集交通部運輸研究所港灣技術研究中心(以下簡稱港研中心)2006 年於高雄港二港口南側的實測資料，希望能透過不同潮型的探討，瞭解高雄港海域的海流特性，高雄港二港口的測站位置如圖 2.2-1 所示。

圖 2.2-2 為高雄港二港口 2006 年全年的流速流向分布圖，由圖中可知，資料點大部分落在西北及東南的區域，顯示漲退潮的流向平行於海岸線，且由資料點的中心位置約位於原點附近，表示高雄港的海流，主要的成分仍為潮流。本研究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 10 月無風期高雄港二港口的實測資料為模擬對象，其流速流向分布圖如圖 2.2-3 所示，圖中顯示資料點集中在西北及東南的狹長區間中，且由資料的中心點未偏離原點可知，10 月份的海流主要成分為潮流，受到其他因素的影響較小，故可作為後續數值模擬的驗證比對。

圖 2.2-4 為 2006 年 10 月高雄港二港口日潮不等較小時潮位與潮流的狀況，由圖中可知，漲潮時海流流向東南，退潮時流向西北，且分別於高低潮處轉方向。2006 年 10 月高雄港二港口日潮不等較大時潮位與潮流的情況示如圖 2.2-5，結果顯示，平潮突起前的漲潮，海流流向東南，但至平潮突起時流向會轉向西北，過平潮突起後流向轉向東南，

並至高潮時轉回向西北。圖 2.2-6 為 2006 年 10 月高雄港二港口全日潮位與潮流的狀況，由圖中可知，流向在高潮時由東南轉向西北，過平潮後流向轉向東南，然至下一個高潮時，流向較無規則性，時而向西北時而向東南。綜合上述可知，高雄港近岸流向大致呈現，漲潮時流向為東南方向，退潮時為西北方向，僅在全日潮的平潮附近較為不規則。



圖 2.2-1 高雄港 2 港口測站位置

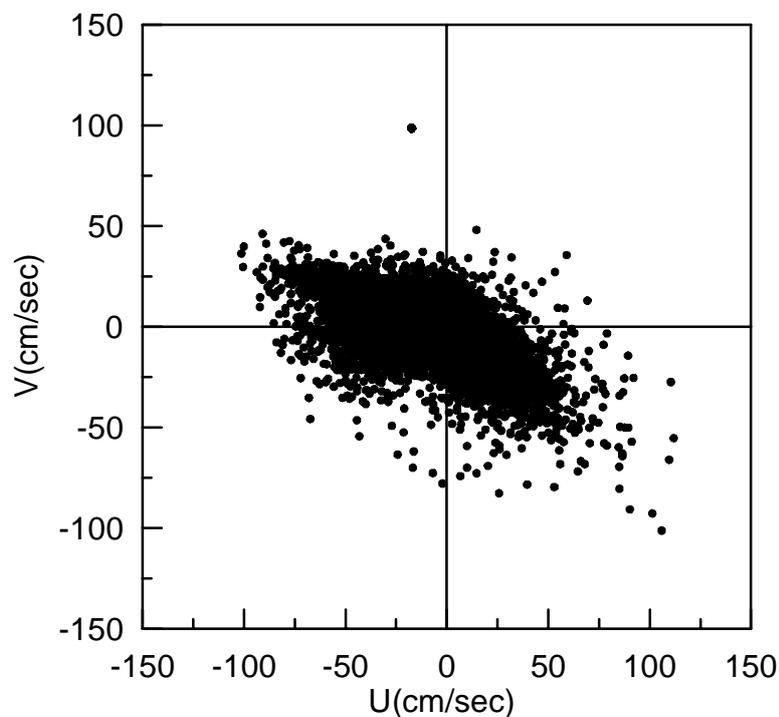


圖 2.2-2 高雄港 2 港口 2006 年全年流速流向分布圖

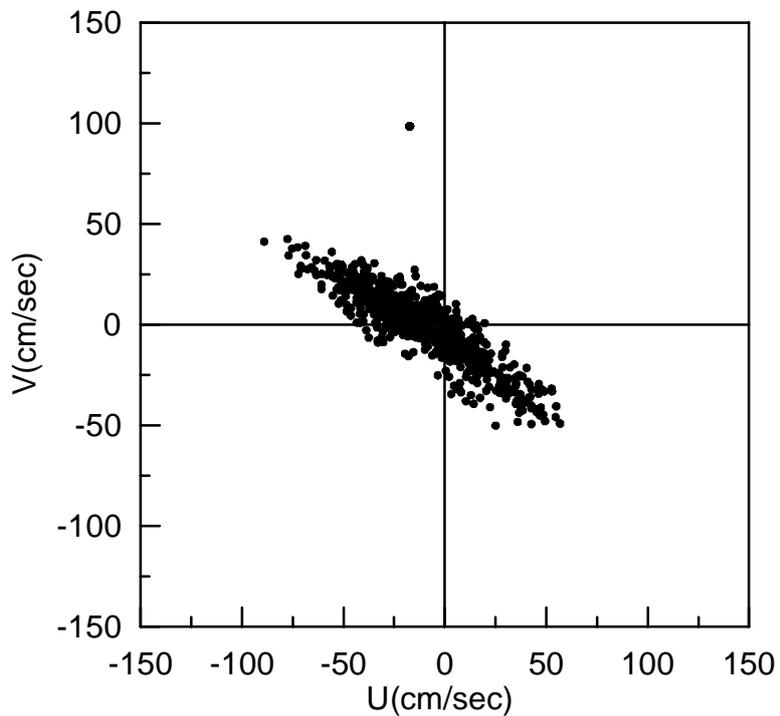


圖 2.2-3 高雄港 2 港口 2006 年 10 月流速流向分布圖

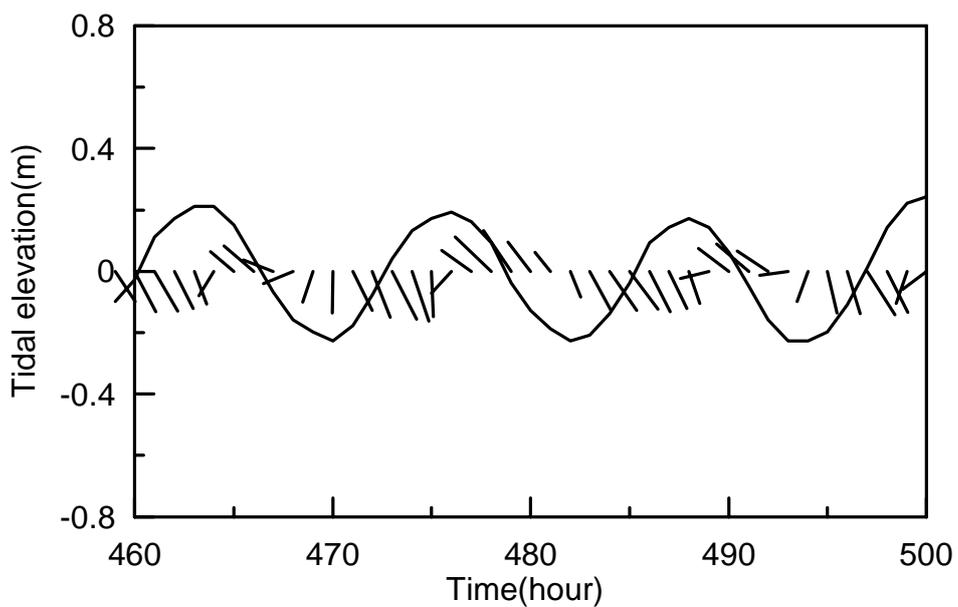


圖 2.2-4 高雄港 2 港口 2006/10 的潮位及潮流圖(日潮不等較小時)

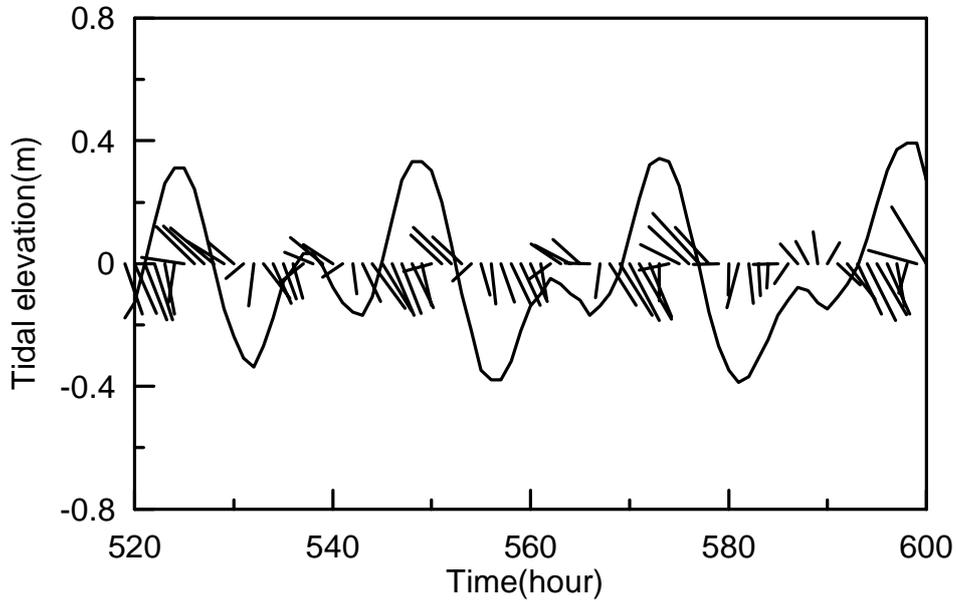


圖 2.2-5 高雄港 2 港口 2006/10 的潮位及潮流圖(日潮不等較大時)

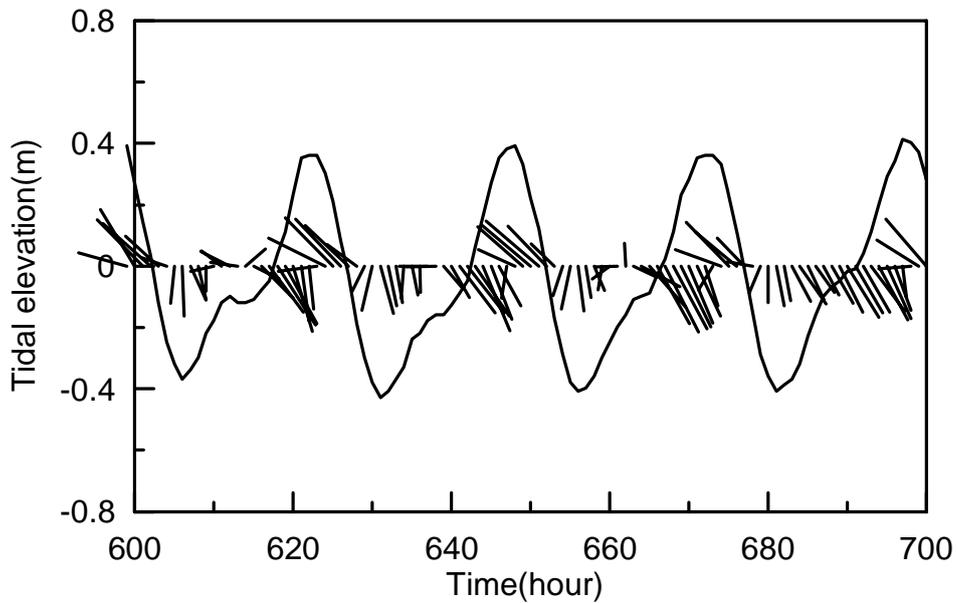


圖 2.2-6 高雄港 2 港口 2006/10 的潮位及潮流圖(全日潮)

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高雄港海域潮汐與潮流之運動與動力特性。

3.1 二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

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

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。

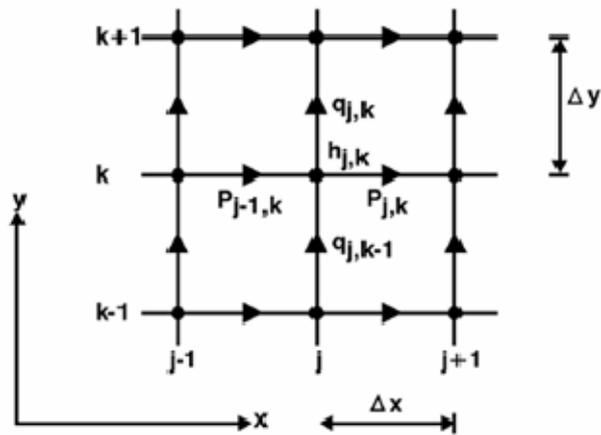


圖 3.2-1 MIKE21_HD 計算模式使用交替方向隱式有限差分法之空間網格分割

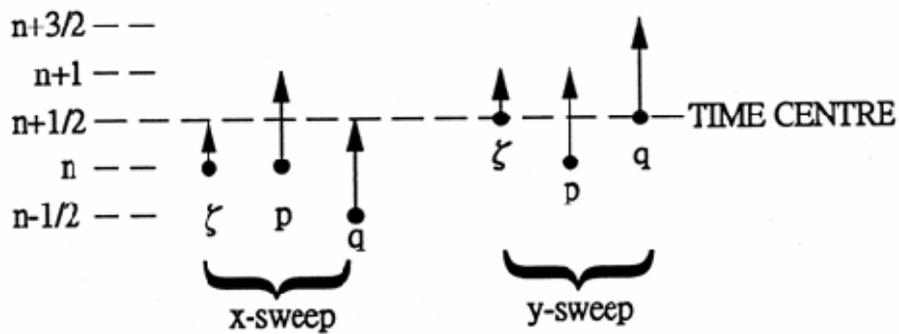


圖 3.2-2 MIKE21_HD 計算模式使用交替方向隱式有限差分法之時階分割

3.3 計算海域

潮汐流場分別採大區域及局部區域為範圍進行模擬，大區域主要使用 MIKE C-Map 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。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 3.3-2 和圖 3.3-3 所示，圖 3.3-2 為高雄港現有海域的地形水深，而圖 3.3-3 為高雄港未來擴建後海域的地形水深。

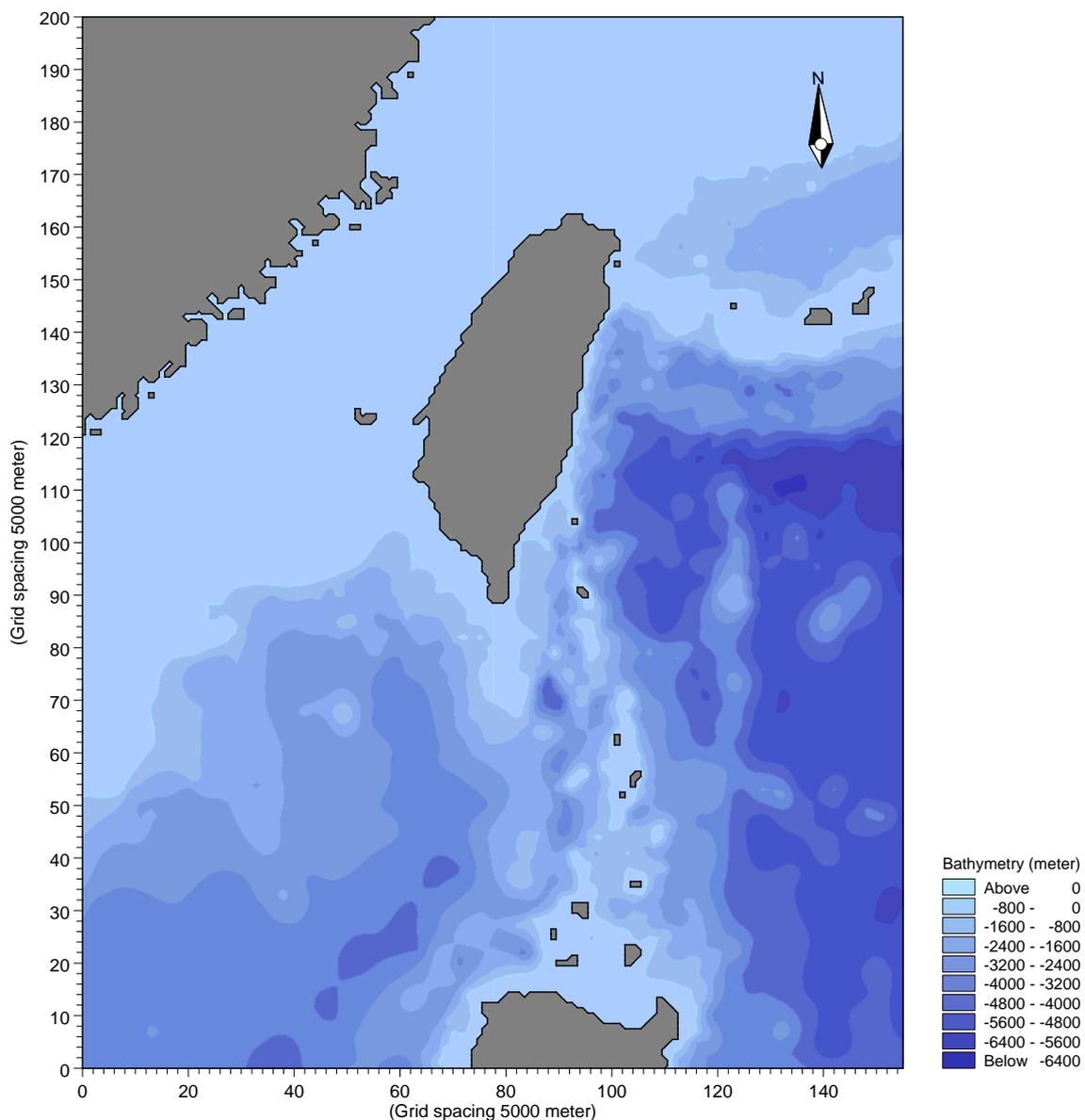


圖 3.3-1 臺灣附近海域邊界及地形水深

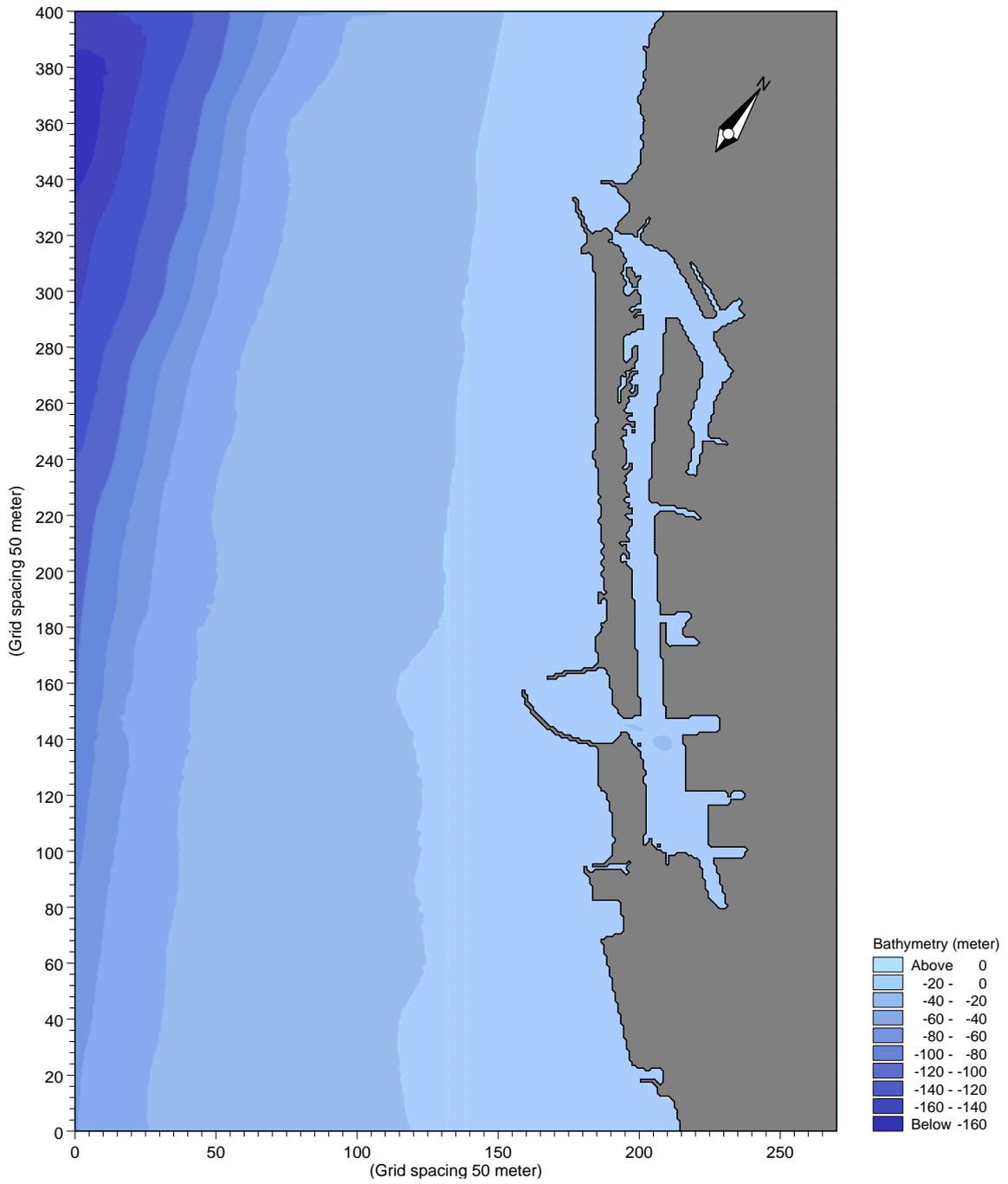


圖 3.3-2 高雄港現有海域邊界及地形水深

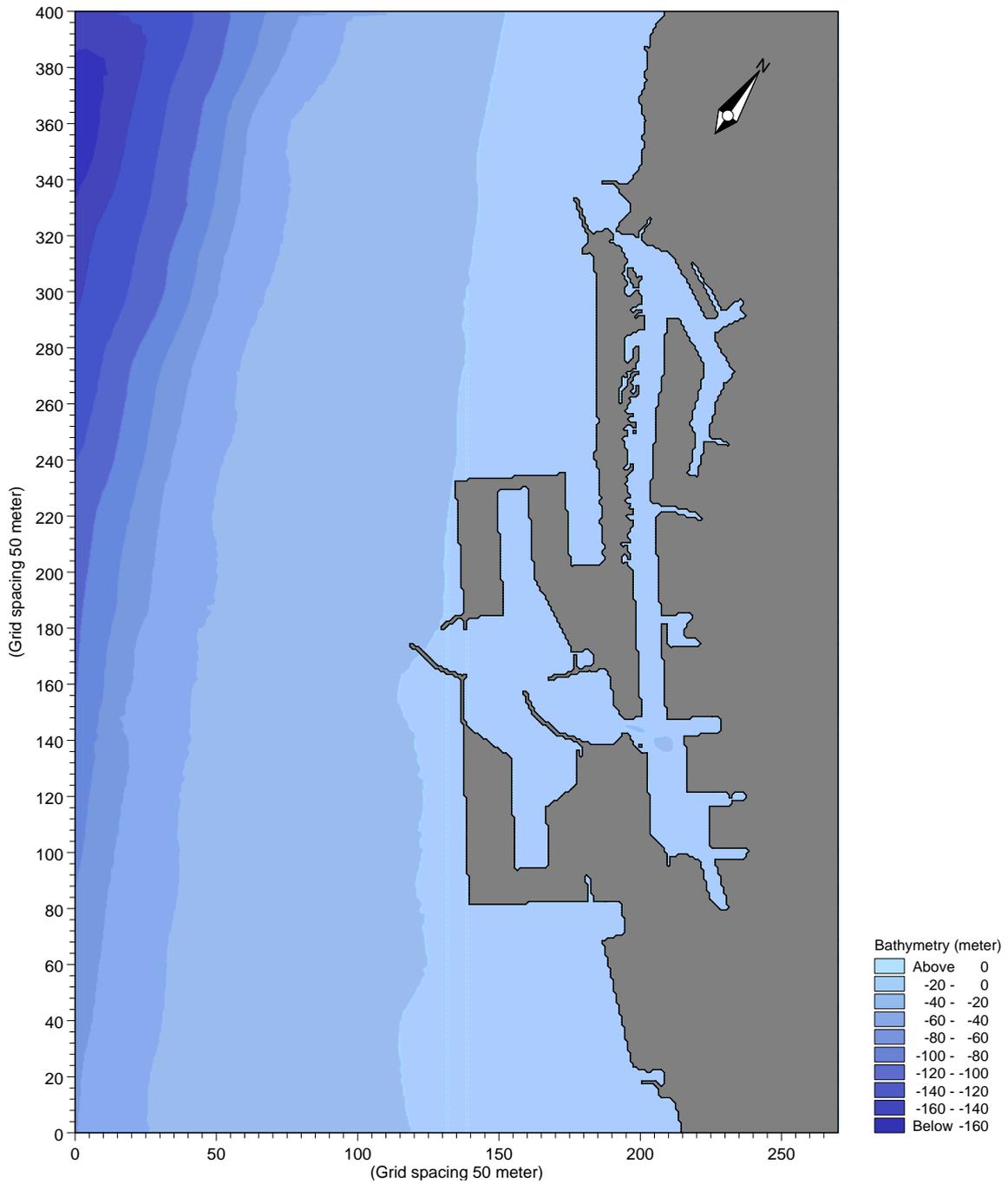


圖 3.3-3 高雄港未來擴建後海域邊界及地形水深

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 3.3-1 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，大區域計算海域之二維水動力數值模擬計算即可執行，至於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，局部區域計算海域之水動力邊界條件萃取自大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， Δx 與 Δt 分別為空間與時間格距。對臺灣海域之大範圍計算，本研究 Δx 選定為 5 公里， Δt 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， Δt 為時距， Δx 為網格間距， V 為流速。對於流場係隨時空而變化時，渦度係數尚可依 Smagorinski 公式計算(DHI, 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， Δ 為網格間距， C_s 可於 0.25 至 1.0 間選用。綜觀上述， E 之大小與時距及網格距皆有分不開之關係。本研究於模式計算中對於渦度係數係使用式(3.26)之公式，並設定 $C_s = 0.5$ 。

第四章 高雄港海域數值模擬

4.1 大區域之模擬

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 10 月無風期高雄港二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 4.1-1 至圖 4.1-7，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 4.1-1、4.1-3 及 4.1-4 可知，高雄港漲潮時，中部海域仍呈現退潮的狀況，由圖 4.1-5 及 4.1-6 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，選擇高雄及花蓮作為驗潮站。驗潮站之實測潮位與模擬計算潮位之驗證比較結果如圖 4.1-8 及 4.1-9 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，高雄港實測與預測的潮位非常接近，僅在高潮和低潮的部分有些許誤差，而花蓮港則實測與預測的潮位幾乎一致，因此，應用 MIKE_21HD 水動力模式，配合本計畫所使用之邊界設定，確實可充分掌握並完整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。

4.2 局部區域之模擬

4.2.1 高雄港現有海域之計算結果與驗證

使用圖 3.3-2 所示之高雄港現有海域之地形水深資料，配合萃取自臺灣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二維水動力系統計算模式，可得高雄港現有海域潮流分布如圖 4.2-1 至圖 4.2-7 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。

本計畫引用港研中心 2006 年 10 月於高雄港二港口的實測資料進行正確性驗證。圖 4.2-8 至圖 4.2-10 分別為不同潮型的驗證結果，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，僅在高潮和低潮的部分有些許誤差，而在流向方面，圖 4.2-8 的日潮不等較小時，預測流向與實測流向大致相同，皆呈現漲潮流向向東南，退潮流向向西北，並分別在高潮及低潮時轉向。圖 4.2-9 的日潮不等較大時，預測流向與實測流向亦大致相同，皆呈現漲潮時流向向東南，至平潮突起高點處轉向西北，過平潮突起後的低點處轉向東南，並於高潮時轉向西北，大致的特性仍為漲潮流向向東南，退潮流向向西北。由圖 4.2-10 的全日潮驗證可知，實測流向在低潮至平潮的區間中較無規則性，主要在其接近平潮的位置，時而向西北時而向東南，其餘較規則的部分則預測流向與實測流向大致相同，由模擬結果可知，漲退潮特性大致仍呈現漲潮流向向東南，退潮流向向西北，僅在低潮至平潮的區間中接近平潮的位置，呈現漲潮流向向西北。

本計畫為更進一步確認模式的正確性，特別依照潮位特性及潮型分區段來探討，各區段如圖 4.2-11 所示，將整個月分成 A~H 共 8 個區段。表 4.2-1 為流向模擬的正確性，分別統計模擬流向與實測流向相差 $\pm 22.5^\circ$ 和 $\pm 45^\circ$ 的比例。以流向相差 $\pm 22.5^\circ$ 的標準，在大潮時且日潮不等較小的模擬效果最佳，正確性可達 50%，全日潮和日潮不等較小之前的日潮不等較大的模擬效果較差，正確性僅有 38%。在小潮時且日潮不等較小的模擬效果最佳，正確性可達 66%，全日潮的模擬效果較差，正確性僅有 43%。若以流向相差 $\pm 45^\circ$ 的標準，在大潮時且日潮不等較小的模擬效果最佳，正確性可達 63%，日潮不等較小之前的日潮不等

較大的模擬效果較差，正確性僅有 49%。小潮時，日潮不等較小和其之後的日潮不等較大的模擬效果最佳，正確性可達 79%，全日潮的模擬效果較差，正確性達到 63%。整體來說，本模式在小潮的模擬效果較佳，而在大潮的模擬效果略差。

表 4.2-2 為僅考慮潮型的流向模擬正確性，由表中可知，以流向相差 $\pm 22.5^\circ$ 的標準，日潮不等較小的模擬效果最佳，正確性可達 58%，全日潮的模擬效果較差，正確性僅有 41%，若考慮整個月的全部潮型，則正確性可達 48%。以流向相差 $\pm 45^\circ$ 的標準，日潮不等較小的模擬效果最佳，正確性可達 71%，全日潮的模擬效果較差，正確性達到 62%，若考慮整個月的全部潮型，則正確性可達 64%。整體來說，不論以 $\pm 22.5^\circ$ 或 $\pm 45^\circ$ 的標準，皆可得到本模式在模擬日潮不等較小時效果最佳，其次為日潮不等較大時，而全日潮的模擬效果較差，此主要的原因由圖 4.2-10 的全日潮驗證可知，全日潮實測流向在低潮至平潮的區間中較無規則性，數值模式較難模擬因而造成較大的誤差。

表 4.2-3 為模擬流速與實測流速的比較，由表中可知，在日潮不等較大和日潮不等較小時，最大流速、最小流速和平均流速的模擬流速與實測流速皆非常接近，僅在日潮不等較大時的最大實測流速，因有幾個較高的流速值而造成差異。在全日潮的流速模擬上，模擬流速與實測流速則有些許差異，主要原因由圖 4.2-10 的全日潮驗證可知，在此部分實測流向較無規則性而不易模擬，進而造成模擬流速與實測流速的差異較大。

另由模擬結果可知，漲潮時，水流由高雄港 1 港口流入港區並由 2 港口流出港區，退潮時，水流由高雄港 2 港口流入港區並由 1 港口流出港區。

4.2.2 高雄港未來擴建後海域之計算結果

使用圖 3.3-3 所示之高雄港未來擴建後海域之地形水深資料，配合萃取自臺灣附近海域計算結果之逐時潮位或流速，重複應用水深積分

後之二維水動力系統計算模式，可得高雄港未來擴建後海域潮流分布如圖 4.2-12 至圖 4.2-18 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。

由圖 4.2-12 及圖 4.2-15 的模擬結果可知，漲潮流向向東南，並在大林商港區南防波堤南側及大林南海堤南側形成環流，環流採逆時針方向旋轉。由圖 4.2-17 的模擬結果可知，退潮流向向西北，並在大林西海堤西側、外海貨櫃中心西海堤西側及北海堤北側形成環流，環流採順時針方向旋轉。由整體的模擬結果可知，潮流特性仍如高雄港現有海域的模擬結果一般，呈現漲潮流向向東南，退潮流向向西北。

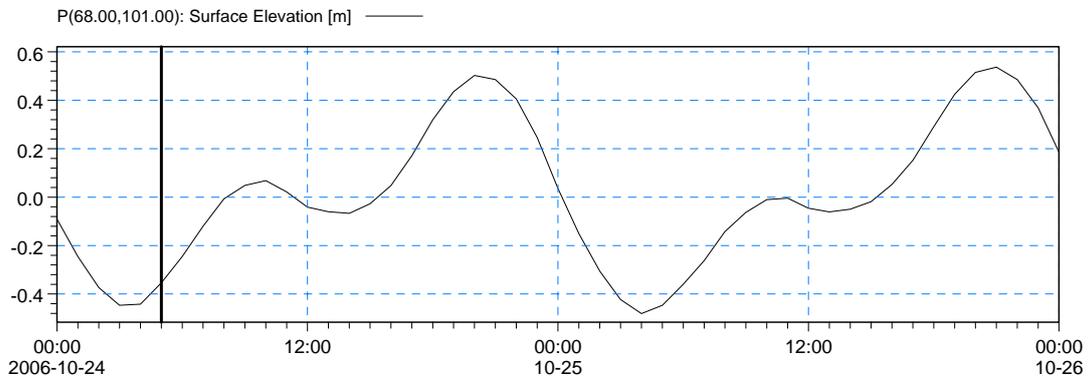
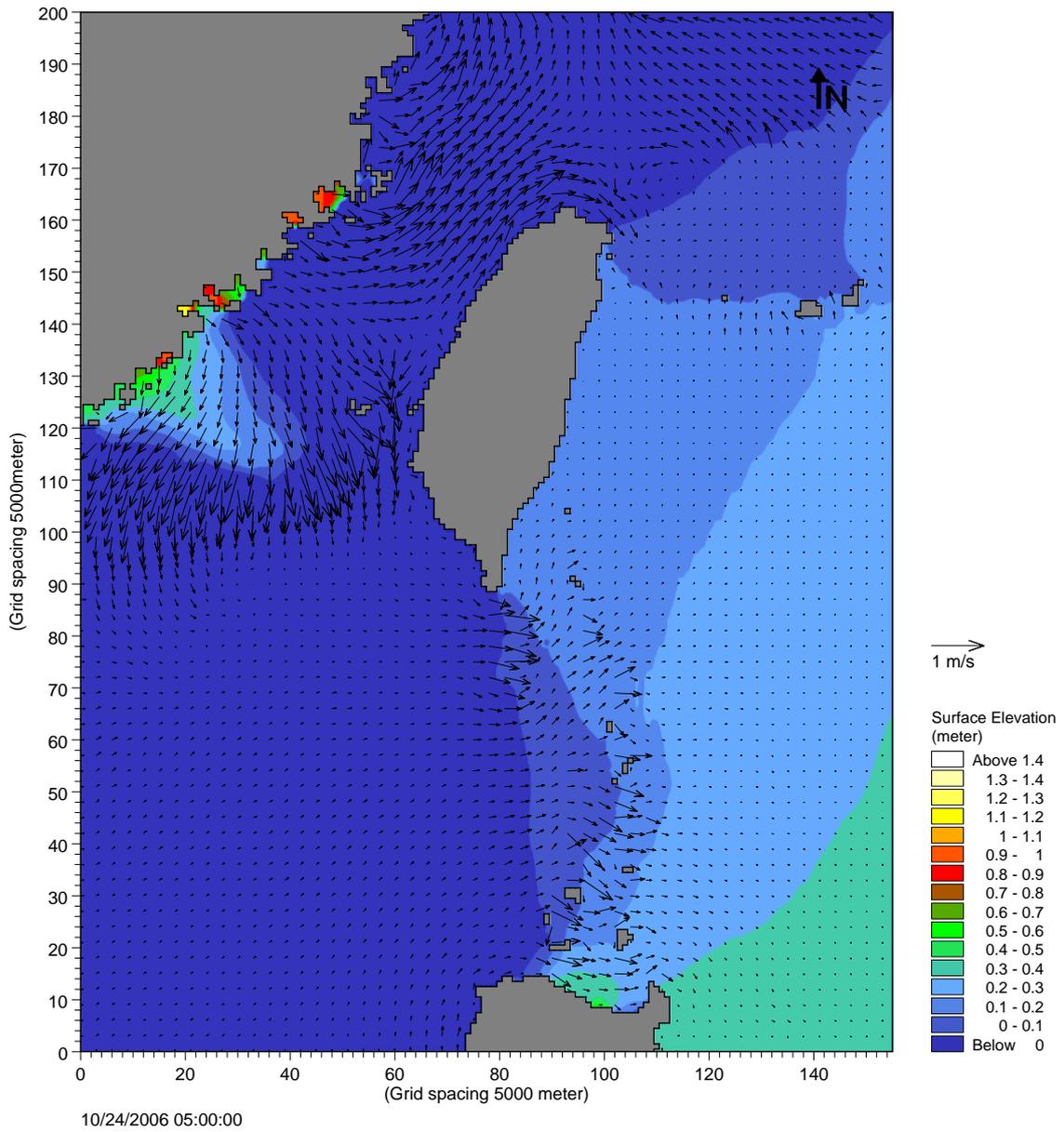


圖 4.1-1 臺灣附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/10/24 05:00:00

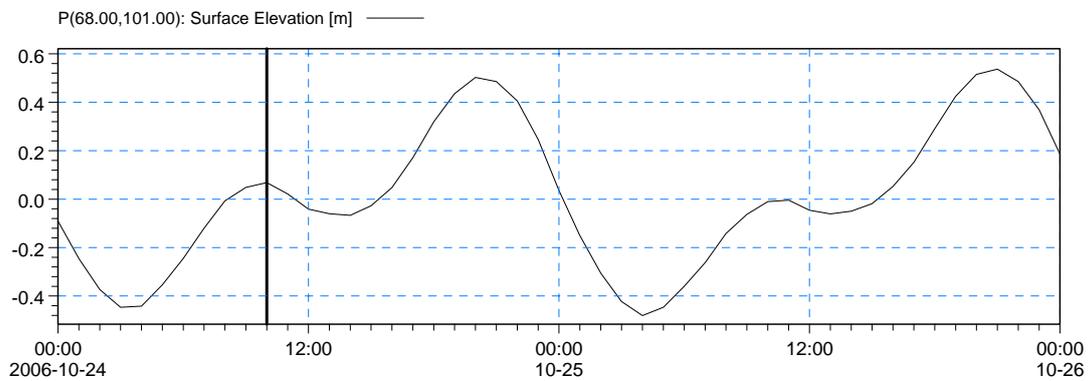
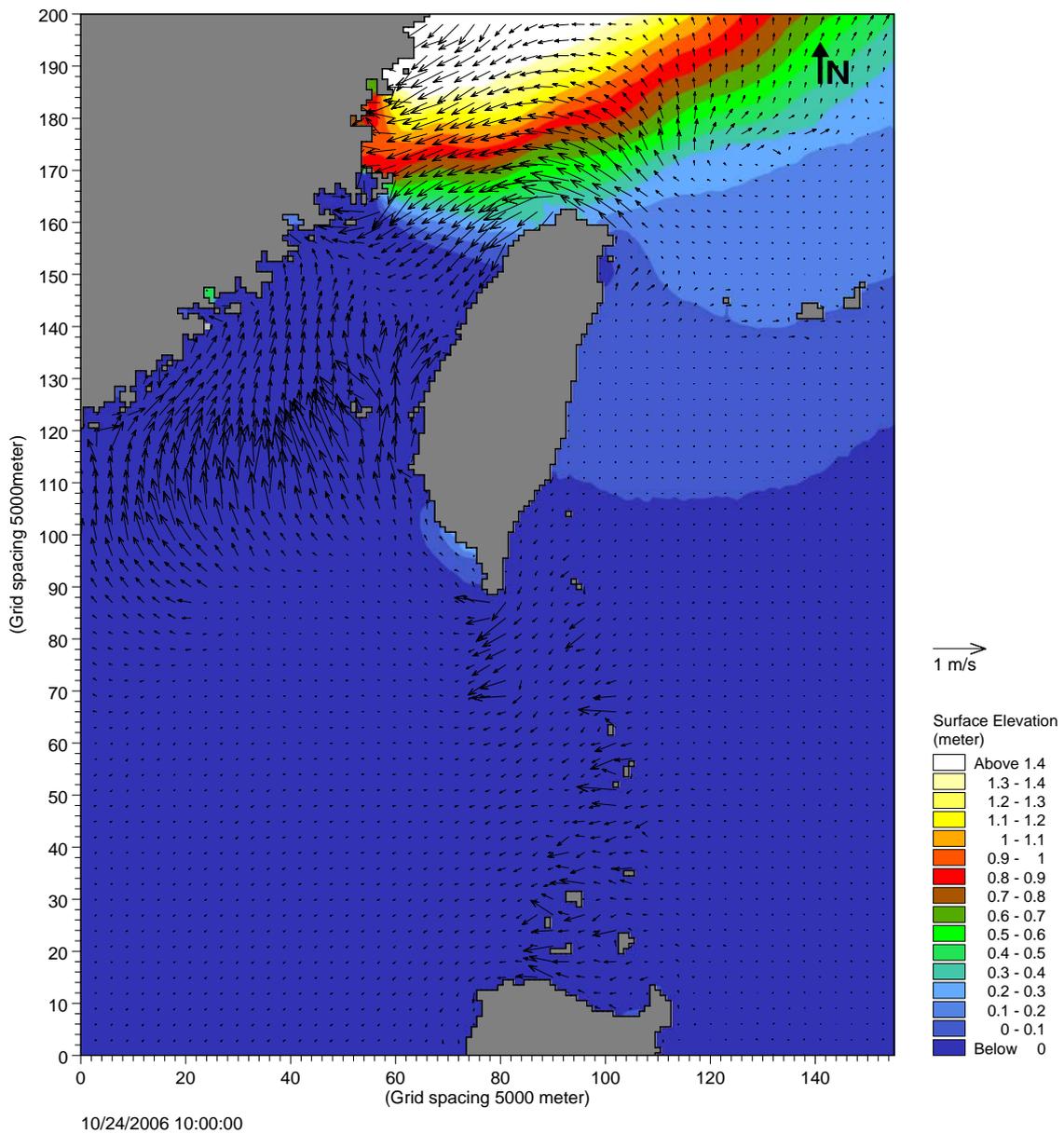


圖 4.1-2 臺灣附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/10/24 10:00:00

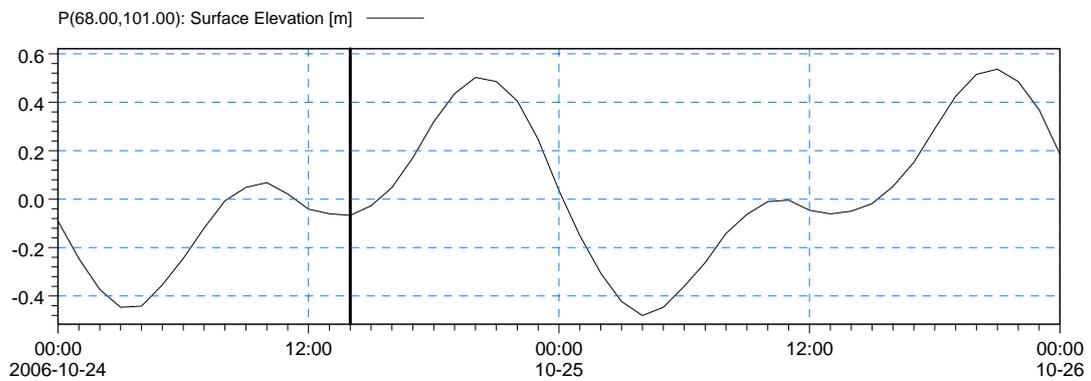
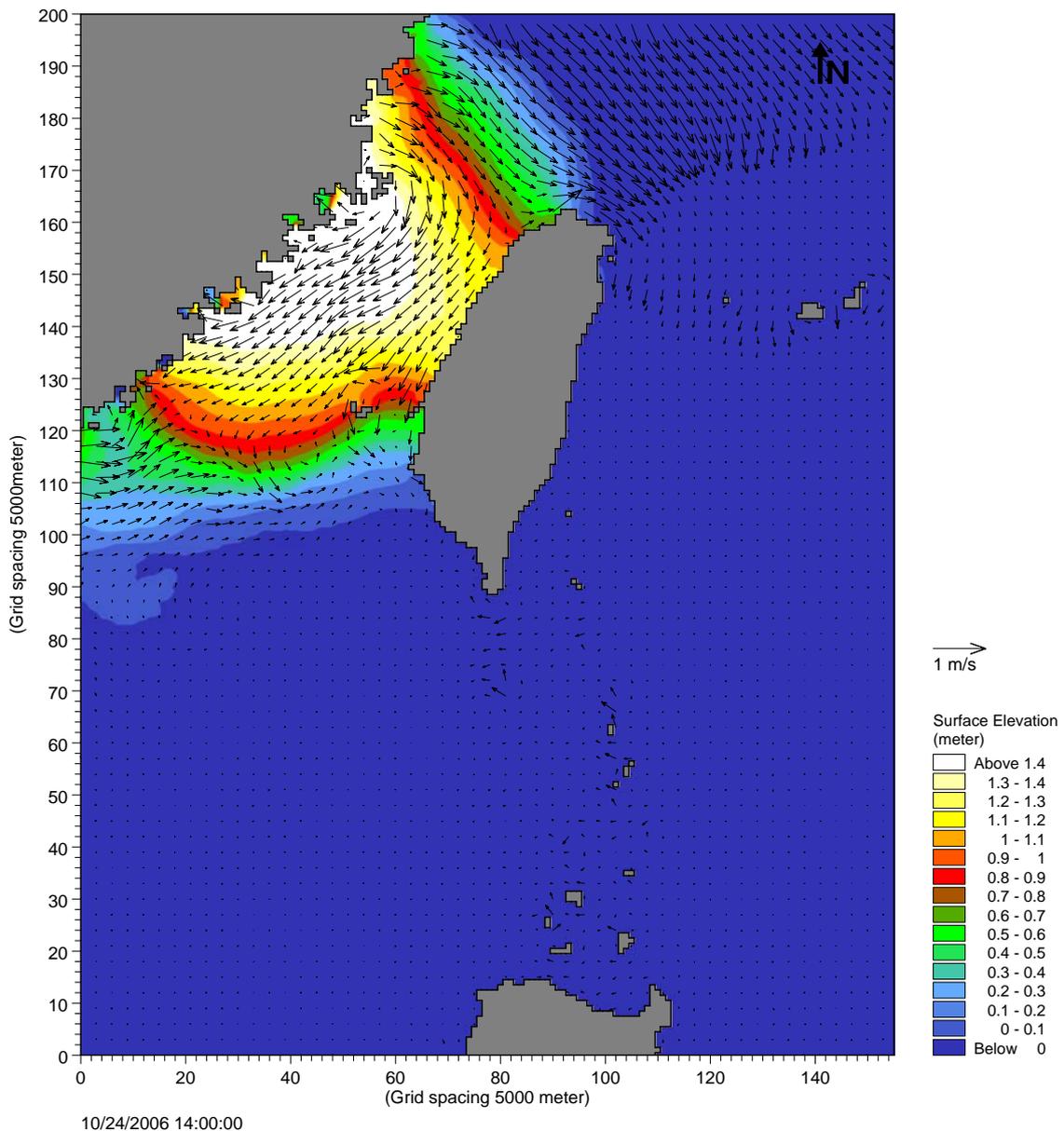


圖 4.1-3 臺灣附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/10/24 14:00:00

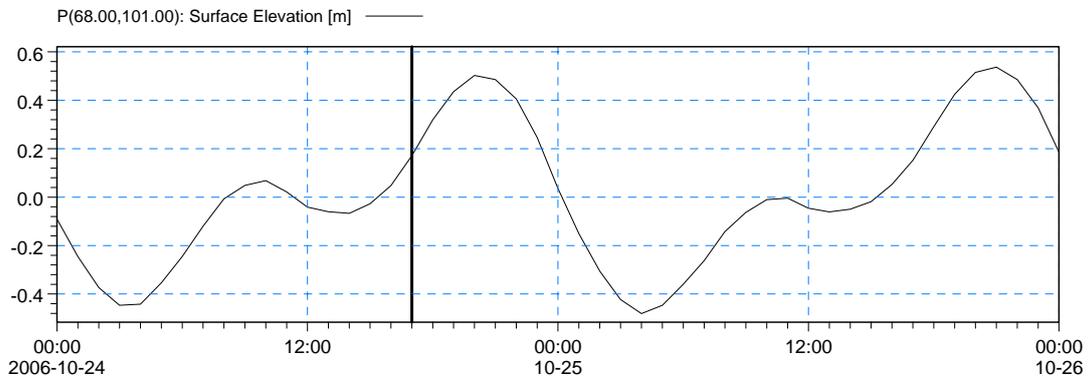
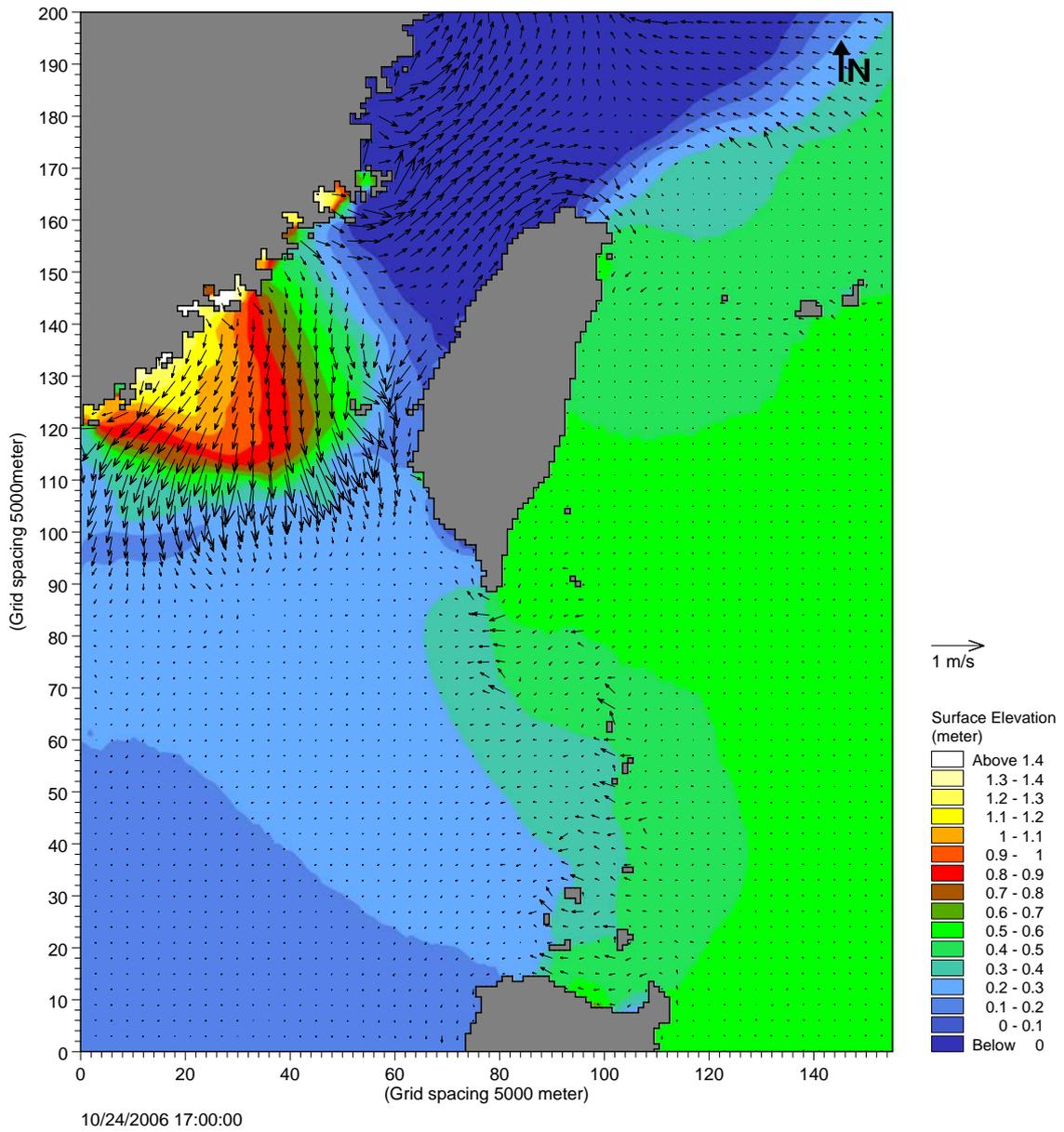


圖 4.1-4 臺灣附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/10/24 17:00:00

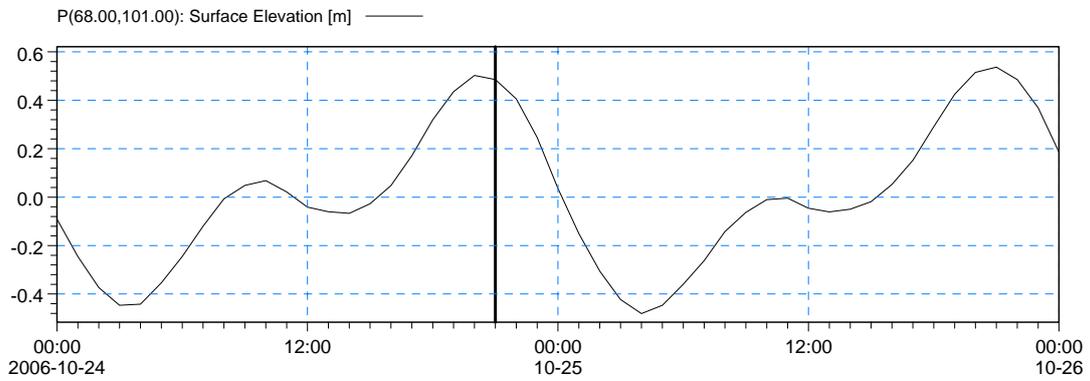
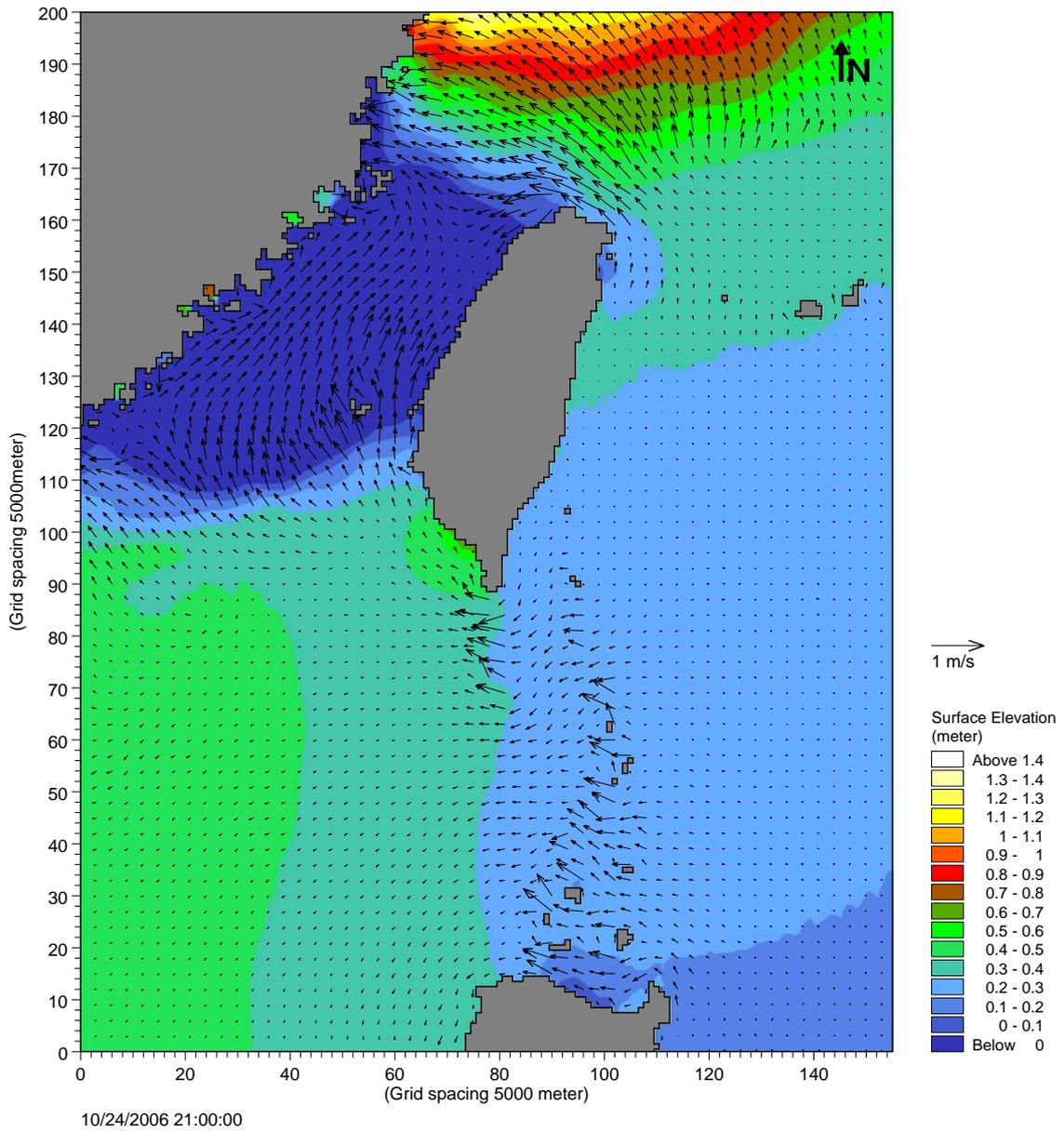


圖 4.1-5 臺灣附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/10/24 21:00:00

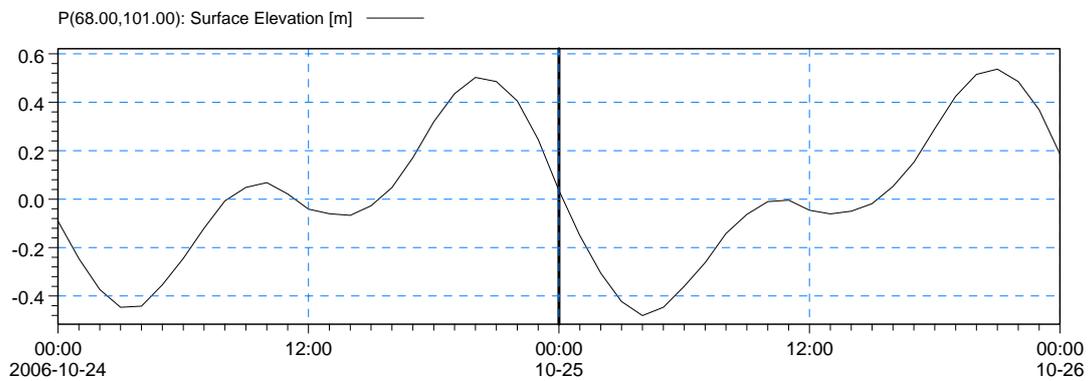
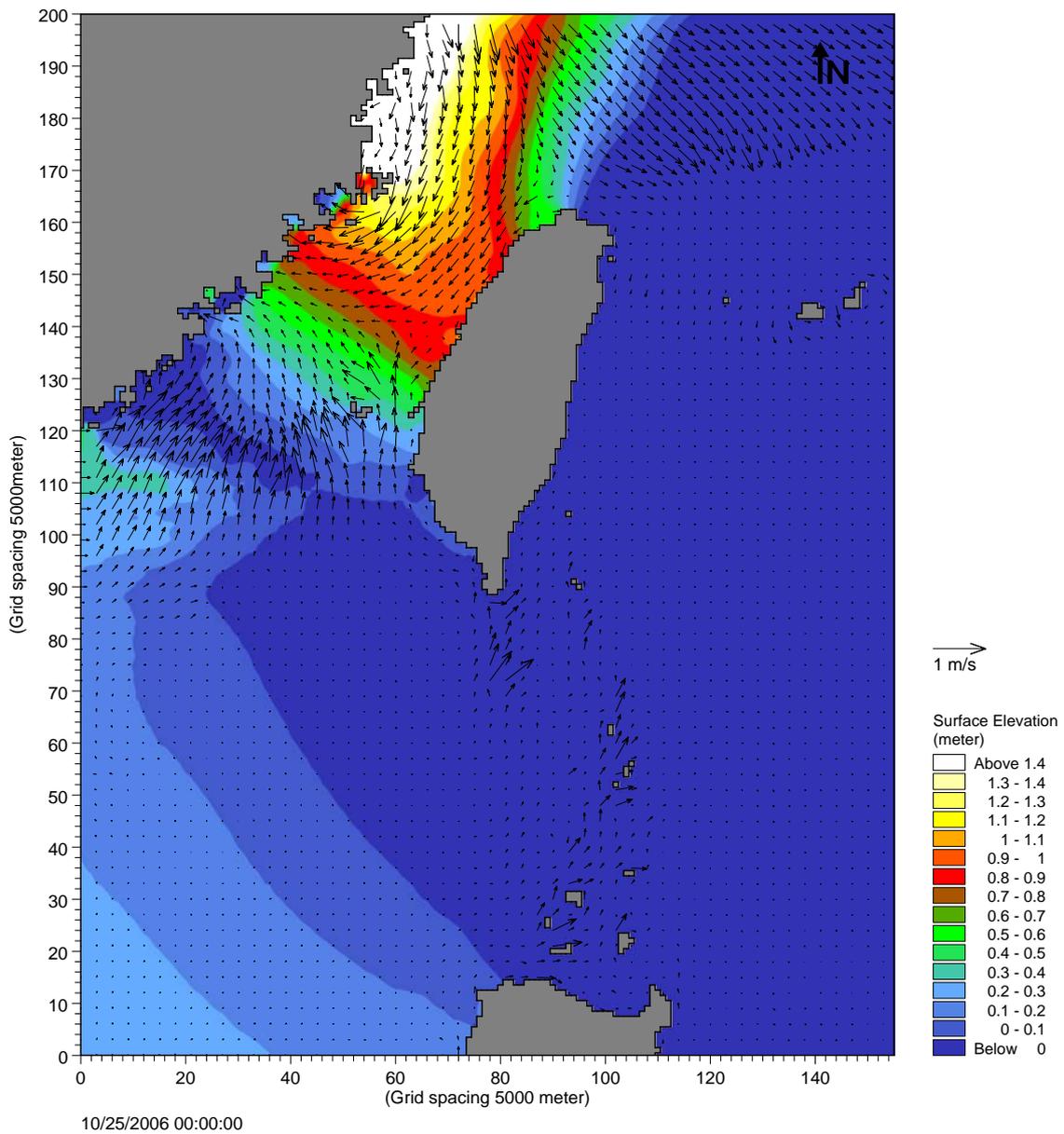


圖 4.1-6 臺灣附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/10/25 00:00:00

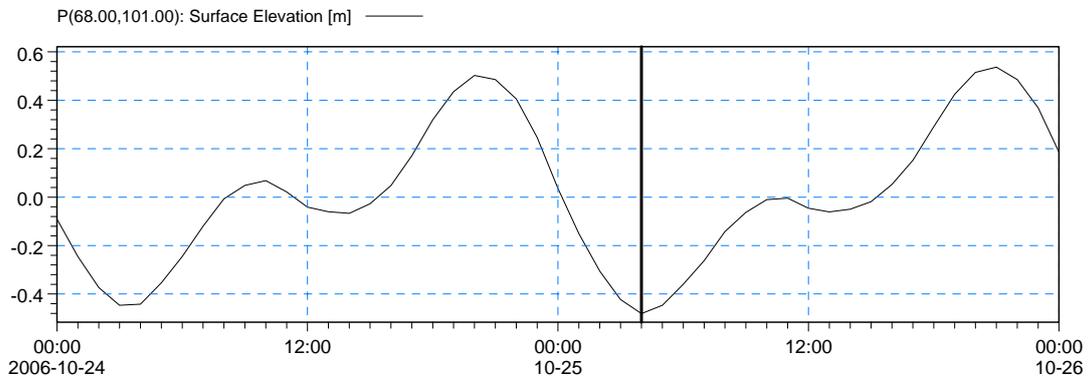
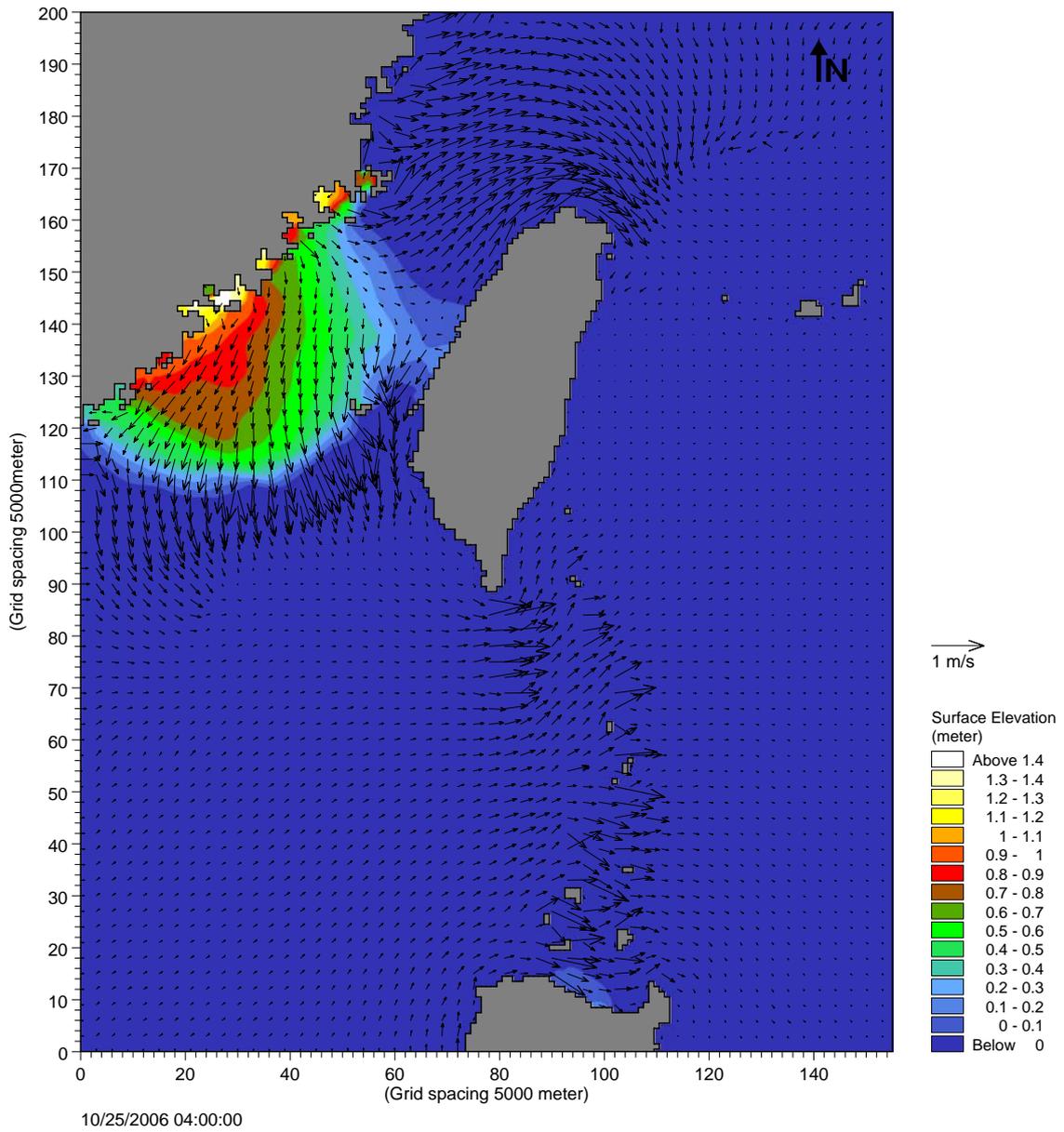


圖 4.1-7 臺灣附近海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/10/25 04:00:00

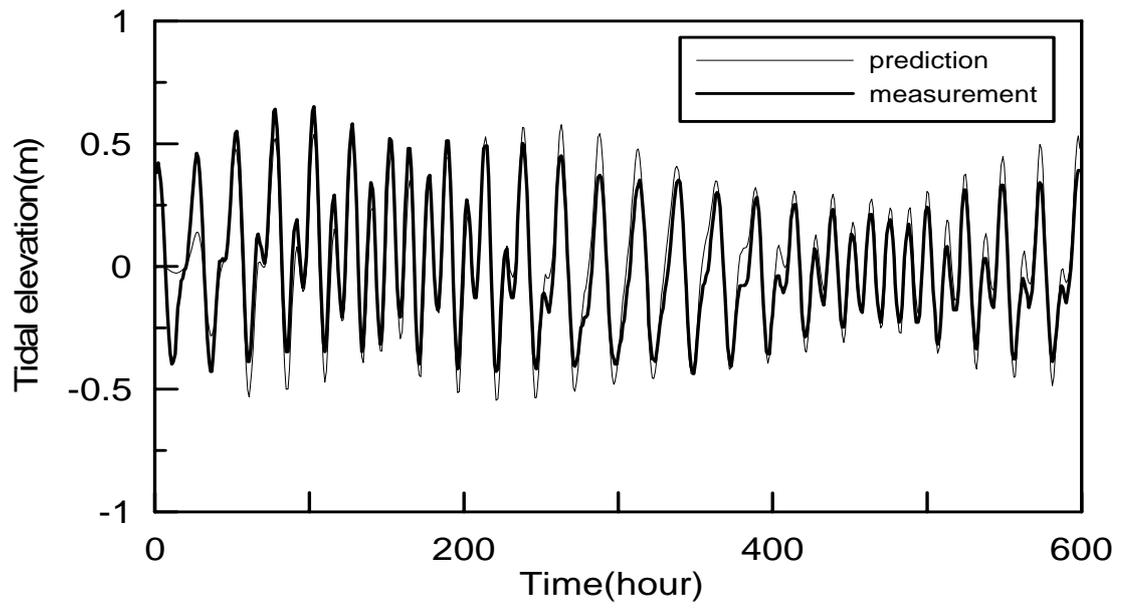


圖 4.1-8 高雄港潮位驗證

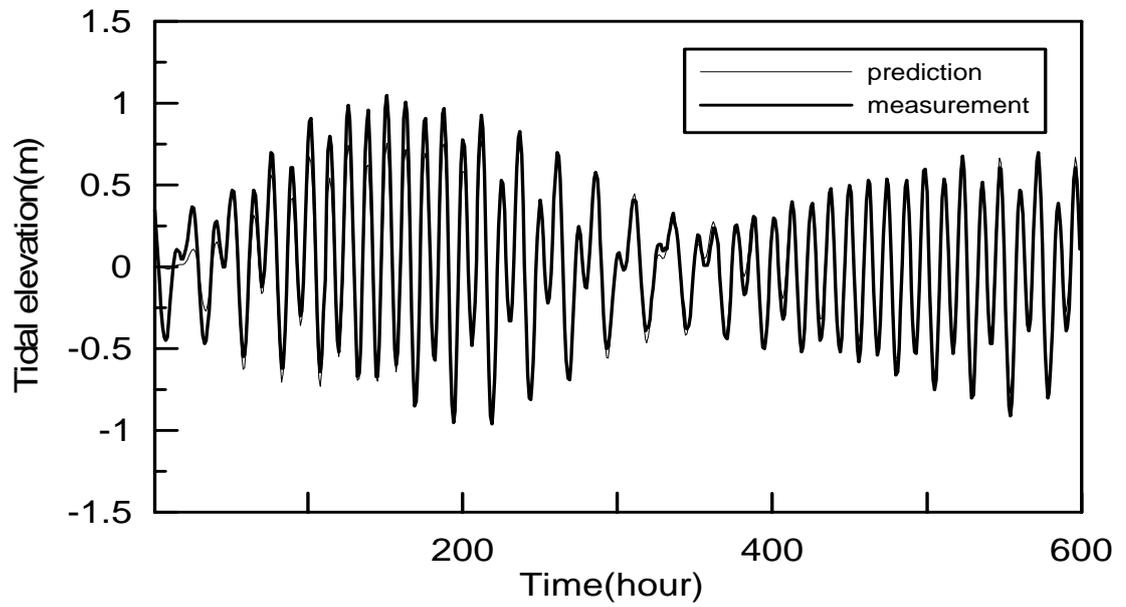
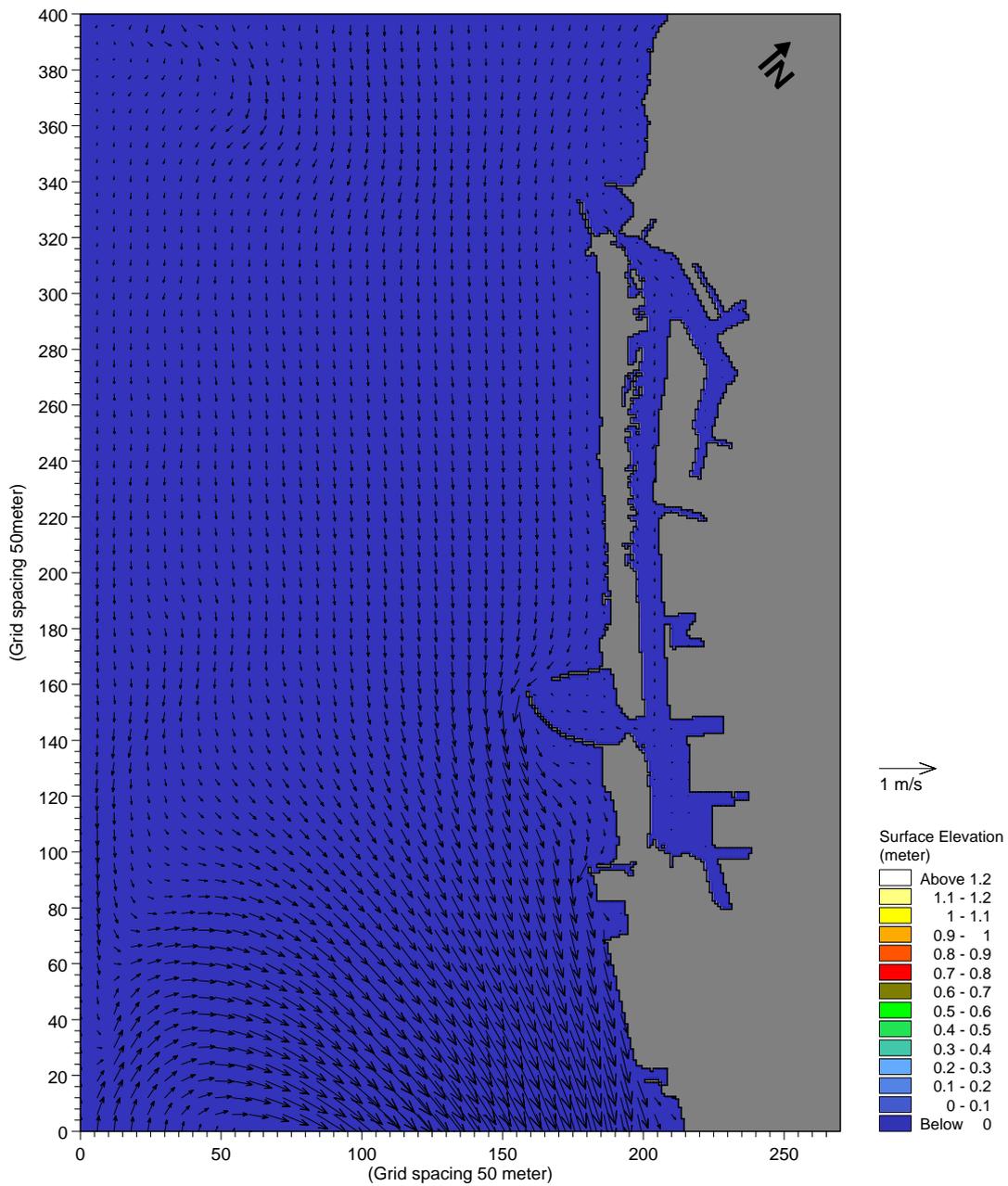


圖 4.1-9 花蓮港潮位驗證



10/24/2006 05:00:00

P(144.00,154.00): Surface Elevation [m] ———

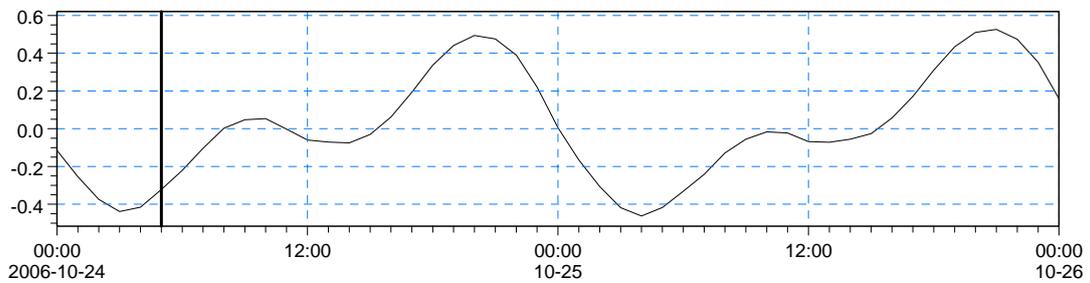
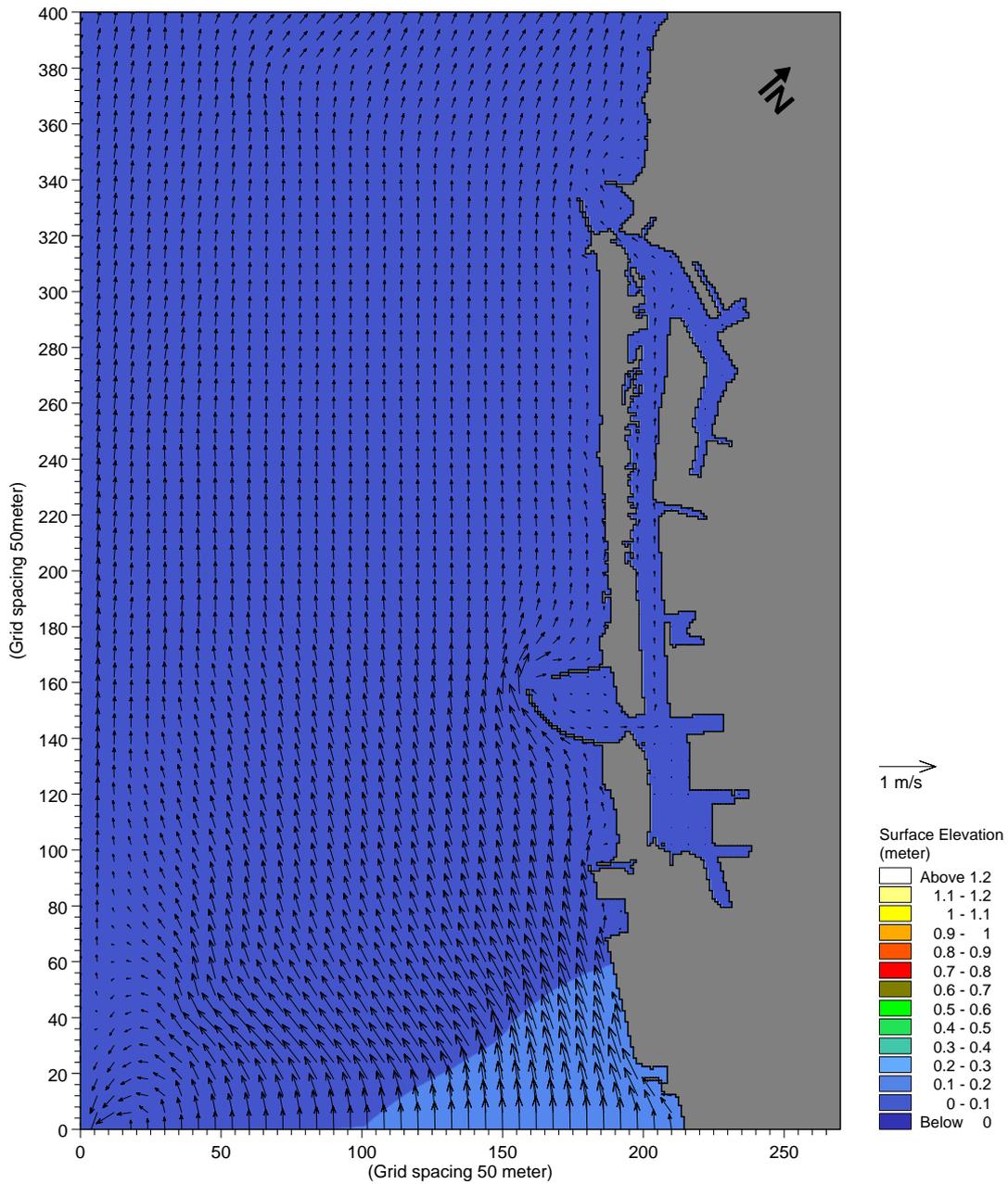


圖 4.2-1 高雄港現有海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/10/24 05:00:00



10/24/2006 10:00:00

P(144.00,154.00): Surface Elevation [m] ———

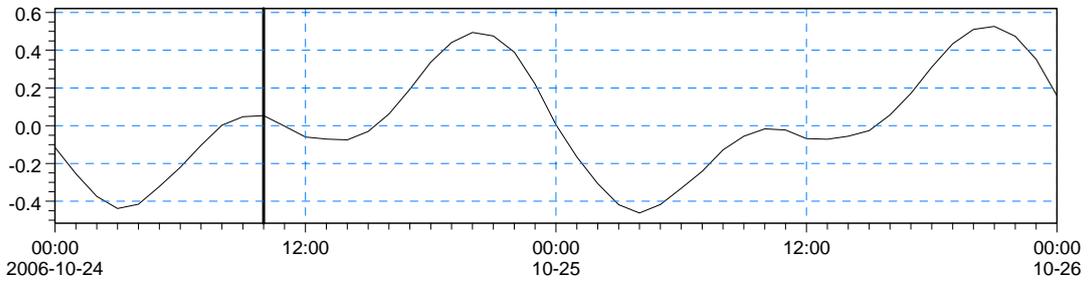
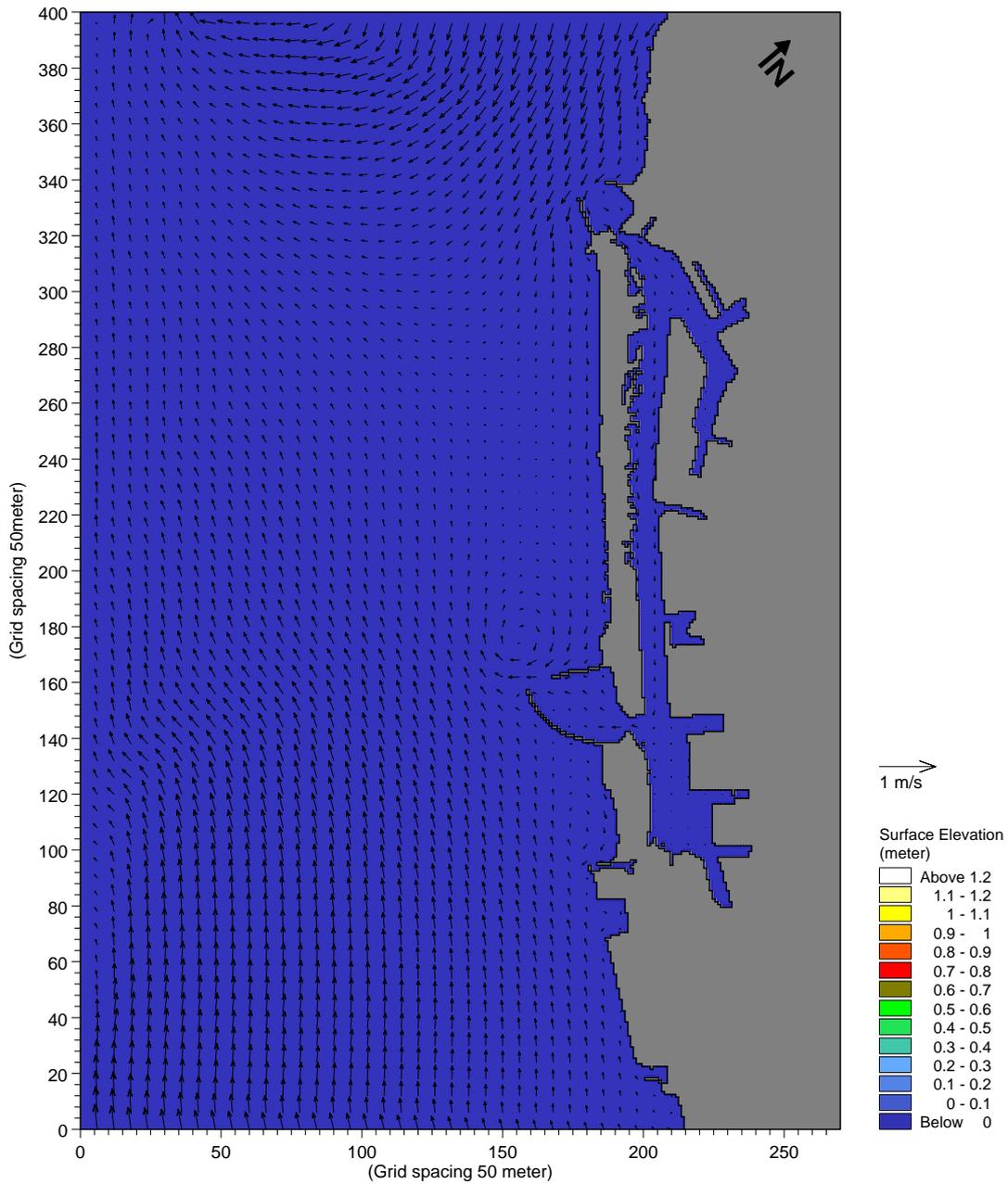


圖 4.2-2 高雄港現有海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/10/24
10:00:00



10/24/2006 14:00:00

P(144.00,154.00): Surface Elevation [m] ———

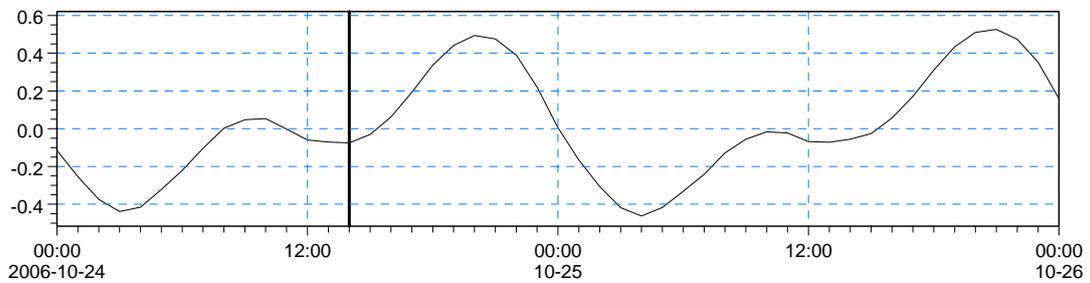


圖 4.2-3 高雄港現有海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/10/24 14:00:00

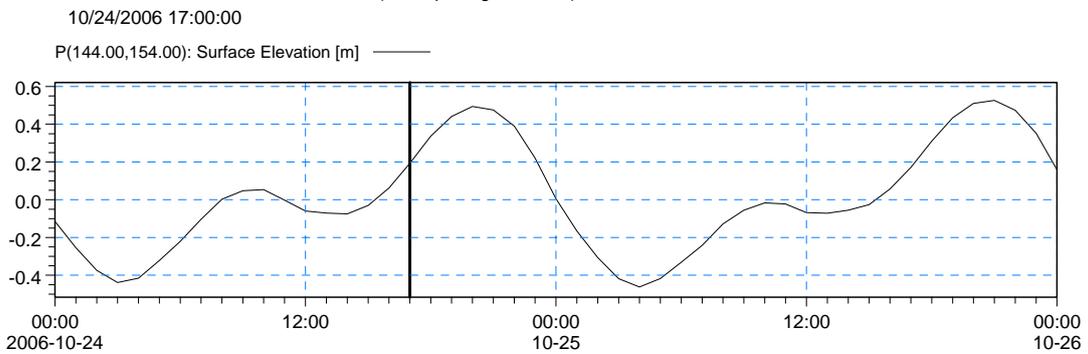
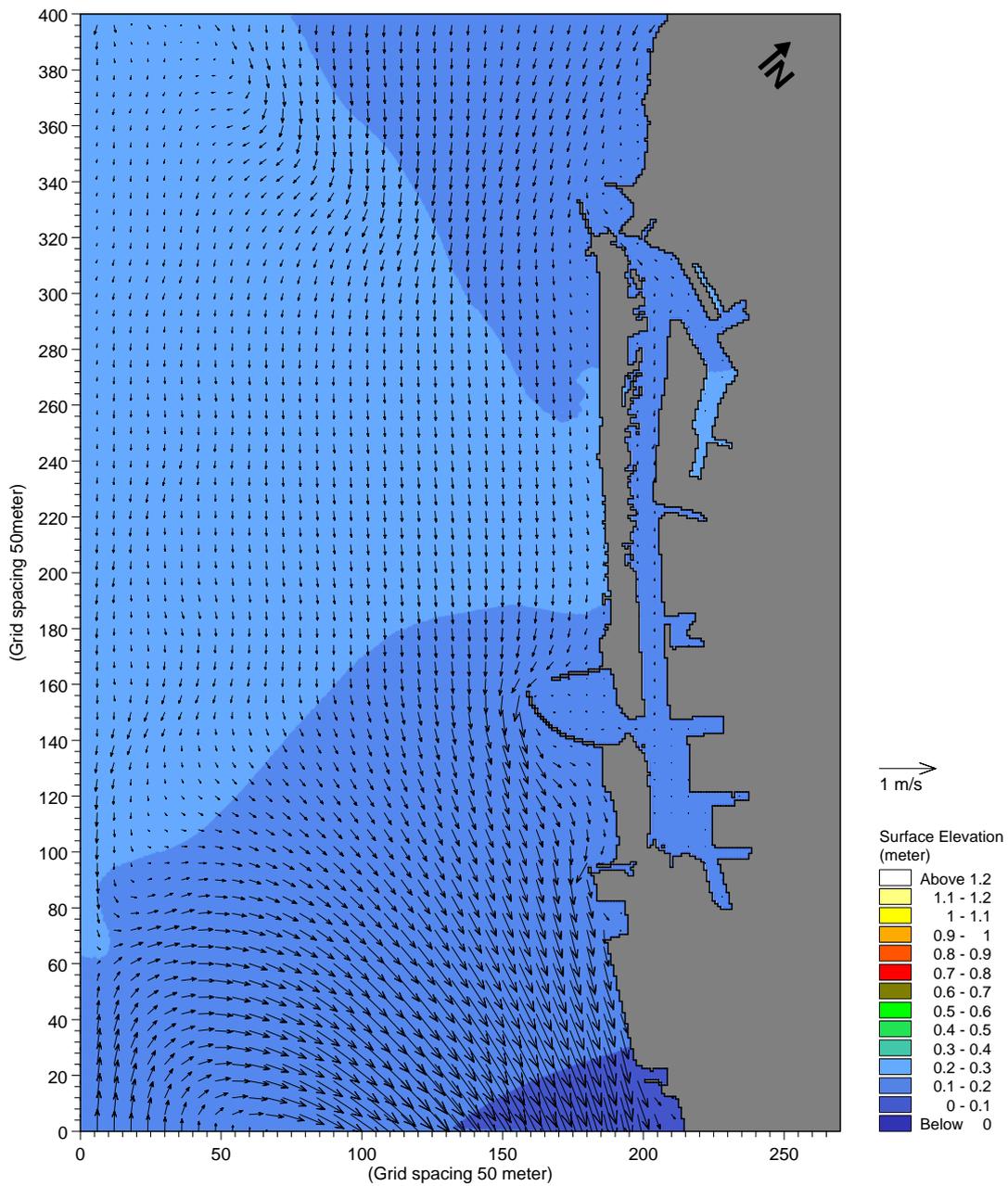
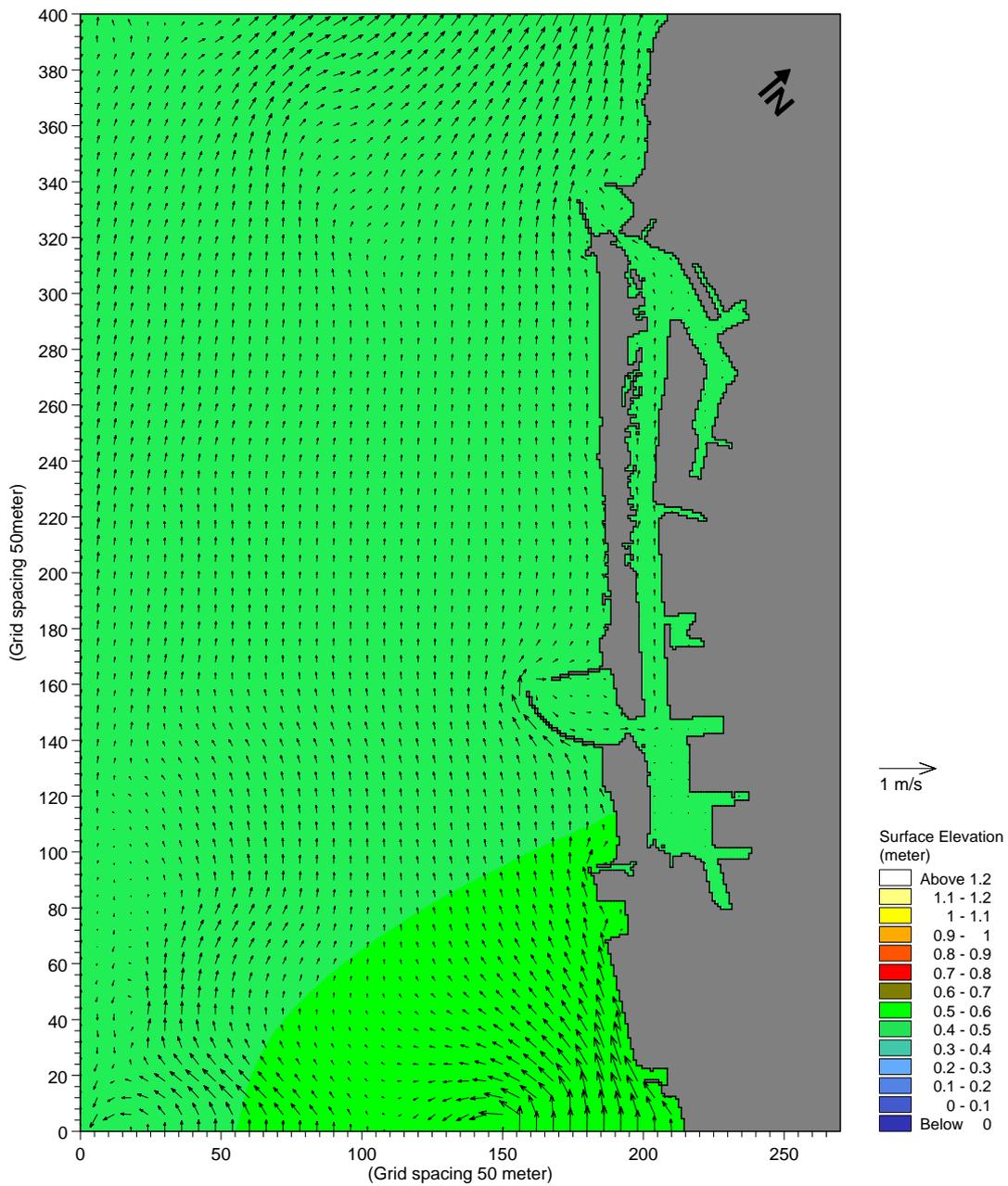


圖 4.2-4 高雄港現有海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/10/24 17:00:00



10/24/2006 21:00:00

P(144.00,154.00): Surface Elevation [m] ———

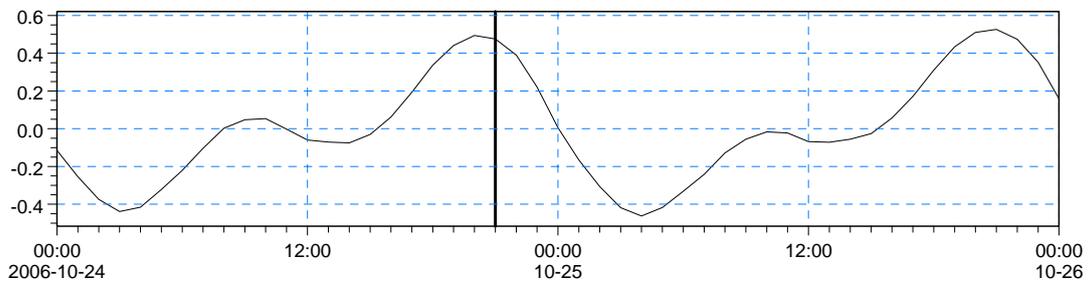
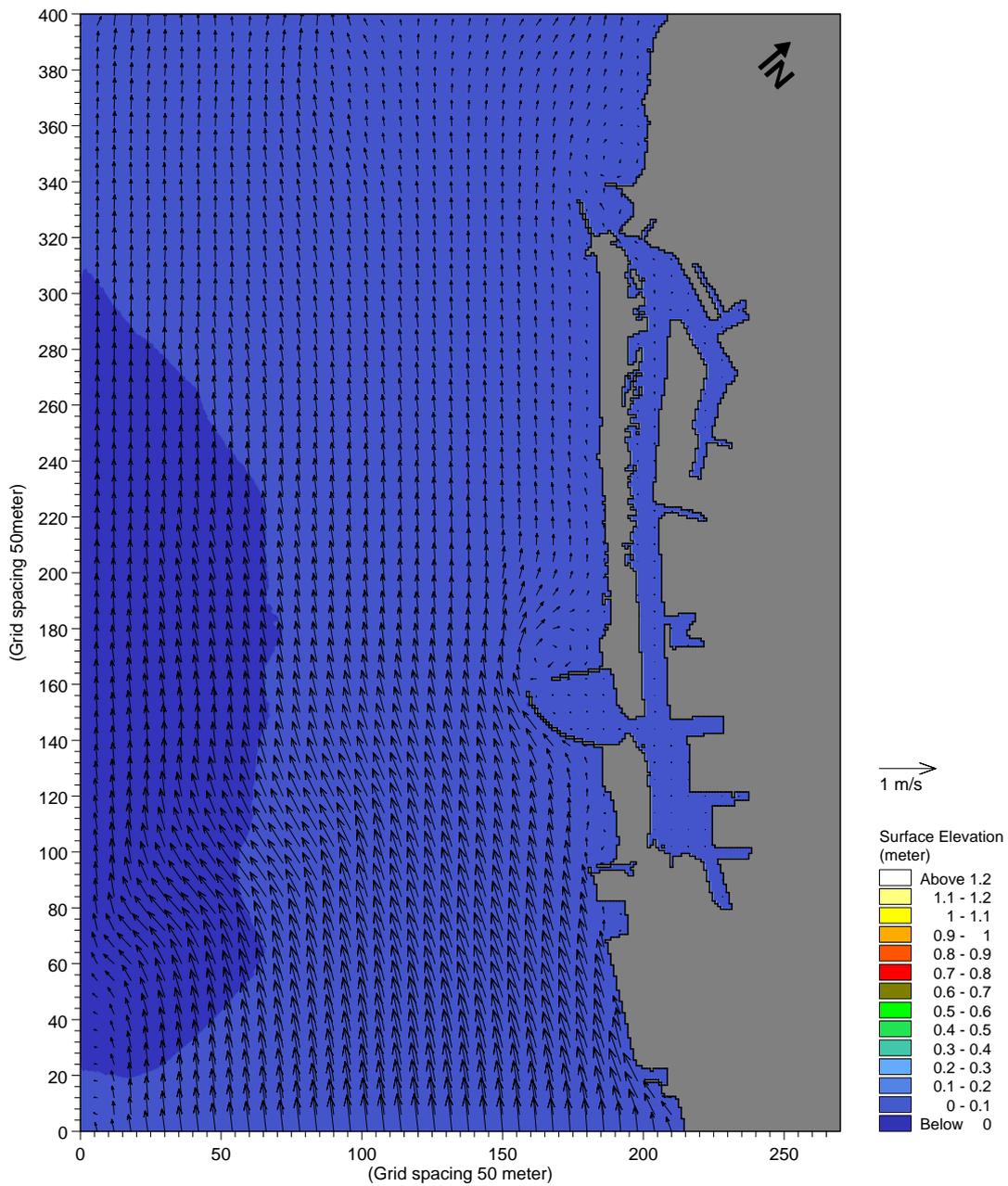


圖 4.2-5 高雄港現有海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/10/24 21:00:00



10/25/2006 00:00:00

P(144.00,154.00): Surface Elevation [m] ———

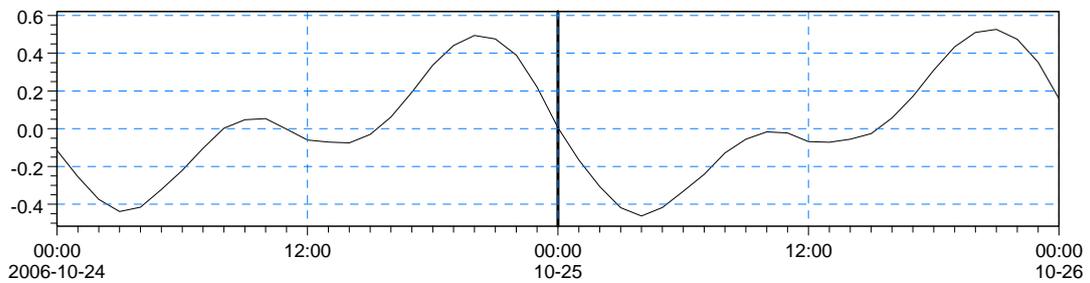
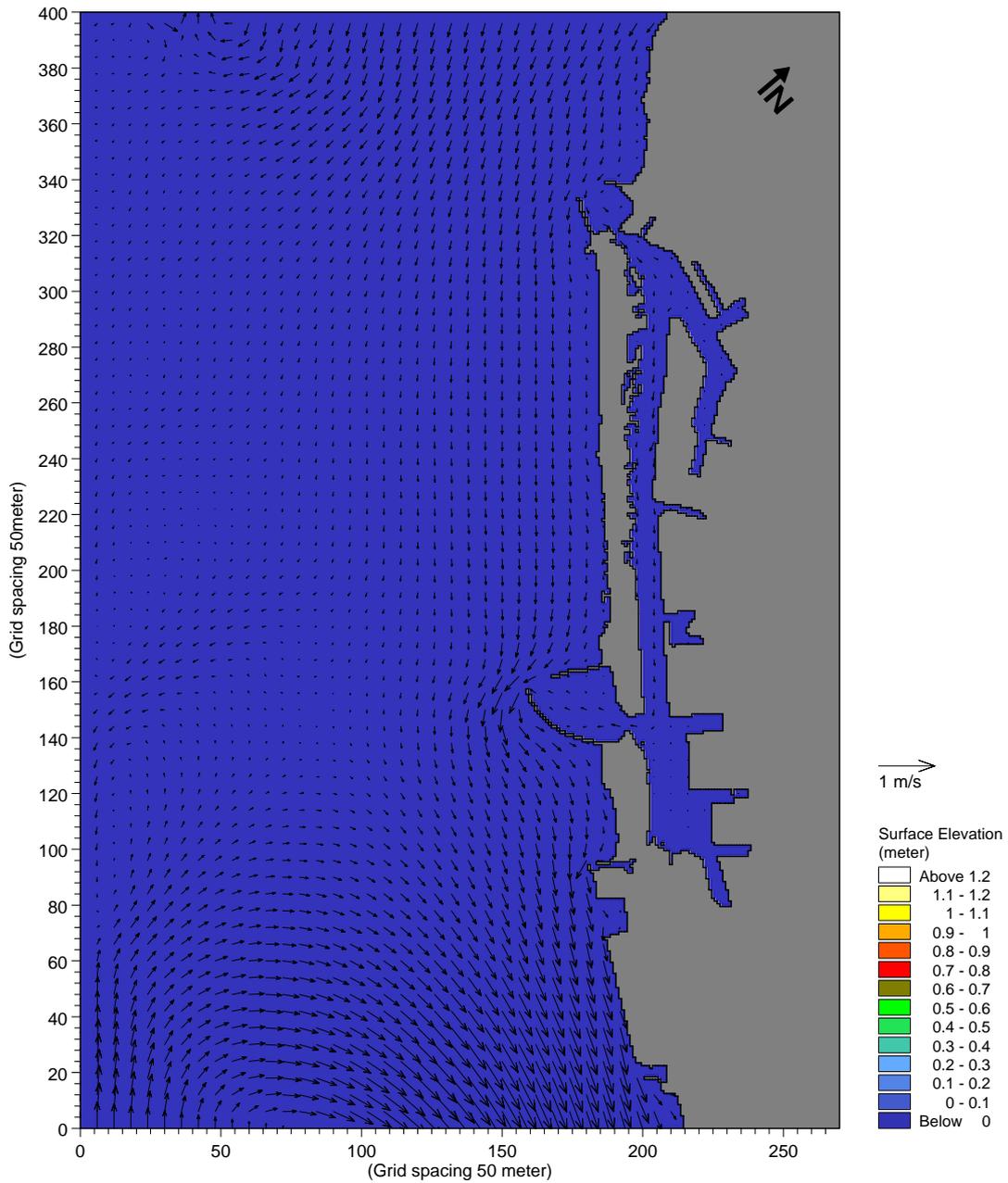


圖 4.2-6 高雄港現有海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/10/25 00:00:00



10/25/2006 04:00:00

P(144.00,154.00): Surface Elevation [m] ———

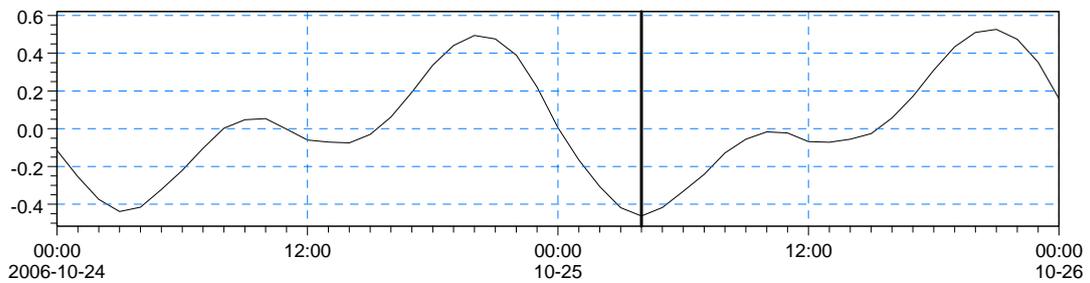


圖 4.2-7 高雄港現有海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/10/25
04:00:00

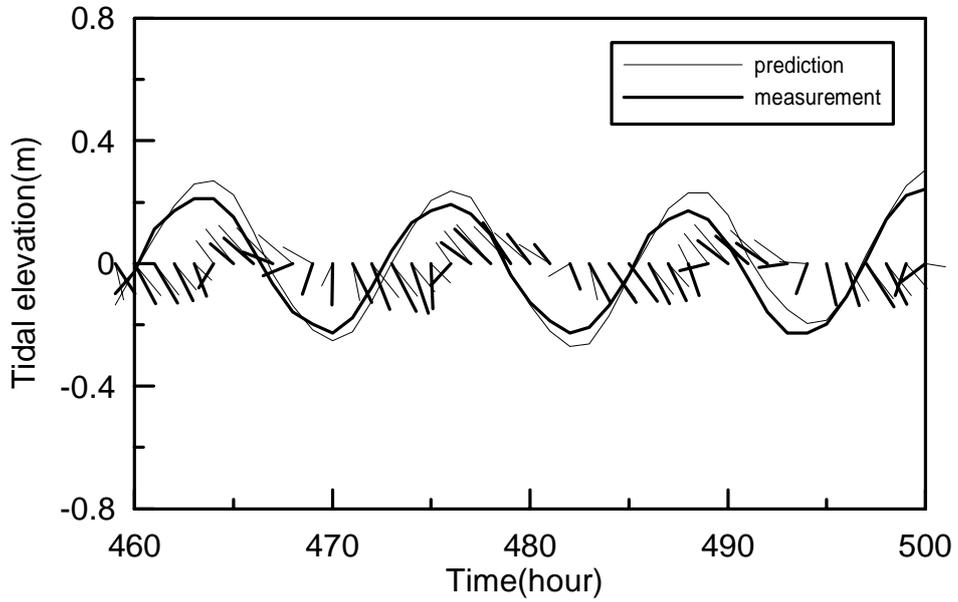


圖 4.2-8 高雄港現有海域潮位及潮流驗證(日潮不等較小時)

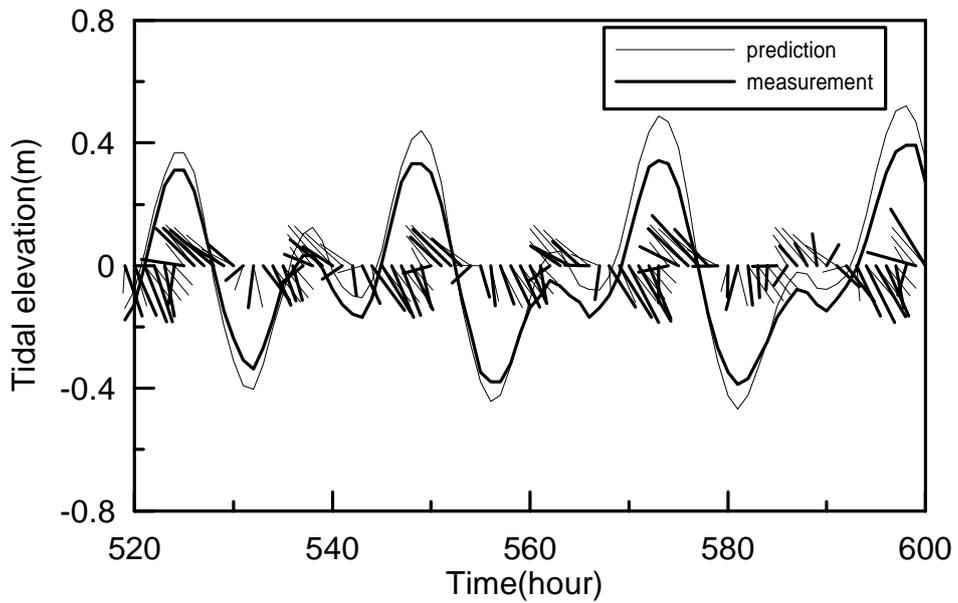


圖 4.2-9 高雄港現有海域潮位及潮流驗證(日潮不等較大時)

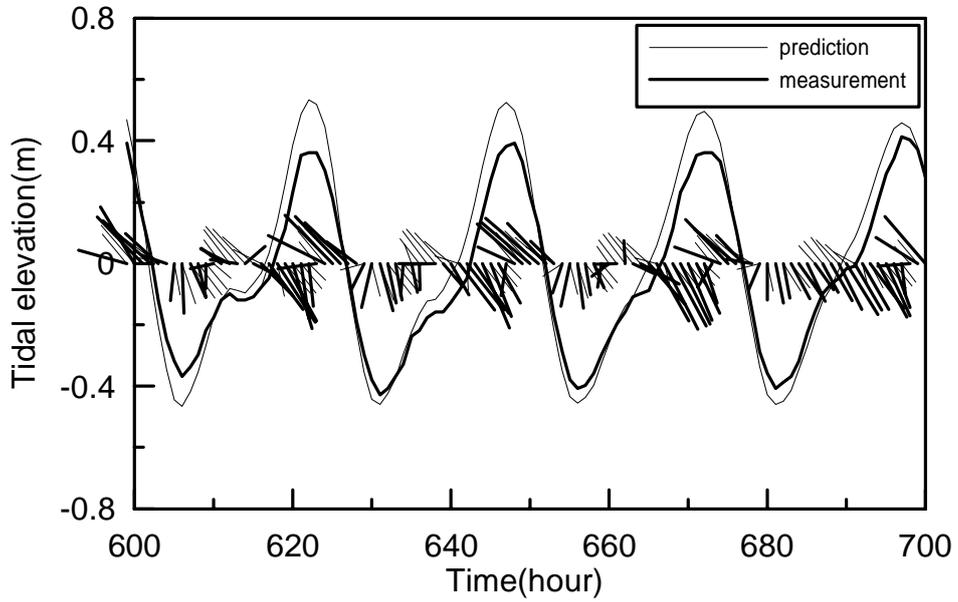


圖 4.2-10 高雄港現有海域潮位及潮流驗證(全日潮)

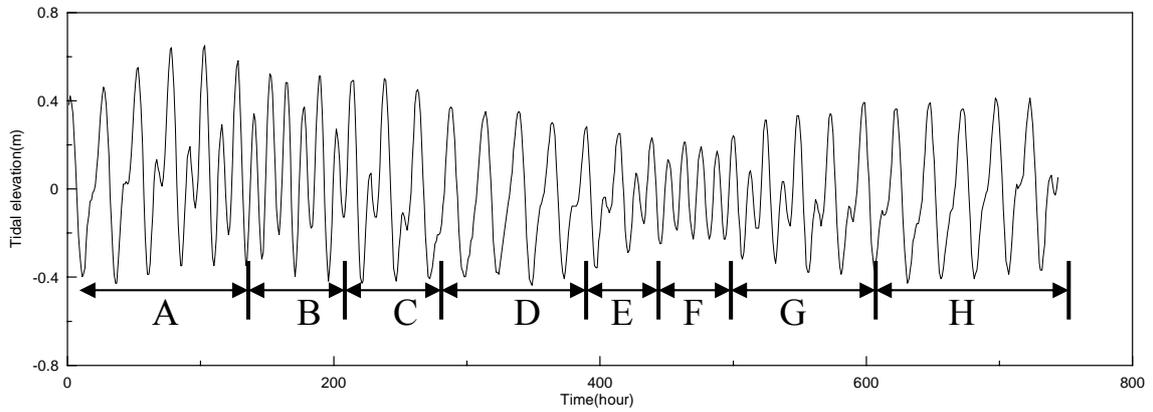


圖 4.2-11 不同高雄港的潮位特性及其區段代號示意圖

表 4.2-1 高雄港各區段流向模擬正確性

潮位	潮型	區段代號	±22.5°	±45°
大潮	日潮不等較大	A	38%	49%
	日潮不等較小	B	50%	63%
	日潮不等較大	C	45%	59%
	全日潮	D	38%	61%
小潮	日潮不等較大	E	56%	67%
	日潮不等較小	F	66%	79%
	日潮不等較大	G	60%	79%
	全日潮	H	43%	63%

表 4.2-2 高雄港各種潮型流向模擬正確性

潮型	±22.5°	±45°
日潮不等較大	50%	64%
日潮不等較小	58%	71%
全日潮	41%	62%
全部潮型	48%	64%

表 4.2-3 高雄港模擬與實測流速的比較

潮型	流速(cm/sec)				
		模擬	實測	誤差	誤差百分比
日潮不等較大	最大	51.73	98.16	46.43	47%
	最小	1.06	1.03	0.03	3%
	平均	24.18	28.88	4.7	16%
日潮不等較小	最大	54.49	49.80	4.69	9%
	最小	1.09	1.68	0.59	35%
	平均	28.66	23.19	5.47	24%
全日潮	最大	40.49	76.83	36.34	47%
	最小	0.37	2.27	1.9	84%
	平均	14.92	33.20	18.28	55%

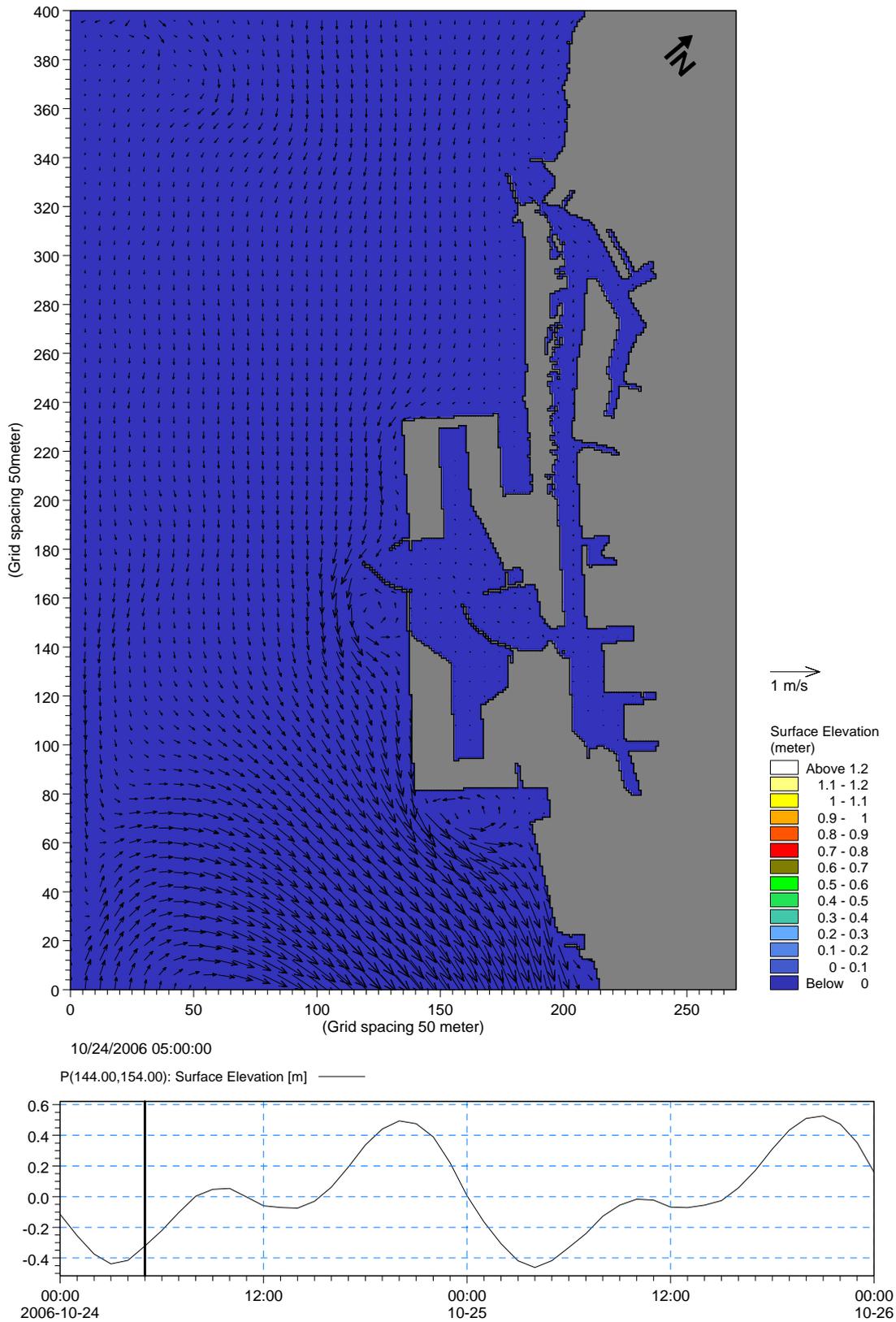


圖 4.2-12 高雄港未來擴建後海域潮流分布，參考潮位：高雄港，
2006/10/24 05:00:00

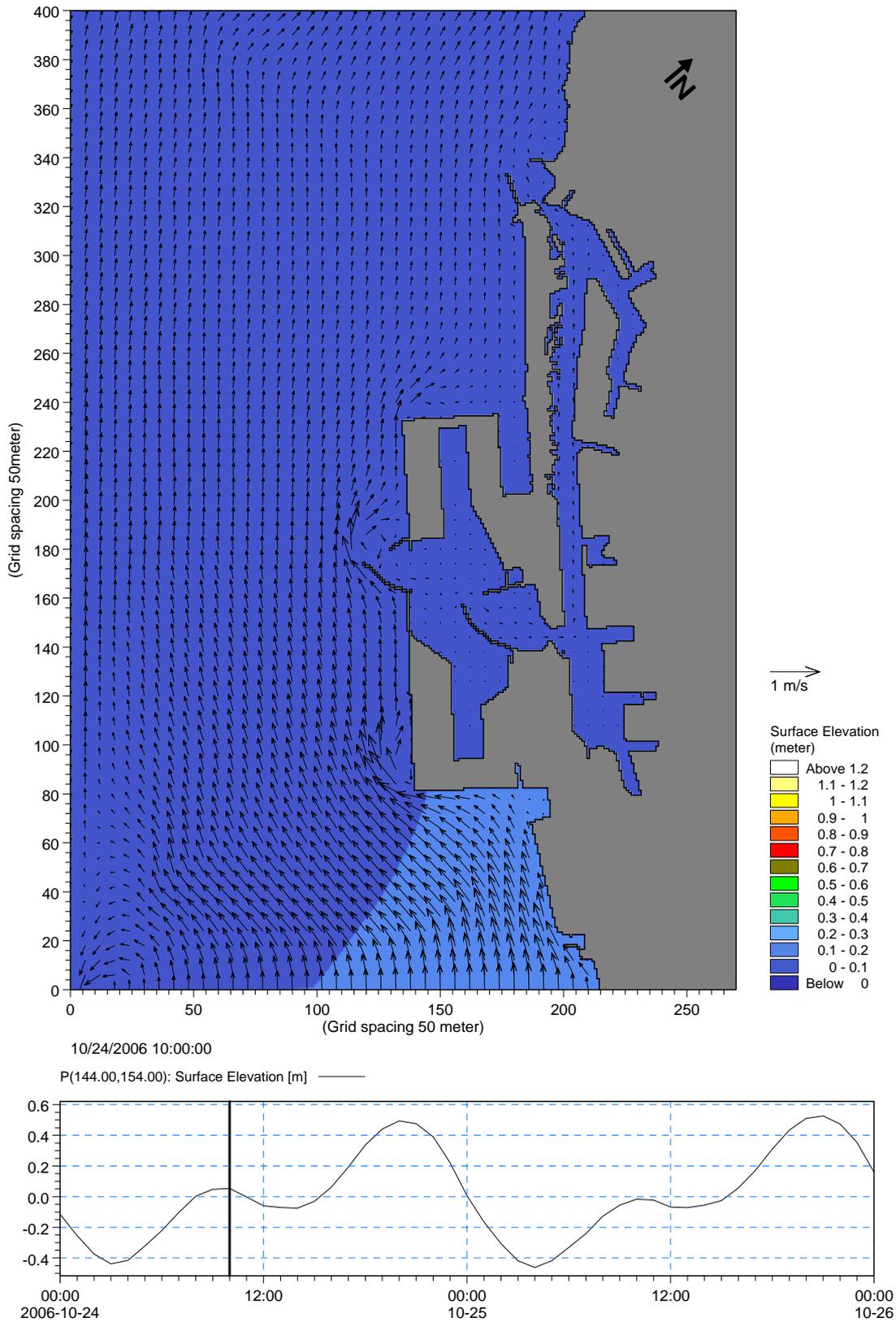


圖 4.2-13 高雄港未來擴建後海域潮流分布，參考潮位：高雄港，
2006/10/24 10:00:00

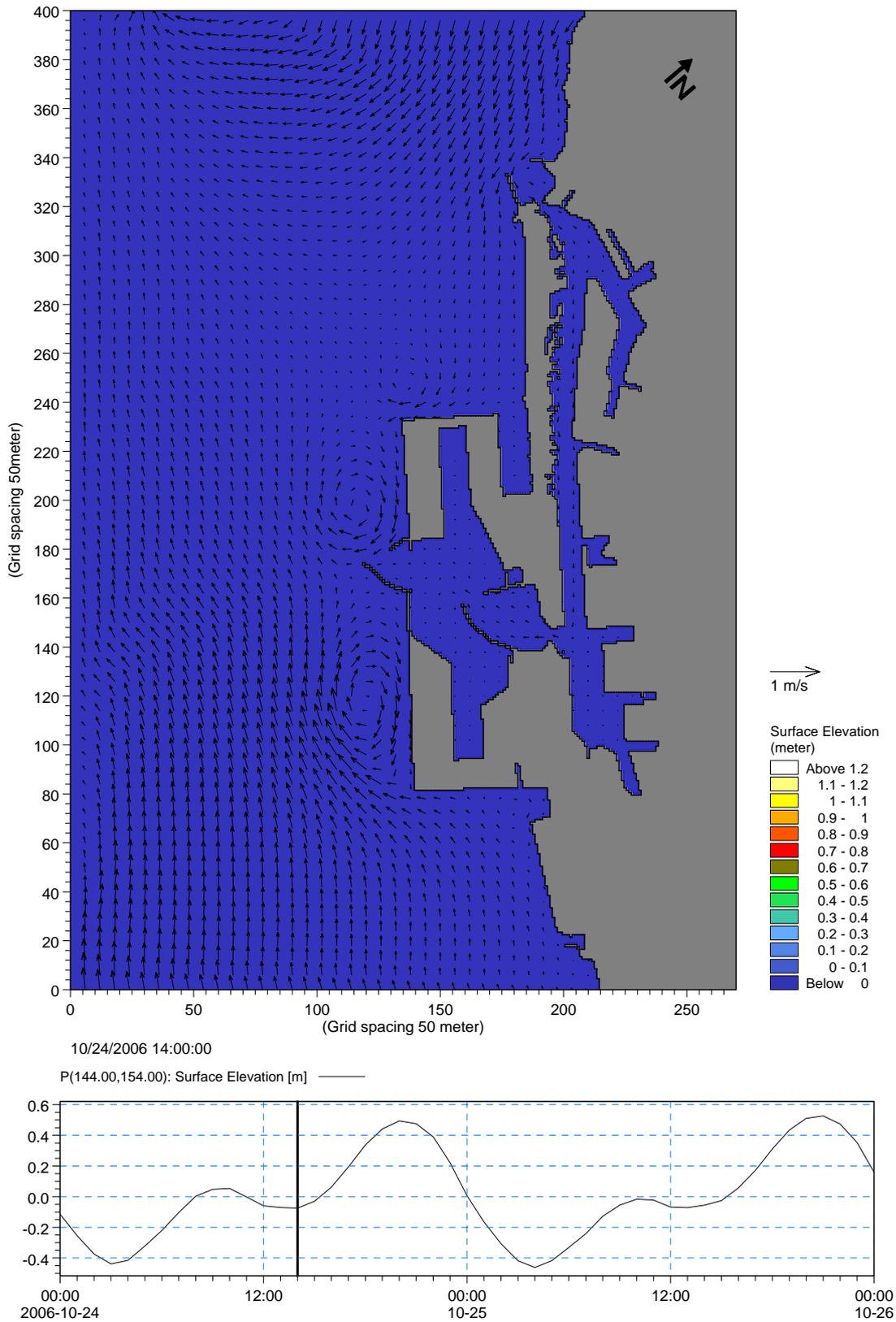


圖 4.2-14 高雄港未來擴建後海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/10/24 14:00:00

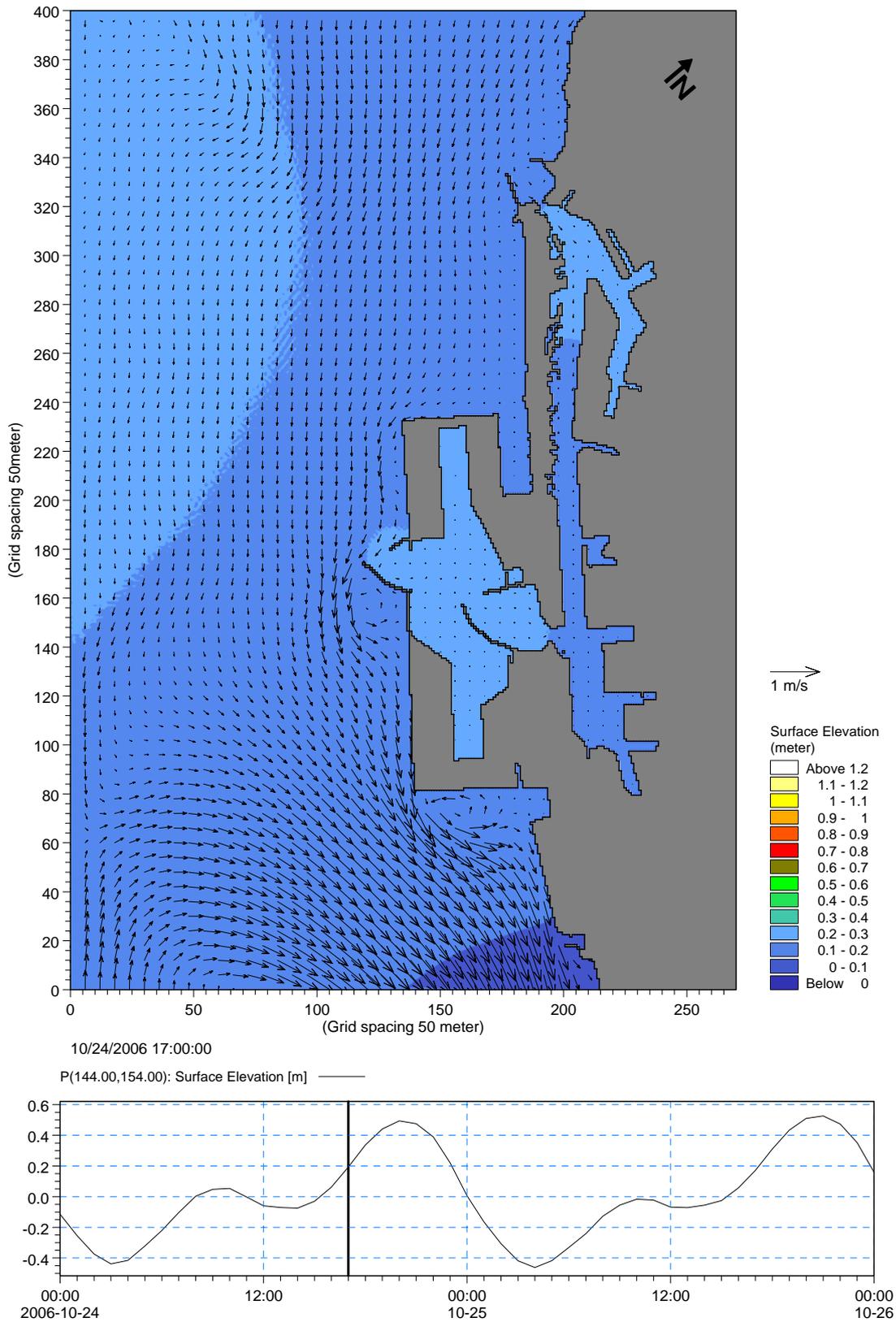


圖 4.2-15 高雄港未來擴建後海域潮流分布，參考潮位：高雄港，
2006/10/24 17:00:00

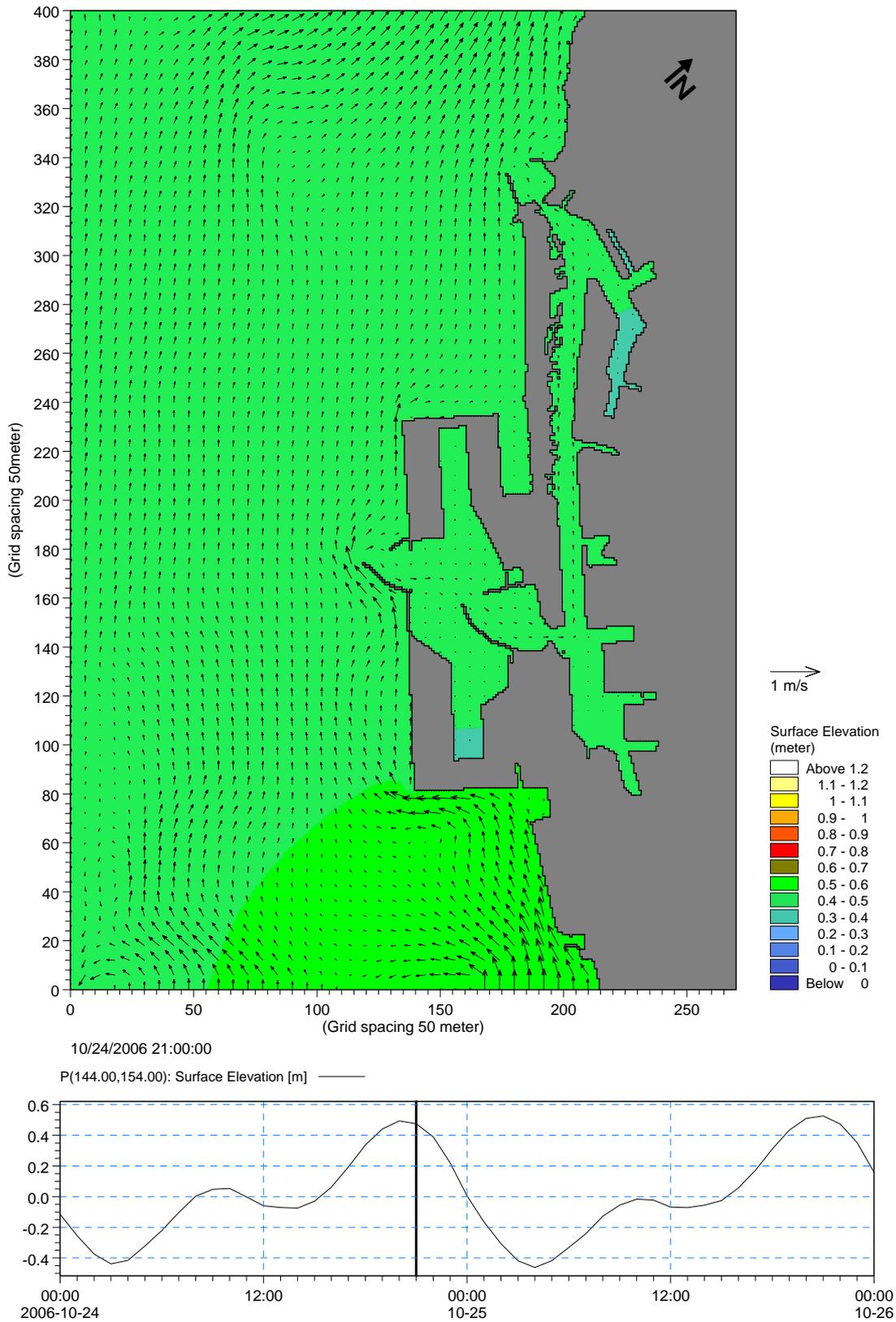


圖 4.2-16 高雄港未來擴建後海域潮流分布，參考潮位：高雄港，
2006/10/24 21:00:00

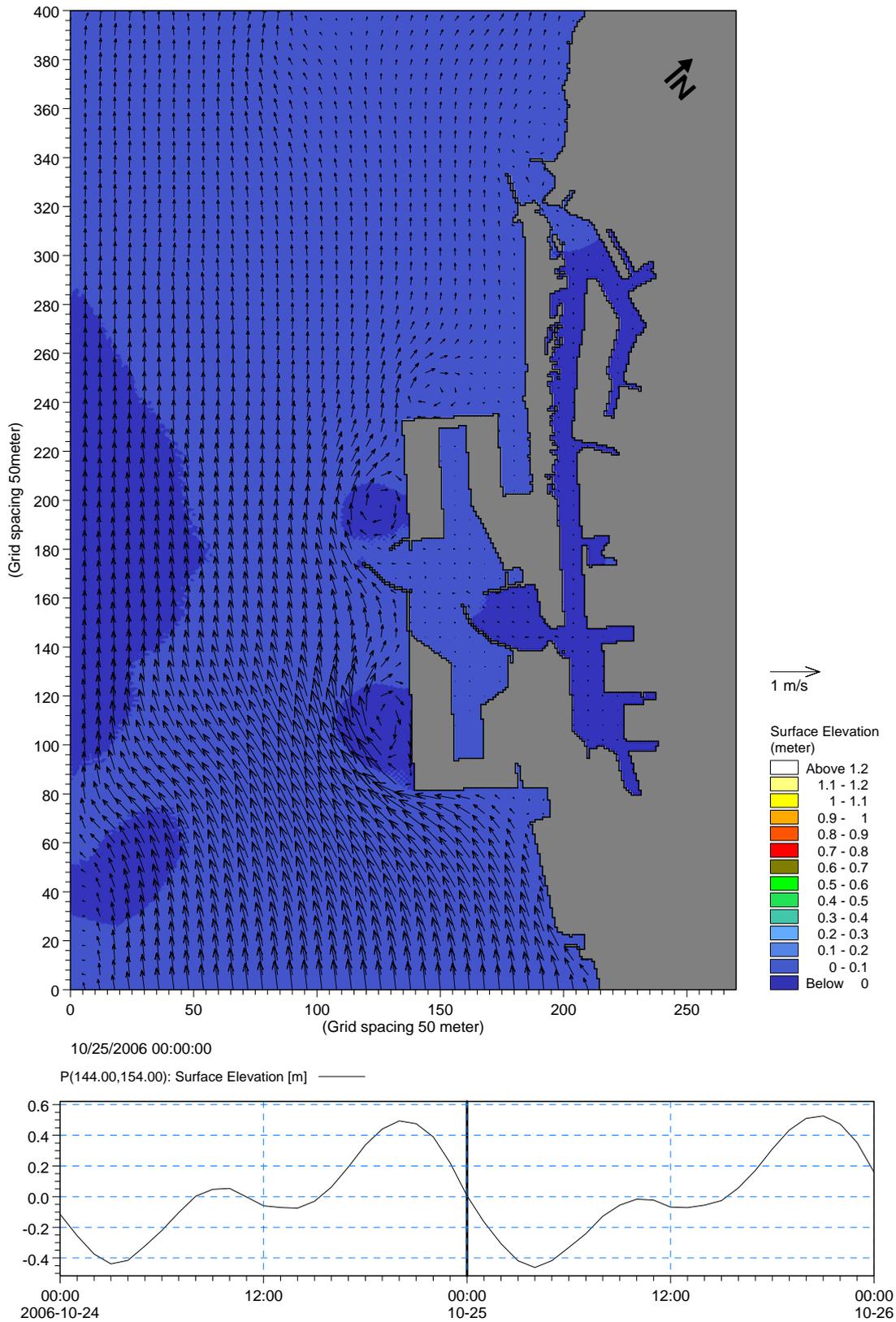


圖 4.2-17 高雄港未來擴建後海域潮流分布，參考潮位：高雄港，
2006/10/25 00:00:00

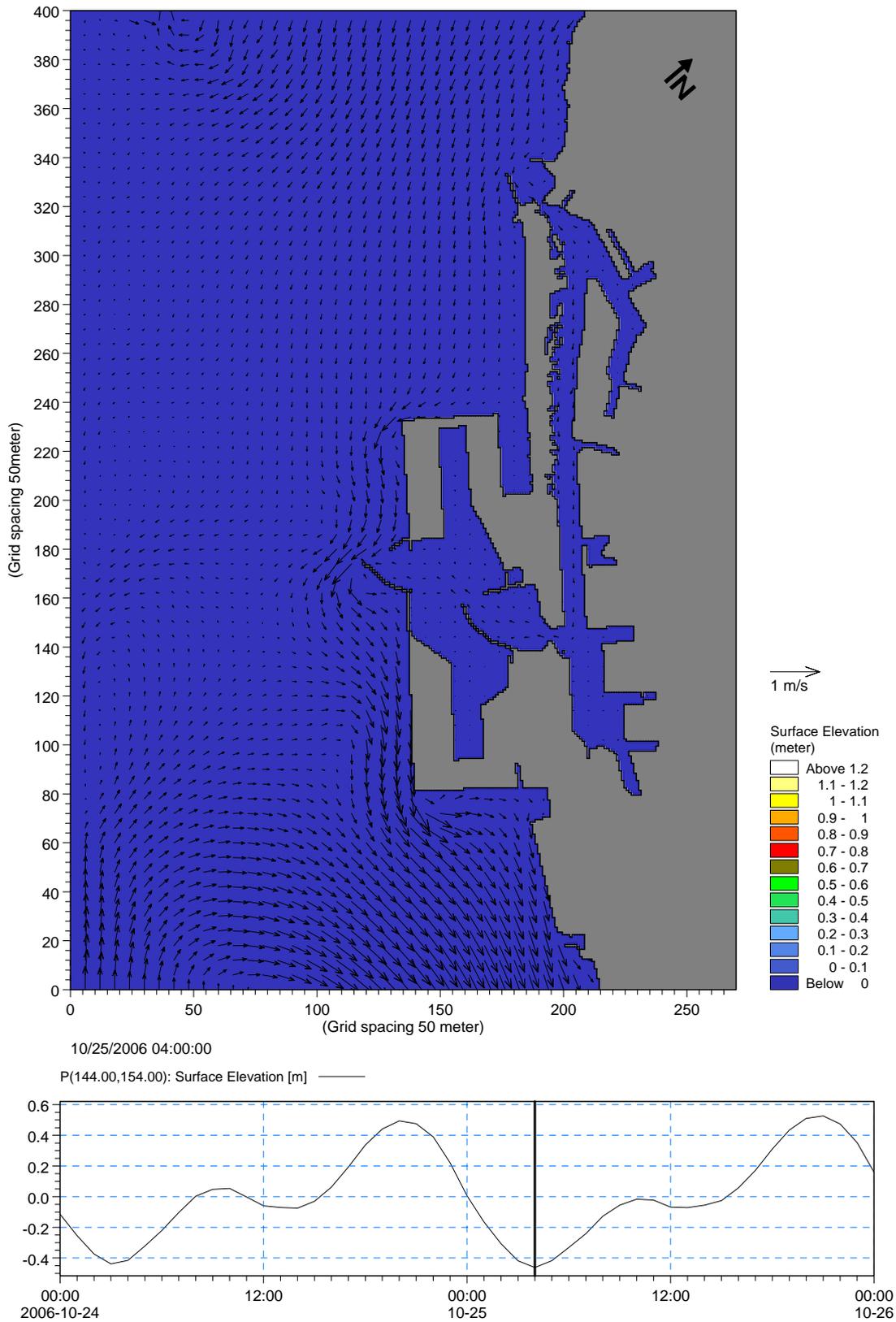


圖 4.2-18 高雄港未來擴建後海域潮流分布，參考潮位：高雄港，2006/10/25 04:00:00

第五章 波浪特性分析

5.1 資料來源與處理

一般常用的波高統計代表值(代表波)有很多種，本研究選取 H_S 來計算相關波高特性， H_S (示性波)其計算方法即以波群中波高較大的 1/3 部份的個別波波高平均值來代表，雖其不具有特別的意義，但接近人類以目視觀測對不規則波直覺上得到的波高。另外在統計特性上，其具有最大的安定性(不隨取樣不同而變化)，較能反映波浪所含能量的大小，故是最常用的代表波。(郭，2001)

另外一般常用的週期統計代表值(代表波)為：在波高記錄中經由零上切法決定波高後，假設有 n 個波高及其相對應的週期，將波高按大小次序排列， $H_1 > H_2 > H_3 \dots$ ，而其相對應之週期排列為 $T_1 > T_2 > T_3 \dots$ ，計算前三分之一最大波高之平均，稱為示性波高，而對應之三分之一最大週期，稱為示性週期；然而 Nair 等(2002)提出示性週期計算方式是以週期大小排序後($T_1 > T_2 > T_3 \dots$)，以前三分之一最大週期之平均值為示性週期，Nair 等(2002)發現以此方式所計算出的示性週期可較穩定的計算出統計示性週期及其理論示性週期。因此，本研究係採用 Nair 等人所提出之示性週期計算方式。

5.2 相關波高機率密度函數

本研究選擇 Gamma、Weibull、Modified Weibull、Rayleigh 與 Log-Normal 五種分佈來探討波高最適機率分佈，而在週期則選用 Gamma、Erlang、Rayleigh 與 Normal 分佈四種分佈函數。上述所提之機率密度分佈介紹如下：

(1) Normal 分佈

為常態分佈的機率密度函數，示如式(5.1)：

$$f(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, -\infty < x < \infty, -\infty < \mu < \infty, \sigma > 0 \quad (5.1)$$

常態分佈主要有兩個參數， σ 為標準偏差(standard deviation)， μ 為平均值(mean value)。且由式(5.2)及式(5.3)推算標準偏差及平均值：

$$\mu = \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (5.2)$$

$$\sigma^2 = s^2 = \frac{1}{N-1} \left(\sum_{i=1}^N x_i - \bar{x} \right)^2 \quad (5.3)$$

(2) Log-Normal 分布

對數常態分布的機率密度函數

$$f(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}}, x \geq 0, -\infty \leq \mu \leq \infty, \sigma > 0 \quad (5.4)$$

其中 σ 為標準偏差(standard deviation)， μ 為平均值(mean value)。

(3) Modified Weibull 分布

機率密度函數

$$f(x; \alpha, \beta) = \begin{cases} \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x}{\beta} + c \right)^{\alpha-1} e^{c^\alpha - \left(\frac{x}{\beta} + c \right)^\alpha} & , x \geq 0, \alpha > 0, \beta > 0 \\ 0, \text{ elsewhere} & \end{cases} \quad (5.5)$$

機率函數

$$F(x; c, \alpha, \beta) = \begin{cases} 1 - e^{-c^b \left(\frac{x}{\beta+c}\right)^\alpha} & , x \geq 0, \alpha > 0, \beta > 0 \\ 0, elsewhere & \end{cases} \quad (5.6)$$

其中 α 為形狀參數 (scale parameter)， β 為尺度參數 (shape parameter)， c 為修正係數 (calibration parameter)。

(4) Weibull 分佈—當式(5.5)之 Weibull 分佈中 $c=0$

機率密度函數，示如式(5.6)

$$f(x, \eta, \sigma) = \begin{cases} \frac{\alpha}{\beta^\alpha} x^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha} & , x \geq 0, \alpha > 0, \beta > 0 \\ 0, elsewhere & \end{cases} \quad (5.7)$$

其中 α 為形狀參數 β 為尺度參數。

機率函數

$$F(x; \alpha, \beta) = \begin{cases} 1 - e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha} & , x \geq 0, \alpha > 0, \beta > 0 \\ 0, elsewhere & \end{cases} \quad (5.8)$$

(5) Rayleigh 分佈—當式(5.7)之 Weibull 分佈中 $\alpha=2$

機率密度函數

$$f(x; \beta) = \begin{cases} \frac{2x}{\beta^2} e^{-\frac{x^2}{\beta^2}} & , x \geq 0, \beta > 0 \\ 0, elsewhere & \end{cases} \quad (5.9)$$

機率函數

$$F(x; \beta) = \begin{cases} 1 - e^{-\frac{x^2}{\beta^2}}, & x \geq 0, \beta > 0 \\ 0, & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (5.10)$$

(6) Gamma 分佈

機率密度函數

$$f(x; \alpha, \beta) = \begin{cases} \frac{x^{\alpha-1}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} e^{-\frac{x}{\beta}}, & x \geq 0, \alpha > 0, \beta > 0 \\ 0, & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (5.11)$$

機率函數

$$F(x; \alpha, \beta) = \begin{cases} \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^{\frac{x}{\beta}} \left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha-1} e^{-\frac{t}{\beta}} d\left(\frac{t}{\beta}\right), & x \geq 0, \alpha > 0, \beta > 0 \\ 0, & \text{elsewhere} \end{cases}$$

$$= \begin{cases} P\left(\frac{x}{\beta}, \alpha\right), & x \geq 0, \alpha > 0, \beta > 0 \\ 0, & \text{elsewhere} \end{cases}$$

$$= \begin{cases} \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{m!(m+\alpha)} \left(\frac{t}{\beta}\right)^{m+\alpha}, & x \geq 0, \alpha > 0, \beta > 0 \\ 0, & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (5.12a)$$

其中 α 及 β 均參數， $\Gamma(\alpha)$ 為 Gamma 函數， $P(x/\beta, \alpha)$ 為不完整 Gamma 函數 (incomplete Gamma function)，二者分別定義如下。

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} x^{\alpha-1} e^{-x} dx \quad (5.12b)$$

及

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} x^{\alpha-1} e^{-x} dx \quad (5.12c)$$

(7) Erlang 分佈

Erlang 分佈為 Gamma 分佈中的特殊分佈理論，其機率密度函數為式(5.11)之 Gamma 分佈中參數 a 取整數 n ，即為

$$f(x; n, \beta) = \begin{cases} \frac{x^{n-1}}{\alpha^\beta (n-1)!} e^{-\frac{x}{\beta}} & x \geq 0, n > 0, \beta > 0 \\ 0, \text{ elsewhere} & \end{cases} \quad (5.13)$$

機率函數

$$F(x; n, \beta) = \begin{cases} \frac{1}{(n-1)!} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{m!(m+n)} \left(\frac{x}{\beta}\right)^{m+n} & , x \geq 0, n > 0, \beta > 0 \\ 0, \text{ elsewhere} & \end{cases} \quad (5.14)$$

上述七種機率分佈函數之參數決定方法，除了 Erlang 分佈係利用示性波週期及平均週期之統計特性之兩個條件解出參數 α 及 β 後，再取 α 為整數以外，均利用最大概似法來估算各種理論機率分佈函數中之參數。

為了能夠了解各理論值與實測值之吻合程度，本文利用兩種評估指標來判斷，選擇出最佳的理論機率分佈模式：

(1)均方根誤差(RMSE)：

誤差均方根 RMSE 為常用之統計學上的技巧，其計算方法及定義如下：

在波高統計最佳分佈適合度中，假設有 k 個數據， Hsm_1 、 Hsm_2 、 \dots 、 Hsm_k 是實測資料經過示性波浪定義所求得之實測值， Hsc_1 、 Hsc_2 、 \dots 、 Hsc_k 是理論分佈公式所推得各波高統計值，則根據 RMSE 計算公式：

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (Hsm_k - Hsc_k)^2}{k}} \quad (5.15)$$

(2)判定係數(Coefficient of Determination) R^2 ：

表示所輸入的依變數的總變異量中，能被迴歸模式所解釋的變異量百分比有多少，亦稱作相關係數平方，因其值為相關係數之平方。 R^2 值在 0 至 1 之間，當 R^2 值越接近 1，表示所計算出的迴歸模式的適配度(goodness-of-fit)越好。

5.3 平滑方法(Kernel Smoothing Method)

本研究在探討波高與週期之最適分布時，利用兩種方式來討論理論與實測之吻合度情況，一為利用機率概念將分布函數推導出各統計代表值公式，另一為統計理論中之參數推估平滑方法，Kernel Smoothing Method，其理論詳見 Bowman(1997)。在此將對 Kernel Smoothing Method 作一簡單介紹：

假設有一隨機變數 $X_1, X_2 \dots X_n$ ，則會得到以下機率密度函數

$$\hat{f}(x, h) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x - X_i}{h}\right) \quad (5.16)$$

其中K為Kernel function，h為資料區間寬度，如圖5.3-1。

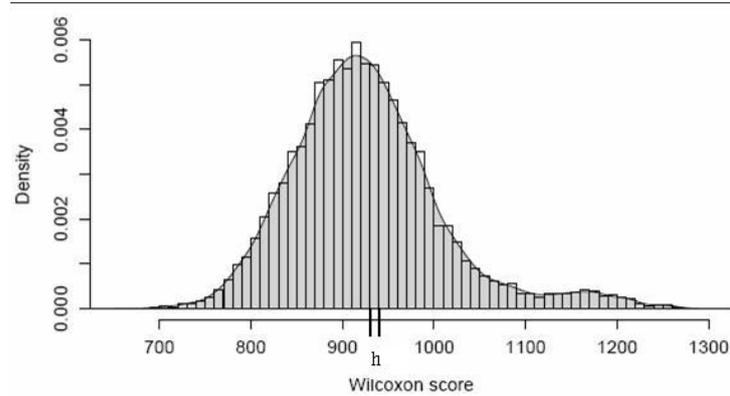


圖 5.3-1 Kdensity 推估之機率密度函數圖

本研究將資料代入 matlab 軟體中，以 Kdensity 指令推估出實測值之機率密度，而在 matlab 軟體中 Kernel function 是採用 Normal 型式，公式如下：

$$K(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}x^2} \quad (5.17)$$

資料區間寬度 h 為影響推估出的實測值機率密度圖型平滑化的主要因素，圖 5.3-2 顯示出不同的區間寬度所推估出的結果，當 h 取得越小函數圖型會趨近於不規則化導致與各分布函數套配時，增加分析的困難；而當 h 取得越寬鬆，則會越趨向於 Normal 分布。

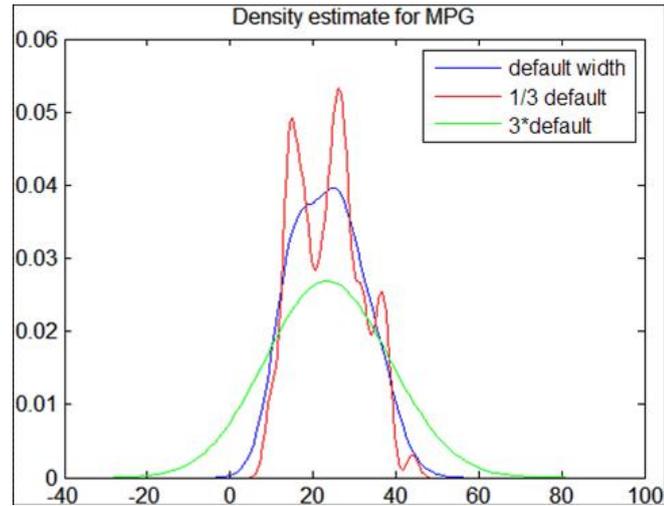


圖 5.3-2 不同 h 之機率函數圖

採用 Ksdnesity 方法的優點在於它能將原始資料推估出一連續性函數，而且不用推估參數即可簡單求出所要的機率密度，另外 Matlab 軟體將資料分成 100 個區間，由直方圖分組觀念可知，區間分組數量將會影響到資料分析結果，太多會造成分析困難，太少則會分析不出資料特性，所以利用 Ksdensity 方法應該可以得到客觀的分析結果。上述流程之操作，流程圖示如 5.3-3。

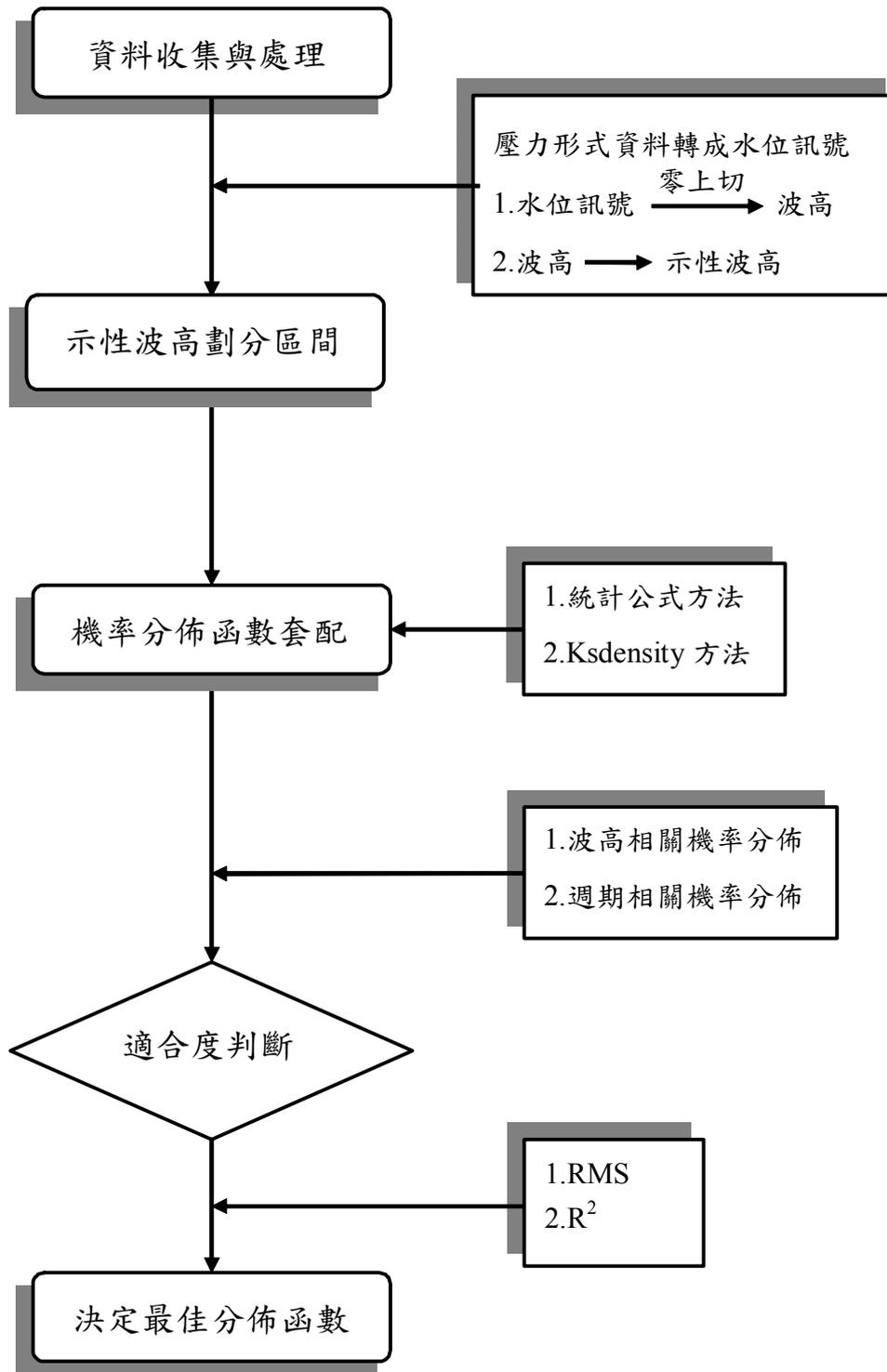


圖 5.3-3 波高與週期最適機率分佈之分析流程圖

第六章 結論

經本研究收集往昔有關高雄港之海流實測及數值模式模擬之研究結果，分析高雄港不同潮位特性區段下之海流特性，以 MIKE21 模式加上本研究選擇適當模式參數及技巧，模擬原高雄港海流及高雄港擴建後海流，由結果發現：

1. 本計畫計算範圍採用大區域及局部區域，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，由整體的模擬結果可知，近岸潮流特性呈現漲潮流向向東南，退潮流向向西北。
2. 為確認計算海域邊界潮位設定及相關計算結果之準確性，本計畫引用港研中心 2006 年 10 月於高雄港二港口的實測資料進行正確性驗證。在潮位方面，實測與預測的潮位非常接近，僅在高潮和低潮的部分有些許誤差，而在流向方面，於日潮不等較小及日潮不等較大時，預測流向與實測流向大致相同。於全日潮時，實測流向在低潮至平潮的區間中較無規則性，其餘較規則的部分則預測流向與實測流向大致相同。透過所有潮型的驗證可知，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高雄港現有海域潮位與潮時之整體變化特性及分布趨勢。
3. 本計畫為更進一步確認模式的正確性，特別依照潮位特性及潮型分區段來探討。整體來說，本模式在小潮的模擬效果較佳，而在大潮的模擬效果略差。不論以 $\pm 22.5^\circ$ 或 $\pm 45^\circ$ 的標準，皆可得到本模式在模擬日潮不等較小時效果最佳，其次為日潮不等較大時，而全日潮的模擬效果較差，此主要的原因由於全日潮實測流向在低潮至平潮的區間中較無規則性，數值模式較難模擬因而造成較大的誤差。
4. 在日潮不等較大和日潮不等較小時，最大流速、最小流速和平均流速的模擬流速與實測流速皆非常接近。在全日潮的流速模擬上，模擬流

速與實測流速則有些許差異，主要原因由於全日潮在此部分實測流向較無規則性而不易模擬，進而造成模擬流速與實測流速的差異較大。

5. 透過高雄港擴建前後數值模擬的比較可知，擴建後漲潮流向向東南，並在大林商港區南防波堤南側及大林南海堤南側形成環流，退潮流向向西北，並在大林西海堤西側、外海貨櫃中心西海堤西側及北海堤北側形成環流。

參考文獻

1. 洪楚璋、李遠輝、吳大成、江永棉、譚天錫、張湘電、祝炳琦(1974)，「高雄港灣水域之環境與生態調查」，台灣大學海洋研究所專刊，第5號。
2. 洪楚璋、陳汝勤、江永棉、譚天錫、林良平、梁乃匡、張湘電(1979)，「高雄臨海工業區海洋放流管線水質與環境調查報告」，台灣大學海洋研究所專刊，第22號。
3. 劉肖孔(1983)，「中國海域三度空間數值模式」，行政院科技顧問組。
4. 國立高雄海事專科學校(1988)，「旗津外海海況調查分析研究報告」，高雄市政府。
5. 台灣省政府交通處港灣技術研究所(1993)，「高雄海域海氣象調查研究」，台南水工試驗所。
6. 台南水工試驗所(1997)，「南星計畫中程計畫第一期環境品質監測計畫」，益鼎工程股份有限公司。
7. 莊文傑(1997)，「高雄港港池水理模式研究—第一子計畫：高雄港港區水理數值模擬研究」，台灣省政府交通處港灣技術研究所。
8. 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。
9. 莊文傑、江中權(2000)，「臺灣四周海域海流數值模擬研究」，交通部運輸研究所。
10. 財團法人中華顧問工程司(2000)，「高雄港大林商港區開發計畫」，高雄港務局。
11. 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。

12. 莊文傑、江中權(2002)，「臺灣四周海域海流數值模擬研究(二)—高雄港海域潮汐與潮流之數值模擬研究」，交通部運輸研究所。
13. 曾相茂、蘇青和、廖慶堂(2002)，「台灣地區國際港附近海域海氣象現場調查分析研究(1/4)」，交通部運輸研究所。
14. 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。
15. 楊德良、蔡丁貴、蘇青和、吳南靖、王鄭翰(2003)，「高雄海域漂沙特性現場調查及數值模擬研究(1/2)」，交通部運輸研究所。
16. 曾相茂、蘇青和、廖慶堂(2003)，「台灣地區國際港附近海域海氣象現場調查分析研究(2/4)」，交通部運輸研究所。
17. 財團法人中華顧問工程司(2003)，「高雄港洲際貨櫃中心長程計畫」，高雄港務局。
18. 楊德良、蘇青和、許正一、吳南靖、王鄭翰、吳宜嶺(2004)，「高雄海域漂沙特性現場調查及數值模擬研究(2/2)」，交通部運輸研究所。
19. 曾相茂、蘇青和、廖慶堂(2004)，「台灣地區國際港附近海域海氣象現場調查分析研究(3/4)」，交通部運輸研究所。
20. 曾相茂、廖慶堂、蘇青和(2005)，「台灣地區國際港附近海域海氣象現場調查分析研究(4/4)」，交通部運輸研究所。
21. 廖慶堂、林柏青、梁乃匡、楊台興、葉惟鏞、何良勝(2005)，「高雄港港池淤沙調查研究-流況調查分析」，交通部運輸研究所。
22. 財團法人中華顧問工程司(2005)，「高雄港洲際貨櫃中心第一期基礎設施興建工程委託技術服務工作細部規劃報告書」，高雄港務局。
23. 曾相茂(2006)，「台灣地區國際港附近海域海氣象現場調查分析研究(1/4)」，交通部運輸研究所。
24. 曾相茂(2007)，「台灣地區國際港附近海域海氣象現場調查分析研

究(2/4)」，交通部運輸研究所。

25. Kawahara, M., H. Hirano, K. Tsubota and K. Inagaki, (1982) “Selective lumping finite element method for shallow water flow,” *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, Vol. 2, pp. 89-112.
26. DHI, (2002) User guide and reference manual of MIKE 21-coastal hydraulics and oceanography hydrodynamic model, Danish Hydraulic Institute.
27. 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.
28. UK Hydrographic Office (UKHO), (1997) Admiralty Tide Tables and tidal stream tables, Vol. 3, the Hydrographic of the Navy, Somerset, U.K.

交通部運輸研究所合作研究計畫

期中 期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：97 年高雄港域波流場數值模擬及特性研究

執行單位：國立交通大學[土木工程學系]

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
<p>一、張金機委員：</p> <p>1.高雄港一、二港口海流調查漲潮時向北，退潮時向南(趨勢)，但 P11~16 圖 2.2-12 呈現的是相反的流速向量圖，圖中未標示流速大小之比尺。</p> <p>2.P23~25 圖 3.3-1~3，等水深線圖例 Above 0，陸地應包括在內，港口水深系統建議採最低潮位系統。</p>	<p>1.將於期末報告中進行修正。</p> <p>2.潮汐流場分別採大區域及局部區域為範圍進行模擬，大區域主要模擬臺灣環島附近海域之潮流，局部模擬以高雄港流況為主要模擬對象，為使潮位系統一致，因此大區域及局部區域皆採用中潮系統。</p>	<p>一、審查委員所提意見與計畫內容的修正，列入期末報告修訂辦理。</p> <p>二、乙方處理情形符合研究內容之執行。</p>

<p>3.P41 及 P43 之圖 4.2-4 及 4.2-6，高雄港外海潮流分佈在二港口南側鳳林國中外海，漲潮時為東南東，退潮時在西北西，此計畫結果與 81、82 年港研所、臺大、成大共同在鳳林國中外海水深 -10m 及 -20m 所測結果相反。另外高雄市政府委託高雄海專在旗津外所作調查，顯示主要流向為西北與東南，流向與漲、退潮無明顯關係。</p> <p>4.一、二港口流速、流向受高、低潮影響比外海潮流顯示。</p>	<p>3.由文獻回顧可知，高雄港潮流較為紊亂，本計畫所引用的驗證資料為港研中心 2006 年於二港口南側的實測資料。</p> <p>4.將於期末報告中增加說明港口的潮位特性。</p>	
<p>二、陳陽益委員：</p> <p>1.日潮不等時本就流向變化較快的時候，應</p>	<p>1.本計畫採用的驗證資料為每小時一筆的流</p>	<p>一、審查委員所提意見與計畫內容的修正，列</p>

<p>再含括流向變化較慢的全日潮，且以此佔的份量較重，如此才能更顯現當地潮流流向的特性。</p>	<p>向資料，驗證長度為1個月，共744筆流向資料，逐一進行比對，因此已包括日潮不等及全日潮的情況。</p>	<p>入期末報告修訂辦理。</p> <p>二、乙方處理情形符合研究內容之執行。</p>
<p>2. 考量入近岸與外海流向流速間的關連性，並考慮小琉球與高屏溪口沿岸及含括高雄港內海域的地形水深效應，如此才較能完整掌握本海域的漲退潮流的特性(含流向與流速大小及其變化等)。</p>	<p>2. 本計畫潮汐流場分別採大區域及局部區域為範圍進行模擬，大區域主要模擬臺灣環島附近海域之潮流，局部模擬以高雄港流況為主要模擬對象，因此在大區域時已有包含小琉球與高屏溪口沿岸的地形水深效應。</p>	
<p>3. 所有圖示並未顯現漲潮往東南與退潮往西北的流向。</p>	<p>3. 將於期末報告中增加指北的圖示以利於判斷方向性。</p>	
<p>4. 擴建後第二港口的防波堤向外凸，會阻擋海流，當然必會發生渦流，由之來判定漲</p>	<p>4. 高雄港的漲退潮特性主要依據擴建前來判斷，另本計畫將依委員意見於期末報告中</p>	

<p>退潮特性會較不完整。</p> <p>5.用起潮力來修正天文潮模式是否不考慮？</p>	<p>增加說明渦流的方向性。</p> <p>5.本計畫主要採用 DHI 開發的 MIKE21_HD 水動力數值計算模式，該模式為套裝軟體，模式設定中無法採用起潮力進行修正。</p>	
<p>三、翁文凱委員：</p> <p>1.在整個數值模擬過程中，建議先檢討大域範圍之合理性，能夠的話建議亦收集其他區域之流場分佈加以佐證，同時並於文章中說明其合理性。</p> <p>2.高雄港潮位驗證與潮流流速、流向驗證，應說明測站位置。</p> <p>3.基本上工作進度大致幅合計畫需求。</p>	<p>1.遵照辦理。</p> <p>2.遵照辦理。</p> <p>3.感謝委員肯定。</p>	<p>一、審查委員所提意見與計畫內容的修正，列入期末報告修訂辦理。</p> <p>二、乙方處理情形符合研究內容之執行。</p>

<p>五、何良勝委員：</p> <p>1.建議加強分析現場海流實測資料之歸納分析。</p> <p>2.P46 之 Fig4.2-11 分為 8 個區段，有何依據？</p> <p>3.數值模擬為應用 DHI 模式，其模式主要依據水位變化而得，而 P45 之 Fig4.2-9、Fig4.2-10，其高、低潮位時，潮位比較差異較大，此是否為其引起準確性較差之影響？</p>	<p>1.遵照辦理。</p> <p>2.主要依據不同潮型區分為 8 個區段。</p> <p>3.影響準確性的因素包含有邊界條件的準確、地形水深效應及巢狀網格的設定。</p>	<p>一、審查委員所提意見與計畫內容的修正，列入期末報告修訂辦理。</p> <p>二、乙方處理情形符合研究內容之執行。</p>
<p>六、吳基委員</p> <p>1.高雄一、二港口在漲、退潮型態其流向為何？是否有漲潮時二港口水流反而向外的情況？</p> <p>2.模式流向模擬在全日</p>	<p>1.本計畫將於期末報告增加探討漲退潮時水流於一、二港口的流向特性。</p> <p>2.於全日潮時，實測流</p>	<p>一、審查委員所提意見與計畫內容的修正，列入期末報告修訂辦理。</p> <p>二、乙方處理情形符合研究內容之執行。</p>

<p>潮時較不準，其原因為何？請說明。(全日潮時，潮差大，應較單純)</p>	<p>向在低潮至平潮的區間中較無規則性，其餘較規則的部分則預測流向與實測流向大致相同。</p>	
<p>3. 圖 4.1-4 高雄為漲潮，而臺灣海峽全為退潮之狀態，是否合理？</p>	<p>3. 此主要原因為台灣各地滿潮的潮時不同所致。</p>	

交通部運輸研究所合作研究計畫

期中 期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：97 年高雄港域波流場數值模擬及特性研究

執行單位：國立交通大學[土木工程學系]

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
<p>一、張金機委員：</p> <p>1.大尺度潮位校驗建議加強沿岸臺南、臺中、臺北三測點校驗；小尺度再以高雄港資料校驗。</p> <p>2.潮流校驗如未能取得逐時資料，建議分析大、小潮，漲、退潮及平潮流速特性，然後加以驗證。</p> <p>3. P₂₃ 圖 4.1-4~4 及圖 4.1-5~6 高雄港漲潮時，中部海域是退潮狀況，高港退潮時，中部為漲潮，此與實</p>	<p>1.感謝委員建議，本計畫將於明年度加強大尺度的潮位驗證。</p> <p>2.感謝委員建議，本計畫將於明年度多加收集相關實測資料。</p> <p>3.此主要因為台灣各地滿潮的潮時不同所致，本計畫將於明年度加強大尺度的潮位驗證。</p>	

<p>際中港實測潮位有些不符。因此，潮流亦不符。</p>		
<p>二、陳陽益委員：</p> <p>1.建議較確定的預測逐日漲潮時與退潮時，隨離岸距離之流向分佈。</p> <p>2.建議引用歷年來對本海域之所有的浮標追跡與流速儀記錄，來做為具體的驗證，如此更具體與才有更具信心。</p>	<p>1.感謝委員建議，本計畫將於明年度加強大尺度的潮位驗證。</p> <p>2.感謝委員建議，本計畫將於明年度多加收集相關實測資料。</p>	
<p>三、高瑞棋委員：</p> <p>1.本研究計畫係應用高雄港內外各項觀測資料進行高雄港擴建前後海域流場之數值模擬驗證比對，以及波潮流各項統計分析建立高雄港附近海域之海象特性模式，值得肯定。</p>	<p>1.感謝委員肯定。</p>	

<p>2.高雄港海域流場於漲退潮期間，流向複雜呈不規則情形，以目前資料初判可能係受高屏溪口外海陡峭深邃之地形影響，使得海域水體流動方向改變形成環流狀態，至於是否受黑潮分支流進臺灣海峽之影響，若未進行現場觀測資料調合分析及頻譜分析，找出恆流大小及強度，不宜直接表示受其影響之主要因素。另潮汐水體進入港域主要係受水體漲落水位改變之原因，實無關流向。</p>	<p>2.感謝委員建議。</p>	
<p>3.大區域流場計畫包含臺灣海峽及本島，計算結果顯示南部海域流向於潮汐漲退潮時段，尚稱合理，然在中部以北至北部海域則流場之潮流流向，</p>	<p>3.模式於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，且並未做任何水位調整，模式運算亦採用</p>	

<p>似有不符之情形？是否係因計算模式驅動流場之邊界條件採水位輸入而應調整其他參數？大區域流場計算須注意局部海象及其他參(係)數，MIKE-21 雖方便使用，但參數仍需給定。</p>	<p>內定的參數，本計畫將於明年度加強大尺度的潮位驗證。</p>	
<p>4. 流場模擬驗證採觀測站 1 點，流速流向調查資料不易校正，可能產生該站資料之外無窮多組流場，建議港研中心增測 2 點短期測站，共 3 點較易判定正確性。</p>	<p>4. 感謝委員建議。</p>	
<p>5. 高雄港潮位及潮流分日潮不等小、日潮不等大及全日潮 3 種，分別計算其結果尚稱良好，但若串接連起來其情形如何？另 2 維流場計算結果係為平均水深流速與實測</p>	<p>5. 本模式模擬期間為 1 個月，完成模擬後再分段驗證，並非分段模擬，依照分段驗證結果顯示，模擬正確性介於 62%至 71%之間，若整個月進行驗證則正確性為 64%。</p>	

<p>值單層單點之結果應有差異，實無需太著重其誤差百分比。</p> <p>6.有關擴建港外廓形狀可能因太矩形幾何形狀易於海側產生強勁流速，可建議修正稍圓弧形應可改善。</p>	<p>6.本計畫主要為模擬高雄港擴建前後流場的差異，並未考慮修正外廓形狀。</p>	
<p>四、翁文凱委員：</p> <p>1.部份圖說或圖，需以彩色呈現時，建議仍以彩色方式呈現。</p> <p>2.高雄港附近之模擬，建議分季、或至少模擬半個月，可包含各種潮型，對未來數據之引用或讓後讀者有更可讀性。</p> <p>3.Mike-21 之推潮流模式在模擬地形陡變或陡昇之精確性是否有一定之限制，造成部份小區域與實際有差</p>	<p>1.遵照辦理。</p> <p>2.目前潮流模擬時間為1個月，報告中的展現則以1個完整的潮型為主。</p> <p>3.由高雄港潮流驗證結果顯示，正確性可達70%-80%，將於明年度加強大尺度的潮位驗證。</p>	

<p>異，但問題是否是高雄港附近流場是否正確，若正確則應為可接受的。</p> <p>4.內容豐富、詳實、符合計劃目標。</p>	<p>4.感謝委員肯定。</p>	
<p>五、吳基委員：</p> <p>1.依據報告所顯示圖表等內容，相關模式的模擬已有不錯的結果，研究團隊的用心及努力成果值得肯定。</p> <p>2.黑潮支流在臺灣海峽內的流況有季節性的差異，夏季臺灣海峽會發生有較強之向北流，是否影響高雄海域以潮流為主之海流現象？建議在未來研究時加入黑潮之影響，並與夏季實測海流作比較驗證。</p>	<p>1.感謝委員肯定。</p> <p>2.黑潮屬於季節性的影響，依照本計畫瞭解，高雄港的海流仍以潮流為主，黑潮的影響約佔 10-20%左右。</p>	
<p>六、何良勝委員</p>		

<p>1.本研究本年度工作在於建立適用之流場數值模式，基本上工作成果已符合預期成果。</p>	<p>1.感謝委員肯定。</p>	
<p>2.為建立更完善之數值模式，相關實測驗證仍宜進行更多之資料分析比對，諸如潮位檢測可增加測站；或者資料應用時程可增加等。</p>	<p>2.遵照辦理，本計畫將於明年度加強大尺度的潮位驗證。</p>	
<p>3.建議未來有關大尺度或小尺度模擬應可再更詳細考量。</p>	<p>3.遵照辦理。</p>	