

97-40-7326
MOTC-IOT-96-H2EB009

布袋商港擴建對濕地海水交換率 影響研究



交通部運輸研究所
中華民國 97 年 3 月

97-40-7326
MOTC-IOT-96-H2EB009

布袋商港擴建對濕地海水交換率 影響研究

著者：廖慶堂、許弘菖、劉景毅、吳盈志、何良勝

交通部運輸研究所
中華民國 97 年 3 月

布袋商港擴建對濕地海水交換率影響研究

交通部運輸研究所

GPN: 1009700832
定價 200 元

國家圖書館出版品預行編目資料

布袋商港擴建對濕地海水交換率影響研究 / 廖慶堂等著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運研所, 民97.03
面 ; 公分
參考書目:面
ISBN 978-986-01-3864-1(平裝)

1. 港埠工程 2. 潮汐 3. 數值分析

443.21

97006530

布袋商港擴建對濕地海水交換率影響研究

著 者：廖慶堂、許弘苙、劉景毅、吳盈志、何良勝

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：台北市敦化北路 240 號

網 址：www.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 3 月

印 刷 者：德輝興業有限公司

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網站

定 價：200 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組• 電話：(02)23496880

五南文化廣場：臺中市中山路 6 號• 電話：(04)22260330

GPN : 1009700832

ISBN : 978-986-01-3864-1 (平裝)

著作財產權：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：布袋商港擴建對濕地海水交換率影響研究			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-01-3864-1(平裝)	政府出版品統一編號 1009700832	運輸研究所出版品編號 97-40-7326	計畫編號 96-H2EB009
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：廖慶堂 聯絡電話：04-26587124 傳真號碼：04-26571329	合作研究單位：財團法人成大研究發展基金會 計畫主持人：許弘菖 研究人員：劉景毅、吳盈志 地址：臺南市東區大學路1號 聯絡電話：06-2371938 轉 423	研究期間 自 96 年 8 月 至 96 年 12 月	
關鍵詞：布袋商港擴建、海水交換率、數值方法			
摘要：			
<p>布袋商港南鄰好美寮自然保護區，此保護區介位於八掌溪與龍宮溪出海口間，其為此二溪流交會淤積形成的廣大濕地，吸引無數動植物進駐與成長，自然資源豐富。然因龍宮溪口北鄰布袋商港，商港擴建方案之施行將可能降低龍宮溪口內濕地之海水交換率，進而影響濕地之水質與生態環境。而本研究即是應用數值模式模擬分析不同擴建方案對龍宮溪口內濕地海水交換率的影響程度。</p> <p>首先利用於布袋海域監測所得海流資料率定驗證水理模式，模擬結果顯示本模式計算所得之水位與海流均與實測值吻合。整體而言，本計畫模式之模擬結果均可相當程度的布袋海域的流場。在模擬所得之流場分佈方面，在不同檢驗點之流速值均以CASE1(現況)最大，其次為CASE2(商港擴建納入龍宮溪之方案)，最小者為CASE3(商港擴建未納入龍宮溪之方案)。顯示布袋商港擴建會造成好美寮濕地內之流速變小，在龍宮溪出海口處(N1檢驗點)商港擴建納入龍宮溪之方案(CASE2)約較現況降低0.04m/sec，而商港擴建未納入龍宮溪之方案(CASE3)所造成之流速則約較現況降低0.06m/sec。在模擬所得之潮汐交換率方面，在M1檢驗點CASE1之潮汐交換率為38.5%，CASE2為14.7%，CASE3則降低至6.43%；此顯示布袋商港擴建會造成好美寮濕地內之潮汐交換率變小，在接近龍宮溪出海口處(M1檢驗點)CASE2所造成之潮汐交換率約較現況降低23.8%，而CASE3所造成之潮汐交換率則較現況降低32%。故布袋商港擴建之二個方案均會大幅降低潮汐交換率，而CASE3之潮汐交換率則較CASE2之潮汐交換率為差。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
97年3月	146	200	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
機密等級： <input type="checkbox"/> 密 <input type="checkbox"/> 機密 <input type="checkbox"/> 極機密 <input type="checkbox"/> 絕對機密 (解密條件： <input type="checkbox"/> 年 月 日解密， <input type="checkbox"/> 公布後解密， <input type="checkbox"/> 附件抽存後解密， <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 water exchange in a small estuary of Haomeiliao wetland due to the reconstruction of Budai Harbor			
ISBN (OR ISSN) ISBN978-986-01-3864-1 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009700832	IOT SERIAL NUMBER 97-40-7326	PROJECT NUMBER 96-H2EB009
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-Fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Ho Liang-Sheng PROJECT STAFF: Liaw Ching-Tarng PHONE: (04) 26587124 FAX: (04) 26560661			PROJECT PERIOD FROM August 2007 TO December 2007
RESEARCH AGENCY: NCKU Research and Development Foundation PRINCIPAL INVESTIGATOR: Hsu Hung-Chu PROJECT STAFF: Liou Jiing-Yih, Wu Ying-Chih ADDRESS: NO.1, University Road, Tainan, Taiwan 701, ROC PHONE: 06-2371938 ext. 423			
KEY WORDS: Budai Commercial Harbor, water exchange, numerical method			
ABSTRACT:			
<p>Haomeiliao Nature Reservation is located in the southern of Budai Domestic Commercial Harbor. As a result of deposits of Bazhang River and Longgong River, this nature reservation is a home to a great variety of animals and vegetations. Due to the reconstruction of Budai Harbor, it may affect the pollutants dispersion and water exchange. The numerical models including the two-dimensional hydrodynamics model, the dispersion model and the particle-tracking model are used to understand the tidal-induced mixing, transport and water exchange processes.</p> <p>Detailed model calibration and verification have been conducted with measured water surface elevations and tidal current. The overall performance of the model is in qualitative agreement with the available field data. The calibrated and verified numerical model has been used to quantify the tidal current and tidal exchange rate. The averaged value of tidal current on Case 1 is the biggest of all and there goes the Case 2, which let the Case 3 lie on the end of line. It also shows that the extension of Budai Harbor will decrease the velocity in Haomeiliao wetland. This result shows that the velocity on bay mouth of Longgong River (N1 test point) decreases 0.04m/s when Budai Harbor extension project case (Case 2) that has put Longgong River into conclusion. On contrary, case (Case 3) that excludes Longgong River onto the scheme decreases 0.06m/s. The water exchange rate of the test point M1 on Case 1 is 38.5% while Case 2 is 14.7% and Case 3 has decreased to 6.43%. This shows that Budai Harbor extension project decreases the quantity of tidal exchange ability of Haomeiliao wetland. The tidal exchange of the test point at bay mouth of Longgong River (N2 test point) decreases 23.8%, while Case 3 decreases 32% compared with Case 1. Thus, on conclusion, both cases will decrease the tidal exchange ability, especially Case 3.</p>			
DATE OF PUBLICATION March 2008	NUMBER OF PAGES 146	PRICE 200	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			

第一章、前言

1.1、計畫背景分析

布袋港於民國 78 年先完成客貨碼頭 250 公尺，又於民國 82 年 11 月奉省府核准擴建客用碼頭，自民國 83 年 6 月開工，在民國 86 年 11 月完成啟用，之後奉行政院核定，於民國 87 年 11 月 10 日正式公告為國內商港。

布袋商港位處布袋鎮沿海海埔新生地第二期西側，南鄰好美寮自然保護區，此保護區介位於八掌溪與龍宮溪出海口間，其為此二溪流交會淤積形成的廣大濕地，吸引無數動植物進駐與成長，自然資源豐富。目前保護區內濕地主要經由龍宮溪口與外海海水交流。然因龍宮溪口北鄰布袋商港，商港擴建方案之施行將可能降低龍宮溪口內濕地之海水交換率，進而影響濕地之水質與生態環境。而本研究即是應用數值模式模擬分析不同擴建方案對龍宮溪口內濕地海水交換率的影響程度，研究成果將可提供開發單位作為評估分析之參考。

1.2、研究範圍與對象

工作範圍如圖 1-1 所示布袋商港鄰近海域(不含外傘頂洲北側海域)，北起東石港，南至急水溪口南岸，南北縱長約 16 公里。港口結構物配置為目前港口外廓形狀。

1.3、研究內容及工作項目

為期達成本計畫之研究目的，依工作性質將工作項目分為「基本

資料蒐集分析」、「二維水動力模式率定與驗證」、「海水交換率之計算」及「不同擴建方案之海水交換率分析與探討」等四大部份；茲分述各部份之工作項目如下：

1. 基本資料蒐集分析

- (1) 海氣象資料蒐集分析。
- (2) 海域水深資料蒐集分析。

2. 二維水動力模式率定與驗證

- (1) 潮汐水位之率定與驗證。
- (2) 海潮流之率定與驗證。
- (3) 不同擴建方案之流場分析。

3. 海水交換率之計算

- (1) 質點軌跡追蹤 (particle tracking) 模擬。
- (2) 汚染擴散模式模擬。

4. 不同擴建方案之海水交換率分析與探討

- (1) 龍宮溪口納入布袋商港內方案之海水交換率分析。
- (2) 龍宮溪口不納入布袋商港內方案之海水交換率分析。

1.4、預期成果

本計畫完成後可獲得下列預期成果、效益及其應用：

- 1. 布袋港海氣象基本資料蒐集分析。

2. 布袋港海域水理模式之建立與不同擴建方案之流場分析。

3. 不同擴建方案之海水交換率分析與探討。

綜合前項所言，本計畫所得之所有成果將用以探討分析不同擴建方案對龍宮溪口內濕地海水交換率的影響程度，研究成果將可提供開發單位作為評估分析之參考。

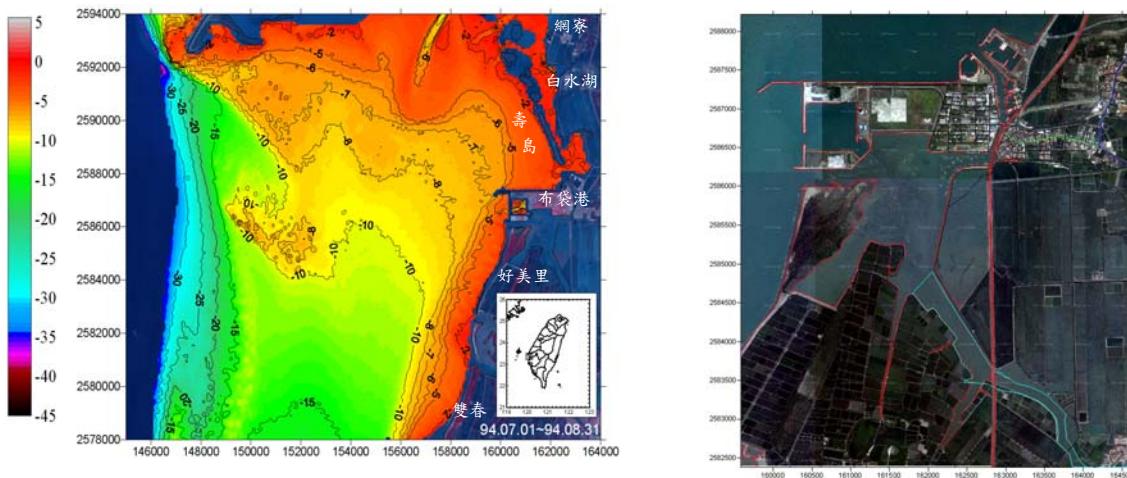


圖 1-1 計畫海域及布袋商港之目前配置

第二章、基本資料蒐集與分析

2.1、海域地形特徵

布袋港港址位於台灣西南海岸之嘉義縣境內，西臨臺灣海峽，北有外傘頂洲形成天然屏障，南側緊鄰好美寮自然保護區，地理位置圖如圖 2-1 所示。圖 2-2 為成功大學水工試驗所於民國 94 年 7 月所測得之地形水深等深線圖。由圖 2-2 可看出測區海域於水深-15m 外之等深線走向為南北向，布袋港北方近岸海域水深-10m 內等深線走向約略平行海岸線，呈弧形走向、其主軸方向為北北西-南南東，布袋港南方近岸海域水深 -7m 內等深線走向平行海岸線為北北東-南南西走向；施測區域範圍內於布袋港西方約 8 公里至 10 公里處，於水深-9m 附近有一隆起之砂丘，其最淺處水深約-6.5m。

布袋港北方近岸海域水深-5m 內等深線走向約略平行海岸線，呈弧形走向其主軸方向為北北西-南南東，水深-5m 處離壽島外側岸線約 1200m~1500m，水深-5m 內之坡降為 1/200~1/300；水深-30m 等深線於雙春海岸離岸約 12000m，往北則漸離岸漸遠，-30m 等深線於好美里海岸離岸約 12500m，至白水湖附近則離岸約 15000m；布袋港南方近岸海域水深-7m 內等深線走向平行海岸線為北北東-南南西走向，水深-5m 線離岸線約 900m，水深-5m 內之坡降為 1/150~1/300。

2.2、海流

布袋港址附近潮流流向大抵為東北-西南走向，其流向與漲退潮之潮位無明顯關係。漲潮時為東北-北北東方向而退潮時則為西南-南南西方向，推究其原因應為外傘頂與海岸所形成之大砂嘴有關，其主要流向以向南潮流較向北潮流優勢。根據工研院能資所民國 81~83 年間於

布袋海域所進行之現場調查成果，最大海流流速，出現在外傘頂洲北部海域，其值為 104.40 cm/sec 以上，當時流向為北北東。而各站的平均流速大都在 40 cm/sec 以上，最大平均流速出現地點亦在外傘頂洲北部海域，其值為 63.9 cm/sec(與其觀測日期恰為中秋節似有關連)。其餘平均流速較小的測站，一發生在布袋港外、一出現在王爺港外海，兩者均為離海岸陸地較近之測站。

此外，近年來在布袋鄰近海岸測量潮流之單位由北而南分別有布袋海域（民國 72 年本所）、好美寮海域(民國 90 年、91 年水利規劃試驗所)、雙春海域(民國 91 年 2 至 3 月、民國 91 年 7 至 8 月水利規劃試驗所)、將軍海域(民國 90 年水利規劃試驗所)與七股海域(民國 85 年、86 年成大水工所，民國 89 年、90 年、91 年水利規劃試驗所)等。此外，本所自民國 89 年至 93 年共 5 年，每年進行兩次平面流浮標追蹤調查，綜合歷次平面流況調查結果顯示，整個布袋港港口附近海域於夏季季節風時期以西南風為主要優勢方向；其平面流況於退潮時為沿著海岸地形等深線，隨著潮流離岸由東北 (NE) 向西南 (SW) 方向或往西 (W) 退去，平均流速在 0.05m/s 至 0.90m/s 之間；而漲潮時段整個平面流之流向，是隨著潮流向岸，並依地形由西南 (WS) 往東北 (NE) 方向流向外傘頂洲西南側之潟湖內，平均流速在 0.09m/s 至 0.90m/s 之間；而冬季季節風時期，東北季風為主要優勢方向，退潮時之平面流向為沿海岸地形等深線，隨著潮流向南 (S) 或西南 (WS) 方向流去，平均流速在 0.05m/s 至 1.56m/s 之間；而漲潮時因東北季風強勁，潮流與強風互逆影響，所以流向較無規律性，平均流速在 0.05m/s 至 1.87m/s 之間。

成功大學水工試驗所亦曾於 94 年 7 月至 95 年 6 月於布袋海域進行海流調查（調查點位詳圖 2-3），觀測期間各測站的最大流速、流向、發生時間如表 2-1 所示。各測站流向之分布情況如圖 2-4 之流速流向散佈圖和圖 2-5 之流速流向玫瑰圖所示，由於本海域近岸地形等深線之分佈，在布袋商港港口以南約呈北北東—南南西走向，港口以北大致上呈西北西—東南東走向，由圖中顯示其主要流向也反應此一變化，94

年7月5日~7月22日調查時，C2、C3兩測站在港口以南，主要流向大致上以平行岸線方向為主，其流速流向變化，漲潮往北北東、退潮流向南南西，至於C1測站位於港口北邊，則是漲潮往北、退潮流往南。94年10月21日~11月7日調查時，在港口以南之測站C2，6m以下水層，其流速流向變化，為漲潮往北北東、退潮流向南南西，至於接近表面之水層(6~7m)，受東北季風之影響，則不論漲潮或退潮，主要流向均以南南西向為主，此外C3測站主要流向以平行岸線方向為主，其流速流向變化，漲潮往北北東、退潮流向南南西，而港口北邊之C1測站，仍維持漲潮往北、退潮流往南之變化。95年1月10日~1月26日及95年4月4日~4月19日調查，其流速流向變化趨勢相同，在港口北邊之C1測站，其流速流向變化為漲潮往北、退潮流往南南西，而港口以南之C2測站各水層及C3測站，主要流向仍以平行岸線方向為主，漲潮往北北東、退潮流向南南西。

由成功大學水工試驗所於94年7月~95年6月之調查成果顯示，觀測海域之流速流向變化，在港口以南海域，主要流向大致上以平行岸線方向為主，而港口以北之海域，約在外傘頂洲至布袋港間，呈一開口略向西南的半圓灣型海域，C1測站大約在此灣型海岸之開口上，受到灣型海岸地形之影響，C1測站近岸海域在漲、退潮間之流況變化，不是在沿岸方向上，而是沿向離岸方向而變化，因此其主要流向呈南、北向之變化。圖2-6為於三測站所測得之浮標追蹤漂流軌跡圖，在C1測站浮標大部份以北北東方向漂流，施放期間漂流最大流速為67cm/s、流向20度；在C2測站所施放之浮標，於漲潮時段大部份也是以北北東方向漂流，漲潮時段漂流最大流速為79cm/s、流向15度，退潮時段大部份往以南南西向漂流，退潮時段漂流最大流速為63cm/s、流向212度；C3測站漲潮時段隨潮流向北北東向漂流，漂流最大流速為86cm/s、流向28度，退潮時段隨潮流向南南西方向漂流，退潮時段漂流最大流速為51cm/s、流向191度。

2.3、潮汐

鄰近布袋海域之潮位量測站，包括水利署塭港檢潮站及中央氣象局所設立之東石漁港檢潮站，兩處測站均位於計畫區北側約 10 公里處海域，計畫區鄰近海域之歷年最高潮位約達+2.00 公尺以上(潮位標高以基隆平均潮位為基準)，平均潮位則為+0.3~+0.5 公尺左右；歷年平均之大、小潮差及平均潮差分別為 2.23、0.76、1.50 公尺（詳如表 2-2 所示）。

成功大學水工試驗所亦曾於 94 年至 95 年於布袋港進行潮位調查，潮位觀測位置如圖 2-7 所示。圖 2-8 所示即為布袋港潮汐觀測期間之潮位時序變化圖，由圖中可看出潮汐變化大致呈現一天兩次的漲退，包含一大潮與一小潮，且潮位變化有半月不等現象，也就是有農曆大小潮水之分；而圖中潮位分別在 7 月 18 日、8 月 13 日、9 月 1 日及 10 月 2 日附近有明顯抬升的現象，此現象剛好分別發生在海棠、珊瑚、泰利及龍王等颱風影響的時期。

圖 2-9 為將觀測期間逐時潮位資料進行頻譜分析所得之布袋港潮汐能譜圖，由圖可看出能量尖峰主要集中在半日頻帶、全日頻帶與四分之一日頻帶等，其中以半日潮為最大。再將潮位逐時資料進行調和分析可得 60 個天文潮之調和常數如表 2-3 所示，其中以 M_2 分潮的振幅最大，進而推算法國制潮型指標 $(K_1+O_1)/(M_2+S_2)$ 為 0.548，此結果略大於近海水文中心(2002)在東石潮位站於 1993~1999 年間觀測之潮汐型態 R 值介於 0.41~0.45，屬於混和潮偏半日潮。

在潮位的統計方面，成功大學水工試驗所於布袋港潮汐調查期間之潮位統計結果如表 2-4 所示，觀測期間內平均潮位為+0.41m，平均潮差為 1.37m，大潮平均潮差為 2.21m，小潮平均潮差為 0.96m。另外，調查期間最高潮位為+1.72m，發生於 94 年 9 月 1 日 8 時，為泰利颱風影響期間，亦接近農曆大潮(農曆 7 月 28 日)時期；最低潮位為-1.07m，發生於 95 年 1 月 2 日 5 時，為農曆大潮(農曆 12 月 3 日)期間。

表 2-1 94 年 7 月 5 日~7 月 22 日各測站海流觀測期間最大流速、流向

點 位	最大流速(cm/s)	當時流向(°)	發生時間	備 註
C1	67.2	282	2005/07/19 15:20	海棠颱風
C2	41.2	215	2005/07/10 15:35	退潮
C3	93.2	196	2005/07/18 21:15	海棠颱風、退潮

表 2-1 (續 1)94 年 10 月 21 日~11 月 7 日各測站海流觀測期間最大流速、流向

點 位	最大流速(cm/s)	當時流向(°)	發生時間	備 註
C1	42.2	357	11/04/09:05 2005	漲潮
C2-1	41.4	25	10/30/17:20 2005	漲潮
C2-2	43.1	202	11/03/01:55 2005	退潮
C2-3	49.2	17	11/05/19:55 2005	漲潮
C2-4	53.1	11	11/05/19:55 2005	漲潮
C2-5	70.0	199	10/22/05:20 2005	退潮
C2-6	105.9	189	10/29/11:25 2005	退潮
C3	61.3	210	12/04/12:10 2005	退潮

表 2-1 (續 2)95 年 1 月 10 日~1 月 26 日各測站海流觀測期間最大流速、流向

點 位	最大流速(cm/s)	當時流向(°)	發生時間	備 註
C1	37.8	355	01/16/08:55 2006	漲潮
C2-1	41.6	26	01/12/06:30 2006	漲潮
C2-2	41.9	34	01/17/08:45 2006	漲潮
C2-3	44.4	205	01/18/03:00 2006	退潮
C2-4	48.8	29	01/12/06:05 2006	漲潮
C3	56.8	22	01/17/07:30 2006	漲潮

表 2-1 (續 3)95 年 4 月 4 日~4 月 19 日各測站海流觀測期間最大流速、流向

點 位	最大流速(cm/s)	當時流向(°)	發生時間	備 註
C1	36.9	194	04/15/14:00 2006	退潮
C2-1	43.0	39	04/16/08:45 2006	漲潮
C2-2	47.2	35	04/15/20:40 2006	漲潮
C2-3	49.2	25	04/11/17:55 2006	漲潮
C2-4	58.6	29	04/11/17:40 2006	漲潮
C3	64.6	27	04/17/09:05 2006	漲潮

表 2-2 布袋鄰近海岸潮位測量統計表

測站	布袋	將軍		塭港	東石
地點	港內	港內	港外	港內	港外
與本港址距離(公里)	0	25.65	25.65	10.57	7.84
分析時間(年)	50~60	68~82	65~88	52~85	81~85
施測(研究)單位	港灣技術 研究中心	中興工程 顧問公司	水利規劃 試驗所	經濟部水 利署	經濟部水利署
最高暴潮位	—	—	*1.65	—	—
最高高潮位	H.H.W.L	—	—	2.00	2.30
最高潮位	H.H.T	1.68	1.41	1.48	—
大潮平均高潮位	H.W.O.S.T	0.98	0.96	0.99	1.38
平均高潮位	M.H.W.L	0.74	0.72	0.75	1.09
小潮平均高潮位	H.W.O.N.T	—	—	—	0.79
平均潮位	M.W.L	0.07	0.22	0.24	0.32
小潮平均低潮位	L.W.O.N.T				0.03
平均低潮位	M.L.W.L	-0.61	-0.28	-0.27	-0.41
大潮平均低潮位	L.W.O.S.T	-1.03	-0.67	-0.64	-0.85
最低潮位	L.T	—	—	—	-1.82
最低低潮位	L.L.W.L	-1.6	-1.12	-1.12	—
大潮差		2.01	1.63	1.63	2.23
平均潮差		1.35	1	1.02	1.50
					1.47

註：1. 資料來源：水利署 85 年海岸水文年報。

2. 潮位標高以基隆平均潮位為基準，單位為公尺。

3."*”係民國 79 年 8 月 19 日楊希颱風過境測得潮位。

表 2-3 布袋港潮汐 94 年 7 月至 95 年 6 月之調和常數表

分潮名稱	角頻率 (deg/hr)	振幅(m)	相位遲角 (deg)	分潮名稱	角頻率 (deg/hr)	振幅(m)	相位遲角 (deg)
S_a	0.041069	0.0667	210	M_2	28.98410	0.629	244.904
S_{sa}	0.082137	0.0146	298.546	MKS_2	29.06624	0.0185	117.406
M_m	0.544375	0.0298	233.881	λ_2	29.45562	0.0216	96.093
M_{sf}	1.015896	0.0104	10.291	L_2	29.52848	0.0374	246.095
M_f	1.098033	0.0115	53.594	T_2	29.95893	0.0371	292.472
$2Q_1$	12.85429	0.0097	273.854	S_2	30.00000	0.166	17.56
σ_1	12.92714	0.0093	166.69	R_2	30.04107	0.0107	257.767
Q_1	13.39866	0.0492	75.217	K_2	30.08214	0.0625	234.295
ρ_1	13.47151	0.0034	242.495	MSN_2	30.54437	0.0079	291.371
O_1	13.94303	0.222	193.303	KJ_2	30.62651	0.002	240.98
MP_1	14.02517	0.0087	0.063	$2SM_2$	31.01589	0.0109	260.551
M_1	14.49205	0.0199	164.345	MO_3	42.92714	0.0095	156.451
χ_1	14.56955	0.006	107.669	M_3	43.47616	0.006	131.495
π_1	14.91786	0.0407	240.581	SO_3	43.94304	0.0059	193.641
P_1	14.95893	0.0498	224.66	MK_3	44.02517	0.0097	222.367
S_1	15.00000	0.0524	247.912	SK_3	45.04107	0.0046	2.262
K_1	15.04107	0.2133	260.395	MN_4	57.42383	0.0141	186.319
ψ_1	15.08213	0.0297	261.062	M_4	57.96820	0.0306	244.49
φ_1	15.12321	0.0263	136.539	SN_4	58.43972	0.0035	241.41
θ_1	15.51259	0.0017	147.226	MS_4	58.98410	0.0233	16.959
J_1	15.58544	0.0124	57.922	MK_4	59.06623	0.0109	251.889
SO_1	16.05696	0.0046	24.086	S_4	60.00000	0.0036	106.056
OO_1	16.13910	0.0114	252.618	SK_4	60.08213	0.0044	247.494
OQ_2	27.34169	0.0082	97.762	$2MN_6$	86.40794	0.0039	296.735
MNS_2	27.42383	0.009	220.716	M_6	86.95232	0.0074	120.134
$2N_2$	27.89535	0.008	129.009	MSN_6	87.42383	0.0023	42.682
μ_2	27.96821	0.0296	25.383	$2MS_6$	87.96820	0.0066	230.971
N_2	28.43973	0.1314	178.651	$2MK_6$	88.05034	0.0037	95.757
v_2	28.51258	0.0232	2.869	$2SM_6$	88.98410	0.0017	283.53
OP_2	28.90196	0.095	120.172	MSK_6	89.06624	0.0019	187.193

表 2-4 布袋港 94 年 7 月至 95 年 6 月之潮位基準面絕對高
程(基隆港中潮系統)

潮位	潮位絕對高程(m)
最高高潮位(HHWL)	+1.762(5/18 13 時)
大潮平均高潮位(HWOST)	+1.453
平均高潮位(MHWL)	+1.138
小潮平均高潮位(HWONT)	+0.967
平均潮位(MWL)	+0.426
小潮平均低潮位(LWONT)	+0.016
平均低潮位(MLWL)	-0.229
大潮平均低潮位(HWOST)	-0.769
最低低潮位(LLWL)	-1.07(1/2 5 時)

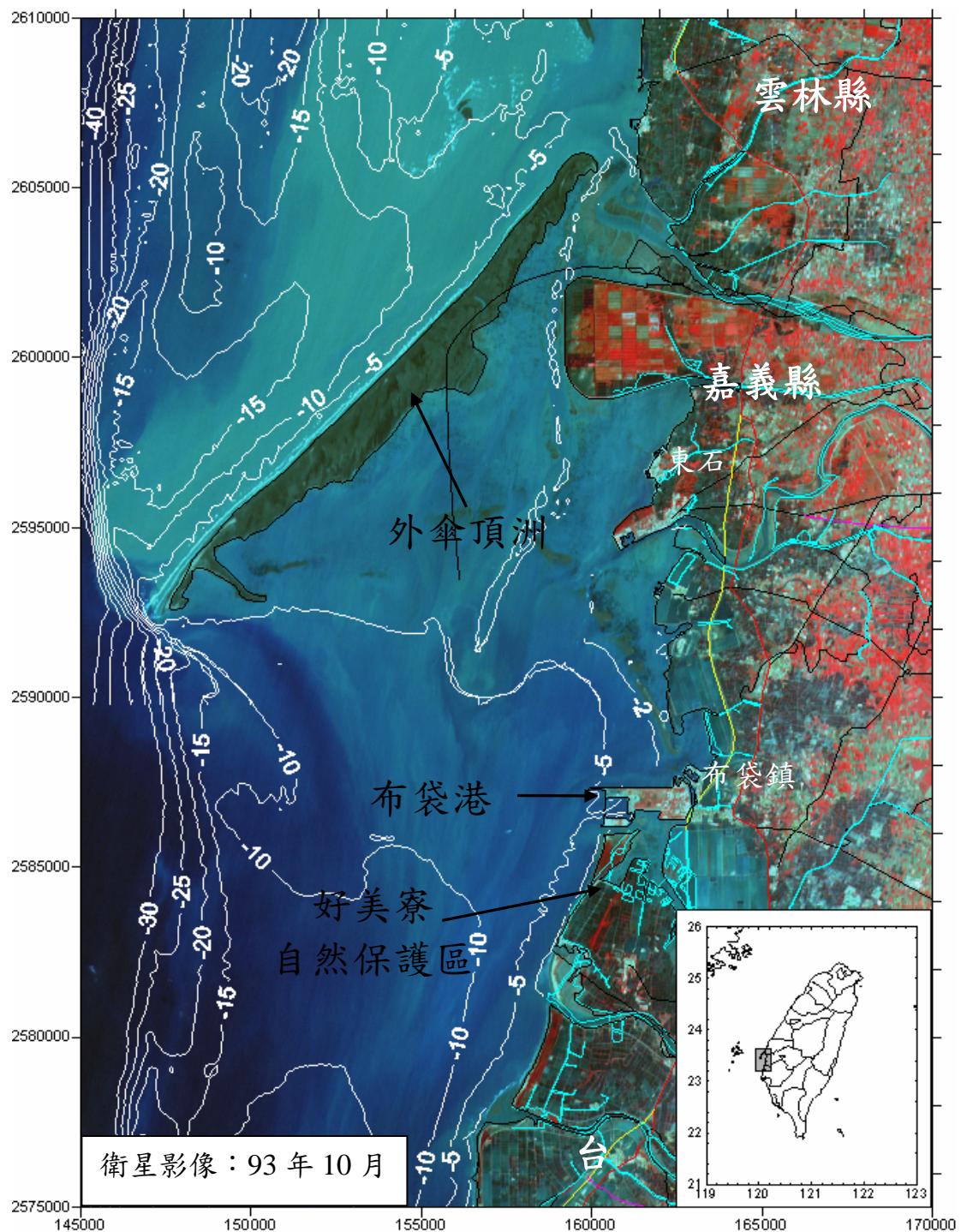


圖 2-1 布袋港地理位置圖

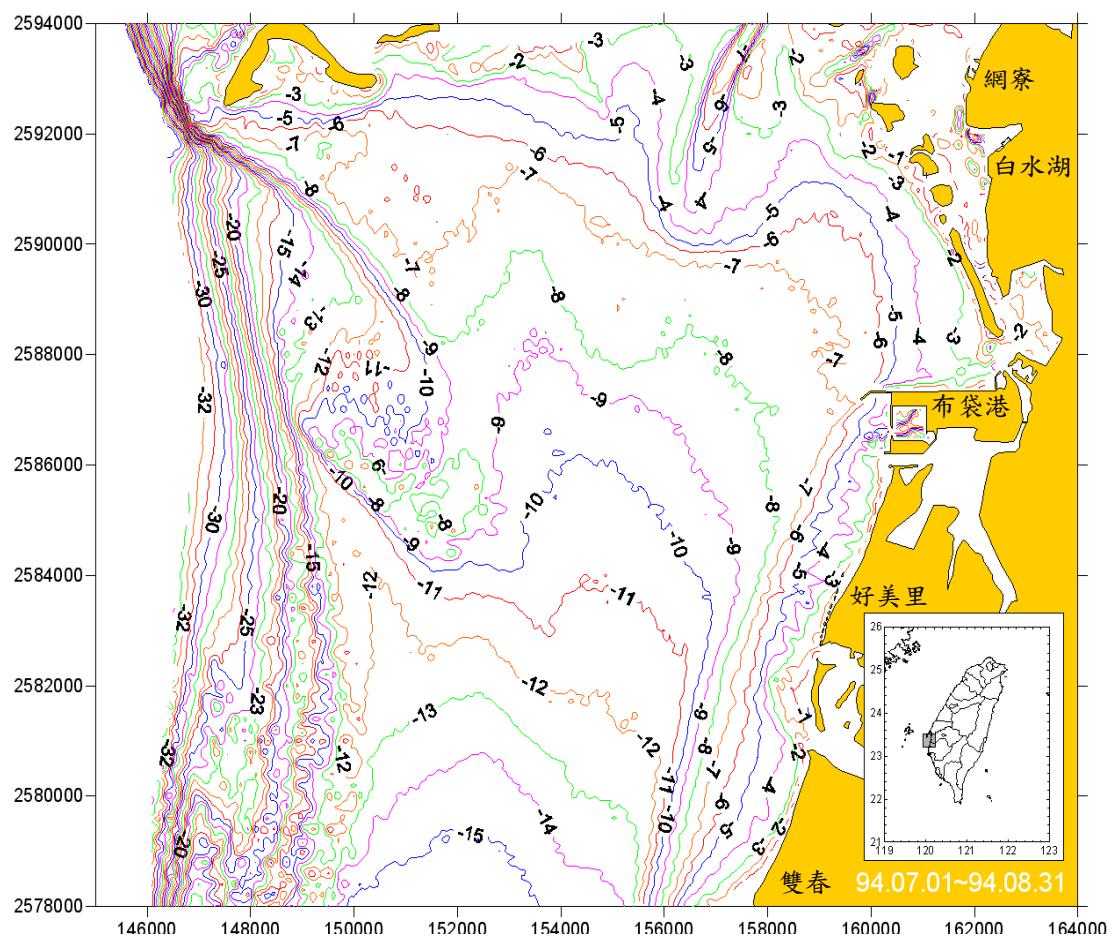


圖 2-2 94 年 7 月 地形水深圖

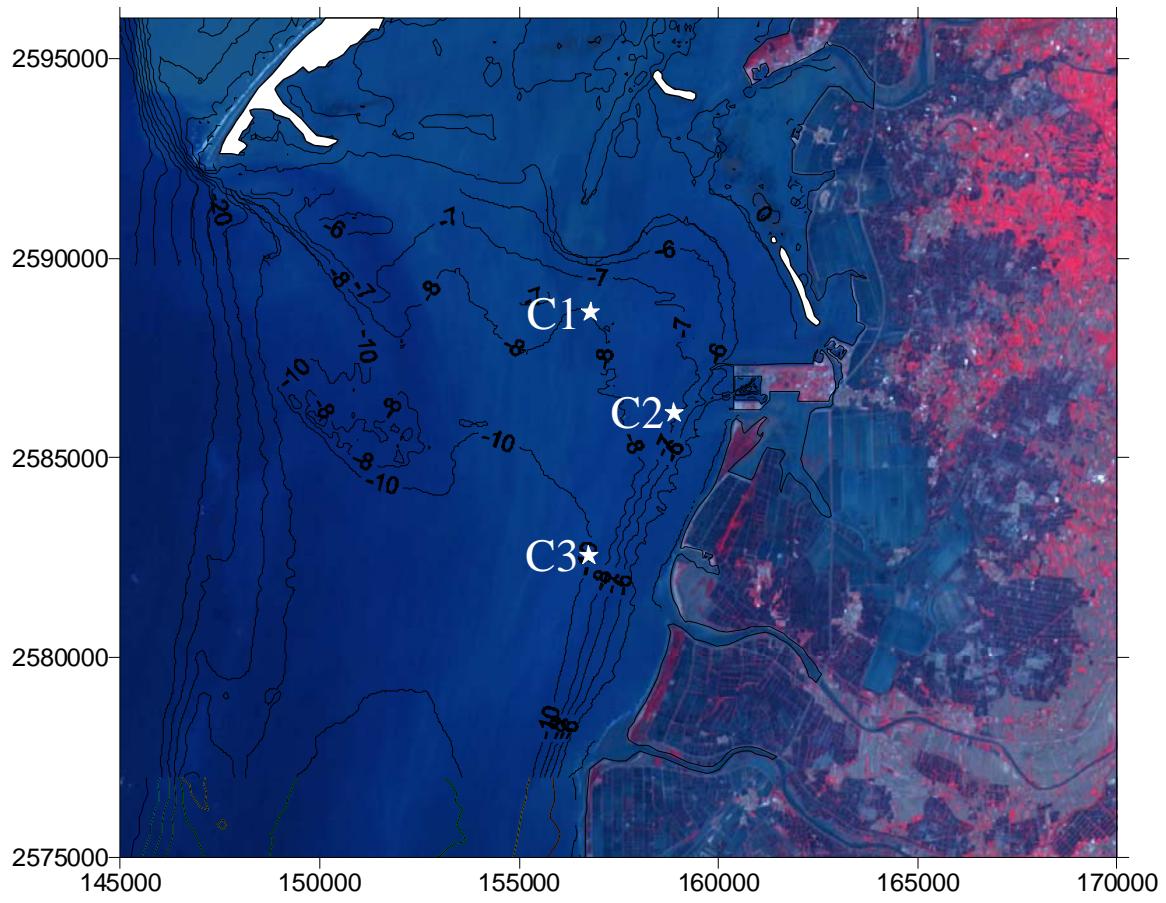


圖 2-3 海流施測點位概圖

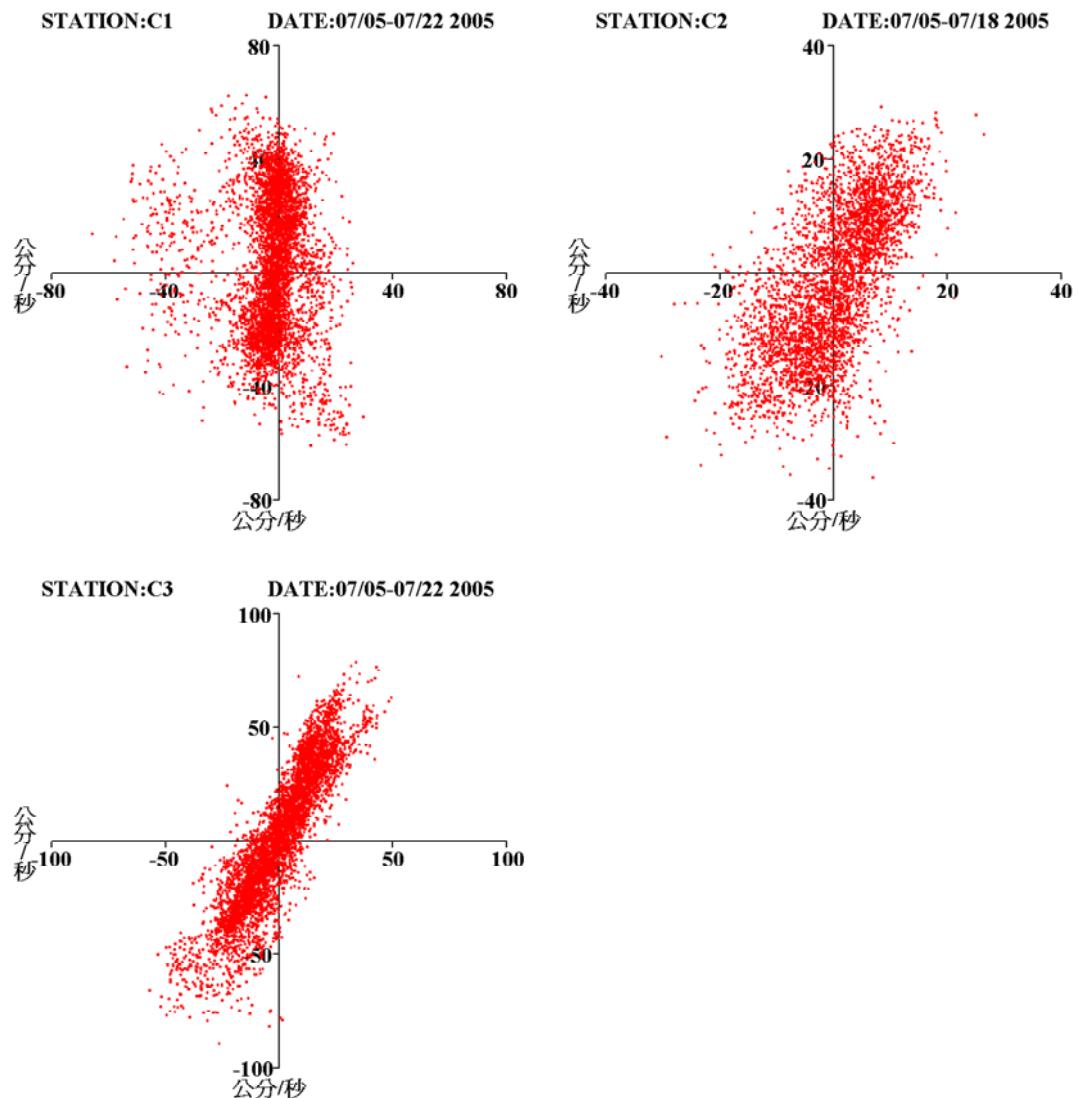


圖 2-4 流速流向散佈圖(94 年 7 月 5 日~7 月 22 日調查)

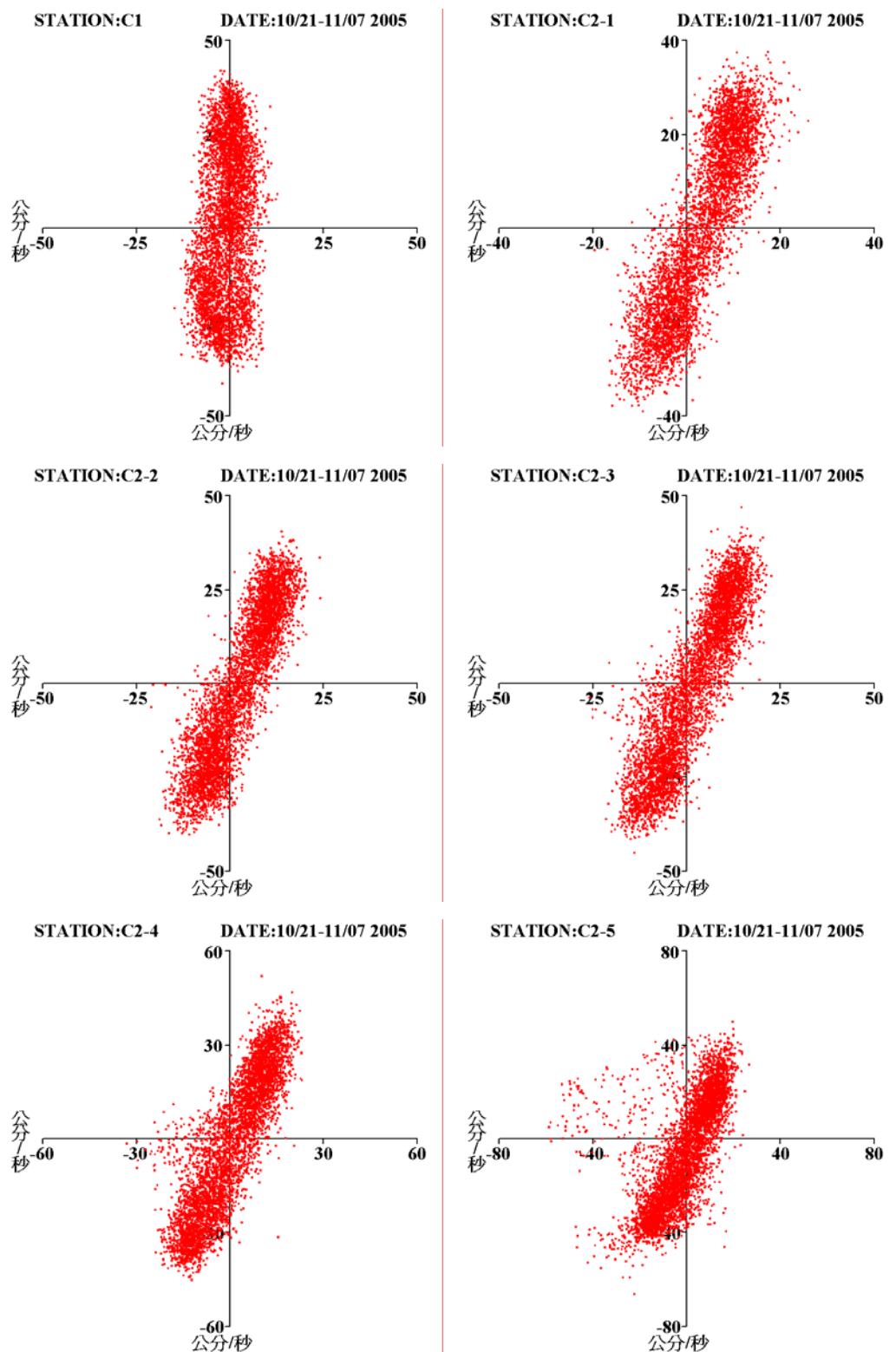


圖 2-4 (續 1)流速流向散佈圖(94 年 10 月 21 日~11 月 7 日調查)

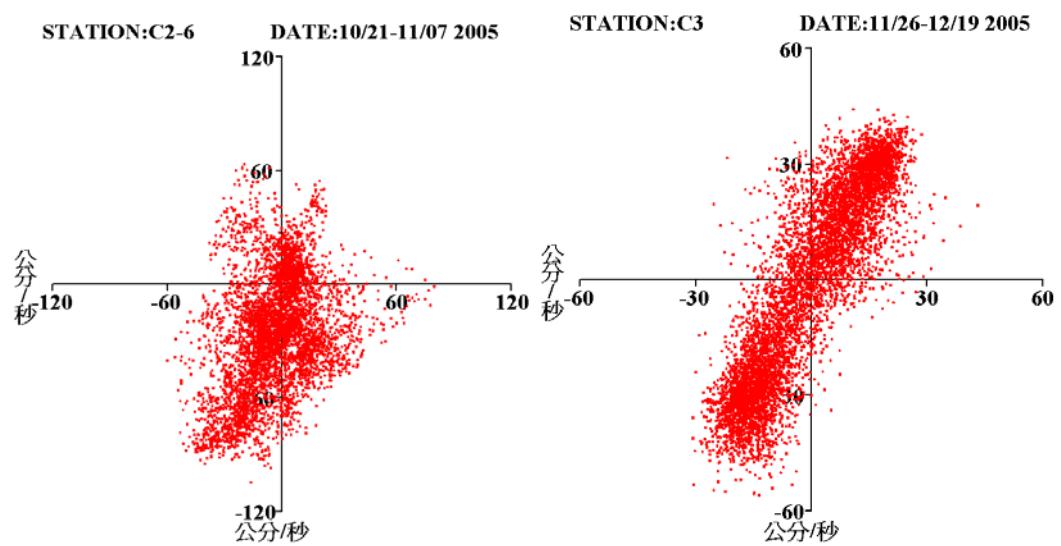


圖 2-4 (續 2)流速流向散佈圖(94 年 10 月 21 日~11 月 7 日調查)

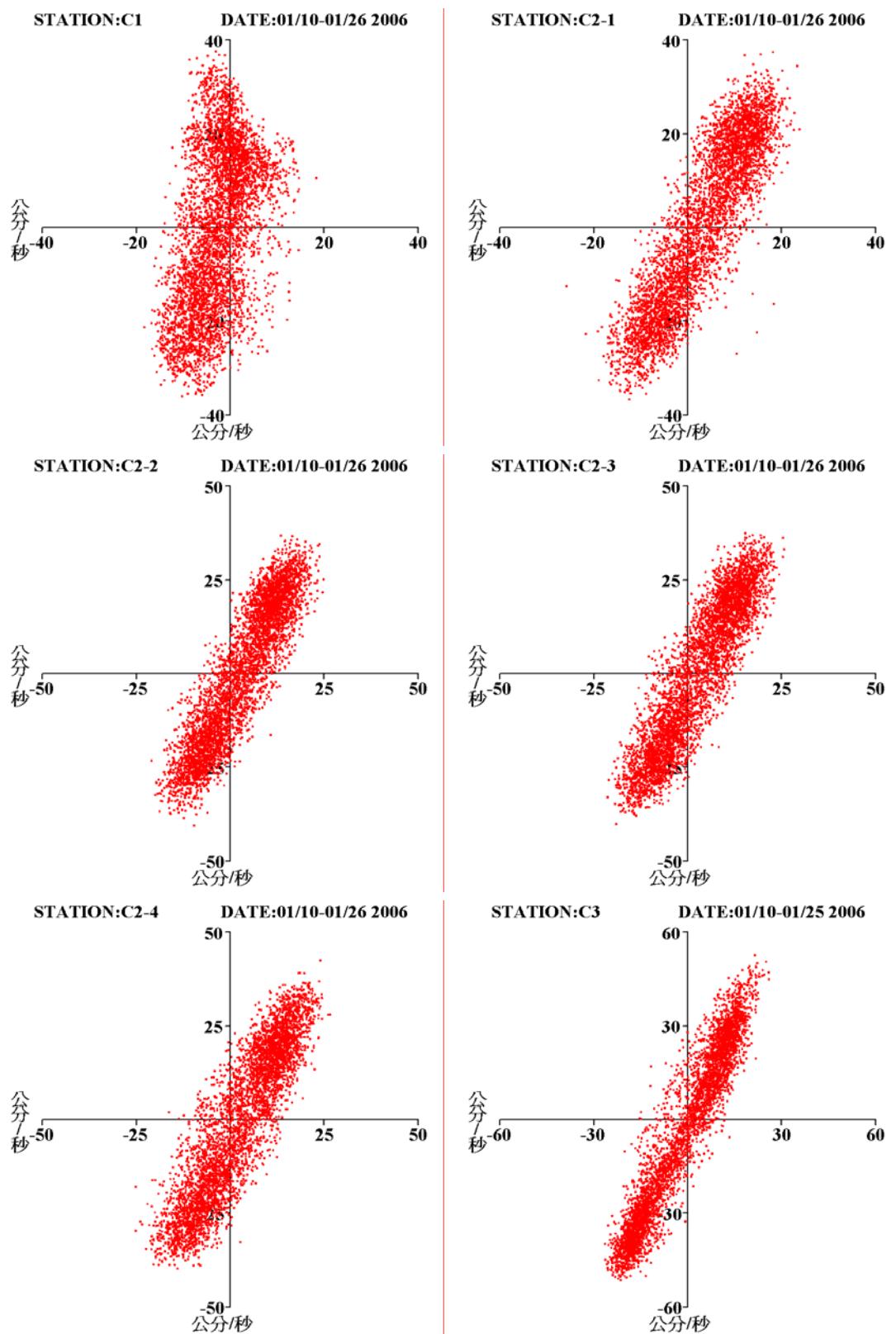


圖 2-4 (續 3)流速流向散佈圖(95 年 1 月 10 日~1 月 26 日調查)

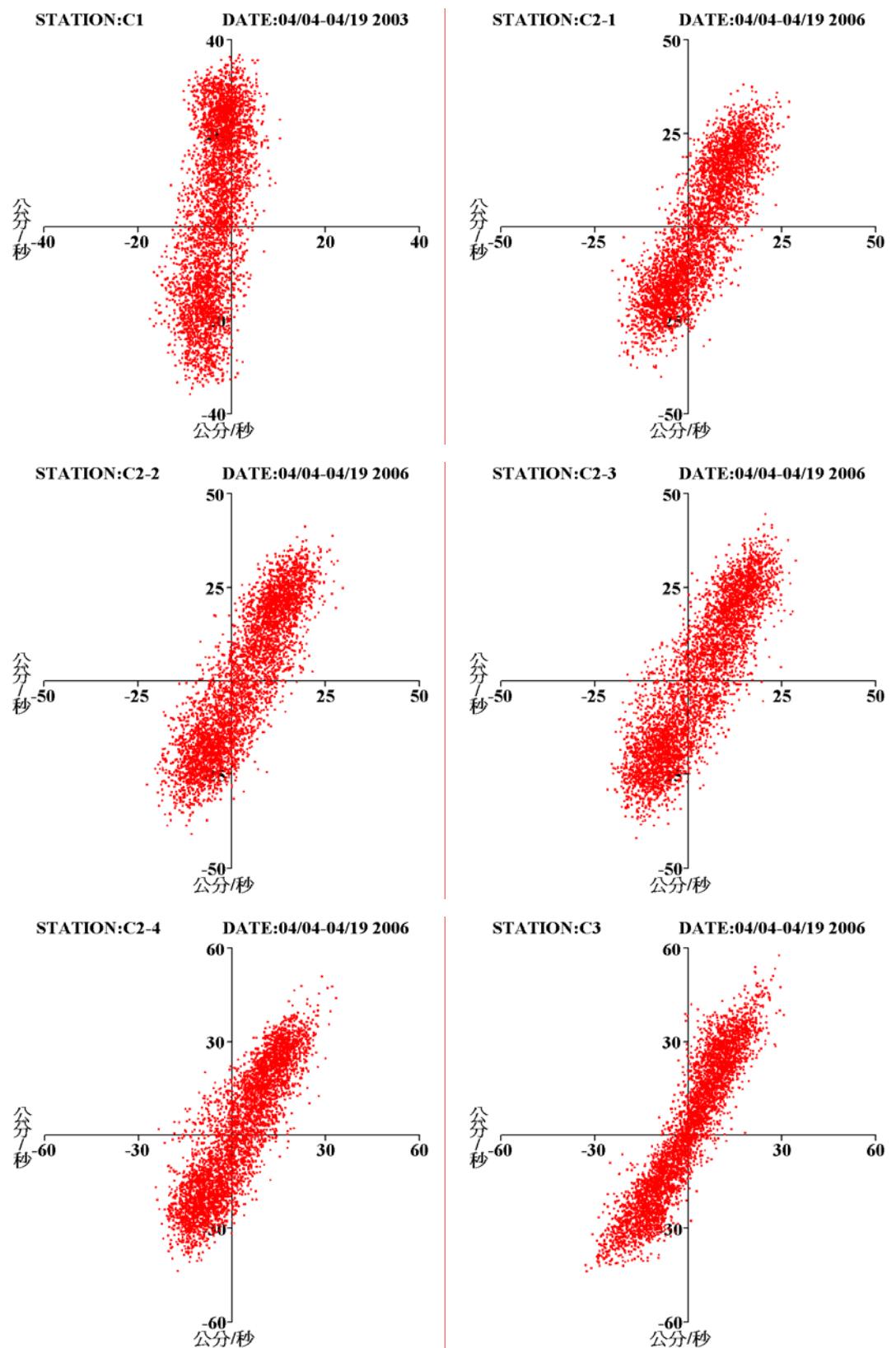


圖 2-4 (續 4) 流速流向散佈圖(95 年 4 月 4 日~4 月 19 日調查)

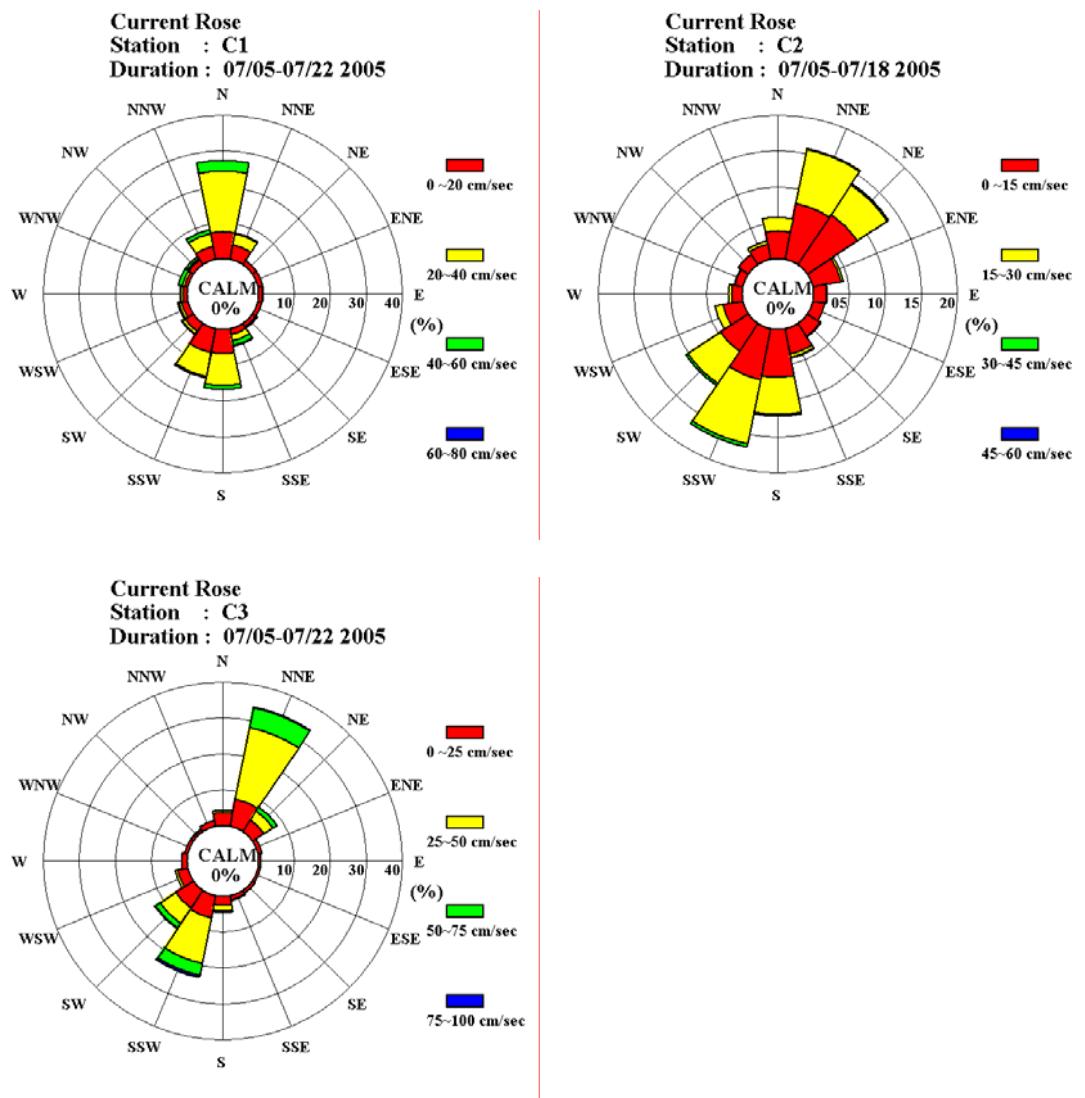


圖 2-5 流速流向玫瑰圖(94 年 7 月 5 日~7 月 22 日調查)

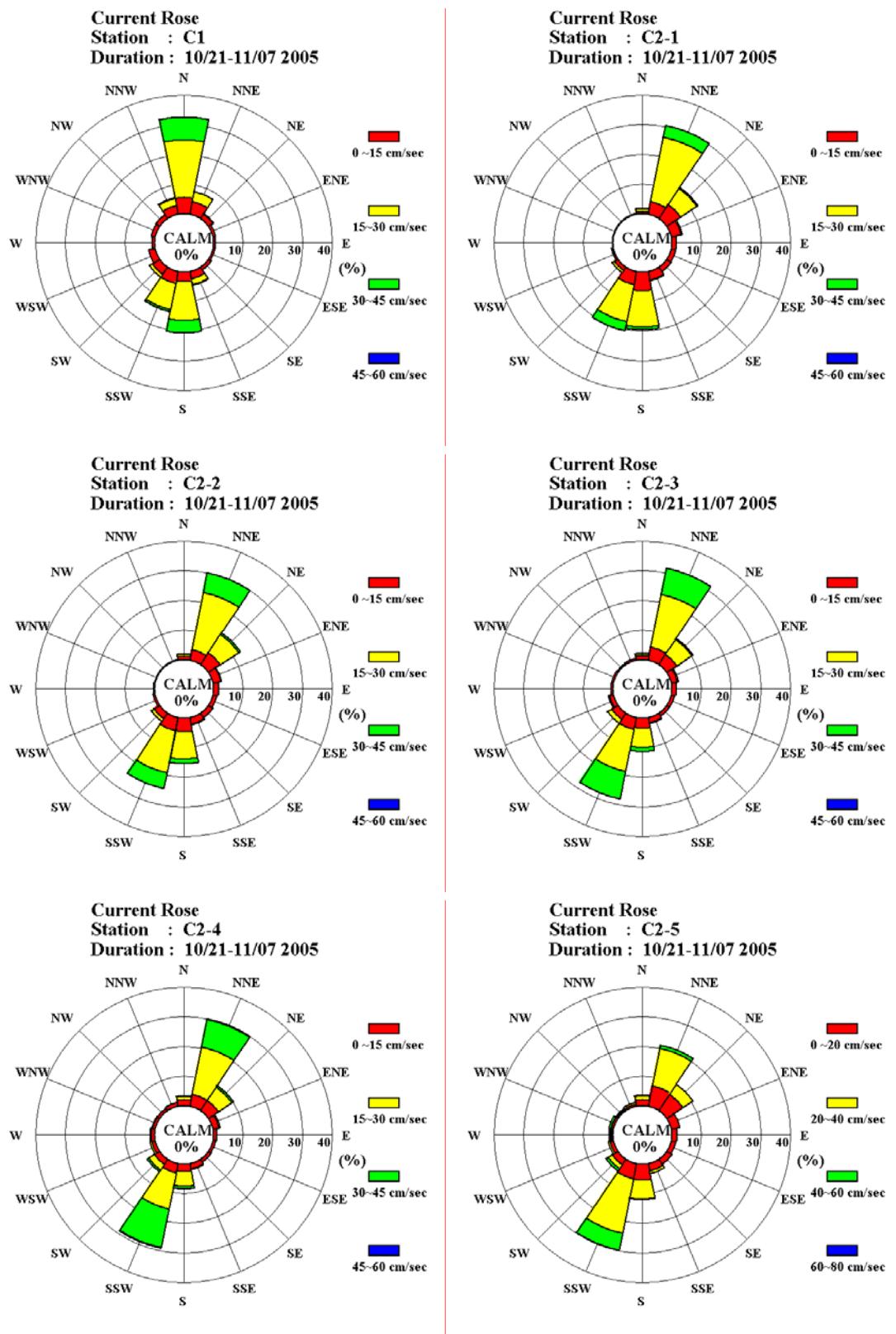


圖 2-5 (續 1)流速流向玫瑰圖(94 年 10 月 21 日~11 月 7 日調查)

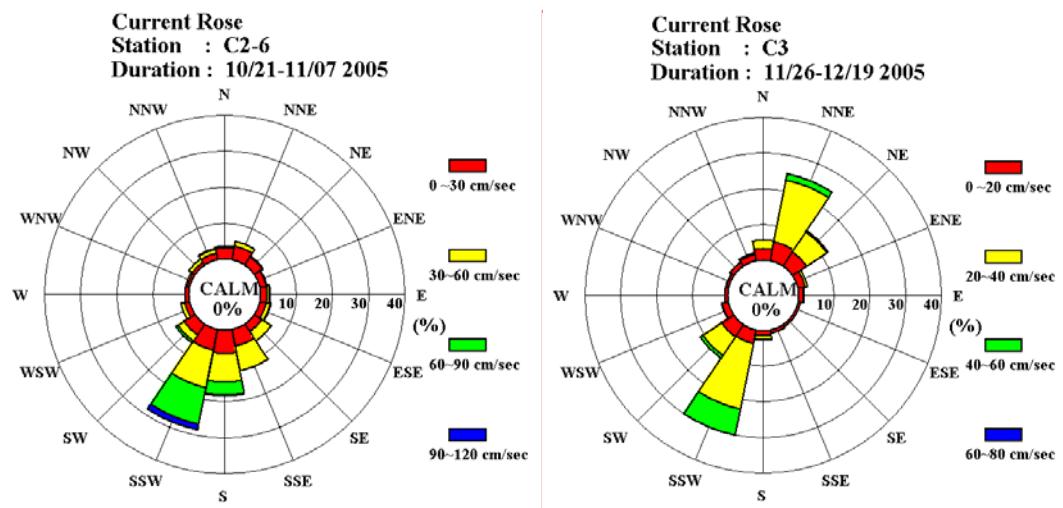


圖 2-5 (續 2)流速流向玫瑰圖(94 年 10 月 21 日~11 月 7 日調查)

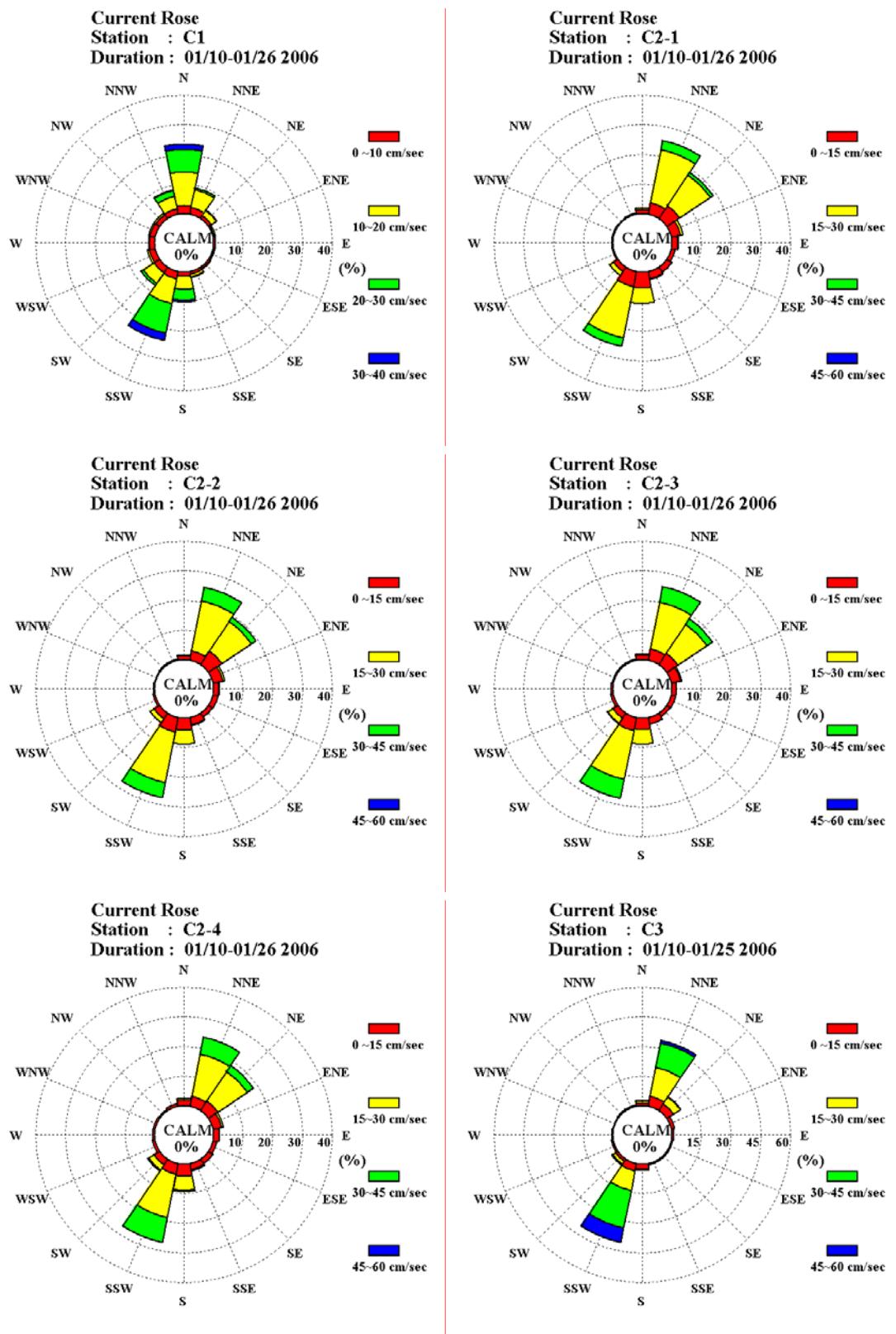


圖 2-5 (續 3) 流速流向玫瑰圖(95 年 1 月 10 日~1 月 26 日調查)

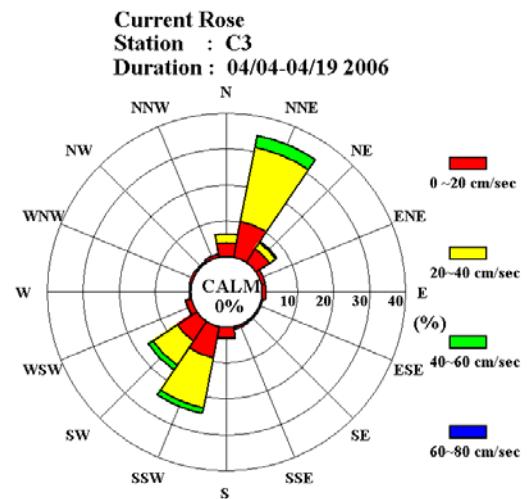
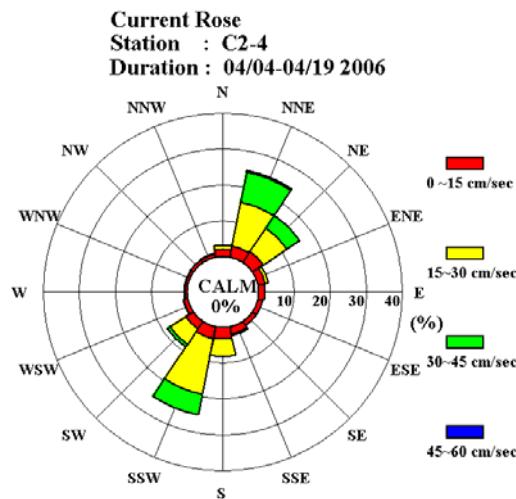
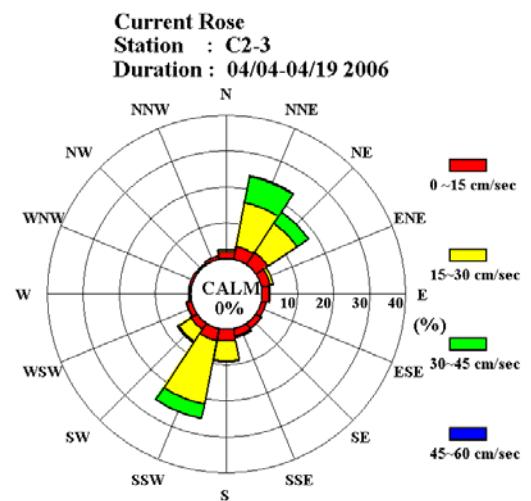
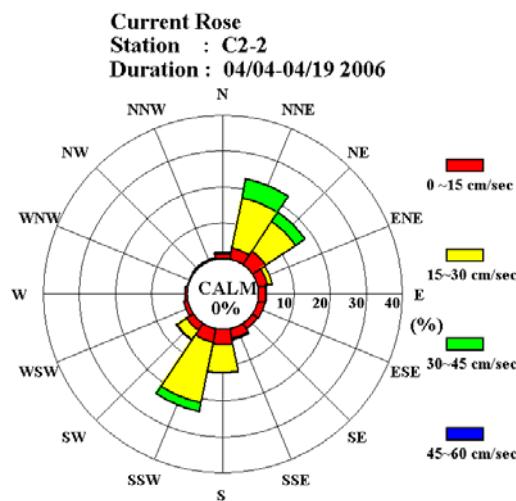
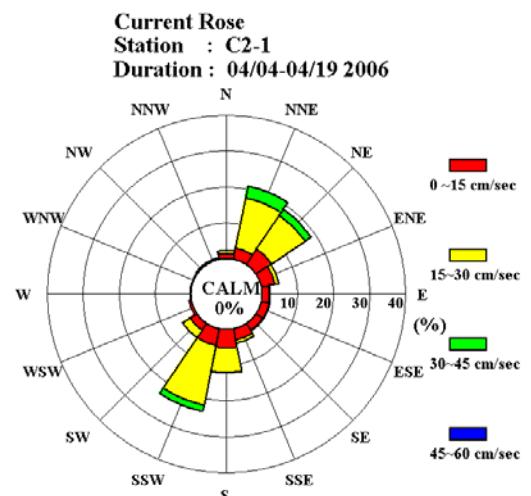
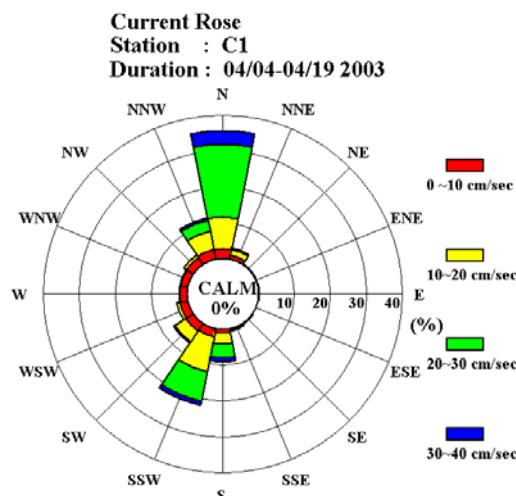


圖 2-5 (續 4) 流速流向玫瑰圖(95 年 4 月 4 日~4 月 19 日調查)

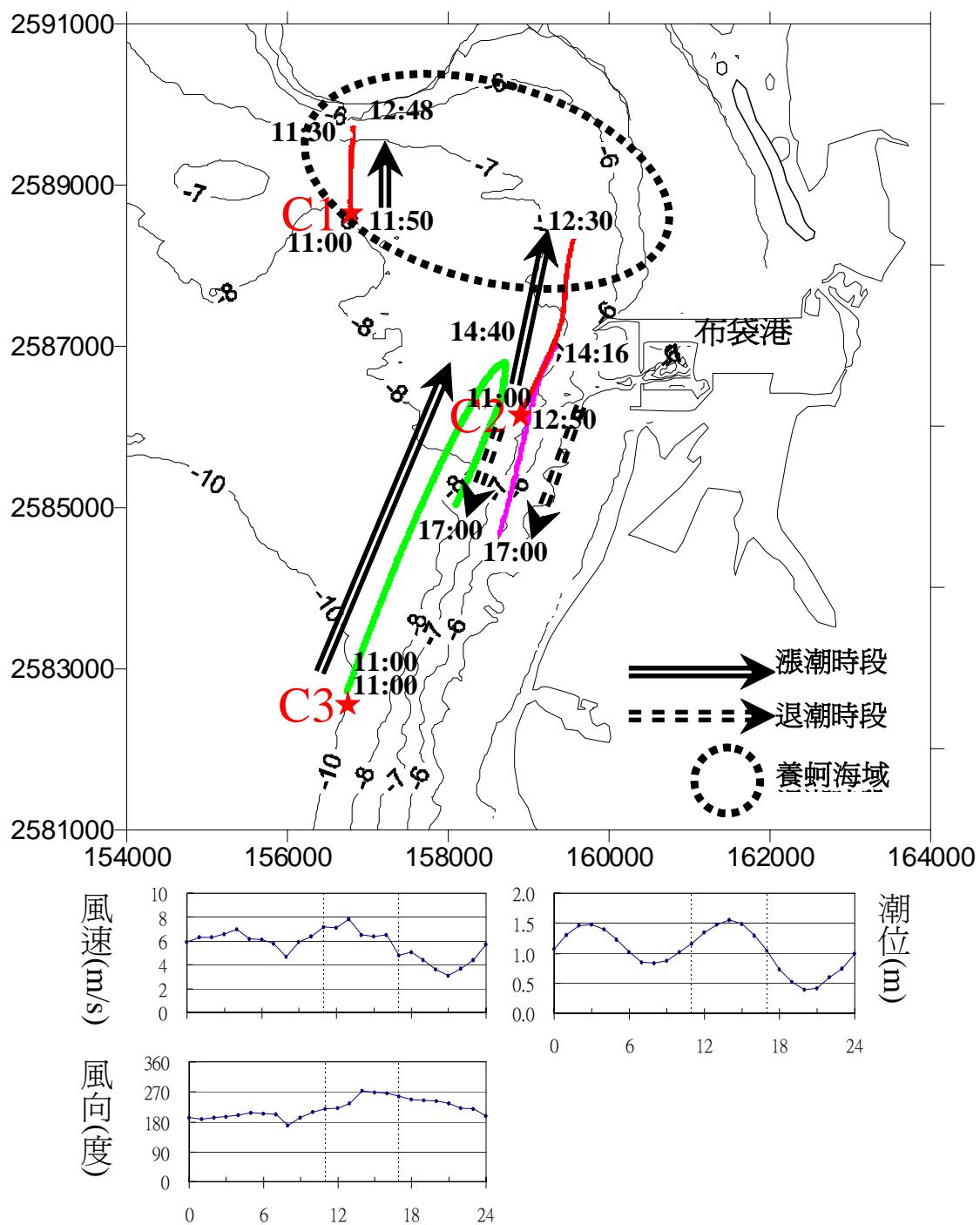


圖 2-6 浮標追蹤漂流軌跡圖(施放日期：94/07/12)

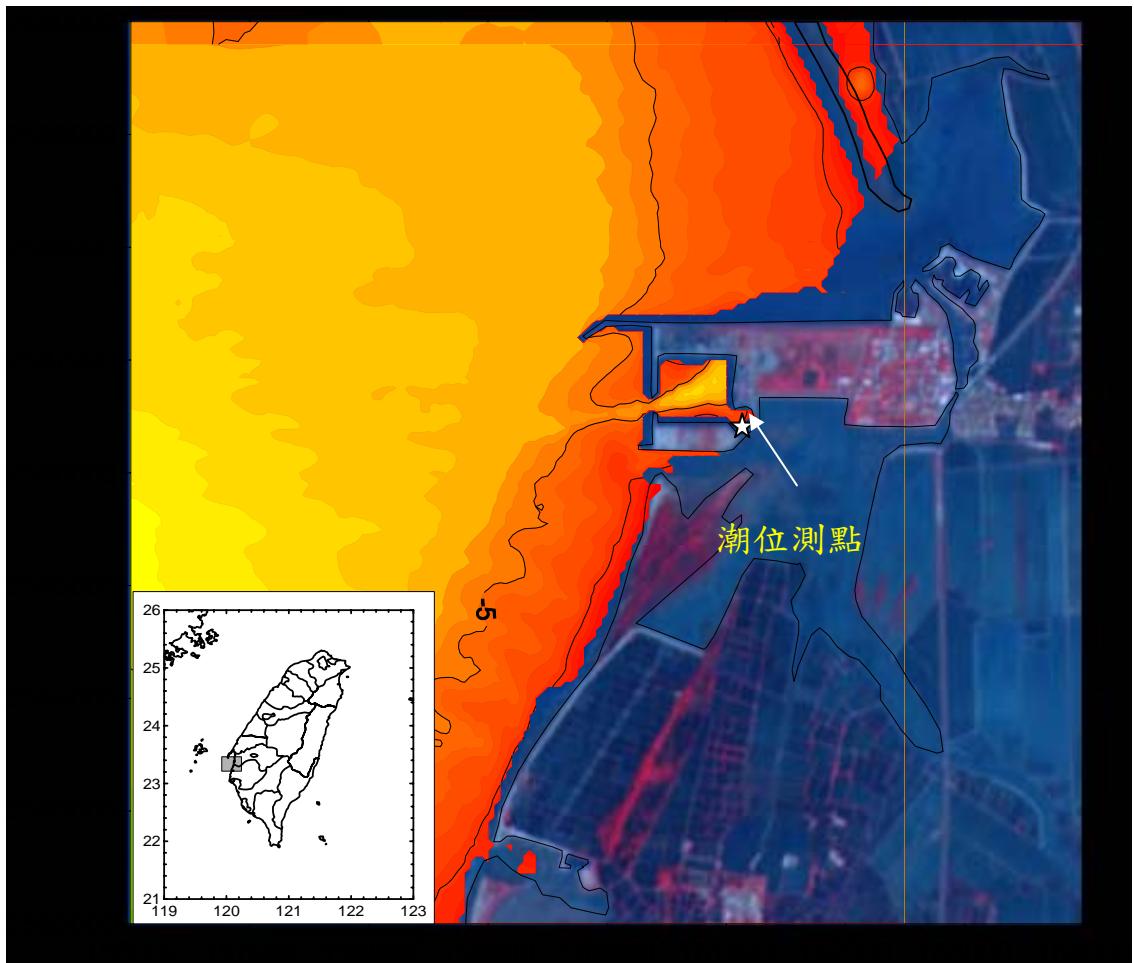


圖 2-7 布袋港潮位觀測點位

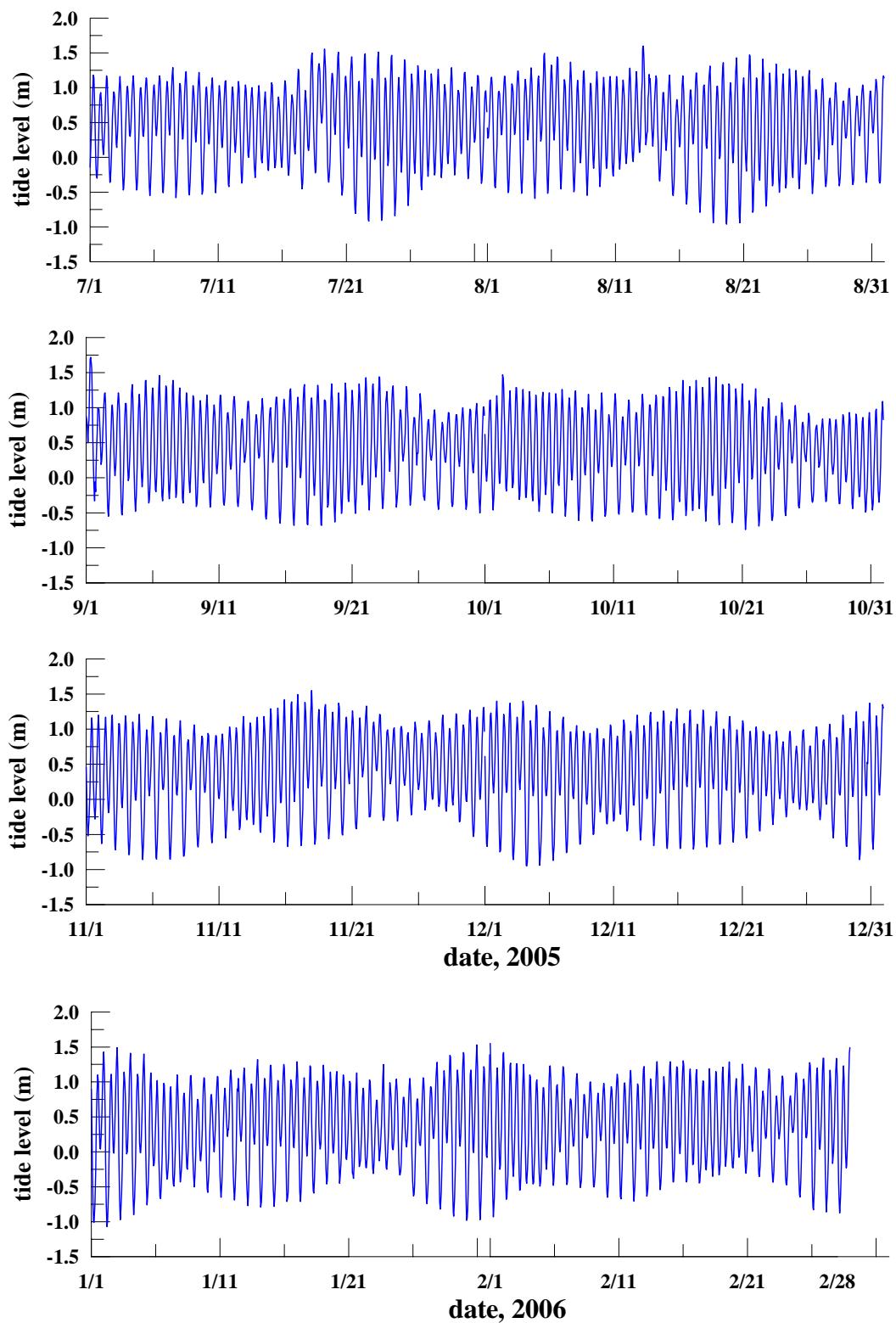


圖 2-8 布袋港潮位時序變化圖(94 年 7 月~95 年 2 月)

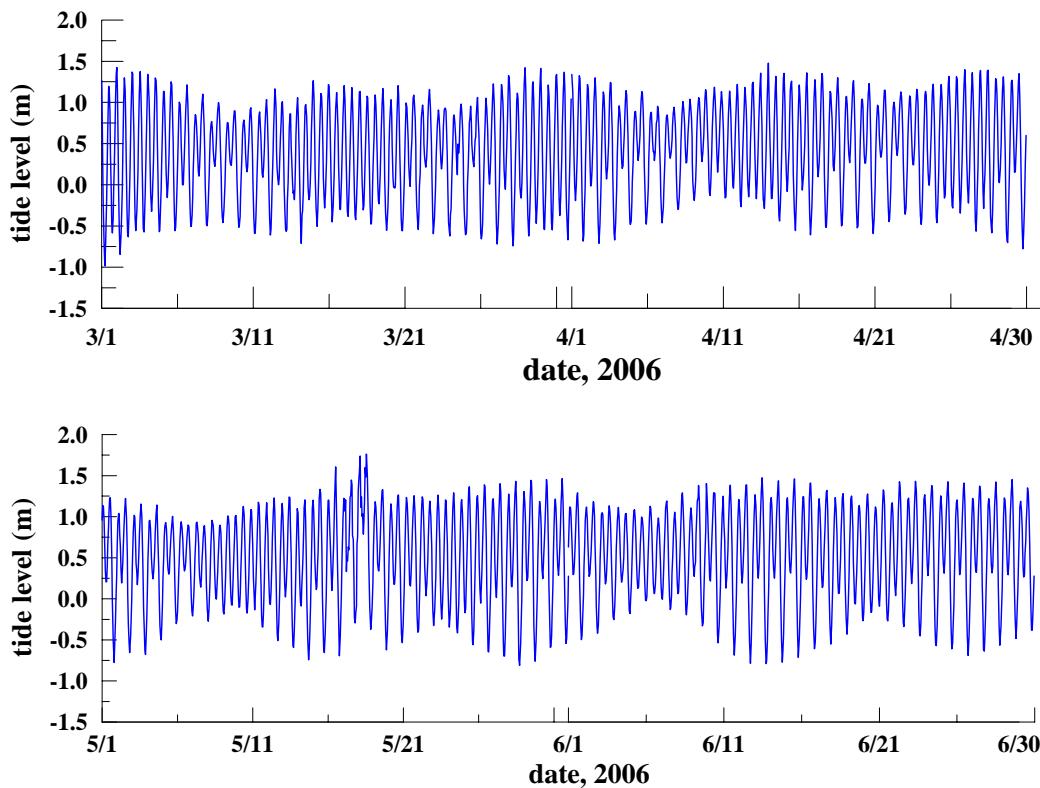


圖 2-8 (續) 布袋港潮位時序變化圖(95 年 3 月～95 年 6 月)

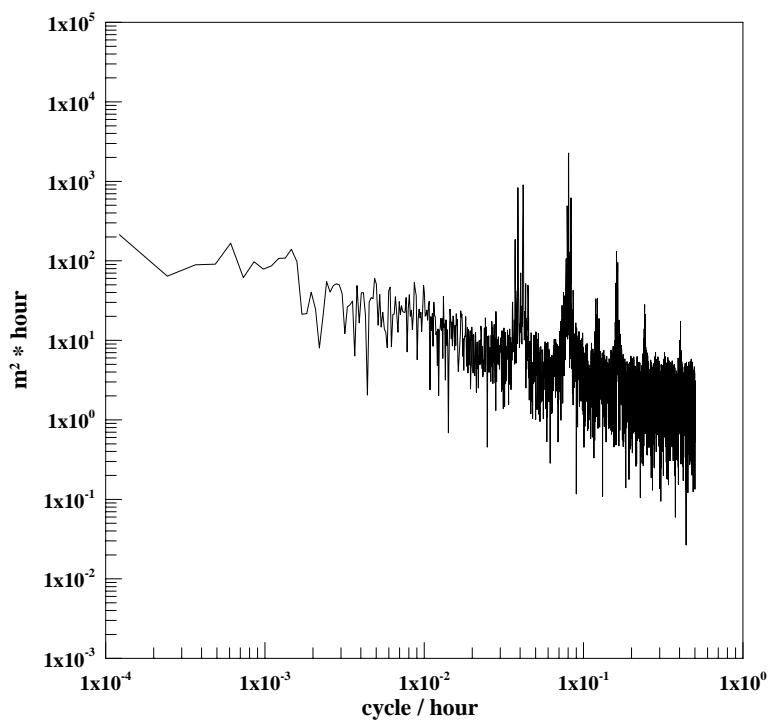


圖 2-9 布袋港潮汐觀測期間(94 年 7 月至 95 年 6 月)之潮位能譜圖

第三章、二維水動力模式率定與驗證

本章節將首先簡介模式之內容，再利用實測之水理資料檢驗二維水動力模式，使用之檢驗資料為成大水工所於民國 94 年 7 月所量測得之布袋商港潮位站的潮汐及海域海流測站資料。最後本計畫將應用此驗證後之模式模擬分析布袋商港不同擴建方案之流場變化。

3.1、水理模式之建立

將三維的運動方程式與連續方程式由海底積分至海面，同時加入底部和表面的邊界條件，則可得到下列的平面二維流場控制方程式：

1. 連續方程式

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial (HU)}{\partial x} + \frac{\partial (HV)}{\partial y} = 0 \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

2. x、y 方向運動方程式

$$\begin{aligned} & \frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} - fV + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + g \frac{U(U^2 + V^2)^{1/2}}{C^2 H} \\ & - \frac{1}{\rho H} \tau_x^s - (E_{xx} \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + E_{xy} \frac{\partial^2 U}{\partial y^2}) = 0 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(3.2)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + fU + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + g \frac{V(U^2 + V^2)^{1/2}}{C^2 H} \\ & - \frac{1}{\rho H} \tau_y^s - (E_{yy} \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + E_{xy} \frac{\partial^2 V}{\partial x^2}) = 0 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(3.3)$$

以上諸式中

x 、 y 為右手直角座標， x 、 y 隨邊界而定其方向

U 、 V 為相對於 x 、 y 方向之流速分量

t 為時間

ρ 為海水密度

g 為重力加速度

E_{xx}, E_{yy}, E_{xy} 為渦動粘性係數

f 地球自轉之柯氏力係數

τ_x^s, τ_y^s 為表面風剪力分量

C 為 Chezy 係數，隨水深而變化

$$U = \frac{1}{H} \int_{-h}^{\zeta} u dz$$

$$V = \frac{1}{H} \int_{-h}^{\zeta} v dz$$

$$H = \zeta + h$$

h ：水深

ζ ：自由水面的高度

$$f = 2\Omega \sin \phi$$

ϕ 為緯度

Ω 為地球自轉的角速度

$$\tau_x^s = \rho_a \theta \omega^2 \sin \varphi$$

$$\tau_y^s = \rho_a \theta \omega^2 \cos \varphi$$

θ =為風力係數 ≈ 0.0026

ω =風速

ρ_a ：空氣密度

φ ：為風向與 y 軸之夾角

上述連續與運動方程式將以 ADI 計算技巧來求解。模式中必須率定的參數主要為底床摩擦係數(Chezy 係數)與渦動粘性係數。在潮間帶乾濕地變化的處理部份，由於 ADI 計算技巧為雙掃法，其在計算過程中需要依續解 x 與 y 方向之矩陣，因此模式中假設當隔網點在 x 或 y 方向之平均水深小於 0.1 公尺時，其相對之流速分量 u 或 v 將設為零。

3.2、水理模式之率定驗證

水理數值模式之品質管制主要包括：(1)控制方程式之品管、(2)數值技巧之品管、(3)模式計算結果之品管。本計畫應用成大水工所發展之水理模式來模擬布袋海域之流場特性，由於此模式已被廣泛的應用於許多地區，其在模式控制方程式與數值技巧方面之品管均已有相當程度之公信力。因此本模式之品管重點將只在於模式參數之率定與模擬結果之驗證。在率定與驗證資料的選取方面，本計畫將先以成大水工所於民國 94 年 7 月在布袋港海域所測得之海流資料進行水理數值模式的率定驗證，敘述如下：

3.2.1、模式模擬區域之選取

模擬範圍如圖 3-1 所示布袋商港鄰近海域(不含外傘頂洲北側海域)，北起東石港，南至急水溪口南岸，南北縱長約 16 公里。港口結構物配置為目前港口外廓形狀。選定模擬範圍在將其網格化為執行數值模擬之前處理工作，模擬區域與網格大小之選取，主要需考慮模擬需求、電腦運算資源與開放邊界條件等因素。基於上述因素，本計畫選取之模擬區域，南起急水溪口南岸海域，北至東石港附近海域。圖 3-2 所示即為模式計算格網之地形水深分布圖。本計畫率定模式時所使用之網格間距為 20 公尺，格網數目為 801×601，模式之其它計算條件則詳列於表 3-1。

3.2.2、水理模式之率定

水理模式之主要參數包括渦動粘性係數及底床磨擦係數，這些參數值的選取將影響模式的穩定性及計算結果的準確性。一般來說，模式使用之參數值必須經由模式之率定來決定。水動力模式之率定將由模式計算之結果與本計畫收集所得實測之水位或海流資料相比較來為之，模式計算時選用之邊界條件與參數簡述如下：

本模式以水位做為開放邊界之邊界條件，南北水位邊界係以箔子寮潮位站、布袋商港潮位站及將軍潮位站經由內差處理所推算之潮位資料做為外海邊界條件，如圖 3-3 所示。水理模式之率定將由模式計算結果與成大水工所於民國 94 年 7 月 5 日至 7 月 15 日於布袋海域所測得之海流資料來進行水理模式之檢驗與參數率定的工作，海流檢驗站的位置標示於圖 3-2。在模式中渦動粘性係數的選取，本計畫係先根據紊流運動理論，以下二式作理論之估算即：

$$E_x = \overline{u'^2} \int_0^\infty R_u(\tau) d\tau \cdot \beta \quad \dots \dots \dots \quad (3.4)$$

$$E_y = \overline{v'^2} \int_0^\infty R_v(\tau) d\tau \cdot \beta \quad \dots \dots \dots \quad (3.5)$$

其中 E_x, E_y 分別表示 x 與 y 方向之渦動粘性係數，而 $\overline{u'^2}, \overline{v'^2}$ 則為擴散範圍內水流在 x 與 y 方向之擾動速度平方的平均， $R_u(\tau), R_v(\tau)$ 則為 x 與 y 方向之自相關係數，至於 β 則為紊流之無因次參數。應用以上公式，可將所蒐集之海流資料進行分析，而求得海域之渦動粘性係數值 (E_x, E_y) ，其值之級次分別約為 $O(2)$ ，使用之單位為 m^2/s 。以此估算之級次為基礎，本計畫進一步對渦動粘性係數做敏感度分析與率定，最後選取 $75m^2/s$ 與 $75m^2/s$ 作為模式的渦動粘性係數值 (E_x, E_y) 。在底床磨擦係數方面，模式係以 Chezy 係數來表示，其值將依水深而變，本計畫使用之 Chezy 係數值約介於 27~80 之間。

水理模式計算結果之潮位與各海潮流測站實測值之比較分析如下所述。其中沿岸方向之流速分量以往北為正，向離岸方向流速分量則

以離岸方向(往西方向)為正。圖 3-4 所示為本模式計算所得水位與布袋港潮位站之實測水位的比較，結果顯示本模式計算所得之水位的振幅與相位均與實測值相當吻合。圖 3-5 至圖 3-7 為模擬時間 94 年 7 月 5 日至 7 月 15 日中模式預測及實測值之流速分量比較圖。本時段之模擬結果與實測值在沿岸方向流速有較佳的符合度，但流速振幅較實測值略低。離岸方向流速則較實測流速振幅為小。圖 3-8 為模擬時段最後一個潮週期，每小時之海潮流平面流場分布圖。圖中顯示海域流況大致呈漲潮向西北退潮往東南的趨勢，流向仍大致平行海岸線。

由本模式計算所得水位與布袋港潮位站之實測水位的比較，結果顯示本模式計算所得之水位的振幅與相位均與實測值相當吻合。由預測與實測流速比較顯示，本模式計算所得之流速在預測沿岸流流速與實測流速相當吻合，在離岸流流速振幅則略小於實測結果。至於本模式計算所得之最大流速值大都略小於實測流速，此可能之成因為模式計算所得之結果為一控制體積內水流流速的平均值，但實測流速為海中某一定點的瞬時流速，而平均流速的最大值往往小於瞬時流速的最大值。至於在海流方向的比較方面，模擬結果顯示模式計算所得之海流流向與實測流向相當一致。整體而言，本計畫模式之模擬結果均可相當程度的布袋海域的流場。

3.3、不同擴建方案之流場分析

本節主要應用在第 3.2 節中經過仔細率定驗證之水理模式來預測好美寮濕地保護區在不同擴建方案之流場變化情形，分析之案例如下：

CASE1：布袋商港現況（CASE1）之地形條件，如圖 3-9。

CASE2：布袋商港擴建方案 1(龍宮溪納入商港內，CASE2) 之地形條件，如圖 3-10 所示。

CASE3：布袋商港擴建方案 2(龍宮溪未納入商港內，CASE3) 之

地形條件，如圖 3-11 所示。

圖 3-12 至圖 3-19 所示為模擬所得不同方案(CASE1、CASE2 及 CASE3)於 8 個檢驗點(N1~N8)之流場時序列比較圖，結果顯示愈接近龍宮溪出海口，其流速越大。而在不同檢驗點之流速值均以 CASE1 最大，其次為 CASE2，最小者為 CASE3。圖 3-20 所示為模擬所得不同方案(CASE1、CASE2 及 CASE3)於 8 個檢驗點(N1~N8)之最大流速比較圖，在 N1 檢驗點 CASE1 之最大流速值為 0.26m/sec，CASE2 為 0.22m/sec，CASE3 則為 0.20m/sec；在 N2 檢驗點 CASE1 之最大流速值為 0.23m/sec，CASE2 為 0.20m/sec，CASE3 則為 0.183m/sec；在 N3 檢驗點 CASE1 之最大流速值為 0.191m/sec，CASE2 為 0.164m/sec，CASE3 為 0.153m/sec；在 N4 檢驗點 CASE1 之最大流速值為 0.244m/sec，CASE2 為 0.206m/sec，CASE3 為 0.195m/sec；在 N5 檢驗點 CASE1 之最大流速值為 0.11m/sec，CASE2 為 0.09m/sec，CASE3 為 0.086m/sec；在 N6 檢驗點 CASE1 之最大流速值為 0.08m/sec，CASE2 為 0.07m/sec，CASE3 為 0.067m/sec。而愈遠離龍宮溪出海口如 N7 與 N8，其最大流速值則越小。由模擬結果顯示布袋商港擴建將會造成好美寮濕地內之流速變小，在龍宮溪出海口處(N1 檢驗點)商港擴建納入龍宮溪之方案(CASE2)約較現況降低 0.04m/sec，而商港擴建未納入龍宮溪之方案(CASE3)所造成之流速則較現況降低 0.06m/sec。

圖 3-21 為 CASE2 模擬所得之流場分布向量圖。由於龍宮溪納入布袋商港內，好美寮濕地保護區內之漲退潮的流速明顯較現況為小。圖 3-22 為 CASE3 模擬所得之流場分布向量圖。雖然布袋商港擴建未納入龍宮溪，然因布袋商港之南防波堤的配置(如圖 3-11)造成外海海水不易進入龍宮溪出海口內，導致在好美寮濕地保護區內之流速均較 CASE1 與 CASE2 小。

表 3-1 模式之格網及計算條件

	模 式
模式面積	16 公里×12 公里
格網大小	20 公尺×20 公尺
格網數目	801×601
原點座標	E=162400m N=2578000m
轉 角 (由正北向逆時針)	-90°
時間間距	1 秒
模擬時間	2005/07/05~2005/07/21

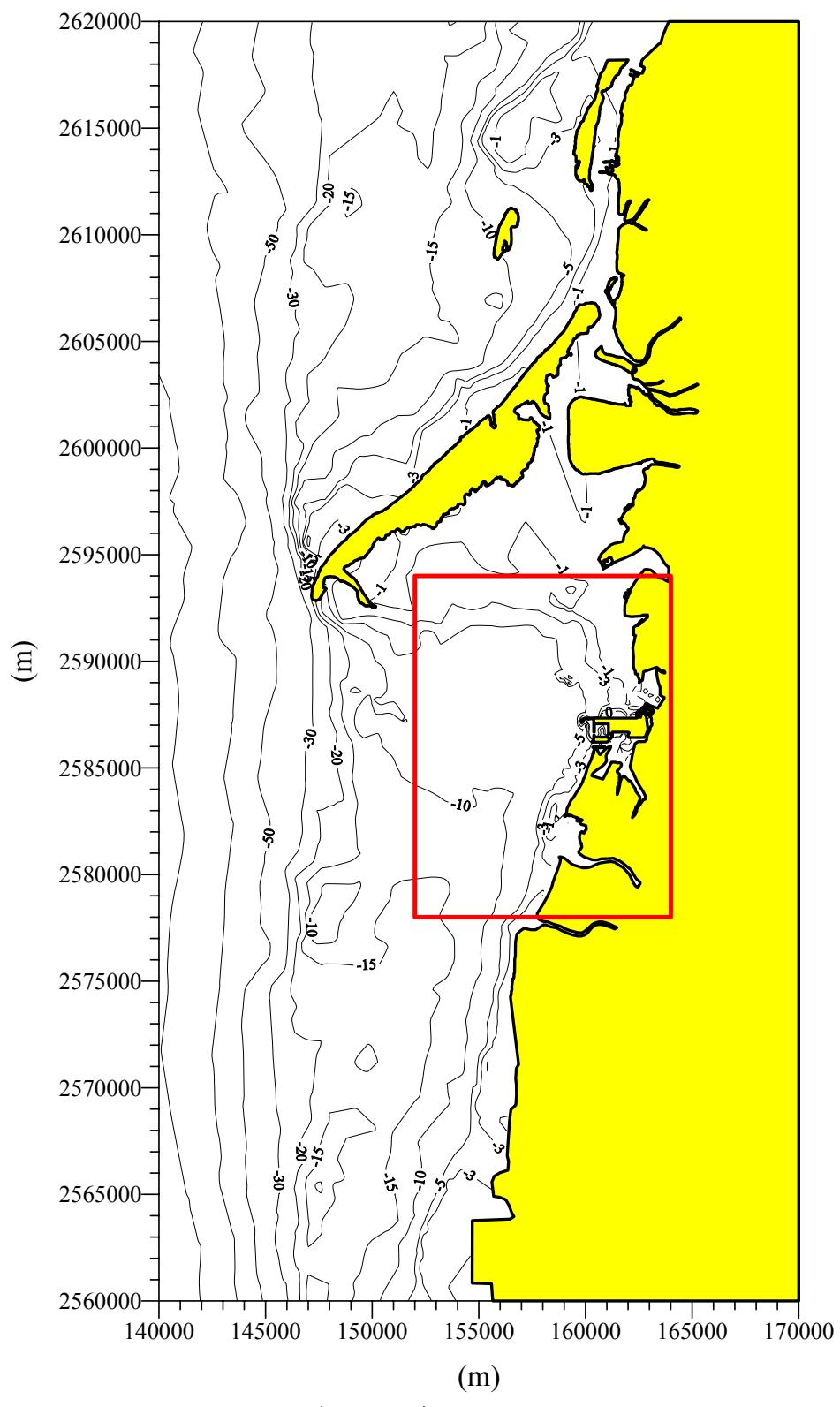


圖 3-1 模式模擬範圍及地形水深圖

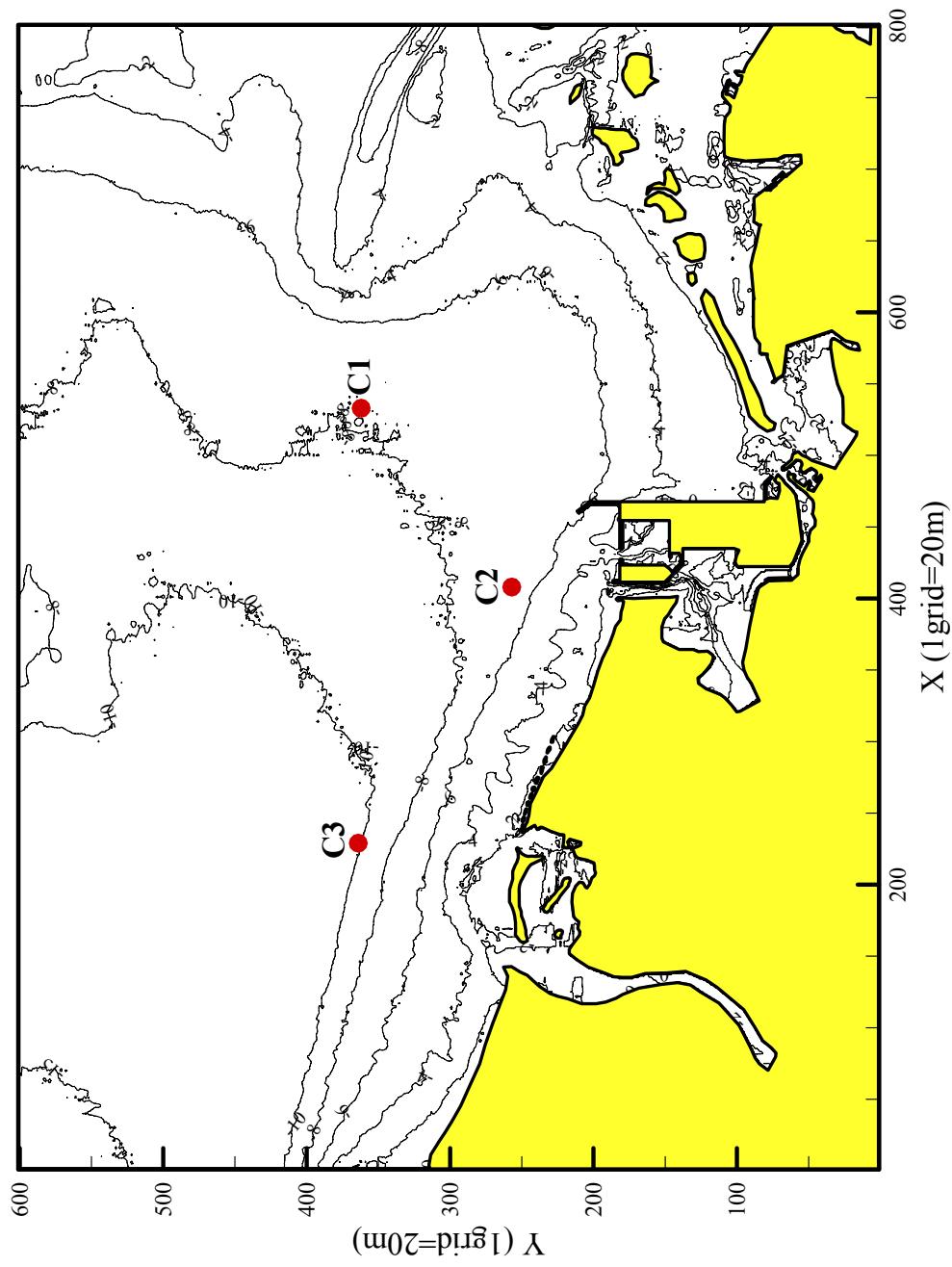


圖 3-2 水理模式之計算格網地形水深及海流測站圖

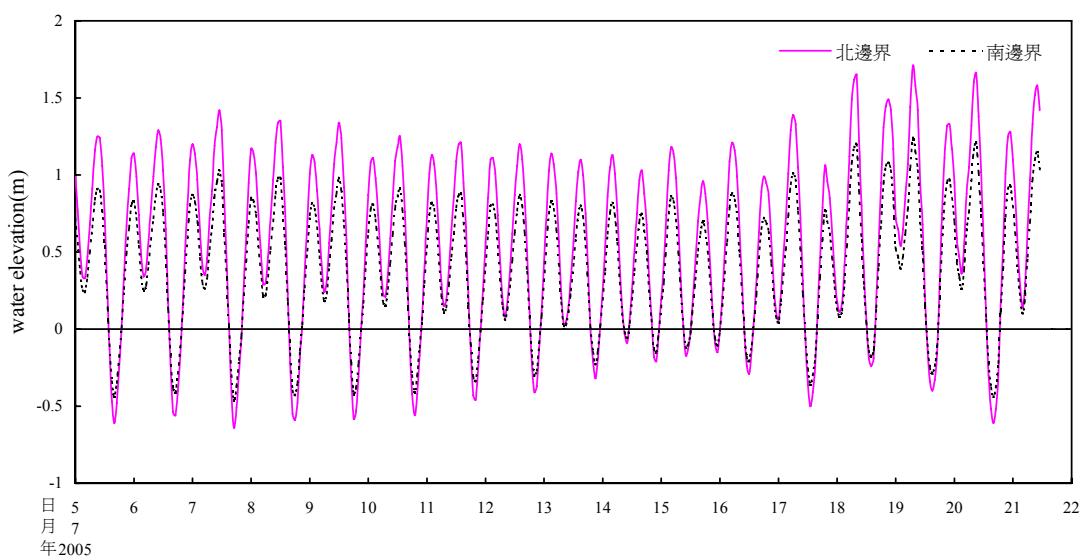


圖 3-3 水理模式模擬方案之邊界潮位型態(2005 年 7 月 5 日~7 月 21 日)

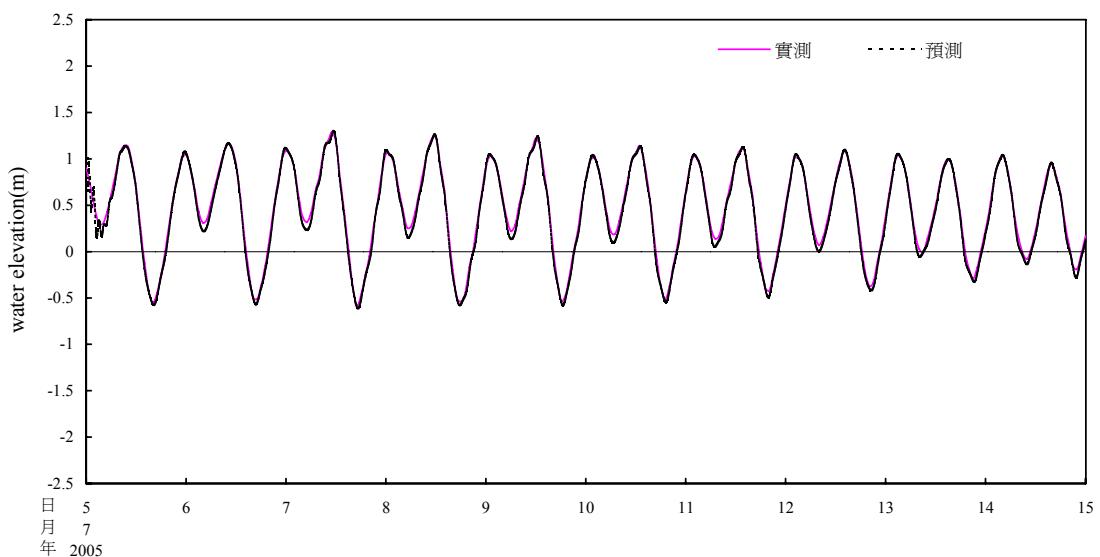


圖 3-4 模式模擬之水位與布袋商港潮位站之實測潮位比較(實測時間：
2005 年 7 月 5 日~7 月 15 日)

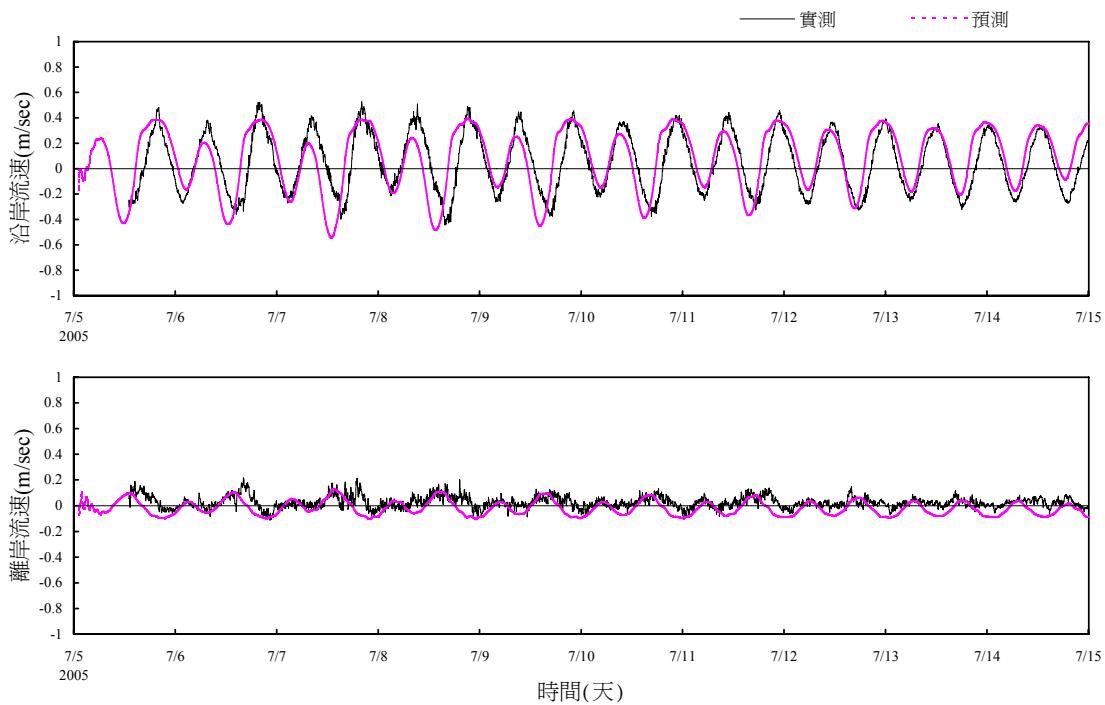


圖 3-5 模式預測與實測流速比較圖(C1 測站，實測時間：2005 年 7 月 5 日~7 月 15 日)

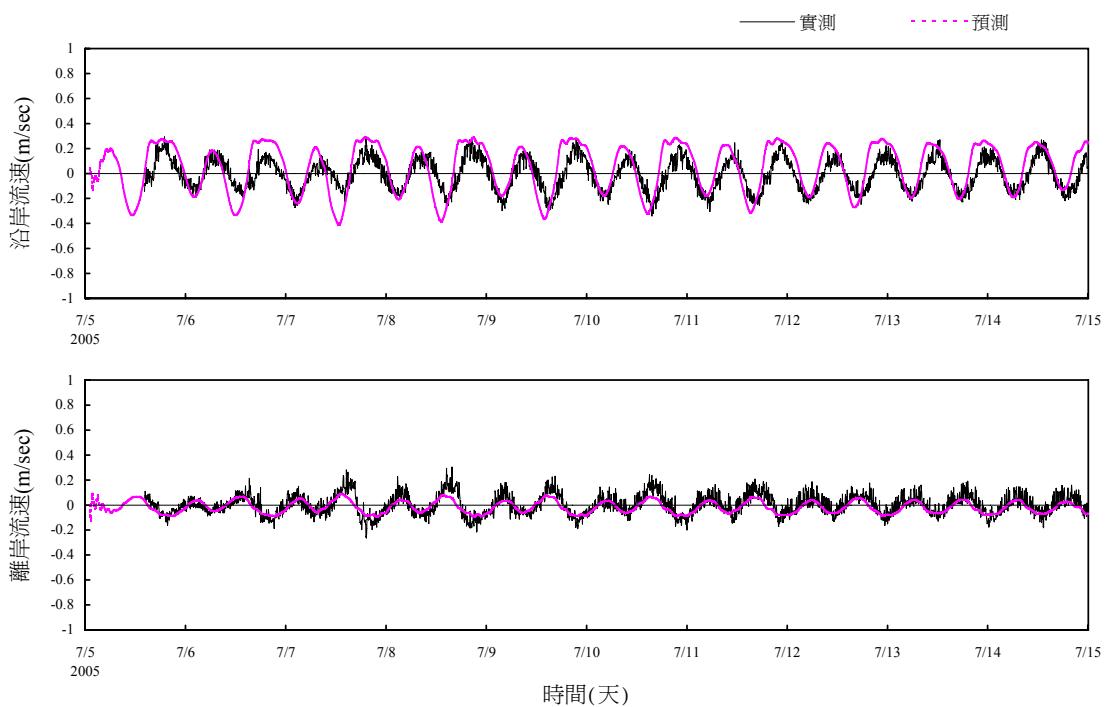


圖 3-6 模式預測與實測流速比較圖(C2 測站，實測時間：2005 年 7 月 5 日~7 月 15 日)

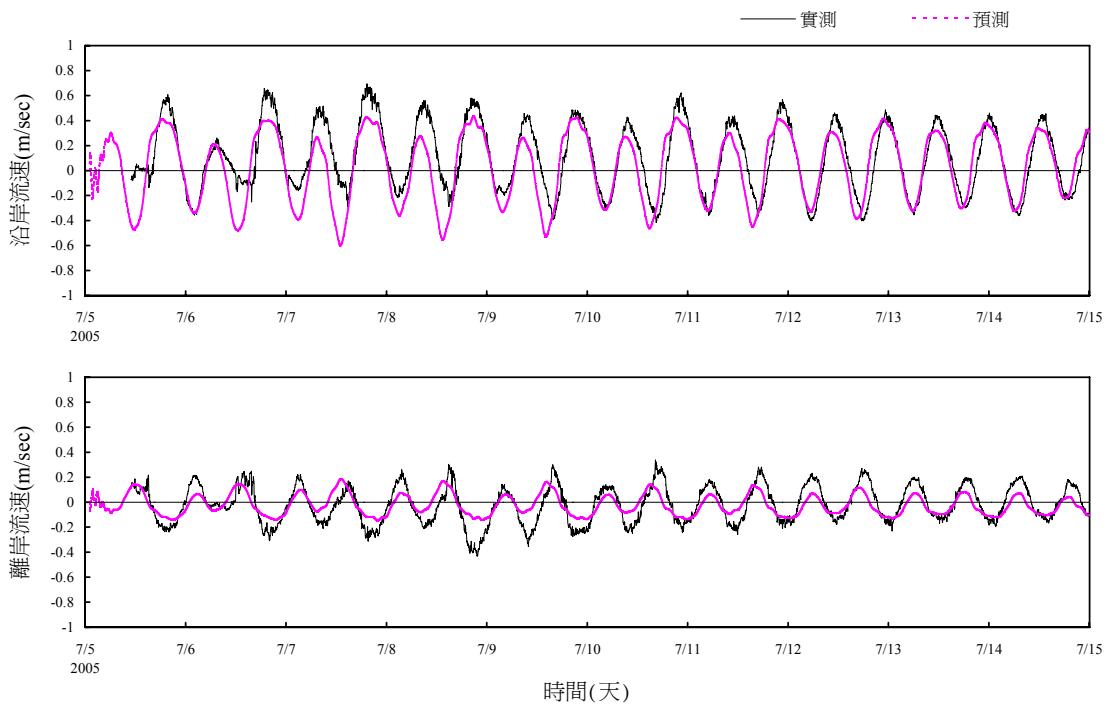


圖 3-7 模式預測與實測流速比較圖(C3 測站，實測時間：2005 年 7 月 5 日~7 月 15 日)

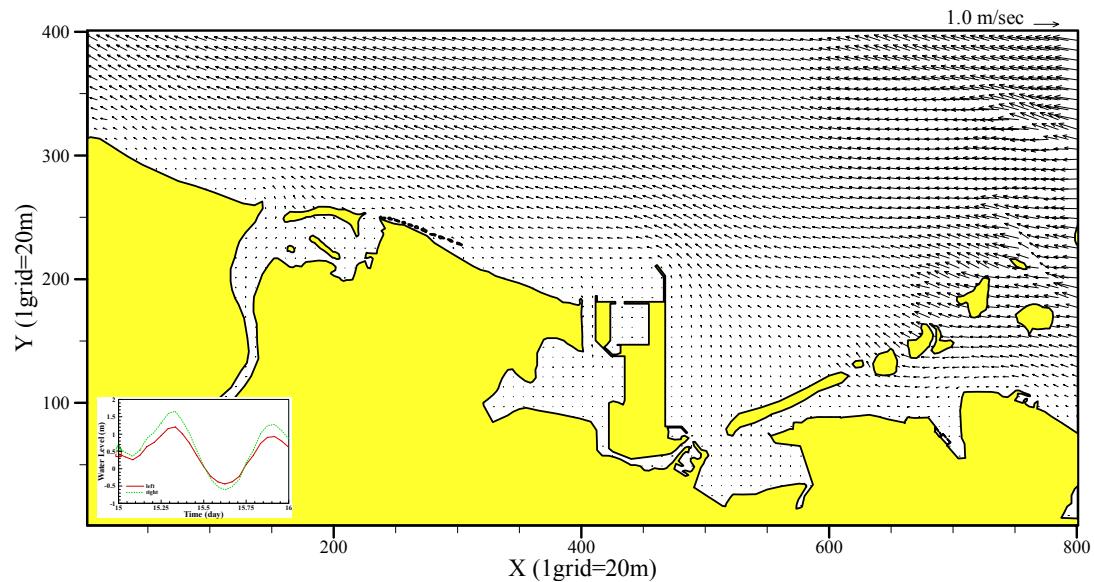


圖 3-8 模式模擬 CASE1 所得之流場分布向量圖

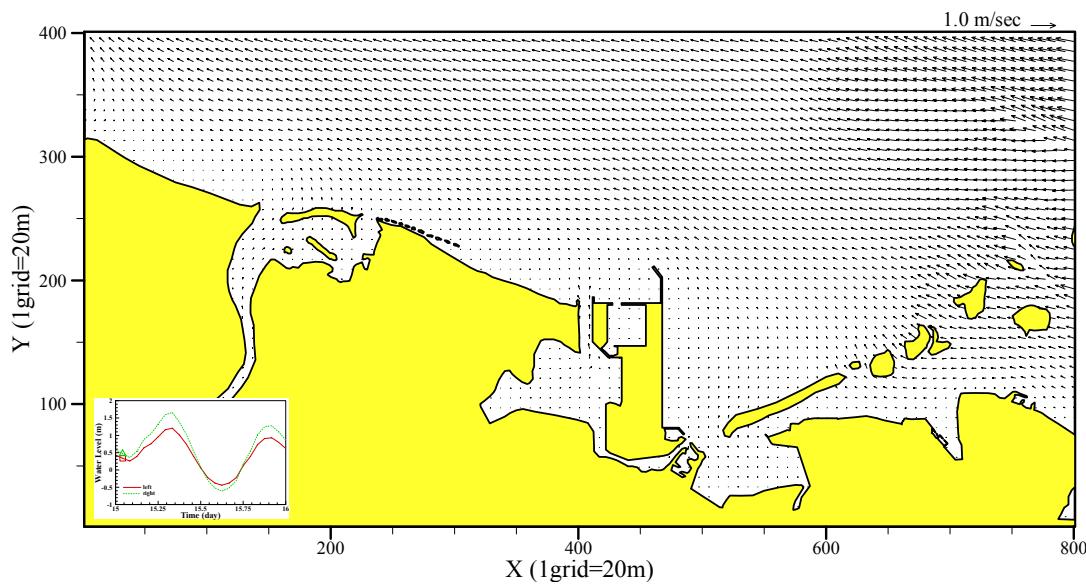


圖 3-8 (續 1) 模式模擬 CASE1 所得之流場分布向量圖

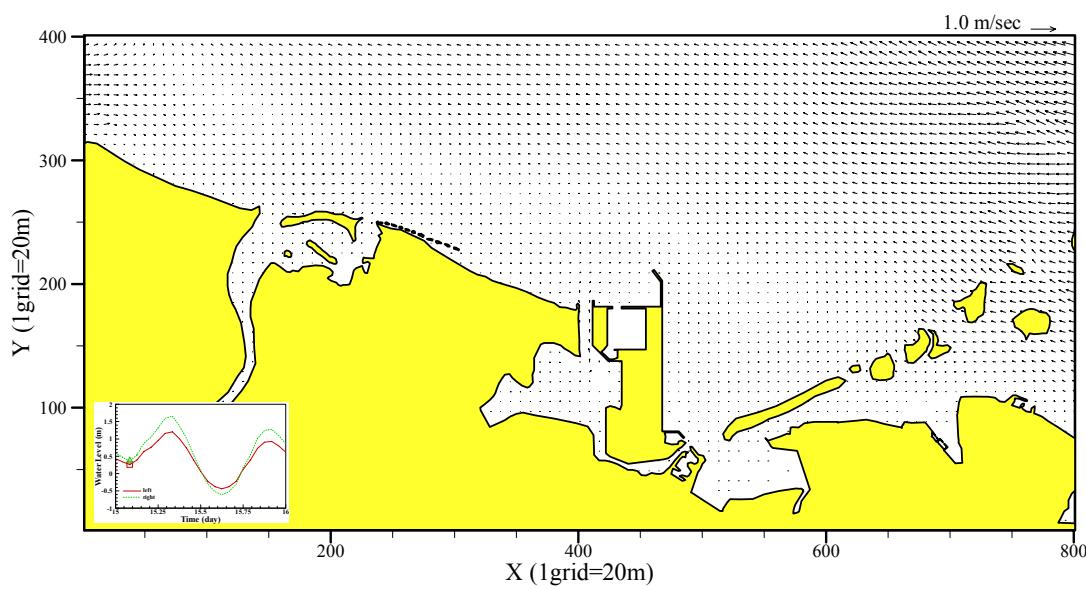


圖 3-8 (續 2) 模式模擬 CASE1 所得之流場分布向量圖

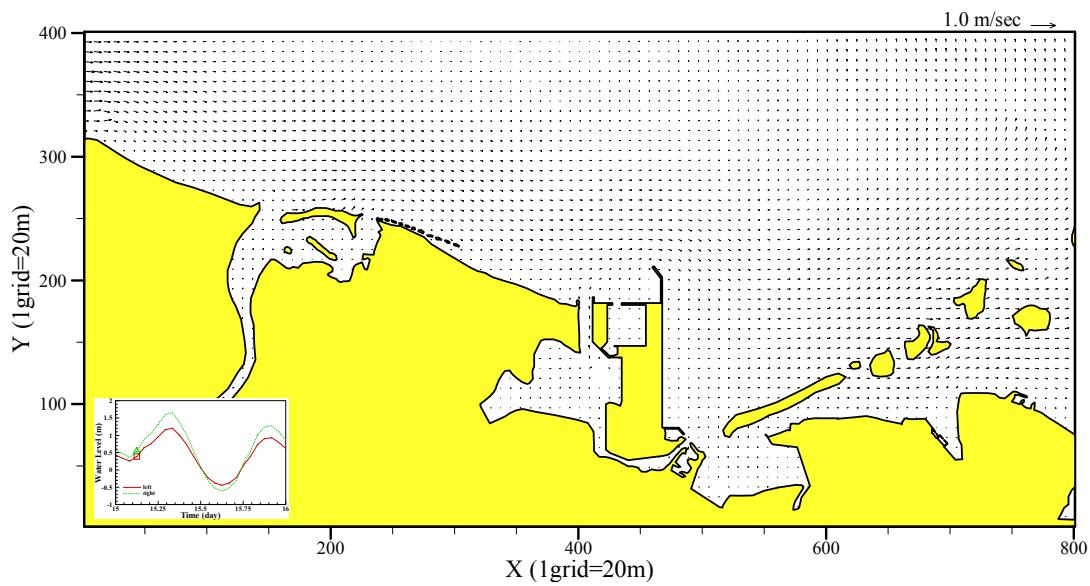


圖 3-8 (續 3)模式模擬 CASE1 所得之流場分布向量圖

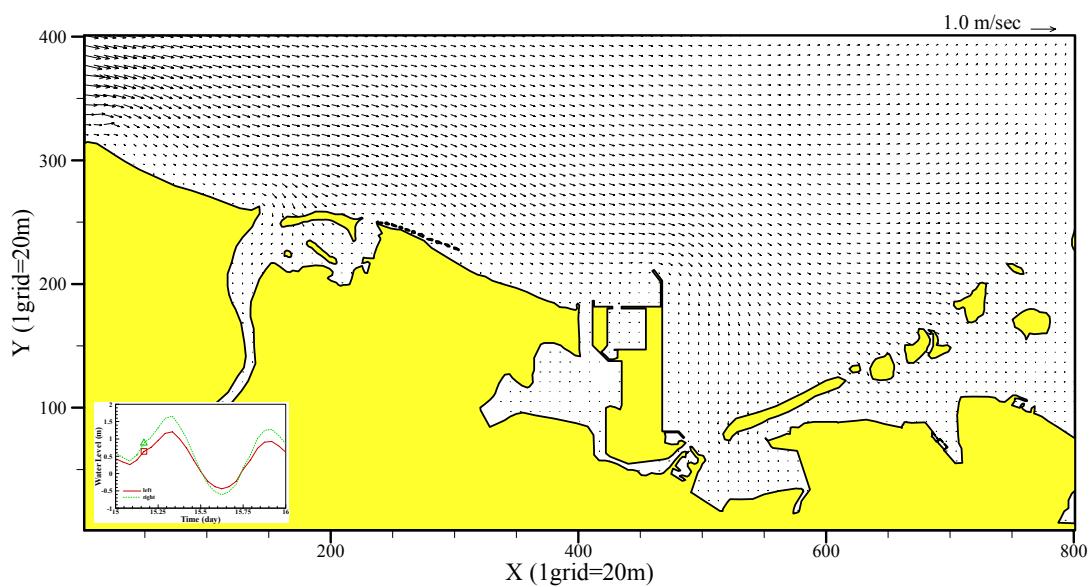


圖 3-8 (續 4)模式模擬 CASE1 所得之流場分布向量圖

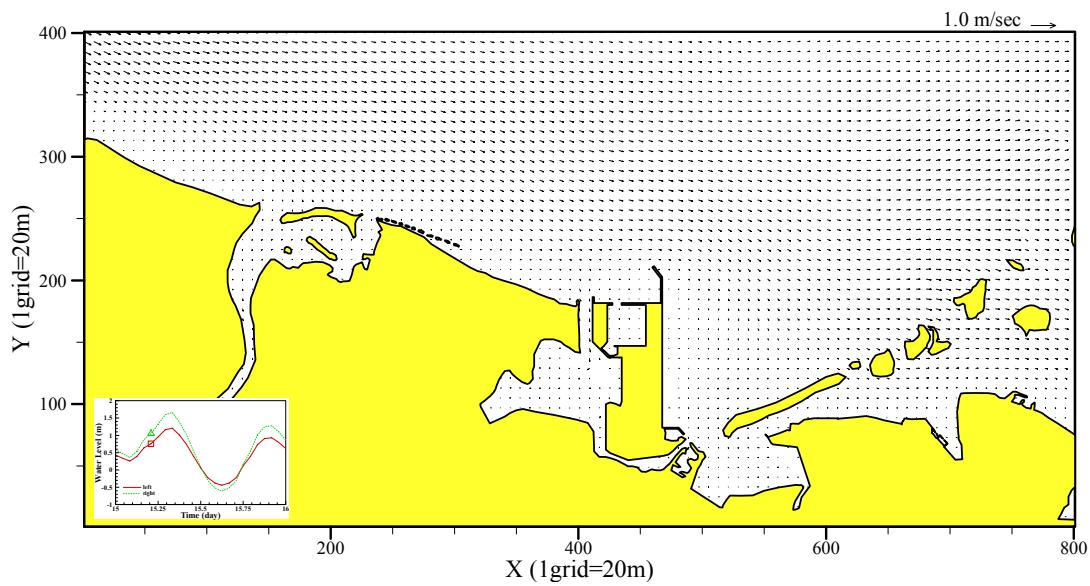


圖 3-8 (續 5)模式模擬 CASE1 所得之流場分布向量圖

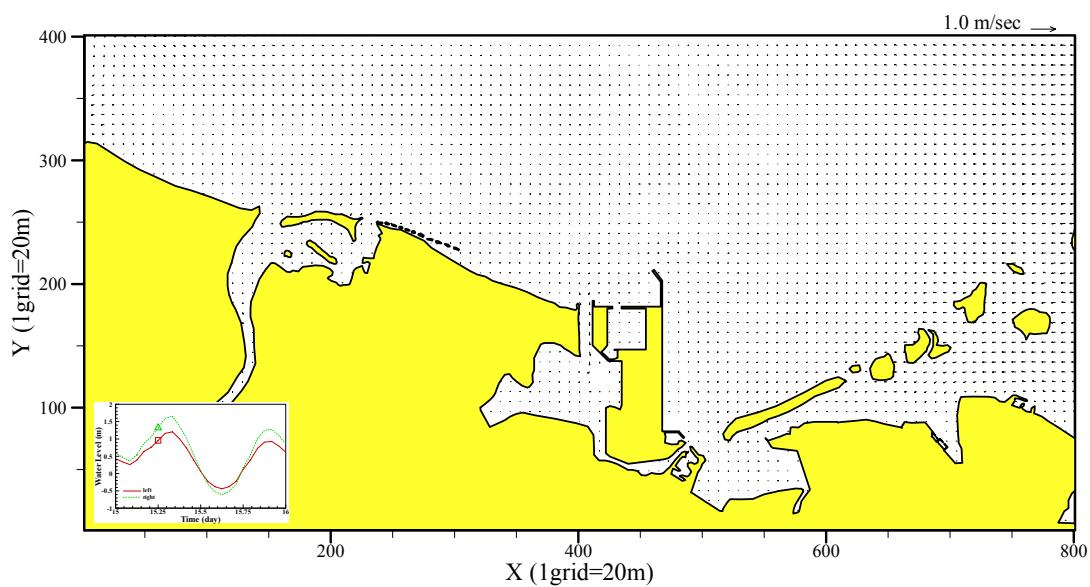


圖 3-8 (續 6)模式模擬 CASE1 所得之流場分布向量圖

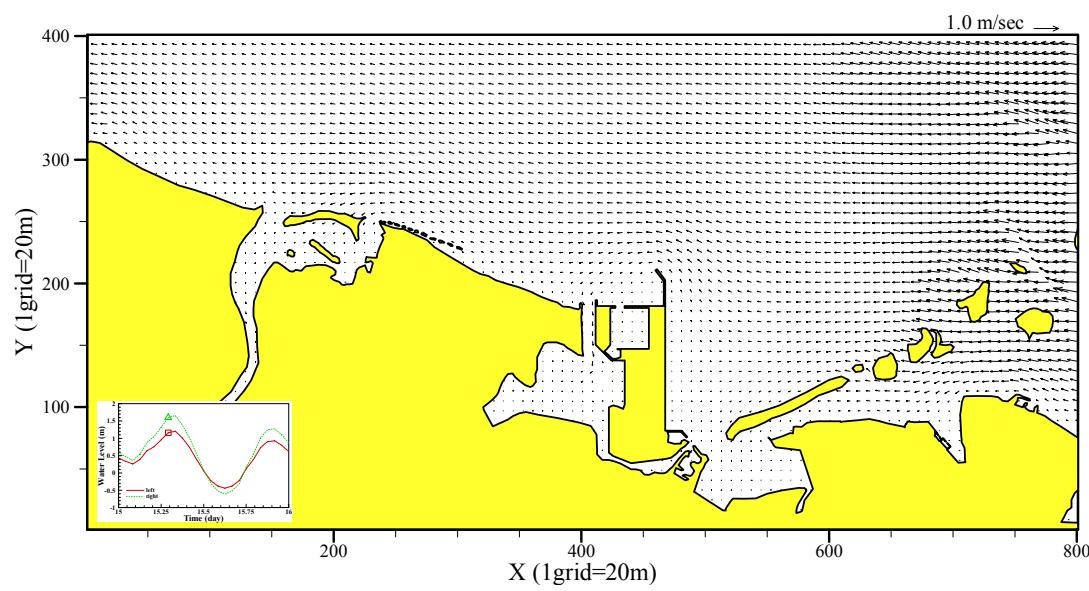


圖 3-8 (續 7)模式模擬 CASE1 所得之流場分布向量圖

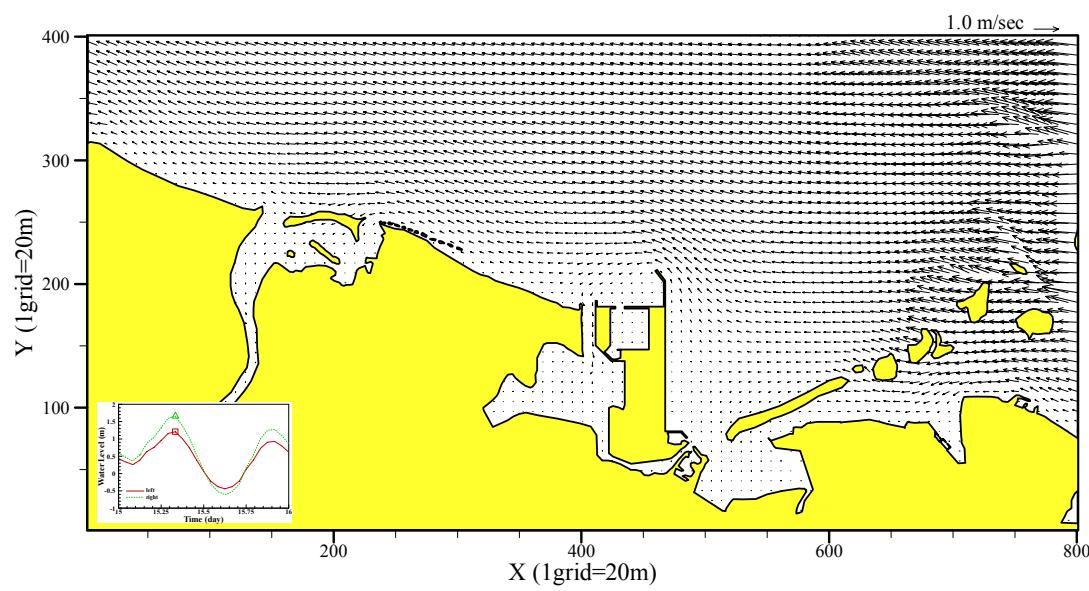


圖 3-8 (續 8)模式模擬 CASE1 所得之流場分布向量圖

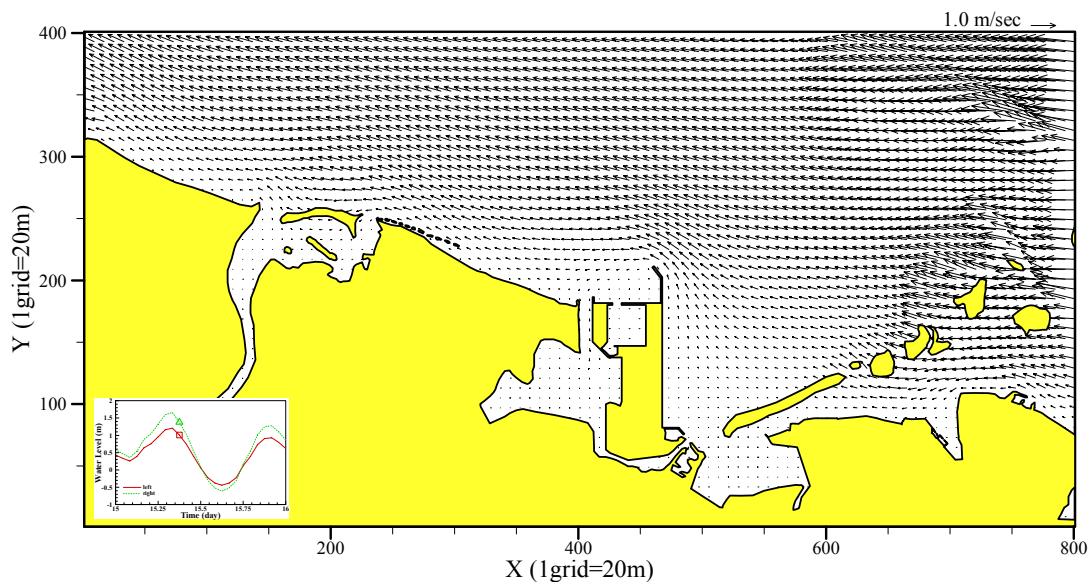


圖 3-8 (續 9)模式模擬 CASE1 所得之流場分布向量圖

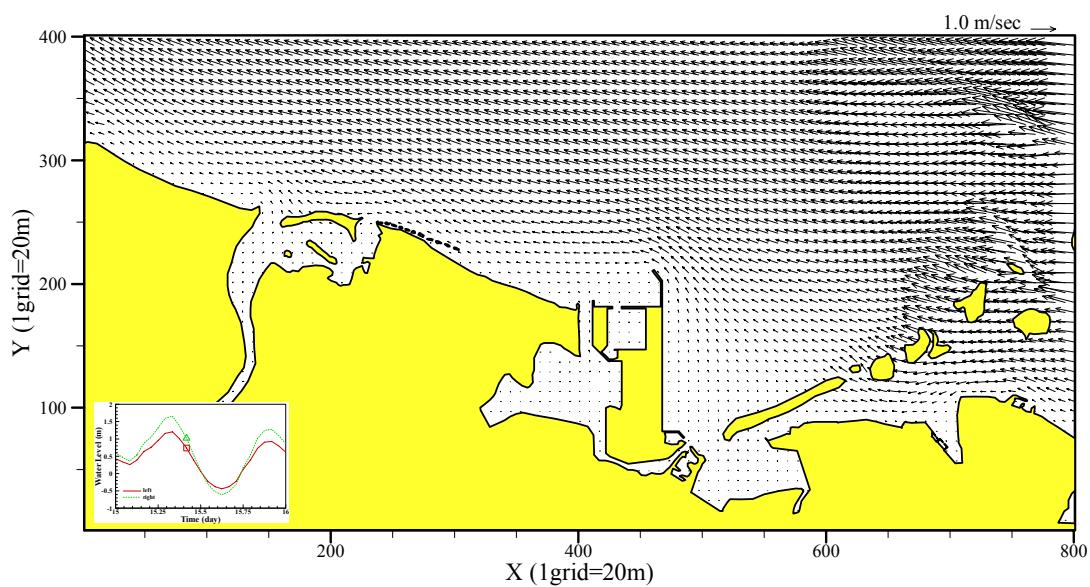


圖 3-8 (續 10)模式模擬 CASE1 所得之流場分布向量圖

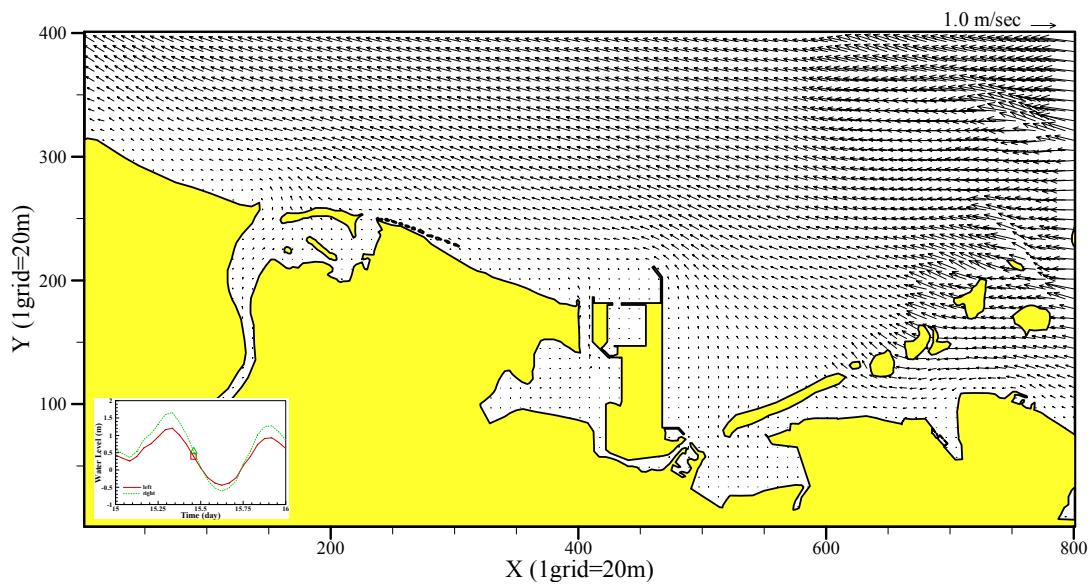


圖 3-8 (續 11)模式模擬 CASE1 所得之流場分布向量圖

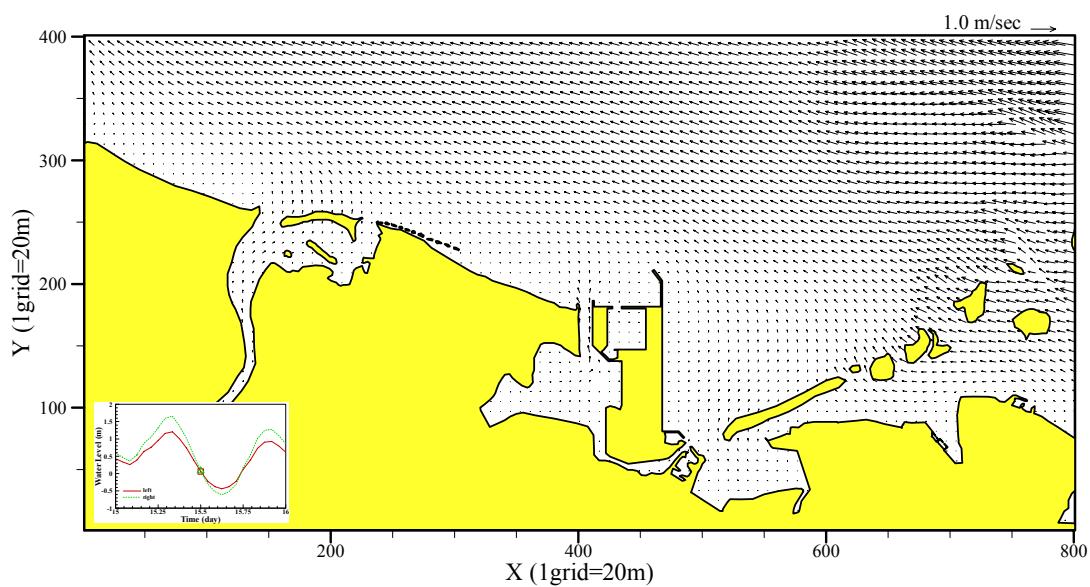


圖 3-8 (續 12)模式模擬 CASE1 所得之流場分布向量圖

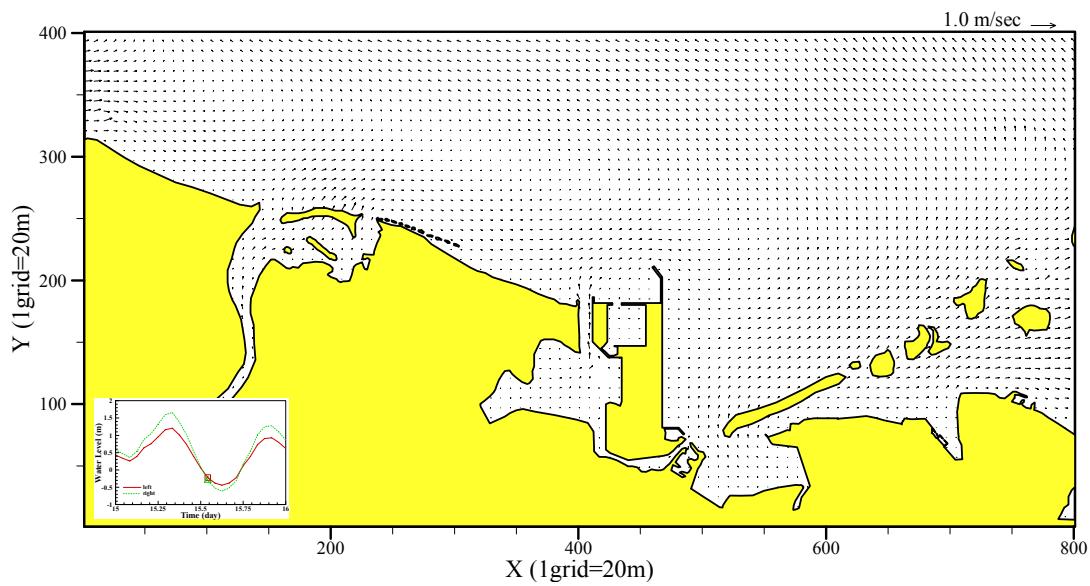


圖 3-8 (續 13)模式模擬 CASE1 所得之流場分布向量圖

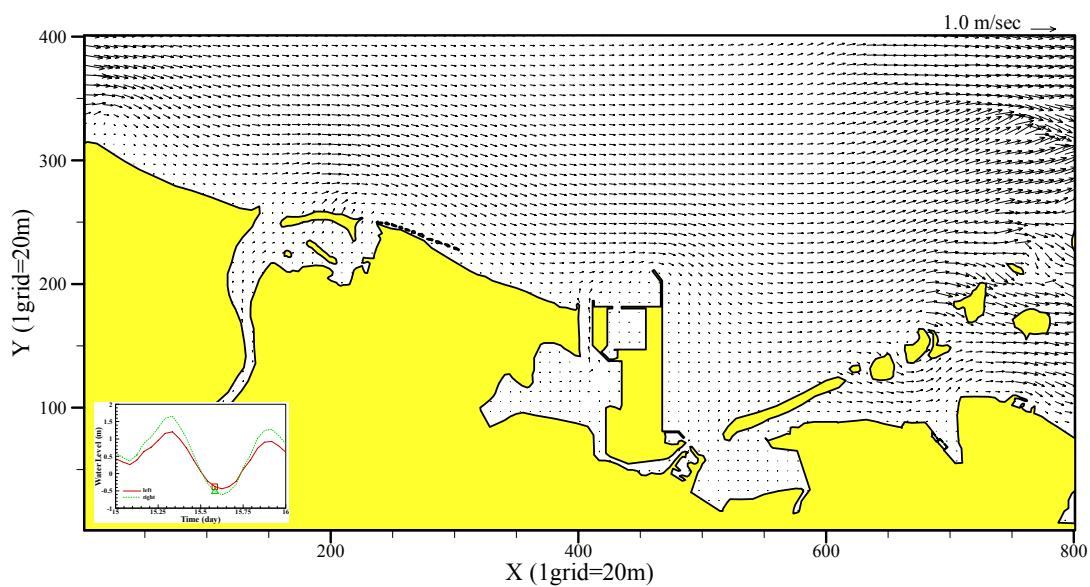


圖 3-8 (續 14)模式模擬 CASE1 所得之流場分布向量圖

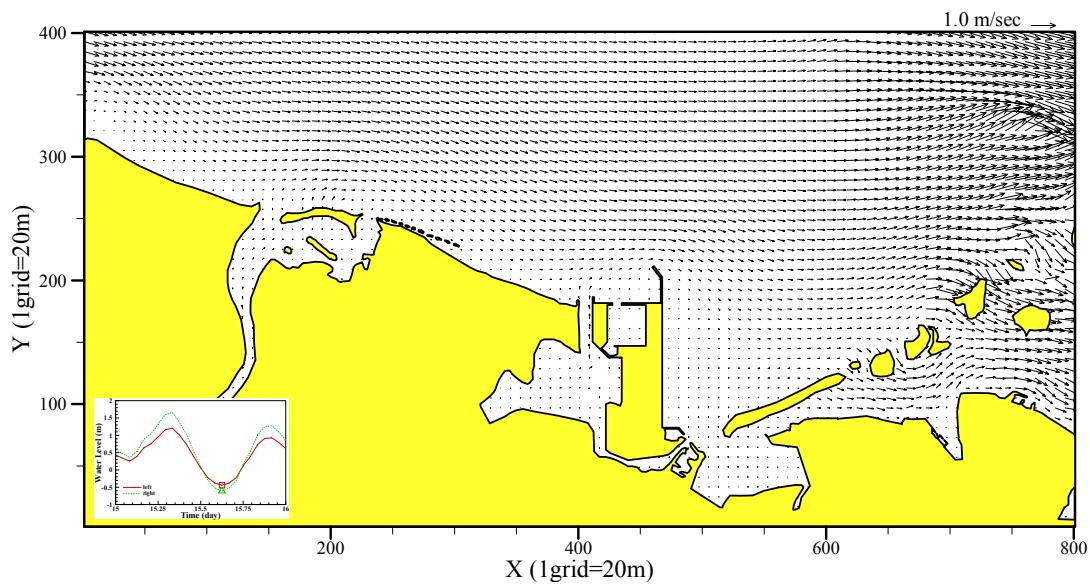


圖 3-8 (續 15)模式模擬 CASE1 所得之流場分布向量圖

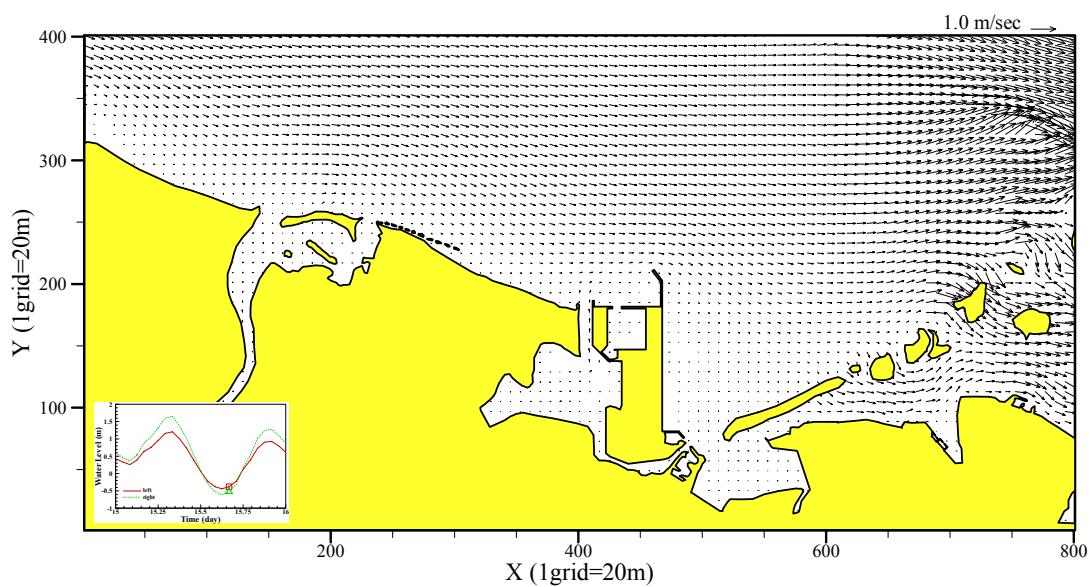


圖 3-8 (續 16)模式模擬 CASE1 所得之流場分布向量圖

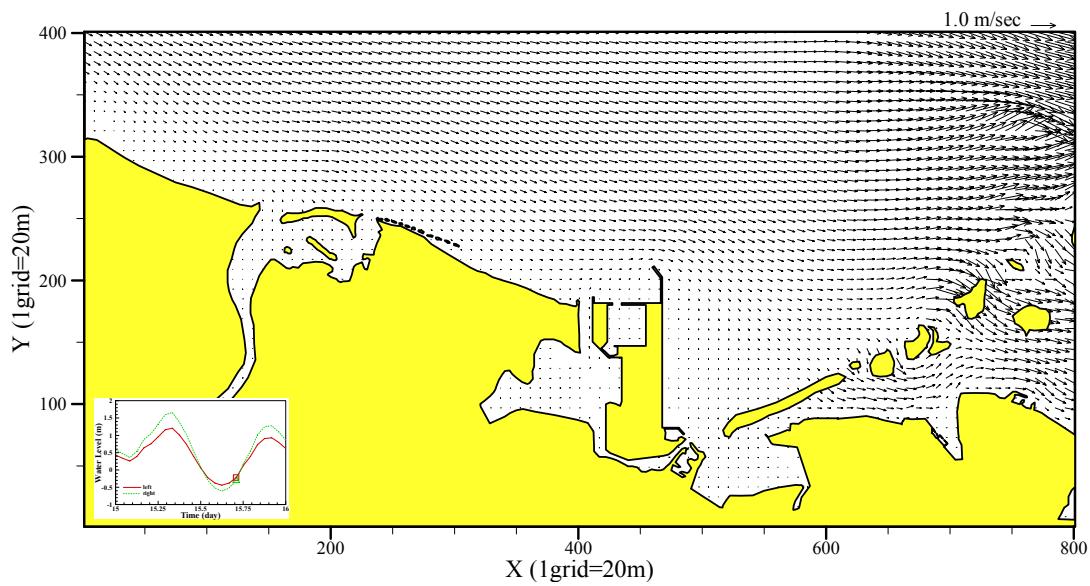


圖 3-8 (續 17)模式模擬 CASE1 所得之流場分布向量圖

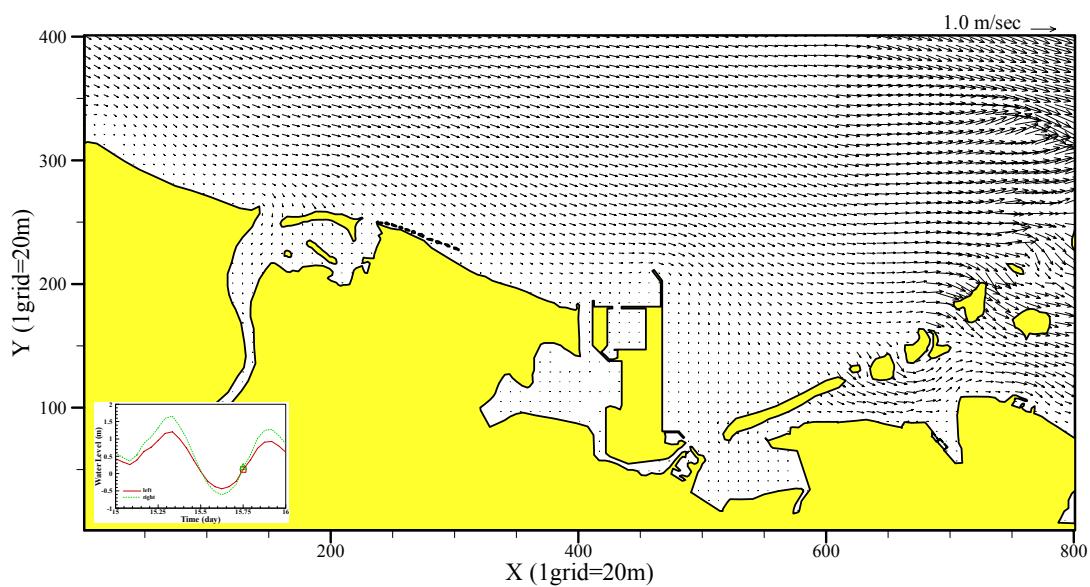


圖 3-8 (續 18)模式模擬 CASE1 所得之流場分布向量圖

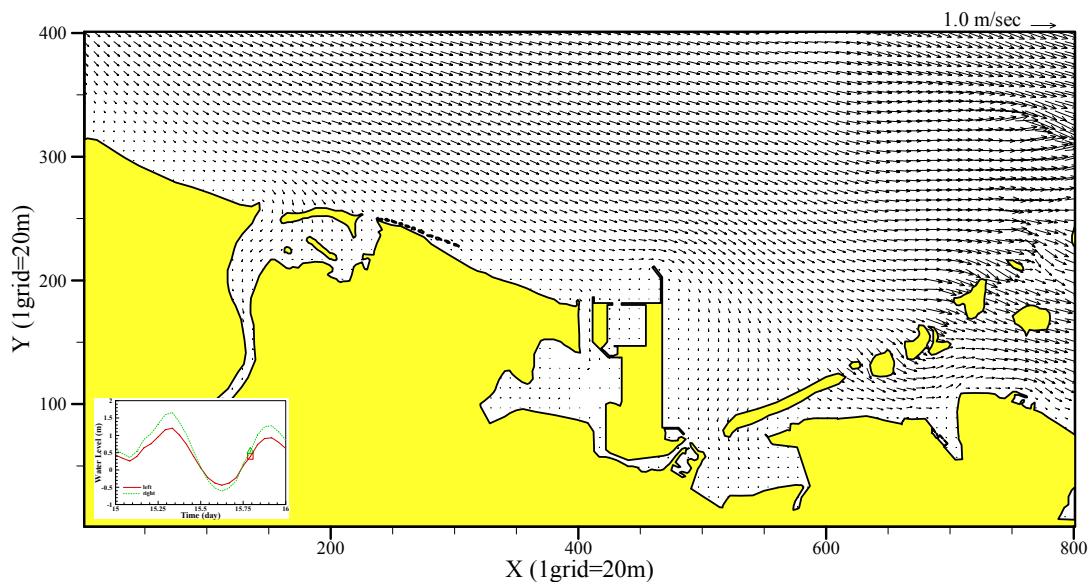


圖 3-8 (續 19)模式模擬 CASE1 所得之流場分布向量圖

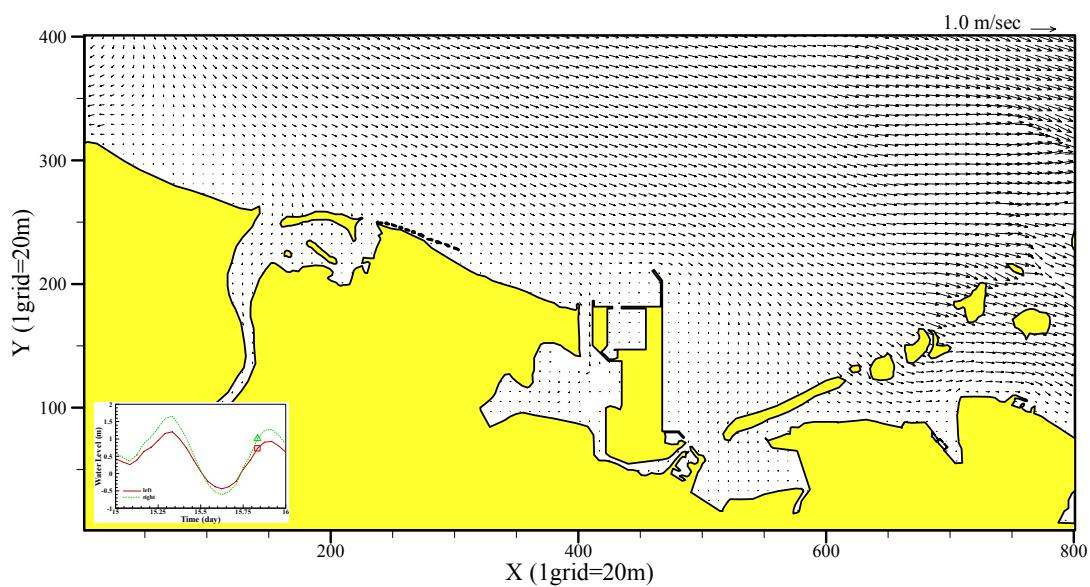


圖 3-8 (續 20)模式模擬 CASE1 所得之流場分布向量圖

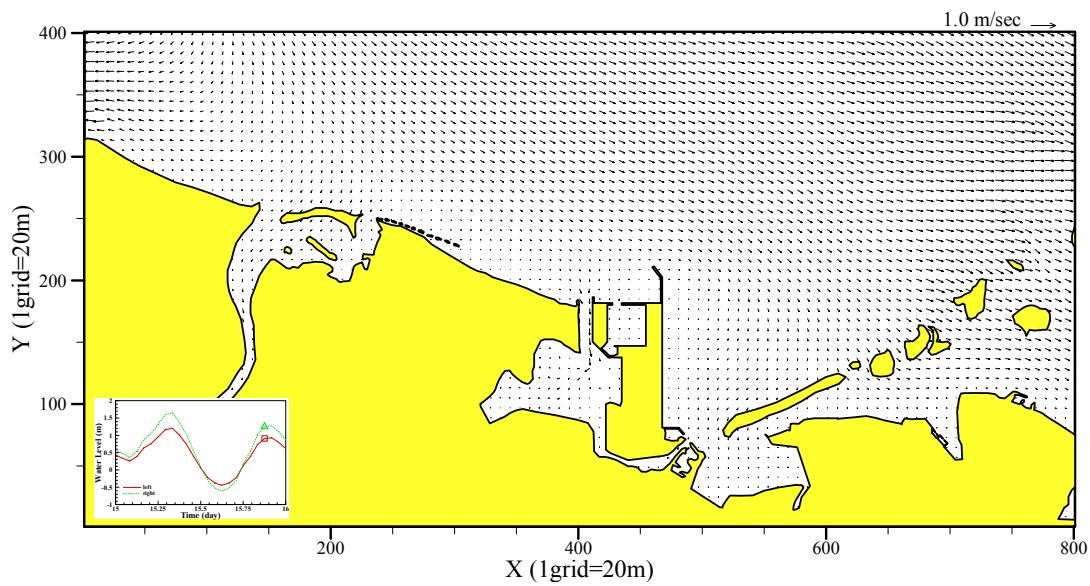


圖 3-8 (續 21)模式模擬 CASE1 所得之流場分布向量圖

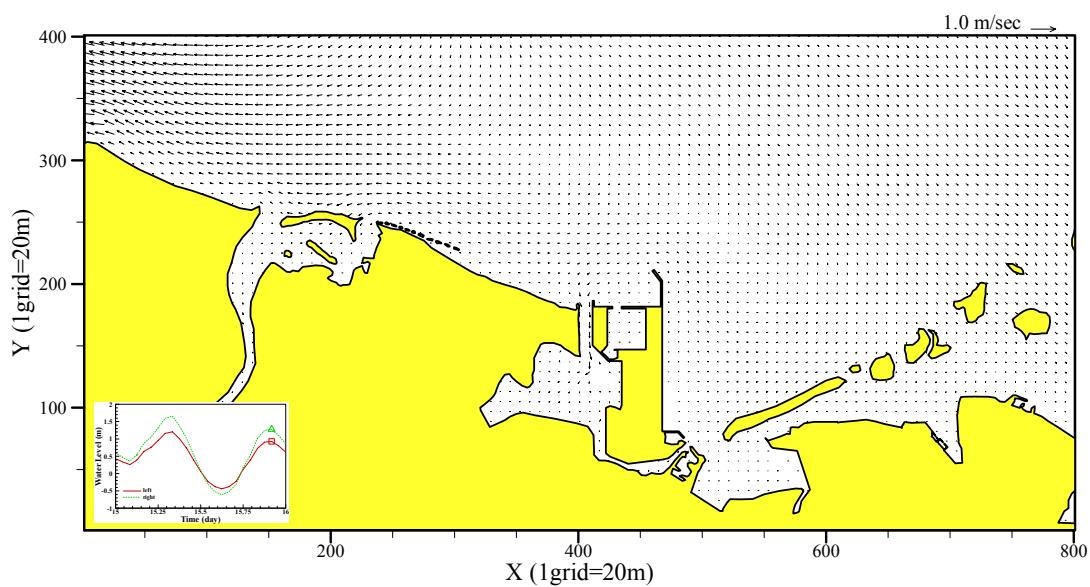


圖 3-8 (續 22)模式模擬 CASE1 所得之流場分布向量圖

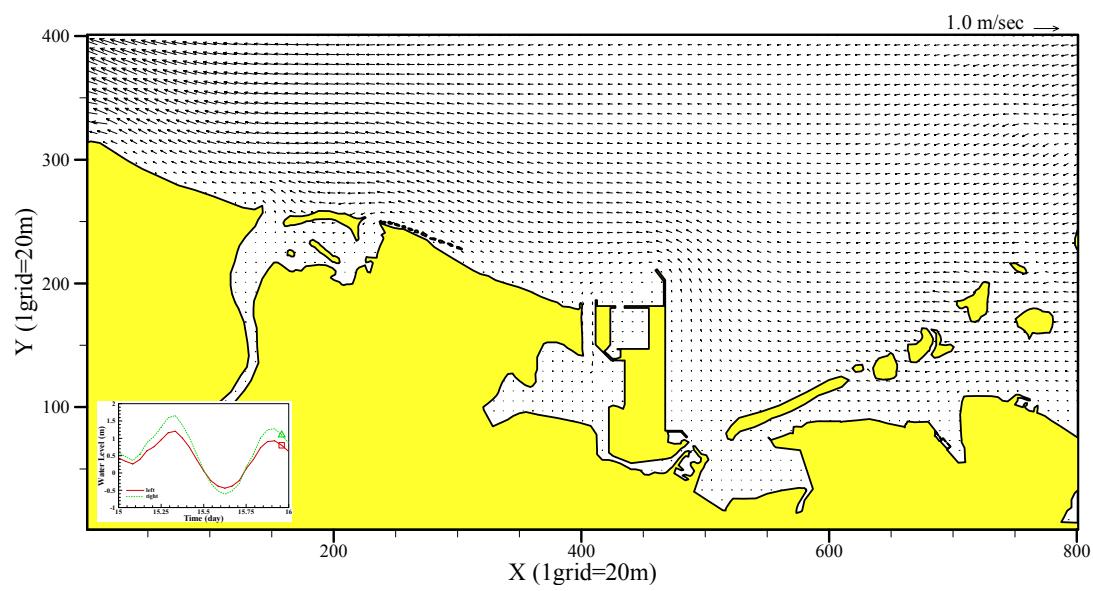


圖 3-8 (續 23)模式模擬 CASE1 所得之流場分布向量圖

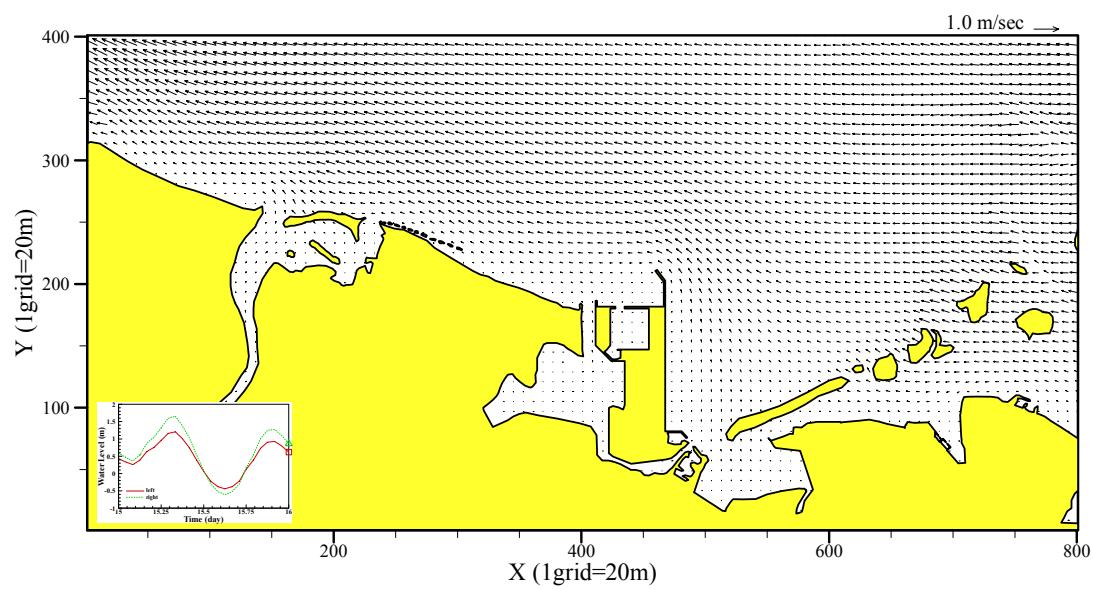


圖 3-8 (續 24)模式模擬 CASE1 所得之流場分布向量圖

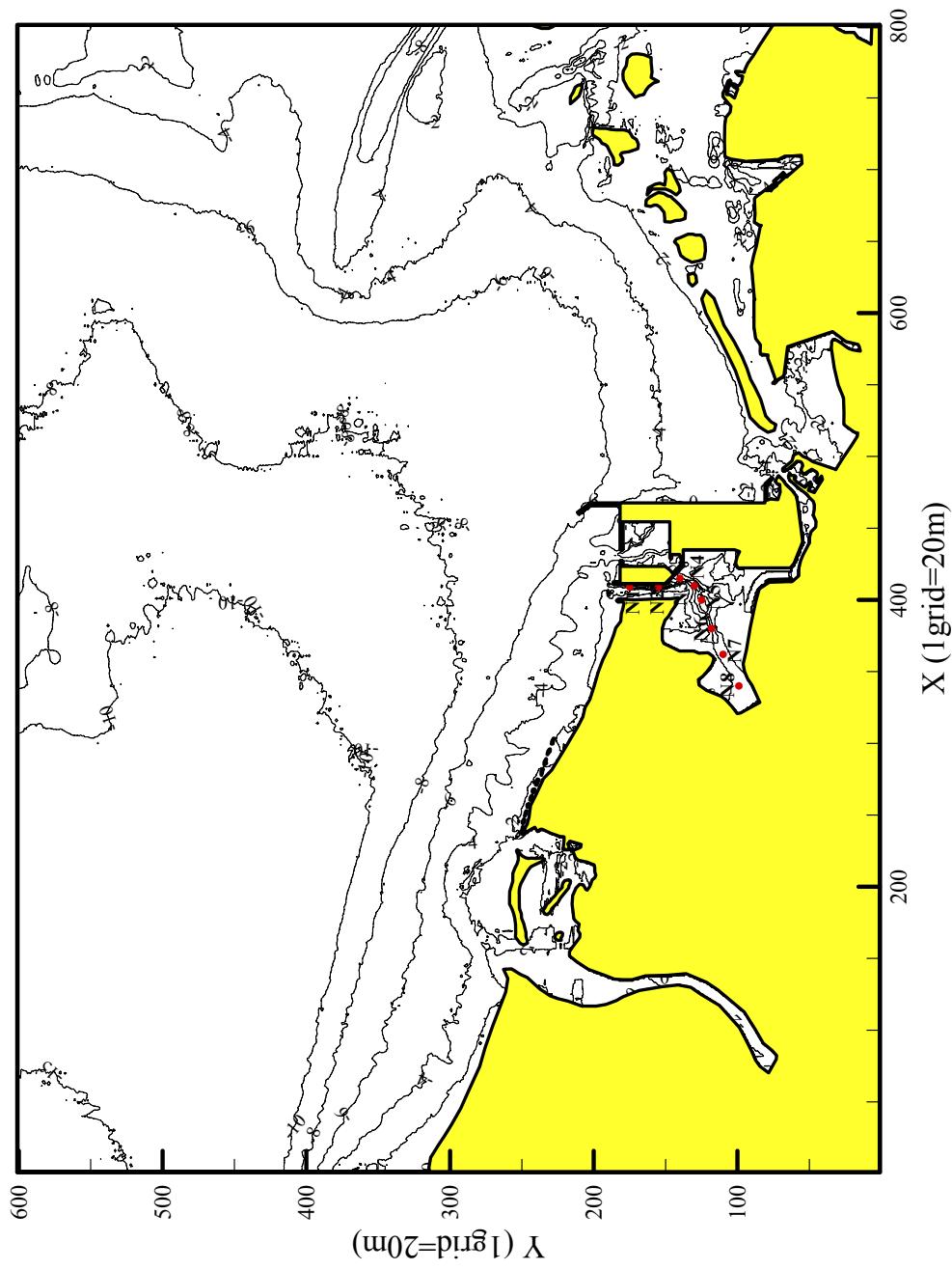


圖 3-9 布袋商港現況(CASE1)之地形水深及流速檢驗點位圖

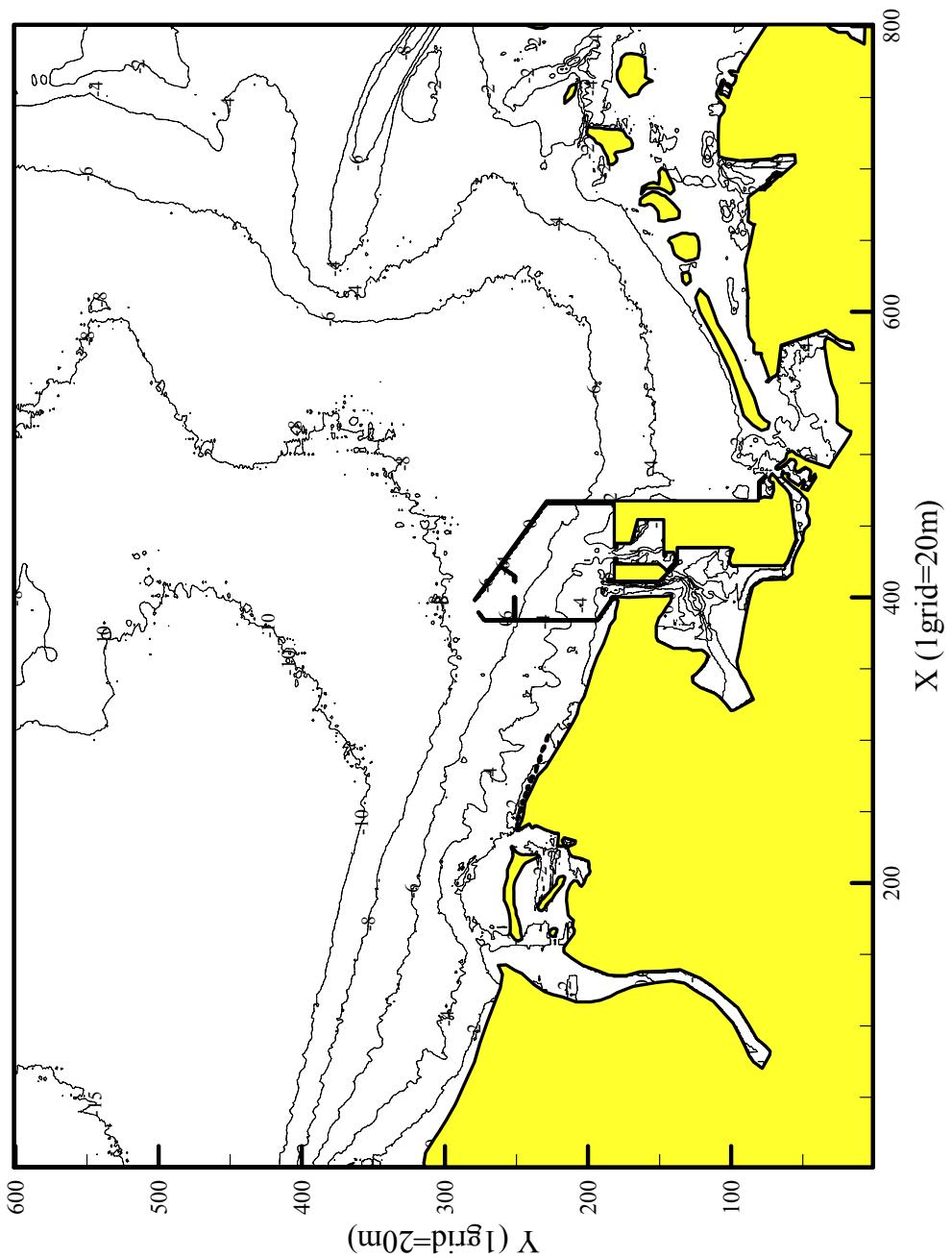


圖 3-10 布袋商港擴建方案 1(CASE2, 龍宮溪納入商港)之配置圖

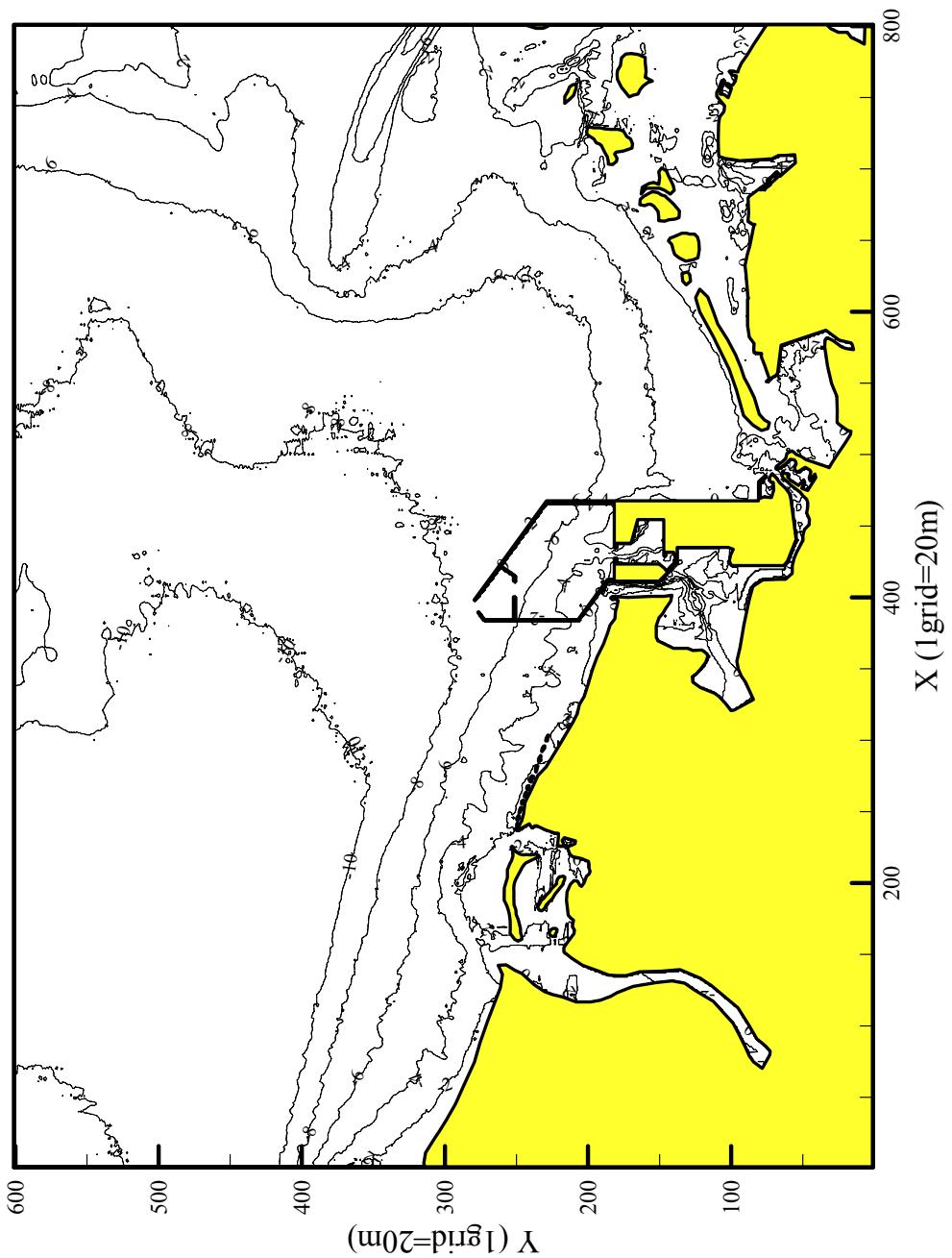


圖 3-11 布袋商港擴建方案 2(CASE3,龍宮溪不納入商港)之配置圖

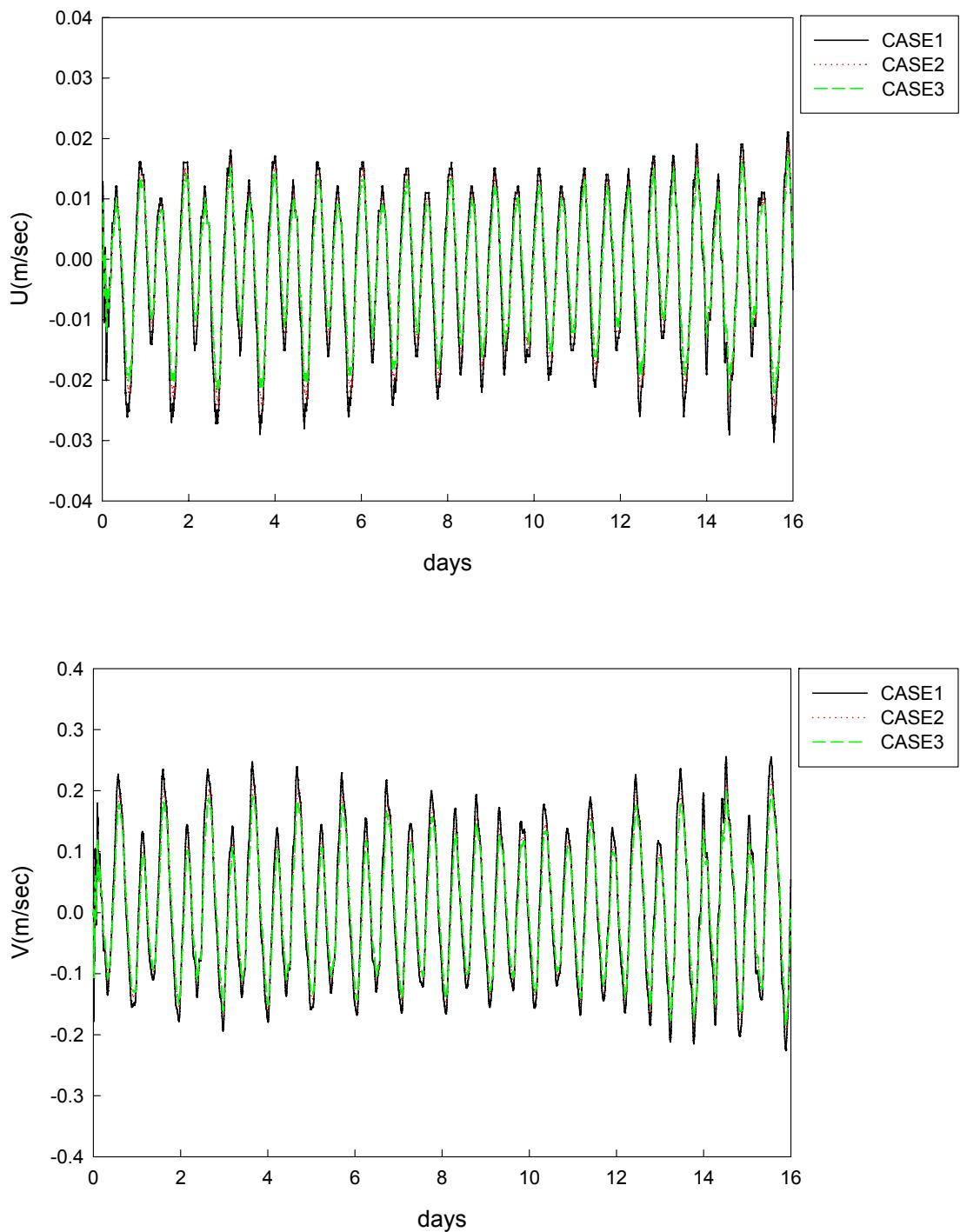


圖 3-12 模式預測三個方案之流速比較圖(N1 檢驗點)

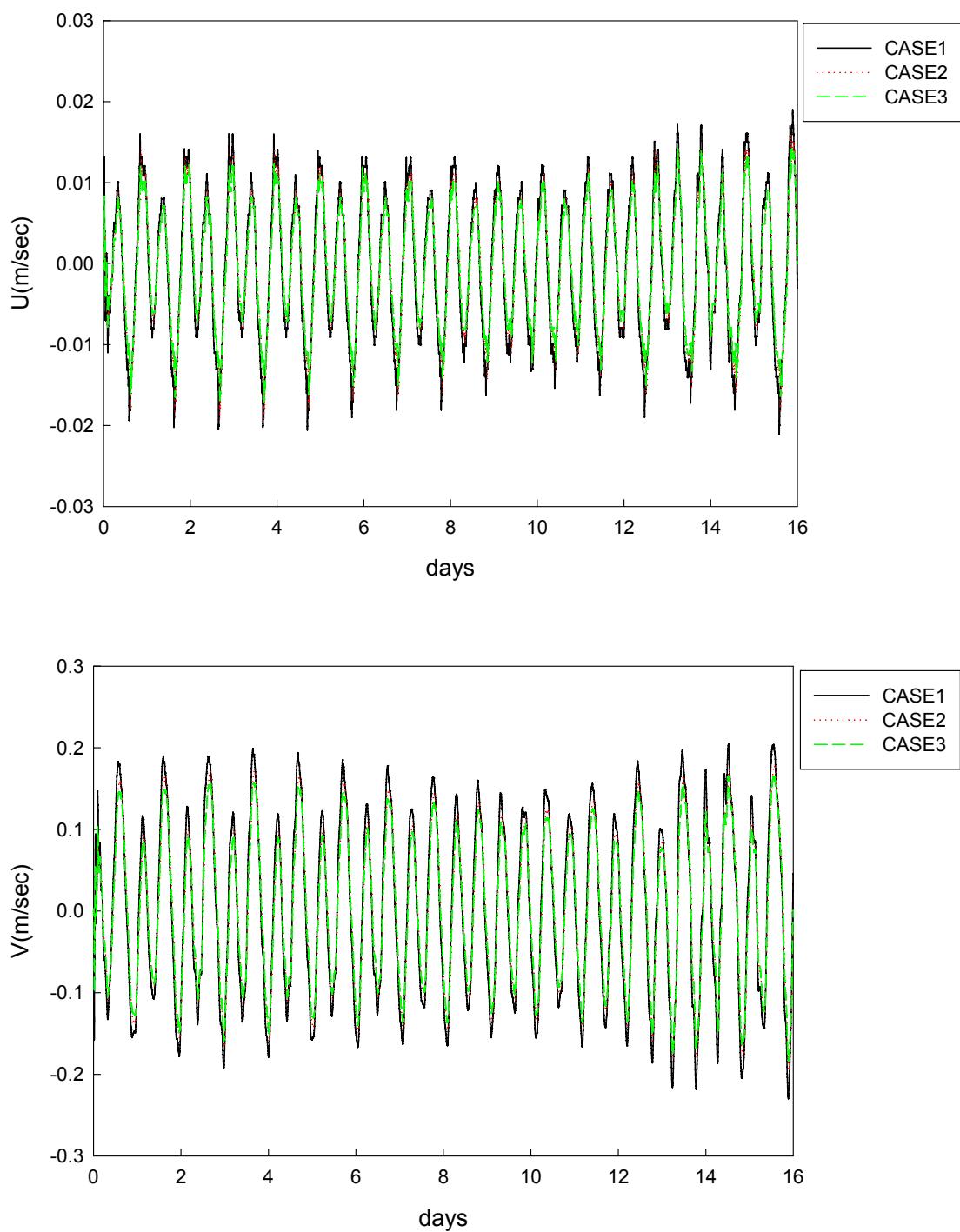


圖 3-13 模式預測三個方案之流速比較圖(N2 檢驗點)

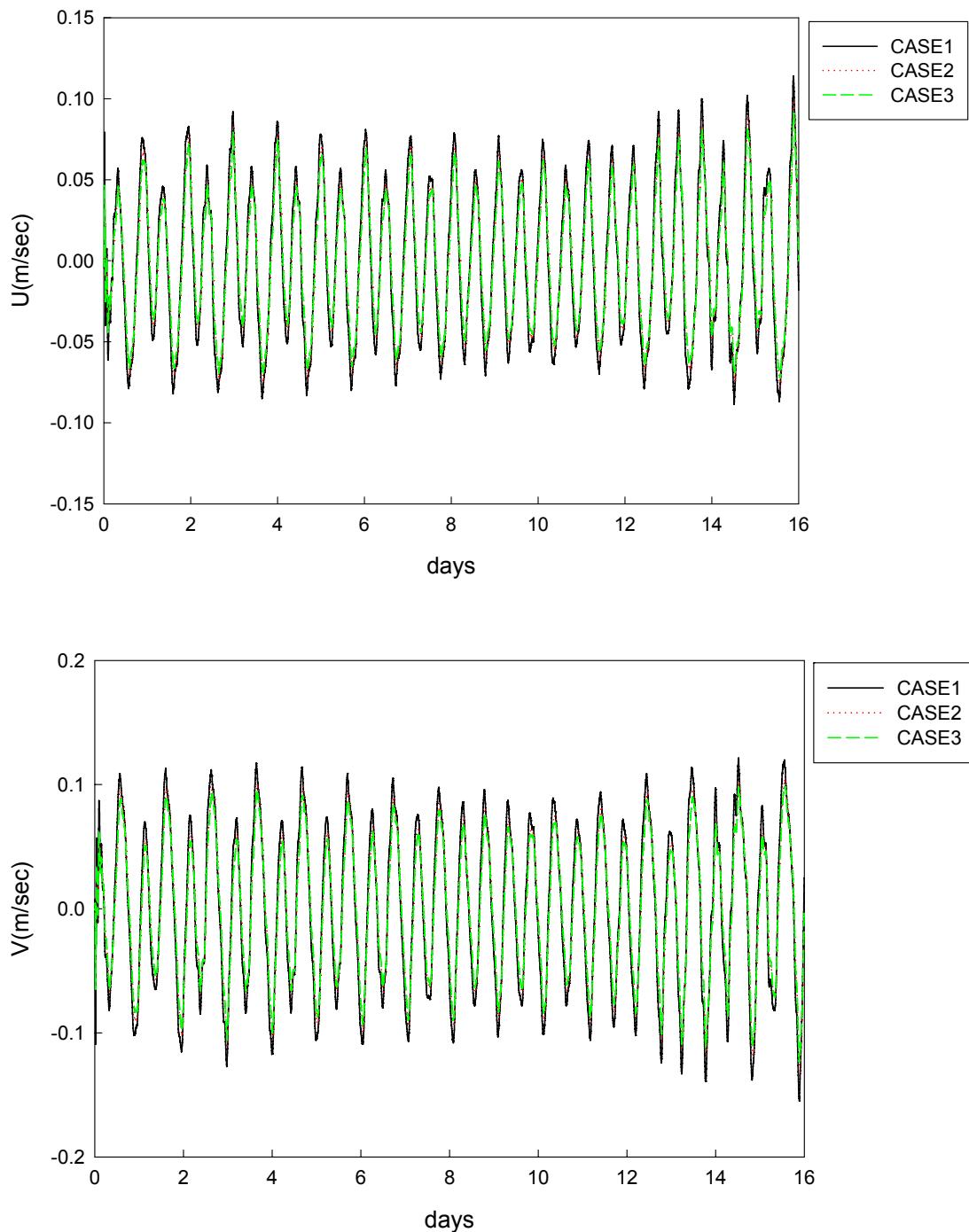


圖 3-14 模式預測三個方案之流速比較圖(N3 檢驗點)

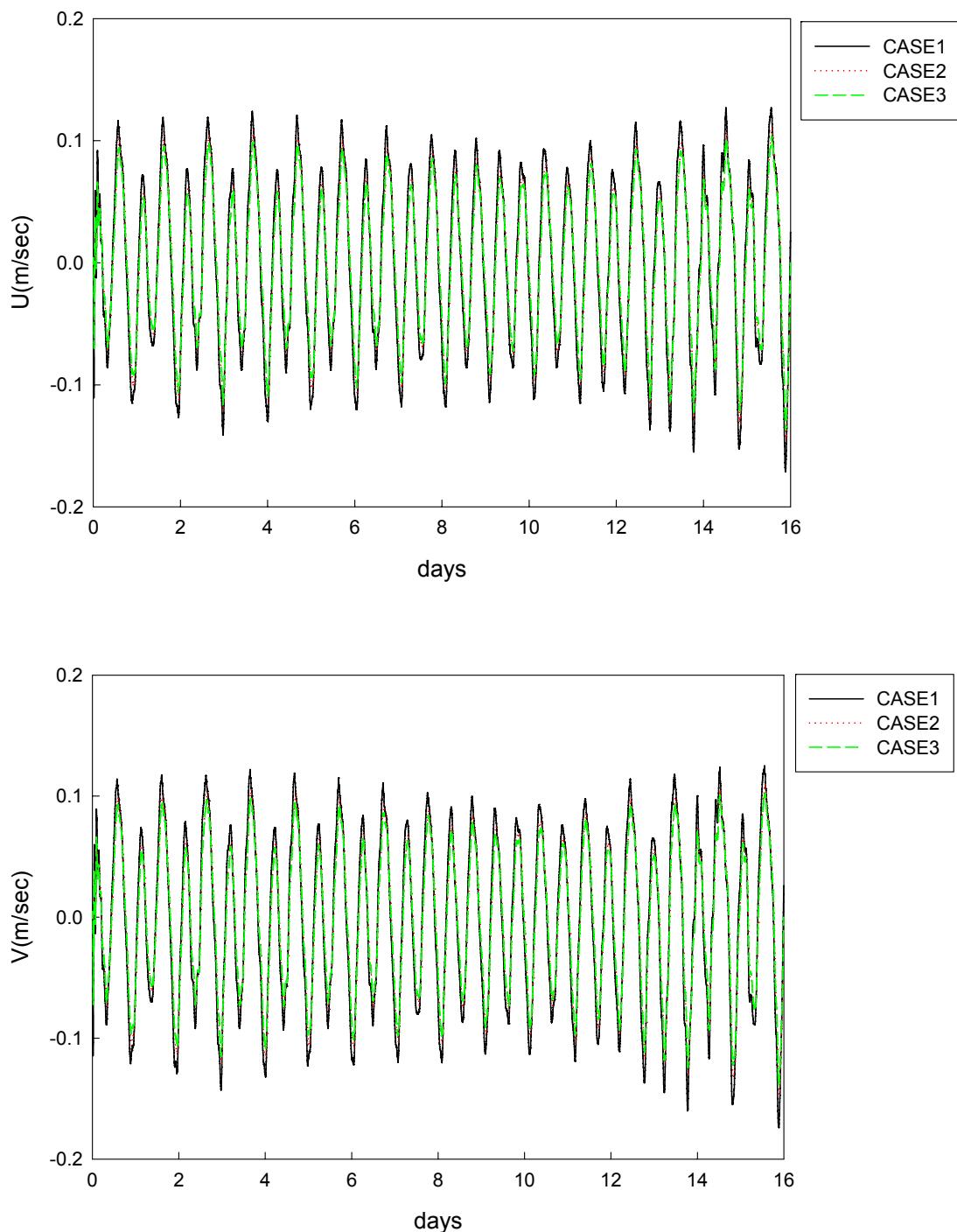


圖 3-15 模式預測三個方案之流速比較圖(N4 檢驗點)

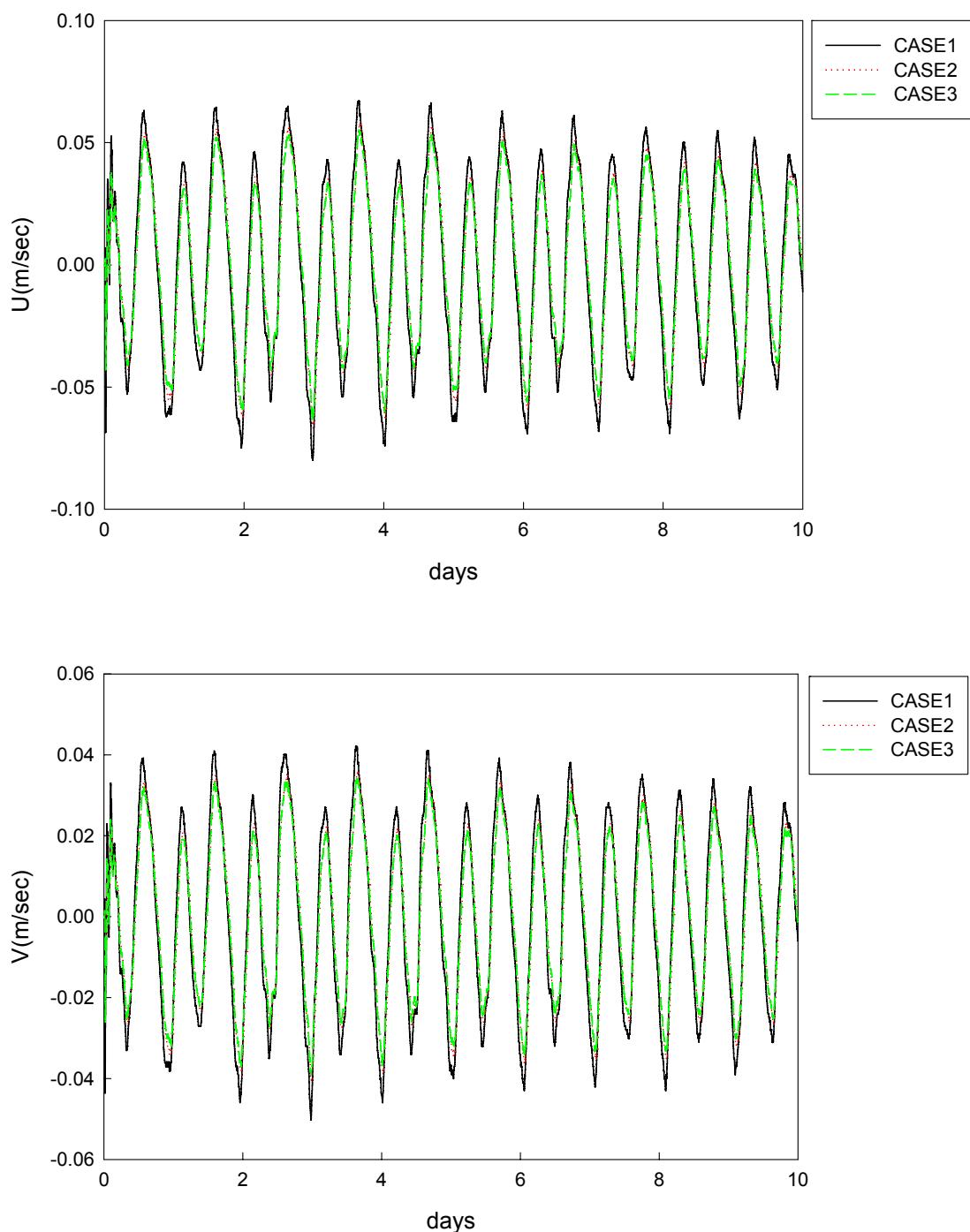


圖 3-16 模式預測三個方案之流速比較圖(N5 檢驗點)

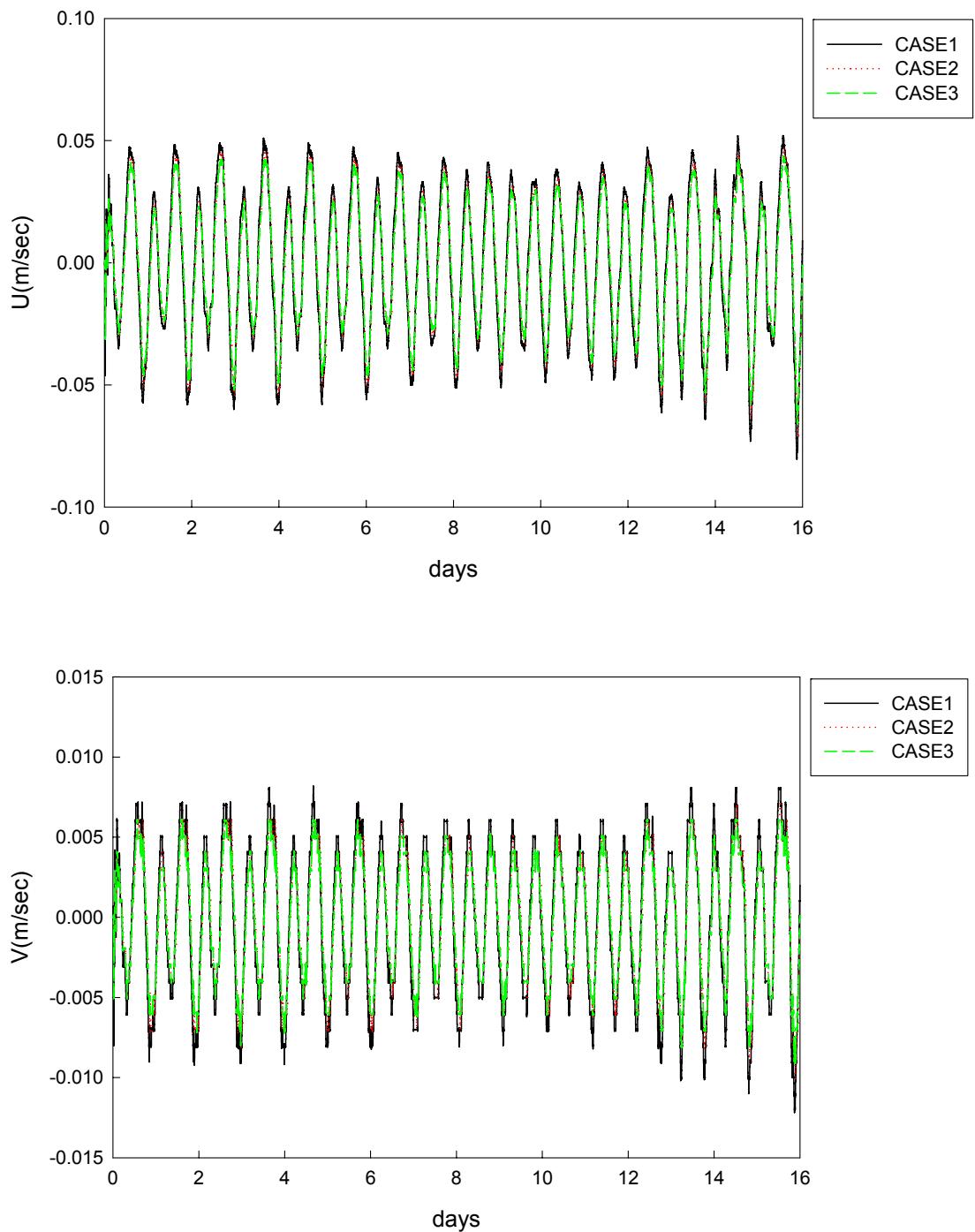


圖 3-17 模式預測三個方案之流速比較圖(N6 檢驗點)

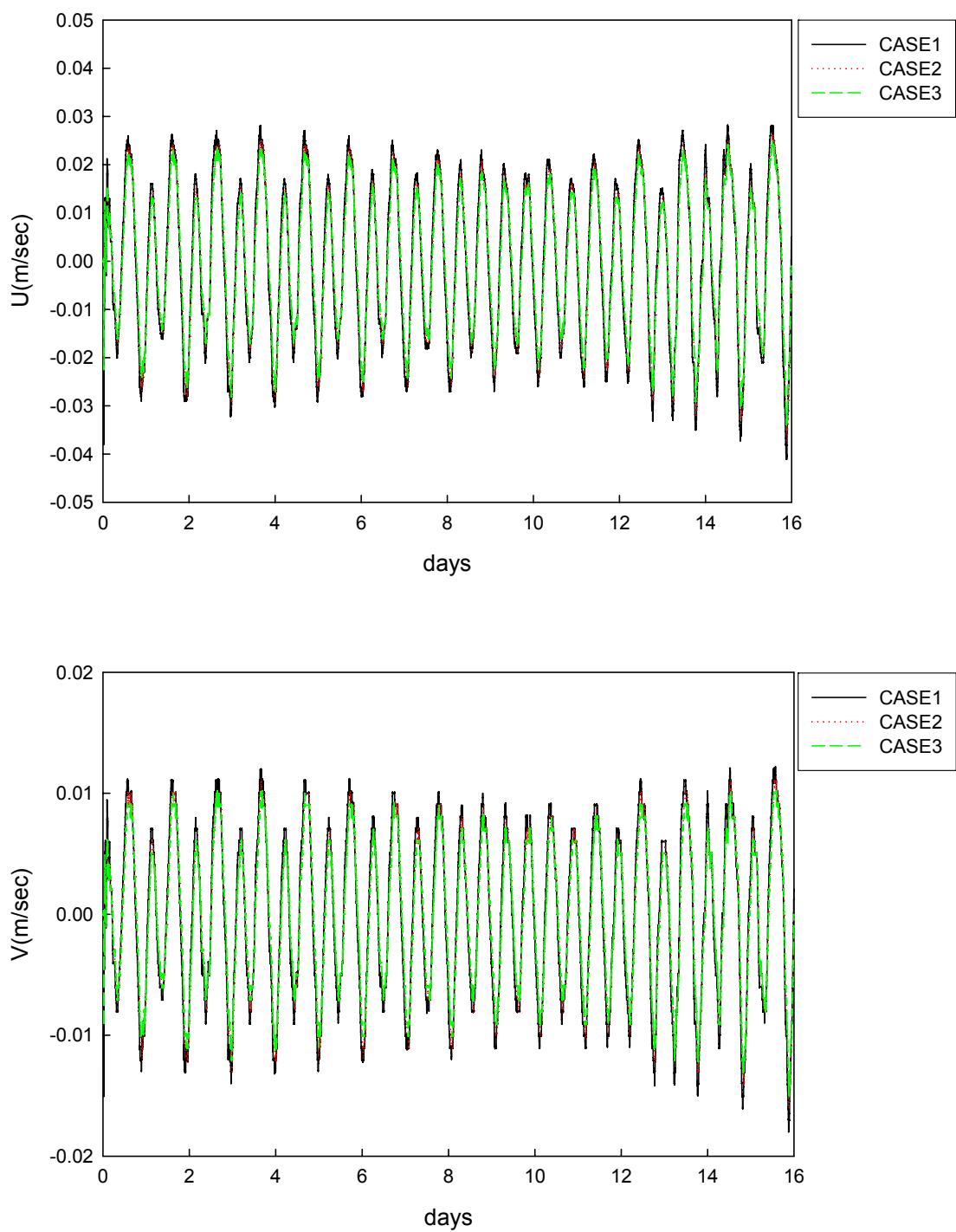


圖 3-18 模式預測三個方案之流速比較圖(N7 檢驗點)

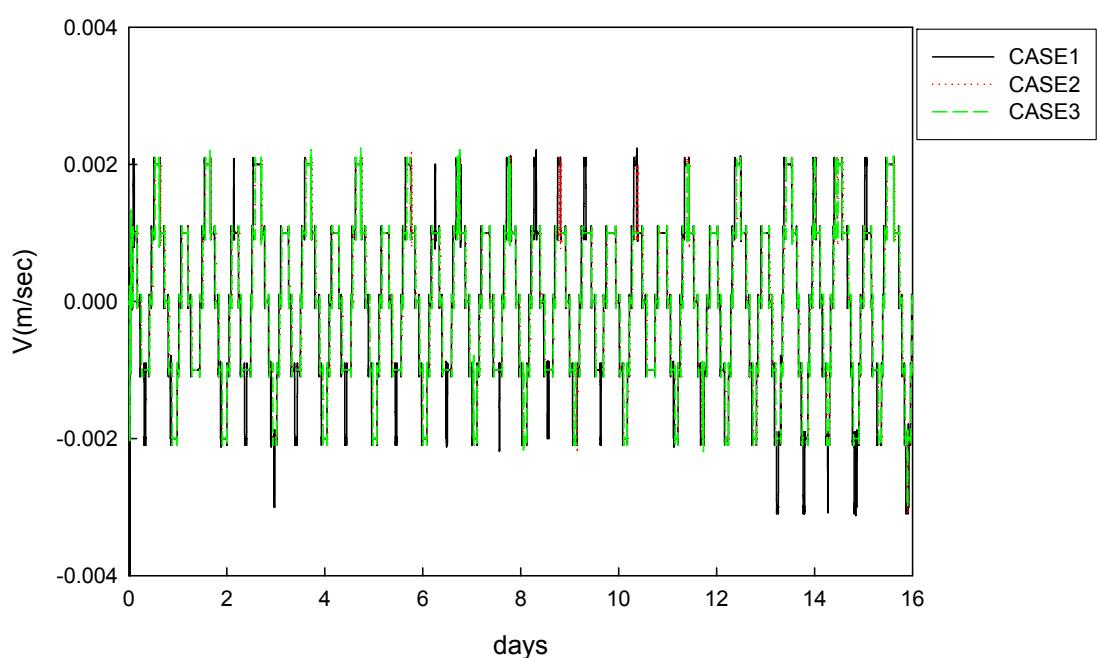
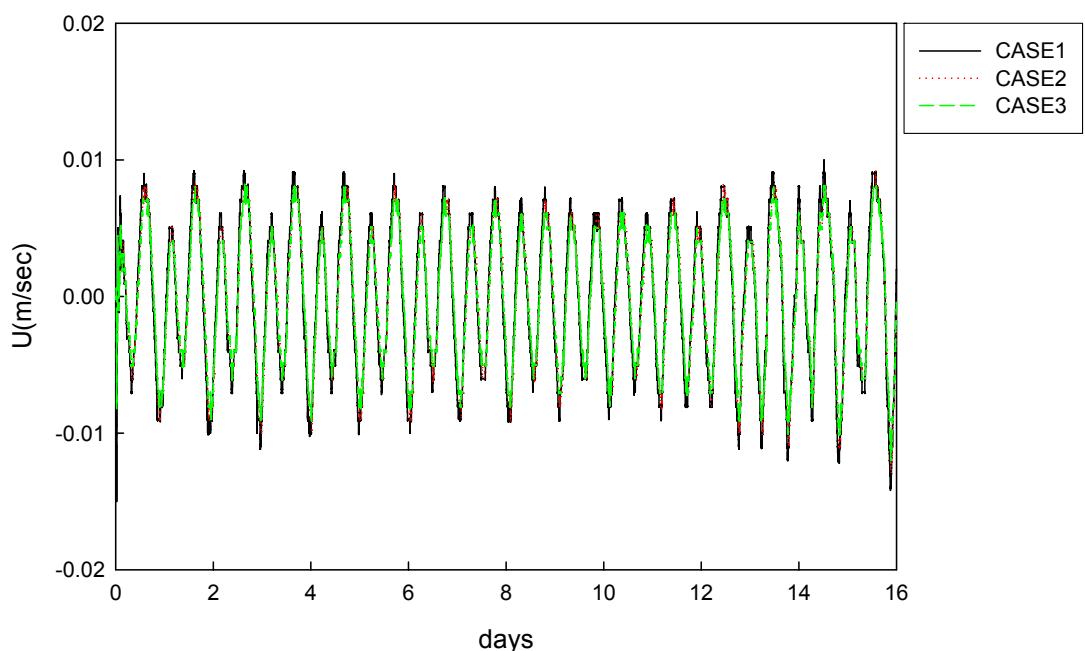


圖 3-19 模式預測三個方案之流速比較圖(N8 檢驗點)

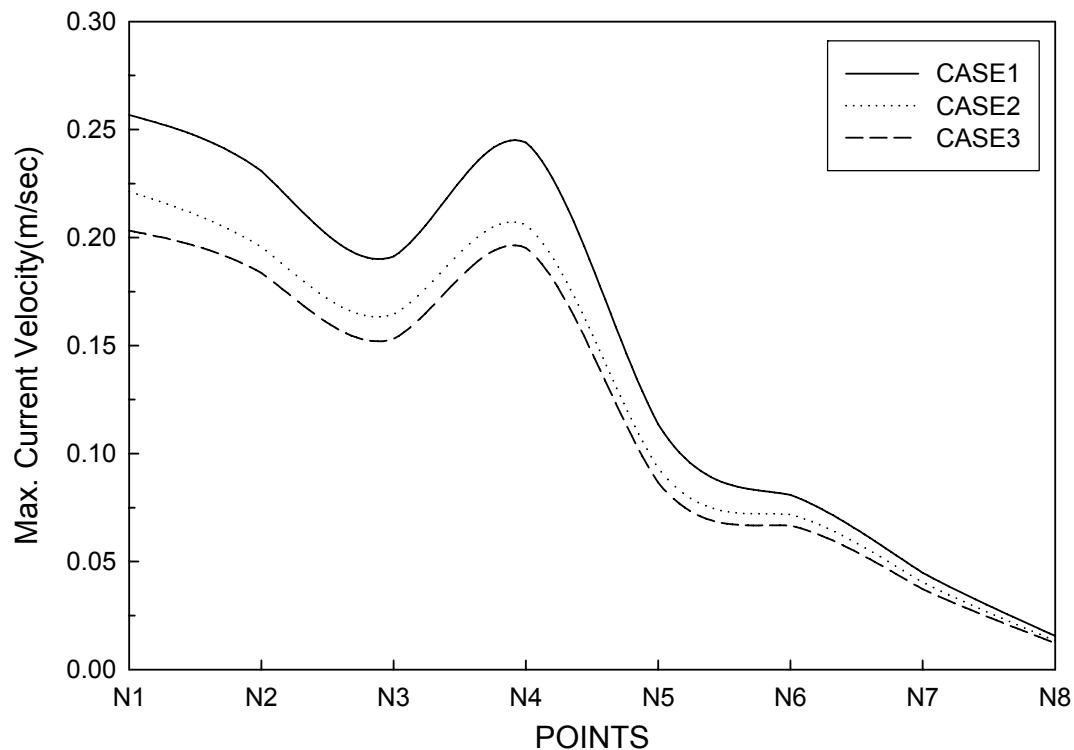


圖 3-20 三種方案於不同檢驗點之最大流速比較圖

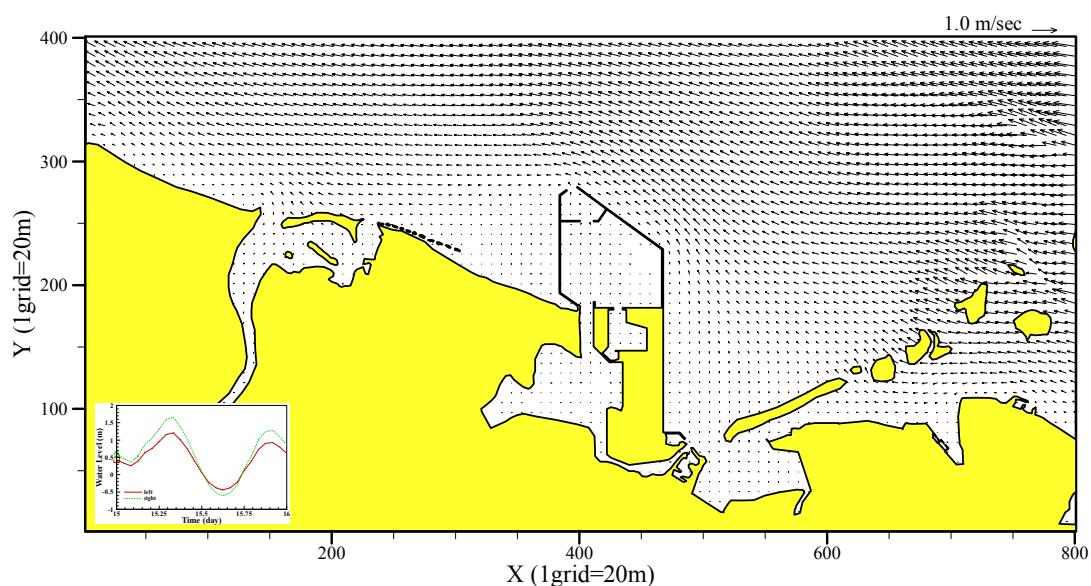


圖 3-21 模式模擬 CASE2 所得之流場分布向量圖

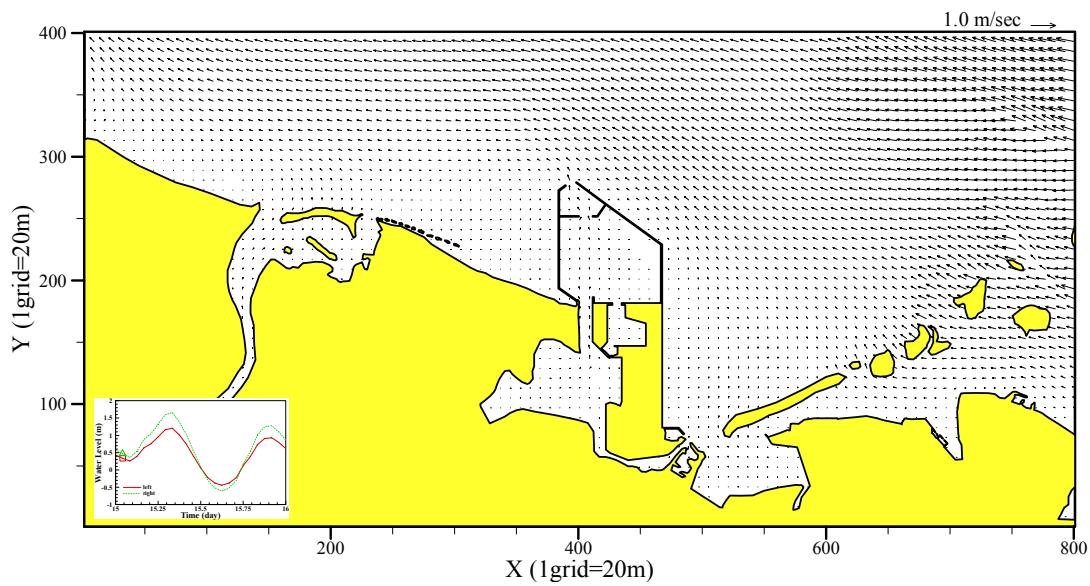


圖 3-21 (續 1)模式模擬 CASE2 所得之流場分布向量圖

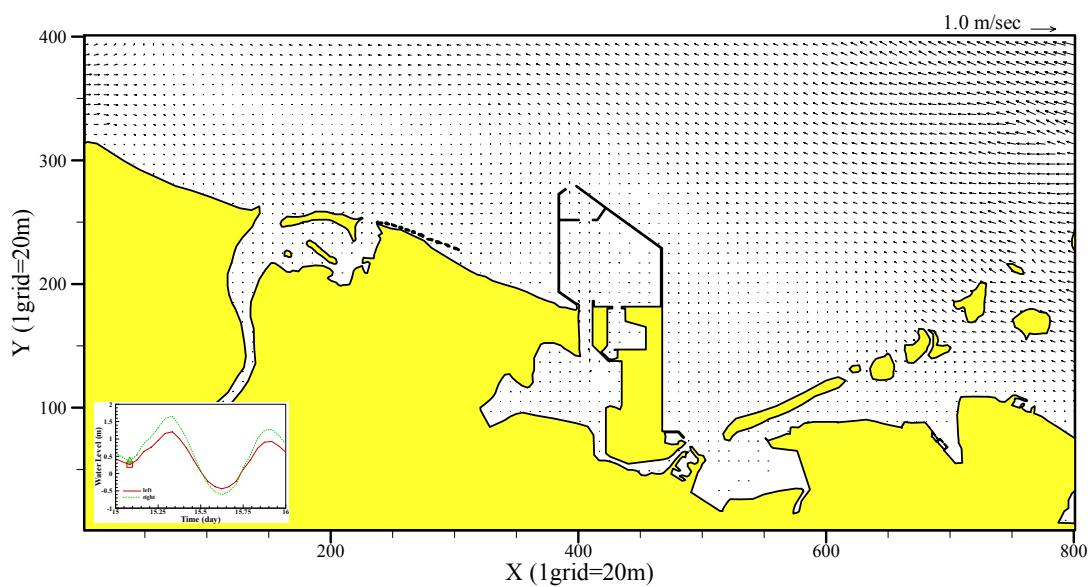


圖 3-21 (續 2)模式模擬 CASE2 所得之流場分布向量圖

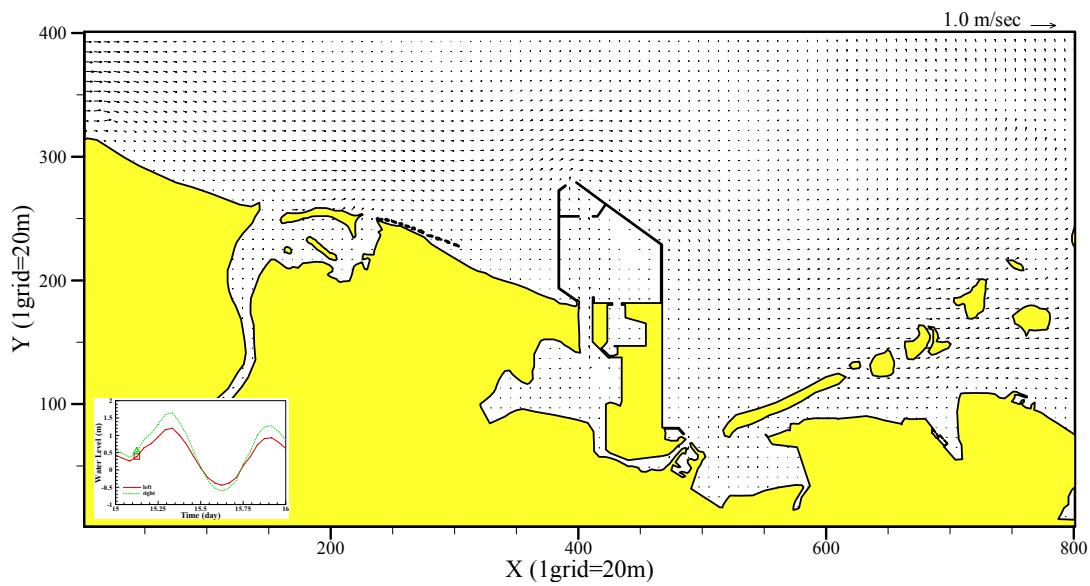


圖 3-21 (續 3)模式模擬 CASE2 所得之流場分布向量圖

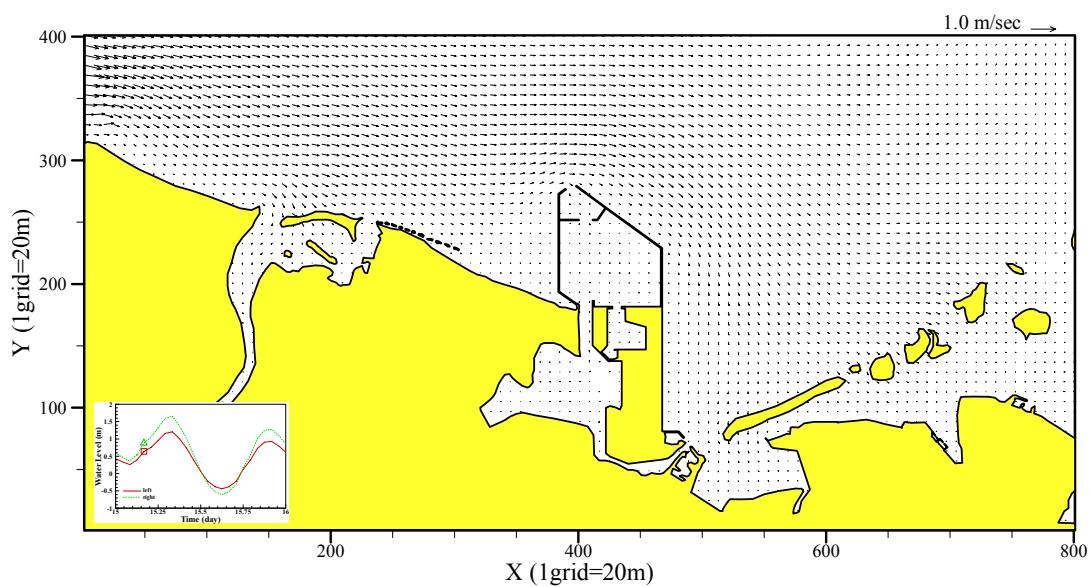


圖 3-21 (續 4)模式模擬 CASE2 所得之流場分布向量圖

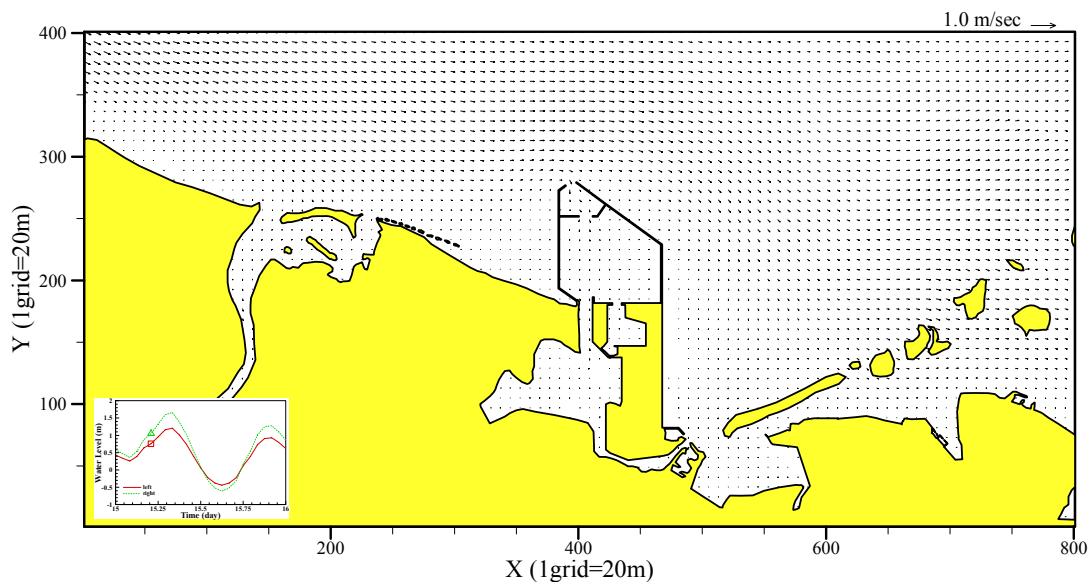


圖 3-21 (續 5)模式模擬 CASE2 所得之流場分布向量圖

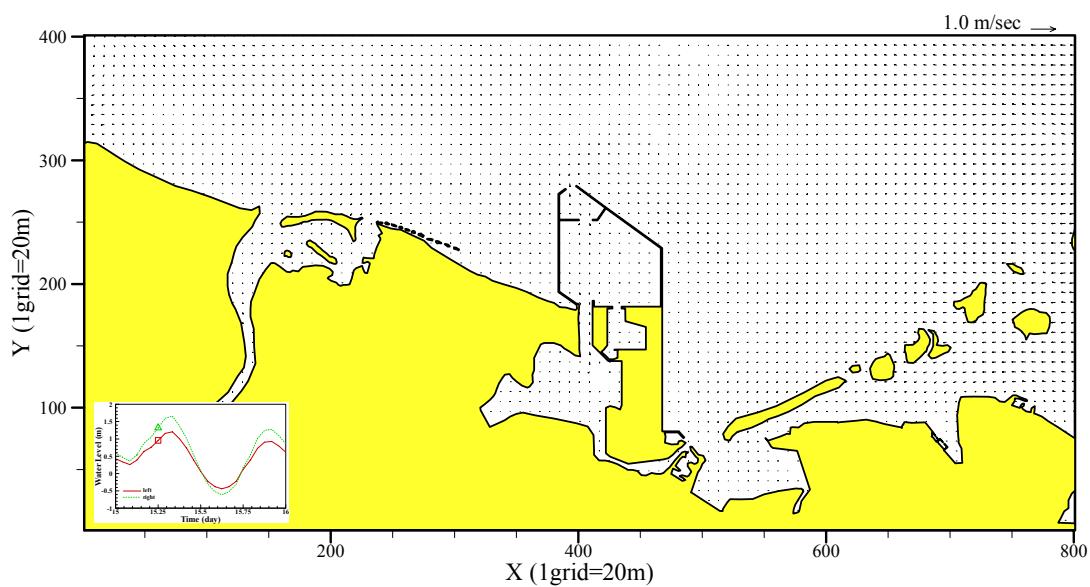


圖 3-21 (續 6)模式模擬 CASE2 所得之流場分布向量圖

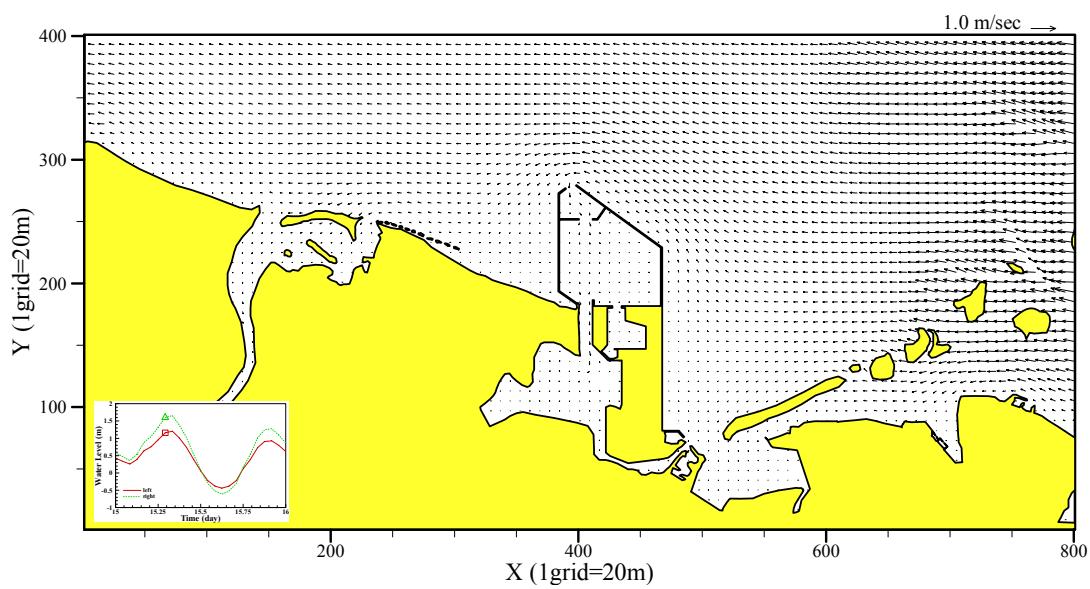


圖 3-21 (續 7)模式模擬 CASE2 所得之流場分布向量圖

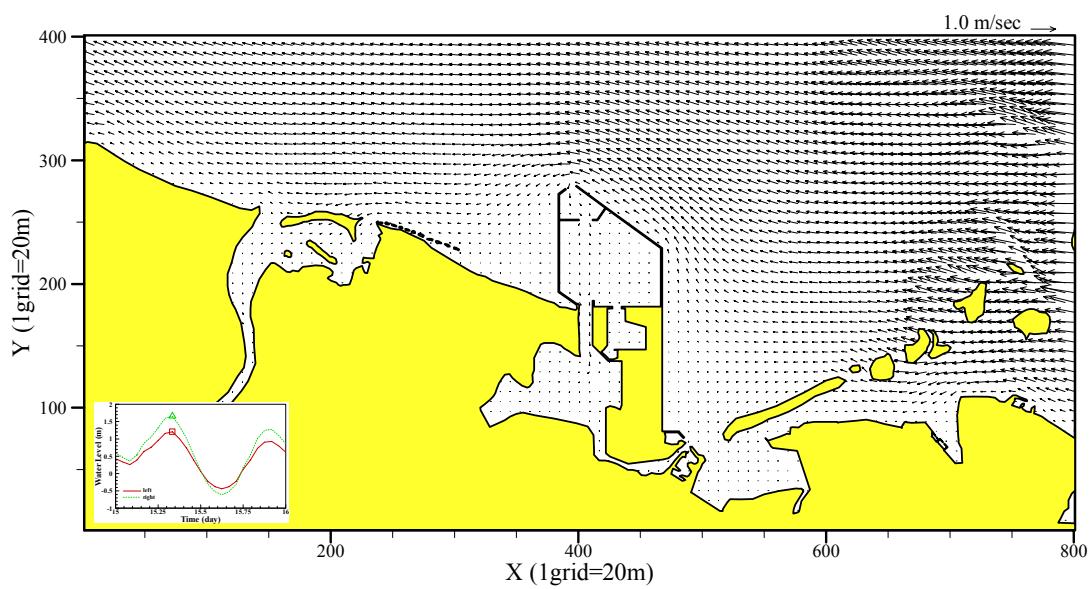


圖 3-21 (續 8)模式模擬 CASE2 所得之流場分布向量圖

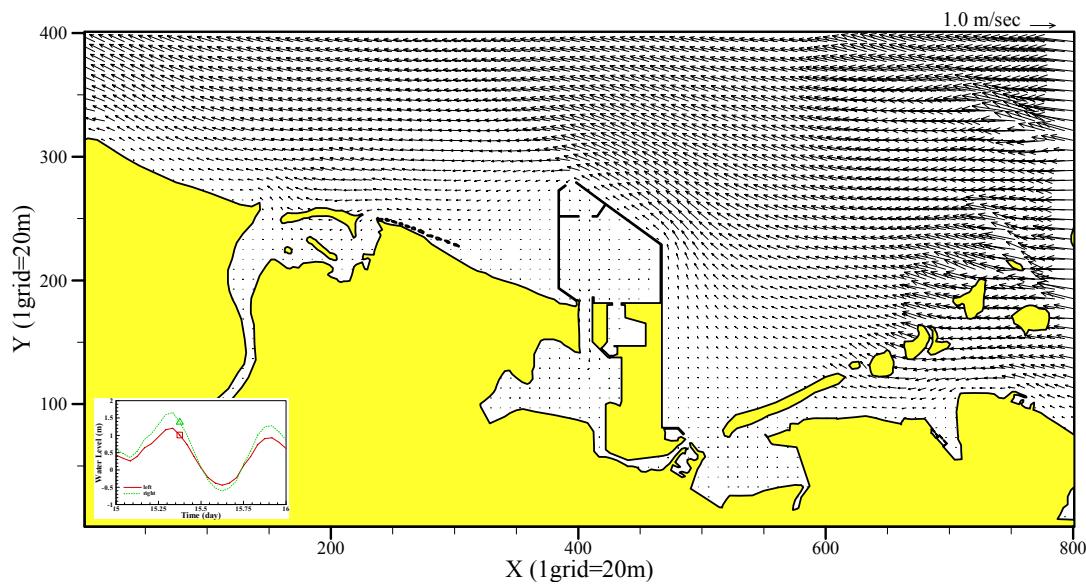


圖 3-21 (續 9)模式模擬 CASE2 所得之流場分布向量圖

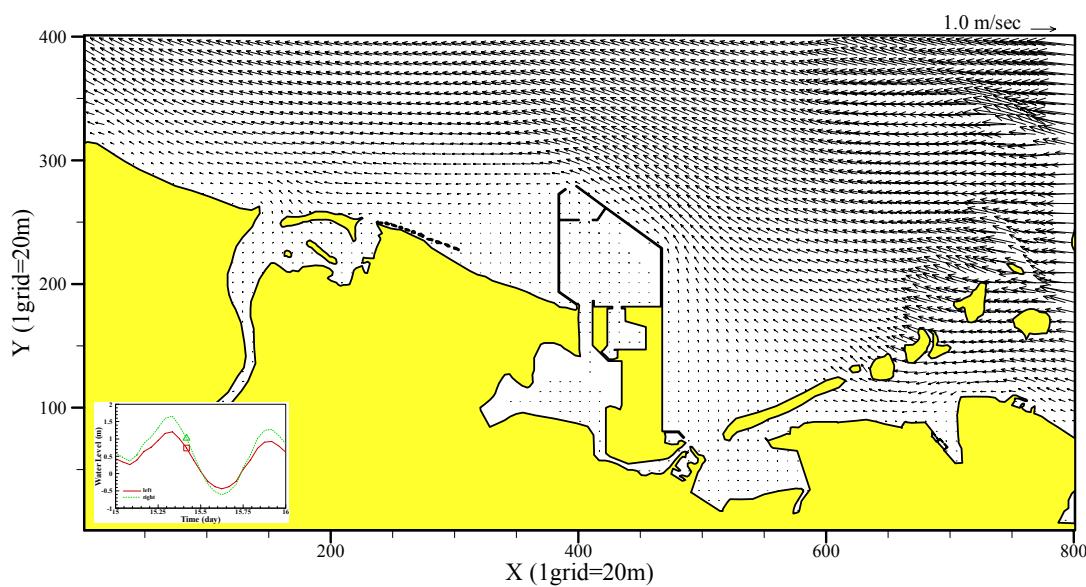


圖 3-21 (續 10)模式模擬 CASE2 所得之流場分布向量圖

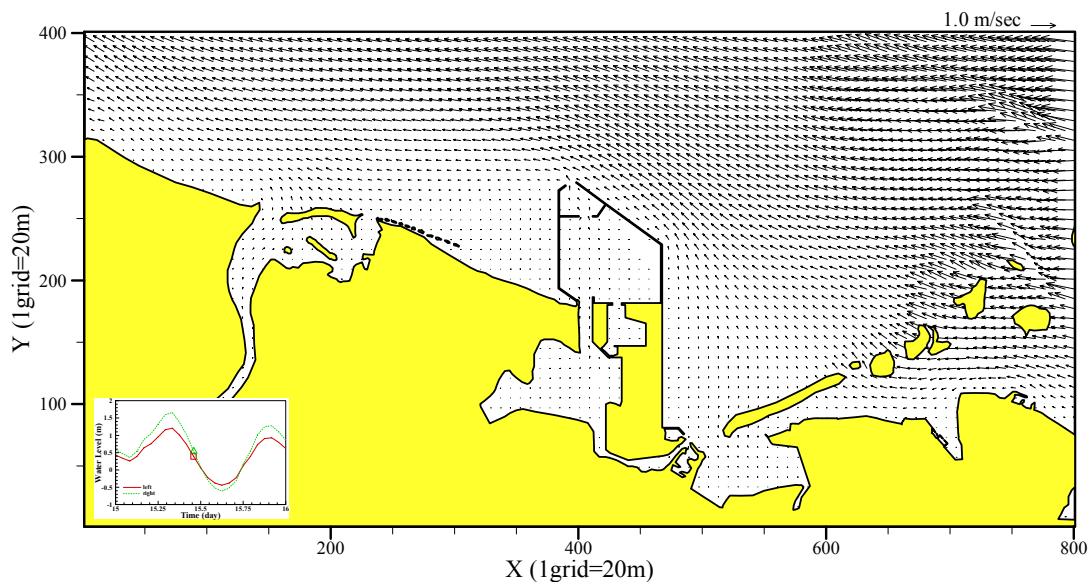


圖 3-21 (續 11) 模式模擬 CASE2 所得之流場分布向量圖

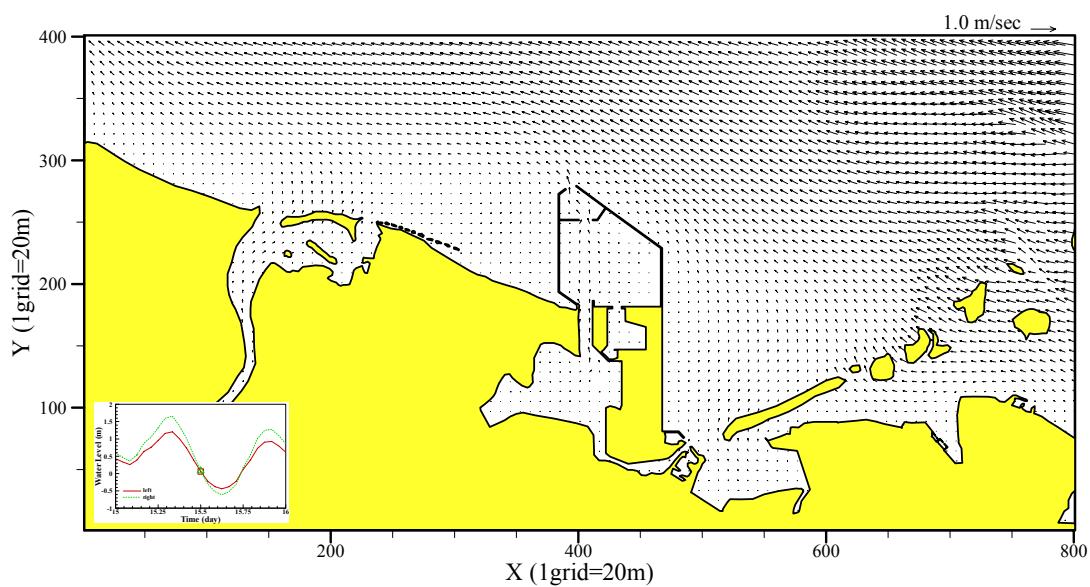


圖 3-21 (續 12) 模式模擬 CASE2 所得之流場分布向量圖

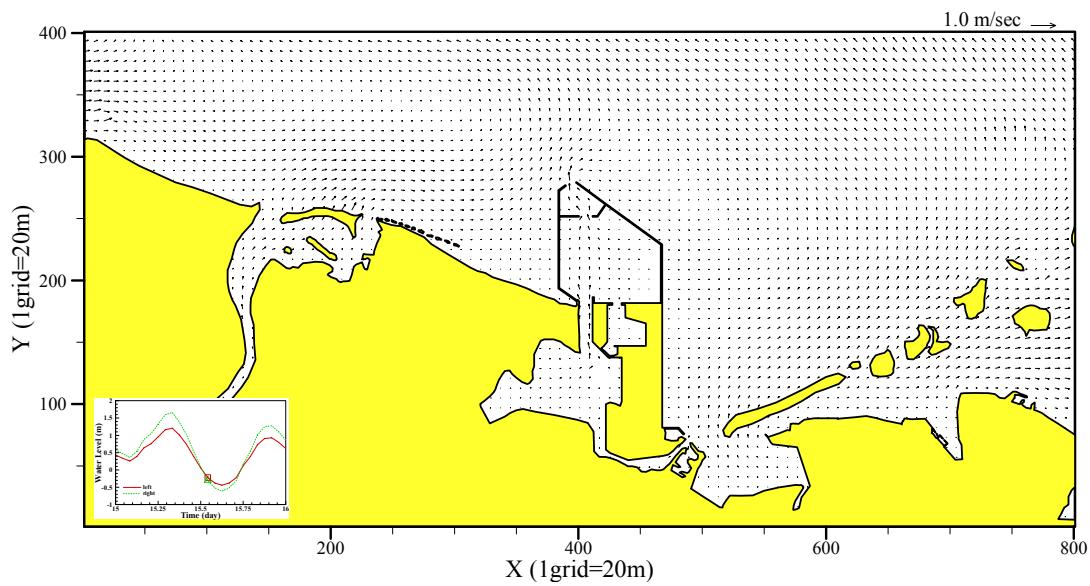


圖 3-21 (續 13)模式模擬 CASE2 所得之流場分布向量圖

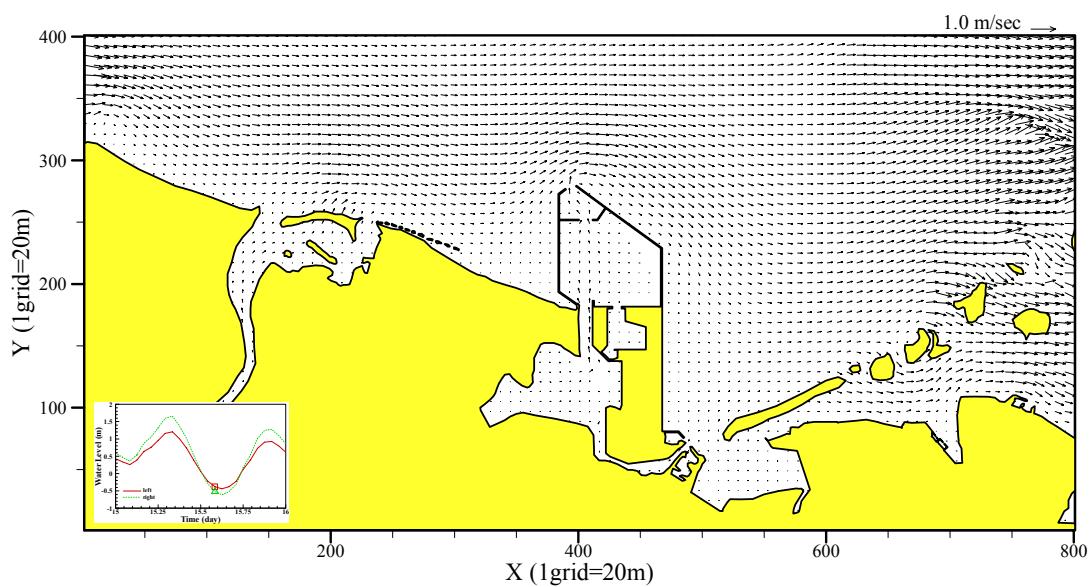


圖 3-21 (續 14)模式模擬 CASE2 所得之流場分布向量圖

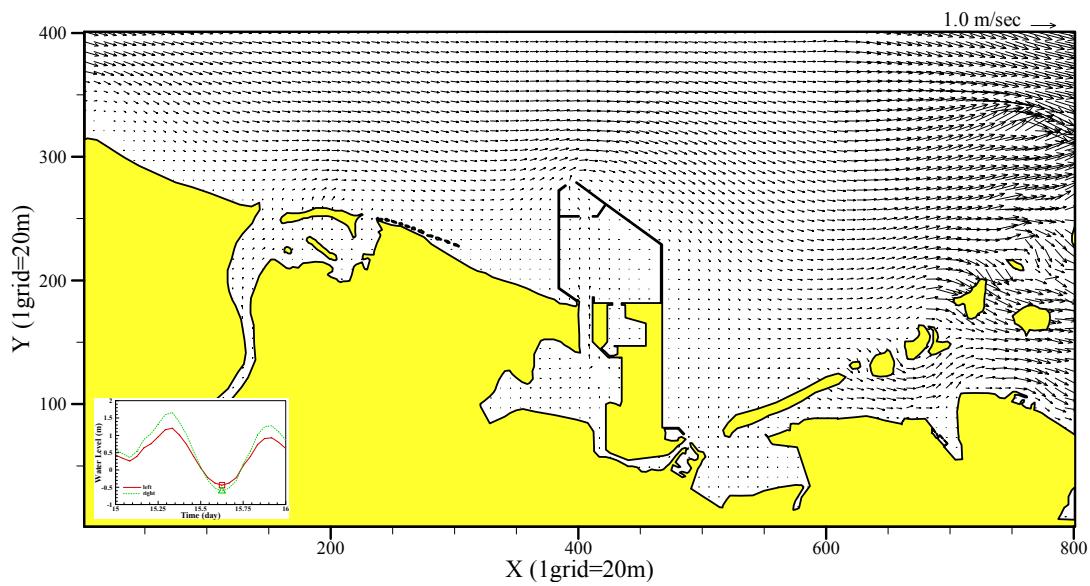


圖 3-21 (續 15)模式模擬 CASE2 所得之流場分布向量圖

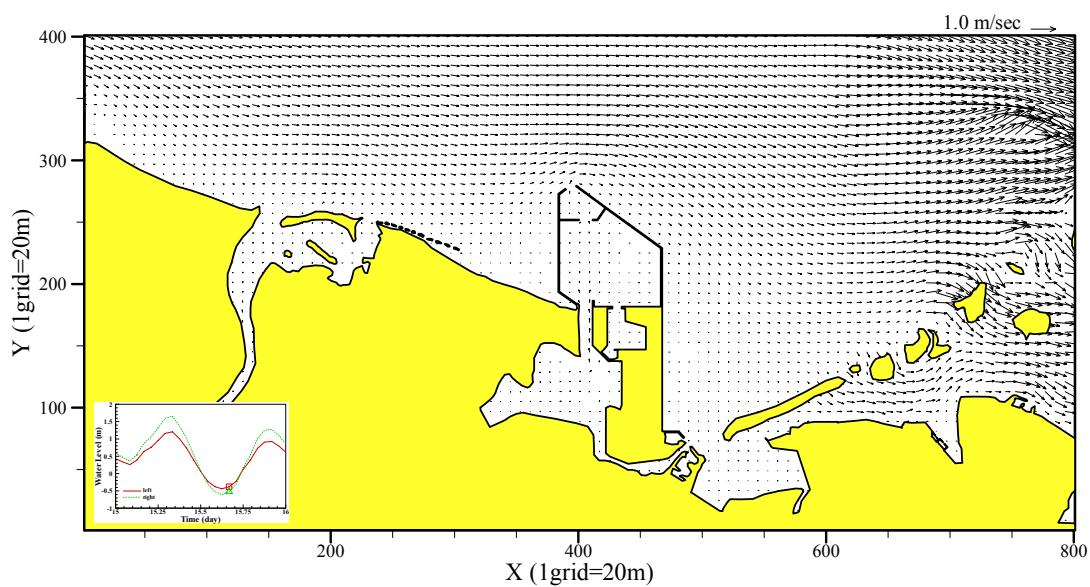


圖 3-21 (續 16)模式模擬 CASE2 所得之流場分布向量圖

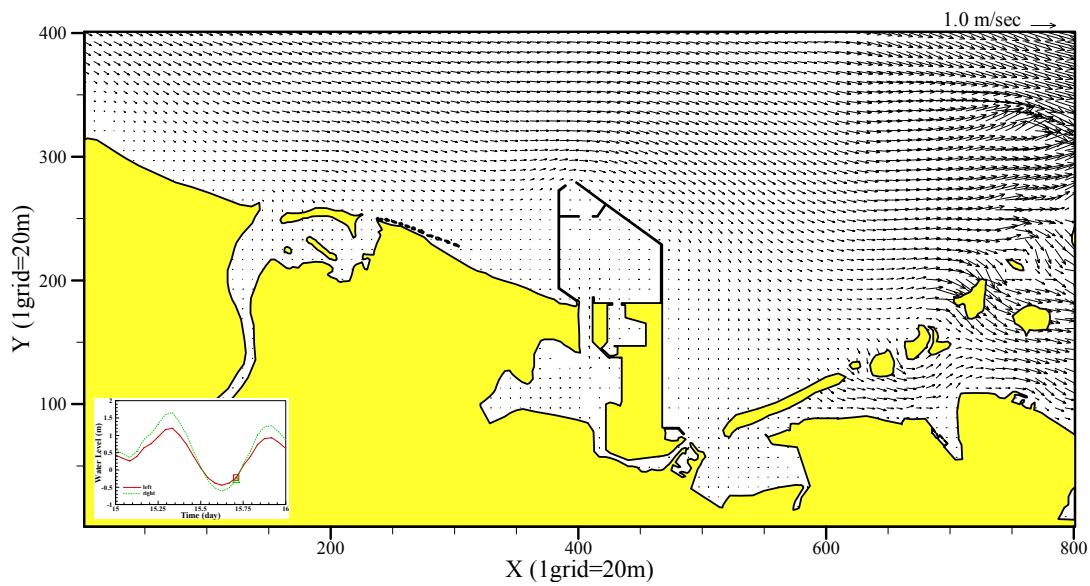


圖 3-21 (續 17) 模式模擬 CASE2 所得之流場分布向量圖

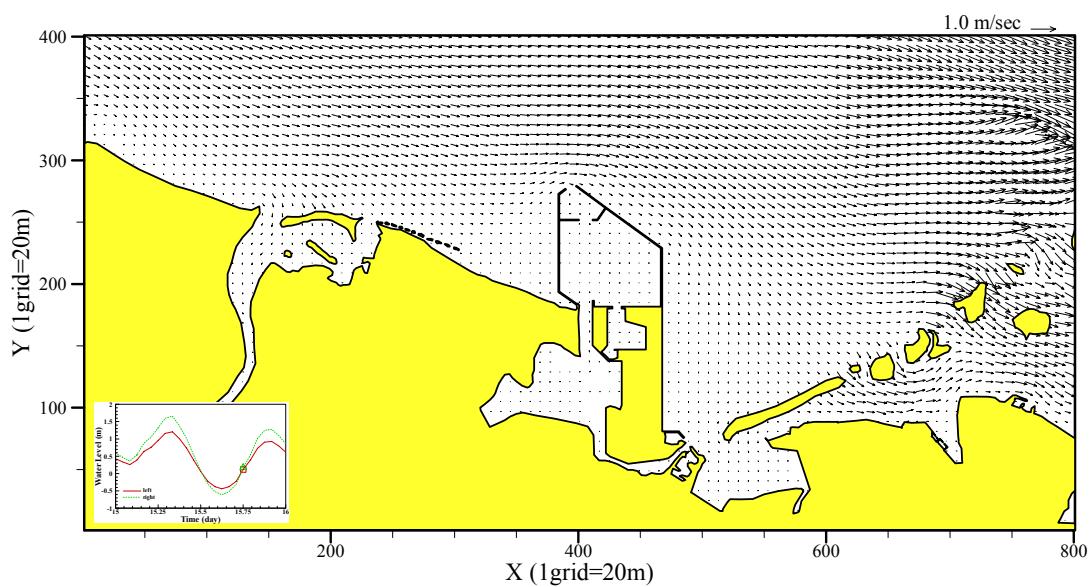


圖 3-21 (續 18) 模式模擬 CASE2 所得之流場分布向量圖

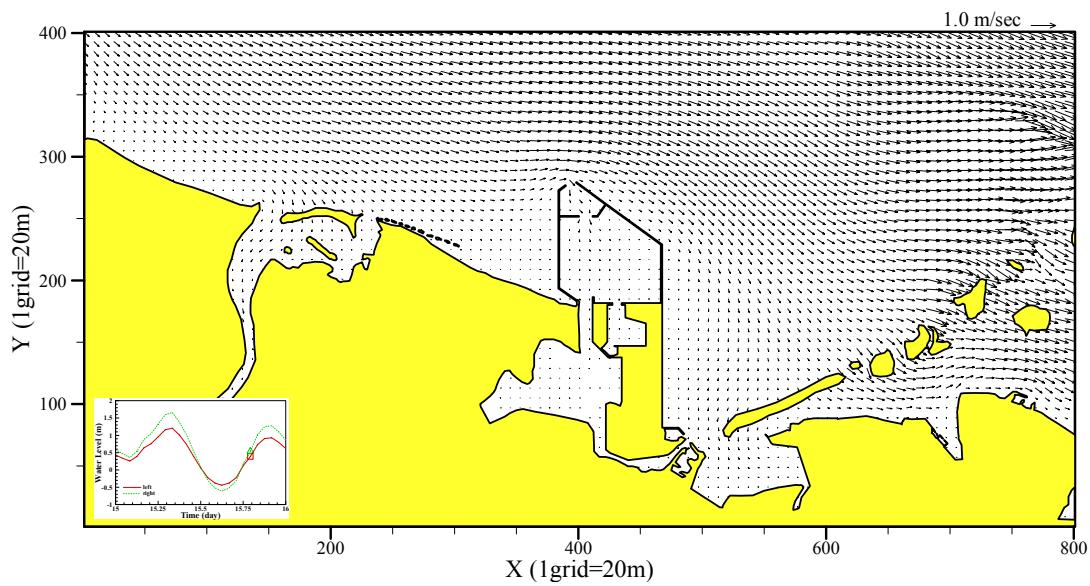


圖 3-21 (續 19)模式模擬 CASE2 所得之流場分布向量圖

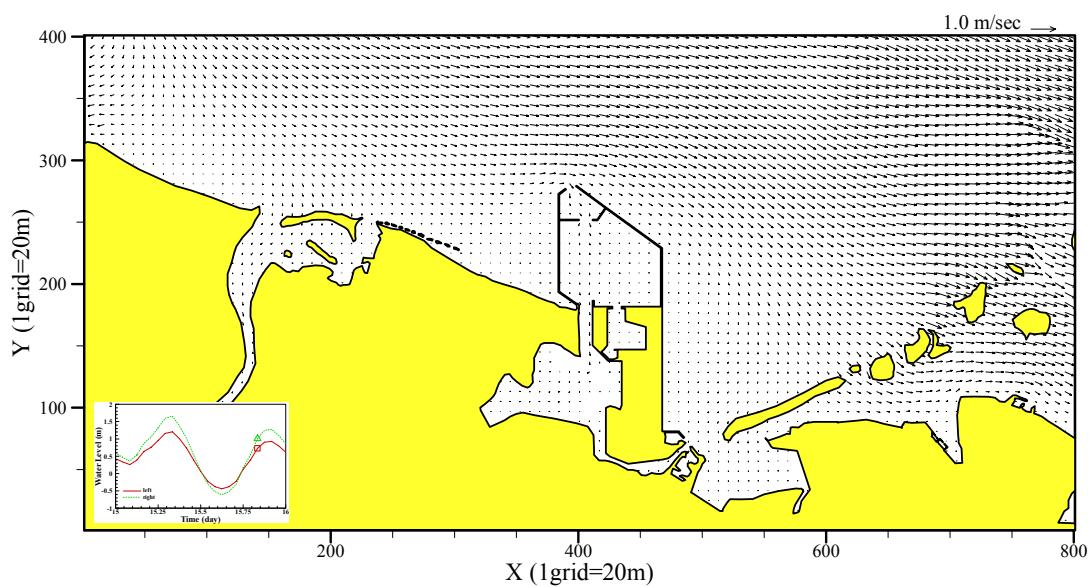


圖 3-21 (續 20)模式模擬 CASE2 所得之流場分布向量圖

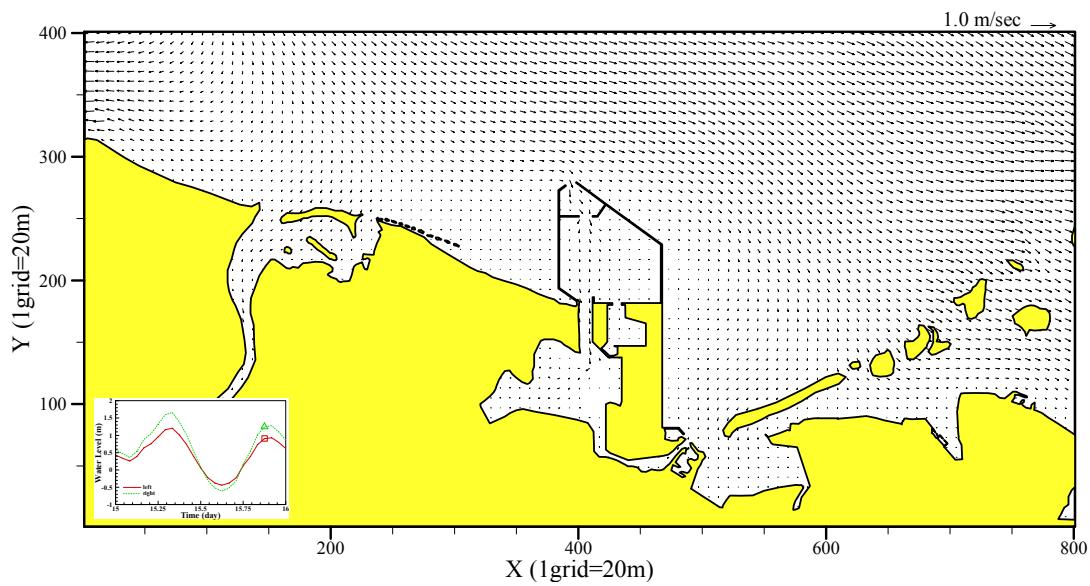


圖 3-21 (續 21) 模式模擬 CASE2 所得之流場分布向量圖

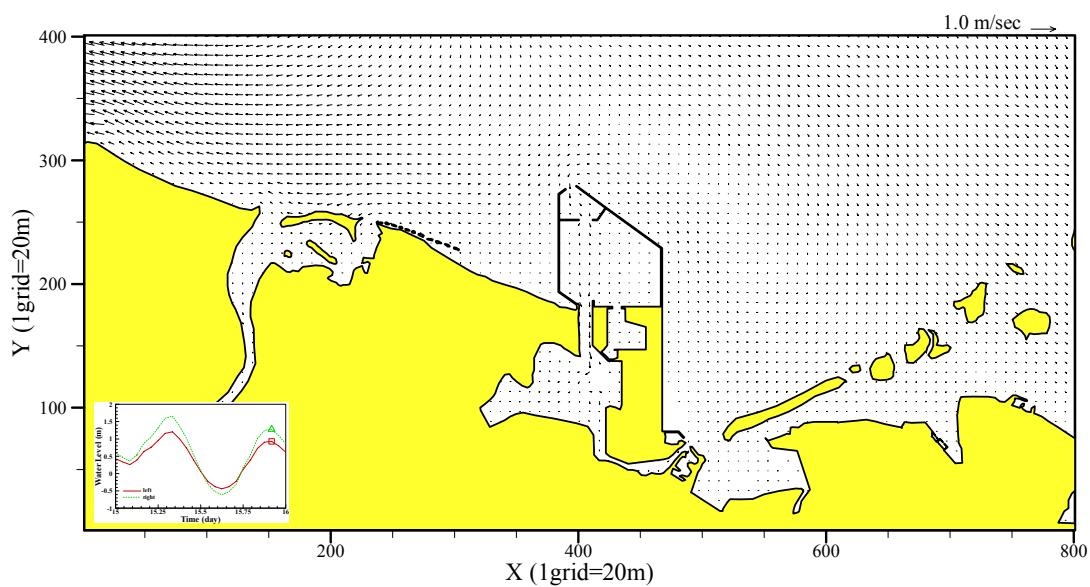


圖 3-21 (續 22) 模式模擬 CASE2 所得之流場分布向量圖

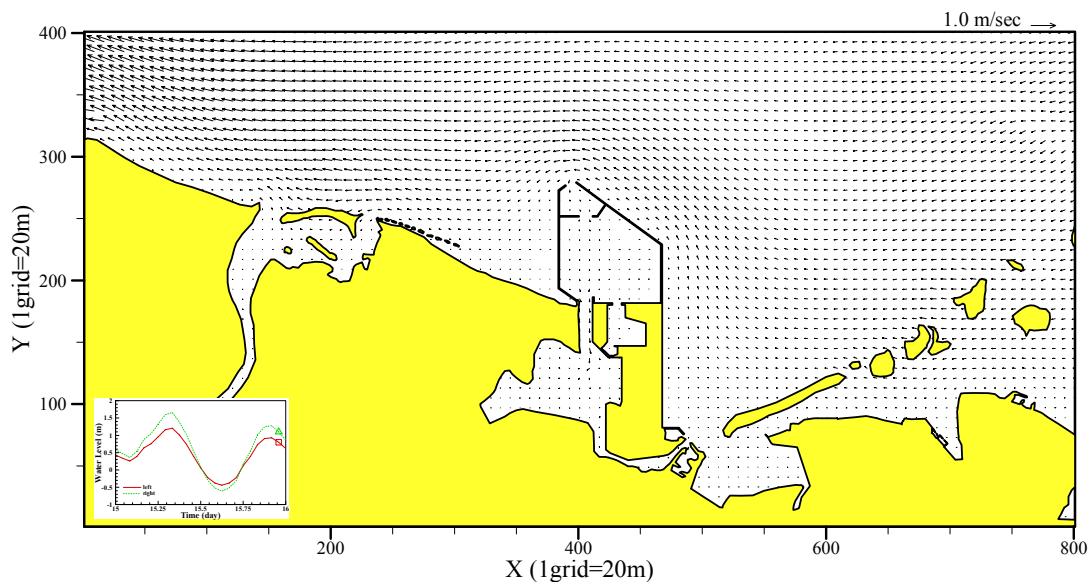


圖 3-21 (續 23)模式模擬 CASE2 所得之流場分布向量圖

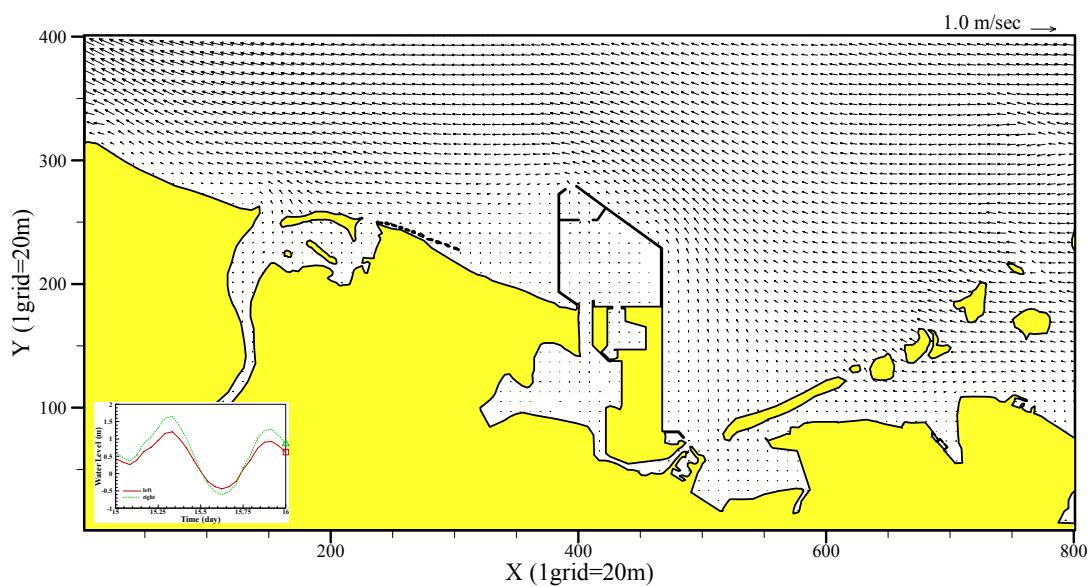


圖 3-21 (續 24)模式模擬 CASE2 所得之流場分布向量圖

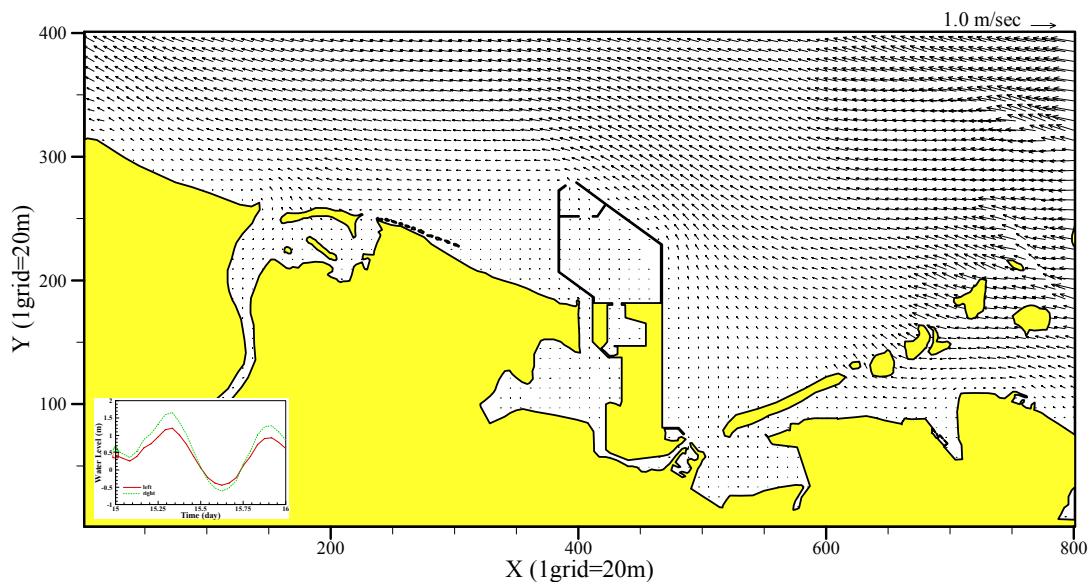


圖 3-22 模式模擬 CASE3 所得之流場分布向量圖

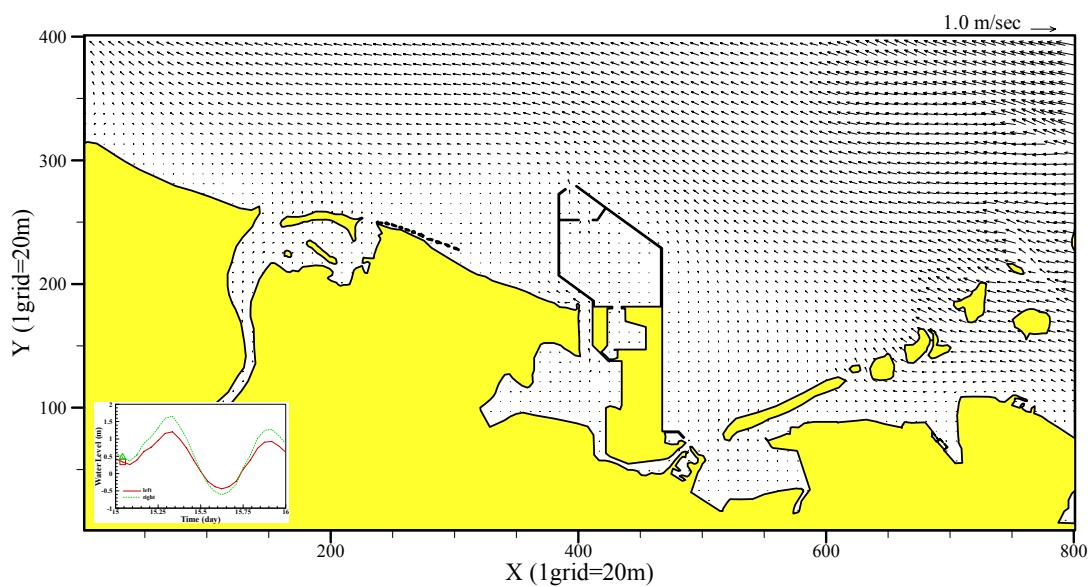


圖 3-22 (續 1)模式模擬 CASE3 所得之流場分布向量圖

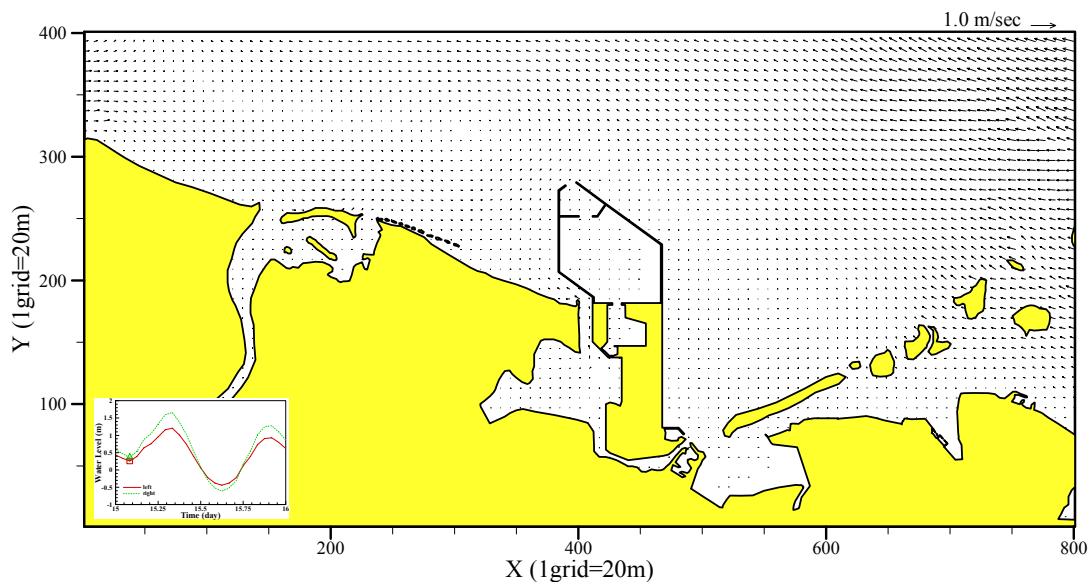


圖 3-22 (續 2)模式模擬 CASE3 所得之流場分布向量圖

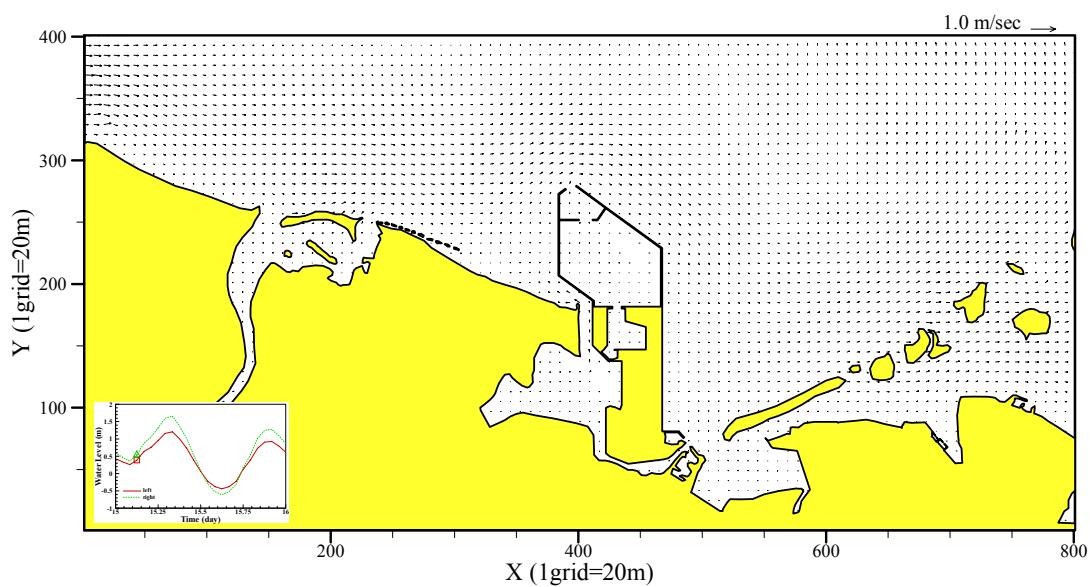


圖 3-22 (續 3)模式模擬 CASE3 所得之流場分布向量圖

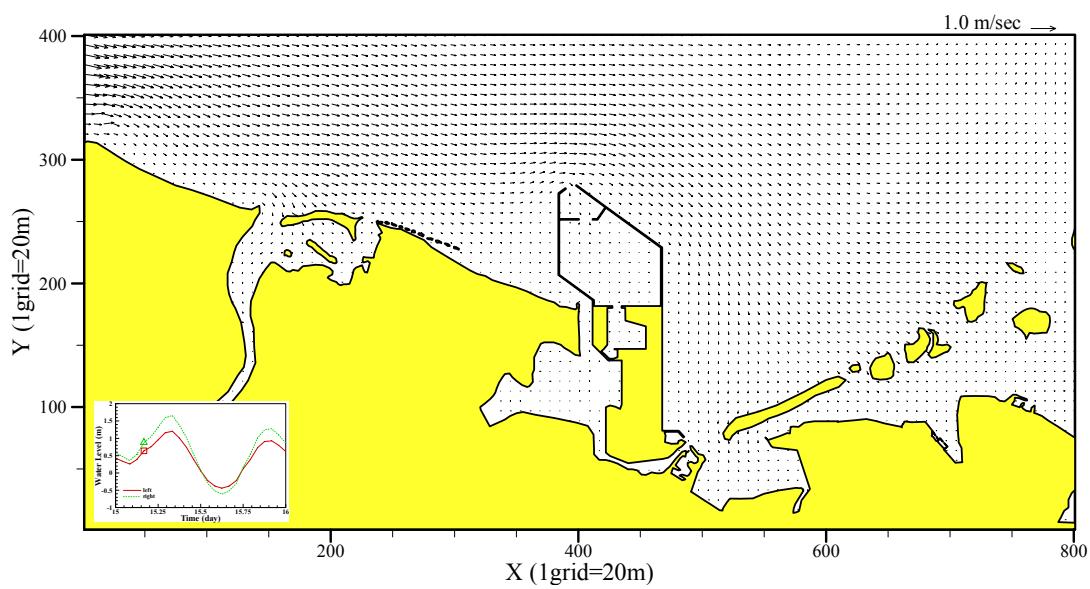


圖 3-22 (續 4)模式模擬 CASE3 所得之流場分布向量圖

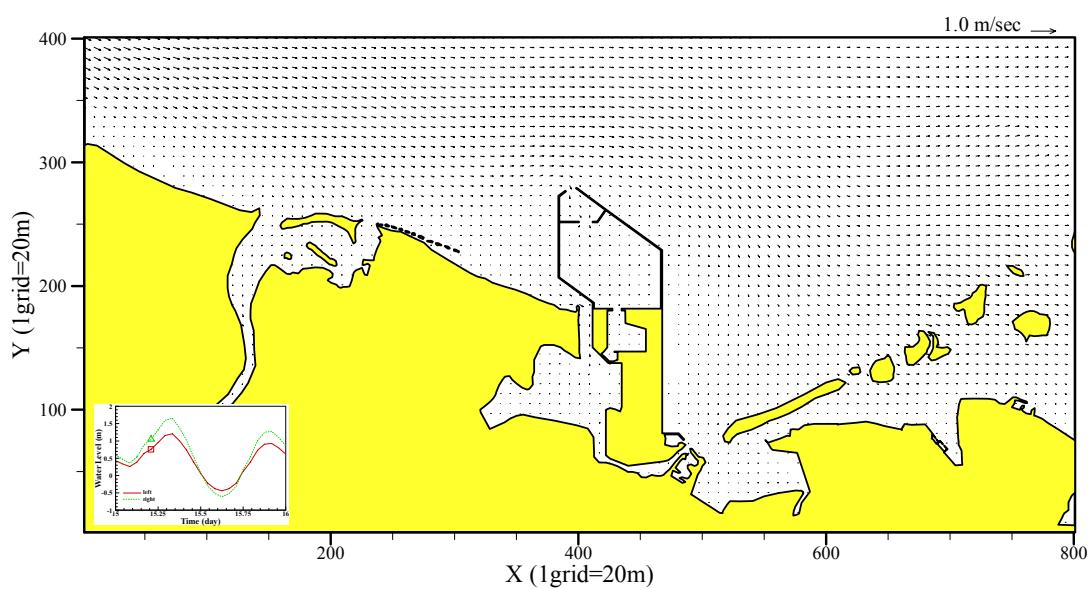


圖 3-22 (續 5)模式模擬 CASE3 所得之流場分布向量圖

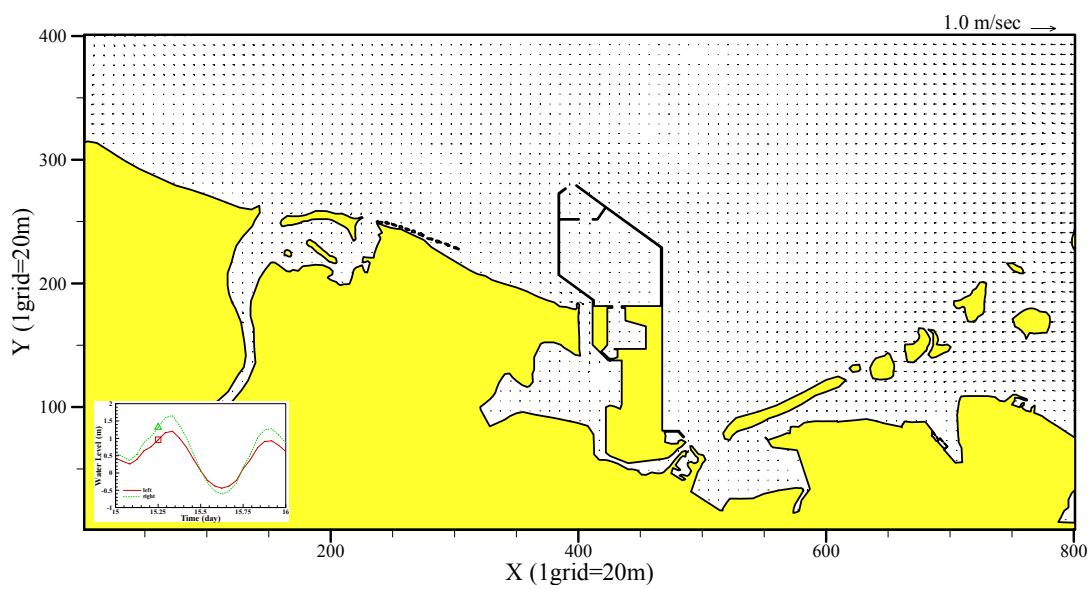


圖 3-22 (續 6)模式模擬 CASE3 所得之流場分布向量圖

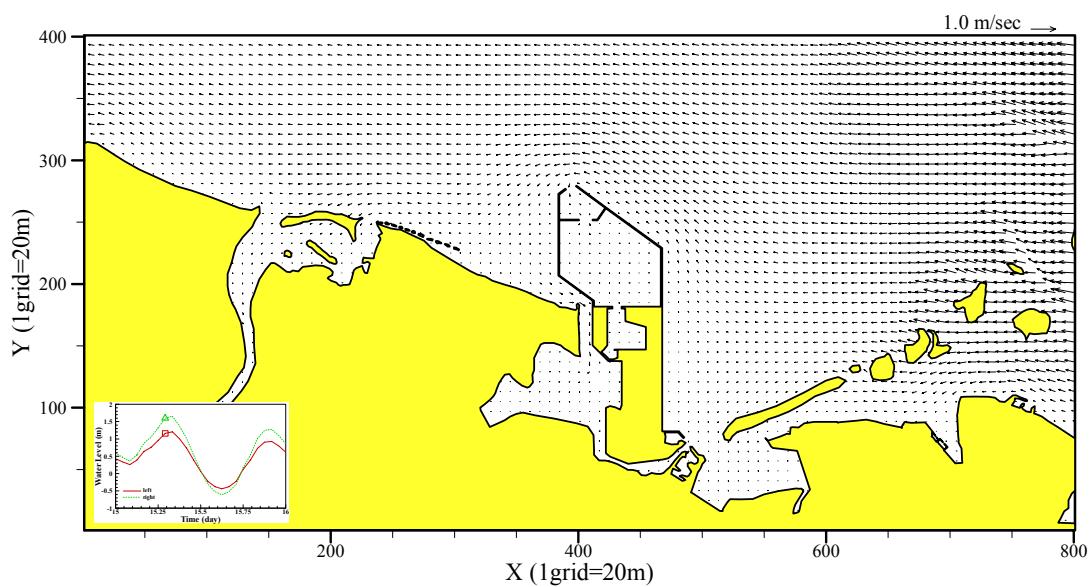


圖 3-22 (續 7)模式模擬 CASE3 所得之流場分布向量圖

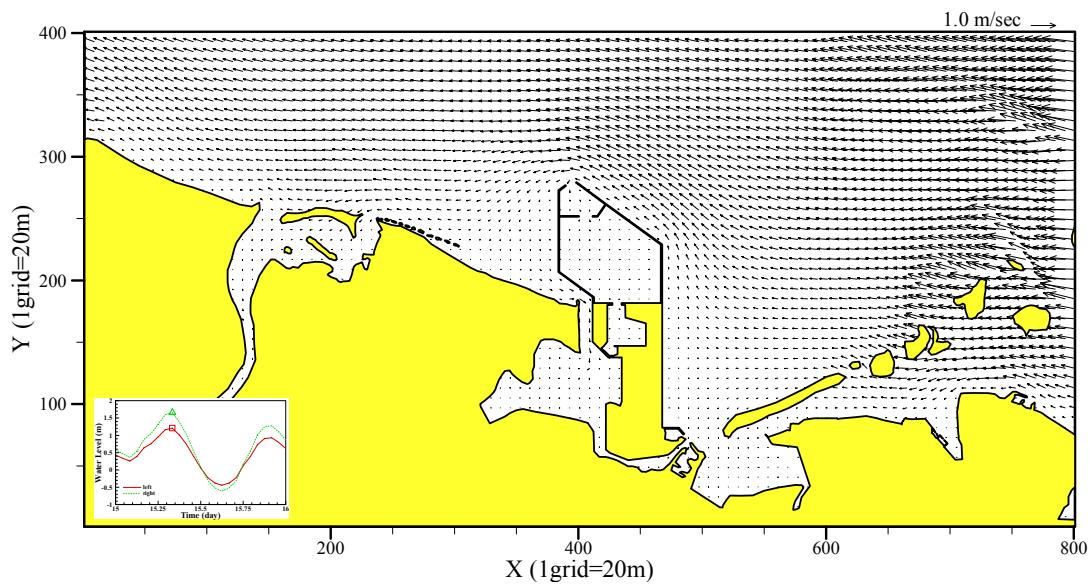


圖 3-22 (續 8)模式模擬 CASE3 所得之流場分布向量圖

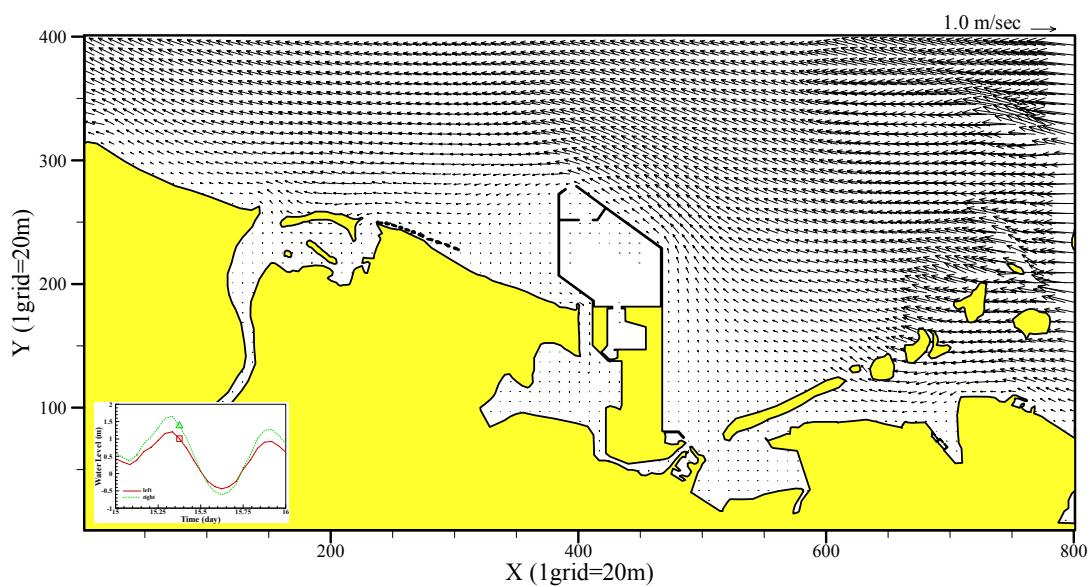


圖 3-22 (續 9)模式模擬 CASE3 所得之流場分布向量圖

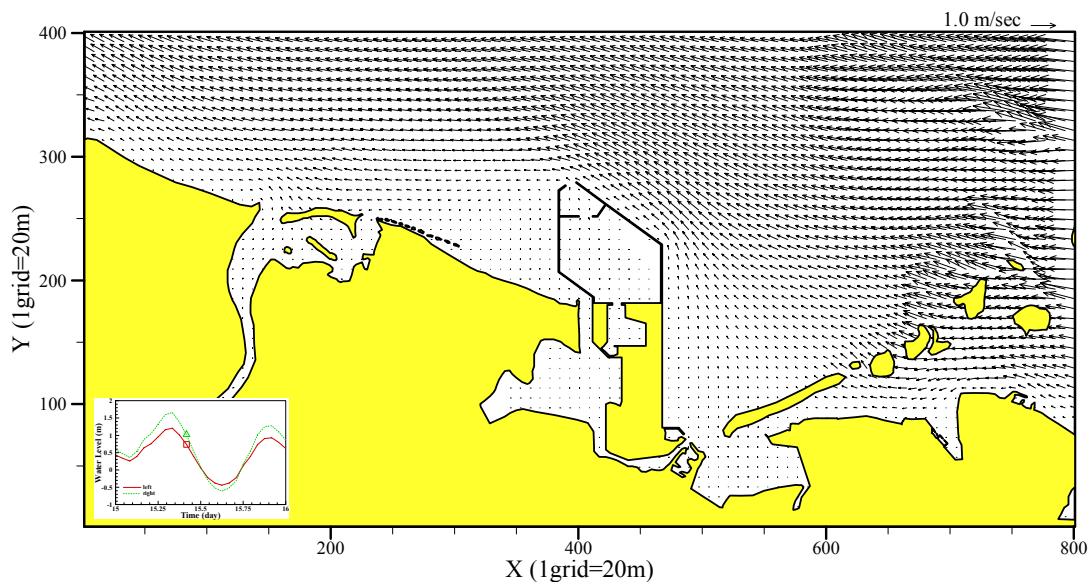


圖 3-22 (續 10)模式模擬 CASE3 所得之流場分布向量圖

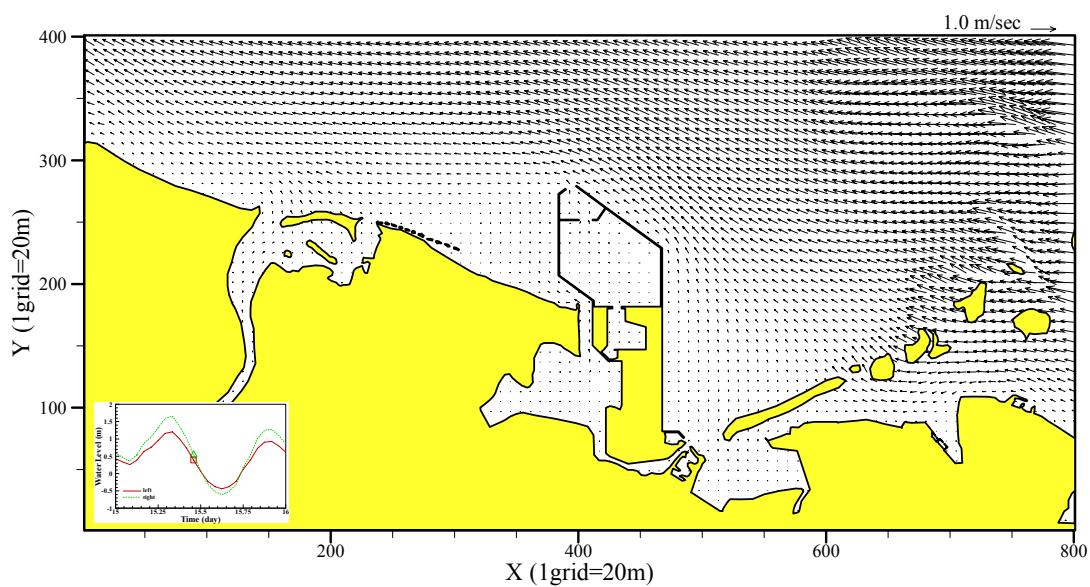


圖 3-22 (續 11)模式模擬 CASE3 所得之流場分布向量圖

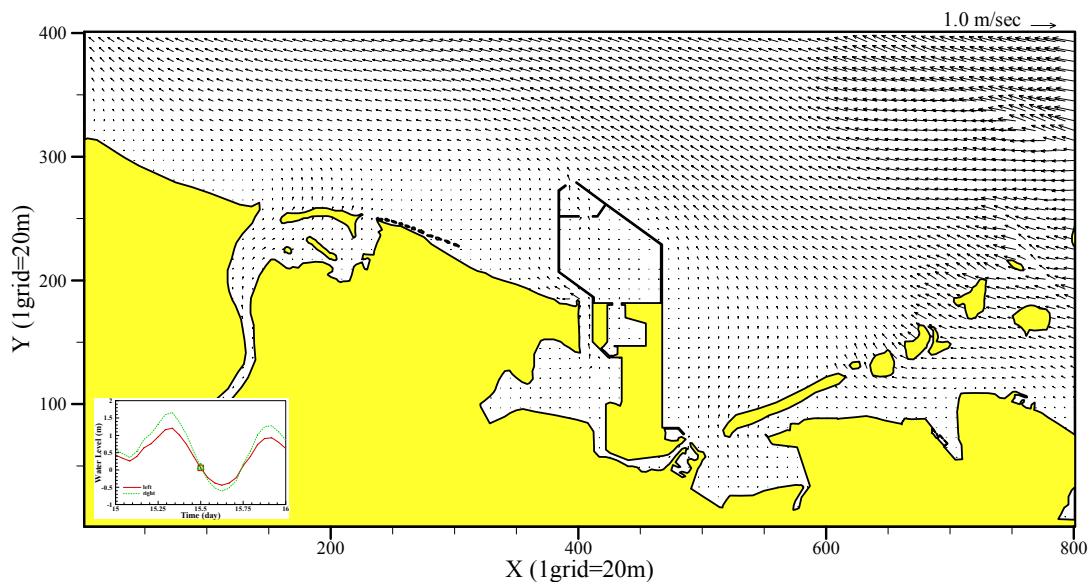


圖 3-22 (續 12) 模式模擬 CASE3 所得之流場分布向量圖

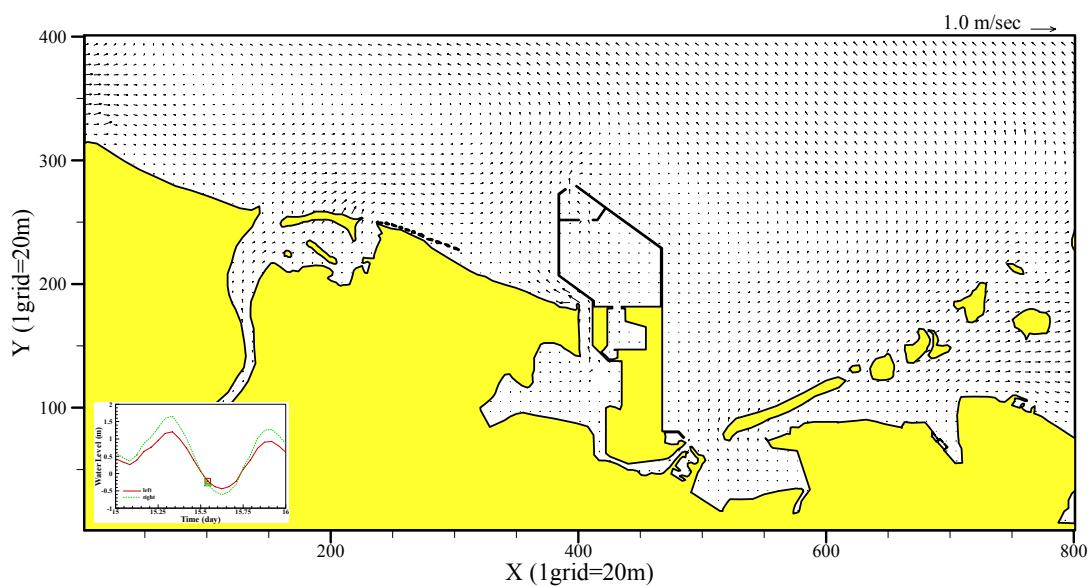


圖 3-22 (續 13) 模式模擬 CASE3 所得之流場分布向量圖

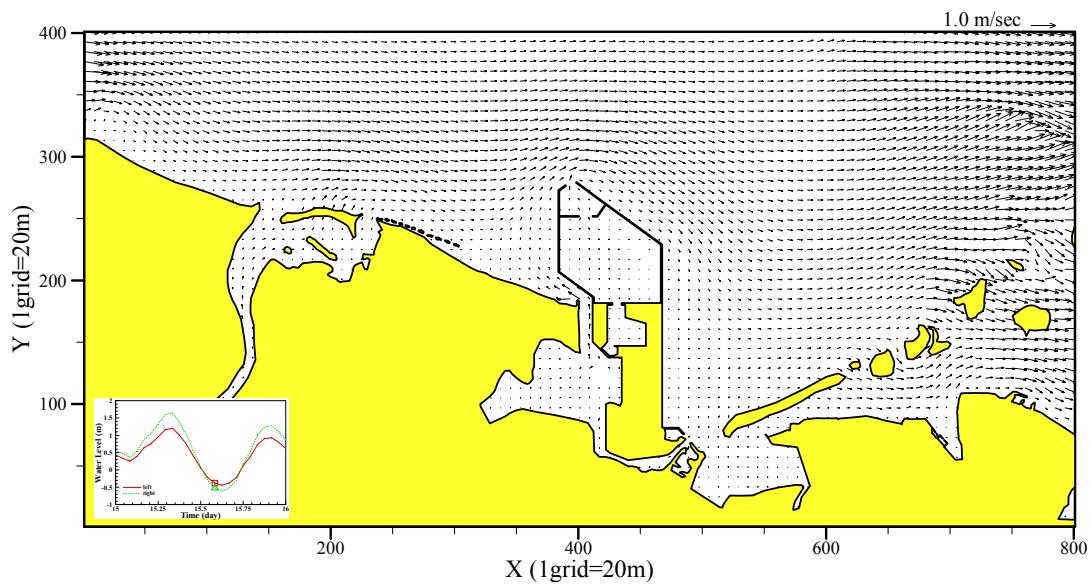


圖 3-22 (續 14)模式模擬 CASE3 所得之流場分布向量圖

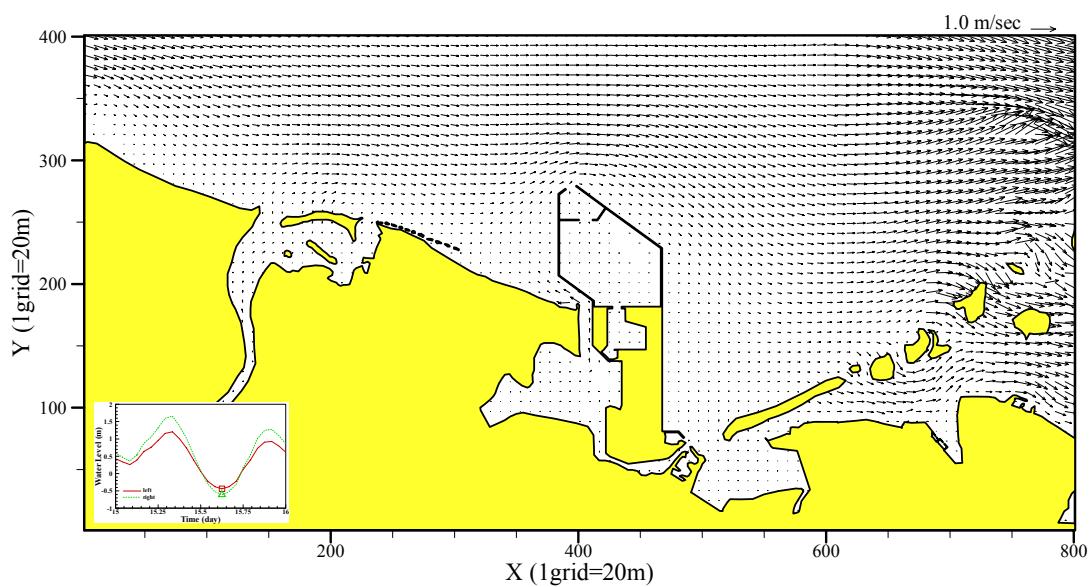


圖 3-22 (續 15)模式模擬 CASE3 所得之流場分布向量圖

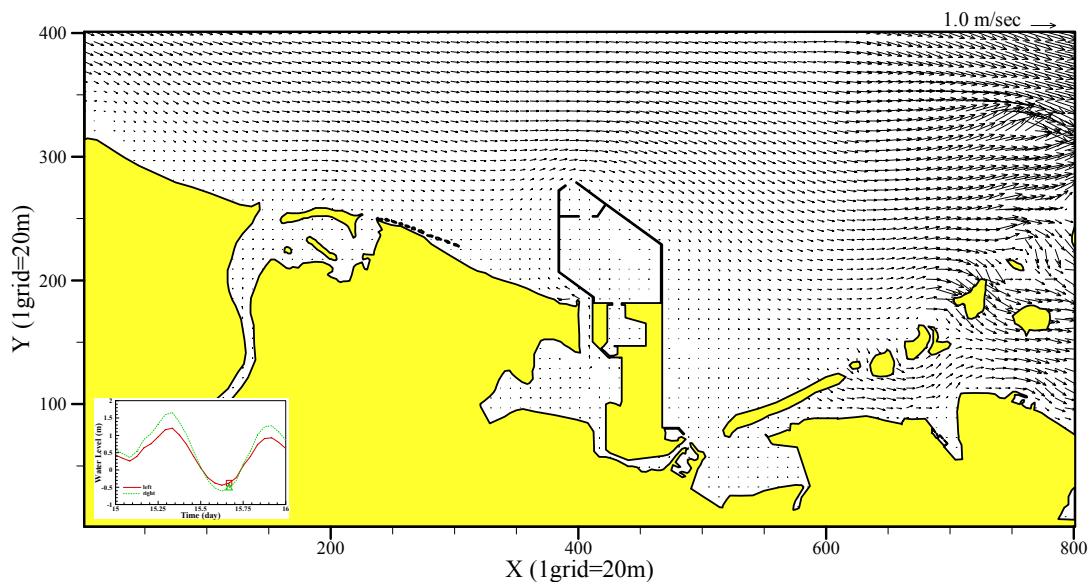


圖 3-22 (續 16)模式模擬 CASE3 所得之流場分布向量圖

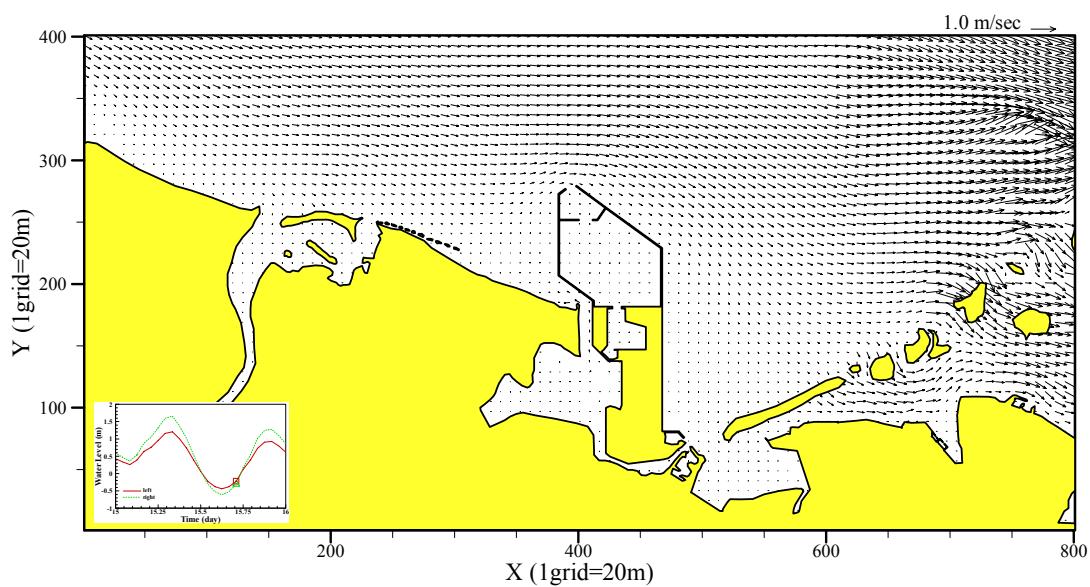


圖 3-22 (續 17)模式模擬 CASE3 所得之流場分布向量圖

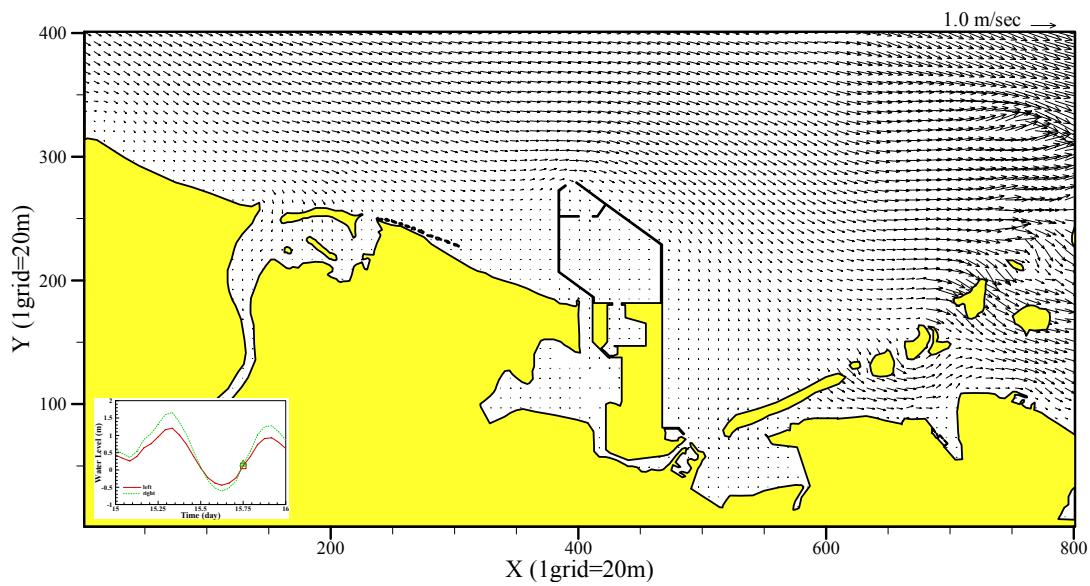


圖 3-22 (續 18)模式模擬 CASE3 所得之流場分布向量圖

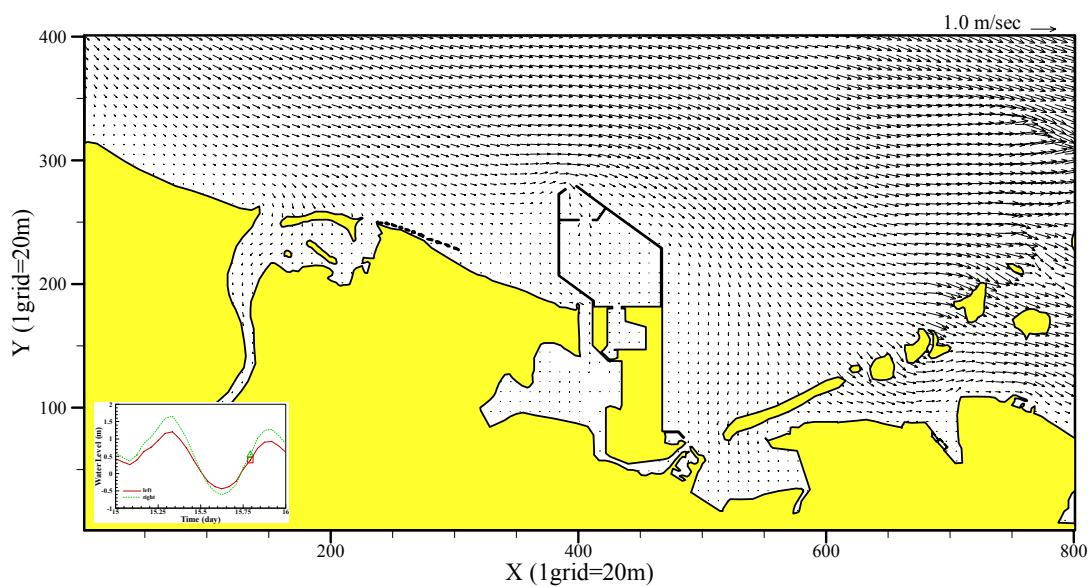


圖 3-22 (續 19)模式模擬 CASE3 所得之流場分布向量圖

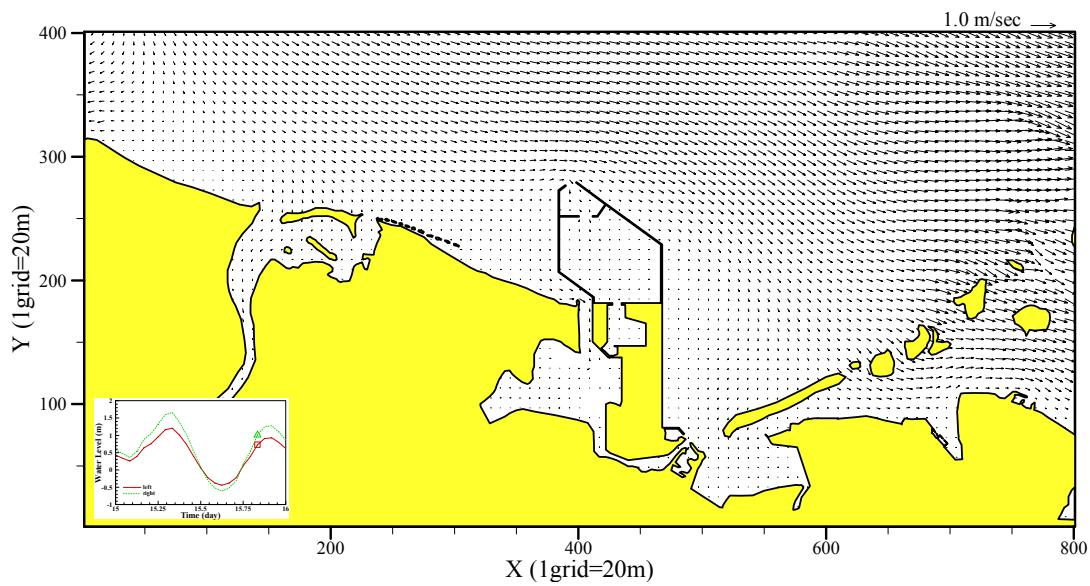


圖 3-22 (續 20)模式模擬 CASE3 所得之流場分布向量圖

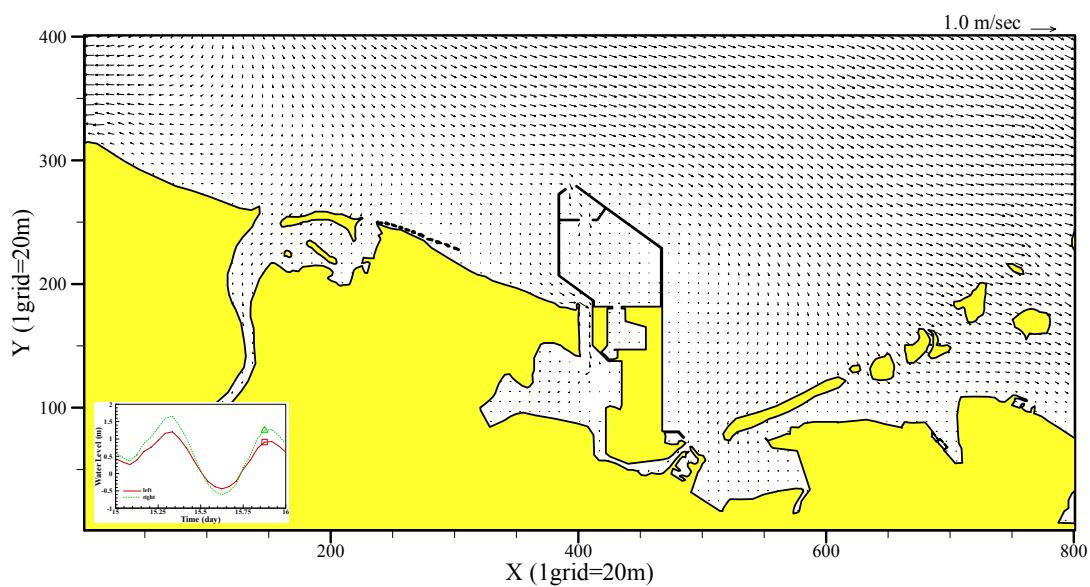


圖 3-22 (續 21)模式模擬 CASE3 所得之流場分布向量圖

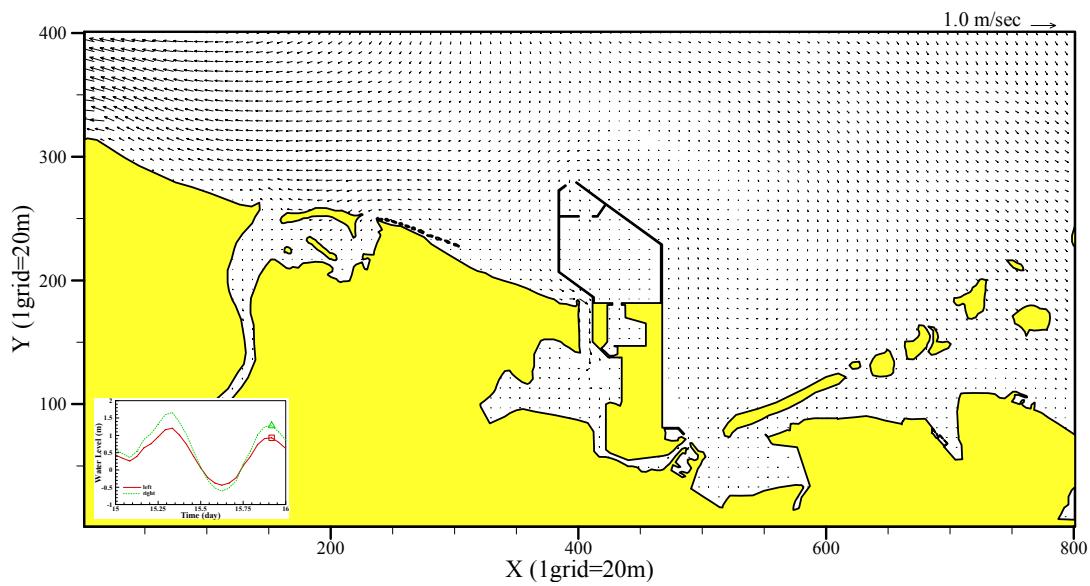


圖 3-22 (續 22) 模式模擬 CASE3 所得之流場分布向量圖

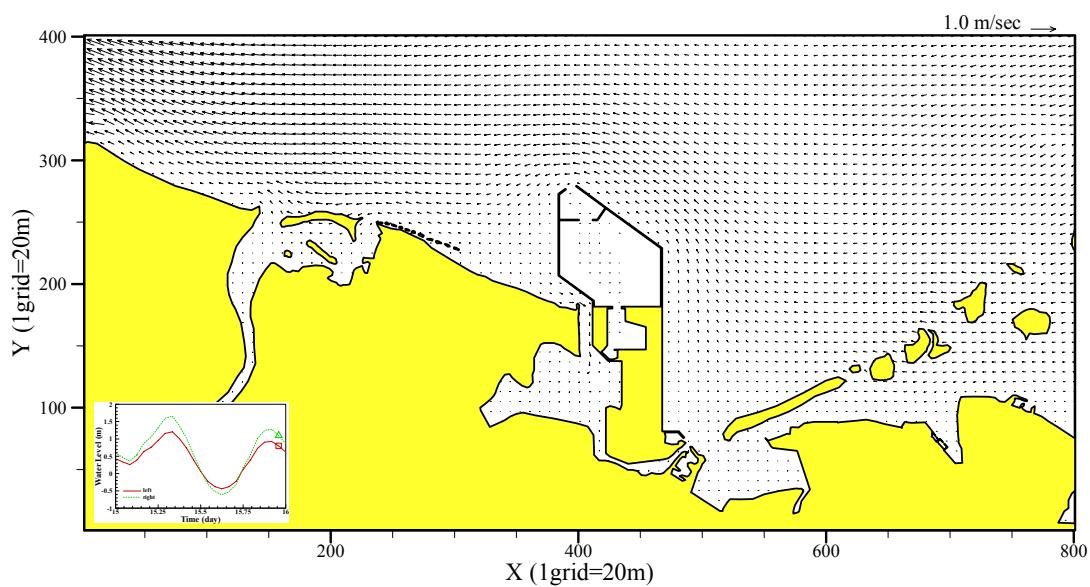


圖 3-22 (續 23) 模式模擬 CASE3 所得之流場分布向量圖

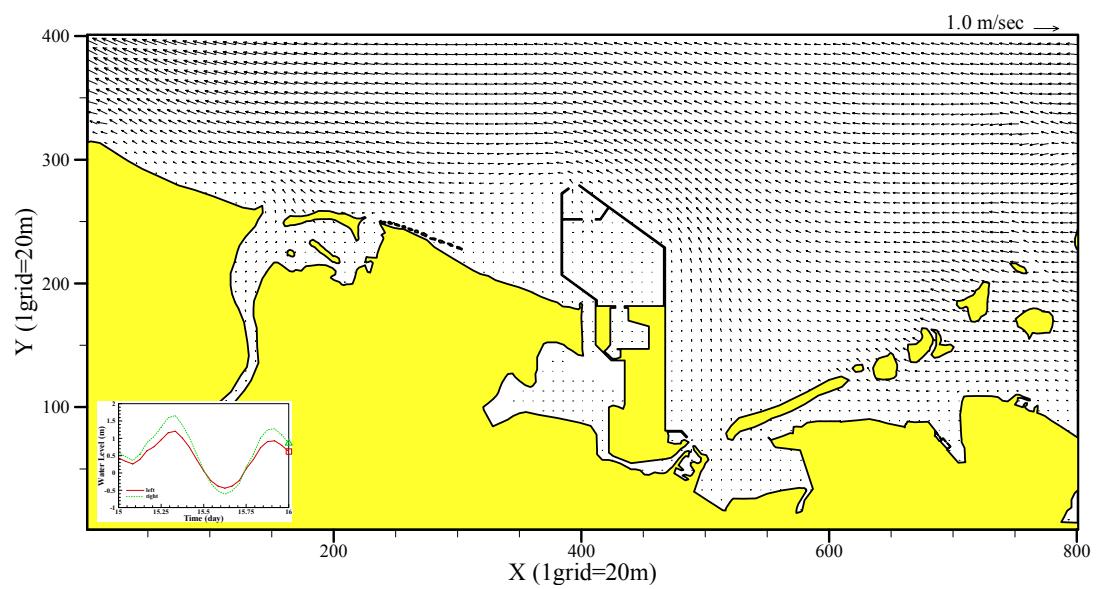


圖 3-22 (續 24) 模式模擬 CASE3 所得之流場分布向量圖

第四章、潮汐交換能力之分析

常見研究水體交換的數值模式有 (1) 質點軌跡模式 (particle tracking model)：在已利用水理模式計算得到潮流場的基礎上，進行 Lagrange 質點運動軌跡追蹤計算。Lagrange 質點追蹤計算是研究污染物排放後，隨著海潮流週期性運動的最終去向。所標示的質點穿越所設定的界線，則認為水體已經發生了交換。當所標示的質點第一次到達所設定的界線外，即為水體的停留時間。當系統內的質點數達到穩定時(系統內質點數變化小於 2%)，此時流出系統的質點數與起始點數之比為系統之水體交換率。(2) 污染物擴散模式 (dispersion model)：通過以溶解態的保守物質為系統內的追蹤劑，建立一個對流-擴散型的水體交換數值模式，藉由模擬對流-擴散過程來研究系統內之水體交換過程。濃度稀釋的快慢代表了水質變化的速率，即代表了該系統的交換能力。利用水質擴散模式，可以研究系統內每個格點的交換能力，亦可研究對鄰近海域水質的影響。

布袋商港位處布袋鎮沿海海埔新生地第二期西側，南鄰好美寮自然保護區，目前保護區內濕地主要經由龍宮溪口與外海海水交流。上游陸域排水及下游海口潮汐運動造成濕地內之漲退潮流，皆操縱本區域污染質之傳輸與對流。故污染質在本區域之稀釋與擴散傳輸的快慢，關係其水體水質的優劣，而本區域水質之擴散傳輸作用即主要被下游海口潮水之漲落所造成之海流運動所控制。本研究即是應用數值模式模擬分析不同擴建方案對龍宮溪口內濕地海水交換率的影響程度。

4.1、潮汐交換率(tidal exchange rate)

保護區內濕地若簡化為如圖 4-1 所示的系統。漲潮時，由海口進入之潮流 Q 中有部分為“新水”， Q_0 ，其定義為在潮流循環水中未曾進入水道之分量，此新水即有助於稀釋水道中的污染物質。潮汐交換率

(Tidal exchange ratio)定義為新加入水道的海水(Q_0)及進入水道之海水(Q)的比值，即

另根據 Fischer(1979)的推導， ε 亦可表示如下：

其中 S_e 為水道退潮時流出水之平均鹽度；定義如下：

$$S_e = \frac{\int_0^{T_e} \int_A SudAdt}{\int_0^{T_e} \int_A udAdt} \dots \quad (4.3)$$

其中 T_e 為退潮時間； A 為海口水道退潮之剖面面積； u 為退潮流速。 S_o 為海水鹽度； V_Q 為一個潮期時段內河水進入水道系統之體積，即 $V_Q = Q_f \times T$ ； T 為潮汐週期； V_f 為漲潮時進入水道系統之潮水體積，即潮汐楔(Tidal prism)。假設河水 Q_f 及廢水 Q_e 進入水道之流量很小，則 $V_f \equiv Q \cdot T$ ，即(8)式中可將 Q_d 以 Q 取代之。

由潮汐交換率的推算，可以再推演污染水質滯留時間(Residence time)，根據 Kreeke(1983)的推導，滯留時間的計算式如下：

其中 V 為水道系統之潮汐平均水體體積。(4.4)式中，需先根據現場水體鹽度估計潮汐交換率之值(ε)，再計算滯留時間(τ_r)。

4.2、污染物擴散模式(dispersion model)

污染物擴散的計算使用二維水質擴散方程式，如下所示

$$\frac{DC}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x}(D_x \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(D_y \frac{\partial C}{\partial y}) - KC + R_E \quad \dots \dots \dots \quad (4.5)$$

其中

C =污染物濃度

D_x 、 D_y = 延散係數

K = 污染物之衰減係數

R_E = 污染源

對於保守性物質而言，污染物之衰減係數 K 取為 0。污染擴散模擬分析的方法，即假設模擬時間開始時於系統內置入 C_0 濃度的污染物，模式模擬計算 n 天後仍存留於系統中的污染物濃度。而潮汐交換率的計算式如下：

$$C_t = C_0(1-\varepsilon)^n \dots \quad (4.6)$$

其中 C_0 為污染物之初始濃度； C_t 為 n 天末系統內之污染物濃度； n 為計算天數，並假設染料為保守性物質。

污染物擴散模式模擬分析的方法，即假設模擬時間剛開始時於好美寮濕地保護區系統內存在 20ppm 的染料物質，模式模擬計算 15 天後仍存留於好美寮濕地保護區系統內的染料濃度。而潮汐交換率則利用(4.6)式計算。

4.3、Particle tracking 模式

Particle tracking 模式是描述水質點於海洋動力環境中的運動行為，並將獨立質點的擴散過程視為隨機運動。以二維模式而言，每一個時階(time step)之位置可表示為

$$X_n = X_{n-1} + U \Delta t + \delta_x \quad \dots \dots \dots \quad (4.7)$$

$$Y_n = Y_{n-1} + V\Delta t + \delta_y \quad \dots \dots \dots \quad (4.8)$$

上式中之 n 及 $n-1$ 各表示新舊時階， u 與 v 為水平與垂直流速， Δt 為單位時間。水粒子的運動主要係由兩個過程決定之：(1)海水的運動；(2)自身的隨機運動。海水的運動必須由水質點的拉格朗日(Lagrangian)軌跡來追蹤，隨機運動與紊流水平與垂直擴散係數和質點軌跡之時間間隔有關。而此隨機運動過程所產生的軌跡位置在水平與垂直方方向的偏離(δ_x, δ_y)通常可假定滿足下列方程式

$$\delta_x = \xi \sqrt{2E_{xx}\Delta t}; \quad \delta_y = \xi \sqrt{2E_{yy}\Delta t} \quad \dots \dots \dots \quad (4.9)$$

其中， E_{xx} 與 E_{yy} 分別為 x, y 方向上的渦動粘性係數； ξ 為隨機偏離函數。Particle tracking 模式模擬分析的方法，即假設模擬時間剛開始時於好美寮濕地保護區系統內施放 30 顆水粒子質點，模式模擬計算 15 天後仍存留於好美寮濕地保護區系統內的水粒子質點。第 15 天後流出系統(以龍宮溪出海口為邊界)的質點數與起始點數之比為系統之潮汐交換率。

4.4、潮汐交換率之計算

本節應用在第 3.2 節經過仔細率定驗證之水理模式預測好美寮濕地保護區在不同擴建方案之潮汐交換率的情形，分析之案例如同第 3.3 節所示。水質檢驗點(M1~M12)之位置圖如圖 4-2 所示。圖 4-3 至圖 4-14 所示為模擬所得不同方案(CASE1、CASE2 及 CASE3)於不同檢驗點(M1~M12)之染料濃度時序列比較圖，結果顯示愈接近龍宮溪出海口，其殘留之染料濃度越小，即愈接近出海口，其海水交換率愈佳。反之，愈遠離出海口，其存留之染料濃度越大，則海水交換率愈小。而在不同檢驗點之殘留染料濃度值均以 CASE3 最大，其次為 CASE2，最小者為 CASE1。

利用(4.6)式並取第 1 至第 15 天之染料濃度平均值來計算潮汐交換

率，圖 4-15 所示為模擬所得不同方案(CASE1、CASE2 及 CASE3)於 12 個檢驗點(M1~M12)之潮汐交換率比較圖，在 M1 檢驗點 CASE1 之潮汐交換率為 38.5%，CASE2 為 14.7%，CASE3 則降低至 6.43%；在 M2 檢驗點 CASE1 之潮汐交換率為 36.6%，CASE2 為 13.8%，CASE3 為 6%；在 M3 檢驗點 CASE1 之潮汐交換率為 34.7%，CASE2 為 12.9%，CASE3 為 5.58%；在 M4 檢驗點 CASE1 之潮汐交換率為 32.7%，CASE2 為 11.9%，CASE3 為 5.6%；而愈遠離龍宮溪出海口之水質檢驗點如 M5~M12，其潮汐交換率則越小。

由模擬結果(圖 4-15)顯示布袋商港擴建將會造成好美寮濕地內之潮汐交換率變小，在接近龍宮溪出海口處(M1 檢驗點)商港擴建納入龍宮溪之方案(CASE2)所造成之潮汐交換率約較現況降低 23.8%，而商港擴建未納入龍宮溪之方案(CASE3)所造成之潮汐交換率則較現況降低 32%。故布袋商港擴建之二個方案均會大幅降低潮汐交換率，而商港擴建未納入龍宮溪之方案(CASE3)之潮汐交換率亦較商港擴建納入龍宮溪之方案(CASE2)之潮汐交換率為差，約降低 8%左右。至於在愈遠離出海口的檢驗點(M2~M12)，其潮汐交換率分別為 CASE1>CASE2>CASE3。圖 4-16~圖 4-18 為模式模擬 CASE1、CASE2 及 CASE3 在不同潮時染料濃度的分布情形。

圖 4-19~圖 4-21 為模式模擬 CASE1、CASE2 及 CASE3 在不同潮時之水粒子質點的分布情形。由圖可知，在第 15 天後，仍停留於好美寮濕地保護區系統內的水粒子質點為 CASE1 有 12 顆水粒子質點，CASE2 有 14 顆水粒子質點及 CASE3 有 16 顆水粒子質點。計算可得 CASE1 之整個系統的潮汐交換率為 60%，CASE2 之潮汐交換率為 53%，CASE3 之潮汐交換率為 47%。故由 particle tracking 模式模擬所得之潮汐交換率仍以 CASE1 最大，CASE2 次之，最小者為 CASE3。由 particle tracking 模式計算所得之潮汐交換率高於以污染擴散模式計算所得之結果，此係因此處水粒子質點數並未完全施放於整個計算領域內，而僅放置 30 個水粒子質點來觀察其漂移之趨勢，故會有高估之現象。另外，particle tracking 模式係利用流出系統的質點數來計算潮汐

交換率，此系統邊界之選取亦會影響到潮汐交換率之結果。

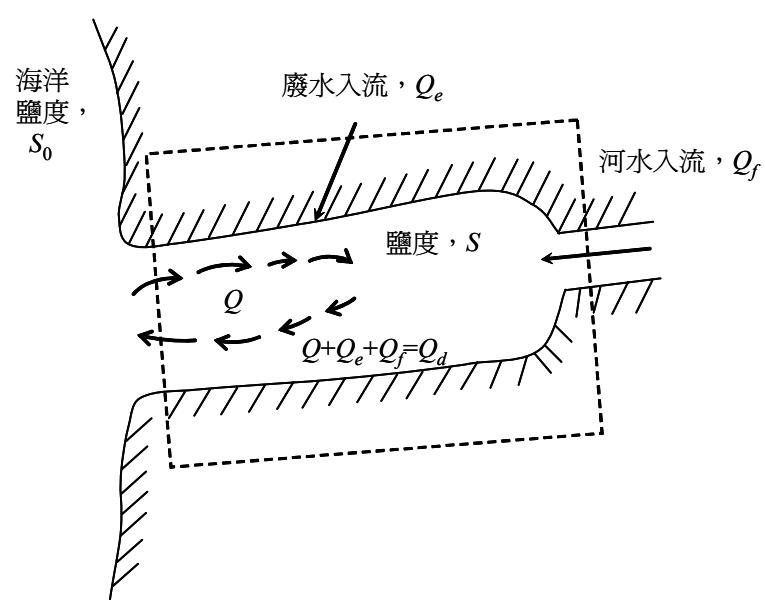


圖 4-1 系統簡化示意圖

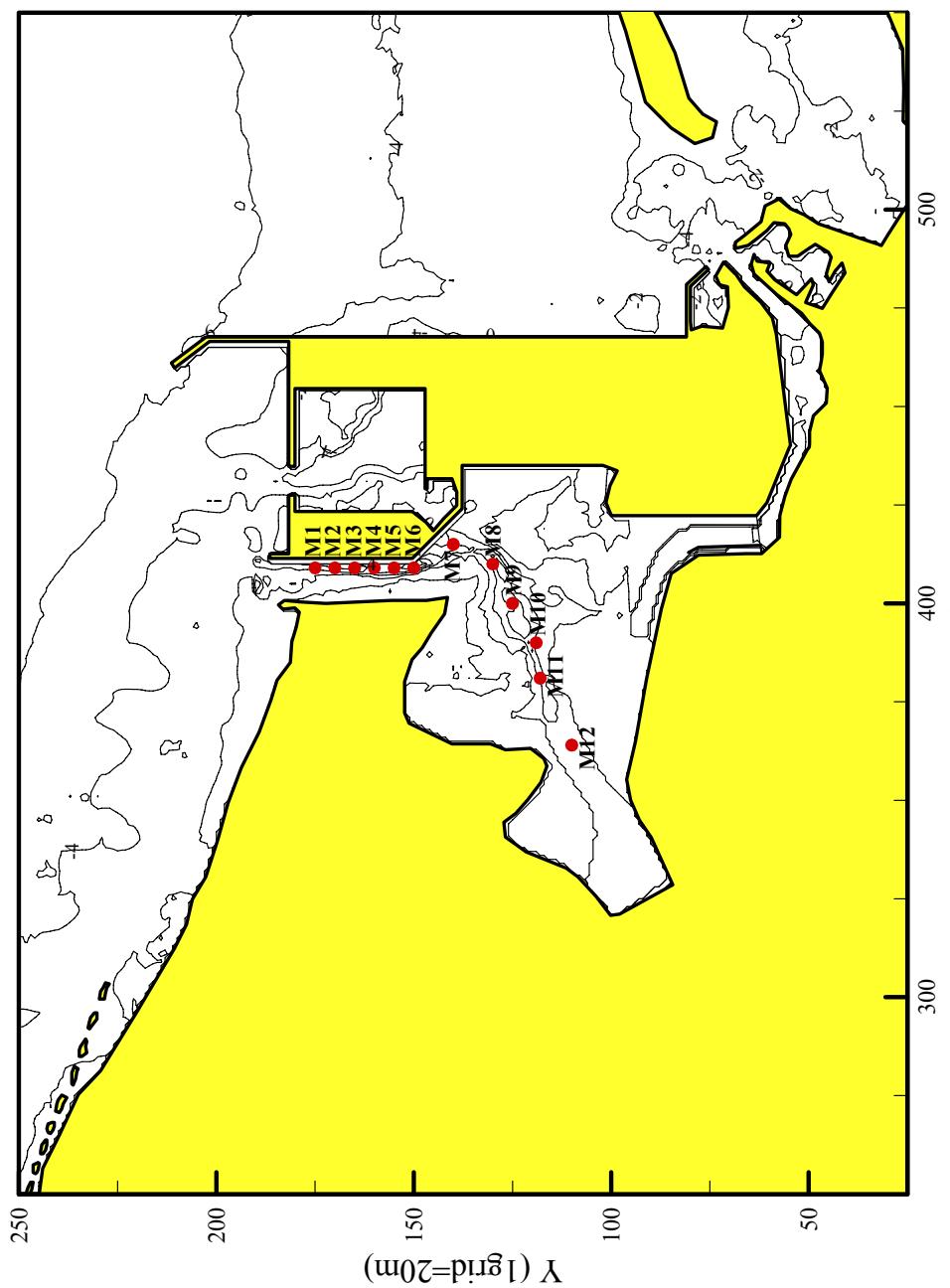


圖 4-2 水質檢驗點位圖

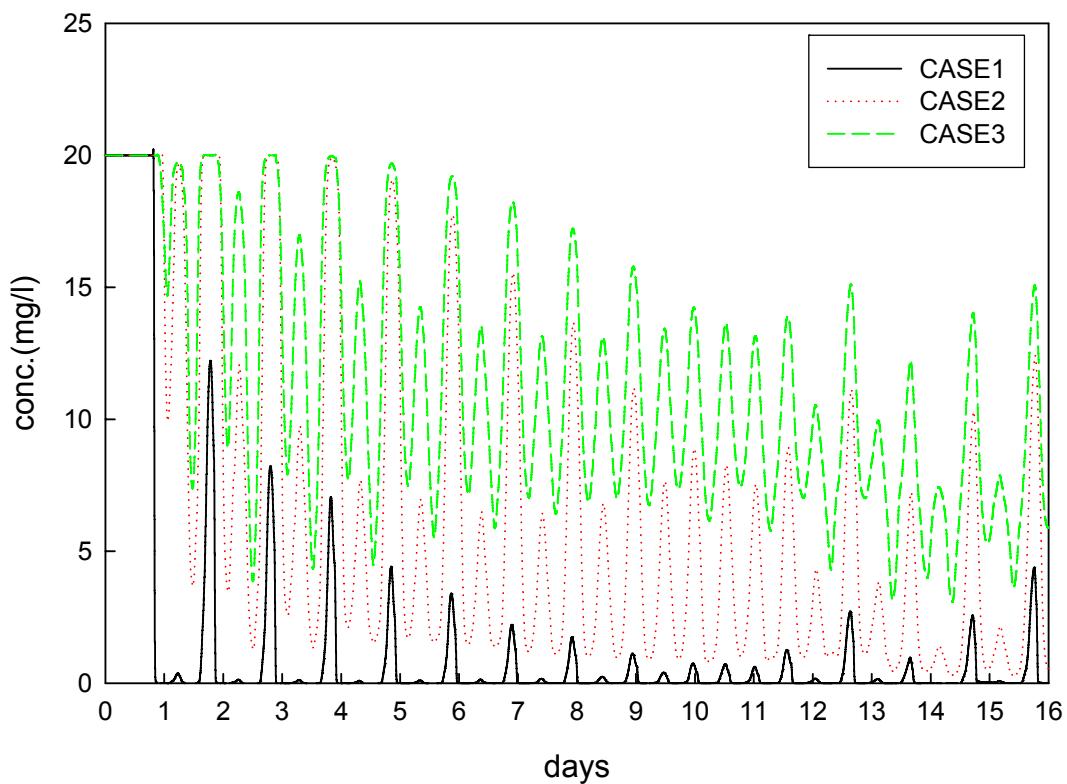


圖 4-3 模式預測三個方案之染料濃度比較圖(M1 檢驗點)

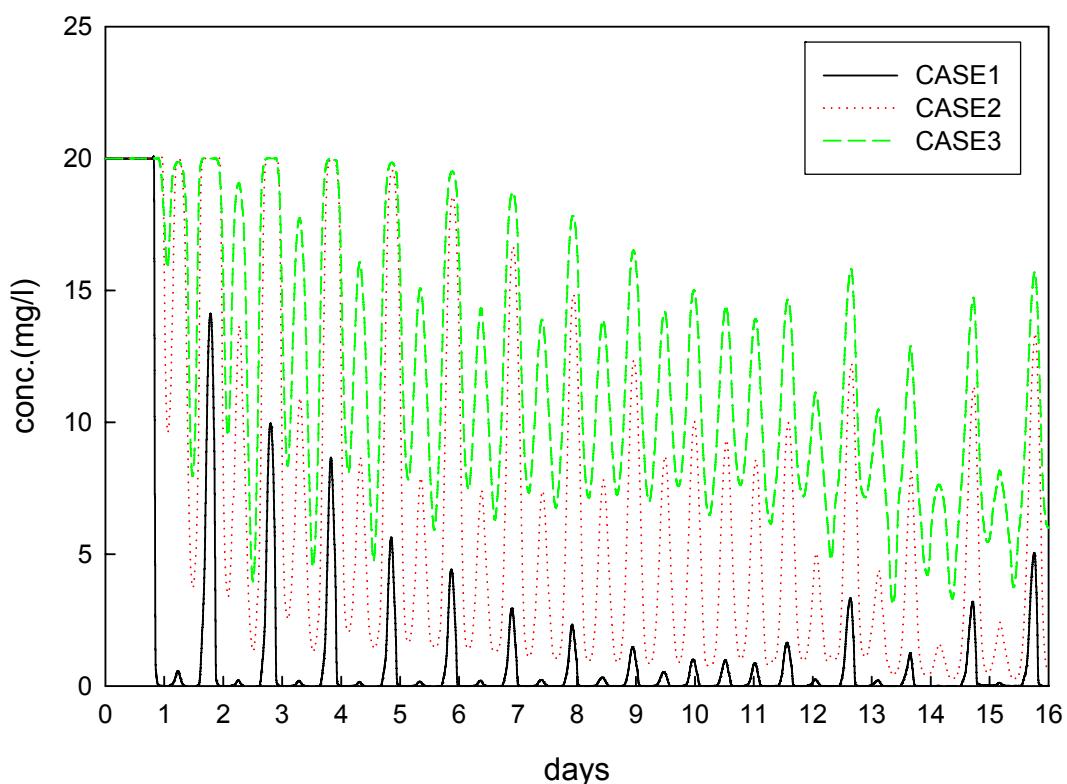


圖 4-4 模式預測三個方案之染料濃度比較圖(M2 檢驗點)

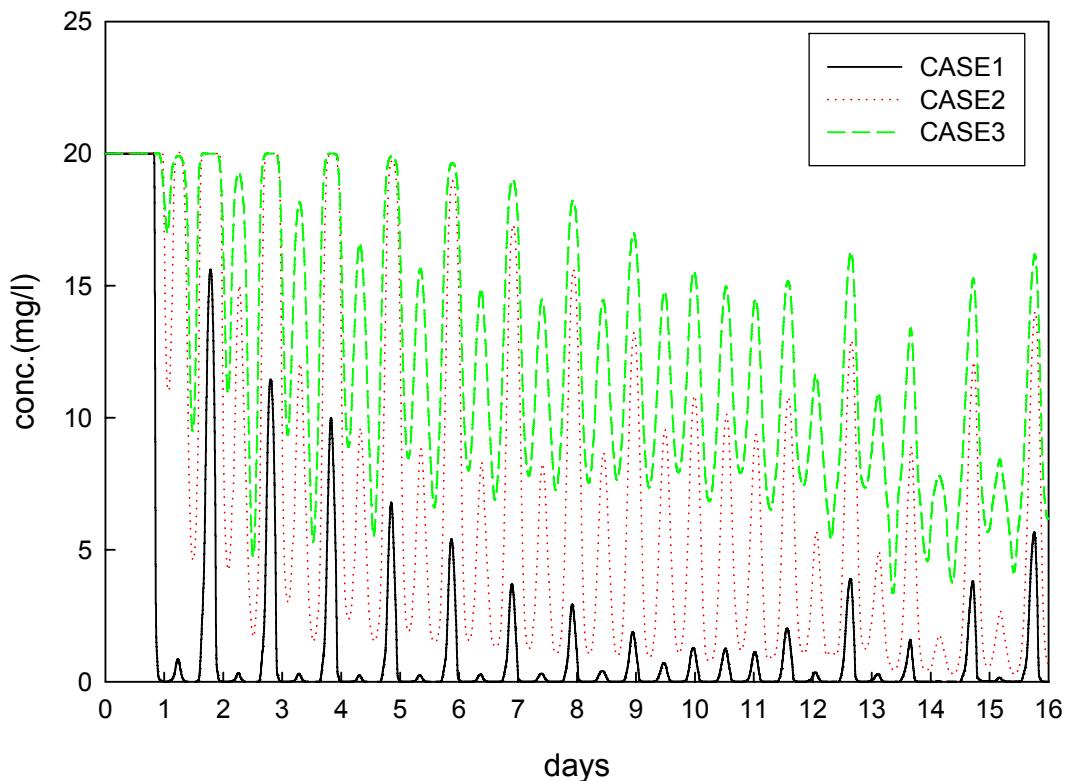


圖 4-5 模式預測三個方案之染料濃度比較圖(M3 檢驗點)

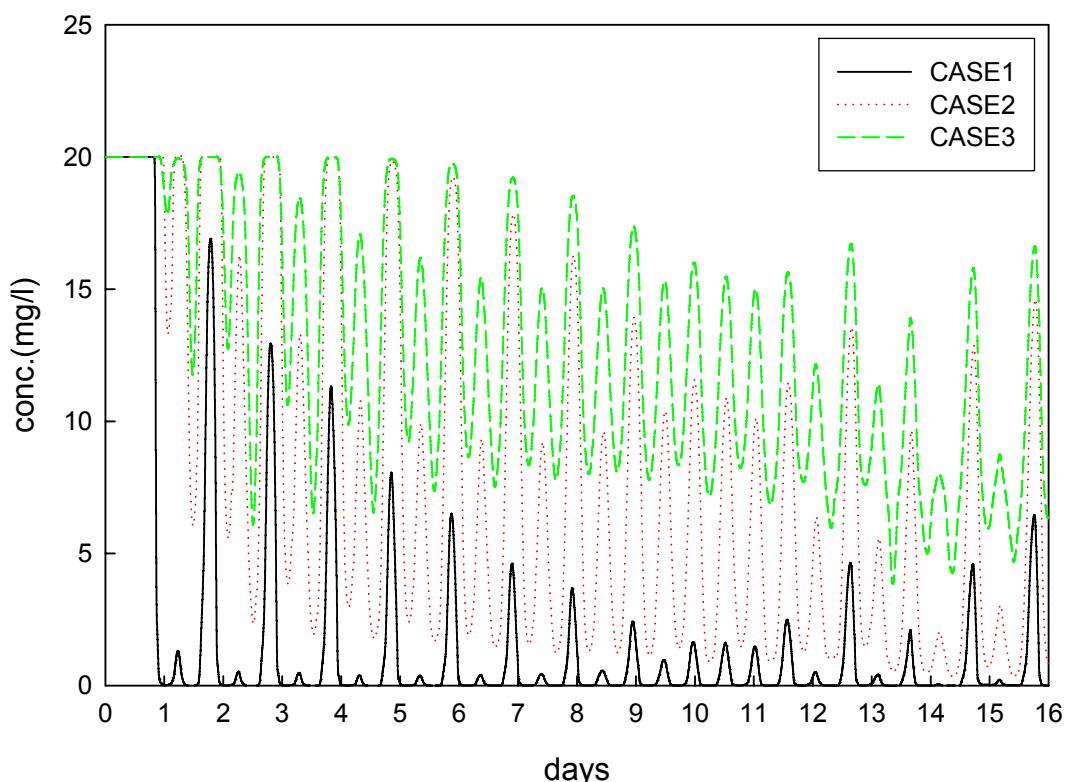


圖 4-6 模式預測三個方案之染料濃度比較圖(M4 檢驗點)

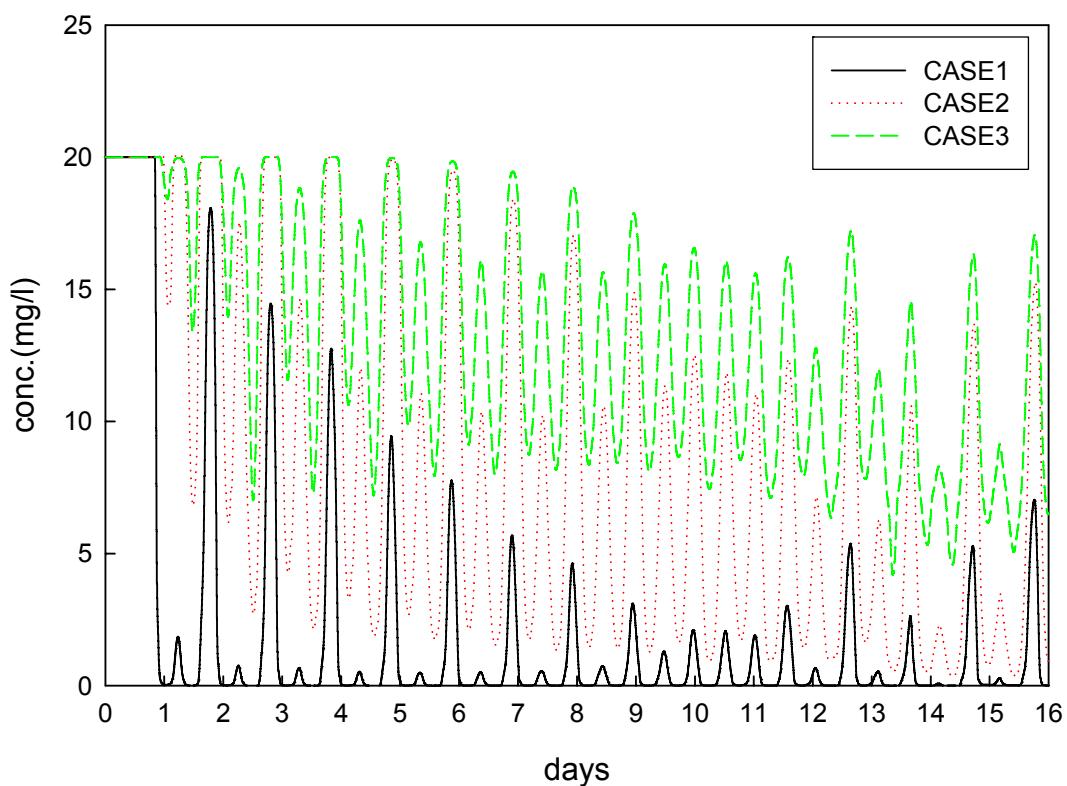


圖 4-7 模式預測三個方案之染料濃度比較圖(M5 檢驗點)

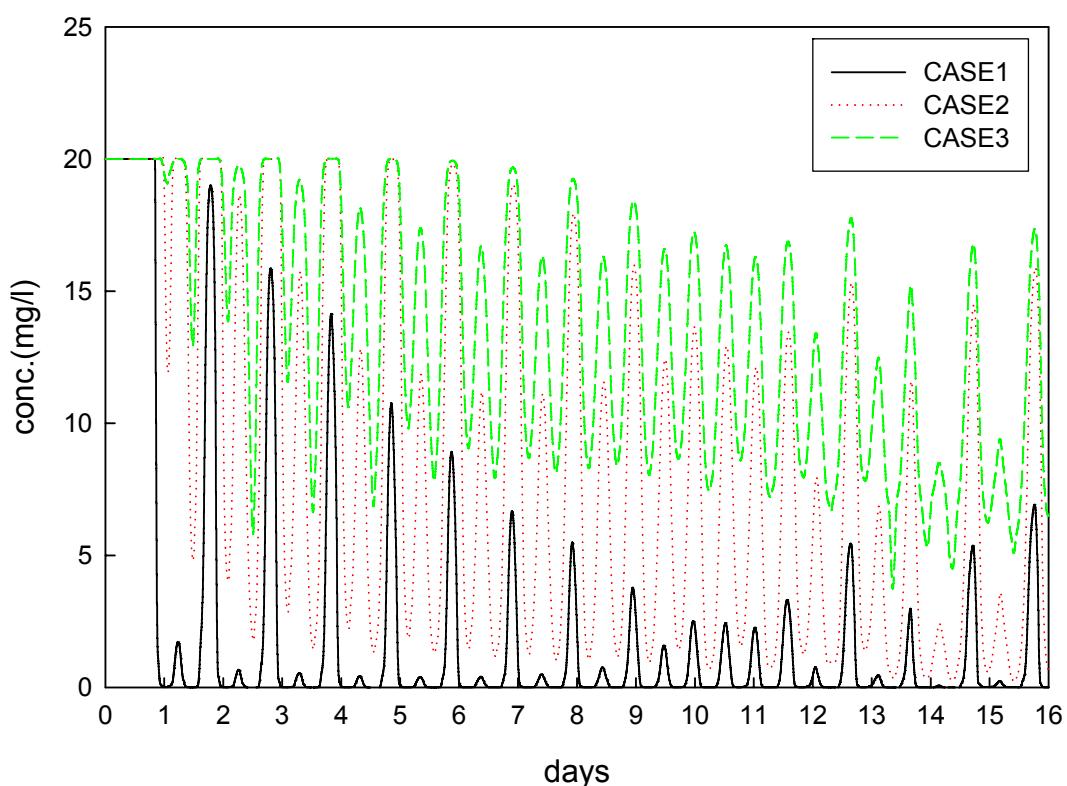


圖 4-8 模式預測三個方案之染料濃度比較圖(M6 檢驗點)

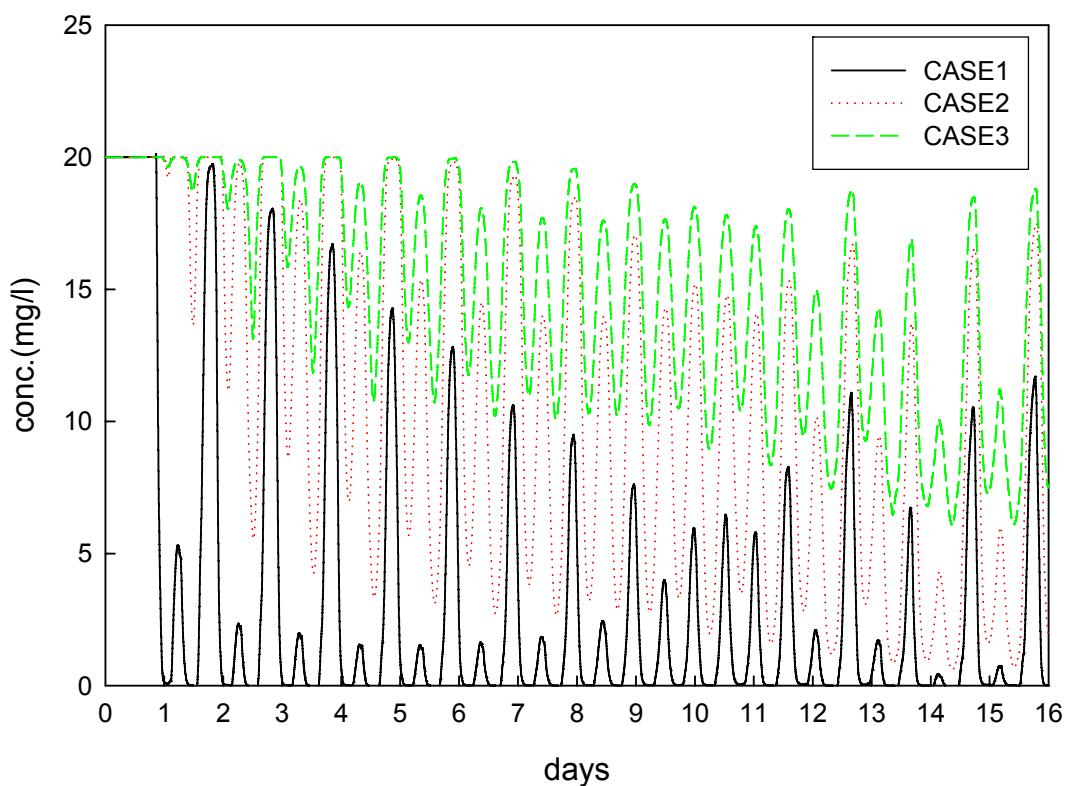


圖 4-9 模式預測三個方案之染料濃度比較圖(M7 檢驗點)

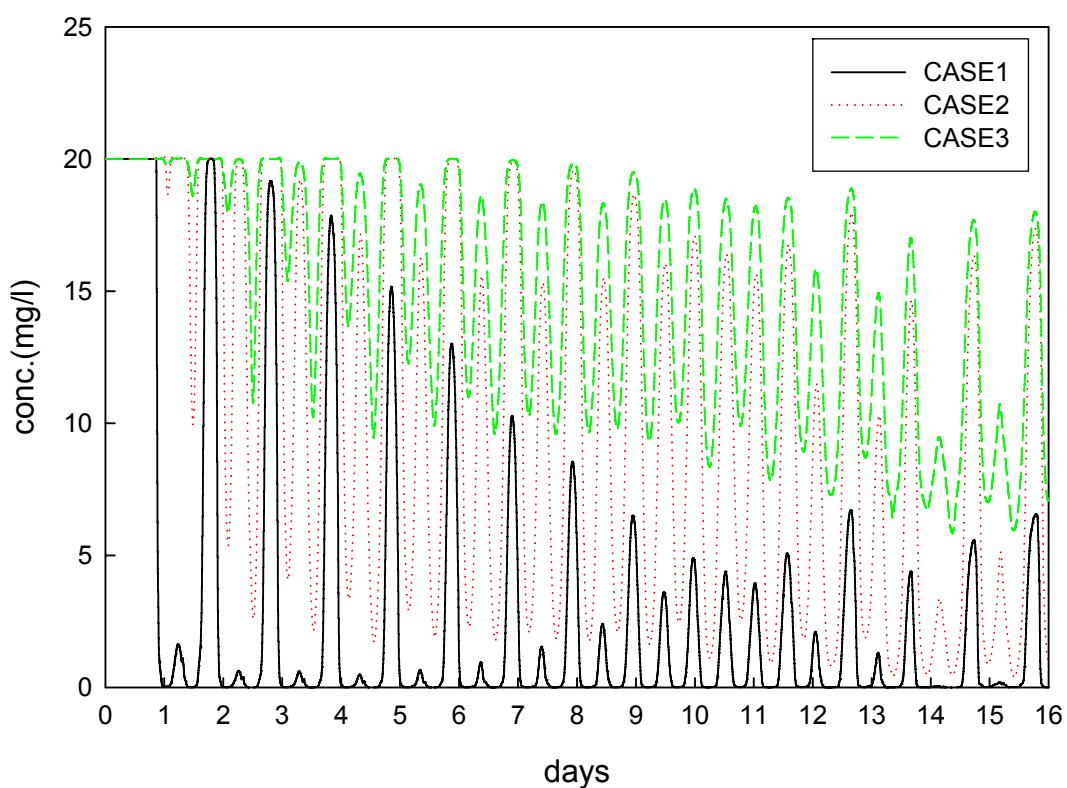


圖 4-10 模式預測三個方案之染料濃度比較圖(M8 檢驗點)

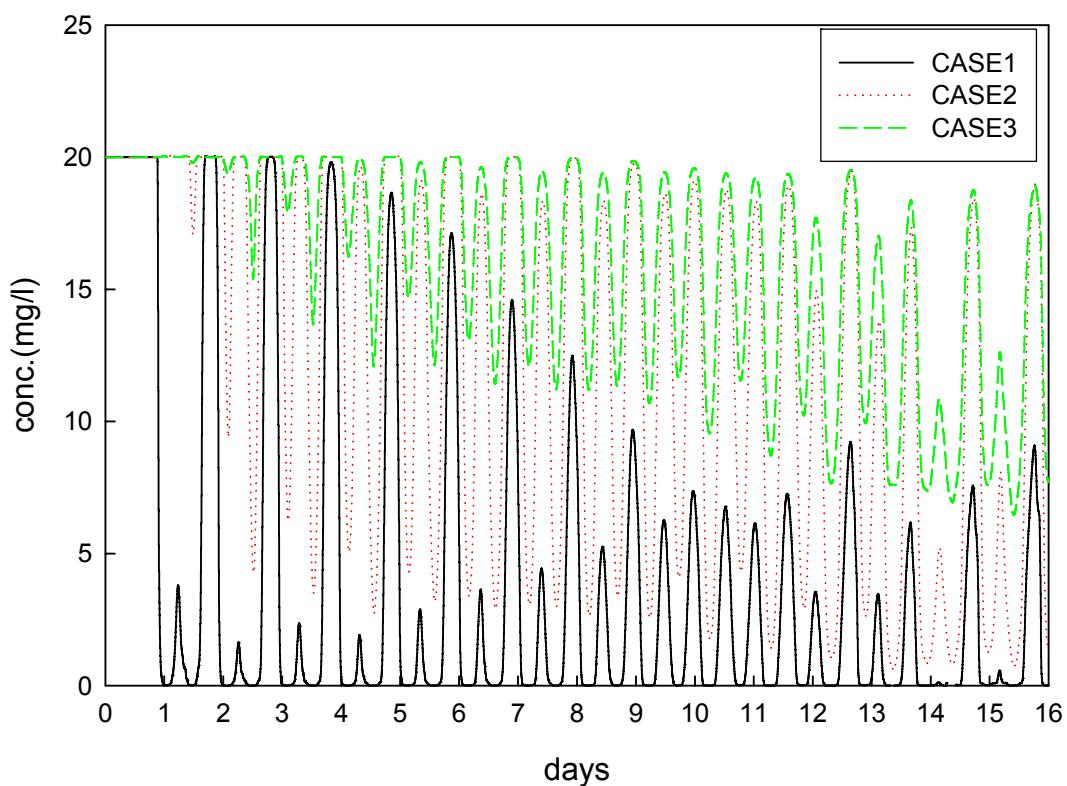


圖 4-11 模式預測三個方案之染料濃度比較圖(M9 檢驗點)

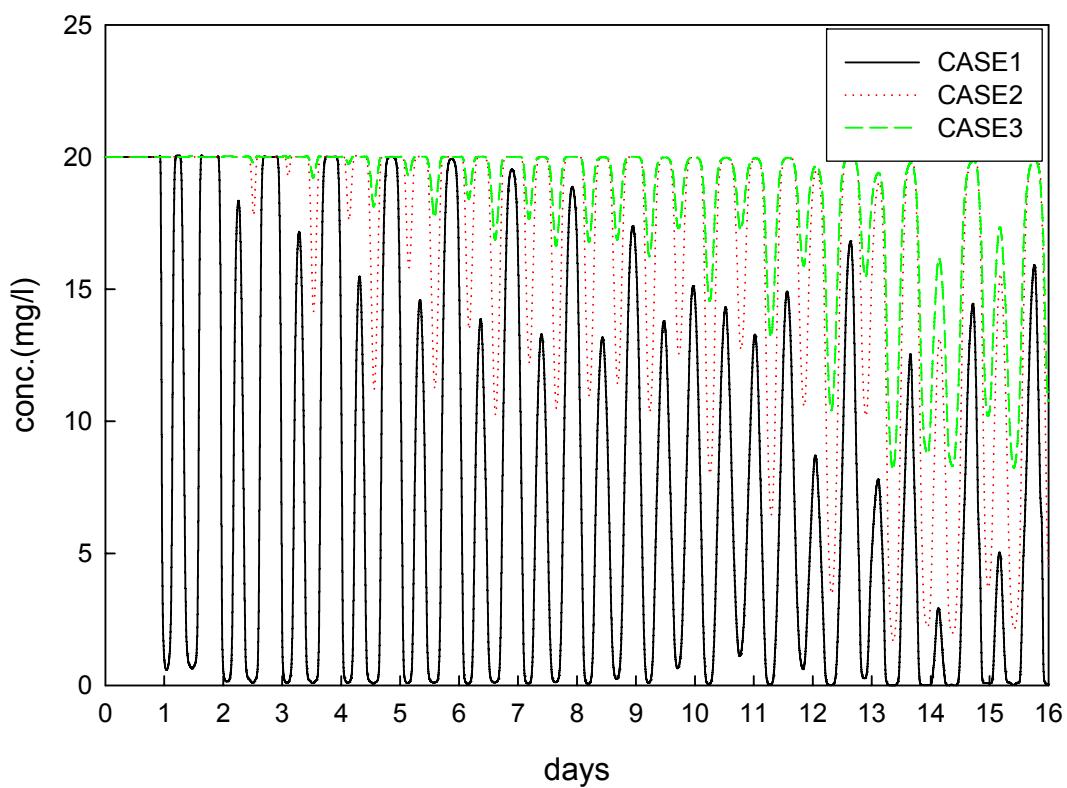


圖 4-12 模式預測三個方案之染料濃度比較圖(M10 檢驗點)

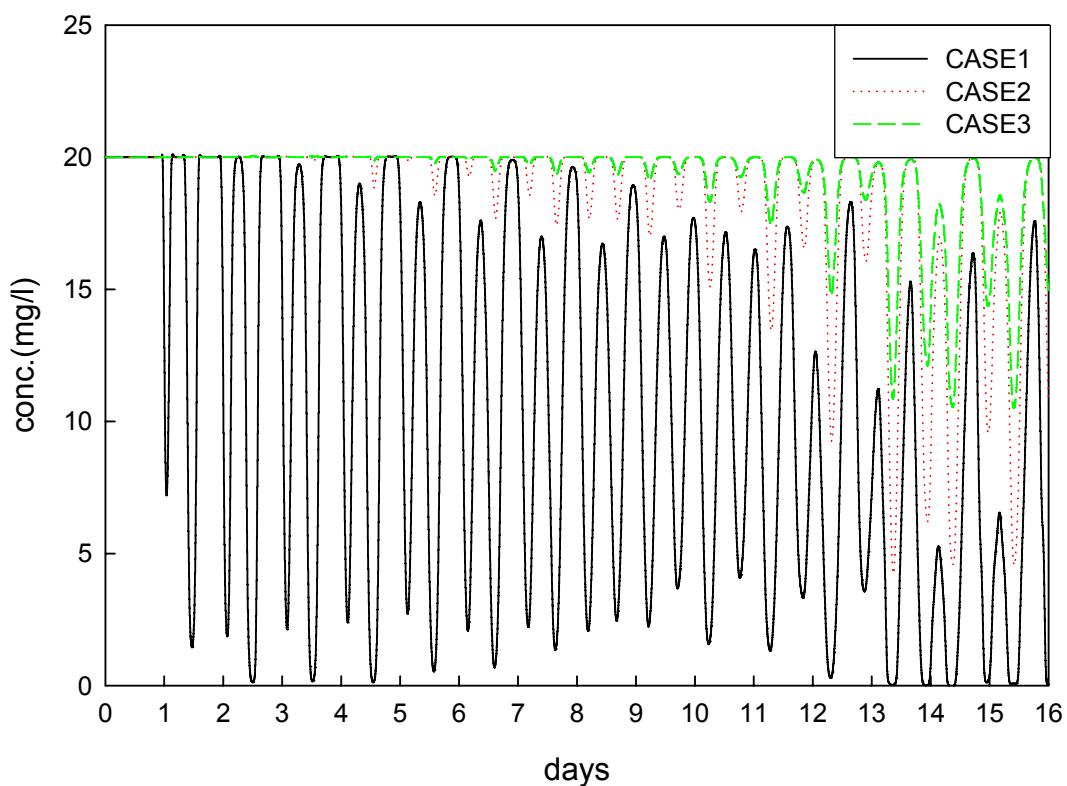


圖 4-13 模式預測三個方案之染料濃度比較圖(M11 檢驗點)

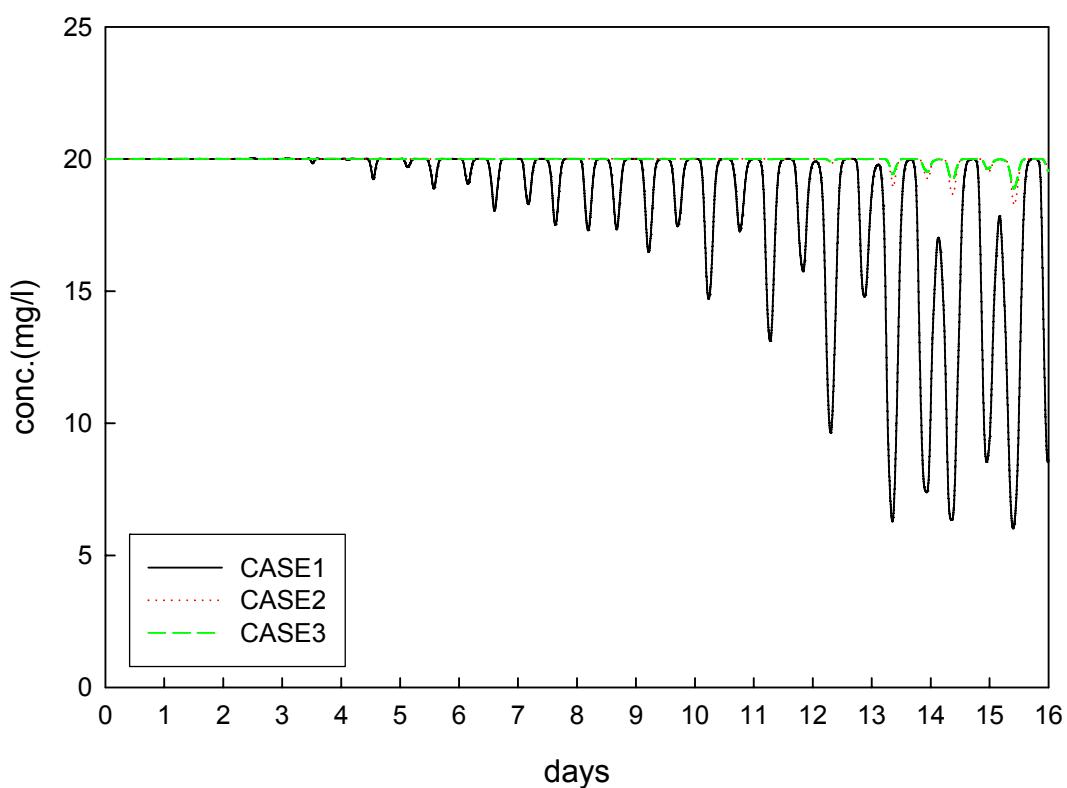


圖 4-14 模式預測三個方案之染料濃度比較圖(M12 檢驗點)

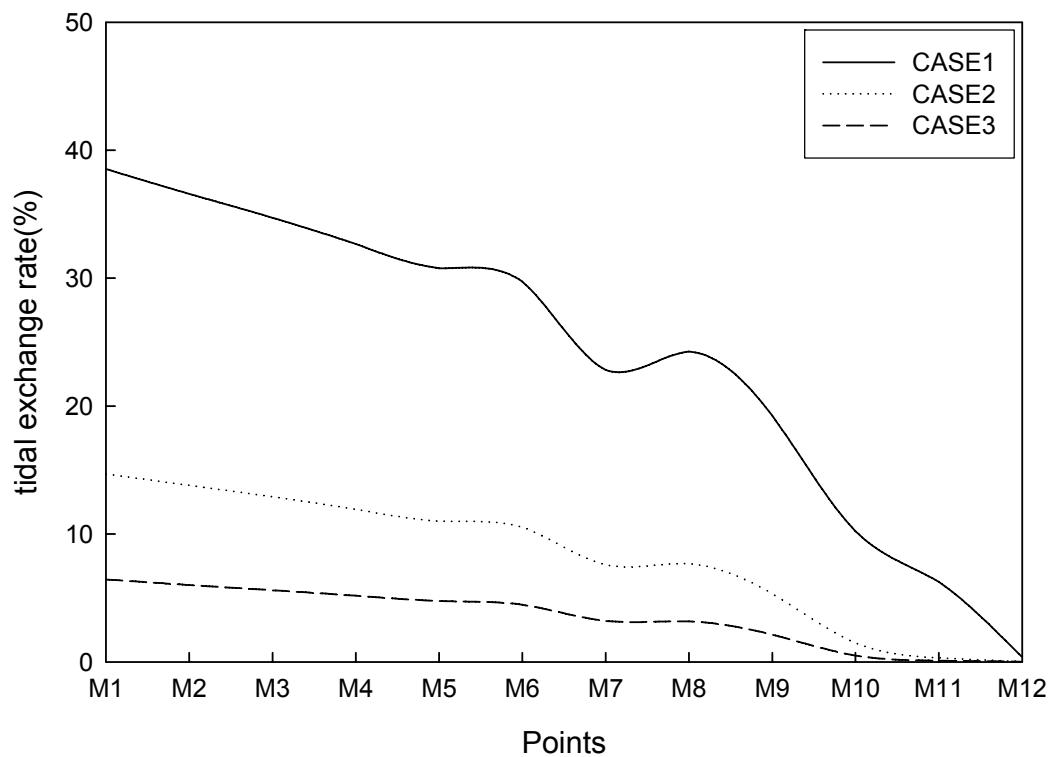


圖 4-15 模式預測三個方案不同檢驗點之潮汐交換率比較圖

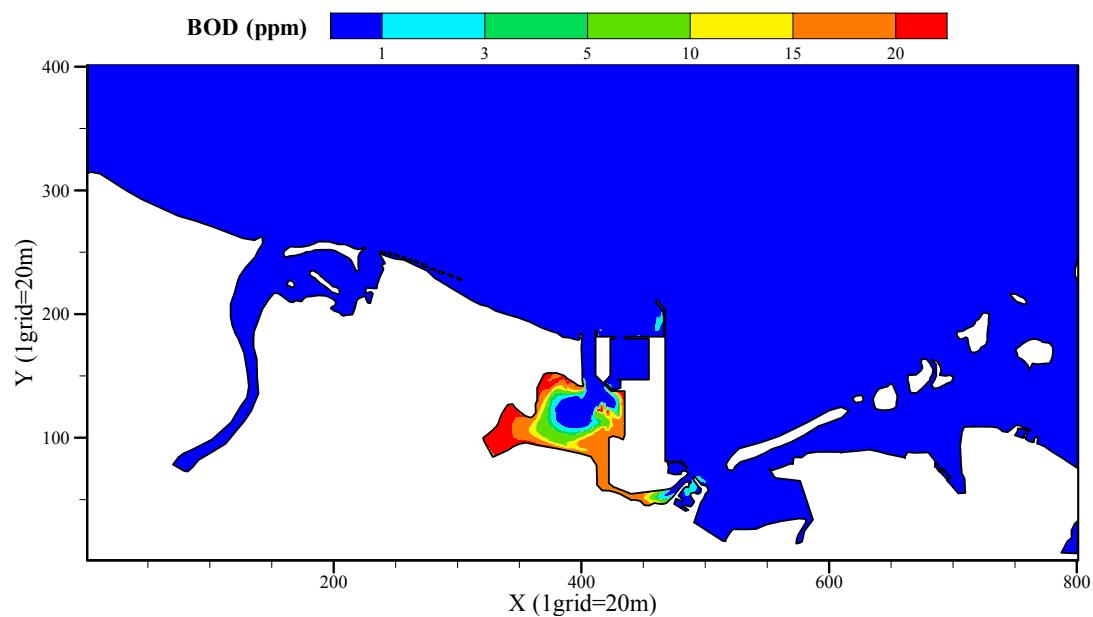


圖 4-16 模式模擬 CASE1 之染料濃度分佈圖(第 15 天)

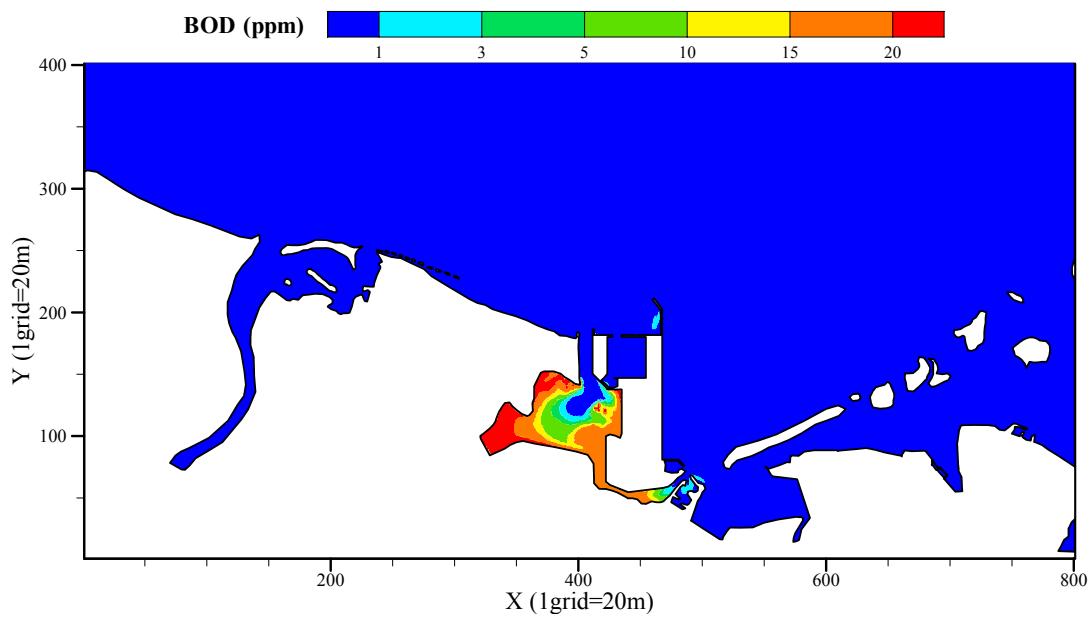


圖 4-16 (續 1) 模式模擬 CASE1 之染料濃度分佈圖(第 15.25 天)

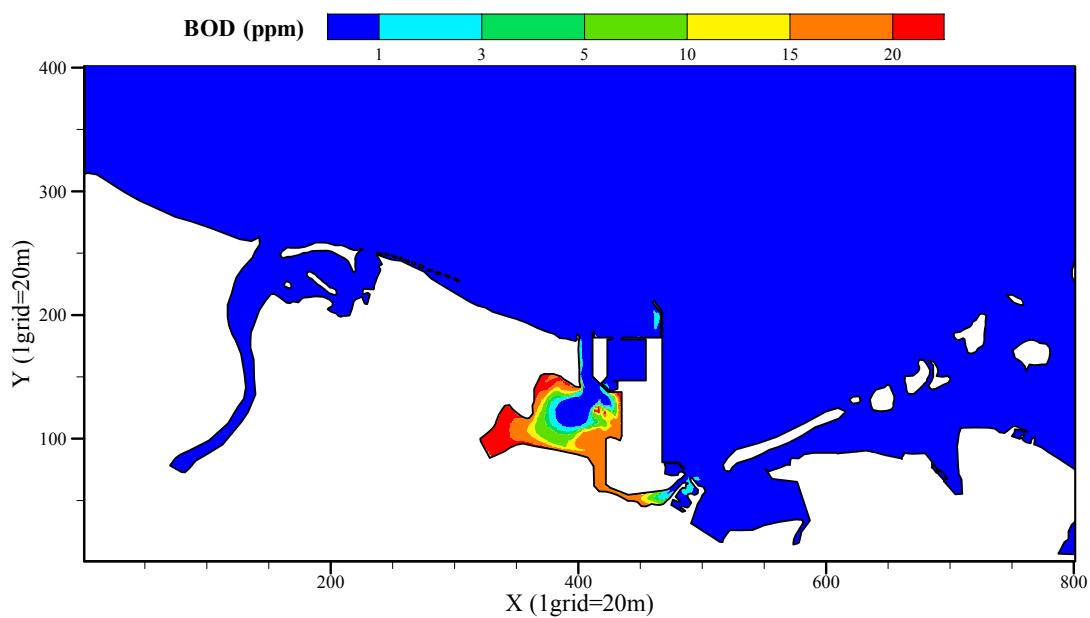


圖 4-16 (續 2) 模式模擬 CASE1 之染料濃度分佈圖(第 15.50 天)

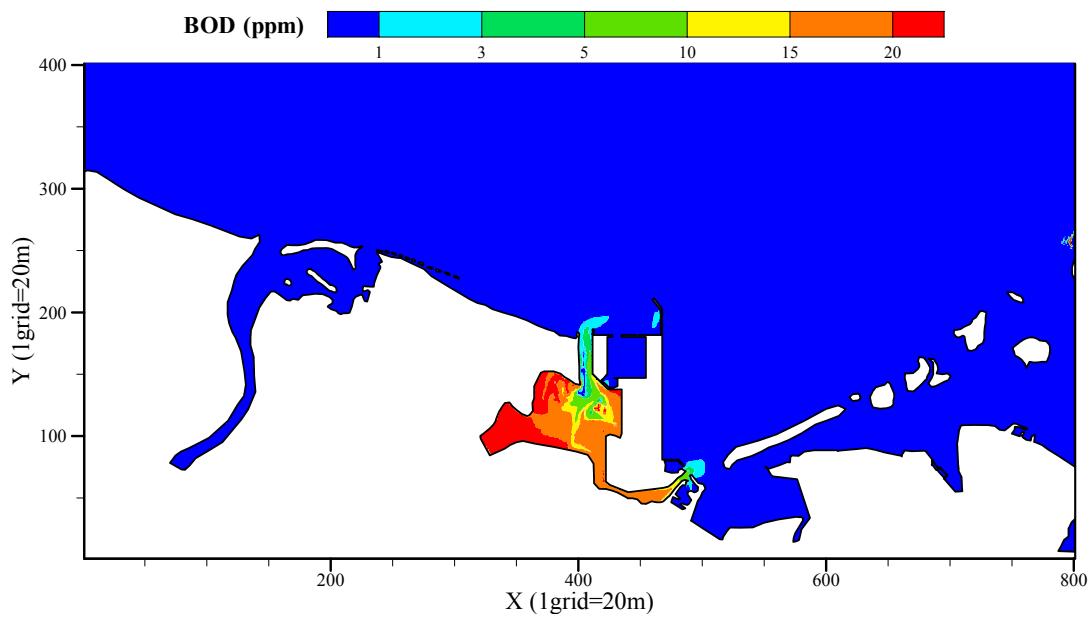


圖 4-16 (續 3) 模式模擬 CASE1 之染料濃度分佈圖(第 15.75 天)

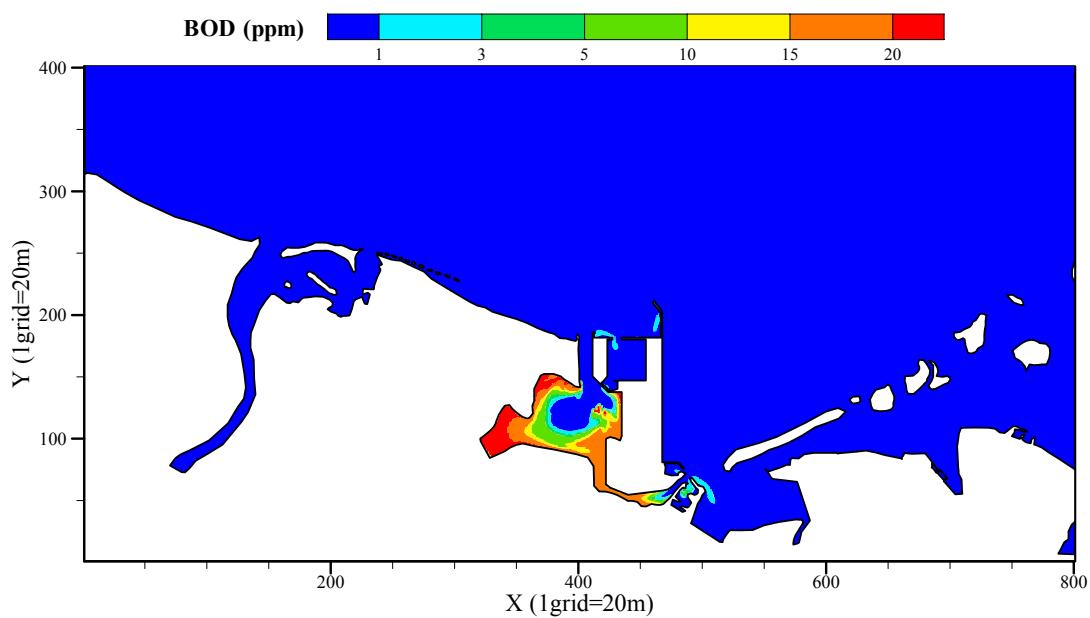


圖 4-16 (續 4) 模式模擬 CASE1 之染料濃度分佈圖(第 16 天)

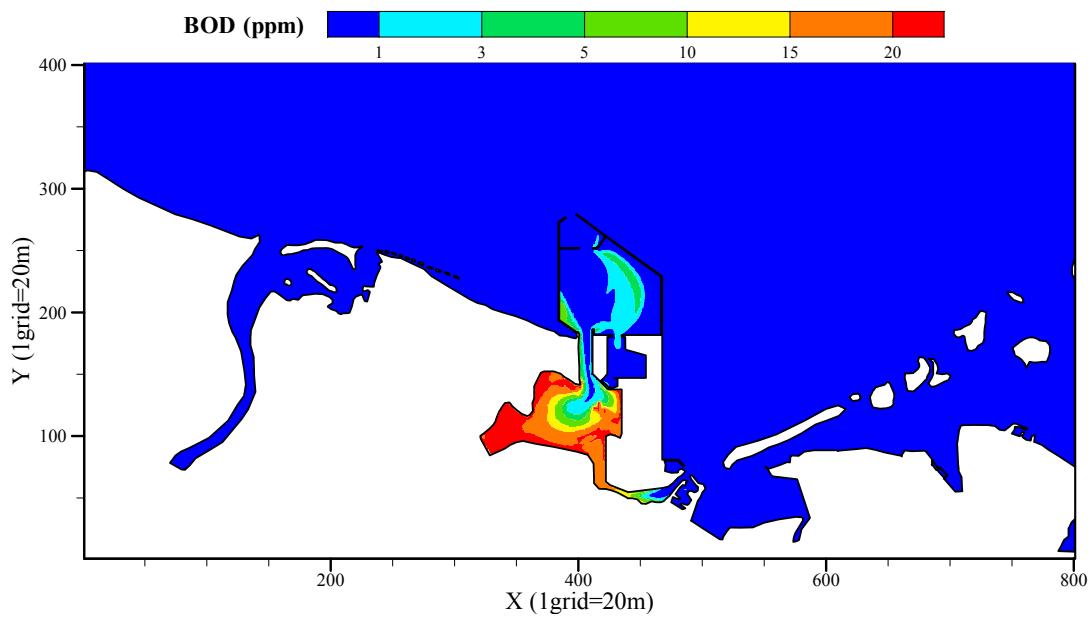


圖 4-17 模式模擬 CASE2 之染料濃度分佈圖(第 15 天)

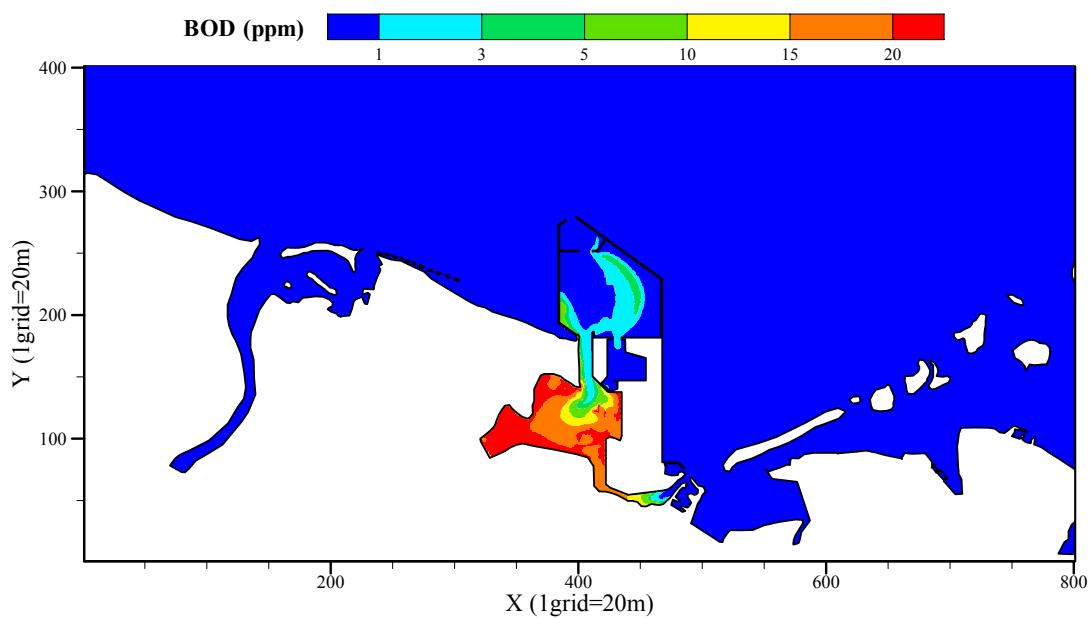


圖 4-17 (續 1)模式模擬 CASE2 之染料濃度分佈圖(第 15.25 天)

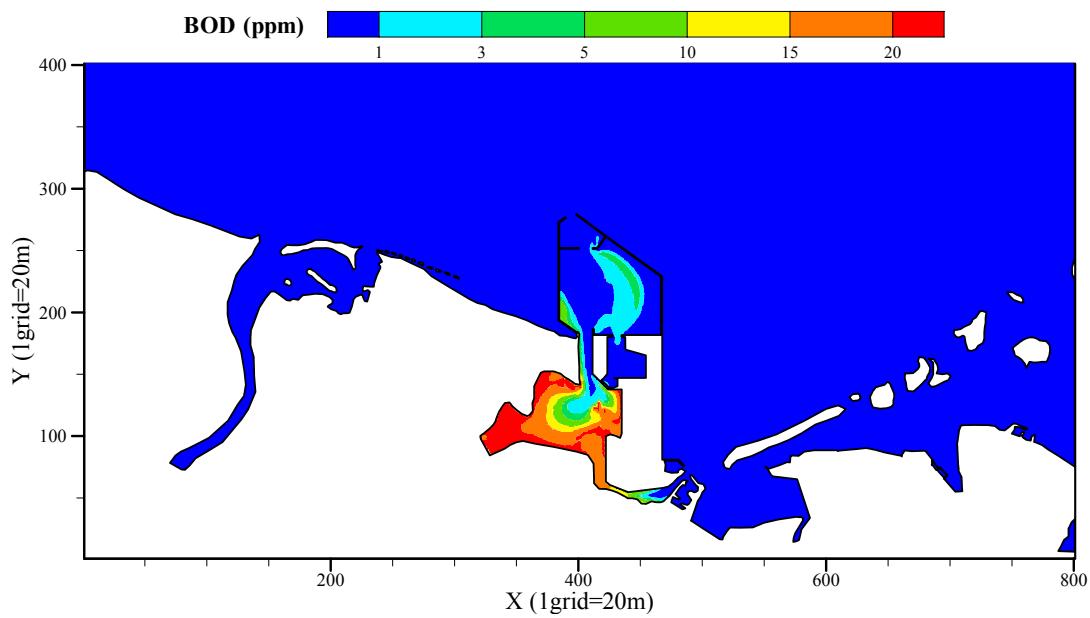


圖 4-17 (續 2) 模式模擬 CASE2 之染料濃度分佈圖(第 15.50 天)

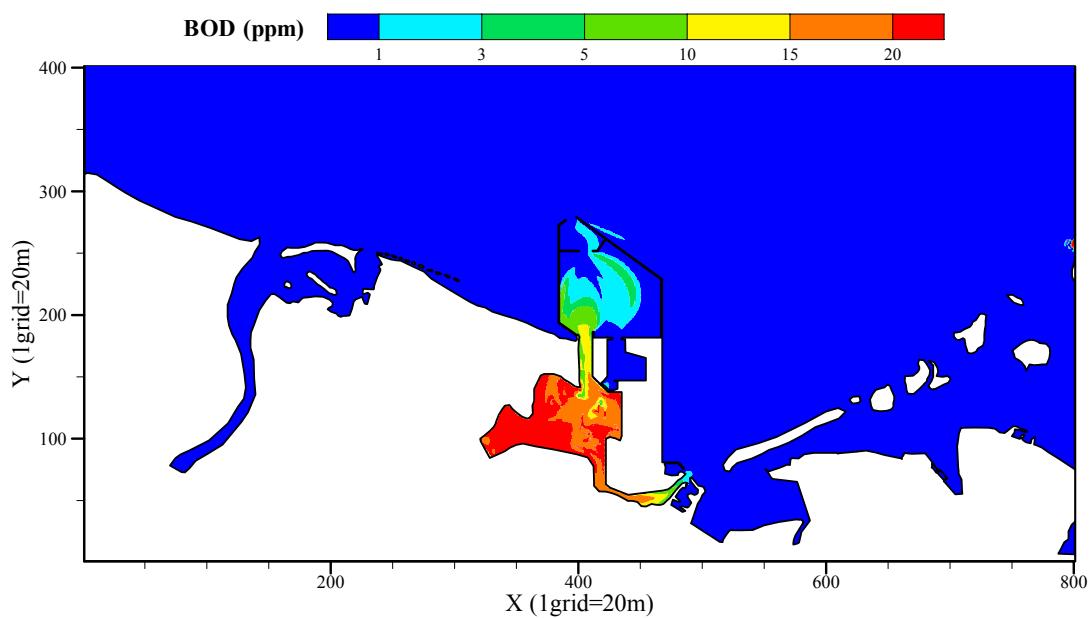


圖 4-17 (續 3) 模式模擬 CASE2 之染料濃度分佈圖(第 15.75 天)

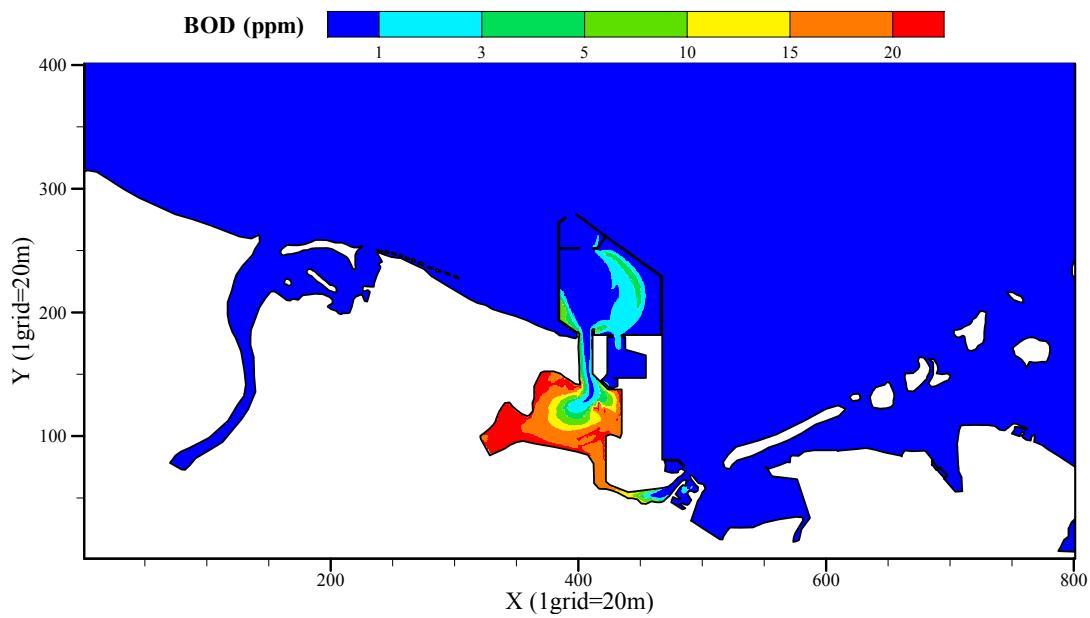


圖 4-17 (續 4) 模式模擬 CASE2 之染料濃度分佈圖(第 16 天)

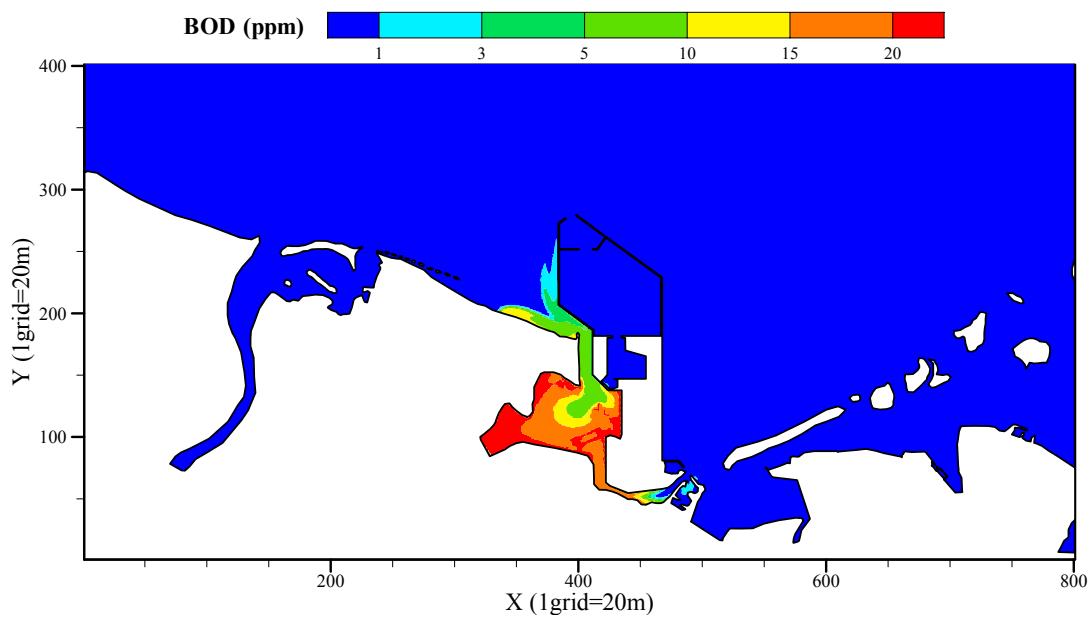


圖 4-18 模式模擬 CASE3 之染料濃度分佈圖(第 15 天)

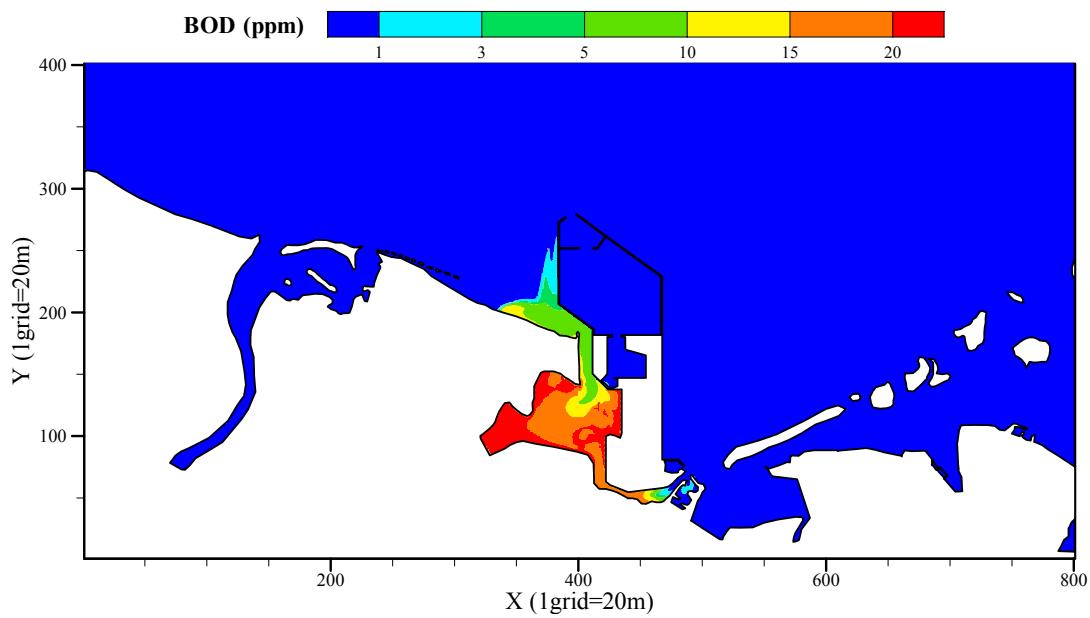


圖 4-18 (續 1) 模式模擬 CASE3 之染料濃度分佈圖(第 15.25 天)

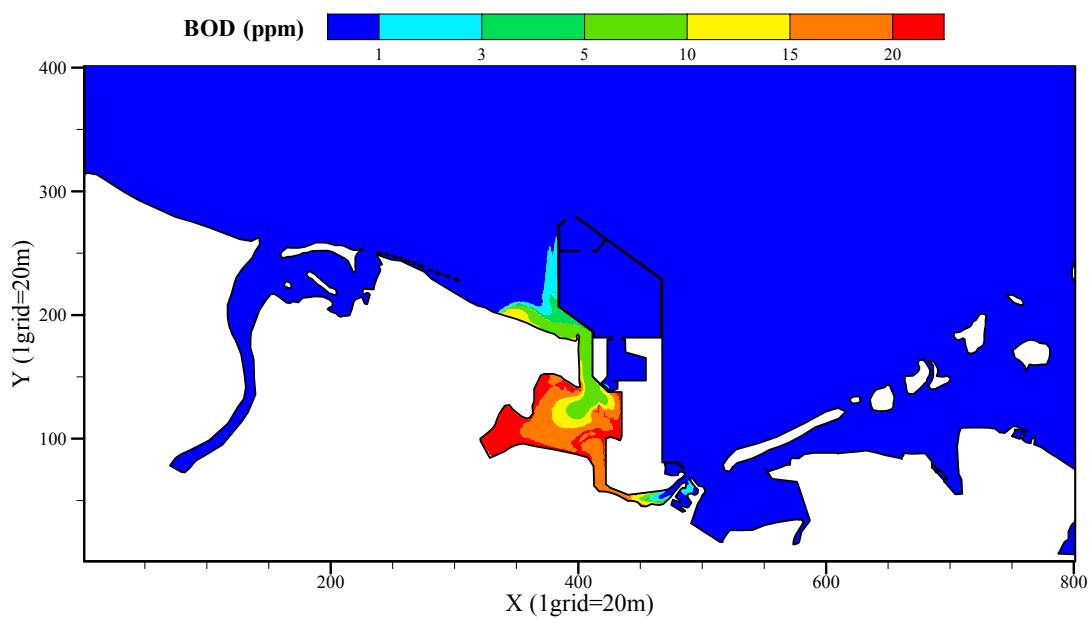


圖 4-18 (續 2) 模式模擬 CASE3 之染料濃度分佈圖(第 15.50 天)

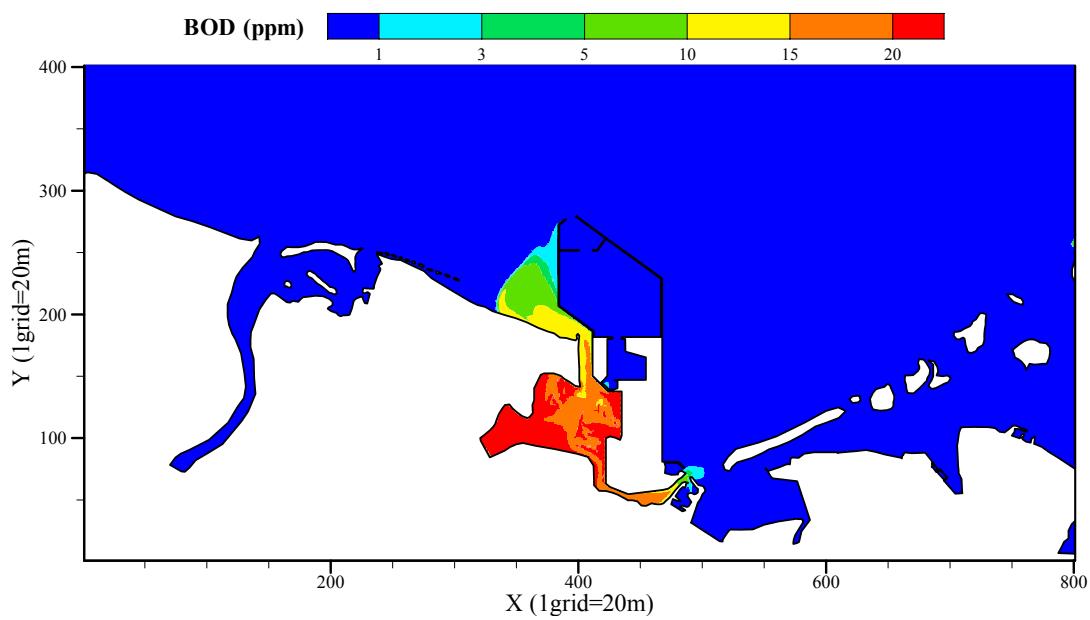


圖 4-18 (續 3) 模式模擬 CASE3 之染料濃度分佈圖(第 15.75 天)

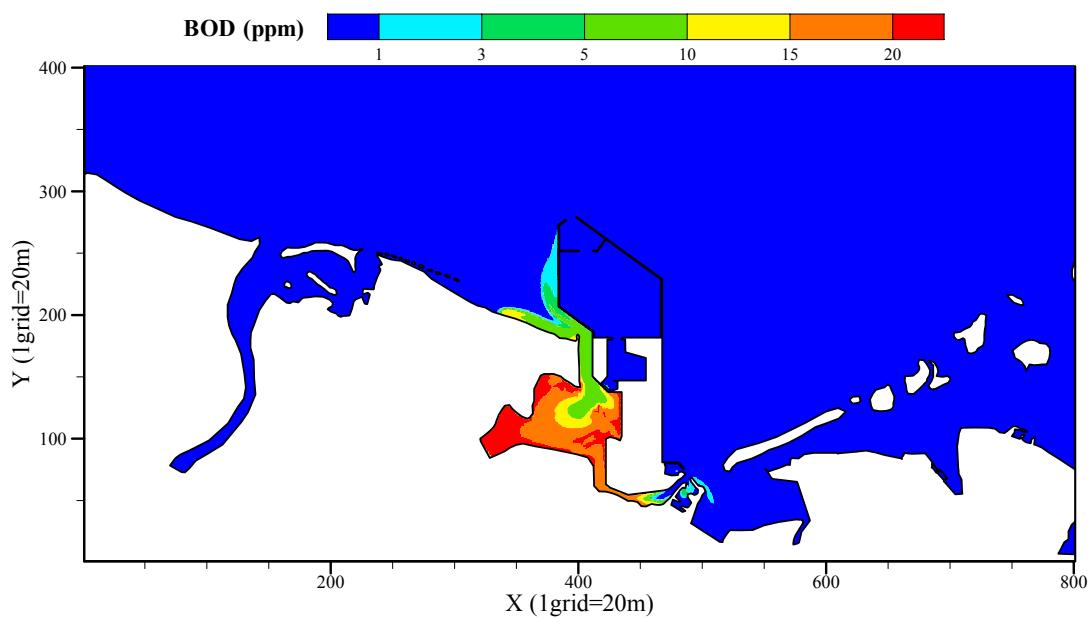


圖 4-18 (續 4) 模式模擬 CASE3 之染料濃度分佈圖(第 16 天)

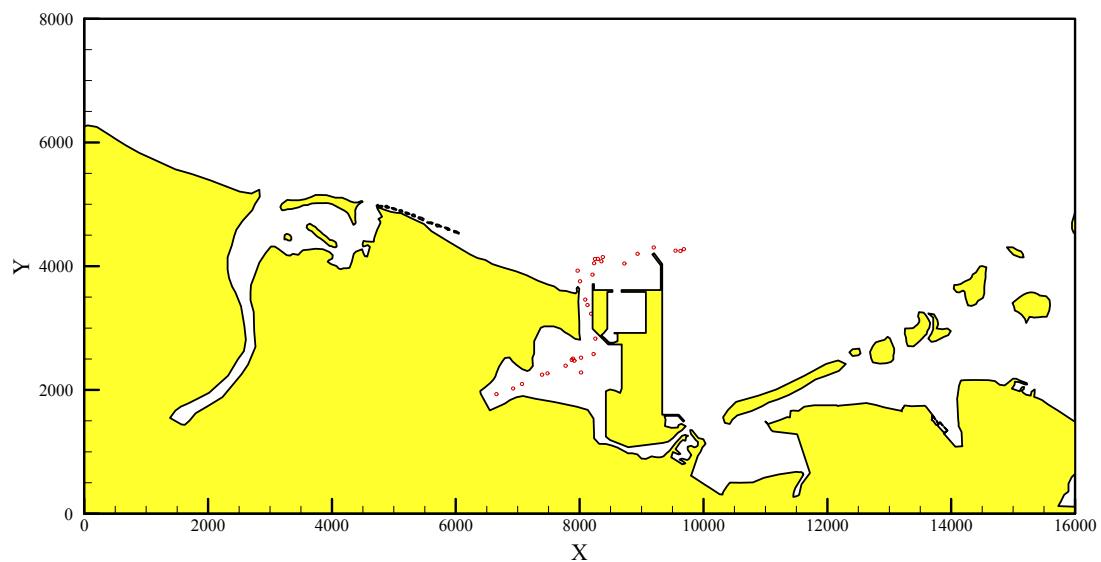


圖 4-19 模式模擬 CASE1 之水粒子質點的分布情形(第 0.5 天)

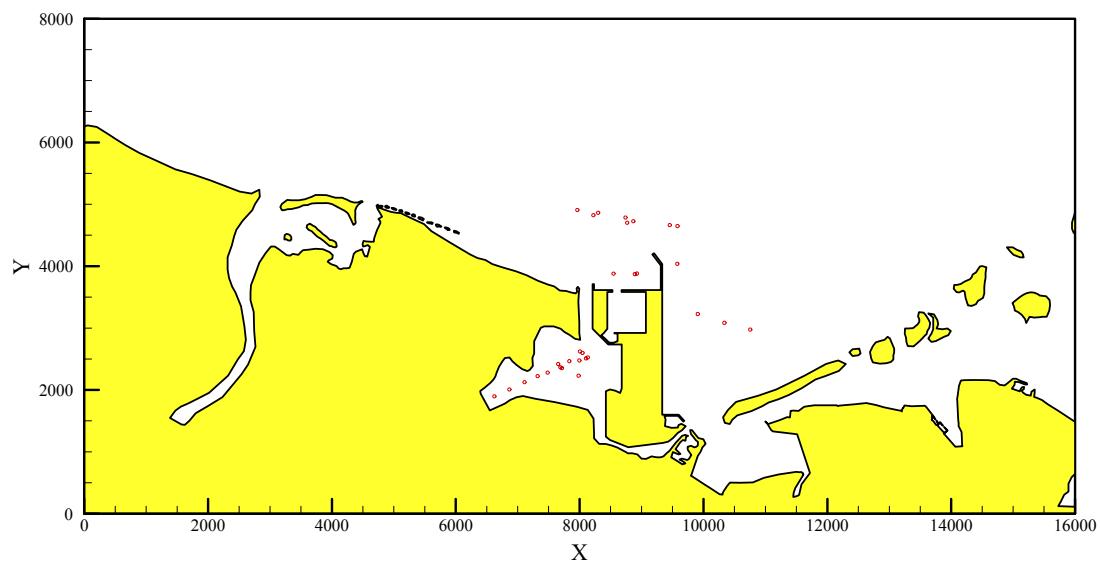


圖 4-19 (續 1)模式模擬 CASE1 之水粒子質點的分布情形(第 1 天)

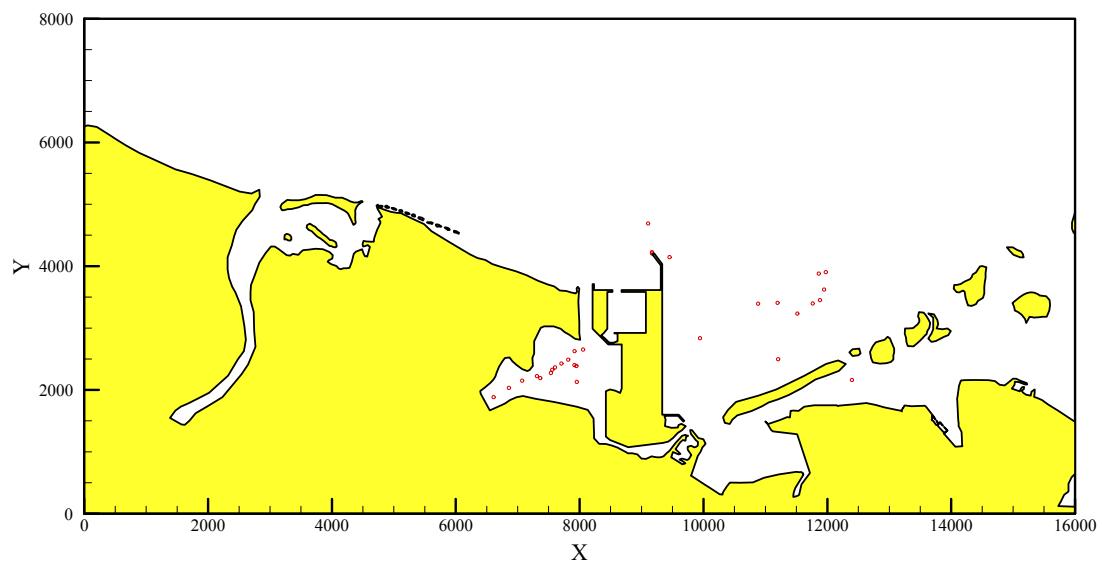


圖 4-19 (續 2)模式模擬 CASE1 之水粒子質點的分布情形(第 2 天)

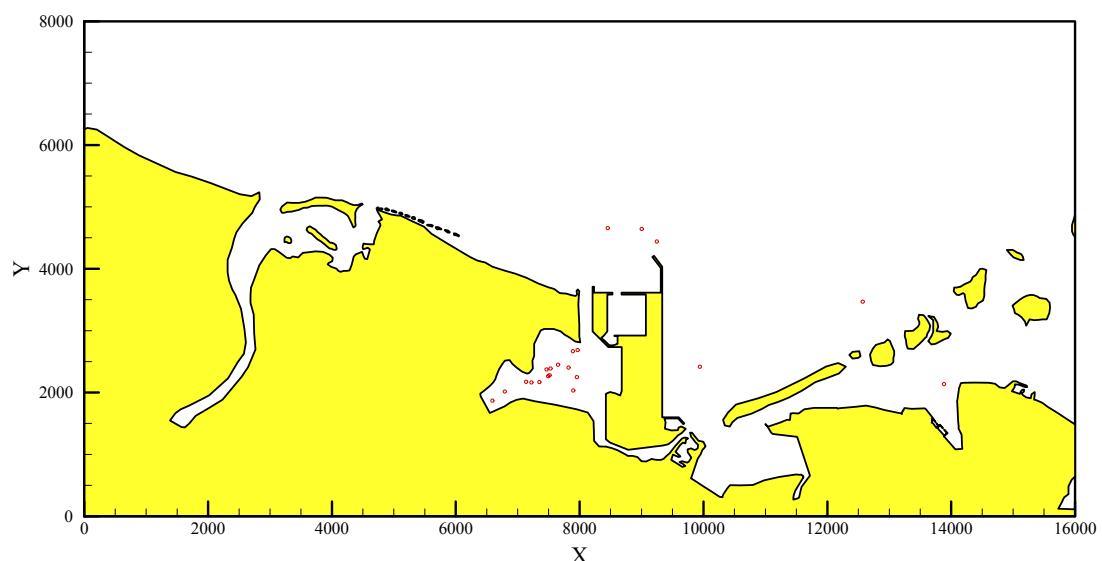


圖 4-19 (續 3)模式模擬 CASE1 之水粒子質點的分布情形(第 3 天)

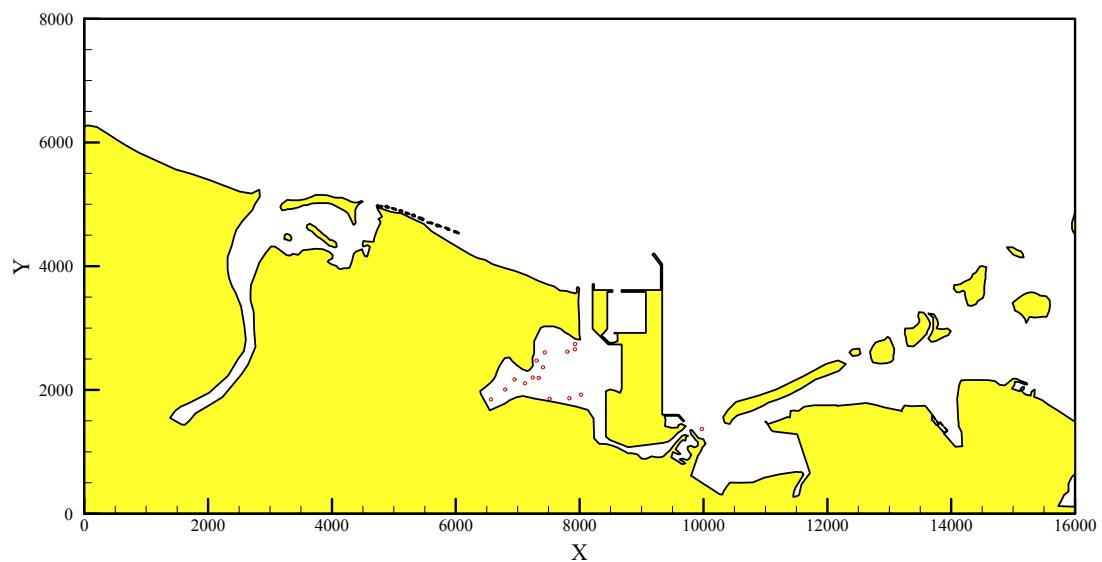


圖 4-19 (續 4) 模式模擬 CASE1 之水粒子質點的分布情形(第 8 天)

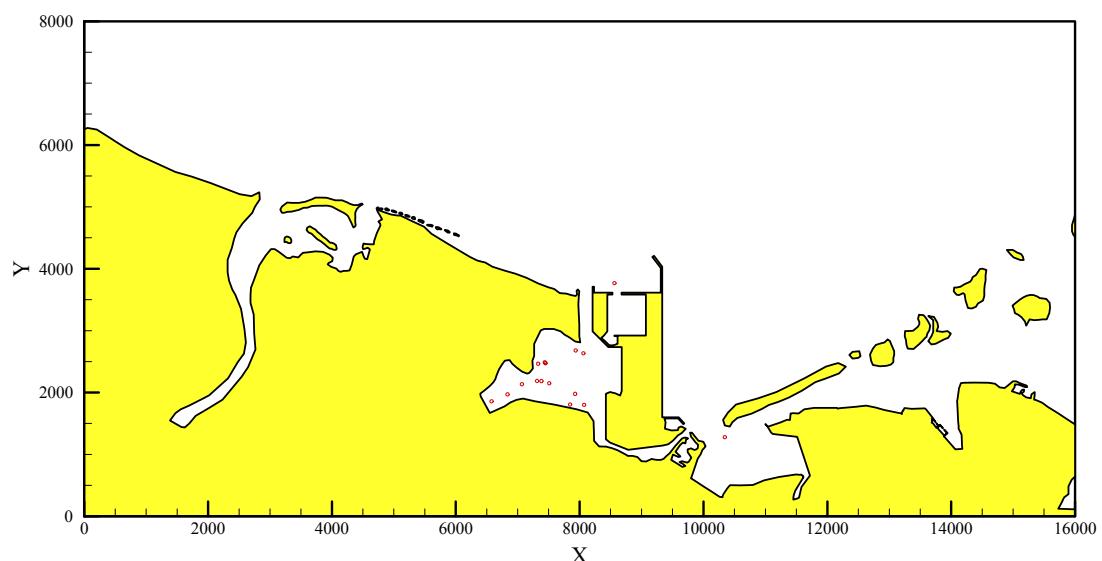


圖 4-19 (續 5) 模式模擬 CASE1 之水粒子質點的分布情形(第 10 天)

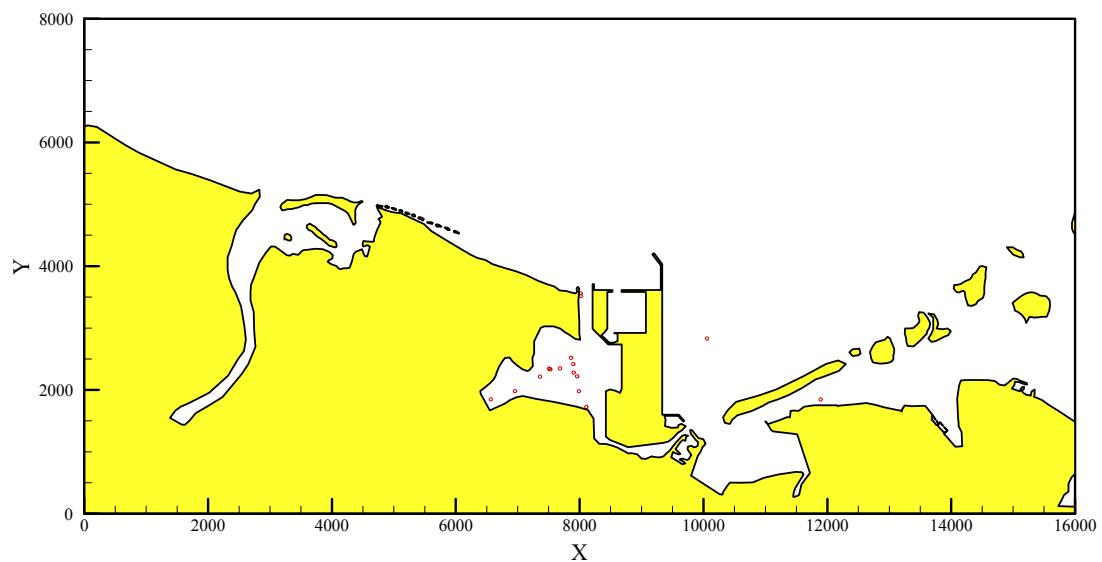


圖 4-19 (續 6) 模式模擬 CASE1 之水粒子質點的分布情形(第 12 天)

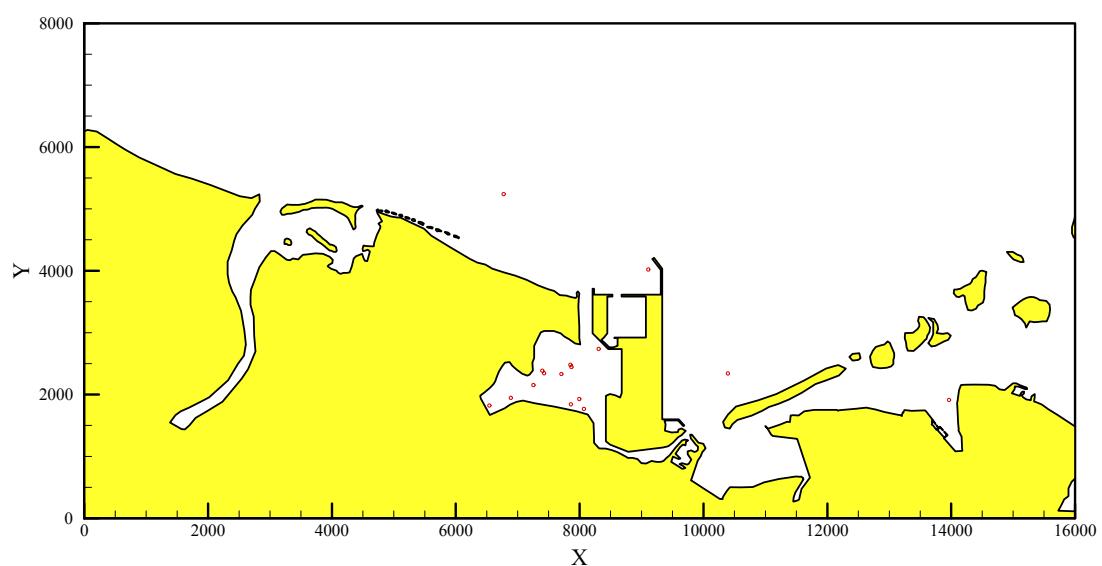


圖 4-19 (續 7) 模式模擬 CASE1 之水粒子質點的分布情形(第 14 天)

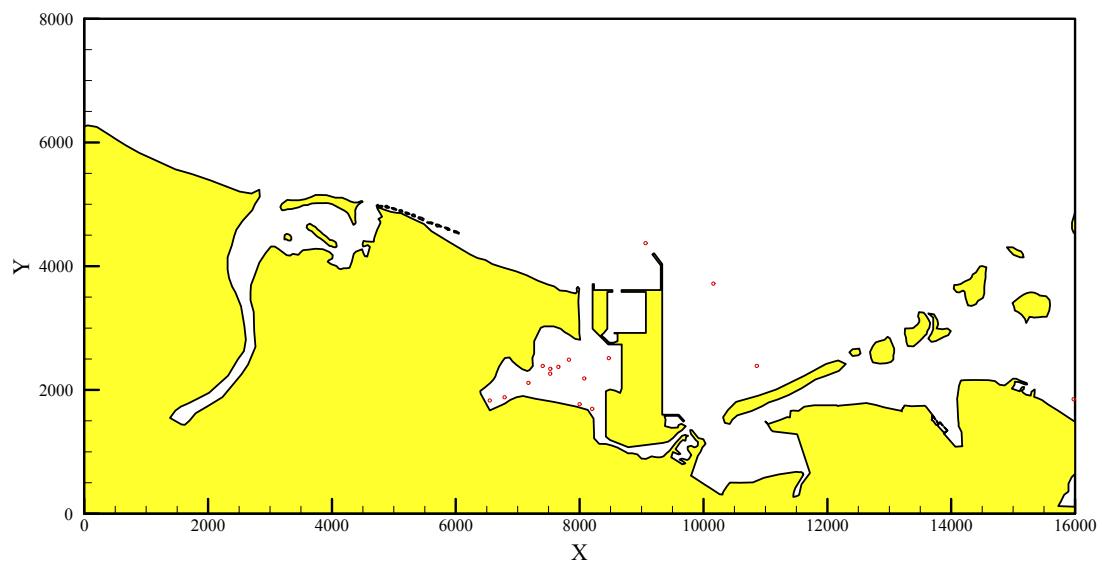


圖 4-19 (續 8) 模式模擬 CASE1 之水粒子質點的分布情形(第 15 天)

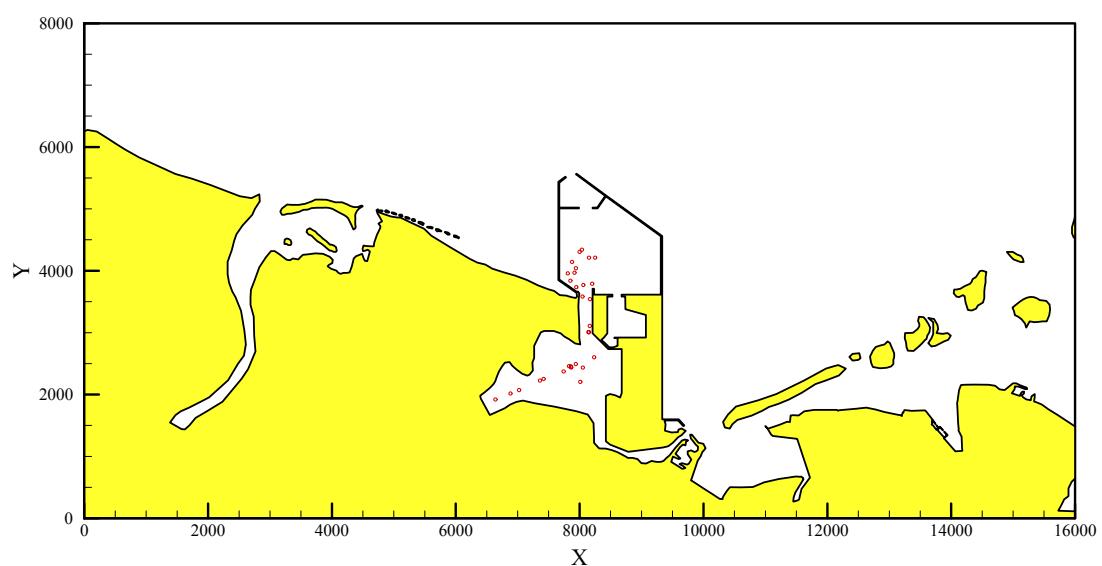


圖 4-20 模式模擬 CASE2 之水粒子質點的分布情形(第 0.5 天)

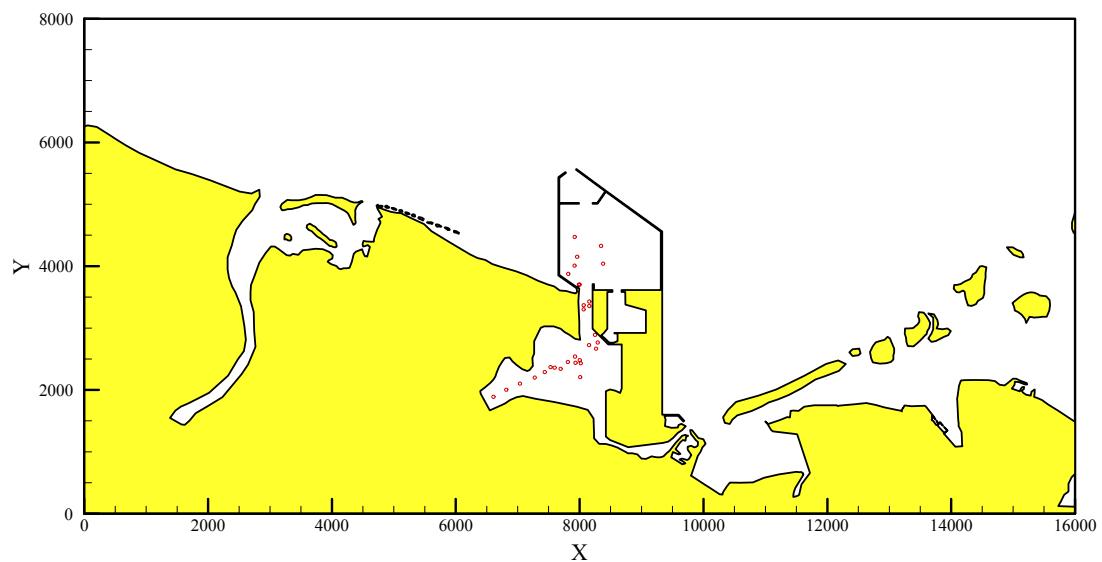


圖 4-20 (續 1)模式模擬 CASE2 之水粒子質點的分布情形(第 1 天)

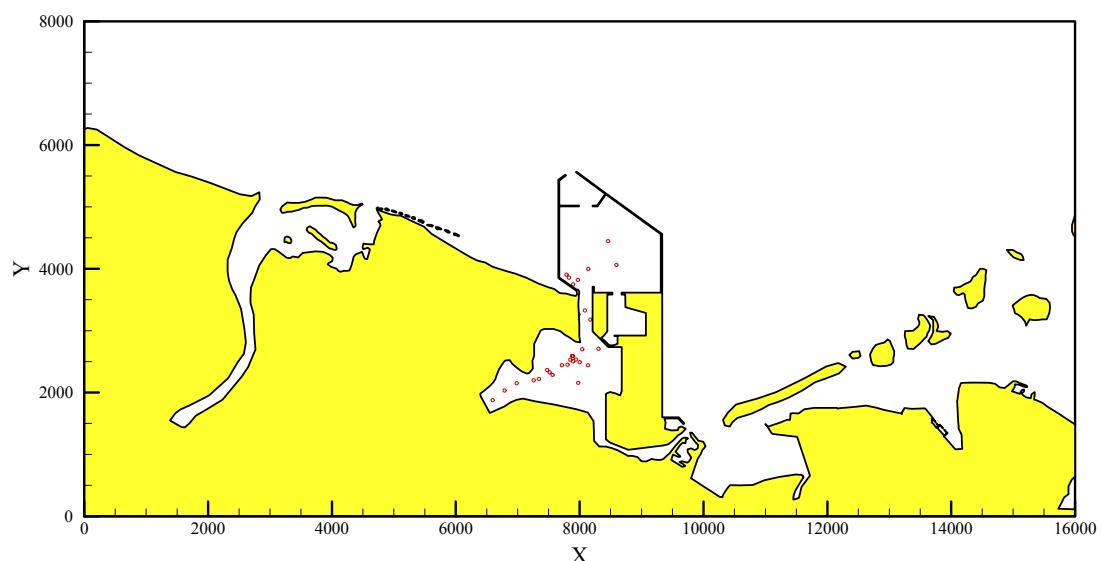


圖 4-20 (續 2)模式模擬 CASE2 之水粒子質點的分布情形(第 2 天)

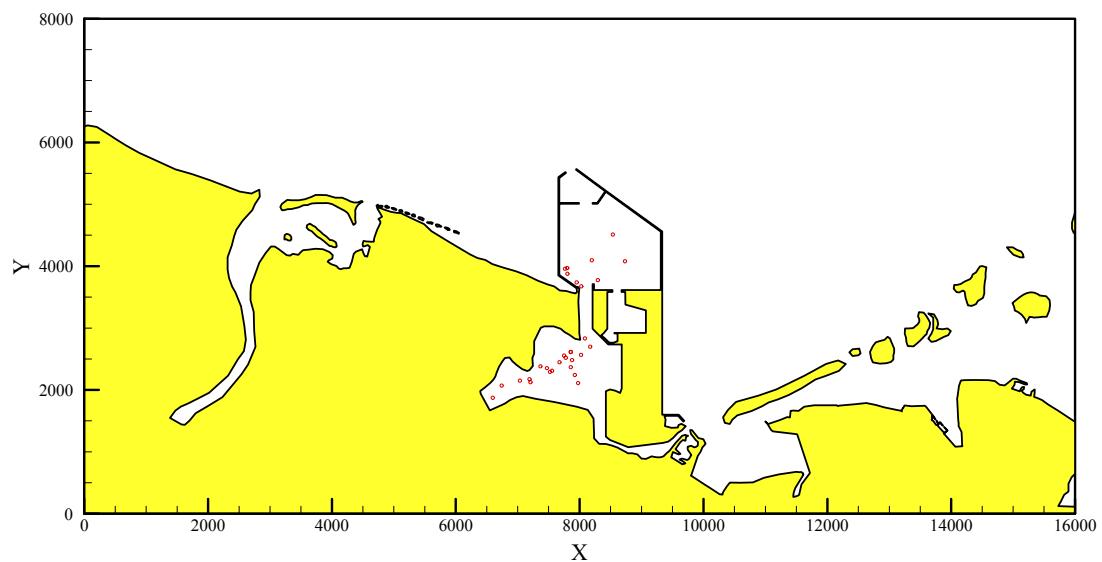


圖 4-20 (續 3)模式模擬 CASE2 之水粒子質點的分布情形(第 3 天)

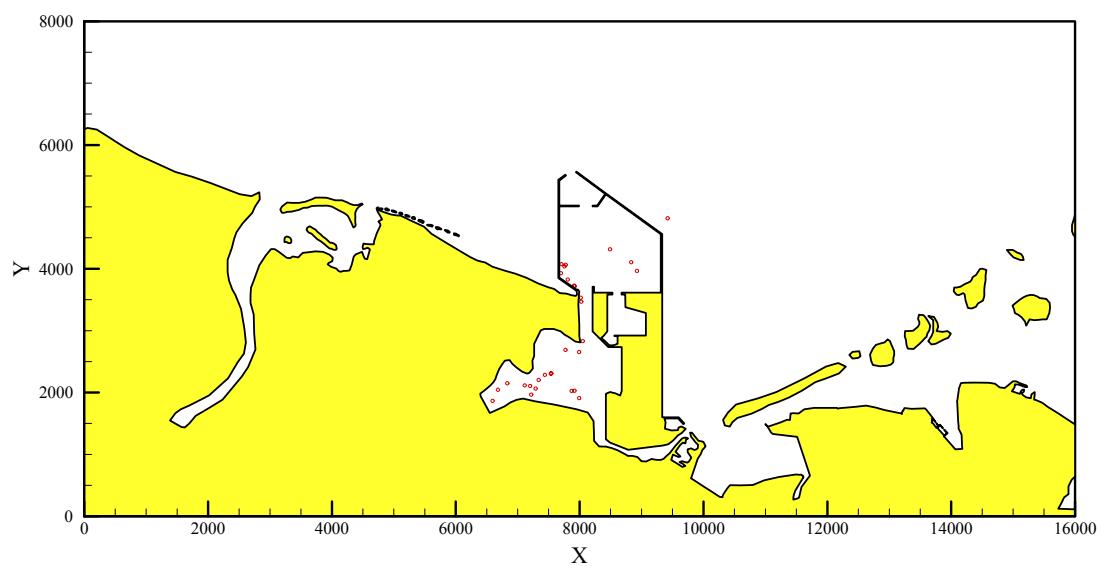


圖 4-20 (續 4)模式模擬 CASE2 之水粒子質點的分布情形(第 8 天)

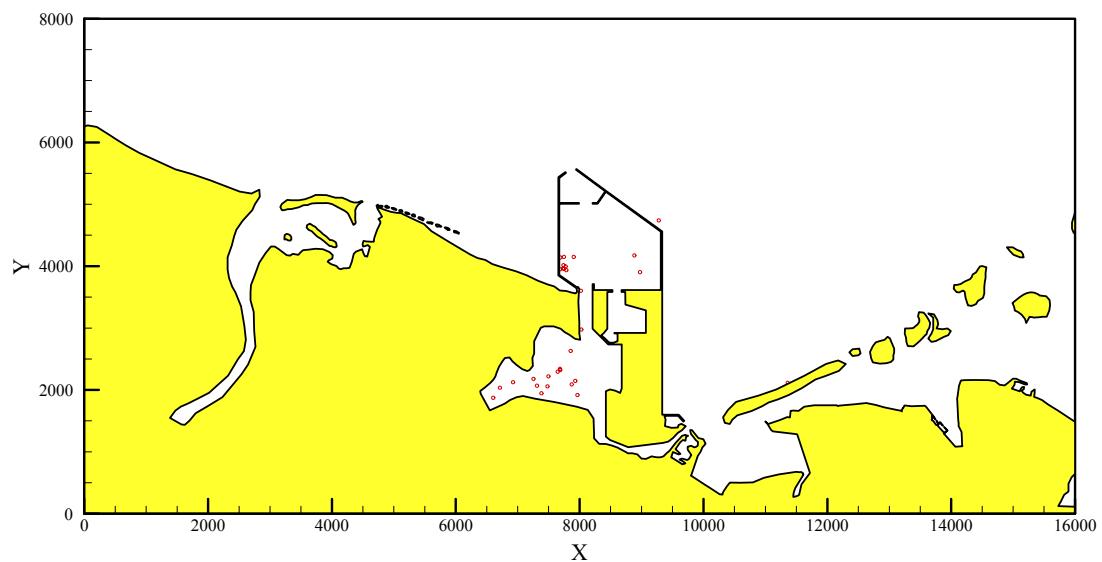


圖 4-20 (續 5) 模式模擬 CASE2 之水粒子質點的分布情形(第 10 天)

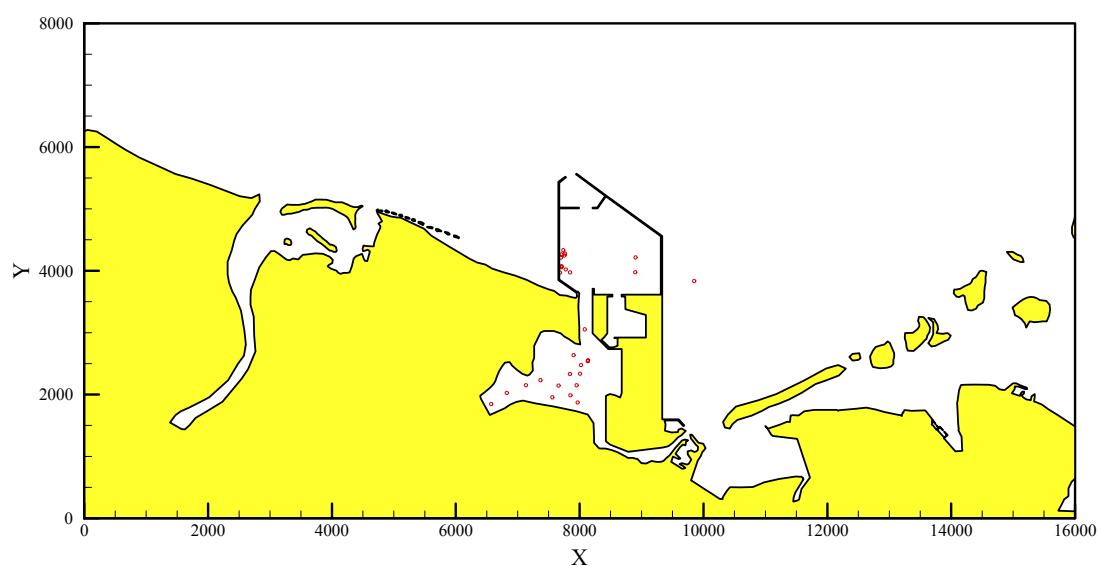


圖 4-20 (續 6) 模式模擬 CASE2 之水粒子質點的分布情形(第 12 天)

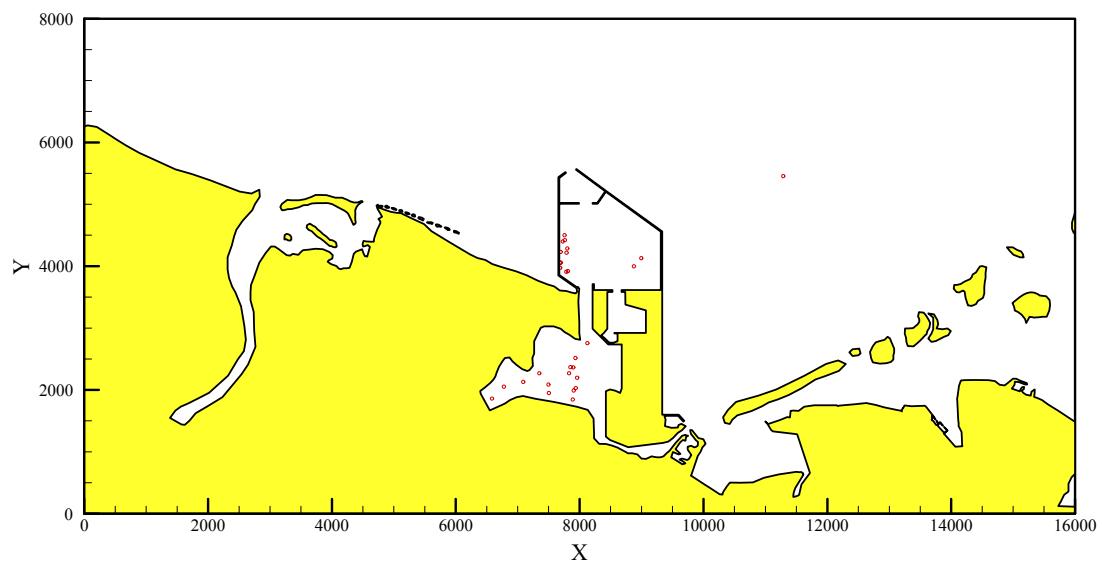


圖 4-20 (續 7) 模式模擬 CASE2 之水粒子質點的分布情形(第 14 天)

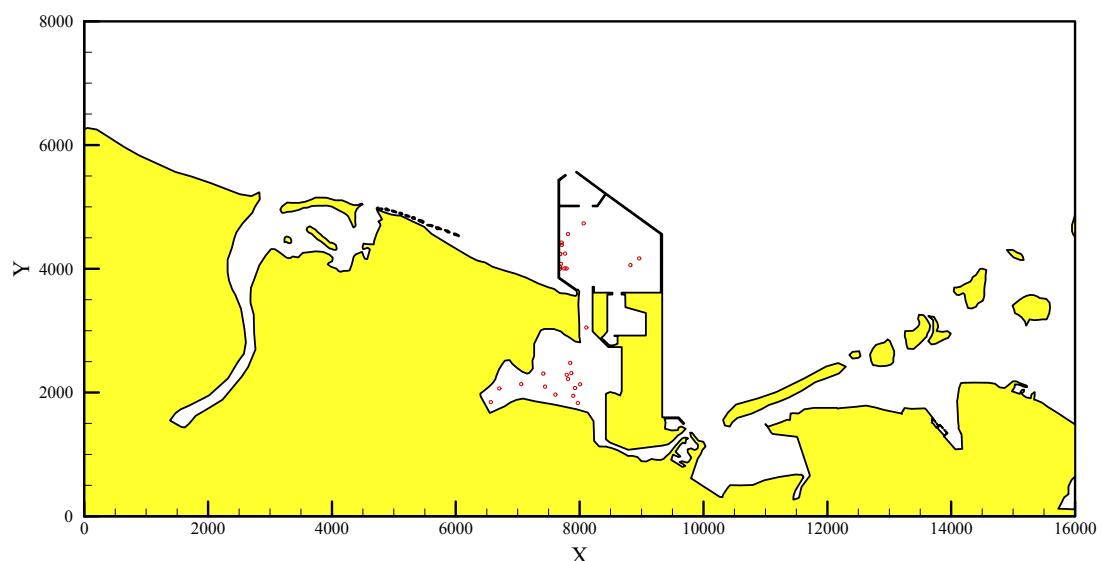


圖 4-20 (續 8) 模式模擬 CASE2 之水粒子質點的分布情形(第 15 天)

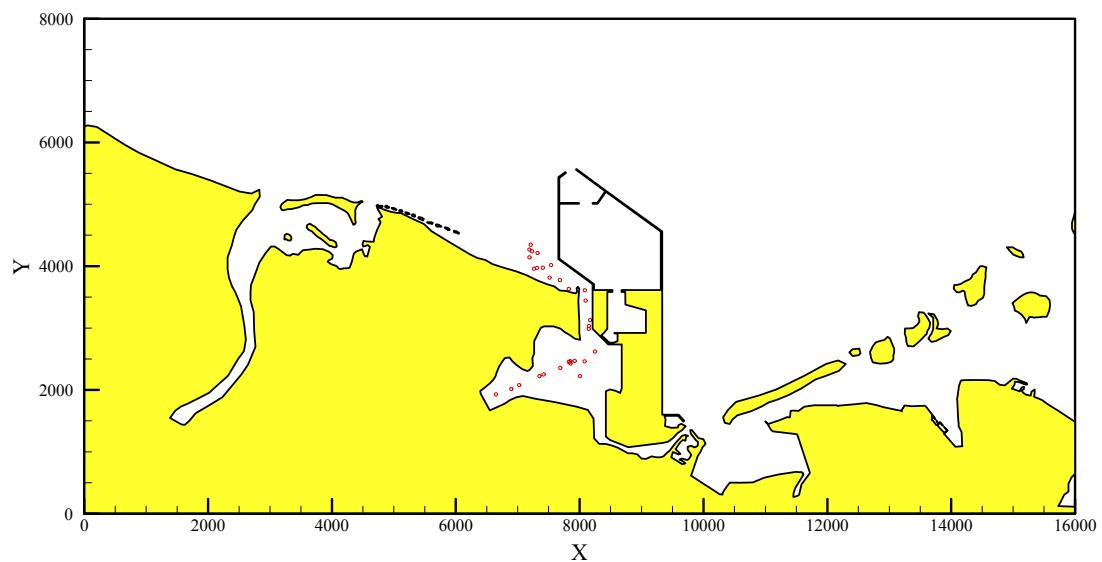


圖 4-21 模式模擬 CASE3 之水粒子質點的分布情形(第 0.5 天)

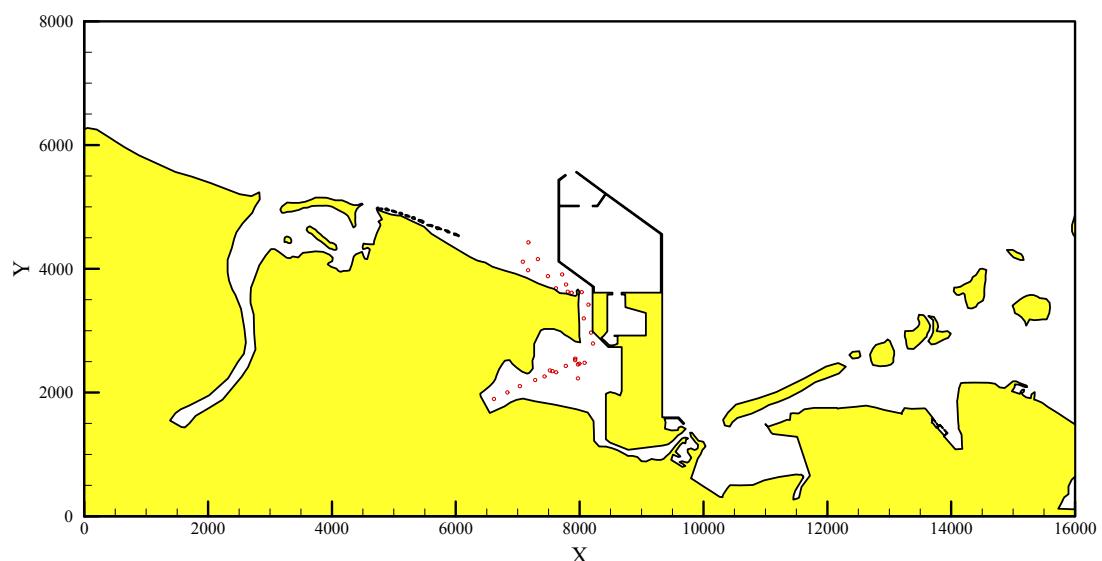


圖 4-21 (續 1)模式模擬 CASE3 之水粒子質點的分布情形(第 1 天)

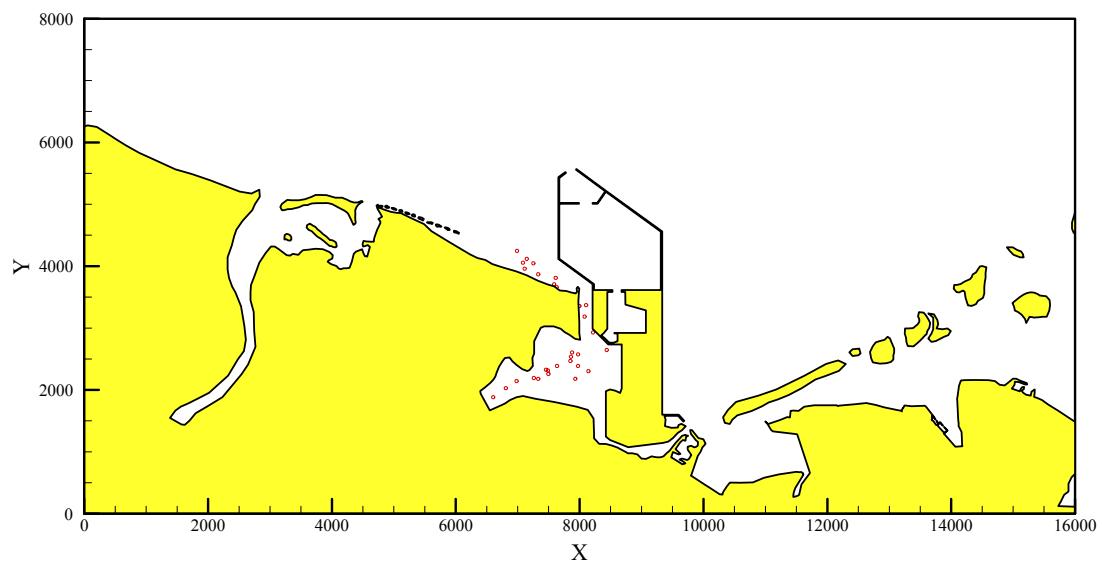


圖 4-21 (續 2)模式模擬 CASE3 之水粒子質點的分布情形(第 2 天)

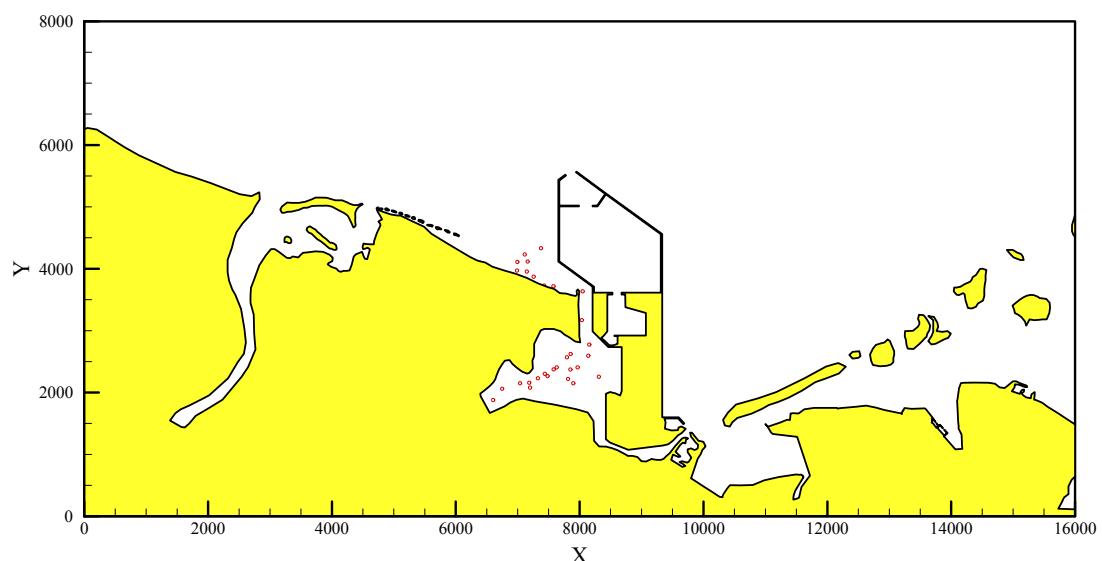


圖 4-21 (續 3)模式模擬 CASE3 之水粒子質點的分布情形(第 3 天)

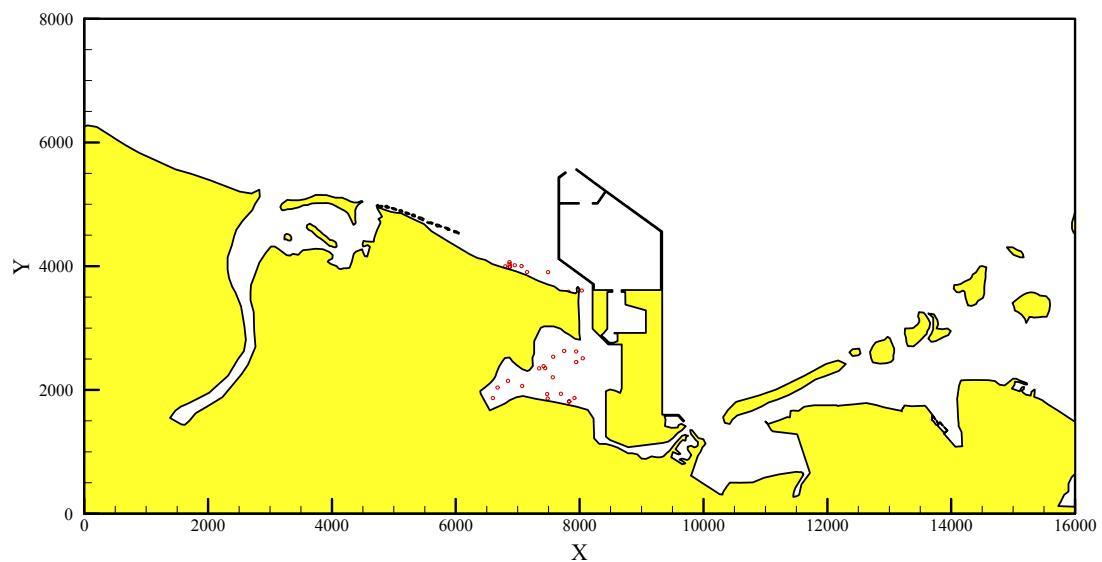


圖 4-21 (續 4) 模式模擬 CASE3 之水粒子質點的分布情形(第 8 天)

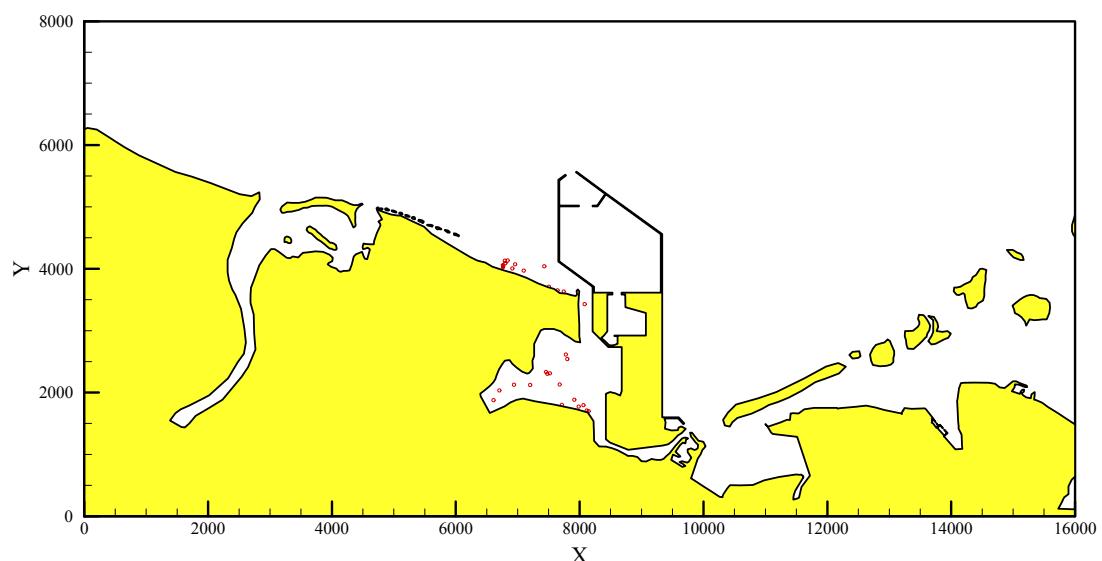


圖 4-21 (續 5) 模式模擬 CASE3 之水粒子質點的分布情形(第 10 天)

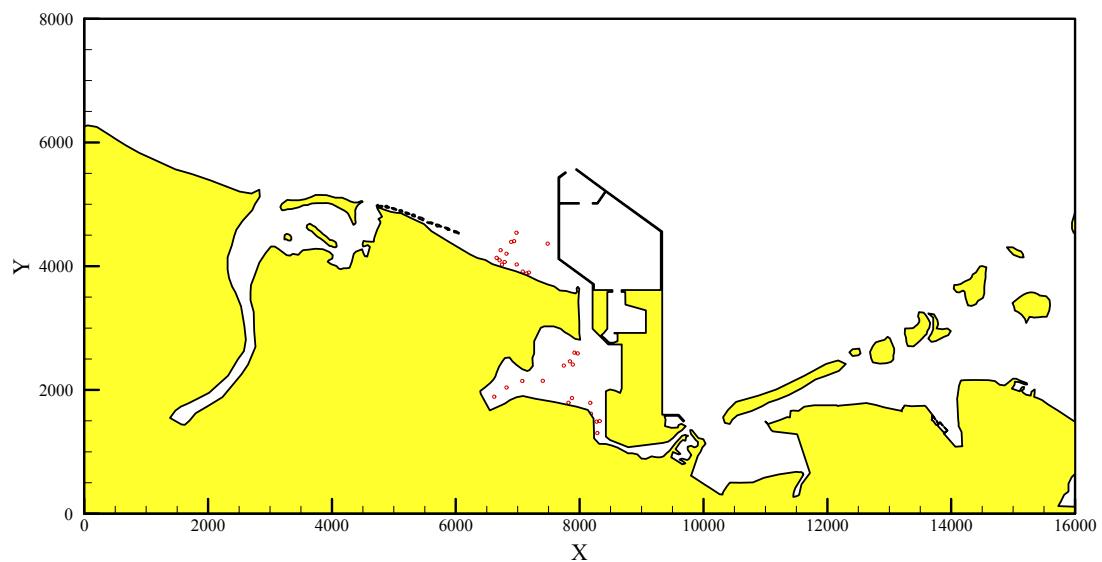


圖 4-21 (續 6) 模式模擬 CASE3 之水粒子質點的分布情形(第 12 天)

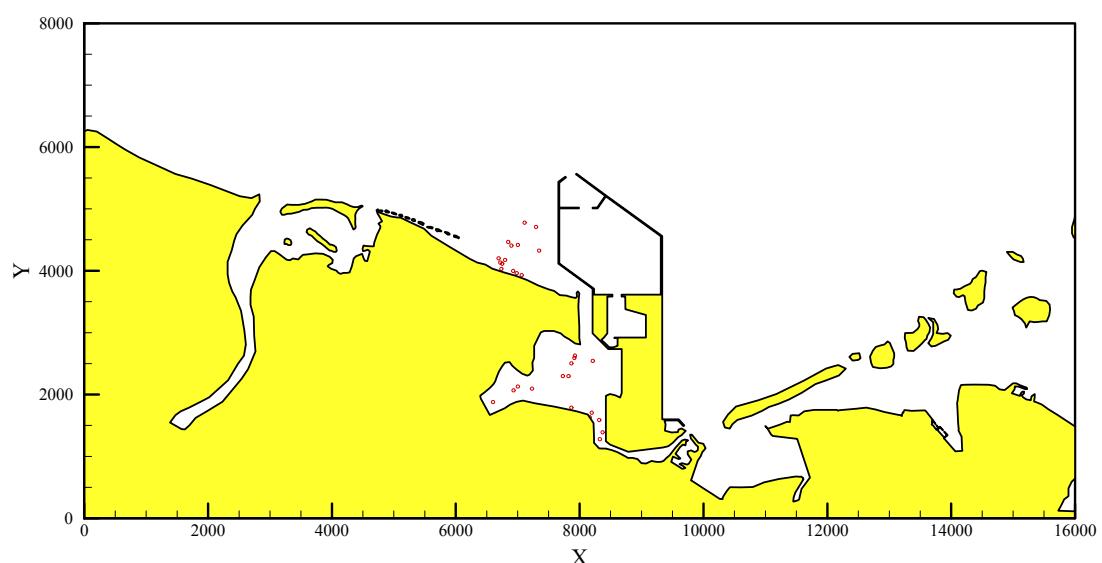


圖 4-21 (續 7) 模式模擬 CASE3 之水粒子質點的分布情形(第 14 天)

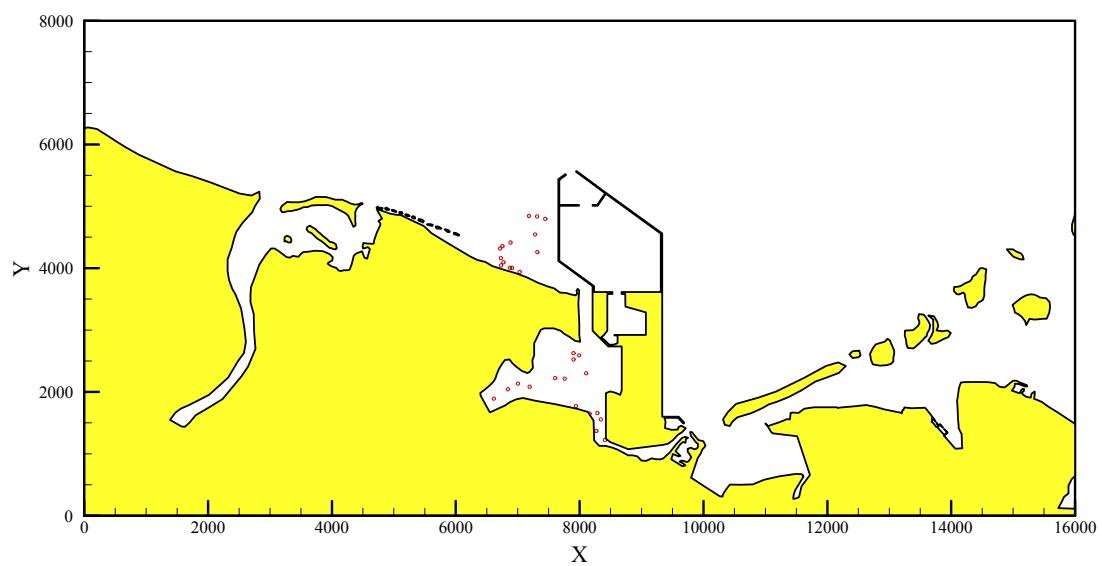


圖 4-21 (續 8)模式模擬 CASE3 之水粒子質點的分布情形(第 15 天)

第五章、結論

本計畫應用數值模式模擬分析不同擴建方案對龍宮溪口內濕地海水交換率的影響程度。首先利用成大水工所在 2005 年 7 月於布袋海域監測所得海流資料率定驗證水理模式，再應用經過仔細率定驗證後之水理模式模擬評估不同擴建方案對於好美寮濕地保護區內海水交換率的影響。主要結論如下：

1. 本計畫以成大水工所於 2005 年 7 月所量測之潮位與海流資料與二維水理模式數值模擬結果進行比較，結果顯示本模式計算所得之水位的振幅與相位均與實測值相當吻合。計算所得之流速在預測沿岸流流速與實測流速相當吻合，在離岸流流速振幅則略小於實測結果。在海流方向的比較方面，模擬結果顯示模式計算所得之海流流向與實測流向相當一致。整體而言，本計畫模式之模擬結果均可相當程度的布袋海域的流場。
2. 在模擬所得之流場分佈方面，由不同方案(CASE1、CASE2 及 CASE3)於 8 個檢驗點(N1~N8)之流場時序列比較圖，如圖 3-12 至圖 3-19 所示。結果顯示愈接近龍宮溪出海口，其流速越大。而在不同檢驗點之流速值均以 CASE1(現況)最大，其次為 CASE2，最小者為 CASE3。顯示布袋商港擴建會造成好美寮濕地內之流速變小，在龍宮溪出海口處(N1 檢驗點)商港擴建納入龍宮溪之方案(CASE2)約較現況降低 0.04m/sec，而商港擴建未納入龍宮溪之方案(CASE3)所造成之流速則較現況降低 0.06m/sec。
3. 在模擬所得之潮汐交換率方面，模式模擬所得不同方案(CASE1、CASE2 及 CASE3)於 12 個檢驗點(M1~M12)之潮汐交換率比較圖，如圖 4-15 所示。在 M1 檢驗點 CASE1(現況)之潮汐交換率為 38.5%，CASE2(商港擴建納入龍宮溪之方案)為 14.7%，CASE3(商港擴建未納入龍宮溪之方案)則降低至 6.43%；在 M2 檢驗點 CASE1 之潮汐交換率為 36.6%，CASE2 為 13.8%，CASE3 為 6%；愈遠離出海口，其海

水交換率則愈小。三個方案之海水交換率之結果為CASE1>CASE2>CASE3。結果顯示布袋商港擴建會造成好美寮濕地內之潮汐交換率變小，在接近龍宮溪出海口處(M1 檢驗點) 商港擴建納入龍宮溪之方案(CASE2)所造成之潮汐交換率約較現況降低23.8%，而商港擴建未納入龍宮溪之方案(CASE3)所造成之潮汐交換率則較現況降低 32%。故布袋商港擴建之二個方案均會大幅降低潮汐交換率，而商港擴建未納入龍宮溪之方案(CASE3)之潮汐交換率則較商港擴建納入龍宮溪之方案(CASE2)之潮汐交換率為差，約降低8%左右。

參考文獻

1. Fisher, H.B., Mixing and dispersion, *Estuaries Annual Review of Fluid Mechnaics*, 1980, 8: 107~134.
2. Prandle, D.D., Modeling study of mixing Cs in the seas of the European continental shelf, *Philosophical Transctions of the Royal Society of London*, 1984, 310: 407~436.
3. Zimmerman, J.F.T., Estuaries residence times, *Hydrodynamics of Estuaries* (vol. 1), Florida: CRC Press Inc., 1988.
4. Takeoka, Fundamental concepts of exchange and transport time scales in a coastal sea, *Continental Shelf Research*, 1984, 3: 311~326.
5. Signell, R.P., Modeling tidal exchange and dispersion in Boston harbor, *J.G.R.*, 1992, 97: 15591~15606.
6. Cucco, A., Umgieser, G., Modeling the Venice Lagoon residence time, *Ecological Modeling*, 2006, 193: 34~51.
7. Yuan, D., Lin, B. Falconer, R.A., A modeling study of residence in a macro-tidal estuary, 2007, 71: 401~411.
8. Le Pape, D., Hydrodynamics prevention of eutrophication in the Bay of Brest (France), a modeling approach, *J. of Marine Systems*, 1997, 12: 171-186.
9. Gunnarsson, J., D. Broman, P. Jonsson, M. Olsson & R. Rosenberg., Interactions between eutrophication and contaminants: Towards a new research Concept for the European aquatic environment. *Ambio*, 1995, 24: 383-385.