101-41-7613
MOTC-IOT-100-H3DB004a

臺灣各國際商港海域綜合洋流與潮流效應之海流數值模擬

交 通 部 運 輸 研 究 所

中華民國 101 年 4 月

101-41-7613
MOTC-IOT-100-H3DB004a

臺灣各國際商港海域綜合洋流與潮流效應之海流數值模擬

著者：廖建明、莊文傑、許泰文、楊文昌

交通部運輸研究所

中華民國 101 年 4 月

101

臺灣各國際商港海域綜合洋流與潮流效應之海流數值模擬

交通部運輸研究所

GPN：1010100431

定價 350 元

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

臺灣各國際商港海域綜合洋流與潮流效應之海流數值模擬
/廖建明等著. --初版.-- 臺北市：交通部運輸研究所，
民 101.04　　面　；　　公分
ISBN 978-986-03-1981-1 (平裝)

1. 海流 2.潮流 3.數值分析

351.96　　101004160

臺灣各國際商港海域綜合洋流與潮流效應之海流數值模擬

著　　者：廖建明、莊文傑、許泰文、楊文昌
出版機關：交通部運輸研究所
地　　址：10548 臺北市敦化北路 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 101 年 4 月
印 刷 者：
版(刷)次冊數：初版一刷 80 冊
本書同時登載於交通部運輸研究所港灣技術研究中心網站
定　　價：350 元
展 售 處：
交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880
國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1•電話：(02)25180207
五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

GPN：1010100431　　ISBN：978-986-03-1981-1 (平裝)
著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)
本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部份內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

<table>
<tr><td colspan="4">出版品名稱：臺灣各國際商港海域綜合洋流與潮流效應之海流數值模擬</td></tr>
<tr><td>國際標準書號（或叢刊號）
ISBN978-986-03-1981-1 (平裝)</td><td>政府出版品統一編號
1010100431</td><td>運輸研究所出版品編號
101-41-7613</td><td>計畫編號
100-H3DB004a</td></tr>
<tr><td>本所主辦單位：港研中心
主管：邱永芳
計畫主持人：莊文傑
研究人員：
聯絡電話：04-26587185
傳真號碼：04-26564415</td><td colspan="2">合作研究單位：臺灣海洋科技研究中心
計畫主持人：廖建明
研究人員：許泰文、楊文昌、蔡原祥、楊文榮、曾瓊蓉、胡智凱
地址：852 高雄市茄萣區東方路一段 219 號
聯絡電話：07-6986886 轉 123</td><td>研究期間
自 100 年 2 月
至 100 年 12 月</td></tr>
<tr><td colspan="4">關鍵詞：海洋數值模式、普林斯頓海洋數值模式、洋流、潮流</td></tr>
<tr><td colspan="4">摘要：
本計畫針對臺灣鄰近海域特殊的海峽與陸架坡地形，透過美國普林斯頓大學海洋模式(Princeton Ocean Model，POM)，建置臺灣海域洋流模擬系統，主要工作項目為延續前兩年計畫成果，針對基隆、台北、台中、高雄、安平、花蓮及蘇澳等商港海域，建構足以描述各商港海域海流變動特性之三維流場，利用 MPI 平行計算與正交曲線座標方式改善 POM 模式計算效率與增加未來擴充性。透過模式模擬分析洋流與潮流成分變動特性與綜合效應，並利用實測數據進行模式驗證，改善模式合理性與模擬精度。
由臺灣海域洋流與潮流綜合效應中發現，臺灣北部、東部近岸、澎湖水道等區域為潮流主導海域流速變動，而臺灣中西部、西南部海域及東部離岸等海域應考慮洋流對此些區域海流變動特性之影響。
於各商港海域特性分析方面，高雄港受到高屏峽谷地形影響與洋流、潮流互相交互作用，造成此處海域流動現象複雜。而基隆港海域退潮時段受到野柳龜頭山阻擋退潮海流，在基隆港外海海域形成一順時針渦流，而基隆港外廓防波堤亦形成此處海流偏東北-西南走向之主要原因。於臺灣東部宜蘭至花蓮一帶海岸存在一黑潮返流區，於大潮之漲潮時段流速向南退潮向北，而小潮時段受到黑潮主流外側返流的影響有持續偏向西南流動之現象。於臺中港海域海流特性方面，受夏季黑潮分支影響下外海流速強勁，不論漲退潮段皆持續向北，而冬季於小潮時段時若東北季風強勁，導致近岸處有沿著海岸線向南流動之明顯現象，且受北防坡堤之阻擋影響，導致堤頭附近海域流速偏向西南西。</td></tr>
<tr><td>出版日期</td><td>頁數</td><td>定價</td><td>本出版品取得方式</td></tr>
<tr><td>101 年 4 月</td><td>414</td><td>350</td><td>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。</td></tr>
<tr><td colspan="4">機密等級：
□密□機密 □極機密 □絕對機密
（解密條件：□ 年 月 日解密，□公布後解密，□附件抽存後解密，
□工作完成或會議終了時解密，□另行檢討後辦理解密）
■普通</td></tr>
<tr><td colspan="4">備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。</td></tr>
</table>

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

TITLE: Numerical simulations of ocean current including tidal and ocean current effects in the waters around international harbors of Taiwan

ISBN (OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER	PROJECT NUMBER
ISBN 978-986-03-1981-1 (pbk)	1010100431	101-41-7613	100-H3DB004a

DIVISION: Harbor & Marine Technology Center
DIVISION DIRECTOR: Yung-Fang Chiu
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Wen-Jye Juang
PROJECT STAFF:
PHONE: (04) 26587185
FAX: (04) 26564415

PROJECT PERIOD
FROM Feburary 2011
TO December 2011

RESEARCH AGENCY: Taiwan Ocean Research Institute
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Jian-Ming Liau
PROJECT STAFF: Tai-Wen Hsu, Wen-Chang Yang, Yuan-Shiang Tsai, Wen-Rong Yang, Chiung-Jung Tseng, Chih-Kai Hu
ADDRESS: No.219, Sec. 1, Dongfang Rd., Qieding Dist., Kaohsiung 852, Taiwan
PHONE: 07-6986886 ext 123

KEY WORDS:
ocean circulation model, Princeton Ocean Model, ocean circulation, tidal current

ABSTRACT:

The present project is aimed to simulate ocean current around Taiwan for the complex topography such as the continental shelf of the eastern Taiwan with steep slope and the 180 km wide Taiwan Strait by using Princeton Ocean Model (POM). The working items of this year are also continuing research in the last two years. A high resolution three-dimensional ocean current model was established to describe various characteristics of ocean current in the coastal waters of important harbors such as Keelung, Taipei, Taichung, Kaohsiung, Anping, Hualien and Suao harbors. The MPI parallel computational scheme and the orthogonal curvilinear grids are used to improve the computational efficiency of the POM model and increase its expandability. A couple of the tidal and ocean circulation effects is taken into consideration in ocean current simulations, and verifications are also carried out to improve rationality and the precision by using the measurement data.

In the analysis, it is found that the component of tidal current dominant the variation of current in the offshore of northern Taiwan, coastal waters of eastern Taiwan, and Penghu Channel. Others, in the offshore of mid-western, southwestern and eastern Taiwan, the ocean circulation influences should be considered in those regions.

The characteristics of the current of simulated results for each harbor around Taiwan are shown as below. The current in coastal waters of Kaohsiung Harbor is complex because of the interaction between tidal and ocean current due to the Kaoping Canyon. In the coastal waters outside Keelung Harbor, the current forms a counter clockwise vortex because of the topographic effect during neap tides, and the main direction of the tidal current is northeast to southwest caused by outer breakwater of Keelung Harbor. In the coastal waters of Ilan and Hualien County of eastern Taiwan, tidal current flows southward and northward during the flood and ebb tides, respectively. A countercurrent exists outside the Kuroshio that sometimes influences the flow continuous southwestward during the neap tides. In the coastal waters outside Taichung Harbor, the current is strongly northward in the offshore region caused by Kuroshio Branch in the Taiwan Strait in summer. The current flows continuously southward during the neap tides if the Northeast monsoon is strong in winter, and then the direction of the current is obvious west southwest caused by the north outer breakwater of Taichung Harbor.

DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE	CLASSIFICATION
April 2012	414	350	☐RESTRICTED ☐CONFIDENTIAL ☐SECRET ☐TOP SECRET ■UNCLASSIFIED

The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.

目錄

目錄 III
圖目錄 IV
表目錄 VII
符號表 VIII
第一章 緒論 1-1
1.1 研究動機 1-1
1.2 計畫背景 1-1
1.3 工作項目與預期成果 1-7
1.4 本文組織 1-10
第二章 POM 模式之理論介紹 2-1
2.1 模式特性 2-1
2.2 控制方程式 2-2
2.3 數值方法 2-11
2.4 乾溼格網 2-17
2.5 巢狀格網邊界 2-19
第三章 POM 模式執行環境建置 3-1
3.1 軟硬體設備建置 3-1
3.2 POM 模式操作說明 3-5
3.3 資料蒐集 3-6
第四章 臺灣海域海流模式建置與驗證 4-1
4.1 臺灣海域洋流特性 4-1
4.2 臺灣海域洋流模擬系統之建置 4-4
4.3 綜合洋流與潮流效應進行臺灣海域之海流模擬 4-13
4.4 近岸海域格網建置與驗證 4-44
第五章 臺灣各主要商港海域海流模擬 5-1
5.1 臺灣西南海域模擬驗證與特性分析(安平港、高雄港) 5-1
5.2 臺灣北部海域(基隆港、臺北港) 5-58
5.3 臺灣東部海域 (花蓮港、蘇澳港) 5-114
5.4 臺灣西部海域(臺中港) 5-171
第六章 結論與建議 6-1
6.1 結論 6-1
6.2 建議 6-2
參考文獻 參-1
附錄一 港灣技術研究中心 POM 模式操作手冊 ..... 附 1-1
一、前言 ..... 附 1-2
二、模式架構 ..... 附 1-2
三、程式說明 ..... 附 1-6
四、繪圖與分析程式 ..... 附 1-20
附錄二 期末簡報 ..... 附 2-1
附錄三 期中報告審查意見處理情形表 ..... 附 3-1
附錄四 期末報告審查意見處理情形表 ..... 附 4-1

圖目錄

圖 2-1 σ座標系統 (MELLOR，2003).....2-8
圖 2-2 內外模相嵌示意圖 (MELLOR，2003).....2-12
圖 2-3 二維外部模式網格配置圖 (MELLOR，2003).....2-12
圖 2-4 三維內部模式網格配置圖 (MELLOR，2003).....2-13
圖 2-5 模式計算流程圖.....2-16
圖 2-6 乾溼格網定義示意圖.....2-19
圖 2-7 巢狀格網邊界示意圖.....2-20
圖 3-1 POM 模式建置與資料處理流程.....3-2
圖 3-2 MPI 平行化 POM 模式之效率評估圖.....3-5
圖 3-3 基隆港海氣象觀測站儀器安裝佈置示意圖(曾等人，2011).....3-15
圖 3-4 蘇澳港海氣象測站儀器安裝佈置示意圖(曾等人，2011).....3-16
圖 3-5 花蓮港海氣象觀測站儀器安裝佈置示意圖(曾等人，2011).....3-16
圖 3-6 高雄港海氣象觀測站儀器安裝佈置示意圖(曾等人，2011).....3-17
圖 3-7 臺中港海氣象觀測站儀器安裝佈置示意圖(曾等人，2011).....3-17
圖 3-8 安平港海氣象觀測站儀器安裝佈置示意圖(蘇等人，2011).....3-18
圖 3-9 臺北港海氣象觀測站儀器安裝佈置示意圖(蘇等人，2011).....3-18
圖 4-1 全球主要洋流分佈圖 (資料來源：HTTP://EN.WIKIPEDIA.ORG).....4-2
圖 4-2 全球洋流模式計算領域地形水深圖.....4-6
圖 4-3 西北太平洋模式格網範圍與地形水深圖.....4-6
圖 4-4 臺灣海域模式格網範圍與地形水深圖.....4-7
圖 4-5 國科會海洋學門海流資料庫與臺灣海域模式結果之年平均流速流向比較圖.....4-9
圖 4-6 臺灣附近海域各季之水深 0 至 200 公尺平均流速分布圖.....4-12
圖 4-7 綜合潮汐與洋流效應模式之模擬流程示意圖.....4-13
圖 4-8 二維潮汐與三維洋流與潮流綜合效應模式之流速流向比較圖.....4-16
圖 4-9 二維潮汐與三維洋流與潮流綜合效應模式之流速流向比較圖.....4-23
圖 4-10 二維潮汐與三維洋流與潮流綜合效應模式之流速流向比較圖.....4-30
圖 4-11 二維潮汐與三維洋流與潮流綜合效應模式之流速流向比較圖.....4-37
圖 4-12 臺灣近岸海域巢狀格網與地形水深圖.....4-45
圖 4-13 巢狀格網之邊界條件校驗.....4-46
圖 4-14 安平港觀測與模擬結果東西、南北分量流速比較圖.....4-48
圖 4-15 花蓮港觀測與模擬結果東西、南北分量流速比較圖.....4-51
圖 4-16 蘇澳港觀測與模擬結果東西、南北分量流速比較圖.....4-54
圖 4-17 高雄港觀測與模擬結果東西、南北分量流速比較圖.....4-57
圖 4-18 基隆港觀測與模擬結果東西、南北分量流速比較圖.....4-60
圖 4-19 臺中港觀測與模擬結果東西、南北分量流速比較圖.....4-63

圖 4-20 臺北港觀測與模擬結果東西、南北分量流速比較圖 **4-66**
圖 4-21 各種模擬方式之模擬結果與實測值之統計參數比較圖(COR) **4-71**
圖 4-22 各種模擬方式之模擬結果與實測值之統計參數比較圖(MAE) **4-71**
圖 4-23 各種模擬方式之模擬結果與實測值之統計參數比較圖(RMS) **4-72**
圖 4-24 海洋中心錨定串列觀測儀器佈置圖 **4-73**
圖 4-25 海洋中心錨定串列佈放位置圖 **4-73**
圖 4-26 高屏峽谷錨定串列之觀測海流與模擬結果比較圖 **4-74**
圖 4-27 高屏峽谷處不同深度之東西、南北分量流速比較圖 **4-74**
圖 5-1 安平港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖 **5-3**
圖 5-2 安平港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖 **5-15**
圖 5-3 安平港潮流橢圓圖 **5-27**
圖 5-4 高雄港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖 **5-28**
圖 5-5 高雄港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖 **5-40**
圖 5-6 高雄港潮流橢圓圖 **5-52**
圖 5-7 高雄港海域海流分佈圖 **5-53**
圖 5-8 基隆港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖 **5-59**
圖 5-9 基隆港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖 **5-71**
圖 5-10 基隆港海域潮流橢圓圖 **5-83**
圖 5-11 臺北港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖 **5-84**
圖 5-12 臺北港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖 **5-96**
圖 5-13 臺北港潮流橢圓圖 **5-107**
圖 5-14 基隆港與臺北港表面海流分布圖 **5-108**
圖 5-15 花蓮港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖 **5-115**
圖 5-16 花蓮港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖 **5-127**
圖 5-17 花蓮港海域潮流橢圓圖 **5-139**
圖 5-18 蘇澳港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖 **5-140**
圖 5-19 蘇澳港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖 **5-152**
圖 5-20 蘇澳港海域潮流橢圓圖 **5-164**
圖 5-21 臺灣東部海域海流分布圖 **5-165**

圖 5-22 臺中港之觀測與 T-W 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖 **.....5-172**
圖 5-23 臺中港之觀測與 T-W 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖 **.....5-184**
圖 5-24 臺中港海域潮流橢圓圖 **.....5-196**
圖 5-25 臺中港海域海流分布圖 **.....5-197**

表目錄

表 1-1　計畫規定進度甘特圖.....1-11
表 3-1　NCEP/NCAR 分析風場資料格式.....3-6
表 3-2　CFSR 風場資料格式.....3-7
表 3-3　NCEP/NCAR 海平面大氣壓力資料格式.....3-7
表 3-4　CFSR 海面大氣壓力資料格式.....3-8
表 3-5　NOAA OI SST V2 海面溫度資料格式.....3-9
表 3-6　NOAA ERSST V3 海面溫度資料格式.....3-9
表 3-7　CFSR 海面溫度資料格式.....3-9
表 3-8　NODC WOA05 海洋資料庫格式.....3-11
表 3-9　國科會海洋學門海洋資料庫之海洋水文資料.....3-11
表 3-10 國科會海洋學門海洋資料庫之海洋海流資料.....3-11
表 3-11　ETOPO2 地形水深資料庫格式.....3-12
表 3-12　ETOPO1 地形水深資料庫格式.....3-12
表 3-13 國科會海洋學門水深資料庫格式.....3-12
表 3-14 五大商港海流觀測資料(灰色為該月份有成功觀測資料).....3-14
表 3-15 五大商港潮位觀測資料(灰色為該月份有成功觀測資料).....3-14
表 3-16 五大商港風速、向觀測資料(灰色為該月份有成功觀測資料).....3-15
表 4-1 巢狀格網之範圍與計算條件.....4-8
表 4-2 模式計算背景資料與計算時間.....4-8
表 4-3 模式重要參數表.....4-9
表 4-4 近岸海域格網(T-NS)之範圍與計算條件.....4-44
表 5-1 安平港潮汐水位調和分析參數表.....5-27
表 5-2 高雄港潮汐水位調和分析參數表.....5-52
表 5-3 基隆港海域調和分析常數表.....5-83
表 5-4 花蓮港海域調和分析常數表.....5-139
表 5-5 蘇澳港海域調和分析常數表.....5-164
表 5-6 臺中港海域調和分析常數表.....5-196

符號表

A_H ：溫鹽水平渦漩擴散係數

A_M ：動量水平渦漩擴散係數

B_1 ：紊流閉合常數

C ：Horcon 參數

C_T ：最大內部重力波速

C_t ：最大水平速度

C_z ：摩擦參數

D ：總水深

F_θ ：水平方向由溫度擴散產生之側向混合力

F_S ：水平方向由鹽度擴散產生之側向混合力

F_u ：x 方向之雷諾應力

F_v ：y 方向之雷諾應力

G ：任何物理變數

H ：水深

K_M ：動量的垂直渦漩混合擴散係數

K_H ：熱量的垂直渦漩混合擴散係數

K_q ：鹽度的垂直渦漩混合擴散係數

S ：鹽度

S_H ：穩定函數

S_M ：穩定函數

S_q ：穩定函數

T_s ：平滑化的解

$\widetilde{W}$ ：接近壁面函數

c ：內部重力波速

f ：科氏力係數

g ：重力加速度

l ：紊流的尺度參數

p ：壓力

q^2 ：紊流的動能

t ：時間

Δt_E ：外部模式計算時距

Δt_I ：內部模式計算時距

u_τ ：頂部與底部的摩擦速度

U ：x 方向分量流速

$\overline{U}$ ：x 方向水深平均流速

V ：y 方向分量流速

$\overline{V}$ ：y 方向水深平均流速

W ：流速在 z 方向之分量

x ：空間中的水平方向

y ：空間中的水平方向

z ：空間中的垂直方向

z_0 ：粗糙係數

η ：水面高程

θ ：勢溫(在淺水時為現場溫度)

κ ：von Karman 常數

ρ ：海水混合密度

ρ' ：海水密度擾動量

ρ_0 ：平均海水密度

σ ：σ 座標系統

ω ：σ 座標系統之垂直流速分量

Δ ：數值格網間距

第一章 緒論

1.1 研究動機

本計畫為四年期總研究計畫:「臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估」之第三分年研究，針對臺灣鄰近海域特殊的海峽與陸架坡地形，透過美國普林斯頓大學海洋模式(Princeton Ocean Model，POM)，利用其三維模式的特性模擬海洋變動，分析其海流特性。主要工作項目為延續前兩年計畫成果，在已經建置之模式基礎與操作經驗上，針對基隆、台北、台中、高雄、花蓮、安平與蘇澳等國際商港海域，建構可以描述各商港海域海流變動特性之三維流場，分析洋流與潮流成分變動特性與綜合效應，並利用實測數據進行模式驗證，改善模式合理性與模擬精度，完成本計畫「臺灣各國際商港海域綜合洋流與潮流效應之海流數值模擬」之研究，計畫完成後進行技術與資料移轉，以期模式轉移至交通部運輸研究所後能順利使用，提供合理的模擬海流工具做為相關單位擬定政策之參考。

1.2 計畫背景

海洋是陸地河川的總滙聚所，具有豐富的生態，為生養哺育地球萬物的重要生產區。海流則是海洋的動脈，河川污染質、近岸輸沙、海洋懸浮質、葉綠素、與營養鹽等主要藉由其輸運配送。因此，海流的研究，實為促進海洋資源「永續經營及利用」的最根本與關鍵課題，亦為厚植近岸防災預警與風險管理機制之關鍵技術。此外，基於海洋與氣候的大尺度特性，其彼此間複雜的交互作用與影響，因此海流的研究，長久以來一直是跨國界、跨學門領域的艱鉅工作，其不僅牽涉層面廣泛，更需要大量水下、海上、太空等人力與物力資源的整合。先進的海洋國家無不積極參與投入其中，臺灣及日本即曾有黑潮觀測計畫，韓國亦曾有東北亞海洋觀測系統等。隨著計算機的進步，數值

海洋模式更是蓬勃發展，如 COHERENS (COupled Hydrodynamical Eological model for REgioNal Shelf seas)、POM (Princeton Ocean Model)、ROMS (Regional Ocean Modeling System)、HYCOM(HYbrid Coordinate Ocean Model)等模式都是使用者眾多的分享模式。

在海潮流模式之研究方面，可分為潮汐與洋流的模擬，隨著模擬區域水理特性的需求，數值模式一般分為二維和三維模式。而常見的二維模式有水平二維模式和垂直二維模式兩種。而水平二維模式多應用於水平運動尺度遠大於垂直尺度的波動特性上，如潮汐的流動，如 Leendertse (1967)、Stelling (1986)等人、黃(2001)。其控制方程式為水深平均的淺水波方程式(depth-averaged shallow water wave equation)，這些模式應用於潮汐及波浪傳波模擬，以有限差分法求解連續方程式和動量方程式。而垂直二維模式，如 Bouden 和 Hamilton (1975)、Park 和 Kuo (1993)等，其中 Park 和 Kuo 所發展的模式稱為 MODEL-2D，以定蓋(rigid lid)假設配合 Munk-Anderson 紊流模式，將其應用範圍擴展至河川水質模擬。

利用水平二維模式針對臺灣海域潮波特性研究，如莊(2000)蒐集整理臺灣環島及中國大陸沿岸潮汐實測與調和分析資料，就實測潮汐特性與地形、水深之關聯性做詳細之剖析。依據臺灣海峽明顯之陸架地形進行潮波協振盪之理論解析，並使用水深積分後的二維水動力計算模式 (Danish Hydraulic Institute，DHI)之計算結果探討潮波與潮流之動力及運動特性，說明臺灣海峽水域潮差特別顯著之原因，應係半日潮波在狹長海峽渠道之特殊長度陸架地形上呈現潮波協振盪共振所導致，且臺灣海峽潮波之總體運動方向應依據全日潮潮波之傳遞方向而判定，全日潮潮波在臺灣海峽水域內之運行方向為由北往南單一方向傳遞。

而臺灣海峽內平均水深為 80 公尺，其可視為一形狀頗為規則之矩形陸架(shelf)(莊，2000)，其總長度約為 650 公里，根據廖等人(2011)綜合洋流與潮流模擬之結果，臺灣海峽內之主要流動現象仍以潮流為主導，潮流主要以半日和全日潮流為主，兩者之潮流主軸方向都約平

行於海峽縱走向，澎湖以北為正規的半日潮區，澎湖以南為不正規半日潮區，而海峽南端開口則為不正規日潮區。針對臺灣環島沿岸海域之實測潮位資料分析(劉，1996；1999)，平均潮差於基隆為 79.5 公分、淡水 247.1 公分、桃園竹圍 278.2 公分、新竹南寮 371.4 公分、臺中港 400.8 公分、澎湖馬公 223.2 公分、嘉義東石 169.8 公分、高雄港 68.5 公分、台東成功 125.3 公分，故在臺灣環島海域，潮差以中西部海域潮差最大，臺灣南部海域為最小、北部次之，且南北海域潮差約具對稱性。而就潮時相位分布而言(莊與江，2000a；2000b)，臺灣東部海域第一次滿潮之潮時為最早，臺灣南端之南灣與北端之福隆相當，高雄與鼻頭角近似，將軍與石門、淡水潮時相同，中部海域之澎湖、台西及臺中港相當。而由潮時特性上之分析(莊與江，2003)，鼻頭角與基隆直線距離不及 20 公里，但潮時差異竟達 3 小時，淡水至台中海岸線距離在 200 公里以上，而潮時差異竟不到 30 分鐘。此外，臺灣西南部沿岸，恆春南灣至台南將軍之海岸線距離約與將軍至臺中港距離相當，但前者潮時差異亦高達 3 小時又 30 分鐘，而後者僅約有 1 小時左右。可見臺灣西南與東北部海域，由於大陸棚架地形之影響，具由潮汐潮差特別小，但潮時變化卻甚為劇烈之特性。而王玉懷(1998；1999)依據實測潮汐資料之調和分析結果與凱文波理論，說明臺灣海峽潮波運動方向，其實是由北向南傳遞進行，且由潮流實測資料分析，布袋至馬公間半日潮平均流速為 117 公分每秒，全日潮平均流速為 32 公分每秒，澎湖至金門間，半日潮平均流速為 46.7 公分每秒，全日潮平均流速為 7.9 公分每秒。

在三維模式應用上，由於計算費時加上邊界條件取得不易，Nihoul (1977)提出擬似三維模式(qusi-three dimensional model)計算的概念。所謂擬似三維模式，即是三維模式經處理後可分為局部一維模式和水深平均二維模式，期以相當於二維計算容量及計算時間的模式，來提供多變水流特性的擬似三維空間分布的相關資訊。Nihoul 已將這種模式應用到北海(North Sea)及亞得里亞海(Adriatic sea)，在水理特性分析方面均得到不錯的結果。同樣的計算方法在 1988 年 Lardner 和 Cekirge

也提到，並命名為 VHS (Vertical Horizontal Splitting)計算方法。吳(1997)以 Lardner 和 Cekirge (1988)的 VHS 模式概念，透過求解簡化的水平動量控制方程式，來獲得水平速度隨水深的變化量，而提出擬似三維水動力計算模式。林(1999)則進一步研究擴充擬似三維水動力計算模式的邊界處理能力，使能推算河、海共同作用下的河川水理問題。

本計畫所使用的美國普林斯頓大學海洋模式(Princeton Ocean Model，POM)的發展，早期是由於 Blumberg 和 Mellor (1983)在大西洋南方海灣作的一連串預測的數值模擬，該數值模式發展一個時變三維動量方程式並使用σ座標的模式，包含一個由 Mellor 和 Yamada (1982)研發的紊流閉合模式(turbulence closure model)。接著 Oey 等人(1985a；1985b；1985c)利用該模式模擬 1980 年七月到九月這段期間的 Hudson-Raritan 河口，模擬結果展現時間獨立、三維的速度和鹽度場結構，其結果描述複雜的海域循環和河口的混合過程。直到 1987 年 Blumberg 和 Mellor 再整理及撰寫過去幾年來發展的三維數值循環模式，稱為 Princeton Ocean Model，簡稱 POM 模式。Ezer 和 Mellor (1991)使用 POM 原始動量方程式，跟隨底部平滑的垂直座標系統和一個跟隨近岸的水平正交座標系統，進行大範圍水力特性計算，延伸範圍包括墨西哥灣流，並可同時模擬如溫度、鹽度等水理特性。而 Oey (2005；2006)則增加一乾溼格網技巧，延展 POM 模式於沿海地區對於海水漲退或溯升降之模擬。

數值模式的目的在於可提供詳細的模擬資料，以了解模擬區域的海流特性，如 Zavatarelli 和 Mellor (1995)則模擬實際的地中海流況，並與各種觀測結果比較。Aikman 等人(1995)將 POM 模式和其他發展中的近岸海洋預測系統(Coastal Ocean Forecast System，簡稱 COFS)作比較。近年來，大部分應用在近岸和小範圍地區的模式也開始使用在大範圍的海洋、海岸地區，例如 Ezer 和 Mellor (1997；2000)、Ezer (1999)第一次將σ座標模式應用在整個大西洋海域水理特性的數值模擬，藉由模式計算獲得基本的海洋循環特性。且模擬結果與觀測值和其他模式(例如 z-level 模式) Mellor 等人(2002)做比較，結果顯示兩種模式有不同

的模擬結果。最主要的不同在於 z-level 模式在有坡度的底層無法只做一層的模擬，而在多層的模擬則會產生一個像階梯地形的結構，以致無法精確地表示底部邊界層流之流況。葉(2002)利用 POM 模式為建立適合模擬臺灣海域之潮汐模式，找尋該模式最佳化參數，以完成一套臺灣海域作業化潮汐預報模式。另外，盧與吳(2005)曾利用 POM 針對臺灣周邊海域水文及洋流特性做過一系列的研究。由此可知，POM 模式不但可計算小尺度河川、渠道等之水理運動例如溫度、鹽度等的改變，亦可模擬大尺度海洋、海岸等天文潮及氣象潮所引起的水位與流場變化。

對於臺灣附近海流的研究，Hsin 等人(2008)利用 POM 模式建置 $1/8^0$ 解析度之東亞邊緣海模式，利用模式結果討論 1982 至 2005 年間的黑潮變化。其結果發現黑潮流經臺灣東岸時，在近岸區域可延伸至 300 公尺水深，在離岸區域可達 600 公尺深度，在某些區域甚至可達 1000 公尺深度，而黑潮於臺灣東岸之平均流量約為 32.7 ± 4.4Sv。而 Wu 等人(2007)利用高解析度 POM 模式、風場與海面溫度資料模擬臺灣海峽之海流變化，其結果發現夏季黑潮支流直接越過彰雲隆起，冬季由於東北季風的影響中國沿岸流阻擋海峽中向北流的流動，於彰雲隆起北側形成一逆時針渦流。

臺灣位於東亞大陸棚架緣上，強勁的黑潮全年皆由南而北流經東部近岸海域，在冬季季風期更有中國沿岸流由北而南沿流經臺灣海峽。除此之外，基於臺灣海峽的水深地形所引致的半日型潮波共振效應，在臺灣海峽的南北兩端開口，常年有潮波的無潮點存在。因此，導致潮流的流速普遍甚強勁，洋流與強勁潮流的交互影響結果，甚至導致部分近岸海域的海流特性產生異常的特殊變化，如在高雄港外海即可測得漲潮流向向南而退潮流向向北的特殊海流特性。如此可見，為補充既有地球環境科技監測體系的完整，針對臺灣鄰近海域特殊的海峽與陸架坡地形與地理環境，達成政府對於海洋國家的政策目標，有必要針對大尺度潮流與洋流進行綜合研究，探討洋流對潮流等近岸水動力特性之相關影響。

本計畫為四年期研究主計畫：「臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估」之第三分年研究計畫，希望透過本計畫研究成果對於臺灣海域各種尺度的海流變化特性能全面掌握，其不僅具有本土化概念，對於海洋資源的開發與永續發展息息相關，更與海洋國家長期性、全面性、總體性的海岸保育策略關聯密切。可預期地，此研究成果可成為臺灣從事深層海水水資源開發利用、海洋資源保育、海岸保護、與近岸災害防救等新興課題之基礎，亦是達成海洋國家永續發展目標之科研重點。而本計畫研究成果之推展與深化，並透過更多海洋研究成果的結合，不僅可以利用於本土性自然工法及先期水海環境資源保育技術之研發，重要的亦可有效提昇近岸海域海水資源管理與防救災科研成果之應用範疇，豐富數位臺灣之海洋 e 化內涵。

在第一分年「POM 海洋數值模式應用於臺灣鄰近海域之洋流模擬」(廖等人，2010)計畫中，針對臺灣鄰近海域特殊的海峽與陸架坡地形，透過美國普林斯頓大學海洋模式(Princeton Ocean Model，POM)，利用其三維模式的特性完成臺灣鄰近海域的洋流模擬，並建立模式作業化雛型，其研究成果可重現西北太平洋中洋流流動，並可模擬出臺灣海域存在的親潮、南海吹送流、黑潮等洋流現象，為後續計畫提供有效研究工具。

在第二分年「臺灣東部海域洋流模擬及深層海水水溫水質月季變動特性探討」(廖等人，2011)計畫中，改善模式合理性與模擬精度，並簡化前置與後置處理軟體與流程，利用模擬結果分析臺灣東部海域洋流與深層海水年季月特性，並利用國科會海洋學門之海流與水文資料庫進行模式驗證與改善，於臺灣海域年月季之海流與水文資料驗證皆具有定性定量之合理性。並利用表面海流浮標追蹤、深海錨碇海流實測及岸基測流雷達等資料與模式結果加以比對皆可獲得合理的成果，顯示臺灣海域洋流模式之合理性與可靠性。對於近岸海域之潮流與洋流綜合效應之初步探討，利用高雄海域近岸單點實測資料與模擬結果之比較，其結果與高雄海域單點測站之水位、流速、流向具有合理之一致性，顯示欲模擬臺灣西南近岸海域之海潮流現象，高解析度格網

與合理的洋流、潮流邊界條件為合理與必要之條件，但洋流與潮流混合模擬僅對臺灣西南海域進行驗證，其餘臺灣附近海域是否具有相同特性仍須進行探討與驗證。

本計畫在已經建置之洋流與潮流 POM 模式基礎上，利用第一分年「POM 海洋數值模式應用於臺灣鄰近海域之洋流模擬」與第二分年「臺灣東部海域洋流模擬及深層海水水溫水質月季變動特性探討」計畫成果，持續簡化前置與後置處理軟體與流程，針對臺灣近岸海域建立高解析度數值格網，利用平行計算與正交曲線格網等技巧增加計算效率與可擴充性，使用臺灣各重要港口外之實測海流與水位資料進行模式驗證，改善模式合理性與模擬精度，透過模擬結果分析洋流與潮流成分變動特性與綜合效應，並解析各重要港口海域海流特性，完成本計畫目標。

1.3 工作項目與預期成果

主計畫「臺灣鄰近海域洋流之模擬及其對近岸海流之影響評估」為政府科技計畫地球環境科技群組 4 年(98 至 101 年度)固定期程之任務導向型一般研究計畫，其分年度計畫內容分別為：98 年度、POM 海洋數值模式應用於臺灣鄰近海域之洋流模擬；99 年度、臺灣東部海域洋流模擬及深層海水水溫水質月季變動特性探討；100 年度、臺灣各國際商港海域綜合洋流與潮流效應之海流數值模擬；101 年度、臺灣近岸海域海流對海岸長期沖淤之影響。而本 100 年度之工作項目與預期成果詳述如下：

1.3.1 工作項目

本計畫預定以一個年度完成，本年度的計畫重點將模擬臺灣各國際商港海域之洋流與潮流綜合流場，並透過實測資料進行改善模式合理性，其計畫進度如表 1-1 計畫進度甘特圖中所示。而工作項目如下所述：

1. 改善 Linux 作業系統下 POM 海洋數值模式之作業流程與環境。
2. 引進國內外最新與高解析度之海氣象資料庫應用於臺灣海域綜合洋流與潮流效應之海流模擬。
3. 臺灣海域綜合洋流與潮流效應之海流模擬、模式參數調校、驗證及水動力特性探討。
4. 臺灣重要商港海域，包括基隆、台北、台中、安平、高雄、花蓮及蘇澳等海域，綜合洋流與潮流效應之計算模擬與特性探討。
5. 臺灣重要商港海域，綜合洋流與潮流效應之海流模擬成果之整理、分析、驗證及展示。
6. 綜合洋流與潮流效應之海流模擬作業化系統之建立。
7. 針對本計畫研究成果，撰寫並提交前述(1)至(6)項之實際研究應用報告，報告內容並應包含 POM 模式洋流數值模擬計算之建置、操作、及應用等中文化手冊。
8. 本合作研究所建置之數值模擬系統移轉本所使用，包含系統作業化程式、自由軟體、商業軟體(如有購置)、相關電子檔案文獻、圖表及海氣象資料庫等。

1.3.2 重要研究成果、預期效益及未來應用

依據本計畫之工作項目，其重要研究成果、預期效益及未來之應用如下所述：

重要研究成果：

1. 針對臺灣鄰近海域，完成高效率平行化模式的發展，建立近岸綜合洋流與潮流效應之大尺度海流模擬作業化流程。
2. 檢核與驗證臺灣海域綜合洋流與潮流效應之海流模擬成果，建置近岸高解析度海潮流模式，進一步提昇模式於近岸海域之合理性與準確性。
3. 以國內重要商港(基隆、台北、台中、安平、高雄、花蓮、蘇澳)海域之實測海流資料驗證與評估模式所模擬海潮流之準確性，透過合理之模擬有效掌握臺灣鄰近海域綜合洋流與潮流效應之海流

水動力特性。

4. 進行國內重要商港海域之海流特性探討與評估。

預期效益：

1. 科技基礎研究：開發培育海洋科技人力，促進海洋科研人才供需；發表國內外研討會學術論文，並出版研究報告。

2. 科技整合創新：深耕本土化特色領域，追求學術卓越；推動產學合作，發展產業群聚；從海岸到海洋，整合地科、大氣、及海洋之科研成果，強化海洋科技－藍色科技之科研能力。

3. 科技政策管理：強化海洋政策規劃，完善海洋能源與資源永續開發利用之制度法規；健全海洋及海岸科技政策管理配套措施，強化研究環境之建構、充實既有政策法規制度及系統，落實海洋國家之海洋政策。

4. 環境安全永續：建置保育、開發及利用本土化海洋環境、資原、及能源的影響評估依據。充實海洋科研資料庫，深耕海洋文化，厚植海洋科技發展相關產業之環境安全永續基礎。

5. 產業經濟發展：促成新興產業，增進民生福祉；配合深層海水產業的發展與開發，掌握深海洋流的水動力特性及其水溫與水質的月季變化；建立近岸防災預警與風險管理機制之關鍵技術，精進災害風險評估系統，以降低生態環境衝擊，並因應全球環境之變遷，補充既有監測體系的完整，強化救災及預警科技之評估效能及應用，提升災害應變與預警能力，達成國家海洋資源永續利用之目標。

6. 民生社會發展：充實海洋科技，強化科技的民生及國防應用，促進社會與海洋環境科技的互動；研發新災害課題之防治方法與技術。

未來應用：

1. 本研究採合作研究方式在國內自行模擬計算臺灣鄰近海域之海流流場，研究結果可提供本所、各港務局及經濟部水利署等相關政府單位從事港灣開發、規劃、設計、擴建及維護的應用參考。

2. 本研究綜合臺灣鄰近海域之潮流與洋流模擬計算流場，其可作為海流動力模式之基礎，透過更多波浪、地形變遷模式的結合，其成果可提供本所、各港務局及經濟部水利署等相關政府單位從事臺灣環島海岸長期性沖淤趨勢評估的完整資訊，同時更可作為本所、各港務局及經濟部水利署等相關政府單位採用柔性自然工法從事海岸永續經理及釐訂海岸自然保育策略的應用參考。

3. 強化總體性海岸保育策略(如：恆常海流之流速與流向、海岸長期沖淤潛勢等)及海洋資源(如：深層海水、湧昇流、漁場等)及海洋能源(如：海流能、潮流能、温差發電等)永續開發利用之基礎關鍵資訊。

4. 針對臺灣近海確立洋流與潮流對近岸海流之影響性，掌握各種尺度變化之海流特性，並評估長期性變化之海流特性，以釐清臺灣西海岸海岸變動因素與特性。

5. 本研究在臺灣鄰近海域所構建的海流流場，可提供教育部及國科會，補充本土性詳實的海洋水文資訊，豐富地球科學教育之內涵。

1.4 本文組織

本文共分六個章節，第一章為緒論，闡述本計畫研究動機、計畫背景、工作項目、重要成果、預期效益及未來應用；第二章為 POM 模式理論介紹，說明控制方程式、數值方法與邊界處理方式；第三章為 POM 模式執行環境建置，說明模式所需之軟硬體環境、海氣象資料庫格式；第四章為臺灣海域海流模式測試與驗證，說明臺灣海域洋流模擬結果、洋流與潮流綜合效應模式建置與結果驗證、臺灣近岸海域格網建置與結果驗證；第五章為臺灣主要商港海域模擬，分別說明臺灣西南部(安平與高雄港)、臺灣北部(基隆與臺北港)、臺灣東部(蘇澳與花蓮港)及臺灣中部(臺中港)之海域模擬結果與分析探討；第六章為結論與建議，節錄本計畫重要結論與後續計畫執行之建議。而附錄一為港灣技術研究中心 POM 模式操作手冊，詳盡說明本計畫所使用之程式步驟；附錄二為期末簡報資料；附錄三與四分別為期中與期末報告審查意見處理情形表。

表 1-1 計畫規定進度甘特圖

工作項目	第1月	第2月	第3月	第4月	第5月	第6月	第7月	第8月	第9月				備　註
相關資料收集與分析	━	━											
改善 POM 模式洋流模擬系統	━	━	━										
各商港海域模擬範圍與格網之調整		━	━										
模式邊界條件之調整		━	━										
以實測資料進行模式驗證		━	━	━	※	━							
期中簡報					━								
整理分析各商港海域海流特性			━	━	━	━	━						
報告與模式操作手冊之撰寫							━	※					
技術轉移							━	━					
期末簡報								━					
繳交正式報告及辦理結案								━					
工作進度估計百分比(累積數)	10	20	30	40	50	70	80	100					
預定查核點	第 1 季：資料收集與改善 POM 海洋數值模式模擬系統												
	第 2 季：驗證模式與參數校驗												
	第 3 季：整理分析各商港海域海流特性、手冊與報告撰寫												

說明:(1)期中報告初稿於 6 月 28 日繳交、期末報告初稿於 10 月 28 日繳交。(2)「工作進度百分比」欄係為工作天數所訂定。(3)每季之「預定查核點」，請在條形圖上標明※號，並在「預定查核點」欄具體註明關鍵性工作要項。

第二章 POM 模式之理論介紹

2.1 模式特性

計算海洋水動力所使用的數值模式，若將物理量以水深平均方式進行模擬時則可將模式簡化為二維，如此可以節省計算時間與增加模式執行效率。但在水深方向的物理量變化很大時，水深平均模式將無法描述垂直方向上的變化，故此時必須使用三維模式來模擬。本計畫使用的美國普林斯頓大學海洋模式是由 Blumberg 和 Mellor (1987)所整理及撰寫，POM 模式屬於三維的數值模式，含有紊流閉合模式(turbulence closure model)來處理垂直方向的混合作用，能描述三維的海洋變化物理現象。另外在數值技巧方面，水平網格也可根據地形的需要使用正交曲線網格，其可提高解析度並增加計算效率。POM 模式分為外模式(external mode)和內模式(internal mode)兩組不同的模式功能，前者計算水深平均二維流場，而後者計算三維變化的流場。模式演算上先計算外模式的水深平均流場，由於水平方向流速變化較快，故所需計算時距較短，再計算內模式之垂直方向各層的流速流場，其垂直方向流速變化較慢，可以使用較長之計算時距，如此計算技巧的交替運用則可以大量節省電腦運算時間。

POM 模式垂直方向的座標採用 Philip (1957)創立之σ座標系統，此座標系統可以簡化三維模式處理底部邊界條件的複雜性。模式中也包含熱動力學理論，可輸入或計算熱含量和熱通量，也可輸入邊界水位、邊界流速或大尺度的風應力來驅動模式中的流場。另者，模式在河口區也可以加入河流排放量來研究河口的物理動力機制，由於海水與淡水在此交會，兩者密度不同，故存在鹽、淡水混合和鹽水入侵的問題，透過鹽度狀態方程式，亦可以描述河口附近海域鹽度的變化。以下則簡介該模式之控制方程式、邊界條件與數值方法。

2.2 控制方程式

2.2.1 三維連續方程式與動量方程式

POM 模式的基本控制方程式為質量守恆和動量守恆方程式，為了簡化 POM 的方程式，模式採用了兩個假設，第一個假設為流體為不可壓縮，則在卡式座標下的連續方程式表示如下：

$$\frac{\partial U}{\partial x}+\frac{\partial V}{\partial y}+\frac{\partial W}{\partial z}=0 \quad \text{.....(2-1)}$$

式中U、V分別為x、y水平方向的流速，W為z垂直方向的流速，而定義垂直向上為正。第二個假設則是使用近似的方法簡化流體的動力方程式，引用包氏近似(Boussinesq approximation)，因此流體的水平方向動量方程式可寫為：

$$\frac{\partial U}{\partial t}+U\frac{\partial U}{\partial x}+V\frac{\partial U}{\partial y}+W\frac{\partial U}{\partial z}-fV=-\frac{1}{\rho_o}\frac{\partial p}{\partial x}+\frac{\partial}{\partial z}\left(K_M\frac{\partial U}{\partial z}\right)+F_u \quad \text{.....(2-2)}$$

$$\frac{\partial V}{\partial t}+U\frac{\partial V}{\partial x}+V\frac{\partial V}{\partial y}+W\frac{\partial V}{\partial z}+fU=-\frac{1}{\rho_o}\frac{\partial p}{\partial y}+\frac{\partial}{\partial z}\left(K_M\frac{\partial V}{\partial z}\right)+F_v \quad \text{.....(2-3)}$$

而垂直方向的動量方程式，由於垂直方向流速(W)的大小比起水平方向的流速(U,V)尺度小了許多，故把垂直方向的動量方程式化簡為靜水壓方程式來代替，則變成下面的形式：

$$\rho g=-\frac{\partial p}{\partial z} \quad \text{.....(2-4)}$$

式(2-4)為靜水壓方程式，$\rho=\rho_o+\rho'$為海水混合密度，ρ_o為平均海水密度，ρ'為密度擾動量，K_M為動量垂直渦漩混合擴散係數(vertical eddy viscosity diffusity of turbulent momentum mixing)，g為重力加速度，f為科氏力參數，F_u為x方向之雷諾應力，F_v為y方向之雷諾應力。

垂直方向的壓力可以藉由對動量方程式，式(2-4)的垂直分量作積

分，可得

$$p(x,y,z,t) = p_{atm} + g\rho_o\eta + g\int_z^0 \rho(x,y,z',t)dz' \quad \text{.....(2-5)}$$

其中 p_{atm} 為水面大氣壓力，η 為自由水面高程。而溫度、鹽度的守恆方程式分別為：

$$\frac{\partial\theta}{\partial t} + U\frac{\partial\theta}{\partial x} + V\frac{\partial\theta}{\partial y} + W\frac{\partial\theta}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z}\left(K_H\frac{\partial\theta}{\partial z}\right) + F_\theta \quad \text{.....(2-6)}$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + U\frac{\partial S}{\partial x} + V\frac{\partial S}{\partial y} + W\frac{\partial S}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z}\left(K_H\frac{\partial S}{\partial z}\right) + F_S \quad \text{.....(2-7)}$$

其中 θ 表示溫度，S 為鹽度，K_H 為熱能和鹽度的垂直渦漩混合擴散係數 (vertical eddy viscosity diffusity of turbulent of heat and salt)，F_θ 為水平方向由溫度擴散產生之側向混合力，F_S 為水平方向由鹽度擴散產生之側向混合力。

至於海水混合密度，因其為溫度和鹽度之函數，故可表示為：

$$\rho = \rho(\theta, S) \quad \text{.....(2-8)}$$

在控制方程式中的 F_u 、F_v 、F_θ 、F_S ，其分別可表示如下：

$$F_u = \frac{\partial}{\partial x}\left(2A_M\frac{\partial U}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left\{A_M\left[\left(\frac{\partial U}{\partial y}\right) + \left(\frac{\partial V}{\partial x}\right)\right]\right\} \quad \text{.....(2-9)}$$

$$F_v = \frac{\partial}{\partial x}\left\{A_M\left[\left(\frac{\partial U}{\partial y}\right) + \left(\frac{\partial V}{\partial x}\right)\right]\right\} + \frac{\partial}{\partial y}\left(2A_M\frac{\partial V}{\partial y}\right) \quad \text{.....(2-10)}$$

$$F_\phi = \frac{\partial}{\partial x}\left(A_H\frac{\partial\phi}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(A_H\frac{\partial\phi}{\partial y}\right) \quad \text{.....(2-11)}$$

式(2-11)中的 ϕ 分別表示 θ 和 S 來表示。

A_M 為動量及熱量之水平渦漩擴散係數，可利用 Smagorinsky 公式

(Smagorinsky 等人，1965)求得，其表示式為

$$A_M = C\Delta x\Delta y\left[\left(\frac{\partial U}{\partial x}\right)^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{\partial V}{\partial x}+\frac{\partial U}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial y}\right)^2\right]^{1/2} \quad \text{.....(2-12)}$$

其中C為無因次參數，合理範圍在 0.1 至 0.2 之間，故模式中僅需輸入一參數 Horcon 代表 C 值，而Δx、Δy表示x和y方向的格網間距。至於溫鹽度之水平渦漩擴散係數A_H，POM 模式係利用 Schmidt 數以之與A_M相關聯，即$A_H / A_M \equiv TPRNI$，該值通常設定為一個很小的數，例如 0.2 或甚至在某些例子為零(Oey 等人，1985a；1985b)。

2.2.2 紊流閉合模式

在式(2-2)、(2-3)、(2-6)及(2-7)中的渦漩混合擴散係數K_M、K_H，其利用 Mellor 和 Yamada (1982)所發展的二階紊流模式來計算。將動量垂直渦黏擴散係數K_M以及熱能和鹽度垂直渦黏擴散係數K_H，以紊流的動能$q^2/2$及紊流的尺度參數l分別表示如下：

$$\frac{\partial q^2}{\partial t}+\frac{\partial q^2U}{\partial x}+\frac{\partial q^2V}{\partial y}+\frac{\partial q^2W}{\partial z}=\frac{\partial}{\partial z}\left(K_q\frac{\partial q^2}{\partial z}\right)+2K_M\left[\left(\frac{\partial U}{\partial z}\right)^2+\left(\frac{\partial V}{\partial z}\right)^2\right] + \frac{2g}{\rho_o}K_H\frac{\partial \rho}{\partial z}-\frac{2q^3}{B_1 l}+F_q \quad \text{.(2-13)}$$

$$\frac{\partial q^2 l}{\partial t}+\frac{\partial Uq^2 l}{\partial x}+\frac{\partial Vq^2 l}{\partial y}+\frac{\partial Wq^2 l}{\partial z}=\frac{\partial}{\partial z}\left[K_q\frac{\partial\left(q^2 l\right)}{\partial z}\right] + E_1 l\left\{K_M\left[\left(\frac{\partial U}{\partial z}\right)^2+\left(\frac{\partial V}{\partial z}\right)^2\right] + E_3\frac{g}{\rho_o}K_H\frac{\partial \rho}{\partial z}\right\}-\frac{q^3}{B_1}\tilde{W}+F_l \quad \text{.....(2-14)}$$

式中F_q、F_l為q^2與$q^2 l$之水平渦漩擴散項如(2-11)式表示之。而$\tilde{W}$為接近壁面函數(wall proximity function)，定義為：

$$\widetilde{W} = 1 + E_2\left(\frac{l}{\kappa L}\right) \quad \text{(2-15)}$$

其中 L 表示為：

$$(L)^{-1} = (\eta - z)^{-1} + (H - z)^{-1} \quad \text{(2-16)}$$

此處 H 為任意水深，E_1、E_3 為經驗係數，$\kappa = 0.4$ 為 von Karman 常數。

動量以及熱能和鹽度之垂直渦漩擴散係數分別表示如下：

$$K_M = qlS_M \quad \text{(2-17)}$$

$$K_H = qlS_H \quad \text{(2-18)}$$

$$K_q = qlS_q \quad \text{(2-19)}$$

其中 S_M、S_H、S_q 定義為穩定函數，而以下式表示：

$$S_H\left[1 - (3A_2B_2 + 18A_1A_2)G_H\right] = A_2\left[1 - 6A_1/B_1\right] \quad \text{(2-20)}$$

$$S_M\left[1 - 9A_1A_2G_H\right] - S_H\left[(18A_1^2 + 9A_1A_2)G_H\right] = A_1\left[1 - 3C_1 - 6A_1/B_1\right] \quad \text{(2-21)}$$

$$S_q = 0.20 \quad \text{(2-22)}$$

上二式中

$$G_H \equiv \frac{l^2}{q^2}\frac{g}{\rho_o}\frac{\partial \rho}{\partial z} \quad \text{(2-23)}$$

其中參數分別為

$$(A_1, A_2, B_1, B_2) = (0.92, 0.74, 16.6, 10.1)$$

$$(E_1, E_2, E_3) = (1.8, 1.33, 1.0)$$

$$C_1 = \frac{1}{3}(1 - 6A_1B_1^{-1} - A_1^{-1}B_1^{-1/3}) = 0.08$$

2.2.3 σ座標轉換

由於傳統卡式座標系統(x,y,z,t)在地形水深變化複雜處計算上不方便，POM 模式利用 Phillips (1957)所創立之σ座標系統，將所有的控制方程式自卡式座標系統轉換至σ座標系統。σ座標是將不同的水深等分為固定的垂直分層，垂直方向的水深雖然都不同，網格數卻都一樣，但網格間的距離會隨水深的不同而改變。如此邊界上的分層不會變化，對模式計算上帶來很大的便利。σ座標系統(x^*,y^*,σ,t^*)與卡式座標系統間的轉換關係如下所示：

$$x^*=x \quad , \quad y^*=y \quad , \quad \sigma=\frac{z-\eta}{H+\eta} \quad , \quad t^*=t \qquad \text{.....(2-24)}$$

應用上式之轉換關係，任何物理變數 G 在兩座標系之微分式，將可由以下方程式建立關聯：

$$\frac{\partial G}{\partial x}=\frac{\partial G}{\partial x^*}-\frac{\partial G}{\partial \sigma}\left[\frac{\sigma}{D}\frac{\partial D}{\partial x^*}+\frac{1}{D}\frac{\partial \eta}{\partial x^*}\right] \qquad \text{.....(2-25)}$$

$$\frac{\partial G}{\partial y}=\frac{\partial G}{\partial y^*}-\frac{\partial G}{\partial \sigma}\left[\frac{\sigma}{D}\frac{\partial D}{\partial y^*}+\frac{1}{D}\frac{\partial \eta}{\partial y^*}\right] \qquad \text{.....(2-26)}$$

$$\frac{\partial G}{\partial z}=\frac{1}{D}\frac{\partial G}{\partial \sigma} \qquad \text{.....(2-27)}$$

$$\frac{\partial G}{\partial t}=\frac{\partial G}{\partial t^*}-\frac{\partial G}{\partial \sigma}\left[\frac{\sigma}{D}\frac{\partial D}{\partial t^*}+\frac{1}{D}\frac{\partial \eta}{\partial t^*}\right] \qquad \text{.....(2-28)}$$

其中x、y、z是一般的卡式座標，$D\equiv H+\eta$，而$H(x,y)$是地形水深，$\eta(x,y,t)$為自由水面高程。將上列式(2-25)至(2-28)代入控制方程式，則上列所有的方程式，將可自卡式座標系統完全轉換至σ座標系統，而經此座標轉換後，垂直方向之範圍，將由$z=\eta$ (水面)至$z=-H$ (水底)轉變為$\sigma=0$至$\sigma=-1$，如圖 2-1 所示。

假設一變量是ξ是σ座標系統的函數，即$\xi=\xi(x^*,y^*,\sigma,t^*)$，則卡式

座標系統下 z 垂直方向之流速分量 $W = dz/dt$ ，可先轉換表示為：

$$W = \frac{dz}{dt} = \frac{\partial z}{\partial t^*} + U\frac{\partial z}{\partial x^*} + V\frac{\partial z}{\partial y^*} + \omega\frac{\partial z}{\partial \sigma} \quad \text{.....(2-29)}$$

再將 $z = D\sigma + \eta$ 帶入上式，則 σ 座標上之垂直流速分量 ω 即可表示為，

$$\omega = W - U\left[\sigma\frac{\partial D}{\partial x^*} + \frac{\partial \eta}{\partial x^*}\right] + V\left[\sigma\frac{\partial D}{\partial y^*} + \frac{\partial \eta}{\partial y^*}\right] + \left[\sigma\frac{\partial D}{\partial t^*} + \frac{\partial \eta}{\partial t^*}\right] \quad \text{.....(2-30)}$$

而轉換至 σ 座標系統之連續方程式可改寫為：

$$\frac{\partial DU}{\partial x^*} + \frac{\partial DV}{\partial y^*} + \frac{\partial \omega}{\partial \sigma} + \frac{\partial \eta}{\partial t} = 0 \quad \text{.....(2-31)}$$

動量守恆方程式則轉換為：

$$\frac{\partial UD}{\partial t^*} + \frac{\partial U^2 D}{\partial x^*} + \frac{\partial UVD}{\partial y^*} + \frac{\partial U\omega}{\partial \sigma} - fVD + gD\frac{\partial \eta}{\partial x^*}$$

$$+ \frac{gD^2}{\rho_o}\int_\sigma^0\left[\frac{\partial \rho}{\partial x^*} - \frac{\sigma}{D}\frac{\partial D}{\partial x^*}\frac{\partial \rho}{\partial \sigma}\right]d\sigma = \frac{\partial}{\partial \sigma}\left[\frac{K_M}{D}\frac{\partial U}{\partial \sigma}\right] + DF_u \quad \text{.....(2-32)}$$

$$\frac{\partial VD}{\partial t^*} + \frac{\partial UVD}{\partial x^*} + \frac{\partial V^2 D}{\partial y^*} + \frac{\partial V\omega}{\partial \sigma} + fUD + gD\frac{\partial \eta}{\partial y^*}$$

$$+ \frac{gD^2}{\rho_o}\int_\sigma^0\left[\frac{\partial \rho}{\partial y^*} - \frac{\sigma}{D}\frac{\partial D}{\partial y^*}\frac{\partial \rho}{\partial \sigma}\right]d\sigma = \frac{\partial}{\partial \sigma}\left[\frac{K_M}{D}\frac{\partial V}{\partial \sigma}\right] + DF_v \quad \text{(2-33)}$$

溫度守恆方程式：

$$\frac{\partial \theta D}{\partial t^*} + \frac{\partial U\theta D}{\partial x^*} + \frac{\partial V\theta D}{\partial y^*} + \frac{\partial \theta\omega}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma}\left[\frac{K_H}{D}\frac{\partial \theta}{\partial \sigma}\right] + DF_\theta - \frac{\partial R}{\partial \sigma} \quad \text{.....(2-34)}$$

鹽度守恆方程式：

$$\frac{\partial SD}{\partial t^*} + \frac{\partial USD}{\partial x^*} + \frac{\partial VSD}{\partial y^*} + \frac{\partial S\omega}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma}\left[\frac{K_H}{D}\frac{\partial S}{\partial \sigma}\right] + DF_S \quad \text{.....(2-35)}$$

紊流的動能$q^2/2$及紊流的尺度參數l表示：

$$\frac{\partial q^2 D}{\partial t^*}+\frac{\partial q^2 UD}{\partial x^*}+\frac{\partial q^2 VD}{\partial y^*}+\frac{\partial q^2 \omega}{\partial \sigma}=\frac{\partial}{\partial \sigma}\left(\frac{K_q}{D}\frac{\partial q^2}{\partial \sigma}\right)+\frac{2K_M}{D}\left[\left(\frac{\partial U}{\partial \sigma}\right)^2+\left(\frac{\partial V}{\partial \sigma}\right)^2\right]+\frac{2g}{\rho_o}K_H\frac{\partial \rho}{\partial \sigma}-\frac{2q^3 D}{B_1 l}+DF_q \quad \text{.....(2-36)}$$

$$\frac{\partial q^2 lD}{\partial t^*}+\frac{\partial q^2 lUD}{\partial x^*}+\frac{\partial q^2 lVD}{\partial y^*}+\frac{\partial q^2 l\omega}{\partial \sigma}=\frac{\partial}{\partial \sigma}\left[\frac{K_q}{D}\frac{\partial\left(q^2 l\right)}{\partial \sigma}\right]+\frac{E_1 l}{D}\left\{K_M\left[\left(\frac{\partial U}{\partial \sigma}\right)^2+\left(\frac{\partial V}{\partial \sigma}\right)^2\right]\right\}_l+E_3\frac{g}{\rho_o}K_H\frac{\partial \rho}{\partial \sigma}-\frac{q^3 D}{B_1}\tilde{W}+DF_l \quad \text{..(2-37)}$$

式中，U、V與ω分別為σ座標系統上x^*、y^*與σ座標方向之流速。

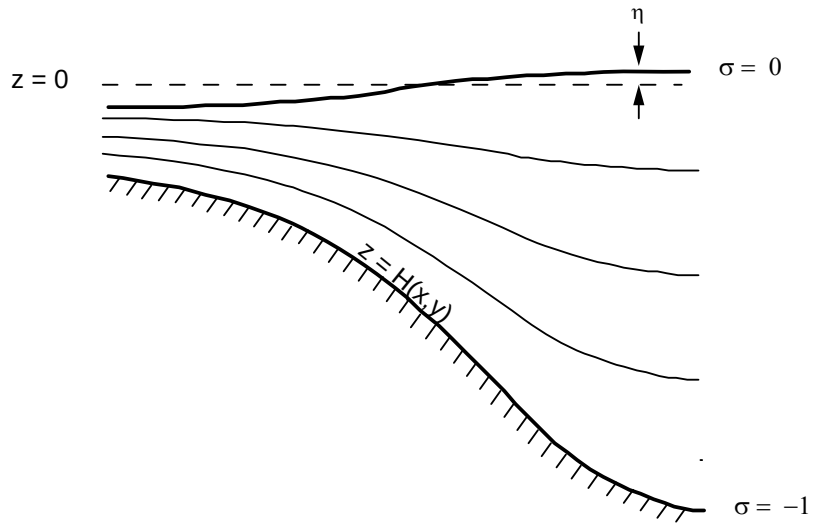


圖 2-1 σ座標系統 (Mellor，2003)

2.2.4 外模式-水深積分方程式

由於海洋變動中包含了快速的慣性重力波與緩慢變化的內波，為了可以有效率的模擬海洋變動，故將上述的三維方程式利用水深積分

技巧轉換成水平二維模式。如此將模式分成外模式之水平二維模式來模擬快速變動的慣性重力波，而內模式之三維模式來模擬緩慢變化的內部波動或熱動力變化等，其分割技巧(Simons，1974；Madala 和 Piacsek，1977)可以有效率的解決三維模式模擬速度較慢的缺陷。因此將式(2-31)至(2-33)由$\sigma=-1$積分至$\sigma=0$的水深積分方式消除所有垂直方向的變化，則二維方程式可表示成，

$$\frac{\partial \eta}{\partial t}+\frac{\partial \overline{U}D}{\partial x}+\frac{\partial \overline{V}D}{\partial y}=0 \quad \text{.....(2-38)}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial \overline{U}D}{\partial t}+\frac{\partial \overline{U}^2D}{\partial x}+\frac{\partial \overline{U}\overline{V}D}{\partial y}-\widetilde{F}_x-f\overline{V}D+gD\frac{\partial \eta}{\partial x}&=-<wu(0)>+<wu(-1)>\\&+G_x-\frac{gD}{\rho_0}\int_{-1}^{0}\int_{\sigma}^{0}\left[D\frac{\partial \rho'}{\partial x}-\frac{\partial D}{\partial x}\rho'\frac{\partial \rho'}{\partial \sigma}\right]d\sigma' d\sigma\end{aligned} \quad \text{(2-39)}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial \overline{V}D}{\partial t}+\frac{\partial \overline{U}\overline{V}D}{\partial x}+\frac{\partial \overline{V}^2D}{\partial y}-\widetilde{F}_y+f\overline{U}D+gD\frac{\partial \eta}{\partial y}&=-<wv(0)>+<wv(-1)>\\&+G_y-\frac{gD}{\rho_0}\int_{-1}^{0}\int_{\sigma}^{0}\left[D\frac{\partial \rho'}{\partial y}-\frac{\partial D}{\partial y}\rho'\frac{\partial \rho'}{\partial \sigma}\right]d\sigma' d\sigma\end{aligned} \quad \text{(2-40)}$$

式中，

$$\overline{U}=\int_{-1}^{0}Ud\sigma \text{，} \overline{V}=\int_{-1}^{0}Vd\sigma \quad \text{.....(2-41)}$$

而$-<wu(0)>$與$-<wv(0)>$為海表面風剪應力，$<wu(-1)>$與$<wv(-1)>$為底床摩擦剪應力。$\widetilde{F}_x$與$\widetilde{F}_y$定義為，

$$\widetilde{F}_x=\frac{\partial}{\partial x}\left(2H\overline{A}_M\frac{\partial \overline{U}}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left[H\overline{A}_M\left(\frac{\partial \overline{U}}{\partial y}+\frac{\partial \overline{V}}{\partial x}\right)\right] \quad \text{.....(2-42a)}$$

$$\widetilde{F}_y=\frac{\partial}{\partial y}\left(2H\overline{A}_M\frac{\partial \overline{V}}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial x}\left[H\overline{A}_M\left(\frac{\partial \overline{U}}{\partial y}+\frac{\partial \overline{V}}{\partial x}\right)\right] \quad \text{.....(2-42b)}$$

若A_M在垂直方向為常數，則式(2-42a)與(2-42b)之值為零。而G_x與G_y定義為，

$$G_x = \frac{\partial \overline{U}^2 D}{\partial x} + \frac{\partial \overline{U}\overline{V} D}{\partial y} - \widetilde{F}_x - \frac{\partial \overline{U^2} D}{\partial x} - \frac{\partial \overline{UV} D}{\partial y} + \overline{\widetilde{F}_x} \quad \text{.....(2-43a)}$$

$$G_y = \frac{\partial \overline{U}\overline{V} D}{\partial x} + \frac{\partial \overline{V}^2 D}{\partial y} - \widetilde{F}_y - \frac{\partial \overline{UV} D}{\partial x} - \frac{\partial \overline{V^2} D}{\partial y} + \overline{\widetilde{F}_y} \quad \text{.....(2-43b)}$$

在外模式運算時式(2-39)與(2-40)之等號右側項保持為定值，而在內模式計算時才重新更新其值。若以單獨執行 POM 模式中之二維模式則 $G_x = G_y = 0$。

2.2.5 邊界條件

連續方程式，式(2-31)的垂直邊界條件

$$\omega\left(x^*, y^*, 0, t^*\right) = \omega\left(x^*, y^*, -1, t^*\right) = 0 \quad \text{.....(2-44a,b)}$$

動量方程式，式(2-32)、(2-33)兩式的表面邊界條件

$$\frac{K_M}{D}\left(\frac{\partial U}{\partial \sigma}, \frac{\partial V}{\partial \sigma}\right) = \left(< \omega U(0) >, < \omega V(0) >\right), \quad \sigma \to 0 \quad \text{.....(2-45a,b)}$$

底部邊界條件

$$\frac{K_M}{D}\left(\frac{\partial U}{\partial \sigma}, \frac{\partial V}{\partial \sigma}\right) = C_z\left[U^2 + V^2\right]^{1/2}(U, V), \quad \sigma \to -1 \quad \text{.....(2-45c,d)}$$

其中

$$C_z = MAX\left[\frac{\kappa^2}{[\ln\{(1+\sigma_{kb-1})H / z_0\}]^2}, 0.0025\right] \quad \text{.....(2-45e)}$$

其中 von Karman 常數$\kappa = 0.4$，z_0為摩擦糙度參數，σ_{kb}為σ座標於垂直層$k = kb$層時的值，kb表示垂直格網層數的值，kb表示最底層，而σ_{kb-1}為$kb-1$層之σ座標值。

溫度和鹽度方程式，式(2-34)、(2-35)的邊界條件

$$\frac{K_H}{D}\left(\frac{\partial\theta}{\partial\sigma},\frac{\partial S}{\partial\sigma}\right)=(<\omega\theta(0)>),\quad \sigma\to 0 \quad\text{.....(2-46a)}$$

$$\frac{K_H}{D}\left(\frac{\partial\theta}{\partial\sigma},\frac{\partial S}{\partial\sigma}\right)=0,\quad \sigma\to -1 \quad\text{.....(2-46b)}$$

而紊流閉合方程式，式(2-36)、(2-37)的邊界條件：

$$\left(q^2(0),q^2l(0)\right)=\left(B_1^{2/3}u_\tau^2(0),0\right),\quad \sigma\to 0 \quad\text{.....(2-47a,b)}$$

$$\left(q^2(-1),q^2l(-1)\right)=\left(B_1^{2/3}u_\tau^2(-1),0\right),\quad \sigma\to -1 \quad\text{.....(2-47c,d)}$$

其中B_1為紊流閉合常數，u_τ為在表面與底部的摩擦速度。開放邊界流速邊界條件

$$H\overline{U}\pm c_e\eta=F_{BC} \quad\text{.....(2-48)}$$

其中$\overline{U}$為水平平均速度，η為自由表面水位，而F_{BC}為邊界通量，如$F_{BC}=H\overline{U}_{BC}\pm c_e\eta_{BC}$，$\overline{U}_{BC}$為邊界流速其流速值可來自上層巢狀格網，而$\eta_{BC}$為開放邊界水位邊界條件，其值可由全球潮汐模式(如 NAO99b)之水位或上層巢狀格網模擬水位給定，式中

$$c_e=\sqrt{gH} \quad\text{.....(2-49)}$$

其中H為總水深，g為重力加速度。

2.3 數值方法

2.3.1 網格配置

模式中的控制方程式包含了傳輸速度較快的表面重力波，以及傳輸速度較慢的內部重力波，在數值計算上區分為計算正壓流的外部模式及計算斜壓流的內部模式，此種方法就是所謂的 mode splitting，如下圖 2-2 所示。

模式的計算上，由於外部模式為計算速度較快的表面重力波，故計算時距較短，且將流速依垂直方向取平均值以求得水平傳輸量，因此，只有二維的運算。內部模式由於其為計算速度較慢的內部重力波，故計算時距可以取的較長，但是需要較高的空間解析度，所以採用三維空間網格。如此兩種不同計算技巧的交替運用，可以大大減少電腦運算時間。另外，在空間網格的設定上，內外模式水平方向皆採用 Arakawa C-grid 交錯網格系統，分別如圖 2-3 與 2-4 所示。其中，水平速度U、V分別位於東、西、南、北向的格網中間，至於其他的變量，例如水位η、垂直方向的流速W、溫度T、以及鹽度S等，則位於網格中間。

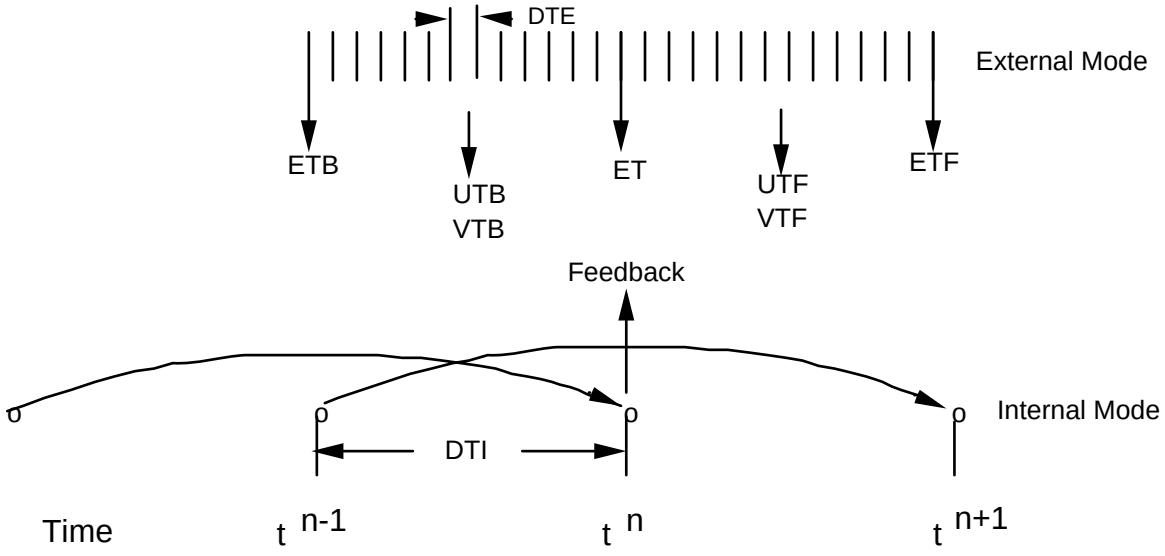


圖 2-2 內外模相嵌示意圖 (Mellor，2003)

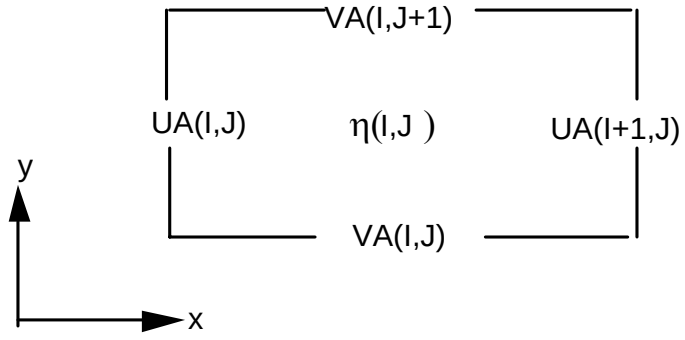


圖 2-3 二維外部模式網格配置圖 (Mellor，2003)

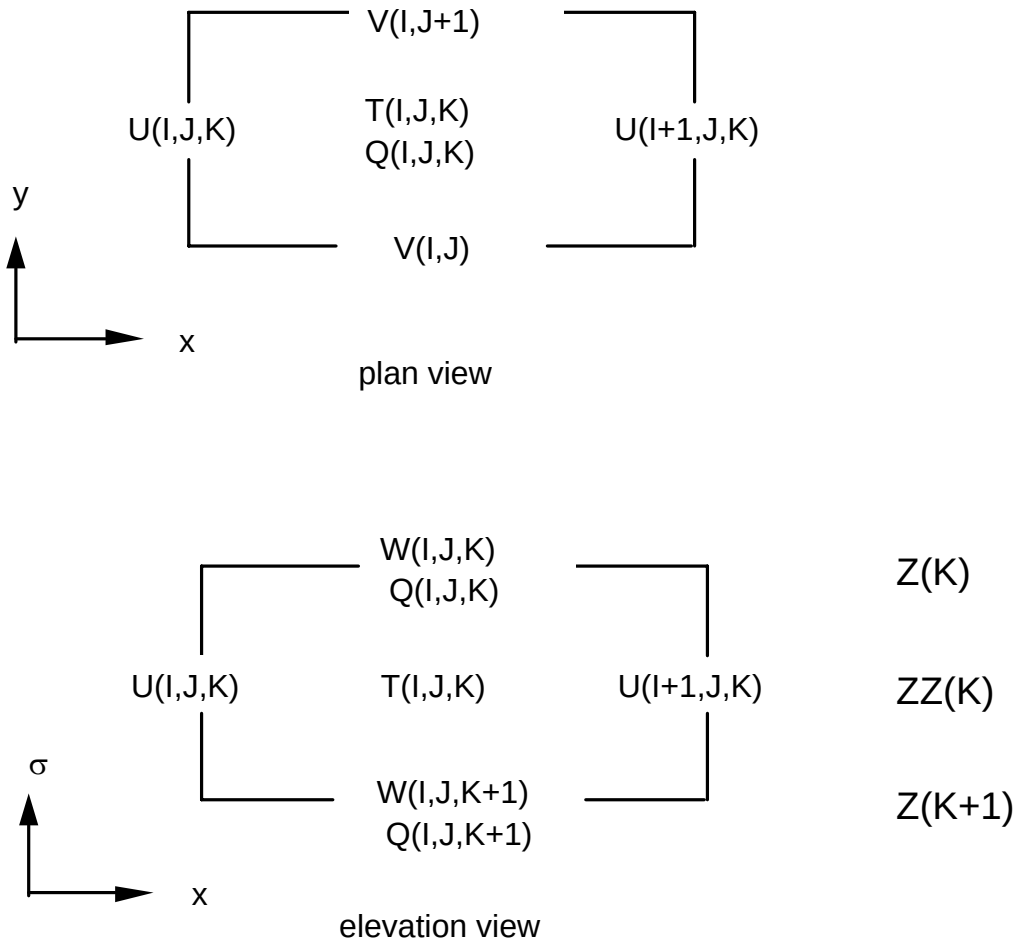


圖 2-4 三維內部模式網格配置圖 (Mellor，2003)

(Q 表示 K_m 、 K_h 、 q^2 或 $q^2 l$ 。T 表示 T 、 S 或 ρ)

2.3.2 數值離散

關於 POM 模式中的數值離散技巧，在三維模式中係將計算分為垂直、水平傳導與擴散兩步驟，且將垂直方向分量以隱式(implicit)積分，而水平分量以顯式(explicit)積分。例如以溫度平衡方程式可離散成

$$\frac{\partial DT}{\partial t} + Adv(T) - Dif(T) = \frac{1}{D}\frac{\partial}{\partial \sigma}\left(K_H \frac{\partial T}{\partial \sigma}\right) - \frac{\partial R}{\partial \sigma} \quad \text{.....(2-50)}$$

其中 $Adv(T)$ 與 $Dif(T)$ 分別表示水平傳導項與水平擴散項。而時間積分採用兩步驟法分割水平與垂直分量，如下式表示，

$$\frac{\widetilde{D}\widetilde{T}-D^{n-1}T^{n-1}}{2\Delta t}=-Adv(T^{n})+Dif(T^{n-1}) \quad \text{.....(2-51)}$$

$$\frac{D^{n+1}T^{n+1}-\widetilde{D}\widetilde{T}}{2\Delta t}=\frac{1}{D^{n+1}}\frac{\partial}{\partial\sigma}\left(K_{H}\frac{\partial T^{n+1}}{\partial\sigma}\right)-\frac{\partial R}{\partial\sigma} \quad \text{.....(2-52)}$$

式中n表示積分時間。由於模式在時間計算上採用蛙跳差分法的技巧，為了消除微小數值震盪，故需藉由濾波器來使數值結果平滑化，如下式所示，

$$T_{s}=T+\frac{\alpha}{2}\left(T^{n+1}-2T^{n}+T^{n-1}\right) \quad \text{.....(2-53)}$$

其中T_s是平滑化的解，α取 0.05。在式(2-53)進行平滑化計算後，令T_s為T^{n-1}、T^{n+1}為T^{n}，然後再進行下一時刻之計算。

在空間離散方面，POM 模式採用有限體積(finite volume)的概念，則水平傳導項可離散為，

$$-Adv(T)h_{x}h_{y}=\delta_{x}(Dh_{y}UT)+\delta_{y}(Dh_{x}VT)+h_{x}h_{y}\frac{\delta_{\sigma}(\omega T)}{\Delta\sigma} \quad \text{.....(2-54)}$$

式中，h_x與h_y分別表示x與y方向格網間距。δ表示不同方向之離散方法，在 POM 模式預設為中央差分法，透過上述空間離散的處理方式，故可利用正交曲線格網進行模式運算。而模式的總體計算流程與相對應的重要處理程序(副程式)，如圖 2-5 中所示。

2.3.3 穩定條件

在水深積分模式(外部模式)以及傳輸方程式中，計算時距是根據 Courant-Friedrichs-Levy (CFL)計算穩定條件而決定，其中

$$\Delta t_{E}\le\frac{1}{C_{t}}\left|\frac{1}{\Delta x^{2}}+\frac{1}{\Delta y^{2}}\right|^{-1/2} \quad \text{.....(2-55)}$$

$$C_{t}=2(gH)^{1/2}+U_{\max} \quad \text{.....(2-56)}$$

式中$U_{\max}$是可預期的最大速度，實際應用上的穩定條件會比上式的估計約小 90%。而以類似的方式估計內部模式之計算時距限制為，

$$\Delta t_I \le \frac{1}{C_T}\left|\frac{1}{\Delta x^2}+\frac{1}{\Delta y^2}\right|^{-1/2} \quad \text{.....(2-57)}$$

其中

$$C_T = 2c + U_{\max} \quad \text{.....(2-58)}$$

C_T是最大內部重力波速，一般尺度約為 2 m/s，c表示波速。$U_{\max}$是最大傳導速度。在一般應用於海洋模式的情況下，$\Delta t_I / \Delta t_E$的比率約為 30 至 80 之間。除上述條件之外，仍有兩個額外的限制會影響 POM 模式的數值穩定性，其中與動量方程式中水平擴散項有關的穩定條件，依照上述方式可推論其條件為：

$$\Delta t_I \le \frac{1}{4A}\left|\frac{1}{\Delta x^2}+\frac{1}{\Delta y^2}\right|^{-1} \quad \text{.....(2-59)}$$

其中$A = A_M$或$A = A_H$。而科氏力項可能造成的穩定條件為：

$$\Delta t_I \le \frac{1}{2\Omega \sin\phi} \quad \text{.....(2-60)}$$

根據上述條件，在計算時必須注意計算時距大小的設定。此外，由於σ座標的關係，會在靠近海岸處形成不可計算的奇異點，故在水深給定時必需設定最小水深，在 POM 模式預定的最小水深為 10 公尺，但可隨計算案例的不同給定可能的最小水深。

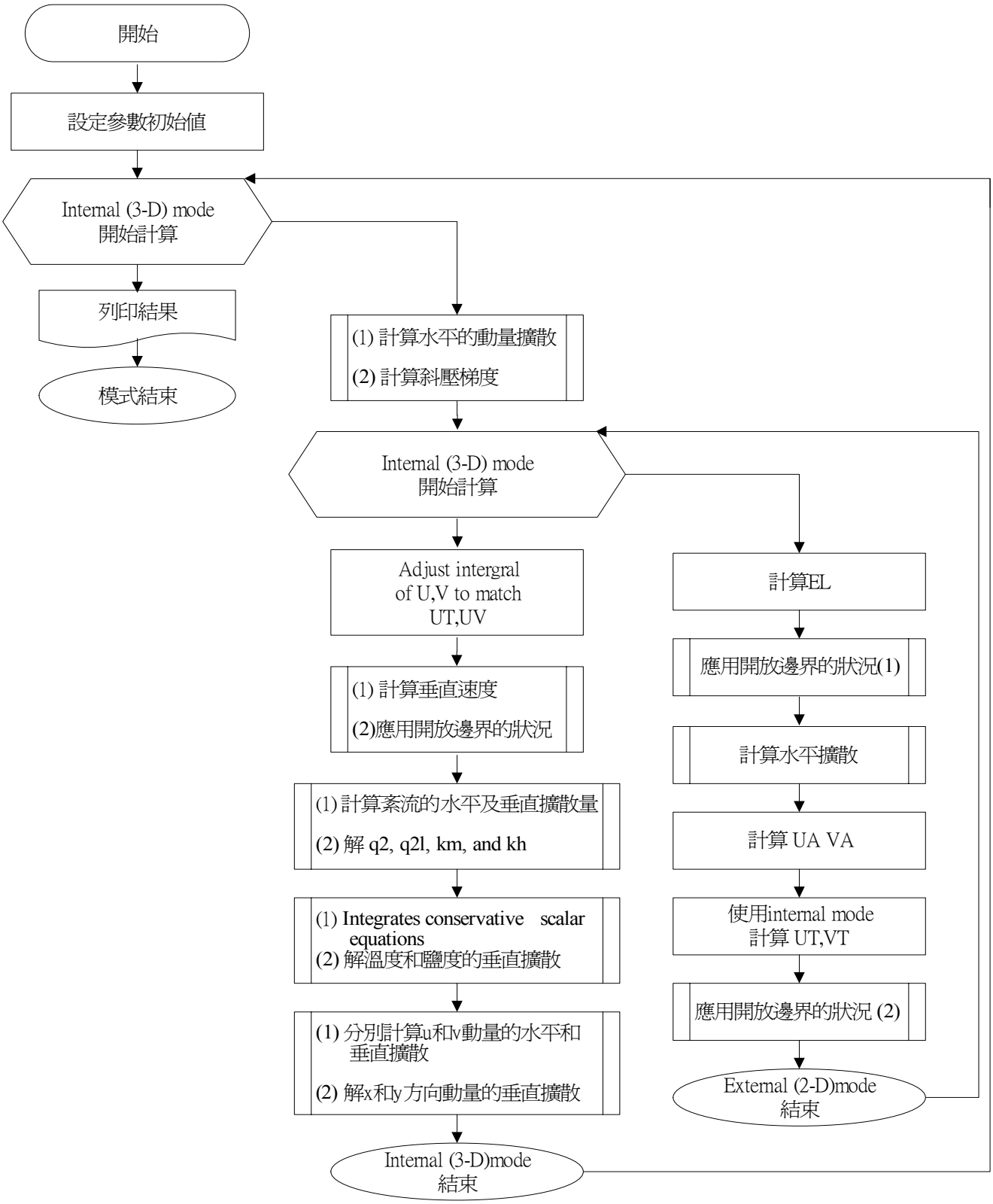

開始
設定參數初始值
Internal (3-D) mode
開始計算
列印結果
模式結束
(1) 計算水平的動量擴散
(2) 計算斜壓梯度
Internal (3-D) mode
開始計算
Adjust intergral
of U,V to match
UT,UV
(1) 計算垂直速度
(2)應用開放邊界的狀況
(1) 計算紊流的水平及垂直擴散量
(2) 解 q2, q2l, km, and kh
(1) Integrates conservative scalar
equations
(2) 解溫度和鹽度的垂直擴散
(1) 分別計算u和v動量的水平和
垂直擴散
(2) 解x和y方向動量的垂直擴散
Internal (3-D)mode
結束
計算EL
應用開放邊界的狀況(1)
計算水平擴散
計算 UA VA
使用internal mode
計算 UT,VT
應用開放邊界的狀況 (2)
External (2-D)mode
結束

圖 2-5 模式計算流程圖

2.4 乾溼格網

為了近岸潮流的模擬所需，本計畫亦考量乾溼格網技巧於沿海地區的應用。由於在沿海地區中為了計算方便，通常使用一有限水深的假設來限制流體運動，而海陸交界處則被假設成一垂直邊界使得流體無法通過，但此一假設在潮間帶與容易溢淹處是不適宜的。為了合理地模擬海岸地區流體溯升、溯降或溢淹，在數值技巧中必須加入乾溼格網(wetting and drying，WAD)機制來模擬流體的運動。在最新版本的POM 模式中亦加入此種乾溼格網的模擬機制(Oey，2005；2006)，本計畫亦使用此一技巧來模擬沿海乾溼地帶的流況，以下則簡述此一數值技巧。

模擬領域可定義為海洋地區 R 與陸地邊界 ∂R，在 ∂R 則假設垂直方向的通量為零，在 R 中的海洋狀態則可由模式模擬。在原始的 POM 模式中利用一最小水深的限制來產生一陸地格網遮罩(land mask) FSM 定義出 R 與 ∂R，小於最小水深(通常為 10 公尺)的區域視為陸地(FSM=0)，反之為海洋(FSM=1)，故在模式中零通量的狀態則是以變數與遮罩的相乘來模擬陸地邊界的零通量。Oey (2006)據此延伸出一乾溼格網遮罩(WETMASK)完成乾溼格網的機制，此方法亦避免了對 POM 模式程式碼進行大幅修改。如圖 2-6 中所示，絕對陸地邊界(absolute land boundary，ALB)視為 FSM=0，而可能溢淹與完全有水的區域視為 FSM=1，而水深定義為

$$D = H + \eta(x,y,t) = H_{msl} + \eta_{msl}(x,y,t) \quad \text{.....(2-61)}$$

當溢淹區中無水時 $H_{dry} \geq D$ 為乾格網 WETMASK=0，反之為溼格網 WETMASK=1，其中 H_{dry} 為最小水深。由於 POM 模式採用 C-grid，故水深平均流速 $\overline{U}$ 與 $\overline{V}$ 可表示為，

$$\overline{U}_{i,j} = 0 \quad \text{if} \quad (D_{i,j} + D_{i-1,j})/2 \leq H_{dry} \quad \text{.....(2-62a)}$$

$$\overline{V}_{i,j} = 0 \quad \text{if} \quad (D_{i,j} + D_{i,j-1})/2 \leq H_{dry} \quad \text{.....(2-62b)}$$

為了適當的模擬乾或溼格網變化時產生的連續性問題，以下兩式進行限制乾溼格網的變化所產生的流速，

$$\overline{U}_{i,j} = 0 \text{ if } \text{WETMASK}_{i-1,j} = 0 \text{ and } \overline{U}_{i,j} > 0 \text{ or}$$

$$\text{WETMASK}_{i,j} = 0 \text{ and } \overline{U}_{i,j} < 0 \quad \text{.....(2-63a)}$$

$$\overline{V}_{i,j} = 0 \text{ if } \text{WETMASK}_{i,j-1} = 0 \text{ and } \overline{V}_{i,j} > 0 \text{ or}$$

$$\text{WETMASK}_{i,j} = 0 \text{ and } \overline{V}_{i,j} < 0 \quad \text{.....(2-63b)}$$

由於上述的限制與技巧僅止於處理水深平均運動方程式的狀態，對於三維模式中狀態方程式的溫度與鹽度並未處理，故引入下式，

$$\frac{\partial (T,S)}{\partial t} = -\alpha_{relax}[(T,S) - (T_{c\lim}, S_{c\lim})] \text{ if } \text{WETMASK} = 0 \quad \text{.....(2-64)}$$

來消散乾格網中所殘留的T與S，其中$\alpha_{relax} = 2day^{-1}$。而三維模式流速於乾溼格網交界處亦須修正為，

$$U_{i,j,k} = \overline{U}_{i,j} \text{ if } \text{WETMASK}_{i,j} \times \text{WETMASK}_{i-1,j} = 0 \quad \text{.....(2-65a)}$$

$$V_{i,j,k} = \overline{V}_{i,j} \text{ if } \text{WETMASK}_{i,j} \times \text{WETMASK}_{i,j-1} = 0 \quad \text{.....(2-65b)}$$

由於 POM 模式在時間積分上採用外模與內模來減少時間的積分與處理自由液面的問題，而內模的時間間距為外模的N倍($N\Delta t_e = t_i$)，如此會形成乾溼交界於內模時間間距內產生變化時即時反應，在Oey(2006)則採用內模時間積分於$N\Delta t_e$時之 WETMASK 值應用於外模模式中。而對於三維模式中之底床摩擦剪力項亦可能由於水深過小而產生不適宜之狀況，對於此種情況亦修正式(2-45e)為下式，

$$C_z = MAX\left[\frac{\kappa^2}{\left[\ln(1 + z_b / z_0)\right]^2}, 0.0025\right] \quad \text{.....(2-66)}$$

其中z_b為$k = kb - 1$層之厚度。

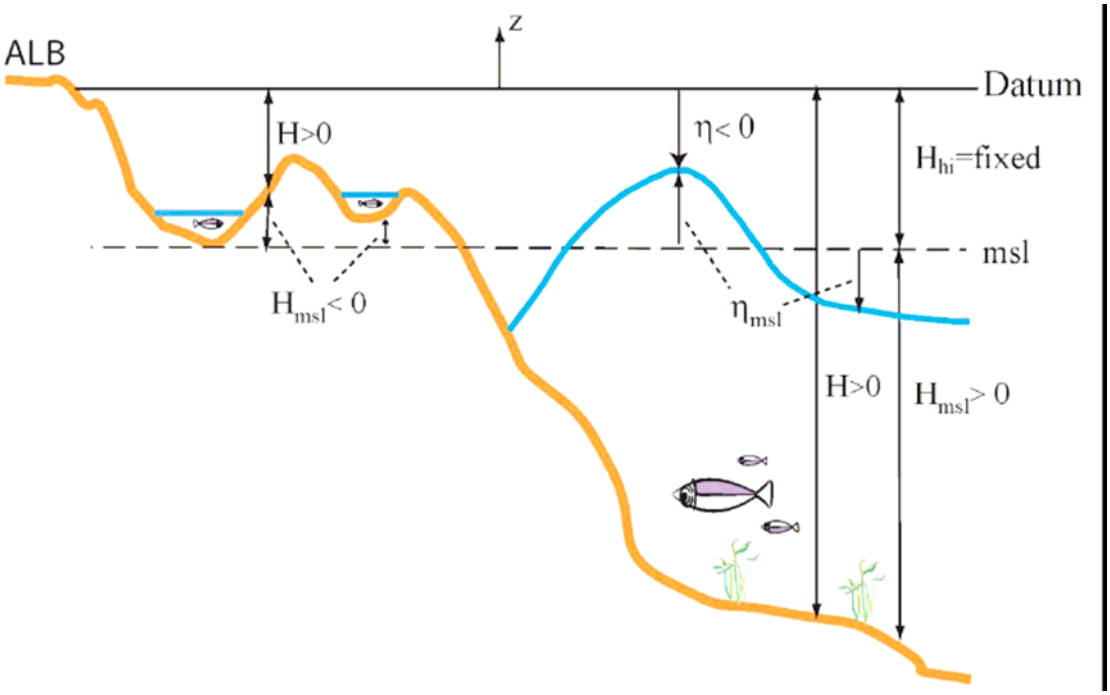


圖 2-6 乾溼格網定義示意圖

2.5 巢狀格網邊界

由於洋流大規模流動的特性，故需要足夠的模擬範圍才可解析出環流流動的特性。利用巢狀計算逐步縮小計算範圍提高精度，為有限計算資源之下獲得高精度模擬結果之最佳方式。關於巢狀格網邊界條件設定方式，可分為邊界處與邊界緩衝區兩種條件。如圖 2-7 所示，圖中最外部方框為巢狀母格網範圍，圖中方框為巢狀子格網邊界處，子格網內部格紋處為邊界緩衝區。外模式之邊界處之入流邊界條件由上層模式給定，如下式所述：

$$\overline{U}_n = \overline{U}_n^0 + \sqrt{\frac{g}{H}}\left(\eta - \eta^0\right) \quad \text{.....(2-67)}$$

式中上標 0 表示上層模式於下層邊界處之內插值，其中 $\overline{U}_n$ 為邊界之法線方向流速，η 為水位。而內模式之三維溫鹽與流速邊界條件乃採用漸進方式(nudging)方式給定，如下式所述：

$$\Phi_i = \Phi_i + \left(1 - \tanh\left(4\frac{\Delta x_i}{L_{nest}}\right)\right)\left(\Phi_i^0 - \Phi_i\right) \quad \text{(2-68)}$$

式中Φ可分別代表S、T、U、V，下標i為距離子格網邊界處第i格點，上標 0 表示上層模式於下層位置處之內插值，Δx_i為該格點至邊界之距離，L_{nest}為緩衝區之寬度。

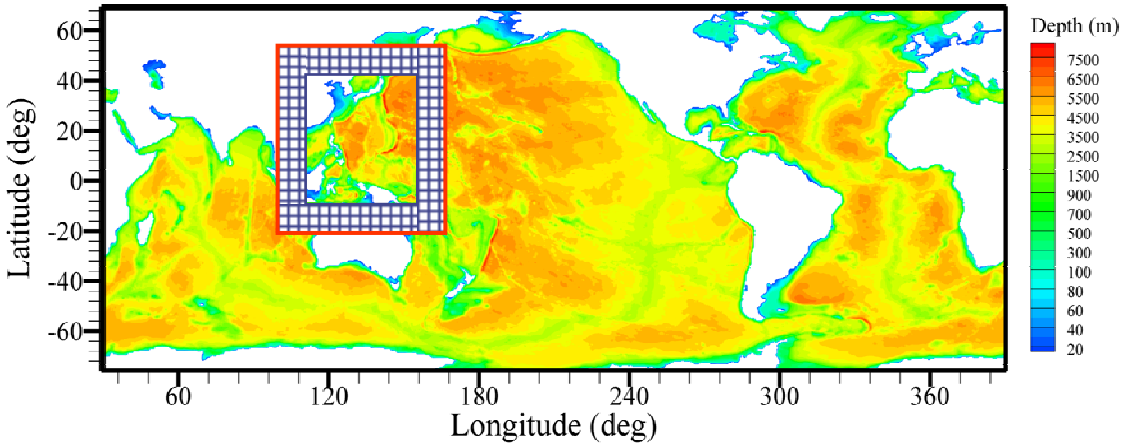


圖 2-7 巢狀格網邊界示意圖

第三章 POM 模式執行環境建置

本計畫利用 POM 模式建立臺灣鄰近海域之三維洋流與潮流綜合效應模式，透過模式建立使其能應用於臺灣海域之海流特性的模擬，並發展前置與後置處理軟體與流程，簡化處理數值模式所產生大量數據的流程，以期模式計算結果能完整的呈現。為了有效落實計畫執行目的，本節將描述模式建置過程與所需要的軟硬體設備。

3.1 軟硬體設備建置

在 POM 模式建置方面，由官方網站(http://www.aos.princeton.edu/WWWPUBLIC/htdocs.pom/index.html)所下載的程式並未提供完整的資料輸入選項，應本計畫之需求，採用 POM2K 版本為基礎，增加具有乾濕格網處理選項的 POM08 版本之功能。為了方便模式執行與使用，亦進行輸入介面的發展，提供使用者更為快速的資料輸入方式，可依計算方案的不同提供相對應的資料輸入選項。圖 3-1 為 POM 模式資料處理流程圖，資料經由前置處理程式將海面與側向邊界資料透過內插法內插至 POM 模式格網上，透過 POM 模式進行模擬後以 NetCDF (Network Common Data Format)格式輸出格網上流速、鹽度、溫度、密度等變數資料，再經由 NCL (NCAR Command Language)後置處理程式分析各種變量之變化趨勢並繪製圖表。由於巢狀格網之計算方式會帶來大量之檔案管理與輸出入問題，本年度計畫又將建構數個臺灣近海高解析度海潮流格網，勢必更迫切需要合理之檔案架構與管理，本計畫所使用的 POM 模式模擬流程為架構於前兩年度計畫所建立之基礎，持續改善模擬流程，於 Linux 作業系統下建立有效率之處理命令腳本，使技術移轉能順利進行，對於後續操作與維護亦有所幫助。

在作業系統方面，POM 模式並未限制模式執行環境，考量未來擴充性與降低模式發展、執行時所遭遇的阻礙，本計畫以美國 Novell 公司所負責維護的 openSUSE Linux 套件作為主要的系統環境。而其使用

Linux Kernel 2.6 核心，具有執行速度最佳化、更廣泛的硬體支援、有效率的檔案系統與電源管理等特點，可有效發揮硬體效能，而系統安全與穩定性也可有效保護計畫成果。由於 Linux 作業系統近幾年來發展迅速，不論是伺服器或桌面應用上都有相當數量的開放性源碼(open source)軟體可供選擇，尤其在科學運算與數據處理上更是有許多自由軟體(freeware)可供應用，如此可大大降低軟體購置費用與增加系統擴充性。

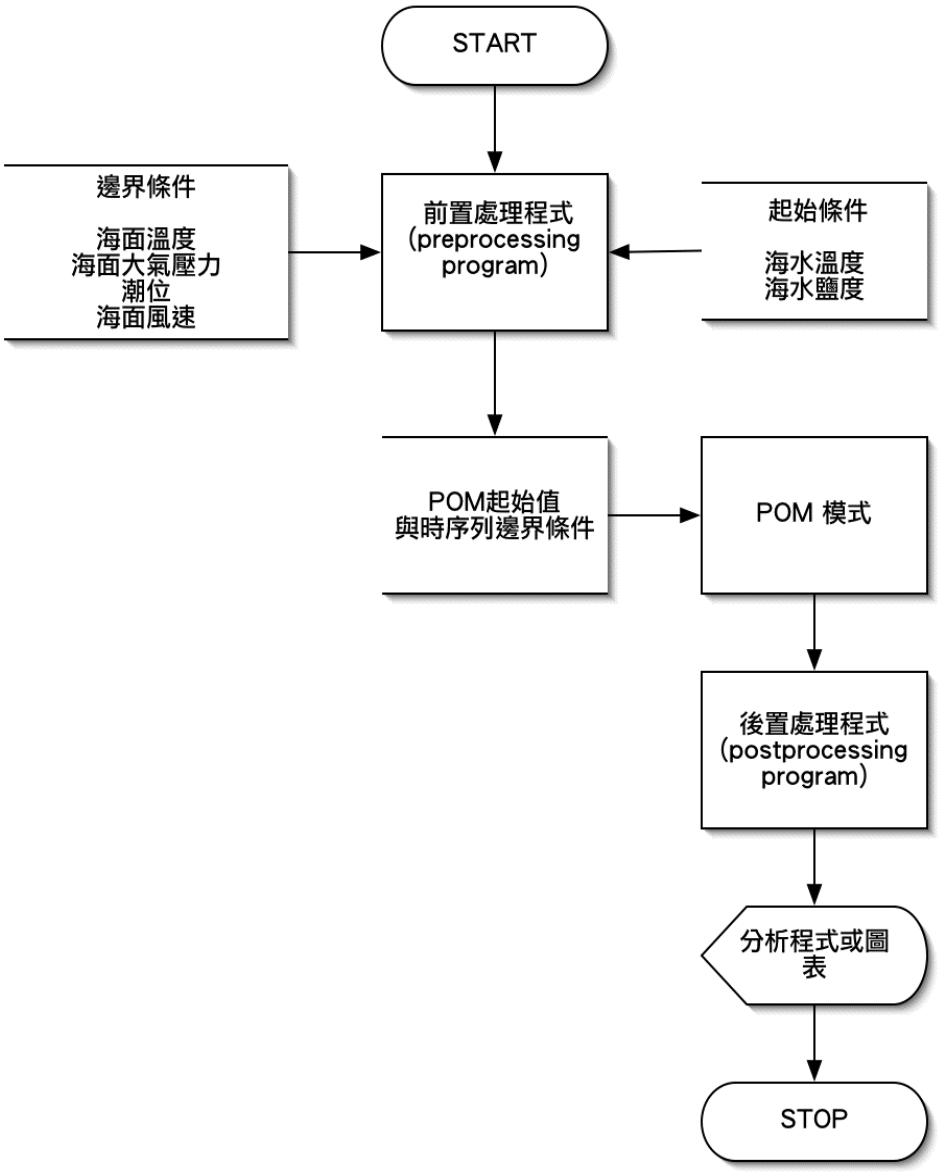


圖 3-1 POM 模式建置與資料處理流程

而 POM 模式為一源碼開放軟體，其利用標準 FORTRAN 77 程式語言開發，故需要 FORTRAN 編譯器才可編譯程式。為了程式執行與開發，本計畫擬以 Intel Fortran for Linux 來解決編譯程式的問題。而 Intel Fortran for Linux 具有標準 FORTRAN 77、90 與 95 的編譯能力，有卓越的浮點計算能力、最佳化的執行速度、多執行緒程式的編譯能力與支援 64 位元作業系統等特點。

除了編譯器的設定外，由於 POM2K 以後之版本增加了 NetCDF (Network Common Data Format)程式庫的支援，而 NetCDF 最早是由美國國家科學委員會資助之 Unidata 計畫所發展，其用意是提供一種通用的資料存取方式，資料的內容可以包括單點的觀測值、時間序列、規則排列的網格、以及人造衛星或雷達之影像檔案。其資料格式廣泛應用於大氣與海洋研究中，其為一自我描述資料的格式、並且可以跨越平台和機器的限制，現有之 NetCDF 程式庫可提供 C、Fortran、C++、Perl 或其他語言的聯結，以讓程式發展者可以快速的讀寫資料檔案。NetCDF 亦為開放源碼軟體，使用者可自由下載，其官方網站為 http://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/，最新版本為 4.1.2 版。但為了相容性之考量，本計畫採用 3.6.3 版，故讀寫資料都必須透過 NetCDF 程式庫來完成，模式建置時亦須同時安裝此程式庫。

於後置繪圖與資料處理方面，本計畫亦採用開放源碼軟體為主，如 GMT(Generic Mapping Tools)或 NCL(NCAR Command Language)等自由軟體來進行圖形的繪製，透過命令腳本方式呼叫 GMT 或 NCL 軟體繪製分析展示所需的圖形。本計畫所繪製的圖形主要使用 NCL 軟體，其官方網站為 http://www.ncl.ucar.edu/，最新版本為 6.0.0，使用者必須於網站註冊才可下載與作業系統相對應的執行檔安裝程式，由於其類似 Fortran 與 C 程式語言撰寫方式進行資料處理與圖形繪製，使用者亦必須了解其語法才可了解其運作方式，本計畫亦進行相關程式撰寫以利使用者進行圖形繪製批次處理。

由於 POM 模式為三維海洋模式，需要龐大的計算能量與輸入出資料儲存空間，但為了計畫結束後可順利移轉模式，本計畫於進行格網

建置時亦考量個人電腦上可執行之環境。本計畫執行時之硬體設備為雙六核心 Intel Xeon 3.33GHz 與 24GB 主記憶體，並採用 OpenMP 或 MPI (Message Passing Interface)平行化技術修改 POM 模式程式碼，使其可以充分利用硬體資源進行運算。由於 OpenMP 平行化方式需要共用記憶體式系統才能執行，其硬體架構複雜，若要增加計算效能所需硬體升級費用龐大，但其程式撰寫較為簡單，Intel Fortran 編譯程式亦包含相關程式庫與編譯能力，使用者不需安裝額外軟體即可使用。本年度為了進一步提升模式計算效能與增加未來擴充性而發展 MPI 版本之 POM 模式，因 MPI 平行程式可以在分散式記憶體之叢集平行系統上執行，也可以在共用記憶體之平行系統上執行。而叢集平行系統由許多相同規格之計算節點(主機)所組成，每組計算節點亦可具有多組中央處理器(CPU)，每組中央處理器通常具有多組計算核心(Core)，透過高速網路連結計算節點組成一大型平行計算系統。故未來需要提升模式解析度，其所增加的計算能量可以透過增加計算節點的方式來進行，其系統擴充性較佳，亦較符合經濟效益。

而 MPI 的平行化計算方式的唯一缺點是程式需要大幅改寫，由於本計畫執行期間後發現模式須提升解析度以完成工作項目，故著手進行 MPI 版本 POM 模式之發展，透過 Open MPI (http://www.open-mpi.org/) 第 1.4.4 版程式庫，其具有完整 MPI-2 標準、適用於各種網路環境(如 TCP、OpenFabrics、SM、Myrinet、UDAPL 等)、支援多種排程軟體與作業系統、高效能等特點，其 Open MPI 下載網址為 http://www.open-mpi.org/software/ompi/v1.4/downloads/openmpi-1.4.4.tar.gz，而安裝方式如網頁 http://www.open-mpi.org/faq/?category=building#easy-build 所述，使用者必須自行安裝後，透過 Open MPI 程式庫與 Intel Fortran 程式的配合才可進行 MPI 版本 POM 模式之編譯。圖 3-2 為計算格點 201x442x21 之三維 POM 模式利用不同數量計算核心計算 1 天所需時間比較圖，由圖中可看出，隨著計算核心的增加程式效率亦大幅增加，故本計畫將以此 MPI 版本之 POM 模式為基礎進行模式驗證與結果討論。

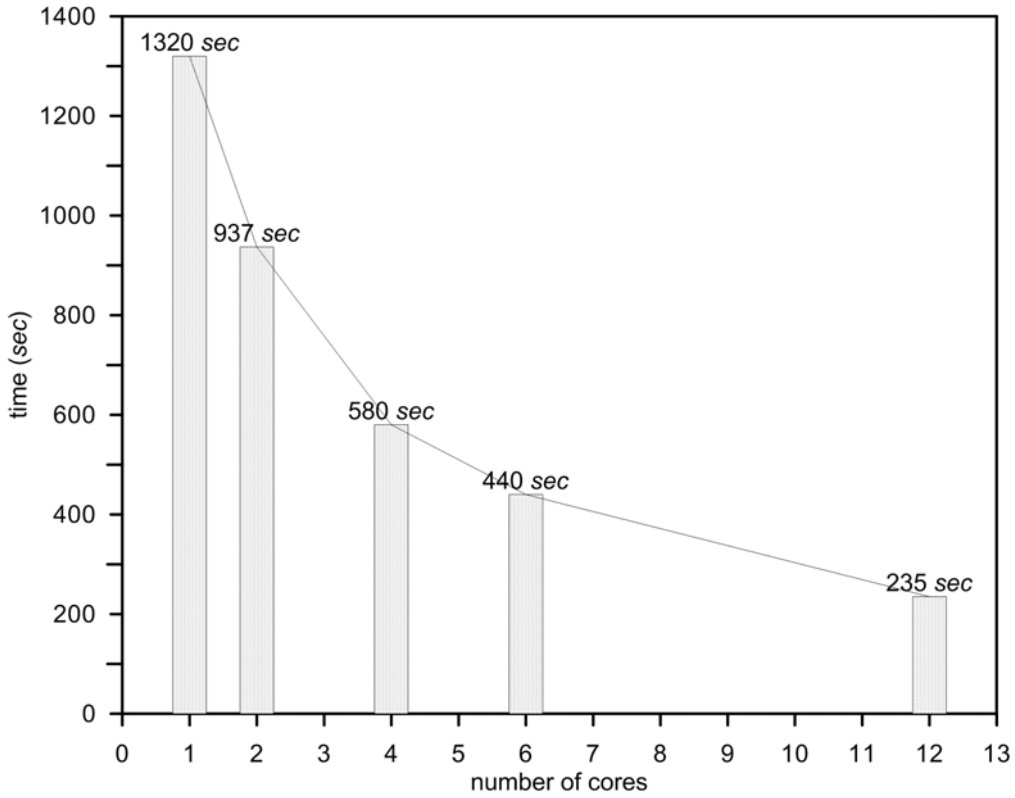


圖 3-2 MPI 平行化 POM 模式之效率評估圖

3.2 POM 模式操作說明

關於 POM 模式的操作與相關檔案的說明，在附錄一「港灣技術研究中心 POM 模式操作手冊」中將詳述本年度計畫所使用的程式與相關程序，撰寫該模式操作手冊以利進行模式與技術轉移至委託單位。在現有規劃上，模式的操作大致上可分為程式碼、可執行程式、輸出入資料與命令腳本檔等四大類檔案。在程式碼方面，是以 Fortran 程式語言進行開發，故其副檔名為 f90、f、inc 與 h，經編譯後之可執行程式則是以 exe 做為附加檔名。輸出入資料方面，皆採用 NetCDF 格式進行所有資料的讀寫，附檔名 nc 則為 NetCDF 資料格式檔案。為了本計畫亦開發了多個命令腳本，其使用 Linux 作業系統中 bash 命令殼(shell)來進行開發命令腳本(shell script)，使用者可以透過此命令腳本建立模式輸入檔與分析資料，亦可批次處理某一段時間內的 POM 模式模擬，減少使用者製作資料輸入檔的不便。

3.3 資料蒐集

在模式邊界條件方面，本計畫透過現有的海氣象資料庫作為驅動模式所需之外力，故收集相關資料庫作為計畫執行依據，以下則簡述各資料庫之基本參數與時空範圍。

3.3.1 海表面風場資料

在風場資料方面，蒐集了 NCEP/NCAR 分析風場資料(NCEP/NCAR Reanalysis 1)，其資料為模式運算後資料同化之分析場結果，資料時間範圍自 1948 年至今，時間解析度為日平均與月平均值，空間格網為 T62 Guassian Grid，資料範圍涵蓋全球，資料網址為 http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis.html。表 3-1 為 NCEP/NCAR 分析風場資料格式說明。

表 3-1　NCEP/NCAR 分析風場資料格式

屬性	設定值
時間範圍(period)	1948/01/01~迄今
時間間距(interval)	日平均 daily mean、月平均 monthly mean
空間資訊(spatial)	192×94 格網化資料 T62 Gaussian grid 0.0E~358.12E，88.542S~88.542N
變數(variable)	表面風速(surface winds)
高度(level)	海平面 10 公尺高(10m)
資料型式(type)	NetCDF

本年度計畫亦收集了 NCEP 之氣候預測系統之分析資料(NCEP Climate Forecast System Reanalysis, CFSR)，CFSR 設計為全球高解析度大氣、海洋、陸地及海冰之耦合之氣候模擬，該資料集包含各種海、氣與通量參數分析資料，模擬期間為 1979 年至 2010 年，並持續進行模擬中。而 CFSR 大氣模式水平方向為 T382 格網，其格網間距約為 38 公里，垂直方向為 64 層，由表面至 0.26hPa；而海洋模式之水平格網在赤道地區為 0.25 度向南北延伸至回歸線之後為 0.5 度，垂直方向為 44 層向下延伸至水深 4737 公尺；地表與海冰模式分別 4 層與 3 層。為

了本計畫所需，僅收集 6 小時解析度之海面 10 公尺高之風速、海面大氣壓力及海洋模式之溫度場資料，表 3-2 則為資料格式說明。

表 3-2　CFSR 風場資料格式

屬性	設定值
時間範圍(period)	1979/01/01~2010/12/31
時間間距(interval)	6 小時 6-hourly、月平均 monthly mean
空間資訊(spatial)	1152×576 格網化資料 T382 Gaussian grid 0.0E~359.687E，89.761S~89.761N
變數(variable)	表面風速(surface winds)
高度(level)	海平面 10 公尺高(10m)
資料型式(type)	GRIB2

3.3.2 海平面大氣壓力資料

關於海平面大氣壓力資料，本計畫採用與海面風場相同來源之 NCEP/NCAR 分析場資料(NCEP/NCAR Reanalysis 1)(Kalnay 等人，1996)，其資料與 NCEP/NCAR 海表面風場資料相同為模式運算後資料同化之分析場，資料時間範圍自 1948 年至今，時間解析度為日平均與月平均值，空間解析度為 2.5 度，資料範圍涵蓋全球，資料網址為 http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis.html。表 3-3 為 NCEP/NCAR 海平面大氣壓力資料格式說明與表 3-4 為 CFSR 海平面大氣壓力資料格式說明。

表 3-3　NCEP/NCAR 海平面大氣壓力資料格式

屬性	設定值
時間範圍(period)	1948/01/01~迄今
時間間距(interval)	日平均 daily mean、月平均 monthly mean
空間資訊(spatial)	144×73 格網化資料 2.5 degree latitude x 2.5 degree longitude global grid 0.0E~357.5E，90.0S~90.0N
變數(variable)	海平面大氣壓力(sea level pressure)
高度(level)	海面(surface)
資料型式(type)	NetCDF

表 3-4　CFSR 海面大氣壓力資料格式

屬性	設定值
時間範圍(period)	1979/01/01~迄今
時間間距(interval)	6 小時 6-hourly、月平均 monthly mean
空間資訊(spatial)	1152×576 格網化資料 T382 Gaussian grid 0.0E~359.687E，89.761S~89.761N
變數(variable)	海平面大氣壓力(sea level pressure)
高度(level)	海面(surface)
資料型式(type)	GRIB2

3.3.3 海面溫度

關於海面溫度資料，本計畫蒐集了 NOAA Optimum Interpolation (OI) Sea Surface Temperature V2 之海面溫度資料，其資料為資料測站與衛星資料利用最佳內插法之輸出結果，資料時間範圍自 1981 年至今，時間解析度為 7 天，空間解析度為 1.0 度，資料範圍涵蓋全球，資料網址為 http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.noaa.oisst.v2.html。表 3-5 為 NOAA OI SST V2 海面溫度資料格式說明。

另亦蒐集了 NOAA Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (SST) V3 之海面溫度資料，其資料來源為 International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set (ICOADS)之 SST 資料，利用改良式統計方法重建格網資料(Smith，2008)，資料時間範圍自 1854 年至今，時間解析度為月平均，空間解析度為 2.0 度，資料範圍涵蓋全球，資料網址為 http://www.cdc.noaa.gov/data/gridded/data.noaa.ersst.html 。表 3-6 為 NOAA ERSST V3 海面溫度資料格式說明，而表 3-7 為 CFSR 海面溫度資料格式說明。

表 3-5　NOAA OI SST V2 海面溫度資料格式

屬性	設定值
時間範圍(period)	1981 年~迄今
時間間距(interval)	週平均 weekly mean
空間資訊(spatial)	180×360 格網化資料 1.0 degree latitude x 1.0 degree longitude global grid 0.5E~359.5E，89.5S~89.5N
變數(variable)	海面溫度(sea surface temperature)
高度(level)	海面(surface)
資料型式(type)	NetCDF

表 3-6　NOAA ERSST V3 海面溫度資料格式

屬性	設定值
時間範圍(period)	1854 年~迄今
時間間距(interval)	月平均 mothly mean
空間資訊(spatial)	89×180 格網化資料 2.0 degree latitude x 2.0 degree longitude global grid 0.0E~358.0E，88.0S~88.0N
變數(variable)	海面溫度(sea surface temperature)
高度(level)	海面(surface)
資料型式(type)	NetCDF

表 3-7　CFSR 海面溫度資料格式

屬性	設定值
時間範圍(period)	1979/01/01~迄今
時間間距(interval)	6 小時 6-hourly、月平均 monthly mean
空間資訊(spatial)	720×361 格網化資料 0.5 degree latitude x 0.5 degree longitude global grid 0.0E~359.5E，90S~90N
變數(variable)	海面溫度(sea surface temperature)
高度(level)	海面(surface)
資料型式(type)	GRIB2

3.3.4 海洋鹽度、溫度與海流

關於海洋鹽度與溫度，本計畫蒐集了 NODC (National Oceanographic Data Center)的 WOA (World Ocean Atlas)海洋水文資料庫，其分析場資料包含海洋溫度、鹽度、溶氧、磷酸鹽、矽酸鹽等資料，資料時間為 2005 年，水平空間解析度為 1.0 度，垂直方向共有 33 層，分別是 0、10、20、30、50、75、100、125、150、200、250、300、400、500、600、700、800、900、1000、1100、1200、1300、1400、1500、1750、2000、2500、3000、3500、4000、4500、5000 與 5500 公尺，其資料範圍涵蓋全球，資料網址為 http://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOA05/pr_woa05.html。表 3-8 為 WOA05 海洋資料庫格式說明。

本計畫亦收集國科會海洋學門海洋資料庫之水文資料來進行模式驗證，海洋學門資料庫資料範圍以臺灣附近海域為主，關於海洋水文資料，是研究船以 Seabird 公司製造的溫鹽深儀(CTD，Conductivity, Temperature, Depth)所量測的 CTD 水文資料為主。目前共收集有研究船 3000 多航次的資料，約有 40000 多點資料，原始資料筆數約 1000 萬筆左右。其資料網頁為 http://www.odb.ntu.edu.tw/ctd/，表 3-9 為海洋資料庫之海洋水文資料之格式說明。

國科會海洋學門海流資料是海研一、二、三號的船碇式都卜勒流剖儀(Ship-Board Acoustic Doppler Current Profiler，Sb-ADCP)所收集得來，該儀器安裝在研究船船底的聲學裝置，利用都卜勒效應，即可求得海水各層深度之流場剖面資料。由於儀器安裝於研究船船底，航行軌跡所經之處，即為流場量測區域。本流場資料利用 Tang 和 Ma (1995)的校正方式獲得絕對流場，再將各水層資料內插成每十米深度，並繪製相關圖資。其資料網頁為 http://www.odb.ntu.edu.tw/adcp/，表 3-10 為海洋資料庫海流資料之格式說明。

表 3-8　NODC WOA05 海洋資料庫格式

屬性	設定值
時間範圍(period)	1900-2005 年長期平均
空間資訊(spatial)	180×360 格網化資料(grid) 1.0 degree latitude x 1.0 degree longitude global grid 0.0E~359.0E，89.5S~89.5N
變數(variable)	溫度(temperature)、鹽度(salinity)
高度(level)	標準深度(水深方向 33 層)
資料型式(type)	ASCII

表 3-9　國科會海洋學門海洋資料庫之海洋水文資料

屬性	設定值
時間範圍(period)	1985 年迄今
空間資訊(spatial)	點狀資料、30 分格網畫資料
變數(variable)	溫度(temperature)、鹽度(salinity)
高度(level)	標準深度(水深方向 33 層)
資料型式(type)	ASCII

表 3-10　國科會海洋學門海洋資料庫之海洋海流資料

屬性	設定值
時間範圍(period)	1991~2009 年
空間資訊(spatial)	0.25 度格網化資料
變數(variable)	流速東西分量(*U*、*V*)
高度(level)	20~300 公尺深度(每 10 公尺一層)
資料型式(type)	ASCII

3.3.5 地形水深

關於地形水深，本計畫蒐集了 NGDC (National Geophysical Data Center)全球 2 分解析度之 ETOPO2 資料庫(National Geophysical Data Center)，與 1 分解析度之 ETOPO1 資料庫(Amante 和 Eakins，2009)，其資料網址為 http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/bathymetry/relief.html，及國科會海洋學門之水深資料庫(Liu 等人，1998)，而表 3-11、3-12 及 3-13

分別為 ETOPO2、ETOPO1 及海洋學門之水深資料庫格式說明。

表 3-11　ETOPO2 地形水深資料庫格式

屬性	設定值
時間範圍(period)	2006 年發表
空間資訊(spatial)	5401×10801格網化資料(grid-registered) 2 minute latitude x 2 minute longitude global grid 0.0E~360.0E，90.0S~90.0N
變數(variable)	地形水深高程(topograhy & bathymetry)
資料型式(type)	NetCDF

表 3-12　ETOPO1 地形水深資料庫格式

屬性	設定值
時間範圍(period)	2009 年發表
空間資訊(spatial)	21601×10801格網化資料(grid-registered) 1 minute latitude x 1 minute longitude global grid 0.0E~360.0E，90.0S~90.0N
變數(variable)	地形水深高程(topograhy & bathymetry)
資料型式(type)	NetCDF

表 3-13 國科會海洋學門水深資料庫格式

屬性	設定值
時間範圍(period)	1998 年發表
空間資訊(spatial)	1601×1801格網化資料(grid-registered) 500 m x 500 m 117.0E~125.0E，18.0N~27.0N
變數(variable)	地形水深高程(topograhy & bathymetry)
資料型式(type)	ASCII

3.3.6 五大商港海流、潮汐及風速資料

本年度計畫目標為臺灣各國際商港外海之海流模擬，為了驗證本計畫所建置之模式合理性，故收集港研中心於五大商港外海之海潮流觀測資料作為模式驗證與校驗參數的基礎，本計畫收集了 2009、2010

年於基隆、蘇澳、花蓮、台中及高雄港外海之海流資料及近岸潮位與風速資料，表 3-14 至 3-16 分別表示海流、潮位及風速於五大商港區成功觀測之月份一覽表。以下則簡述各測站位置與儀器安置狀況。

1. 基隆港：基隆港之海流觀觀測使用挪威 NORTEK 公司之剖面海流與表面波浪即時傳送監測系統(AWCP)，由於 2006 年 8 月防波堤延伸工程，故安裝於西防波堤外海水深 36 公尺處，其坐標約在北緯 $25^0$09′50″，東經$121^0$44′50″(曾等人，2011)，如圖 3-3 中所示。剖面海流流速的量測可依照使用在不同水深即自固定在海床上之儀器位置到水表面來設定量測不同的間距，基隆港觀測站水深間距設定為 2 公尺，每小時連續量測 600 秒，再將總和平均代表其數樣每一間距層之海流流速、流向等資料，記錄在感應器內，並每隔 1 小時經由海底電纜傳訊回接收站之電腦中儲存(蘇等人，2011)。

2. 蘇澳港：蘇澳港之海流觀測系統亦為 AWCP 型式，其位置在蘇澳港港口外海 700 公尺處，水深 25 公尺，其坐標約在北緯 $24^0$35′23″，東經$121^0$53′07″(曾等人，2011)，如圖 3-4 中所示。

3. 花蓮港：花蓮港之海流觀測系統亦為 AWCP 型式，其位置約在花蓮港東防波堤南方 380 公尺處，水深 33 公尺，其坐標約在北緯 $23^0$58′50″，東經$121^0$37′30″(曾等人，2011)，如圖 3-5 中所示。

4. 臺中港：臺中港之海流觀觀測亦使用挪威 NORTEK 公司之剖面海流與表面波浪即時傳送監測系統(AWCP)，由於 2008 年 9 月 28 日因連續二個強烈颱風中下了豪雨，從北邊的大甲溪與大安溪流出的大量砂石，將整座高 2.5 公尺的 AWCP 儀器埋剩 10 公分左右並將電纜沖斷，港研中心隨即在 2009 年 6 月 20 日重新安裝於臺中港北防波堤堤頭 570 公尺外、水深 23 公尺處，其坐標約在北緯 $24^0$18′09.4″，東經$120^0$28′38.4″(曾等人，2011)，如圖 3-6 中所示。

5. 高雄港:高雄港之海流觀測系統亦為 AWCP 型式,現有測站為 2005 年 8 月後移至第二港口西南外海約 700 公尺處,水深約為 18 公尺,

其坐標約在北緯22°32′33.9″，東經120°17′38.4″(曾等人，2011)，如圖 3-7 中所示。

6. 安平港：安平港之 AWCP 海流觀測系統安裝於安平觀測樁水下 5 米處，其坐標約在北緯22°56′37″，東經120°08′10″(蘇等人，2011)，如圖 3-8 中所示。

7. 臺北港：臺北港之 AWCP 海流觀測系統安裝於臺北港觀測樁上，其座標約在北緯25°10′54″，東經121°22′32″(蘇等人，2011)，如圖 3-9 中所示。

表 3-14　五大商港海流觀測資料(灰色為該月份有成功觀測資料)

年度	2009												2010											
月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
基隆港																								
臺中港																								
高雄港																								
蘇澳港																								
花蓮港																								
臺北港																								
安平港																								

表 3-15　五大商港潮位觀測資料(灰色為該月份有成功觀測資料)

年度	2009												2010											
月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
基隆港																								
臺中港																								
高雄港																								
蘇澳港																								
花蓮港																								
臺北港																								
安平港																								

表 3-16　五大商港風速、向觀測資料(灰色為該月份有成功觀測資料)

年度	2009												2010											
月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
基隆港																								
臺中港																								
高雄港																								
蘇澳港																								
花蓮港																								
臺北港																								
安平港																								



圖 3-3 基隆港海氣象觀測站儀器安裝佈置示意圖(曾等人，2011)



圖 3-4 蘇澳港海氣象測站儀器安裝佈置示意圖(曾等人，2011)



圖 3-5 花蓮港海氣象觀測站儀器安裝佈置示意圖(曾等人，2011)



圖 3-6 高雄港海氣象觀測站儀器安裝佈置示意圖(曾等人，2011)



圖 3-7 臺中港海氣象觀測站儀器安裝佈置示意圖(曾等人，2011)



圖 3-8 安平港海氣象觀測站儀器安裝佈置示意圖(蘇等人，2011)



圖 3-9 臺北港海氣象觀測站儀器安裝佈置示意圖(蘇等人，2011)

第四章 臺灣海域海流模式建置與驗證

延續前兩年計畫「POM 海洋數值模式應用於臺灣海域之洋流模擬」與「臺灣東部海域洋流模擬及深層海水水溫水質月季變動特性探討」，利用計畫所建置的臺灣海域 POM 模式洋流模擬系統，其中包括 POM 海洋數值計算模式、資料輸出入處理及成果展示系統。根據已經選定計算領域大小，透過全球、西太平洋與臺灣海域之順序，以三層巢狀格網的模擬洋流，建立臺灣海域之洋流模式，作為洋流效應來源之依據，其利用 NCEP/NCAR 分析風場資料(NCEP/NCAR Reanalysis 1)、海面溫度採 NOAA OI SST 的週平均資料庫，鹽度與溫度起始資料以 WOA05 海洋資料庫的年平均氣候值，進行洋流模式的模擬，模式起始時間為 1986 年 1 月 1 日 0 時，模擬至 2009 年 12 月 31 日。在潮流效應方面，採用 Matsumoto 等人(2000)所提出的 NAO99 模式輸入天文潮位邊界，以 NAO99 的輸出結果做為驅動天文潮推算所需的動力邊界條件。

由前兩年計畫結果可知，在巢狀格網解析度相同條件下，格網範圍不同卻會形成不同特性之洋流流動，尤其是隨著洋流流動兩者間之差異會越來越大，如洋流流向與中尺度渦流的特性明顯不同。此外，格網解析度不同可產生的洋流特性之可分辨性亦不同，利用高解析度格網來描述洋流特性是必須的，高解析度海洋模式須搭配高解析度海氣象資料庫，兩者解析度的同時提升有助於改善模擬結果。本年度計畫將建立更近岸之高解析度格網，利用潮流與洋流效應綜合邊界條件，進行臺灣海域各商港海域之海流模擬，利用與港灣附近之實測資料驗證模式和理性，並分析各商港海域之海流特性。

4.1 臺灣海域洋流特性

洋流亦可稱海流，是具有相對穩定的流速和流向的大規模的海水運動。按照洋流的分類大致上可分為混合層甚或斜溫層以上，由風應

力所引起風吹流，與海洋深層環流的溫鹽環流。由於大氣環流在低緯度地區於赤道與南北緯 30 度形成一信風帶，北半球是東北風、南半球為東南風，此二風於赤道輻合，並於赤道形成一無風帶。信風帶作用下的赤道暖流向西流動，遇大陸後一部分海水因信風切應力南北向速度分量不均和補償作用而折回，便形成了自西向東的赤道逆流和赤道潛流。而另一部分信風漂流向高緯的南北分流，在北太平洋形成黑潮、南太平洋形成東澳洲洋流、南大西洋形成巴西洋流、北大西洋形成北大西洋灣流、南印度洋形成莫三比克洋流。全球主要洋流的分佈如圖 4-1 所示。

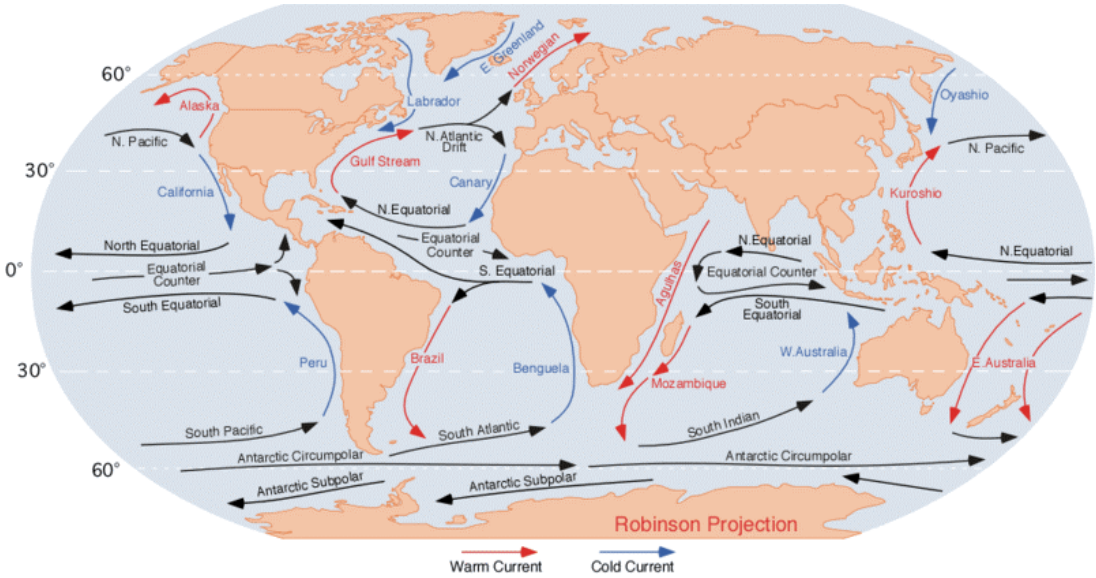


圖 4-1 全球主要洋流分佈圖 (資料來源：http://en.wikipedia.org)

於緯度 30 至 60 間西風盛行，西風帶作用下的西風漂流向東流動遇大陸後，向兩側的高緯低緯分流形成補償流。向低緯流的洋流有：北太平洋的加利福尼亞洋流、南太平洋的秘魯洋流、北大西洋的加那利洋流、南大西洋的本吉拉洋流、南印度洋的西澳洲洋流。而西風漂流遇到陸地後向北分支形成的補償流、極地東風帶形成的中高緯大洋西岸的洋流組成北半球中高緯海區的氣旋型大洋環流。該環流在北太平洋上有、北太平洋暖流、阿拉斯加洋流、千島寒流。在北大西洋上有、北大西洋暖流、挪威暖流、東格陵蘭寒流。而北印度洋陸地較多，風場與其他二洋亦有所不同，太平洋與大西洋於北半球的副熱帶環流

不見於此處。北印度洋受南亞季風的影響，冬季盛行東北季風，形成東北季風漂流，夏季盛行西南季風，形成西南季風漂流。

臺灣為一海島，東臨太平洋，西隔臺灣海峽與大陸相望，南北長約 377 公里，東西寬約 142 公里，海岸線全長約 1,200 公里(含澎湖群島總長約 1,520 公里)。島上山嶽高聳，東部海岸因海岸山脈面海矗立，岸邊多懸崖峭壁，海底坡降陡峻，距岸不遠處即為深海。西部海岸則山脈離海較遠，加以早年各主要河川均西向流入臺灣海峽，順流而下之大量泥沙堆積於近海地區，遂助長海灘向外伸展，沿海平原坡度平緩，海灘承其餘勢坡度亦緩。受地形影響，臺灣之洋流與潮汐在南北部與東西部均有不同之變化。洋流與潮汐為影響臺灣沿海環境之重要自然因素。洋流主要影響氣候及漁場分佈；潮汐影響河川與港灣的自淨能力以及沿海汙染物質的擴散。資就臺灣附近之洋流與潮汐狀況分別描述如下：

在臺灣海峽的洋流情形因受季風之影響，一般可分為兩種形態：春末至秋初，由於西南季風盛行，位於臺灣南方之南海洋流與黑潮支流等兩股暖流流經臺灣海峽；在冬季時，因東北季風盛行，由東北風吹起的冷流流入臺灣海峽北部，而南部海峽的海水主要來自黑潮支流，這兩種水溫不同的水團相遇於澎湖群島附近，然後一起流入中國南海。臺灣附近的洋流有四個：

黑潮主流，黑潮(Kuroshio)又名臺灣海流，向北流至臺灣南端附近時，分成兩股。主流沿臺灣東北而上，在蘇澳海脊阻隔，流經彭佳嶼後彎曲朝東北向流去，流速達 1 m/sec，有時高達 2 m/sec，一般而言夏季流速較快。黑潮主流之寬度約為 110~150 公里，主流中軸線距臺灣約 50~150 公里，最大流速範圍為 0.6~1.0 m/sec，但隨區域與季節而有所不同，最強之流速出現在接近臺灣海岸處，流速向東緩慢降低，在主流右側常有一反向向南之洋流或渦流存在。黑潮主流由海面向下可延伸至 600 公尺深，在此深度之流速仍達 0.1~0.2 m/sec，在臺灣東部近岸流速超過 0.3 m/sec 之黑潮潮流亦可延展至 200 公尺深。黑潮為來自赤道附近的暖流，夏季表層水溫達 30℃，冬季水溫不低於 20℃。黑

潮流經臺灣附近，由於受到海底地形的影響，在臺灣東南沿海及東北外海海域引起湧昇流現象。湧昇流會把二、三百公尺深的中層海水帶到表層來，中層海水含較豐富的營養鹽，這些高養分的海水使浮游生物繁殖旺盛，引來魚群，因而形成良好的漁場，為臺灣近海漁業帶來大洋暖水性魚種，例如鮪魚、鰹魚、旗魚、鬼頭刀等等。臺灣北部的彭佳嶼就是湧昇流區，是臺灣重要的漁場之一，南方澳一帶的漁船經常在此海域作業，對臺灣漁業發展有重大之影響。

黑潮支流，黑潮支流沿臺灣西岸而上，夏季時因有西南風吹送，可一直流經整個臺灣海峽；冬季時海峽北部海面因東北季風盛行，黑潮支流流經澎湖群島附近時，與北方來的親潮會合後，折向西流入南海。而親潮又名中國沿岸流，起源於渤海與黃海北部之冷流，冬季因東北季風之吹拂沿大陸海岸南下，流入臺灣海峽後與黑潮支流相會於澎湖群島附近，會合後流入南海。魚類隨這道洋流南下集中於澎湖群島西側，同時澎湖在冷暖洋流的交匯下，產生了大量的浮游生物，因此也使得大量的魚類得以在此生存，使澎湖群島成為臺灣西部海域重要之漁場。夏季時因西南季風影響，使黑潮支流強勁，無法流向臺灣海峽。南海洋流，冬季時此一洋流無法流入臺灣海峽；夏季由於西南季風之吹送北上與黑潮支流一起流入臺灣海峽，因此又稱為西南季風吹送流。

4.2 臺灣海域洋流模擬系統之建置

風力、溫鹽通常是洋流之原始趨動水動力，鑒此，欲模擬計算洋流之大規模流動特性，用以模擬計算之海域範圍一般甚為寬廣。雖然本研究目的在於模擬臺灣鄰近海域之海流，但為了取得正確的模式邊界條件，故首先必須進行大範圍海域之洋流模擬，然後再利用巢狀格網計算方式，逐步縮小計算範圍，藉以提高臺灣鄰近海域洋流模擬的解析度。而前兩年計畫所建立的巢狀格網模式，其利用國科會海洋資料庫之海流與水文資料來驗證模式年季流場與溫鹽場之合理性，並透

過單點錨碇海流資料、浮標追蹤、岸基測流雷達資料的比較，臺灣海域模式於洋流特性、溫鹽之年、季分布與特性均具有合理之一致性。據此利用 POM 模式配合巢狀格網方式，可重現臺灣海域之海流、溫鹽度等物理特性，故前兩年計畫所建置之洋流模式應可作為本計畫臺灣近岸海域洋流模擬研究之有效工具。

去年度計畫亦利用巢狀計算方式縮小計算範圍至臺灣西南海域，提高臺灣西南海域模擬的解析度，並同時加入潮汐與洋流邊界條件進行海潮流模擬，其結果與高雄海域單點測站之水位、流速、流向具有合理之一致性，表示欲模擬臺灣西南近岸海域之海潮流現象，高解析度格網與合理的洋流、潮流邊界條件為合理與必要之條件。本年度將延展計畫成果，以去年度模擬方式為基礎，提高臺灣近岸海域 POM 模式之解析度，並以臺灣重要商港海域為重點，使用巢狀格網計算方式模擬各商港海域之洋流與潮流綜合效應之海流現象。

以下則簡述全球、西北太平洋及臺灣海域洋流模式的建置過程，與如何利用巢狀格網計算方式縮小模擬範圍增加模式解析度。由於本年度利用 MPI 平行化方式提升計算效率，故本年度計算格網之解析度亦隨之提升一倍。第一層格網為全球 POM 洋流模式，計算領域南至南極洲，北至北緯 70 度，東西邊界互相連接為一週期性邊界，格網解析度為 1/4 = 0.25 度；第二層則縮小範圍至西北太平洋，計算領域為東經 105~175 度、南緯 15 度至北緯 45 度，格網包括赤道南北附近海域，格網解析度為 1/10 = 0.1 度約為 10 公里；第三層則為臺灣附近海域，格網範圍為東經 116~126 度、北緯 15~29 度，格網包含呂宋島，而格網間距為 1/32 = 0.03125 度約為 3.5 公里。圖 4-2、圖 4-3 及圖 4-4 分別為全球(G1)、西北太平洋(N2)、臺灣海域(T3)之計算領域地形水深圖，其地形水深採用 ETOP1 地形水深資料庫，其解析度為 1/60 度，而模式格網設定亦如表 4-1 中所示。

在邊界條件方面，海面溫度採 NOAA OI SST 的週平均資料庫，其資料範圍為 1981 年 1 月至今，空間解析度為 1 度，海面風場與氣壓資料為 NCEP/NCAR Reanalysis 1 的 6 小時一筆之大氣資料庫，其資料範

圍為 1948 年至今。模式鹽度與溫度起始資料以 WOA05 海洋資料庫的年平均氣候值。關於模式設定，全球模式之起始時間為 1986 年 1 月 1 日 0 時，模擬至 2010 年 12 月 31 日，而西北太平洋與臺灣海域模式由於計算範圍較小，故所需冷啟動之穩定時間較短，其模式起始時間為 2008 年 1 月 1 日至 2010 年 12 月 31 日，而巢狀格網相互連接邊界資料更新頻率為日平均值。表 4-2 中說明各模式所採用的海氣象資料庫。而模式參數方面，則以表 4-3 所列之參數進行模擬。

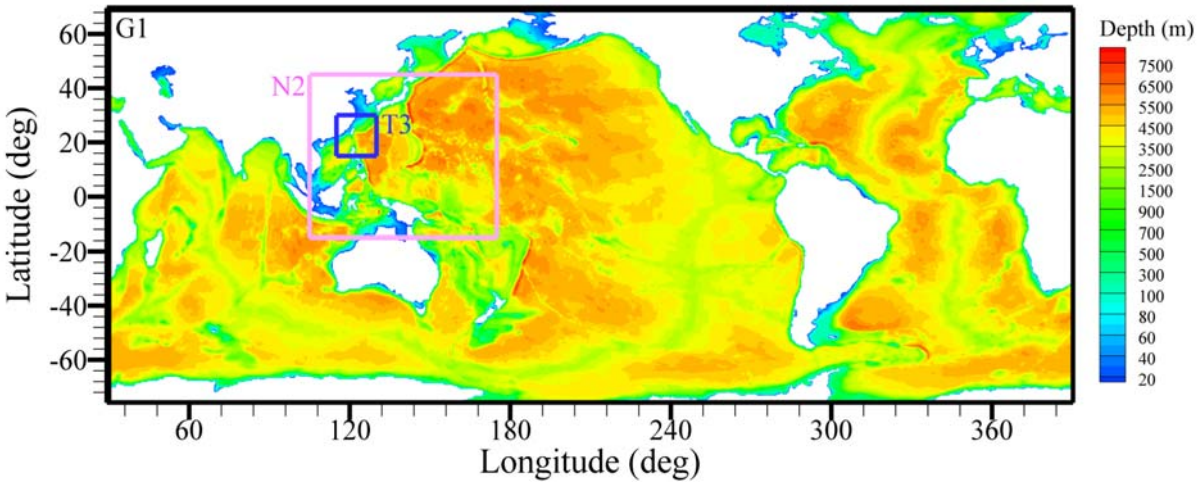


圖 4-2 全球洋流模式計算領域地形水深圖

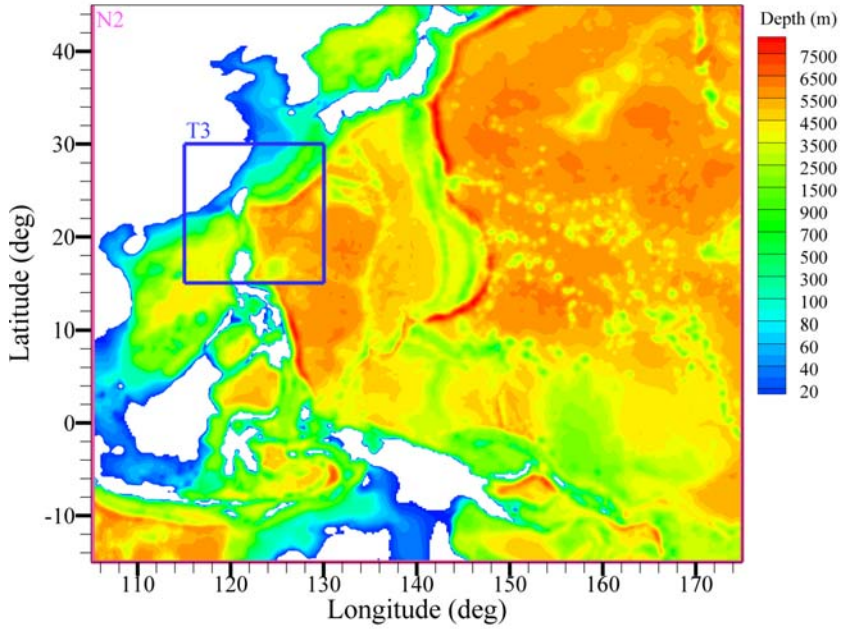


圖 4-3 西北太平洋模式格網範圍與地形水深圖

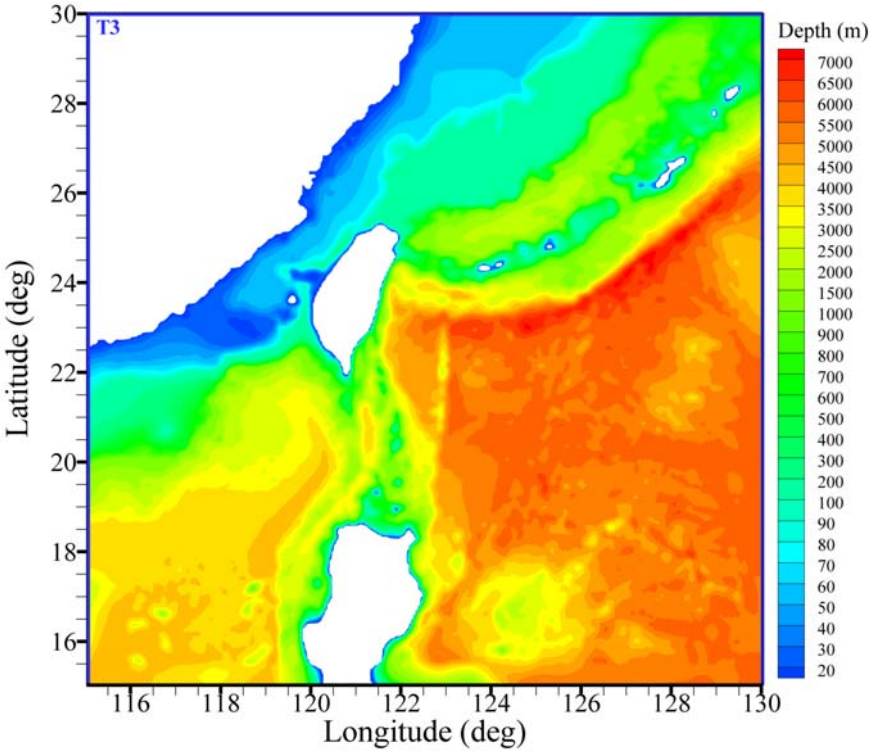


圖 4-4 臺灣海域模式格網範圍與地形水深圖

根據去年度計畫對於臺灣海域洋流模式之驗證，其採用國科會海洋學門海洋資料庫海流資料庫之量測結果做為模式驗證，其海流資料是海研一、二、三號的船碇式都卜勒流剖儀(Ship-Board Acoustic Doppler Current Profiler，Sb-ADCP)所收集得來，資料範圍為 1991 年至 2009 年。圖 4-5 分別為水深 20、50、100、200 及 300 公尺處，T3 模式結果與海流資料庫實測值之比較圖，圖中左側為海流資料庫之實測值，右側為模式結果，箭頭表示流速流向，等值色塊為流速分佈。對照本計畫的模擬結果與海流資料庫實測資料，於花蓮外海之表面流速皆介於每秒 1 公尺至 1.5 公尺之間，黑潮於臺灣東部海岸出現流速最大值的位置相近，且流速與流向也具有合理的一致性，表示臺灣海域 T3 模式所模擬的臺灣東部黑潮特性具有可信度。比較呂宋海峽處之洋流特性，由圖中可知，由模式模擬之黑潮經過菲律賓海域後一分為二，支流轉進入南海海域後，一部分沿著澎湖水道穿過臺灣海峽，而部分海流於臺灣西南海域形成一順時針環流，繞過臺灣西南海岸於墾丁附近海域與主流會合後沿臺灣東岸北上，此為黑潮套流(loop current)現象。圖 4-6

為 HSin 等人(2008)利用 POM 模式執行 1/8 度之亞洲邊緣海域模式，圖中表示利用 1982 至 2005 年共 24 年之模擬結果平均所得各季 0 至 200 公尺深度平均水平流速，由圖中可看出臺灣西南海域之黑潮套流現象與本計畫模擬之趨勢一致，而臺灣東部之黑潮流向與大小也是具有合理之一致性。由海流資料庫亦約略可見黑潮套流現象，但其流速值小於模擬結果，其可能原因為：一般而言，黑潮套流常發生於東北季風盛行的冬天，而冬天海象惡劣較不易進行大洋觀測實驗，導致冬季時量測點數的分布不均，造成平均值下之黑潮套流現象較不明顯。

表 4-1 巢狀格網之範圍與計算條件

模式	模式範圍	格網點數	解析度	計算時距(dte)	計算時距(dti)	緩衝區格點數
G1	180^0E~180^0W 70^0N~75^0S	1443x553x26	$1/4^0$	30 sec	1800 sec	0
N2	105^0E~175^0E 15^0S~45^0N	700x600x21	$1/10^0$	10 sec	600 sec	10
T3	116^0E~126^0E 16^0N~30^0N	320x448x21	$1/32^0$	3 sec	180 sec	10

表 4-2 模式計算背景資料與計算時間

模式	地形水深	海面風場	海面溫度	海面氣壓	計算時間	計算時間(註)	巢狀邊界更新時間
G1	ETOPO1	NCEP/NCAR Reanalysis 1, 每六小時	NOAA OI SST, 週平均	NCEP/NCAR Reanalysis 1, 每六小時	1986/01/01~2010/12/31	210 min	無
N2	ETOPO1	NCEP/NCAR Reanalysis 1, 每六小時	NOAA OI SST, 週平均	NCEP/NCAR Reanalysis 1, 每六小時	2008/01/01~2010/12/31	66 min	日平均
T3	ETOPO1	NCEP/NCAR Reanalysis 1, 每六小時	NOAA OI SST, 週平均	NCEP/NCAR Reanalysis 1, 每六小時	2008/01/01~2010/12/31	65 min	日平均

註：以雙六核心 Intel Xeon 3.3GHz 電腦於 SUSE Enterprise 11 Server 上執行，利用 MPI 進行 POM 模式平行化，使用十二個計算核心計算模擬一個月所需之時間。

表 4-3 模式重要參數表

參數	值	作用	參數	值	作用
nitera	3	改善水平對流項數值技巧穩定度的選項	tprni	0.2	Pradtl number 水平紊流參數
sw	1	改善數值結果之平滑參數	umol	2.e-5	背景黏滯係數
tbias	10	水體溫度基準值	ispadv	5	對流項更新時間間距，單位為次數
sbias	35	水體鹽度基準值	smoth	0.1	平滑參數，其值為了改善 leap-fog 數值技巧所產生的不穩定性
kappa	0.4	von Karman 參數	alpha	0.225	權重參數，其值可改善計算重力項的穩定性
z0b	0.01	底床粗糙度	ntp	2	水體形式，其與海面短波輻射量有關
cbcmin	0.0025	最小底床摩擦係數	nbct	3	海面溫度邊界條件型式
cbcmax	1.0	最大底床摩擦係數	nbcs	1	海面鹽度邊界條件型式
horcon	0.2	水平擴散係數			

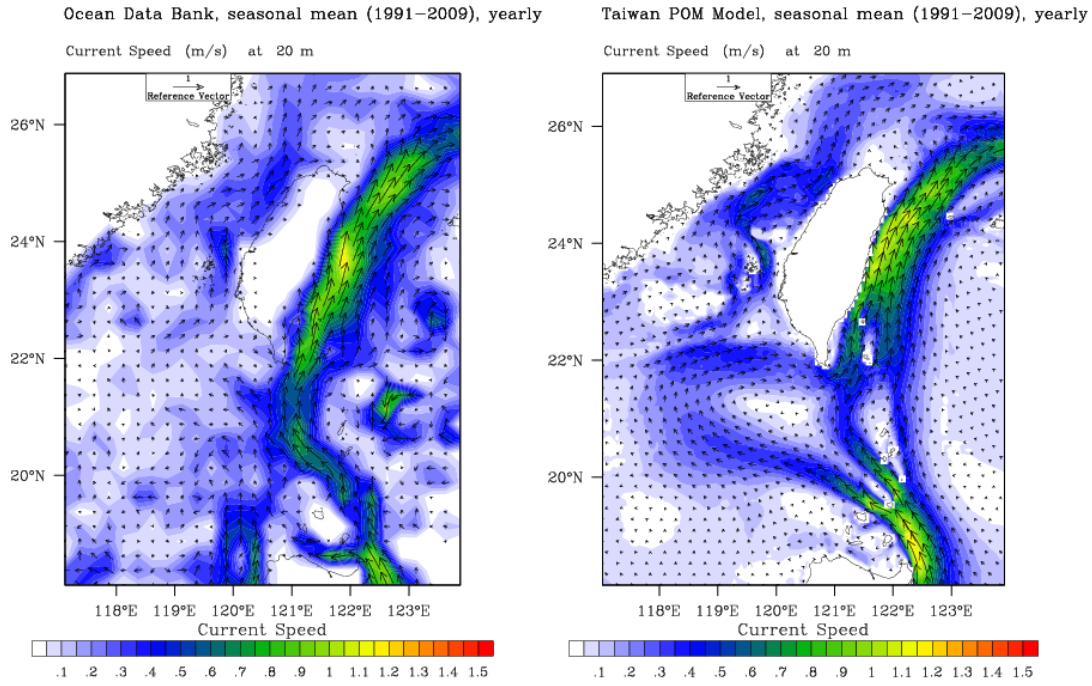


圖 4-5 國科會海洋學門海流資料庫與臺灣海域模式結果之年平均流速流向比較圖 (水深 20 公尺)

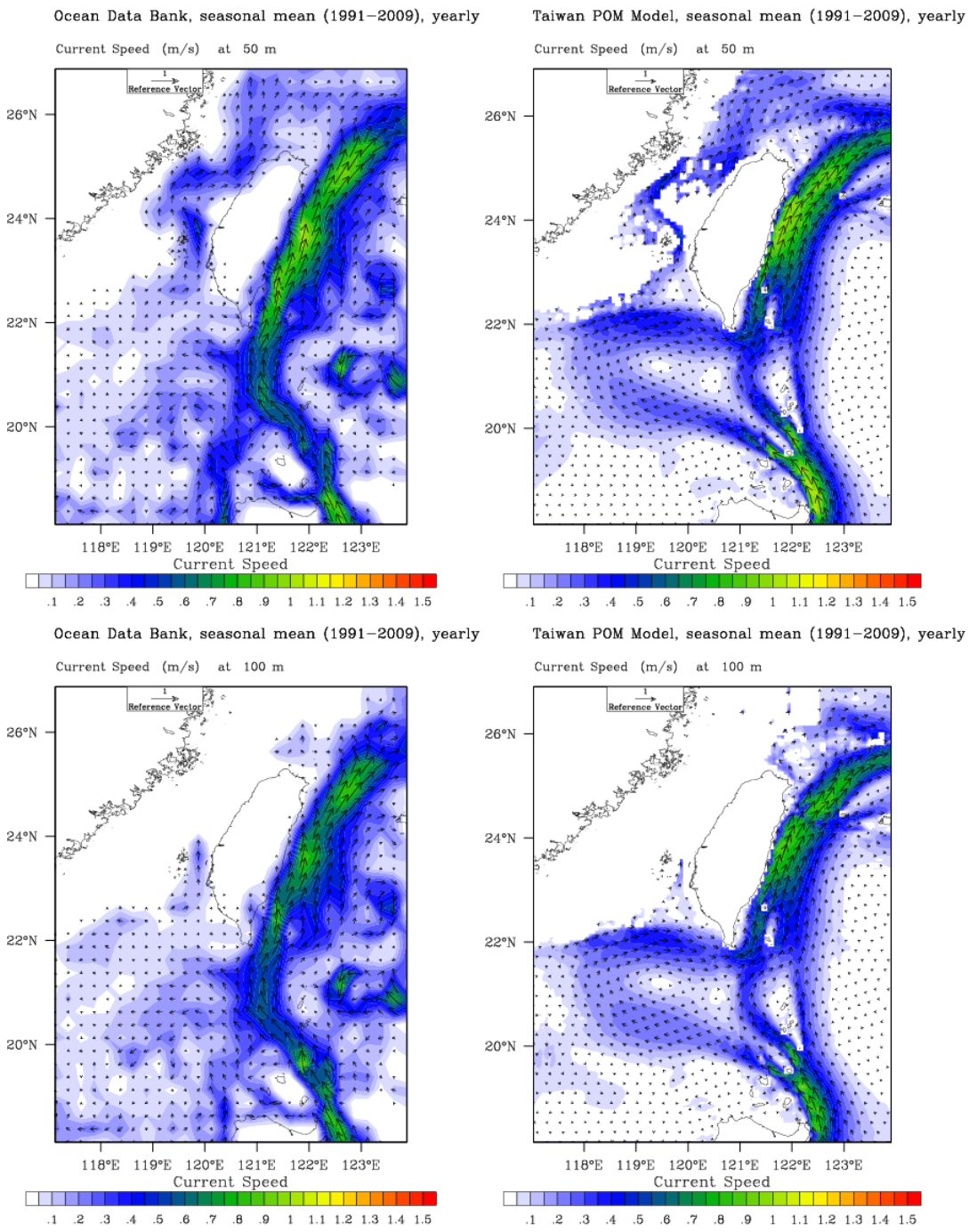


圖 4-5(續) 國科會海洋學門海流資料庫與臺灣海域模式結果之年平均流速流向比較圖 (上側：水深 50 公尺；下側：水深 100 公尺)

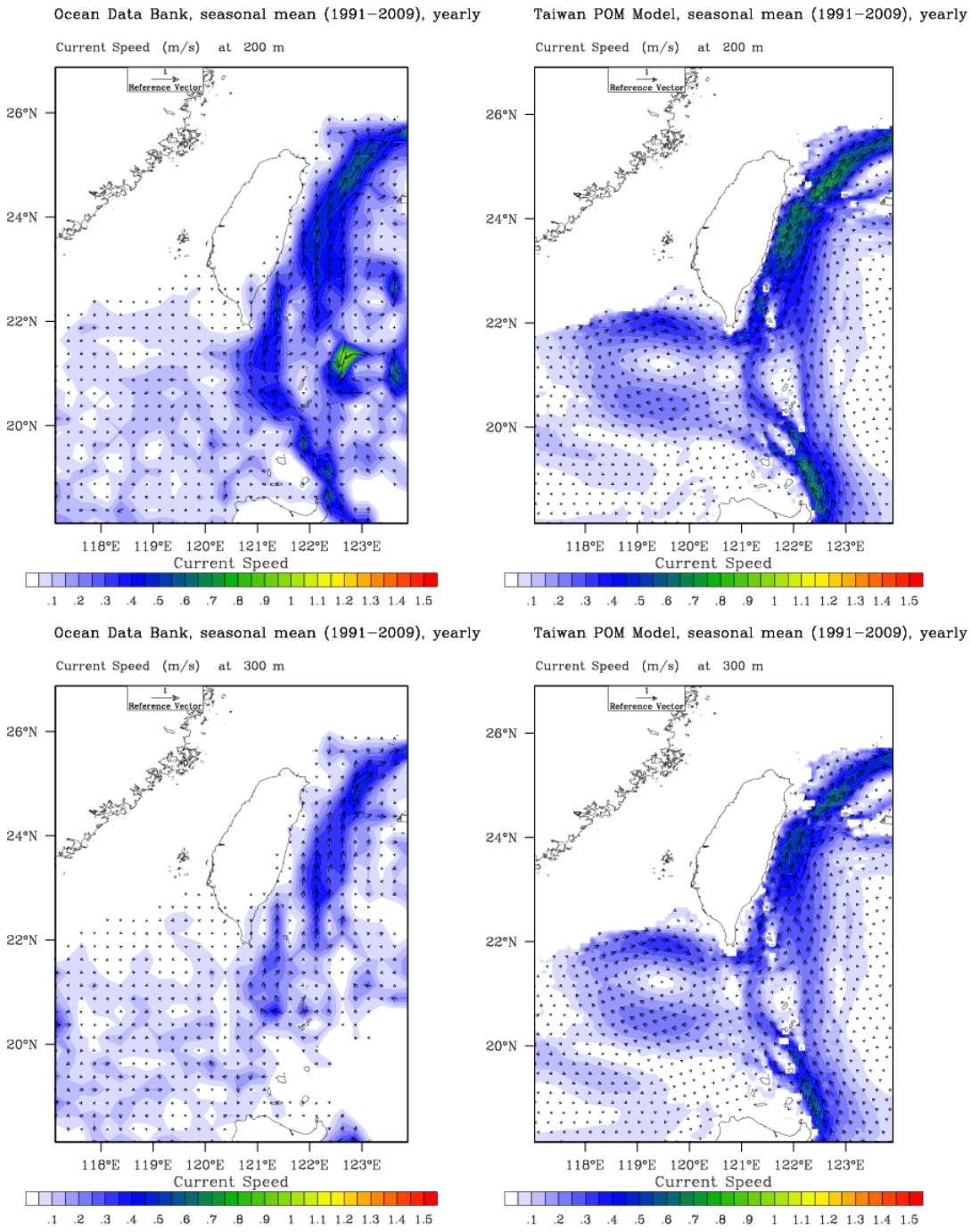


圖 4-5(續)　國科會海洋學門海流資料庫與臺灣海域模式結果之年平均流速流向比較圖 (上側：水深 200 公尺；下側：水深 300 公尺)

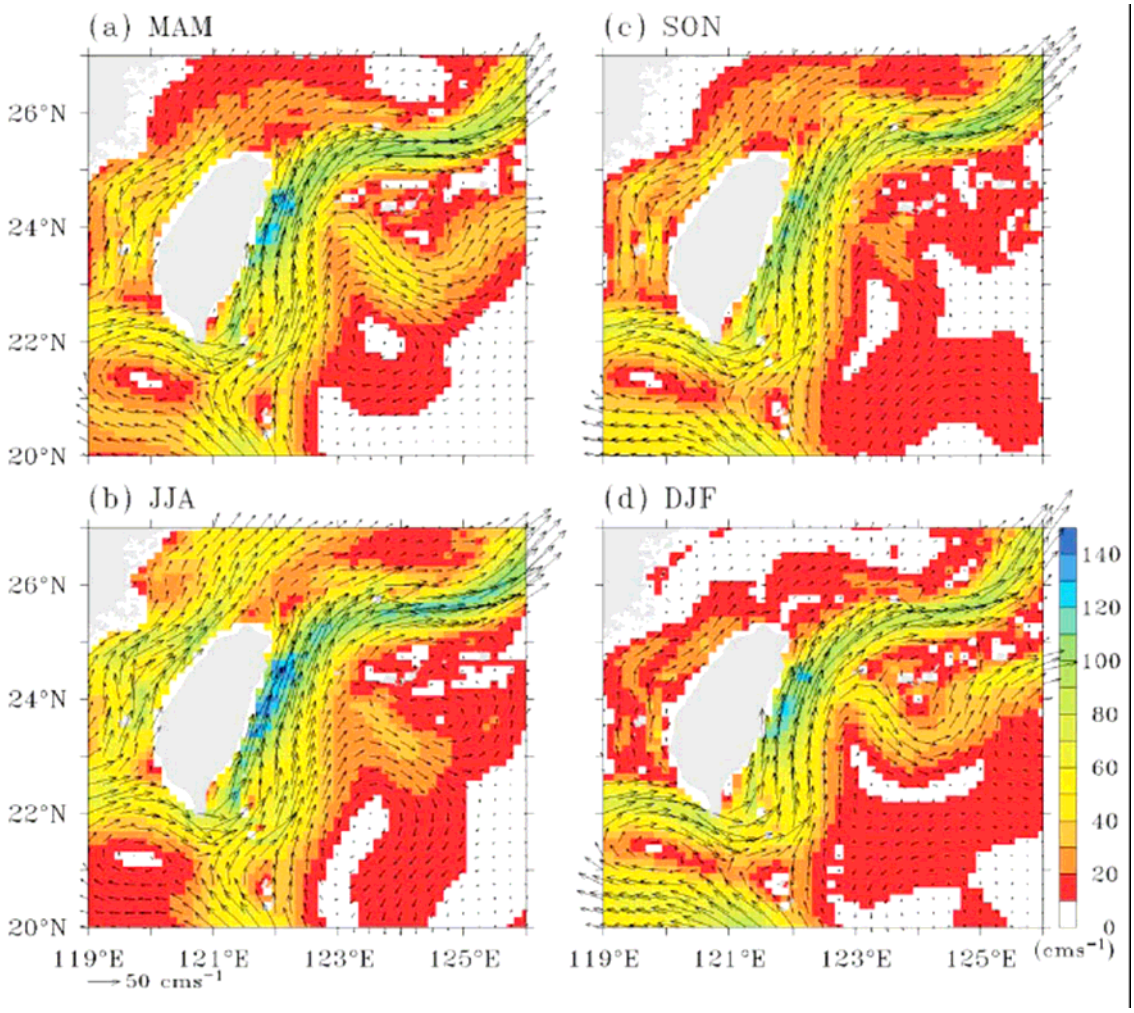


圖 4-6 臺灣附近海域各季之水深 0 至 200 公尺平均流速分布圖(流矢單位為 50cm/s；Hsin 等人，2008；(a) March-April-May (MAM)，(b) June-July-August (JJA)，(c) September-October-November (SON)，(d) December-January-February(DJF))

4.3 綜合洋流與潮流效應進行臺灣海域之海流模擬

由於本計畫目的為近岸海域海流模擬，其所建置之模式必須考慮天文潮汐為近岸海域之重要影響因素，故利用邊界條件處理方式來模擬臺灣海域洋流與潮流同時存在之流況。其利用臺灣海域洋流模式(T3模式)為基礎，採用 Matsumoto 等人(2000)所提出的 NAO99 模式或 OTPS (OSU Tidal Prediction Software，http://volkov.oce.orst.edu/tides/global.html)兩種方式來建立天文潮位邊界，並以上述之全球天文潮汐模式之水位輸出結果做為驅動天文潮推算所需的動力邊界條件，配合西北太平洋海域模式(N2 模式)所輸出之海流流速與水位，將潮汐與洋流模式之水位兩者相加後，並考慮遠域之潮汐流速影響分量很小，以洋流模式結果做為流速主要成分，提供臺灣海域模式所需的水位與流速邊界條件進行模擬，其計算模擬流程如圖 4-7 中所示。

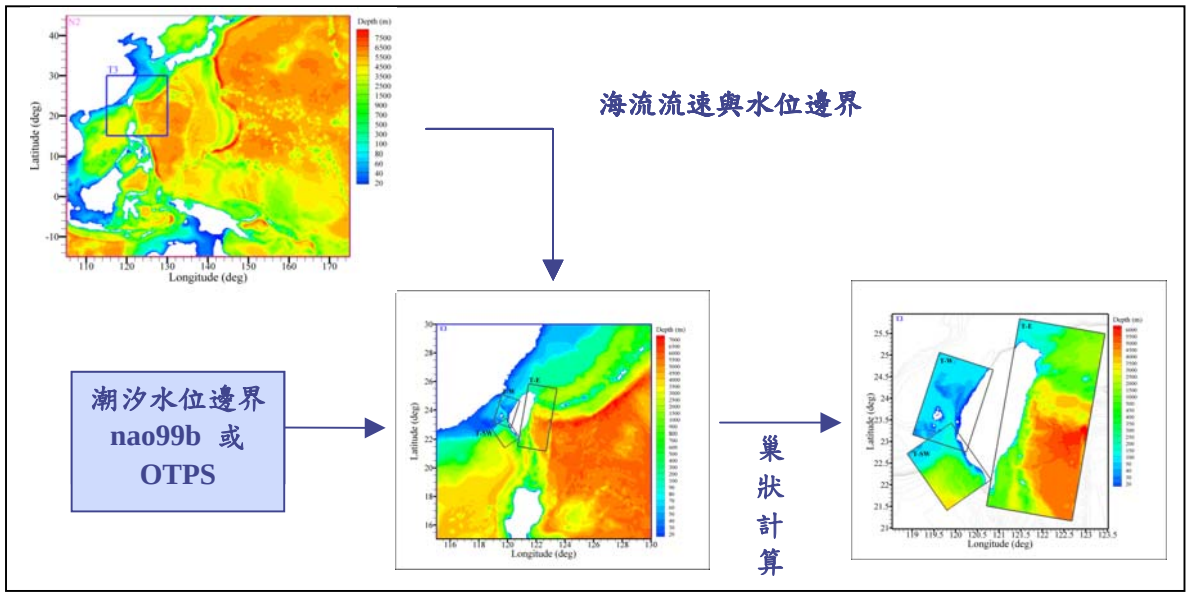


圖 4-7 綜合潮汐與洋流效應模式之模擬流程示意圖

根據以上所述進行臺灣海域綜合洋流與潮流效應之模擬，計算模擬時間由 2008/01/01 00:00 至 2010/12/31 23:00 共計三年，模式之參數與使用 T3 格網進行洋流模擬時一致。而圖 4-8 至圖 4-11 為臺灣海域之

(a)小圖為二維潮汐 POM 模式、(b)小圖為三維洋流與潮流綜合效應 POM 模式之水深平均流速流向分布圖，其為垂直各層流速進行水深平均流速計算後繪製、(c)小圖為三維水深平均流速減去二維水深平均流速之兩者流速差距分布圖及(d)小圖為台中海域水位變化時序列圖。由圖 4-8 至 4-11 之時間分別為可代表冬季之 2009/01/12 08:00 至 2009/01/12 20:00、春季之 2009/04/12 08:00 至 2009/04/12 20:00、夏季之 2009/07/09 08:00 至 2009/07/09 20:00、及秋季之 2009/10/05 08:00 至 2009/10/05 20:00，而逐時各圖之時間間隔為 2 小時，其應可代表 2009 年春夏秋冬季節之一個完整漲退潮汐週期內洋流與潮流變化特性。

由圖 4-8 至圖 4-11 之(a)二維潮汐流動可看出，漲潮段時潮汐由臺灣海峽南北兩端流入，退潮時段由兩端流出，除了臺灣海峽南北兩端於大陸棚處之潮汐現象流動明顯外，其於各地潮流分量明顯較小，此外由臺灣東部潮汐流動現象不明顯，且由不同時段之二維潮汐模擬結果中可知其沒有明顯之季節變化特性。

由圖 4-8 至圖 4-11 之(b)三維洋流與潮流綜合效應模擬結果中可看出，其海流流動現象較二維潮汐模式之海流流動現象為更複雜，如臺灣東北角於退潮段會形成逆時針渦流，而澎湖附近海域於漲退潮段皆會形成大小不一的渦流現象，且由於臺灣海峽有向北流動的黑潮分支，其與潮流相疊加後造成海峽南端退潮流速減小，臺灣海峽北端海域的退潮流速增加。反之的情況也出現在漲潮段，臺灣海峽南端海域之漲潮流速增加，北端海域為漲潮流速減小。此外，由圖中亦可看出由於洋流有季節性變化特性，如臺灣西南海域外海夏季有東南向、冬季有西北向之恆常流動現象，而中西部海域夏季由於黑潮分支之影響有明顯持續向北流動現象。

而由圖 4-8 至圖 4-11 之(c)兩者差異比較結果逐時圖看來，如 8:00 至 14:00 時段約為臺灣海峽內由低潮水位至高潮水位之漲潮段，由二維潮汐模式之流速流向分布中可看出，漲潮段時潮汐由臺灣海峽南北兩端流入，澎湖水道與東北角海域出現紅色色階，表示純潮汐流動明顯小於洋流與潮汐兩者綜合，更進一步由差異流向來看其與潮汐流動方

向一致，由於臺灣附近海域為由南向北之黑潮流動為主導，澎湖水道處由於黑潮分支向北流動影響造成此處於漲潮段流速較純潮汐模式推算為大，反之退潮段為小。而臺灣東北海域由於黑潮分支流出臺灣海峽北端時於東北部外海產生一順時針渦旋，故亦形成此處於漲潮段時出現正值現象。由兩者差異之色階逐時變化看來，若持續呈現紅色或藍色區域表示此處應為洋流主導區域，產生固定方向之恆常流動；若呈現紅藍色交替處應為潮汐主導區域，表示潮汐往復現象造成正、負值變化現象。根據以上所述，分別由代表春夏秋冬季節之差異變化看來，由於臺灣海峽內之黑潮分支於夏季為最強，造成夏季臺灣中西部與南端海域色階明顯持續偏紅，表示洋流於這些區域內影響成分明顯，而冬季黑潮流速漸弱，其差異又回復成紅藍交替狀態。觀察臺灣東部與北部近岸海域逐時變化呈現輕微紅藍交替，表示這些區域內仍是由潮汐變動現象主導海域流動，而東部外海黑潮流動區域一年四季明顯可見紅色色階，表示此區域為洋流主導。

綜合以上所述，由臺灣海域洋流與潮流綜合效應與二維潮流模擬差距中發現，臺灣北部、東部近岸、澎湖水道等區域為潮流主導海域流速變動。而臺灣中西部海域夏季有持續向北流動現象，而西南部海域外海有夏季向東南、冬季向西北之恆常流動現象，而東部外海其黑潮流動現象明顯，其應考慮洋流對此些區域海流變動特性之影響。

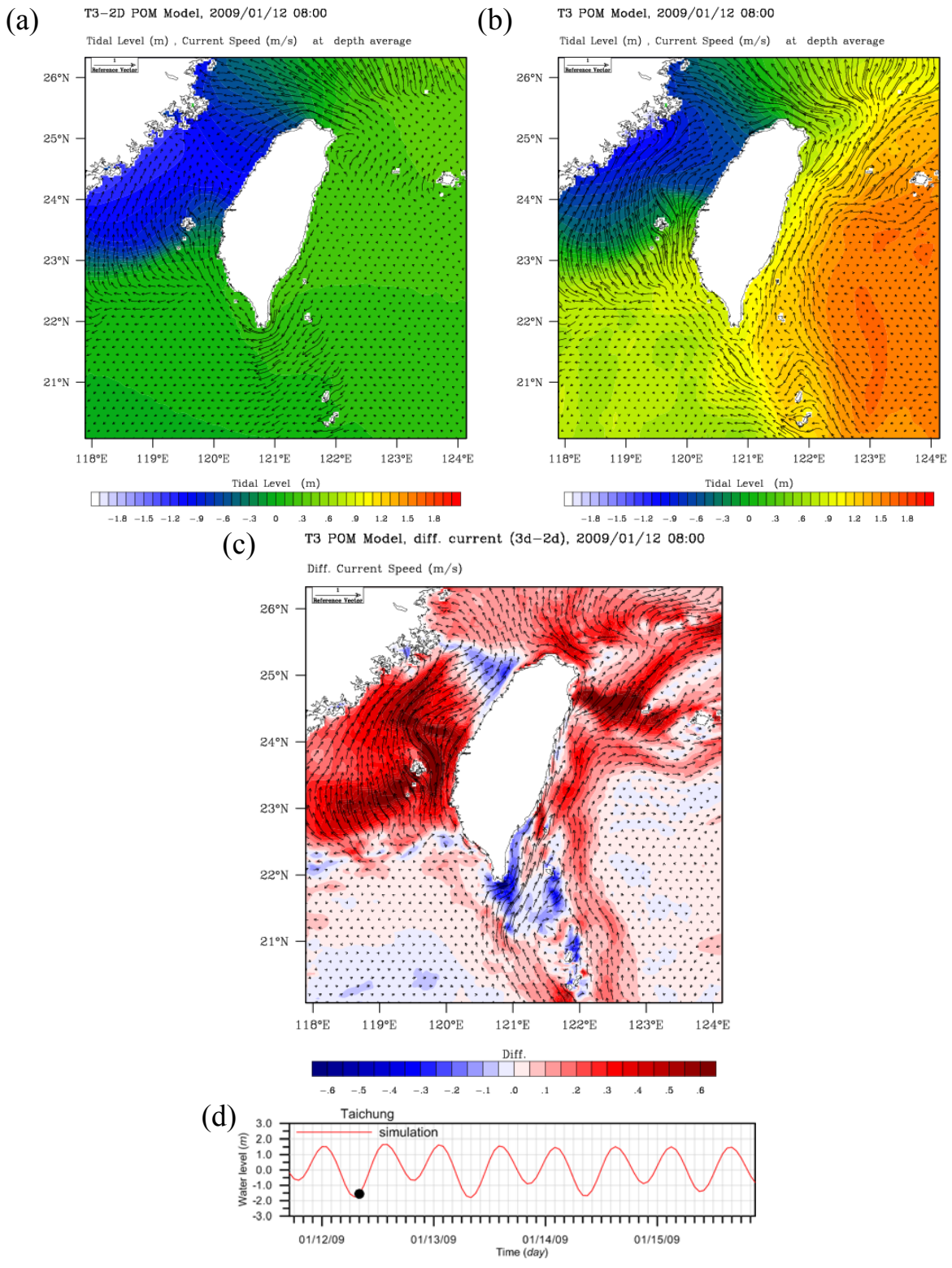


圖 4-8 二維潮汐與三維洋流與潮流綜合效應模式之流速流向比較圖(a)二維模式；(b)三維模式；(c)兩者差距(3D-2D)；(d)台中海域水位高(2009/01/12 08:00)

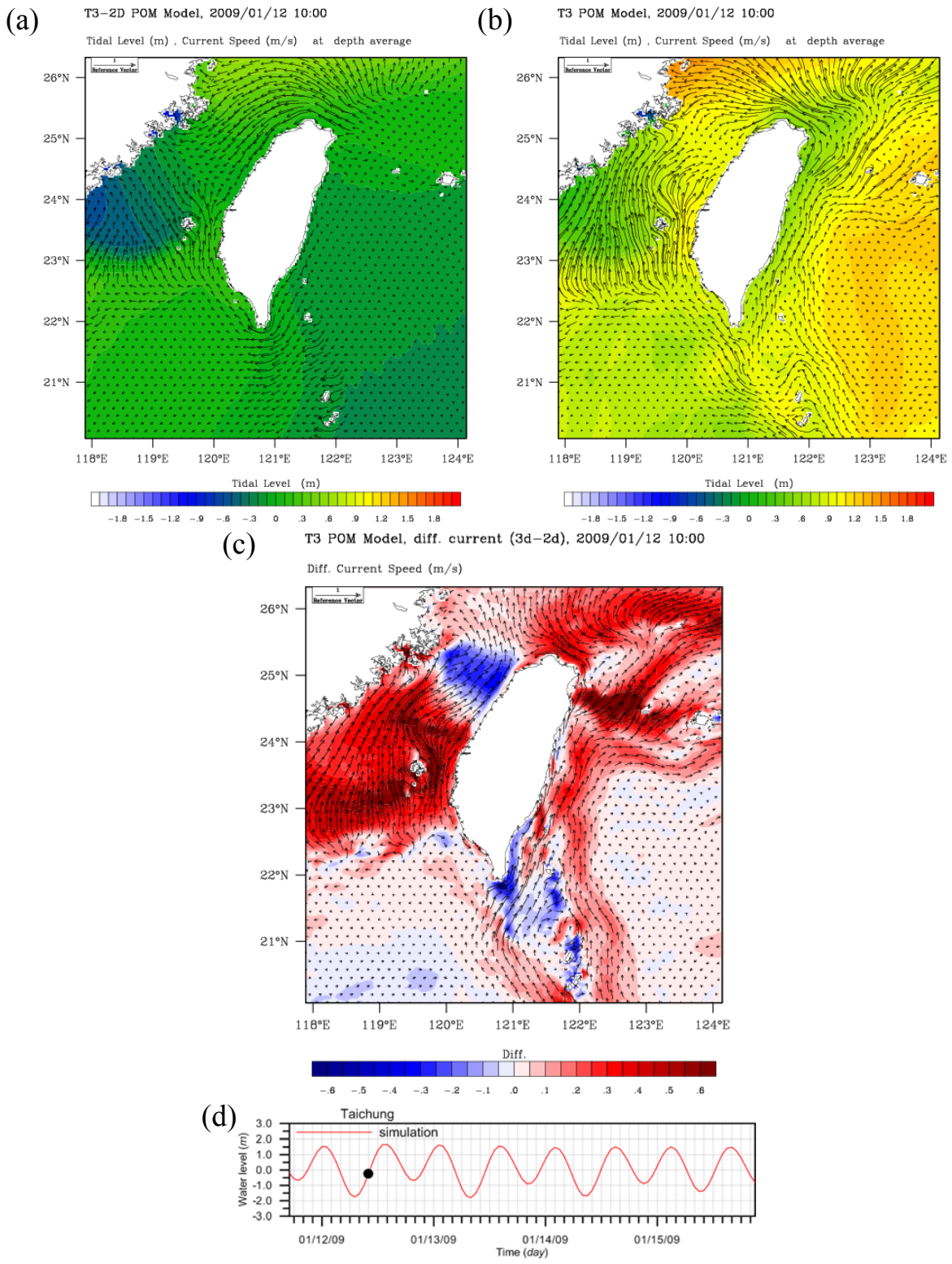


圖 4-8(續) 二維潮汐與三維洋流與潮流綜合效應模式之流速流向比較圖(a)二維模式；(b)三維模式；(c)兩者差距(3D-2D)；(d)台中海域水位高(2009/01/12 10:00)

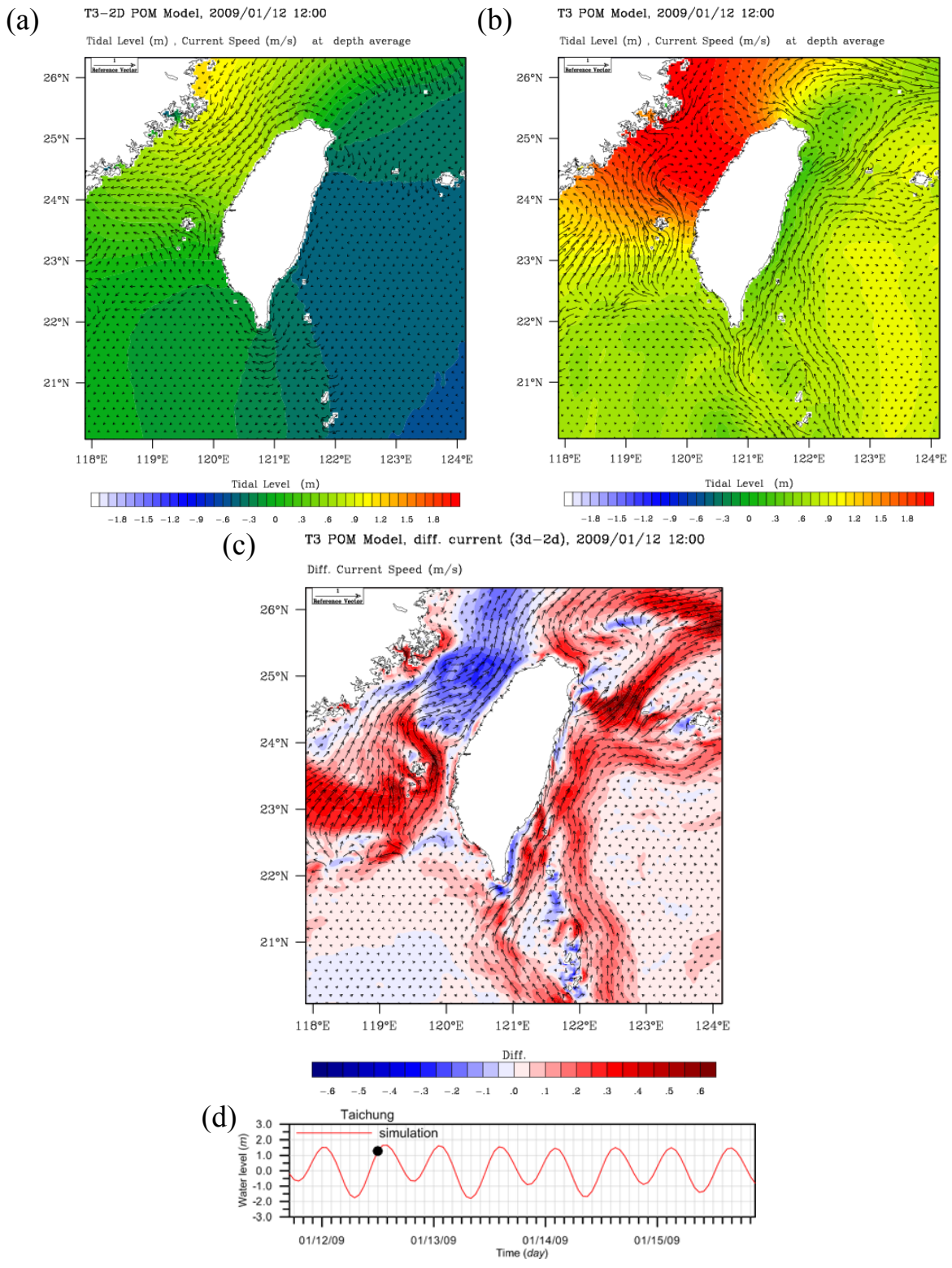


圖 4-8(續) 二維潮汐與三維洋流與潮流綜合效應模式之流速流向比較圖(a)二維模式；(b)三維模式；(c)兩者差距(3D-2D)；(d)台中海域水位高(2009/01/12 12:00)

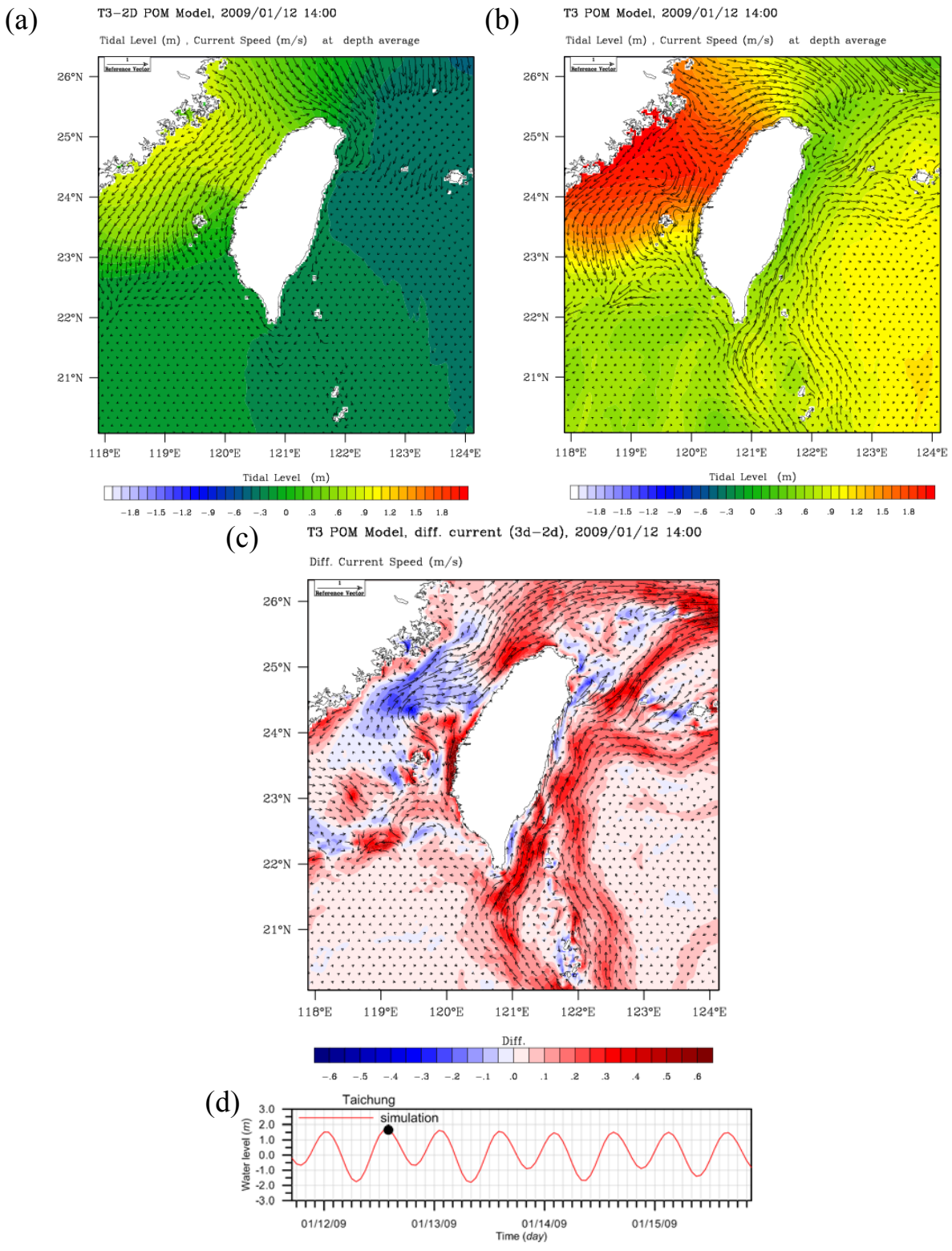


圖 4-8(續) 二維潮汐與三維洋流與潮流綜合效應模式之流速流向比較圖(a)二維模式；(b)三維模式；(c)兩者差距(3D-2D)；(d)台中海域水位高(2009/01/12 14:00)

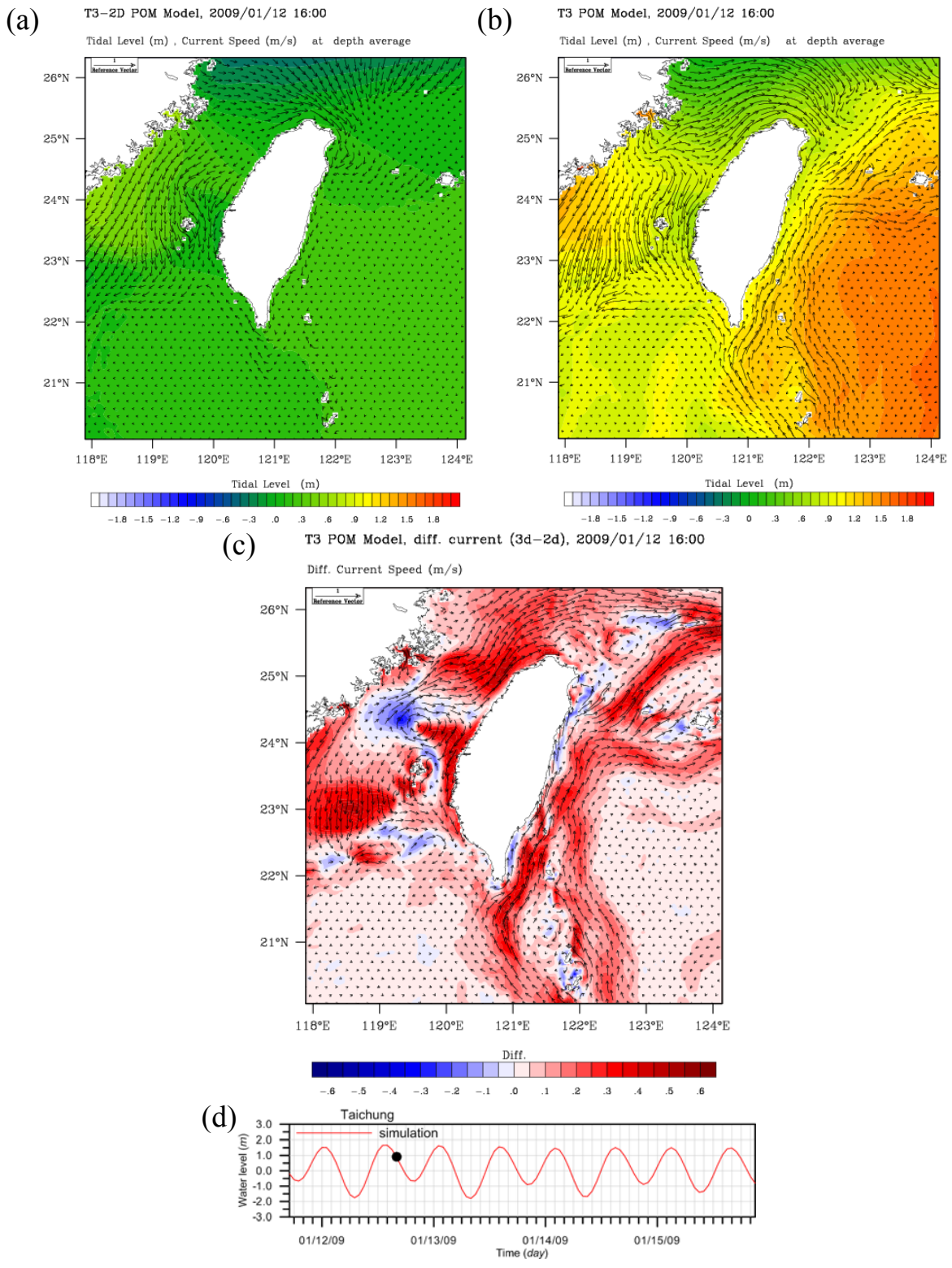


圖 4-8(續) 二維潮汐與三維洋流與潮流綜合效應模式之流速流向比較圖(a)二維模式；(b)三維模式；(c)兩者差距(3D-2D)；(d)台中海域水位高(2009/01/12 16:00)

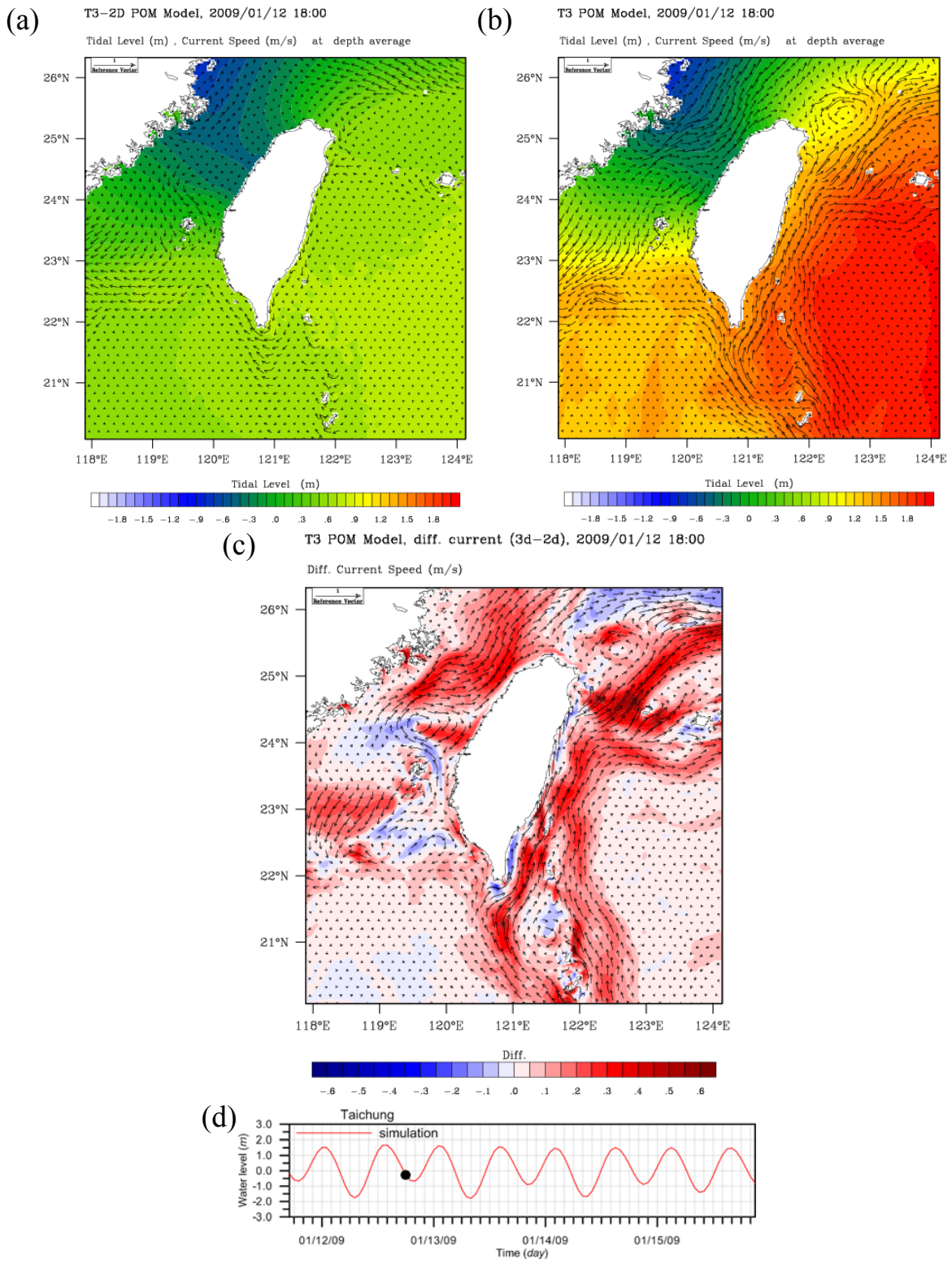


圖 4-8(續) 二維潮汐與三維洋流與潮流綜合效應模式之流速流向比較圖(a)二維模式；(b)三維模式；(c)兩者差距(3D-2D)；(d)台中海域水位高(2009/01/12 18:00)

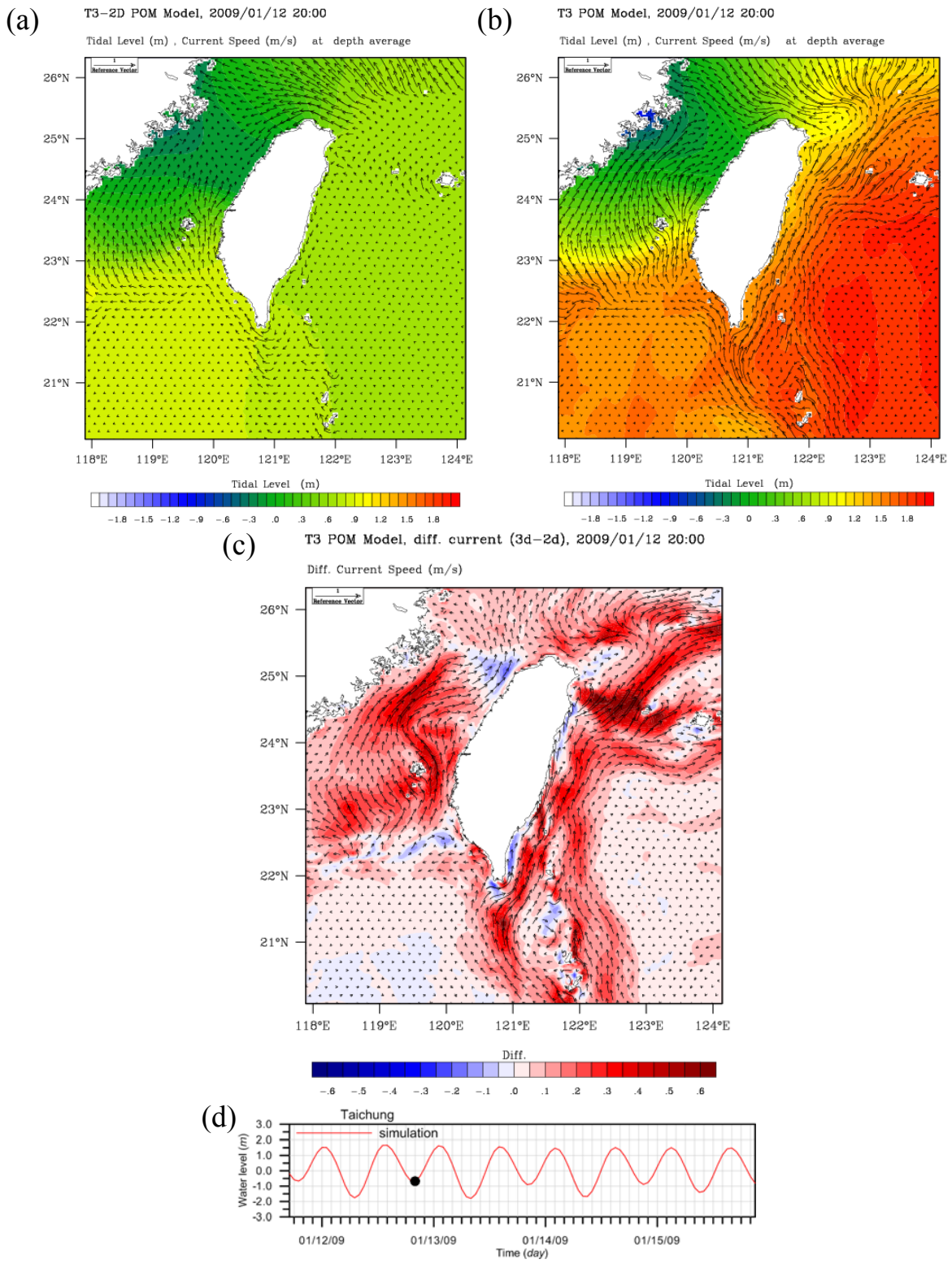


圖 4-8(續) 二維潮汐與三維洋流與潮流綜合效應模式之流速流向比較圖(a)二維模式；(b)三維模式；(c)兩者差距(3D-2D)；(d)台中海域水位高(2009/01/12 20:00)

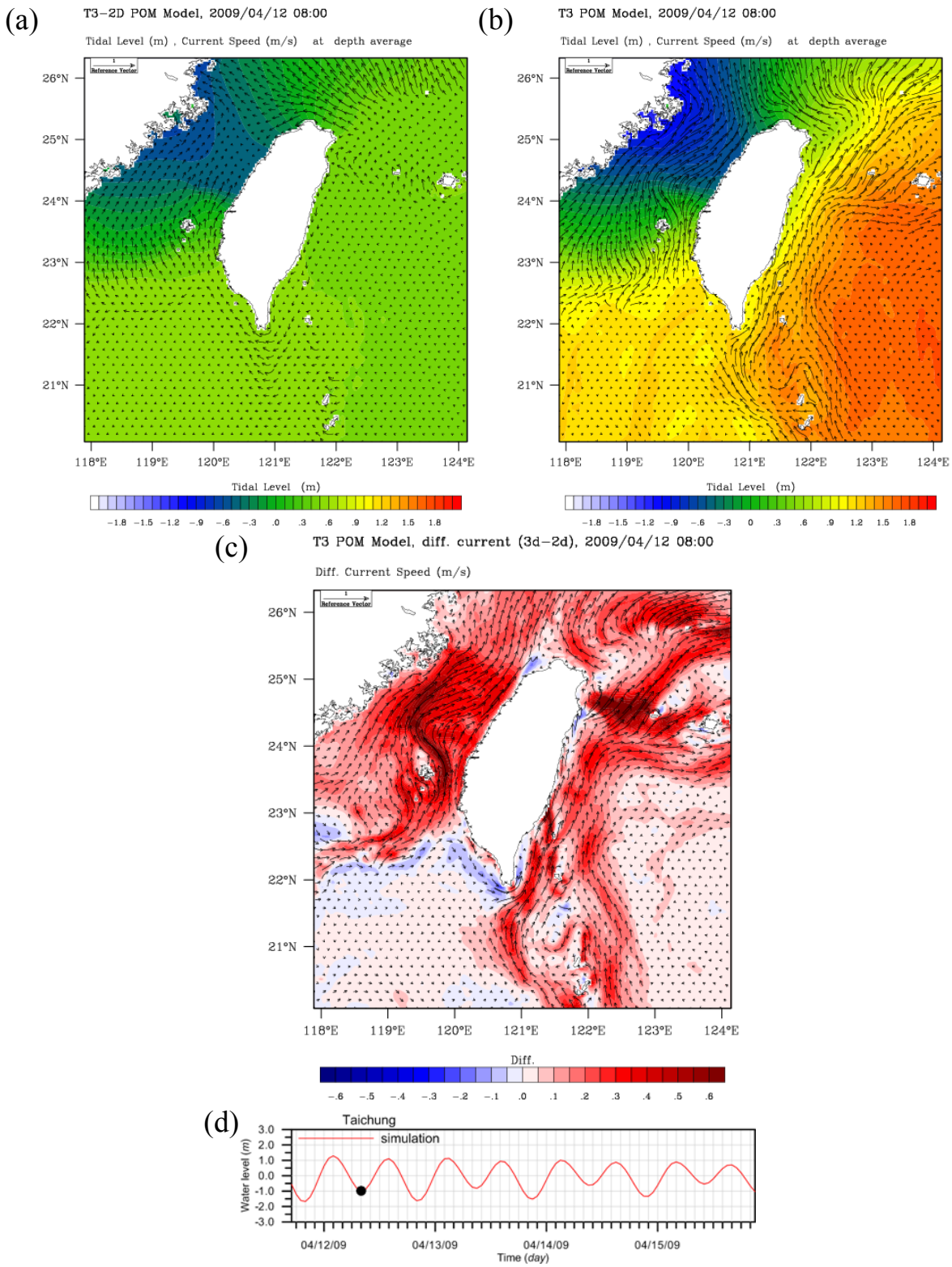


圖 4-9 二維潮汐與三維洋流與潮流綜合效應模式之流速流向比較圖(a)二維模式；(b)三維模式；(c)兩者差距(3D-2D)；(d)台中海域水位高(2009/04/12 08:00)

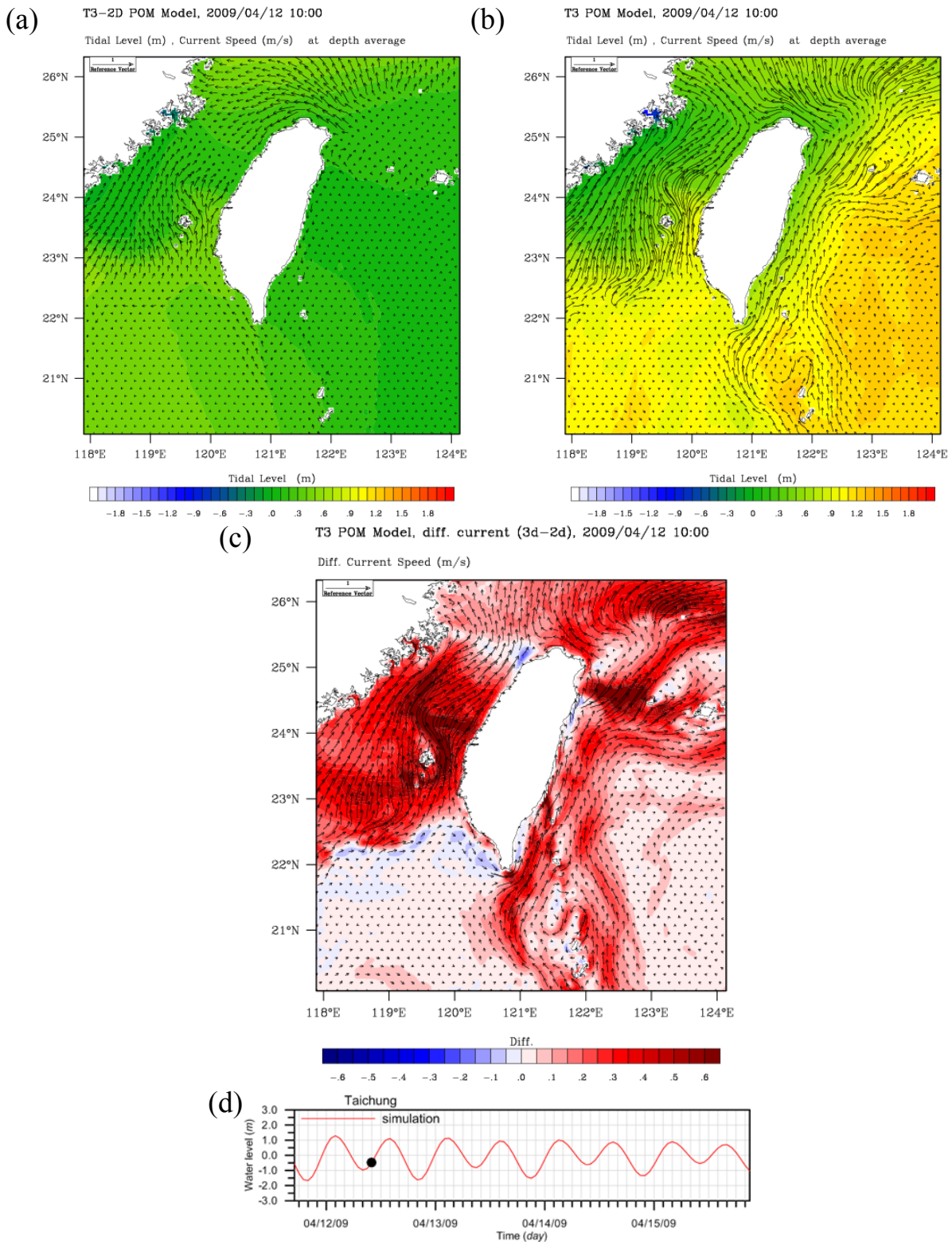


圖 4-9(續) 二維潮汐與三維洋流與潮流綜合效應模式之流速流向比較圖(a)二維模式；(b)三維模式；(c)兩者差距(3D-2D)；(d)台中海域水位高(2009/04/12 10:00)

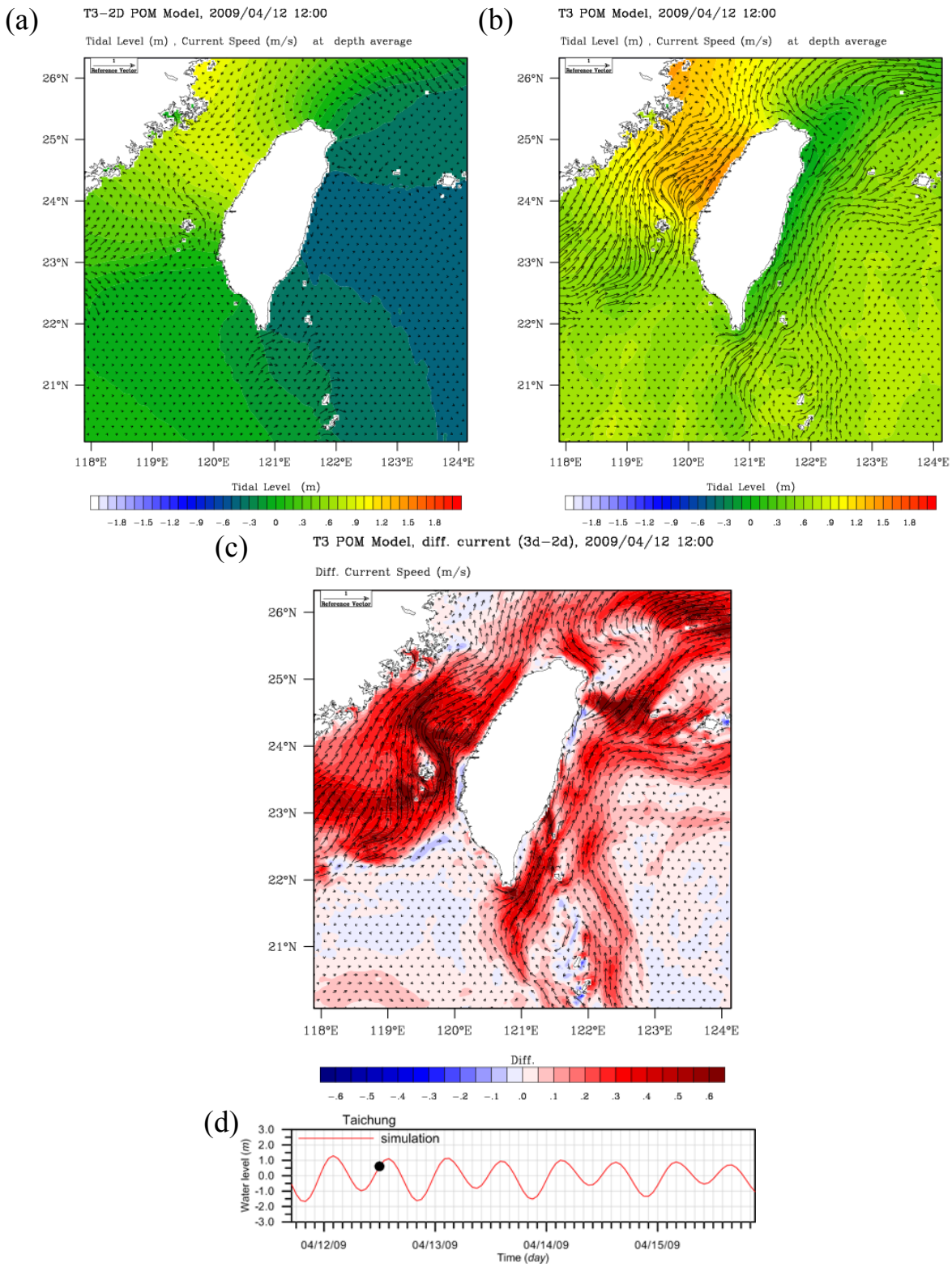


圖 4-9(續) 二維潮汐與三維洋流與潮流綜合效應模式之流速流向比較圖(a)二維模式；(b)三維模式；(c)兩者差距(3D-2D)；(d)台中海域水位高(2009/04/12 12:00)

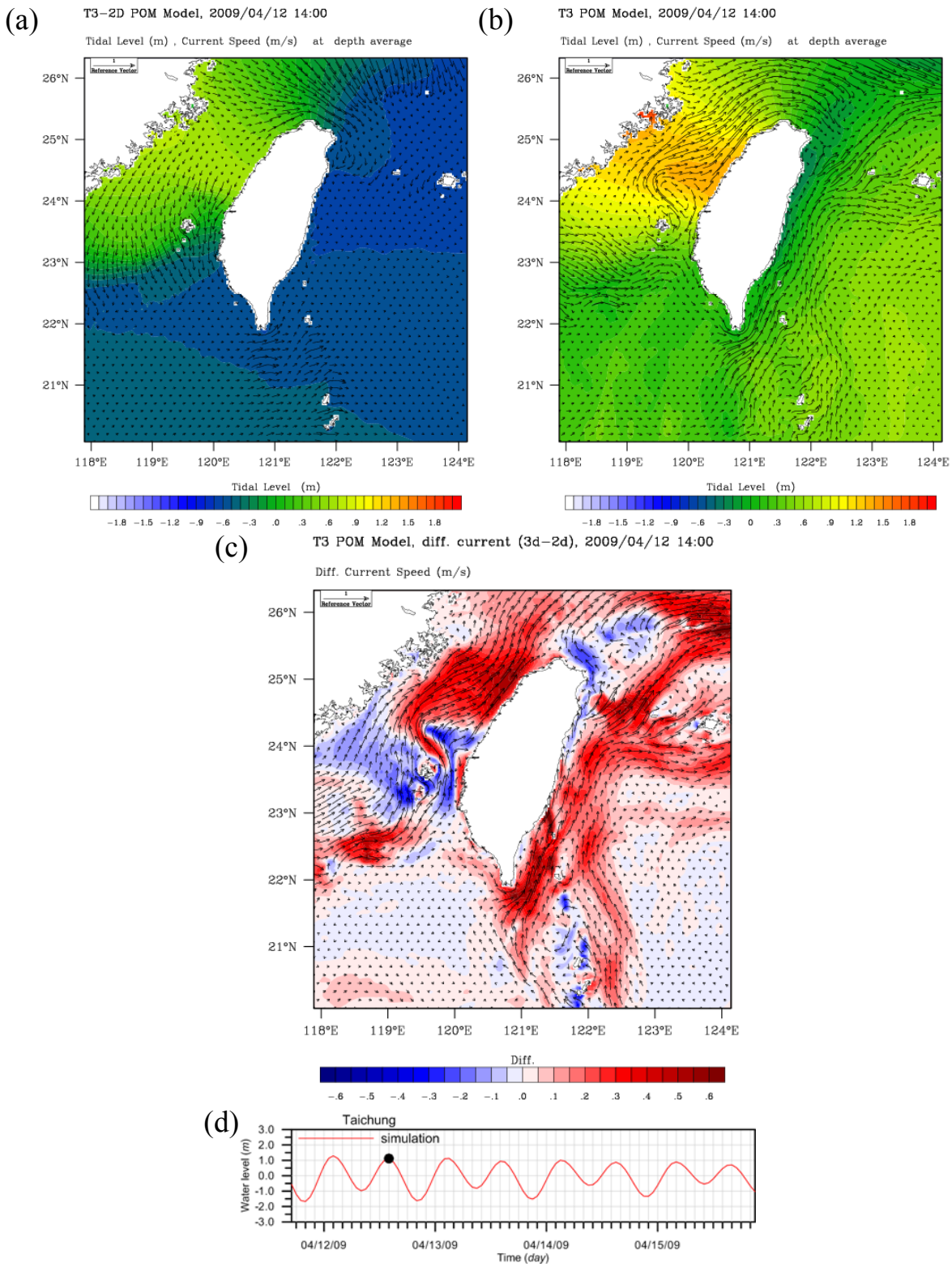


圖 4-9(續) 二維潮汐與三維洋流與潮流綜合效應模式之流速流向比較圖(a)二維模式；(b)三維模式；(c)兩者差距(3D-2D)；(d)台中海域水位高(2009/04/12 14:00)

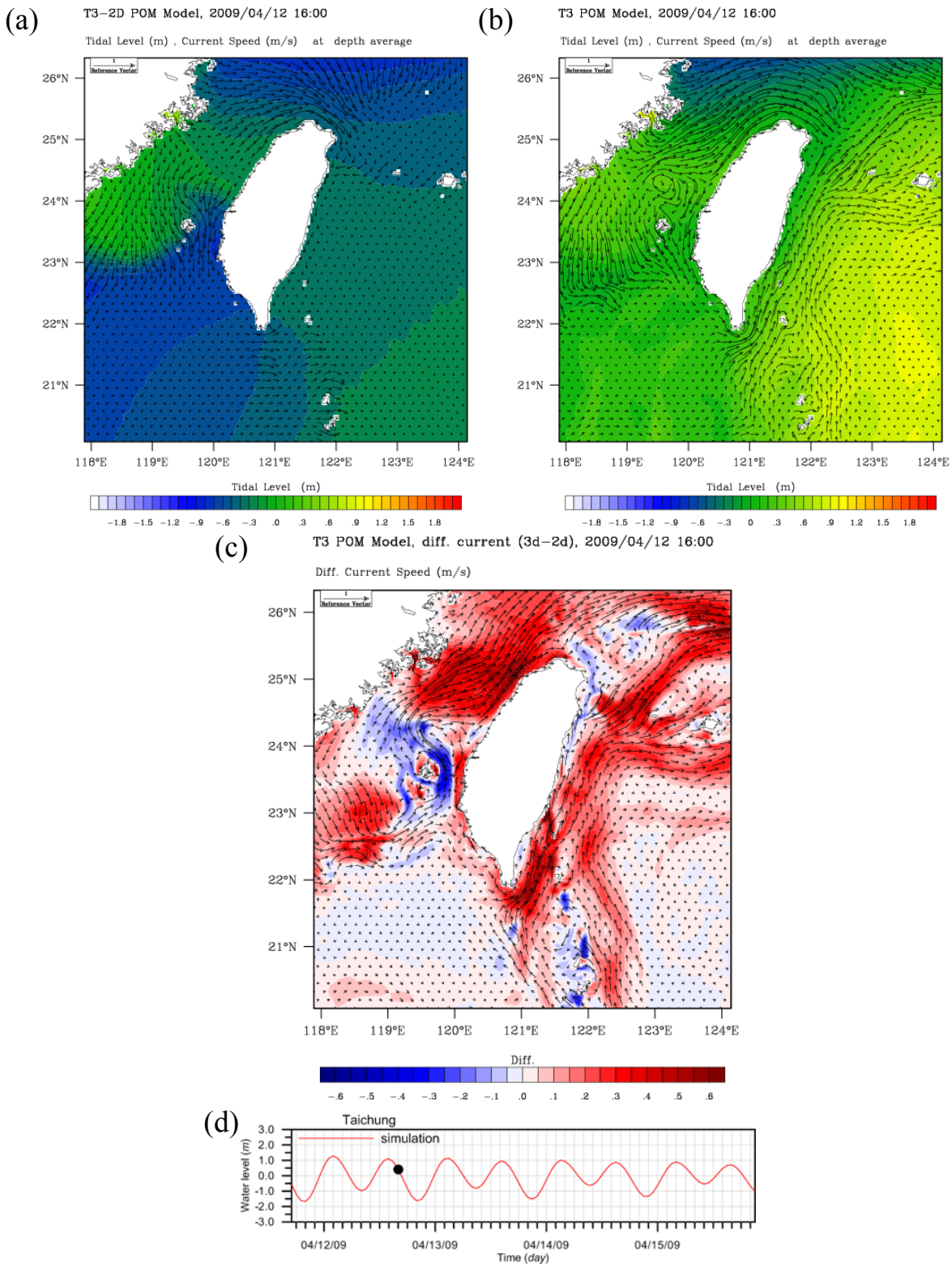


圖 4-9(續) 二維潮汐與三維洋流與潮流綜合效應模式之流速流向比較圖(a)二維模式；(b)三維模式；(c)兩者差距(3D-2D)；(d)台中海域水位高(2009/04/12 16:00)

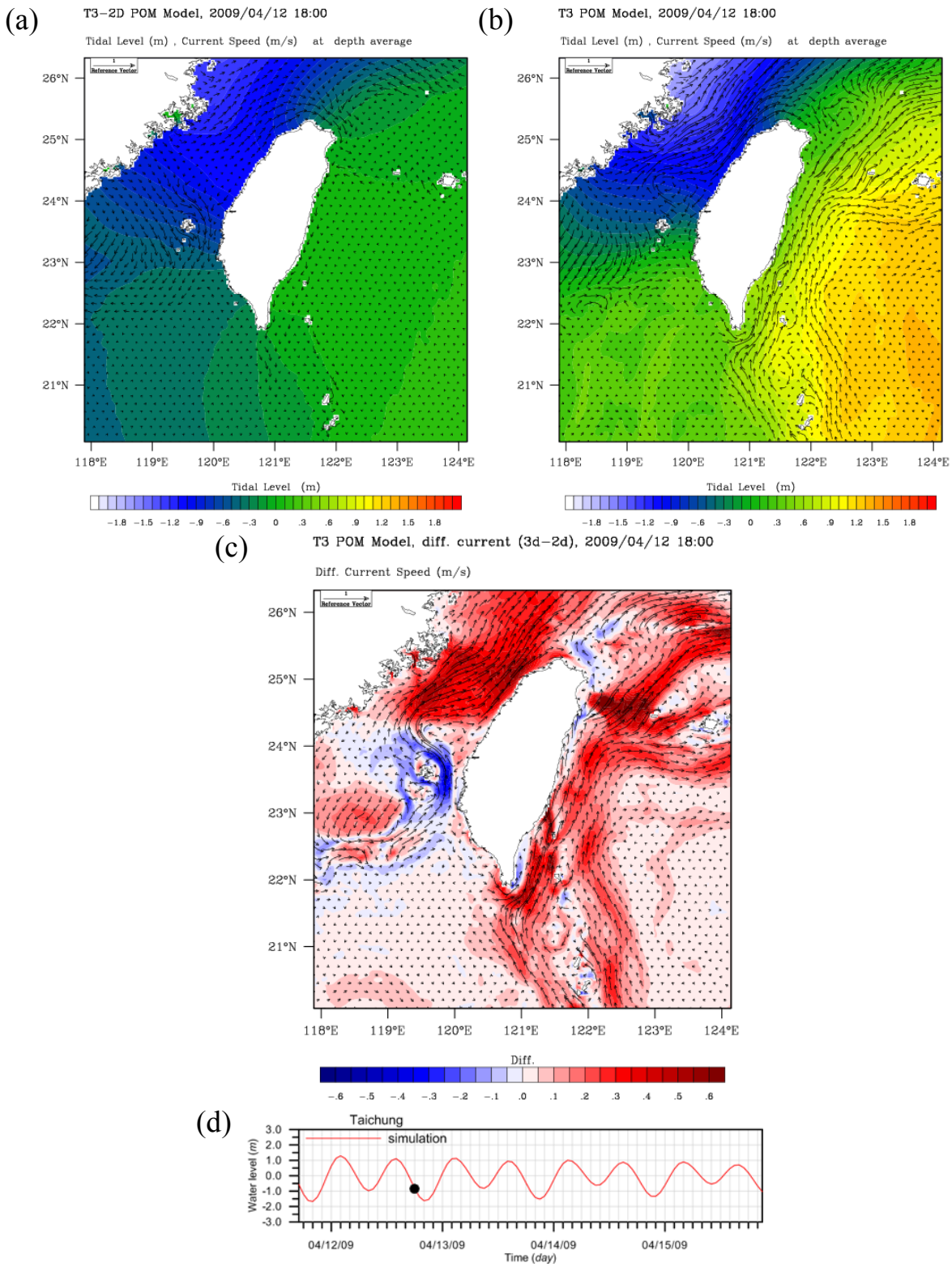


圖 4-9(續) 二維潮汐與三維洋流與潮流綜合效應模式之流速流向比較圖(a)二維模式；(b)三維模式；(c)兩者差距(3D-2D)；(d)台中海域水位高(2009/04/12 18:00)

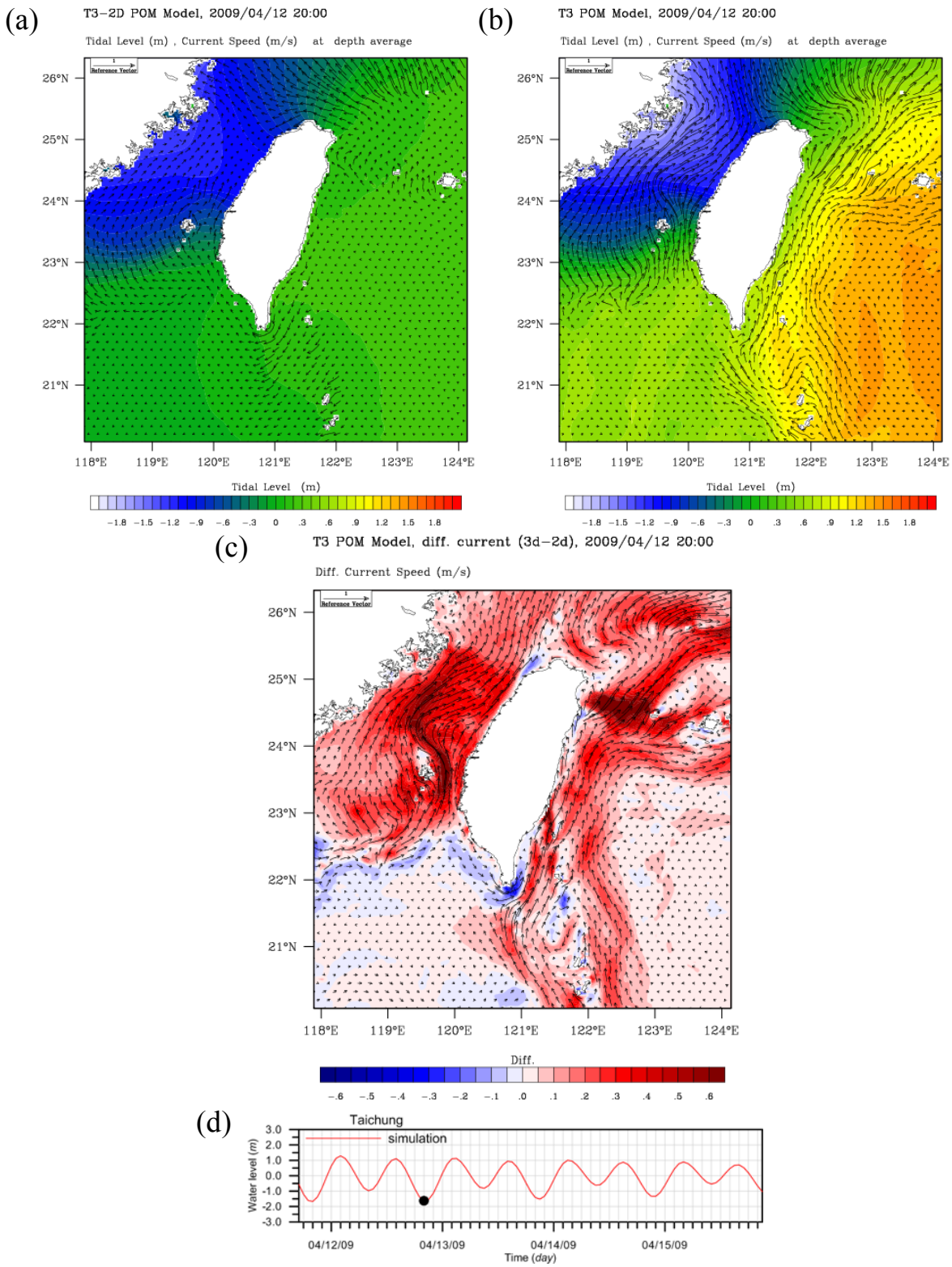


圖 4-9(續) 二維潮汐與三維洋流與潮流綜合效應模式之流速流向比較圖(a)二維模式；(b)三維模式；(c)兩者差距(3D-2D)；(d)台中海域水位高(2009/04/12 20:00)

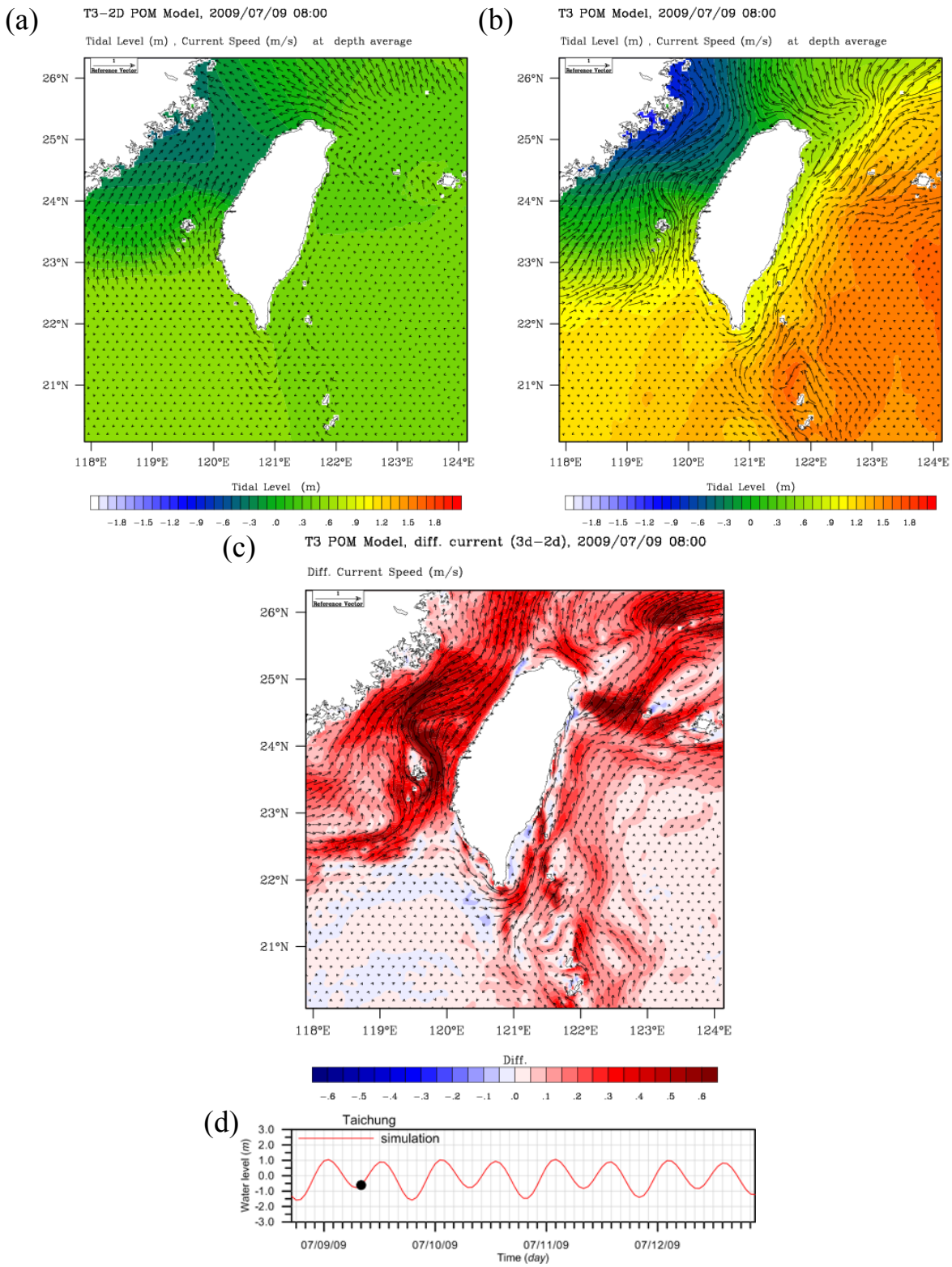


圖 4-10 二維潮汐與三維洋流與潮流綜合效應模式之流速流向比較圖(a)二維模式；(b)三維模式；(c)兩者差距(3D-2D)；(d)台中海域水位高(2009/07/09 08:00)

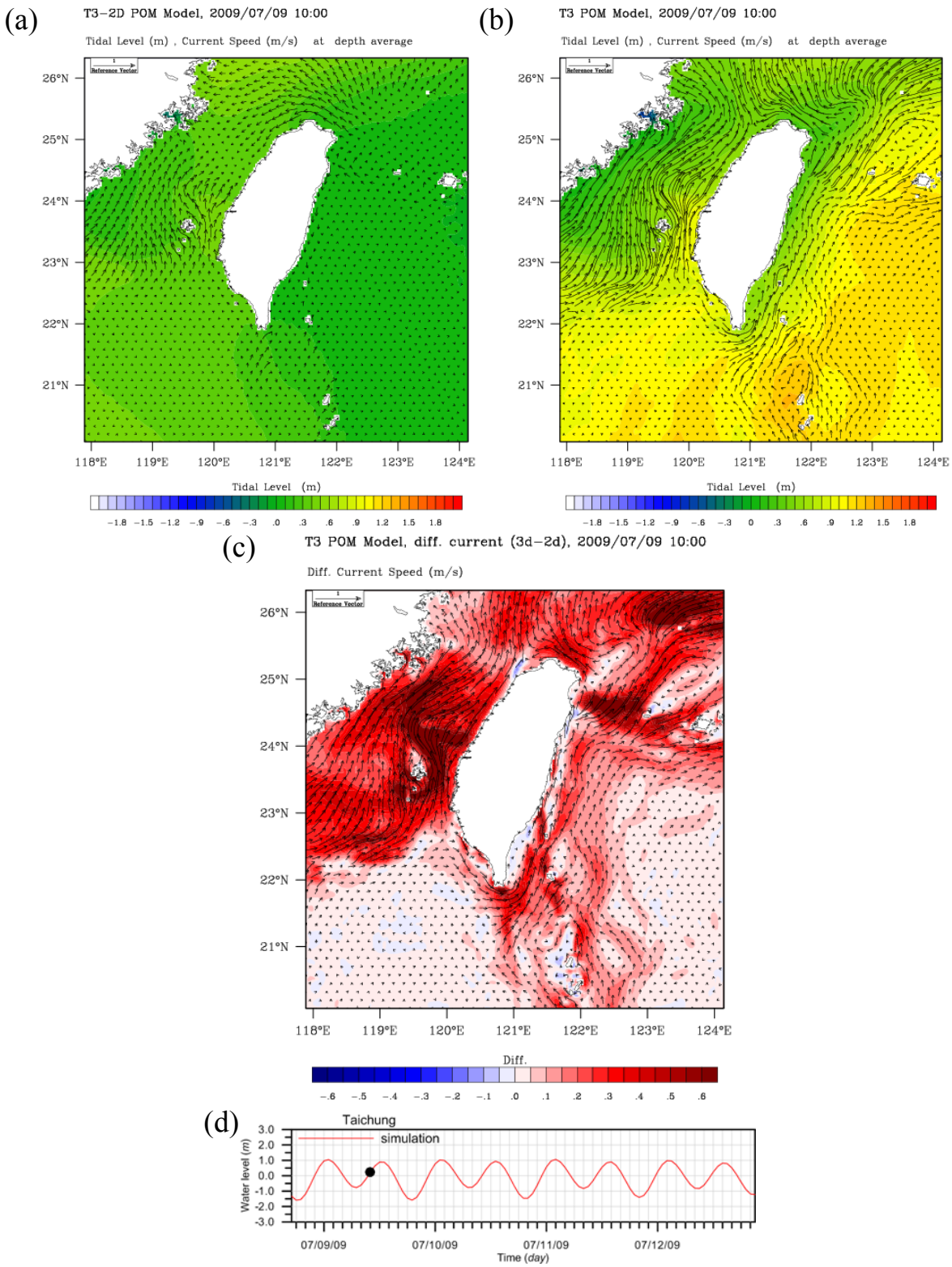


圖 4-10(續) 二維潮汐與三維洋流與潮流綜合效應模式之流速流向比較圖(a)二維模式；(b)三維模式；(c)兩者差距(3D-2D)；(d)台中海域水位高(2009/07/09 10:00)

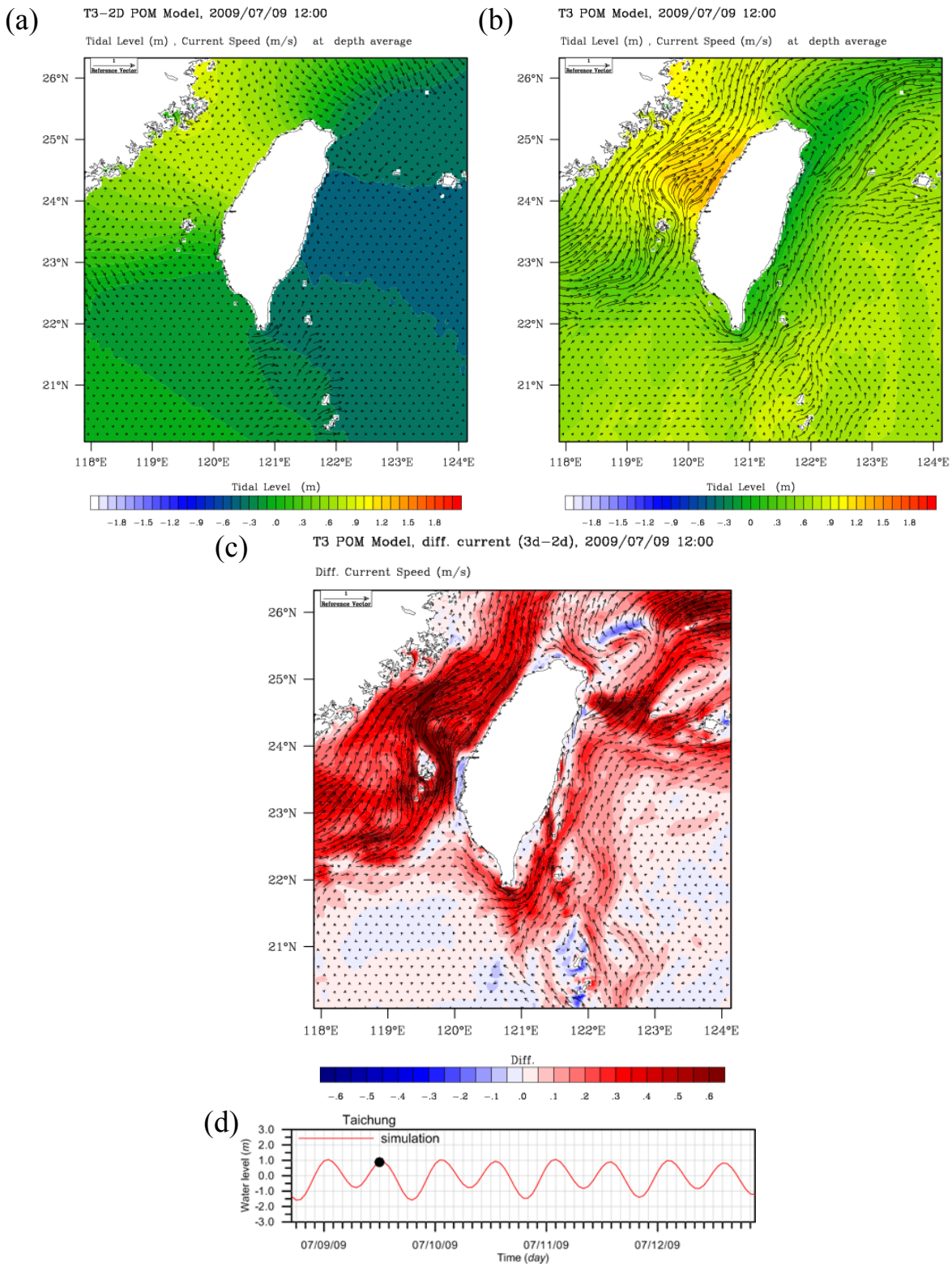


圖 4-10(續) 二維潮汐與三維洋流與潮流綜合效應模式之流速流向比較圖(a)二維模式；(b)三維模式；(c)兩者差距(3D-2D)；(d)台中海域水位高(2009/07/09 12:00)

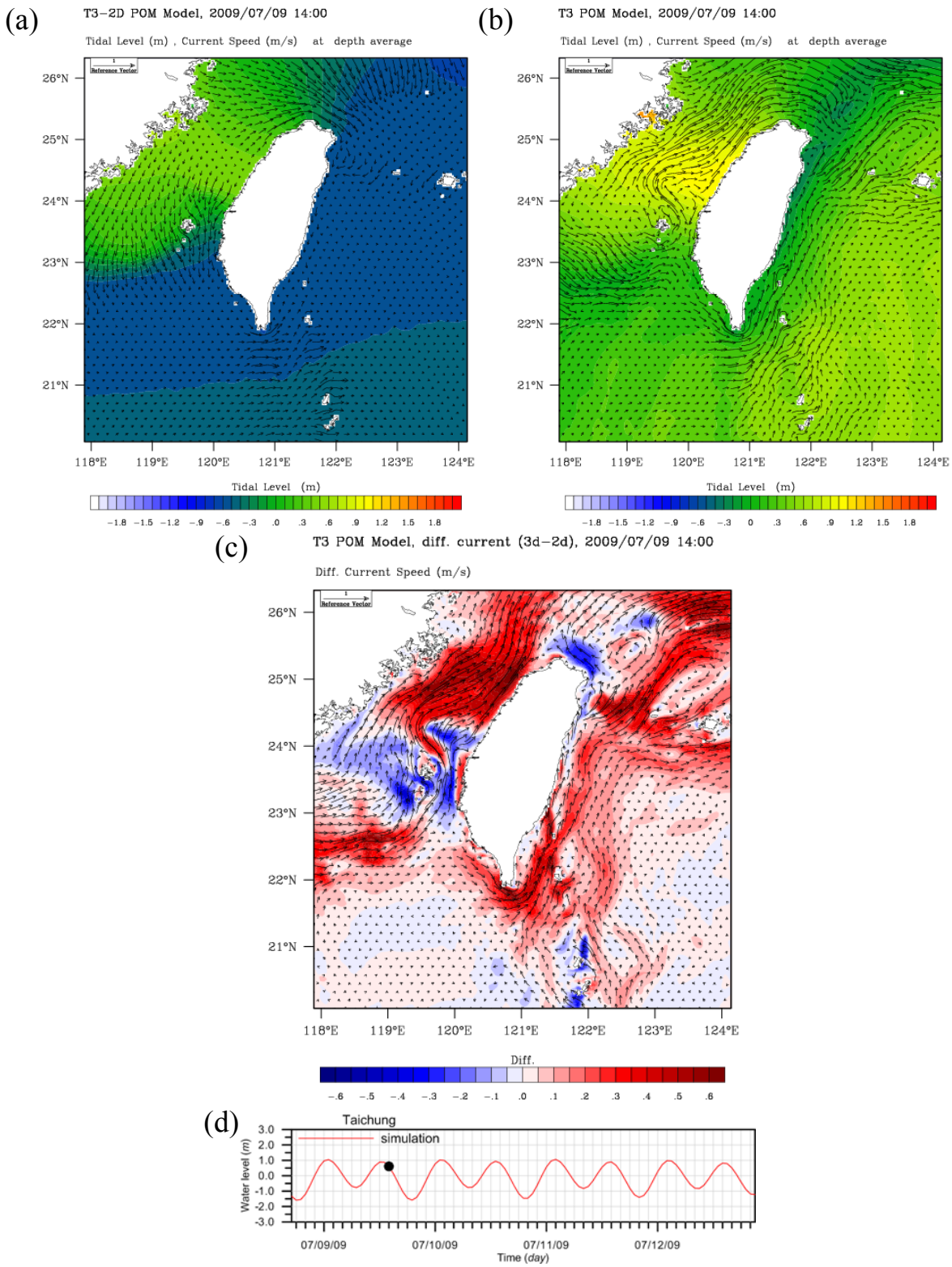


圖 4-10(續) 二維潮汐與三維洋流與潮流綜合效應模式之流速流向比較圖(a)二維模式；(b)三維模式；(c)兩者差距(3D-2D)；(d)台中海域水位高(2009/07/09 14:00)

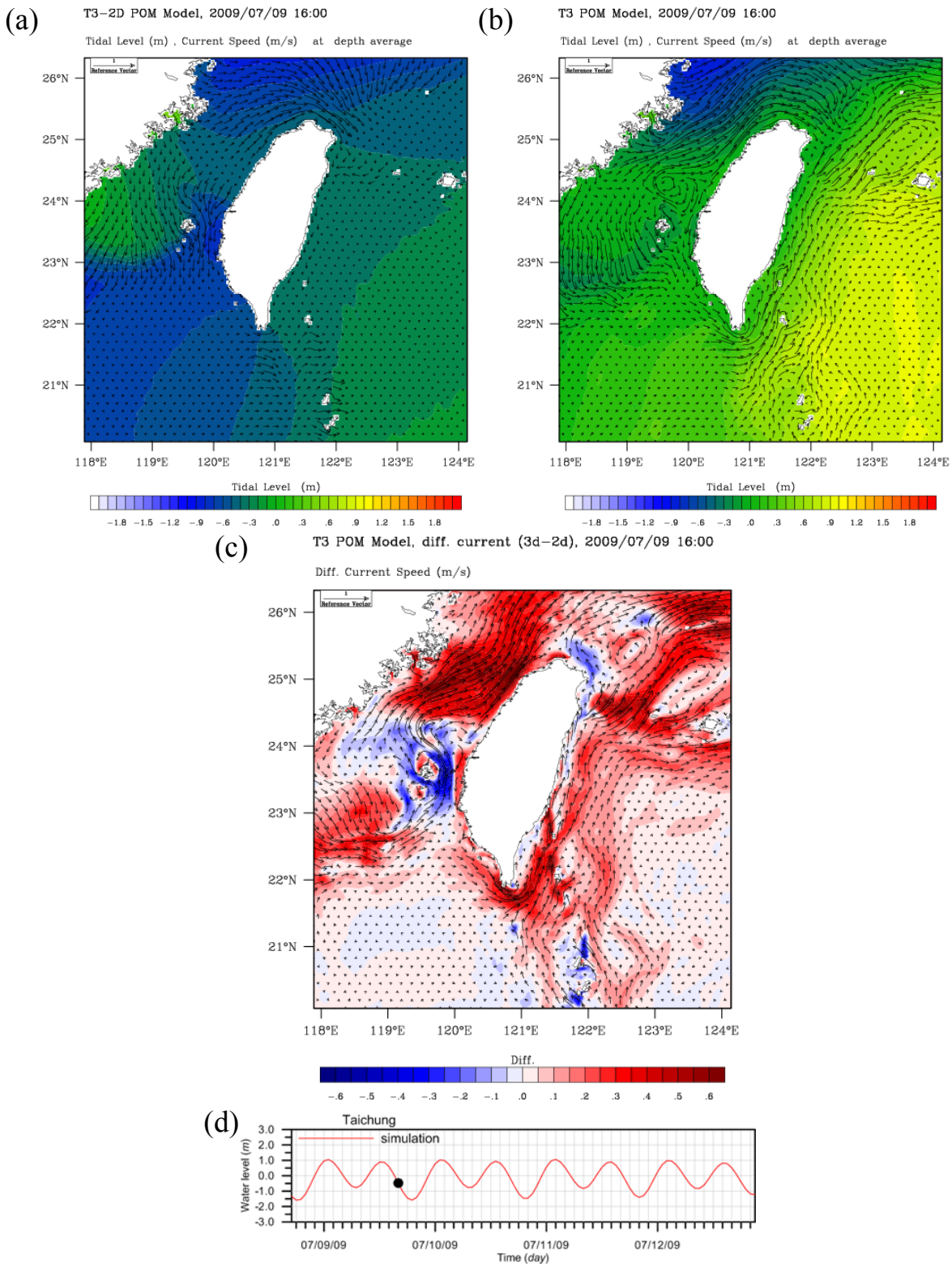


圖 4-10(續) 二維潮汐與三維洋流與潮流綜合效應模式之流速流向比較圖(a)二維模式；(b)三維模式；(c)兩者差距(3D-2D)；(d)台中海域水位高(2009/07/09 16:00)

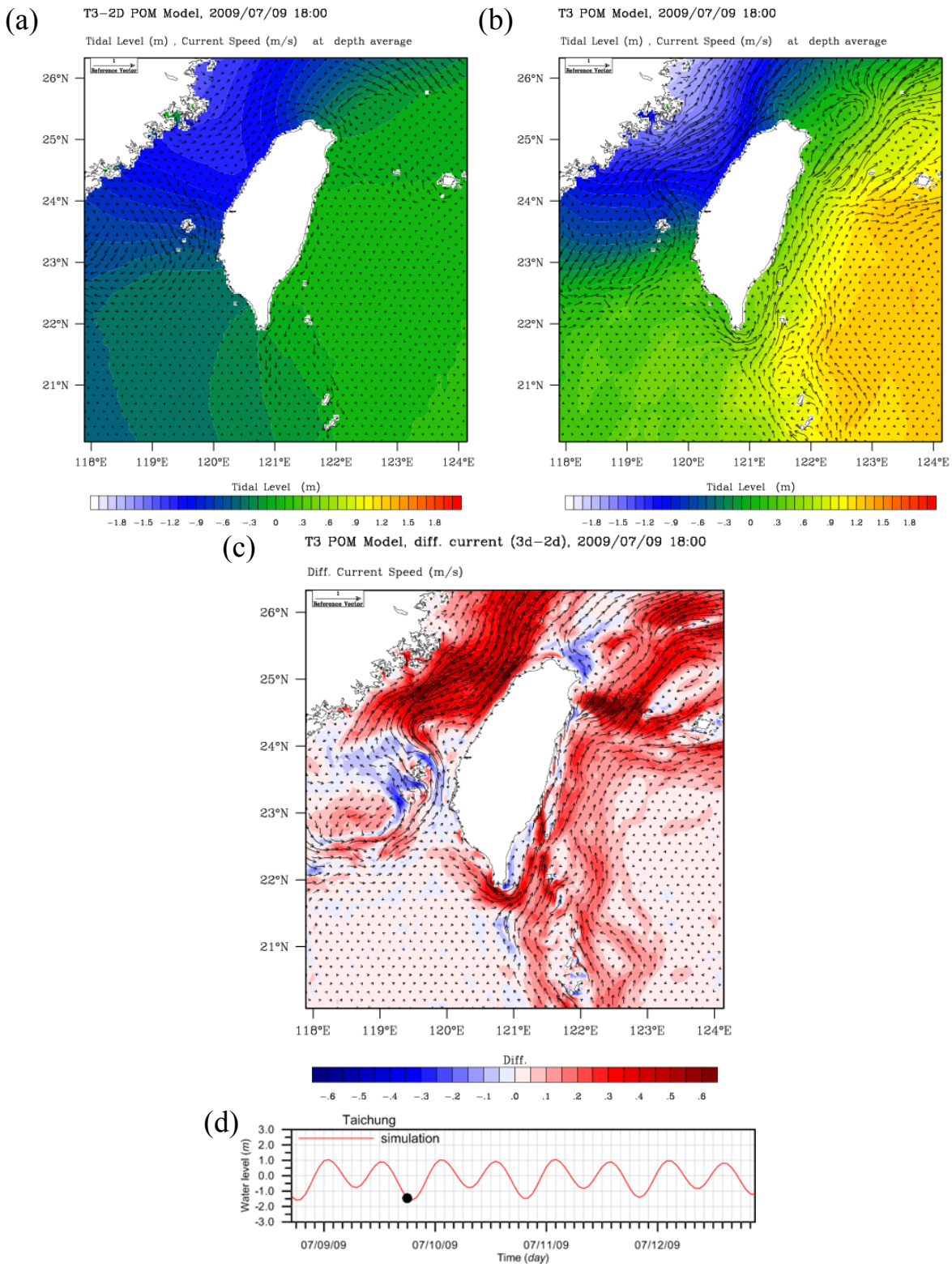


圖 4-10(續) 二維潮汐與三維洋流與潮流綜合效應模式之流速流向比較圖(a)二維模式；(b)三維模式；(c)兩者差距(3D-2D)；(d)台中海域水位高(2009/07/09 18:00)

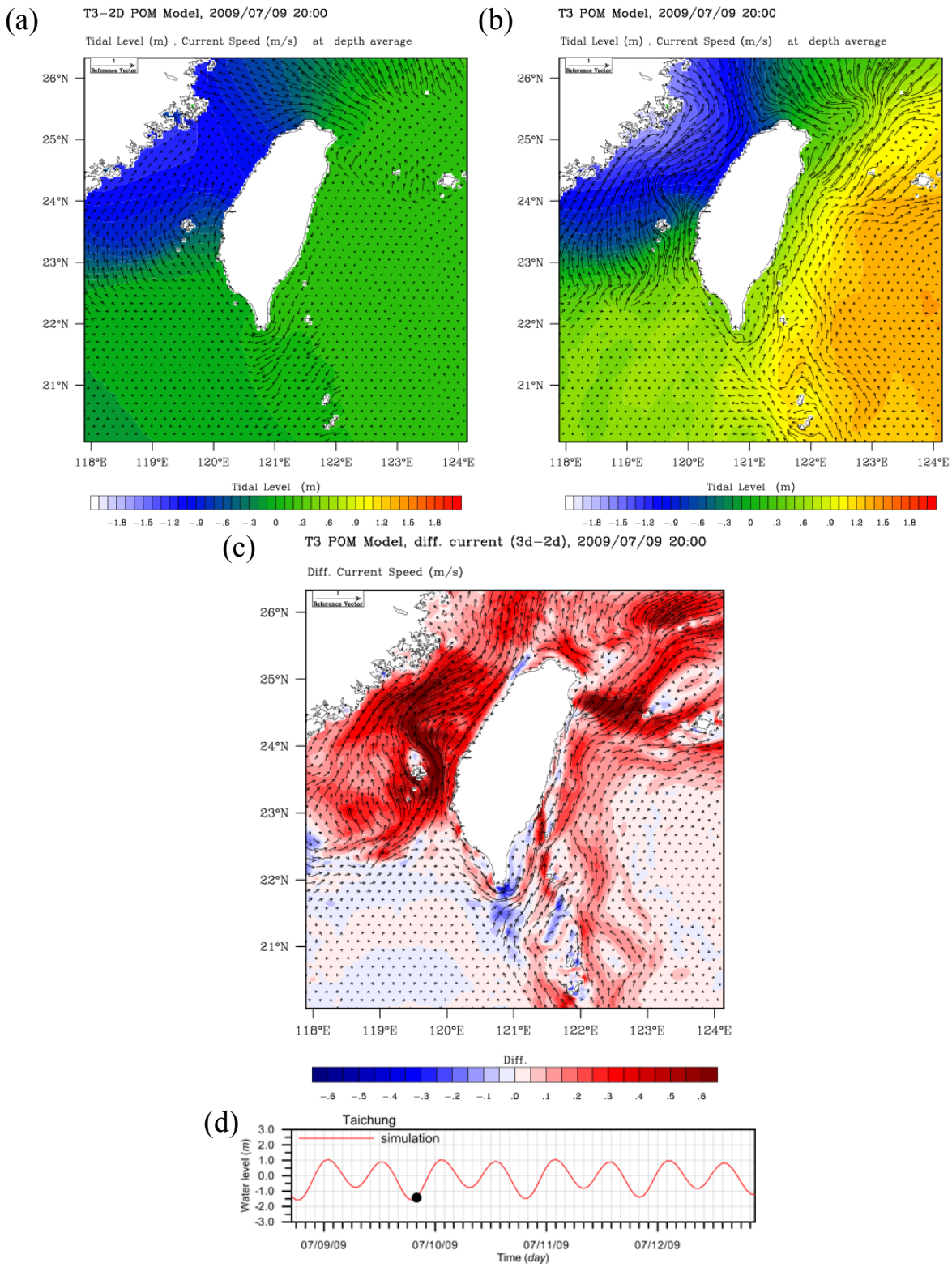


圖 4-10(續) 二維潮汐與三維洋流與潮流綜合效應模式之流速流向比較圖(a)二維模式；(b)三維模式；(c)兩者差距(3D-2D)；(d)台中海域水位高(2009/07/09 20:00)

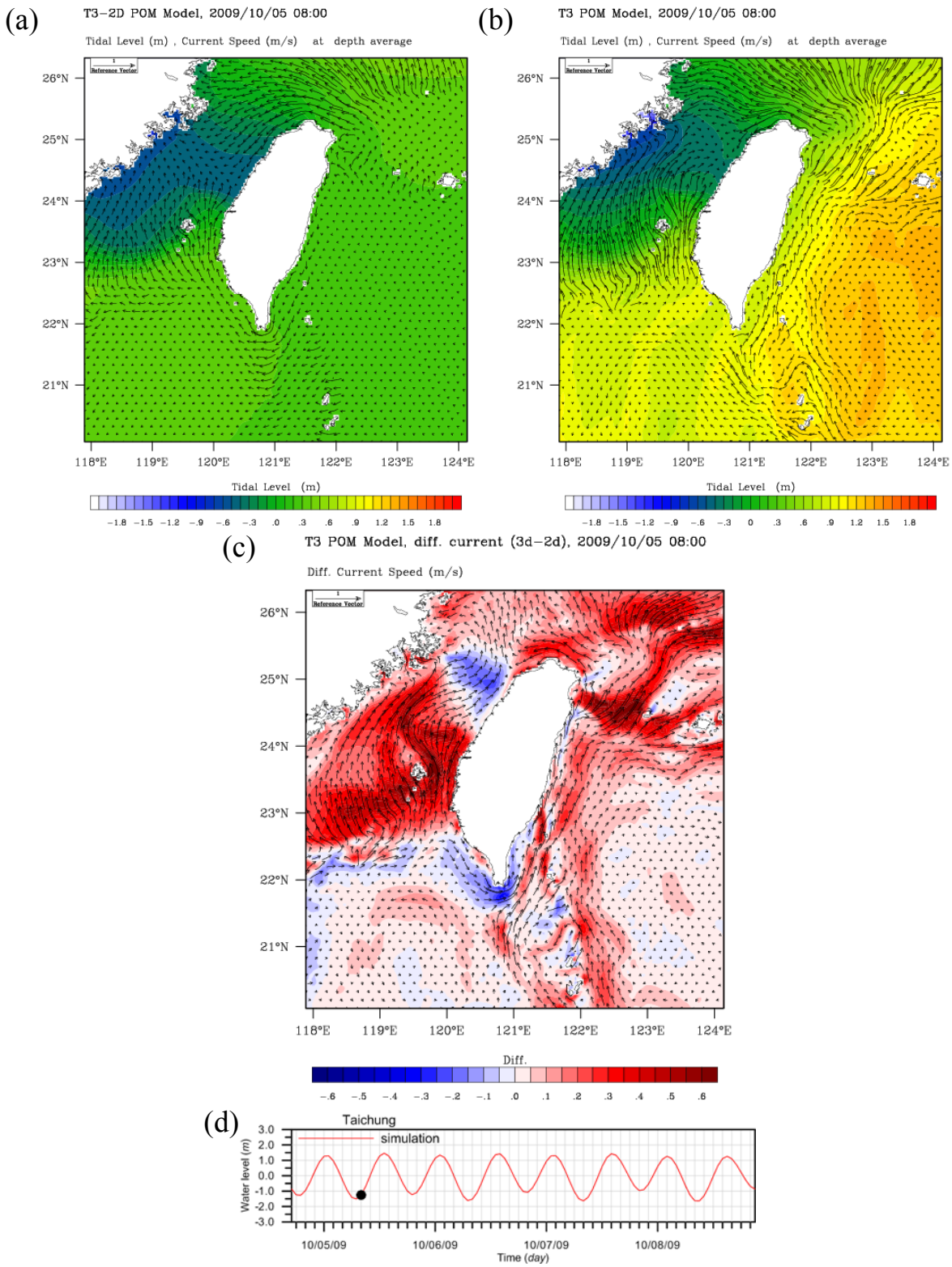


圖 4-11 二維潮汐與三維洋流與潮流綜合效應模式之流速流向比較圖(a)二維模式；(b)三維模式；(c)兩者差距(3D-2D)；(d)台中海域水位高(2009/10/05 08:00)

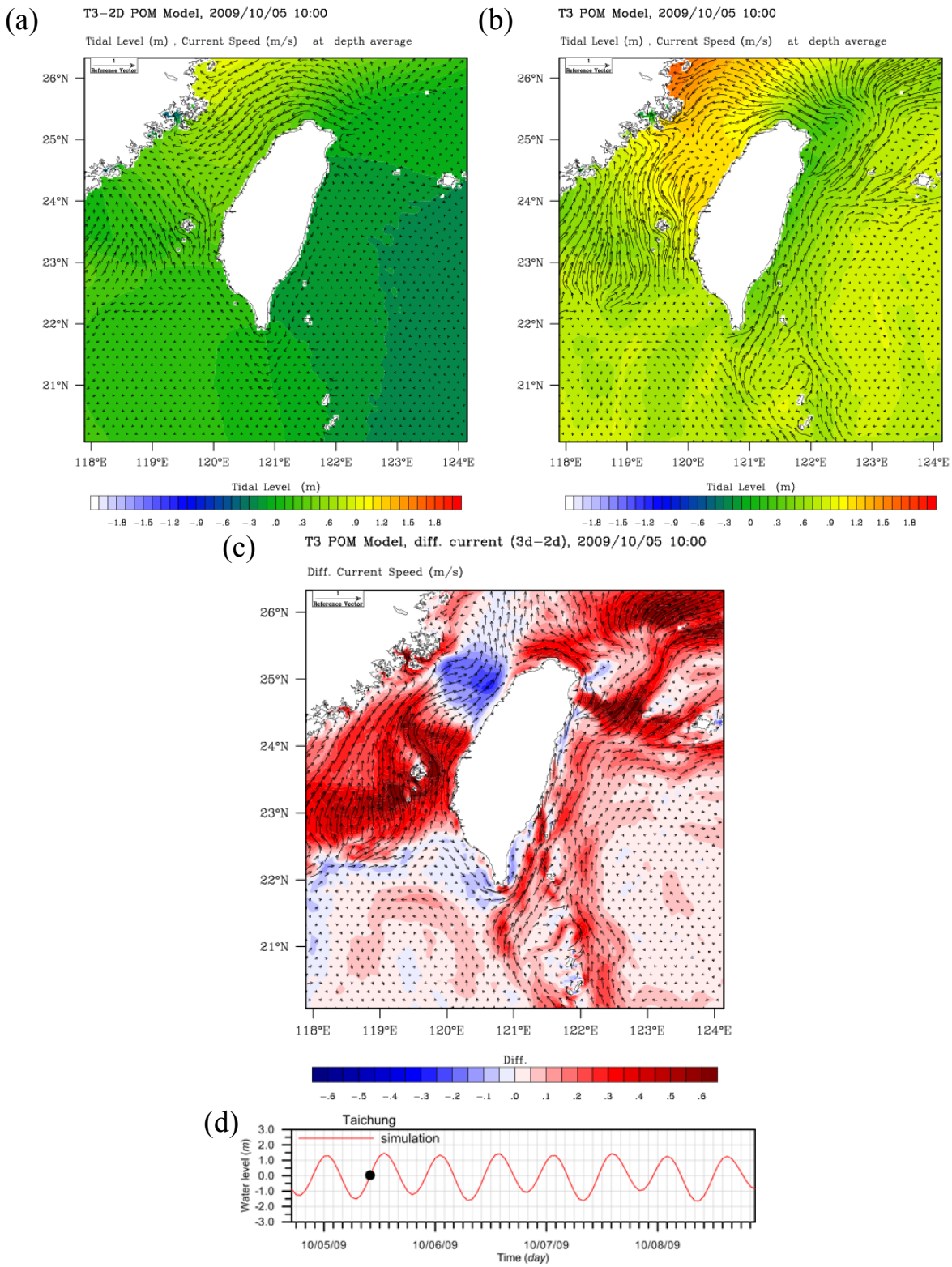


圖 4-11(續) 二維潮汐與三維洋流與潮流綜合效應模式之流速流向比較圖(a)二維模式；(b)三維模式；(c)兩者差距(3D-2D)；(d)台中海域水位高(2009/10/05 10:00)

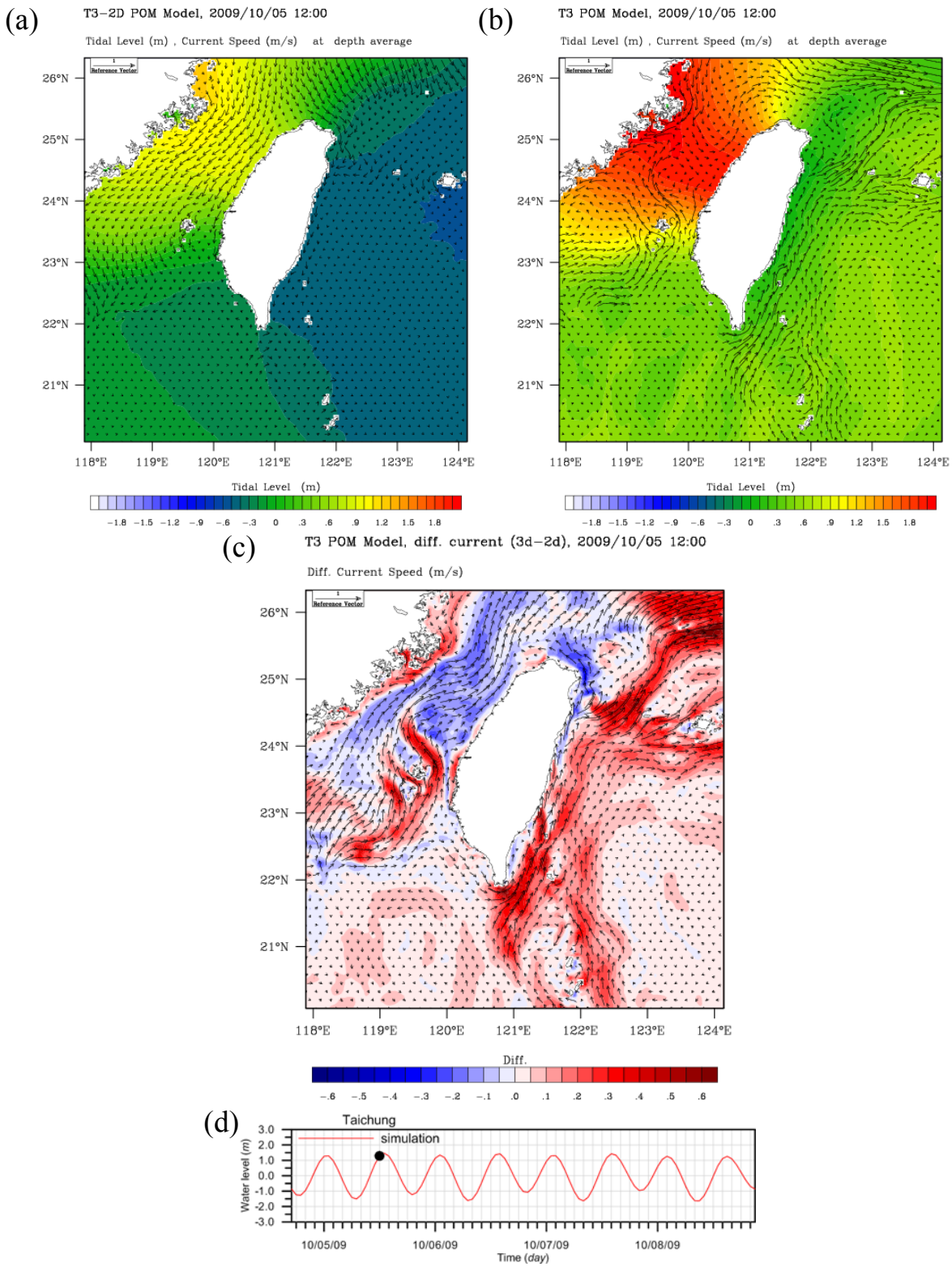


圖 4-11(續) 二維潮汐與三維洋流與潮流綜合效應模式之流速流向比較圖(a)二維模式；(b)三維模式；(c)兩者差距(3D-2D)；(d)台中海域水位高(2009/10/05 12:00)

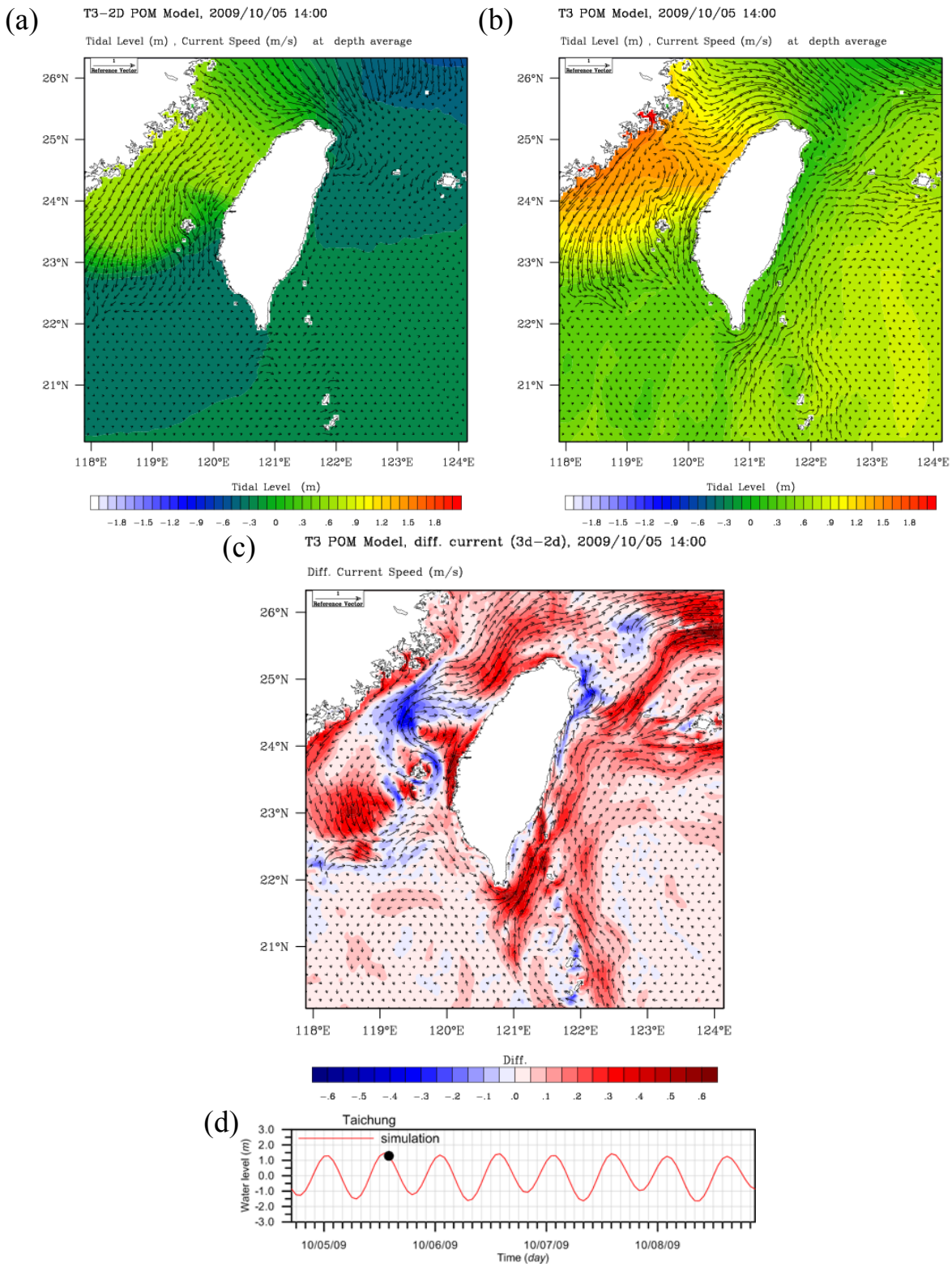


圖 4-11(續) 二維潮汐與三維洋流與潮流綜合效應模式之流速流向比較圖(a)二維模式；(b)三維模式；(c)兩者差距(3D-2D)；(d)台中海域水位高(2009/10/05 14:00)

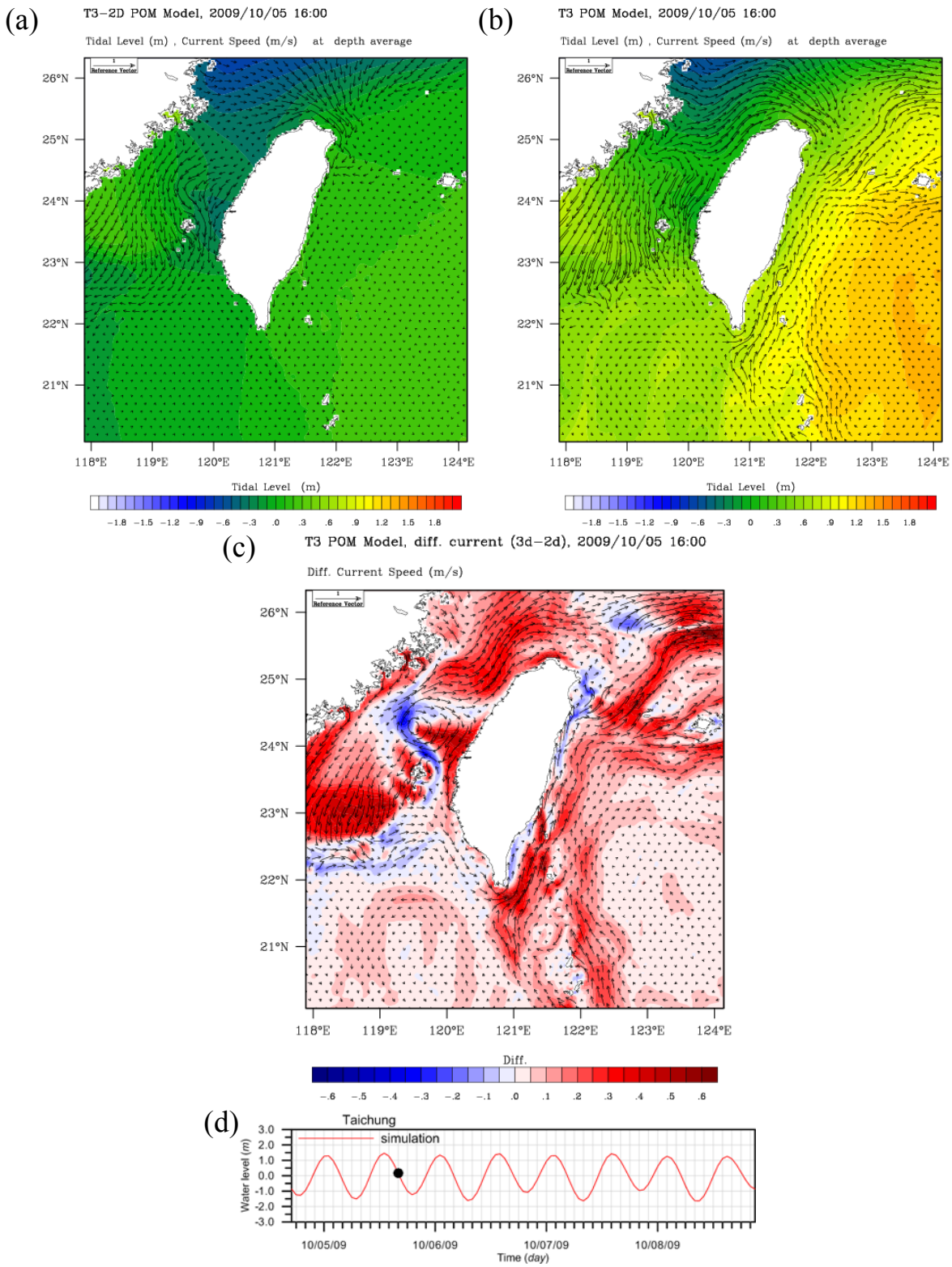


圖 4-11(續) 二維潮汐與三維洋流與潮流綜合效應模式之流速流向比較圖(a)二維模式；(b)三維模式；(c)兩者差距(3D-2D)；(d)台中海域水位高(2009/10/05 16:00)

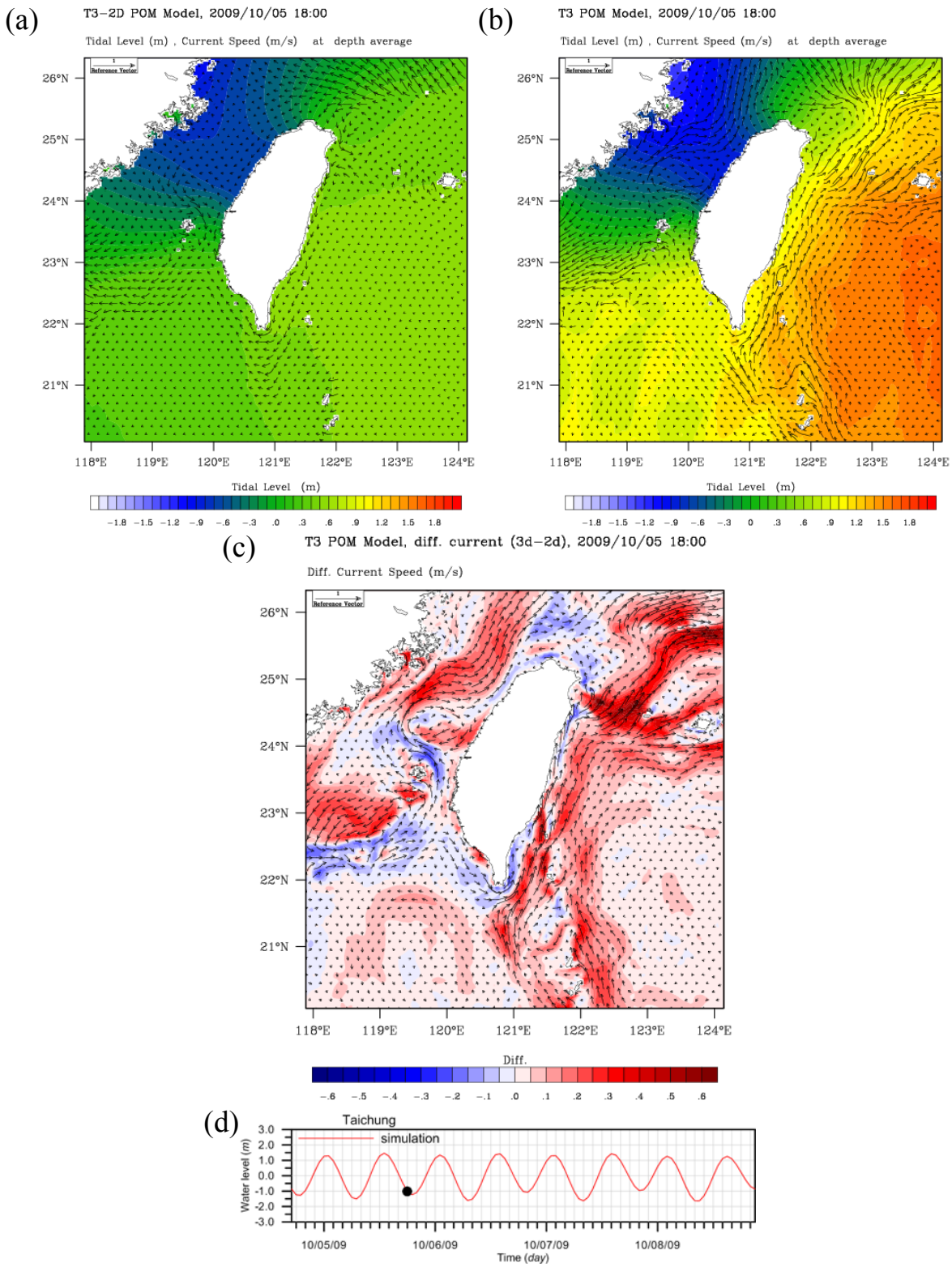


圖 4-11(續) 二維潮汐與三維洋流與潮流綜合效應模式之流速流向比較圖(a)二維模式；(b)三維模式；(c)兩者差距(3D-2D)；(d)台中海域水位高(2009/10/05 18:00)

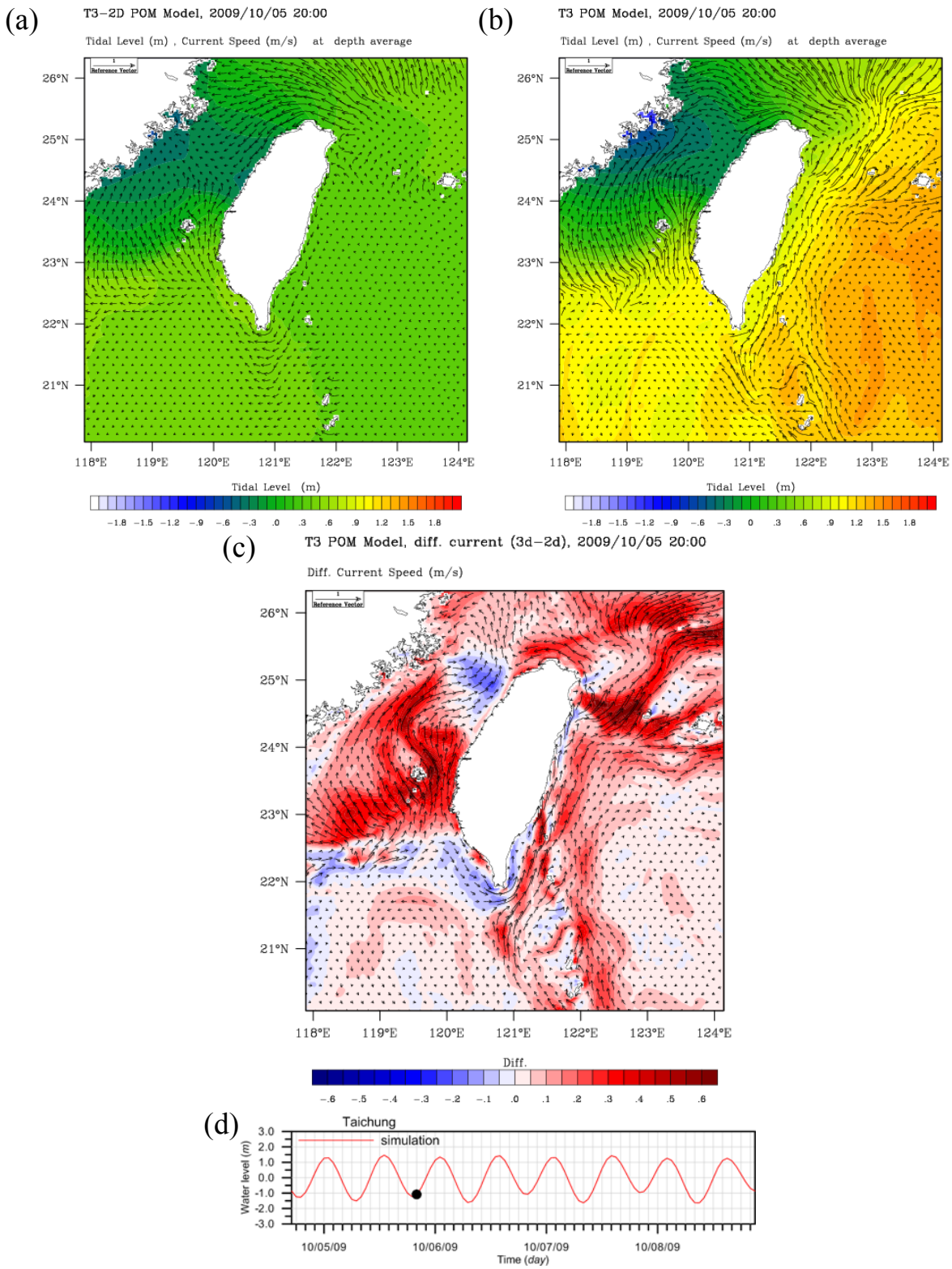


圖 4-11(續) 二維潮汐與三維洋流與潮流綜合效應模式之流速流向比較圖(a)二維模式；(b)三維模式；(c)兩者差距(3D-2D)；(d)台中海域水位高(2009/10/05 20:00)

4.4 近岸海域格網建置與驗證

為了完成本計畫於各商港海域解析海流特性之目標，故本年度計畫增加四組近岸海域格網，為了解決計算機容量與計算時間限制，採用 MPI 平行化方式執行 POM 模式，並採用正交曲線格網來局部加密商港海域之格網數量，使港口附近之格網間距可達 100 公尺解析度，讓其可表現港灣結構物或其港外局部地形特性對於海流變動所產生的影響。圖 4-12 分別表示臺灣近岸海域(T-NS)模式之臺灣西南部(T-SW)、臺灣中西部(T-W)、臺灣北部(T-N)及臺灣東部(T-E)之格網與地形水深分布，為方便敘述故上述格網又統稱為臺灣近岸海域(T-NS)模式。其中 T-SW 格網所涵蓋安平與高雄港範圍海域；T-W 格網涵蓋臺中港海域；T-N 格網涵蓋臺北港與基隆港海域；T-E 格網範圍涵蓋花蓮港與蘇澳港之臺灣東部海域。而近岸海域格網之地形水深採用國科會海洋學門之地形水深資料庫(Liu 等人，1998)，其解析度為 500 公尺，其計算格網間距小於水深資料庫格網間距區域採內插方式，由於本計畫尚無取得更精細之近岸水深資料，故港灣結構位置處採用人工修正，使其格網與地形水深可表現結構物所產生之流動特性。而上述近岸海域模式(T-NS)之格網設定如表 4-4 中所示。

表 4-4 近岸海域格網(T-NS)之範圍與計算條件

T-NS 模式	模式涵蓋商港	格網點數	解析度	計算時距 (dte)	計算時距 (dti)
T-W	臺中港	359x100x21	1000~130m	0.5 sec	15 sec
T-SW	高雄港、安平港	297x110x21	1050~130m	0.5 sec	15 sec
T-N	臺北港、基隆港	278x80x21	1000~90m	0.5 sec	15 sec
T-E	蘇澳港、花蓮港	201x442x21	1000m	1.0 sec	30 sec

關於邊界條件方面，海面溫度與風場採用與洋流模式所使用的一致，由於上層 T3 模式已考慮洋流與潮流綜合效應，故由 T3 模式所給定之巢狀邊界資料亦包含兩者綜合效應。考慮潮流變動特性，巢狀邊界更新時間間距為 1 小時。關於模式計算時間為 2008/12/01 00:00 至 2010/12/31 23:00，而模式參數方面，則以表 4-3 所列之參數進行模擬。

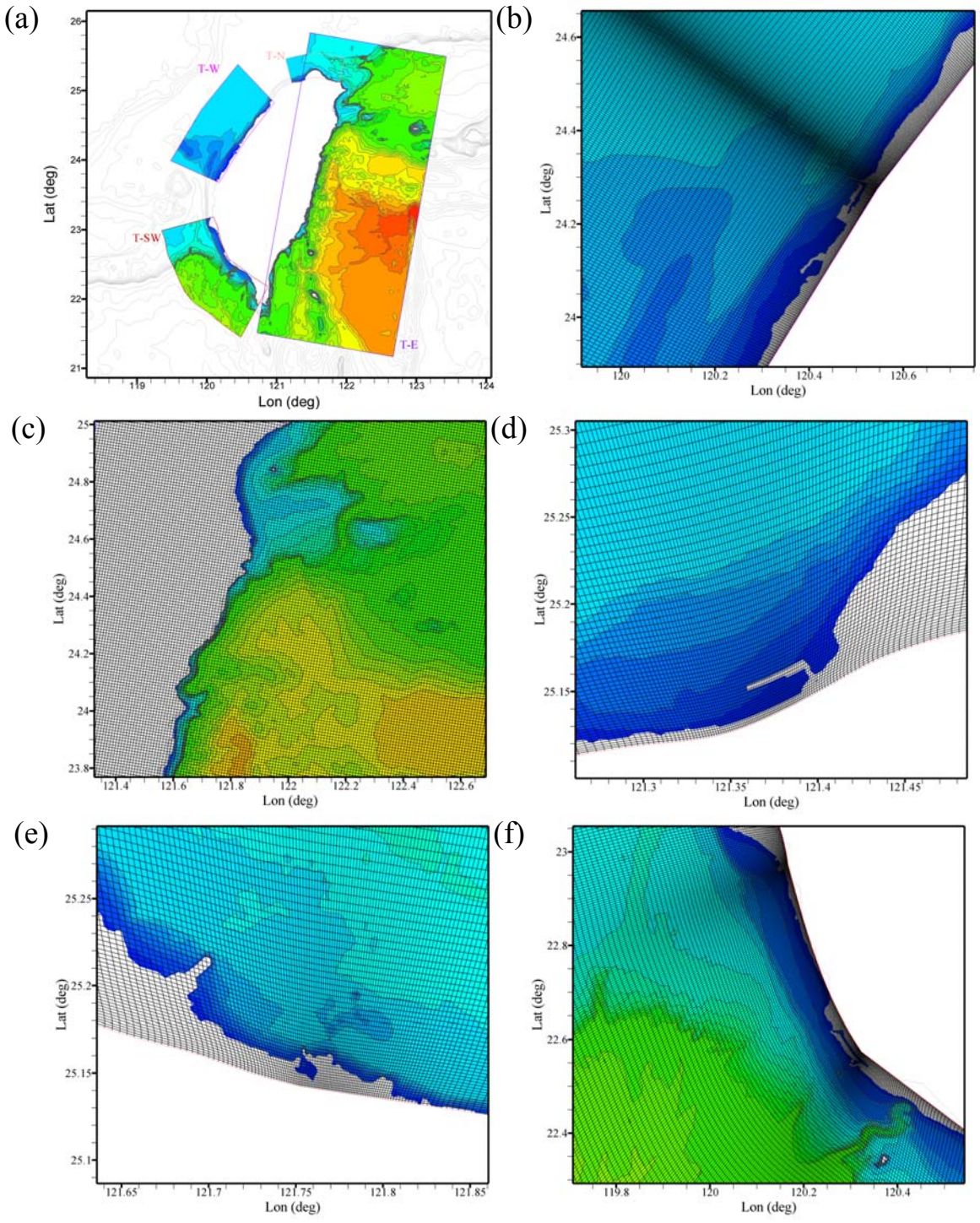


圖 4-12 臺灣近岸海域巢狀格網與地形水深圖(a)T-NS 格網範圍；(b)T-W 格網局部放大圖；(c)T-E 格網局部放大圖；(d)T-N 格網局部放大圖 1；(e)T-N 格網局部放大圖 2；(f)T-SW 格網局部放大圖

圖 4-13 為各近岸巢狀格網之邊界條件校驗圖，圖中紅色箭頭為臺灣海域(T3)模式之模擬結果，亦即用來內插之流速值，圖中黑色為巢狀格網之流速值，由圖中可看出正交曲線座標之巢狀子格網邊界處流速流向與相同位置處之巢狀母格網流速流向相似，表示巢狀子格網之邊界條件合理的內插母格網之值。

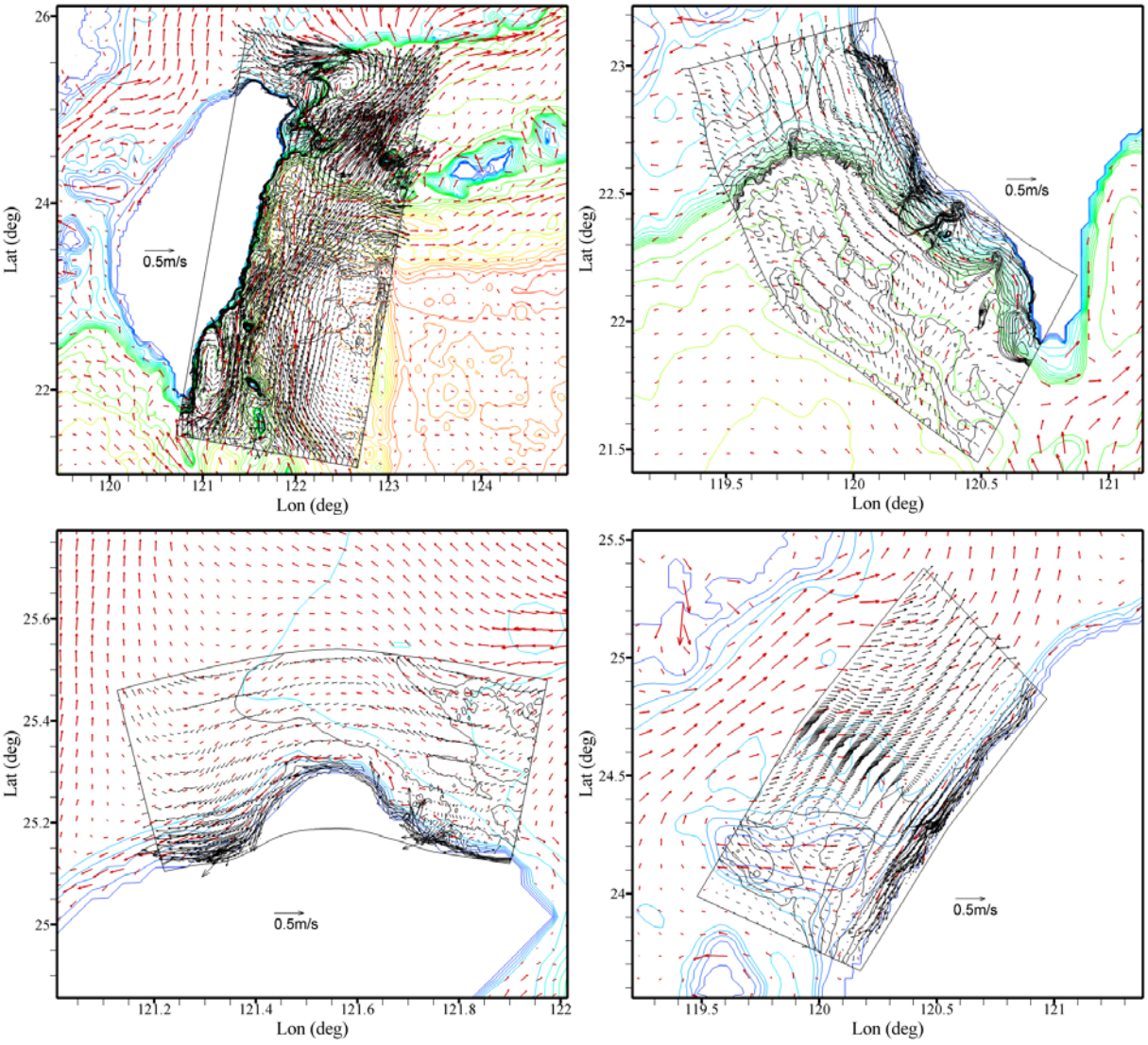


圖 4-13 巢狀格網之邊界條件校驗

為了討論天文潮汐邊界之適用性與測試近岸格網之合理性，利用 NAO99 與 OTPS 兩種全球潮汐模式所輸出之潮汐水位來測試，此外為了比對洋流與潮流綜合效應與僅有潮汐推算模擬之差異(如上節結果所述)，利用安平、花蓮、高雄、基隆、蘇澳、台中及臺北港之實測資料

來驗證模式之合理性。圖 4-14 至圖 4-20 分別為安平、花蓮、高雄、基隆、蘇澳、台中及臺北港實測資料(圖中黑點)與模式推算結果(圖中紅點)之東西、南北流速分量比較圖，圖中(a)小圖為二維潮流模式(T3_2D)之推算結果、(b)小圖為利用 OTPS 全球潮汐模式之邊界條件所推算之三維洋流與潮流綜合效應(T3_w_OTPS)推算結果、及(c)小圖為利用 T3_w_OTPS 之結果作為邊界條件與臺灣近岸海域 T-NS 巢狀模式所推算結果。由圖 4-14 安平港流速比較中可知 T3_2D 潮流模式與 T3_w_OTPS 之流向結果相似，但洋流與潮流綜合效應推算結果之流速值略大，近岸海域 T-NS 巢狀格網推算又更符合實測值。由圖 4-15 與圖 4-16 之花蓮與蘇澳港比較結果，由於這兩商港位於臺灣東岸，實測資料黑點之東西、南北分佈呈一圓形，表示漲退潮之主流向並不明顯。圖 4-17 為高雄港之比較圖，由圖中 T3_2D 模式結果可看出流速明顯偏小，T3_w_OTPS 之結果可有效改善模擬結果，而近岸格網更可合理的模擬高雄港附近海域之海流特性。圖 4-18 為基隆港之比較圖，由圖中 T3_2D 與 T3_w_OTPS 之結果可看出，由於模式格網間距較大，模式並無法表現基隆港局部地形所產生的流向，而圖 4-18(c)之近岸格網推算結果可以合理的呈現地形效應，使得模擬結果與實測值具有一致性。圖 4-19 為臺中港之比較圖，其與高雄港模擬結果相似，二維潮流模擬皆無法合理的推算海流，三維洋流與潮流綜合效應推算結果皆可改善模擬結果，而由圖 4-19(c)中可明顯看出高解析度近岸格網可合理的表現漲潮段流速偏向西南西之現象。圖 4-20 為臺北港之比較結果，由圖中可看出臺北港於二維潮流、三維洋流與潮流綜合效應及近岸格網之模擬結果差異不大，皆與實測值有合理的一致性。綜合以上所述，近岸格網可合理呈現各商港海域局部地形所產生的海流特性，而洋流與潮流綜合效應模擬可改善於台中與高雄港之推算結果。

由各商港海流觀測資料看來，除了臺中港觀測資料有夏季向南冬季向北之恆流現象出現之外，其餘花蓮、蘇澳、基隆、台北、安平及高雄平均流速流向皆趨近零，由於觀測點非常接近海岸，表示這些海域近岸海流特性仍以潮流現象為主。

(a)

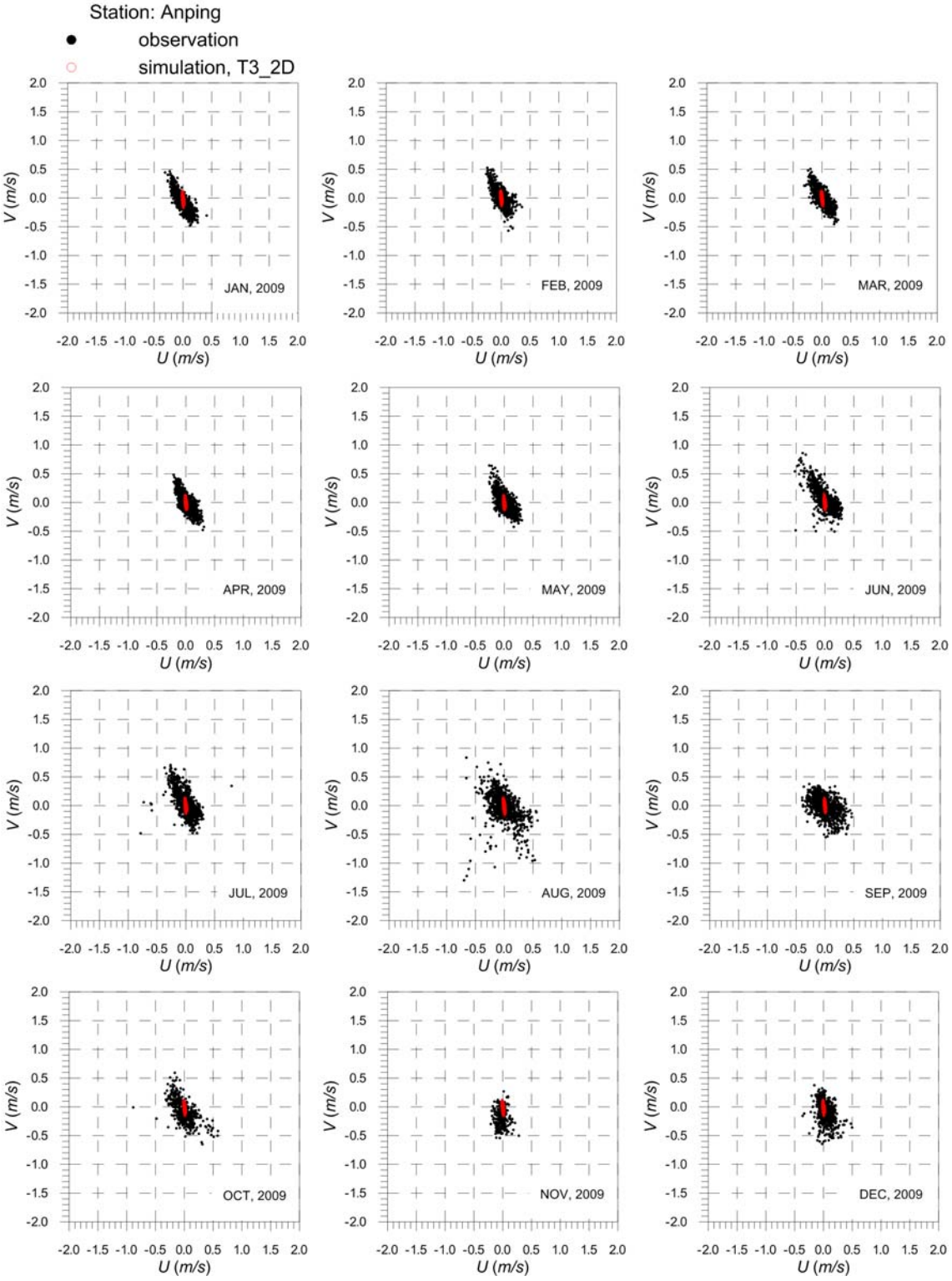


圖 4-14 安平港觀測與模擬結果東西、南北分量流速比較圖

(b)

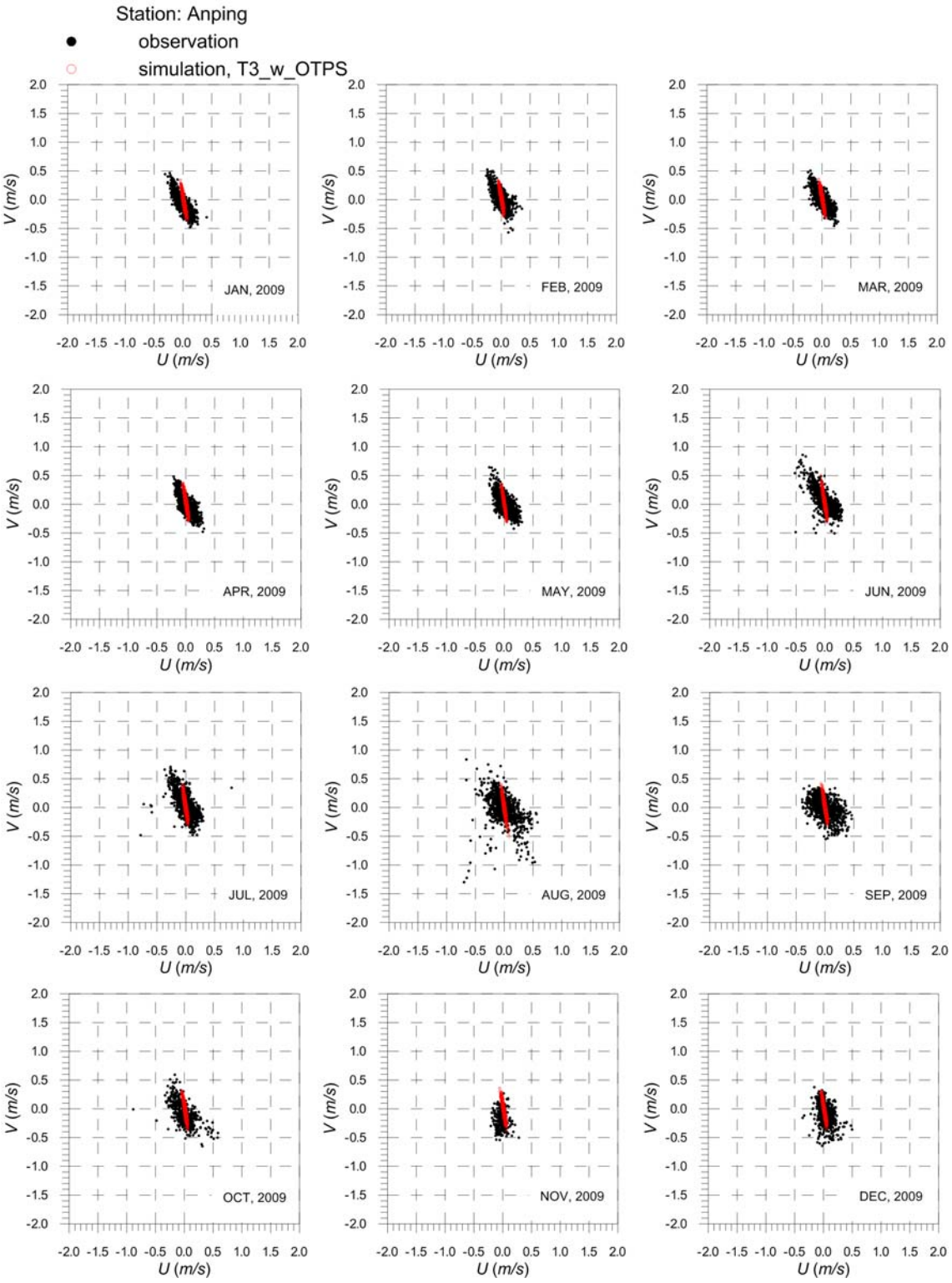


圖 4-14(續) 安平港觀測與模擬結果東西、南北分量流速比較圖

(c)

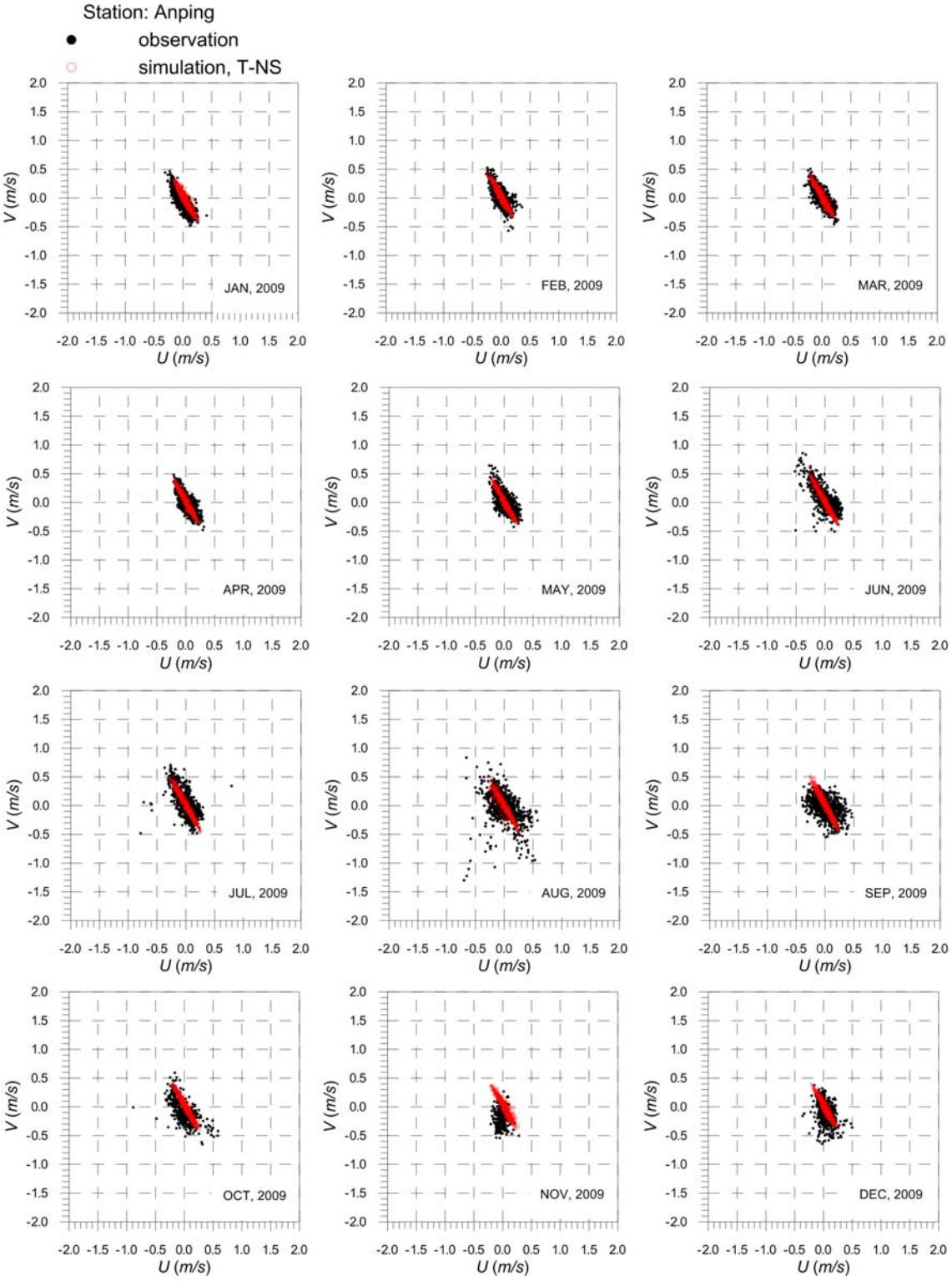


圖 4-14(續) 安平港觀測與模擬結果東西、南北分量流速比較圖

(a)

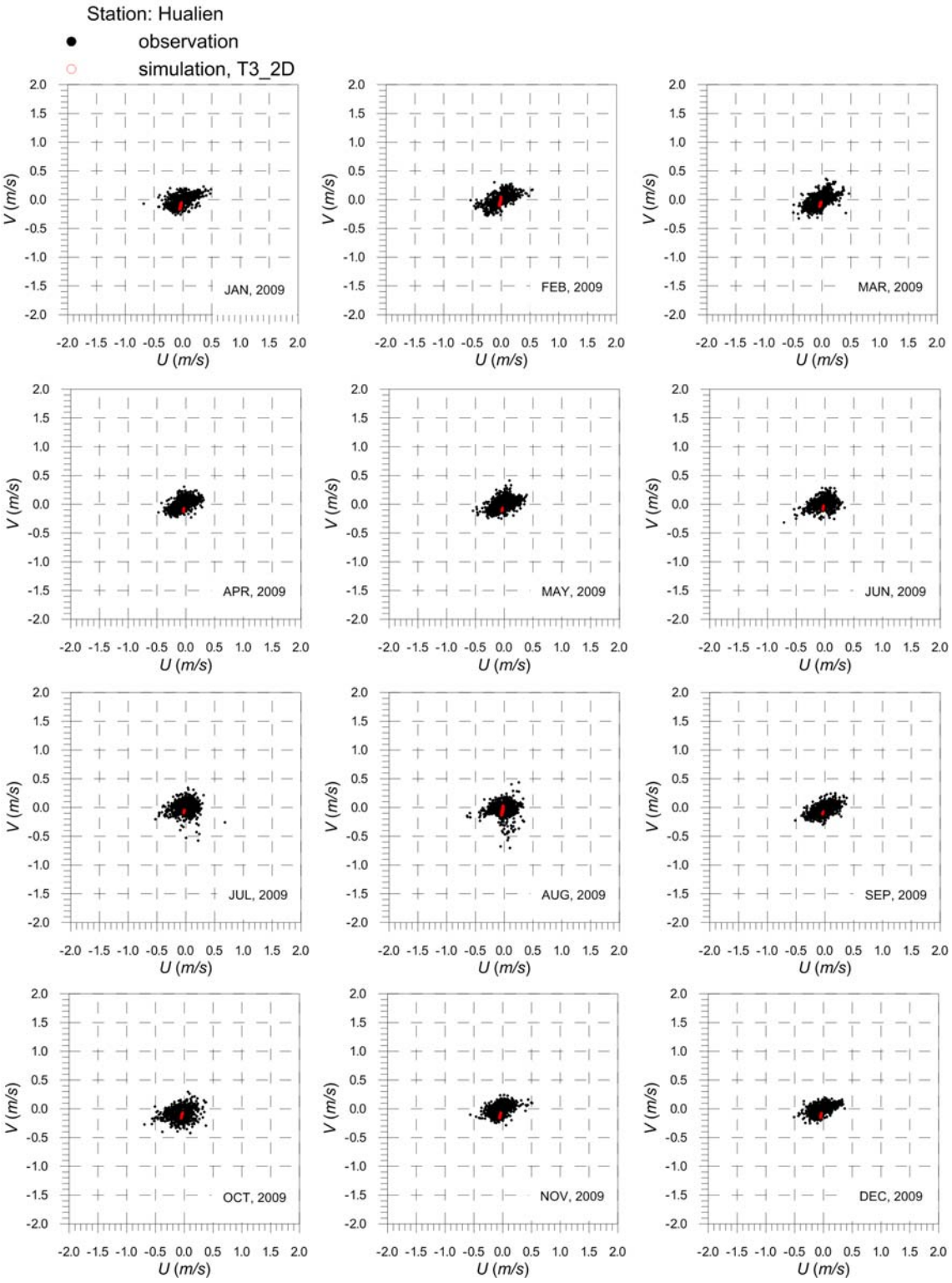


圖 4-15 花蓮港觀測與模擬結果東西、南北分量流速比較圖

(b)

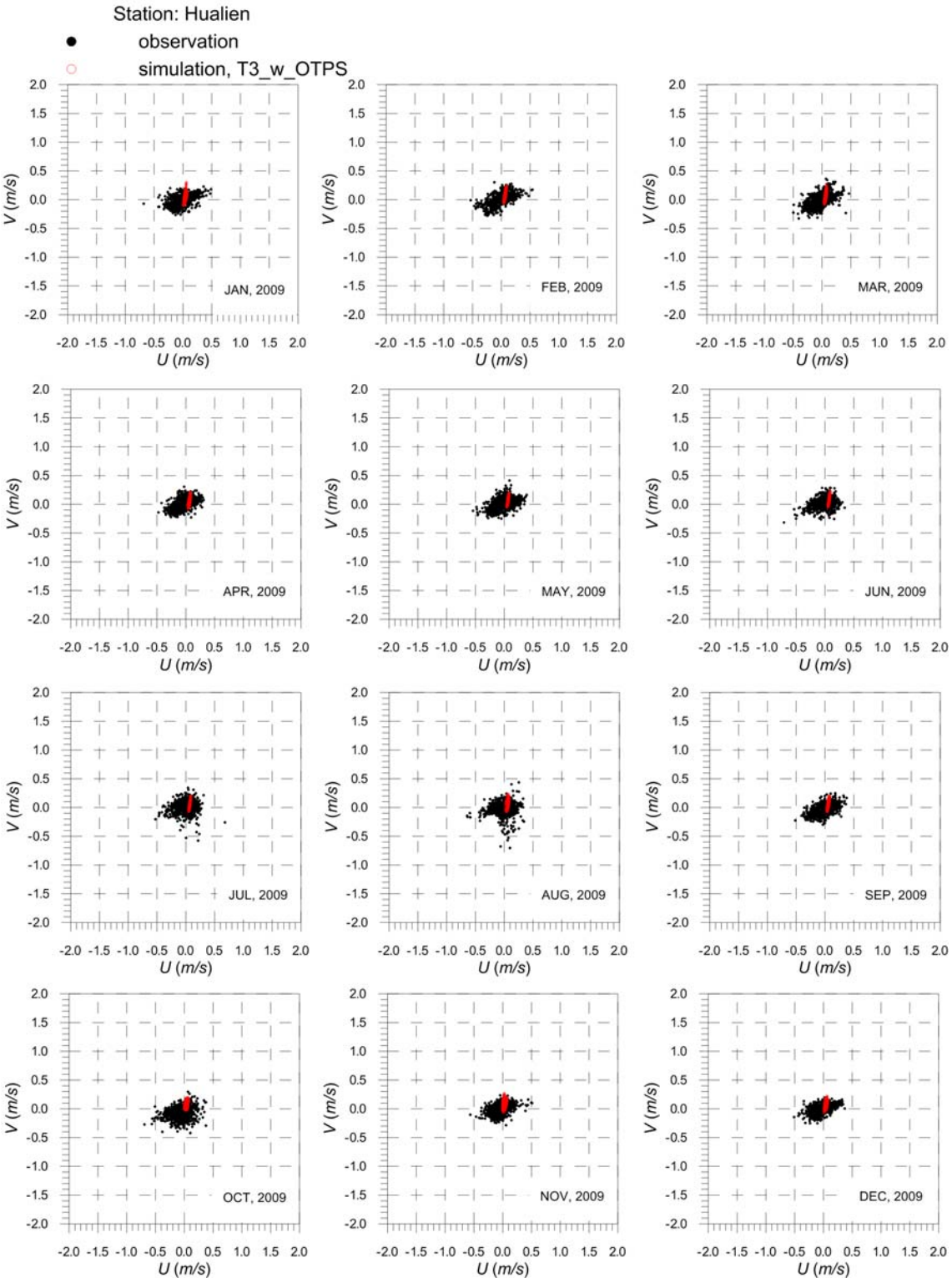


圖 4-15(續) 花蓮港觀測與模擬結果東西、南北分量流速比較圖

(c)

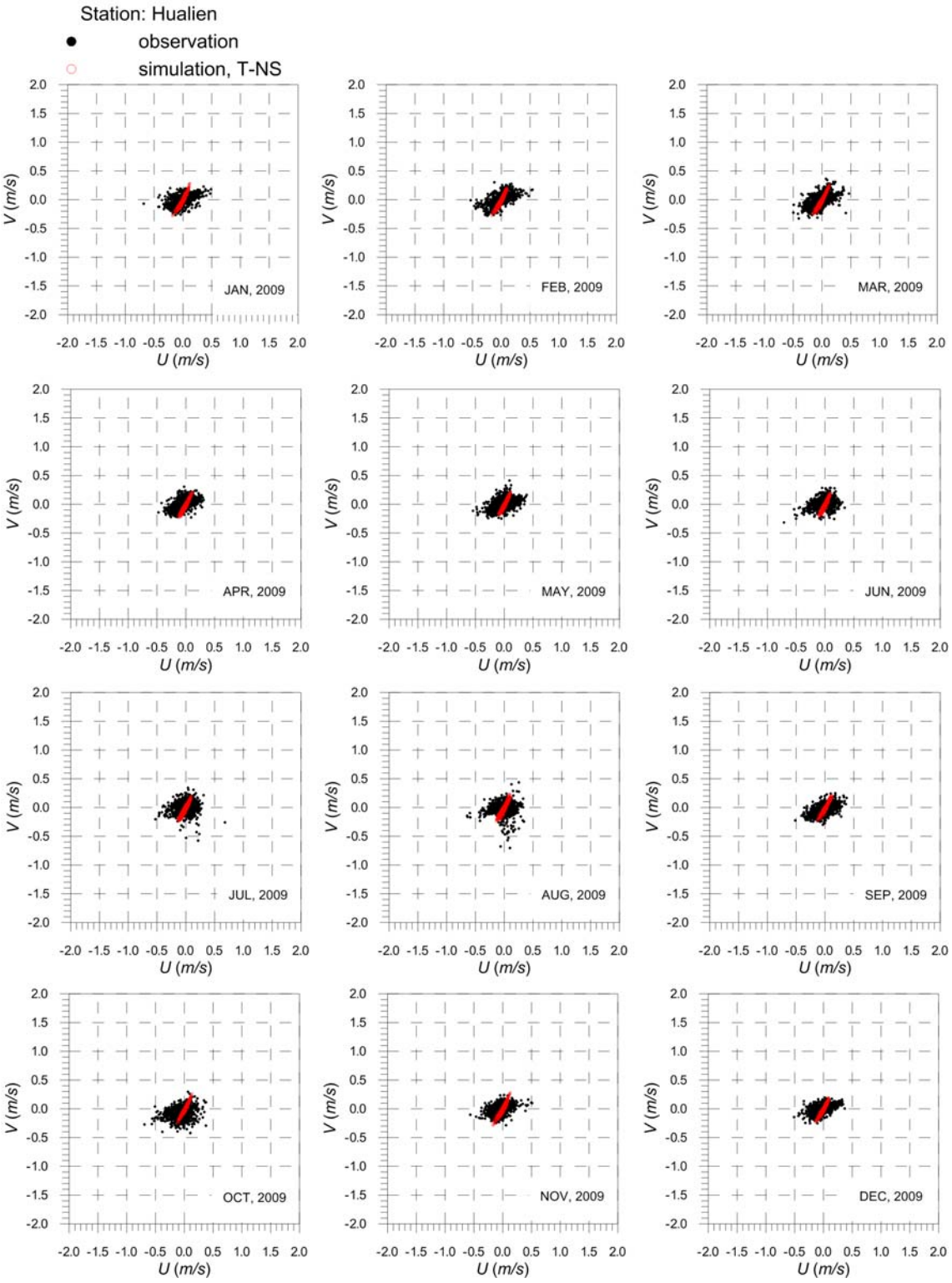


圖 4-15(續) 花蓮港觀測與模擬結果東西、南北分量流速比較圖

(a)

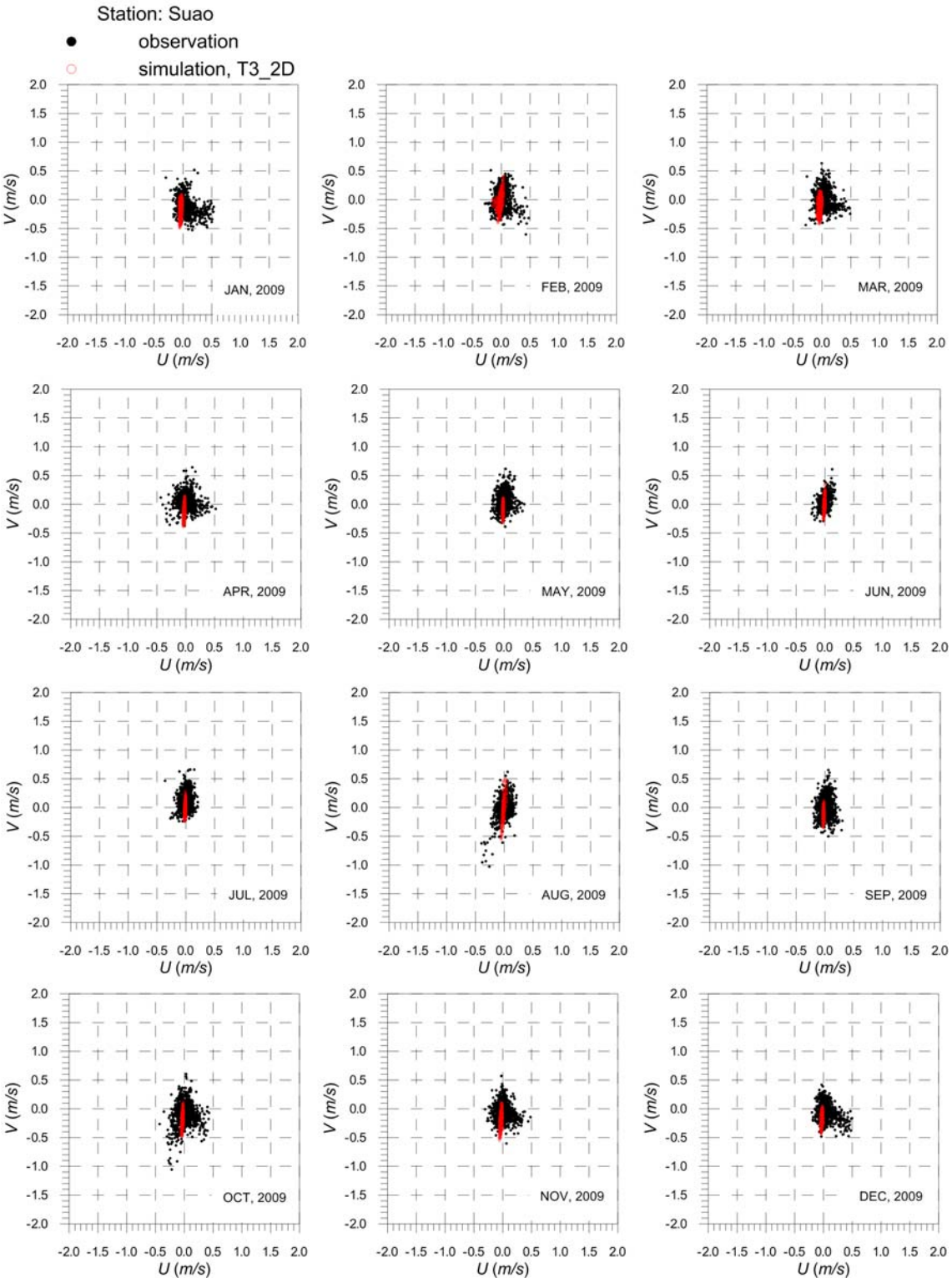


圖 4-16 蘇澳港觀測與模擬結果東西、南北分量流速比較圖

(b)

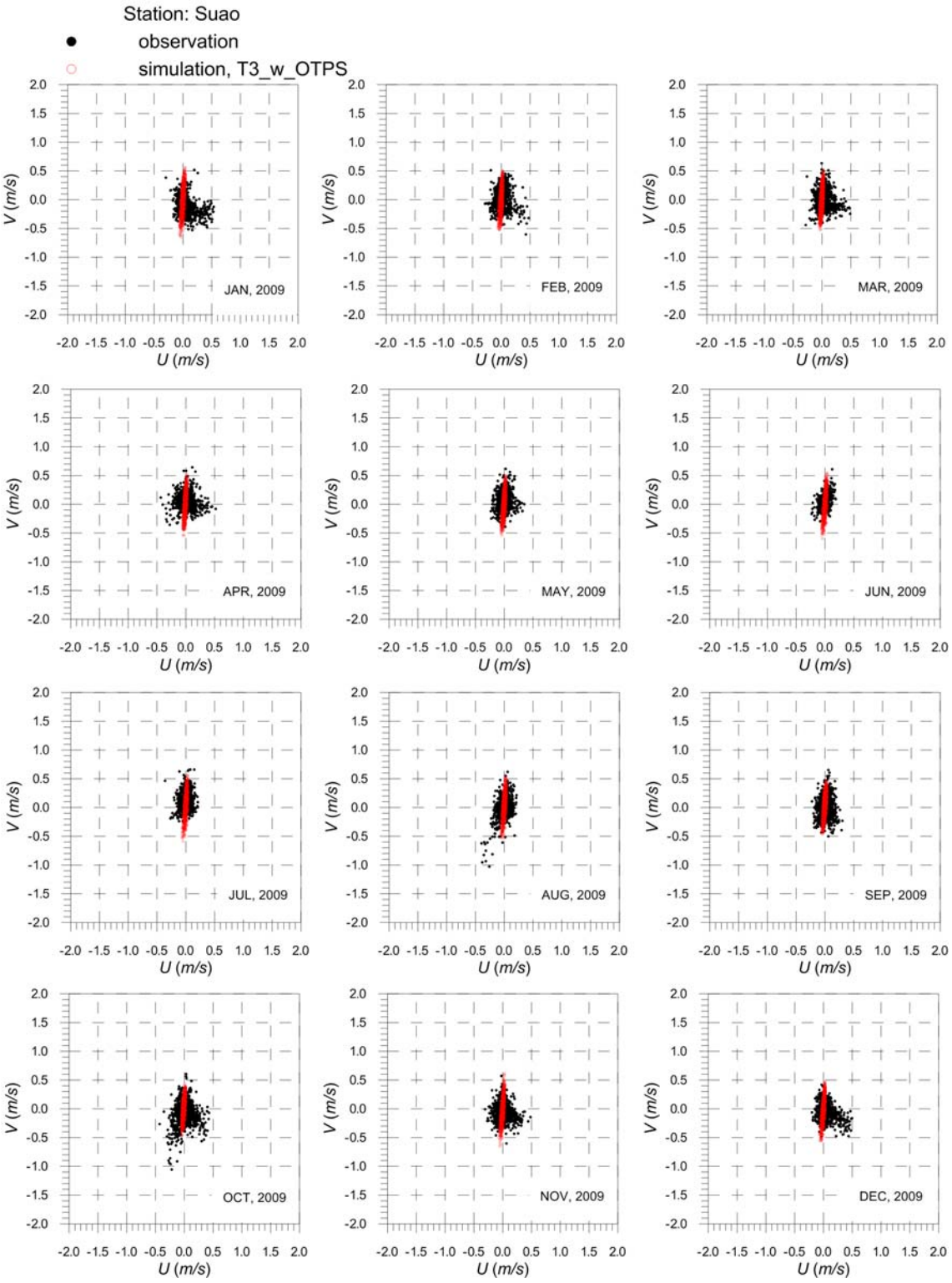


圖 4-16(續) 蘇澳港觀測與模擬結果東西、南北分量流速比較圖

(c)

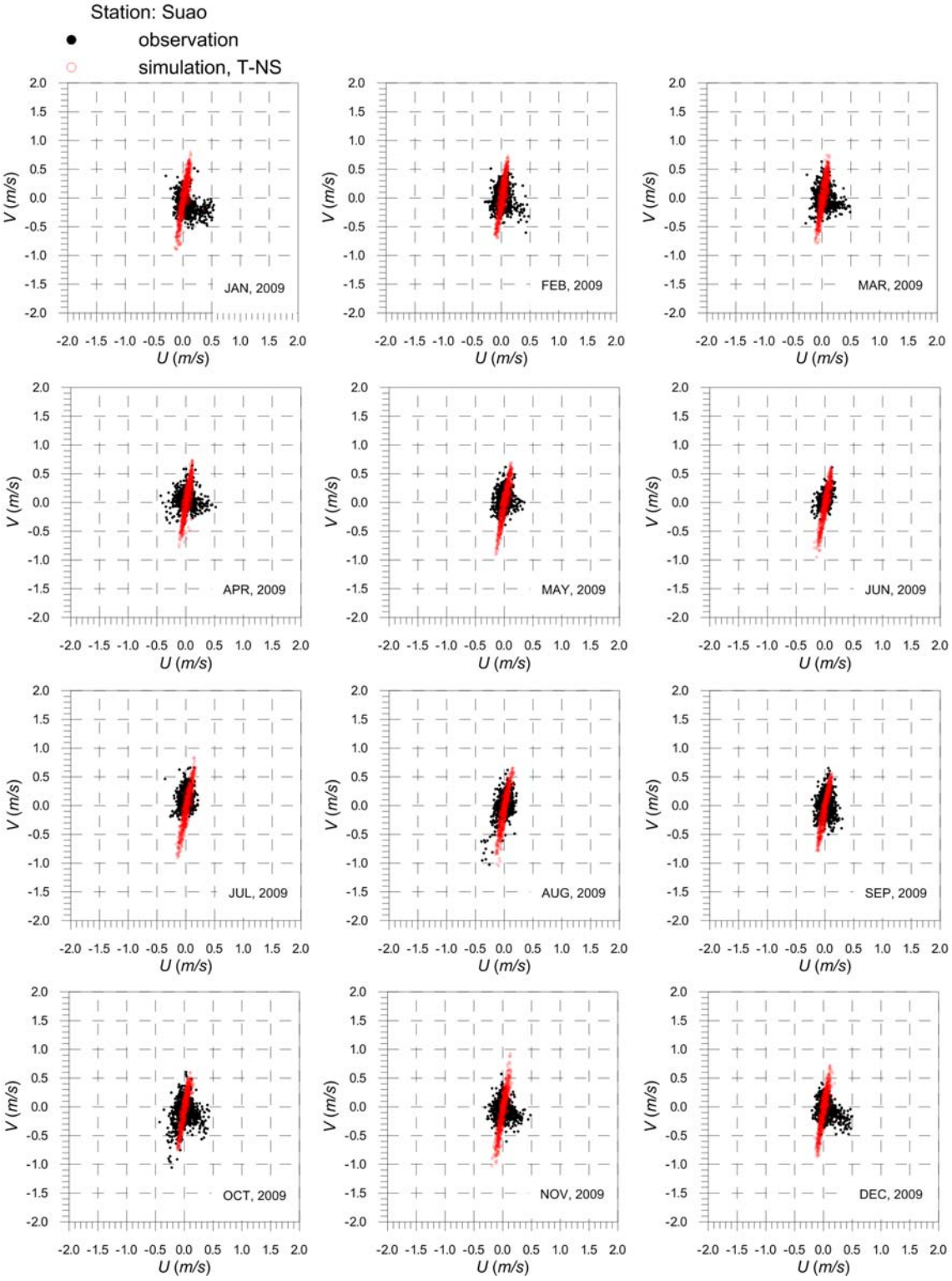


圖 4-16(續) 蘇澳港觀測與模擬結果東西、南北分量流速比較圖

(a)

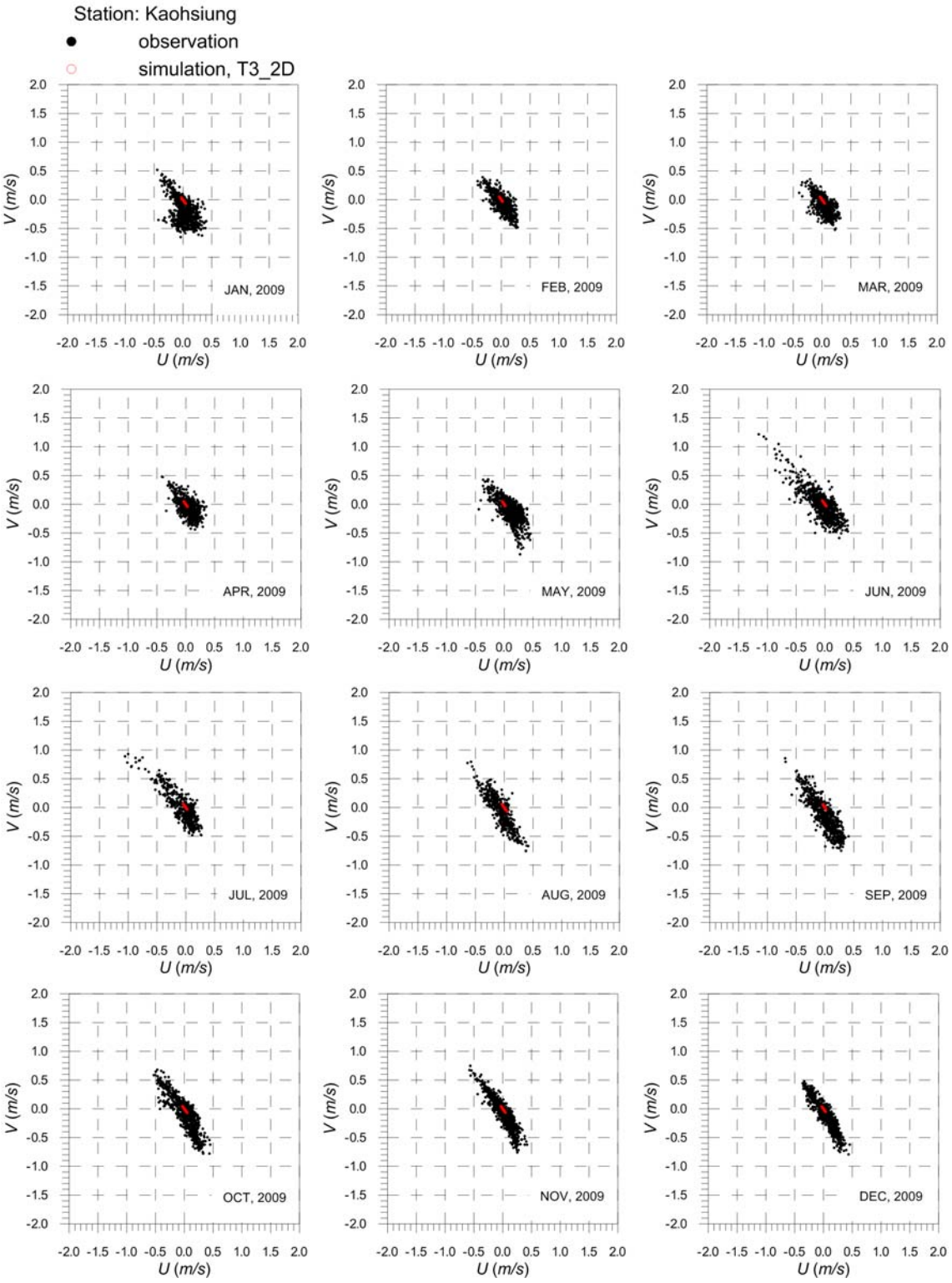


圖 4-17 高雄港觀測與模擬結果東西、南北分量流速比較圖

(b)

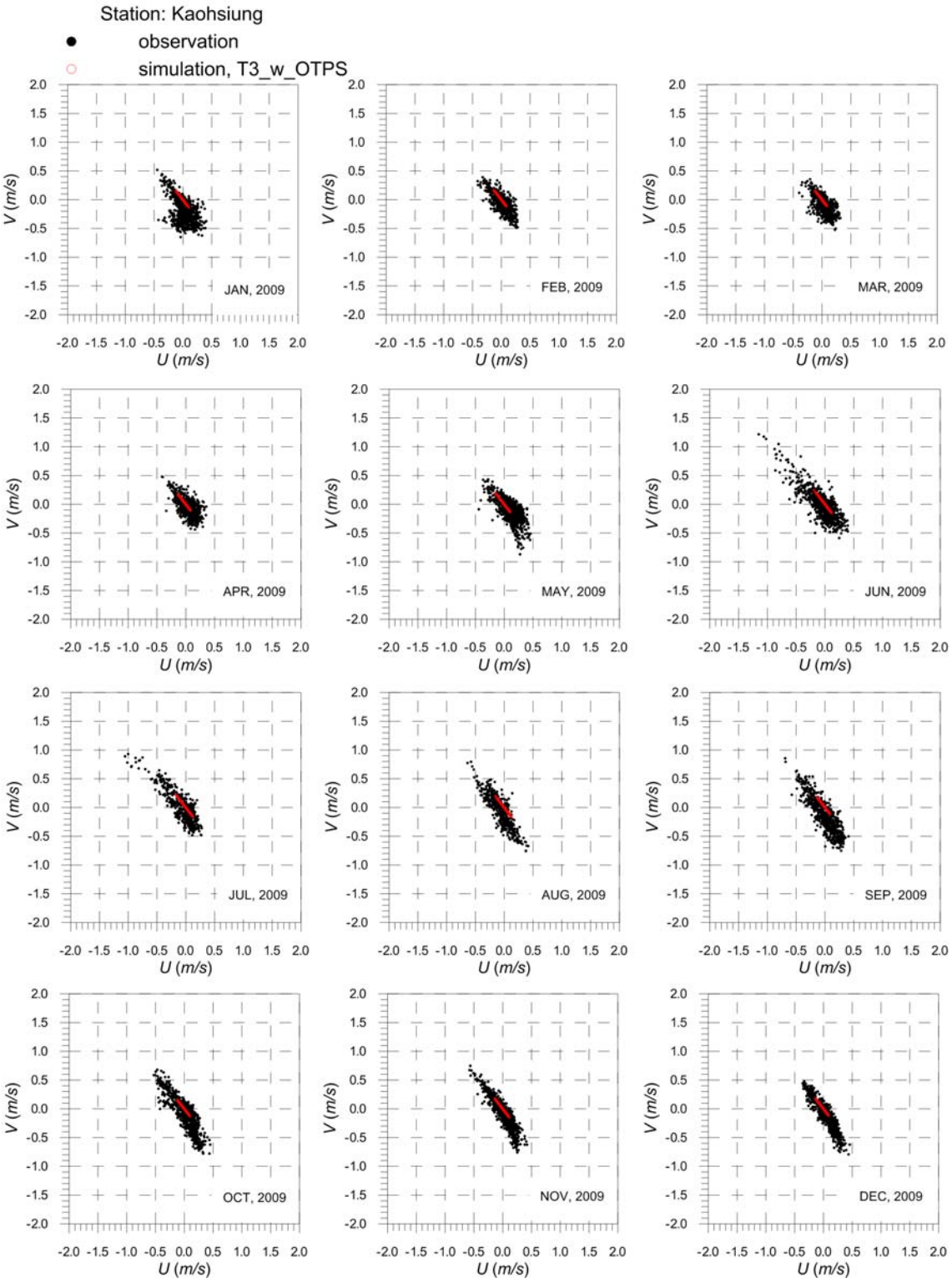


圖 4-17(續) 高雄港觀測與模擬結果東西、南北分量流速比較圖

(c)

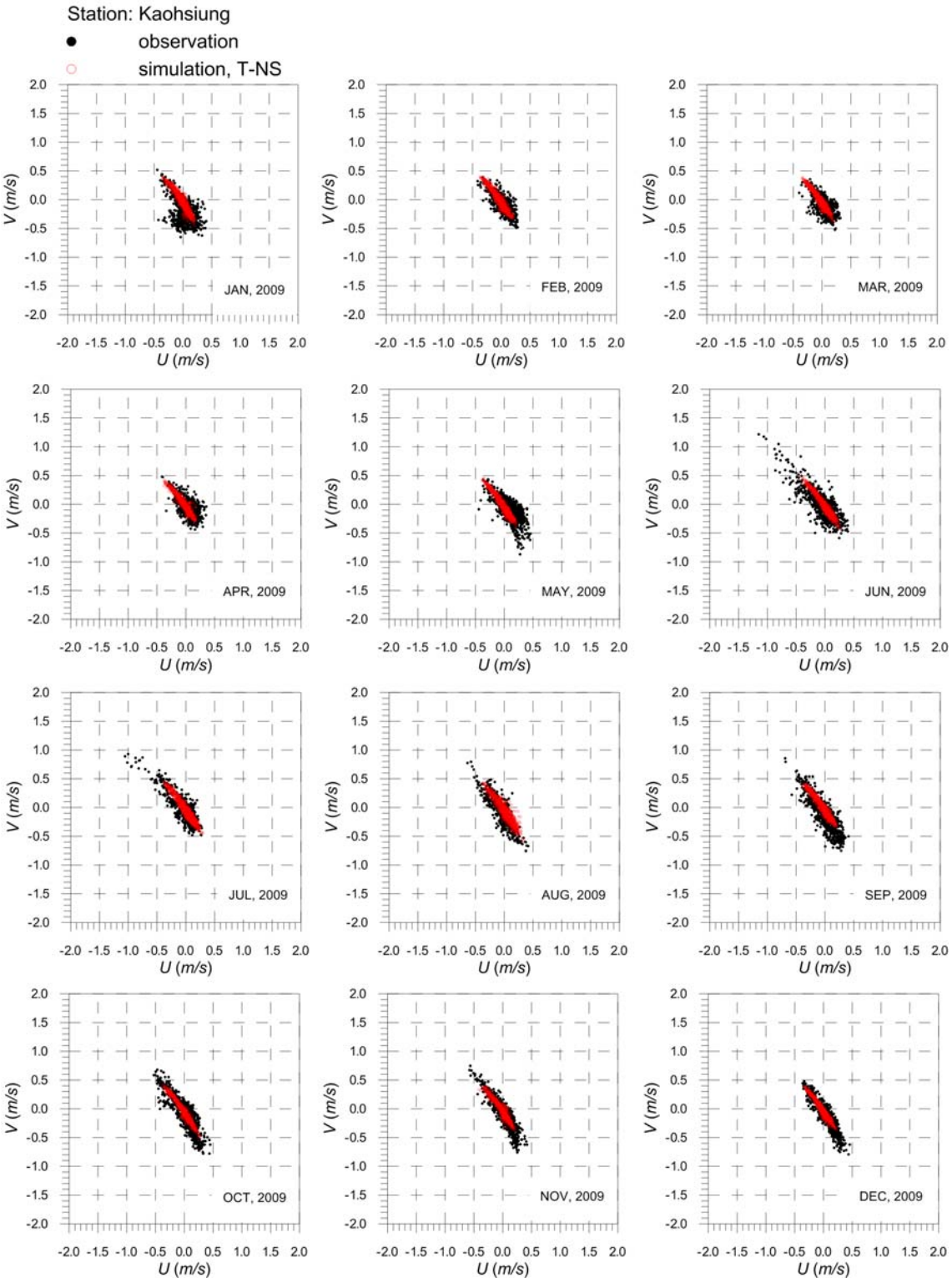


圖 4-17(續) 高雄港觀測與模擬結果東西、南北分量流速比較圖

(a)

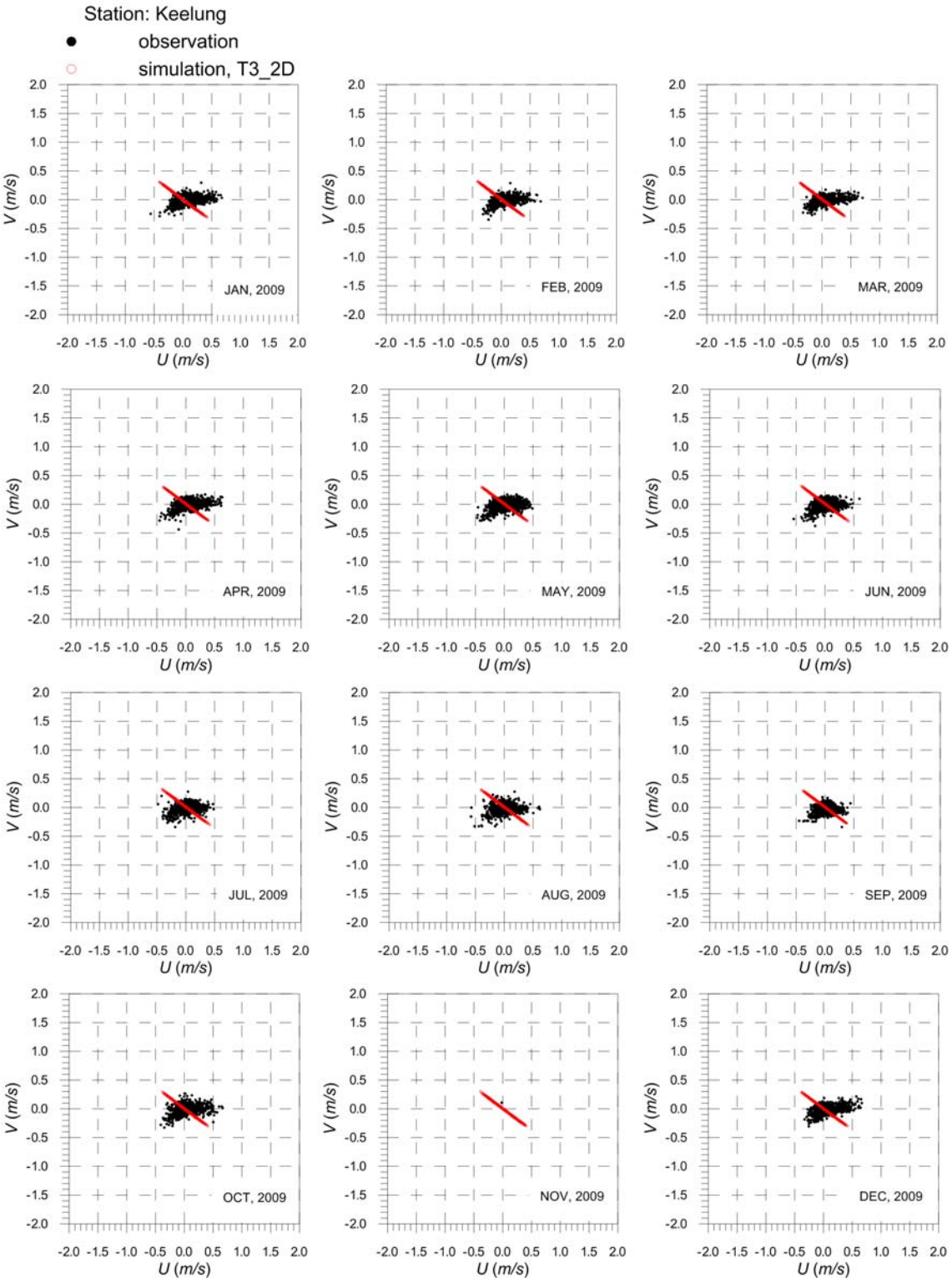


圖 4-18 基隆港觀測與模擬結果東西、南北分量流速比較圖

(b)

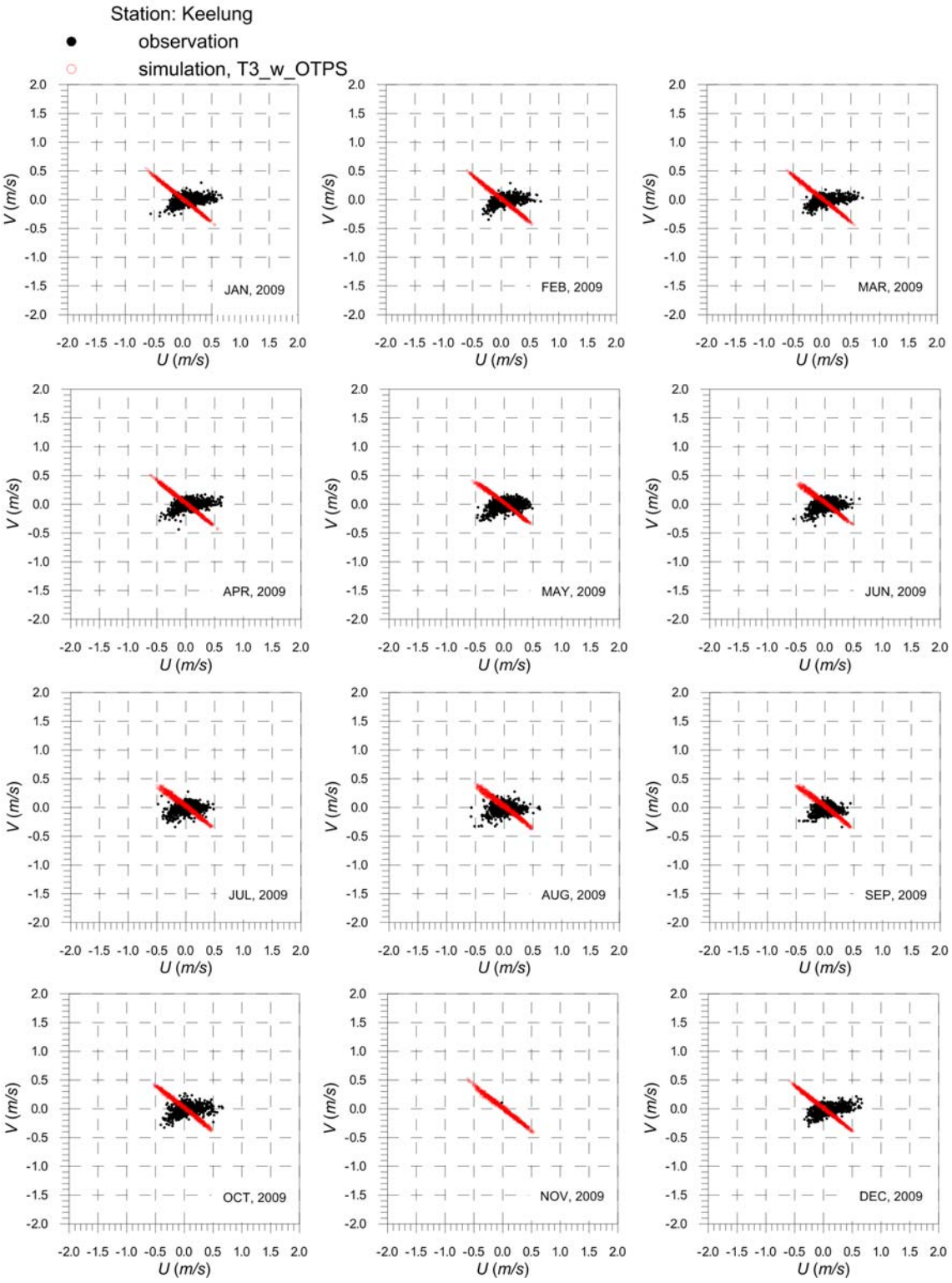


圖 4-18(續) 基隆港觀測與模擬結果東西、南北分量流速比較圖

(c)

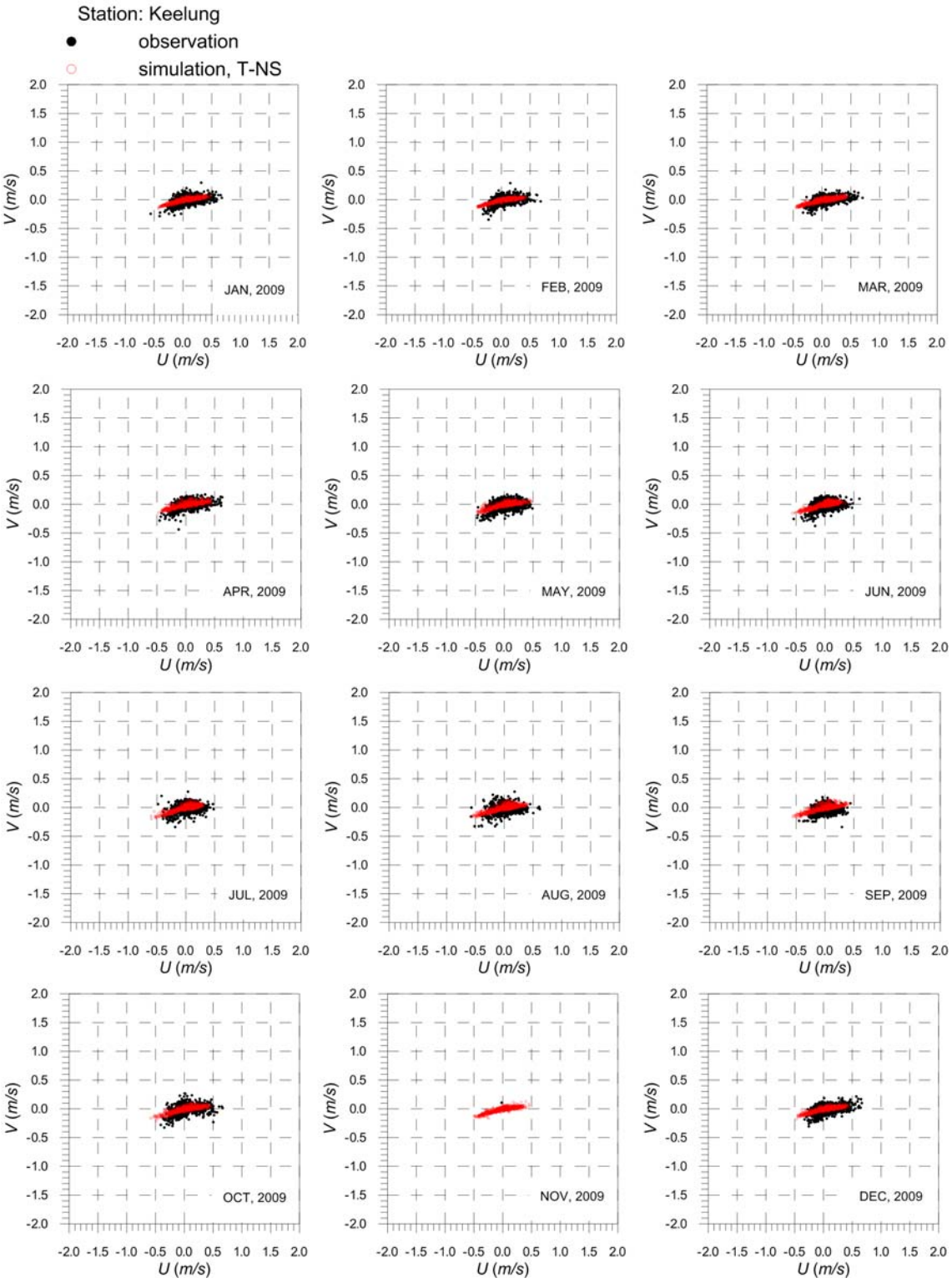


圖 4-18(續) 基隆港觀測與模擬結果東西、南北分量流速比較圖

(a)

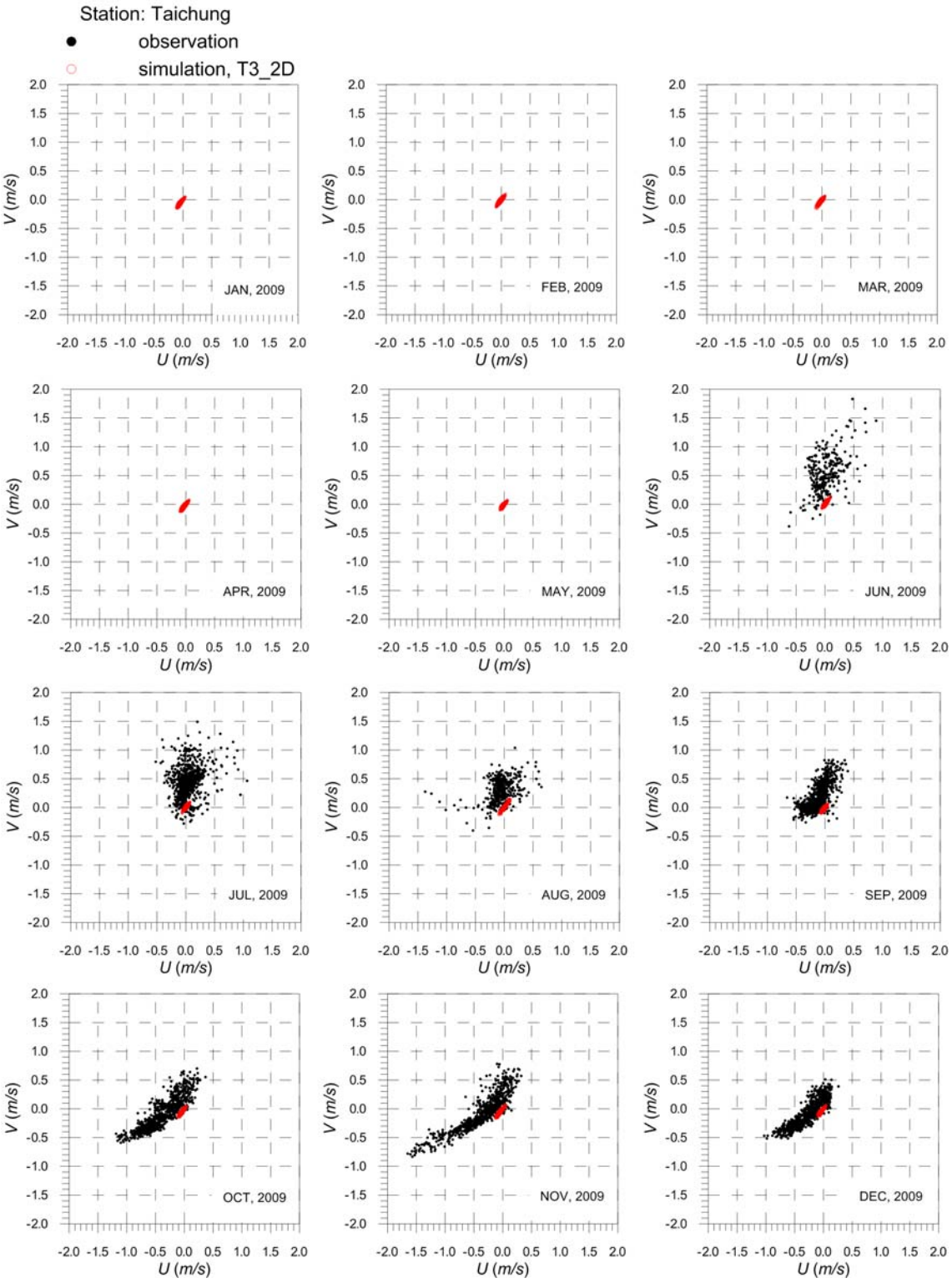


圖 4-19 臺中港觀測與模擬結果東西、南北分量流速比較圖

(b)

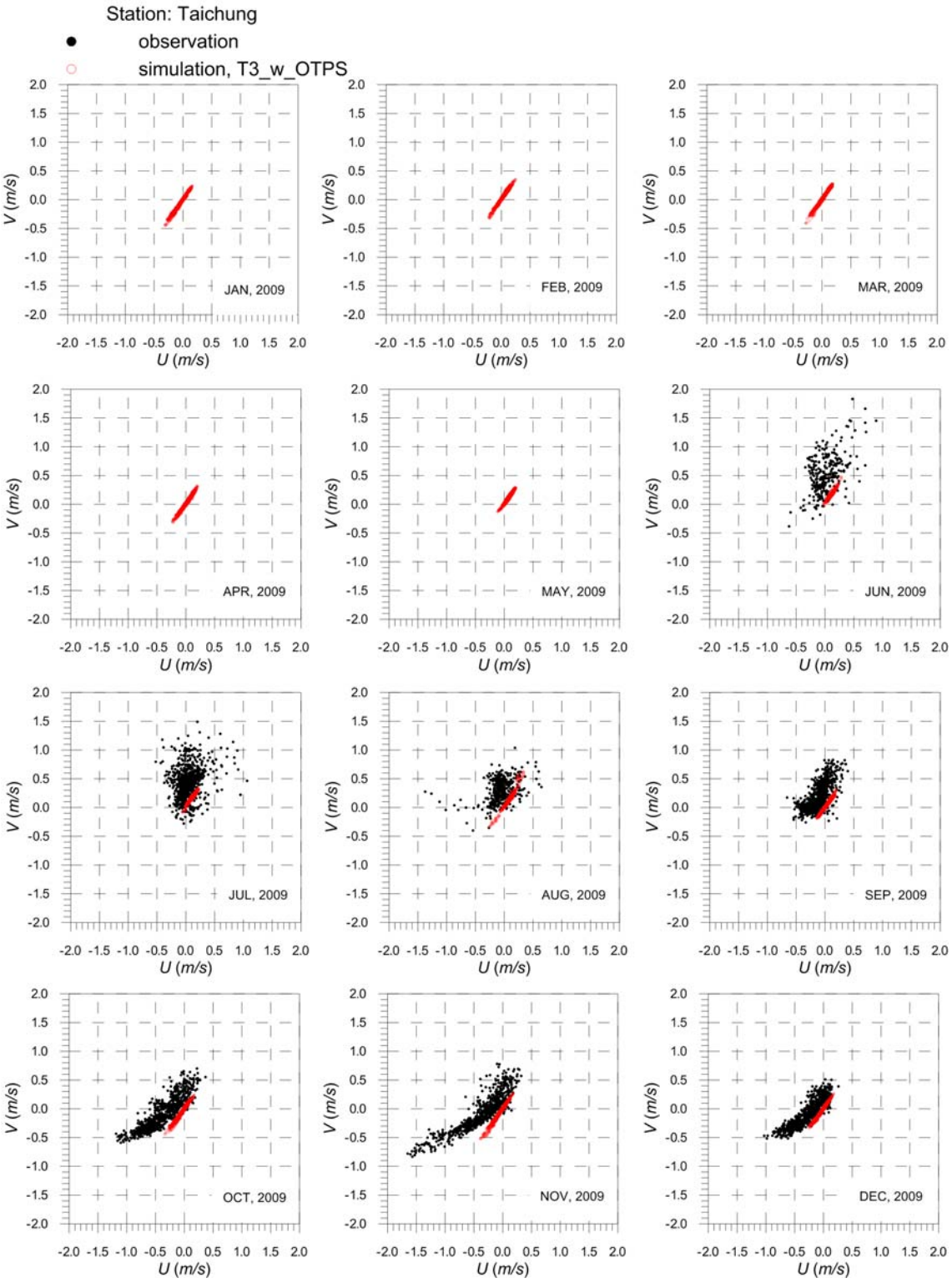


圖 4-19(續) 臺中港觀測與模擬結果東西、南北分量流速比較圖

(c)

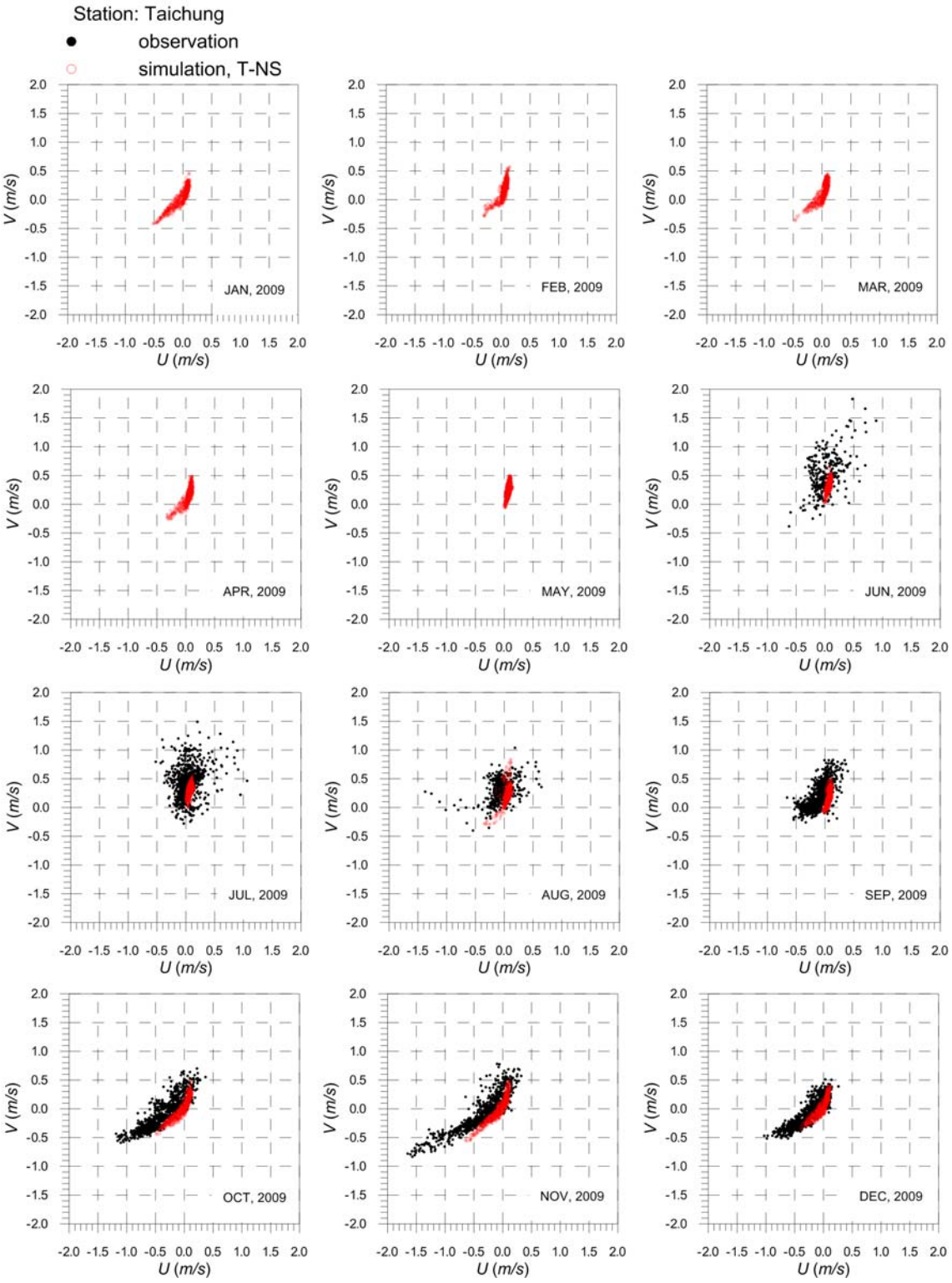


圖 4-19(續) 臺中港觀測與模擬結果東西、南北分量流速比較圖

(a)

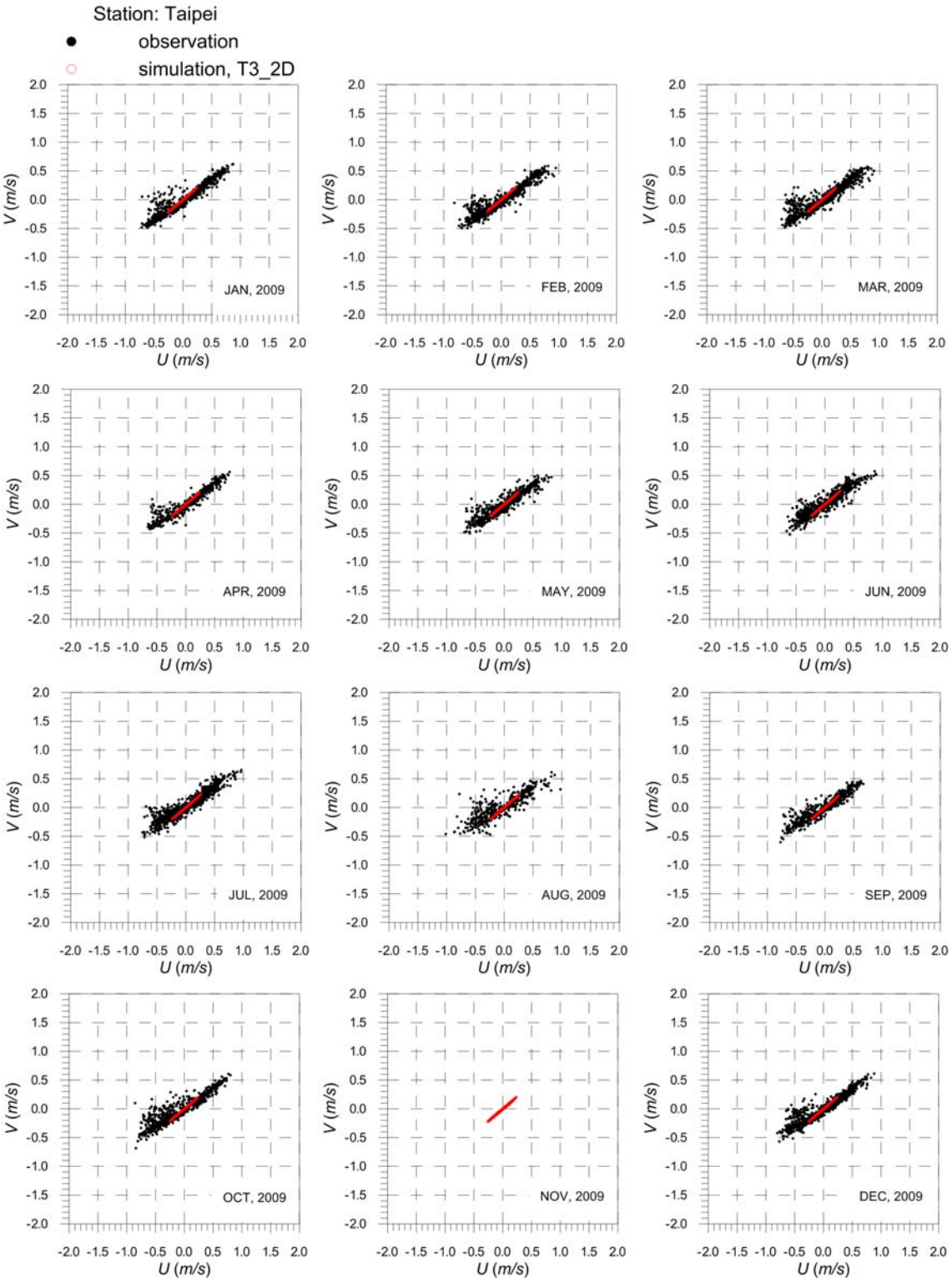


圖 4-20 臺北港觀測與模擬結果東西、南北分量流速比較圖

(b)

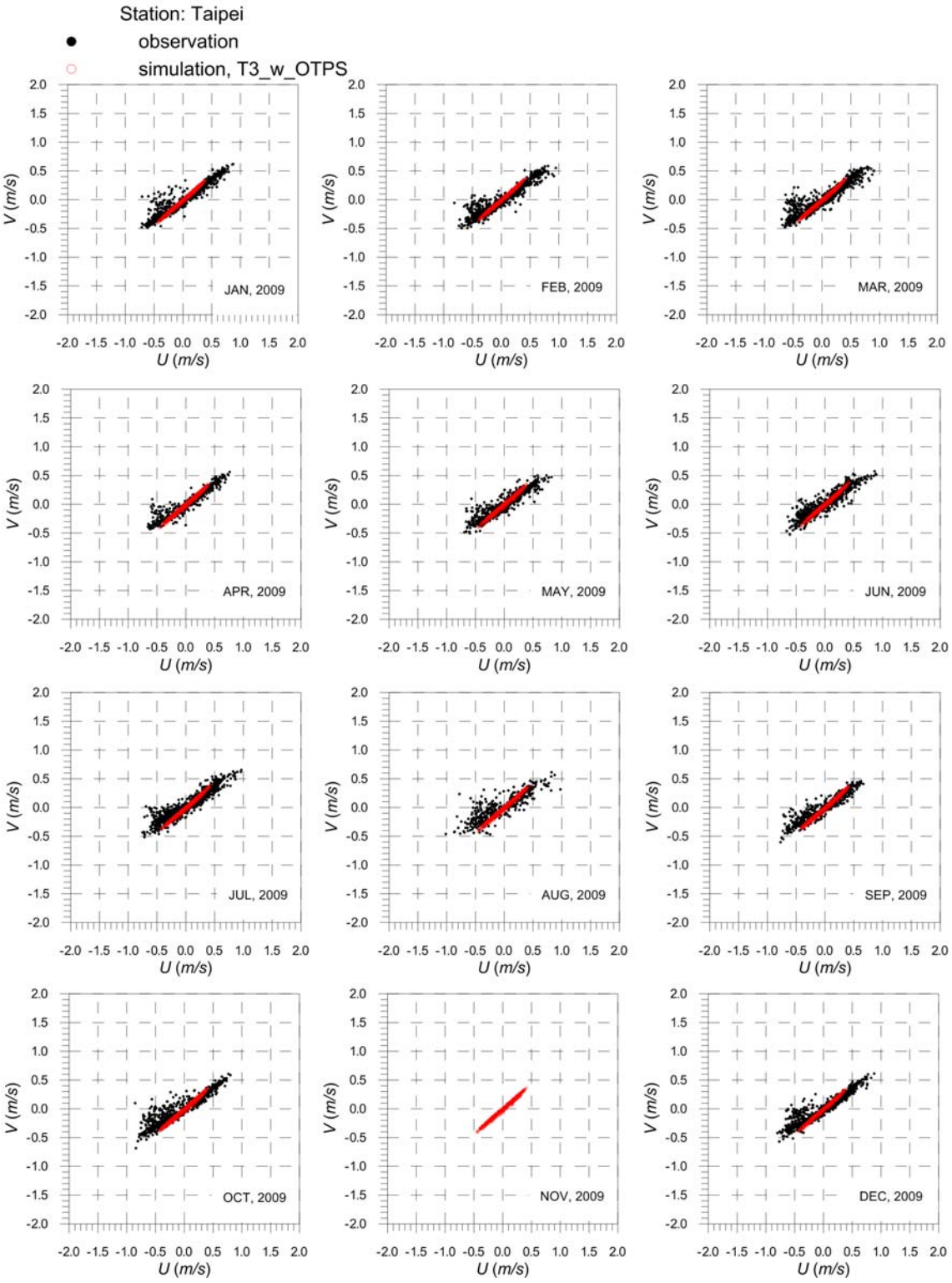


圖 4-20(續) 臺北港觀測與模擬結果東西、南北分量流速比較圖

(c)

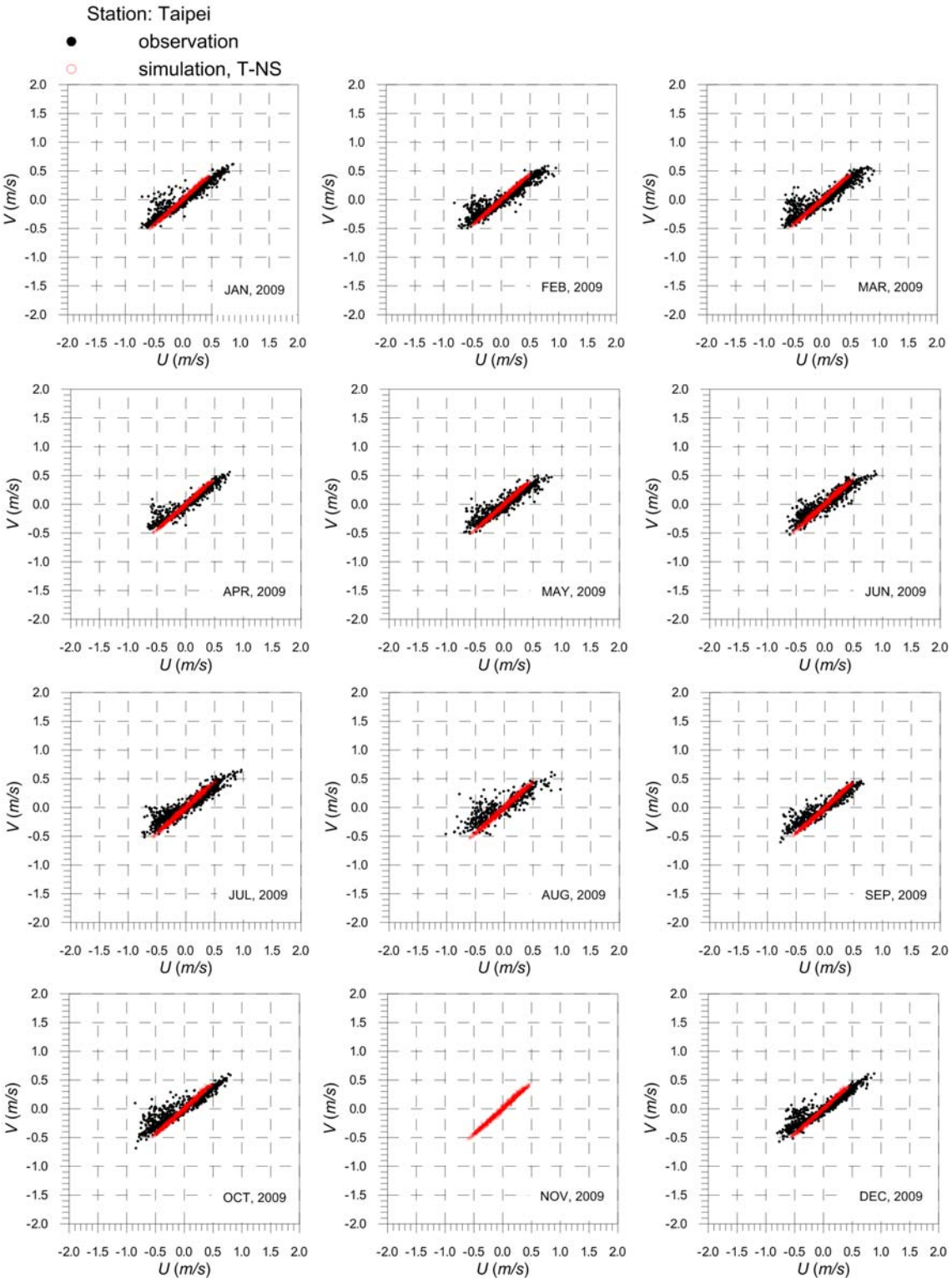


圖 4-20(續) 臺北港觀測與模擬結果東西、南北分量流速比較圖

為了更明確量化觀測與模擬結果之關係，並探討各種模擬方式對於各商港海域海流模擬之準確性，故使用多種統計參數來幫助分析，其中標準偏差(Standard Deviation)參數表示為，

$$\mathrm{SD}_x = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})} \quad \text{.....(4-1)}$$

$$\mathrm{SD}_y = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(y_i - \bar{y})} \quad \text{.....(4-2)}$$

其中 y_i 表示模擬值，x_i 表示觀測值，N 為資料點數，$\bar{y}$ 為模擬值之平均值，$\bar{x}$ 為觀測值之平均值。平均偏差(BIAS)參數表示為，

$$\mathrm{BIAS} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(y_i - x_i) = \bar{y} - \bar{x} \quad \text{.....(4-3)}$$

BIAS 參數表示觀測值平均與模擬值平均之差值，負值表示模擬值小於觀測值。而平均絕對誤差(mean absolute error，MAE)表示為，

$$\mathrm{MAE} = \frac{1}{N}\sum_{i=i}^{N}\left|y_i - x_i\right| \quad \text{.....(4-4)}$$

均方根誤差(root mean square error，RMS)表示為，

$$\mathrm{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(y_i - x_i)^2} \quad \text{.....(4-5)}$$

分散係數(scatter index，SCI)表示為，

$$\mathrm{SCI} = \frac{\mathrm{RMS}}{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(y_i - x_i)^2}{N(\bar{x})^2}} \quad \text{.....(4-6)}$$

而 SCI 值可視為平均觀測值除以均方根誤差之正規化均方根誤差。而共變異數(covariance coefficient，COV)表示為，

$$\mathrm{COV} = \sum_{i=1}^{N} (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad \text{.....(4-7)}$$

該參數表示兩個個變數間同時變動的情形，若兩變數之離差期望值乘積大於 0，則兩變數有「正」相關的傾向；反之，則為「負」相關。而觀測值與模擬值之相關係數(correlation coefficient，COR)表示為，

$$\mathrm{COR} = \frac{\sum_{i=1}^{N} (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N} (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^{N} (y_i - \bar{y})^2}} \quad \text{.....(4-8)}$$

圖 4-21 至圖 4-23 分別為使用 NAO99 之 T3 模式於各港海域推算結果(T3_w_NAO99)、使用 OTPS 之 T3 模式之推算結果(T3_w_OTPS)、二維 T3 潮汐模式之推算結果(T3_2D)及臺灣近岸海域(T-NS)之各種模擬方式，模擬結果與實測值比較之統計參數 COR、MAE 及 RMS 圖，圖中紅色與藍色長條分別代表 T3_w_NAO99 與 T3_w_OTPS 之模擬結果統計參數、綠色長條為 NAO99 全球潮汐模式之潮位邊界條件應用於二維潮流 T3_2D 模式之模擬結果、及黃色長條為 T3_w_OTPS(藍色長條)之模擬結果利用巢狀格網 T-NS 近岸海域(T-W、T-SW、T-N、T-E)所得之模擬結果。由圖中 COR 統計參數比較可知，利用 NAO99 與 OTPS 全球潮汐之潮位邊界條件所模擬之結果差異不大，但 OTPS 之結果略優於 NAO99 之結果。而二維潮流模式之結果於潮位推算與三維模式推算結果相似，但在海流推算方面，可明顯改善高雄、臺中港兩港模擬結果。而近岸格網 T-NS 皆可改善海流推算之準確性，尤其是基隆港結果顯示，在東西流速相關係數上大幅提升，顯示近岸高解析度格網可大幅改善臺灣海域模式格網間距不足以表現局部地形或結構物所產生之海流特性。

綜合以上比較，近岸格網可合理改善各港海域局部地形所產生的海流特性，尤其是基隆港海域。而安平與臺北港於二維或三維模式推算結果相似，但洋流與潮流綜合效應模擬可改善於台中與高雄之推算結果。

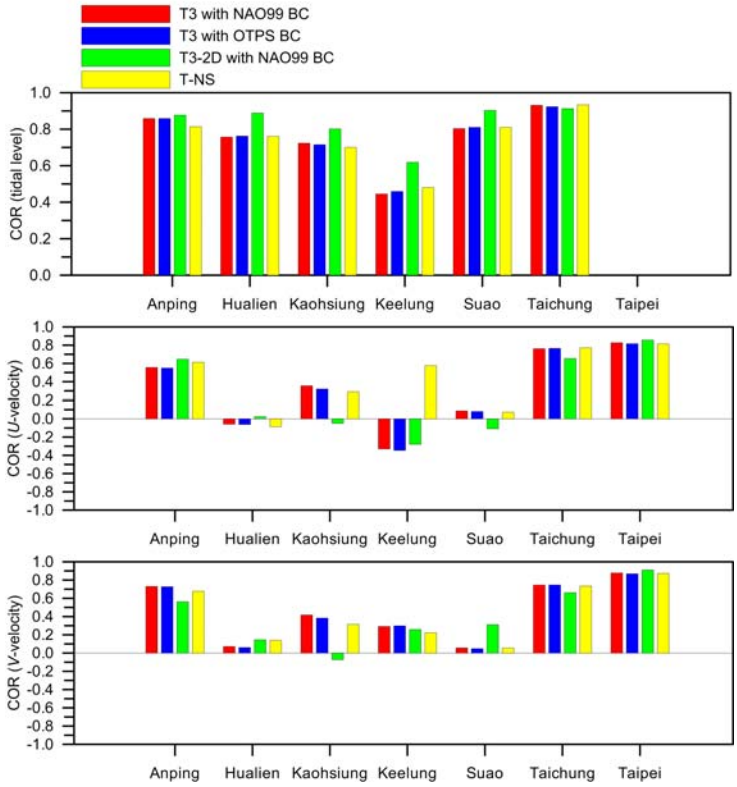


圖 4-21 各種模擬方式之模擬結果與實測值之統計參數比較圖(COR)

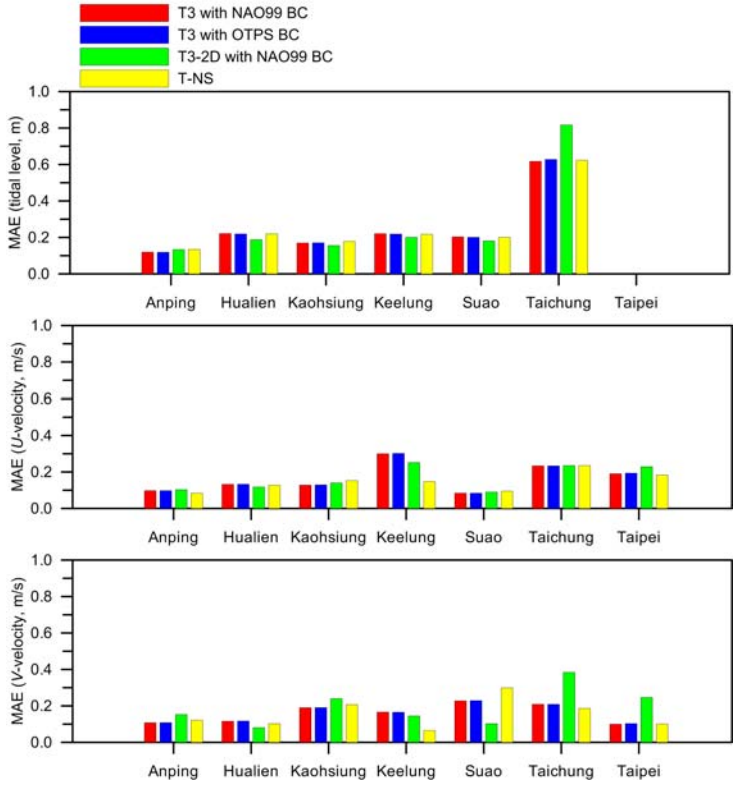


圖 4-22 各種模擬方式之模擬結果與實測值之統計參數比較圖(MAE)

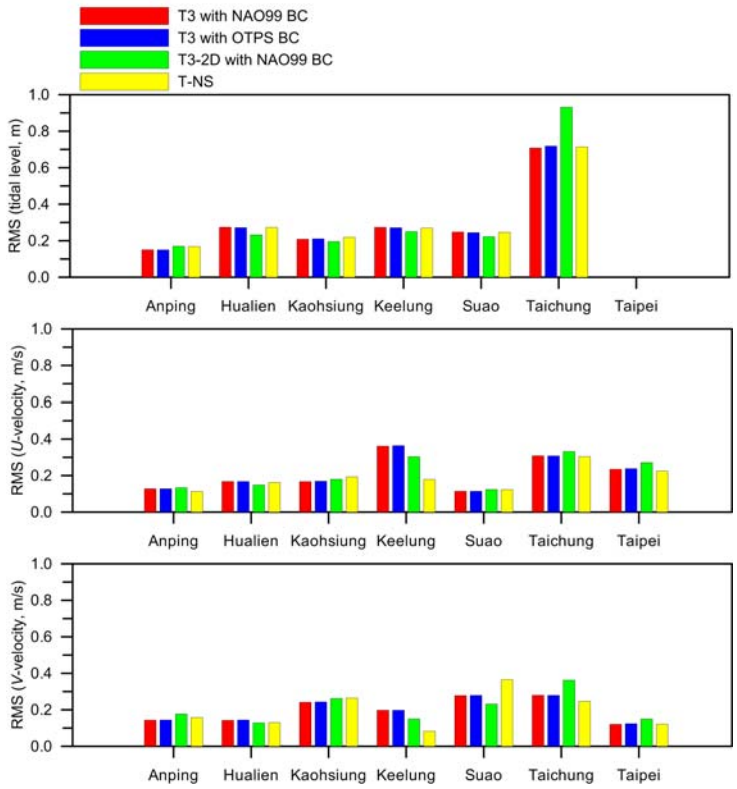


圖 4-23 各種模擬方式之模擬結果與實測值之統計參數比較圖(RMS)

為驗證近岸海域格網模擬之合理性，亦利用臺灣海洋科技研究中心於高屏峽谷內所施放之錨定串列所量測海流資料進行驗證，該錨定串列主要為收集沉積物實驗，為了解沉積物與海流關係，在水深 690 公尺處布置一組 NORTEK 三維流速儀量測海流，該錨定串列儀器佈置圖如圖 4-24 中所示。本次量測時間為 2009/04/16 16:00 至 2009/05/18 15:00，海流量測時間間距為 10 分鐘，其位置於東經 120 度 16.392 分、北緯 22 度 21.156 分，如圖 4-25 紅色三角點所示。圖 4-26 為錨定串列於水深 690 公尺處所量測之東西、南北流速與模式模擬結果之比較圖，圖中亦有模擬結果之水位時序列變化圖。由圖中可知，東西與南北向流速變化趨勢具有合理之一致性，其流向為東北-西南向與高屏峽谷走向一致，且流速大小尺度亦有一致性。由圖 4-27 不同深度之東西、南北分量流速比較圖中可看出，模擬結果可合理的表現與實測值一致的流向與流速，由圖中藍色點亦可看出，模式可合理的表現高屏峽谷內之流向為沿著峽谷方向，而表面流向為沿著海岸線西北-東南走向。

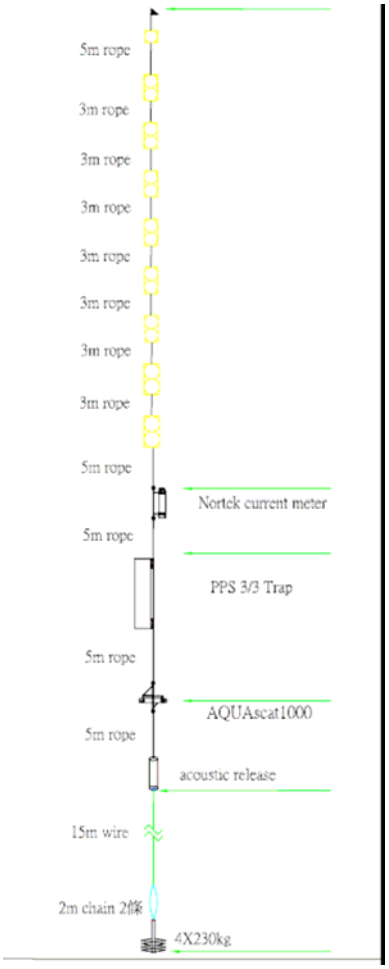


圖 4-24 海洋中心錨定串列觀測儀器佈置圖

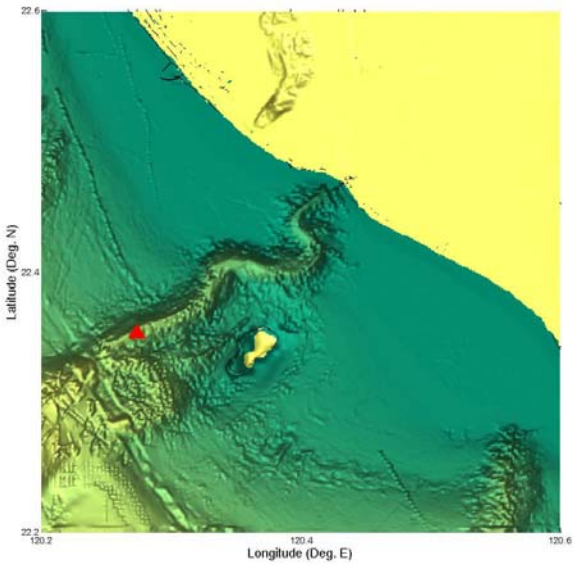


圖 4-25 海洋中心錨定串列佈放位置圖

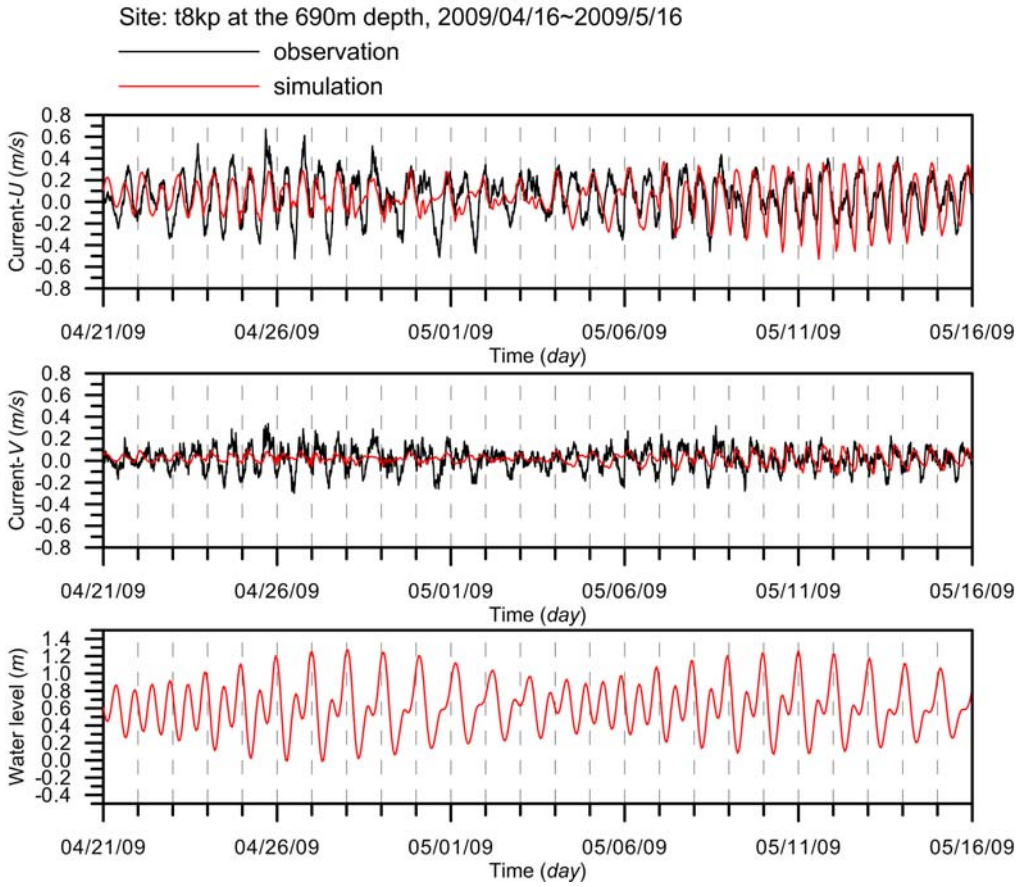


圖 4-26 高屏峽谷錨定串列之觀測海流與模擬結果比較圖

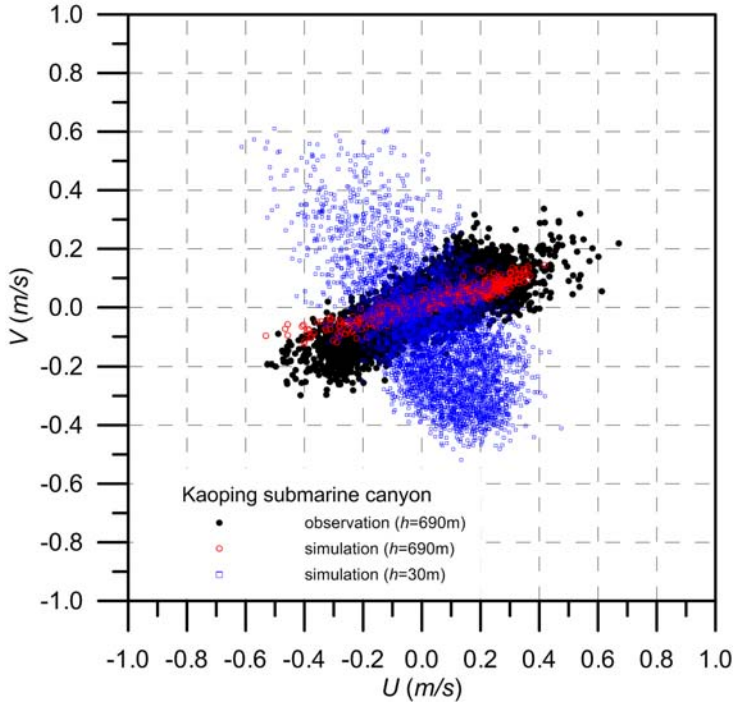


圖 4-27 高屏峽谷處不同深度之東西、南北分量流速比較圖

第五章 臺灣各主要商港海域海流模擬

為了模擬臺灣近岸各主要商港海域之海流模擬，以上一章節所建置之巢狀正交曲線臺灣近岸海域格網(T-NS)，各格網解析度可分辨臺灣各商港海域之地形特性，可合理的描述近岸海流流動受到地形邊界的影響，以下則利用收集 2009、2010 年港研中心於各主要商港海域之實測資料，其詳細觀測方式與結果如節 3.3.6 中所述，利用近岸海流觀測資料來驗證高解析度近岸海域模式之模擬結果，並依此分析各商港海域之海流特性。

5.1 臺灣西南海域模擬驗證與特性分析(安平港、高雄港)

圖 5-1 與圖 5-2 分別為臺灣近岸海域格網(T-NS)中之西南海域模式(T-SW)於 2009 年與 2010 年逐月之安平港海域觀測值與模擬結果比較圖，圖中由上至下分別為流速、流向、東西向之流速與實測值 24 小時平均流速、南北向之流速與實測值 24 小時平均流速、潮位及風速時序列圖，圖中黑色實線為觀測值，其觀測時間間隔為 1 小時，紅色實線為模擬結果，模式值輸出時間亦為 1 小時，綠色實線為實測值 24 小時平均流速。由流速、流向、東西與南北分量流速及潮位之比較中可看出模擬結果與實測值具有合理之一致性，表示三維洋流與潮流綜合效應之臺灣西南海域模式可合理的模擬安平港海域之海流變化趨勢。由表 5-1 安平港調和分析之各分潮振幅表，以 $(K_1+O_1)/M_2=1.47$ 估算為混合潮，由圖 5-3 安平港潮汐橢圓圖中亦可知安平港海域以 M_2 潮為主，半日潮之成分居多，而漲退潮方向與海岸線走向一致。

圖 5-4 與圖 5-5 分別為西南海域模式(T-SW)於 2009 年與 2010 年逐月之高雄港海域觀測值與模擬結果比較圖，圖中由上至下分別為流速、流向、東西向之流速與實測值 24 小時平均流速、南北向之流速與實測值 24 小時平均流速、潮位及風速時序列圖，其觀測與模式值時間間隔皆為 1 小時。圖中可知，模擬結果於流向與流速皆與實測值具有

合理之一致性，由東西、南北流速方面看來，模擬之流速尺度與變化趨勢與實測值一致。由表 5-2 高雄港調和分析之各分潮振幅表，以 $(K_1+O_1)/M_2=1.84$ 估算為混合潮，但已經趨近全日潮型，而圖 5-6 為高雄港海域潮汐橢圓圖。由圖中可看出，高雄港海域流向略為複雜，與安平港漲潮向北退潮向南之規則趨勢略有不同。其在大潮段之流向明顯有規律性，漲潮為西北向、退潮為東南向，其與海岸線走向一致，但在小潮段時期，海流流向不規則呈顯散亂狀，其特性與李等人(2010)調查報告中指出之現象一致。其描述為：本測區潮汐為以全日潮型為主混合半日潮型，由數據顯示可發現此處海流流向與潮汐變化之關係，本測區之海潮流於全日潮型時，其海潮流流向與潮汐水位變化有較明顯之關係，漲潮時其流向主要為 SE 及 SSE 方向(以 SSE 為主)，而在退潮時其流向主要為 NW 及 NNW 方向(以 NNW 為主)。而於半日潮型時期相互關係則較不明顯。另一方面，本測區因受沿岸及地形影響，於部分潮段交換期間，其海流流向之轉換可能產生時間遲滯現象，亦即海流流向未能立即反應潮段之變化。

圖 5-7 為高雄港海域海流分佈圖，圖中由上至下分別為表面海流速、100 公尺深處之海流、高雄港潮位及高雄港流向。由圖中可看出，離岸較遠處之海流皆固定為東南流向，此應為黑潮分支進入臺灣西南海域之海流分支，觀察近岸海域海流流向，呈現潮汐變動之往復運動。圖中為高雄海域之小潮退潮段，於高潮時刻時高雄港港外流速向北，直至低潮時刻流向轉向南流動，而觀察 100 公尺深度之海流分佈，外海處之海流皆沿著地形向北流動進入高屏峽谷，而水位於低潮時高屏溪河口之流向轉向北，其與高雄港港外流向向南有明顯之差異。如上節所述，於臺灣西南海域高屏峽谷內之潮流流動現象皆沿著峽谷方向流動，其與表面潮流沿著海岸線流動有明顯差異，地形效應、洋流與潮流交互作用造成西南海域海流流動現象複雜之因素。

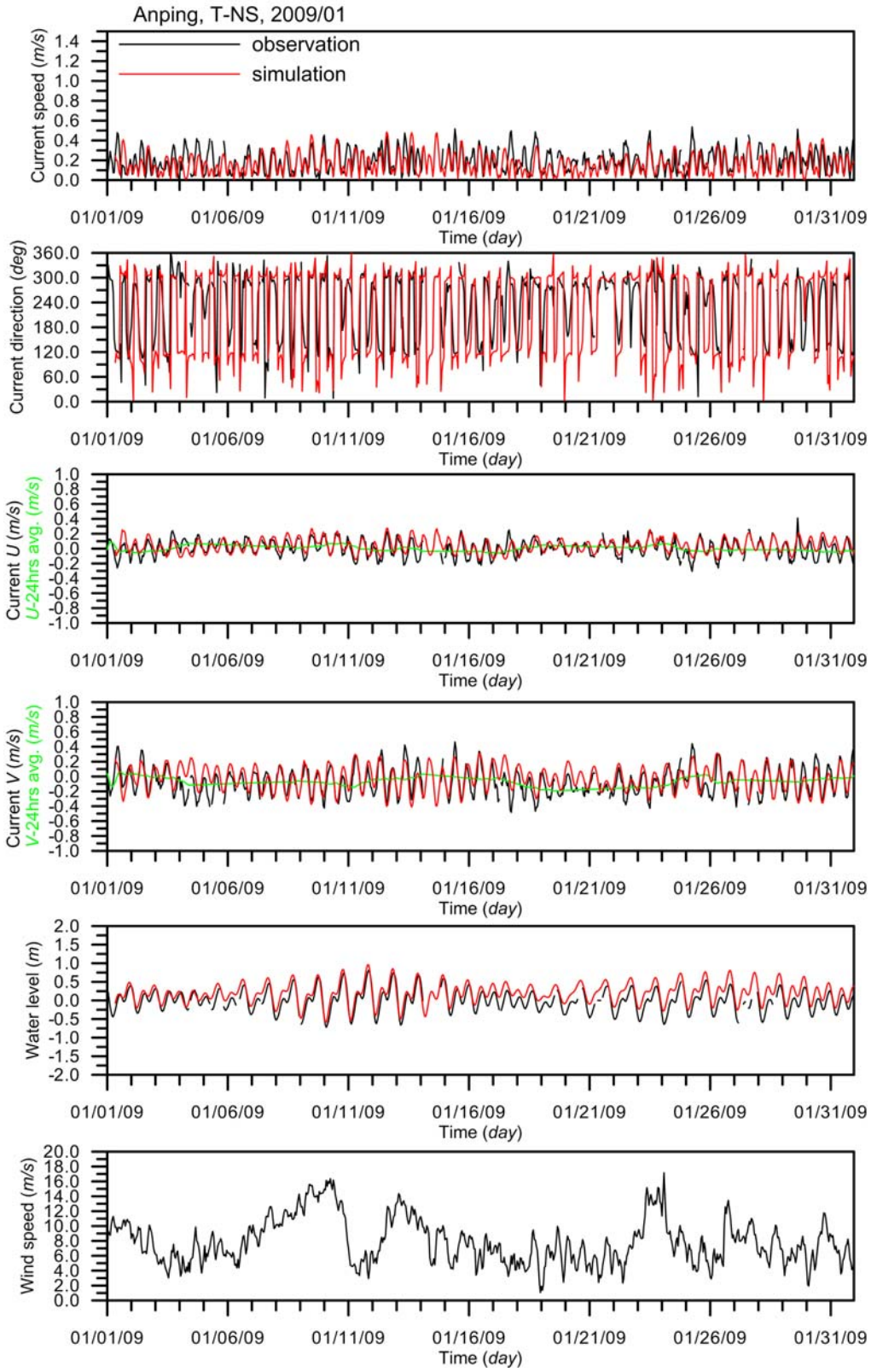


圖 5-1 安平港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 1 月份)

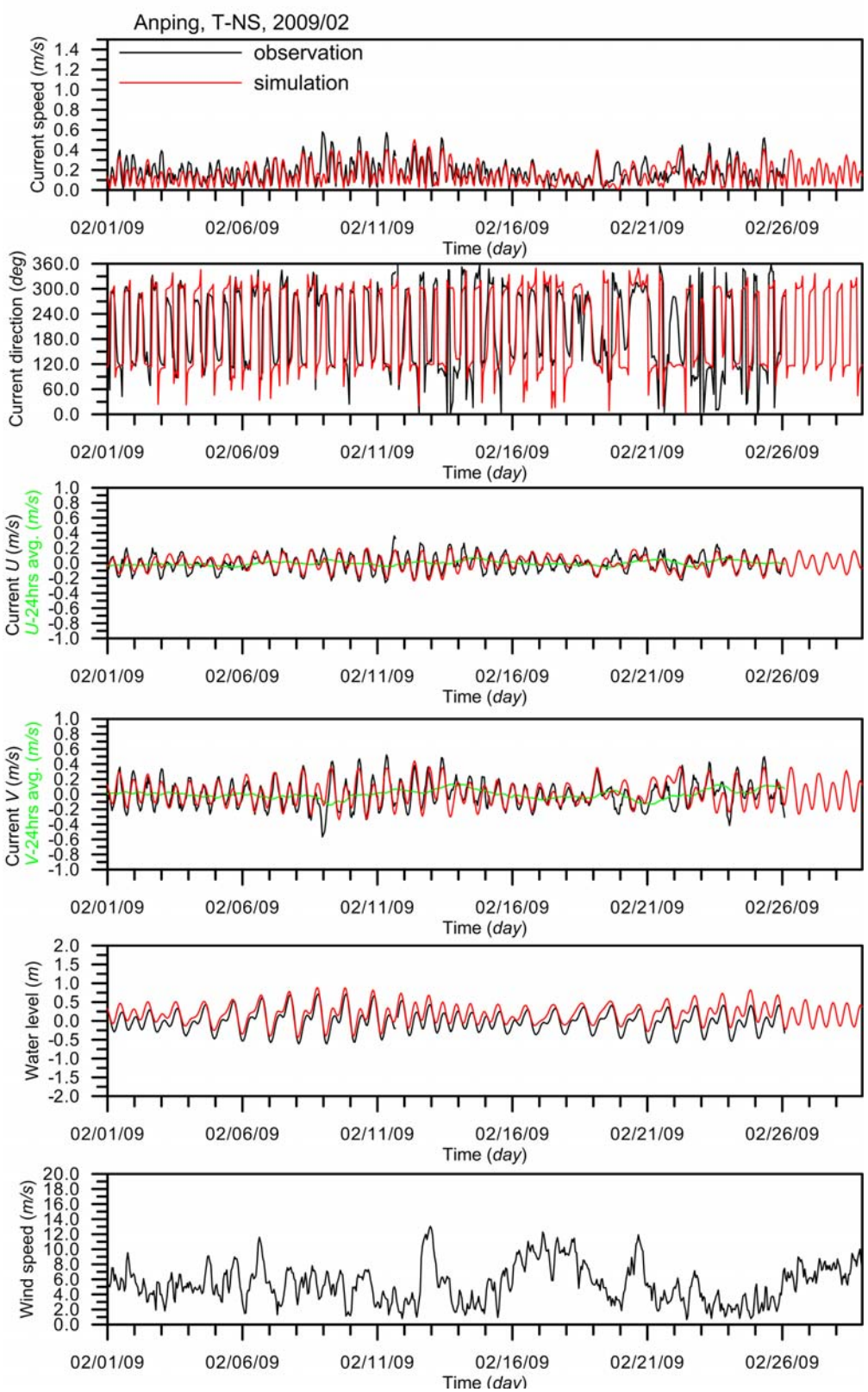


圖 5-1(續) 安平港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 2 月份)

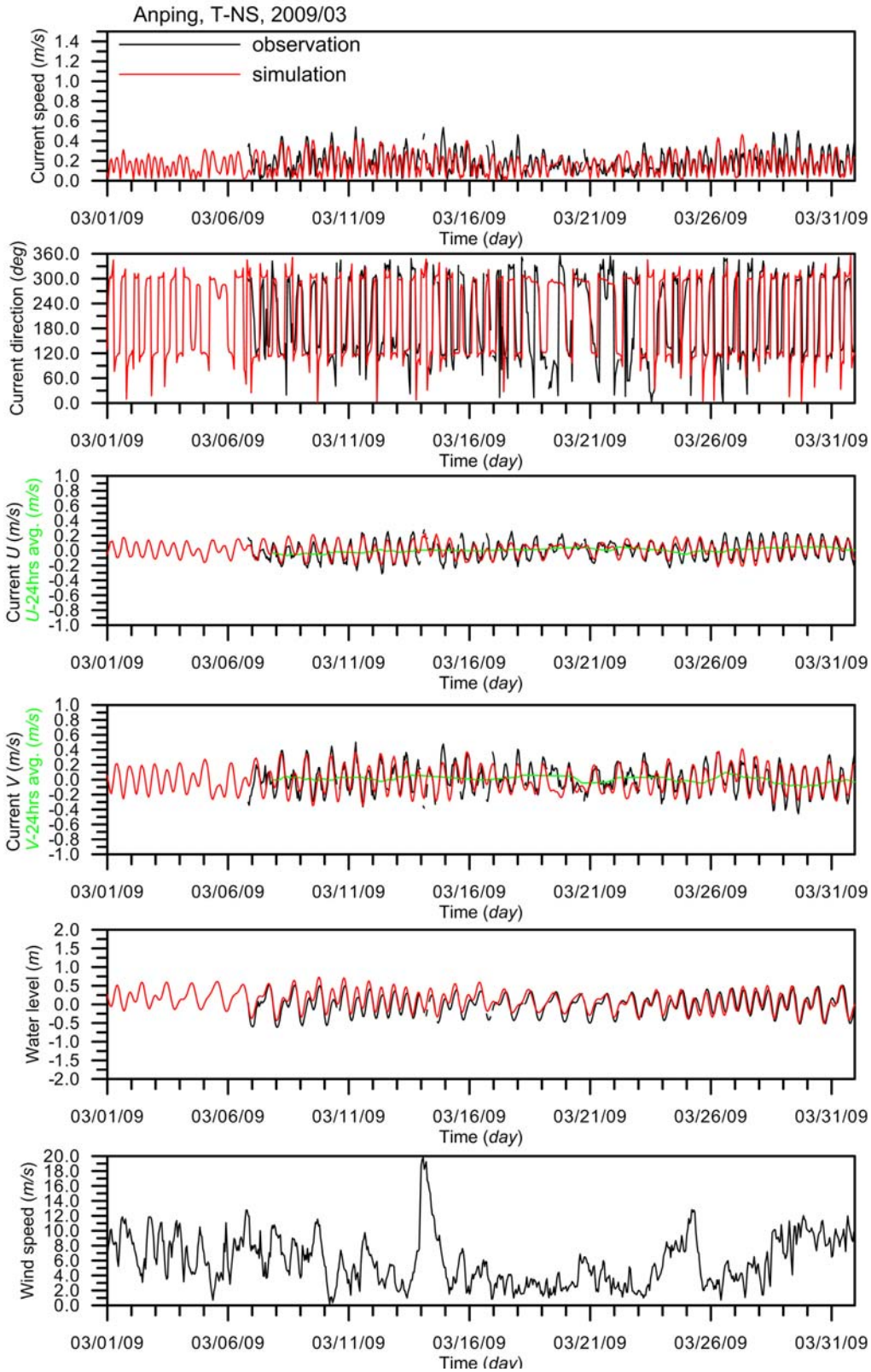


圖 5-1(續) 安平港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 3 月份)

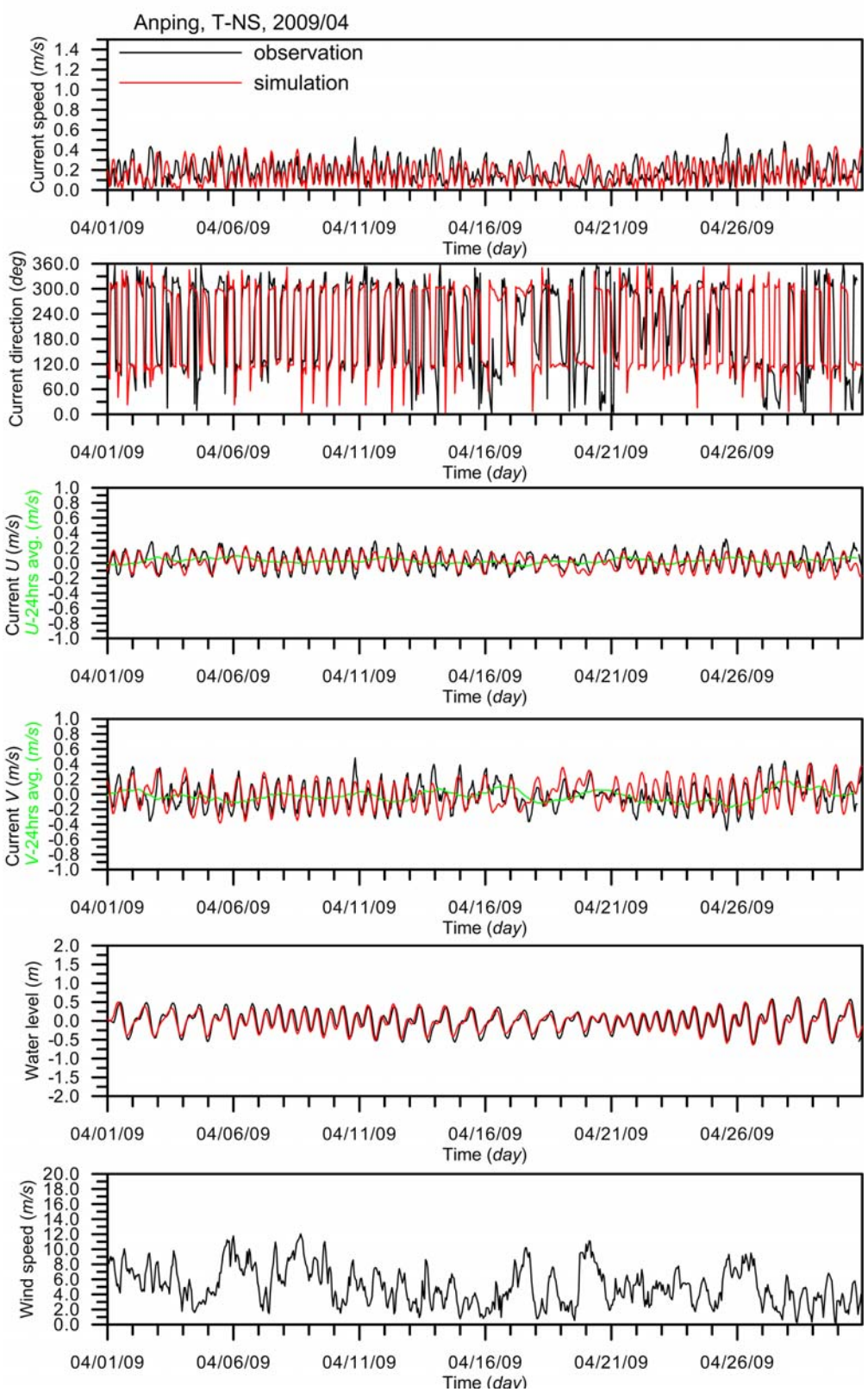


圖 5-1(續) 安平港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 4 月份)

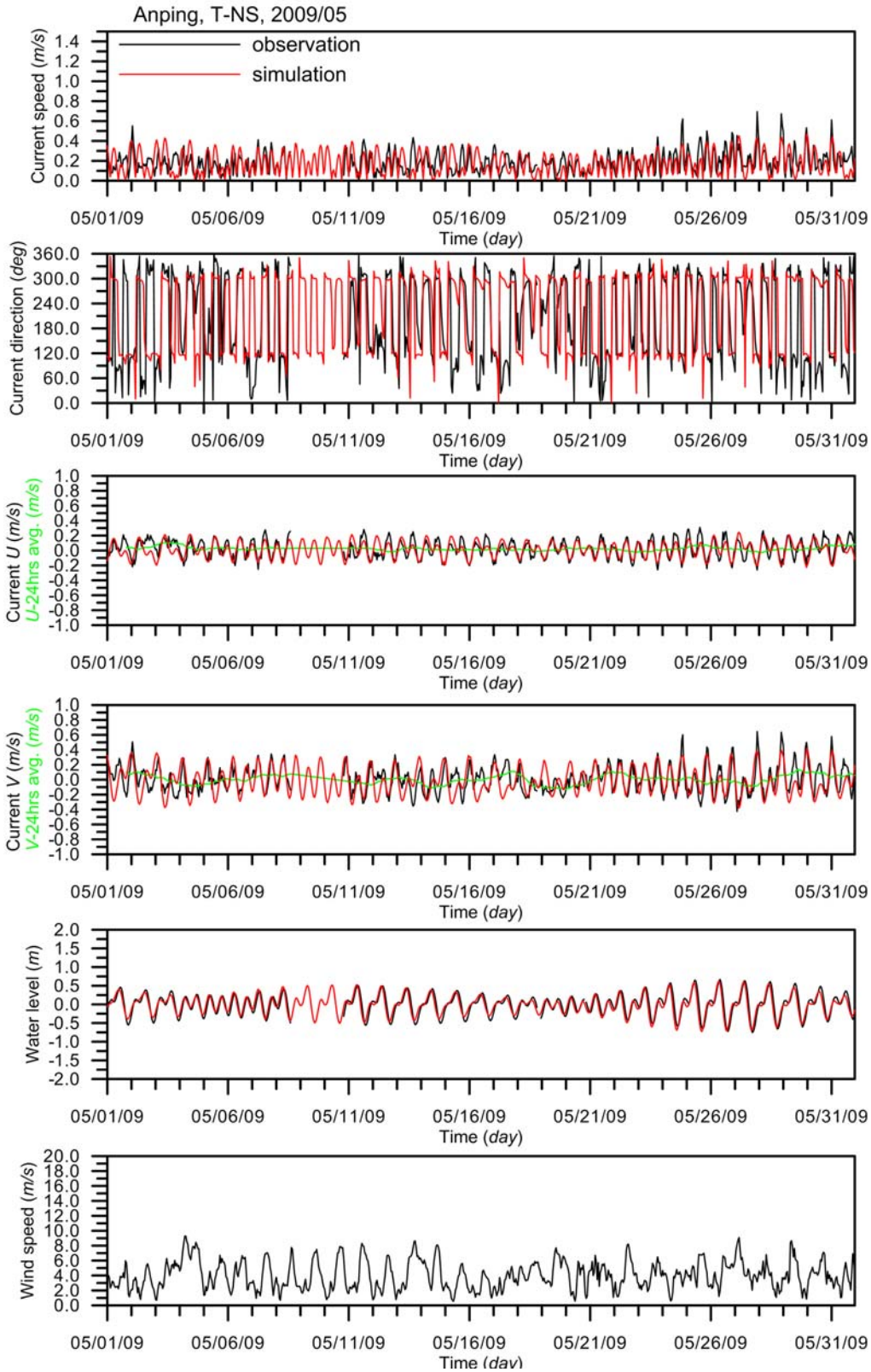


圖 5-1(續) 安平港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 5 月份)

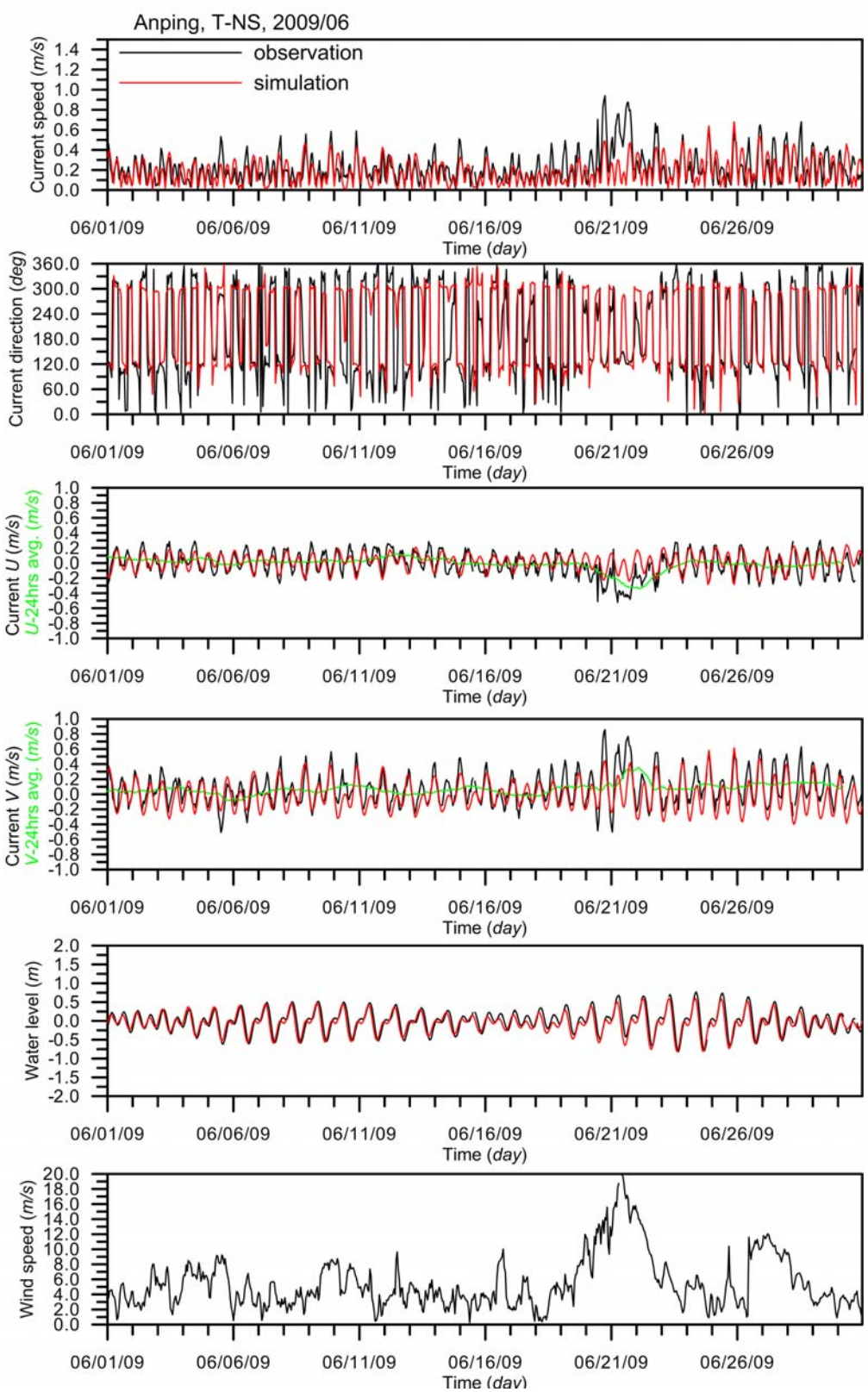


圖 5-1(續) 安平港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 6 月份)

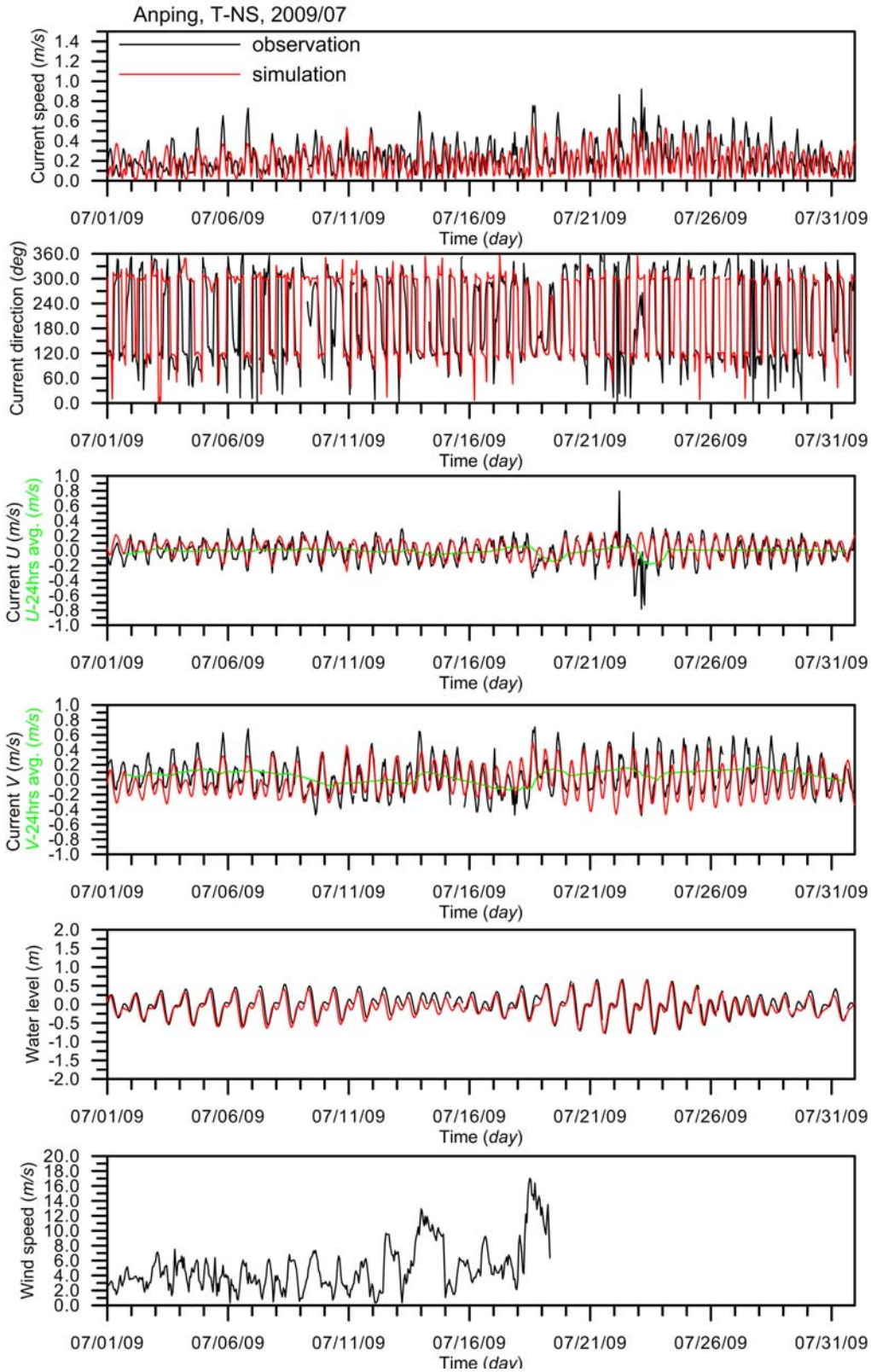


圖 5-1(續) 安平港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 7 月份)

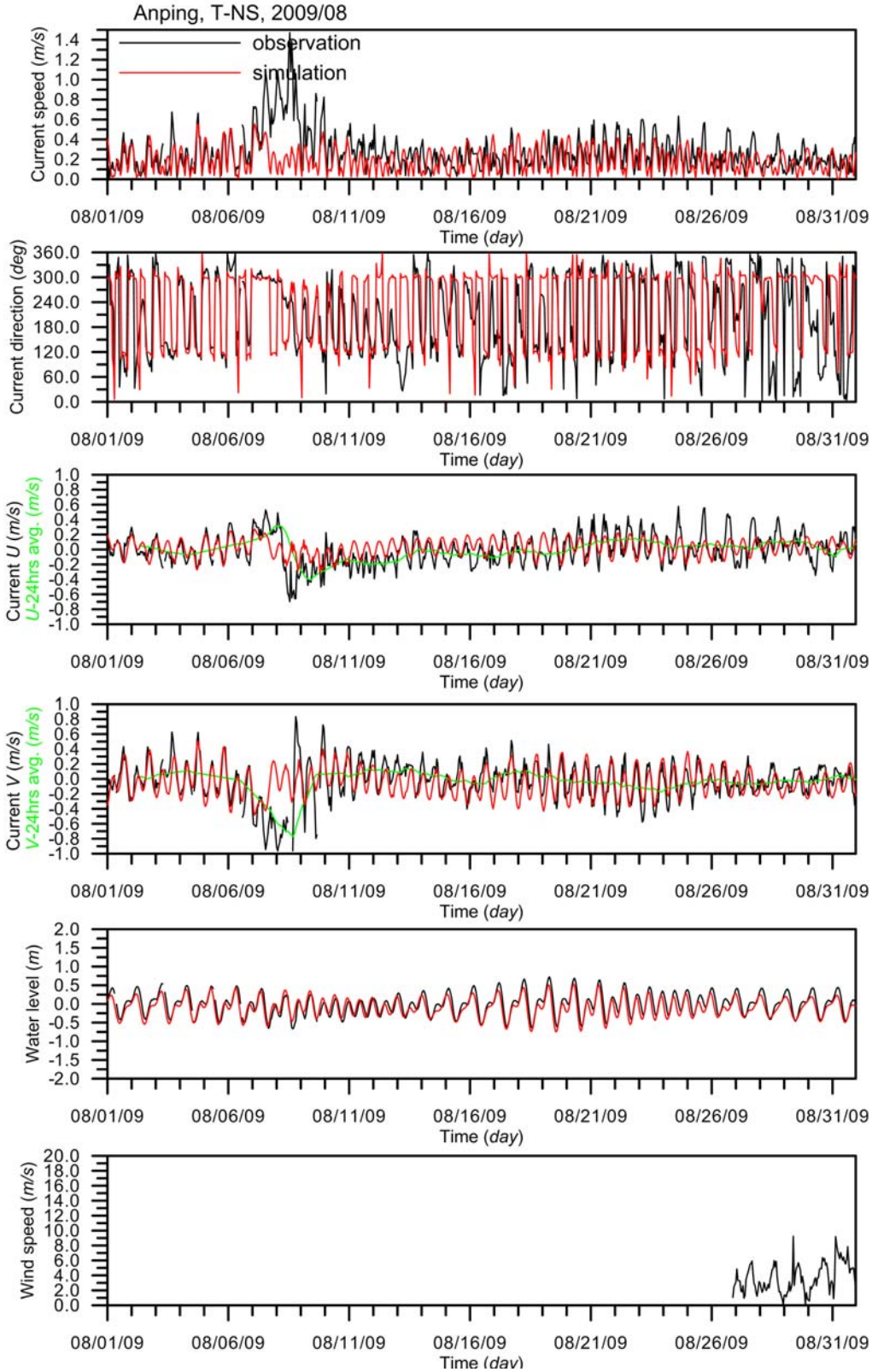


圖 5-1(續) 安平港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 8 月份)

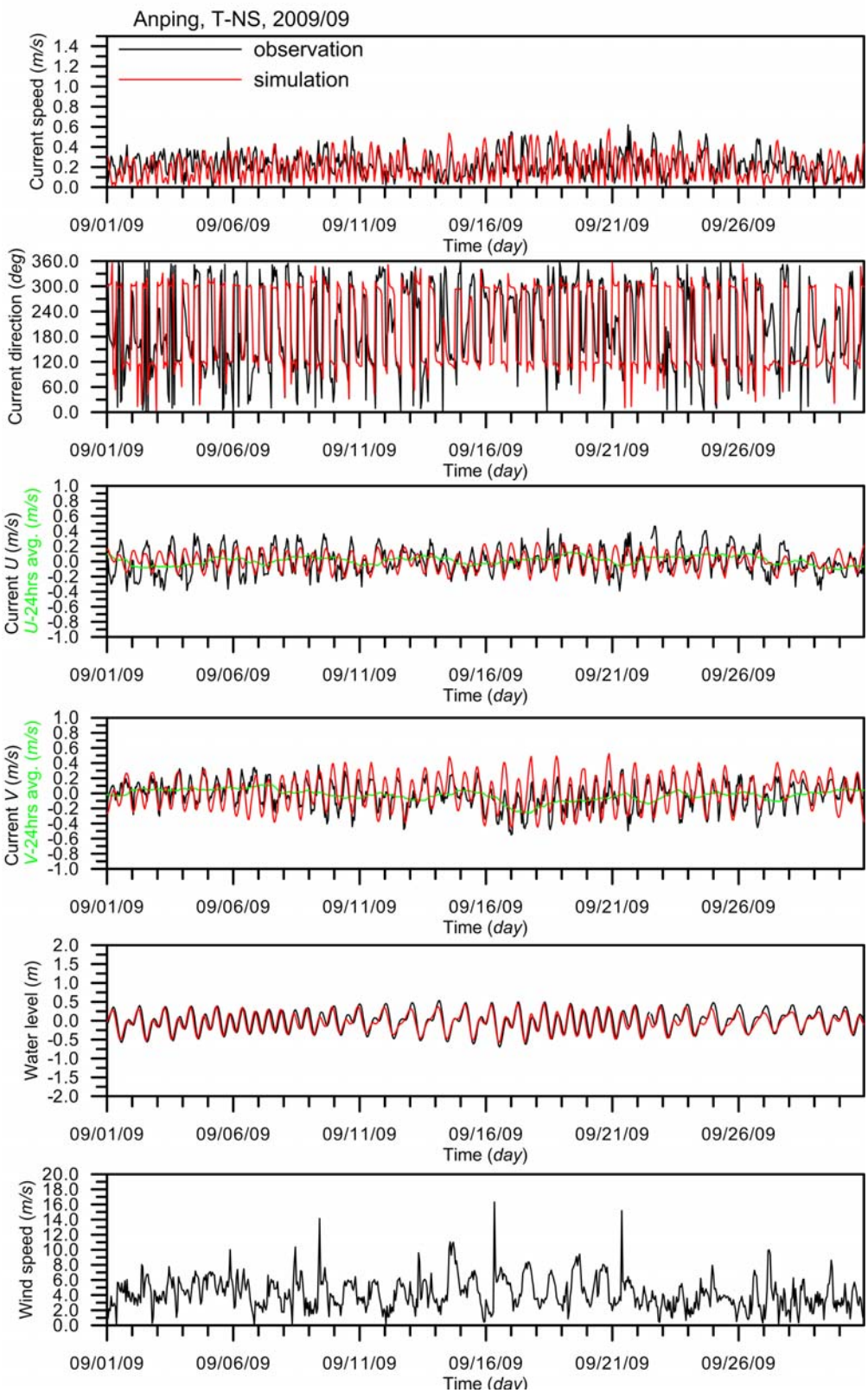


圖 5-1(續) 安平港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 9 月份)

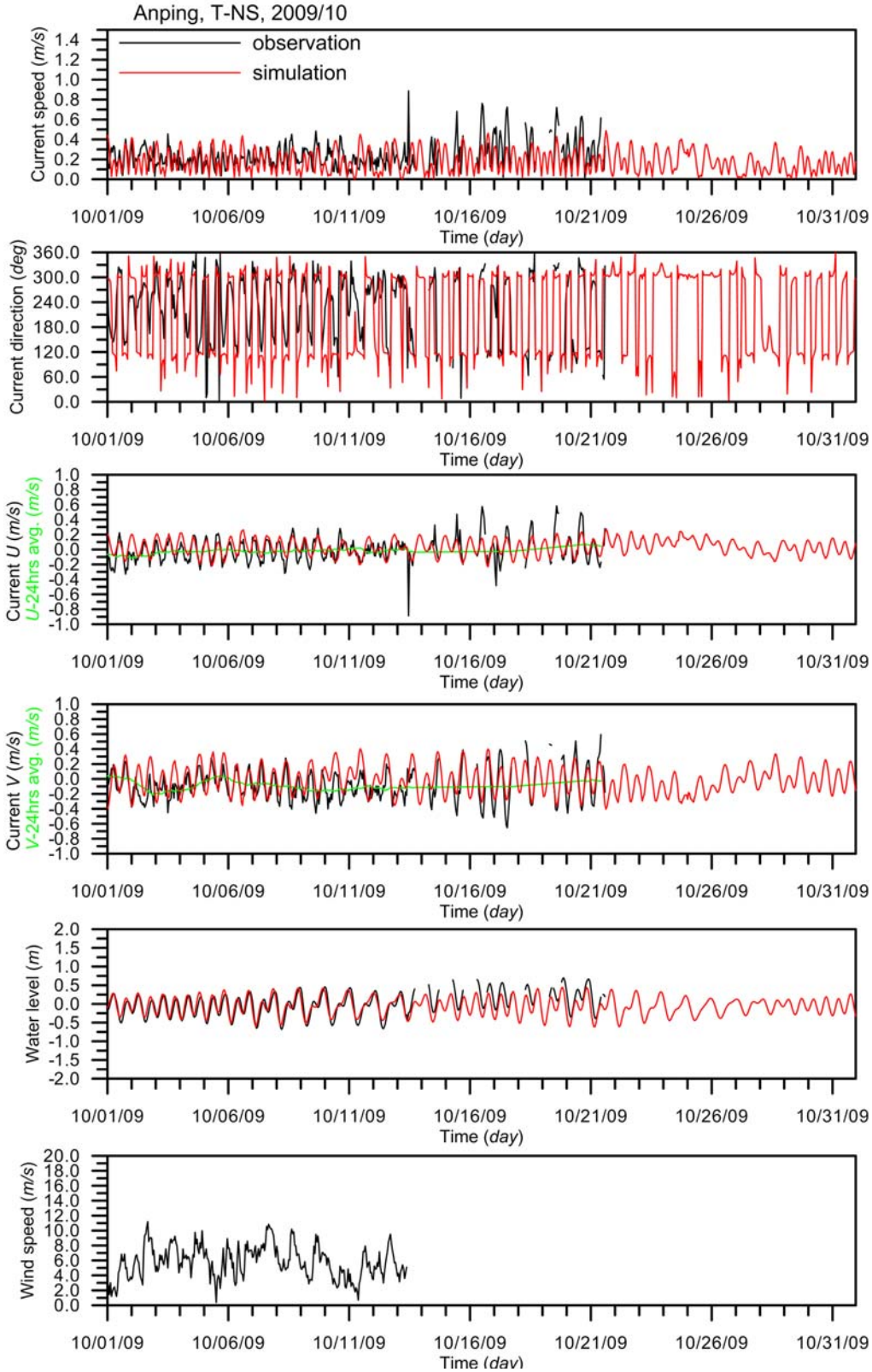


圖 5-1(續) 安平港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 10 月份)

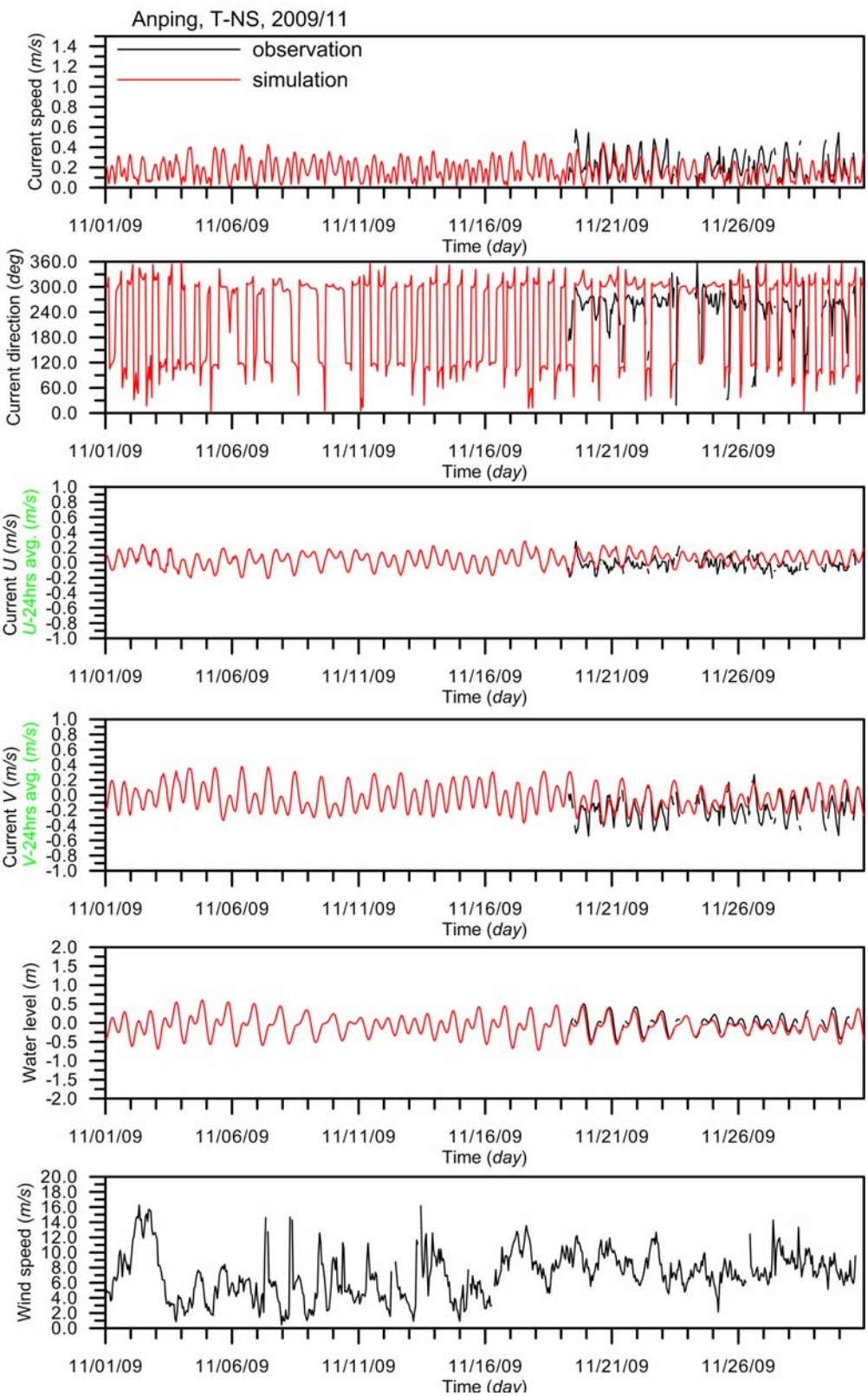


圖 5-1(續) 安平港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 11 月份)

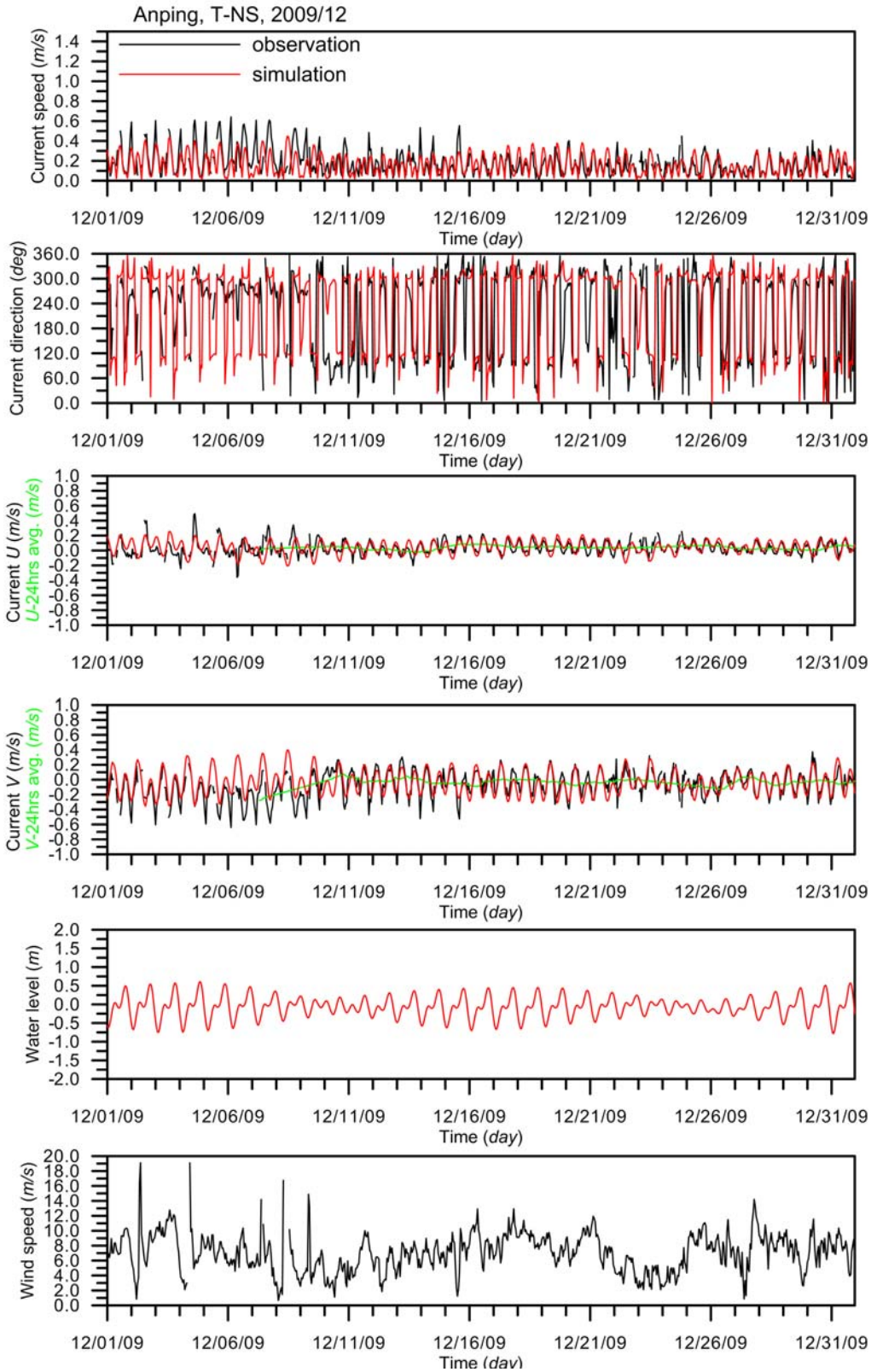


圖 5-1(續) 安平港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 12 月份)

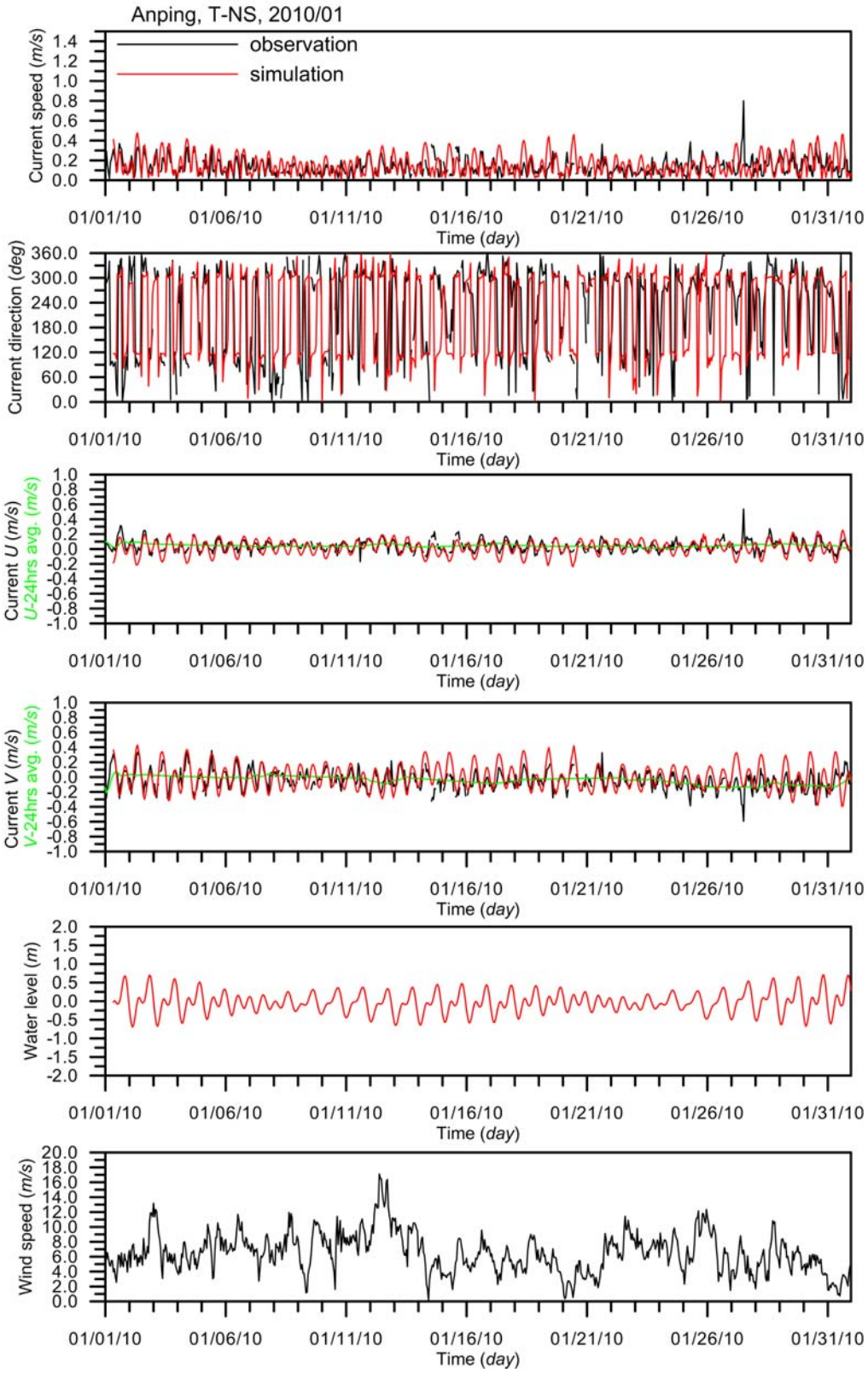


圖 5-2 安平港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 1 月份)

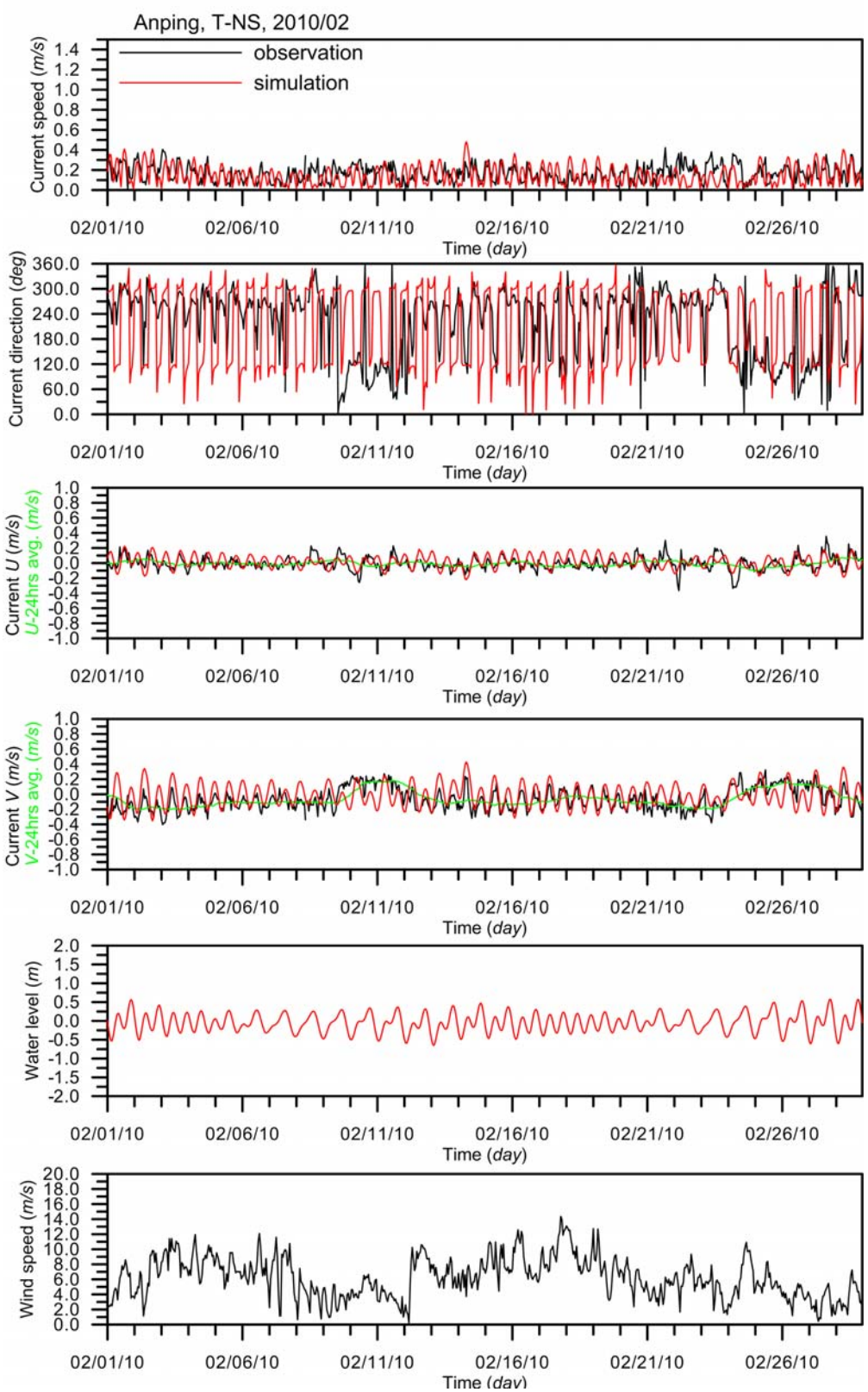


圖 5-2(續) 安平港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 2 月份)

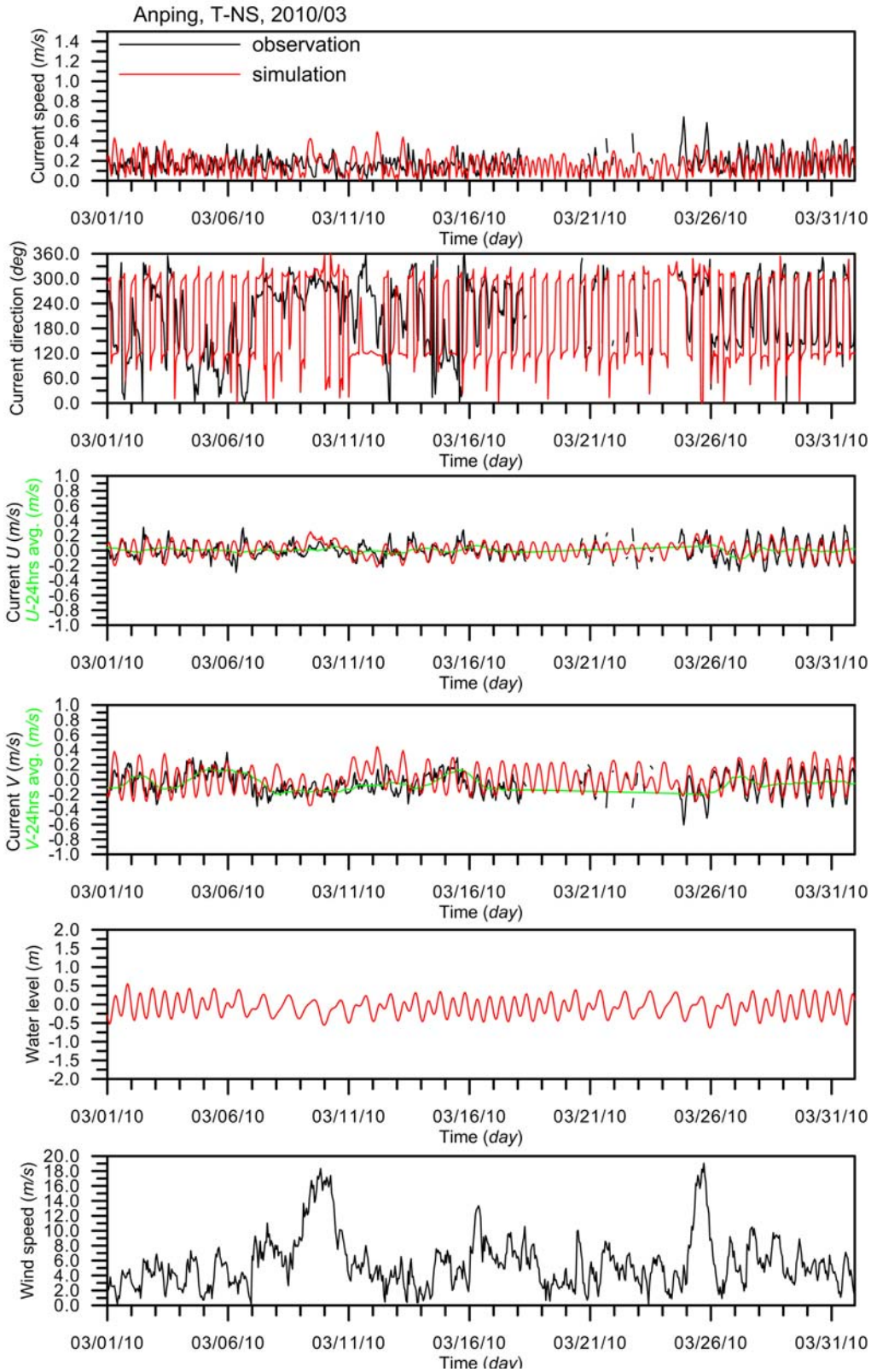


圖 5-2(續) 安平港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 3 月份)

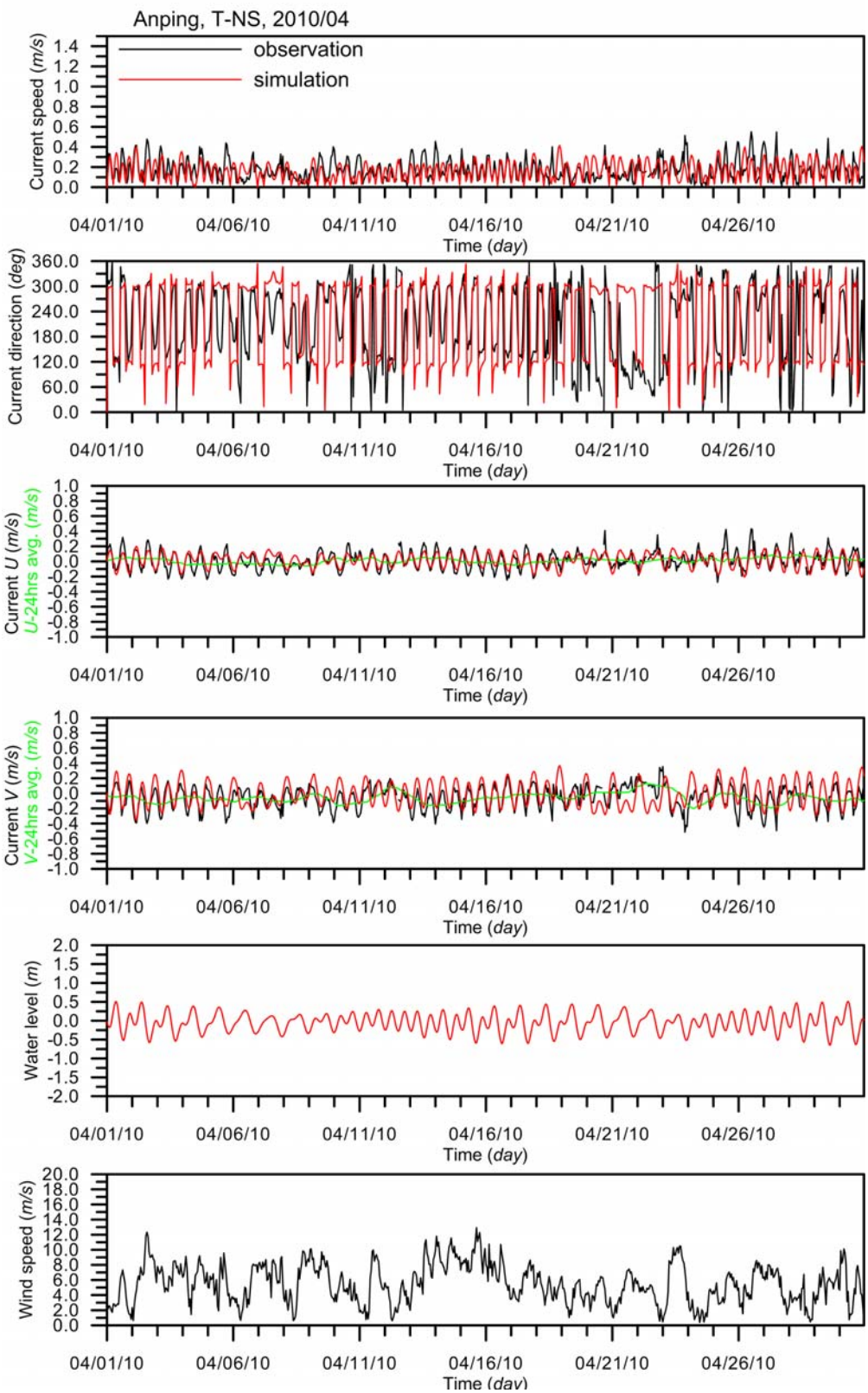


圖 5-2(續) 安平港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 4 月份)

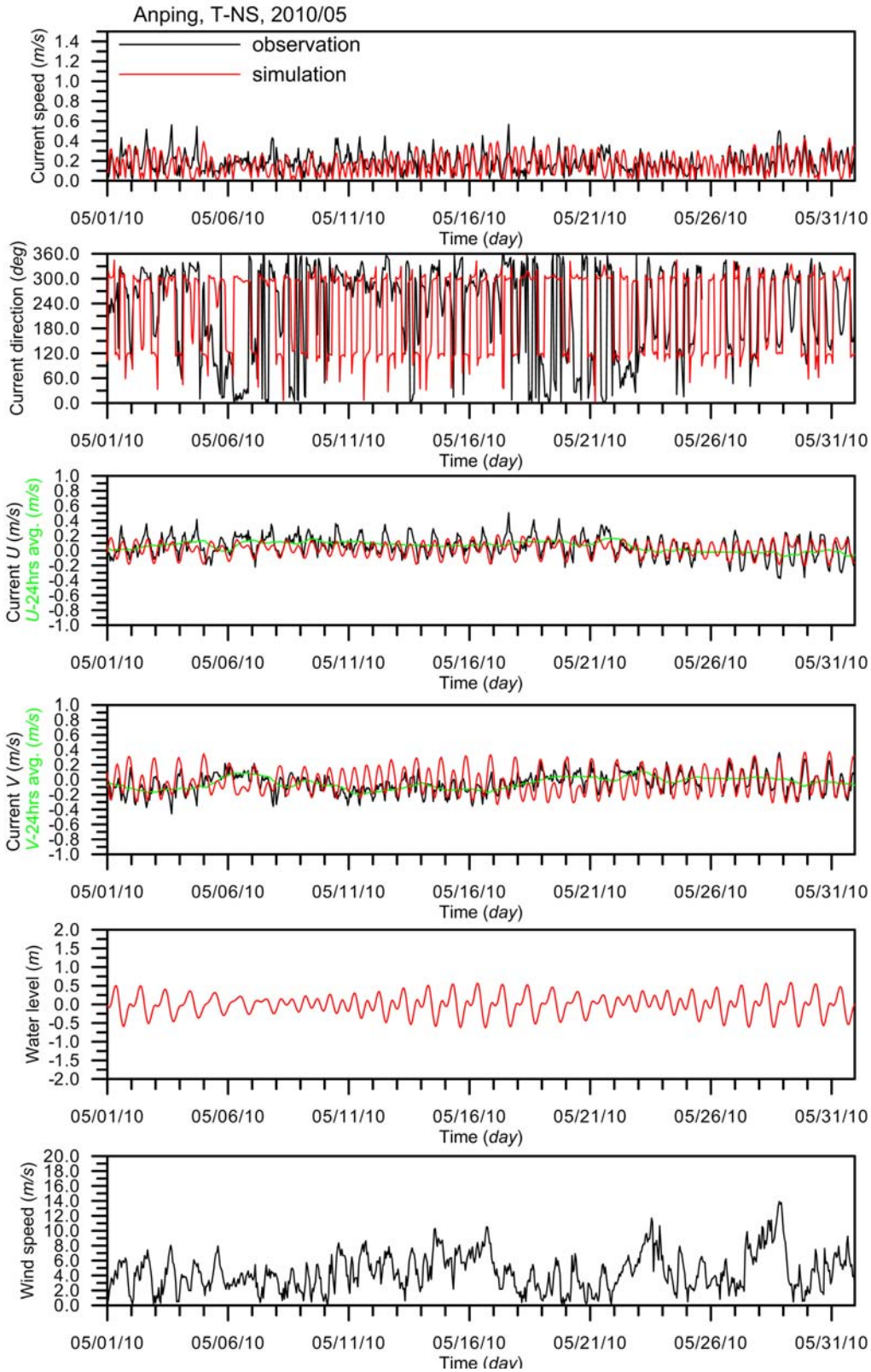


圖 5-2(續) 安平港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 5 月份)

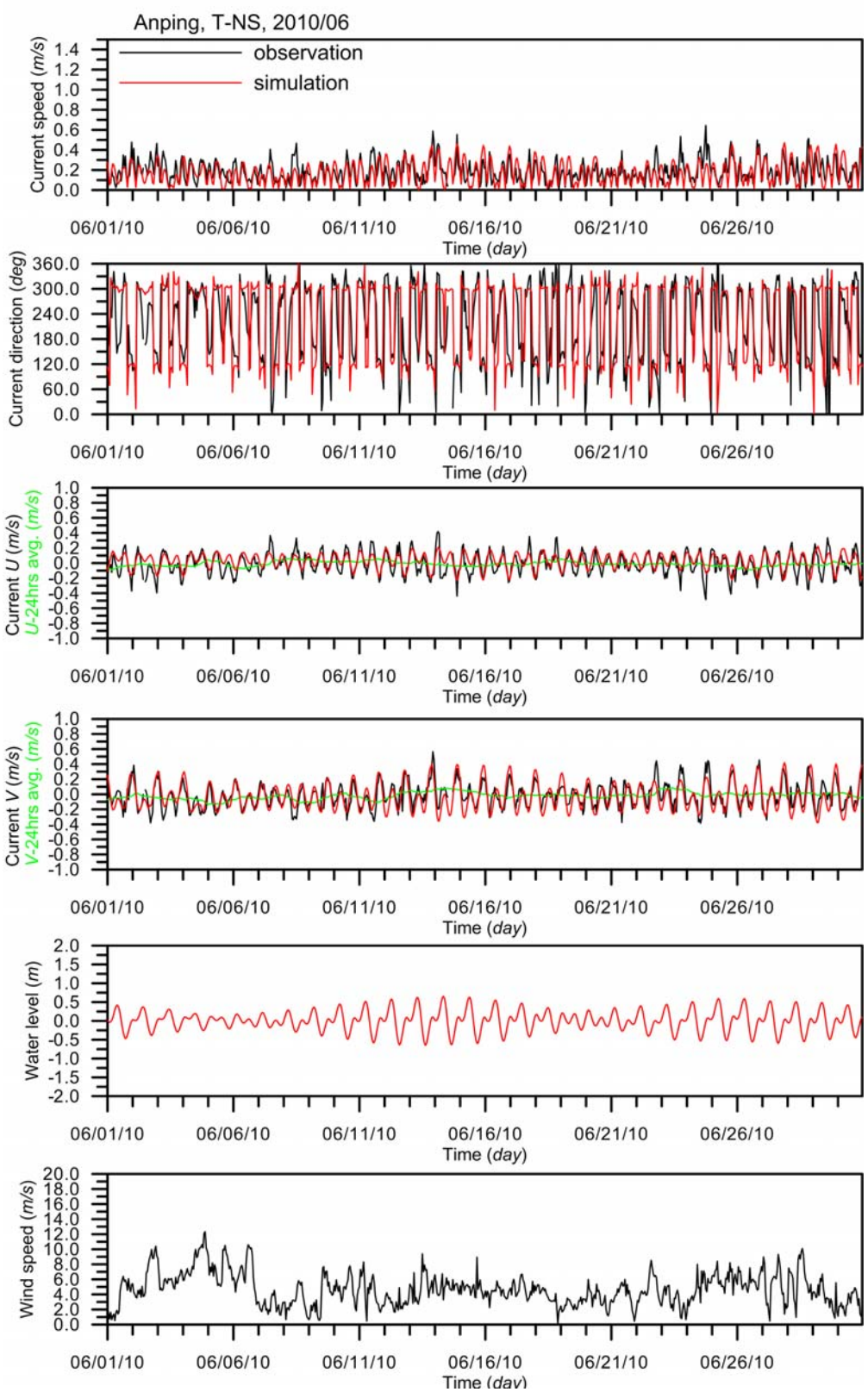


圖 5-2(續) 安平港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 6 月份)

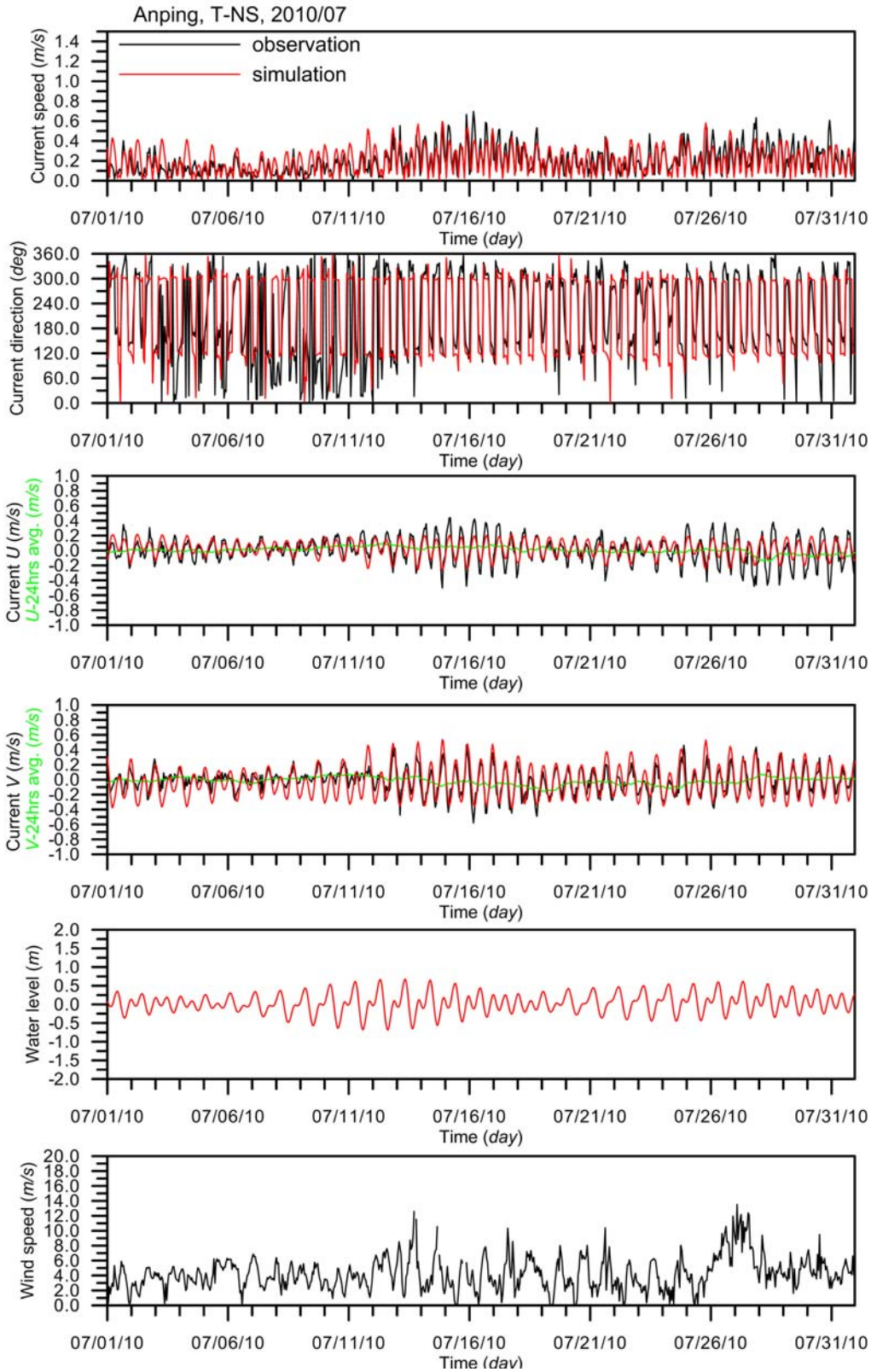


圖 5-2(續) 安平港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 7 月份)

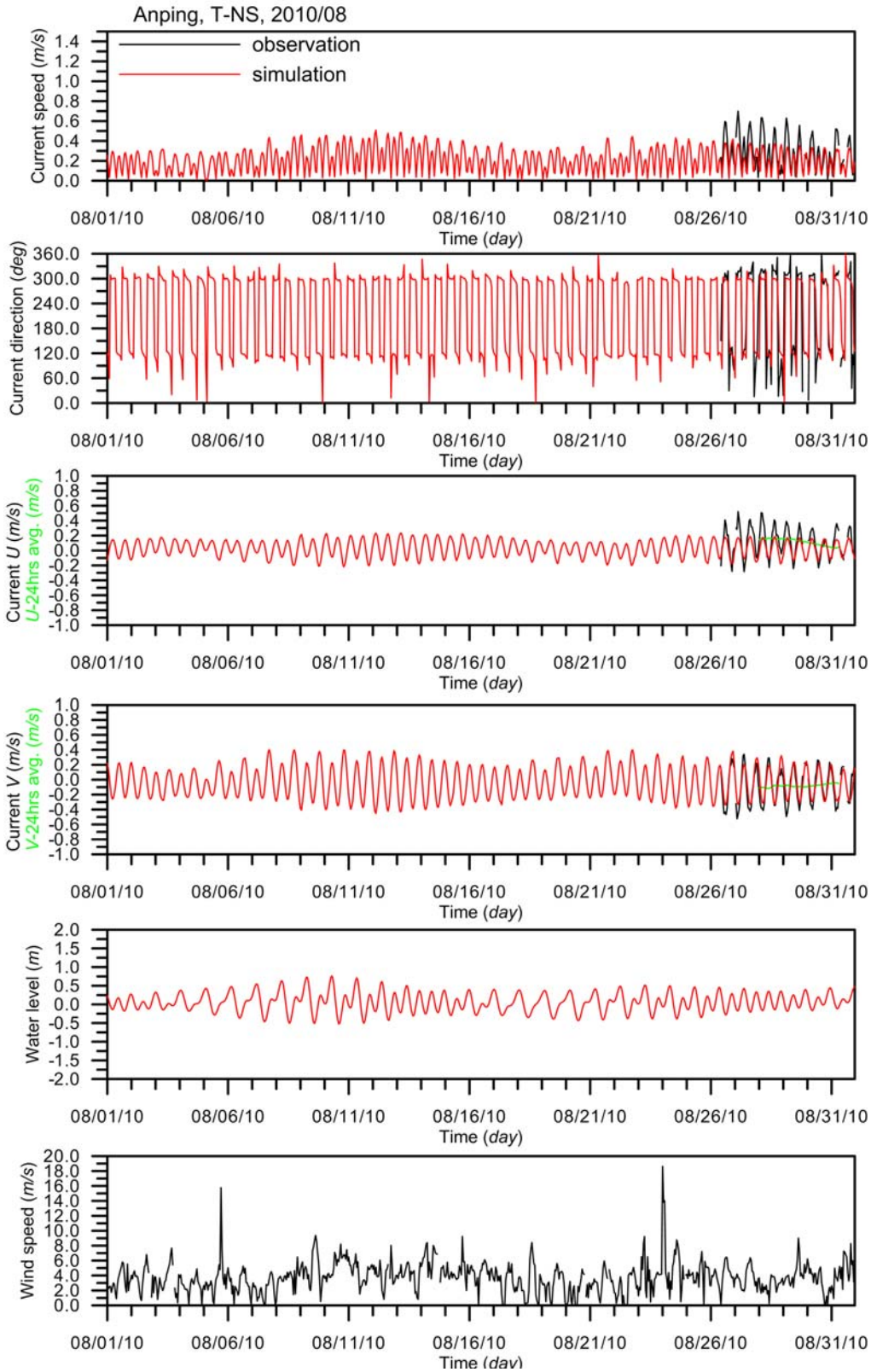


圖 5-2(續) 安平港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 8 月份)

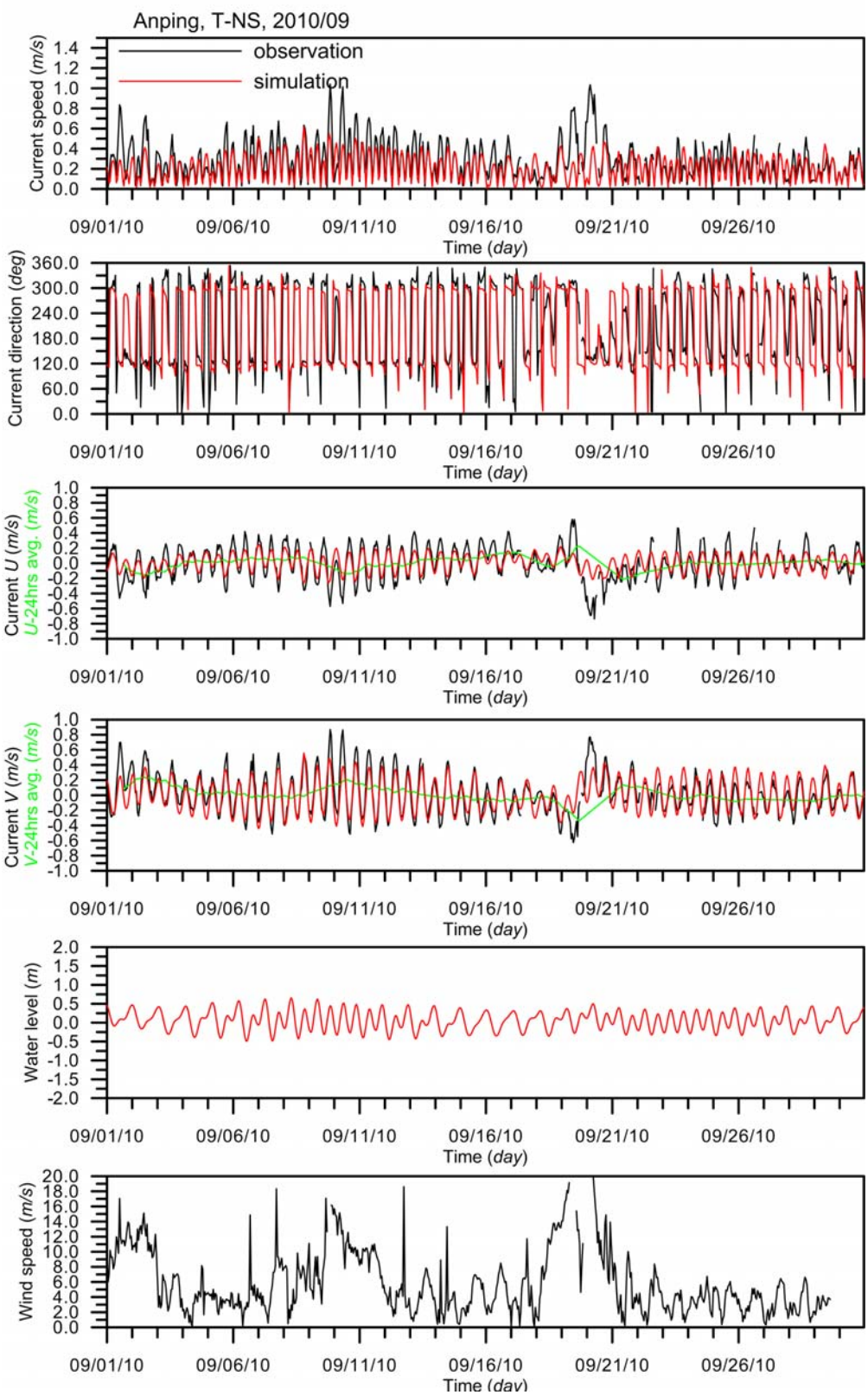


圖 5-2(續) 安平港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 9 月份)

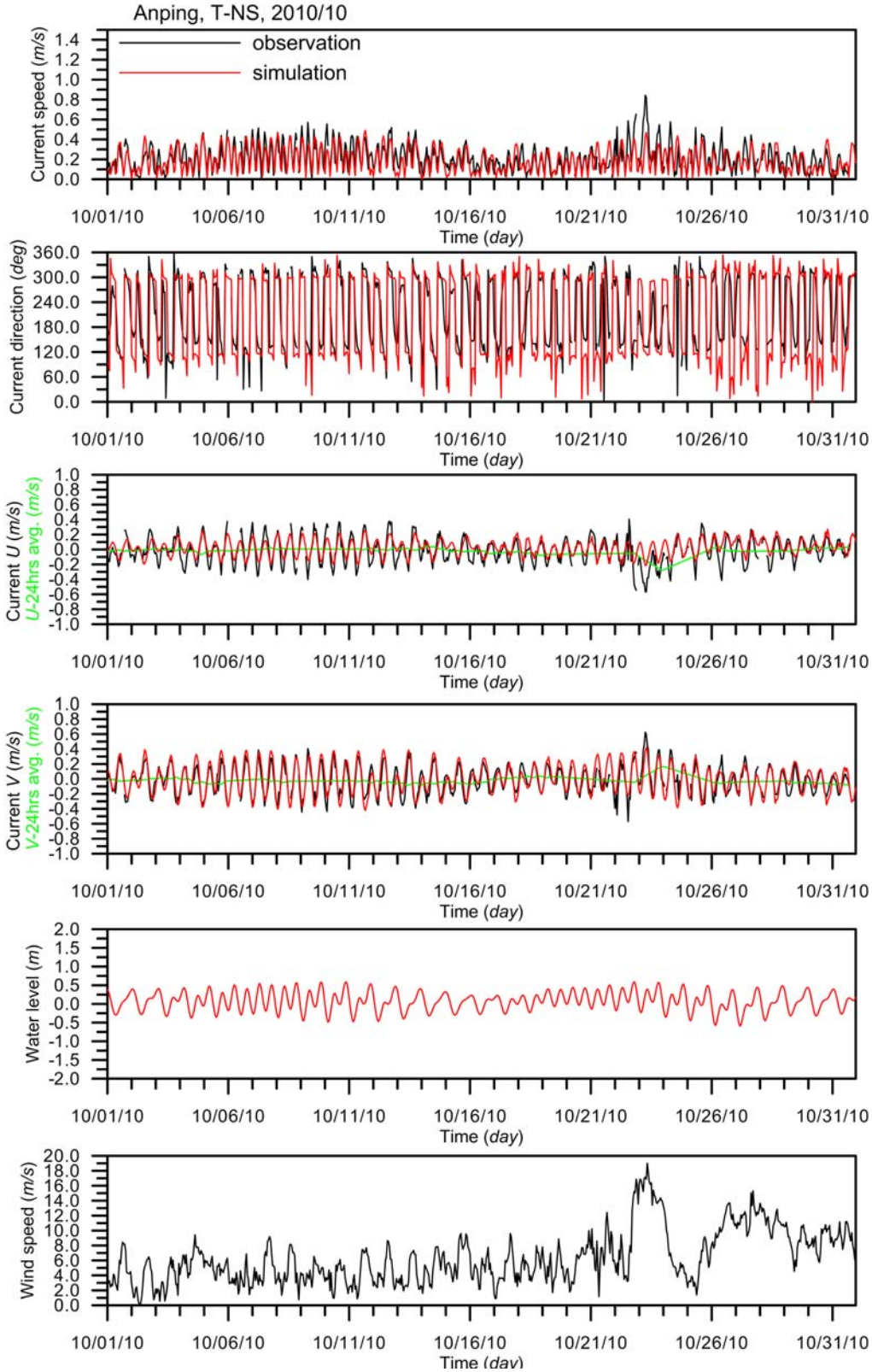


圖 5-2(續) 安平港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 10 月份)

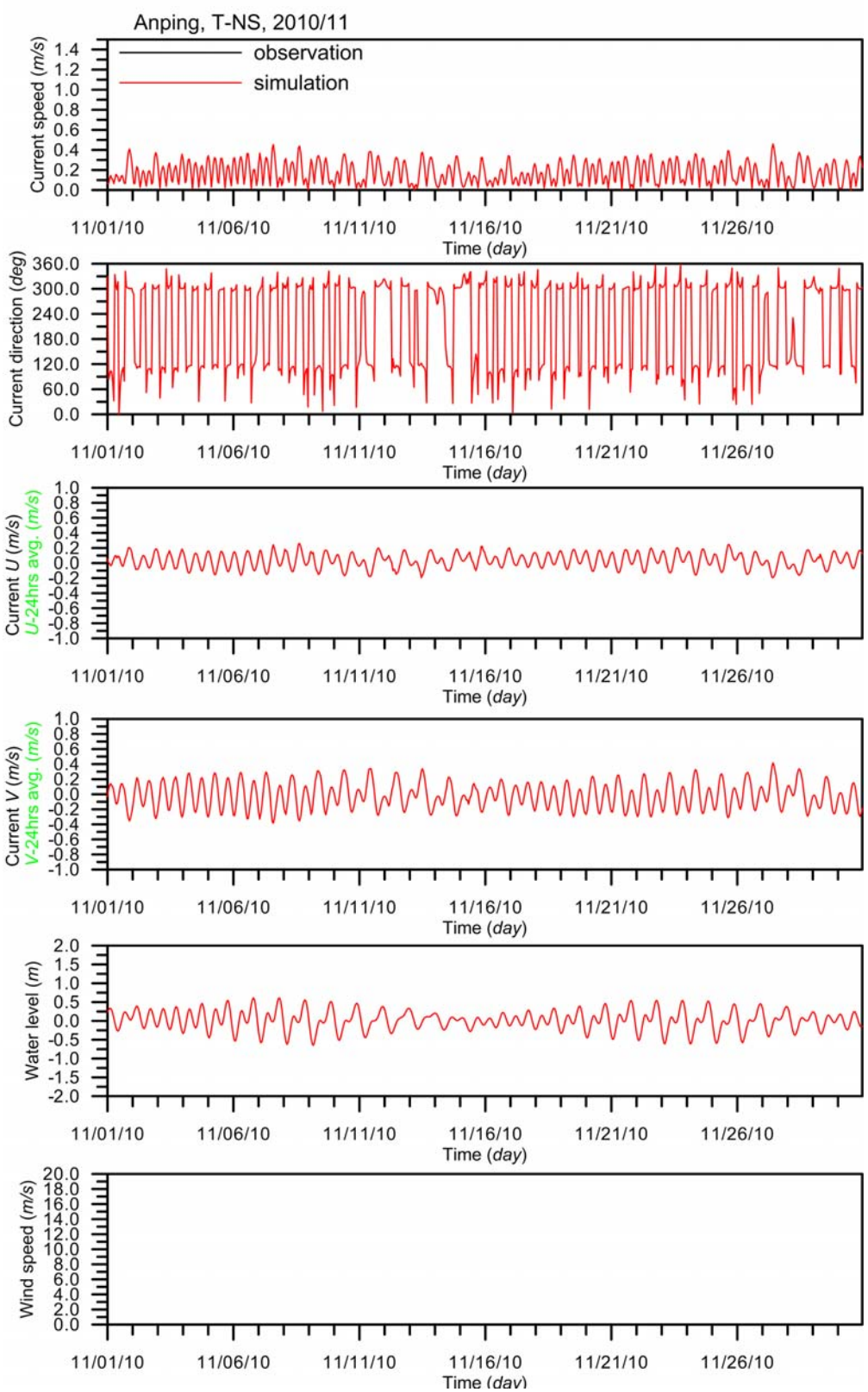


圖 5-2(續) 安平港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 11 月份)

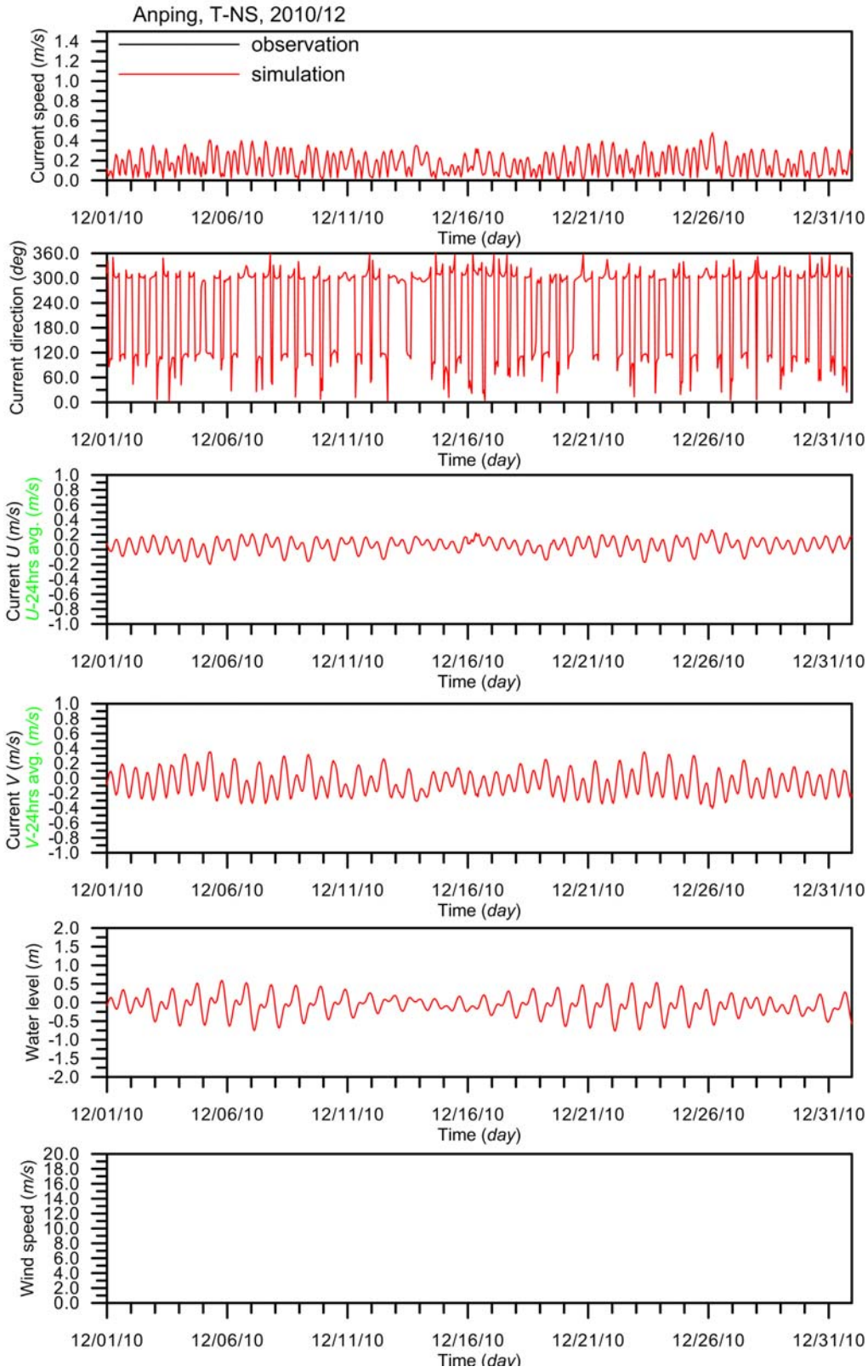


圖 5-2(續) 安平港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 12 月份)

表 5-1 安平港潮汐水位調和分析參數表

分潮名稱	Freq	Amp (m)	Phase (degree)
*M2	0.0805114	0.2460	255.5200
*K1	0.0417807	0.1840	275.4100
*O1	0.0387307	0.1768	232.8900
*S2	0.0833333	0.0693	271.7900
*P1	0.0415526	0.0608	266.9200
*N2	0.0789992	0.0567	230.1900
*Q1	0.0372185	0.0371	210.1200
MM	0.0015122	0.0213	42.8500
*S1	0.0416667	0.0162	182.0200
*K2	0.0835615	0.0161	278.4300
MSM	0.0013098	0.0148	316.2300
*NU2	0.0792016	0.0118	240.1700
*L2	0.0820236	0.0117	328.7000
*MU2	0.0776895	0.0112	92.0000
*J1	0.0432929	0.0103	280.0700
MSF	0.0028219	0.0097	357.2700
*PI1	0.0414385	0.0088	252.0500
SSA	0.0002282	0.0086	117.6800
*2N2	0.0774871	0.0080	213.1300
*M4	0.1610228	0.0080	301.8100
SA	0.0001141	0.0079	315.9200
*RHO1	0.0374209	0.0077	202.9500
*PHI1	0.0420089	0.0077	224.3900
*H2	0.0806255	0.0074	150.2000
*MS4	0.1638447	0.0067	339.9300

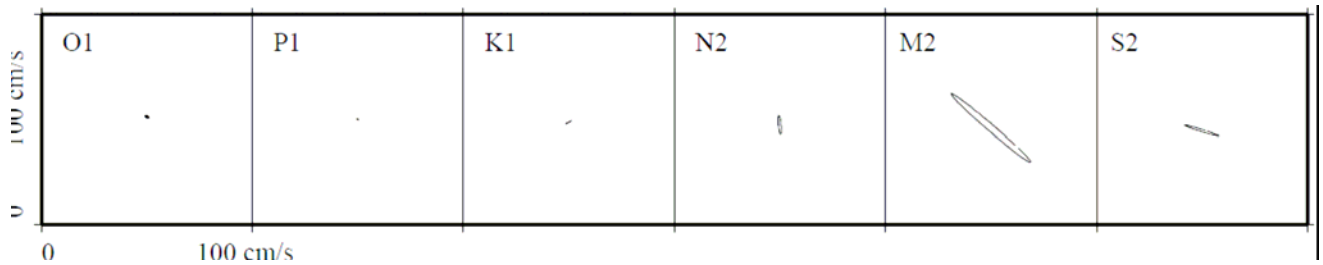


圖 5-3 安平港潮流橢圓圖

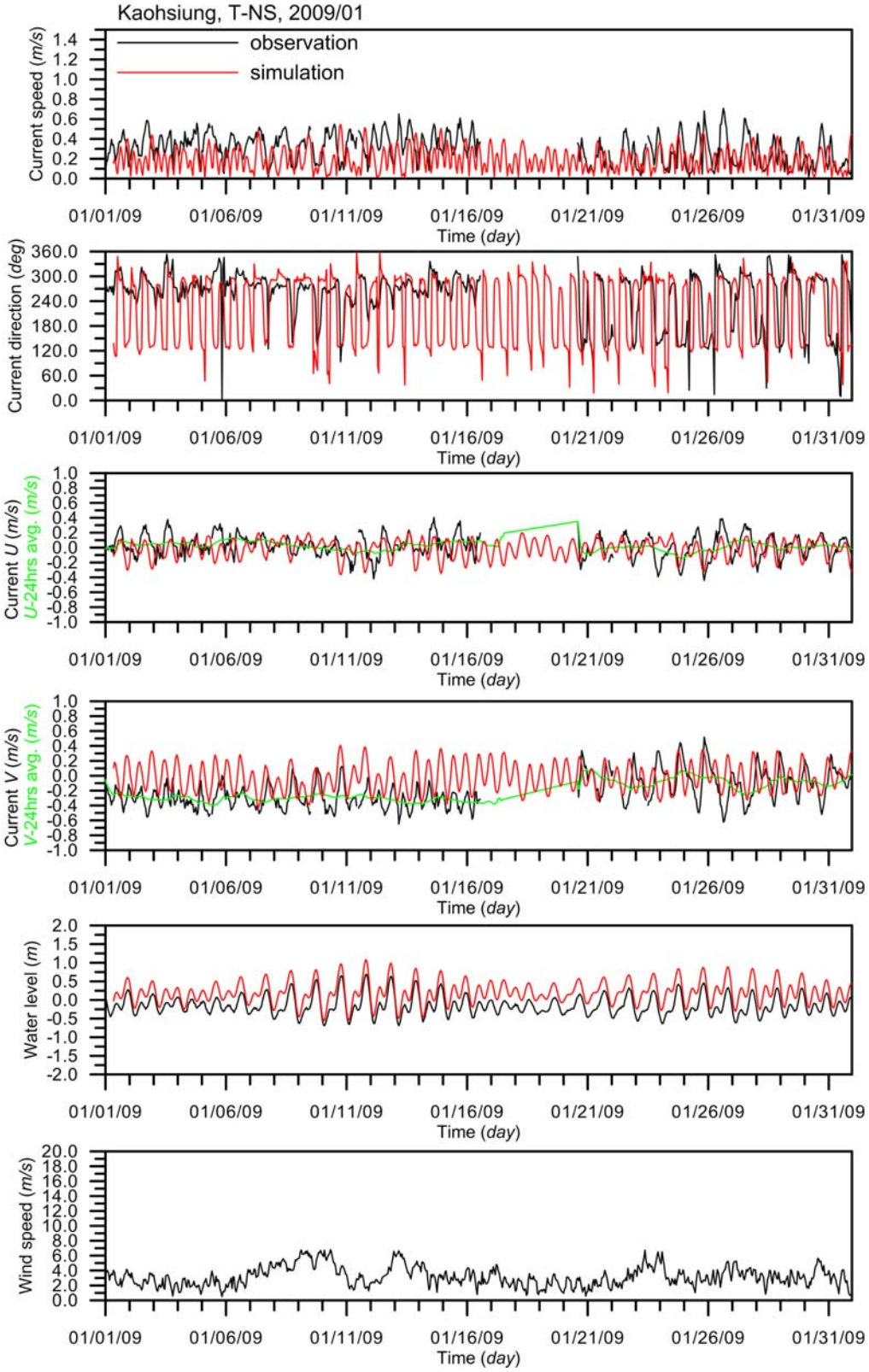


圖 5-4 高雄港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 1 月份)

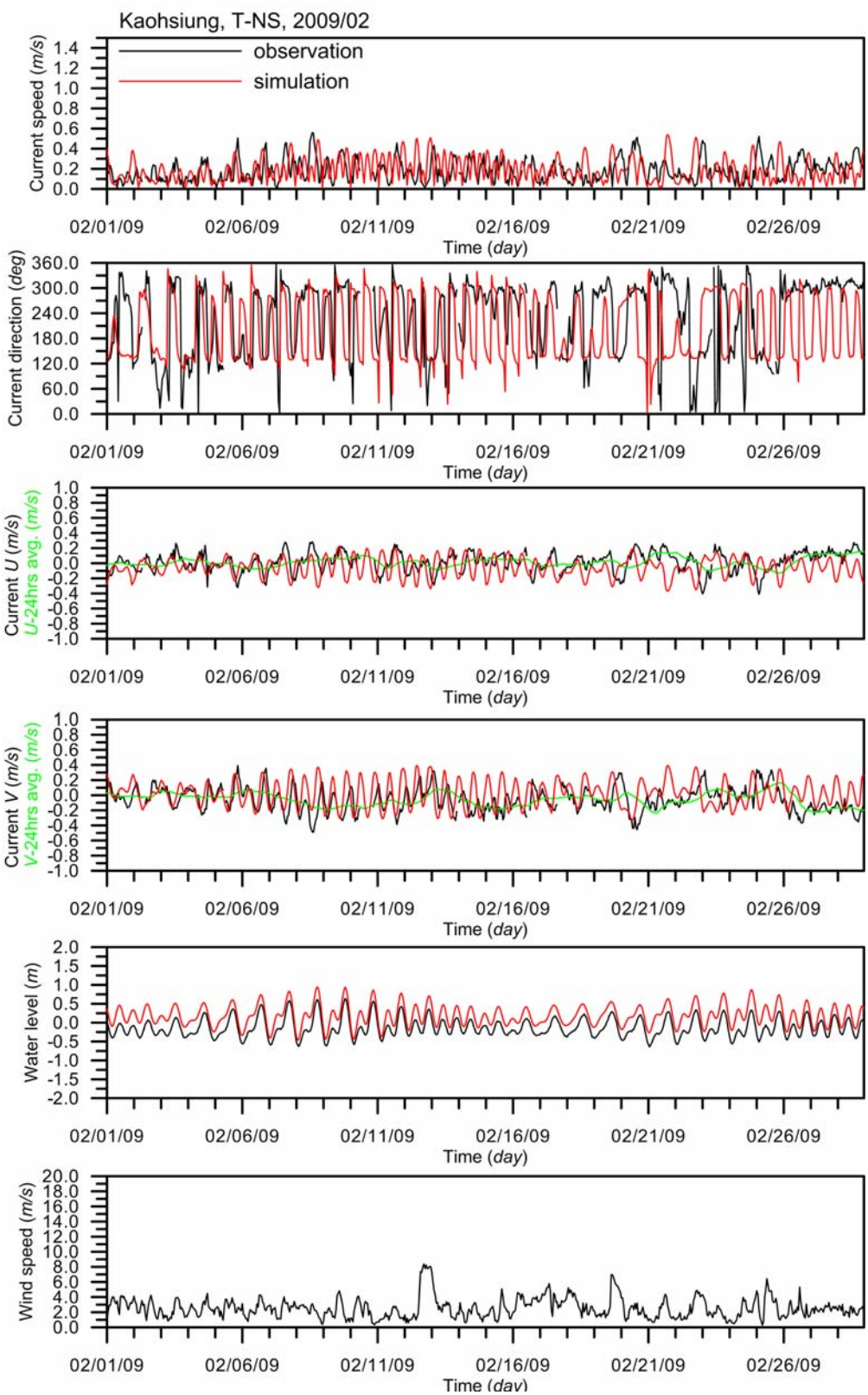


圖 5-4(續) 高雄港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 2 月份)

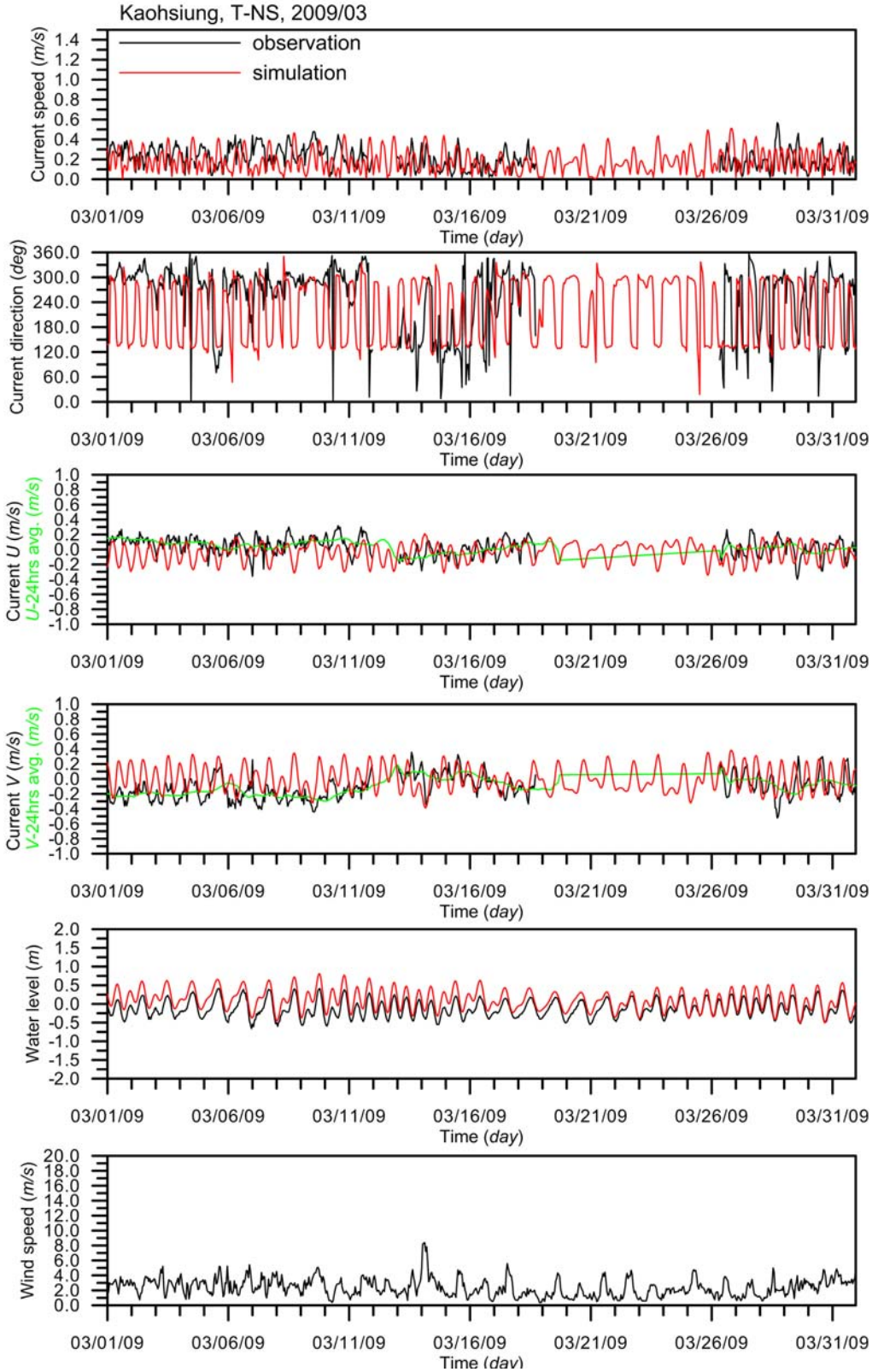


圖 5-4(續) 高雄港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 3 月份)

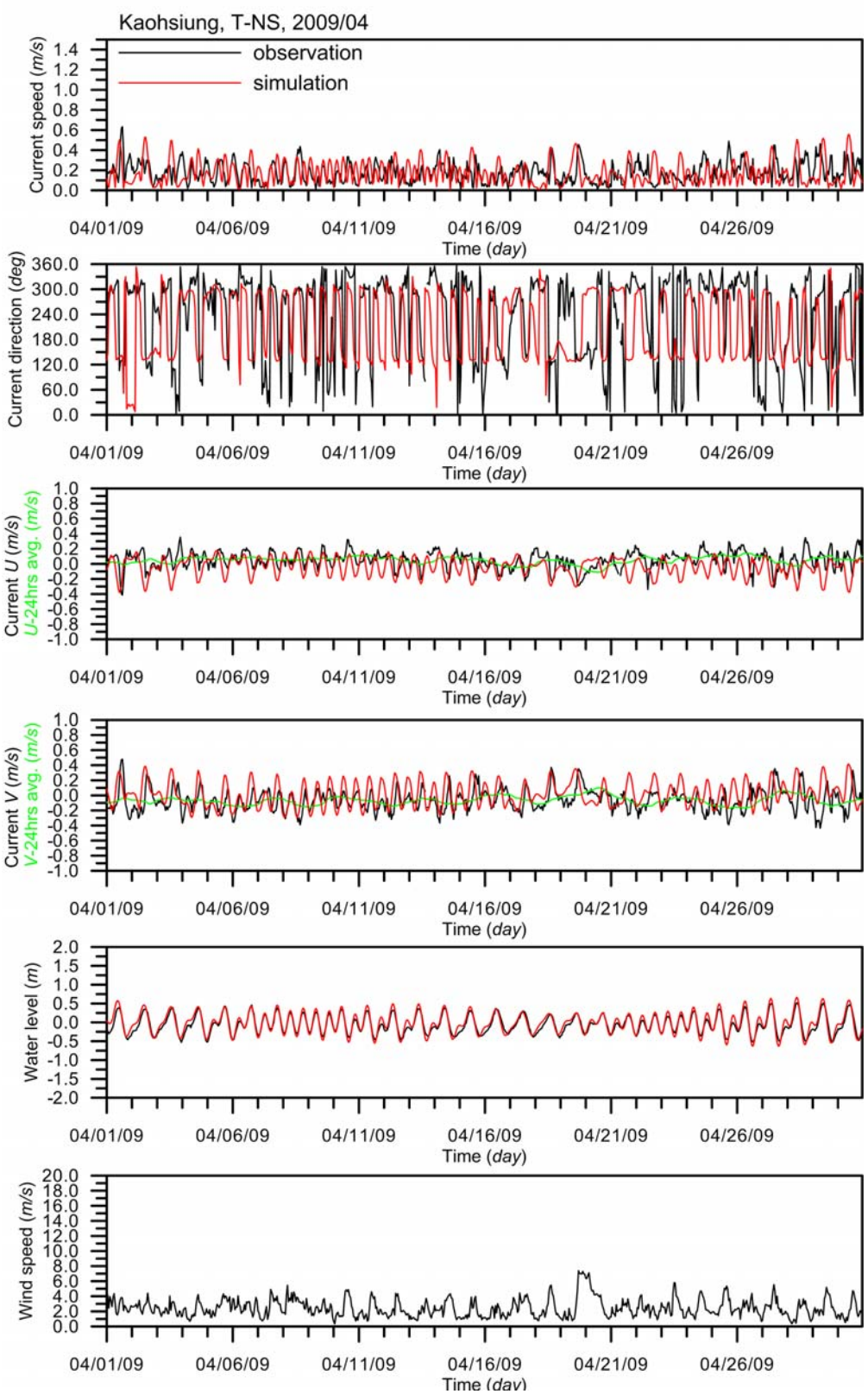


圖 5-4(續) 高雄港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 4 月份)

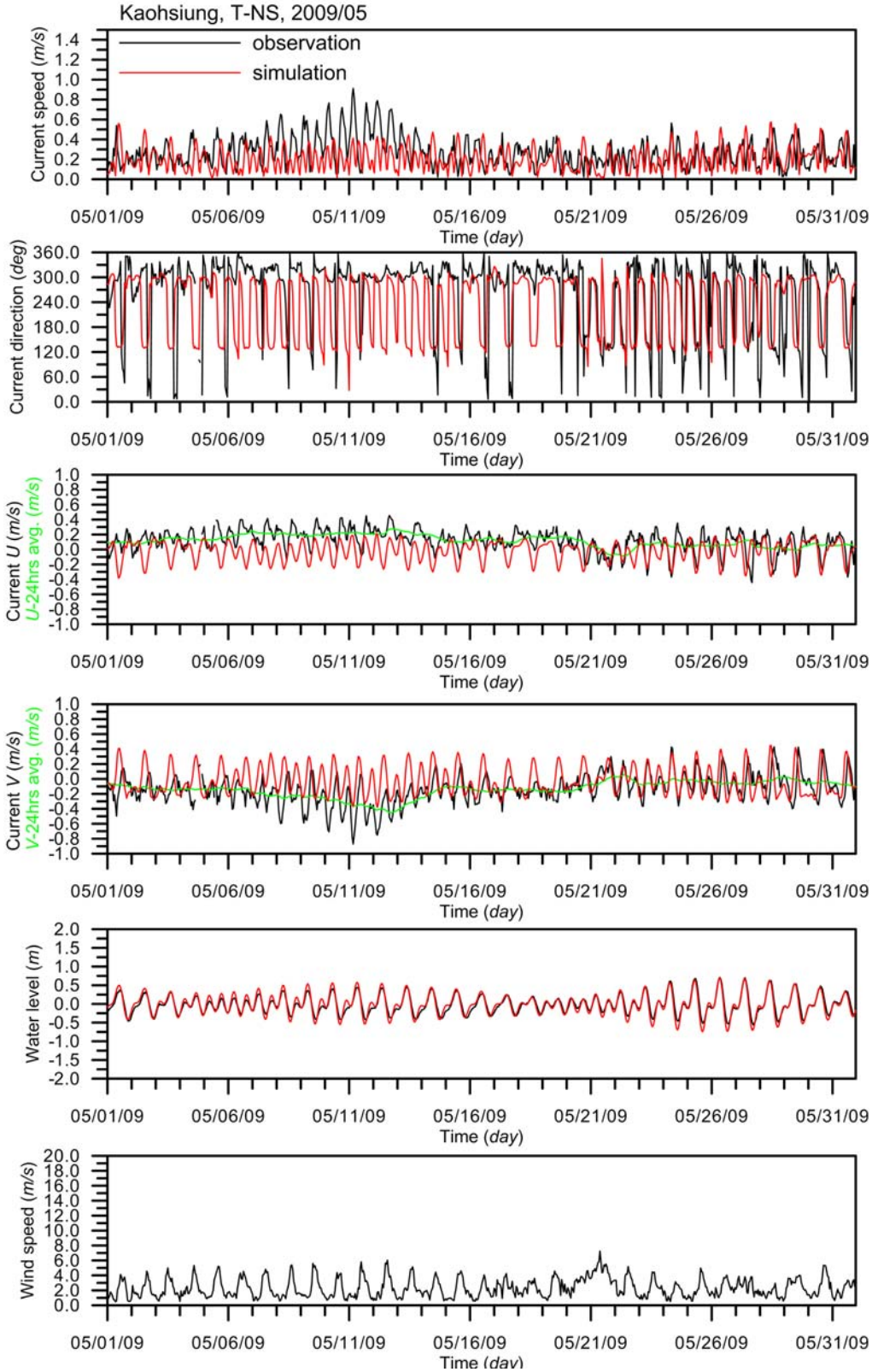


圖 5-4(續) 高雄港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 5 月份)

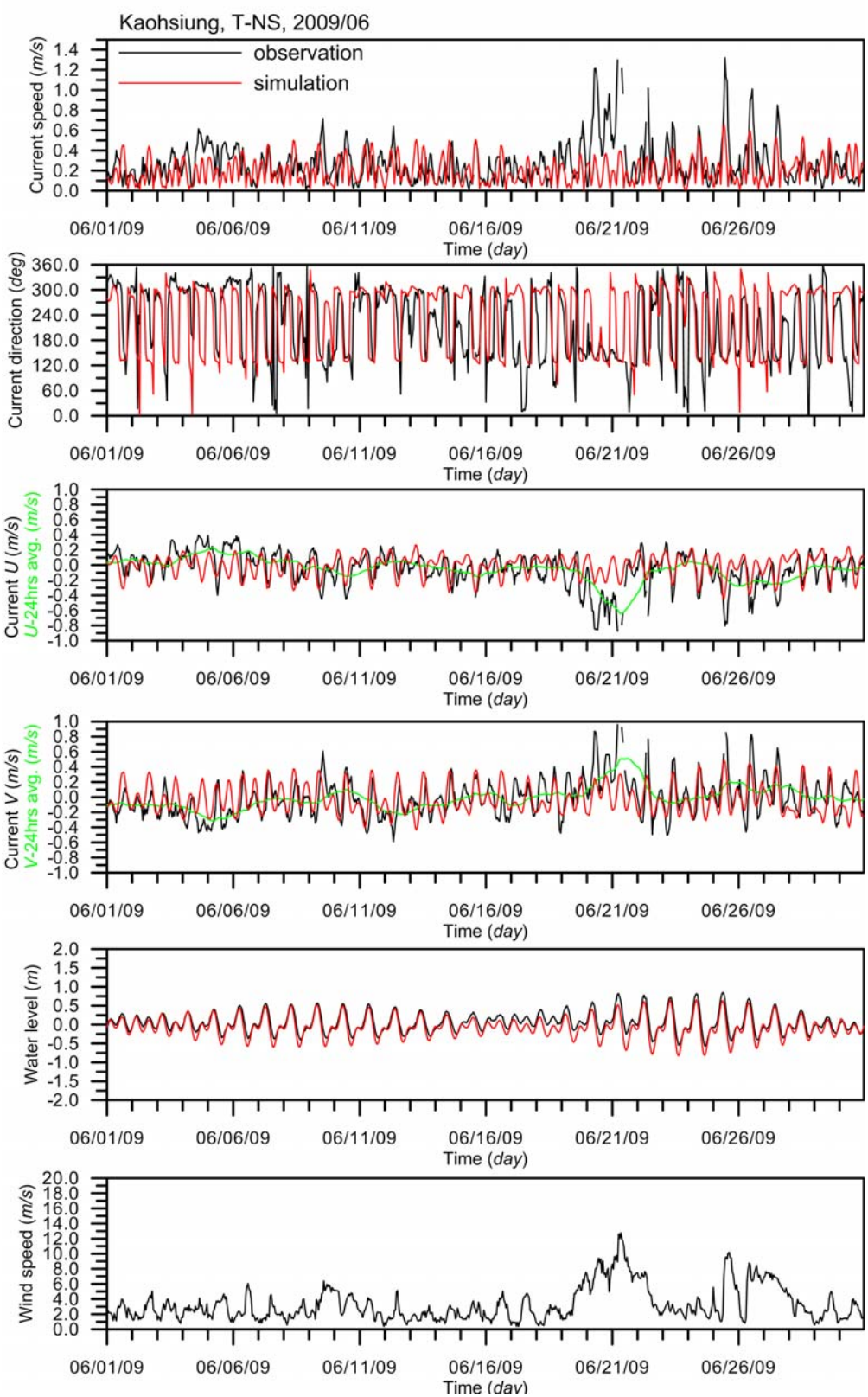


圖 5-4(續) 高雄港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 6 月份)

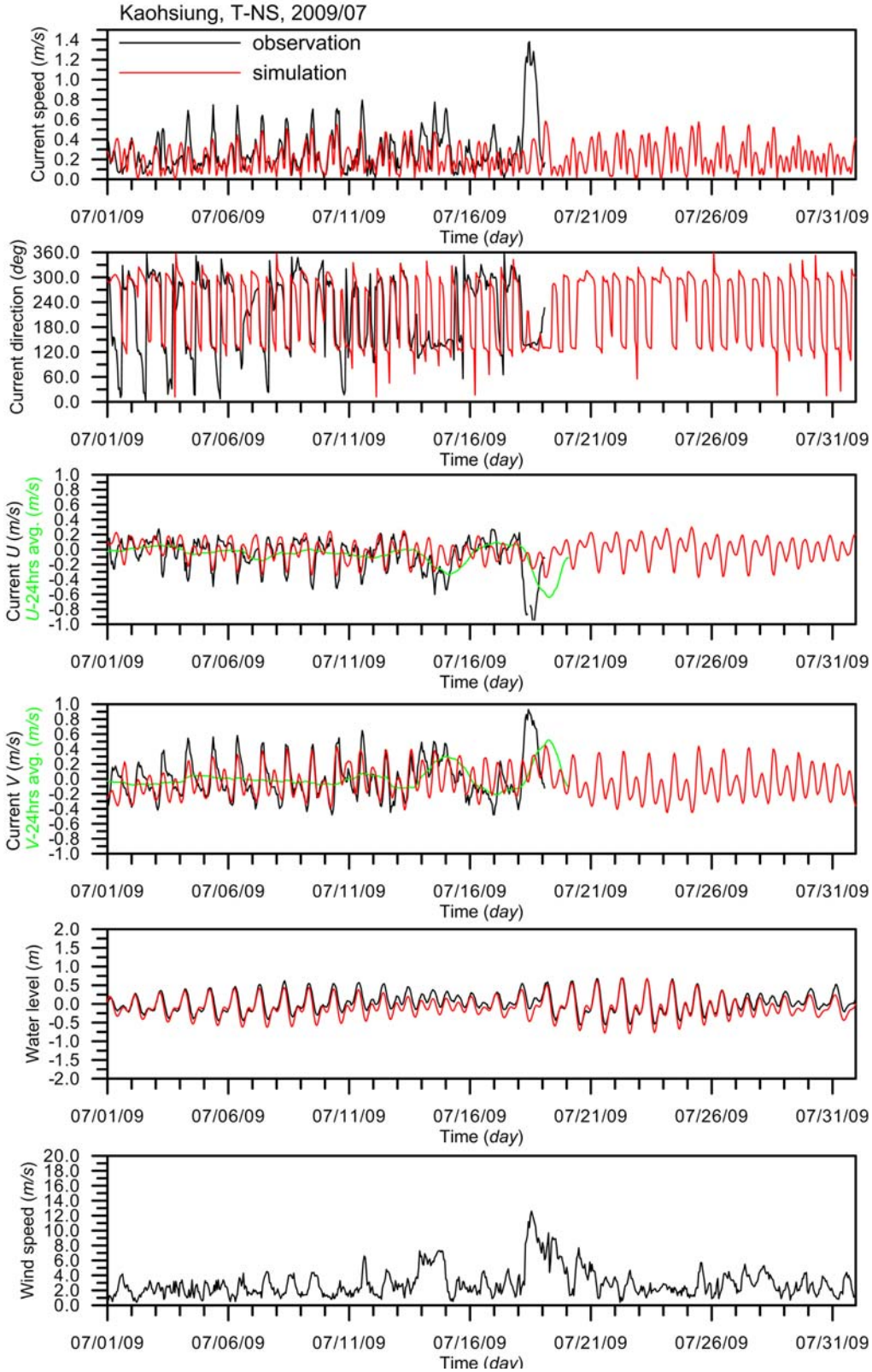


圖 5-4(續) 高雄港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 7 月份)

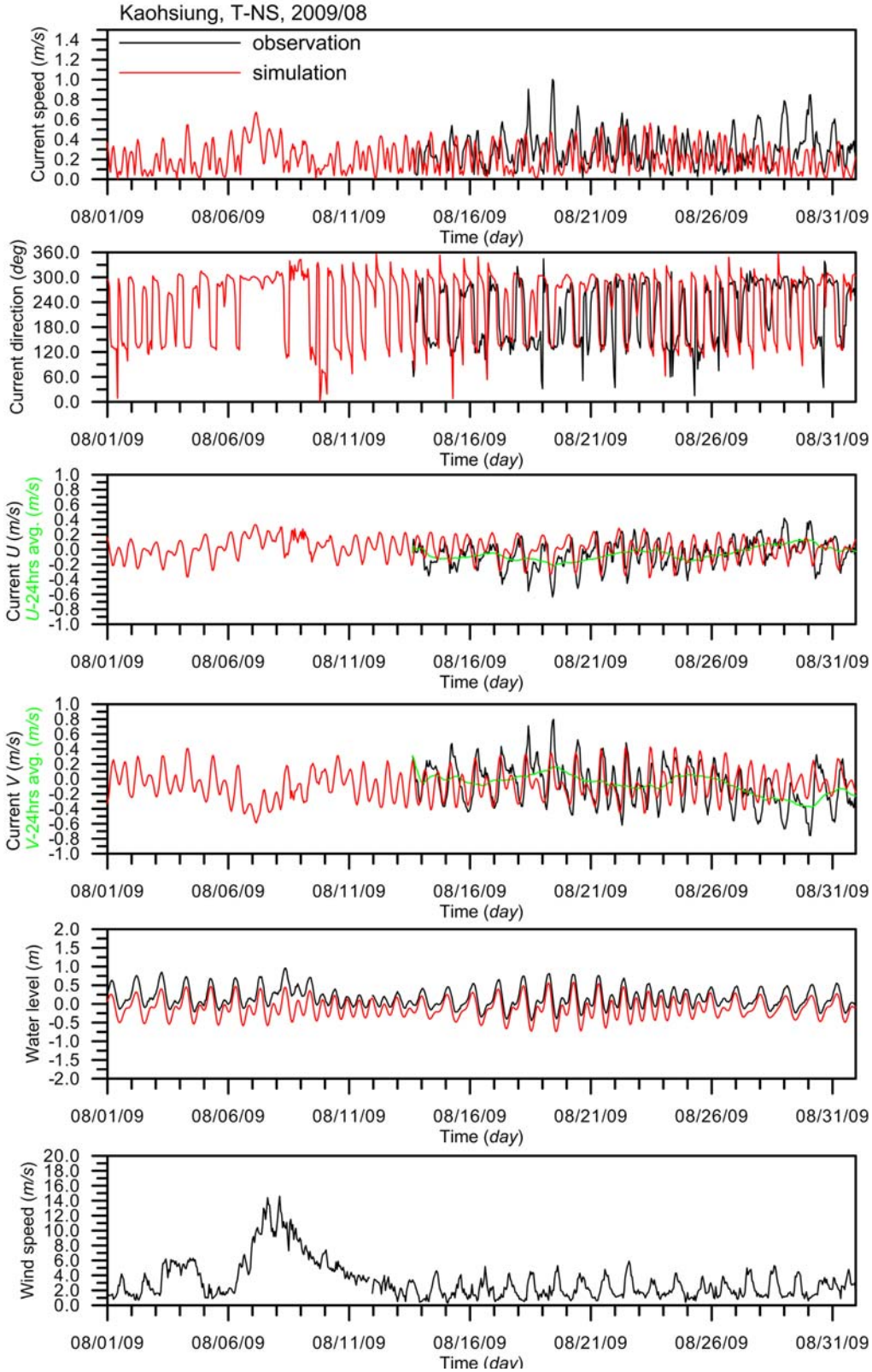


圖 5-4(續) 高雄港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 8 月份)

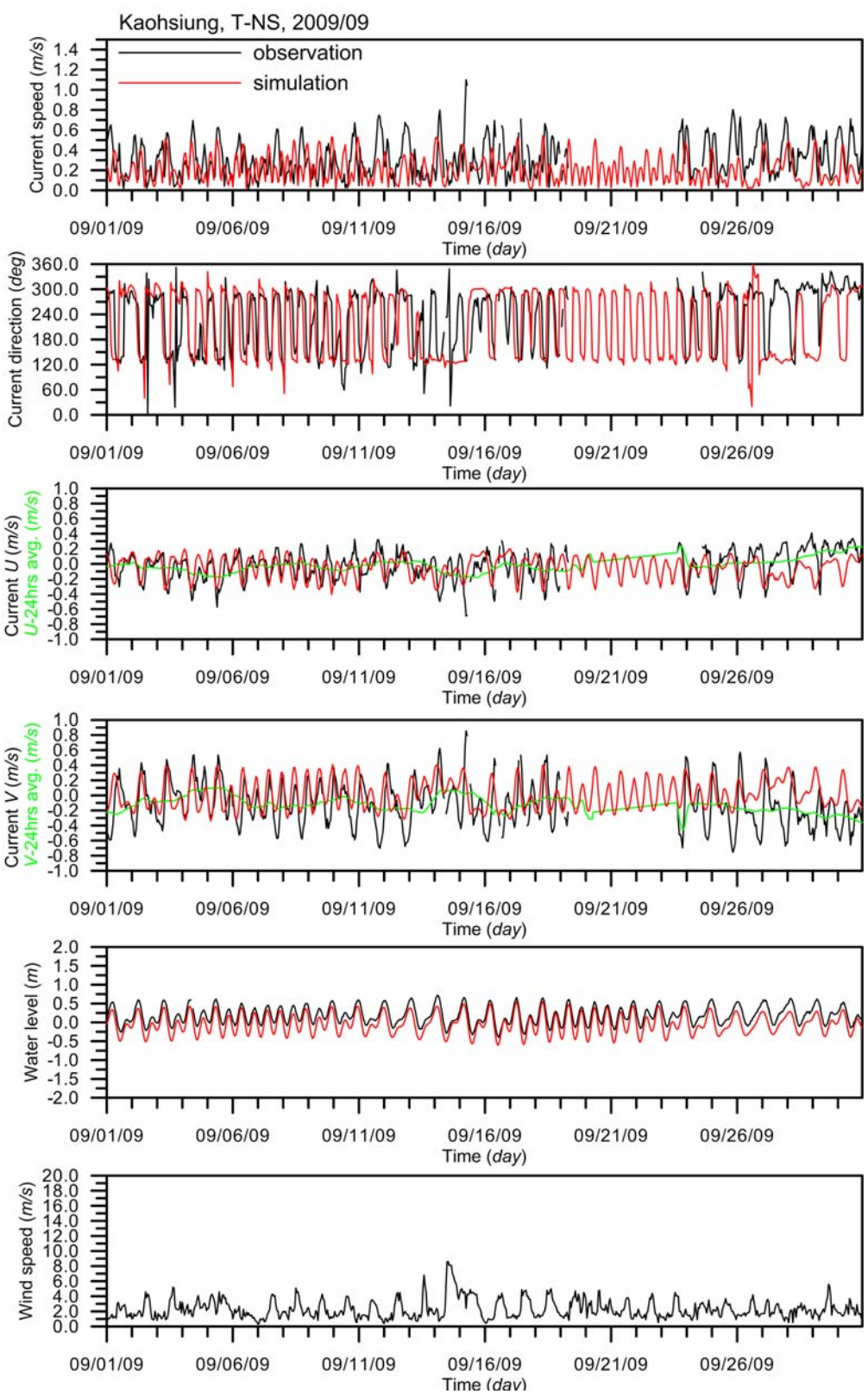


圖 5-4(續) 高雄港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 9 月份)

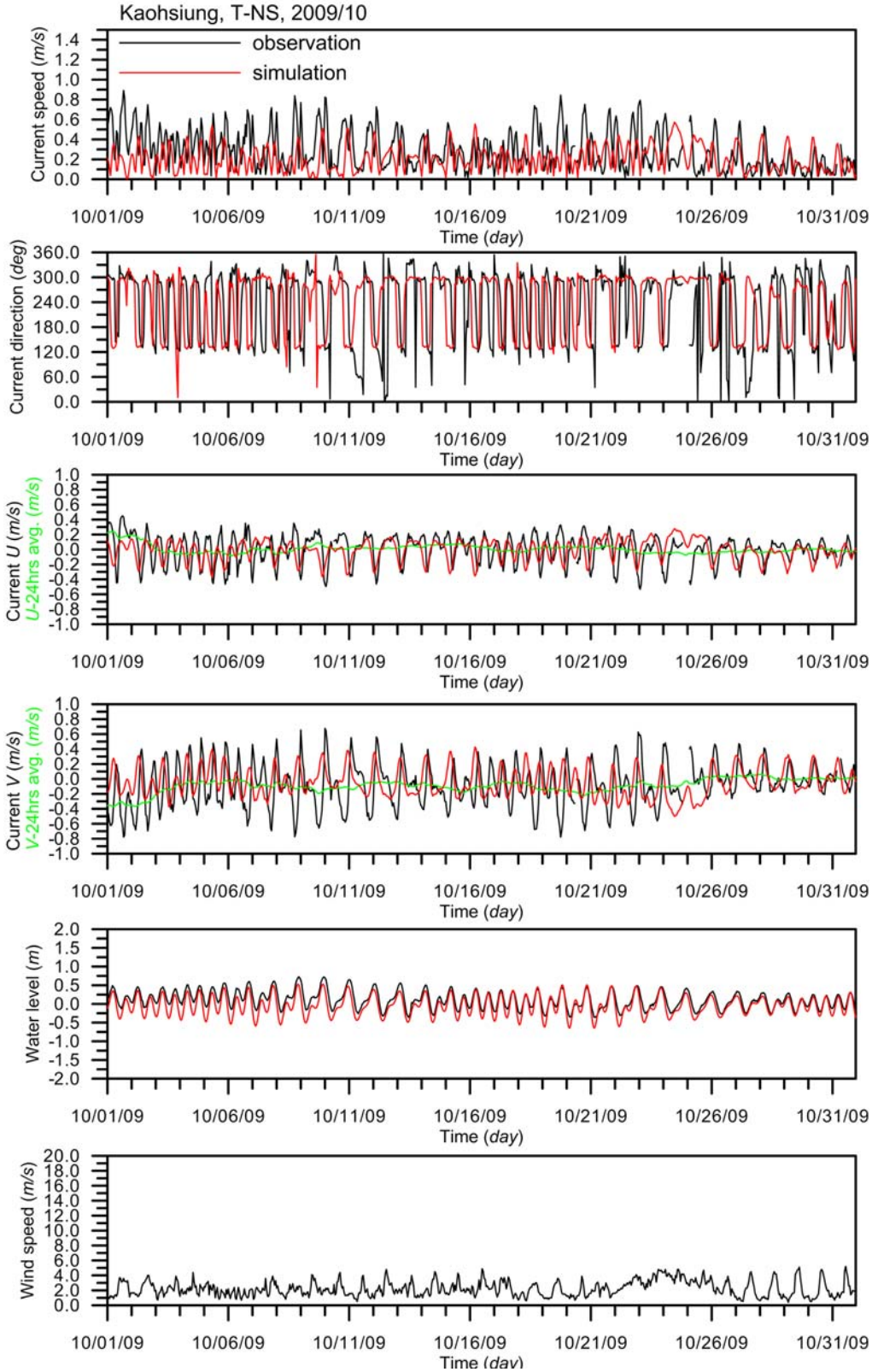


圖 5-4(續) 高雄港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 10 月份)

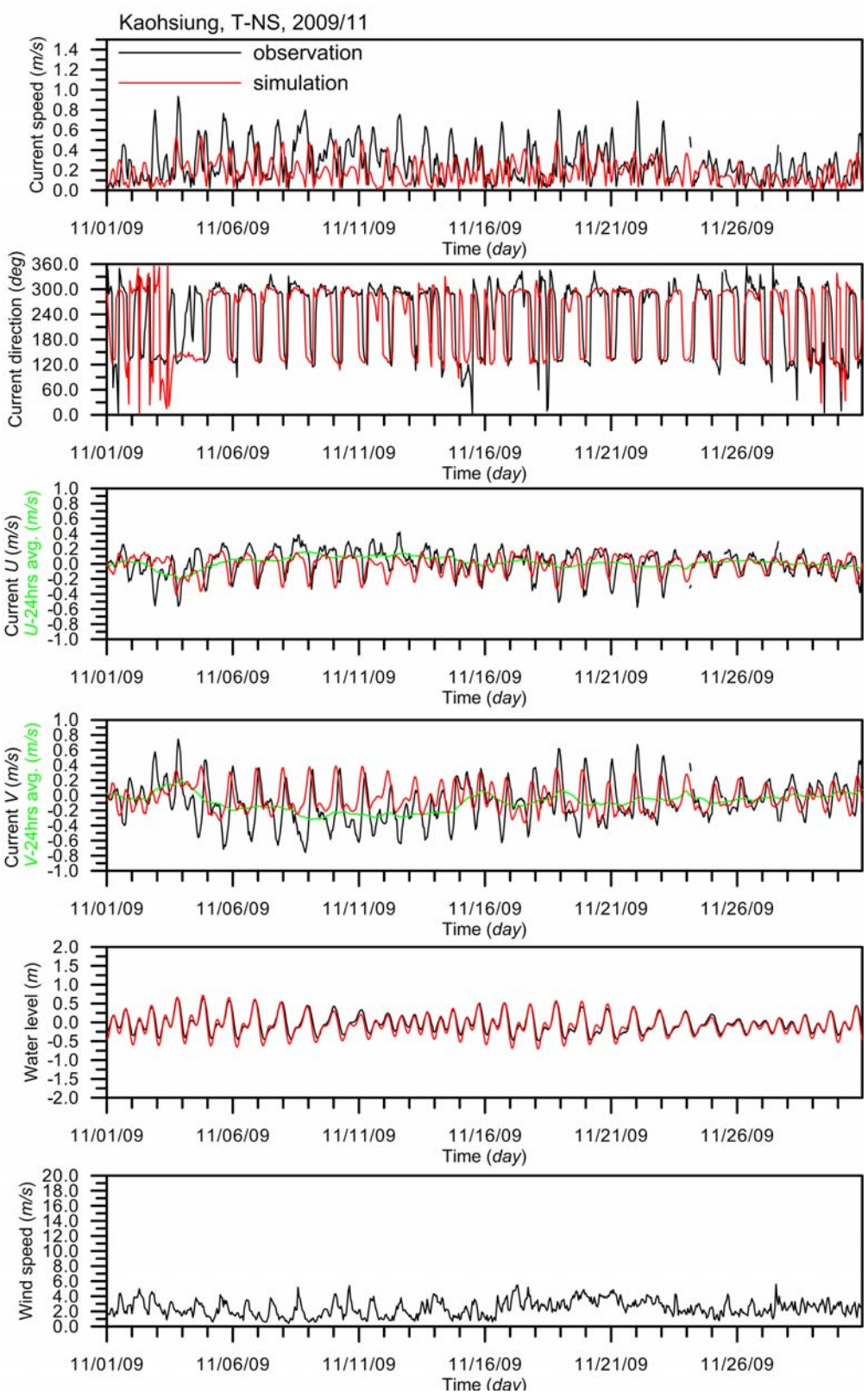


圖 5-4(續) 高雄港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 11 月份)

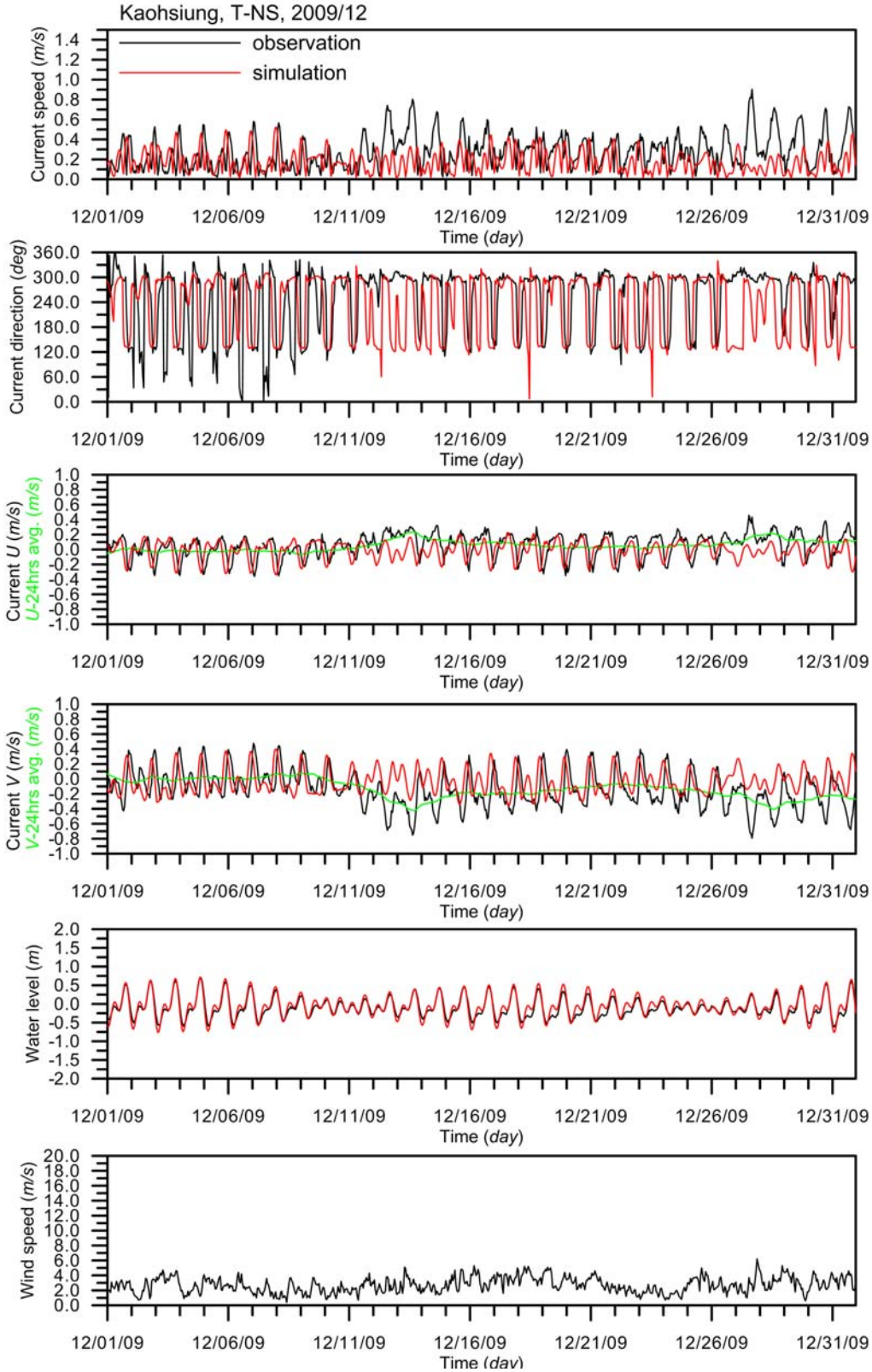


圖 5-4(續) 高雄港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 12 月份)

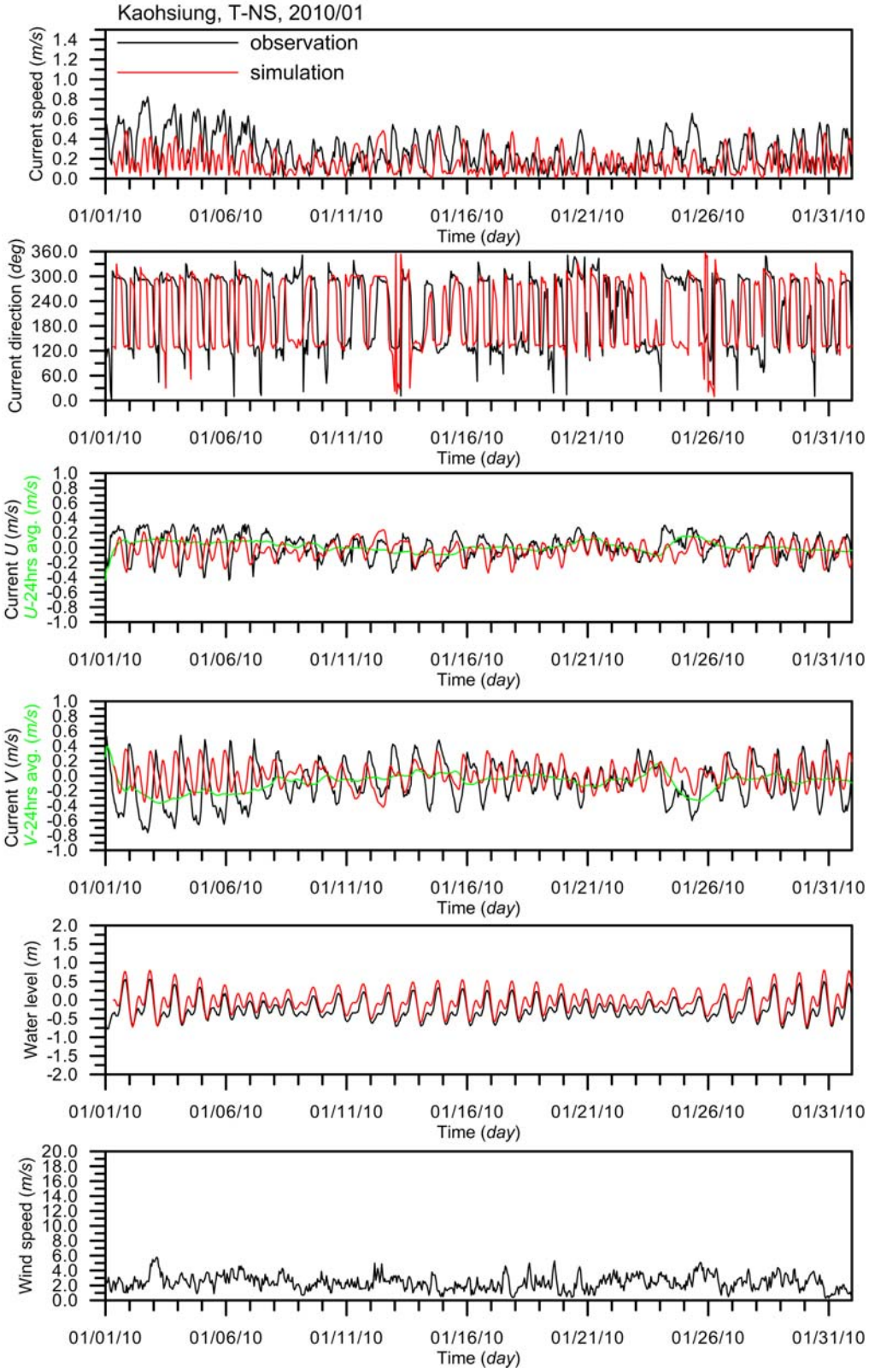


圖 5-5 高雄港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 1 月份)

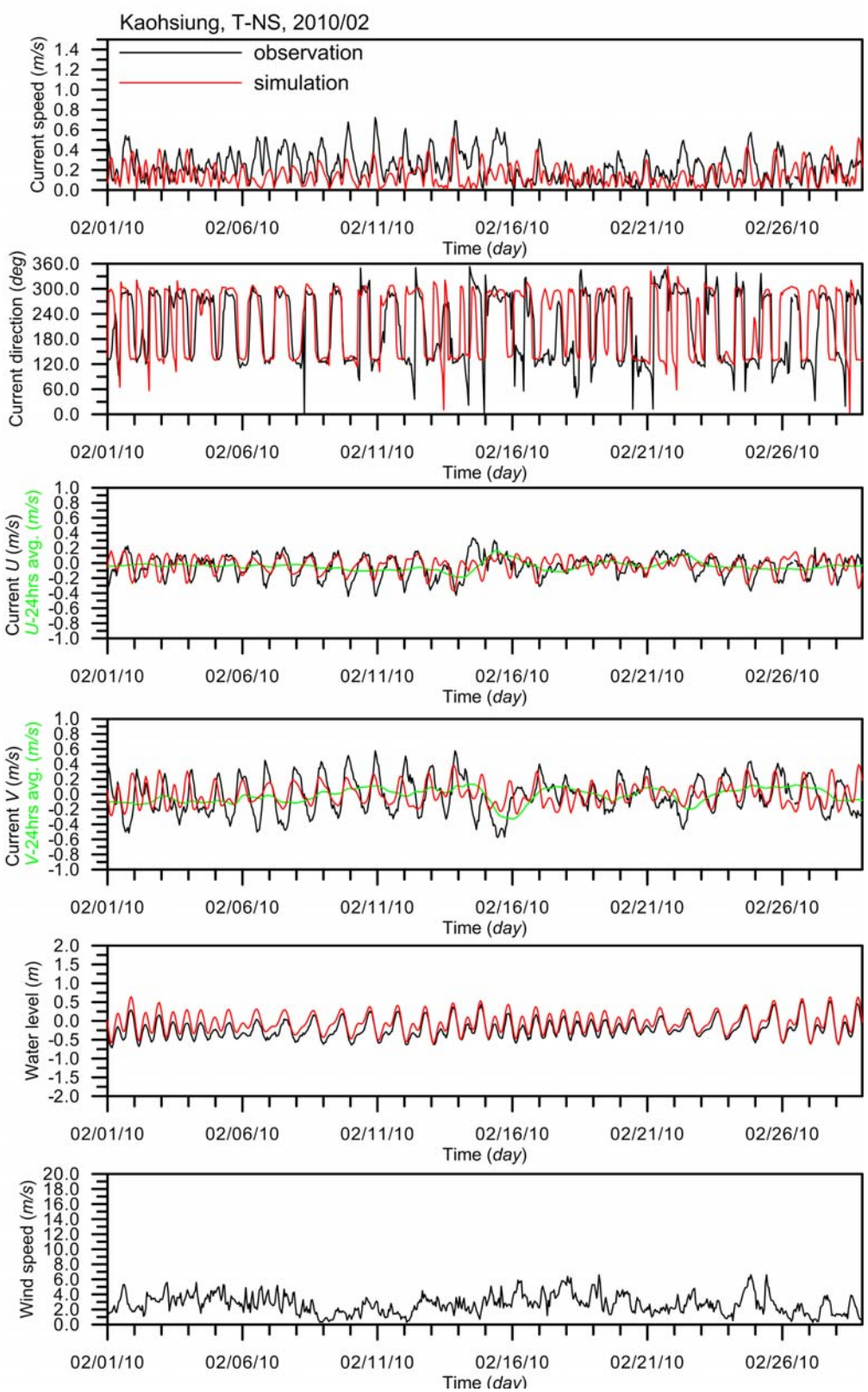


圖 5-5(續) 高雄港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 2 月份)

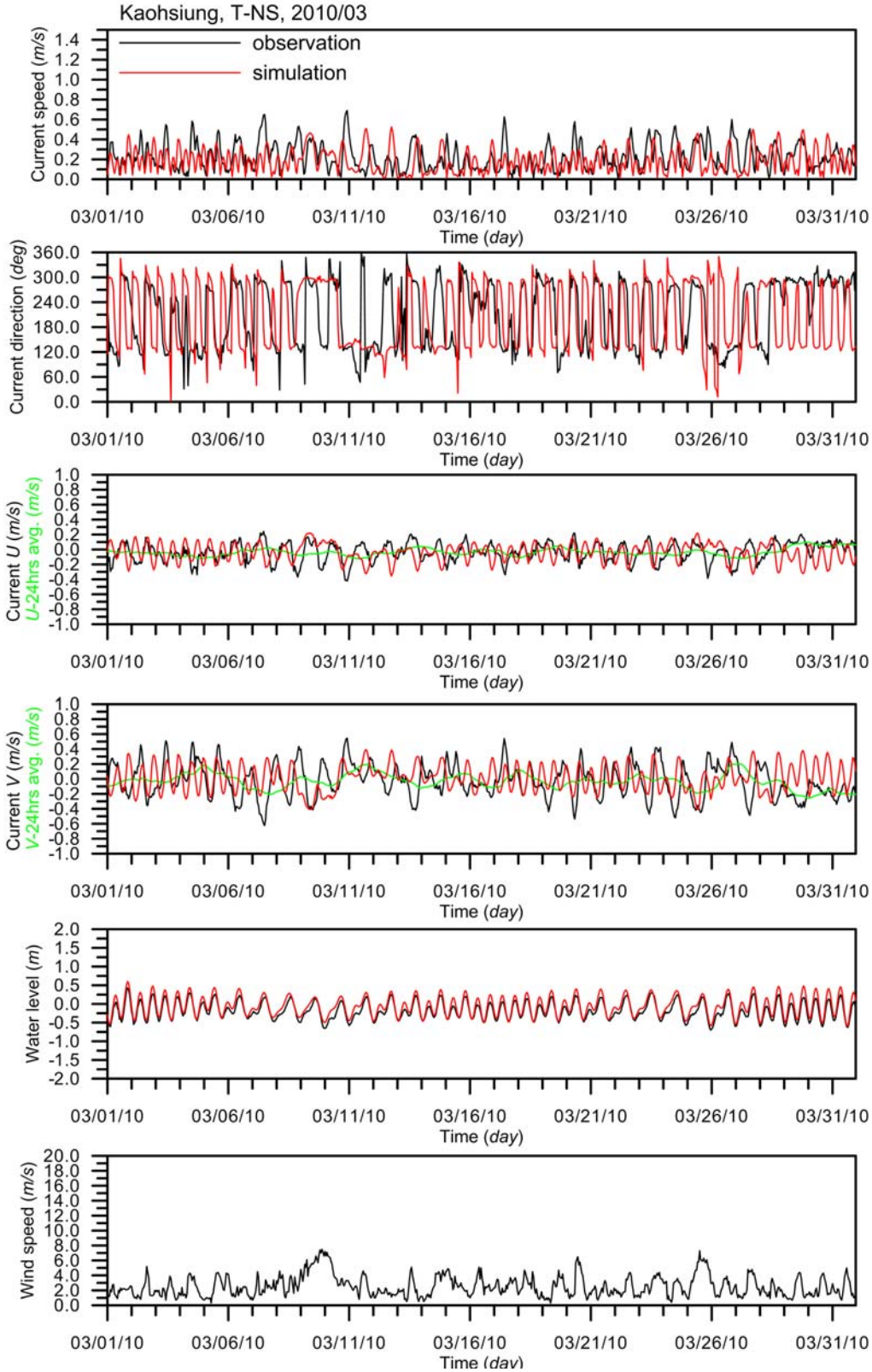


圖 5-5(續) 高雄港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 3 月份)

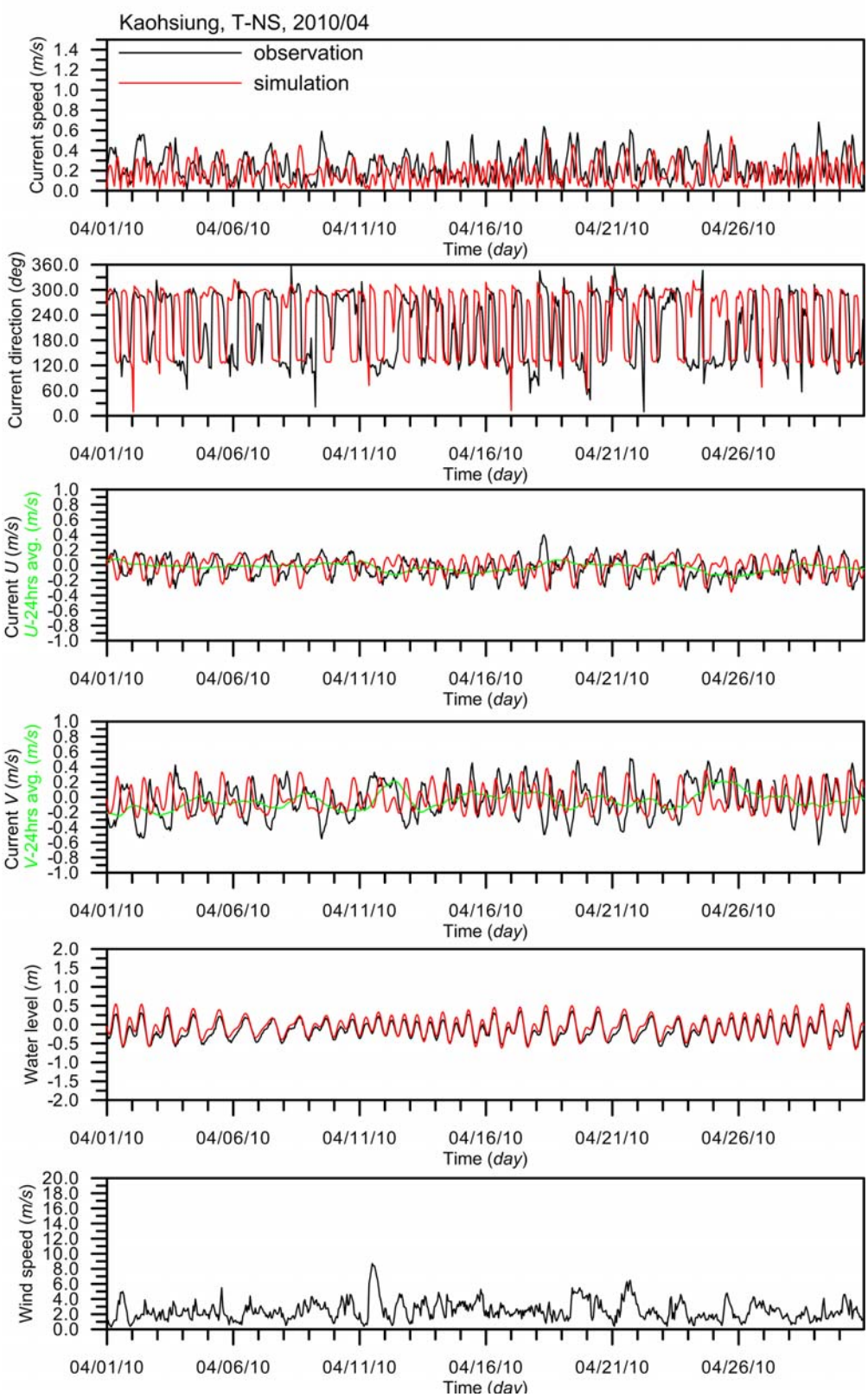


圖 5-5(續) 高雄港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 4 月份)

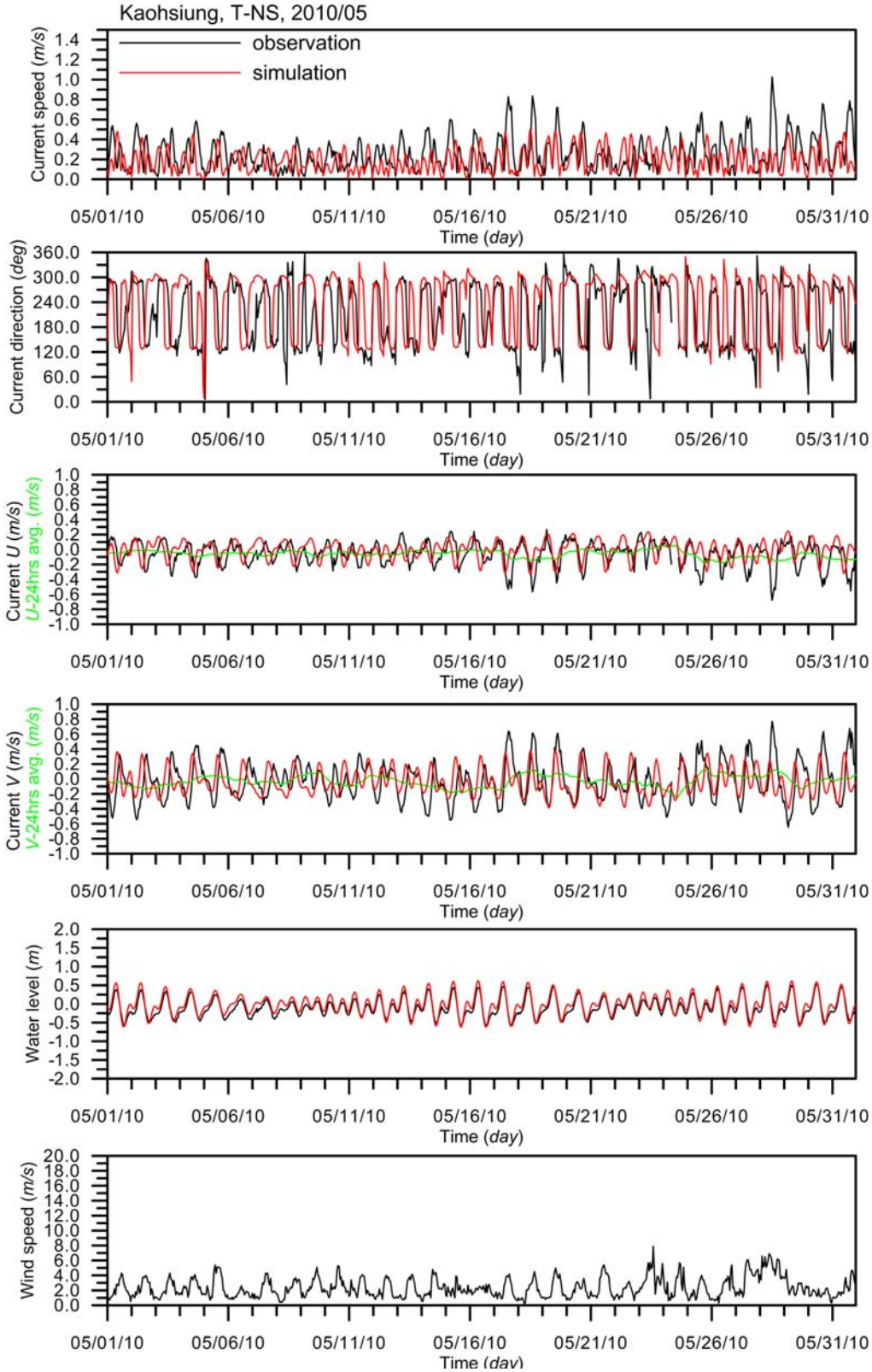


圖 5-5(續) 高雄港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 5 月份)

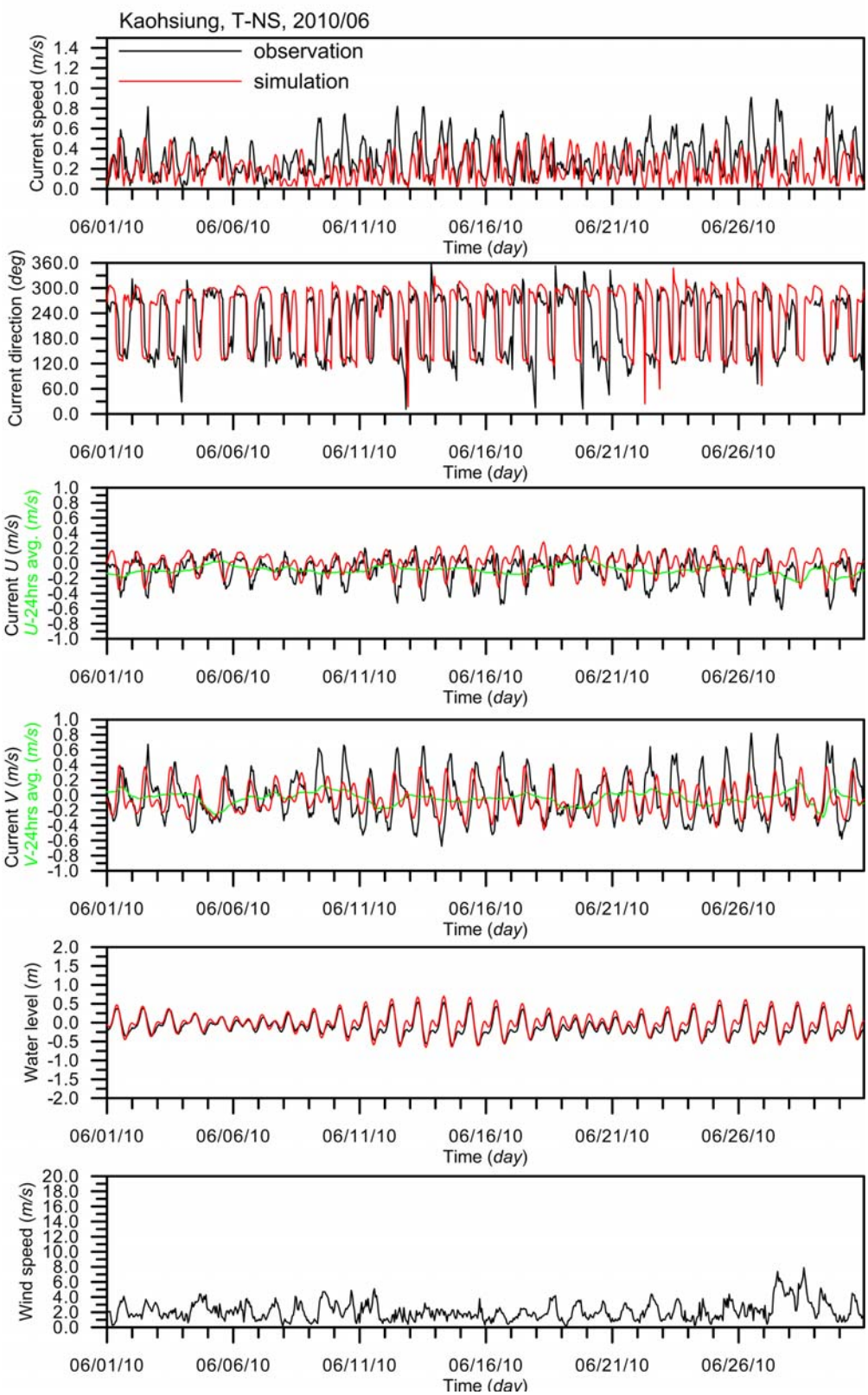


圖 5-5(續) 高雄港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 6 月份)

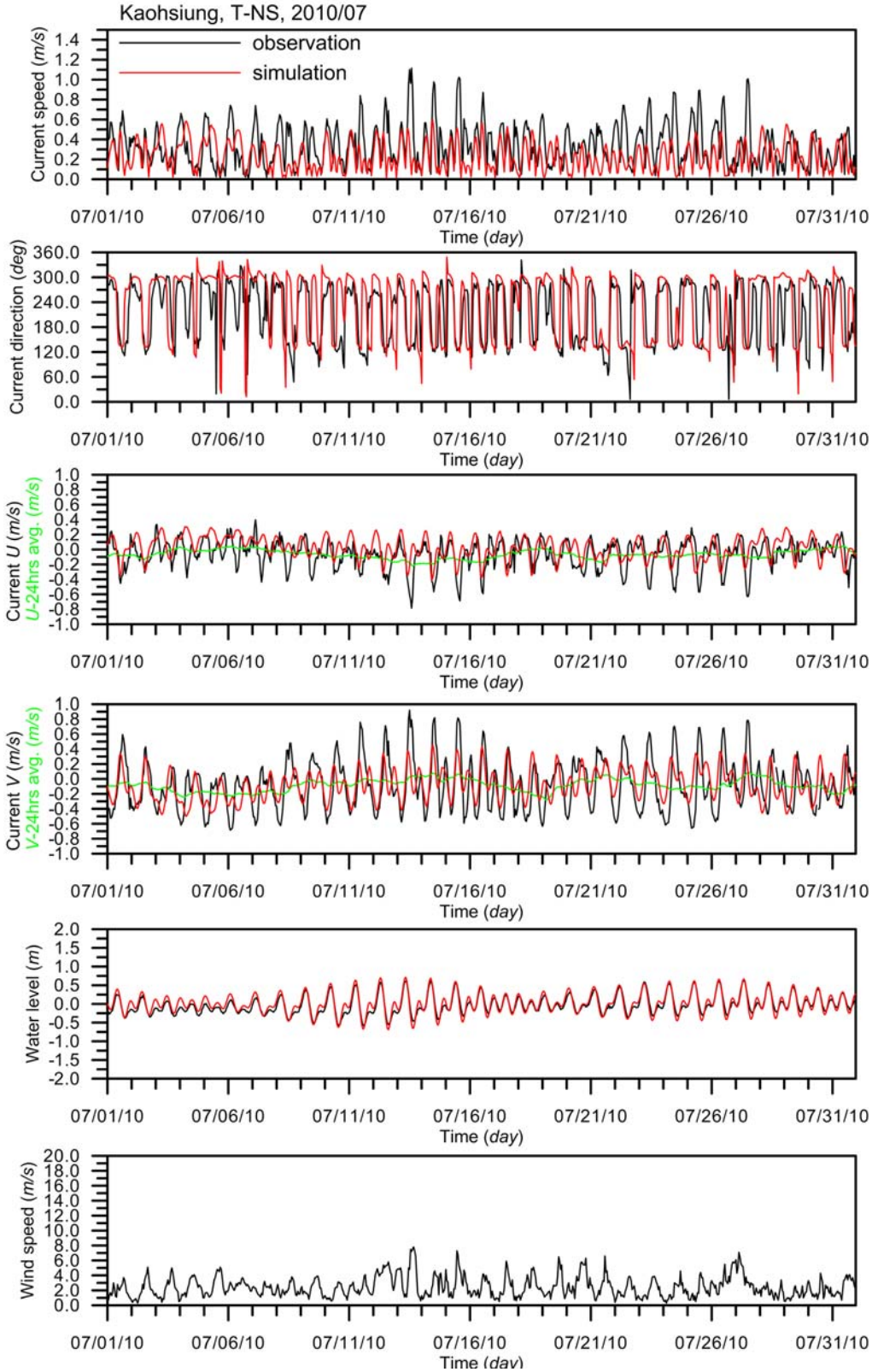


圖 5-5(續) 高雄港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 7 月份)

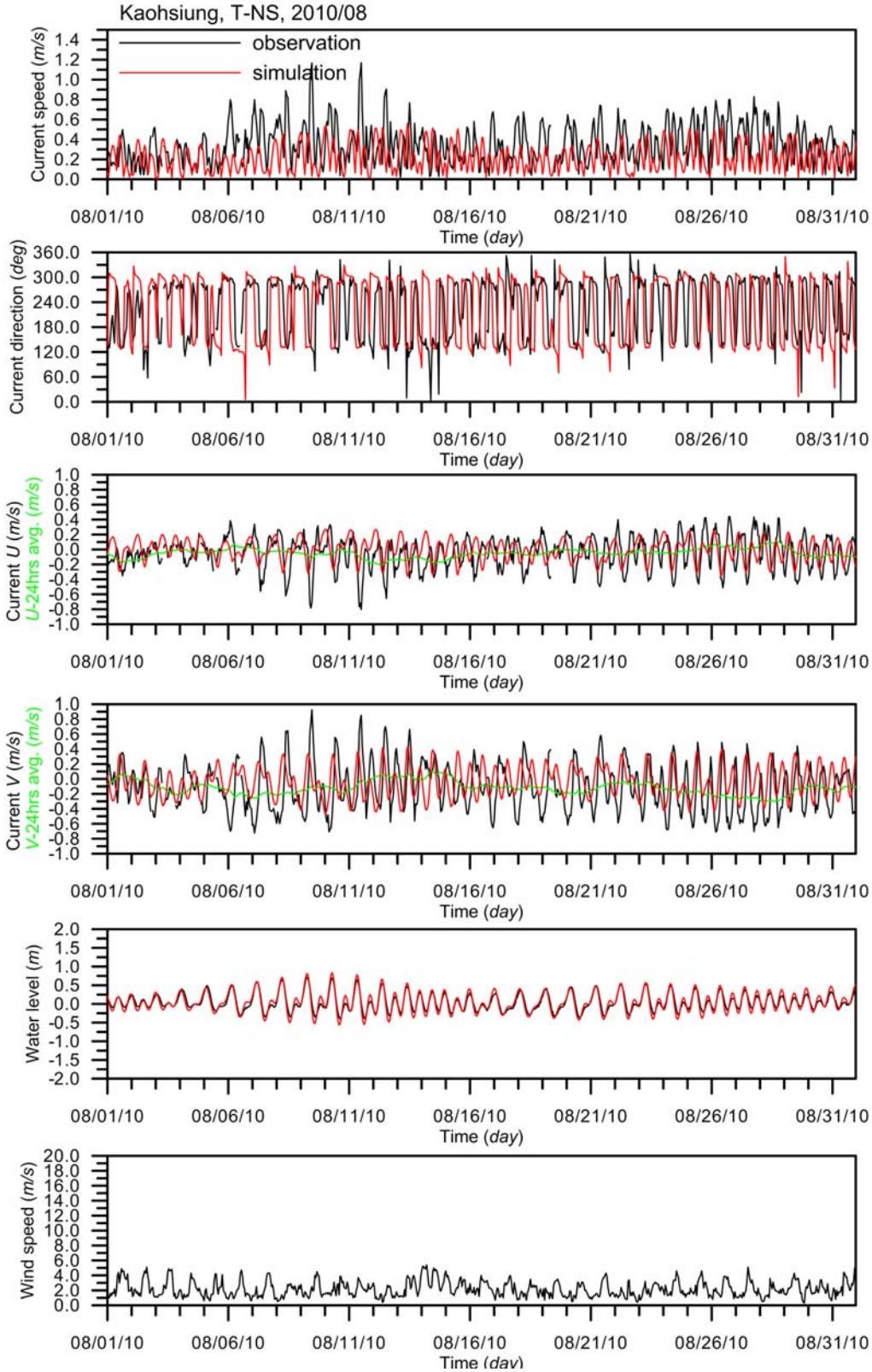


圖 5-5(續) 高雄港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 8 月份)

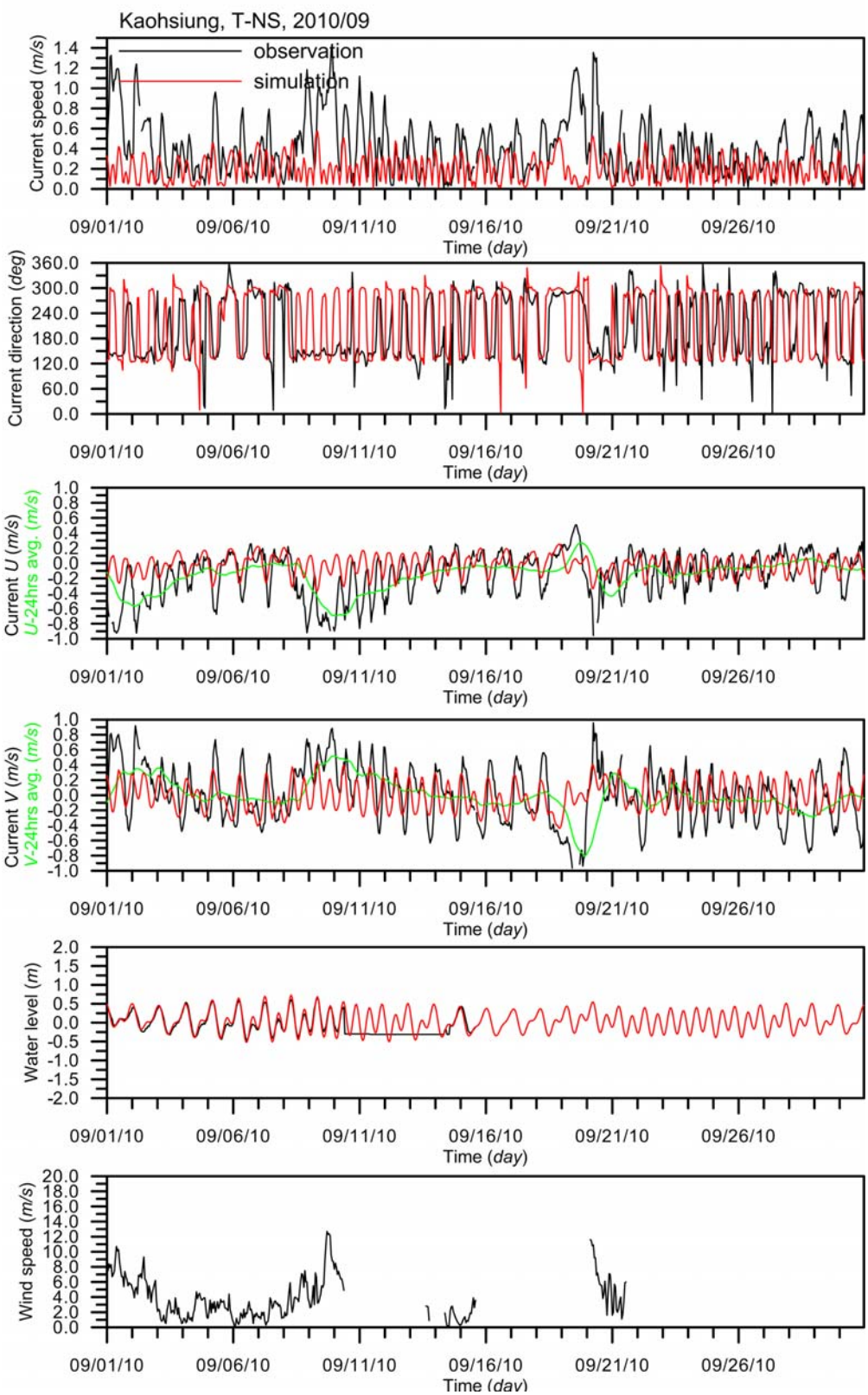


圖 5-5(續) 高雄港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 9 月份)

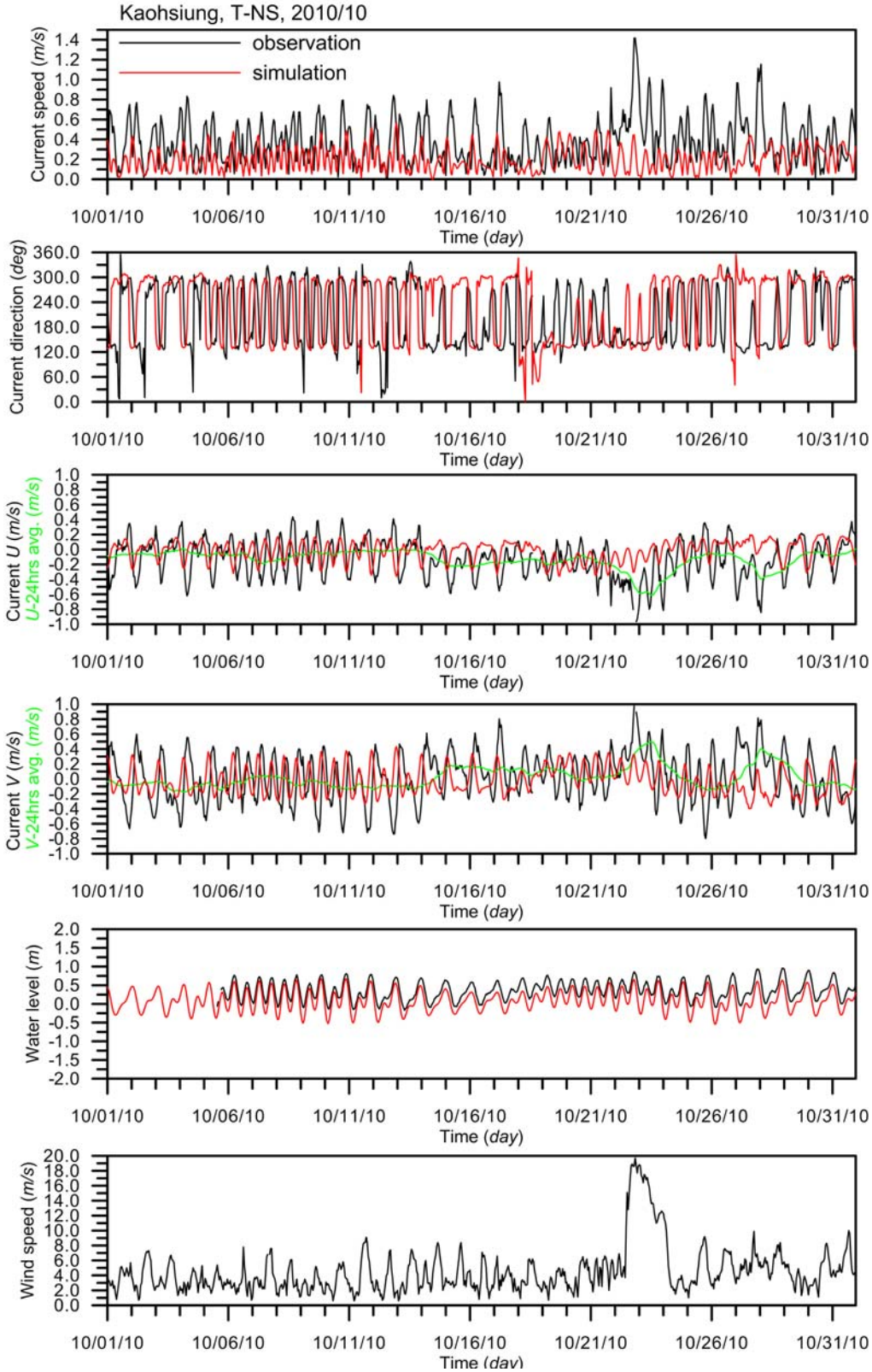


圖 5-5(續) 高雄港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 10 月份)

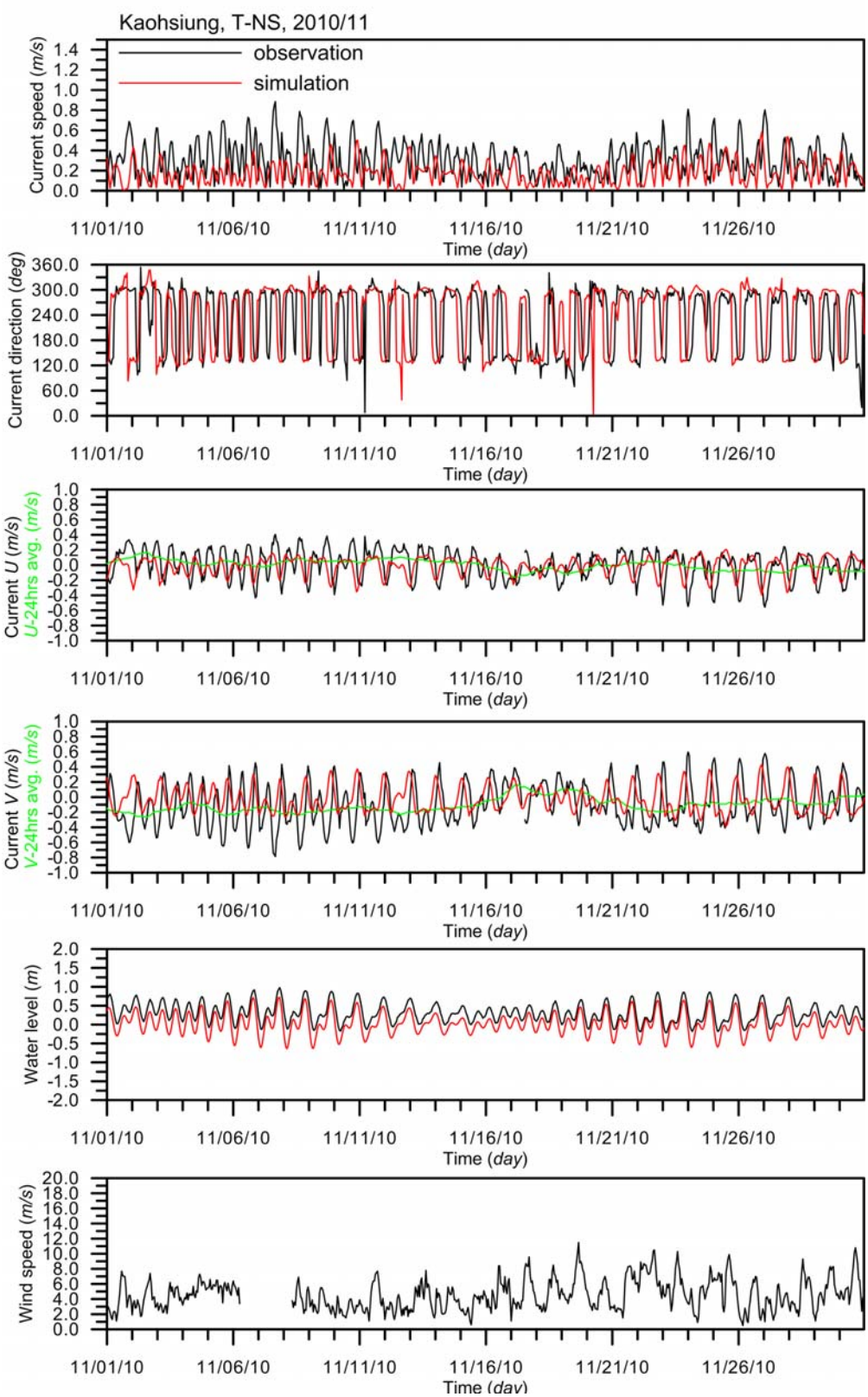


圖 5-5(續) 高雄港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 11 月份)

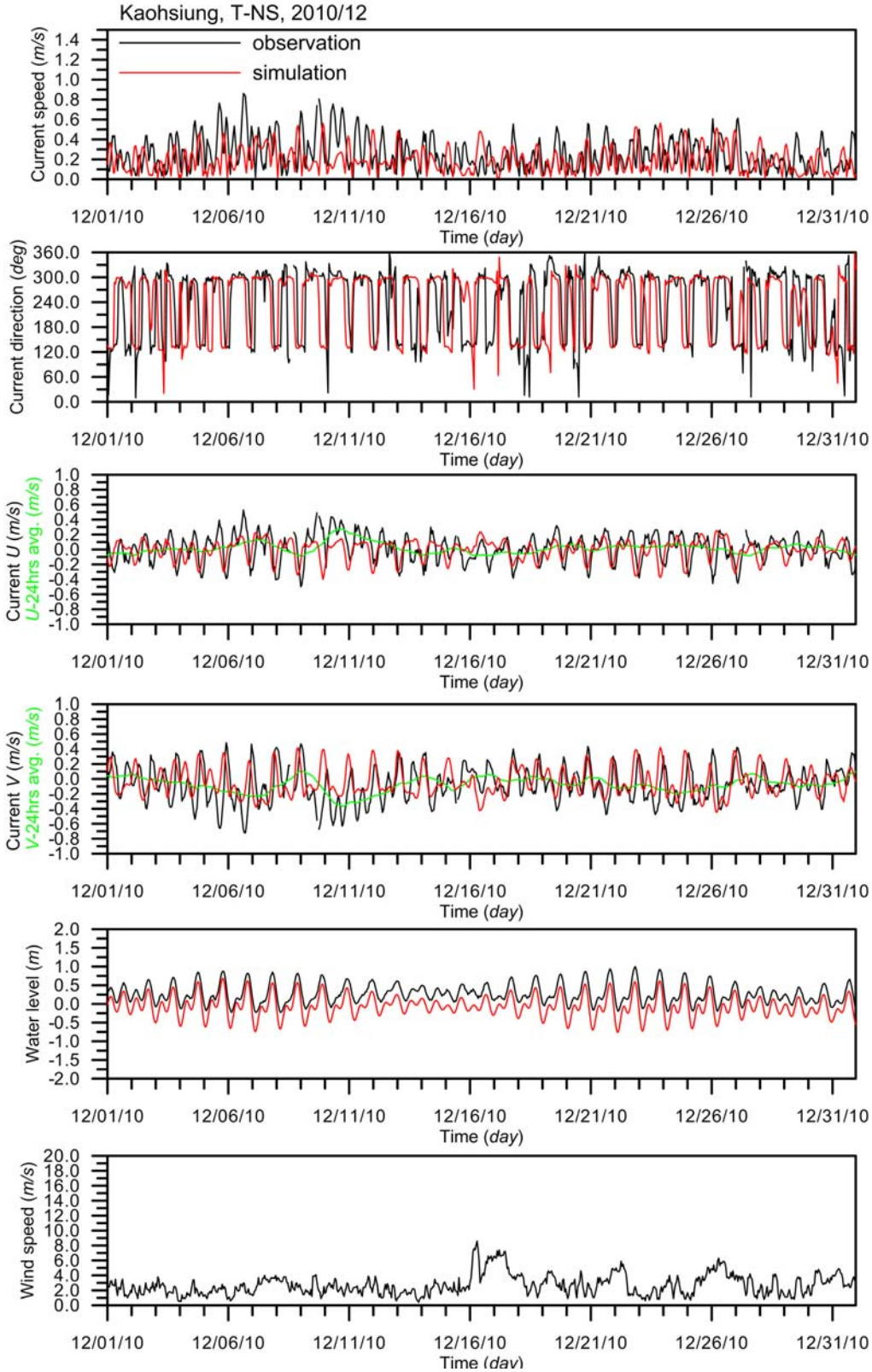


圖 5-5(續) 高雄港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 12 月份)

表 5-2 高雄港潮汐水位調和分析參數表

分潮名稱	Freq	Amp (m)	Phase (degree)
*M2	0.080511	0.1867	222.02
*K1	0.041781	0.1794	286.61
*SA	0.000114	0.1674	259.02
*O1	0.038731	0.1648	240.32
*S2	0.083333	0.0705	232.47
*SSA	0.000228	0.0659	79.18
*P1	0.041553	0.0578	279.5
*N2	0.078999	0.0437	208.75
*Q1	0.037219	0.0329	217.08
*K2	0.083562	0.0186	232.85
MM	0.001512	0.0147	271.68
*NO1	0.040269	0.0103	254.47
MSF	0.002822	0.0094	335.37
*J1	0.043293	0.009	290.04
MF	0.00305	0.0078	324.25
*T2	0.083219	0.0078	212.43
MSM	0.00131	0.0071	187.97
*RHO1	0.037421	0.0071	205.88
*NU2	0.079202	0.0066	212.71
*MU2	0.07769	0.0063	151.75
*2N2	0.077487	0.006	195.08
*H2	0.080626	0.006	196.34
*GAM2	0.080309	0.0058	336.11
*PSI1	0.041895	0.0056	236.43
*H1	0.080397	0.0055	283.65

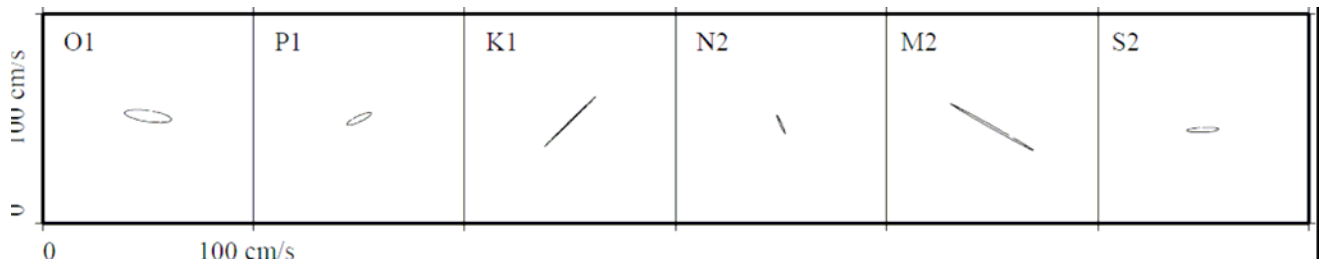


圖 5-6 高雄港潮流橢圓圖

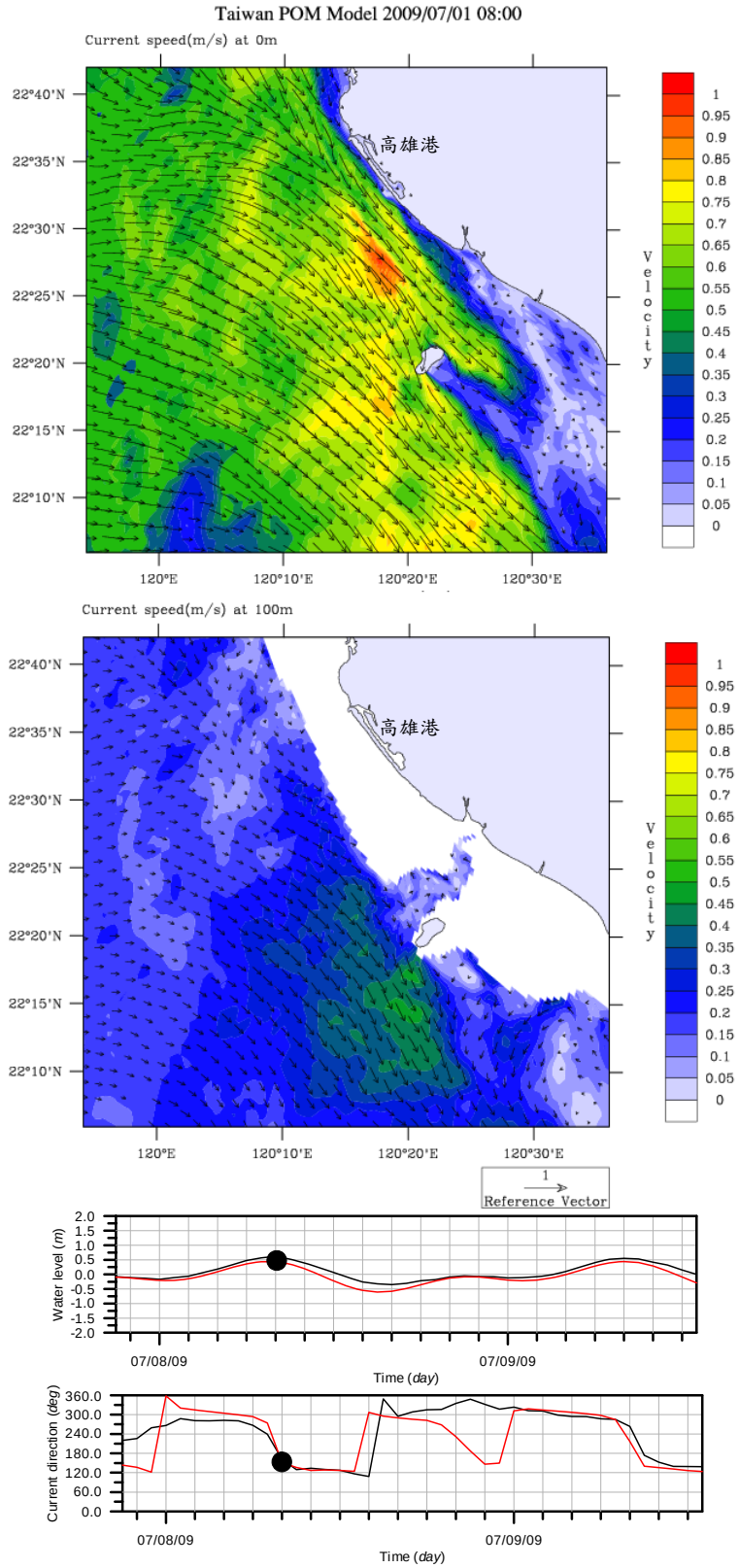


圖 5-7 高雄港海域海流分佈圖(紅線為模式值，黑線為實測值，黑點為時刻為 2009/07/08 08:00)

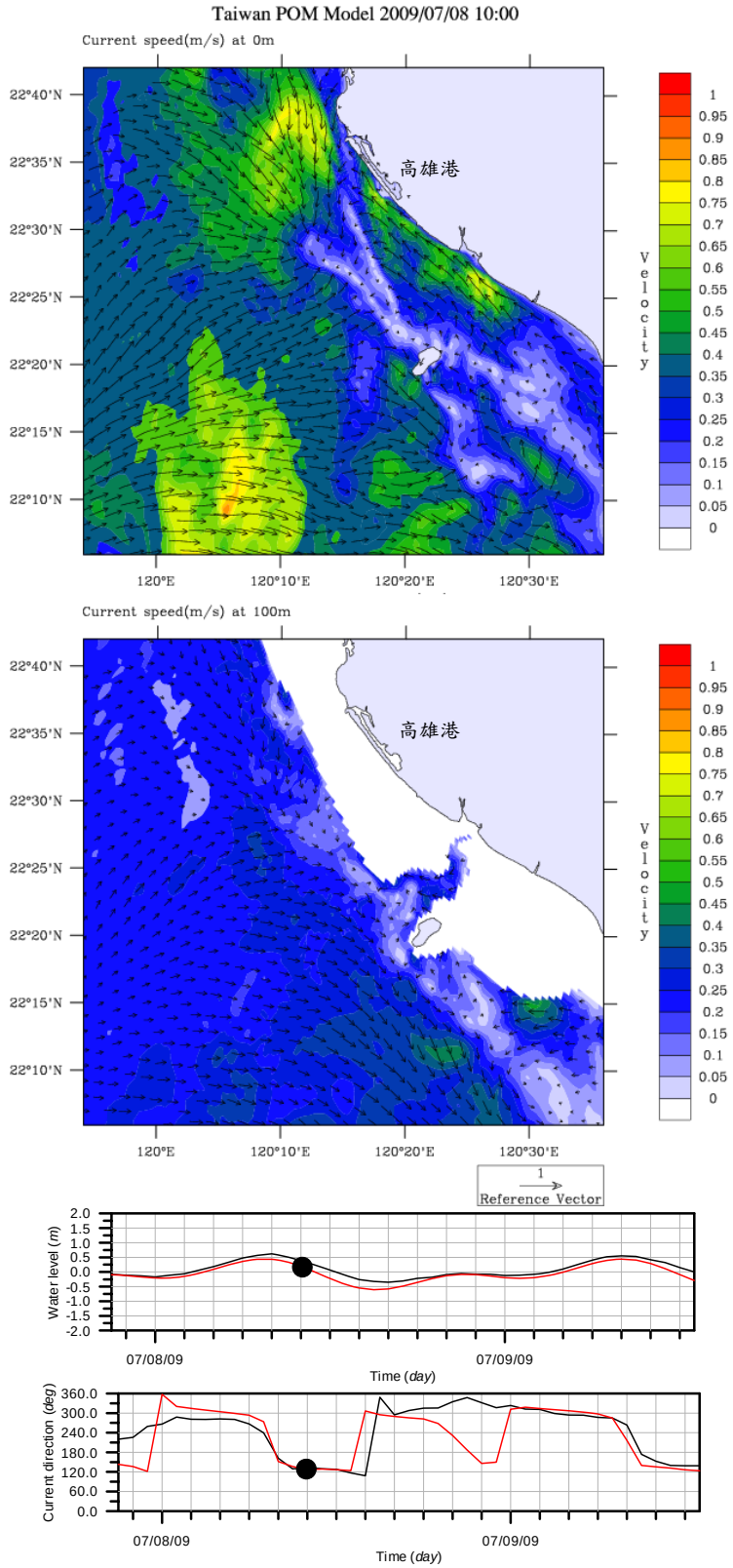


圖 5-7(續) 高雄港海域海流分佈圖(紅線為模式值，黑線為實測值，黑點為時刻為 2009/07/08 10:00)

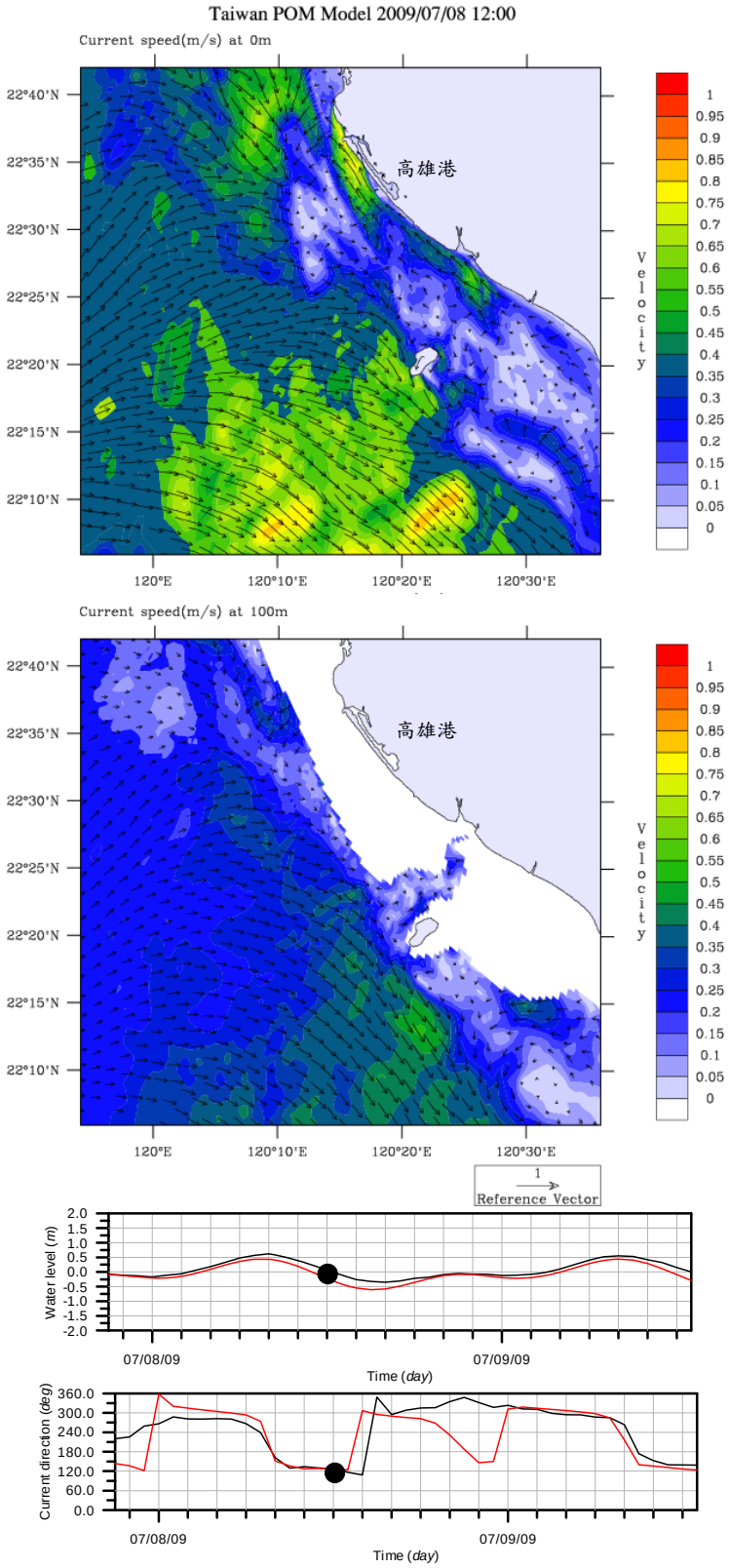


圖 5-7(續) 高雄港海域海流分佈圖(紅線為模式值，黑線為實測值，黑點為時刻為 2009/07/08 12:00)

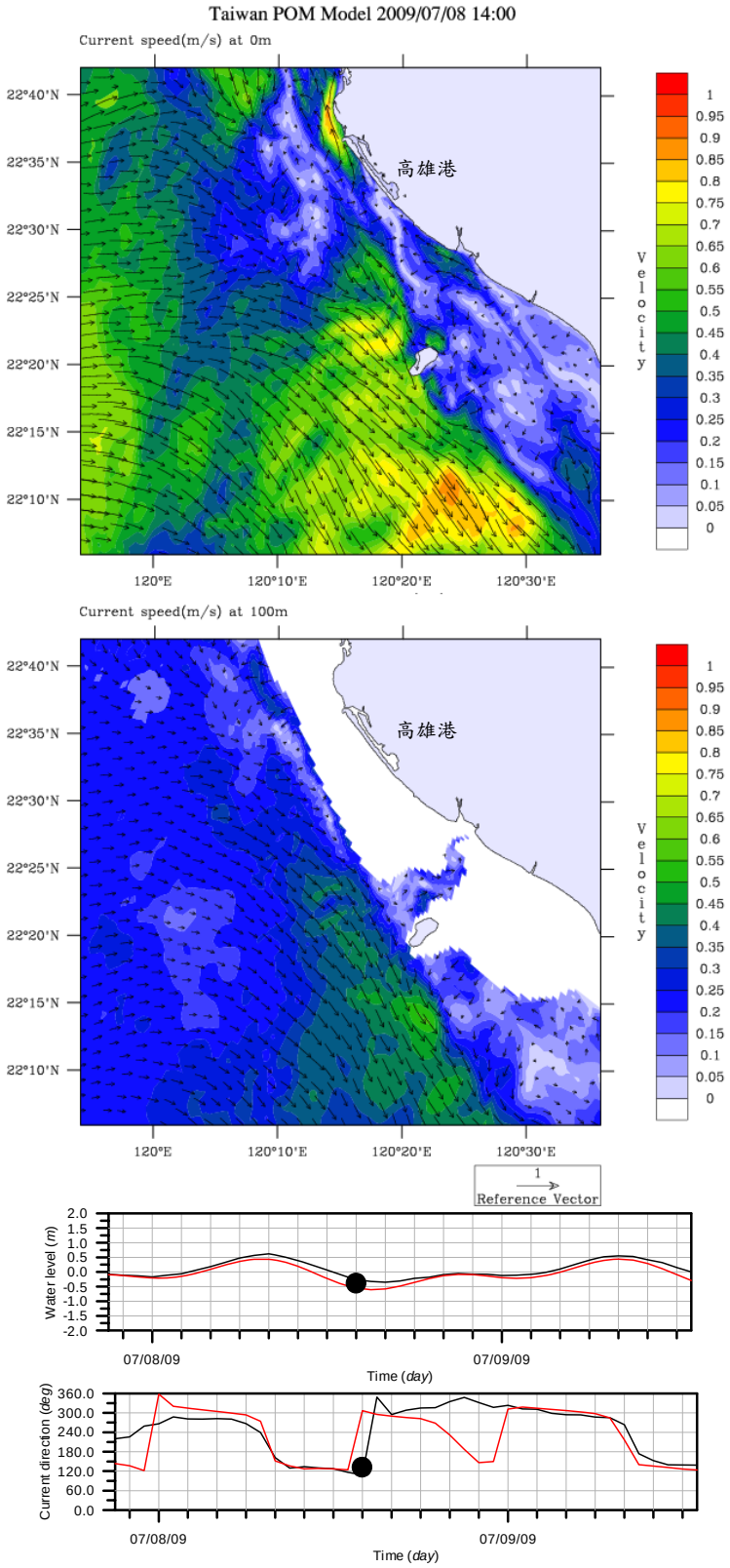


圖 5-7(續) 高雄港海域海流分佈圖(紅線為模式值，黑線為實測值，黑點為時刻為 2009/07/08 14:00)

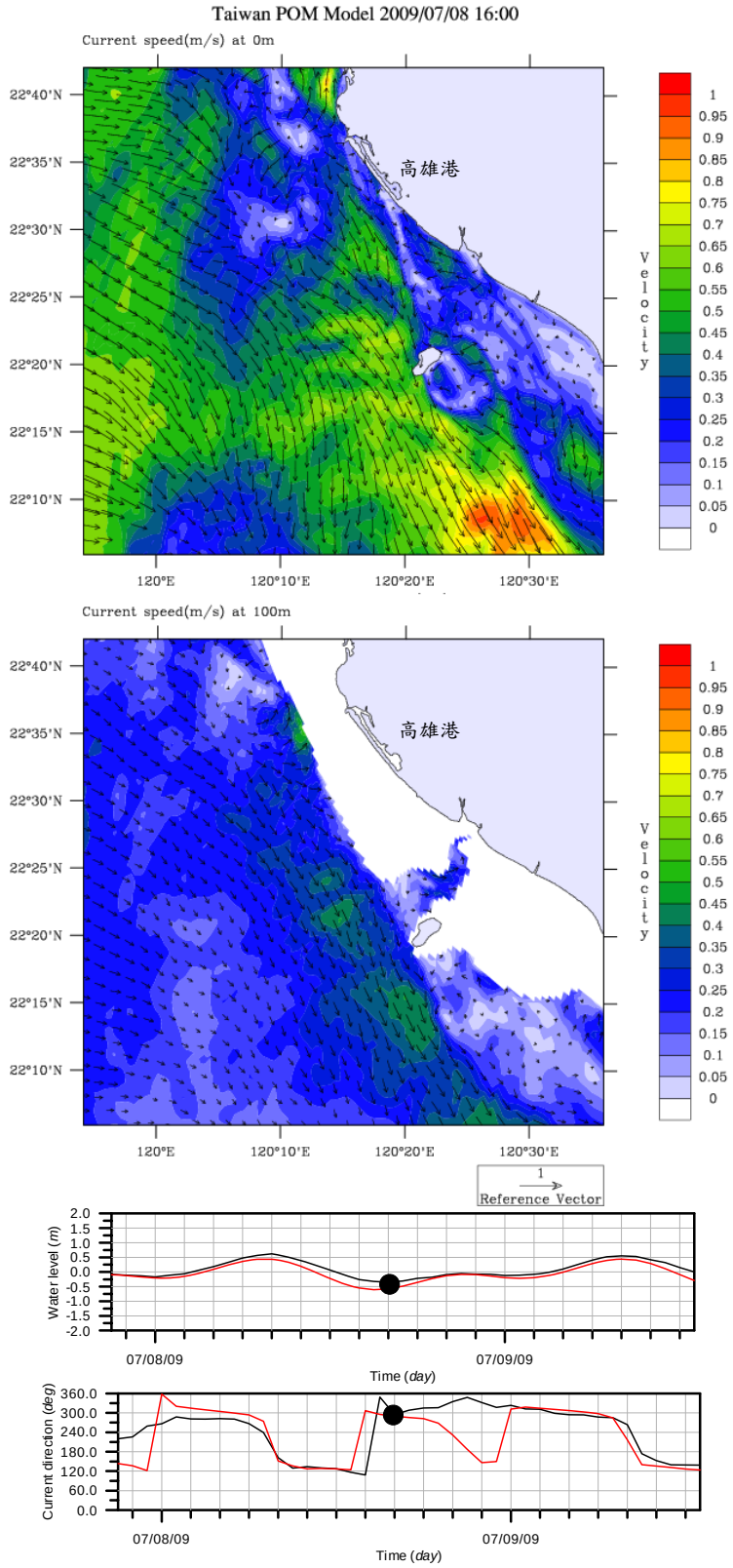


圖 5-7(續) 高雄港海域海流分佈圖(紅線為模式值，黑線為實測值，黑點為時刻為 2009/07/08 16:00)

5.2 臺灣北部海域(基隆港、臺北港)

圖 5-8 與圖 5-9 分別為基隆港之觀測與 T-N 模式模擬結果於 2009 年與 2010 年各月份之海流、潮位與風速比較圖，由圖中可知，流速大小尺度接近，大小潮時段流速變化之趨勢一致，且流向亦具有合理性。對照基隆港之東西、南北分量流速關係圖中，東西分量之流速大於南北分量，顯示基隆港港外海流流動方向與岸線走向一致，由表 5-3 基隆港調和分析常數表中，$(K_1+O_1)/M_2=1.46$顯示基隆港為混合潮型，與臺灣西南岸之安平港潮型約為一致。由圖中實測與模擬結果具有合理一致性表示基隆港海域海流特性可透過高解析度近岸海域(T-N)合理的模擬，亦解決臺灣海域(T3)格網無法合理模擬海流方向之缺點，其顯示基隆港港外海流可能明顯受到外廓防波堤或近岸局部地形之影響，導致其流向明顯為東北-西南向。而圖 5-10 為基隆港海域潮流橢圓圖，其中顯示M_2分潮走向約與東北部海岸線走向一致，其餘分潮分潮走向偏東西向。

圖 5-11 與圖 5-12 分別為臺北港之觀測與 T-N 模式模擬結果於 2009 年與 2010 年各月份之海流、潮位與風速比較圖，由圖中可看出臺北港海流變化具有明顯規則性甚少有不規則變化現象，其漲潮流向西南退潮向東北，且東西分量略大於南北分量流速。由實測值與模式結果看來，兩者不論流速尺度大小與流向皆具合理一致，由於臺北港在本計畫內尚無收集到潮位資料，故無法進行調和常數分析，不過對照基隆港潮位資料看來，此處海域應為混合潮型，其亦表示臺灣北部海域潮型應為一致，且此處海域之洋流成分偏低，皆以潮流為主要成分。

圖 5-14 分別為基隆港與臺北港之表面海流分布圖，圖中起始時間為 2009/07/01 08:00，各圖時間間距為 2 小時，圖中為漲潮轉退潮段之海流分布狀況，由圖中可明顯看出，退潮時段基隆港外海受到野柳龜頭山阻擋退潮海流，在萬里一帶海域形成依順時針渦流，而基隆港港外位於渦流邊緣恰好與外海東南退潮流向相反，呈西南走向，此外於海岸突出之基隆嶼亦形成此處海流偏東北-西南走向之主要原因。

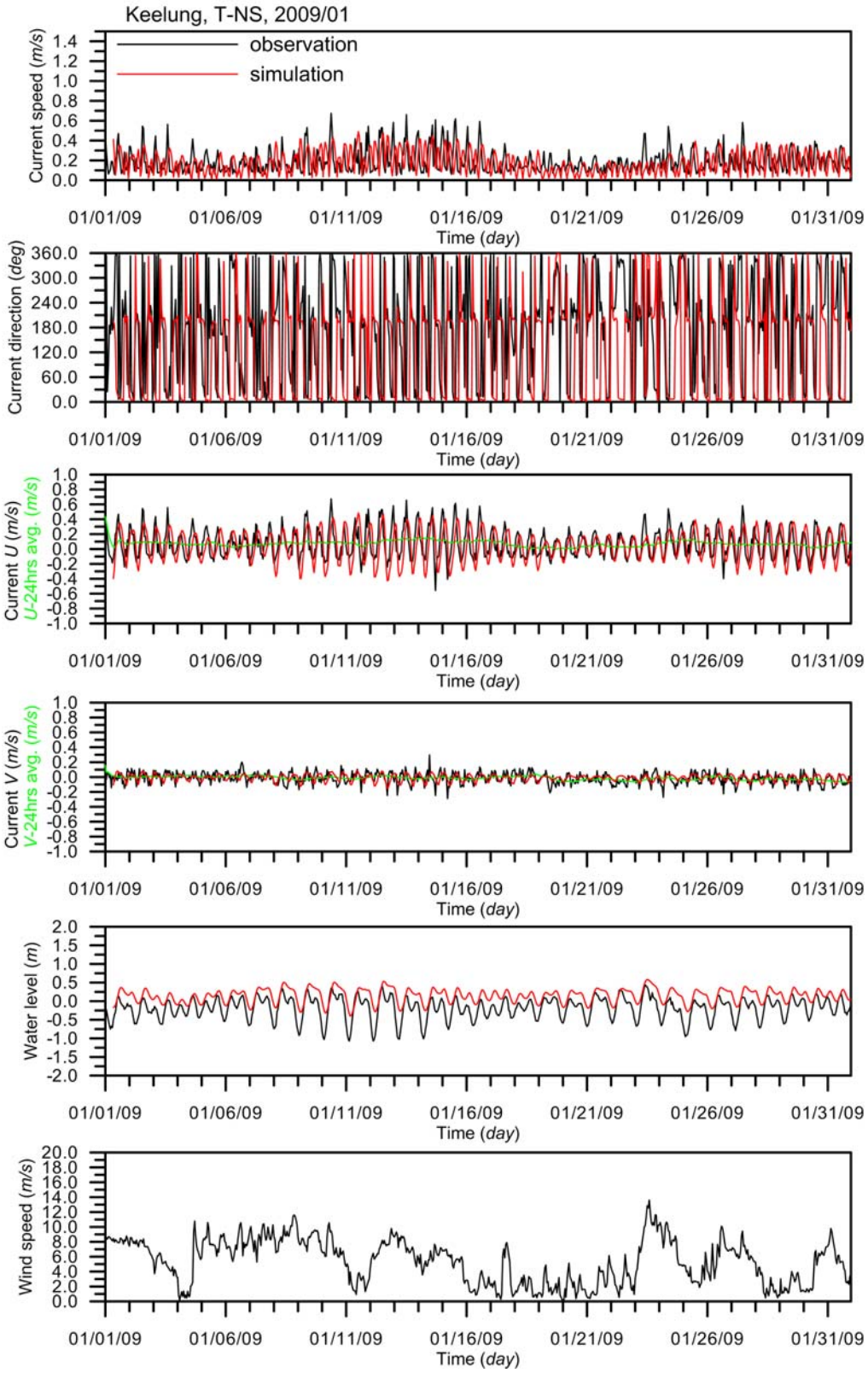


圖 5-8 基隆港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 1 月份)

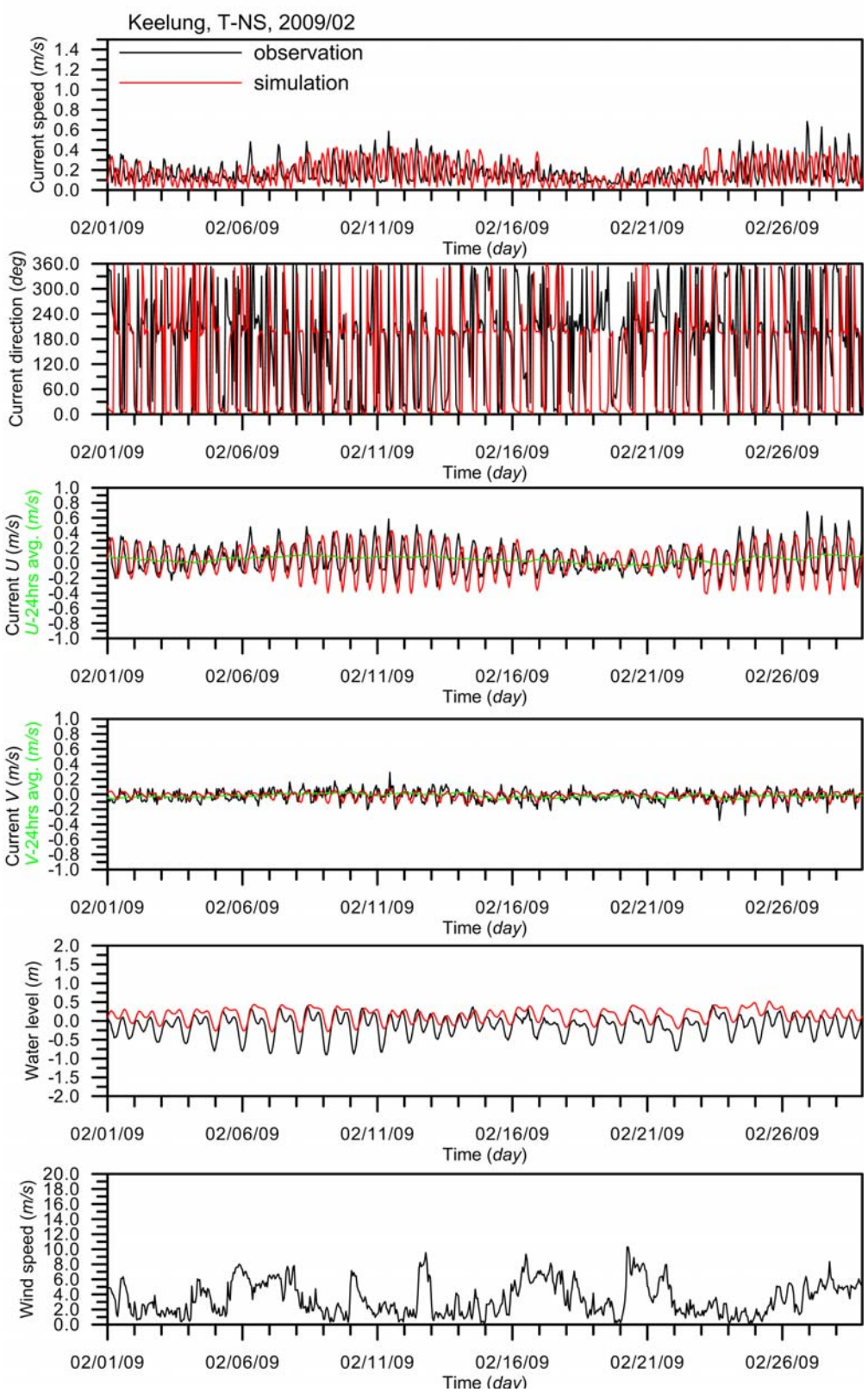


圖 5-8(續) 基隆港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 2 月份)

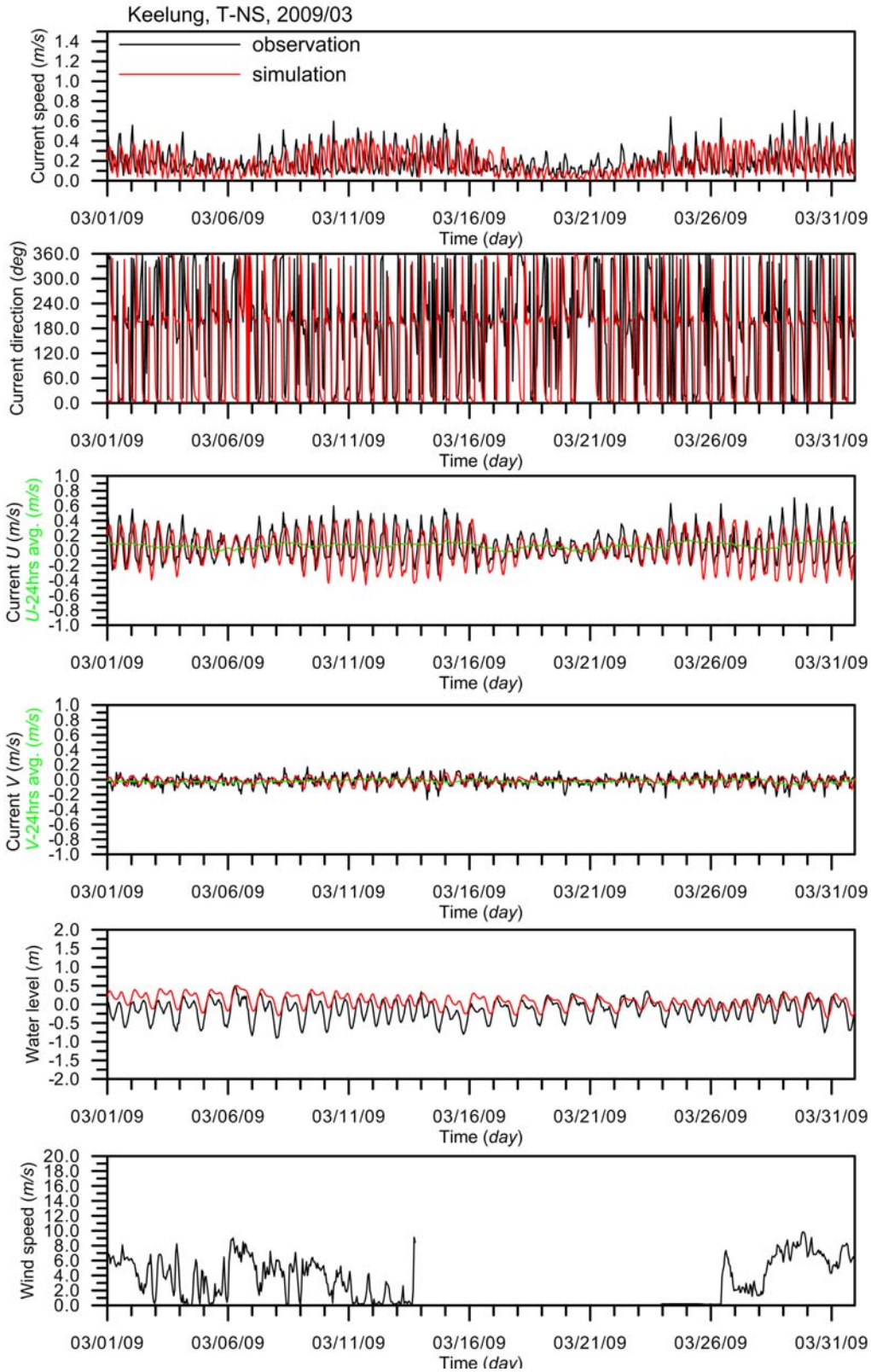


圖 5-8(續) 基隆港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 3 月份)

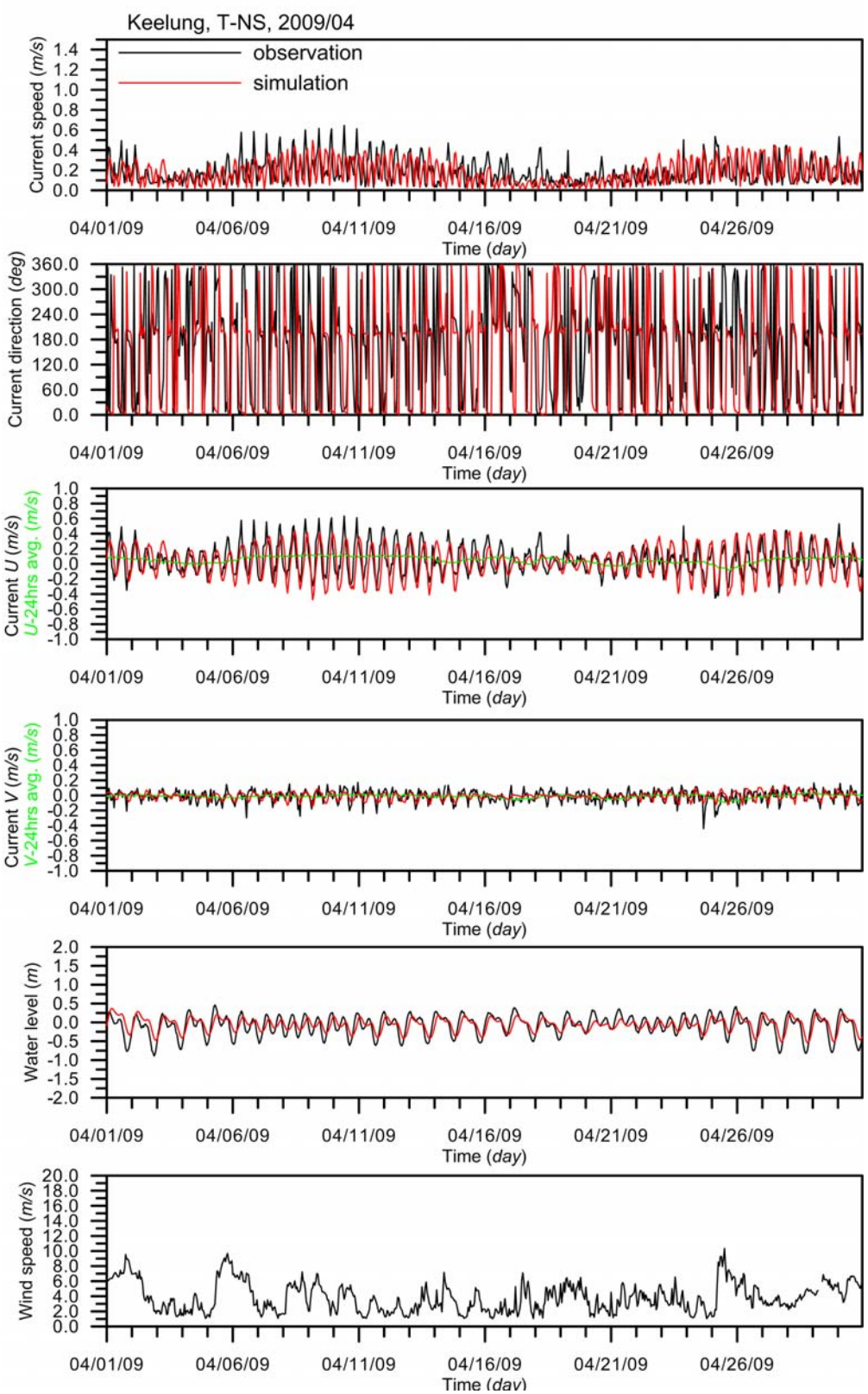


圖 5-8(續) 基隆港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 4 月份)

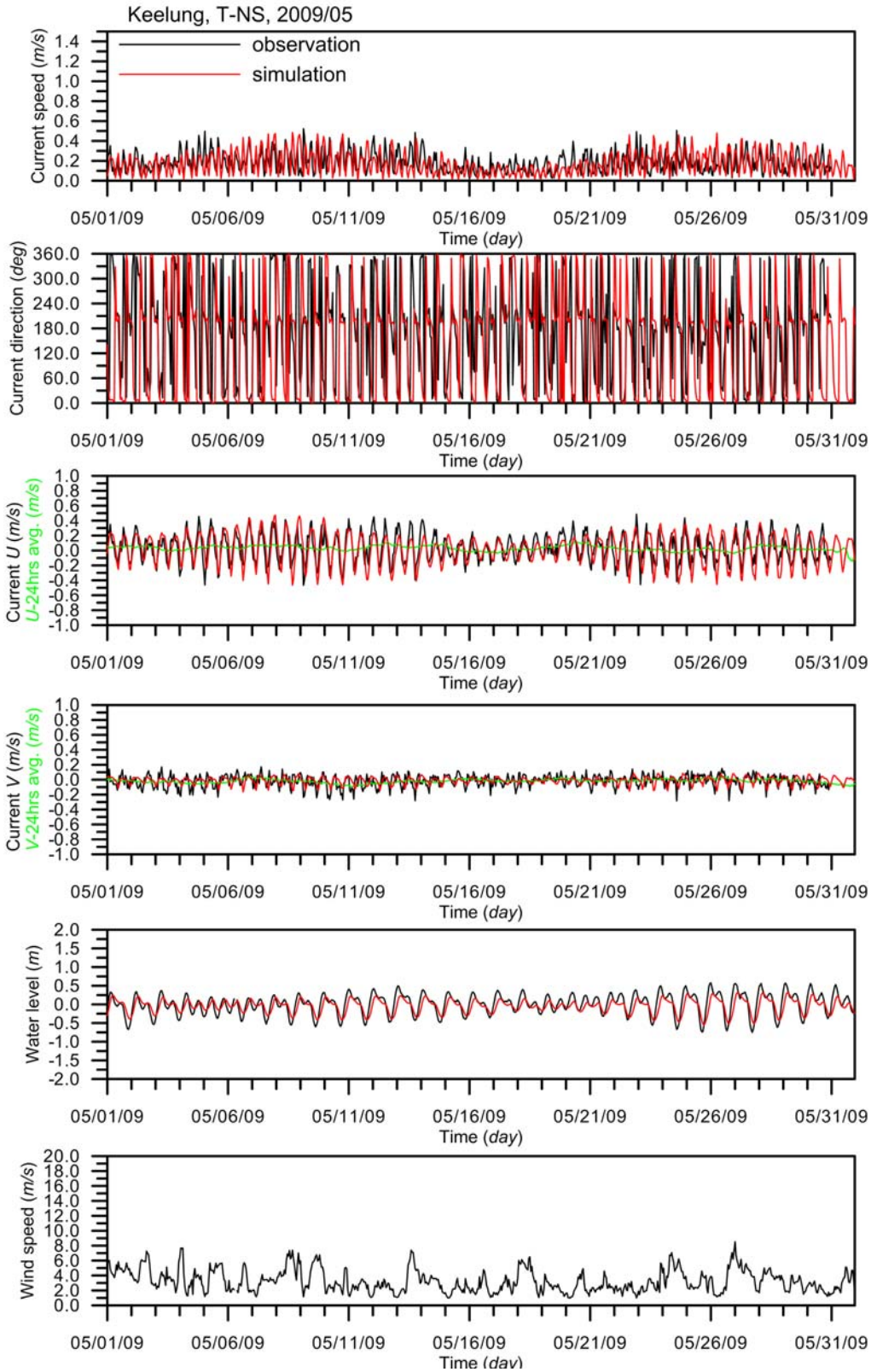


圖 5-8(續) 基隆港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 2 月份)

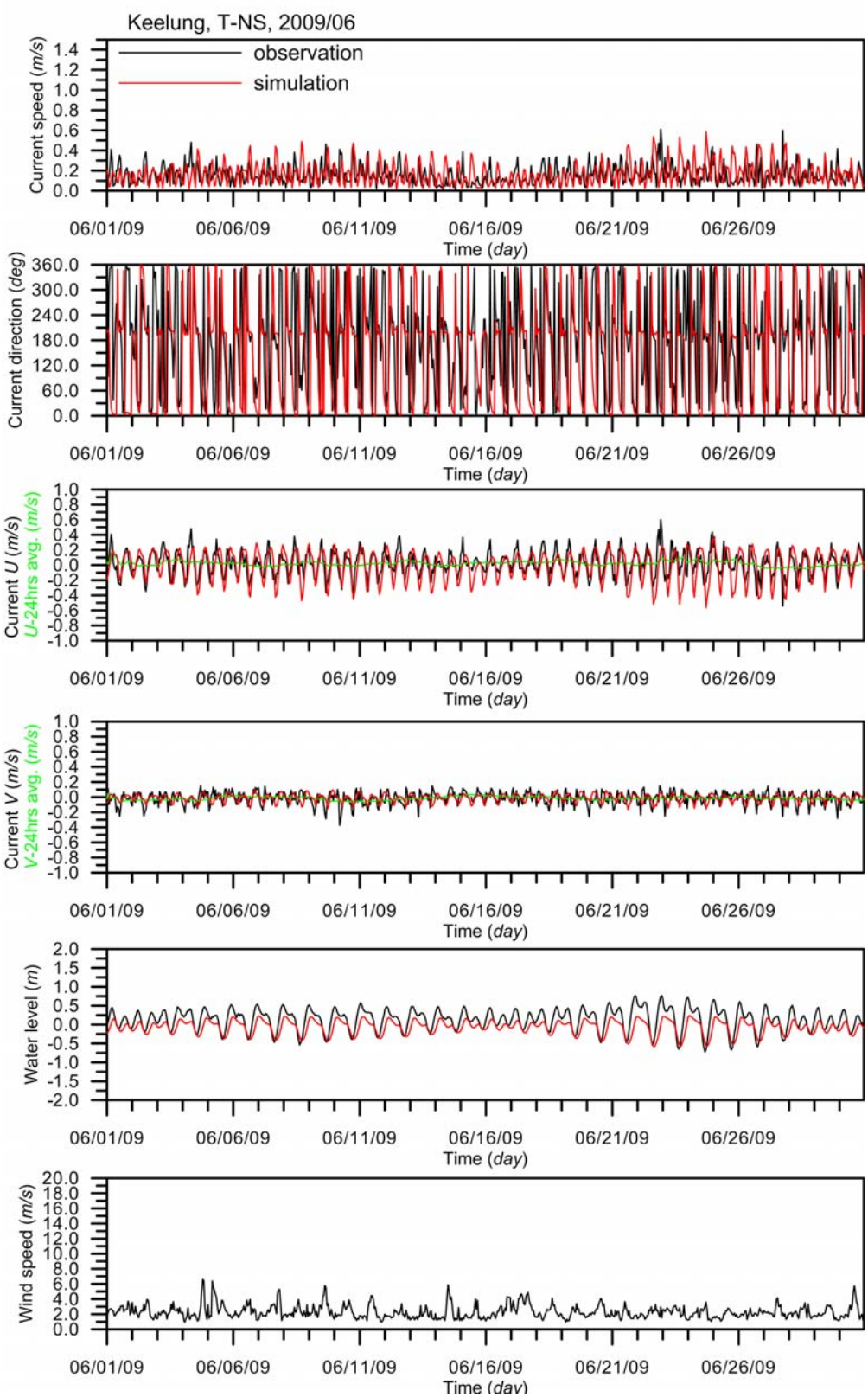


圖 5-8(續) 基隆港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 6 月份)

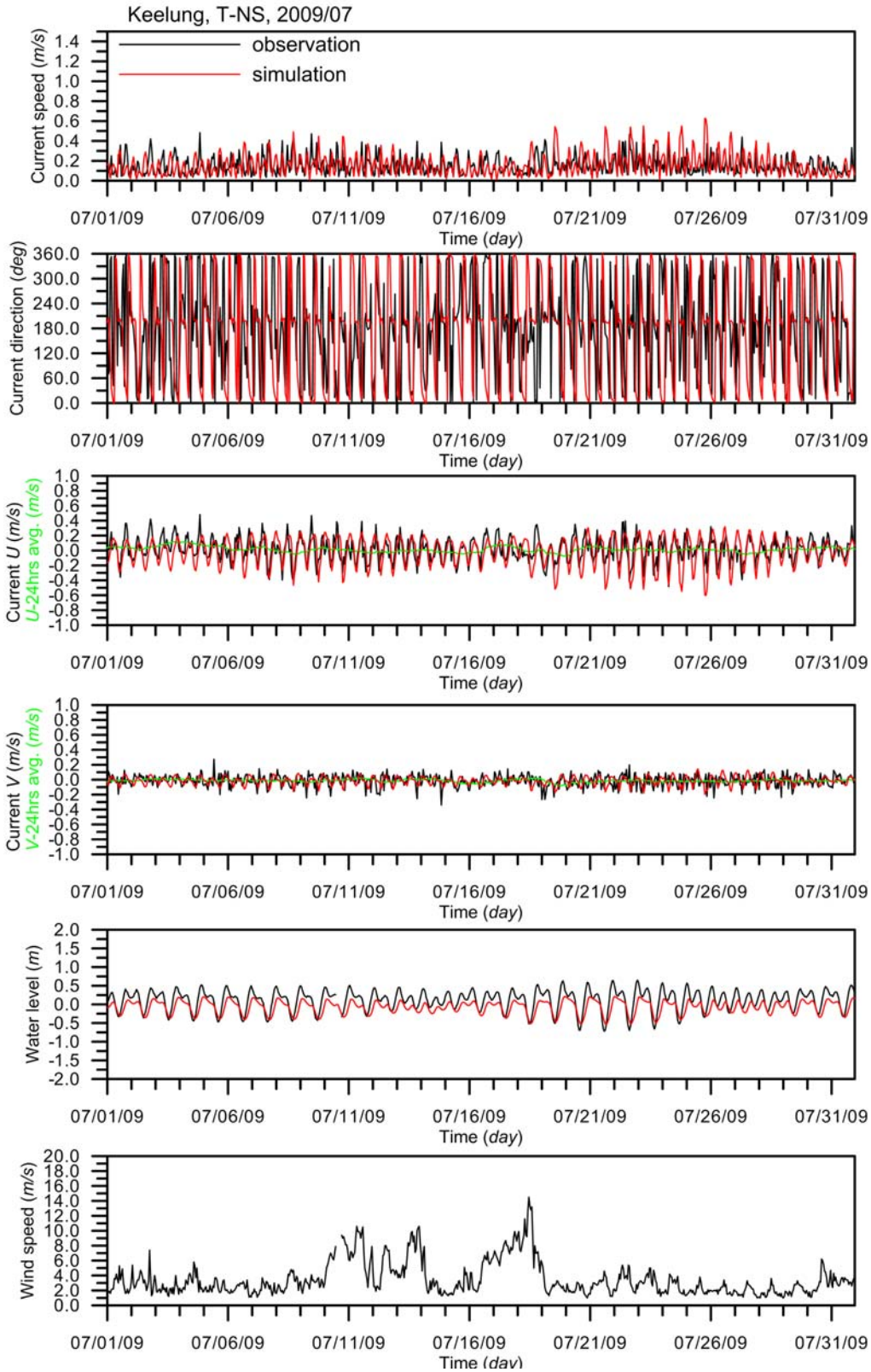


圖 5-8(續) 基隆港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 7 月份)

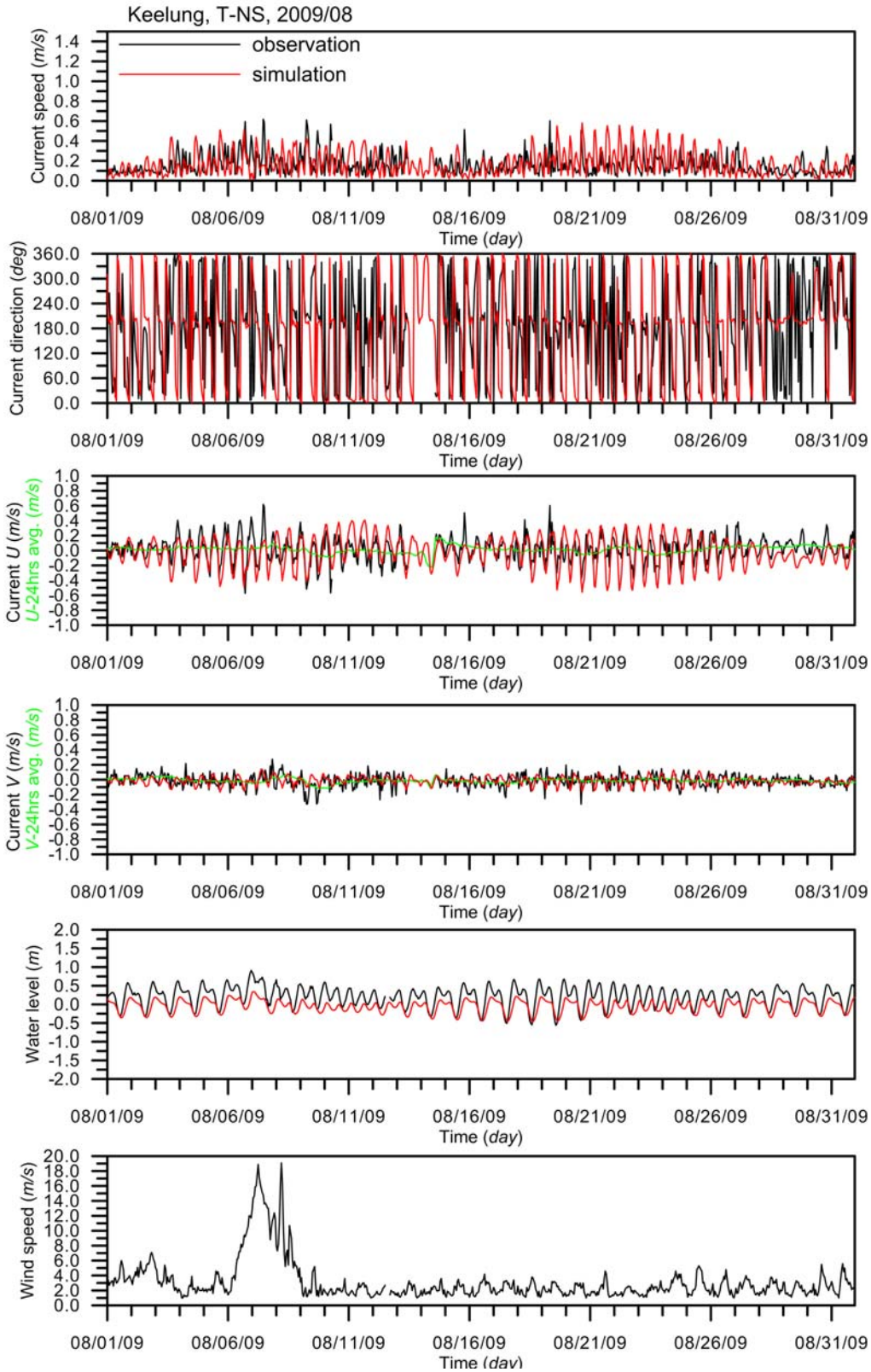


圖 5-8(續) 基隆港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 8 月份)

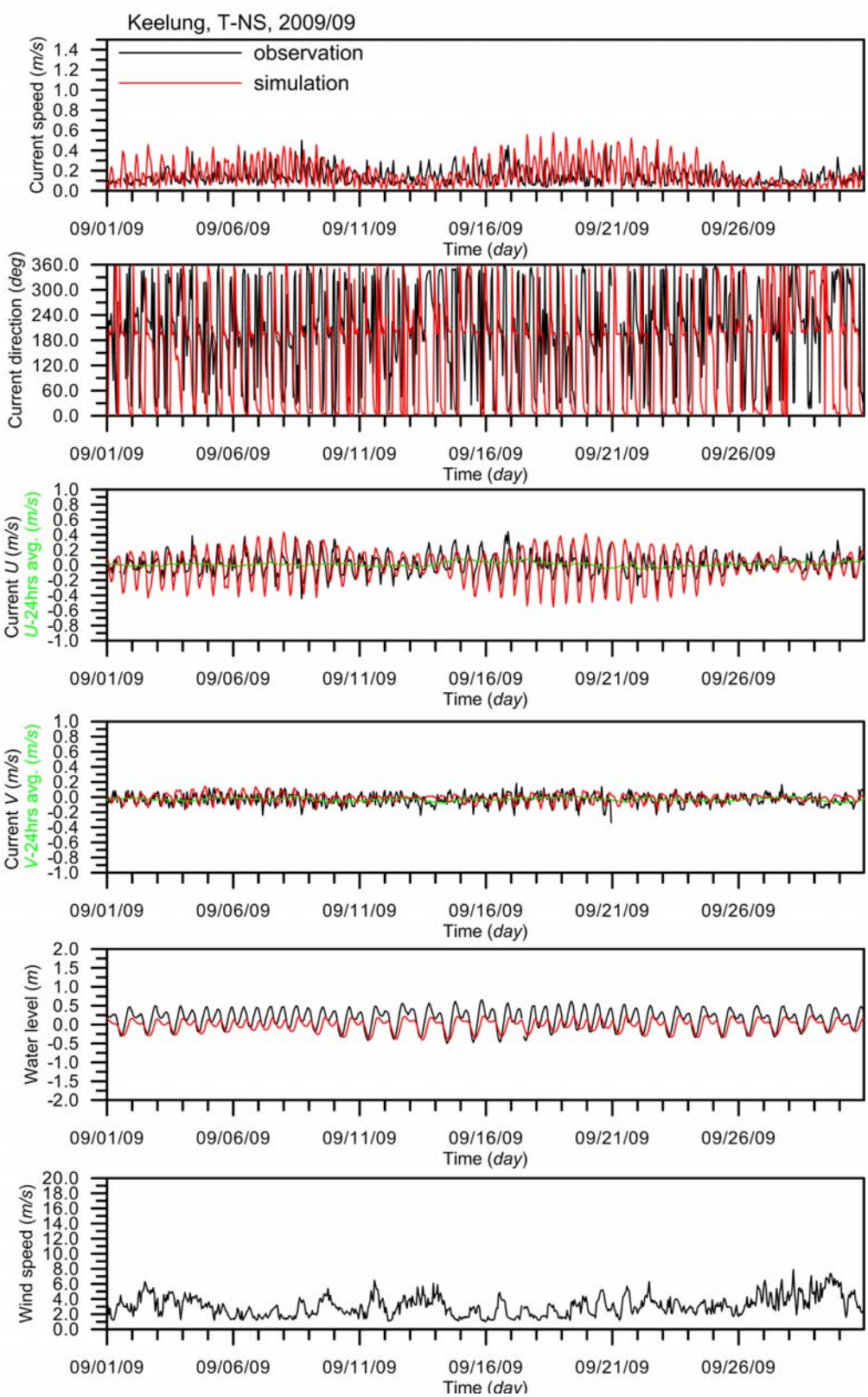


圖 5-8(續) 基隆港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 9 月份)

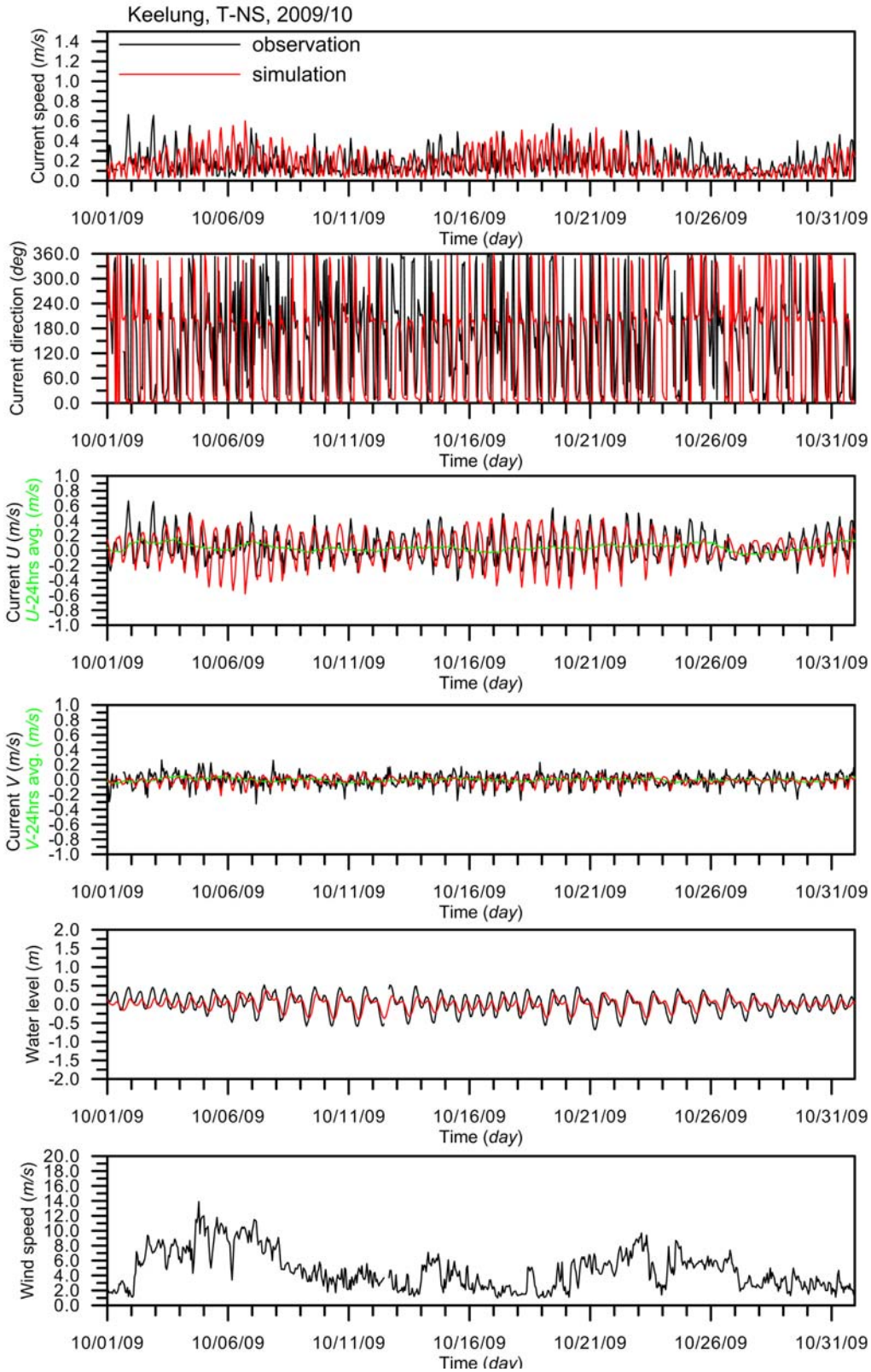


圖 5-8(續) 基隆港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 10 月份)

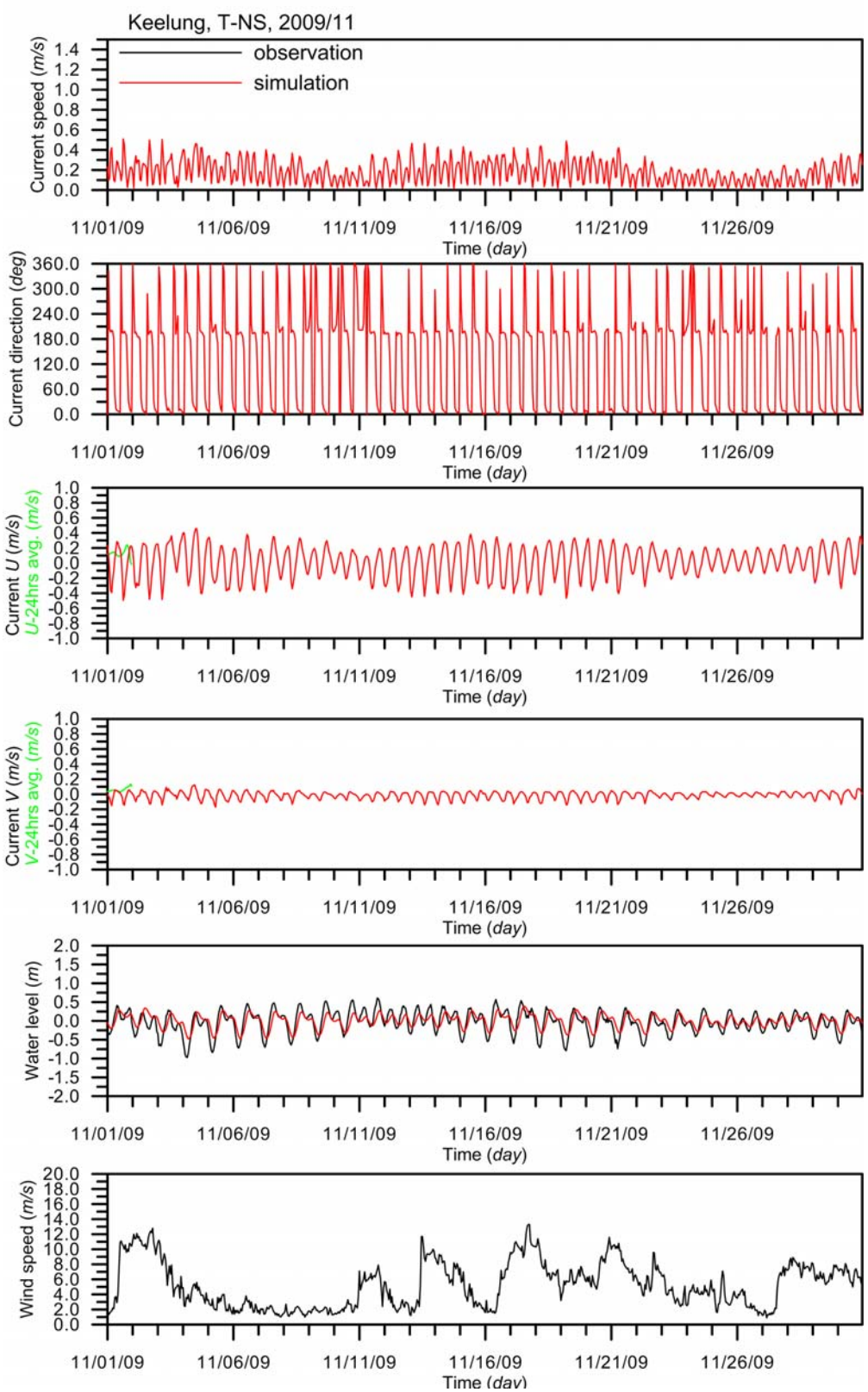


圖 5-8(續) 基隆港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 11 月份)

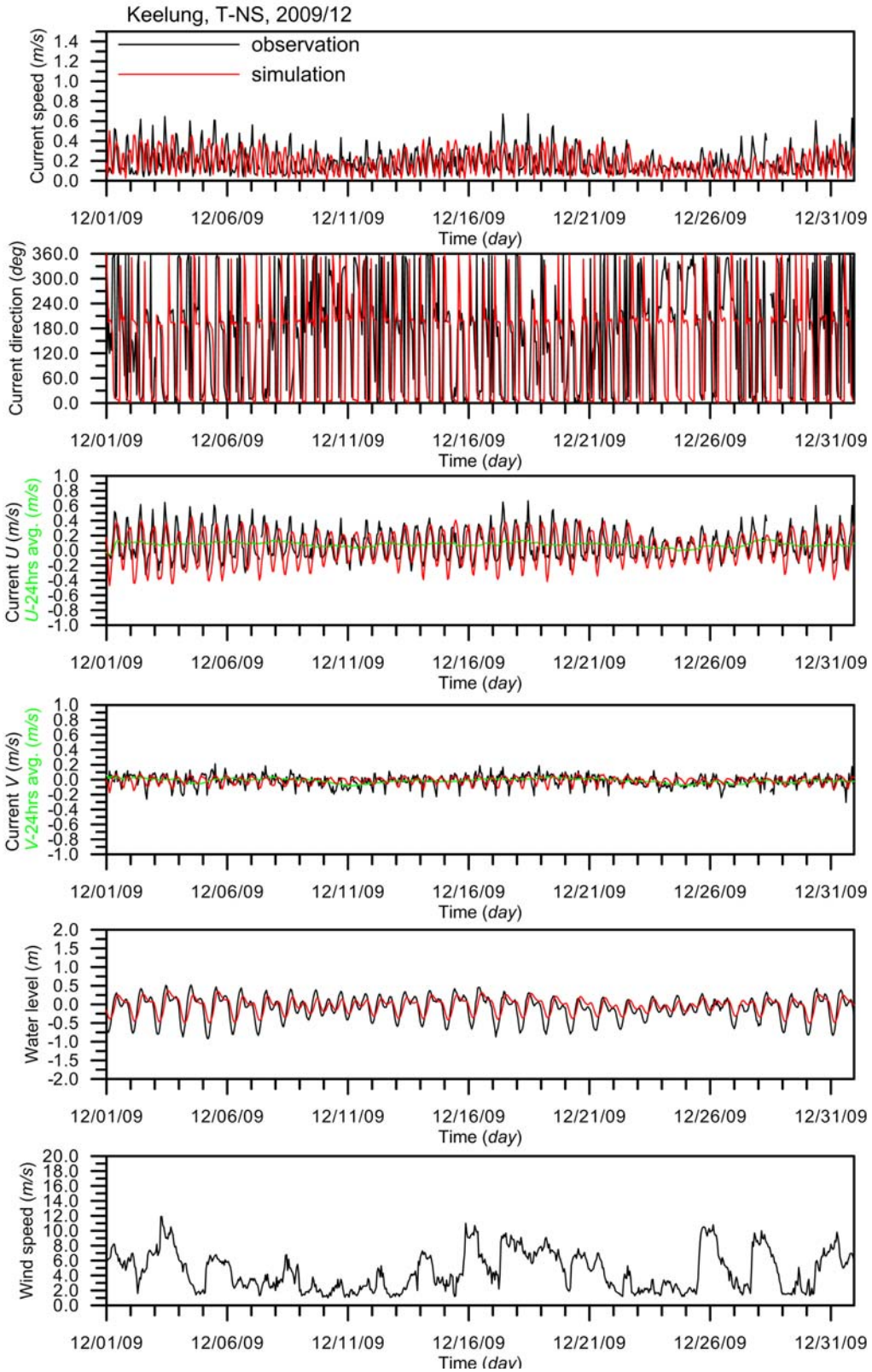


圖 5-8(續) 基隆港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 12 月份)

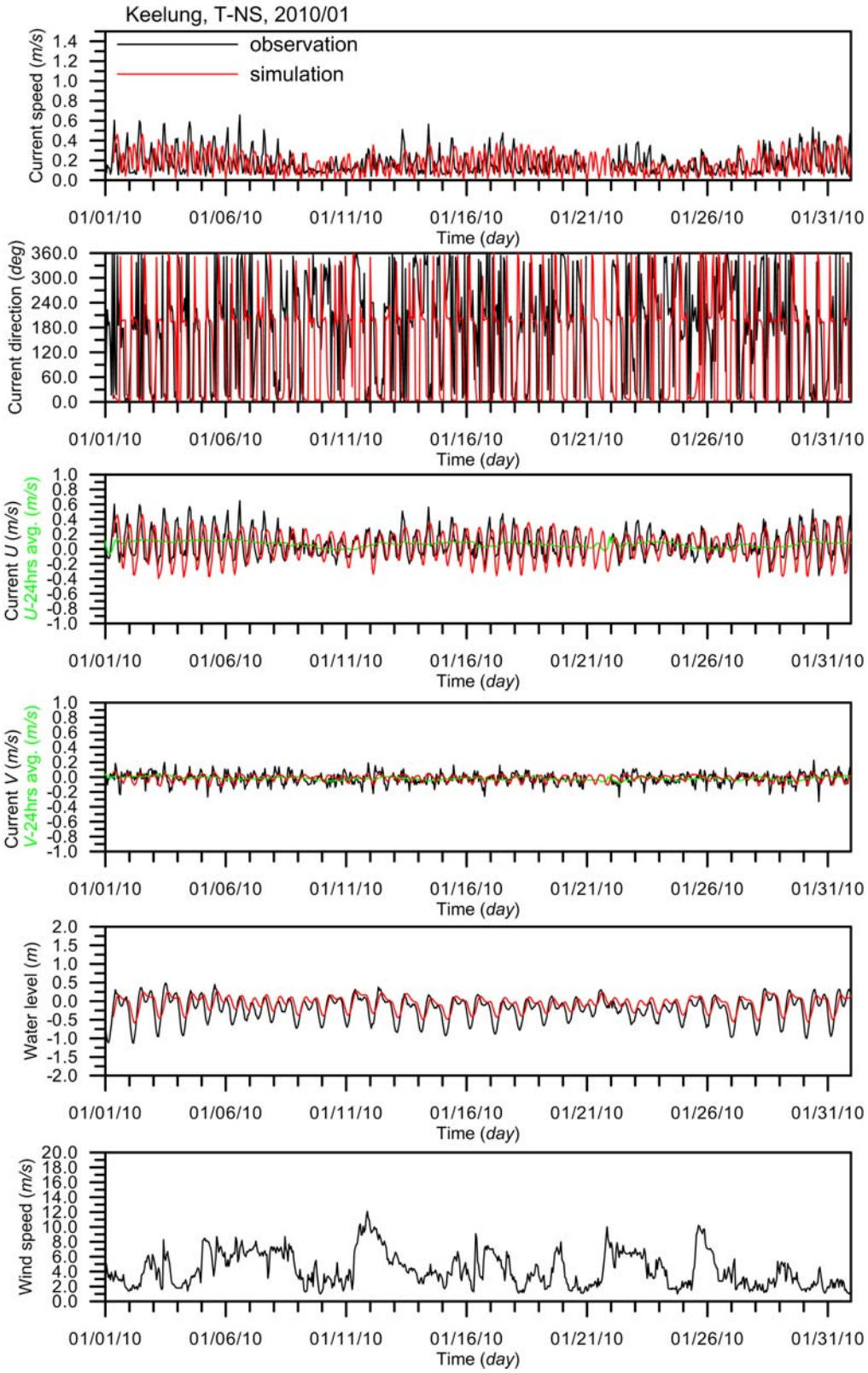


圖 5-9 基隆港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 1 月份)

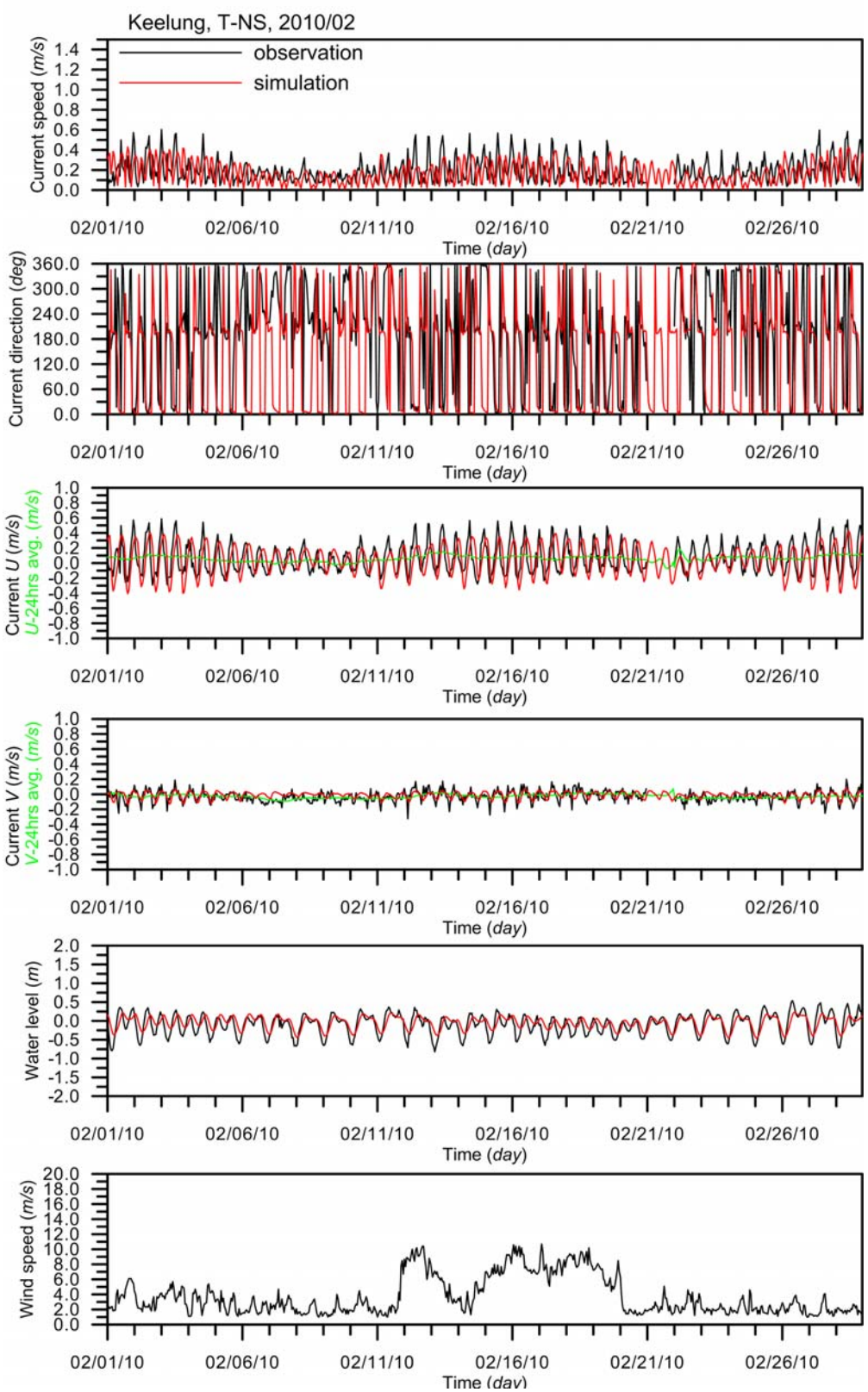


圖 5-9(續) 基隆港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 2 月份)

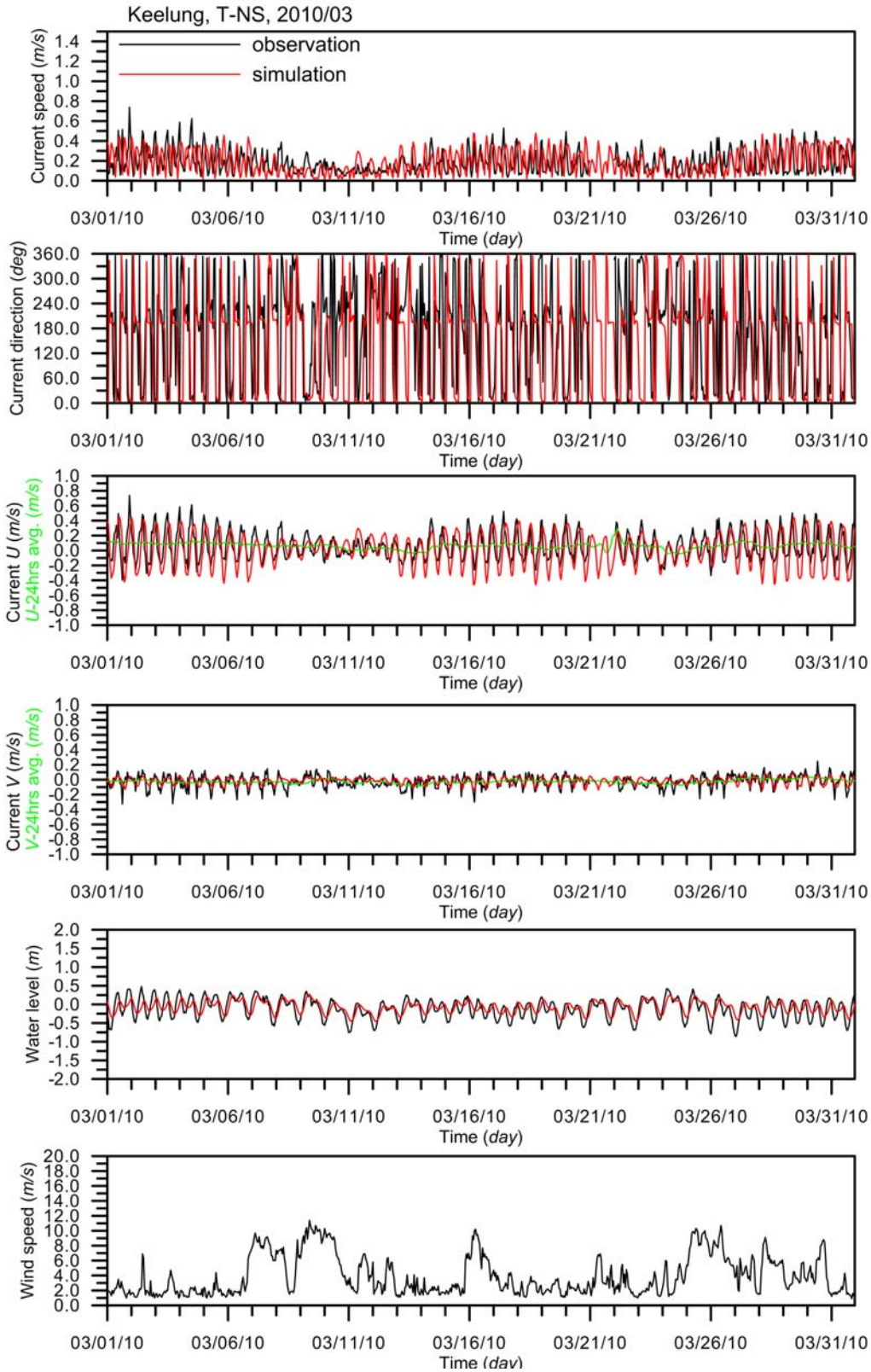


圖 5-9(續) 基隆港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 3 月份)

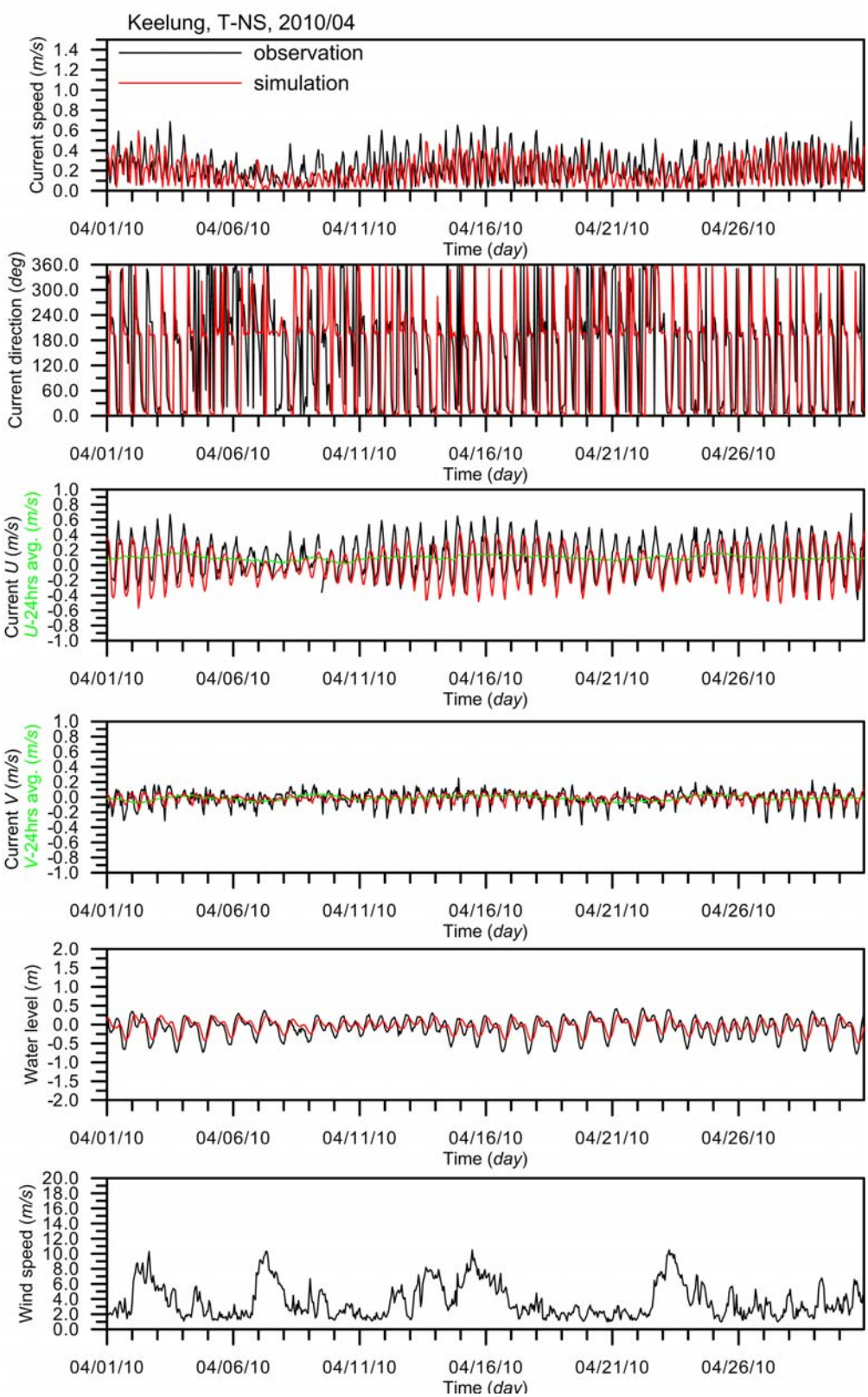


圖 5-9(續) 基隆港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 4 月份)

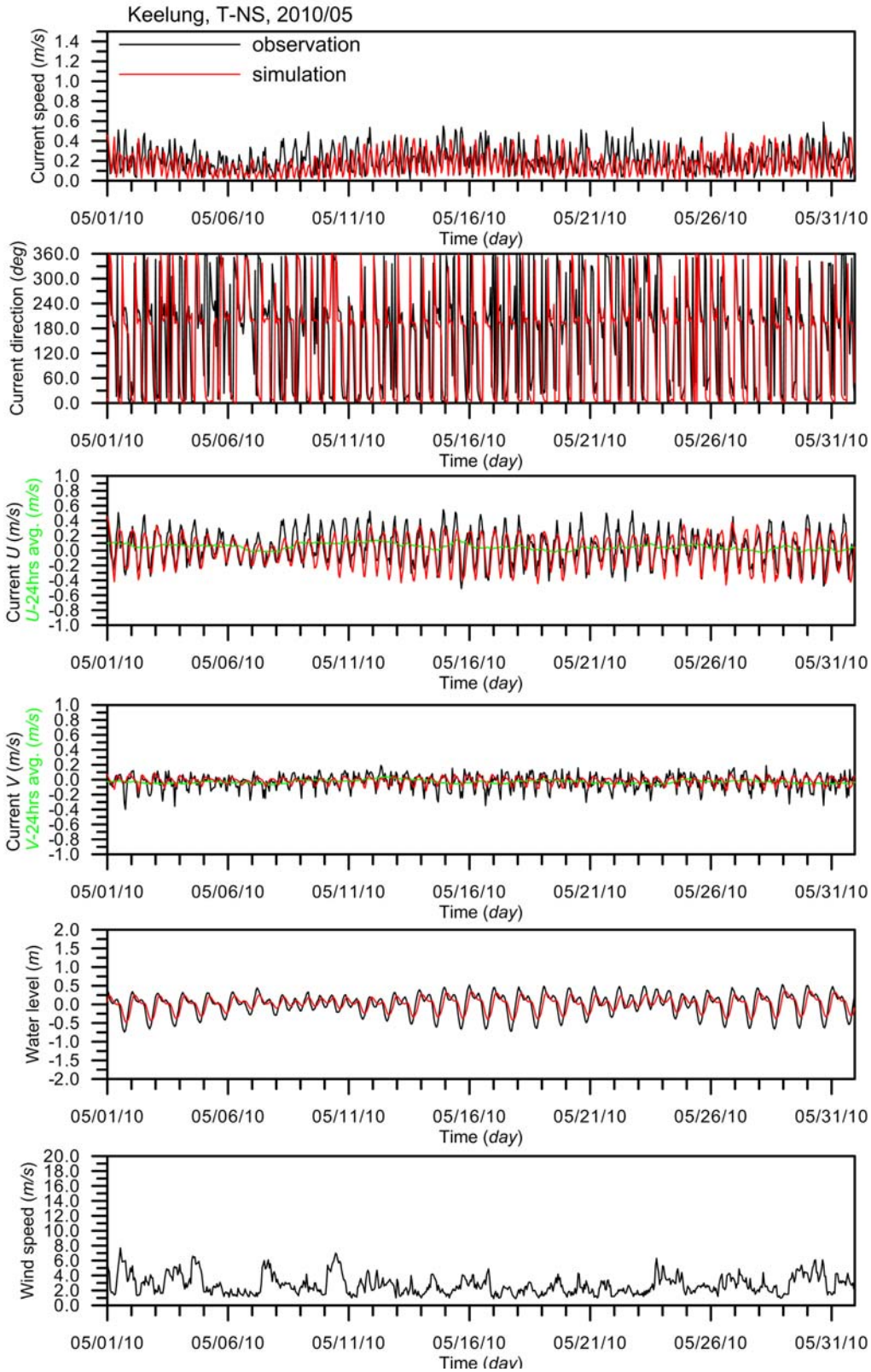


圖 5-9(續) 基隆港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 5 月份)

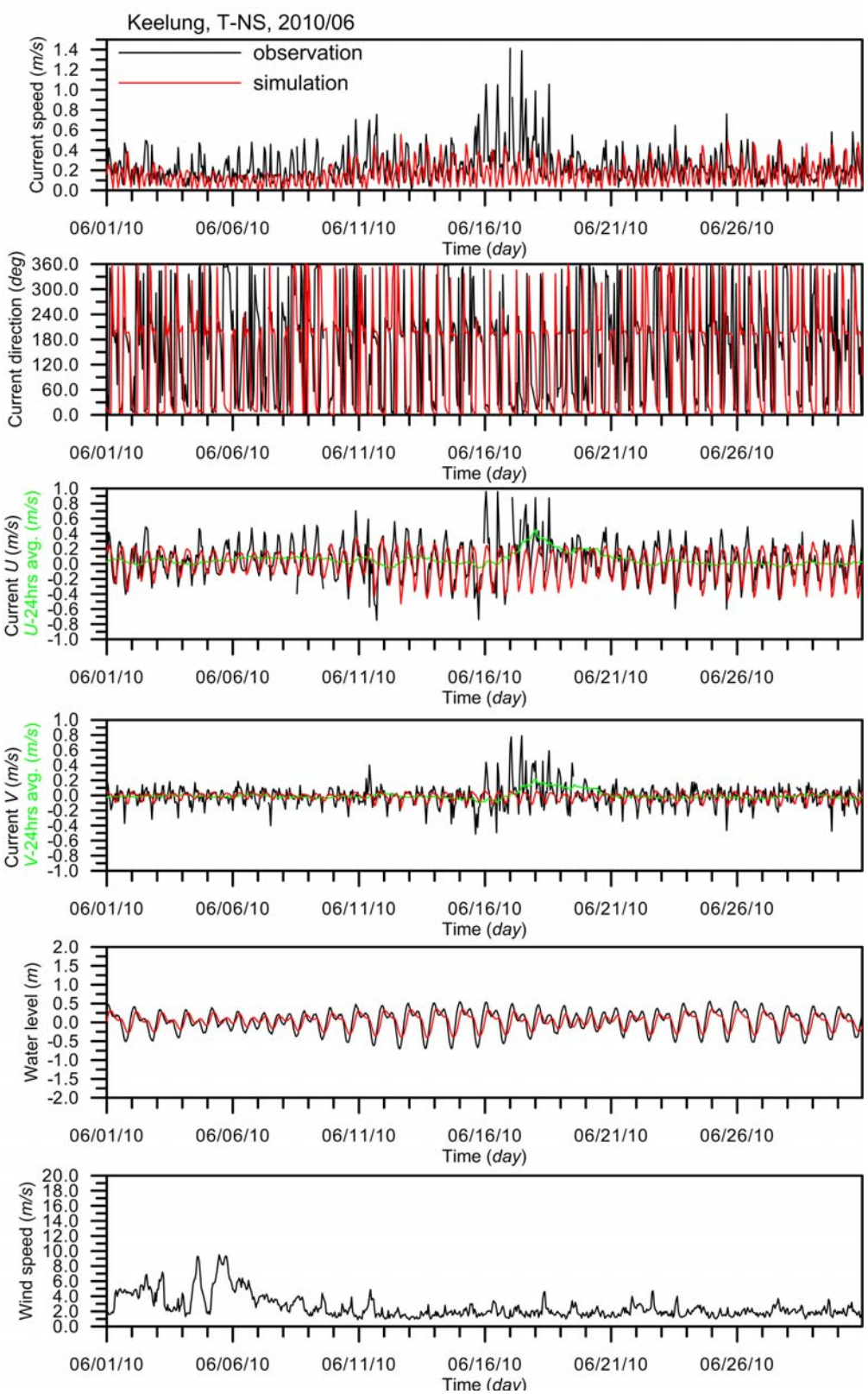


圖 5-9(續) 基隆港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 6 月份)

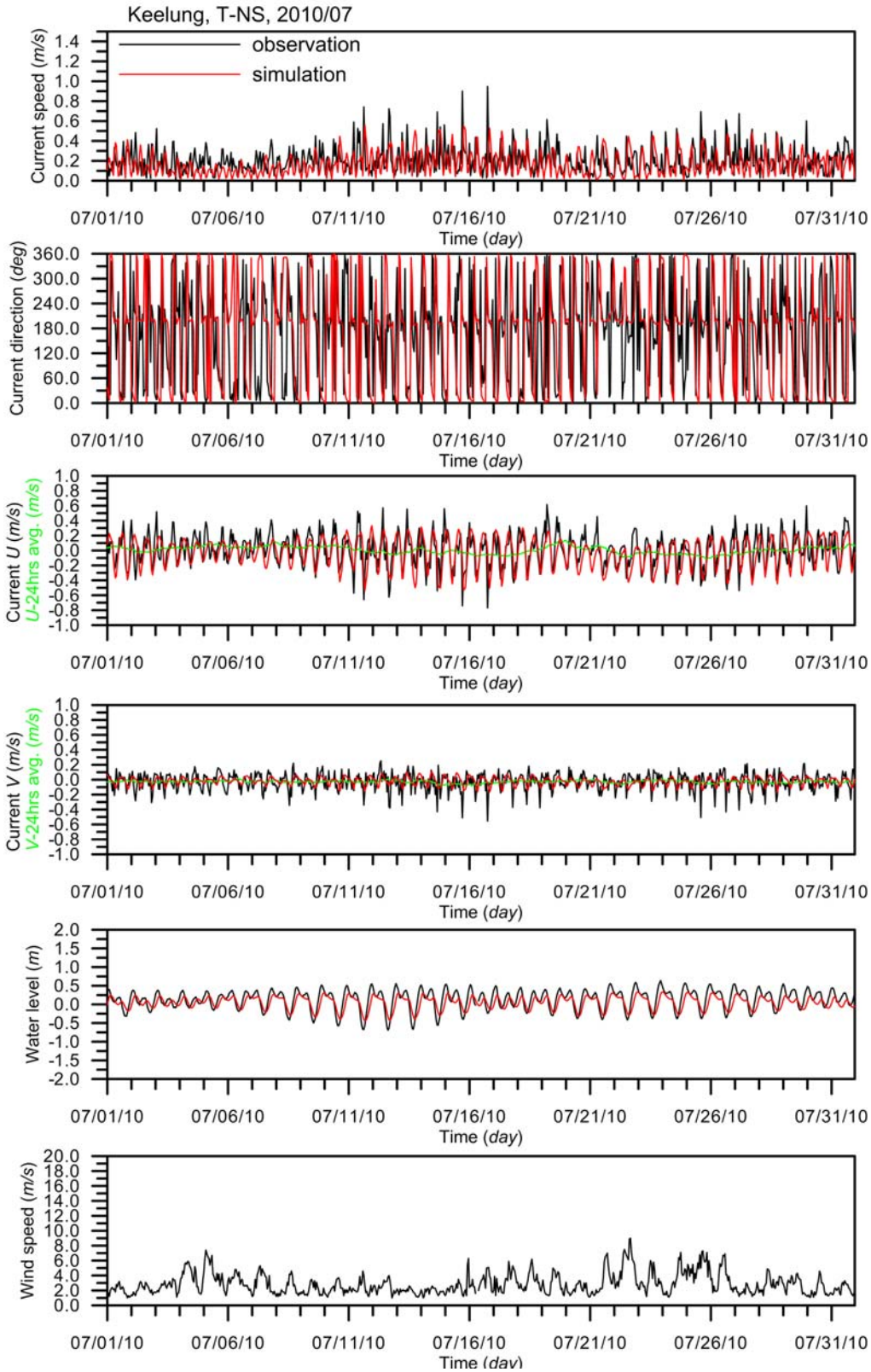


圖 5-9(續) 基隆港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 7 月份)

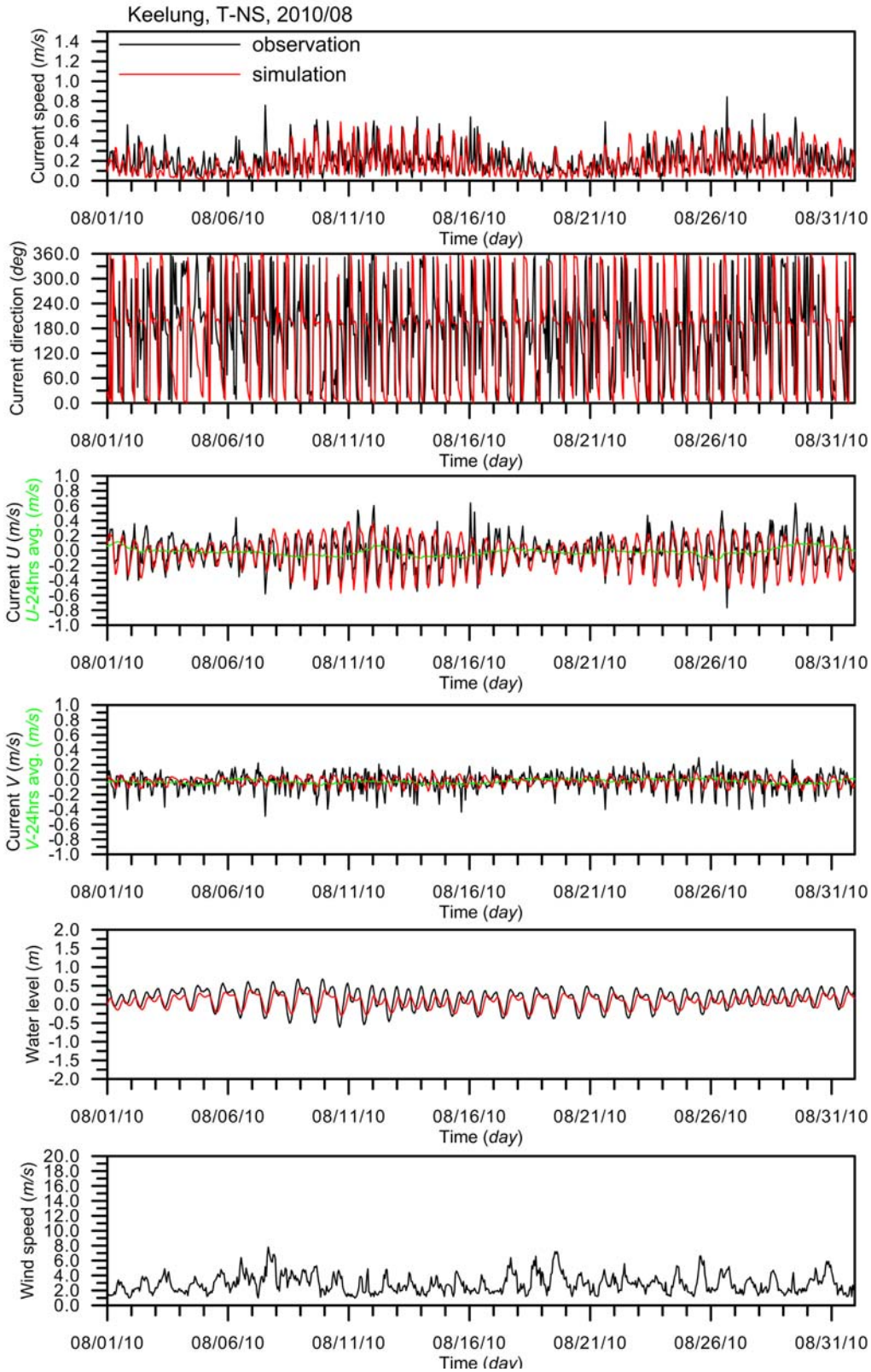


圖 5-9(續) 基隆港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 8 月份)

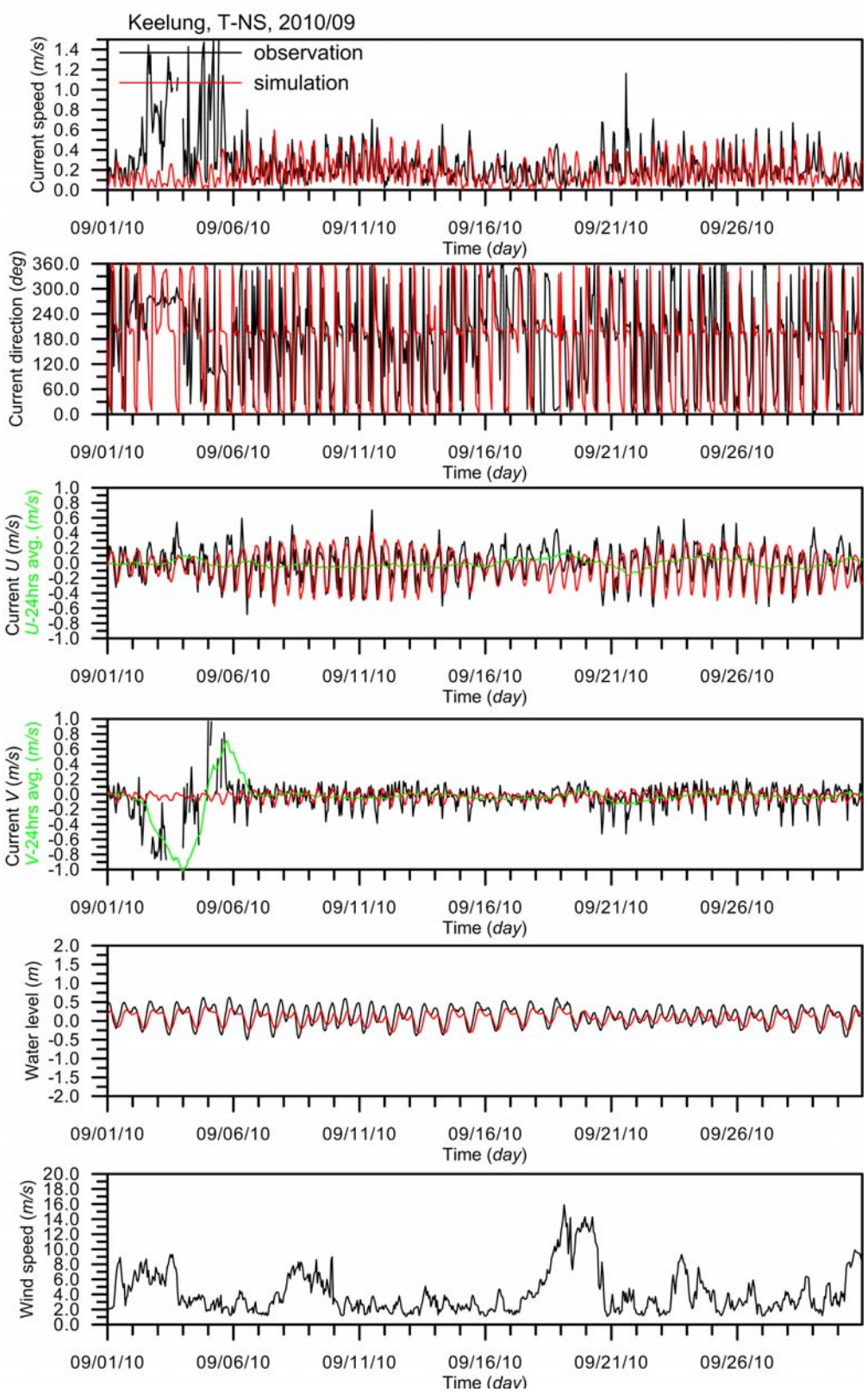


圖 5-9(續) 基隆港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 9 月份)

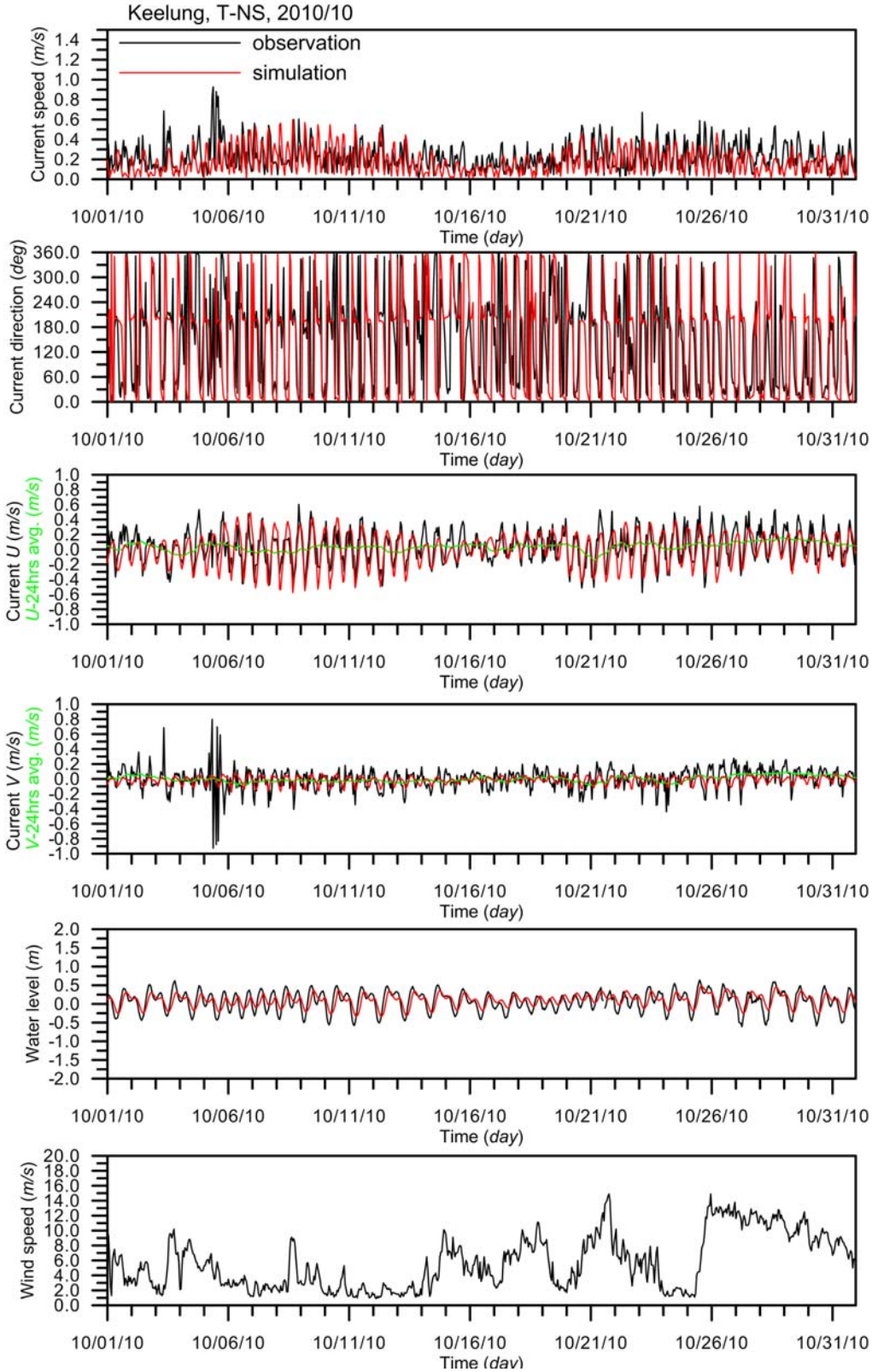


圖 5-9(續) 基隆港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 10 月份)

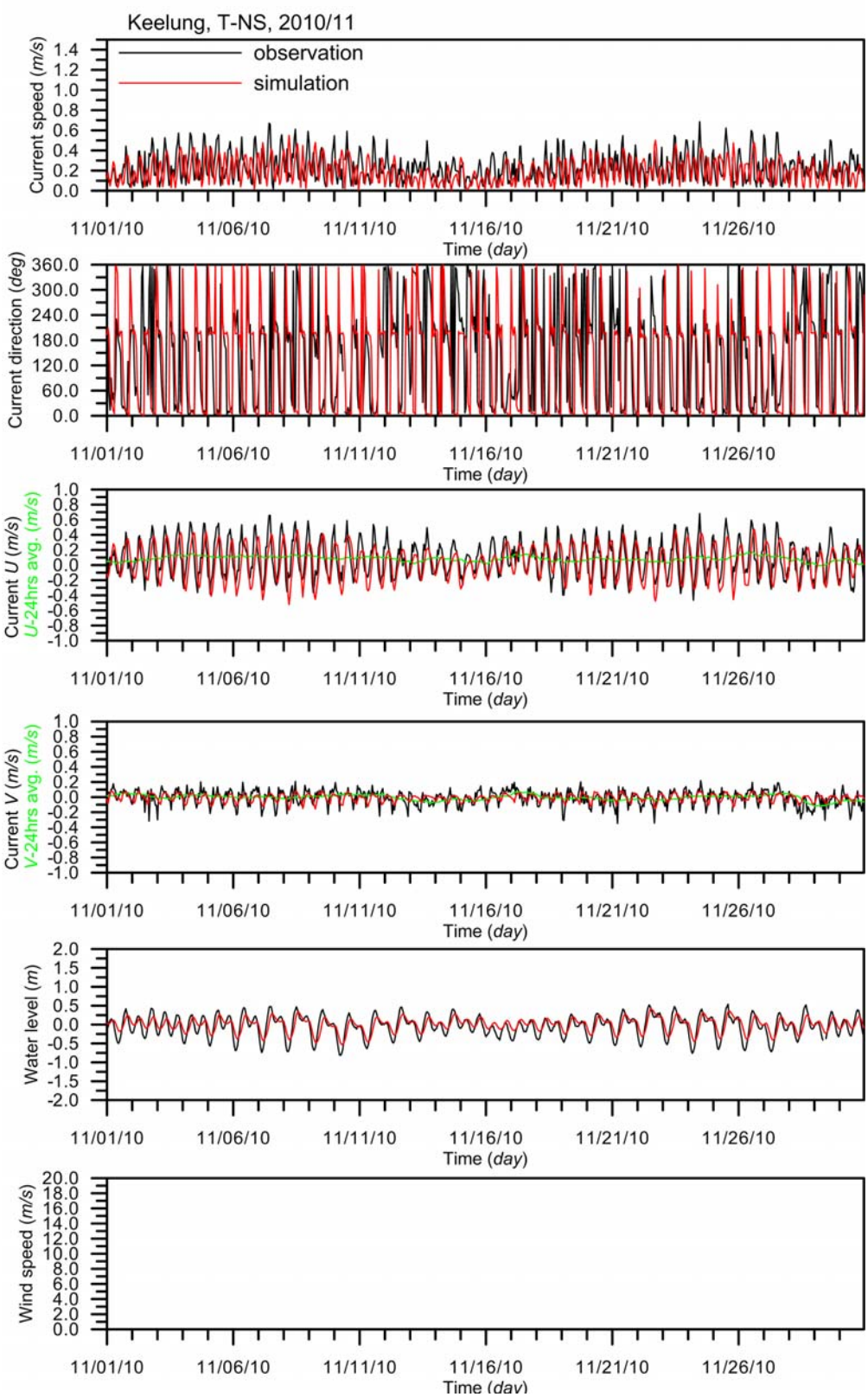


圖 5-9(續) 基隆港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 11 月份)

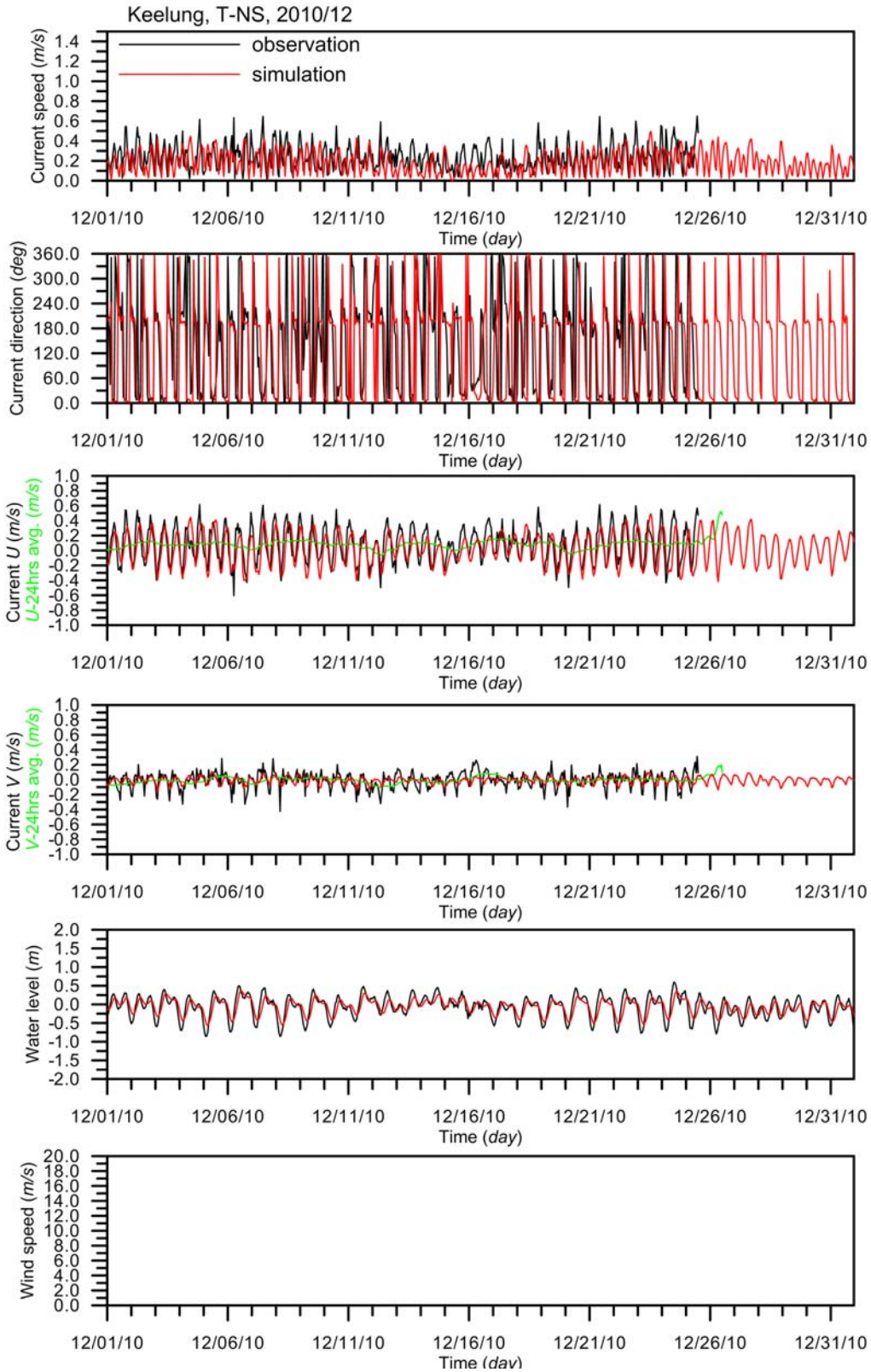


圖 5-9(續) 基隆港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 12 月份)

表 5-3 基隆港海域調和分析常數表

分潮名稱	Freq	Amp (m)	Phase (degree)
*M2	0.080511	0.2388	277.69
*K1	0.041781	0.1909	227.31
*SA	0.000114	0.1631	215.71
*O1	0.038731	0.1568	193.55
*P1	0.041553	0.0638	224.04
*N2	0.078999	0.0624	247.21
*S2	0.083333	0.0607	281.27
*Q1	0.037219	0.033	175.49
*MU2	0.07769	0.0261	122.09
*K2	0.083562	0.0157	273.57
SSA	0.000228	0.0143	311.31
*NU2	0.079202	0.0135	275.98
*L2	0.082024	0.0135	32.22
*M4	0.161023	0.0115	279.89
*J1	0.043293	0.0113	246.6
*NO1	0.040269	0.011	215.38
MSF	0.002822	0.0089	261.14
*H2	0.080626	0.0088	274.7
*LDA2	0.081821	0.0088	3.08
*MS4	0.163845	0.0088	306.79
*RHO1	0.037421	0.0067	179.83
*2N2	0.077487	0.0063	259.26
*M3	0.120767	0.006	167.89
*EPS2	0.076177	0.0059	75.68
*2Q1	0.035706	0.0058	158.11

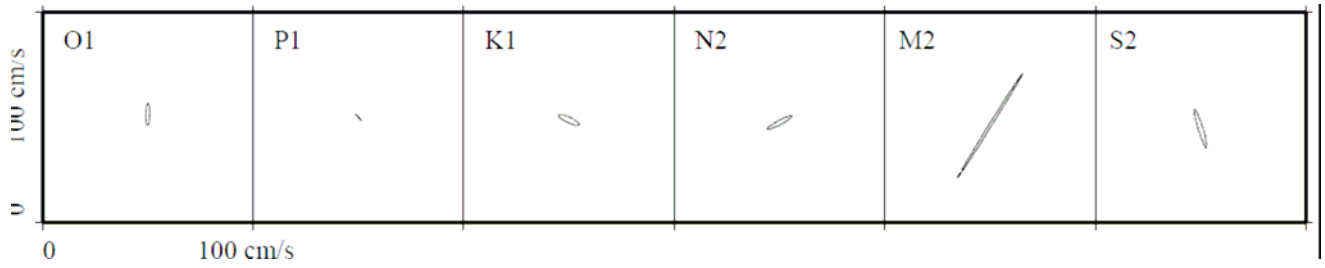


圖 5-10 基隆港海域潮流橢圓圖

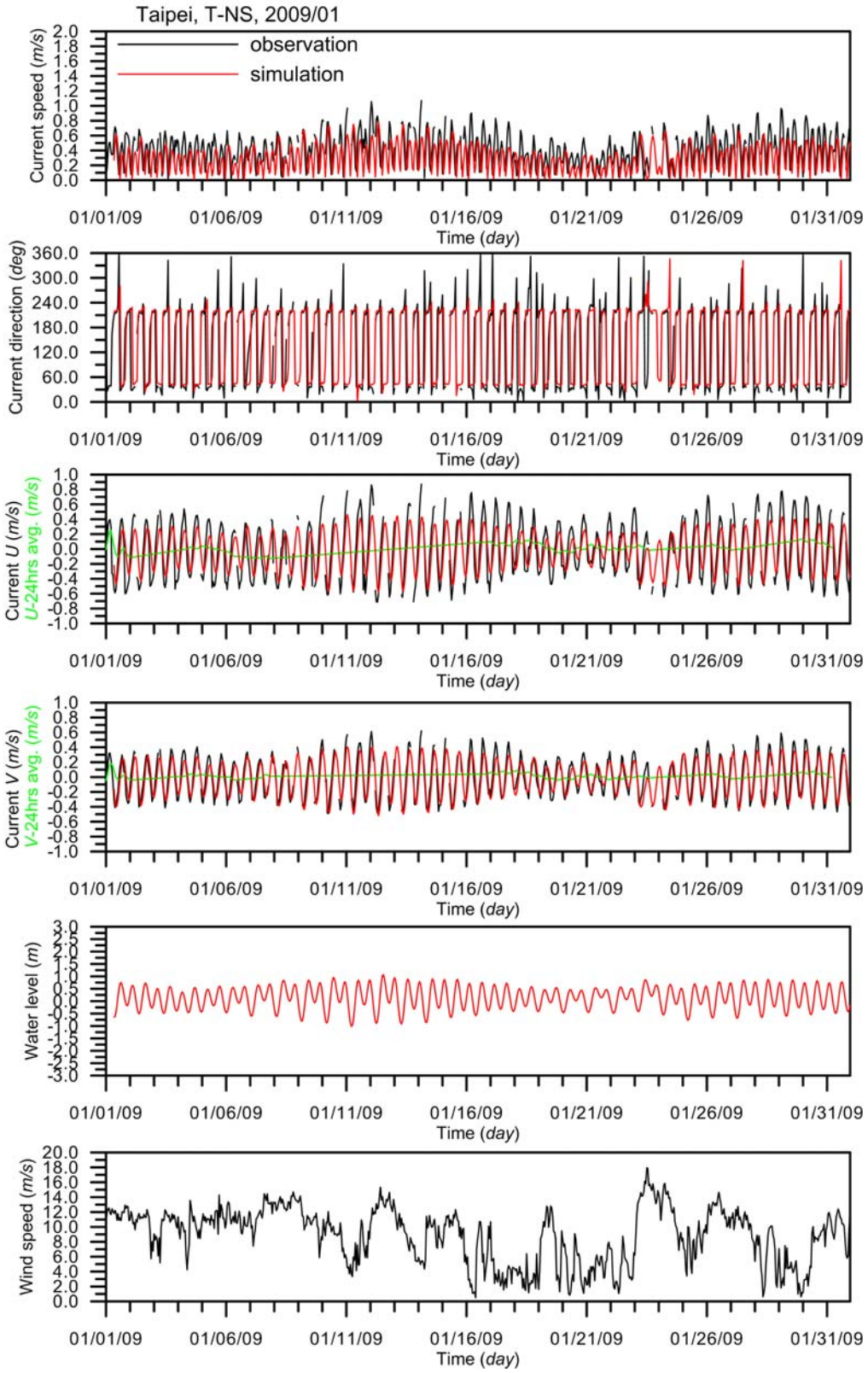


圖 5-11 臺北港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 1 月份)

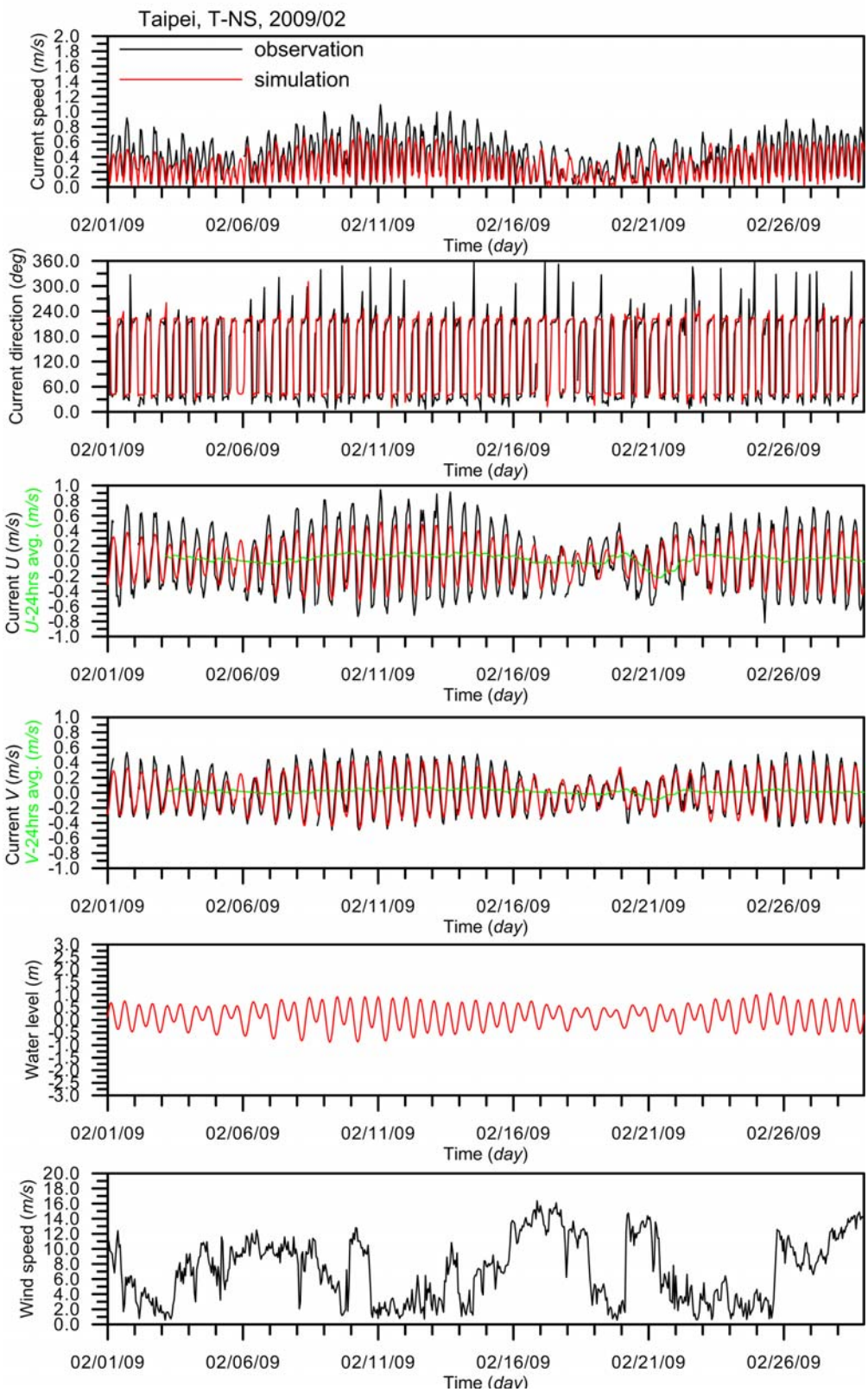


圖 5-11(續) 臺北港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 2 月份)

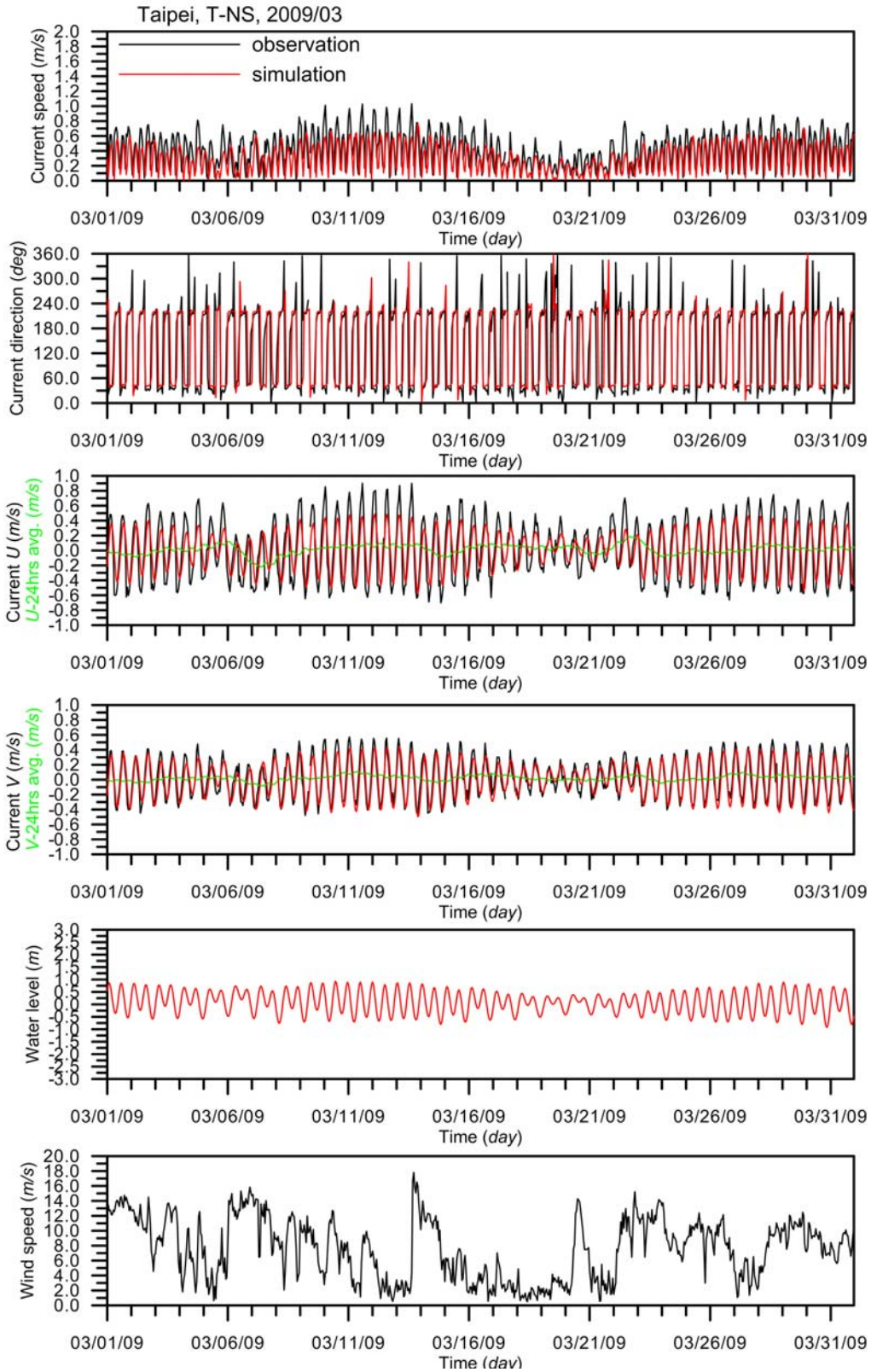


圖 5-11(續) 臺北港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 3 月份)

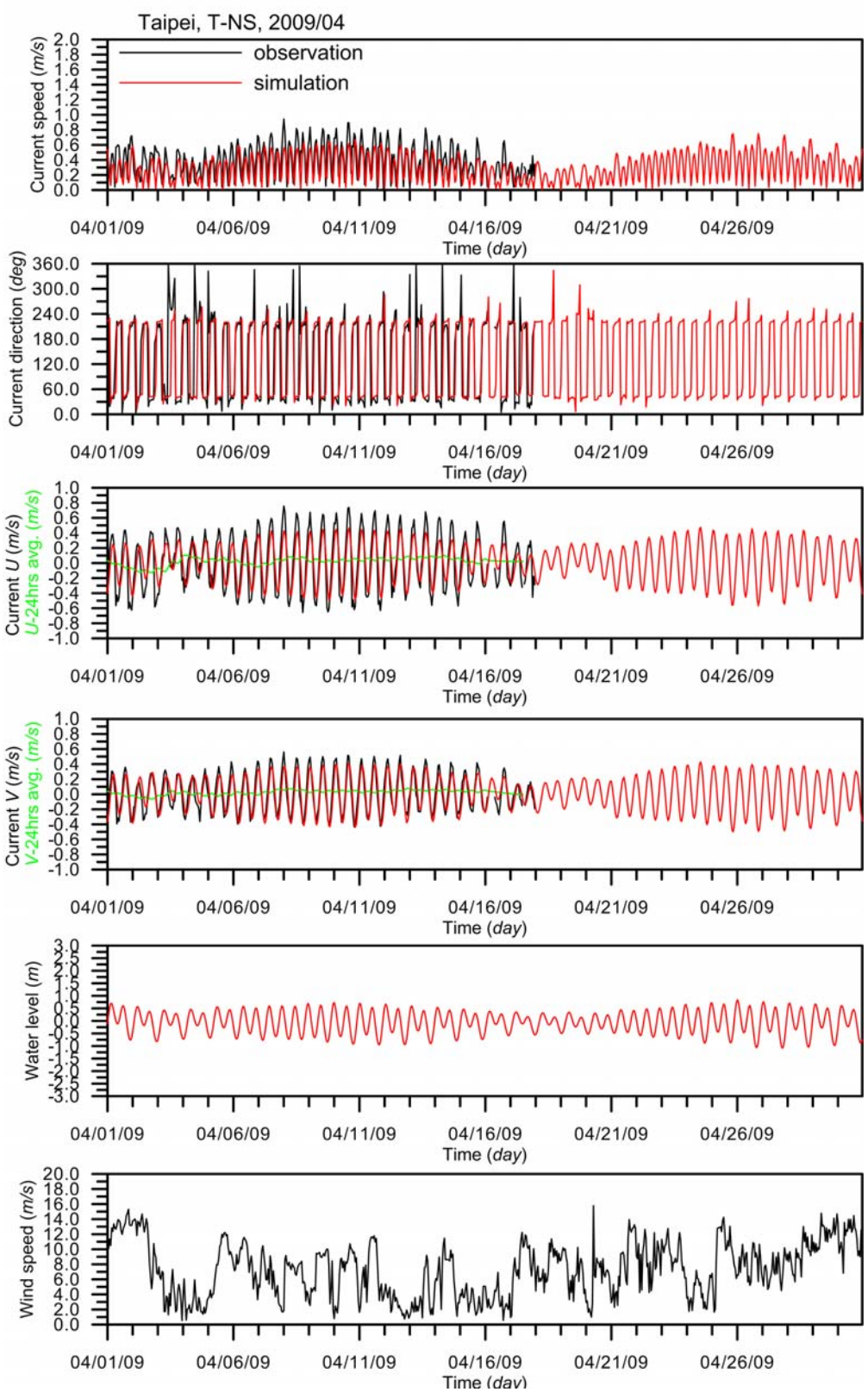


圖 5-11(續) 臺北港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 4 月份)

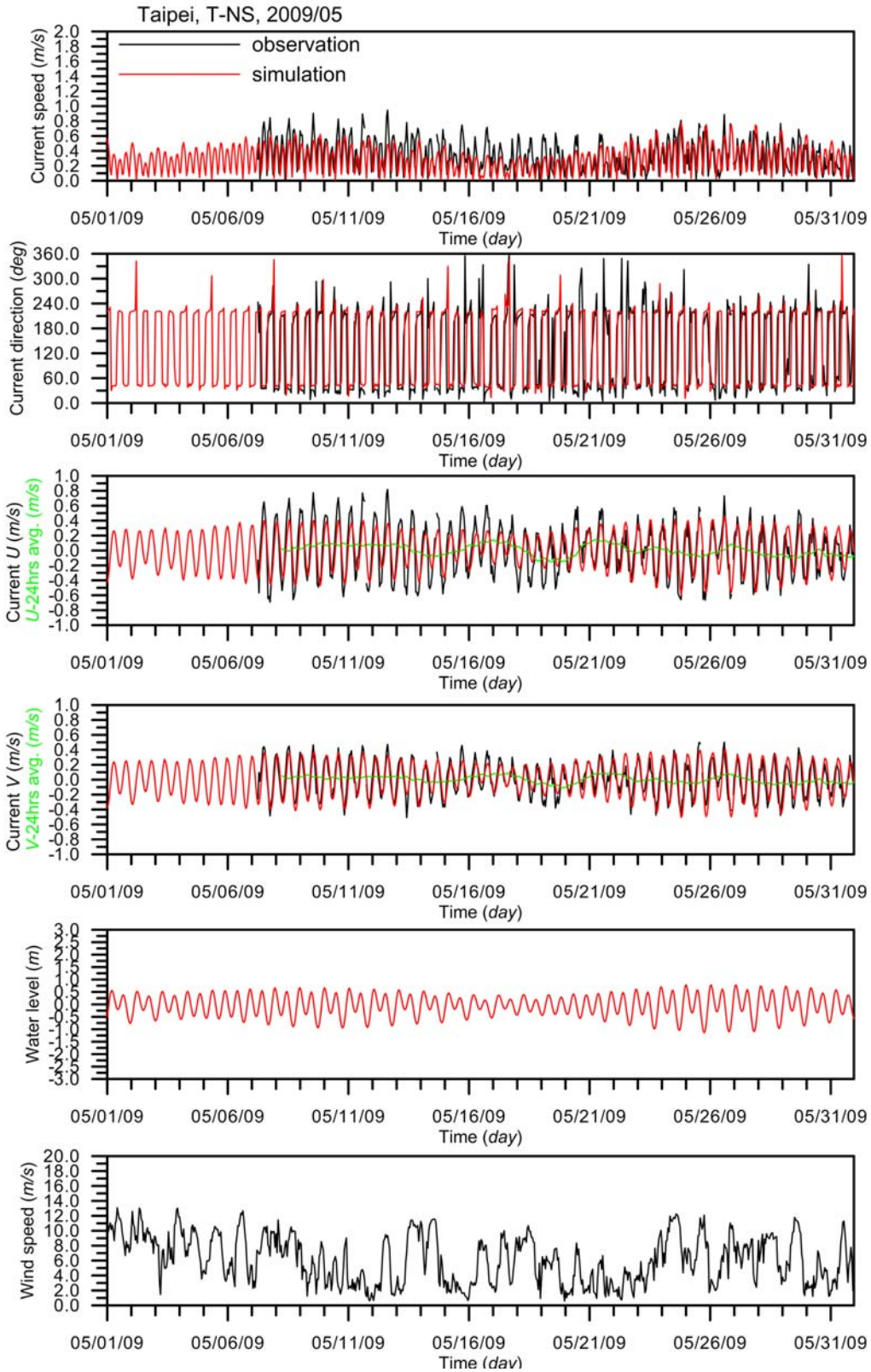


圖 5-11(續) 臺北港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 5 月份)

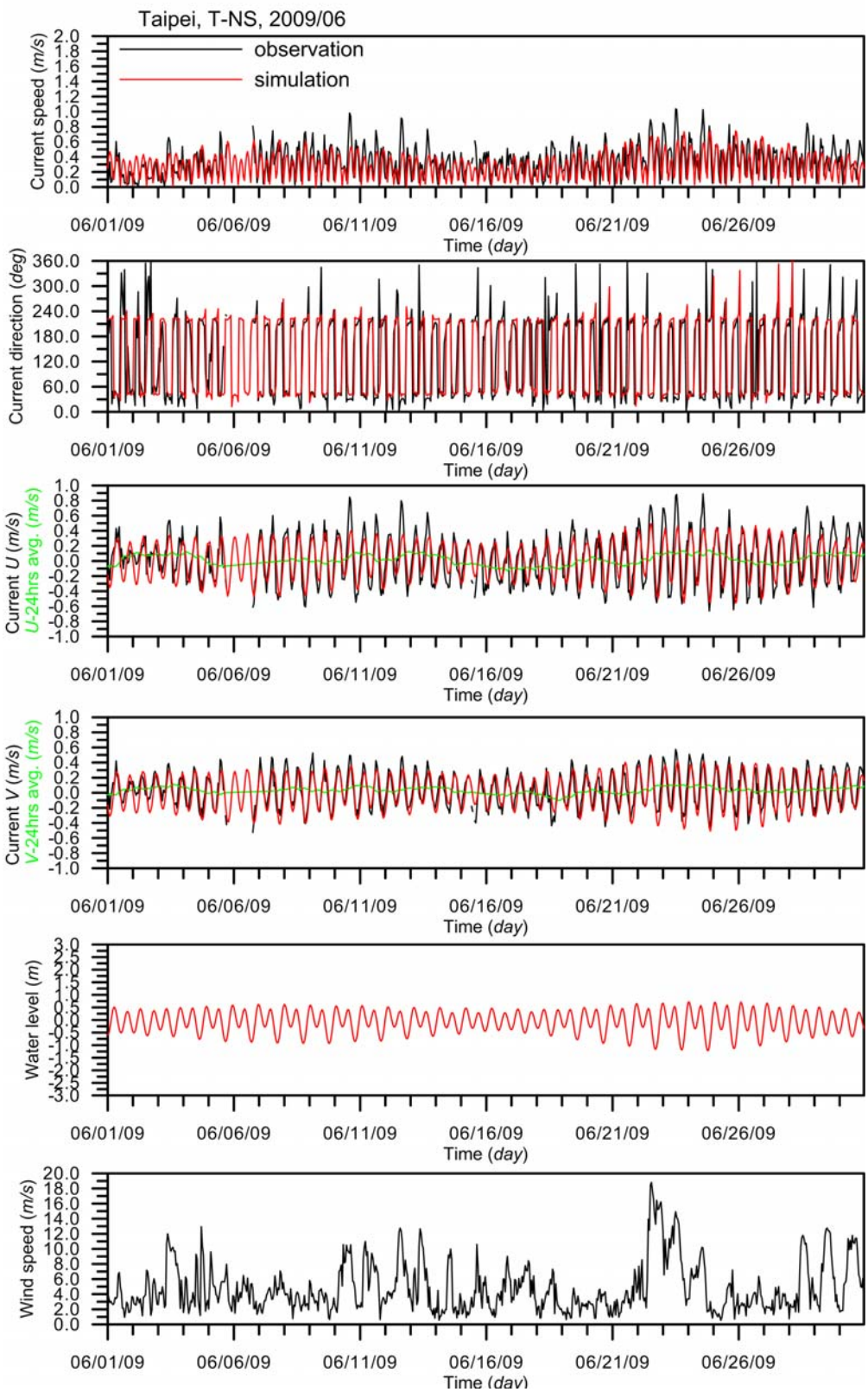


圖 5-11(續) 臺北港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 6 月份)

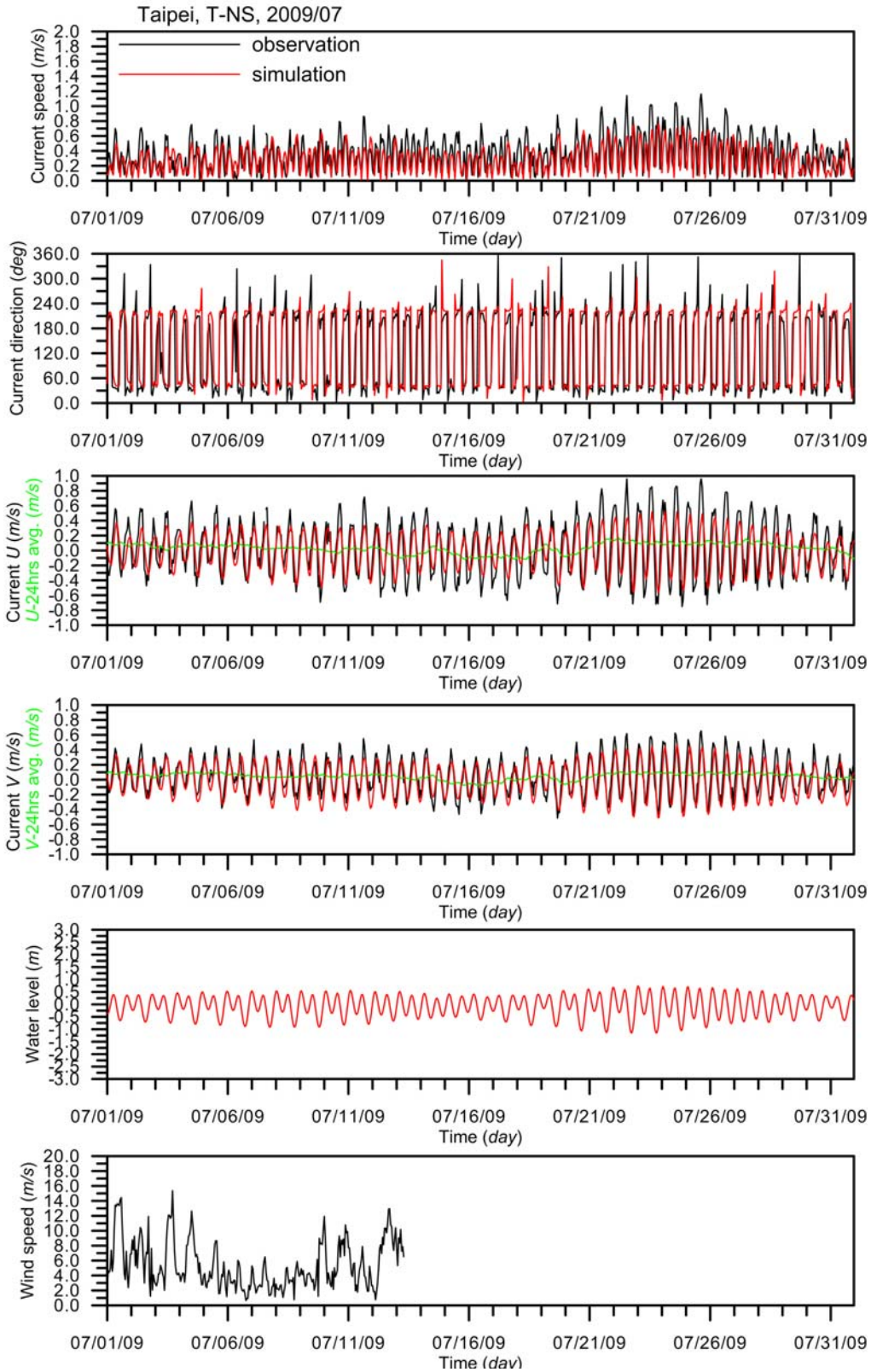


圖 5-11(續) 臺北港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 7 月份)

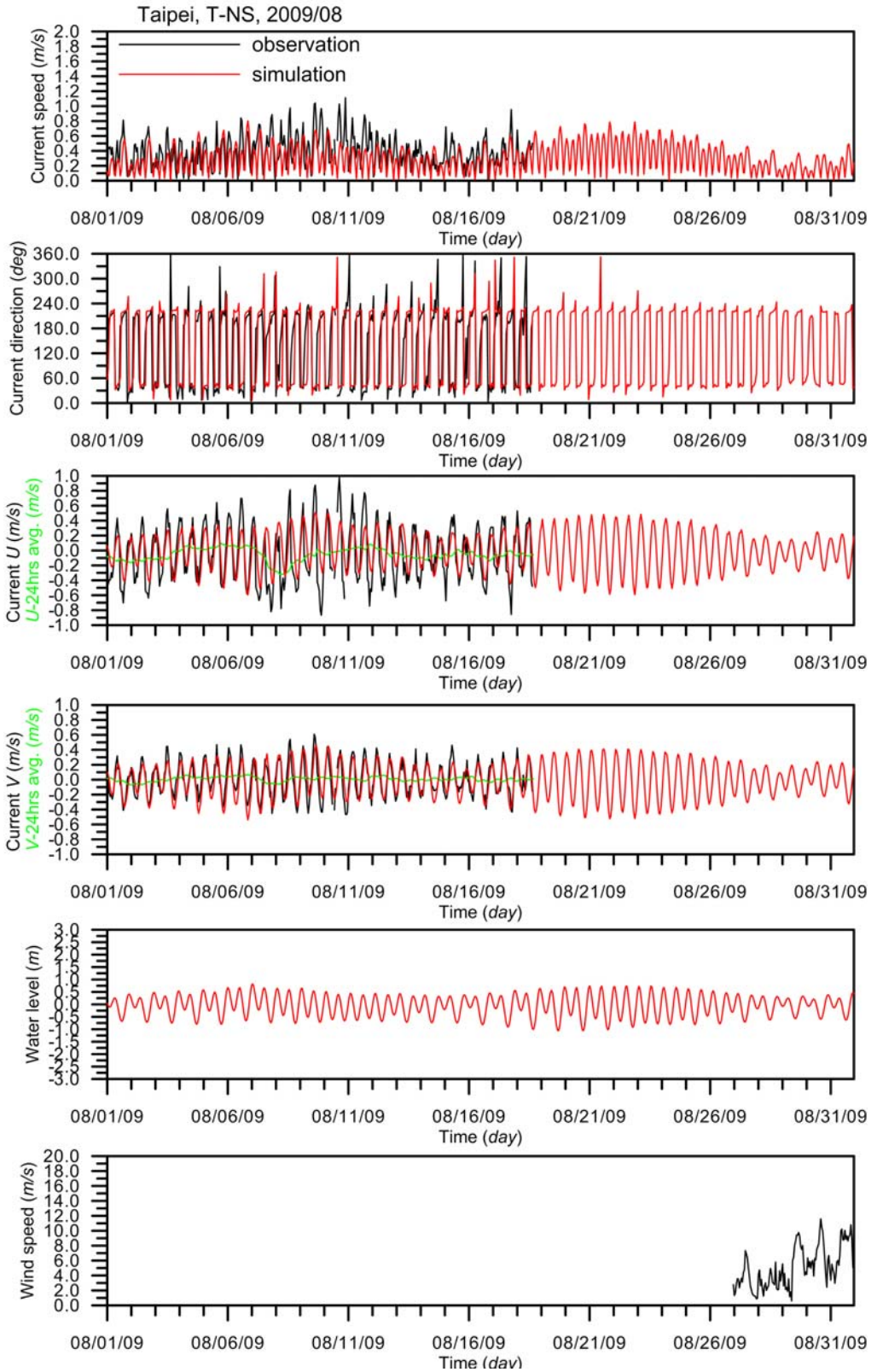


圖 5-11(續) 臺北港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 8 月份)

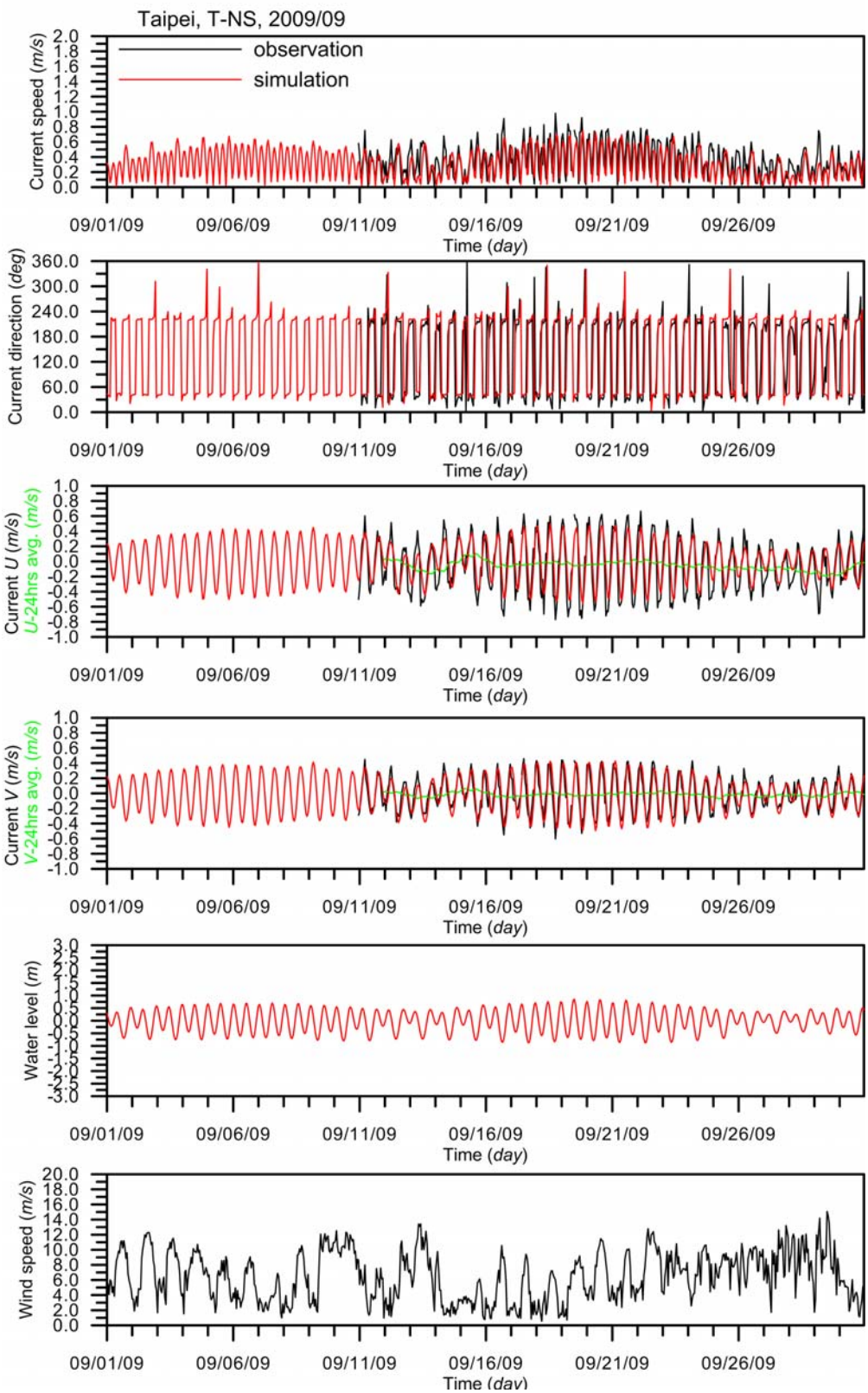


圖 5-11(續) 臺北港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 9 月份)

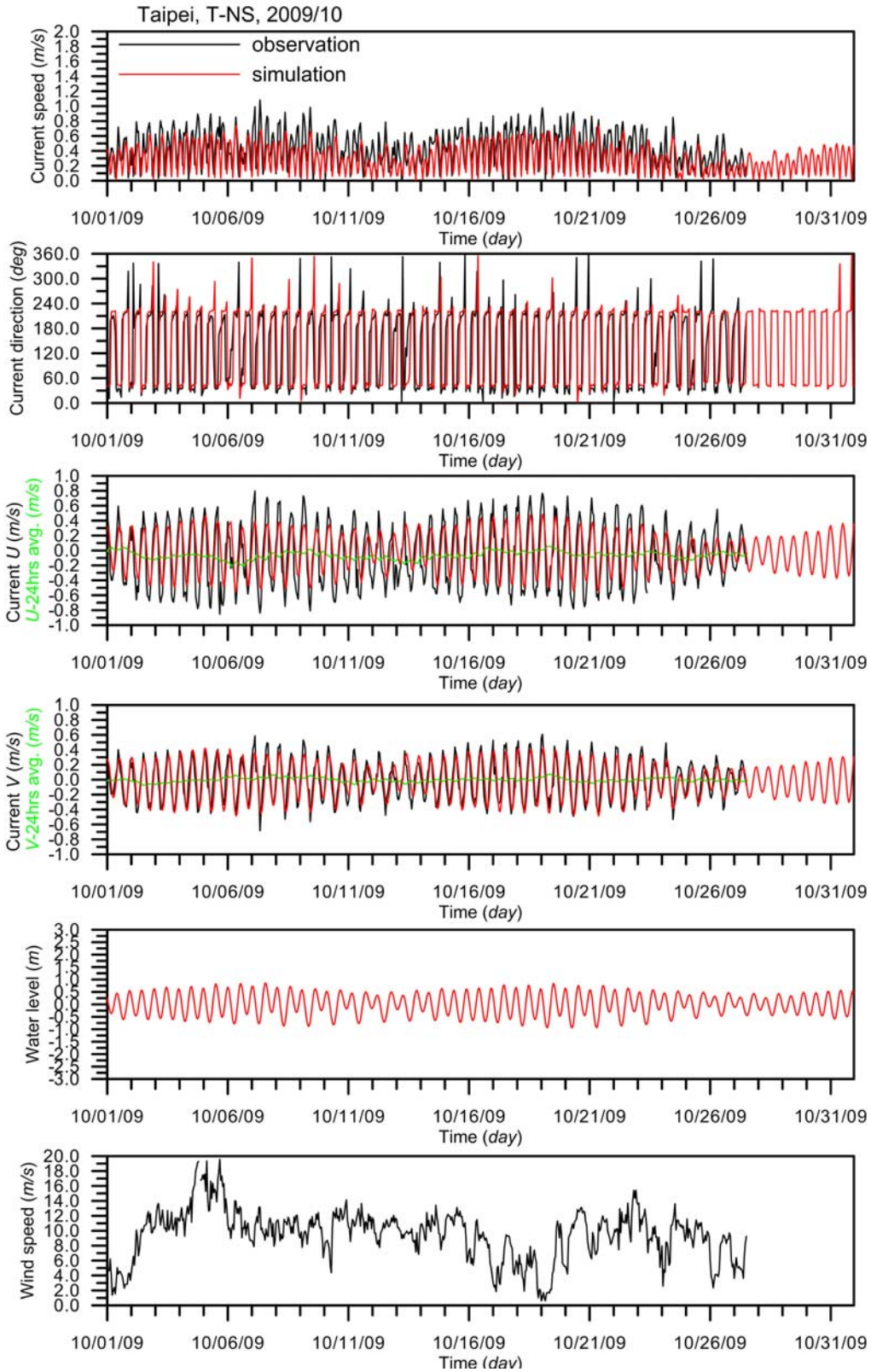


圖 5-11(續) 臺北港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 10 月份)

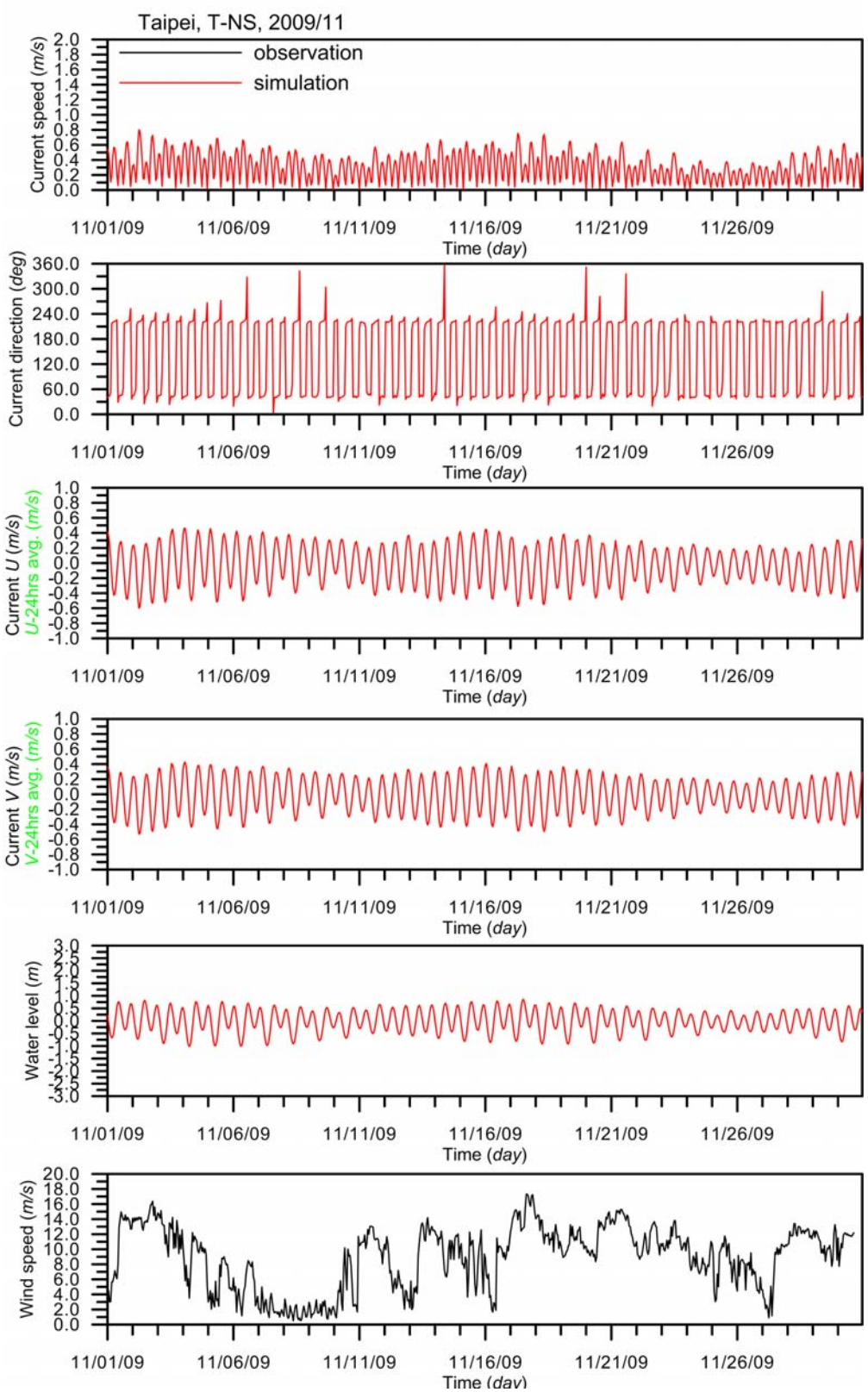


圖 5-11(續) 臺北港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 11 月份)

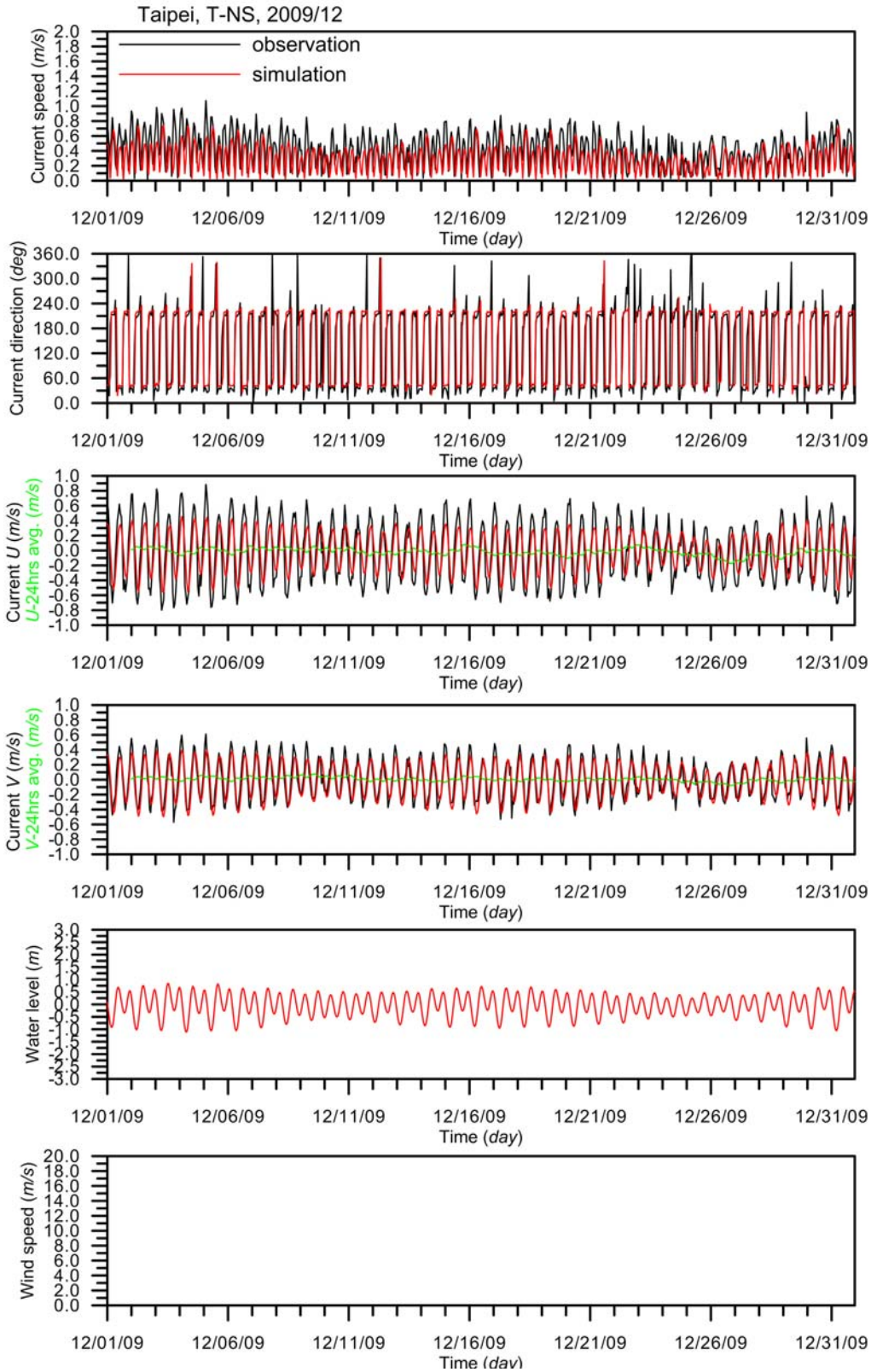


圖 5-11(續) 臺北港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 12 月份)

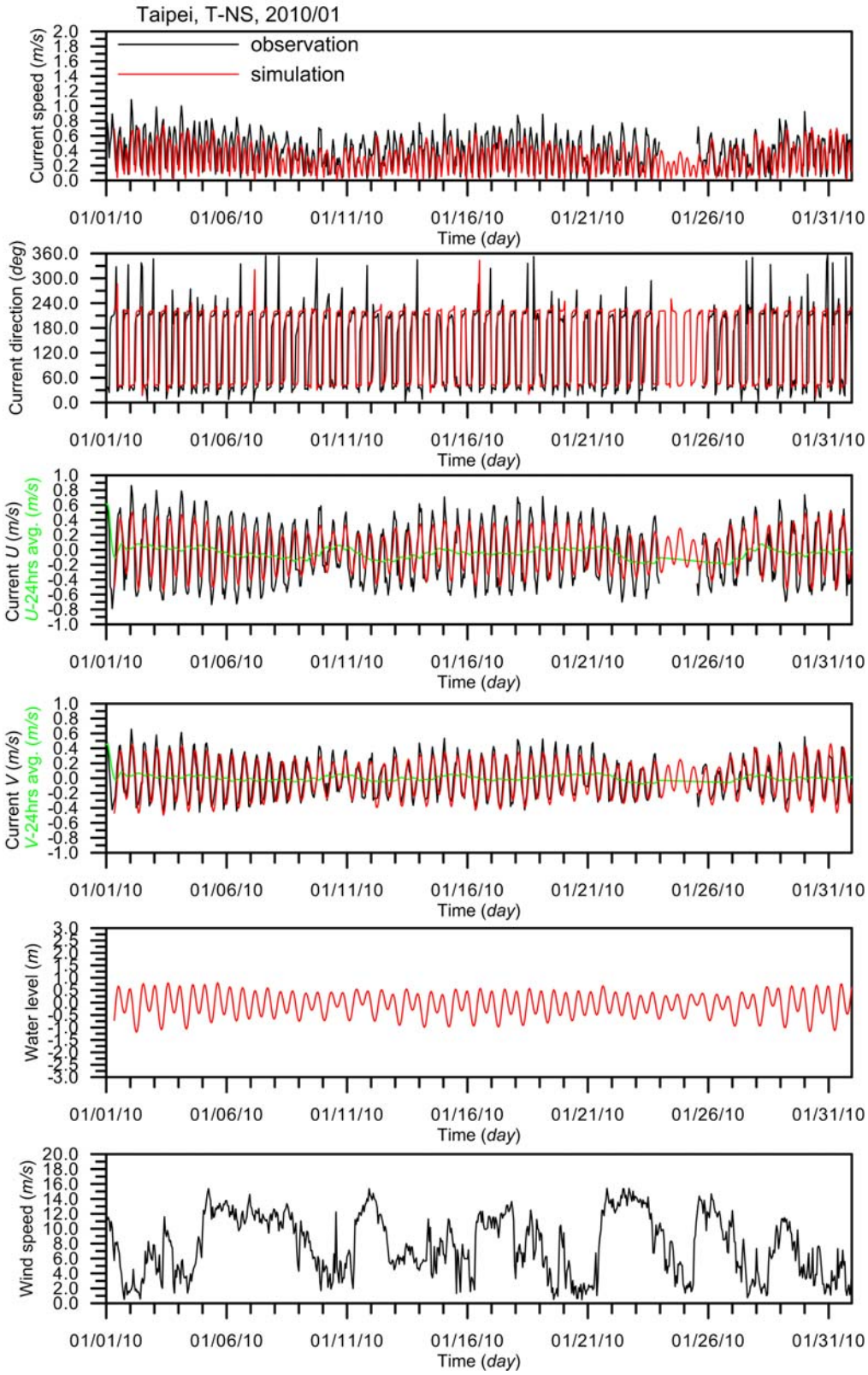


圖 5-12 臺北港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 1 月份)

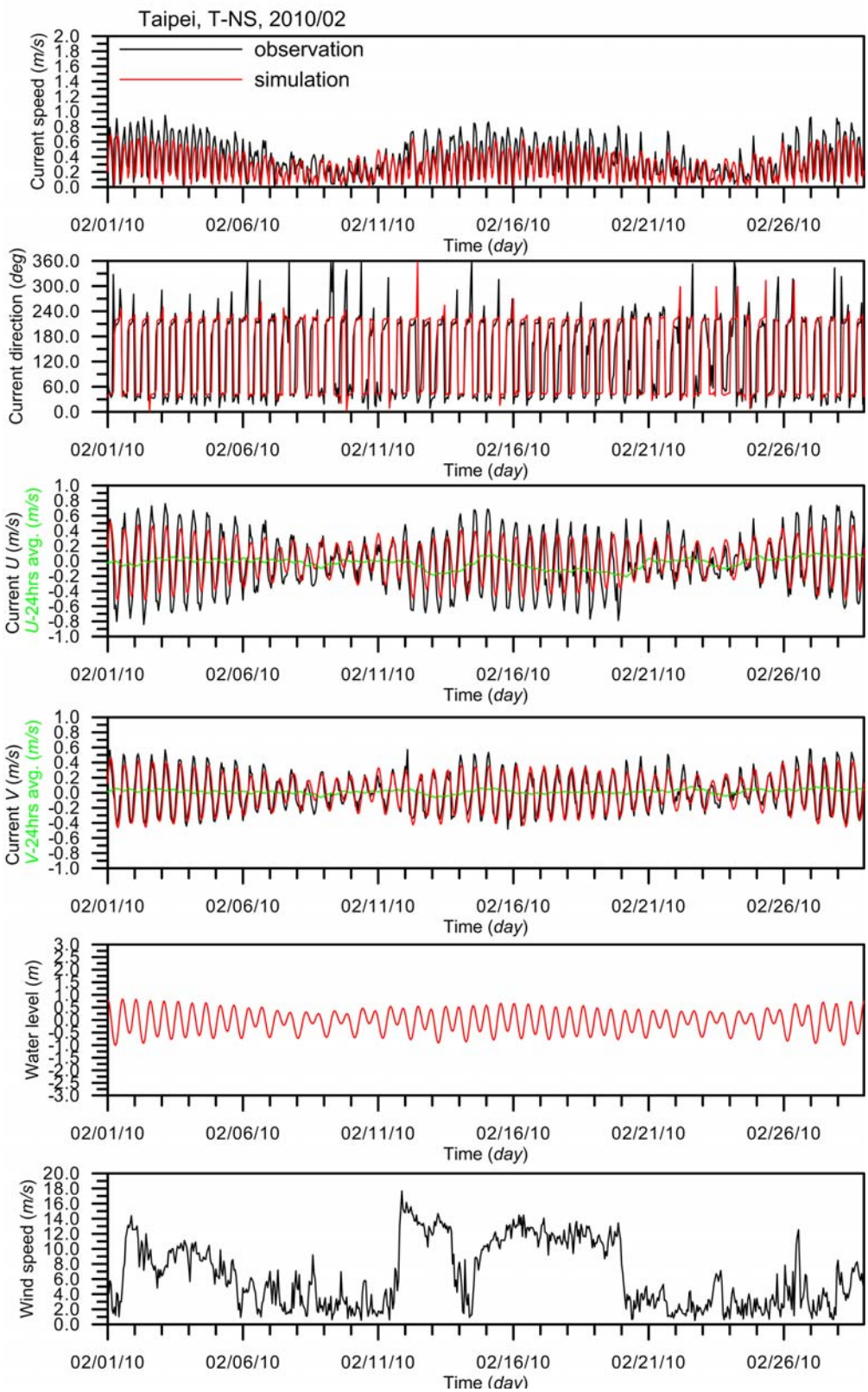


圖 5-12(續) 臺北港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 2 月份)

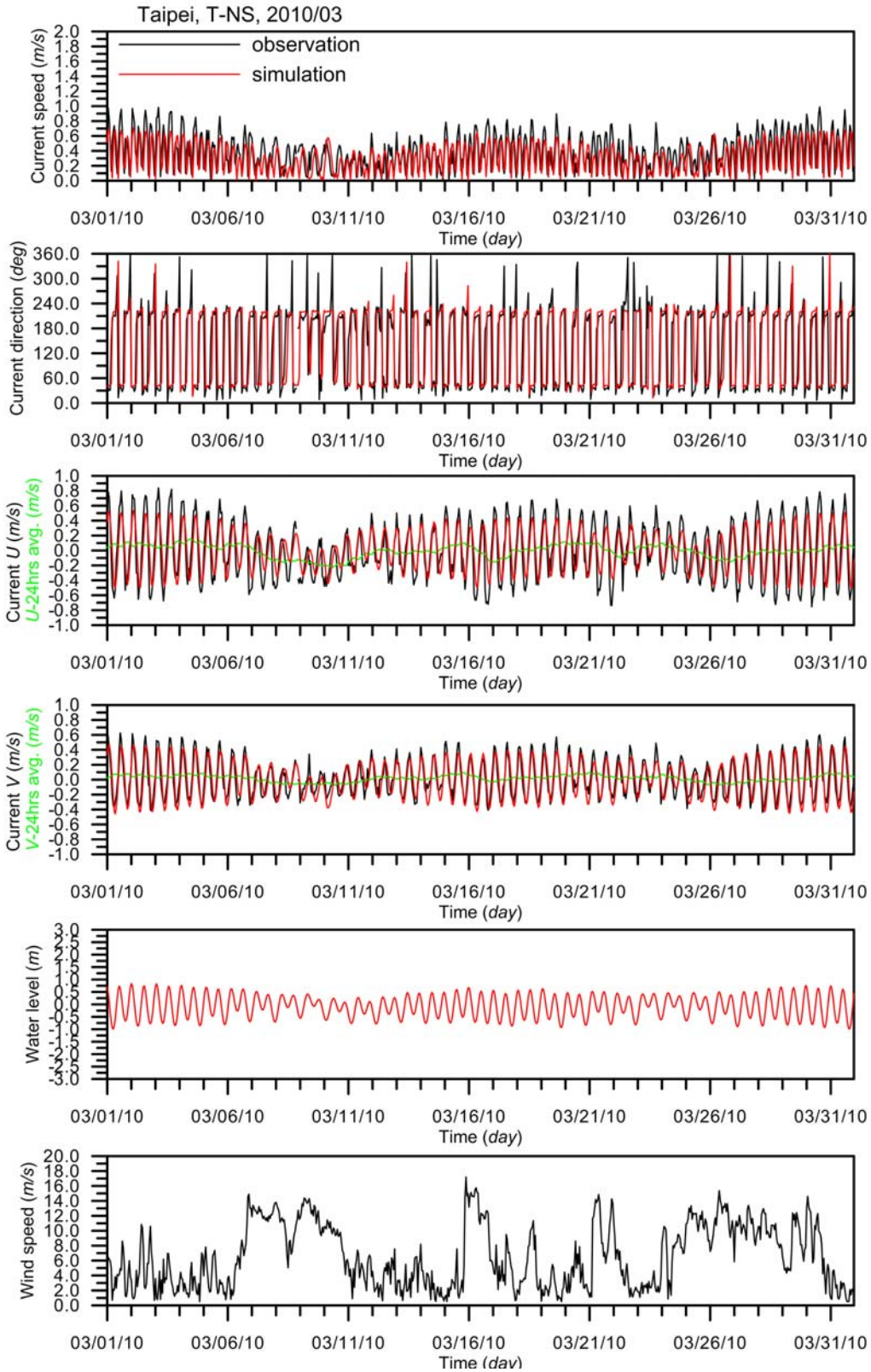


圖 5-12(續) 臺北港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 3 月份)

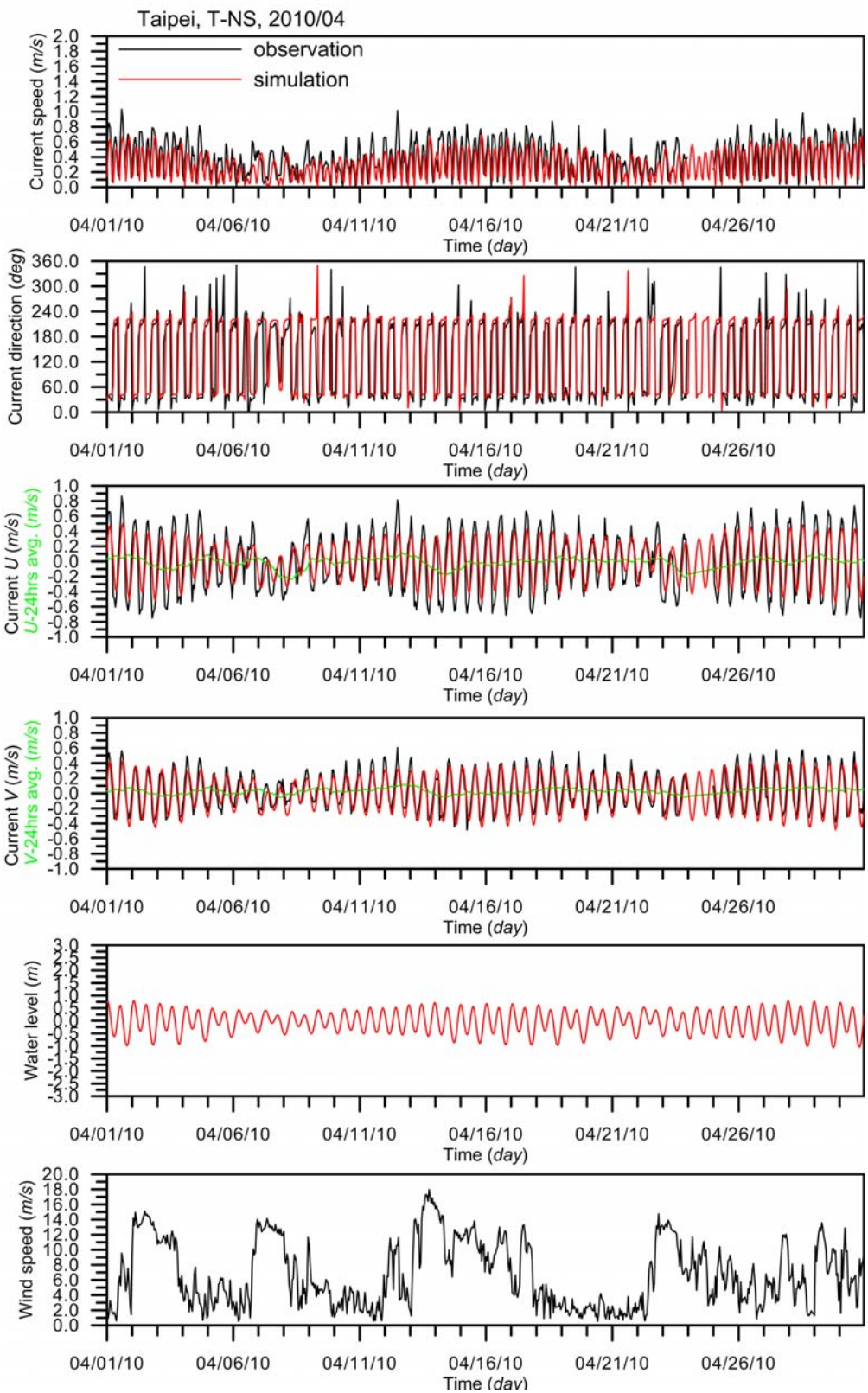


圖 5-12(續) 臺北港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 4 月份)

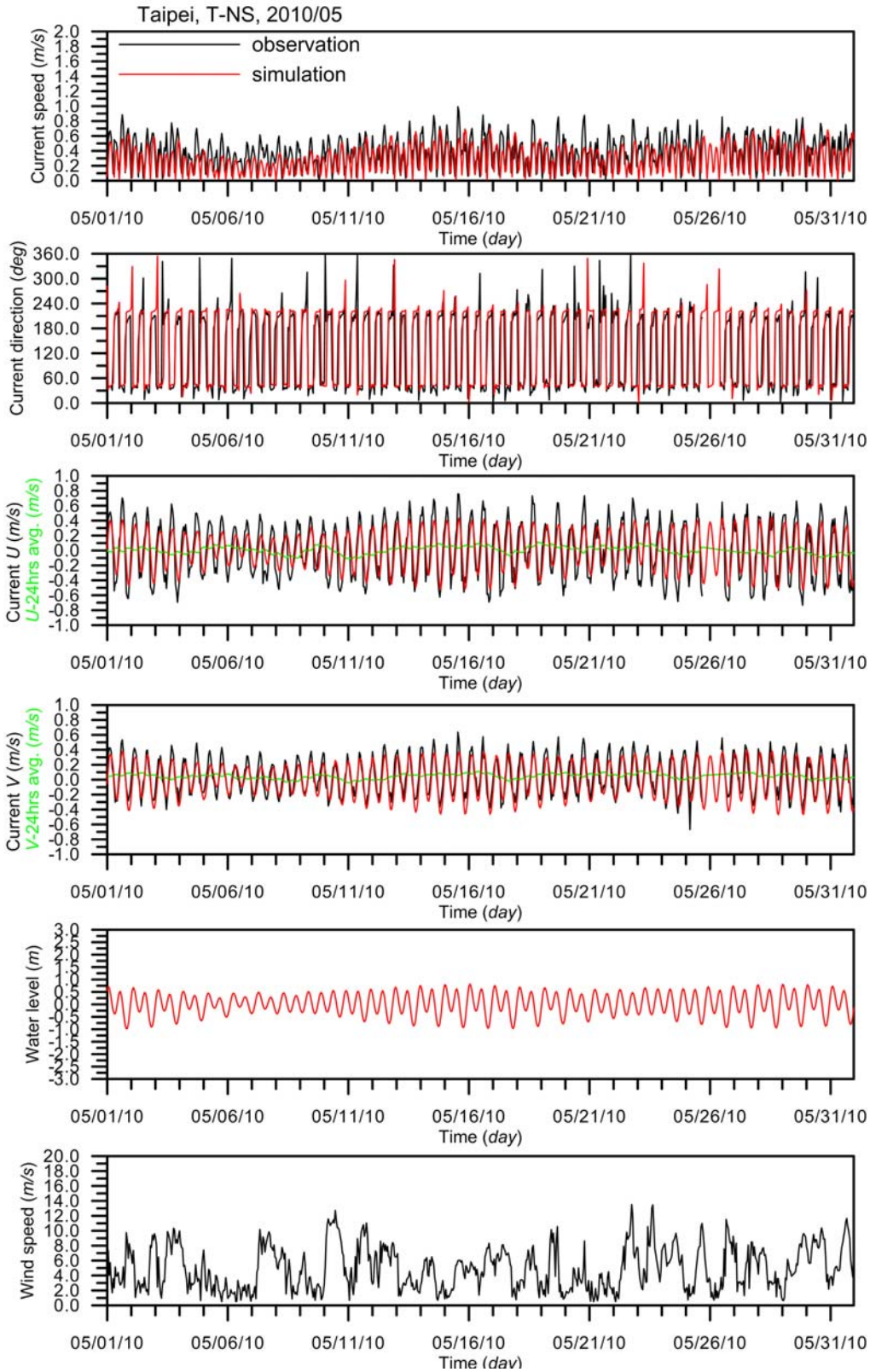


圖 5-12(續) 臺北港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 5 月份)

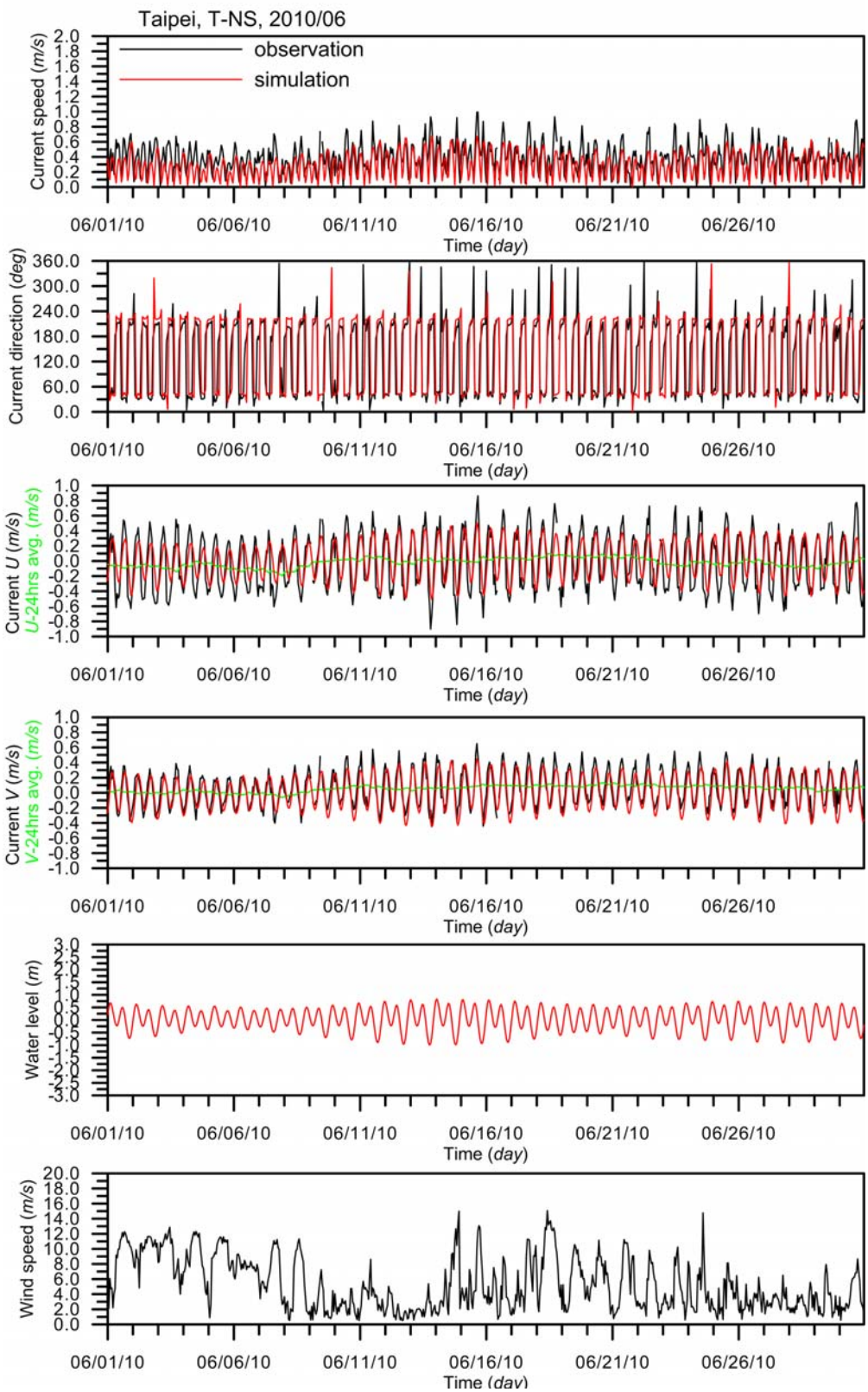


圖 5-12(續) 臺北港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 6 月份)

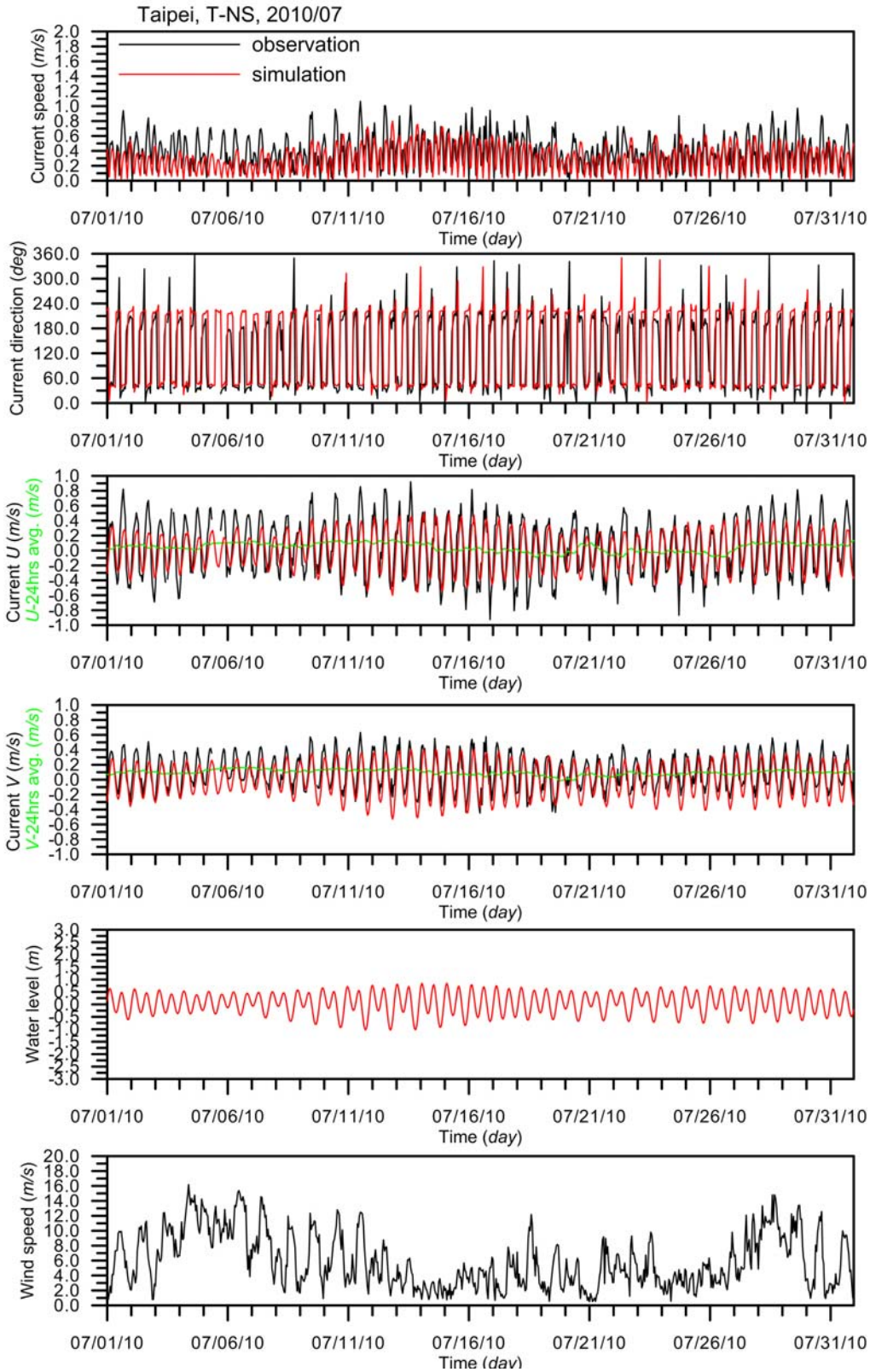


圖 5-12(續) 臺北港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 7 月份)

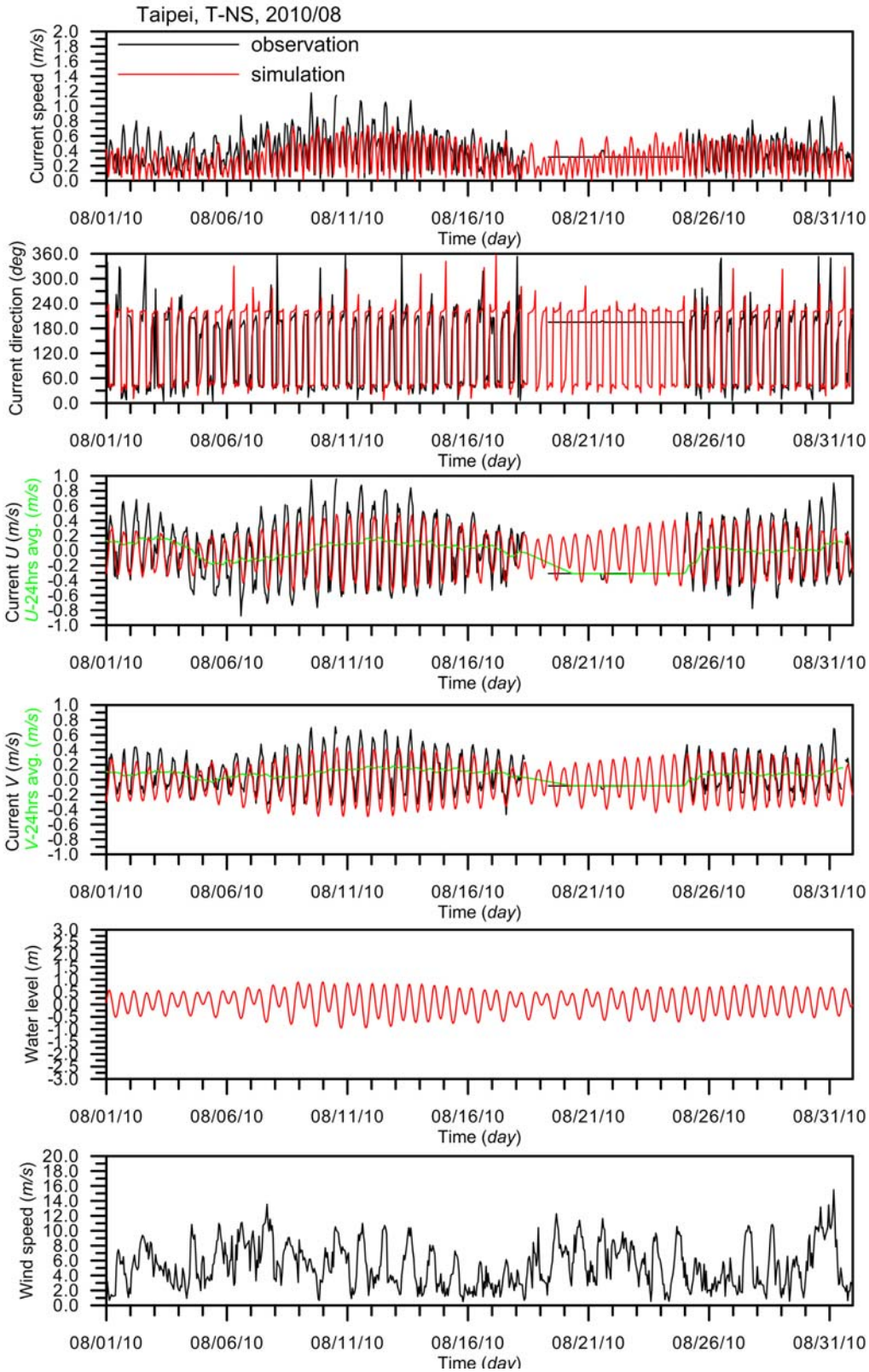


圖 5-12(續) 臺北港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 8 月份)

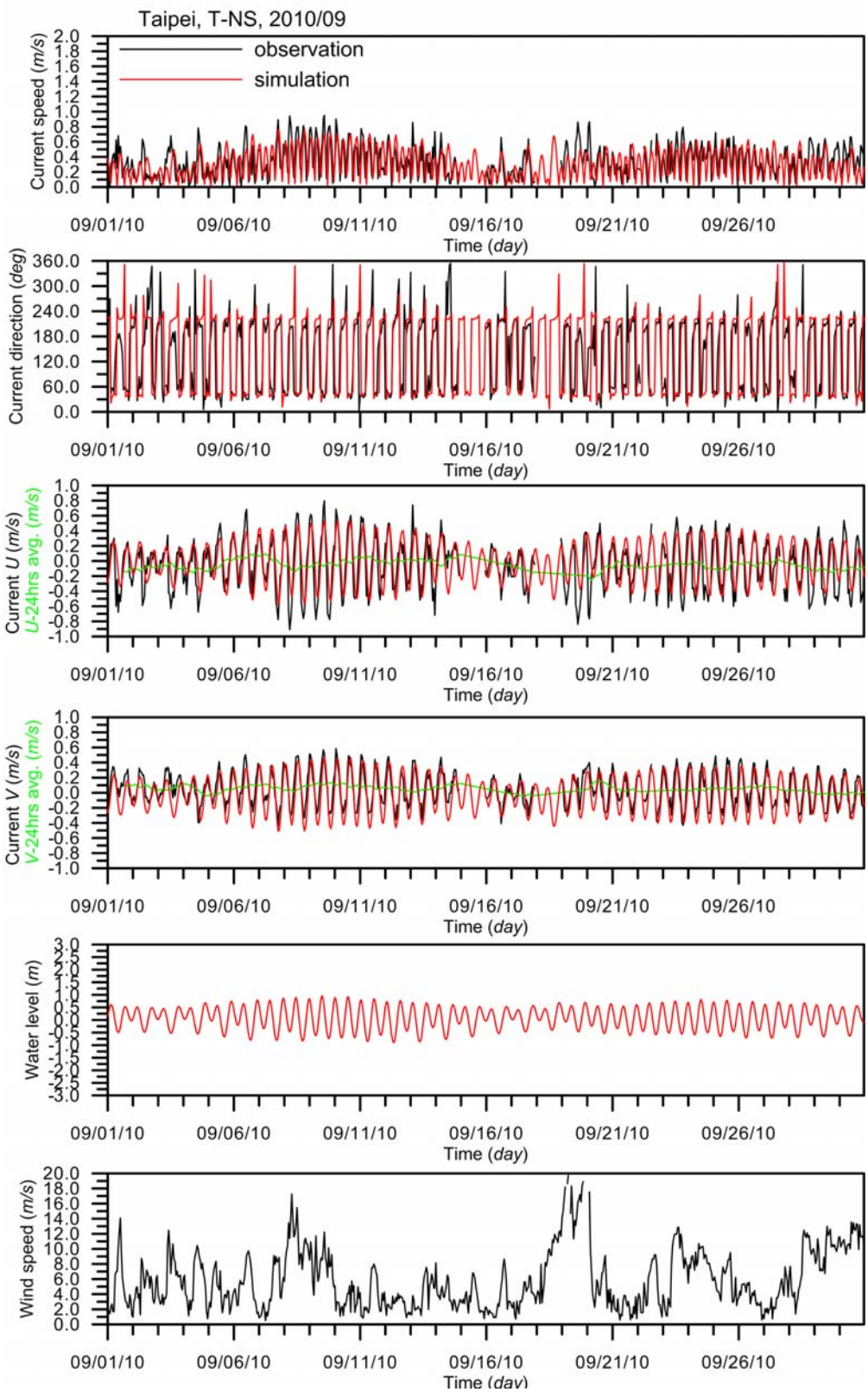


圖 5-12(續) 臺北港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 9 月份)

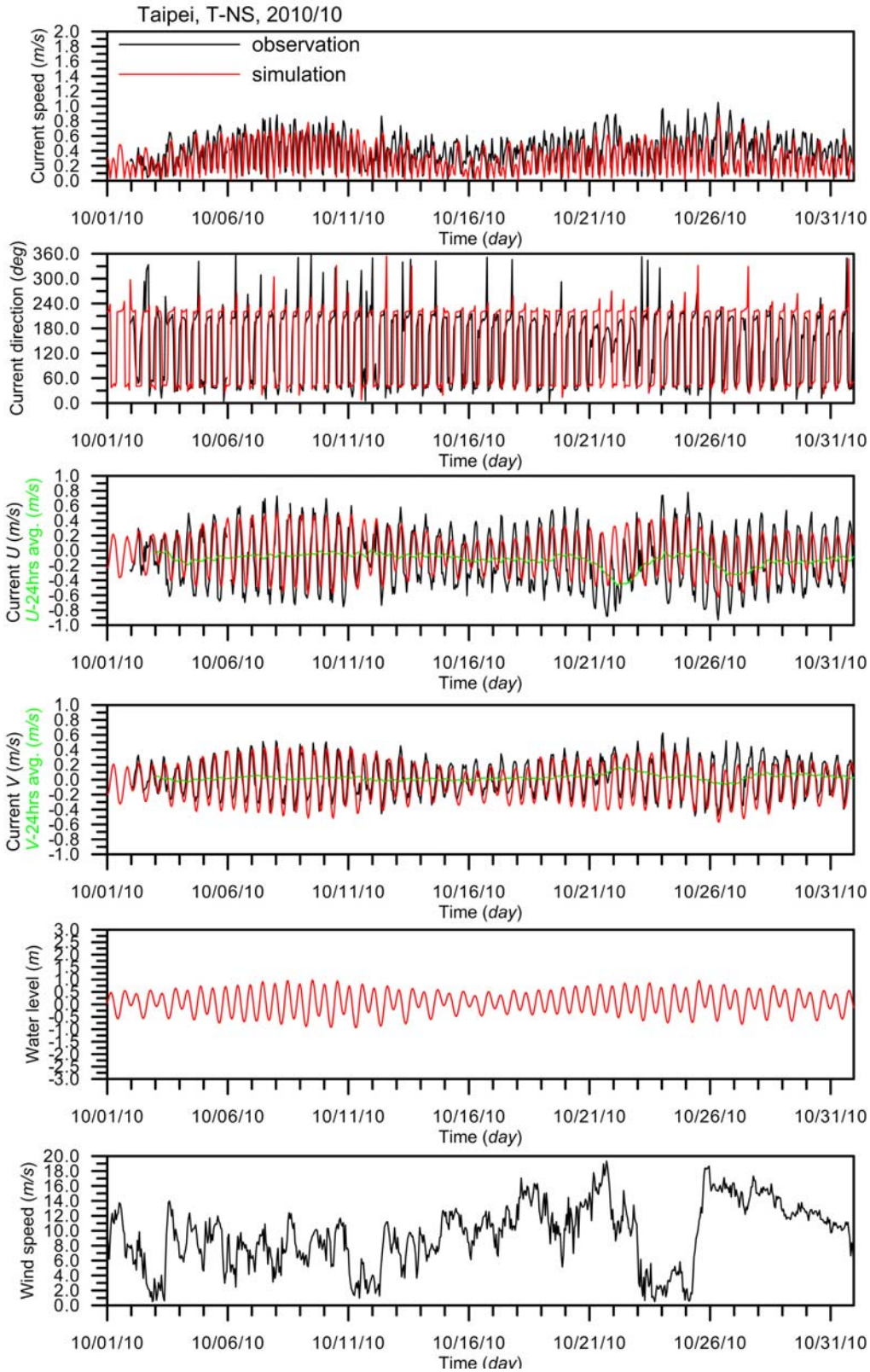


圖 5-12(續) 臺北港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 10 月份)

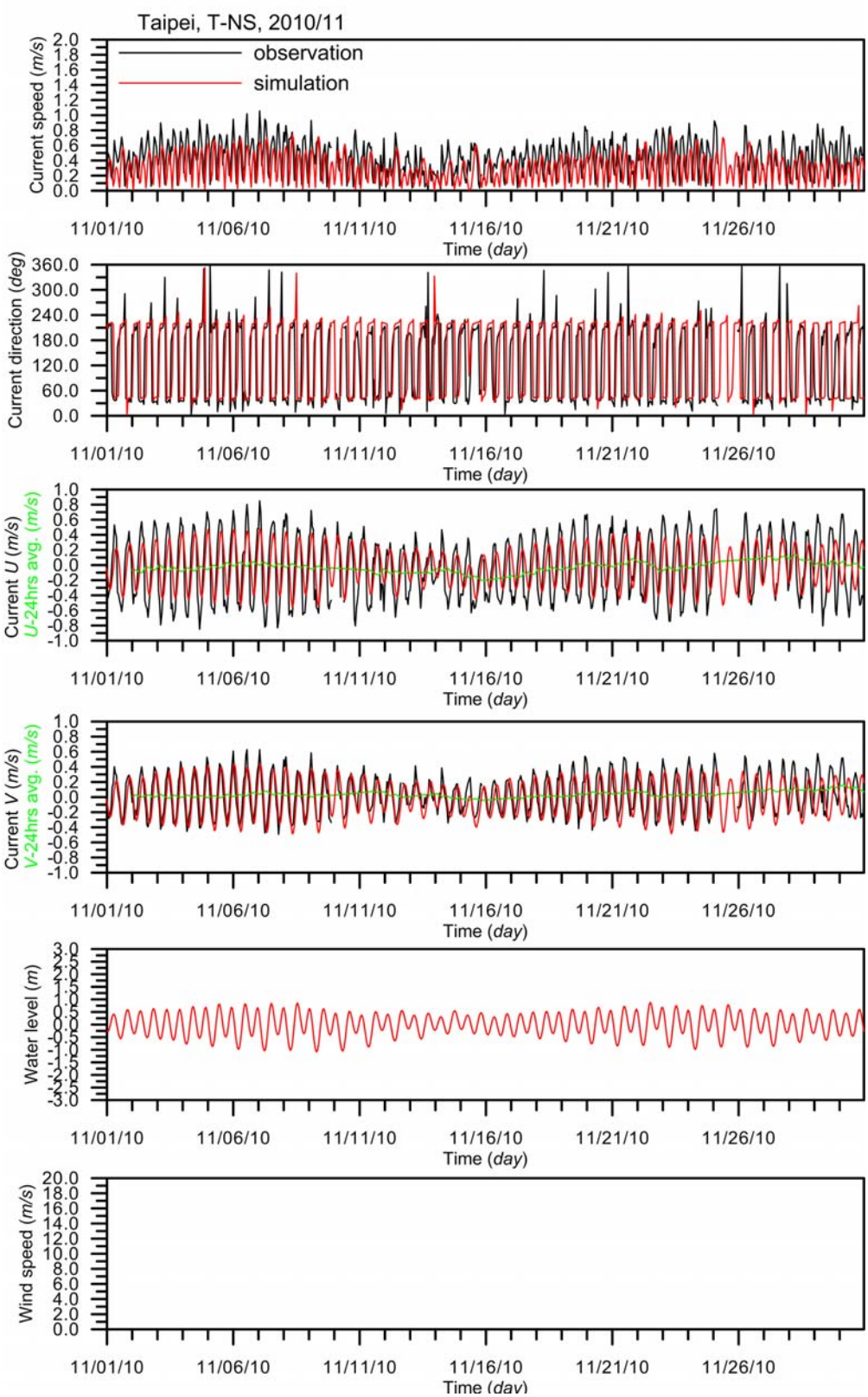


圖 5-12(續) 臺北港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 11 月份)

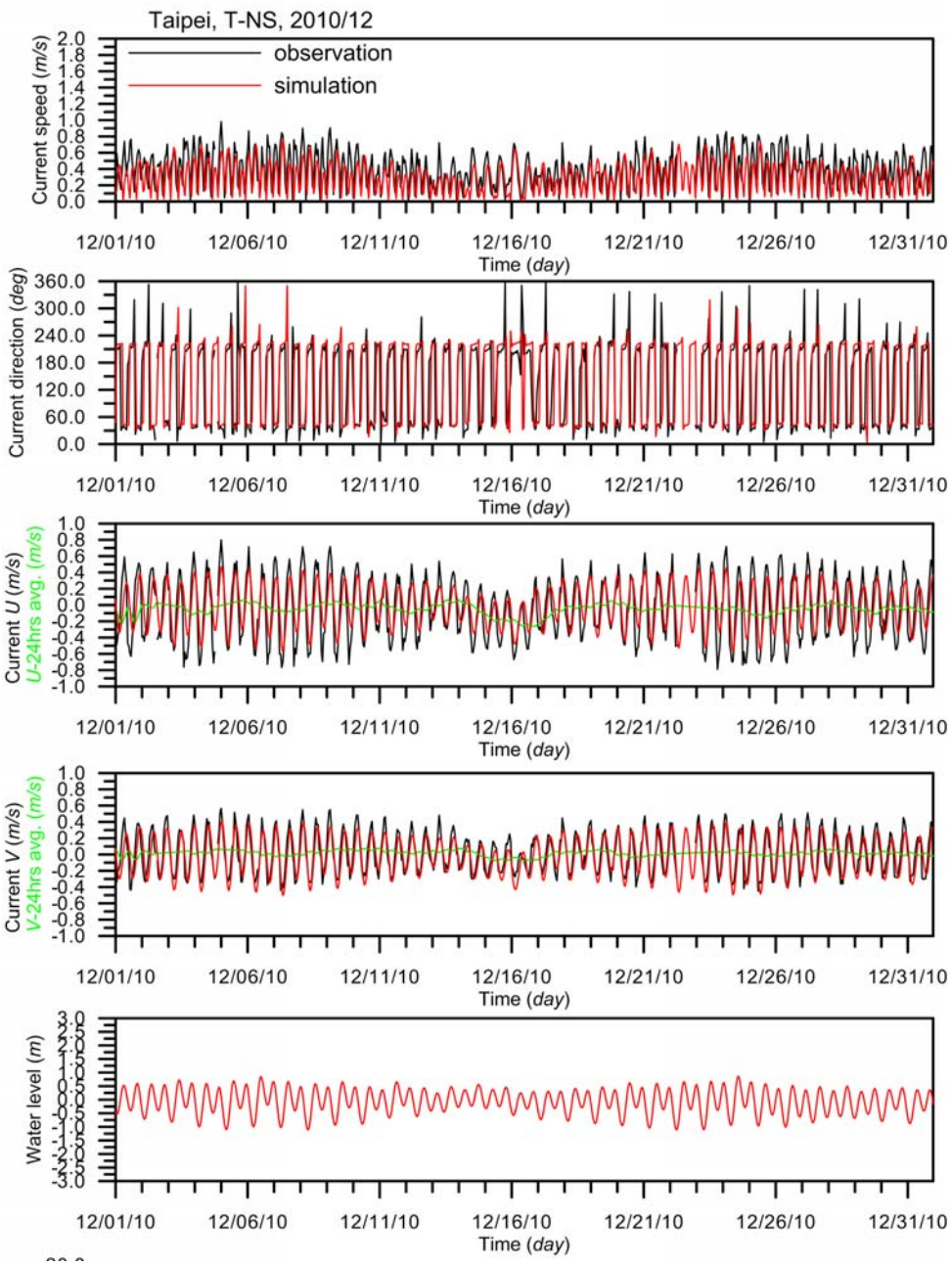


圖 5-12(續) 臺北港之觀測與 T-NS 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 12 月份)

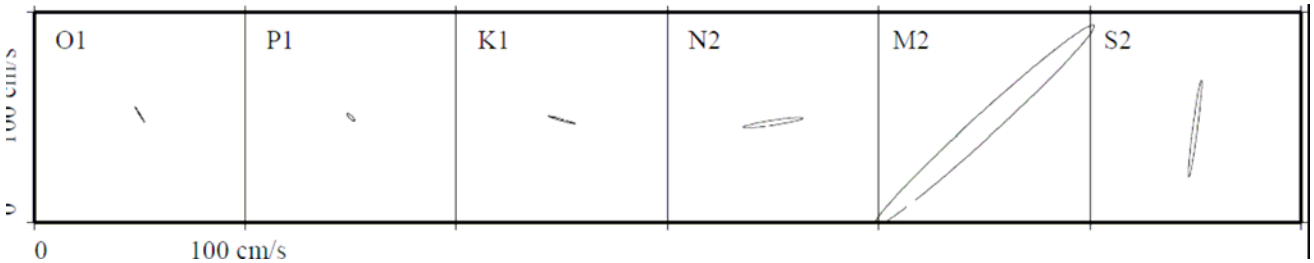


圖 5-13 臺北港潮流橢圓圖

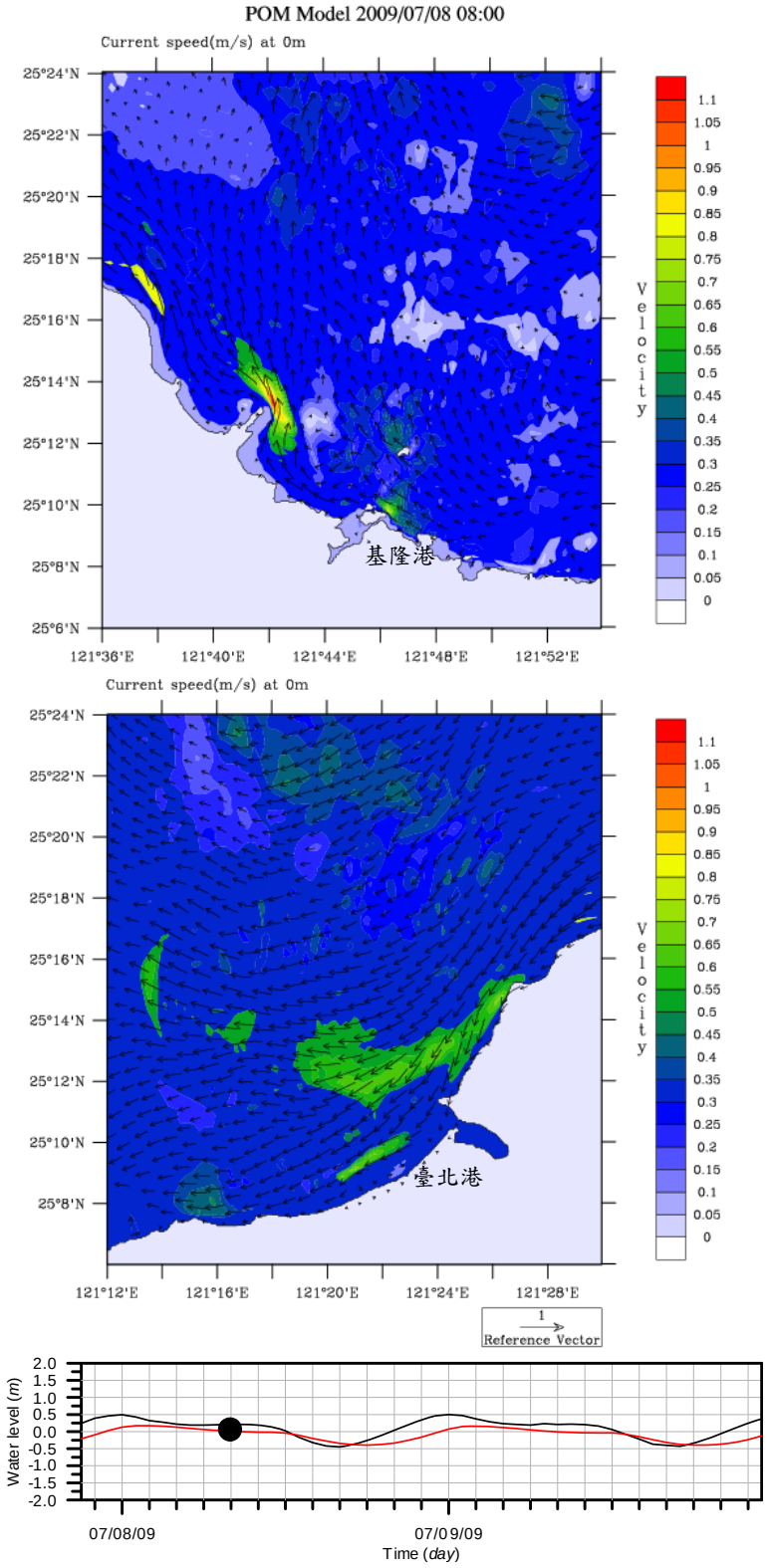


圖 5-14 基隆港與臺北港表面海流分布圖(紅線為模式值，黑線為實測值，黑點為時刻為 2009/07/01 08:00)

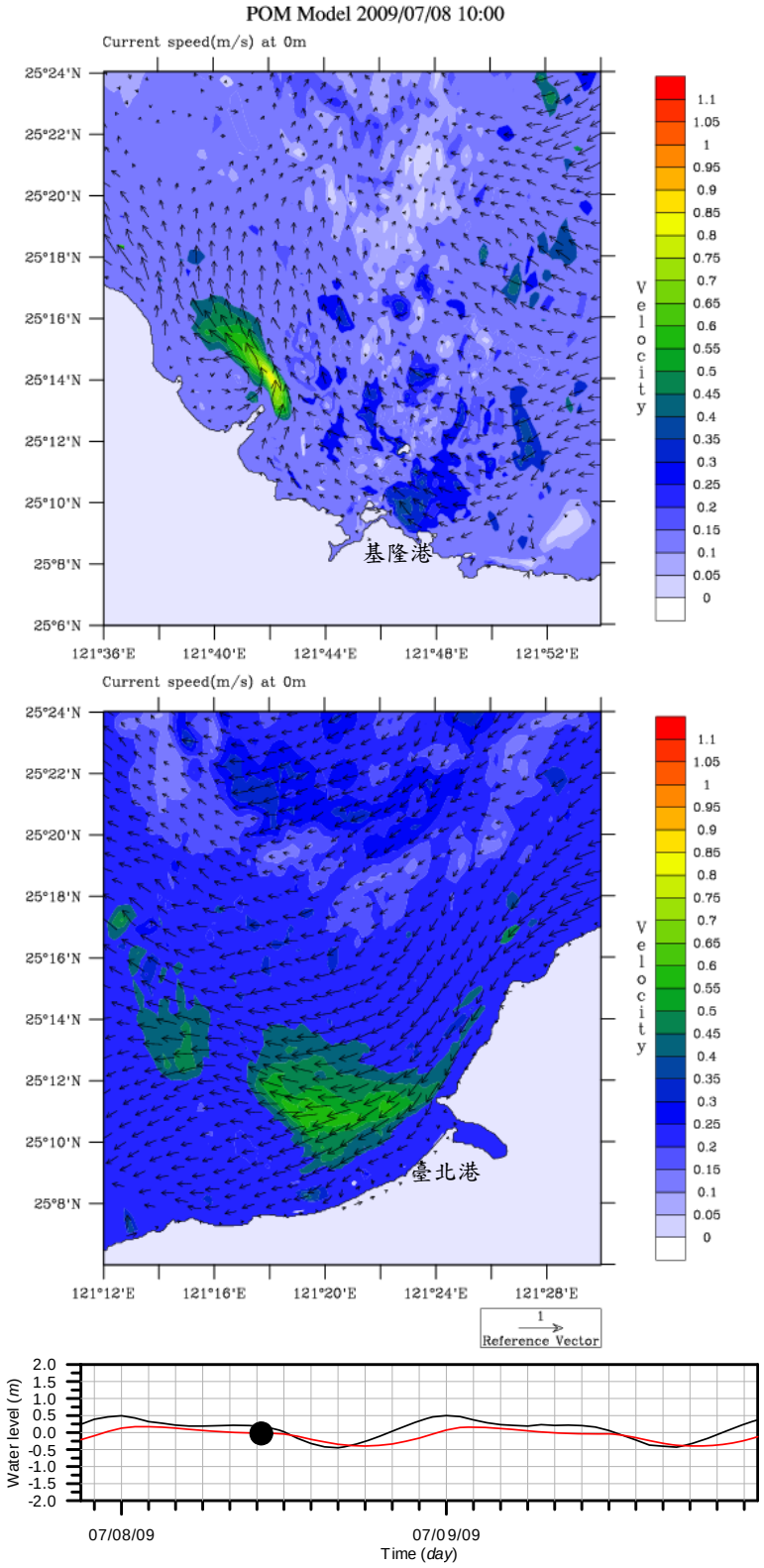


圖 5-14(續) 基隆港與臺北港表面海流分布圖(紅線為模式值，黑線為實測值，黑點為時刻為 2009/07/01 10:00)

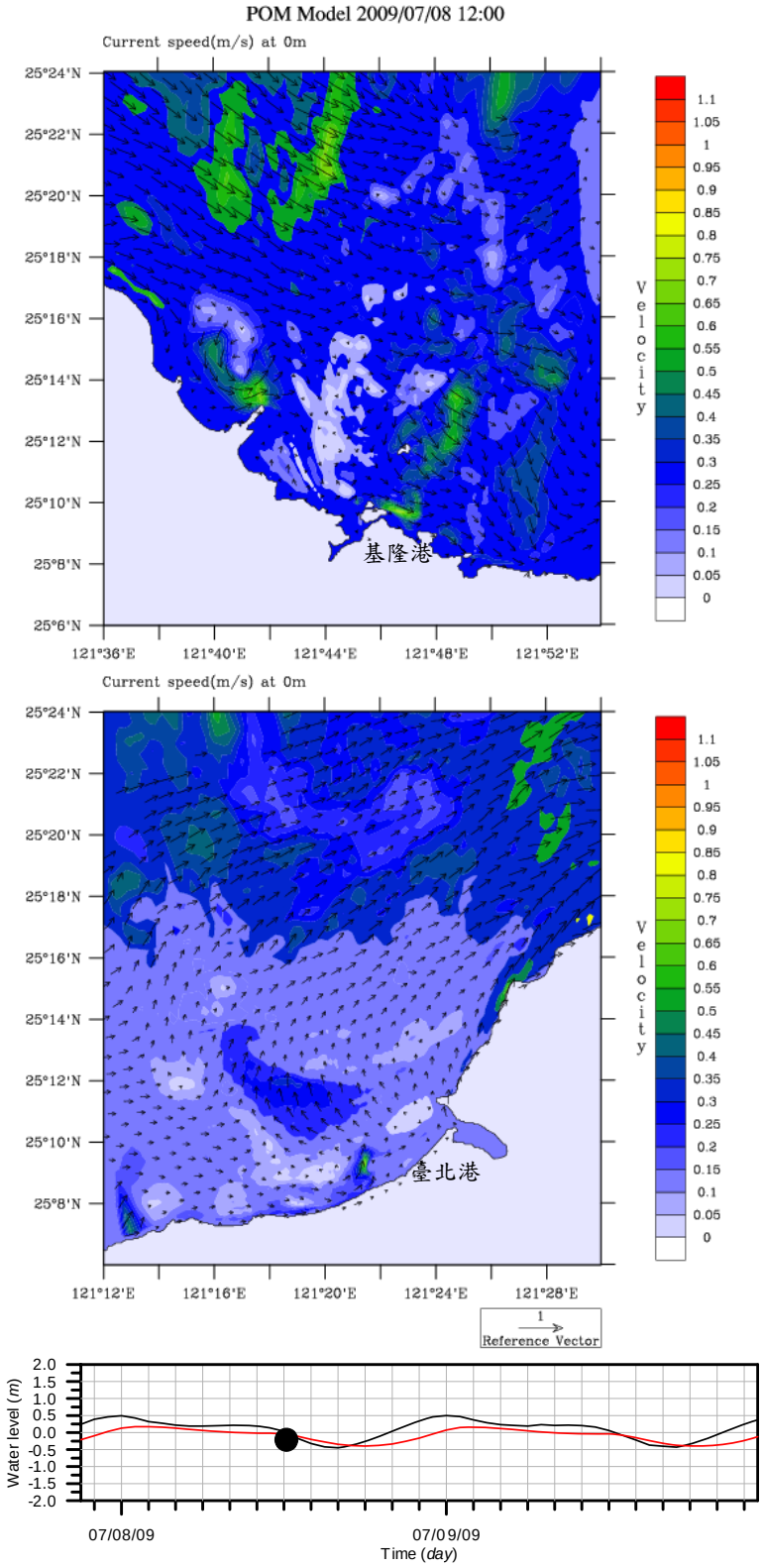


圖 5-14(續) 基隆港與臺北港表面海流分布圖(紅線為模式值，黑線為實測值，黑點為時刻為 2009/07/01 12:00)

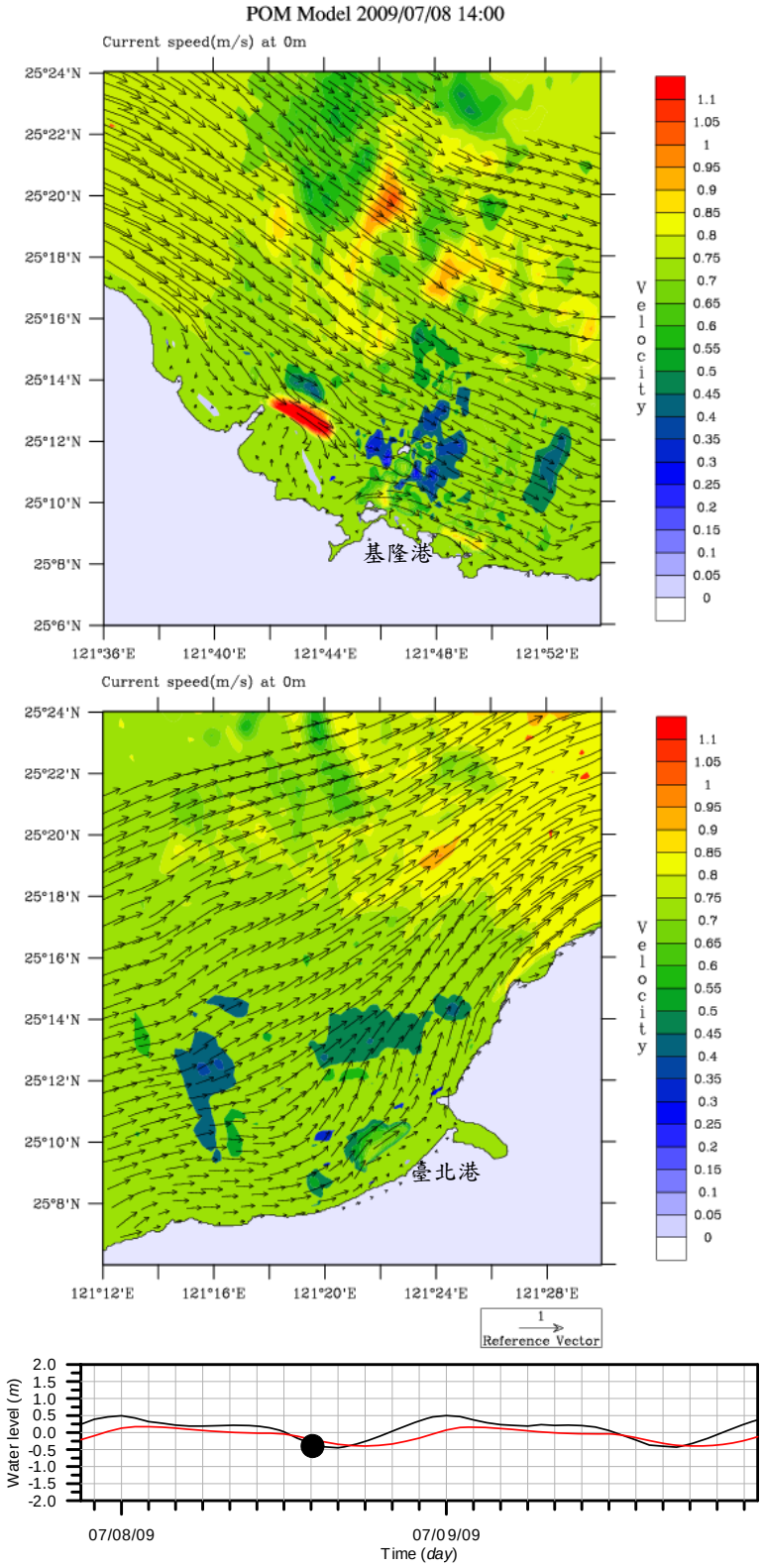


圖 5-14(續) 基隆港與臺北港表面海流分布圖(紅線為模式值，黑線為實測值，黑點為時刻為 2009/07/01 14:00)

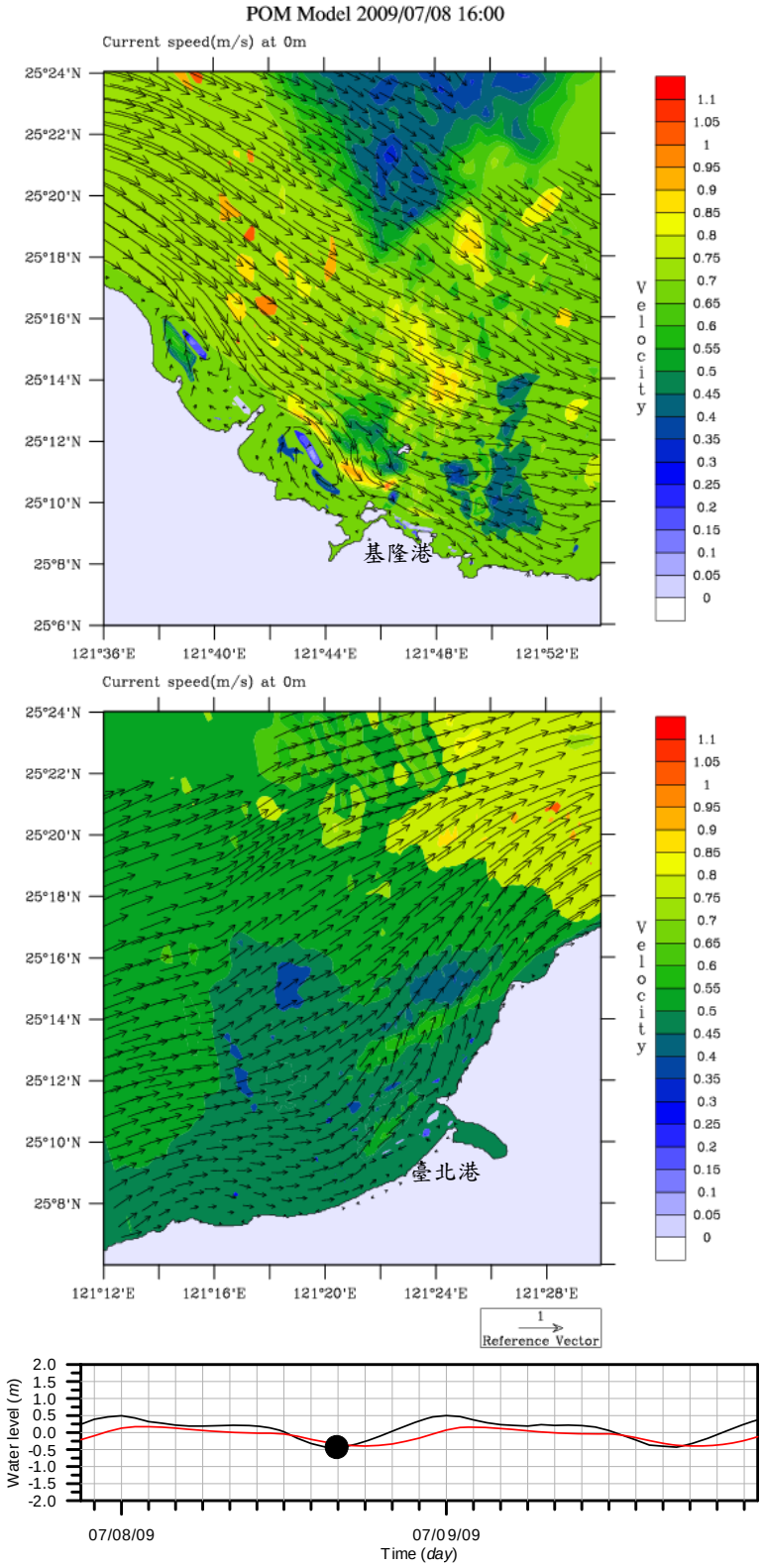


圖 5-14(續) 基隆港與臺北港表面海流分布圖(紅線為模式值，黑線為實測值，黑點為時刻為 2009/07/01 16:00)

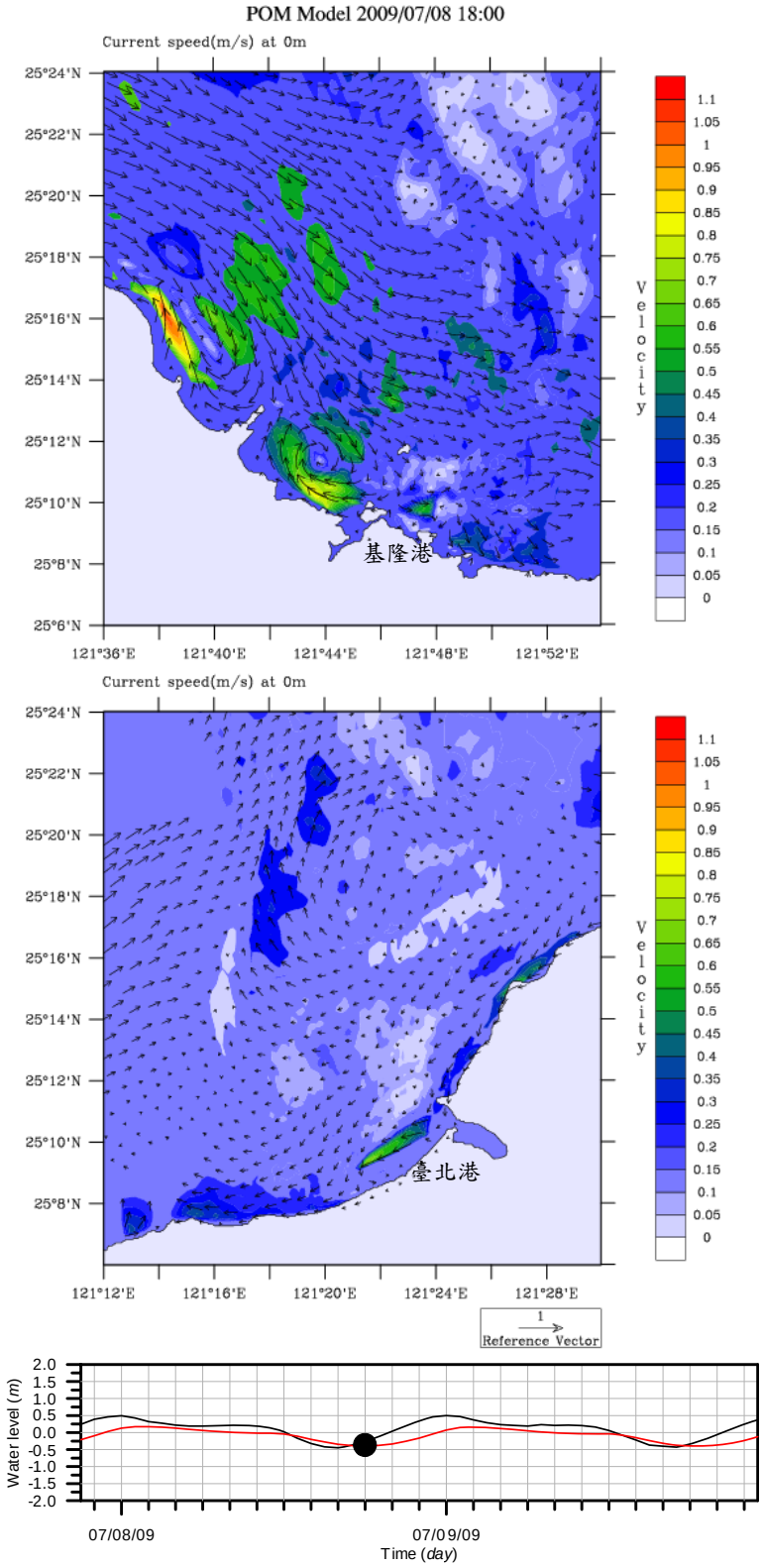


圖 5-14(續) 基隆港與臺北港表面海流分布圖(紅線為模式值，黑線為實測值，黑點為時刻為 2009/07/01 18:00)

5.3 臺灣東部海域 (花蓮港、蘇澳港)

圖 5-15 與圖 5-16 分別為花蓮港之觀測與 T-E 模式模擬結果於 2009 年與 2010 年各月份之海流、潮位與風速比較圖。由圖中觀測與模擬結果比較之整體趨勢，潮位之相位均可合理預測，但模擬潮位振幅略為偏小，而流速大小尺度接近，流向亦有合理性。根據圖中潮位與流向綜合比較，花蓮港港外海域之海流於小潮時段段有持續偏西南流動之趨勢，而模式亦可合理的模擬此一現象。由東西、南北分量流速關係圖中所示，花蓮港近岸海域之流向是沿著海岸流動，花蓮港附近海岸與正東方呈 49 度夾角，與圖中之流速分布角度接近。由表 5-4 花蓮港海域調和常數表中 $(K_1+O_1)/M_2=0.67$ 表示花蓮港海域為半日潮型，而由圖 5-17 之潮流橢圓圖看來，各分潮之流速皆很小。

圖 5-18 與圖 5-19 為蘇澳港之觀測與 T-E 模式模擬結果於 2009 年與 2010 年各月份之海流、潮位與風速比較圖，其小潮段之流向持續偏向西南向之趨勢與花蓮港海域呈現一致性，由圖中可看出東西流向模擬與實測之尺度接近，但南北分量之模擬流速略為偏大。由圖中 2009 年 8 月初有明顯流速、潮位變大現象，其為 2009 年莫拉克颱風侵襲臺灣所導致海流變化情況，由圖中可知莫拉克颱風侵襲時蘇澳港近岸海域海流之流向持續偏西南且流速變大，模擬結果亦顯現此一趨勢，但潮位模擬明顯偏小無法顯現暴潮現象，由於本計畫計算時亦有考慮海面大氣壓力之海面邊界外力，但仍導致潮位有明顯低估情勢，可見 NCEP/NCAR 大氣資料庫解析度不足以利用其來計算暴潮現象。而由表 5-5 蘇澳港調和分析常數表 $(K_1+O_1)/M_2=0.77$ 表示蘇澳港海域為半日潮型，而圖 5-20 潮流橢圓圖與花蓮港海域一致，各分潮之流速皆很小。

圖 5-21 為臺灣東部海域海流分布圖，觀察圖中海流分布，近岸處為海流速度明顯偏小，甚至在宜蘭至花蓮一帶海岸呈現一返流(counter current)，綜合實測資料，此處海域應於大潮之漲潮時段流速向南退潮向北，而小潮時段由於潮流成分較小，故導致小潮時段受到黑潮主流外側返流的影響有持續偏向西南流動之現象。

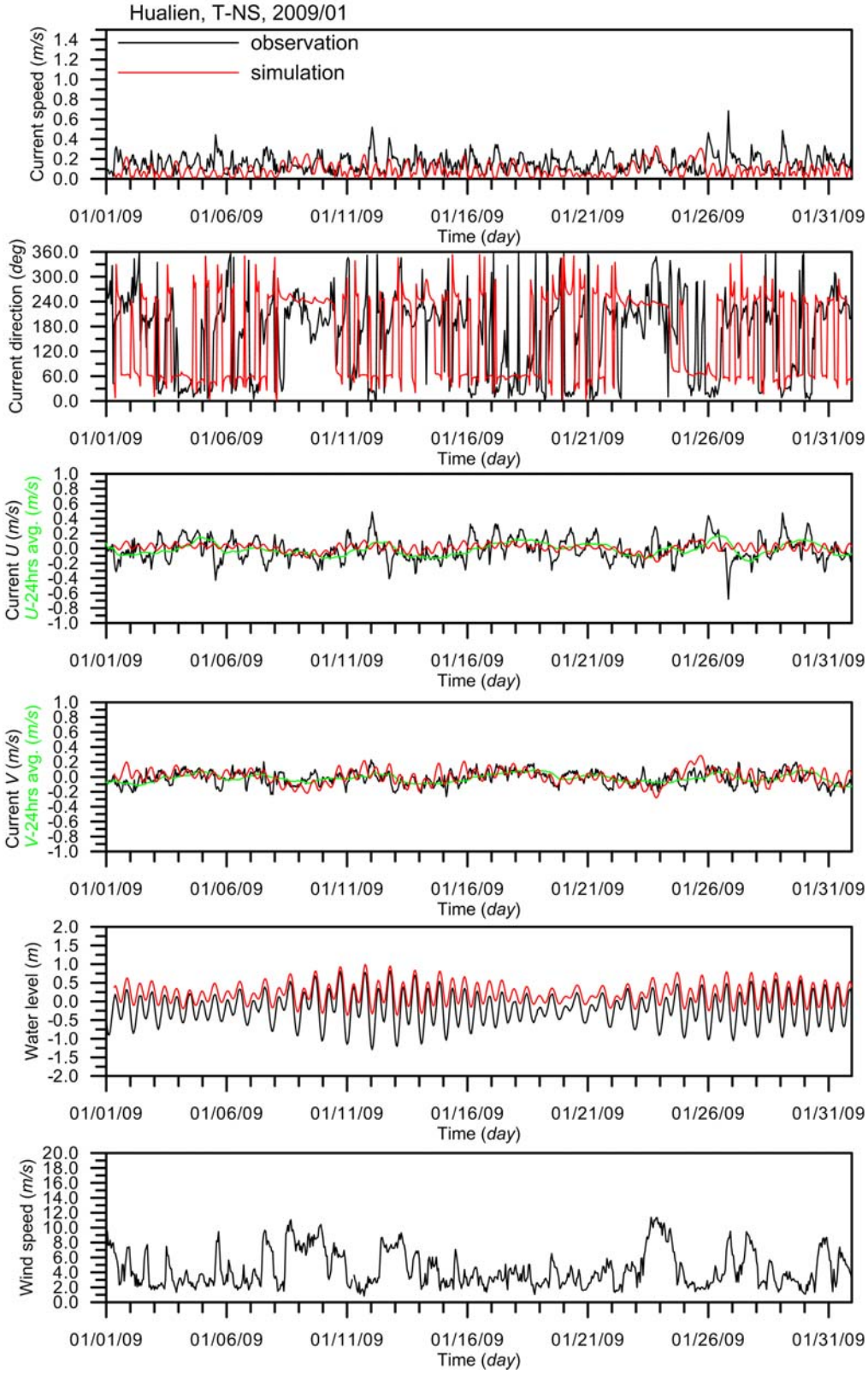


圖 5-15 花蓮港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 1 月份)

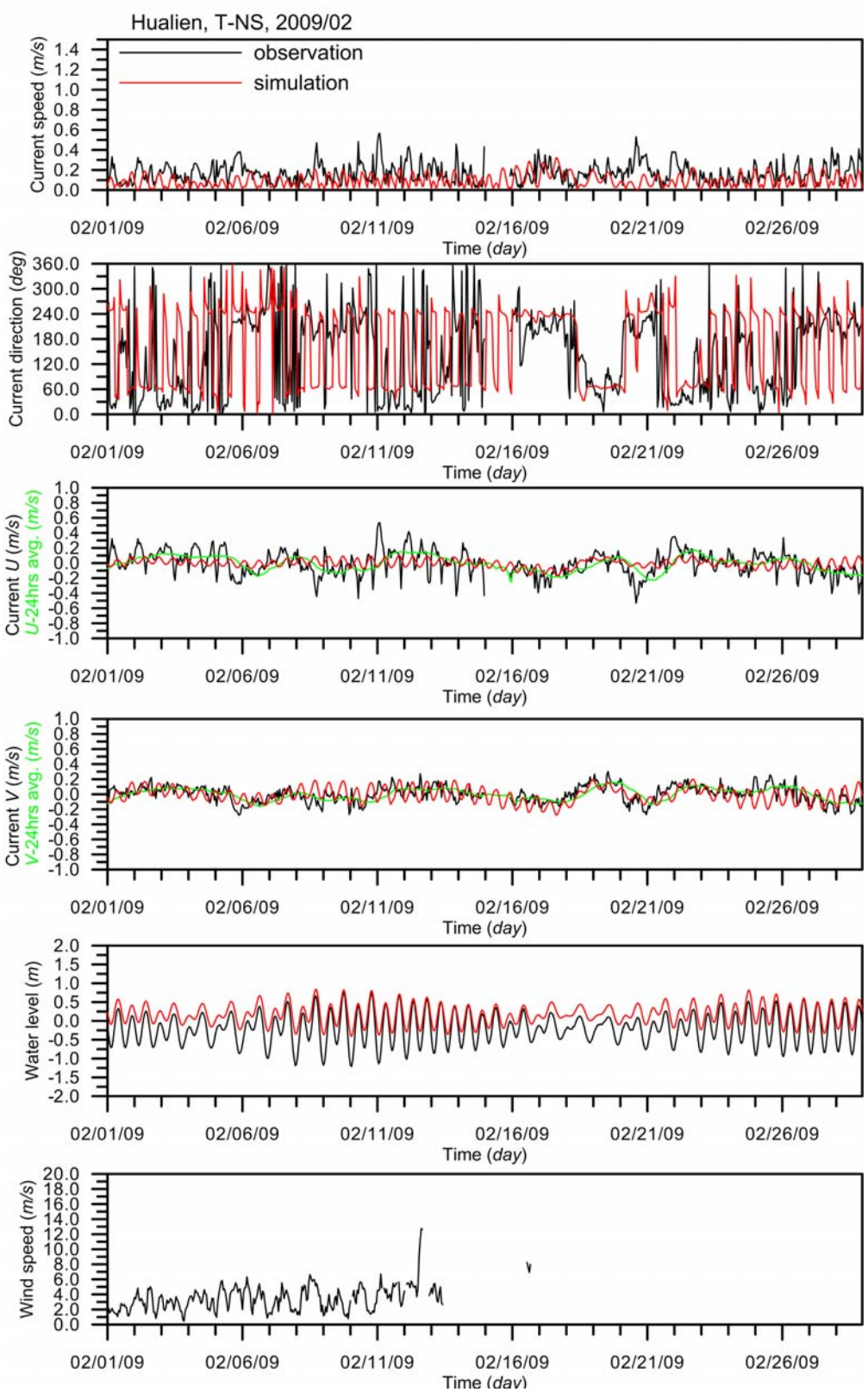


圖 5-15(續) 花蓮港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 2 月份)

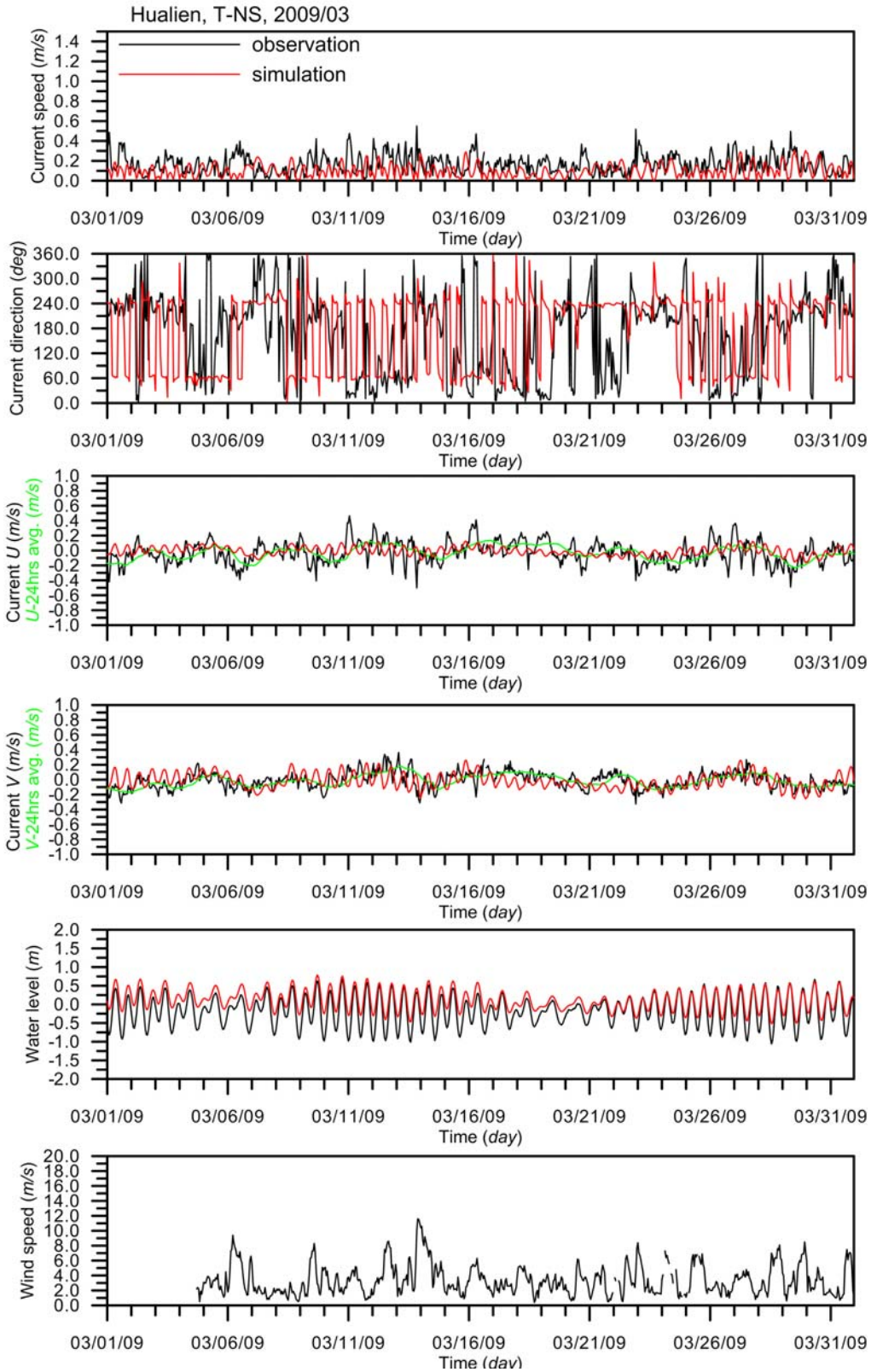


圖 5-15(續) 花蓮港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 3 月份)

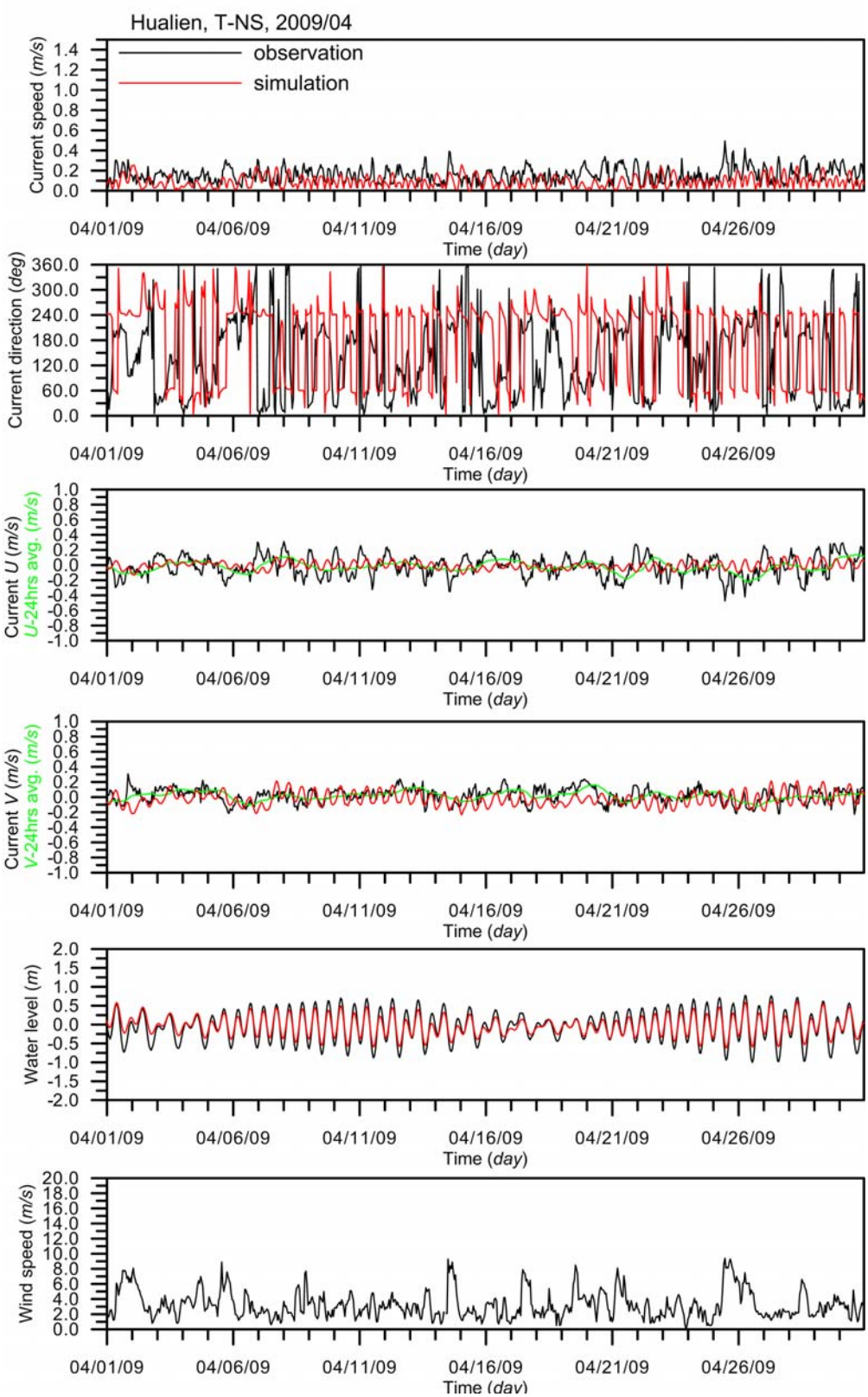


圖 5-15(續) 花蓮港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 4 月份)

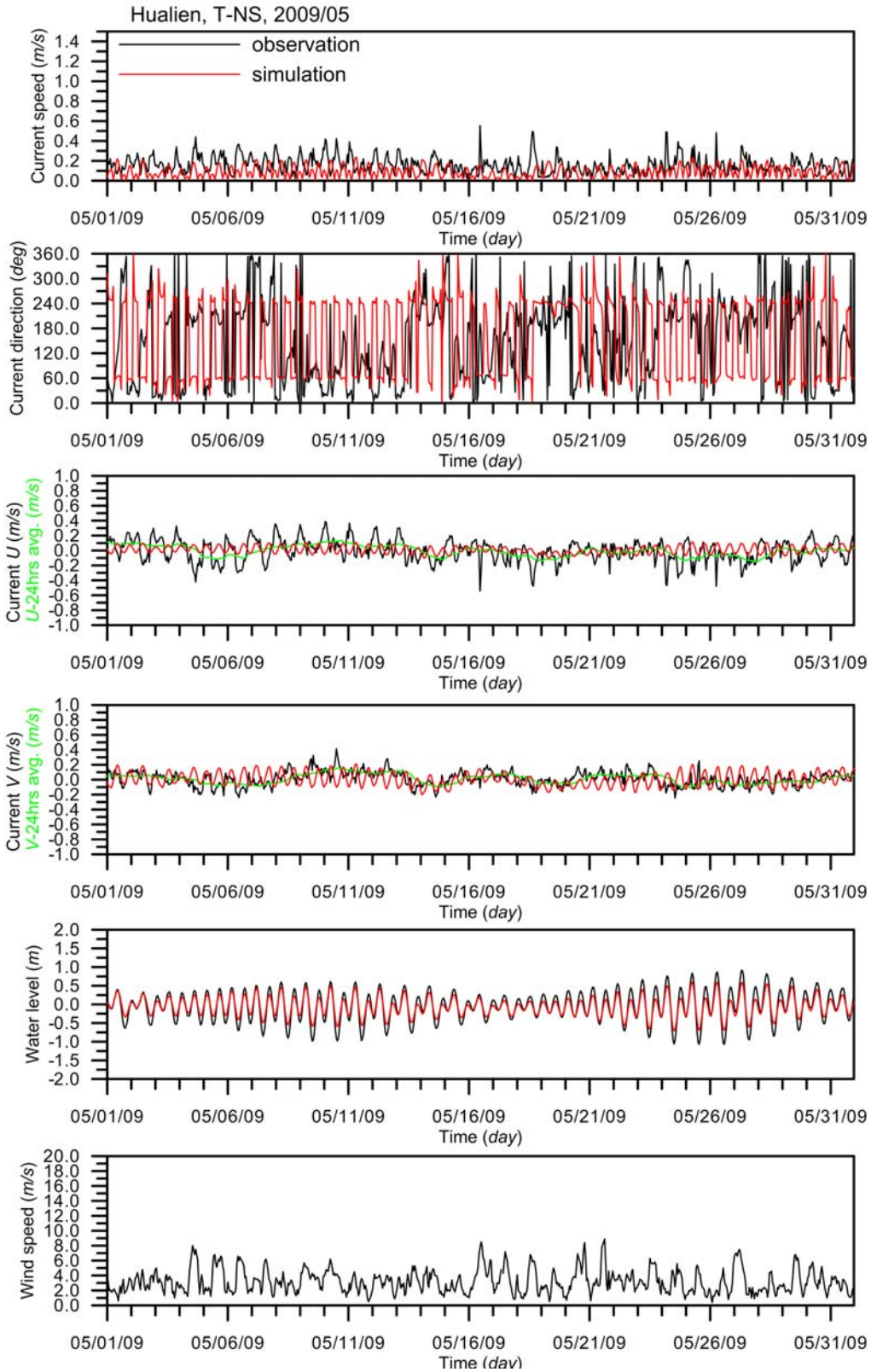


圖 5-15(續) 花蓮港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 5 月份)

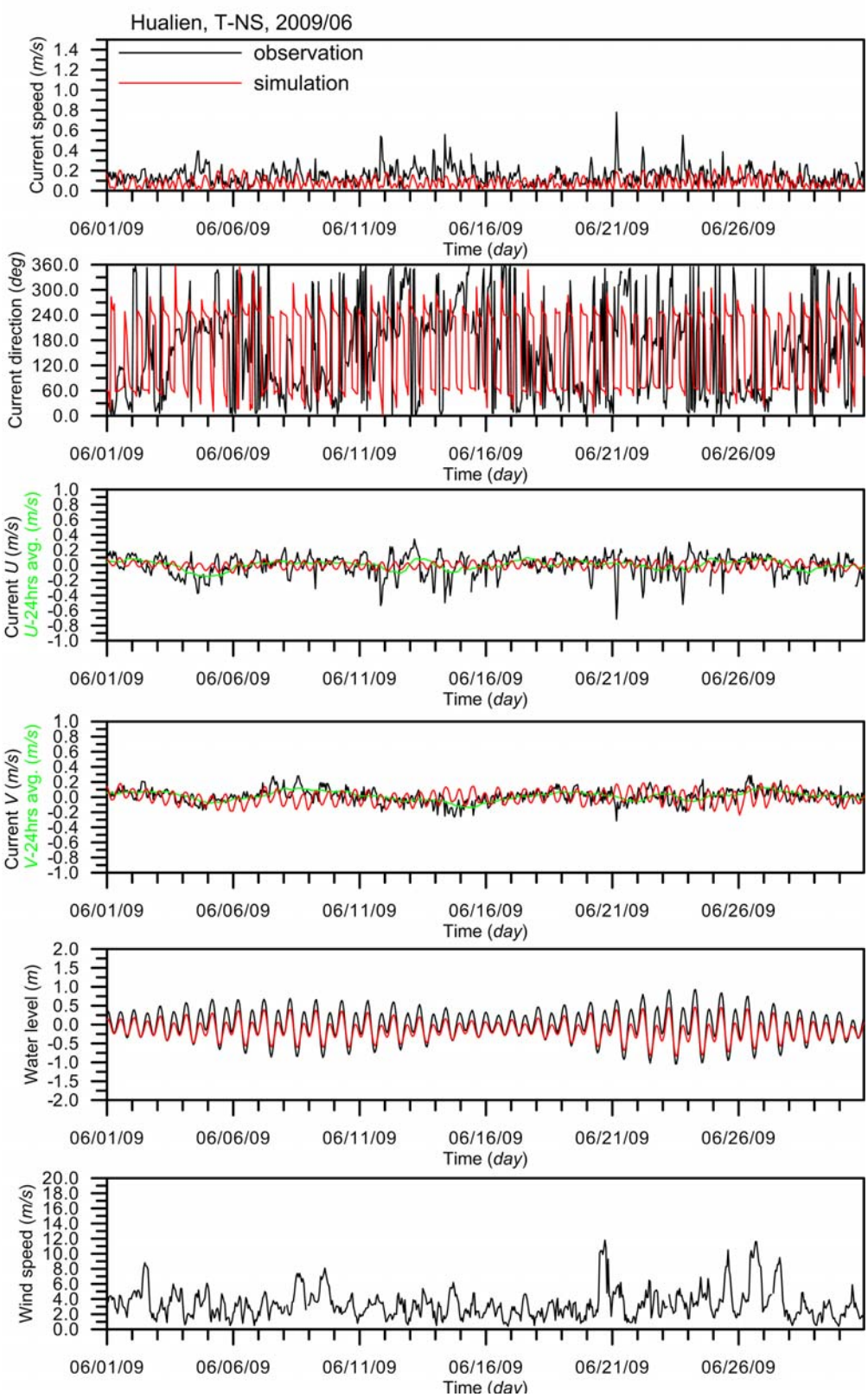


圖 5-15(續) 花蓮港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 6 月份)

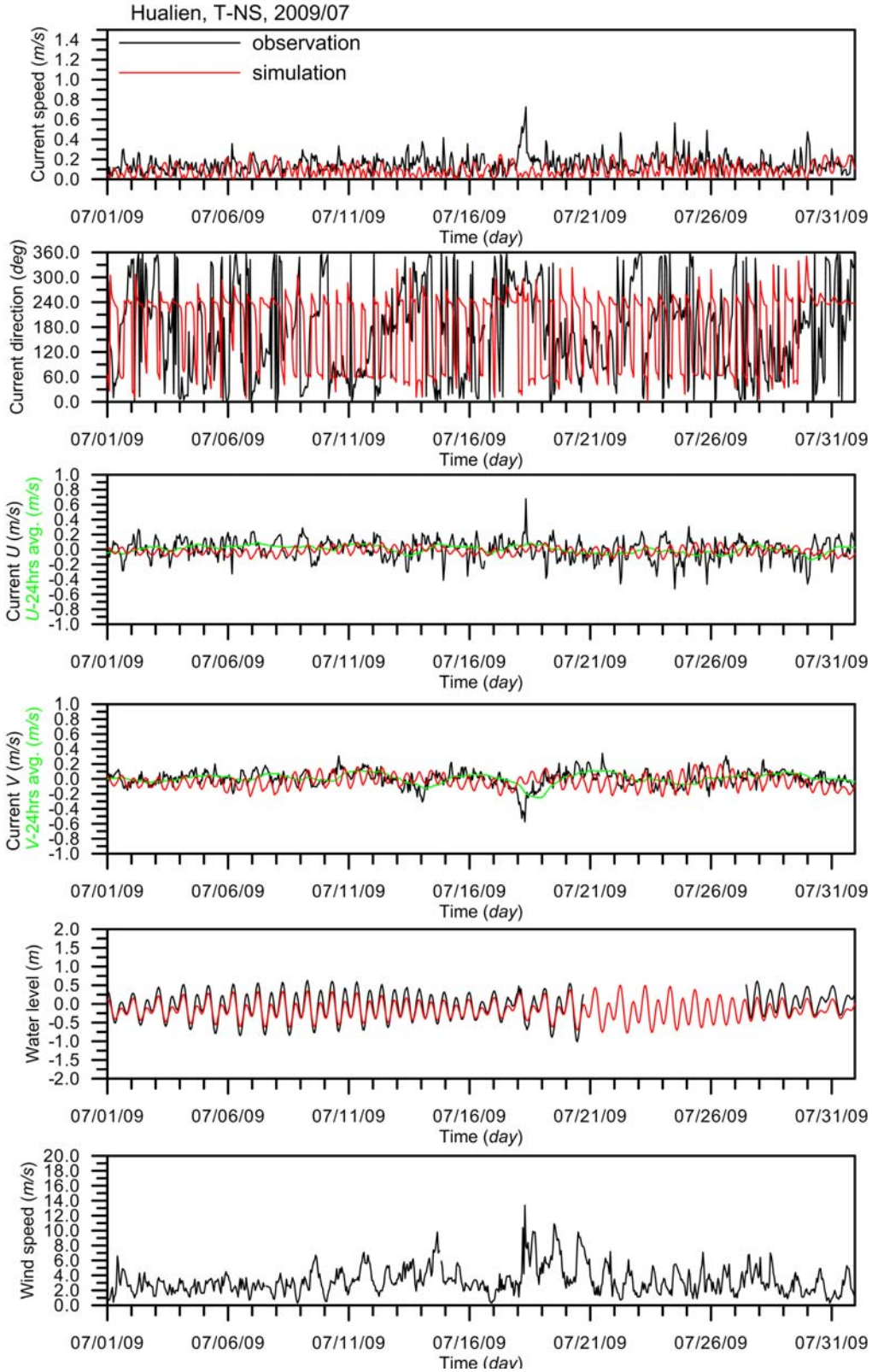


圖 5-15(續) 花蓮港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 7 月份)

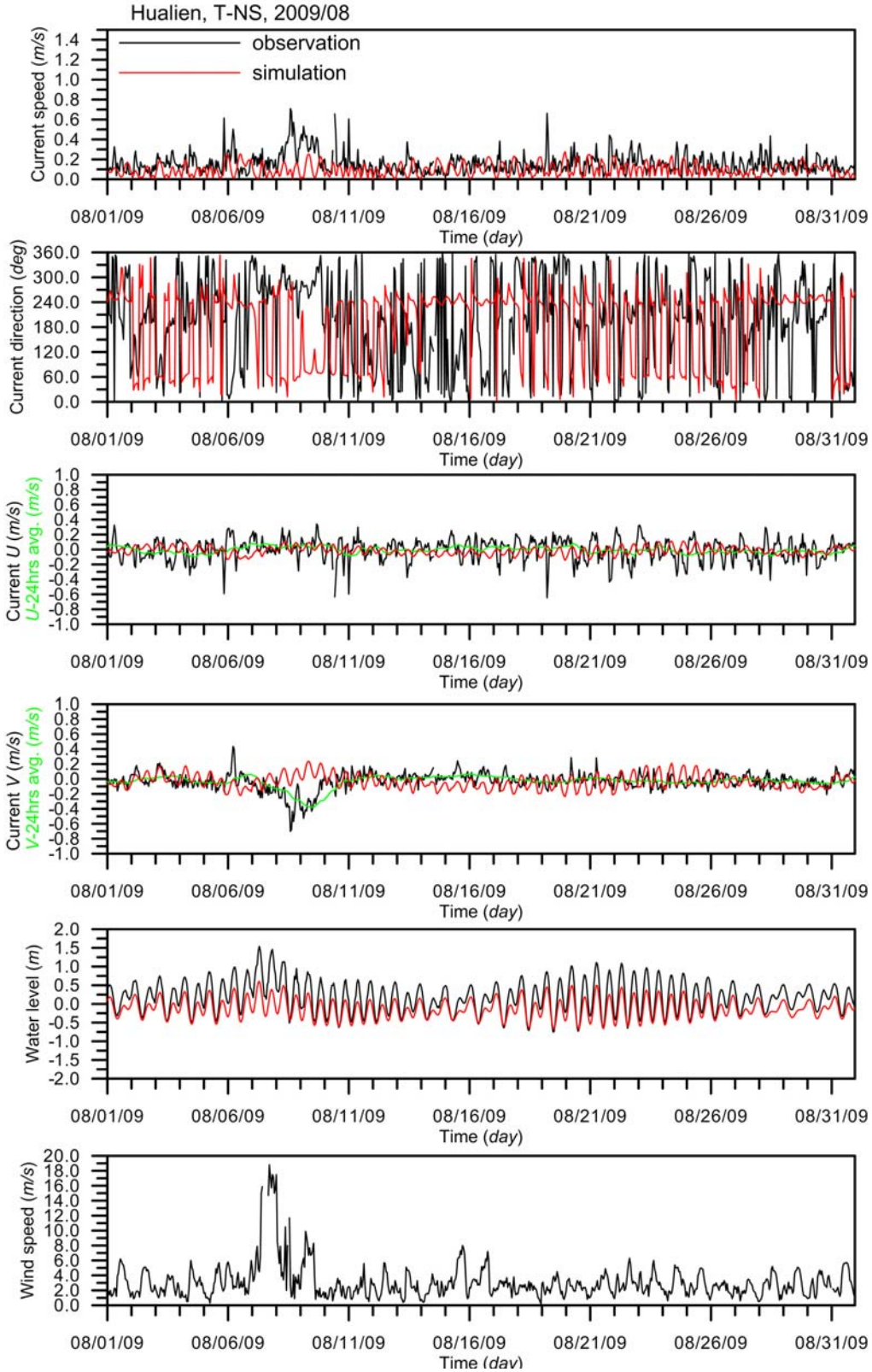


圖 5-15(續) 花蓮港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 8 月份)

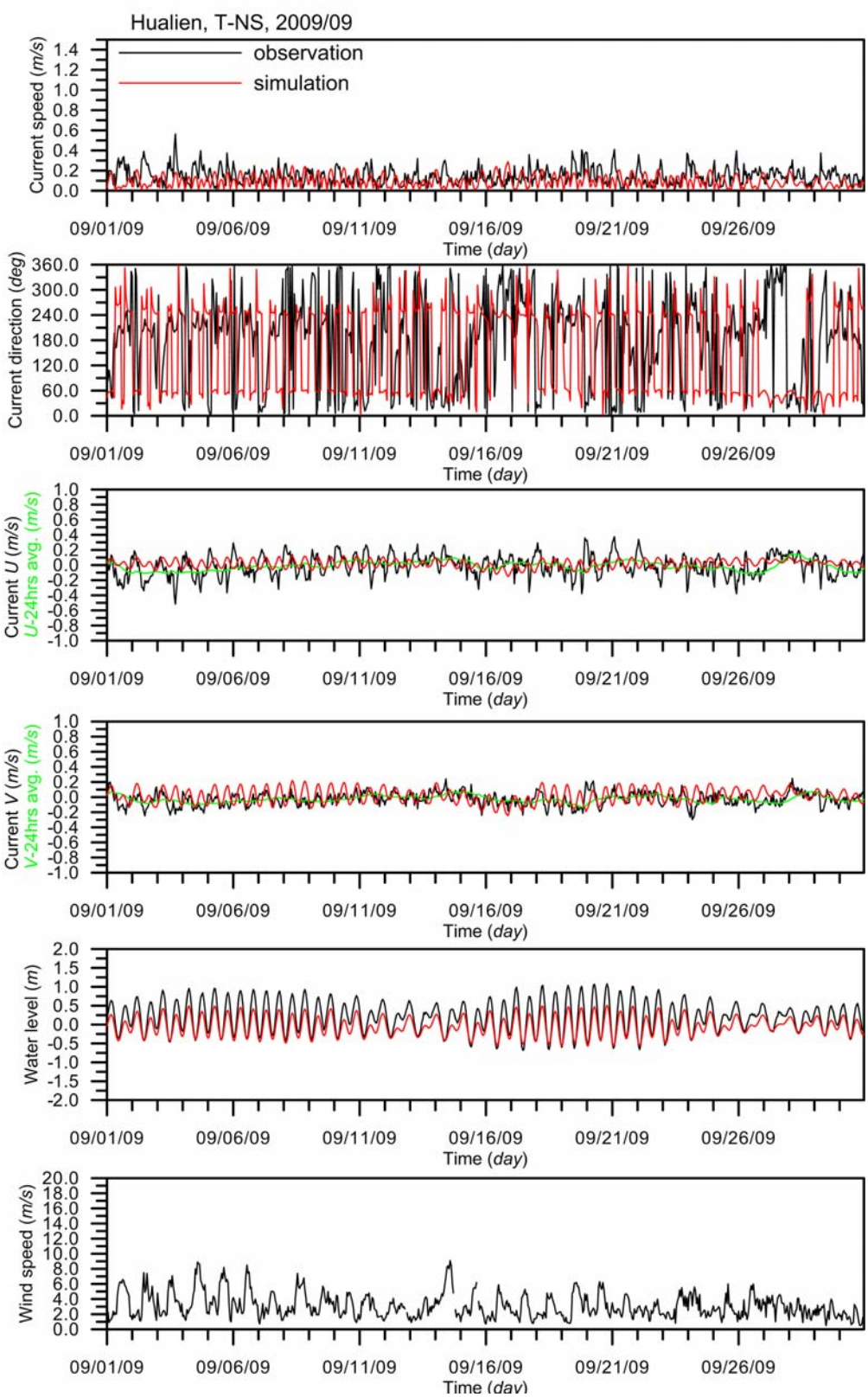


圖 5-15(續) 花蓮港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 9 月份)

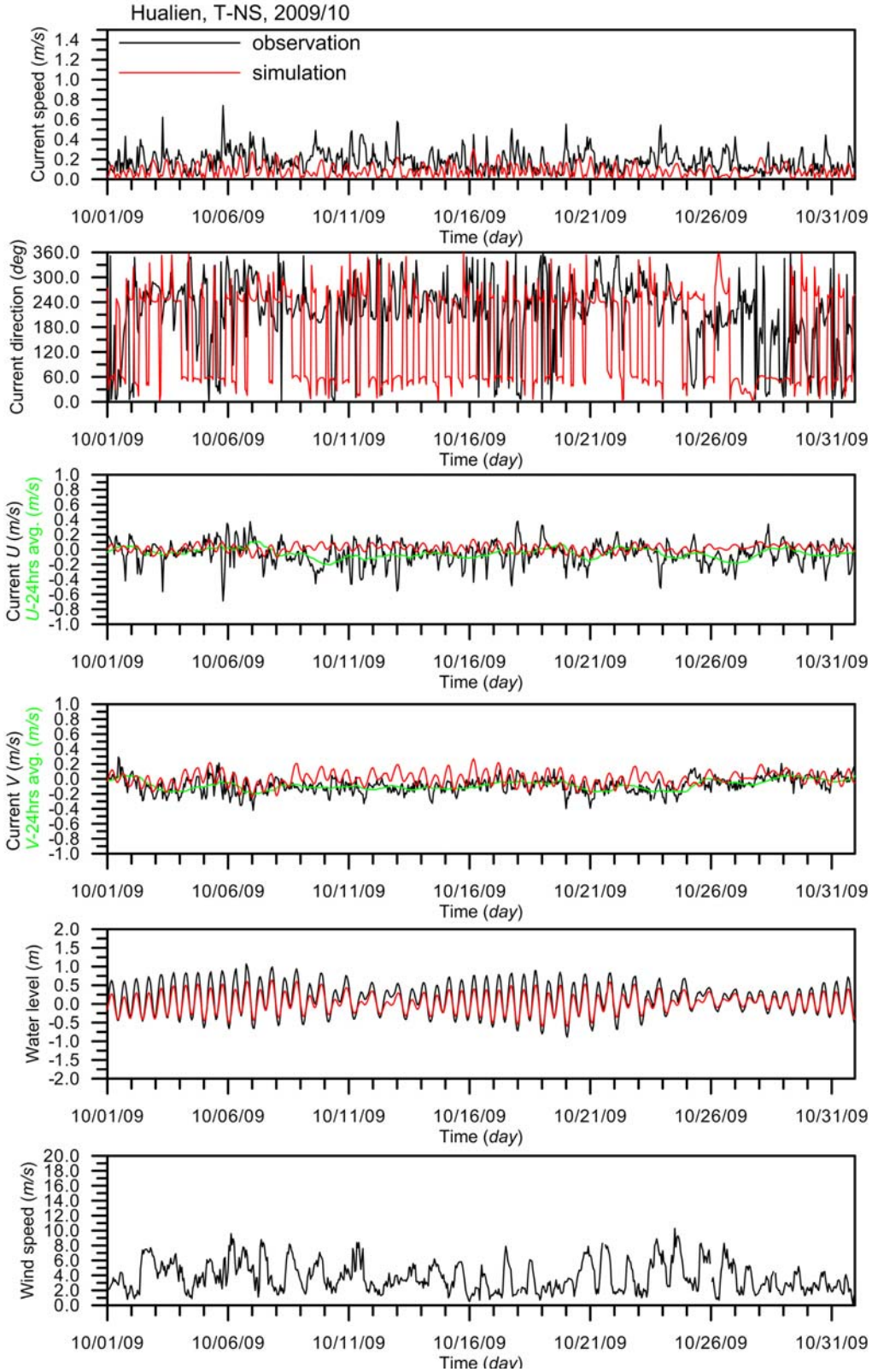


圖 5-15(續) 花蓮港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 10 月份)

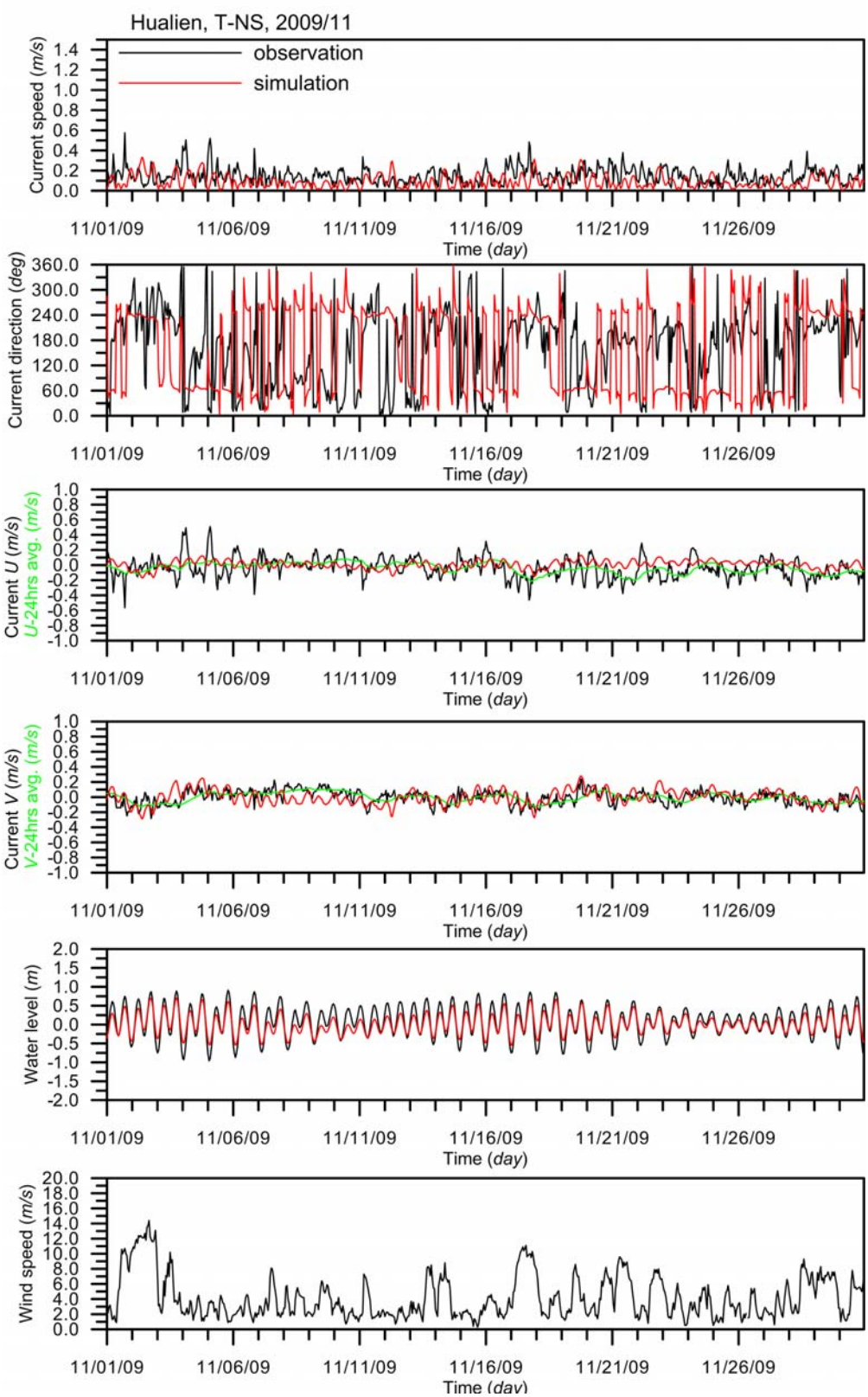


圖 5-15(續) 花蓮港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 11 月份)

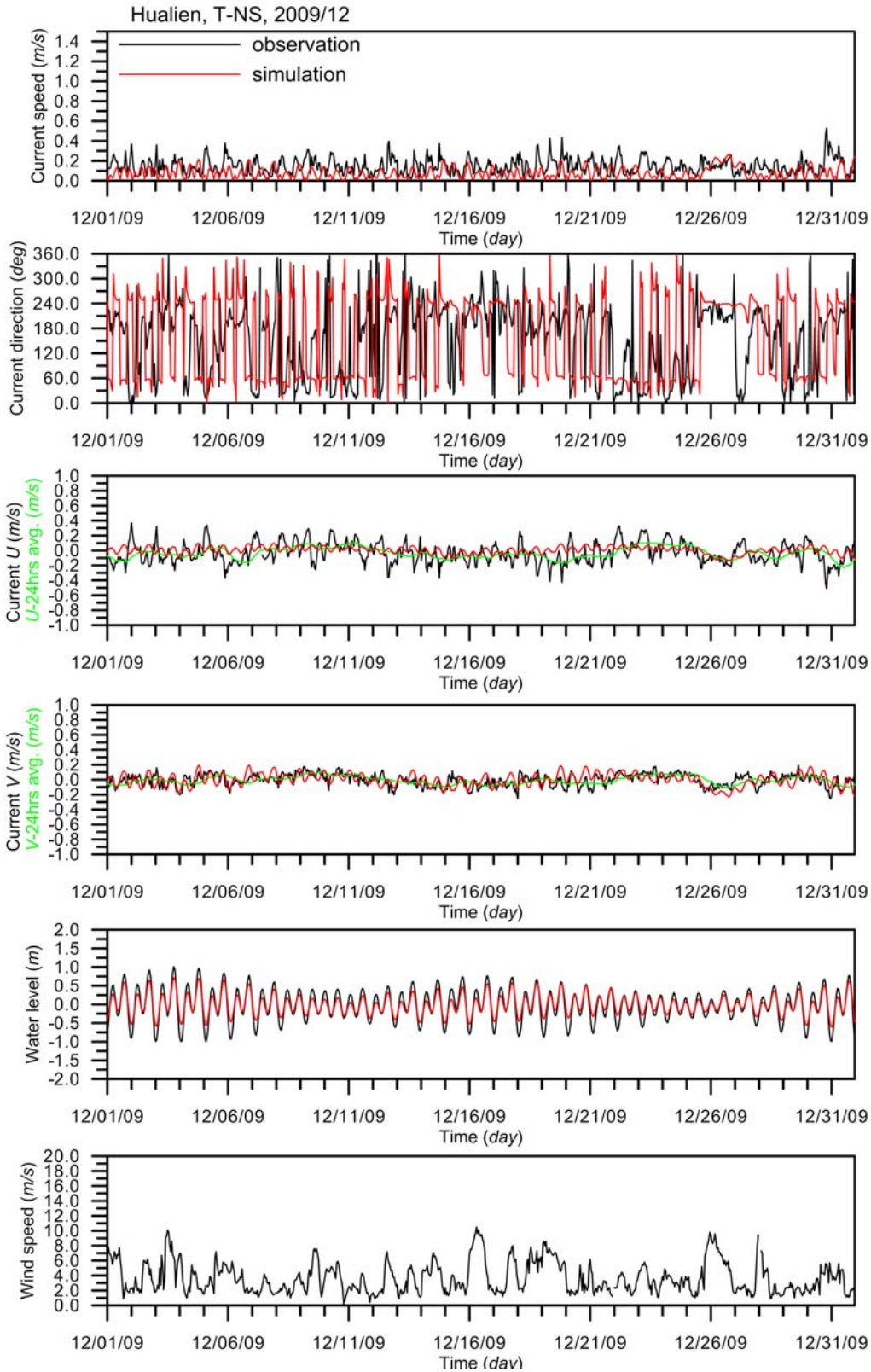


圖 5-15(續) 花蓮港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 12 月份)

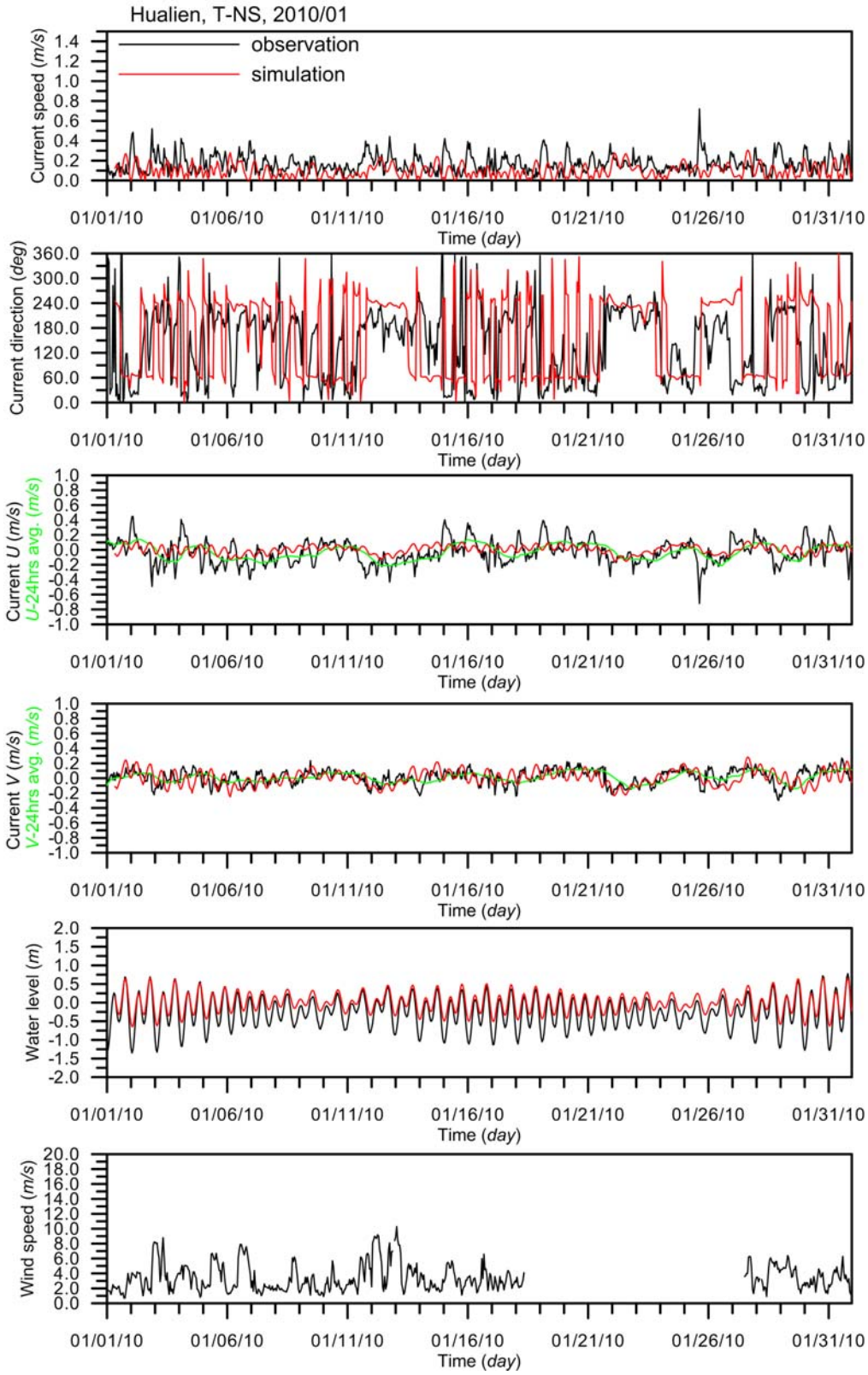


圖 5-16 花蓮港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 1 月份)

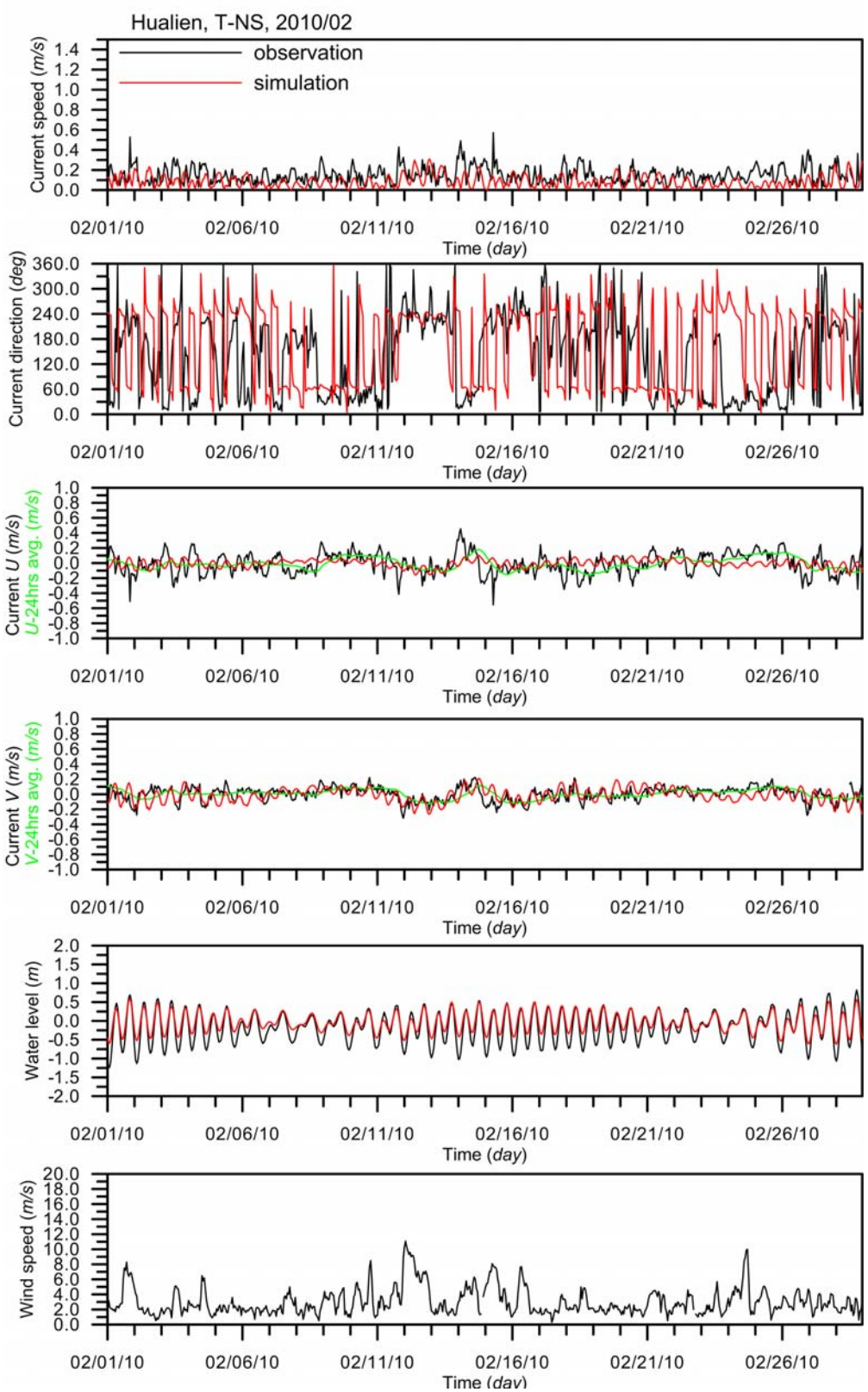


圖 5-16(續) 花蓮港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 2 月份)

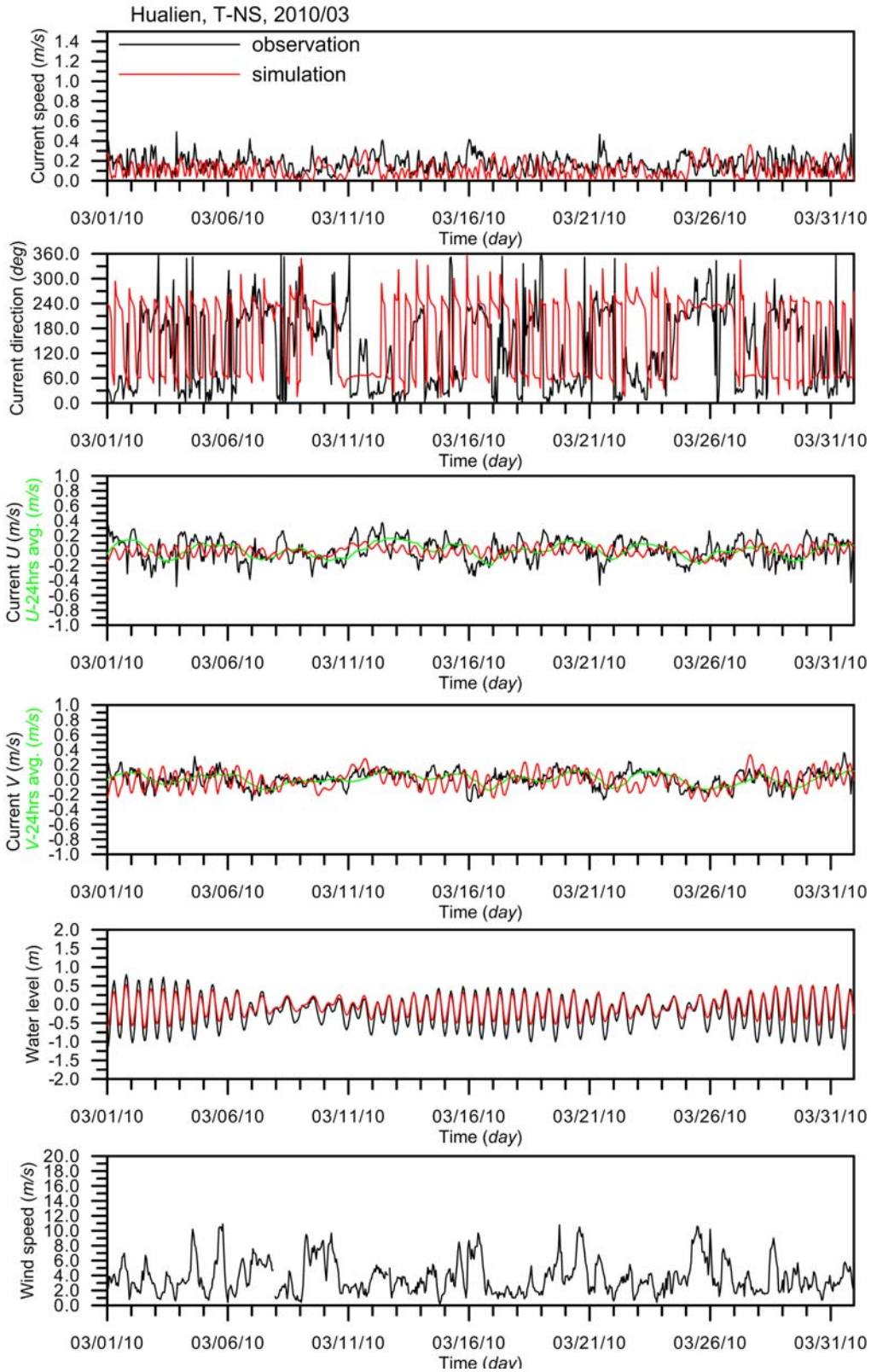


圖 5-16(續) 花蓮港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 3 月份)

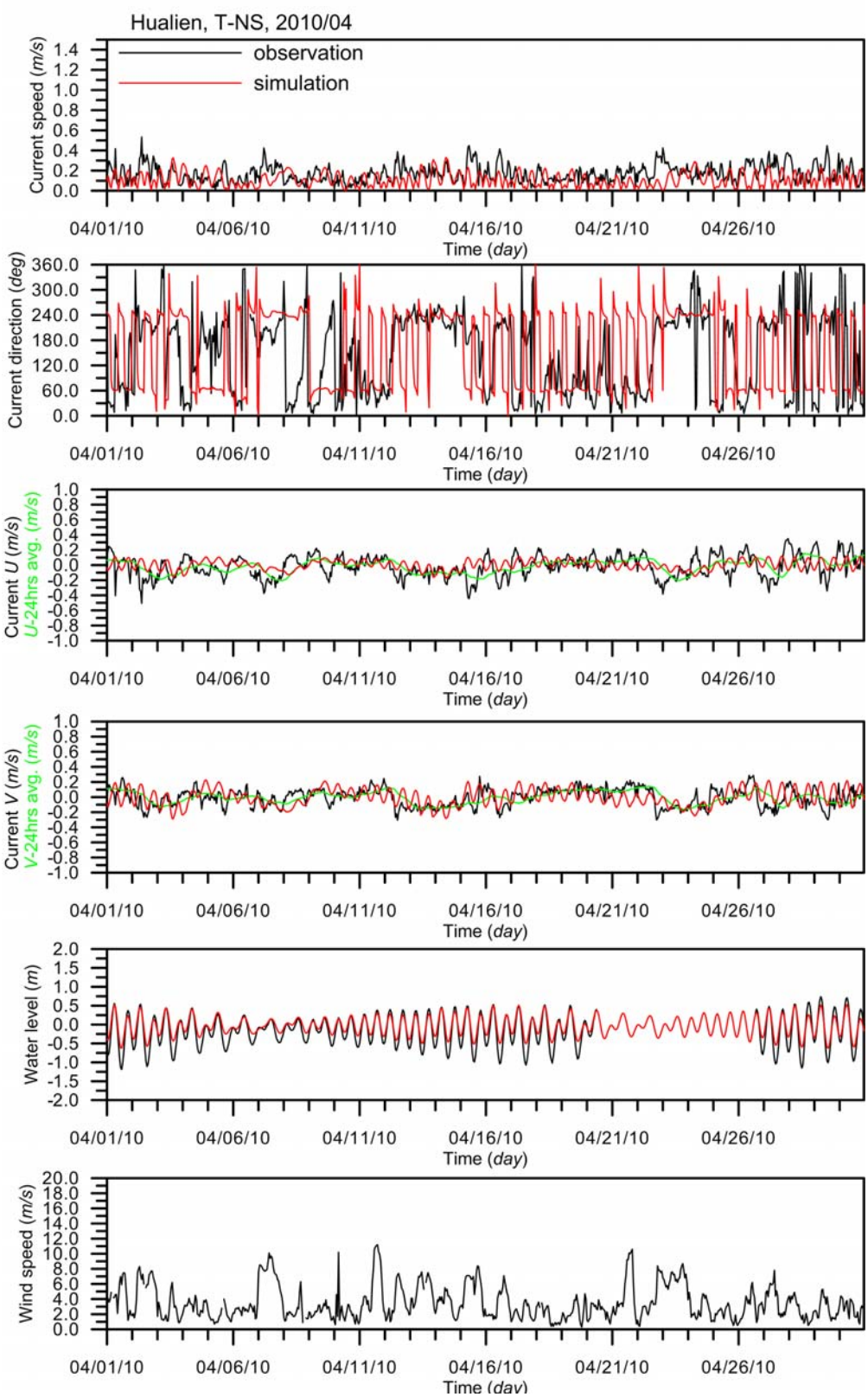


圖 5-16(續) 花蓮港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 4 月份)

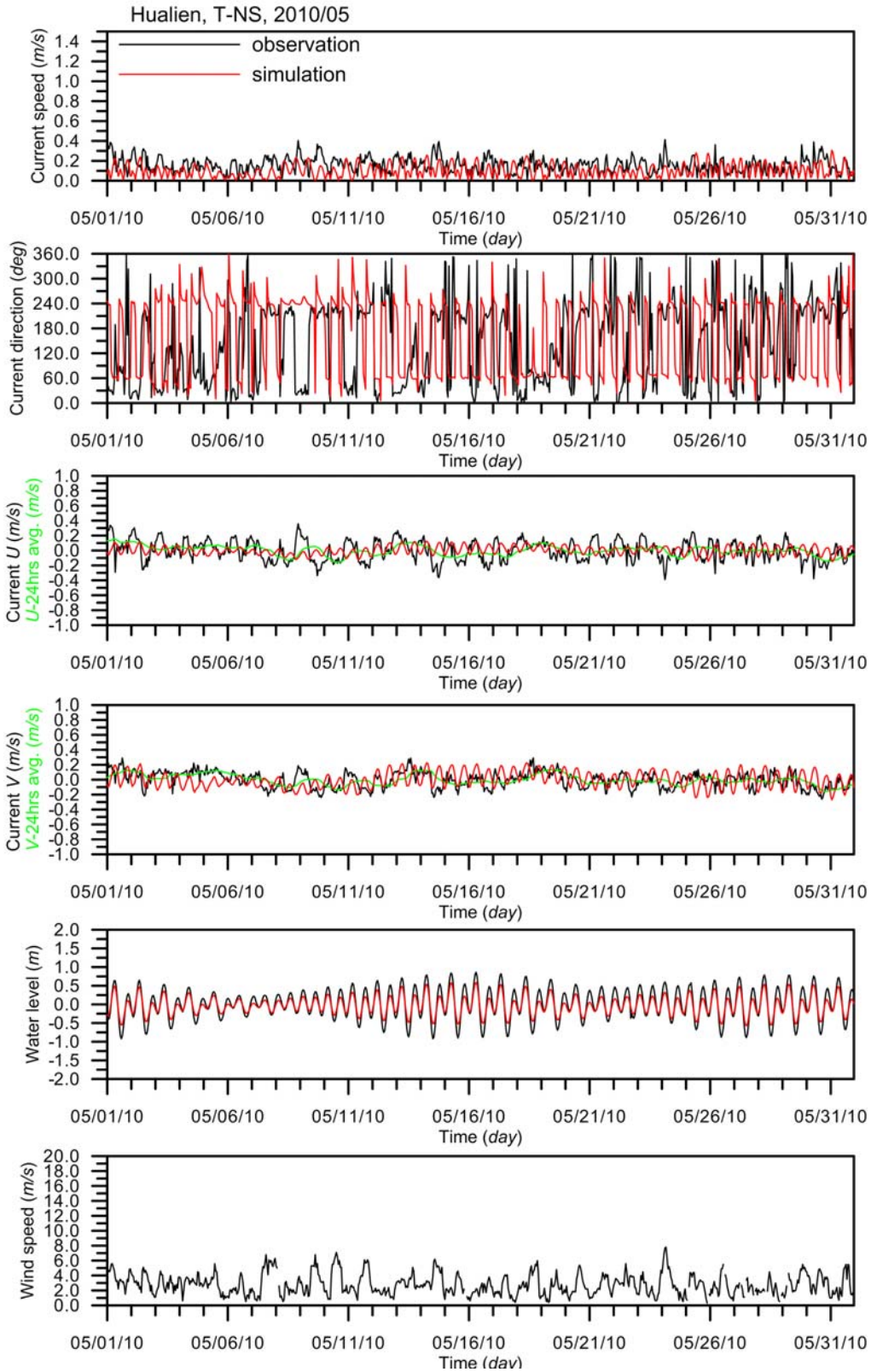


圖 5-16(續) 花蓮港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 5 月份)

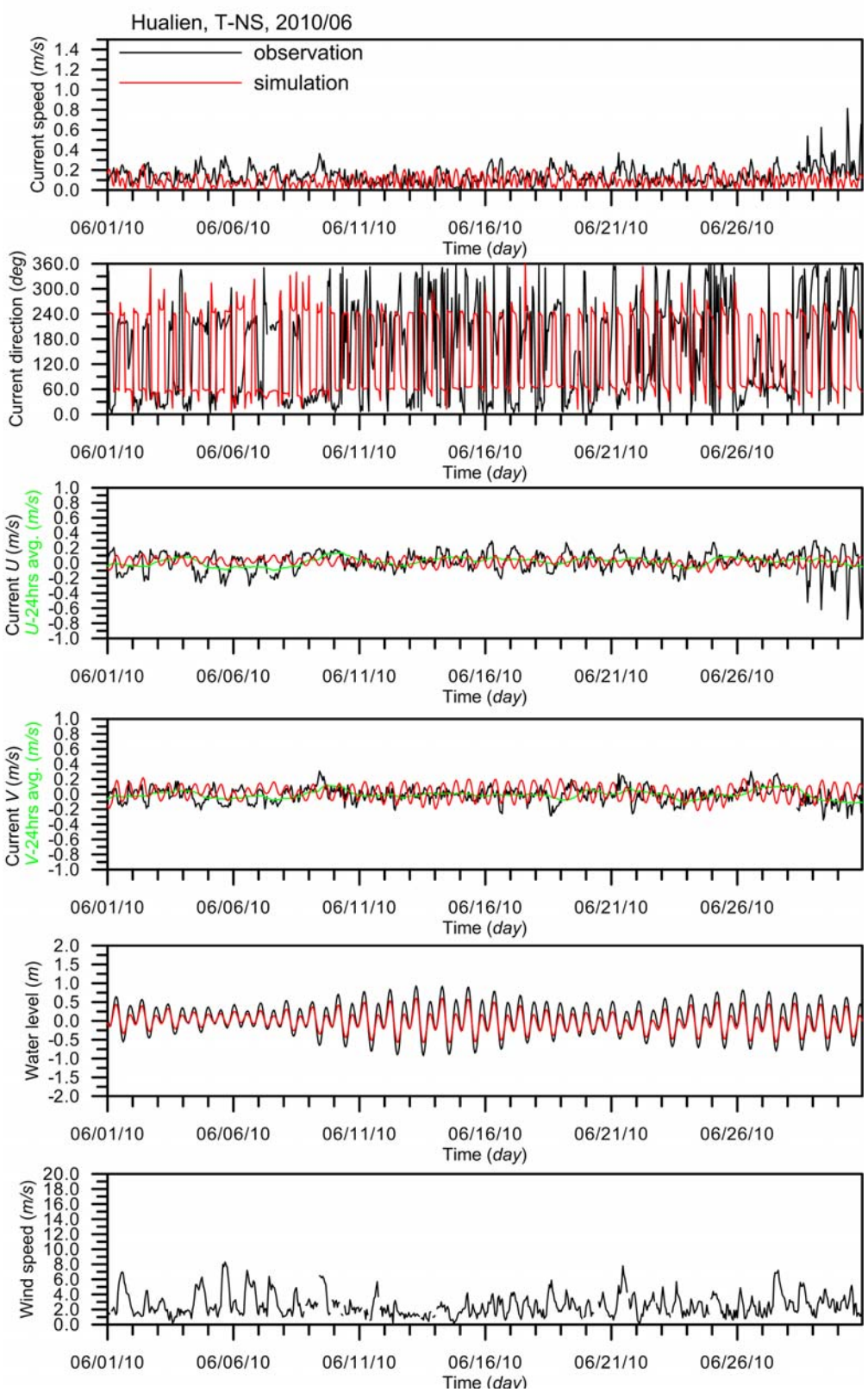


圖 5-16(續) 花蓮港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 6 月份)

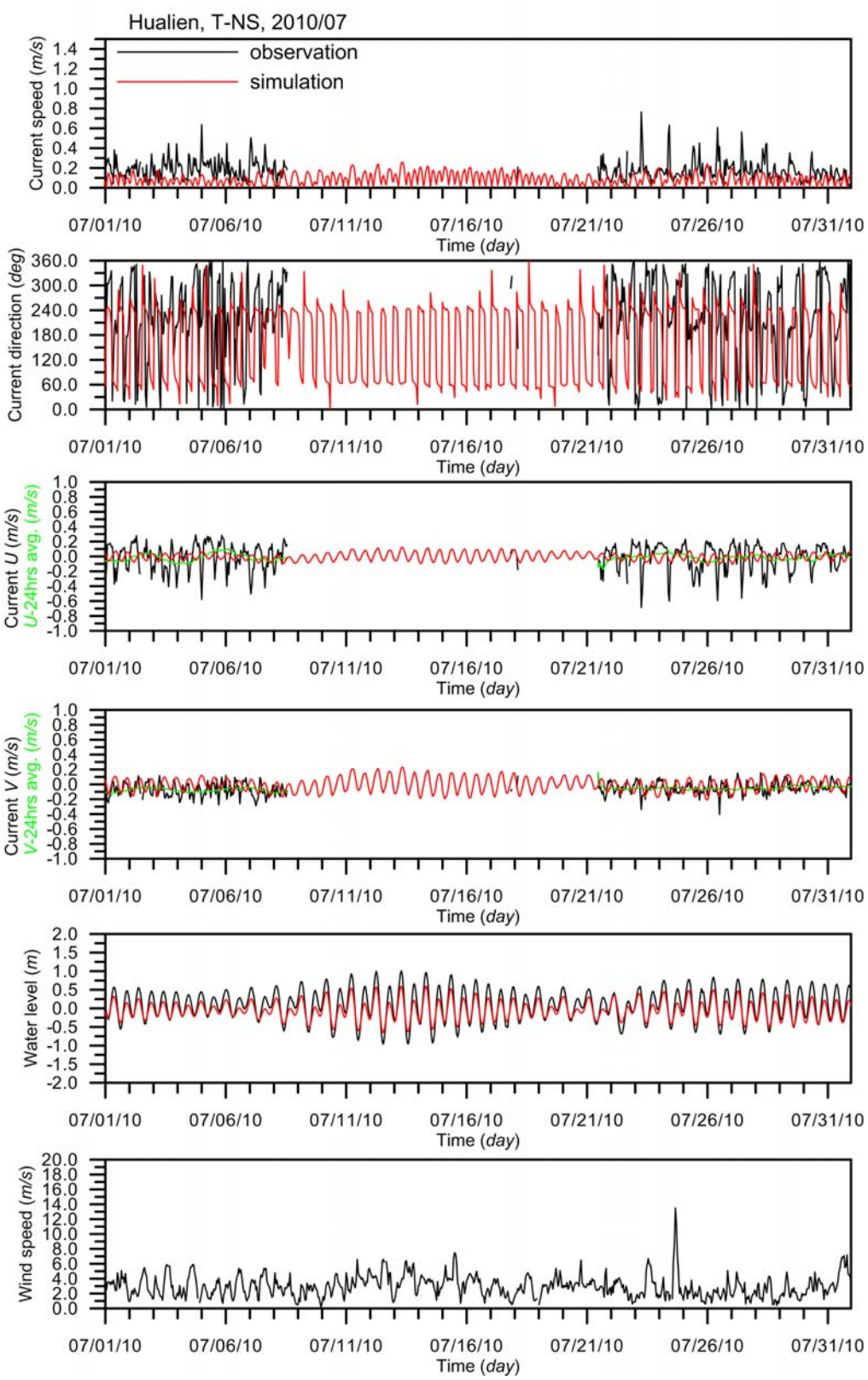


圖 5-16(續) 花蓮港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 7 月份)

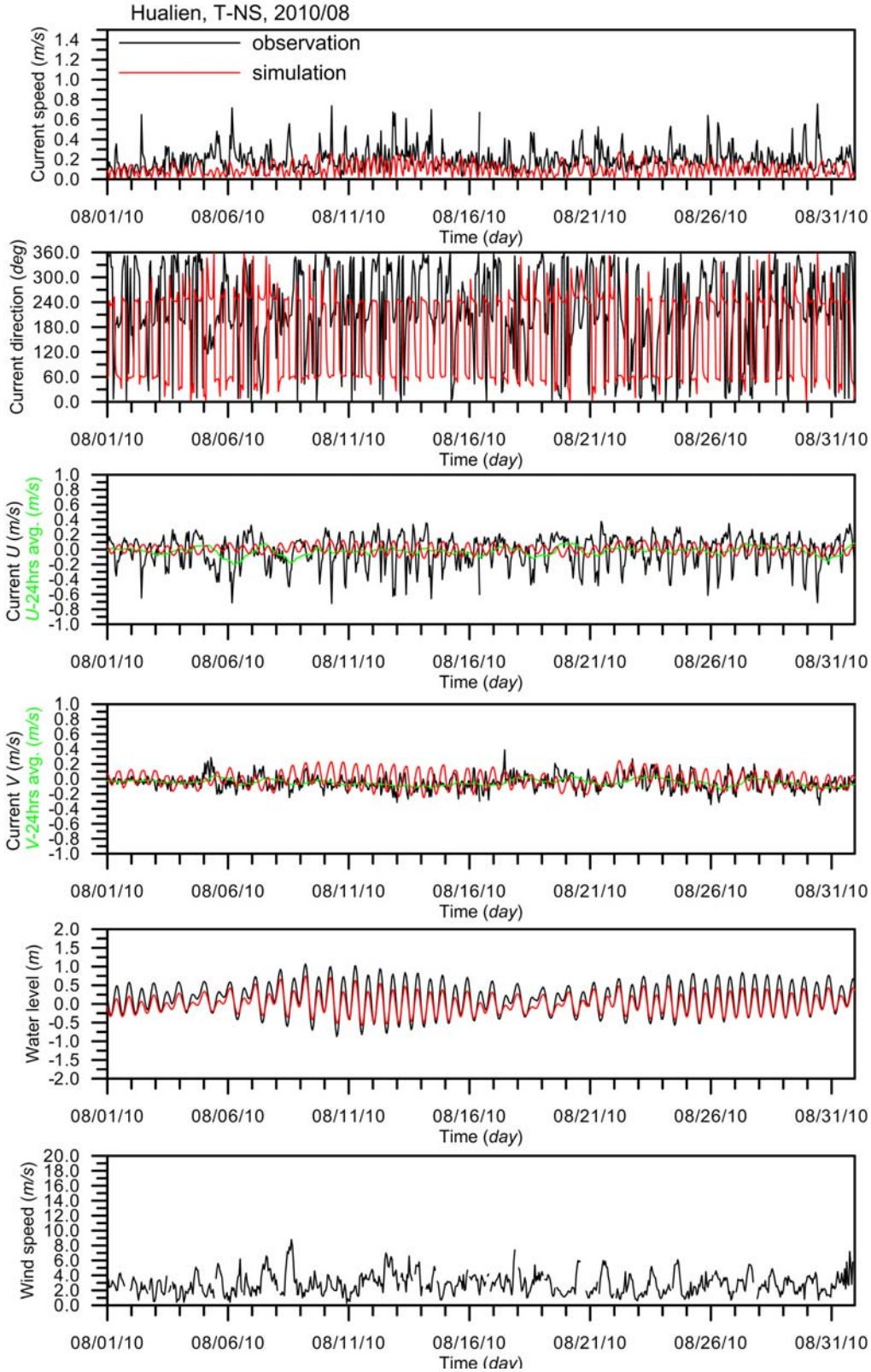


圖 5-16(續) 花蓮港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 8 月份)

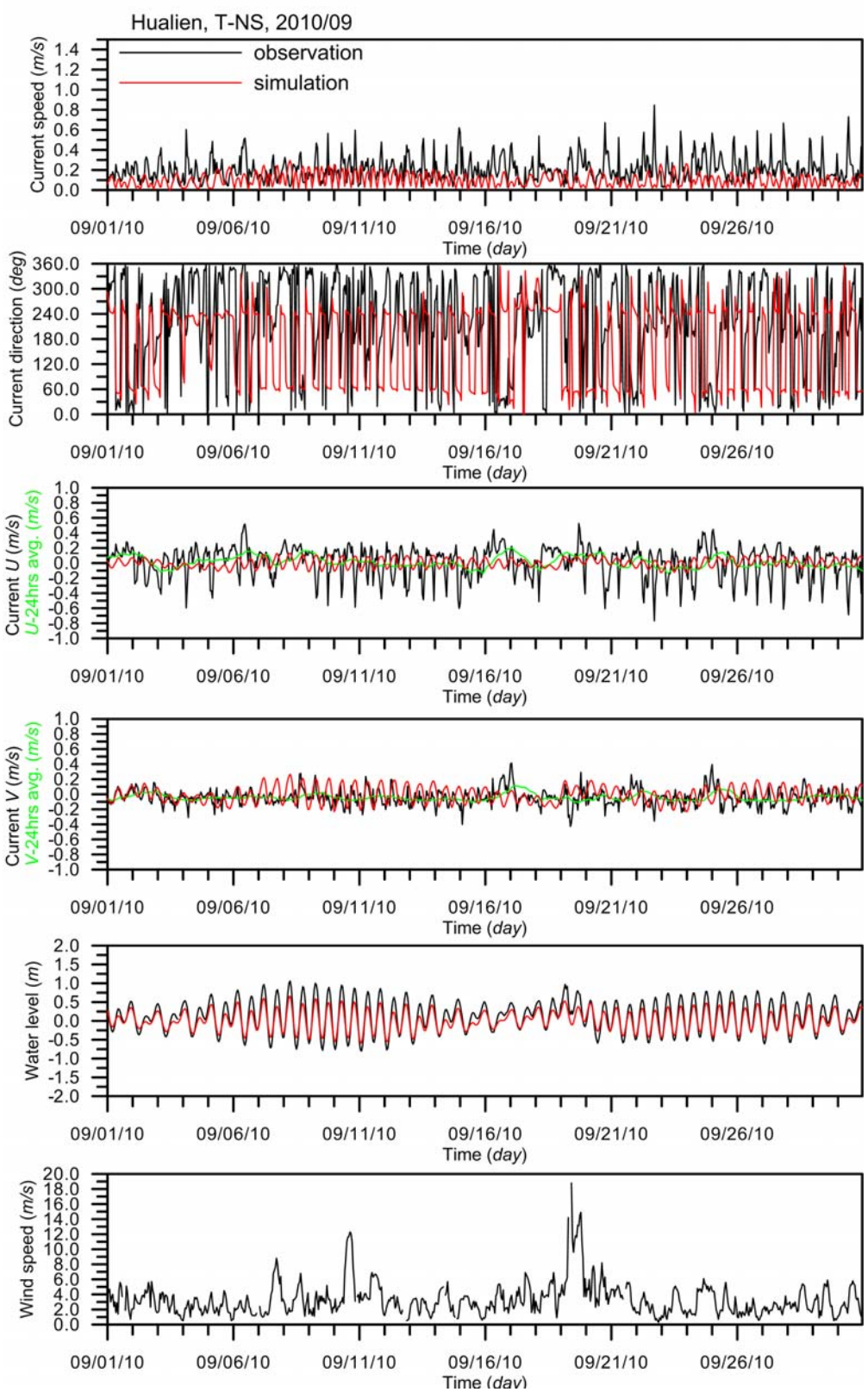


圖 5-16(續) 花蓮港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 9 月份)

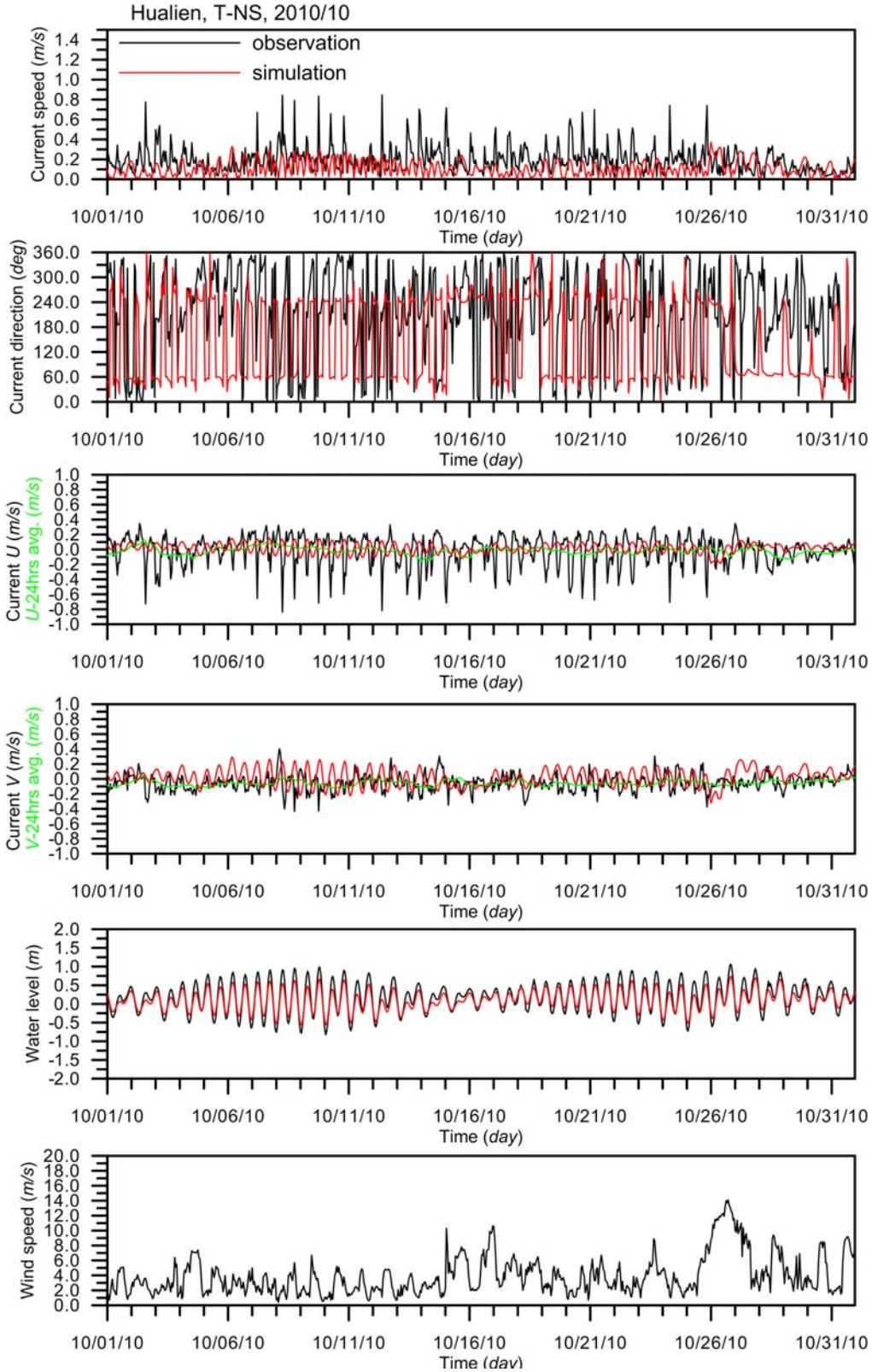


圖 5-16(續) 花蓮港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 10 月份)

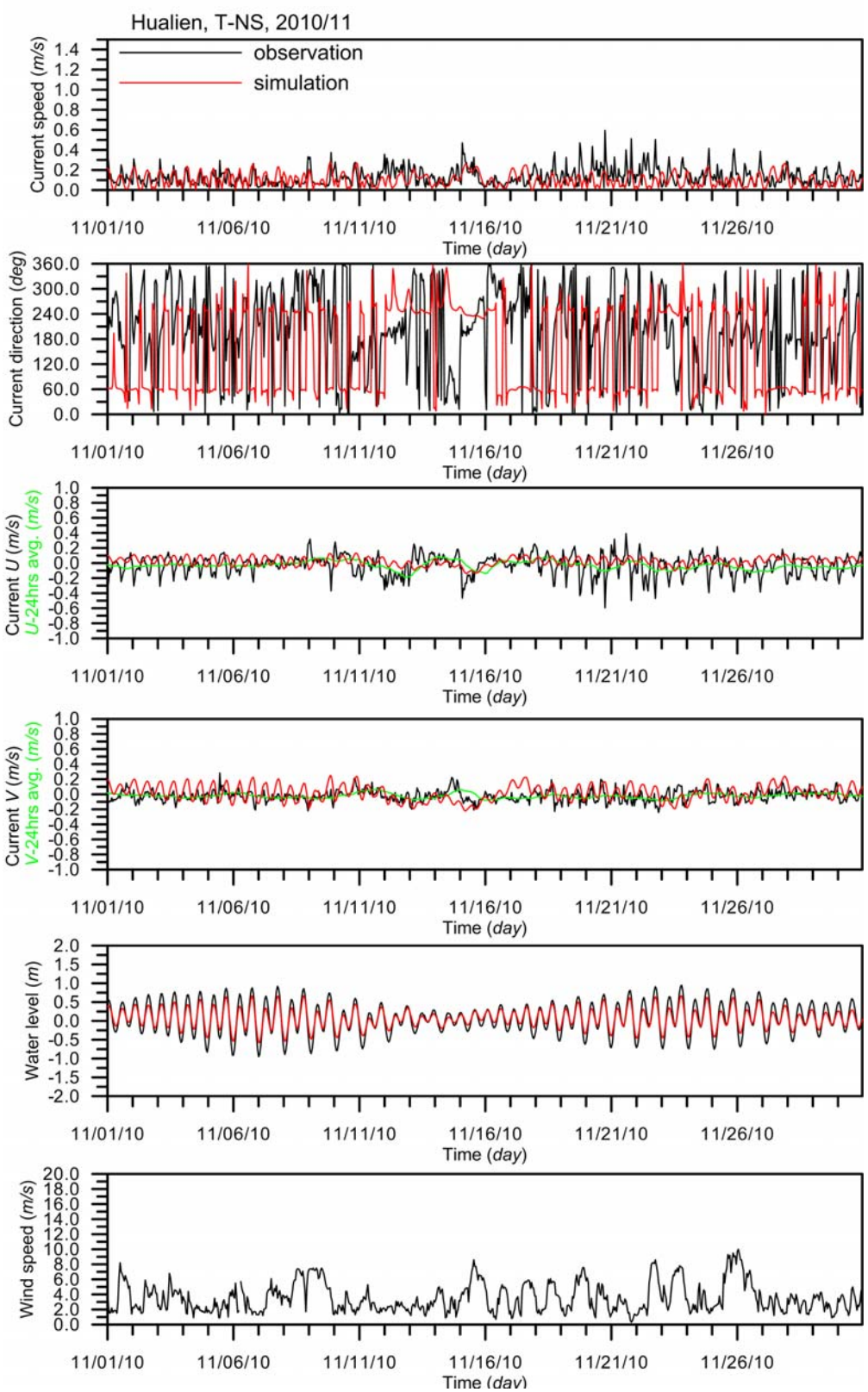


圖 5-16(續) 花蓮港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 11 月份)

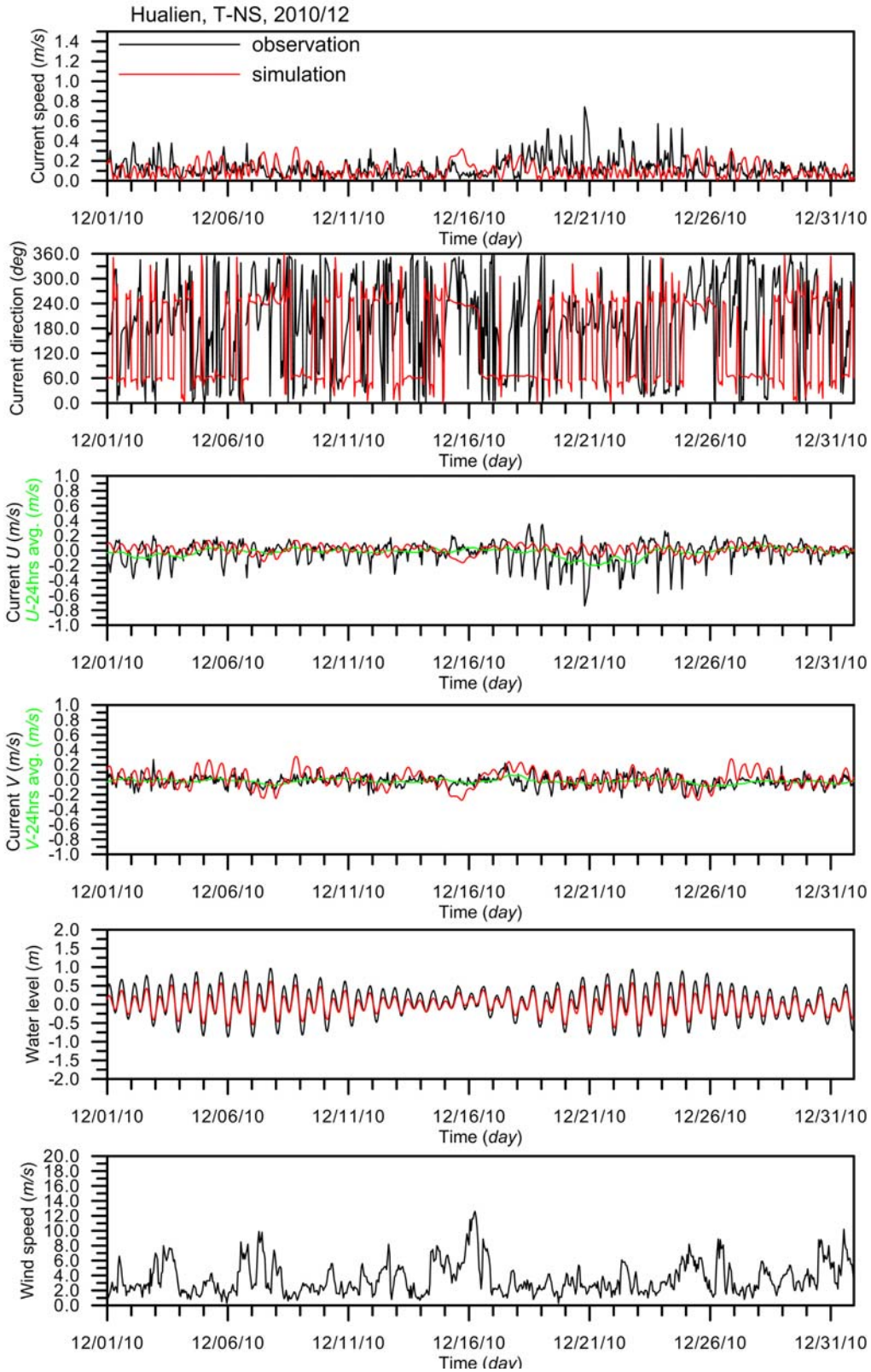


圖 5-16(續) 花蓮港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 12 月份)

表 5-4 花蓮港海域調和分析常數表

分潮名稱	Freq	Amp (m)	Phase (degree)
*M2	0.080511	0.4523	174.67
*S2	0.083333	0.1992	204.34
*SA	0.000114	0.1786	241.5
*K1	0.041781	0.1607	218.81
*O1	0.038731	0.1443	193.13
*N2	0.078999	0.0927	161.15
*K2	0.083562	0.0533	201.02
*P1	0.041553	0.053	216.79
*SSA	0.000228	0.0469	80.79
*Q1	0.037219	0.0319	176.03
*NU2	0.079202	0.0157	163.13
*MU2	0.07769	0.0139	141.14
*T2	0.083219	0.0135	208.31
*2N2	0.077487	0.0111	139.82
*L2	0.082024	0.0109	205.44
MM	0.001512	0.0106	270.28
MSM	0.00131	0.0103	114.97
*J1	0.043293	0.01	234.23
*NO1	0.040269	0.0096	211.77
MF	0.00305	0.008	298.76
*RHO1	0.037421	0.0073	176.76
*S1	0.041667	0.0066	224.24
*M3	0.120767	0.0066	180.27
MSF	0.002822	0.0063	346.39
*M4	0.161023	0.0059	98.67

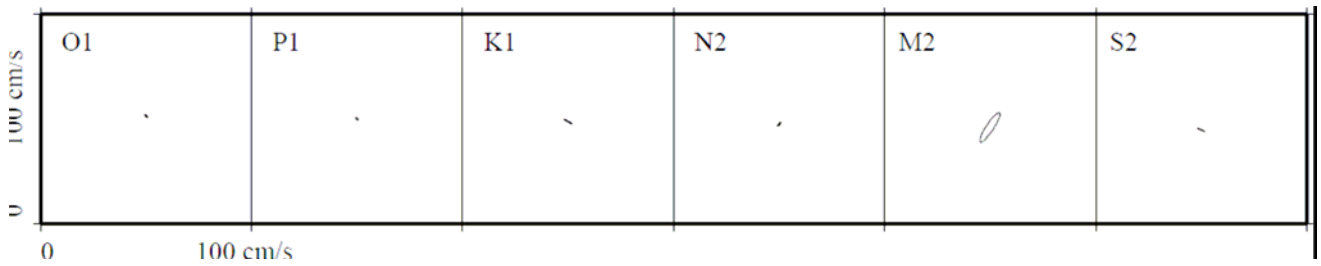


圖 5-17 花蓮港海域潮流橢圓圖

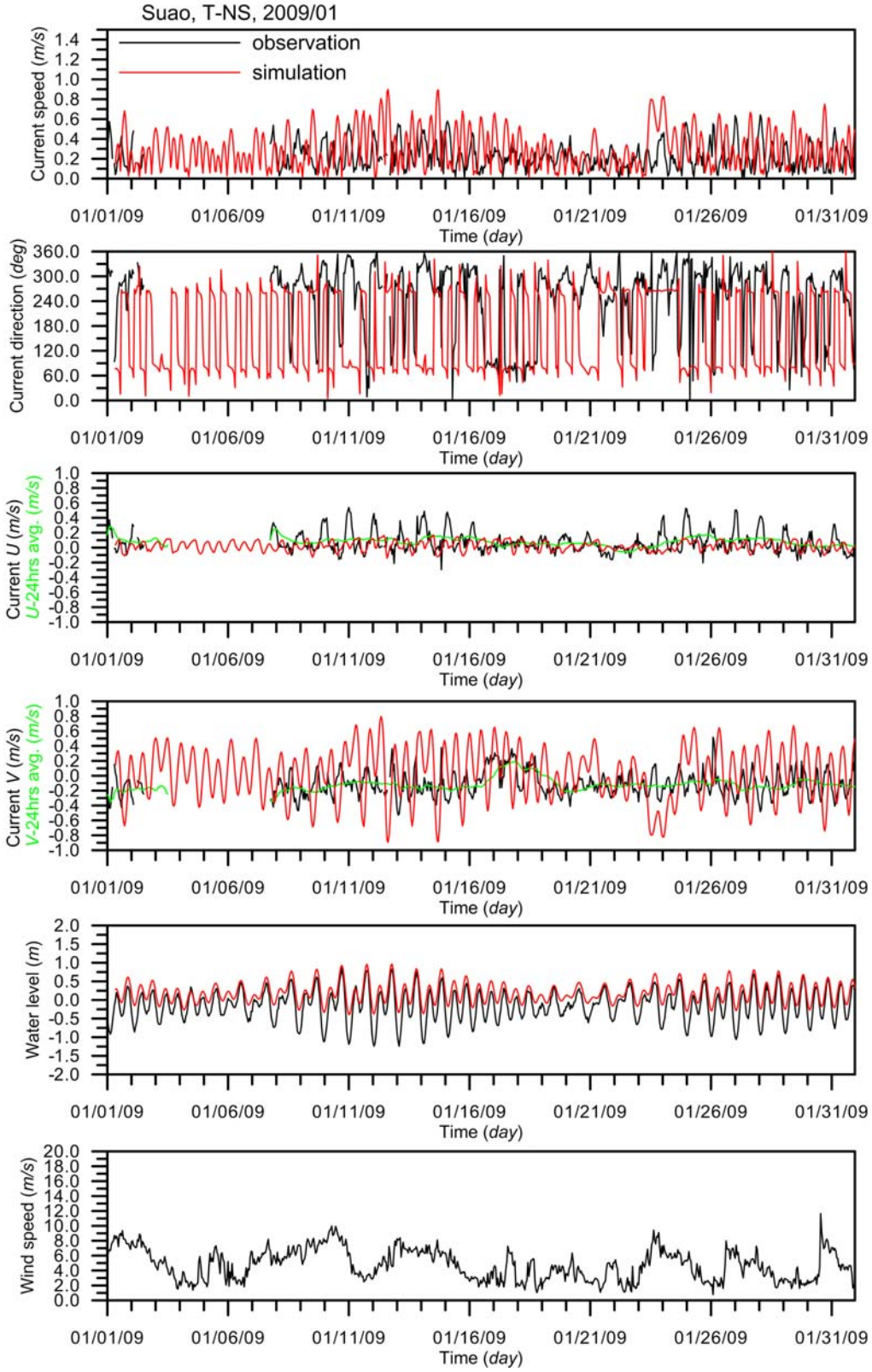


圖 5-18 蘇澳港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 1 月份)

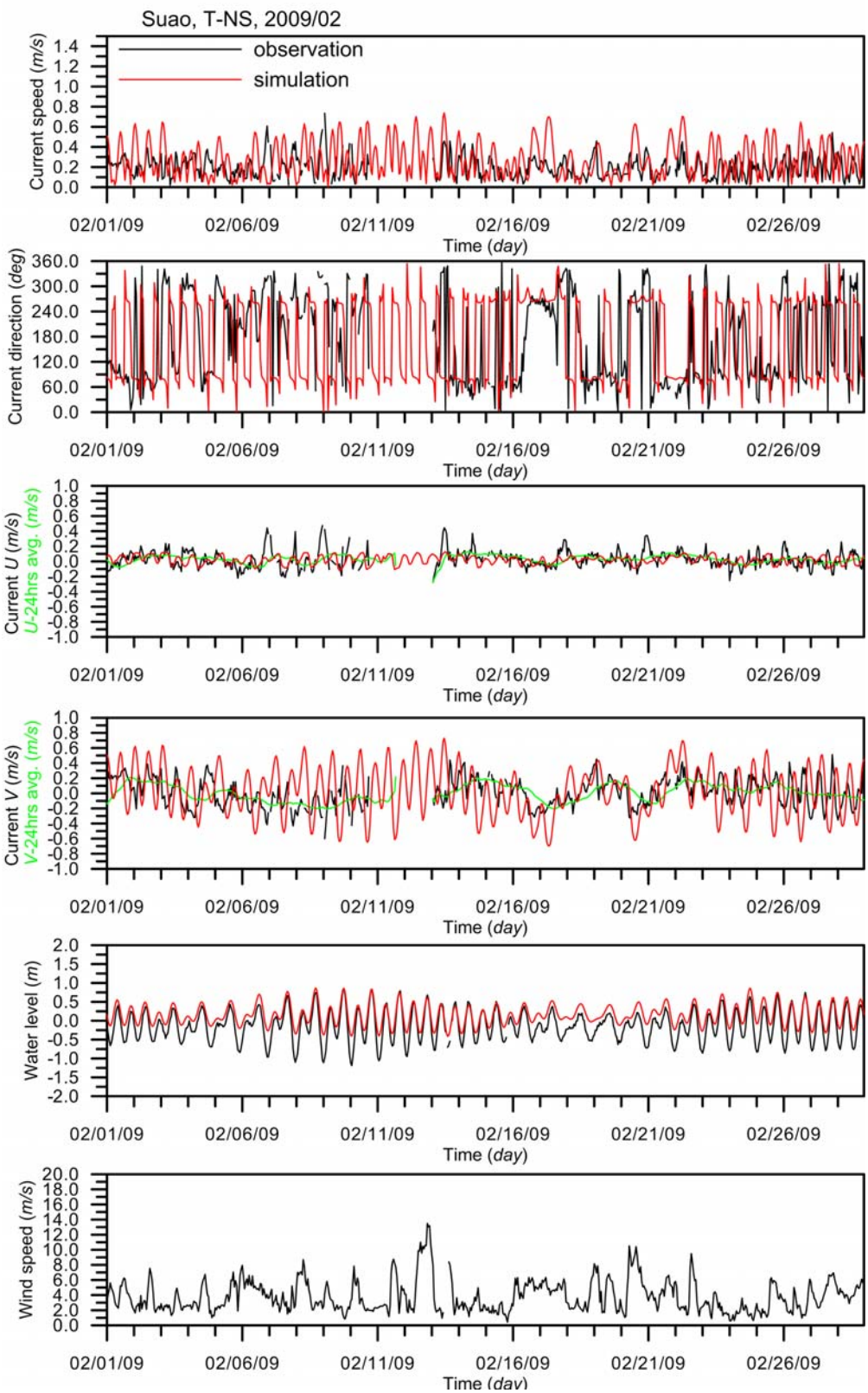


圖 5-18(續) 蘇澳港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 2 月份)

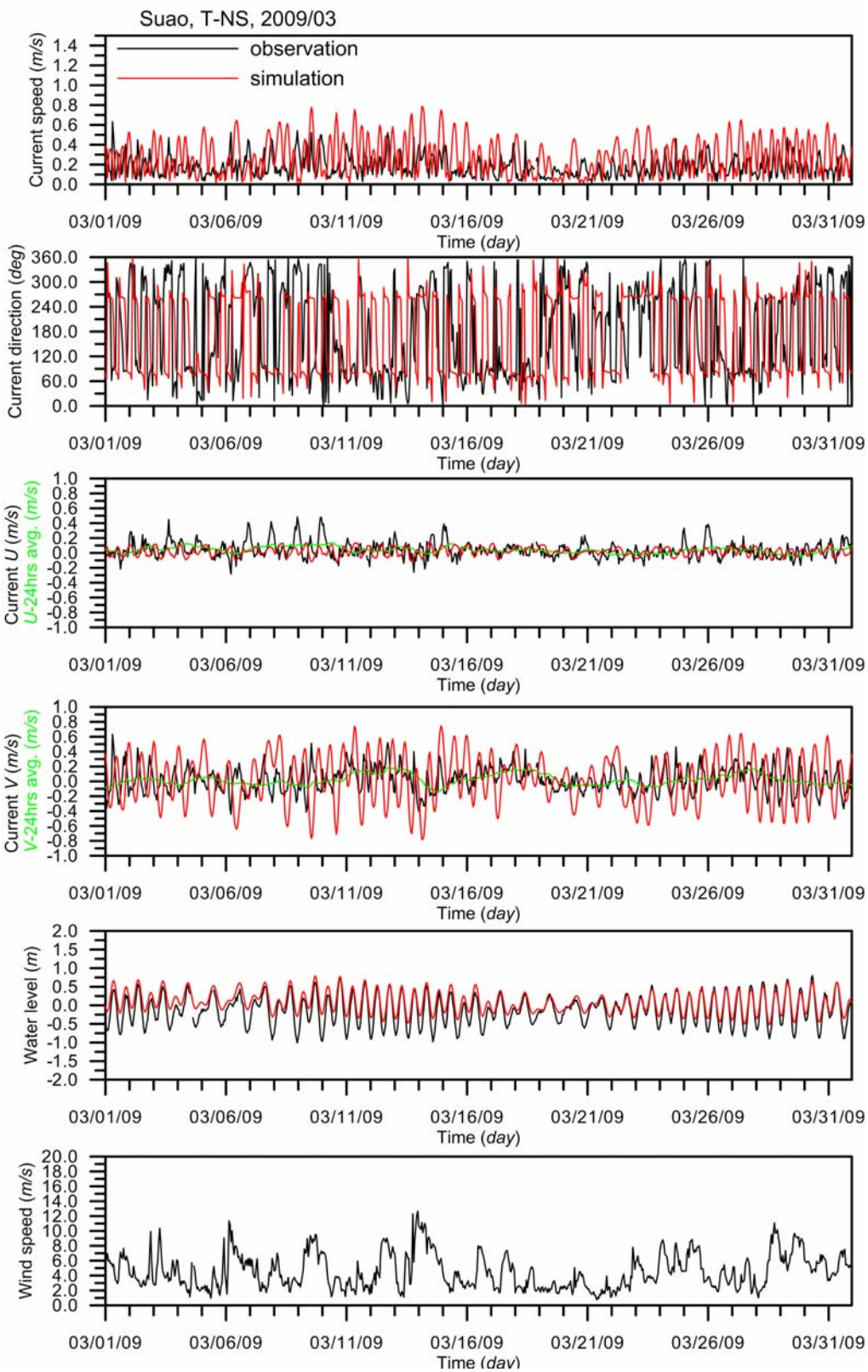


圖 5-18(續) 蘇澳港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 3 月份)

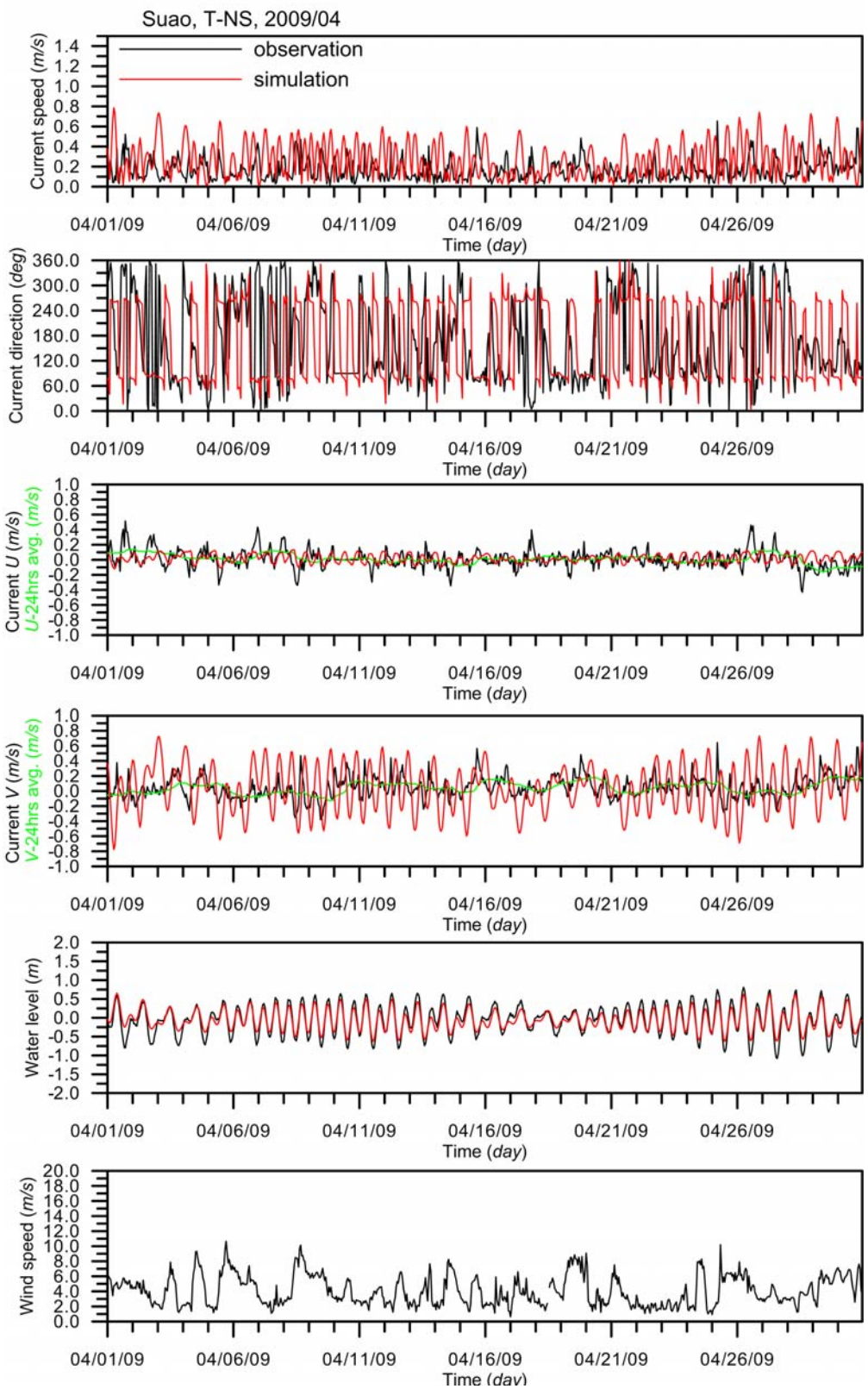


圖 5-18(續) 蘇澳港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 4 月份)

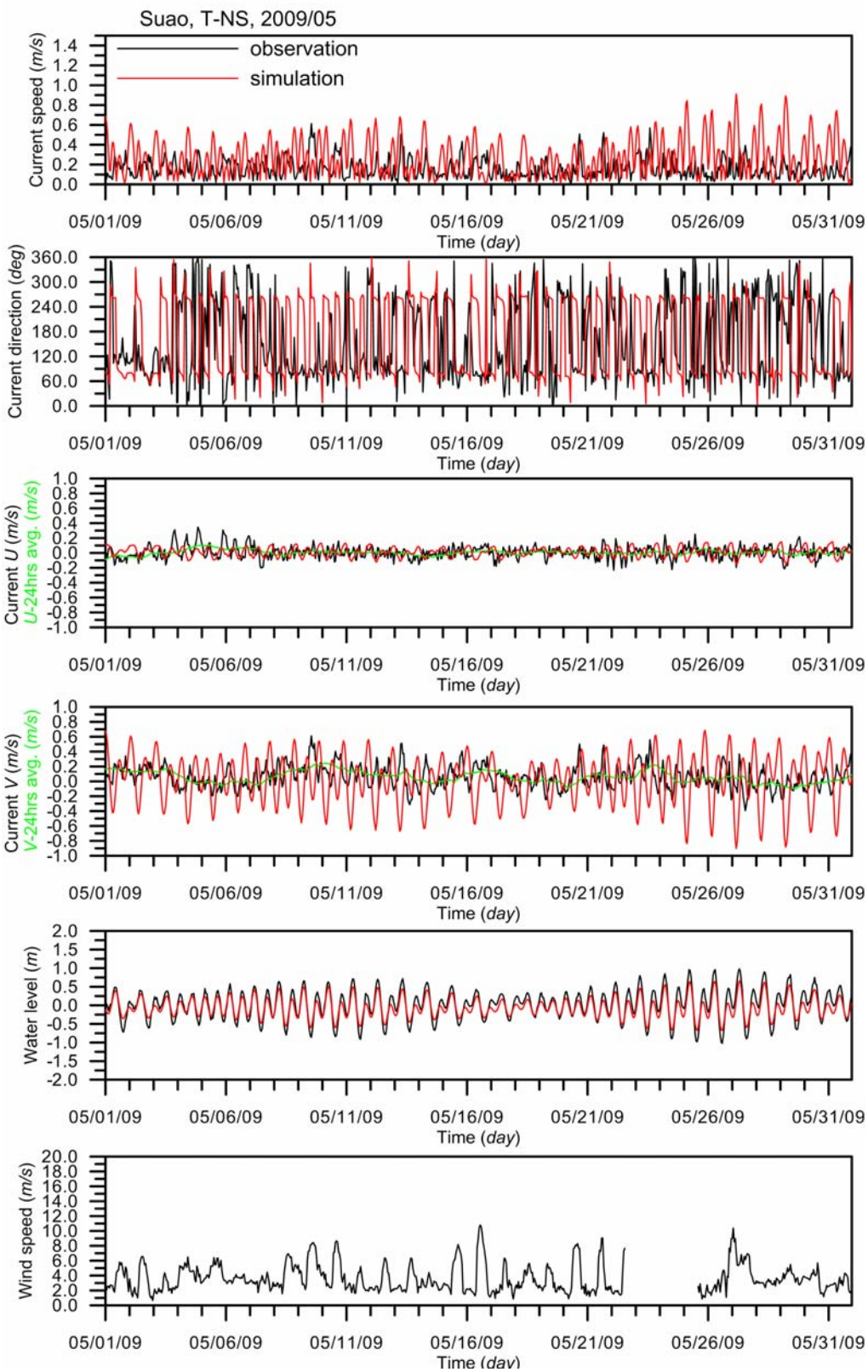


圖 5-18(續) 蘇澳港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 5 月份)

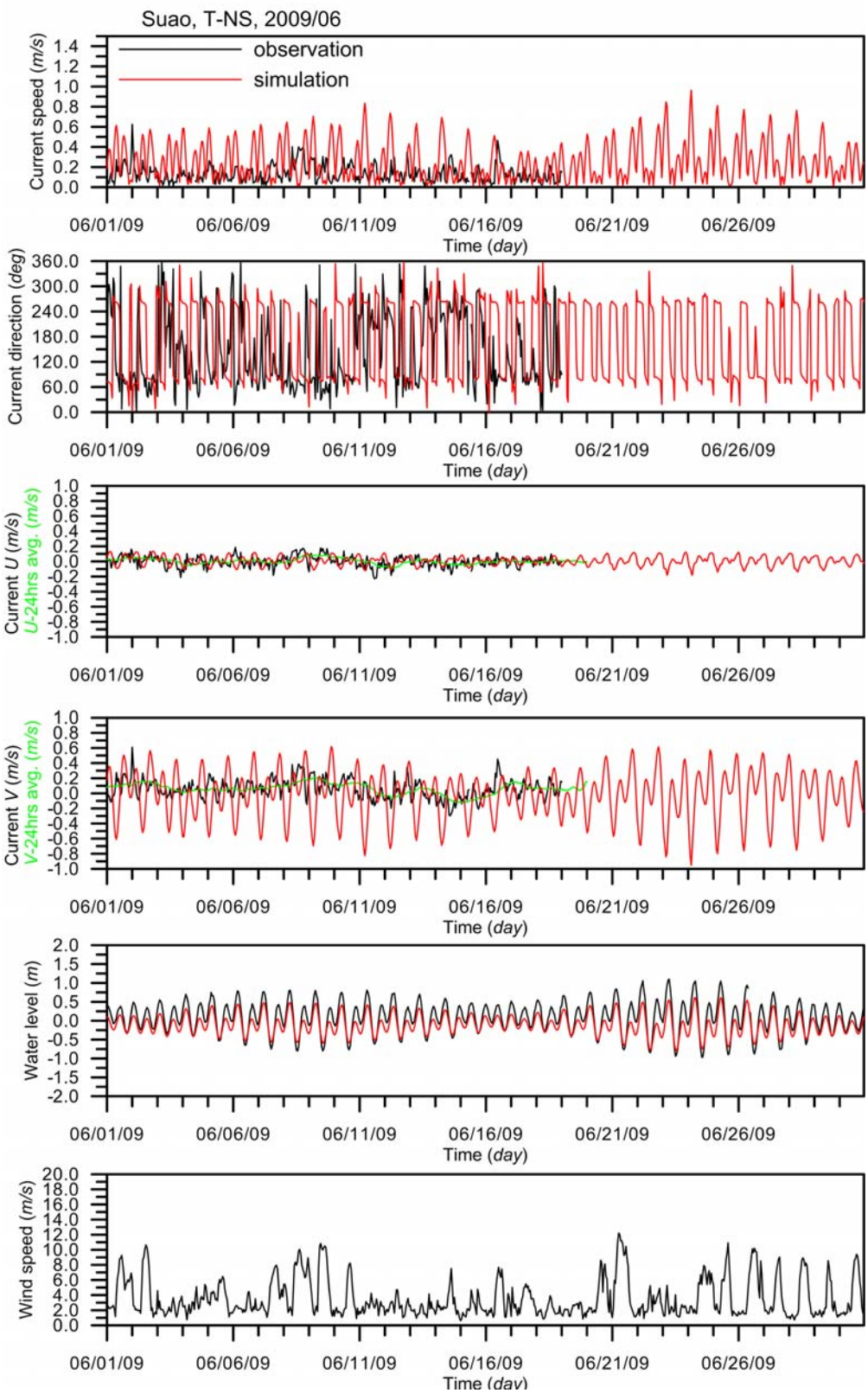


圖 5-18(續) 蘇澳港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 6 月份)

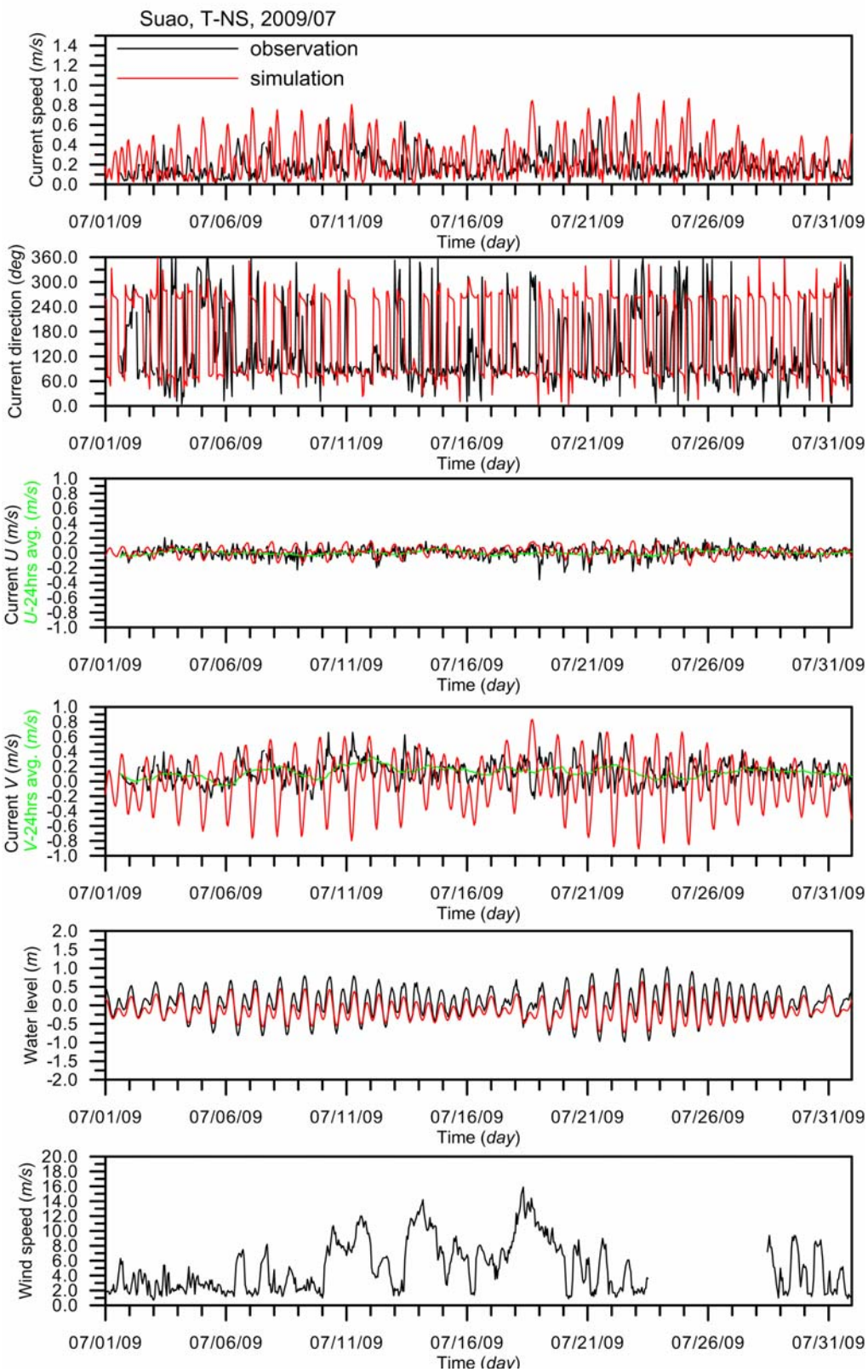


圖 5-18(續) 蘇澳港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 7 月份)

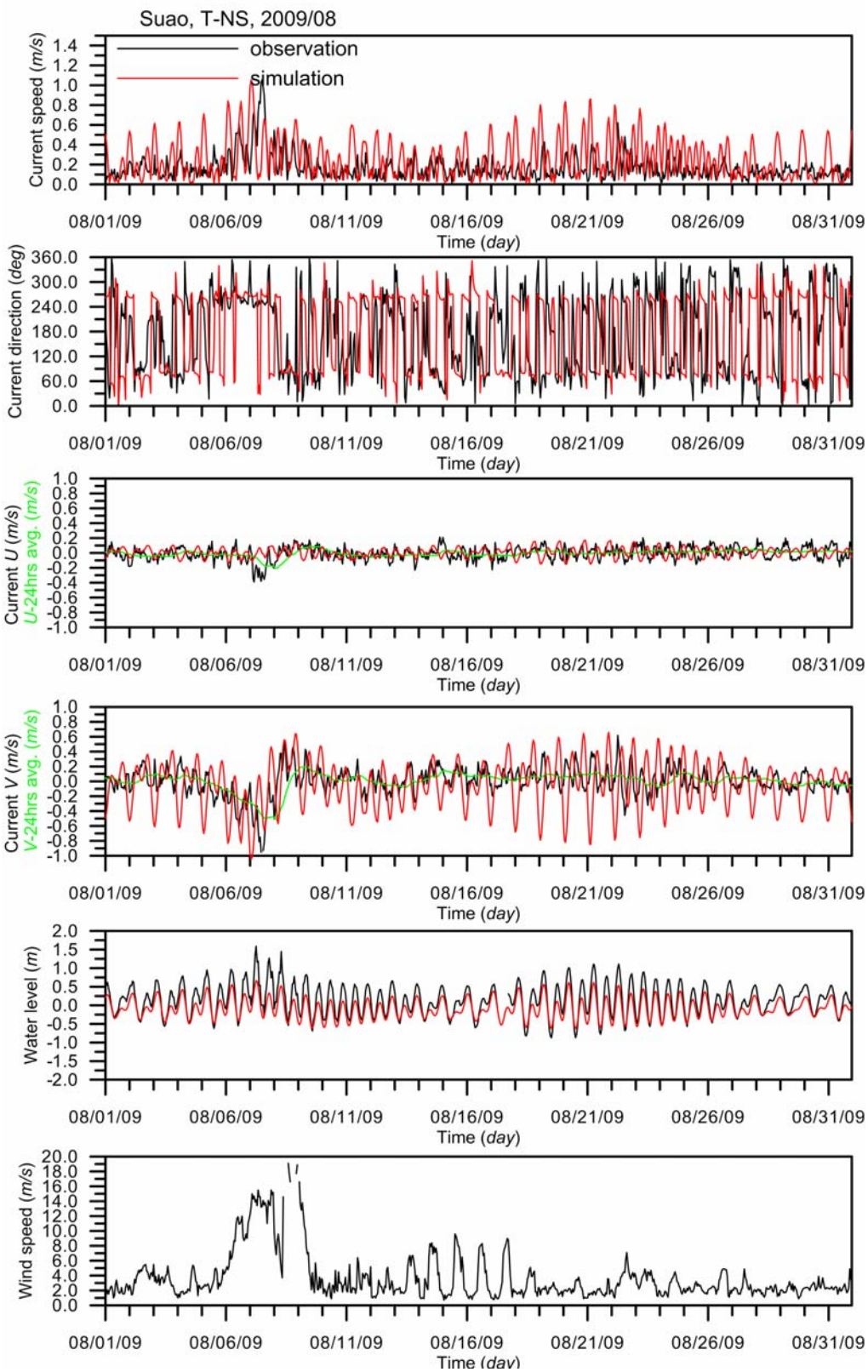


圖 5-18(續) 蘇澳港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 8 月份)

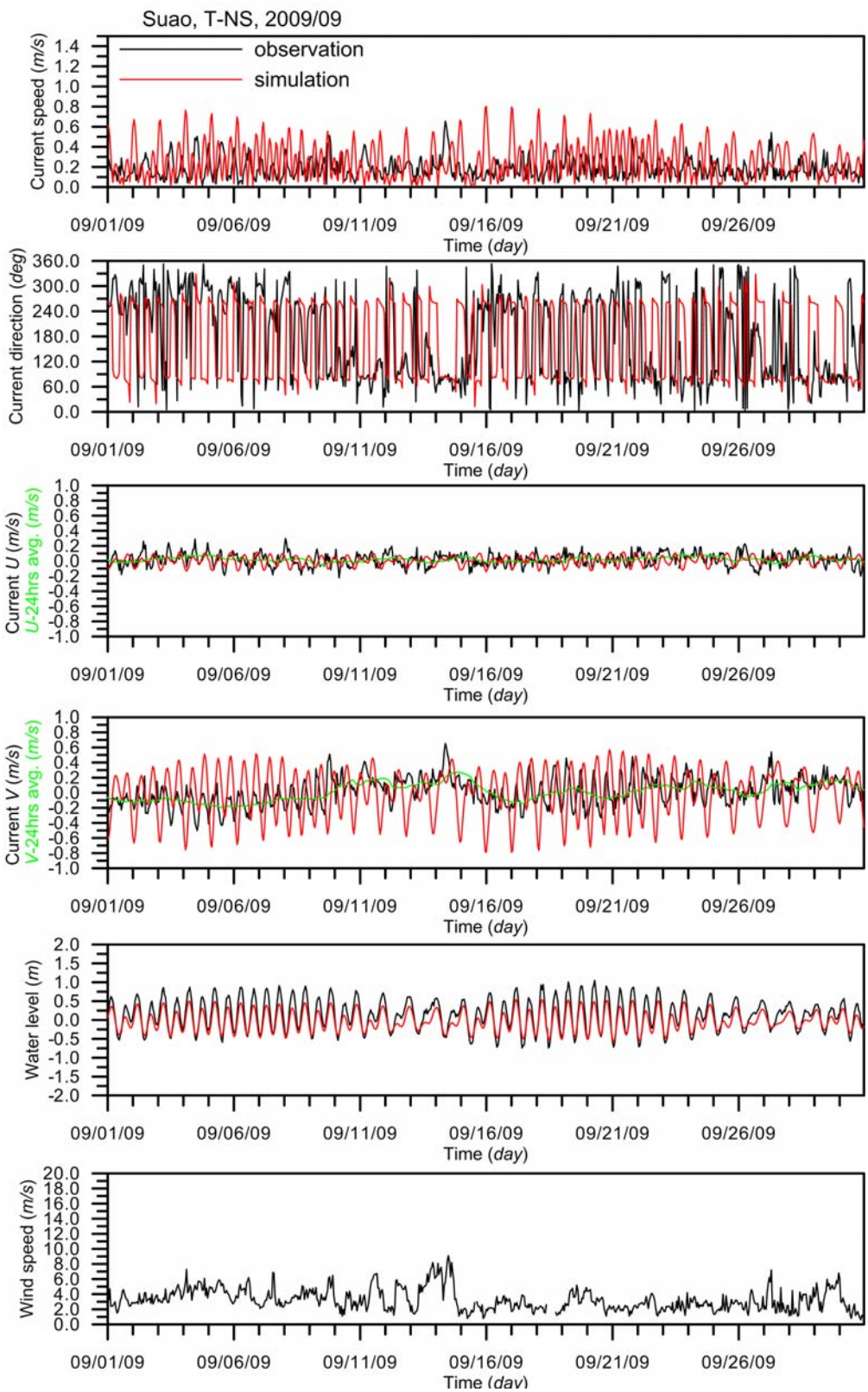


圖 5-18(續) 蘇澳港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 9 月份)

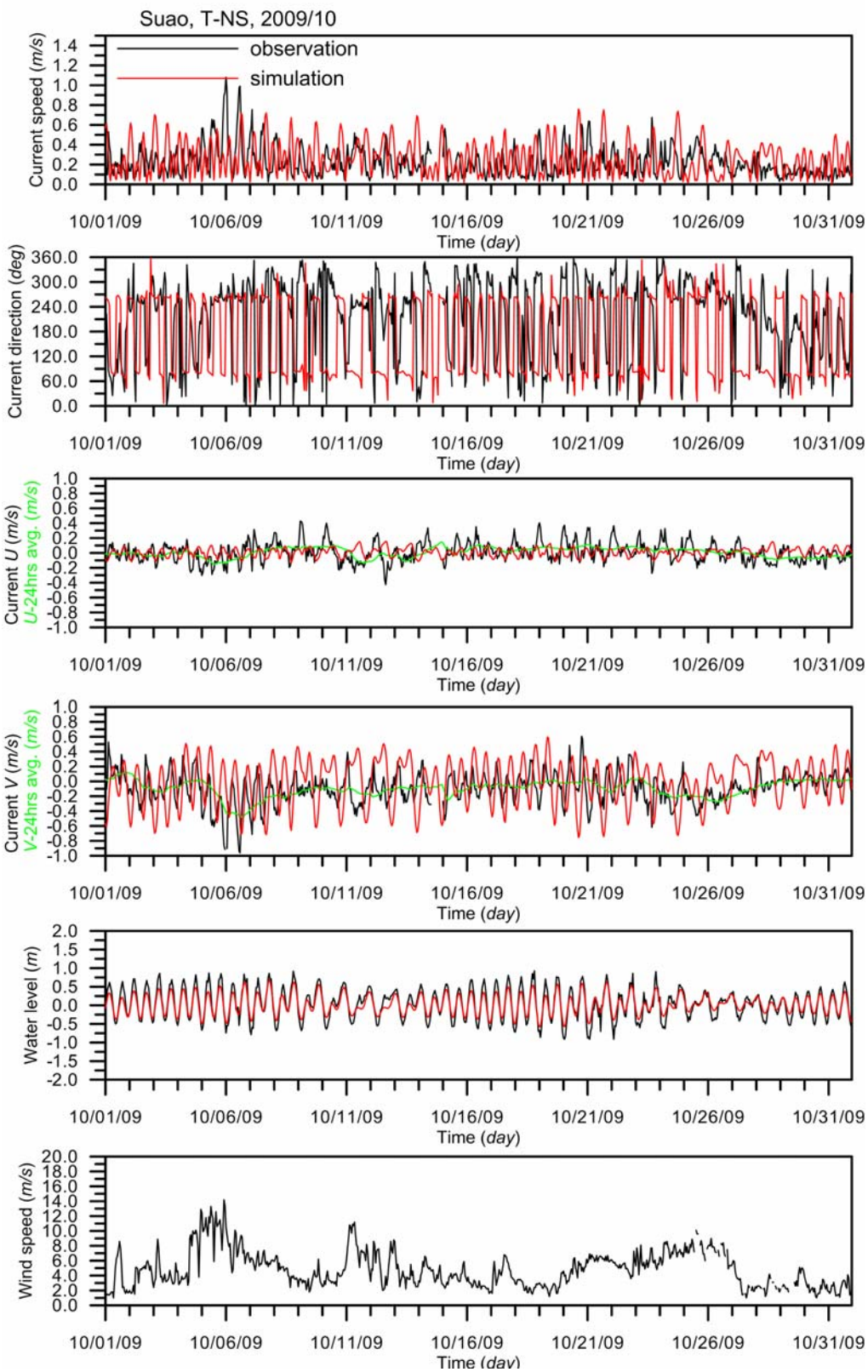


圖 5-18(續) 蘇澳港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 10 月份)

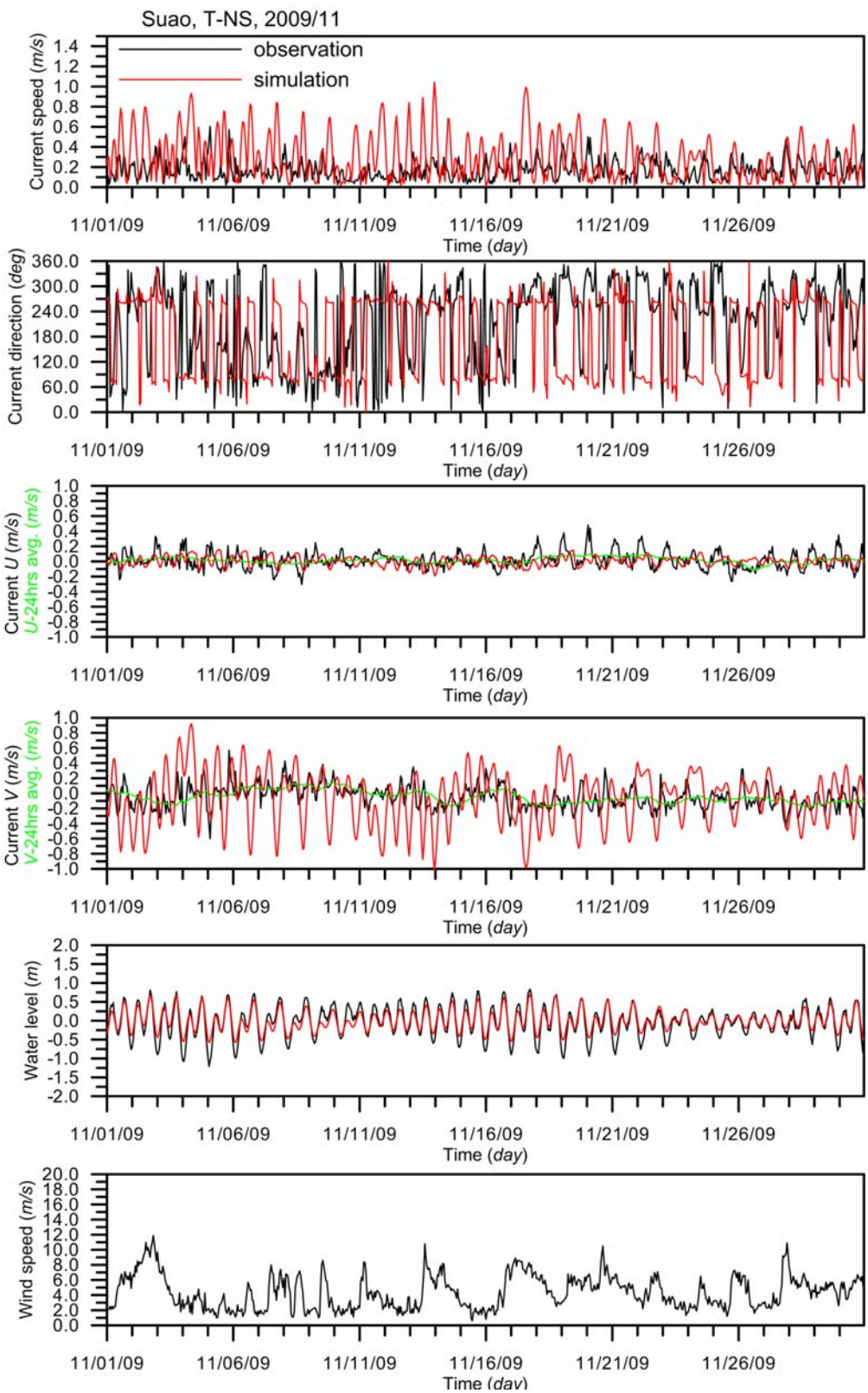


圖 5-18(續) 蘇澳港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 11 月份)

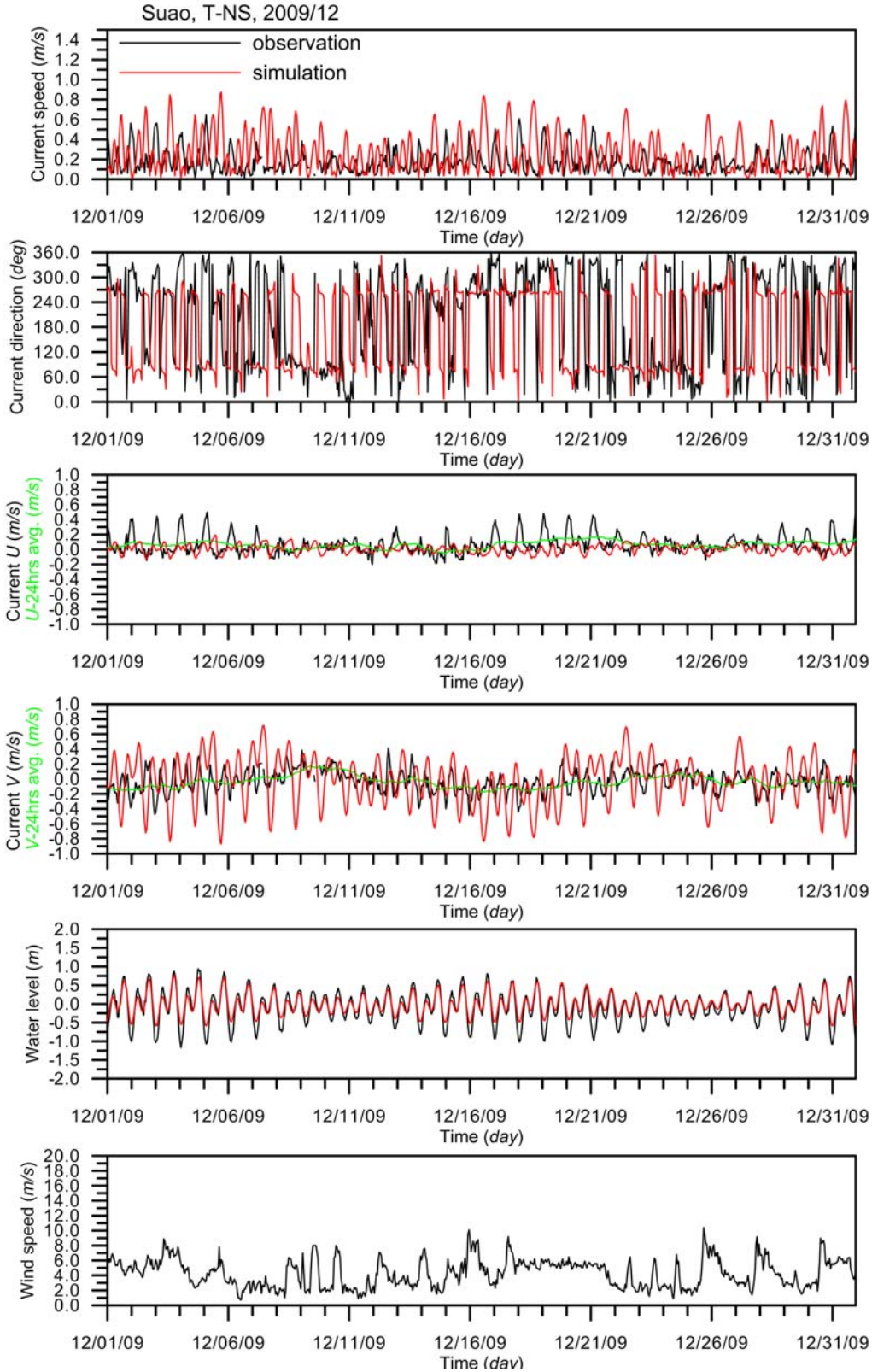


圖 5-18(續) 蘇澳港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 12 月份)

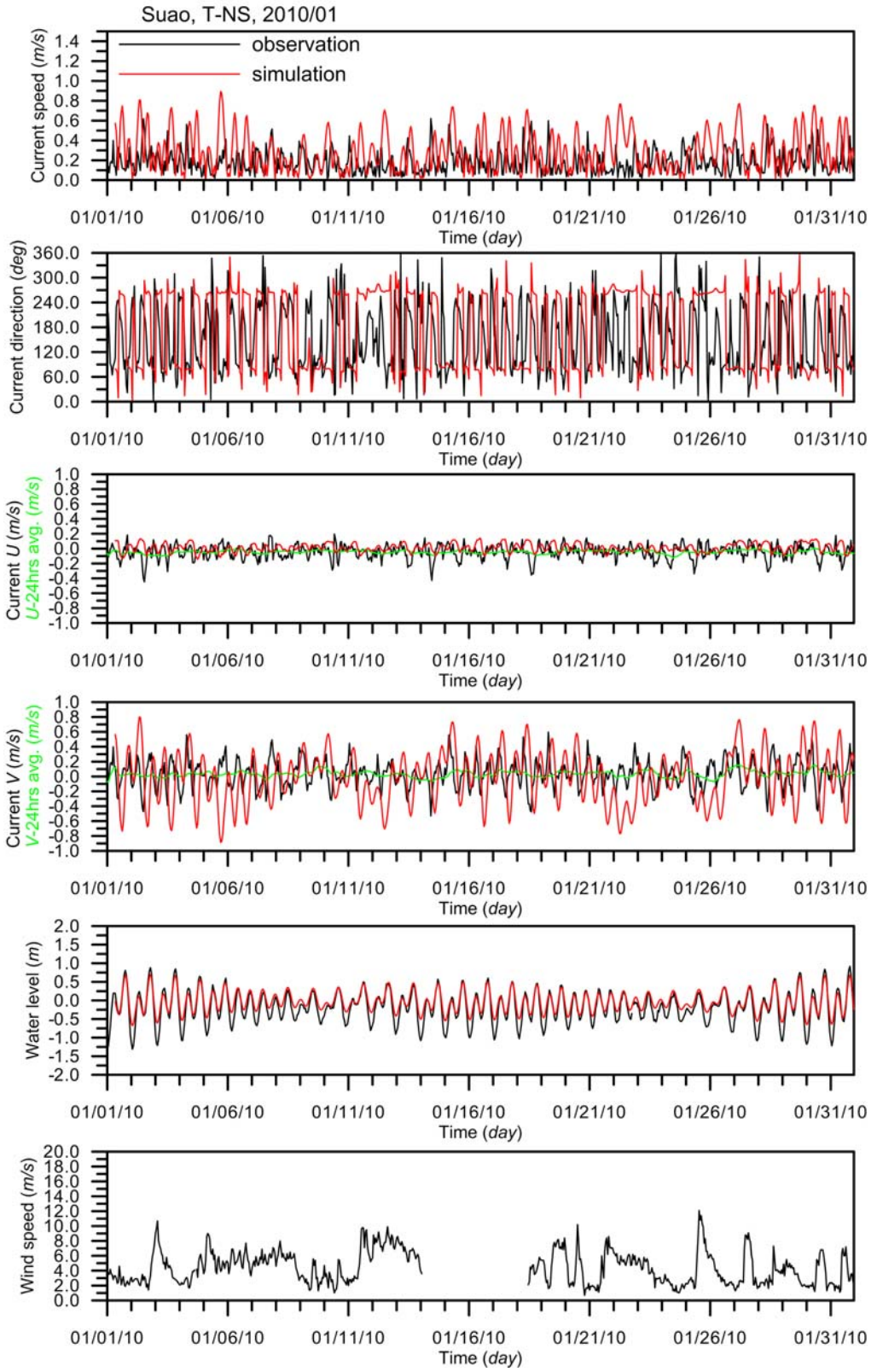


圖 5-19 蘇澳港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 1 月份)

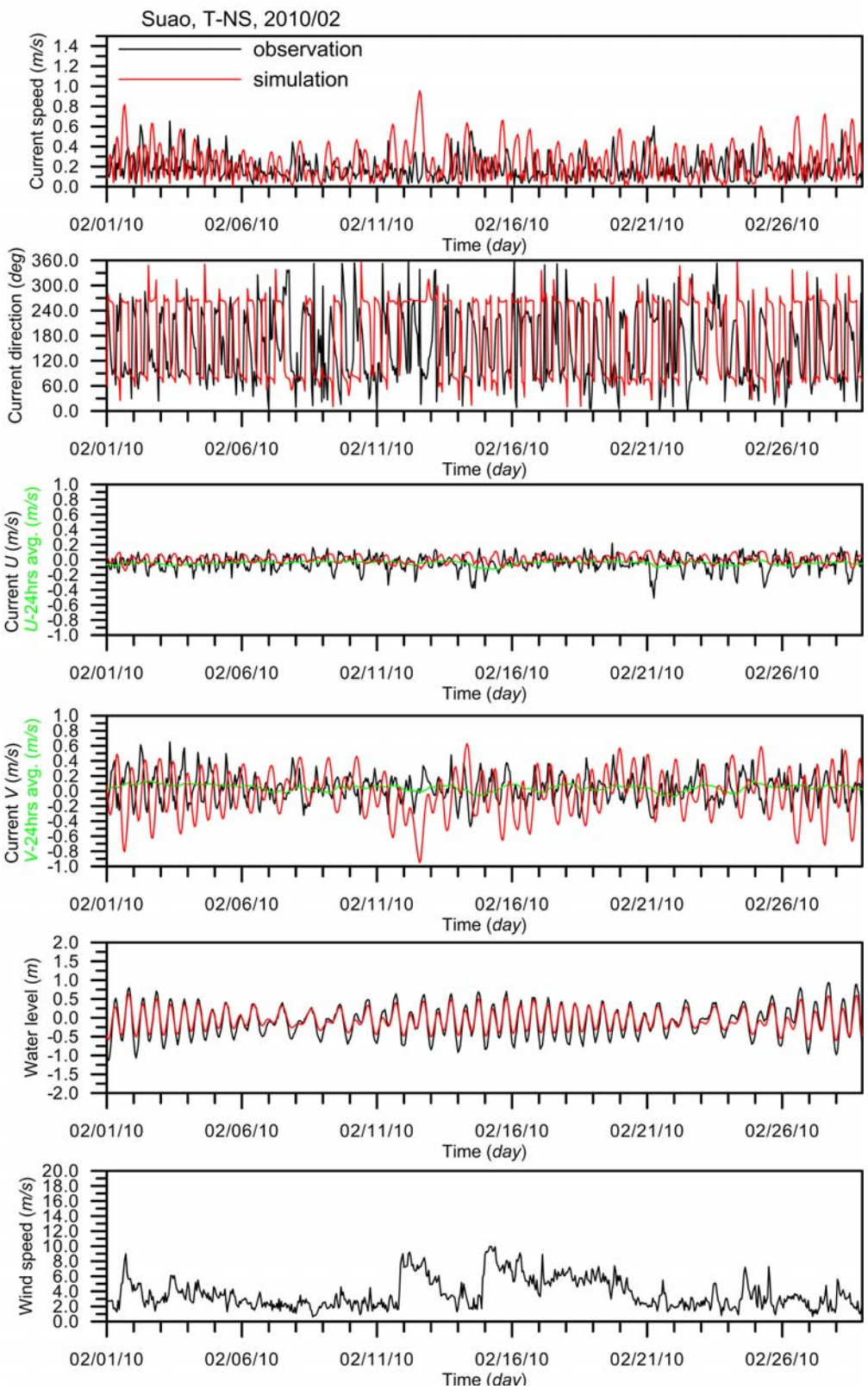


圖 5-19(續) 蘇澳港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 2 月份)

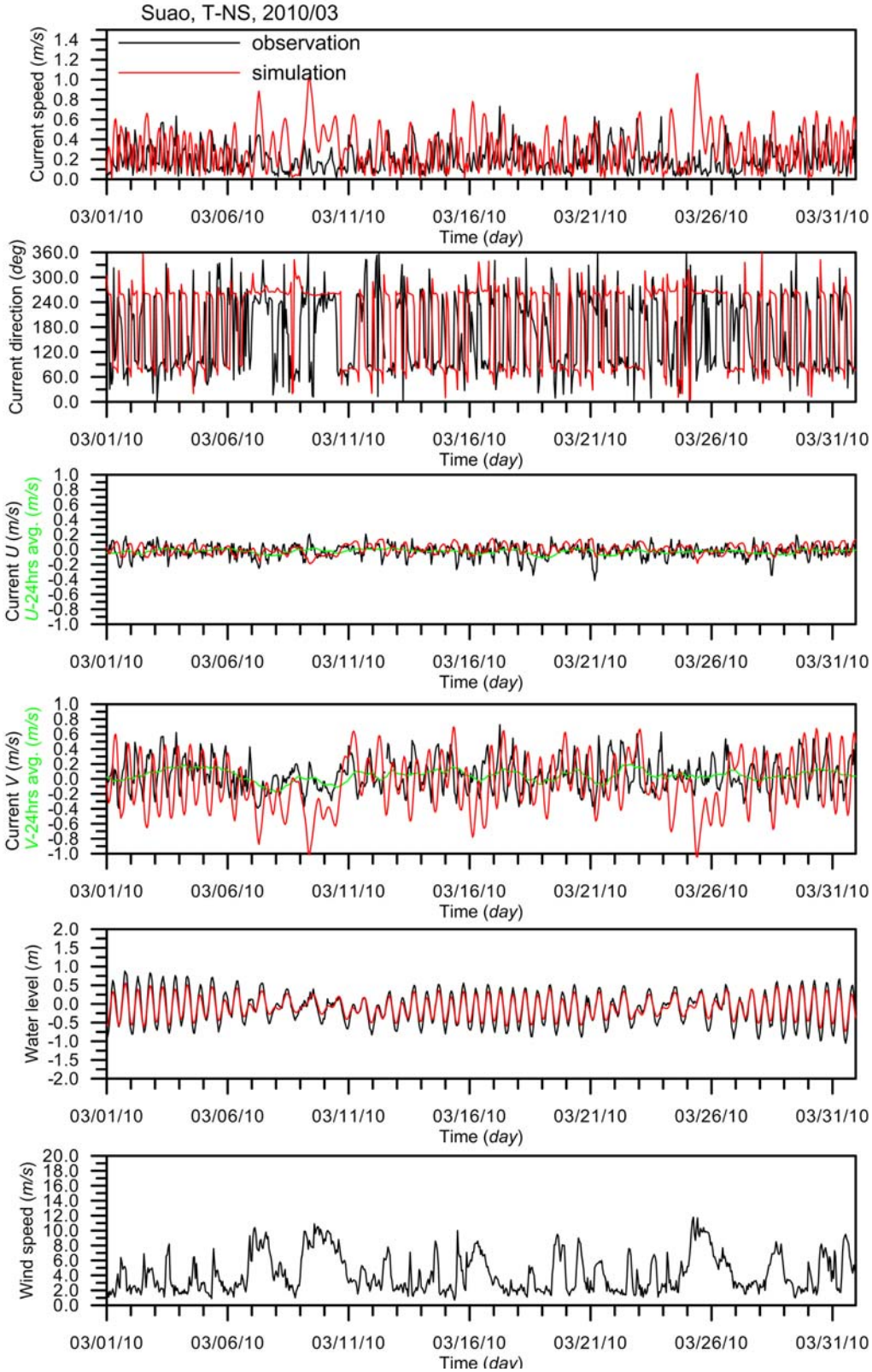


圖 5-19(續) 蘇澳港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 3 月份)

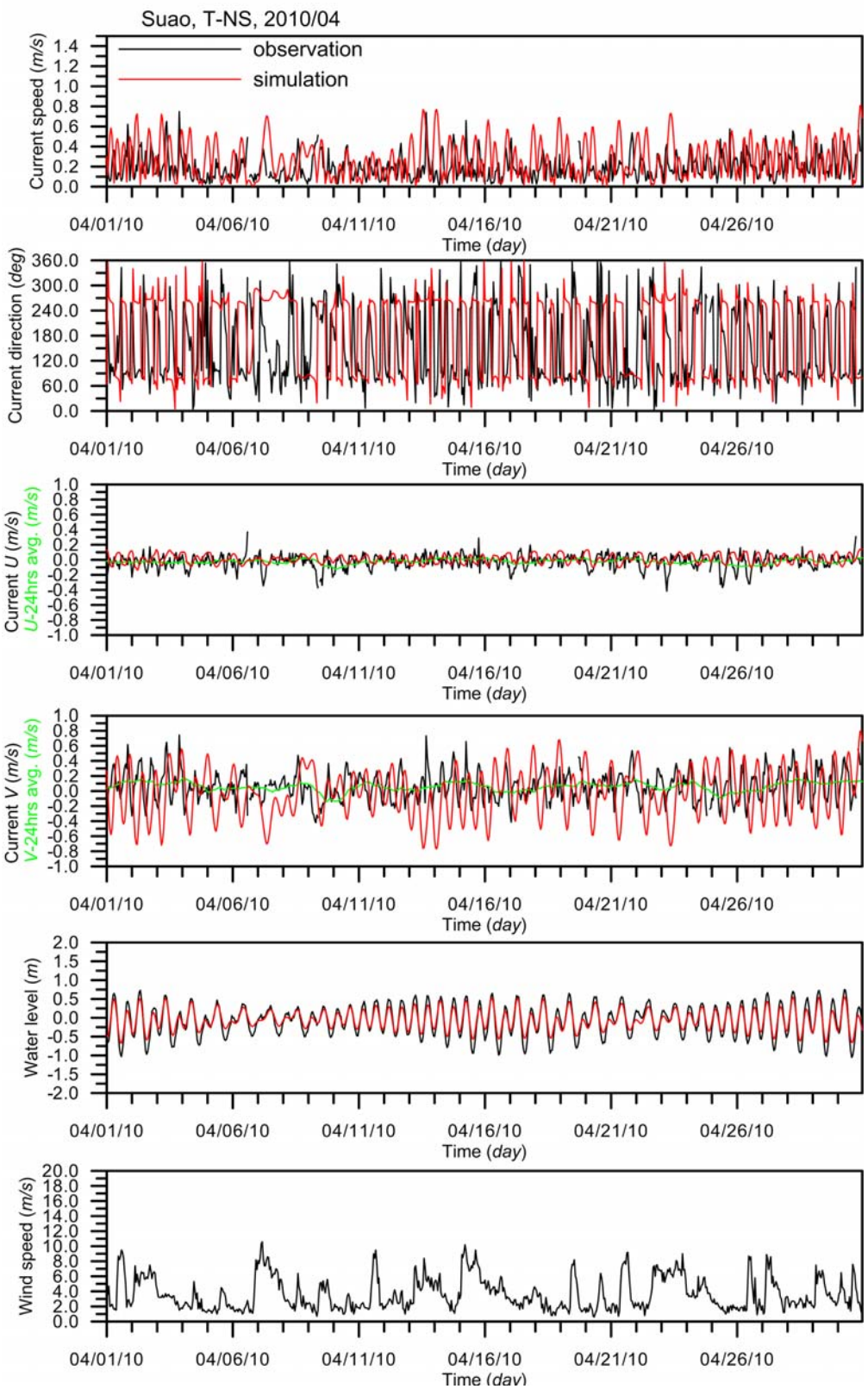


圖 5-19(續) 蘇澳港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 4 月份)

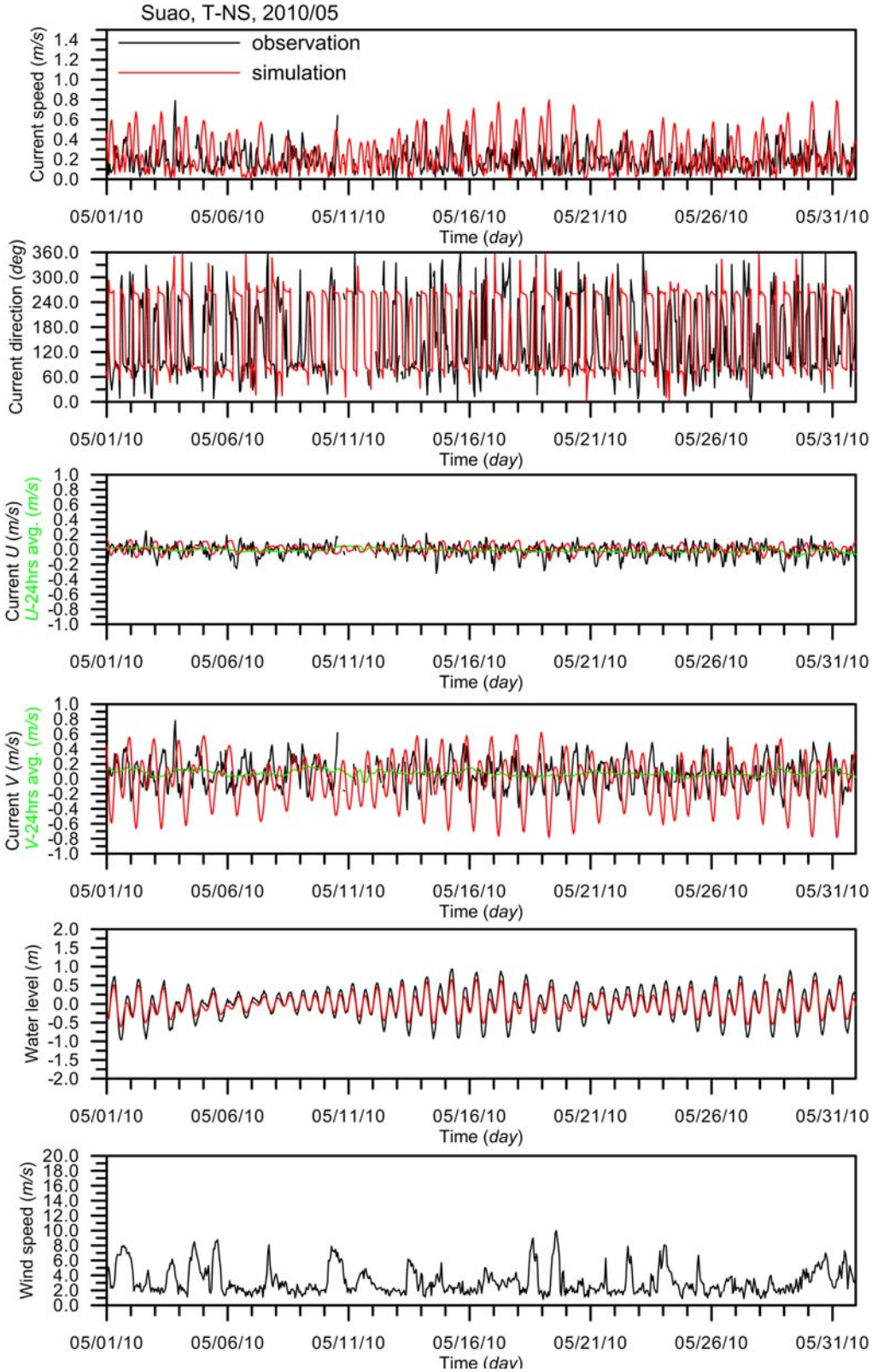


圖 5-19(續) 蘇澳港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 5 月份)

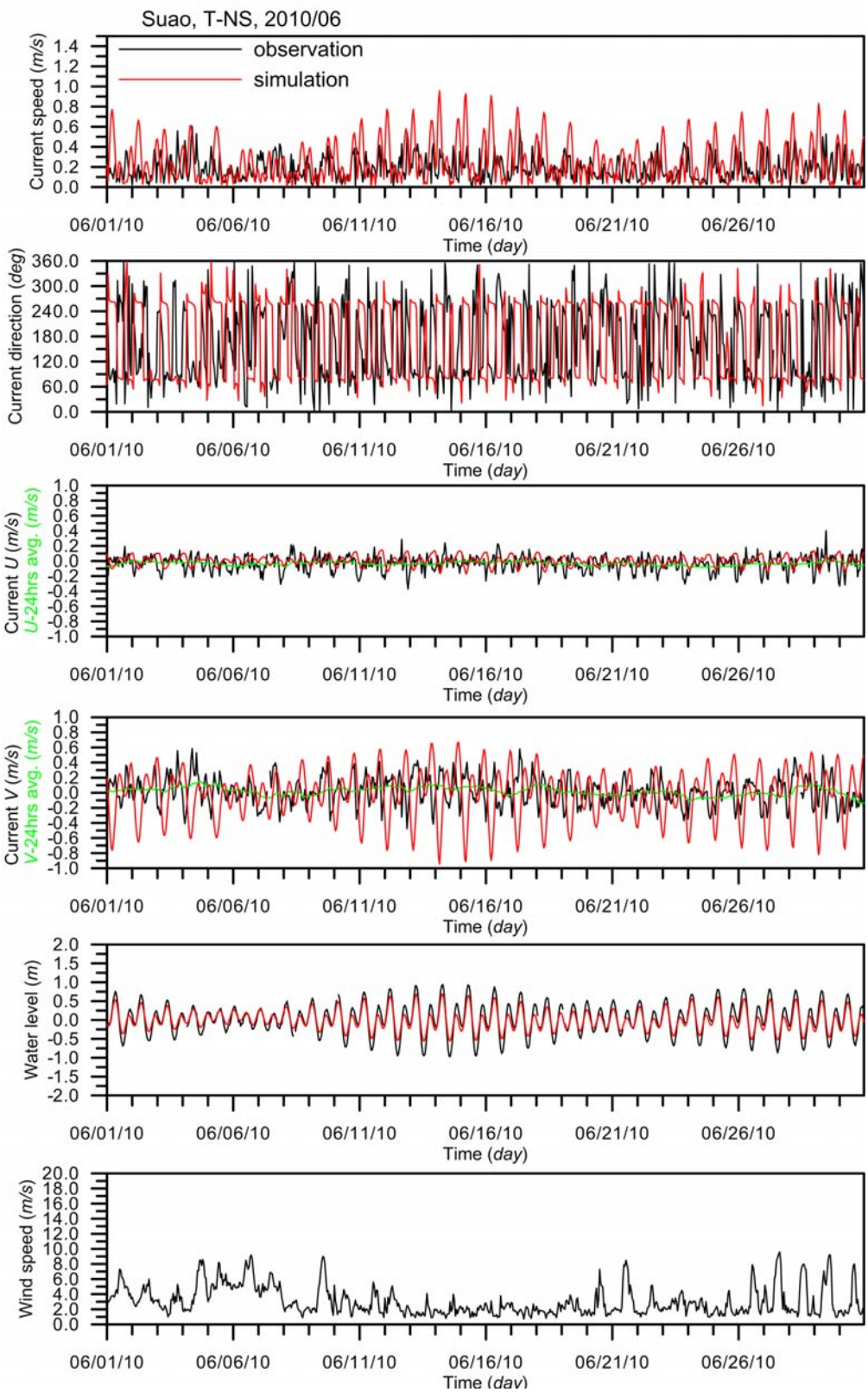


圖 5-19(續) 蘇澳港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 6 月份)

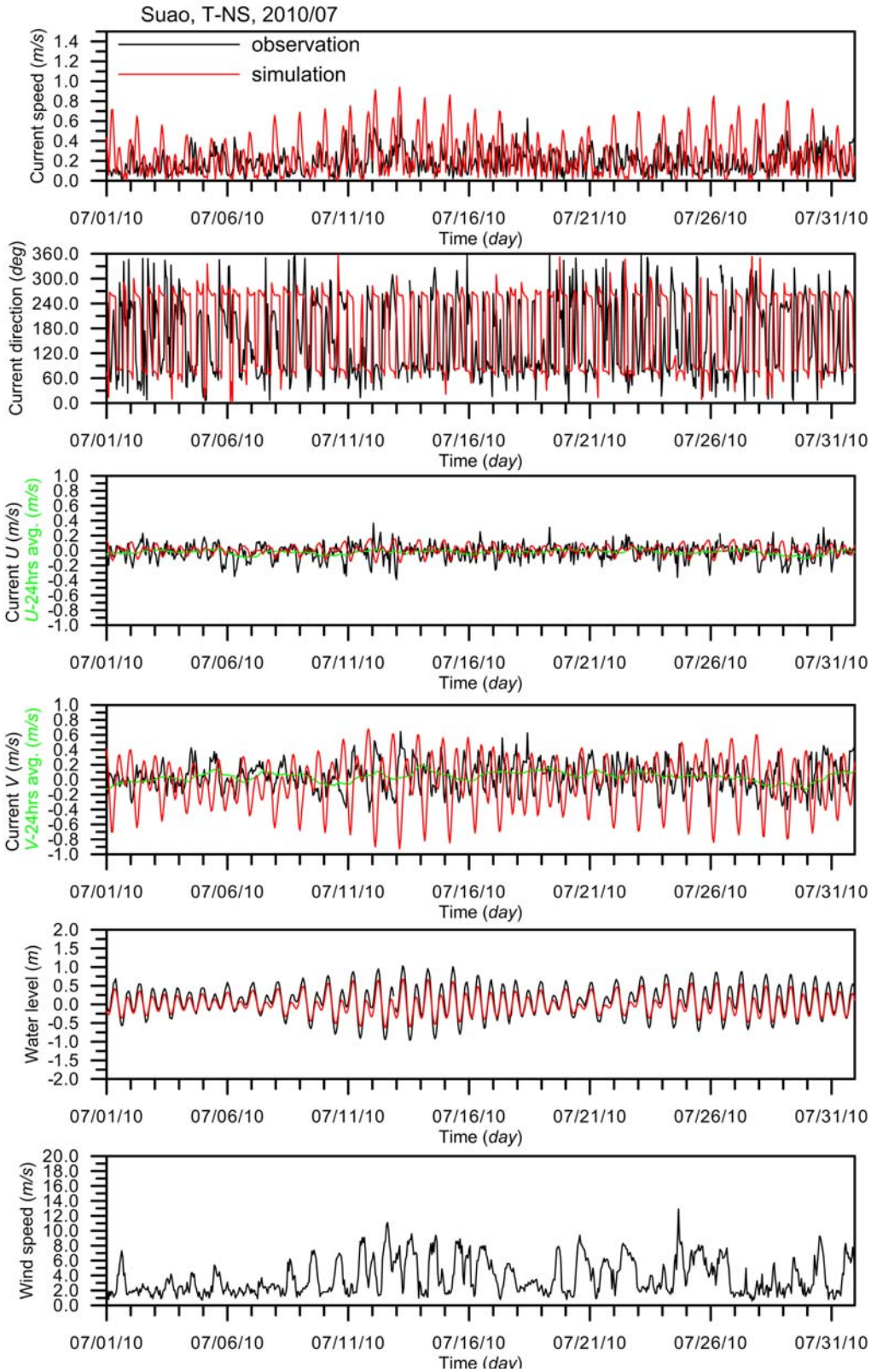


圖 5-19(續) 蘇澳港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 7 月份)

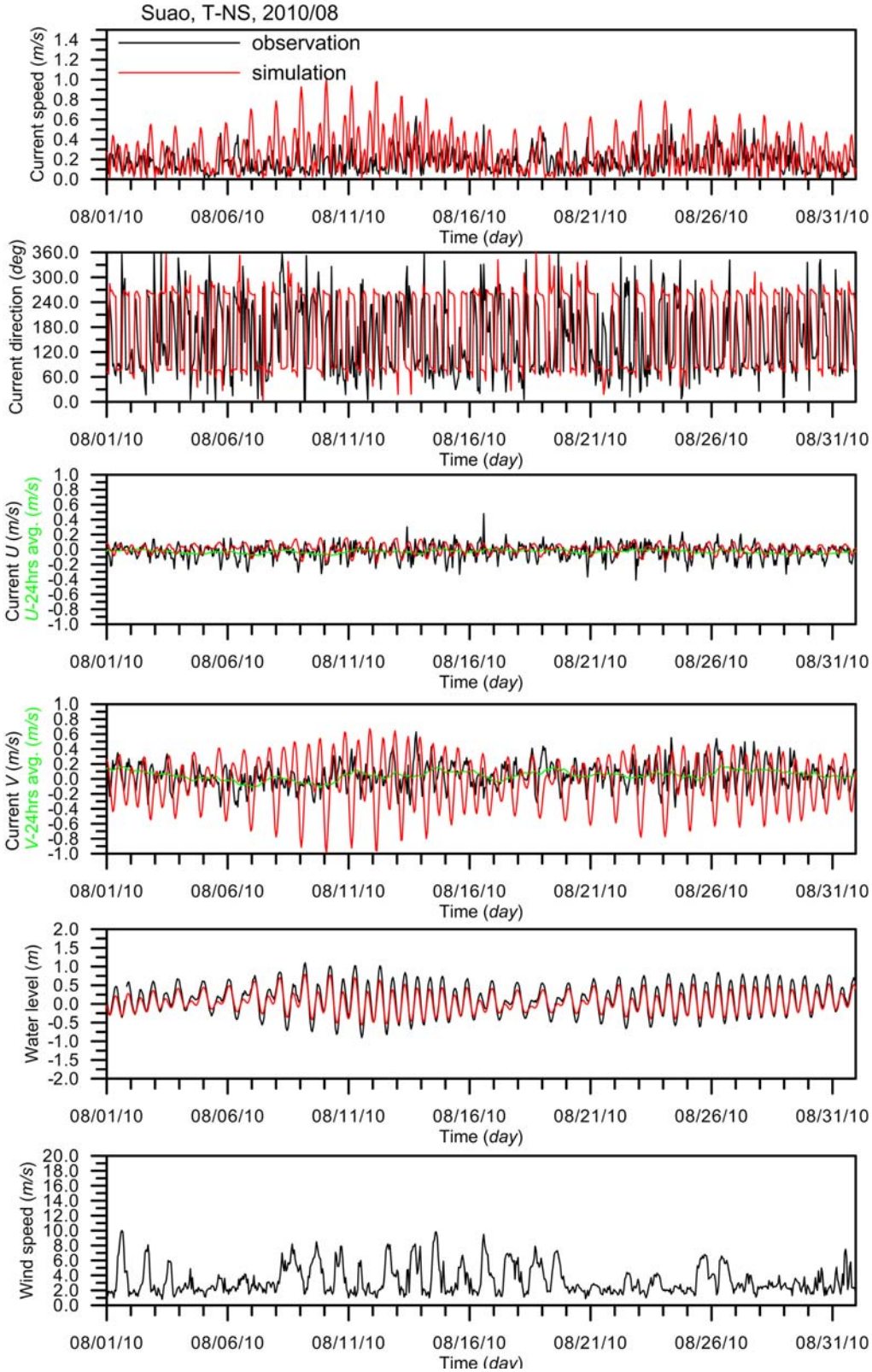


圖 5-19(續) 蘇澳港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 8 月份)

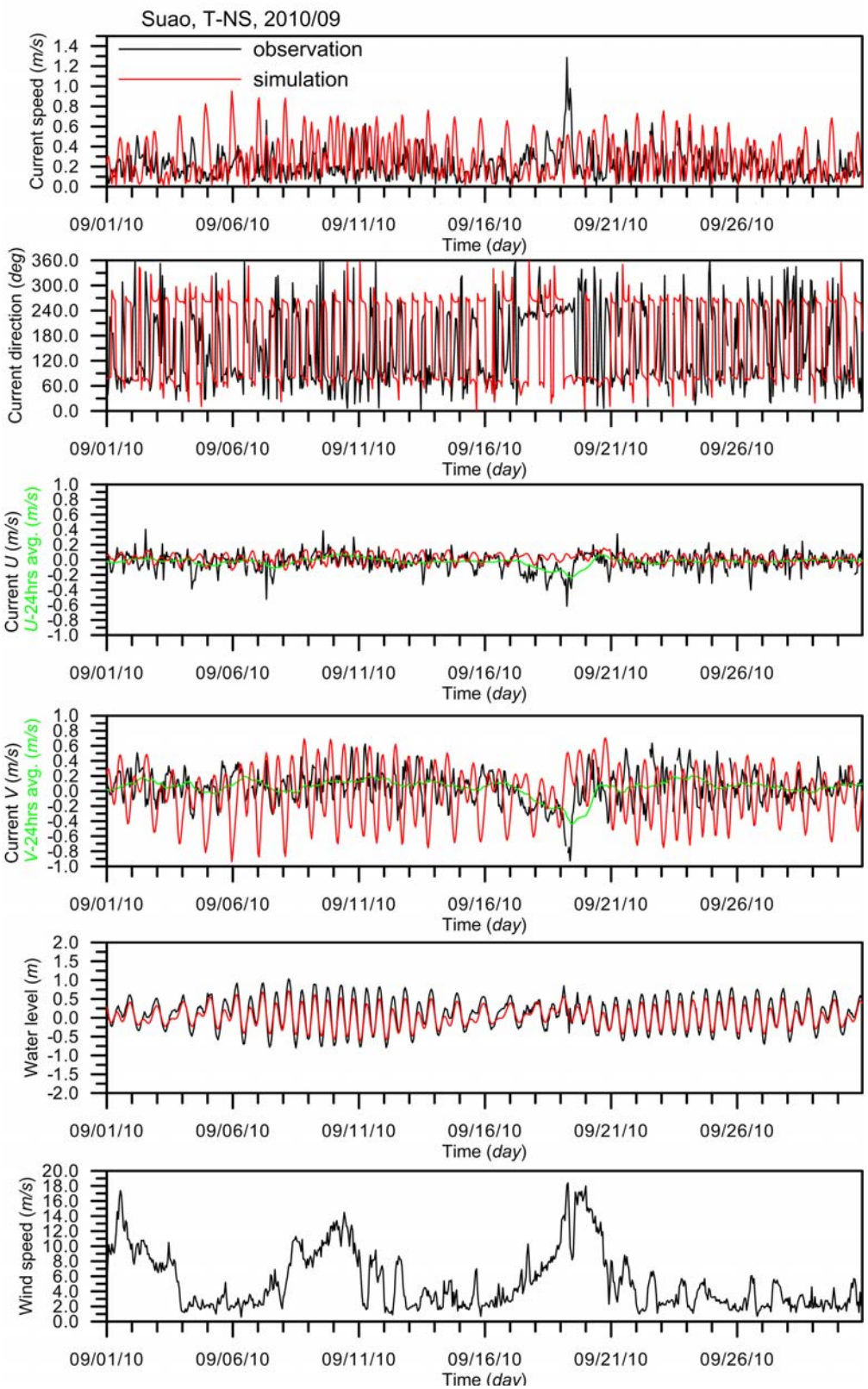


圖 5-19(續) 蘇澳港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 9 月份)

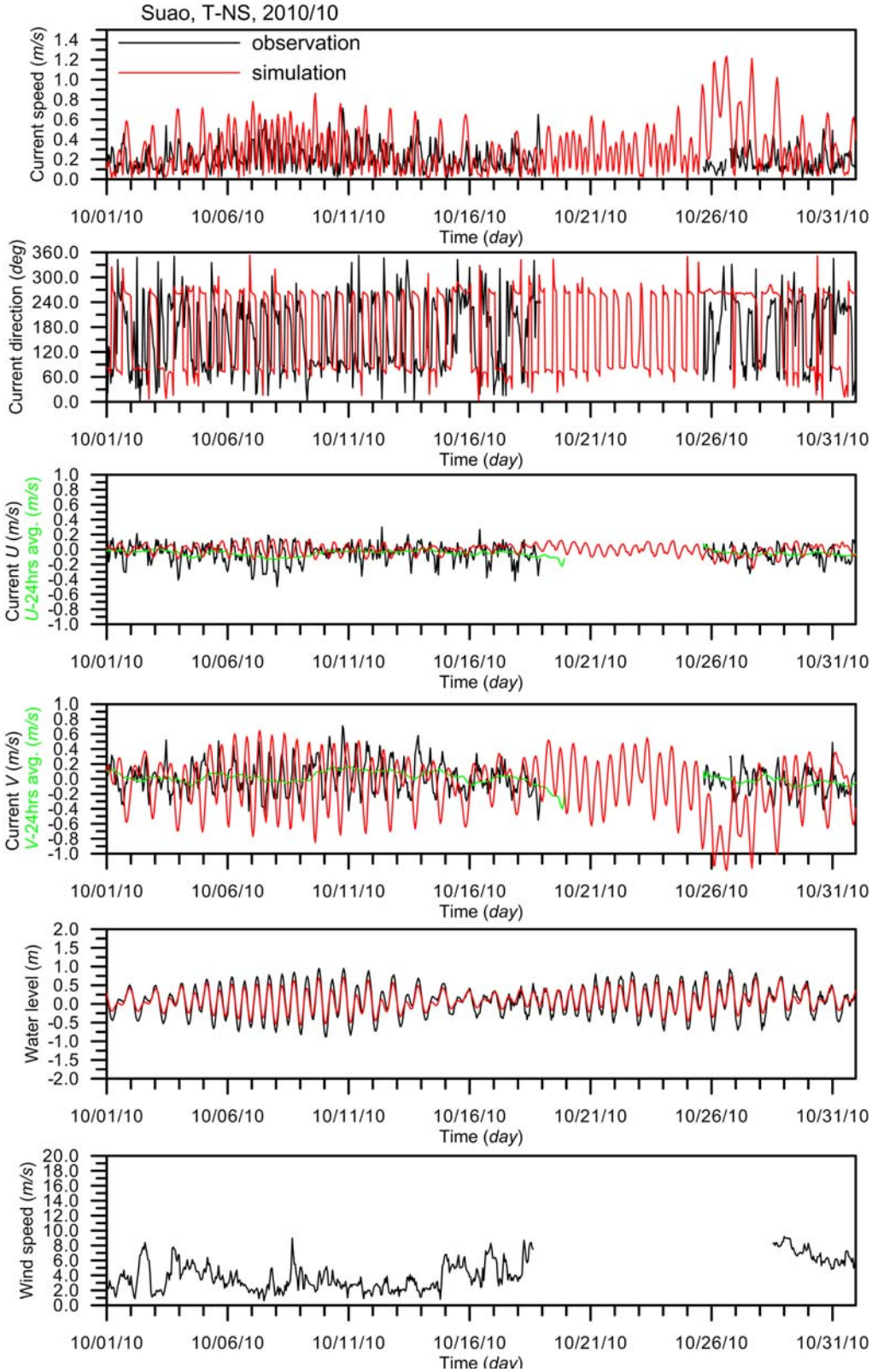


圖 5-19(續) 蘇澳港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 10 月份)

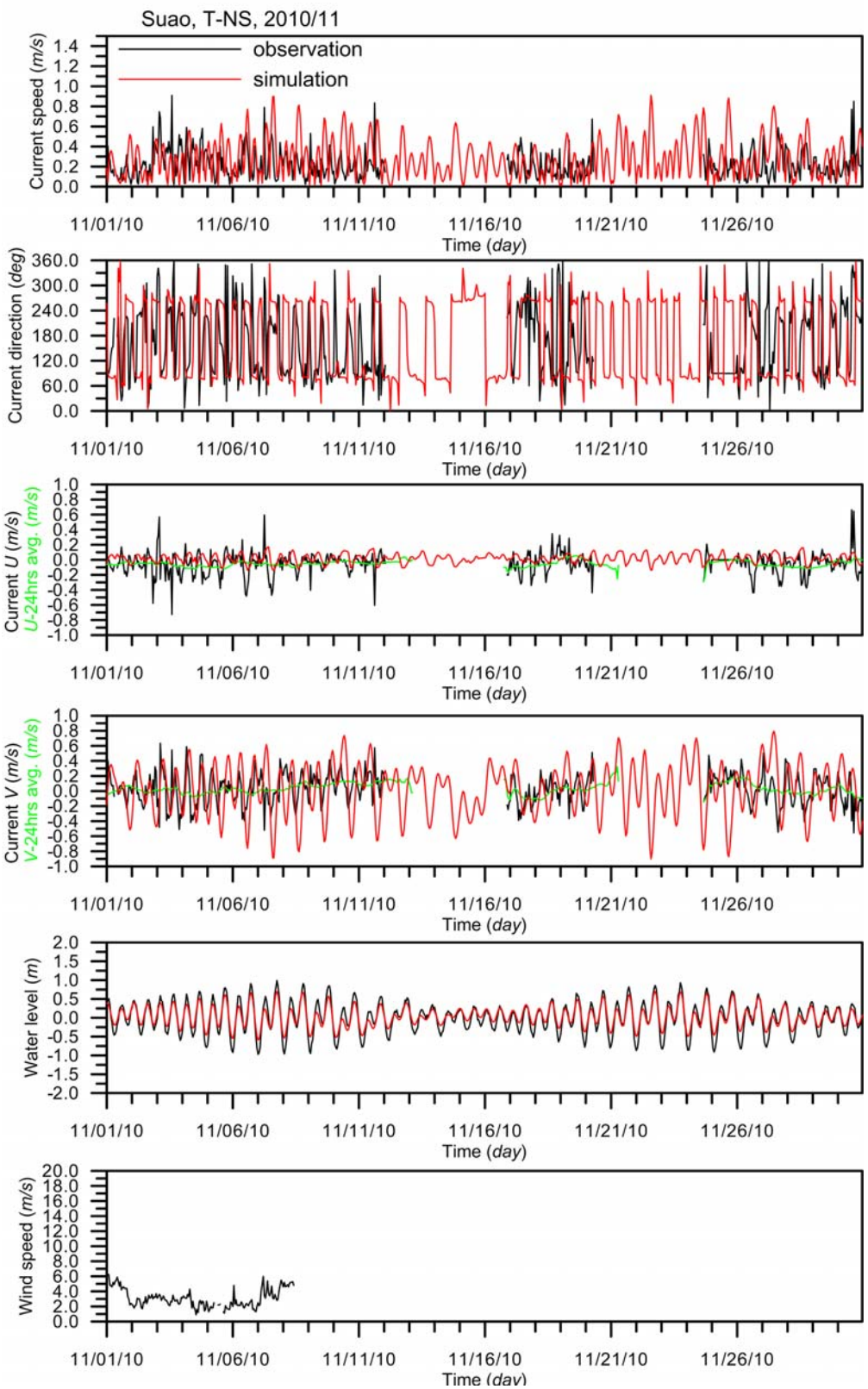


圖 5-19(續) 蘇澳港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 11 月份)

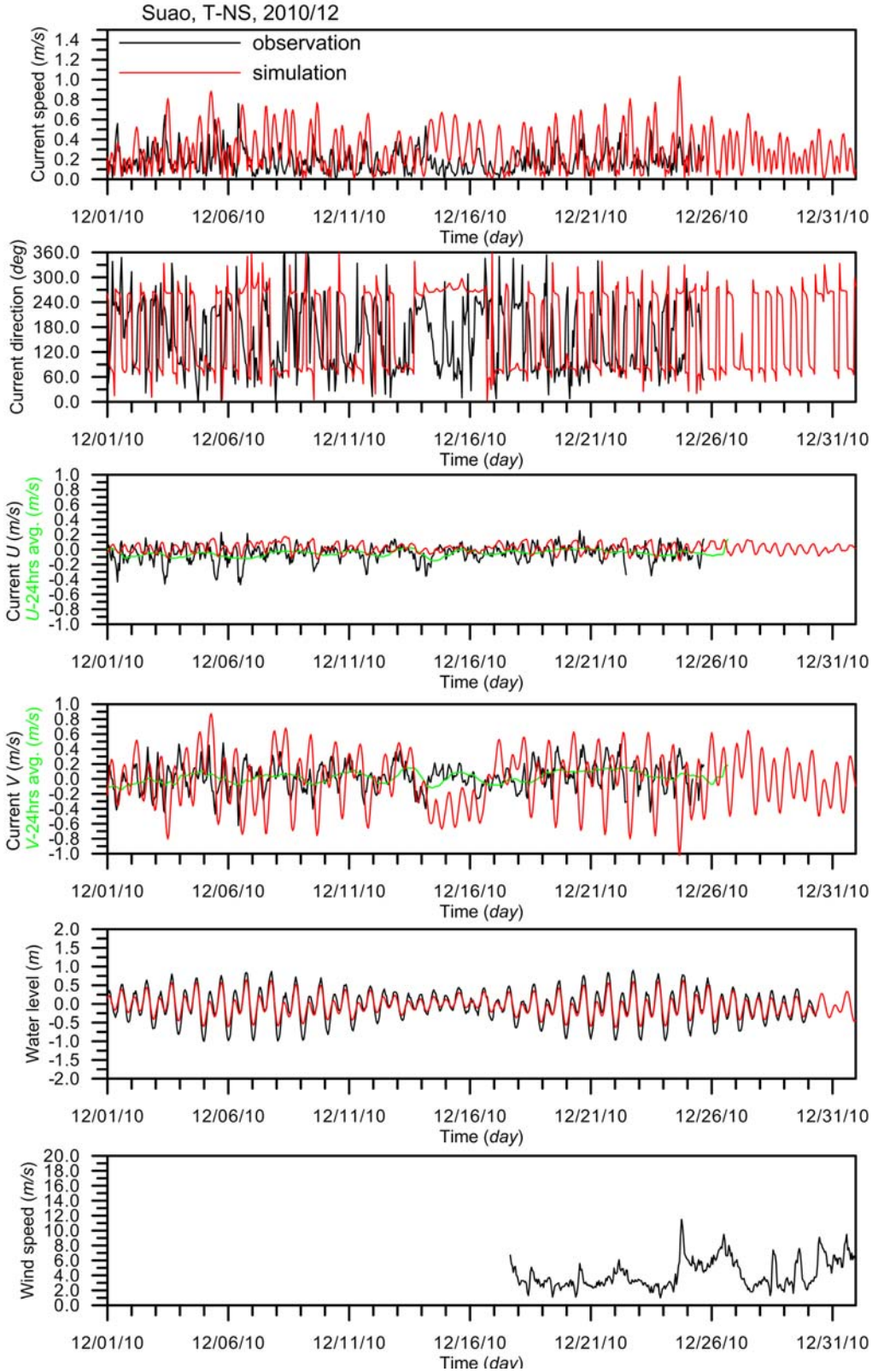


圖 5-19(續) 蘇澳港之觀測與 T-E 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 12 月份)

表 5-5 蘇澳港海域調和分析常數表

分潮名稱	Freq	Amp (m)	Phase (degree)
*M2	0.080511	0.4293	169.48
*K1	0.041781	0.198	225.38
*S2	0.083333	0.1855	201.28
*O1	0.038731	0.1734	190.69
*SA	0.000114	0.1321	219.86
*N2	0.078999	0.0831	155.66
*P1	0.041553	0.0652	221.82
*K2	0.083562	0.052	195.65
*Q1	0.037219	0.036	172.59
*MU2	0.07769	0.0163	139.82
*L2	0.082024	0.0157	177.17
*T2	0.083219	0.0133	195.8
SSA	0.000228	0.0132	28.71
*NU2	0.079202	0.0132	151.03
*NO1	0.040269	0.0112	214.77
*J1	0.043293	0.0112	242.11
*2N2	0.077487	0.0106	130.74
*RHO1	0.037421	0.0082	170.15
*H1	0.080397	0.0077	84.47
*S1	0.041667	0.0074	239.85
*M3	0.120767	0.007	175.78
MM	0.001512	0.0065	283.22
MF	0.00305	0.0065	353.34
MSM	0.00131	0.0064	120.44
*OO1	0.044831	0.0052	282.76

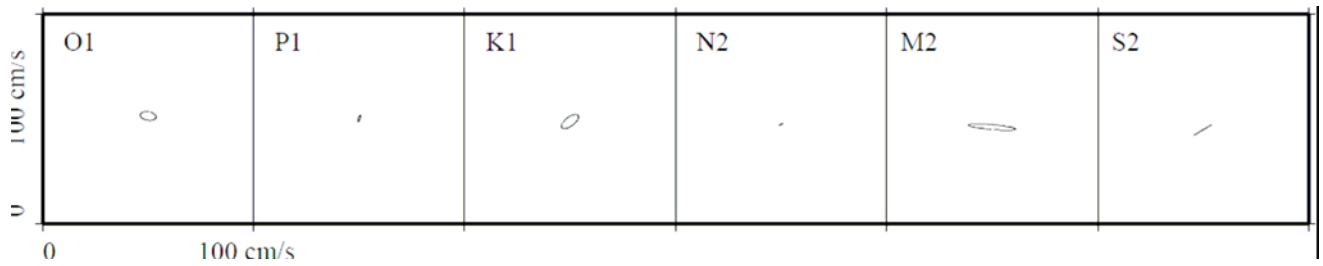


圖 5-20 蘇澳港海域潮流橢圓圖

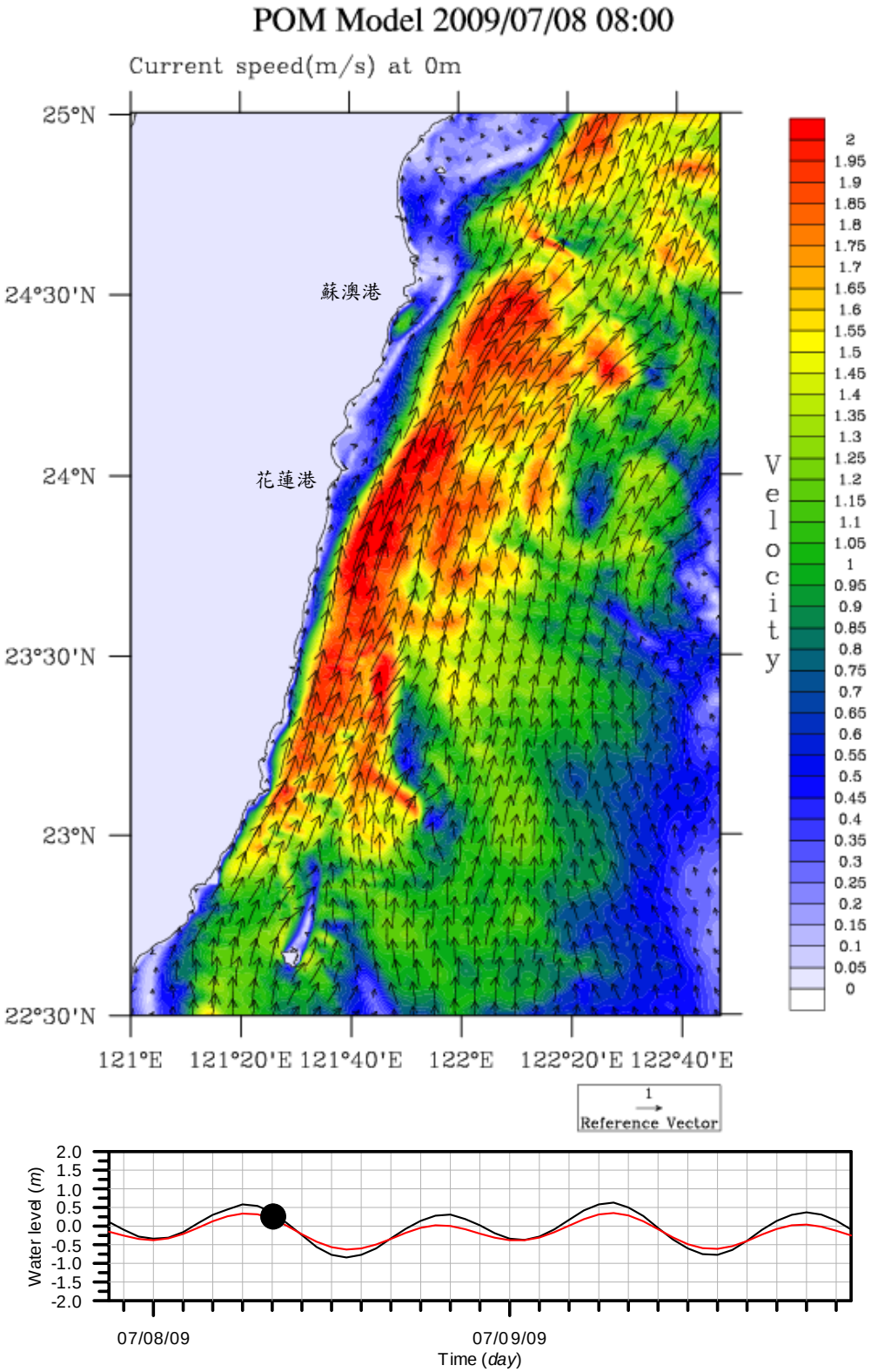


圖 5-21 臺灣東部海域海流分布圖(紅線為模式值，黑線為實測值，黑點為時刻為 2009/07/08 08:00)

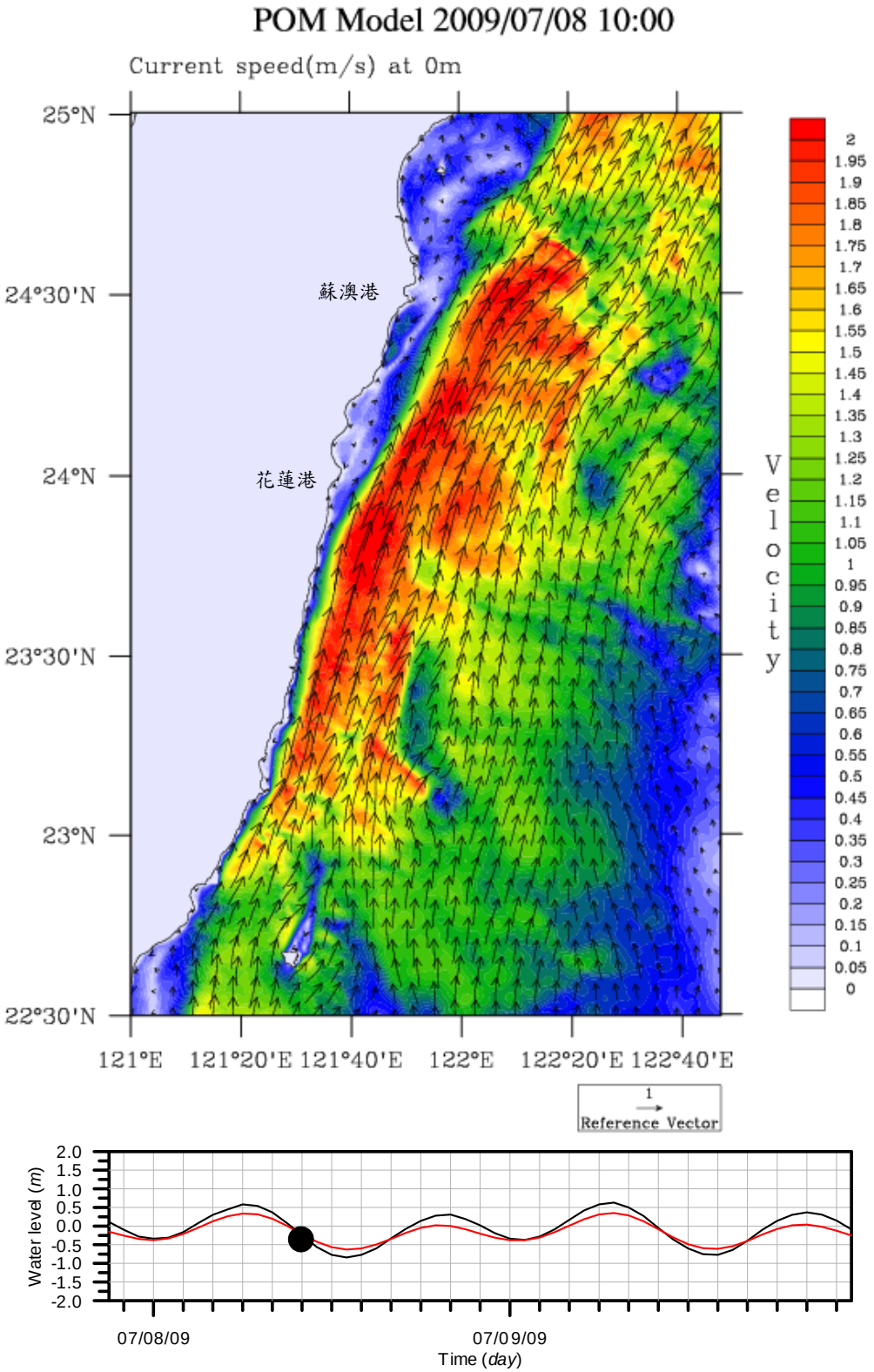


圖 5-21(續) 臺灣東部海域海流分布圖(紅線為模式值，黑線為實測值，黑點為時刻為 2009/07/08 10:00)

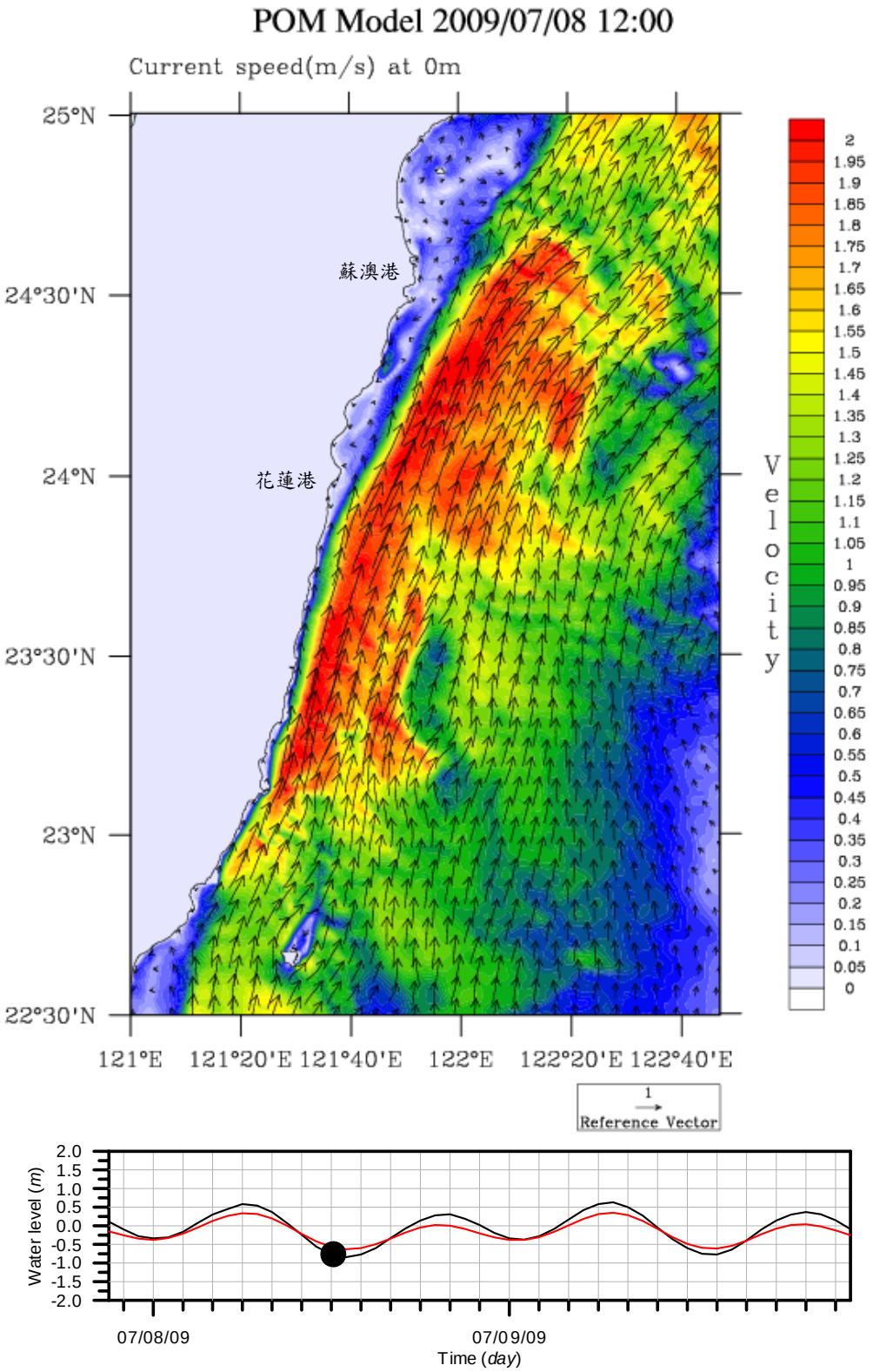


圖 5-21(續) 臺灣東部海域海流分布圖(紅線為模式值，黑線為實測值，黑點為時刻為 2009/07/08 12:00)

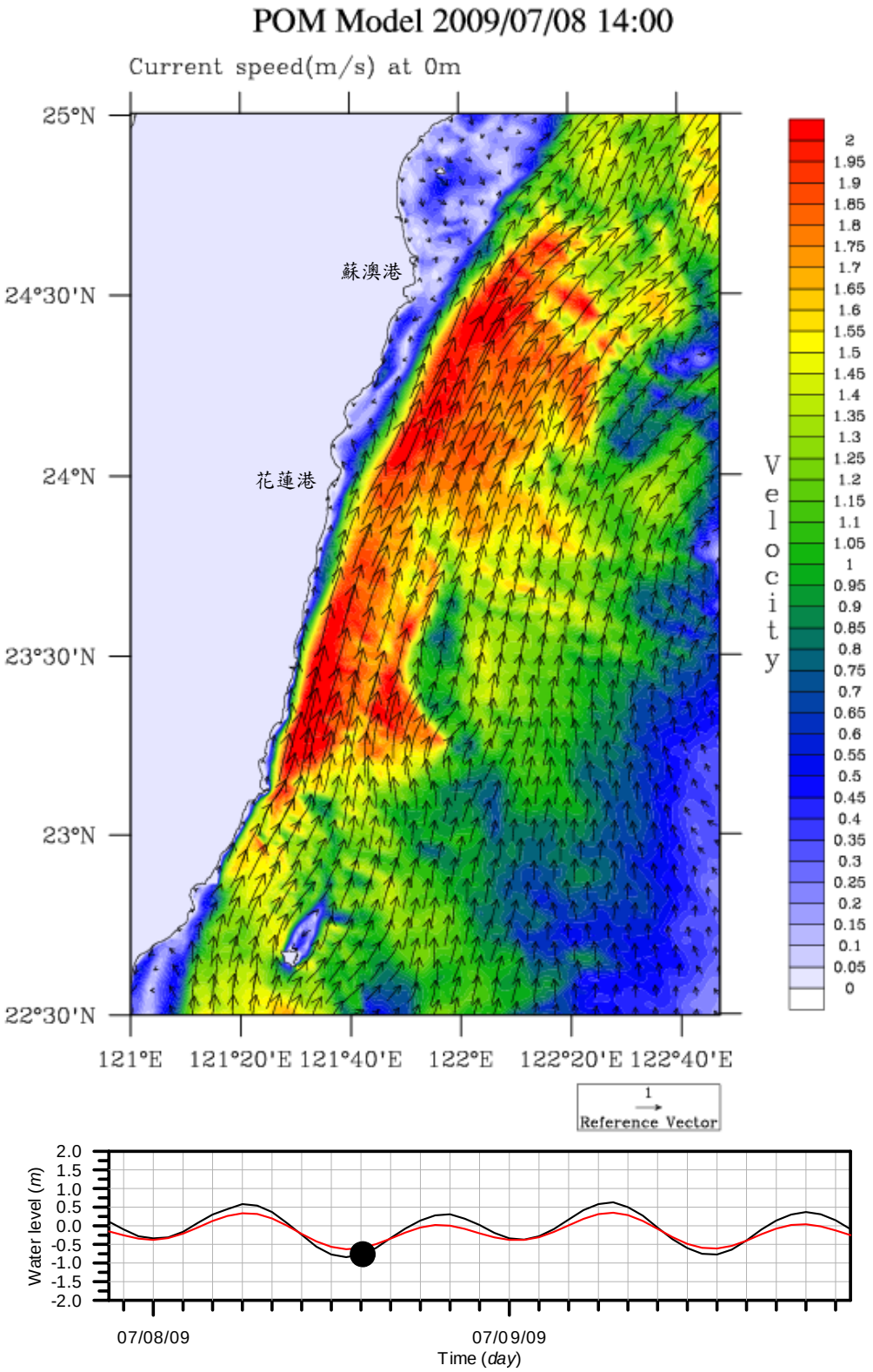


圖 5-21(續) 臺灣東部海域海流分布圖(紅線為模式值，黑線為實測值，黑點為時刻為 2009/07/08 14:00)

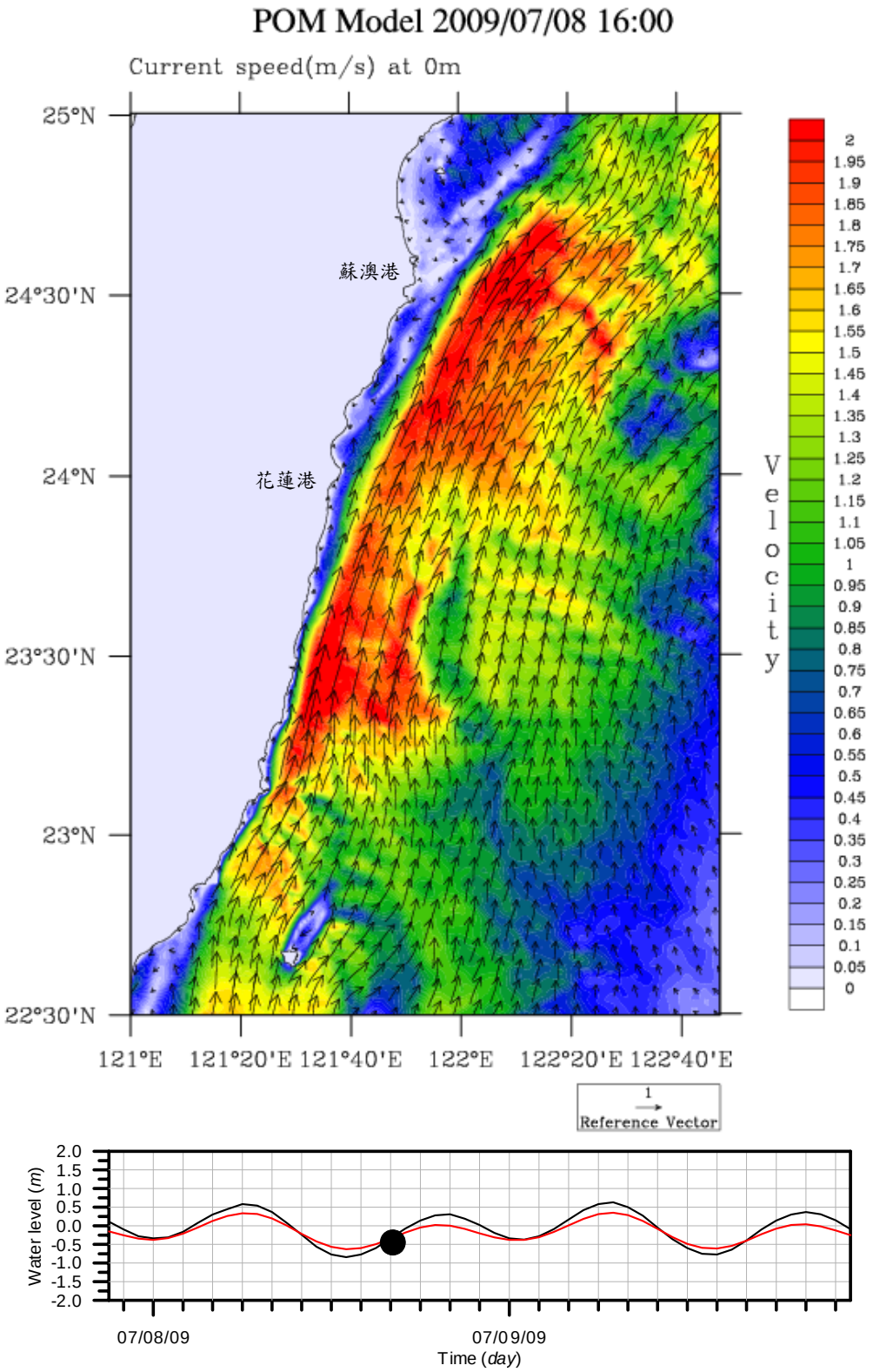


圖 5-21(續) 臺灣東部海域海流分布圖(紅線為模式值，黑線為實測值，黑點為時刻為 2009/07/08 16:00)

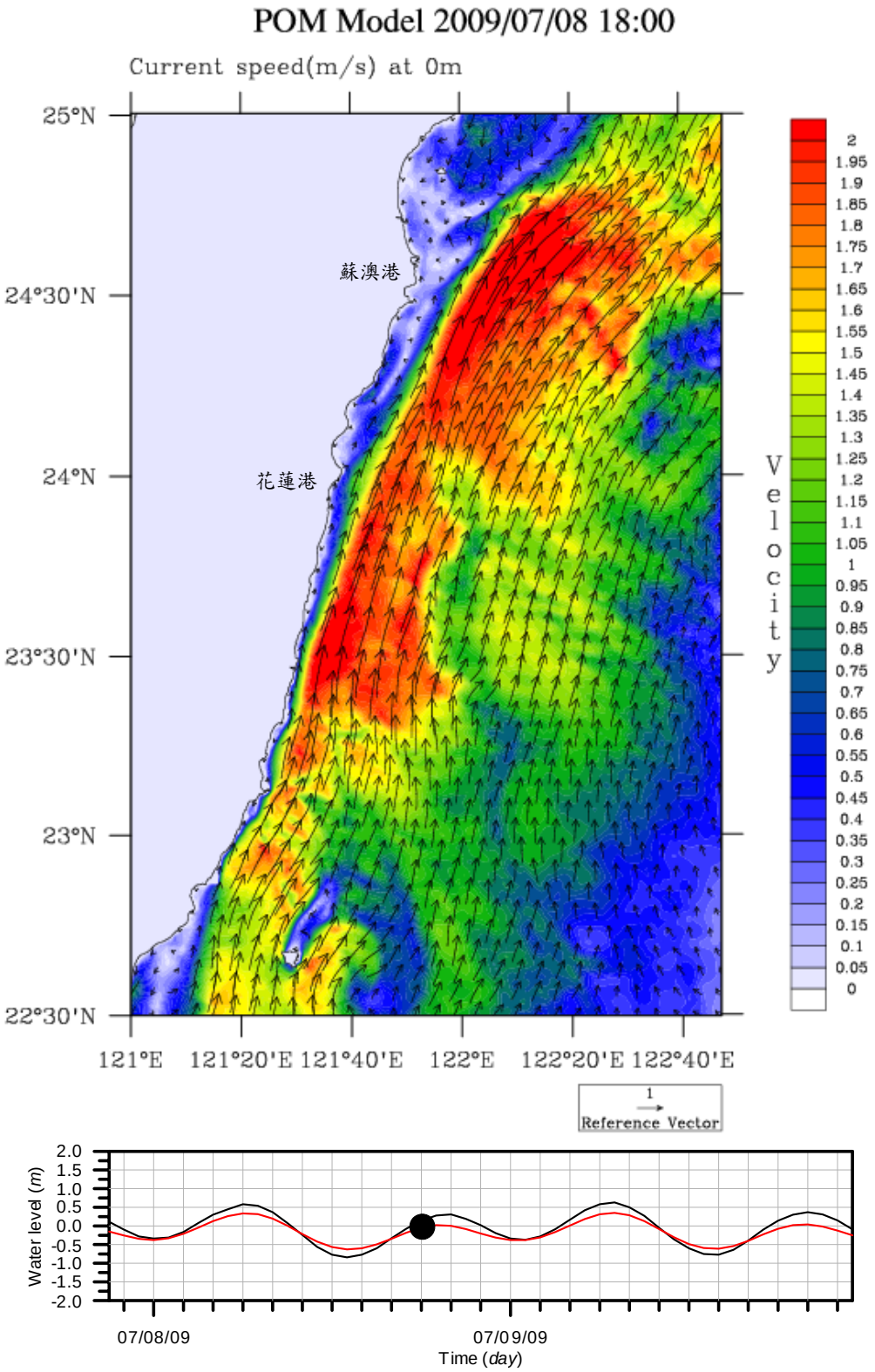


圖 5-21(續) 臺灣東部海域海流分布圖(紅線為模式值，黑線為實測值，黑點為時刻為 2009/07/08 18:00)

5.4 臺灣西部海域(臺中港)

圖 5-22 與圖 5-23 分別為臺中港之觀測與 T-W 模式模擬結果於 2009 年與 2010 年各月份之海流、潮位與風速比較圖，臺中港由於 2009 年 1 月至 5 月份觀測儀器故障無法取得資料加以驗證，僅有後半年之資料可供比對。由現有資料看出，其與上述臺灣其餘測站明顯最大不同處是其東西、南北流速之 24 小時平均值呈現有明顯變動趨勢，其他測站之 24 小時平均淨流速則是非常接近於零，可推論為其他測站應仍受到潮流主導呈現往復現象。但臺中港測站之 24 小時平均流速變化趨勢應與季節有關，夏季平均有向北流動趨勢，南北向之 24 小時平均流速約介於 0.4~0.6 m/sec 之間，表示應受到洋流影響導致觀測值內出現恆流現象，其應與夏季黑潮支流於臺灣海峽內流速較強有相關性。但在冬季如於小潮時段且風速強勁時刻有持續向南之情況出現，由於台中海域一帶冬季季風風速強勁，在小潮時刻潮流流動力量較小導致風速較強時可驅動此處海域流動現象。由圖中模式結果與實測值之比較可看出，模式模擬結果可合理的模擬此一現象，表示海流模擬模式在臺灣西部海域考慮洋流與潮流綜合效應趨勢是有所必要的。而由表 5-6 臺中港調和分析常數表 $(K_1+O_1)/M_2=0.77$ 表示臺中港海域為半日潮型，而圖 5-24 潮流橢圓圖中可看出臺中港海域流速強勁，但潮流分量不大表示台中海域應以洋流效應主導此處海流特性。

圖 5-25 為臺中港海域夏季(2009/07/08 08:00~16:00)與冬季(2010/01/08 08:00~16:00)之代表海流分布圖，由夏季海流分布圖可看出，外海流速強勁，黑潮分支繞過雲彰隆起向北流動，於台中海域再度接近近岸處，由圖中北側流速不論漲退潮段皆持續向北可證。而冬季海面流速明顯變小，此一時段由於東北季風強勁，導致近岸處有沿著海岸線向南流動之明顯現象，且由於臺中港北防坡堤之阻擋影響，導致堤頭附近海域流速偏向西南西，其與圖 4-21 之海流東西、南北分量流速分布圖於冬季時刻有偏向西南西之趨勢一致。

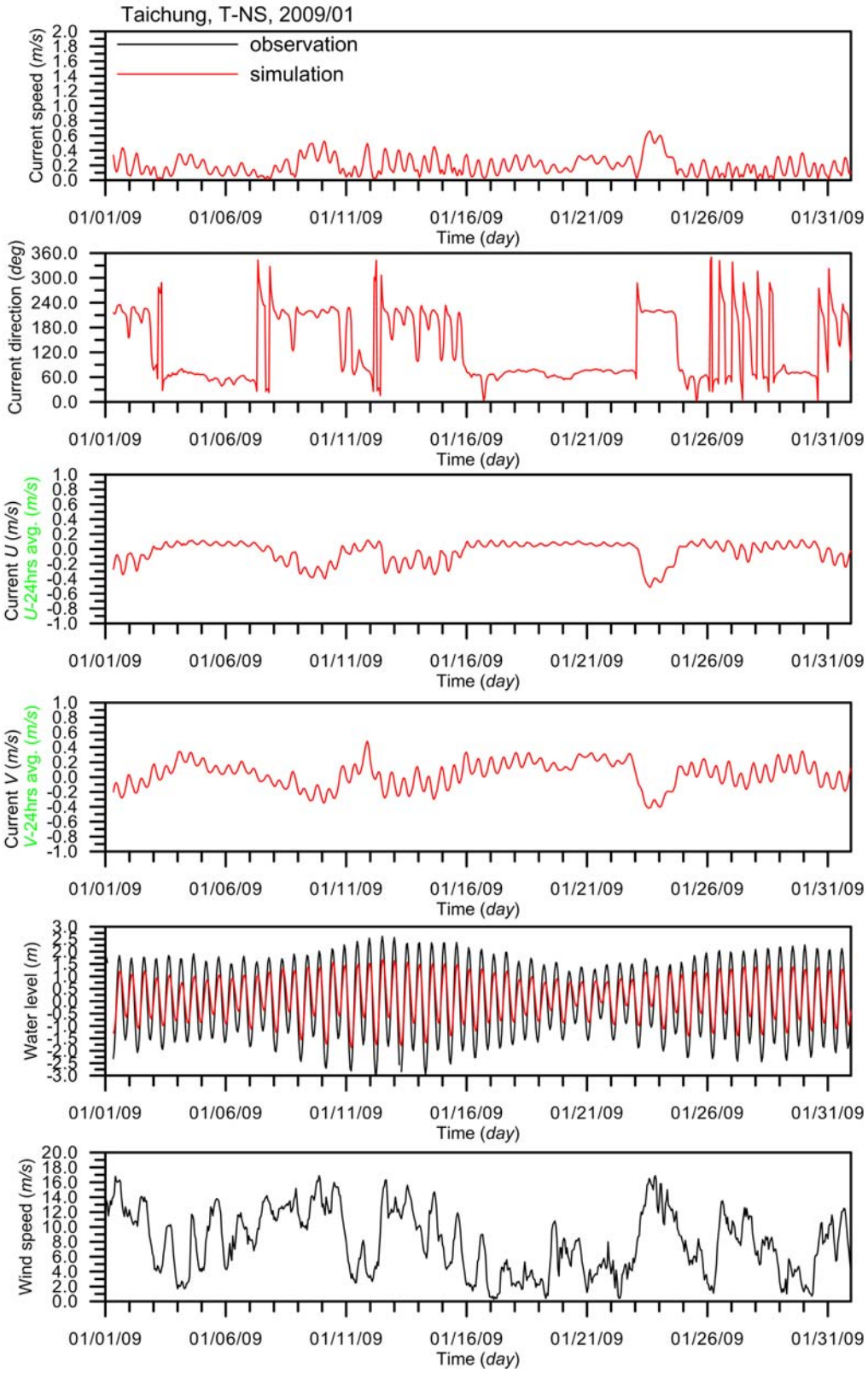


圖 5-22 臺中港之觀測與 T-W 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 1 月份)

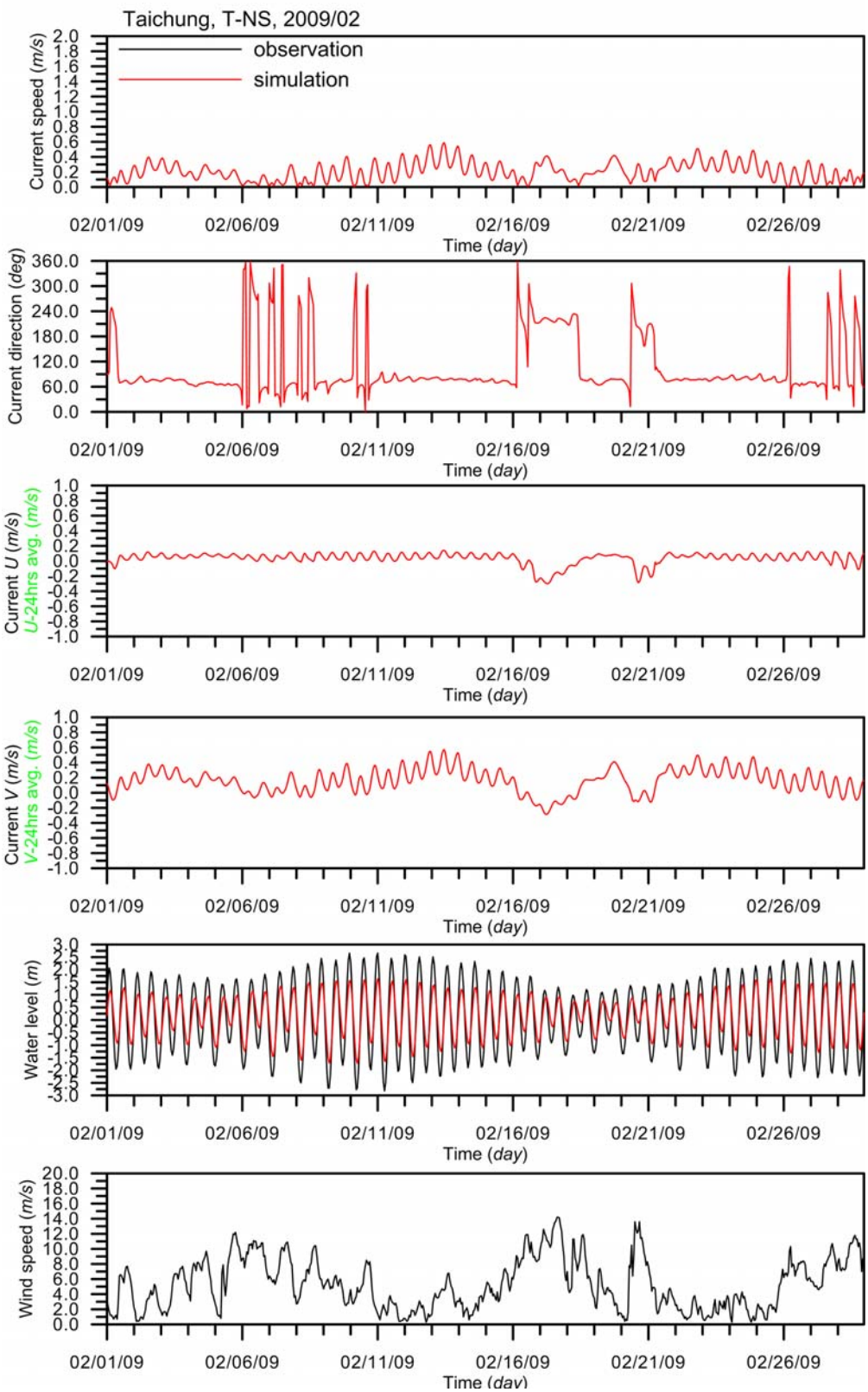


圖 5-22(續) 臺中港之觀測與 T-W 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 2 月份)

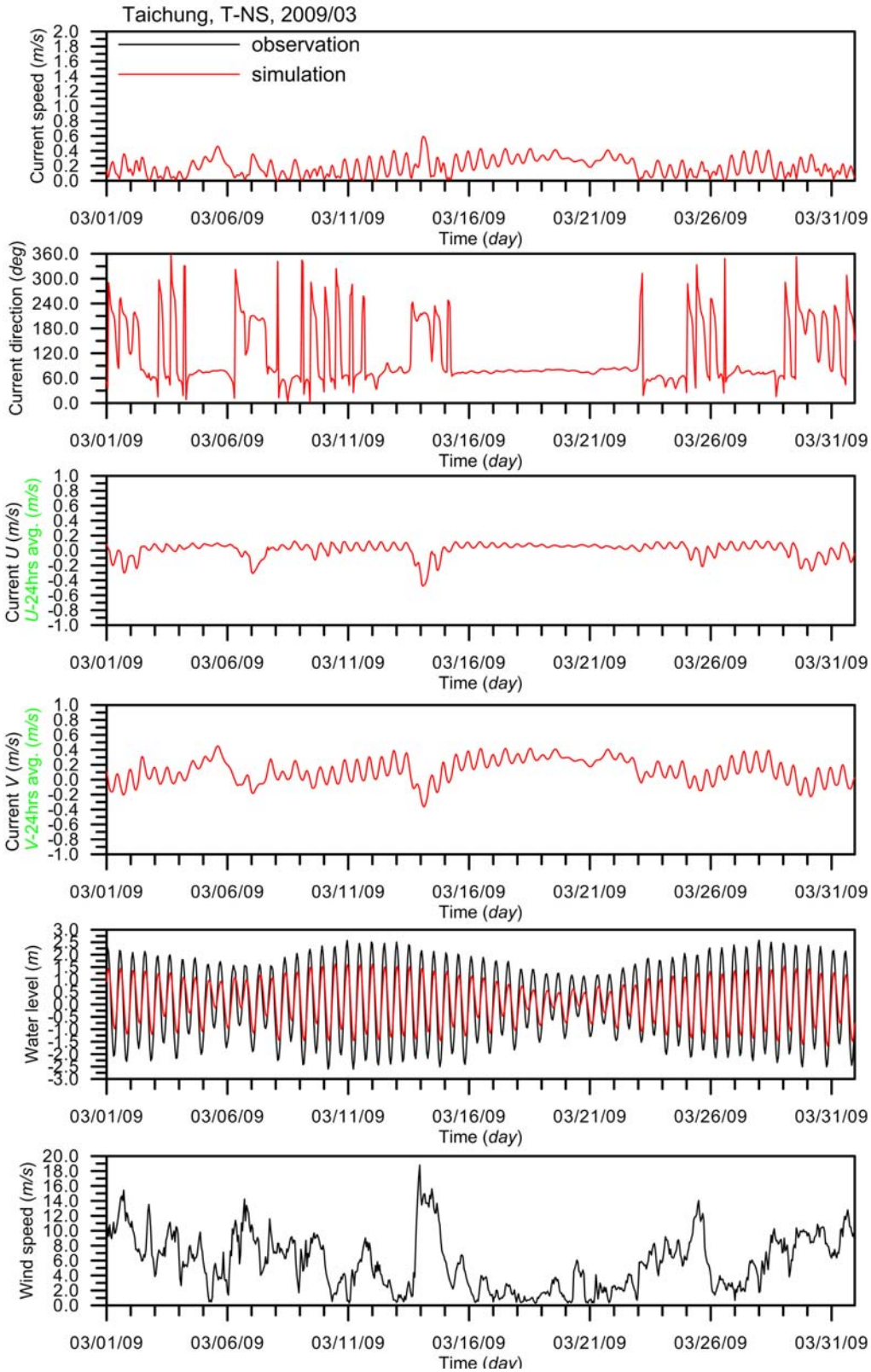


圖 5-22(續) 臺中港之觀測與 T-W 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 3 月份)

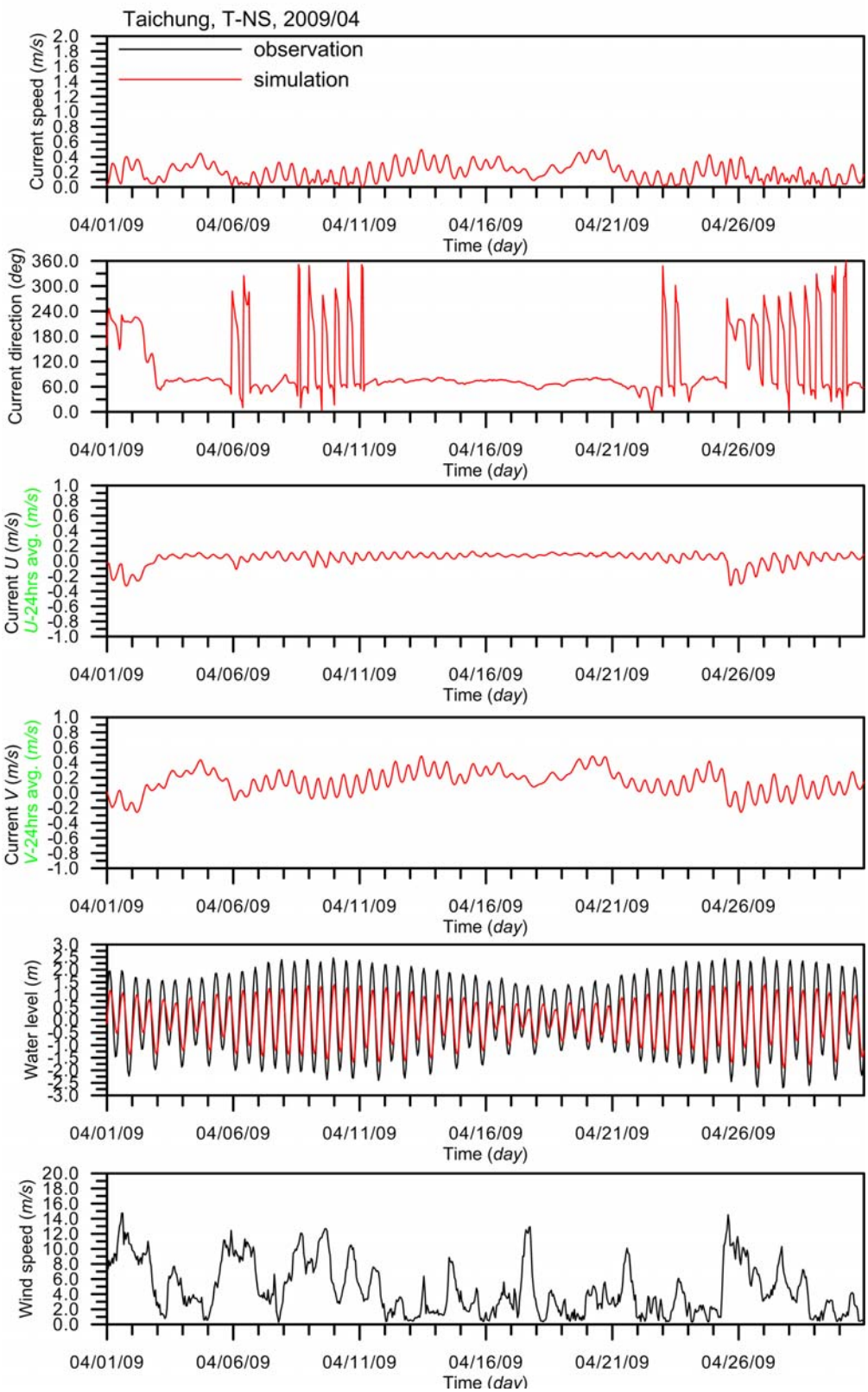


圖 5-22(續) 臺中港之觀測與 T-W 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 4 月份)

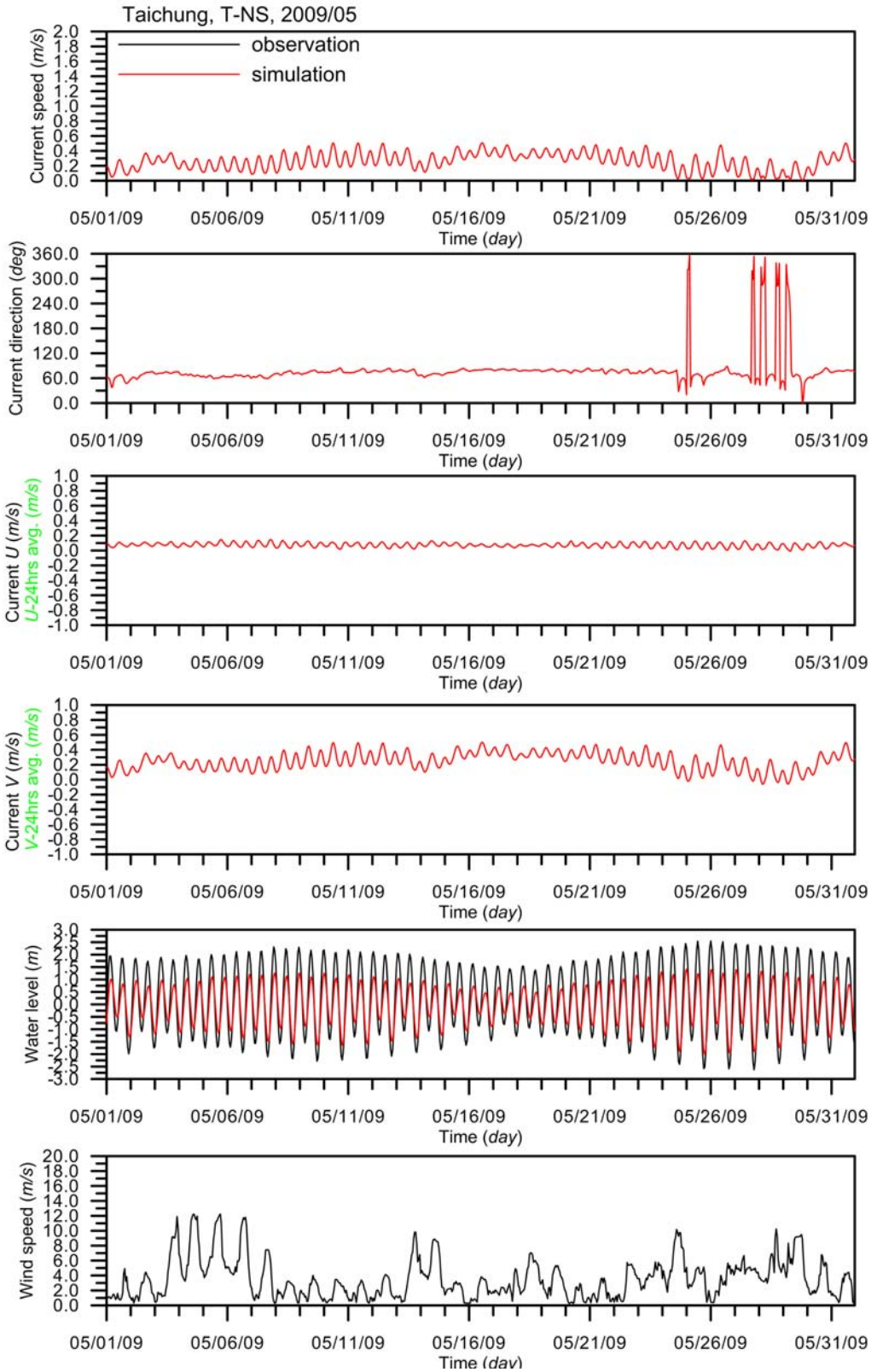


圖 5-22(續) 臺中港之觀測與 T-W 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 5 月份)

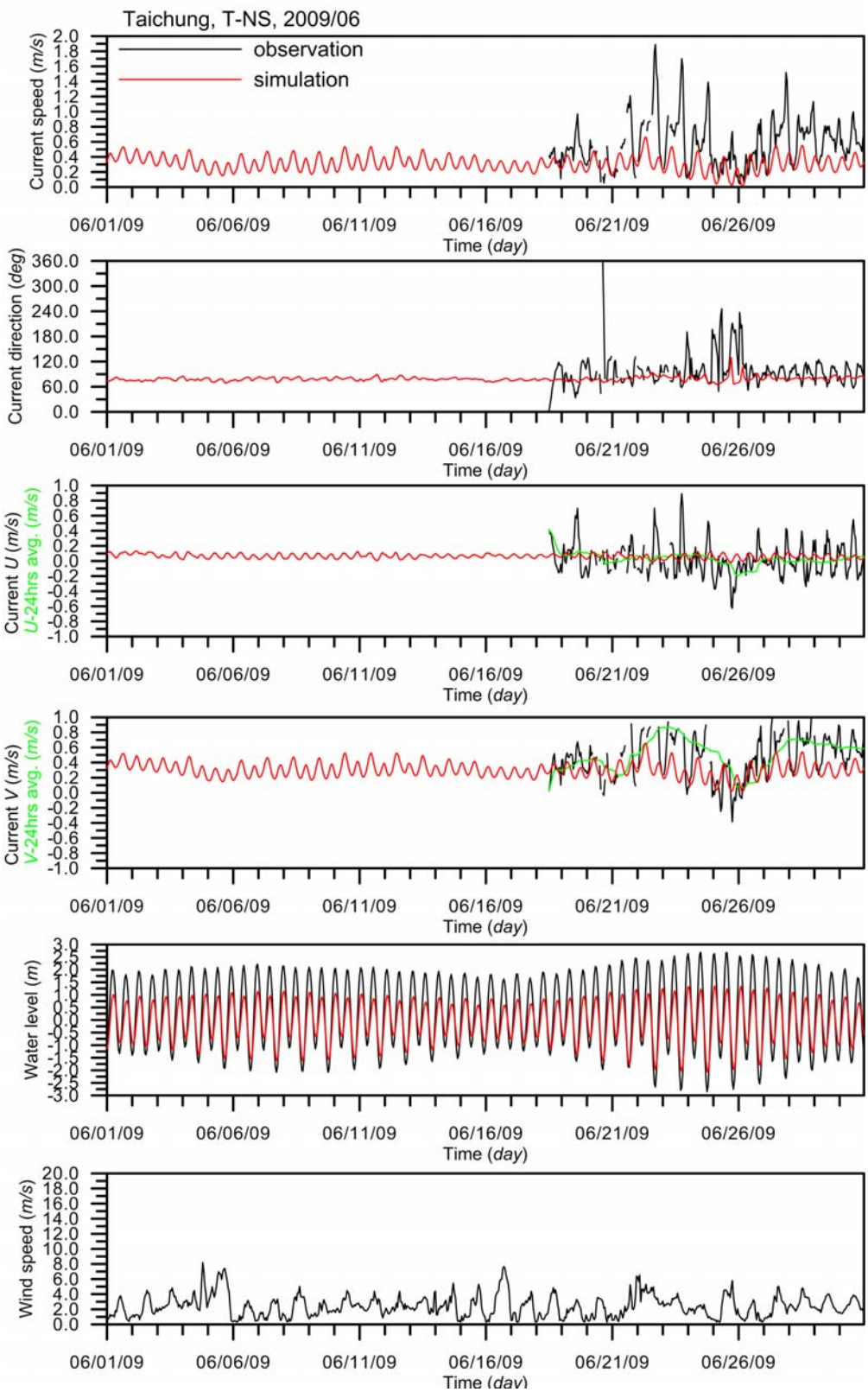


圖 5-22(續) 臺中港之觀測與 T-W 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 6 月份)

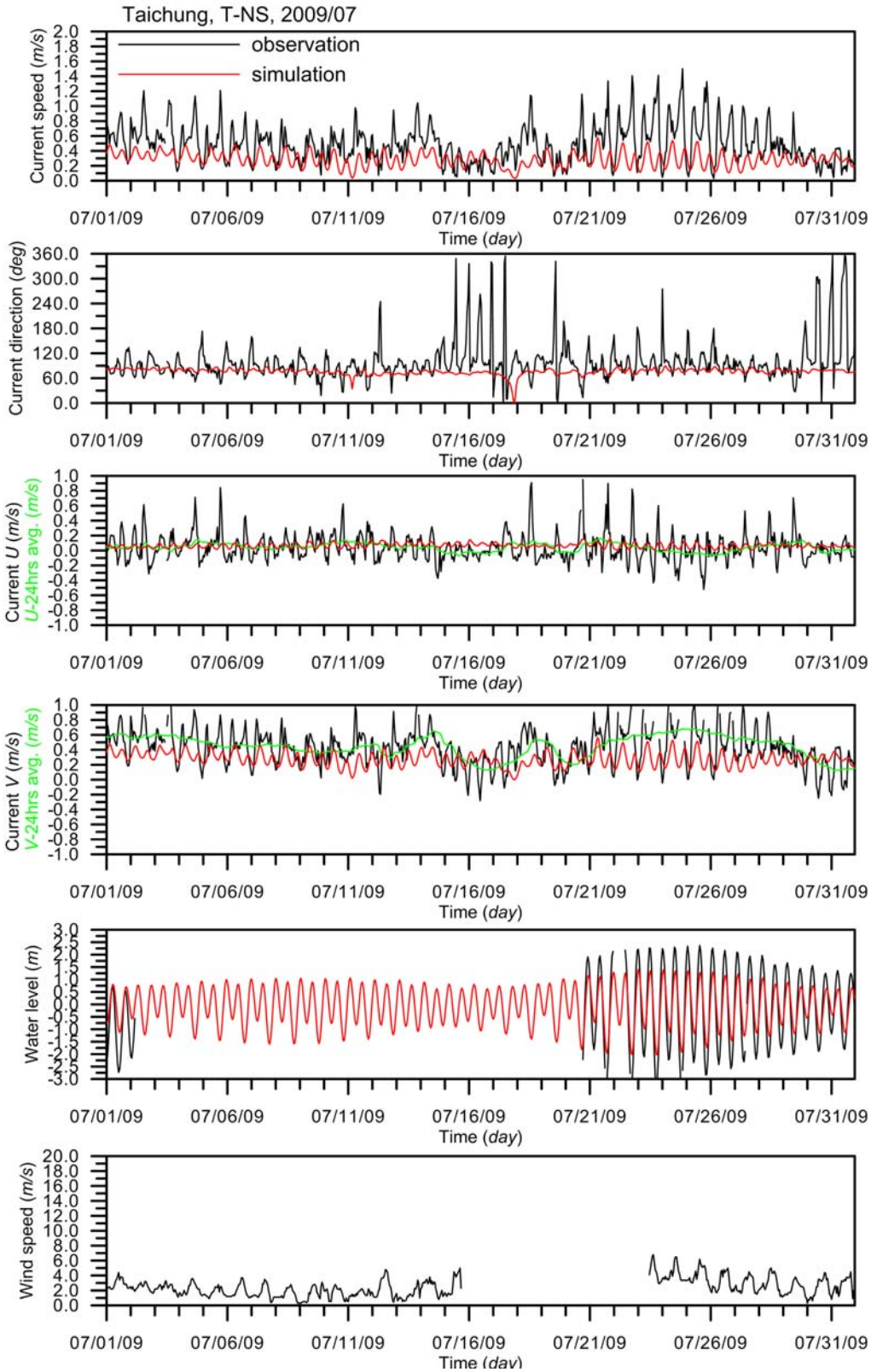


圖 5-22(續) 臺中港之觀測與 T-W 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 7 月份)

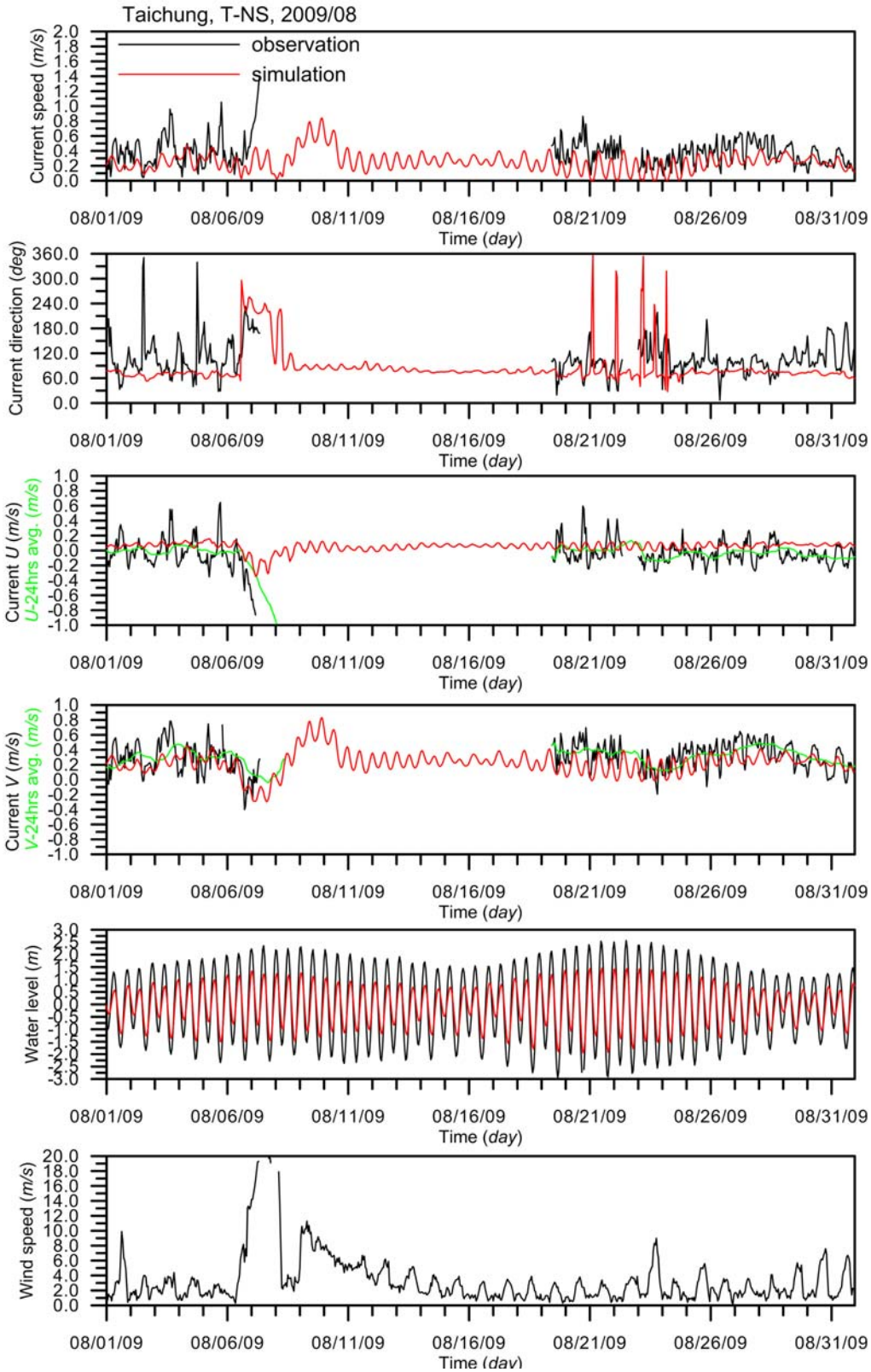


圖 5-22(續) 臺中港之觀測與 T-W 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 8 月份)

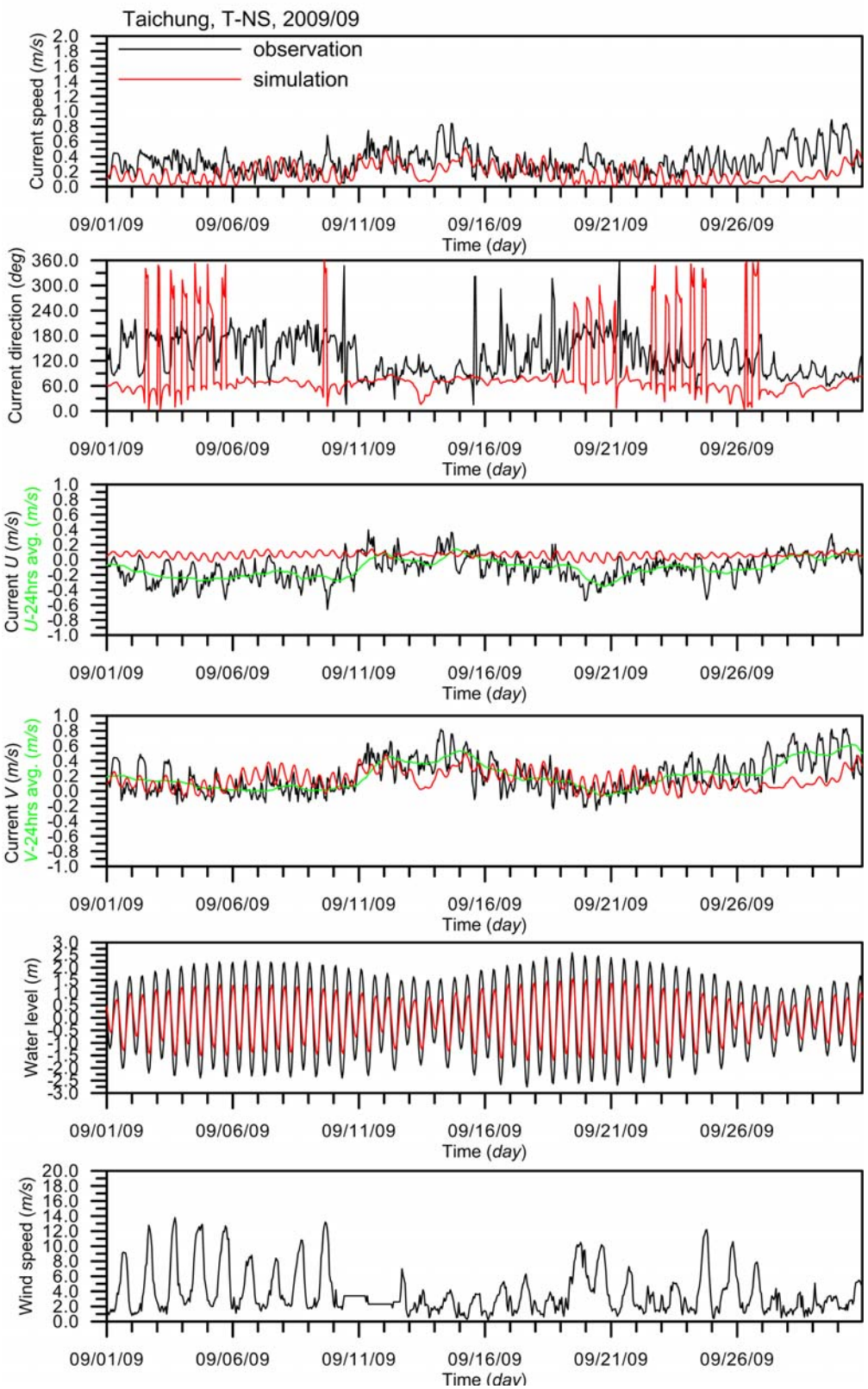


圖 5-22(續) 臺中港之觀測與 T-W 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 9 月份)

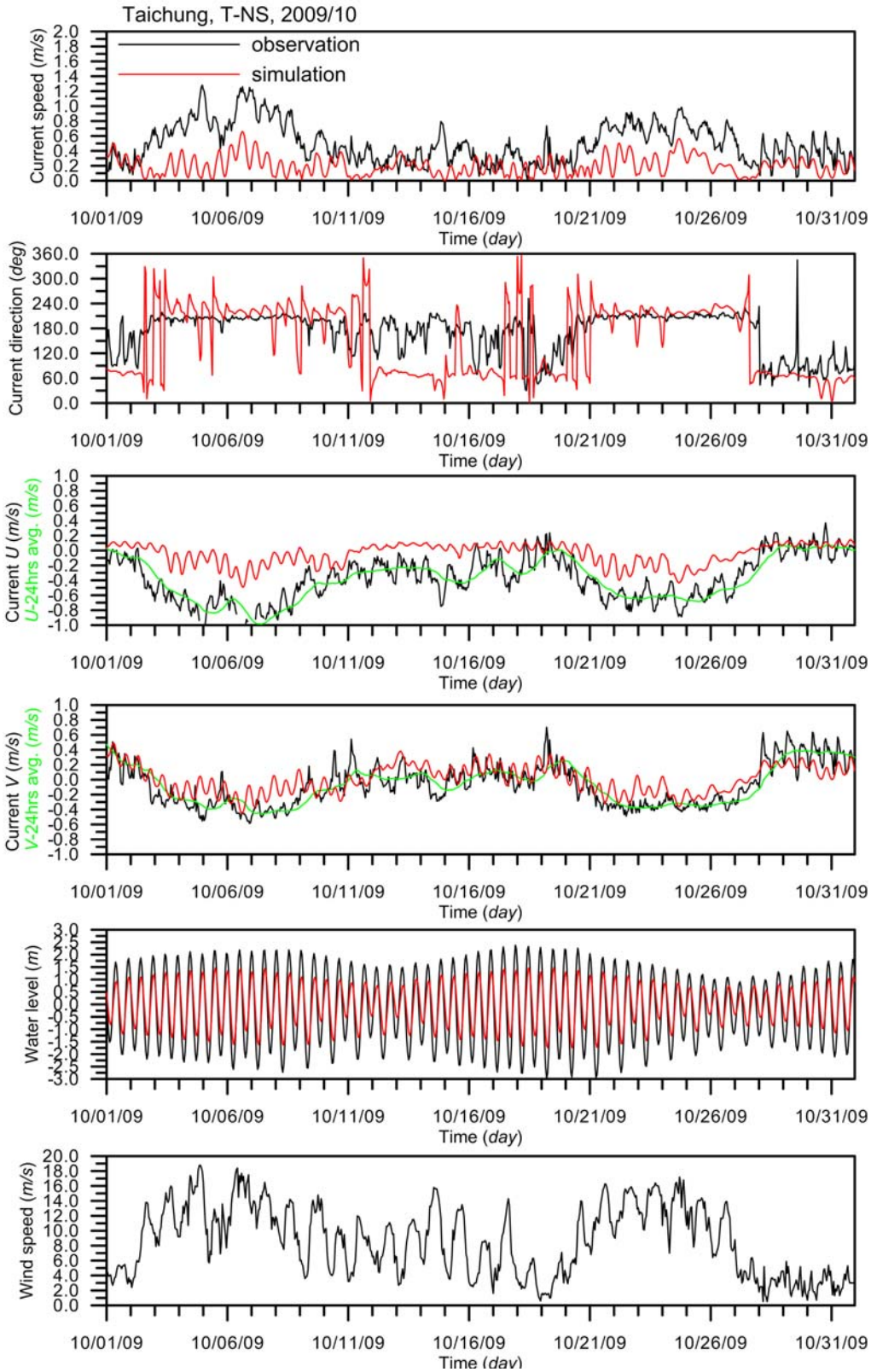


圖 5-22(續) 臺中港之觀測與 T-W 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 10 月份)

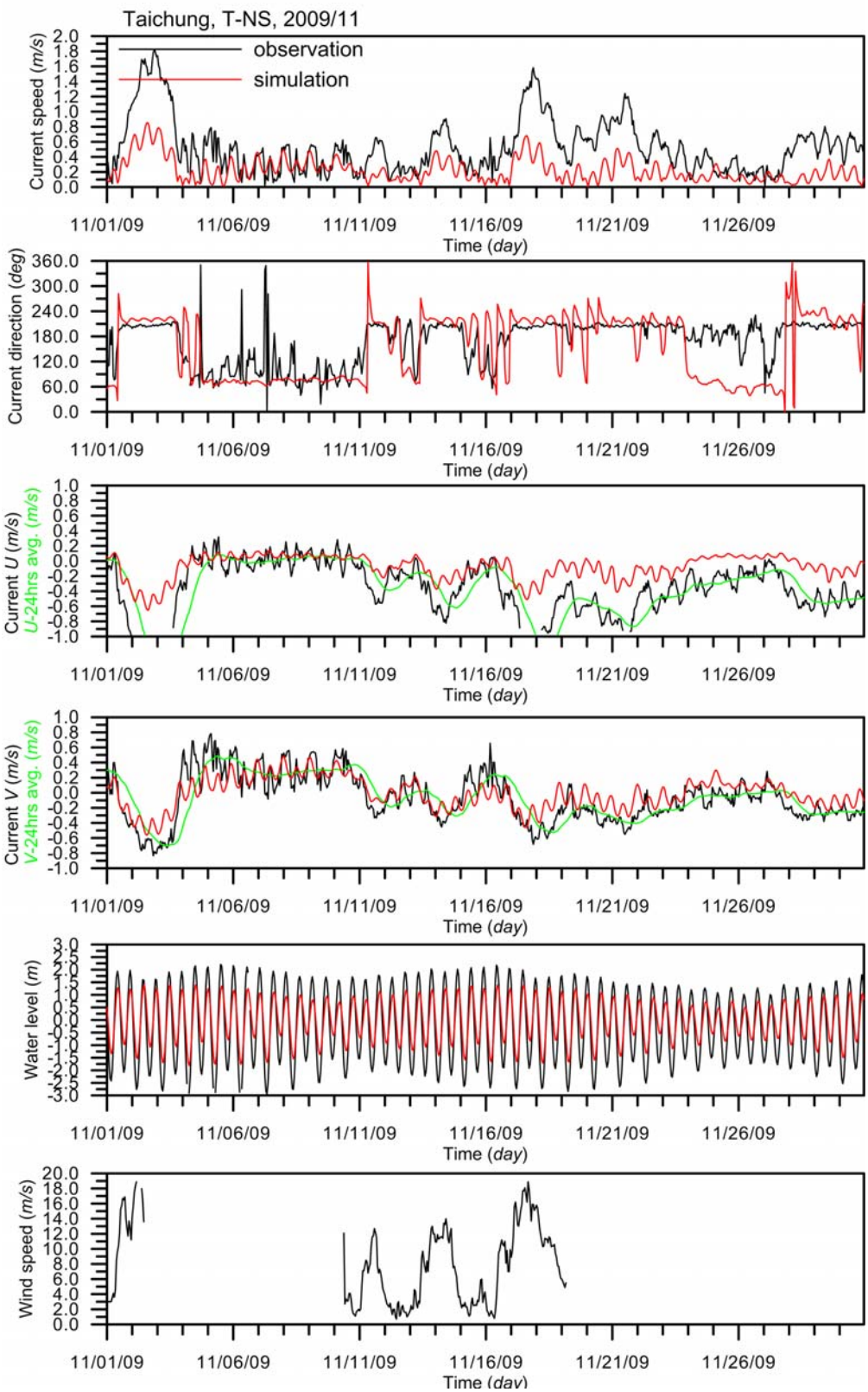


圖 5-22(續) 臺中港之觀測與 T-W 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 11 月份)

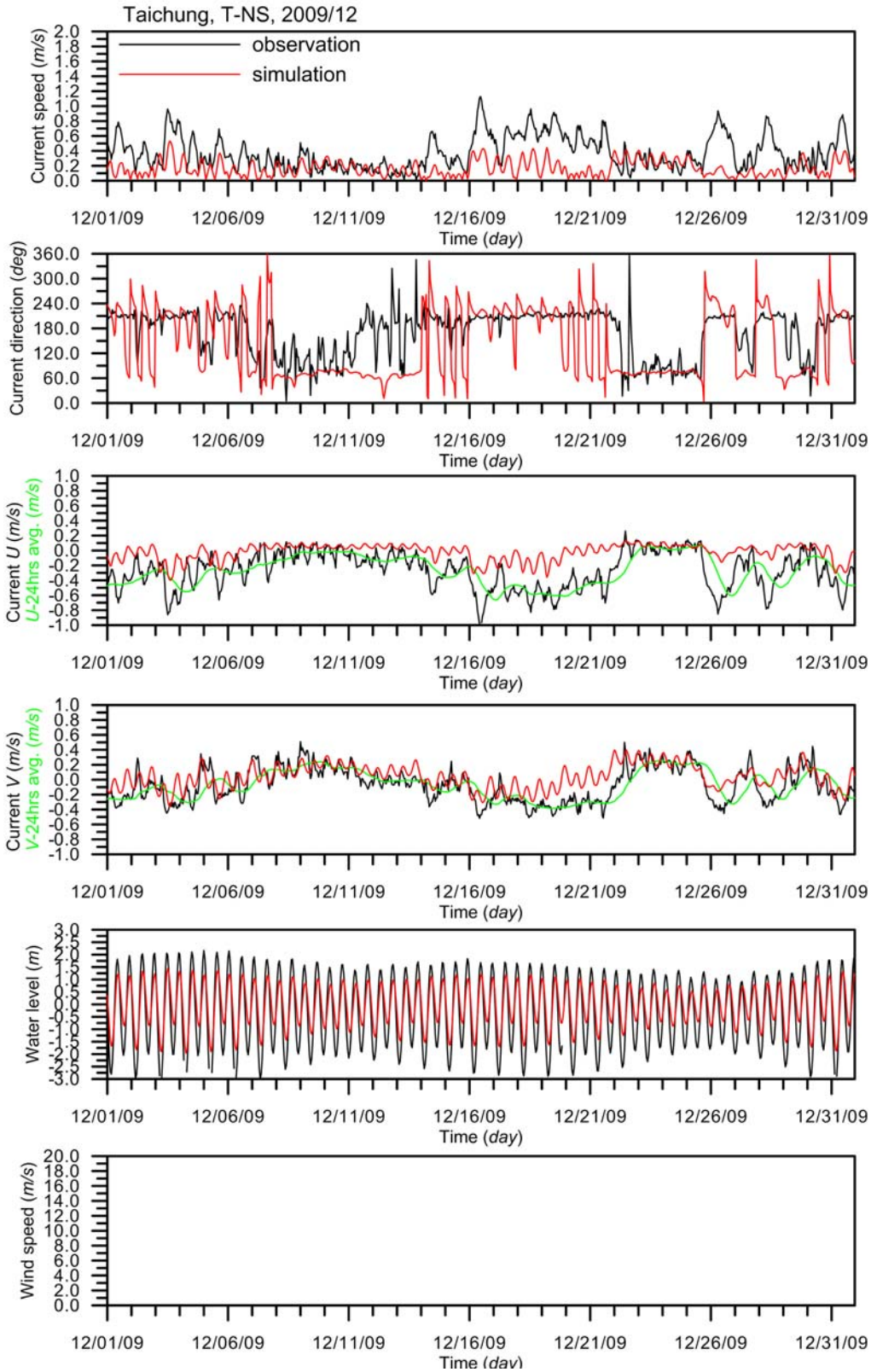


圖 5-22(續) 臺中港之觀測與 T-W 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009 年 12 月份)

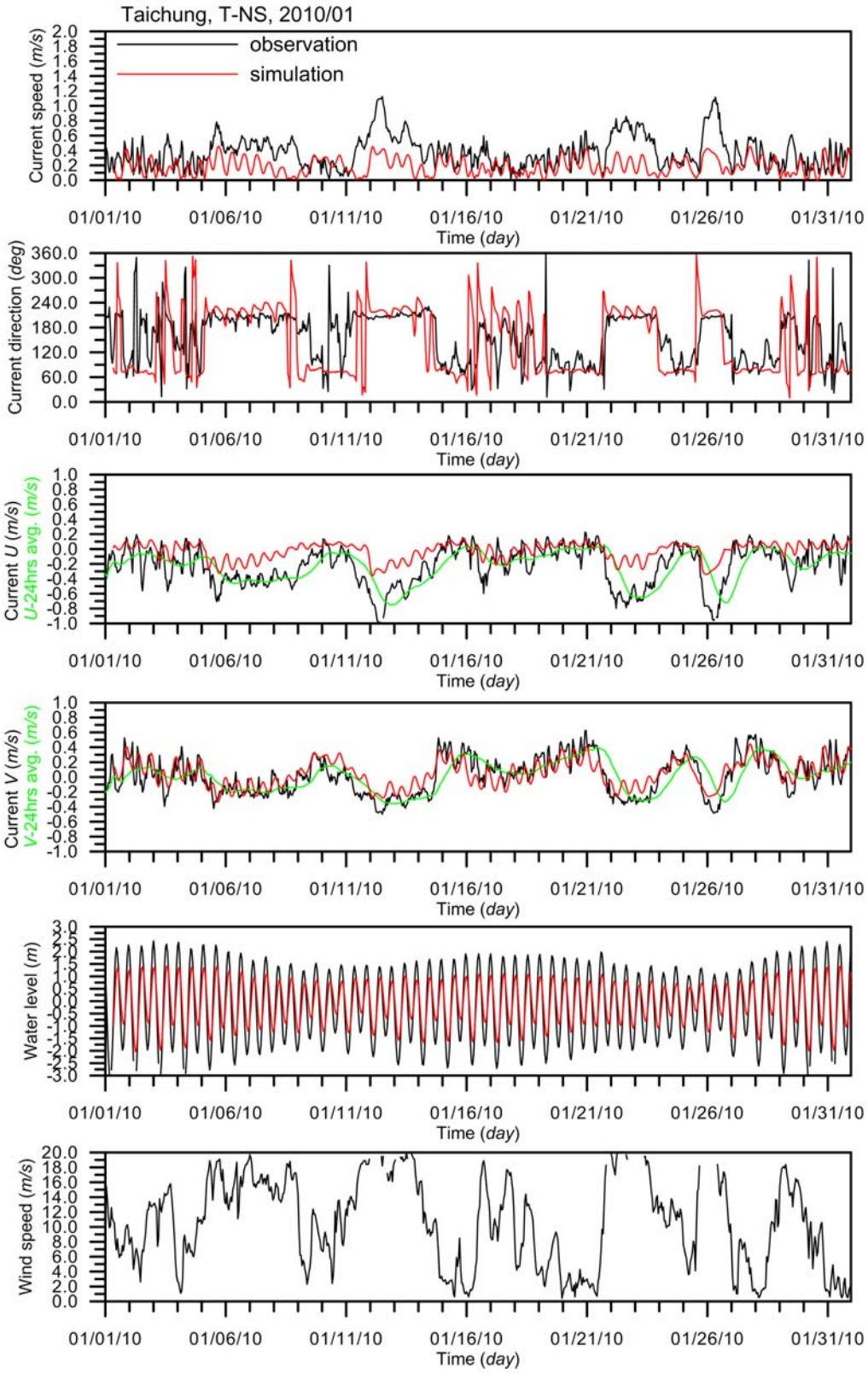


圖 5-23 臺中港之觀測與 T-W 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 1 月份)

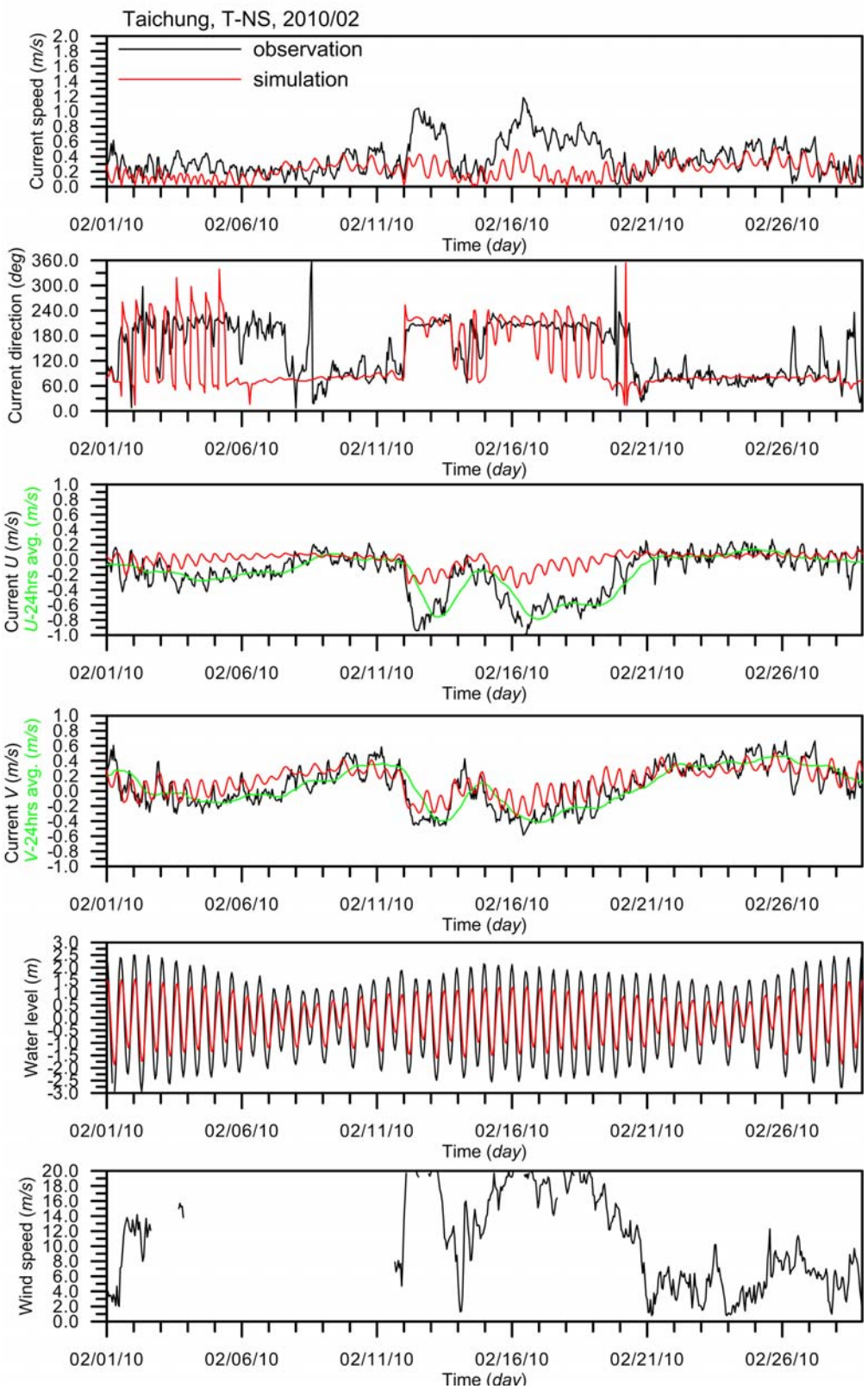


圖 5-23(續) 臺中港之觀測與 T-W 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 2 月份)

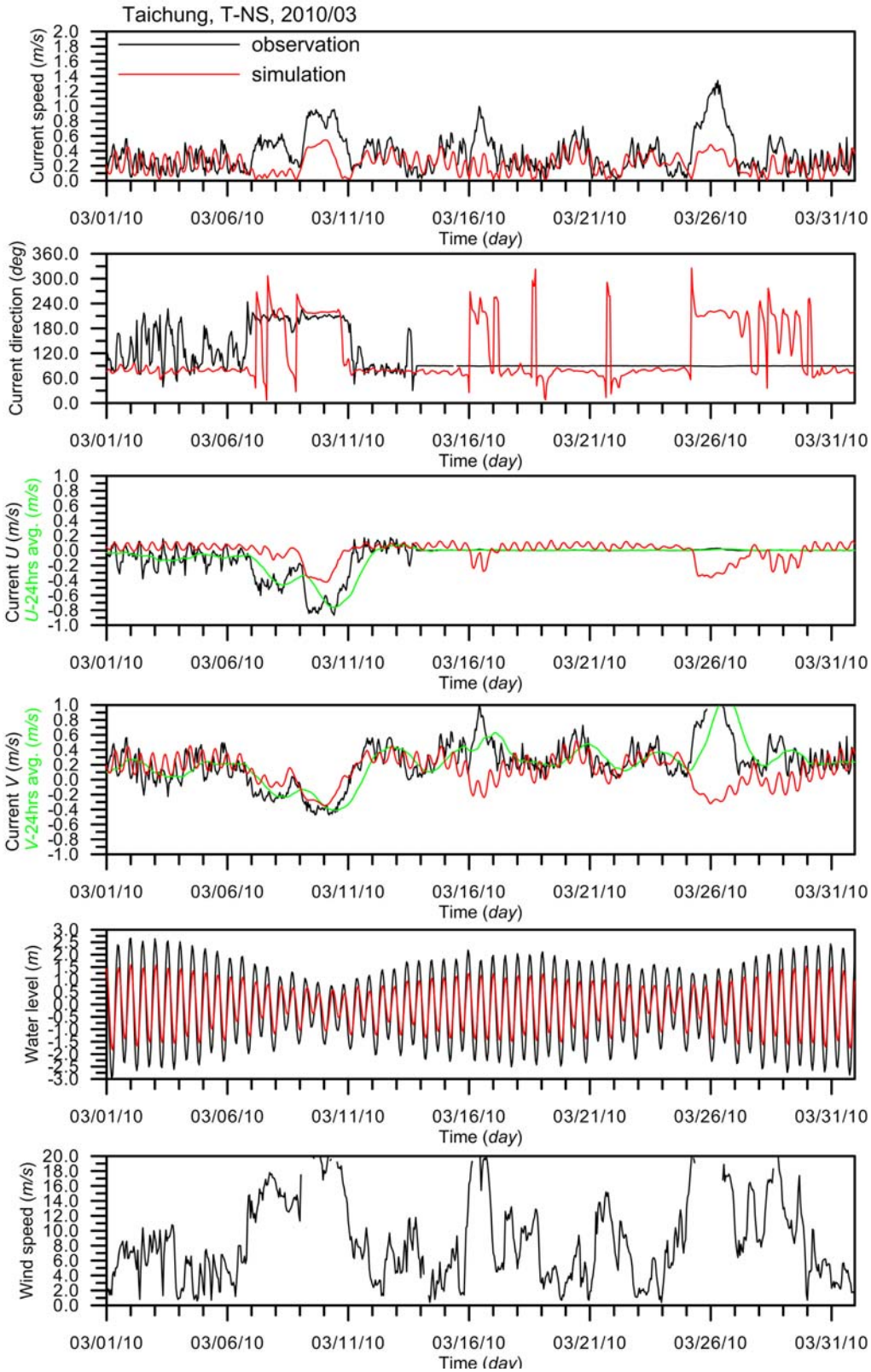


圖 5-23(續) 臺中港之觀測與 T-W 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 3 月份)

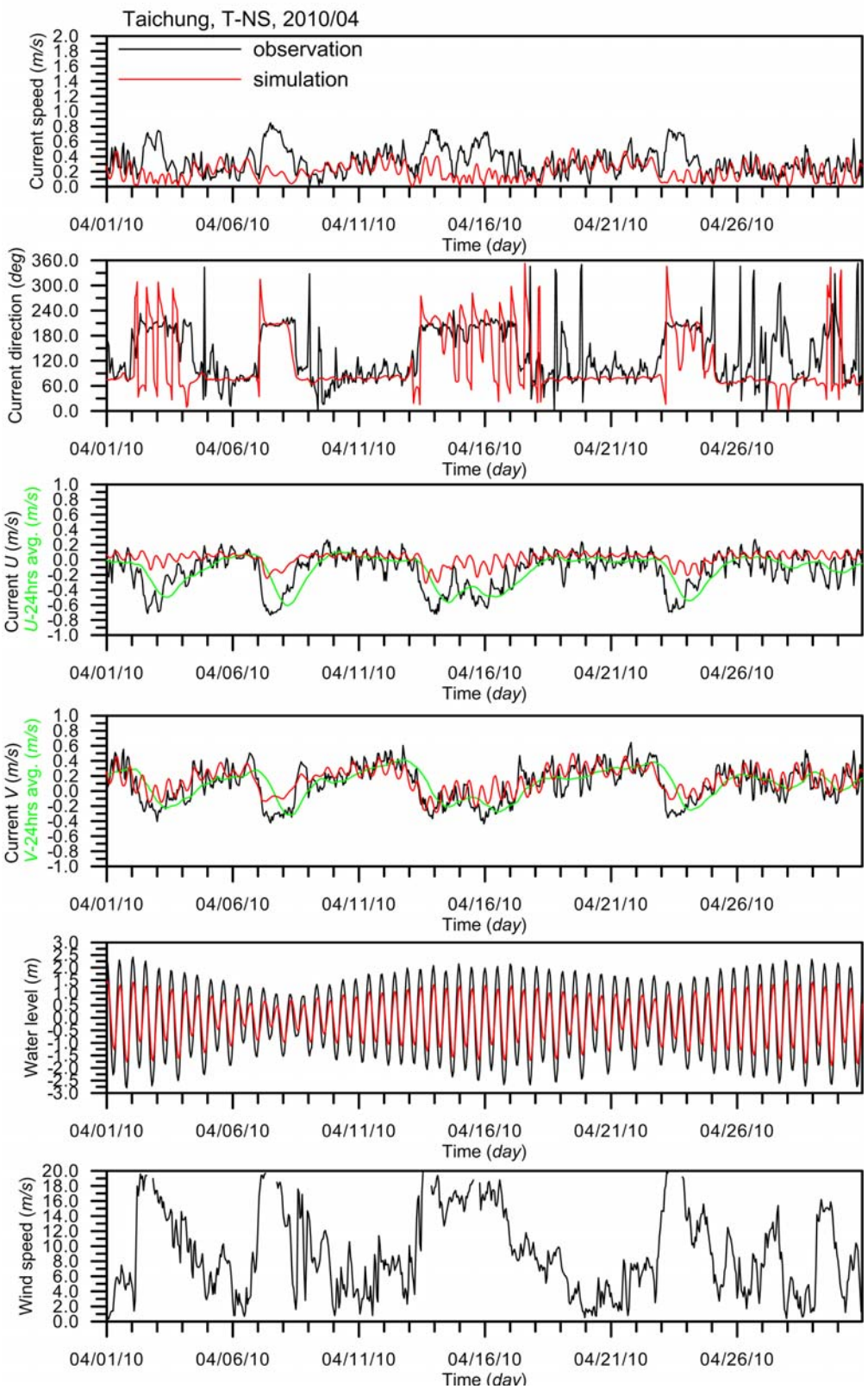


圖 5-23(續) 臺中港之觀測與 T-W 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 4 月份)

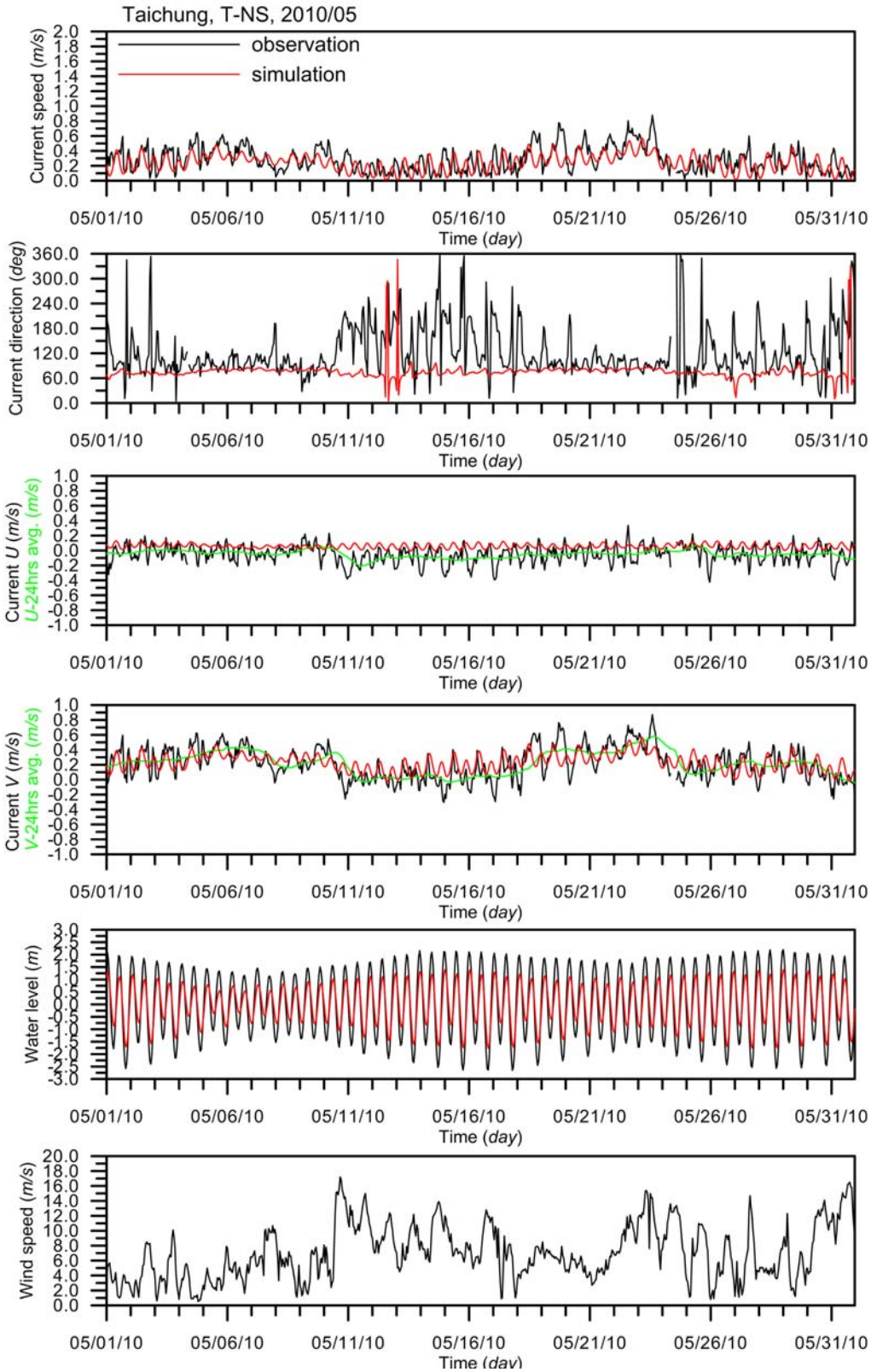


圖 5-23(續) 臺中港之觀測與 T-W 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 5 月份)

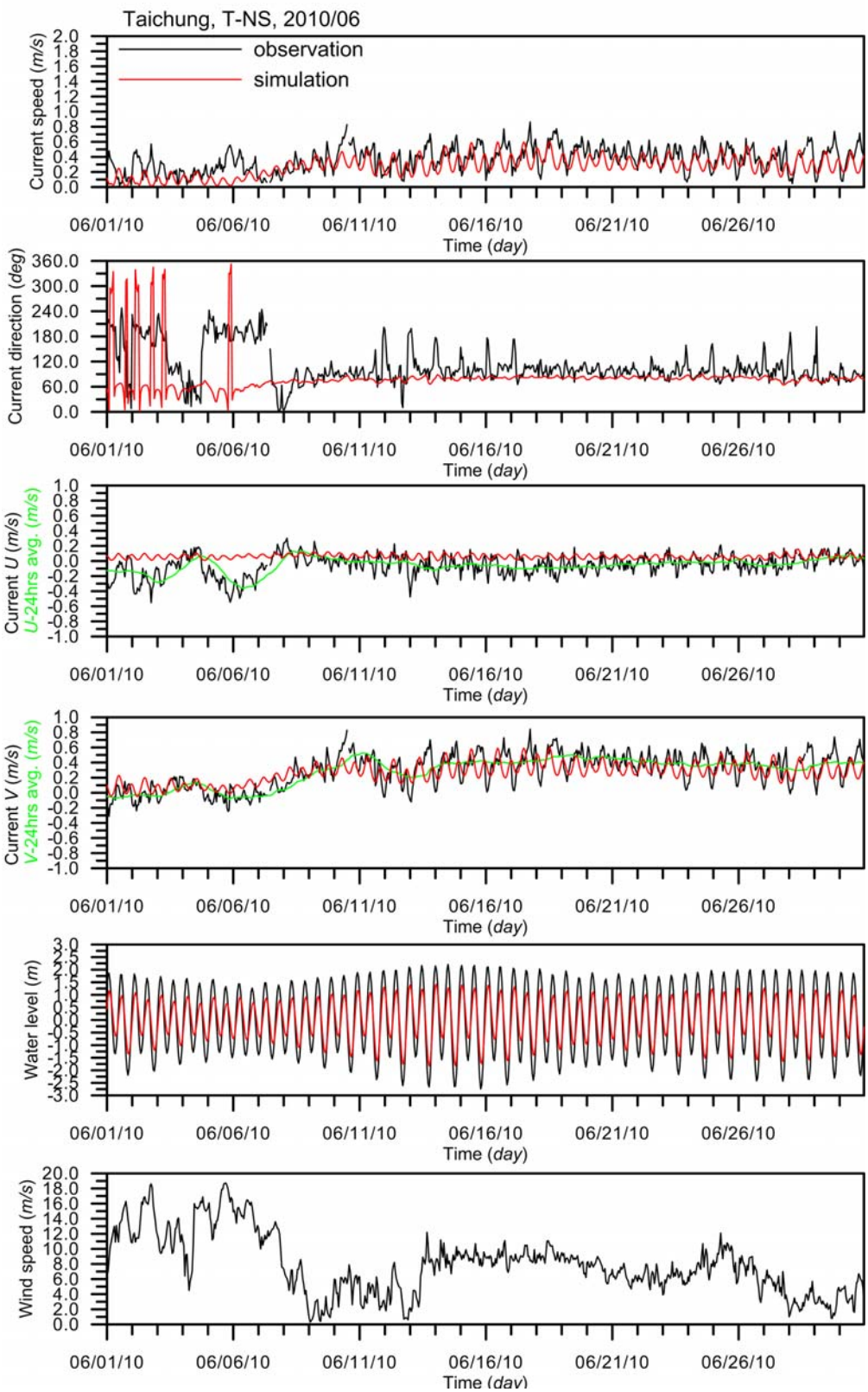


圖 5-23(續) 臺中港之觀測與 T-W 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 6 月份)

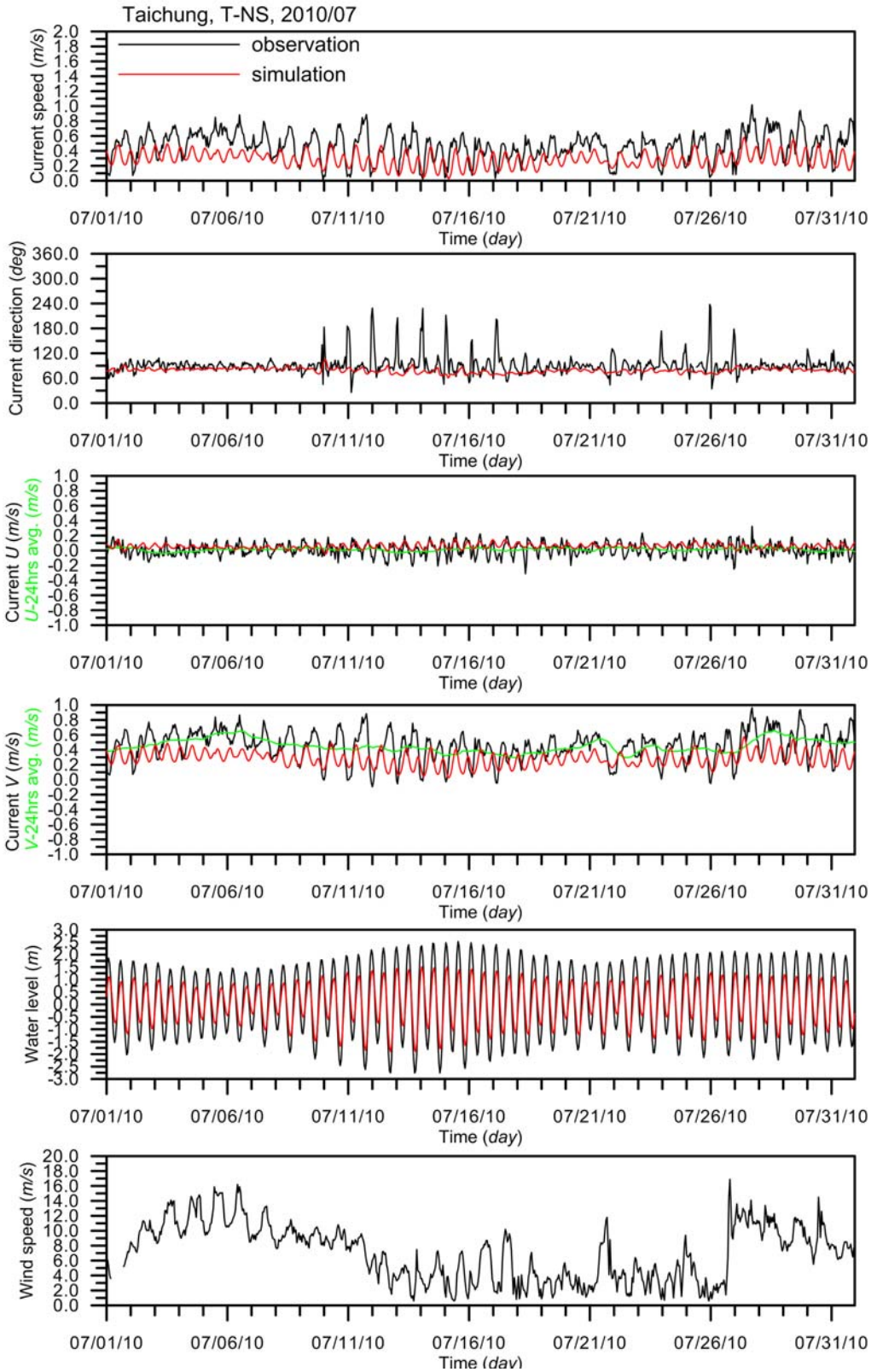


圖 5-23(續) 臺中港之觀測與 T-W 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 7 月份)

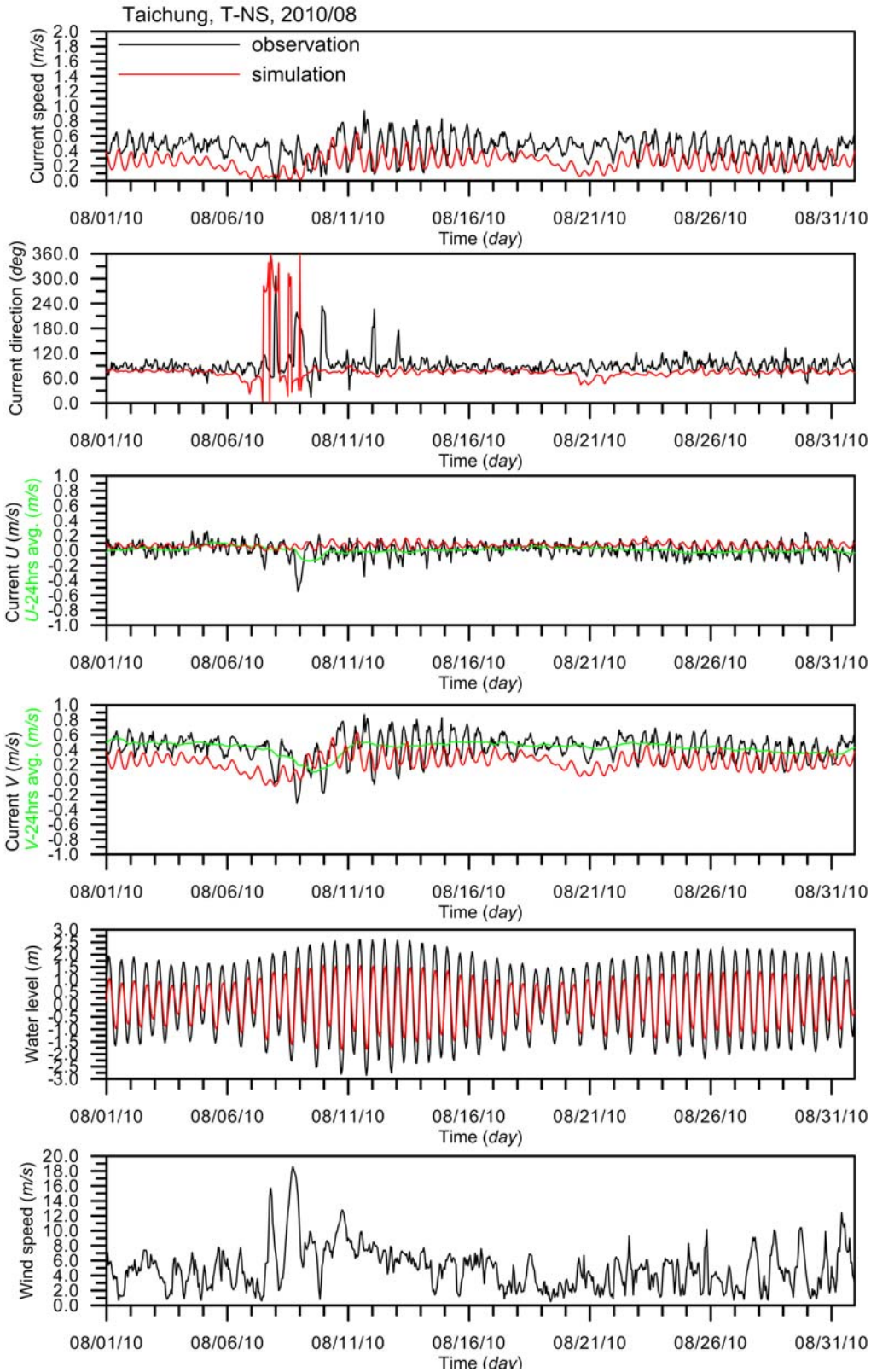


圖 5-23(續) 臺中港之觀測與 T-W 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 8 月份)

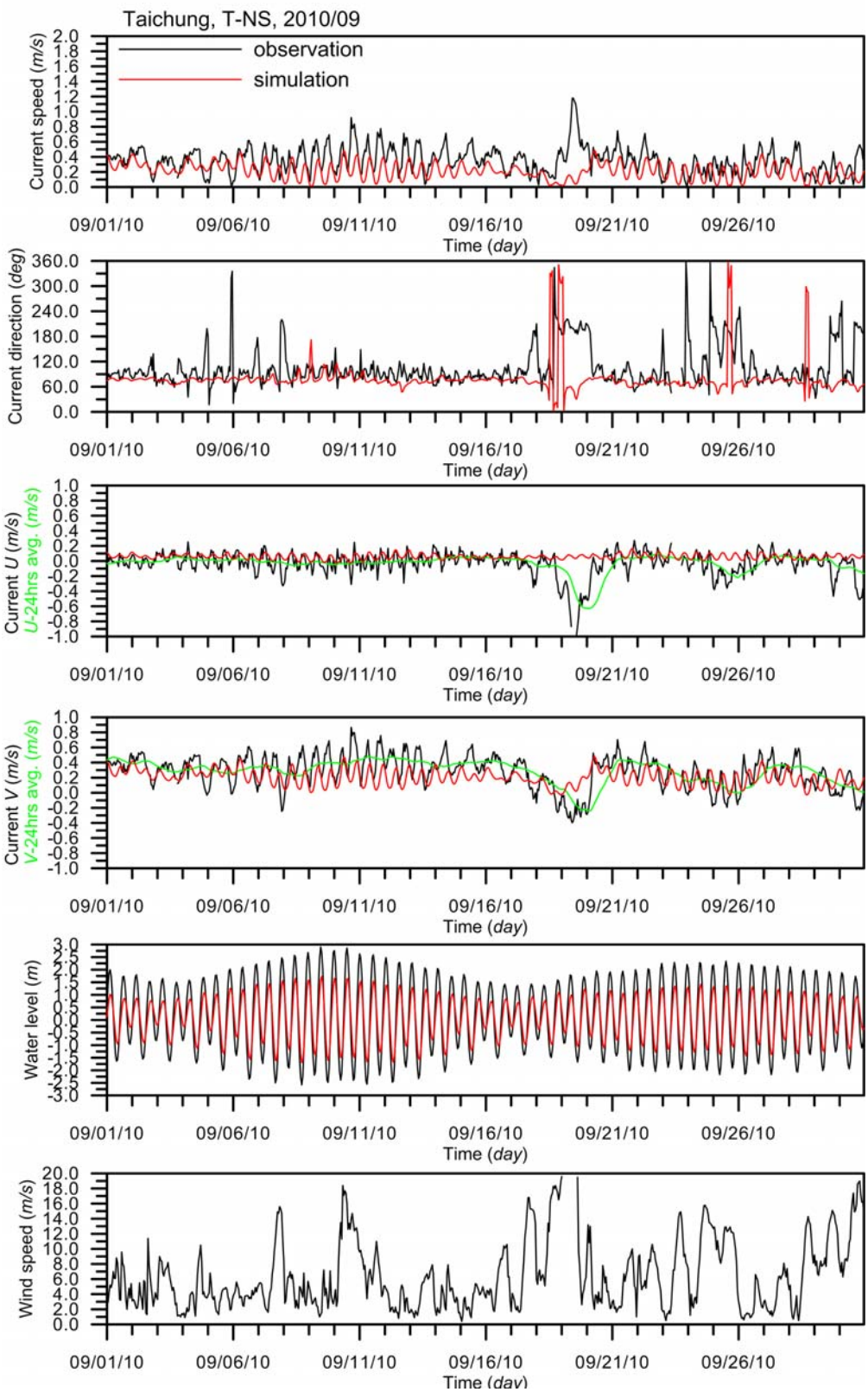


圖 5-23(續) 臺中港之觀測與 T-W 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 9 月份)

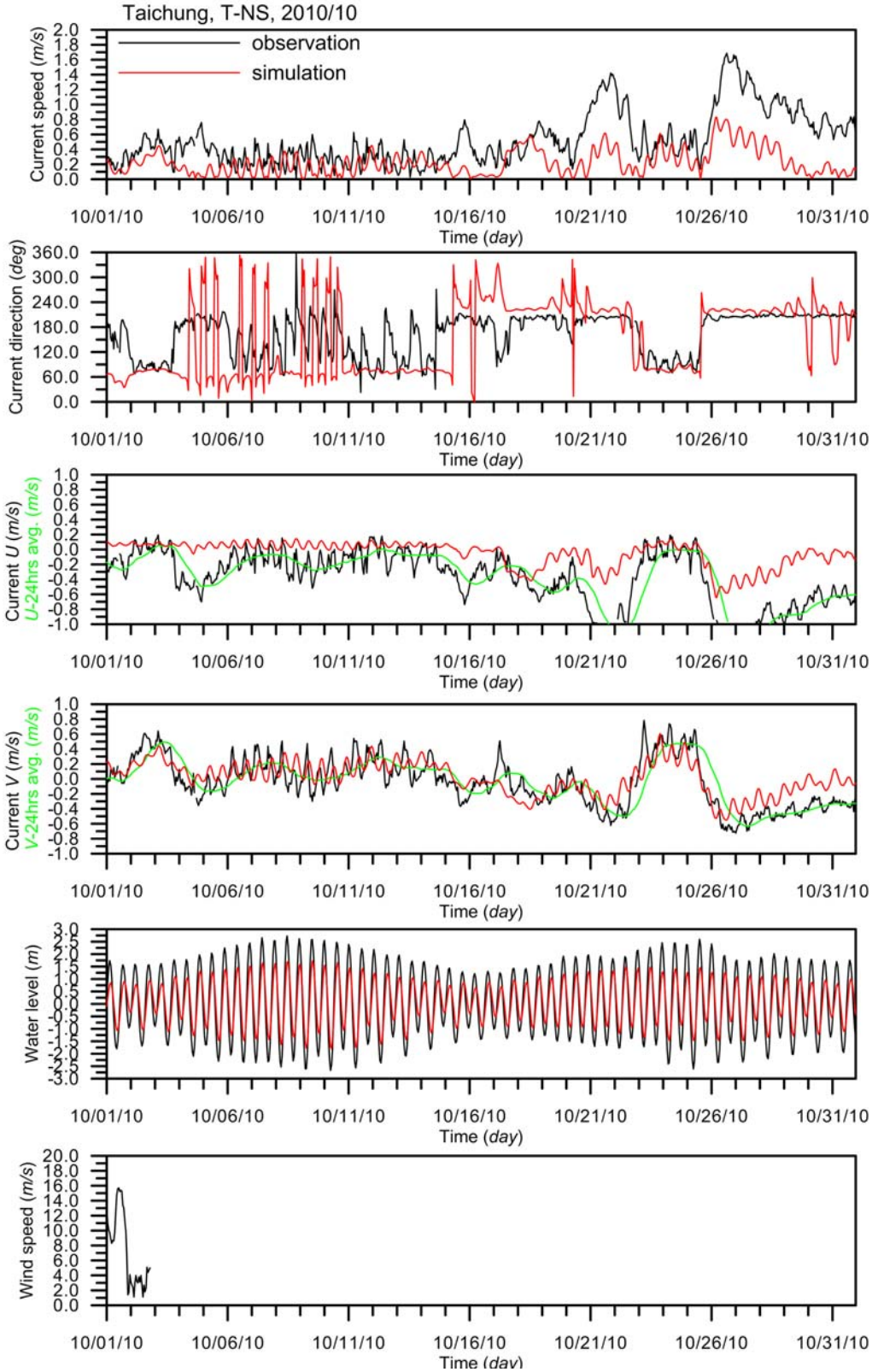


圖 5-23(續) 臺中港之觀測與 T-W 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 10 月份)

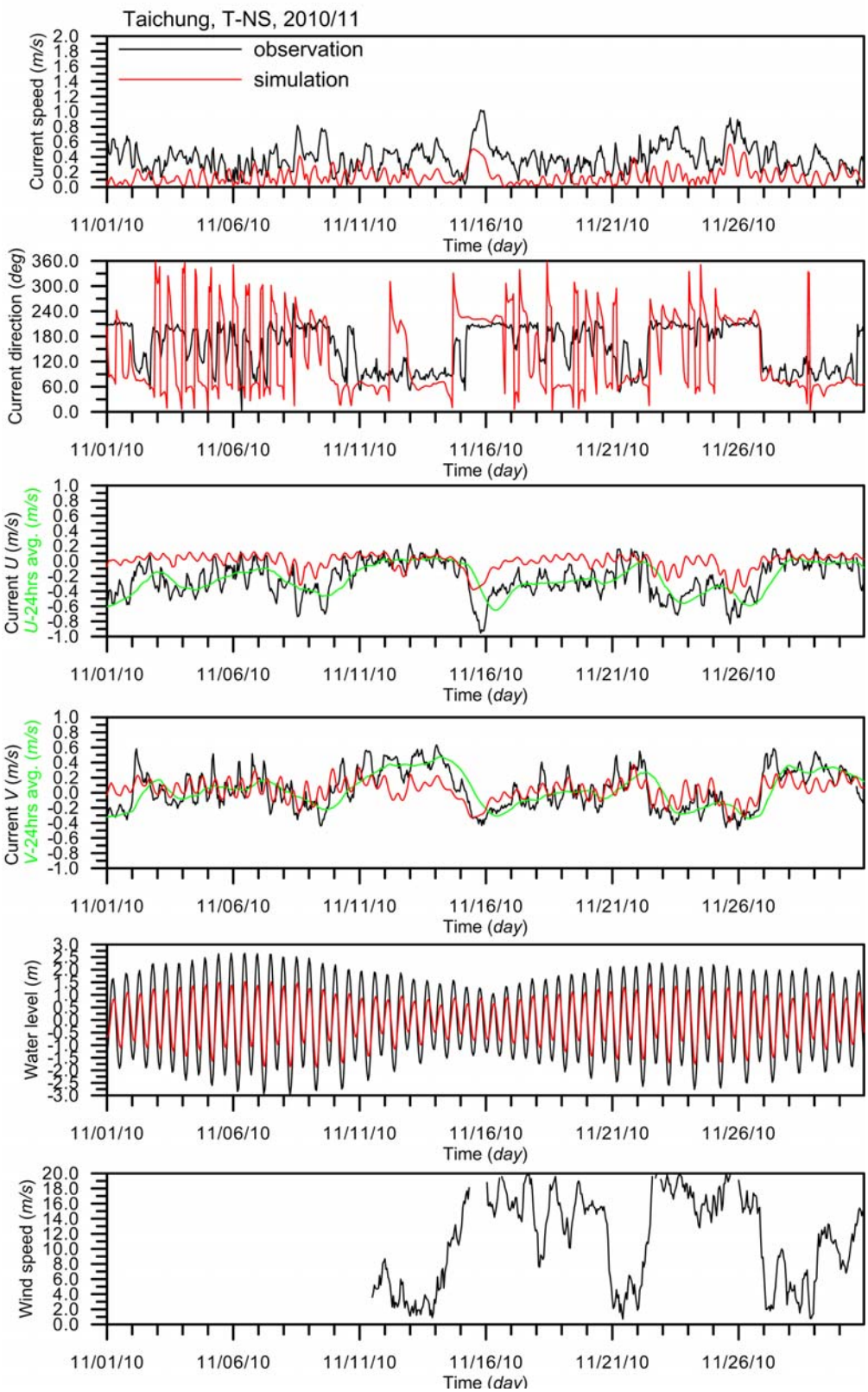


圖 5-23(續) 臺中港之觀測與 T-W 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 11 月份)

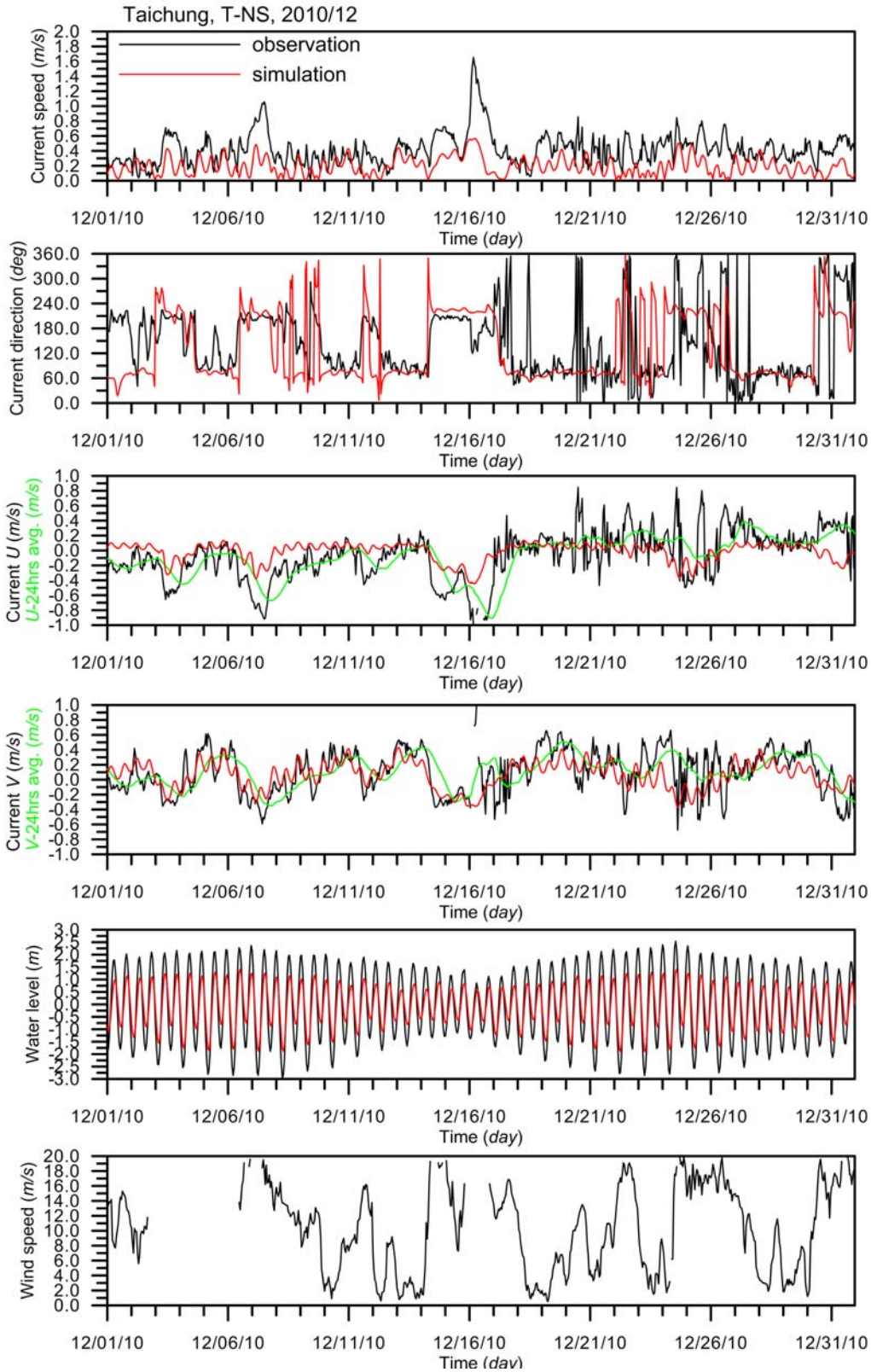


圖 5-23(續) 臺中港之觀測與 T-W 模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010 年 12 月份)

表 5-6 臺中港海域調和分析常數表

分潮名稱	Freq	Amp (m)	Phase (degree)
*M2	0.080511	1.8334	317.1
*S2	0.083333	0.5274	2.05
*N2	0.078999	0.3549	291.12
*K1	0.041781	0.2496	263.36
*O1	0.038731	0.2113	225.04
*K2	0.083562	0.1461	0.05
*SA	0.000114	0.1245	165.08
*L2	0.082024	0.1021	8.47
*NU2	0.079202	0.0905	299.66
*MU2	0.07769	0.0846	75.06
*P1	0.041553	0.0795	261.32
*H2	0.080626	0.0634	233.17
*2N2	0.077487	0.0511	282.91
*LDA2	0.081821	0.0453	344.84
*Q1	0.037219	0.043	204.96
*T2	0.083219	0.0389	345.3
SSA	0.000228	0.0246	346.32
*EPS2	0.076177	0.0239	26.5
*H1	0.080397	0.0182	84.98
*M4	0.161023	0.0181	164.35
*MSN2	0.084846	0.0179	233.83
*GAM2	0.080309	0.0159	274.8
*J1	0.043293	0.0147	286.66
*NO1	0.040269	0.0139	251.18
*MS4	0.163845	0.0129	215.41

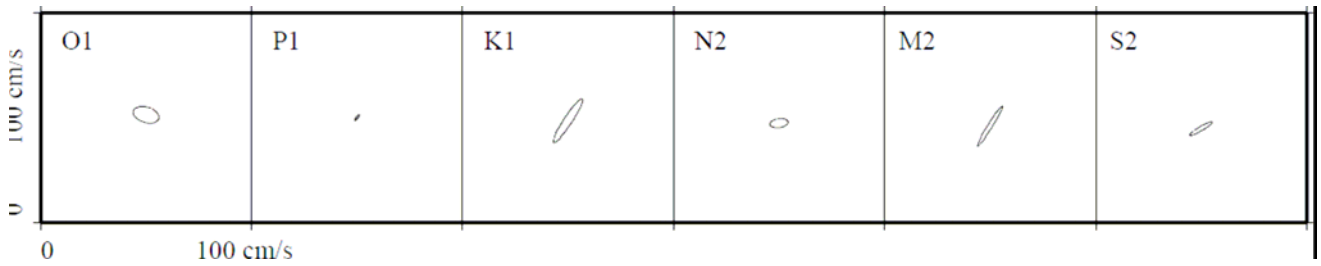


圖 5-24　臺中港海域潮流橢圓圖

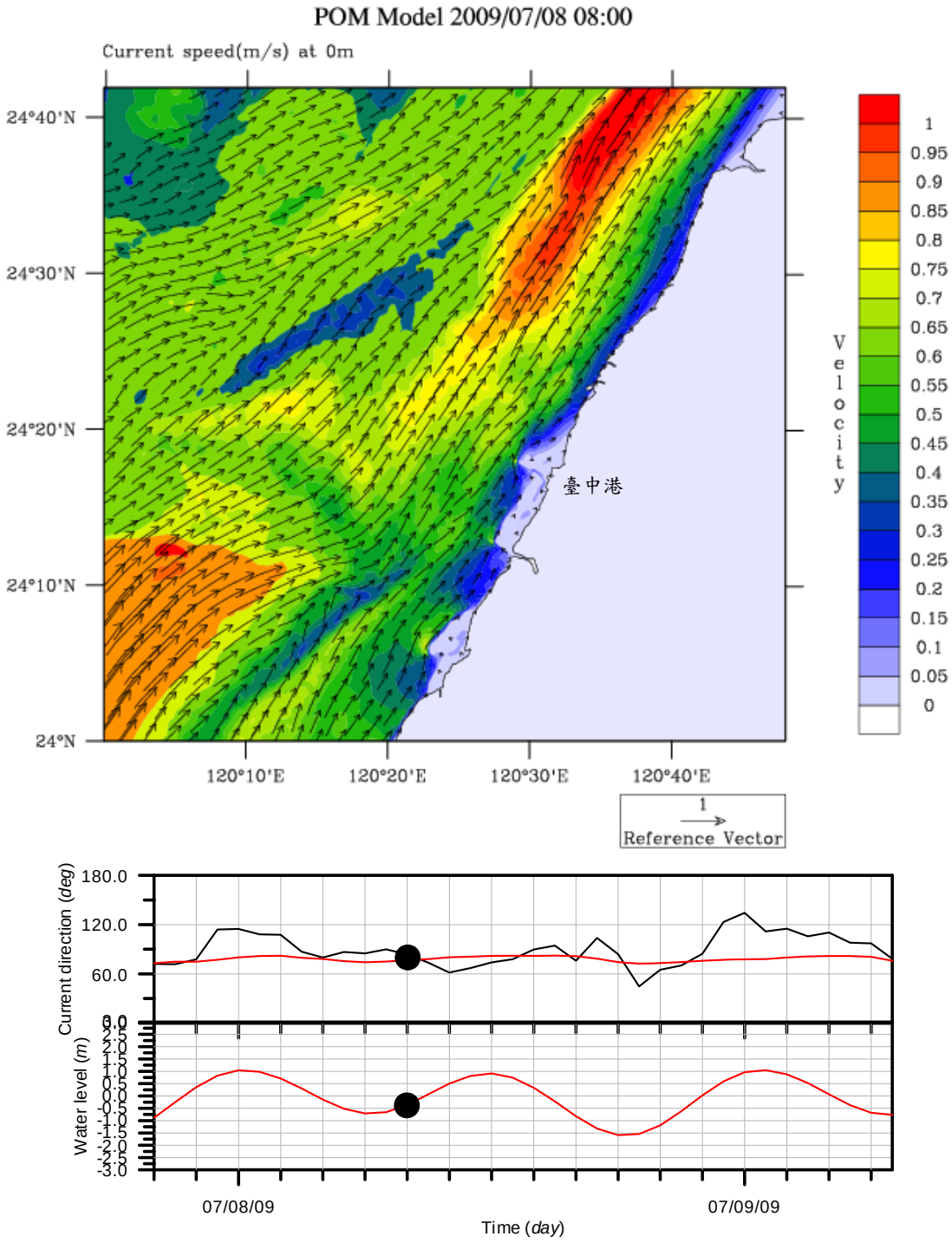


圖 5-25 臺中港海域海流分布圖(夏季；紅線為模式值，黑線為實測值，黑點為時刻為 2009/07/08 08:00)

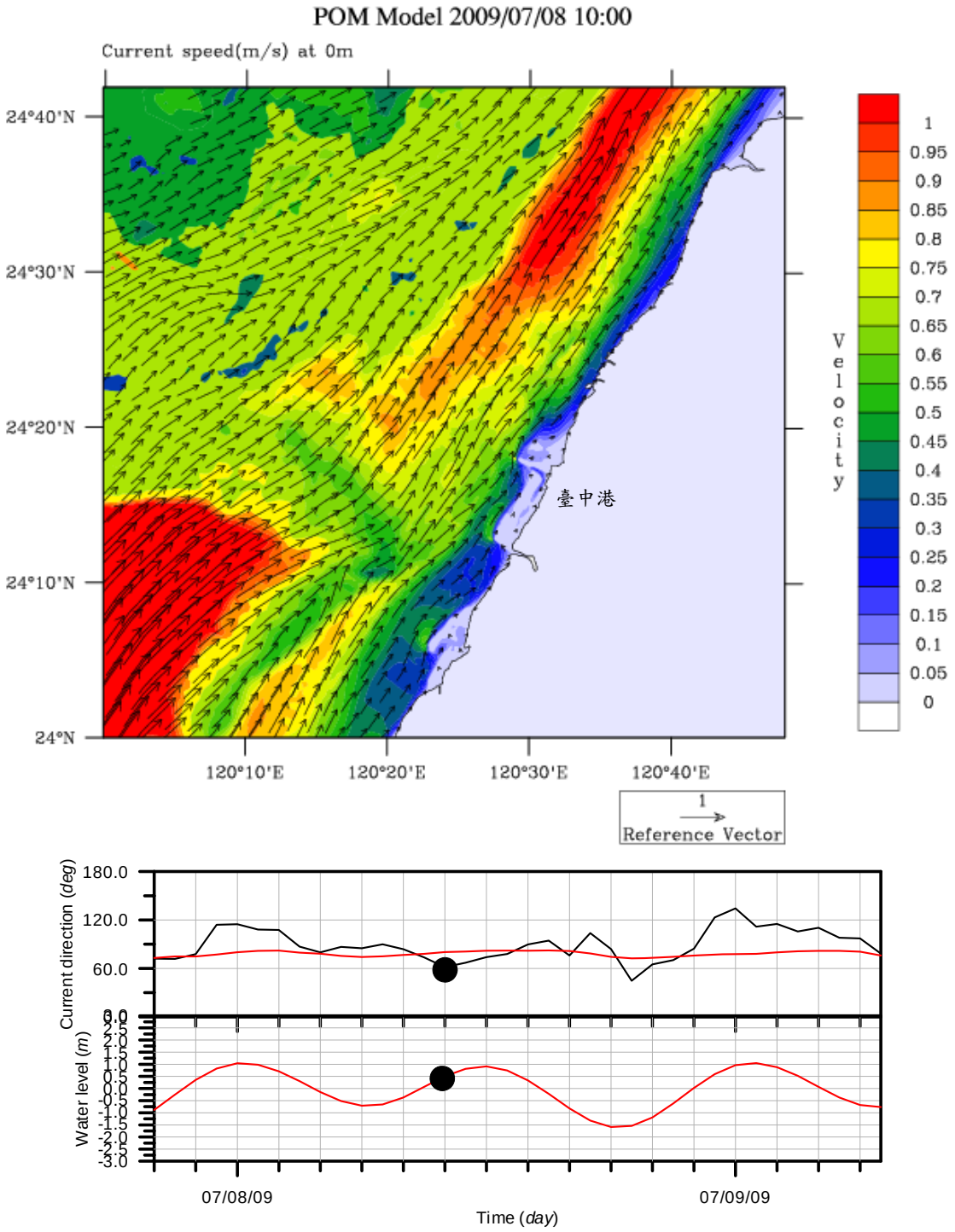


圖 5-25(續) 臺中港海域海流分布圖(夏季；紅線為模式值，黑線為實測值，黑點為時刻為 2009/07/08 10:00)

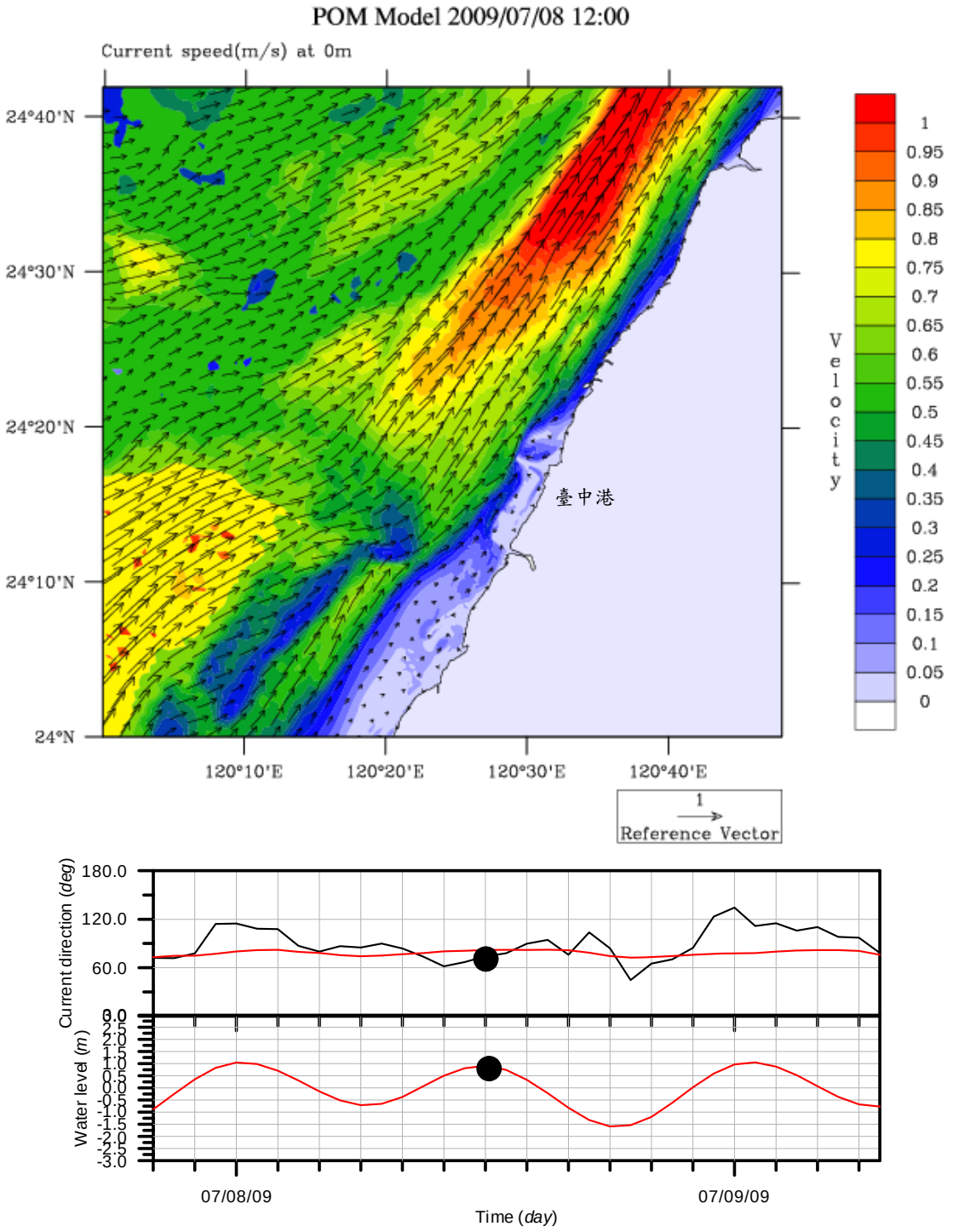


圖 5-25(續) 臺中港海域海流分布圖(夏季；紅線為模式值，黑線為實測值，黑點為時刻為 2009/07/08 12:00)

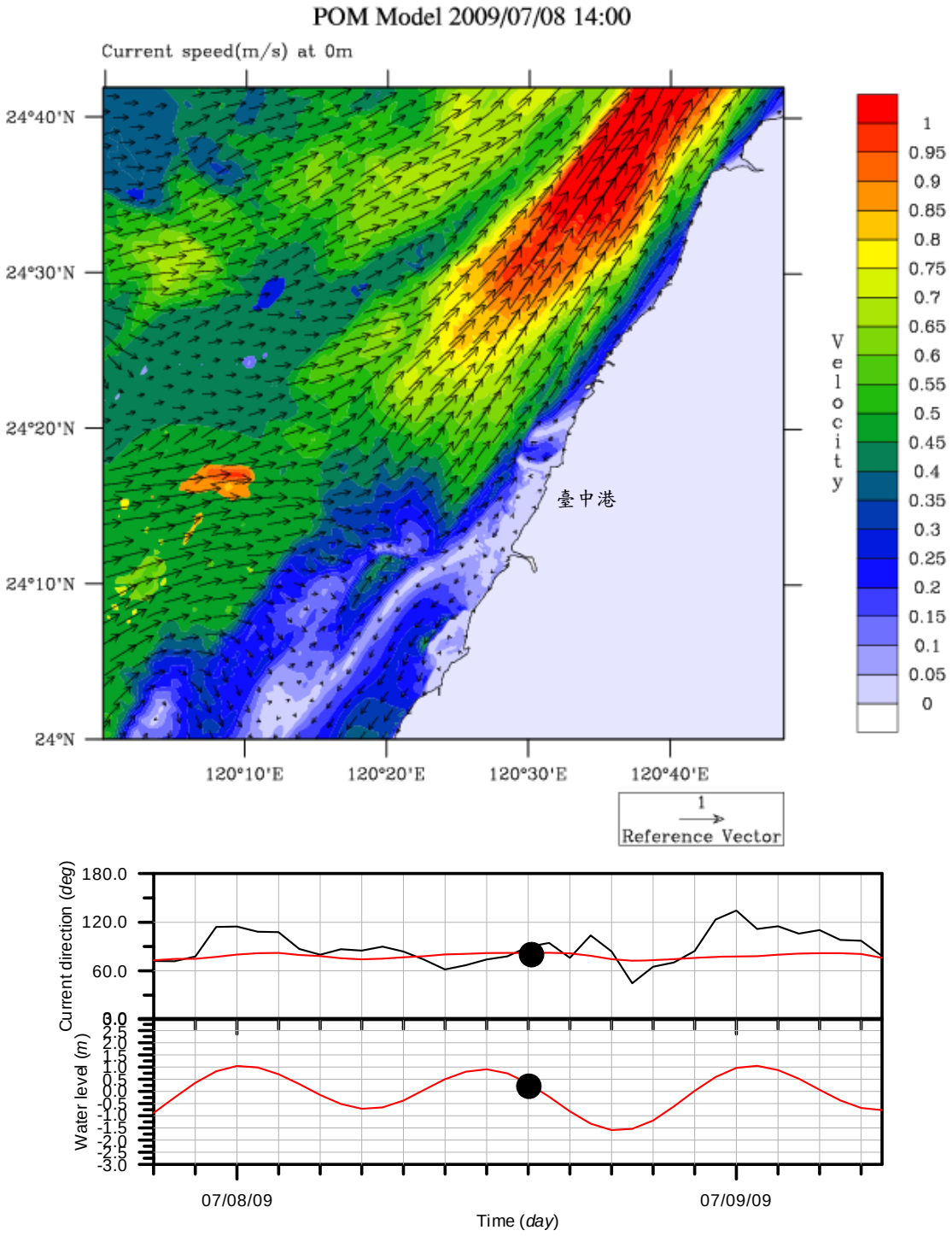


圖 5-25(續) 臺中港海域海流分布圖(夏季；紅線為模式值，黑線為實測值，黑點為時刻為 2009/07/08 14:00)

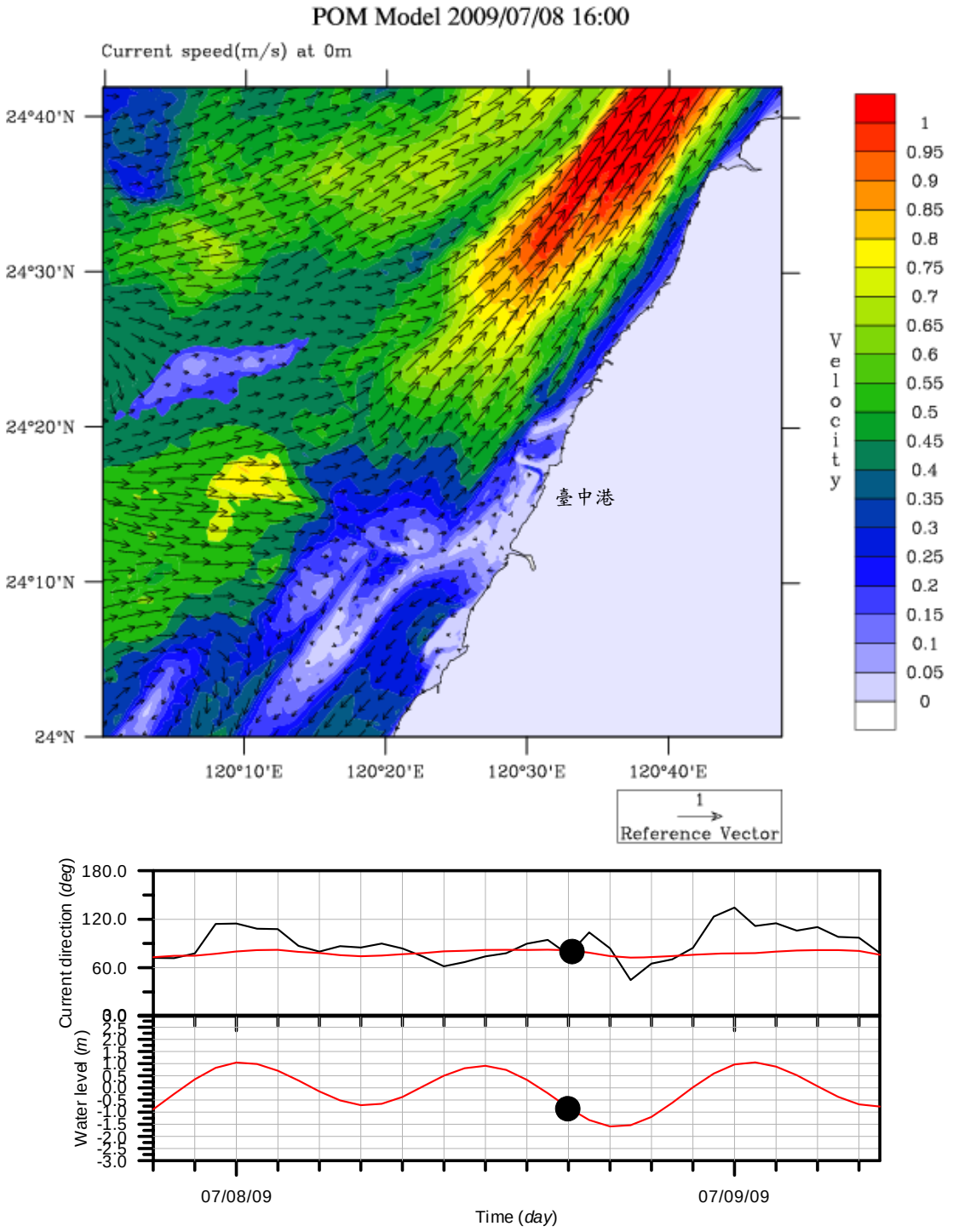


圖 5-25(續) 臺中港海域海流分布圖(夏季；紅線為模式值，黑線為實測值，黑點為時刻為 2009/07/08 16:00)

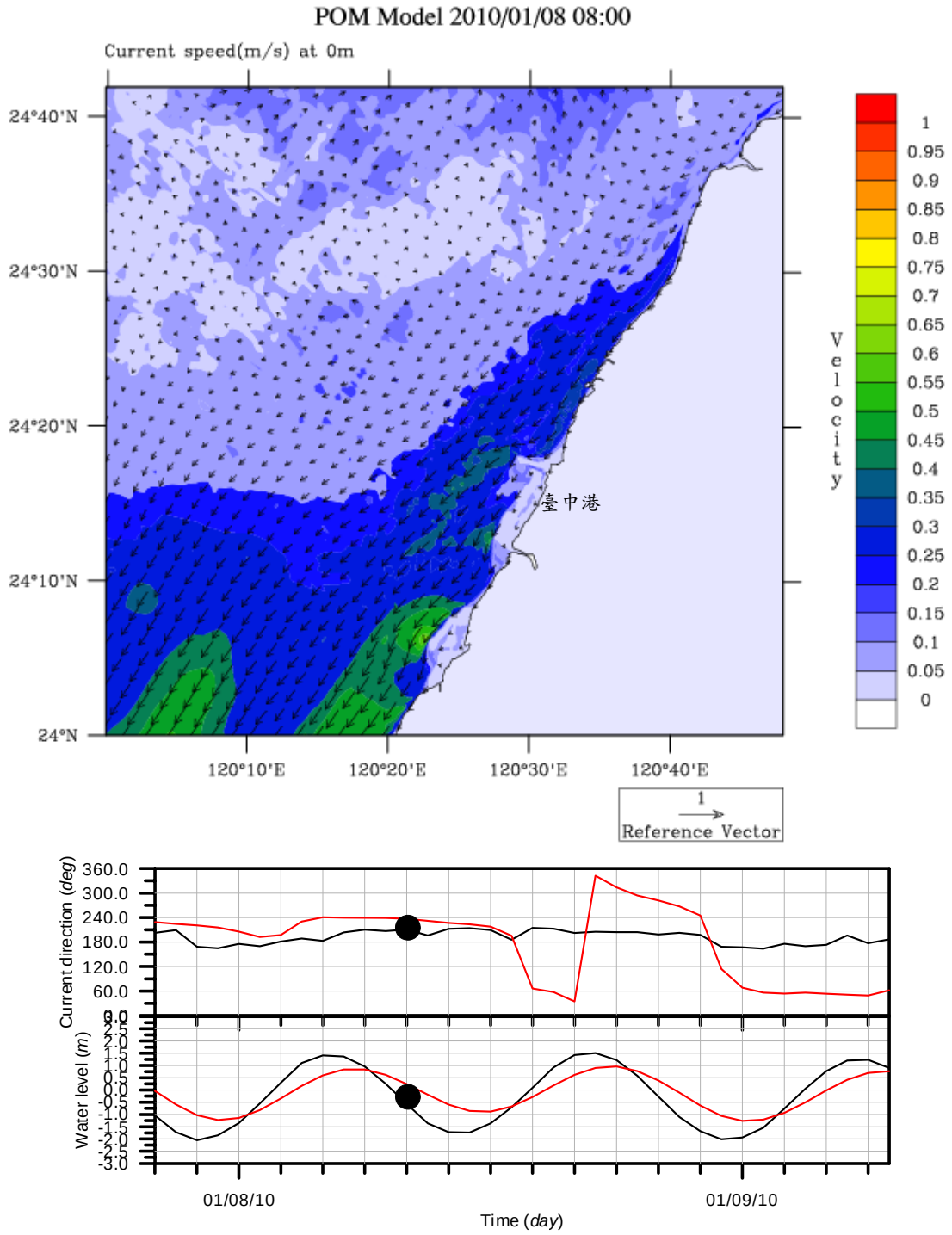


圖 5-25(續) 臺中港海域海流分布圖(冬季；紅線為模式值，黑線為實測值，黑點為時刻為 2009/01/08 08:00)

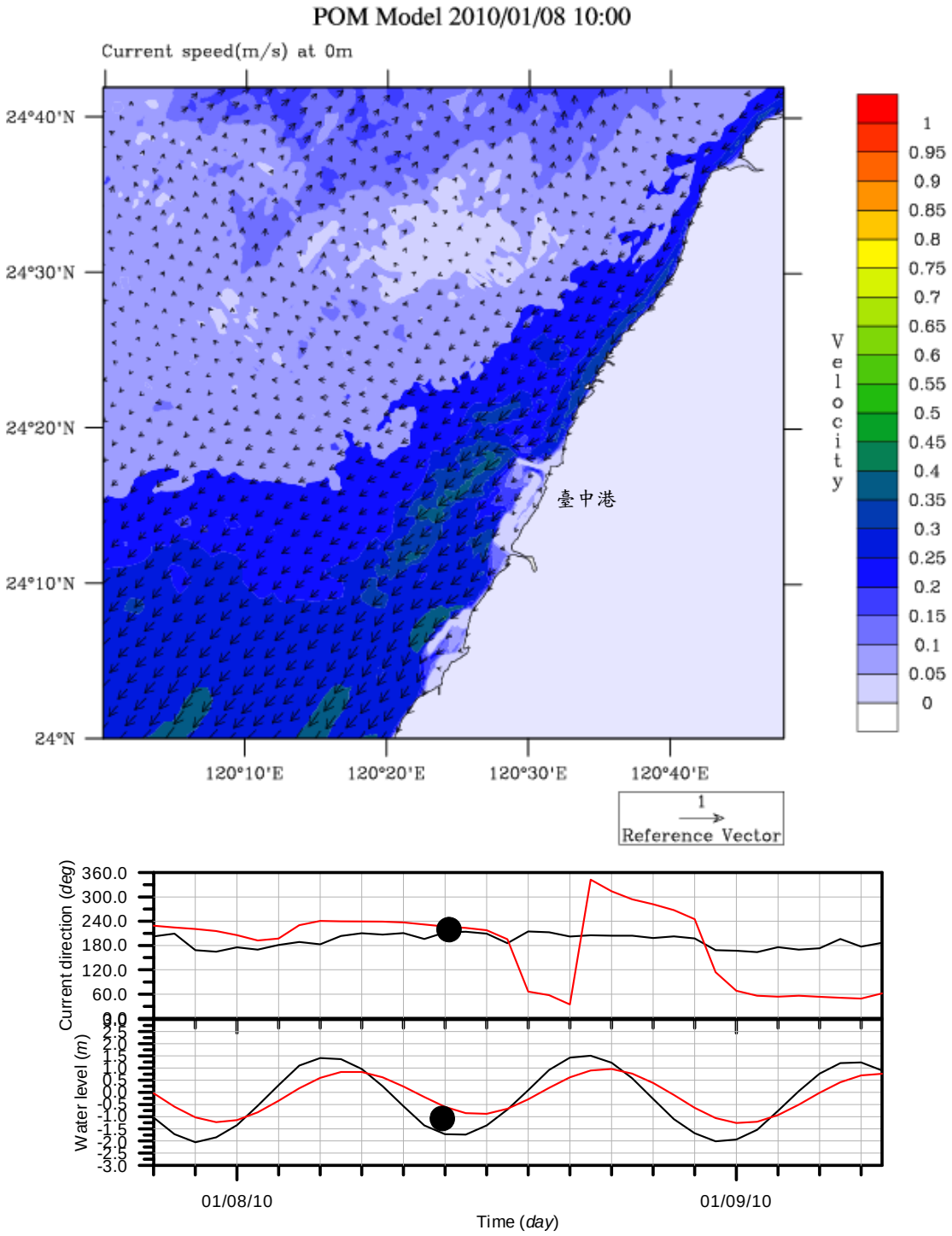


圖 5-25(續) 臺中港海域海流分布圖(冬季；紅線為模式值，黑線為實測值，黑點為時刻為 2009/01/08 10:00)

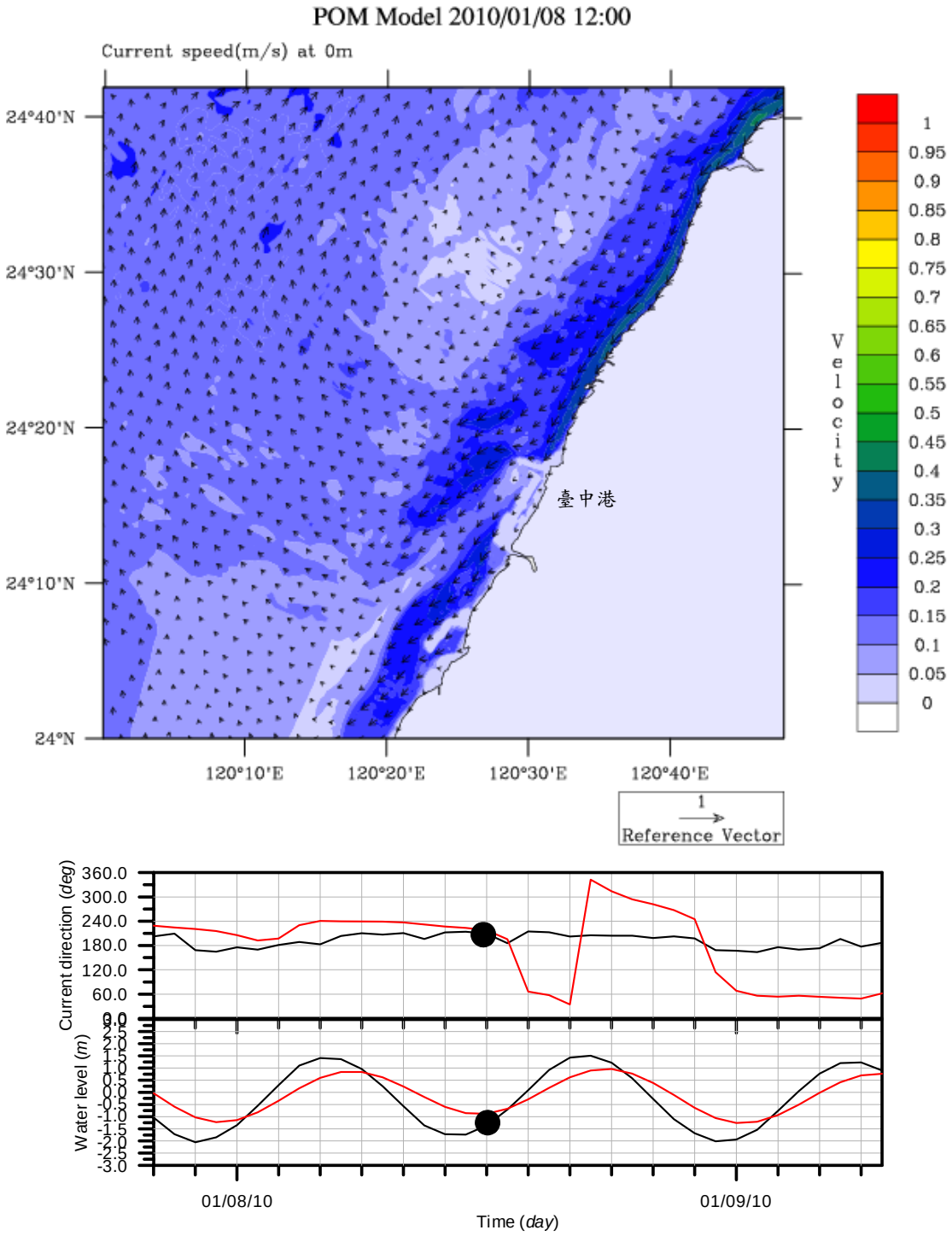


圖 5-25(續) 臺中港海域海流分布圖(冬季；紅線為模式值，黑線為實測值，黑點為時刻為 2009/01/08 12:00)

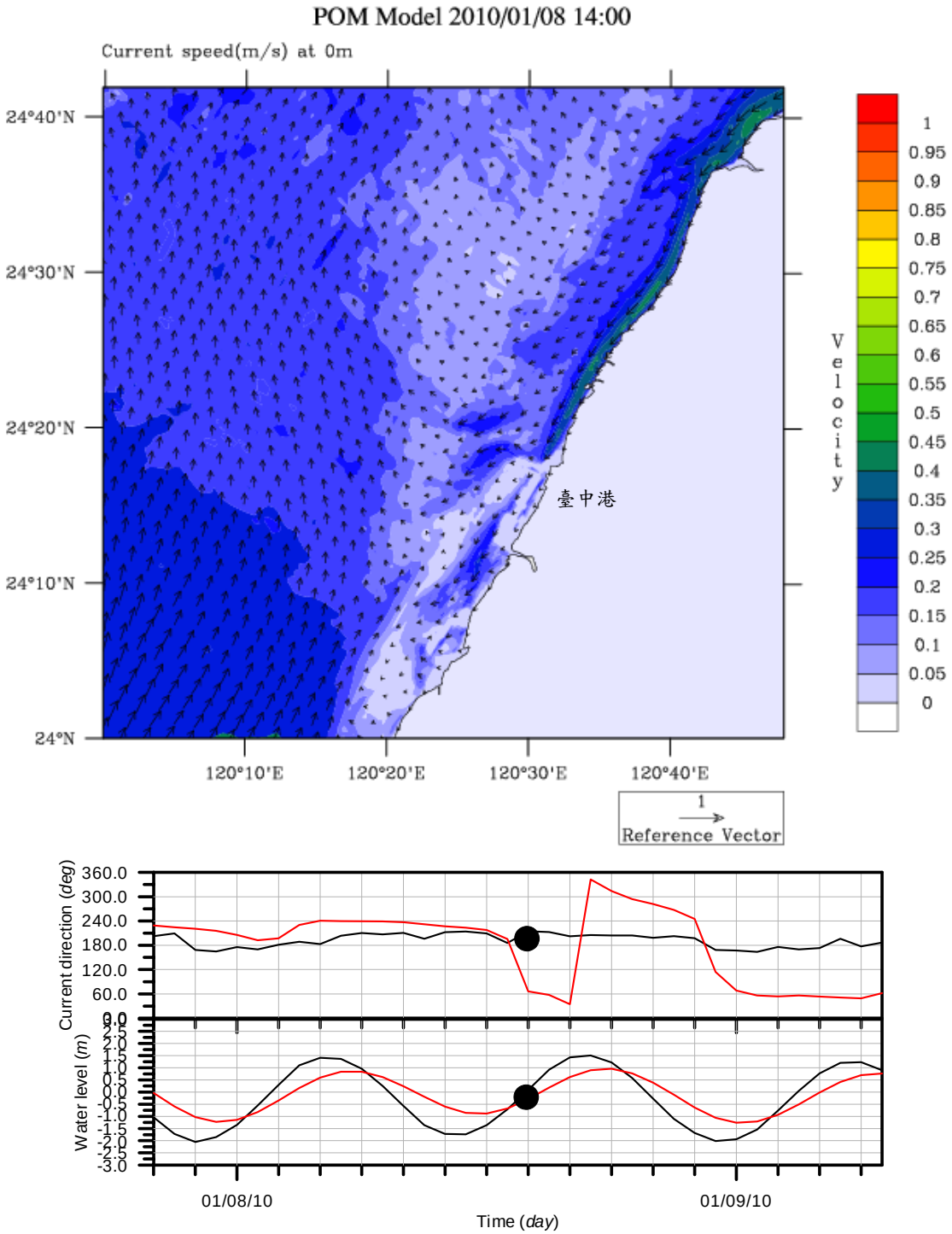


圖 5-25(續) 臺中港海域海流分布圖(冬季；紅線為模式值，黑線為實測值，黑點為時刻為 2009/01/08 14:00)

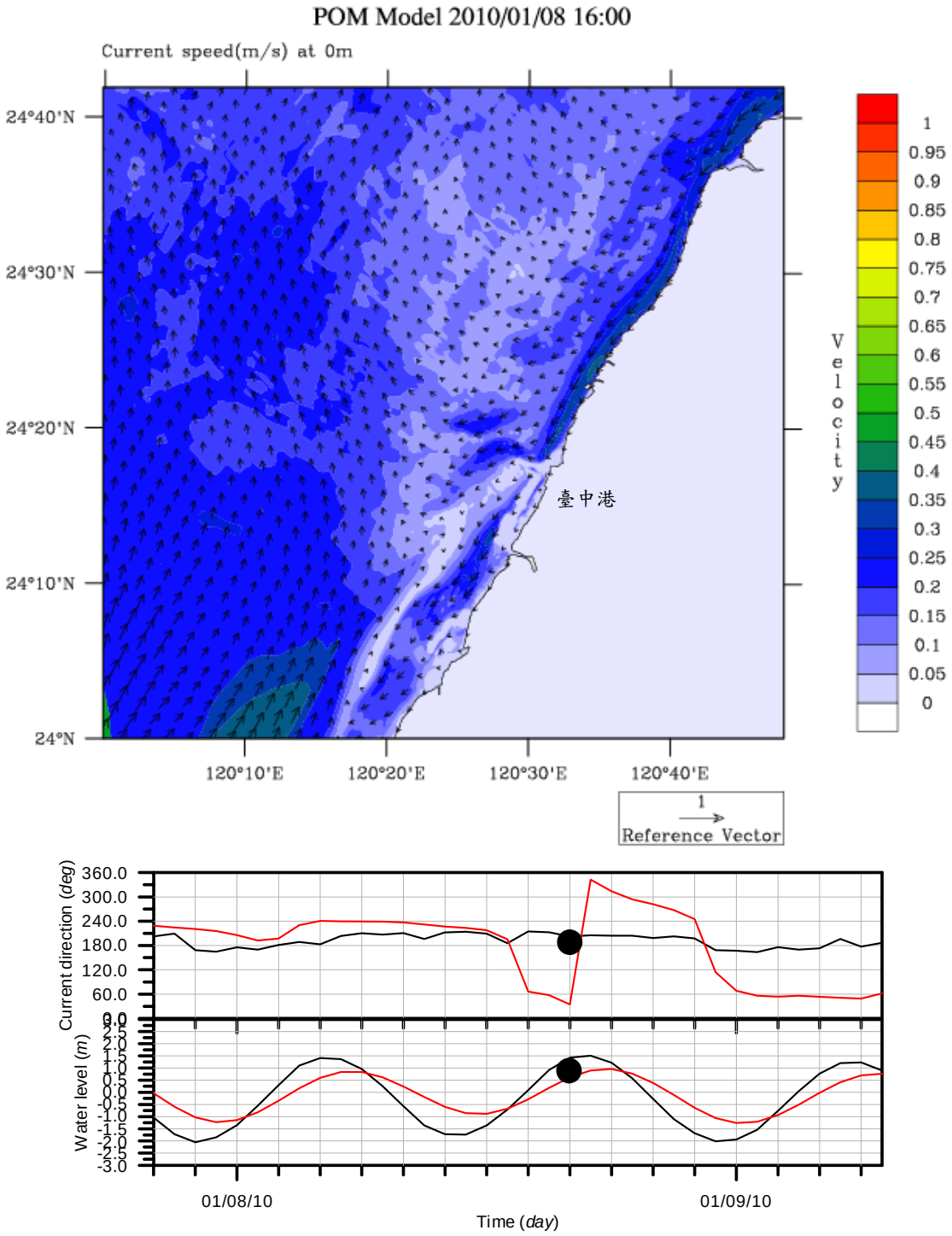


圖 5-25(續) 臺中港海域海流分布圖(冬季；紅線為模式值，黑線為實測值，黑點為時刻為 2009/01/08 16:00)

第六章 結論與建議

6.1 結論

本計畫針對臺灣鄰近海域特殊的海峽與陸架坡地形，透過美國普林斯頓大學海洋模式(Princeton Ocean Model，POM)，建置臺灣海域洋流模擬系統，主要工作項目為延續前兩年計畫成果，在已經建置之模式基礎與操作經驗上，針對基隆、台北、台中、高雄、安平、花蓮及蘇澳等商港海域，建構足以描述各商港海域海流變動特性之三維流場，分析洋流與潮流成分變動特性與綜合效應，並利用實測數據進行模式驗證，改善模式合理性與模擬精度。

1. 在模式建置方面，改善更新前兩年度計畫完成的作業流程與前後處理程序，利用 MPI 平行計算方式改善 POM 模式計算效率，並增加未來擴充性。利用正交曲線座標建構近岸海域模式，透過格網間距可變特性局部加密港口附近格網，使計算格網可表現局部地形與港灣結構物所反應之海流特性。

2. 由臺灣海域洋流與潮流綜合效應中發現，臺灣北部、東部近岸、澎湖水道等區域為潮流主導海域流速變動。而臺灣中西部海域夏季有持續向北流動現象，而西南部海域外海有夏季向東南、冬季向西北之恆常流動現象，而東部外海其黑潮流動現象明顯，其應考慮洋流對此些區域海流變動特性之影響。

3. 本計畫所建置之近岸格網可合理呈現各商港海域局部地形所產生的海流特性，而洋流與潮流綜合效應模擬可改善於台中、高雄、之推算結果。

4. 由各商港海流觀測資料看來，除了臺中港觀測資料有夏季向南冬季向北之恆流現象出現之外，其餘花蓮、蘇澳、基隆、台北、安平及高雄港平均流速流向皆趨近零，由於觀測點非常接近海岸，

表示這些海域近岸海流特性仍以潮流現象為主。

5. 於臺灣西南海域高屏峽谷內之潮流流動現象皆沿著峽谷方向流動，其與表面潮流沿著海岸線流動有明顯差異，地形效應、洋流與潮流交互作用造成西南海域海流流動現象複雜之因素。

6. 於基隆港海域海流特性方面，退潮時段基隆港外海受到野柳龜頭山阻擋退潮海流，在萬里一帶海域形成依順時針渦流，而基隆港港外位於渦流邊緣恰好與外海東南退潮流向相反，呈西南走向，此外於海岸突出之基隆嶼亦形成此處海流偏東北-西南走向之主要原因。

7. 於臺灣東部花蓮與蘇澳港海域海流特性方面，近岸處海流速度明顯偏小，甚至在宜蘭至花蓮一帶海岸呈現一返流區，綜合實測資料，此處海域應於大潮之漲潮時段流速向南退潮向北，而小潮時段由於潮流成分較小，故導致小潮時段受到黑潮主流外側返流的影響有持續偏向西南流動之現象。

8. 於臺中港海域海流特性方面，夏季臺中港外海流速強勁，黑潮分支繞過雲彰隆起向北流動，於台中海域再度接近近岸處，不論漲退潮段皆持續向北。而冬季海面流速明顯變小，於小潮時段時若東北季風強勁，導致近岸處有沿著海岸線向南流動之明顯現象，且由於臺中港北防坡堤之阻擋影響，導致堤頭附近海域流速偏向西南西。

6.2 建議

1. 本計畫利用四層巢狀計算方式，縮小計算範圍提高模擬的解析度可合理模擬臺灣近岸海域之海潮流特性，對於作業化預測海流變化仍有許多問題有待克服，如計算機硬體的需求、作業化流程的建立、模式起始值給定方式的測試及穩定來源的高解析度大氣模式資料等。

參考文獻

1. Aikman, F., G. L. Mellor and D. B. Rao, T. Ezer, D. Shenin, K. Bosley and P. Chen (1996) "Toward an operational nowcast/forecast system for the U.S. east coast," Modern Approaches to Data Assimilation in Ocean Modeling, P. Malanotte-Rizzoli, Ed., Elsevier, pp. 347-376.

2. Amante, C. and B. W. Eakins, ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis. NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24, 19 pp, March 2009

3. Barron, C. N., A. B. Kara, R. C. Rhodes, C. Rowley and L. F. Smedstad (2007) *Validation test report for the* $1/8^0$ *global navy coastal ocean model nowcast/forecast system*, NRL Report No. NRL/MR/7320--07--9019, 149pp.

4. Bowden, K. F. and P. Hamilton (1975) "Some experiments with a numerical model of circulation and mixing in a tidal estuary," *Estuarine and Coastal Marine Science*, 3(3), pp. 281-301.

5. Blumberg, A. F. and G. L. Mellor (1983) "Diagnostic and prognostic numerical circulation studies of the South Atlantic Bight," *J. Geophys. Res.*, 88, pp. 4579-4592.

6. Blumberg, A. F. and G. L. Mellor (1987) "A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model," *Three-Dimensional Coastal Ocean Models*, American Geophysical Union, Washington, D.C., 4, edited by N. Heaps, 208p..

7. Ezer, T. and G. L. Mellor (1991) "A gulf stream model and an altimetry assimilation scheme," *J. Geophys. Res.*, 96, pp. 8779-8795.

8. Ezer, T. and G. L. Mellor (1997) "Simulations of the Atlantic Ocean with a free surface sigma coordinate ocean model," *J. Geophys. Res.*, 102, pp. 15647-15657.

9. Ezer, T. (1999), "Decadal variabilities of the upper layers of the subtropical North Atlantic: An ocean model study," *J. Phys. Oceanogr.*, 29(12), pp. 3111-3124.

10. Ezer, T. and G. L. Mellor (2000) “Sensitivity studies with the North Atlantic sigma coordinate Princeton Ocean Model,” *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 32, pp. 155-208.

11. Hsin, Y.-C., C.-R. Wu and P.-T. Shaw (2008) “Spatial and temporal variations of the Kuroshio east of Taiwan, 1982-2005: A numerical study,” *J. Geophys. Res.*, 113, C04002.

12. Kalnay et al. (1996) “The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project,” Bull. Amer. Meteor. Soc., 77, pp.437-470.

13. Lardner, W. and H. M. Cekirge (1988) “A new algorithm for three- dimensional tidal and storm surge computation,” *Appl. Math. Modelling*, 12, pp. 471-481.

14. Leendertse, J. J. (1967) “Aspects of a computational model for long-period water-wave propagation,” RM-5294-PR, Rand Corp. Santa Monica, California.

15. Liu, C. S., S. Y. Liu, S. E. Lallemand, N. Lundberg and D. Reed. (1998) “Digital Elevation Model Offshore Taiwan and Its Tectonic Implications,” *TAO*, 9 (4), pp. 705-738.

16. Madala, R. V. and S. A. Piacsek (1997) “A semi-implicit numerical model for baroclinic oceans,” *J. Comput. Phys.*, 23, pp. 167-178.

17. Martin, P.J. (2000) *Description of the Navy Coastal Ocean Model Version 1.0,* NRL Report No. NRL/FR/7322/00/9962, 45pp.

18. Martin, P.J., G. Peggion, and K.J. Yip (1998) *A comparison of several coastal ocean models,* NRL Report No. NRL/FR/7322/97/9692, 96pp.

19. Matsumoto, K., T. Takanezawa and M. Ooe (2000) “Ocean tide models developed by assimilating TOPEX/POSEIDON altimeter data into hydrodynamical model: A global model and a regional model around Japan,” *J. Oceanogr.*, 56, pp. 567-581.

20. Mellor, G. L. (2003) *Users guide for a three-dimensional, primitive equation, numerical ocean model*, Program in Atmospheric and Oceanic Sciences, Princeton University, Princeton.

21. Mellor, G. L., S. Hakkinen, T. Ezer and R. Patchen (2002) “A generalization of a sigma coordinate ocean model and an intercomparison of model vertical grids,” *Ocean Forecastings*: *Conceptual Basis and Applications*, Pinardl, N., Wood, J. D. (Eds), Springer, Berlin, pp. 55-72.

22. Mellor, G. L. and T. Yamada (1982) “Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems,” *Rev. Geophys. Space Phys*., 20, pp. 851-875.

23. National Geophysical Data Center (2006) ETOPO2v2 data set, National Environmental Satellite, Data, and Information Service, National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S. Department of Commerce, http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/fliers/06mgg01.html.

24. Nihoul, J. C. J. (1977) “Three-dimensional model of tides and storm surges in a shallow well-mixed continental sea,” *Dyn. Atmos. Oceans*, 2, pp. 29-47.

25. Oey, L. Y. (2005) “A wetting and drying scheme for POM,” *Ocean Modelling*, 9, pp. 133-150.

26. Oey, L. Y. (2006) “An OGCM with movable land-sea boundaries,” *Ocean Modelling*, 13, pp. 176-195.

27. Oey, L. Y., G. L. Mellor and R. I. Hires (1985a) “A three-dimensional simulation of the Hudson-Raritan estuary, Part I: Description of the model and model simulations,” *J. Phys. Oceanogr*., 15, pp. 1676-1692.

28. Oey, L. Y., G. L. Mellor and R. I. Hires (1985b) “A three-dimensional simulation of the Hudson-Raritan estuary, Part II: Comparison with observation,” *J. Phys. Oceanogr*., 15, pp. 1693-1709.

29. Oey, L. Y., G. L. Mellor and R. I. Hires (1985c) “A three-dimensional simulation of the Hudson-Raritan estuary, Part III: Salt flux analyses,” *J. Phys. Oceanogr*., 15, pp. 1711-1720.

30. Park, K. and A. Y. Kuo (1993) “A vertical two dimensional model of estuarine hydrodynamics and water quality,” *Special Report in Applied Marine Science and Ocean Engineering*, 321, Virginia Institute of Marine Science.

31. Phillips, N. A. (1957) “A coordinate system having some special advantages for numerical forecasting,” *J. Meteorol*., 14, pp. 184-185.

32. Schwiderski, E. W. (1980) “Ocean tides, Part I, Global ocean tidal equations,” *Mar. Geod.*, 3, pp. 161-217.

33. Simons, T. J. (1974) “Verification of numerical models of Lake Ontario. Part I, ciculation in spring and early summer,” *J. Phys. Oceanogr.*, 4, 507-523.

34. Smagorinsky, J., S. Manabe and J. L. Holloway (1965) “Numerical results from a nine-level general circulation model of the atmosphere,” *Mon. Weather Rev.*, 93, pp. 727-768.

35. Smith, T.M., R.W. Reynolds, Thomas C. Peterson and Jay Lawrimore (2008) “Improvements to NOAA's historical merged land-ocean surface temperature analysis (1880-2006),” *J. Climate*,21, pp. 2283-2296.

36. Stelling, G. S., A. K. Wiersma and J. B. T. M. Willemse (1986) “Practical aspects of accurate tidal computations,” *J. Hydr. Eng.*, ASCE, 112(9), pp. 802-817.

37. Tang, T. Y. and J. C. Ma (1995) “A note on the accuracy of shipboard ADCP on Ocean Research I,” *Acta. Oceanogr.*, Taiwanica, 34, pp. 71-81.

38. Wu, C.-R., S.-Y. Chao and C. Hsu (2007) “Transient, seasonal and interannual variability of the Taiwan strait current,” *J. Oceanogr.*, 63, pp.821-833.

39. Zavatarelli, M. and G. L. Mellor (1995) “A numerical study of the Mediterranean Sea Circulation,” *J. Phys. Oceanogr*., 25, pp. 1384-1414.

40. 劉文俊 (1996)，「臺灣的潮汐」，初版。

41. 吳仁友 (1997)，「擬似三維海岸水動力計算模式之發展」，國立臺灣大學土木工程研究所碩士論文。

42. 王玉懷 (1998)，「臺灣海峽的潮汐特性」，八十七年國科會海洋成果發表會論文摘要集，203-208。

43. 陳陽益、許弘莒、許志宏 (1998)，「海潮流軌跡之數理推測與實測」，第二十屆海洋工程研討會論文集，基隆，71-79。

44. 林政偉 (1999)，「感潮河段之計算研究」，國立臺灣大學土木工程研究所碩士論文。

45. 王玉懷 (1999)，「TSNOW 現場觀測資料報告」，臺灣海峽海況即時預報模式研討會論文摘要集，國家海洋科學研究中心，16-21。

46. 劉文俊 (1999)，「臺灣的潮汐」，第二版。

47. 莊文傑 (2000)，「臺灣海峽潮波協振盪之研究」，國立臺灣大學造船及海洋工程學研究所博士論文。

48. 莊文傑、江中權 (2000a)，「臺灣四周海域海流數值模擬研究」，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，257 頁。

49. 莊文傑、江中權 (2000b)，「臺灣海峽兩岸之潮汐特性」，第十一屆水利工程研討會論文集，台北，I:15-21。

50. 黃良雄、吳仁友、曾鈞敏 (2001)，「感潮河口之水理計算—以鹽水溪為例」，中國土木水利工程學刊，第十三卷，第三期，533-541。

51. 葉姍霈 (2002)，「臺灣海域高解析度潮汐模式之建立—敏感度試驗」，國立成功大學水利暨海洋工程學研究所碩士論文。

52. 莊文傑、江中權 (2003)，「臺灣四周海域海流數值模擬研究(三)-基隆港海域潮汐與潮流之數值模擬研究」，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，248 頁。

53. 盧鴻復、吳朝榮 (2005)，「臺灣周邊海域水文及洋流特徵」，海洋技術季刊第十四卷第四期，12-18。

54. 李忠潘等人 (2010)，「中區汙水處理廠填海造陸工程環境監測計畫-海域環境調查」，四年期計畫執行中，國立中山大學。

55. 廖建明、許泰文、莊文傑、石棟鑫、杜佳穎、陳俊文 (2010)，「POM 海洋數值模式應用於臺灣鄰近海域之洋流模擬」，交通部運輸研究所。

56. 廖建明、許泰文、何興亞、石棟鑫、杜佳穎、陳俊文、王毓麒、莊文傑 (2011)，「臺灣東部海域洋流模擬及深層海水水溫水質月季變動特性探討」，交通部運輸研究所。

57. 蘇青和、廖慶堂、徐如娟 (2011)，「2009 年港灣海氣地象觀測資料年報」，交通部運輸研究所。

58. 曾相茂、陳佳興、何良勝、楊怡芸、陳進冰、李政彥、陳華雄、蕭俊賢、鄭景文、鄭璟生(2011)，「臺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。

59. 行政院國家科學委員會，海洋學門資料庫，http://www.odb.ntu.edu.tw/wordpress/。

附錄一 港灣技術研究中心 POM 模式操作手冊

港灣技術研究中心 POM 模式操作手冊

委託單位：交通部運輸研究所港灣技術研究中心

承辦單位：財團法人國家實驗研究院臺灣海洋科技研究中心

中華民國 100 年 10 月

一、前言

本計畫透過引進與建置美國普林斯頓大學海洋模式 (Princeton Ocean Model，POM)，利用其三維模式的特性完成臺灣海域的海潮流模擬。並建置模式計算所需的相關軟硬體環境，以作業化的標準完成模式的建立與應用，並透過展示系統與後續計畫所需的分析程式，以提供一有效工具模擬分析臺灣海域之海潮流特性。本操作手冊「港灣技術中心研究中心 POM 模式操作手冊」詳細介紹本計畫所建置之「港灣技術研究中心普林斯頓海洋模式 IHMT-POM」的模式架構與操作流程，以提供使用者操作的依據。

在本操作手冊中，將依序說明模式的架構、說明主程式 POM 模式與相關前置、後置處理程式的輸入條件，並以範例說明方式讓使用者能快速瞭解模式的組成與操作。

二、模式架構

本模式「港灣技術研究中心普林斯頓海洋模式」(IHMT-POM)建置在 Linux 作業系統的環境下，關於作業環境系統與相關軟體工具的設定於期中報告中第三章有詳細的說明，其中包括 Linux 作業系統、Fortran 編譯器與 NetCDF 工具程式等，使用者必須依據其說明將作業環境設定後方可進行隨後的運算環境的設定。在本操作手冊中以字型來代表不同目錄、檔案、變數或指令等不同的意義，以英文 *Times New Roman* 斜體字型表示檔案名稱，以英文 **Times New Roman** 粗體字型表示電腦檔案中之目錄名稱，以英文 Book Antiqua 字型則是命令腳本或設定檔案中的文字，以英文 *Book Antiqua* 斜體字型則是表示使用者必須在命令模式下所輸入的指令，使用者可藉此區別不同的用途。

1. 模式檔案與目錄架構

在目錄架構方面，在使用者家目錄下首先建立一個模式運算目錄 **IHMTpom**，目錄中所應該包括 **bin**、**data**、**src**、**NCLsrcipts** 與模擬方案名稱如 **global**、**nwpo**、**taiwan** 等目錄。其中 **bin** 目錄中放置與運算方案無關的可執行程式檔與命令腳本，**data** 目錄中放置本計畫第三章中所收集的海氣象與地形資料庫，**src** 目錄中則是放置程式的原始檔案可供使用者編譯與修改。而模擬方案名稱則是隨使用者自行建立，可依照模擬的方案命名。

而 IHMT-POM 模式中的副檔名命名方式皆有一定規則，副檔名的命名方式說明如下：

f、for、f90：Fortran 程式語言檔。

sh：Linux 作業系統中 BASH 環境之命令腳本檔。

inp：為程式執行所需的輸出入的資料，主要的海氣象與地形資料皆包括其中，其格式為文字檔。

in：為程式執行所需的命令檔，其格式為文字檔。

nml：為模式執行所需的命令檔，但是由 Fortran 語言之 namelist 格式所建立，其格式為文字檔。

prn：為 *pom.exe* 程式執行時所輸出的模式執行資訊，其格式為文字檔。

nc：為 NetCDF 資料格式檔案，包括海氣象資料庫、模式執行所需之海氣象資料輸入檔及接續執行時所需之中繼檔案等。

而各目錄中所包含的程式與目錄用途則分別說明如下，

A. **bin** 目錄：包含與計算方案無關的可執行程式與命令腳本，使用者只需以命令參數方式進行執行，不需要修改相關檔案即可使用。

prepom.exe：為 IHMT-POM 模式前置處理程式，目的為處理地形與海氣象資料將其內插至模式格網上，其需要附檔名 in 之文字檔控制檔來控制內插資料類別，其執行後會產生 *pomin.nc* 檔案供主程式

pom.exe 所使用。

ncread.exe：為後置處理程式，目的為轉換 *pom.exe* 程式所輸出之 NetCDF 資料格式成為文字檔格式。

ncmean.exe：為後置處理程式，目的為進行計算 NetCDF 資料格式中所有與時間變量有關的變數，將其平均後輸出。

rumpom.sh：BASH 命令腳本，用以進行批次模擬，可以讓使用者以月為時間單位分次進行的長時間模式模擬。

B. **data** 目錄：包含各種可供 IHMT-POM 模式輸入之海氣象與地形資料庫。

NCEP_NCAR_Reanalysis：目錄中為 NCEP/NCAR 海氣象資料庫，目的在提供 *prepom.exe* 前置處理程式進行海面風場與氣壓資料的處理。

NOAA_Extended_Reconstructed_SST_V3：目錄中為 NOAA Extened Resconstructed Sea Surface Temperature V3 的海面溫度資料，目的在提供 *prepom.exe* 前置處理程式進行海面溫度的處理。

NOAA_OI_SST_V2：目錄中為 NOAA Optimnum Interpolation Sea Surface Temperature V2 的海面溫度資料，目的在提供 *prepom.exe* 前置處理程式進行海面溫度的處理。

Topography：目錄中為地形資料庫，目的在提供 *prepom.exe* 前置處理程式進行地形資料庫的處理。

omap：目錄中為 NAO99 全球潮汐模式所須的潮位資料庫。

OTPSnc：目錄中為 OTPS 全球潮汐模式所須的潮位資料庫。

WOA_2005：目錄中為 NODC 的 WOA 海洋水文資料庫，目的在提供 *prepom.exe* 前置處理程式進行 IHMT-POM 模式的溫度與鹽度初始資料。

C. **src** 目錄：包含各種程式的原始碼。

ihmt：其中檔案為 IHMT-POM 模式主程式，包含許多 f、for、f90 副檔名 Fortran 程式，其經過編譯後會產生序列化之 *spom.exe* 或 MPI 平行化之 *ppom.exe* 程式。

prepom：其中檔案為 IHMT-POM 模式前置程式，其經過編譯後會產生 *prepom.exe* 程式。

ncmean：其中檔案經過編譯後會產生 *ncmean.exe* 程式。

ncread：其中檔案經過編譯後會產生 *ncread.exe* 程式。

D. **project**：為計算方案主目錄，其名稱可由使用者隨計算方案而命名(如 ***global***)，其中包含 **bin** 與 **inp** 等目錄架構，而計算模擬後的 NetCDF、prn 等輸出檔皆放置其中，而此目錄中之其他目錄結構內容分別說明如下。

bin：其目錄中放置與這個計算方案有關的可執行程式，在方案模擬進行前必須先進行相關可執行程式的編譯與安裝，主要是放置 *spom.exe* 或 *ppom.exe* 程式。

inp：其目錄中放置本計算方案的資料輸入檔，計算模擬所需設定檔則是放置在此目錄，而 *prepom.exe* 運算後的資料檔也是放置在此目錄中。此目錄中亦包括 **wind**、**slp**、**sst**、**omap** 及 **otpnc** 等目錄，其利用目錄連結方式將 **data** 目錄中之海氣象與地形資料庫進行連結。

2. 編譯與安裝

為了程式運作方便，使用者首先必須設定模式運作的環境變數，利用文字編輯程式在使用家目錄下編輯 *.bashrc*，增加 POM 與 PATH 等環境變數，如

```
export POM=/home/username/IHMTpom
export PATH=$PATH:$POM/bin
```

其中/home/username/IHMTpom 為安裝目錄的絕對路徑，請隨安裝的目錄名稱而更改。請於上述環境設定完成後，再次進行登入系統，使環境變數的設定產生作用後再進行程式的安裝與編譯。

欲設定計算方案時，可由使用者自行設定上述的目錄結構，或由 *createproj.sh* 命令腳本進行目錄的自動設定，於命令模式提示符號(>)下輸入：

> *createproj.sh project*

其中參數 *project* 為計算方案的目錄名稱，必須依照所建立的計算方案目錄名稱而更改，執行後會自動設定計算所需目錄架構。執行後會出現交談式使用者介面，使用者可依據計算方案之需求輸入計算方案的格網資訊、選擇所需的海氣象資料庫、巢狀格網計算設定、邊界條件處理方式及序列化或平行化執行方式等。執行 *createproj.sh* 後會於 **IHMTpom** 目錄下建立該 **project** 目錄，目錄中會存在 **bin**、**inp** 目錄與 *namelist.pom* 或 *namelist.pom.tmp* 之 IHMT-POM 模式參數檔，其中 **bin** 目錄會存放 *ppom.exe* 或 *spom.exe* 程式，其會由 *createproj.sh* 命令腳本自動編譯完成，並將程式安裝於指定的目錄中。本計畫所建立之最新版本 POM 模式採用動態配置記憶體方式控制陣列大小，只需要在模式執行前於 *namelist.pom* 檔案中進行配置即可，並不需要根據格網數目的變更重新編譯程式，而 **inp** 目錄會存放會存放所需的海氣象資料庫、*prepom.exe* 所需之控制檔 *project.in* 之或成批執行所需之 *project.copy* 樣本檔案。而由命令腳本自動建立之 *namelist.pom*、*project.in* 等檔案之意義則於下節中分別說明。

三、程式說明

本年度計畫大幅改善前置處理程式流程，在大部分情況下透過上節所述之 *createproj.sh* 命令腳本可完成全部的前置處理與模式邊界條件的設定。若使用者需要自行調整參數或修改部分設定，則本節分別說明各單一程式或命令所需的參數與輸入檔，藉此讓使用者瞭解各程式或命令所需的檔案與設定方式。

1. 前置處理程式

IHMT-POM 模式之前置處理程式為 *prepom.exe*，其目的在於建立模式格網、內插海氣象資料庫與巢狀格網邊界條件至格網。而 *prepom.exe* 的輸入檔 *project.in*，而主檔名 project 必須與所建立的計算方案名稱相同，*project.in* 的內容說明如下，檔案中以 # 起始之行為注釋，程式讀取時會忽略。

```
#
# 計算方案起始時間
# START TIME (YYYYMMDD.HHMMSS)
#
19981201.000000
#
# 模擬時間，單位為天
# SIMULATING DURATION (DAYS)
#
31
#
# 計算領域設定。第一與第二參數(115.0，15.0)為計算領域左下角經緯
# 度座標，單位為度。第三參數(0.05)為格網間距，單位為度。第四與第五參數
# 為 x 與 y 方向格網點數，第五參數為垂直方向格網點數，第六參數表示格網座標型式
# 第七參數為旋轉座標角度，以正東方為零，逆時針方向旋轉。
# MESH DEFINITION (X0   Y0   DX   IM   JM   KB   ICORD   ANGLE)
#
115.0   15.0   0.05   301   301   21   1   0.0
#
# 若計算領域為正交曲線格網，則須採用下列輸入方式，
# 第一參數為 user，第二參數為地形格網檔案，必須由使用者自行製作，其中檔案
# 內容分別為格網之 X、Y、DEPTH 值，第三、四及五參數分別為 x、y 及垂直方向
# 格網點數，第六參數表示格網座標型式
#
# user   topo_kao_c3.inp   297   110   21   1
#
# 地形資料設定。第一參數為資料庫檔案名稱，如為 ETOPO2.nc 則
# 表示使用 Etopo2 地形資料庫。使用者可自行定義地形資料名稱，如輸入不
# 同的檔案名稱則會經由 topobyuser.f90 的 Fortran 程式輸入地形資料，
# 使用者可自行定義資料。第二參數為將地形資料內插至計算格網後存放的資料
# 檔案名稱，預設為 topo.inp。第三參數為地形水深最大坡度，大於 1.0 表示不
# 進行地形水深之平滑化，第四參數為最小水深，單位為公尺。
# TOPOGRAPHY (INPUT_DATASET   OUTPUT_FILENAME   SLMAX   HMIN)
#
ETOPO2.nc   topo.inp   2.0   10.0
#
# 若計算領域為正交曲線格網，則地形資料設定須採用下列輸入方式，
# 第一參數為地形格網檔案，必須由使用者自行製作，且必須與計算領域設定一致，
# 第二參數為地形格網輸出檔，預設為 topo.inp。第三參數為地形水深最大坡度，大於
# 1.0 表示不進行地形水深之平滑化，第四參數為最小水深，單位為公尺。
#
```

```
# topo_kao_c3.inp   topo.inp   2.0   10.0
#
# IHMT-POM 模式水位邊界資料。第一參數為潮位資料庫之選擇，現有 nao99、otpnc
#  及 none 三種輸入選擇，若選擇 nao99 則 prepom.exe 程式會呼叫 NAO99 模式進行
#  潮位邊界之計算，若選擇 otpnc 則 prepom.exe 程式會呼叫 OTPS 模式進行計算
#  輸入 none 則表示不處理潮位邊界資料。第二參數為水位邊界輸出檔名。
#  第三參數為水位邊界資料檔之時間間距，單位為天。
# ETA (INPUT_DATASET     OUTPUT_FILENAME    TIME_INTERVAL)
#
#   otpnc    eta.inp    0.04166
#   none    eta.inp    0.0
#
nao99b    eta.inp    0.04166
#
# IHMT-POM 模式大氣壓力邊界資料。第一參數為大氣壓力資料庫的選擇，現
#  僅有 ncep_reananlysis_4xday、ncep_reanalysis_mon、ncep_reanalysis_day、rvm、
# none 與 user 等六種輸入選擇，若選擇
# ncep_reanalysis_4xday  會選擇 NCEP/NCAR  每六小時一筆之海氣象資料庫
# ncep_reanalysis_day  會選擇 NCEP/NCAR  每日平均之海氣象資料庫
# ncep_reanalysis_mon 會選擇 NCEP/NCAR  每月平均之海氣象資料庫
#  選擇 rvm 則會呼叫 Rankin Vortex 參數化颱風風場模式
#  輸入 none 則表示不處理大氣壓力邊界資料，輸入 user 使用者必須自行更
#  改 slpbyuser.f90 之 Fortran 程式，提供自行設定資料格式的功能。第二參數為
#  大氣壓力輸出檔名。第三參數為輸出資料檔的時間延時，單位為天。
# SLP    (INPUT_DATASET    OUTPUT_FILENAME    TIME_DURATION)
#
ncep_reanalysis_4xday    slp.inp    0.25
#
# IHMT-POM 模式風場邊界資料。第一參數為風場資料庫的選擇，現僅有
# ncep_reanalysis_4xday、ncep_reanalysis_mon、ncep_reanalysis_day、rvm 與 none
#  與 user 等六種輸入選擇，若選擇
# ncep_reanalysis_4xday  會選擇 NCEP/NCAR  每六小時一筆之海氣象資料庫
# ncep_reanalysis_day  會選擇 NCEP/NCAR  每日平均之海氣象資料庫
# ncep_reanalysis_mon 會選擇 NCEP/NCAR  每月平均之海氣象資料庫
#  選擇 rvm 則會呼叫 Rankin Vortex 參數化颱風風場模式
#  輸入 none 則表示不處理風場邊界資料，輸入 user 使用者必須自行更改
# windbyuser.f90 之 Fortran 程式，提供自行設定資料格式的功能。第二參數為風場輸
#  出檔名。第三參數為輸出資料檔的時間延時，單位為天。
# WIND (INPUT_DATASET    OUTPUT_FILENAME    TIME_DURATION)
#
ncep_reanalysis_4xday    wind.inp    0.25
#
# IHMT-POM 模式海面溫度邊界資料。第一參數為海面溫度資料庫的選擇，現僅有
# noaa_ersst_ltm、noaa_ersst_mon、noaa_oisst_week、noaa_oisst_ltm 與 none 與 user
#  等五種輸入選擇，若選擇 noaa_ersst_mon 則會選擇 NOAA Extented Reconstructed
#  月平均海面溫度資料庫，輸入 none 則表示不處理海面溫度邊界資料，輸入 user 使用
#  者必須自行更改 sstbyuser.f90 之 Fortran 程式，提供自行設定資料格式的功能。第二
#  參數為海面溫度輸出檔名。第三參數為輸出資料檔的時間延時，單位為天。
# SST DATA (INPUT_DATASET    OUTPUT_FILENAME    TIME_DURATION)
#
noaa_oisst_week    sst.inp    7
#
# IHMT-POM 模式鹽溫度初始資料。第一參數為 WOA 海洋水文資料庫格式的鹽度資
```

```
# 料檔，s00an1 為全年平均資料，輸入 none 表示不處理，輸入 user 使用者必須自行
# 修正 salbyuser.f90 程式。第二參數為 WOA 海洋水文資料庫格式的溫度資料檔，
# t00an1 為全年平均資料，輸入 none 表示不處理，輸入 user 使用者必須自行修正
# tempbyuser.f90 程式。第三為輸出資料檔檔名。
# SEA STATE
# (SALINITY_DATASET    TEMPERATURE_DATASET OUTPUT_FILENAME)
#
s00an1    t00an1    state.inp
#
# IHMT-POM 模式流場初始資料。現不可使用，請設定為 none。
# INIT (INPUT_DATASET    OUTPUT_FILENAME)
#
none    init.inp
#
# IHMT-POM 模式巢狀母格網之設定，如本計算方案為某一計算方案之巢狀子格網，
# 請於此處設定巢狀格網資訊。第一參數為巢狀母格網計算方案中由 IHMT-POM 模式
# 計算所的之 NetCDF 資料輸出檔，為了節省磁碟空間通常以 link 形式連結至本計算
# 方案之 inp 目錄。第二參數為外模式之流速與水位邊界條件處理，輸入 1 表示處理，
# 輸入 0 表示不處理。第三參數為內模式之鹽溫度與流速邊界 nudging 處理，輸入 1
# 表示處理，輸入 0 表示不處理。第四參數為巢狀格網連接邊界格網數
# NEST (INPUT_NC    IUA    I3D    IHALO)
#
pom.nested.nc    1    1    10
#
# 海面邊界條件輸入，尚未測試完成，現不可使用。
# SURFACE FLUX DATA (INPUT_DATASET    OUTPUT    TIME_DURATION)
#
none    sflx.inp    0.0
#
# END OF CONFIG
#
```

prepom.exe 程式可單獨執行，若需執行時請於命令模式中輸入：

> *prepom.exe* < *project.in*

程式執行後將會依照 *project.in* 之設定進行相關資料的處理，完成後會產生 *pomin.nc* 檔案供 *pom.exe* 程式進行讀取，其為 NetCDF 格式之檔案，使用者可自行利用套裝軟體如 ncview 或 ncBrowse 進行確認。使用者必須注意在 Linux 作業系統下，英文字元大小寫是有所區別，而所有的資料庫與檔名設定皆由 *createproj.sh* 所設定，如需更動時請依照說明設定中的說明而設定，可避免不可預期的錯誤。而說明中之 *topobyuser.f90*、*slpbyuser.f90*、*windbyuser.f90*、*sstbyuser.f90*、*salbyuser.f90* 與 *tembyuser.f90* 檔案，皆放置於 **src/prepom** 目錄中，使用者必須自行更改後編譯 *prepom.exe* 程式。

2. 主程式 pom.exe

IHMT-POM 模式之主程式為 *pom.exe*，此程式與計算方案的格網設定與計算條件有關，由 *createproj.sh* 執行後會建立於 **bin** 目錄之 *pom.exe* 與 **project** 目錄之 *namelist.pom.tmp* 或 *namelist.pom* 等檔案，使用者也可根據需要進行修改。而 *namelist.pom* 的內容在於設定 IHMT-POM 模式的計算條件與參數等，其內容說明如下：

```
&params
C
C-------------------------------------------------------
C
C 模式格網點數，需與 prepom.exe 所建立之格網點數一致
C
      im_global = 320
C
      jm_global = 448
C
      kb = 21
C
      ihalo = 10
C
C-------------------------------------------------------
C
C 計算方案名稱，可自由設定
C
       title='Run 1' ! run's title
C
C-------------------------------------------------------
C
C       Problem number:
C
C       iproblem         problem          initialisation
C                          type             subroutine
C             1          seamount          seamount
C             2          conservation     box
C                        box
C             3          IC from file     file2ic
C 計算方案編號，預設值為 5，請勿更改
C
       iproblem=5
C
C-------------------------------------------------------
C
C      mode                    description
C       2      2-D calculation (bottom stress calculated in advave)
C       3      3-D calculation (bottom stress calculated in profu,v)
C       4      3-D calculation with t and s held fixed
```

```
C 計算模式，設定為 2 表示二維模式，3 為三維模式，4 為三維模式溫度鹽度為定值
C
      mode=3
C
C-----------------------------------------------------
C
C       Advection scheme:
C
C    nadv        Advection scheme
C     1          Centred scheme, as originally provide in POM
C     2          Smolarkiewicz iterative upstream scheme, based on
C                subroutines provided by Gianmaria Sannino and Vincenzo
C                Artale
C 水平對流項的數值技巧，預設值為 1
C
      nadv=1
C
C-----------------------------------------------------------------
C
C       Constants for Smolarkiewicz iterative upstream scheme.
C
C       Number of iterations. This should be in the range 1 - 4. 1 is
C       standard upstream differencing; 3 adds 50% CPU time to POM:
C 改善水平對流項數值技巧穩定度的選項，預設值為 2
C
      nitera=2
C
C       Smoothing parameter. This should preferably be 1, but 0 < sw < 1
C       gives smoother solutions with less overshoot when nitera > 1:
C 改善數值結果之平滑參數，預設值為 0.5
C
      sw=0.5e0
C
C-----------------------------------------------------------------
C
C       External (2-D) time step (secs.) according to CFL:
C 二維模式的計算時間間距，單位為秒。請依照數值穩定條件進行更改，其值會過大會
C 使程式發散。請注意，由 pom.prn 輸出的資訊中可判斷最適當的最大值
C
      dte=5.0e0
C
C-----------------------------------------------------------------
C
C       <Internal (3-D) time step>/<External (2-D) time step>
C       (dti/dte; dimensionless):
C 三維模式的計算時距，單位為次數。如設定 60，表示 dti=dte*isplit=300 秒，
C 建議值為 30 至 80
C
      isplit=60
C
C-----------------------------------------------------------------
C
C       Date and time of start of initial run of model in format (i.e.
```

```
C       UDUNITS convention)
C
C          YYYY-MM-DD HH:MM:SS <+/->HH:MM
C
C       where "<+/->HH:MM" is the time zone (positive eastwards from
C       Coordinated Universal Time). NOTE that the climatological time
C       axis (i.e. beginning of year zero, which does not exist in the
C       real-world calendar) has been used here. Insert your own date
C       and time as required:
C 計算起始時間，請依照計算方案設定
C
        time_start='2001-01-01 00:00:00 +00:00'
C
C-----------------------------------------------------------------
C 計算時間延時
C
      days=31.e0            ! run duration in days
C
C-----------------------------------------------------------------
C 起始輸出資料間距，單位為天
C
        prtd1=1.0     ! Initial print interval (days)
C
C-----------------------------------------------------------------
C 最後輸出資料間距，單位為天
C
        prtd2=1.e0              ! Final print interval (days)
C
C-----------------------------------------------------------------
C 由起始轉換至最後輸出間距的天數，如計算天數大於 swtch 則輸出間距會換成 prtd2
C
        swtch=1000.e0         ! Time to switch from prtd1 to prtd2
C
C-----------------------------------------------------------------
C 設定 pom.prn 輸出的 x 方向間距
C
        iskp=5                  ! Printout skip interval in i
C
C-----------------------------------------------------------------
C 設定 pom.prn 輸出的 y 方向間距
C
        jskp=5                  ! Printout skip interval in j
C
C-----------------------------------------------------------------
C
C       Logical for inertial ramp (.true. if inertial ramp to be applied
C       to wind stress and baroclinic forcing, otherwise .false.)
C 是否使邊界條件漸進式啟動，可避免數值不穩定，預設值為.false.
C
        lramp=.false.
C
C-----------------------------------------------------------------
C
```

```
C        Reference density (recommended values: 1025 for seawater,
C        1000 for freswater; S.I. units):
C 水體密度參考值，預設值海水預設為 1025，淡水為 1000
C
         rhoref=1025.e0
C
C-----------------------------------------------------------------
C 水體溫度基準值，為了準確計算壓力梯度所設定，可使用預設值 0.0
C
         tbias=10.e0              ! Temperature bias (deg. C)
C
C-----------------------------------------------------------------
C 水體鹽度基準值，為了準確計算壓力梯度所設定，可使用預設值 0.0
C
         sbias=35.e0              ! Salinity bias
C
C-----------------------------------------------------------------
C 重力加速度，預設值為 9.806
C
         grav=9.806e0             ! gravity constant (S.I. units)
C
C-----------------------------------------------------------------
C von Karman 參數，預設值為 0.4
C
         kappa=0.4e0              ! von Karman's constant
C
C-----------------------------------------------------------------
C 底床粗糙度，其值會影響底床磨擦力大小，預設值為 0.01
C
         z0b=.01e0                ! Bottom roughness (metres)
C
C-----------------------------------------------------------------
C 最小底床摩擦係數，預設值為 0.0025
C
         cbcmin=.0025e0           ! Minimum bottom friction coeff.
C
C-----------------------------------------------------------------
C 最大底床摩擦係數，預設值為 1.0
C
         cbcmax=1.e0              ! Maximum bottom friction coeff.
C
C-----------------------------------------------------------------
C 水平擴散係數，預設值為 0.2，合理範圍為 0.1 至 0.2
C
         horcon=0.2e0             ! Smagorinsky diffusivity coeff.
C
C-----------------------------------------------------------------
C
C        Inverse horizontal turbulent Prandtl number
C        (ah/am; dimensionless):
C
C        NOTE that tprni=0.e0 yields zero horizontal diffusivity!
C Pradtl number 水平紊流參數，預設值為 0.2，如設定為 0 表示不考慮紊流水平擴散
```

```
C
      tprni=.2e0
C
C-----------------------------------------------------------------
C
C       Background viscosity used in subroutines profq, proft, profu and
C       profv (S.I. units):
C 背景黏滯係數，預設值為 2.0e-5
C
      umol=2.e-5
C
C-----------------------------------------------------------------
C
C       Maximum depth used in radiation boundary condition in subroutine
C       bcond (metres):
C 計算領域中最大水深，單位為公尺。其值與輻射邊界條件有關，請依照邊界水深
C 分佈設定一恰當之值
C
      hmax=4500.e0
C
C-----------------------------------------------------------------
C
C       Minimum depth
C 計算領域中最小水深，單位為公尺。小於此值則會將該格網點視為陸地
C
      hmin=10.0
C
C-----------------------------------------------------------------
C
C
C       Maximum magnitude of vaf (used in check that essentially tests
C       for CFL violation):
C 最大可能的流速，單位為每秒公尺。大於此值則會終止程式運算
C
      vmaxl=100.e0
C
C-----------------------------------------------------------------
C
C       Maximum allowable value of:
C
C          <difference of depths>/<sum of depths>
C
C       for two adjacent cells (dimensionless). This is used in subroutine
C       slpmax. If >= 1, then slpmax is not applied:
C 地形水深平滑參數，大於 1 表示不進行地形平滑
C
      slmax=2.e0
C
C-----------------------------------------------------------------
C
C       Integers defining the number of logarithmic layers at the
C       surface and bottom (used by subroutine depth). The number of
C       logarithmic layers are kl1-2 at the surface and kb-kl2-1
```

```
C       at the bottom. For no log portions, set kl1=2 and kl2=kb-1:
C 垂直方向格網分佈，介於 kl1 與 kl2 之間垂直分佈為等間距，大於或小於此範圍為指
C 數分佈，預設為不使用，請於前置處理程式中設定
C
        kl1=6
        kl2=kb-2
C
C-----------------------------------------------------------------
C
C       Water type, used in subroutine proft.
C
C          ntp      Jerlov water type
C           1               i
C           2               ia
C           3               ib
C           4               ii
C           5               iii
C 水體形式，其與海面短波輻射量有關，預設值為 2
C
        ntp=2
C
C-----------------------------------------------------------------
C
C       Surface temperature boundary condition, used in subroutine proft:
C
C          nbct    prescribed      prescribed    short wave
C                  temperature       flux        penetration
C           1          no             yes             no
C           2          no             yes             yes
C           3          yes            no              no
C           4          yes            no              yes
C 海面溫度邊界條件，在 IHMT-POM 模式中預設為 3，請勿更動
C
        nbct=3
C
C-----------------------------------------------------------------
C
C       Surface salinity boundary condition, used in subroutine proft:
C
C          nbcs    prescribed      prescribed
C                   salinity        flux
C           1          no              yes
C           3          yes             no
C
C       NOTE that only 1 and 3 are allowed for salinity.
C 海面鹽度邊界條件，在 IHMT-POM 模式中預設為 1，請勿更動
C
        nbcs=1
C
C-----------------------------------------------------------------
C
C       Step interval during which external (2-D) mode advective terms are
C       not updated (dimensionless):
```

```
C 對流項更新時間間距，單位為次數。其值可改善數值穩定性，預設值為 5
C
      ispadv=5
C
C-----------------------------------------------------------------
C
C       Constant in temporal filter used to prevent solution splitting
C       (dimensionless):
C 平滑參數，其值為了改善 leap-fog 數值技巧所產生的不穩定性，預設值為 0.1
C
      smoth=0.10e0
C
C-----------------------------------------------------------------
C
C       Weight used for surface slope term in external (2-D) dynamic
C       equation (a value of alpha = 0.e0 is perfectly acceptable, but the
C       value, alpha=.225e0 permits a longer time step):
C 權重參數，其值可改善計算重力項的穩定性，預設值為 0.225
C
      alpha=0.225e0
C
C-----------------------------------------------------------------
C
C       Initial value of aam:
C 起始水平擴散項之值，預設值 500
C
      aam_init=500.e0
C
C       End of input of constants
&end
```

以上為 *namelist.pom* 設定之說明。而 *namelist.pom* 設定中，除了 dte 與 isplit 兩個參數必須隨著計算方案的不同進行更改之外，在本計畫中並未進行大幅修改。

而執行 *pom.exe* 程式時，程式需 *pomin.nc* 與 *namelist.pom* 進行計算，在非成批處理模式情況下請將 *pomin.nc* 資料檔連結至計算方案主目錄 project 中。在一般的情況下 *pomin.nc* 會經由 *prepom.exe* 程式自動輸出後放置於計算方案之 **inp** 目錄中，使用者只需進行連結方式將資料檔連結至計算方案主目錄。可在命令模式下輸入，

> ln -f -s ./inp/pomin.nc pomin.nc

則會將 **inp** 目錄中之 *pomin.nc* 利用捷徑(連結)的方式連接到計算方案主目錄。而 *pom.exe* 放置於計算方案中 **bin** 目錄中，如欲單獨執行 *pom.exe* 程式，則在計算方案主目錄中輸入下列指令：

> *./bin/pom.exe* > *pom.prn*

則會依照相關設定進行 *pom2k.exe* 的執行。模式執行後會輸出 *pom.prn* 與 *hotfile.nc* 與 *pom.nc* 等檔案。*pom.prn* 為程式輸出於螢幕的資訊，*hotfile.nc* 檔案為程式執行完成後所留存的重新啟動資料檔，若程式啟動時若有 *restart.nc*(由 *hotfile.nc* 更名)存放於計算目錄中則 *pom.exe* 程式會自動讀入，使用者不須設定。而 *pom.nc* 檔案為模式輸出的 NetCDF 資料檔案，其中包含各種變量資料，可供使用者進行分析所需。

3. 後置處理程式

後置處理程式處理由 IHMT-POM 模式所輸出的 NetCDF 格式之工具程式，包括 *ncread.exe* 與 *ncmean.exe* 兩程式。首先說明 *ncread.exe* 程式主要目的為將NetCDF格式轉換為文字檔格式以方便使用者進行其他後置的處理，該程式需要命令資料檔進行輸入，而其檔案為 Fortran 程式語言之 namelist 格式撰寫，其說明如下：

```
# ncread.nml 檔案說明
#
# CGRID 段落為描述之 IHMT-POM 模式之 NetCDF 格式輸出檔案資訊
# NCFILE 為檔案名稱
# TSKIP 為讀取時間間距
# IDATE 為起始時間，格式為 YYYYMMDDHH
# TOFST 為平移時間，可用於 UTC 時間與臺灣時間之轉換
# OUT3D 為 3D 變量輸出選擇，其值為.TRUE.表示輸出三維變量
#
&CGRID
 NCFILE = 'pom2k.nc',
 TSKIP = 1,
 IDATE = '1995120100',
 TOFST = 0,
 OUT3D = .FALSE.,
&END
#
# SITE 段落為單點測站輸出，程式會自動找尋最靠近測站座標的格網點輸出資訊
# SITENO 測站點數，如設定為 0 表示不輸出
# SITEX 為測站 x 方向座標，請依序測站排列
# SITEY 為測站 y 方向座標，請依序測站排列
# SITEN 為測站名稱，請依序測站排列，可自由輸入字串表示該測站，程式會依該測站
#名稱作為檔名輸出
#
&SITE
  SITENO = 4
```

```
   SITEX =   121.40   120.85   120.25   120.07
   SITEY =   25.40    24.75    23.90    23.21
   SITEN =    11       12       13       14
&END
#
# S2LEVEL 為垂直方向座標變換選項，會將 sigma 座標變量內插輸出於 z 座標上
# NLEV 為 z 座標層數，如設定為零表示不使用
# LEVELS 為水深值，單位為公尺
#
&S2LEVEL
 NLEV = 25
 LEVELS =  20.0,    30.0,    40.0,    50.0,    60.0,
           70.0,    80.0,    90.0,    100.0,   110.0,
           120.0,   130.0,   140.0,   150.0,   160.0,
           170.0,   180.0,   190.0,   200.0,   210.0,
           220.0,   230.0,   240.0,   250.0,   260.0,
&END
#
# NESTOUT 為巢狀格網輸出選項，可利用該選項輸出子格網的流速與水位邊界條件
# NGRID 為子格網地形格網，與母網格使用相同格式
# IM 為子格網 x 方向格網點數
# JM 為子格網 y 方向格網點數
# KB 為子格網 z 方向格網點數
# IUA 表示是否輸出流速邊界，1 表示輸出，0 表示不輸出
# DELT 表示輸出時間間距，單位為天
# NGFILE 為輸出之邊界檔名
#
&NESTOUT
 NGRID = 'topo.inp'
 IM = 201,
 JM = 201,
 KB = 16,
 IUA = 1,
 DELT = 31,
 NGFILE = 'nested.inp',
&END
```

則執行時請於命令模式下輸入，

> *ncread.exe* < *ncread.nml*

則會依照 *ncread.nml* 檔中的設定將 *pom2k.nc* 檔案轉換為 Tecplot 格式之文字檔，使用者可依照需求進行分析與繪圖。而 *ncmean.exe* 程式目的為進行計算 NetCDF 資料格式中所有與時間變量有關的變數，將其平均進行輸出。該程式利用命令方式即可使用並不需要任何命令資料檔，請於命令模式下輸入，

> *ncmean.exe -Ipom2k.exe -Opom2k.mean.exe*

其中-I 參數後為輸入之資料檔名，-O 參數後為輸出檔名。

4. 命令腳本

命令腳本為進行作業化系統所開發，其利用 Linux 作業系統中 shell script 與工具程式所撰寫，其放置於安裝目錄 **bin** 子目錄中，其中成批模擬之 *runpom.sh* 腳本使用方式是在命令模式下進行操作。而 *runpom.sh* 命令腳本使用方式如下，

> *runpom.sh project 2001 1 2001 2 4 mother-nested-project*

其中 *project* 為欲進行之計算方案名稱，*2001 1 2001 2* 為計算起始與結束時間，其代表由 2001 年 1 月 1 日開始計算至 2001 年 2 月 28 日為止，4 表示分割數，由於格網數增加會導致輸出入檔超過 4GB 大小，造成處理上的不便，故 4 即表示將每個月份分割成 4 等份的時間進行計算，*mother-nested- project* 為母領域計算方案名稱，其表示 *project* 計算方案為 *mother-nested-project* 計算方案之子領域，需要由 *mother-nested-project* 提供邊界條件，而子領域計算方案名稱為選擇性參數，可選擇性輸入。在成批模擬時，由於 *runpom.sh* 命令腳本需要一樣本命令資料檔進行作業，在 *createproj.sh* 時會於計算方案目錄中 **inp** 子目錄下建立 *project.copy* 檔案，其內容如下：

```
#
# 計算起始時間，請設定為 SSSSSSSS.SSSSSS
# START TIME (YYYYMMDD.HHMMSS)
#
SSSSSSSS.SSSSSS
#
# 計算模擬時間，請設定為 DD.D
# SIMULATING DURATION (DAYS)
#
DD.D
#
# MESH DEFINITION (X0 Y0 DX IM JM KB ICORD ANGLE)
#
115.0   15.0   0.05   301   301   21   1   0.0
#
# TOPOGRAPHY (INPUT_DATASET   OUTPUT_FILENAME   SLMAX)
#
ETOPO2.nc   topo.inp   2.0
#
# ETA (INPUT_DATASET    OUTPUT_FILENAME   TIME_INTERVAL)
#
```

```
nao99b  eta.inp    0.041666
#
# SLP   (INPUT_DATASET   OUTPUT_FILENAME   TIME_DURATION)
#
ncep_reanalysis_4xday   slp.inp   0.25
#
# WIND (INPUT_DATASET   OUTPUT_FILENAME   TIME_DURATION)
#
ncep_reanalysis_4xday   wind.inp   0.25
#
# SST DATA (INPUT_DATASET   OUTPUT_FILENAME   TIME_DURATION)
#
noaa_oisst_mon   sst.inp   7.0
#
# STATE
# (SALINITY_DATASET   TEMPERATURE_DATASET OUTPUT_FILENAME)
#
s00an1   t00an1   state.inp
#
# INIT (INPUT_DATASET   OUTPUT_FILENAME)
#
none   init.inp
#
# NEST (INPUT_NC   IUA   I3D   IHALO)
#
pom.nested.nc   1   1   10
#
# SURFACE FLUX DATA (INPUT_DATASET   OUTPUT   TIME_DURATION)
#
none   sflx.inp   0.0
#
# END OF CONFIG
#
```

該檔案內容與執行 *prepom.exe* 程式所需之檔案設定相同，但起始時間與計算模擬時間需以 SSSSSSSS.SSSSSS 與 DD.D 字串代替，成批執行命令腳本會自動找尋該字串進行代換。如輸入以上指令模式會自動進行檔案的處理，模擬完成後，在計算方案主目錄下可發現，如 *pom.20010101.nc* 等以日為最小時間單位之模擬結果。

四、繪圖與分析程式

本計畫書內大部分的圖形都是透過 NCL (NCAR Command Language)繪圖程式進行繪製，其為一命令解譯式科學資料分析與可視畫軟體，該軟體亦是自由軟體，其支援 NetCDF3/4、GRIB1/2、

HDF-SDS、HDF4-EOS、binary、ascii 等資料格式，該軟體並包含許多內建函數可供使用者分析資料，且具高品質圖形輸出與眾多圖形元素可供使用者調整，使該軟體常用於海洋與大氣學界中。

而為了本計畫所建立的 NCL 繪圖命令腳本皆放置於 IHMTpom 目錄中之 NCLscripts 目錄，其執行方式可由命令列中輸入：

> *ncl ncl_script.ncl*

如此可以繪製出相對應的圖形，此一部分命令腳檔將於計畫成果轉移與技術移轉時送交於港研中心。而 NCLscripts 目錄中之 NCL 繪圖命令腳本與報告中相對應的圖形如附表 1 中所述，使用者可以選擇相對應的命令腳本來進行圖形的繪製，而 NCL 命令腳本中的內容亦可以參考命令腳本中的說明自行調整。

附表 1　NCL 命令腳本與圖形對照表

NCL 命令腳本名稱	報告中之圖號
pom_pltHeight_t3_2d_vel_serial.ncl *pom_pltHeight_t3_3d_vel_serial.ncl* *pom_pltHeight_t3_tide_diff_ad.ncl*	圖 4-8
pom_pltHeight_T-SW_KH_at0m.ncl *pom_pltHeight_T-SW_KH_at100m.ncl*	圖 5-7
pom_pltHeight_T-N_KL.ncl *pom_pltHeight_T-N_TP.ncl*	圖 5-14
pom_pltHeight_T-E_at0m.ncll *pom_pltHeight_T-E_at200m.ncl*	圖 5-21
pom_pltHeight_T-W_summer.ncl *pom_pltHeight_T-W_winter.ncl*	圖 5-25

附錄二　期末簡報

「臺灣各國際商港海域綜合洋流與潮流效應之海流數值模擬」- 期末簡報

計畫主持人：廖建明 國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心 副研究員

協同主持人：許泰文 國立成功大學水利及海洋工程學系 教授
楊文昌 國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心 研究員

兼任助理：蔡原祥 劉紹勇 楊文榮 曾瓊蓉 胡智凱
國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心

摘要

本計畫針對台灣鄰近海域特殊的海峽與陸架坡地形，透過美國普林斯頓大學海洋模式(Princeton Ocean Model，POM)，建置台灣海域洋流模擬系統，主要工作項目為延續前兩年計畫成果，針對基隆、台北、台中、高雄、安平、花蓮及蘇澳等商港海域，建構足以描述各商港海域海流變動特性之三維流場，利用MPI平行計算與正交曲線座標方式改善POM模式計算效率與增加未來擴充性。透過模式模擬分析洋流與潮流成分變動特性與綜合效應，並利用實測數據進行模式驗證，改善模式合理性與模擬精度。

預定進度甘特圖

工作項目	第1月	第2月	第3月	第4月	第5月	第6月	第7月	第8月				備註
相關資料收集與分析												
改善 POM 海洋模式模擬系統		※										
各商港海域模擬範圍與格網之調整												
模式邊界條件之調整												
以實測資料進行模式驗證					※							
期中簡報												
整理分析各商港海域海流特性							※					
報告與模式操作手冊之撰寫												
技術轉移												
期末簡報												
繳交正式報告及辦理結案												
工作進度估計百分比(累積數)	10	20	30	40	50	70	80	100				
預定查核點	第1季：資料收集與改善 POM 海洋數值模式模擬系統											
	第2季：驗證模式與參數校驗											
	第3季：整理分析各商港海域海流特性、手冊與報告撰寫											

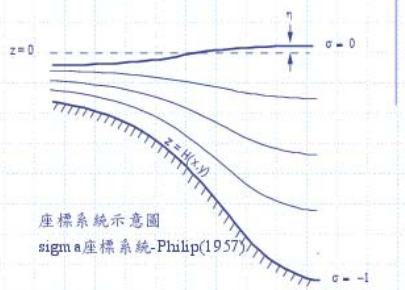
POM模式之控制方程式

- 溫度狀態方程式

$$\frac{\partial \theta D}{\partial t^*}+\frac{\partial U\theta D}{\partial x^*}+\frac{\partial V\theta D}{\partial y^*}+\frac{\partial \dot{\theta}\omega}{\partial \sigma}=\frac{\partial}{\partial \sigma}\left[\frac{K_H}{D}\frac{\partial \theta}{\partial \sigma}\right]+DF_\theta$$

- 鹽度狀態方程式

$$\frac{\partial SD}{\partial t^*}+\frac{\partial USD}{\partial x^*}+\frac{\partial VSD}{\partial y^*}+\frac{\partial S\omega}{\partial \sigma}=\frac{\partial}{\partial \sigma}\left[\frac{K_H}{D}\frac{\partial S}{\partial \sigma}\right]+DF_S$$



座標系統示意圖
sigma座標系統-Philip(1957)

- 紊流方程式

$$\frac{\partial q^2 D}{\partial t^*}+\frac{\partial q^2 UD}{\partial x^*}+\frac{\partial q^2 VD}{\partial y^*}+\frac{\partial q^2 \omega}{\partial \sigma}=\frac{\partial}{\partial \sigma}\left(\frac{K_q}{D}\frac{\partial q^2}{\partial \sigma}\right)+\frac{2K_M}{D}\left[\left(\frac{\partial U}{\partial \sigma}\right)^2+\left(\frac{\partial V}{\partial \sigma}\right)^2\right]+\frac{2g}{\rho_o}K_H\frac{\partial \rho}{\partial \sigma}-\frac{2q^3 D}{B_1 l}+DF_q$$

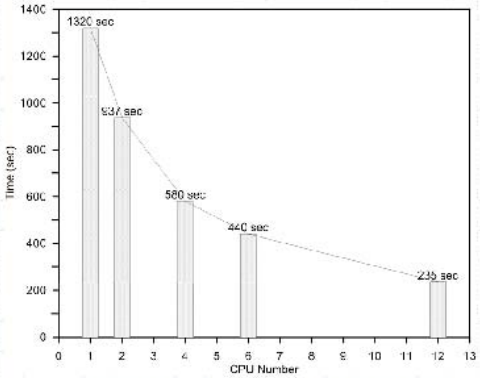
$$\frac{\partial q^2 lD}{\partial t^*}+\frac{\partial q^2 lUD}{\partial x^*}+\frac{\partial q^2 lVD}{\partial y^*}+\frac{\partial q^2 l\omega}{\partial \sigma}=\frac{\partial}{\partial \sigma}\left[\frac{K_q}{D}\frac{\partial (q^2 l)}{\partial \sigma}\right]+\frac{E_1 l}{D}\left\{K_M\left[\left(\frac{\partial U}{\partial \sigma}\right)^2+\left(\frac{\partial V}{\partial \sigma}\right)^2\right]\right\}+E_3\frac{g}{\rho_o}K_H\frac{\partial \rho}{\partial \sigma}-\frac{q^3 D}{B_1}W+DF$$

平行化POM模式

- 利用MPI (Message Passing Interface) 程式庫進行POM模式平行化計算，可大幅改善計算效率，增加未來擴充性。



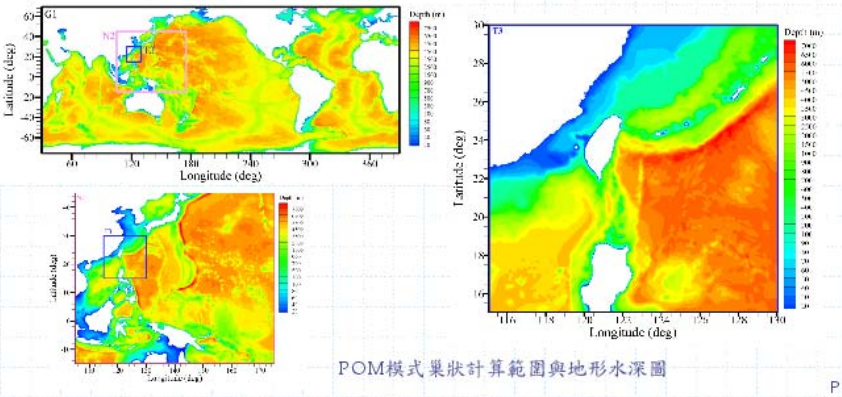
ALPS cluster, NCHC 叢集計算主機示意圖



計算格點201x442x21之三維POM模式利用不同數量計算核心計算1天所需時間比較圖

台灣海域洋流模擬-模式設定

模式	模式範圍	解析度(deg)	計算時距(sec)
G1	180E~180W, 70N~75S	1/4	30
N2	105E~175E, 15S~45N	1/10	10
T3	115E~130E, 15N~30N	1/32	3



POM模式巢狀計算範圍與地形水深圖

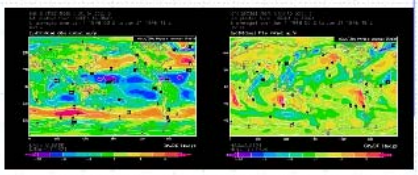
台灣海域洋流模式計算背景資料(1/2)

模式	地形水深	海面風場	海面溫度	計算時間	計算時間(註)	巢狀邊界更新時間
G1	ETOPO1	NCEP/NCAR Reanalysis 1, 每六小時	NOAA OI SST, 週平均	1986/01/01~ 2010/12/31	210 min	無
N2	ETOPO1	NCEP/NCAR Reanalysis 1, 每六小時	NOAA OI SST, 週平均	2008/01/01~ 2010/12/31	66 min	日平均
T3	ETOPO1	NCEP/NCAR Reanalysis 1, 每六小時	NOAA OI SST, 週平均	2008/01/01~ 2010/12/31	65 min	日平均

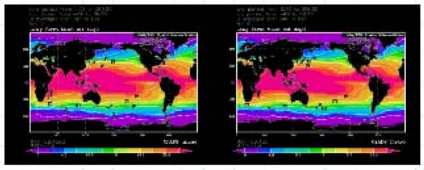
註：以雙六核心Intel Xeon 3.3GHz電腦於SUSE Enterprise 11 Server上執行，利用MPI進行POM模式平行化，使用12個核心計算模擬一個月所需之時間。

台灣海域洋流模式計算背景資料(2/2)

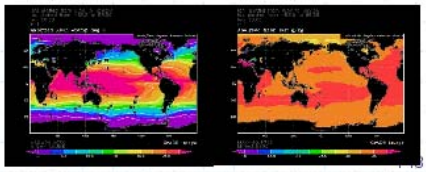
- 海面風場、大氣壓力場
  - NCEP/NCAR Reanalysis 1



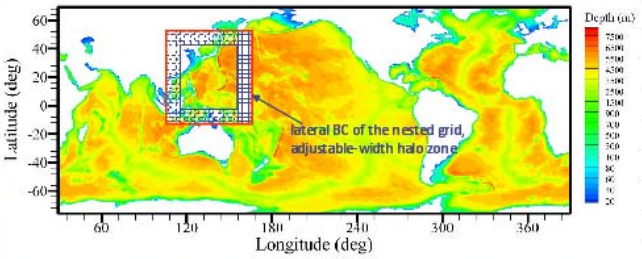
- 海面溫度
  - NOAA OI SST



- 海洋鹽溫度
  - World Ocean Atlas 2005 (NODC)



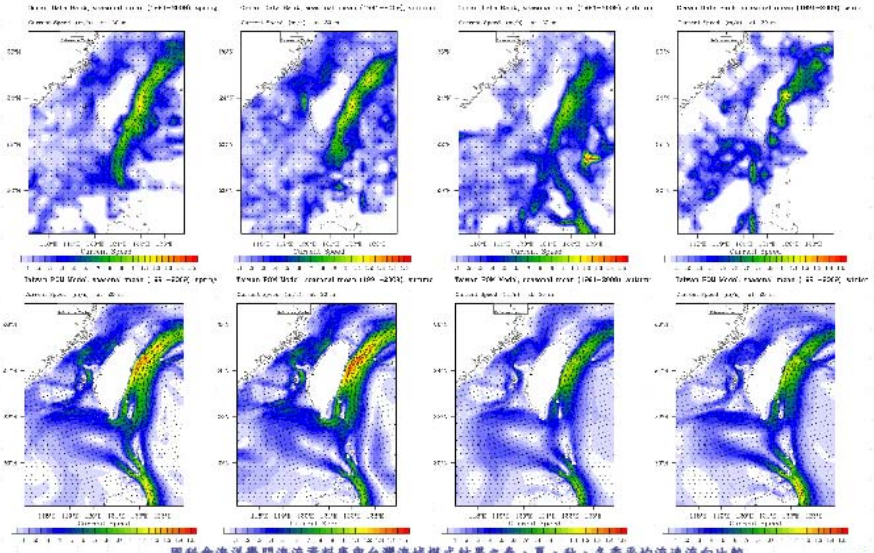
巢狀格網之邊界條件



- lateral BC of nested grids
  - at the boundary $\overline{U}_n = \overline{U}_n^0 + \sqrt{\frac{g}{H}}\left(\eta - \eta^0\right)$ 上標0表示上層模式於下層邊界處之內插值 $\overline{U}_n$ 為邊界之法線方向流速 η 為水位
  - in the halo zone $(U,V,T,S)_i = (U,V,T,S)_i + \left[1 - \tanh\left(4\frac{\Delta x_i}{L}\right)\right]\left[(U,V,T,S)_i^0 - (U,V,T,S)_i\right]$

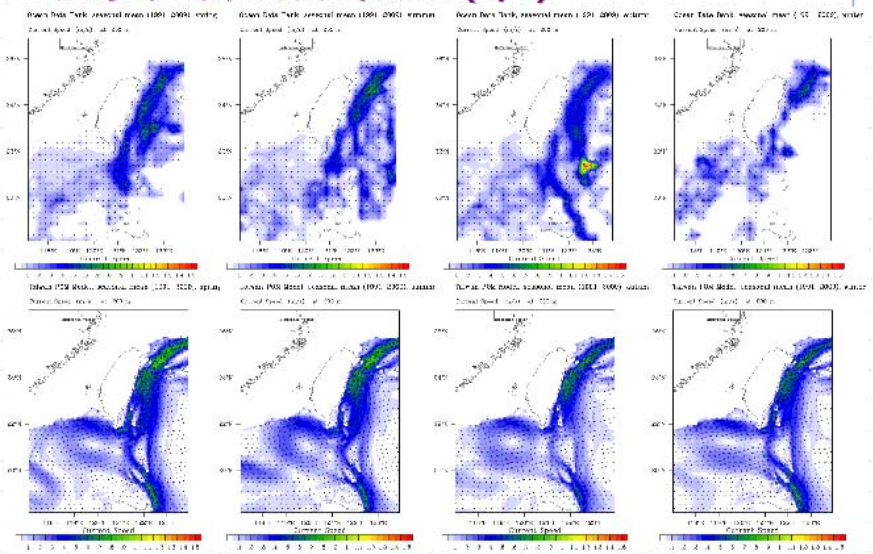
下標i表示據邊界格網第i點處之值

台灣海域洋流模式驗證 (1/3)



國科會海洋學門海流資料庫與台灣海域模式結果之春、夏、秋、冬季平均流速流向比較
(上側：資料庫；下側：T3；水深20公尺)

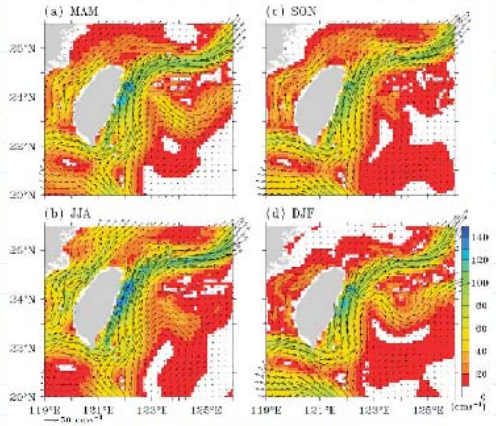
台灣海域洋流模式驗證 (2/3)



圖科會海洋學門海流資料庫與台灣海域模式結果之春、夏、秋、冬季平均流速流向比較
(上側：資料庫；下側：T3；水深200公尺)

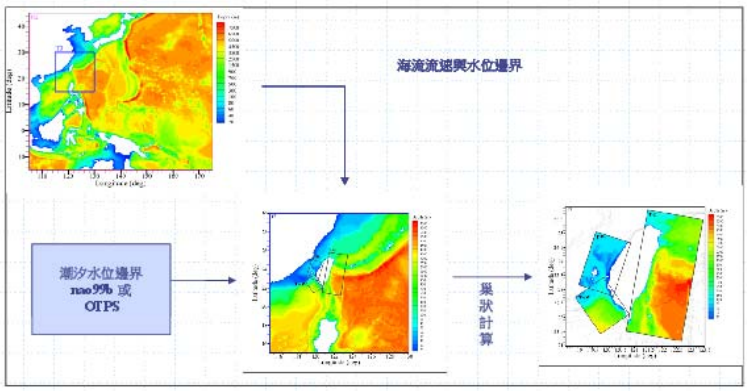
台灣海域洋流模式驗證 (3/3)

- 台灣西南海域之黑潮套流現象：由海流資料庫亦約略可見黑潮套流現象，但其流速值小於模擬結果，其可能原因為：一般而言，黑潮套流常發生於東北季風盛行的冬天，而冬天海象惡劣較不易進行大洋觀測實驗，導致冬季時量測點數的分布不均，造成平均值下之黑潮套流現象較不明顯。



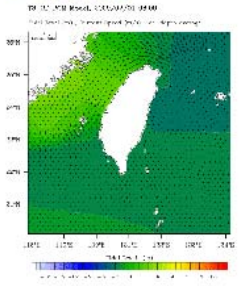
台灣附近海域各季之水深0至200公尺平均流速分布圖(Hsin et al., 2008)

洋流與潮流綜合效應之模擬流程

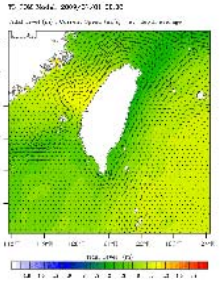


洋流與潮流綜合效應與二維潮流模擬結果

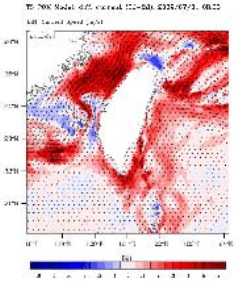
二維潮汐模式



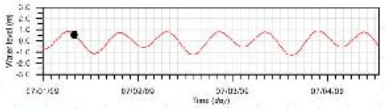
三維洋流與潮流綜合效應模式



兩者流速差距(3D-2D)

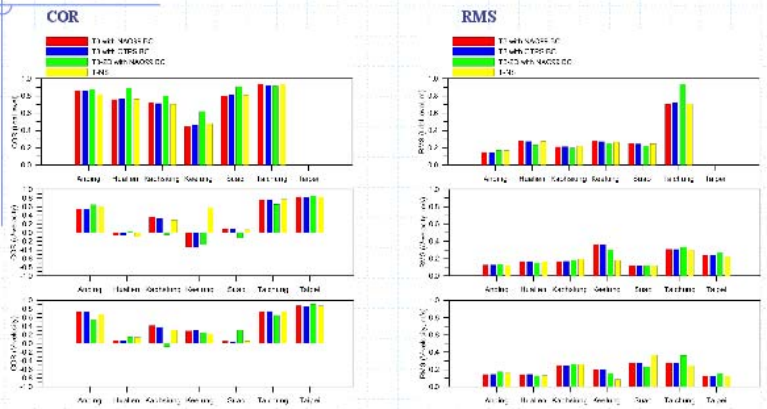


台中海域水位變化時序列



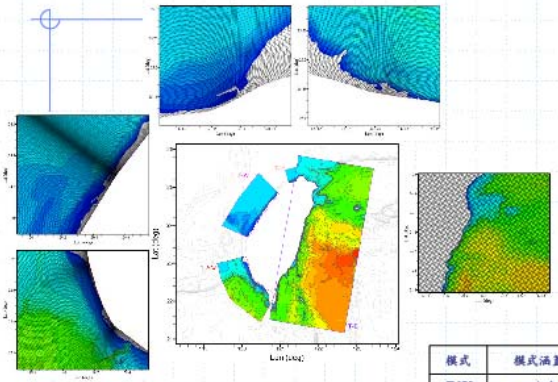
台灣海域之二維潮汐與三維洋流與潮流綜合效應模式之流速流向比較圖(2009/07/01 08:00~2009/07/02 18:00)

各種模擬結果與實測值比較



T3 with NA099 BC ：三維洋流與潮流綜合效應之T3台灣海域模式使用NA099全球潮汐模式邊界條件所模擬結果
T3 with 0 TPS BC ：三維洋流與潮流綜合效應之T3台灣海域模式使用0 TPS全球潮汐模式邊界條件所模擬結果
T3-2D with NA099 BC ：二維潮流T3台灣海域模式使用NA099全球潮汐模式邊界條件所模擬結果
T-NS：T3 with 0 TPS BC模式巢狀台灣近岸海域模式之模擬結果

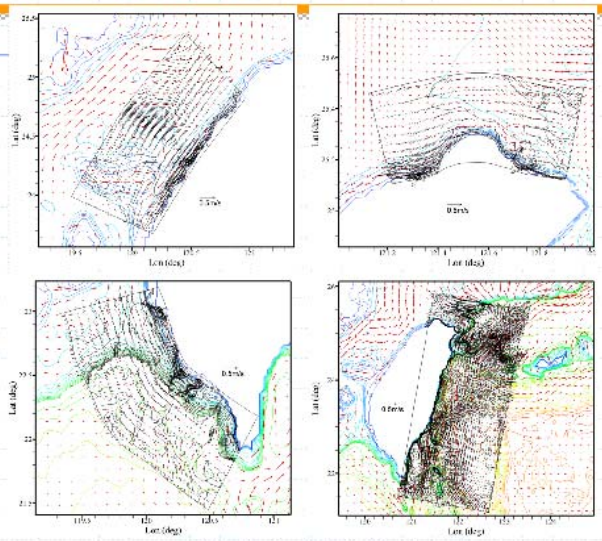
台灣近岸海域模式(1/2)



台灣近岸海域巢狀格網範圍與地形水深圖

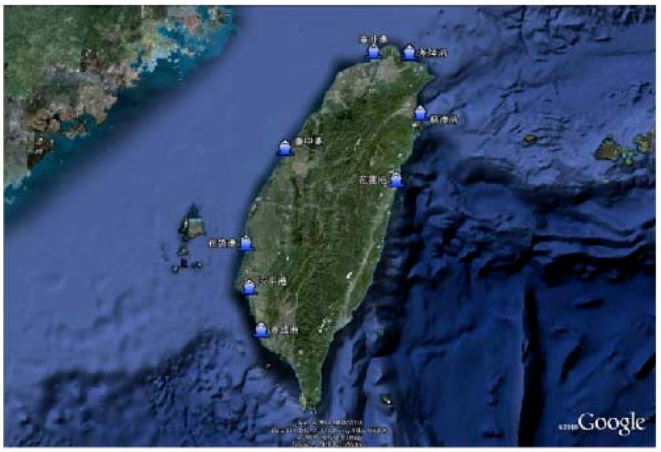
模式	模式涵蓋商港	格網點數	解析度	計算時距
T-W	台中港	359x100x21	1000-130m	0.5 sec
T-SW	高雄港、安平港	297x110x21	1050-130m	0.5 sec
T-N	台北港、基隆港	278x80x21	1000-90m	0.5 sec
T-E	蘇澳港、花蓮港	201x442x21	1000m	1 sec

台灣近岸海域模式(2/2)



巢狀格網之邊界條件校驗

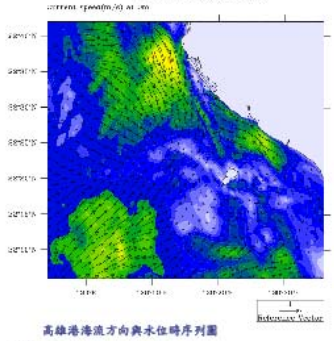
台灣各商港之海氣象觀測資料



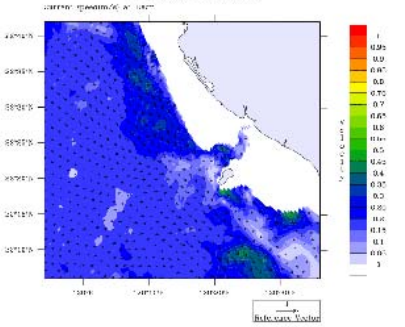
資料來源：港灣研究中心

台灣西南海域模擬結果(1/3)

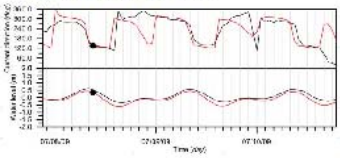
高雄港海域表面海流變化分布圖



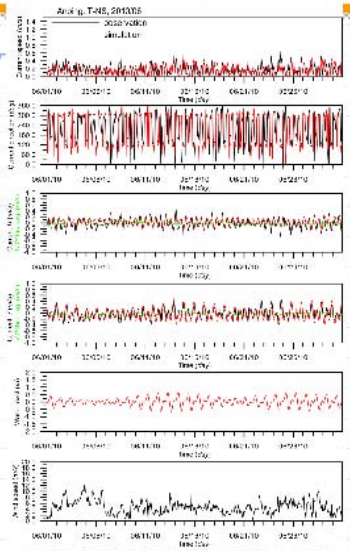
高雄港海域水深100公尺處海流變化分布圖



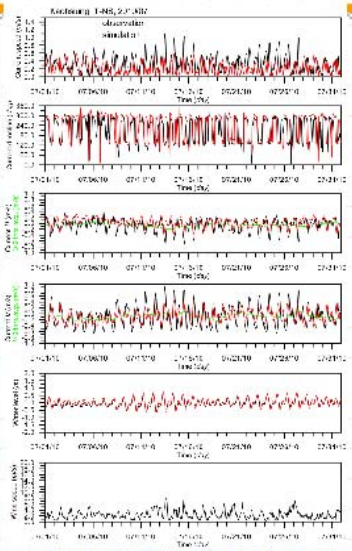
高雄港海流方向與水位時序列圖



台灣西南海域模擬結果(2/3)



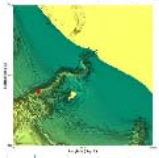
安平港之觀測與T-SW模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010年6月份)



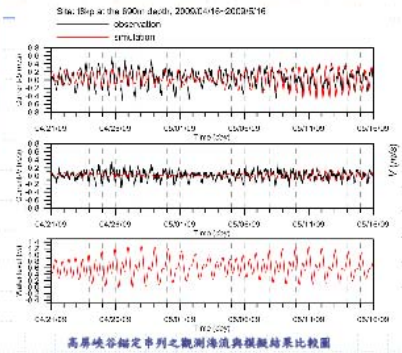
高雄港之觀測與T-SW模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010年7月份)

P.20

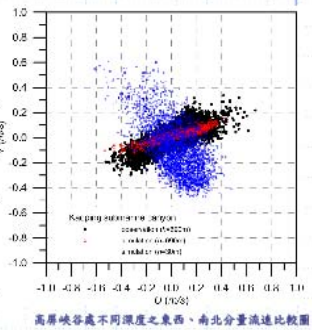
台灣西南海域模擬結果(3/3)



海洋中心錨定串列佈放位置與佈置圖



高屏峽谷錨定串列之觀測海流與模擬結果比較圖

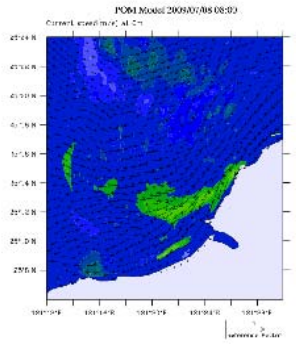


高屏峽谷處不同深度之東西、南北分量流速比較圖

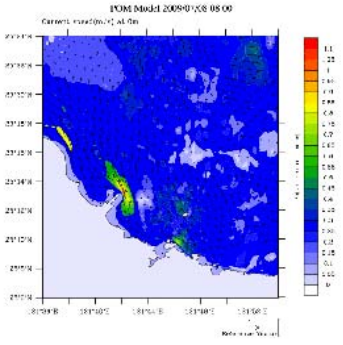
由圖中可知，東西與南北向流速變化趨勢具有合理之一致性，其流向方向與高屏峽谷為東北-西南向一致，且流速大小尺度比較亦有一致性。由不同深度之東西、南北分量流速比較，模擬結果可合理的表現與實測值一致的流向與流速，模式可合理的表現高屏峽谷內之流向為沿著峽谷方向，由圖中藍色點可知，表面流向為沿著海岸線西北-東南走向。

台灣北部海域模擬結果(1/2)

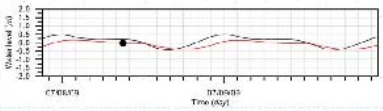
台北港海域表面海流變化分布圖



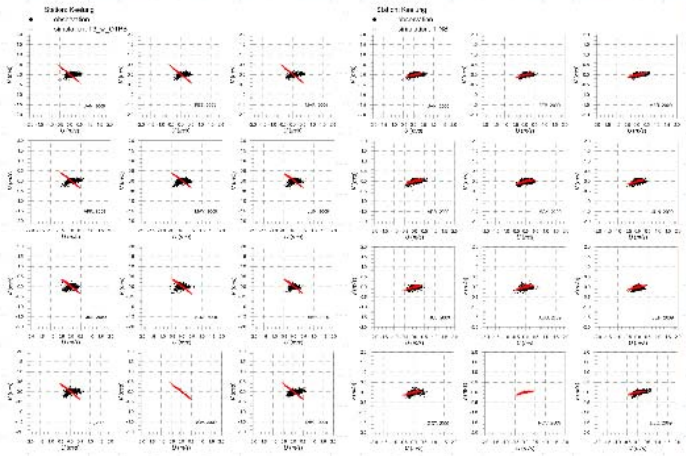
基隆港海域表面海流變化分布圖



基隆港水位時序列圖



台灣北部海域模擬結果(2/2)



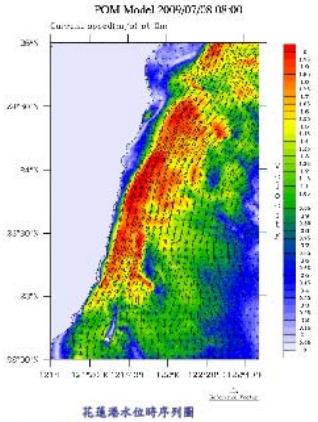


基隆港觀測與模擬結果東西、南北分量流速比較圖 (T3、T-N)

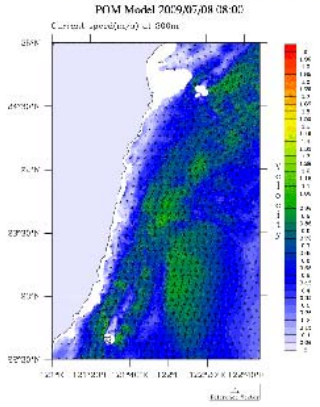
由圖中實測與模擬結果表示基隆港海域海流特性可透過高解析度近岸海域(T-N)合理的模擬，亦解決台灣海域(T3)格網無法合理模擬海流方向之缺點，其顯示基隆港港外海流可能明顯受到外廓防波堤或近岸局部地形之影響，導致其流向明顯為東北-西南向。

台灣東部海域模擬結果(1/2)

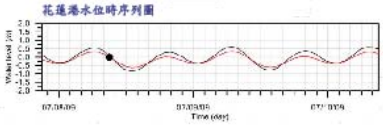
台灣東部海域表面海流變化分布圖



台灣東部海域水深200公尺處海流變化分布圖

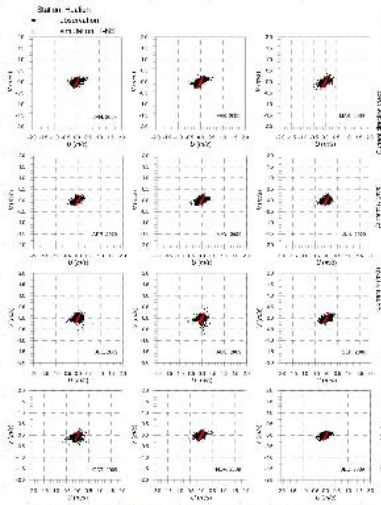


花蓮港水位時序列圖

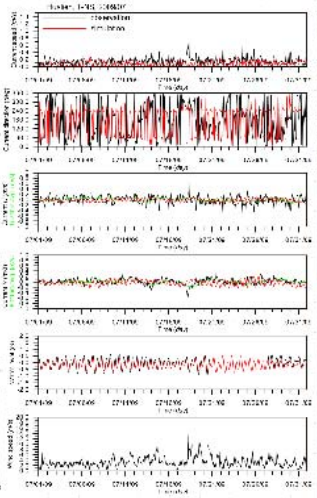


台灣東部海域海流近岸處為海流速度明顯偏小，甚至在宜蘭至花蓮一帶海岸呈現一返流區，綜合實測資料，此處海域應於大潮之漲潮時段流速向南退潮向北，而小潮時段由於潮流成分較小，故導致小潮時段受到黑潮主流外側返流的影響有持續偏向西南流動之現象。

台灣東部海域模擬結果(2/2)



花蓮港觀測與模擬結果東西、南北分量流速比較圖

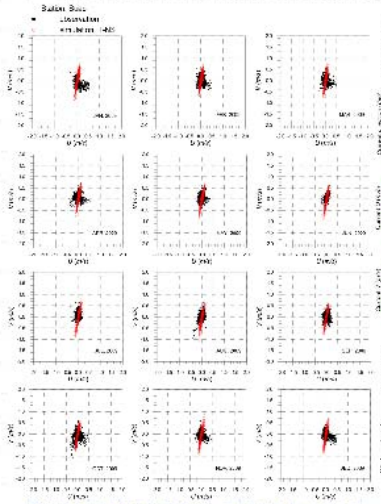


花蓮港之觀測與T-E模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2009年7月份)

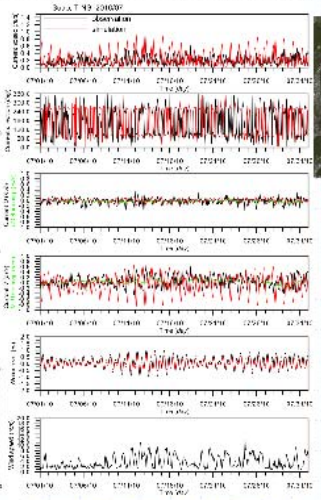


花蓮港海氣象觀測站儀器安裝佈置示意圖(曾等人，2011)

台灣東部海域模擬結果(3/3)



蘇澳港觀測與模擬結果東西、南北分量流速比較圖



蘇澳港之觀測與T-E模式模擬結果於海流、潮位比較圖及觀測風速時序列圖(2010年7月份)

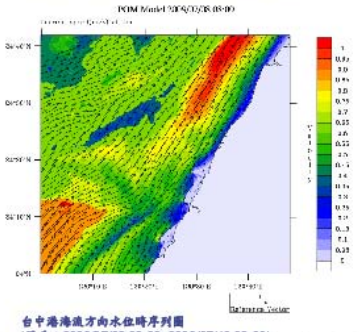


蘇澳港海氣象觀測站儀器安裝佈置示意圖(曾等人，2011)

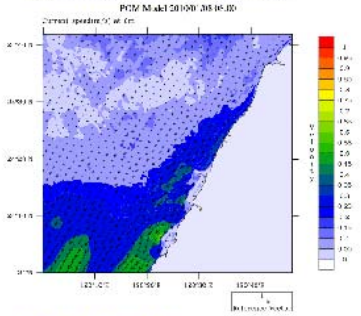
P.26

台灣西部海域模擬結果(1/2)

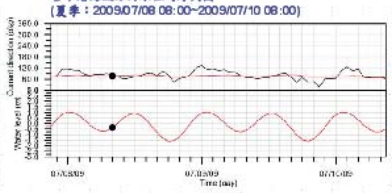
台灣西部海域表面海流變化分布圖(夏季)



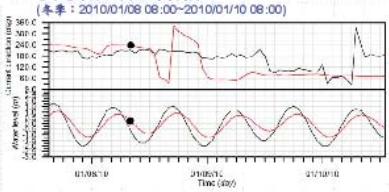
台灣西部海域表面海流變化分布圖(冬季)



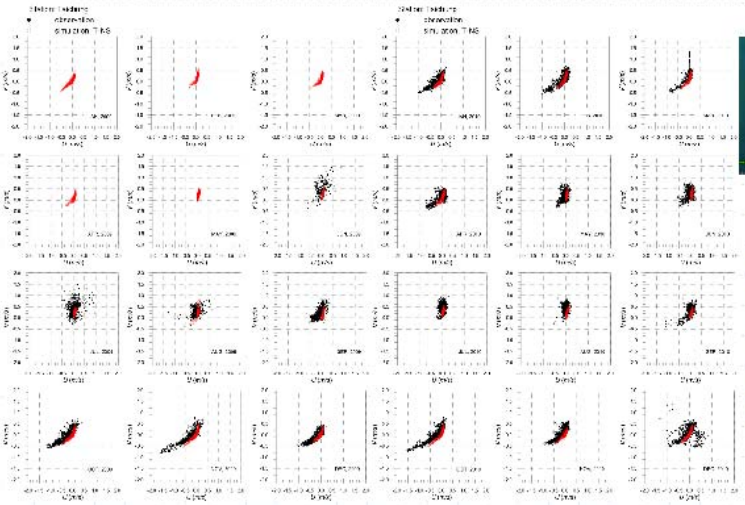
台中港海流方向水位時序列圖
(夏季：2009/07/08 08:00~2009/07/10 08:00)



台中港海流方向水位時序列圖
(冬季：2010/01/08 08:00~2010/01/10 08:00)



台灣西部海域模擬結果(2/2)





於台中港海域海流特性方面，夏季台中港外海流速強勁，黑潮分支繞過雪彰隆起向北流動，於台中海域再度接近近岸處，不論漲退潮段皆持續向北，而冬季港面流速明顯變小，於小潮時段時若東北季風強勁，導致近岸處有沿著海岸線向南流動之明顯現象，且由於台中港北防坡堤之阻擋影響，導致堤頭附近海域流速偏向西南西。

工作項目 (1/2)

1) **改善POM海洋數值模式作業流程與環境。**
2) 引進國內外最新與高解析度之海氣象資料庫應用於台灣海域綜合洋流與潮流效應之海流模擬。
3) **台灣海域綜合洋流與潮流效應之海流模擬、參數調校及水動力特性探討。**
4) 台灣重要商港海域，包括基隆、台北、台中、安平、高雄、花蓮及蘇澳等海域，綜合洋流與潮流效應之計算模擬與驗證、特性探討、成果整理、分析及展示。

工作項目 (2/2)

6) 綜合洋流與潮流效應之海流模擬系統之建立。
7) 針對本計畫研究成果，撰寫並提交前述(1)至(6)項之實際研究應用報告，報告內容並應包含POM模式洋流數值模擬計算之建置、操作、及應用等中文化手冊。
8) 本合作研究所建置之數值模擬系統移轉本所使用，包含系統作業化程式、自由軟體、商業軟體(如有購置)、相關電子檔案文獻、圖表及海氣象資料庫等。

結論(1/3)

- 由台灣海域洋流與潮流綜合效應與二維潮流模擬差距中發現，台灣東北部、東部近岸、澎湖水道等區域為潮流主導海域流速變動，而台灣中西部、西南部海域及東部離岸等海域其洋流成分影響明顯，其應考慮洋流對此些區域海流變動特性之影響。
- 於台灣西南海域高屏峽谷內之潮流流動現象皆沿著峽谷方向流動，其與表面潮流沿著海岸線流動有明顯差異，由此可見西南海域由於洋流、潮流互相交互作用，又有高屏峽谷內潮流流動之特殊現象，造成此處海域流動現象複雜。

P.31

臺灣各國際商港海域綜合洋流與潮流效應之海流數值模擬

結論(2/3)

- 於基隆港海域海流特性方面，退潮時段基隆港外海受到野柳龜頭山阻擋退潮海流，在萬里一帶海域形成依順時針渦流，而基隆港港外位於渦流邊緣恰好與外海東南退潮流向相反，呈西南走向，此外於海岸突出之基隆嶼亦形成此處海流偏東北-西南走向之主要原因。
- 於台灣東部花蓮與蘇澳港海域海流特性方面，近岸處為海流速度明顯偏小，甚至在宜蘭至花蓮一帶海岸呈現一返流區，綜合實測資料，此處海域應於大潮之漲潮時段流速向南退潮向北，而小潮時段由於潮流成分較小，故導致小潮時段受到黑潮主流外側返流的影響有持續偏向西南流動之現象。

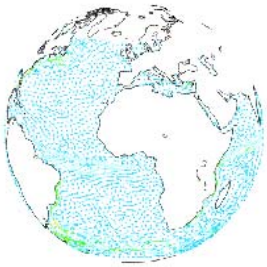
P.32

結論(3/3)

- 於台中港海域海流特性方面，夏季台中港外海流速強勁，黑潮分支繞過雲彰隆起向北流動，於台中海域再度接近近岸處，不論漲退潮段皆持續向北。而冬季海面流速明顯變小，於小潮時段時若東北季風強勁，導致近岸處有沿著海岸線向南流動之明顯現象，且由於台中港北防坡堤之阻擋影響，導致堤頭附近海域流速偏向西南西。
- 由各商港海流觀測資料看來，除了台中港觀測資料有夏季向南冬季向北之恆流現象出現之外，其餘花蓮、蘇澳、基隆、台北、安平及高雄平均流速流向皆趨近零，表示這些海域海流特性仍以潮流現象為主。

臺灣各國際商港海域綜合洋流與潮流效應之海流數值模擬

簡報完畢，敬請指教



附錄三　期中報告審查意見處理情形表

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：臺灣各國際商港海域綜合洋流與潮流效應之海流數值模擬
計畫編號：MOTC-IOT-100-H3DB004a
執行單位：財團法人國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心

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
林銘崇 委員	意見答覆	
1. 計算成果豐富，數值模式計算技巧純熟。	1. 感謝委員對本計畫成果的肯定。	1. 肯定
2. 本文洋流與潮流共同效應係以邊界條件給定予以反應，實際應用時實測資料居關鍵性。	2. 模式所計算出之洋流與潮流效應係以反應所給定於模式所產生之效應，利用實測資料來進行模式驗證亦可討論此種模擬方式是否合理。	2. 同意說明
3. 巢狀網格處理時，在 halo zone 針對流速、溫鹽之側向邊界以同一函數型態處理，其設定考量為何？	3. 巢狀網格計算時所使用之 halo zone 於本計畫中並未考慮不同物理量之而有不同之處理方式，未來可透過更多測試探討不同物理量是否有最佳函數來處理過渡區之邊界條件給定方式。	3. 同意處理說明
4. 模擬結果與觀測值比較係以潮流效應為主，建議試圖增加海流之可能影響性。	4. 99 年度「臺灣東部海域洋流模擬及深層海水水溫水質月季變動特性探討」計畫已探討本計畫所建置之洋流模擬合理性，期末報告將加強說明近岸海域洋流分量特性之探討。	4. 同意處理說明
蔡清標 委員	意見答覆	
1. 本研究旨在綜合洋流與潮流效應之海流數值模擬，則臺灣海域潮汐水位邊界條件的設定應為重要因子，建議能有較嚴謹的說明。	1. 期末報告內已加強說明潮流邊界條件之設定方式。	1. 處理說明確認
2. 圖 4-5 臺灣海域之年平均流速及流向，模擬結果在臺灣東南方，呂宋島北方，有明顯的套流（loop current）現象，但國	2. 國科會海洋學門海流資料庫為船測資料，其量測資料之時間與空間分布並不均勻，導致可能無法解析黑潮於台灣西南海岸之套流	2. 同意並確認處理說明

科會資料庫卻無，請檢討之。	現象，期末報告亦增列 Hsin 等人之數值模式結果加以佐證。	
3. 目前已知臺中港恒流常影響操船，但圖 5-10，臺中港海流流速之模擬結果與觀測值誤差頗大，應再詳加檢討並謀求改進。圖 5-9、圖 5-10 分別為高雄港及臺中港，文中有誤，請修正。而其他港之流速分佈，大小趨勢與實測值大致上不太一樣。	3. 由於模式格網為 1 公里左右解析度，可能無法模擬台中港受局部地形影響之海流現象，期末報告利用高解析度模擬方式可改善近岸海域綜合潮流與洋流效應之海流模擬。另，文中圖號誤植之處將於期末報告中修正。	3. 同意處理說明
4. 各港之測量位置可能受結構物影響，數模網格之精度是否能反應出？	4. 同上題回覆，期中報告中之模式格網尚無法呈現量測位置受結構物影響之效應。	4. 同意說明
5. 各港之洋、潮流影響建議可嚐試考慮傳統之橢圓圖分析之。	5. 為了解析潮流與洋流成分效應，已於期末報告中增加潮汐橢圓之分析。	5. 同意並確認處理說明
張國棟 委員	意見答覆	
1. 本研究為多年期計畫，第一章之工作項目與預期成果建議分別列出全程及本年度工作項目與預期成果，較易瞭解本年度執行情況。	1. 本研究在港研中心內為多年期計畫，但承辦單位則為一年一期之研究計畫，期末報告加強說明本研究之源起與分年目標。	1. 同意處理說明
2. 計算區域選擇 T-E、T-W 及 T-SW 三區域，使用旋轉座標，雖在計算資源稱有節省，但實際模式計算之連續性與接合性，需經較嚴謹之確認較佳。	2. 旋轉座標功能在期中報告中已初步驗證，如比較圖 4-7 與圖 5-5 之海流流向與速度分布之一致性與連續性，期末報告增列圖表方式加強說明旋轉座標之連續性與接合性。	2. 同意並確認處理說明
3. 細項計算區域之網格為 2 KM 及 1 KM，欲與實測數據比對，可能有相當大的誤差，尤其實測位置均在港口附近，海流具有局部的特性，建議未來針對測站附近能有較高解析度(100 公尺以內)的計算條件，較有可能獲致模式與實測適當的比較。	3. 誠如委員所述，期中報告中模式格網解析度無法呈現港口附近之海流局部特性，期末報告已提高解析度方式來驗證模式之合理性。	3. 同意並確認處理說明
4. 模式預測與實測之比較，可能以 RMS 及 COR 較有代表性，平均值及流連分量比較高僅	4. 模式與實測值之比較以 RMS 與 COR 參數可適當表示兩者之間差距與關係，而平均值則可做為該時序列資料統計特性之參考。	4. 同意並確認處理說明

能得知平均趨勢，但與當時之流場可能有較大的出入。		
5. T3 模式之邊界條件在 P.4-12 說明未盡詳細，建議能進一步說明。	5. 關於 T3 模式之潮流與洋流綜合效應之邊界條件設定方式，於期末報告中加強說明。	5. 同意並確認處理說明
毛正氣 委員	意見答覆	
1. 依 P.1-1 研究計畫動機及 P.1-6 至 P.1-7 工作項目說明為本研究今年度工作內容為建置各國際商港洋流與潮流模擬模式、分析及驗證，P.1-7 內預期成果第 6 至 8 項與 P.1-8 預期效益內容是否恰當，請再考慮。	1. P.1-7 中預期成果之第 6 至 8 項為本計畫應用之可能預期成果，亦是港研中心提出本研究所希望達成之成果，已與主辦單位討論後修正適當之預期成果與目標。	1. 同意並確認處理說明
2. P.5-4 內圖 5-4 中水位僅有觀測值，無模擬值，請修正。	2. 感謝委員指正，圖 5-4 中水位時序列資料為模擬結果，實測資料之錨定串列並未量測水位變化，已修正錯誤說明與圖說。	2. 同意並確認處理說明
3. P.5-6 內有關基隆港觀測與模擬流向差異，分析為可能受到外防波堤或近岸局部地形影響，建議期末報告中作更詳細分析說明。	3. 期末報告已使用縮小範圍提高解析度方式，模擬局部區域之海流特性，提出更詳細分析之說明。	3. 同意並確認處理說明
4. P.5-6 內高雄港之觀測與模擬結果說明應為圖 5-9；P.5-7 內臺中港之觀測與模擬結果說明應為圖 5-10。	4. 相關圖幅編號錯誤之處，已於期末報告中修正。	4. 同意並確認處理說明
5. P.5-10 至 5-15 內圖 5-5 中模式範圍內臺灣建議不要使用藍色，否則易與預測水位色階造成混淆，請修正。	5. 水位色階表示的確會造成讀者誤判，已修正繪圖方式，將陸地區域以白色標示。	5. 同意並確認處理說明
6. P.5-64 至 P.5-75 內圖中流向建議修正為 0 至 360 度，而非 0 至 300 度。	6. 感謝委員指正，圖中縱軸座標將修正為 0 至 360 度。	6. 同意並確認處理說明
7. P.6-1 結論第 4 項，說明五大商港之流向模擬與觀測資料有較佳之合理性，但依 P.5-6 內基隆港模擬結果說明模擬及觀測流向有明顯不一致，請說明。	7. 基隆港模擬結果說明，由於模式格網解析度無法模擬局部區域之海流特性，造成模擬結果與實測結果之明顯差距，已於期末報告中透過提高解析度來嘗試改善模擬結果之合理性。	7. 同意並確認處理說明

8. 模式模擬結果與觀測資料大致有一定合理性，且工作進度符合規劃，值得肯定。	8. 感謝委員肯定與指教。	8. 肯定
滕春慈 委員	意見答覆	
1. 計畫有關海流系統的開發具有由大到小的嚴謹方式，同時校驗方式也完整，值得肯定。	1. 感謝委員肯定與指教。	1. 肯定
2. 對計畫第4層模擬範圍仍使用每日平均風場，是否過於簡化大氣的影響力，且圖 5-6~5-10 頻率大的變化完全沒有模擬出，是否應該試圖找出可能理由，否則如何放至日常使用？	2. 第 4 層模擬範圍在期中計畫中仍使用每日平均風場作為驅動力，由於第 4 層模擬為小範圍，受風場影響較小，若考慮防災或更進一步的應用確是需考慮更高解析度風場的輸入。圖 5-6 至 5-10 中黑色實線為實測值每小時變化時序列、紅色與綠色分別表示模擬與實測 24 小時流速平均值，期末報告加強圖說以解析分析趨勢。	2. 同意並確認處理說明
3. 圖 5-11~5-15 除了模擬方向和實際觀測有異外，另外實測散度較模擬為大，請解釋可能原因，以及若系統作業後可能造成的影響。	3. 由於模式格網解析度僅有 1 公里，故無法解析局部海流特性，造成兩者之差距。且實測值可能受現場許多因素影響，亦可能造成某些不確定之觀測值。若日後進行資料同化，亦須進行嚴格之資料品管，以確保合理之模擬。	3. 同意並確認處理說明
4. 本計畫最後主要是以臺灣主要國際港的海潮流模擬，建議 NAO99b 參數調整，主要是以幾個國際商港潮流模擬為主（減少潮汐模擬誤差）。	4. 期中計畫之潮流效應皆由 NAO99b 模式所輸入，期末報告已加入 OTPS 之更高解析度之全球潮汐模式來減少潮汐水位模擬誤差。	4. 同意並確認處理說明
簡仲璟 委員	意見答覆	
1. 各港海流模式之模擬計算結果與實測值之比較，對於風驅流成份如何考量？報告中所述臺灣西部海域應考慮洋流與潮流之綜合效應（第 5-7 頁），但以臺中港之實測海流資料顯示在冬季風驅流的成份很可能大於洋流（如圖 5-10(續)第 5-73 頁）。	1. 由期中報告結果顯示，台中港冬季的確受到冬季季風影響，而呈現向南流動之風驅流現象，由於模式透過風場(解析度 50 公里)輸入可表現出此大範圍長延時之風驅流現象。	1. 同意處理說明

2. 依 2009 年 7 月臺中港之海流實測資料顯示與模擬計算結果有明顯差異（模擬值偏小），其原因建議可再進一步探討。	2. 由於台中港測站可能受到北防波堤嚴重影響，造成此局部海流流速增強效應，由於期中報告中模式解析度僅有 1 公里無法表現此種效應，期末報告模式利用解析度提升後，可合理模擬此一現象。	2. 同意並確認處理說明
3. 表 5-2 至表 5-6 中各港之全年模擬值平均等於零與不等於零其所代表的意義是否與黑潮（恒流）存在有關？	3. 由現有模擬與實測結果分析，除了台中港有明顯恆流存在，其餘花蓮、蘇澳、基隆與高雄之年、季平均流速皆接近為零，表示此四處仍是以潮流現象為主，在本研究中台中港夏季恆流向北現象推測可能為黑潮所造成之現象。	3. 同意處理說明
4. 摘要中所述臺中港觀測資料有夏季向南冬季向北之恒流現象出現，此與以往分析結果顯示恒流向北之結果不同，請再檢視。此外，所稱某些時段內之模擬則具有合理之一致性，究竟是那些時段？	4. 由台中港 2009 年實測資料分析中的確呈現夏季向北冬季向南之現象，期末報告透過更多資料分析來加以說明。另，模擬結果的確在某些時段與實測值呈現合理之一致性，期末報告加強說明此一現象。	4. 同意並確認處理說明
莊文傑 委員	意見答覆	
1. 本研究計畫目前已按規定項目及期程，進展至期中報告成果審核，感謝合作研究單位的鼎力配合；又配合審查需要，本報告表圖均以彩色印刷，大幅提昇報告初稿的可讀性，執行用心，值得肯定。	1. 感謝委員肯定與指教。	1. 肯定
2. 第 1-1 頁第 1.2 節之計畫背景，請多作與本研究相關之文獻回顧與成果評述。	2. 期末報告已加強說明相關文獻回顧。	2. 同意並確認處理說明
3. 第 1-6 頁第 1.3.1 節之工作項目，臺灣各國際商港海域，除了期中報告已探討之基隆、臺中、高雄、蘇澳、花蓮等 5 國際商港外，尚應包括臺北及安平兩商港，請注意資料收集、模擬網格規劃、水動力特性探討及驗證。	3. 台北與安平兩商港於期末告報中增加相關實測資料，亦利用實測資料進行模式驗證與分析。	3. 同意並確認處理說明
4. 在本期中報告中，本研究目前已有一些具體成果及效益，故	4. 依委員建議修正，修正第一章關於本計畫執行所得之具體成果與	4. 同意並確認處理說明

	第 1-7 頁至 1-10 頁之「預期成果」、「預期效益」、「未來應用」、及「預定進度」等用詞，請配合計畫報告書作適當修正，如「預期成果」建請修正為「研究成果」;「預定進度」建請修正為「規定進度」; 期中及期末報告之繳交期程，建請依契約書規定明列。	效益，並增列契約書中關於計畫執行之期程規定。	
5.	第 2-19 頁第 2.5 節之質點追綜，應與本年度計畫項目內容不相關，建請刪除。	5. 依委員建議刪除此節之質點追蹤方法說明。	5. 同意並確認處理說明
6.	第 3-11 頁第 3.3.6 節有關 5 大商港海域之海氣象測站及其圖文資料，請確實標註參考文獻，摘引自原報告之圖表，請附註資料來源。	6. 關於第三章資料收集之圖表資料與參考文獻，已於期末報告中加強說明其來源，所節錄文字亦將清楚標示引用文獻。	6. 同意並確認處理說明
7.	第 3-11 頁第 3.3.6 節臺灣各國際商港海域之海氣象測站資訊，及已收集之 2009 年與 2010 年海氣象資料，因其為本研究核驗模擬結果之重點，故應與第 3 章 POM 模式執行環境建置較不相關，建請另分章節描述，並建請針對收集期間之實測風速及流速，先行以各國際商港海域之風速及流速分散圖(Scatter Diagram)(如第 5-76 至 5-80 頁之圖 5-11 至 5-15)陳現並概略分析其水動力特性受季風及近岸地形與防波堤結構物之影響性，進而探討洋流之存在性及其對近岸海流之可能影響。	7. 依委員建議將台灣各國際商港海域之海氣象測站資料收集、整理及分析以另章加以說明，增加繪製以實測資料為主之統計分析，如風速、流速分散圖等，探討測站海氣象資料之基本特性。	7. 同意處理說明
8.	第 2-21 頁第 2.6 節巢狀格網邊界之處理，其與第 4 章海流模式建置尤其是第 4.2 節臺灣海域洋流模擬系統之建置較相關，建請第 2.6 節整合至第 4 章中。此外，第 4-5 頁至第 4-7 頁內，有關”去年度計畫…”之內文敘述，建請修正為”本研究第一年(文獻)曾…” 、	8. 巢狀格網邊界條件處理部分說明與章節依委員建議整合至第四章中，避免讀者混淆。另，文章中對於”去年度計畫”等用詞將依委員建議修正為參考文獻形式加以呈現。	8. 同意並確認處理說明

或”本研究第二年(文獻)曾…”。		
9. 第 4-12 頁第 4.3 節，有關 T3 海域之綜合洋流與潮流效應之海流模擬成果，其準確性驗證請強化(建請將圖 5-2 至圖 5-4 海洋中心在高屏峽谷之錨碇實測海流移至本節應用)，並請配合臺灣近岸實測海流資料之水理特性，預為評估洋流對近海流之影響性，即請針對 T3 海域，分別進行洋流、潮流、及綜合洋流與潮流效應之海流模擬，再針對臺灣近岸各大商港港口海域，比較海流的水動力特性差異及以量化具體評估洋流對近岸海流之影響性。	9. 依委員建議將於期末報告，將 5-1 節內容整合至 4-3 節中，呈現 T3 模式之模式驗證結果，第五章主要針對各國際商港海流之模擬、驗證與分析，比較潮流與洋流水動力特性之差異，並希望提出具體之量化指標評估洋流對近岸海流之影響性。	9. 同意並確認處理說明
10. 第 5-1 頁第 5.1 節之近岸海域格網建置與驗證，建請格網建置與驗證各自以獨立章節分列撰述；其中，臺灣各國際商港海域之近岸海流模擬格網建置規劃與調校考量，請配合實測海流及臺灣鄰近海域洋流模擬成果，作較詳細之評述；對於格網邊界條件(T3 至 T-W、T-SW、T-E)如何處理與設定及應用，亦建請加強說明。另外，圖 5-2 至圖 5-4 海洋中心在高屏峽谷之錨碇實測海流資料，其流速隨潮汐漲退之變動特性，請引用相關文獻資料加強討論及評述，同時再次建請本實測資料，移至第 4.3 節作 T3 計算海域海流準確性之驗證應用。	10. 如上述回覆，第四章將著重於台灣海域模式之潮流與洋流綜合效應之模擬與驗證，透過海洋中心於高屏峽谷之實測資料加以驗證說明。第五章將對於台灣近岸海域格網建置與邊界條件處理等加強說明，分析各國際商港海域海流特性。	10. 同意並確認處理說明
11. 第 5-16 頁至 5-75 頁有關臺灣各國際商港海域之近岸海流模擬計算成果，綜合觀察圖 5-6 至圖 5-10 所示之實測與模擬海流流速及水位驗證比較概略可見，在 5 大商港海域既有模擬計算完成的海流流向	11. 綜合 5 大商港海域之模擬，海流流向與潮汐水位的比較上較具合理性，流速偏小亦可能是模式參數設定，或模式格網解析度問題，期末報告將透過提高近岸海域模式格網解析度、潮汐邊界條件設定或參數調教等方式，探討	11. 同意處理說明

	與水位，其與實測特性皆甚符合，甚難得！惟流速大小則陳現較大之差異，請詳細就可能造成大誤差之原因進行探討；又該結果是否也意謂：水深地形的解析度待提昇？渦滯(eddy viscosity)係數與摩擦係數等模擬計算參數待進一步調校？		流速偏小之可能性，並提升模擬合理性。	
12.	第 5-64 頁圖 5-10 顯示台中港近岸海域之海流與水位模擬計算結果，其中，模擬計算之流向及水位之相位時序變化，雖然均與實測甚符合，但模擬計算之流速及水位大小之時序變化，則似乎與實測存在有較大之偏差，可能造成誤差之原因或防波堤等港灣外廓結構物的影響，請探討、評估並說明；又對日(24 小時)平均流速之比較驗證而言，各商港海域之實測與計算符合性，部分時段甚不差，但亦有部分陳現較大差異(如：第 5-29、5-30、5-35 至 5-39 頁圖 5-7(續)蘇澳港之 V 分量；第 5-52 至 5-57 頁圖 5-9(續)高雄港之 V 分量；第 5-69 至 5-75 頁圖 5-10(續)台中港之 U、V 分量等)，差異的原因，建請於相關章節之內文補充評述。	12.	如委員所述，海流模擬結果於有些情況下可謂合理，但如委員所指出之測站模擬結果又具有極大差異，導致此一差異的原因最有可能是模式格網解析度不夠解析局部海域之海流特性，僅能大致模擬出其海域綜合特性。期末報告已提高模式解析度，希望能獲得較好之模擬結果，提出一合理的解釋，並針對各國際商港逐一探討其模擬與實測結果差異與特性。	12. 同意處理說明
13.	第 5-76 至 5-80 頁之各商港海域實測與模擬計算流速之東西－南北分量分散圖，其垂直軸與水平軸的標示分別是 U 與 V，惟慣例上，垂直軸與水平軸的標示分別應是 V 與 U，是否有錯置，請檢視修訂。又因臺灣近岸實測流速之大小甚少大於 1 m/s，因此，為以流速分散圖清楚陳現各商港海域之實測與模擬計算流速之特性，建請將第 5-76 至 5-80 頁各圖之垂直軸(V)與水平軸(U)的尺度大小標示，自 2	13.	圖 5-11 至 5-15 之垂直、水平軸標示經查驗後為誤植，水平、垂直軸應分別為 U、V 分量，期末報告已更正其錯誤。關於圖形表示方式與增加年、季統計圖形繪製，將以委員建議進行，並於期末報告中更正與加強說明。	13. 同意並確認處理說明

m/s 縮減為 1 m/s；另外，為配合 NOAA 及 NCEP 海氣象資料庫之時間尺度平均特性，建請針對各港域，增加季及年之實測與模擬計算流速之東西－南北分量分散圖。		
14. 本研究提供 SD、BIAS、MAE、RMS、SCI、COV、COR 等多個定量指標作為評估實測與模擬計算潮位及流速吻合度的依據，研究嚴謹度及用心均值得肯定，惟建請於第 5-7 及 5-8 頁之各相關指標式下，增列其指示性，並提供一般吻合度之評估基準，即各指標值之通用平均值為何，約在什麼值域，可評估為優良；在什麼值域，可評估為差劣。	14. 本研究提出多種統計參數之目的，為希望能透過參數的比較來作為模式驗證之比較基準，亦可透過參數比較探討不同模擬方式所獲得之合理性參考依據，其各種參數所代表之意義於期末報告中加強說明。至於參數所代表的僅是相對性之比較，本研究不會提出較明確之界定方式表示模式模擬結果之優劣。	14. 同意處理說明
15. 第 5-81 至 5-85 頁表 5-2 至表 5-6 中，對於各商港海域之東西或南北流速分量，從 RMS 及 COR 兩指標觀察，花蓮港、蘇澳港均有較小的 RMS，但其 COR 卻甚小；台中港之 RMS 相對花蓮港及蘇澳港為大，但其 COR 卻甚高，這在實測與模擬計算流速吻合度的評估上，意涵為何，請於相關內文分別增加評述並補充說明。	15. 在模擬與實測結果之比較統計表中，花蓮、蘇澳兩測站之流速較小，所得 RMS 亦較小是合理的，COR 偏小甚至為零表示兩測站之模擬與實測值之大小變化趨勢幾乎不相關，可能是模擬結果之變化與實測值間存在一相位差，導致 COR 參數偏小之原因。而台中港之 RMS 偏大之原因亦同，而台中港之 COR 參數較大所表示現象為台中港模擬結果變化與實測值之趨勢較佳，此一部分說明於期末報告中加強說明。	15. 同意處理說明
16. 參考文獻內文多亂碼，請注意修訂。	16. 感謝委員指正，此為報告印製問題，期末報告將會改進。	16. 同意並確認處理說明
17. 本年度研究增加臺灣近岸海域之海流模擬格網及實測資料整理、分析及比較，因此，附錄一 POM 模式操作手冊內容，建請注意修訂更新。	17. 關於模式操作手冊部分，將會增加說明近岸格網執行部分，以符合報告中所述之流程與方法。	17. 同意處理說明

附錄四　期末報告審查意見處理情形表

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：臺灣各國際商港海域綜合洋流與潮流效應之海流數值模擬
計畫編號：MOTC-IOT-100-H3DB004a
執行單位：財團法人國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心

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
陳陽益 委員	意見答覆	
1. 請詳列出正交曲線座標上各點的尺度因子（scale factor）及在此曲線座標下之 POM 方程式的形式（已非報告中所寫的），如此才是較完整的考量。至於水深方向及邊界處有非正交時或奇異點出現時亦請考量處理。	1. POM 模式之數值方法乃採用有限體積法之觀念進行數值格網離散，故可使用正交曲線座標之格網進行運算，惟經驗上格網過於彎曲會導致數值計算發散現象，關於正交曲線格網計算方式與數值方法於節 2.3.2 中之式(2-54)說明。	1. 同意並確認處理說明
林銘崇 委員	意見答覆	
1. 洋流與潮流綜合效應模擬(三維)與二維潮流模擬結果差值除流速外，流向之結果如何？	1. 其二維與三維計算流速差值分別為東西、南北向之水深平均流速之合成結果，即 $(u', v') = (u_{3D} - u_{2D}, v_{3D} - v_{2D})$。	1. 同意處理說明
2. 藉由 3-D 及 2-D 之流況計算值，是否可進一步分析水深方向速度分布？	2. 三維模式計算結果可以用於分析水深方向速度分佈，如高屏峽谷之計算結果可看出峽谷中流動特性與表面不同顯示其水深方向速度分佈特性。	2. 同意並確認處理說明
3. 模擬結果顯示臺灣中西部海域以洋流成分為主，與一般認知似有差異。	3. 根據模式與海洋學門資料庫海流量測分析結果，顯示台灣海峽中西部海域之海流於夏季向北流動趨勢，由模式計算結果亦顯示近岸區域仍是以潮流現象為主。	3. 同意處理說明
4. 工作內容豐富完整。	4. 感謝委員肯定與指教。	4. 肯定
5. 結論具體，但仍有待分析確證。	5. 由 2009 與 2010 兩年的模式推算結果可知各港海域之區域特性，如委員所述仍須進行更長時間推算以了解更詳細之分析結果。	5. 同意處理說明

蔡清標 委員	意見答覆	
1. 附件一，應依最新之報告作處理情形回覆。	1. 感謝委員指正，期中報告回覆意見已根據處理情形修正。	1. 同意並確認處理說明
2. 本計畫改善 POM 模式之計算效率，並以三維模式分析洋流與潮流成分及綜合之變動，成果優良。	2. 感謝委員肯定與指教。	2. 肯定
3. P.1-9，「未來應用」一節，第 2~4 點有關海岸沖淤保育策略或工法，本計畫之成果應無法應用，因其與波浪引致之近岸流系統（nearshore current）較相關。建議修訂。	3. 本計畫以大尺度洋流與潮流模擬逐漸縮小模擬尺度，其成果未來可推展於近岸海流特性的研究基礎，而後續研究可結合波浪、近岸流及地形變化模式對於長期性的海岸環境變遷機制進行評估與應用，此節敘述亦顯示主辦單位對於本計畫成果之期待，希望對於海岸環境保育相關議題不只是探討短期性的變動，亦能從長期性的變遷探討海岸保育或工法的適用性。	3. 同意處理說明
4. P.2-1，所述二維流場其流速變化較快，而三維流場變化較慢，意謂為何？而圖 4-8~4-14，3D 係指多少橫斷面之平均值？	4. 修正相關內容為水平方向流速變化較快，垂直方向變動較慢。而圖 4-8 至 4-14 之三維模式水平流速為三維模式之垂直方向 21 層格點值計算水深平均流速值。	4. 同意處理說明
5. 數值驗證點與實測點之位置差異如何？而網格大小對精度之影響如何？	5. 數值驗證點與實測點之差異平均低於最小格網間距，根據不同港口之格網解析度，本計畫之數值驗證點與實測點之差異平均低於 100 公尺。	5. 同意處理說明
6. 建議增加符號說明表。	6. 符號說明表已增加於報告中。	6. 同意並確認處理說明
7. 橢圓圖太小，不易顯示特性。	7. 各港海域之潮流橢圓圖已增加圖形解析度以利辨識。	7. 同意並確認處理說明
8. 結論 3，洋流成分約多少？文中可否估算說明之。	8. 本計畫使用洋流與潮流邊界條件推算臺灣各海域之海流變化現象，此計畫成果對於海流特性掌握有初步了解，針對洋流或潮流成分之定量估算仍待有更多推算結果才可進行分析。	8. 同意處理說明
9. 各港之水位推算，尤其臺中港誤差仍大，原因何在？	9. 台中港位於台灣海峽中段，其可能為潮波共振造成潮差為最大，其需	9. 同意處理說明

	要檢討潮汐邊界條件或計算領域大小仍無法顯示共振現象，此有待於後續研究進行檢討。	
10. 參考文獻字型及排版請修訂。	10. 已於定稿中修正參考文獻印刷與編排錯誤。	10. 同意並確認處理說明
張國棟 委員	意見答覆	
1. 研究成果豐富，值得肯定。	1. 感謝委員肯定與指教。	1. 肯定
2. 模式模擬結果顯示，臺灣西南海域黑潮有形成一順時針環流（loop current），文章中說明稱為「套流」現象，此「套流」之名稱較不易望文生義，是否可用較易理解之名詞，例如「環流」或「渦流」表示。	2. 台灣西南海域套流(loop current)為中文慣用名詞，於報告中增加英文解說。	2. 同意處理說明
3. 圖 4-6 為臺灣「各季」海流分布，但圖中未明確顯示中文或英文各季節之表示，建議予以標示。	3. 圖中 MAM 表示春季、JJA 表示夏季、SON 表示秋季及 DJF 表示冬季，已增加相對應圖說。	3. 同意並確認處理說明
4. 本研究之綜合洋流與潮流效應模擬結果為利用西北太平洋洋流與潮流模式共同作用，圖 4-8 至圖 4-14 中(c)部份，可能與直接使用西北太平洋洋流計算結果相似。	4. 洋流與潮流之間因為尺度不同可能於大洋中互相影響的程度並不大，但較近岸海域所產生的交互作用效應仍有待更多推算與分析結果來印證。	4. 同意處理說明
5. P.4-14 下方說明臺灣東北部、東部近岸、澎湖水道等區域為潮流主導，而中西部、西南部海域及東部離岸等海域洋流成分明顯，此敘述與圖 4-8 至圖 4-14 結果有所出入，例如西南部海域似乎洋流成分不大，此外，報告書第 4-14 頁所述「…臺灣東北部、東部近岸及澎湖水道等區域為潮流主導…應考慮這些區域之海流變動特性之影響」，逐時圖僅為 2009/07/01 之結果，可能不足以代表此區域海洋的主要特性。	5. 由圖中結果顯示台灣西南部外海部分區域有洋流成份明顯之現象，由兩者差距隨著時間無明顯變化現象可知，但如委員所述僅以此段時間之逐時圖可能無法表示這些區域之海流成分推斷，故增加 2009 年春、夏、秋、冬季節大潮時段之資料。	5. 同意並確認處理說明
6. 圖 4-26 若能增加合成海流之各站結果將更有參考性。此結	6. 由統計特性比較中可看出，近岸格網可合理改善基隆港海域局部地形	6. 同意處理說明

果亦可推測各地潮流或洋流的主導地位。	所產生的海流特性，而安平與台北港於二維或三維模式推算結果相似，表示這些近岸區域潮流應該為主導。而洋流與潮流綜合效應模擬可改善於台中、高雄、花蓮及蘇澳港之推算結果，表示這些近岸區域可能受到洋流影響。	
毛正氣 委員	意見答覆	
1. 報告書 P.4-22 內提到「使西部海域商港外海之格網間距可達 100 公尺解析度…近岸海域格網之地形水深採用國科會海洋學門之地形水深資料庫，其解析度為 500 公尺，其計算格網間距小於水深資料庫格網間距區域採內插方式…」，以較粗的網格解析度內插成較細的網格，是否能夠表現出所要瞭解的港灣結構物或其港外局部地形特性，進而模擬各港口的洋流與潮流效應？	1. 如委員指正，本計畫利用 500 公尺解析度水深資料無法完全顯示港口附近的地形特性，亦可能為推算誤差之來源，但在有限的地形水深資料庫下，仍盡力表現港口外部結構所產生的結構物與地形所產生的海流變化效應，由基隆港的推算結果可知，本計畫所建置的格網解析度仍可合理的推算局部海域的海流變化特性。	1. 同意處理說明
2. 為何各港口的最細解析度會有所差異，有何考量因素？另外東部港口的最細解析度僅為 1000 公尺，是否能夠滿足計畫目標？	2. 由於格網建置的因素導致各港的最細解析度不一致的情況，各格網亦考慮各港的差異所建置。而東部海域格網由於要完整呈現黑潮流動特性，在計算資源與範圍的妥協下，選擇較大的格網解析度。	2. 同意處理說明
3. 報告書 P.5-27、P.5-52、P.5-83、P.5-107、P.5-139、P.5-164 及 P.5-196 內各港口海域潮流橢圓圖過於模糊，請修正。	3. 各港之潮流橢圓圖已增加圖形解析度以利辨識。	3. 同意並確認處理說明
4. 報告書 P.5-58 內提到「台北港在本計畫內尚無收集到潮位資料，故無法進行調和常數分析…」，既然無法進行調和常數分析，如何繪出 P.5-107 的台北港海域潮流橢圓圖？	4. 由於台北港僅有海流實測資料，潮汐調和常數採用數值模擬結果進行，潮流橢圓圖則採用實測資料。	4. 同意處理說明
5. 報告書 P.5-179 與 P.5-186 內圖 5-22 與圖 5-23 有關台中港 2009 年 8 月與 2010 年 3 月之觀測海流與 T-W 模式模擬結果比較時序列圖，在 2009 年 8	5. 此為段無資料之平均海流速度為無意義值，已於報告中刪除。	5. 同意並確認處理說明

月與 2010 年 3 月部分時段並無觀測資料，如何求出無資料時段的 24 小時的海流平均？		
6. 整體計算成果豐富，且對數值模式計算進行修改，值得肯定。	6. 感謝委員肯定與指正，為了達到計畫需求，採用更有效率之平行計算為必要方式。	6. 肯定並確認處理說明
滕春慈 委員	意見答覆	
1. 報告內第五章的潮流橢圓圖不清楚，請改進。	1. 各港之潮流橢圓圖已增加圖形解析度以利辨識。	1. 同意並確認處理說明
2. 文章內有關模式模擬和觀測點比較時，是單點結果或是區域平均，應在文章內說明。	2. 本計畫所進行之各港口實測與模式比較結果都是採用每小時間隔之單點結果，已於報告中增加說明。	2. 同意並確認處理說明
3. 第五章海流分布圖加入觀測點位置，有助於閱讀。	3. 已於海流分佈圖中增加各港口位置標示。	3. 同意同意並確認處理說明
4. 第五章內對模式名稱有前後不一致的情況，請檢查並修正。	4. 已於報告中加強說明各模式之間關係與相對應之範圍。	4. 同意並確認處理說明
5. 第五章海流分布圖，請加入圖說以分辨觀測值與模擬值。	5. 已於海流分佈圖與相對應水位流速圖中增加圖說以分辨觀測與模擬值。	5. 同意並確認處理說明
6. 本計畫海流預報系統的發展，由全球到港灣，網格由大到小，由粗到細，而且每個發展階段都使用觀測資料進行完整與仔細的校驗過程，是非常成功的研究計畫案，值得肯定。	6. 感謝委員肯定與指正。	6. 肯定
7. 高雄港流向東南誤植為西南，請改進。	7. 高雄港外海流向為東南，已修正相關敘述。	7. 同意並確認處理說明
簡仲璟 委員	意見答覆	
1. 報告書第 4-14 頁所述「…臺灣東北部、東部近岸及澎湖水道等區域為潮流主導…應考慮這些區域之海流變動特性之影響」，然此為二維潮汐 POM 模式與三維洋流與潮流綜合效應 POM 模式（垂直平均）之模擬比較結果，並非由觀測資料之分析比較結果。讀者易被誤導，尤其是澎湖水道依圖 4-8	1. 文中推論是由模式推算結果所得，由於大部分外海區域無實測資料可供比較，其推論確實有待更多資料佐證。然而本計畫所建置模式已經多數實測結果比較後已具合理性，應有一定程度之可信性。由圖中差異比較可知，隨著漲退潮變化而呈現紅藍交錯之區域，可視為潮流成分較強區域，而呈現無明顯變化區域可視為洋流成分較強區域，已修	1. 同意處理說明

	至圖 4-10 退潮段純潮流大於洋流與潮流綜合（藍色），但圖 4-11 至圖 4-14 漲潮段則洋流與潮流綜合大於純潮流（紅色）。以上請再檢視。	正相關報告中相關敘述。	
2.	報告第 4-25 頁所述「…綜合以上所述，近岸格網可合理…改善於臺中、高雄、花蓮及蘇澳之推算成果」，本段與意見一之摘錄段（上一段）有不一致情形。因為依上一段所述花蓮及蘇澳港應屬東部近岸區域，故為潮流主導與本段敘述似有不合。請再檢視。	2. 花蓮與蘇澳港海流特性由實測與模擬結果看出仍是已潮流特性為主，但考慮洋流與潮流效應下則可合理模擬某些時段之不規則變化，顯示加入洋流效應可合理呈現東部近岸海域之海流模擬，故可改善花蓮與蘇澳海域之推算結果，相關敘述亦於報告中加強與統一，使其前後文敘述一致。	2. 同意處理說明
3.	各主要商港海域海流模擬結果與觀測值之比較不易由逐時變化圖中具體看出其差異，建議可進一步作誤差分析。此外臺中港冬季東北季風鋒面過境大風速時之海流模擬值較觀測值小很多，雖然第二章(2-39)及(2-40)式，已含有海表面風剪應力項，但顯然風驅流影響仍未真實反應，此有待進一步探討。	3. 由於海氣象資料庫解析度無法呈現風場於台灣海峽中由於地形束縮所產生之加速效應，故可能低估台中海域之風剪應力，其有待取得更高解析度海氣象資料後再進行測試與評估。	3. 同意處理說明
4.	建議初步評估本研究成果進一步作為海流預報作業化的可行性。	4. 本計畫模式建置時已考慮作業化需求，但仍有許多工作有待解決，如模式起始值給定方式與穩定取得海氣象資料來源等問題。	4. 同意處理說明
5.	第五章名稱中之「國際」請改為「主要」。請補充標示作比較之模擬計算網格點點位與觀測點位。之中部份誤植或不清楚（如 4-25 頁圖 4-16，潮流橢圓圖，參考文獻等），請檢視修正。	5. 依委員建議改正第五章標題為主要，相關圖形解析度不足與參考文獻錯誤處，亦修正於定稿報告中。	5. 同意並確認處理說明

莊文傑 委員	意見答覆	
1. 本研究計畫已按規定項目及期程，提送期末報告初稿並進行成果簡報及審查，感謝合作研究單位的鼎力配合；又配合審查需要，本報告初稿全文共計 354 頁，文中之表圖均以彩色印刷，大幅提昇報告初稿的品質與可讀性。此外，本研究廣泛收集整理近岸海流實測資料，並進行與數值模擬計算之定性與定量化驗證，總體結果豐富完整，準確性亦甚佳，研究執行之用心，值得肯定。	1. 感謝委員肯定與指教。	1. 肯定
2. 請補充本研究之英文摘要，並請依據本所出版品規範，編製中、英文摘要。	2. 依相關規定與格式增加中英文摘要於報告中。	2. 同意並確認處理說明
3. 目錄頁及全文之”附錄”編排，既有”附件一”請修正為”附錄三”；而”附錄二”請調整為”附錄一”，亦即定稿編排時，先以附錄一陳現模式操作手冊，再以期末簡報檔附於附錄二，而期中及期末審查意見處理，分別依序編排於附錄三及附錄四。	3. 依委員建議修正附錄順序與增加期末簡報檔於附錄中。	3. 同意並確認處理說明
4. 第 1-1 頁第 1.2 節之計畫背景，請將第 4 及第 5 章中用以驗證之相關近海實測或模擬計算之海流特性與研究，於文獻回顧中多作成果介紹與評述。	4. 依委員建議加強說明節 1..2 計畫背景敘述，並於文獻回顧中增加相關計畫之成果。	4. 同意並確認處理說明
5. 為 PC 計算能量與效率之考量，第 4.4 節所述 POM 模式之 OpenMP 或 MPI 平行化計算方式與正交曲線座標格網模式之引入，請於第 2-1 頁第二章之 POM 模式理論介紹或第 3-1 頁第三章之 POM 模式執行環境建置中，另增章節作較詳細的補充說明及介紹，且於附錄之模式操作手冊中，亦請作相	5. 關於正交曲線格網計算方式與數值方法於節 2.3.2 中之式(2-54)說明報告中，而平行計算之模式操作與環境亦增加於相對應之章節與模式操作說明中。	5. 同意並確認處理說明

關必要之更新。		
6. 第 3.1 節第 3-4 頁之文中，關於”計算核心”、”計算節點”及圖 3-2 中”CPU Number”之關聯性，請作差異說明。	6. 叢集計算系統中，計算節點表示實體計算主機，CPU 數表示實體中央處理器之數目，計算核心表示實體核心數目，由於本計畫使用單一主機多計算核心系統進行計算，於報告已加強與修正相關敘述與圖表。	6. 同意並確認處理說明
7. 第 3.3 節表 3-2、表 3-4 及表 3-7 中，針對 CFSR 全球高解析度之風場及溫、鹽資料庫之相關模式計算應用，請於第四章之文中(第 4.2 節)或表中(表 4-2)，再作補充說明。	7. 本計畫收集了 CFSR 全球高解析度海氣象資料庫，但由於其資料時間僅至 2009 年，故無法滿足本計畫需求，為了避免使用不同海氣象資料庫所產生的系統誤差，本計畫僅使用 NCEP/NCAR reanalysis 資料庫。	7. 同意處理說明
8. 第四章第 4-9 頁至第 4-12 頁各圖中，為便利陳現 T3 海域計算海流之型態並進行海流特性之相互對照比較及驗證，圖 4-5 建議用與圖 4-6 相同或相近似之流速尺度指標(legend scale)及色階。	8. 由於圖 4-6 為摘錄 Hsin 等人論文資料，故無法進行可辨識度較好之處理，對照兩者之間仍可看出兩者之間海流模擬特性之相似性。	8. 同意處理說明
9. 第 4.3 節第 4-13 至第 4-21 頁，應用圖 4-8 至圖 4-14 陳現綜合洋流與潮流效應(3D)對近岸海流之影響，構想甚佳。惟圖 4-8 至圖 4-14 中之海流流場，不論是純潮流、綜合洋流與潮流及相互之差異流場，其海流特性與水位變化之直接可視性，均尚待加強，建請調整其流速大小之尺度指標(legend scale)及水位色階，俾強化計算流場之特性及辨識相互之差異性；另外，從各圖之台中參考水位研判，其 2009/07/01 08:00~20:00 之潮差僅約 2m，應非 2009/07/09 農曆 5 月 17 日之大潮期間，因此，建請更新並彷照圖 4-8 至圖 4-14，考量春、夏、秋、冬之季節性，增列 2009 年 1 月(01/12)、4 月(04/12)、7 月(07/09)、10 月(10/05)大潮期間之相關結果。	9. 依委員建議修正圖形可辨識性，加強流速大小尺度指標，並增加春、夏、秋、冬季節之海流變化差異比較圖。	9. 同意並確認處理說明

10. 第 4.4 節第 4-22 頁至第 4-24 頁，相關正交曲線格網之模式與邊界值萃取及應用，請作適當補充說明，地形及流場之繪製，請於操作手冊中提供執行命令腳本。另外，建請就 T-NS 之各計算海域，繪圖陳現國科會海洋學門地形水深資料庫(Liu et al., 1998)與 ETOPO1 之地形水深及評估其相互之差異性。	10. 關於正交曲線格網計算方式與數值方法於節 2.3.2 中之式(2-54)說明，而模式操作部分皆於操作手冊中有相關說明。關於 T-NS 模式於各海域所採用格網解析度略有不同，其解析度約在 1000 至 100 公尺之間，故採用國科會海洋學門地形水深資料庫，其解析度為 500 公尺，而 ETOPO1 水深資料庫解析度 1.83 公里並不適用於台灣近岸海域。	10. 同意並確認處理說明
11. 本研究於第 4.4 節，為近岸地形水深解析度細緻化之考量，同時為提昇 PC 計算能量與模式計算效率，經應用 POM 模式之 MPI 平行化計算方式與引入正交曲線座標格網模式，所得基隆、臺北、臺中、安平、高雄、蘇澳、及花蓮等臺灣各主要商港近岸海域之流場，其與實測之相互驗證結果，如圖 4-17 至圖 4-23 所示，甚優良且難得，值得特別肯定。惟圖 4-24 至圖 4-26 所示模擬計算與實測流場差異比較之相關定量評估分析，稍嫌簡略，建請強化評述及補充說明。另外，第 4-48 頁第二段內文述及:「利用 NAO99 及 OTPS 全球潮汐…差異不大，但 OTPS 之結果略優於 NAO99 之結果，而二維…。」建請提供相關評估圖表作補充說明。	11. 感謝委員肯定與指教，而圖 4-24 至 4-26 為各種不同模擬方式與實測值比較之統計參數，其說明利用 OTPS 與 NAO99 全球潮汐模式結果做為邊界條件推算台灣海域之潮位變化，其結果差距不大，但仍是 OTPS 略佳，由統計圖表中可看出此一現象。	11. 同意並確認處理說明
12. 第四章第 4-52 頁，圖 4-29 及圖 4-30，建請改換為彩色圖，以利辨識與判讀。	12. 圖 4-29 與圖 4-30 已利用彩色繪製以利辨識。	12. 同意並確認處理說明
13. 第五章中，潮流橢圓圖之製作分析及其在本研究中之應用指示性，請強化說明；各港潮流橢圓圖之解析度請改善；各港潮型之判定，如第 5-2 頁所述：高雄港為近半日潮型之結果，請參照國內相關文獻資料	13. 潮流橢圓圖與調和分析常數為提供讀者對於各海域之基本特性參考，相關圖形解析度已增加以利辨識，而高雄港為混合潮型趨近全日潮型，已修正相關敘述。	13. 同意並確認處理說明

再仔細檢核。		
14. 第五章圖 5-1 至圖 5-25 中，臺灣各主要商港近岸海域之計算海流，其與實測值對照比較，均有甚準確之結果，研究成果與用心甚值得肯定。惟在 2009 年 1 月至 3 月期間，計算潮位與實測潮位之對照驗證，部分顯示具有甚大之誤差，尤其是台中港，可能造成誤差偏大之原因，建請作進一步補充說明或建請再以純潮流模式作潮位邊界設定之詳細深入檢核。個人認為：NAO99 及 OTPS 全球潮汐模式，其在中國大陸沿岸或近海所計算之潮位，可能具有較大之不準確性!另外，ETOPO1 之臺灣海峽地形水深或東亞陸架地形之準確性，亦值得以國科會海洋學門地形水深資料庫(Liu et al., 1998)進行差異評估！	14. 台中港潮位推算不盡理想其相關原因可能如委員所述，如全球潮汐模式所提供的潮汐水位解析度不足、地形不準確、或是計算領域不足使潮波於台灣海峽無法產生共振現象等，其有待更多計算與模擬方式的測試才可進一步分析。	14. 同意處理說明
15. 第六章結論與建議第 6-2 頁中，結論 7 述及「返流」，內文中均未提及或討論，僅管第 4-14 頁內文中，曾提及「反流」！「返流」及「反流」均請在內文中附註英文名稱及作相關現象之描述及補充說明。另外，結論 9 述及：臺灣各主要商港海流實測資料顯示，除台中港外，花蓮、蘇澳、基隆、台北、安平及高雄平均流速流向皆趨近零，表示這些海域海流特性仍以潮流現象為主。其似乎與本研究部分驗證結果具差異，且與結論 3 與結論 5 不相符，請再檢核並修正。	15. 已修正相關敘述使其前後文一致，而返流(counter current)亦註明於報告內文中。由實測與模擬結果可知，除台中港外各港之海流特性仍是以潮流為主，其原因可能由於各測站皆位於非常近岸海域，流速流向平均值皆非常接近零，顯示潮流往復現象非常明顯，但考慮洋流效應下可合理模擬某些時段之不規則海流變化，表示這些近岸海域仍是受到某一程度的外海洋流所影響，其相關敘述與結論已修正與加強說明。	15. 同意並確認處理說明
16. 第六章結論與建議第 6-3 頁中，對於作業化之相關待克服問題建議，建請列舉並陳述具體項目。	16. 本計畫模式建置時已考慮作業化需求，但仍有許多工作有待解決，如起始值給定與穩定取得海氣象資料來源等問題，已增加於建議之中。	16. 同意並確認處理說明

17. 參考文獻內文多亂碼，請特別注意修訂。	17. 參考文獻亂碼現象為報告印刷問題，已修正。	17. 同意並確認處理說明
18. 本年度海流模擬計算研究增加臺灣近岸海域之正交曲線座標格網模式及實測與模擬計算資料之整理、分析及比較，因此，附錄一 POM 模式操作手冊內容，建請注意修訂及更新。	18. 操作手冊部分已加強說明以利使用者了解模式操作順序與學習。	18. 同意並確認處理說明