

ROMS 海洋模式應用於南灣海域潮流流場 模擬

李汴軍^{1*} 范揚洺² 馮智源³

¹ 華梵大學環境與防災設計學系副教授

² 國立成功大學水利及海洋工程學系博士後研究員

³ 國立成功大學水利及海洋工程學系碩士

關鍵詞：ROMS 海洋模式、潮流、南灣海域。

摘要

本研究應用 ROMS 模式模擬南灣海域潮流流場，以了解該海域潮流流場特性。ROMS 原始碼係自公開網域下載取得，實際應用前，先針對影響模式穩定度之因素進行測試，求得最佳之計算時步長與水平黏滯係數；再利用實測潮流資料調整模式之底床摩擦係數，以獲得最佳模擬結果。經由分析討論結果，本研究在水平網格解析度 500 公尺配置下，時步長以內模 60 秒、外模 1 秒、水平黏滯係數 $100 \text{ m}^2/\text{s}$ 與底床摩擦係數 0.003，能使模式達到計算最穩定且有效率。實際模擬一個月南灣海域潮流流場結果顯示該海域每日各發生一次順時針及逆時針渦流，順時針渦流規模較逆時針渦流大，可以涵蓋整個南灣海域。在大退潮末期潮流經由貓鼻頭海岬南緣進入灣內，逐漸形成逆時針渦流，該渦流最強發生在小漲潮中期；在大漲潮初期流場呈現順時針渦流分佈，該渦流最強發生在大退潮中期。潮流所產生的平均流，在南灣海域主要呈現順時針渦流，在後壁湖附近另有一小型的逆時針渦流。

*通訊作者(corresponding author), E-mail address: beng@huafan.hfu.edu.tw

SIMULATION ON TIDAL CURRENT FIELD IN NAN WAN BAY BY ROMS MODEL

Beng-Chun Lee^{1*} **Yang-Ming Fan**² **Chih-Yuan Feng**³

¹ *Associate Professor, Department of Environmental and Hazards-Resistant Design,
Huafan University, Taipei 22301, Taiwan, R.O.C.*

² *Post-Doctoral Fellow, Department of Hydraulic and Ocean Engineering,
National Cheng Kung University, Tainan 701, Taiwan, R.O.C.*

³ *Master, Department of Hydraulic and Ocean Engineering,
National Cheng Kung University, Tainan 701, Taiwan, R.O.C.*

Keywords: ROMS model; tidal current; Nan Wan Bay.

ABSTRACT

ROMS model is applied to understand the characteristic of tidal current in Nan Wan Bay. To get the best setting of time step and horizontal eddy viscosity, the computational stability of the model is carried out first. And then bottom friction coefficient is adjusted by observed data, so as to get the optimal simulation. The numerical results demonstrate that a counterclockwise eddy and a clockwise eddy exit in the bay everyday, the latter is bigger in size and fills the entire bay. Form lower low water, tidal current passes by the south part of Maobitou and develops a counterclockwise eddy, until lower high water the current has its maximum. Latter, a clockwise eddy exits in the bay during flood and develop well on the middle of higher high water and lower low water. The tidally-induced averaged current is a clockwise eddy for the most part of the bay and a small size of counterclockwise eddy in the west coast of the bay.

一、前言

應用海洋數值模式來掌握流場資訊是近年來相當重要的研究工具之一，然而流場變化瞬息萬千，因此穩定計算的數值模式能長期不間斷的提供流場資訊。在台灣海域流場之研究方向可分為兩類，一類為實測資料分析；一類為數值模擬。前者可以看出特定區域的流場特性，後者可探討大範圍之流場性質。

在資料分析方面，Liang et al. (1978) 在馬鞍山水文調查報告中指出，南灣海水運動最主要受潮汐所主控，以全日與半日之混合潮為主。Chern (1984) 分析基隆外海水深 120 米處之潮流以半日潮為主，流振幅約為 72 m/s，流向平行於海岸。在模式模擬方面，劉肖孔 (1983) 運用三維水動力方程式，建置「中國海域三度空間數值模式」，並且從事暴潮、天文潮等相關之應用研究，但是其數值模式之運作必須與「太平洋之海流模式」銜接作為邊界條件的輸入。莊文傑 (2000；2005)，以潮位站的資料做線性內差於開放海域邊界上，就實際潮汐特性與地形水深之關聯性做詳細的研究，驗證台灣海峽 M2 分潮因地形驟降發生反射導致海峽中段近似駐波震盪現象，藉以辨識台灣海峽既有的潮波系統以及其震盪型態的顯著因素。

Ezer et al. (2002) 針對 POM 與 ROMS (Shchepetkin and McWilliams, 1998; 2003; 2005) 的不同演算法在數值計算上的誤差與模式計算的效率進行比較，ROMS 使用的數值方法可減少計算上的誤差，及使用較大數值積分時步長以增加計算之效率。ROMS 模式中使用新的水平壓力梯度演算(Shchepetkin and McWilliams, 2003)，相較於 POM 模式所使用的水平壓力梯度演算法，可以有效減少模式計算誤差的累積。又 ROMS 對地形變化幅度大之區域能有較佳之描述，故本研究首先改善 ROMS 模式計算的穩定性，針對影響模式計算結果的因素進行探討，使模式能穩定的計算，進一步應用模擬結果來說明南灣海域流場的變化。

二、研究方法

2.1 ROMS 模式簡介

本研究採用 ROMS 三維非線性的斜壓原始方程模式，由紐澤西羅格斯大學(Rutger University) 與加州大學洛杉磯分校 (UCLA) 兩校共同研究開發完成，此模式可以模擬不同尺度的運動，如全球尺度的環流模擬、中尺度由氣象因素或是天文潮所引起的水位與流場變化，也可以計算小尺度河川渠道等的水理運動。

ROMS 模式的控制方程式是採用由基本方程式 (primitive equations) 為基礎架構而成的三維非線性海洋數值模式，為了簡化方程式，ROMS 使用了兩個假設：第一假設為水體內部

的密度差異可以忽略，除非這個差異是由重力所引起，此為包氏近似 (Boussinesq approximation)，第二假設為流體本身重量與壓力梯度平衡，此為靜力平衡 (hydrostatic assumption)。詳細之模式結構請參閱 Shchepetkin and McWilliams (1998, 2003, 2005)。

2.2 影響模式之因素

利用數值方法模擬潮波運動時，常因參數的設定不當而導致計算誤差不斷地累積，使得模擬結果無法符合實際現象，甚至計算發散 (blow up)，不能滿足實際的需求，本研究針對時步長的配置、水平渦黏滯係數以及底床摩擦係數，分別探討以上因素對於模式計算結果的影響，期望合理計算潮流流場。

由於時間分裂算法，可以有效的增加模式計算的效率，其計算過程分為內模與外模兩個步驟分別計算，外模的計算將控制方程經水深積分後採取顯示解法 (explicit method)，內模的計算則是將控制方程式直接以隱式法 (implicit method) 計算之。基於 CFL 限制條件下，外模積分時步長的設置必須小於 1.7 秒，分別對不同的積分時步長進行測試 (表 1)，其中內模積分時步長的設定越小表示在同一時間內的計算次數越多，意即所花費的時間越多，因此在模式的計算效率與穩定性的考量下，以外模時步長為 1 秒，內模時步長為 60 秒作為下一步探討影響模式計算結果的時步長設定值。

對不同的水平渦黏滯係數進行測試，並且探討在不同水深的條件下對結果的影響為何。模式計算穩定性的結果如表 2 所示，當水平渦黏滯係數介於 $100 \sim 400 \text{ m}^2 / \text{s}$ 間模式可以穩定計算 30 天以上。進一步以 RMS 與相關係數等統計指標，說明改變水平渦黏滯係數對於模式在水位與流速結果上的影響(表 3)，表中 P1 與 P2 為不同的水深位置(圖 1)。由上述測試結果顯示改變水平渦黏滯係數在不同水深位置下對於模擬結果影響有限，所以增加水平渦黏滯係數，對於結果的影響可以忽略不計，並且可以改善模式計算穩定性，本文後續採用水平黏滯係數為 $100 \text{ m}^2 / \text{s}$ 。底床摩擦係數部份，採用不同底床摩擦係數 Cd 對於結果的影響如表 4 所示，使用不同海底摩擦係數，對於流場能量的消耗，有不同程度的影響。若海底摩擦係數越大，會增加潮波能量的消耗，且使得各分潮流速變小且相位角發生了延遲的結果。

表 1 積分時步長對模式計算穩定性之結果比較

	外模積分時步長(s)	內模積分時步長(s)	模式發散時間(天)
測試一	1	30	6.2
測試二	1	60	4.9
測試三	1	90	2.5
測試四	1	120	0.9

表 2 積分時步長與水平渦黏滯係數對穩定計算天數之比較

內模積分 時步長(s)	水平黏滯係數 (m ² /s)	5	50	100	200	400	500
	模式發散 時間(天)						
30		6.2	30 天以上	30 天以上	30 天以上	30 天以上	17.8
60		4.9	19.8	30 天以上	30 天以上	30 天以上	0.03
90		2.5	2.6	2.7	2.6	0.03	0.01
120		0.9	1.3	1.6	1.5	0.2	0.01

表 3 水平渦黏滯係數對水位與流速計算結果之比較

水平黏滯係數 (m ² /s)		50	100	200	400	
P1	水位 (cm)	1.0	0.7	0.1	0.8	RMS (cm)
		0.97	0.98	0.98	0.98	相關係數
	流速 (cm/s)	5.5	4.1	1.1	4.1	RMS (cm)
		0.93	0.95	0.96	0.96	相關係數
P2	水位 (cm)	0.4	0.3	0.1	0.3	RMS (cm)
		0.97	0.98	0.98	0.98	相關係數
	流速 (cm/s)	4.7	3.4	1.1	3.4	RMS (cm)
		0.94	0.96	0.95	0.97	相關係數

表 4 海底摩擦係數對分潮流計算結果之比較

潮流橢圓	M2		S2		K1		O1	
	最大流速 (cm/s)	相位角 (度)	最大流速 (cm/s)	相位角 (度)	最大流速 (cm/s)	相位角 (度)	最大流速 (cm/s)	相位角 (度)
<i>Cd</i> =0.0030	38	183	14	157	24	177	14	171
<i>Cd</i> =0.0029	38	183	14	157	24	176	14	170
<i>Cd</i> =0.0028	39	180	15	157	25	175	15	170
<i>Cd</i> =0.0027	40	175	16	156	25	175	16	168
<i>Cd</i> =0.0026	41	165	16	155	27	171	17	166
<i>Cd</i> =0.0025	44	151	17	151	27	165	17	164

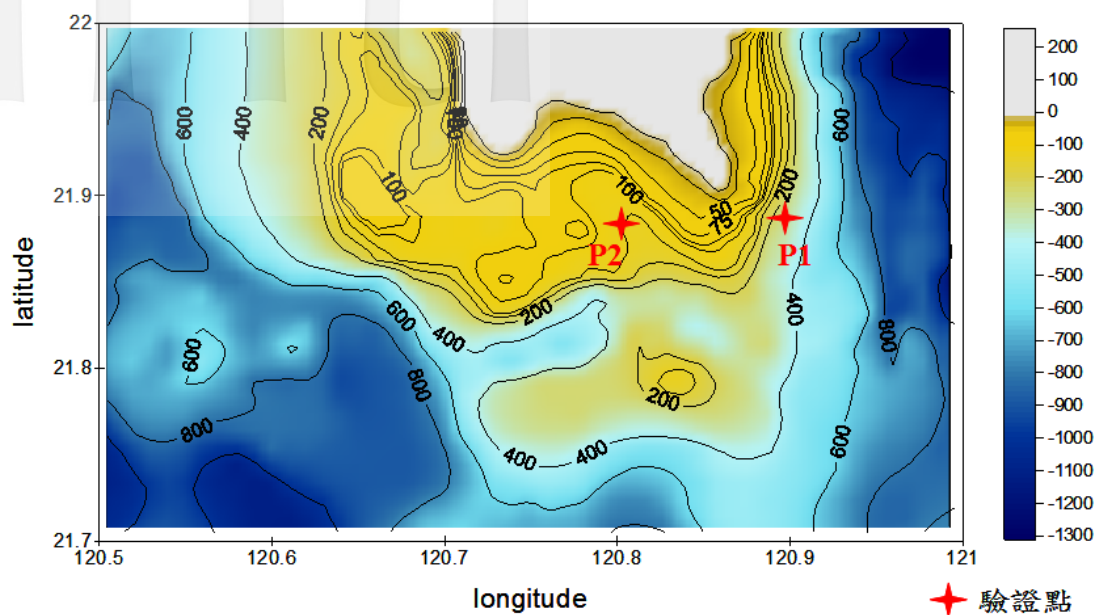


圖 1 水平黏滯係數測試之驗證點示意圖

三、ROMS 潮流流場模擬與驗證

影響水位與流場變動的因素包括天體間的引潮力、氣象變化與海流的運動等等，其中海流因為性質不同可以分成洋流、潮流、風驅流以及沿岸流等。由前述 Liang et al. (1978) 的研究結果顯示，有關南灣海域的海水運動主要是受潮汐所主控，本研究利用 ROMS 模式來模擬此區域之三維潮流流場，並且依據實測資料來調整模式中的參數，以獲得最佳之模擬結果。

3.1 潮流流場模擬範圍

應用數值模式模擬南灣海域潮流流場的變化，模式的計算範圍介於東經 120.4 度到東經 121.2 度以及北緯 21.4 度到北緯 22.2 度之間，開放邊界水位的輸入採用全球潮汐模式的模擬結果。另外，本研究假設流體為密度均勻不隨水深變化的正壓場，故初始溫、鹽場則是採用定值。為了清楚掌握南灣海域細部的潮流特性，水平網格解析度為 500 公尺，水平計算網格的配置是採用 Arakawa C-grid 系統，是一種交錯的網格布置，在變數的分佈上 u 、 v 分別位於網格線上，水位 ζ 、垂直流 Ω 及其他物理量如溫度 T 、鹽度 S 則位於網格中央，此網格系統的配置相當的簡單，也是最常被應用的網格系統 (Backhaus,1985)；垂直方向採用 s 座標系統，並且分成 20 層。

3.2 現場海流資料分析

本研究以鵝鑾鼻資料浮標下加掛之都卜勒流剖儀(ADCP)海流資料作為模擬結果的驗證點，其位置如圖 2 所示，其中 ADCP 所記錄的資料包含流速以及流向等資料，經分析後可以了解實際觀測資料在此觀測期間的大小變化以及是否具有週期性變動的現象發生，Emery and Thomson (1998) 指出在海洋物理學所應用的時間序列分析方法主要有富利葉分析 (Fourier analysis)、調和分析 (harmonic analysis)、頻譜分析 (spectrum analysis)、小波分析(wavelet analysis) 等方法。在本研究中利用常見的兩種分析方法來分析海流資料，分別為頻譜分析與調和分析。

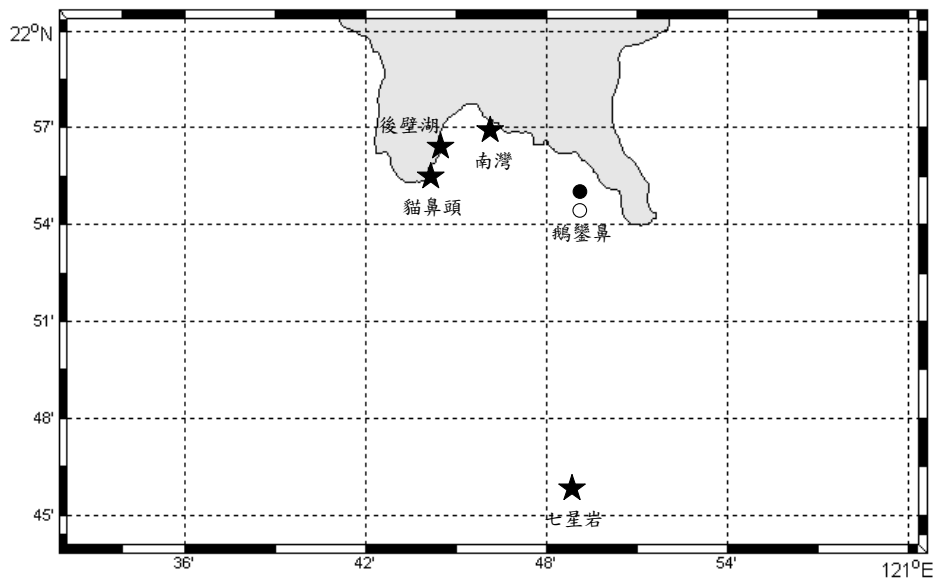


圖 2 鵝鑾鼻 ADCP 海流實測資料(實心)與模式驗證點(空心)之位置圖

分析 2005 年 12 月 24 日到 2006 年 2 月 24 日都卜勒流剖儀 (ADCP) 海流資料，結果顯示鵝鑾鼻海域海流的特性如下：

此海域表層與底層的流速分量變化以東-西與南-北方向表示，如圖 3 所示，東-西方向的流速變化以東為正值；以西為負值，南-北方向的流速變化以北為正值；以南為負值，由觀測資料顯示表層與底層流速變化均有一天 1~2 次隨著潮汐變化的現象，表層水深為 5 公尺，最大流速為 121 cm/s，主要流向為西北與東南東；底層水深為 30 公尺，最大流速為 108 cm/s，主要流向為西北與東南。應用頻譜分析處理鵝鑾鼻的海流觀測資料，其結果如圖 4 所示，鵝鑾鼻海域流場的能量分佈以週期為半日潮 12 小時以及全日潮 24 小時為主。

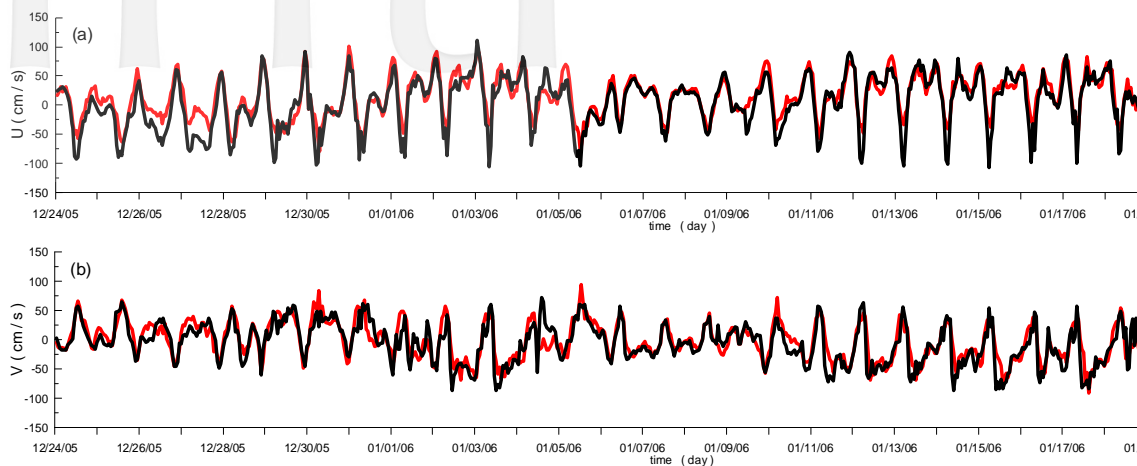


圖 3 (a)鵝鑾鼻 ADCP 為表層(水深 5m)與底層(水深 30m)東-西方向海流時序列圖；
(b)鵝鑾鼻 ADCP 為表層(水深 5m)與底層(水深 30m)南-北方向海流時序列圖

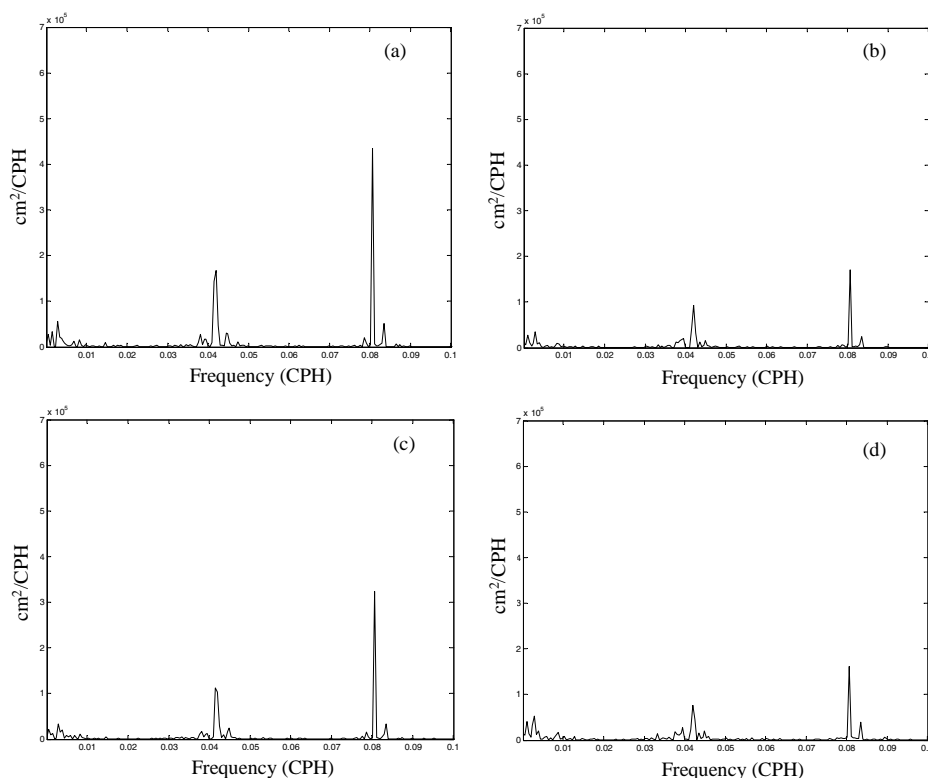


圖 4 (a)鵝鑾鼻海域表層東-西方向海流能譜圖(水深 5m)；(b)鵝鑾鼻海域表層南-北方向海流能譜圖(水深 5m)；(c)鵝鑾鼻海域底層東-西方向海流能譜圖(水深 30m)；(d)鵝鑾鼻海域底層南-北方向海流能譜圖(水深 30m)

3.3 模式驗證

本研究以考慮 M2、S2、K1、O1 四個主要分潮模擬的流速流向結果與鵝鑾鼻 ADCP 實測流速流向資料的進行比對，結果如圖 5 所示，由於模式考慮主要四個分潮，當小潮期間還有其他分潮分量的影響，因而低估了流速的結果，其平均誤差約為 34 cm / s，至於流向的比對結果，則是呈現一致的流向變化，當大潮期間模擬結果有每日一大一小明顯的流速週期變化，其時間似乎有提早發生的現象，而模擬的流速約高估 27 cm/s，流向的變化為一致。

本研究進一步將實測流速流向資料經由調和分析得到 M2、S2、K1、O1 等四個主要分潮後，與模式計算出潮流的調和常數進行統計誤差分析，分析結果顯示 M2 分潮的潮流最大流速誤差為 18 % (其差值為 7 cm / s)。S2 分潮的潮流最大流速誤差為 50% (其差值為 6 cm/s)。K1 分潮的潮流最大流速誤差為 30% (其差值為 6 cm/s)。O1 分潮的潮流最大流速誤差為 41% (其差值為 5 cm/s)。而各分潮 (M2, S2, K1, O1) 在模擬與實測的潮流相位角誤差分別為，(-6°, -13°, 10°, 16°)。由於模擬的結果在位相角有些許的誤差，導致流速的大小變化在時間上呈現偏移的結果，但是對於流向並沒有明顯的影響，因此可以利用數值模擬結果來說明南灣海域的流場變化。

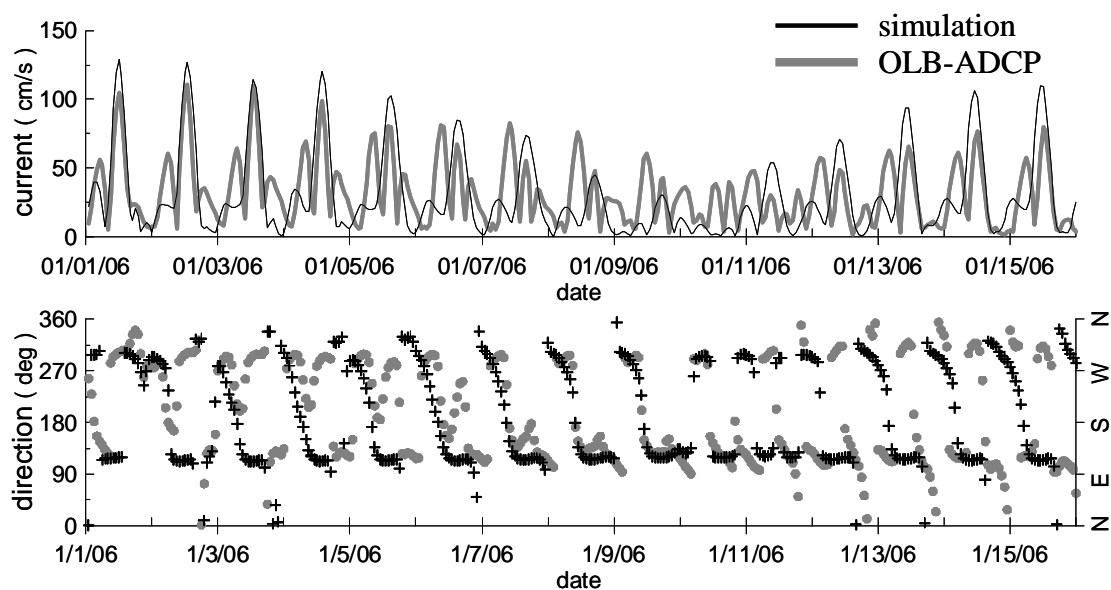


圖 5 數值模擬結果(黑色)與鵝鑾鼻 ADCP(灰色)實測資料比對圖

四、南灣水域流場特性

應用 ROMS 模式模擬南灣海域受到潮流作用下的流場變化，模擬結果與實測資料比對後，表示模擬結果可以合理地描述南灣海域流場的變化，以下將分成漲退潮期間流場之空間

分佈以及潮致餘流以說明南灣流場之變化。

4.1 漲退潮期間流場之空間分佈

潮波運動時所產生的水位升降現象，可視為輻合(輻散)運動，即漲潮時為輻合 (convergence)，退潮時為輻散 (divergence)，另一方面，流體運動時所產生的旋轉現象，如小尺度的漩渦，可以藉由渦度方程式(1)了解流場變化的機制 (Holton, 1972)。

$$\frac{d}{dt}(f + \xi) = -(f + \xi)\left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}\right) - \left(\frac{\partial w}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial y} \frac{\partial u}{\partial z}\right) \quad (1)$$

渦度方程式等式右邊的第一項為輻散項 (divergence term)，第二項為扭轉項 (twisting term)，一般來說，垂直方向流速 (w) 隨空間的變化相當的小，因此可以將扭轉項忽略不計，因此渦度的變化主要輻散項有關，此項代表流場的水平輻散運動 (divergence motion)，將連續方程式帶入式(1)經整理後，可以得到正壓流場的位渦方程式(2)。

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{f + \xi}{h}\right) = 0 \quad (2)$$

模式中僅考慮潮流所引致的流場，其具有週期性變化的特性，為了方便討論流場的空間分佈特性，本研究以 ROMS 模式模擬南灣海域的流場，其結果如圖 6~圖 12 所示。南灣海域流場的變化受到地形所控制，開始退潮時，南灣海域外海的流場空間分佈如圖 6 所示，退潮流進入南灣南方的七星岩附近海域時，依據位渦守恒 (conservation of potential vorticity)，當水深變淺時，相對流場渦度必須減少以因應水深的變化，當退潮向東流通過淺水區進入深海時，則流場的渦度便會增加，因此南灣外海的退潮流主要是呈現順時針的流場空間分佈。

在大退潮期間(高滿潮(higher high water)到低乾潮(lower high water)，潮流經貓鼻頭海岬南緣進入灣內，從渦度方程式可以知道，當退潮時流場負的渦度會增加，並且強流通過時在貓鼻頭所產生的低壓區，使得潮流偏轉進入海岬東側，逐漸形成逆時針渦流，以及受到海岬的影響，在鵝鑾鼻的東岸也存在一個逆時針的渦流 (lee ward vortex) (圖 7)。

直到小漲潮期間 (低乾潮(lower high water) 到低滿潮(higher low water))(圖 8)，在貓鼻頭的西側呈現退潮流，在鵝鑾鼻東側潮流已經轉換呈現西南向的漲潮流，漲潮流與退潮流匯合於鵝鑾鼻的東南方海域，此時退潮流速相當大，因為流體的慣性作用下，使得灣外的流場還是以退潮流為主，在退潮流的作用下持續地加強灣內的氣旋渦流 (圖 9)。

在小退潮期間(低滿潮(higher low water)到高乾潮(higher lower water)) (圖 10)，鵝鑾鼻東側

的漲潮流逐漸變強，以及貓鼻頭西側的退潮流變弱，在漲退潮流的強度消長之間，而漲潮流與退潮流匯合的位置會往西邊偏移，此時南灣外海的流場為向南流，由圖 11 可以清楚的看到，漲潮流從鵝鑾鼻南緣進入南灣海域，因為水深變淺而減少的流場渦度，流場會偏轉進入鵝鑾鼻的大陸棚區，在此時期的流場主要沿著等深線變化。

在大漲潮期間(高乾潮(higher lower water)到高滿潮(higher high water)) (圖 12)，受到漲潮流作用下，流場會得到正的渦度，因此在南灣的東岸形成順時針渦流。直到大退潮初期，流場受到地形的影響而形成南北兩股支流，在南灣外海的南方支流，相較於大漲潮時期在鵝鑾鼻東岸的流速變小，較強流速則移往南灣的南方外海，以及另一股北方支流，則進入灣內加強南灣東岸的順時針渦流，其規模可以發展至整個南灣海域。

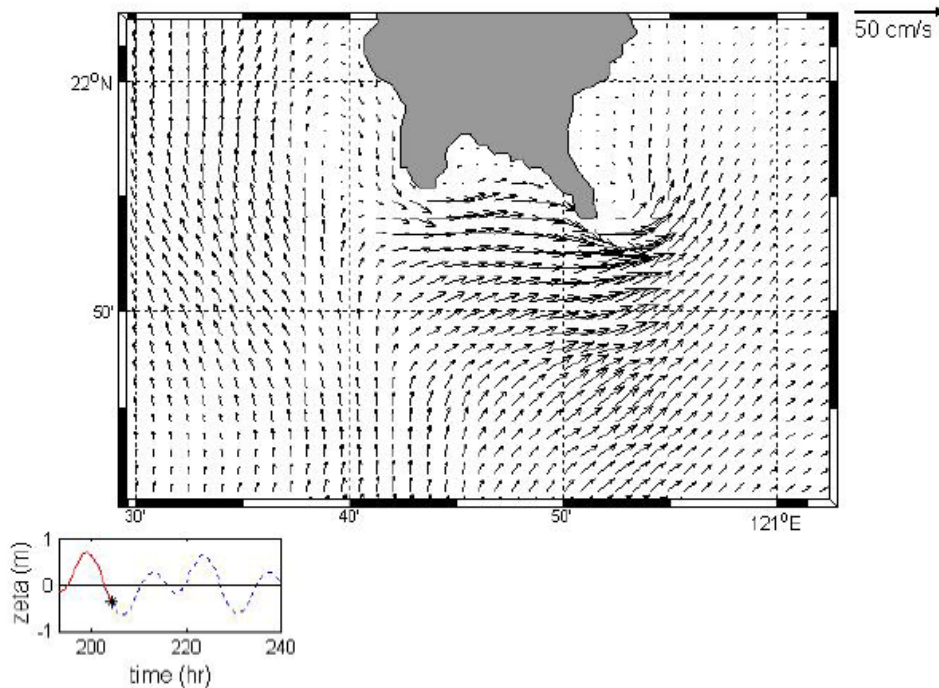


圖 6 ROMS 模式，南灣海域大退潮期間之模擬流場

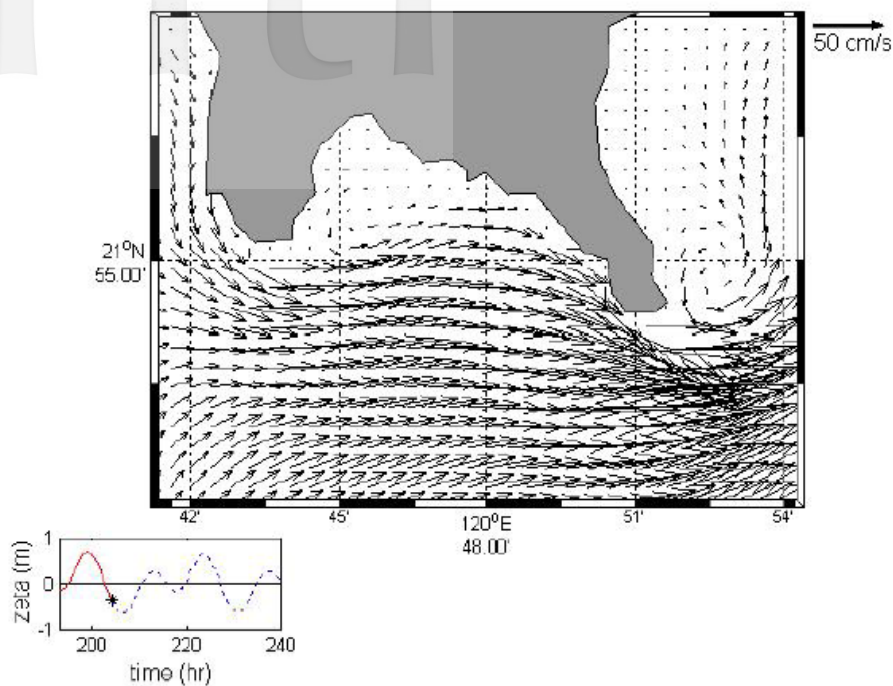


圖 7 ROMS 模式，南灣海域大退潮期間之近岸模擬流場

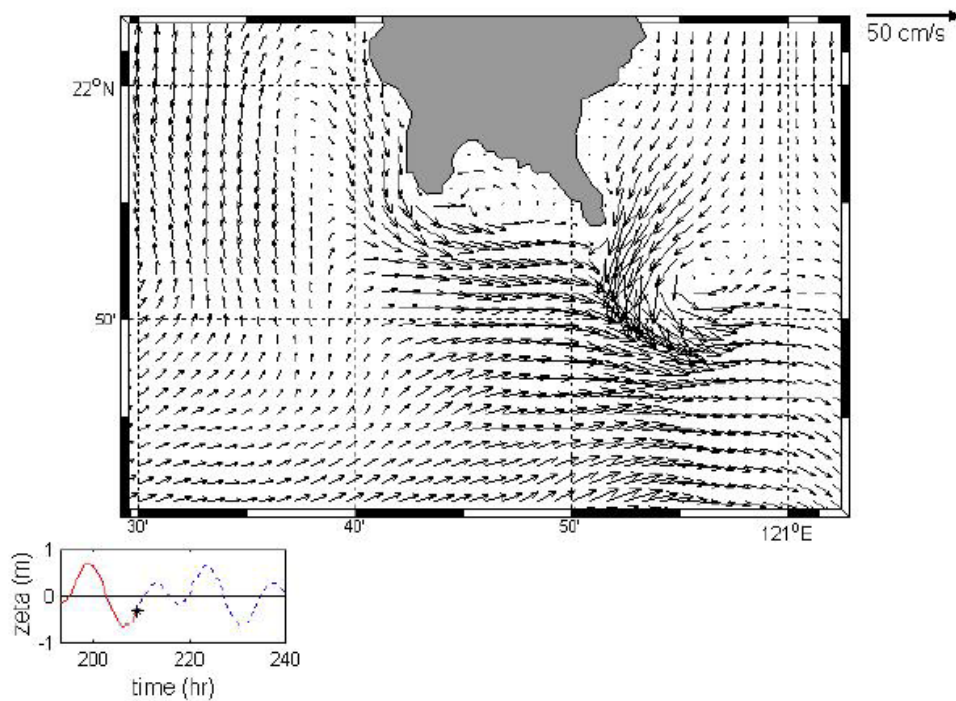


圖 8 ROMS 模式，南灣海域小漲潮期間之模擬流場

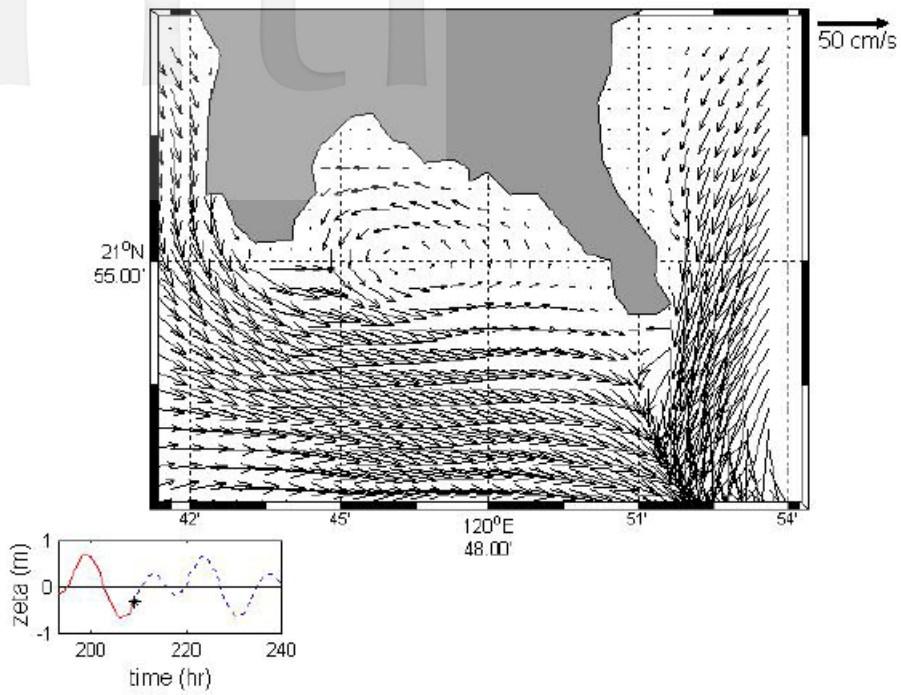


圖 9 ROMS 模式，南灣海域小漲潮期間之近岸模擬流場

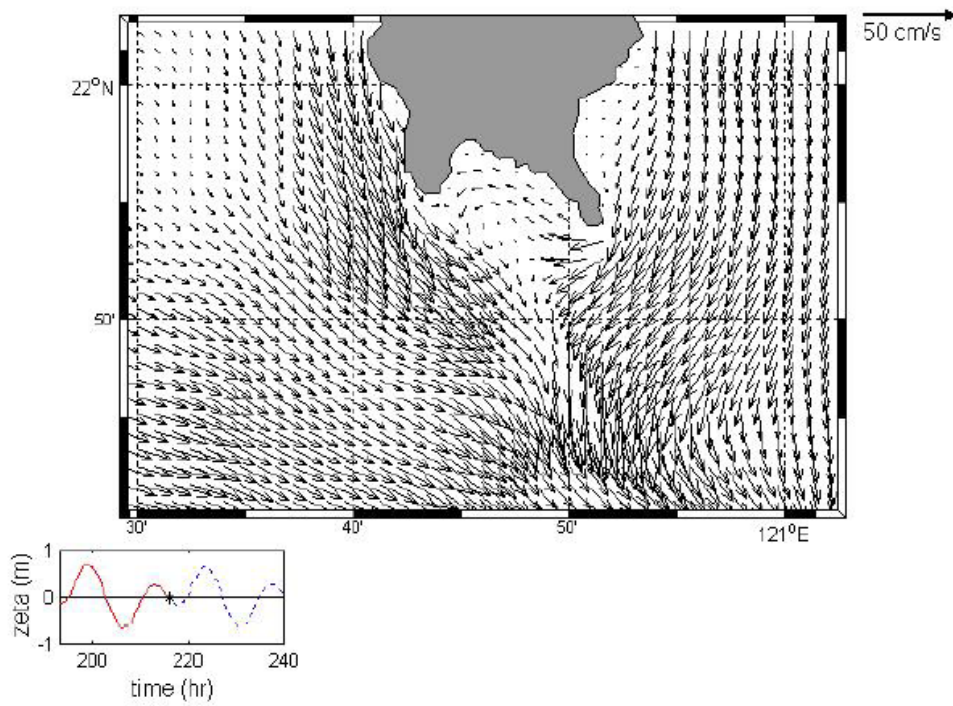


圖 10 ROMS 模式，南灣海域小退潮期間之模擬流場

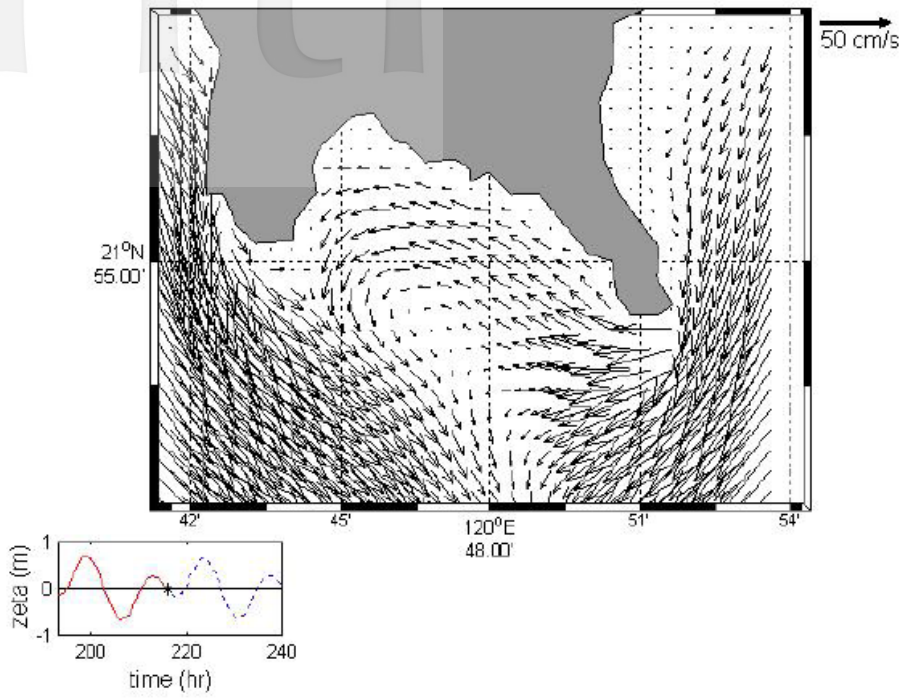


圖 11 ROMS 模式，南灣海域小退潮期間之近岸模擬流場

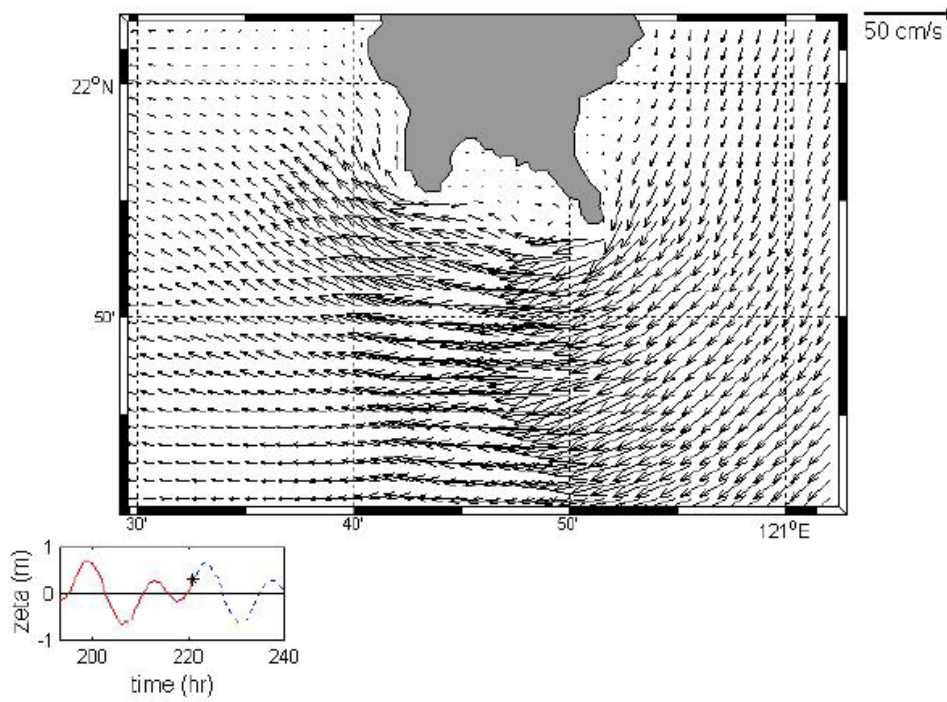


圖 12 ROMS 模式，南灣海域大漲潮期間之模擬流場

4.2 潮致餘流

一般來說，在近岸區域水質點經過一個潮汐週期後，並不會回到原先的起始位置，而這個偏移距離是由於平均流所造成的。因為摩擦阻力、海底地形、邊界形狀等原因，使得潮流在非線性作用下所導致的平均流稱為「潮致餘流」。

經過潮流週期積分後，模式的流場模擬結果顯示，南灣海域內有一恆定的平均流存在，此平均流代表由潮汐所引致的餘流。在南灣海域受到漲潮與退潮的作用下，在南灣的東岸與西岸分別形成順時針與逆時針渦流，使得東岸與西岸的潮流特性不太一樣，圖 13 為考慮科氏力的潮致餘流模擬結果，由潮汐餘流的結果顯示，在貓鼻頭東岸（約以東經 120 度 45 分 0 秒為界線）呈現順時針方向旋轉的空間分佈，西岸呈現逆時針方向旋轉的空間分佈。

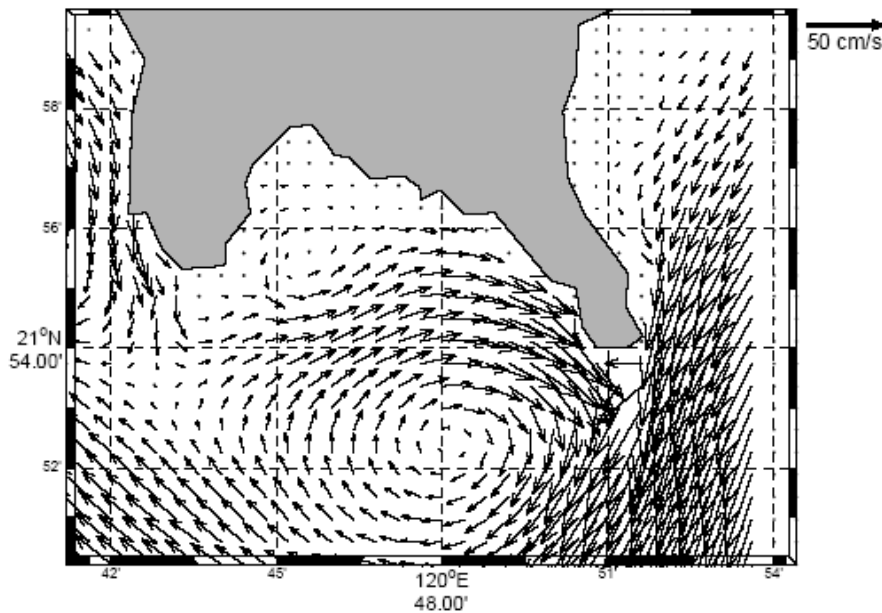


圖 13 南灣海域的潮汐餘流

四、結論

本文應用 ROMS 海洋模式模擬南灣海域之潮流，先針對影響模式穩定度之因素進行測試；再利用實測資料調整模式參數，以獲得最佳模擬結果。南灣海域流場數值模擬之結果，經綜合分析後可以歸納以下結論與建議。

影響模式計算穩定性，參數的敏感程度大小依序為時步長的配置、水平渦黏滯係數、底

床摩擦係數。調整水平渦黏滯係數，有助於增加計算的穩定度，對於計算結果影響很小可以忽略。在水平網格解析度為 500 公尺的條件下，模式計算參數的建議設定值，外模積分時步長為 1 秒，內模積分時步長為 60 秒，水平黏滯係數為 $100 \text{ m}^2/\text{s}$ ，底床摩擦係數 0.003，為模式計算最穩定且有效率之設定。

模擬結果顯示，當大退潮末期到小漲潮期間，南灣流場呈現逆時針渦流分佈，該渦流最強發生在小漲潮中期；在大漲潮初期南灣流場呈現順時針渦流分佈，該渦流最強發生在大退潮中期。潮流所產生的平均流，在南灣海域主要以順時針渦流存在，其流速最大值約為 40 cm/s，發生在鵝鑾鼻西南方海域，在後壁湖附近另有一小型逆時針渦流存在，其流速約為 7 cm/s。

本研究僅考慮潮流的作用下南灣海域流場的變化，建議日後進一步在模式中加入風場與氣壓場以及大尺度洋流等因素，以完整呈現南灣海域的實際流況。

謝 誌

本論文係國科會專題研究計畫「海面波浪對颱風暴潮推算影響之研究」(編號 NSC96-2221-E-006-203-MY3) 之研究成果，承蒙國科會經費之補助使本研究得以順利完成，謹致謝忱。另感謝水利署提供 ADCP 資料得以順利完成。

參考文獻

- Backhaus, J. O. (1985) "A three-dimensional model for simulation of shelf sea dynamics," *Deutsche Hydrographische Zeitschrift*, Vol. 38, No. 4, pp. 165-187.
- Chern, C. S. (1984) "On the vertical structure of tidal currents at the northern offshore of Taiwan," *Acta Oceanographica Taiwanica*, Vol. 15, pp. 1-12.
- Emery, W. J. and R. E. Thomson (1998) *Data Analysis Methods in Physical Oceanography*, Elsevier, Amsterdam.
- Egbert, G. D. and Erofeeva, S. (2002) "Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides," *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, Vol. 19, Issue 2, pp. 183-204.
- Holton, J. R. (1972) *An Introduction to Dynamic Meteorology*, Academic Press, New York.
- Liang, N. K., Lien, S. L., Chen, W. C. and Chang, H. T. (1978) *Oceanographic investigation in the vicinity of Ma-An-San and Nan Wan bay*, Special publication, No. 18, Institute of Oceanography, National Taiwan University.
- Shchepetkin, A. F. and J. C. McWilliams (2005) "The Regional Ocean Modeling System: A

split-explicit, free-surface, topography following coordinates ocean model,” *Ocean Modelling*, Vol. 9, pp. 347-404.

Shchepetkin, A. F. and J. C. McWilliams (2003) “A method for computing horizontal pressure-gradient force in an oceanic model with a nonaligned vertical coordinate,” *Journal of Geophysical Research*, Vol. 108(C3), pp. 35.1-35.34.

Shchepetkin, A. and J. C. McWilliams (1998) “Quasi-monotone advection schemes based on explicit locally adaptive dissipation,” *Monthly Weather Rev.* Vol. 126, pp. 1541-1580.

劉肖孔 (1983) 中國海峽三度空間數值模式，行政院科技顧問組。

王玉懷 (1999) 「TSNOW 現場觀測資料報告」，台灣海峽海況即時預報模式計畫 (TSNOW) 研討會論文集，第 16-21 頁。

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

莊文傑、江中權 (2005) 「台灣四周海域的潮波系統」，第 27 屆海洋工程研討會論文集，第 154-161 頁。

Manuscript Received : Apr. 27, 2010

Revision Received : Sep. 02, 2010

and Accepted : Oct. 15, 2010