

交通部中央氣象局
委託研究計畫(期末)成果報告

臺灣海域近岸風暴潮
溢淹預報模式之開發與研究 (1/4)

計畫類別：氣象 海象 地震

計畫編號：MOTC-CWB-101-O-02

執行期間：101年1月20日至101年12月31日

計畫主持人：吳祚任

執行機構：國立中央大學

中華民國 101 年 11 月 27 日

政府研究計畫(期中)報告摘要資料表

計畫中文名稱	臺灣海域近岸風暴潮溢淹預報模式之開發與研究 (1/4)		
計畫編號	MOTC-CWB-101-O-02		
主管機關	交通部中央氣象局		
執行機構	國立中央大學		
年度	101 年	執行期間	101.1.20 至 101.12.31
本期經費 (單位：千元)	2,240 千元		
執行進度	預定 (%)	實際 (%)	比較 (%)
	100 %	100 %	0 %
經費支用	預定(千元)	實際(千元)	支用率 (%)
	2,240 千元	1792 千元	80 %
研究人員	計畫主持人	協同主持人	研究助理
	吳祚任		楊天璋
			莊美惠
			蔡育霖
			李俊叡
報告頁數	138 頁	使用語言	中文
中英文 關鍵詞	台灣風暴潮溢淹預報模式、COMCOT、風剪力與風壓力		
研究目的	<p>臺灣位處全球颱風最密集之路徑上，加以全球暖化造成颱風等極端氣候強度增強，又以臺灣四面環海，因此提昇颱風暴潮之預報能力為臺灣氣象發展之重要目標。其中與民眾最相關之預報項目為風暴潮之淹溢範圍。本研究擬發展一精準之風暴潮淹溢模式，結合氣象局現有之大氣預報模式及近海波浪模式，以及利用雙向巢狀網格與數值移動邊界法，精準計算沿海之時變淹溢範圍，以提供決策與預報之用。本研究將以現有且成熟發展之非線性 COMCOT 模式，利用其巢狀網格之功能，同時建構深海之大網格系統與近海之高解析度系統，以同時計算遠洋及近岸之波浪傳遞以及沿海溢淹。</p>		
研究成果	<p>本年度計畫目前已完成之項目如下：</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 修改暴潮溢淹模式，加入時變壓力梯度項以模擬颱風之移動低氣壓中心。 ● 驗證所修改之壓力梯度模式，並與經驗公式及其他相關數 		

	<p>值模式之結果加以比對。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 修改暴潮溢淹模式，加入時變風切剪應力項以模擬颱風之風場。 ● 驗證修改之風切剪應力模式，與經驗公式及其他相關數值模式之結果加以比對。 ● 帶入理想颱風模式係數，並進行模式中參數校驗。 ● 帶入臺灣地形，並以歷史颱風暴潮為研究對象，帶入風場與壓力場，並開啟移動邊界模式與巢狀網格，模擬大小尺度下之風暴潮運動情形。 <p>在模式修改與驗證方面，本研究系統充分驗證氣象力中之風剪力及風壓力對流場與水面之影響。由理想狀況下之驗證結果可看出，模式之準確度相當高，此有利於後續更複雜之模式發展。</p> <div data-bbox="507 790 1329 1167" data-label="Figure"> <p>The figure is a vector field plot titled "vector 007200" showing wind velocity around the Taiwan Strait. The x-axis is labeled "Longitude" and ranges from 116 to 134. The y-axis is labeled "Latitude" and ranges from 20 to 28. A color scale on the right indicates wind speed in m/s, ranging from 0 (dark blue) to 2 (red). The plot shows a strong wind field (red/orange) centered over the Taiwan Strait, with velocity decreasing (yellow, green, blue) as it moves away from the strait. Small black arrows represent the direction of the wind vectors.</p> </div> <p>(台灣周遭海域導入理想風場之風剪力場和大氣壓力場後，所繪製之流速流場圖。色階表流速大小，單位 m/s)</p>
具體落實應用情形	現階段尚處於模式開發階段，除將模式應用於台灣周遭海域之氣象力場測試外，尚無實際應用。具體落實應用在第二年度即會具體實現。
計畫變更說明	無
落後原因	無
檢討與建議 (變更或落後之因應對策)	無

目錄

一、計畫摘要.....	1
二、計畫背景與目的.....	1
三、本年度工作項目.....	9
四、預期成果.....	10
五、預定進度甘梯圖.....	12
六、多重網格暴潮溢淹模式.....	13
6-1 文獻回顧.....	13
6-2 數值方法.....	15
6-3 暴潮模式原理.....	16
6-3-1 風剪力與大氣壓力模式.....	18
6-3-2 地形與網格設定.....	20
6-3-3 風剪力項導入與驗證.....	21
6-3-4 壓力梯度項導入與驗證.....	29
6-3-5 移動颱風路徑導入.....	39
6-3-6 真實地形導入.....	56
6-3-7 實際案例之情形導入.....	77
七、結論.....	97
八、驗收項目成果彙整.....	98
九、參考文獻.....	100
附錄一、成果效益報告.....	104
附錄二、國外心得報告.....	120

一、計畫摘要

臺灣四面環海，加以每年颱風肆虐，因此能否掌握風暴潮是為風暴潮災防之關鍵。過去風暴潮之預報模式由於受限於模式開發與計算機速度限制，風暴潮之模擬與預報多侷限於演算至近岸而無溢淹、或計算溢淹卻侷限於小計算域。然而風暴潮淹溢範圍為災防重要參考依據，而計算域若能涵括整個颱風生命週期，則可提昇預報準確度。為此，本計畫借助 COMCOT 海嘯模式，利用其已建構成成熟之巢狀網格以及溢淹功能，加上風暴潮所需之壓力梯度項與風剪力項，並引入潮汐邊界條件，以發展適用於臺灣之風暴潮溢淹模式。本模式亦將與氣象局現有之風場與氣象資料結合，作為颱風之驅動力，以更精準預報風暴潮之動向。

二、計畫背景與目的

臺灣位處全球颱風最密集之路徑上，加以全球暖化造成颱風等極端氣候強度增強，又以臺灣四面環海，因此提昇颱風暴潮之預報能力為臺灣氣象發展之重要目標。其中與民眾最相關之預報項目為風暴潮之淹溢範圍。本研究擬發展一精準之風暴潮淹溢模式，結合氣象局現有之大氣預報模式及近海波浪模式，以及利用雙向巢狀網格與數值移動邊界法，精準計算沿海之時變淹溢範圍，以提供決策與預報之用。本研究以現有且成熟發展之非線性 COMCOT 模式，利用其巢狀網格之功能，同時建構深海之大網格系統與近海之高解析度系統，以同時計算遠洋及近岸之波浪傳遞以及沿海溢淹。

風暴潮是由熱帶氣旋、溫帶氣旋、冷鋒的強風作用和氣壓驟變等強烈的天氣系統引起的海面異常升降現象，又稱暴潮(storm surge)或異常潮(abnormal tide)，由於這水位變化純粹由於氣象作用所造成，因此又稱為氣象潮(meteorological tide)。其與當時之天文潮(astronomical tide)之差，稱為潮位偏差，亦稱為暴潮位。風暴潮會使受到影響的海區的潮位大大地超過正常潮位。如果風暴潮恰好與影響海區天文潮位高潮相重疊，就會使水位暴漲，海水湧進內陸，造成巨大破壞。如 1953 年 2 月發生在荷蘭沿岸的強大風暴潮，使水位高出正常潮位 3 米多。洪水沖毀了防護堤，淹沒土地 80 萬英畝，導致 2000 餘人死亡。又如 1970 年 11 月 12-13 日發生在孟加拉灣沿岸地區的一次風暴潮，曾導致 30 餘萬人死亡和 100 多萬人無家可歸。(Wiki, 2011)

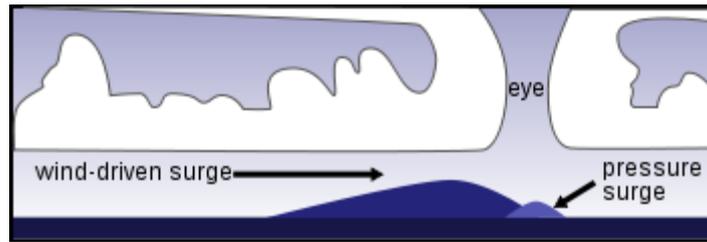


圖 2.1：風暴潮（storm surge）示意圖

風暴潮之預報作業模式在過去 20 年來蓬勃發展，如美國 NOAA 之 National Weather Service (NWS) 針對美國東南沿海發展並採用 ET-SURGE 模式（亦稱 ETSS 模式）作為風暴潮作業模式，並用於颶風來襲時之風暴潮預報之用。不過該模式對於風暴潮溢淹預測僅採用線性推估，並未實際模擬溢淹範圍。而針對溢淹部分，NOAA 則採用有限元模式風暴潮模式 ADCIRC。ADCIRC 風暴潮模式以 MMAP 網格生成器產生不規則網格，並耦合 NWS 之氣象作業模式之產物作為風壓場之驅動力，計算沿岸溢淹行為，不過 ADCIRC 目前尚未成為作業模式，且其計算範圍僅侷限於近岸地區。

國內學者對於風暴潮之研究，較早期的研究有楊（1974）應用線性模式模擬北臺灣地區的暴潮水位；黃（1975）則以經驗公式推算花蓮港暴潮水位；魏（1976）則採用統計經驗法分析澎湖、高雄港、臺西等地的暴潮特性。由上述文獻可知，在 1970 年初期，國內的學者受限於計算機能力以及理論發展之限制，主要以利用實測資料，配合統計方法來分析暴潮之特性。到 1970 年代末期，李（1979）跳脫過去以統計及經驗之分析方法，改以流體動力方程建立整個臺灣海峽沿岸的暴潮數值模式，並於 1984 年完成臺灣周圍海域風暴潮數值模式之建立。劉（1987）甚至發展出三維風暴潮數值預報模式，並考慮到溫度及鹽度的變化，然而該模式侷限於特定區域之模擬。然而以上之模式該在該時期多侷限於學術使用，尚未達到作業模式（operational model）之規模。

大約在同一時期，歐洲在風暴潮理論與模式之發展漸趨成熟，許多國家開始著手發展適合該國使用之風暴潮作業模式，如使用於法國之 IFREMER 模式（Salomon & Breton, 1990）、使用於比利時之 MUMM 模式（Ozer et al., 1990）、使用於荷蘭之 KNMI 模式（Verboom et al., 1990）、使用於英國之 POL 模式（Flather & Proctor, 1983）、以及使用於希臘之 UA/AUT 模式（Lascaratos et al., 1991）。上述之模式皆有一個共通點，即為求解深度積分之淺水波方程式（Pugh, 1987）。換言之，風暴潮模式在 80 年代後至今，在所求解之方程式上大致定型，也就是淺水波方程式加上大氣壓力場以及風剪力場作為驅動，並以潮汐變化作為邊界條件以驅動計算域內之潮汐水位變化。

對於此一趨勢，中央氣象局亦積極與學界合作，希望開發適合臺灣之風暴潮

作業模式。其中近期之模式法展以快速求解多尺度暴潮行為為主（于，2005）。該報告亦結論到若要改進預報之準確度，風暴潮模式以完整描述颱風由生成至行經臺灣之完整過程為佳。

另外一方面，在 2005 年美國卡翠娜（Katrina）颶風重創美國墨西哥灣及路易斯安那州紐奧良城後，氣象單位開始注意到，過去之風暴潮模式僅描述近岸水位變化顯然不足以預防類似卡翠娜颶風所帶來之災害。對於風暴潮災害之防治，除了要能完整涵括颱風生命週期以及潮汐變動外，模式是否能同時模擬溢淹範圍更是關鍵所在。然而要模擬颱風生命週期，又要模擬溢淹，又因為作業模式之需求為快速預報，因此對模式本身即為一嚴苛之挑戰。

茲列舉現今對於風暴潮作業模式之需求如下：

1. 不規則網格或巢狀網格，可快速求解不同尺度之淺水波方程式。
2. 必須或至少可求解球座標系統，以描述遠洋所生成之颱風。
3. 模式中必須包含柯氏力、大氣壓力場、風剪力場、潮汐水位、底床摩擦阻力。
4. 平行化之程式。
5. 模式需包含移動乾濕邊界，以模擬溢淹情形。
6. 近岸解析度需約小於 50 公尺，以提供溢淹所需資訊。
7. 可結合氣象局之風場及壓力場之產品，作為計算域內之驅動力來源。

針對上述需求，目前就筆者知識範圍內，除了少部分研究用途之模式外，並無風暴潮作業模式可達成上述需求。

另一方面，在 2011 年日本 311 大海嘯發生之後，COMCOT 海嘯模式之計算效率以及準確性令人印象深刻。海嘯波與風暴潮皆為淺水波，皆求解淺水波方程式。因此模式本身互通性相當高。

茲列舉 COMCOT 之特色如下：

1. 採用雙向耦合巢狀網格方式，快速求解不同尺度之海嘯行為。
2. 可使用球座標、卡式座標、或混用球、卡座標，以完整描述海嘯之生命週期。
3. 模式中包含柯氏力、底床摩擦阻力、並支援多種形態之邊界條件。
4. 已完成模式平行化，且不需繁瑣之系統設定。
5. 提供移動乾濕邊界，可模擬溢淹情形。
6. 近岸解析度可自由調整，且模式已廣泛驗證，證實在深海之大尺度及近海小尺度皆相當準確，過去有可由 3.5km 解析度縮小至 10m 之案例。
7. 本計畫將導入氣象力，如壓力場及風剪力場。後期將導入潮汐作用。

圖 2.2 為以 COMCOT 模擬 2011 年 311 日本海嘯之初始波高圖。由於利用巢狀網格，計算域可輕易涵蓋至日本海。計算海嘯由日本傳遞至臺灣約費時 1 分鐘。此高速計算速度將有利於速報或預報系統之建立。圖 2.3 為利用 COMCOT 模擬 311 日本海嘯事件之潮位站資料校驗。上圖為日本沿海位於 Hanasaki 之潮位站位置圖。下圖為模擬結果（藍線）與實測資料（黑線）之時序比對。結果相當令人滿意。圖 2.4：利用 COMCOT 模擬 311 日本海嘯事件之潮位站資料校驗。上圖為俄羅斯沿海位於 Rudnaya Prostan 之潮位站位置圖。下圖為模擬結果（藍線）與實測資料（黑線）之時序比對。結果顯示即使位於日本海，亦接收到海嘯訊號。此結果顯示 COMCOT 對於 10cm 以內之微小振幅波亦可精準掌握。

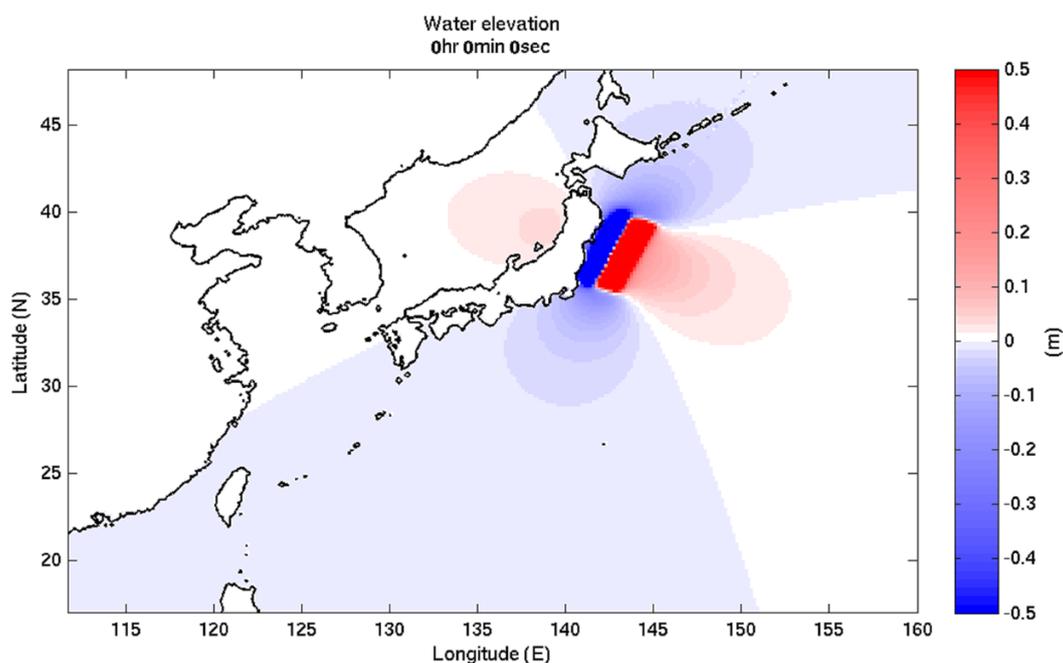


圖 2.2：以 COMCOT 模擬 2011 年 311 日本海嘯之初始波高圖。由於利用巢狀網格，計算域可輕易涵蓋至日本海。計算海嘯由日本傳遞至臺灣約費時 1 分鐘。

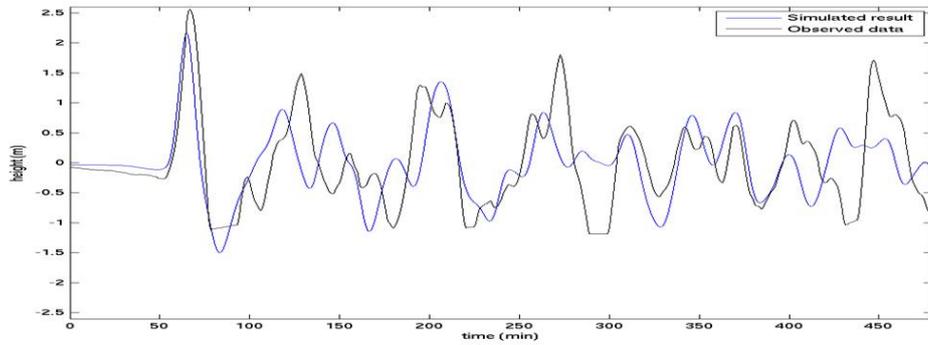
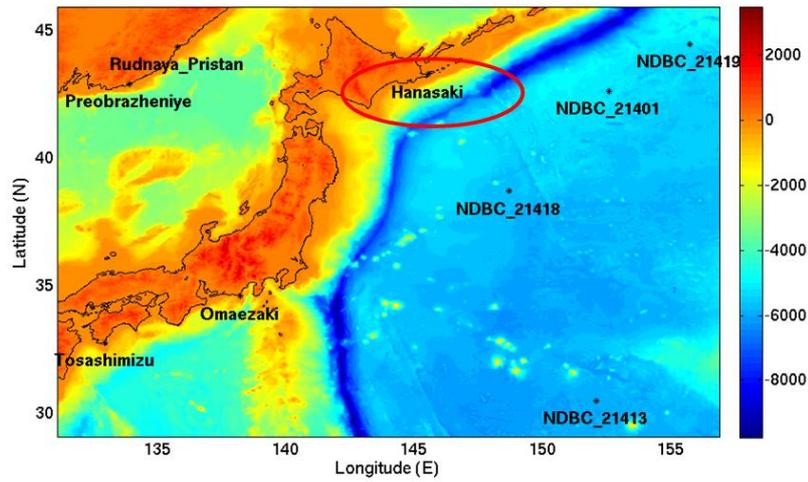


圖 2.3：利用 COMCOT 模擬 311 日本海嘯事件之潮位站資料校驗。上圖為日本沿海位於 Hanasaki 之潮位站位置圖。下圖為模擬結果（藍線）與實測資料（黑線）之時序比對。結果相當令人滿意。

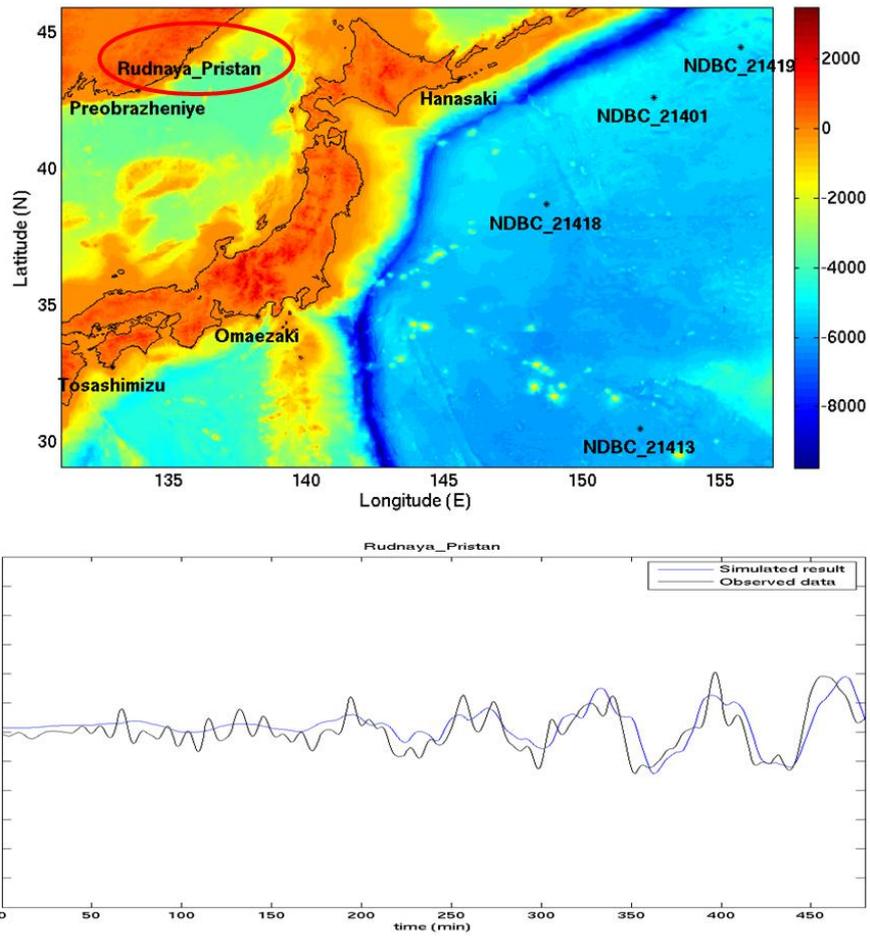


圖 2.4：利用 COMCOT 模擬 311 日本海嘯事件之潮位站資料校驗。上圖為俄羅斯沿海位於 Rudnaya Prostan 之潮位站位置圖。下圖為模擬結果（藍線）與實測資料（黑線）之時序比對。結果顯示即使位於日本海，亦接收到海嘯訊號。此結果顯示 COMCOT 對於 10cm 以內之微小振幅波亦可精準掌握。

此外，國科會亦委託本團隊進行臺灣潛在大規模侵台海嘯之研究。圖 2.5：以 COMCOT 進行若亞普海溝發生大規模地震並引發海嘯，海嘯能量傳遞行為。由圖可見，由於使用巢狀網格，COMCOT 計算範圍可輕鬆涵蓋整個菲律賓海板塊。此對於掌握颱風完整生命週期並進而增進模擬準確度相當有利。圖 2.6：以 COMCOT 進行若亞普海溝發生大規模地震並引發海嘯，海嘯對於宜蘭及花蓮沿海之溢淹情形。由圖可見，COMCOT 除可同時計算大範圍之波浪運動情形，對於小尺度（本案例約 50m）之溢淹範圍亦可同時模擬。

由比較上述理想風暴潮之條件以及目前 COMCOT 現有之功能與特色後可發現，兩者差異在於 COMCOT 並未引入『大氣壓力場』、『風剪力場』以及『潮汐水位』之驅動力。然而由模式開發之技術層面而言，由於上述三者皆為點資料，亦即不需經過相鄰網格之梯度計算，因此困難度不高。換言之，若成功導入實測、大氣模式或理想模式下受颱風影響之大氣壓力場水位資料後，所建構之風暴潮作業模式將具有理想且完整之功能。此模式若開發完成，將使臺灣於風暴潮之淹溢模擬達快速、準確又兼具溢淹預報之水準。

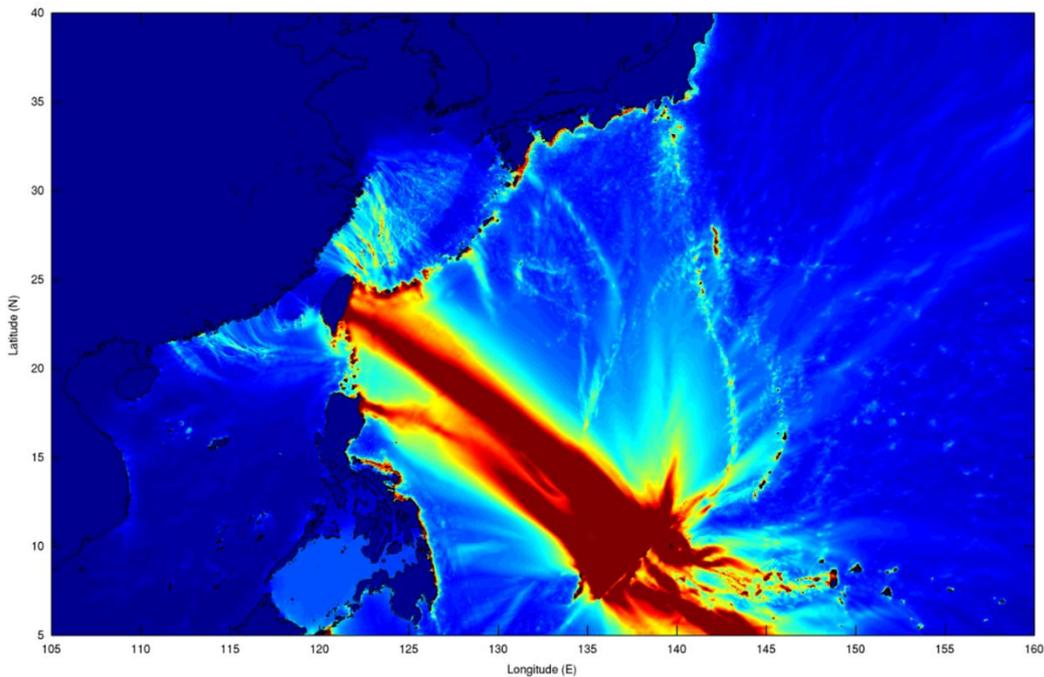


圖 2.5：以 COMCOT 進行若亞普海溝發生大規模地震並引發海嘯，海嘯能量傳遞行為。由圖可見，由於使用巢狀網格，COMCOT 計算範圍可輕鬆涵蓋整個菲律賓海板塊。此對於掌握颱風完整生命週期並進而增進模擬準確度相當有利。

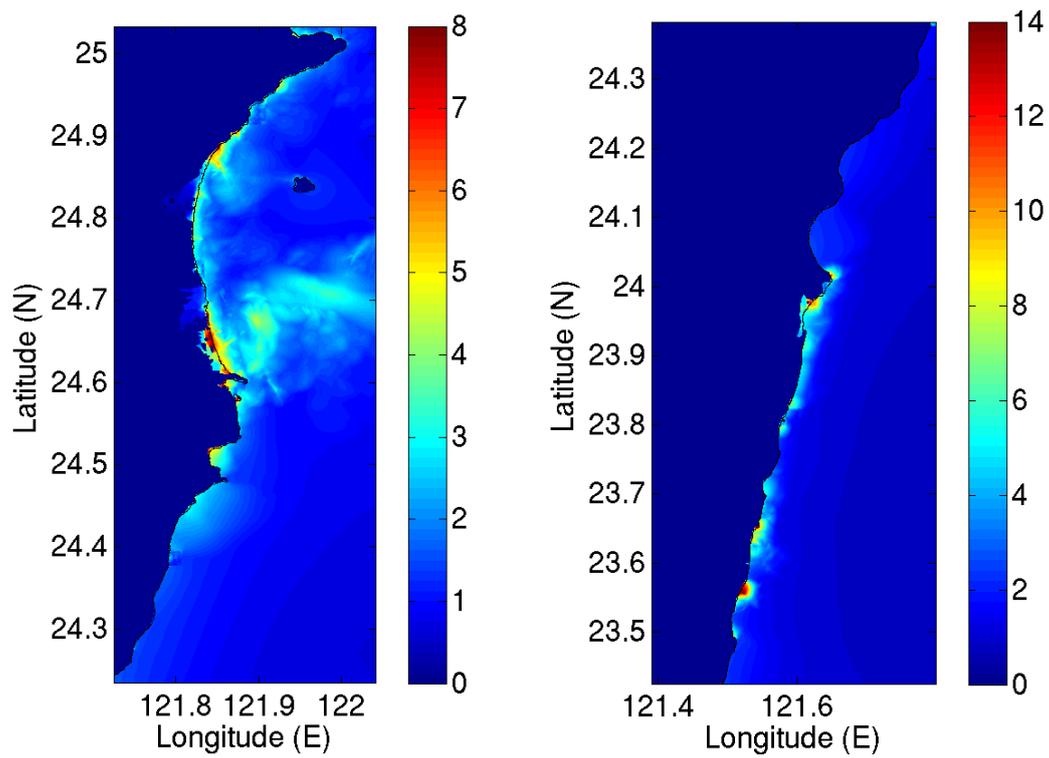


圖 2.6：以 COMCOT 進行若亞普海溝發生大規模地震並引發海嘯，海嘯對於宜蘭及花蓮沿海之溢淹情形。由圖可見，COMCOT 除可同時計算大範圍之波浪運動情形，對於小尺度（本案例約 50m）之溢淹範圍亦可同時模擬。

三、本年度工作項目

本計畫為期四年，主要以模式發展為主，並將建構模式溝通介面，以導入氣象局現有之大氣及近海波浪模式，以完成風暴潮溢淹模式。最後並將建立人機介面，以簡化使用者介面、開發網路介面以及進行教育訓練。

本年度工作項目如下：

1. 修改暴潮溢淹模式，加入時變壓力梯度項以模擬颱風之移動低氣壓中心
2. 驗證所修改之壓力梯度模式，並與經驗公式及其他相關數值模式之結果加以比對
3. 修改暴潮溢淹模式，加入時變風剪力項以模擬颱風之風剪力場
4. 驗證修改之風剪力模式，與經驗公式及其他相關數值模式之結果加以比對
5. 帶入理想颱風模式係數，並進行模式中參數校驗，試圖找出適合 COMCOT 模式之理想颱風模式係數
6. 帶入臺灣地形，並以歷史颱風暴潮為研究對象，帶入風剪力場與大氣壓力場，並開啟移動邊界模式與巢狀網格，模擬大小尺度下之風暴潮運動情形
7. 資料分析與文章撰寫

預計可能遭遇之困難及解決途徑

本研究目前在數值模式開發方面尚未預期有太多困難。可能之潛在問題在於模式中部分參數，例如風剪力項所使用之 C_D 值與底床摩擦力之摩擦係數值需要大量歷史風暴潮數據加以分析比對，以找出最適合臺灣之經驗參數。此部份可能耗費大量人力與時間。解決方式有二：一為採用更多臨時人力，二為批次化分析資料。

另外，本模式雖然計算速度相當快速，然而若需要更精密之網格以了解部分人口稠密之沿海地區溢淹行為，可能仍會減慢模擬速度。此時將會需要更快速之計算機以因應。此部份未來可能在硬體設備需求上會有所改變。

四、預期成果

本計畫為期四年，第一年以模式發展為主，主要加入適當受颱風影響之大氣壓力場及風剪力場。第二年將模式與氣象局現有之大氣及近海波浪模式結合，並提供初版之風暴潮淹溢模式。第三年加入潮汐之影響，更進一步提昇淹溢範圍計算精確度。第四年則著重於人機界面之發展，包括使用者界面簡化、網路界面之開發、以及教育訓練。

第一年：

- (1) 修改暴潮溢淹模式，加入時變壓力梯度項以模擬颱風之移動低氣壓中心。
- (2) 驗證所修改之壓力梯度模式，並與經驗公式及其他相關數值模式之結果加以比對。
- (3) 修改暴潮溢淹模式，加入時變風剪力項以模擬颱風之風剪力場。
- (4) 驗證修改之風剪力模式，與經驗公式及其他相關數值模式之結果加以比對。
- (5) 帶入理想颱風模式係數，並進行模式中參數校驗，試圖找出適合 COMCOT 模式之理想颱風模式係數。
- (6) 帶入臺灣地形，並以歷史颱風暴潮為研究對象，帶入風剪力場與大氣壓力場，並開啟移動邊界模式與巢狀網格，模擬大小尺度下之風暴潮運動情形。

第二年：

- (1) 收集中央氣象局現有或即將使用之大氣及近海波浪模式，了解個模式之風場、壓力場、及波浪場之運作方式及輸出格式，以利後續之模式耦合。
- (2) 建立資料傳遞介面，導入上述操作模式之輸出檔，作為風暴潮模式之邊界條件與輸入條件，以計算即時風暴潮情形。
- (3) 與中央氣象局研討風暴潮模式執行之條件與門檻，以建立即時自動之風暴潮計算系統。
- (4) 購買內政部所發佈之高解析度國土地形資料，以精確計算風暴潮淹溢範圍。
- (5) 進行預報時效測試。

第三年：

- (1) 於風暴潮模式中加入潮汐邊界與初始條件，以精確計算含潮汐影響之長浪運動及淹溢範圍。
- (2) 計算數個臺灣風暴潮淹溢事件，除驗證模式之準確度外，更進一步劃分臺灣風暴潮影響區域之危險等級。
- (3) 根據上述之風暴潮危險等級區域局部加密該地區之計算網格，以計算高精確度之淹溢範圍。
- (4) 至此模式主體開發已近完成，將與中央氣象局研商需改進之處，並適時予以改良。

第四年：

- (1) 發展人機界面，以利中央氣象局人員操作本模式。
- (2) 廣泛與中央氣象局人員商討合適之操作界面。
- (3) 開發網路界面，使作業人員能遠端操作程式，並適時取得模擬結果與淹溢範圍之資訊。
- (4) 進行教育訓練，並移交所完成之風暴潮淹溢模式。
- (5) 完成中央氣象局風暴潮淹溢模式之建置及評估報告。

1. 對於學術研究、國家發展及其他應用方面預期之貢獻。

本研究所預計開發完成之風暴潮數值模式，將擁有涵蓋完整颱風生命週期，以及可模擬溢淹範圍之功能，模擬完整颱風周期是為避免模擬區域中產生風場未達收斂之情況，並使模擬成果更臻精確。此不僅在學術上少見，對於台灣風暴潮預測能力亦將是一大進展。這對於風暴潮災防將有莫大助益。

2. 對於參與之工作人員，預期可獲之訓練。

參與之工作人員，可獲得之訓練如下：

- (1) COMCOT 模式之使用
- (2) 風暴潮模式之使用

3. 預期完成之研究成果及績效（如期刊論文、研討會論文、專書、技術報告、專利或技術移轉等質與量之預期績效）

本研究第一年度預期研究成果將可發表一篇 SCI 期刊論文以及 2 篇研討會論文。

五、預定進度甘梯圖

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	第 10 月	第 11 月	第 (期末) 月	備註
修改暴潮溢淹模式，加入時變壓力梯度項以模擬颱風之移動低氣壓中心	■	■	■	■	■	■	■	■					
驗證所修改之壓力梯度模式，並與經驗公式及其他相關數值模式之結果加以比對		■	■	■	■	■	■	■					
修改暴潮溢淹模式，加入時變風剪力項以模擬颱風之風剪力場			■	■	■	■	■	■	■	■			
驗證修改之風剪力模式，與經驗公式及其他相關數值模式之結果加以比對				■	■	■	■	■	■	■	■		
帶入理想颱風模式係數，並進行模式中參數校驗，試圖找出適合 COMCOT 模式之理想颱風模式係數							■	■	■	■	■		
帶入臺灣地形，並以歷史颱風暴潮為研究對象，帶入風剪力場與大氣壓力場，並開啟移動邊界模式與巢狀網格，模擬大小尺度下之風暴潮運動情形									■	■	■		
資料分析與文章撰寫					■	■	■	■	■	■	■		
工作進度估計百分比 (累積數)	5	10	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100	
<p>(1)工作項目請視計畫性質及需要自行訂定。預定進度以粗線表示其起訖日期。</p> <p>(2)「工作進度百分比」欄係為配合管考作業所需，累積百分比請視工作性質就以下因素擇一估計訂定：</p> <p>1.工作天數 2.經費之分配 3.工作量之比重 4.擬達成目標之具體數字。</p>													

六、多重網格暴潮溢淹模式

6-1 文獻回顧

颱風暴潮預測或模擬大致上可以分為統計(經驗)分析法、類神經網路法、及數值模擬法、(何明錦, 2006)。統計(經驗)分析法可再分為兩類, 一類利用現有之暴潮觀測資料進行頻率分析, 推估不同重現期距下之最大暴潮偏差量; 另一類以暴潮偏差與颱風特性進行統計相關性分析, 進而建立推估暴潮之經驗式。數值模擬法直接求解流體動力學方程式, 並導入地形資料、颱風風場資料, 以及邊界相關條件而成。本研究採數值分析法, 茲針對此進行探討。

風暴潮之研究在國際間已進行一段時日, 而台灣在風暴潮之研究也早於 1970 年代及開始發展。這當中有諸多文獻對風暴潮之發展有詳細敘述(白, 2009、張 and 余, 2010、李 et al., 2004、許 et al., 1999), 茲整理如下。1979 年李賢文教授以流體動力方程式建立臺灣海峽沿岸之暴潮數值模式(李賢文, 1979), 並在 1984 年提出台灣周圍海域颱風暴潮預報模式(李賢文, 1984)。類似時間 Dendrou et al.(1983)在 FEMA 發展風暴潮數值模式, 被各國廣泛應用於暴潮演算及海岸災害評估。劉(1990)發展二維及三維快速颱風暴潮模式, 可評估未來 24 小時內之暴潮情況。Chien(1994)提出一維暴潮推估模式, 在模式中利用風浪評估近岸海域衍生之波揚與波降。黃榮鑑等(1995)利用邊界調協座標系統建立半隱式三維數值環流模式, 以探討河口及海岸受颱風暴潮影響之水位堆升及海流變動情形。許泰文等(1997)應用有限元素法同步求解波浪模式與二維暴潮模式, 並應用此模式預測颱風所引發的暴潮偏差。許等(1999)以限元素法建立颱風暴潮數值模式, 模式中結合了海陸域地形資料、流體動力方程式、邊界條件以及颱風模式。詹森等(2001)採用 POM 模式(Princeton Ocean Model; Blumberg and Mellor, 1987)及 Chao 和 Paluszkiwicz(1991)之環流模式等相關原始程式碼, 以三維數值模式進行潮位、潮流、溫鹽預報結果之校驗, 並發展臺灣海峽短期現報系統(Taiwan Strait Nowcast Model Study; TSNOW, 1997)。交通部運輸研究所港灣技術研究中心結合多個學術單位共同規劃研發適合臺灣海域的「臺灣近岸海象預報模式系統」(Taiwan Coastal Operational Modeling System; TaiCOMS, 2006), 包含實測資料的觀測網(流場、水位、波浪、風場、氣壓)建立與數值預報模式(擴散、流場、水位、波浪、風場), 兩者資料最後經過資料同化與驗證, 以改進模式誤差。高家俊等(2006)利用 POM 模式, 針對臺灣海域進行颱風暴潮推算, 並分析不同外在條件對颱風暴潮推算的影響程度。首先利用 Smith and Banke(1975)、Garratt(1977)、Smith(1980)、Wu(1980、1982)等學者的計算拖曳係數對暴潮的測試, 其中以 Smith and Banke(1975)的計算結果較佳。于嘉

順等 (2006a) 進行 TaiCOMS 之風暴潮校驗，該文以近年來十個颱風歷程做為校正之過程，並利用實測資料進行比對。于嘉順等 (2006b) 在「西太平洋颱風暴潮模式敏感度分析」中，校驗模式參數，如底床摩擦力、水平擴散係數及海面剪力係數等，並進行模式參數之敏感度分析，以便選擇較適合臺灣海域的條件。該文指出，剪力係數可採 Smith and Banke (1975)、Large and Pond (1981) 及 Geernaert (1986) 等之經驗公式與模式預設，然而不同模式對結果影響有限。

上述模式之文獻可以發現，目前國內最理想之風暴潮作業模式，以求解三維水靜力方程式為主之 TaiCOMS 最為完整，其可呈現流場於垂直方向上之運動，亦可描述潮流運動。然而也因此造成計算量大，在使用於風暴潮之模擬時往往必須犧牲近岸解析度以求增進模擬速度。目前 TaiCOMS 之最高解析度僅達一弧分精度，尚無法描述近岸風暴潮及溢淹情形。

另一方面，由於風暴潮屬於標準之長波，或稱淺水波，可直接求解淺水波方程式。蔡丁貴等 (2001) 應用 MIKE21-HD 水動力數值計算模式針對臺灣南部之開放海域求解淺水波方程式，並探討潮流數值模擬計算與其邊界條件設定之相關問題。Yu 等 (1989) 求解淺水波方程式，以分析英吉利海峽 (English Channel) 和北海 (North Sea) 南端之風暴潮潮位變化，該文發現使用曼寧摩擦定律 (Manning's friction law) 於近岸溯升時可獲得較好結果，並且使模式能夠更適合複雜之地形。Tang 等 (1996) 研究分析北昆士蘭海岸 (North Queensland Coast) 之風暴潮與潮汐，由改良式之 Orlandi-type radiation boundary condition (Tang and Grimshaw, 1996) 輻射邊界條件作為邊界設定，該研究發現，模式預測值包含風暴潮水位都小於直接在暴潮水位上加上天文潮水位。以前文獻中多解釋為風暴潮與潮汐之間非線性之相互作用所產生之情況，然而作者證實其原因為底床摩擦因素導致，另外，研究潮汐的動力過程需要同時考慮天文潮和風暴潮兩者的影響，才能確實掌握海水位變化的特性。

綜合上述文獻可知，求解三維水靜力學模式部分，如以 POM 為基礎之模式，模式功能繁多，計算較為費時，網格不易更動，近岸解析度不足，因此大多無法模擬風暴潮溢淹。而求解淺水波方程式部分，模式功能單一，速度較快，然而大多未開發至平行化版本，無法發揮多核心之現代電腦效能，亦無法滿足作業模式之需情。另外部分模式未考慮潮汐或無法使用求座標等，皆無法列入作業模式之候選名單。

本研究採 COMCOT 模式為核心發展風暴潮模式，過去該模式已成功被修改為風暴潮模式之記錄 (Lin et al., 2010)，然而當時受限於程式尚未平行化，計算費時，因此無法滿足作業模式之需求。本計畫除了將 COMCOT 納入風暴潮之氣候力外，更將予以平行化及簡化介面，以符合氣象局之要求。

6-2 數值方法

在數值分析方面，本研究將以非線性淺水波模式分析海嘯之生成、傳播、以及近岸溯昇。本研究將採用 COMCOT 海嘯模式分析。該模式為美國康乃爾大學所開發之國際知名海嘯模式，廣被應用於研究諸多知名之海嘯事件，並有良好之計算結果，如 1992 Flores Islands (Indonesia) tsunami (Liu et al., 1994; Liu et al., 1995), the 2003 Algeria Tsunami (Wang and Liu, 2005) and more recently the 2004 Indian Ocean tsunami (Wang and Liu, 2006)。

COMCOT 海嘯模式之特點如下：

- (1) 結合球座標與卡式座標之計算，可同時求解全球尺度與地方尺度之海嘯。本特點將適用於模擬馬尼拉斷層所引發之海嘯事件。由於馬尼拉斷層長達 1500 公里，此大規模之海嘯必須使用球座標計算，然而當海嘯波地達臺灣沿岸，如沙崙油庫區，則需以小尺度之卡式座標計算。因此模式結合球座標與卡式座標為一重要之功能。
- (2) 結合線性與非線性淺水波方程式。海嘯波為標準之淺水波，因此適以淺水波方程式加以描述。其中深海地區適用線性淺水波方程式，而近海或上岸後之海嘯波則適用非線性淺水波方程式。本研究在遠距海嘯模擬部分將採線性淺水波方程式加以模擬，而近岸地區則以非線性淺水波方程式加以計算。
- (3) 具有移動邊界之功能，可處理海嘯波上溯時之乾濕邊界之問題。一般海嘯模式僅可計算線性淺水波方程式，對於邊界上則僅可處理固定邊界。換言之，一般海嘯波模式無法模擬海嘯淹溢範圍。而本模式具備移動邊界功能，可準確計算海嘯波上溯後，於內陸所造成之淹溢範圍。此對於沙崙油庫遭受海嘯攻擊範圍可有明確描述。
- (4) 具有動態連結之巢狀網格系統。海嘯波之傳遞為一複雜過程。在外海範圍屬於大尺度之運動行為，用較粗之網格即可描述。然而一旦海嘯進入近岸地區，其即轉換為小尺度之運動，此時即需以小網格加以分析。因此欲完整計算海嘯之生命歷程，數值模式需要具備能同時處理大小尺度之巢狀網格功能。本研究將於外海處安排較大網格，並於近岸處安排較小網格。而大小網格間為動態連結，可有更精確之計算結果。

6-3 暴潮模式原理

風暴潮模式建構方面，本計畫將以 COMCOT 海嘯模式為基礎進行發展。模式主要功能之一為求解卡氏座標及球座標之深度積分之淺水波方程式 (Pugh, 1987)，茲列非線性卡氏座標、線性球座標方程式和非線性球座標方程式如下：

非線性、卡氏座標方程式：

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \left(\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} \right) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{P^2}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{PQ}{H} \right) - fQ = -gH \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{H}{\rho_w} \frac{\partial P_a}{\partial x} + \frac{F_x^s}{\rho_w} \quad (2)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{PQ}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{Q^2}{H} \right) + fP = -gH \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{H}{\rho_w} \frac{\partial P_a}{\partial x} + \frac{F_y^s}{\rho_w} \quad (3)$$

線性、球座標方程式：

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \varphi} \left\{ \frac{\partial P}{\partial \psi} + \frac{\partial}{\partial \varphi} (\cos \varphi \cdot Q) \right\} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \frac{gH}{R \cos \varphi} \frac{\partial \eta}{\partial \psi} - fQ = -\frac{h}{\rho_w R \cos \varphi} \frac{\partial P_a}{\partial \psi} + \frac{F_\psi^s}{\rho_w} \quad (5)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{gH}{R} \frac{\partial \eta}{\partial \varphi} + fP = -\frac{h}{\rho_w R} \frac{\partial P_a}{\partial \varphi} + \frac{F_\varphi^s}{\rho_w} \quad (6)$$

非線性、球座標方程式：

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \varphi} \left\{ \frac{\partial P}{\partial \psi} + \frac{\partial}{\partial \varphi} (\cos \varphi \cdot Q) \right\} = 0 \quad (7)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \varphi} \frac{\partial}{\partial \psi} \left(\frac{P^2}{H} \right) + \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\frac{PQ}{H} \right) + \frac{gH}{R \cos \varphi} \frac{\partial \eta}{\partial \psi} - fQ = -\frac{H}{\rho R \cos \varphi} \frac{\partial P_a}{\partial \psi} + \frac{1}{\rho} (F_\psi^s - F_\psi^b) \quad (8)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \varphi} \frac{\partial}{\partial \psi} \left(\frac{PQ}{H} \right) + \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\frac{Q^2}{H} \right) + \frac{gH}{R} \frac{\partial \eta}{\partial \varphi} + fP = -\frac{H}{\rho R} \frac{\partial P_a}{\partial \psi} + \frac{1}{\rho} (F_\varphi^s - F_\varphi^b) \quad (9)$$

其中，

t ：時間

x, y ：空間座標 (卡氏座標)

φ, ψ ：空間座標 (球座標)

P, Q : 體積通量
 H : 總水深
 η : 自由液面高程
 h : 靜水深
 g : 重力加速度
 R : 地球半徑
 f : 柯氏力係數
 F_x^s, F_y^s : 風剪力
 ρ_w : 水密度
 P_a : 海面氣壓
 F_ψ^b, F_ϕ^b : 底床摩擦力

在邊界條件方面，由於需考慮天文潮之影響，將採各天文分潮之組合如下：

$$\eta(t) = \sum_j A_j \cos(\omega_j t - \varphi_j) \quad (10)$$

其中，

ω_j : 分潮頻率
 A_j : 分潮振幅
 φ_j : 分潮相位

於邊界引入潮汐作用方式在數值模式中大致可分為兩種，一種為直接於輻射邊界指定上述之潮位高程，而壓力值則透過下式指定：

$$\Delta\eta = -\frac{1}{\rho_w g} (P - P_n) \quad (11)$$

此處，環境大氣壓力 $P_n = 1013 \text{ mb}$ 。

透過上述之潮汐開放邊界以及模擬風暴潮所需之壓力梯度項和風剪力項，可使 COMCOT 模式提升為風暴潮模式。並透過本研究團隊長時期對於數值模式發展之經驗，可建構符合氣象局所需之風暴潮作業模式。

本期計畫將壓力梯度項及風剪力項置入於動量方程式中，並進行相關測試驗證及案例模擬。

6-3-1 風剪力與大氣壓力模式

氣象因子乃是產生暴潮的主要外力，主要包含風剪力與颱風中心與外圍的氣壓差所造成壓力梯度。在深水海域中，由氣壓所引起的暴潮分量大致符合靜水壓公式，即氣壓降低一百帕，則水位上升約一公分。在淺水區域，風剪力對暴潮的影響逐漸變的明顯，且其作用的物理機制複雜。

目前由模式所計算的風剪力所產生的暴潮偏差分量的大小與風剪力的計算，可採用 Smith and Banke (1975) 所建議之公式，為

$$F^s = \rho_a C_d |\overline{V}_w| \overline{V}_w \quad (12)$$

其中， \overline{V}_w 為平面上 10 公尺處風速、 ρ_a 為空氣密度、 C_d 為剪力係數(drag coefficient)， C_d 的值將隨不同 $|\overline{V}_w|$ 值而改變(Large and Pond, 1981, Powell, 2003)，如下：

$$10^3 C_d = \begin{cases} 2.16 & |\overline{V}_w| \geq 26ms^{-1} \\ 0.49 + 0.065|\overline{V}_w| & 10ms^{-1} \leq |\overline{V}_w| < 26ms^{-1} \\ 1.14 & 3ms^{-1} \leq |\overline{V}_w| < 10ms^{-1} \\ 0.62 + \frac{1.56}{|\overline{V}_w|} & 1ms^{-1} \leq |\overline{V}_w| < 3ms^{-1} \\ 2.18 & |\overline{V}_w| < 1ms^{-1} \end{cases} \quad (13)$$

根據 Holland (1980)所提出的理想風場之壓力模式為：

$$P_a = P_c + (P_n - P_c) \exp \left[-\left(\frac{R_{\max}}{r} \right)^B \right] \quad (14)$$

式中 P_c 為風暴中心之大氣壓力、 R_{\max} 為最大暴風半徑、 B 為峰值參數 (peakness parameter) 和 P_n 為環境大氣壓力 (ambient pressure)。

而由 Phadke 等人(2003)定義之理想風場之風速如下，

$$V_w = \sqrt{\frac{B(P_n - P_c)}{\rho_a} \left(\frac{R_{\max}}{r}\right)^B \exp\left[-\left(\frac{R_{\max}}{r}\right)^B\right] + \frac{r^2 f^2}{4} - \frac{rf}{2}} \quad (15)$$

式中 V_w 是風速，然而 C_D 值的決定直接影響到風剪力的計算，進而對於由風剪力所引起的暴潮偏差產生影響。

其中 f 為柯氏力、 ρ_a 為空氣密度、 R_{\max} 為最大暴風半徑、 r 為距暴風中心半徑， B 為峰值參數和 P_n 為背景大氣壓力。

Harper and Holland (1999) 建議峰值參數 B 值的經驗關係如下

$$B = 2 - \frac{P_c - 900}{160} \quad (16)$$

由於理想風場之風速場與壓力場之模式眾多，而其於數值技巧方面則類似，因此本年度以模式驗證為首要目標，並於驗證無誤後，再優先添加上述之氣象力模式於 COMCOT 模式，並探討其於台灣海域之適用性。

6-3-2 地形與網格設定

本年度之計畫主要以模式開發為主，因此採用較小範圍之計算域將有助於大量之案例校驗。本年度模式計算之區域範圍繪於圖 6.1 中，介於東經 116 度到東經 130 度及北緯 20 度到北緯 28 度。在此模擬區域中，台灣東部地帶為太平洋海域，水深較深，平均深度約為 5000 公尺，西部介於中國大陸與台灣之間的台灣海峽為近岸地區，水深較淺，平均水深約在 80 公尺左右。地形資料取自 ETOPO2，網格間距為 2 分。本文依據中央氣象局發布颱風之警報，當颱風中心位置在模式計算區域時，即開始進行暴潮水位的推算。模式在時間網格的計算上其積分時步長分別設定為 3 秒與 60 秒。

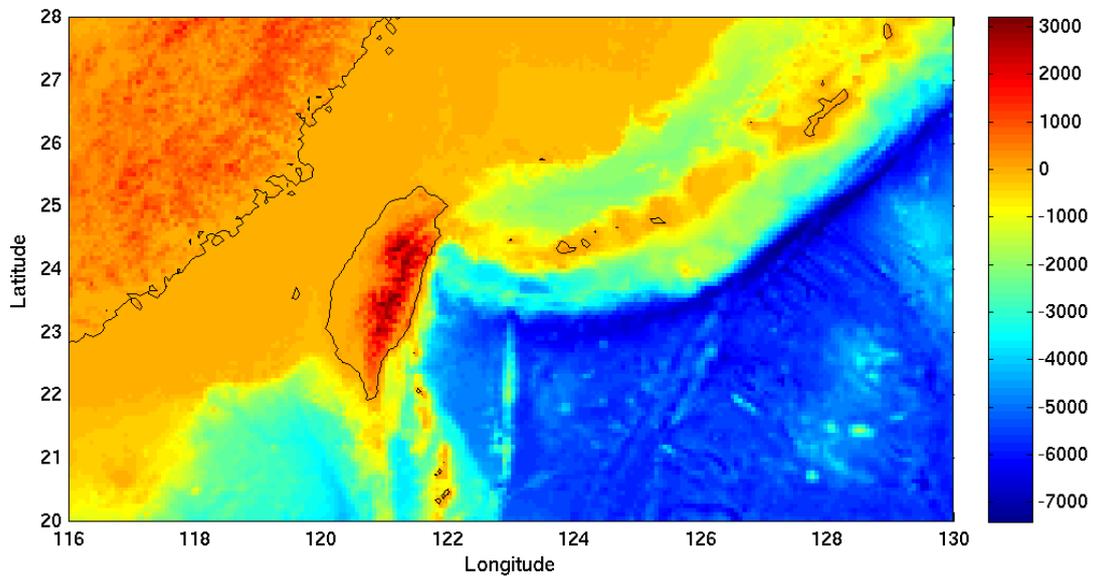


圖 6.1：模式計算之區域範圍。

6-3-3 風剪力項導入與驗證

在卡氏座標之風剪力驗證中，本研究採用非線性淺水波方程式並加入風剪力項，在單純考慮風剪之氣象力條件下，其控制方程式各為：

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \left(\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} \right) = 0 \quad (17)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{P^2}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{PQ}{H} \right) - fQ = -gH \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{F_x^s}{\rho_w} \quad (18)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{PQ}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{Q^2}{H} \right) + fP = -gH \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{F_y^s}{\rho_w} \quad (19)$$

本章節所進行之風剪力驗證中，風剪力在考慮穩態與線性波之條件下，假設柯氏力與底床摩擦力可以忽略，並只考慮 x 方向受風剪力之影響，則 x 方向動量方程式可簡化為：

$$\rho_w gH \frac{\partial \eta}{\partial x} = F_x^s \quad (20)$$

參考 Smith and Banke (1975) 之風剪力之二次式公式：

$$F^s = \rho_a C_D |\overline{V_w}| \overline{V_w} \quad (21)$$

可求解風剪力作用下，水面高程之穩態解析：

$$\rho_a C_D |\overline{V_w}| \overline{V_w} = \rho_w gH \frac{\partial \eta}{\partial x} \quad (22)$$

本研究將求解 COMCOT 數值解，並以上述公式驗證數值解之準確性。以下章節將詳細描述驗證案例之設置。

卡氏座標風剪力項驗證

今假設一矩形平坦之水槽，水槽長 5000m，寬 400m，水深為 10m，四周皆

為全反射邊界條件。水面受穩定且沿水槽方向之風力吹襲，則水面波之擾動之解析解可由式 22 求得。本案例水槽與風剪力參數如下：

$$\delta x = 5000\text{m}, H = 10\text{m}, V_w = 26\text{m/s}, C_D = 2.16 \times 10^{-3}, W = 400\text{m}$$

將各參數帶入，可得 $\partial\eta = 1.788 \cdot 10^{-5} \cdot 5000 = 0.0894$ ，此表示水槽兩次之則理想液面高程差為 0.0894 公尺。

本數值模式在導入上述參數後，結果如下。水槽內之水受風剪力之影響開始擾動，圖 6.2 為數值模擬結果及與解析解比對。由圖 6.2 系列可以觀察到，數值預測之水位面持續上下擾動，最終收斂於解析解附近。持續擾動為數值模擬之正常情況，此代表水面受風剪力作用後，無法達到穩態，而是呈現類穩態（quasi-steady state）之情況。而類穩態之情形收斂至穩態假設下之解析解，則代表模擬結果準確無誤。

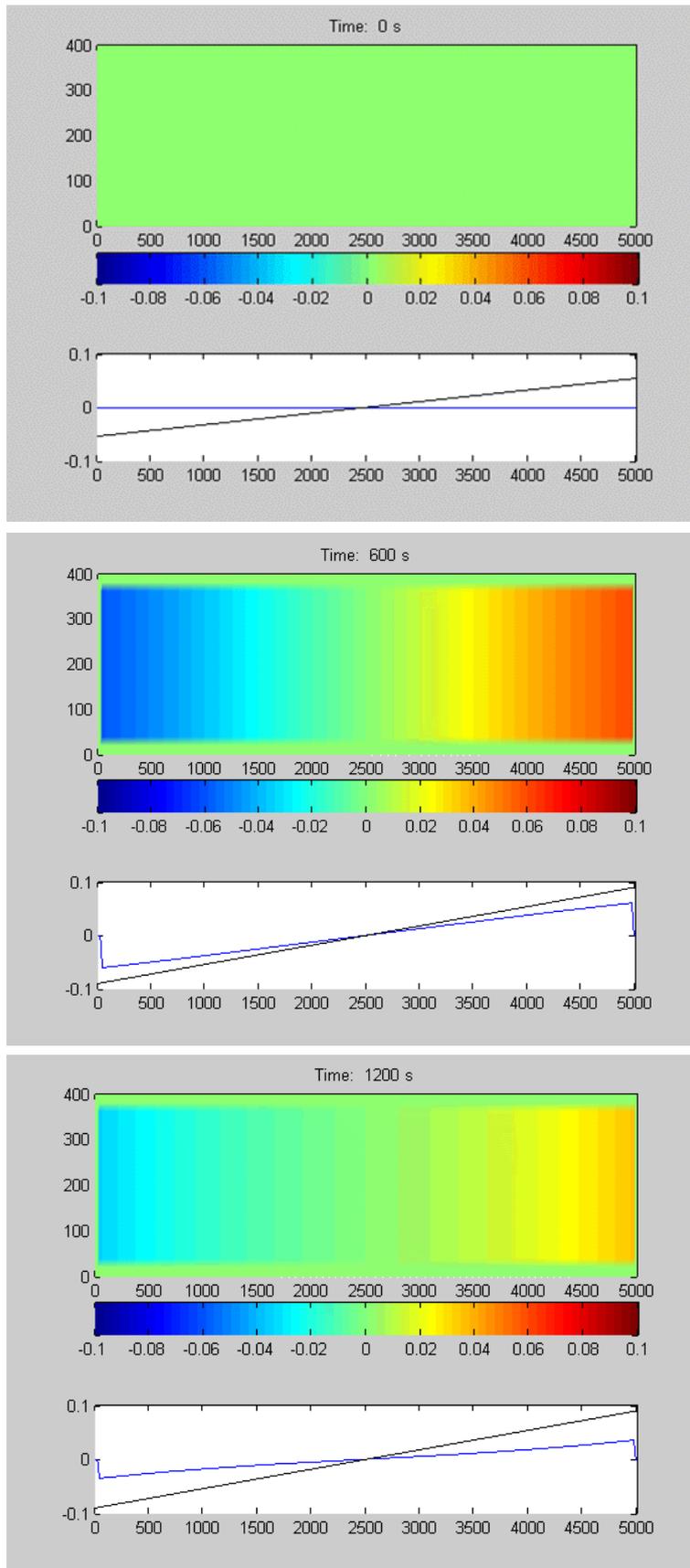


圖 6.2 (a)：受風速 26 m/s 之風剪力作用下，水面變化情形。各圖上半部色階表水位高程，單位 m。下半部線條表水位剖面線，藍：值模擬結果，黑：解析解。

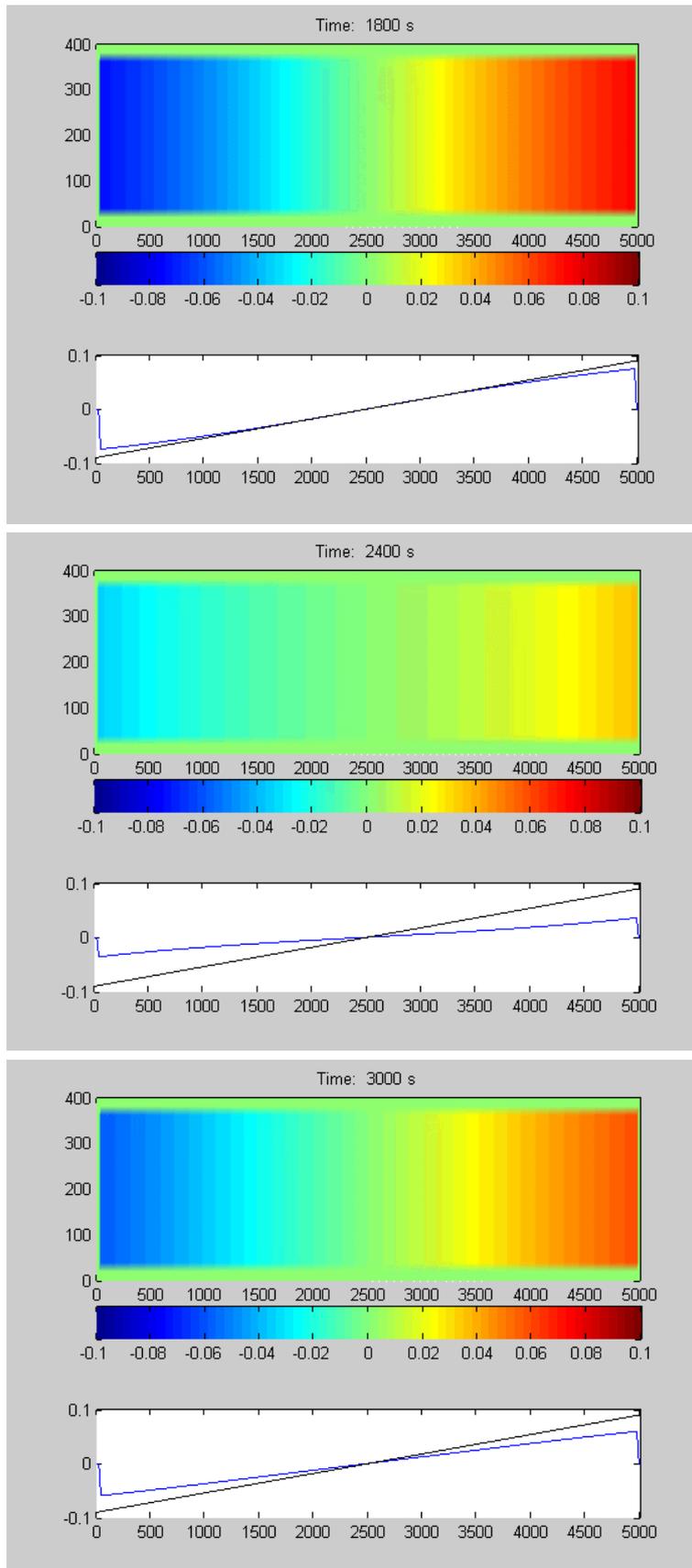


圖 6.2 (b)：受風速 26 m/s 之風剪力作用下，水面變化情形。各圖上半部色階表水位高程，單位 m。下半部線條表水位剖面線，藍：值模擬結果，黑：解析解。

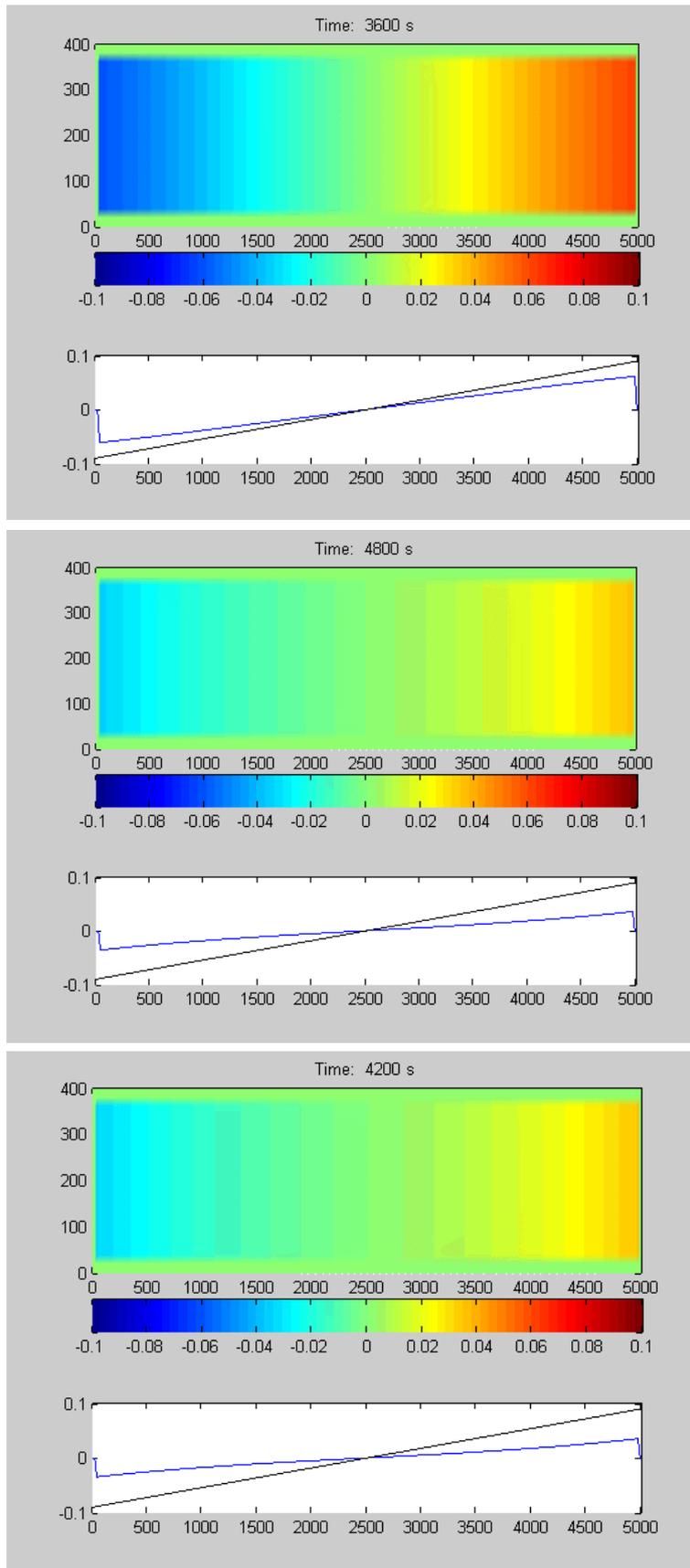


圖 6.2 (d)：受風速 26 m/s 之風剪力作用下，水面變化情形。各圖上半部色階表水位高程，單位 m。下半部線條表水位剖面線，藍：值模擬結果，黑：解析解。

球座標風剪力項驗證

在球座標系統中，我們採用線性淺水波方程式並僅考慮加入風剪力項，由此所得之各項控制方程式為：

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \varphi} \left\{ \frac{\partial P}{\partial \psi} + \frac{\partial}{\partial \varphi} (\cos \varphi \cdot Q) \right\} = 0 \quad (23)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \frac{gH}{R \cos \varphi} \frac{\partial \eta}{\partial \psi} - fQ = \frac{F_{\psi}^s}{\rho_w} \quad (24)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{gH}{R} \frac{\partial \eta}{\partial \varphi} + fP = \frac{F_{\varphi}^s}{\rho_w} \quad (25)$$

由於此二維系統無解析解，因此本案例單純觀察其結果是否合乎預期。校驗之項目主要在於水面擾動初期在尚未受到邊界條件之影響下，是否會出現合乎風場設定之正圓形擾動，以及模擬後期，水位在受到邊界影響下，是否會出現水體堆積與削減之情況。

今假設在一球座標系統下，水深皆為 100 公尺，計算域為東經 115 度至東經 135 度，北緯 16 度至北緯 28 度，四周為全反射邊界條件。給予模擬域中心類似颱風之一逆時針風場，本數值模式在導入上述參數後，利用控制方程式中之線性連續方程式(式 23)和動量方程式(式 24、式 25)，求解水面受風剪力之影響開始擾動之情況，圖 6.3 為數值模擬結果。由圖 6.3 系列可以觀察到，數值模式預測之水位面持續上下擾動之情況。模擬結果合乎上述之預期。

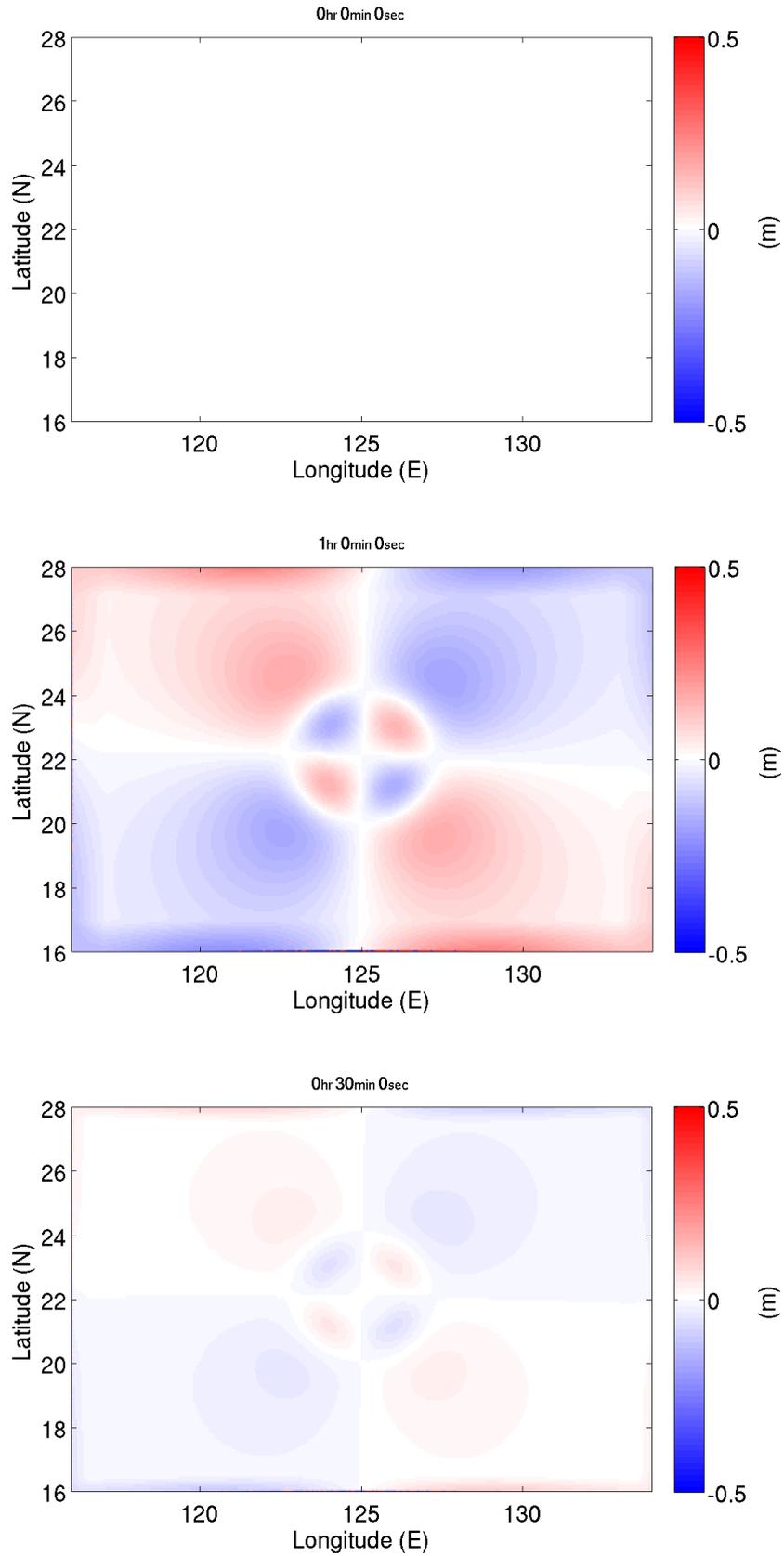


圖 6.3(a)：，受一逆時針風場之風剪力作用下，水面變化情形。色階表水位高程，單位 m。

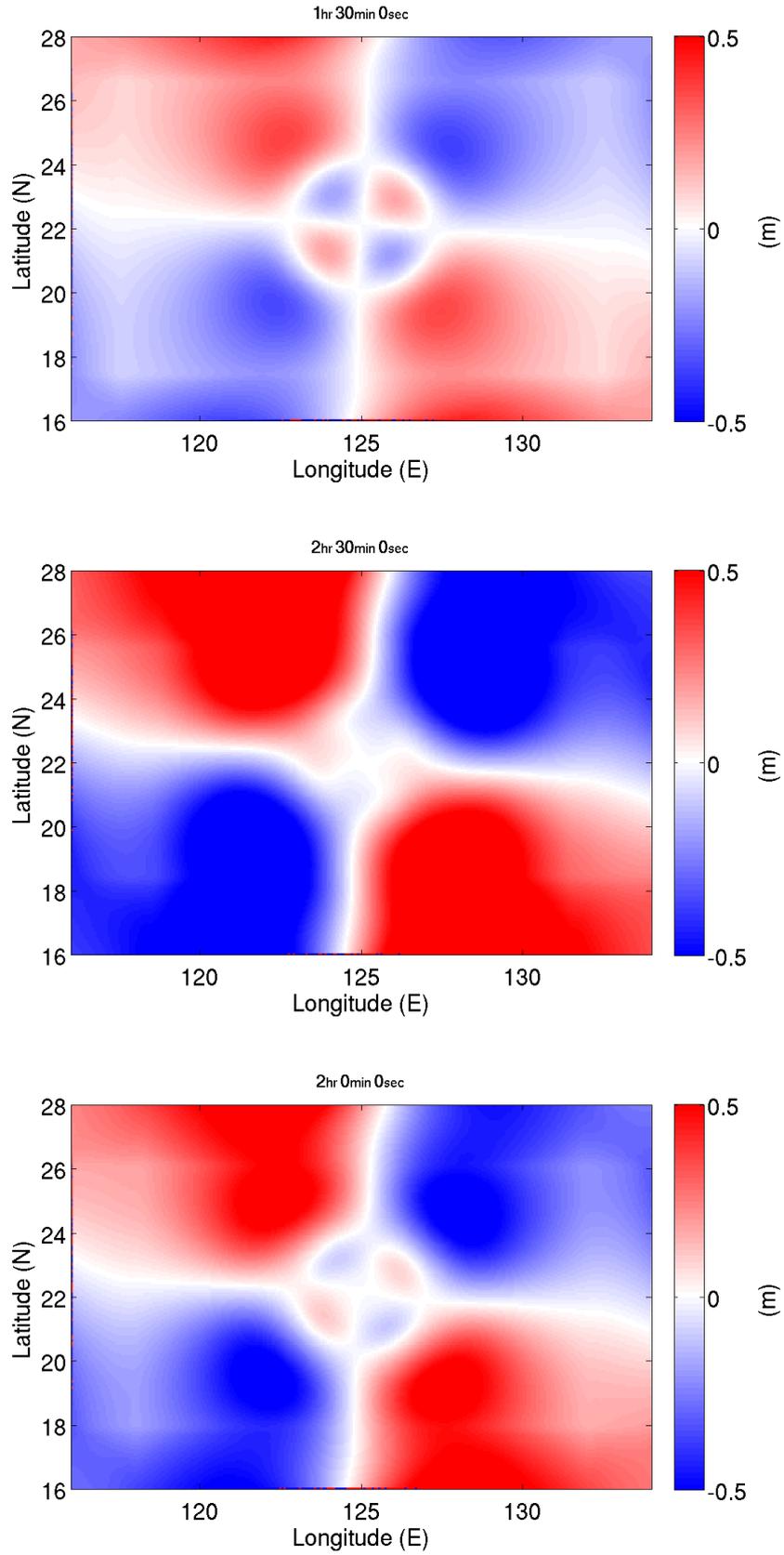


圖 6.3(b)：受一逆時針風場之風剪力作用下，水面變化情形。色階表水位高程，單位 m。

6-3-4 壓力梯度項導入與驗證

為驗證壓力梯度作用，本章節亦以類似風剪力之解析解推導方式，藉由穩態及線性之假設，忽略柯氏力及底床摩擦力，並只考慮 x 方向之動量傳遞，則在卡氏座標下， x 方向之動量方程式可簡化為：

$$\frac{\partial \eta}{\partial x} = \frac{1}{\rho g} \frac{\partial P_a}{\partial x} \quad (26)$$

上式表示空氣之壓力梯度與水位面變化之關係。本案例即以此進行壓力梯度模式之驗證。

卡氏座壓力梯度項驗證

本案例假設一矩形平坦之水槽，水槽長 5000m，寬 400m，水深為 10m，四周皆為全反射邊界條件。在壓力梯度部分，導入一正弦函數之壓力梯度分布。設定之參數如下：

$$\text{假設 } \partial x = 5000\text{m}, \partial P_a = 10000 \cdot \sin \frac{2\pi}{5000}, W=400\text{m}, H=10\text{m}$$

將各參數帶回得可得：

$$\partial \eta = \frac{1}{g \rho_w} \partial P_a = 1.02 \cdot \sin \frac{2\pi x}{5000} \quad (27)$$

圖 6.4 為模式模擬結果，以及與解析解之剖面線比對。由圖 6.4 系列可以觀察到，水位面受到正弦函數之壓力梯度影響而開始擾動，受穩定壓力場影響之水面，亦會呈現正弦函數分布之型態，此結果與理想值接近。由於無摩擦項予以消能，水位面會持續擾動，達到類穩態之情形，而答案則在解析解周圍穩定晃動，表示答案正確無誤。

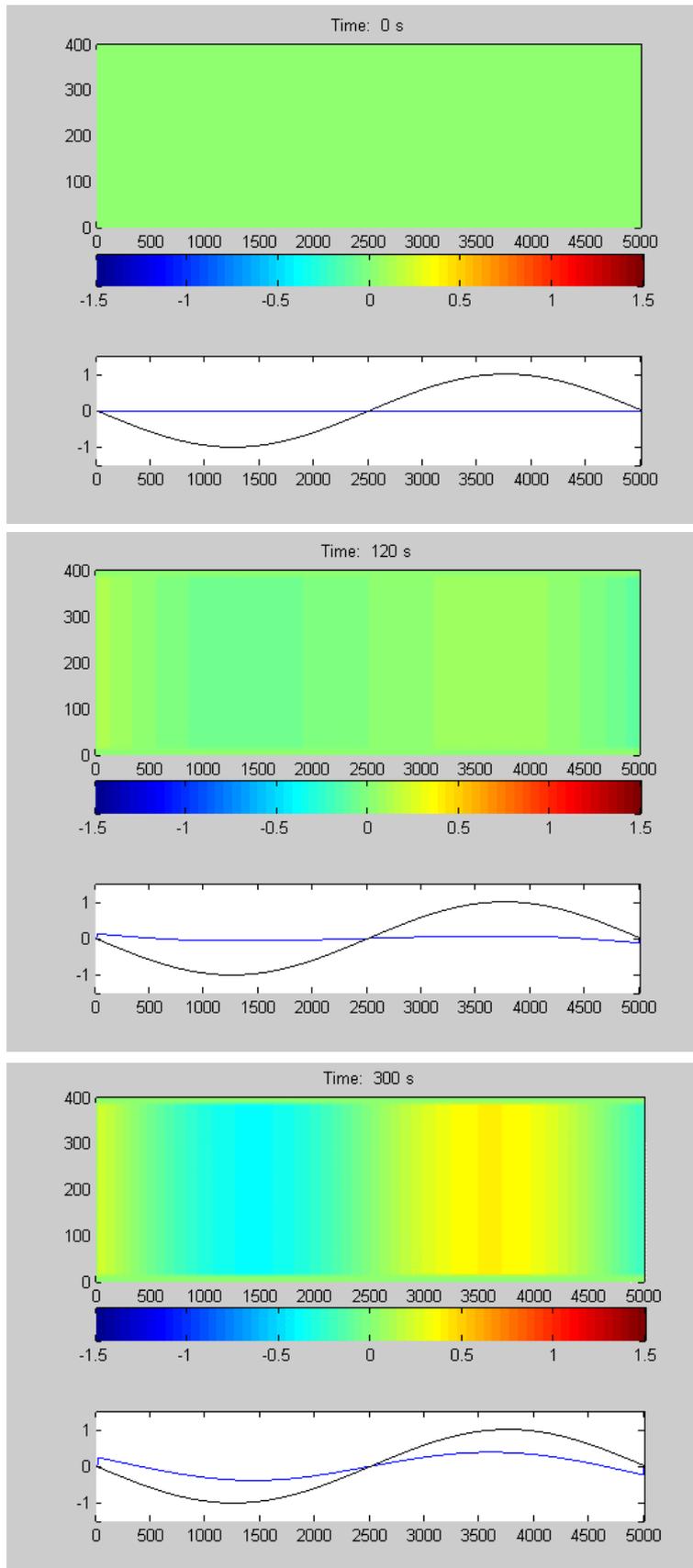


圖 6.4 (a)：受正弦函數之壓力梯度作用下，水面變化情形。上半部色階表水位高程，單位 m。下半部線條表水位剖面線，藍：模擬結果，黑：解析解。

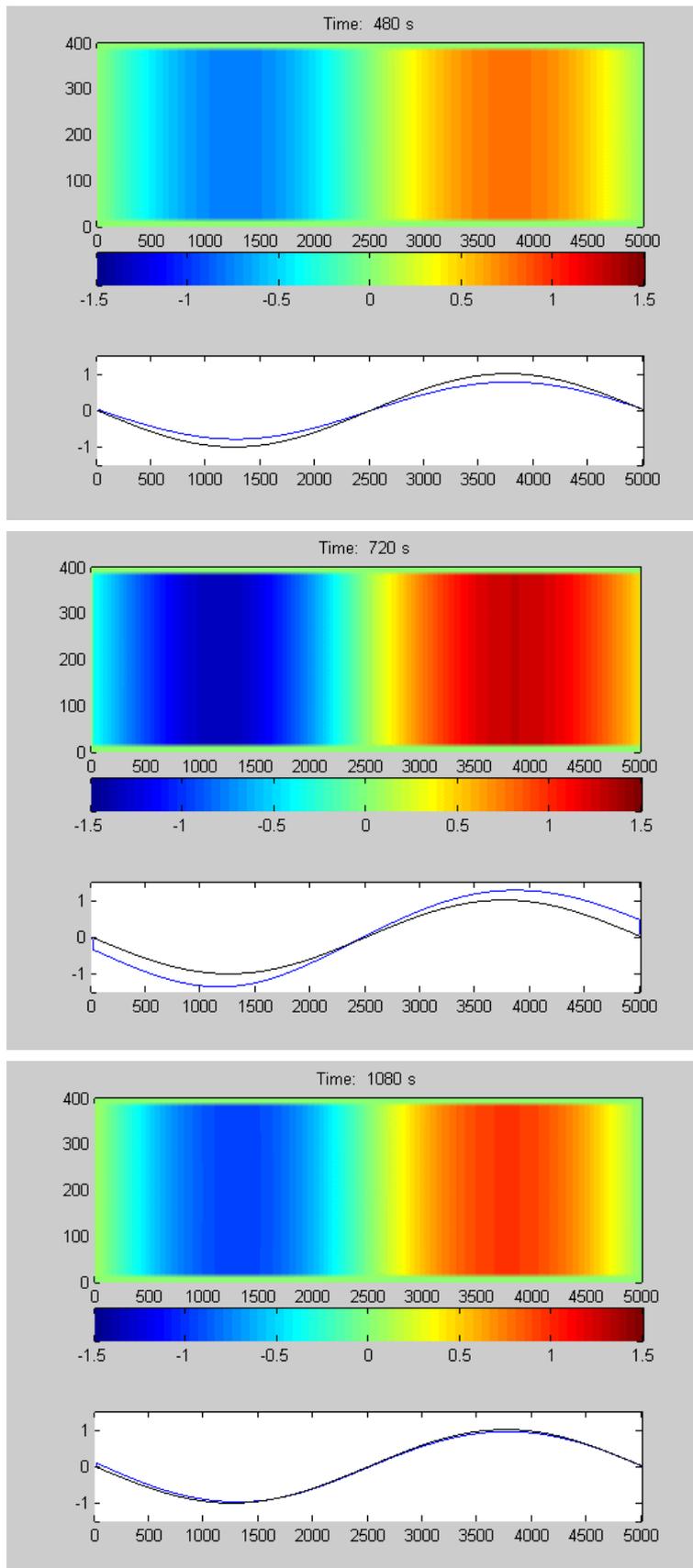


圖 6.4 (b)：受正弦函數之壓力梯度作用下，水面變化情形。上半部色階表水位高程，單位 m。下半部線條表水位剖面線，藍：模擬結果，黑：解析解。

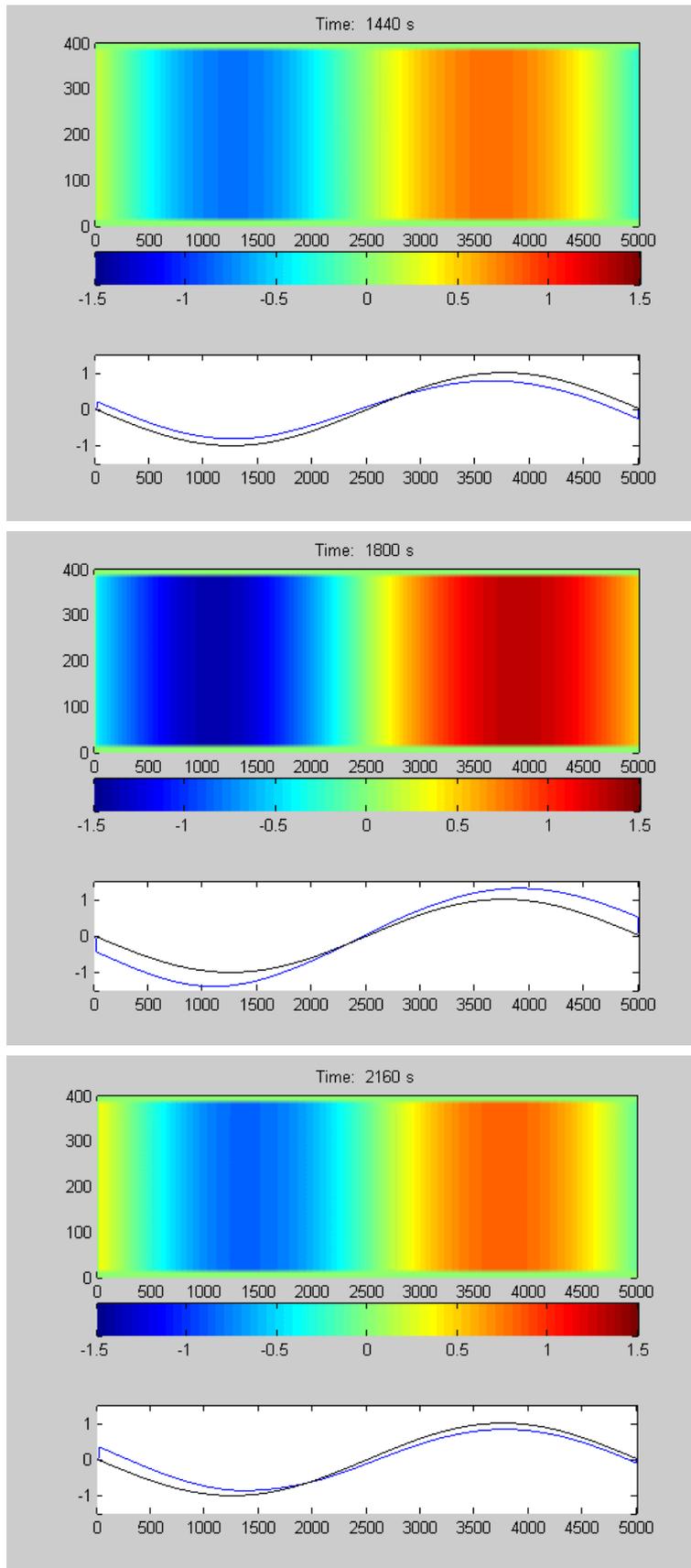


圖 6.4 (c)：受正弦函數之壓力梯度作用下，水面變化情形。上半部色階表水位高程，單位 m。下半部線條表水位剖面線，藍：模擬結果，黑：解析解。

球座標壓力梯度項驗證

而線性球座標方程式中，僅導入壓力梯度項，其控制方程式為：

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \varphi} \left\{ \frac{\partial P}{\partial \psi} + \frac{\partial}{\partial \varphi} (\cos \varphi \cdot Q) \right\} = 0 \quad (28)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \frac{gH}{R \cos \varphi} \frac{\partial \eta}{\partial \psi} - fQ = -\frac{h}{\rho_w R \cos \psi} \frac{\partial P_a}{\partial \psi} \quad (29)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{gH}{R} \frac{\partial \eta}{\partial \varphi} + fP = -\frac{h}{\rho_w R} \frac{\partial P_a}{\partial \varphi} \quad (30)$$

參考 Holland (1980) 之理想風場之大氣壓力公式，距離低氣壓中心不同半徑位置，則有不同壓力。其中， P_c 為暴風中心之大氣壓力、 R_{\max} 為最大暴風半徑、 B 為峰值參數(peakness parameter)和 P_n 為環境大氣壓力(ambient pressure)。

$$P_a = P_c + (P_n - P_c) \exp \left[-\left(\frac{R_{\max}}{r} \right)^B \right] \quad (31)$$

本數值模式在導入上述模式後，假設一地形水深均為 100 公尺，計算域為東經 115 度至東經 135 度，北緯 16 度至北緯 28 度，四周為全反射邊界條件。在模擬域中心置入一大氣壓力為 945mb 之低氣壓，利用控制方程式中之線性連續方程式(式 28)和動量方程式(式 29、式 30)，求解水面受大氣壓力變化之影響開始擾動之情況，並和解析解進行比對，其答案合乎模擬結果，而自由液面變化最大值是在中心位置處，其抬升高度約為 0.7m。

而解析解在距離暴風中心不同半徑之情況下，自由液面變化結果可見於圖 6.5。圖 6.6 為數值模擬結果。由圖 6.6 系列可以觀察到，數值模式預測之水位面持續上下擾動之情況。

自由液面受大氣壓力變化之影響，所抬升之水位變化之解析解為

$$\eta = \frac{P_n - P_a}{\rho g} \quad (32)$$

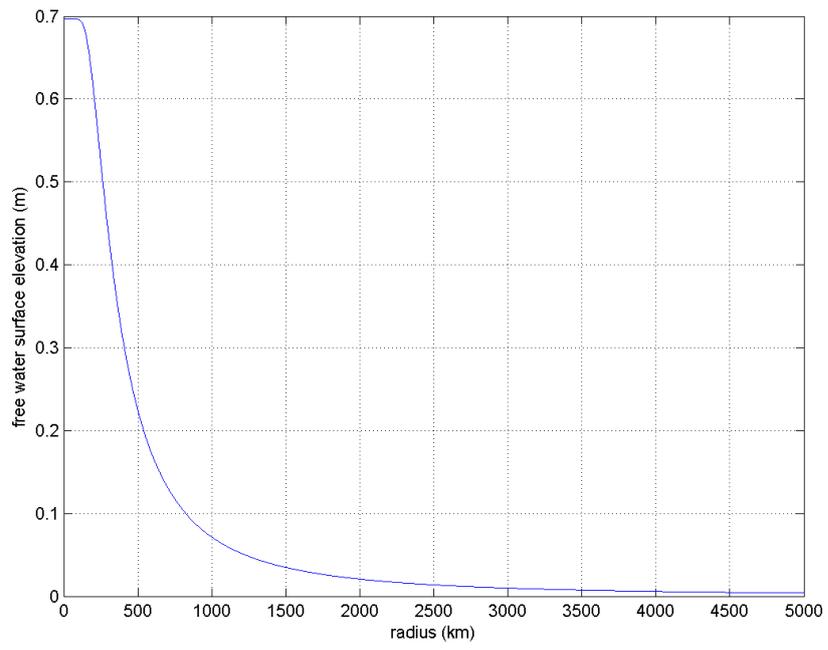


圖 6.5：自由液面受中心低氣壓影響之解析解

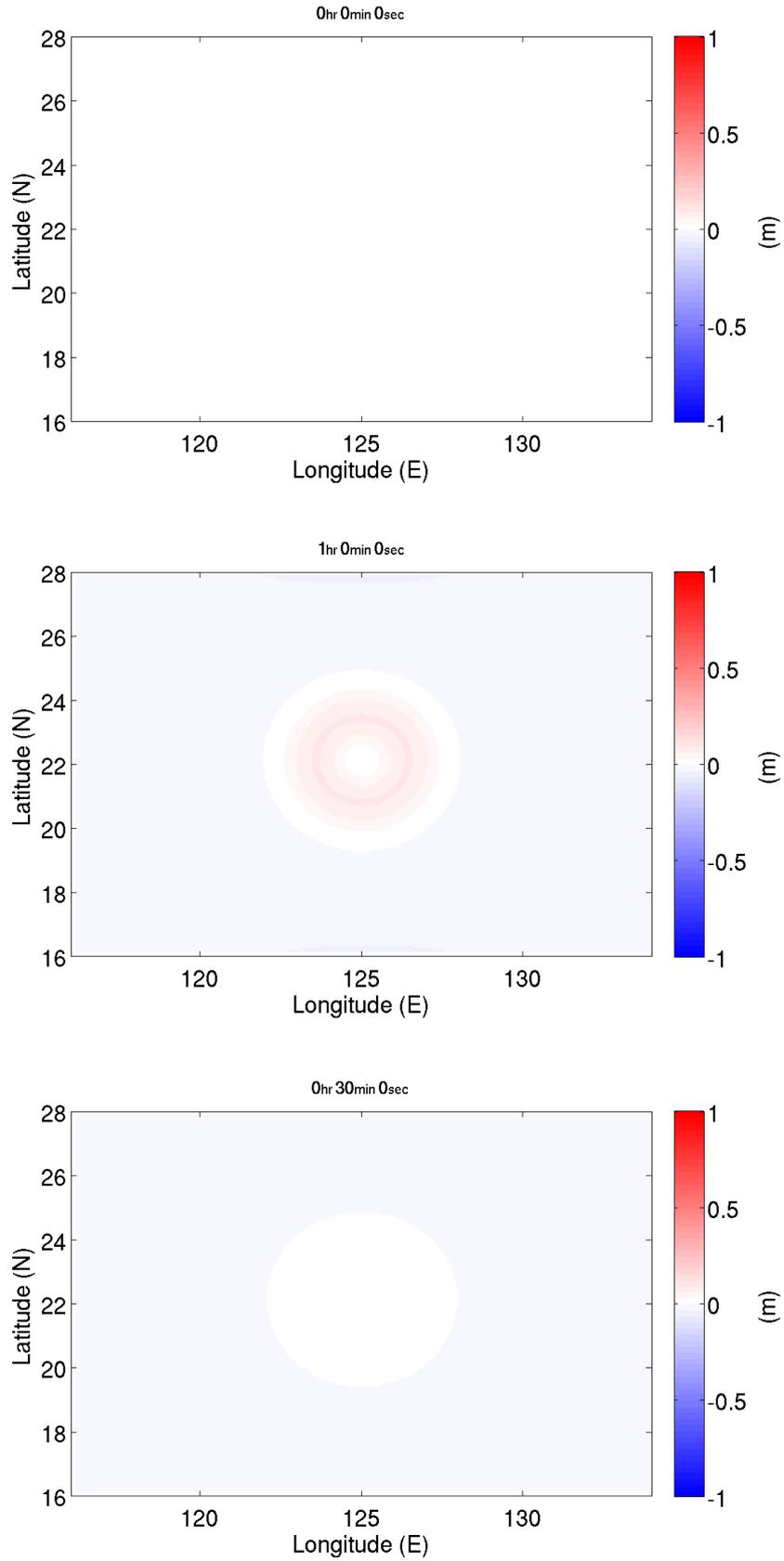


圖 6.6 (a)：受中心低氣壓(945 mb)影響，在壓力梯度作用下，水面變化情形。色階表水位高程，單位 m。

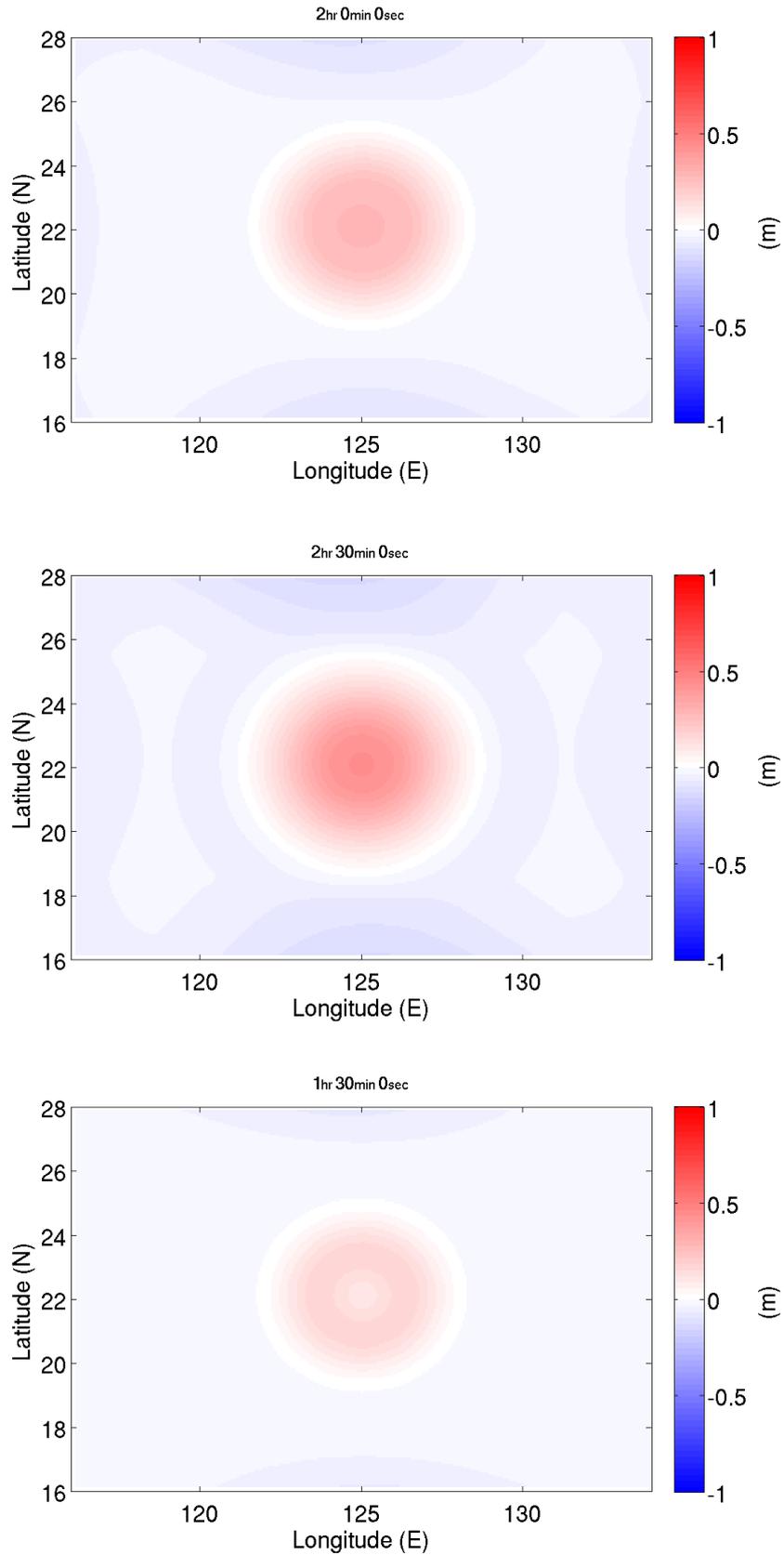


圖 6.6 (b)：受中心低氣壓(945 mb)影響，在壓力梯度作用下，水面變化情形。色階表水位高程，單位 m。

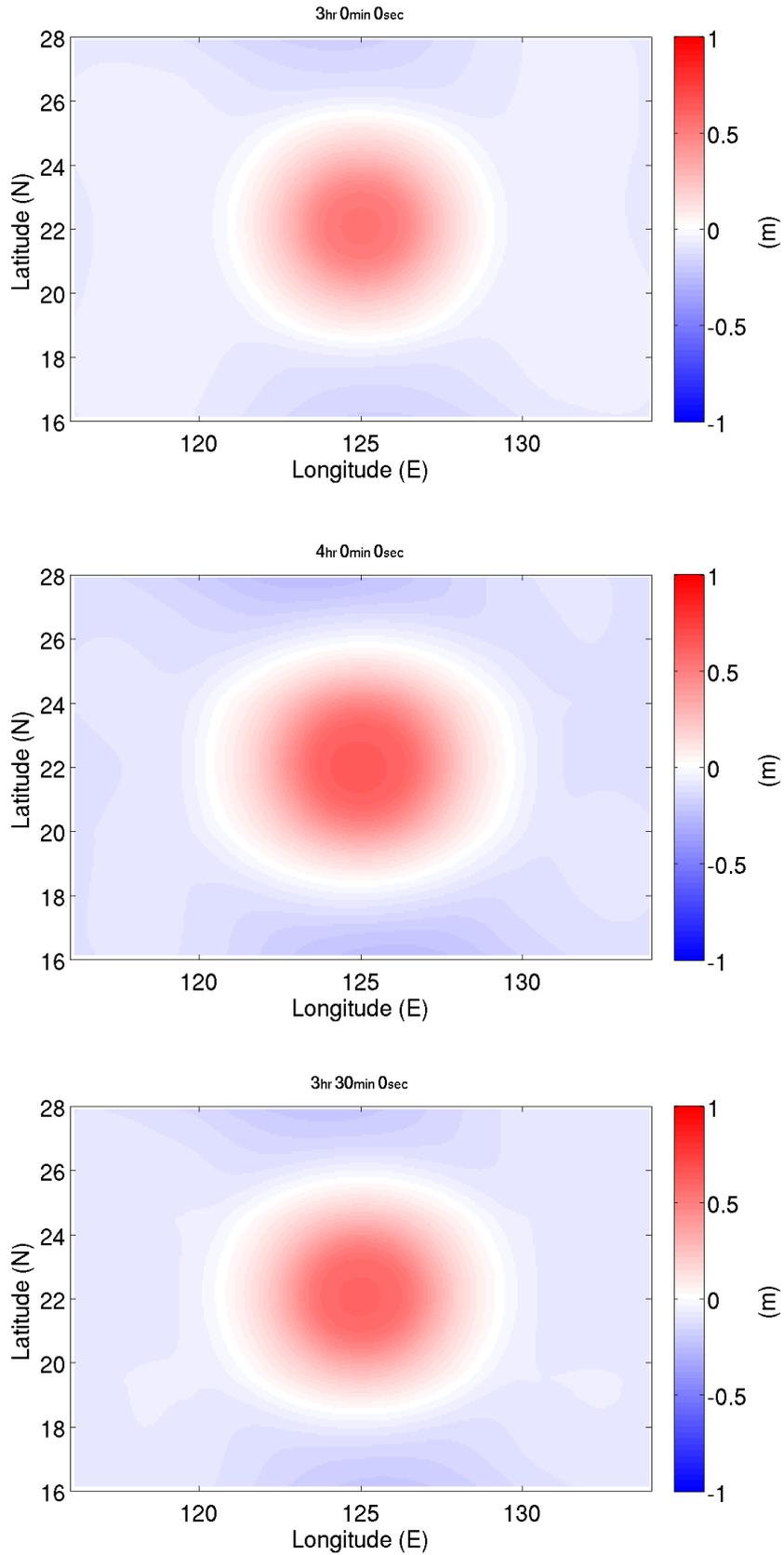


圖 6.6 (c)：受中心低氣壓(945 mb)影響，在壓力梯度作用下，水面變化情形。色階表水位高程，單位 m

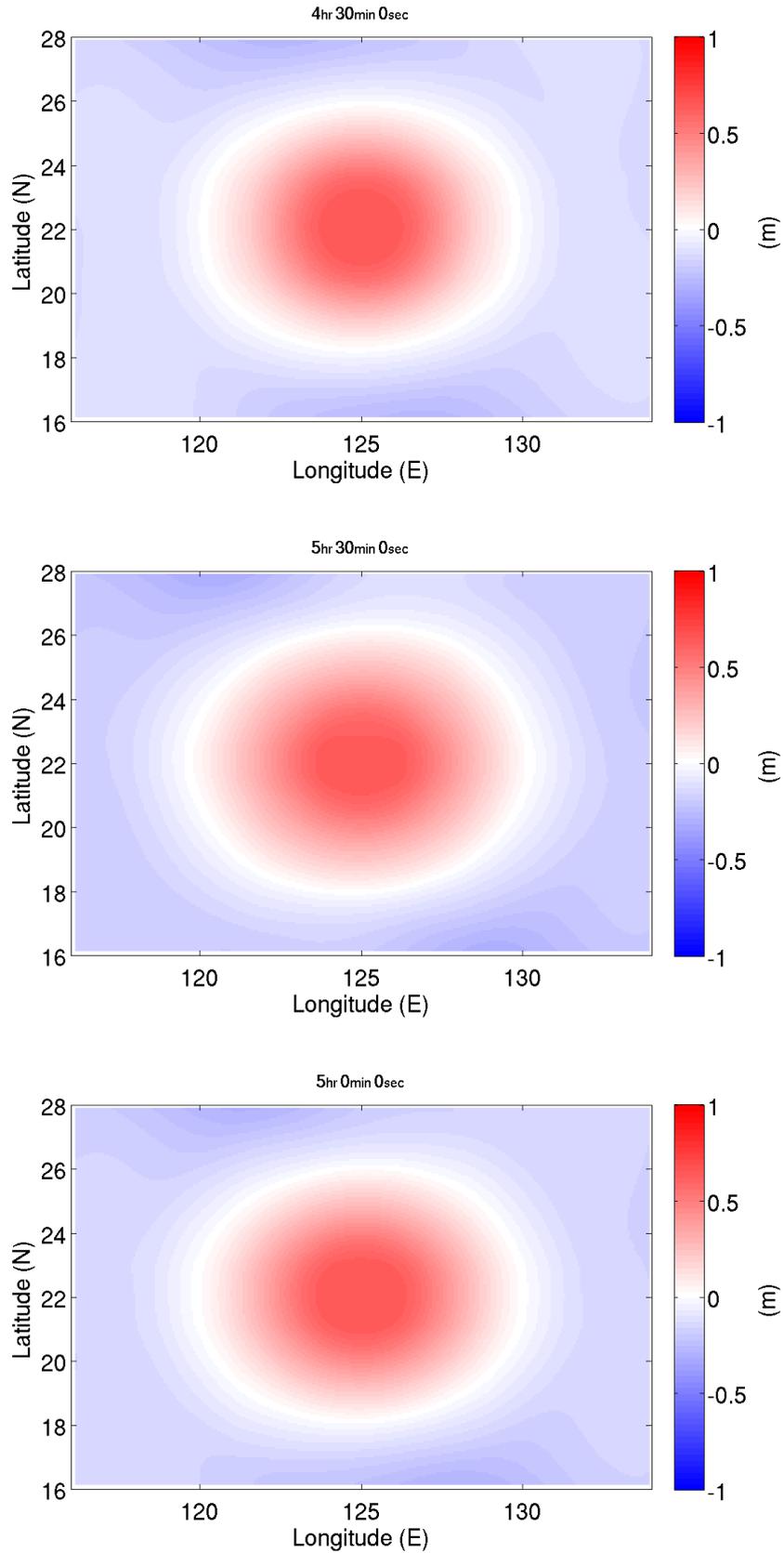


圖 6.6 (e)：受中心低氣壓(945 mb)影響，在壓力梯度作用下，水面變化情形。色階表水位高程，單位 m。

6-3-5 移動颱風路徑導入

在線性球座標方程式中，假設一水深為 100 m 之地形，使得颱風依照給定路徑移動，並進行測試，測試路徑共分為直線、斜直線和拋物線三種，其給定之中心低氣壓為 945 mb，最大暴風半徑為 100 km，以 0.1 m/s 的速度移動。模式中完整考慮氣象力以及柯氏力，則控制方程式如下：

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \varphi} \left\{ \frac{\partial P}{\partial \psi} + \frac{\partial}{\partial \varphi} (\cos \varphi \cdot Q) \right\} = 0 \quad (33)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \frac{gH}{R \cos \varphi} \frac{\partial \eta}{\partial \psi} - fQ = -\frac{h}{\rho_w R \cos \psi} \frac{\partial P_a}{\partial \psi} + \frac{F_\psi^s}{\rho_w} \quad (34)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{gH}{R} \frac{\partial \eta}{\partial \varphi} + fP = -\frac{h}{\rho_w R} \frac{\partial P_a}{\partial \varphi} + \frac{F_\varphi^s}{\rho_w} \quad (35)$$

在直線路徑部分，圖 6.7 為數值模擬結果之自由液面變化，由圖 6.7 系列可以觀察移動路徑前端為自由液面抬昇處，後端為自由液面下降處；圖 6.8 為流速流場圖，由圖 6.8 系列可見移動路徑中速度大小和向量場之變化。

在斜直線路徑部分，圖 6.9 為數值模擬結果之自由液面變化，由圖 6.9 系列可以觀察移動路徑前端為自由液面抬昇處，後端為自由液面下降處；圖 6.10 為流速流場圖，由圖 6.10 系列可見移動路徑中速度大小和向量場之變化。

在拋物路徑部分，圖 6.7 為數值模擬結果之自由液面變化，由圖 6.7 系列可以觀察移動路徑前端為自由液面抬昇處，後端為自由液面下降處；圖 6.8 為流速流場圖，由圖 6.8 系列可見移動路徑中速度大小和向量場之變化。

本案例無解析解供比對，因此以觀察數值模擬結果是否合乎預期為主。例如水面受低氣壓中心影響，水面是否抬昇？並在低氣壓中心移動時，下游是否會出現類似船波之波浪？在水體流速部分，則觀察流速是否出現如理想風場所設定之逆時針旋轉之流場？

由圖 6.7 至 6.10 可觀察到，模式所模擬之暴潮偏差水位與流速合乎預期。

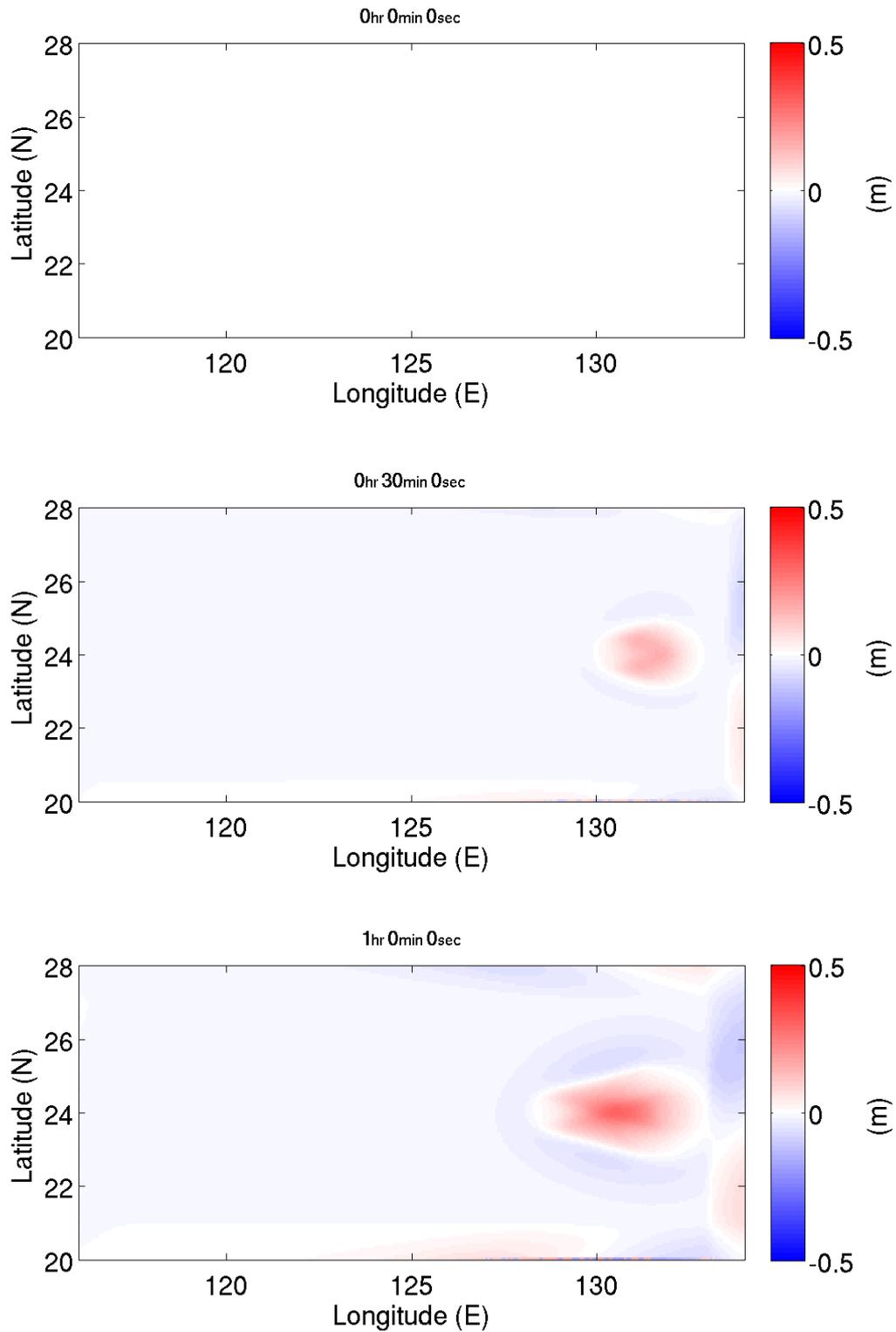


圖 6.7(a) 颱風移動路徑中，導入理想風場之風剪力場和大氣壓力場後，所產生之水位面變化。色階表水位高程，單位 m。

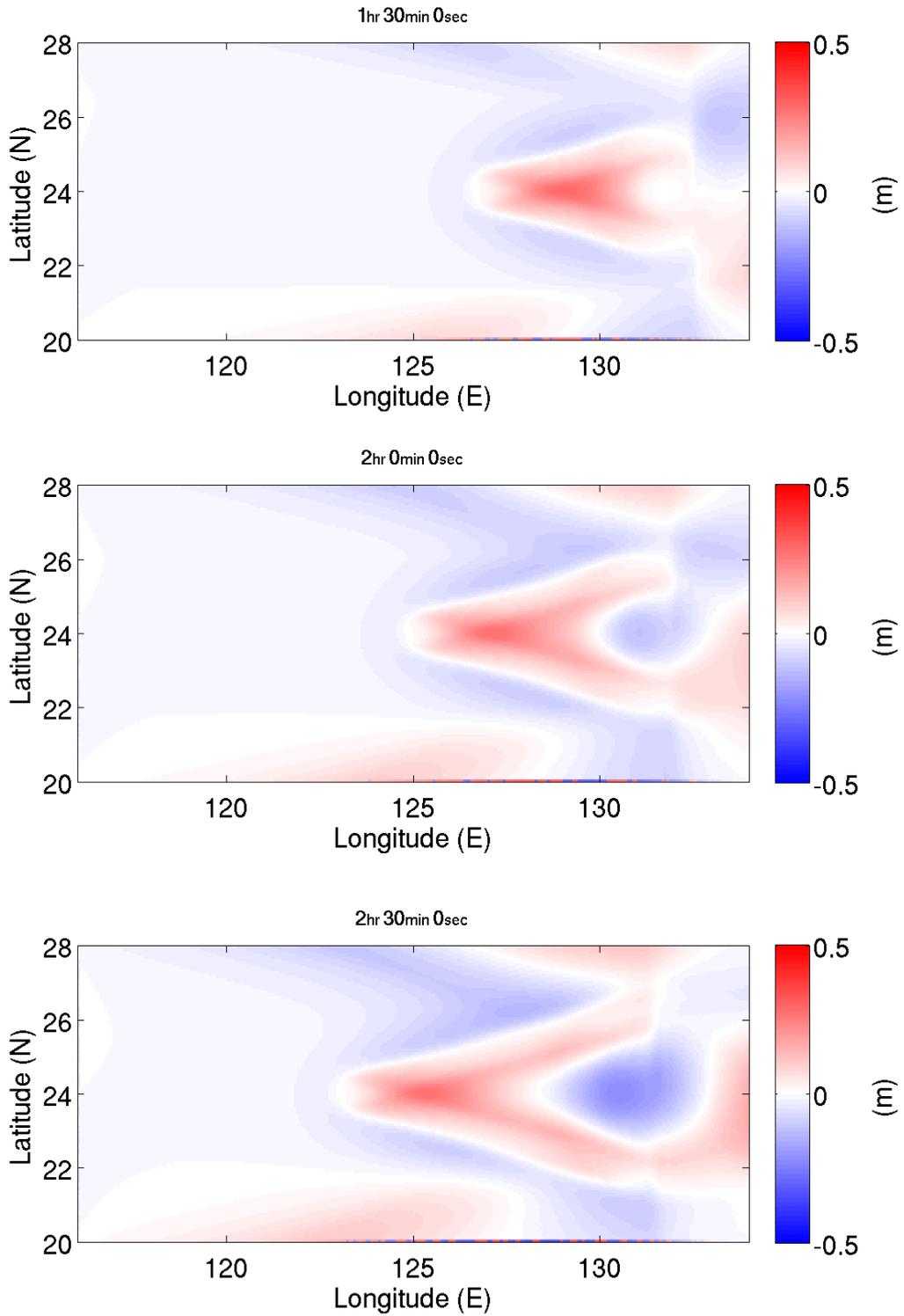


圖 6.7(b) 颱風移動路徑中，導入理想風場之風剪力場和大氣壓力場後，所產生之水位面變化。色階表水位高程，單位 m。

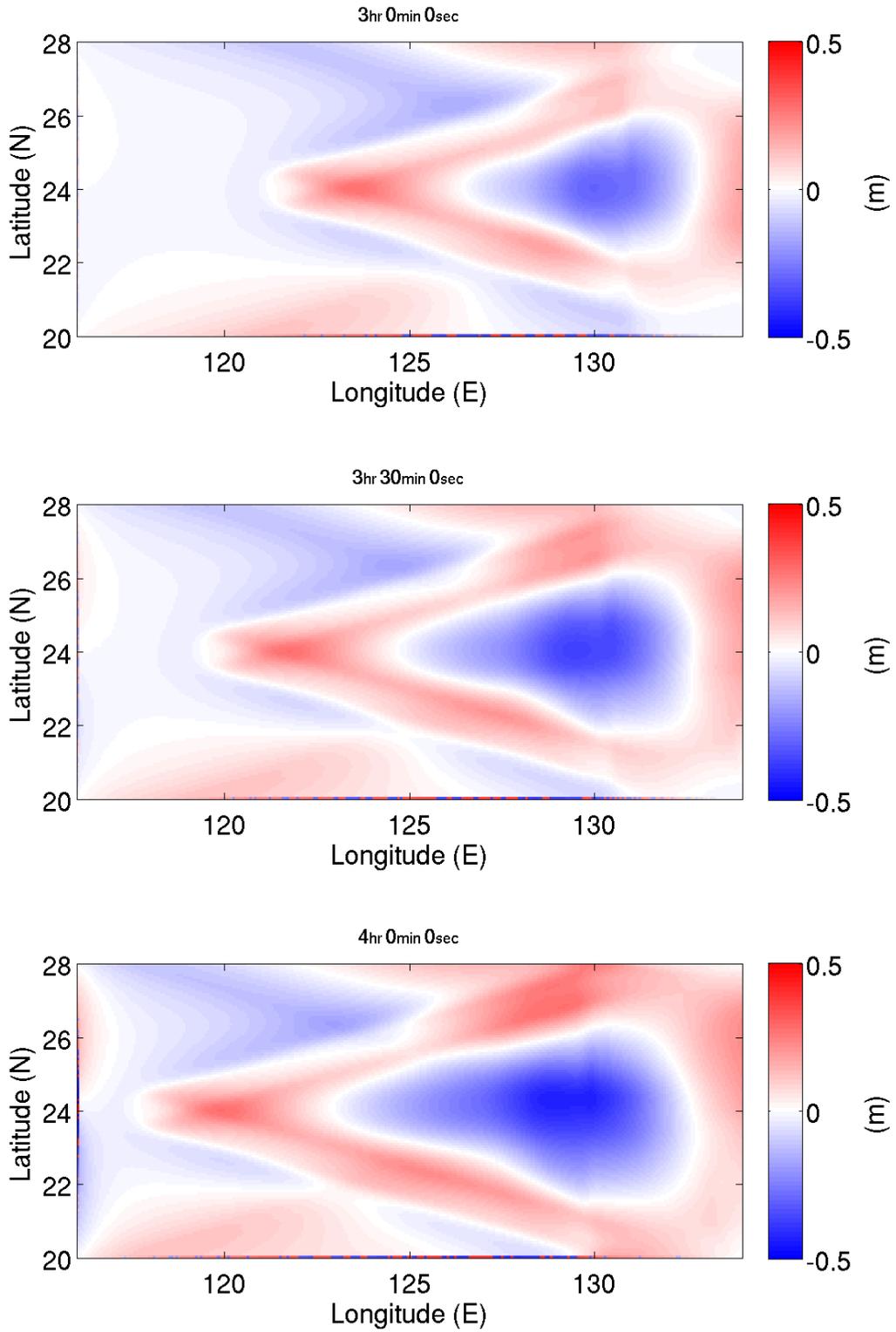


圖 6.7(c) 颱風移動路徑中，導入理想風場之風剪力場和大氣壓力場後，所產生之水位面變化。色階表水位高程，單位 m。

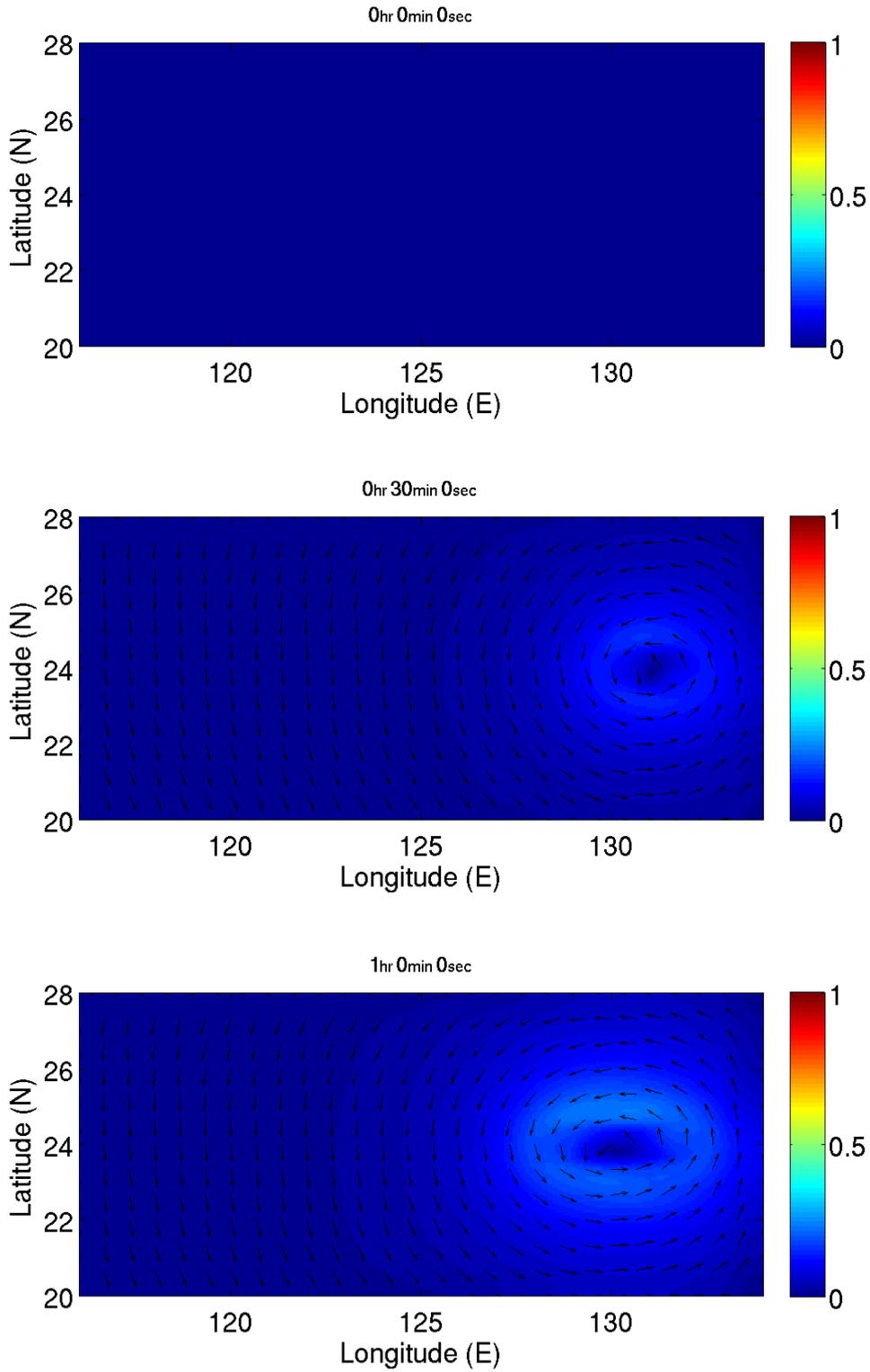


圖 6.8(a) 颱風移動路徑中，導入理想風場之風剪力場和大氣壓力場後，所繪製之流速流場圖。色階表流速大小，單位 m/s。

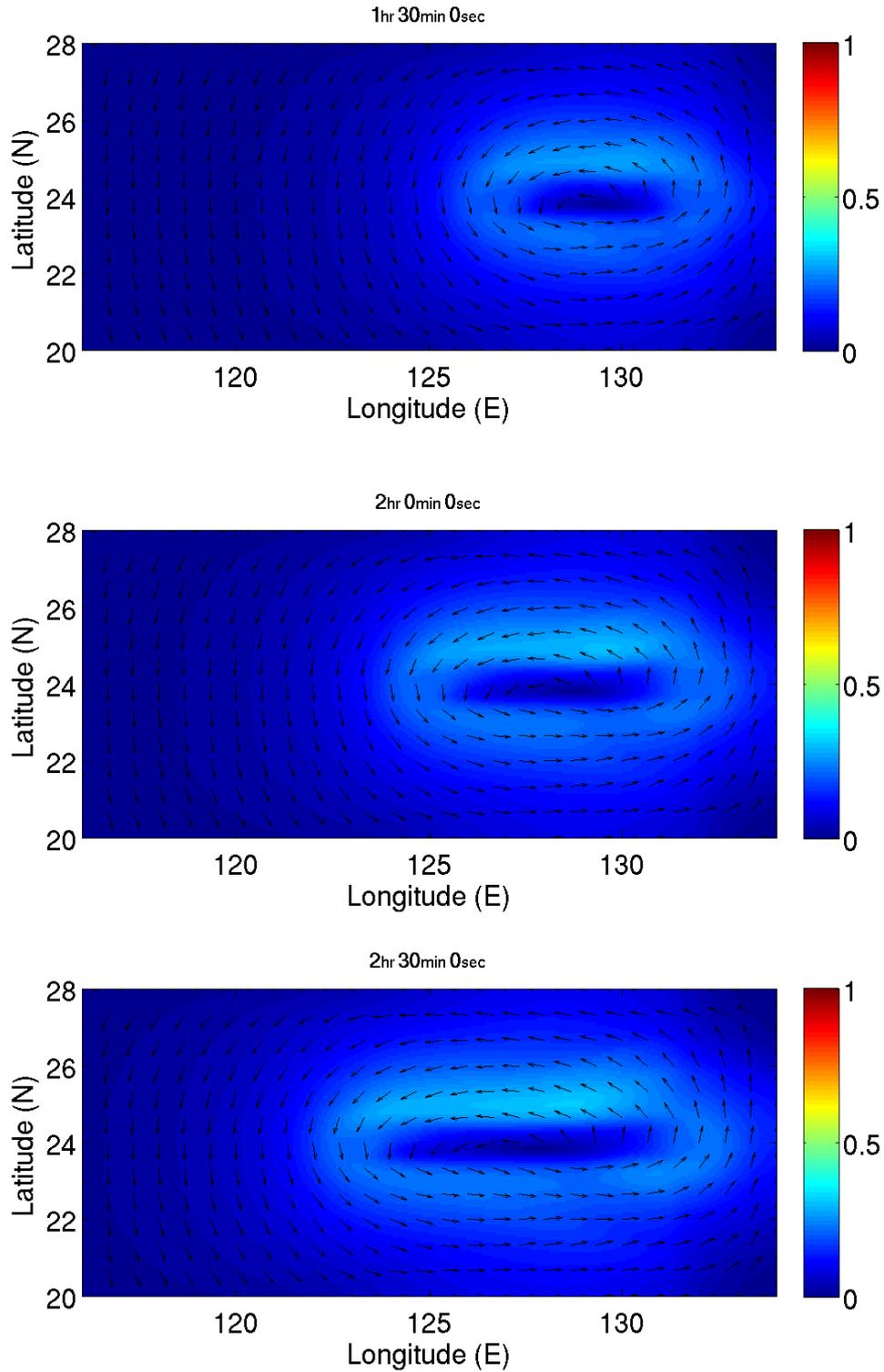


圖 6.8(b) 颱風移動路徑中，導入理想風場之風剪力場和大氣壓力場後，所繪製之流速流場圖。色階表流速大小，單位 m/s。

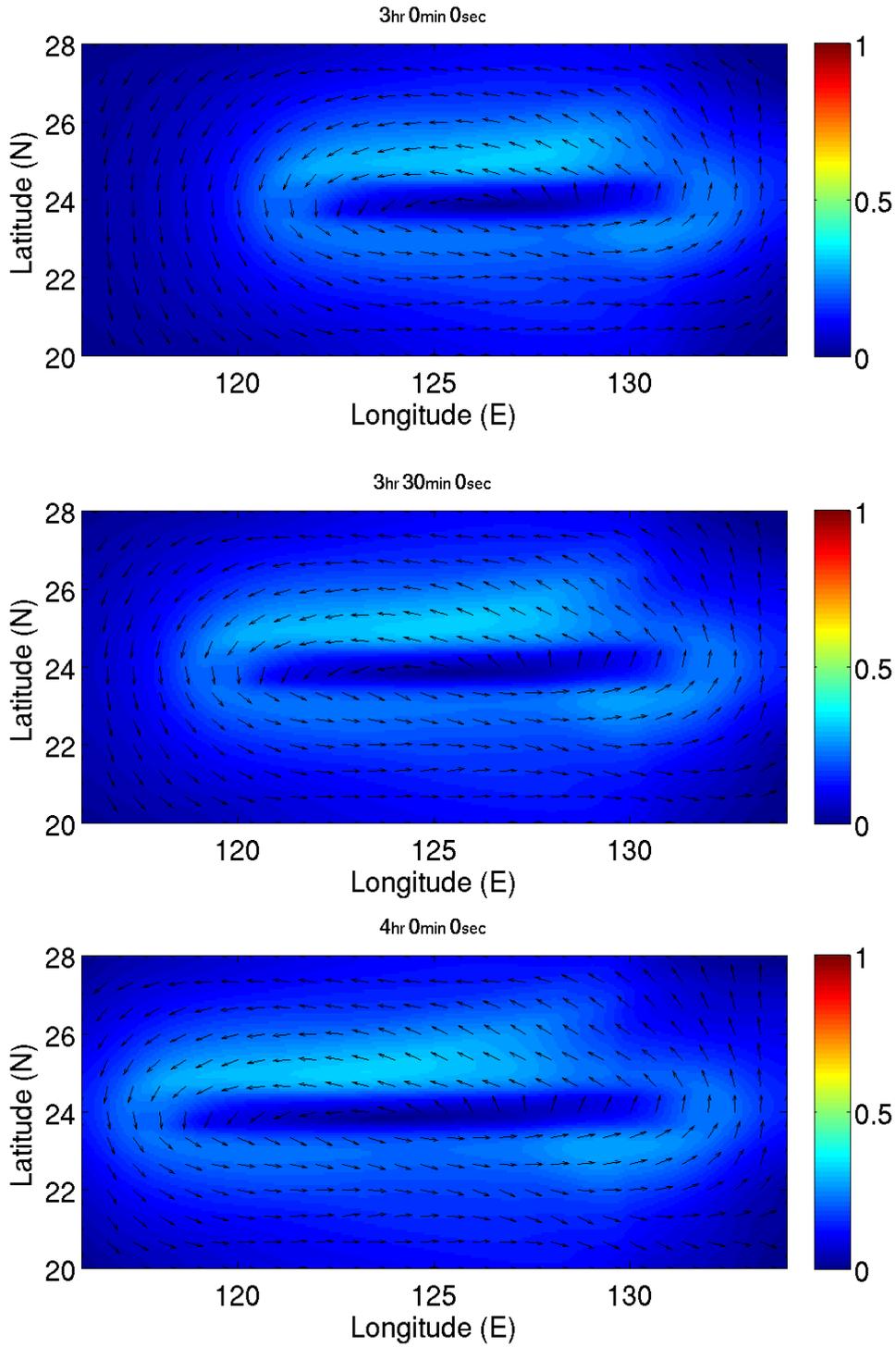


圖 6.8(c) 颱風移動路徑中，導入理想風場之風剪力場和大氣壓力場後，所繪製之流速流場圖。色階表流速大小，單位 m/s。

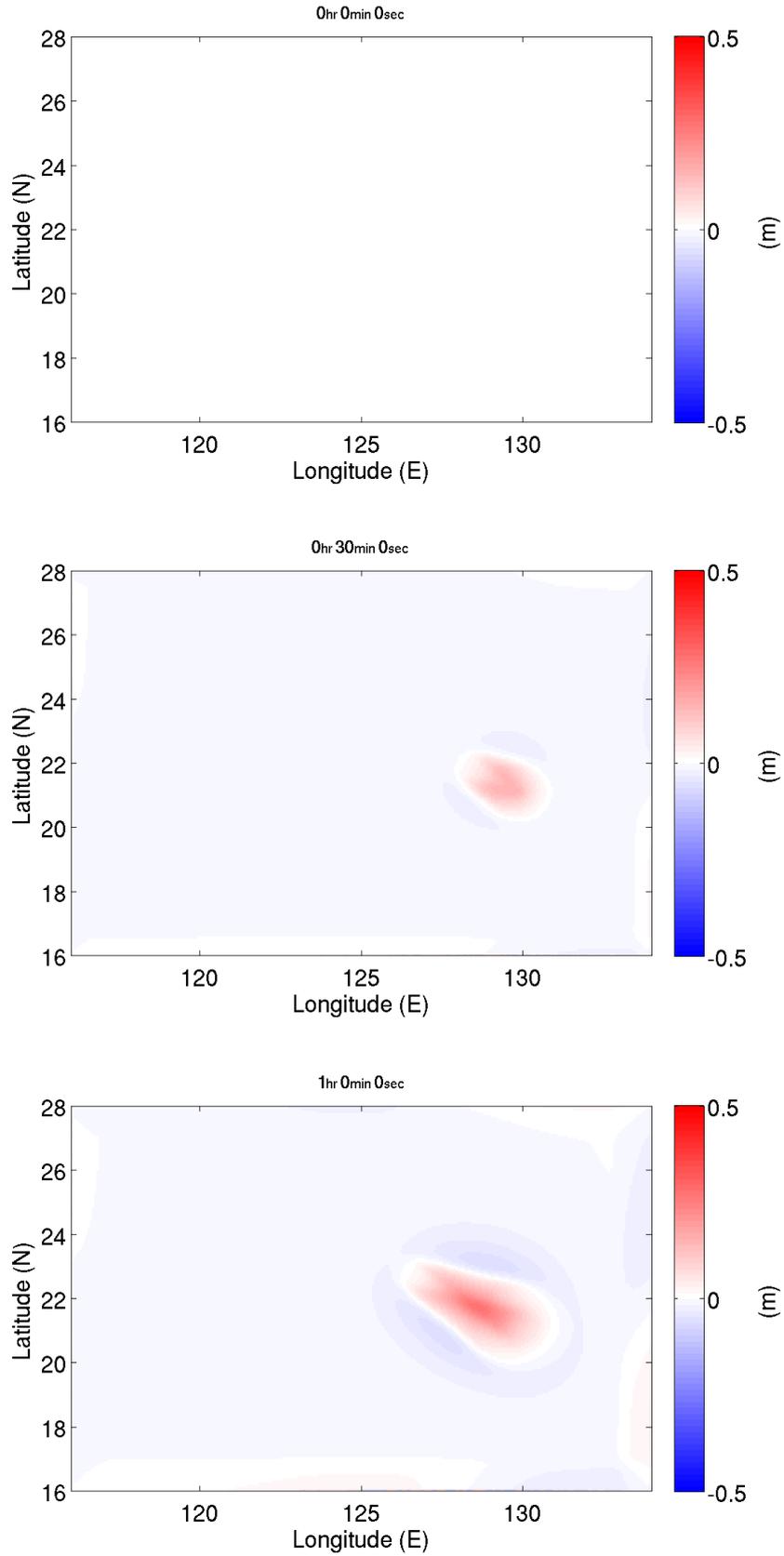


圖 6.9(a) 颱風移動路徑中，導入理想風場之風剪力場和大氣壓力場後，所產生之水位面變化。色階表水位高程，單位 m。

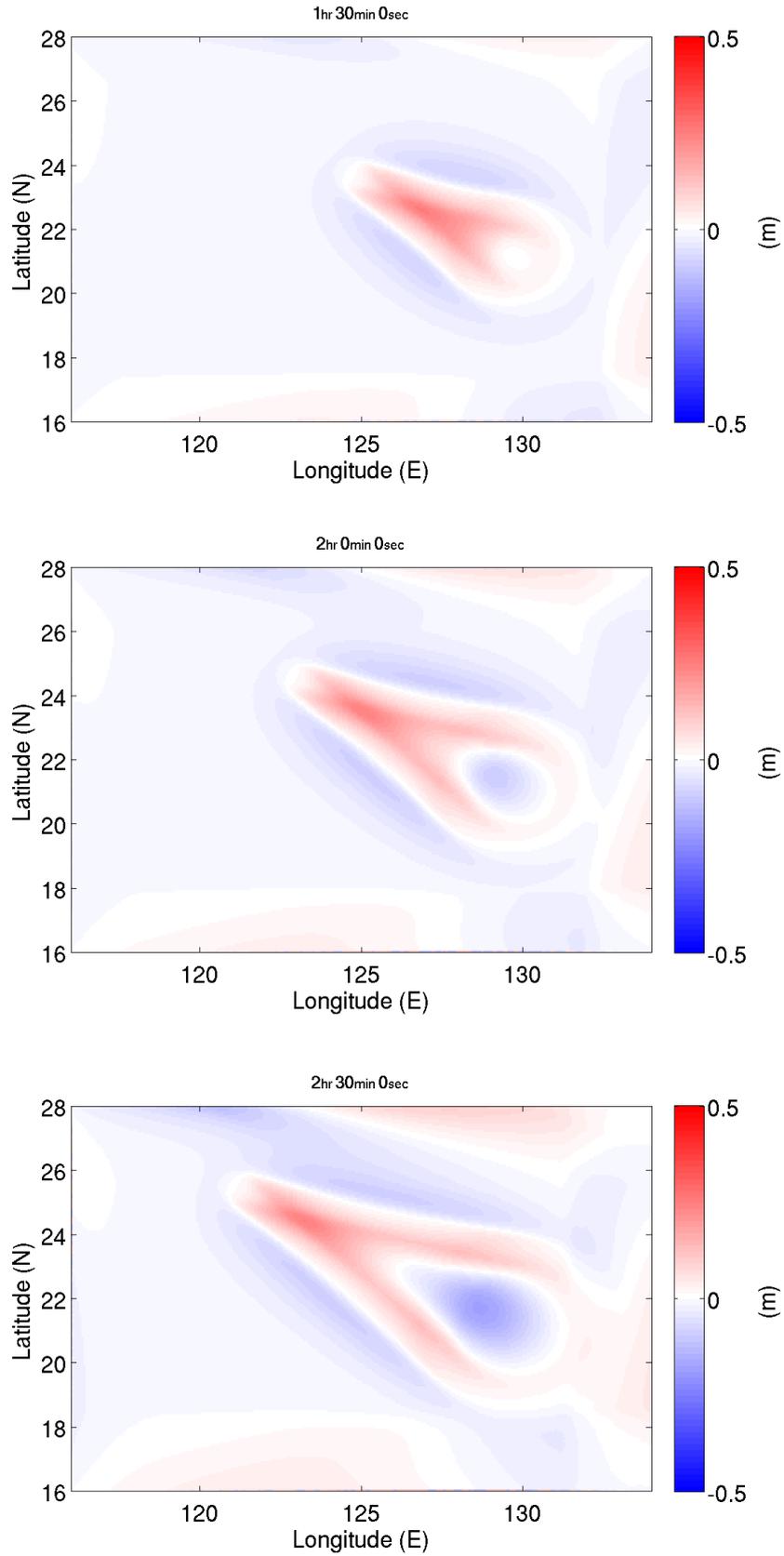


圖 6.9(b) 颱風移動路徑中，導入理想風場之風剪力場和大氣壓力場後，所產生之水位面變化。色階表水位高程，單位 m。

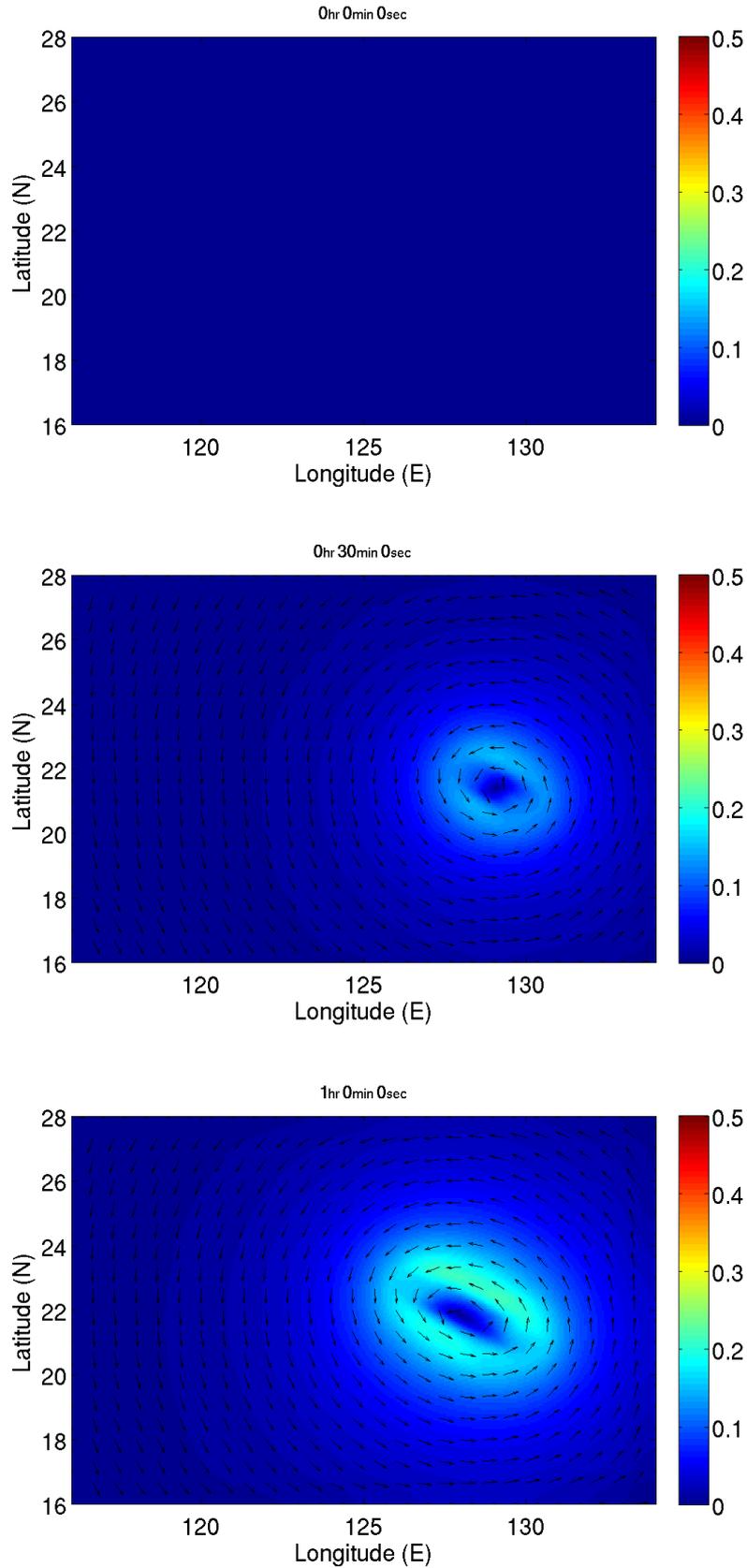


圖 6.10(a) 颱風移動路徑中，導入理想風場之風剪力場和大氣壓力場後，所繪製之流速流場圖。色階表流速大小，單位 m/s。

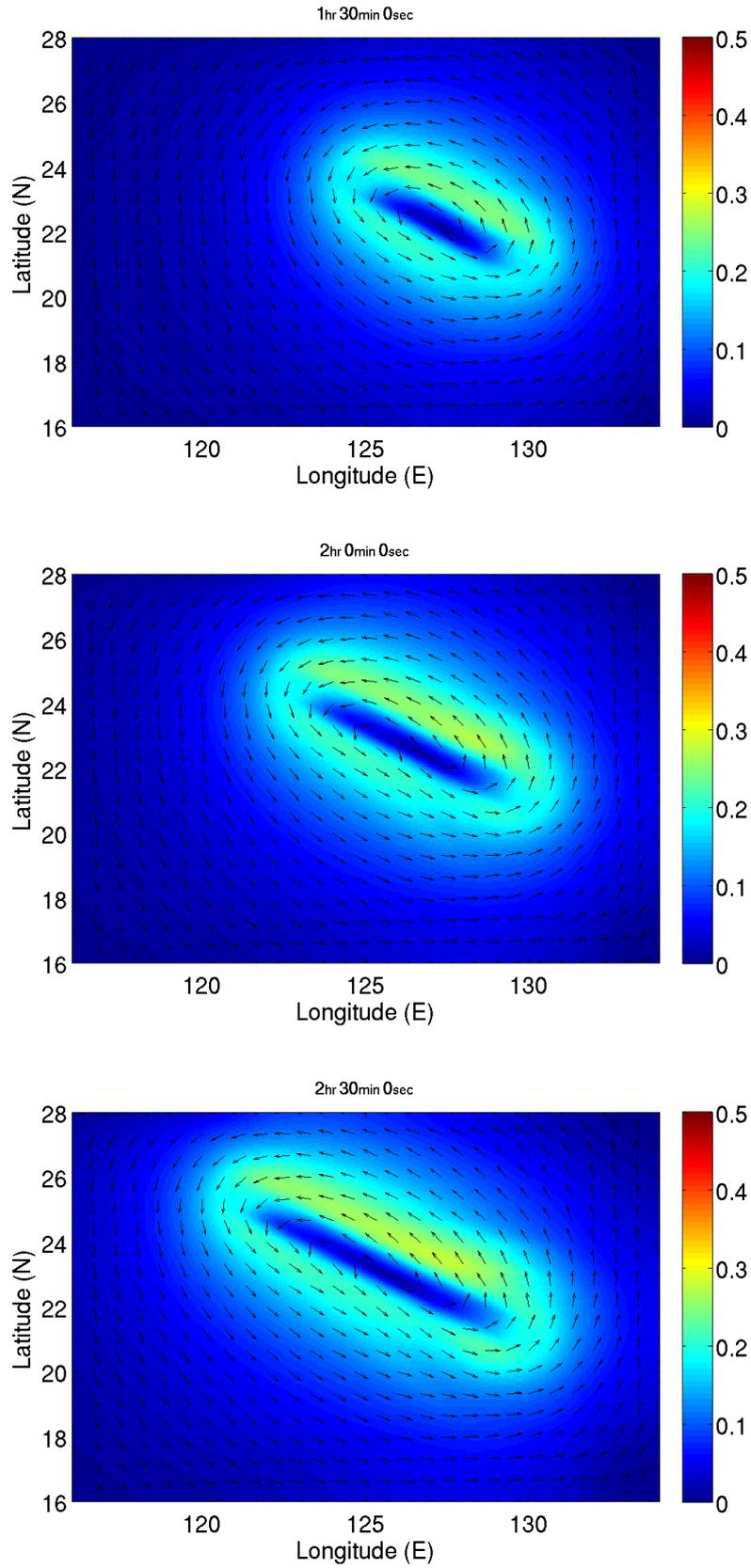


圖 6.10(b) 颱風移動路徑中，導入理想風場之風剪力場和大氣壓力場後，所繪製之流速流場圖。色階表流速大小，單位 m/s。

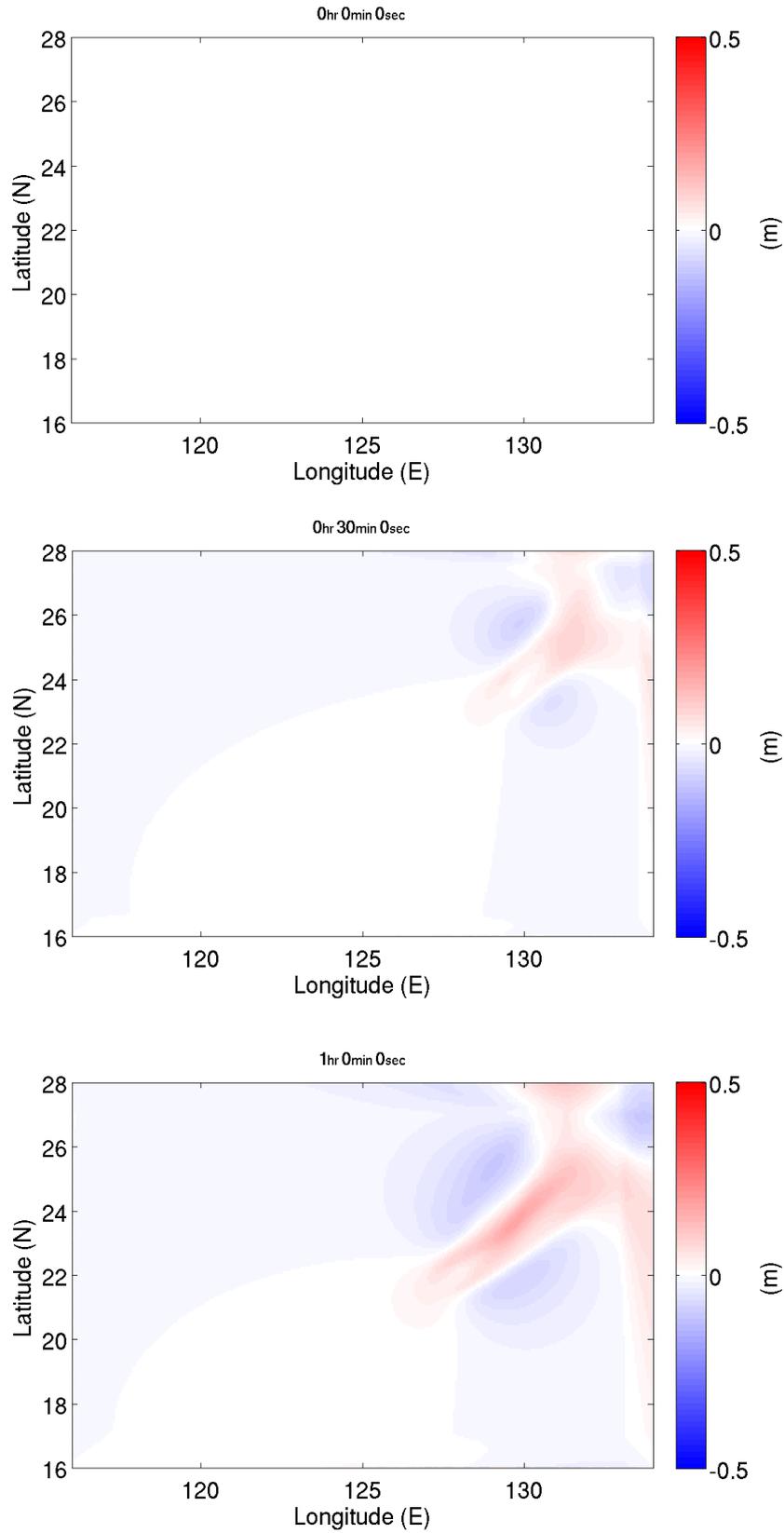


圖 6.11(a) 颱風移動路徑中，導入理想風場之風剪力場和大氣壓力場後，所產生之水位面變化。色階表水位高程，單位 m。

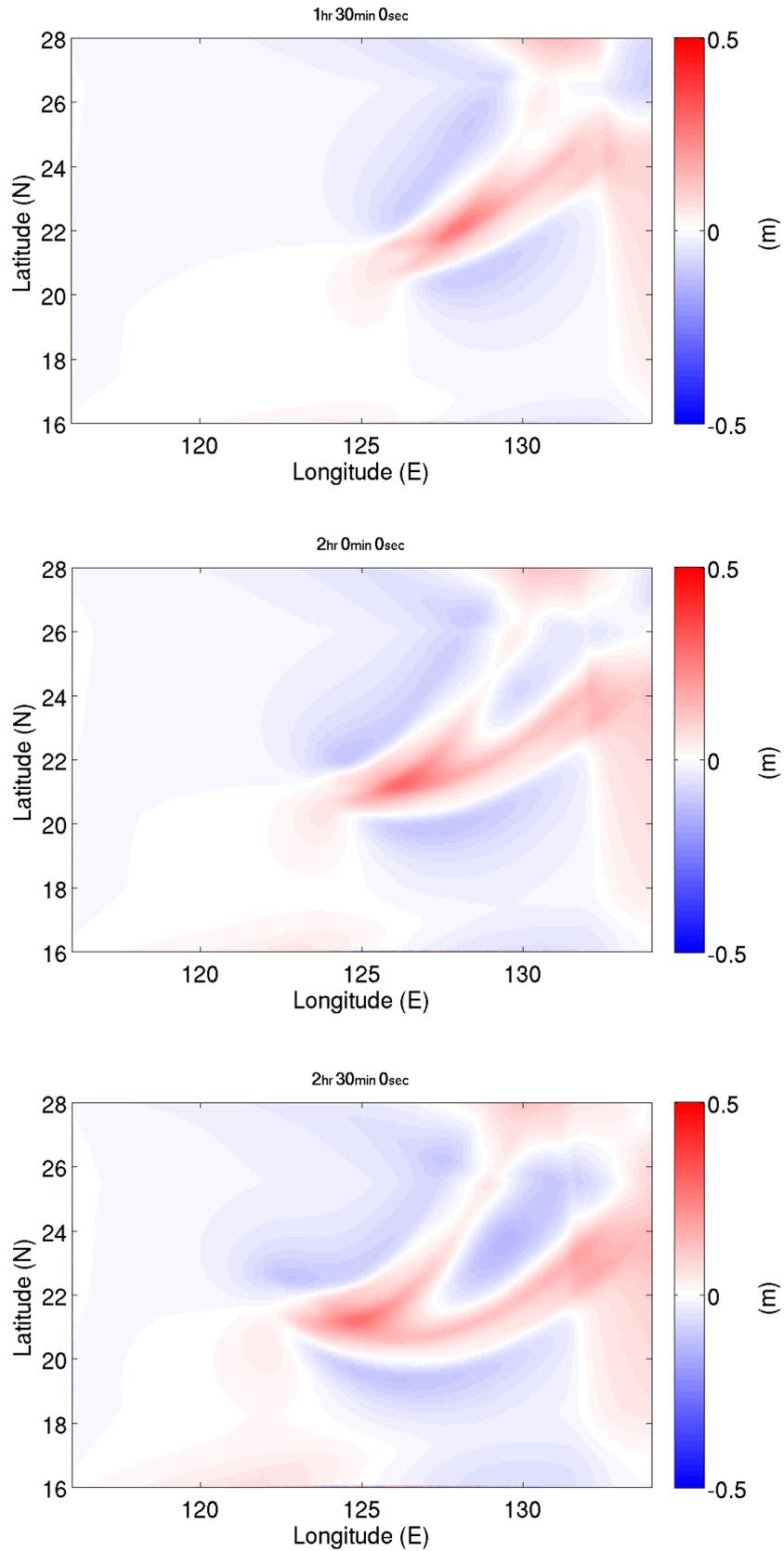


圖 6.11(b) 颱風移動路徑中，導入理想風場之風剪力場和大氣壓力場後，所產生之水位面變化。色階表水位高程，單位 m。

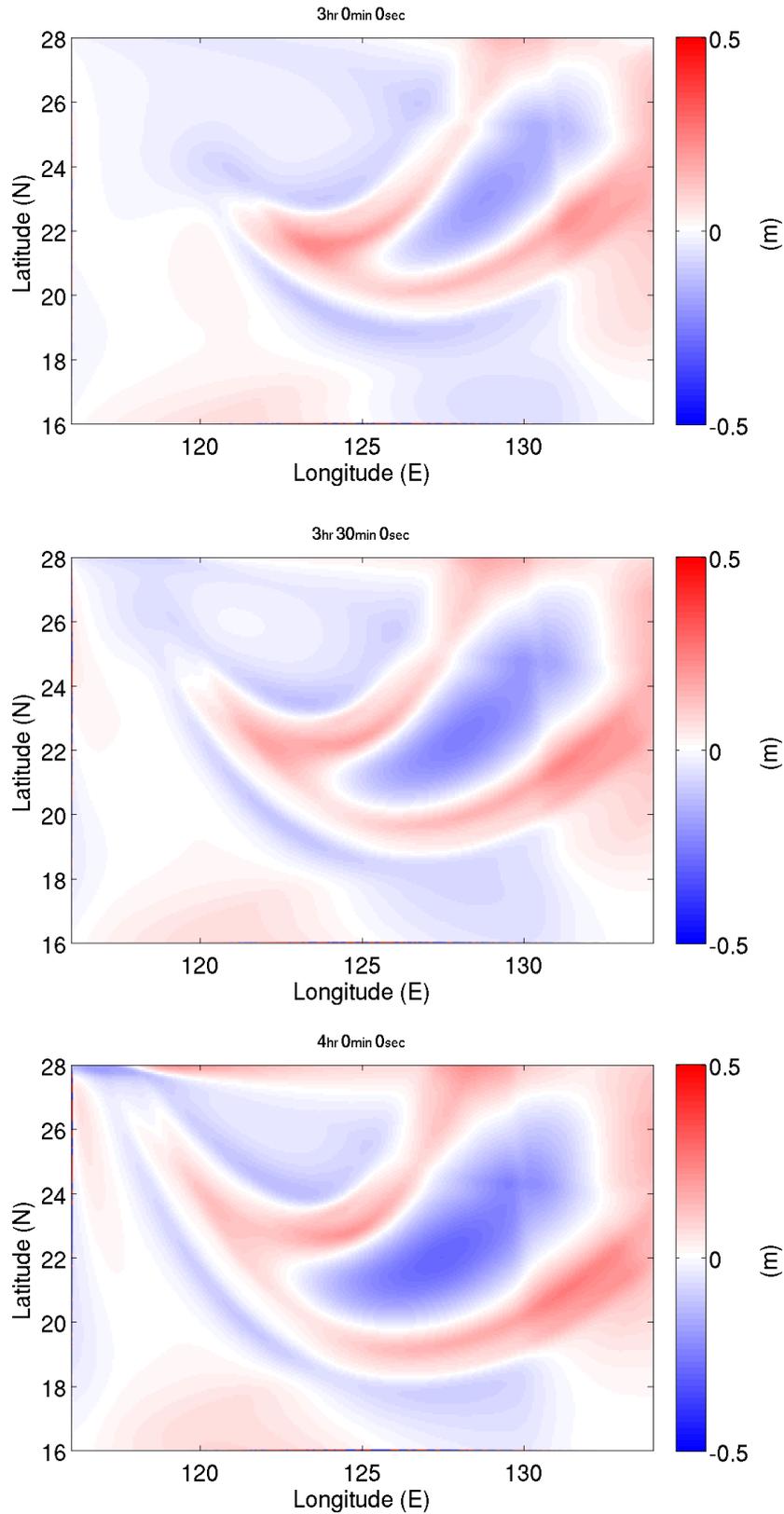


圖 6.11(c) 颱風移動路徑中，導入理想風場之風剪力場和大氣壓力場後，所產生之水位面變化。色階表水位高程，單位 m。

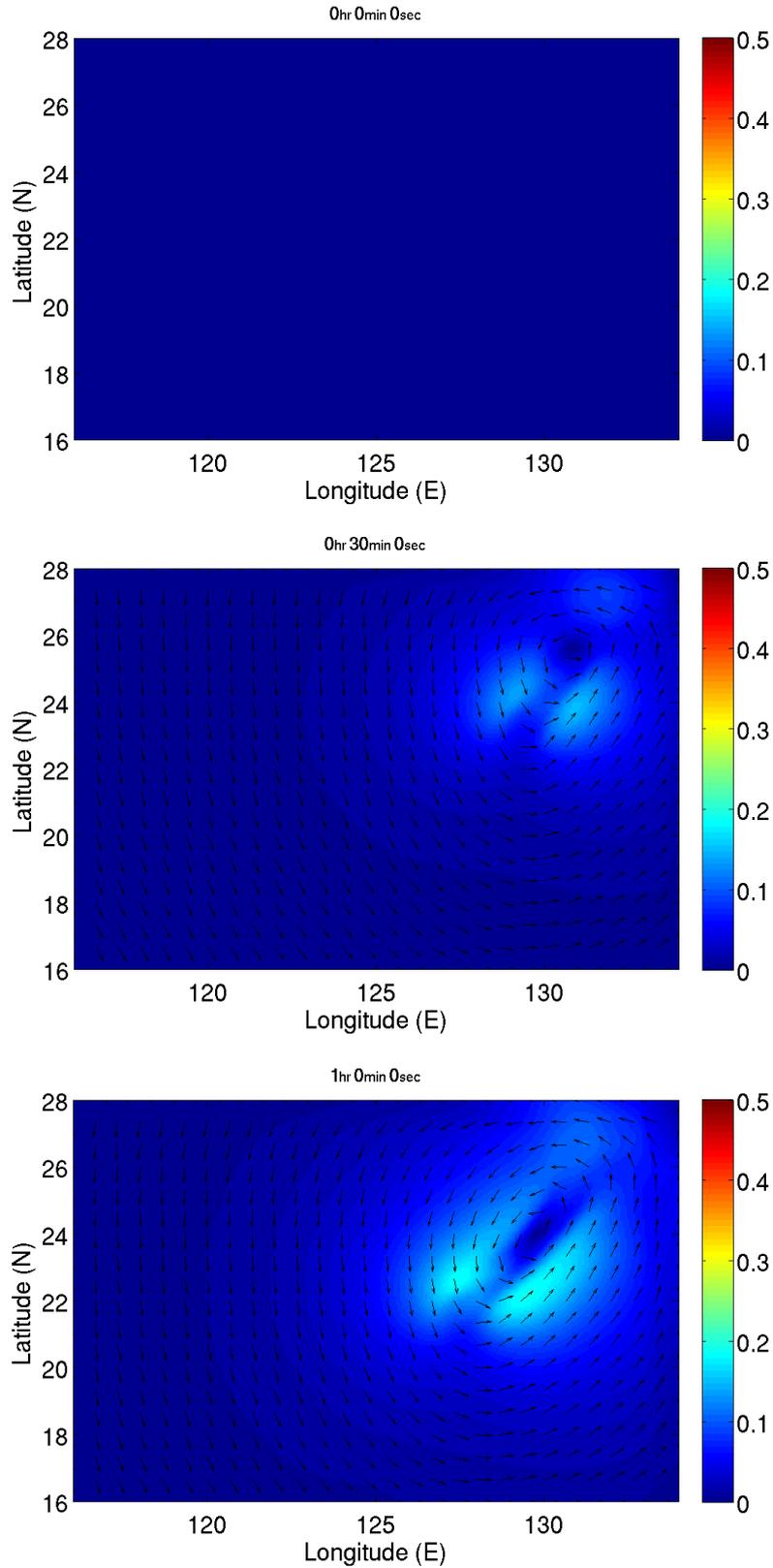


圖 6.12(a) 颱風移動路徑中，導入理想風場之風剪力場和大氣壓力場後，所繪製之流速流場圖。色階表流速大小，單位 m/s。

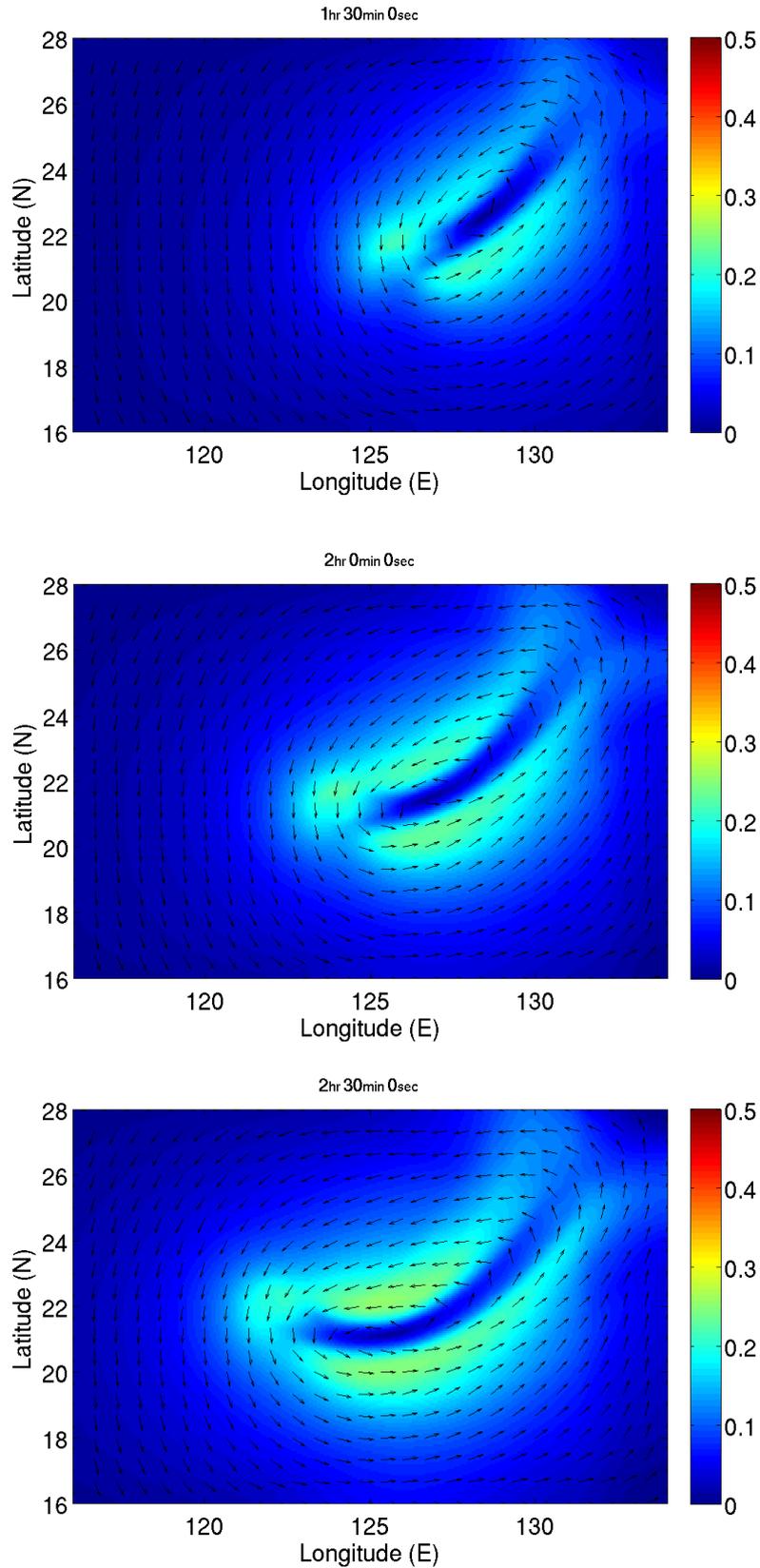


圖 6.12(b) 颱風移動路徑中，導入理想風場之風剪力場和大氣壓力場後，所繪製之流速流場圖。色階表流速大小，單位 m/s。

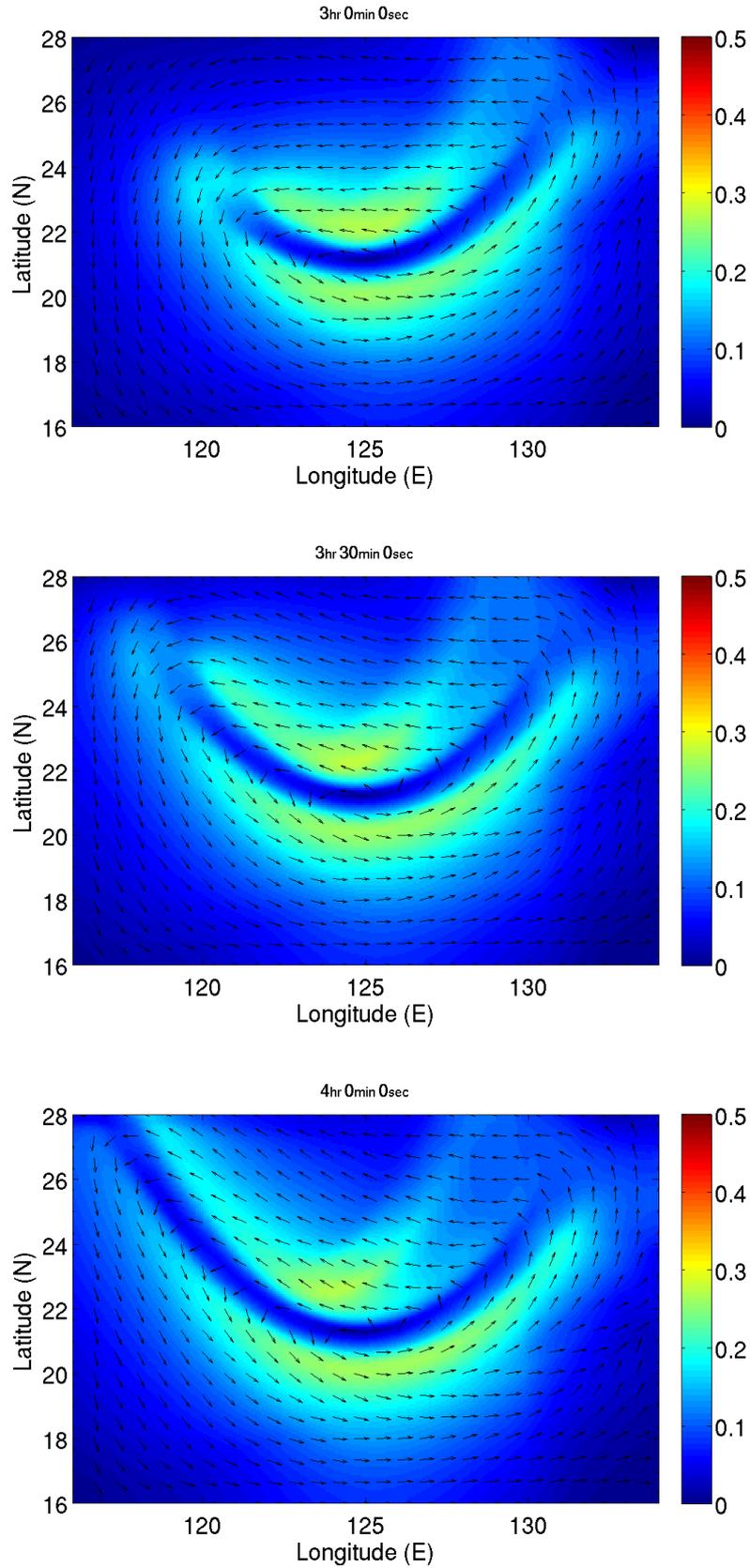


圖 6.12(c) 颱風移動路徑中，導入理想風場之風剪力場和大氣壓力場後，所繪製之流速流場圖。色階表流速大小，單位 m/s。

6-3-6 真實地形導入

在確認模式導入理想風場之風剪力項和壓力梯度項後答案無誤，本章節則進行真實地形之模式驗證。本案例採台灣附近海域之真實地形受風剪力影響之情況，並採用球座標系統。模擬範圍為東經 110 度至東經 140 度；緯度為北緯 20 度至北緯 28 度，地形資料來源為 ETOPO2 解析度為二弧分，模擬時間為 8 小時。

模擬則分別採用球座標系統中，線性和非線性淺水波方程式。球座標線性方程式可見於(式 4、5 和 6)，而球座標非線性方程式則可見於(式 7、8 和 9)。

在風剪力模擬過程中，將分為 x 方向之風剪力和 y 方向之風剪力作用分別進行模擬，以確認各分量之計算結果皆無誤。

圖 6.13 系列表在線性方程式中，台灣附近海域受穩定西風（風速 15m/s、 $C_d = 0.49 + 0.065 \sqrt{V_w}$ 計算而得）吹襲下，水面擾動之情形。由動量方程式(式 5 和式 6)可知，水深越深，水位變動越小，反之亦然。由圖 6.13 可看出，水位之抬升主要分布於台灣海峽東岸，亦即台灣西部沿海，而水位下降則分布於台灣海峽西岸，亦即福建沿海。加以台灣海峽之水深較淺，因此水位變動較其他區域明顯。模擬之結果合理。

圖 6.14 系列表在線性方程式中，台灣附近海域受穩定南風（風速 15m/s、 $C_d = 0.49 + 0.065 \sqrt{V_w}$ 計算而得）吹襲下，水面擾動之情形。由動量方程式(式 5 和式 6)可知，水深越深，水位變動越小，反之亦然。由圖 6.14 可看出，水位之抬升主要分布於台灣海峽西岸，亦即福建沿海，加以台灣海峽之水深較淺，因此水位變動較其他區域明顯。模擬之結果合理。

圖 6.15 系列表在非線性方程式中，台灣附近海域受穩定西風（風速 15m/s、 $C_d = 0.49 + 0.065 \sqrt{V_w}$ 計算而得）吹襲下，水面擾動之情形。由動量方程式(式 5 和式 6)可知，水深越深，水位變動越小，反之亦然。由圖 6.15 可看出，水位之抬升主要分布於台灣海峽東岸，亦即台灣西部沿海，而水位下降則分布於台灣海峽西岸，亦即福建沿海。加以台灣海峽之水深較淺，因此水位變動較其他區域明顯。模擬之結果合理。

圖 6.16 系列表在非線性方程式中，台灣附近海域受穩定南風（風速 15m/s、 $C_d = 0.49 + 0.065 \sqrt{V_w}$ 計算而得）吹襲下，水面擾動之情形。由動量方程式(式 5 和

式 6)可知，水深越深，水位變動越小，反之亦然。由圖 6.16 可看出，水位之抬升主要分布於台灣海峽西岸，亦即福建沿海，加以台灣海峽之水深較淺，因此水位變動較其他區域明顯，亦有局部溢淹之情況。模擬之結果合理。

在台灣附近海域受穩定西風和南風，同時線性和非線性控制方程式所模擬之結果，符合我們之預期結果且合理。確認答案與預期結果無誤後，本研究再將颱風路徑、風剪力項和壓力梯度項等代入真實地形進行模擬。

圖 6.17 系列表在線性方程式中，台灣附近有一以拋物線路徑經過之颱風，其水面受擾動之情形。由動量方程式(式 5 和式 6)可知，水深越深，水位變動越小，反之亦然。由圖 6.17 可看出，水位之抬升主要分布於台灣海峽西岸，亦即福建沿海，加以台灣海峽之水深較淺，因此水位變動較其他區域明顯。模擬之結果合理。圖 6.18 系列則表示為流速流場圖，台灣海峽兩側有較大的流速，而當颱風通過時，其流場會隨颱風低氣壓逆時針帶動，而呈現一逆時針方向流場。

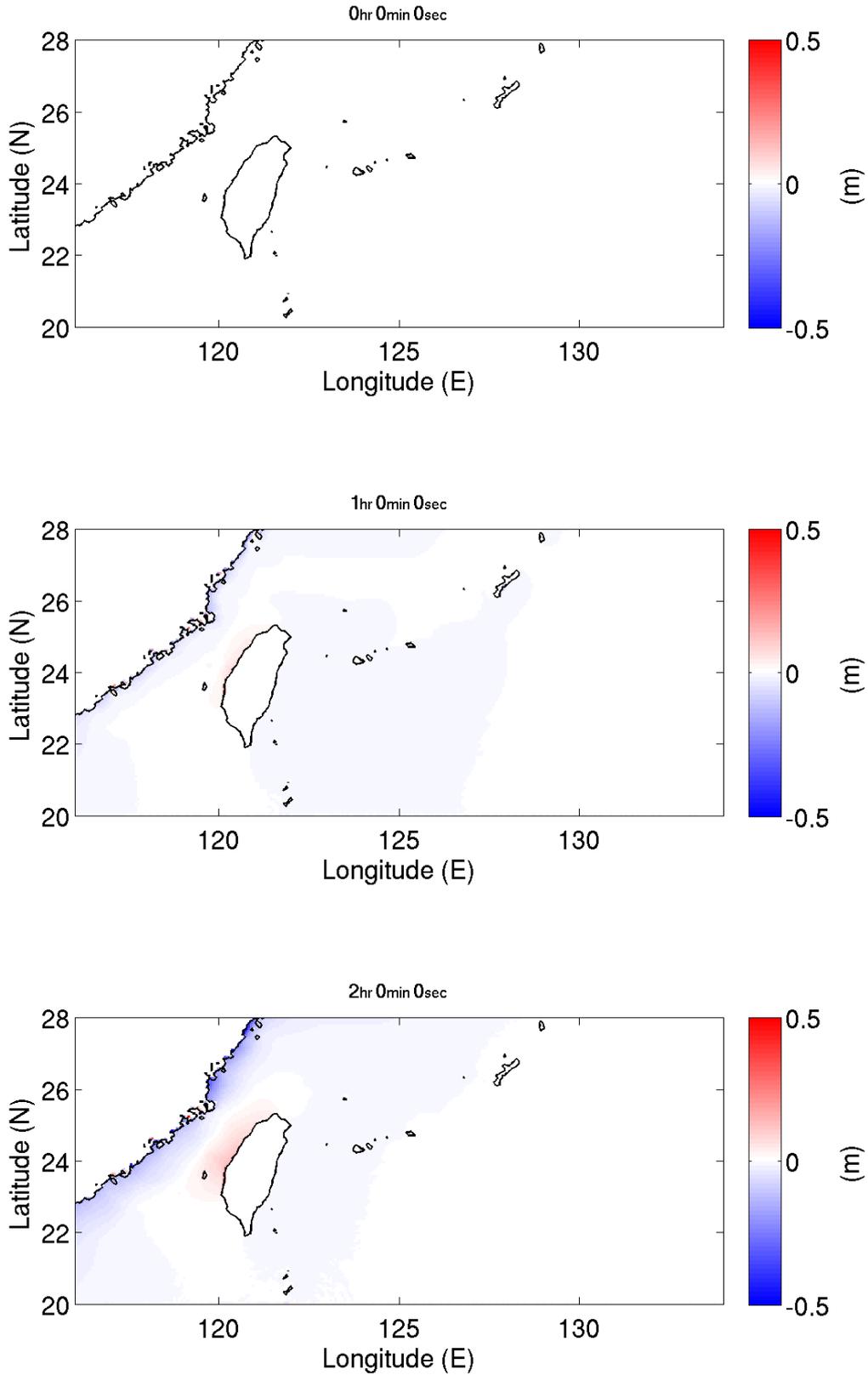


圖 6.13 (a) 台灣周遭海域受穩定西風吹襲下，水位變動情形。色階表水位高程，單位 m。

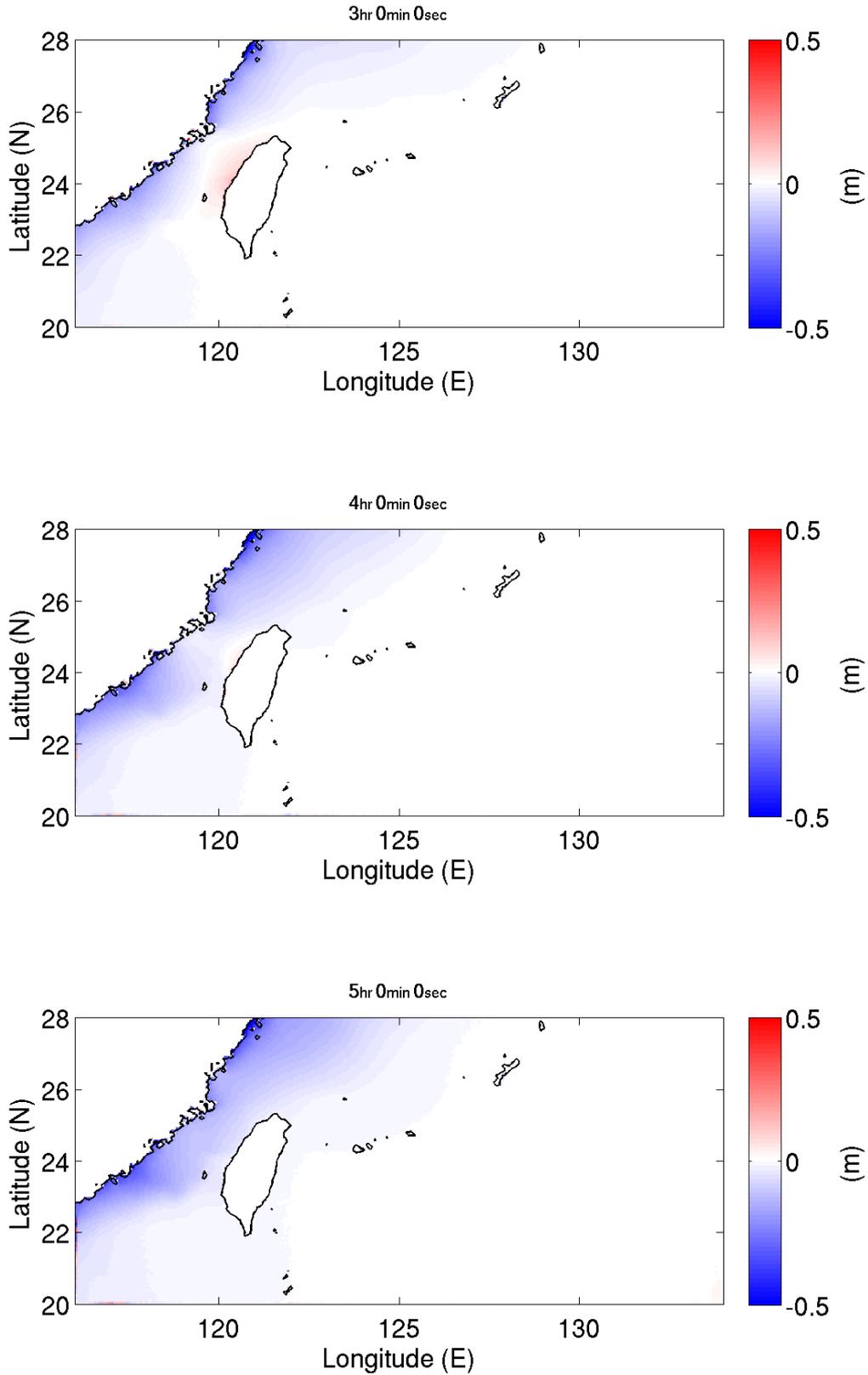


圖 6.13 (b) 台灣周遭海域受穩定西風吹襲下，水位變動情形。色階表水位高程，單位 m。

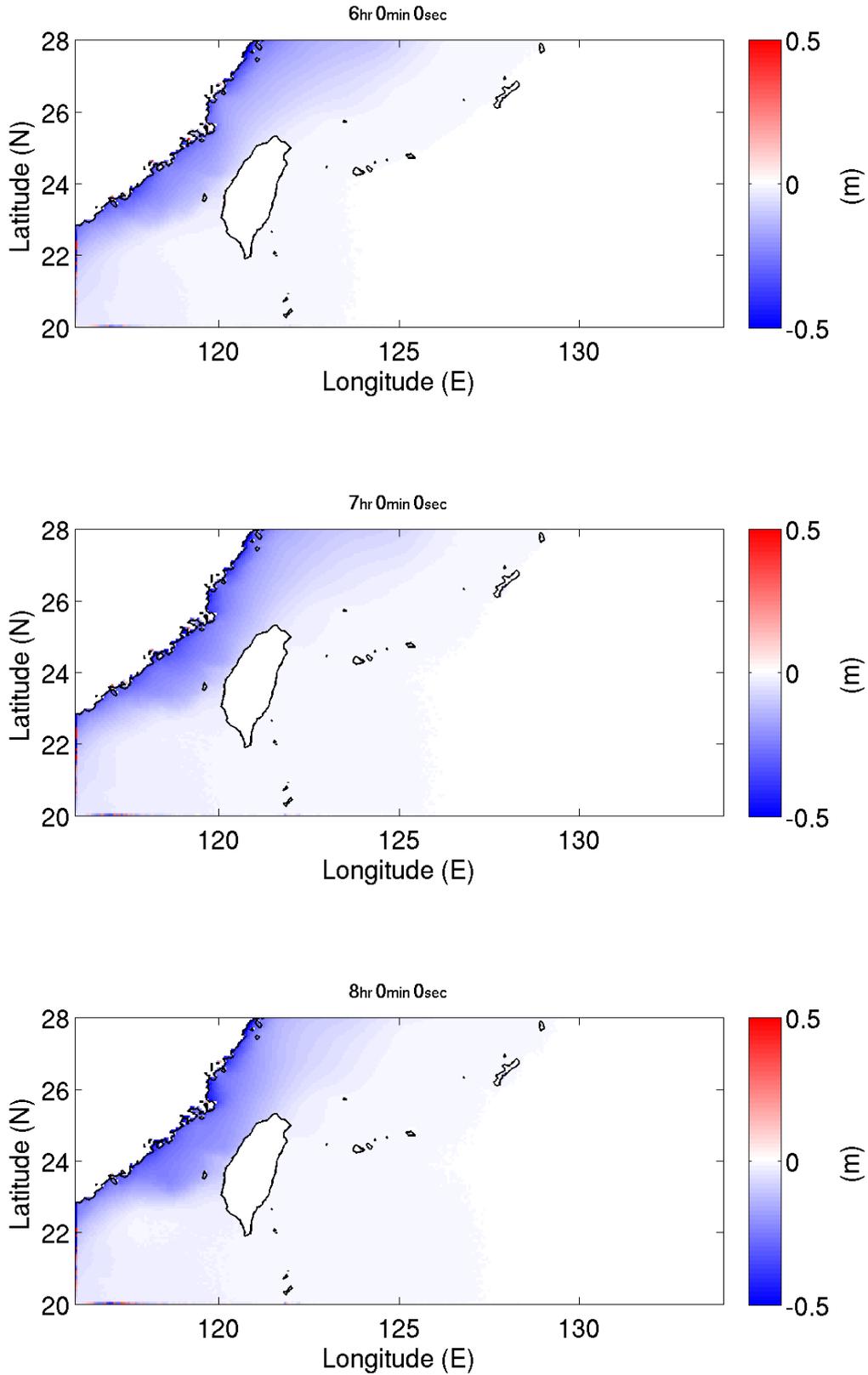


圖 6.13 (c) 台灣周遭海域受穩定西風吹襲下，水位變動情形。色階表水位高程，單位 m。

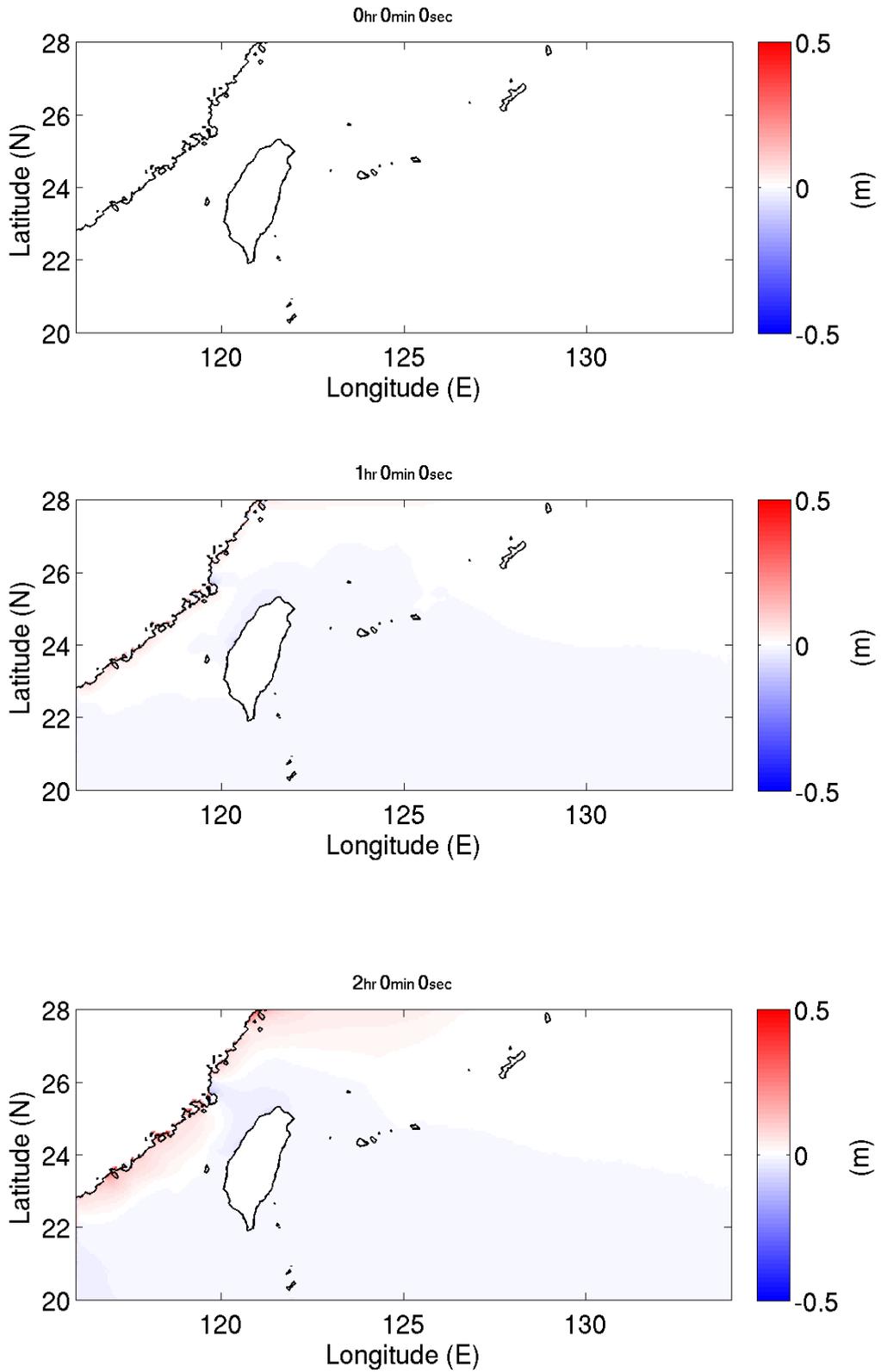


圖 6.14(a) 台灣周遭海域受穩定南風吹襲下，水位變動情形。色階表水位高程，單位 m。

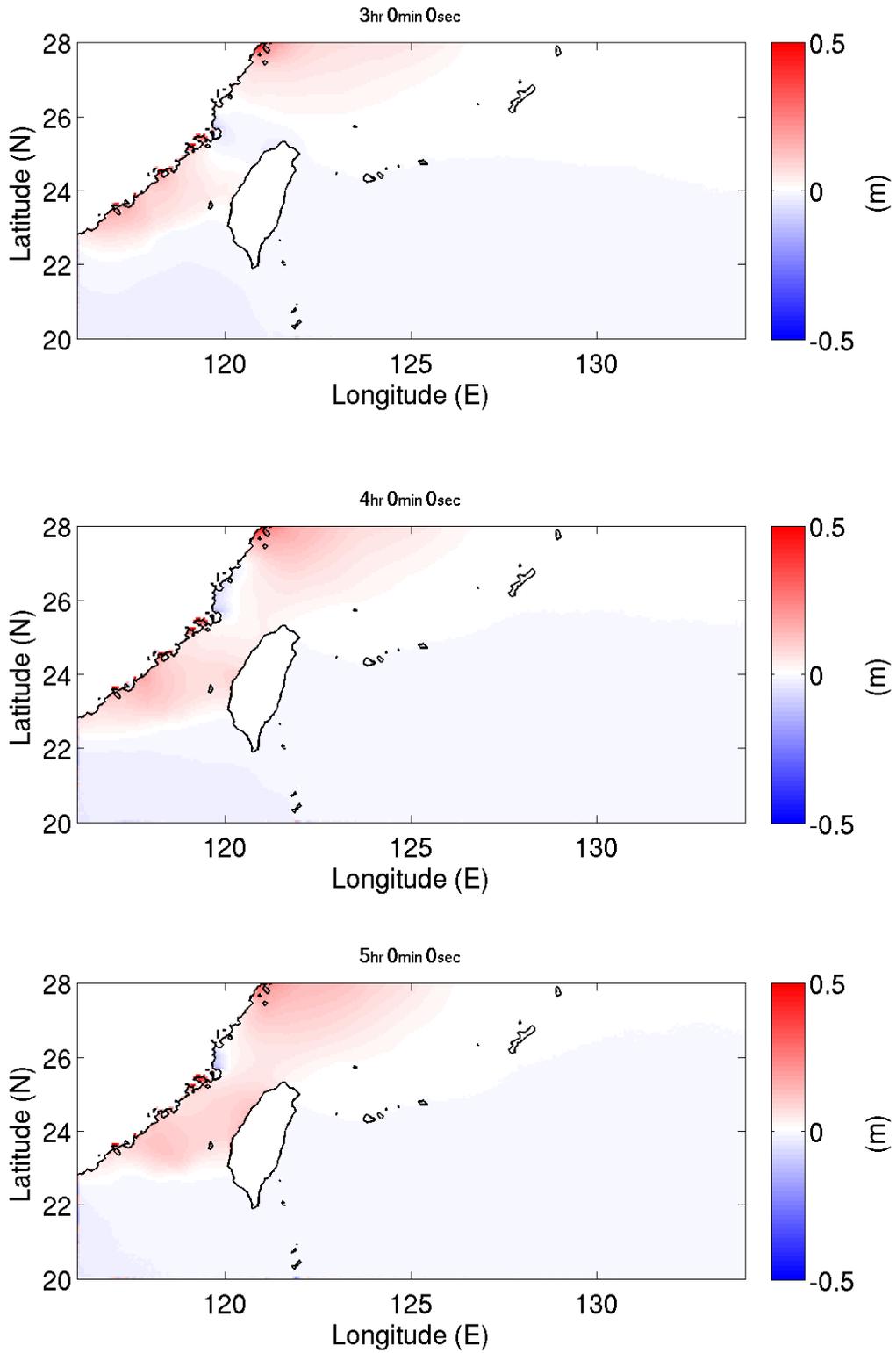


圖 6.14 (b) 台灣周遭海域受穩定南風吹襲下，水位變動情形。色階表水位高程，單位 m。

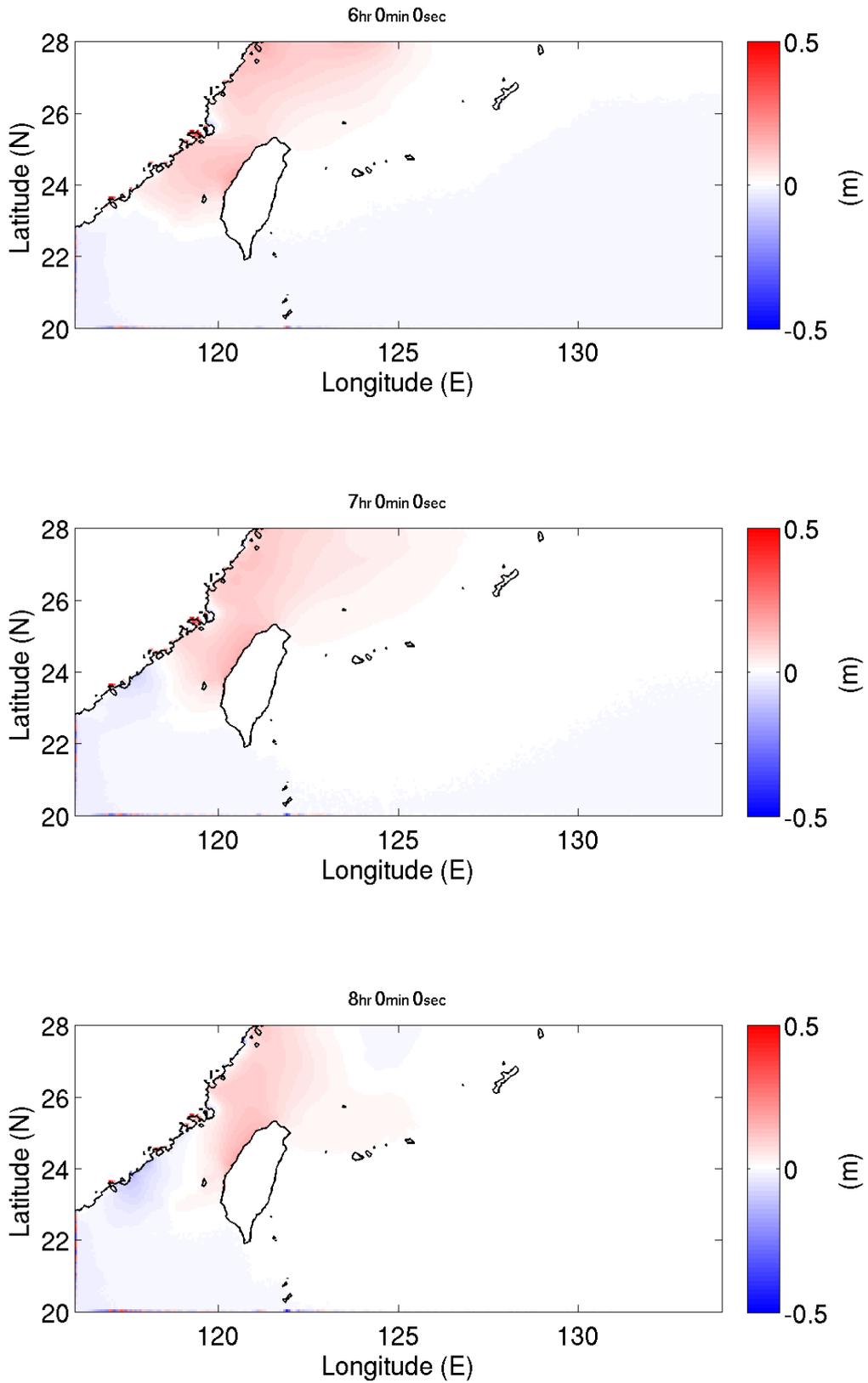


圖 6.14 (c) 台灣周遭海域受穩定南風吹襲下，水位變動情形。色階表水位高程，單位 m。

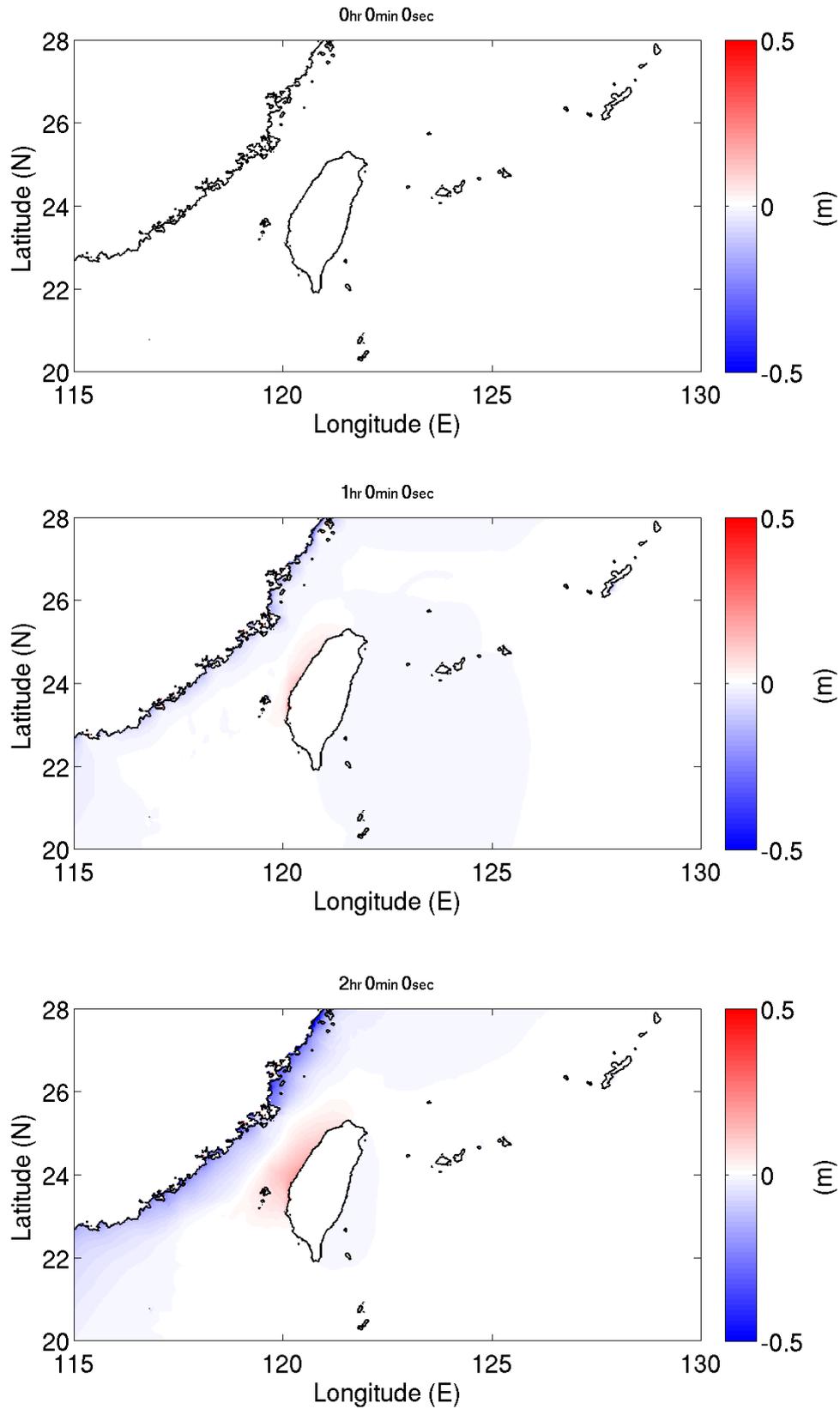


圖 6.15 (a) 在非線性球座標方程式下，台灣周遭海域受穩定西風吹襲下，水位變動情形。色階表水位高程，單位 m。

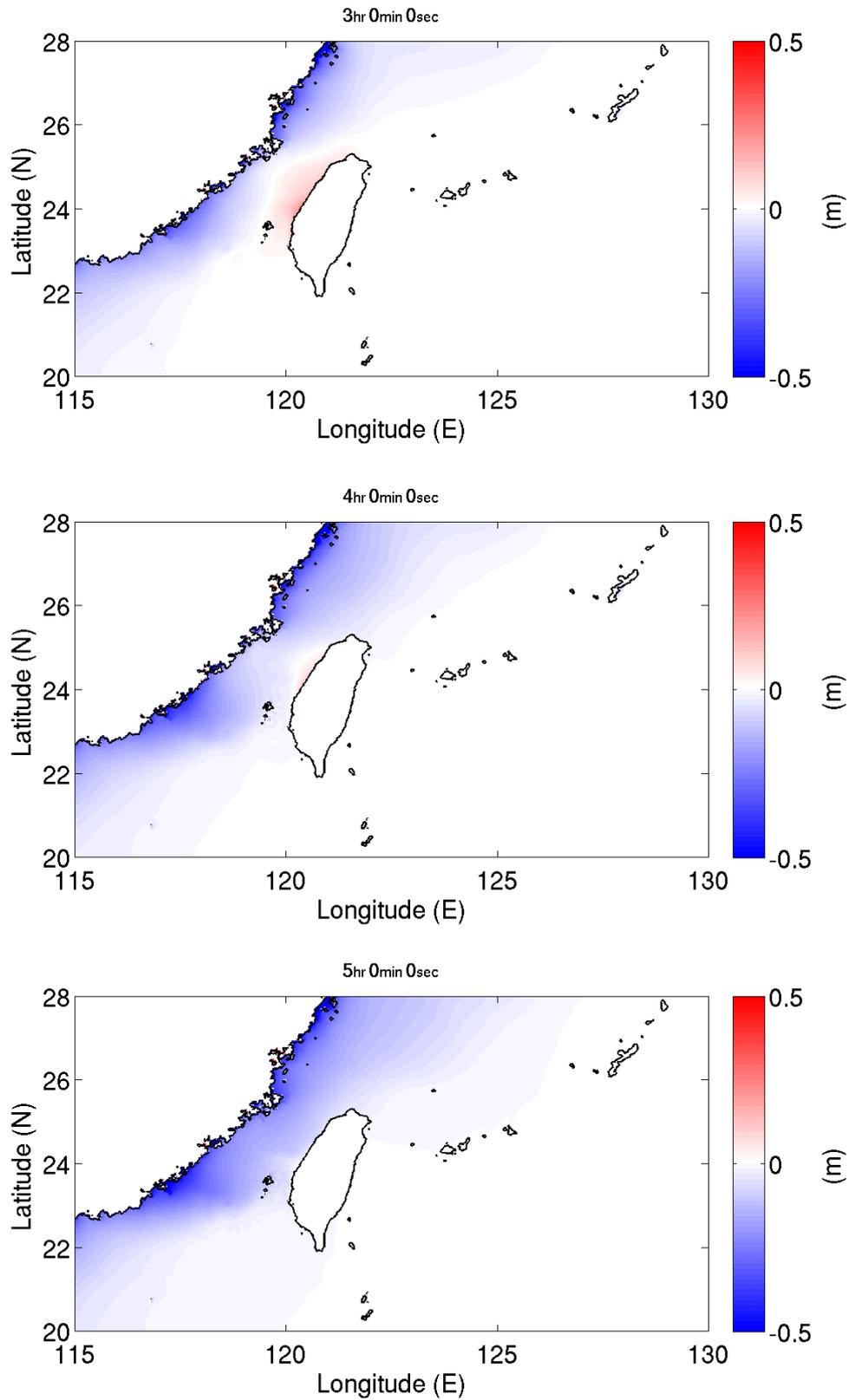


圖 6.15 (b) 在非線性球座標方程式下，台灣周遭海域受穩定西風吹襲下，水位變動情形。色階表水位高程，單位 m。

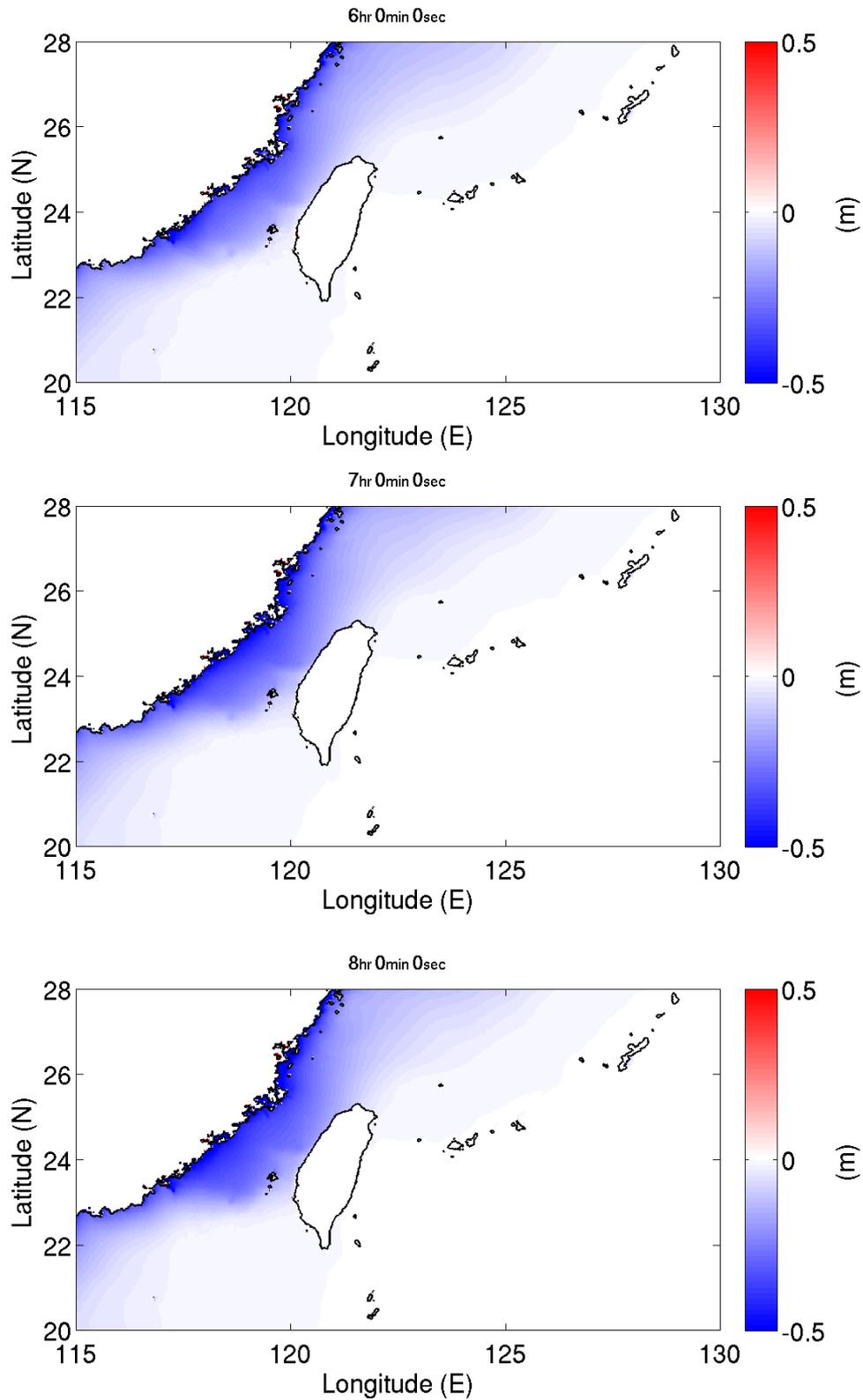


圖 6.15 (c) 在非線性球座標方程式下，台灣周遭海域受穩定西風吹襲下，水位變動情形。色階表水位高程，單位 m。

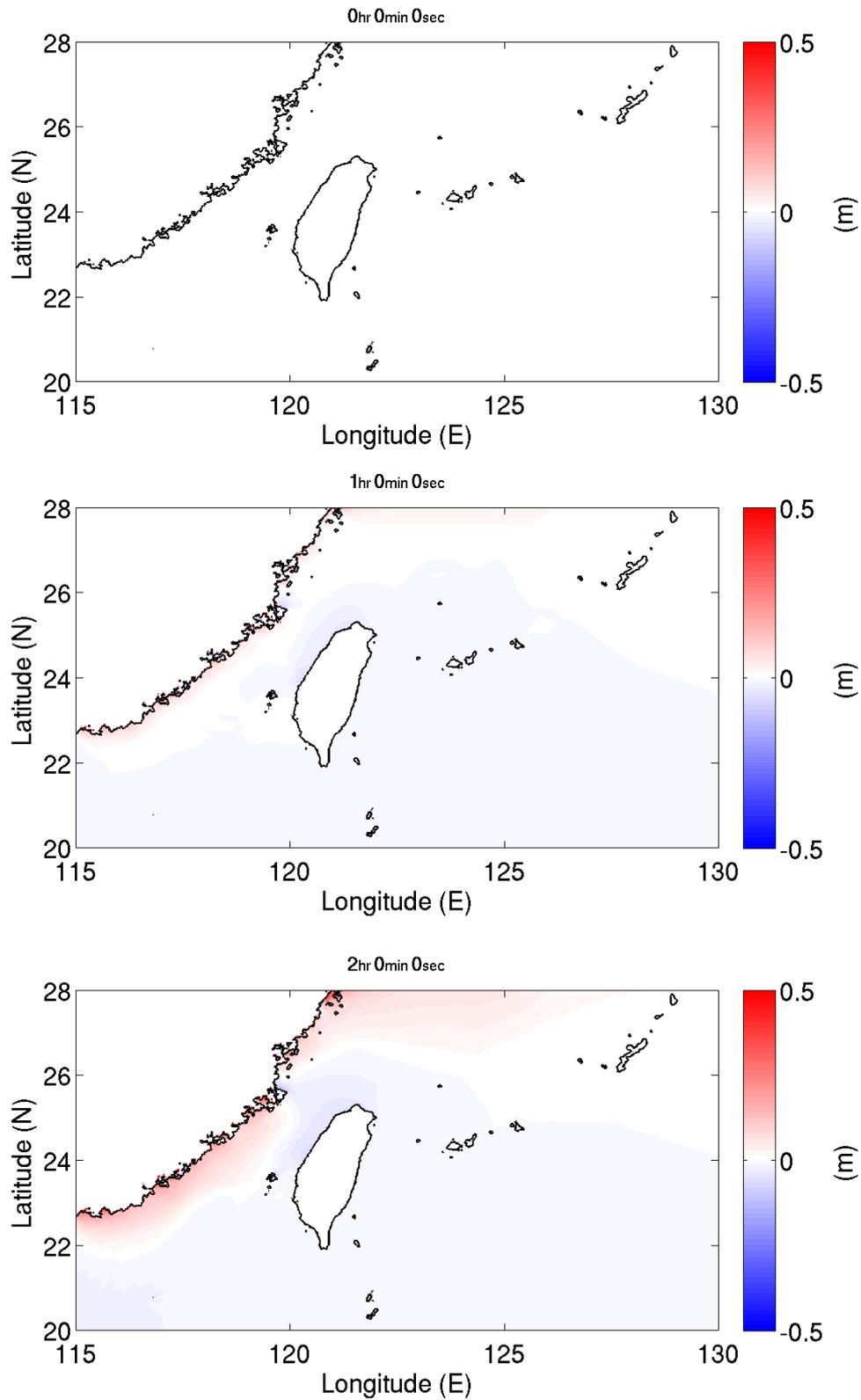


圖 6.16 (a) 在非線性球座標方程式下，台灣周遭海域受穩定南風吹襲下，水位變動情形。色階表水位高程，單位 m。

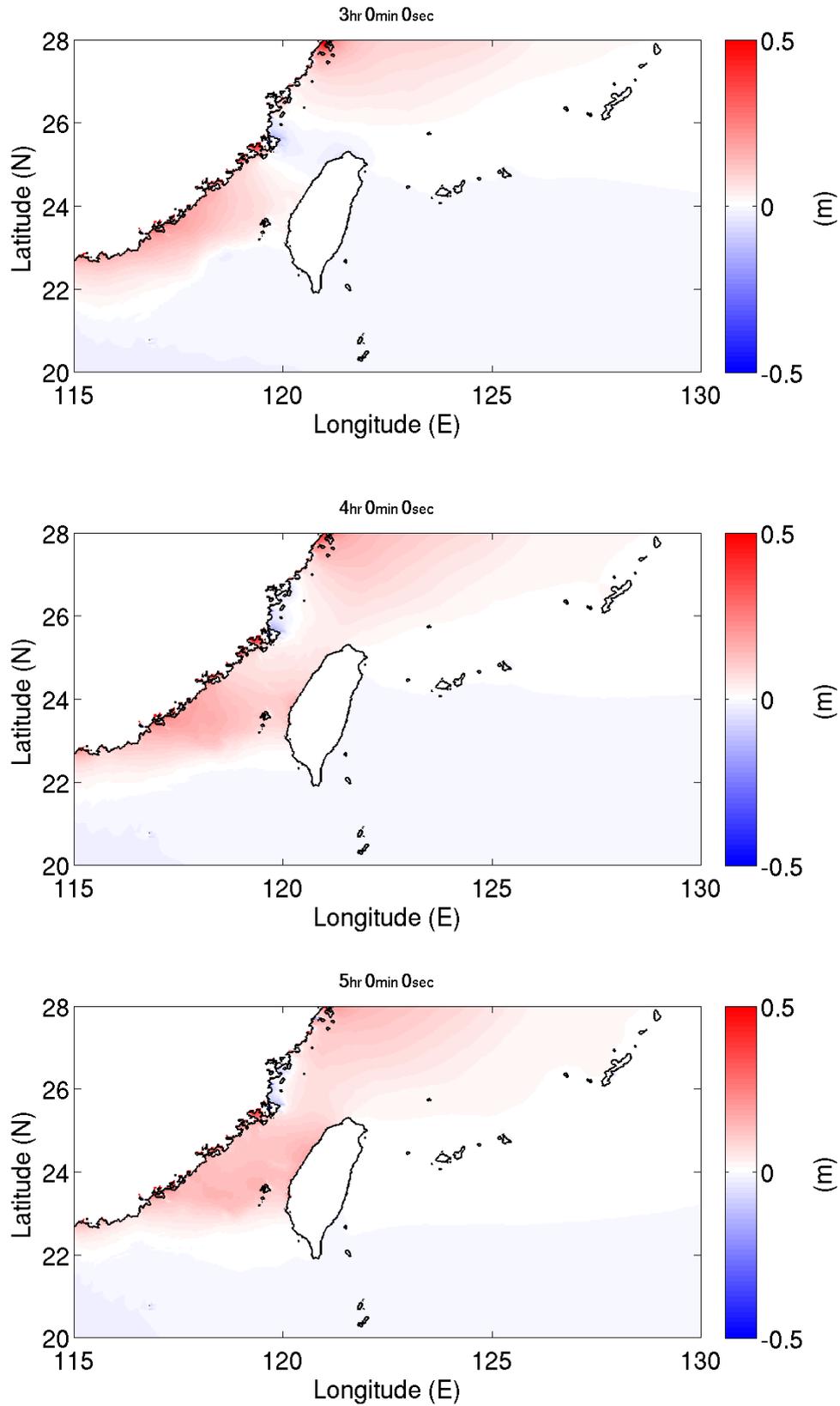


圖 6.16 (b) 在非線性球座標方程式下，台灣周遭海域受穩定南風吹襲下，水位變動情形。色階表水位高程，單位 m。

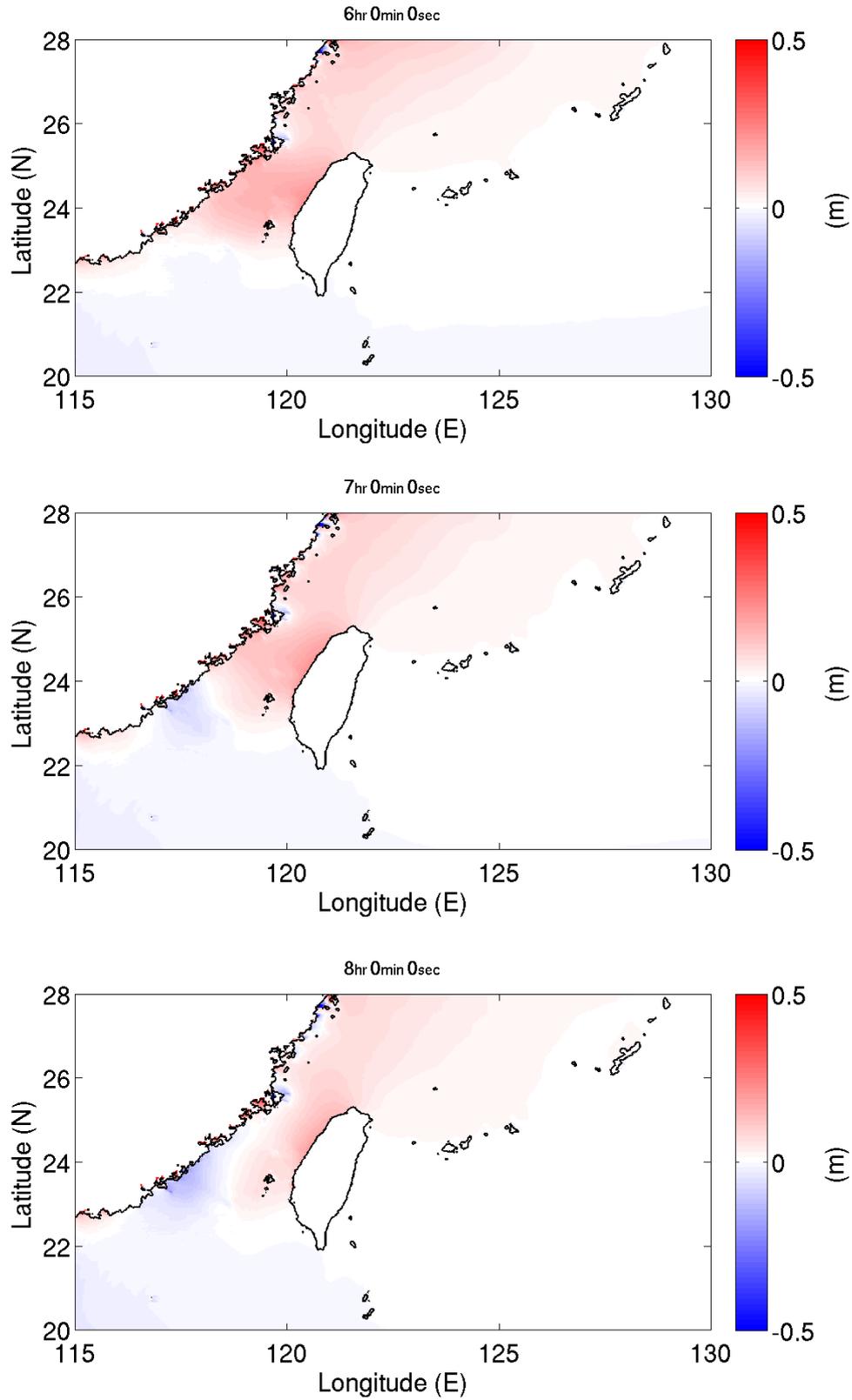


圖 6.16 (c) 在非線性球座標方程式下，台灣周遭海域受穩定南風吹襲下，水位變動情形。色階表水位高程，單位 m。

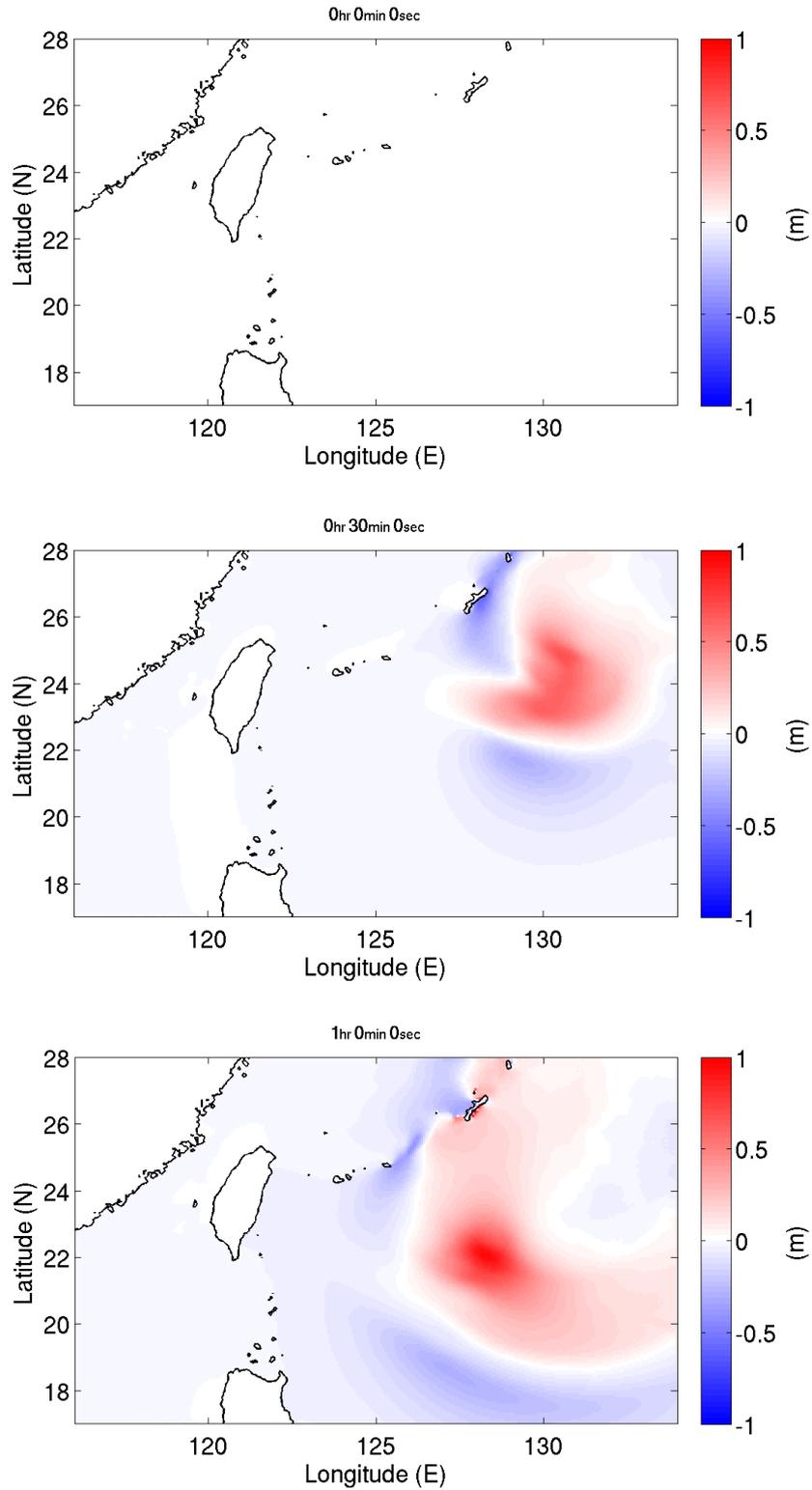


圖 6.17(a) 假設移動颱風路徑，台灣周遭海域導入理想風場之風剪力場和大氣壓力場後，所產生之水位面變化。色階表水位高程，單位 m。

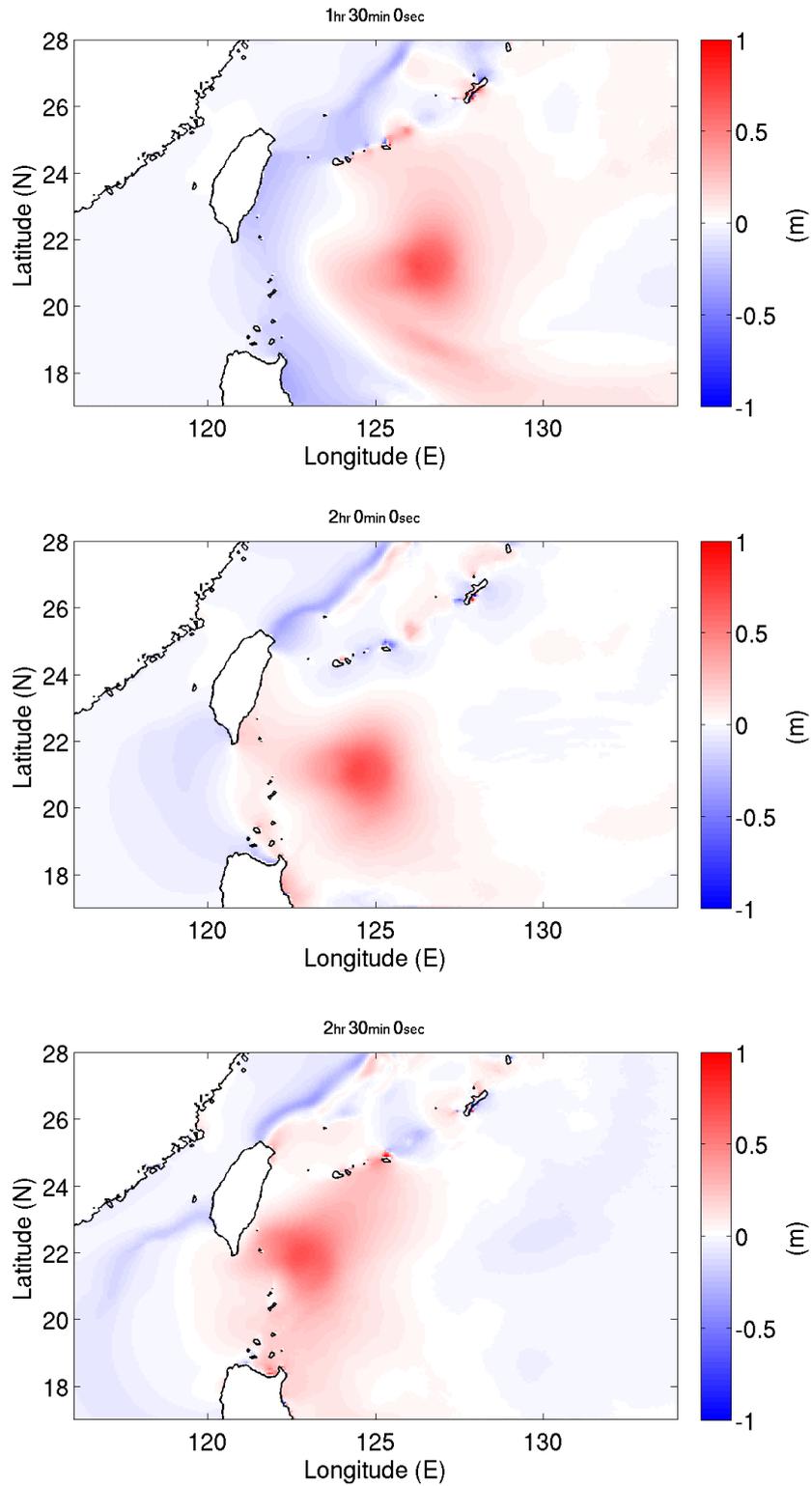


圖 6.17 (b) 假設移動颱風路徑，台灣周遭海域導入理想風場之風剪力場和大氣壓力場後，所產生之水位面變化。色階表水位高程，單位 m。

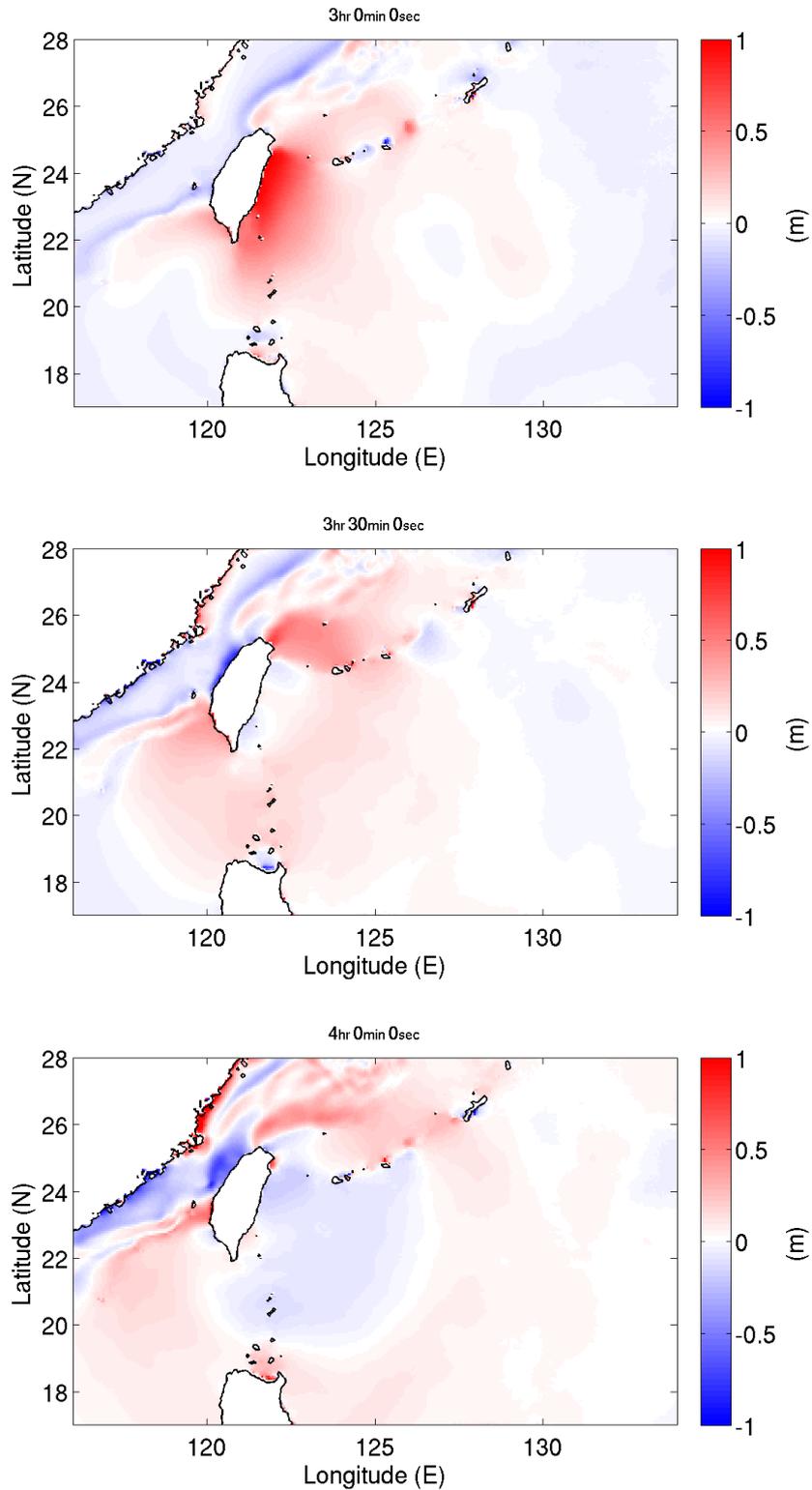


圖 6.17(c) 假設移動颱風路徑，台灣周遭海域導入理想風場之風剪力場和大氣壓力場後，所產生之水位面變化。色階表水位高程，單位 m。

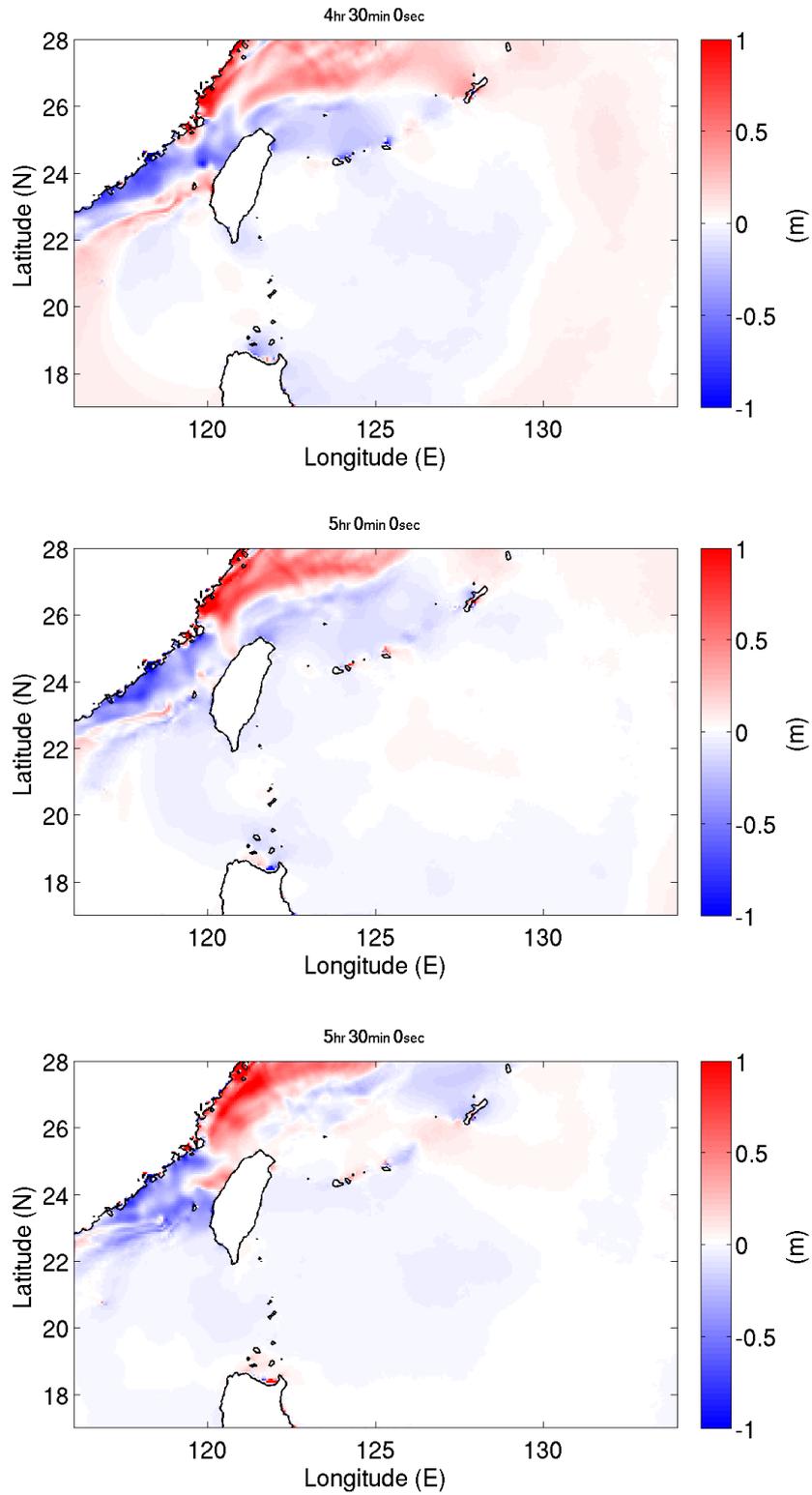


圖 6.17 (d) 假設移動颱風路徑，台灣周遭海域導入理想風場之風剪力場和大氣壓力場後，所產生之水位面變化。色階表水位高程，單位 m。

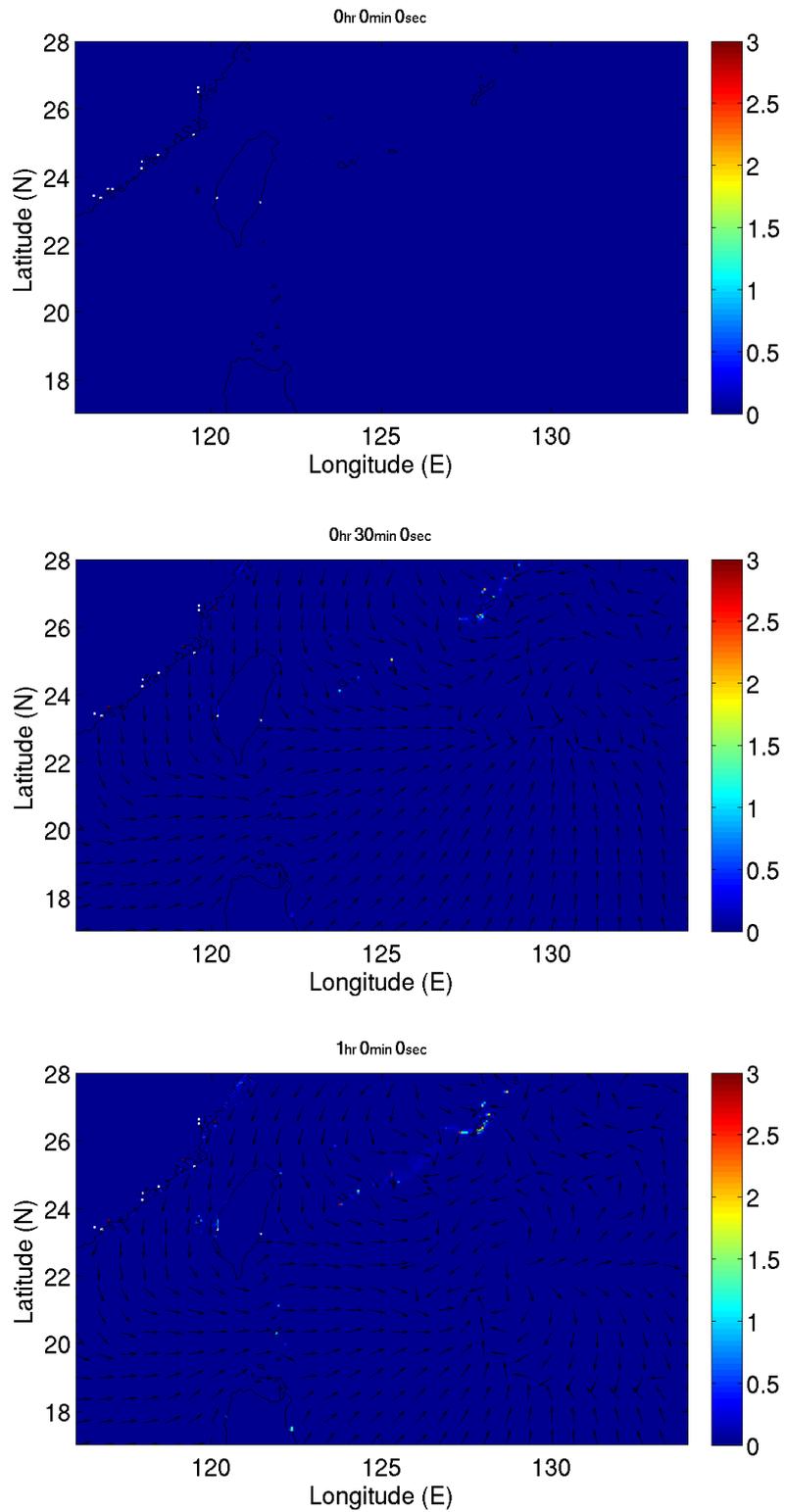


圖 6.18 (a) 台灣周遭海域導入理想風場之風剪力場和大氣壓力場後，所繪製之流速流場圖。色階表流速大小，單位 m/s。

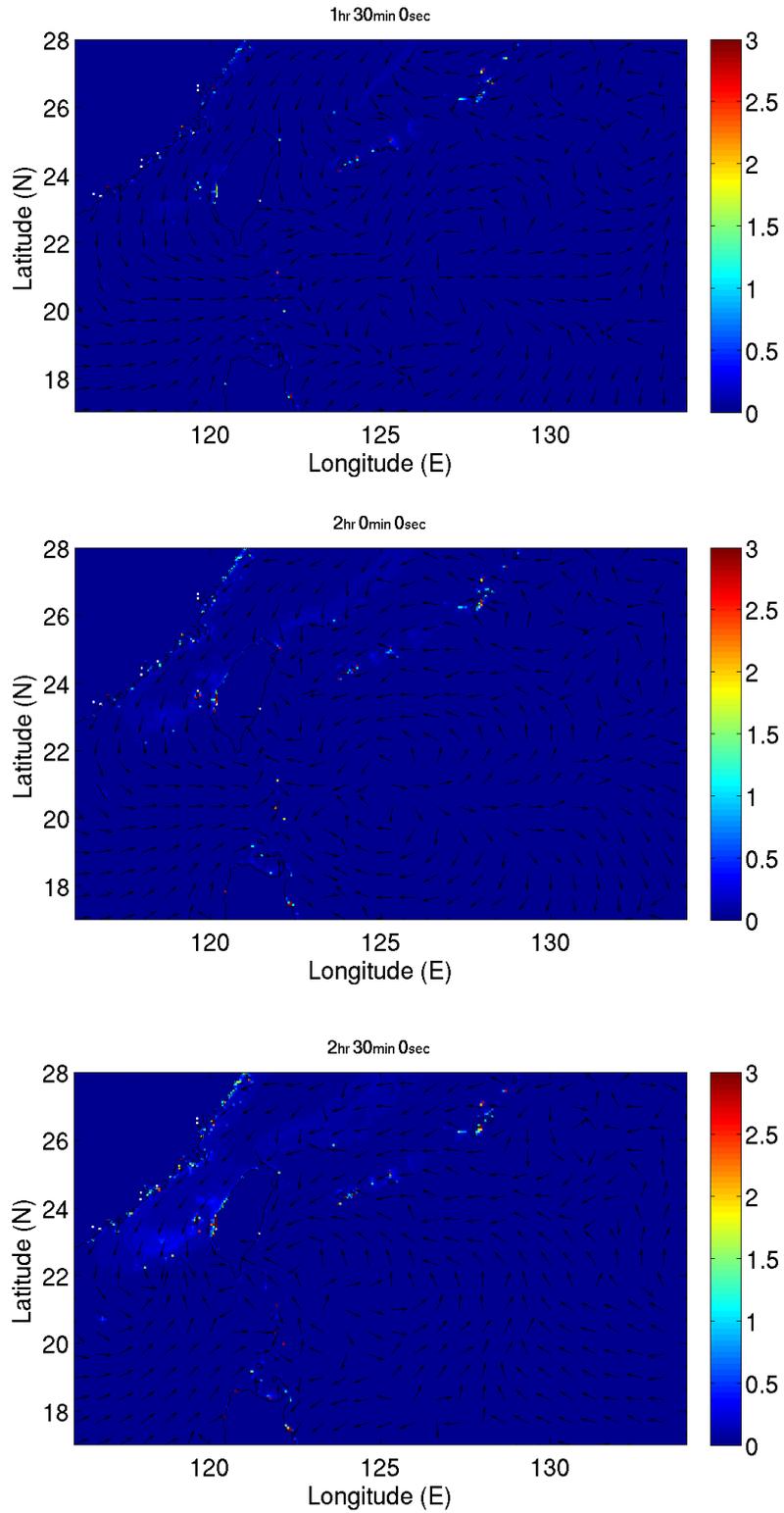


圖 6.18 (b) 台灣周遭海域導入理想風場之風剪力場和大氣壓力場後，所繪製之流速流場圖。色階表流速大小，單位 m/s。

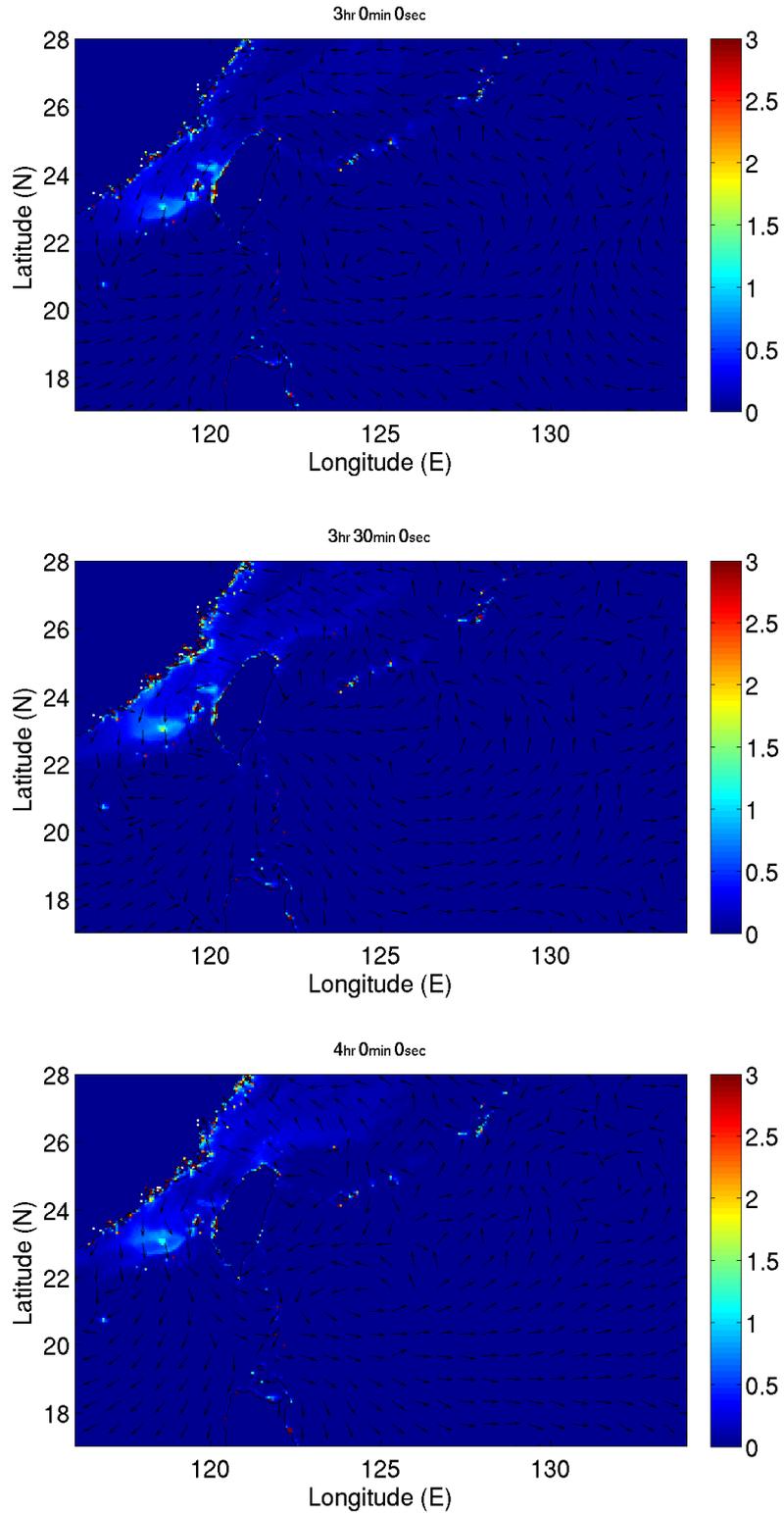


圖 6.18 (c) 颱風移動路徑中，台灣周遭海域導入理想風場之風剪力場和大氣壓力場後，所繪製之流速流場圖。色階表流速大小，單位 m/s。

6-3-7 實際案例之情形導入

根據 Holland(1980)之理想風場之大氣壓力模式為：

$$P_a = P_c + (P_n - P_c) \exp \left[- \left(\frac{R_{\max}}{r} \right)^B \right] \quad (36)$$

$$B = 2 - \frac{P_c - 900}{160} \quad (37)$$

$$r = R_e \arccos(\sin \varphi_1 \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \cos(\psi_1 - \psi_2)) \quad (38)$$

其中， P_c 為風暴中心之大氣壓力、 R_{\max} 為最大暴風半徑、 B 為峰值參數 (peakness parameter)、 P_a 為在距離暴風中心半徑 r 時的大氣壓力、 P_n 為環境大氣壓力 (ambient pressure)、 R_e 為地球半徑、 φ_1, ψ_1 為颱風中心之緯度和經度、 φ_2, ψ_2 為計算網格點之緯度和經度。

而由 Phadke 等人定義之風速分布如：

$$V_w = \sqrt{\frac{B(P_n - P_c)}{\rho_a} \left(\frac{R_{\max}}{r} \right)^B \exp \left[- \left(\frac{R_{\max}}{r} \right)^B \right] + \frac{r^2 f^2}{4} - \frac{rf}{2}} \quad (39)$$

$$f = 2\omega \sin \varphi_2 \quad (40)$$

其中， f 為柯氏力， ρ_a 為空氣密度， ω 為地球自轉角速率，約為 7.2722×10^{-5} (rad/s)

本案例中之參數設置如下：

$$P_c = 945 \text{ mb}、P_n = 1013.25 \text{ mb}、\rho_a = 1.2 \text{ kg} / \text{m}^3$$

將式 39 的 V_w 值帶入風剪力模式 (式 9) 可得 F^s ，再將 F^s 和 P_a 值帶回線性球座標控制方程式 (式 5、式 6)，則可進行理想風場之模擬。

模擬區域為臺灣附近海域，範圍介於東經 116 度到東經 130 度及北緯 20 度到北緯 28 度，地形資料取自 ETOPO2，網格間距為 4 分。

本案例採 2007 年克羅莎颱風案例進行測試。2007 年 10 月 6 號颱風中心位置位於東經 121.9 度、北緯 25.0 度，10 月 6 日當日颱風中心滯留於台灣東北方宜蘭外海 (圖 6.19 和圖 6.20)，最大暴風半徑為 300 km，中心氣壓為 900 mb。本模擬將克羅莎颱風之移動簡化為完全停滯於東經 121.9 度、北緯 25.0 度，並觀察海水位變化是否合乎預期。求解之統御方程式為線性球座標動量方程式 (式 5、式 6)，其中包含柯氏力，但不包含底床摩擦力。

式 39 之壓力分布如圖 6.21 所示，由圖可見，颱風中心點有最一最低壓力約為 945 毫巴，壓力並於距離颱風中心 500km 後，漸變為周圍氣壓。

式 36 之風速分布剖面如圖 6.22 所示。由圖可見，風速最大值約為 55 m/s，位於颱風中心 50 公里處。由於風速變化之差異，本案例所採用之阻力係數 Cd (drag coefficient) 採用 Large and Pond 提出的模式 (式 41)，在不同的風速下有不同 Cd 值可套用。

$$10^3 C_d = \begin{cases} 2.16 & |\bar{V}_w| \geq 26ms^{-1} \\ 0.49 + 0.065|\bar{V}_w| & 10ms^{-1} \leq |\bar{V}_w| < 26ms^{-1} \\ 1.14 & 3ms^{-1} \leq |\bar{V}_w| < 10ms^{-1} \\ 0.62 + \frac{1.56}{|\bar{V}_w|} & 1ms^{-1} \leq |\bar{V}_w| < 3ms^{-1} \\ 2.18 & |\bar{V}_w| < 1ms^{-1} \end{cases} \quad (41)$$

為驗證本案例，本研究將理想風場之大氣壓力場和風剪力場分別導入，以觀察對潮位之影響。在確認模擬結果無誤之後，再合併大氣壓力場和風剪力場進行模擬。

在將理想風場之大氣壓力場和風剪力場分別導入，且確認模擬結合乎預期後，本研究簡化颱風路徑為一直線，使用線性球座標控制方程式，並開啟巢狀網路進

行模擬，第一層模擬區域四弧分解度，包涵颱風由生成至影響台灣之完整生命週期，第二層模擬區域一弧分解度，將網格解析度縮小至台灣沿海區域。

圖 6.23 系列為僅導入理想風場之風剪力場所產生之水位面變化。由圖可知，純粹風剪力之影響下海水深度越淺，風剪力效應越強。最大暴潮偏差水位為 0.5 m，主要分布於台灣西岸外海處。最低暴潮偏差水位為 0.1 m，主要分布於大陸東岸，模擬結果合乎預期。

圖 6.24 系列為僅導入理想風場之大氣壓力場後所產生之水位面變化。壓力梯度會造成水面抬升，且不受水深之影響，因此水位變化劇烈處直接位於颱風中心附近。由圖 6.24(b)可見，在僅受大氣壓力之影響下，水位抬升最多之位置為台灣東北方海域，海水位抬升約 0.05m。根據理想情況之暴潮偏差水位解析解，應約 0.056m。結果合乎預期。

圖 6.25 系列為同時導入理想風場之風剪力場與大氣壓力場後所產生之結果。由圖可知，其結果大致為風剪力場與壓力場之線性結合，其原因為本案例現階段求解線性淺水波方程式之故。由圖 6.25(b)可見，颱風逆時針旋轉帶動海平面呈不同暴潮偏差水位，於台灣西岸造成較大的水位上升，大陸東岸水位下降之情況。其結果合乎預期。

圖 6.26 系列為同時導入理想風場之風剪力場與大氣壓力場後，根據其結果所繪製之流速流場圖。受颱風之影響流場亦呈逆時針轉動，而在台灣海峽西岸和中國大陸東岸，即福建沿海和台灣西南沿海一帶均有較大流速，和圖 6.24 系列相對應，可發現在流速較大的區域，其暴潮偏差水位也相對較高。

圖 6.27 系列為台灣周遭海域導入理想風場之風剪力場、大氣壓力場和簡化颱風路徑後之水位變化，網格解析度為四弧分。過程中完整包涵颱風生命週期，從颱風於西太平洋形成，朝西北方向登陸台灣且朝中國大陸行進，在台灣海峽內造成較大之暴潮偏差水位，其結果合乎預期。

圖 6.28 系列為台灣周遭海域導入理想風場之風剪力場、大氣壓力場和簡化颱風路徑後之水位變化，網格解析度為一弧分。模擬區域針對台灣本島區域和沿海，因台灣海峽水深較淺受風剪力影響較大應有較大暴潮偏差水位。從模擬結果可發現其暴潮偏差水位於台灣西部和中國大陸福建沿海一帶較高，其結果合乎預期。

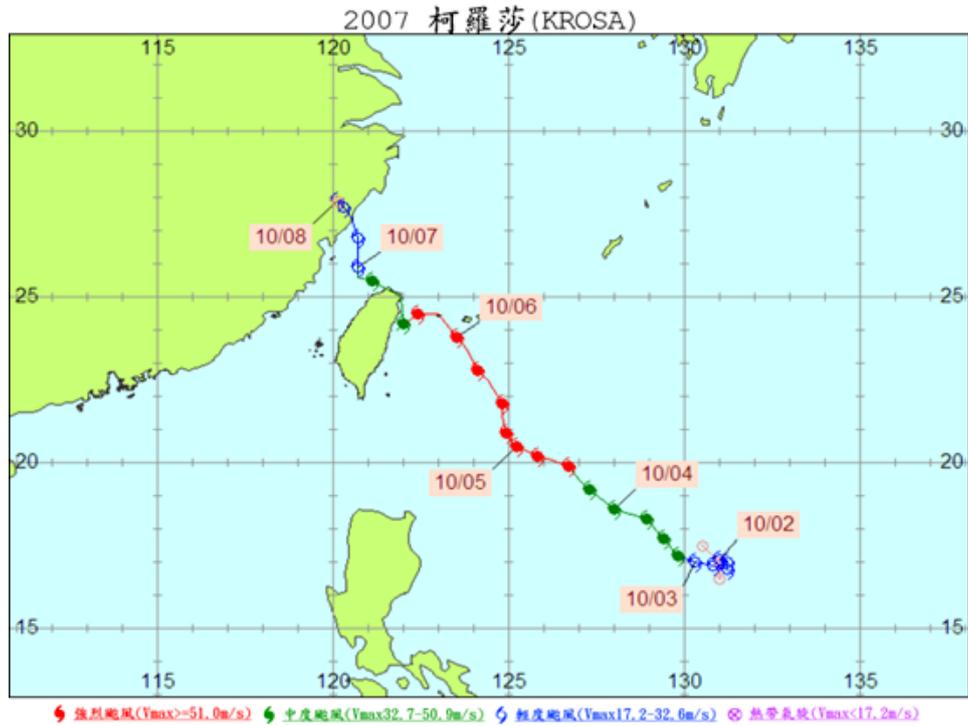


圖 6.19 2007 柯羅莎颱風路線圖 (CWB)。

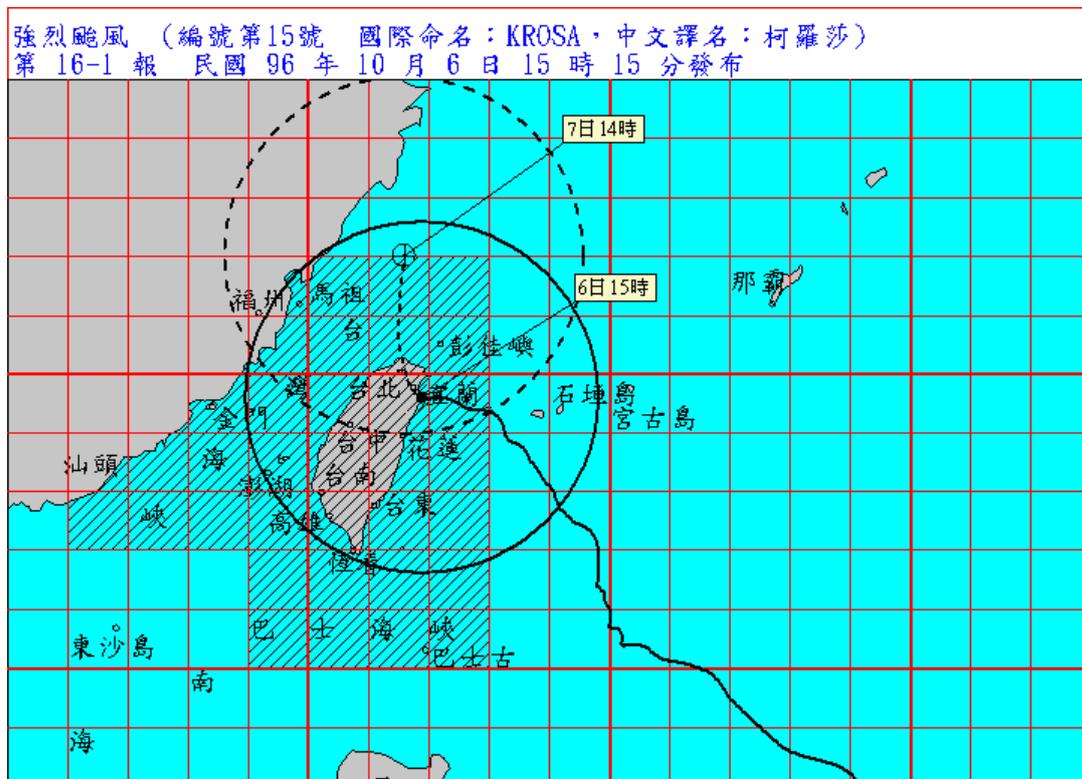


圖 6.20 2007 柯羅莎颱風影響範圍 (CWB)。

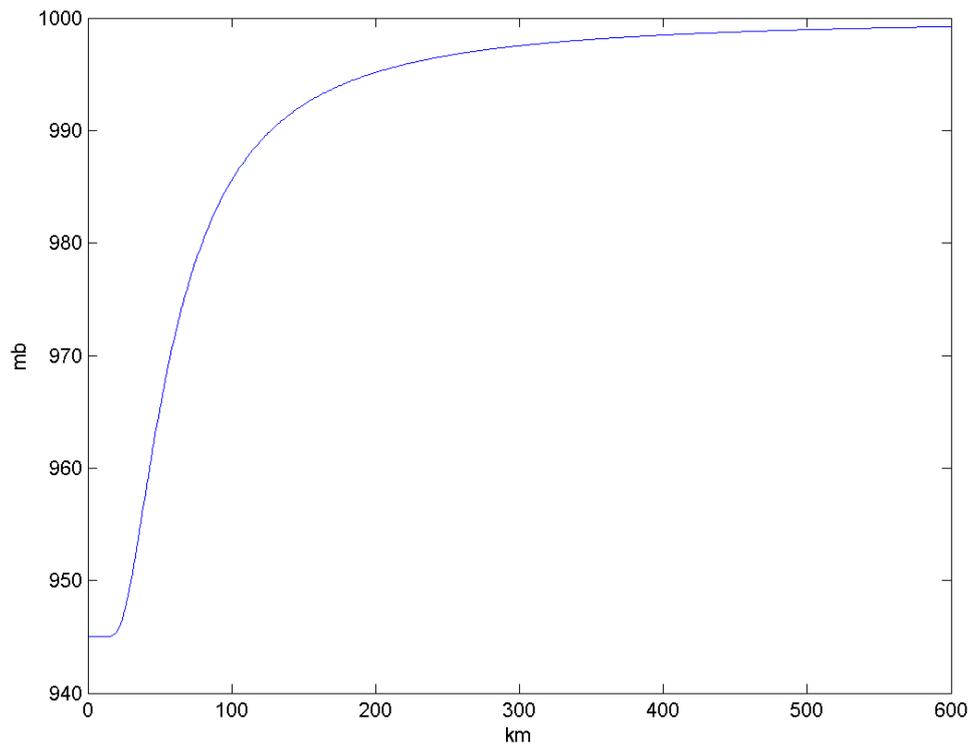


圖 6.21 台灣周遭海域受颱風影響下，壓力變動情形，單位 mb。

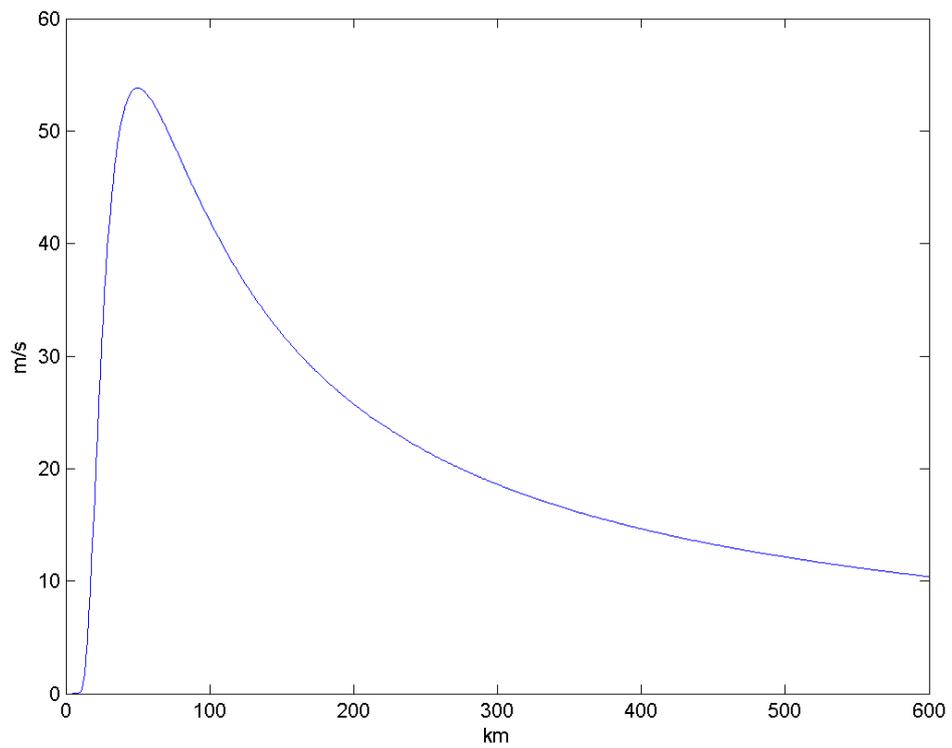


圖 6.22 台灣周遭海域受颱風影響下，風速之分布，單位 m/s。

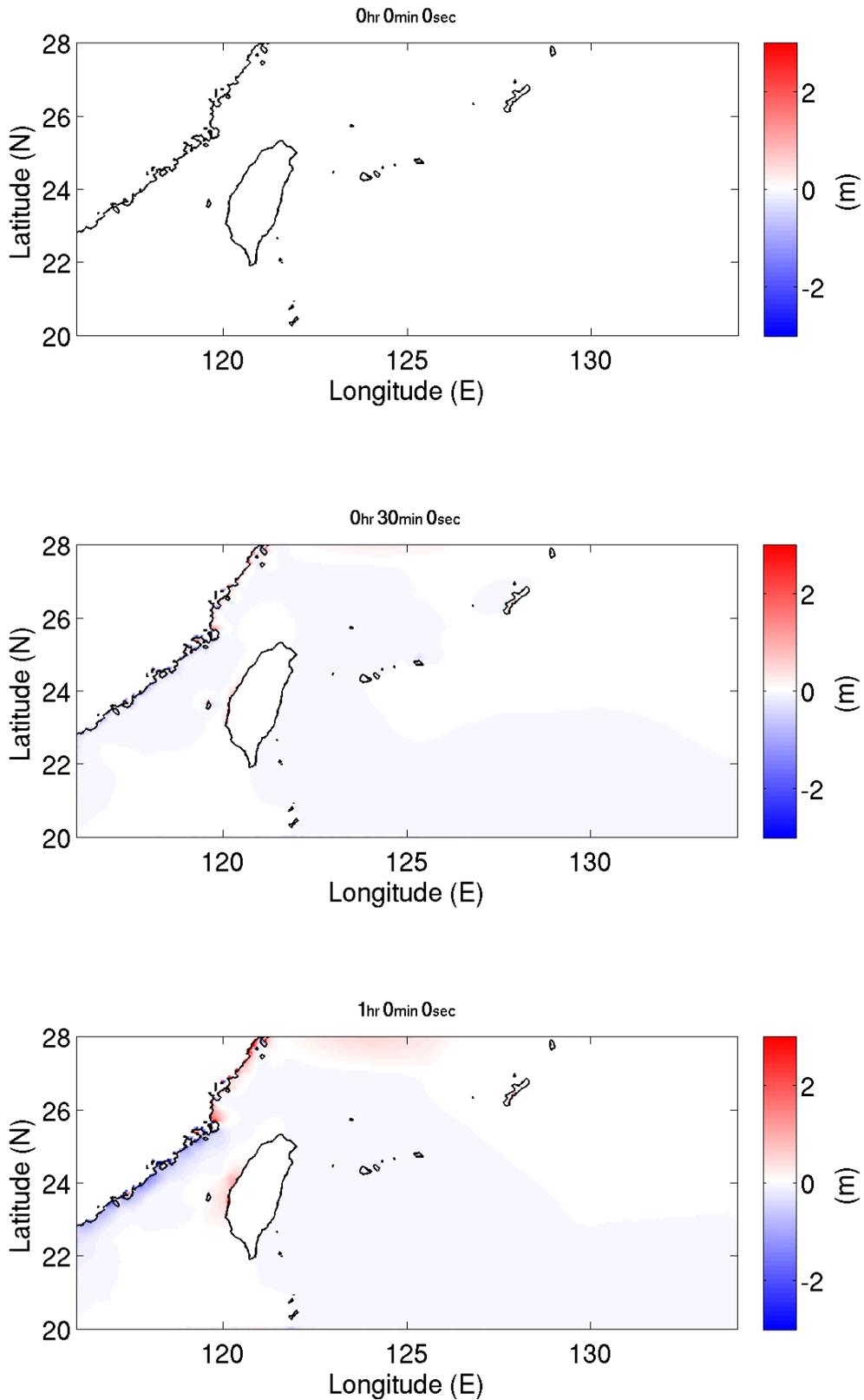


圖 6.23 (a) 台灣周遭海域導入理想風場之風剪力場後，所產生之水位面變化。色階表水位高程，單位 m。

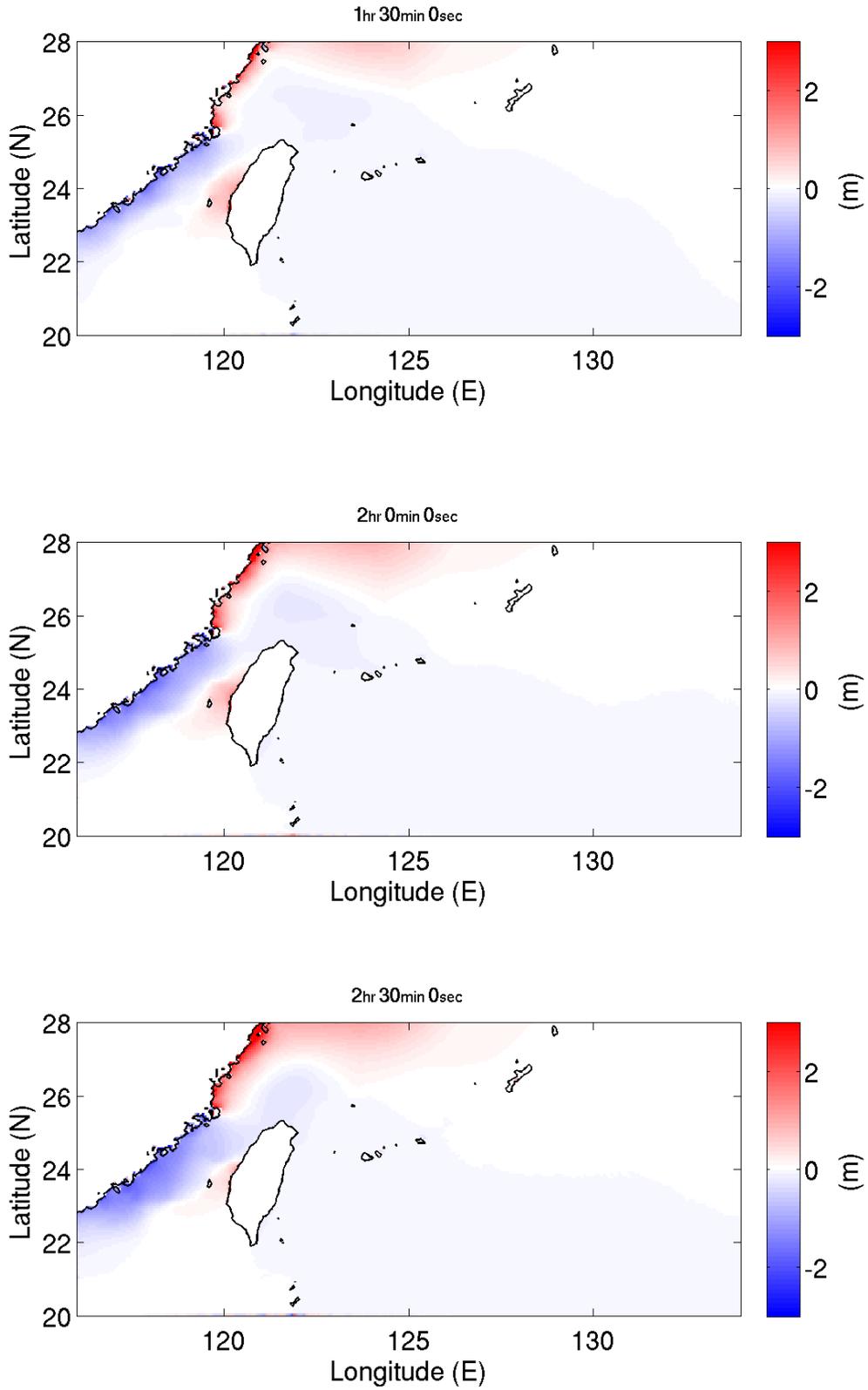


圖 6.23 (b) 台灣周遭海域導入理想風場之風剪力場後，所產生之水位面變化。色階表水位高程，單位 m。

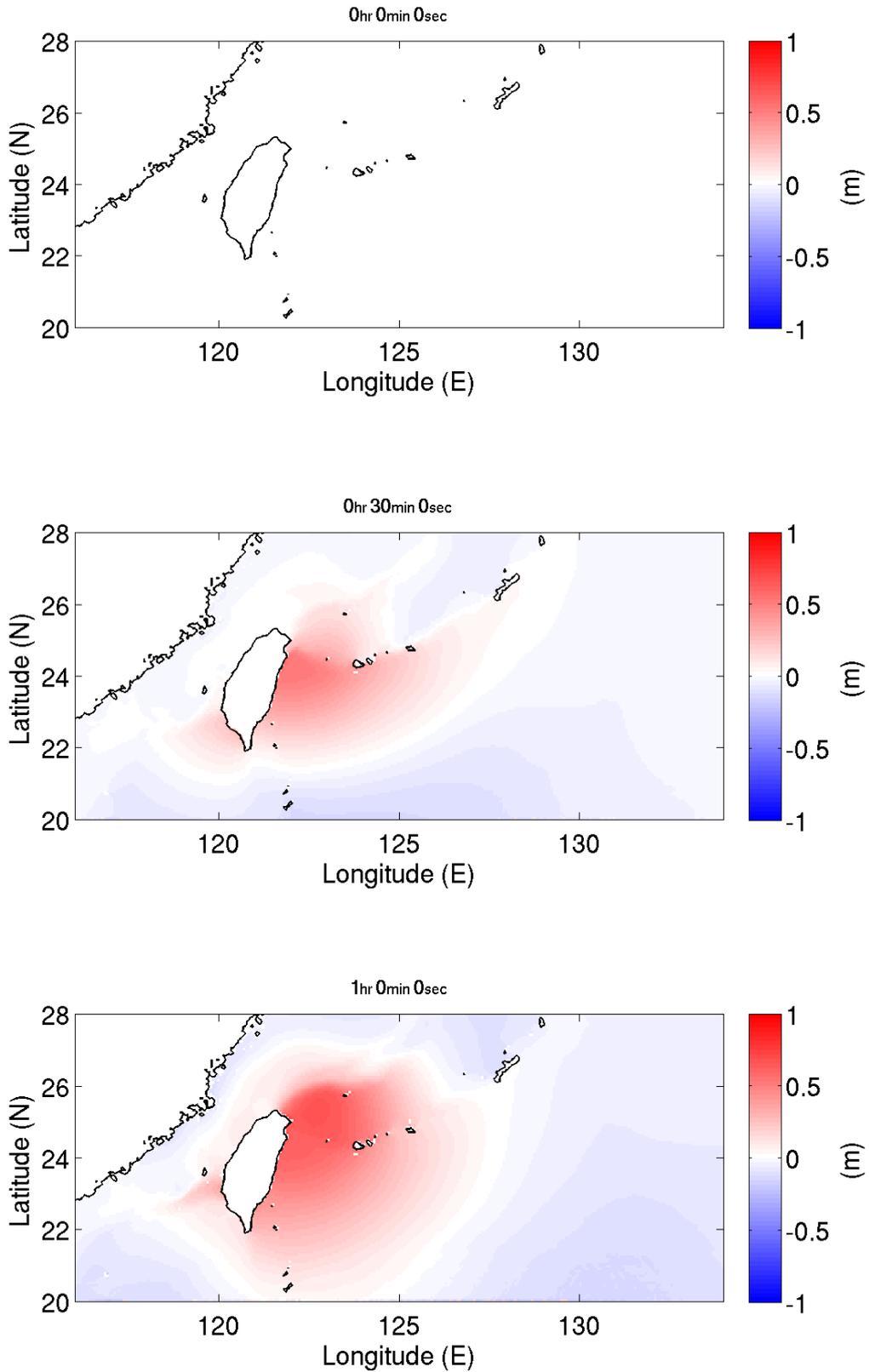


圖 6.24 (a) 台灣周遭海域導入理想風場之大氣壓力場後，所產生之水位面變化。
色階表水位高程，單位 m。

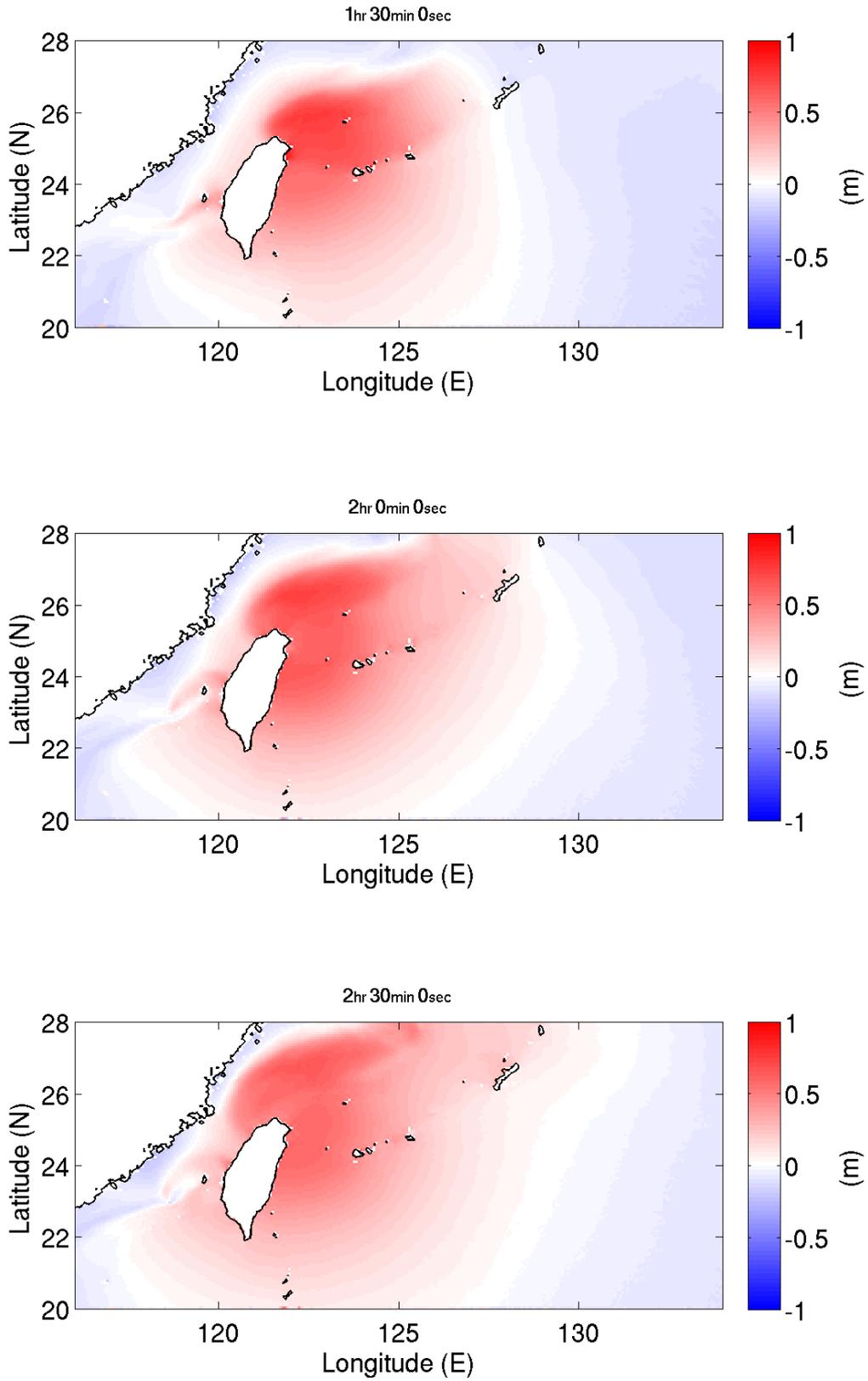


圖 6.24 (b) 台灣周遭海域導入理想風場之大氣壓力場後，所產生之水位面變化。
色階表水位高程，單位 m。

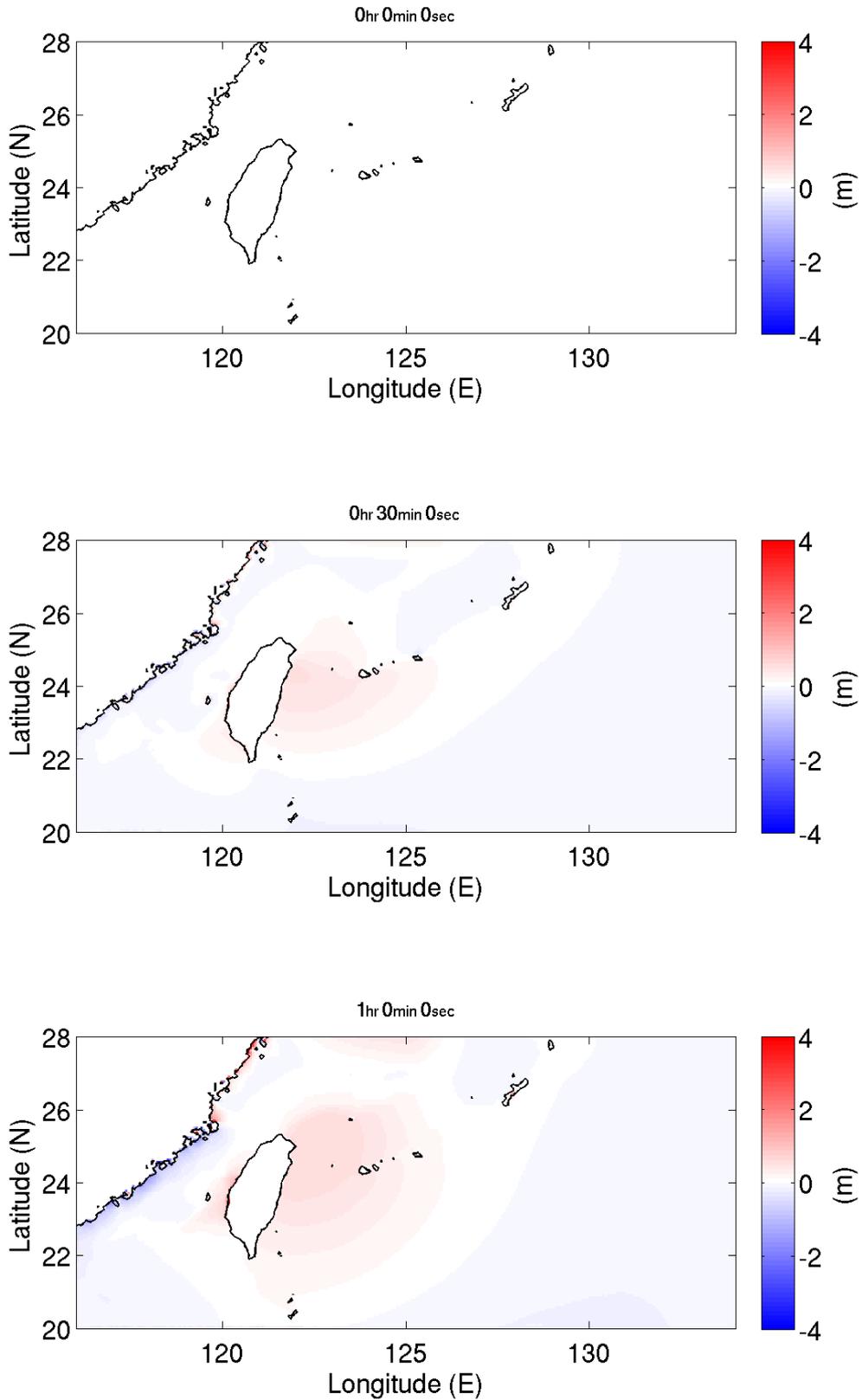


圖 6.25 (a) 台灣周遭海域導入理想風場之風剪力場和大氣壓力場後，所產生之水位面變化。色階表水位高程，單位 m。

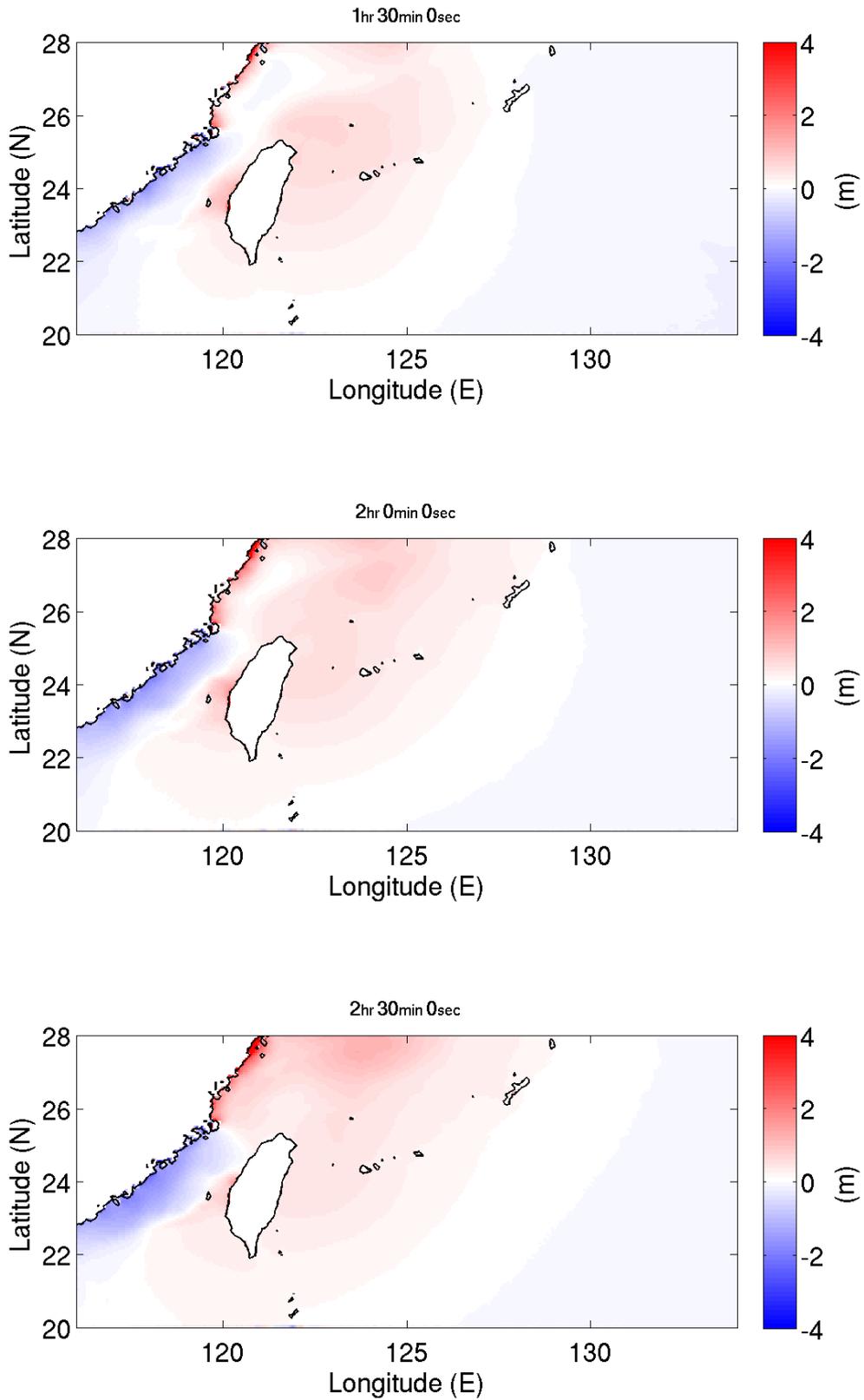


圖 6.25 (b) 台灣周遭海域導入理想風場之風剪力場和大氣壓力場後，所產生之水位面變化。色階表水位高程，單位 m。

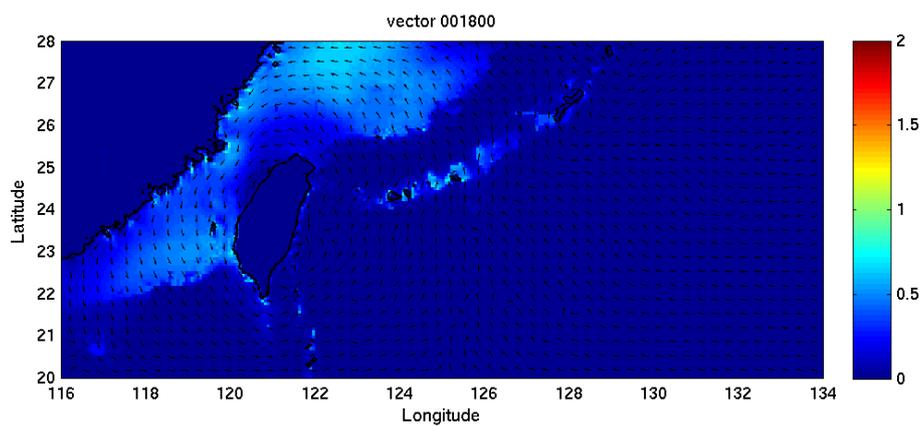
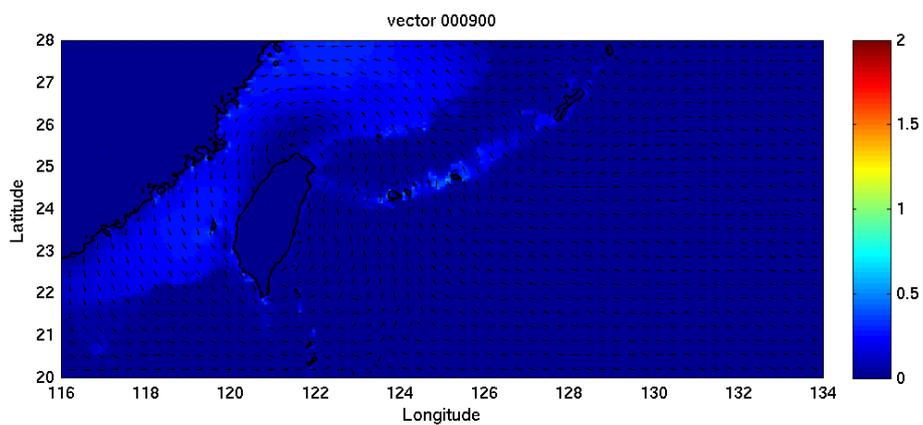
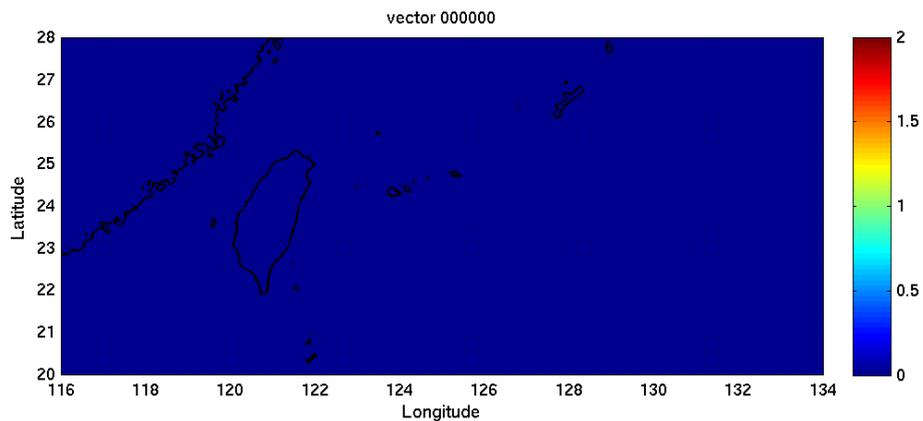


圖 6.26 (a) 台灣周遭海域導入理想風場之風剪力場和大氣壓力場後，所繪製之流速流場圖。色階表流速大小，單位 m/s。

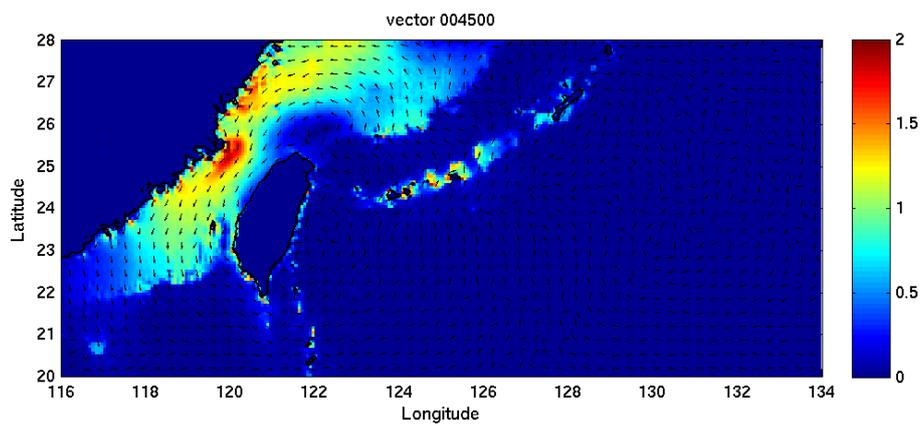
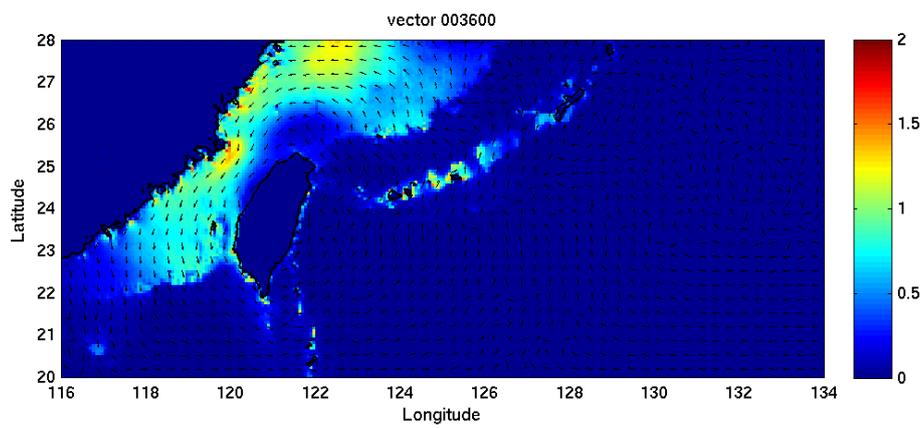
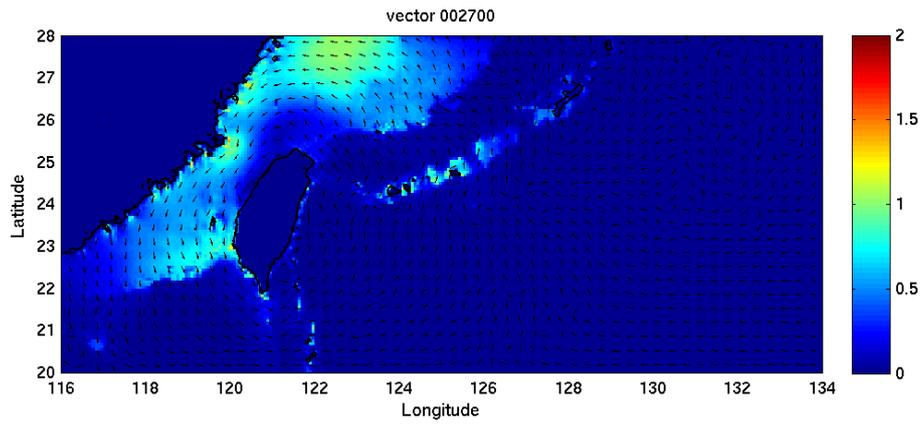


圖 6.26 (b) 台灣周遭海域導入理想風場之風剪力場和大氣壓力場後，所繪製之流速流場圖。色階表流速大小，單位 m/s。

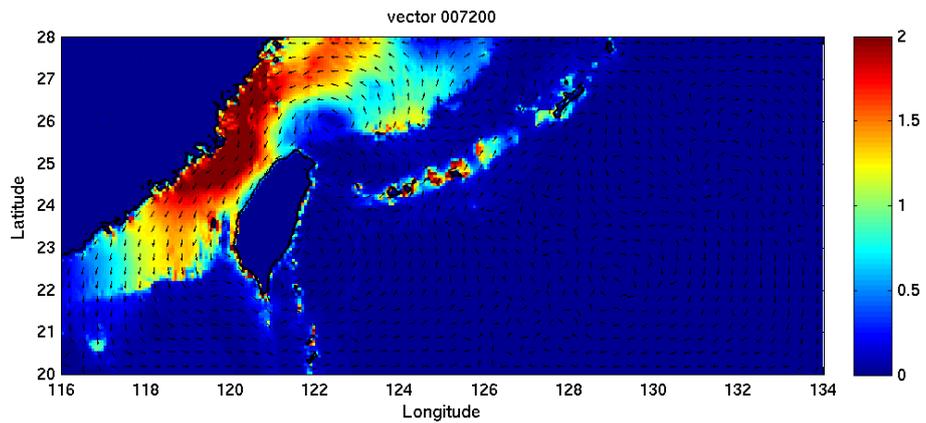
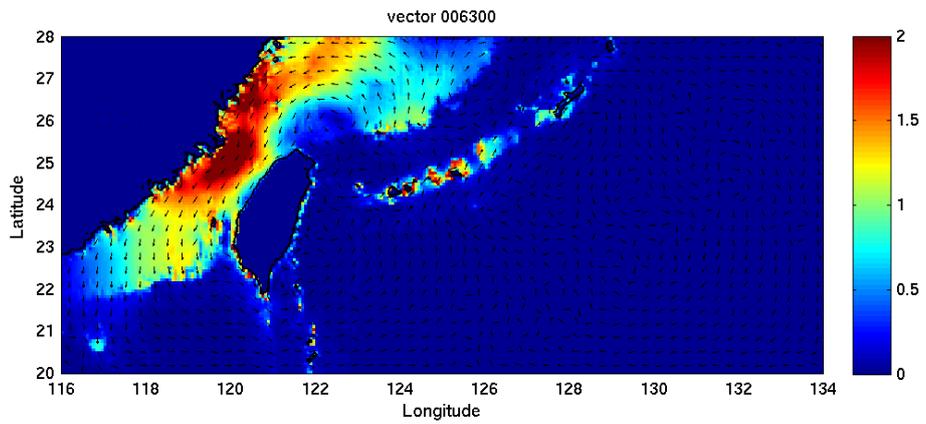
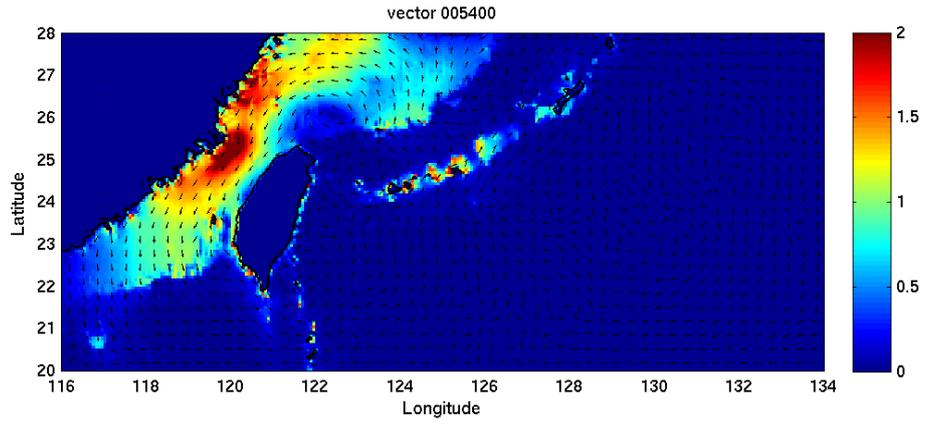


圖 6.26 (c) 台灣周遭海域導入理想風場之風剪力場和大氣壓力場後，所繪製之流速流場圖。色階表流速大小，單位 m/s。

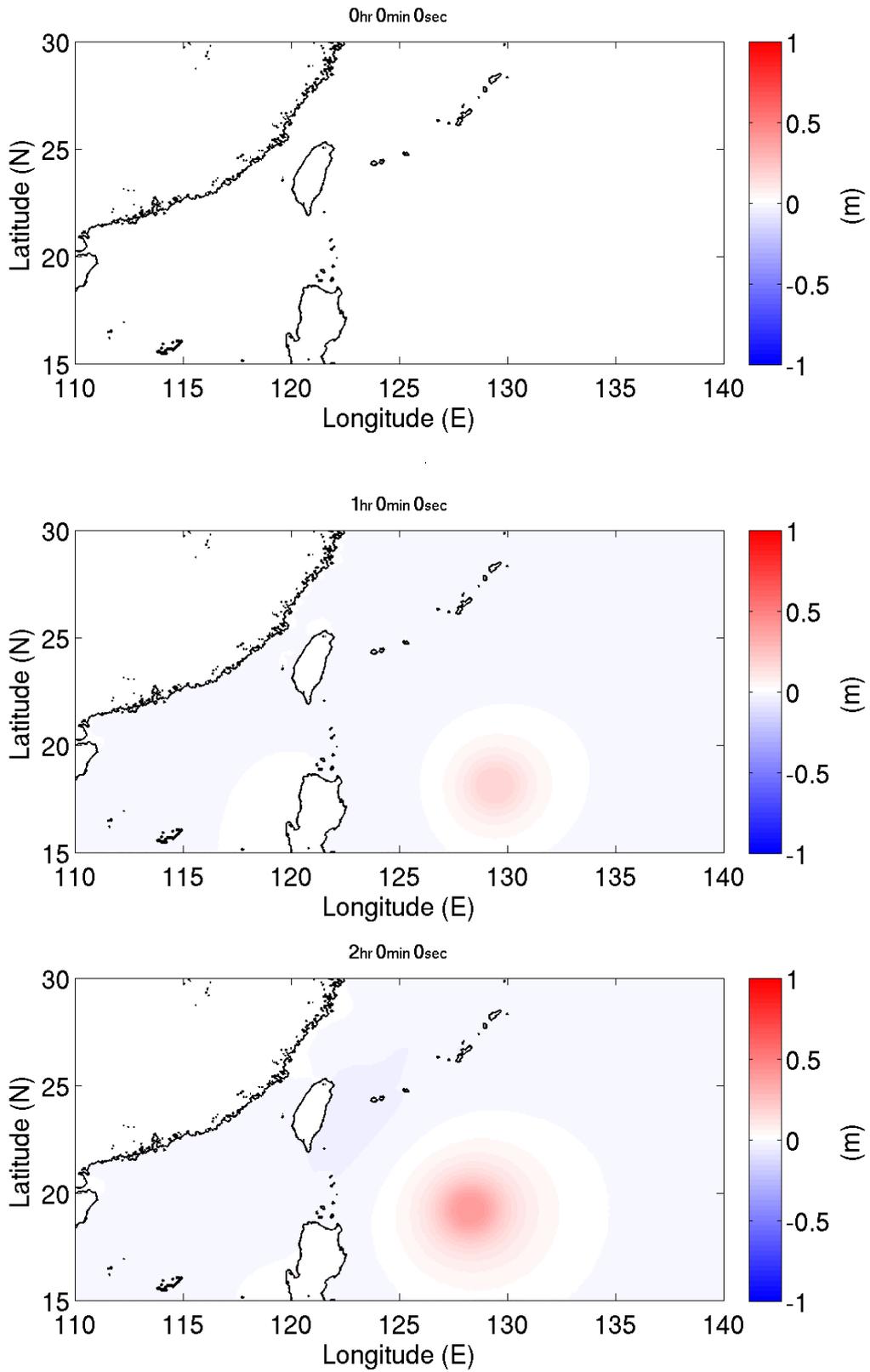


圖 6.27(a) 台灣周遭海域導入理想風場之風剪力場、大氣壓力場和簡化颱風路徑後之水位變化，網格解析度為四弧分。色階表水位高程，單位 m。

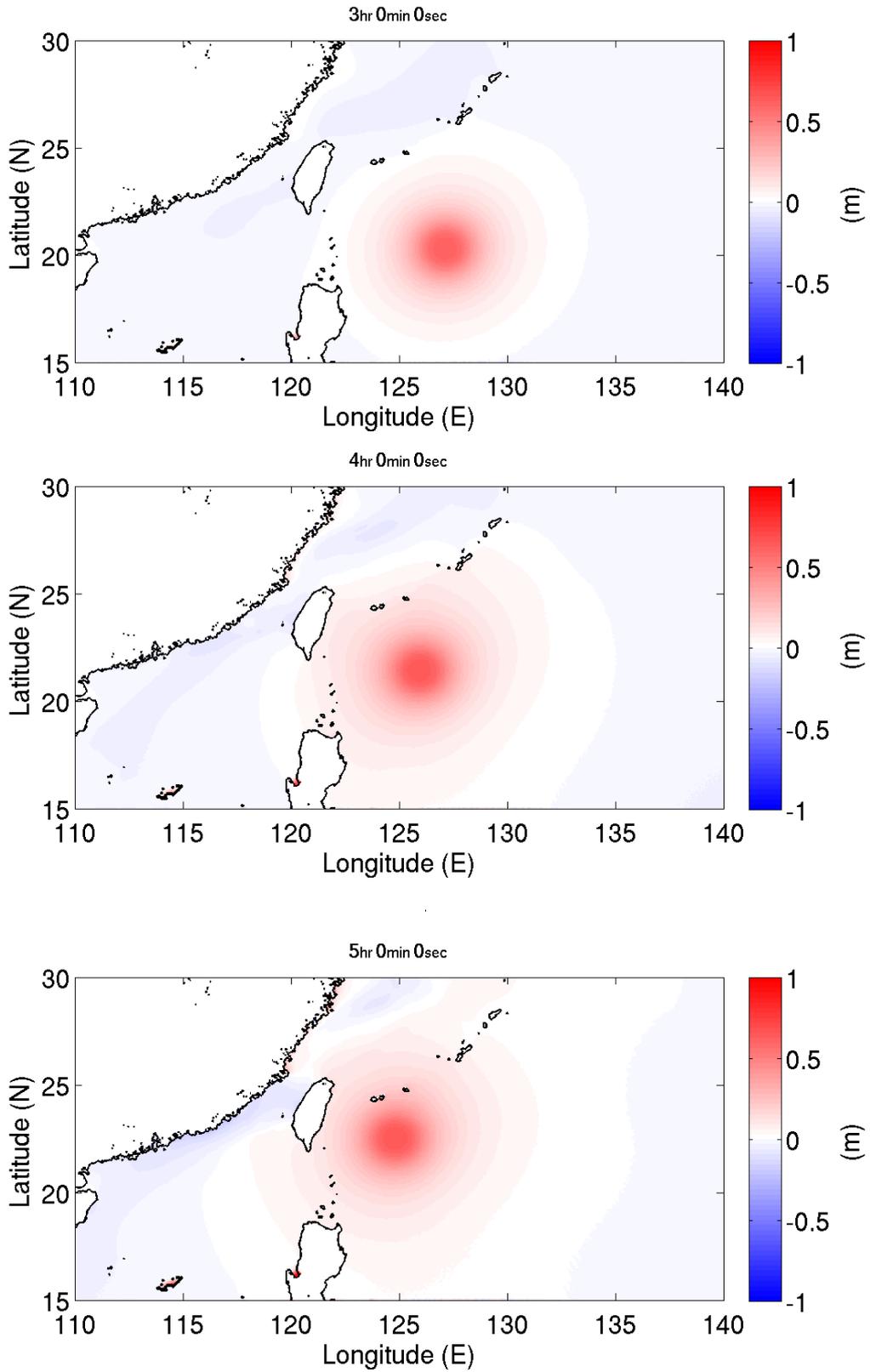


圖 6.27(b) 台灣周遭海域導入理想風場之風剪力場、大氣壓力場和簡化颱風路徑後之水位變化，網格解析度為四弧分。色階表水位高程，單位 m。

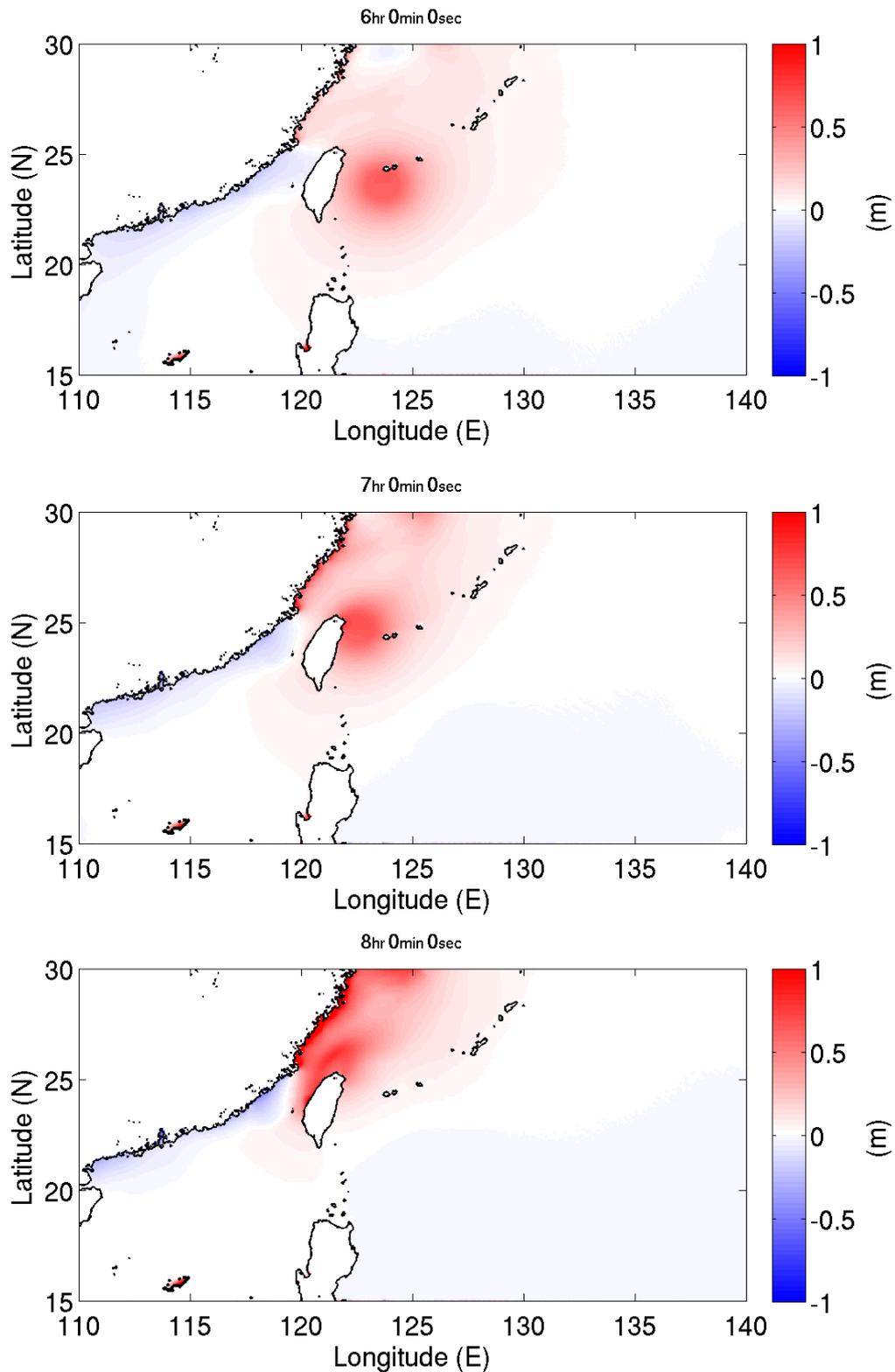


圖 6.27(c) 台灣周遭海域導入理想風場之風剪力場、大氣壓力場和簡化颱風路徑後之水位變化，網格解析度為四弧分。色階表水位高程，單位 m。

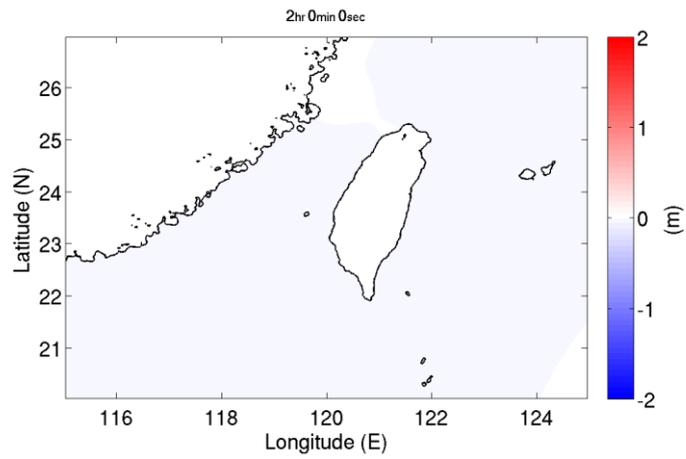
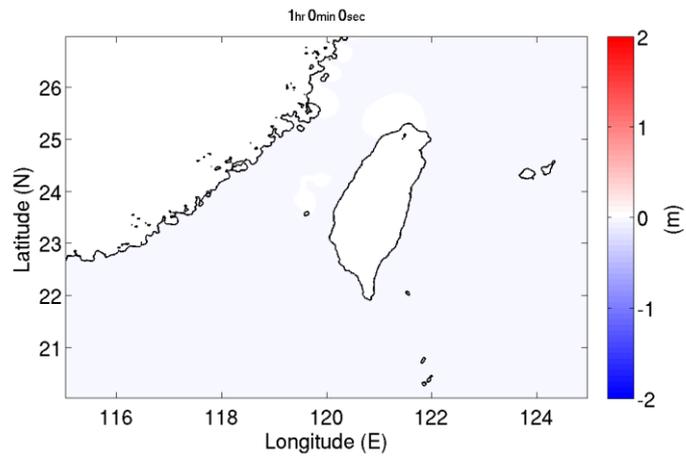
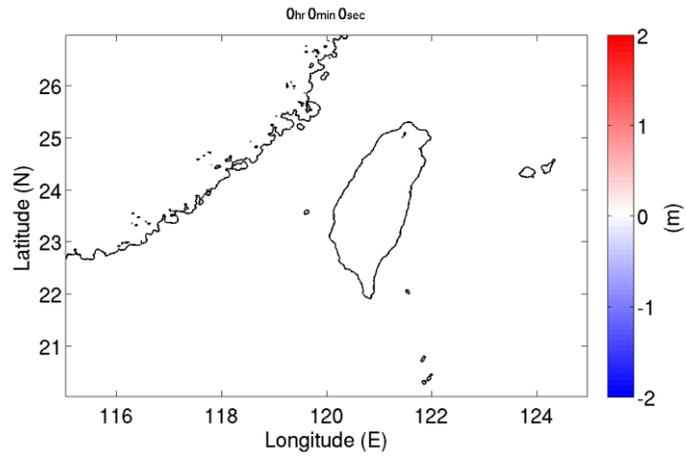


圖 6.28(a) 台灣周遭海域導入理想風場之風剪力場、大氣壓力場和簡化颱風路徑後之水位變化，網格解析度為一弧分。色階表水位高程，單位 m。

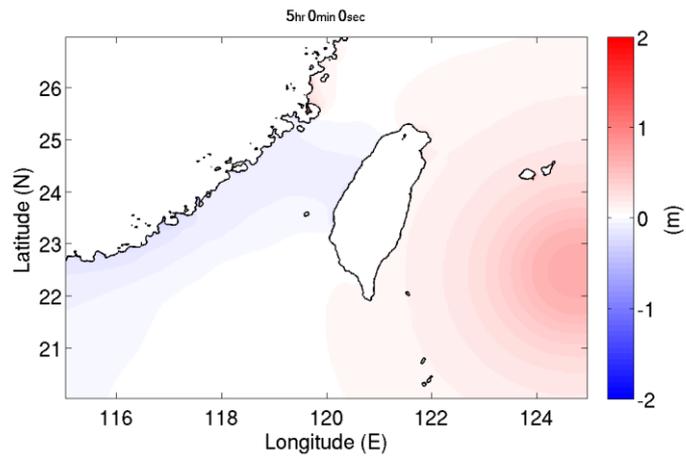
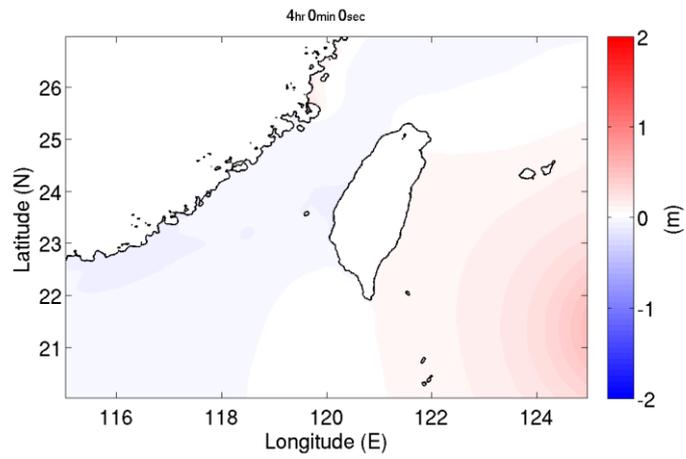
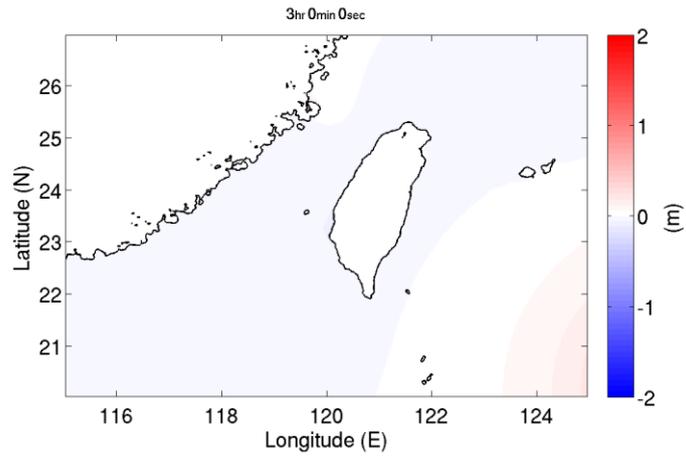


圖 6.28(b) 台灣周遭海域導入理想風場之風剪力場、大氣壓力場和簡化颱風路徑後之水位變化，網格解析度為一弧分。色階表水位高程，單位 m。

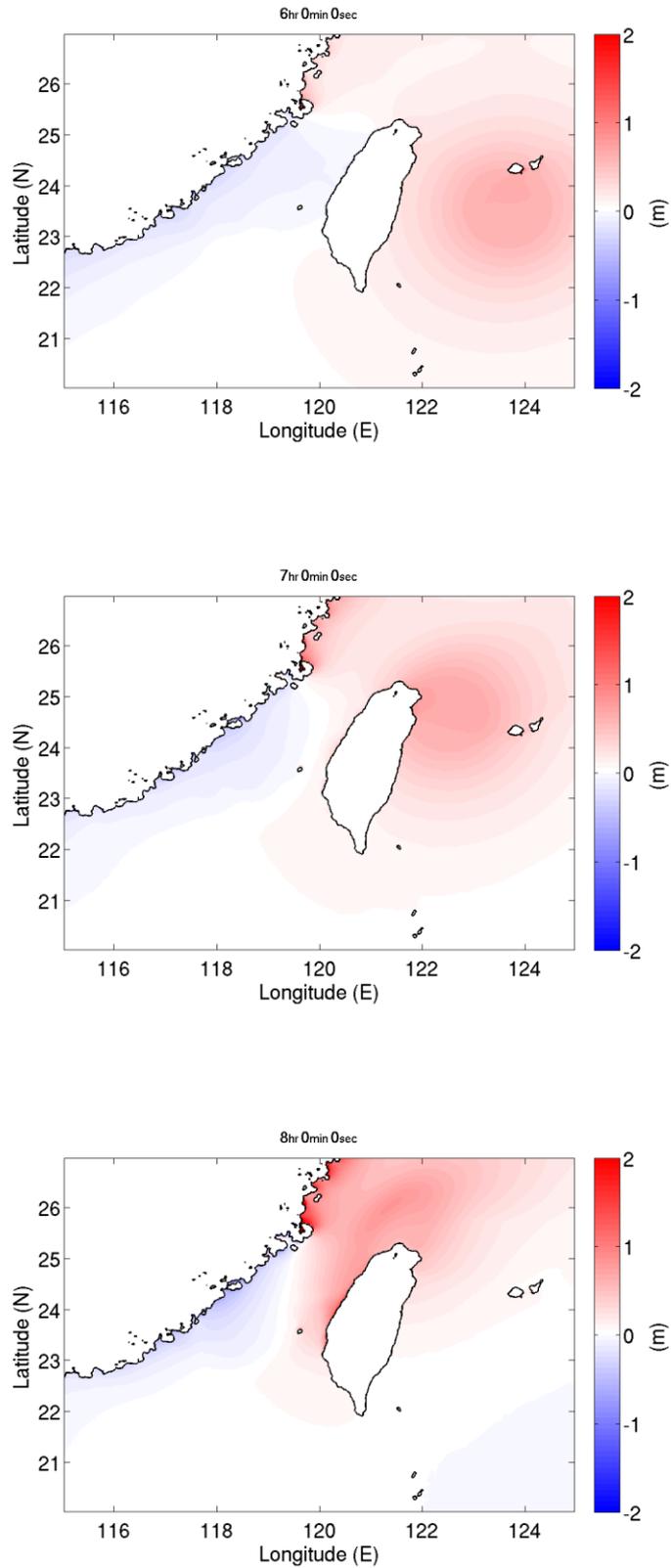


圖 6.28(a) 台灣周遭海域導入理想風場之風剪力場、大氣壓力場和簡化颱風路徑後之水位變化，網格解析度為一弧分。色階表水位高程，單位 m。

七、結論

本年度計畫目前已完成之項目如下：

1. 文獻收集
2. 理想風場模式整合
3. 風剪力導入與模組建立
4. 風剪力模式結果與解析解驗證
5. 風壓力導入與模組建立
6. 風壓力模式結果與解析解驗證
7. 颱風路徑之導入
8. 真實地形及氣象力導入，模擬與分析
9. 真實案例之簡化模擬

在模式修改與驗證方面，本研究系統充分驗證氣象力中之風剪力及大氣壓力對流場與水面之影響。由理想環境和狀態下之驗證結果可看出，模式對於暴潮偏差水位估算之準確度相當高，此有利於後續更複雜之模式發展。

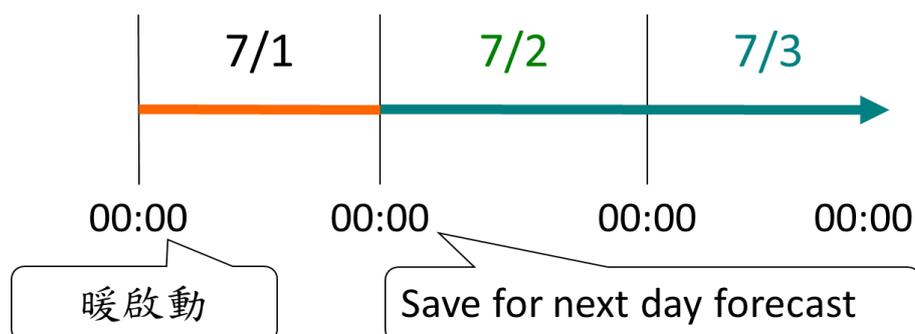
目前進度已達合約之基本要求。未來將持續完成本年度之計畫目標，包括進行氣象力於非線性動量方程式之導入、多重巢狀網格之氣象力導入、理想風場建立、歷史暴潮驗證等。

八、驗收項目成果彙整

1. 暴潮溢淹模式預報系統設計理念
 - 以 COMCOT 海嘯數值模式為基礎，利用其現有完備之高速平行計算、巢狀網格、溢淹模擬之功能，加上風暴潮驅動力所需之氣壓場、風速場及天文潮邊界條件，發展適合台灣之風暴潮溢淹模式。
 - 建立資料庫傳遞介面，包括與氣象局氣象模式產品結合，及將風暴潮模式之產品與氣象局資料庫結合。
 - 完成 48 小時風暴潮（含溢淹）預報之要求。
 - 本暴潮溢淹模式預報系統設計理念為採用平行化後之 COMCOT 海嘯模式，利用其高速運算及巢狀網格之特性，加上氣象力之模組，使其成為風暴潮溢淹模式，並以平行計算能力，達成預報系統之需求。
2. 暴潮溢淹模式之文獻收集與回顧
(已完成)
3. 暴潮溢淹模式預報系統預報模式與方法
(已完成)
4. 暴潮溢淹模式預報系統預報架構與流程

預報系統之要求設定為：

- 採用每日 UTC 06Z 大氣風場及參數化風場
- 每日凌晨 12 點發佈
- 現報 24 小時和預報 48 小時（可視氣象預報資料延長）
- 以 7/1 預報為例，前 24 小時為暖啟動及現報 24 小時。其後預報 48 小時。



氣象力模組建立之步驟如下：

- ◆ 巢狀網格規劃與建立
- ◆ 歷史颱風資料收集
- ◆ 水位資料分析
- ◆ 風場與氣壓場資料輸入與介面建立
- ◆ 氣象場模式比對與修正
- ◆ 導入天文潮邊界條件
- ◆ 進行歷史案例模擬與驗證

5. 暴潮溢淹模式預報系統預報產品規劃

本預報系統將以 COMCOT 為核心，建構於 Linux 作業系統上。硬體設備方面，目前規劃以 32 核心或更高等級之伺服器作為硬體平台。預報系統方面，初期以接收中央氣象局發佈之颱風路徑與強度作為輸入資料，以理想風場為氣象力為風剪力與風壓力之外部擾動之條件，以預報未來 48 小時之沿海風暴潮及溢淹範圍。後期更將導入潮汐邊界條件，以精確掌握潮汐作用下之溢淹。另外並建構氣象力輸入介面，以銜接大氣模式所預報之氣象場。

6. 暴潮溢淹模式之歷史事件模擬

本研究除發展風暴潮預報模式外，亦將對歷史颱風記錄做案例模擬，以修正模式中之經驗參數，如風剪係數、底床摩擦係數，並了解各氣象場模式對台灣風暴潮預報之準確性。

所有案例初始水位與流速皆為靜止，並於模擬起始時間則提前 2 個月進行模擬，作為模式之 Spin-up 時間。

九、參考文獻

1. Flather, R.A. and Proctor, R. (1983) Prediction of North Sea storm surges using numerical models: recent developments in the U.K. In: Sundermann, J. & Lens, W. (eds), North Sea dynamics. Springer, Berlin, pp. 95-107.
2. Lascaratos, A., Krestenitis, Y. and Nittis, K. (1991) Experimental and numerical studies of storm surges in the Aegean Sea. EEC, DG-XII programme, Temporal and Spatial variability of major floods around European Coasts
3. Ozer, J., Deleersnijder, E. and Jamart, B. (1990) Model intercomparison: description of a semi-implicit numerical model for the shallow-water wave equations. MUMM's contribution to MAST-0050-C (SMA), Technical Report, 1.
4. Pugh, D.T. (1987) Tides, surges and mean sea level. John Wiley & Sons.
5. Salomon, J.C. and Breton, M. (1990) Modele general du plateau continental Nord Europeen. Rapport au Programme CEE-MAST 89 0093, FLUXMANCHE.
6. Smith, S.D. and Banke, E.G. (1975) Variation of the sea surface drag coefficient with wind speed. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 101, 665-673.
7. Verboom, G.K., De Ronde, J.G. and Van Dijk, R.P. (1992) A fine grid tidal flor and storm surge model of North Sea. *Cont. Shelf Res.*, 12, 213-233
8. Yu-Hsien Lin, Ming-Chung Fang and Hwung-Hweng Hwung (2010) Transport Reversal Due to Typhoon Krosa in the Taiwan Strait. *The Open Ocean Engineering Journal*, 2010, 3, 143-157
9. Smith, S.D., E.G.. Banke,(1975), Variation of the sea surface drag coefficient with wind speed. *Quart. J. R. Met. Soc.*,101,p.665-p.673
10. Garratt, J.R., (1977) ,Review of drag coefficients over oceans and conditions. *Monthly weather Review*, Vol.105,p.915-p.929
11. Wu, Jim, (1980), Wind-stress coefficients over sea surface near neutral conditions.

12. C. S. Yu, M. Fettweis, I. Hermans and J. Berlamont (1989) , Tidal flow simulation in the English Channel and Southern North Sea, *Adv. Water Resources*, 1989, Volume 12, December P.194-P.203
13. Tang. Y., R. Grimshaw, B. Sanderson, and G., Holland, (1996) , A numerical study of storm surges and tides, with application to the North Queensland Coast. *Journal of physical Oceanography*, Vol.26, 2700pp.
14. W. G. Large and S. Pond,(1981),Open ocean momentum fluxes in moderate to strong winds, *J. Phys. Oceanogr.*, vol. 11, pp. 324-336
15. M. D. Powell, P. J. Vivker, and T. A. Reinhold (2003) , Reduced drag coefficient for high wind speeds in tropical cyclones, *Nature*, vol. 422,pp. 278-283
16. A. Harper and G. J. Holland (1999) , An updated parametric model of the tropical cyclone, in In: *Proceedings of the 23rd Conference of Hurricane and Tropical Meteorology* Dallas, Texas,pp. 893-896
17. G. J. Holland (1980), An analytic model of the wind and pressure profiles in hurricanes, *Monthly Weather Rev.*, vol. 108, pp. 1212-1218
18. Phadke, C. Martino, K. F. Cheung, and S. H. Houston (2003), Modeling of tropical cyclone winds and waves for emergency management, *Ocean Eng.*, vol. 30, pp.553-578
19. 楊春生, "臺灣北岸暴潮推算之研究", 臺南水工試驗所土木水利學術彙刊, pp.49-63, 1974。
20. 魏靖松, "暴潮統計分析及數值推算", 國立成功大學水利及海洋研究所碩士論文, 1976。
21. 李賢文, "沿海窪地與海水推升之研究(1)-台灣周圍海域颱風暴潮數值模式", 防災科技研究報告, 1984。
22. 劉肖孔, "臺灣海域颱風暴潮及氣象潮數值預報模式研究計畫", 第三階段成果報告, 中央氣象局研究報告第279 號, 1987。

23. 于嘉順，“中央氣象局多尺度暴潮模式預報作業改進及長期暴潮水位模擬分析研究（1/3）”，交通部中央氣象局委託研究計畫成果報告，2005。
24. 白愷中，“臺灣海域風暴潮預報模式校驗與敏感度分析”，國立中山大學海洋環境及工程學系研究所碩士論文，2009
25. 高家俊，“資料同化應用於颱風暴潮數值預報之研究”，行政院國家科學委員會專題研究計畫，2005
26. 何明錦、薩支竹、曾志民，“易受海潮海嘯侵襲地區土地使用與建築減災管理對策”，內政部建築研究所研究報告，2006
27. 張倉榮和余化龍，“發展西北太平洋海岸颱風威脅機率季度預測方法”，交通部中央氣象局委託研究計畫期末成果報告，2010
28. 李忠潘、陳陽益、邱永芳、許泰文、張憲國、薛憲文、王兆璋、劉景毅、余嘉順、蘇青和、陳冠宇、廖建明、劉正琪、錢維安、許友貞、余孟娟，“規劃海象觀測網、暴潮數值最佳網格化系統”，交通部運輸研究所暨國立中山大學合作辦理，2004
29. 許泰文、蔡長泰、王永和、張有德，“海岸淹溢模式之建立與應用”，第21屆海洋工程研討會論文集，1999
30. 李賢文，“台灣鄰近海域潮汐預報數值模式”，第二屆海洋數值模式研習會論文集，港灣技術研究所，P.179-P.195，1989
31. 黃榮鑑、姚家琪，“颱風暴潮三維數值模式研究”，第17屆海洋工程研討會暨1995兩岸港口及海岸開發研討會論文集 p.315-p.332，1995
32. 許泰文，“近岸水動力學”，台北市:科技圖書，2003
33. 詹森、王玉懷、邱朝聰，“台灣海峽短期預報系統之發展”，2001海洋數值模式研討會，2001
34. 邱銘達、高家俊、逢智源、江俊儒，“颱風暴潮數值推算確度提升之研究”，第28屆海洋工程研討會論文集 p.253-p.258，2006

35. 于嘉順、江朕榮、尤皓正，"台灣近岸海象預報模式系統(TaiCOMS)-近海潮位及海流模擬"，第 28 屆海洋工程研討會論文集-台灣近岸海象預報模式系統(TaiCOMS)技術報告，P.26-P.47，2006a
36. 于嘉順、江朕榮、尤皓正、徐月娟、朱啟豪，"西太平洋颱風暴潮模式敏感度分析"，第 28 屆海洋工程研討會論文集 P.259-P.263，2006b
37. 莊丈傑、蔡丁貴、江中權，"潮流數值模擬邊界條件之設定"，2001 海洋數值模式研討會論文集，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，p.1-31 頁

附錄一、成果效益報告

政府科技計畫成果效益報告

計畫名稱：

臺灣海域近岸風暴潮溢淹預報模式
之開發與研究(1/4)

(科技群組)(海洋領域)

主管機關： 國立中央大學

執行單位： 水文與海洋科學研究所

第二部分：政府科技計畫成果效益報告

壹、基本資料：

計畫名稱：臺灣海域近岸風暴潮溢淹預報模式
之開發與研究(1/4)

主持人：吳祚任

審議編號：MOTC-CWB-101-O-02

計畫期間(全程)：101年1月20日至101年12月31日

年度經費：2,240千元 全程經費規劃：10,340千元

執行單位：國立中央大學水文與海洋科學研究所

貳、計畫目的、計畫架構與主要內容

一、計畫目的與預期成效：

臺灣位處全球颱風最密集之路徑上，加以全球暖化造成颱風等極端氣候強度增強，又以臺灣四面環海，因此提昇颱風暴潮之預報能力為臺灣氣象發展之重要目標。其中與民眾最相關之預報項目為風暴潮之淹溢範圍。本研究擬發展一精準之風暴潮淹溢模式，結合氣象局現有之大氣預報模式及近海波浪模式，以及利用雙向巢狀網格與數值移動邊界法，精準計算沿海之時變淹溢範圍，以提供決策與預報之用。

本研究將以現有且成熟發展之非線性 COMCOT 模式（或其他具有計算遠洋與近岸暴潮傳遞，雙向巢狀網格，可成功模擬海岸暴潮水位及溢淹計算，邊界條件可加入潮汐分潮參數，可加入颱風大氣模式參數模擬颱風暴潮等之模式）結合大尺度之球座標系統與小尺度之直角座標系統，並有雙向巢狀網格模式，可同時計算遠洋及近岸波浪傳遞。

未來可精準計算風暴潮之淹溢範圍及臺灣沿岸最高暴潮偏差水位，供防災單位參考、建置暴潮溢淹展示圖形系統並提供防災單位訂定與管制疏散計畫。

二、計畫主要內容

臺灣位處全球颱風最密集之路徑上，加以全球暖化造成颱風等極端氣候強度增強，又以臺灣四面環海，因此提昇颱風暴潮之預報能力為臺灣氣象發展之重要目標。其中與民眾最相關之預報項目為風暴潮之淹溢範圍。本研究擬發展一精準之風暴潮淹溢模式，結合氣象局現有之大氣預報模式及近海波浪模式，以及利用雙向巢狀網格與數值移動邊界法，精準計算沿海之時變淹溢範圍，以提供決策與預報之用。

本研究將以現有且成熟發展之非線性 COMCOT 模式（或其他具有計算遠洋與近岸暴潮傳遞，雙向巢狀網格，可成功模擬海岸暴潮水位及溢淹計算，邊界條件可加入潮汐分潮參數，可加入颱風大氣模式參數模擬颱風暴潮等之模式）結合大尺度之球座標系統與小尺度之直角座標系統，並有雙向巢狀網格模式，可同時計算遠洋及近岸波浪傳遞。

風暴潮是由熱帶氣旋、溫帶氣旋、冷鋒的強風作用和氣壓驟變等強烈的天氣系統引起的海面異常升降現象，又稱暴潮(storm surge)或異常潮(abnormal tide)。由於這水位變化純粹由於氣象作用所造成，因此又稱為氣象潮(meteorological tide)。其與當時之天文潮(astronomical tide)之差，稱為潮位偏差，亦稱為暴潮位。風暴潮會使受到影響的海區的潮位大大地超過正常潮位。如果風暴潮恰好與影響海區天文潮位高潮相重疊，就會使水位暴漲，海水湧進內陸，造成巨大破壞。如 1953 年 2 月發生在荷蘭沿岸的強大風暴潮，使水位高出正常潮位 3 米多。洪水沖毀了防護堤，淹沒土地 80 萬英畝，導致 2000 餘人死亡。又如 1970 年 11 月 12-13 日發生在孟加拉灣沿岸地區的一次風暴潮，曾導致 30 餘萬人死亡和 100 多萬人無家可歸。(Wiki, 2011)

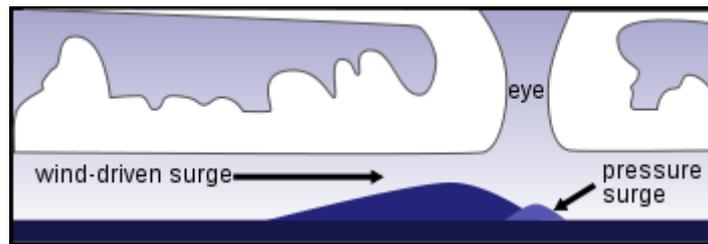


圖 1：風暴潮 (storm surge) 示意圖

風暴潮之預報作業模式在過去 20 年來蓬勃發展，如美國 NOAA 之 National Weather Service (NWS) 針對美國東南沿海發展並採用 ET-SURGE 模式（亦稱 ETSS 模式）作為風暴潮作業模式，並用於颶風來襲時之風暴潮預報之用。不過該模式對於風暴潮溢淹預測僅採用線性推估，並未實際模擬溢淹範圍。而針對溢淹部分，NOAA 則採用有限元模式風暴潮模式 ADCIRC。ADCIRC 風暴潮模式以 MMAP 網格生成器產生不規則網格，並耦合 NWS 之氣象作業模式之產物作為風壓場之驅動力，計算沿岸溢淹行為，不過 ADCIRC 目前尚未成為作業模式，且其計算範圍僅侷限於近岸地區。

在國內學者對於風暴潮之研究方面，較早期的研究有楊（1974）應用線性模式模擬北臺灣地區的暴潮水位；黃（1975）則以經驗公式推算花蓮港暴潮水位；魏（1976）則採用統計經驗法分析澎湖、高雄港、臺西等地的暴潮特性。由上述文獻可知，在 1970 年初期，國內的學者受限於計算機能力以及理論發展之限制，主要以利用實測資料，配合統計方法來分析暴潮之特性。到 1970 年代末期，李

(1979)跳脫過去以統計及經驗之分析方法，改以流體動力方程建立整個臺灣海峽沿岸的暴潮數值模式，並於 1984 年完成臺灣周圍海域風暴潮數值模式之建立。劉 (1987) 甚至發展出三維風暴潮數值預報模式，並考慮到溫度及鹽度的變化，然而該模式侷限於特定區域之模擬。然而以上之模式該在該時期多侷限於學術使用，尚未達到作業模式 (operational model) 之規模。

大約在同一時期，歐洲在風暴潮理論與模式之發展漸趨成熟，許多國家開始著手發展適合該國使用之風暴潮作業模式，如使用於法國之 IFREMER 模式 (Salomon & Breton, 1990)、使用於比利時之 MUMM 模式 (Ozer et al., 1990)、使用於荷蘭之 KNMI 模式 (Verboom et al., 1990)、使用於英國之 POL 模式 (Flather & Proctor, 1983)、以及使用於希臘之 UA/AUT 模式 (Lascaratos et al., 1991)。上述之模式皆有一個共通點，即為皆求解深度積分之淺水波方程式 (Pugh, 1987)。換言之，風暴潮模式在 80 年代後至今，在所求解之方程式上大致定型，也就是淺水波方程式加上大氣壓力場以及風剪力場作為驅動，並以潮汐變化作為邊界條件以驅動計算域內之潮汐水位變化。

對於此一趨勢，中央氣象局亦積極與學界合作，希望開發適合臺灣之風暴潮作業模式。其中近期之模式法展以快速求解多尺度暴潮行為為主 (于, 2005)。該報告亦結論到若要改進預報之準確度，風暴潮模式以完整描述颱風由生成至行經臺灣之完整過程為佳。

另外一方面，在 2005 年美國卡翠娜 (Katrina) 颶風重創美國墨西哥灣及路易斯安那州紐奧良城後，氣象單位開始注意到，過去之風暴潮模式僅描述近岸水位變化顯然不足以預防類似卡翠娜颶風所帶來之災害。對於風暴潮災害之防治，除了要能完整涵括颱風生命週期以及潮汐變動外，模式是否能同時模擬溢淹範圍更是關鍵所在。然而要模擬颱風生命週期，又要模擬溢淹，又因為作業模式之需求為快速預報，因此對模式本身即為一嚴苛之挑戰。

茲列舉現今對於風暴潮作業模式之需求如下：

1. 不規則網格或巢狀網格，可快速求解不同尺度之淺水波方程式。
2. 必須或至少可求解球座標系統，以描述遠洋所生成之颱風。
3. 模式中必須包含柯氏力、颱風壓力場、颱風風場、潮汐水位、底床摩擦阻力。
4. 平行化之程式。
5. 模式需包含移動乾濕邊界，以模擬溢淹情形。
6. 近岸解析度需約小於 50 公尺，以提供溢淹所需資訊。
7. 可結合氣象局之風場及壓力場之產品，作為計算域內之驅動力來源。

針對上述需求，目前就筆者知識範圍內，除了少部分研究用途之模式外，並

無風暴潮作業模式可達成上述需求。

另一方面，在 2011 年日本 311 大海嘯發生之後，COMCOT 海嘯模式之計算效率以及準確性令人印象深刻。海嘯波與風暴潮皆為淺水波，皆求解淺水波方程式。因此模式本身互通性相當高。

茲列舉 COMCOT 之特色如下：

1. 以巢狀網格方式，快速求解不同尺度之海嘯行為。
2. 可使用球座標、卡式座標、或混用球、卡座標，以完整描述海嘯之生命週期。
3. 模式中包含柯氏力、底床摩擦阻力、並支援多種形態之邊界條件。
4. 已完成模式平行化，且不需繁瑣之系統設定。
5. 提供移動乾濕邊界，可模擬溢淹情形。
6. 近岸解析度可自由調整，過去有可由 3.5km 解析度縮小至 10m 之案例。

圖 2 為以 COMCOT 模擬 2011 年 311 日本海嘯之初始波高圖。由於利用巢狀網格，計算域可輕易涵蓋至日本海。計算海嘯由日本傳遞至臺灣約費時 1 分鐘。此高速計算速度將有利於速報或預報系統之建立。圖 3 為利用 COMCOT 模擬 311 日本海嘯事件之潮位站資料校驗。上圖為日本沿海位於 Hanasaki 之潮位站位置圖。下圖為模擬結果（藍線）與實測資料（黑線）之時序比對。結果相當令人滿意。圖 4：利用 COMCOT 模擬 311 日本海嘯事件之潮位站資料校驗。上圖為俄羅斯沿海位於 Rudnaya Prostan 之潮位站位置圖。下圖為模擬結果（藍線）與實測資料（黑線）之時序比對。結果顯示即使位於日本海，亦接收到海嘯訊號。此結果顯示 COMCOT 對於 10cm 以內之微小振幅波亦可精準掌握。

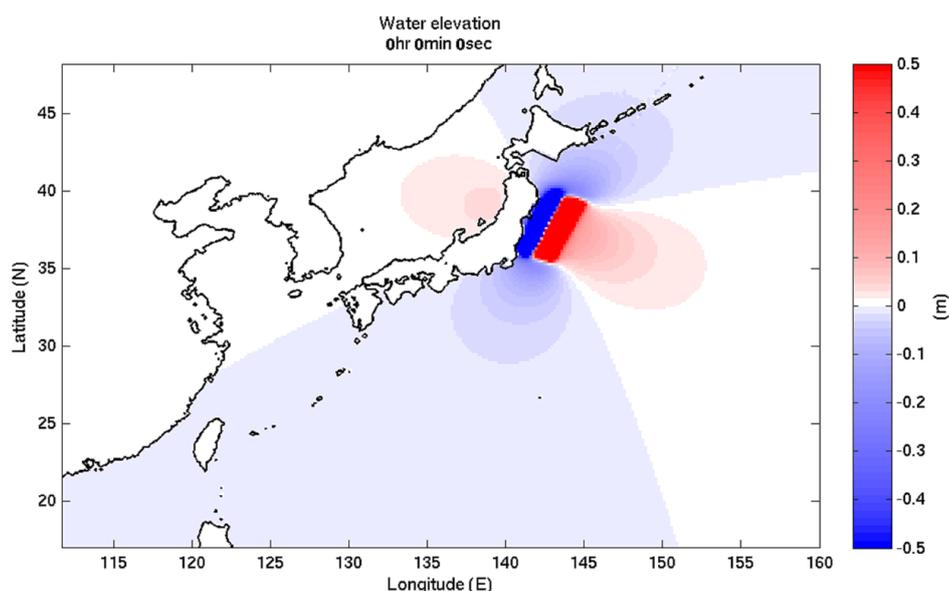


圖 2：以 COMCOT 模擬 2011 年 311 日本海嘯之初始波高圖。由於利用巢狀網格，計算域可輕易涵蓋至日本海。計算海嘯由日本傳遞至臺灣約費時 1 分鐘。

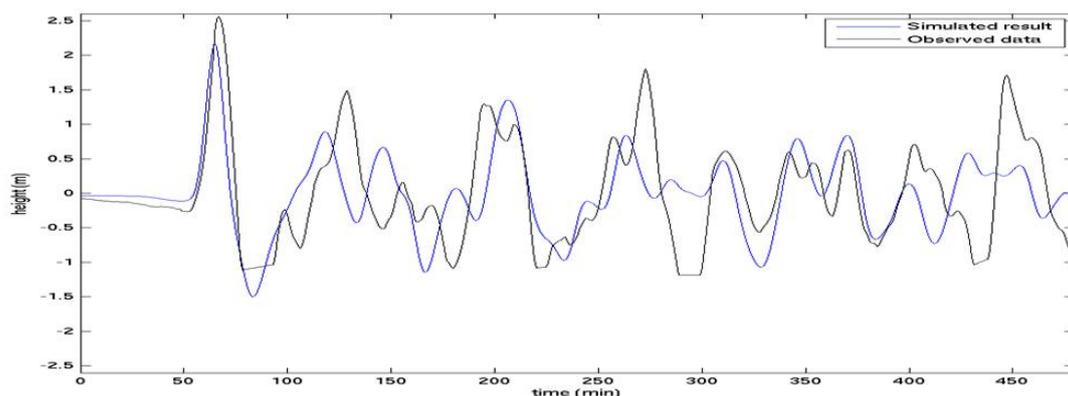
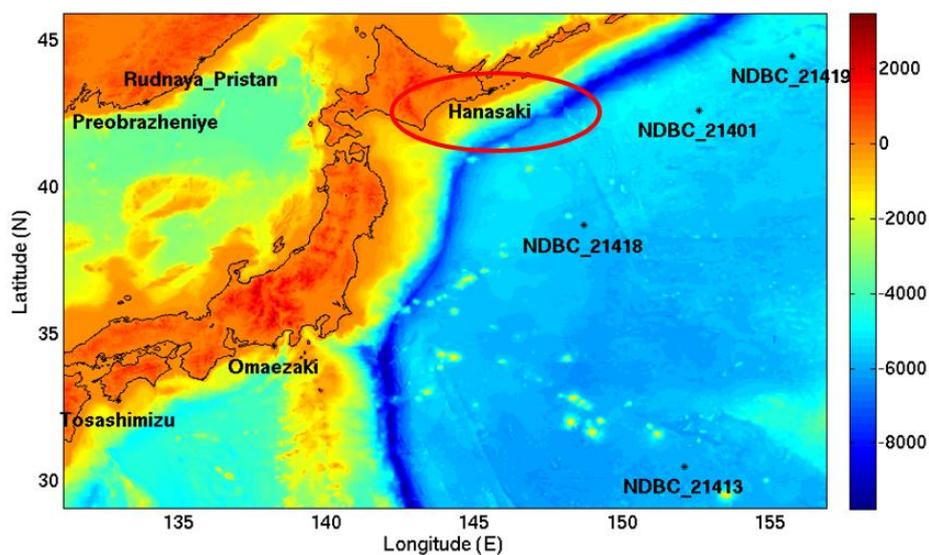


圖 3：利用 COMCOT 模擬 311 日本海嘯事件之潮位站資料校驗。上圖為日本沿海位於 Hanasaki 之潮位站位置圖。下圖為模擬結果（藍線）與實測資料（黑線）之時序比對。結果相當令人滿意。

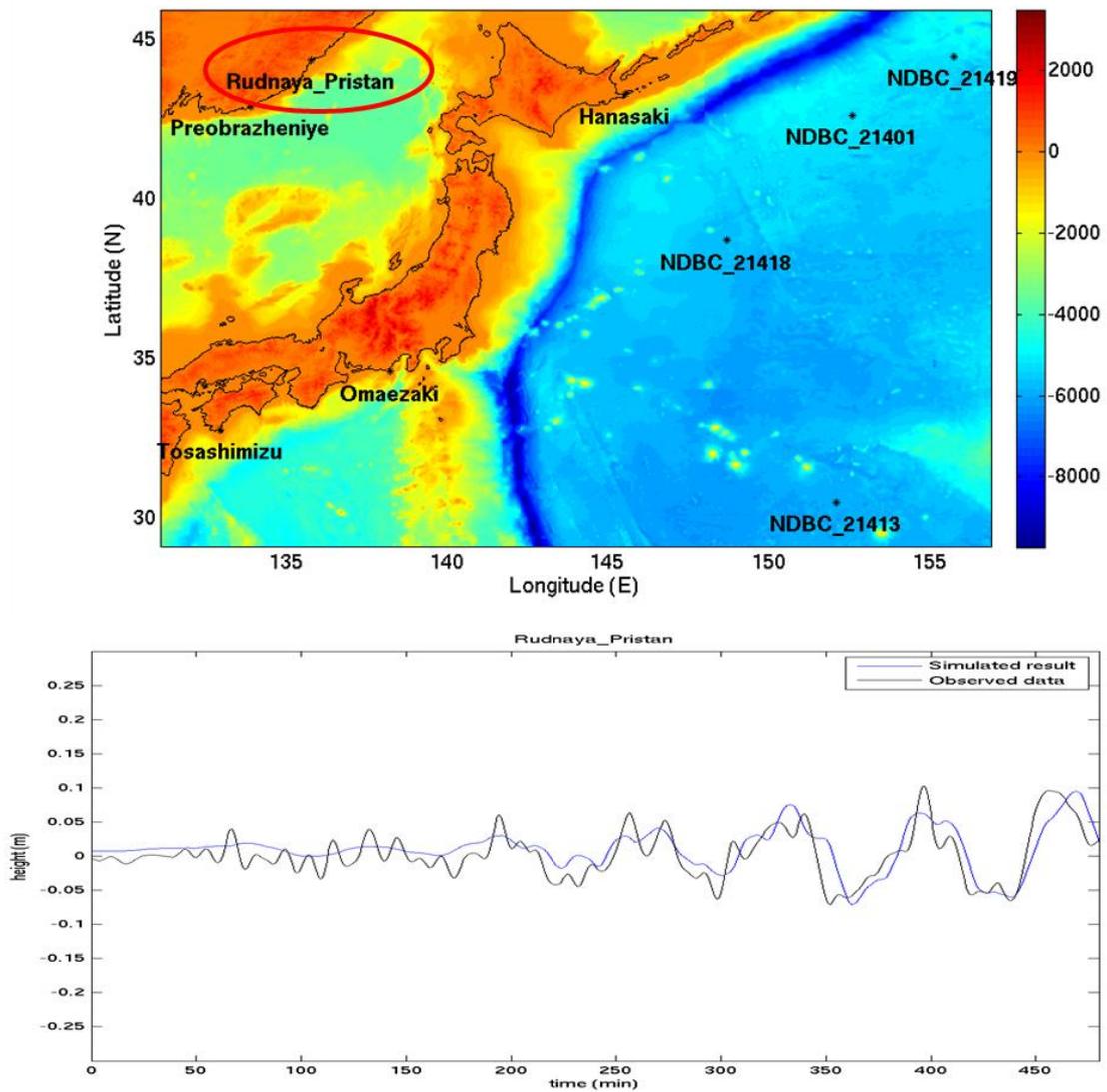


圖 4：利用 COMCOT 模擬 311 日本海嘯事件之潮位站資料校驗。上圖為俄羅斯沿海位於 Rudnaya Prostan 之潮位站位置圖。下圖為模擬結果（藍線）與實測資料（黑線）之時序比對。結果顯示即使位於日本海，亦接收到海嘯訊號。此結果顯示 COMCOT 對於 10cm 以內之微小振幅波亦可精準掌握。

此外，國科會亦委託本團隊進行臺灣潛在大規模侵台海嘯之研究。圖 5：以 COMCOT 進行若亞普海溝發生大規模地震並引發海嘯，海嘯能量傳遞行為。由圖可見，由於使用巢狀網格，COMCOT 計算範圍可輕鬆涵蓋整個菲律賓海板塊。此對於掌握颱風完整生命週期並進而增進模擬準確度相當有利。圖 6：以 COMCOT 進行若亞普海溝發生大規模地震並引發海嘯，海嘯對於宜蘭及花蓮沿海之溢淹情形。由圖可見，COMCOT 除可同時計算大範圍之波浪運動情形，對於小尺度（本案例約 50m）之溢淹範圍亦可同時模擬。

由比較上述理想風暴潮之條件以及目前 COMCOT 現有之功能與特色後可發現，兩者差異在於 COMCOT 並未引入『颱風壓力場』、『颱風風場』以及『潮汐水位』之驅動力。然而由模式開發之技術層面而言，由於上述三者皆為點資料，亦即不需經過相鄰網格之梯度計算，因此困難度不高。換言之，若成功導入實測、大氣模式或理想模式之颱風風壓場水位資料後，所建構之風暴潮作業模式將具有理想且完整之功能。此模式若開發完成，將使臺灣於風暴潮之淹溢模擬達全球頂尖之水準。

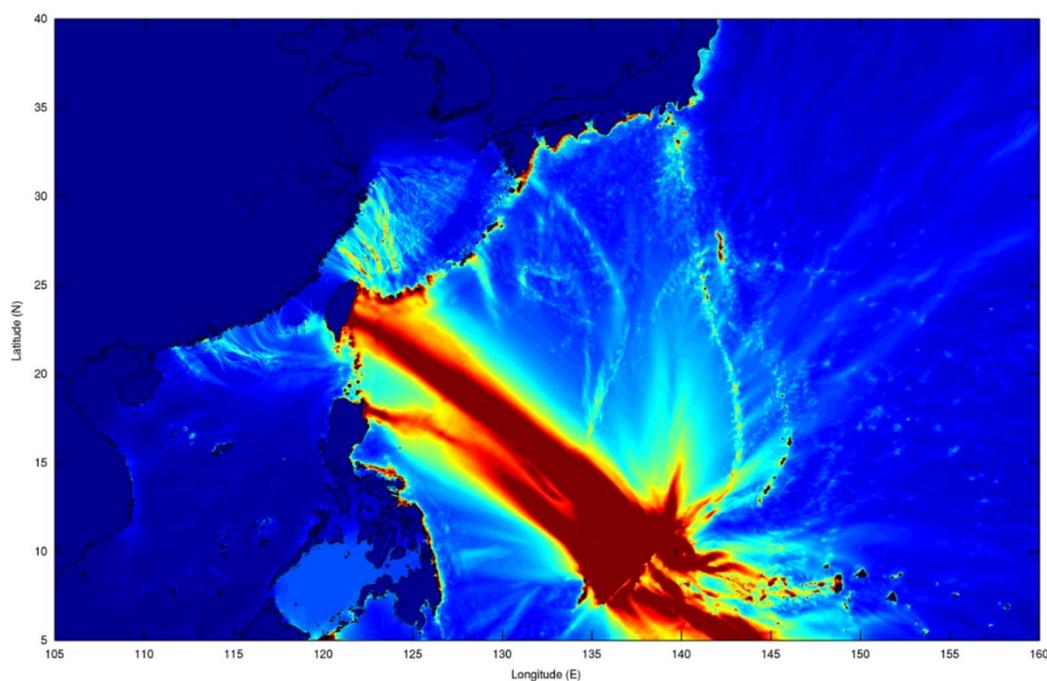


圖 5：以 COMCOT 進行若亞普海溝發生大規模地震並引發海嘯，海嘯能量傳遞行為。由圖可見，由於使用巢狀網格，COMCOT 計算範圍可輕鬆涵蓋整個菲律賓海板塊。此對於掌握颱風完整生命週期並進而增進模擬準確度相當有利。

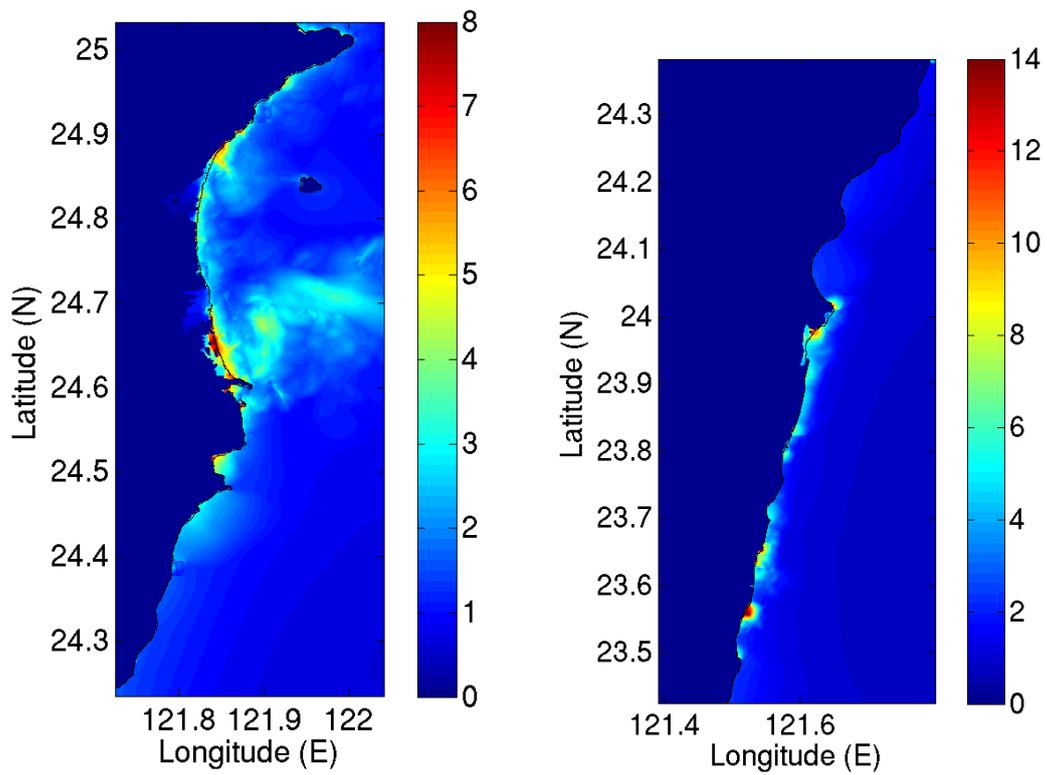


圖 6：以 COMCOT 進行若亞普海溝發生大規模地震並引發海嘯，海嘯對於宜蘭及花蓮沿海之溢淹情形。由圖可見，COMCOT 除可同時計算大範圍之波浪運動情形，對於小尺度（本案例約 50m）之溢淹範圍亦可同時模擬。

參、計畫經費與人力執行情形

計畫經費執行情形：(可以下列表格表達)

(一)經資門經費表

會計科目	項目	預算數 / (執行數)				備註
		主管機關預算(委託、補助)	自籌款	合計		
				金額(元)	占總經費%	
一、經常支出		2,240,000	0	2,240,000	100%	
1.人事費		1,168,657	0	1,168,657	52.17%	
2.業務費		517,707	0	517,707	23.11%	
3.差旅費		350,000	0	350,000	15.63%	
4.管理費		203,636	0	203,636	9.09%	
5.營業稅		0	0	0	0%	
小計		2,240,000	0	2,240,000	100%	
二、資本支出		0	0	0	0%	
小計		0	0	0	0%	
合計	金額	2,240,000	0	2,240,000	100%	
	占總經費%	100%	0%	100%	100%	

(二)計畫人力

計畫名稱	執行情形	總人力 (人年)	研究員級	副研究員級	助理研究員級	助理
臺灣海域 近岸風暴 潮溢淹預 報模式之 開發與研 究(1/4)	原訂	3	0	0	1	2
	實際	3	0	0	1	2
	差異	0	0	0	0	0

(三) 主要人力投入情形(副研究員級以上)

姓名	計畫職稱	投入主要工作及人月數	學、經歷及專長	
			學歷	經歷
吳祚任	主持人	模式開發指導 12人/月	學歷	美國康乃爾大學
			經歷	國立中央大學 水文與海洋科學研究所助理教授
			專長	海嘯數值模擬、海嘯與河川衝擊力模擬、 河川沖刷及局部沖刷坑三維模擬、三維土石流動態模擬

肆、計畫已獲得之主要成果與重大突破(含量化成果 output)

本綱要計畫為第1年執行，故無主要成就及成果之價值與貢獻度。俟本案完成將可達成以下目標。

1. 可精準計算風暴潮之淹溢範圍及臺灣沿岸最高偏差水位，供防災單位參考。
2. 建置暴潮溢淹展示圖形系統
3. 提供防災單位訂定與管制疏散計畫

亦將成果投稿學術期刊並將相關成果移交中央氣象局使用。

陸、主要成就及成果之價值與貢獻度 (outcome)

- 一、學術成就(科技基礎研究)
- 二、技術創新(科技整合創新)
- 三、經濟效益(產業經濟發展)
- 四、社會影響(民生社會發展、環境安全永續)
- 五、其它效益(科技政策管理及其它)

本綱要計畫為第1年執行，目前無主要成就及成果之價值與貢獻度。但本案所發展之可溢淹風暴潮模式，未來可結合氣象局現有之大氣預報模式及近海波浪模式，以及利用雙向巢狀網格與數值移動邊界法，能夠精準計算沿海之時變淹溢範圍。無論是在學術成就或是技術整合方面，皆為學界翹楚，成果將提供決策與預報之用，能夠降低經濟產業損失並能在災防政策上提供參考。

柒、後續工作構想之重點

本計畫預計於第二年度執行以下工作目標

- (1)收集中央氣象局現有或即將使用之大氣及近海波浪模式，了解個模式之風場、壓力場、及波浪場之運作方式及輸出格式，以利後續之模式耦合。
- (2)建立資料傳遞介面，導入上述操作模式之輸出檔，作為風暴潮模式之邊界條件與輸入條件，以計算即時風暴潮情形。
- (3)與中央氣象局研討風暴潮模式執行之條件與門檻，以建立即時自動之風暴潮計算系統。
- (4)購買內政部所發佈之高解析度國土地形資料，以精確計算風暴潮淹溢範圍。
- (5)進行預報時效測試。

捌、 檢討與展望

填表人：莊美惠 聯絡電話：03-4227151#65685

傳真電話：03-4222894 E-mail：wishdeen@ncu.edu.tw

主管簽名：吳祥任

績效指標

請選擇合適計畫評估之項目填寫初級產出、效益及重大突破

(填寫說明如表格內容，未使用之指標及填寫說明文字請刪除)

屬性	績效指標	初級產出量化值	效益說明	重大突破
學術成就 (科技基礎研究)	A 論文	國際研討會 3 篇	論文發表在國際上重要研討會或期刊 (篇數)、被引用次數及影響係數、論文獲獎 (次數)	
	B 研究團隊養成	0	形成研究中心或實驗室數目	
	C 博碩士培育	1	研究生畢業後從事之相關行業人數	產值 (薪資)
	D 研究報告	0	引用	
	E 辦理學術活動	0	辦理主要之國際研討會場次	
	F 形成教材	0	引用次數、其他個人或團體之加值利用次數	
	其他			
技術創新 (科技整合創新)	G 專利	0	應用、引用、移轉 (授權金、權利金)	產值 (形成產業)
	H 技術報告	0	授權使用 (授權金)	授權金
	I 技術活動	0	發表於主要之國際研討會 (場次)	
	J 技術移轉	0	技術移轉 (移轉金、授權金、權利金)、應用、引用、技術獲得國際認證數	產值 (形成產業)
	S 技術服務	0	金額	
	其他			
(發展) 經濟效益 (產業經濟)	L 促成廠商或產業團體投資	0	產品上市 (項數、產量、金額)、量產 (產量、產值)、智財權授權 (件數金額)	

屬性	績效指標	初級產出量化值	效益說明	重大突破	
	M 創新產業或模式建立	0	增加台灣產業運籌電子化擴散面積；衍生公司（生產投資金額、研發投資金額、產值）；衍生產品（品項數、產量、產值）；環境改善或體系建立；提高產品競爭力，促進產業發展		
	N 協助提升我國產業全球地位或產業競爭力	0	相關產業（品）產值國際排名前三名		
	O 共通/檢測技術服務	0	個人獲得相關專業證照（人次）、衍生之國家/國際證照（項數）、提升專業能力、產業競爭力 國內二級校正衍生數		
	T 促成與學界或產業團體合作研究	0	產品上市（項數、產量、金額）、降低成本金額（件數、金額）、提升產品附加價值（件數、金額）		
	U 促成智財權資金融通	0	協助中小企業取得融資及保證（家數、金額）		
	其他				
社會影響	民生社會發展	P 創業育成	0	廠商研發投資、生產投資	
		Q 資訊服務	0	訪客人數、人次	
		R 增加就業	0	降低失業率，提昇國民生產毛額	
		W 提升公共服務	0	運輸耗能節省金額；減少二氧化碳排放量	
		X 提高人民或業者收入	0	受益人數、增加收入（金額）	
		其他			

屬性	績效指標	初級產出量化值	效益說明	重大突破
環境安全永續	O 共通/檢測技術服務	0	個人獲得相關專業證照(人次)、衍生之國家/國際證照(項數)、提升專業能力、產業競爭力 國內二級校正衍生數	
	V 提高能源利用率	0	技術或產品上市銷售帶動節約能源量；減少二氧化碳排放量	
	Z 調查成果	0	1. 調查面積與精密度 2. 即時映像環境可輔助決之準確度	
	其他			
其他效益(科技政策管理及其它)	K 規範/標準制訂	0	採用標準之廠商家數、產品種類等；制定或建立政府或產業技術、標準；訂定或完成政策或法規標準之規定	國人使用相關產品數量估計；撰寫之規範/標準被採納為國際標準
	Y 資料庫	0	1. 資料庫整合服務加速(分鐘) 2. 資料庫之資料量與查詢介面方便度	
	XY 性別平等促進	0	性別或弱勢族群的受益比例	
	AA 決策依據	0	1. 流程整合之效益數目 2. 重大統計訊息 3. 節省公帑數目	
	其他			

佐證資料表

(請選擇合適之佐證資料表填寫，超過1筆請自行插入列繼續填寫，未使用之指標資料表請刪除)

計畫名稱：臺灣海域近岸風暴潮溢淹預報模式之開發與研究(1/4)

【A 學術成就表】

中文題名	第一作者	發表年 (西元年)	文獻類別
台灣潛在之海嘯暴潮威脅以及其對核電廠安全之衝擊	吳祚任	2012	f
台灣西南地區歷史海嘯暴潮事件之數值模擬研究	蔡育霖	2012	f
移動固體法發展及其於山崩海嘯暴潮之研究	莊美惠	2012	f

註：文獻類別分成 a 國內一般期刊、b 國內重要期刊、c 國外一般期刊、d 國外重要期刊、e 國內研討會、f 國際研討會、g 著作專書

【C 培育人才表】

姓名	學歷	機構名稱	指導教授
凌安和	b	國立中央大學水文與海洋科學研究所	吳祚任

註：學歷分成 a 博士、b 碩士

附錄二、國外心得報告

計畫編號	MOTC-CWB-101-O-02		
計畫名稱	臺灣海域近岸風暴潮溢淹預報模式之開發與研究(1/4)		
出國人員姓名	吳祚任	服務機構及職稱	中央大學水文與海洋科學研究所
會議時間	101年6月27日至 101年6月29日	會議地點	美國夏威夷
會議名稱	(中文)亞太自然災害 2012 學術研討會 (英文)Asia-Pacific Natural Hazard Conference-2012		
發表題目	(中文) 1. 台灣潛在之海嘯威脅以及其對核電廠安全之衝擊 2. 以三維數值模式分析海嘯造成之沖刷問題 (英文) 1. Potential Tsunami Threat to Taiwan and Implication for the Safety of Nuclear Power Plant 2. 3D Numerical Modeling on Scour Problem Induced by Tsunami Flood		

一、參加會議經過

本次至夏威夷大學參加 Asia-Pacific Natural Hazard Conference-2012 (亞太自然災害 2012 學術研討會)，並發表兩篇論文。第一篇為 Potential Tsunami Threat to Taiwan and Implication for the Safety of Nuclear Power Plant (台灣潛在之海嘯威脅以及其對核電廠安全之衝擊)。第二篇為 3D Numerical Modeling on Scour Problem Induced by Tsunami Flood (以三維數值模式分析海嘯造成之沖刷問題)。本次會議主辦單位為 Association of Chinese Scholars in Hawaii，該會議經費來源為台灣國家科學委員會、University of Hawaii at Manoa 及 Taipei Economic and Cultural Office in Honolulu。本次會議有幸與氣象局地震測報中心人員同行，並於會前參訪位於大島之國際天文台陣列，以及會後參訪 PTWC (美國太平洋海嘯預警中心)，使本次行程收穫頗豐。

二、與會心得

本次研討會除了本人所發表之兩篇論文外，亦由與會學者所發表之論文中接受大量資訊。如 Hokkaido University 之 Prof. Yuichiro Tanioka 所發表之 The 2011 great Tohoku-oki Earthquake and Tsunami 中，了解該事件更精確之地表抬昇

量分布，其對於海嘯模擬之準確度有相當之重要性。Prof. Yuichiro Tanioka 並提到日本所獨創之 GPS Tsunami meter (GPS 海嘯浮標系統) 在 2011 海嘯事件中所發揮之功能。經過與 Prof. Yuichiro Tanioka 之深入討論，我們認為該浮標系統亦適合佈署於台灣周圍海域，並可提供台灣海嘯災防有效且即時之資訊。Prof. Yuichiro Tanioka 及 GPS Tsunami meter 見下圖。本人亦擔會議之主持人。

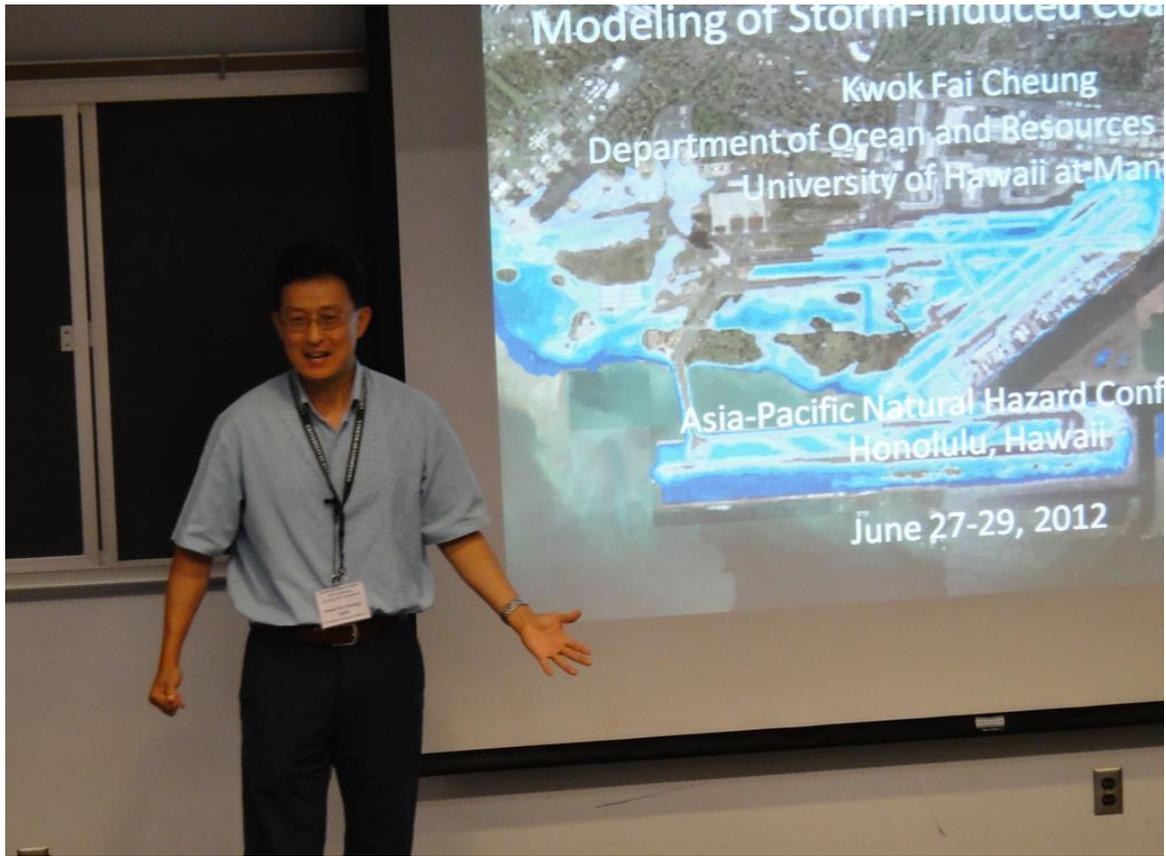


Prof. Yuichiro Tanioka



GPS Tsunami meter

來自 University of Hawaii at Manoa 之知名且教授 Prof. Kwok Fai Chung 亦發表 Hawaii Catastrophic Hurricane Planning. Modeling of Storm-induced Coastal Flooding. 該文展現其最新完成之風暴潮數值模式。該模式對於複雜之風暴潮近岸溢淹方面有傑出之表現。由於風暴潮溢淹與海嘯溢淹在動力學方面近似，因此其模式之技術與經驗亦可用於海嘯數值模擬之上。下圖為 Prof. Kwok Fai Chung 發表論文時之照片。

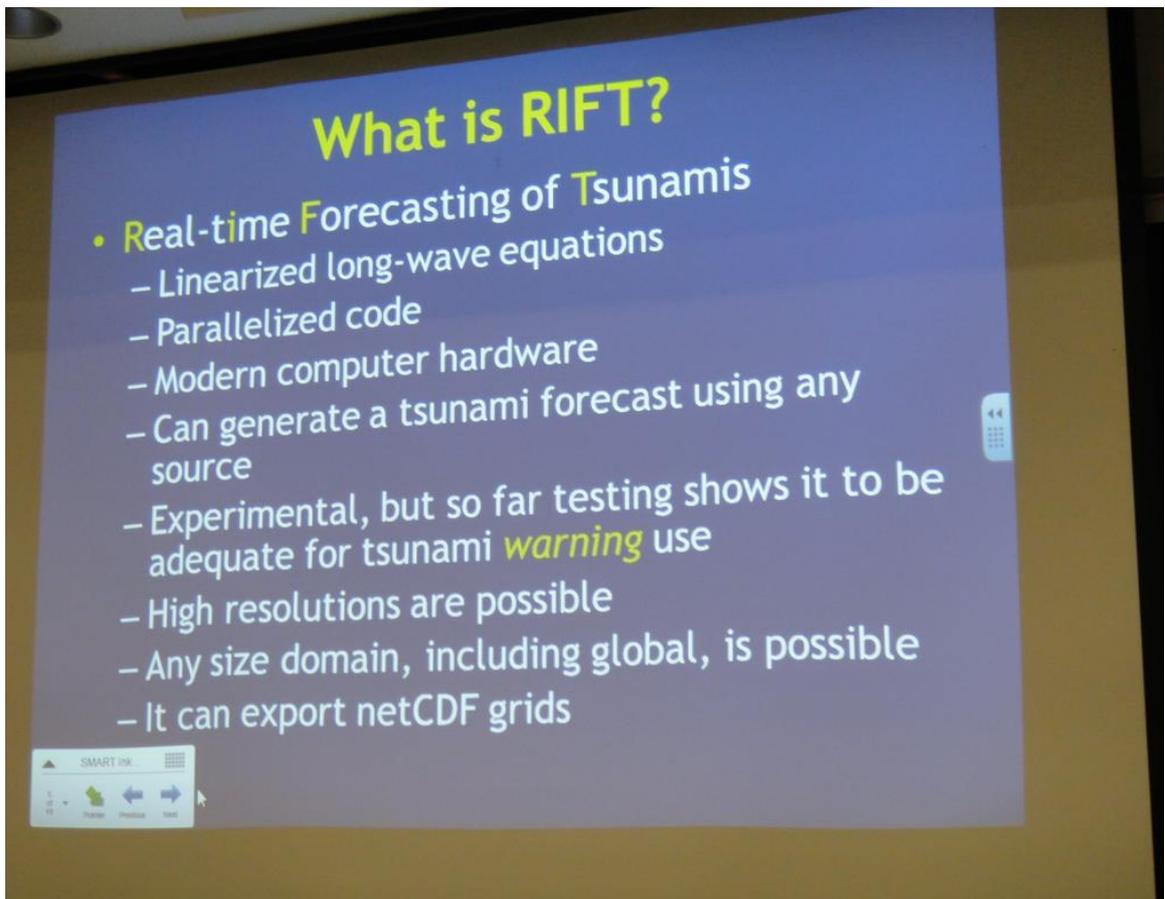


Prof. Kwok Fai Chung

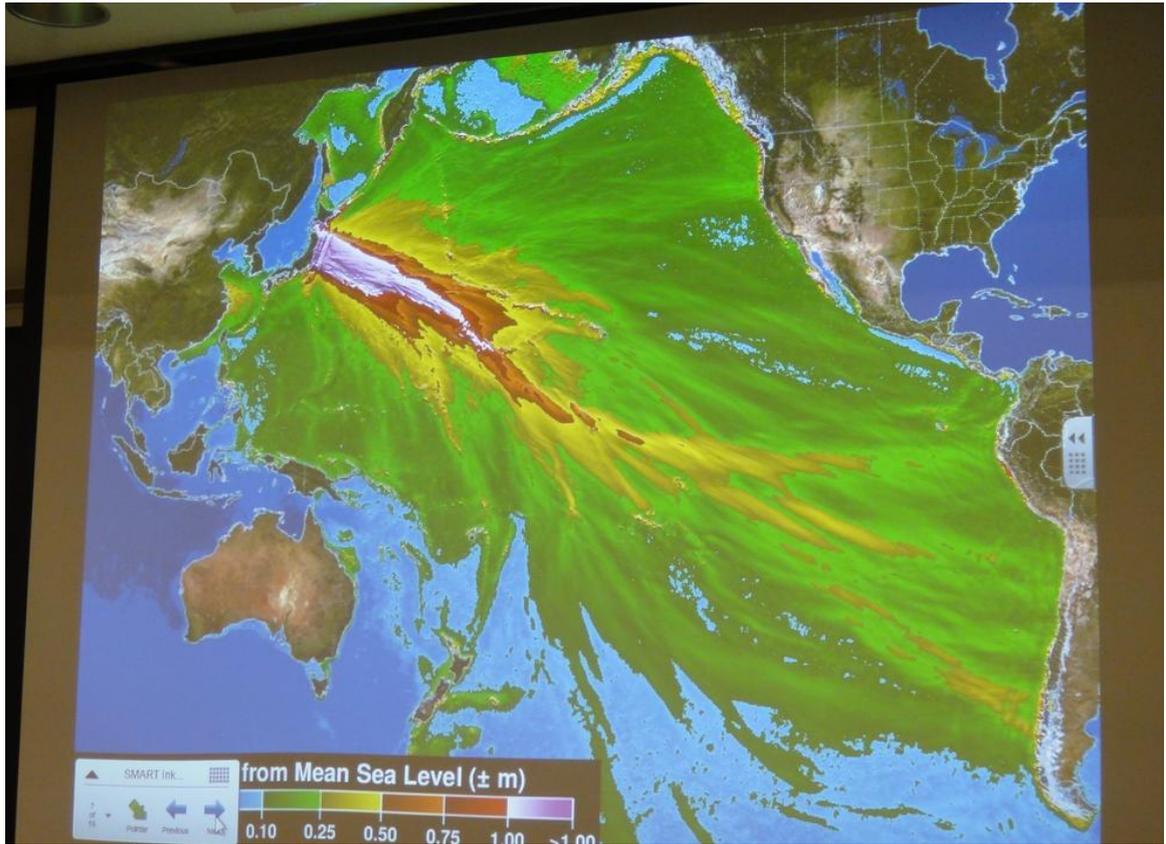
PTWC 太平洋海嘯預警中心在這次會議中亦發表數篇論文，例如 NOAA/NWS/PTWC 之 Nathan Becker 所發表之 Visualization of Tsunami Simulations for Scientific and General Audiences 中，介紹 PTWC 所大量採用之 RIFT 海嘯模擬系統。該系統可快速準確預測海嘯於深水區之最大波高，呈現方式很值得學習。



NOAA/NWS/PTWC 之 Nathan Becker



PTWC 所大量採用之 RIFT 海嘯模擬系統



RIFT 海嘯模擬系統可快速準確預測海嘯於深水區之最大波高

接著 NOAA/NWS/PTWC 之 Stuart Weinstein 在其 Real-time Tsunami Forecasting for the April 11 2012 Sumatra Magnitude 8.6 Earthquake 演說中，更深入介紹 RIFT 系統之理論與數值技巧。



OAA/NWS/PTWC 之 Stuart Weinstein



Stuart Weinstein 之 Real-time Tsunami Forecasting for the April 11 2012 Sumatra Magnitude 8.6 Earthquake。

這次會議之重點除了了解 PTWC 之技術與實務經驗外，更透過會後至 PTWC 參訪之機會，與 PTWC 內部熟捻，這對於日後學術合作有莫大之幫助。

三、發表論文全文或摘要

本次發表兩篇，第一篇摘要如下：

Potential tsunami threat to Taiwan and implication for the safety of nuclear power plant

Tso-Ren Wu (吳祚任)

Graduate Institute of Hydrological and Oceanic Sciences, National Central University
tsoren@ncu.edu.tw

Taught by the lesson from the 2011 Tōhoku earthquake and *tsunami*, this study aims to probe into the potential large-scale trench-typed tsunami threats to Taiwan. In this paper, 18 trench-typed tsunami sources and the 4 fault-typed tsunami sources (Figure 1) will be constructed. The detailed construction, including the rupture length and width, the scale of seismic moment, the slip as well as the dip angle, will be elaborated. The tsunami numerical model, COMCOT, will be applied to simulate tsunami propagation, run-up and inundation; multi-nested grids will be used to simulate a complete process of a tsunami from the beginning to the inundation. The simulation result shows that tsunami source from the northern segment of the Manila Trench will pose a serious threat to the safety of Taiwan's southwest coast. The tsunami energy from the Yap Trench can be substantially projected onto Taiwan, and threaten the coasts of northern, eastern, southern as well as south-western Taiwan. The tsunami source from off the coast of Hualien will have a greater influence on the east coast of Taiwan.

Keywords: 2011 Tohoku Earthquake and Tsunami; Potential Tsunami Threat in Taiwan; Tsunami Inundation; Trench-typed Tsunami Source; Manila and Yap Trench

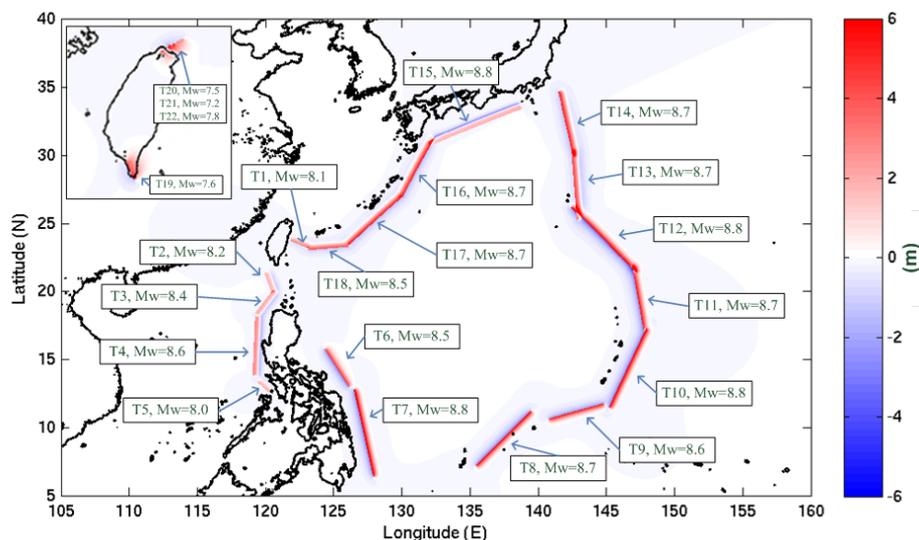


Figure 1. The spatial distribution of 18 trench-typed tsunami sources (T1 ~ T18) and 4 fault-typed tsunami sources (T19 ~ T22).

第二篇摘要如下

Model Development in Scour and Landslide Problems

T.-R. Wu (吳祚任)¹⁾, C.-Y. Wang (王仲宇)²⁾, Y.-M. Ko (柯昱銘)¹⁾,
M.-H. Chuang (莊美惠)¹⁾

1) Graduate Institute of Hydrological and Oceanic Sciences, National Central University, Taiwan

2) Dept. of Civil Engineering, National Central University, Taiwan
tsoren@ncu.edu.tw

Abstract: Natural hazards, such as local scour by tsunami and landslide by heavy rain, are the major causes of death tolls and the failure of structures. However, due to the difficulty in describing the sediment transport mechanism, recent studies deeply rely on empirical or semi-empirical formulae mostly derived from steady and equilibrium conditions. Unfortunately, the structure failure often occurs in the event of an extreme flood and landslide which deviate tremendously from the assumption mentioned above. In this paper, we propose a 3D numerical scouring model based on the Bingham rheological theory. The conventional sediment transport theory is converted into Bingham bi-viscous model. The newly developed model is validated by the analytical solution of a Bingham flow in a channel with excellent agreement. This model is further used to simulate the submerged jet-scour landslide problems. The multi-fluid flow, including air-water and water-sediment, is described by the Volume-of-Fluid (VOF) method. The profile of the scouring bed is compared with the laboratory experiment. Both the maximum scouring depth and location can be well predicted. At the end, this model is used to simulate the failure of Shuan-Yuan Bridge in the event of 2009 Typhoon Morakot (Figure 1). The computed scouring depth is compared with the field measurement with good agreement. The profile of the riverbed around the bridge piers after scouring is presented. Last, we use this model to simulate the tsunami intrusion in the event of 2011 Tōhoku earthquake and tsunami. The result shows that the seafloor muddy bed will be disturbed and travel in the bore front of the tsunami, which satisfies the field observation.

Keywords: Bingham two-viscosity model, 3D scour, tsunami bore and flood, Typhoon Morakot 311 Japan Tsunami

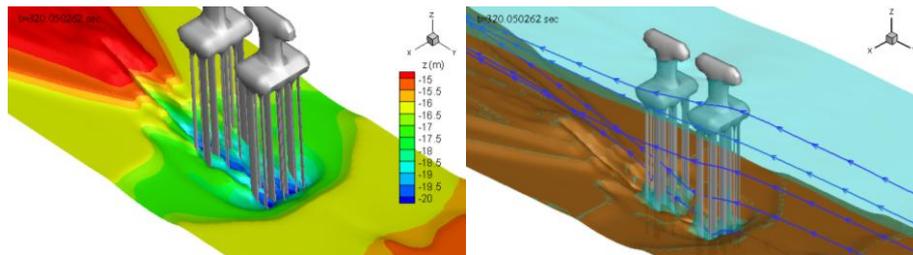


Figure 1. Computed Scour Profile of Shuan-Yuan Bridge. Left: Profile of Local Scouring Hole. Right: Overview of Scour Profile and Streamlines.

四、建議

至美國海太平洋海嘯中心參訪對於實務經驗有極大幫助，建議日後亦可邀請該單位人員至台灣交流。

五、攜回資料名稱及內容

主要攜回大會之會議手冊電子檔。

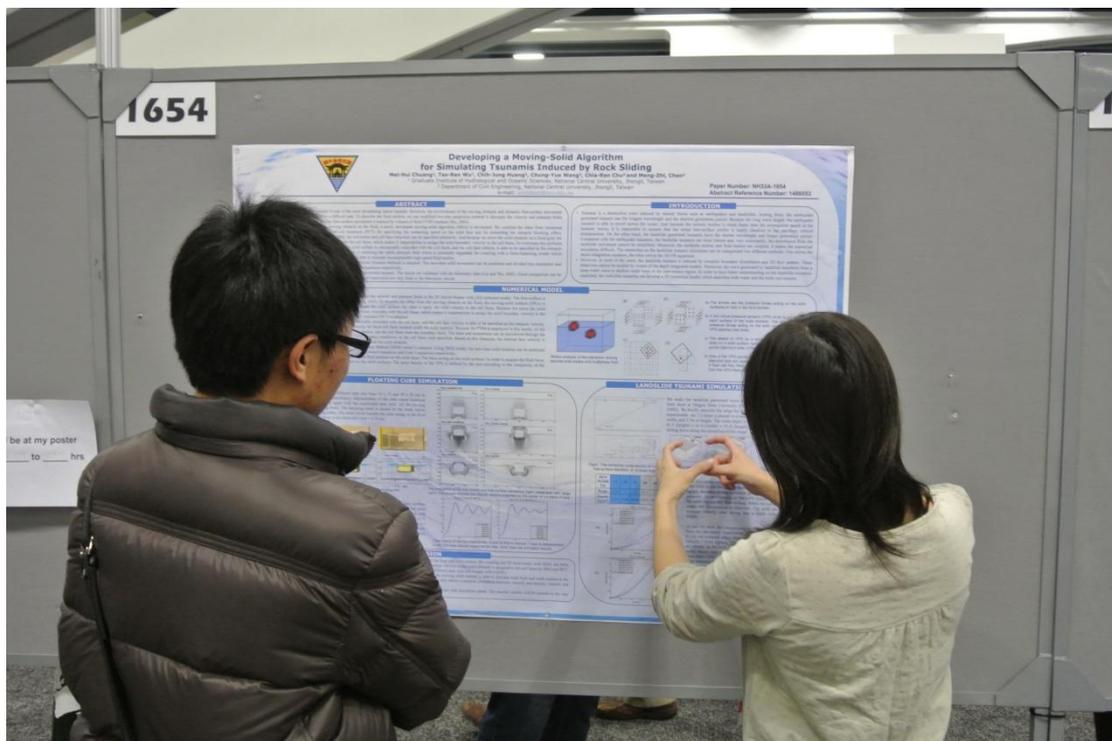
六、其他

(無)

計畫編號	MOTC-CWB-101-O-02		
計畫名稱	臺灣海域近岸風暴潮溢淹預報模式之開發與研究(1/4)		
出國人員姓名	莊美惠	服務機構及職稱	中央大學水文與海洋科學研究所
會議時間	101年12月1日至 101年12月11日	會議地點	美國舊金山
會議名稱	(中文) 2012 美國地物年會秋季研討會 (英文) AGU 2012 Fall Meeting		
發表題目	(中文) 移動固體法發展及其於山崩海嘯暴潮之研究 (英文) Developing a Moving-Solid Algorithm for Simulating Tsunamis Induced by Rock Sliding		

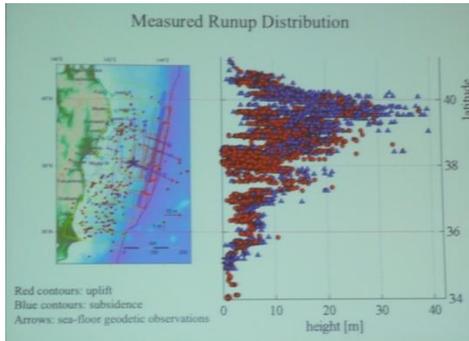
一、參加會議經過

本次參加 2012 AGU Fall Meeting 會議，主要以海報形式投稿「Developing a Moving-Solid Algorithm for Simulating Tsunamis Induced by Rock Sliding」研究題目。內容以移動固體法對於山崩海嘯進行數值模擬與研究。

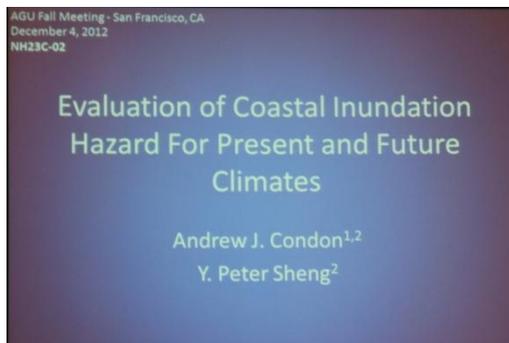


筆者於海報展示區說明研究內容

除了海報參展，筆者亦於 Oral Session 及 Poster Session 間參訪學習並進行交流、汲取新知。



Harry Yeh 教授發表海嘯上溯紀錄



Peter Sheng 教授團隊發表近岸溢淹模式

二、與會心得

美國地球物理秋季會議（AGU Fall Meeting, AGU）由地球物理聯盟主辦，每年於美國舊金山舉行，是地球科學界一年一度的盛會。由於加州地區地震活動頻繁，地震研究相當活躍，因此 AGU 研討會與會者眾，各國地球科學學者皆踴躍參加，是地球科學界學術交流極為重要的會議之一。本次參加研討會發表新發展之山崩海嘯數值模擬方法，並與各國學者進行深入交流及討論，並吸取學術新知，受益良多。

三、發表全文或摘要

Developing a Moving-Solid Algorithm for Simulating Tsunamis Induced by Rock Sliding

Mei-Hui Chuang¹, Tso-Ren Wu¹, Chih-Jung Huang²,
Chung-Yue Wang², Chia-Ren Chu² and Meng-Zhi, Chen¹

¹Graduate Institute of Hydrological and Oceanic Sciences,
National Central University, Jhongli City, Taoyuan County, Taiwan

²Department of Civil Engineering, National Central University
Jhongli City, Taoyuan County, Taiwan

The landslide generated tsunami is one of the most devastating nature hazards. However, the involvement of the moving obstacle and dynamic free-surface movement makes the numerical simulation a difficult task. To describe the fluid motion, we use modified two-step projection method to decouple the velocity and pressure fields with 3D LES turbulent model. The free-surface movement is tracked by volume of fluid (VOF) method (Wu, 2004). To describe the effect from the moving obstacle on the fluid, a newly developed moving-solid algorithm (MSA) is developed. We combine the ideas from immersed boundary method (IBM) and partial-cell treatment (PCT) for specifying the contacting speed on the solid face and for presenting the obstacle blocking effect, respectively. By using the concept of IBM, the cell-center and cell-face velocities can be specified arbitrarily. And because we move the solid obstacle on a fixed grid, the boundary of the solid seldom coincides with the cell faces, which makes it inappropriate to assign the solid boundary velocity to the cell faces. To overcome this problem, the PCT is adopted. Using this algorithm, the solid surface is conceptually coincided with the cell faces, and the cell face velocity is able to be specified as the obstacle velocity. The advantage of using this algorithm is obtaining the stable pressure field which is extremely important for coupling with a force-balancing model which describes the solid motion. This model is therefore able to simulate incompressible high-speed fluid motion. In order to describe the solid motion, the DEM (Discrete Element Method) is adopted. The new-time solid movement can be predicted and divided into translation and rotation based on the Newton's equations and Euler's equations respectively. The detail of the moving-solid algorithm is presented in this paper. This model is then applied to studying the rock-slide generated tsunami. The results are validated with the laboratory data (Liu and Wu, 2005). Good comparison can be seen. The simulation results show that the predicted solid trajectories are very close to the laboratory record.

Keywords: Moving solid algorithm (MSA), Discrete Element Method (DEM), Volume of Fluid (VOF), Landslide and Rockslide Tsunami

四、建議

AGU 會場安排完善，方便研究人員能立時交流討論，希望台灣能夠多爭取主辦國際型研討會，除了能提高學術交流，更能提高台灣國際能見度。

五、攜回資料名稱及內容

會議大會手冊一本。

六、其他

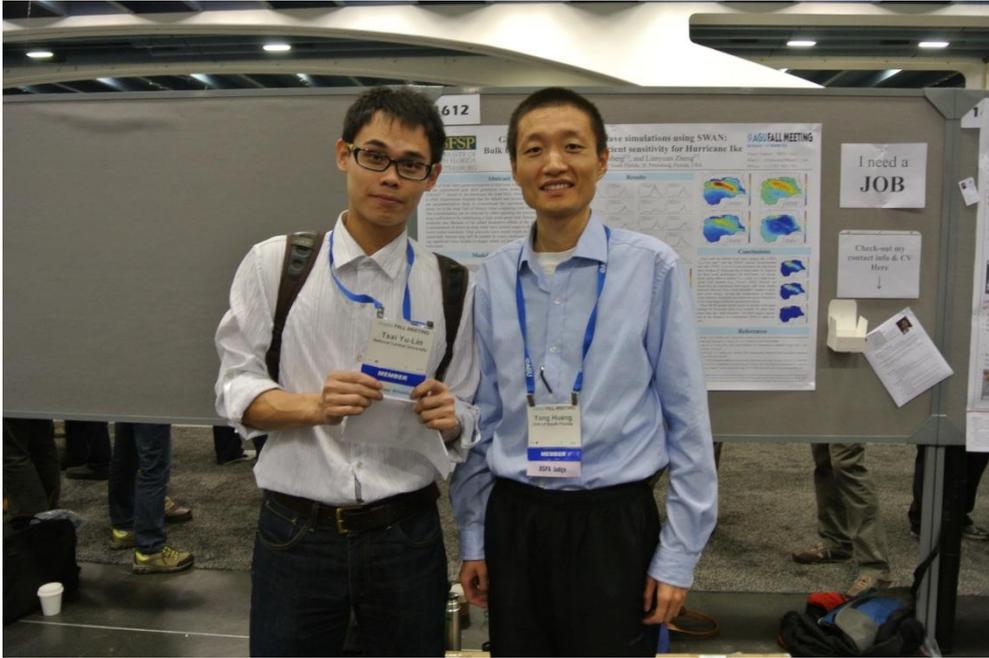
無。

計畫編號	MOTC-CWB-101-O-02		
計畫名稱	臺灣海域近岸風暴潮溢淹預報模式之開發與研究(1/4)		
出國人員姓名	蔡育霖	服務機構及職稱	中央大學水文與海洋科學研究所
會議時間	101 年 12 月 1 日至 101 年 12 月 11 日	會議地點	美國舊金山
會議名稱	(中文) 2012 美國地物年會秋季研討會 (英文) AGU 2012 Fall Meeting		
發表題目	(中文) 台灣西南地區歷史海嘯暴潮事件之數值模擬研究 (英文) Numerical Study on the Historic Tsunami Events in the Southwest of Taiwan		

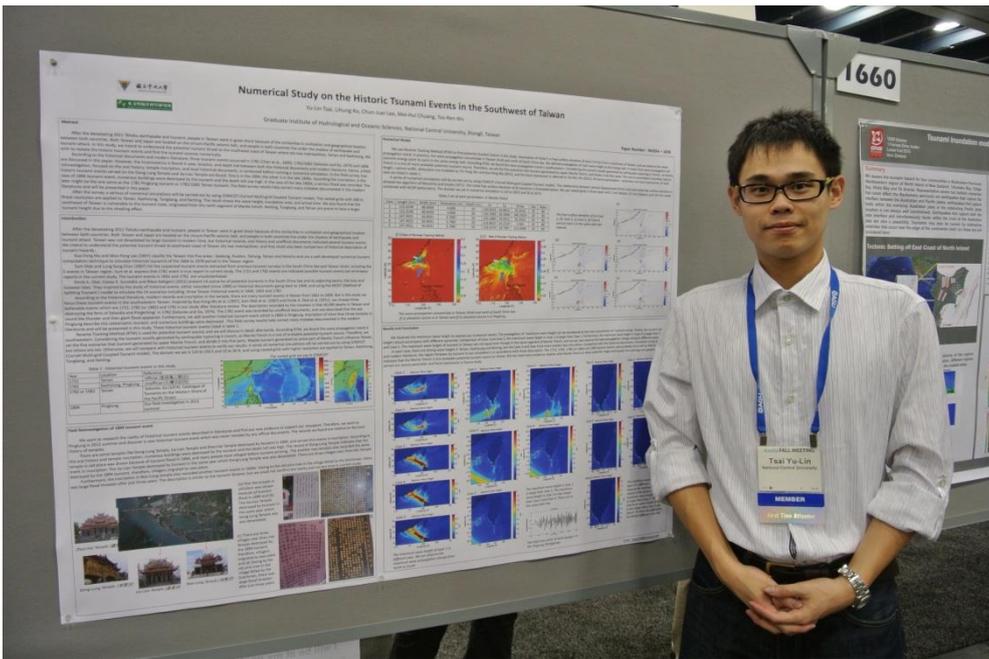
一、參加會議經過

參加 2012 AGU Fall Meeting 會議，主要以海報形式投稿「Numerical Study on the Historic Tsunami Events in the Southwest of Taiwan」研究題目。內容以台灣西南岸古海嘯為研究對象，以 COMCOT 數值模式、野外調查和文獻搜尋為主要手段，內容包含本研究團隊於 2012 年 7 月於屏東東港所發現之 1894 年古海嘯事件。

在非筆者海報參展期間，主要於天然災害領域之 Oral Session 和 Poster Session 間參訪和學習不同學者之研究方法，並與國外知名學者和知名大學研究生討論和交換意見。討論問題環繞不同海嘯模式的差異和海嘯模擬、風暴潮數值模式開發等議題，受益良多。



和南加州大學學者交流



AGU Fall Meeting 海報參覽情況

本次海報發表時，有三組學者前來討論，筆者亦留下聯絡方式以便日後相互交換研究意見。

二、與會心得

在 AGU Fall Meeting 中學門包羅萬象，包含地球物理、地球化學、地質、天然災害、水文學和教育等不同範疇，讓筆者深刻感受 AGU 單位之用心和地球科

學於其他國家之高度發展。AGU Fall Meeting 之主要特色之一為海報展示區，將研究成果以海報方式呈現，且內容和議題每天定期更換，使得學術上之討論能更加多元化。會議上有來自日本東京大學教授 Anawat Suppasri 肯定我們所做之研究成果。Anawat Suppasri 為海嘯考古之專家，和其交流和討論受益良多，並給予我們日後研究之方向和目標。

三、發表全文或摘要

Numerical Study on the Historic Tsunami Events in the Southwest of Taiwan

Yu-Lin Tsai, Lihung Ko, Chun-Juei Lee, Mei-Hui Chuang, Tso-Ren Wu

After the devastating 2011 Tōhoku earthquake and tsunami, people in Taiwan were in great shock because of the similarities in civilization and geographical location between both countries. Both Taiwan and Japan are located on the circum-Pacific seismic belt, and people in both countries live under the shadow of earthquake and tsunami attack. In this study, we intend to understand the potential tsunami threat to the southwest coast of Taiwan where sits two metropolises, Tainan and Kaohsiung. We wish to restate the historic tsunami events and find the tsunami sources numerically. According to the historical documents and modern literature, three tsunami events occurred in 1781 (Chen et al., 1830), 1782/1682 (Soloviev and Go, 1974) and 1894 are discussed in this paper. However, the inconsistency is found in year, location, and death toll between both the historical documents and modern literature. Hence, a field reinvestigation, focused on the oral history, temple inscription, and local historical documents, is conducted before running a numerical simulation. In the field survey, two historic tsunami events carved on the Dong-Lung Temple and Jia-Lian Temple are found. One is in the 1894; the other is in the late 1600s. According the inscription, in the case of 1894 tsunami event, numerous buildings were destroyed by the tsunami and the death toll was high. In the case of the late 1600s, a serious flood was recorded. The later might be the one same as the 1781 Pingtung tsunami or 1782/1682 Tainan tsunami. The field survey results help correct many mistakes documented in the modern literatures and will be presented in this paper. After the survey, a serious of numerical simulations will be carried out by using COMCOT (Cornell Multi-grid Coupled Tsunami model). The nested grids with 30 m finest resolution are applied to Tainan, Kaohsiung, Tungkang, and Kenting. The result shows the wave height, inundation area, and arrival time. We also found that the southwest of Taiwan is vulnerable to the tsunami treat, originated from the north segment of Manila trench. Kenting, Tungkang, and Tainan are prone to have a larger tsunami height due to the shoaling effect.

四、建議

會場海報安排和演講場次規劃得相當完善，現場提供無線網路和電腦供 AGU Fall Meeting 與會者使用，海報和演講品質和內容多元且豐富，希望台灣也能有機會舉辦跨國際之大型研討會，並學習 AGU Fall Meeting 之優點。

五、攜回資料名稱及內容

會議之詳細議程和海報討論學者之書面資料。

六、其他

無。