

澎湖海域風浪模擬系統建置

劉正琪¹ 李兆芳² 李俊穎³ 陳明宗³ 蘇青和³

¹ 國立成功大學水工試驗所 研究員

² 國立成功大學水利及海洋工程學系 教授

³ 交通部運輸研究所港灣技術研究中心 研究員

摘要

本研究利用風浪模式 WAM 及 SWAN 建置包含遠域、近域及近岸三層巢狀網格風浪模擬作業化系統，目的模擬澎湖群島與臺灣本島間海域風浪提供相關單位參考，維護海上航行安全。在系統中遠域風浪模擬採用 WAM，近域及近岸風浪模擬採用 SWAN，各層數值計算網格解析度分別 0.2°、0.04°及 0.008°；作業化模擬輸入風場為中央氣象局提供的天氣數值預報 WRF 風場，其中遠域網格輸入風場解析度為 15km，近域及近岸網格輸入風場之解析度為 5km。本文以 2015 年侵臺颱風蘇迪勒為例，說明澎湖海域颱風波浪作業化模擬成果。

關鍵詞：澎湖海域、風浪模式、巢狀網格

Development of An Operational Wind Wave Simulation System for Penghu Sea Areas

Cheng-Chi Liu* Jaw-Fang Lee Chun-Ying Lee Ming-Tzong Chen Ching-Ho Su

* Reseach Fellow, Tainan Hydraulics Laboratory

ABSTRACT

In this study, an operational wind wave simulation system is set up including far-field, near-field, and nearshore three- nesting grid systems, to simulate wind waves for sea areas between Penghu and Taiwan, and to provide administrative information maintaining seakeeping safety. In the system WAM is adopted in the far-field, SWAN is used for near-field and nearshore, where the grid resolutions of 0.2°, 0.04°及 0.008°, respectively. The WRF wind field provided by Central Weather Bureau is used as input, where the resolutions are 15km in far-field, and 5km for near-field and nearshore wind fields. Typhoon Soudelor, 2015 is chosen to demonstrate results of the operational wind wave simulation system.

Keywords: Penghu sea areas; Wind wave models; Nested grid

一、前言

臺灣位於西北太平洋大陸棚邊緣，四面環海，東臨太平洋，西隔臺灣海峽與中國大陸相鄰，北臨東海，南邊隔巴士海峽與菲律賓群島相鄰。澎湖群島位於臺灣海峽，東距臺灣本島約 50km；由 97 個大小島嶼組成，總面積約為 65.41km²，其中 71 個島嶼屬於無人島(李及曾，2005)，如圖 1 所示。由於

臺灣地處亞熱帶區域，每年夏秋之際常遭受西太平洋颱風之威脅，對臺灣周遭海域航行船舶與人員安全，基於維護臺灣周遭水域航行船舶與人員安全，交通部運輸研究所港灣技術研究中心長期致力推動臺灣四周主要商港海氣象觀測及發展近岸海象模擬作業化系統，目的為提供相關單位海象觀測與預測的資料，協助維護海上航行安全。

由於臺灣本島與離島間人員及各類物資輸送仍

多需仰賴海洋運輸，考量澎湖群島為臺灣最大離島群，與臺灣本島間航運往返相當頻繁，因此港灣技術研究中心於 2015 年規畫在既有的「臺灣近岸海象模擬系統(TaiCOMS)」下建置澎湖海域風浪模擬子系統，目的為提供澎湖與臺灣本島間更精確的風浪模擬資料予相關單位參考。

針對實際海面風浪模擬，常見的第三代波譜風浪模式包括 WAM(WAVE Modeling, WAMDI Group, 1988)、SWAN(Simulating WAVES Nearshore, Booij 等, 1996)及 NWW3(NOAA Wave Watch III, Tolman 等, 1997)等均屬之，其中 WAM 及 NWW3 常被用於大尺度海域風浪模擬，如我國中央氣象局即採用 NWW3 模擬含蓋西北太平洋海域之大尺度波浪預報圖，港灣技術研究中心則利用 WAM 模擬大尺度西北太平洋海域風浪(李等, 2007)；SAWN 則較適合於中、小尺度近岸風浪模擬，有關 SAWN 在臺灣周圍海域的應用，可參考歐等(1999)、李等(2006)、徐等(2006)、廖等(2006)及陳等(2013)等文獻。

本研究係在港灣技術研究中心「臺灣近岸海象模擬系統」既有的基礎下，進一步發展三層巢狀網格(遠域、近域及近岸)風浪模擬子系統，其中遠域風浪模擬採用 WAM，近域及近岸風浪模擬採用 SWAN。

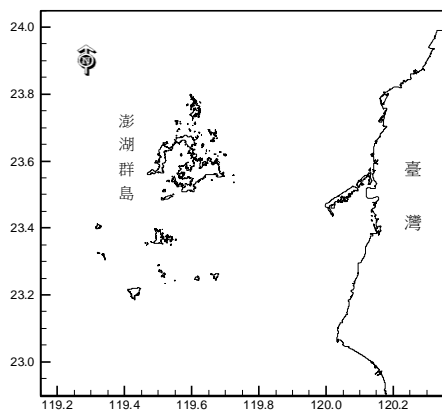


圖 1 澎湖群島地理位置圖

二、風浪模式介紹

2.1 WAM

目前 TaiCOMS 使用的 WAM 版本係經由

WAMDI (The Wave Model Development and Implementation) Group (1988)改良的模式，其基本方程式為二維波浪能量平衡方程式，此方程式能夠描述方向波譜在時間及空間上的變化過程。這些變化過程包括風浪的生成、波能的消散、底床摩擦效應，以及波與波之間非線性交互作用。其控制方程式表示如下：

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{1}{\cos \phi} \frac{\partial}{\partial \phi} (C_{\phi} F) + \frac{\partial}{\partial \lambda} (C_{\lambda} F) + \frac{\partial}{\partial \theta} (C_{\theta} F) = S \quad (1)$$

式中 $F = F(f, \theta, \bar{x}, t)$ 為波浪能量密度譜 (energy density spectrum)， f 為波浪的頻率， θ 定義為波浪的傳播方向， \bar{x} 為位置， t 為時間， \bar{C}_g 為波浪群速度 (group velocity)， S 為源函數 (source function)， ϕ 為緯度， λ 為經度， C_{ϕ} 、 C_{λ} 與 C_{θ} 分別為波浪群速度 \bar{C}_g 在球面座標 ϕ 、 λ 軸及波浪傳播方向 θ 之空間傳遞速率。

2.2 SWAN

SWAN 為荷蘭 Delft 大學所發展之近海風浪模式，本文採用的版本為 40.85。SWAN 所使用的控制方式為波浪作用力平衡方程式 (wave action balance equation)，表示如下：

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial c_x N}{\partial x} + \frac{\partial c_y N}{\partial y} + \frac{\partial c_{\sigma} N}{\partial \sigma} + \frac{\partial c_{\theta} N}{\partial \theta} = \bar{S} \quad (2)$$

式中 $N(\sigma, \theta)$ 為波浪作用力密度波譜 (action density spectrum)，其中 σ 為相對的波浪頻率， θ 為波浪方向角； x 、 y 為直角座標系統之座標軸， c_x 及 c_y 分別為波浪作用力在 x 及 y 空間之傳遞速度， c_{θ} 代表波浪作用力在波向 θ 空間之傳遞速度， c_{σ} 代表波浪作用力在波浪頻率 σ 空間之傳遞速度， \bar{S} 代表波浪成長與消散之源函數項。SWAN 在能量成長與消散項的參數選擇上比其它模式更具彈性，相關功能包括可以計算波浪在時間及空間領域之傳遞、波與波之間非線性的交互作用、波浪受風之成長、碎波之能量消散、底床摩擦引起的能量損失，以及波浪受到海流及地形變化影響而產生的頻率位移、淺化與折射等物理過程。

三、風浪模擬系統建置

3.1 數值計算網格

針對澎湖海域本研究建構出遠域、近域及近岸三層巢狀網格，如圖 2 所示，圖中遠域數值計算網

格模擬範圍含蓋西太平洋北緯 10°至 35°，東經 110°至 134°之海域，數值計算網格解析度為 0.2°(或 12')；近域數值計算網格模擬範圍以臺灣周圍海域為對象，含蓋臺北緯 21°至 28°，東經 117.6°至 123°之海域，數值計算網格解析度為 0.04°(或 2.4')；近岸數值計算網格模擬範圍以澎湖與臺灣之間海域為對象，含蓋臺北緯 22.8°至 24.2°，東經 119°至 120.48°之海域，數值計算網格解析度為 0.008°(或 0.48')。

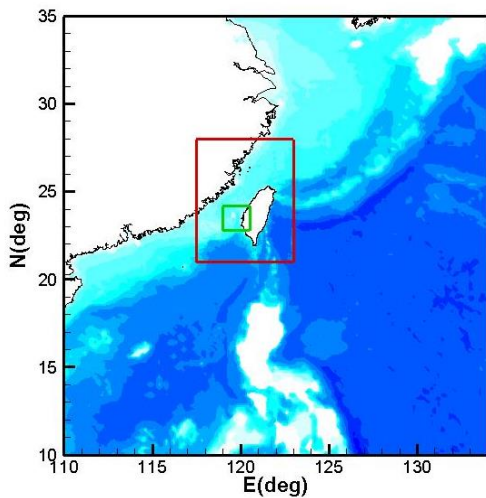


圖 2 遠域、近域及近岸巢狀網格範圍及水深分布圖

3.2 地形水深

遠域及近域數值計算網格地形水深資料來源採用美國國家地球物理資料中心(NGDC)提供的 ETOPO1 地形水深資料，近岸數值計算網格地形水深資料則利用國家海洋科學研究中心提供的 200m 解析度網格水深資料建置，如圖 2 所示。

3.3 離散化波譜

各層風浪模擬均採用相同維度的離散化波譜，即波譜頻率數(ML)及波向數目(KL)分別為 25 及 24，其中頻率譜之最小頻率為 0.05。頻寬之計算採用對數尺度，即 $\Delta f/f = 1.1$ ，模擬之波浪頻率範圍為 $f_{max}/f_{min} = (1.1)^{ML-1}$ ，因此波浪模擬之頻率介於 0.05 ~ 0.4925 之間或波浪週期約介於 2.0 ~ 20.0 sec 之間。

3.4 邊界條件

依據巢狀網格概念，本研究各層網格開放邊界條件說明如下：

遠域風浪模擬：開放邊界採用自然邊界條件(natural boundary condition)，即假設在海岸網格點上

無任何能量通率(energy flux)進入網格且能量以 free advection 方式傳到網格外。

近域及近岸風浪模擬：其開放邊界分別採用遠域及近域風浪模擬產生的逐時波譜資料。

3.5 作業化模擬風場

風浪作業化模擬之風場資料來源為中央氣象局提供的每日四次(臺灣時區 02、08、14 及 20)天氣數值預報 WRF 逐時風場資料，經重新組合成為每日作業化之輸入風場(0~72)時，如圖 3 所示。圖中前 24 小時屬於追算模擬階段之輸入風場，後 48 小時為預測模擬階段之輸入風場。另中央氣象局提供的風場依其解析度可分為 45km、15km 及 5km 等三種格式，本文分別以 WA01、WA02 及 WA03 表示；其中遠域風浪模擬輸入風場為 WA02，近域及近岸風浪模擬輸入風場為 WA03。

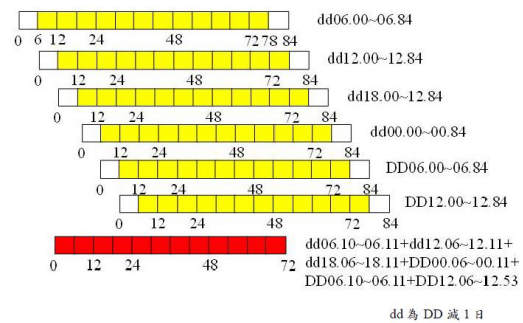


圖 3 組合風場之資料擷取時段與組合示意圖

四、模擬結果與討論

本文利用建置完成的風浪模擬系統進行逐日作業化模擬測試，並以 2015 年 8 月侵臺中度颱風蘇迪勒為例，如圖 4 所示，針對澎湖海域風浪逐日作業化模擬成果進行說明。

為判斷風浪模擬系統數值模擬結果之合理性及正確性，本文選取港灣技術研究中心安平港及澎湖港(龍門尖山港區)、中央氣象局東吉島及水利署澎湖資料浮標等測站波浪觀測資料進行比較。針對近域及近岸風浪模擬結果規劃的輸出位置，如圖 5 所示，圖中近岸數值計算網格因其解析度較高，故選取的輸出點位較接近波浪測站位置。

本系統作業化測試之模擬初始狀態始於 8 月 1 日，逐日作業化模擬至 8 月 10 日，因此蘇迪勒颱風侵臺期間波浪場模擬結果已不受冷啟動效應影響。

本系統遠域模組之模擬時間間距為 2min，近域及近岸模組模擬之時間間距為 5min，每日作業化模擬全程約費時 2 小時。圖 4 為中度颱風蘇迪勒侵臺路徑，顯示影響臺灣海峽及澎湖海域最劇烈的時段為 8 月 8 日，因此本文針對 8 月 6 日至 10 日每日作業化模擬結果，選取近域及近岸模組之模擬資料進行比較與說明。

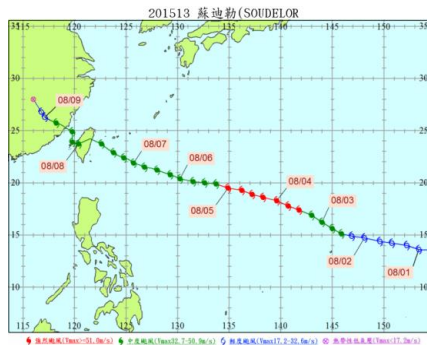


圖 4 2015 年中度颱風蘇迪勒侵臺路徑圖

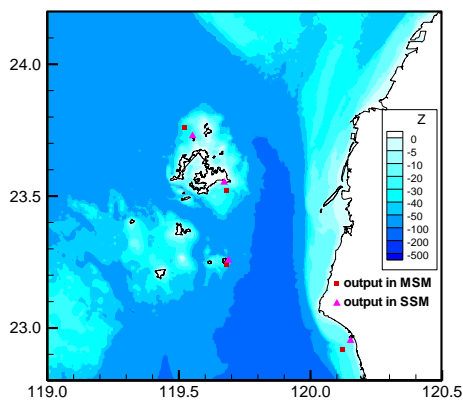


圖 5 近域及近岸網格風浪模擬結果輸出點位圖

4.1 風場資料比較

本文選取近岸模組安平港及澎湖港波浪輸出點位之風速資料，分別與港灣技術研究中心在安平港及澎湖港內風速觀測資料比較，如圖 6 所示；圖中各代表性符號以實心表示該日追算模擬階段風速模擬資料，空心代表模擬預測階段風速模擬資料。本文由颱風侵臺期間測站風速觀測資料得知，安平港及澎湖港(龍門尖山碼頭區)測得最大風速分別約為 35m/s 及 22m/s。

由作業化組合風場安平港及澎湖港風速比較結果得知：颱風期間 6、7 日作業化組合風場在預測階

段，對於颱風風場的影響有明顯的高估現象發生；對於颱風影響最劇烈時段(圖中觀測值高風速時段)，8、9 日作業化組合風場的風場資料則出現低估的現象。此現象表示由系統產生的組合風場在颱風期間，追算階段風場不一定能提供較精確的風場模擬結果。

4.2 波高資料比較

參照圖 6 方式，本文分別將近域(Medium scale model)及近岸(Small scale model)逐日(6~10 日)風浪示性波高作業化模擬結果與安平港、澎湖資料浮標、澎湖港及東吉島等觀測值比較，如圖 7 至圖 10 所示。同樣地，本文依據觀測資料得知，颱風期間安平港、澎湖資料浮標、澎湖港及東吉島等測站測得最大示性波高值分別為 6.77m、6.49m、2.76m 及 4.84m，其中東吉島波浪觀測在 7 日 9 時以前及 9 日 0 時至 10 日 6 時均無觀測值。由於澎湖港波浪觀測受到澎湖本島島嶼遮蔽效應影響，因此波高觀測值明顯較其他測站小；東吉島波浪測站雖然距離澎湖本島較遠，但颱風期間北方迎風面的波浪仍會受到澎湖本島島嶼阻隔效應影響，導致東吉島波浪觀測值略小於安平港或澎湖資料浮標。

整體而言，每日作業化模擬結果顯示，各測站近域模組示性波高模擬值略大於近岸模組模擬結果，此主要與近域模組其輸出位置距離測站較遠有關。由於近域及近岸模組輸入風場相同，因此導致近岸模組示性波高略較小的原因，包括模式底床摩擦產生的波能損失、陸地地形產生的遮蔽效應(如澎湖港及東吉島等)等因素。本文各測站每日近域及近岸模組模擬值與觀測值間，出現顯著偏差之時段主要集中在 8 月 7 日，原因應是系統產生的作業化組合風場，不論在預測階段或追算階段，7 日風速模擬值與實際的風場比較均有高估現象所致。在颱風波高成長與減弱歷程上，本文作業化模擬結果顯示，以澎湖資料浮標模擬結果與觀測值變化趨勢較為一致，此與澎湖資料浮標位於澎湖群島北側，颱風期間迎風面的波浪受到島嶼地形影響較小有關。除澎湖港測站外，9 日以後各測站波浪模擬結果波高逐漸減小的變化趨勢與觀測資料大致相符。

綜合圖 7 至圖 10 示性波高模擬值與觀測值比較結果得知，澎湖海域近岸模組示性波高模擬值與觀測值較接近的事實，證明近岸模組因數值計算網格

解析度較高，網格地形水深資料亦較遠域及近域模組 ETOPO1 精確等因素，使得近岸波浪場整體模擬結果解析度及正確性均優於近域模組。因此本系統未來對於澎湖海域不僅可提供解析度較高的模擬波浪場資訊外，對於澎湖各近岸港口亦可提供可信度較高的風浪模擬值，供相關單位參考。

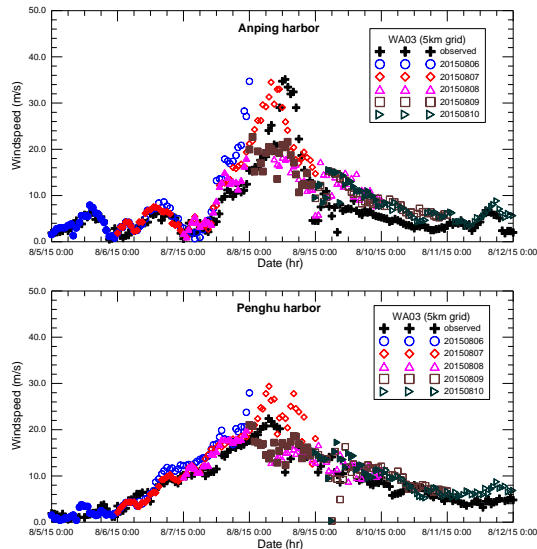


圖 6 每日作業化輸入之預測風場資料與觀測值之比較圖

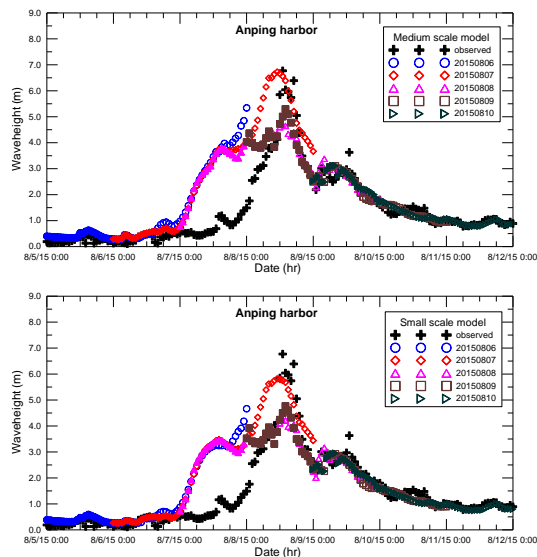


圖 7 近域及近岸風浪作業化模擬之安平港示性波高與觀測值比較圖

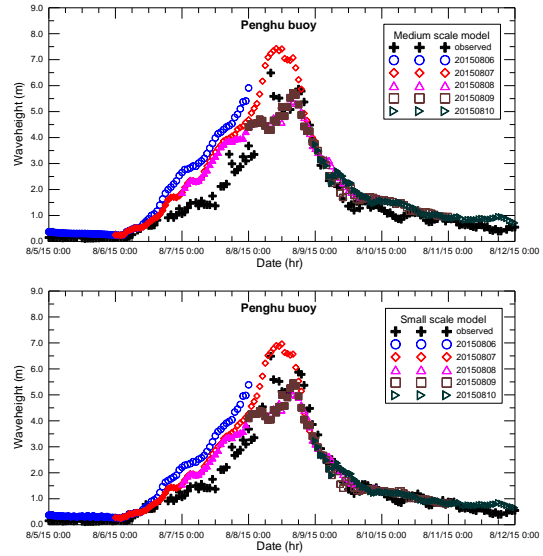


圖 8 近域及近岸風浪作業化模擬之澎湖資料浮標測站示性波高與觀測值比較圖

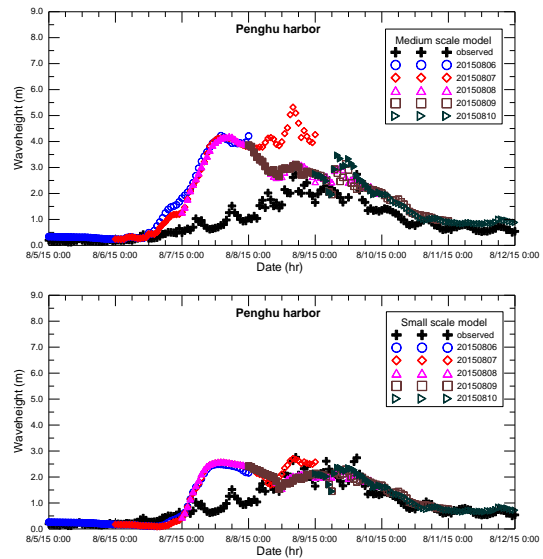


圖 9 近域及近岸風浪作業化模擬之澎湖港示性波高與觀測值比較圖

五、結論

本文利用結合第三代風浪模式 WAM 及 SWAN 方式，配合巢狀網格概念建置遠域、近域及近岸三層不同解析度網格之風浪作業化模擬系統，模擬預測澎湖群島與臺灣本島間海域風浪變化。針對 2015 年中度颱風蘇迪勒侵臺期間颱風波浪作業化模擬成果選取示性波高模擬值與安平港、東吉島、澎湖港及澎湖資料浮標觀測資料比較，說明本文近岸模組

針對澎湖與本島間海域不僅可提供解析度較高的模擬波浪場資訊外，對於澎湖各近岸港口亦可提供可信度較高的風浪模擬值，供相關單位參考。

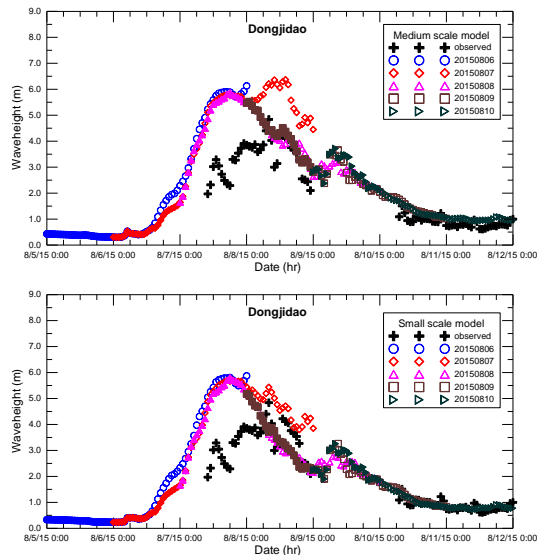


圖 10 近域及近岸風浪作業化模擬之東吉島示性波高與觀測值比較圖

謝誌

本論文係交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究計畫「105 年海氣象自動化預報模擬系統作業化校修與維運」之研究成果，承蒙交通部運輸研究所港灣技術研究中心經費之補助使本研究得以順利完成，謹致謝忱。

參考文獻

1. 歐善惠、許泰文、臧效義、方介群、廖建明(1999) 「應用 SWAN 波浪模式推算台灣附近海域颱風波浪之研究」，第 21 屆海洋工程研討會論文集，第 87-95 頁。
2. 徐月娟、楊天璋、林芳如、陳琬婷、張恆文(2005) 「SWAN 模式在近岸風浪預報之應用研究」，第 27 屆海洋工程研討會論文集，第 55-62 頁。
3. 李良輝、曾清涼(2005) 澎湖群島島嶼數量與委託清查計畫報告書，澎湖縣政府，51 - 53 頁。
4. 李汴軍、鄭皓元、范揚洺、高家俊(2006) 「區域化颱風波浪現報模式之研究(I)-SWAN 波浪模式推算週期之探討」，第 28 屆海洋工程研討會論文集，第 229-234 頁。
5. 李忠潘、邱永芳、陳陽益、于嘉順、蘇青和、

劉正琪、林昭圭、張憲國、王兆璋(2006)，*近岸數值模擬系統之建立(III)*，交通部運輸研究，MOTC-IOT-95-H3DB001。

6. 徐月娟、楊天璋、張恆文(2006) 「SWAN 模式在東北部及南部海域之應用研究」，第 28 屆海洋工程研討會論文集，第 247-252 頁。
7. 廖建明、許泰文、李汴軍、葉姍霽、董東璟、張國強、林杰熙、吳漢倫(2006) 「台灣海岸防災預警與監測系統之建立」，第 28 屆海洋工程研討會論文集，第 871-876 頁。
8. 陳勇隆、臧效義、許泰文、林鎮洲、何積忠(2013) 「應用 SWAN 模式於基隆海域波浪能計算之評估」，第 35 屆海洋工程研討會論文集，第 871-876 頁。
9. Booij, N., L. H. Holthuijsen and R. C. Ris(1996) "The SWAN Wave Model for Shallow Water," *Proceedings of 24th International Conference on Coastal Engineering*, ASCE, Orlando, Vol. 1, pp. 668-676.
10. Tolman, H. L (1997) *User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 1.15*, NOAA / NWS / NCEP / OMB Technical Note 151, pp. 97.
11. WAMDI Group (1988) "The WAM Model - A Third Generation Ocean Wave Prediction Model," *Journal of Physical Oceanography*, Vol. 18, pp. 1775-1810.