第三章 海流數值模擬

3.1 數值模式建立

3.1.1 使用模式

數值模式採用國立成功大學水工試驗所研發的二維水動力數值模式,該模式包括波場模式與流場模式兩個子模式,模式之架構以及各個子模式間的相互關係則如圖 3.1-1 所示,先以波場模式進行外海波高、波向、碎波及週波數計算,並考量波浪的幅射應力效應,接續進行流場水動力模式的演算。本模式流場邊界條件將引用南、北邊界附近之潮位資料(竹圍與南寮漁港潮位),先完成潮流率定以確認潮流符合現場資料後,再進行近岸的流場模擬。

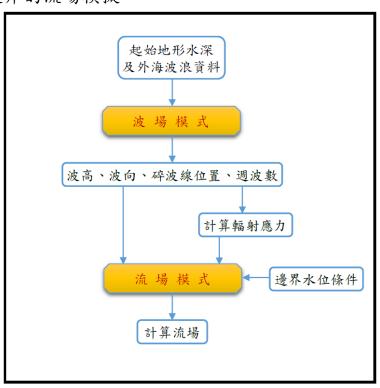


圖 3.1-1 模式架構圖

一、SWM 波浪模式

波場之計算採用成大水工所發展之 SWM 波浪模式,其主要應用於模擬波浪由外海向近岸傳播因水深變化而產生之折射、繞射與淺化效應,以及在海岸結構物存在時所發生的繞射與反射現象。其基本架構詳

述如下:

在海底底床坡度很小之假設下 $(\nabla h/kh = O(\varepsilon) \ll 1)$,Berkhoff (1972)推 導出二維橢圓型態之緩坡方程式,如下所示:

$$\nabla \cdot (cc_g \nabla \Phi) + cc_g k^2 \Phi = 0 \tag{1}$$

式中 Φ 為波速勢,C為波速,Cg為群波速度,k為週波數, ω 為角頻率,L為波長,T為週期, $\nabla = (\partial/\partial x, \partial/\partial y)$,x 表垂直海岸線座標,y 為平行海岸線座標。

Li(1994)應用攝動法在假設 $\Phi(x,y,t) = \Psi(x,y,\bar{t})e^{-i\omega t}$ 且 $\Psi = \frac{\phi}{\sqrt{cc_g}}$ 時,可推演出時變之拋物線型緩坡方程式:

$$-\frac{2\omega i}{cc_g}\frac{\partial \phi}{\partial t} = \nabla^2 \phi + k_c^2 \phi \tag{2}$$

$$\not \perp + k_c^2 = k^2 - \frac{\nabla^2 \sqrt{cc_g}}{\sqrt{cc_g}}$$

當波浪傳播至非常近岸時將產生碎波現象,為解決碎波問題,許多學者在緩坡方程式中加入考慮能量消散項。根據 Isobe(1987)之建議,(2)式可以修改為:

$$-\frac{2\omega i}{cc_g}\frac{\partial\phi}{\partial t} = \nabla^2\phi + k_c^2\phi \tag{3}$$

其中
$$k_c^2 = k^2(1 + f_d) - \frac{\nabla^2 \sqrt{cc_g}}{\sqrt{cc_g}}$$

$$f_d = \frac{5}{2} \tan \beta \sqrt{\frac{1}{k_0}} \sqrt{\frac{\gamma - \gamma_{\gamma}}{\gamma_s - \gamma_{\gamma}}}$$

$$\gamma = a/h$$

$$\gamma_{\gamma} = 0.135$$

$$\gamma_s = 0.4 \times (0.57 + 5.3 \tan \beta)$$

$$\gamma_b = 0.53 - 0.3 \exp(-3\sqrt{h/L_0}) + 5 \tan \beta^{3/2} \exp[-45(\sqrt{h/L_0} - 0.1)^2]$$

式中 $tan \beta$ 為海為床坡度,a 表波浪振幅,h 為水深, L_0 為深水時之波長, h_b 為碎波水深,當 $\gamma > \gamma_b$ 時,方程式中應加入碎波能量消散項。

本文波場模式係以 ADI 數值技巧解析,模式之差分式如下所示:

$$f_{p,q} \frac{\phi_{p,q}^{n+1/2} - \phi_{p,q}^{n}}{\frac{1}{2}\Delta t} i = \delta_{x}^{2} \phi_{p,q}^{n+1/2} + \frac{1}{2} (k_{c})_{p,q}^{2} \phi_{p,q}^{n+1} + \frac{1}{2} (k_{c})_{p,q}^{2} \phi_{p,q}^{2} + \frac{1}{2} (k_{c})_{p,q}^{2} \phi_{$$

模式之收斂條件為:

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{\sum_{p} \sum_{q} ABS(\phi_{p,q}^{n} - \phi_{p,q}^{n-1})^{2}}}{\sum_{p} \sum_{q} ABS(\phi_{p,q}^{n})} < 設定之收斂值$$

本文之波浪模式在模式邊界處使用幅射邊界條件,如(6)式所示:

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} + ik \cos(\theta) r \phi = 0 \tag{6}$$

其中r = (1-R)/(1+R),R 為邊界處之反射係數,n 為垂直邊界之方向(背水向方), θ 為波浪入射角與n 向之夾角。當R = 0,(6)式代表流速勢 φ 穿過邊界時,流速勢並不發生變化,因此沒有反射現象發生;當R = 1,(6)式代表全反射時之狀況;而當0 < R < 1 時則代表部份反射之邊界條件。

二、TW2D1 流場模式

流場模式之控制方程式,其表示式如下:

連續方程式:

$$\frac{\partial \overline{\eta}}{\partial t} + \frac{\partial \left[(h + \overline{\eta}) U_i \right]}{\partial x_i} = 0 \tag{7}$$

x和 y 方向動量方程式:

$$\rho(h+\overline{\eta})\left(\frac{\partial U_{i}}{\partial t}+U_{i}\frac{\partial U_{i}}{\partial x_{j}}\right)=\overline{p}\frac{\partial h}{\partial x_{i}}-\rho(h+\overline{\eta})g\frac{\partial \overline{\eta}}{\partial x_{j}}+\frac{\partial}{\partial x_{i}}\left(-S_{ij}+\overline{\int_{-h}^{\eta}\tau_{ij}}\right)+\overline{\tau}_{j}^{F}\left|\nabla F\right|+\overline{\tau}_{j}^{B}\left|\nabla B\right|$$
(8)

式中i,j =1,2分表 x 及 y 方向

其中

h:水深

7:平均水位變動

 U_i :對水深及週期取平均之流速

 S_{ij} :輻射應力

p:壓力

 $\bar{\tau}_i^F$:表面剪應力

 $\bar{\tau}_{i}^{B}$:底床剪應力

 $\nabla F = \left[\frac{-\partial \eta}{\partial x}, \frac{-\partial \eta}{\partial y}, 1 \right]$ 為自由水面垂直方向向量

 $\nabla B = \left[\frac{-\partial h(x,y)}{\partial x} , \frac{-\partial h(x,y)}{\partial y} , 1 \right]$ 為底床表面垂直方向向量

當考慮緩坡及忽略表面剪應力時,(8)式可簡化為

$$\frac{\partial U_{i}}{\partial t} + U_{j} \frac{\partial U_{i}}{\partial x_{j}} = -g \frac{\partial \overline{\eta}}{\partial x_{j}} + \frac{1}{\rho(h + \overline{\eta})} \cdot \frac{\partial}{\partial x_{i}} \left(-S_{ij} \right) \\
- \frac{\overline{\tau}_{j} |\nabla B|}{\rho(h + \overline{\eta})} + \frac{1}{\rho(h + \overline{\eta})} \frac{\partial T_{ij}}{\partial x_{i}} \tag{9}$$

(9)式中,右側第一項為水位梯度項,第二項為輻射應力梯度項,第三項為 底 床 剪 應 力 項 , 第 四 項 為 側 向 混 合 效 應 項 , 其 中 $T_{ij} = \rho(h + \bar{\eta})\varepsilon(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i})$ 為水深平均之雷諾應力, ε 為水平動量交換係數,其餘各項於碎波帶內外之計算式如表 3.1-1 所示。表中

x,:碎波點離岸距離

γ:碎波指標

 $E = (1/8)\rho gH^2 = 波浪能量$

C:波速

 C_f :底床摩擦係數

ω:角頻率

a:波浪振幅

 $tan \beta$:底床坡度

 C_g : 群波速

n̄:底床平均剪應力

u_m:底床波浪速度振幅

上述連續與動量方程式將以 ADI(Alternating-direction implicit) 數值 技巧與交錯網格配置求解,模式中必須率定的參數主要為底床摩擦係數 與渦動黏性係數,模式在垂直與平行海岸之開放邊界分別使用水位或流 速作為邊界條件,在固體邊界處則假設垂直固體邊界之流速分量為零, 平行固體邊界之流速分量則在模式內計算而得。

表 3.1-1 流場計算應用公式表

水位變化	淺化區 $(x > x_b)$	$\overline{\eta} = -ka/2\sinh 2kh$	
	碎波帶內 $(x ≤ x_b)$	$d\overline{\eta}/dx = \tan \beta/(1 + 8/3\gamma^2)$	
輻射應力	$S = E \begin{bmatrix} \frac{C_g}{C} \cos^2 \theta + \frac{1}{2} (\frac{2C_g}{C} - 1) \end{bmatrix}$	$\frac{C_g}{2C}\sin 2\theta$	
	$S = E \begin{bmatrix} C & 2 & C \\ & \frac{C_g}{2C} \sin 2\theta \end{bmatrix}$	$\frac{C_g}{C}\sin^2\theta + \frac{1}{2}(\frac{2C_g}{C} - 1)$	
底床	淺化區 $(x > x_b)$	$\overline{\tau}_j = \frac{2}{\pi} C_f u_m U,$	
剪應力		$u_m = a\omega/\sinh kh$	
	碎波帶內 $(x \le x_b)$	$\overline{\tau}_j = \frac{2}{\pi} C_f u_m U,$	
		$u_m = \frac{\gamma}{2} [g(h + \overline{\eta})]^{1/2}$	

3.1.2 模擬範圍

針對本計畫港型配置選用的計算範圍如圖 3.1-2 紅色方框所示,圖中標示大潭電廠位置與離岸式 LNG 港外廓、以及數值模擬所用潮位資料測站與海流測站,其中潮位測站為南寮漁港與竹圍漁港,海流測站為成大水工所於民國 103 年設置的 DTWC1 測站(詳細資料整理如表 3.1-2),圖 3.1-3 顯示 2014 年 3 月兩潮位站之逐時潮位與 DTWC1 測站的水位記錄,圖 3.1-4 為 DTWC1 測站同時量測的流速紀錄。表 3.1-3 整理模式之計算範圍及格網規劃。

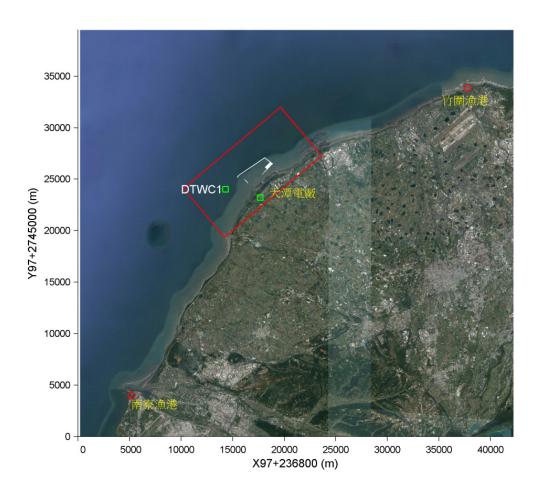


圖 3.1-2 模式模擬範圍示意圖

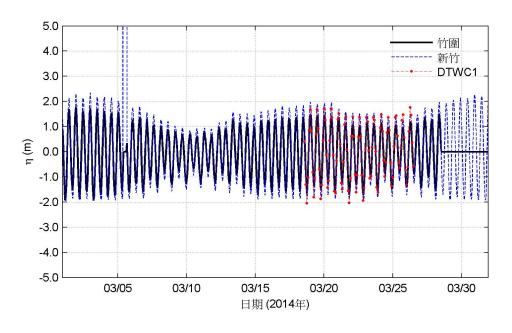


圖 3.1-3 竹圍漁港與南寮漁港之潮位站記錄(2014 年 3 月)

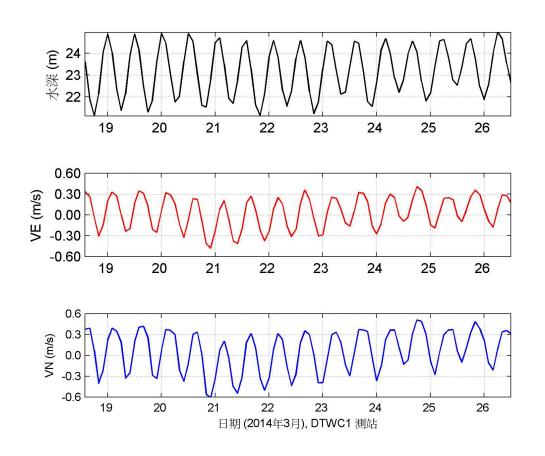


圖 3.1-4 大潭電廠海域 DTWC1 海流測站資料(2014 年 3 月)

表 3.1-2 海流測站資料

Ī	測站	水深	座標(TWD97)		施測時間/	資料來源
	例站	(m)	X(m)	Y(m)	測點高程	具 什 不 你
	DTWC1	-23.7	251101	2769024	2014/03/18~ 2014/03/26 測點高程離 底床 2.5 m	民國 104 年台電公司 「大潭電廠進水口淤 積成因調查及改善措 施研究」

表 3.1-3 模式之計算範圍及格網

模擬範圍	12.3 公里×6.2 公里	
格網大小	20 公尺×20 公尺	
格網數目	616×311	
時間間距	0.4 sec	
原點座標	E=250996 \ N=2764359 (TWD97)	
轉角	40° (順時針)	

3.2 數值模式驗證

水動力模式率定使模擬所得流場符合現場的底床流況,模式選取與DTWC1 測站紀錄有重疊且涵蓋大、小潮的水位資料做為開放邊界條件。經反覆調整參數,模式率定所得到之最佳參數分別為底床摩擦係數10(m²/s),x、y兩軸向之渦動黏性係數為200、200(m²/s),圖3.2-1由上而下顯示模擬所得DTWC1 測站位置上的水位、東西向與南北向流速,結果顯示模擬流場與現場紀錄相近。再以流場圖說明計畫海域的流場變化如圖3.2-2,圖中顯示主要流向介於東北-西南,漲潮往西南、退潮往東北,與環境背景之水動力特性一致。綜合上述的單點流速與流場驗證,確認本研究數值模式能合理重現計畫海域內的海潮流特性。

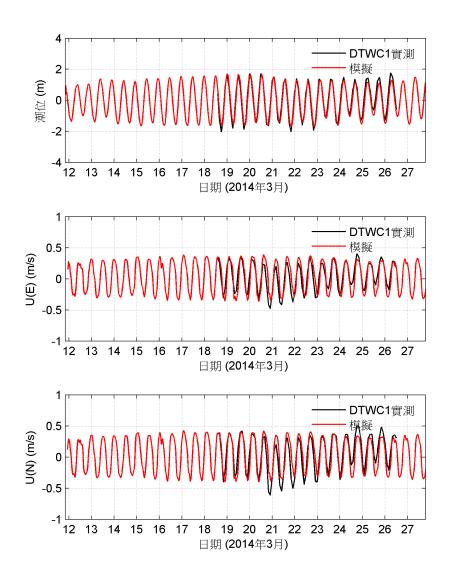


圖 3.2-1 DTWC1 測站模式率定結果

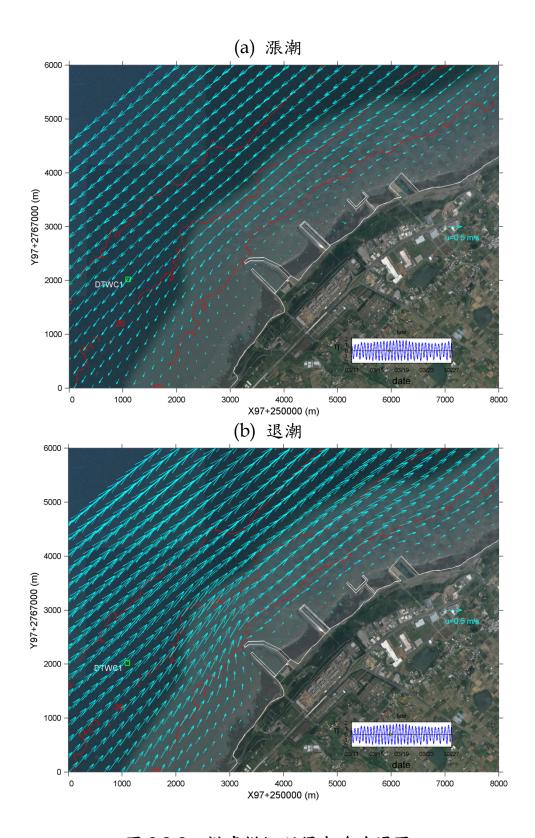


圖 3.2-2 模式模擬所得潮流流場圖

3.3 觀塘工業港流場模擬

海流數值模擬驗證完成後,將進行本計畫環評決議方案之海流數值模擬,並分別選定模擬期間漲潮及退潮時段進港航道附近最大流況,提供後續真時操船模擬建置背景環境之用。參考觀塘海域較嚴苛海象條件,擬以下列兩種操航情境進行海流數值分析(大潭電廠操作條件為CWP 200 cms):

- 1. 夏季:波高 1.5m(W) + 風速 15 m/sec(SW)
- 2.冬季:波高 2.5m(N) + 風速 15 m/sec(NE)

依據前述條件,計算完整潮汐之西南風、東北風、朔望大潮漲、退潮最大流速時之海流場分析成果如圖 3.2-3~圖 3.2-4。由於一般之操船模擬試驗均取漲潮與退潮流場分佈挑選最嚴苛之水文分佈狀況,亦及流速變化最大時段作為操船模擬之運用,本研究以此流況進行相關操演。

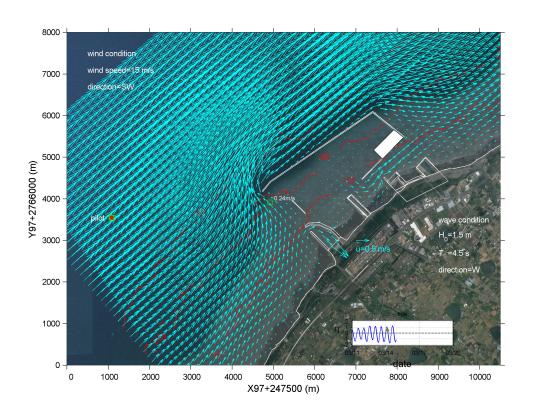


圖 3.2-3 退潮平面海流流場圖

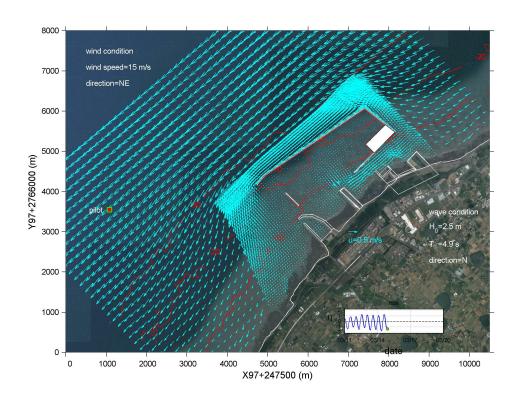


圖 3.2-4 漲潮平面海流流場圖