## 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

- 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(∇h/kh = O(ε)≪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 $\Phi$ 為波速勢,C為波速,Cg為群波速度,k為週波數, $\omega$ 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 $\Phi(x,y,t) = \Psi(x,y,t)e^{-i\omega t} \mathbb{L}^{\psi} = \frac{\phi}{\sqrt{cc_g}}$ 時,可推續 出時變之拋物線型緩坡方程式:

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

其中 $k_c^2 = k^2 - \frac{\nabla^2 \sqrt{cc_g}}{\sqrt{cc_g}}$ 

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:

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

$$f_{p,q} \frac{\phi_{p,q}^{n+1/2} - \phi_{p,q}^{n}}{\frac{1}{2}\Delta t} i = \delta_{x}^{2} \phi_{p,q}^{n+1/2} + \frac{1}{2} (k_{c})_{p,q}^{2} \phi_{p,q}^{n+1/2}}{\frac{1}{2}\Delta t}$$
(4)  
+  $\delta_{y}^{2} \phi_{p,q}^{n} + \frac{1}{2} (k_{c})_{p,q}^{2} \phi_{p,q}^{n}$   
 $f_{p,q} \frac{\phi_{p,q}^{n+1} - \phi_{p,q}^{n+1/2}}{\frac{1}{2}\Delta t} i = \delta_{x}^{2} \phi_{p,q}^{n+1/2} + \frac{1}{2} (k_{c})_{p,q}^{2} \phi_{p,q}^{n+1/2}$   
+  $\delta_{y}^{2} \phi_{p,q}^{n+1} + \frac{1}{2} (k_{c})_{p,q}^{2} \phi_{p,q}^{n+1}$   
 $\delta_{x}^{2} \phi_{p,q}^{n} = \frac{\phi_{p-1,q}^{n} - 2\phi_{p,q}^{n} + \phi_{p+1,q}^{n}}{\Delta x^{2}}$   
 $\delta_{y}^{2} \phi_{p,q}^{n} = \frac{\phi_{p,q-1}^{n} - 2\phi_{p,q}^{n} + \phi_{p,q+1}^{n}}{\Delta y^{2}}$ 

模式之收斂條件為:

1/0

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{\sum_{p \in q} ABS(\phi_{p,q}^{n} - \phi_{p,q}^{n-1})^{2}}}{\sum_{p \in q} ABS(\phi_{p,q}^{n})} < \Im \varepsilon \land \psi \& d$$

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),  $\theta$ 為波浪入射角與 n 向之夾角。當R = 0, (6)式代表流速勢 $\varphi$ 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:

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

x和y方向動量方程式:

$$\rho(h+\overline{\eta})\left(\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_i\frac{\partial U_i}{\partial x_j}\right) = \overline{p}\frac{\partial h}{\partial x_i} - \rho(h+\overline{\eta})g\frac{\partial\overline{\eta}}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_i}\left(-S_{ij}+\overline{\int_{-h}^{\eta}\tau_{ij}}\right) + \overline{\tau}_j^F |\nabla F| + \overline{\tau}_j^B |\nabla B|$$
(8)

式中i,j =1,2 分表 x 及 y 方向

其中

*h*:水深

*ŋ*:平均水位變動

U<sub>i</sub>:對水深及週期取平均之流速

S<sub>ij</sub>:輻射應力

p: 壓力

 $\bar{\tau}_{j}^{F}$ :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

$$\frac{\partial U_{i}}{\partial t} + U_{j} \frac{\partial U_{i}}{\partial x_{j}} = -g \frac{\partial \overline{\eta}}{\partial x_{j}} + \frac{1}{\rho(h + \overline{\eta})} \cdot \frac{\partial}{\partial x_{i}} \left(-S_{ij}\right) \\
- \frac{\overline{\tau}_{j} |\nabla B|}{\rho(h + \overline{\eta})} + \frac{1}{\rho(h + \overline{\eta})} \frac{\partial T_{ij}}{\partial x_{i}}$$
(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,  $\varepsilon$ 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<sub>b</sub>:碎波點離岸距離
- γ:碎波指標
- $E = (1/8)\rho g H^2 = 波浪能量$
- *C*:波速
- $C_f$ :底床摩擦係數
- *w*:角頻率
- a:波浪振幅
- $\tan\beta$ :底床坡度
- $C_g$ :群波速

n:底床平均剪應力

u<sub>m</sub>: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。

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

表 3.1-1 流場計算應用公式表

#### 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 海流测站資料

測站	水深	座標(TWD97)		施測時間/	容 山 広 酒
	(m)	X(m)	Y(m)	測點高程	貝朴本源
DTWC1	-23.7	251101	2769024	2014/03/18~	民國 104 年台電公司
				2014/03/26	「大潭電廠進水口淤
				測點高程離	積成因調查及改善措
				底床 2.5 m	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(m<sup>1</sup>/s),x、y兩軸向之渦動黏性係數為 200、200(m<sup>2</sup>/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 测站模式率定結果



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 退潮平面海流流场圖



# 圖 3.2-4 漲潮平面海流流場圖