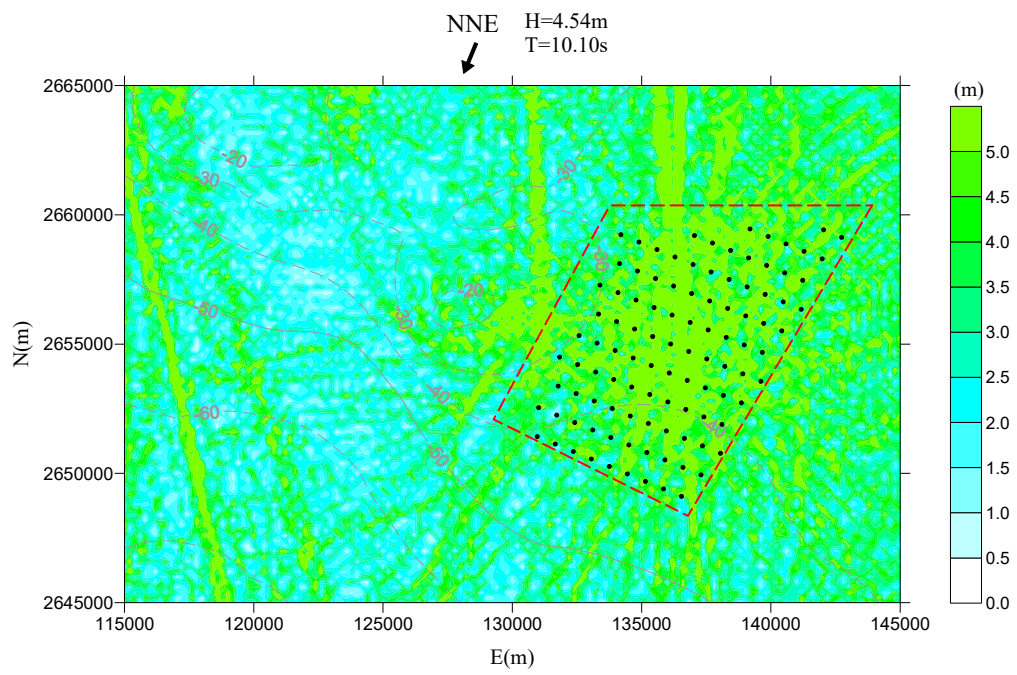
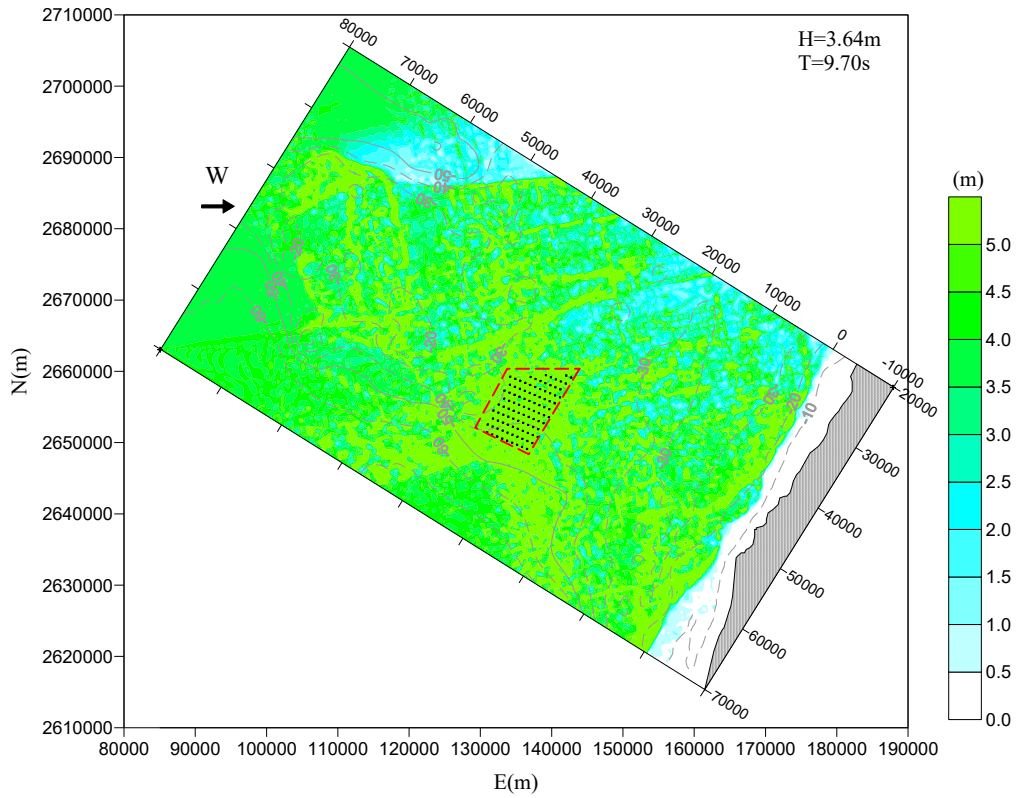


(a) 全域



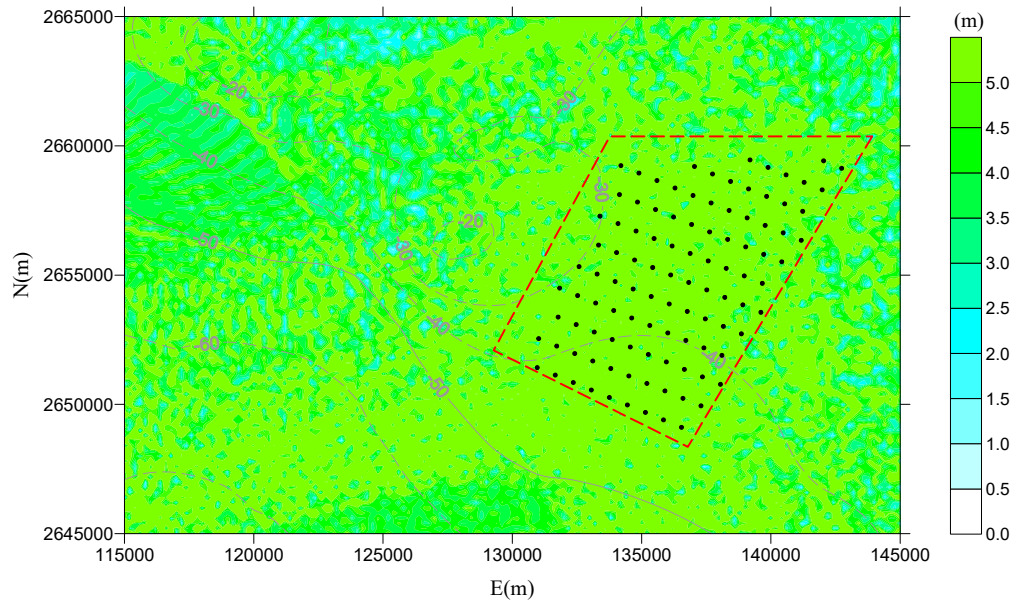
(b) 離岸風場區域

圖3.12 設置後(6MW)冬季季風波浪場分佈圖(外海波高4.54公尺、週期10.10秒、波向NNE)



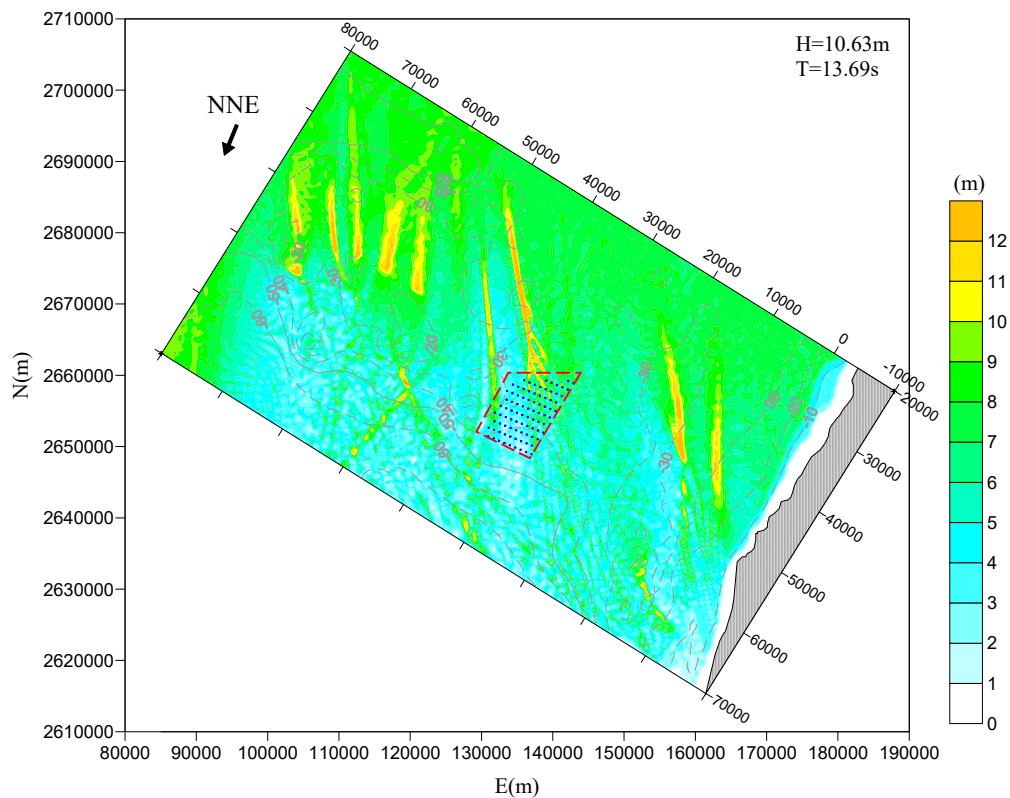
(a) 全域

W H=3.64m
 → T=9.70s

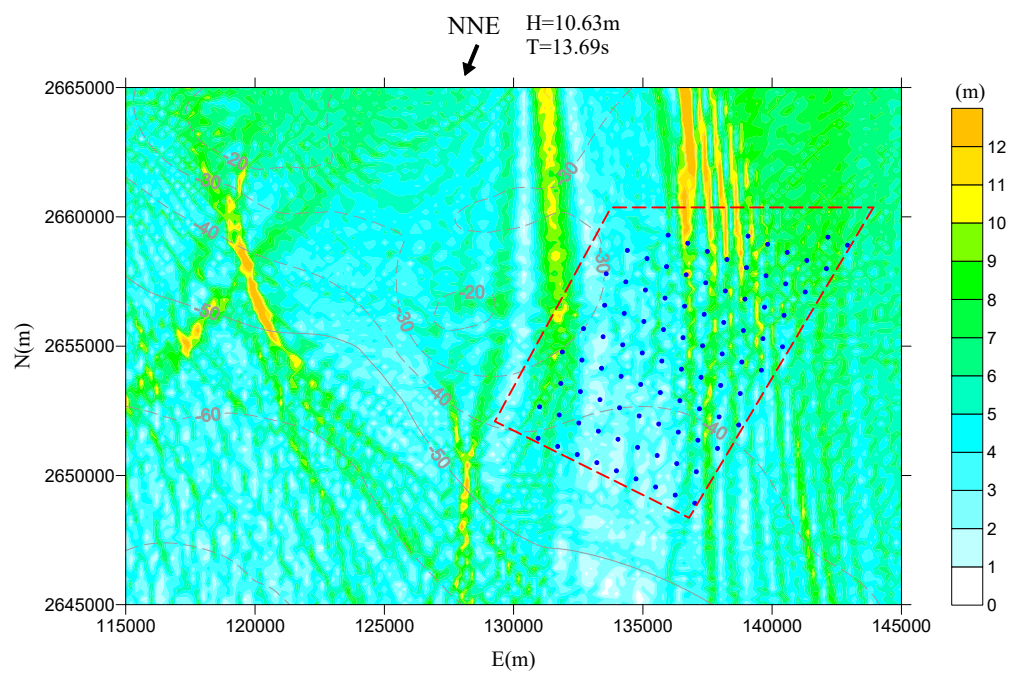


(b) 離岸風場區域

圖3.13 設置後(6MW)夏季季風波浪場分佈圖(外海波高3.64公尺、週期9.70秒、
 波向W)

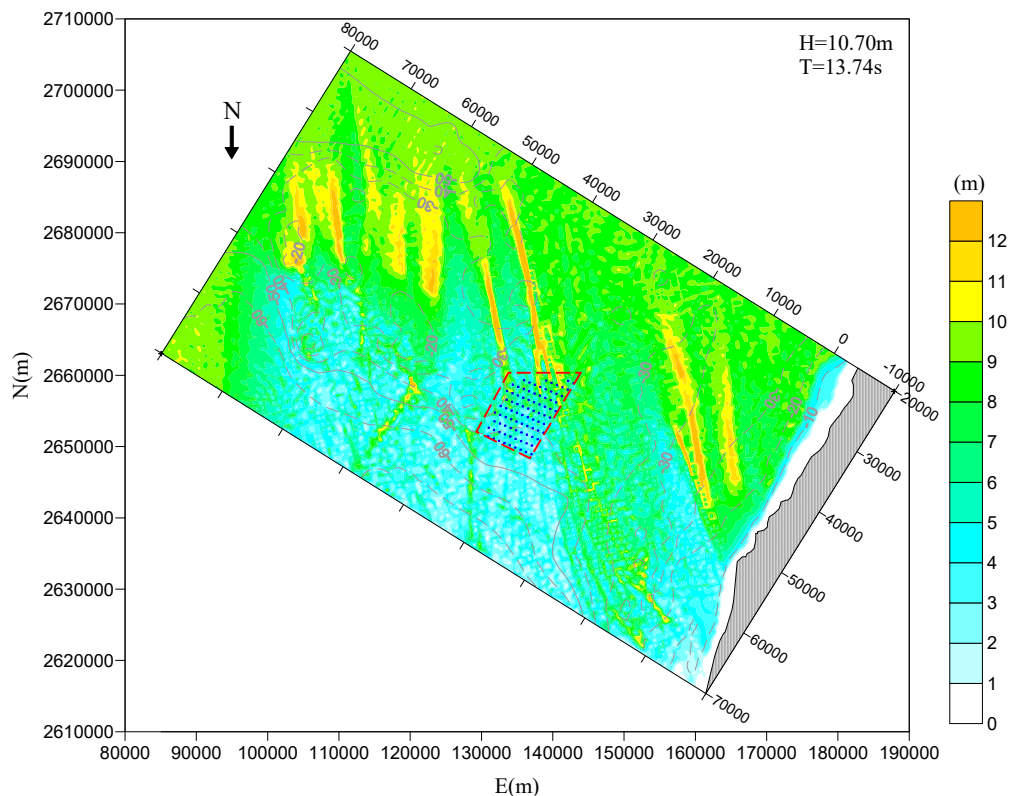


(a) 全域

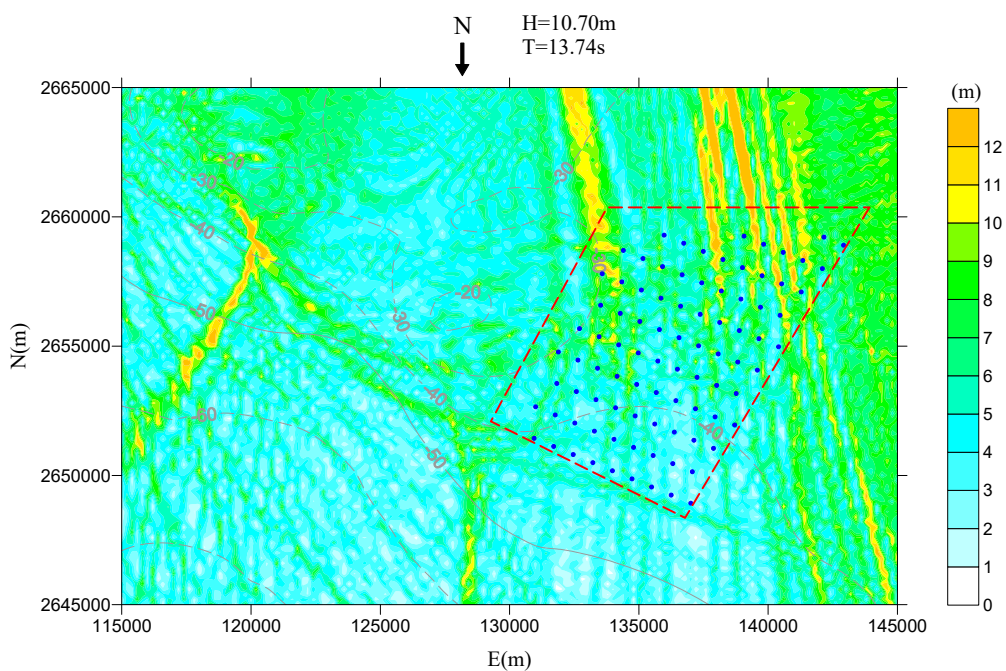


(b) 離岸風場區域

圖3.14 設置後(8MW)50年重現期颱風波浪場分佈圖(外海波高10.63公尺、週期13.69秒、波向NNE)

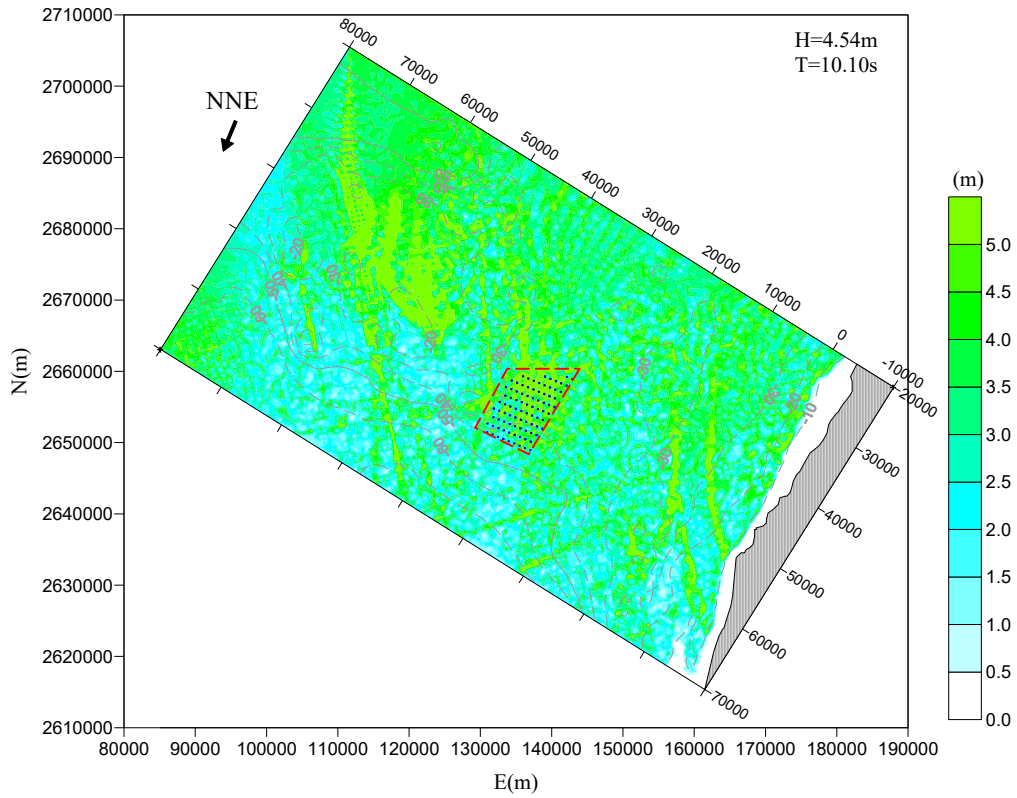


(a) 全域

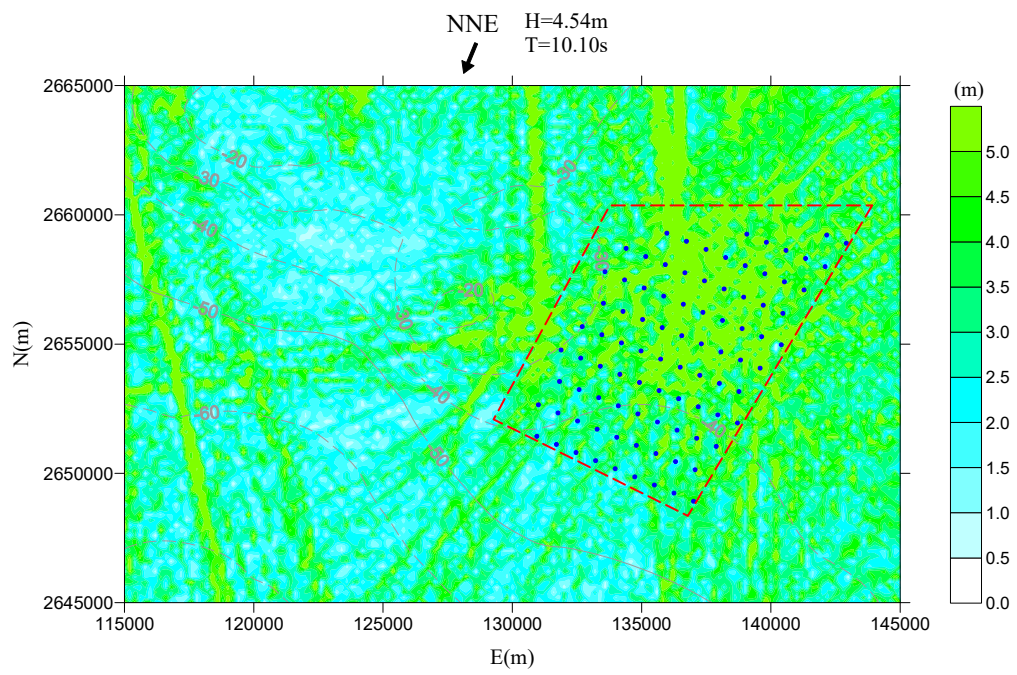


(b) 離岸風場區域

圖3.15 設置後(8MW)50年重現期颱風波浪場分佈圖(外海波高10.70公尺、週期13.74秒、波向N)

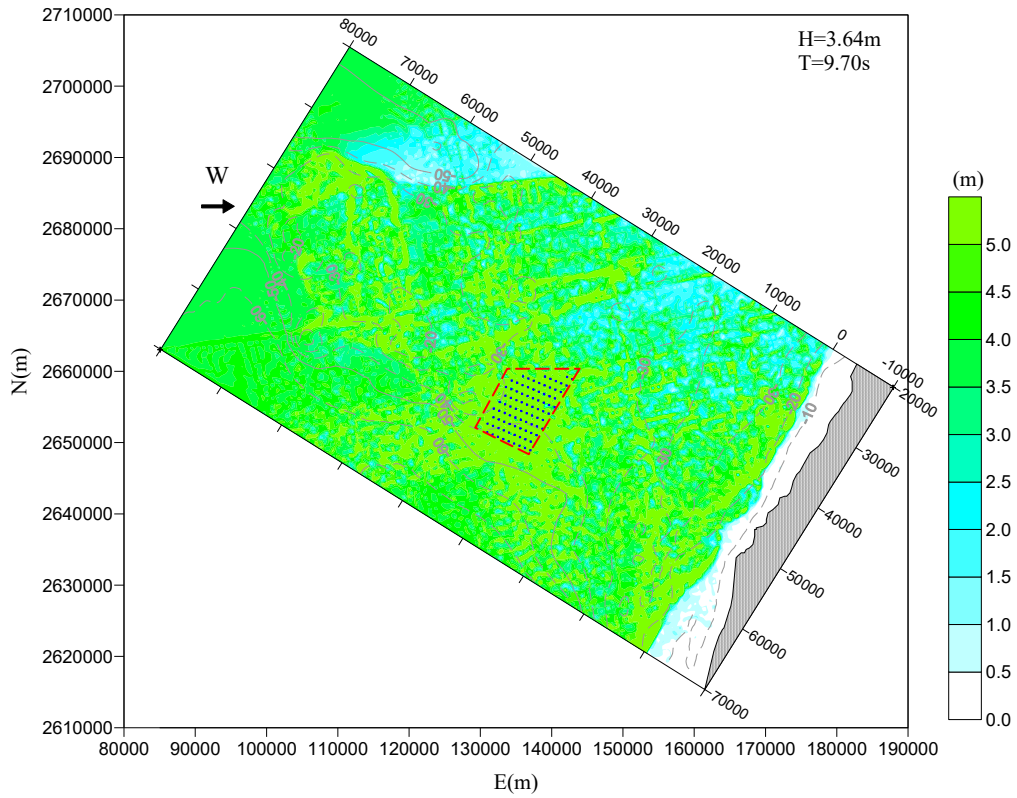


(a) 全域



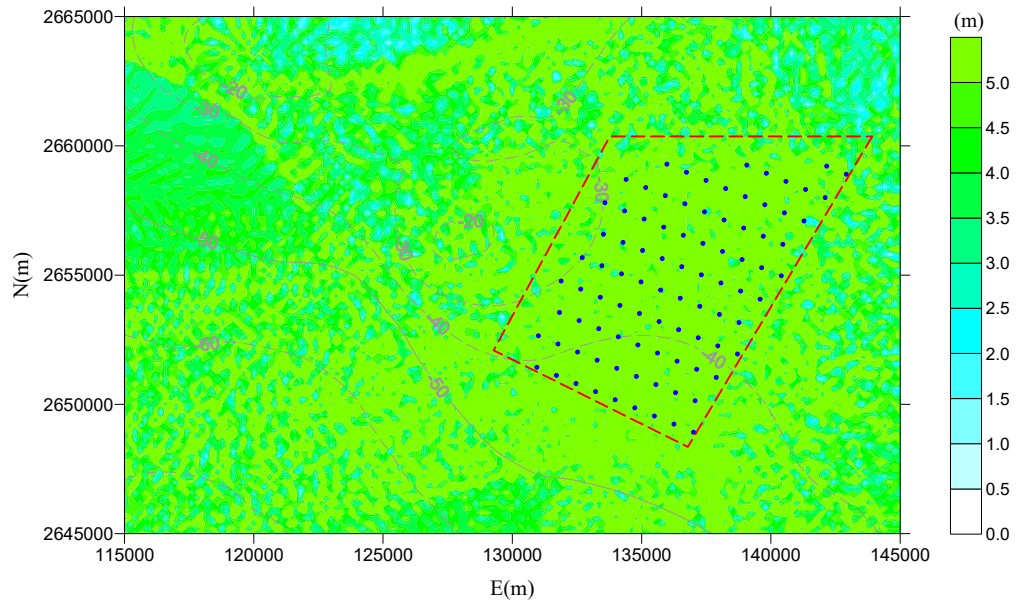
(b) 離岸風場區域

圖3.16 設置後(8MW)冬季季風波浪場分佈圖(外海波高4.54公尺、週期10.10秒、波向NNE)



(a) 全域

W H=3.64m
→ T=9.70s



(b) 離岸風場區域

圖3.17 設置後(8MW)夏季季風波浪場分佈圖(外海波高3.64公尺、週期9.70秒、波向W)

3.3 流場數值模式

3.3.1 流場控制方程式

流場包含潮流與由波浪碎波所產生的近岸流，因碎波前後的輻射應力需達平衡，平均水位在碎波前後亦有改變。因此在流場計算時需計算平均水位變動、 x 方向平均流速及 y 方向平均流速。此三變數可利用連續方程式 x 及 y 方向動量方程式等三式聯立求解而得之，分別表示為

$$\frac{\partial \bar{\zeta}}{\partial t} + \frac{\partial [(h + \bar{\zeta})U]}{\partial x} + \frac{\partial [(h + \bar{\zeta})V]}{\partial y} = 0 \dots\dots\dots(61)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + F_{bx} - F_{wx} - M_x + R_x \\ + g \frac{\partial \bar{\zeta}}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} - f_\omega V = 0 \end{aligned} \dots\dots\dots(62)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + F_{by} - F_{wy} - M_y + R_y \\ + g \frac{\partial \bar{\zeta}}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + f_\omega U = 0 \end{aligned} \dots\dots\dots(63)$$

其中 U 為 x 方向的平均流速， V 為 y 方向的平均流速， $\bar{\zeta}$ 為平均水位變化， F_{bx} 和 F_{by} 分別為 x 及 y 方向之底床摩擦力， F_{wx} 和 F_{wy} 分別為 x 及 y 方向之表面摩擦力， M_x 和 M_y 分別為 x 及 y 方向之側向混和力， R_x 和 R_y 分別為 x 及 y 方向之輻射應力， p 為壓力， f_σ 為科氏力係數 ($f_\sigma = 2\sigma \sin\varphi$)， σ 為地球旋轉角速度 ($\sigma \approx 7.292 \times 10^{-5} \text{ sec}^{-1}$)， φ 為緯度， t 為時間。

底床摩擦力在外海地區其 x ， y 方向分量可表成下列形式：

$$F_{bx} = \frac{gU\sqrt{U^2 + V^2}}{C_z^2 (h + \bar{\zeta})} \dots\dots\dots(64)$$

$$F_{by} = \frac{gV\sqrt{U^2 + V^2}}{C_z^2 (h + \bar{\zeta})} \dots\dots\dots(65)$$

式(64)及式(65)中 C_z 為 Chezy 係數，本文計算採 $C_z^2 = h^{1/3} n^{-2}$ ， n 為曼寧係數 (manning coefficient)， $n=0.025 \sim 0.08$ 。

在近岸碎波帶區域，流場主要以近岸流為主，因此底床摩擦力和表示如下 Nishimura(1982)：

$$F_x = \frac{C_f}{(h + \bar{\zeta})} \left\{ (\tilde{W} + \frac{\tilde{W}_b^2 \cos^2 \theta}{\tilde{W}}) U + \frac{\tilde{W}_b^2 \cos \theta \sin \theta}{\tilde{W}} V \right\} \dots\dots\dots(66)$$

$$F_y = \frac{C_f}{(h + \bar{\zeta})} \left\{ \frac{\tilde{W}_b^2 \cos \theta \sin \theta}{\tilde{W}} U + (\tilde{W} + \frac{\tilde{W}_b^2 \sin^2 \theta}{\tilde{W}}) V \right\} \dots\dots\dots(67)$$

其中

$$\tilde{W} = \frac{1}{2} \left\{ \sqrt{U^2 + V^2 + \tilde{W}_b^2 + 2(U \cos \theta + V \sin \theta) \tilde{W}_b} \right. \\ \left. + \sqrt{U^2 + V^2 + \tilde{W}_b^2 - 2(U \cos \theta + V \sin \theta) \tilde{W}_b} \right\} \dots\dots\dots(68)$$

$$\tilde{W}_b = \frac{\omega H}{\pi \sinh[k(h + \bar{\zeta})]} \dots\dots\dots(69)$$

式中 C_f 為摩擦係數， θ 為波向角， H 為波高。

表面摩擦力 F_{wx} 、 F_{wy} 與風力的關係為：

$$F_{wx} = \frac{\gamma \rho_a W_x \sqrt{W_x^2 + W_y^2}}{\rho(h + \bar{\zeta})} \dots\dots\dots(70)$$

$$F_{wy} = \frac{\gamma \rho_a W_y \sqrt{W_x^2 + W_y^2}}{\rho(h + \bar{\zeta})} \dots\dots\dots(71)$$

式中 γ 為海面剪力係數，一般建議為 $\gamma \approx 2.6 \times 10^{-3}$ ， ρ_a 為大氣密度 ($\rho_a \approx 1.22 \times 10^{-3} \text{ gr/cm}^3$)， ρ 為海水密度 ($\rho \approx 1.033 \text{ gr/cm}^3$)。 W_x 和 W_y 分別為 x, y 方向之風速分量。若風之成因為颱風，則 W_x 和 W_y 為颱風移動所引起之風速與颱風內地風速兩者之向量和分別在 x, y 方向之風速分量。

至於側向混合力和表示為 Horikawa(1988)

$$M_x = \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon' \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon' \frac{\partial U}{\partial y} \right) \dots\dots\dots(72)$$

$$M_y = \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon' \frac{\partial V}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon' \frac{\partial V}{\partial y} \right) \dots\dots\dots(73)$$

式中 $\varepsilon' = N\ell \sqrt{g(h + \bar{\zeta})}$ 為動量傳遞係數， N 為小於 0.016 之常數， $\ell = (h + \bar{\zeta}) / \tan \beta$ 為離岸距離之特性長度。

根據微小振幅波理論，可推導輻射應力 R_x 及 R_y 之表示式為 Longuet-Higgins 和 Stewart(1960)

$$R_x = \frac{1}{\rho(h + \bar{\zeta})} \left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \right) \dots\dots\dots(74)$$

$$R_y = \frac{1}{\rho(h + \bar{\zeta})} \left(\frac{\partial S_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \right) \dots\dots\dots(75)$$

其中 S_{xx} 、 S_{xy} 、 S_{yx} 、 S_{yy} 為輻射應力的分量，依線性波理論時可表示為 Horikawa(1988)

$$\begin{bmatrix} S_{xx} & S_{xy} \\ S_{yx} & S_{yy} \end{bmatrix} = \frac{1}{8} \rho g H^2 \begin{bmatrix} n(1 + \cos^2 \theta) - \frac{1}{2} & \frac{n}{2} \sin 2\theta \\ \frac{n}{2} \sin 2\theta & n(1 + \sin^2 \theta) - \frac{1}{2} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(76)$$

利用式(61)~(63)由三個聯立方程式以及適當之邊界條件即可解得各網格點上之 $\bar{\zeta}$ 、 U 、及 V 等未知數。上述各式有關波浪參數，如波高(H)、波向角(θ)及週波數(k)由前述波場計算結果代入之。

在考慮海流或潮流影響時，由於實際海域中水體流動不僅包含波浪碎波所產生的近岸流，在外海區域主要的流動是因海流以及潮汐變化所衍生之潮流。一般模擬潮流流動之水動力模式，須由計算領域邊界的潮位變化來控制模式模擬的流動現象，因此計算之範圍往往需要 30 公里以上，屬於較大範圍的水動力模式。如模式計算之範圍空間尺度不超過 20 公里時，是以波浪作用衍生的近岸流場為主要考量的水動力模型，遠小於潮流模式的空間尺度，屬於小範圍的水動力模式。

3.3.2 數值方法

1. 差分方程式

本計畫以 ADI 法計算流場內之流速分佈與水位變化，計算領域包括岸線與堤體，並進一步考慮可透過之堤體。流場計算捨棄效率較低之顯式法，採用全隱式法來加以計算。

以 ADI 法計算時須先將欲模擬的海域格網化，如圖 3.18 所示，同一網格中各有關物理量係以不同位置表示以利差分式之轉換。此時，連續方程式在水位的位置差分化，x 方向動量方程式在流速 U 的位置($i+1/2, j$)差分化，y 方向動量

方程式在流速 V 的位置 $(i, j+1/2)$ 差分化。運用有限差分法解連續方程式及動量方程式時，分別在水位點離散連續方程式及流速點離散動量方程式，並視連續方程式與時間無關，則在處理同一時間段運用二次，以分別滿足 x 、 y 方向的動量方程式，詳細數值方法可參閱許(2003)。將式(78)~式(80)分別對時間項取前項差分，對空間項取中央差可得以下式(81)~式(84)：

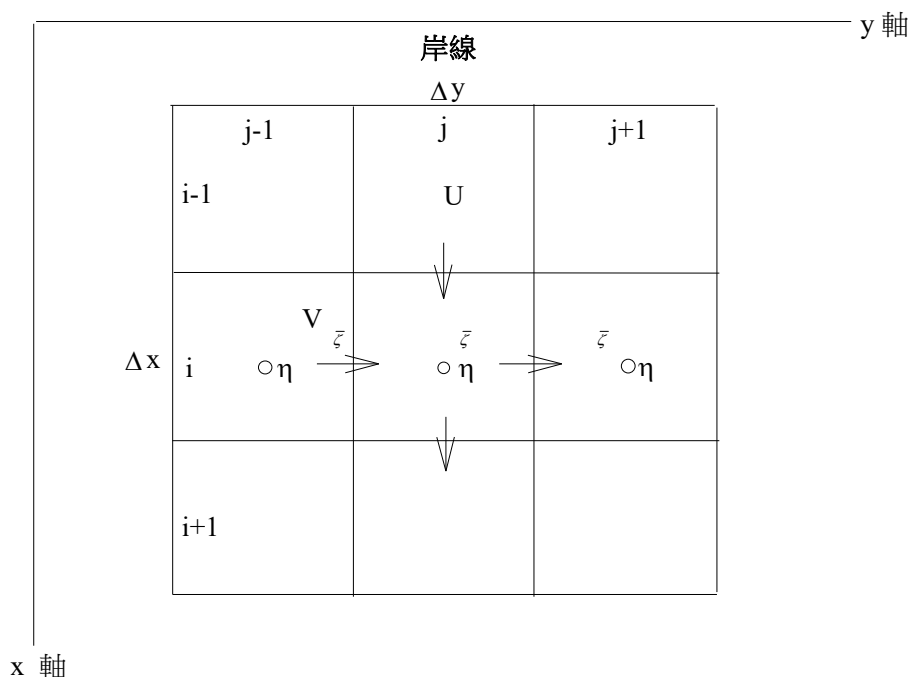


圖3.18 流場差分格網點示意圖

$$\frac{\partial \bar{\zeta}}{\partial t} + \frac{\partial [(h + \bar{\zeta})U]}{\partial x} + \frac{\partial [(h + \bar{\zeta})V]}{\partial y} = 0 \dots\dots\dots(77)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + F_{bx} - F_{wx} - M_x + R_x \\ + g \frac{\partial \bar{\zeta}}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} - f_{\omega} V = 0 \end{aligned} \dots\dots\dots(78)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + F_{by} - F_{wy} - M_y + R_y \\ + g \frac{\partial \bar{\zeta}}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + f_{\omega} U = 0 \end{aligned} \dots\dots\dots(79)$$

$$\frac{\bar{\zeta}_{i,j}^{n+1} - \bar{\zeta}_{i,j}^n}{\Delta t} + \frac{[U_{i+1/2,j}^{n+1}(\bar{h}^y + \bar{\zeta}^x)_{i+1/2,j}^n - U_{i-1/2,j}^{n+1}(\bar{h}^y + \bar{\zeta}^x)_{i-1/2,j}^n]}{\Delta x} \dots\dots\dots(80)$$

$$+ \frac{[V_{i,j+1/2}^n(\bar{h}^x + \bar{\zeta}^y)_{i,j+1/2}^n - V_{i,j-1/2}^n(\bar{h}^x + \bar{\zeta}^y)_{i,j-1/2}^n]}{\Delta y} = 0$$

$$\frac{\bar{\zeta}_{i,j}^{n+1} - \bar{\zeta}_{i,j}^n}{\Delta t} + \frac{[U_{i+1/2,j}^n(\bar{h}^y + \bar{\zeta}^x)_{i+1/2,j}^n - U_{i-1/2,j}^n(\bar{h}^y + \bar{\zeta}^x)_{i-1/2,j}^n]}{\Delta x} \dots\dots\dots(81)$$

$$+ \frac{[V_{i,j+1/2}^{n+1}(\bar{h}^x + \bar{\zeta}^y)_{i,j+1/2}^n - V_{i,j-1/2}^{n+1}(\bar{h}^x + \bar{\zeta}^y)_{i,j-1/2}^n]}{\Delta y} = 0$$

$$\frac{U_{i+1/2,j}^{n+1} - U_{i+1/2,j}^n}{\Delta t} + U_{i+1/2,j}^{n+1} \frac{(U_{i+3/2,j}^n - U_{i-1/2,j}^n)}{2\Delta x} + \frac{(V_{i,j-1/2}^n + V_{i,j+1/2}^n + V_{i+1,j-1/2}^n + V_{i+1,j+1/2}^n)}{4}$$

$$\frac{(U_{i+1/2,j+1}^n - U_{i+1/2,j-1}^n)}{2\Delta y} + g \frac{(\bar{\zeta}_{i+1,j}^{n+1} - \bar{\zeta}_{i,j}^{n+1})}{\Delta x} + P_{x_{i+1/2,j}}^n + \frac{1}{(\bar{\zeta}^y + \bar{\eta}^x)_{i+1/2,j}^n} \dots\dots\dots(82)$$

$$[\frac{(S_{xx_{i+1,j}} - S_{xx_{i,j}})}{\Delta x} + \frac{1}{4\Delta y}(S_{xy_{i,j+1}} + S_{xy_{i+1,j+1}} - S_{xy_{i,j-1}} - S_{xy_{i+1,j-1}})]$$

$$- \mu_L [\frac{(U_{i+3/2,j}^n - U_{i-1/2,j}^n)}{2\Delta x} + \frac{(U_{i+3/2,j}^n - 2U_{i+1/2,j}^n + U_{i-1/2,j}^n)}{\Delta x^2} + \frac{(U_{i+1/2,j+1}^n - U_{i+1/2,j-1}^n)}{2\Delta y}$$

$$+ \frac{(U_{i+1/2,j+1}^n - 2U_{i+1/2,j}^n + U_{i+1/2,j-1}^n)}{\Delta y^2}] = 0$$

$$\frac{V_{i,j+1/2}^{n+1} - V_{i,j+1/2}^n}{\Delta t} + V_{i,j+1/2}^{n+1} \frac{(V_{i,j+3/2}^n - V_{i,j-1/2}^n)}{2\Delta y} + \frac{(U_{i-1/2,j}^n + U_{i+1/2,j}^n + U_{i-1/2,j+1}^n + U_{i+1/2,j+1}^n)}{4}$$

$$\frac{(V_{i+1,j+1/2}^n - V_{i-1,j+1/2}^n)}{2\Delta x} + g \frac{(\bar{\zeta}_{i,j+1}^{n+1} - \bar{\zeta}_{i,j}^{n+1})}{\Delta y} + P_{y_{i,j+1/2}}^n + \frac{1}{(\bar{h}^x + \bar{\zeta}^y)_{i,j+1/2}^n} \dots\dots\dots(83)$$

$$[\frac{(S_{yy_{i,j+1}} - S_{yy_{i,j}})}{\Delta y} + \frac{1}{4\Delta x}(S_{xy_{i+1,j}} + S_{xy_{i+1,j+1}} - S_{xy_{i-1,j}} - S_{xy_{i-1,j+1}})]$$

$$- \mu_L [\frac{(V_{i,j+3/2}^n - V_{i,j-1/2}^n)}{2\Delta y} + \frac{(V_{i,j+3/2}^n - 2V_{i,j+1/2}^n + V_{i,j-1/2}^n)}{\Delta y^2} + \frac{(V_{i+1,j+1/2}^n - V_{i-1,j+1/2}^n)}{2\Delta x}$$

$$+ \frac{(V_{i+1,j+1/2}^n - 2V_{i,j+1/2}^n + V_{i-1,j+1/2}^n)}{\Delta x^2}] = 0$$

以上 \bar{F}^x : 表 x 方向平均, \bar{F}^y : 表 y 方向平均, $F_{i,j}^n$: 表 $F(i\Delta x, j\Delta y, n\Delta t)$ 。 n 表示第 n 時間段 (time= $n * \Delta t$) 時, F^n 為已知值, $n+1$ 表示第 $n+1$ 時段 (time= $(n+1)*\Delta t$) 時, F^{n+1} 為未知而欲求之值, 如此可由式(80)、式(81)及式(82)、式(83)分別得到 x 、 y 方向之線性聯立方程式組如下:

x 方向:

$$A_l U_{i-1/2,j}^{n+1} + B_l \bar{\eta}_{i,j}^{n+1} + C_l U_{i+1/2,j}^{n+1} = E_l$$

$$B_m \bar{\eta}_{i,j}^{n+1} + C_m U_{i+1/2,j}^{n+1} + D_m \bar{\eta}_{i+1,j}^{n+1} = E_m \dots\dots\dots(84)$$

y 方向：

$$a_p V_{i,j-1/2}^{n+1} + b_p \bar{\eta}_{i,j}^{n+1} + c_p V_{i,j+1/2}^{n+1} = e_p$$

$$b_q \bar{\eta}_{i,j}^{n+1} + c_q V_{i,j+1/2}^{n+1} + d_q \bar{\eta}_{i,j+1}^{n+1} = e_q \dots\dots\dots(85)$$

由式(84)或式(85)中每三點可構成一差分式，設某 j 列中有 $2N+2$ 個點，則可以得到 $2N$ 個方程式，需再配合二個邊界條件（水位 $\bar{\zeta}$ 或流速 U 、 V ），便能以隱式差分法解得此一差分方程組。

2. 起始條件

由於流場現象複雜，水位 $\bar{\zeta}$ 、流速 U 、 V 難以預知，是以本模式採用冷啟動 (cold start)，即 $\bar{\zeta}$ 、 V 、 $\bar{\zeta}$ 均以零為計算之起啟值，在一定的時間內流場中波高、波浪應力、水位邊界以一定比例漸增，此一時間長數值收斂愈快穩定性愈佳，本計劃取 300~400 次為冷啟動次數。

3. 邊界條件

(1) 封閉邊界(closed boundary)

視封閉邊界取不滑動 (no slip) 邊界條件，則邊界上流速度為零。

$$\begin{aligned} U_{i,j} &= 0 \\ V_{i,j} &= 0 \end{aligned} \dots\dots\dots(86)$$

其中 i, j 為岸線上之點。

(2) 開放邊界(opened boundary)

計算領域除岸線外，餘各側均可容水流進出，是為開放邊界，可取水位或流速為已知邊界條件。

至於外海邊界處理，當邊界取得夠遠時，已不受近岸流之影響，因近岸流引發之水位變化近似為零，不過仍須考慮潮汐變化，故取潮汐水位為外海邊界條件。對於二側邊界處理，須以沿岸流流速分佈加上海流或潮流流速分佈作為邊界條件。近岸流速分佈仍引用 Longuet-Higgins(1970a; 1970b) 提出沿岸流流速分佈；海流與潮流流速部份則引用由大範圍潮流模式所計算的潮流分佈，或根據淺水長波理論之流速估算式：

$$U^* = \frac{\bar{\zeta}}{h + \bar{\zeta}} \sqrt{g(h + \bar{\zeta})} \dots\dots\dots(87)$$

進行估算，如於現場測量得到某參考位置之定常流速 U_0 ，則可利用式(87)之理論概念，推導得一近似估算式如下：

$$U^* = \frac{\sqrt{h_0}}{\sqrt{h^*}} U_0 \dots\dots\dots(88)$$

式中 h_0 為某參考位置之水深。利用式(88)即可估算二側邊界之流速分佈。

藉由邊界條件輸入海流或潮流效應量，其近岸流模式即可模擬同時含有近岸流以及海流或潮流效應的流場。

4. 數值穩定條件

對於計算流場所需的穩定條件限制，則需滿足 Courant Number 限制條件，如式(89)所示：

$$\frac{\Delta t}{2} \leq \frac{\Delta x}{C_{\max}} \dots\dots\dots(89)$$

5. 收斂條件

誤差控制取疊代 10 次之相對誤差作比較，如式(90)所示

$$Err = \frac{\sum_{i,j} abs(f_{i,j}^n - f_{i,j}^{n-10})}{\sum_{i,j} abs(f_{i,j}^n)} < 0.001 \dots\dots\dots(90)$$

式中， f 表 U ， V ， $\bar{\zeta}$ 三者需同時滿足誤差控制條件。

3.3.3 離岸風場流場數值模擬分析

本研究針對彰化離岸風場(第 19 區)外海風田設置前後，分別進行流場之數值模擬分析，由於模式使用正方形格網，分別計算四個不同波浪條件下波場的分佈，包含兩個 50 年重現期颱風波浪條件，以及冬季、夏季季風波浪條件，其計算範圍及水深分布如圖 3.5 所示。波場模式輸入之颱風波浪條件參考表 2.3 各重現期所推算之颱風波浪，選擇 50 年重現期 NNE 向與 N 向颱風波浪之波高週期，表 2.4 NNE 向與 W 向之冬季、夏季季風波浪之波高週期，模擬彰化離岸風

場外海海域波場變化，表 3.8 為數值模式初步計算條件與參數設定，模擬彰化離岸風場外海海域流場變化。

表3.8 流場與地形變遷模式計算條件與參數

流場與地形變遷模式波浪計算條件與參數					
輸入條件	外海波高 (m)	週期(sec)	波向	河口平均流 速(m/s)	河口輸砂 (cms)
颱風波浪	10.63	13.69	NNE	2.76 ^a 4.04 ^b	0.3451 ^a 0.5051 ^b
颱風波浪	10.70	13.74	N	2.76 ^a 4.04 ^b	0.3451 ^a 0.5051 ^b
冬季季風波浪	4.54	10.10	NNE	0.157 ^a 0.229 ^b	0.0197 ^a 0.0287 ^b
夏季季風波浪	3.64	9.70	W	0.157 ^a 0.229 ^b	0.0197 ^a 0.0287 ^b
收斂條件殘差 Err	0.001		底床摩擦係數 C_f	0.01	
底質平均濃度 C_0	0.04		底床孔隙率 λ	0.4	
底質顆粒密度 $\rho_d(kg/m^3)$	2650.0		海水密度 $\rho(kg/m^3)$	1033.0	
流場模式 Courant Number			0.9		
地形變遷模式 Courant Number			0.2		

註：上標 a 表示烏溪，上標 b 表示濁水溪

1. 離岸風場設置前

圖 3.19 為 50 年重現期颱風波浪(外海波高 10.63 公尺、週期 13.69 秒、波向 NNE)作用下之平面流場分佈圖。圖 3.20 為 50 年重現期颱風波浪(外海波高 10.70 公尺、週期 13.74 秒、波向 N)作用下之平面流場分佈圖。圖 3.21 為冬季季風波浪(外海波高 4.54 公尺、週期 10.10 秒、波向 NNE)作用下之平面流場分佈圖。圖 3.22 為夏季季風波浪(外海波高 3.64 公尺、週期 9.70 秒、波向 W)作用下之平面流場分佈圖。整體結果顯示在颱風波浪作用下近岸流明顯區域大約在水深 0~20 公尺之間。本案風場範圍因水深有 20~55 公尺深，近岸流場均不明顯，僅局部地區有較大的流速，但均都小於 0.2 m/s。

2. 離岸風場設置後(6MW)

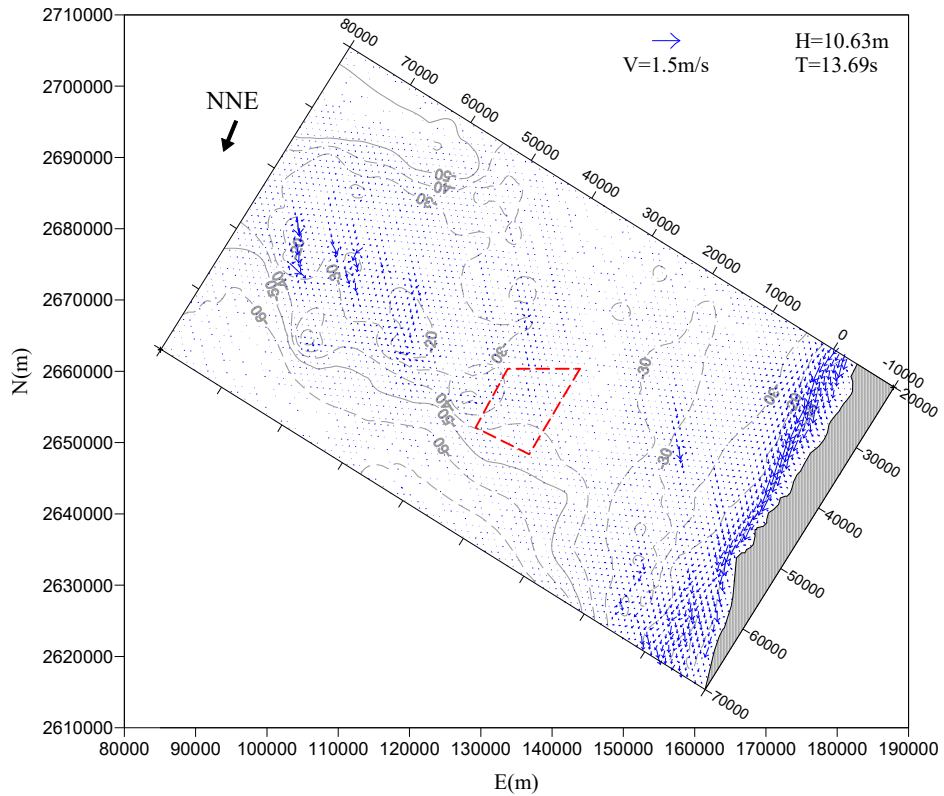
圖 3.23 為 50 年重現期颱風波浪(外海波高 10.63 公尺、週期 13.69 秒、波向 NNE)作用下之平面流場分佈圖。圖 3.24 為 50 年重現期颱風波浪(外海波高 10.70 公尺、週期 13.74 秒、波向 N)作用下之平面流場分佈圖。圖 3.25 為冬季季風波浪(外海波高 4.54 公尺、週期 10.10 秒、波向 NNE)作用下之平面流場分佈圖。圖 3.26 為夏季季風波浪(外海波高 3.64 公尺、週期 9.70 秒、波向 W)作用下之平面流場分佈圖。整體結果顯示在颱風波浪作用下近岸流明顯區域大約在水深 0~20 公尺之間，本案風場範圍因水深有 20~55 公尺深，近岸流場均不明顯，僅局部地區有較大的流速，但均都小於 0.2 m/s。受到風機基柱對波浪遮蔽的影響，風場範圍內部分區域流場流向受風機影響改變，流速大小有略小於離岸風場未設置前的情形。

3. 離岸風場設置後(8MW)

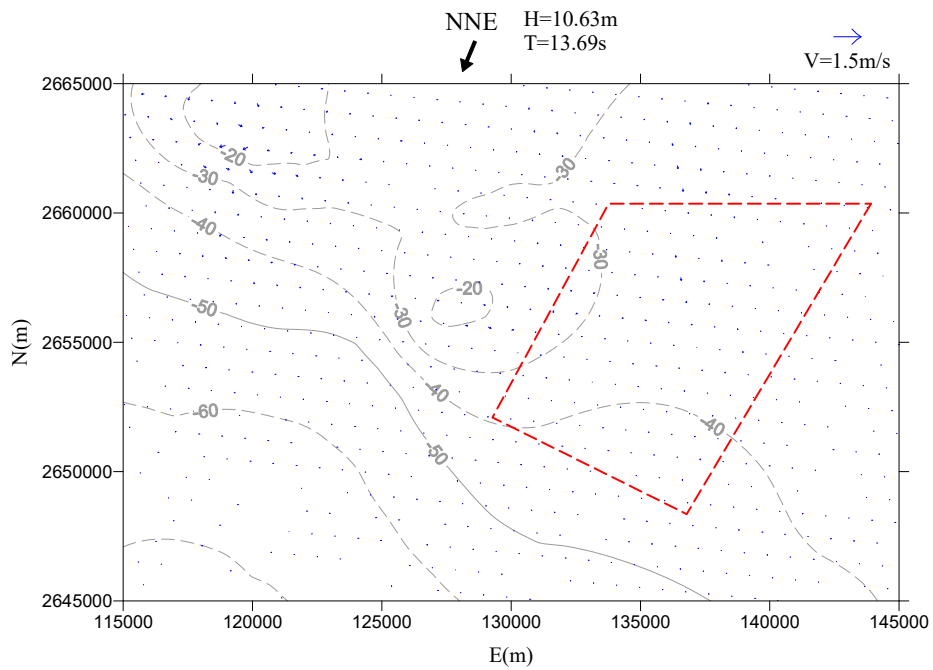
圖 3.27 為 50 年重現期颱風波浪(外海波高 10.63 公尺、週期 13.69 秒、波向 NNE)作用下之平面流場分佈圖。圖 3.28 為 50 年重現期颱風波浪(外海波高 10.70 公尺、週期 13.74 秒、波向 N)作用下之平面流場分佈圖。圖 3.29 為冬季季風波浪(外海波高 4.54 公尺、週期 10.10 秒、波向 NNE)作用下之平面流場分佈圖。圖 3.30 為夏季季風波浪(外海波高 3.64 公尺、週期 9.70 秒、波向 W)作用下之平面流場分佈圖。整體結果顯示在颱風波浪作用下近岸流明顯區域大約在水深 0~20 公尺之間，本案風場範圍因水深有 20~55 公尺深，近岸流場均不明顯，僅局部地區有較大的流速，但均都小於 0.2 m/s。受到風機基柱對波浪遮蔽的影響，風場範圍內部分區域流場流向受風機影響改變，流速大小有略小於離岸風場未設置前的情形。

4. 綜合評估

在彰化離岸風場(第 19 區)的離岸風機設置後對流場影響，在近岸流場的部分所造成的影響幾乎可以說是微乎其微，比較有影響的部分反而在風機本身附近的海域，由於風機的基礎與支承結構的影響，使得風機附近的流場有些許的改變，但只是局部性的影響，對整個大環境的流場來說並沒因風田設置後有太大的變化。

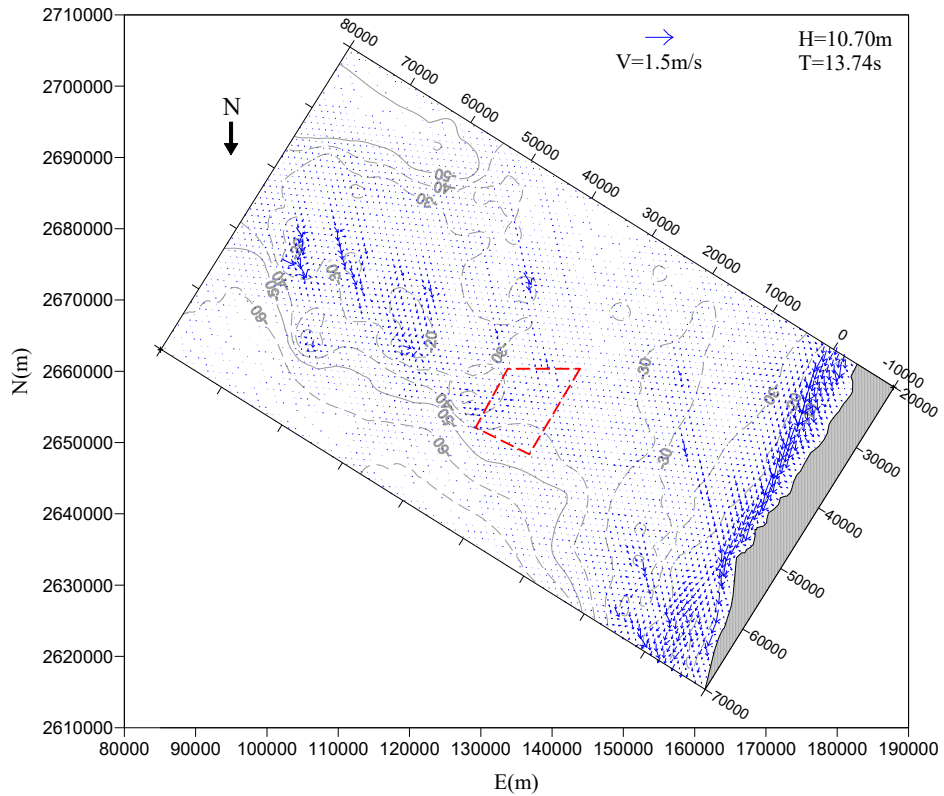


(a) 全域

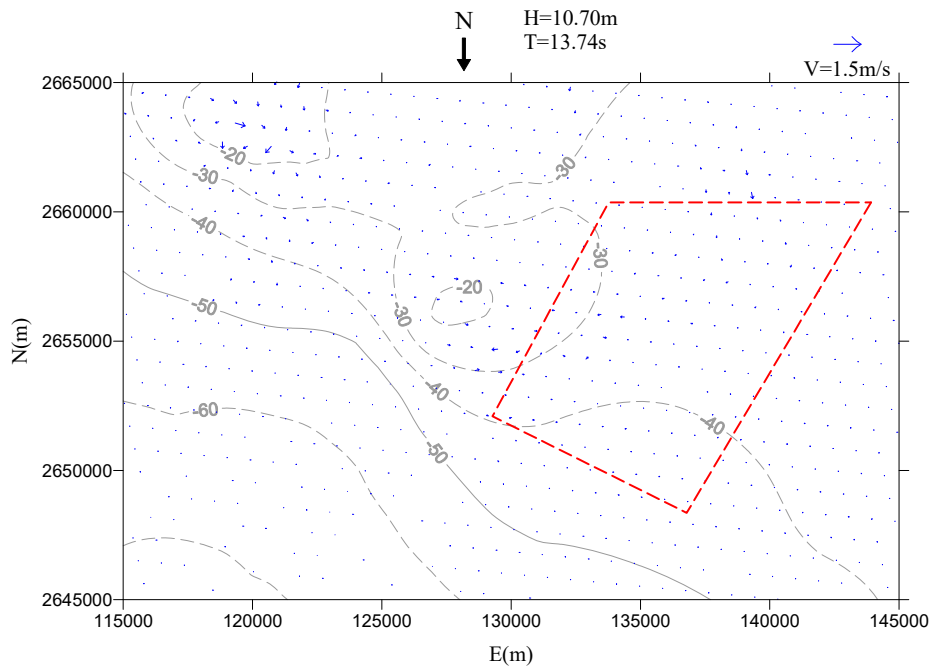


(b) 離岸風場區域

圖3.19 設置前50年重現期颱風流場分佈圖(外海波高10.63公尺、週期13.69秒、波向NNE)

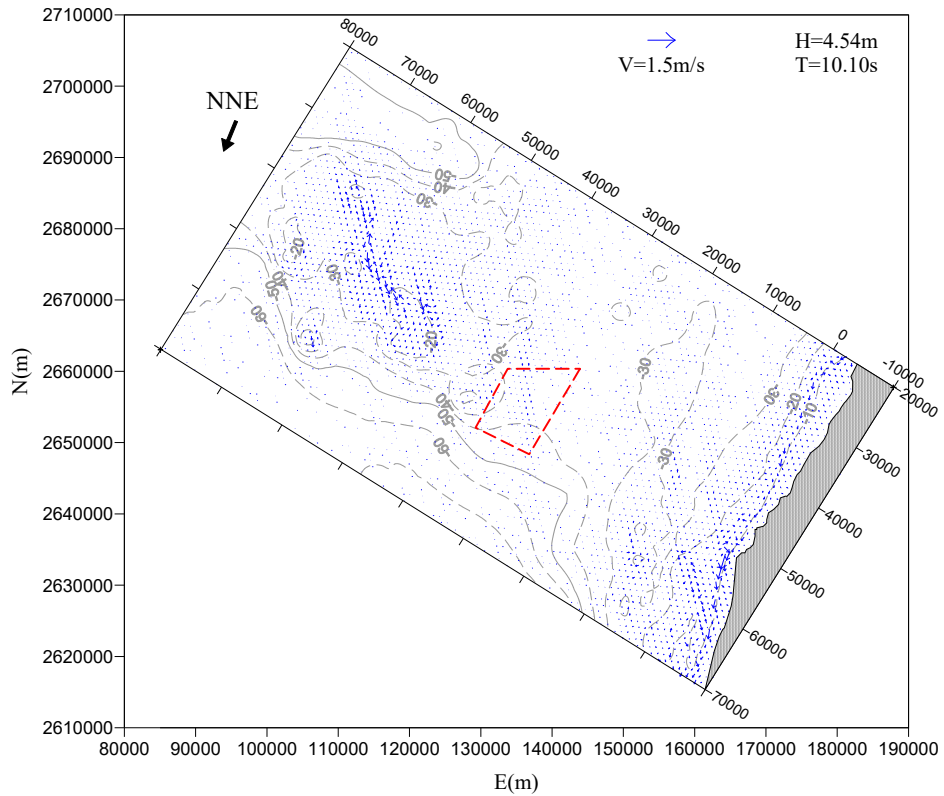


(a) 全域

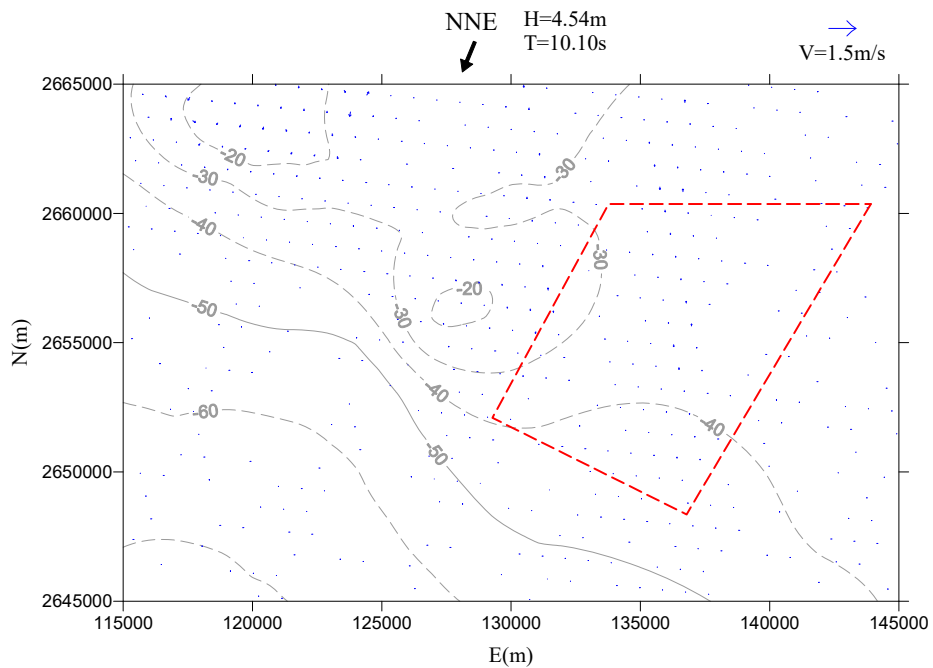


(b) 離岸風場區域

圖3.20 設置前50年重現期颱風流場分佈圖(外海波高10.70公尺、週期13.74秒、波向N)

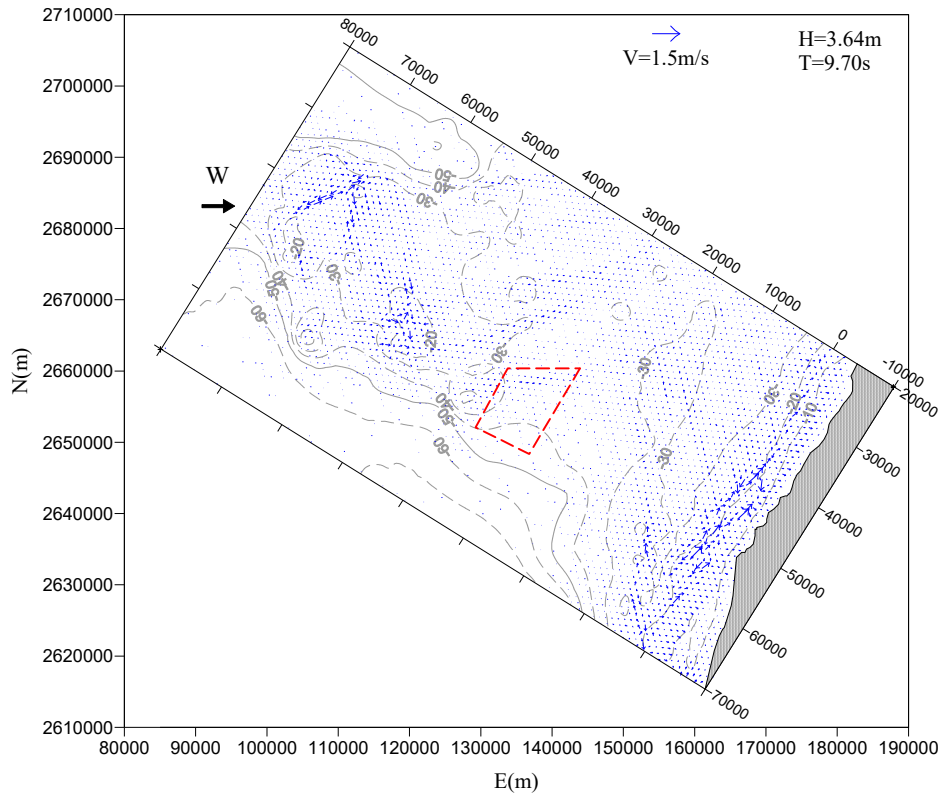


(a) 全域

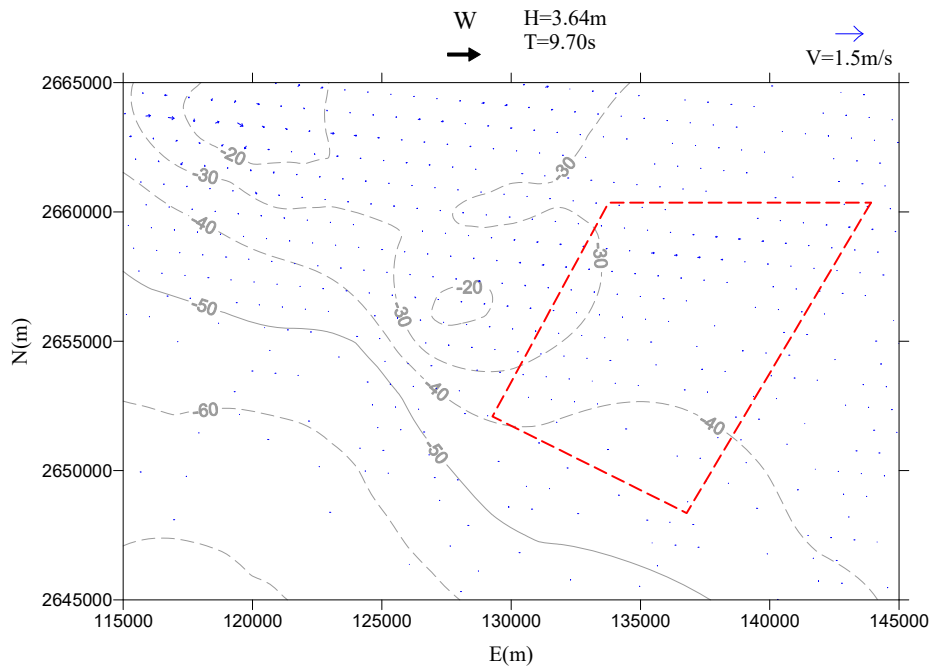


(b) 離岸風場區域

圖3.21 設置前冬季季風流場分佈圖(外海波高4.54公尺、週期10.10秒、波向NNE)

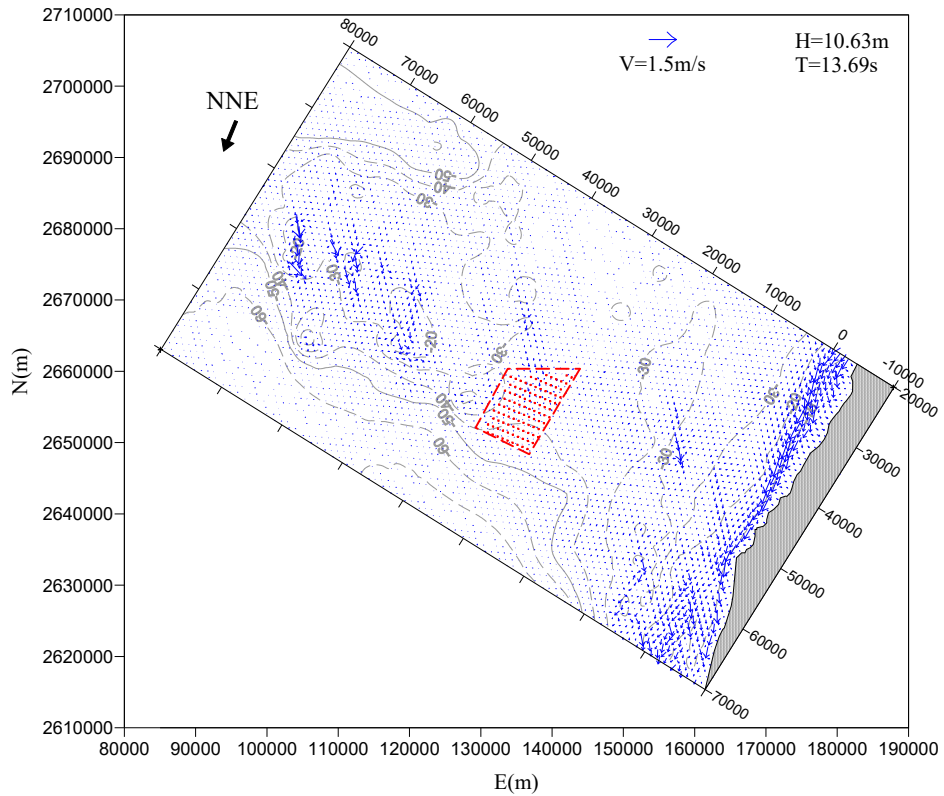


(a) 全域

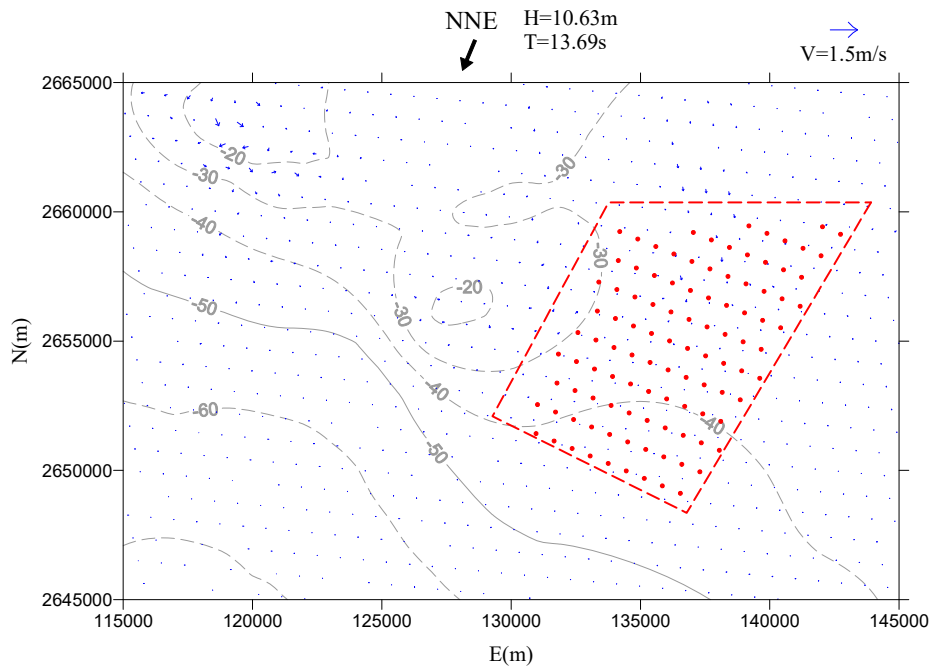


(b) 離岸風場區域

圖3.22 設置前夏季季風流場分佈圖(外海波高3.64公尺、週期9.70秒、波向W)

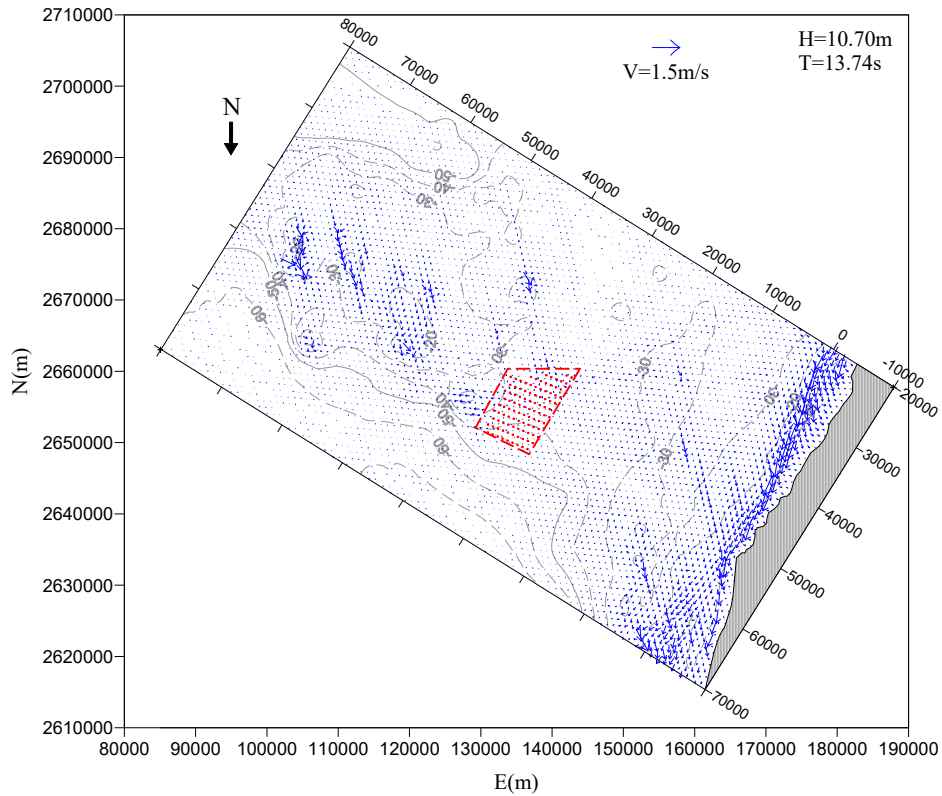


(a) 全域

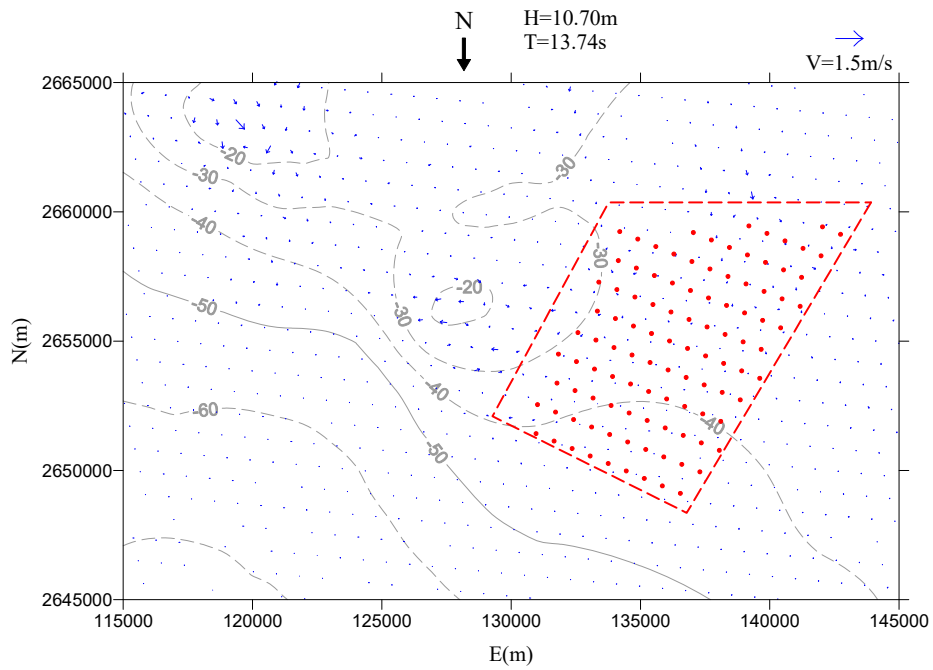


(b) 離岸風場區域

圖3.23 設置後(6MW)50年重現期颱風流場分佈圖(外海波高10.63公尺、週期13.69秒、波向NNE)

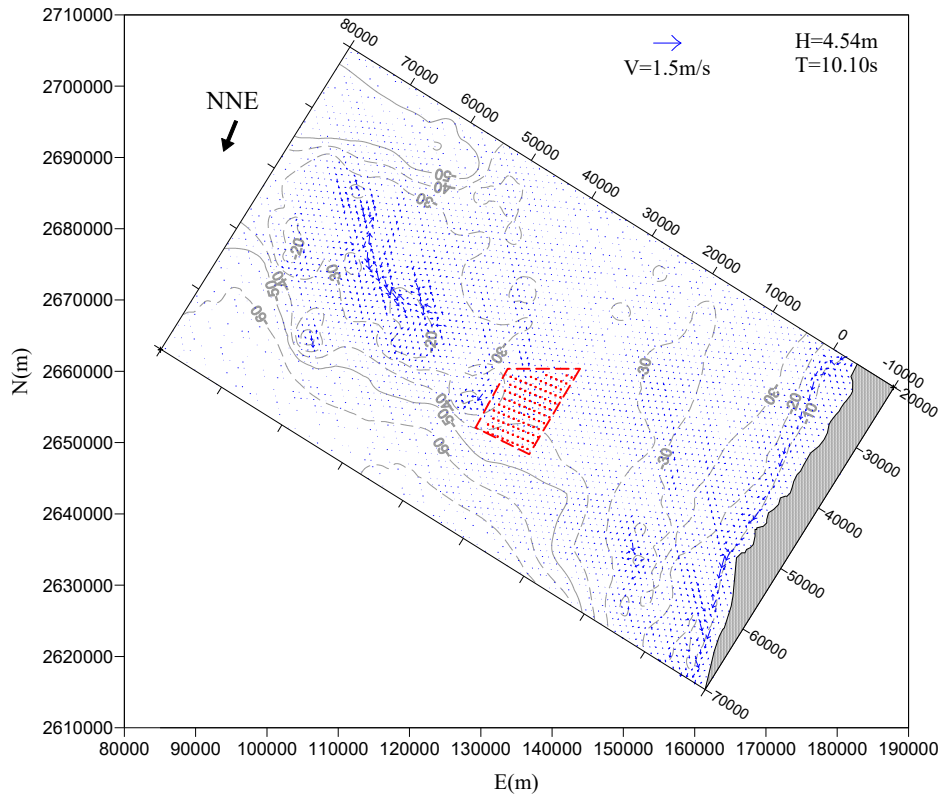


(a) 全域

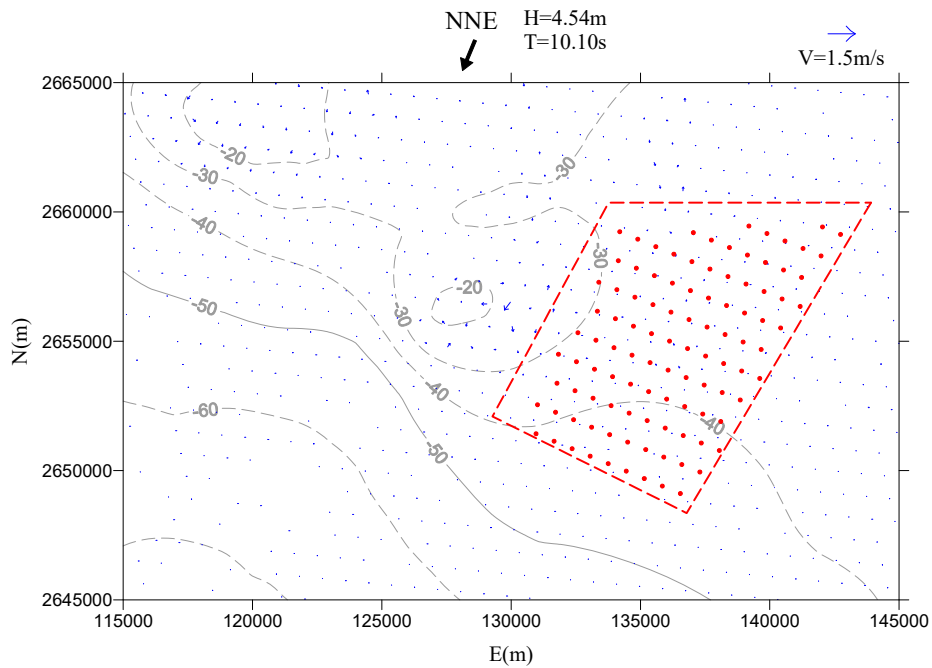


(b) 離岸風場區域

圖3.24 設置後(6MW)50年重現期颱風流場分佈圖(外海波高10.70公尺、週期13.74秒、波向N)

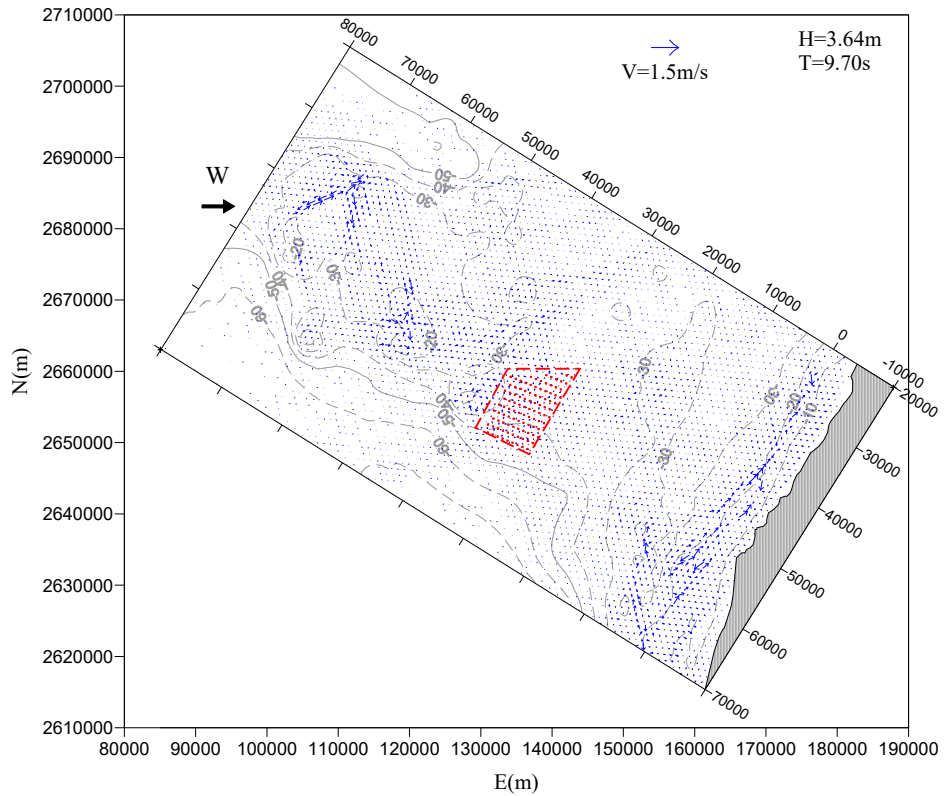


(a) 全域

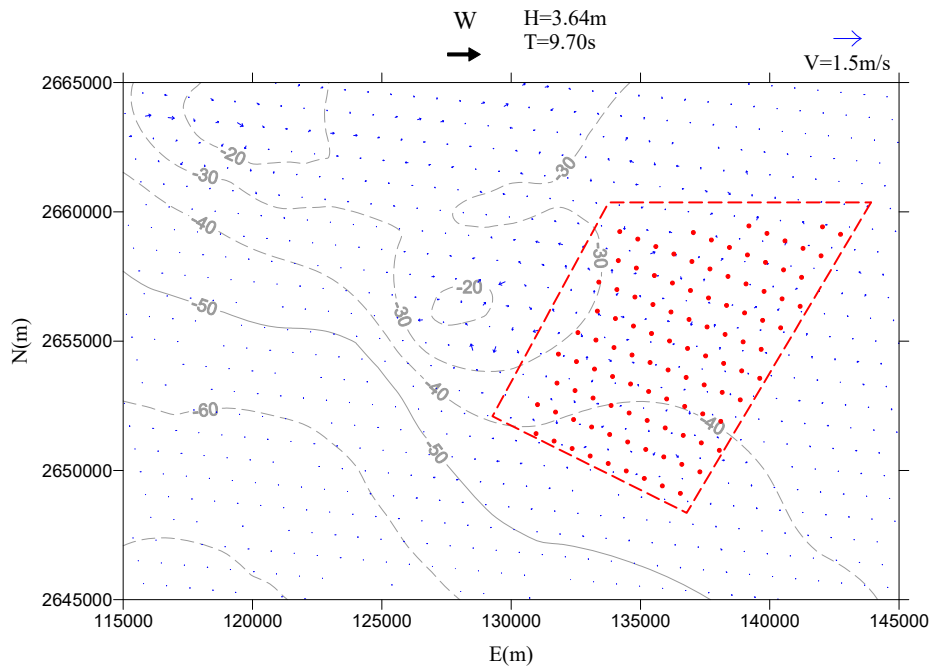


(b) 離岸風場區域

圖3.25 設置後(6MW)冬季季風流場分佈圖(外海波高4.54公尺、週期10.10秒、波向NNE)

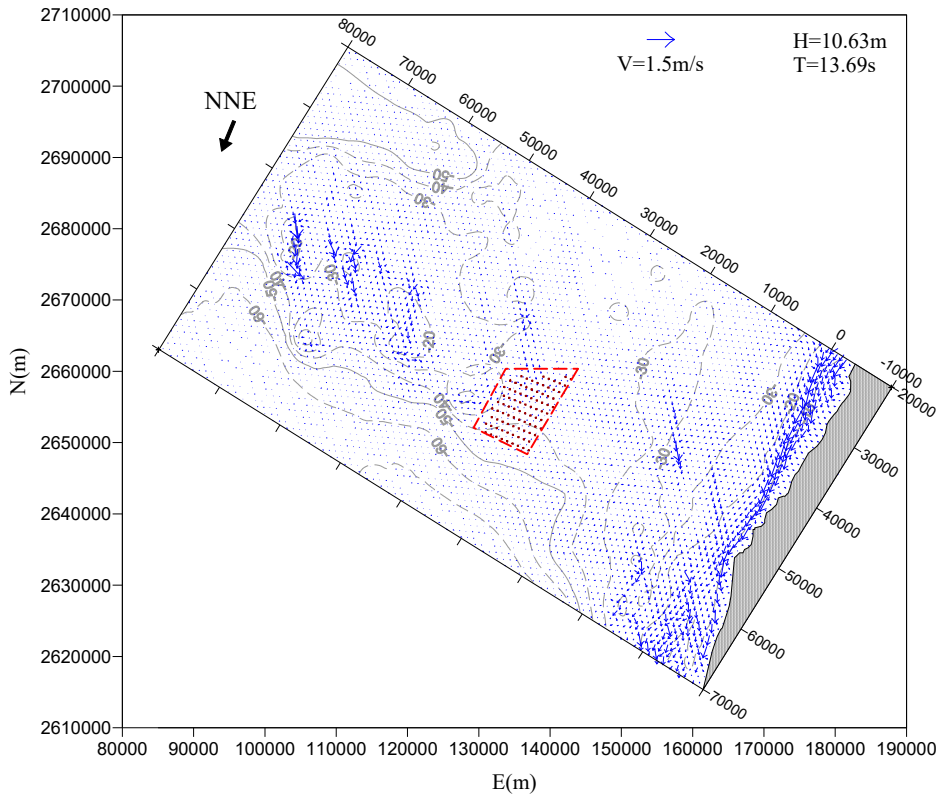


(a) 全域

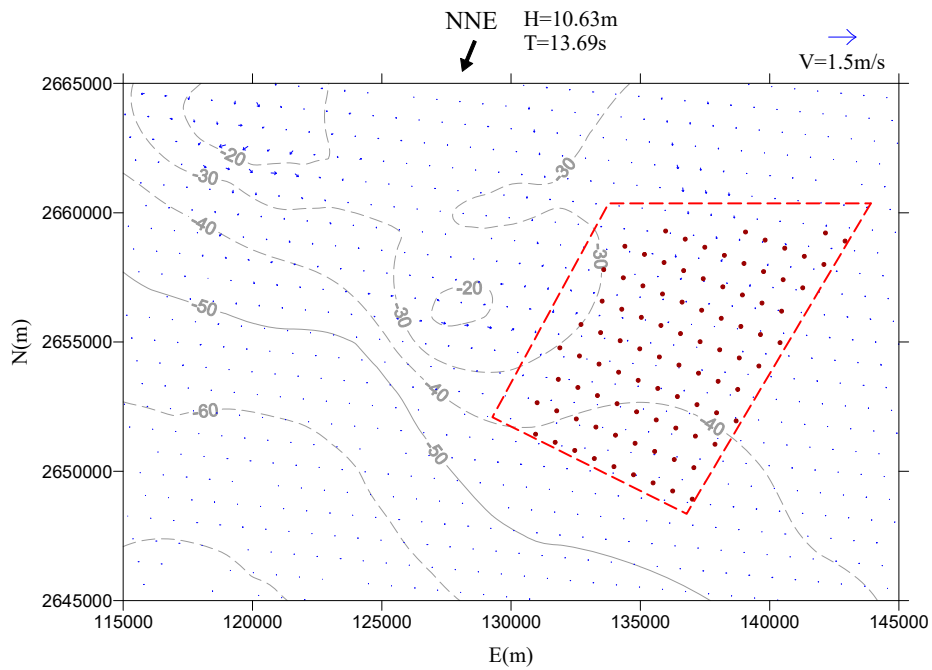


(b) 離岸風場區域

圖3.26 設置後(6MW)夏季季風流場分佈圖(外海波高3.64公尺、週期9.70秒、波向W)

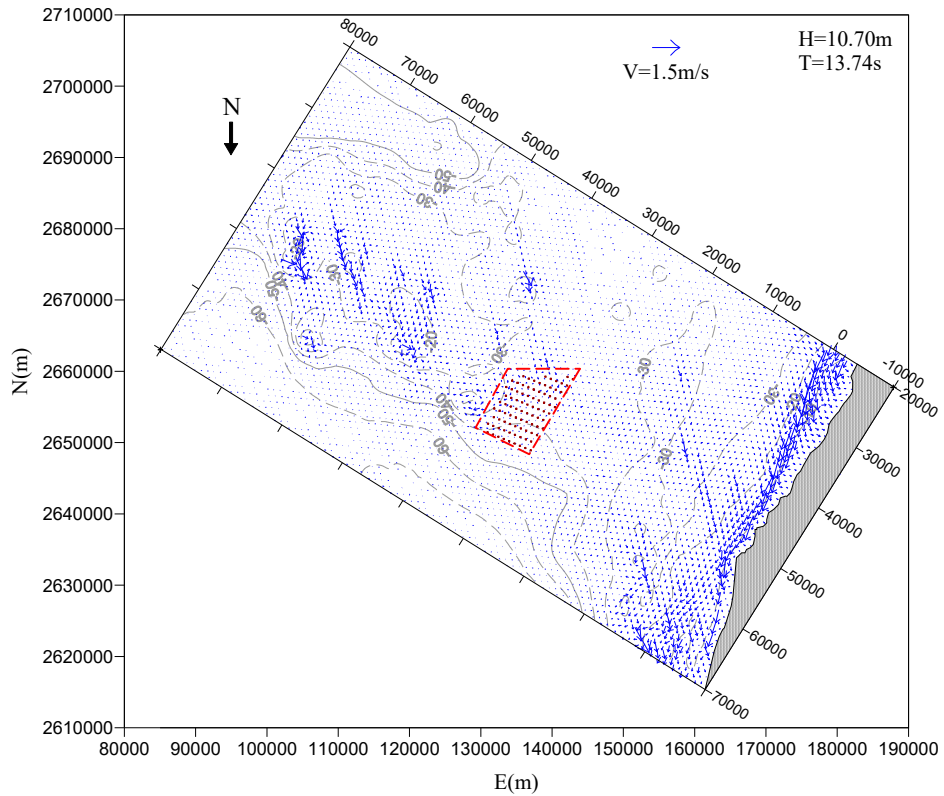


(a) 全域

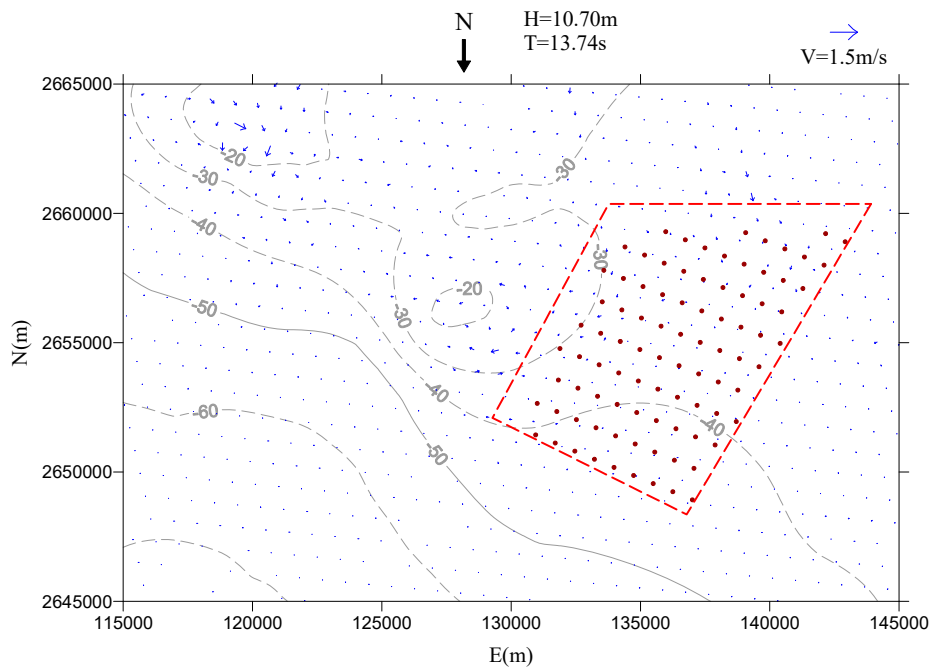


(b) 離岸風場區域

圖3.27 設置後(8MW)50年重現期颱風流場分佈圖(外海波高10.63公尺、週期13.69秒、波向NNE)

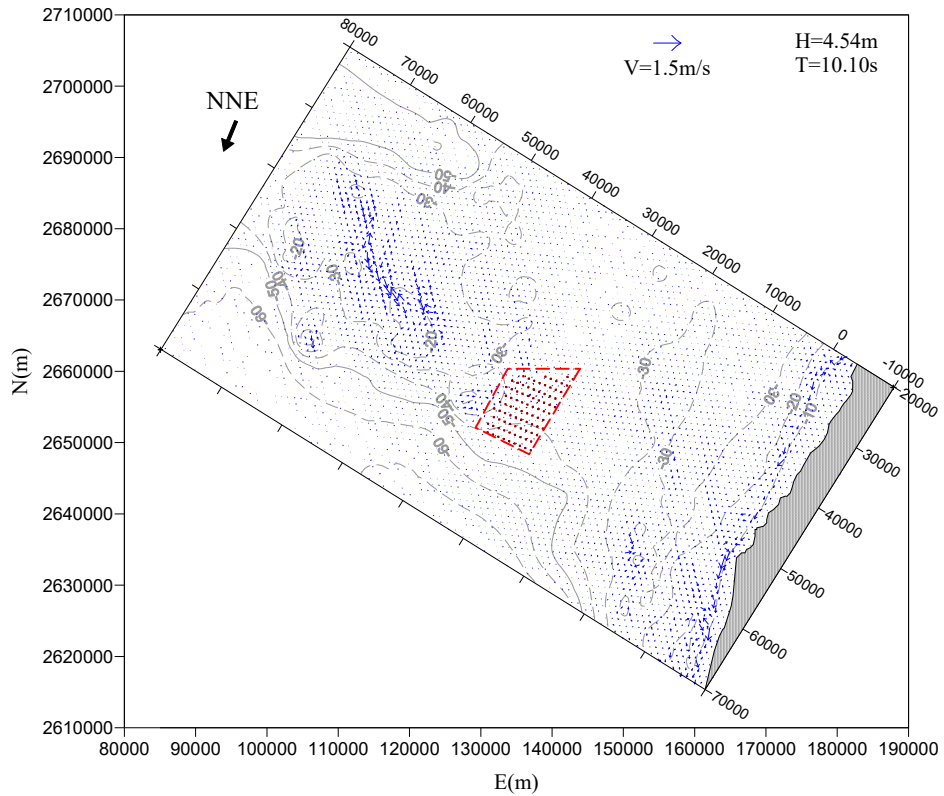


(a) 全域

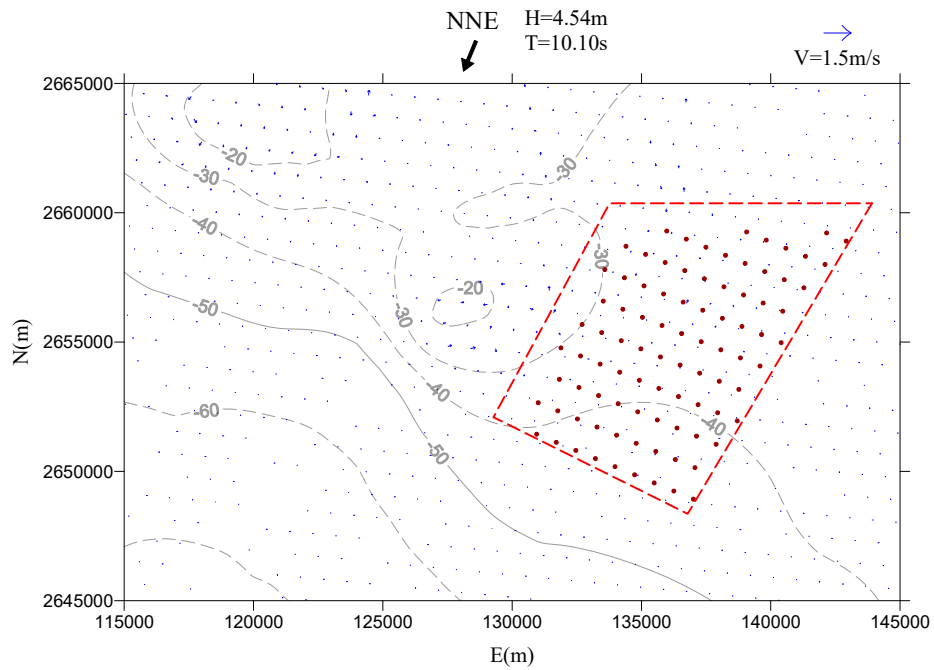


(b) 離岸風場區域

圖3.28 設置後(8MW)50年重現期颱風流場分佈圖(外海波高10.70公尺、週期13.74秒、波向N)

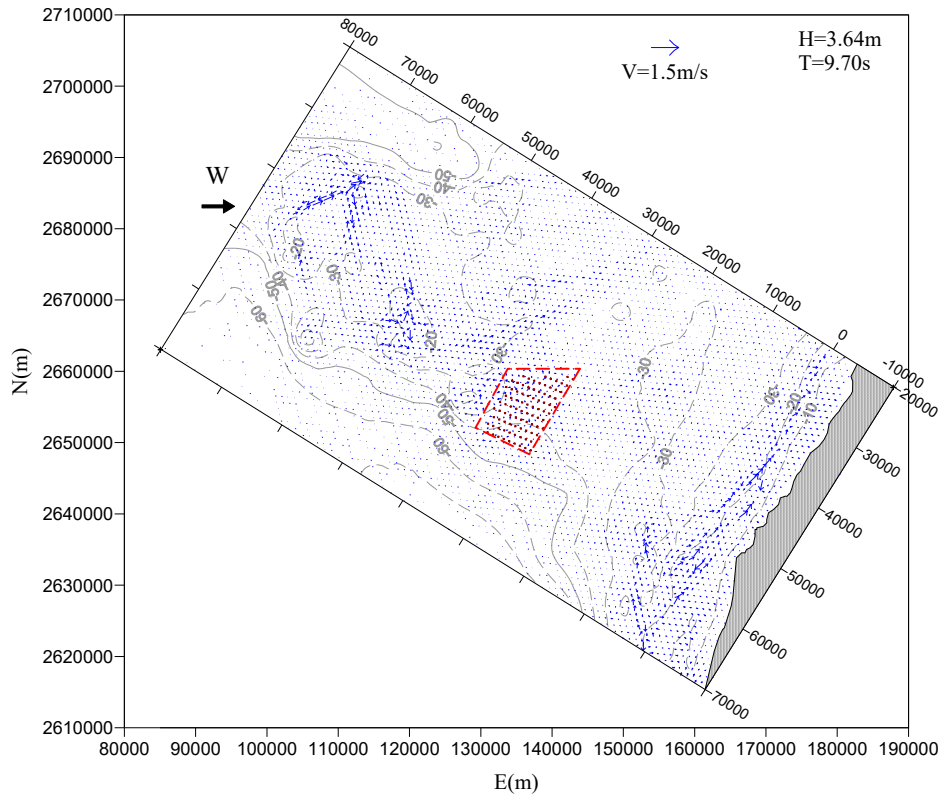


(a) 全域

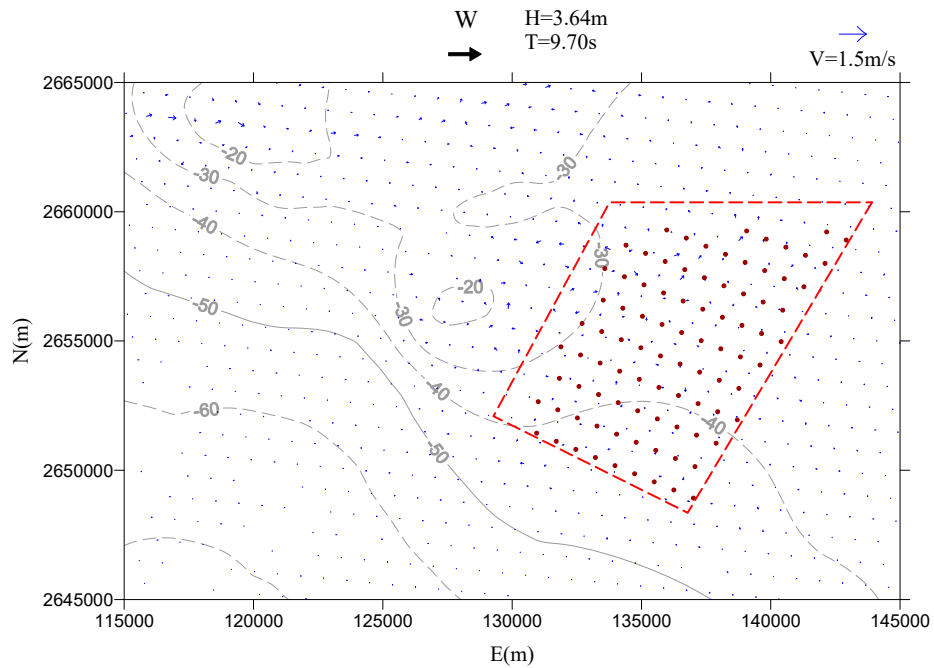


(b) 離岸風場區域

圖3.29 設置後(8MW)冬季季風流場分佈圖(外海波高4.54公尺、週期10.10秒、波向NNE)



(a) 全域



(b) 離岸風場區域

圖3.30 設置後(8MW)夏季季風流場分佈圖(外海波高3.64公尺、週期9.70秒、波向W)

3.4 海岸變遷模式

3.4.1 海岸變遷模式控制方程式

本計畫選取之海岸變遷模式，包含海域地形變化模式以及海岸線變遷模式。前者可模擬平面海域地形短期至中期的侵淤變化趨勢，後者則可以模擬中長期海岸線變遷趨勢。

1. 海域地形變化控制方程式

本計畫選取之海域地形變化模式，採用漂砂連續方程式如下式：

$$-\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + q \right) = 0 \dots\dots\dots(91)$$

式中 q 為輸砂之源或匯， λ 為底質砂粒之孔隙率， q_x 為 x 方向單位寬度漂砂量， q_y 為 y 方向單位寬度漂砂量。

有關漂砂量的計算式甚多，本計畫採用 Yamaguchi 等人(1981)所提之二維漂砂量估算式，此一公式應用在海域地形變化之實例計算中，Yamaguchi 等人(1981)經驗證結果尚稱滿意，其表示式為：

$$q_x = C_0 \frac{\rho}{\rho_d} \left(\frac{\Psi^*}{\Psi_c^*} - 1 \right) hU \dots\dots\dots(92)$$

$$q_y = C_0 \frac{\rho}{\rho_d} \left(\frac{\Psi^*}{\Psi_c^*} - 1 \right) hV \dots\dots\dots(93)$$

其中當 $\Psi^* < \Psi_c^*$ 時， q_x 與 q_y 則為 0。表示由波浪所引起之底質平均濃度，本文依 Yamaguchi 等人(1981)之建議取 $C_0 = 0.04$ ， ρ_d 為底質之密度，而 Ψ^* 為無因次徐爾滋數 (Shields number)， Ψ_c^* 為底質移動之臨界徐爾滋數，其表示式分別為

$$\Psi^* = C_f W_b^2 / \gamma'_d g D_{50} \dots\dots\dots(94)$$

$$\Psi_c^* = C_f V_c^2 / \gamma'_d g D_{50} \dots\dots\dots(95)$$

式中 V_c 為底質移動的臨界流速，此處採用 Hallermeier(1981)所提之計算式：

$$V_c = 0.35D_{50}^{0.25} (\gamma'_d g)^{0.75} \omega^{-0.5} \dots\dots\dots(96)$$

式中 D_{50} 為底質中值粒徑， $\gamma'_d = (\rho_d - \rho) / \rho$ 為底質浸水比重。

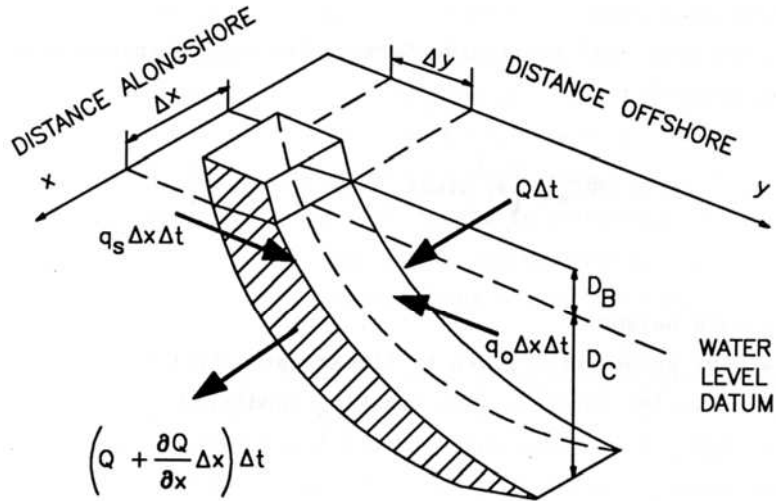
2. 海岸線變遷控制方程式

本計劃是以 GENESIS 模式為基礎來計算海岸線變遷，GENESIS 系統是由瑞典的 Hans Hanson (1987) 所開發的，後經 Hans Hanson 和 Nicholas C. Kraus(1989)，由美國陸軍部的 Coastal Engineering Research Center (CERC) 倡導推廣。

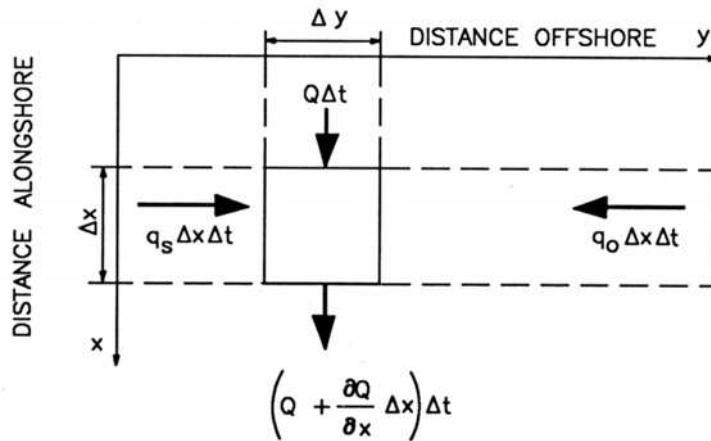
海岸線變遷模式的控制方程式是以質量守恆定律為基礎。以一卡式座標為基準，y 軸代表向、離岸的方向（垂直於海岸線），x 軸代表沿海岸線的方向（圖 3.31）。假設海灘的平均剖面不變，海岸以此剖面形狀往陸地或外海平行移動。若以平均海水面為基準， Δy 代表海岸線位置水平移動的距離， Δx 代表兩相鄰海岸剖面的間隔； D_B 代表波浪所能達到陸側的最大高程； D_C 為海側無顯著漂砂移動的臨界水深。在 Δt 的時間，此區間的輸砂體積為 $\Delta V = (D_B + D_C)\Delta x\Delta y$ ，亦即輸砂在此區間進出的量。若沿岸漂砂率的變化為 ΔQ ，則在此區間兩側邊所產生之沿岸方向體積淨變化量為 $\Delta Q\Delta t = (\partial Q / \partial x)\Delta x\Delta t$ 。假設在離岸 (q_s) 與向岸 (q_o) 的輸砂量之和為 $q (=q_s + q_o)$ ，則由向離岸砂源所產生之體積淨變化量為 $q\Delta x\Delta t$ 。由輸砂量之連續性可得 $\Delta V = (D_B + D_C)\Delta x\Delta y = ((\partial Q / \partial x) + q)\Delta x\Delta t$ 。若 $\Delta t \rightarrow 0$ ，海岸線長期變遷的控制方程式為：

$$\left(\frac{\partial y}{\partial t}\right) + \left(\frac{1}{D_B + D_C}\right)\left(\frac{\partial Q}{\partial x} - q - q_{river}\right) = 0 \dots\dots\dots(97)$$

式中， q_{river} 為來自內陸河川砂源單位時間單位寬度之輸砂量。上式可由數學解析或數值計算方法求解；其中數學解析法適用於理想的邊界情況，而數值計算法中一般以 GENESIS 系統等模式進行實際海岸線變化之預測。模式中的沿岸漂砂量的經驗公式，通常可寫成：



a. Cross-section view



b. Plan view

圖3.31 海岸線變遷計算示意圖(Hanson and Kraus, 1989)

$$Q = (H^2 C_g)_b [a_1 \sin 2\theta_{bs} - a_2 \cos \theta_{bs} (\frac{\partial H}{\partial x})]_b \dots\dots\dots(98)$$

式中， H_b 為碎波之有義波波高； C_{gb} 為碎波狀態下以線性波浪理論求得的群波波速； b 為下標，代表在碎波狀態下的各種波浪條件； θ_{bs} 為碎波時之波峰線與當地海岸線之間的夾角； a_1 及 a_2 各為一無因次的參數，可分別表示為：

$$a_1 = \frac{K_1}{16(\frac{\rho_d}{\rho} - 1) (1 - \lambda) (1.416)^{5/2}} \dots\dots\dots(99)$$

$$a_2 = \frac{K_2}{8\left(\frac{\rho_d}{\rho} - 1\right) (1 - \lambda) \tan \beta (1.416)^{7/2}} \dots\dots\dots(100)$$

式中， K_1 及 K_2 是與當地波浪及漂砂相關之校正或經驗係數； ρ_d 為砂粒的密度； ρ 為海水的密度； λ 為底床砂粒的孔隙率； $\tan \beta$ 為在沿岸漂砂作用下之海灘平均坡度。

式(98)等號右方的第一項代表由斜向入射波浪所造成的沿岸漂砂量。Komar 與 Inman (1970)由追蹤實驗的結果，以均方根的波高來計算漂砂量，訂出 $K_1 = 0.77$ 。Kraus 等人(1988)建議在一般的設計上， K_1 值應在 0.58~0.77 之間較為合理。在工程應用上，大都採用有義波高，因此可藉由 1.416 這個常數轉換為均方根值後，再配合 K_1 之值來估計漂砂量。

式(98)等號右側的第二項代表由沿岸碎波波高的梯度變化($\partial H_b / \partial x$)所計算的沿岸漂砂量。Ozasa 與 Brampton(1980)曾將此波高梯度所造成的影響引用到海岸變遷數值模式。在一開放性的海域，碎波波高梯度所造成的影響皆小於斜向入射波的影響。但在結構物的鄰近及背後區域，因繞射改變碎波波高的分佈，故此項修正有助於改善模式的精確度。

雖然 K_1 與 K_2 的值可由經驗來決定或視為一常數，但在模式的校正中，常被視為一常數，稱為”傳送常數”。 K_1 所代表的是模擬海岸線變遷之時間縮尺及沿岸漂砂率的多寡，在其控制上，需要與式(97)的係數 $1/(D_B + D_C)$ 一致。再者， K_2 的值通常假定等於 K_1 或是 K_1 的半值；惟當使用 $K_2 = K_1$ 時，會誇大結構物鄰近海域海岸線變化的計算及造成數值模擬的不穩定性，因此等值之假設少有人用。

整體而言，在海岸線長期變遷的數值模擬公式中，藉由若干合理的假設與一些近似值的使用，可以表示相當於海岸附近實際的沿岸漂砂狀況，並以 K_1 及 K_2 為模式的校正參數。通常 K 值的大小是以模擬在一段時間內，計算的海岸線與實測的海岸線的比較、沿岸漂砂率的多寡及其方向而定。

(1) 沿岸漂砂的活動深度

在使用 GENESIS 系統時，需給定主要的沿岸漂砂傳送深度。基本上這與碎波帶的寬度有關。Hallermeier (1983) 以深海波浪條件計算 D_{LT0} (沿岸漂砂傳送最大深度)，進而計算海灘剖面之平均坡度 $\tan \beta$ ，

$$D_{LT0} = [2.3 - 10.9(\frac{H_0}{L_0})]H_0 \dots\dots\dots(101)$$

式中， H_0/L_0 為深海波浪尖銳度； H_0 為波浪的深海有義波高； L_0 為波浪的深海波長。

(2) 漂砂運動的臨界水深

海灘剖面上底床砂粒無明顯之移動時，該處之水深稱為「漂砂運動之臨界水深」(D_C)。雖然，臨界水深並不容易量得，但一般可由經驗公式估計，如下式所示：

$$D_C \approx D_{LT0} = [2.3 - 10.9(\frac{H_0}{L_0})]H_0 \dots\dots\dots(102)$$

(3) 河川輸砂

在計算領域範圍中如包含河川出海口，則須考慮河川之向離岸輸砂量，一般以年平均河口輸砂轉換為單位時間單位寬度之輸砂量 q_{river} 。

3.4.2 數值方法

(1) 海域地形變化數值模式

地形變化之模式以漂砂連續方程式為控制式，將式(91)以差分法離散後可得

$$h_{i,j}^{n+1} = h_{i,j}^n + \frac{\Delta t}{1-\lambda} \left(\frac{q_{xi+1,j} - q_{xi-1,j}}{2\Delta x} + \frac{q_{xi,j+1} - q_{xi,j-1}}{2\Delta y} + q \right) = 0 \dots\dots\dots(103)$$

式中上標 n 表時間段。

(2) 海岸線變遷數值模式

在數值解的過程中，需先將沿岸距離切割成某一固定寬度的格點(稱為「格點間隔」)，再將模擬的時間分成微小的時間間隔(稱為「時間間隔」)。假設格點間隔與時間間隔甚小，則可利用有限差分法逐步計算式(98)的數值解。

由圖 3.31 與式(97)，可將式(97)的數學式改寫成有限差分式：

$$\Delta y = -\frac{\Delta t}{D_B + D_C} \frac{\Delta Q}{\Delta x} \dots\dots\dots(104)$$

為方便計算，上式忽略 q 與 q_{river} 對 Δy 所造成的影響。式中， ΔQ 為格點邊界上沿岸漂砂率的變化量。由式(104)可看出，海岸線變化量 Δy 與 Δt 成正比而與 Δx 成反比。

在數值模擬系統中，若將時間與格點間隔放大，則會迅速得到數值解，但其精確度卻反而不足；若將時間與格點間隔縮小，不僅能詳細描述波浪與海岸線狀況，更能增加海岸線變化計算的精確性，惟其計算時間將隨之大幅增加。

若波浪碎波角度與海岸線之間夾角 θ_{bs} 甚小，則可將式(97)簡化，並檢驗數值計算系統的安定性。首先，假設 θ_{bs} 甚小，則 $\sin 2\theta_{bs} \cong 2\theta_{bs}$ 。假設波浪入射角度不隨 x 改變，式(98)中之 Q 可衍生為 $\partial Q / \partial x \approx \partial(2\theta_{bs}) / \partial x \approx 2\partial^2 y / \partial x^2$ ，再代入式(97)成為 (Kraus and Harikai, 1983)：

$$\frac{\partial y}{\partial t} = (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \dots\dots\dots(105)$$

式中，

$$\varepsilon_1 = \frac{2K_1}{(D_B + D_C)} (H^2 C_g)_b \dots\dots\dots(106)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{K_2}{(D_B + D_C)} (H^2 C_g \cos \theta_{bs} \frac{\partial H}{\partial x})_b \dots\dots\dots(107)$$

式(105)為一擴散方程式 (Diffusion-type equation)；其數值安定性可由下式而決定：

$$R_s = \frac{\Delta t (\varepsilon_1 + \varepsilon_2)}{(\Delta x)^2} \dots\dots\dots(108)$$

式中， R_s 為 Courant number。

3.4.3 離岸風場地形變遷數值模擬分析

本計畫首先針對彰化離岸風場(第 19 區)的離岸風機設置前後，進行波高與流場之數值模擬分析。計算領域範圍之地型水深如圖 3.5 所示，根據表 3.8 數值模式計算條件與參數，模擬彰化離岸風場(第 19 區)設置前後的地形變化，模擬的時間為 1 年。

1. 離岸風場設置前

圖 3.32 為彰化離岸風場(第 19 區)設置前數值模式模擬計算領域之地形侵淤變化的結果，整個計算範圍侵淤深度分佈約在 ± 0.3 公尺之間，主要地形侵淤範圍約在水深 0~20 公尺之颱風引致近岸流卓越的區域。

2. 離岸風場設置後(6MW)

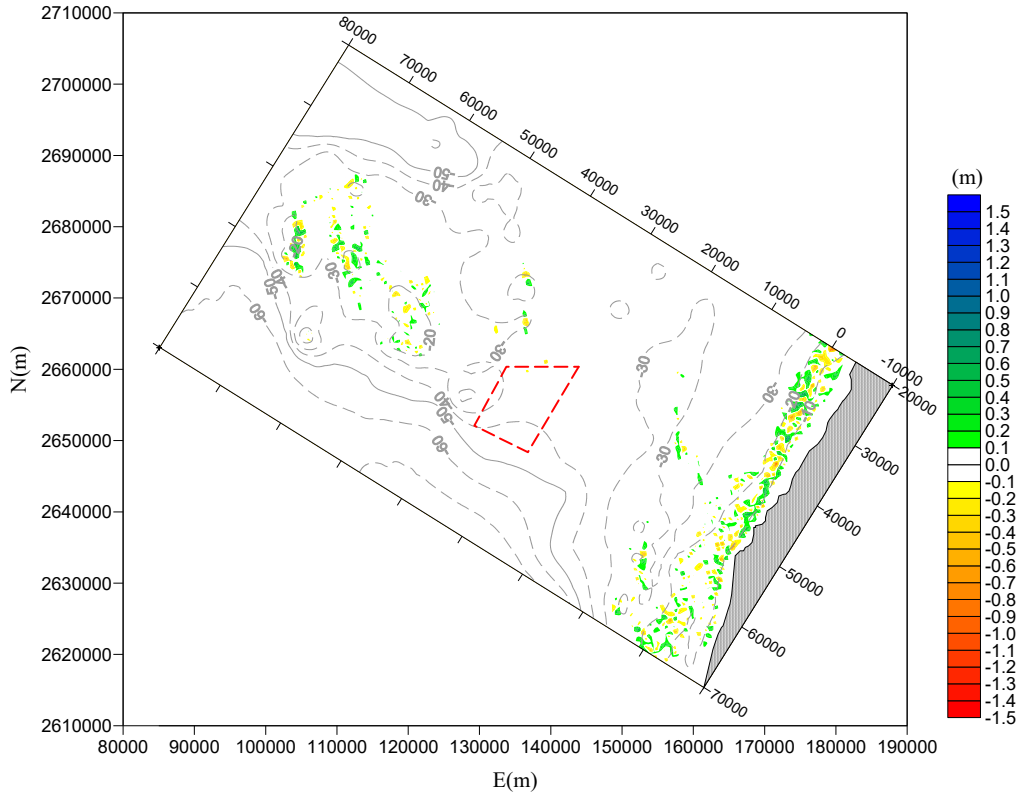
圖 3.33 為彰化離岸風場(第 19 區)6MW 風機設置後數值模式模擬計算領域之地形侵淤變化的結果。從模擬結果可以看到侵淤變化分佈的情形，整個計算範圍侵淤深度分佈約在 ± 0.3 公尺之間，主要地形侵淤範圍約在水深 0~20 公尺之颱風引致近岸流卓越的區域。

3. 離岸風場設置後(8MW)

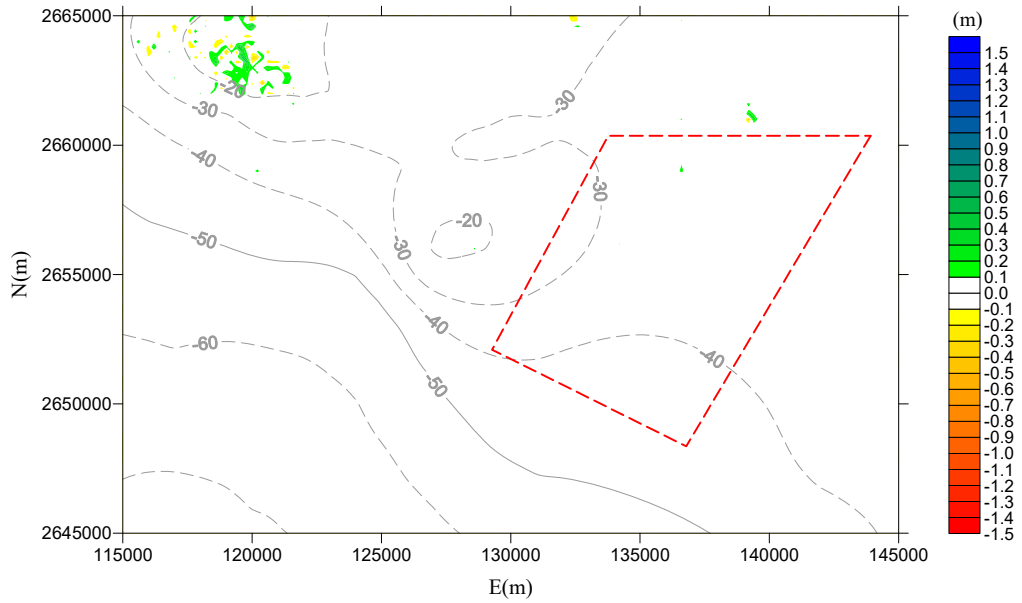
圖 3.34 為彰化離岸風場(第 19 區)8MW 風機設置後數值模式模擬計算領域之地形侵淤變化的結果。從模擬結果可以看到侵淤變化分佈的情形，整個計算範圍侵淤深度分佈約在 ± 0.3 公尺之間，主要地形侵淤範圍約在水深 0~20 公尺之颱風引致近岸流卓越的區域。

4. 綜合評估

在彰化離岸風場(第 19 區)風機設置後對地形侵淤變化的影響，由模擬結果可以看到影響的程度並不大，主要影響海岸地形變化的原因還是以近岸流為主。本案風場範圍距海岸線很遠，基本上流場對海岸地區地形變化的影響幾可忽略。另外，位於風場範圍之海域，在風場設置前後其地形變化幾乎無改變(低於 ± 0.1 公尺)，僅局部極小區域有約 ± 0.3 公尺之間之地形變遷，基本上流場對風場範圍地形變化的影響幾可忽略。

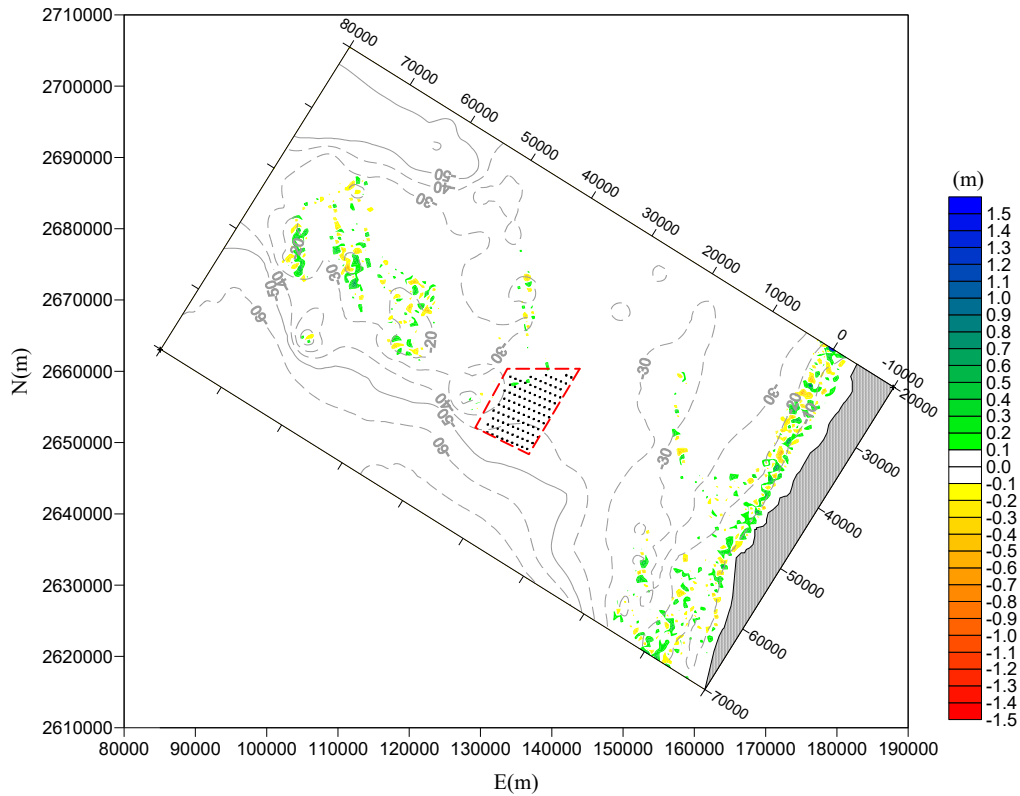


(a) 全域

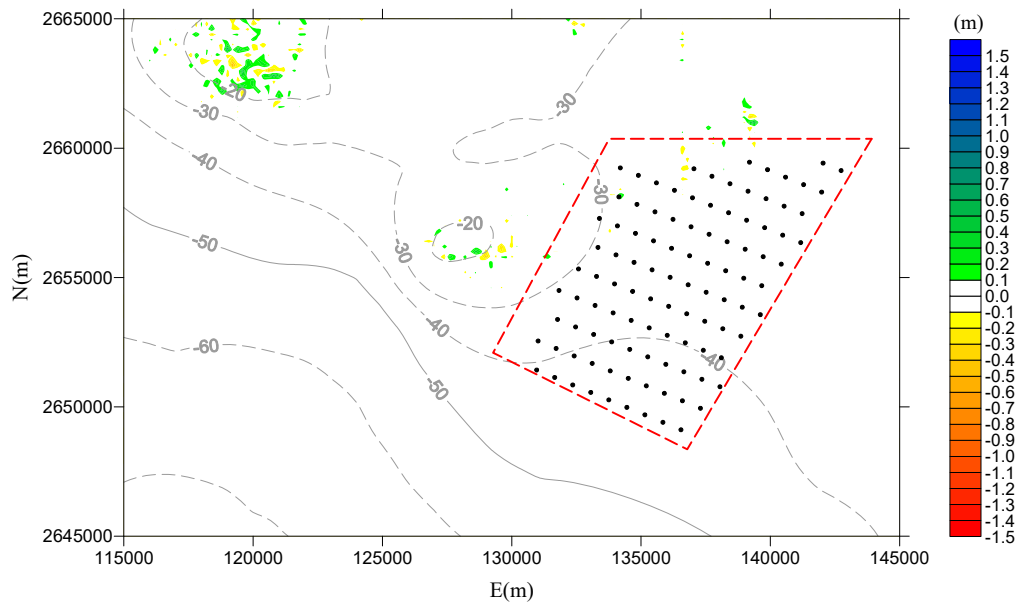


(b) 離岸風場區域

圖3.32 彰化離岸風場(第19區)設置前附近海域數值模擬地形1年侵淤變化圖

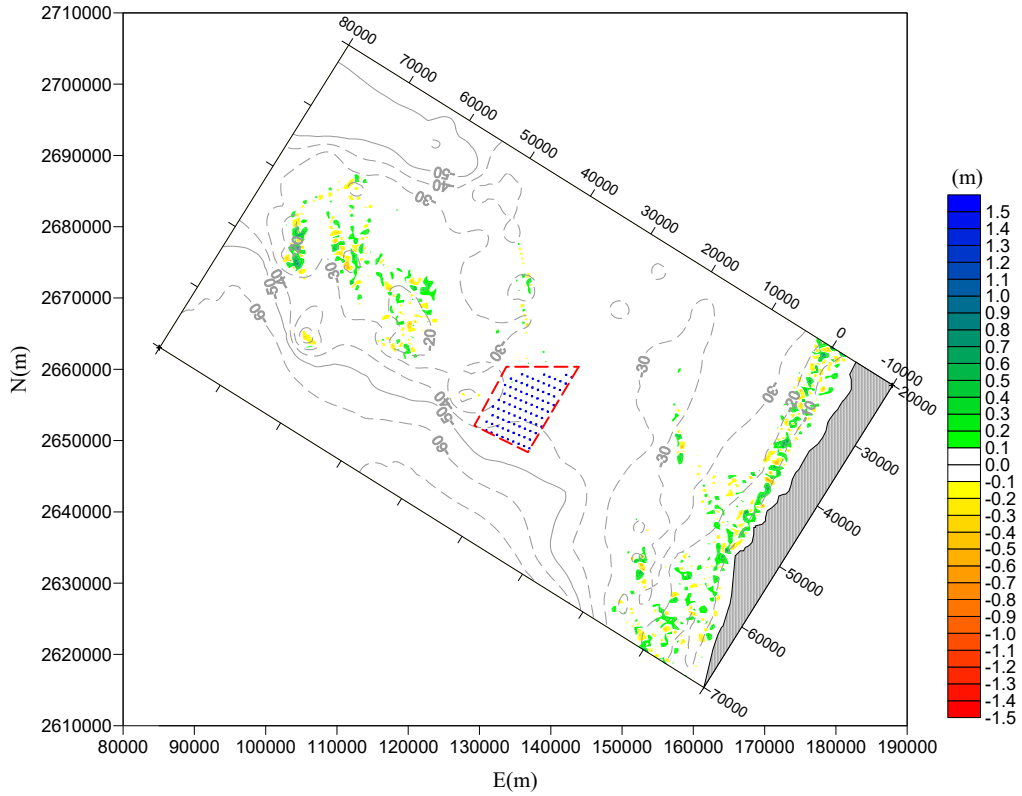


(a) 全域

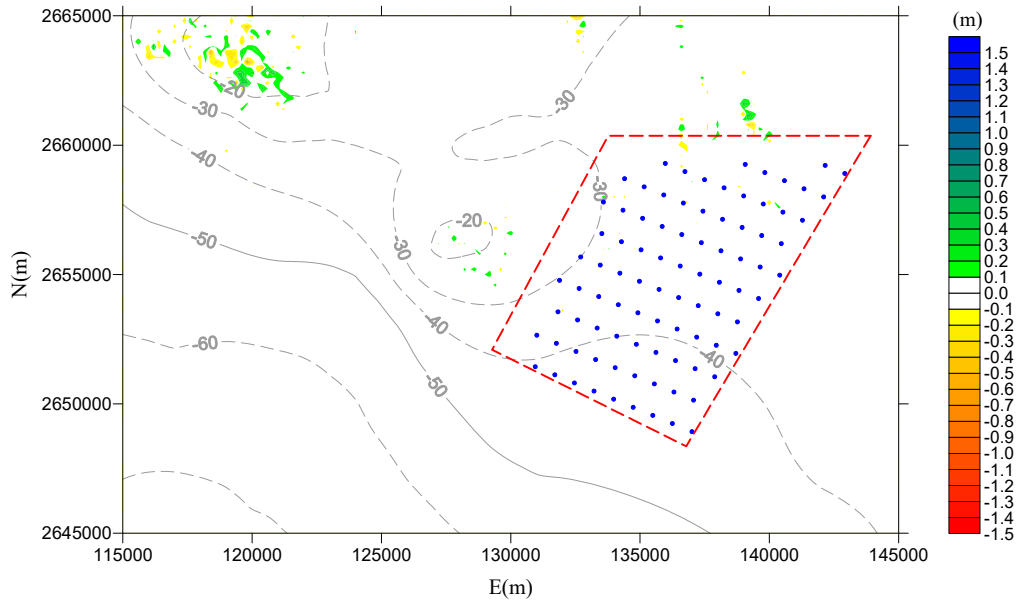


(b) 離岸風場區域

圖3.33 彰化離岸風場(第19區)設置後(6MW)附近海域數值模擬地形1年侵淤變化圖



(a) 全域



(b) 離岸風場區域

圖3.34 彰化離岸風場(第19區)設置後(8MW)附近海域數值模擬地形1年侵淤變化圖

第四章 離岸風場設置後基樁附近地形變動分析

本研究計畫主要在探討彰化離岸風場 (Formosa III) 第 19 區開發對海洋環境所造成的影響，其中以風機支承基礎於離岸風場設置後，海底床的侵蝕造成地形變動，對鄰近海域環境及海岸地形都將會造成影響。數值模式計算的條件為參考五十年重現期颱風波浪條件及風機基礎之參數設定，模擬在 50 年重現期颱風波浪條件之波、流場作用及不同基礎配置下，支承基礎四周地形所受之影響，進而了解風機基礎對於離岸風場海底地形變遷之影響以進一步提供環境影響評估之具體分析成果。

4.1 三維數值模式-Splash3D

本研究計畫針對離岸風場進行三維數值模擬，採用國立中央大學水文與海嘯科學研究所吳祚任教授所發展之 Splash3D 模式進行模擬。該模式採用美國 Los Alamos 國家實驗室 (Los Alamos National Laboratory, LANL) 所發展之 Truchas 程式為基礎，並進行相關功能之開發。Truchas 程式原設計目標為計算火箭中燃料貯存槽內之液態燃料在發射過程中之晃動情形，以及火箭及彈頭之澆鑄模擬。由於運用目的不同，Truchas 對於模擬之準確度有強烈之要求，在吳教授發展下，目前模式可求解大渦模擬動量方程式 (Large Eddy Simulation, LES)，並以區段線性 (Piecewise Linear Interface Calculation) 流體體積法 (Volume of Fluid, VOF) 進行自由液面與底泥運動之模擬。該模式目前較具代表之案例為完成三維核電廠海嘯衝擊模擬之國家型計畫，以及雙園橋三維水理演算與橋墩局部沖刷之模擬，此二案例皆與二維模式成果結合，並精算三維之水理情況，其中包括水位面隨時間之變化、三維流速分布、三維壓力分布及結構物受力等。

Splash3D 多相流數值模式進行模擬分析，該模式要點簡介如下：

- (1) 以流體體積法 (Volume of Fluid, VOF) 描述洪水流況之複雜表面甚至夾氣現象。VOF 法已成功運用於碎波與結構物之交互作用上。對於不同床質之描述亦將由多相 VOF 描述。
- (2) 求解三維 LES。由於流況複雜，本研究不適合採用深度積分之模式，例如 FLOW2D，而應直接求解三維 Navier-Stokes 方程式，並配合紊流模式。如前所述，本研究所採用之紊流模式為 LES。
- (3) 以雙黏性流描述泥砂運動。使用雙黏性流描述泥砂運動之優點在於其不僅可反應泥砂受到剪力作用而產生之表面運移，亦可反應由於壓力分布不均所產生之正向力作用。此作用在洪峰來臨時，表面流況為跌水或水躍時最

為明顯。過去之前研究多僅以流速以及表面沖刷之關係加以模式化，而忽略壓力差之影響，並不適用洪峰來臨時之情形。

- (4) 以部份網格法 (Partial-Cell Treatment, PCT) 配合不規則網格進行離散。本研究將考慮真實地形，以海岸地形探勘之結果，以 PCT 法直接帶入網格中，並以不規則網格局部加密橋墩周圍，以節省計算量，並達到需要之精度。

4.2 數值模擬條件及模型配置

為評估風機基樁對於離岸風場地形之影響。本研究參考玉山能源提供之 19 區五十年重現期颱風波浪條件 (表 4.1)，及參考風機基樁之設置圖 (圖 4.1 及圖 4.2)，圖 4.3 為玉山能源離岸風場之位置示意圖。依據上述資料進行情境模擬，水深方面分別為 30 m、50 m 水深。桁架基樁設置則為未補樁及補樁兩種設置，基樁之設置以圖 4.1 為基樁進行建模，桁架式基樁旁之補樁尺寸及位置則參考圖 4.2 設置。波浪條件方面則依不同風場區域而有兩種波浪條件。流況為波浪與海流同時存在之情況。本研究探討 19 區於兩種水深條件下，風機周圍之地形變遷情況，並比較未補樁及補樁時之地形變遷差異。

表 4.1 19 區離岸風場五十年重現期颱風於各水深之波浪條件

水深 (m)	30.00	40.00	50.00
波高 (m)	10.70	10.70	10.70
週期 (sec)	13.74	13.74	13.74
波向	N	N	N

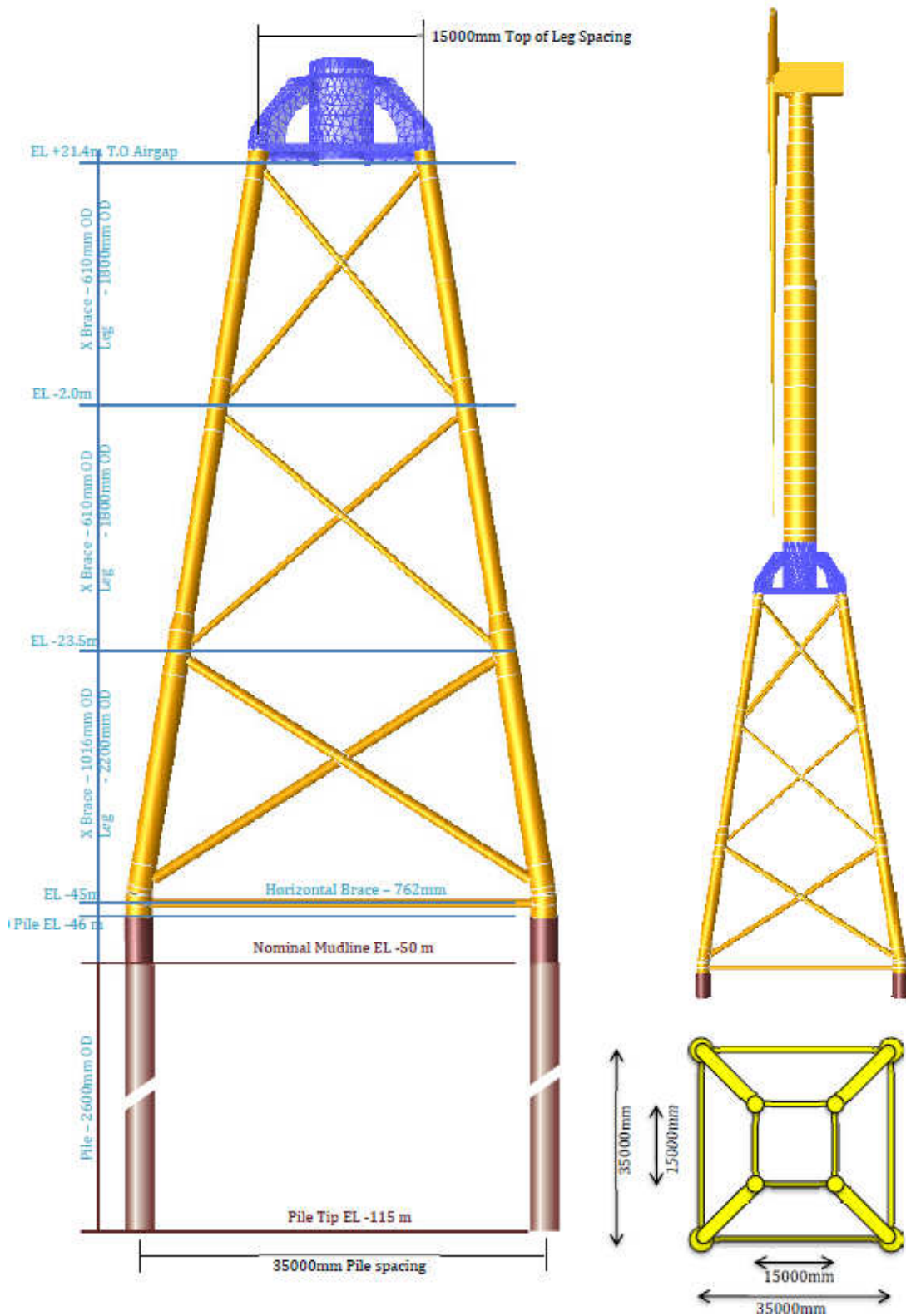


圖4.1 未補樁之桁架式風機設置圖。圖中OD為外徑。(資料來源:玉山能源)

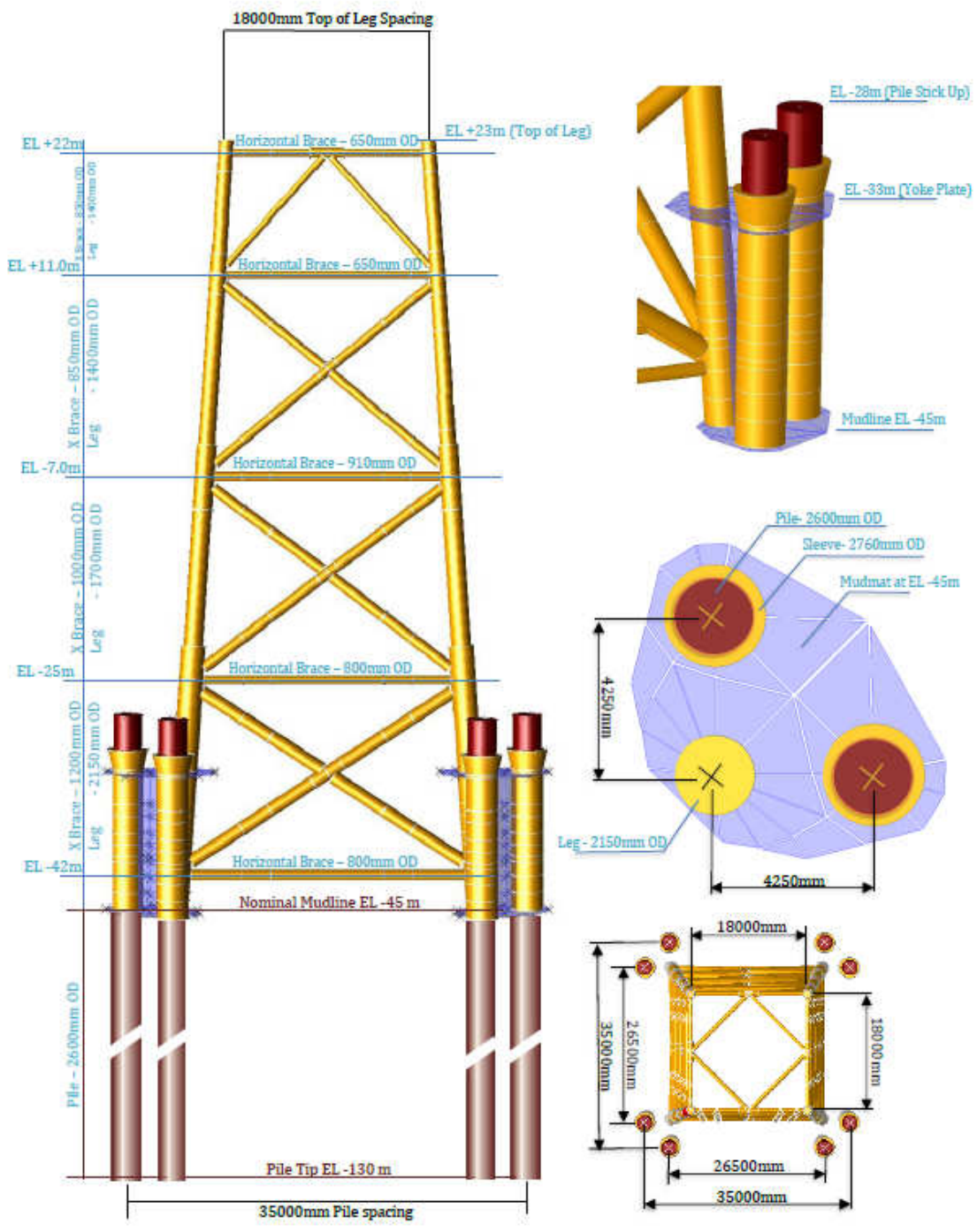


圖4.2 補樁之桁架式風機示意圖。圖中OD為外徑。(資料來源:玉山能源)

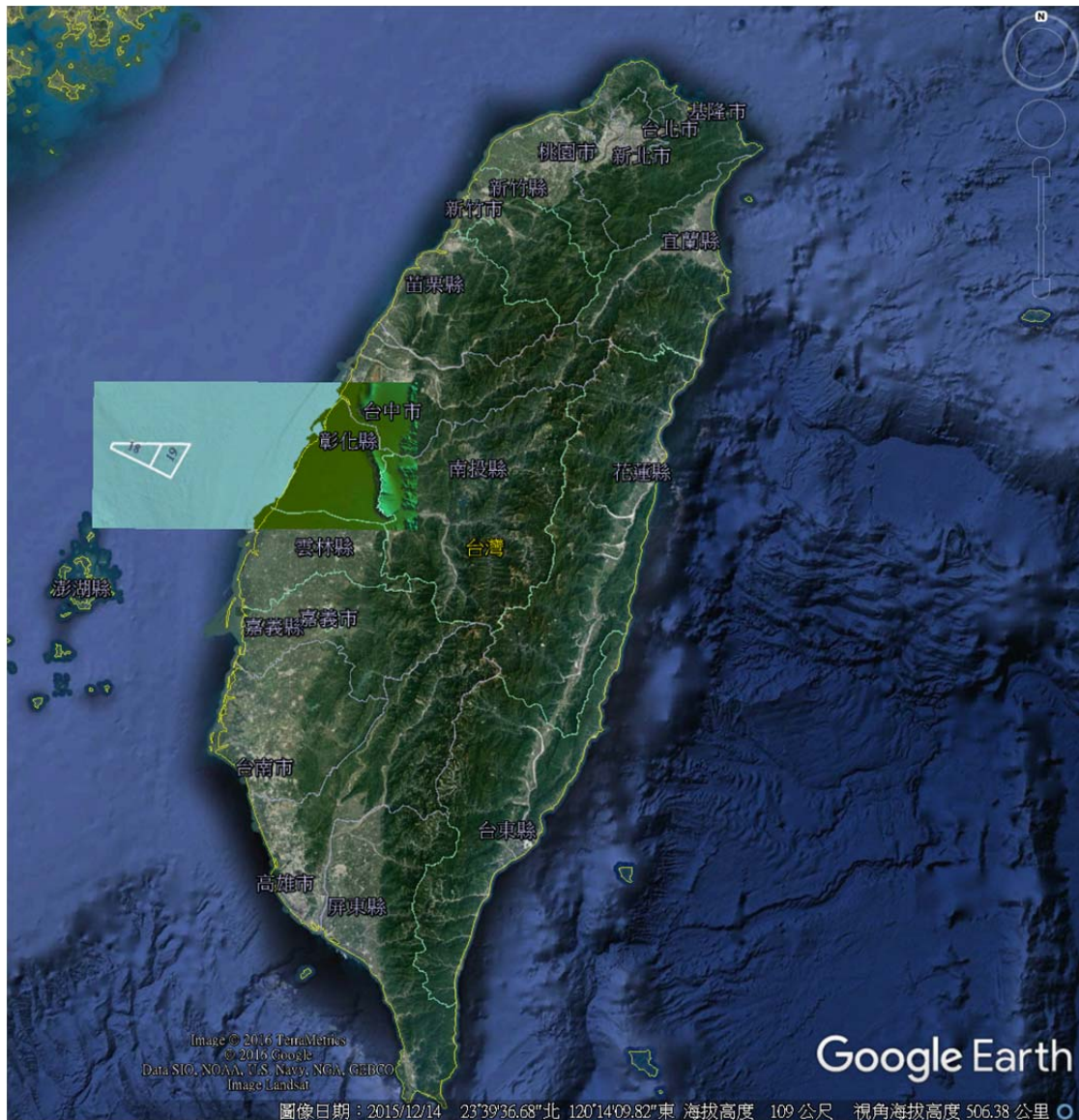


圖4.3 玉山能源離岸風場位置圖。圖中白框為離岸風場位置。編號為風場編號。

4.3 19 區離岸風場之風機周圍沖刷評估

本研究先探討於不同水深條件下地形變遷之情況，而後探討未補樁及補樁時風機周圍之沖刷分布。模擬之海流流速因考量安全係數之關係設定為 2.0 m/s；波浪條件參考表 4.1 設定為波高 10.70 m，週期 13.74 秒。圖 4.4 考慮波浪及海流之模擬上視圖及圖 4.5 考慮波浪及海流之模擬側視圖

為模擬設置圖，總模擬範圍 $X=0.0$ 至 $X=1500.0$ ； $Y=-100.0$ 至 100.0 ； $Z=-5.0$ 至 $Z=70.0$ 。於 $Z=-5.0$ 至 0.0 設置底泥。風機基樁周圍之範圍， $X=375.0$ 至 $X=425.0$ ， $Y=-25.0$ 至 $Y=25.0$ 及 $Z=-5.0$ 至 $Z=70$ ，網格解析度為 1.0 m。上游邊界為海流入流邊界，流速為 2.0 m/s，並配合內造波機。下游邊界前設置消波區域以消除波

浪之反彈，下游邊界則為靜水壓邊界。底床邊界為 No-Slip，上邊界為 P=0 開放邊界。於 Z=-5.0 至 0.0 設置底泥。

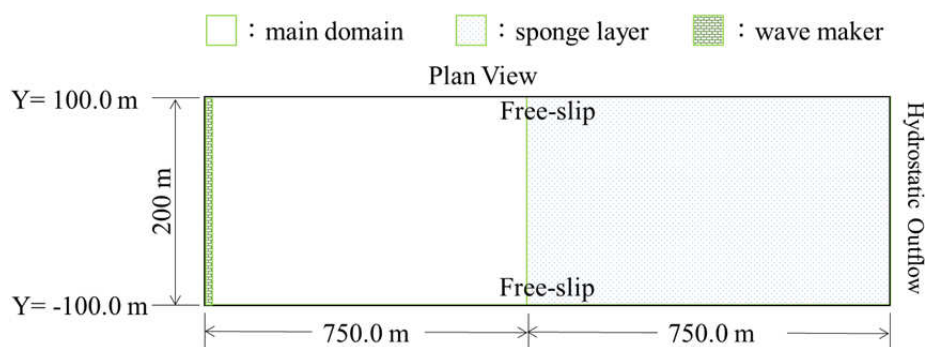


圖4.4 考慮波浪及海流之模擬上視圖

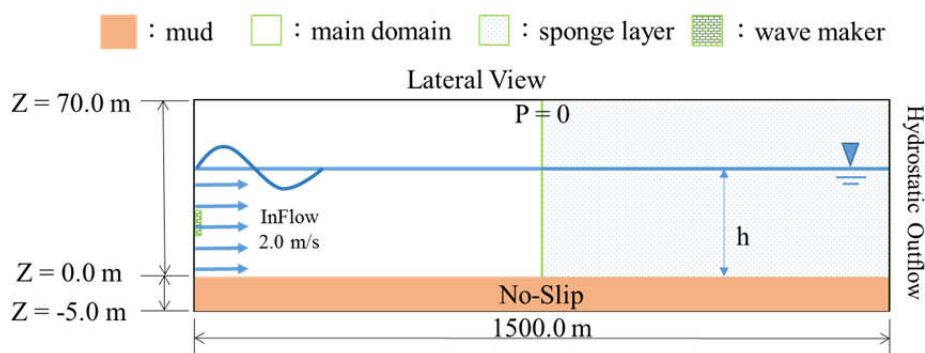


圖4.5 考慮波浪及海流之模擬側視圖

圖 4.6 19 區 30 m 水深地形沖刷圖。圖中色階為地形高程，單位 m。半透明平面為水面。(a) 46.0 秒 (b) 58.0 秒 (c) 69.0 秒為 19 區水深 30 m 時之風機基樁周圍地形變化圖，圖中色階表示地形高程，單位 m。半透明平面為水面。當 46.0 秒時風機基樁周圍有沖刷深度約 0.1 m 之沖刷分布；而後 58 秒至 69 秒時風機周圍之沖刷分布無明顯改變。

圖4.7 19區30 m水深地形沖刷上視圖。圖中色階為地形高程，單位m。(a) 46.0 秒 (b) 58.0秒 (c) 69.0秒

為以俯視角度觀看之地形沖刷分布圖，圖中色階表示地形高程，單位 m。46.0 秒時，以風機基樁為中心向其四周延伸約 2 m 長之沖刷分布，沖刷深度約 0.1 m，所占面積約為 4.0 m²；下游側之風機基樁後方之有面積約 18.0 m² 之沖刷區域，沖刷深度約 0.1 m。58.0 秒時，風機基樁前方之沖刷分布變化不明顯。下游側風機基樁後方之沖刷區域由 46 秒時之 Y=20.0 至 Y=15.0 及 Y=-15.0 至 -20.0

縮小為 $Y=15.0$ 至 $Y=17.0$ 及 $Y=-15.0$ 至 $Y=-17.0$ 。69.0 秒時，風機周圍之沖刷分布無明顯改變。

圖 4.8 19 區 50 m 水深地形沖刷圖。圖中色階為地形高程，單位 m。半透明平面為水面。(a) 46.0 秒 (b) 58.0 秒 (c) 69.0 秒

為 19 區水深 50 m 時之風機基樁周圍地形變化圖，圖中色階表示地形高程，單位 m。半透明平面為水面。46.0 秒時，上游側基樁前有沖刷深度約 0.1 m 之沖刷分布；下游側基樁後方有沖刷深度 0.2 m 之沖刷區域。58.0 秒時上游側基樁側邊有堆積高度約 0.1 m 之堆積區；下游側基樁前方出現沖刷深度約 0.2 m 之沖刷分布，後方之沖刷分布無明顯變化。69.0 秒時，上游側基樁前方之沖刷分布，沖刷深度加深至 0.5 m。上游側基樁後堆積高度約 0.4 m 之堆積區；下游側基樁周圍則有沖刷深度約 0.25 m 之沖刷分布。

圖 4.9 19 區 50 m 水深地形沖刷上視圖。圖中色階為地形高程，單位 m。(a) 46.0 秒 (b) 58.0 秒 (c) 69.0 秒

為 19 區 50 m 水深時之地形沖刷上視圖，圖中色階表示地形高程，單位 m。46.0 秒時，上游側風機基樁前方 $X=381.2$ 至 $X=380.0$ ， $Y=15.5$ 至 $Y=19.5$ 及 $Y=-15.5$ 至 $Y=-19.5$ 處，有沖刷深度 0.1 m 之沖刷分布，上游側基樁後方 $X=383.8$ 至 $X=387.8$ 之沖刷分布，沖刷深度約 0.1 m；下游側基樁後方 $X=418.8$ 至 421.8 ， $Y=15.5$ 至 $Y=19.0$ 及 $Y=-15.5$ 至 -19.0 處，有沖刷深度約 0.1 m 之沖刷分布。58.0 秒時，上游側基樁前方 $X=378.2$ 至 $X=381.2$ ， $Y=15.0$ 至 $Y=20.0$ 及 $Y=-15.0$ 至 $Y-20.0$ 處，有沖刷深度 0.25 m 之沖刷區域。基樁後方 $X=383.8$ 至 $X=386.8$ ， $Y=17.0$ 至 $Y=18.8$ ， $Y=-17.0$ 至 -18.8 處，有堆積高度約 0.1 m 之堆積區；下游側基樁前方 $X=410.2$ 至 $X=416.2$ ， $Y=14.0$ 至 $Y=21.0$ 及 $Y=-14.0$ 至 $Y-21.0$ 處，有沖刷深度 0.2 m 之沖刷區域。基樁後方之沖刷分布無變化。69.0 秒時，上游側基樁前方之沖刷分布範圍無明顯變化，但其沖刷深度達 0.5 m。基樁後方之堆積區域，堆積高度增加至 0.4 m；下游側基樁之沖刷情況無特別變化。

圖 4.10 19 區 30 m 水深補樁後地形沖刷圖。圖中色階為地形高程，單位 m。半透明平面為水面。(a) 46.0 秒 (b) 58.0 秒 (c) 69.0 秒為 19 區水深 30 m 補樁後之地形沖刷圖。圖中色階表示地形高程，單位 m。圖中半透明平面為水面。46.0 秒時，基樁前方有堆積高度約 1.0 m 之堆積區，基樁後方則有沖刷深度約 0.5 m 之沖刷分布。58.0 秒時，沖刷及堆積之分布位置，無顯著改變。但基樁前方之堆積區，堆積高度降至 0.75 m。69.0 秒時，基樁前方之堆積區域，堆積高度已低於 0.5 m。

圖 4.11 19 區 30 m 水深補樁後地形沖刷上視圖。圖中色階為地形高程，單位 m。(a) 46.0 秒 (b) 58.0 秒 (c) 69.0 秒

為 19 區 30 公尺水深條件下補樁後之地形沖刷上視圖。圖中色階表示地形高程，單位 m。46.0 秒時上游側基樁前方 $X=378.5$ 至 $X=375.0$ ， $Y=18.0$ 至 $Y=20.0$ 及 $Y=-18.0$ 至 -20.0 處，有堆積區域，堆積高度約為 1.0 m。上游側基樁後方 $X=383.8$ 至 386.8 ， $Y=16.2$ 至 $Y=21.0$ 及 $Y=-16.2$ 至 $Y=-21.0$ 處，有沖刷分布，沖刷深度約 0.5 m；下游側基樁前方 $X=416.2$ 至 413.2 ， $Y=16.2$ 至 $Y=21.0$ 及 $Y=-16.2$ 至 $Y=-21.0$ 處，有堆積高度約 0.75 m。下游側基樁後方 $X=418.8$ 至

X=421.8，Y=16.2 至 Y=21.0 及 Y=-16.2 至 Y=-21.0 處，有沖刷深度約 0.25 m 之沖刷分布。58.0 秒時沖刷及堆積之分布位置無明顯改變。但堆積之高度略微減少，上游側基樁前之堆積高度降至 0.75 m；下游側之堆積高度則介於 0.5 m 至 0.75 m 之間。69.0 秒時，上游側基樁前方堆積區之堆積高度，已降至 0.5 m 至 0.75 m 間；下游側基樁前方之堆積區，堆積高度介於 0.5 m 至 0.75 m 之間。

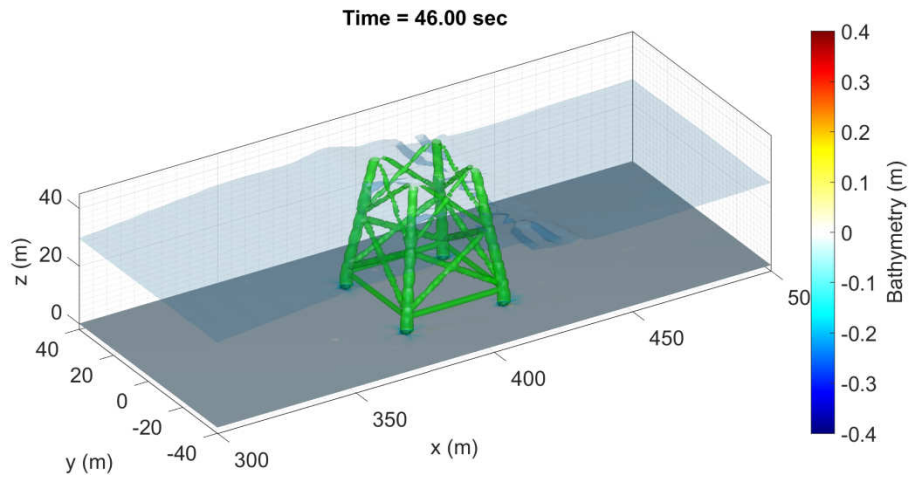
圖 4.12 19 區 50 m 水深補樁後地形沖刷圖。圖中色階為地形高程，單位 m。半透明平面為水面。(a) 46.0 秒 (b) 58.0 秒 (c) 69.0 秒

為 19 區水深 50 m 補樁後之地形沖刷圖。圖中色階表示地形高程，單位 m。圖中半透明平面為水面。46.0 秒時，基樁前方有堆積高度約 0.75 m 之堆積區，基樁後方則有沖刷深度約 0.5 m 之沖刷分布。58.0 秒時，沖刷及堆積之分布，無顯著改變。69.0 秒時，基樁前方之堆積區域，堆積高度已低於 0.5 m，其中上游基樁前方之堆積範圍明顯減少。

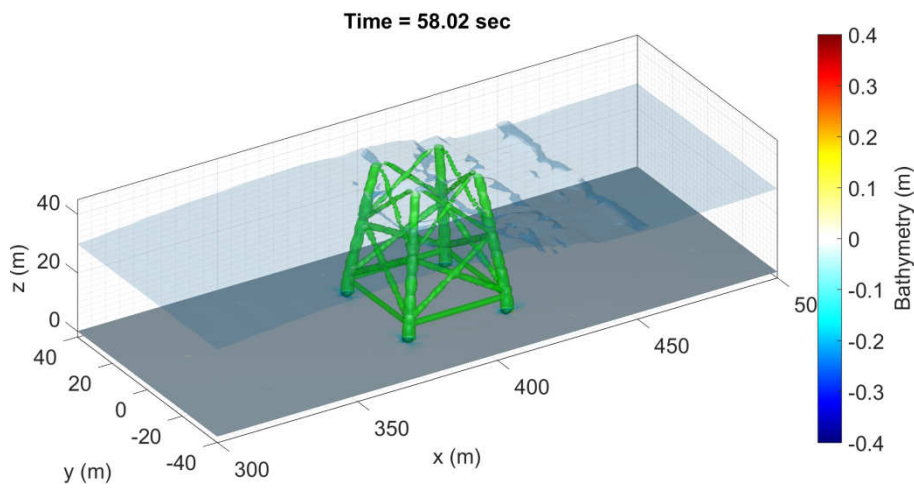
圖 4.13 19 區 50 m 水深補樁後地形沖刷上視圖。圖中色階為地形高程，單位 m。(a) 46.0 秒 (b) 58.0 秒 (c) 69.0 秒

為 19 區 50 公尺水深條件下補樁後之地形沖刷上視圖。圖中色階表示地形高程，單位 m。46.0 秒時上游側基樁前方 $X=378.5$ 至 $X=375.0$ ， $Y=16.2$ 至 $Y=21.0$ 及 $Y=-16.2$ 至 -21.0 處，有堆積區域，堆積高度約為 0.75 m。上游側基樁後方 $X=383.8$ 至 386.8 ， $Y=16.2$ 至 $Y=21.0$ 及 $Y=-16.2$ 至 $Y=-21.0$ 處，有深度約 0.5 m 之沖刷分布；下游側基樁前方 $X=416.2$ 至 413.2 ， $Y=16.2$ 至 $Y=21.0$ 及 $Y=-16.2$ 至 $Y=-21.0$ 處，有堆積區，堆積高度介於 0.5 m 至 0.75 m 間。下游側基樁後方 $X=418.8$ 至 $X=421.8$ ， $Y=16.2$ 至 $Y=21.0$ 及 $Y=-16.2$ 至 $Y=-21.0$ 處，有沖刷深度約 0.5 m 之沖刷分布。58.0 秒時沖刷及堆積之分布位置無明顯改變，但堆積之高度略微減少，上游側基樁前方之堆積高度以介於 0.5 m 至 0.75 m 之間；下游側之堆積高度則低於 0.5 m。沖刷區域無明顯變化。69.0 秒時，上游側基樁前方堆積區之堆積高度，介於 0.5 m 至 0.75 m 間，範圍縮小為 $X=378.5$ 至 $X=377.0$ ， $Y=19.0$ 至 $Y=20.0$ 及 $Y=-19.0$ 至 -20.0 。並於 $X=378.5$ 至 $X=381.0$ ， $Y=18.0$ 至 $Y=23.0$ 及 $Y=-18.0$ 至 $Y=-23.0$ 處，有深度約 0.75 m 之沖刷分布。於上游側基樁後方之沖刷區域 X 方向長度雖未改變，但 Y 方向寬度為 46.0 秒時之 25%，沖刷深度已小於 0.5 m；下游側基樁周圍之沖刷及堆積分布不變。但下游側基樁後方之沖刷區域，沖刷深度已低於 0.5 m。

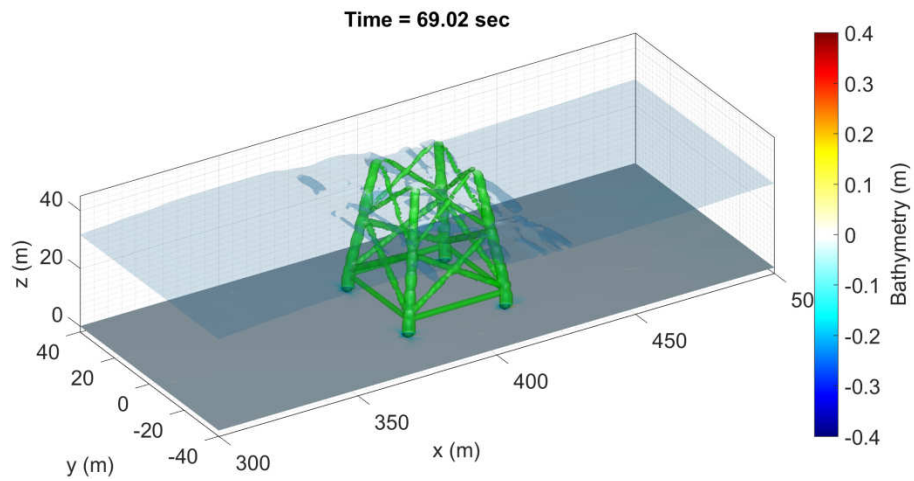
由上述之模擬結果觀察，46.0 至 69.0 秒間，未補樁情況下，水深 30 m 時風機基樁周圍無明顯之堆積分布，沖刷區域之沖刷深度約為 0.2 m。水深 50 m 時，於基樁前方有沖刷深度約 0.25 m 之沖刷分布，基樁後方則有 0.5 m 之堆積分布。於補樁之情況下，30 m 及 50 m 水深條件時，皆會先於基樁前方產生堆積區域，並隨時間增加堆積高度逐漸降低。



(a)

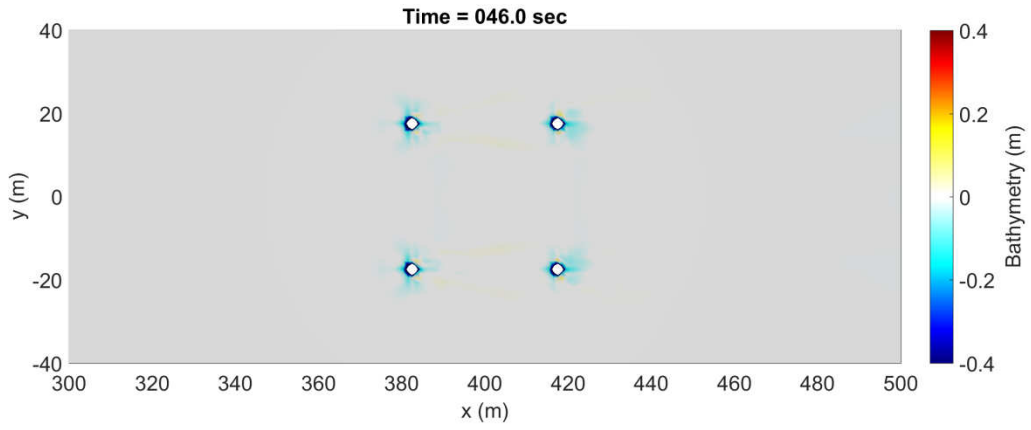


(b)

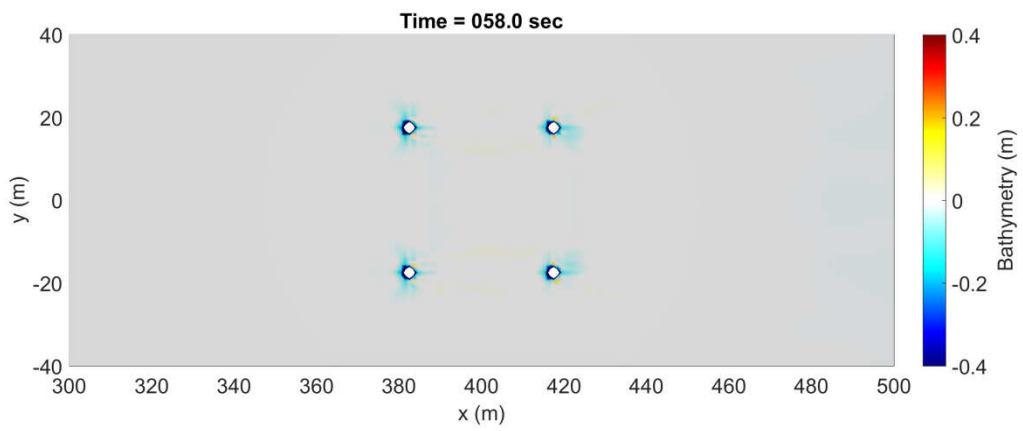


(c)

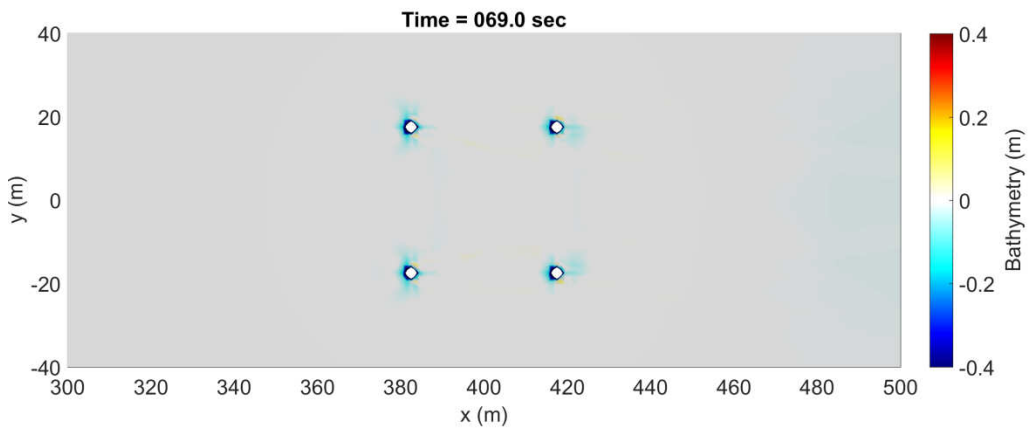
圖4.6 19區30 m水深地形冲刷圖。圖中色階為地形高程，單位m。半透明平面為水面。(a) 46.0秒 (b) 58.0秒 (c) 69.0秒



(a)



(b)



(c)

圖4.7 19區30 m水深地形冲刷上視圖。圖中色階為地形高程，單位m。(a) 46.0秒 (b) 58.0秒 (c) 69.0秒

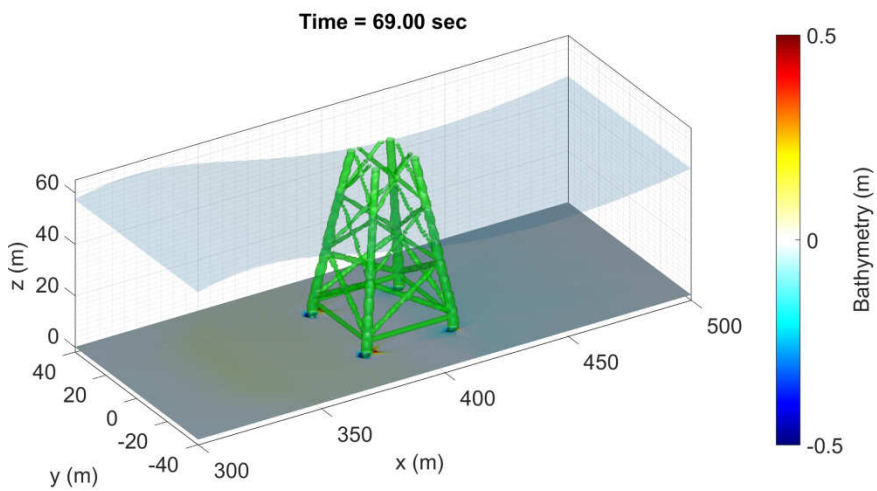
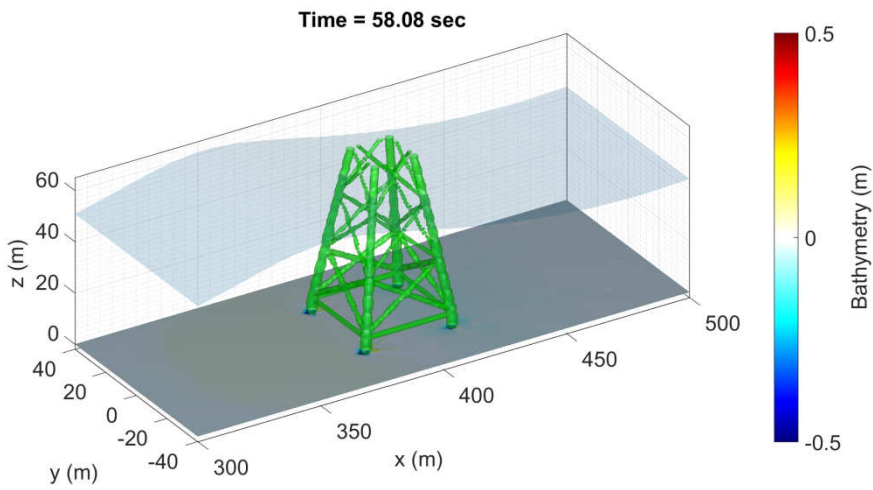
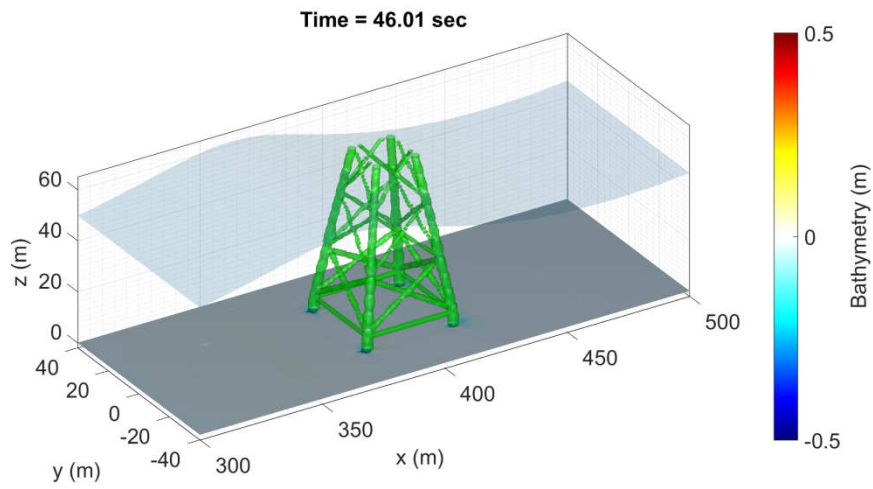
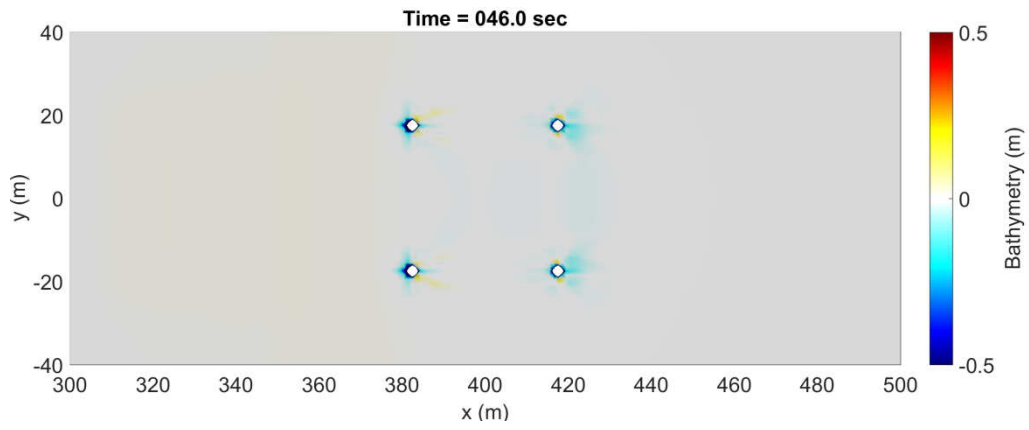
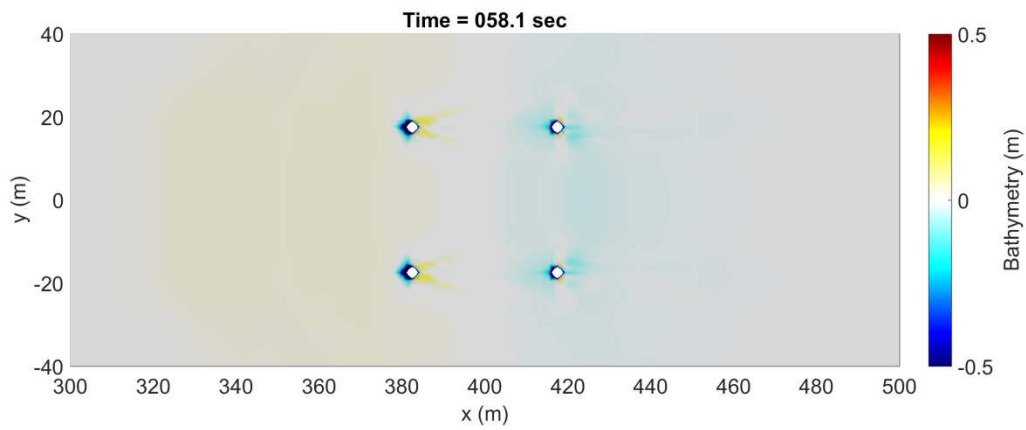


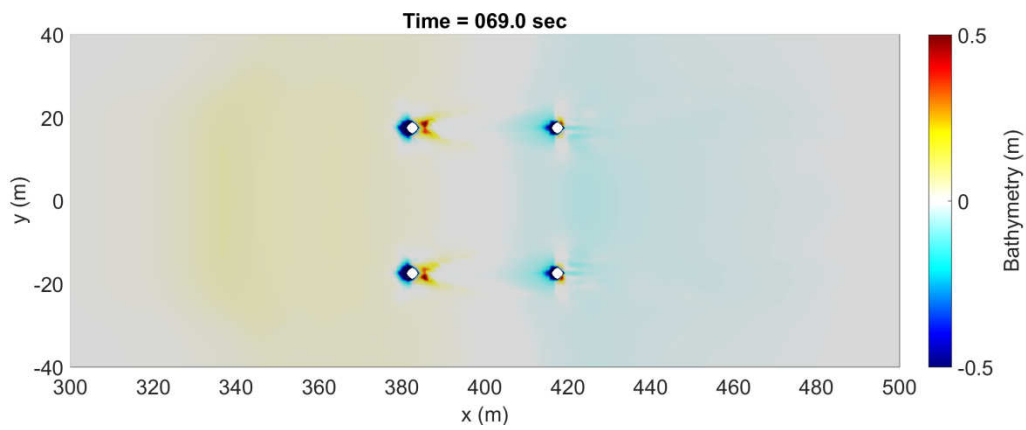
圖4.8 19區50 m水深地形冲刷圖。圖中色階為地形高程，單位m。半透明平面為水面。(a) 46.0秒 (b) 58.0秒 (c) 69.0秒



(a)



(b)



(c)

圖4.9 19區50 m水深地形冲刷上視圖。圖中色階為地形高程，單位m。(a) 46.0秒 (b) 58.0秒 (c) 69.0秒

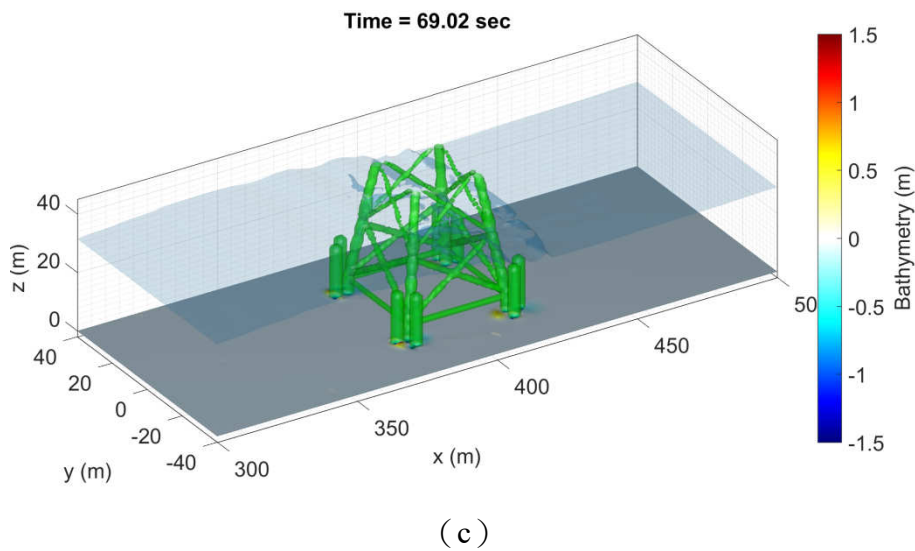
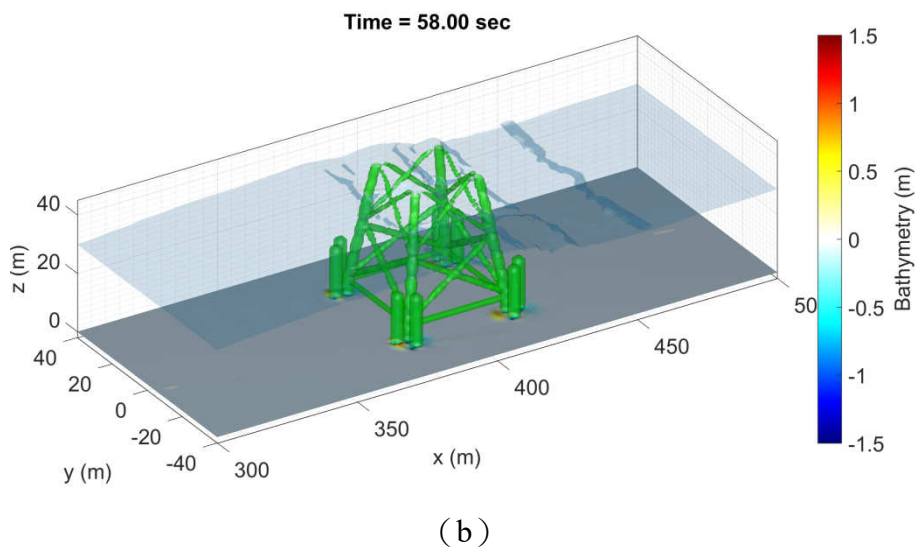
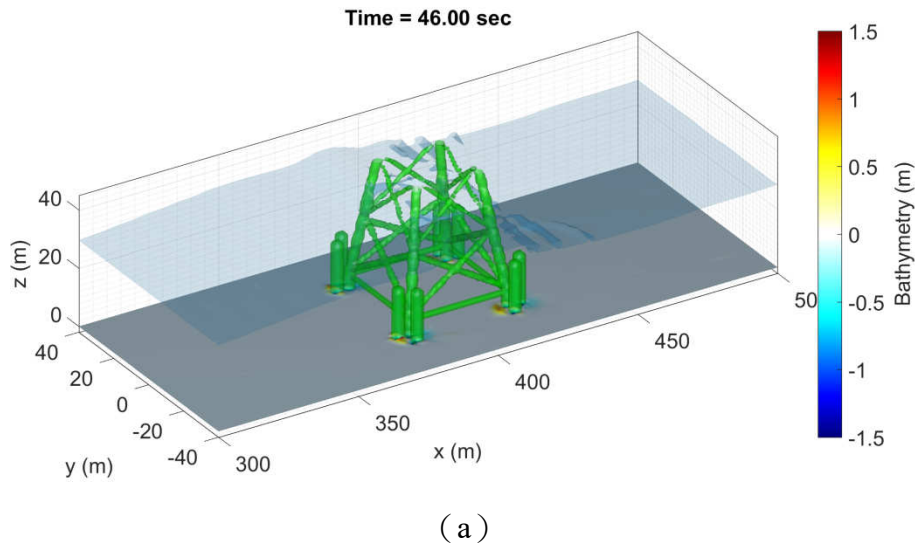
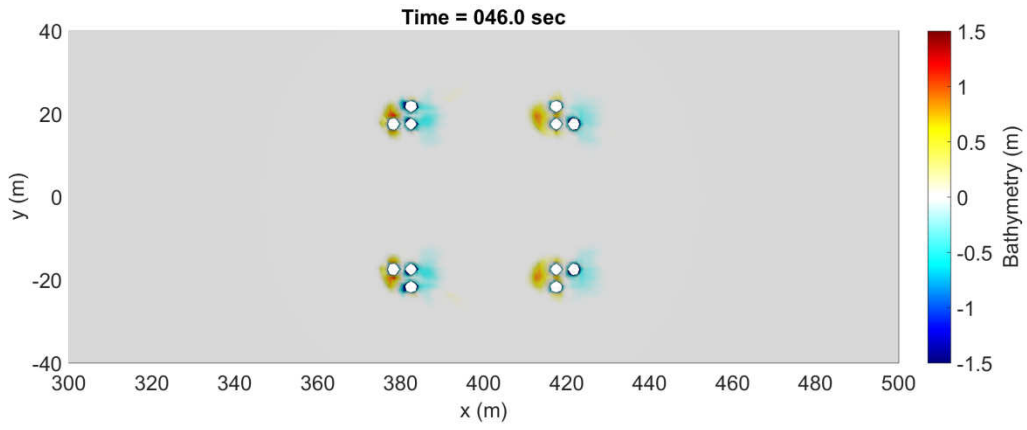
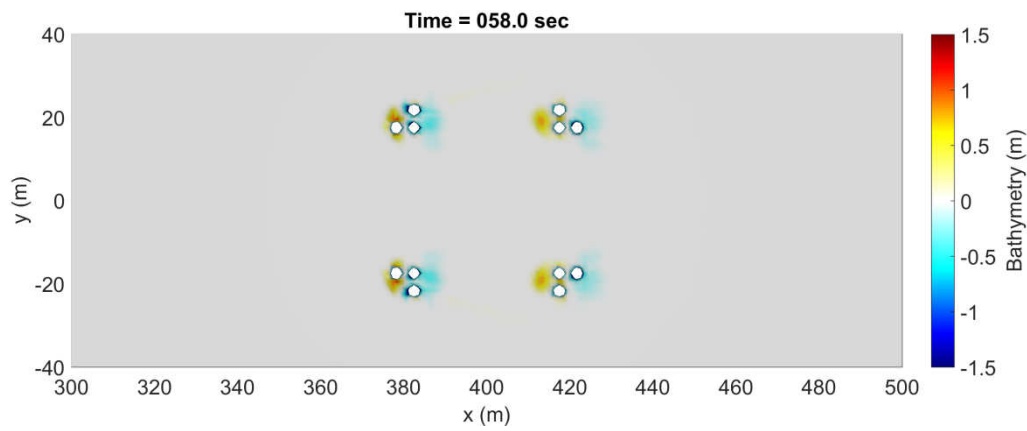


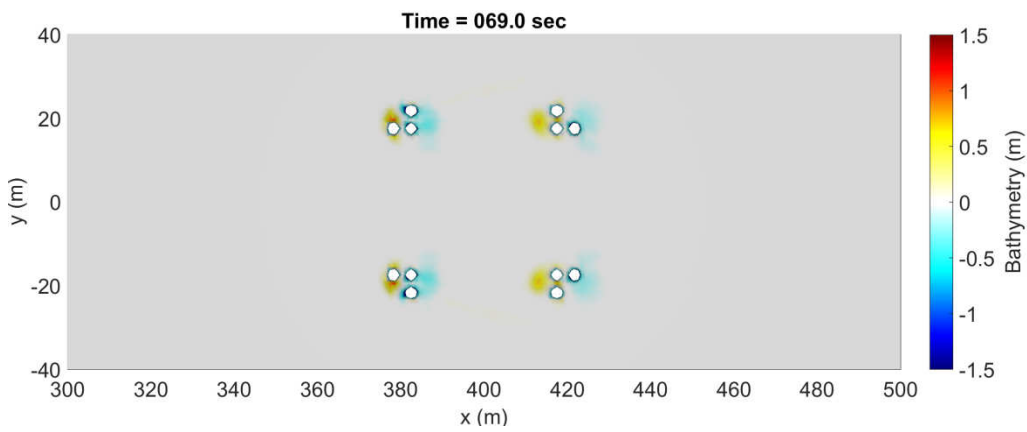
圖4.10 19區30 m水深補樁後地形冲刷圖。圖中色階為地形高程，單位m。半透明平面為水面。(a) 46.0秒 (b) 58.0秒 (c) 69.0秒



(a)



(b)



(c)

圖4.11 19區30 m水深補樁後地形冲刷上視圖。圖中色階為地形高程，單位m。

(a) 46.0秒 (b) 58.0秒 (c) 69.0秒

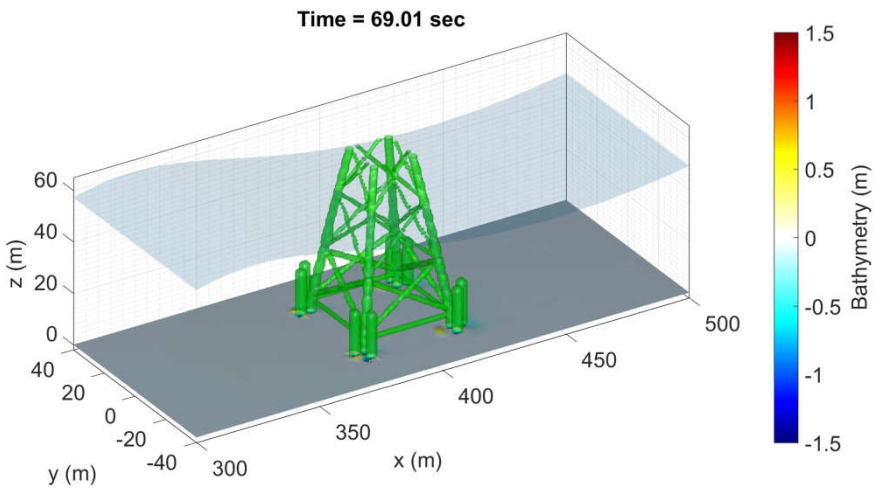
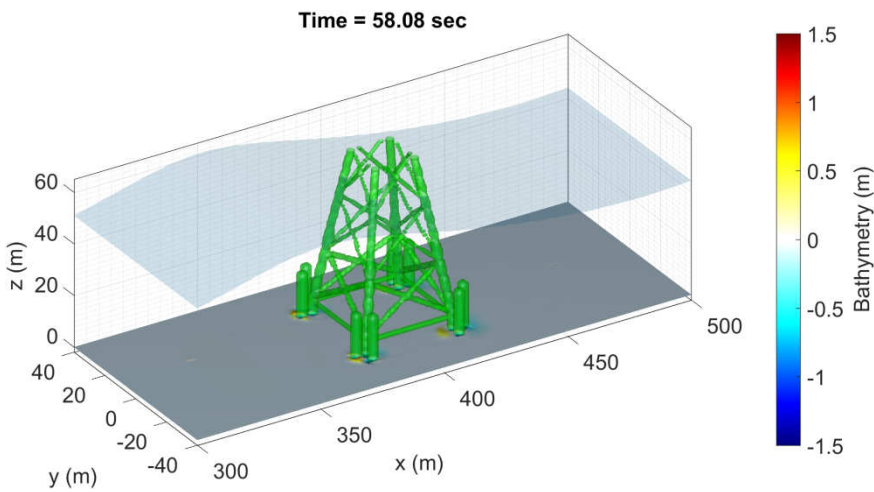
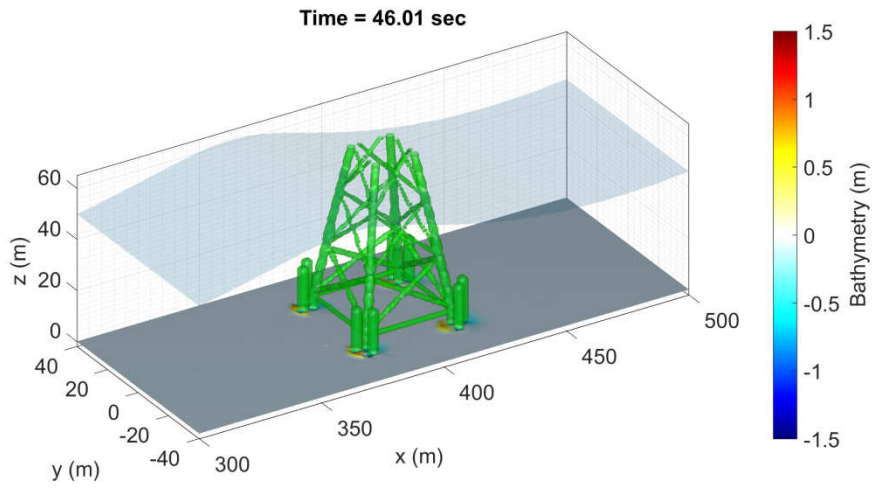
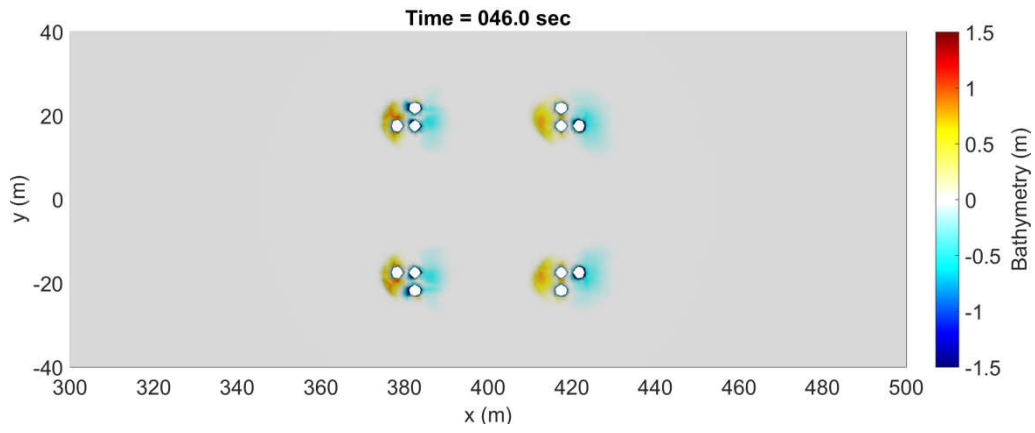
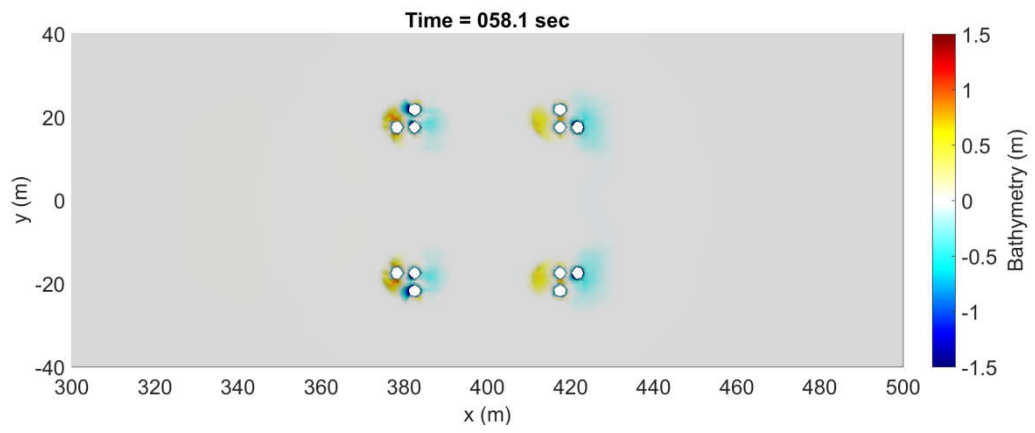


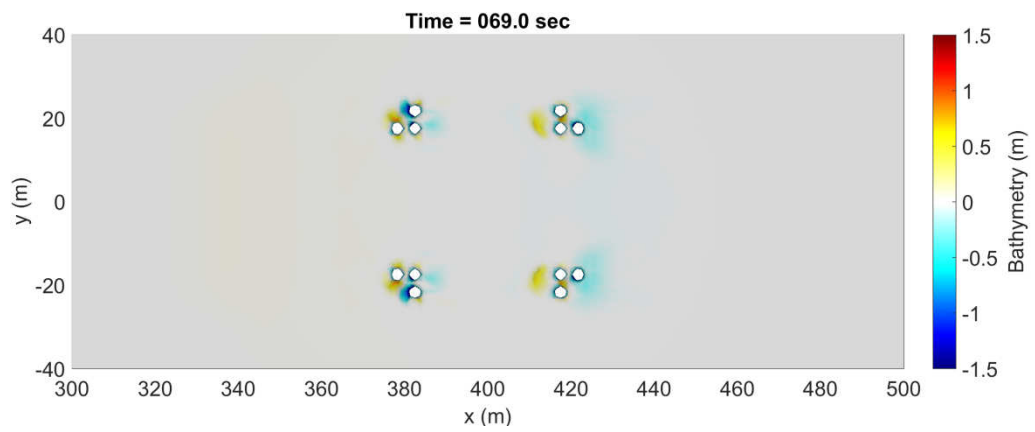
圖4.12 19區50 m水深補樁後地形冲刷圖。圖中色階為地形高程，單位m。半透明平面為水面。(a) 46.0秒 (b) 58.0秒 (c) 69.0秒



(a)



(b)



(c)

圖4.13 19區50 m水深補樁後地形冲刷上視圖。圖中色階為地形高程，單位m。

(a) 46.0秒 (b) 58.0秒 (c) 69.0秒

4.4 結果與討論

本研究為進行玉山能源第19區離岸風場海底地形受離岸風機之影響評估。模擬時波浪條件參考表 4.1，海流流速因安全係數之考量設定為 2.0 m/s。並探討於風機基樁於 30 m、50 m 水深條件下，周圍之地形變遷情況。

19 區離岸風場，未補樁之情境下。30 m 水深於第四個波浪到達時間，於基樁周圍僅有沖刷分布。下游側風機基樁周圍之沖刷區域分布於 $X=416.2$ 至 $X=415.2$ m 及 $X=418.8$ 至 $X=421.0$ ， $Y=15.0$ 至 $Y=17.0$ 及 $Y=-15.0$ 至 $Y=-17.0$ 處，沖刷深度約 0.1 m。

50 m 水深時，當第四波波浪到達時，上游側風機基樁前方 $X=381.2$ 至 $X=380.0$ ， $Y=15.5$ 至 $Y=19.5$ 及 $Y=-15.5$ 至 $Y=-19.5$ 處，有沖刷深度 0.5 m 之沖刷分布。堆積區域分布於基樁後方， $X=383.8$ 至 $X=386.8$ ， $Y=17.0$ 至 $Y=18.8$ ， $Y=-17.0$ 至 -18.8 處，堆積高度約 0.4 m；下游側基樁前方 $X=410.2$ 至 $X=416.2$ ， $Y=14.0$ 至 $Y=21.0$ 及 $Y=-14.0$ 至 $Y=-21.0$ 處，有沖刷深度 0.2 m 之沖刷區域。基樁後方， $X=418.8$ 至 421.8 ， $Y=15.5$ 至 $Y=19.0$ 及 $Y=-15.5$ 至 -19.0 處，有沖刷深度約 0.1 m 之沖刷分布。

補樁後，30 m 水深條件下，第四次波浪傳至風機基樁時，上游側基樁後方 $X=383.8$ 至 386.8 ， $Y=16.2$ 至 $Y=21.0$ 及 $Y=-16.2$ 至 $Y=-21.0$ 處，有沖刷分布，沖刷深度約 0.5 m。堆積區域分布於 $X=375.0$ 至 $X=378.5$ ， $Y=18.0$ 至 $Y=20.0$ 及 $Y=-18.0$ 至 -20.0 處，堆積高度介於 0.5 m 至 0.75 m；下游側基樁後方 $X=418.8$ 至 $X=421.8$ ， $Y=16.2$ 至 $Y=21.0$ 及 $Y=-16.2$ 至 $Y=-21.0$ 處，有沖刷深度約 0.25 m 之沖刷分布。堆積區域分布於， $X=413.2$ 至 $X=416.2$ ， $Y=16.2$ 至 $Y=21.0$ 及 $Y=-16.2$ 至 $Y=-21.0$ 處，堆積高度介於 0.5 m 至 0.75 m。

50 m 水深，第四次波浪到達風機基樁時，上游側基樁前方 $X=378.5$ 至 $X=381.0$ ， $Y=18.0$ 至 $Y=23.0$ 及 $Y=-18.0$ 至 $Y=-23.0$ 處，有深度約 0.75 m 之沖刷分布。基樁後方 $X=383.8$ 至 386.8 ， $Y=17.0$ 至 $Y=18.0$ 及 $Y=-17.0$ 至 $Y=-18.0$ 處，有深度小於 0.5 m 之沖刷分布。堆積區域分布於基樁前方 $X=378.5$ 至 $X=377.0$ ， $Y=19.0$ 至 $Y=20.0$ 及 $Y=-19.0$ 至 -20.0 處，堆積高度介於 0.5 m 至 0.75 m；下游側基樁後方 $X=418.8$ 至 $X=421.8$ ， $Y=16.2$ 至 $Y=21.0$ 及 $Y=-16.2$ 至 $Y=-21.0$ 處，有沖刷深度小於 0.5 m 之沖刷分布。堆積區域分布於基樁前方 $X=416.2$ 至 413.2 ， $Y=16.2$ 至 $Y=21.0$ 及 $Y=-16.2$ 至 $Y=-21.0$ 處，堆積高度低於 0.5 m。

第五章 結論

5.1 結論

本計畫主要目的在探討彰化離岸風場（Formosa III）第 18 及第 19 區二址為對象(本報告為第 19 區)之風力發電機基礎設置後對於海岸地形變動的影響，首先建立適合彰化海域的波流場數值模擬計算，同時統計出極端氣候下的波浪條件，作為更進一步的討論。由分析出的基本海象條件當作數值模式的輸入，討論在波流場作用力下海岸地形變動分佈情形，提供環境影響評估之具體分析成果，根據本計畫所進行之分析與研究成果作以下之結論：

1. 在彰化離岸風場(第 19 區)的離岸風機設置未設置之前，風場附近海域 50 年迴歸期颱風波浪分佈約在 1~12 公尺之間，季風波浪分佈約在 1.0~5 公尺之間，當離岸風場設置之後，入射波浪碰撞到風機支承結構時發生折繞射效應，使得波高有略為下降的趨勢發生，而風機支承結構上游處則因反射效應波高略有增加，離岸風場內 50 年迴歸期颱風波浪分佈約為 1~12 公尺，季風波浪分佈約在 1.0~5 公尺之間。波浪經過離岸風場的影響後，位於風場下游處海域波高分佈有比未設置離岸風場之前略為降低；唯本案離岸風場距離海岸很遠，近岸海域之波高分佈並未因風場設置而有明顯的波高變化。
2. 在彰化離岸風場(第 19 區)的離岸風機設置後對流場影響，在近岸流場的部分所造成的影響幾乎可以說是微乎其微，比較有影響的部分反而在風機本身附近的海域，由於風機的基礎與支承結構的影響，使得風機附近的流場有些許的改變，但只是局部性的影響，對整個大環境的流場來說並沒因風田設置後有太大的變化。
3. 在彰化離岸風場(第 19 區)風機設置後對地形侵淤變化的影響程度並不大，主要影響海岸地形變化的原因還是以近岸流為主。本案風場範圍距海岸線很遠，基本上流場對海岸地區地形變化的影響幾可忽略。
4. 位於風場範圍之海域，在風場設置前後其地形變化幾乎無改變(低於 ± 0.1 公尺)，僅局部極小區域有約 ± 0.3 公尺之間之地形變遷，基本上流場對風場範圍地形變化的影響幾可忽略。
5. 對於風機支承基礎受波浪及海流的影響，波流對於地形變遷之影響範圍，主要分布於風機基樁周圍。

6. 未補樁情形下，水深 30.0 m 之最大沖刷深度約為 0.2 m，堆積並不明顯。水深 50.0 m 之最大沖刷深度約為 0.5 m，最大堆積高度約為 0.5 m。
7. 補樁情形下，水深 30.0 m 之最大沖刷深度約為 0.5 m，其最大堆積高度約為 1.0 m。水深 50.0 m 之最大沖刷深度約為 0.75 m，最大堆積高度約為 0.75 m。
8. 基樁設計對周圍之地形變動影響，整體而言，當波流通過支承結構後對海底地形變動影響較大的範圍在墩後方向。依據結果整理，其最遠可能影響範圍約為基樁上游 70 m；下游 80 m；左右兩側各 20 m 處附近，但最大之沖刷深度及堆積高度均於 1 m 以下，而本計畫海域流速並不會超過 2.0 m/s，且風機設置之間的間隔遠大於此影響範圍，可推論各個風機淘刷機制並不會相互影響。

參考文獻

1. Coastal Engineering Manual, (2003) US Army Corps of Engineers.
2. Dally, W.R., Dean, R.G., Dalrymple, R.A., (1985) "Wave Height Variation Across Beaches of Arbitrary Profile," Journal of Geophysical Research, Vol. 90 (C6), pp. 11917-11927.
3. Deen, R.G., Dalrymple, R.A., (1984) "Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists," Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, pp. 262-271.
4. Det Norske Veritas (ed), (2004) "Design of Offshore Wind Turbine Structures," Offshore Standard DNV-OS-J101, Hovik, Norway.
5. Germanischer Lloyd. (2005) "Guideline for the Certification of Offshore Wind Turbines," Germanischer Lloyd, Hamburg, Germany.
6. Graham, H.E., Nunn, D.E., (1959) "Meteorological conditions pertinent to standard project hurricane," Atlantic and Gulf Coasts of United States, National Hurricane Research Project, Report No. 3, U.S. Weather Service.
7. Hallermeier, R.J., (1981) "A Profile Zonation for Seasonal Sand Beaches From Wave Climate," Coastal Engineering, Vol. 4, pp. 253-277.
8. Hallermeier, R.J., (1983) "Sand Transport Limits in Coastal Structure Design," Proceedings of Coastal Structures '83, ASCE, pp. 703-716.
9. Hanson, H., (1987) "GENESIS, A Generalized Shoreline Change Model for Engineering Use," Report No. 1007, Department of Water Resources Engineering, University of Lund, Lund, Sweden.
10. Hanson, H., Kraus, N.C., Nakashima, L.D., (1989) "Shoreline Change Behind Transmissive Detached Breakwaters," Proceedings Coastal Zone '89, ASCE, pp. 568-582.
11. Holland, G.J., (1980) "An analytical model of the wind and pressure profiles in hurricanes," Monthly Weather Review, No. 108, pp. 1212-1218.
12. Horikawa, K., (1988) "Nearshore Dynamics and Coastal Processes", University of Tokyo Press.
13. Hsu, T. W., S. H. Ou and J. M. Liau, (2005) "Hindcasting nearshore wind waves using a FEM code for SWAN", Coastal Engineering, Vol. 52, pp. 177-195.
14. Isobe, M., (1987) "A Parabolic Equation Model for Transformation of Irregular Waves Due to Refraction, Diffraction and Breaking," Coastal Eng. in Japan, Vol. 30, pp. 33-47.
15. Komar, P.D., Inman, D.L., (1970) "Longshore Sand Transport on Beaches," Journal of Geophysical Research, Vol. 73, No. 30, pp. 5914-5927.

16. Kraus, N.C., Gingerich, K.J., Rosati, J.D., (1988) "Toward an Improved Empirical Formula for Longshore Sand Transport," Proceedings of 21st Coastal Engineering Conference, ASCE, pp. 1182-1196.
17. Kraus, N.C., Harikai, S., (1983) "Numerical Model of the Shoreline Change at Oarai Beach," Coastal Engineering, Vol. 7, No. 1, pp. 1-28.
18. Kuo, Y.S., Achmus, M., Kao, C.S., (2008) "Practical design considerations of monopile foundations with respect to scour," Global Wind Power 2008, Peking pp.104.
19. L'Hermite, R., and Turnon, G., (1948) "Vibration of Fresh concrete," Technical Publication No. 2. Centre d'Etudes et de Recherches de L'Hermite Industrie des Liants Hydraulique, Paris.
20. Lin, P., Liu, P. L.-F., (1999) "Internal wave-maker for Navier-Stokes equations models." J. Wtrwy., Port, Coast., and Oc. Engng., 125 (4): 207-215.
21. Liu, C.S., Liu, S.Y., Lallemand, S.E., Lundberg, N., Reed, D., (1998) "Digital Elevation Model Offshore Taiwan and Its Tectonic Implications," Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences, TAO, Vol. 9, No.4, pp.705-738.
22. Longuet-Higgins, M.S. and Stewart R.W., (1960) "Changes in the Form of Short Gravity Waves on Long Wave and Tidal Currents," J. Fluid Mech., Vol. 8, pp. 563-583.
23. Longuet-Higgins, M.S., (1970a) "Longshore Currents Generated by Obliquely Incident Sea Waves, 1," Journal of Geophysical Research, Vol. 75, pp. 6778-6789.
24. Longuet-Higgins, M.S., (1970b) "Longshore Currents Generated by Obliquely Incident Sea Waves, 2," Journal of Geophysical Research, Vol. 75, pp. 6778-6789.
25. Mei, C. C., (1983) "The Applied Dynamics of Ocean Surface Waves," Wiley-Interscience, New York.
26. Myers, V.A., (1954) "Characteristic of United States hurricanes pertinent to levee design for lake Okechobeem," FL. Hydromet. Rep. 32, 126p.
27. Nishimura, H., (1982) "Numerical Simulation of Nearshore Circulations," Proc. 29th Japanese Conf. On Coastal Eng., JSCE, pp. 333-337.
28. Ozasa, H., Brampton, A.H., (1980) "Mathematical Modeling of Beaches Backed by Seawalls," Coastal Engineering, Vol. 4, No. 1, pp. 47-64.
29. Powell, M.D., (1980) "Evaluations of diagnostic marine boundary layer models applied to hurricanes," Monthly Weather Review, Vol. 108, pp. 758-766.
30. Radder, A.C., (1979) "On the Parabolic Equation Method for Water Wave Propagation," J. Fluid Mech., Vol. 95, No. 1, pp. 159-176.

31. Rojanakamthorn, Isobe, S.M., Watanabe, A., (1989) "A Mathematical Model of Wave Transformation over a Submerged Breakwater," Coastal Engineering in Japan, Vol. 32, No. 2, pp. 209-234.
32. Schaumann, P., Kleineidam, P., Wilke, F., (2004) "Fatigue Design of Offshore Wind Energy Conversion Systems," Stahlbau, Vol. 73, No. 9, 716-726. (in German)
33. Shea, D.J., Gray, W.M., (1973) "The hurricane's inner core region, I: symmetric and asymmetric structure," J. Atmos. Sci., Vol. 30, pp. 1544-1564.
34. Suh, K.D., Lee, C., Part, W.S., (1997) "Time-Dependent Equations for Wave Propagation on Rapidly Varying Topography," Coastal Eng., Vol. 32, pp. 91-117.
35. Sumer, B.M., Fredsoe, J., (2002) "The Mechanics of Scour in the Marine Environment," World Scientific, Singapore.
36. Tsai, C. P., Chen, H.B., Hsu, J.R.C., (2001) "Calculations of Wave Transformation Across the Surf Zone," Ocean Engineering, Vol. 28, No. 8, pp. 941-955.
37. Yamaguchi, M., Otsu, S., Nishioka, Y., (1981) "Numerical Simulation of Two-Dimensional Beach Change Induced by Time Varying Waves," Proc. 28th Japanese Conf. on Coastal Eng., 290-294. (in Japanese)
38. 郭一羽, 「海岸工程」, 文山書局, 2001。
39. 合田良實, 「港灣構造物の耐波設計」, 鹿島出版社, 1990。
40. 許泰文等, 「建立波潮流與海岸變遷模式(1/6)」, 經濟部水資源局, 2000。
41. 中央氣象局歷史颱風資料庫, 1989~2015。
42. 許泰文, 「近岸水動力學」, 中國土木水利工程學會, 428 頁 (2003)。

附錄-海象資料調查

海象資料蒐集受天候影響，具有極大的不確定性。於本次計畫間，臺灣臨近海域即遭遇四次颱風影響，造成資料蒐集困難，於本報告完成前所收集到的資料皆無具代表性。依合約要求，資料蒐集的過程至報告完成前仍在進行中。此附錄為針對本次計畫期間內，漂砂以及波潮流量測作業過程作描述。

A. 漂沙作業報告

本計畫漂沙量測作業委託三睿生態顧問有限公司進行，自九月啟動後，接連遭遇多次颱風，延宕至 10/4 執行。

10/2 與 10/3 確認出海時，海象預報尚在可作業條件範圍內，預期至少有 48 小時的好天氣，之後的海況才會變差。因此與船長及潛水員協調後，於 10/4 中午過後出發 (圖 A.1)。然實際出海時，10/4 中午的氣象預報已有變化，海況可能於 36 小時後改變，當下決定仍照預定時程執行，至少先置放捕沙器，如果風浪不佳，擇期再回收。



圖A.1 器材準備出海

作業船隻自高雄港二港口出海，於安檢站遭阻擋，由於高雄市海洋局的同意漁船租用公文內，並未附件人員名單（公文寫有附件，然實際無），船長、海巡與三睿公司等三方的公文都沒有附件。去電高雄海洋局承辦員，休假，無

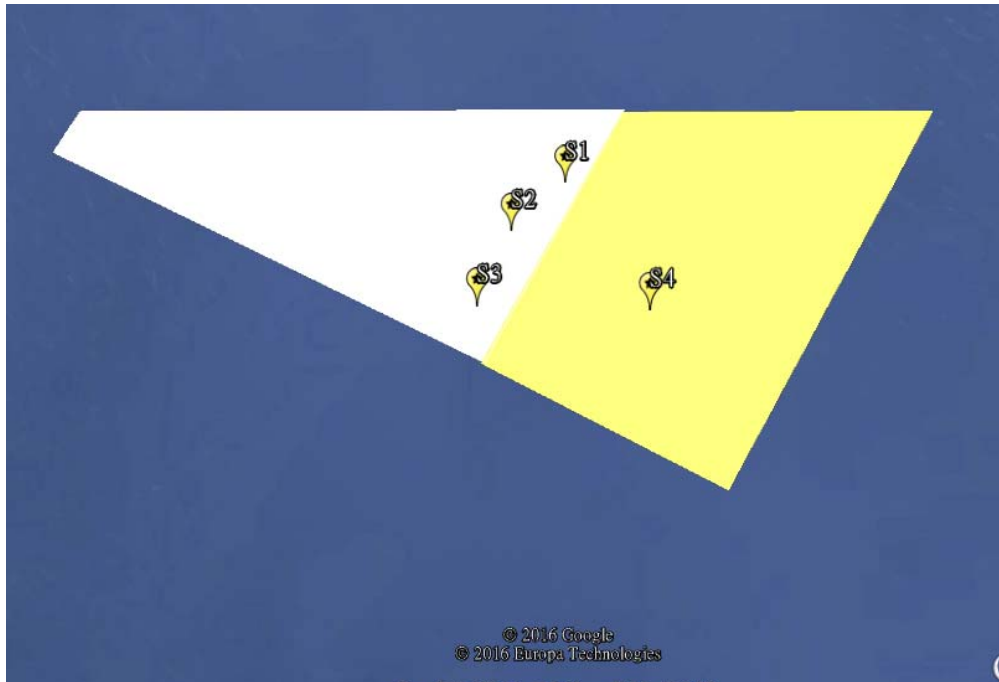
法提供協助。經爭取後，海巡同意放行，但登記出海名單後函送海洋局。此時已是 10/4 下午近 17:30。

船行約於 10/5 03:30 到達計畫海域，自計畫海域東南角為起點，船行整個海域，以雷達掃測水深與地形。海底地形變化崎嶇，尤其東側的 19 區變化劇烈，呈現一道道的東西走向的隆起地形，南緩、北陡峭，高低落差最少 8m 以上。19 區東側超過一半面積的區域，都沒有平整海底可供置放捕沙器。

最後決定在 18 區東側接近 19 區邊緣，海底地形較為平緩，深度在 35-44m 之間，於此處從北至南置放第 123 組捕沙器，然後再於東西兩側的 18、19 區選擇地點置放捕沙器 (圖 A.2 及表 A.1)。

表A.1 捕沙器投放位置、深度及時間

編號	置放經緯度	深度	置放時間	回收時間
第 1 組	N 24° 1'44.50" E 119°50'23.40"	36m	04:50	
第 2 組	N 24° 0'50.70" E 119°49'22.30"	42m	05:45	
第 3 組	N 23°59'7.50" E 119°48'55.64"	48m	06:30	11:35
第 4 組	N 23°58'58.03" E 119°52'26.18"	43-50m	08:20	



圖A.2 捕砂器投放相對位置

由於置放作業開始 (圖 A.3~5)時,尚未天亮,小浪,但是開始退潮(苛流),流向紊亂,因此未讓潛水員下水,在船長建議下,先以定位前錨、捕沙器與後錨的經緯度,來確認捕沙器集沙盒的八方位。後待天亮後,再請潛水員下水做定位與確保。



圖A.3 捕砂器投放作業一



圖A.4 捕砂器投放作業二



圖A.5 捕砂器投放作業三

第 123 組依序由北至南施放，水面觀察狀況良好。第 4 組置放於 19 區的近中央偏西南的位置，由於置放時浪況變大，流速亦加大，船長判斷海流速度已經超過 3 海浬/h。第 4 組置放後，發現水面標誌逐漸靠攏，沒入水下，推測恐是置放時錨繩已經纏繞，造成捲動，亦可能是海底不明狀況所造成。由於風浪變大，作業變困難，第 4 組失敗後，船長認為先到北邊頂風，再看狀況。



圖A.6 可疑大陸籍漁船一

船行至第 1 組置放處，下錨休息、用餐，約近 10 點時，睡醒的船員告知，船旁的第 1 組的旗幟不見了，遍尋不著水面的旗幟標記，但是附近有一組東西向的流刺網。船起錨朝南尋找，發現一艘大陸籍漁船正在起網(圖 A.6~7)，而船旁有一組捕沙器的水面旗幟。之後見大陸漁船收網過程中該組錨碇、捕沙器收起，於是船長通報台中漁業電台，後轉海巡報案。等大陸漁船將收起的整組設備拋海後，靠近打撈，由於整組設備纜繩纏繞，旗幟卷在一起，沒於水面下。難打撈、放棄回收。往南尋找下一組。



圖A.7可疑大陸籍漁船二

船行至第3組位置之間皆未見到另一組，後依旗幟的旗面樣式與顏色研判，先前被打撈的應為第2組捕沙器，而第1組捕沙器恐遭同一大陸漁船毀棄，或者是被放置點旁的流刺網，將水面旗幟捲沒。由於漁業電台告知海上颱風警報已經發佈，第2組打撈時，海面風浪狀況已與出發前的海象預報大不相同，浪高超過2m，流速達4海浬/h，已經不適合作業。由於此時靠在僅剩的第3組已完成置放的捕沙器旁，考量若颱風、風浪過後再來回收，恐已流失，因此回收第3組後，返航。

B. 波潮流作業報告

本計畫漂沙量測作業委託探海有限公司進行。海域現作業於2016年9月24日進行二台ADCP佈放作業(#18及#19風場各佈放1台)，ADCP之實際佈放坐標詳表B.1(#18ADCP，#19ADCP)，其佈放位置詳圖B.1，海域現場作業照片如圖B.3~6。於10月18日進行ADCP回收作業。海域儀器回收時，#18風場之ADCP整組混凝土塊(含儀器)遺失，無法尋獲，原因不明；#19風場之ADCP於內業下載資料時，發現儀器損壞無法下載資料，疑似ADCP專用電池組異常放電致損壞ADCP之電子元件。

B.1 工作項目

使用音波都卜勒式流速剖面儀 (ADCP) 進行波浪、剖面海流及水位調查。

B.2 佈放位置

在彰化縣芳苑鄉外海#18 及#19 風場內各佈放一台音波都卜勒式流速剖面儀 (ADCP)，#18 及#19 風場範圍之端點座標詳表 B.1，風場範圍相關位置詳圖 1。



圖B.1 彰化附近海域調查區域範圍

表B.1 彰化離岸風力發電廠計畫基地中心範圍座標表

點位 編號		WGS84 座標系統		水深
		二度分帶座標	經緯度座標	
		North	East	
18	18-1	24. 04396	119. 85725	Max : 49. 7m Min : 32. 0m Mean : 40. 1m
	18-2	23. 96896	119. 81378	
	18-3	24. 03037	119. 67633	
	18-4	24. 04255	119. 68147	
#18 ADCP		24. 02886	119. 78327	36m
19	19-1	24. 04467	119. 95698	Max : 51. 0m

	19-2	23.93580	119.88981	Min : 37.4m Mean : 45.1m
	19-3	23.96896	119.81378	
	19-4	24.04396	119.85725	
	#19 ADCP	24.02509	119.86261	38m

B.3 工作方法

ADCP 設定之取樣頻率為 10 分鐘記錄一筆剖面流速及流向資料；另設定波浪測量為每小時啟動量測及記錄，設定連續記錄 1024 筆，取樣頻率為 1Hz (每秒 1 筆)。

海域現場海流及波浪觀測採底碇方式，施放前，將儀器與儀器架組立完成，再以電腦設定儀器之記錄方式，如記錄間隔、收錄層數、每層高度…等，而後設定儀器之啟動時間。

海域現場作業，先將混凝土塊吊運上作業船，並將器材設備清點確認後搬運至船上，出海後由衛星定位儀 (簡稱 GPS) 引領船隻至施放點，並進行底碇混凝土塊施放與定位，之後由潛水夫下海檢視混凝土塊是否穩當，確認無誤後，再將 ADCP 固定於底碇混凝土塊進行相關量測。回收時由於海表面未進行任何標示，因此至點位後先施放標示浮筒，再由潛水夫持繩索至標示點附近海床進行搜索，待搜索到 ADCP 後，潛水員利用浮力裝置將 ADCP 及組裝架攜回海面，由船上工作人員協助完成儀器回收。

B.4 使用儀器

波流量測所使用之 ADCP，主要用途為量測定點海流剖面，ADCP 底碇於海底依使用者指定之參數量測水下各層之流速及流向，該儀器也可同時進行波浪之量測。採用挪威 Nortek 公司所研發製造為同時配備波壓計、三維音波都卜勒式流速剖面儀及水溫計之海測儀器，型號 Aquadopp Profiler，儀器詳細規格如表 B.2 所示，儀器外觀詳圖 B.2。

表 B.2 Nortek Aquadopp profiler 型音波都卜勒式流速剖面儀規格表

量測項目 (Measure)	感應器 (Sensor)	範圍 (Range)	準確度 (Accuracy)	精確度 (Resolution)
流速 (Velocity)	音波式 (Acoustic)	±10 m/s	±1%, ±0.5cm/s	0.1cm/s
羅盤角 (compass) 傾斜角 (Tilt)	流通量式 (Flux gate) 液態式 (Liquid)	0-360° Max tilt 30°	±2°	0.1°

溫度 (Temperature)	內嵌電熱式 (Thermistor)	-4°C to 30°C	±0.1°C	0.01°C
壓力 (Pressure)	壓阻式 (Piezoresistive)	0-100m	0.25% F.S.	0.005% F.S.

註：音波頻率區分為 0.6、1、2MHz，最大探測深度：40、20、10m，可觀測層數：128，每層深度：0.1~4m，最大取樣頻率：2Hz。



圖B.2 Aquadopp Profiler海流剖面儀

B.5 作業照片



圖B.3 準備吊運相關設備至作業船隻



圖B.4 混凝土塊預備投放



圖B.5 潛水員預備下水作業



圖B.6 潛水員下水作業

附 錄 十 三
海 域 地 質 鑽 探 報 告

地質評估摘要

本地質評估工作旨在透過文獻研讀及調查資料蒐集分析(包括單音束及多音束水深探查、側掃聲納、底質剖面探查、海底磁測、CPT、震盪岩心取樣、地質鑽孔等資料)，歸納區域地質及場址地質特性，並釐清關鍵之地質、土工問題。

本計畫風場位於台灣海峽東側之彰雲砂脊與澎湖水道交接範圍。海床表層材料特性受控於潮流之侵蝕及搬運作用，含大量砂質沉積物，並可見諸多海底砂脊地形。海底地質方面，藉由底質剖面資料及鑽孔資料之比對，可判釋出若干層與晚期更新世以來海進、海退作用有關之沉積序列，其中包括表層再積性堆積物、高水位體系域、海進體系域、低水位體系域以及膠結較佳之沉積物等，其中表層再積性堆積物屬近期之海流淘刷、堆積產物，工程性質較差。整體而言，本區海底地質以砂質、粉砂質及泥質堆積為主，惟19號風場於-33m以下深度之沉積物偶夾礫石，而深度-80m範圍內並未入岩盤。此外，計畫區域內並無發現斷層構造跡象。基於上述探查資料，計畫範圍之地質剖面如圖1至圖5所示：

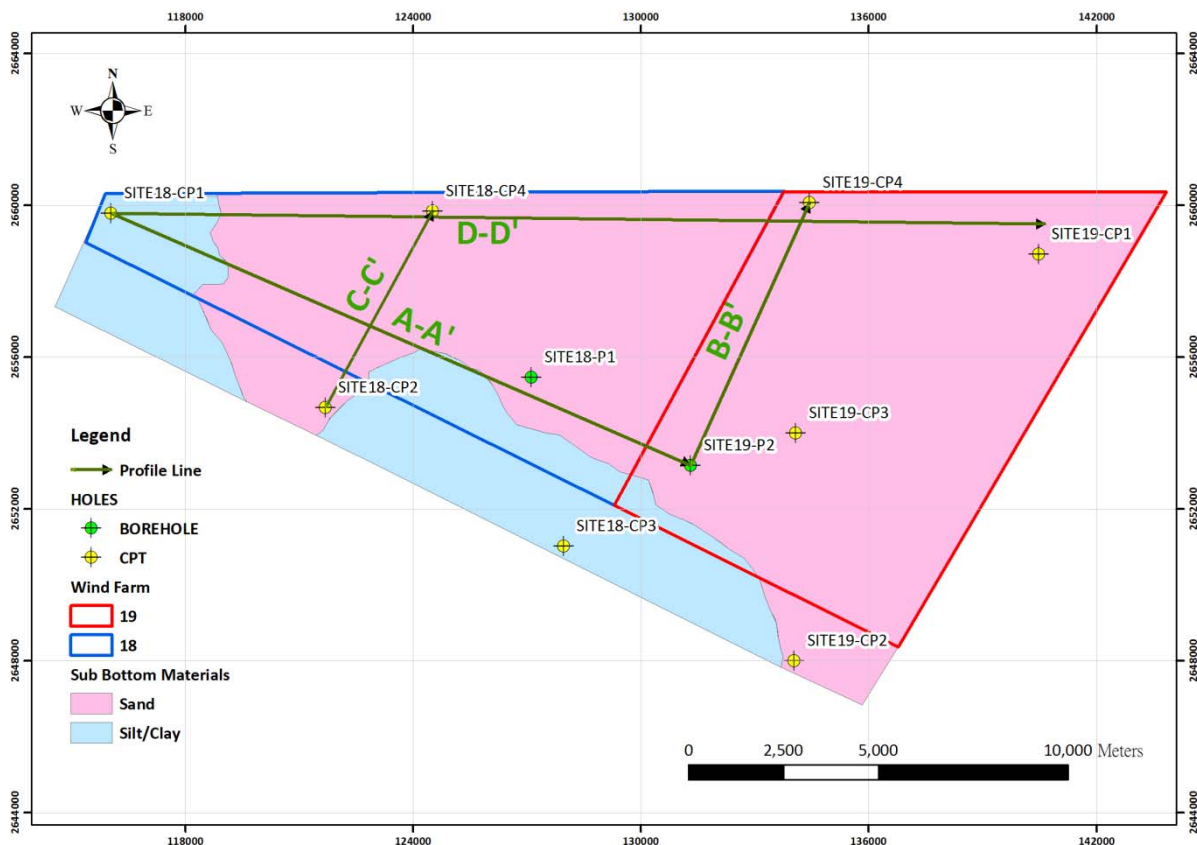


圖 1 計畫範圍調查分布圖

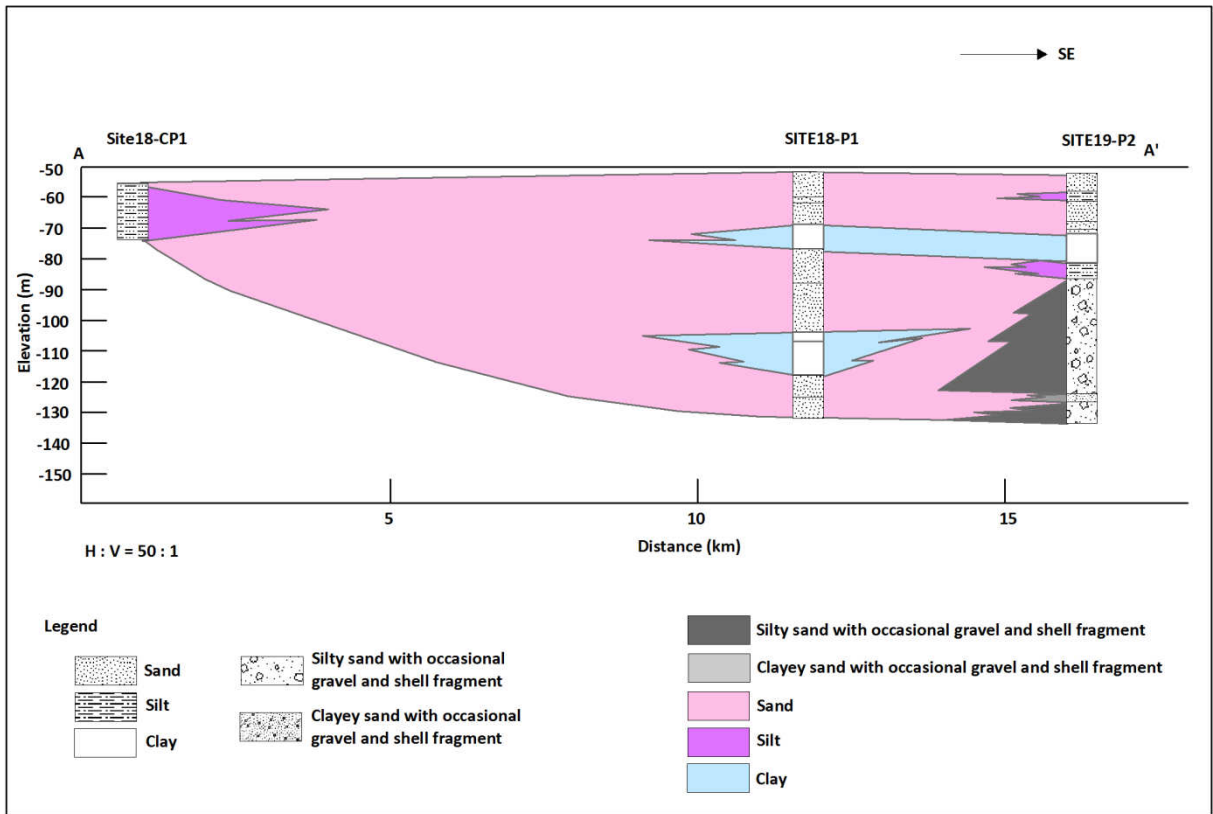


圖 2 AA'剖面圖

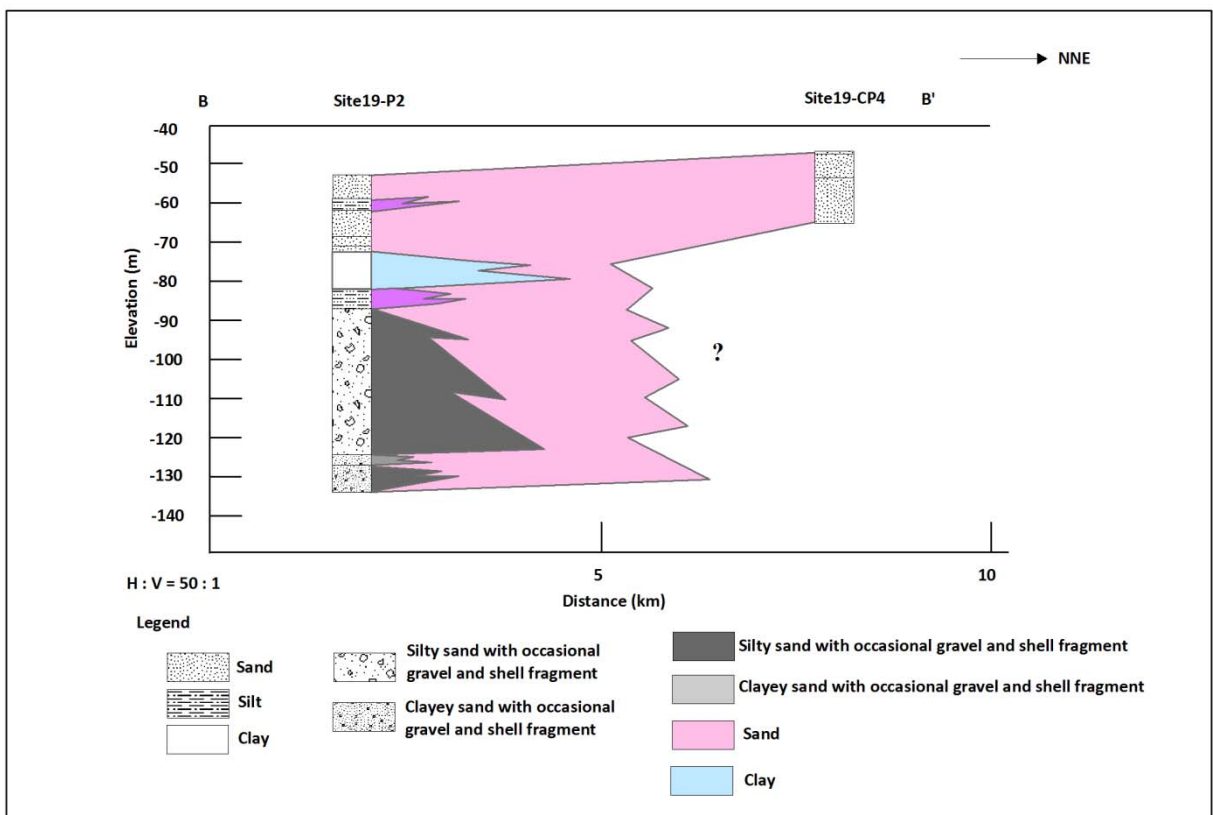


圖 3 BB'剖面圖

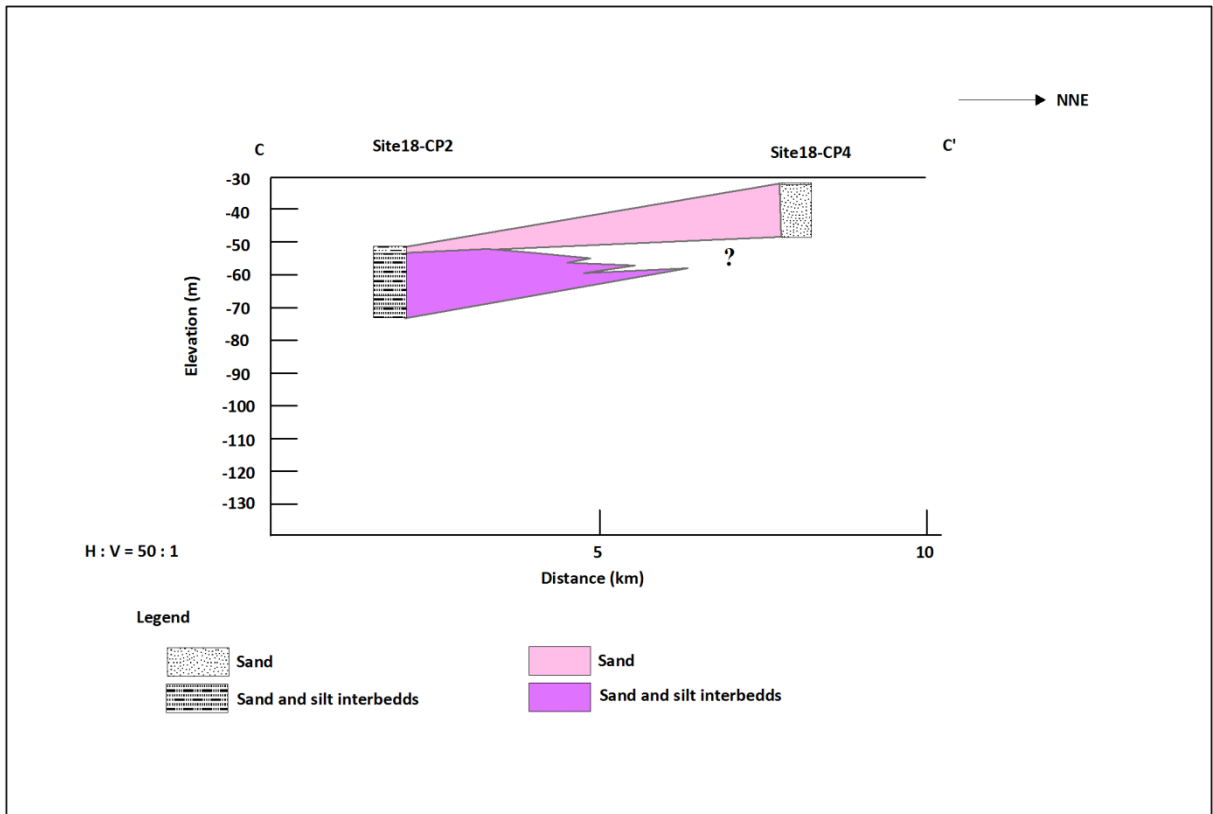


圖 4 CC'剖面圖

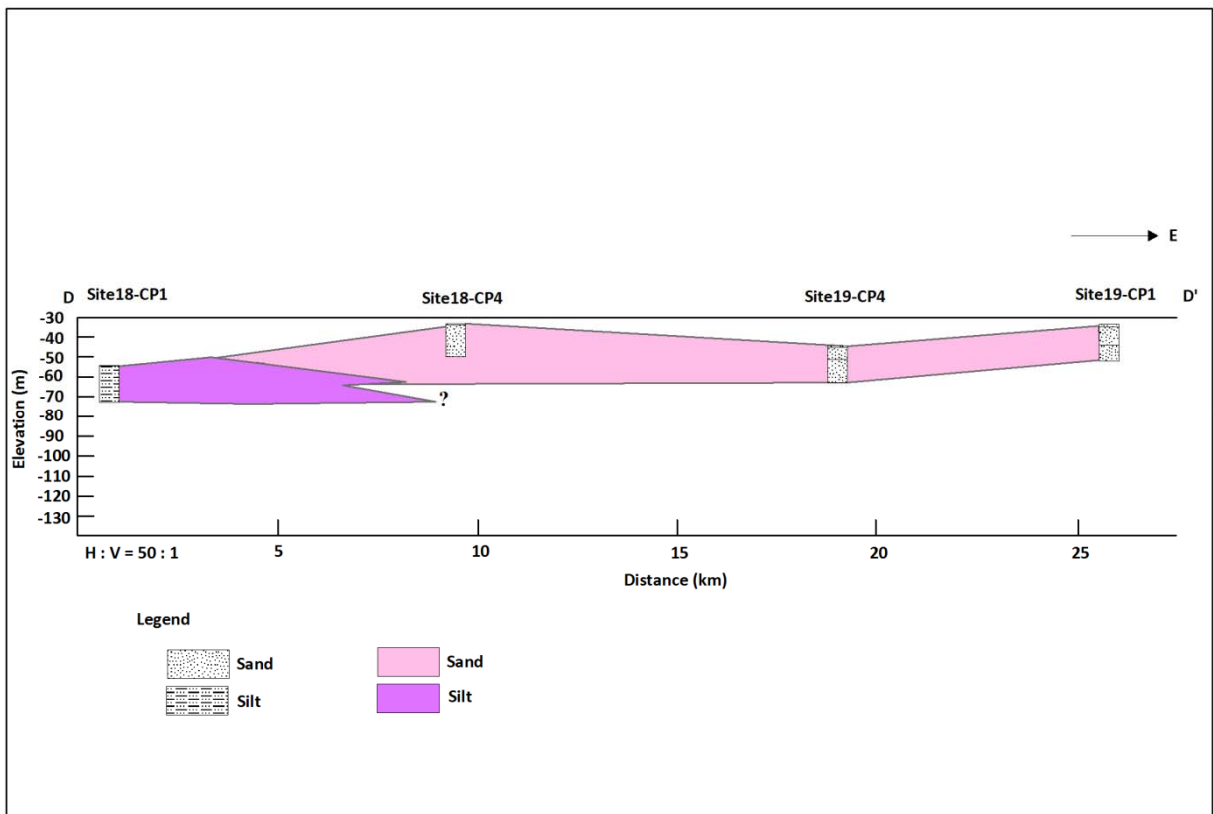


圖 5 DD'剖面圖

附 錄 十 四

海域地球物理調查報告

臺灣海峽離岸風力發電潛力場址 18、19 水深、底質與震測資料分析

國立臺灣大學海洋研究所震測探勘實驗室

中華民國 105 年 10 月

目錄

目錄.....	1
1、緒論.....	2
1.1、臺灣海峽的地質與沈積架構.....	2
1.2、彰雲沙脊與附近地區之地質構造.....	4
1.3、彰雲沙脊與附近地區之沈積動力.....	8
1.4、彰雲沙脊與附近地區之水深形貌與沈積特徵.....	10
1.5、彰雲沙脊之演化.....	13
2、潛力場址 18、19 區塊調查結果分析.....	20
2.1、水深地形與底質特徵分析.....	20
2.2、沙波特徵分析.....	30
2.3、震測資料分析.....	32
2.3.1、層序地層學分析原理.....	32
2.3.2、層序地層學分析結果.....	35
2.3.3、震測剖面之構造分析.....	39
3、管線規劃區調查結果分析.....	40
4、可能海進沈積物基底面辨識.....	45
參考資料.....	48

1、緒論

就離岸風力發電環境之探討，瞭解開發區域海床的穩定性，是考慮風機基座設計與位置的關鍵資訊之一，因此海洋地質環境評估是離岸風力發電場址選擇的重要先期工作。本案調查區位在臺灣海峽與彰雲沙脊，瞭解臺灣海峽與彰雲沙脊之地質與潮流環境背景，以及調查區域細部地質特性，是本案重要工作目標。

1.1、臺灣海峽的地質與沈積架構

臺灣島位於亞洲大陸棚的東南邊緣，臺灣周邊的海底地形大致可區分成西、北兩側的陸棚區，與東、南兩側的深水區。地體構造上，臺灣處於歐亞板塊與菲律賓海板塊交界，島上的山脈與臺灣海峽分別為臺灣造山帶與臺灣西部前陸盆地(Western Taiwan Foreland Basin, Yu and Chou, 2001)的耦合，係由於造山帶荷重於板塊之上，致使板塊撓曲、沉降而形成了前陸盆地。臺灣西部前陸盆地包含了臺灣海峽東部、臺灣西部海岸平原以及西部麓山帶(圖 1.1.1);若以盆地架構而言，臺灣西部前陸盆地可分為沈積物主要堆積區-前淵(foredeep)，以及前淵西界的抬升地體構造-撓曲前凸起(forebulge)。

臺灣海峽位在臺灣島西側海域，平均水深約 60 公尺，在地形上可視為一寬 150 多公里的陸棚區，向西連接中國大陸，向北連結東海陸棚區。在彰化雲林外海則存有一地形高區，水深僅約 20 至 30 公尺，稱為彰雲沙脊，其南接澎湖水道、西對烏坵凹陷、北鄰觀音凹陷(圖 1.1.1、圖 1.1.2)。本案調查作業之區域即位於彰雲沙脊之東南隅(圖 1.1.2)。

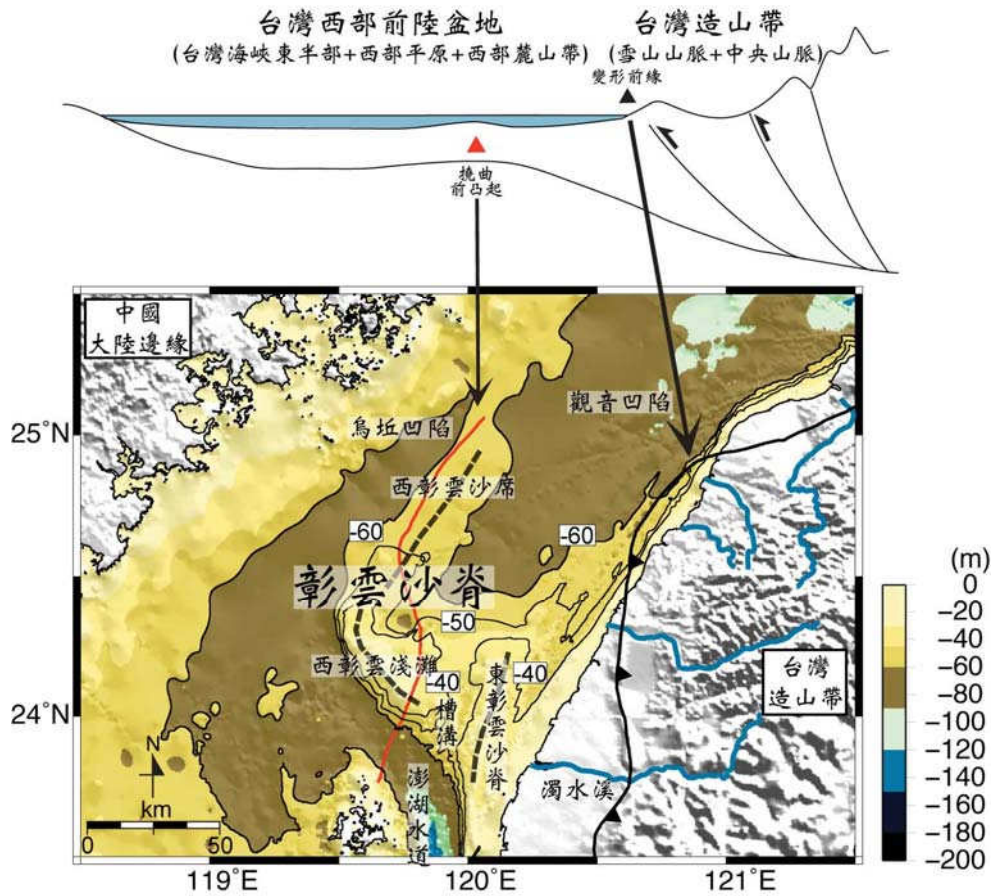


圖 1.1.1、臺灣海峽之地體構造。臺灣海峽東部為臺灣西部前陸盆地的一部分。
修改自 Chang et al. (2015)。

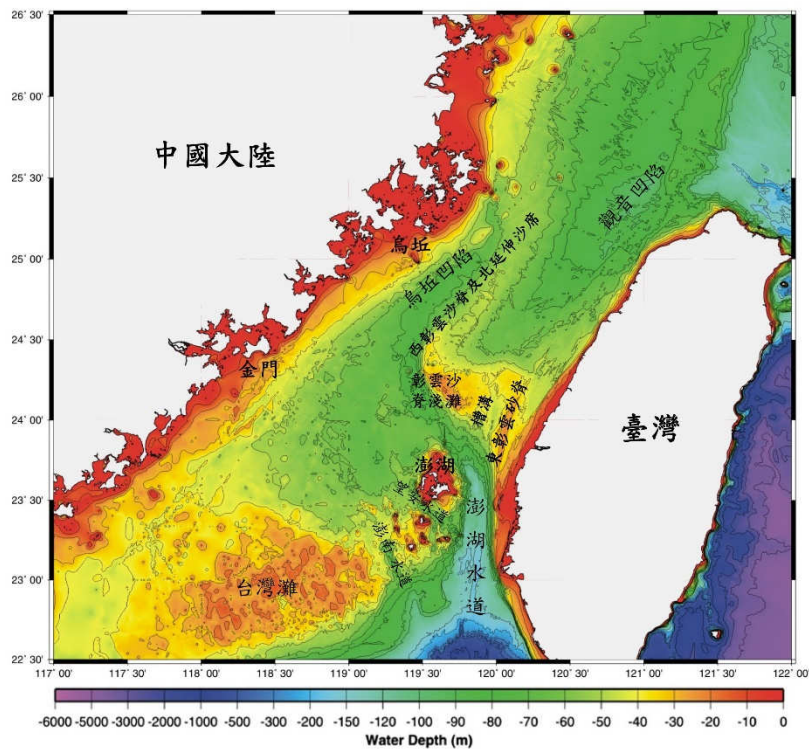


圖 1.1.2、臺灣海峽與彰雲沙脊地形圖，紅色虛線框為本案主要調查範圍位置圖。

1.2、彰雲沙脊與附近地區之地質構造

在地體構造上，彰雲沙脊之位置約略落於臺灣西部前陸盆地的撓曲前凸起帶上(Yu and Chou, 2001; Chang et al., 2015; 圖 1.2.1、圖 1.2.2)，是以彰雲沙脊可視為前陸盆地系統的前凸起堆積區(Chang et al., 2015)。根據研究，前凸起地區地地殼撓曲將形成一局部性的張裂環境，並造成撓曲型正斷層(Bradley and Kidd, 1991)，而臺灣海峽亦有此構造的報導(Chou and Yu, 2002; Chang et al., 2015)。

根據 Chou and Yu (2002)針對臺灣海峽東側正斷層的分析，發現除了較老、切過古新統地層的正斷層之外，另外發育了一組較年輕、切過晚中新統以來前陸盆地層序的正斷層(圖 1.2.3)。年輕的正斷層走向是以南北向、平行彰化斷層為主，斷距多小於 100 公尺，同時越往中國大陸沿岸方向，斷層發育的年代越為年輕(圖 1.2.4)。這組年輕的正斷層與深部、東西走向為主的同張裂正斷層不同，被認為是前陸板塊撓曲所致使的同造山(syn-orogenic)的正斷層(Chou and Yu, 2002; Chang et al., 2015)。

臺灣海峽東半部雖或有前陸板塊撓曲型地殼活動與正斷層，然而(1)前陸盆地撓曲正斷層的斷距通常較小，至今尚未有造成災害的報導；(2)目前認為沙脊的形成主要是以潮流堆積的沈積作用為主(Liao et al., 2008; Chang et al., 2015)，而非與構造活動直接相關；(3)以目前的觀測資料，砂體的本身並無正斷層活動的紀錄(Chang et al., 2012; Chang et al., 2015)；(4)亦有研究認為撓曲前凸起或應發生在更靠近中國沿岸的位置(Lin et al., 2003; Chang et al., 2012)。根據以上分析，臺灣海峽的前凸起撓曲正斷層構造，以震測資料的解釋角度而言，目前

成為潛在地質災害威脅之證據並不明顯，但其詳細之風險性評估尚需進一步的資料分析工作(如地震資料、GPS 位移資料)來做釐清。

更往深部，可觀察到鄰澎湖的澎湖-北港基盤高區特徵，該基盤高區形成年代應屬中新世，普遍見於澎湖-北港海域的震測剖面(圖 1.2.2，Lee et al., 1973；翁等，2010)。北港高區分隔了不同的盆地，其南側為台南盆地，北側為台西盆地(Sun, 1985)，從地質構造與沈積盆地的角度來看，該基盤高區可為一重要的區域性構造(圖 1.2.2、圖 1.2.3)。除了反射震測，澎湖-北港高區亦有明顯的重力與磁力特徵，呈現重力異常以及磁力異常的高區(分別為 60 mGal 和 200nT；Hsieh et al., 2010；Hsieh et al., 2014)。重力資料顯示澎湖與北港高區之下有較淺(約 25 公里)的莫合面，則此不只為盆地尺度(數公里尺度)，亦或為一地殼尺度(數十公里以上尺度)之構造，此深部的中新世基盤高區可視為臺灣海峽區域最為穩定的基盤構造。

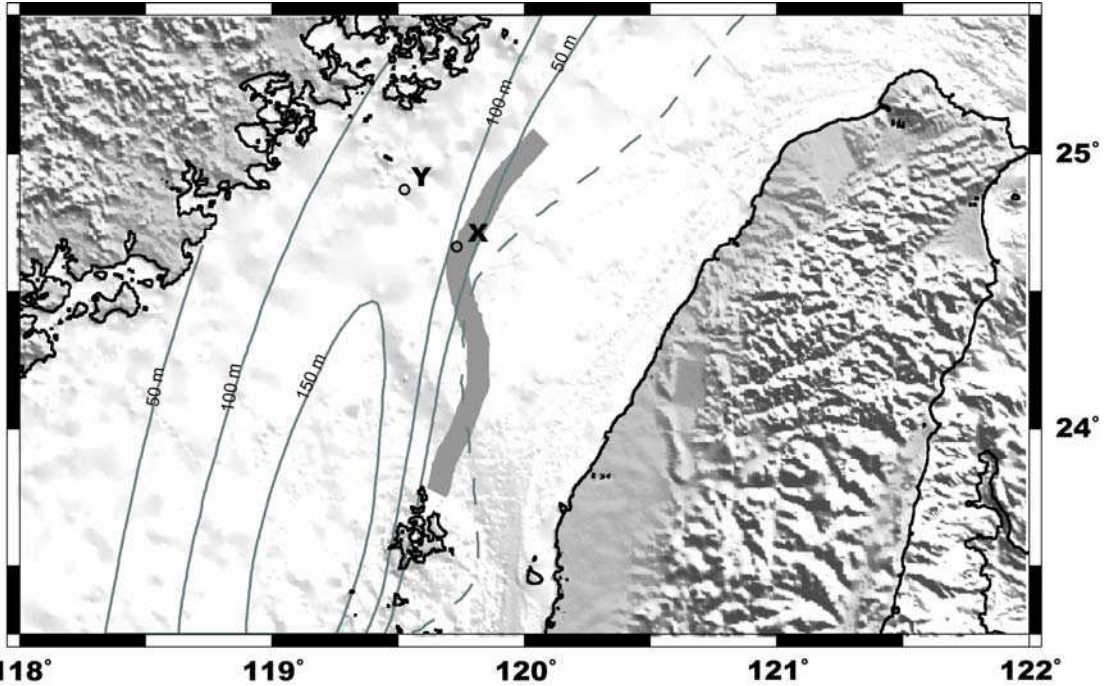


圖 1.2.1、臺灣西部前陸盆地前凸起可能的位置。灰色線為 Yu and Chou (2001) 所繪製，細等值線則為 Lin and Watts (2002) 所繪製。引用自 Chang et al. (2012)。

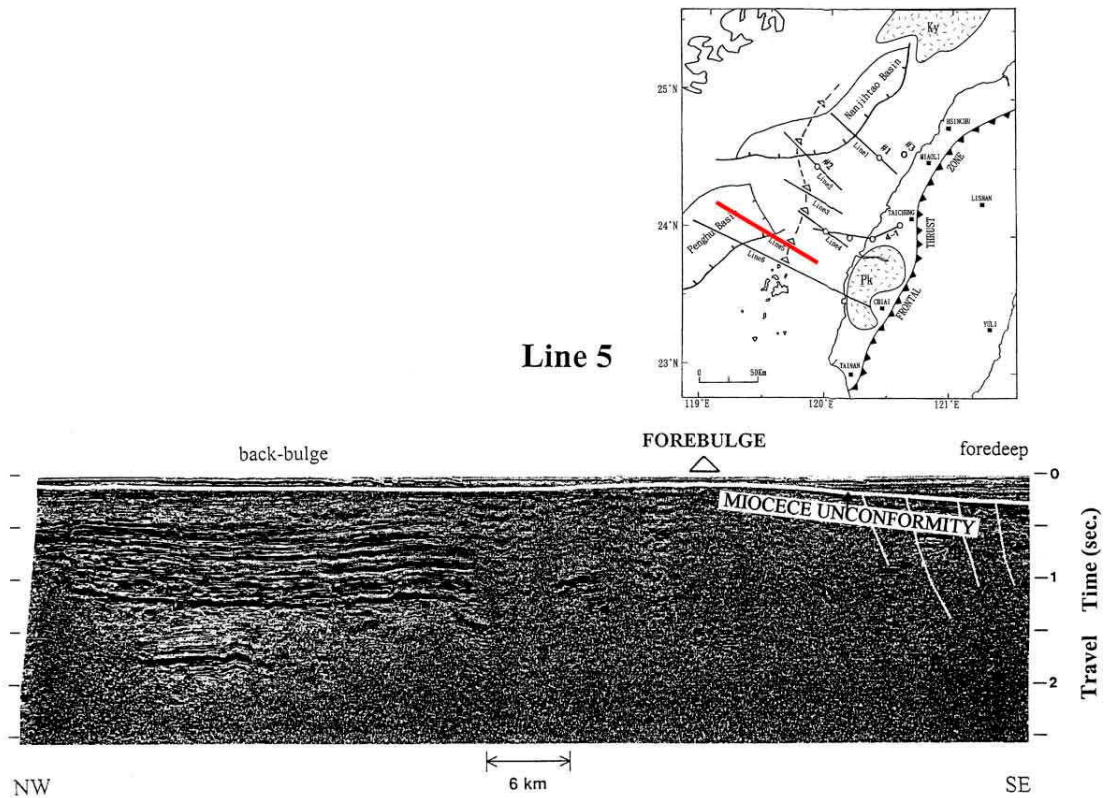


圖 1.2.2、臺灣西部前陸盆地震測剖面與解釋，剖面位置如紅線所示。前淵為前陸盆地的主要堆積區，前凸起為前陸前緣主要的抬升構造，後凸起位於前凸起與穩定大陸邊緣之間的一低陷區。PK 為北港高區。引用自 Yu and Chou (2001)。

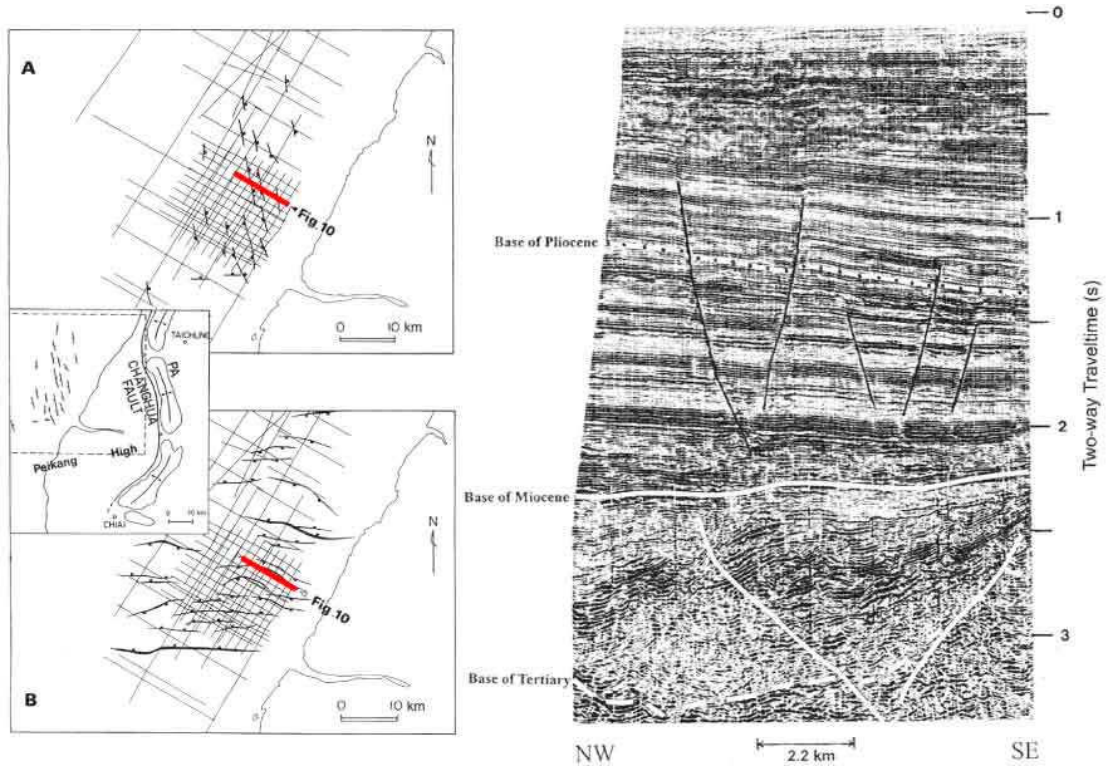


圖 1.2.3、臺灣西部前陸盆地之撓曲型正斷層，震測剖面位置如紅線。引用自 Chou and Yu (2002)。

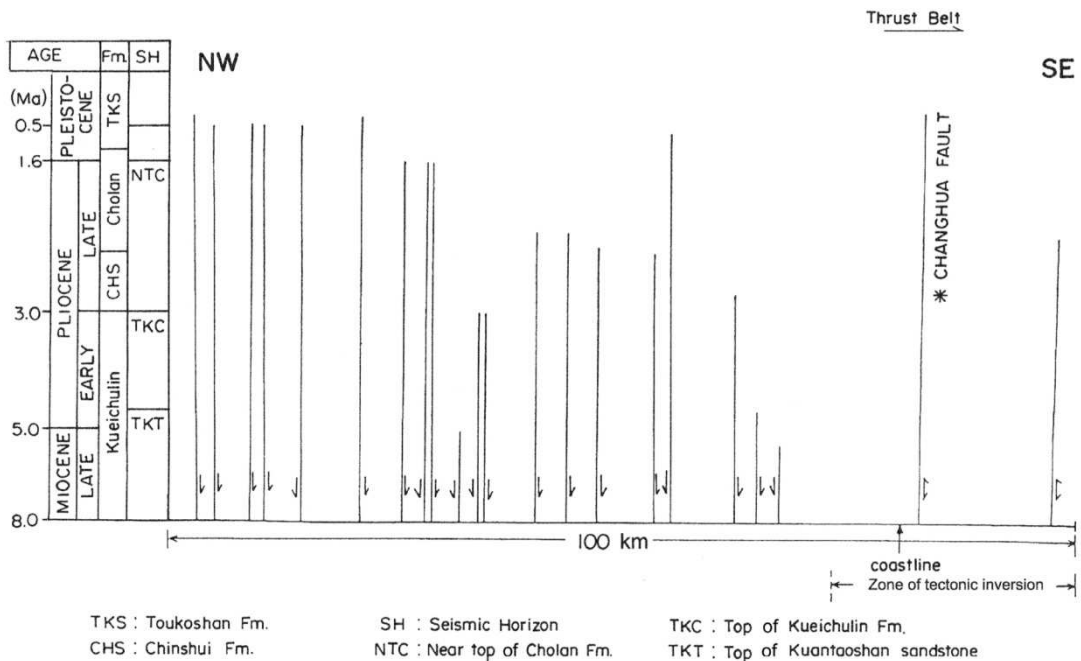


圖 1.2.4、臺灣海峽撓曲型正斷層活動年代分布圖。越往東，斷層活動的年代越近。引用自 Chou and Yu (2002)。

1.3、彰雲沙脊與附近地區之沈積動力

臺灣島輸出的沈積物進入臺灣海峽之後，將受到海流與潮流的搬運與傳輸。臺灣海峽的海流在冬季受到東北季風、在夏季受到南方溫暖海水進入的影響，呈現季節性的變化(圖 1.3.1)。同時，臺灣海峽受到太平洋潮汐的影響，潮汐明顯，屬於 M2 潮(半日潮)(Jan et al., 2004)，在臺灣海峽的中間部分如台中港，有最高的潮差，其平均潮差在 4.5 公尺，最大可達 6 公尺，此外潮汐的影響也形成了逕向北的潮流，其流速可能超過 1 公尺/秒，目前被視為海洋沈積物堆積的重要沈積營力，也是造成臺灣海峽沙波構造的主要成因之一(圖 1.3.2)。

除了海峽水文動力方面的考量，由於臺灣最大的河川濁水溪，在臺灣中部出海，常年有大量沈積物輸出，臺灣海峽之地形與沈積勢必受到濁水溪沈積物輸出的影響。同時，臺灣極其活躍的構造與地震活動不但造成了山崩地滑，也提供了大量的沈積物來源(Dadson et al., 2003)；另一方面，頻繁的颱風事件，更成為沈積物向下游傳輸的重要營力(Dadson et al., 2005)，其在河川中形成能超量載負沈積物的超密度流(hyperpycnal flow)，在短時間內可將大量沈積物輸入臺灣海峽(Xu et al., 2009)。臺灣的活動構造與日趨頻繁的極端氣候事件可能讓臺灣河川，特別是濁水溪、曾文溪等流入臺灣海峽的主要溪流，得以對離岸較遠的臺灣海峽中間海域，即較遠濱環境的沈積砂體造成影響。

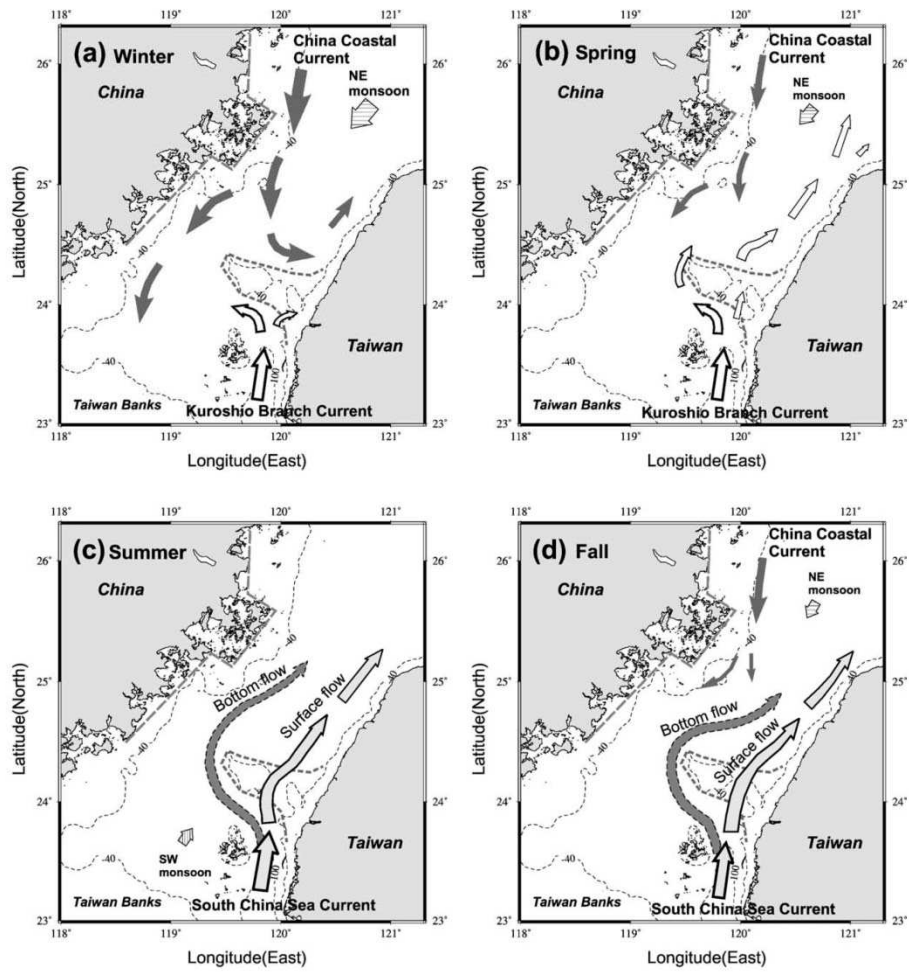


圖 1.3.1、臺灣海峽四季之海流分布。引用自 Jan et al. (2002)。

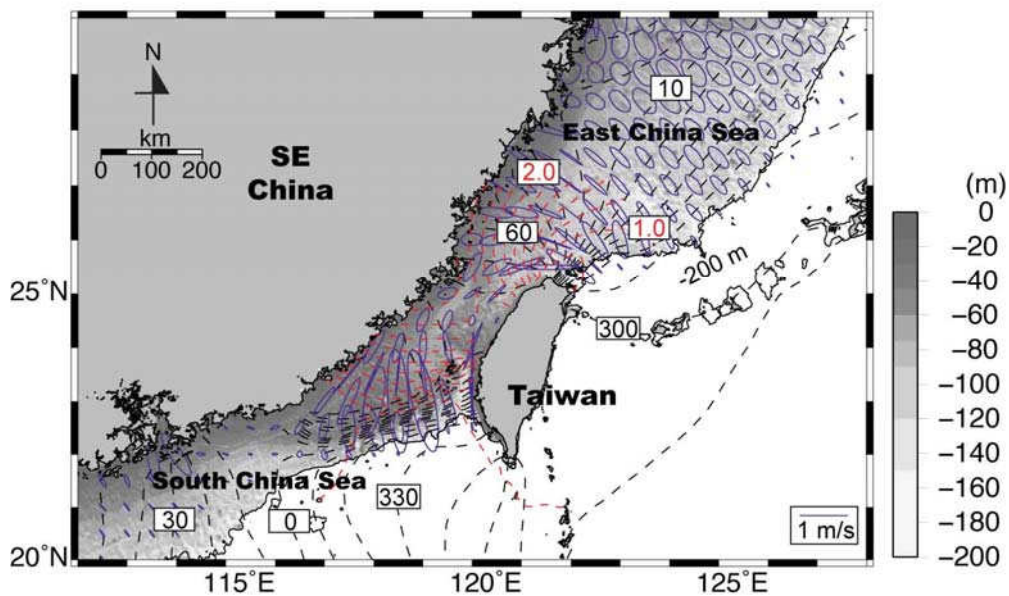


圖 1.3.2、臺灣海峽與鄰近海域潮流分布。紫色為潮流橢圓，其長軸說明了潮流的走向；紅色線與黑色線則分別為等相位線與等潮線。引用自 Chang et al. (2015)

1.4、彰雲沙脊與附近地區之水深形貌與沈積特徵

彰雲沙脊位於彰化外海，為臺灣海峽最主要的地形特徵。早期研究已經知道臺灣海峽有許多大型沙波(Boggs, 1974)，並認為可能與殘餘或變餘沈積物有關(Boggs, 1979；張, 2002；張, 2008)。而根據近來的研究(Liao et al. 2005、2008)，澎湖水道的沈積物被北向強潮流侵蝕後搬運至北方出口，堆積區形成沙脊，侵蝕區形成槽溝。彰雲沙脊與澎湖水道組合成潮流沈積體系，以砂質沈積物為主要組成，依其形貌，由東至西可分四區，依序是東彰雲沙脊、槽溝、西彰雲沙脊南端淺灘、西彰雲沙脊及北延伸沙席(圖 1.1.1)。

東彰雲沙脊為典型的潮流沙脊，潮流流向與沙脊走向一致，是由往復型潮流所形成。西沙脊為非典型沙脊；由旋轉型弱潮流形成；南端淺灘為活動沙脊區域，具有許多沙波構造(圖 1.4.1)，大多數沙波緩坡面向西南方，顯示沈積物主要的搬運動力是北向潮流。就沈積物粒徑分佈而言，東彰雲沙脊以中砂為主，西沙脊南端高區主要是中細砂，而延伸沙席區為細砂、極細砂與粉砂。依照上述地形分區，本工作案調查地區位在彰雲沙脊的槽溝區之西緣至西彰雲淺灘的東南隅，水深介於 26-71 公尺間。

在彰雲沙脊之下，約莫距離海水面 75 至 80 公尺處，存在一不整合面，一般認為該面與末次冰期有關 (Liao et al., 2008；Liu et al., 2008，圖 1.4.2)。然而由於迄今尚未有探井或長岩心標本能提供該面的年代資訊，使得該面的形成與海水面升降循環間的年代控制無法確認，若日後能有碳 14 或光螢光定年等資訊，則可對該不整合面的年代與其成因能有進一步討論。

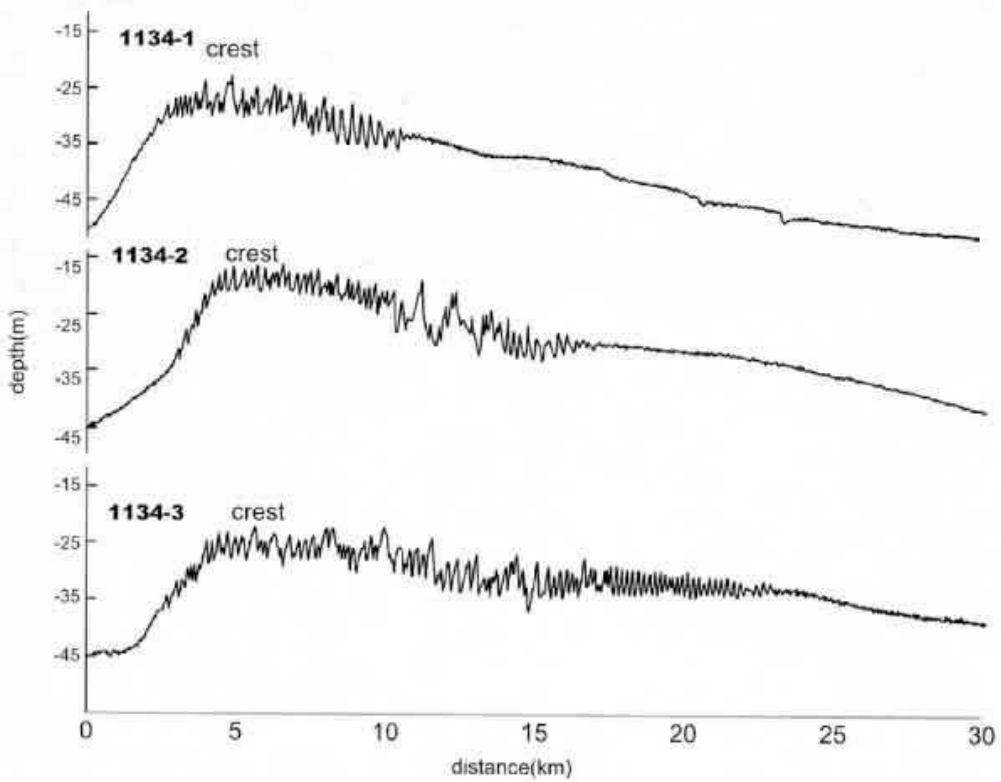
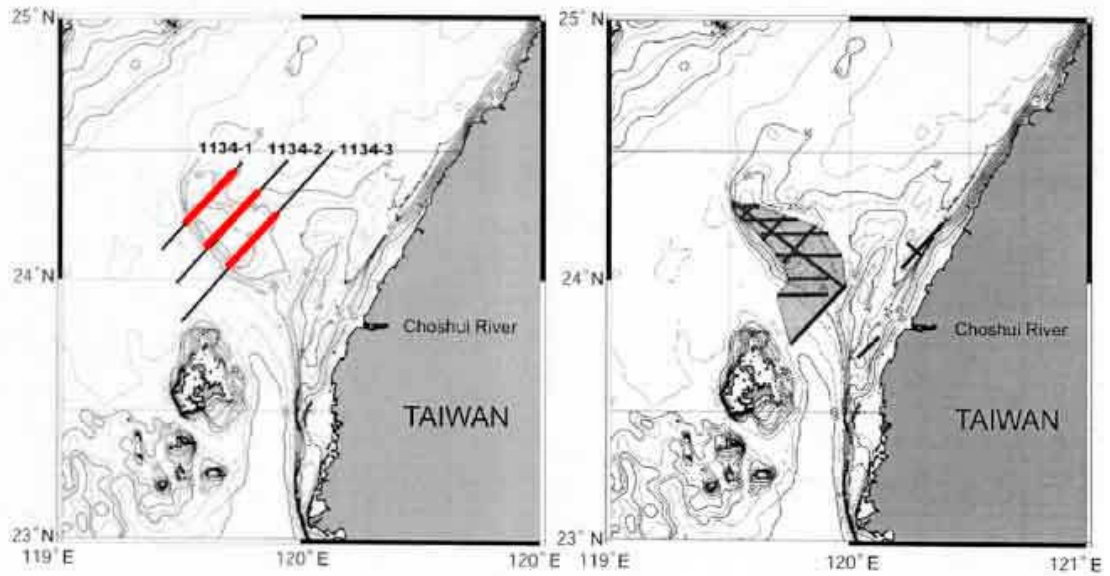


圖 1.4.1、彰雲沙脊之水深剖面位置與沙波分布。左上圖為水深剖面之位置，右上圖為沙波之分布，下圖則為有沙波特徵之水深剖面。引用自 Liao and Yu (2005)。

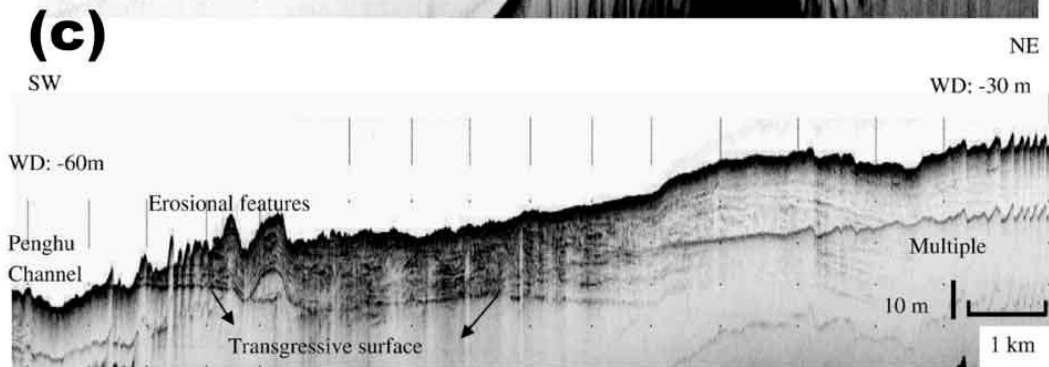
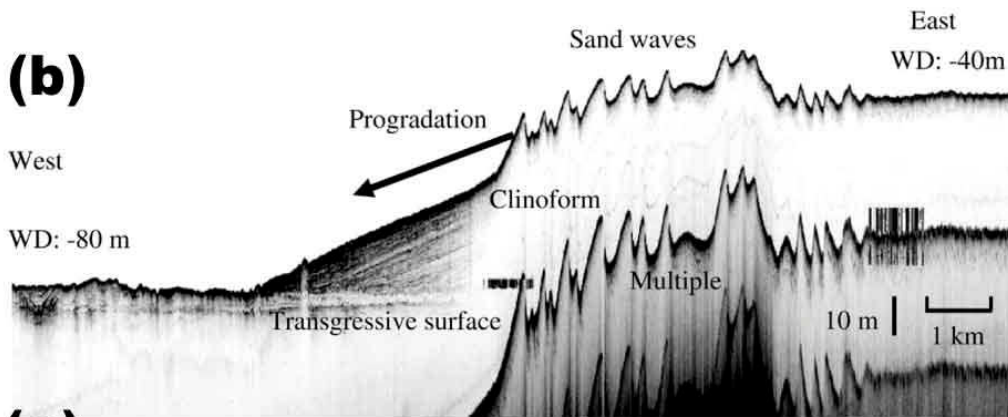
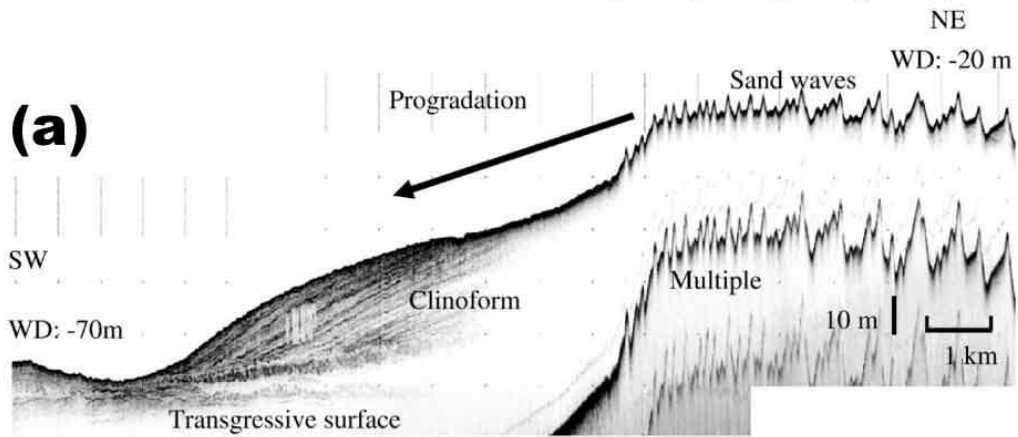
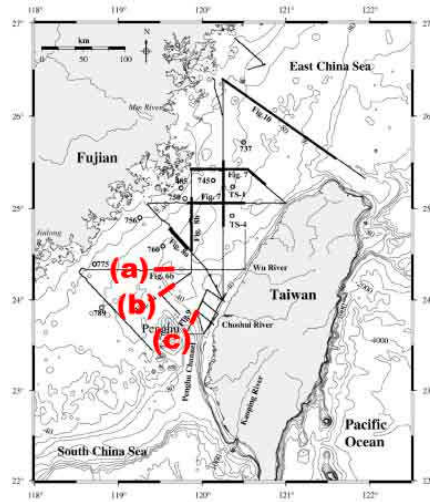


圖 1.4.2、彰雲沙脊已發表之底質剖面。引用自 Liu et al. (2008)。

1.5、彰雲沙脊之演化

臺灣海峽的沈積物研究，最早可追溯至 Niino and Emery (1961)。他們認為臺灣海峽大部分之沈積物為上次冰河期曝露於空氣中，海平面上升後未再受到搬運之殘餘沈積物(relict sediment)。根據調查資料，Boggs et al. (1979)提出臺灣海峽表層沈積物以砂質為主，並認為粗顆粒沈積物是晚更新世冰期、臺灣海峽海水面下降約 120 公尺時，由河流作用所帶來的沈積物。同時也辨識出泥質帶、現代沈積物與變餘沈積物(palimpsest sediment)(圖 1.5.1)。隨後，邱瑞焜(2000)根據 3.5 千赫回聲資料，將臺灣海峽沈積作用帶分成四部分，分別為大陸陸源之現代泥質沈積帶、上次冰河期遺留之殘留沈積帶、混合殘餘與現代沈積物之變餘沈積帶、以及臺灣輸出之現代砂質沈積帶(圖 1.5.2)。張植翔(2002)則根據沈積物粒徑與趨勢矩陣資料，認為現代泥質沈積帶不只分佈在中國大陸沿岸，將現代泥質沈積帶往東延伸至觀音凹陷西側與海峽中段(圖 1.5.2)。張嫻珊(2008)則利用鉛 210 同位素定年與粒徑分析方式，討論臺灣海峽東側沈積物之來源及其傳輸途徑，若以沈積動力的角度觀之，臺灣海峽沈積物屬現代潮流沈積系統的一部份。臺灣海峽中的彰雲沙脊沈積物主要由老的潮流沈積物組成，並混合來自臺灣西部河川所輸出的現代沈積物，再藉由海流作用向北傳輸、沈積。

臺灣海峽以末次冰期殘餘沈積物為主的觀點，在臺灣海峽的潮流研究之後發展後有了重大變化。由於學者開始注意到臺灣海峽內的潮流非常強，乃至有可能影響海峽內沈積物的搬運，於是開始有人提出臺灣海峽的沈積形貌比起殘餘沈積，更有可能是潮流沙脊的堆積結果。Liao and Yu (2005)根據沙脊頂部沙波的觀察，證實了潮流切確是影響

臺灣海峽海床形貌的重要原因。因此，學者開始以晚更新世上次冰河期以來可能的潮流演化，討論彰雲沙脊的成因。

廖宏儒(2006)提出一彰雲沙脊之三階段演化模型(圖 1.5.3)：(1)1 萬 7 千年前到 1 萬 5 千年前(17-15 ka)之期間為低水位期，澎湖水道的陸棚區當時為海岸帶，南海海水入侵，潮流侵蝕澎湖水道；(2)1 萬 5 千年前到 1 萬 4 千年(15-14 ka)前為海進期，海水面快速上升至現在水深 75 公尺的位置，南海水開始進入臺灣海峽，潮流將澎湖水道沈積物往北搬運，但因濁水溪口水下沙體阻擋，沈積物在此或往西堆積；(3)1 萬 4 千年前至今(14 ka-)為高水位期，潮流變成南北向的海峽系統，加上漏斗狀澎湖水道的地形，加強北上潮流的強度。此時期的潮流帶來沈積物堆積在沙脊上外，亦修飾沙脊外型：海峽東側近臺灣西岸往復型強潮流，將東沙脊修飾成線型沙脊；而海峽中部旋轉型弱潮流形成寬廣的西彰雲淺灘與西北延伸沙席。Liu et al. (2008)則提出彰雲沙脊演化的早期應為一水下三角洲(subaqueous delta)，因此發育了良好的三角洲前積(foreset)。除了沙脊的演化，Liao et al. (2008)亦推測了沙脊的未來演化(圖 1.5.4)，認為由於沙脊在高水位時期已完全為潮流作用所影響，因此現階段仍接連東彰雲沙脊與西彰雲沙席的西彰雲淺灘，受到潮流作用影響，其走向將會由現在的西北-東南向，逐漸轉變成為與潮流、東彰雲沙脊與西彰雲沙席走向相似的東北-西南向。

Chang et al. (2015) 參考了 Liao et al. (2008)潮流再搬運以及 Liu et al. (2008)的水下三角洲，提出一較整合之模型(圖 1.5.5)，並提出潮流為一能將沙脊一分為數之重要的沈積動力。是以在臺灣海峽的海床穩定度與沈積物的傳輸上，潮流的動力扮演了非常重要的角色。

雖然所累積的學術文獻資料可以幫助瞭解彰雲沙脊的區域地質架構與演化模型，但就尺度而言，其在工程地質的調查應用解析度上仍有所侷限。故本報告以下將以過往對臺灣海峽彰雲沙脊區域的地質背景資訊做為學理基礎，透過對調查區高精密水深調查、震盪式岩心沈積物底質分析以及高解析度的反射震測剖面解釋工作，進行臺灣海峽離岸風力發電潛力場址 18、19 區域的地質評估工作。透過高解析度的地形資料與底質分析結果，得以探討調查區沙丘構造與潮流活動間的相互關係，判斷可能的沈積與侵蝕環境區域分布以及瞭解海床下淺層沈積物之組成與沈積層特性。而利用層序地層學分析方法討論反射震測剖面，則可討論在合理之工程尺度下，末次冰期以來的穩定基底面分布位置，進而對主要潛力場址 18、19 區域及其連接之海底管線鋪設區的地質穩定性進行評估工作。

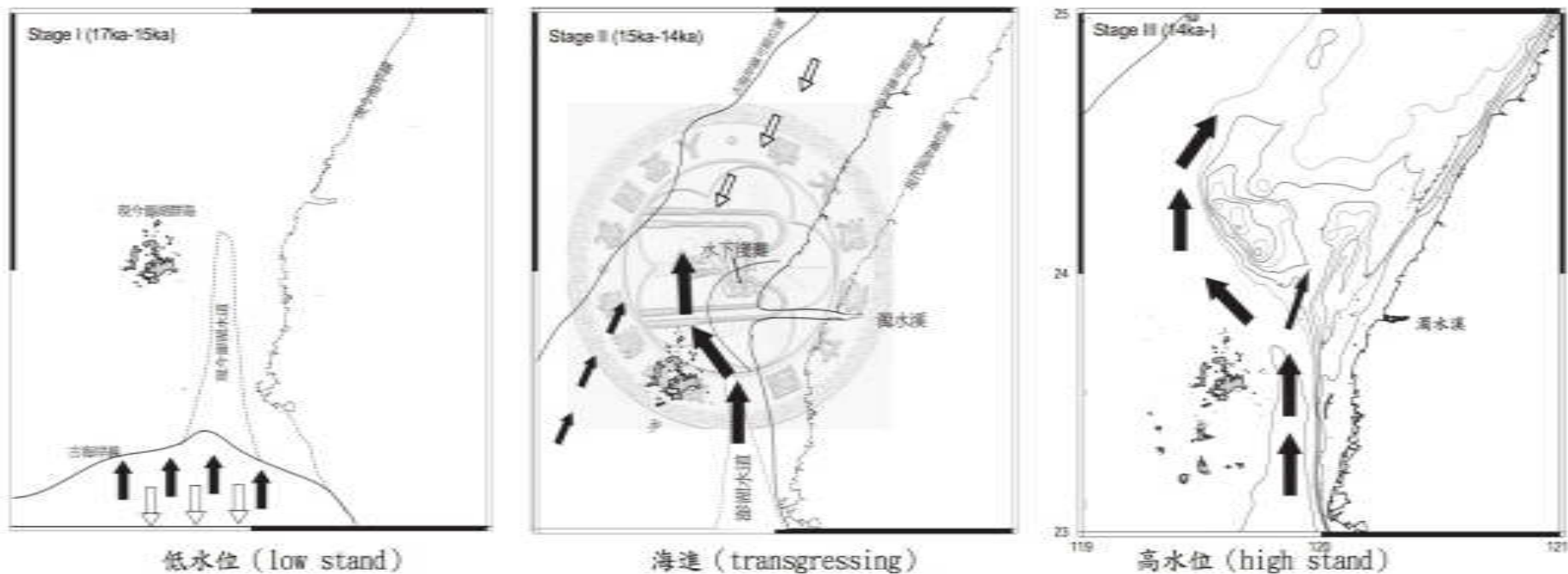


圖 1.5.3、彰雲沙脊之形成機制與三個階段。1 萬 7 千年前到 1 萬 5 千年前(17-15 ka)之期間為低水位期(圖左)，澎湖水道的陸棚區當時為海岸帶，南海水入侵，潮流侵蝕澎湖水道；1 萬 5 千年前到 1 萬 4 千年(15-14ka)前為海進期(圖中)，海水面快速上升至現在水深 75 公尺的位置，南海水開始進入臺灣海峽，潮流將澎湖水道沈積物往北搬運，但因濁水溪口水下沙體阻擋，沈積物在此或往西堆積；(3)1 萬 4 千年前至今(14 ka-)為高水位期，潮流變成南北向的海峽系統，加上漏斗狀澎湖水道的地形，加強北上潮流的強度。此時期的潮流帶來沈積物堆積在沙脊上外，亦修飾沙脊外型：海峽東側近臺灣西岸往復型強潮流，將東沙脊修飾成線型沙脊；而海峽中部旋轉型弱潮流形成寬廣的西彰雲淺灘與西北延伸沙席(圖右)。引用自廖宏儒(2006)。

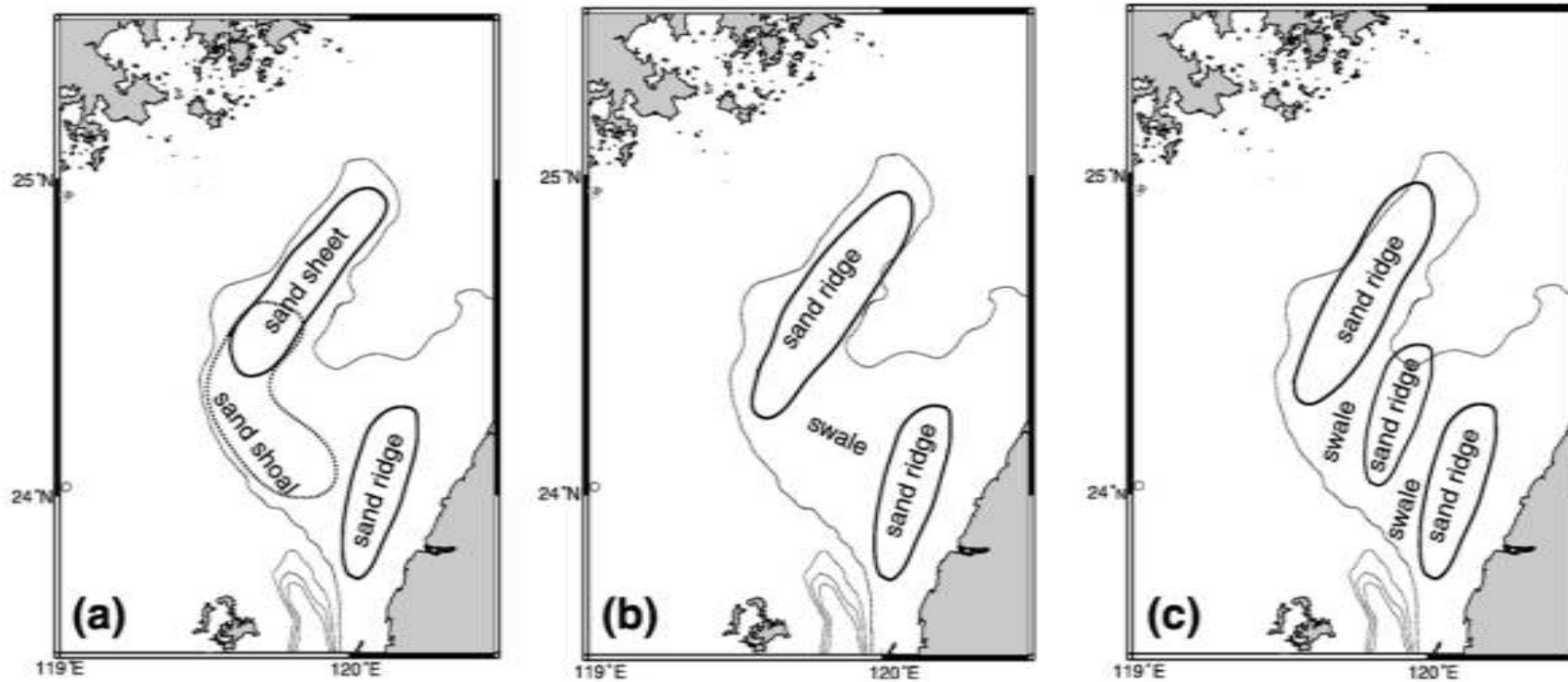


圖 1.5.4、彰雲沙脊之未來演化。沙脊在高水位時期，已完全為潮流作用所影響，因此現階段仍接連東彰雲沙脊與西彰雲沙席的西彰雲淺灘，受到潮流作用影響，其走向將會由現在的西北-東南向，逐漸轉變成為與潮流、東彰雲沙脊與西彰雲沙席走向相似的東北-西南向。引用自 Liao et al. (2008)。

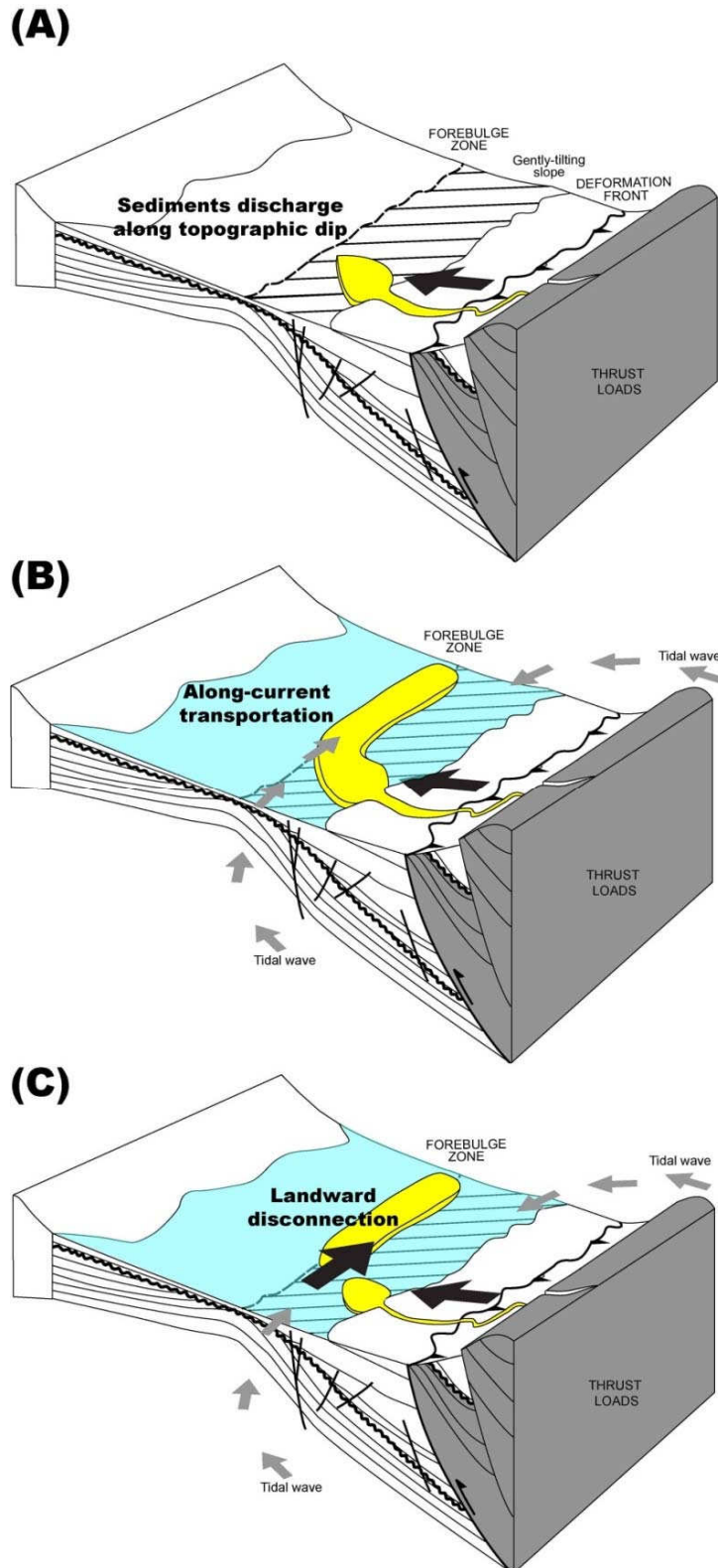


圖 1.5.5、彰化沙脊之演化與未來發育之示意圖。在發育的早期(A)，由造山帶輸出的沈積物進入當時為暴露的陸棚地區；在海水面升高後(B)，陸棚地區開始有潮流發生，陸緣沈積物也藉由潮流啟動了搬運與再沈積的作用，沈積物遂順著潮流，逐漸向海峽中部輸送；而潮流益盛(C)，長時間的潮流作用下，位於海峽中部、較遠濱的堆積體將逐漸與近岸的沙體分離。引用自 Chang et al. (2015)。

2、潛力場址 18、19 區塊調查結果分析

2.1、水深地形與底質特徵分析

本調查區域位於西彰雲淺灘的東南隅(圖 2.1)，沙波為本調查區域最重要的海床特徵。本調查利用高精度的多音束水深資料(圖 2.2、圖 2.3)來繪製水深圖(圖 2.4)與坡度分析圖(圖 2.5)，以分析調查區域內沙波之形貌。依據本調查區沙波之形貌特徵以及海床沈積物粒徑資訊，可初步將調查區域分作五區(圖 2.6)：東沙波區(eastern sandwave district；SW-E)、東南沙波區(southeastern sandwave district；SW-SE)、西沙波區(western sandwave district；SW-W)、西砂-礫區(western sand and gravel district；SG)以及粉砂-泥區(silt and clay district；SC)。

在有沙波出現的區域，東沙坡區位於潛力場址 18 的東緣，面積約 20 平方公里。水深最淺處約 35 公尺，最深處為西緣的 52 公尺。本區沙波主要呈西北-東南走向，其西南翼較緩、而東北翼較陡；沙波波長約為 450 公尺，脊頂到谷底的高程差(波高)約為 5 公尺(圖 2.7)；東南沙坡區的北部起於東沙坡區與西沙坡區之間，南部接鄰了潛力場址 19 的南界，與東沙波區和西沙波區的邊界呈指狀穿插的分布，面積約為 50 平方公里。水深範圍最淺處約 35 公尺，最深處約 55 公尺。本區沙波呈西北西-東南東走向，南翼與北翼的坡度較相近，但仍呈不對稱狀；波長約為 160 公尺，波高約為 6-9 公尺(圖 2.8)。除此之外，在東南沙波區沙波出現的密度較其他區為高。

西沙坡區位於西砂礫區和東南沙坡區之間，沙波的形貌由東到西逐漸變不明顯，最後進入了西砂-礫區與粉砂-泥區，面積約為 92 平方公里。西沙波區水深最淺處位於本區中部，可達 27 公尺，為本調

查區域之最，最深則為西緣接西砂礫區處，約 55 公尺。在西沙波區的東部，其走向與東側的東南沙波區相同，為西北西-東南東走向。然而越向其中部較淺水區，可以發現沙脊的走向有順時針轉的趨向，至最淺水處(圖 2.4，紅色部分)的走向甚至已經轉至西北-東南，此或為臺灣海峽潮流系統所影響之結果。沙波之形貌則仍以不對稱為主(圖 2.9、圖 2.10)。

除了以上三個有沙波出現的區域，另有西砂-礫區和粉砂-泥區無明顯沙波出現。西砂-礫區位於，面積約為 19 平方公里，水深範圍在 45 到 50 公尺之間；粉砂-泥區有兩處分布，分別位於調查區域的西南側以及最西隅，以西砂礫-區相間隔，面積分別為 36 與 50 平方公里。全區水深超過 45 公尺，西南隅部分超過 60 公尺。另外，本區僅在東側與北側、與東南沙波區和西沙波區接臨處有沙波出現。

整體而言，本調查區域的海床形貌特徵以沙波為主，沙波佔據了調查區域內 60% 以上的面積，更是水深淺於 55 公尺的絕大部分地區；砂質海床僅佔有 7% 左右的面積，而粉砂-泥質海床則占了 32% 的面積。一般而言，沙波說明了強烈底流的存在，在臺灣海峽裡這暗示了本區受到潮流的強烈影響，然而潮流對海床地形與沈積究竟是如何的影響、在未來 20 年或 30 年尺度的變化為何，則待更長時間尺度的觀測與進一步的形貌與沈積學分析。

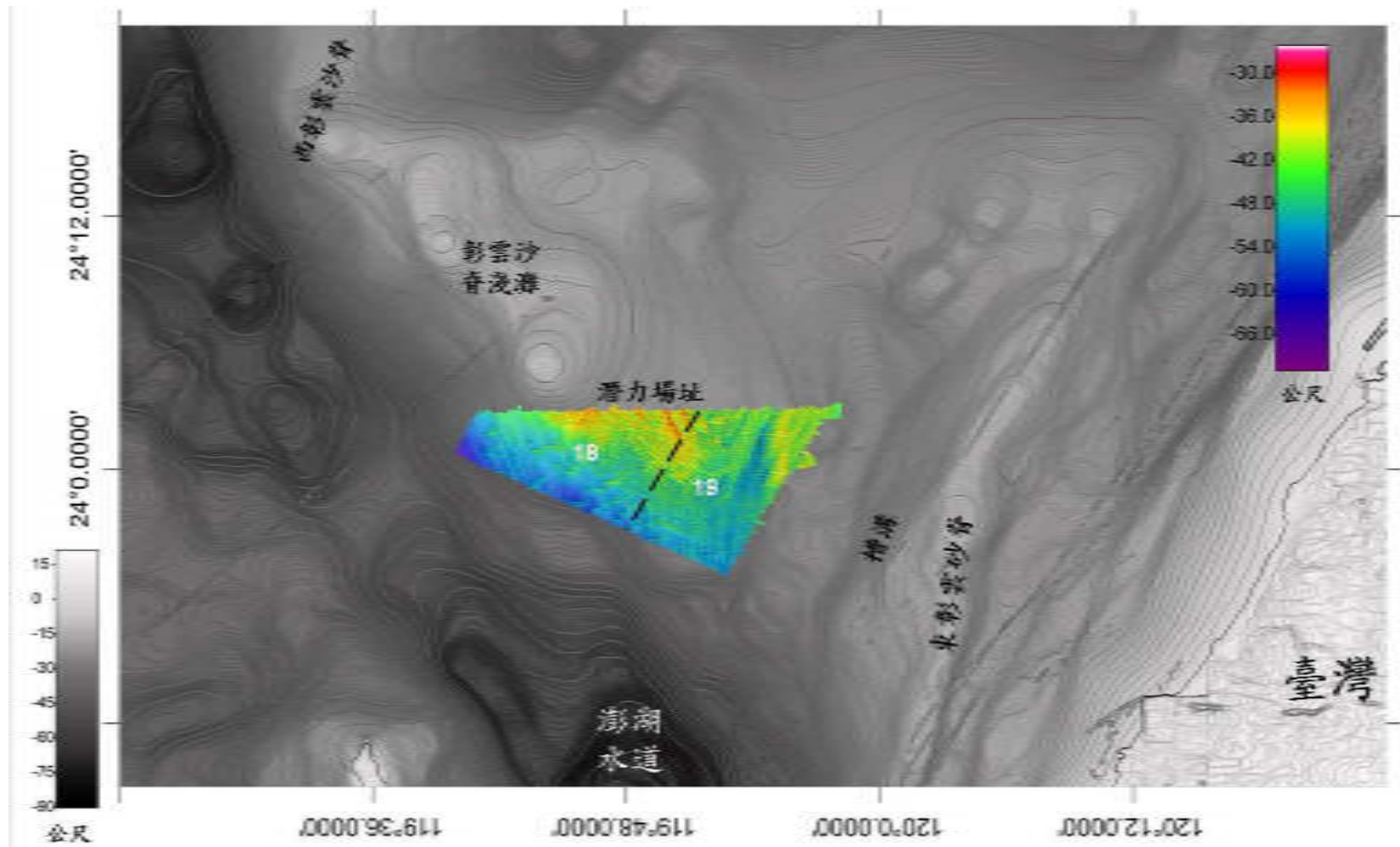


圖 2.1、主要調查區水深資料覆蓋範圍相對位置圖。背景灰階為學界 100 公尺網格解析度，調查區域之解析度則可達 5 公尺網格。

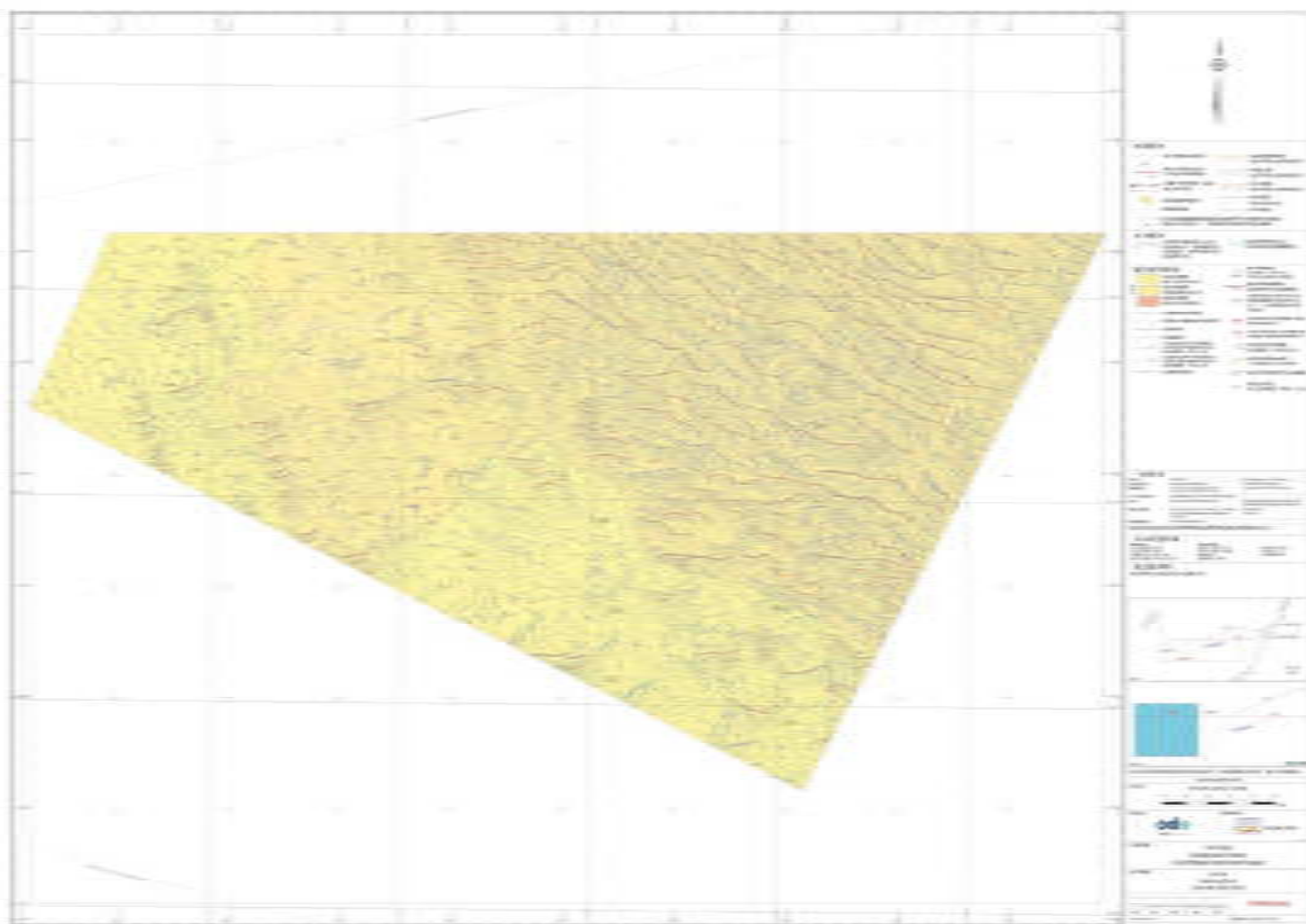


圖 2.2、調查區域潛力場址 18 之水深與底質分析結果綜整圖。

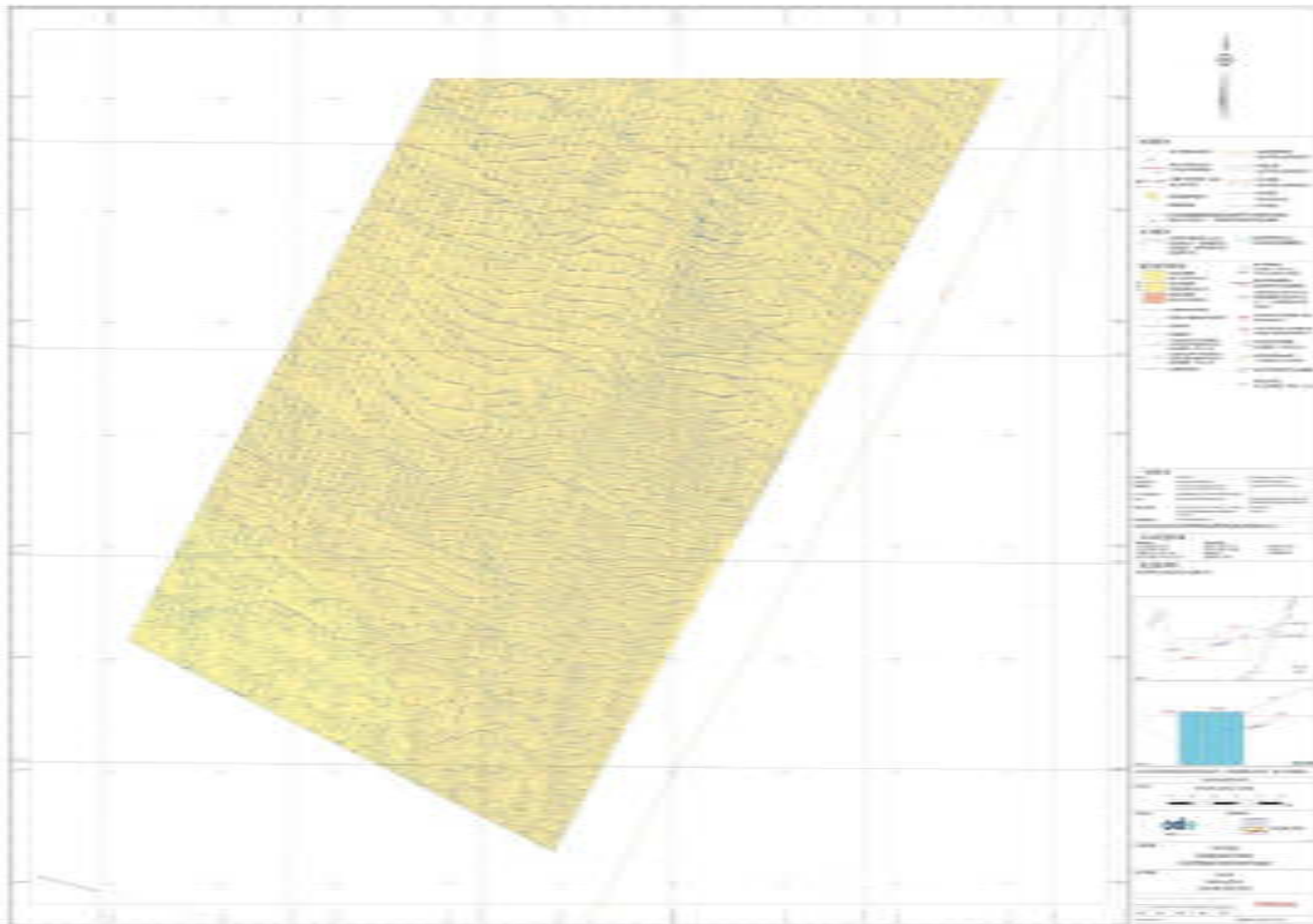


圖 2.3、調查區域潛力場址 19 之水深與底質分析結果綜整圖。

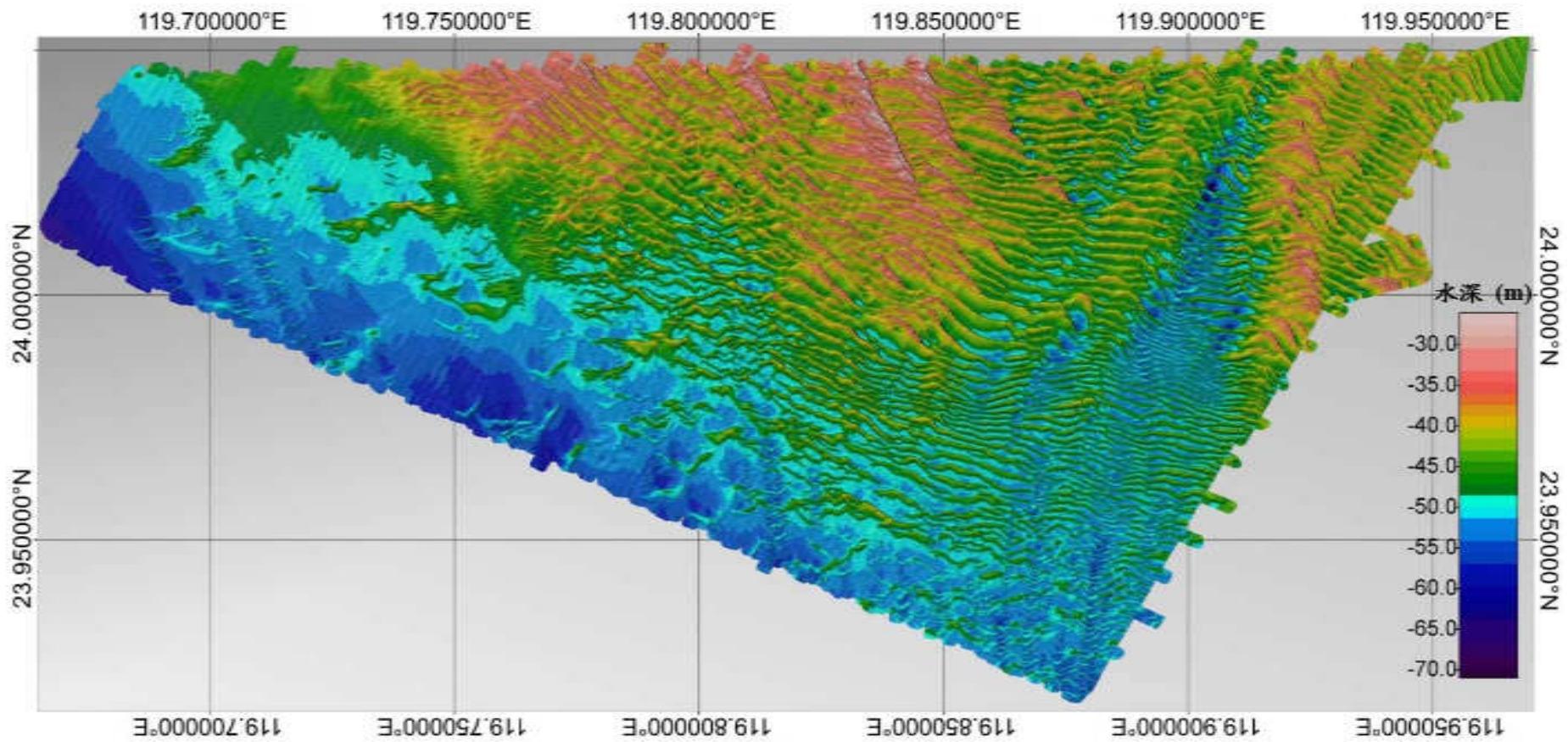


圖 2.4、調查區域網格化之水深圖，水深單位為公尺。

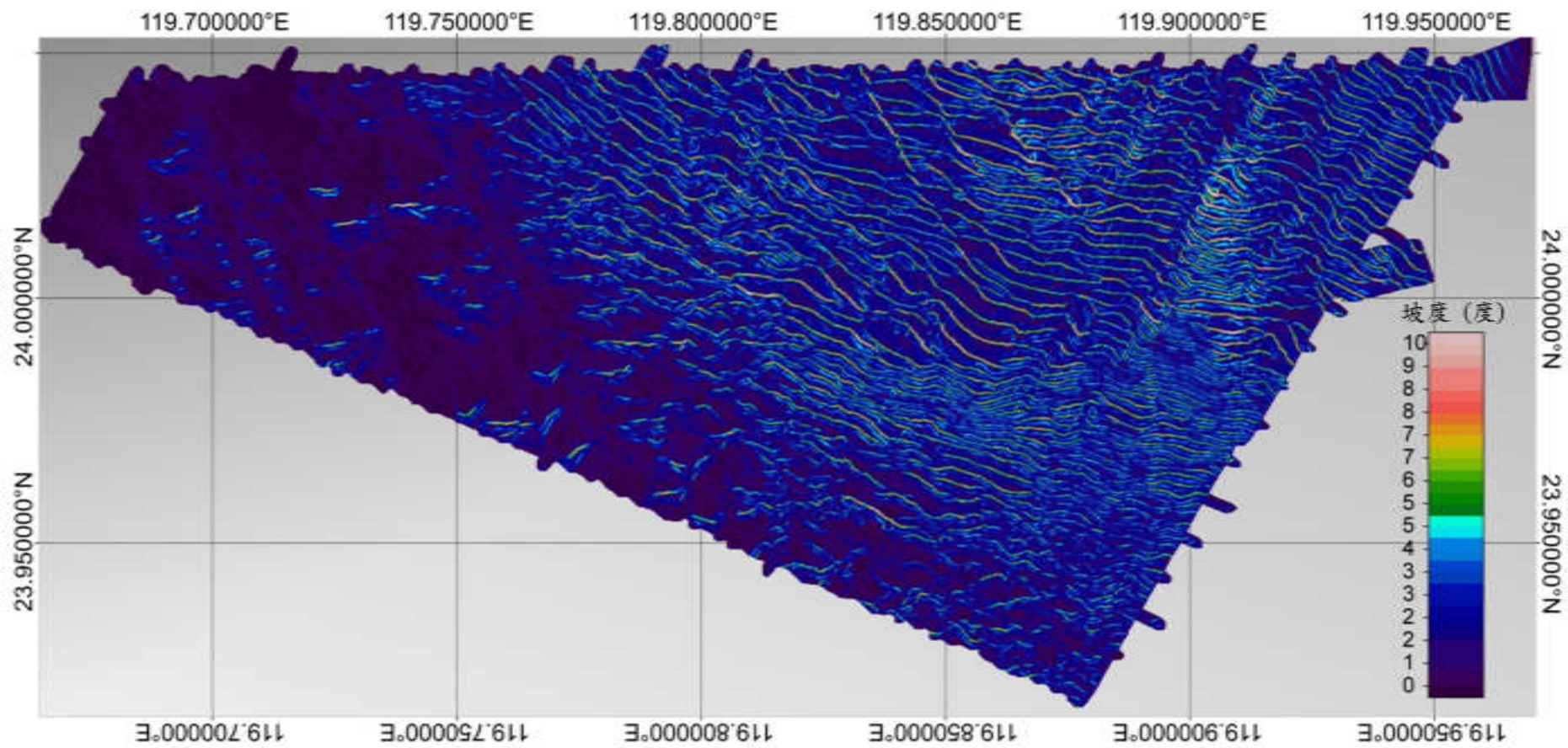


圖 2.5、調查區域水深形貌之坡度分析圖，坡度單位為度。

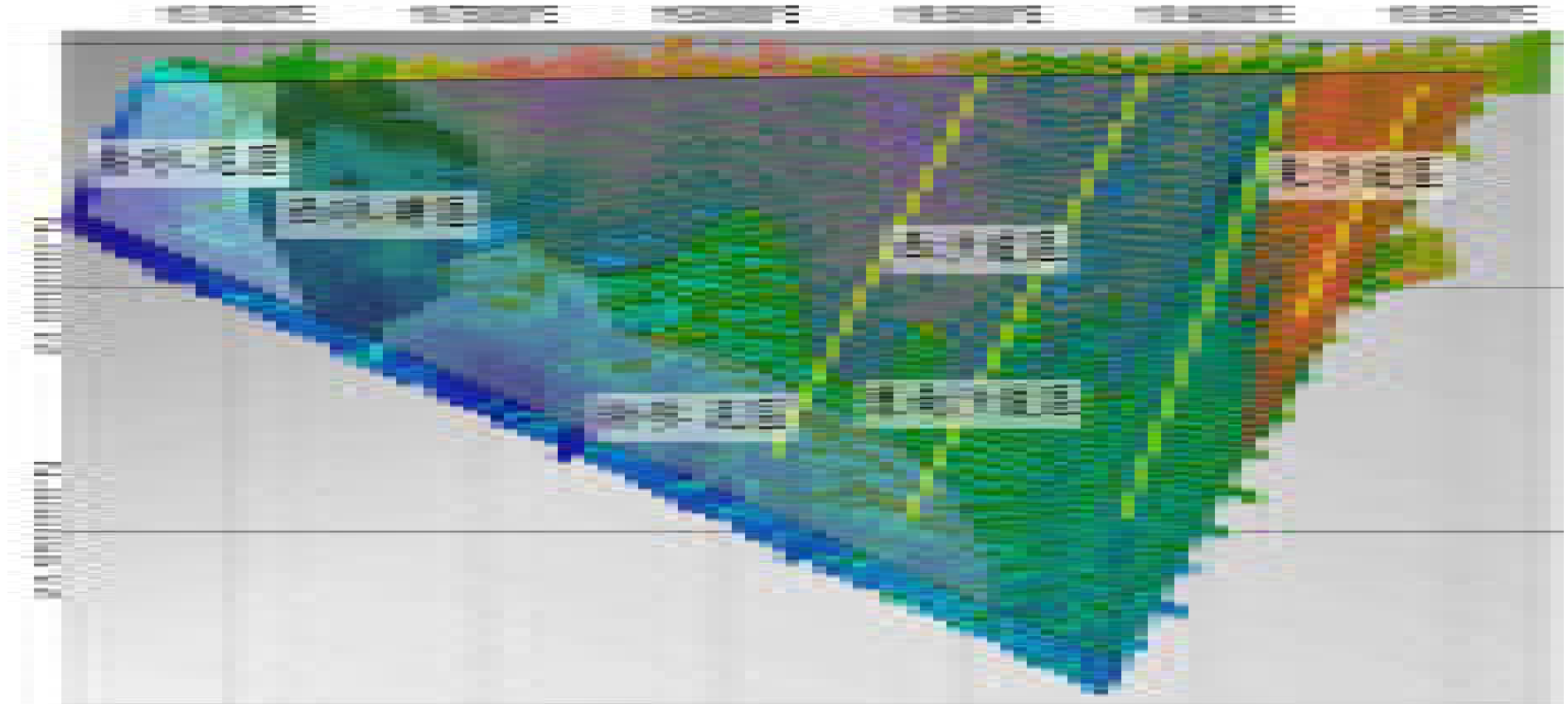


圖 2.6、調查區域分區之分布圖。黃色線為圖 2-7 至 2-10 水深剖面之位置。

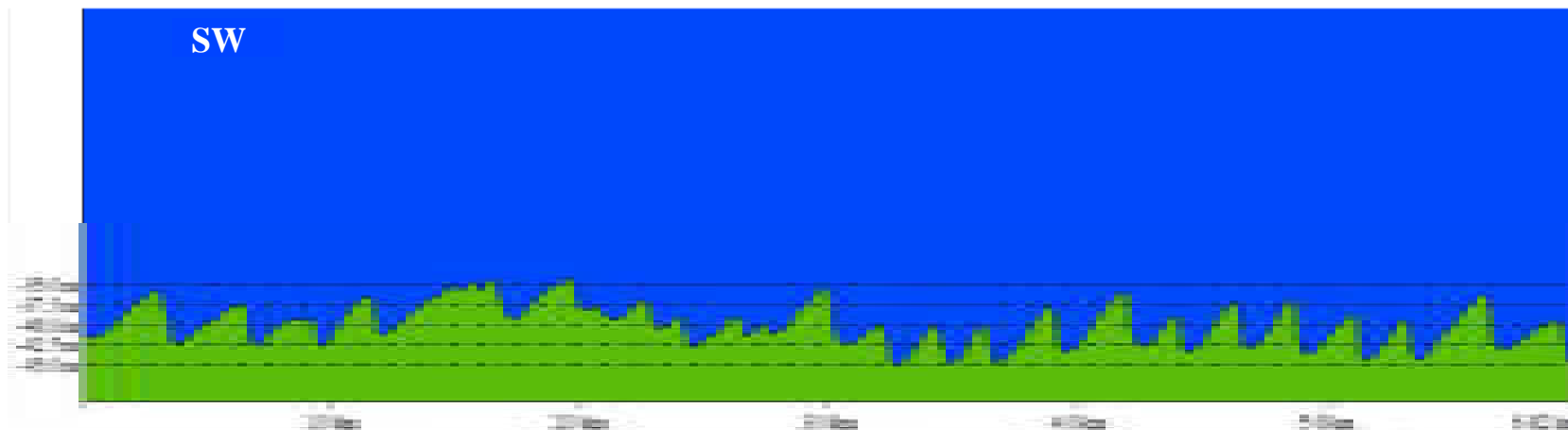


圖 2.7、東沙波區的水深剖面 SW-E。本區沙波呈一側緩、一側陡的不對稱狀。剖面位置請見圖 2.6。

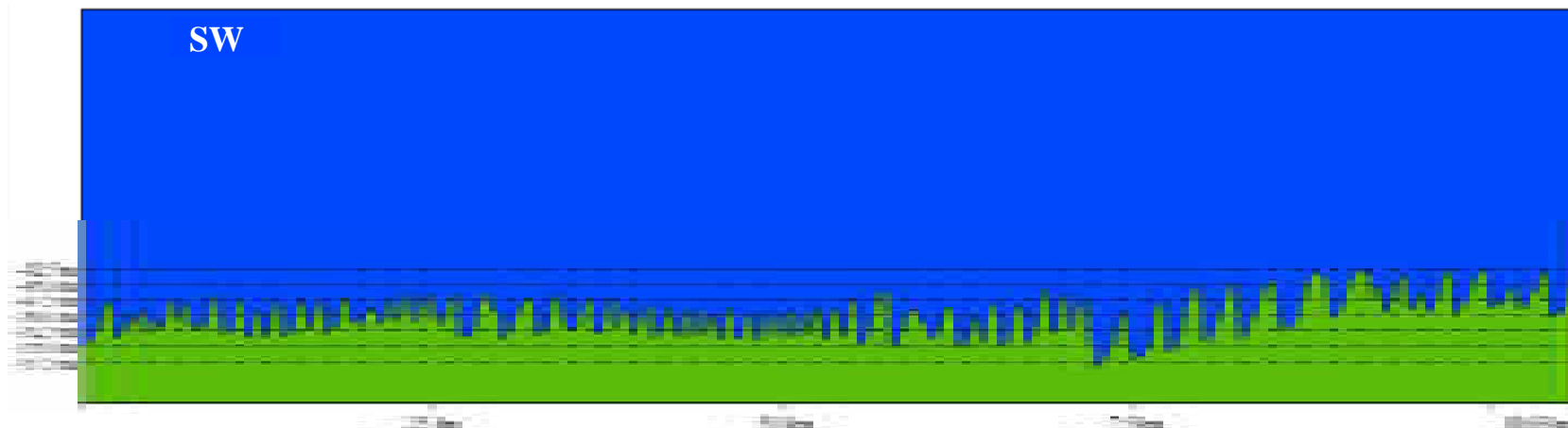


圖 2.8、東南沙波區的水深剖面 SW-SE。本區沙波兩翼的坡度較近，但仍為不對稱。剖面位置請見圖 2.6。

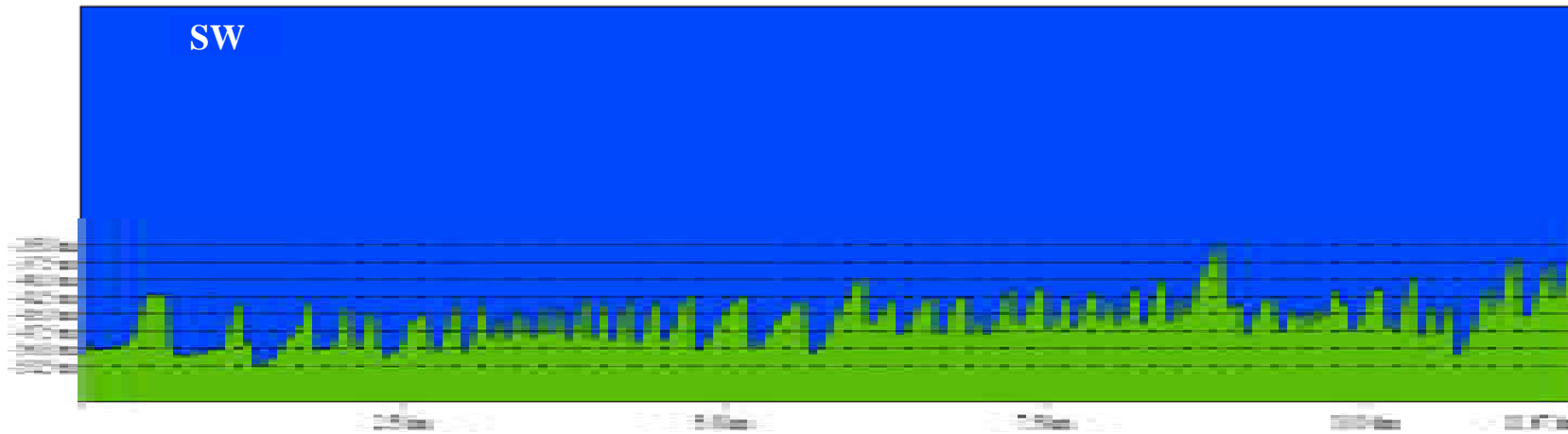


圖 2.9、西沙波區的水深剖面 SW_W_01。本區沙波形貌以不對稱為主。剖面位置請見圖 2.6。

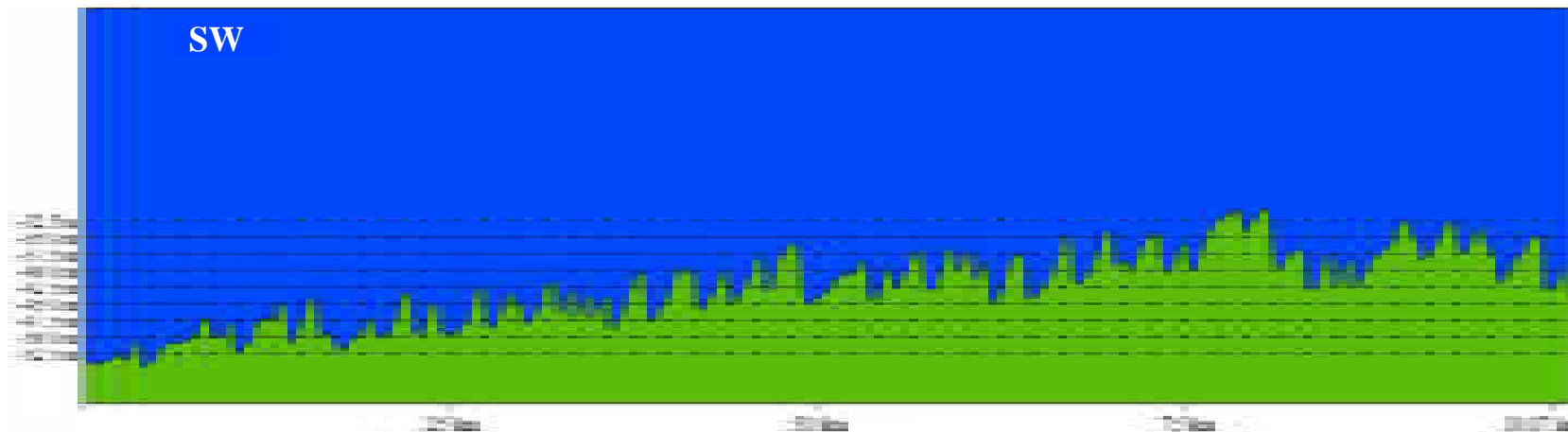


圖 2.10、西沙波區的水深剖面 SW_W_02。本區沙波形貌亦是以不對稱為主。剖面位置請見圖 2.6。

2.2、沙波特徵分析

為了能瞭解沙波的集合形貌，判斷往復型潮流對地形以及沈積物的再作用(rework)影響程度，以鄰近潛力場址 18 與 19 南側之臺灣灘的沙波作為對比，99% 以上的沙波波長都小於 2,000 公尺(余等, 2015)，因此以訊號 2,000 公尺之波長特徵作為標準，先將高解析(5 公尺網格)的水深資料做一高頻濾波，將小於 2,000 公尺的地形變化特徵濾除，將大於 2,000 公尺的地形特徵訊號作為基準面，再與原高解析地形資料相減後，便可求得高頻地形特徵圖(圖 2.2.1)，並以此作為判定潛力場址 18 與 19 之沙波空間形貌。

分析結果顯示，主要調查區內西沙波區、東沙波區及東南沙波區沙波形貌大都一側陡峭，一側平緩，在波峰波谷處又會有小的沙波或者波痕發育，沙波的平均波高超過 4 公尺，沙波平均波高約為水深的十分之一，最大的沙波波高接近 9 公尺，屬於中大型的擺線型沙波(Allen, 1980； Anthony and Leth, 2002； 余等, 2015)。故若單以沙波的發育角度而言，潛力場址 18 與 19 調查區內的現代潮流對於表層沈積物的擾動，需假設最大有九公尺的擾動。

另外值得注意的一點是，在潮溝區區域，相較 2,000 公尺波長特徵基準面，潮流能侵蝕海床至 20 公尺深，故在管線鋪設以及基樁架設作業時，應避免潮溝區，因此處為侵蝕能力最大之區域。

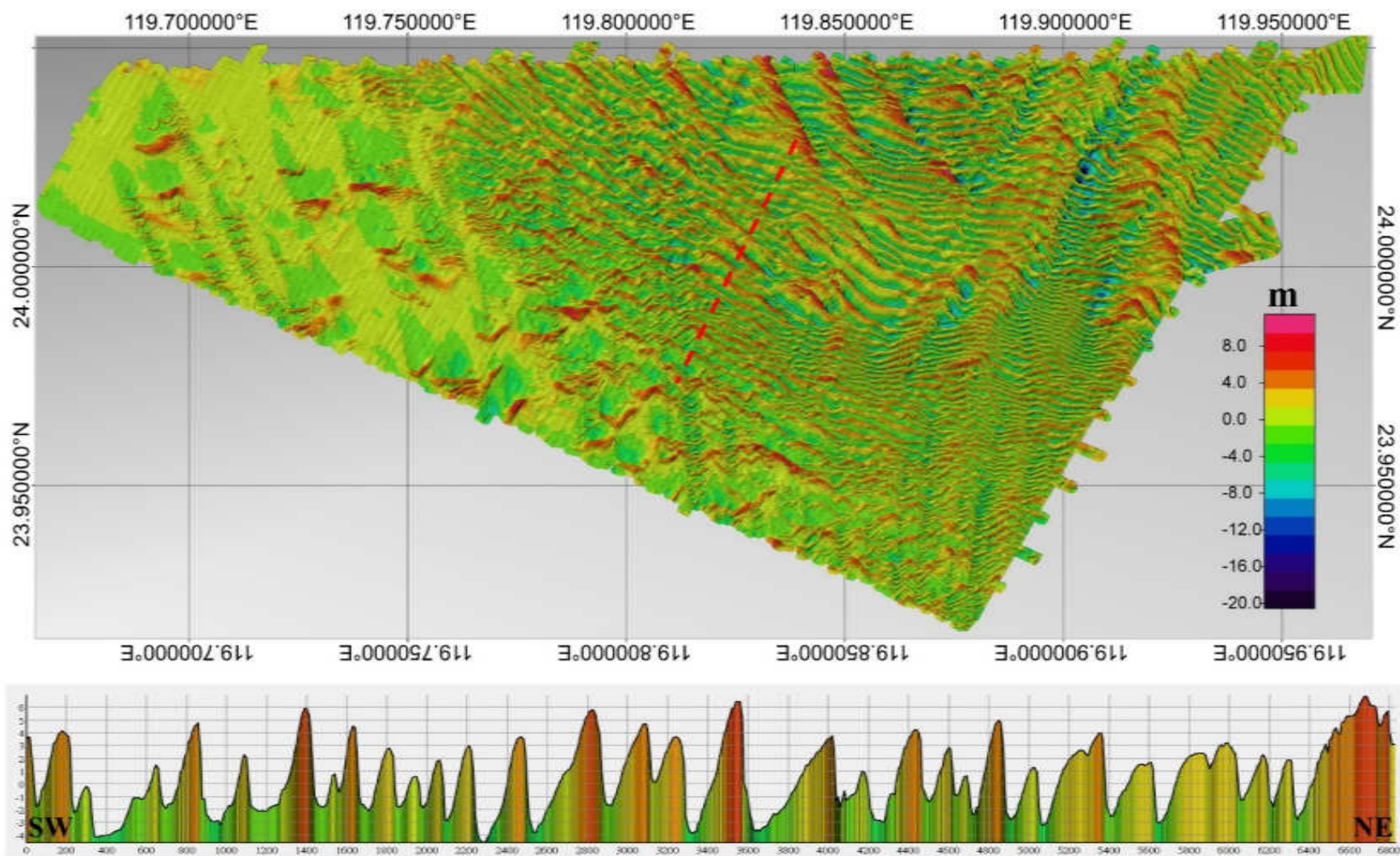


圖 2.2.1、調查區高頻(去除 2,000 公尺波長以上之地形特徵訊號)地形特徵圖。下圖為上圖紅色虛線標示處之剖面，單位為公尺。

2.3、震測資料分析

2.3.1、層序地層學分析原理

地層的沈積主要受控於三個因素：(1)全球海水面升降(eustasy)、(2)構造運動(tectonics)、(3)沈積物供應量(sediments supply)的影響(Posamentier and Vail, 1988)。前兩者主要是控制盆地空間的納積(accommodation)能力變化，全球海面上升與構造沉降會讓盆地空間變大，進而造成納積的增加，反之則減少納積。在此系統下，沈積物供應量與納積的變化量，就會決定沈積地層的形貌，當沈積物持續供應，盆地空間保持不變時，或當沈積物供應量大於盆地內納積的增加量時，沈積物的堆疊便會以前積(progradation)為主，反之則為退覆積(retrogradation)；若沈積物供應量等於納積的變化量時，則為上積(aggradation)的堆疊形式。藉由上述三種沈積物堆疊形式，地層的震測相特徵以及地層間的接觸關係，如上下地層在沉積層序上是否間斷之整合、不整合關係，或是兩地層間的形貌如削蝕(truncation)、上超(onlap)、下超(downlap)及頂超(toplap)特徵等，便能判斷全球海水面升降、構造運動以及沈積物供應三者間的交互關係。

層序地層學理論係基於沈積物的堆積主要是受控於海水面升降變化，而且海水面的升降變化大致會以循環的方式重複呈現，所以沈積物堆積的情形就可以加以預測(圖 2.3.1.1)。當海水面降低時，侵蝕基準面下降，沈積物便能沈積到陸棚以下的環境，形成了低水位體系域(lowstand system tract, LST)；當海面上升時，沈積環境驟變，將形成一海進面(transgressive surface)；而隨著海水面的上升，納積空間漸增，便會形成以退覆積為主的海進體系域(transgressive system tract,

TST)；當海水面達到最高時，沈積環境達到最深，將出現一最大海漫面(maximum flooding surface)，海水面高度大致穩定，納積空間無法再增加，便會出現以前積為主的高水位體系域(highstand system tract)。藉由層序地層學，吾人可很快速地利用沈積體幾何，來了解地層之沈積年代，並判斷沈積作用對於盆地的影響，並預測各地層沈積物或岩層的可能性質。

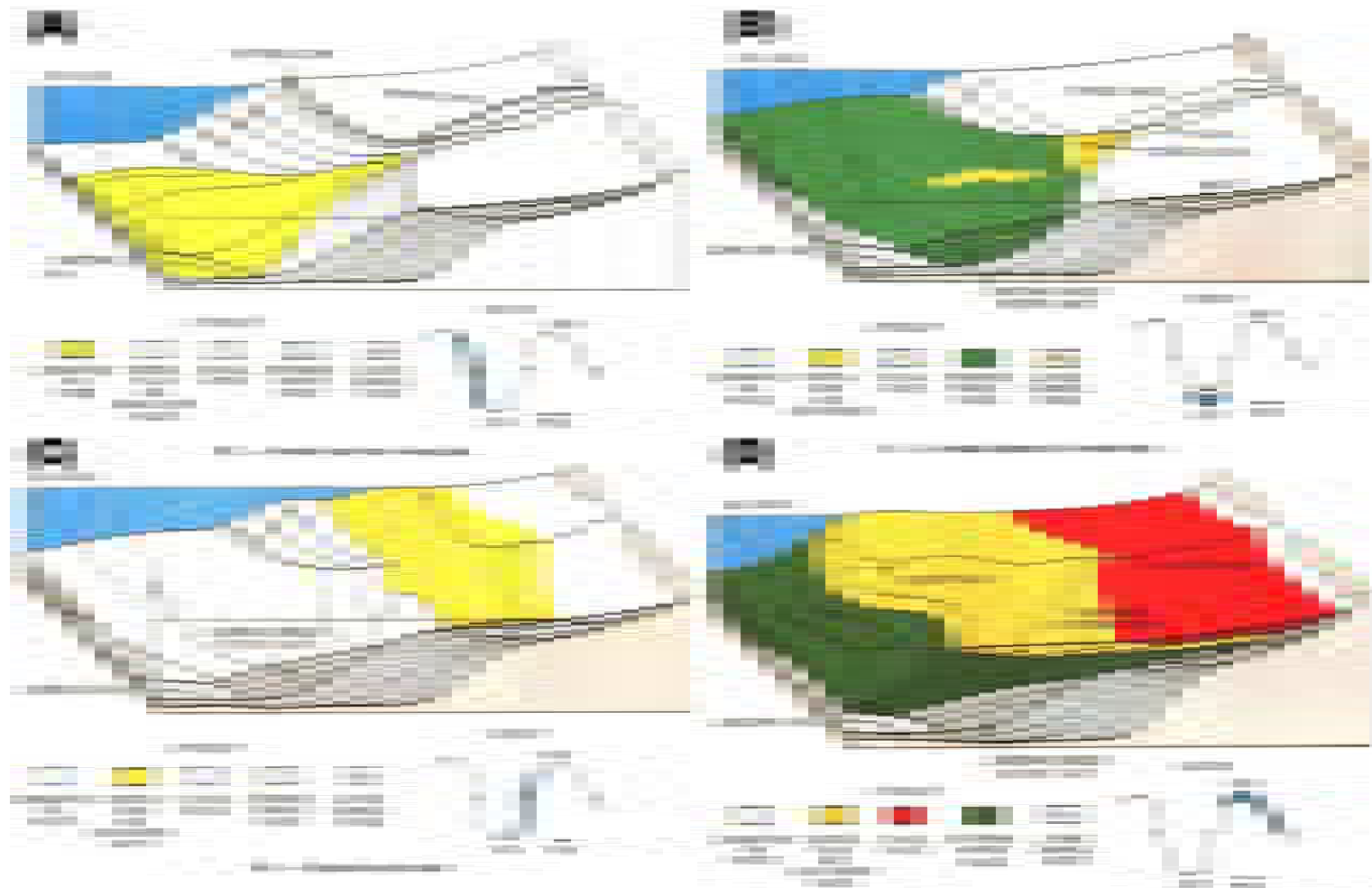


圖 2.3.1.1、層序地層學模型示意。注意在此模型下，陸棚地區不易有低水位體系域沈積物的發生。引用自 Posamentier and Vail (1987)。

2.3.2、層序地層學分析結果

根據 Site 18 與 19 的震測資料，可首先辨識出兩個區域性分布的反射面，以剖面 S19-XL-A 與 A1(圖 2.3.2.1)而言，一個是較深處(約 0.1 秒左右)的平坦反射，稱之為 T；另一則是一由東而西傾沒、最後在其最西側與 T 反射接併的一個反射面，稱為 H。T 反射面普遍出現於所有測線，其上覆反射皆清晰，其下則多不可辨，為清晰反射分布之下界。本報告依 T 與 H 反射面將地層分為三層，分別為 T 以下的地層、T 至 H 之間的地層、以及 H 以上的地層。

在這三個地層中，T 以下的地層中其反射普遍不清晰，僅局部區域有起伏甚大的強反射出現；在 H 與 T 之間的地層，其反射信號特徵主要為平行-次平行，時有不規則狀與叢丘狀(hummocky)震測相出現，連續性普遍良好；在 H 以上的地層，其反射信號則呈現東西向的變化，可分為四種震測相，由東而西分別為透明(transparent)、低振幅(low-amplitude)、斜狀(cliniform)以及叢丘狀(圖 2.3.2.1)。透明相主要發生在沙波形貌明顯的地區；低振幅相主要出現在沙波地形較不明顯處，其反射多為次平行到旋捲(contort)；斜狀相則有清晰可辨的斜狀反射；叢丘狀則出現在調查區域最東緣。

根據層序地層學的分析，我們認為 T 反射面為海進面，其上的平行-次平行反射則為海進時期的沈積地層，其下或為低水位體系域的沈積物，然而由於根據一般層序地層學、陸棚地區較難保存低水位體系域的堆積物的觀點來看，則 T 面以下可能為上一次海水面循環的高水位體系域沈積物，而 T 面本身亦有可能就代表了上次海退的侵蝕面；另一方面，若 H 反射面為最大海漫面，其上的反射則為高水位時期

沈積作用的沈積物，而我們可以發現 H 反射面以上四種不同的相，即表示了當臺灣海峽陸棚由海進時期進入高水位時期時，沈積系統起了非常大的變化；調查地區東緣的透明相與低振幅相，其分布與沙波的出現相近，或說明兩者可能為沙波向外分布之漸變所致；而輔以其下發育良好的海進體系域，說明了沙波在海進時期或許尚未開始發育，而是到高水位時期開始形成。然而同時我們發現在調查範圍東側一條測線(S19-N15，圖 2.3.2.2)，相較於鄰近線資料中海進體系域的平行-次平行的反射(圖 2.3.2.3)，其震測剖面影像呈現了波浪狀的反射。此波浪狀的反射形貌與沈積物波(sediment wave)相似，則或表示在海進時期，局部地區便已有穩定的底流作用。

斜狀震測相多出現在調查地區西側，由於其位於最大海漫面之上，為高水位時期之堆積物，該震測相沈積或可解釋為斜坡沈積的前積層(foreset)，然而其成因係屬於水下三角洲的前緣堆積(Liu et al., 2008)、抑或是潮流系統的搬運(Liao et al., 2008)或再搬運作用(Chang et al., 2015)，則尚需進一步的沈積作用與沈積環境分析；叢丘狀的震測相一般來講說明了沈積環境的營力複雜，亦或為沈積營力改變的結果。

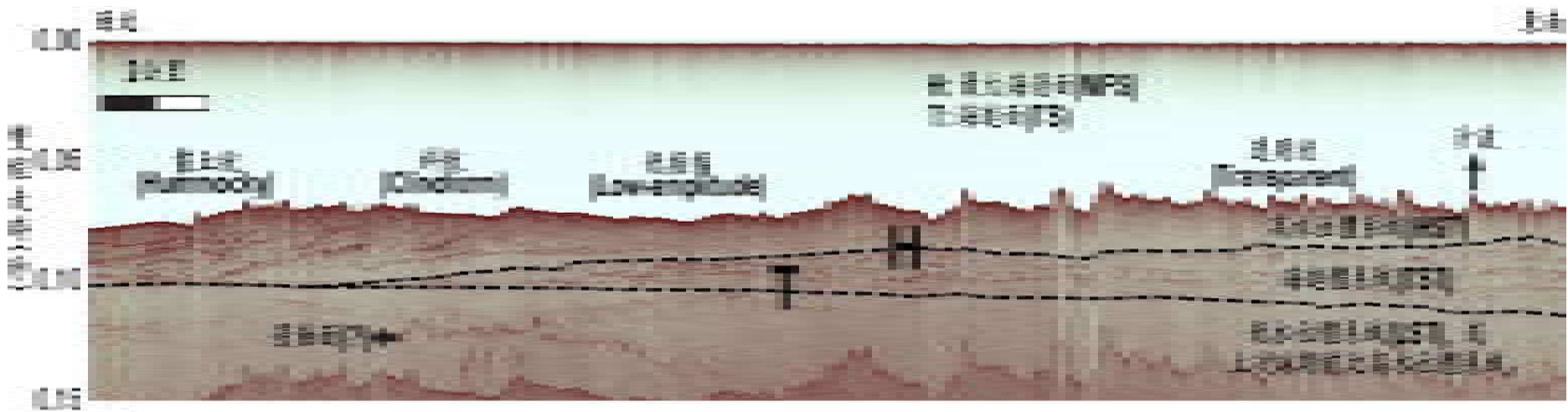
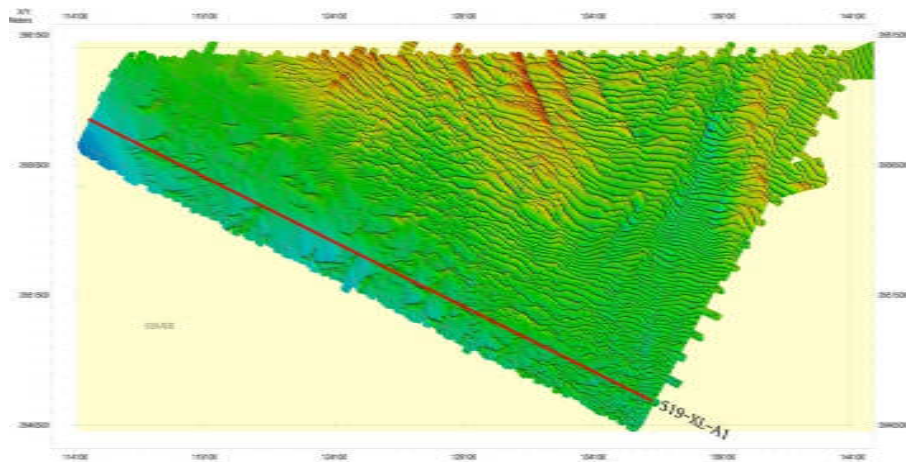


圖 2.3.2.1、震測剖面 S19-XL-A 與 A1。位置請見右上附圖。

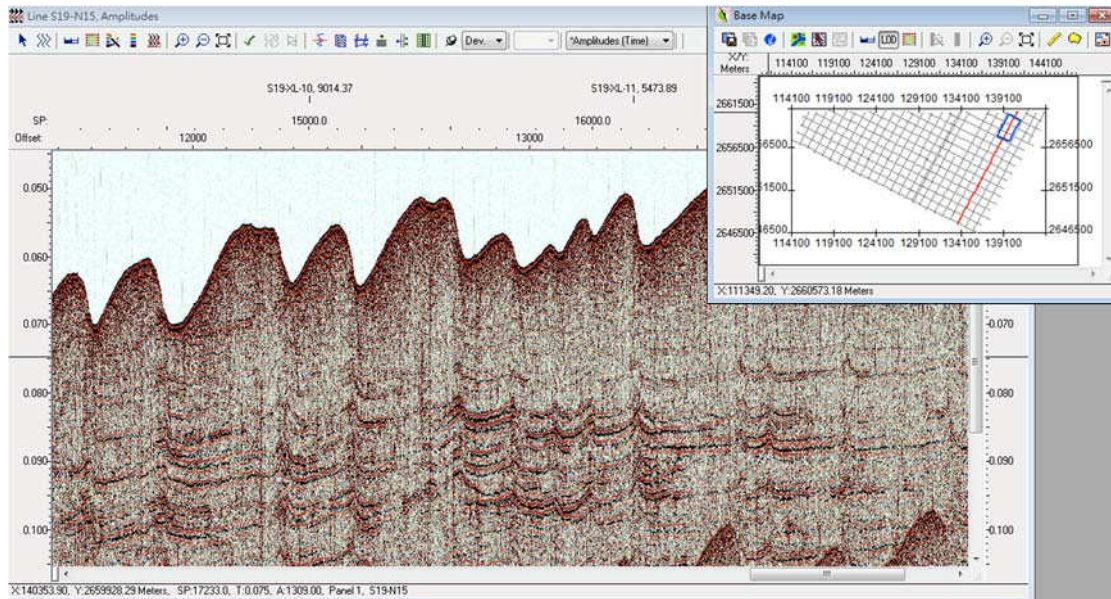


圖 2.3.2.2、有疑似沈積物波之震測剖面。位置請見右上附圖。

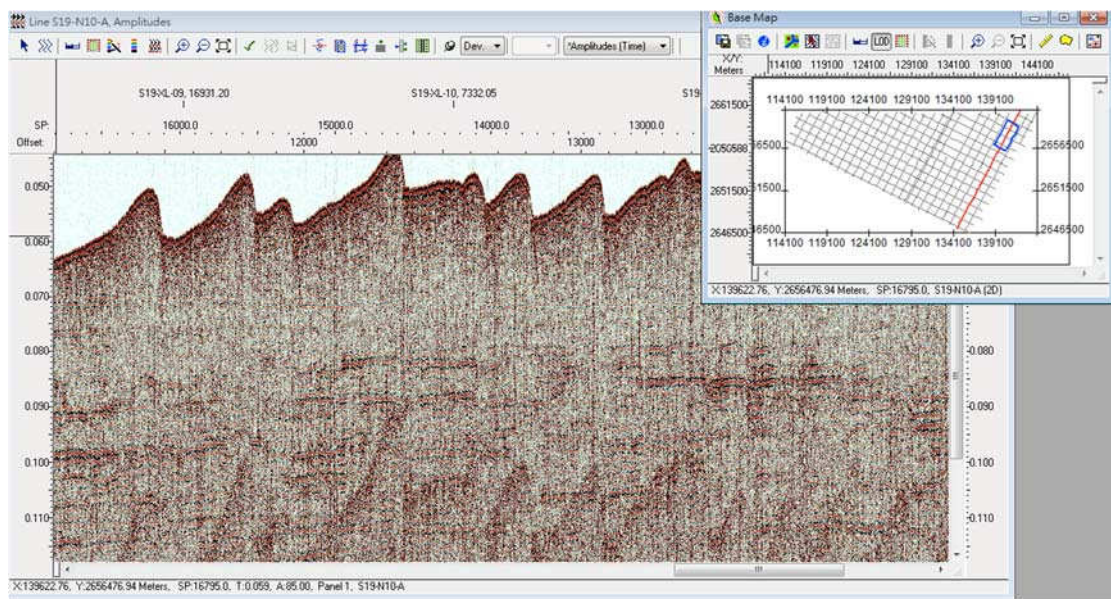


圖 2.3.2.3、鄰近上圖剖面之測線。位置請見右上附圖。

2.3.3、震測剖面之構造分析

斷層構造的存在於否，對於工程施作至為重要。根據目前文獻，雖有較晚期(更新世)之斷層活動報導，然在臺灣海峽中尚未有淺層斷層及切穿海床斷層之明顯證據，以及全新世後之新構造活動的報導。

檢視本次調查的高解析度震測剖面，調查區域內並未發現明顯的斷層構造活動證據，惟少部分地區之海進體系域，其反射部分或有擾動(disrupted)之特徵，其上之海床亦有起伏(圖 2.3.3.1)，由於本次調查之震測剖面旨在調查淺部地層特徵，對於深部地層之訊號穿透能力較差，以目前調查結果而言，建議日後工程作業應避免此類反射層擾動區域。若日後認為需再進一步評估此類地層特徵之潛在風險，則需進行較大能量、穿透力較佳的反射震測調查，或能對此類特徵有進一步之掌握。

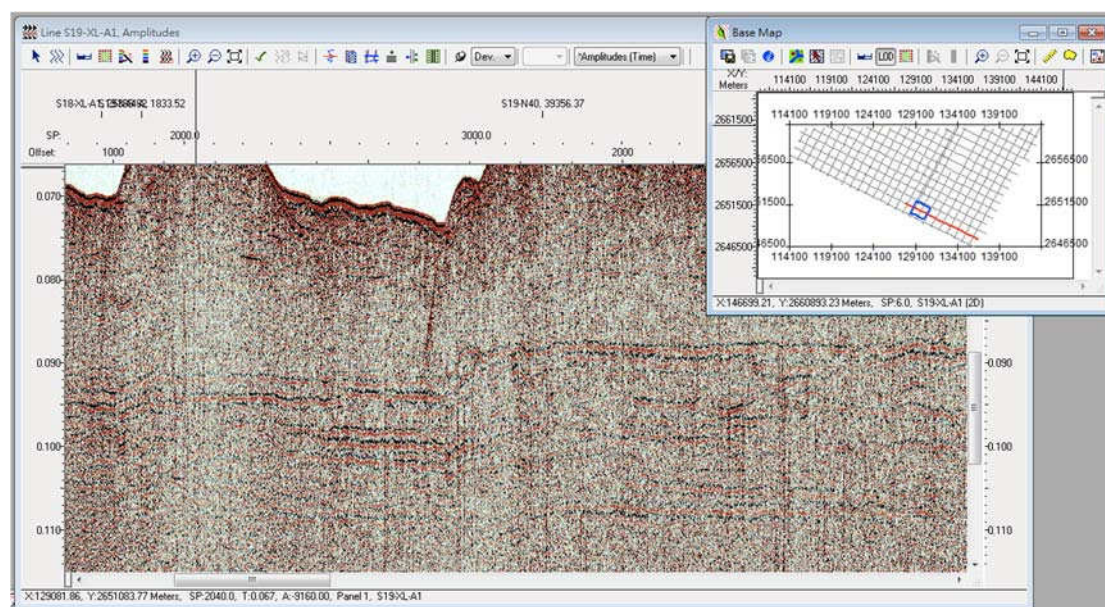


圖 2.3.3.1、擾動之反射特徵。位置請見右上附圖。

3、管線規劃區調查結果分析

海底管線鋪設的理想地點通常會選擇在海床較穩定、緩坡度、沈積速率穩定、不易發生侵蝕作用的區域。而本次管線鋪設路徑調查，分成主要路線 1(CR1)、路線 2(CR2) 以及兩端的可能路線 (CON1-CON5)。CR1 為北線，從潛力場址 18、19 區塊開始，經兩個轉折後於彰化線西鄉上陸，在上陸前的一段，其南、北又分別有 CON3 與 CON4 兩個可能路線供選擇。CR2 為南線，從潛力場址 18、19 區塊大致向東平拉，於彰化鹿港上陸，在其上陸前之北部，另有 CON2 及 CON5 兩條可能路線；而在接往潛力場址 18、19 區塊南部，則另有 CON1 可能路線(圖 3.1)。就整個管線鋪設區而言，管線會經過東彰雲沙脊及槽溝兩分區，亦即剛好經過彰雲沙脊潮流體系作用下之堆積與侵蝕區(圖 3.2)。以地形來看，相較北線 CR1，南線 CR2 與 CON5 均通過兩地形分區地形變化較大處(圖 3.3)。

就管線連接至潛力場址 18 與 19 範圍的岩心初步分析資料(電子檔圖 CR1-1-4、CR2-1-4、CRC1-CRC5)來看，海床沈積物由東向西係先由粗變細，再由細變粗。此特徵反應了東彰雲沙脊西緣、槽溝至西彰雲沙脊南端淺灘東緣的沈積架構(Liao et al., 2005；2008)：粗顆粒沈積物代表反應了砂質堆積，而槽溝區因屬侵蝕環境，砂質沈積物不易堆積，僅有流動性較大的泥質沈積物存在於表層，故僅觀察到細顆粒沈積物堆積。除了海床沈積物外，海床以下岩心沈積物的初步分析結果也大致符合海床沈積物所展現的特性(電子檔圖 CR1-PR 與 CR2-PR)。

南北兩線 CR1 及 CR2 中段部分(電子檔圖 CR1-5-7、CR2-5-7)位在東彰雲沙脊東緣，二者地形變化差異不大(圖 3.3)，岩心底質性質大致從東彰雲沙脊東緣粗沈積物轉細沈積物，再轉較近岸區的粗沈積物特性(電子檔圖 CR1-PR 與 CR2-PR)。若就較詳細的粒徑定量分析結果，此區的細顆粒沈積物應反應了濁水溪所輸出的泥質沈積物(張，2008)，後因沿岸流與潮流作用，形成一向北延伸的泥質帶。

管線出海處的評估則較為複雜，共有六條選擇線路(圖 3.4；電子檔圖 CR1-8-10、CR2-8-10、CRC6-11)。六條出海後至水深 20 公尺等深線處，在不到 1 公里的距離內，水深下降至超過 40 公尺深，為地形一致變化較大處，但以坡度而言，其變化仍少於 2 度。而以南、北線做比較，從鹿港出海之南區三線(CR2、CON2、CON5)在水深 6-10 公尺的區間，有可能是崩塌堆積物的地形特徵，其高差可達 4 公尺，而北線(CR1、CON3、CON4)變無此特徵，若但就此水深資料而言，南線區段的海床應較不穩定；而岩心分析的結果顯示，南區三線段於近岸區的粗、細顆粒沈積物交錯分布，沈積物性質變化大，亦說明此區環境應較複雜，導致底質沈積物的組成變化較明顯。由於此管線鋪設調查區鄰近臺灣最長河川、且沈積物輸出量極大的濁水溪，另也受彰化沿岸河系的直接影響(Kao and Milliman, 2008)，故此地形特徵或為一先受河川作用的快速堆積，再因重力作用而崩塌之堆積特徵。

總結而言，管線連接至潛力場址 18 與 19 範圍之區域(CR1、CR2、CON1)的三條路線，就海床沈積物的特性而言差異並不大，主要的差異性在於地形變化稍有不同(南線較北線地形高差較大)。其中 CON1

又位在槽溝區管道最窄之處，由澎湖水道上溯的潮流在此區對於海床的侵蝕力影響便會較強；南、北兩線 CR1 及 CR2 中段部分在地形與海床沈積物特性上差異不大，但管線被沈積物的覆蓋程度，可能會受濁水溪輸出的沈積物量之季節性變化影響；在管線出海的部分，海床沈積物與水深變化都相當大，特別是南線三段(CR2、CON2、CON5)，有疑似崩塌的地形特徵，海床沈積物的變化也比北線三段(CR1、CON3、CON4)大。由於臺灣的侵蝕風化可謂世界之最(Dadson et al., 2003)，這些水深形貌與海床沈積物之差異，主要可能係受到河川輸出、海流變化或極端事件(如颱風)等的影響(Milliman et al., 2007)。

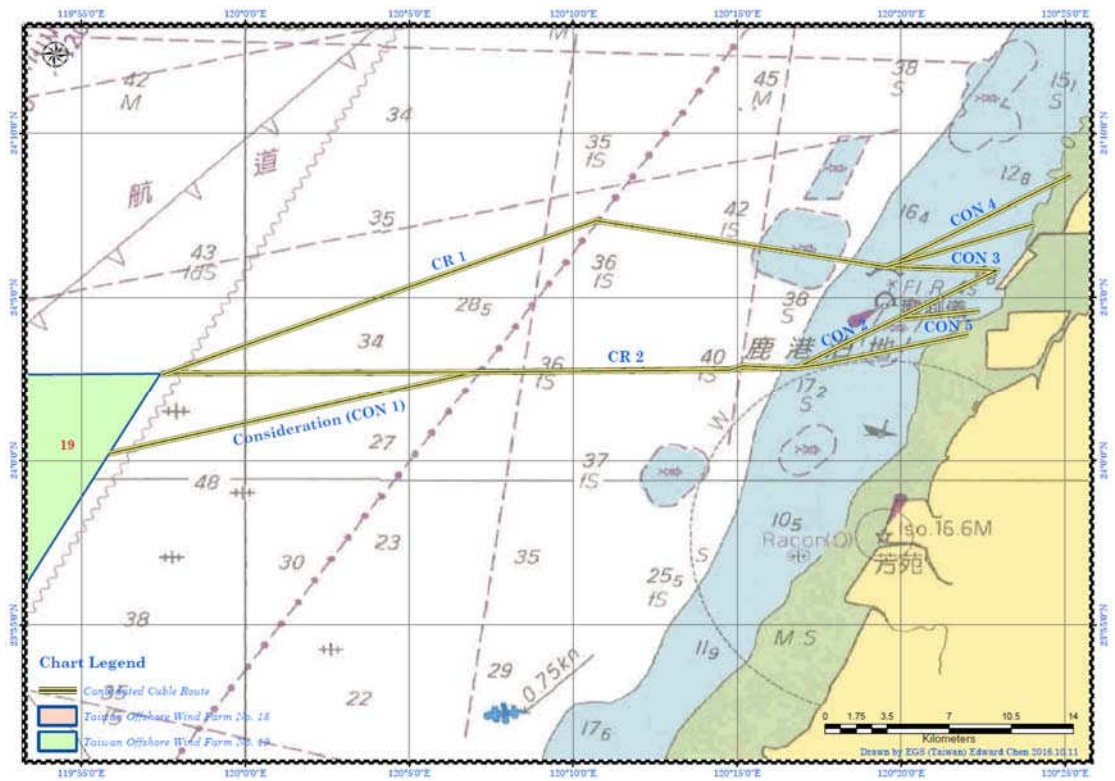


圖 3.1、潛力場址 18、19 與考慮路線位置之分布圖。

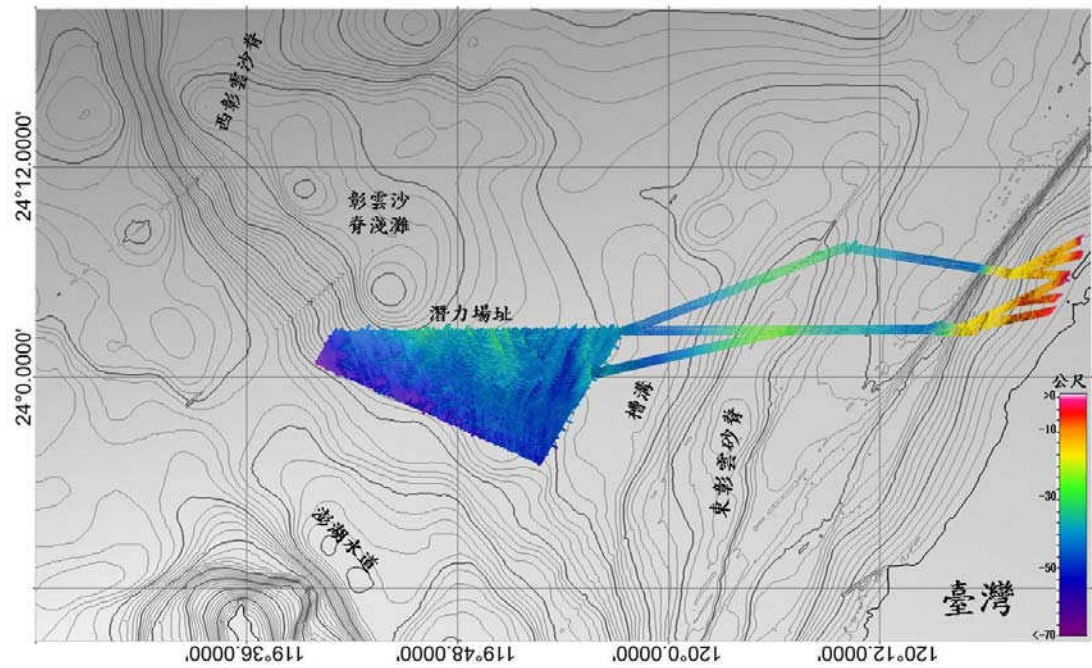


圖 3.2、管線出海後至連接潛力場址 18、19 之相對位置圖。等深線為利用 100 公尺網格水深資料繪製，彩色區域為本次調查多音束水深資料。

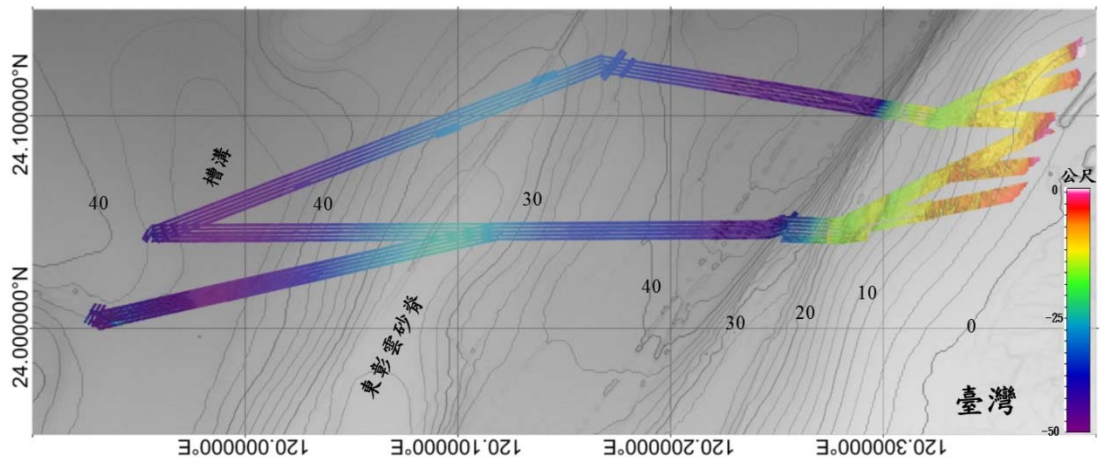


圖 3.3、管線鋪設調查區水深圖。等深線為利用 100 公尺網格水深資料繪製，數字標示深度，彩色區域為本次管線區調查之多音束水深資料。

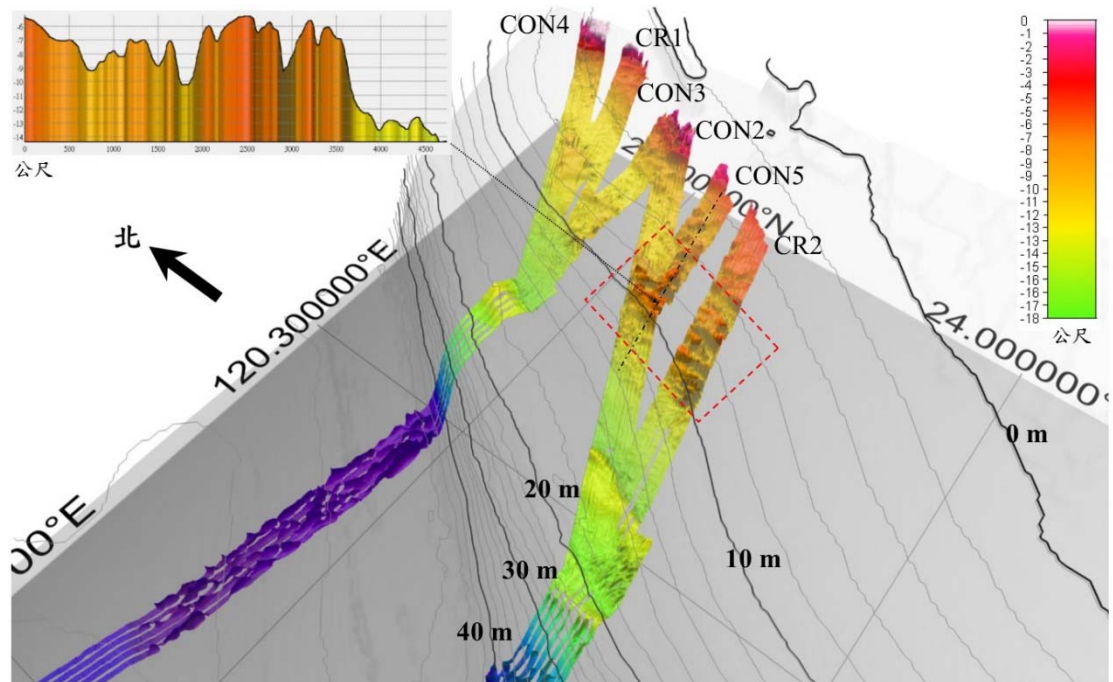


圖 3.4、管線出海區地形圖。紅框標示一水深變化較複雜處，CON5 段上之黑色虛線標示左上角水深剖面之位置，說明紅框區之水深變化劇烈，有近 4 公尺之落差。

4、可能海進沈積物基底面辨識

根據震測剖面之層序地層學分析與解釋結果，我們將全部震測剖面中所能辨識之海進沈積物基底面 (possible base of recent transgressive marine sediments) 位置做圖。根據繪製的基底面等深分布圖，可得知該地層面在潛力場址內的深度變化。此地層面在地質上的意義可視為上次冰盛期 (Last Glacial Maximum, LGM) 之不整合面，就沈積學的角度而言，該地層應為最後一個海水面循環中所發育的沈積地層中，沈積地層年代最老、底質相對較穩固的一個沈積地層基盤面，應可作為後續風機機座地基架設之參考。

根據潛力場址 18 之基底面分布圖(圖 4.1)，可以發現該基底面深度多在 76 公尺至 85 公尺的深度範圍，並有向東變深的趨勢：其於潛力場址 18 之最西緣的深度主要在 76 至 80 公尺之間，而於東緣處則在 81 至 85 公尺之間。潛力場址 19 之基底面分布圖(圖 4.2)則顯示在此區塊則範圍內，該基底面深度絕大部份都在 80 至 90 公尺內，亦有向東變深的趨勢：接續潛力場址 18 的東界，潛力場址 19 之最西緣的深度主要在 81 至 85 公尺之間，而於東緣處則可深過 90 公尺。因此單就淺部地層而言，若能將風機機座地基架設在 80-90 公尺深之地層，以地質角度而言，基樁應可穿透一相對較穩固之地層面。

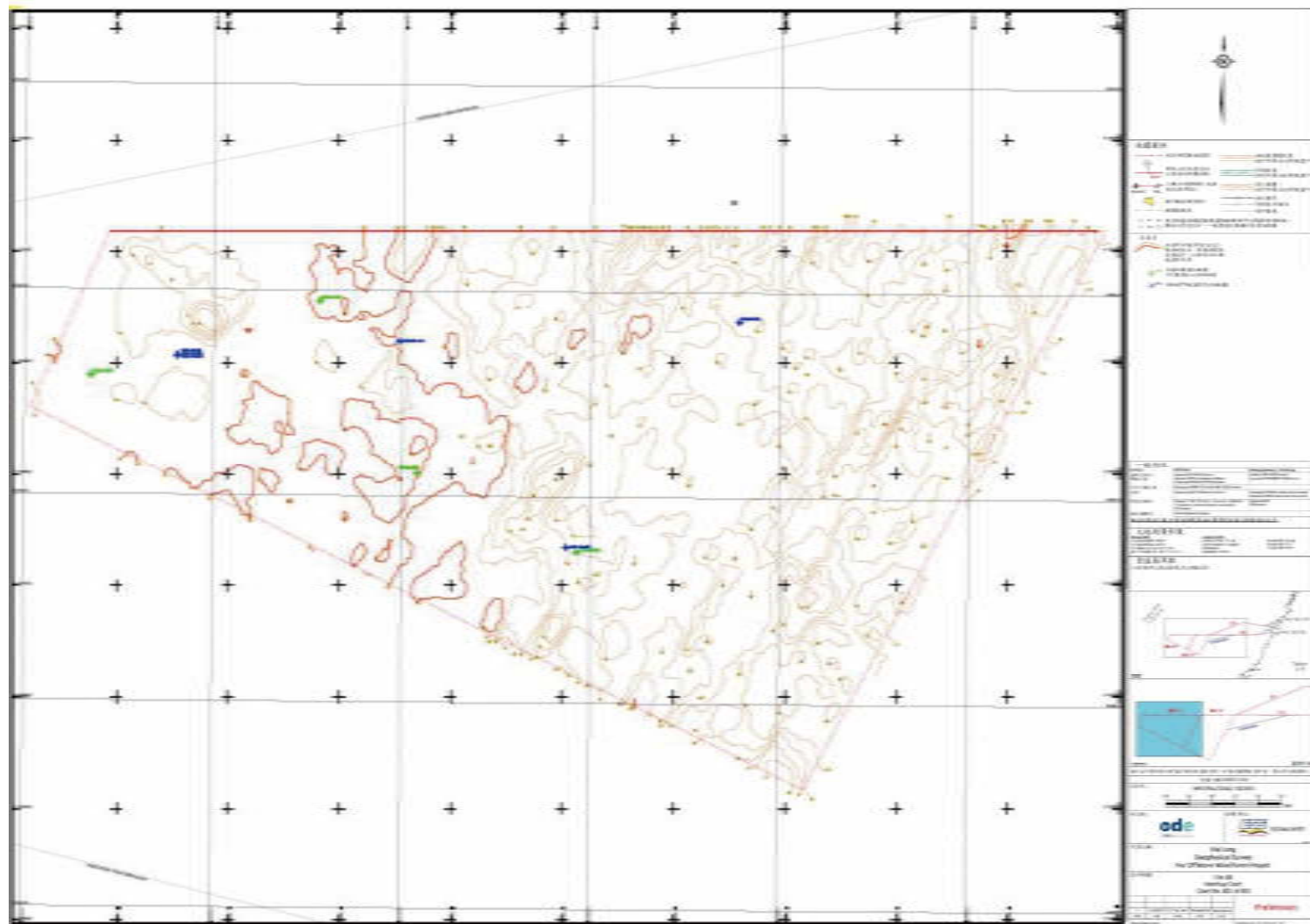


圖 4.1、潛力場址 18 範圍內可能海進沈積物基底面深度分布。

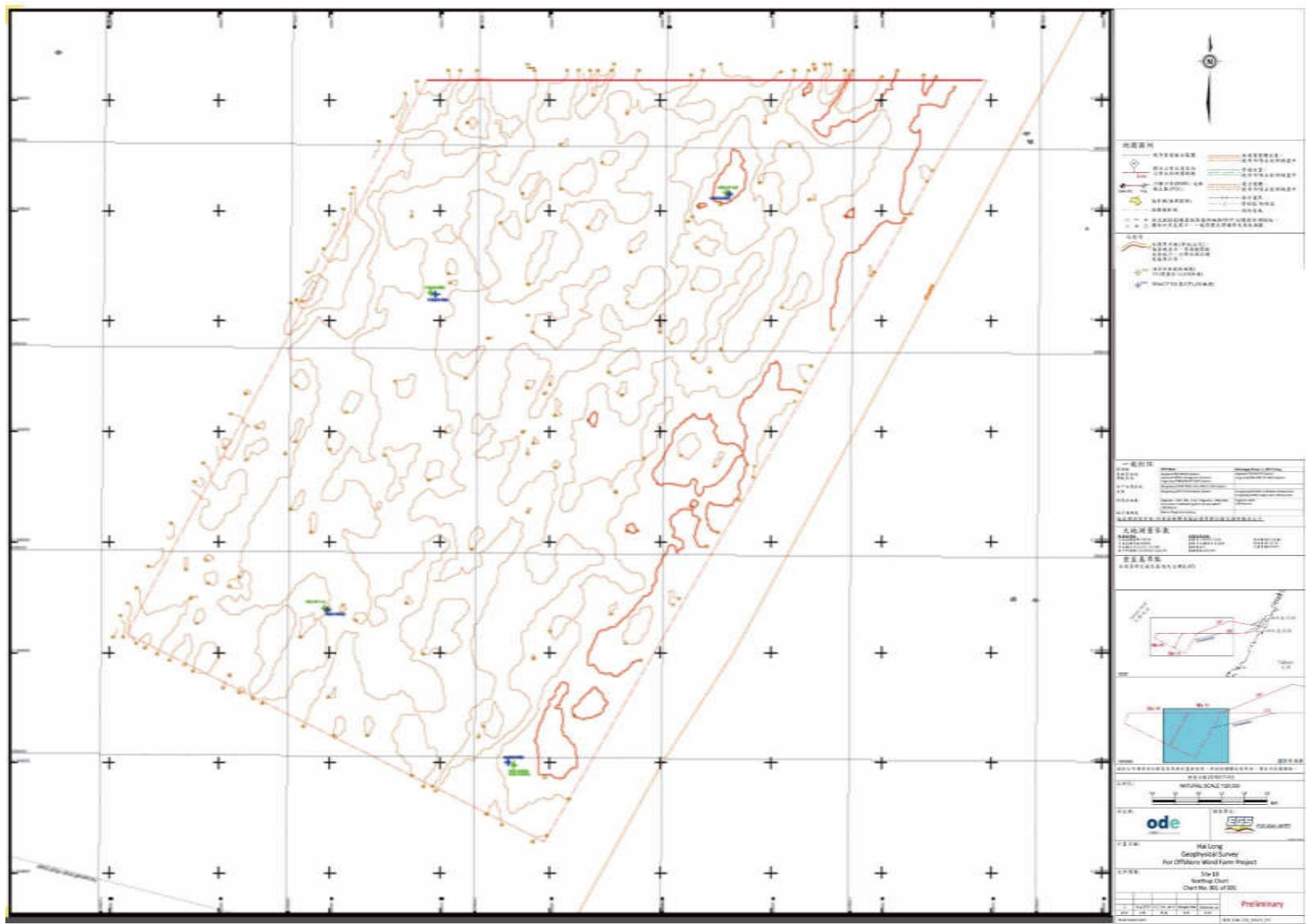


圖 4.2、潛力場址 19 範圍內可能海進沈積物基底面深度分布。

參考資料

- Allen, J., 1980. Sand waves: a model of origin and internal structure. *Sedimentary Geology* 26(4):281-328.
- Anthony, D., Leth, J. O., 2002. Large-scale bedforms, sediment distribution and sand mobility in the eastern North Sea off the Danish west coast. *Marine Geology* 182(3):24-39.
- Boggs, S. 1974. Sand-wave fields in Taiwan Strait. *Geology*, 2, 251-253.
- Boggs, S., Wang, W.C., Lewis, F.S., Chen, J.C., 1979. Sediment properties and water characteristics of the Taiwan shelf and slope. *Acta Oceanographica Taiwanica*, 10, 10-49.
- Bradley, D.C., Kidd, W.S.F., 1991. Flexural extension of the upper continental crust in collisional foredeep. *Geological Society of America Bulletin* 103, 1416-1438.
- Chang, J.H., Yu, H.S., Hsu, H.H., Liu, C.S., 2012. Forebulge migration in late Cenozoic Western Taiwan Foreland Basin. *Tectonophysics* 578, 117-125. [http:// dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2011.09.007](http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2011.09.007).
- Chang, J.H., Hsu, H.H., Su, C.C., Liu, C.S., Hung, H.T., Chiu, S.D., 2015. Tectono-sedimentary control on modern sand deposition on the forebulge of the Western Taiwan Foreland Basin. *Marine and Petroleum Geology* 66, 970-977.
- Chou, Y.W., Yu, H.S., 2002. Structural expressions of flexural extension in the arc-continent collisional foredeep of western Taiwan. *Geological Society of America Special Paper* 358, 1-12.
- Dadson, S., Hovius, N., Chen, H., Dade, W.B., Hsieh, M.L., Willett, S.D., Hu, J.C., Horng, M.J., Chen, M.J., Stark, C.P., Lague, D., Lin, J.C., 2003. Links between erosion, runoff variability and seismicity in the Taiwan orogen. *Nature* 426, 648-651. doi: 10.1038/nature02150.

- Hsieh, H.H., Yen, H.Y., Shih, M.H., 2010. Moho depth derived from gravity data in the Taiwan Strait area. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, 21, 235-241, doi: 10.3319/TAO.2009.03.05.01(T)
- Hsieh, H.H., Chen, C.H., Lin, P.Y., Yen, H.Y., 2014. Curie point depth from spectral analysis of magnetic data in Taiwan. *Journal of Asian Earth Science* 90, 26-33. doi:10.1016/j.jseaes.2014.04.007
- Jan, S., Wang, J., Chern, C.S., Chao, S.Y., 2002. Seasonal variation of the circulation in the Taiwan Strait. *Journal of Marine System* 35, 249-268.
- Jan, S., Chern, C.S., Wang, J., Chao, S.Y., 2004. The anomalous amplification of M2 tide in the Taiwan Strait. *Geophys. Res. Lett.* 31, L07308. doi: 10.1029/2003GL019373.
- Kao, S.J., Milliman, J.D., 2008. Water and Sediment Discharge from Small Mountainous Rivers, Taiwan: The Roles of Lithology, Episodic Events, and Human Activities. *The Journal of Geology* 116, 431-448.
- Lee, C.S., Shyu, C.T., Leu, F.J., 1973. Structure of eastern Taiwan Strait. *Acta Oceanographica Taiwanica* 3, 117-140.
- Liao, H.R., Yu, H.S., 2005. Morphology, Hydrodynamics and Sediment Characteristics of the Changyun Sand Ridge offshore Western Taiwan. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences* 16, 621-640.
- Liao, H.R., Yu, H.S., Su, C.C., 2008. Morphology and sedimentation of sand bodies in the tidal shelf sea of eastern Taiwan Strait. *Marine Geology* 248, 161-178.
- Lin, A.T., Watts, A.B., Hesselbo, S.P., 2003. Cenozoic stratigraphy and subsidence history of the South China Sea margin in the Taiwan region. *Basin Res.* 15, 453-478.

- Liu, J.P., Liu, C.S., Xu, K.H., Milliman, J.D., Chiu, J.K., Kao, S.J., Lin, S.W., 2008. Flux and fate of small mountainous rivers derived sediments into the Taiwan Strait. *Marine Geology* 256, 65-76.
- Milliman, J.D., Lin, S.W., Kao, S.J., Liu, J.P., Liu, C.S., Chiu, J.K., Lin, Y.C., 2007. Short-term changes in seafloor character due to flood-derived hyperpycnal discharge: Typhoon Mindulle, Taiwan, July 2004. *Geology* 35, 779-782.
- Sun, S.C., 1985. The Cenozoic tectonic evolution of offshore Taiwan. *Energy* 10, 421-432.
- Xu, K., Milliman, J., Li, A., Liu, P., Kao, S.J., Wan, S., 2009. Yangtze- and Taiwan- derived sediments on the inner shelf of East China Sea. *Cont. Shelf Res.* 29, 2240-2256. doi:10.1016/j.csr.2009.08.017.
- Yu, H.S., Chou, Y.W., 2001. Characteristics and development of the flexural forebulge and basal unconformity of Western Taiwan Foreland Basin. *Tectonophysics* 333, 277-291.
- 邱瑞焜，2000，烏坵嶼附近海域的 3.5 千赫回聲型態及沈積作用。國立臺灣大學 海洋研究所碩士論文。
- 張植祥，2002，臺灣海峽東側海域之海床表層沈積物及其可能的沈積作用。國立臺灣大學理學院海洋研究所碩士論文。
- 張嫻珊，2008，臺灣海峽東側沈積物之來源及其傳輸途徑。國立臺灣大學理學院海洋研究所碩士論文。
- 翁榮南、丁志興、王明惠，2010，臺灣海域澎湖-北港隆起帶的鑽遇地層研究。第 5 屆臺灣地層研討會論文集。
- 廖宏儒，2006，彰雲沙脊之形貌、沈積作用及演化模式。國立臺灣大學海洋研究所博士論文。
- 余威、吳自銀、周洁琼、趙荻能，2015，臺灣淺灘海底沙波精細特徵分類與分佈規律。海洋學報 37(10)，11-25。

附 錄 十 五

海域地形變遷模擬評估資料

附 15.1

本案海域地形變遷數值模擬
分析

玉山能源

105 年度

計畫名稱：SEDIMENT TRANSPORT AND SEABED VARIATION
ANALYSIS FOR THE DEVELOPMENT OF OFFSHORE
WIND FARMS IN THE CHANGHUA COASTAL AREAS

執行期間：自 105 年 07 月 01 日至 106 年 5 月 31 日止

期末報告(第 19 區)

委外單位：國立台灣海洋大學 海洋能源與政策研究中心

中華民國 105 年 10 月

1.

105 年度報告

保留

SEDIMENT TRANSPORT AND SEABED VARIATION
ANALYSIS FOR THE DEVELOPMENT OF OFFSHORE
WIND FARMS IN THE CHANGHUA COASTAL AREAS

保留

玉山能源

目錄

目錄.....	i
圖目錄.....	iii
表目錄.....	ix
第一章 前言.....	1
1.1 計畫緣起與目的.....	1
1.2 工作內容.....	4
1.3 工作項目.....	4
1.4 本文組織.....	5
第二章 資料蒐集與分析.....	7
2.1 海域地形資料.....	7
2.2 風速資料.....	7
2.3 波浪資料.....	8
2.4 潮汐資料.....	10
2.5 海潮流資料.....	10
2.6 底質粒徑.....	10
2.6 河川輸砂.....	14
第三章 離岸風場波流場模擬.....	17
3.1 設計颱風暴潮之重現期分析.....	17
3.1.1 模型颱風之推算.....	17
3.1.2 極值統計理論.....	23
3.1.3 設計潮位推算結果.....	26
3.2 EEMSE 波場模式模擬.....	29
3.2.1 控制方程式.....	30
3.2.2 數值方法.....	34

3.2.3 離岸風場海域波場數值模擬分析.....	37
3.3 流場數值模式.....	51
3.3.1 流場控制方程式.....	52
3.3.2 數值方法.....	54
3.3.3 離岸風場流場數值模擬分析.....	58
3.4 海岸變遷模式.....	73
3.4.1 海岸變遷模式控制方程式.....	73
3.4.2 數值方法.....	77
3.4.3 離岸風場地形變遷數值模擬分析.....	79
第四章 離岸風場設置後基樁附近地形變動分析.....	83
4.1 三維數值模式-Splash3D.....	83
4.2 數值模擬條件及模型配置.....	84
4.3 19 區離岸風場之風機周圍沖刷評估.....	87
4.4 結果與討論.....	104
第五章 結論.....	107
5.1 結論.....	107
參考文獻.....	109
附錄-海象資料調查.....	113
A. 漂沙作業報告.....	113
B. 波潮流作業報告.....	118
B.1 工作項目.....	119
B.2 佈放位置.....	119
B.3 工作方法.....	120
B.4 使用儀器.....	120
B.5 作業照片.....	121

圖目錄

圖 1.1 離岸風機基礎淘蝕示意圖	2
圖 1.2 離岸風場海床淘蝕示意圖	2
圖 1.3 離岸式風力發電機基礎型式 Schaumann et al. (2004).....	3
圖 1.4 樁基礎受淘刷作用形成局部淘蝕示意圖 Sumer & Fredsøe (2002).....	3
圖 1.5 彰化離岸風場第 18 區及第 19 區區域示意圖	4
圖 2.1 計畫區附近海域取樣位置、砂樣粒徑及淨輸砂結果圖	11
圖 2.1(續 1) 計畫區附近海域取樣位置、砂樣粒徑及淨輸砂結果圖	12
圖 2.1(續 2) 計畫區附近海域取樣位置、砂樣粒徑及淨輸砂結果圖	13
圖 3.1 歷史颱風路徑分類圖(圖片來源：中央氣象局颱風資料庫).....	18
圖 3.2 颱風風場座標系統圖	23
圖 3.3 彰化離岸風場海域最大暴潮偏差 Gumbel 及 Weibull 機率分佈比較圖	29
圖 3.4 波場模式網格示意圖	34
圖 3.5 波流場模式計算範圍及水深分佈示意圖	38
圖 3.6 設置前 50 年重現期颱風波浪場分佈圖(外海波高 10.63 公尺、週期 13.69 秒、波向 NNE).....	40
圖 3.7 設置前 50 年重現期颱風波浪場分佈圖(外海波高 10.70 公尺、週期 13.74 秒、波向 N)	41
圖 3.8 設置前冬季季風波浪場分佈圖(外海波高 4.54 公尺、週期 10.10 秒、波向 NNE).....	42
圖 3.9 設置前夏季季風波浪場分佈圖(外海波高 3.64 公尺、週期 9.70 秒、波向 W)	43
圖 3.10 設置後(6MW)50 年重現期颱風波浪場分佈圖(外海波高 10.63 公尺、週期 13.69 秒、波向 NNE).....	44
圖 3.11 設置後(6MW)50 年重現期颱風波浪場分佈圖(外海波高 10.70 公尺、週期	

13.74 秒、波向 N)	45
圖 3.12 設置後(6MW)冬季季風波浪場分佈圖(外海波高 4.54 公尺、週期 10.10 秒、 波向 NNE).....	46
圖 3.13 設置後(6MW)夏季季風波浪場分佈圖(外海波高 3.64 公尺、週期 9.70 秒、 波向 W)	47
圖 3.14 設置後(8MW)50 年重現期颱風波浪場分佈圖(外海波高 10.63 公尺、週期 13.69 秒、波向 NNE).....	48
圖 3.15 設置後(8MW)50 年重現期颱風波浪場分佈圖(外海波高 10.70 公尺、週期 13.74 秒、波向 N)	49
圖 3.16 設置後(8MW)冬季季風波浪場分佈圖(外海波高 4.54 公尺、週期 10.10 秒、 波向 NNE).....	50
圖 3.17 設置後(8MW)夏季季風波浪場分佈圖(外海波高 3.64 公尺、週期 9.70 秒、 波向 W)	51
圖 3.18 流場差分格網點示意圖	55
圖 3.19 設置前 50 年重現期颱風流場分佈圖(外海波高 10.63 公尺、週期 13.69 秒、 波向 NNE).....	61
圖 3.20 設置前 50 年重現期颱風流場分佈圖(外海波高 10.70 公尺、週期 13.74 秒、 波向 N)	62
圖 3.21 設置前冬季季風流場分佈圖(外海波高 4.54 公尺、週期 10.10 秒、波向 NNE)	63
圖 3.22 設置前夏季季風流場分佈圖(外海波高 3.64 公尺、週期 9.70 秒、波向 W)	64
圖 3.23 設置後(6MW)50 年重現期颱風流場分佈圖(外海波高 10.63 公尺、週期 13.69 秒、波向 NNE).....	65
圖 3.24 設置後(6MW)50 年重現期颱風流場分佈圖(外海波高 10.70 公尺、週期 13.74 秒、波向 N)	66

圖 3.25 設置後(6MW)冬季季風流場分佈圖(外海波高 4.54 公尺、週期 10.10 秒、波向 NNE).....	67
圖 3.26 設置後(6MW)夏季季風流場分佈圖(外海波高 3.64 公尺、週期 9.70 秒、波向 W)	68
圖 3.27 設置後(8MW)50 年重現期颱風流場分佈圖(外海波高 10.63 公尺、週期 13.69 秒、波向 NNE).....	69
圖 3.28 設置後(8MW)50 年重現期颱風流場分佈圖(外海波高 10.70 公尺、週期 13.74 秒、波向 N)	70
圖 3.29 設置後(8MW)冬季季風流場分佈圖(外海波高 4.54 公尺、週期 10.10 秒、波向 NNE).....	71
圖 3.30 設置後(8MW)夏季季風流場分佈圖(外海波高 3.64 公尺、週期 9.70 秒、波向 W)	72
圖 3.31 海岸線變遷計算示意圖(Hanson and Kraus , 1989).....	75
圖 3.32 彰化離岸風場(第 19 區)設置前附近海域數值模擬地形 1 年侵淤變化圖	80
圖 3.33 彰化離岸風場(第 19 區)設置後(6MW)附近海域數值模擬地形 1 年侵淤變化圖	81
圖 3.34 彰化離岸風場(第 19 區)設置後(8MW)附近海域數值模擬地形 1 年侵淤變化圖	82
圖 4.1 未補樁之桁架式風機設置圖。圖中 OD 為外徑。(資料來源:玉山能源)...	85
圖 4.2 補樁之桁架式風機示意圖。圖中 OD 為外徑。(資料來源:玉山能源).....	86
圖 4.3 玉山能源離岸風場位置圖。圖中白框為離岸風場位置。編號為風場編號。.....	87
圖 4.4 考慮波浪及海流之模擬上視圖	88
圖 4.5 考慮波浪及海流之模擬側視圖	88
圖 4.6 19 區 30 m 水深地形沖刷圖。圖中色階為地形高程，單位 m。半透明平面為水面。(a) 46.0 秒 (b) 58.0 秒 (c) 69.0 秒	92

圖 4.7 19 區 30 m 水深地形冲刷上視圖。圖中色階為地形高程，單位 m。(a) 46.0 秒 (b) 58.0 秒 (c) 69.0 秒.....	93
圖 4.8 19 區 40 m 水深地形冲刷圖。圖中色階為地形高程，單位 m。半透明平面為水面。(a) 46.0 秒 (b) 58.0 秒 (c) 69.0 秒.....	94
圖 4.9 19 區 40 m 水深地形冲刷上視圖。圖中色階為地形高程，單位 m。(a) 46.0 秒 (b) 58.0 秒 (c) 69.0 秒.....	95
圖 4.10 19 區 50 m 水深地形冲刷圖。圖中色階為地形高程，單位 m。半透明平面為水面。(a) 46.0 秒 (b) 58.0 秒 (c) 69.0 秒.....	96
圖 4.11 19 區 50 m 水深地形冲刷上視圖。圖中色階為地形高程，單位 m。(a) 46.0 秒 (b) 58.0 秒 (c) 69.0 秒.....	97
圖 4.12 19 區 30 m 水深補樁後地形冲刷圖。圖中色階為地形高程，單位 m。半透明平面為水面。(a) 46.0 秒 (b) 58.0 秒 (c) 69.0 秒.....	98
圖 4.13 19 區 30 m 水深補樁後地形冲刷上視圖。圖中色階為地形高程，單位 m。(a) 46.0 秒 (b) 58.0 秒 (c) 69.0 秒.....	99
圖 4.14 19 區 40 m 水深補樁後地形冲刷圖。圖中色階為地形高程，單位 m。半透明平面為水面。(a) 46.0 秒 (b) 58.0 秒 (c) 69.0 秒.....	100
圖 4.15 19 區 40 m 水深補樁後地形冲刷上視圖。圖中色階為地形高程，單位 m。(a) 46.0 秒 (b) 58.0 秒 (c) 69.0 秒.....	101
圖 4.16 19 區 50 m 水深補樁後地形冲刷圖。圖中色階為地形高程，單位 m。半透明平面為水面。(a) 46.0 秒 (b) 58.0 秒 (c) 69.0 秒.....	102
圖 4.17 19 區 50 m 水深補樁後地形冲刷上視圖。圖中色階為地形高程，單位 m。(a) 46.0 秒 (b) 58.0 秒 (c) 69.0 秒.....	103
圖 A.1 器材準備出海.....	113
圖 A.2 捕砂器投放相對位置.....	115
圖 A.3 捕砂器投放作業一.....	115
圖 A.4 捕砂器投放作業二.....	116

圖 A.5 捕砂器投放作業三.....	116
圖 A.6 可疑大陸籍漁船一.....	117
圖 A.7 可疑大陸籍漁船二.....	118
圖 B.1 彰化附近海域調查區域範圍.....	119
圖 B.2 Aquadopp Profiler 海流剖面儀.....	121
圖 B.3 準備吊運相關設備至作業船隻.....	121
圖 B.4 混凝土塊預備投放.....	122
圖 B.5 潛水員預備下水作業.....	122

表目錄

表 1.1 離岸風場設置對海床地形變動之影響工作期程表.....	5
表 2.1 彰化鹿港氣象站之風速風向統計表(2015 年).....	7
表 2.2 台中梧棲氣象站之風速風向統計表(2015 年).....	8
表 2.3 各重現期之颱風波浪推算值統計表.....	9
表 2.4 季風波浪條件.....	9
表 2.5 彰化離岸風場(第 19 區)海域 50 年重現期距颱風波浪計算結果.....	9
表 2.6 雲林箔子寮潮位站潮位資料統計表(基隆中潮系統).....	10
表 3.1 颱風統計表 (資料來源：中央氣象局).....	19
表 3.1(續 1) 颱風統計表 (資料來源：中央氣象局).....	20
表 3.1(續 2) 颱風統計表 (資料來源：中央氣象局).....	21
表 3.1(續 3) 颱風統計表 (資料來源：中央氣象局).....	22
表 3.2 各極值分佈相關統計量之特性.....	25
表 3.3 計算樣本順位機率之 α 和 β	25
表 3.4 暴潮模式推算彰化離岸風場海域颱風期間最大暴潮偏差統計表.....	26
表 3.4(續 1) 暴潮模式推算彰化離岸風場海域颱風期間最大暴潮偏差統計表.....	27
表 3.4(續 2) 暴潮模式推算彰化離岸風場海域颱風期間最大暴潮偏差統計表.....	28
表 3.5 Gumbel 及 Weibull 分佈推算最大暴潮偏差極值統計分析結果.....	28
表 3.6 彰化離岸風場海域不同重現期距之颱風最大暴潮偏差計算結果.....	29
表 3.7 波浪模式計算條件與參數.....	38
表 3.8 流場與地形變遷模式計算條件與參數.....	59
表 4.1 19 區離岸風場五十年重現期颱風於各水深之波浪條件.....	84
表 A.1 捕沙器投放位置、深度及時間.....	114
表 B.1 彰化離岸風力發電廠計畫基地中心範圍座標表.....	119
表 B.2 Nortek Aquadopp profiler 型音波都卜勒式流速剖面儀規格表.....	120

第一章 前言

1.1 計畫緣起與目的

環境永續是目前世界各國努力推動的趨勢，而再生能源(renewable energy)則是環境永續推動的重要指標。民國 97 年行政院通過「永續能源政策綱領」，積極推動再生能源，並希冀透過推動「再生能源發展條例(草案)」，建立相關法源基礎，創造 650 萬瓩再生能源市場。同時配合「振興經濟擴大公共建設投資計畫」提高國內發展自主能源之誘因，創造相關產業發展的良好環境。依照此規劃，我國再生能源發電總量將在民國 114 年將達到總發電量的 14.9%。

依照民國 98 年全國能源會議總結報告，我國將以太陽能、生質能及風力發電為主要再生能源推動項目。然而根據台灣電力公司統計資料顯示，截至民國 98 年底，全台灣風力發電總量僅達 24.6 萬瓩，占總發電量的 0.64%。此一發電量距離經濟部能源局規劃之再生能源發電量目標仍有相當大的差異。台灣目前所有的風力發電量均來自於陸域風力發電場。然而我國地狹人稠，陸域風場開發日漸困難。台灣地區四面環海，風能充沛，加上海上風能較陸域穩定且具有更大之開發潛能(Kuo et al., 2008)，台灣地區十分適合發展海上風力發電。為提高風力發電能量，達成政府政策目標，行政院推出了六大新興產業政策，其中「風力發電」產業亦為六大新興產業之一，而離岸風力發電將是未來我國風能開發的趨勢。

離岸風場開發對海洋環境將造成影響，其中離岸風場支承結構基礎設置後，由於受流之作用，海床基礎附近之侵蝕可能造成海底地形變動，對鄰近海域環境及海岸地形是否造成影響需進一步探討。基此，本計畫針對選定之風場區位，根據所蒐集基本海象、氣象、地形及風場開發資訊等資料，以數值模式模擬風機排列條件下之離岸風場地形變遷，評估大規模風場開發可能造成之環境及海岸地形變遷之影響。

如圖 1.1 所示，離岸風力發電基礎長年處於波浪及海流作用之海域環境，波浪及海流除了將對支承結構產生側向作用力，亦會對基礎周圍海床土壤造成局部淘刷。對於採用樁基礎型式之離岸風機，樁週之局部淘刷深度一般建議為 1.5 倍樁徑 (DNV, 2004)，最大建議設計淘刷深度甚至達 2.5 倍樁徑(GL, 2005)。海床局部淘刷後將造成離岸風機基礎埋置深度減少及承载力降低。當大規模風場開發時，除了基礎周圍會產生局部淘蝕 SL，離岸風場地形亦可能產生全面淘蝕 SG (圖 1.2)。雖然基礎局部淘蝕可以利用防淘蝕工程穩定海床，但全面淘蝕將造成海底地形變動，影響鄰近海岸之侵蝕與堆積。因此大規模風場開發時，

除了需針對每作風機進行基礎防淘蝕工程，更須於風場開發前針對風場開發後之海底地形侵蝕與變遷進行評估，以提供環境影響評估具體分析成果。

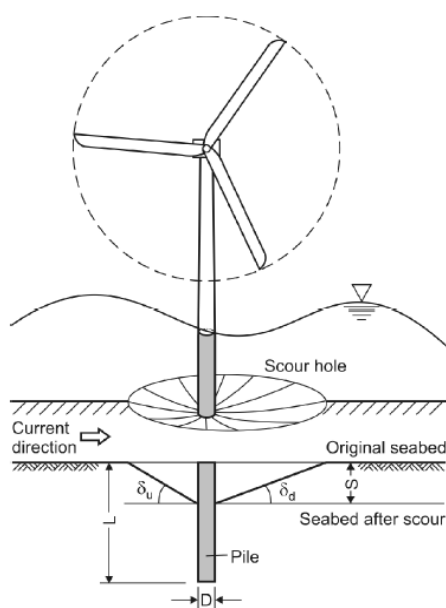


圖1.1 離岸風機基礎淘蝕示意圖

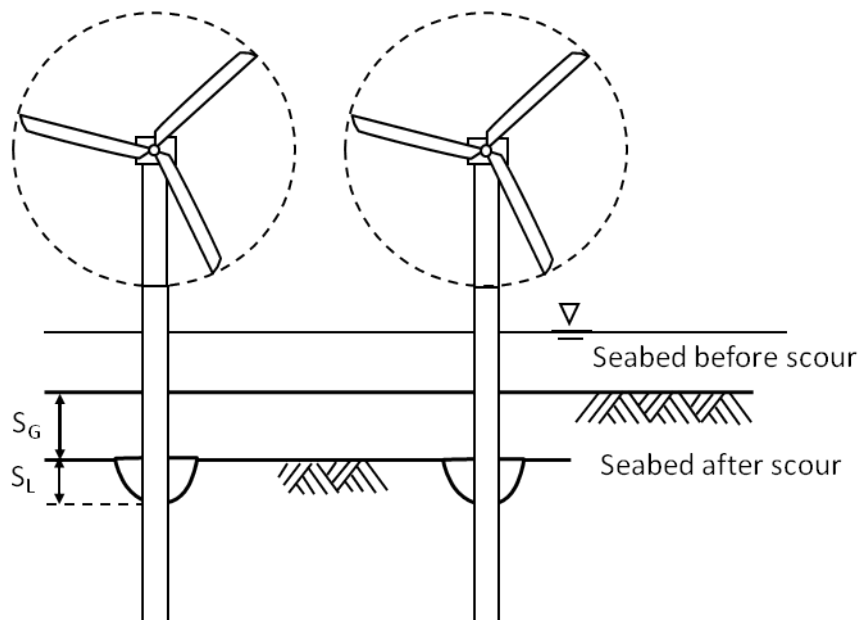


圖1.2 離岸風場海床淘蝕示意圖

環境影響評估為離岸風場開發前置作業中最關鍵之一環；其中，風場開發造成之海底地形變動除了將對生態環境造成影響，亦將造成海岸之長期地形變遷。圖 1.3 說明離岸風機支承基礎結構包括重力式基礎、單樁基礎及多樁基礎等。不論離岸風機採用何種基礎型式，海床土壤於波潮流之作用下，將會對鄰

近基礎之海床土壤造成局部淘蝕，圖 1.4 說明離岸風機支承結構和基礎在波潮流作用下，所衍生之底部邊界層(bed boundary layer)，馬蹄型渦流(Horseshoe vortex)以及基礎淘刷之情型，本次離岸風場風機之基礎型式擬選用圖 1.3 中(c)大口徑單樁型式與(e)塔架式基礎型式，進行研究與評估風場設置後海底地形變遷的影響。

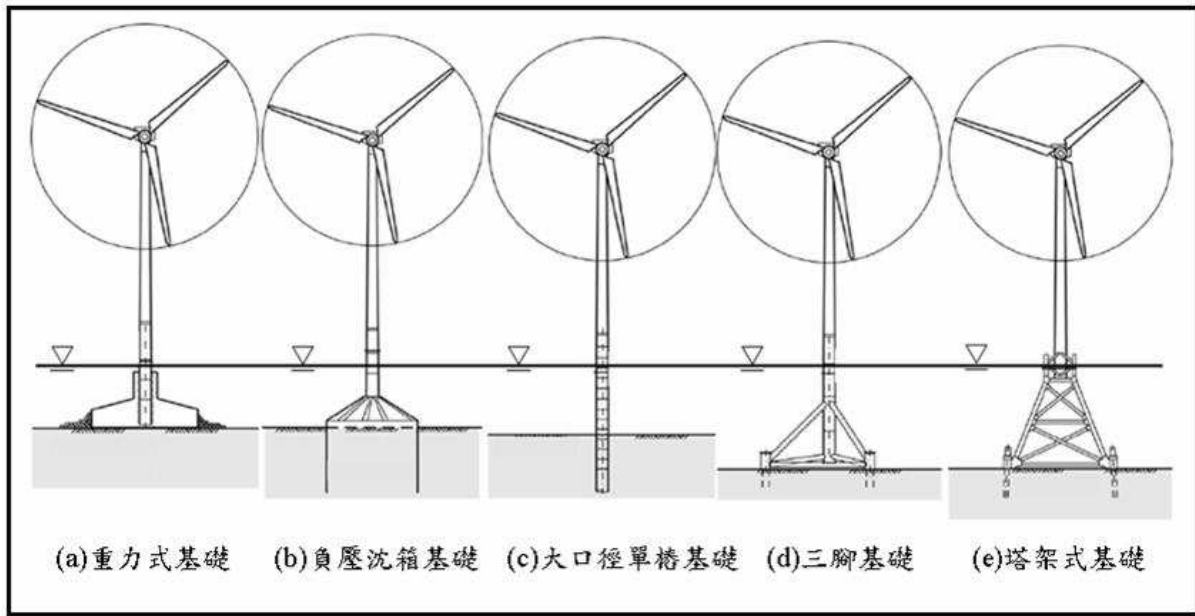


圖1.3 離岸式風力發電機基礎型式Schaumann et al. (2004)

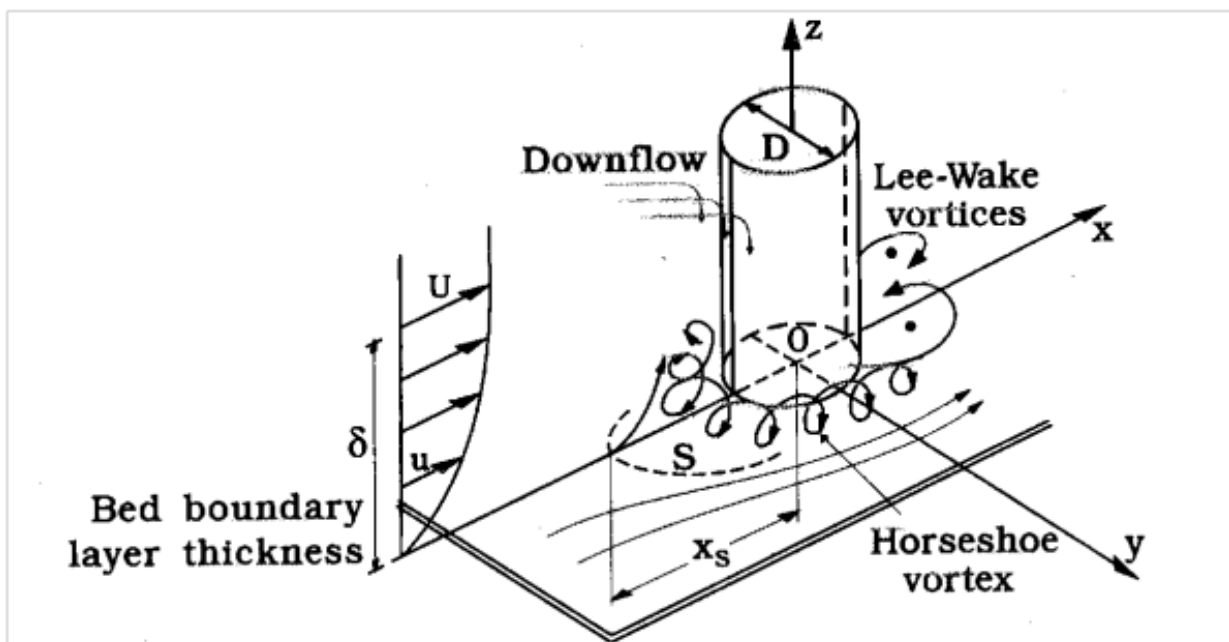


圖1.4 樁基礎受淘刷作用形成局部淘蝕示意圖Sumer & Fredsøe (2002)

1.2 工作內容

本計畫主要研究工作內容包括海象資料(波浪、潮流等)蒐集、離岸風場設置前、後之波、流場模擬、離岸風場設置前、後地形變動分析。研究區域為彰化離岸風場，圖 1.5 中第 18 及第 19 區二址為對象(本報告為第 19 區)，蒐集該區域附近海域之基本資料。波流場模擬採用波流場模式(許等人，1999)，模擬離岸風場開發前、後之波流場情況，作為海岸變遷模式計算的基本輸入條件，進行海岸地形變遷模擬，據以分析離岸風場開發後對海岸地形變遷是否有影響。再以 Splash3D 數值模擬分別探討基礎鄰近局部淘蝕與尾流影響範圍，以綜合評估地形變遷對環境之影響。

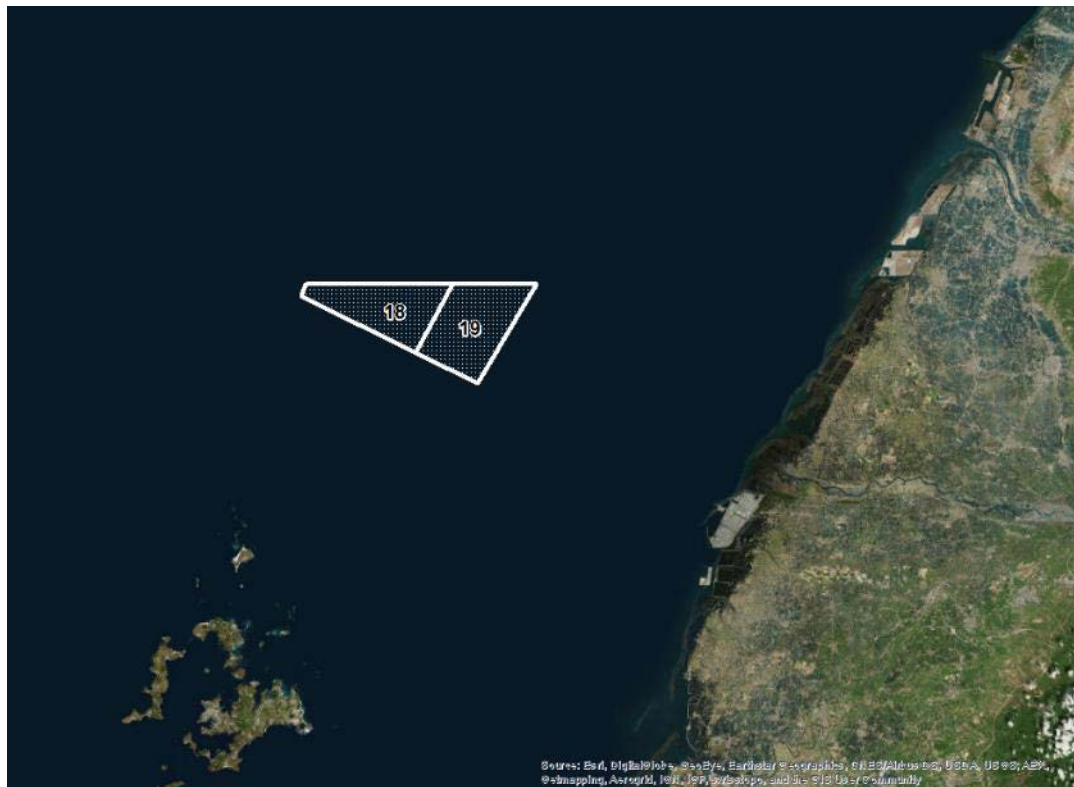


圖 1.5 彰化離岸風場第18區及第19區區域示意圖

1.3 工作項目

本計畫工作項目為進行彰化離岸風場(第 19 區)開發對海床地形變動影響之研究，各工作項目如表 1.1 所示，

表1.1 離岸風場設置對海床地形變動之影響工作期程表

工作項目	105 年 7-10 月
海象資料蒐集與分析	
離岸風場波場、流場計算	
離岸風場地形變動分析	

1.4 本文組織

本文共分五章，第一章為緒論闡述本計畫的緣起與目的、計畫的工作內容與計畫的工作進度；第二章為彰化離岸風場(第 19 區)外海基本海象資料蒐集與分析；第三章為離岸風場的波潮流模擬；第四章為離岸風場設置後地形變動分析；第五章為結論與建議；最後附錄部分描述海象資料調查過程。

第二章 資料蒐集與分析

進行彰化離岸風場(第 19 區)的波流場與地形變動分析之前，對於研究範圍內的相關環境背景資料的蒐集與分析，旨在進一步的瞭解該計畫研究區之海域特性之外，也可作為數值模式輸入模擬的依據。有關本研究計畫區域之環境背景資料整理詳述如下。

2.1 海域地形資料

本研究計畫主要觀測區域的地形水深檔與區域範圍與風場位置圖，南起濁水溪北側，北至彰濱工業區，外海至水深最深約 55 公尺處，其地理位置區位如圖 1.5 所示。

2.2 風速資料

根據彰化鹿港氣象站 2015 年的風向與風速觀測資料統計如表 2.1 所示，最大陣風發生於 8 月期間其風速達到 39.5 公尺/秒，平均風速則介於 2.3 公尺/秒~3.9 公尺/秒之間，最多風向以北北東及北風為主。另根據台中梧棲氣象站 2015 年的風向與風速觀測資料統計如表 2.2 所示，最大陣風發生於 8 月期間其風速達到 54.25 公尺/秒，平均風速則介於 3.4 公尺/秒~5.7 公尺/秒之間，最多風向以北風為主。由於本計畫風場位置距離海岸線約有 3 公里~7 公里，風速大體大於岸上測站測量數據。

表 2.1 彰化鹿港氣象站之風速風向統計表(2015年)

統計參數	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月
最大陣風 (m/sec)	18.4	17.3	15.9	16.2	11.2	13.1
平均風速 (m/sec)	3.7	3.3	3.1	2.8	2.3	2.6
最多風向	NNE	NNE	NNE	N	N	S
統計參數	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
最大陣風 (m/sec)	18.3	39.5	32.4	15.1	15.9	21.9
平均風速 (m/sec)	2.8	2.8	3.1	3.0	2.9	3.9
最多風向	NNE	SE	N	N	N	NNE

資料來源：中央氣象局網站

表2.2 台中梧棲氣象站之風速風向統計表(2015年)

統計參數	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月
最大陣風 (m/sec)	24.5	25.4	22.9	23.5	15.1	15.1
平均風速 (m/sec)	5.5	4.7	4.3	4.5	3.4	3.8
最多風向	N	N	N	N	N	S
統計參數	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
最大陣風 (m/sec)	24.6	54.2	45.3	24.3	24.5	25.8
平均風速 (m/sec)	4.2	3.9	4.3	4.4	4.2	5.7
最多風向	N	SE	N	N	N	N

資料來源：中央氣象局網站

2.3 波浪資料

颱風波浪部分，由於颱風侵襲時，狂風大浪常將價格昂貴之波浪量測儀器沖失或損壞，因此，除非編列有足夠預算觀測計畫區附近海域之波浪狀況，且有完善設施保護，並記錄足夠通過該區之颱風波浪進行統計分析，否則，大抵以數值模擬方式推算颱風波浪。因此，為了解計畫區外海之颱風波浪狀況，特依井島武士及湯麟武博士之理論模擬推算颱風波浪。考量本計畫海岸地形變遷模擬範圍(第 19 區)外海水深達 57.75 公尺，以該區最深水位為中心，於南北、東西向各兩個經緯度範圍內，且颱風中心氣壓小於或等於 970mb 者，將民國 29 年~105 年侵台颱風中篩選出對計畫區影響較大之颱風進行颱風波浪推算，並將其各方向可能發生之最大示性波高以極端值分佈法推算各重現期之波高(如表 2.3 所示)。由表 2.3 可知，計畫區附近之外海颱風波浪以 N 向最大，W 向最小。以一般海岸、港灣結構物設計之 50 年迴歸期而言，N 向之示性波高約可達 10.70 公尺，其相對之週期為 13.74sec。至於冬季、夏季季風波浪條件，由於本計畫風場位置距離海岸線約有 3 公里~7 公里，水深介於 20 公尺~55 公尺間之海域，為瞭解季風波浪可能引致海岸地形變遷影響最大範圍，因此本計畫將以最大季風波浪條件作為海岸地形變遷模擬的輸入條件，採用台中港 2013~2015 年波浪資料，並過濾颱風波浪後，所求得之 50 年重現期最大季風波浪條件如表 2.4 所示。

另外，對於風機附近海床局部淘刷分析，考量風場位置水深則介於 20 公尺~55 公尺間，以 50 年重現期之颱風波浪(表 2.5)作為風機附近海床局部淘刷分析模式之輸入條件。

表2.3 各重現期之颱風波浪推算值統計表

方向 \ 重現期	250		200		100		50		25		20		10	
	Hs	Ts	Hs	Ts	Hs	Ts	Hs	Ts	Hs	Ts	Hs	Ts	Hs	Ts
NNE	13.66	15.52	13.26	15.29	11.97	14.53	10.63	13.69	9.21	12.75	8.74	12.42	7.20	11.27
N	13.70	15.54	13.30	15.32	12.03	14.57	10.70	13.74	9.31	12.81	8.84	12.49	7.32	11.36
NNW	11.85	14.46	11.58	14.29	10.69	13.73	9.73	13.10	8.68	12.37	8.32	12.11	7.10	11.19
NW	10.54	13.64	10.29	13.47	9.48	12.93	8.61	12.32	7.65	11.62	7.32	11.36	6.21	10.47
WNW	10.82	13.81	10.48	13.60	9.41	12.88	8.29	12.09	7.12	11.20	6.72	10.89	5.44	9.80
W	9.30	12.81	9.00	12.60	8.05	11.91	7.05	11.15	6.00	10.29	5.65	9.98	4.51	8.92
WSW	10.55	13.64	10.10	13.35	8.72	12.40	7.34	11.38	5.96	10.26	5.52	9.87	4.14	8.55
SW	11.68	14.36	11.19	14.05	9.68	13.06	8.16	11.99	6.64	10.82	6.15	10.41	4.63	9.04
SSW	11.06	13.97	10.60	13.67	9.16	12.71	7.73	11.67	6.29	10.53	5.83	10.14	4.39	8.80
S	9.92	13.23	9.68	13.06	8.89	12.52	8.05	11.91	7.12	11.21	6.80	10.95	5.73	10.05
SSE	10.22	13.43	9.98	13.27	9.20	12.74	8.37	12.15	7.45	11.46	7.14	11.22	6.07	10.35
SE	9.57	13.00	9.36	12.85	8.67	12.37	7.93	11.82	7.11	11.20	6.83	10.98	5.88	10.19
ESE	9.12	12.68	8.92	12.54	8.27	12.08	7.57	11.56	6.81	10.96	6.54	10.74	5.66	9.99
E	9.45	12.91	9.24	12.77	8.56	12.29	7.83	11.75	7.02	11.13	6.74	10.91	5.81	10.12
ENE	10.00	13.28	9.77	13.13	9.05	12.63	8.26	12.07	7.41	11.43	7.11	11.20	6.12	10.39
NE	10.41	13.55	10.17	13.39	9.39	12.87	8.54	12.28	7.62	11.60	7.31	11.35	6.24	10.49

- 註：1.目標區推算點水深約為 57.75 公尺
 2.波高之單位為公尺；週期之單位為 sec
 3.本計畫彙整分析

表2.4 季風波浪條件

波浪條件	波高 Hs(m)	週期 Ts(sec)	波向
冬季季風波浪(10~3 月)	4.54	10.10	NNE
夏季季風波浪(4~9 月)	3.64	9.70	W

註：採用台中港 2013~2015 年波浪資料，本計畫彙整分析

表2.5 彰化離岸風場(第19區)海域 50年重現期距颱風波浪計算結果

風場區位	50年重現期颱風波浪波高 Hs(m)	50年重現期颱風波浪週期 Ts(sec)
第 19 區	10.70	13.74

註：本計畫彙整分析

2.4 潮汐資料

根據雲林箔子寮潮位測站統計資料如表 2.6 所示，蒐集資料時間從 2004 年到 2015 年。

表2.6 雲林箔子寮潮位站潮位資料統計表(基隆中潮系統)

測站名稱及資料時間 潮位名稱	雲林箔子寮 2003~2015
最高高潮位 (H.H.W.L.)	+2.686
大潮平均高潮位 (H.W.O.S.T.)	+2.395
平均高潮位 (M.H.W.L.)	+1.675
平均潮位 (M.W.L.)	+0.46
平均低潮位 (M.L.W.L.)	-0.775
大潮平均低潮位 (L.W.O.S.T.)	-1.548
最低潮位 (L.L.W.L.)	-1.743
平均潮差 (M.R.)	2.45

單位：公尺

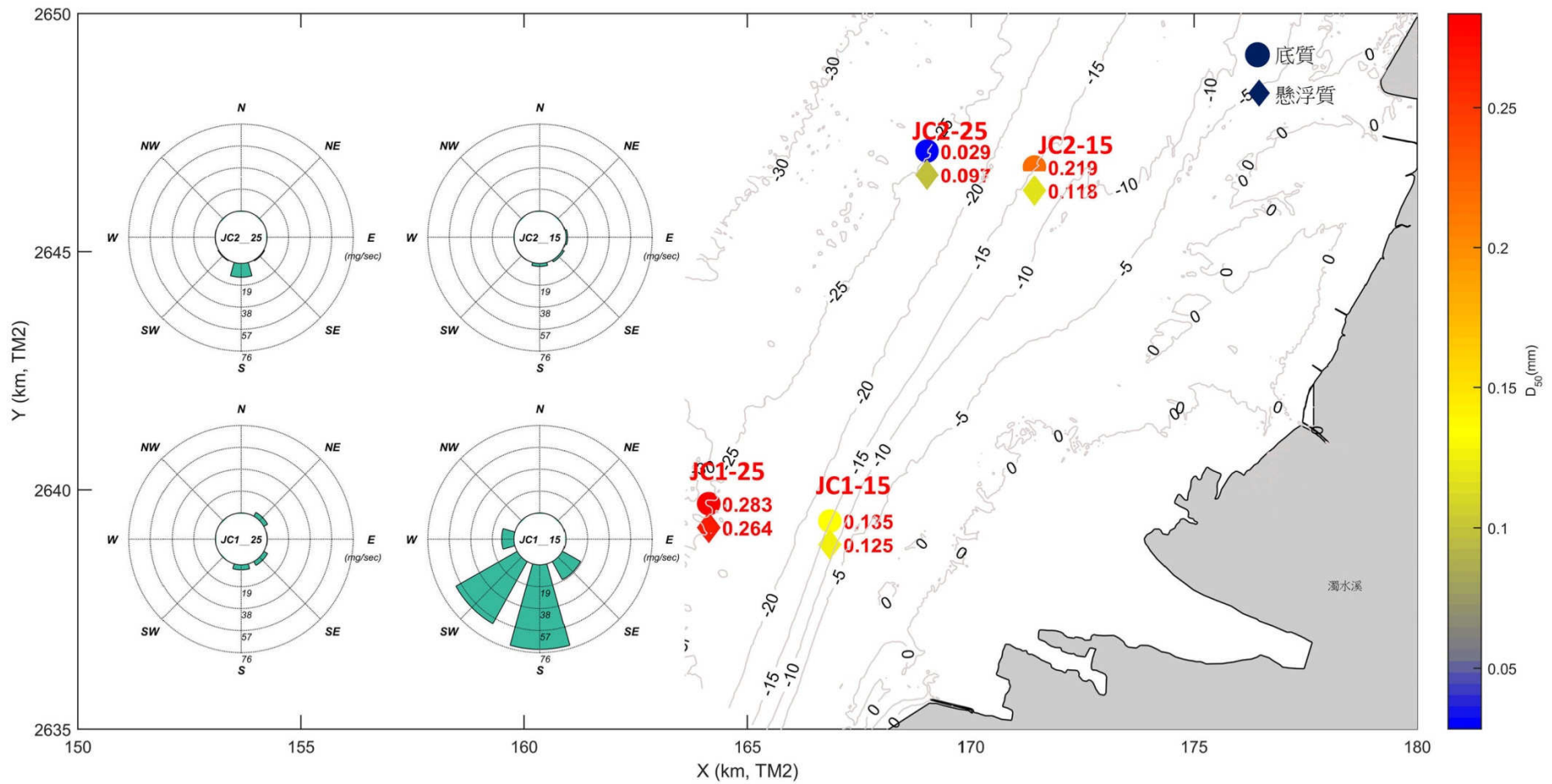
資料來源：中央氣象局網站

2.5 海潮流資料

彰化海域的背景海流是沿著海岸線呈東北-西南走向，受東北季風影響。當東北方強時，背景海流為順風而下的西南流，當東北季風弱時，背景海流為逆風而上的東北流。背景海流的最大流速約為 0.2 m/s，大部份深度的背景流速均小於 0.2 m/s。在潮流部分，此海域是以半日潮流為主，全日潮流次之，半日與全日潮流橢圓之主軸也是平行於海岸線呈東北-西南走向，且橢圓率接近 1，潮流橢圓幾乎退化成直線，這代表此海域的潮流橢圓的主軸流速分量遠大於副軸流速分量。

2.6 底質粒徑

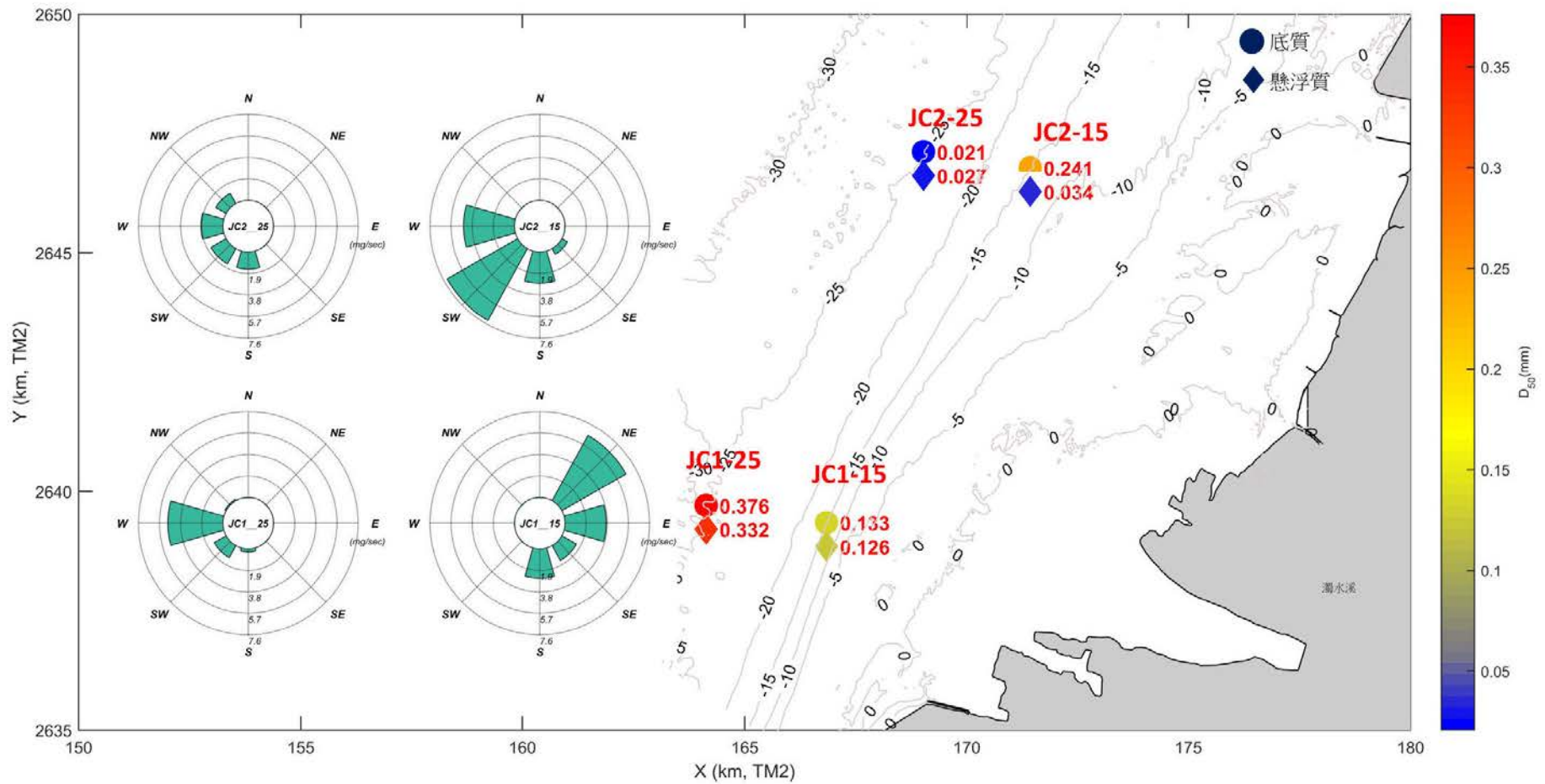
根據「中國鋼鐵公司 29 號離岸風場預定地錨碇式 ADCP 海流、潮汐、波浪及漂砂與底質調查」第一次至第三次量測報告，其調查時間為 104 年 12 月、105 年 3 月與 7 月，其砂樣取點位置、砂樣粒徑及淨輸砂結果如圖 2.1 所示。該計畫編號 JC2-15 三次量測結果的平均為 0.21 mm，作為本計畫彰化離岸風場(第 19 區)的平均底質粒徑。



圖資來源：「中國鋼鐵公司 29 號離岸風場預定地錨碇式 ADCP 海流、潮汐、波浪及漂砂與底質調查」第一次至第三次量測報告(2016)

(a) 第一次取樣(104 年 12 月)

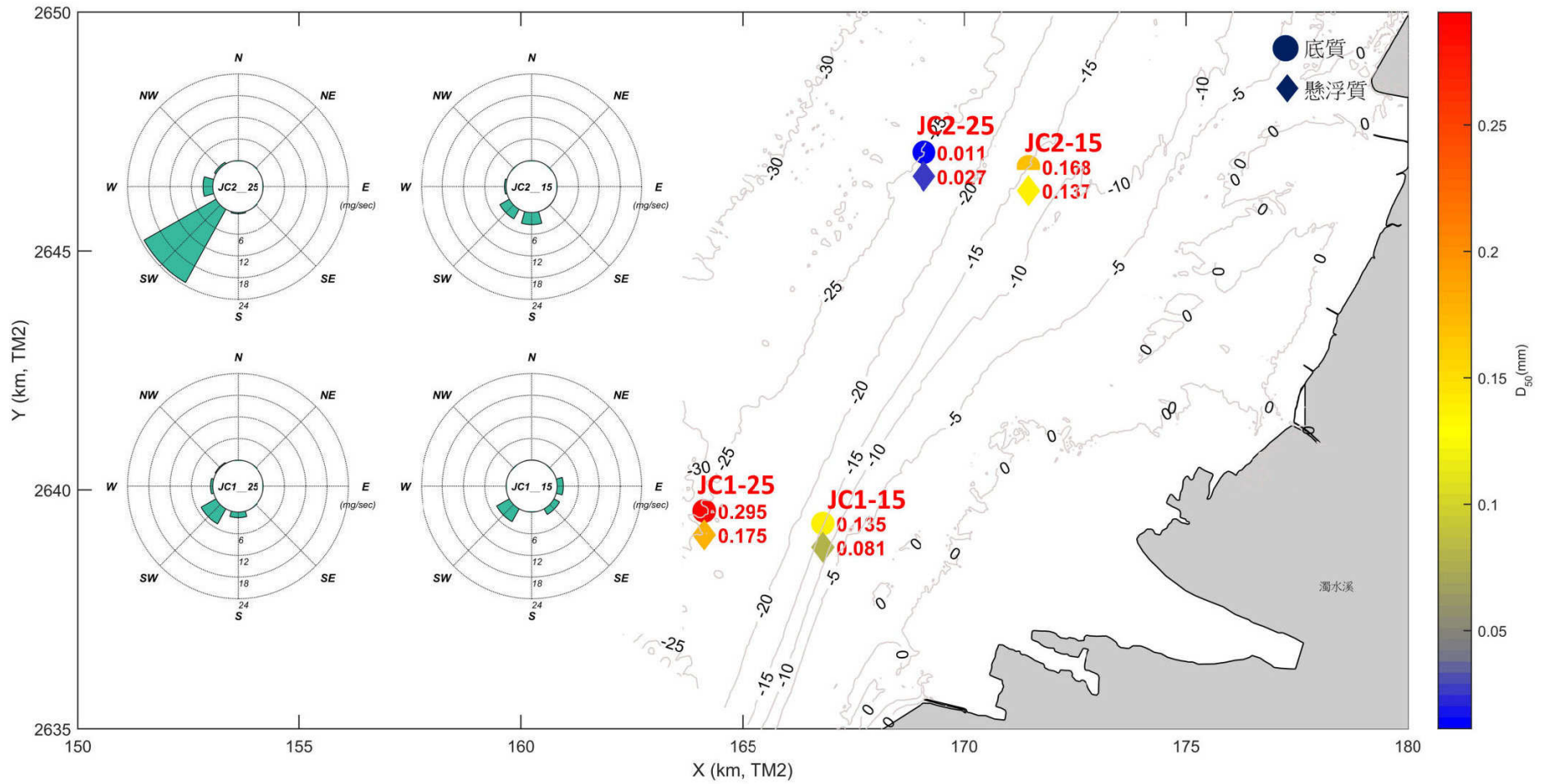
圖2.1 計畫區附近海域取樣位置、砂樣粒徑及淨輸砂結果圖



圖資來源：「中國鋼鐵公司 29 號離岸風場預定地錨碇式 ADCP 海流、潮汐、波浪及漂砂與底質調查」第一次至第三次量測報告(2016)

(b) 第二次取樣(105 年 3 月)

圖2.1(續1) 計畫區附近海域取樣位置、砂樣粒徑及淨輸砂結果圖



圖資來源：「中國鋼鐵公司 29 號離岸風場預定地錨碇式 ADCP 海流、潮汐、波浪及漂砂與底質調查」第一次至第三次量測報告(2016)

(c) 第三次取樣(105 年 7 月)

圖2.1(續2) 計畫區附近海域取樣位置、砂樣粒徑及淨輸砂結果圖

2.6 河川輸砂

本計畫彰化離岸風場第 19 區位於烏溪、濁水溪溪口之間外海。烏溪河流主流長度為 119.13 公里，流域面積為 2,025.6 平方公里，流域之年平均雨量為 2,087 公釐，河川年平均逕流量為 3,608.66 百萬立方公尺。依據台灣西部河川輸砂量經驗公式($Q_s/\rho_s = 0.009 A^{0.852}$ ， Q_s (百萬噸/年)：年輸沙量， ρ_s (噸/ m^3)：砂密度， $A(m^2)$ ：流域面積)推估，烏溪平均年輸砂量約為 76.46 萬立方公尺。本計畫根據總量分配，以颱風期間河口輸砂量 0.3451cms、平時河口輸砂量 0.0197cms，作為數值模擬之輸入條件。濁水溪河流主流長度為 186.6 公里，流域面積為 3,156.9 平方公里，河川年平均逕流量為 5,197.13 百萬立方公尺。依據台灣西部河川輸砂量經驗公式推估，濁水溪平均年輸砂量約為 111.59 萬立方公尺。本計畫根據總量分配，以颱風期間河口輸砂量 0.5051cms、平時河口輸砂量 0.0287cms，作為數值模擬之輸入條件。

第三章 離岸風場波流場模擬

在台灣建立離岸風場的開發，就風機整體的承載受力方面面臨許多的問題與考驗，波浪影響的部分而言，除了常態性的波浪與潮流的影響之外，因季風與颱風引起較大波浪與暴潮所造成的影響也不容小覷。與波浪相關資料在第二章基本資料蒐集的部分已將本研究計畫的研究區域內之的波浪條件作了完整的統計調查與分析，提供了波流場模式模擬計算時所需要的基本輸入條件；至於颱風暴潮的部分，本研究利用暴潮與潮流模式模擬颱風引致之暴潮水位，經由數值計算的結果做為統計分析之數據基礎或資料庫，推算出不同重現期的颱風暴潮水位條件，提供工程設計上參考與依據，同時也作為波流場模式模擬之條件。

3.1 設計颱風暴潮之重現期分析

為了能完整描述颱風來襲之水位變化趨勢，本計畫利用數值模式推算颱風暴潮，進一步以統計方式獲得不同重現期水位，成果將作為海底床地形變動模擬分析之重要輸入參數。本計畫根據中央氣象局颱風資料庫資料，蒐集二十餘年之颱風紀錄進行迴歸分析。分析方法乃根據水利署計畫「花蓮海岸災害監測預警系統建置」建立之暴潮與潮流模式推估各颱風來襲時之最大潮位。模式所使用之風場採用修正之袁金渦動模式(Rankine-Vortex Model, RVM)模擬颱風風場，有關袁金渦動模式之介紹將於 3.1.1 節中敘述。透過模式計算所得之潮位，結合極值分析方式統計不同重現週期下各地區之颱風暴潮情形，極值分析之理論將於 3.1.2 節中說明。

3.1.1 模型颱風之推算

如圖 3.1 所示，根據中央氣象局統計(2008)，歷年來侵襲臺灣之颱風可分為 10 大類路徑，本計畫計算 1989 年到 2013 年侵襲台灣之所有颱風，並且進行初步分析，表 3.1 為中央氣象局所提供之颱風資料。

一般而言當颱風形成後，因其內部氣壓低導致環繞周圍的空氣由外邊的高壓處向低壓的氣旋中心流動，氣壓梯度差為主要的風場動力來源，因此在模擬颱風風場時必須掌握颱風當時大氣壓力之分佈及特性。本計畫預估波浪重現期之模擬風場採用 Holland(1980)修正之袁金渦動模式(Rankine-Vortex Model; 簡稱 RVM)模擬颱風風場。袁金渦動颱風風場模式內所考慮到的外力有壓力梯度力、離心力及地球自轉所導致的科氏力。

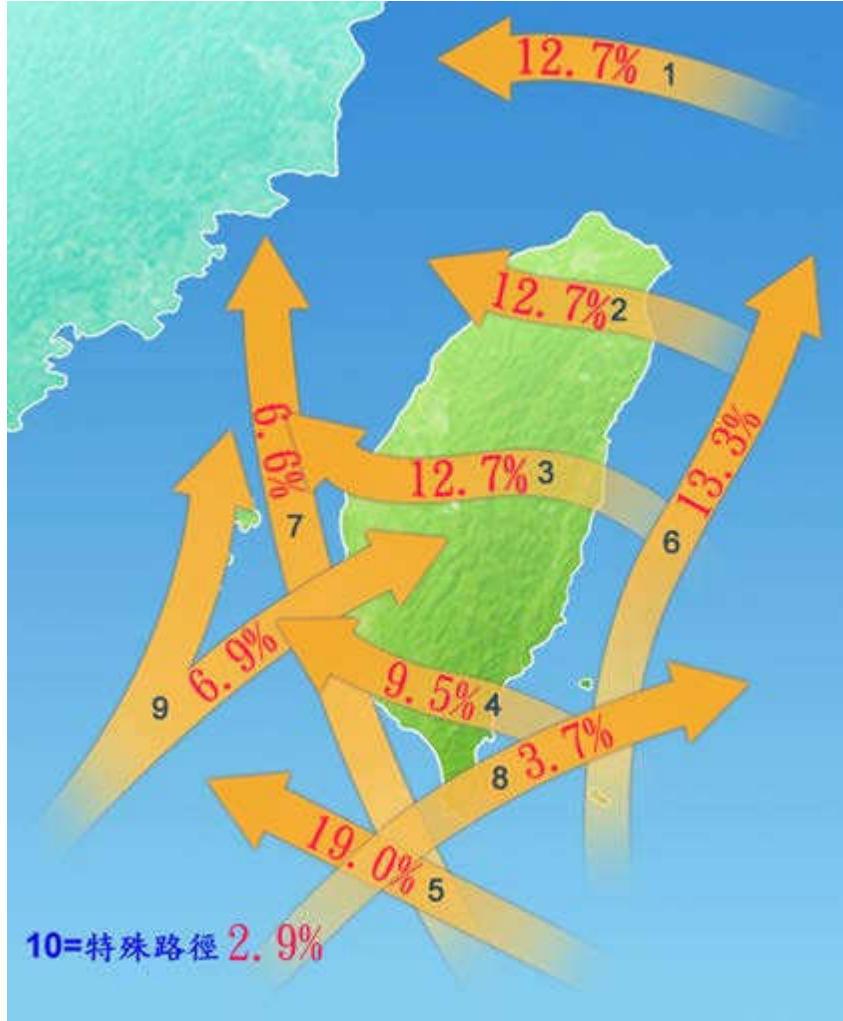


圖3.1 歷史颱風路徑分類圖(圖片來源：中央氣象局颱風資料庫)

在應用 RVM 之前，首先要考慮的是模型颱風壓力分佈的形式，本文所選用的壓力分佈為較符合實際情況之指數型式，其壓力剖面分佈依 Myers (1954) 之提議，表示為

$$P_r = P_0 + \Delta P_c e^{-r_0/r} \quad (1)$$

其中 P_r 為距颱風中心 r 處的壓力， P_0 為颱風中心氣壓， $\Delta P_c = P_\infty - P_0$ 為距颱風中心無限遠的氣壓 P_∞ 與颱風中心氣壓 P_0 的氣壓差， P_∞ 本計畫設定為 1 大氣壓(1013 mb)， r_0 為最大暴風半徑，在此採用 Graham 和 Nunn (1959) 之建議為

$$r_0 = 28.52 \tanh[0.0873(\phi - 28)] + 12.22 / \exp[(1013.3 - P_0) / 33.86] + 0.2V_f + 37.22 \quad (2)$$

式中 V_f 為颱風前進速度， ϕ 為緯度。由式(1)對距離作微分可以得到壓力梯度公式為

$$U_r^2 = \frac{1}{\rho_a} r \frac{dP_r}{dr} = \frac{1}{\rho_a} \Delta P \left(\frac{r_0}{r} \right) e^{-r_0/r} \quad (3)$$

其中 ρ_a 為大氣密度， U_r 為旋橫風速(cyclostrophic wind speed)，而旋衡風與梯度風 V_r (gradient wind speed) 之關係為(Holland, 1980)

$$V_r^2 + f r V_r = \frac{1}{\rho_a} r \frac{dP_r}{dr} \quad (4)$$

$$V_r^2 + f r V_r = U_r^2 \quad (5)$$

表3.1 颱風統計表 (資料來源：中央氣象局)

年度	中文名稱	英文名稱	警報期間	強度	近中心 最低氣壓 (mb)	近中心 最大風速 (m/s)
1989	莎拉	SARAH	09/08~09/13	強烈	952	28
1990	瑪麗安	MARIAN	05/18~05/19	中度	960	40
1990	歐菲莉	OFELIA	06/21~06/24	中度	968	38
1990	楊希	YANCY	08/17~08/20	中度	960	40
1990	亞伯	ABE	08/29~08/31	中度	955	45
1990	黛特	DOT	09/06~09/08	中度	960	38
1991	艾美	AMY	07/17~07/19	強烈	950	51
1991	愛麗	ELLIE	08/16~08/18	中度	965	38
1991	耐特	NAT	09/30~10/02	輕度	935	30
1991	耐特	NAT	09/22~09/24	強烈	945	51
1992	歐馬	OMAR	09/03~09/05	強烈	945	51
1992	寶莉	POLLY	08/27~08/31	輕度	975	23
1992	泰德	TED	09/20~09/23	輕度	985	30
1993	亞伯	ABE	09/10~09/14	中度	950	43
1994	提姆	TIM	07/09~07/11	強烈	945	53
1994	凱特琳	CAITLIN	08/03~08/04	輕度	987	25

表3.1(續1) 颱風統計表 (資料來源：中央氣象局)

年度	中文名稱	英文名稱	警報期間	強度	近中心最低氣壓(mb)	近中心最大風速(m/s)
1994	道格	DOUG	08/06~08/08	強烈	930	58
1994	弗雷特	FRED	08/19~08/21	強烈	935	55
1994	葛拉絲	GLADYS	08/31~09/01	中度	970	35
1994	席斯	SETH	10/07~10/11	強烈	925	51
1995	荻安娜	DEANNA	06/04~06/08	輕度	995	20
1995	蓋瑞	GARY	07/31~07/31	輕度	980	28
1995	肯特	KENT	08/27~08/31	中度	955	45
1995	賴恩	RYAN	09/20~09/23	中度	955	45
1996	凱姆	CAM	05/20~05/23	輕度	995	20
1996	葛樂禮	GLORIA	07/24~07/27	中度	965	35
1996	賀伯	HERB	07/29~08/01	強烈	920	53
1997	溫妮	WINNIE	08/16~08/19	強烈	905	55
1997	安珀	AMBER	08/27~08/30	中度	945	48
1998	妮蔻兒	NICHOLE	07/09~07/10	輕度	998	18
1998	奧托	OTTO	08/03~08/05	輕度	985	30
1998	楊妮	YANNI	09/27~09/29	輕度	975	30
1998	瑞伯	ZEB	10/13~10/17	強烈	920	55
1998	芭比絲	BABS	10/25~10/27	中度	950	43
1999	瑪姬	MAGGIE	06/04~06/06	中度	965	38
1999	丹恩	DAN	10/04~10/09	中度	968	38
2000	啟德	KAI-TAK	07/06~07/10	中度	965	35
2000	碧利斯	BILIS	08/21~08/23	強烈	930	53
2000	巴比倫	PRAPIROON	08/27~08/30	中度	965	33
2000	寶發	BOPHA	09/08~09/10	輕度	990	23
2000	象神	XANGSANE	10/30~11/01	中度	960	38
2001	西馬隆	CIMARON	05/11~05/13	輕度	990	23
2001	奇比	CHEBI	06/22~06/24	中度	965	35
2001	尤特	UTOR	07/03~07/05	中度	960	38
2001	潭美	TRAMI	07/10~07/11	輕度	995	20
2001	桃芝	TORAJI	07/28~07/31	中度	962	38

表3.1(續2) 颱風統計表 (資料來源：中央氣象局)

年度	中文名稱	英文名稱	警報期間	強度	近中心最低氣壓 (mb)	近中心最大風速 (m/s)
2001	納莉	NARI	09/08~09/10	中度	960	40
2001	納莉	NARI	09/13~09/19	中度	960	40
2001	利奇馬	LEKIMA	09/23~09/28	中度	965	35
2002	娜克莉	NAKRI	07/09~07/10	輕度	987	20
2002	辛樂克	SINLAKU	09/04~09/08	中度	950	43
2003	莫拉克	MORAKOT	08/02~08/04	輕度	990	23
2003	杜鵑	DUJUAN	08/31~09/02	中度	950	43
2003	米勒	MELOR	11/02~11/03	輕度	975	30
2004	敏督利	MINDULLE	06/28~07/03	中度	942	45
2004	艾利	AERE	08/23~08/26	中度	960	48
2004	海馬	HAIMA	09/11~09/13	輕度	998	18
2004	納坦	NOCK-TEN	10/23~10/26	中度	945	43
2004	南瑪都	NANMADOL	12/03~12/04	中度	940	45
2005	海棠	HAITANG	07/16~07/20	強烈	912	55
2005	馬莎	MATSA	08/03~08/06	中度	955	40
2005	泰利	TALIM	08/30~09/01	強烈	920	53
2005	龍王	LONGWANG	09/30~10/03	強烈	925	51
2006	珍珠	CHANCHU	05/16~05/18	中度	943	45
2006	碧利斯	BILIS	07/12~07/15	輕度	978	25
2006	凱米	KAEMI	07/23~07/26	中度	960	38
2006	寶發	BOPHA	08/07~08/09	輕度	985	25
2007	帕布	PABUK	08/06~08/08	輕度	980	28
2007	梧提	WUTIP	08/08~08/09	輕度	992	18
2007	聖帕	SEPAT	08/16~08/19	強烈	920	53
2007	韋帕	WIPHA	09/17~09/19	中度	935	48
2007	柯羅莎	KROSA	10/04~10/07	強烈	925	51
2008	卡玫基	KALMAEGI	07/16~07/18	中度	970	33
2008	鳳凰	FUNG-WONG	07/26~07/29	中度	948	43
2008	辛樂克	SINLAKU	09/11~09/16	強烈	925	51
2008	薔蜜	JANGMI	09/26~09/29	強烈	925	53

表3.1(續3) 颱風統計表 (資料來源：中央氣象局)

年度	中文名稱	英文名稱	警報期間	強度	近中心最低氣壓 (mb)	近中心最大風速 (m/s)
2009	莫拉克	MORAKOT	08/05~08/10	中度	965	40
2009	芭瑪	PAARMA	10/03~10/06	中度	945	43
2010	萊羅克	LIONROCK	08/31~09/02	輕度	990	23
2010	南修	NAMTHEUN	08/30~08/31	輕度	995	18
2010	莫蘭蒂	MERANTI	09/09~09/10	輕度	990	23
2010	凡那比	FANAPI	09/17~09/20	中度	940	45
2010	梅姬	MEGI	10/21~10/23	中度	935	48
2011	南瑪都	NANMADOL	08/27~08/31	強烈	920	53
2012	泰利	TALIM	06/19~06/21	輕度	985	25
2012	蘇拉	SAOLA	07/30~08/03	中度	960	38
2012	天秤	TEMBIN	08/21~08/28	中度	945	45
2013	蘇力	SOULIK	07/11~07/13	強烈	925	51
2013	西馬隆	CIMARON	07/17~07/18	輕度	998	18
2013	潭美	TRAMI	08/20~08/22	輕度	970	30
2013	康芮	KONG-REY	08/27~08/29	輕度	985	25
2013	天兔	USAGI	09/19~09/22	強烈	910	55
2013	菲特	FITOW	10/04~10/07	中度	960	38

$$V_r = -0.5 f r + \sqrt{(0.5 f r)^2 + U_r^2} \quad (6)$$

其中 V_r 為距颱風中心 r 處的梯度風速， $f = 2w \sin \phi$ 為科氏參數， w 為地球自轉角速度 ($w = 7.929 \times 10^{-5} \text{ sec}^{-1}$)。

因波浪模式中所需風速為海面上 10 公尺處的風速，故需將梯度風轉換成海面上 10 公尺處之風速 V_{rs} ，Powell (1980) 建議下式：

$$V_{rs} = 0.8 V_r \quad (7)$$

再考慮颱風的前進速度，則 V_{rs} 必須再修正為

$$V_{rs}^* = V_{rs} + 0.5 V_f \cos \theta_c \quad (8)$$

其中 V_{rs}^* 為行進中颱風距颱風中心 r 處的實際合成風速，至於合成風速與颱風前進移動速度之夾角計算如圖 3.2 所示。圖中各符號意義如下， O 為颱風中心點， G 為距颱風中心 r 處之位置， OM 為最大風速之徑向， α 為合成風速與等壓線之夾角，本文採用 Shea 和 Gray(1973)之建議為 25^0 ， β 為 V_{rs}^* 與 x 軸之交角， δ 為颱風前進速度與正 x 軸之夾角， γ 為 OG 與 x 軸之交角， θ_c 為測點合成風速 V_{rs}^* 與颱風移動速度 V_f 風向的夾角 ($\theta_c = 90 + \alpha - \delta + \gamma$)。

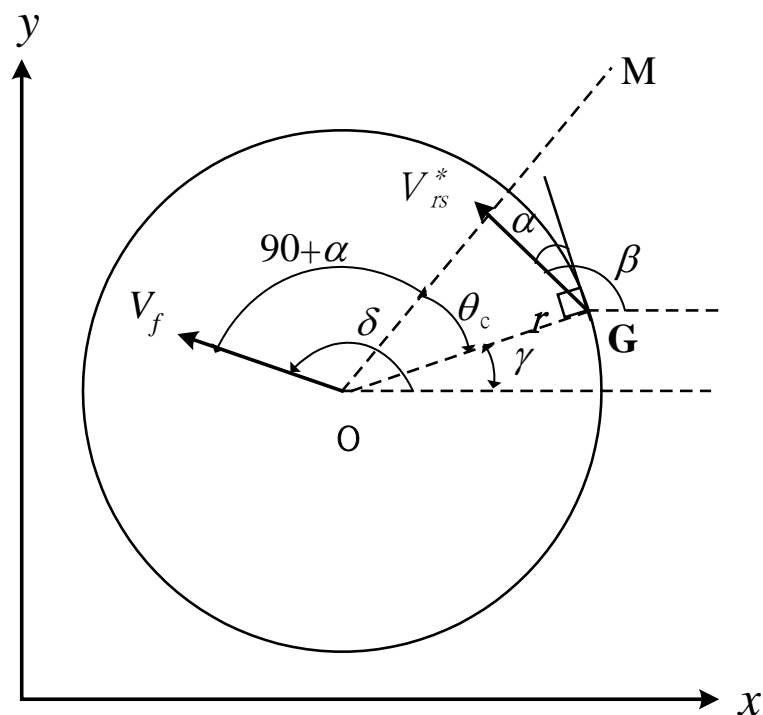


圖3.2 颱風風場座標系統圖

3.1.2 極值統計理論

暴潮的重現期(Return period)分析是指某極端暴潮值超過或等於某一門檻值後，下次再發生此一事件的時間長度。重現期與所發生機率 P (年)的關係如下列數學式所示：

$$T = 1/P \tag{9}$$

重現期分析為探討風險發生可能性的一項重要指標。本計畫透過長期資料搭配合適的重現期分析方法，決定出設計暴潮值，藉以作為決定設計水位之基礎。本計畫針對台灣彰化海域的暴潮特性進行檢討，確認當地海域暴潮之統計分佈特徵。

對海岸結構物設計而言，為確保結構物在使用年限內能發揮保護海岸之功能，減輕海岸災害，暴潮實測資料的長度要滿足統計特性方能分析代表性的成果。然實際上往往因現有記錄不足而無法達成。此時，需要藉由統計方法，利用有限長度的資料，去推估重現期之暴潮特性，此分析技巧稱為極值統計。工程上常利用極值統計方式推估各重現期距的暴潮特性，有關極值分佈方法眾多，以不同的極值函數所推估出來的重現期距結果亦不相同。

學理上共有六種常用機率分佈模式，即(1)兩參數對數常態分佈(two-parameter lognormal distribution, LN2)；(2)三參數對數常態分佈(three-parameter lognormal distribution, LN3)；(3)皮爾遜第三類分佈(Person type three distribution)；(4)對數皮爾遜第三類分佈(Log Person type three distribution)；(5)甘貝爾分佈(Gumbel distribution)；(6)韋伯分佈(Weibull distribution)。根據CEM(Coastal Engineering Manual, 2003)之建議，長期波浪和潮位極值適合之累積機率分佈函數為甘貝爾分佈(Gumbel)及韋伯(Weibull)分佈，因此本計畫以甘貝爾分佈及韋伯分佈進行潮位之統計，其推算方法簡述如下。

(1) Gumbel 分佈

$$F(x) = e^{-e^{-\frac{x-B}{A}}}, -\infty < x < \infty \quad (10a)$$

$$f(x) = \frac{1}{A} e^{-\frac{x-B}{A}} e^{-\frac{x-B}{A}} \quad (10b)$$

(2) Weibull 分佈

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-B}{A}\right)^k}, \quad B \leq x < \infty \quad (11a)$$

$$f(x) = \frac{k}{A} \left(\frac{x-B}{A}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x-B}{A}\right)^k} \quad (11b)$$

式中 x 為樣本變數， $f(x)$ 為機率密度函數 (probability density function)， $F(x)$ 為累積機率函數 (cumulative probability function)， A 、 B 為描述機率密度函數之參數，與樣本平均值(mean)有關，稱為位置參數(location parameter)，而 A 與變異數(variance)有關，稱為尺度參數(scale parameter)， k 值大小決定機率函數之分佈形狀。

這兩種分佈之眾數(mode)、平均值，及變異數分別示於表 3.2。利用所有(極值)數據求出樣本平均值和樣本變異數，再依表 3.2 中的關係，即可求出各種分佈參數。

表3.2 各極值分佈相關統計量之特性

分佈函數	眾數	平均值	變異數
Gumbel 分佈	B	$B + A\gamma$	$\pi A/\sqrt{6}$
Weibull 分佈	$B + A\left(1 - \frac{1}{k}\right)^{1/k}, k > 1$	$B + A\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)$	$A\left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{k}\right)\right]^{1/2}$

(註：為 Gamma 函數，為 Euler 數)

極值分佈函數決定後，極值分佈中相關參數如何推定，有各種不同的方法。一般極值分佈參數推定法，有力矩法(method of moment, MOM)，最小二乘法(least square method, LSM)，最大概似法(method of maximum likelihood, MLM)及加權機率力矩法(probability weighted moment method, PWM)等。其中最小二乘法為最常用之推定法。合田良實(1990)提出不同極端值分佈之排序，假設選取 N 個資料，並將 N 個資料依大小順序排列，再計算第 m 順位之值的累積機率 F_m ，其計算公式如下

$$F_m = 1 - \frac{m - \alpha}{N + \beta}, m = 1, 2, \dots, N \quad (12)$$

式中 α 和 β 分別為經驗參數。本年計畫中採用最小二乘法 (LSM) 在計算時，根據合田良實(1990)之建議 α 及 β 值在兩種不同分佈函數分別示於表 3.3。

表3.3 計算樣本順位機率之 α 和 β

分佈函數	α	β
Gumbel 分佈	0.44	0.12
Weibull 分佈	$0.20 + 0.27/\sqrt{k}$	$0.20 + 0.23/\sqrt{k}$

利用最小二乘法將排序為 m 之極端值(樣本值) x_m 與基準化變量 y_m 線性迴歸，表示如下

$$x_m = ay_m + b \quad (13)$$

式中 a 和 b 分別為直線迴歸之斜率及截距，而基準化變量 y_m 與機率 F_m 不同分佈而存在下列關係，即

$$\text{Gumbel 分佈： } y_m = -\ln(-\ln F_m) \quad (14)$$

$$\text{Weibull 分佈： } y_m = [-\ln(1-F_m)]^{1/k} \quad (15)$$

如以平均變量 Mean Square Error(MSE)來評估極端值分佈的適用性時，其表示為

$$MSE = E(y_i - y_p)^2 \quad (16)$$

其中 E 代表期望值， y_p 為利用式(13)求出樣本 y_m 大小排列的機率後，代入各極端值分佈所求出變數 y 的值。

3.1.3 設計潮位推算結果

為求得彰化離岸風場之設計潮位，本計畫利用 POM 潮位模式結合 FEM 潮流模式之暴潮推算模式計算侵襲台灣歷史颱風之最大暴潮偏差。颱風風場採用袁金渦動模式進行模型颱風之風場模擬。依照上述極端值統計理論，將模式計算之波高及潮位結果進行統計分析，從而找出不同重現期距之最大暴潮偏差。

首先使用暴潮模式直接計算每一個颱風在侵襲台灣時所造成的最大暴潮偏差，再將計算結果透過極值統計方法來求得不同重現期距之最大暴潮偏差。本計畫利用暴潮模式推算 1989 年至 2013 年所發生的 104 個颱風，於彰化離岸風場海域颱風期間最大暴潮偏差值如表 3.4 所示。將這段期間每一年間對彰化離岸風場海域所計算得到之最大暴潮偏差值，據此以 Gumbel 分佈與 Weibull 分佈迴歸彰化離岸風場海域的潮位，同時推算相關係數(COR)。由 Gumbel 分佈及 Weibull 分佈所計算的相關係數(COR)分別列於表 3.5，從表中之結果發現，彰化離岸風場海域最大暴潮偏差適合於 Weibull 分佈。海域最大暴潮偏差累積機率比較結果亦示於圖 3.3。根據表 3.5 列出之統計結果，所獲較適合之極值分佈，進而推算彰化離岸風場海域不同重現期(5 年、10 年、20 年、50 年)之最大暴潮偏差，如表 3.6 所示。

表3.4 暴潮模式推算彰化離岸風場海域颱風期間最大暴潮偏差統計表

年度	颱風 中文名稱	警報期間	最大潮位 (m)	年度	颱風 中文名稱	警報期間	最大潮位 (m)
1989	莎拉	09/08~09/13	0.46	1990	歐菲莉	06/21~06/24	0.37
1990	亞伯	08/29~08/31	0.07	1990	楊希	08/17~08/20	0.57

表3.4(續1) 暴潮模式推算彰化離岸風場海域颱風期間最大暴潮偏差統計表

年度	颱風 中文名稱	警報期間	最大潮位 (m)	年度	颱風 中文名稱	警報期間	最大潮位 (m)
1990	亞伯	08/29~08/31	0.13	2000	碧利斯	08/21~08/23	0.62
1990	黛特	09/06~09/08	0.37	2000	巴比倫	08/27~08/30	0.14
1991	艾美	07/17~07/19	0.16	2000	寶發	09/08~09/10	0.14
1991	愛麗	08/16~08/18	0.35	2000	象神	10/30~11/01	0.23
1991	耐特 1	09/22~09/24	0.13	2001	西馬隆	05/11~05/13	0.05
1991	耐特 2	09/30~10/02	0.15	2001	奇比	06/22~06/24	0.39
1992	歐馬	09/03~09/05	0.31	2001	尤特	07/03~07/05	0.06
1992	寶莉	08/27~08/31	0.39	2001	潭美	07/10~07/11	0.04
1992	泰德	09/20~09/23	0.29	2001	桃芝	07/28~07/31	0.47
1993	亞伯	09/10~09/14	0.12	2001	利奇馬	09/23~09/28	0.26
1994	提姆	07/09~07/11	0.66	2002	雷馬遜	07/02~07/04	0.12
1994	凱特琳	08/03~08/04	0.28	2002	娜克莉	07/09~07/10	0.36
1994	道格	08/06~08/08	0.50	2002	辛樂克	09/04~09/08	0.22
1994	弗雷特	08/19~08/21	0.27	2003	南卡	06/01~06/03	0.04
1994	葛拉絲	08/31~09/01	0.44	2003	蘇迪勒	06/16~06/18	0.12
1994	席斯	10/07~10/11	0.34	2003	莫拉克	08/02~08/04	0.16
1995	荻安娜	06/04~06/08	0.02	2003	梵高	08/19~08/20	0.09
1995	蓋瑞	07/31~07/31	0.24	2003	杜鵑	08/31~09/02	0.12
1995	肯特	08/27~08/31	0.12	2003	米勒	11/02~11/03	0.08
1995	賴恩	09/20~09/23	0.15	2004	康森	06/07~06/09	0.10
1996	凱姆	05/20~05/23	0.03	2004	敏督利	06/28~07/03	0.43
1996	葛樂禮	07/24~07/27	0.30	2004	艾利	08/23~08/26	0.58
1996	賀伯	07/29~08/01	0.81	2004	海馬	09/11~09/13	0.14
1997	溫妮	08/16~08/19	0.14	2004	納坦	10/23~10/26	0.50
1997	安珀	08/27~08/30	0.64	2004	南瑪都	12/03~12/04	0.05
1998	妮蔻兒	07/09~07/10	0.09	2005	海棠	07/16~07/20	0.88
1998	奧托	08/03~08/05	0.34	2005	馬莎	08/03~08/06	0.25
1998	楊妮	09/27~09/29	0.11	2005	珊瑚	08/11~08/13	0.15
1998	瑞伯	10/13~10/17	0.28	2005	泰利	08/30~09/01	0.79
1998	芭比絲	10/25~10/27	0.18	2005	卡努	09/09~09/11	0.19
1999	瑪姬	06/04~06/06	0.07	2005	丹瑞	09/21~09/23	0.03
1999	丹恩	10/04~10/09	0.26	2005	龍王	09/30~10/03	0.85
2000	啟德	07/06~07/10	0.26	2006	珍珠	05/16~05/18	0.30

表3.4(續2) 暴潮模式推算彰化離岸風場海域颱風期間最大暴潮偏差統計表

年度	颱風 中文名稱	警報期間	最大潮位 (m)	年度	颱風 中文名稱	警報期間	最大潮位 (m)
2006	艾維尼	07/07~07/09	0.08	2009	莫拉克	08/05~08/10	0.56
2006	碧利斯	07/12~07/15	0.51	2009	芭瑪	10/03~10/06	0.07
2006	凱米	07/23~07/26	0.25	2010	南修	08/30~08/31	0.14
2006	寶發	08/07~08/09	0.31	2010	萊羅克	08/31~09/02	0.22
2006	桑美	08/09~08/10	0.13	2010	莫蘭蒂	09/09~09/10	0.14
2007	帕布	08/06~08/08	0.11	2010	凡那比	09/17~09/20	0.56
2007	梧提	08/08~08/09	0.50	2010	梅姬	10/21~10/23	0.51
2007	聖帕	08/16~08/19	0.67	2011	南瑪都	08/27~08/31	0.16
2007	韋帕	09/17~09/19	0.43	2012	泰利	06/19~06/21	0.27
2007	柯羅莎	10/04~10/07	0.91	2012	蘇拉	07/30~08/03	0.53
2008	卡玫基	07/16~07/18	0.36	2012	天秤	08/21~08/28	0.22
2008	鳳凰	07/26~07/29	0.67	2013	蘇力	07/11~07/13	0.88
2008	如麗	08/19~08/21	0.06	2013	西馬隆	07/17~07/18	0.02
2008	辛樂克	09/11~09/16	0.75	2013	潭美	08/20~08/22	0.30
2008	哈格比	09/21~09/23	0.06	2013	康芮	08/27~08/29	0.24
2008	薔蜜	09/26~09/29	0.91	2013	天兔	09/19~09/22	0.15
2009	蓮花	06/19~06/22	0.22	2013	菲特	10/04~10/07	0.25

表3.5 Gumbel及Weibull分佈推算最大暴潮偏差極值統計分析結果

海域	分佈型式	相關係數(COR)
彰化	Gumbel 分佈	0.986743
	Weibull 分佈	0.992490(適合)

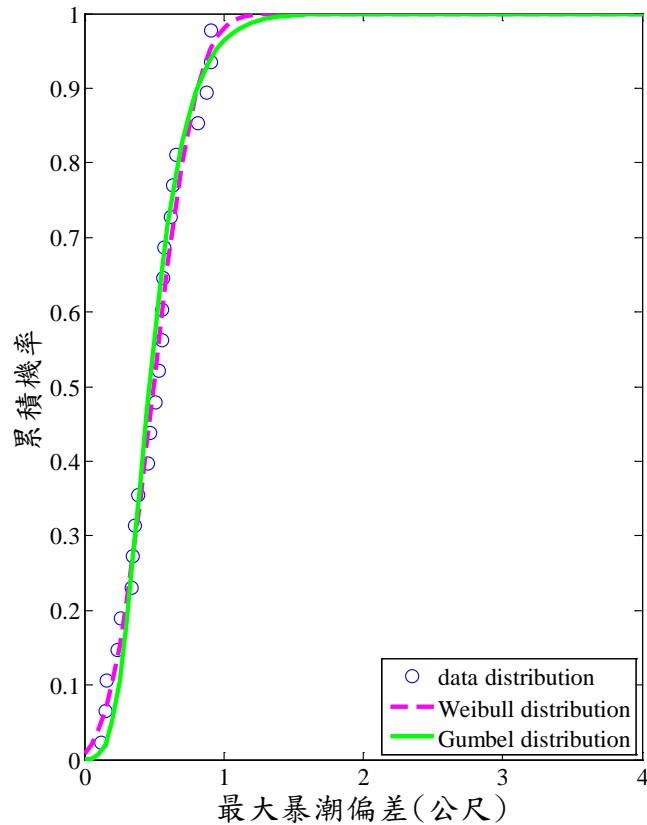


圖3.3 彰化離岸風場海域最大暴潮偏差Gumbel及Weibull機率分佈比較圖

表3.6 彰化離岸風場海域不同重現期距之颱風最大暴潮偏差計算結果

單位：公尺(m)

海域(經度, 緯度)		颱風風浪重現期(年)			
		50	100	200	250
彰化 (120.276°, 24.063°)	適合 Weibull 分佈	1.00	1.02	1.02	1.13

註：適用範圍建議為該位置沿海岸方向方圓 10 公里。

3.2 EEMSE 波場模式模擬

當外海波浪向近岸傳播時，波浪除因水深變化而產生折射、繞射及淺化效應外，當結構物存在時，波浪亦將因繞射及反射而產生變形，若能正確地描述近岸波場因折射、淺化、繞射及反射共同效應的波浪變化，即可為近岸工程之規劃設計提供良好之參考。本研究所選取的 EEMSE 波場模式，可模擬基本之波浪變形效應（淺化、折射、繞射、反射及碎波）外，亦可模擬出波浪非線性

淺化效應、底床摩擦效應、及透水介質效應；此外，對於大角度波浪入射問題亦能處理。

3.2.1 控制方程式

本文所選取的波浪模式，以 Suh 等人(1997)及許等人(2000)所推導含有底床非線性項之雙曲線型緩坡方程式為基礎，以及 Rojanakamthorn 等人(1989)提出考慮透水層效應之緩坡方程式概念所建立。方程式中所含之底床非線性項，包含有底床曲率項及底床斜率平方項之係數，亦針對波浪非線性作用，以及模擬透水性底床或透水潛堤之功能，分別加入波浪非線性淺化效應 (Tsai 等人, 2001)、底床摩擦效應(Dean 和 Dalrymple 22, 1984)、及透水介質效應 (Rojanakamthorn 等人, 1989)。據此，本文所推導之延伸型緩坡方程式(extended mild-slope equation)如下：

$$-\frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} + \nabla \cdot (\alpha_p \nabla \Phi) + [\alpha_p k^2 (1 + if) - \omega^2] \Phi \dots\dots\dots(17)$$

$$+ [f_1(kh)g\nabla^2 h + f_2(kh)(\nabla h)^2 gk] \Phi = 0$$

式中

$$f_1(kh) = \frac{-4kh \cosh(kh) + \sinh(3kh) + \sinh(kh)}{8 \cosh^3(kh)[2kh + \sinh(2kh)]} \dots\dots\dots(18)$$

$$+ \frac{8(kh)^2 \sinh(kh)}{8 \cosh^3(kh)[2kh + \sinh(2kh)]} - \frac{kh \tanh(kh)}{2 \cosh^2(kh)}$$

$$f_2(kh) = \frac{\operatorname{sech}^2(kh)}{6[2kh + \sinh(2kh)]^3} \cdot \{8(kh)^4 + 16(kh)^3 \sinh(2kh)$$

$$- 9 \sinh^2(2kh) \cosh(2kh) \dots\dots\dots(19)$$

$$+ 12(kh)[1 + 2 \sinh^4(kh)][kh + \sinh(2kh)]\}$$

$$\alpha_p = \alpha_1 + n_0(S + if_p)\alpha_2 \dots\dots\dots(20)$$

$$\alpha_1 = gh\beta_1^2 \left\{ \frac{\beta_2^2(1 - e^{-2kh})}{2kh} - \frac{\beta_3^2(1 - e^{2kh})}{2kh} - 2\beta_2\beta_3 \right\} \dots\dots\dots(21)$$

$$\alpha_2 = \frac{1}{2} gh_p \beta_1^2 \left\{ 1 + \frac{\sinh(2kh_p)}{2kh_p} \right\} \dots\dots\dots(22)$$

$$\beta_1 = \frac{1}{n_0 e^{kh} \sinh(kh_p) - \delta_p \cosh(kh)} \dots\dots\dots(23)$$

$$\beta_2 = n_0 e^{kh} \sinh(kh_p) - \frac{1}{2} \delta_p e^{kh} \dots\dots\dots(24)$$

$$\beta_3 = \frac{1}{2} \delta_p e^{-kh} \dots\dots\dots(25)$$

$$\delta_p = n_0 \sinh(kh_p) - (S + if_p) \cosh(kh_p) \dots\dots\dots(26)$$

上列各式中， Φ 為波浪勢能函數， $\nabla = (\partial/\partial x, \partial/\partial y)$ 為水平方向梯度因子， (x, y) 為水平座標， t 為時間變量， $i = \sqrt{-1}$ ， k 為波浪週波速， ω 為波浪角頻率， g 為重力加速度， h 為透水層至水面之深度， h_p 為透水層厚度， f_1 及 f_2 為底床曲率及底床斜率平方項係數， f 為能量消散係數， n_0 為透水層孔隙率， $S = n_0 + (1 - n_0)C_M$ ， C_M 為虛擬質量係數， f_p 為透水介質之線性摩擦因子，需由下式計算

$$f_p = \frac{1}{\omega} \frac{\int_{\nabla} \int_0^T \left\{ \frac{n_0^2 \nu}{k_p} |\bar{u}_s|^2 + \frac{n_0^3 C_p}{\sqrt{k_p}} |\bar{u}_s|^3 \right\} dt d\nabla}{\int_{\nabla} \int_0^T n_0 |\bar{u}_s|^2 dt d\nabla} \dots\dots\dots(27)$$

式中， C_p 為透水層之紊流摩擦係數， k_p 為透水層之滲透係數，單位長度平方， ν 為流體運動黏滯性係數， \bar{u}_s 為透水層內部流體速度。至於波浪週波數 k 則滿足下列延散關係(dispersion relation)

$$\omega^2 = gk \frac{n_0 e^{kh} \sinh(kh_p) - \delta_p \sinh(kh)}{n_0 e^{kh} \sinh(kh_p) - \delta_p \cosh(kh)} \dots\dots\dots(28)$$

當底床無透水層存在時，即 $S = 1$ 、 $f_p = 0$ 、 $h_p = 0$ ，則係數 α_p 可簡化為 CC_g ，其中 C 為波速， C_g 為群波波速，則式(17)可簡化為傳統型態的緩坡方程式，式(28)可簡化為傳統之延散方程式。

至於能量消散係數 f 包含三部份，即 $f = f_d + f_b + f_s$ ， f_d 、 f_b 與 f_s 分別代表波浪碎波係數、底床摩擦係數及非線性淺化係數。對於波浪碎波之能量消散係數 f_d ，本計畫採用 Dally 等人(1985)之碎波公式：

$$f_d = \frac{K_2}{kh} \left(1 - \frac{K_1^2}{4(A|/h)^2} \right) \dots\dots\dots(29)$$

其中， A 為波浪之振幅，係數 $K_1 = 0.4$ ， $K_2 = 0.15$ 。碎波指標 γ_b 則採用 Isobe(1987) 的建議：

$$\gamma_b = 0.53 - 0.3 \exp(-3\sqrt{h/L_0}) + 5 \tan^{3/2} \beta \exp[-45(\sqrt{h/L_0} - 0.1)^2] \dots\dots\dots(30)$$

其中 $\tan \beta$ 為海床坡度， L_0 為深海波長。

底床摩擦係數 f_b 根據 Dean 和 Dalrymple(1984)之紊流邊界層結果所得到之經驗公式。

$$f_b = \frac{4C_{wf}}{3\pi} \frac{A\omega^2}{gn} \frac{1}{\sinh^3 kh} \dots\dots\dots(31)$$

式中

$$n = \frac{C_g}{C} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right) \dots\dots\dots(32)$$

$$\begin{cases} C_{wf} = 0.025 (A_b/k_s)^{-0.75} & \text{for } A_b/k_s < 50 \\ \frac{1}{4\sqrt{C_{wf}}} + \ln \frac{1}{4\sqrt{C_{wf}}} = -0.35 + \frac{4}{3} \ln \frac{A_b}{k_s} & \text{for } A_b/k_s > 50 \end{cases} \dots\dots\dots(33)$$

$$A_b = \frac{A}{\sinh kh} \dots\dots\dots(34)$$

$$k_s = 2D_{90} \quad \text{or} \quad k_s = 2.5D_{50} \dots\dots\dots(35)$$

其中， D_{90} 與 D_{50} 分別為底床土壤 90% 與 50% 之均質粒徑。

至於波浪非線性淺化係數 f_s 則依據 Tsai 等人(2001)建議之關係式：

$$f_s = \begin{cases} 0 & \text{for } U_r \leq 30 \\ \frac{1}{kh} \left(-\frac{4}{7} + S_1 + S_2 \right) \tan \beta & \text{for } 30 \leq U_r \leq 50 \\ \frac{1}{kh} \left(-\frac{3\sqrt{U_r} - 10\sqrt{3}}{1.5\sqrt{U_r} - 2\sqrt{3}} + S_1 + S_2 \right) \tan \beta & \text{for } 50 \leq U_r \text{ 至碎波點} \end{cases} \dots\dots\dots(36)$$

其中

$$U_r = \frac{2gAT^2}{h^2} \dots\dots\dots(37)$$

$$S_1 = \frac{2n-1}{2n} \dots\dots\dots(38)$$

$$S_2 = \frac{k_0h - h^2(k^2 + k_0^2)}{4n^2 \sinh^2 kh} \dots\dots\dots(39)$$

式(17)之緩坡方程式，在處理邊界上較為繁複，因此依據 Mei(1983)之建議，將一緩慢時間變量引入緩坡方程式中，其變量為

$$\bar{t} = \varepsilon t \dots\dots\dots(40)$$

其中， \bar{t} 為緩慢時間變量， ε 為攝動參數(perturbation coefficient)，且 $\varepsilon \ll 1$ 。根據式(40)，則波浪勢能函數 Φ 可進一步寫成

$$\Phi(x, y, t) = \bar{\psi}(x, y, \bar{t})e^{-i \omega t} \dots\dots\dots(41)$$

式中 $\bar{\psi}$ 為加入攝動參數之流速勢。將式(41)帶入式(17)，並將二階為小量省略，只保留一皆以下各項，則可得一個新的時變性拋物線型緩坡方程式(time-dependent parabolic mid-slope equation)，如下式所示：

$$\begin{aligned} -2\omega i \frac{\partial \bar{\psi}}{\partial t} = \nabla \cdot (\alpha_p \nabla \bar{\psi}) + \alpha_p k^2 (1 + if) \bar{\psi} \dots\dots\dots(42) \\ + [f_1(kh)g \nabla^2 h + f_2(kh)(\nabla h)^2 gk] \bar{\psi} \end{aligned}$$

上式能降低矩陣之維度，降低數值計算之時間。簡化為式(42)之控制方程式，引用 Radder(1979)之尺度因子，如式(43)所示：

$$\bar{\psi} = \frac{\phi}{\sqrt{\alpha_p}} \dots\dots\dots(43)$$

則式(42)可簡化為式(44)

$$-\frac{2i\omega}{\alpha_p} \frac{\partial \phi}{\partial t} = \nabla^2 \phi + k_c^2 \phi \dots\dots\dots(44)$$

其中

$$k_c^2 = k^2(1+if) - \frac{\nabla^2 \sqrt{\alpha_p}}{\sqrt{\alpha_p}} + \frac{[f_1 g \nabla^2 h + f_2 (\nabla h)^2 g k]}{\alpha_p} \dots\dots\dots(45)$$

式(44)稱為演進型緩坡方程式(Evolution Equation of Mild Slope Equation, EEMSE)，相較式(17)之雙曲線型緩坡方程式，能節省數值疊代之計算時間，適用於較大範圍的海域波場計算。

3.2.2 數值方法

1. 差分方程式

對於數值方法的選取，文中選取交替方向隱式法 (Alternating Direction Implicit Method)，簡稱 ADI 法求解式(44)。波場差分網格示意圖，如圖 3.4 所示。其控制方程式的數值差分式如下：

$$f_{p,q} \frac{\phi_{p,q}^{n+1/2} - \phi_{p,q}^n}{\frac{1}{2} \Delta t} i = \delta_x^2 \phi_{p,q}^{n+1/2} + \frac{1}{2} (k_c^2)_{p,q} \phi_{p,q}^{n+1/2} + \delta_y^2 \phi_{p,q}^n + \frac{1}{2} (k_c^2)_{p,q} \phi_{p,q}^n \dots\dots(46)$$

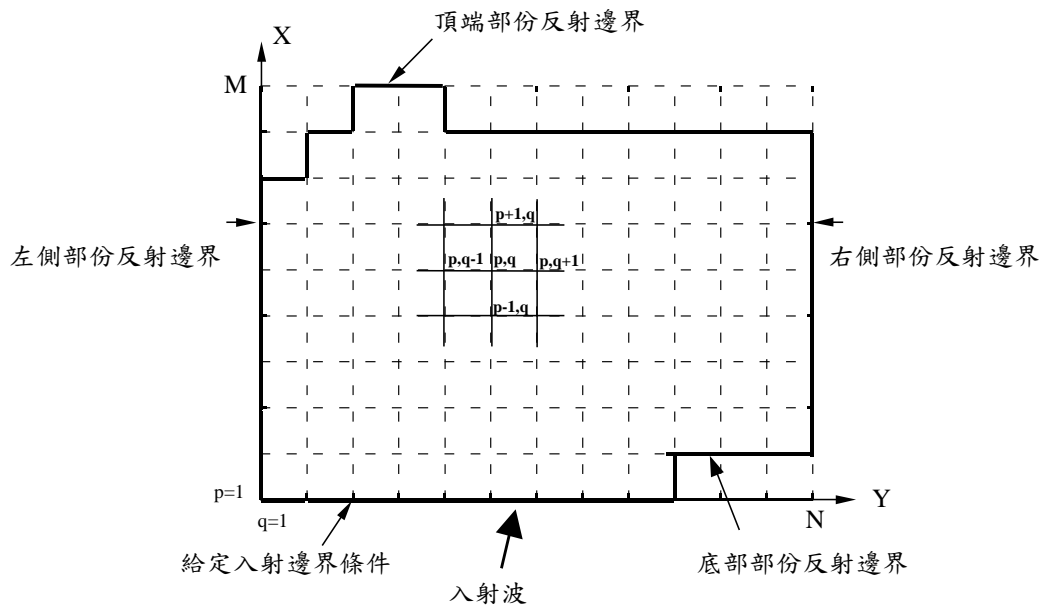


圖3.4 波場模式網格示意圖

$$f_{p,q} \frac{\phi_{p,q}^{n+1} - \phi_{p,q}^{n+1/2}}{\frac{1}{2} \Delta t} i = \delta_x^2 \phi_{p,q}^{n+1/2} + \frac{1}{2} (k_c^2)_{p,q} \phi_{p,q}^{n+1/2} + \delta_y^2 \phi_{p,q}^{n+1} + \frac{1}{2} (k_c^2)_{p,q} \phi_{p,q}^n \dots\dots(47)$$

$$f_{p,q} = -\frac{2\omega}{(\alpha_p)_{p,q}} \dots\dots\dots(48)$$

$$\delta_x^2 \phi_{p,q}^n = \frac{\phi_{p-1,q}^n - 2\phi_{p,q}^n + \phi_{p+1,q}^n}{\Delta x^2} \dots\dots\dots(49)$$

$$\delta_y^2 \phi_{p,q}^n = \frac{\phi_{p,q-1}^n - 2\phi_{p,q}^n + \phi_{p,q+1}^n}{\Delta y^2} \dots\dots\dots(50)$$

式(46)至式(50)中，下標 p 代表 x 軸方向第 p 個格點，下標 q 代表 y 軸方向第 q 個格點，上標 n 代表時間， Δt 代表差分時間段， Δx 、 Δy 分別為 x 、 y 軸之差分間距。

由於所選取的差分方法為隱式法，所以於計算上無顯式法求解時有著穩定度(stability)的問題。上述之數值方法經 Von Neumann's 穩定度分析，設

$$\phi_{p,q}^n = \xi^n e^{i\alpha p \Delta x} e^{i\beta q \Delta y} \dots\dots\dots(51)$$

分別代入式(46)及式(47)可得

$$\xi_1 = \frac{f_{p,q} i + [\frac{\Delta t}{4} (k_c)_{p,q} - \frac{2\Delta t}{\Delta y^2} \sin^2(\frac{\beta \Delta y}{2})]}{f_{p,q} i - [\frac{\Delta t}{4} (k_c)_{p,q} - \frac{2\Delta t}{\Delta x^2} \sin^2(\frac{\alpha \Delta y}{2})]} \dots\dots\dots(52)$$

$$\xi_2 = \frac{f_{p,q} i + [\frac{\Delta t}{4} (k_c)_{p,q} - \frac{2\Delta t}{\Delta x^2} \sin^2(\frac{\alpha \Delta y}{2})]}{f_{p,q} i - [\frac{\Delta t}{4} (k_c)_{p,q} - \frac{2\Delta t}{\Delta y^2} \sin^2(\frac{\beta \Delta y}{2})]} \dots\dots\dots(53)$$

式(52)及式(53)為擴大因子(amplification factor)

$$|\xi| = |\xi_1 \xi_2| = 1 \dots\dots\dots(54)$$

上式證明利用上述之數值方法去求解方程式可獲得穩定(unconditionally stable)的結果。

2. 邊界條件

對於波浪通過計算邊界所需給定的條件，於模式中則是採用幅射邊界(radiation boundary condition)來加以處理。其邊界條件可分為完全吸收、部分

吸收邊界條件及給定邊界條件。其邊界條件可分為完全吸收、部分吸收邊界條件及給定邊界條件。

(1) 吸收及部分吸收邊界條件(fully and partial absorption boundary condition)

對於波浪通過邊界時，所使用的邊界條件若無任何反射波浪產生，則此邊界將波浪完全吸收，此邊界條件為完全吸收邊界條件(fully absorbed boundary condition)。若於邊界上只吸收部份的波浪能量，則稱為部份吸收邊界(partial absorption boundary condition)，其數學式如下式

$$\frac{d\phi}{dt} = \alpha \frac{\partial \phi}{\partial t} + C \frac{\partial \phi}{\partial r} = 0, \text{ 在 } \partial B \dots\dots\dots(55)$$

上式中 α 為吸收係數(absorption coefficient)。假設 $\alpha = 1$ ，則波浪完全通過邊界；若 $\alpha = 0$ ，則於邊界上產生全反射；若 $0 < \alpha < 1$ ，則為部分吸收邊界，式中 α 值的決定，需依邊界上的物理特性加以決定。 r 為波浪的路徑，利用 $r = |r| = x \cos \theta' + y \sin \theta'$ 之關係， θ' 為波浪於邊界上的角度。則上式關係可進一步表示

$$\frac{\partial r}{\partial x} = \cos \theta', \quad \frac{\partial r}{\partial y} = \sin \theta' \dots\dots\dots(56)$$

代入式(56)可得 x 方向的邊界條件為

$$\frac{\partial \phi}{\partial x} \mp ik\phi \cos \theta' = 0, \quad \partial B_{x\pm} \dots\dots\dots(57)$$

由於在數值模式計算時，無法先得知波浪入射邊界的夾角 θ' ，故文中利用數值方式疊代求解，將邊界角度疊代至收斂，此一處理方式較能適用於大角度波浪入射之條件 (許等人，2000)。

(2) 給定邊界條件 (given boundary condition)

當波浪入射遇結構物所產生的反射波浪通過邊界時。於離岸邊界上包含有入射波波場及反射波波場。由於入射波場為已知，而反射波波場未知且為離岸方向，若波浪沿 方向正向入射及反射，其邊界條件可以下式表示：

$$\frac{\partial \phi}{\partial x} = ik(\phi_i - \phi_r) = \pm ik_x \phi + 2ik_{xi} \phi_i, \quad \partial B_{\pm} \dots\dots\dots(58)$$

式中 ϕ_i 表示為正 x 方向的入射波， ϕ_r 表示為負 x 方向的反射波。

(3) 收斂條件

對於本模式所採取的收斂條件為殘差小於 ϵ 時為其收斂條件。其殘差表示式如式(59)所示：

$$\epsilon = \frac{\sqrt{\sum_p \sum_q ABS(\phi_{p,q}^n - \phi_{p,q}^{n-1})^2}}{\sum_p \sum_q ABS(\phi_{p,q}^n)} \dots\dots\dots(59)$$

模式計算時，時間的變化(Δt)為疊代的參數指標，且此參數為影響其收斂速度的重要參數。 Δt 參數的型式如下：

$$\Delta t = N_c \frac{2\omega}{CC_g} \Delta x^2 \dots\dots\dots(60)$$

其中 N_c 無因次參數，其值界於 $O(1) \sim O(10)$ 之間。

3.2.3 離岸風場海域波場數值模擬分析

本研究針對彰化離岸風場(第 19 區)風田設置前後，分別進行波場之數值模擬分析，由於模式使用正方形格網，分別計算四個不同波浪條件下波場的分佈，包含兩個 50 年重現期颱風波浪條件，以及冬季、夏季季風波浪條件，其計算範圍及水深分布如圖 3.5 所示。波場模式輸入之颱風波浪條件參考表 2.3 各重現期所推算之颱風波浪，選擇 50 年重現期 NNE 向與 N 向颱風波浪之波高週期，表 2.4 NNE 向與 W 向之冬季、夏季季風波浪之波高週期，表 3.7 為數值模式初步計算條件與參數設定，模擬彰化離岸風場海域波場變化。

1. 離岸風場設置前

圖 3.6 為 50 年重現期颱風波浪(外海波高 10.63 公尺、週期 13.69 秒、波向 NNE)作用下之平面波場分佈圖，整體結果顯示在颱風期間以波高 10.63 公尺、週期 13.69 秒、波向 NNE 為波浪入射條件時，模式計算所得彰化離岸風場(第 19 區)位置附近的波高介於 1~12 公尺之間。圖 3.7 為 50 年重現期颱風波浪(外海波高 10.70 公尺、週期 13.74 秒、波向 N)作用下之平面波場分佈圖，整體結果顯示於風場位置附近的波高則介於 2~12 公尺之間。圖 3.8 為冬季季風波浪(外海波高 4.54 公尺、週期 10.10 秒、波向 NNE)作用下之平面波場分佈圖，整體結果顯示於風場位置附近的波高則介於 1.0~5 公尺之間。圖 3.9 為夏季季風波浪(外海波高 3.64 公尺、週期 9.70 秒、波向 W)作用下之平面波場分佈圖，整體結果顯示於風場位置附近的波高則介於 1.5~5 公尺之間。

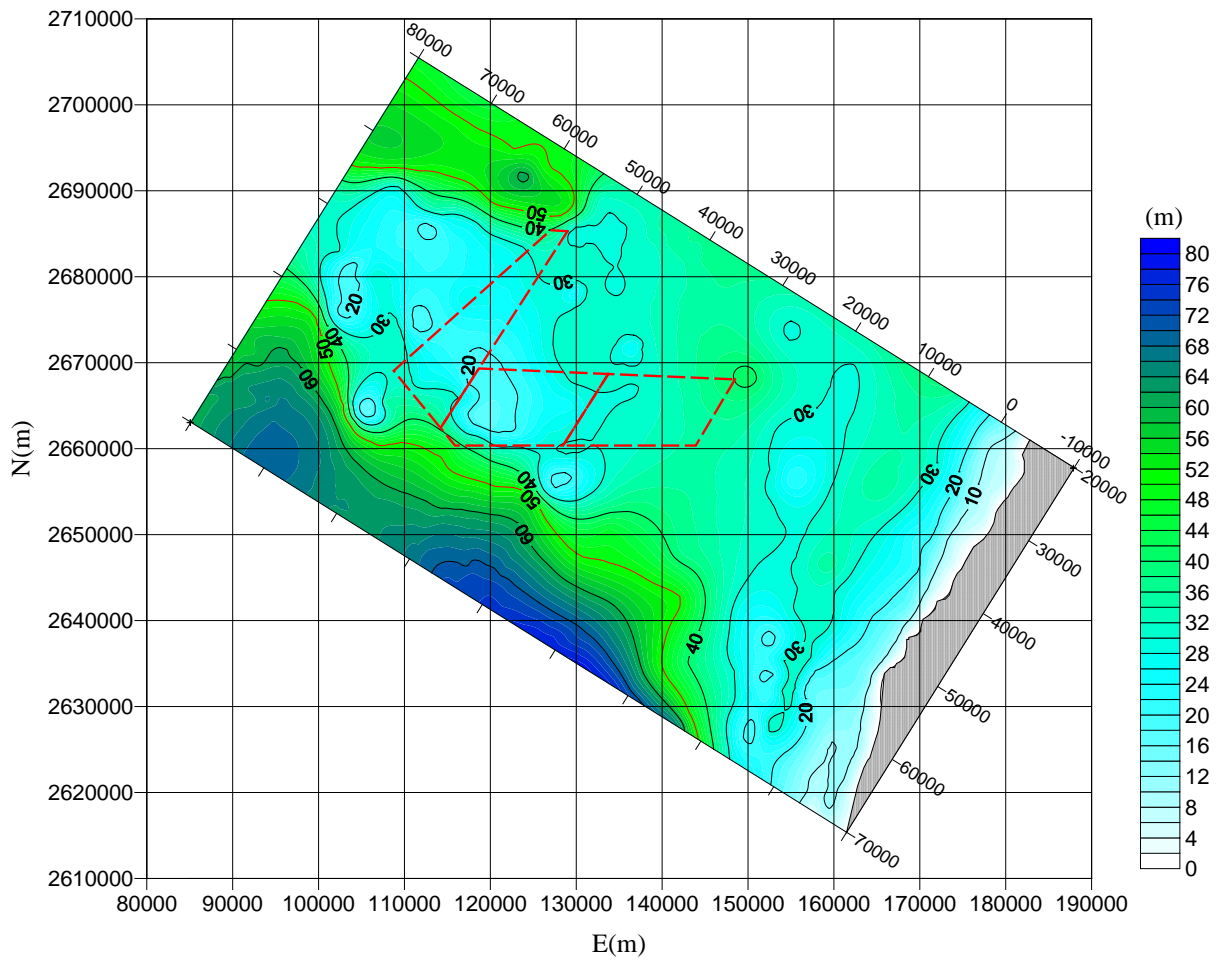


圖3.5 波流場模式計算範圍及水深分佈示意圖

表3.7 波浪模式計算條件與參數

波場模式波浪計算條件與參數			
輸入條件	外海波高(m)	週期(sec)	波向
颱風波浪	10.63	13.69	NNE
颱風波浪	10.70	13.74	N
冬季季風波浪	4.54	10.10	NNE
夏季季風波浪	3.64	9.70	W
碎波效應	有	底床摩擦效應	有
數值穩定參數 N_c	0.9	非線性淺化效應	有
收斂條件殘差 ε	0.0001	底質中值粒徑 D_{50}	0.21

2. 離岸風場設置後(6MW)

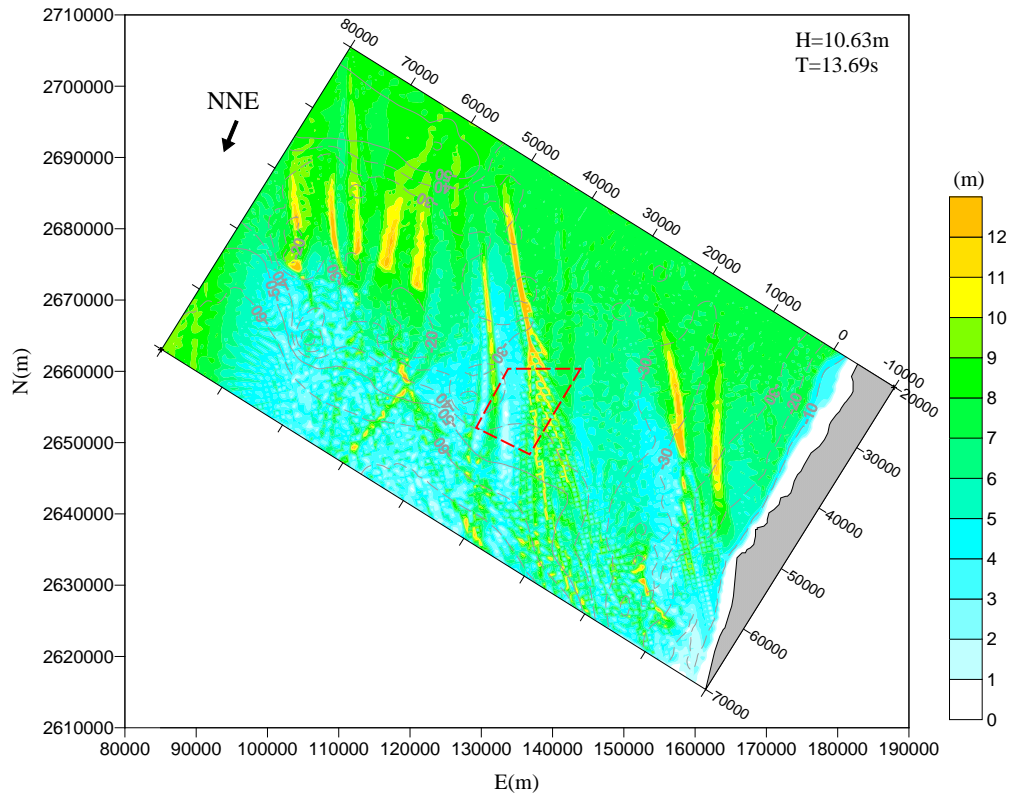
圖 3.10 為 50 年重現期颱風波浪(外海波高 10.63 公尺、週期 13.69 秒、波向 NNE)作用下之平面波場分佈圖，整體結果顯示在颱風期間以波高 10.63 公尺、週期 13.69 秒、波向 NNE 為波浪入射條件時，模式計算所得彰化離岸風場(第 19 區)位置附近的波高介於 1~12 公尺之間。圖 3.11 為 50 年重現期颱風波浪(外海波高 10.70 公尺、週期 13.74 秒、波向 N)作用下之平面波場分佈圖，整體結果顯示在風場位置附近的波高介於 2~12 公尺之間。圖 3.12 為冬季季風波浪(外海波高 4.54 公尺、週期 10.10 秒、波向 NNE)作用下之平面波場分佈圖，整體結果顯示於風場位置附近的波高則介於 1.5~5 公尺之間。圖 3.13 為夏季季風波浪(外海波高 3.64 公尺、週期 9.70 秒、波向 W)作用下之平面波場分佈圖，整體結果顯示於風場位置附近的波高則介於 2.5~5 公尺之間。

3. 離岸風場設置後(8MW)

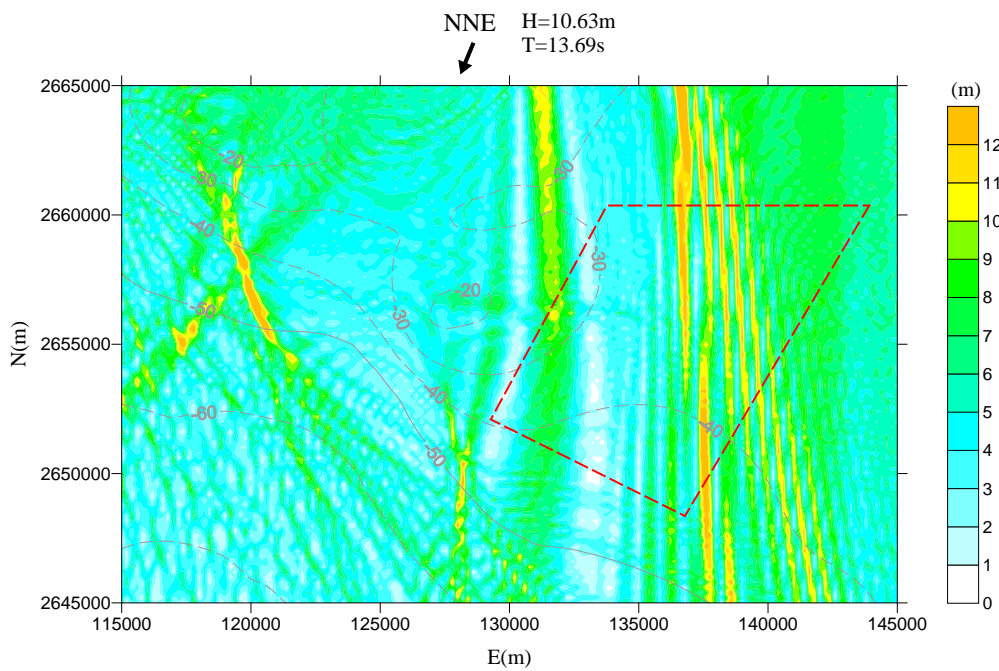
圖 3.14 為 50 年重現期颱風波浪(外海波高 10.63 公尺、週期 13.69 秒、波向 NNE)作用下之平面波場分佈圖，整體結果顯示在颱風期間以波高 10.63 公尺、週期 13.69 秒、波向 NNE 為波浪入射條件時，模式計算所得彰化離岸風場(第 19 區)位置附近的波高介於 1~12 公尺之間。圖 3.15 為 50 年重現期颱風波浪(外海波高 10.70 公尺、週期 13.74 秒、波向 N)作用下之平面波場分佈圖，整體結果顯示在風場位置附近的波高介於 2~12 公尺之間。圖 3.16 為冬季季風波浪(外海波高 4.54 公尺、週期 10.10 秒、波向 NNE)作用下之平面波場分佈圖，整體結果顯示於風場位置附近的波高則介於 1.0~5 公尺之間。圖 3.17 為夏季季風波浪(外海波高 3.64 公尺、週期 9.70 秒、波向 W)作用下之平面波場分佈圖，整體結果顯示於風場位置附近的波高則介於 2.5~5 公尺之間。

4. 綜合評估

在彰化離岸風場(第 19 區)的離岸風機設置未設置之前，風場附近海域 50 年迴歸期颱風波浪分佈約在 1~12 公尺之間，季風波浪分佈約在 1.0~5 公尺之間，當離岸風場設置之後，入射波浪碰撞到風機支承結構時發生折繞射效應，使得波高有略為下降的趨勢發生，而風機支承結構上游處則因反射效應波高略有增加，離岸風場內 50 年迴歸期颱風波浪分佈約為 1~12 公尺，季風波浪分佈約在 1.0~5 公尺之間。波浪經過離岸風場的影響後，位於風場下游處海域波高分佈有比未設置離岸風場之前略為降低；唯本案離岸風場距離海岸很遠，近岸海域之波高分佈並未因風場設置而有明顯的波高變化。

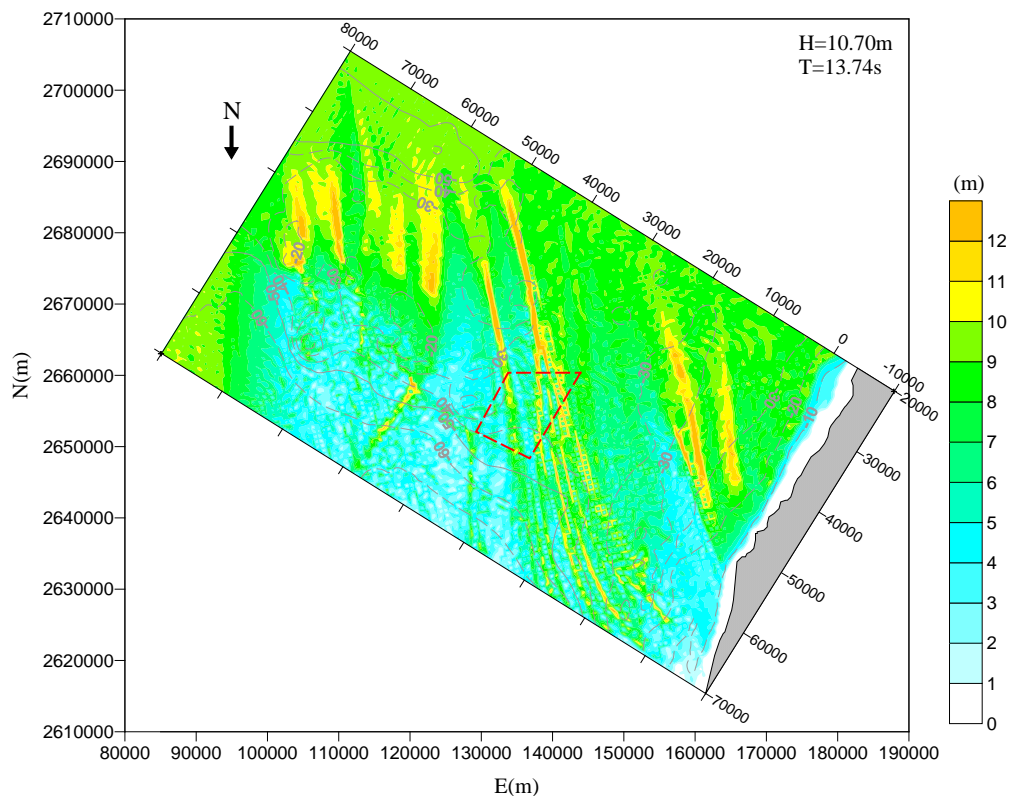


(a) 全域

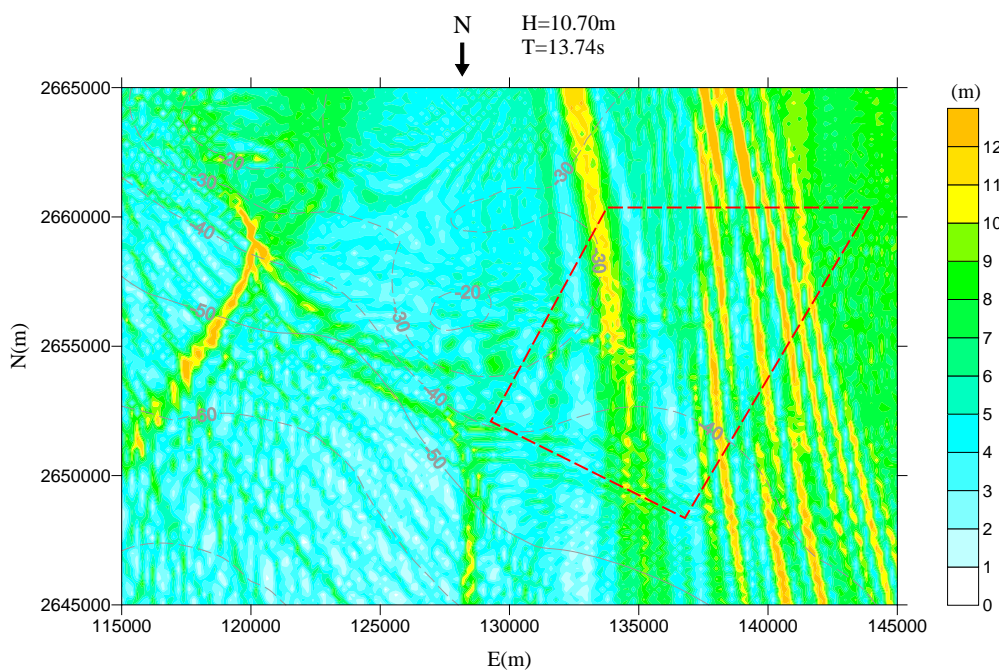


(b) 離岸風場區域

圖3.6 設置前50年重現期颱風波浪場分佈圖(外海波高10.63公尺、週期13.69秒、波向NNE)



(a) 全域



(b) 離岸風場區域

圖3.7 設置前50年重現期颱風波浪場分佈圖(外海波高10.70公尺、週期13.74秒、波向N)