

台灣中油股份有限公司

第三座液化天然氣接收站迴避替代方案
可行性及環評工作

港域靜穩度數值模擬分析

受託單位：



執行單位：



中華民國 107 年 6 月

第三座液化天然氣接收站迴避替代方案

可行性及環評工作

港域靜穩度數值模擬分析

目 錄

壹、模式介紹-----	1
貳、模擬條件-----	2
一、模擬範圍-----	2
二、水深地形-----	2
三、波浪條件-----	5
四、水位條件-----	6
五、岸壁型式-----	6
六、碼頭允許作業波高限制-----	7
參、模擬結果-----	8
一、季風波浪-----	8
二、颱風波浪-----	10

壹、模式介紹

港池靜穩度與外海波浪入射方向、港型配置及港內構造物之消波特性等息息相關，當波浪能量由外海傳遞至近岸時，受到地形影響而產生淺化、折射等現象；受到外廓防波堤影響而產生遮蔽、繞射等現象；受到港內構造物影響而產生反射現象，各項物理機制將直接影響港池靜穩度。因此，在進行港池靜穩數值模擬時，應考量港口附近波高之準確性、港型及港內構造物之消波特性，以獲得較精準的港池靜穩度模擬結果。

本計畫係利用丹麥水動力研究所 DHI (Danish Hydraulic Institute) 研發之 MIKE 21 軟體的 BW 模組(Boussinesq Waves)，並針對季風波浪進行港池靜穩度模擬，以期計畫配置能提供 LNG 船舶靠泊裝卸之靜穩環境。

BW 模組係以解布辛尼士方程式(Boussinesq Equation)之自由液面變動量方式，達到求得波高分布之目的，其控制方程式為質量守恆及動量守恆方程式，分別表示如下：

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{Ch^2} - E \left(\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 q}{\partial y^2} \right) = \frac{1}{3} Dh \left(\frac{\partial^3 p}{\partial x^2 \partial t} + \frac{\partial^3 q}{\partial x \partial y \partial t} \right)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + gh \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gq\sqrt{p^2 + q^2}}{Ch^2} - E \left(\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 q}{\partial y^2} \right) = \frac{1}{3} Dh \left(\frac{\partial^3 q}{\partial y^2 \partial t} + \frac{\partial^3 p}{\partial x \partial y \partial t} \right)$$

- 其中
- $\eta(x,y,t)$: 自由液面
 - $p(x,y,t)$: x 方向之通量
 - $q(x,y,t)$: y 方向之通量
 - $D(x,y)$: 平均水深， $h=D+\eta$
 - C : Chezy 底床摩擦係數
 - E : Eddy 渦滯係數

$$p=uh \cdot q=vh$$

其中 $u(x,y,t)$: x 方向之縱積分平均流速

$v(x,y,t)$: y 方向之縱積分平均流速

由於波浪作用下，流體水平流速分量在垂直方向之分布極為複雜，且各種學說紛雜不一，但在淺水中(水深波長比 $h/L \leq 0.22$)則各種說法趨於一致，淺水中流體水平流速在垂直方向大致上為均勻分布，即垂直方向上各點之水平流速約等於平均流速，故以往布辛尼士方程式僅能準確描述淺水區之波浪。水深較深之範圍依各家學說對水平流速在垂直方向分布之假設不同，而有不同之看法，丹麥水力研究所(DHI)經實驗驗證，MIKE 21 軟體之 BW 模組在水深波長比(h/L)高達 0.5 仍具相當高之準確性。

在波浪入射持續作用一段時間後可達到穩態(steady state)，藉由方程式解得 η 值後，可進一步求得波高之分布，波高與 η 之關係如下：

$$H_{mo} = 4 \sqrt{\frac{\sum \eta^2 - (\sum \eta)^2 / N}{N-1}}$$
，N 必須包含數十個週期，若入射波浪為規則波，則其波高 $H_{reg} = \frac{(\eta_{max} - \eta_{min})}{2}$ ， H_{mo} 係依能量定義求得，而 H_{reg} 係依波形求得，兩者關係為 $H_{mo} = \sqrt{2} H_{reg}$ 。

貳、模擬條件

一、模擬範圍

由於外海波浪傳遞至近岸時，易受到地形變化影響而產生折繞射、淺化等情形，使得近岸波高、波向與外海有所不同，進而影響港內靜穩度分析之正確性。港池靜穩度之分析，則以 MIKE 21 BW 模組進行，計算範圍如圖 1 所示。

二、水深地形

港池靜穩度分析擬配合入射波向規劃計算範圍，所採用之地形資料以本計畫民國 104 年水深測量資料為主，而測量範圍以外利用國科會海

洋學門資料庫之台灣附近海域數值海底地形加以補足，以確保海域水深資料之完整性，各波向的計算範圍水深分布詳圖 2 所示。

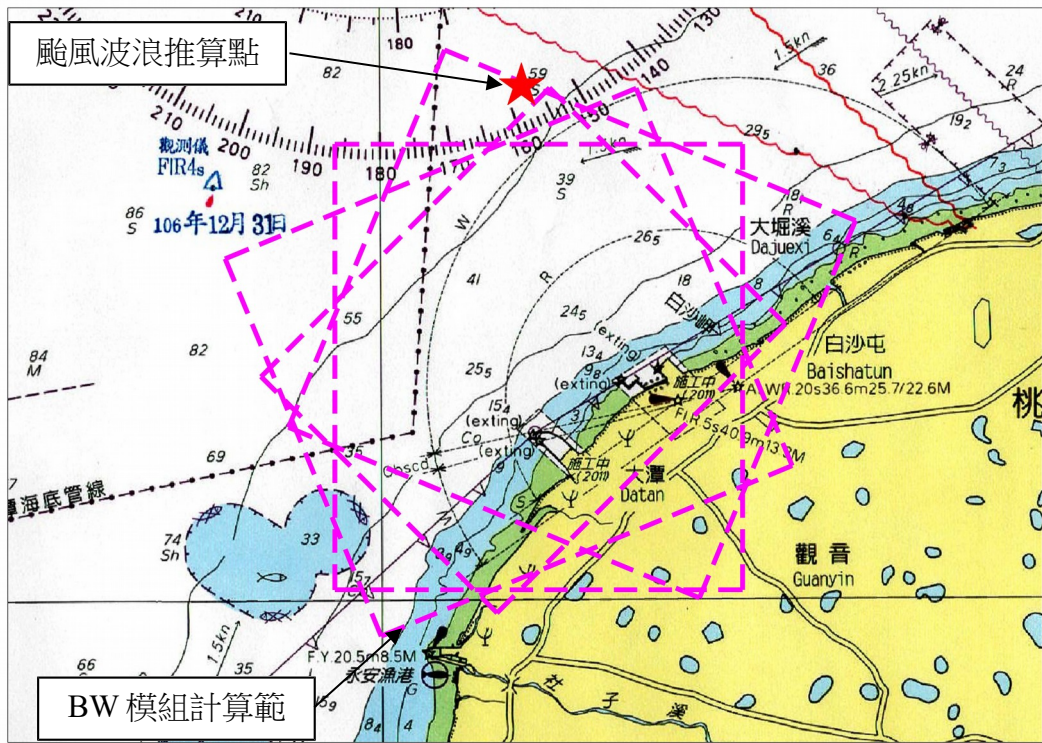


圖 1 BW 模組計算模擬範圍

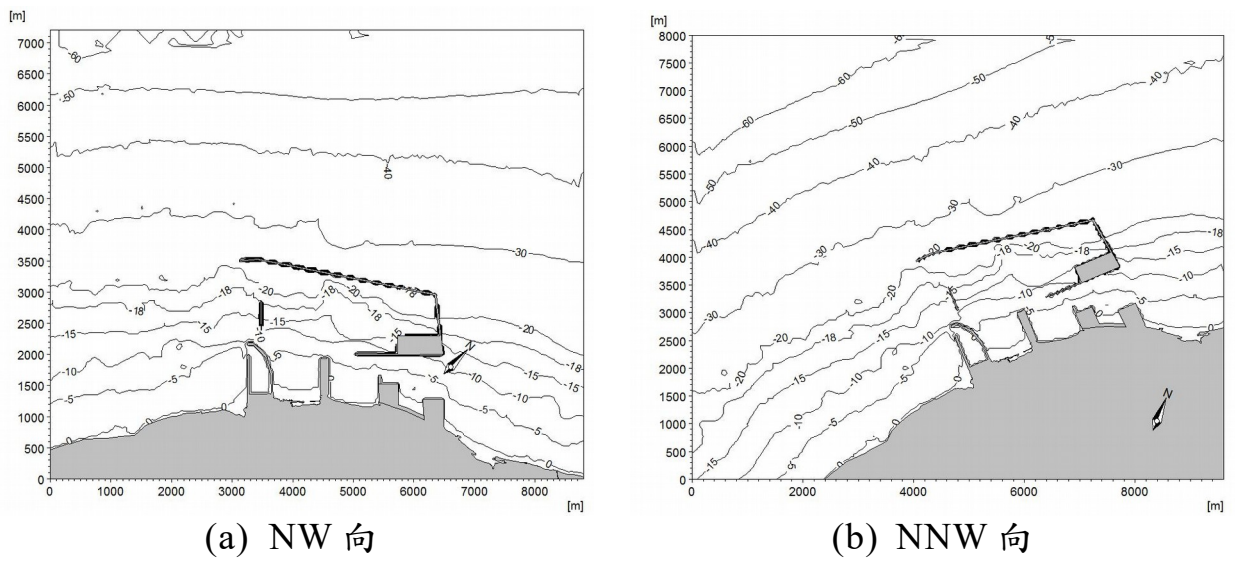
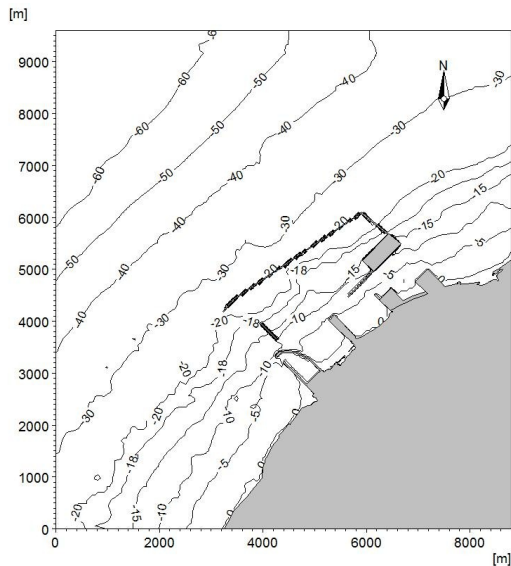
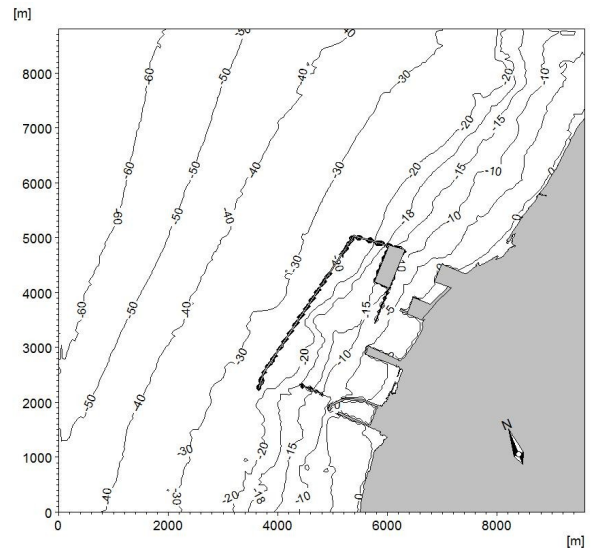


圖 2 BW 模組計算範圍水深分布圖



(c) N 向



(d) NNE 向

圖 2 BW 模組計算範圍水深分布圖(續)

三、波浪條件

依據港研中心民國 71 年 1~9 月及 72 年 5 月至 73 年 1 月於觀音外海實測之波浪分析結果得知：夏季時示性波高大於 1.0m 佔 11%，大於 1.5m 佔 3.6%，大於 2.0m 佔 0.5%；冬季時示性波高大於 1.0m 佔 57%，大於 1.5m 佔 35%，大於 2.0m 佔 17%，大於 2.5m 佔 5.9%，顯示冬季波高遠較夏季為大。

有關波向部份，依計畫區調查及台北港波向觀測結果可知，夏季波向分佈較分散，約介於 WSW~NNE 之間，冬季則以 NNE 為主。雖然冬季季風浪較大，但因受北防波堤所遮蔽，北來之波浪對接收站影響反而較小；夏季季風浪雖較小，然南來之波浪因與港口方向約略平行反而造成較易長驅直入進而影響碼頭靠泊之現象。因此，本計畫進行李風波浪影響模擬計算時，為求慎重起見，選擇 WNW、W 及 WSW 三種波向納入計算，以了解夏季季風期可能對港口碼頭區之影響(雖然夏季波高大於 2m 之機率僅為 0.5%)，季風波浪波高採用 2.0m(LNG 船舶入港之初期進港限制條件)，週期 8sec 之不規則波，分別予以模擬計算，

以求得並分析本計畫港區港池之靜穩度狀況。

另為考量颱風期間於波浪作用下工作船停靠之安全性，乃以 50 年迴歸期 WSW、W、WNW、NW、NNW、N 及 NNE 向之颱風波浪，如表 1 所列之波浪入射條件，進行本計畫港埠之港內水域靜穩度數值模擬。

表 1 季風及颱風波浪彙整表

波 浪		波高 (m)	週期 (sec)
季風波浪	WSW	6.1	10.4
	WSW	6.1	10.4
	W	6.3	10.5
50 年迴歸期 颱風波浪	WSW	6.1	10.4
	W	6.3	10.5
	WNW	6.3	10.5
	NW	6.4	10.6
	NNW	7.0	11.1
	N	7.7	11.7
	NNE	9.4	12.9

四、水位條件

一般而言，水深愈大波浪能量愈容易傳遞至近岸，在數值考量較保守之狀況下，宜以較高之潮位進行推估，故本計畫進行颱風波浪數值計算時，考量颱風來襲時之風速增強氣壓降低使得潮位劇增，故模擬颱風波浪作用時採用設計潮位(+2.95m)之設計潮位進行推算。

五、岸壁型式

有關港灣構造物之反射率特性，Goda 曾彙整各篇已發表文獻之實驗結果(詳其著作：Random Seas and Design of Marine Structures)，在一般海面常見的波浪條件下，各類岸壁型式之反射係數如表 2 所示。

由於本計畫區港內岸壁型式屬直立式，根據上述原則，乃訂定其反射係數為 90%；若為消波式沉箱(消波式直立壁)，則定其反射係數為

60%；計畫區鄰近海岸若為岩岸或潛礁者，定其反射係數為為 50%；若屬海灘者，則定為吸收邊界(無反射波)。

表 2 各類岸壁型式反射係數表

岸壁型式	反射係數
突出水面的直立壁	0.7~1.0
沒入水面的直立壁	0.5~0.7
拋石斜坡岸壁	0.3~0.6
消波塊斜坡岸壁	0.3~0.5
消波式直立壁	0.3~0.8
自然沙灘	0.05~0.2

六、碼頭允許作業波高限制

模擬結果相關說明主要係根據碼頭區容許波高限制以及碼頭前水域靜穩度，碼頭容許波高基準依據本計畫之限定(詳表 3 所示)，當碼頭前水域波高超過此容許值時，即將其視為靜穩度不佳。有關碼頭前波高平均值之計算，本計畫考量涵蓋 LNG 船隻之寬度，取碼頭法線 50m 以內之範圍進行計算。

表 3 各類船舶作業時之容許波高

項次	船舶型態	容許波高	備註
一、	一般散雜貨輪(<30,000 D.W.T.)	0.70	註 1
二、	大宗散貨輪(<30,000 D.W.T.)	0.80	註 1
三、	大宗散貨輪(30,000~100,000 D.W.T.)	0.80~1.50	註 1
四、	油輪(<30,000 D.W.T.)	1.00	註 1
五、	油輪(30,000-100,000 D.W.T.)	1.00~1.70	註 1
六、	LNG 船碼頭卸料作業波高限制	1.0	註 2
七、	港勤船渠	0.5	註 3

註：1.參考 Port Designer's Handbook 之碼頭靠泊期間波高限制標準。

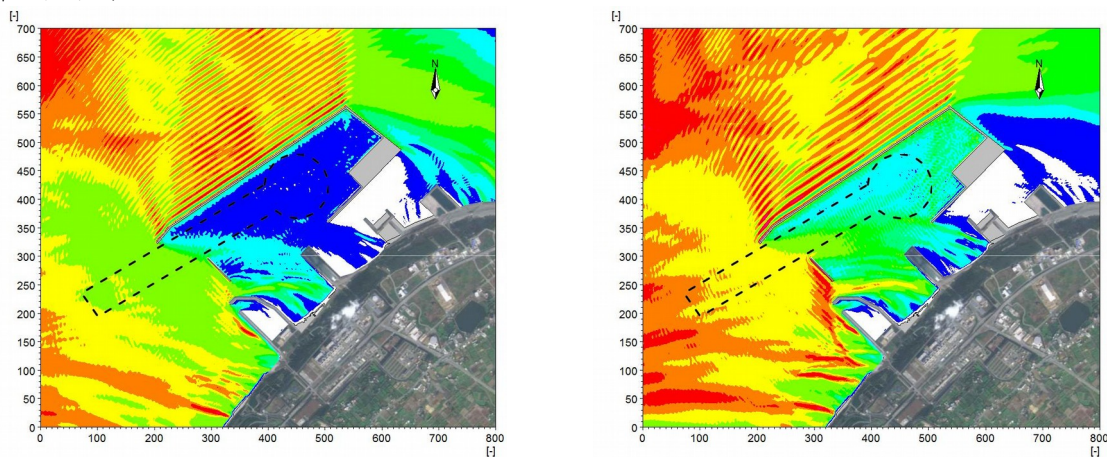
2.參考永安港對於 LNG 碼頭卸料作業之規定。

3.參考日本港灣設計基準(O.C.D.I.)之中、大型船(500 總噸~50,000 總噸)靠泊標準。

參、模擬結果

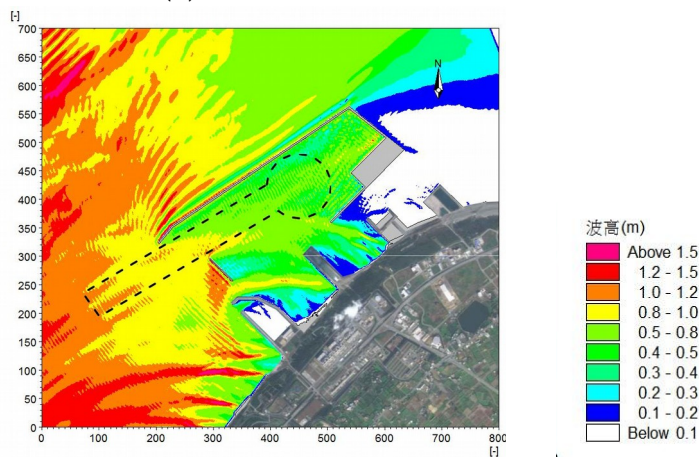
一、季風波浪

季風波浪 WNW、W 及 WSW 三方向入射至港內之波高分佈詳圖 3 所示，其中 WNW 向季風波浪受到外廓防波堤遮蔽之影響，部分波浪沿著航道進入港內，主要影響大潭電廠出水口附近之波高分佈，對碼頭區波高分佈影響較小，碼頭區波高僅約 0.18m。W 及 WSW 向季風波浪較容易沿著航道進入港內，主要影響迴船池及碼頭區之波高分佈，對碼頭區波高分佈影響較大，碼頭區波高分別約 0.32m 及 0.69m。參考永安港對於 LNG 碼頭卸料作業之規定，係採波高 1.0m 做為其卸料限制條件。因此，本計畫碼頭區於季風期間的波高分佈約 0.18~0.69m，尚能符合 LNG 碼頭卸料作業之規定。



(a) WNW 向

(b) W 向



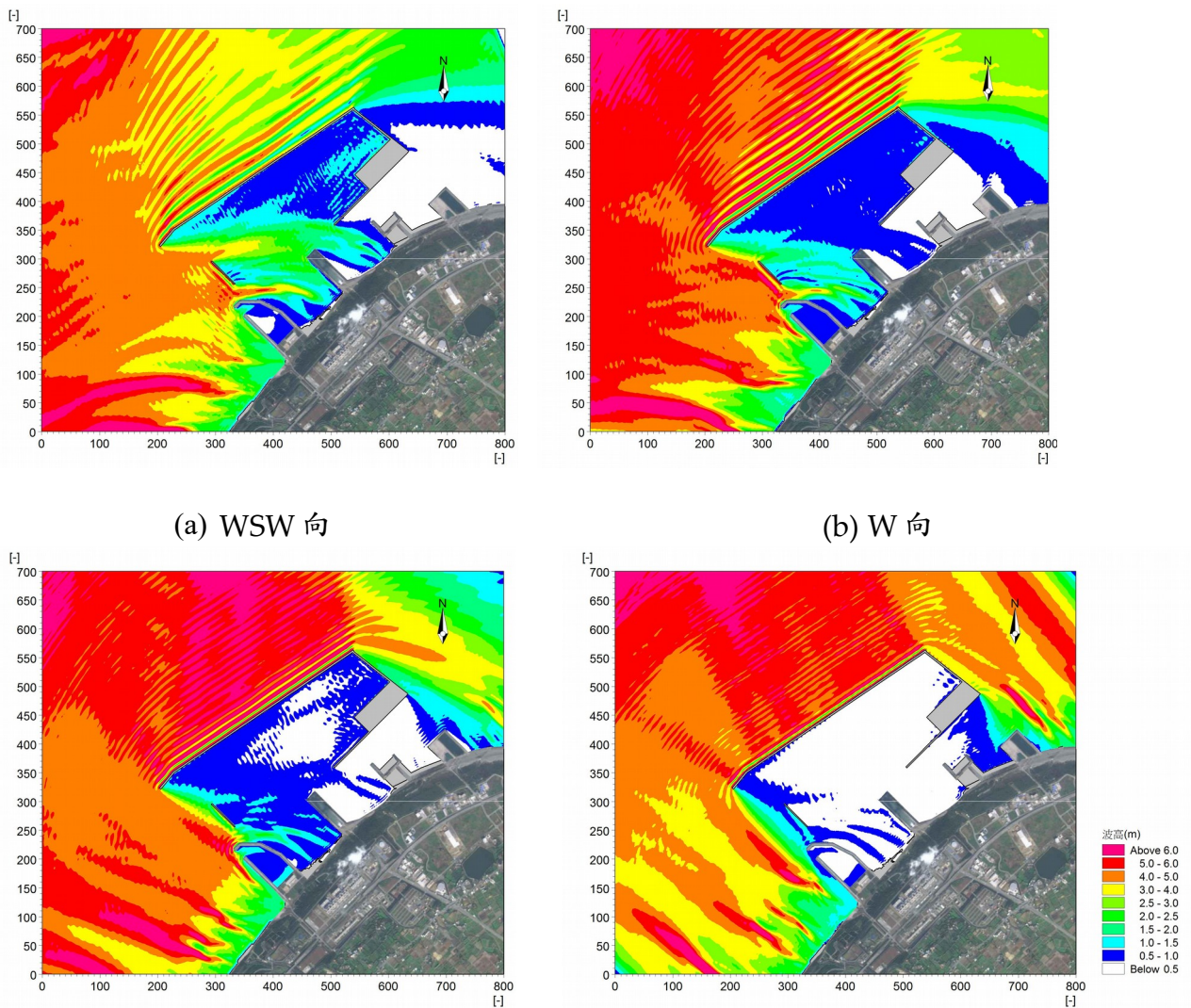
(c) WSW 向

圖 3 季風期間之波高分布圖

二、颱風波浪

圖 4 為計畫配置受颱風波浪作用之波高分布圖，由圖可知，計畫配置之外廓防波堤能有效阻隔北向之颱風波浪作用，而 WNW、W 及 WSW 向颱風波浪較易沿著航道進入港內，並影響港內波高分布，其中以 WSW 向颱風波浪對碼頭波高影響較大。

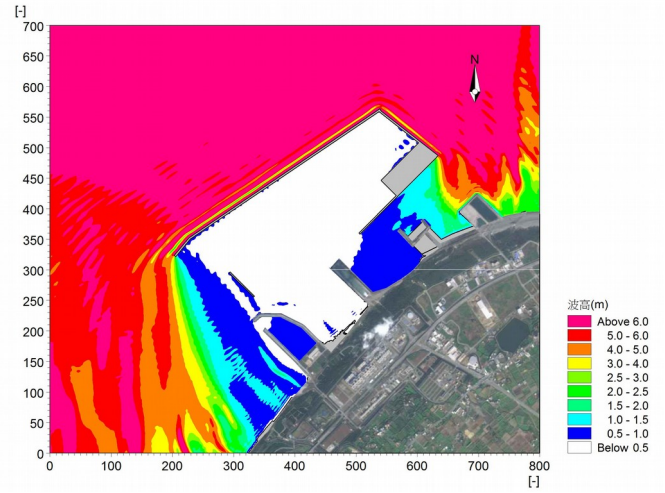
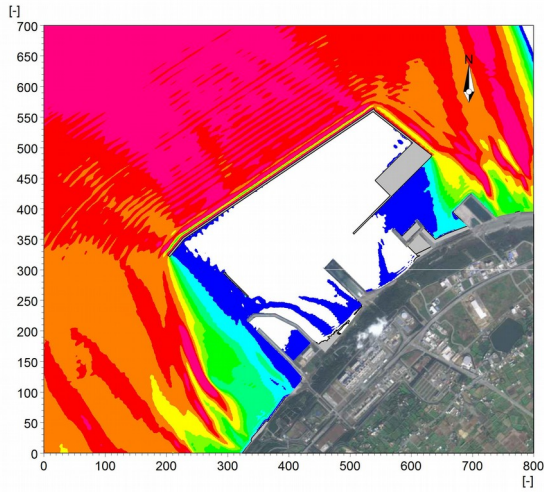
表 4 為計畫配置之碼頭波高統計表，由表可知，計畫配置在季風波浪作用下，碼頭波高均小於 1.0m，尚能提供 LNG 碼頭卸料作業之波高需求。在颱風波浪作用下，WNW、W 及 WSW 向對碼頭區波高影響較大，因此，後續尚需考量合適之工作船舶靠泊區位，以提供颱風期間之避颱需求。



(c) WNW 向

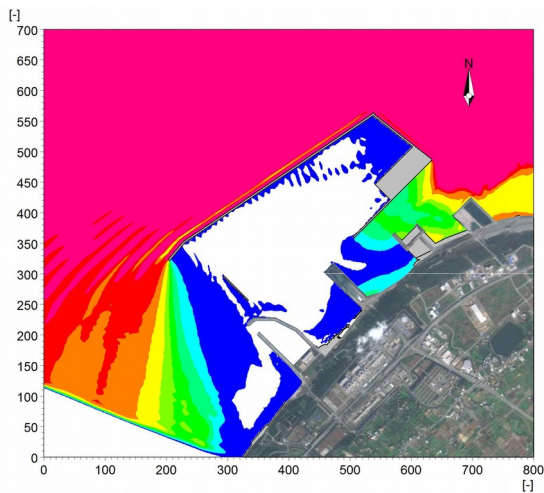
(d) NW 向

圖 4 颱風期間之波高分布圖(續)



(e) NNW 向

(f) N 向



(g) NNE 向

圖 4 颱風期間之波高分布圖(續)

表 4 計畫配置之碼頭波高統計

波向		碼頭波高(m)
季風波浪	WSW	0.69
	W	0.32
	WNW	0.14

50年迴歸期 颱風波浪	WSW	1.14
	W	0.82
	WNW	0.62
	NW	0.39
	NNW	0.36
	N	0.38
	NNE	0.53