

臺北港港池靜穩度之分析研究

羅德章
楊瑞源
廖慶堂

國立高雄科技大學海事資訊科技系教授
國立成功大學水利及海洋工程系教授
交通部運輸研究所港灣技術研究中心副研究員

摘要

臺北港位於淡水河口出海口南岸之八里地區砂質海岸，防波堤深入海中千餘公尺，當深海波浪進入淺水地區，由於受到水深、地形等之影響，波浪將發生淺化折射變形，如進入港區附近，將受到防波堤、碼頭及護岸等港埠工程結構物之干擾，產生反射、繞射與短峰波現象，導致航道、港口及港池水位錯綜複雜。本研究以港內各區域的水域為例，模擬在各種海氣象的情境下進行水面波動的時序列分析，做為靜穩度評估的依據。

本研究擬藉由三維數值模擬方式來探討臺北港港池的靜穩度，首先驗證數值模擬結果與港內實測 K_d (港內波高/港外入射波高)值近似。分析不同海氣象的波浪條件對港內靜穩度的影響，包含夏季季風浪、夏季西南季風浪、冬季季風浪與颱風波浪。研究顯示，除了颱風浪足以影響港池的靜穩度，其餘不論是西南季風、冬季或夏季風浪，港池示性波高比平均小於 0.35，顯示港池靜穩度足供船舶正常進出港與靠泊裝卸貨。

一、前言

臺北港在逐步擴建下，增加了整體的船舶進出吞吐量與提升營運績效。然擴建後碼頭的設施佈置與水域水深地形的改變，是否改變港內水面靜穩度，需要進一步分析與探討，做為未來港口擴建之參考依據。臺北港擴建中的南碼頭區共計有 9 席碼頭，均做為營運碼頭使

用，其中包含 S1~S9 碼頭區，區分為親水遊憩區、軍事專業區，岸線及土地配置。本研究首先彙整該水域的海氣象資料，進行水位變化的時序列分析。根據南碼頭港灣地形與水深進行 3D 繪製，同時將量測水位資料與數值模擬進行比對分析，以確認模式的可行性與準確性。準此，分別彙整季風浪與颱風浪作用下臺北港海氣象觀測資料，模擬設定不同波浪作用下，南碼頭各區域的波場分析，水面靜穩度數值模擬分析，邊界條件可由季風浪彙整的資料進行分析。

另以過去颱風波浪資料，選擇一個颱風進行颱風波浪作用下，南碼頭各區域的靜穩度數值模擬分析，評估港內是否有良好的水面靜穩，同時提出改善策略，以利水域內保持港內水面靜穩，輔助港區建設進行。數值模擬計算出各類型波浪作用下，港內外的波場分布與港內水面變化，本研究並以南碼頭 S07、S08、S09 之水位變化為重點(如圖 1 紅框區)，做為靜穩度評估的依據。



圖 1 臺北港南碼頭區平面佈置圖

二、研究方法

2.1 數值模式

本研究依據區域附近之地形與港區資料，透過數值模式進行計畫區靜穩度之推估，模擬不同海氣象情況下，進行港內靜穩度之數值模擬。

近岸水動力模式可分為三大類：

1. 緩坡方程式：

波浪折繞射效應共存的緩坡方程式為 Berkhoff (1972) 所提出，推導的緩坡方程式主要將 Laplace 方程式成以滿足底部邊界條件的水深因子，再由底部至水面對水深積分，將三維問題簡化為二維，以計算緩坡海床整個海域之平面波場。

2. Boussinesq 方程式：

係由 Boussinesq (1872) 率先提出，其將流場的垂直分佈以多項式級數型式進行近似展開，主要是針對 Stokes (1847) 所提出的非線性波浪無法適當地應用在無限波長之孤立波流場的難題，提出可解決等水深之孤立波流場的解析方程式。之後由 Peregrine (1967) 引用 Boussinesq (1872) 之方程式，採用以自由表面之變動水位和以水深平均流速向量為變數，採用連續方程式及動量方程式進行水深積分，簡化空間三維流場為平面二維流場，發展出可應用於變動水深及一般波浪之 Boussinesq 方程式，即現今所謂的典型 Boussinesq 方程式。

3. Navier-Stokes 方程式：

隨著電腦計算速度的快速發展，目前以此模式求解波浪變形、近岸水動力與船舶水動力的相關研究日漸受到重視，本文亦採用此方法解析波浪變形與結構物交互作用。許多學者研究波浪與不規則底床或結構物交互作用，Fang and Zou (2015) 應用非靜水壓模式模擬近岸波浪的變形，國內學者許(2003)在近岸水動力學一書有詳加討論各種水動

力模式，相關研究可應用於波浪與港池的交互作用分析。

計算流體力學(Computational Fluid Dynamics)是建立在經典流體力學與數值計算方法上的一門獨立學科，藉由電腦數值計算和圖像動畫顯示的方法，在時間和空間上定量描述流場的數值解，從而達到對物理問題研究的目的，若充分掌握參數與經驗式配合就可以獲得預期的結果。本研究採用三維水動力模式，模擬臺北港在不同海氣象條件下，波浪由外海依照不同波高與週期，並考慮不同的波向，計算港內水域的水面變化，進而評估港內不同水域區域的靜穩度。

2.2 港灣模型 3D 建置

本研究港灣模型建置如下所列，模型為 1:1 真實比例尺的臺北港建模。

1. 依據：臺北港(106-110 年)海岸漂沙調查及海氣象與地形變遷監測作業(交通部運輸研究所)。

2. 擷取臺北港築港配置圖(dwg 檔案)港埠輪廓地理座標，如圖 2 所示。

3. 擷取臺北港地形變遷監測作業之水深網格資料，利用 CAD 軟體建立臺北港 3D 海底地形港埠模型，如圖 3 與圖 4 所示。

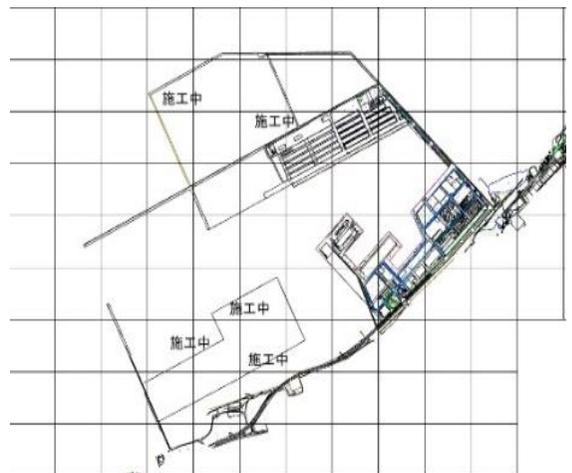


圖 2 臺北港築港配置圖

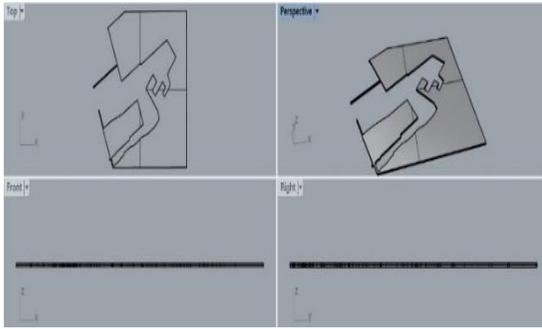


圖 3 臺北港 3D 港埠模型

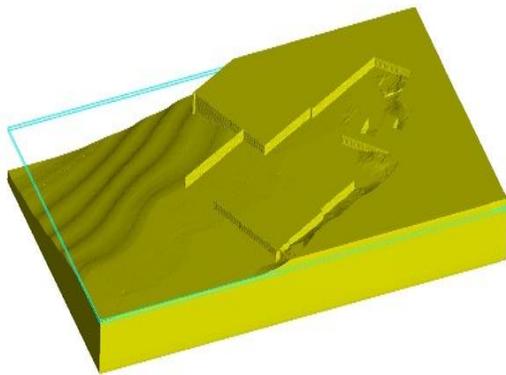


圖 4 臺北港 3D 海底地形港埠模型

三、研究成果

本研究分析不同海氣象條件下，波浪對港內水域靜穩度的影響，包含冬季波浪分析(WNW 與 W 二組波向)、夏季波浪分析(W 與 WSW 二組波向)、西南季風浪(SW 一組波向)、颱風波浪(W 一組波向)，評估在這些條件下對港內靜穩度的影響。

3.1 冬季波浪分析

冬季波浪數值模擬包括 WNW 與 W，外海入射波高 1.66 公尺、週期 7.31 秒。

3.1.1 冬季波浪波向 WNW

臺北港在冬季波浪 WNW 方向的入射波列，在遭遇北堤遮蔽之後，部分經由南北兩堤頭繞射進入航道，造波時間約於 300 秒時，A、B、C 及 P 等區涵蓋之港域，已經因造波波列的繞射和反射產生短峰波，造波時間約於 600 秒時，入射波列已經抵達港池最靠內側碼頭區，如圖 5 為造波 600 秒之港域水面視覺圖。

比較港池全域水位時序變化除了 D、E、及 F 等區的幅度變化較小外，其餘各區的水面紛紜狀態趨於一致，如圖 5 所示，這種水面紛紜狀態包含了振幅頻率不同的成份波。圖 6 為冬季波向 WNW 量測點水位波幅比時序變化圖。a 表示入射波高振幅， η 表示港內各觀測點的擷取水位，分布介於 -0.5 至 0.5 之間，因為防波堤遮蔽了入射波能量，港內各擷取點的水位都呈現不同程度的衰減。本組模擬結果顯示，冬季 WNW 波向對港內的靜穩度影響不大。

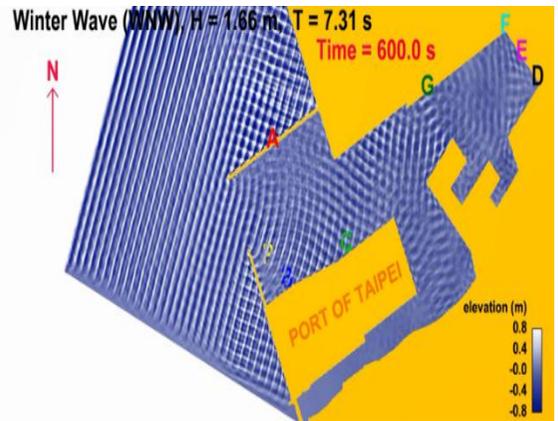


圖 5 臺北港冬季波向 WNW 造波 600 秒之港域水面視覺圖 (H=1.66 m, T=7.31 s)

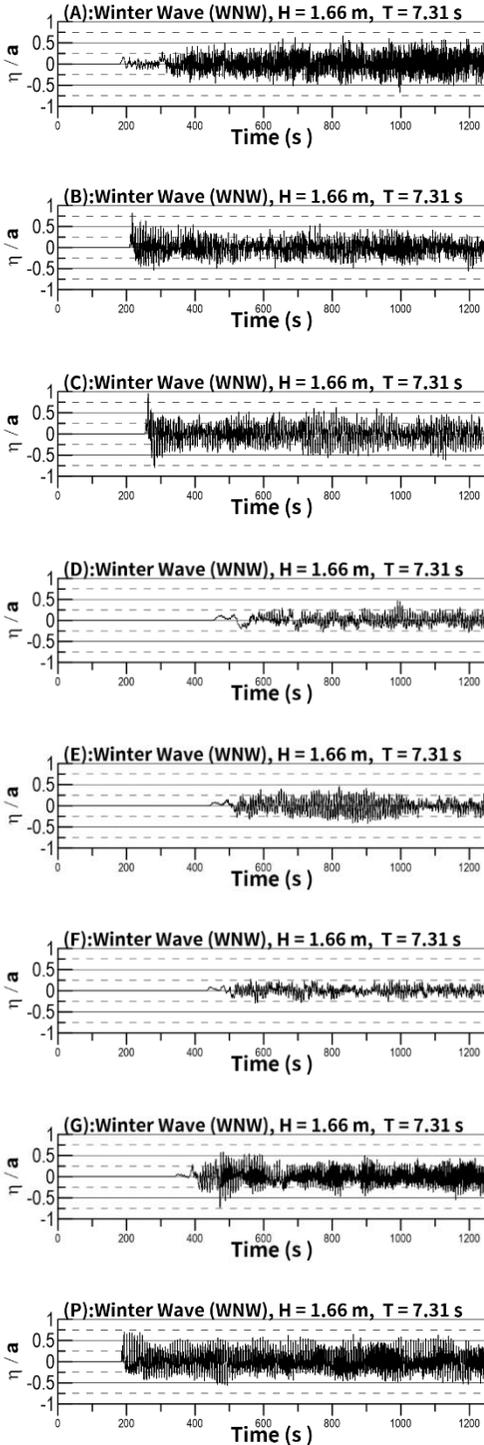


圖 6 冬季波向 WNW 量測點 (A,B,C,D,E,F,G,P) 水位波幅比時序變化圖

3.1.2 冬季波浪波向 W

臺北港冬季波浪 W 方向入射波列正對航道直接進入港池，造波時間大約 300 秒時，A、B、C 及 P 區涵蓋之港域，已經因造波波列的繞射和反射產生短峰波，造波時間大約 600 秒時，入射波列已經抵達港池的最內側碼頭區，如圖 7 表示臺北港冬季波向 W 造波 300 秒與 600 秒之港域水面視覺圖 (H=1.66 m, T=7.31 s)。比較港池全域水位時序變化除了 C、G、及 P 等區的幅度變化較大外，其餘各區的水面紛紜狀態趨於一致，如圖 7 所示。圖 8 為冬季波向 W 量測點水位波幅比時序變化，基本上比值都介於 ± 0.5 之間，表示本組波浪與波向呈現良好的靜穩度。整體而言波幅比最大的值發生在 C 的區域，因為波浪由航道入口進入後直接繞射到 C 區，受到波浪衝擊造成水面波動較其他區域來得大。

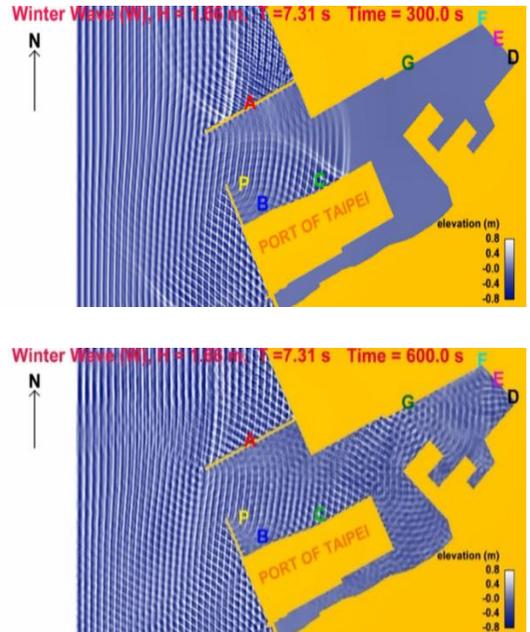


圖 7 臺北港冬季波向 W 造波 300 秒與 600 秒之港域水面視覺圖 (H=1.66 m, T=7.31 s)

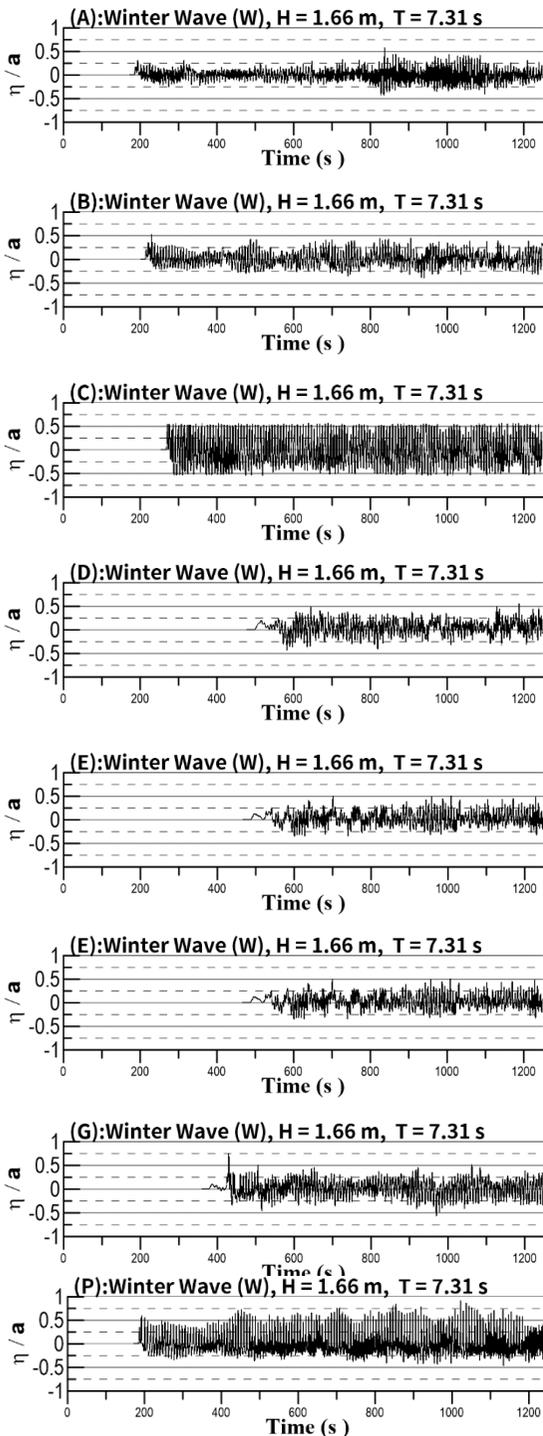


圖 8 冬季波向 W 量測點 (A,B,C,D,E,F,G,P) 水位波幅比時序變化圖

3.2 夏季波浪分析

夏季波浪數值模擬包括 W 與 WSW 二組波向。外海入射波高 0.76 公尺週期 6.24 秒。

3.2.1 夏季波浪波向 W

臺北港夏季波浪波長較冬季短，波列前進速度亦較緩，W 方向入射波列遭遇南北兩堤同時攔截，經過淺化折射變形的波列波高明顯衰減。相同造波時間大約 300 秒時，前進波列尚未抵達 C 區，短峰波亦僅侷限 B 區港域，如圖 9 上圖所示。造波時間大約 900 秒時前進波列尚方抵達內側碼頭區，如圖 9 下圖所示。圖 10 為夏季波向 W 量測點水位波幅比時序變化，整體港池波高量測點波浪衰減係數(Kd)分布約於 0.17 至 0.6 之間。C 區相較其他位置的靜穩度來得差，因為 C 區的正北的直角碼頭為前進波列的點波源，與 B 區岸壁的反射波，加上進入港區的前進波正好交會於此。整體而言，夏季波浪 W 向入射對港內靜穩度尚稱良好。

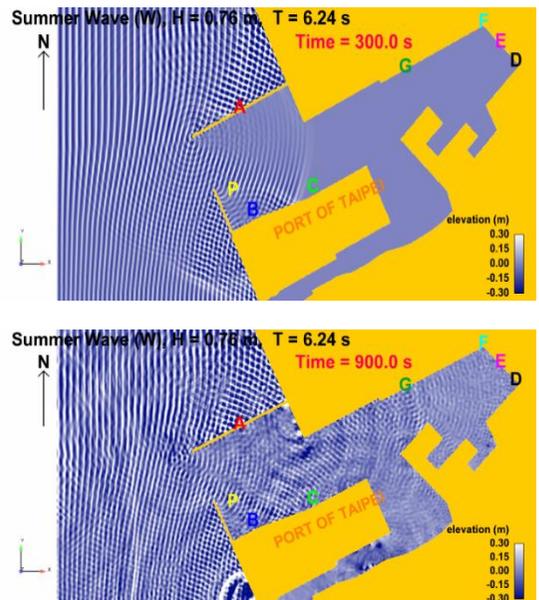


圖 9 臺北港夏季波向 W 造波 300 秒與 900 秒之港域水面視覺圖 (H=0.76 m,T=6.24 s)

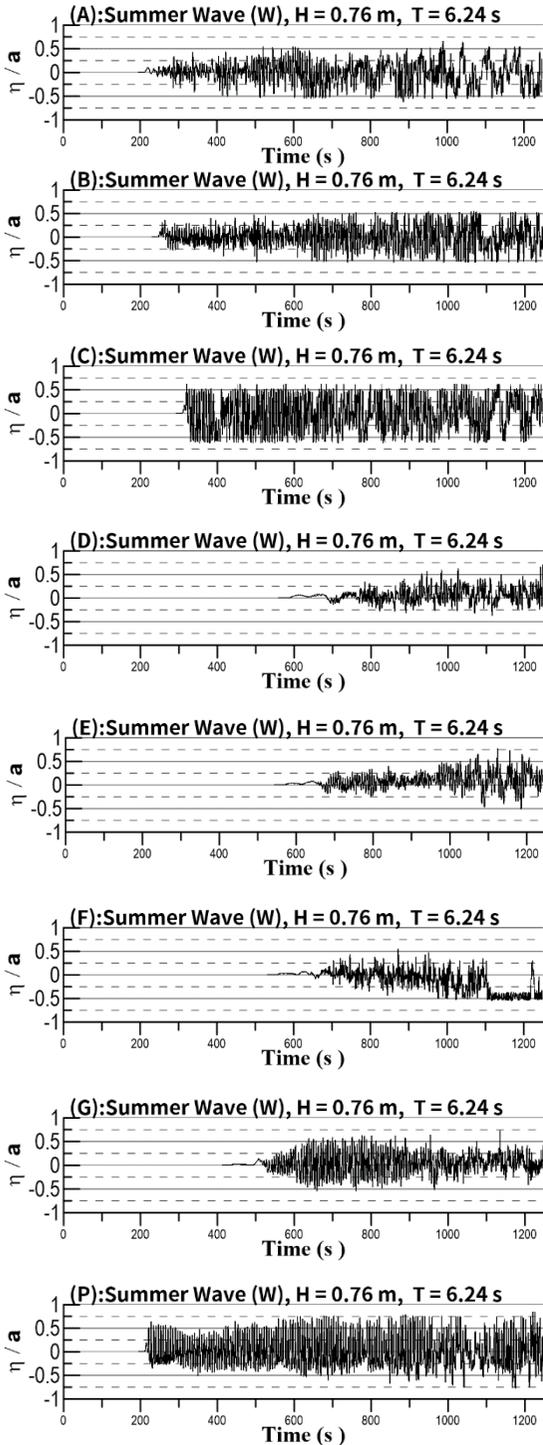


圖 10 夏季波向 W 量測點 (A,B,C,D,E,F,G,P) 水位波幅比時序變化圖

3.2.2 夏季波浪波向 WSW

臺北港夏季波浪波向 WSW 波列前進方向和北防波堤交角約呈九十度，因此南堤端顯著的成為前進波列的點波源，持續呈現繞射現象的現象，此繞射波遭遇北區碼頭岸壁重複反射套疊，這種不同的成分波在 C 區混合成紛紜的短峰波，影響港池的靜穩度，如圖 11 為臺北港夏季的波向 WSW 造波 300s 與 900s 之港域水面視覺圖 (H=0.76m, T=6.24s)。夏季波浪波向 WSW 基本上波浪衰減係數 (Kd) 介於 0.22 與 0.7 之間，其中以 C 點的靜穩度相較其他位置差。圖 12 為夏季波向 WSW 量測點 (A,B,C,D,E,F,G,P) 水位波幅比時序變化圖。C 點的波幅比變化最大。

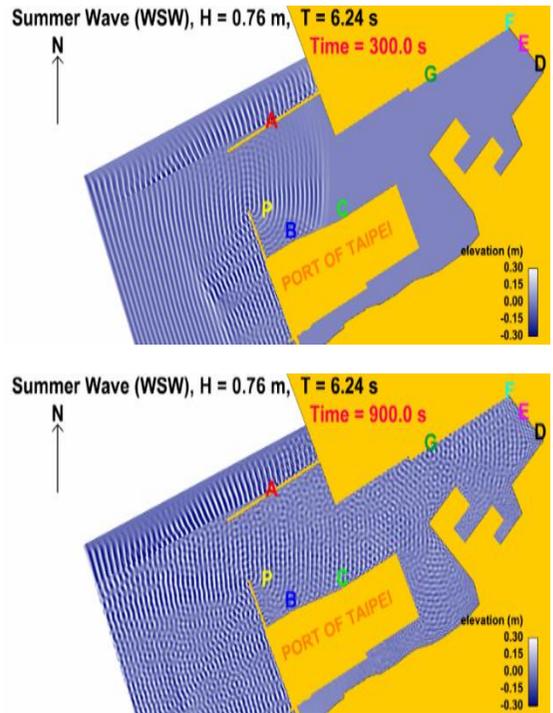


圖 11 臺北港夏季波向 WSW 造波 300 秒與 900 秒之港域水面視覺圖 (H=0.76 m, T=6.24 s)

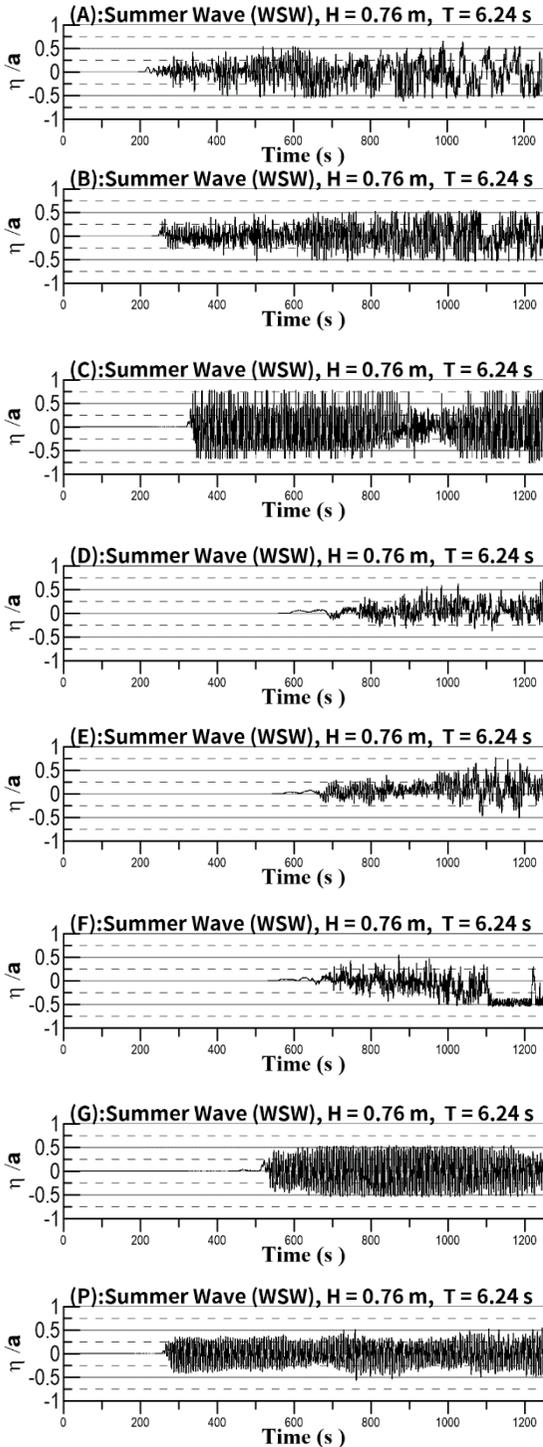


圖 12 夏季波向 WSW 量測點 (A,B,C,D,E,F,G,P) 水位波幅比時序變化圖

3.3、西南季風浪分析

西南季風浪數值模擬包括 SW 一組波向，外海入射波高 0.76 公尺週期 6.24 秒。臺北港西南季風入射波列淺化變形繞過南堤端頭直達北堤，雖然在北堤與碼頭連接處產生多次反射駐波套疊，但 P、B 與 C 區因為南防坡堤的遮蔽，顯得相對靜穩，如圖 13 為臺北港夏季西南季風造波 300s 與 900s 之港域水面視覺圖 ($H=0.76$ m, $T=6.24$ s)。但是駐波與繞射波持續的發展最終干擾整個港池。圖 14 為西南季風港池量測點水位波幅比時序變化圖，基本上波浪衰減係數 (K_d) 的分布介於 0.42 至 0.76 之間。雖然此方向的入射波，防波堤削減波浪能量的效果不佳，然因西南季風的外海波浪波高較小 ($H = 0.76$ m)，因此靜穩度尚可合乎港內船舶作業的需求。整體而言，港內波幅比偏大，最大的值發生在 C 的區域，因為波浪由航道入口進入後直接進入港內，由於入射波高僅為 0.76 m，故即使各水域波幅比偏大，也符合船舶於水域作業的標準

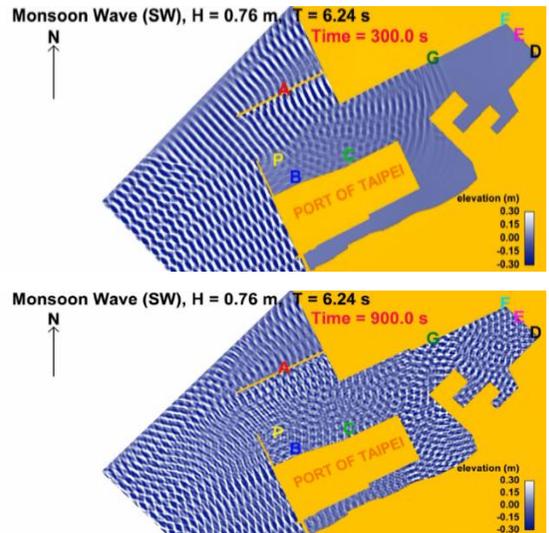


圖 13 臺北港夏季西南季風造波 300 秒與 900 秒之港域水面視覺圖 ($H=0.76$ m, $T=6.24$ s)

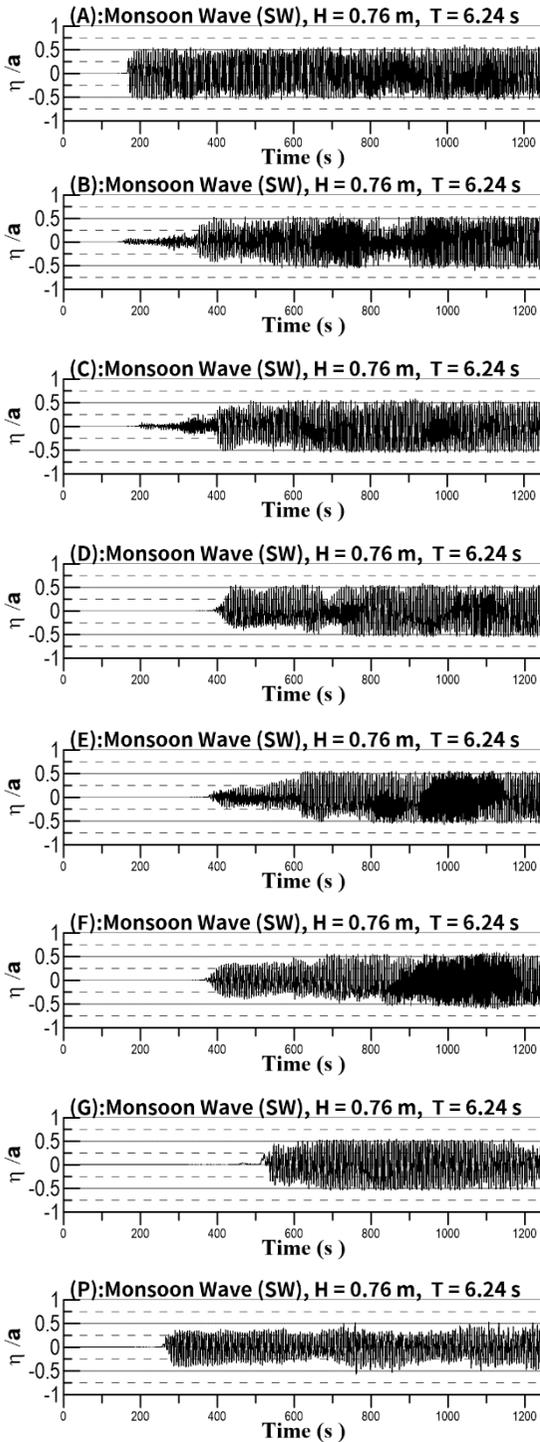


圖 14 西南季風量測點量測點 (A,B,C,D,E,F,G,P) 水位波幅比時序變化圖

3.4、颱風浪分析

針對颱風浪的分析研究，此僅針對波向 W 的颱風進行分析，因 W 波向的波浪對臺北港水域靜穩度影響最大，故採用較極端的情形進行分析，採用瑞伯颱風實測資料。波浪條件為波高(H) 8.8m，週期 (T) 10.3 s，前進波列接近防坡堤處水深 16 m，波長 (L) 約為 127m，沿著航道直撲而入，但是臺北港的南北兩側防波堤針對這種長波型的波列發揮了絕佳的遮蔽效果，整體港池波高的衰減係數 (Kd) 分布約在 0.1 至 0.24 之間。如圖 15 表示臺北港颱風浪波向 W 造波 300s 與 600s 之港域水面視覺圖。圖 16 為颱風波向 W 量測點水位波幅比時序變化圖。

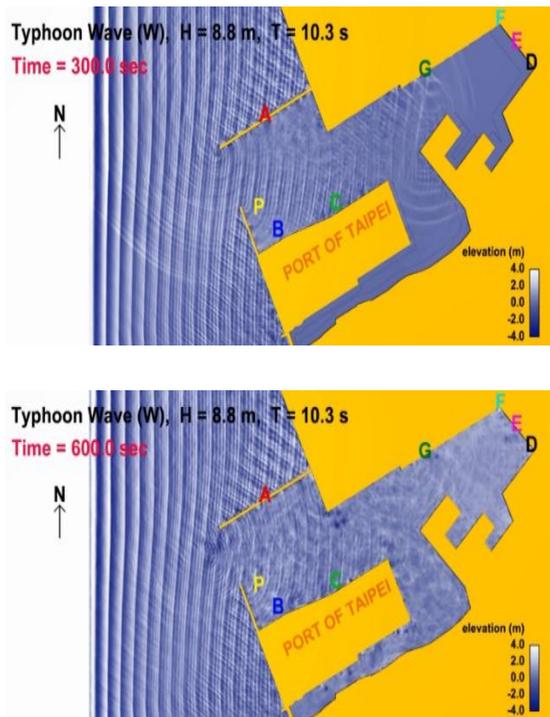


圖 15 臺北港颱風浪波向 W 造波 300 秒與 600 秒之港域水面視覺圖 (H=8.8 m, T=10.3 s)

四、結論

本研究依比例尺 1:1 製作臺北港 3D 港灣地型。應用臺北港海氣象統計資料，根據冬季、夏季風浪、西南季風浪與颱風浪的條件，模擬港內靜穩度分析顯示：

1. 港內靜穩模擬顯示夏季西南季風波高衰減比 K_d 值最大，觀測點 P 點西南季風波浪波高衰減 K_d 值為 0.52。數值模擬 K_d 值和 2019 年 6 月 18 日至同年 9 月 26 日臺北港西南季風波浪觀測紀錄示性波高平均 K_d 值為 0.48 有相當的一致性。
2. 根據本研究結果顯示，臺北港防波堤的設計對長週期波浪有良好的遮蔽效果。
3. 針對西南季風數值模擬結果雖顯示平均示性波高之波浪衰減係數 K_d 較高，然因為其屬於短週期低波高，還在港灣使用臨界波高容許範圍內，並不影響港池的靜穩，或干擾船舶停靠裝卸作業。
4. 冬季、夏季波浪靜穩度佳，但 A 與 C 點附近相較其他區域的水位波動大，其中 A 點位於北防波堤中點，未來擴建後擬規劃停泊油輪，C 點位於興建中的多用途開發區 (S09、S10)，建議再進一步分析研究。

五、參考文獻

1. Berkhoff J. C. W. (1972), Computation of Combined Refraction-Diffraction, Proceedings of 13th International Conference on Coastal Engineering, Vancouver, ASCE, Vol. 1, pp. 471-490.
2. Boussinesq J. (1872), Theorie des ondes et rous qui se propagent le long d'un canal rectangulaire horizontal, en communiquant au liquide contenu dans ce canal des vitesses sensiblement pareilles de la surface au, Journal of

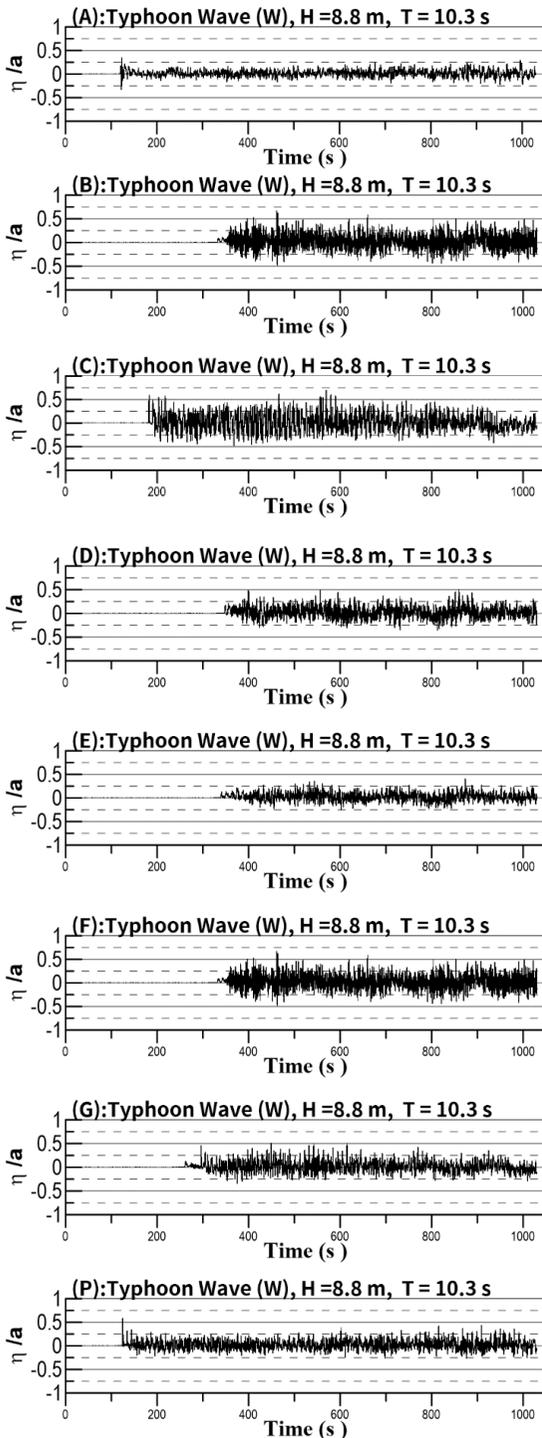


圖 16 颱風波向 W 量測點 (A,B,C,D,E,F,G,P) 水位波幅比時序變化圖

Mathematical Pure et Application, 2nd Series, Vol. 17, pp. 55-108.

3. Fang K., Liu Z. and Zou Z. (2015), Efficient Computation of Coastal Waves using a Depth-Integrated, Non-Hydrostatic Model, Coastal Engineering, Vol. 97, pp. 21-36.
4. Peregrine D.H. (1967), Long Waves on a Beach, Journal of Fluid Mechanics, Vol. 27, pp. 815-827.
5. Stokes G. G. (1847), On the Theory of Oscillatory Waves, transactions of the Cambridge Philosophical Society, Vol. 8, pp. 441-455.
6. 許泰文 (2003), 近岸水動力學, 中國土木水利工程學會。