

高雄二港口波流場模擬及分析

衛紀淮 交通部運輸研究所港灣技術研究中心助理研究員

摘要

海岸環境受到大自然及人為因素影響，前者包含風力、波浪、潮汐、海流與河川輸砂等，彼此交互作用，形成一複雜多變的系統，尤其在近岸段，波浪受邊界影響變形以致發生碎波，底床砂粒受到劇烈翻攪，復受沿岸流帶往下游，因此造成海岸之侵蝕與堆積；後者包含海港、堤防、與海埔地等人為開發，除攔阻沿岸漂砂也改變波浪場與流況。為

了解高雄二港口洲際貨櫃碼頭對港區之影響，利用海象觀測作業，以及數值模式模擬高雄港二港口周圍的波浪、海流與地形變遷趨勢，以更深入去了解洲際貨櫃碼頭工程完工後，對於港區之海象特性、波流場變化、地形變遷等之影響；相關分析結果可作為高雄港未來擴建工程環評要求、船舶進出、疏濬工程或相關研究之所需。

一、前言

海流是海洋的動脈，河川污染物、近岸輸砂、海洋懸浮物質、營養鹽等皆藉其傳輸運送。透過海流的研究，除了促進海洋資源、能源及海洋產業的永續發展與應用，也是近岸防災預警與風險管理機制的基本技術。高雄港位處台灣海峽之南端，港域海側最西端存在有水深僅約為 40 米之台灣灘，海側南北兩端分別由恆春海脊及高屏斜坡圍繞，海域

水深 40 米至 200 米底床坡度陡峻，港域西南側外海水深可達 2,000 米以上。此地海域水深地形變化之大，使海流影響因子多且複雜，因而海流特性之掌握相對也較不容易，為探討高雄港附近海域特性，蒐集高港之海流基本資料並分析，並進行現場海流的監測及波場、流場數值模擬建置及分析，以能掌握其區域性之影響，並提供給相關單位參考應用。

二、研究目的

根據前述之動機，利用海象觀測所得之實測資料，佐及數值模式模擬高雄港二港口周圍的波浪、海流與地形變遷

趨勢，並分析相關結果，了解不同季節、海象條件下之波場、流場、地形變化狀況。

三、文獻回顧

針對高雄二港口數值模擬分析部分，莊(2002)[1]提及港內面積的寬窄，對於流場是有影響力的，港內面積較寬，則在漲退潮時能吸收或提供較充足之海水，反之，若港內面積小，則容易造成水位之變化。其中也提及，風的效應只有在平潮時且流速較小時才有明顯作用，絕大多數是受潮汐影響，故風的影響力仍不及潮汐的作用。而港口外之海堤，對

於港內平均流速有顯著之影響。另劉(2008)提及[2]潮流特性呈現漲潮流向向東南，退潮流向向西北，其使用 MIKE21_HD 模式，在潮位方面，實測與預測的潮位非常接近，僅在高潮和低潮的部分有些許誤差，而在流向方面，於日潮不等較小及日潮不等較大時，預測流向與實測流向大致相同。

四、二維水動力與地形變遷數值模式架構

模式採用二維水動力與地形變化數值模式，包括波場模式、流場模式與漂砂及地形變化模式三個子模式。模式之架構以及各個子模式間的相互關係如圖 1，整個模式的計算流程為以水動力模式計算波流場，其結果提供給漂砂與地形變化模式計算底床地形變化量，再計算地形變化後所影響的海域波流場。

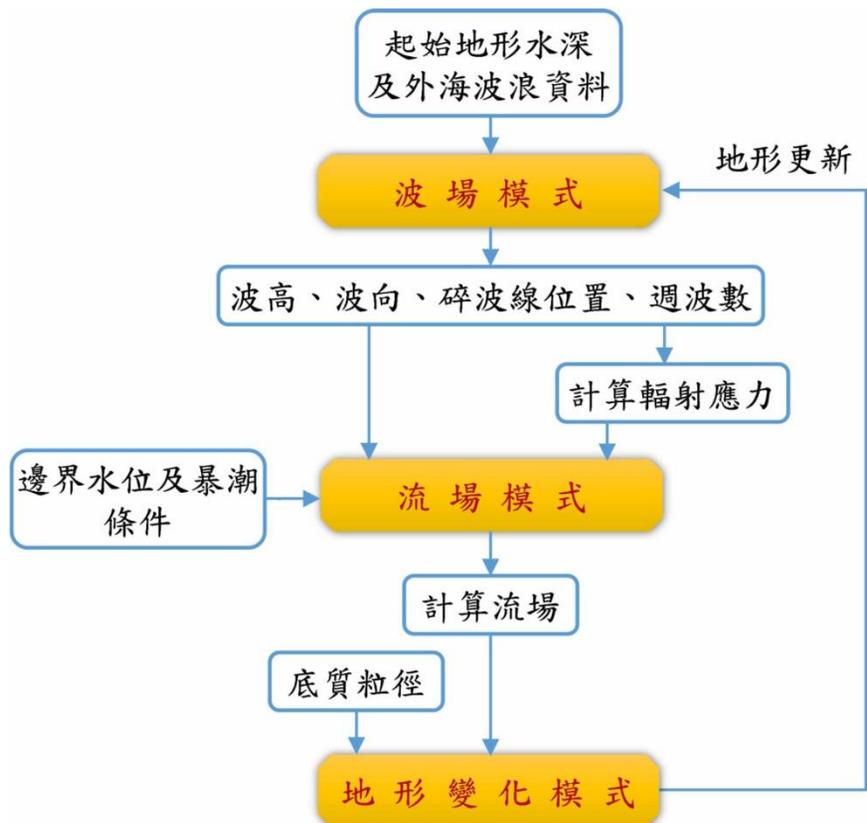


圖1數值模式架構

4-1 模擬範圍與輸入條件

模擬範圍之選定與網格化為數值模擬之前置工作，需考慮電腦運算資源、開放邊界條件等因素。選定模擬區域如圖1的黃色方框，針對高雄柴山至高屏溪口海域，利用高雄港10號碼頭與東港兩潮位站之紀錄作為模式之水位邊界條件，以粗格網(50m×50 m)進行潮流率定，得到最佳參數掌握水位與海流變化，再進

行二維水動力與地形變化模擬，其中波場子模式利用更細的12.5m×12.5 m格網以提高波浪場的運算精度。表1整理模式之計算範圍及格網規劃。波浪輸入依據中央氣象局外海浮標歷年統計資料中，取玫瑰圖中發生次數最多之條件，含颱風與夏冬兩季的外海波高、週期與波向，總計8組綜整如表2。底質粒徑則依據大林蒲海岸中值粒徑0.23mm作為代表粒徑。

表 1 模式之計算範圍及格網

	大區域潮流模式	二維波潮流與地形變化模式	
模擬範圍	27公里×20公里	27公里×20公里	
格網大小	50公尺×50公尺	50公尺×50公尺	12.5公尺×12.5公尺 (波場)
格網數目	541×401	541×401	2161×1601
時間間距	2 sec	2 sec	
原點座標	E=191530、N=2486295 (TWD97)		
轉角	130° (順時針)		
自計式波流測站	22°34'30", 120°16'13.86" (Latitude, Longitude)		

表 2 模式之波浪模擬條件

條件	季節	H (米)	T (秒)	波向
1	冬季	0.76	7.8	W
2	冬季	3.00	9.0	W
3	夏季	1.26	8.4	SW
4	颱風	5.1	10.6	SW
5	颱風	4.5	8.9	NW
6	颱風	5.3	9.7	WNW
7	颱風	5.5	9.8	W
8	颱風	6.9	11.0	WSW

五、波場數值模擬成果

5-1 模式的率定與驗證

模式採用 Shallow Water Model (簡稱 SWM) 模式，SWM 波浪模式理論是依據 Li(1994)^[3] 所發展之波浪模式，其並與 Berkhoff(1982)^[4] 相同之等坡度橢圓形淺灘來檢驗模式模擬波浪折繞射與波浪聚

焦之能力，圖 2 所示為 SWM 波浪模式所得之波高等值分佈圖，圖 2 則為八個斷面之波高與實驗室資料之比較。結果顯示模式模擬所得之波高與實驗室資料相當吻合，確認模式通過率定與驗證；另此模式亦可針對波浪聚焦現象之探討^[5]

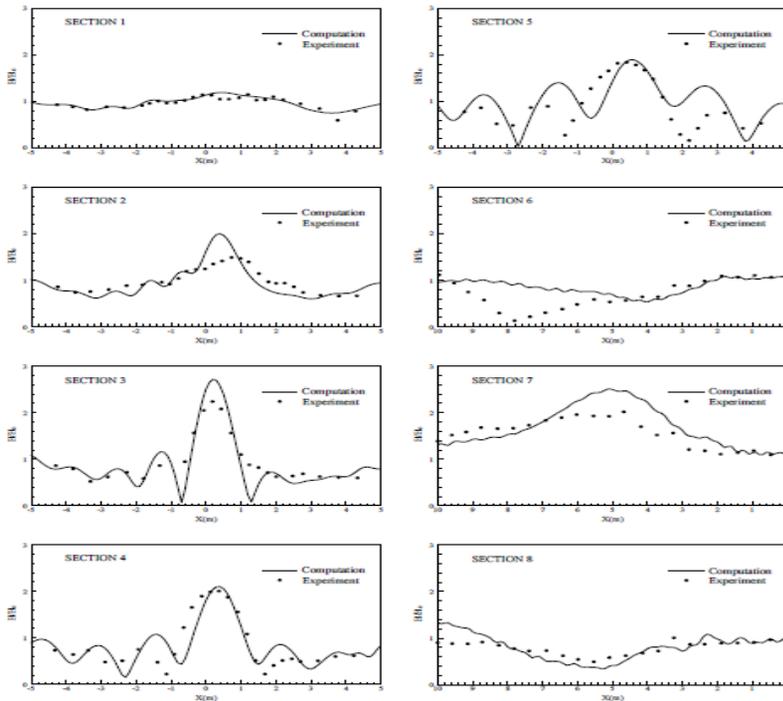


圖 2

5-2 高雄二港口區域之波場分析

依據 8 組波浪條件依序模擬高雄二港口區域之波場分佈，成果如下：

圖 3、4 顯示冬季 2 組波浪條件下的海域等波高分佈，圖 3 模擬的入射波高 0.76 m，波向 W，波高分佈顯示波浪由西向往陸地傳遞，波浪通過高雄港洲際貨櫃中心的港廓後於堤後形成波浪遮蔽區，區內波浪靜穩；另外港廓南側到中芸漁港間的波向因折射效應由本來斜向

隨著越近海岸而越正對海岸(即波向與海岸法線間的夾角變小)，再者此組入射波浪較小，整體海域無較大波高，傳遞到-5m 等深線內因淺化導致波高逐漸增大，直到碎波波高才又衰減。圖 4 的入射波向亦為 W，但入射波高(3m)較大，整體海域波高較大，由-10m 等深線位置波高開始淺化增大，至於波浪遮蔽與折射現象大致與同波向的圖 3 接近。

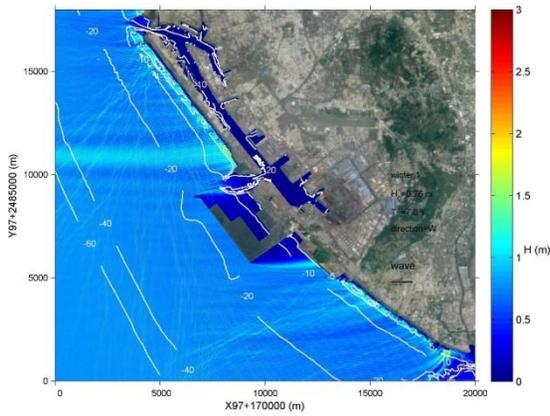


圖 3

圖 5 為夏季入射波高 1.26 m、波向 SW 的海域等波高分佈圖，波浪近乎正向入射，使得港廓西南角後側的波浪遮蔽區較小，波浪淺化碎波主要發生於 -10m 等深線內的近岸水域。

圖 6 至圖 10 為 5 組颱風波浪下的海域等波高分佈圖，波向範圍由 NW 至 SW，其中圖 6 波向 SW 與圖 10 波向 WSW，入射波向大致正對岸線，港廓西南角的堤後無明顯波浪遮蔽區，其中圖 6 波高 5.1m 的入射波浪傳遞到 -40m 等深線位置開始淺化，波高逐漸增高，約到 -10m 等深線位置開始碎波波高才大幅減少。圖 7 波向 NW、圖 8 波向 WNW 與圖 9

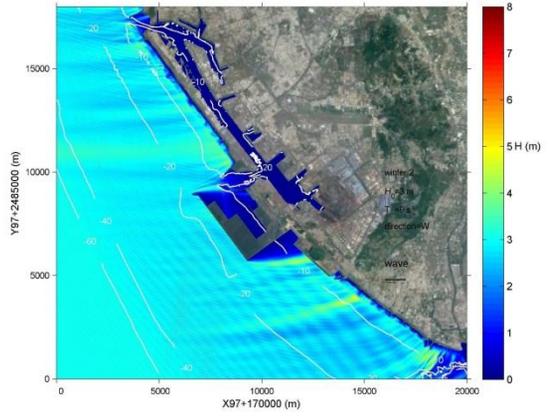


圖 4

波向 W，波浪由海岸法線的北側斜向往陸地傳遞，由於高雄港洲際貨櫃中心的港廓開口正對波向，因此港廓開口水域有較大波高；另外港廓西南角後側有形成明顯的波浪遮蔽區。

綜整波場模擬成果，模式能合理說明不同波向季風與颱風波浪情況下二港口區域之波場分佈，顯示一港口至二港口間 -5m 的等深線內因波浪淺化多在近岸碎波，再者波向 NW、波向 WNW 與波向 W 的颱風波浪因正對高雄港洲際貨櫃中心的港廓開口，因此港廓開口水域有較大波高。



圖 5

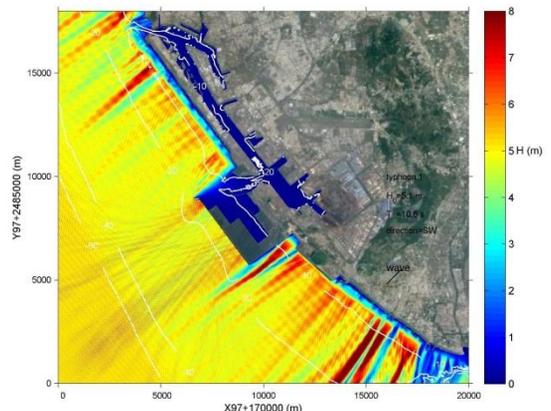


圖 6

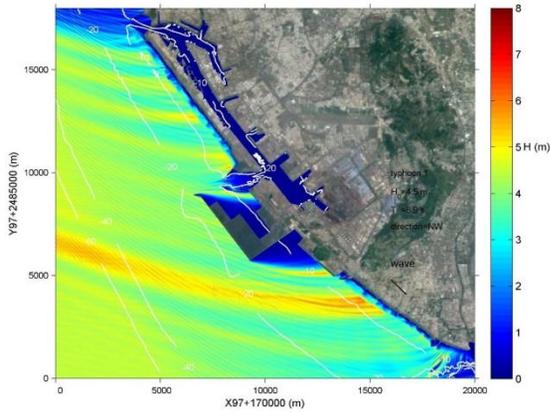


圖 7

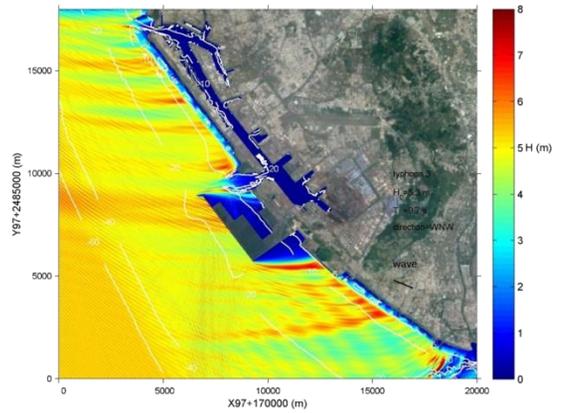


圖 8

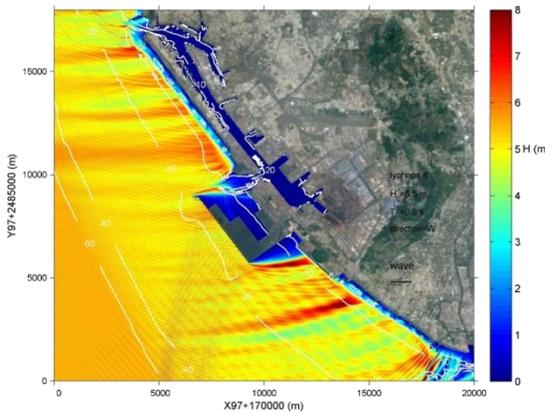


圖 9

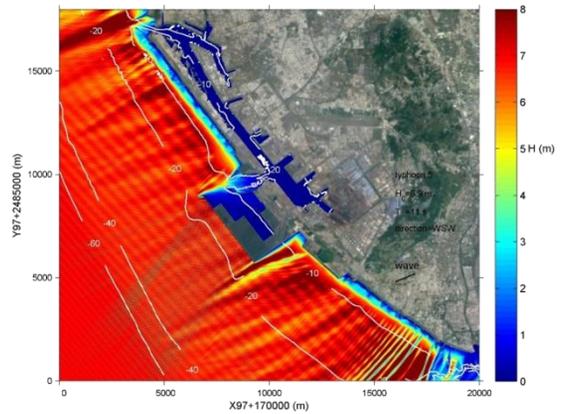


圖 10

六、流場數值模擬成果

6-2 模式的率定與驗證

模式採用 Shallow Water Model (簡稱 SWM) 模式，流場模式率定主要利用現場海流紀錄率定模式參數，使所模擬的潮流流場符合現場狀況。選用成大水工所大南星計畫中，於鳳鼻頭外海之測站(簡稱 FBT2 測站)資料來進行模式率定，該測站水深 20m，儀器為 Nortek_adcp 自記式海流儀，採樣頻率為每 5 分鐘一筆，調查期間為 7 月 23 日~9 月 6 日，記錄如圖 11。由於流場率定需盡可能排除非潮流因子，因此選用非颱風期間(8 月 2 日 8 時至 8 月 18 日 7 時)

的海流資料如圖 12，期間包含大、小潮共 16 天，圖中並繪出高雄港 10 號碼頭與東港兩處潮位站之潮位紀錄，作為模式之左右水位邊界條件。圖 13 為所模擬的水位及東西向、南北向流速，與 FBT2 測站之實測值相符。

利用上述的最佳參數進行模式驗證，再輸入民國 106 年 1 月 1 日至 16 日的高雄港與東港潮位以模擬高雄港的海域流場，並與自計式波流測站位置上的水位及流速實測紀錄相互比較如圖 14 所示，其中沿岸流速稍有偏差，但整體的變動趨勢與實測值相符。

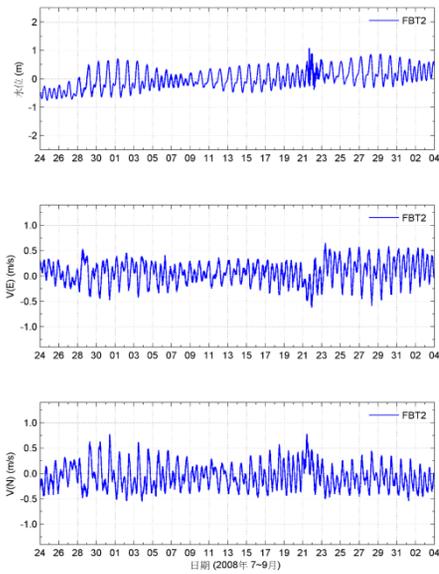


圖 11

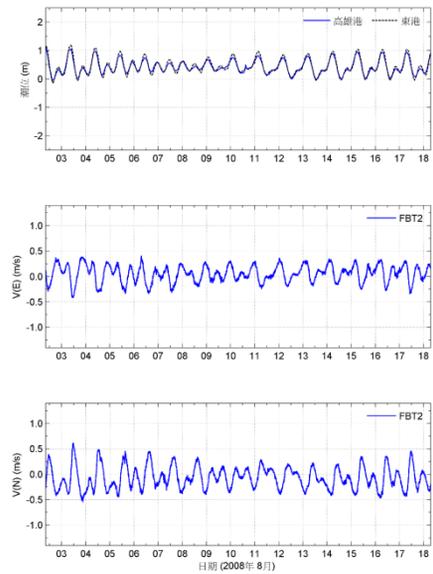


圖 12

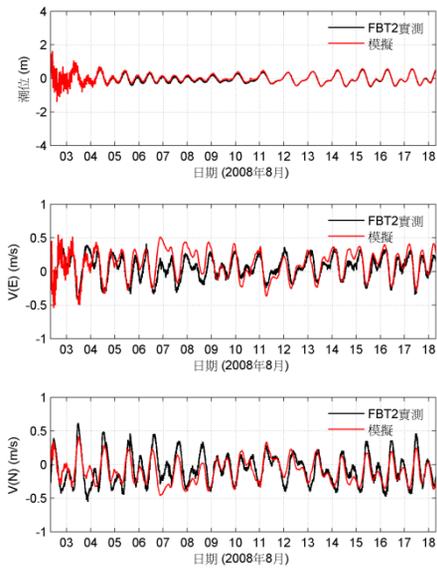


圖 13

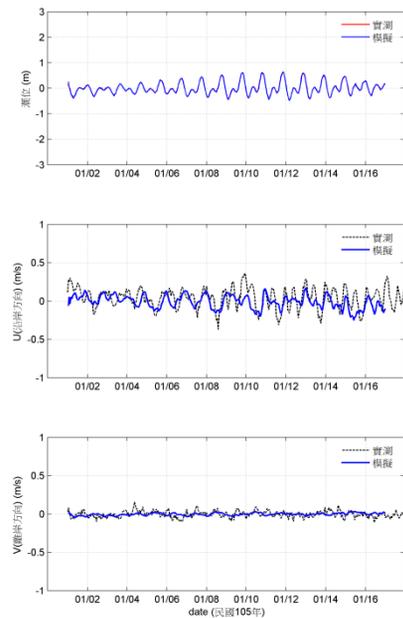


圖 14

除上述的定點流速比較，再以流場圖說明漲潮、退潮時的流場方向：圖 15 為所模擬的漲潮流場圖，圖 16 為退潮時，兩者顯示潮流流向大致平行海岸線，流向介於西北西及東南東，退潮往西北、漲潮往東南，而且一港口與二港口的港

嘴流場呈現退潮往外、漲潮往內，與環境之水動力特性一致。

綜合上述單點流速與流場驗證，確認數值模式能合理重現海域內之海潮流特性。

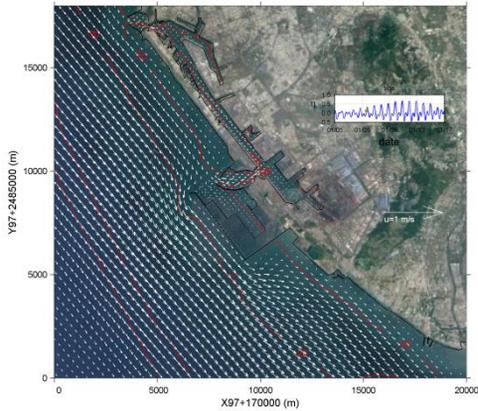


圖 15

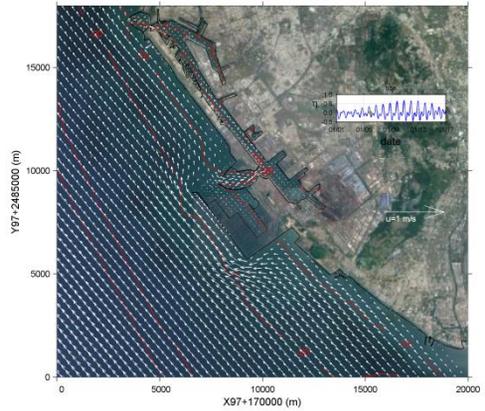


圖 16

6.2 高雄二港口區域之流場分析

依據8組波浪條件依序模擬高雄二港口區域之流場分佈，由於模式內水動力項有考慮波浪輻射應力，因此能模擬潮流漲退與波浪形成的近岸流場，成果如下：

圖 17、18 分別為模擬冬季入射波高 0.76 m，波向 W 條件下的漲、退潮流場：首先兩者的外海流況與純潮流的模擬結

果一致：即外海流向平行海岸線，退潮往西北、漲潮往東南。至於近岸水域由於此冬季波浪由海岸法線的北側斜向往陸地傳遞，因此碎波後形成沿岸東南向的近岸流場，部分形成離岸流或受結構物形成環流；較深水域則受外圍潮流影響，如同向流速相加、反向速度互抵甚至轉向形成環流。

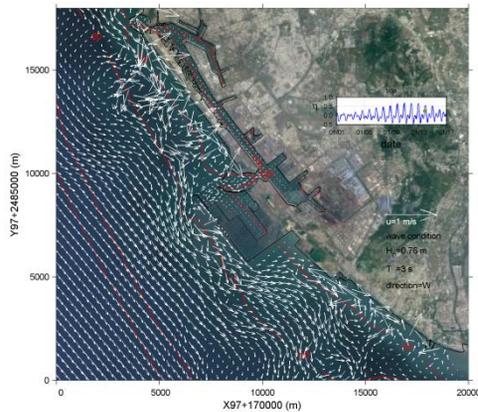


圖 17

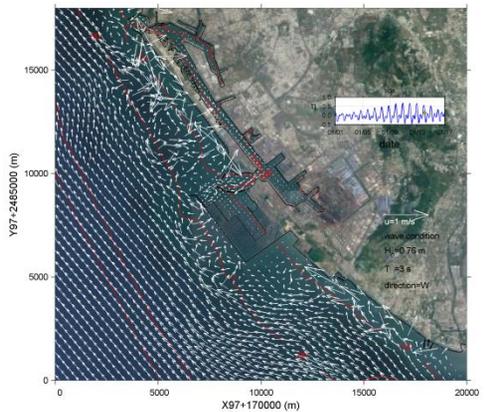


圖 18

圖 19、20 分別為模擬冬季入射波高 3 m，波向 W 條件下的漲、退潮流場，外海與港嘴部分的流場均與環境之水動力特性一致。由於波高較大，波浪在近岸-10m 水深與港廓附近形成強勁的近岸流場。圖 21、22 分別為模擬夏季入射

波高 1.26 m，波向 SW 條件下的漲、退潮流場，外海、港嘴位置的流場均與環境之水動力特性一致。此夏季波浪由海岸法線的南側夾角往陸地傳遞，碎波後形成西北向沿岸流：此西北向沿岸流在漲潮時因受到東南向潮流互抵而不明顯，

僅在二港口北防坡堤與中芸漁港有較強流速；另外因潮流與波浪近岸流互制，在港廓與較深水域有形成逆時向環流。反之，退潮時有同向的西北向潮流，兩者速度向量相加，因此沿岸與港廓沿岸流有明顯的西北向流動。圖 23 為模擬颱風入射波高 5.1 m，波向 SW 條件下的流場，此波浪由海岸法線的南側夾 5° 角往陸地傳遞，碎波後形成西北向沿岸流，再者，與外海的潮流流速比較，颱風波浪使得 -20m 水深內與港廓附近有強勁的近岸流場。圖 24 為模擬颱風入射波高 4.5 m，波向 NW 條件下流場，此波浪由海岸法線的北側呈大角度往陸地傳遞，碎波後形成強勁的東南向沿岸流，此現象在一港口至二港口間、鳳鼻頭漁港至中芸漁港極為明顯。另外，港廓西南角後側波浪遮蔽區內的流速不大，但高雄港洲際貨櫃中心的港廓開口正對波向，因此港廓開口水域有較大波高，同時也使得該處有較大流速，同樣的流況亦顯示於波向正對港廓開口的模擬情況有波向 WNW(如圖 25)、與波向 W(如圖 26)。

圖 27 模擬颱風入射波高 6.9 m，波向 WSW 條件下的流場，此波浪由海岸

法線的北側小角度往陸地傳遞，略正對岸線，碎波後形成東南向沿岸流，以一港口至二港口間、鳳鼻頭漁港致中芸漁港較為明顯。由於波向未正對港廓開口，所以開口水域流速不大。另外入射波高較大，波浪多在更深水域碎波，因此在 -20m 等深線的深水側形成波浪近岸流且與潮流作用形成環流。

綜整流場模擬成果，模式能合理說明在潮流與不同波向季風與颱風波浪情況下二港口區域之流場分佈，成果除顯示外海、港嘴位置的流場隨漲、退潮的變化均與環境之水動力特性一致，再者颱風波浪在近岸與港廓堤前形成強勁的沿岸流場。

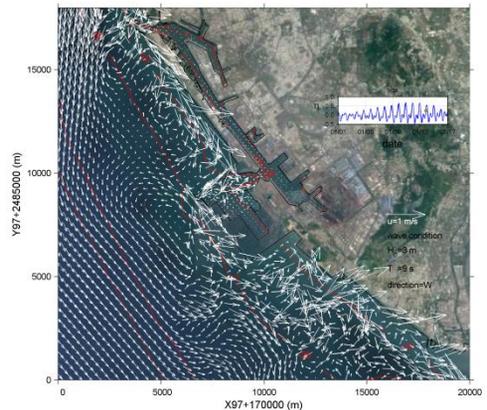


圖 19

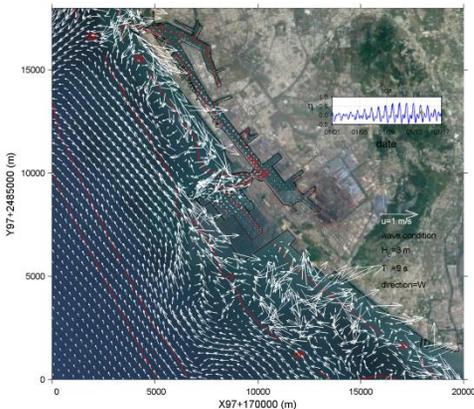


圖 20

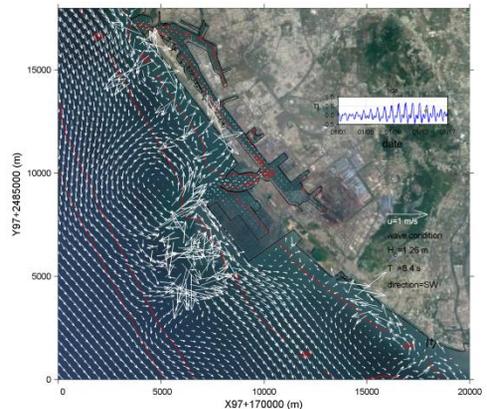


圖 21

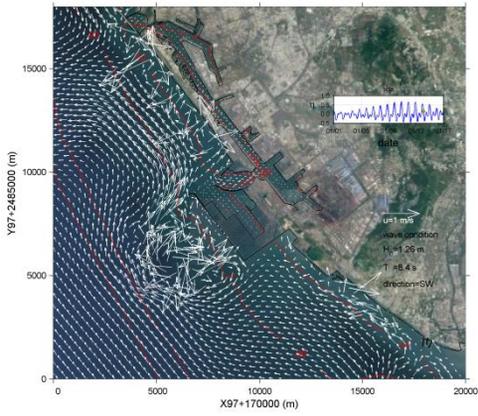


圖 22

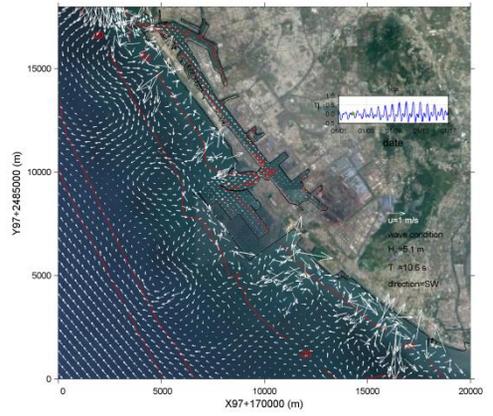


圖 23

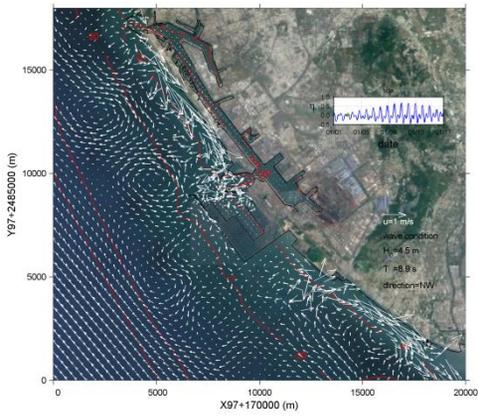


圖 24

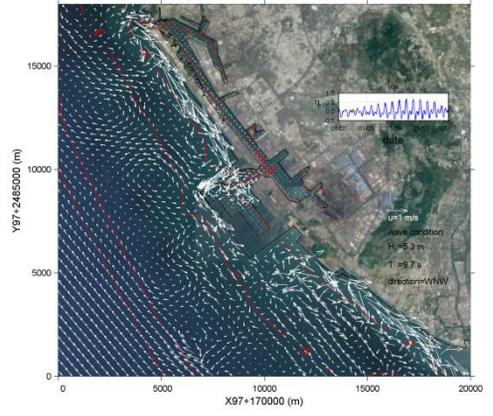


圖 25

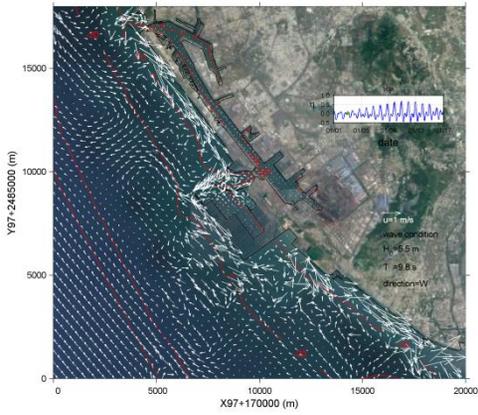


圖 26

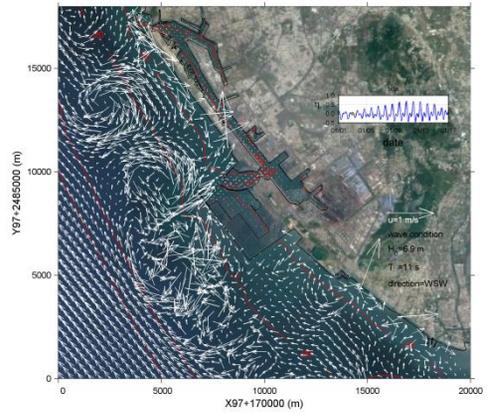


圖 27

七、地形變遷數值模擬成果

7-1 模式的率定與驗證

模式內的地形變化模式，此模式結合前述的波、流場模式已多次應用於模擬台灣近岸海域之波流場與海岸地形變化，圖 28、29 為模擬淡水河口民國 97

年夏季至冬季經過颱風作用後的地形侵淤趨勢，比較結果顯示模式所得之侵淤趨勢與淡水河口的實際變化吻合，確認模式通過率定與驗證。

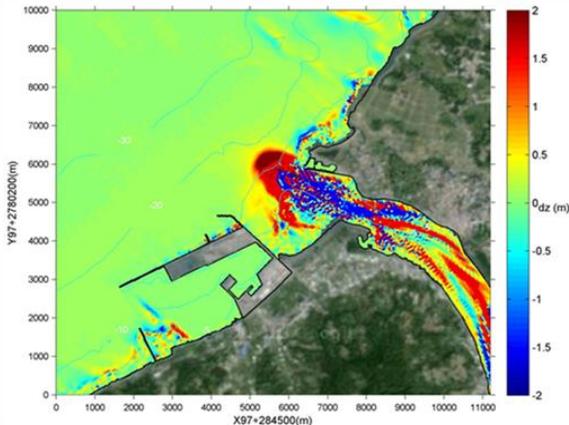


圖 28

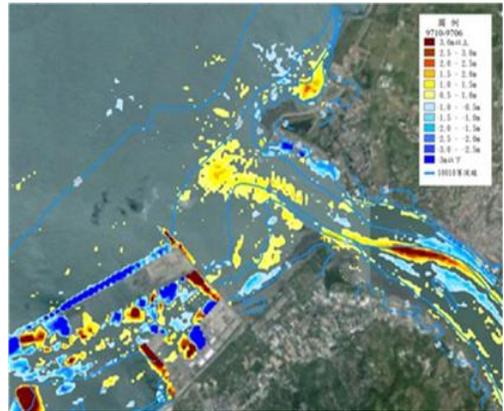


圖 29

7-2 高雄二港口區域之地形變遷分析

依據 8 組波浪條件(前述表 2)依序定性分析高雄二港口區域之地形侵淤趨勢，成果如下：

圖 30 模擬冬季入射波高 0.76 m，波向 W 作用 16 天的地形等侵淤圖，以侵淤互現為主，主要發生於沿岸-5m 水深內。而中洲污水處理廠以南的侵蝕較為明顯、二港口附近未見明顯的地形變化，直到鳳鼻頭漁港以南才發生明顯的侵淤互現。

圖 31 模擬冬季入射波高 3 m，波向 W 作用 16 天的地形等侵淤圖，由於波高較大，整體的侵淤幅度與範圍加大。其中一港口至中洲污水處理廠海岸的侵蝕明顯，所捲起的底床質隨沿岸流往東南向漂移，被二港口北防波堤攔阻以致

該處淤砂，部分甚至繞過堤頭進入二港口港嘴。另外，高雄港洲際貨櫃中心的港廓也被波浪冲刷造成侵淤互現，而港廓南端的地形變化：波浪遮蔽區內無地形變化，遮蔽區外往南延伸到中芸漁港則有明顯的侵淤趨勢。

圖 32 模擬夏季入射波高 1.26 m，波向 SW 作用 16 天的地形等侵淤圖，以侵淤互現為主，主要發生於沿岸-5m 水深內。由於波浪近乎正向入射，使得大林電廠排水口海岸不再於波浪遮蔽區內，因此略有侵淤變化。

圖 33 模擬颱風入射波高 5.1 m，波向 SW 作用 1 天的地形等侵淤圖，此波向與上述夏季波向相同，但波高大因此造成整體的侵淤幅度與範圍加大，範圍由灘線到越過-10m 水深線位置。二港口

港嘴與高雄港洲際貨櫃中心的港廓有微幅的侵淤互現。

圖 34 模擬颱風入射波高 7.5 m，波向 NW，圖 35 模擬颱風入射波高 5.3 m，波向 WNW，圖 36 模擬颱風入射波高 5.5 m，波向 W，此 3 組波向略正對高雄港洲際貨櫃中心的港廓開口。結果顯示颱風波浪造成一港口至二港口，及遮蔽區外的鳳鼻頭漁港到中芸漁港有明顯的侵淤趨勢。再者，由於港廓開口水域有較大波高與較大流速，因此開口內沿二港口南防波堤南側有略明顯的侵淤變化，而二港口港嘴航道內也有微幅的侵淤互現。至於高雄港洲際貨櫃中心的港廓防

波堤在此波向作用下，亦會發生侵淤變化，雖然幅度比灘線到-10m 水深的侵淤幅度小，但堤前的侵淤範圍會隨著波高增加而加廣。

圖 37 模擬颱風入射波高 6.9 m，波向 WSW 作用 1 天的地形等侵淤圖，此波浪由海岸法線的北側小角度往陸地傳遞，略正對岸線，且波高大，提早在深水區碎波，因此在-20m 水深線位置到灘線間海域造成明顯的侵淤變化。

綜整模擬成果，模式能合理說明在不同波向季風與颱風波浪情況下二港口區域之地形變遷趨勢。



圖 30

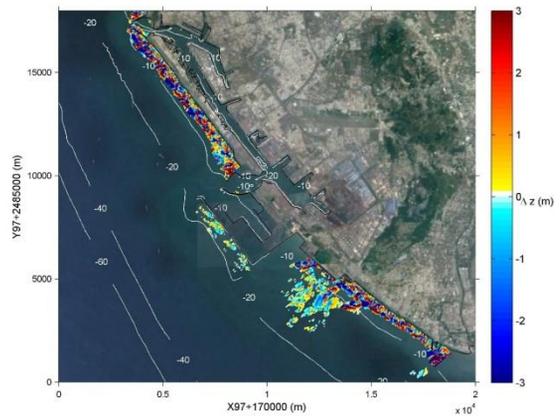


圖 31

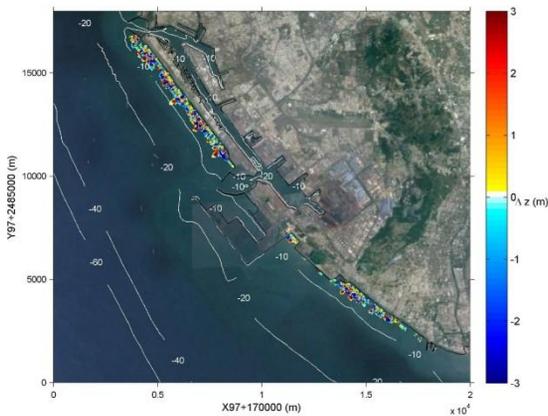


圖 32

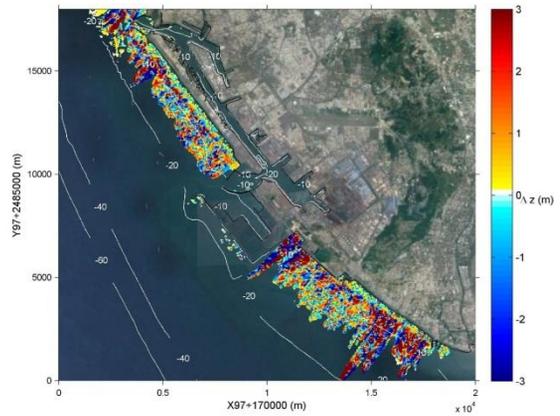


圖 33

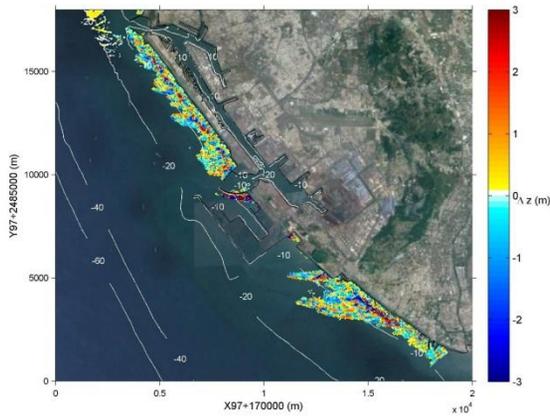


圖 34

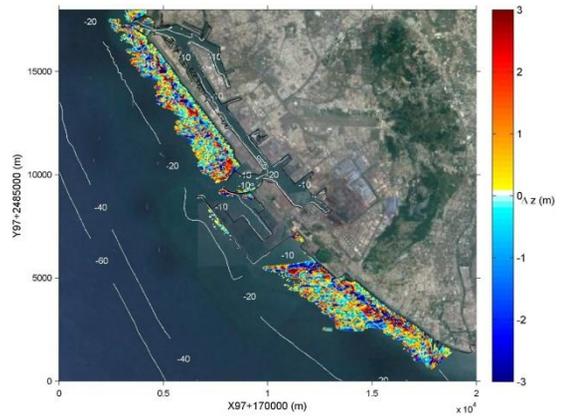


圖 35

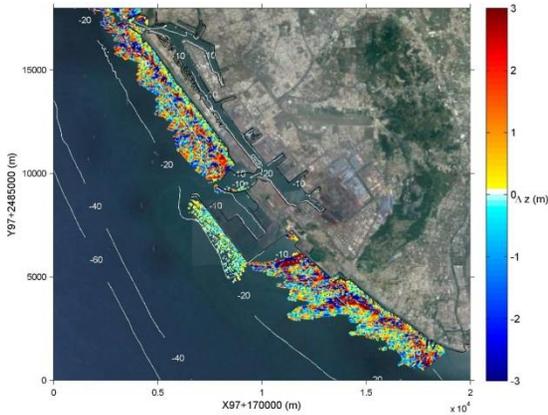


圖 36

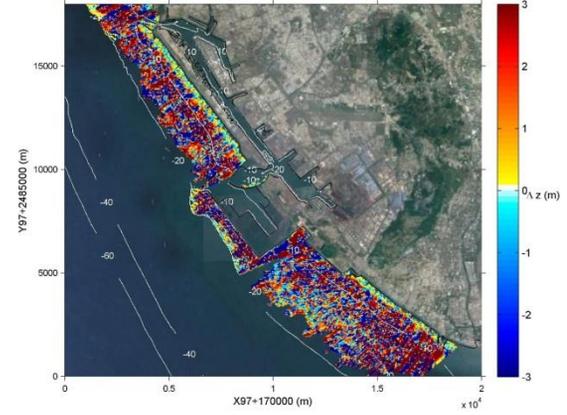


圖 37

八、結論

1. 綜整波場模擬成果，模式能合理說明不同波向季風與颱風波浪情況下二港口區域之波場分佈，顯示一港口至二港口內因波浪淺化，-5m 的等深線多在近岸碎波，而波向 NW、波向 WNW 與波向 W 的颱風波浪方向剛好正對高雄港洲際貨櫃中心之港廓開口，造成其開口水域有較大波高之發生。
2. 綜整流場模擬成果，模式能合理說明

在潮流與不同波向季風與颱風波浪情況下二港口區域之流場分佈，成果漲退潮的變化均與環境之水動力特性一致，而颱風波浪在近岸與港廓堤前形成強勁的沿岸流場。

3. 綜整模擬成果，模式能合理說明在不同波向季風與颱風波浪情況下二港口區域之地形變遷趨勢。

參考文獻

1. 莊士巧、曾若玄，高雄港流場與海水交換之數值模擬研究，國立中山大學海洋資源研究所，2002。
2. 劉勁成、張憲國、何良勝、林受勳，高雄港潮流特性分析及其數值模擬，第 30 屆海洋工程研討會論文集，2008。
3. Bin Li，An evolution equation for water waves，Coastal Engineering Elsevier Journal，1994。
4. Berkhoff，Computation of combined refraction-diffraction. In: Proc. 13th Coastal Eng. Conf，1972。
5. 劉景毅、洪逸銘、黃煌輝，布袋外海波浪聚焦現象之探討，海洋數值模式研討會，2001。
6. 陳桂清、柯正龍、羅建明，港灣與濱海地區構造物現況調查與維護之研究，交通部運輸研究所，2014。
7. Cheng Min-Yuan and Wu Yu-Wei, "Multi-Agent-Based Data Exchange Platform for Bridge Disaster Prevention – A Case Study in Taiwan ", Natural Hazards, Vol. 69(1), pp. 311-326, SCI, 2013