

臺北港航安航路分析之研究

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

本研究針對大型貨櫃船航行於臺北港的航路進行分析，同時討論進港停泊的航行安全。模式採用近期臺北港的 3D 港模與地形進行繪製，船模為大型貨櫃船及拖船等，並計算船舶與波浪耦合交互作用，分析船舶於港內航行所產生的波動狀態。模擬的案例可分為三種型態(1)貨櫃船進港動態模擬分析(2)拖船協助貨櫃船於港內靠泊(3)風波流對大型船舶在航行進港的影響。本文的船舶航跡係依照實際船舶進港航行的路徑設置，以符合船舶實際航行於臺北港的狀態，俾利正確評估港內以及船席區的水面變化。研究顯示超大型貨櫃船(23,000TEU)在退潮進港停泊有擱淺風險，建議港內航道深度要浚深至-17 公尺，才能確保大型船舶航行至臺北港停泊。

當大型貨櫃船在不同海氣象(風、波、流)作用下進入臺北港停泊，需要了解不同海氣象條件下對船舶操縱的影響。這些模擬的資訊可以提供臺灣港務公司或相關公共工程機構參考。本研究先蒐集臺北港近岸海域海流與風的歷史數據，資料來自於交通部運輸研究所港灣技術研究中心(以下稱港研中心)的測量數據。為了清楚了解大型船舶進港遭遇風波流的影響引起船位偏移，進而可能危及航行安全，本研究根據船舶航路規劃進行各種情境分析，主要為夏季與冬季漲退潮海氣象情境進行動態模擬，船舶進港後由拖船協助停泊，了解大型船舶進出港口時遇到的各種海氣象情況可能帶來的風險。

一、前言

臺北港貨櫃儲運中心與集散雜貨儲運中心陸續營運後，因應航商需求，有超過 10,000 TEU 級以上之大型貨櫃船及大型散貨船到港。航商在成本與效率考量下，船舶大型化的趨勢更加明顯，本研究針對以 10,000TEU、20,000TEU、23,000TEU 的貨櫃船在風浪作用下產生的交互作用，進行航行安全分析與評估，以及船舶於臺北港航行與風浪產生的交互作用進行水動力模擬。因臺北港在天候惡劣時，風與浪耦合交互作用對船舶進出港之航行安全有相當大的影響，尤其大型貨櫃船受風面積大，在強風的作用下足以影響船舶操縱，為了評估船舶進出港遭遇風浪的情況，應用 3D 船舶水動力模式，使用數值模擬分析大型船舶於臺北港海域之航行，以利了解航行安全。本研究首先蒐集近年臺北港海域之海氣象、包含波浪、風力與潮流。並進行海陸地形製作，彙整統計港研中心的海氣象量測資料，應用電腦數值模擬的技術，同時探討臺北港冬季東北季風浪、夏季盛行西南季風浪作用下，船舶進出臺北港的數值模擬。本研究分別考慮冬季與夏季海氣象狀況，船舶於冬季期間航行入港，在東北季風浪作用下，考慮的海流狀況由東北往西南流。夏季盛行西南風浪，故考慮潮流向以西南往東北流做為夏季操船航行入港的影響。彙整臺北港海域的風浪流特性，依據資料設定為不同的邊界條件進行數值模擬，透過數值模擬船舶於航道航行遭遇不同風浪的交互作用。同時將模擬結

果製作成 3D 動畫，以利了解在何種海氣象情況下，船舶航行入港要特別注意船舶操縱，以確保航行安全。本研究藉由模擬分析結果，建議航行的航速與航路規劃，以確保航行安全。提供臺北港海事從業人員以及港務單位之參酌。

二、研究方法

船舶航行為六軸自由度的運動，包含船模相對於質心產生分別為縱移、側移、起伏及橫搖、縱搖、平擺，以上為移動與轉動耦合的六個自由度 (6 Degrees of freedom, 6DOF) 運動。其中起伏、橫搖、縱搖因受回復力和回復力矩影響為振盪運動，而縱移、橫移、平擺因無回復力和回復力矩影響，故為非振盪運動。本模擬主要解船舶耦合運動方程，採用二個直角座標系統來描述，即船體座標系 (body system) 與數值航道座標系 (space system)，或稱 Body-Fixed 與 Earth-Fixed，以下定義船舶為船體座標系。船舶在波浪中的耦合運動，實為一非常複雜的問題，文獻上船舶水動力研究有實驗(Cho and Lee 2004)、理論解析(Amrimin et al. 2004; Havelock 1908; Salvensen et al. 1970; Fang et al. 2015)、數值分析(Campana et al. 2006; Cho et al. 2001)可參考。

本研究應用船舶水動力模式模擬船舶航行臺北港的航安分析，模式考慮船舶航行引發興波效應之反射折射與繞射等現象的探討，風波流交互作用下對船舶航行安全的影響。海流流速與流向變化會隨著潮汐的變化而改變，船舶行進入口的橫流效應，尤其以退潮情況對船舶操縱進港影響大，操船者稍有不慎，足以影響航行安全。船舶進港後，船舶航行產生的興波作用與岸壁形成交互作用，也須加以考慮。船舶進港後以拖船協助停泊，本模式採用 2 種航行路徑 A、B，船舶依照指定的路徑進行操船試

驗，2 種路徑進港後搭配拖船的拖帶，協助貨櫃船安全停泊。試驗針對 3 種貨櫃輪為 10,000TEU、20,000TEU、23,000TEU 進行操船試驗，以利了解航行是否安全無虞，尤其是超大型貨櫃船應謹慎操船，確保航行安全。

2.1、港域與船舶 3D 建模

船舶航行於臺北港 3D 模擬演算，透過電腦輔助製圖建模能力，製作一體成形的船體與臺北港模型，本次單位設定為公尺，放入 Real Flow 演算軟體內進行海流、風力、與船速做混合搭配運算，計算船舶在海上航行受到風波流的交互作用，要注意模型不能有破面，以防物體表面會進水，將無法獲得正確實驗，以下則是本次實驗製作方式。

1. 臺北港模型

透過對臺北港外輪廓的描繪進行多線段掃描，由於製作後也會形成四方面型，無法進入 Real Flow，故必須再度使用上述之方法將臺北港模型轉換成全三角面型且一體成型，到這裡已經完成全部實驗所需要的模型，如圖 1 為臺北港 3D 模型建製。

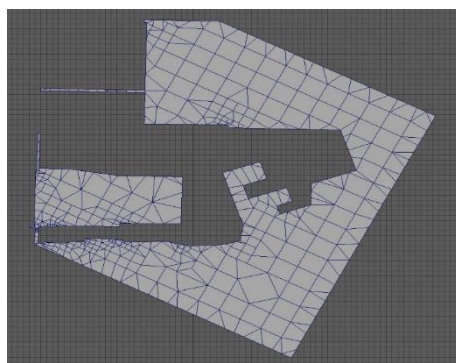


圖 1 臺北港 3D 模型建製

2. 船體建模

本次實驗透過三維軟體製作，製作大型船體，進行一體成型的 3D 船模，在進行船舶航行動態模擬演算時，必須

透過模型轉換功能將其轉換成三角面型，方可進入 Real Flow 軟體進行模擬。最後成製作好的全三角面一體成形的模型船體。

經由電腦輔助製圖，本研究完成船舶的 3D 模型建製，如圖 2 為船舶之噸位 10,000TEU、20,000TEU、23,000TEU 的貨櫃船模型，船模模型與港模模型建製完成後匯入 Real Flow 軟體，依照船舶航行路徑設定，同時模式給定風浪條件下，配合漲退潮的時變性潮汐水位進行 3D 水動力模擬。

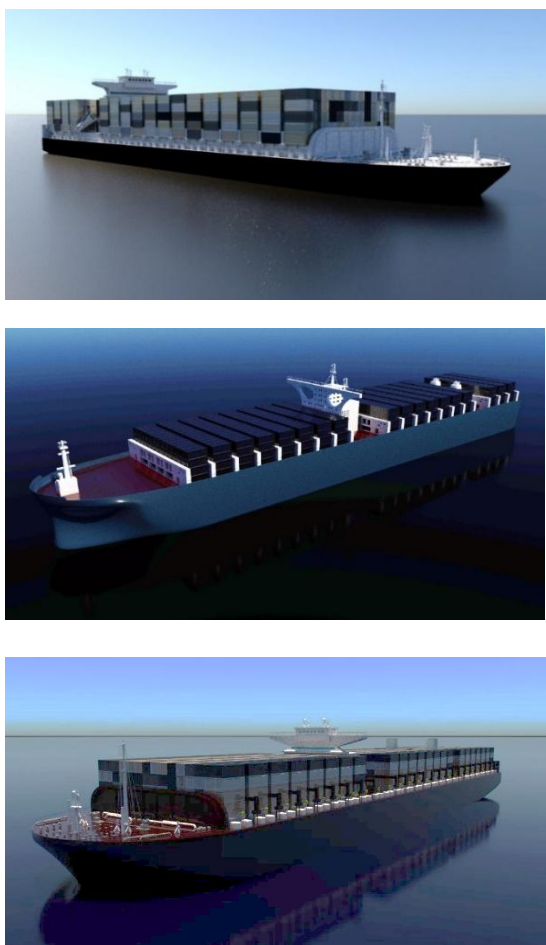


圖 2 貨櫃船 10,000TEU、20,000TEU、23,000TEU 之 3D 建模

2.2、貨櫃船航路模擬情境規劃

貨櫃船航路的情境模擬需要搭配不同的海象因素，模式採用的海氣象條件下分述如下：

1.風力與風向：

依據歷年的海氣象分析(2017 年 1 月 1 日至 2019 年 12 月 31 日)的統計資料分析，本區歷年冬、夏季風力統計，風力在 7 級(13.9~17.1m/s)以上分別有 3.7%、1.9%之機率出現，由於本研究係以 3 種噸位貨櫃輪(10,000TEU、20,000TEU、23,000TEU)為試驗本船，考量大型船舶受風面大，尤其是 23,000TEU 的超大型貨櫃船，風力及風向將影響進港船舶之操航作業，且未來臺北港既定拖船配置是否足以因應強風作業之需求仍有疑慮。本研究參考港研中心風力觀測成果，冬季擬將採較嚴苛之 7 級風為配置風力，以東北(NE)向為主；夏季以 7 級風為配置風力，進港船艏順風之西南(WS)向為風向條件。惟在試驗前，參與試驗引水人表示，依長期在臺北港帶船之經驗，夏季風力超過 7 級風之機率反較冬季為高，基於操船安全考量，建議夏季先以 7 級風進行試驗。本研究的航路分析的風力條件設定為 15.0 m/s 與 20 m/s，因船舶進港的海氣象條件皆有不同，本研究模擬的案例設定為 18 例，為了縮減模擬的案例，貨櫃輪 10,000TEU 採用風力 20 m/s，另外 20,000TEU 與 23,000TEU 採用 15 m/s 的風力條件來進行操船測試。依照夏季 WS 風向與冬季 NE 風向條件設定，以模擬實際強陣風力對船舶之作用之真時狀況。

2.潮位：

依目前港區佈置海流數值模擬結果，潮位採用港研中心觀測資料，冬季選擇以漲潮流為主，進行漲潮的航路模擬；夏季選擇以退潮流為主進行退潮的航路模擬。因為風與流同向疊加效應大對操船影響甚鉅，風以來向來表示反之

流以去向表示，故北風南流與南風北流皆是同一流向，本研究採用以上的模擬條件因冬季北風南流(漲潮)、夏季南風北流(退潮)對操船航路航行安全影響較大，故模擬以冬季選擇以漲潮流與夏季選擇退潮流來當作主要模擬的條件。

3.海流:

本研究潮流之建置係數值模擬計算成果，於夏季 7 級強風作用下並考量波浪作用，在漲潮情況下位於航道開口處最大流速約為 0.62 m/s，發生於最低潮後約 1.2 小時；最大退潮流速約 0.58m/s，發生於最高潮後約 1.2 小時。在冬季 7 級強風作用下並考量波浪作用，位於航道開口處之最大漲潮流速為 0.9 m/s，最大退潮流為 0.5 m/s。經研析對本計畫較嚴苛之夏與冬季流場資料輸入至操船模式，此乃配合夏季與冬季相同風向及 7 級風力下產生之較嚴苛之潮流圖。由潮流圖可知漲潮時外海海流由東北向西南流，並於防波堤堤頭內側形成一朝向海岸並垂直主航道之橫流；退潮時外海海流由西南流向東北流，並於防波堤堤頭內側形成一朝向外海並垂直主航道之橫流。

4.波浪條件:

波高採用 3.6 m，係依據夏季與冬季 7 級風力導入模式產生之數值，波向則依風向導入所產生之方向。為了測試不同航行路徑對航行安全的影響，本模式設定 2 種路徑進行航行安全的評估，如圖 3 為船舶航行入臺北港預定試驗的路徑，表 1 為臺北港操航試驗預定試驗條件的組合。試驗的海氣象情境為四種模式，分別為 1a 為夏季風速 7 級風，風向-WS，退潮流場；1b 為夏季風速 7 級風，風向- NE，漲潮流場；2a 為冬季風速 7 級風，風向- WS，退潮流場；2b 為冬季風速 7 級風，風向-NE，漲潮流場。測試以自然條件 1a 與 2b 試驗為主，主因夏季西南季風的風向與退潮北流，風向與流向一致，對操船而言較有風險。

同理，冬季東北季風的風向與漲潮南流，風向與流向一致，對操船而言較有風險。

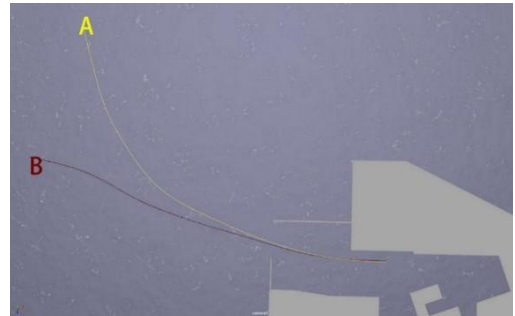


圖 3 船舶航行入臺北港預定試驗路徑(A、B)

表 1 臺北港操航試驗預定試驗條件組

船型	Case	航行路徑 設定	自然條件	載重	是否安全行駛 至港內
10,000TEU 貨櫃船	1	A	條件 1a	滿載	是
	2	A	條件 1b	滿載	是
20,000TEU 貨櫃船	3	B	條件 1a	滿載	是
	4	B	條件 1b	滿載	是
	5	A	條件 2b	滿載	是
	6	B	條件 2b	滿載	是
23,000TEU 貨櫃船	7	A	條件 1a	滿載	否(網淺)
	8	B	條件 1a	滿載	否(網淺)
	9	A	條件 2b	滿載	是
	10	B	條件 2b	滿載	是
	11	A	條件 1b	滿載	是
	12	A	條件 2a	滿載	否(網淺)
	13	A	條件 1a	半載	是
	14	B	條件 1a	半載	是
	15	A	條件 2b	半載	是
	16	B	條件 2b	半載	是
	17	A	條件 1b	半載	是
	18	A	條件 2a	半載	是

註：1a：夏季風速七級風，風向-WS，退潮流場。

1b：夏季風速七級風，風向-NE，漲潮流場。

2a：冬季風速七級風，風向-WS，退潮流場。

2b：冬季風速七級風，風向-NE，漲潮流場。

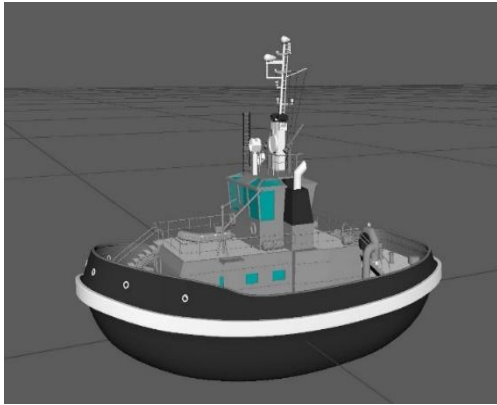


圖 4 拖船 3D 建模

三、研究成果

船舶航行於臺北港的情境分析先將模型匯入 Real Flow 軟體進行演算，圖 5 至圖 10 為臺北港匯入 Real Flow 軟體，進行港內比例規劃與航行模擬，透過船的節數來設定船速，進而模擬船舶與海流碰撞、波浪與風力的交互作用，依照實際數據，未被海流包覆區域則不列入計算區域。

臺北港港外計算範圍，一樣利用 Real Flow 數值模式軟體進行網格計算，並將船舶依照規劃的航路進行模擬計算，設定船速在港外為 10 m/s，貨櫃船行駛到防波堤區域降速，對風力設定也設定為均速 15 m/s(20,000 TEU 與 23,000 TEU 的貨櫃船)與 20 m/s(10,000 TEU 的貨櫃船)。

本研究模擬的船為 10,000TEU、20,000 TEU 與 23,000 TEU 的貨櫃船，透過電腦輔助製圖進行模型建製，一體成形如圖 2 所示，另外也建製包含本次模擬使用到的拖船(使用的拖船馬力是與臺北港營運處討論後採用)，當船航行至港區由拖船協助拖帶與停泊，如圖 4 所示。

本模擬案例採用 4 艘拖船於船舶進港後，協助船於迴船池進行拖拉迴旋、

調頭、靠泊碼頭的工作，4 艘拖船馬力分別為 6000 匹、5000 匹、4000 匹、3200 匹(使用的拖船馬力是與臺北港營運處討論後採用)。本船 10,000TEU 採用 1 艘 5000 匹與 1 艘 4000 匹的拖船協助；20,000TEU 與 23,000TEU 採用 6000 匹、5000 匹、4000 匹、3200 匹各一艘的拖船協助本船停泊。

航路的模擬總共有 18 個案例，如表 1 所示，經模式測設，計有 15 例成功 3 例失敗。失敗的案例為 23,000TEU 貨櫃輪，在退潮時航行進港後，由拖船協助靠泊時發生船舶擱淺的情況，發生擱淺的地方坐落於船席區的碼頭。在拖船協助本船推頂前進至碼頭靠泊時發生擱淺，相關失敗的案例有 Case 7、Case 8、Case 12，其他案例皆安全停泊至臺北港。

Case 1 與 Case 2 為 10,000TEU 滿載與 A 航路，試驗情境為夏季退潮與夏季漲潮，圖 5 為貨櫃輪(10,000TEU)由外海 A 路徑航行入港模擬(Case 1:夏季退潮)。

Case 3 到 Case 6 為 20,000TEU 滿載，航路分別為 B、B、A、A，海氣象條件分別為 1a、1b、2b、2b，試驗結果皆安全停泊港區。圖 6 為貨櫃輪(20,000TEU)由外海 A 路徑航行入港模擬(Case 5:冬季漲潮)。

Case 7 到 Case 12 為船舶噸位 23,000TEU，船舶裝載滿載的情況，圖 7 為貨櫃輪(23,000TEU)由外海 A 路徑航行入港模擬(Case 13:夏季退潮)。圖 8 表示貨櫃輪(23,000TEU)由外海 B 路徑航行入港模擬(Case 14:夏季退潮)。船舶噸位 23,000TEU 考量 4 種海氣象模式來評估航行安全，但 Case 7、Case 8、Case 12 皆發生船舶擱淺的情況，在船舶靠泊的過程中，於船席區發生擱淺。細看原因皆發生於退潮時低潮的情況。在夏季或冬季漲潮時，不管是在 A 或 B 航路，船舶皆能安全航行停泊於港區。

Case13 到 Case 18 船舶皆設定為半載情況，不管 A 航路或 B 航路或漲潮或退潮，船舶皆能安全停泊於港區。本研究船舶進港過程，包含在迴船池調頭靠岸皆能做動態的模擬，如圖 9 分別為貨櫃輪(20,000TEU)由外海 B 路徑航行至港內，再由拖船協助本船掉頭與拖帶，迴旋停泊靠岸過程(Case 4:夏季漲潮)。圖 10 表示貨櫃輪(23,000TEU) 由外海 A 路徑航行至港內迴旋停泊靠岸過程(Case 11:夏季漲潮)。

由試驗結果建議，超大型貨櫃船進入臺北港停泊，於船舶半載與漲潮情況較佳，未來建議港內進行浚深的工作，確保超大型船舶進入臺北港停泊的安全。

由試驗建議貨櫃輪航行進入臺北港的較佳航路有(a)一般性航路 (b)南風北流 (c)北風南流的建議路徑。臺北港於夏季及冬季受風力以及海潮流影響最大，以下就夏季、冬季將於航行中遭遇之外力條件做較佳航路之說明：

夏季:夏季時盛行西南季風，此時船舶進港時將遇來自西南季風之風力影響，因此船舶在進港時，可將航路靠緊中央分離區，此時若遇漲潮進港，海潮流之推力會將船舶向前推進，船舶應減速並偏向左航行，倘若進港時遭遇到退潮流，海潮流將會阻礙船舶前行，此時船舶進港會較為困難，須加速往港內行駛。

冬季:冬季時盛行東北季風，此時船舶進港時將會遇來自東北季風之風力影響，因此船舶在進港時，可將航路靠進港航路右側，此時若遇漲潮進港，海潮流之推力會將船舶向前推進，船舶應減速並偏向右航行，若為退潮海潮流由港內朝外海流動，此時船舶進港較為困難，須加速往港內行駛。

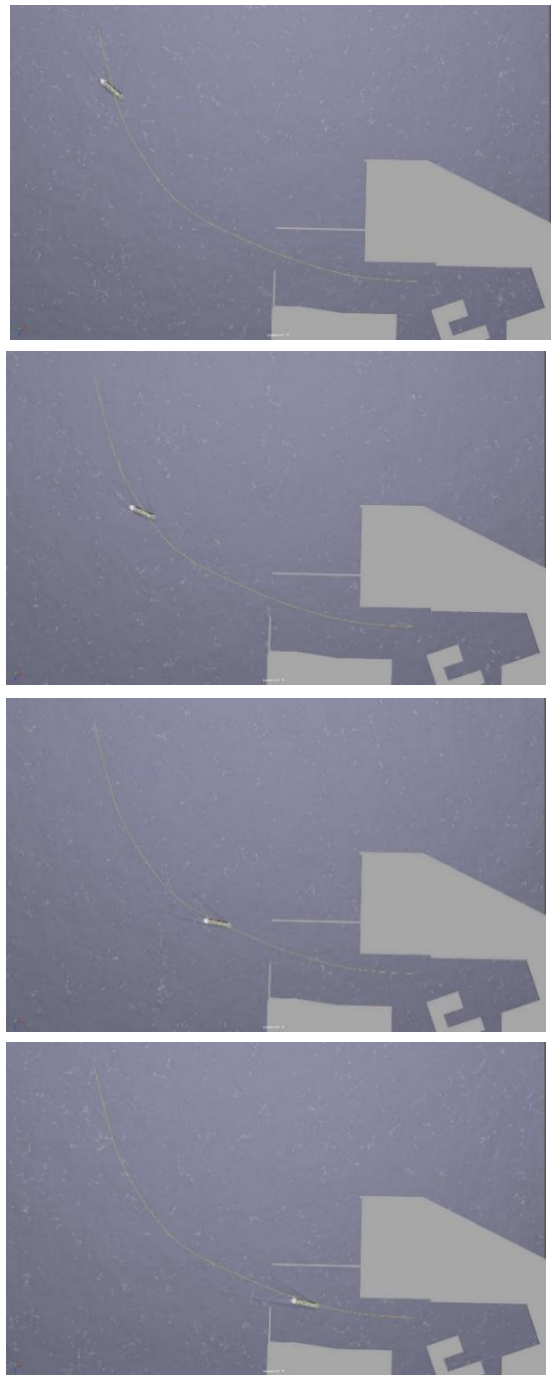


圖 5 貨櫃輪(10,000TEU)由外海 A 路徑航行入港模擬(Case 1：夏季退潮，風速 20 m/s)

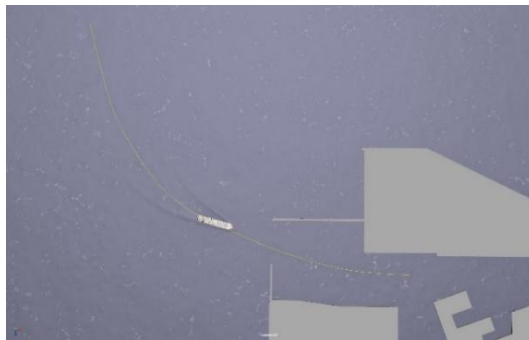
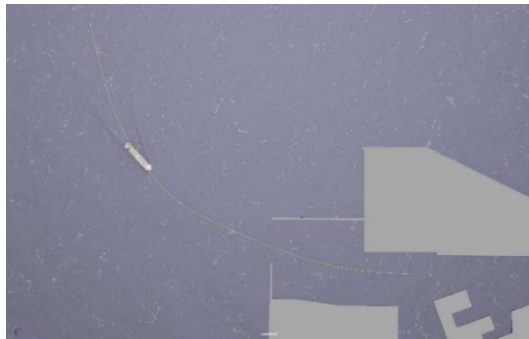
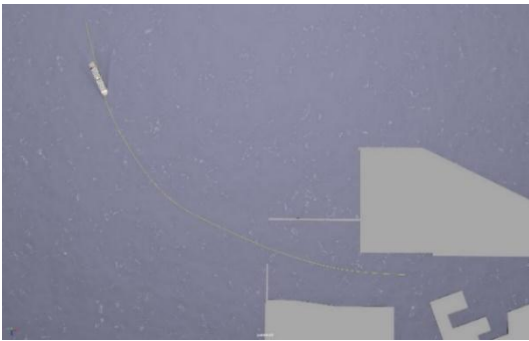


圖 6 貨櫃輪(20,000TEU) 由外海 A 路徑航行入港模擬(Case 5：冬季漲潮，風速 15 m/s)

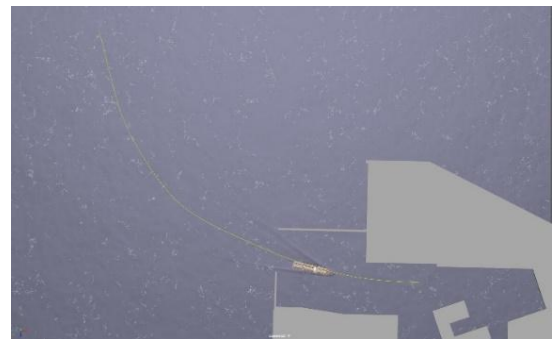
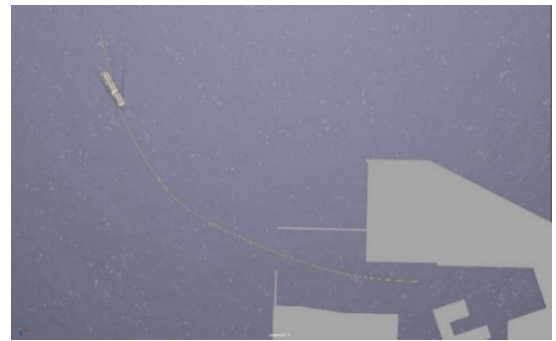


圖 7 貨櫃輪(23,000TEU) 由外海 A 路徑航行入港模擬(Case 13：夏季退潮，風速 15 m/s)

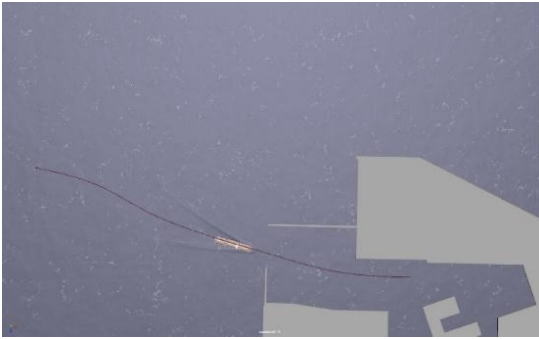
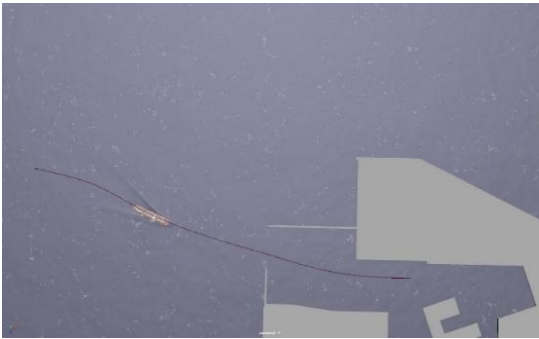
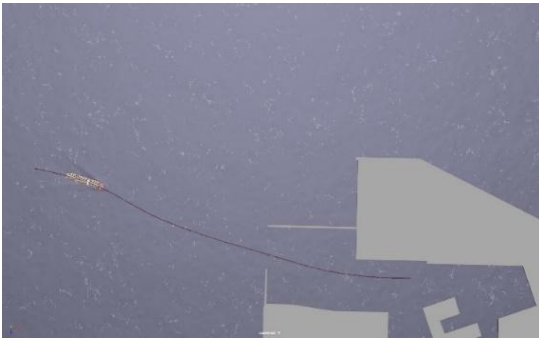


圖 8 貨櫃輪(23,000TEU) 由外海 B 路徑航行入港模擬(Case 14: 夏季退潮, 風速 15 m/s)

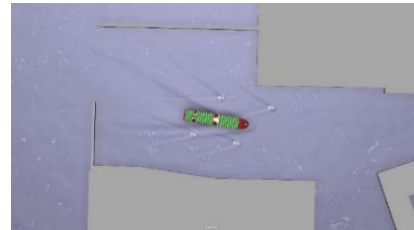


圖 9 貨櫃輪(20,000TEU) 由外海 B 路徑航行至港內迴旋停泊靠岸過程(Case 4: 夏季漲潮, 風速 15 m/s)

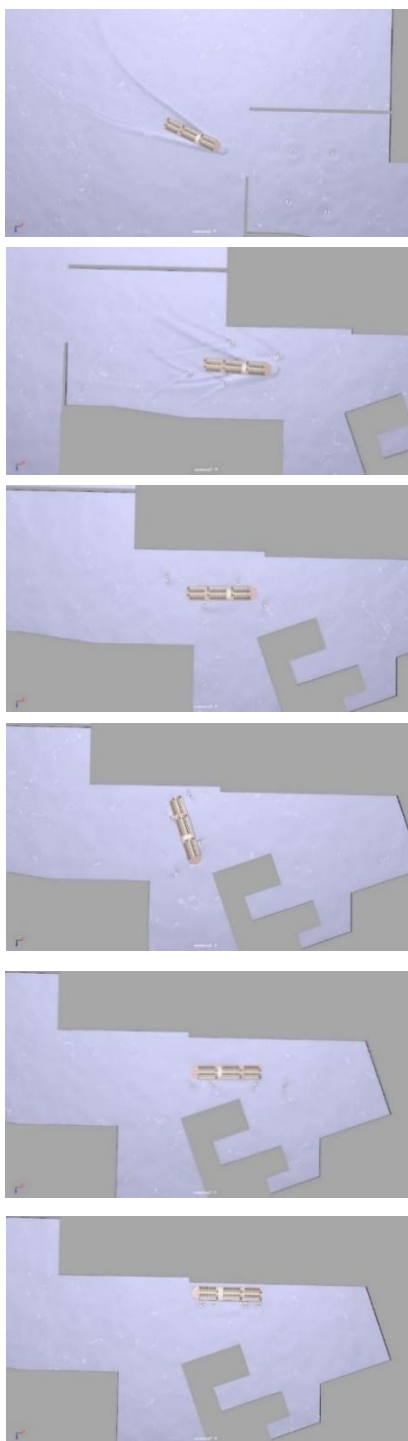


圖 10 貨櫃輪(23,000TEU) 由外海 A 路徑航行至港內迴旋停泊靠岸過程(Case 11：夏季漲潮，風速 15 m/s)

四、結論

本研究依據實際比例尺建製臺北港 3D 港灣地形模型、3D 貨櫃船模型包含 3 種船型(10,000TEU、20,000TEU 與 2,3000TEU)及拖船的建製。應用臺北港海氣象統計資料，根據冬季、夏季風浪與颱風浪的條件，模擬航路航安模擬分析顯示：

1. 航路的模擬共有 18 個案，經過測設後有 15 例成功 3 例失敗。失敗的案例為 23,000TEU 的貨櫃輪在退潮時航行進港後，由拖船協助靠泊時發生船舶擱淺的情況，坐落於船席區的碼頭。
2. 經由 18 案例的航行測試，模擬 3 種船型的貨櫃船 10,000TEU、20,000TEU 及 23,000TEU 從外海進泊之操航安全，拖船出力與協助模式。當退潮時不論在冬季與夏季，貨櫃船 23,000TEU 滿載時於港內皆發生船舶擱淺的情形，建議於港內進行浚深工作，以確保超大型貨櫃船進港停泊的安全。
3. 臺北港因應未來的擴港需求，建議針對擴港後的臺北港進行操船試驗，以確保船舶於臺北港域航行與裝卸貨的安全。尤其是超大型的貨櫃船舶(20,000TEU 以上)在海氣象欠佳的情況下，考慮風波流包含漲退潮的情況下進一步進行航行的情境模擬分析。

五、參考文獻

1. Amrimin E., Kovinskaya S. and Mizine I. (2004), Quasi-Linear Theory of Waves and Ship Wave Resistance in restricted Waves, Ocean Engineering, Vol. 31, pp. 1231-1244.
2. Campana E.F., Peri D., Tahara Y. and Stern F.(2006), Shape Optimization in Ship Hydrodynamics using

Computational Fluid Dynamics, Computer Methods in Apply Mechanics and Engineering, Vol. 196, pp. 634-651.

3. Cho Y.S., Yoo S. B, Lee J.I. and Yoon, T.H. (2001), A Concept of Beach Protection with Submerged Breakwaters, Journal of Coastal Research, Vol. 34, pp. 671-678.
4. Cho Y.-S. and Lee, J. (2004), Experimental Study of Strong Reflection of Regular Water Waves over Submerged Breakwaters in Tandem, Ocean Engineering, Vol. 31, pp. 1325-1335.
5. 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.
6. Havelock T.H. (1908), The Propagation of Groups of Waves in Dispersive Media, With Application to Waves on Water Produced by a Travelling Distance, Proc. R. Soc. London, Ser. A, Vol. 81, pp. 398-430.
7. Salvensen N., Tuck E. O. and Faltinsen, O. (1970), Ship Motions and Sea Loads, SNAME.