

臺中港擴建方案規則波與不規則波 漂沙試驗之差異研究

陳智恆¹ 李俊穎² 蔡立宏³

¹交通部運輸研究所港灣技術研究中心助理研究員

²交通部運輸研究所港灣技術研究中心科長

³交通部運輸研究所港灣技術研究中心主任

摘要

臺中港務分公司為配合政府能源政策，預計辦理臺中港外廓堤擴建遠程規劃方案。本研究依現場地形及外廓堤尺寸，建置水平比尺為 1/300、垂直比尺為 1/75 之臺中港水工模型，依夏季、颱風及冬季之順序施加相對應之不規則波浪，模擬外廓堤整個港區受不規則波浪作用下港區地形的變化趨勢，藉以分析各港區土方變化量與漂沙行為，並與前人所做之規則波漂沙試驗比較。結果顯示，若僅考慮波浪作用，臺中港北防波堤以北區地形主要呈現沖蝕現象、南北外廓堤內外區域則需視波浪型態而定、南外廓堤以南之地形變化較小。另比較規則波沖蝕量與不規則波沖蝕量，港區地形經過 1 年時間尺度，規則波的沖蝕量約為不規則波的 1.2~3.95 倍，經過 3 年時間尺度，兩者比值為 2.57~8.17，顯見規則波之沖蝕能力確實高於不規則波，加上時間累積不同方向波浪之加乘作用，將進一步加劇其對地形之影響。

一、前言

21 世紀是能源發展及應用的重要時代，天然能源匱乏的臺灣除了由國外進口能源，政府更為了因應未來世界淨零碳排趨勢，多方面發展新興能源，其中風力發電更是尤以為甚；臺中港因距離離岸風場最近，且位於臺灣海峽南北航線匯合處，適合做為未來台中火力發電廠天然氣發電、台灣中油股份有限公司天然氣裝卸碼頭，以及提供風力發電工作船停靠之重要港口。為配合能源政策提供合適港域，臺中港務分公司辦理臺中港外廓堤擴建工程之遠程規劃，其中外廓堤興建後地形侵淤變化，將對未來船舶航行路線及港區營運產生一定影響。

臺中港外廓堤擴建工程在考量港區靜穩度與白海豚生態保育前提之下，其規劃方案暫為南內外廓堤及南內堤延伸 775 公尺、北外廓堤及北內堤各延伸 1,250 公尺、550 公尺 (如圖 1)。交通部運輸研究所港灣技術研究中心(以下簡稱港研中心)依前述方案建置水平比尺為 1/300、垂直比尺為 1/75 之水工模型，進行「規則波」動床水工模型漂沙試驗 (林等，2022)。然而自然界中波浪多以不規則波型態存在，故本研究沿用相同模型，以較貼近自然狀態之「不規則波」進行水工模型動床試驗，推估臺中港擴建外廓堤後，受不規則波浪作用下(未包含飛沙及海流等效應)

港區地形的變化趨勢，並進行兩種波浪型態造成之土方沖淤量差異分析，以利相關單位進行後續港區規劃應用。



(來源:110 年度臺中港外廓防波堤保育對策堤型方案可行性、具體化方案暨數值模擬分析委託技術服務成果報告)

圖 1 臺中港外廓堤配置圖

二、水工模型漂沙試驗說明

一般而言，現地海岸漂沙行為具較高複雜度，尚需輔以水工模型試驗加以佐證；藉由相似定律(依現場尺度、水理運動及動力特性)建立模型，即可於試驗過程中直接觀察實際發生之物理現象，做為規劃設計之參考依據。本試驗於港研中心第二試驗廠棚平面水槽中進行，平面水槽長、寬分別為 56.5 公尺、53 公尺，深度為 1 公尺，水工模型配置、造波條件及試驗步驟等內容分述如下：

2.1 水工模型配置

2.1.1 模型比尺與波浪條件

根據幾何相似定律觀點，臺中港長約 12 公里，寬大約 4 公里，考量水池大小、造波條件及邊壁反射效應影響，試驗與原型水平比尺採用 $\lambda=1/300$ 已能將臺中港長縮小為 40 公尺；另為避免垂直方向水深不足，致無法造波，垂直比尺則採用 $\mu=1/75$ ，不等比率為 4 倍範圍之內(參考經濟部水利署水利規劃試驗所之研究，歪比率宜小於 6)。

有關波高與週期比尺方面，根據港研中心過往進行臺灣西部海岸之水工模型試驗之經驗，應用歐、許(1985)之模式可獲致較佳之試驗結果。

$$N_H = \mu^{2/5} \lambda^{4/15} N_r N_{D50}^{1/3} \quad (1)$$

$$N_T = \mu^{1/5} \lambda^{2/15} N_r^{1/2} N_{D50}^{1/6} = N_H^{1/2} \quad (2)$$

$$N_t = \lambda / (\mu)^{1/2} \quad (3)$$

式中 N_H 為波高比尺、 N_T 為波浪週期比尺、 N_t 為潮汐比尺、 μ 為垂直比尺、 λ 為水平比尺、 N_r 為底質比重比尺、 N_{D50} 為底沙之中值粒徑比尺。

將上述水平比尺(1/300)、垂直比尺(1/75)、 D_{50} 中值粒徑 0.2 公厘 與 r 底質比重 2.65 等參數，代入上述比尺公式，可得本試驗波高比尺(N_H)為 1/25.74、週期(N_T)為 1/5.07、潮汐比尺 $N_t=1/34.6$ ，本試驗底質比重比尺(N_r)及底沙之中值粒徑比尺(N_{D50})則皆為 1。

本試驗採不規則波造波，並沿用林等(2022)之規則波試驗之季風示性波浪條件，其中示性波高 H_s 、示性週期 T_s 係參採過往研究資料(蘇等，2020 及本所港灣海氣象觀測資料統計年報，2014)；受限造波機功能，颱風波浪僅選擇 5 年以下重現期之颱風波浪資料。比尺換算彙整如表 1。試驗造波機使用 JONSWAP 造波理論波譜，其理論方程式以波高與週期表示之係數 γ 值表示波譜能量之集中度，本試驗取其平均值 3.3(一般為 1 至 7)。惟造波機需輸入條件主要為尖峰週期(T_p)及示性波高(H_s)，又 Goda 研究指出 $T_p=T_s/0.93$ ，故冬季季風、颱風及夏季季風波浪之尖峰週期(T_p)經換算後依序為 1.591 秒、1.806 秒及 1.376 秒。

表 1 臺中港漂沙試驗規則波及不規則波造波條件

物理量比尺		類別		現場	試驗
水平比尺	1/300				
垂直比尺	1/75	潮位	季風	+4.61 m(平均高潮位)~ +0.89 m(平均低潮位)	+6.15 ~ +1.19 cm
			颱風	+6.00 m(最高潮位)~ +2.76 m(最低潮位)	+8.00 ~ +3.68 cm
波高比尺	1/25.74	夏季		0.87 m	3.38 cm
		颱風		4.19 m	13.50 cm
		冬季		2.15 m	8.35 cm
週期比尺	1/5.07	夏季		6.5 sec	1.28 sec
		颱風		8.5 sec	1.68 sec
		冬季		7.5 sec	1.48 sec
潮汐	1/34.6	半日潮		12 hr	20.8 min

*沿用(蘇等，2020)

2.1.2 模型配置與儀器設備簡介

經評估港研中心第二試驗廠棚水槽尺寸及相關比尺條件後，參照現場防波堤現況建置模型，並依實際地形高程分層鋪砂；另佈放造波機、波高計等相關試驗設備，試驗配置如圖 2 及圖 3 所示，各儀器設備說明簡述如下：

造波設備：為英國 HR Walingford 及加拿大 Davis 所製造之規則與不規則長波峰造波機(Long Crested Wavemakers)兩套，每套造波機皆有 4 組(6 公尺 x 0.8 公尺)往復平推式造波板模組；軟體內有建大量的波譜形式，如 JONSWAP、Pierson-Moskowitz、...及 SIWEH 波群模擬等。

波高量測儀器及資料擷取系統：本試驗配置20支電容量式波高計，其分佈如圖2所示，量測精準度為 $\pm 0.3\%$ ，透過電容式電路感應金屬桿與測線間因水位變化導致的浸水面積變化，換成電壓的起伏，該類比訊號經適當之放大及轉換後，轉換為數位訊號輸入電腦存檔並進行資料判別與處理；另為確保試驗的正確性，每支波高計均事先經過校正，確保實際水位變化與量測值成線性關係。

地形測量儀器：採用三維光達雷射掃描儀(以下簡稱光達儀)針對試驗地形進行全面測量，詳述如2.3小節。

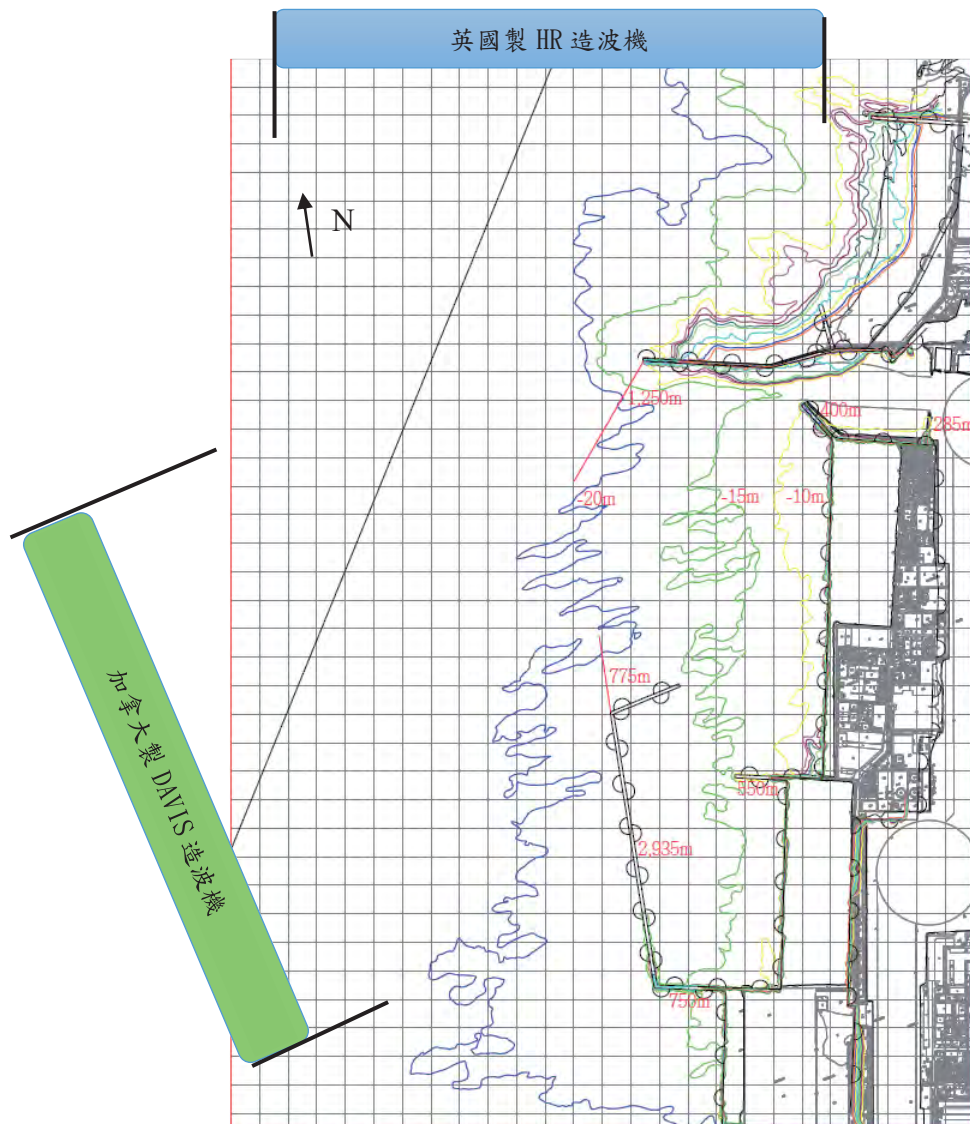


圖 2 試驗配置圖(○符號內數字 1~16 為日本製 KENEK 容量式波高計、◎符號內 A~D 為英國製 HR 波高計、▲符號為挪威製 NORTEK 流速計)(沿用林等，2022 配置)



圖 3 本試驗水工模型圖

2.2 漂沙試驗執行程序

進行正式試驗前，需先辦理預備試驗，以既有波浪與地形資料逐步測試，求得各波浪條件可重現現場地形之最適時間；衛、洪等(107,108)彙整臺中港歷年冬、夏季及颱風波浪作用方向，並進行預備試驗得出進行冬季期間之冬季季風波浪 8 小時試驗、進行夏季期間之夏季季風波浪 6 小時試驗、颱風則為半小時，可重現各階段波浪作用之地形。本研究沿用林等(2022)試驗步驟，依下列程序執行正式試驗：

- (1)夏季季風波浪造波方向西(W)方向，採大潮平均高潮位做為季節波浪試驗水深 41.36cm，依預備試驗重現週期需造波時間 6 小時(按照現場實際狀況模擬，先進行夏季季風造波 3 小時後停止，再進行颱風波浪造波 30 分鐘，接著繼續夏季季風造波 3 小時結束)。
- (2)冬季季風波浪造波方向北北東(NNE)方向，採大潮平均高潮位做為季節波浪試驗水深 41.36cm，依預備試驗重現週期需造波時間 8 小時。
- (3)颱風波浪造波方向北北東(NNE)方向，使用 5 年迴歸期暴潮水位做為颱風波浪試驗水深 42.59cm，依預備試驗重現週期需造波時間 30 分鐘。
- (4)造波程序完成後，利用光達儀量測試驗地形數據，即完成一個年度之模擬。

試驗重複上述步驟，可模擬不規則波作用於臺中港外廓堤完成後，經 1、3 年後之地形變化，後續再應用數值地形軟體進行土方沖淤量分析。

2.3 地形測量

本研究地形測量使用奧地利製 RIEGL VZ400i 型三維地面雷射掃描儀器，搭配 Nikon D850 數位相機 4,570 萬畫素，掃描速度每秒達 500,000 點，掃描方式為縱向掃描，水平視角 360 度，垂直視角 100 度，單點平均精度 3 公厘。掃描前須依地形變化，於測區佈設 17 個反光規標建立

控制點，以利後續全區陸域地形掃描作業。其測繪範圍與作業流程如圖 4、光達儀掃描作業如圖 5 所示。

漂沙試驗完成之地形，經光達儀掃描完畢，可快速取得結構物三維點雲資料；配合專用的後處理軟體，參考控制點的坐標進行坐標轉換，即可得地形的絕對坐標數值矩陣以建立數值地形(DEM)，甚至亦能利用此數值地形繪製等深線或輸出圖檔，進行各種加值應用。本試驗光達掃描作業成果如圖 6 及圖 7 所示(以臺中港外廓堤初始地形配置(2017)，經不規則波波浪作用 1 年後的數值地形為例)。

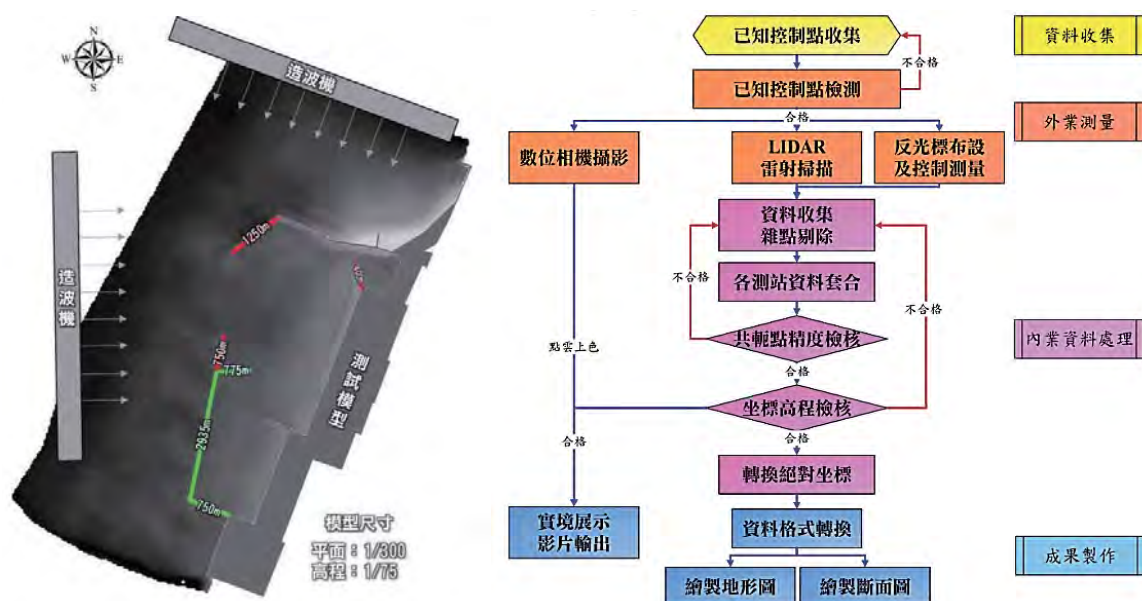


圖 4 地形測量範圍及測量作業流程示意圖



圖 5 光達儀掃描工作照片

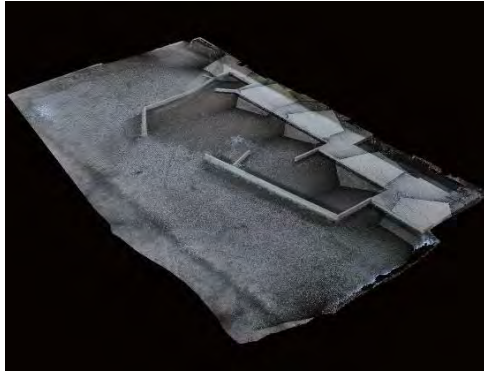


圖 6 光達儀掃描成果(黑白)

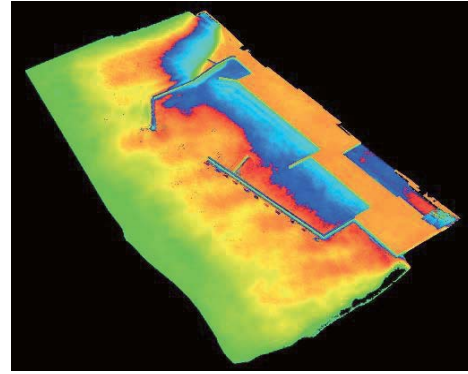


圖 7 光達儀掃描成果(彩色)

三、漂沙試驗結果與討論

本研究依第二節所述比例建立模型，並根據 2017 年現場地形資料鋪設港區海床，做為初始地形配置，再施以臺中港冬季、夏季及颱風之不規則波，模擬此外廓堤地形配置下，遭受前開波浪條件作用經過 1 年、2 年，及 3 年之地形變化；波浪作用完畢後立即對作用完成之地形進行測量工作，測量日期與所對應之地形配置，如下表 2 所示。

表 2 不規則波漂沙試驗各測次地形對照表

測次	測量日期	地形配置
1	2022/6/24	初始地形配置
2	2022/7/20	外廓堤增建經不規則波作用 1 年地形
3	2022/7/26	外廓堤增建經不規則波作用 2 年地形
4	2022/8/2	外廓堤增建經不規則波作用 3 年地形

為利於分析，本節參照林等(2022)研究，將臺中港水工模型由北至南分為 3 區(A 區為臺中港北防波堤以北，B 區為南北外廓堤內外區域，C 區則為南外廓堤以南)，探討各區整體地形變化情形；另為進一步評估各區土方變化量，再將各區細分為 A1、A2、B1~B5、C 等小區，如下圖 8。而考量試驗邊界效應影響，北防沙堤至定沙突堤間土方變化不列入計算。

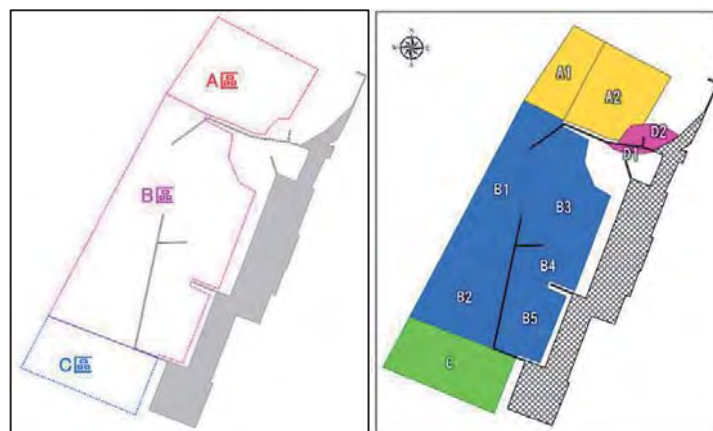


圖 8 港區模型分區示意圖

3.1 不規則波漂沙試驗地形成果

將上述表 2 之測量成果，繪製等高線地形圖(如圖 9 至圖 12)。整體而言，初始地形之各區域沙漣曲折明顯，經不規則波波浪作用 1 年可觀察 0、-5、-10、-15 及-20 公尺之等深線略有呈現平滑之現象；經過 2 年，地形持續變化；經過 3 年，整體地形樣貌在該波浪反覆作用下已接近平衡，並有淤積之趨勢，惟部分構造物周邊有漩渦現象致該處產生掏刷。

由圖 9 至圖 12 可發現，A 區北防沙堤至北防波堤處，海床高程範圍較廣，深度約 5 至-25 不等。於不規則波作用 1 年後，可發現此區-15 及-20 公尺等深線略有向岸邊退縮現象，經過 3 年後未見等深線往離岸變動情形，初判此區在接近外海及防波堤周邊海岸地形有局部侵蝕現象。

B 區北防波堤堤身北側，其地形經不規則波作用 1 年後，生成明顯之冲刷坑；經過 3 年後，則逐漸趨向動態平衡，該處地形高程仍維持在-22 至-25 公尺間。B 區南外廓堤西側處，經不規則波浪作用，原地形呈現逐年淤積之情形，該處等深線為-15 至-22 公尺間。B 區港內因受堤體阻擋而產生遮蔽效應，降低港內波浪能量，導致該處泥沙堆積情形明顯，高程約為-8 至-18 公尺。

C 區南外廓堤南側經不規則波作用 1 年後之冲淤現象不明顯，直至 3 年後才可見淤積趨勢；高程範圍為-14 至-25 公尺。

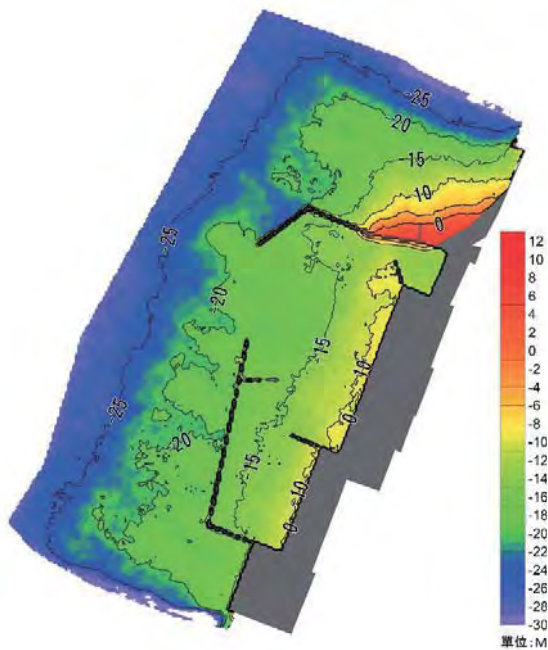


圖 9 初始地形

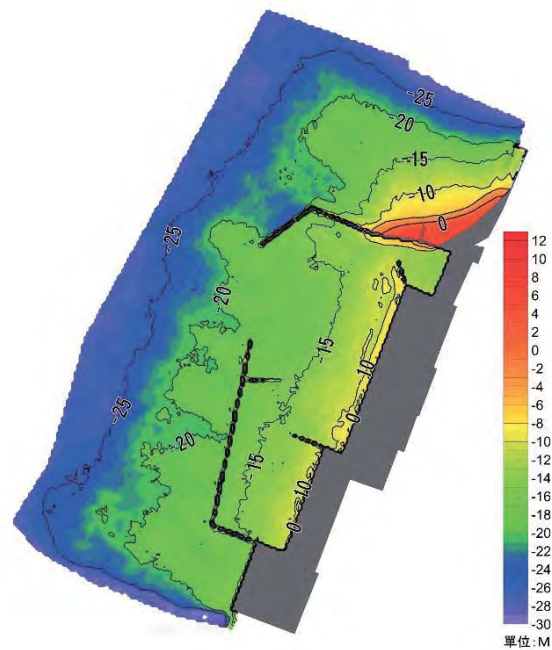


圖 10 不規則波作用 1 年後之地形

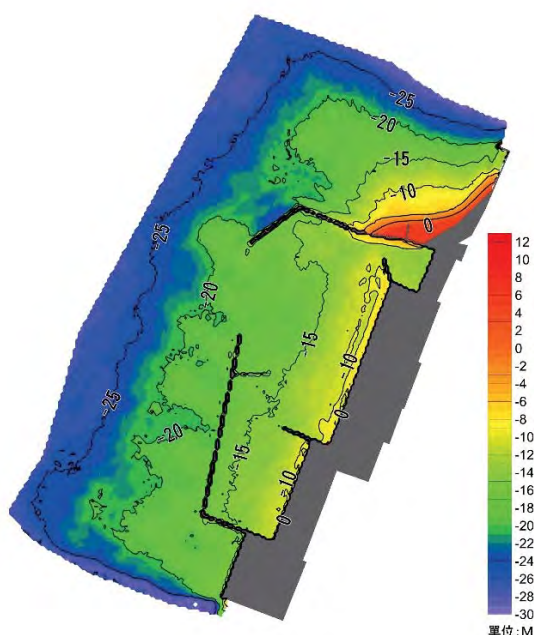


圖 11 不規則波作用 2 年後之地形

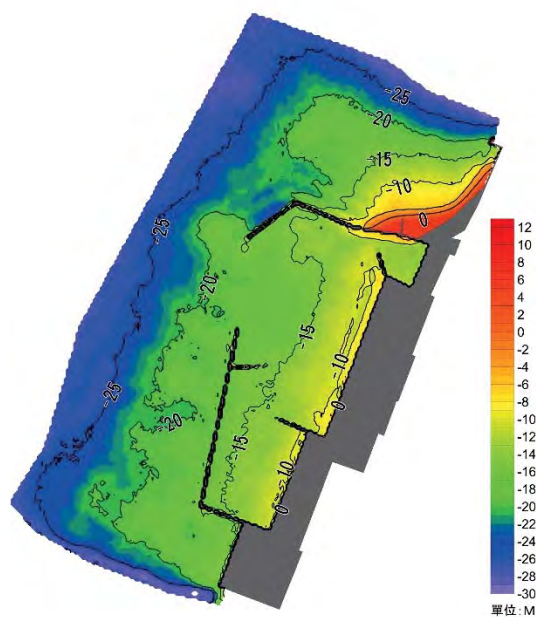


圖 12 不規則波作用 3 年後之地形

3.2 不規則波與規則波港區土方變化量分析

本研究將每次地形測量成果配合 Golden Software Surfer 軟體，以克利金(Kriging)法進行數值計算建立地形，將模型依水平縮尺 1/300 及垂直縮尺 1/75 比例放大後，分別計算各測次地形之三維座標，再接續求得每年土方侵淤變化量。本小節以 2017 年地形做為初始地形，分析比較其經不規則波與規則波(林等，2022)作用 1、3 年後之土方變化量。各區及細部分區土方沖淤量，換算成現場土方量如表 3 及 4，不規則波及規則波之初始地形經 1、3 年之變化色階圖則分別呈現於圖 13 至圖 16。

表 3 各區土方沖蝕量及淤積量計算表 (單位：萬立方公尺)

狀態	區域	不規則波			規則波		
		淤積量	沖蝕量	合計	淤積量	沖蝕量	合計
初始地形~經波浪作用 1 年後	A	168.17	-225.03	-56.87	308.26	-517.77	-209.51
	B	343.29	-306.58	36.71	426.59	-837.10	-410.51
	C	65.76	-95.36	-29.60	105.53	-115.05	-9.53
初始地形~經波浪作用 3 年後	A	233.53	-312.85	-79.32	291.96	-902.30	-610.34
	B	822.64	-160.44	662.20	708.69	-997.04	-288.34
	C	165.65	-62.69	102.96	197.44	-239.97	-42.54

表 4 細部分區土方沖蝕量及淤積量計算表 (單位：萬立方公尺)

狀態	區域	不規則波			規則波			沖蝕量比值=規則波沖蝕量/不規則波沖蝕量
		淤積量	沖蝕量	合計	淤積量	沖蝕量	合計	
初始地形~經波浪作用1年後之地形	A1	66.59	-60.16	6.43	65.96	-162.17	-96.21	2.70
	A2	101.58	-164.88	-63.30	242.31	-355.60	-113.30	2.16
	B1	125.04	-101.78	23.26	139.66	-401.70	-262.04	3.95
	B2	78.02	-97.50	-18.57	101.76	-208.46	-106.70	2.14
	B3	78.92	-80.61	-2.59	73.28	-165.54	-92.26	2.05
	B4	22.77	-11.60	11.16	26.25	-33.09	-6.84	2.85
	B5	38.68	-15.23	23.45	85.86	-28.53	57.32	1.87
	C	65.76	-95.36	-29.60	105.53	-115.05	-9.53	1.21
初始地形~經波浪作用3年後之地形	A1	110.70	-60.35	50.34	70.48	-254.32	-183.84	4.21
	A2	122.84	-252.50	-129.66	221.48	-647.98	-426.50	2.57
	B1	290.78	-64.80	225.98	179.08	-529.73	-350.65	8.17
	B2	194.12	-54.42	139.7	158.80	-303.71	-144.91	5.58
	B3	186.74	-32.11	154.63	160.53	-135.04	25.49	4.21
	B4	48.51	-5.44	43.07	53.32	-18.11	35.21	3.33
	B5	102.58	-3.76	98.82	157.17	-10.65	146.51	2.83
	C	165.65	-62.69	102.96	197.4	-239.97	-42.54	3.83

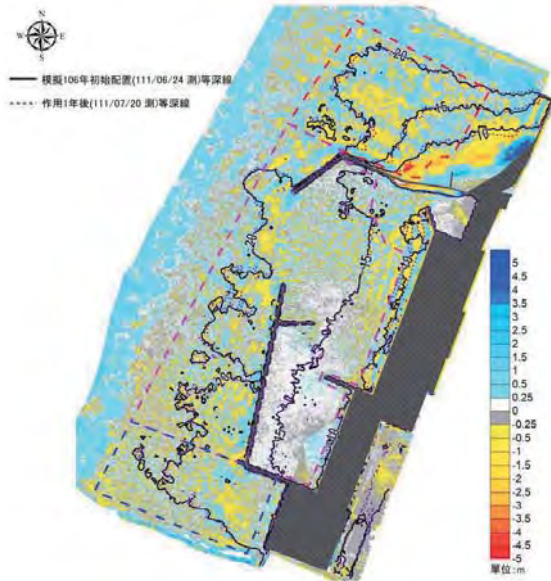


圖 13 不規則波作用 1 年後之沖淤變化圖

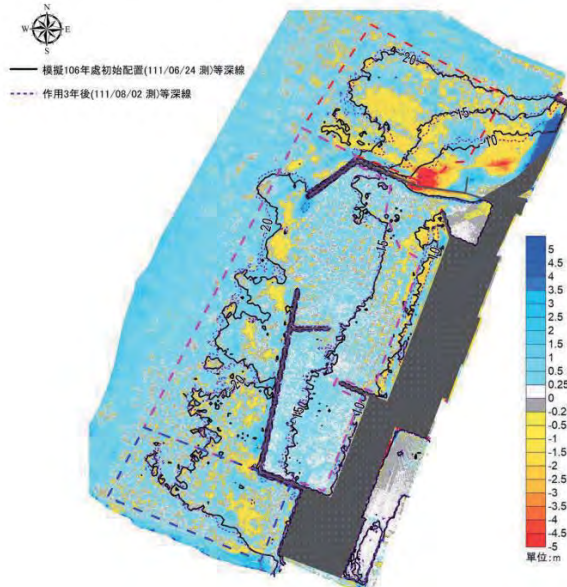


圖 14 不規則波作用 3 年後之沖淤變化圖

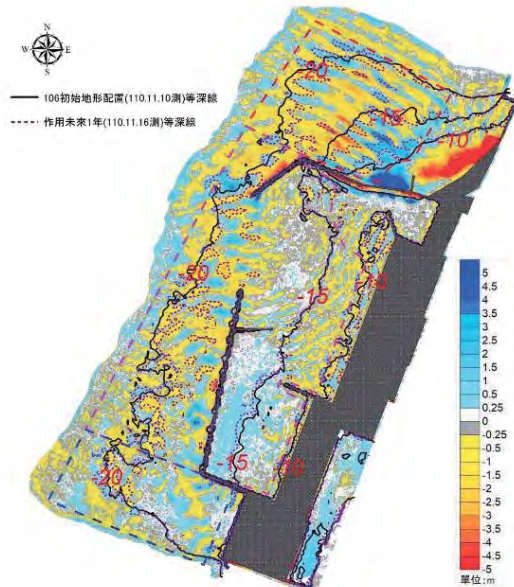


圖 15 規則波作用 1 年後之沖淤變化圖

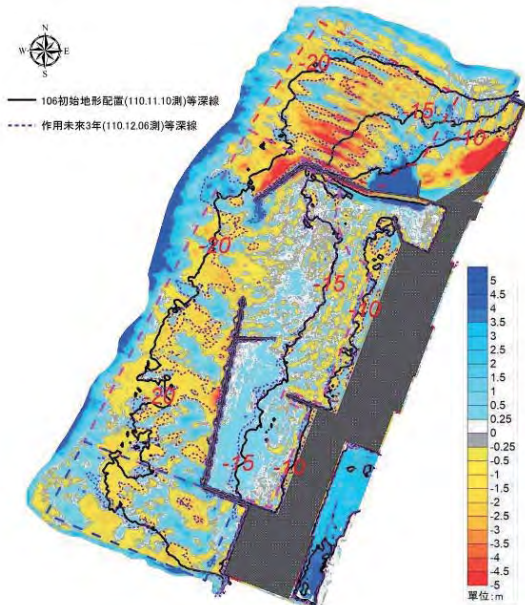


圖 16 規則波作用 3 年後之沖淤變化圖

初始地形配置經波浪作用 1 年，A 區無論是不規則波或規則波皆呈現侵蝕現象。不規則波作用結果，A1 區呈現些許淤積；侵蝕較嚴重之區域則落於 A2(即北防沙堤至北防波堤間)，掏刷深度大多為 0.25~0.5 公尺區間，整區沖刷量為-56.87 萬立方公尺。規則波部分，A 區多數區域掏刷深度皆達 0.5~3 公尺，且局部位置掏刷深度更達 4m；A1、A2 區之土方沖蝕量分別為-96.21 與-113.3 萬立方公尺。

B 區的部分，經不規則波作用 1 年，因受北堤以南及南外廓堤堤防遮蔽效應影響，該區總淤積量約為 36.71 萬立方公尺，高程變化量僅在-0.5~+0.5 公尺間；B1 及 B2 除了受夏季波浪反射影響外，尚有東北向帶來之若干泥沙堆積，故該區呈現若干掏刷與淤積共存情形；B3 至 B5 區則以淤積為主。值得注意的是，B 區受規則波作用 1 年，整區沖蝕量高達-410.52 萬立方公尺，進一步分析可發現港內 B3 至 B5 區掏刷情形雖然不如港外嚴重，但因為規則波自身動量較大，即使遭遇堤防阻擋，仍有部分動量進入港內，沖蝕該處地形；B1 及 B2 區，則因受夏季、冬季、颱風波浪作用，呈現帶狀沖刷但有零星淤積地貌。

另 C 區南外廓堤以南處，則可發現該處雖然颱風與冬季波浪能挾帶若干泥沙落淤於此，然而初期泥沙淤積量尚不及西側之夏季波浪主導之沖刷量，造成此處地形經兩種波作用 1 年後，皆暫時為掏刷情形，不規則波與規則波試驗之總沖蝕量分別為-29.6 萬立方公尺及-9.53 萬立方公尺。

就海岸漂沙行為而言，地形變化需觀察中長期之時間尺度。初始地形經不規則波作用 3 年，A1 偏北處係為東北向波浪受北堤反射效應之泥沙落淤位置，A2 區全年受波浪影響，故整區沖蝕情形持續加劇，沖蝕深度逾 5 公尺，整體沖刷量達-79.32 萬立方公尺；若初始地形經規則波作用 3 年，因其動量較大，全區皆為沖刷型態，整體沖蝕量達-610.34 萬立方公尺。

值得一提的是，B 區之地形受不規則波、規則波作用 3 年，產生截然不同之結果。前者 B 區整體淤積量則高達 662.2 萬立方公尺，主要因不規則波動量較小，波浪進入港內 B3~B5 區後已幾乎無下刷力道，難以產生沖蝕效應，又因波浪動量小，泥沙容易落淤，故此區為淤積現象顯著；惟在外廓堤及港內構造物前之 B1、B2 區，因夏季波浪反射效應而有局部沖蝕現象。規則波則因為動量較大，夏季波浪受外廓堤反射後，尚有一定下刷力道，且冬季及颱風波浪亦帶走部分泥沙，使 B1、B2 區域呈現明顯沖蝕帶；而 B3 至 B5 雖然起初呈現沖蝕狀態，然而在外廓堤阻擋下，最終轉為些許淤積型態，但整體 B 區沖蝕量仍達-288.34 萬立方公尺。

C 區南外廓堤以南區域受北向波浪影響小，所挾帶之泥沙容易落淤於此，主要沖刷量能來自夏季波浪，整體區域地貌變化小於上述兩區。此區經不規則波作用 3 年，地形呈現沖淤互現，整體淤積略大於沖蝕之情形，土方變化增加約 102.96 萬立方公尺。經規則波作用 3 年，地形呈現侵淤互現，然沖蝕略大於淤積，土方沖蝕量為-42.54 萬立方公尺。

3.3 討論

本試驗除可瞭解臺中港外廓堤港區整體沖淤概況外，以下局部位置之波流與構造物交互作用之現象亦值得深入研究。A 區下半部及 B1 區上緣處(即北防波堤北側，及延伸段西北側位置)，易遭堤前入、反射波之合成波浪反覆作用，使該處容易發生堤址掏空致損壞之情況 (如圖 17 及圖 18 所示)；延伸段末端，因受防波堤阻擋、波浪繞射效應，及港內波浪反射等因素，在港嘴為形成一局部淤積區域，未來須留意淤積衍伸相關問題。

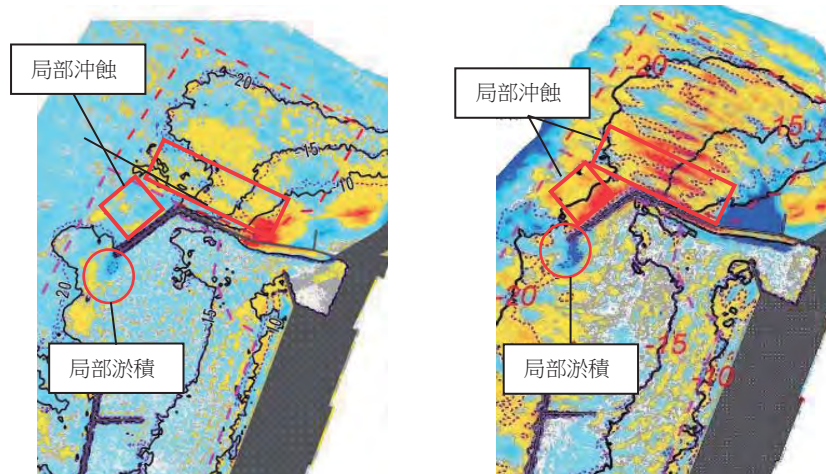


圖 17 A,B1 區沖淤情形放大圖 (不規則波) 圖 18 A,B1 區沖淤情形放大圖 (規則波)

而 B2 區(南堤外側)，堤前之地形沖淤結果需視規則波或不規則波而定。依臺中港務分公司生態廊道構想，若於南外廓堤外側消波塊前，間隔配置碎石網袋，在受不規則波作用的情況下，可達局部消能效果，減少堤址之水流沖刷效應；若為受規則波作用，雖然在碎石帶前產生淤積沙丘，但同時在其周邊亦有較深之沖蝕帶。



圖 19 B2 區沖淤情形圖(不規則波)



圖 20 B2 區沖淤情形圖(規則波)

經前兩小節分析，未來臺中港外廓堤經不規則波、規則波漂沙作用後 3 年後，可初步歸納出北側 A 區域呈現侵蝕；B 區則因不同波浪特性與防波堤交互作用，於港區內、外有不同形態；C 區則因受波浪作用影響較小，地形變化不大。本研究初判造成上述結果的原因為規則波與不規則波的能量不同，由張等(1985)研究，可知規則波能量約為不規則波之 2 倍，且由第 3.2 節沖淤變化圖得知，前者對地形變化影響大，於外廓堤外圍皆有明顯連續沖刷帶，後者沖刷帶呈現則較緩和。根據表 3-2，將規則波沖蝕量與不規則波沖蝕量比值為縱軸，繪製如圖 21，可看出經過 1 年時間尺度，規則波的沖蝕量約為不規則波的 1.21~3.95 倍，經過 3 年時間尺度，兩者比值為 2.57~8.17 倍，顯見規則波之沖蝕量能確實高於不規則波，再加上時間累積不同方向波浪加乘作用影響，故容易對地形造成較大的影響。

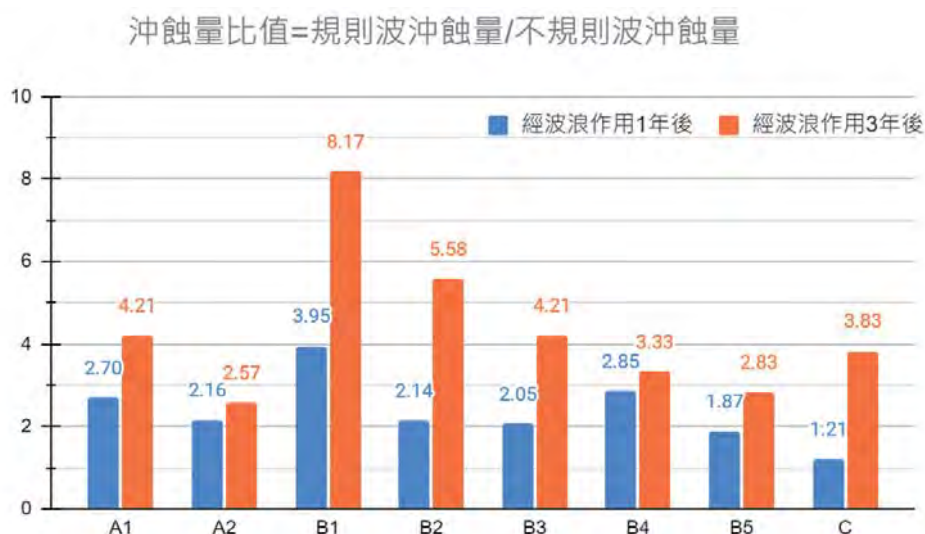


圖 21 各區沖蝕量比值圖

四、結論

本研究以不規則波水工模型漂沙試驗，模擬臺中港外廓堤興建完成後，經波浪作用 1、3 年後之地形變化，並進行分區土方變化量計算；另外，亦將本試驗結果與林等(2022)之規則波水工模型漂沙試驗，進行比較分析。結果顯示外廓堤經不規則波作用 1 年，A 區為沖刷現象，土方流失總量為 56.87 萬立方公尺；B 區為淤積現象，土方淤積總量為 36.71 萬立方公尺；C 區為沖刷現象，土方流失總量為 29.6 萬立方公尺。若經不規則波作用 3 年，A 區仍為沖刷現象，土方流失總量為 79.32 萬立方公尺；B 區為淤積現象顯著，土方淤積總量為 662.2 萬立方公尺；C 區則逐步轉為淤積現象，土方淤積總量為 102.96 萬立方公尺。

比較不規則波與規則波對整體地形之影響，兩者對 A 區港區地形皆以沖刷效應為主。B 區部分在不規則波作用下，其動量較小致泥沙容易淤積，故 B3~B5 區淤積現象顯著；外廓堤外之 B1、B2 區存在零星沖刷坑。若為規則波，因為其能量較大，進入港內經防波堤阻擋後，在 B3 至 B5 初期仍為掏刷現象，時間拉長後才轉為些許淤積型態，而 B1、B2 區域則有明顯沖刷帶。C 區南外廓堤以南區域受北向波浪影響小，整體區域地貌變化小於上述兩區。

不規則波與規則波在 A 區下半部及 B1 區上緣處(即北防波堤北側，及延伸段西北側位置)，容易因波浪作用及堤前反射影響，形成掏刷現象，建議未來規劃上宜加強保護；北堤延伸段末端，因受防波堤阻擋、波浪繞射效應，及港內波浪反射等因素，形成一局部淤積區域，未來須留意淤積衍伸相關問題。B2 區(南堤外側)部分，堤前設置柔性保護工可減緩沖刷現象；惟若受規則波作用，雖然在碎石帶前產生淤積沙丘，但同時在其周邊亦有較深之沖刷帶。

本研究分析顯示，經過 1 年時間尺度，規則波的沖蝕量約為不規則波的 1.21~3.95 倍，經過 3 年時間尺度，兩者比值為 2.57~8.17 倍，顯見規則波之沖蝕能力高於不規則波，再加上時間累積不同方向波浪加乘作用影響，故容易對地形造成較大的影響。

參考文獻

1. 林受勳、李政達、李俊穎、何良勝、朱志光(2022)「臺中港遠程外廓堤水工模型動床漂沙試驗探討」，港灣季刊第 123 期，24-35 頁。
2. 台灣世曦工程顧問股份有限公司(2021)，臺中港外廓防波堤保育對策堤型方案可行性、具體化方案暨數值模擬分析委託技術服務成果報告(初稿)修正方案，臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司。
3. 李政達、林受勳、李江澤、陳天時、李俊穎(2021)，臺中港靜穩度水工試驗暨波浪數值水槽之初步探討，交通部運輸研究所。
4. 衛紀淮，洪維屏，林受勳，李政達(2019)，離岸風電區鄰近海岸漂沙機制探討(3/4)，交通部運輸研究所。
5. 蘇青和，洪維屏，陳鈞彥(2020)，離岸風電區鄰近海岸漂沙機制探討(4/4)，交通部運輸研究所。

所。

6. 台灣世曦工程顧問股份有限公司(2020)，臺中港 40 年期主計畫委託技術服務期末報告定稿，臺灣港務股份有限公司。
7. 宇泰工程顧問有限公司(2017)，臺中港液化天然氣接收站計畫可行性研究報告書(LNG 港埠工程可行性評估)，台灣電力股份有限公司。
8. 蘇青和、李俊穎、蔡立宏、廖慶堂、蔣敏玲、衛紀淮、羅冠顯、林受勳、傅怡釧、陳鈞彥(2014)，2014 年臺灣海氣象觀測資料統年報(臺中港域觀測海氣象資料)，交通部運輸研究所。
9. 黃俊維(2002)，不規則波作用下海堤堤址沖淤特性之初步研究，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文。
10. 張金機、黃清和、何良勝、李勇榮、簡仲景、廖慶堂、王克尹、陳明宗(1985)，規則波與不規則波在模型試驗上差異研究，交通處臺灣技術研究所。
11. 歐善惠、許泰文 (1985)，「傾斜海灘上之海岸動床模型相似定律」，臺灣技術第一期，33-35 頁。