臺中港鄰近海岸地形變遷分析及研究

洪維屏　交通部運輸研究所港灣技術研究中心副研究員
張維庭　交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究助理

摘要

離岸風電為臺灣近年發展之綠能產業，其距離離岸風電區最近的國際商港為臺中港，扮演不可或缺的角色。本研究將歷年臺中港水深測量資料進行長時間水深變化分析且依據臺灣港務股份有限公司第四期北側淤沙區整治計畫可能之方案中，挑選兩個具代表性之案例進行漂沙試驗，探討整治計畫未來之成效。相關成果可提供交通部航港局、臺灣港務股份有限公司等單位，做為規劃、設計、施工維護及航行安全等之參考。

一、前言

臺中港港區總面積為 4,438 公頃，水域面積 958 公頃，陸地面積 3,480 公頃，由於臺中港距離離岸風場最近，其未來定位為提供風機組裝碼頭及工作船靠泊母港，因此，必須了解臺中港之地形侵淤變化趨勢，以因應未來之所需。

交通部運輸研究所港灣技術研究中心(以下簡稱港研中心)主要任務為研究發展港灣工程技術，培育訓練有關人才，並協助解決我國港灣建設與海岸開發所遭遇的問題，且有全國數一數二之水工模型試驗場地，根據不同條件之海氣象、地象條件，模擬臺中港未來之侵淤趨勢。本研究將針對歷年臺中港鄰近海岸變化趨勢進行分析，並以水工模型試驗模擬北淤沙區改善布置方案建置後之鄰近海域的漂沙變化。

二、鄰近海岸地形變遷分析

2.1　臺中港鄰近海岸現況和特性

本研究針對臺中港進行探勘，進一步了解並分析臺中港與鄰近海岸現況特性，現勘地點詳圖 1。大安溪口、大甲溪口、臺中港範圍、烏溪口之淤沙現況詳述如下。

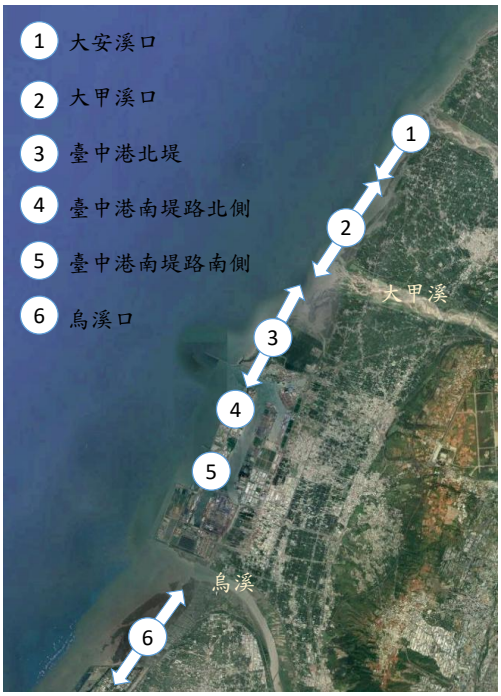


圖 1　臺中港鄰近海域位置圖

(1)大安溪口：大安溪口南側沙洲較北側廣闊，且至大甲溪口北側產生大量淤積，初判長期沿岸漂沙優勢方向應為由北往南。(2)大甲溪口：大甲溪口南側沙洲較北側廣闊，初判長期沿岸漂沙優勢方向應為由北往南。(3)臺中港北堤北側：有長期淤積沙洲，且由臺中港海氣象條件可知，冬季季風波浪作用時間較長，故可初判此區段應屬漂沙路徑之上

游段。(4)臺中港南堤路北側及南側：相較於北堤北側明顯淤積沙洲，此區段除部分海岸有小部分沙灘外，其餘沿岸皆無沙灘生成，顯示此區段應屬漂沙路徑下游段，且受臺中港外廓設施阻隔影響下，沙灘難以生成。(5)烏溪口：烏溪口南側沙灘明顯較寬，除因北側屬臺中港人工海堤固定不變外，明顯可看沙灘越往南越寬，與北段漂沙優勢方向由北往南現象一致外，另依經濟部礦務局土石資源及產銷管理系統烏溪年輸沙量為 679 萬公噸，較大於大安溪 494 萬公噸及大甲溪 403 萬公噸。

2.2 歷年臺中港鄰近海岸變化趨勢分析

1. 相關研究回顧

目前蒐集之重要文獻包括(1)中興工程顧問公司-107年臺中港外港區擴建計畫(第一期)環境影響說明書(2)本所-108年離岸風電區鄰近海岸漂沙機制探討(3)宇泰工程顧問有限公司-108年臺中港北側淤沙區漂飛沙整治第四期工程規劃可行性研究，惟因107環評報告與本所報告之文獻回顧摘錄，皆參考宇泰工程顧問有限公司之報告內容，故本節就該公司之報告進行簡述。

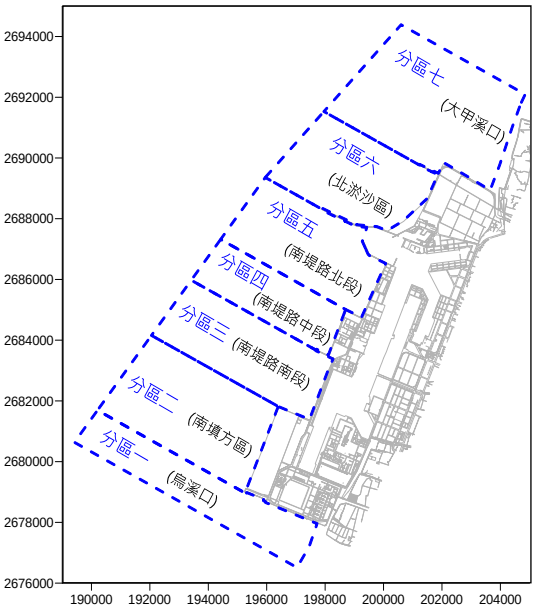
該計畫針對各階段海域地形侵淤變化分析結果顯示，臺中港建港迄今，海域地形基本上受到港口防波堤突出海岸距離，波浪碎波造成沿岸流所帶動海岸漂沙，以及河川輸沙對海域之補充等因素影響極大。另進一步在颱洪對臺中海域侵淤影響分析部分，臺灣地區在民國 88 年發生 921 地震後，西部地區大安溪、大甲溪、烏溪及濁水溪上游山坡地受創嚴重。各流域處於地質不穩定狀態，每逢颱風過後，崩塌面積就會大增。為瞭解颱洪對海域地形侵淤影響，彙整民國 91～95 年及民國 101～103 年間，逐年海域侵淤變化資料。

民國 93 年敏督利颱風侵襲後，在大甲溪及烏溪口造成極大土沙淤積，大甲溪口淤沙經東北季風波浪所產生沿岸流推送，部份繞過北防波堤堤頭，淤積在港口下游側海域；而烏溪口淤沙，在夏季西南向波浪推送亦有向北淤積港口現象。民國 102 年蘇力颱風雖造成港域大範圍淤積，但在溪口淤積不若敏督利颱風嚴重，研判 921 地震後，河川輸沙大幅增加之現象，似已逐漸減緩中。

綜上所述，針對不同颱風事件之洪水量與當年度地形變遷影響分析，大甲溪應為臺中港主要之輸沙源，來自大甲溪之輸沙，將先淤積於大甲溪出海口及防風林區北側，後因沿岸流及潮流作用形成沿岸漂沙而淤積於計畫區，部分漂沙甚至繞過北防波堤堤頭至港外航道及其南側海域沉降。

2. 歷年平面水深變化分析

考量臺中港北防波堤於民國 92 年延建 480m 後，迄今已逾十餘年，因此，該計畫將 92～105 年間劃分為三階段，並以每 4～5 年為期距，藉以分析北防波堤最近一次延建工程對於海岸地形變化的影響。

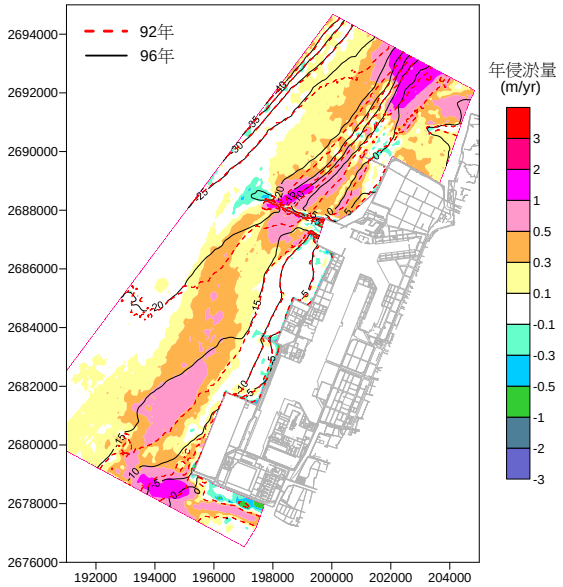


資料來源：臺中港 40 年期主計畫，民國 108 年 2 月

圖 2　歷年地形侵淤分布之分區示意圖

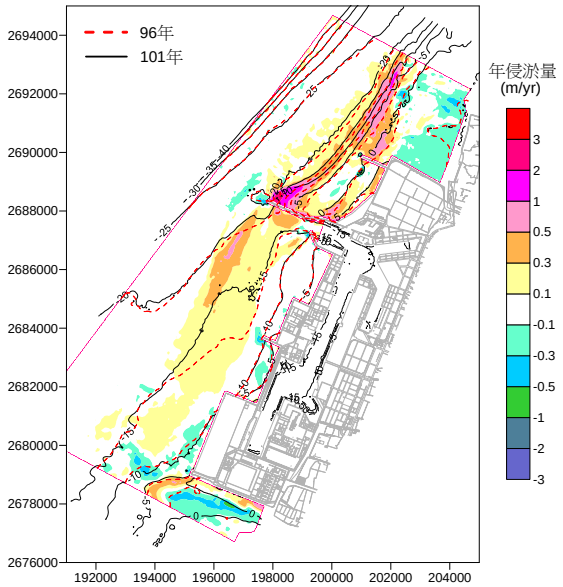
該研究進一步探討臺中港鄰近海域海岸漂沙活動特性及趨勢，擬依臺中港海岸結構物分布特性進行分區，另外，考量臺中外海水深-30m 外為一陡坡地形分布，因此，分區之離岸距離以-30m 等深線為界，其地形侵淤分析之分區示意圖，詳圖 2 所示。

在歷年侵淤趨勢分析部分，92~96 年間呈現大量淤積趨勢，其中臺中港北側淤積趨勢大於南側，顯示北防波堤完工初期，確實明顯阻隔由北往南之漂沙優勢方向，96~101 年間淤積趨勢明顯趨緩，但仍維持臺中港北側淤積大於南側現象，顯示北防波堤阻隔漂沙效果已趨緩，最後 101~105 年間已呈現侵淤趨勢互現現象，顯示臺中港鄰近地形變遷於 101 年後已趨於穩定。臺中港鄰近海域之近年 92～96、96～101 及 101～105 年間海岸地形侵淤分布圖，詳圖 3～圖 5 所示。



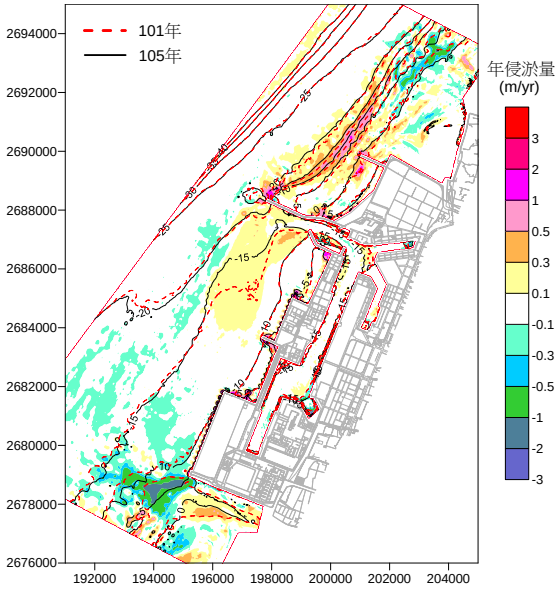
資料來源：臺中港 40 年期主計畫，民國 108 年 2 月

圖 3　臺中港周圍近年海岸地形侵淤分布圖(民國 92～96 年)



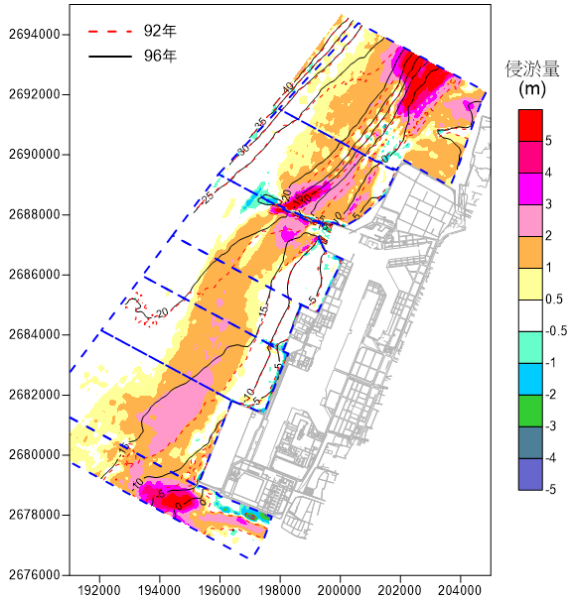
資料來源：臺中港 40 年期主計畫，民國 108 年 2 月

圖 4　臺中港周圍近年海岸地形侵淤分布圖(民國 96～101 年)



資料來源：臺中港 40 年期主計畫，民國 108 年 2 月

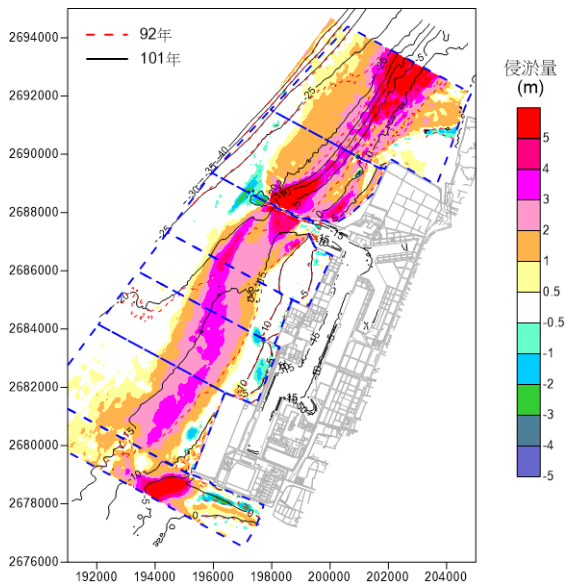
圖 5　臺中港周圍近年海岸地形侵淤分布圖(民國 101～105 年)



資料來源：本研究彙整

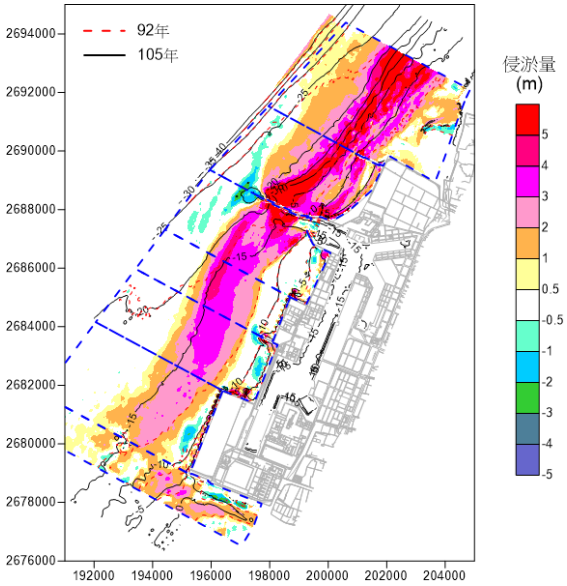
圖 6　臺中港周圍近年分區地形侵淤分布圖(民國 92～96 年)

進一步皆以 92 年為基期，分析歷年侵淤變化部分，海岸地形淤積分布，除了集中在分區六(北淤沙區)及分區七(大甲溪口)外，分區一(烏溪口)及分區二(南填方區)亦有大量淤積分布，由於該期間曾發生 94 年之海棠、泰利及龍王，96 年之聖帕及柯羅莎等強烈颱風侵襲，且除了柯羅莎颱風為第二類路徑外，其他均屬穿越臺灣中部的第三類路徑，故推測該期間可能受到颱風影響而海岸地形呈大量淤積趨勢。且 92 年以後受臺中港北防波堤延建影響，侵淤變化大致呈北側淤積大於南側之特性，且南側遠岸淤積區域有明顯增大現象，最後，南側近岸(-10m 水深內)如南堤路南段，在正向直接波浪作用且北側沙源供給不足下，易發生短期局部侵蝕現象。臺中港周圍之近年 92～96、92～101 及 92～105 年間分區地形侵淤分布圖，詳圖 6～圖 8 所示。



資料來源：本研究彙整

圖 7　臺中港周圍近年分區地形侵淤分布圖(民國 92～101 年)

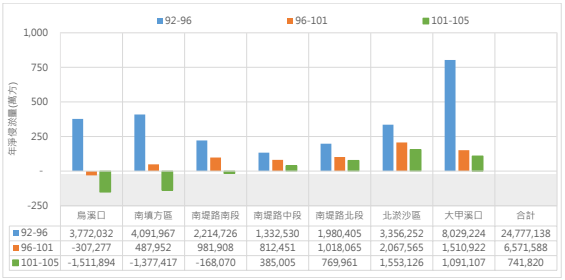


資料來源：本研究彙整

圖 8　臺中港周圍近年分區地形侵淤分布圖(民國 92～105 年)

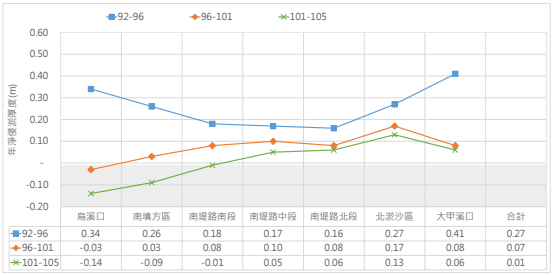
3. 分區侵淤量分析

臺中港周圍近年分區之年淨侵淤量及年淨侵淤厚度統計，詳圖 9～圖 10 所示。由近年之海岸地形侵淤狀況可知，92～96 年間之年淨侵淤量約 2,478 萬方，年淨侵淤厚度約 0.16～0.41m，96～101 年間之年淨侵淤量約 657 萬方，年淨侵淤厚度約-0.03～0.17m，其中分區一(烏溪口)呈侵蝕現象，其餘分區則呈淤積現象；101～105 年間之年淨侵淤量約 74 萬方，年淨侵淤厚度約-0.14～0.13m，分區一(烏溪口)～分區三(南堤路南段)呈侵蝕現象，而分區四(南堤路中段)以北則呈淤積現象。96～105 年間雖曾發生 97 年之辛樂克及薔蜜、100 年之桑達及南瑪都、101 年之杰拉華、102 年之蘇力及天兔、104 年之紅霞、天鵝及杜鵑、105 年之尼伯特及莫蘭蒂等計 12 場強烈颱風侵襲，惟該等強烈颱風均非屬穿越臺灣中部的第三類路徑，故 101～105 年應可視為臺中港非受極端颱風影響下之海岸地形變化特性。整體而言， 101～105 年間之海岸地形變化已呈現趨於平衡穩定狀態。



資料來源：臺中港 40 年期主計畫，民國 108 年 2 月

圖 9　臺中港周圍近年分區地形侵淤分布圖(民國 92～105 年)



資料來源：臺中港 40 年期主計畫，民國 108 年 2 月

圖 10　臺中港周圍近年分區年淨侵淤厚度統計圖

三、漂沙水工模型試驗

3.1 水工模型試驗

本研究之漂沙水工模型試驗於港研中心之第二試驗場棚進行，試驗設備、試驗條件及過程，詳述如下。

1. 試驗設備

本試驗於港研中心第二試驗場棚進行，相關設備與量測儀器說明如下：

(1) 試驗水池：長 62m、寬 57m、深

1m，池內有潮汐控制系統。

(2) 不規則造波機：本造波機係英國 HRWallingford 公司出品之機械推移式不規則造波機及加拿大 DAVIS 公司出品之油壓推移式不規則造波機，各由四個獨立造波模組組成。利用電腦傳送數位訊號至控制器，再傳送至各造波機模組，可模擬規則波及多種波譜型態之不規則波。

(3) 容量型波高計及資料擷取處理系統：波高計用於量測水位變化。透過資料擷取處理系統，波高計感應之波浪條件，經 PC 分析後，選擇及修正需要的試驗波浪。

(4) 三維雷射掃描儀：用以量測模型底床高程變化。

2. 試驗條件

依據港研中心之現場觀測資料，擷取試驗所需部分進行分析，相關試驗條件包含試驗水位與試驗波浪等說明如下。

(1) 試驗水位

臺中港附近海域之潮位統計資料如下：

最高潮位(H.H.W.L.)　＋6.00m
平均高潮位(M.H.W.L.)　＋4.61m
平均潮位(M.W.L.)　＋2.76m
平均低潮位(M.L.W.L.)　＋0.89m

考慮現場地形之長時間性變化，及季節風波浪與颱風波浪之不同情況，因此試驗時以 M.H.W.L.~M.L.W.L. 做為季節風波浪作用時之變化水位；而以 H.H.W.L.~M.W.L 做為颱風波浪作用之變化水位。

(2) 試驗波浪

本研究漂沙試驗分為北淤沙區改善布置方案及預定規劃港型試驗，其為模擬未來可能發生之情況，故試驗波浪則須以較長期之統計值做為參考資料。

3. 試驗比尺

漂沙動床試驗中，試驗波浪比例尺的選擇適當與否，影響試驗結果的正確性甚巨。由於現場漂沙運移機制影響因素甚多，因此，往昔學者專家的研究成果亦莫衷一是，此情況如下表 1 所示。

表 1　漂沙動床模型相似律之比較(摘自歐、許(1985))

作者	推導法則	N_T	N_H
Goddet 等人 (1960)	浪與流交互作用下底質運動條件相似	$\mu^{1/2}$	μ
Valembois(1960)	懸浮質運動條件相似	$\mu^{1/2}$	$\mu^{4/5}$
Yalin(1963)	因次分析	$\mu^{1/2}$	μ
Fan 等人(1969)	底質運動條件相似	$\mu^{1/2}$	μ
Noda(1972)	底質運動條件相似	$\mu^{1/2}$	μ
Kamphuis(1972)	底質運動條件相似	$\mu^{1/2}$	μ
Dalrymple and Thompson(1976)	考慮參數 $H_0/\omega_0 T$ 之相似性	$\mu^{1/2}$	μ
椹木(1982)	考慮參數 u_*/ω_0 之相似性	$\mu^{1/2}$	μ
許泰文等人 (1985)	碎波帶內漂沙現象及地形變化性質相似	$N_r^{1/2} \cdot N_{D50}^{1/6} \cdot \mu^{1/5} \cdot \lambda^{2/15}$	N_T^2

依據上述學者之結果及本所港

研中心往昔從事漂沙試驗之經驗，當從事臺灣西部海岸地形變遷之水工模型試驗者，應用許泰文等人之模式可獲致較佳之試驗結果；若屬於台灣東部地形者，則引用其他人之結果較為妥適。因此，本試驗之波浪比尺係採用許等人之模式比尺為

波高比尺，$N_H = \mu^{2/5} \lambda^{4/15} N_r N_{D50}^{1/3}$

週期比尺，$N_T = \mu^{1/5} \lambda^{2/15} N_r^{1/2} N_{D50}^{1/6} = N_H^{1/2}$

潮汐比尺，$N_t = \lambda / (\mu)^{1/2}$

式中 N_T：波浪週期比尺，N_H：波高比尺，μ：垂直比尺，λ：水平比尺，r：底質比重，D_{50}：底沙之中值粒徑。從模型相似性觀之，應儘可能採用等比模型試驗，然而面臨包含廣大海域之海岸動床漂沙模型試驗，其水平方向與垂直方向一般無法採用同一比尺，否則在垂直比尺方面將因比尺太小，導致模型水深太淺與波高太小，因此必需採用平面方向與垂直方向比尺不同之歪比模型。另外，為考量預定應用之現場範圍、試驗水池大小，及考慮應用上列公式與造波機造波能力，本試驗之水平與垂直比尺採用如下：

水平比尺：λ=1/300

垂直比尺：μ=1/75

3.2 臺中港北淤沙區配置方案試驗

本項試驗為阻擋臺中港由北向南移動之漂沙，參考臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司 108 年度「臺中港北側淤沙區漂飛沙整治第四期規劃可行性研究」所提之 2 種改善佈置方案以辦理模型試驗，並分析研判未來臺中港鄰近海域可能漂沙趨勢，做為後續防治對策方案的參考依據，相關試驗條件、試驗原則與試驗過程，分述如下。

1. 試驗條件與佈置

本研究模擬之北淤沙區改善配置方案為未來可能實施之工作，因此，相關試驗條件與改善配置方案，如表 2 及圖 11 所示。

表 2　水工模擬試驗條件說明表

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 ~ +0.89 m	+6.15 ~ +1.19 cm
			颱風	+6.00 ~ +2.76 m	+8.00 ~ +3.68 cm
波高	1/25.74	冬季波浪		2.15 m	8.35 cm
		夏季波浪		0.87 m	3.38 cm
		颱風波浪		4.19 m	16.28 cm
週期	1/5.07	冬季波浪		7.5 秒	1.48 秒
		夏季波浪		6.5 秒	1.28 秒
		颱風波浪		8.5 秒	1.68 秒
潮汐比尺	1/34.6	半日潮		12hr	20.8min

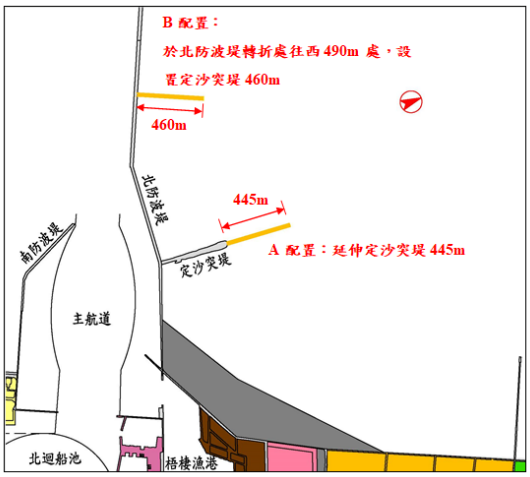


圖 11　配置 A、B 改善佈置圖

2. A、B 配置方案之試驗模擬結果

應用預備試驗所獲得冬、夏季期間之地形重現時間的試驗結果，依表 2 水工模擬試驗條件，辦理臺中港北淤沙區各改善配置方案之試驗地形變化比較。本次試驗依據 108 年 5 月之臺中港水深地形測量資料鋪設初始地形，以夏季波浪做為開始，接續以冬季波浪作用後，量測 A、B 配置試驗地形的變化情況，做為 A、B 配置方案試驗一年後之資料，後續持續進行波浪作用三年，再量測試驗地形的變化。

為瞭解臺中港近岸海域地形試驗模擬情形，故將試驗範圍區分三個區塊，以利後續土方量計算，相關分區如圖 12 所示。圖 13 及圖 14 為 A 配置模擬一年、三年後之地形侵淤變化比較圖，由表 3～4 土方量分區計算顯示，臺中港北淤沙區延伸既有之突堤，雖可阻擋部分漂沙，但仍有漂沙繞過北防波堤向南漂移造成淤積現象；圖 15 及圖 16 為 B 配置模擬一年、三年後之地形侵淤變化比較圖，由圖顯示，北防波堤以北多為淤積情形，以南則侵淤互現情況，表 5～6 土方量分區計算顯示，B 配置於北淤沙區新建置之突堤可阻擋多數漂沙防止其向南漂移。

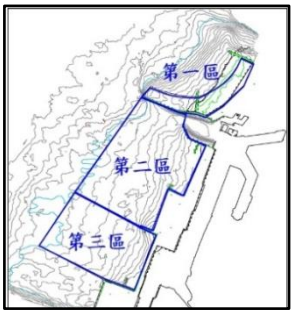


圖 12　水工模型試驗地形侵淤變化計算範圍

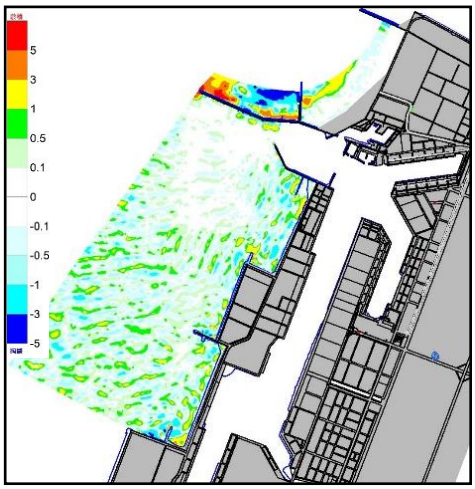


圖 13　A 配置模擬 1 年後之地形變化侵淤比較圖

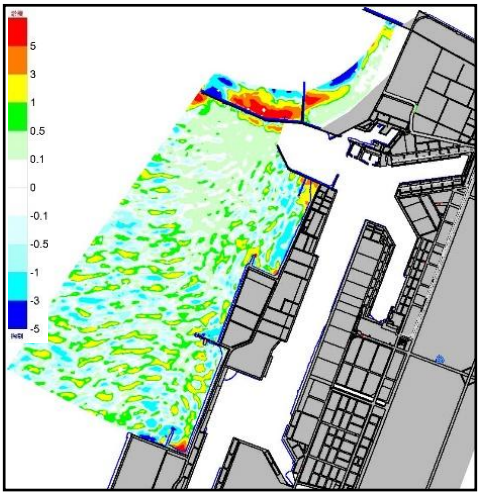


圖 14　A 配置模擬 3 年後之地形變化侵淤比較圖

表 3　A 配置模擬 1 年後之地形變化侵淤比較表

區段	淤積土方量 (萬立方公尺)	沖刷土方量 (萬立方公尺)	合計土方量 (萬立方公尺)
1	159.21	-114.57	44.64
2	189.63	-186.66	2.97
3	182.25	-171.54	10.71

表 4　A 配置模擬 3 年後之地形變化侵淤比較表

區段	淤積土方量(萬立方公尺)	沖刷土方量(萬立方公尺)	合計土方量(萬立方公尺)
1	327.24	-104.67	222.57
2	377.37	-227.16	150.21
3	280.53	-209.88	70.65

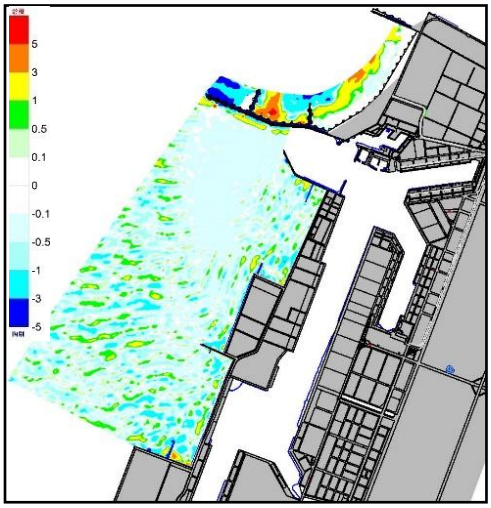


圖 15　B 配置模擬 1 年後之地形變化侵淤比較圖

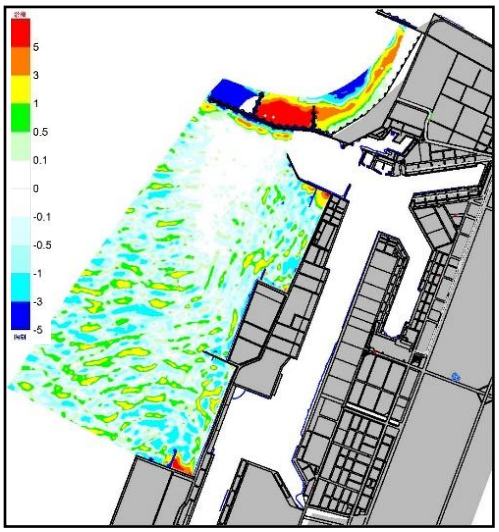


圖 16　B 配置模擬 3 年後之地形變化侵淤比較圖

表 5　B 配置模擬 1 年後之地形變化侵淤比較表

區段	淤積土方量(萬立方公尺)	沖刷土方量(萬立方公尺)	合計土方量(萬立方公尺)
1	171.63	-141.93	29.70
2	119.07	-344.43	-225.36
3	118.71	-290.70	-171.99

表 6　B 配置模擬 3 年後之地形變化侵淤比較表

區段	淤積土方量(萬立方公尺)	沖刷土方量(萬立方公尺)	合計土方量(萬立方公尺)
1	526.14	-195.30	330.84
2	222.84	-309.78	-86.94
3	234.18	-280.98	-46.80

將 A、B 兩配置模擬結果進行比較，由圖 17 及圖 18 顯示，多數沙受 B 方案新建突堤阻擋淤積於此處，而北防波堤以南部分區域呈現侵淤互現情形，且土方量計算表 7～表 8 除第一區呈現淤積外，其餘兩區多為侵蝕情形，由此可推估 B 方案相較 A 方案可阻擋多數沙，防止其向南漂移。

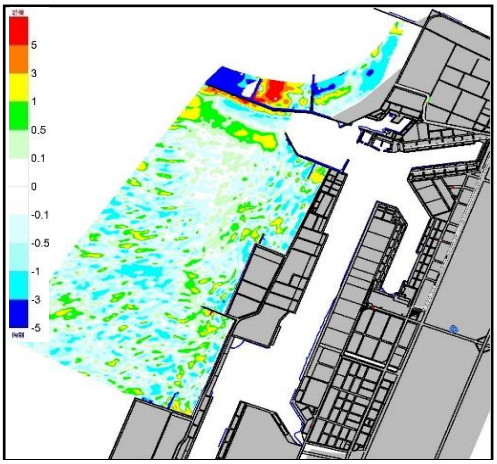


圖 17　A、B 配置模擬 1 年後之地形變化侵淤比較圖

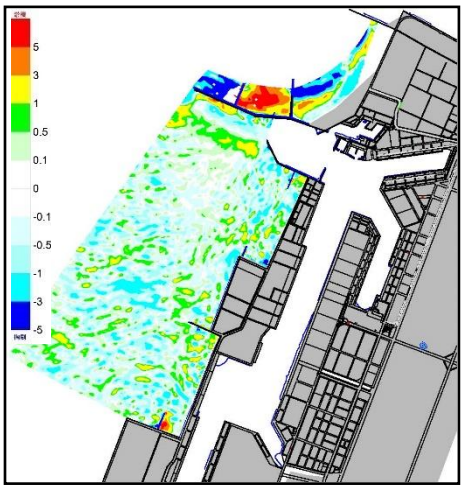


圖 18A、B 配置模擬 3 年後之地形變化侵淤比較圖

表 7　A、B 配置模擬 1 年後之地形變化侵淤比較表

區段	淤積土方量(萬立方公尺)	沖刷土方量(萬立方公尺)	合計土方量(萬立方公尺)
1	310.14	-270.72	39.42
2	287.64	-362.97	-75.33
3	132.84	-284.94	-152.10

表 8　A、B 配置模擬 3 年後之地形變化侵淤比較表

區段	淤積土方量(萬立方公尺)	沖刷土方量(萬立方公尺)	合計土方量(萬立方公尺)
1	307.53	-268.65	38.88
2	259.56	-348.57	-89.01
3	171.36	-264.33	-92.97

四、結論

1.依據臺中港歷年地形實測資料侵淤趨勢分析部分，92~96 年間呈現大量淤積趨勢，其中臺中港北側淤積趨勢大於南側，顯示北防波堤完工初期，確實明顯阻隔由北往南之漂沙優勢方向，96~101 年間淤積趨勢明顯趨緩，但仍維持臺中港北側淤積大於南側現象，顯示北防波堤阻隔漂沙效果已趨緩，最後 101~105 年間已呈現侵淤趨勢互現現象，顯示臺中港鄰近地形變遷於 101 年後已趨於穩定。

2.為阻擋臺中港由北向南漂移之沙源，本研究參考臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司 108 年度「臺中港北側淤沙區漂飛沙整治第四期規劃可行性研究」所提之 2 種改善佈置方案辦理水工模型試驗，試驗結果顯示北淤沙區靠近北防波堤位置多呈現淤積情形，而南防波堤以南則為侵淤互現情況，另將 2 方案進行比較，比較結果可推估 B 方案相較 A 方案可阻擋多數沙，防止其向南漂移。

五、參考文獻

1. 歐善惠、許泰文(1985)，「傾斜海灘上之海岸動床模型相似律」，港灣技術第一期。
2. 張富東、廖慶堂(1995)，「布袋港客貨碼頭擴建水工模型試驗研究」報告，專刊 102 號，交通部運輸研究所。
3. 成功大學水工試驗所(1997b)，「將軍(中心)漁港鄰近海岸監測及穩定對策調查研究」，成功大學水工試驗所研究試驗報告。
4. 成功大學水工試驗所(2000)，「台灣西南部海岸海灘斷面調查與沉積物特性研究」，成功大學水工試驗所研究試驗報告。
5. 許泰文等(2005)，「海岸開發後對地形變遷影響機制分析研究」，經濟部水利署水利規劃試驗所。
6. 臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司、台灣電力股份有限公司(2018)

，「臺中港外港區擴建計畫(第一期)環境影響說明書」。
7. 臺灣港務股份有限公司(2018)，「臺中港 40 年期主計畫」。
8. 臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司(2019)，「臺中港北側淤沙區漂飛沙整治第四期工程規劃可行性研究」。