

臺中港鄰近海岸漂沙預備試驗

洪維屏 交通部運輸研究所港灣技術研究中心助理研究員

摘要

本研究為探討臺中港區鄰近海域之漂沙影響，利用現場海氣象觀測及歷年水深地形資料分析以進行動床水工模型預備試驗，比較往昔已有之現場與模型試驗之地形變遷趨勢，用以尋求最佳的試驗重現時間，相關試驗成果將提供未來規劃港型試驗及防治對策試驗應用。由本研究歷年水深地形資料分析結果，民國 96 年至 100 年地形有較明顯的侵淤變化，民國 101 年之後於終端水深(-10m)後較深之區域，其地形變化

較小。

依動床水工模型預備試驗結果得知，進行冬季期間之冬季季風波浪 8 小時試驗，可以重現冬季期間現場的地形變化情況。後續(108 年度)將再進行夏季季風波浪作用之試驗測試，用以尋求夏季期間現場地形變化之重現期，最後依據冬、夏季之試驗重現時間結果以整年之現場地形變化情況，作為模型試驗之整年重現時間的校驗。

一、計畫緣起及目的

台灣因屬於季風氣候區的國家，本身蘊含了極為豐富的風力資源，尤以西部沿岸風力強勁，非常適合陸上及離岸式風力發電，若善加開發利用台灣環島離岸海域蘊藏豐富的風力資源將有助於國內能源之多元化與自主性發展，則可降低本國對能源進口的過度依賴，同時亦可緩和台灣可能發生之用電危機，而幾乎無污染的風力能源，對環境永續也有積極的助益。惟台灣本島地小

人稠，陸上可供建機組之位置有限，故朝離岸海域開發風力電廠乃為未來開發之趨勢，臺中港為距離離岸風電區最近的國際商港，距離北部基隆港和南部高雄港各約 110 海里。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，其未來定位為提供風機組裝碼頭及工作船靠泊母港，因此就臺中港鄰近海岸地形侵淤變化趨勢進行探討。

二、基本資料蒐集與分析

2.1 海象資料

1. 潮汐

臺中港之潮汐每日漲落 2 次，目前於港區附近海域之潮位觀測站有 2 處，觀測單位分別為本所港研中心(如圖 1)與內政部國土測繪中心，觀測站均設置於臺中港港區內 4 號碼頭。本所潮位觀測儀採用美國 TE 公司所生產之 KPSI 735 壓力式水位觀測儀，潮位資料擷取頻率設定為 1 分鐘，係將儀器所測得水位，作為該小時潮位觀測值，並透過無線傳輸系統，將水位資料即時回傳至本所港研中心海氣象資料庫。本研究收集內政部委託中央氣象局自 2003 年製 2014 年 12 月期間的潮位觀測資料，其統計結果如表 1 所示。由表 1 之統計結

果可知，自 2003 年至 2014 年期間，其平均潮差為 3.78 公尺，大潮平均潮差為 4.71 公尺，最大潮差為 5.99 公尺。



圖 1 本所潮位觀測站位置圖

表 1 臺中港 2003-2014 年潮位資料統計

| 年份 | 平均潮位 MWL | 平均高潮位 MHWL | 平均低潮位 MLWL | 大潮平均高潮位 HWOSt | 大潮平均低潮位 LWOSt | 最高高潮位 HHWL | | 最低低潮位 LLWL | | 平均潮差 MR | 大潮平均潮差 STR | 最大潮差 MTR |
|------|----------|------------|------------|---------------|---------------|------------|-----|------------|------|---------|------------|----------|
| | | | | | | 發生時間 | 潮高 | 發生時間 | 潮高 | | | |
| 2003 | 299 | 486 | 109 | 519 | 46 | 9月27日 | 573 | 12月24日 | -13 | 377 | 473 | 586 |
| 2004 | 305 | 490 | 119 | 521 | 55 | 8月30日 | 580 | 1月23日 | -10 | 371 | 466 | 590 |
| 2005 | 13 | 197 | -172 | 232 | -237 | 8月21日 | 291 | 1月12日 | -305 | 369 | 469 | 596 |
| 2006 | 15 | 201 | -172 | 237 | -239 | 7月14日 | 298 | 1月2日 | -297 | 373 | 476 | 595 |
| 2007 | 5 | 189 | -182 | 223 | -246 | 4月17日 | 274 | 12月26日 | -302 | 371 | 469 | 576 |
| 2008 | 8 | 193 | -181 | 225 | -239 | 9月1日 | 276 | 1月23日 | -299 | 374 | 464 | 575 |
| 2009 | 13 | 201 | -177 | 232 | -237 | 9月19日 | 300 | 1月13日 | -319 | 378 | 469 | 619 |
| 2010 | 19 | 205 | -171 | 240 | -229 | 9月9日 | 305 | 1月2日 | -307 | 376 | 469 | 612 |
| 2011 | 17 | 208 | -177 | 241 | -236 | 8月30日 | 312 | 11月27日 | -295 | 385 | 477 | 607 |
| 2012 | 22 | 215 | -172 | 248 | -226 | 8月02日 | 321 | 12月15日 | -294 | 387 | 474 | 615 |
| 2013 | 18.3 | 211 | -174 | 248 | -233 | 9月22日 | 307 | 1月12日 | -297 | 385 | 471 | 604 |
| 2014 | 15.7 | 212 | -179 | 244 | -228 | 10月9日 | 316 | 12月24日 | -302 | 391 | 472 | 618 |
| 統計值 | | | | | | | | | | 378 | 471 | 599 |

潮高單位：公分

資料來源：交通部中央氣象局

2. 波浪

依據本所港研中心 2004 年至 2016 年期間之波浪觀測資料，歷年波高、週期及波向統計結果如表 2~4 所示，另歷年四季及全期波高、週期及波向機率分佈如圖 2~4 所示。由表 2 可知，臺中港歷年全期平均波高為 1.58m，波高分佈以小於 1m 所佔比率最高，約佔全期 38.8%；表 3 為歷年分季波浪週期分佈統計表，其中波浪週期以 6~8sec 所佔比率最高，約佔全期 55.4%；參考表 4 可知歷年波向以 N~E 向為主，佔全期比

率 64.6%。冬季時，東北季風吹襲至臺灣中部，因地勢影響風力強，且因海岸線走向為北北東~西南西向，故臺中港海域之波高大，平均波高約為 2.23m，為四季最大，波向以 NNE 向為主，佔整季 49.1%，波浪週期以 6~8sec 比率最高，約佔整季 62.6%；夏季時狀況相反，風與浪均自西南方來，波向以 W 向為主，佔整季 23.9%，週期分佈小於 6sec 佔整季 51.7%，平均波高為四季最小，約 0.92m，其波高分佈以小於 1m 比率最高，佔整季 79.1%。

表 2 臺中港歷年分季波高分佈統計表

| 季節 | 平均波高(m) | $H_s < 1.0m(\%)$ | $H_s = 1.0m \sim 2.0m(\%)$ | $H_s > 2.0m(\%)$ |
|----|---------|------------------|----------------------------|------------------|
| 春 | 1.35 | 47.1 | 33.9 | 18.9 |
| 夏 | 0.92 | 79.1 | 21.1 | 5.8 |
| 秋 | 1.91 | 20.1 | 36.9 | 43.0 |
| 冬 | 2.23 | 10.1 | 30.8 | 59.1 |
| 全期 | 1.58 | 38.8 | 30.4 | 30.8 |

表 3 臺中港歷年分季波浪週期分佈統計表

| 季節 | $T_s < 6.0 \text{ 秒}(\%)$ | $T_s = 6 \sim 8 \text{ 秒}(\%)$ | $T_s = 8 \sim 10 \text{ 秒}(\%)$ | $T_s > 10.0 \text{ 秒}(\%)$ |
|----|---------------------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| 春 | 35.2 | 57.8 | 6.8 | 0.2 |
| 夏 | 51.7 | 39.4 | 7.2 | 1.7 |
| 秋 | 18.5 | 64.2 | 15.4 | 1.9 |
| 冬 | 14.6 | 62.6 | 22.3 | 0.5 |
| 全期 | 30.6 | 55.4 | 12.8 | 1.2 |

表 4 臺中港歷年分季波向分佈統計表

| 季節 | 波向(N~E)(%) (E~S)(%) (N~E)(%) | 波向 (E~S)(%) | 波向(S~W)(%) | 波向(W~N)(%) |
|----|------------------------------------|----------------|------------|------------|
| 春 | 73.5 | 0.8 | 3.2 | 22.5 |
| 夏 | 24.9 | 4.5 | 16.2 | 54.4 |
| 秋 | 77.4 | 3.1 | 3.8 | 15.6 |
| 冬 | 90.5 | 0.5 | 0.7 | 8.3 |
| 全期 | 64.6 | 2.4 | 6.5 | 26.5 |

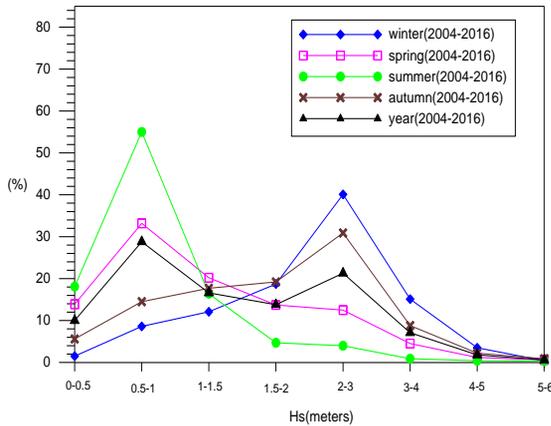


圖 2 臺中港歷年分季波高機率分佈圖

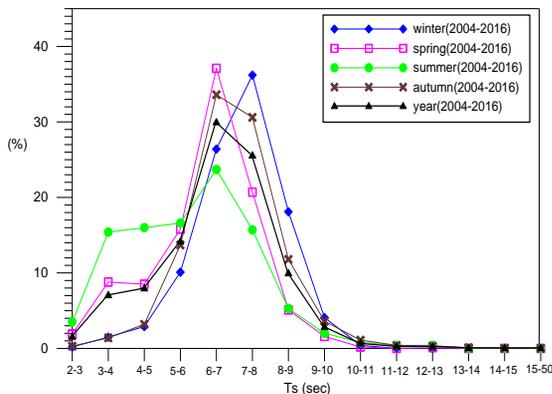


圖 3 臺中港歷年分季週期機率分佈圖

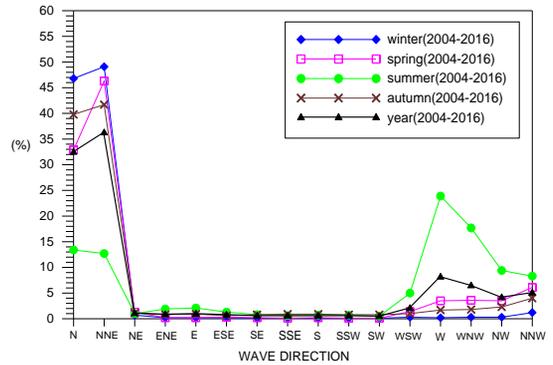


圖 4 臺中港歷年分季波向機率分佈圖

3. 海流

海流之主要成份包括潮流、恆流、風吹流與波浪所造成之沿岸流等，根據實測海流資料分析其主流方向與強度，可瞭解本海岸之近岸流動力系統與研判漂砂優勢方向，提供水工模型試驗及數值模擬之參考引用。

依據本所港研中心於臺中港北防波堤綠燈塔外海歷年海流觀測資料，顯示本處海流流向呈週期性往復運動，海流運動方向主要集中在沿海岸平行方向，且隨潮流漲落改變方向，主軸為東

北與西南向，即退潮時段流向為西南，漲潮時段流向為東北。表 5 顯示大潮時其流速甚強，最大流速約可達 1.7~2.0 節，全期平均流速為 38cm/s，流速分佈以介於 25cm/s~50cm/s 間為主，佔全期 38.8%，四季中以冬季平均流速最大，

可達 45cm/s，春季平均流速最小，約為 32.5 cm/s，綜觀歷年水位觀測資料，臺中港潮位主要以半日潮為主，全日潮為輔，亦即臺中港的潮汐主要由全日潮及半日潮組成的複合潮，但半日潮的成份大於全日潮。

表 5 臺中港歷年分季流速分佈統計表

| 季節 | 平均流速 (cm/s) | 流速<25 cm/s (%) | 流速=25~50 cm/s (%) | 流速>50 cm/s (%) |
|----|-------------|----------------|-------------------|----------------|
| 春 | 32.5 | 44.3 | 38.4 | 17.2 |
| 夏 | 36.3 | 34.2 | 42.0 | 23.8 |
| 秋 | 38.2 | 36.1 | 38.5 | 25.4 |
| 冬 | 45.0 | 29.1 | 35.6 | 35.3 |
| 全期 | 38.0 | 35.8 | 38.8 | 25.4 |

表 6 臺中港歷年分季流向分佈統計表

| 季節 | 流向(N~E) (%) | 流向(E~S) (%) | 流向(S~W) (%) | 流向(W~N) (%) |
|----|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 春 | 28.9 | 4.3 | 23.3 | 43.4 |
| 夏 | 32.8 | 8.6 | 8.2 | 50.4 |
| 秋 | 15.7 | 4.3 | 37.4 | 41.5 |
| 冬 | 12.5 | 4.5 | 49.2 | 33.8 |
| 全期 | 22.7 | 5.6 | 29.0 | 42.7 |

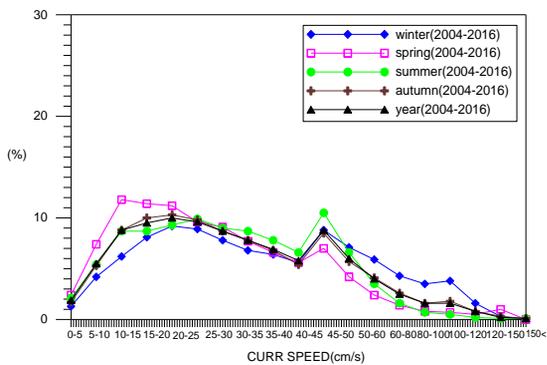


圖 5 臺中港歷年四季及全觀測期海流流速機率分佈圖

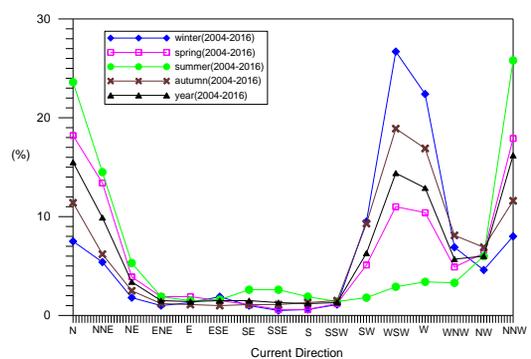


圖 6 臺中港歷年四季及全觀測期海流流向機率分佈圖

2.2 海域地形變化資料

1. 歷年侵淤比較圖分析

漂砂活動範圍內經長時間之波潮流作用後，某一水深內有明顯海岸地形變化，此種水深稱為終端水深。參考本所港灣海氣象觀測資料年報，歷年臺中港統計之示性波高為 1.5m，以此進行推算，可得漂砂帶終端水深約為-10m。

侵淤比較圖可快速且全區域的審視地形變化之趨勢，依據本所港研中心「107 年臺中港港外水深地形測量及歷年水深地形資料檢核分析調查」計畫繪製民國 96 年至 107 年之侵淤變化比較圖，如圖 7~圖 17 所示，臺中港海域測線間距為 200 公尺，故採用數值網格大小 100 公尺進行繪製，其中藍色為淤積(正值)，紅色為侵蝕(負值)，灰色為容許誤差範圍，黃線為終端水深。民國 96 年至 97 年於大甲溪出海口至外海有明顯的帶狀侵蝕現象，於大肚溪出海口亦有明顯的侵淤互現，於北防波堤北側受防波堤攔阻，有淤積的現象；民國 97 年至 98 年於大甲溪出海口至外海有明顯的帶狀淤積現象，於大肚溪出海口及外海有明顯侵蝕現象；民國 98 年至 99 年於大甲溪出海口至外海有部分淤積現象，於大肚溪出海口有部分侵蝕現象；民國 99 年至 100 年於大甲溪出海口至外海有部分侵蝕現象，於大肚溪出海口有明顯淤積現象，於北防波堤以南外海有全面性淤積現象；民國 100 年至 101 年於大甲溪出海口有微幅侵淤互現，於大肚溪出海口有明顯淤積現象；比較民國 101 年至 107 年之水深地形，侵淤變化大致都發生在終端水深以淺之區域，且位置集中在大甲溪出海口及

大肚溪出海口。由上述可得知，民國 96 年至 100 年地形有較明顯的侵淤變化，民國 101 年之後於終端水深後較深之區域，其地形變化較小。

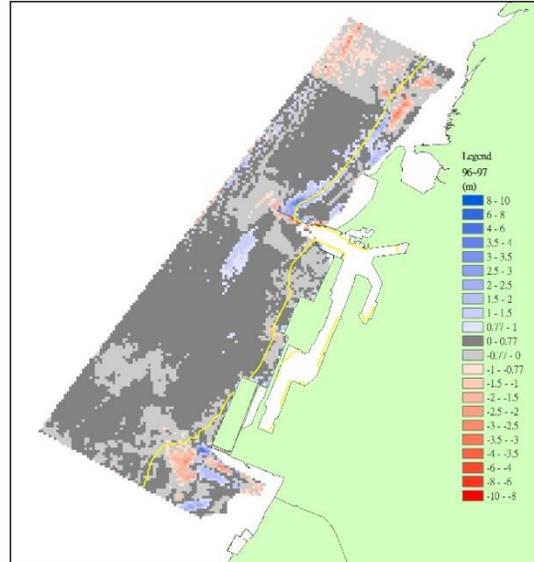


圖 7 96 年~97 年侵淤比較圖

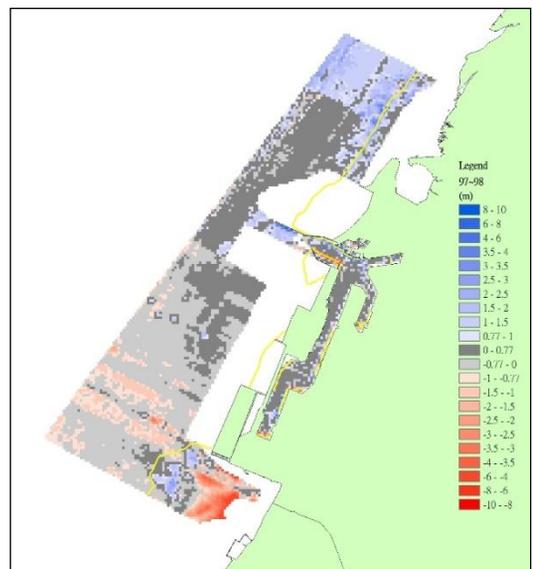


圖 8 97 年~98 年侵淤比較圖

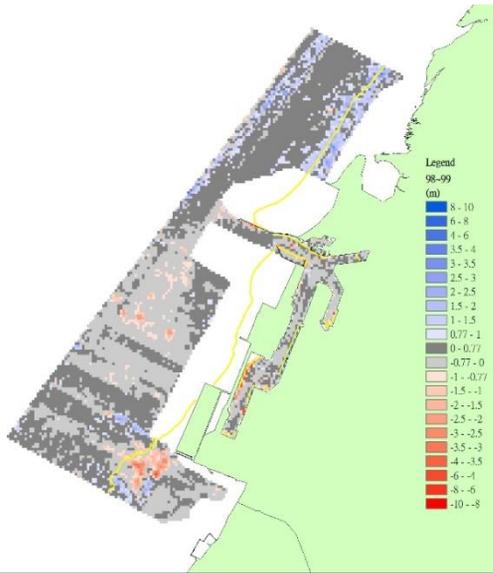


圖 9 98 年~99 年侵淤比較圖

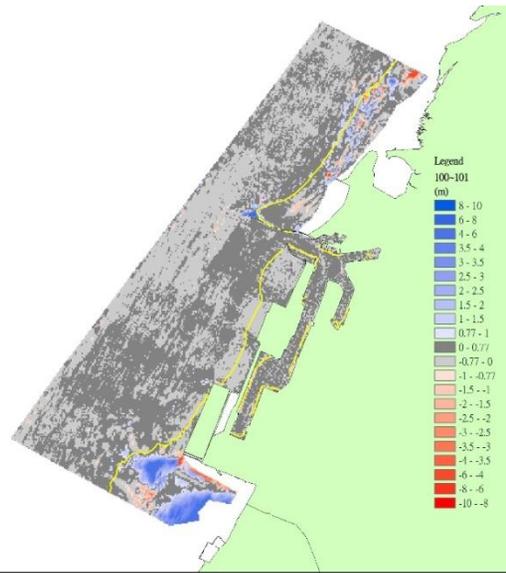


圖 11 100 年~101 年侵淤比較圖

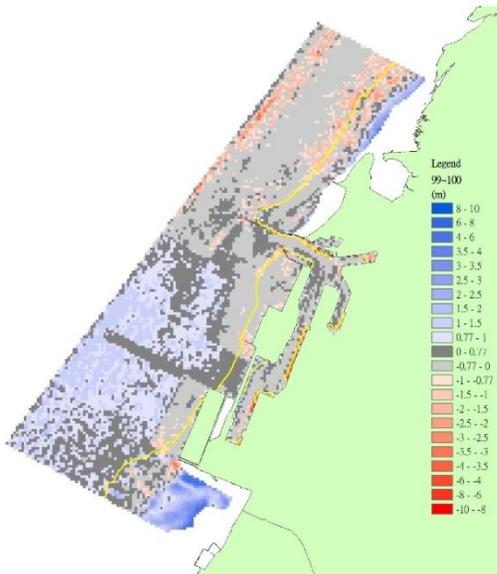


圖 10 99 年~100 年侵淤比較圖

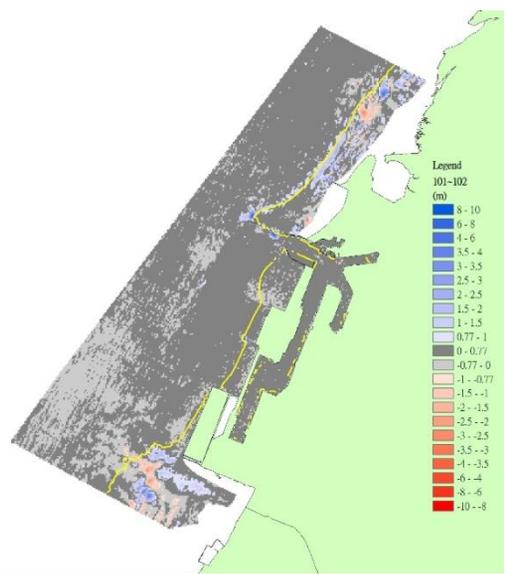


圖 12 101 年~102 年侵淤比較圖

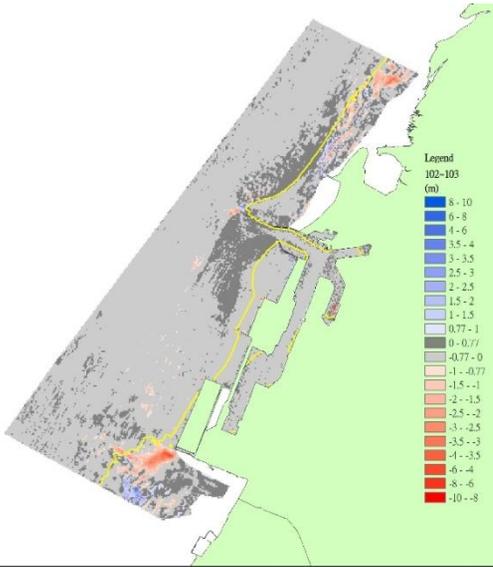


圖 13 102 年~103 年侵淤比較圖

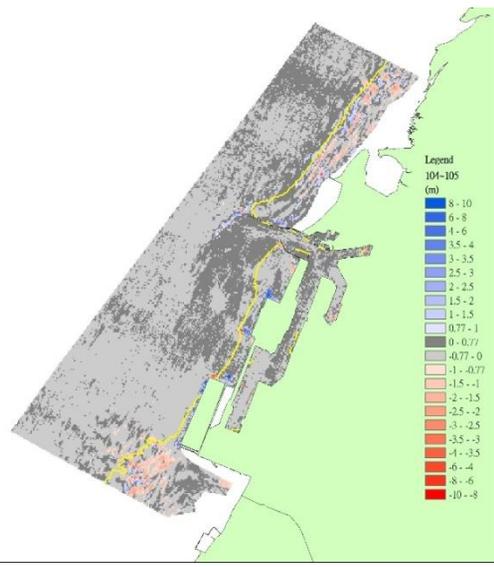


圖 15 104 年~105 年侵淤比較圖

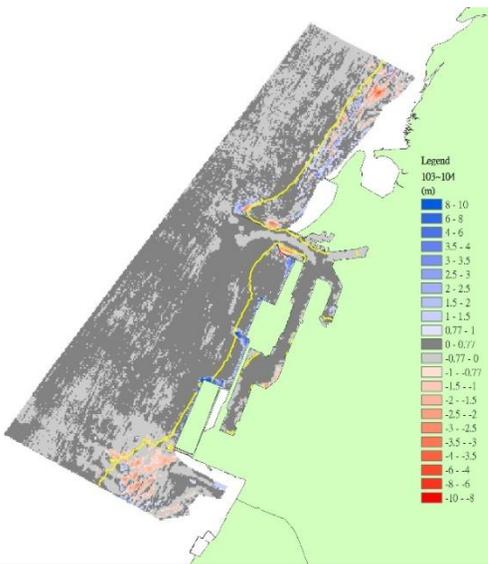


圖 14 103 年~104 年侵淤比較圖

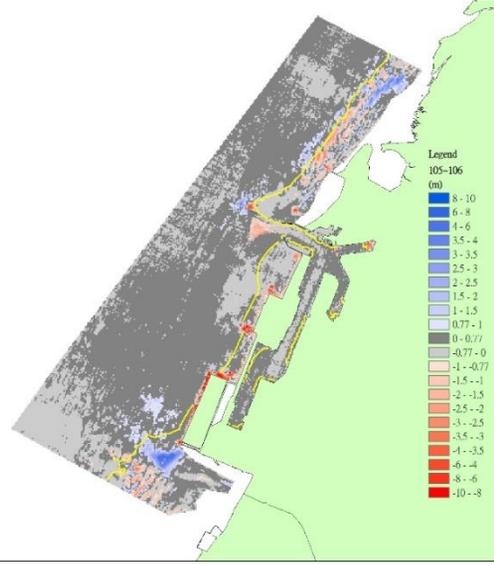


圖 16 105 年~106 年侵淤比較圖

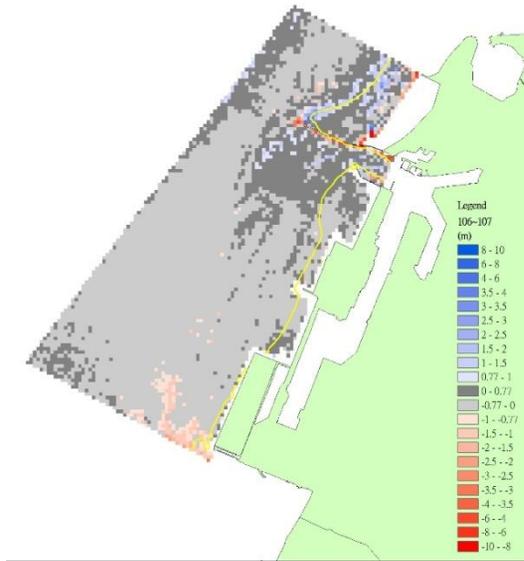


圖 17 106 年~107 年侵淤比較圖

2. 歷年土方量分析

利用 Sufer 軟體將相鄰兩年度之測量成果來進行分區土方變化及平均水深變化比較，平均水深變化值為土方量除以計算面積，依照臺中港周圍海域特性，將監測範圍分為 6 區，各分區說明如下，分區圖如圖 18 所示。

(1) 地形變化較小之深水區

檢視歷年測量成果，找出水深變化幅度較小之區域。

(2) 臺中港北防砂堤至大甲溪出海口北岸

本區域為大甲溪出海口，河口地形變化較大。

(3) 臺中港北防波堤至北防砂堤

臺中港海岸漂砂優勢方向為由北往南運移，受北防波堤的攔阻，大量漂砂淤積於本區域。

(4) 臺中港北防波堤至臺中港南填方區外側

北邊雖有北防波堤攔砂，但部分砂源

隨著堤頭強烈海流而漂移至本區。

(5) 臺中港港區南側至大肚溪南岸

本區域為大肚溪出海口，河口地形變化較大。

(6) 臺中港港內

港內水深地形易受工程影響而呈現大幅的侵淤變化。



圖 18 臺中港水深地形分區圖

臺中港水深地形分區土方量變化及平均水深變化量如表 7 及表 8 所示（負值為侵蝕，正值為淤積），98 年及 107 年因部分區域無測量成果故沒有土方變化量。101 年至 102 年及 105 年至 106 年皆呈現全面淤積之現象，101 年至 102 年全區之平均水深變化量變化約為 0.25 公尺，105 年至 106 年全區之平均水深變化量變化約為 0.12 公尺，而 102 年至 103 年則呈現全面侵蝕的現象，全區之平均水深變化量變化約為 -0.16 公尺。98 年至 102 年全區為逐年淤積，102 年之後則為侵淤互現，而第

2區至第5區之侵淤變化較第1區及第6區大，第2區至第5區為近岸端，水深地形較容易受到影響。

表7 臺中港水深地形分區土方量變化比較表(96年~107年)(m³)

| 區段 | 96~97年 | 97~98年 | 98~99年 | 99~100年 | 100~101年 | 101~102年 |
|-----|-----------|------------|------------|------------|------------|-----------|
| 第1區 | 1,571,906 | 2,504,022 | 3,462,428 | 9,924,634 | -626,050 | 5,119,345 |
| 第2區 | 107,018 | 3,911,968 | 8,815,537 | -3,940,663 | 2,507,583 | 3,544,401 |
| 第3區 | 3,460,219 | - | - | -2,129,966 | 1,557,046 | 3,501,586 |
| 第4區 | 6,984,907 | - | - | 6,155,194 | 1,348,517 | 6,045,394 |
| 第5區 | -229,283 | -9,410,628 | -1,419,861 | 14,214,550 | 11,731,753 | 2,116,369 |
| 第6區 | 52,063 | 4,045,714 | -12,603 | -2,379,403 | 867,969 | 2,060,275 |

| 區段 | 102~103年 | 103~104年 | 104~105年 | 105~106年 | 106~107年 |
|-----|------------|------------|------------|-----------|------------|
| 第1區 | -9,238,106 | 1,848,555 | -2,672,400 | 3,155,243 | - |
| 第2區 | -1,859,481 | 251,511 | -246,889 | 2,437,266 | - |
| 第3區 | -180,800 | 1,346,860 | 895,171 | 998,091 | 1,320,050 |
| 第4區 | -6,851,914 | 8,669,202 | 484,432 | 2,817,232 | -4,692,020 |
| 第5區 | -3,207,217 | -2,632,925 | -3,764,973 | 2,444,187 | - |
| 第6區 | -1,092,319 | -210,423 | -266,318 | 58,156 | - |

表8 臺中港水深地形分區平均水深變化比較表(96年~107年)(m)

| 區段 | 96~97年 | 97~98年 | 98~99年 | 99~100年 | 100~101年 | 101~102年 |
|-----|--------|--------|--------|---------|----------|----------|
| 第1區 | 0.04 | 0.06 | 0.08 | 0.24 | -0.01 | 0.12 |
| 第2區 | 0.01 | 0.41 | 0.91 | -0.40 | 0.26 | 0.36 |
| 第3區 | 0.44 | - | - | -0.27 | 0.20 | 0.44 |
| 第4區 | 0.22 | - | - | 0.19 | 0.04 | 0.19 |
| 第5區 | -0.02 | -0.64 | -0.10 | 0.96 | 0.78 | 0.14 |
| 第6區 | 0.58 | 0.46 | 0.00 | -0.28 | 0.09 | 0.22 |
| 全區 | 0.21 | -0.02 | 0.45 | 0.07 | 0.23 | 0.25 |

| 區段 | 102~103年 | 103~104年 | 104~105年 | 105~106年 | 106~107年 |
|-----|----------|----------|----------|----------|----------|
| 第1區 | -0.22 | 0.04 | -0.06 | 0.07 | - |
| 第2區 | -0.19 | 0.03 | -0.03 | 0.25 | - |
| 第3區 | -0.02 | 0.17 | 0.11 | 0.13 | 0.17 |
| 第4區 | -0.21 | 0.27 | 0.02 | 0.09 | -0.15 |
| 第5區 | -0.21 | -0.17 | -0.25 | 0.16 | - |
| 第6區 | -0.12 | -0.02 | -0.03 | 0.01 | - |
| 全區 | -0.16 | 0.05 | -0.04 | 0.12 | 0.01 |

三、水工模型試驗

3.1 試驗設備

本試驗於港灣技術研究中心第二試驗場棚進行，相關試驗範圍、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 HR Wallingford 公司出品之機械推移式不規則造波機，其由四個獨立造波模組成。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. 水準儀：用以量測模型底床高程變化。

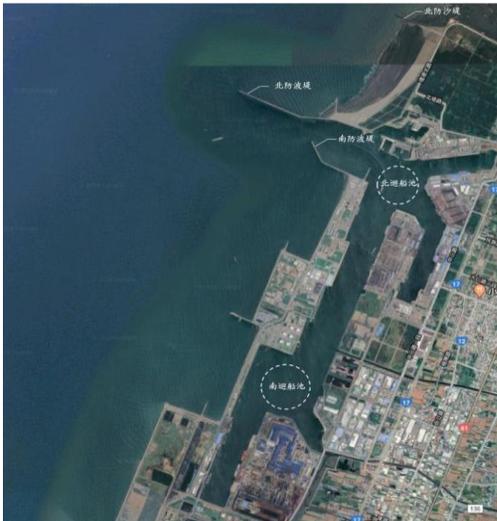


圖 19 臺中港試驗範圍配置圖

3.2 試驗條件

依據本所港研中心之現場觀測資料及上述之其他單位研究分析資料，擷取本所試驗所需資料，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.(即 +4.61m~+0.89m)作為季節風波浪作用時之變化水位；而以 H.H.W.L.~M.W.L.(+6.00m~+2.76m)作為颱風波浪作用之變化水位。

2. 試驗波浪

一般漂沙試驗佈置過程分為預備試驗與預定規劃港型探討其對港外地形變化影響之後續試驗等兩大部份，預備試驗為比較往昔已有之現場與模型試驗之地形變遷趨勢，用以尋求最佳的試驗重現時間，因此，試驗波浪即須配合現場地形資料的選取時間。

考慮預備試驗使用之現場地形資料時間為 99 年 12 月~100 年 5 月及 99 年 11 月~100 年 8 月(參考後節較詳細說明)，而波浪條件擬參考本所港研中心辦理之現場觀測資料。本所港研中心於臺

中港外海之波浪觀測屬長期性之資料，本次試驗採用 99 年 11、12 月份，100 年 1~3 月份之冬季季風波浪(每年 10 月至翌年 3 月)，及 100 年 5 月 27 日的桑達颱風之颱風波浪資料。因蒐集之現場地型資料無夏季季風波浪作用前後資料，故本所今年(107 年) 5 月及 11 月分別進行臺中港現場地形測量，且本年度恰無颱風侵襲臺中，明年將以 107 年 5 月~107 年 11 月之現場地形資料，搭配夏季季風波浪條件進行試驗，以求出夏季期間之重現期，另再取一年與二年之現場地形資料進行校驗工作。以本次試驗冬季季風波浪而言，波高以 2.61m 為代表，週期則為 7.1 秒，波向

介於 N~E 間。而 100 年 5 月份之桑達颱風的波浪量測資料為：波高代表值 2.78m、週期 8.4 秒、波向 NNE 向。

綜合上述分析說明，本預備試驗擬採用之試驗波浪條件為：(1)冬季季風波浪為，波高 2.61m 搭配週期為 7.1 秒，波向為 NNE 向。(2)颱風波浪取 100 年 5 月桑達颱風之波高為 2.78m，週期 8.4 秒，波向為 NNE 向。

3.3 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 9 所示。

表 9 漂沙動床模型相似律之比較(摘自歐、許論文)

| 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 |
| 榎木(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，當從事台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：

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

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

$$\text{潮汐比尺, } N_t = \lambda / (\mu)^{1/2}$$

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，一般動床試驗之水平方向與垂直方向比尺之比例不超過 1：6，且以 1：4 為佳。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：

$$\text{水平比尺: } \lambda = 1/300$$

$$\text{垂直比尺: } \mu = 1/75$$

3.4 試驗步驟

有關預備試驗及將來後續之規劃港型、防治對策試驗等皆依循下列之試驗步驟進行：

1. 於預備試驗之模型鋪設前，先行檢驗試驗波高、週期。由於各項試驗配置之造波時間長，波浪經地形反射結果，入射波高可能受影響而改變，因此於試驗中每隔 30 分鐘取其 2 分鐘造波資料分析，以 H 及 T 調整修正入射波高與週期。
2. 鋪設各種試驗配置相對應之現場地形，作為模型試驗之初期地形。
3. 於模型鋪設完畢後，先行造波 5 分鐘讓地形勻稱，再以水準儀量測地形變化視為造波前之初期地形，爾後再依試驗條件造波，並於各時段中量測地形變化情況，量測時則將試驗水池水放掉，避免標桿之沉陷以減低量測之誤差。
4. 依各種試驗配置需求，於適當時間量測一次地形變化，予與現場地形作一比較。

四、預備試驗

預備試驗主要係利用現場水深地形資料製作水工模型，以尋求模型與現場地形變化的重現時間，決定漂沙變化之時間比尺，提供作為後續規劃港型與

防治對策試驗時間之依據。為符合現場地形受波浪等海象條件之影響情況，試驗中應分別以冬、夏季季節風波浪與颱風波浪等試驗條件搭配方式，模擬現場

波浪的作用時序，有關擬定之試驗條件、試驗原則與試驗過程，分述如下。

4.1 試驗條件

依據前述之試驗條件與試驗比尺說明，有關預備試驗之現場與試驗模型之各項物理量換算，如表 10 所示。

表 10 預備試驗條件說明表

| 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 | | 2.61 m | 10.14 cm |
| | | 颱風波浪 | | 2.78 m | 10.8 cm |
| 週期 | 1/5.07 | 冬季波浪 | | 7.1 秒 | 1.4 秒 |
| | | 颱風波浪 | | 8.4 秒 | 1.66 秒 |
| 潮汐比尺 | 1/34.6 | 半日潮 | | 12hr | 20.8min |

4.2 試驗原則

臺灣氣候本有四季之分，但因所蒐集之現場地形資料多為 9 月施測，惟 99 年 12 月~100 年 5 月於冬季季風季節前後各施測一次，為試驗資料比對方便，預備試驗將受波浪作用而產生之地形變化時間區隔為冬季期間(每年 10 月至翌年 3 月)與夏季期間(每年 4 月至 9 月)。冬季期間之地形變化主要受冬季季風波浪影響，而夏季期間之地形則受夏季季風波浪與可能發生之颱風波浪影響。於夏季期間，雖然夏季季風波浪作用時間較長，而颱風波浪僅作用數日而已，然颱風波浪對地形變化之影響卻遠大於季風波浪，因此，試驗中有必要分別探討颱風與季風波浪對地形變化之影響。據此，預備試驗之試驗步驟如下：

1. 以季節風波浪(分別為夏季與冬季)試驗，比較相對之現場與模型地形的變化情況。
2. 原應僅以實際發生之颱風波浪條件試驗，比較相對之夏季期間地形變化情況，惟本年度(107 年)蒐集之地形資料無夏季季風前後之測量資料，故先以 99 年 11 月至 100 年 8 月之地形資料，配合本所港灣技術研究中心該區間之冬季季風及颱風波浪觀測資料進行試驗，比較相對期間之地形變化情況。
3. 夏季季風波浪配合颱風波浪試驗，比較夏季期間地形變化情況。(108 年)
4. 依據上述冬、夏季季風波浪與颱風波浪作用說明，分析比較整年地形變化之試驗重現時間。(108 年)

4.3 試驗配置

配合本所港研中心近年來於臺中港海域之現場觀測時間，有關本年度(107年)預備試驗蒐集之現場水深地形測量資料計有：(1)臺中港務分公司提供之99年11月、100年8月等2次測量資料；(2)經濟部水利署第三河川局提供之99年12月、100年5月等2次測量資料。上述4次水深地形資料之測量範圍

皆為臺中港北防沙堤至烏溪出海口附近區域，惟為考慮試驗地形邊界範圍，於模型鋪設時，外圍區域地形同樣分別搭配99年11月及99年12月之現場量測資料。

依前述預備試驗之試驗原則說明，同時配合現場量測地形與波浪觀測資料，有關本年度預備試驗擬定之試驗配置及順序如下表所示。

表 11 預備試驗配置順序表

| 試驗配置 | 試驗條件 | 現場地形時間 | 備註 |
|------|---------------|--------------|------|
| A | 冬季季風波浪 | 99.12~100.05 | |
| B | 冬季季風波浪+夏季颱風波浪 | 99.11~100.08 | 桑達颱風 |

如前所述，試驗中係以每年10月至翌年3月作為冬季季風波浪之作用期間，另以每年4月至9月為夏季季風作用期間，其間亦包含颱風波浪作用。依據前試驗原則說明，本年度(107年)預備試驗先分別尋求冬季期間及颱風期間之模型試驗的重現時間。如表11說明，由於現場地形測量資料剛好為冬季季風作用之前後期間且無主要颱風侵襲，故先以99年12月~100年5月地形資料測試冬季波浪重現間之試驗，如表中試驗配置A者。

由於夏季期間之颱風作用為影響地形變化之較主要因素，因此，夏季期間之地形重現時間試驗，先進行颱風波浪作用之試驗測試，惟蒐集之地形資料無夏季期間前後之資料，故以99年11

月~100年8月地形資料測試冬季期間及颱風重現時間，明年再搭配夏季季風波浪試驗，用以尋求較符合現場情況之試驗，如表中試驗配置B者。

依據冬、夏季之試驗重現時間結果，最後以整年之現場地形變化情況，作為模型試驗之整年重現時間的校驗。

4.4 試驗結果分析

1. 試驗配置A之結果

圖20為99年12月~100年5月間臺中港港外附近之現場地形各等深線的變化情形，圖中實線為99年12月之地形，虛線則為100年5月者。圖21~圖24為試驗配置A於冬季季風波浪作用下，分別於試驗累積時間4小時、6小時、8小時及10小時後之各等深線的變化比較，各圖中實線為依99年12月

現場地形鋪設之試驗初期地形，虛線則是各試驗累積時間後之地形。本預備試驗之重現時間的獲取，主要係以試驗成果之各等深線的變化趨勢是否符合現場地形變化，作為研判依據。其中，或許有部份等深線無法完全符合，此實為漂沙試驗和現場實物之差異存在，故仍以整體性之變化趨勢作為考量依據。由圖 21~圖 24 之試驗結果與圖 20 之現場變化比較，其中，由圖 23 之試驗結果顯示，除-5m 等深線之變化差異較大外，其餘各等深線的變化趨勢尚能符合現場地形的變化情況。因此，由試驗配置 A 得知，累積試驗時間 8 小時可重現冬季期間之現場地形變化。

2. 試驗配置 B 之結果

由於夏季期間常有颱風侵襲臺灣地區，而較大波高與較長時間週期之颱風波浪為臺灣海岸地形變遷的主要影響因素，因此，先辦理純由颱風波浪作用之試驗，用以觀察颱風波浪之影響性。惟本年度蒐集之地形資料無夏季期間前後之資料，故以 99 年 11 月~100 年 8 月地形資料測試冬季期間及夏季颱風之重現時間，圖 25 為 99 年 11 月~100 年 8 月之現場冬季期間及夏季颱風地形變化圖，圖 26~圖 29 則為試驗配置 B 之冬季季風作用 8 小時後，颱風波浪作用 10、20、30、40 分鐘後之試驗結果，各圖中之虛、實線表示與前者相同。比較圖 26~圖 29 之試驗結果與圖 25 現場地形變化情況，圖 28 之累積颱風波浪 30 分鐘後之試驗結果的整體性變化趨勢較其他試驗時間者為佳。圖 28 中，雖然+2、0、-2、-5 等深線較能符合現場地形變化情況，而-10 與-15 等深線的

差異仍大，但整體侵淤趨勢多和圖 25 符合。雖然颱風波浪對地形影響較大，但其影響時間僅幾日而已，因此，仍有必要考量夏季季風波浪的作用時間，明年度(108 年)將就今年 5 月及 11 月之地形資料測試夏季期間之試驗重現時間。

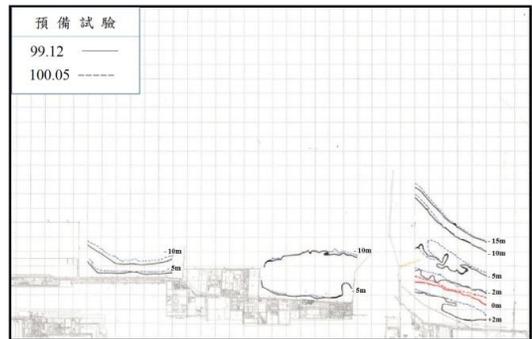


圖 20 99 年 12 月至 100 年 5 月之現場地形變化圖

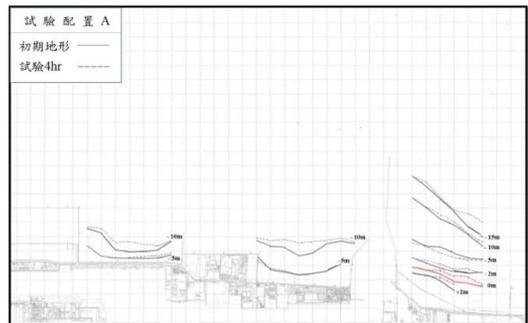


圖 21 試驗配置 A，試驗 4 小時後地形變化比較圖

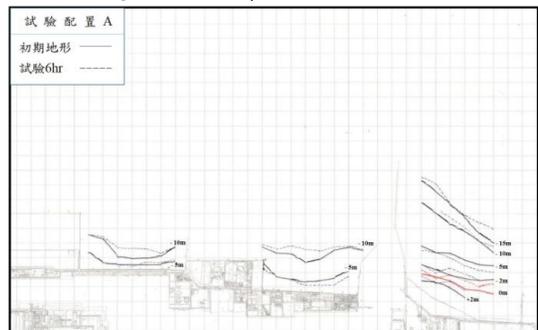


圖 22 試驗配置 A，試驗 6 小時後地形變化比較圖

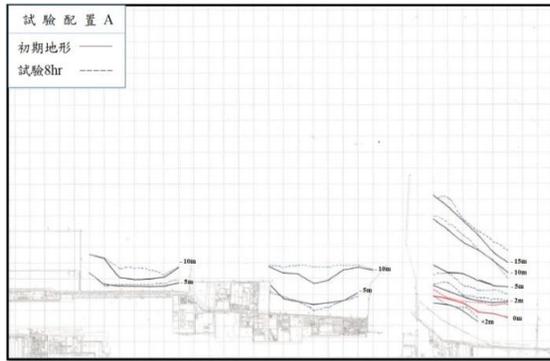


圖 23 試驗配置 A，試驗 8 小時後地形變化比較圖

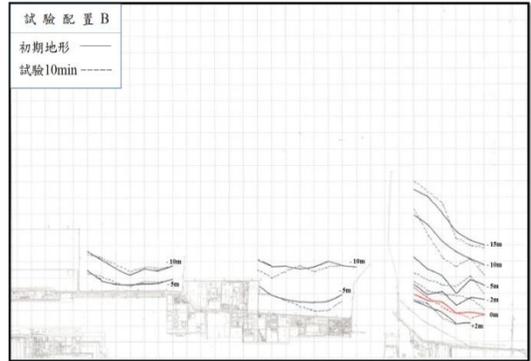


圖 26 試驗配置 B，冬季季風 8 小時及颱風 10 分鐘後地形變化比較圖

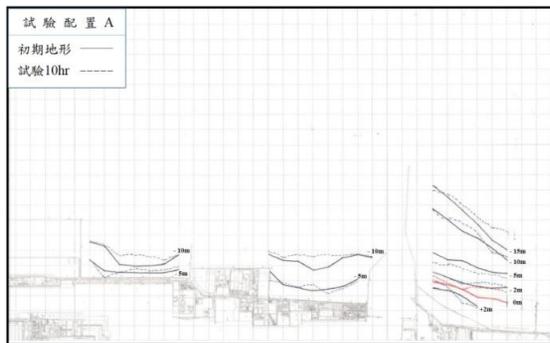


圖 24 試驗配置 A，試驗 10 小時後地形變化比較圖

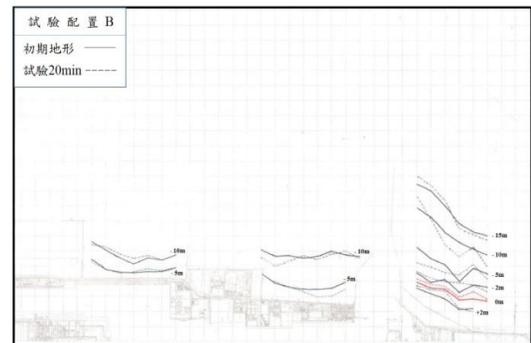


圖 27 試驗配置 B，冬季季風 8 小時及颱風 20 分鐘後地形變化比較圖



圖 25 99 年 11 月至 100 年 8 月之現場地形變化圖

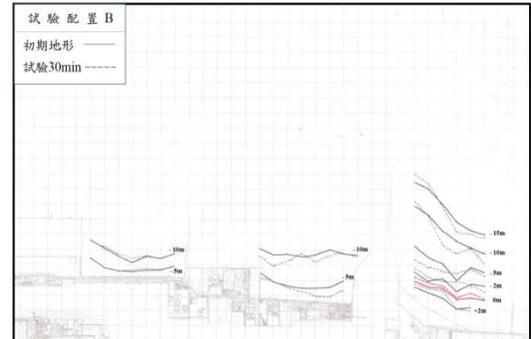


圖 28 試驗配置 B，冬季季風 8 小時及颱風 30 分鐘後地形變化比較圖

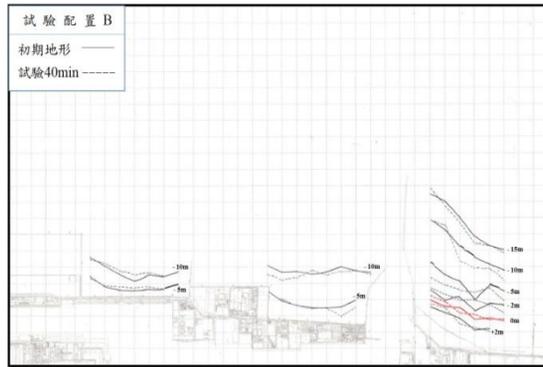


圖 29 試驗配置 B，冬季季風 8 小時及
颱風 40 分鐘後地形變化比較圖

五、結論

1. 臺中港歷年全期平均波高為 1.58m，波高分佈以小於 1m 所佔比率最高，約佔全期 38.8%；而歷年分季波浪週期以 6~8sec 所佔比率最高，約佔全期 55.4%，波向以 N~E 向為主，佔全期比率 64.6%。冬季時，東北季風吹襲至臺灣中部，因地勢影響風力強，且因海岸線走向為北北東~西南西向，故臺中港海域之波高大，平均波高約為 2.23m，為四季最大，波向以 NNE 向為主，佔整季 49.1%，波浪週期以 6~8sec 比率最高，約佔整季 62.6%；夏季時狀況相反，風與浪均自西南方來，波向以 W 向為主，佔整季 23.9%，週期分佈小於 6sec 佔整季 51.7%，平均波高為四季最小，約 0.92m，其波高分佈以小於 1m 比率最高，佔整季 79.1%。
2. 由歷年侵淤比較圖可知，民國 96 年至 97 年於大甲溪出海口至外海有

明顯的帶狀侵蝕現象，於大肚溪出海口亦有明顯的侵淤互現；民國 97 年至 98 年於大甲溪出海口至外海有明顯的帶狀淤積現象，於大肚溪出海口及外海有明顯侵蝕現象；民國 98 年至 99 年於大甲溪出海口至外海有部分淤積現象，於大肚溪出海口有部分侵蝕現象；民國 99 年至 100 年於大甲溪出海口至外海有部分侵蝕現象，於大肚溪出海口有明顯淤積現象；民國 100 年至 101 年於大甲溪出海口有微幅侵淤互現，於大肚溪出海口有明顯淤積現象；比較民國 101 年至 107 年之水深地形，侵淤變化大致都發生在終端水深以淺之區域，且位置集中在大甲溪出海口及大肚溪出海口。由上述可得知，民國 96 年至 100 年地形有較明顯的侵淤變化，民國 101 年之後於終端水深後較深之區域，其地形變化較小。

3. 由本年度辦理之水工模型預備試驗結果得知，進行冬季期間之冬季季風波浪 8 小時試驗，可以重現冬季期間現場的地形變化情況。後續(108 年度)將再進行夏季季風波浪

作用之試驗測試，用以尋求夏季期間現場地形變化之重現期，最後依據冬、夏季之試驗重現時間結果以整年之現場地形變化情況，作為模型試驗之整年重現時間的校驗。

六、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，交通部運輸研究所研究報告。
3. 蘇澳港消波問題研究(第二期)，基隆港務局，民國 79 年。
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. 何良勝、蔡金吉、林受勳、江玟德等(2009)，布袋港港型規劃與漂沙互制現象研究，交通部運輸研究所委託工作。