



台灣中油股份有限公司

觀塘工業港區漂沙機制及覆沙減輕對策之研究 期末報告

案號：AEA0958006

執行單位：國立中央大學

計畫主持人：黃志誠教授

中華民國 111 年 09 月 29 日

中文摘要

桃園海岸區域的風浪特性受東北與西南季風及颱風影響而呈現自然變動。近 20 年航拍照片顯示，在進出水口附近 4 道突堤完工後，G1、G2、G3 區域潮間帶藻礁的海沙覆蓋出現了明顯的差異和變化。本計畫旨在研究大潭地區潮間帶藻礁泥沙輸送機制，量化水動力和懸浮泥沙特性。我們研究了為什麼沉積物比較容易沉積在 G1 區域而非 G2。本計畫探討 G1 區域為何容易淤沙，並研擬了減輕礁體覆沙衝擊的初步策略。本計畫對不同季節的潮汐、波浪、洋流和泥沙輸送的變化進行了現場觀測。調查項目包括潮汐、波浪、海流、紊流、懸浮漂沙質量濃度、懸浮漂沙粒徑、懸浮漂沙體積濃度、沉積底質粒徑等。我們發現在 G1 區域的懸浮漂沙濃度有明顯的季節差異。測量到的摩擦速度約為 0 - 0.04 m/s，冬季的摩擦速度較其他季節大大。已沉降的底質粒徑在 G1 潮間帶有明顯的季節性差異，G2 與 G3 區的季節差異則不明顯。

綜合實測資料和參考資料，鄰區海床表面以礁石為主，沉降的沉積物在空間上分佈不均勻，使懸浮載成為輸沙的主導機制。因為海岸淺水區的底床剪應力主要的來源為波浪，又冬季浪明顯高於夏季，導致冬季的懸浮漂沙濃度明顯高於夏季。懸浮泥沙被海流傳送，而海流又以潮流及風趨流為構成的主要因子。因東北季風風趨流在淺水區域強過西南季風風趨流，使得整年的淨海流及優勢漂沙方向往西或西南向。波浪引起的底床剪應力最大值約在 2-3 公尺水深，而漂沙極限水深在夏季約為 5 公尺內，冬季約為 10 公尺內。而 G1、G2、G3 緊鄰的四道突堤長度分別約為 3、5、7 及 10 公尺。靠近 G1 的北部突堤水深只有 3 米左右，因突堤太淺無法阻擋冬季的高泥沙通量進入 G1。和 G2 及 G3 相比，由於 G1 區潮下帶的水深較淺，大部分波浪能量在潮下帶消散，因此沉積物更容易沉降在 G1 潮間帶。

本計畫也舉辦兩次專家諮詢會議，邀請國內外海洋工程、生態學、海岸科學等領域的專家教授參加，以提升並精進本計畫的成果。結論建議，應持續對物理、生態和其他環境因子進行環境監測。需要更詳細和更精細的數值模型來預測形態變化。LNG 港建設對環境影響的緩解策略必須結合生態數據和保護成果。

英文摘要(Abstract)

The characteristics of wind and waves in the coastal area of Taoyuan show a nature variation due to the influence of the northeast and southwest monsoons and typhoons. Aerial photos taken in the past 20 years show apparent differences and changes in the intertidal algal reefs covered by sand in the areas of G1, G2, and G3 after constructing four jetties of inlet and outlet nearby. This project aims to study the mechanism of sediment transport in the intertidal algal reefs of the Datan area and quantify the characteristics of hydrodynamics and suspended sediment. We investigated why the sediment is easier to settled in the G1 area than G2 and made a preliminary strategy for mitigating the impact of the reef from the sand coverage. In situ observations of variations of tides, waves, currents, and sediment transport in different seasons were conducted. Properties of tides, waves, currents, turbulence, mass and volume concentrations of suspended sediment, particle sizes of suspended and deposited sediment were measured. We found that there is a significant seasonal variation in the suspended sediment concentration at G1. The measured frictional velocity ranges in 0 - 0.04 m/s, and the values are lager in winter than these in other seasons. There is also a significant seasonal variation in the change of the particle size of the settled sediment at the intertidal zone of G1; however, the variation is not obvious at G2 and G3.

In summary of the measured and collected data and references, the surface of the seabed features in the adjacent area is mainly the reef, and the settled sediment is distributed nonuniformly in space, making the suspended load being the dominant mechanism for sediment transport. Waves are the main factor contributing the bed shear stress in shallow coastal waters. Waves are higher in winter than in summer, resulting in suspended sediment concentration that is obviously higher than in summer. The suspended sediment is transported by mean currents, mainly by tidal and wind-driven currents. The net transporting direction of the mean current and the suspended sediment are toward west and west-south directions in the shallow coastal zone because the wind-driven current by east-north monsoon wind is stronger than that by the west-south monsoon wind. The maximum of the mean bed shear stress occurs in the water depth of about 2-3 meters, and the limit water depths of sediment transport by waves are about 5 meters in summer and 10 meters in winter. The water depth of the four jetties are about 3, 5, 7, and 10 meters. The water depth of the northern jetty close to G1 is only about 3 meters, which is too shallow to block high sediment flux into G1 in winter. Comparing to G2 and G3, sediments are more easily settled in the intertidal zone of G1 because most wave energy is dissipated in the subtidal area due to the shallower bathymetries in the sub-tidal zone.

We held two expert consultation meeting. Domestic and international experts and professors in the fields of ocean engineering, ecology, coastal sciences were invited to participate to improve and refine the results of this project. We concluded that continuous environmental monitoring of the physical, ecological, and other environmental factors are needed. A more detailed and finer numerical model for predicting morphological change is required. The mitigation strategy for the environmental impact caused by the construction of the LNG harbor must combine the ecological data and conservation outcomes.

目錄

中文摘要.....	i
英文摘要(Abtract)	ii
目錄.....	iv
圖目錄.....	vii
表目錄.....	xiv
一、計畫背景.....	1
1.1 計畫緣起與目的.....	1
1.2 計畫目標.....	1
1.3 計畫範圍.....	1
二、工作項目與執行進度.....	3
2.1 工作項目.....	3
2.2 執行進度.....	5
三、關鍵問題及研究方法.....	6
3.1 關鍵問題.....	6
3.2 研究方法與步驟.....	8
3.3 關鍵問題與計畫目標.....	11
四、資料蒐集、分析與評述.....	12
4.1 學理文獻資料分析.....	13
4.1.1 漂沙啟動條件.....	13
4.1.2 懸浮漂沙學理.....	15
4.2 基本海氣象特性.....	22
4.2.1 氣象.....	22
4.2.2 海象.....	25
4.3 懸浮漂沙濃度特性.....	35
4.4 礁體覆沙變化特性.....	40
4.4.1 調查方法.....	40
4.4.2 調查成果.....	44
4.5 地形水深變化特性.....	48
4.6 柴山多杯珊瑚分佈.....	50
五、潮波流現場調查.....	51
5.1 G1 區潮波流調查.....	51

5.1.1 調查設備、點位與頻率.....	51
5.1.2 調查成果.....	61
一、潮汐特性.....	62
二、波浪特性.....	65
三、海岸流特性.....	75
5.2 G2 區潮波流調查.....	82
5.2.1 調查設備、點位與頻率.....	82
5.2.2 調查成果.....	89
一、潮汐特性.....	90
二、波浪特性.....	92
三、海岸流特性.....	100
5.3 G1 區與 G2 區比較.....	105
一、波浪特性.....	106
二、海岸流特性.....	116
六、漂沙現場調查.....	120
6.1 調查設備、點位與頻率.....	120
6.1.1 調查設備.....	120
1. 近岸流速剖面.....	120
2. 懸浮漂沙濃度垂直分佈.....	122
3. 懸浮漂沙粒徑.....	126
6.1.2 調查點位與頻率.....	128
6.2 漂沙調查成果.....	138
6.2.1 第一次成果.....	138
6.2.2 第二至三次成果.....	141
6.2.3 第四至六次成果.....	147
6.2.4 懸浮漂沙微觀及成分分析.....	151
6.3 覆沙底質粒徑調查.....	154
6.3.1 調查方法、點位與頻率.....	154
6.3.2 調查成果.....	166
七、舉辦專家現勘、諮詢與討論會.....	173
7.1 第一次專家諮詢會.....	173
7.2 第二次專家諮詢會.....	178
八、覆沙減輕對策方向研擬.....	182
8.1 覆沙減輕對策研擬構想及規劃流程.....	182
8.2 漂沙機制學理分析.....	184
8.3 漂沙減輕對策方向.....	196

8.3.1 清沙實驗.....	199
實驗一：清沙回淤現場試驗	199
實驗二：氣泡射流防淤實驗室試驗	204
實驗三：氣泡射流防淤現場試驗	207
8.3.2 漂沙與覆沙減輕對策方向.....	211
8.3.3 G1 區歷年海沙覆蓋變化.....	215
九、結論與建議.....	220
9.1 結論.....	220
9.2 建議.....	223
附錄一、期中報告意見回覆.....	224
附錄二、期末報告意見回覆.....	236
附錄三、第一次專諮會會議紀錄.....	248
附錄四、第二次專諮會會議紀錄.....	254
附錄五、Delft3D 模式校驗資料.....	262
參考文獻.....	267

圖目錄

圖 1、計畫範圍圖。觀塘工業區暨工業專用港相關設施配置及 G1、G2、G3 潮間帶位置圖。.....	2
圖 2、G1 區靠近北側結構物覆沙單季增加的空照影像。(攝於 2019 年 5 月).....	6
圖 3、柴山多杯珊瑚受到沙埋影響的照片。(攝於 2019 年 8 月).....	7
圖 4、漂沙過程簡圖。漂沙機制包含沉降(settling)、堆積(deposition)、再懸浮(entrainment)、底床載(bed load)等過程，受到海流(inflow)產生的底床剪應力(τ_b)而影響，懸浮載受到海流與波浪的紊流而影響。.....	9
圖 5、工作流程及步驟規劃圖。.....	10
圖 6、漂沙啟動條件圖。資料來源：Beheshti and Ataie-Ashtiani [2008]。.....	14
圖 7、懸浮漂沙機制基礎學理。(Delft 3D 模式).....	21
圖 8、侵台颱風路徑分類圖.....	23
圖 9、侵襲桃園海岸之各類颱風路徑圖.....	24
圖 10、新竹浮標 2002-2021 年每月波高統計圖.....	27
圖 11、新竹浮標 2002-2021 年每月示性波高分佈圖。.....	28
圖 12、國立中央大學 [2017]報告中儀器調查點位圖.....	31
圖 13、白玉海岸夏天的海流逐時變化圖.....	32
圖 14、白玉海岸冬天的海流逐時變化圖.....	33
圖 15、海流方向的空間特性分析比較圖，左行為白玉海岸，右行為藻礁保護區資料；由上而下分別為四季的資料.....	34
圖 16、各測站 GPS 定位點.....	36
圖 17、109 年度漂沙濃度逐時資料時序列圖.....	37
圖 18、109 年度各季漂沙濃度逐時資料時序列圖(a)第 1 季(1~3 月)(b)第 2 季(4~6 月)(c)第 3 季(7~9 月)(d)第 4 季(10~12 月).....	38
圖 19、109 年 10 月每日懸浮固體監測資料連續超過 300 小時時序列圖.....	39
圖 20、定義控制面積示意圖及岸線邊界兩點示意圖.....	40
圖 21、海岸特性劃設分區圖.....	41
圖 22、ArcGIS 實際操作畫面，控制面積(黑線)、非沙面積(黃線).....	43
圖 23、區域 G3 歷次空拍資料輸出成果.....	45
圖 24、區域 G2 歷次空拍資料輸出成果.....	46
圖 25、區域 G1 歷次空拍資料輸出成果.....	47
圖 26、105 年 5 月至 110 年 6 月侵淤變化圖(110 年 06 月-105 年 05 月).....	49
圖 27、101 年 5 月至 110 年 6 月侵淤變化圖(110 年 06 月-101 年 05 月).....	49
圖 28、柴山多杯珊瑚點位分佈圖。由資料可知柴山多杯珊瑚多分佈在水深約 EI= -1.6 到 EI= -2 公尺的黃色線位置。.....	50
圖 29、G1 區潮波流設備器現場照片.....	51
圖 30、G1 區整合式潮波流儀位置圖。.....	53
圖 31、G1 區第一次(110/4/27~110/6/24)潮波流儀佈放現場照片.....	56

圖 32、G1 區第二次(110/6/24 ~ 110/8/23)潮波流儀佈放現場照片	57
圖 33、G1 區第三次(110/8/23~110/11/9)整合式潮波流儀佈放現場照片	58
圖 34、G1 區第四次(110/11/9~111/1/6)潮波流儀佈放現場照片	59
圖 35、G1 區第五次(111/1/6~111/4/18)潮波流儀佈放現場照片	60
圖 36、G1 區潮波流調查全時段時序列圖。	61
圖 37、季節劃分示意圖 資料來源:[Jan <i>et al.</i> , 2002].....	61
圖 38、G1 區春季(110/4/27 ~ 110/5/31)潮汐調查成果時序列圖及頻譜分析圖。	62
圖 39、G1 區夏季(110/6/1 ~ 110/8/31)潮汐調查成果時序列圖及頻譜分析圖。	62
圖 40、G1 區秋季(110/9/1 ~ 110/10/04)潮汐調查成果時序列圖及頻譜分析圖。	63
圖 41、G1 區冬季(110/11/9 ~ 111/3/31)潮汐調查成果時序列圖及頻譜分析圖。	63
圖 42、G1 區春季(111/4/1 ~ 111/4/18)潮汐調查成果時序列圖及頻譜分析圖。	64
圖 43、G1 區春季(110/4/27 ~ 110/5/31)的潮汐波浪調查成果時序列圖。	66
圖 44、G1 區夏季(110/6/1 ~ 110/8/31)的潮汐波浪調查成果時序列圖。	67
圖 45、G1 區秋季(110/9/1 ~ 110/10/04)的潮汐波浪調查成果時序列圖。	69
圖 46、G1 區冬季(110/11/9 ~ 111/3/31)的潮汐波浪調查成果時序列圖。	70
圖 47、G1 區春季(111/4/1 ~ 111/4/18)的潮汐波浪調查成果時序列圖。	71
圖 48、G1 區四季的示性波高統計圖。(a)春季(b)夏季(c)秋季(d)冬季。	72
圖 49、G1 區四季的尖峰週期統計圖。(a)春季(b)夏季(c)秋季(d)冬季。	72
圖 50、G1 區四季的波浪方向(來向)統計圖。(a)春季(b)夏季(c)秋季(d)冬季	73
圖 51、G1 區四季的波高波向玫瑰圖。(a)春季(b)夏季(c)秋季(d)冬季.....	74
圖 52、G1 區春季(110/4/27 ~ 110/5/31)海流調查成果圖。上至下為潮汐、流速與流向。	77
圖 53、G1 區夏季(110/6/1 ~ 110/8/31)海流調查成果圖。上至下為潮汐、流速與流向。	77
圖 54、G1 區秋季(110/9/1 ~ 110/10/04)海流調查成果圖。上至下為潮汐、流速與流向。	78
圖 55、G1 區冬季(110/11/9 ~ 111/3/31)海流調查成果圖。上至下為潮汐、流速與流向。	78
圖 56、G1 區春季(111/4/1 ~ 111/4/18)海流調查成果圖。上至下為潮汐、流速與流向。	79
圖 57、G1 區各季海流頻譜分析圖。(a)春季第一次(b)夏季(c)秋季(d)冬季(e)春季第二次。 .	80
圖 58、G1 區四季的流速流向玫瑰圖。(a)春季(b)夏季(c)秋季(d)冬季。	81
圖 59、G2 區潮波流設備器現場照片	82
圖 60、G2 區整合式潮波流儀位置圖。	83
圖 61、G2 區第一次(110/7/22~110/10/5)潮波流儀佈放現場照片	85
圖 62、G2 區第二次(110/10/5~110/12/3)潮波流儀佈放現場照片	86
圖 63、G2 區第三次(110/12/3~111/1/6)潮波流儀佈放現場照片	87
圖 64、G2 區第四次(111/3/31~111/5/15)潮波流儀佈放現場照片	88
圖 65、G2 區潮波流調查全時段時序列圖。	89
圖 66、季節劃分示意圖 資料來源:[Jan <i>et al.</i> , 2002].....	89
圖 67、G2 區夏季(110/7/22 ~ 110/8/31)潮汐調查成果時序列圖及頻譜分析圖。	90
圖 68、G2 區秋季(110/9/1 ~ 110/10/31)潮汐調查成果時序列圖及頻譜分析圖。	90
圖 69、G2 區冬季(110/11/1 ~ 110/12/3、111/1/6~111/3/31)潮汐調查成果時序列圖及頻譜分析 圖。	91
圖 70、G2 區春季(111/4/1 ~ 111/5/15)潮汐調查成果時序列圖及頻譜分析圖。	91

圖 71、G2 區夏季(110/7/22 ~ 110/8/31)潮汐波浪調查成果時序列圖。	93
圖 72、G2 區秋季(110/9/1 ~ 110/10/31)潮汐波浪調查成果時序列圖。	94
圖 73、G2 區冬季(110/11/1 ~ 110/12/3)潮汐波浪調查成果時序列圖。	95
圖 74、G2 區春季(111/4/1 ~ 111/5/15)潮汐波浪調查成果時序列圖。	96
圖 75、G2 區四個季節示性波高統計圖。(a)春季(b)夏季(c)秋季(d)冬季	97
圖 76、G2 區四個季節尖峰週期統計圖。(a)春季(b)夏季(c)秋季(d)冬季	97
圖 77、G2 區四個季節波浪方向(來向)統計圖。(a)春季(b)夏季(c)秋季(d)冬季	98
圖 78、G2 區四個季節波高波向玫瑰圖。(a)春季(b)夏季(c)秋季(d)冬季	99
圖 79、G2 區夏季(110/7/22 ~ 110/8/31)海流調查成果圖。由上而下為潮汐、海流流速、海流 流向。	101
圖 80、G2 區秋季(110/9/1 ~ 110/10/31)海流調查成果圖。由上而下為潮汐、海流流速、海流 流向。	101
圖 81、G2 區冬季(110/11/1 ~ 110/12/3、111/1/6~111/3/31)海流調查成果圖。由上而下為潮 汐、海流流速、海流流向。	102
圖 82、G2 區春季(111/4/1 ~ 111/5/15)海流調查成果圖。由上而下為潮汐、海流流速、海流流 向。	102
圖 83、G2 區各時間區間海流頻譜分析圖。(a)春季(b)夏季(c)秋季	103
圖 84、G2 區四個季節流速流向玫瑰圖。(a)春季(b)夏季(c)秋季(d)冬季	104
圖 85、G1、G2 區海域水位比較圖	105
圖 86、四次 G1(藍線)、G2(紅線)及新竹浮標(黑線)同時段示性波高時序列圖。	108
圖 87、第一次 G1、G2 區同時段波浪時序列比較圖。由上而下為示性波高、尖峰週期、能 量加權波浪週期。	109
圖 88、第二次 G1、G2 區同時段波浪時序列比較圖。由上而下為示性波高、尖峰週期、能 量加權波浪週期。	109
圖 89、第三次 G1、G2 區同時段波浪時序列比較圖。由上而下為示性波高、尖峰週期、能 量加權波浪週期。	110
圖 90、第四次 G1、G2 區同時段波浪時序列比較圖。由上而下為示性波高、尖峰週期、能 量加權波浪週期。	110
圖 91、G1、G2 區四個同時段示性波高統計圖。	111
圖 92、G1、G2 區四個同時段尖峰週期統計圖。	111
圖 93、G1、G2 區四個同時段波浪方向(來向)統計圖。	112
圖 94、G1、G2 區及新竹浮標四個同時段波高波向玫瑰圖。	113
圖 95、第一次 G1、G2 區同時段碎波指標時序列圖。紅線為根據[林則名, 2013]文中定義在 藻礁區碎波指標完全無碎波現象的指標為 0.29	114
圖 96、第二次 G1、G2 區同時段碎波指標時序列圖。紅線為根據[林則名, 2013]文中定義在 藻礁區碎波指標完全無碎波現象的指標為 0.29	114
圖 97、第三次 G1、G2 區同時段碎波指標時序列圖。紅線為根據[林則名, 2013]文中定義在 藻礁區碎波指標完全無碎波現象的指標為 0.29	114
圖 98、第四次 G1、G2 區同時段碎波指標時序列圖。紅線為根據[林則名, 2013]文中定義在 藻礁區碎波指標完全無碎波現象的指標為 0.29	115

圖 99、第一次 G1、G2 區同時段流速大小比較圖	117
圖 100、第二次 G1、G2 區同時段流速大小比較圖	117
圖 101、第三次 G1、G2 區同時段流速大小比較圖	117
圖 102、第四次 G1、G2 區同時段流速大小比較圖	117
圖 103、G1、G2 區四個同時段流速大小統計圖	118
圖 104、G1、G2 區四個同時段流速流向玫瑰圖	119
圖 105、高頻單點聲波式杜普勒流速計實景照片	121
圖 106、高頻流速儀陣列探頭高度照片	121
圖 107 光學濁度計率定水槽、烘乾秤重設備實景照片	124
圖 108、第一次光學濁度計率定結果圖	124
圖 109、光學濁度計陣列實景照片	125
圖 110、光學濁度計陣列探頭高度示意圖	125
圖 111、現場雷射粒徑分析儀(LISST 200X)儀器設備照片。	126
圖 112、現場雷射粒徑分析儀陣列(LISST 200X)探頭高度示意圖	127
圖 113、漂沙現場調查設備位置圖。	131
圖 114、110 年 7 月 23 日~7 月 24 日於 G1 區架設設備現場照片	132
圖 115、111 年 1 月 7 日於 G1 區架設設備現場照片	133
圖 116、111 年 1 月 19 日於 G1 區架設設備現場照片	134
圖 117、111 年 4 月 20 日於 G1 區架設設備現場照片	135
圖 118、111 年 5 月 4 日於 G1 區架設設備現場照片	136
圖 119、111 年 5 月 13 日於 G1 區架設設備現場照片	137
圖 120、三個 ADV 的速度分量 (u、v 和 w)。從上到下分別表示 (a) ADV 1、(b) ADV 2 和 (c) ADV 3。此次為錯誤的測量與調查。	138
圖 121、第一次調查的懸浮漂沙濃度時序列圖。高度位置：OBS1(15 cm)、OBS2(30 cm)、OBS3(55 cm)。	139
圖 122、第一次調查期間的 G1 區潮波流儀波高時序列圖。	139
圖 123、第一次調查之懸浮漂沙粒徑分佈。高度位置：LISST1(20 cm)、LISST2(40 cm)。	140
圖 124、第一次調查之懸浮漂沙體積濃度分佈。高度位置：LISST1(20 cm)、LISST2(40 cm)。	140
圖 125、第二及第三次調查之雷諾應力時序列圖。高度位置：ADV1(15 cm)、ADV2(30 cm)、ADV3(55 cm)。 $\overline{u'w'}$ 為向離岸分量、 $\overline{v'w'}$ 為沿岸方向分量、 $ \tau $ 為雷諾應力的大小、 u_* 為摩擦速度。	144
圖 126、第二及第三次調查之懸浮漂沙質量濃度分佈。高度位置：OBS1(15 cm)、OBS2(30 cm)、OBS3(55 cm)、OBS4(80 cm)。	145
圖 127、第二及第三次調查期間的 G1 區潮波流儀波高時序列圖。	145
圖 128、第二及三次調查之懸浮漂沙粒徑分佈。高度位置：LISST1(20 cm)、LISST2(40 cm)。	146
圖 129、第二及三次調查之懸浮漂沙體積濃度分佈。高度位置：LISST1(20 cm)、LISST2(40 cm)。	146

圖 130、第四至第六次調查之雷諾應力時序列圖。高度位置：ADV1(15 cm)、ADV2(30 cm)、ADV3(55 cm)、ADV4(80 cm)。 $\overline{u'w'}$ 為向離岸分量、 $\overline{v'w'}$ 為沿岸方向分量、 $ \tau $ 為雷諾應力的大小， u_* 為摩擦速度。.....	147
圖 131、第四至第六次調查之懸浮漂沙濃度分佈。高度位置：OBS1(15 cm)、OBS2(30 cm)、OBS3(55 cm)、OBS4(80 cm)。	148
圖 132、第四至第六次調查期間的新竹浮標波高時序列圖。	148
圖 133、第四至第六次調查之懸浮漂沙粒徑分佈。高度位置：LISST1(20 cm)、LISST2(40 cm)。	149
圖 134、第四至第六次調查之懸浮漂沙體積濃度分佈。高度位置：LISST1(20 cm)、LISST2(40 cm)。	150
圖 135、第二至三次調查之懸浮漂沙質量濃度與體積濃度的散佈圖。圖中的實線從上到下為 2.5、1.5、及 1 的比例值。	152
圖 136、第四至第六次調查之懸浮漂沙質量濃度與體積濃度的散佈圖。圖中的實線從上到下為比例 2.5、1.5、及 1 的值。	152
圖 137、水體懸浮物顯微鏡觀察結果樣本範例。	153
圖 138、潮間帶沉積物礦物分析。G2 區沉降桶採集到之懸浮沉積物光薄片樣本(左圖)與 X 光繞射結果。	153
圖 139、雷射粒徑分析儀(Beckman Coulter)照片	155
圖 140、第一次(110/8/25)底質採樣現場照片	157
圖 141、第一次 G1 區採樣點位	157
圖 142、第一次 G2 區採樣點位	158
圖 143、第一次 G3 區採樣點位	158
圖 144、第二次(111/1/19)底質採樣現場照片	160
圖 145、第二次 G1 區採樣點位	160
圖 146、第二次 G2 區採樣點位	161
圖 147、第二次 G3 區採樣點位	161
圖 148、第三次(111/5/17)底質採樣現場照片	163
圖 149、第三次 G1 區採樣點位	163
圖 150、第三次 G2 區採樣點位	164
圖 151、第三次 G3 區採樣點位	164
圖 152、G1 區三次中值粒徑分布圖	170
圖 153、G2 區三次中值粒徑分布圖	171
圖 154、G3 區三次中值粒徑分布圖	172
圖 155、第一次專家諮詢會議議程表	174
圖 156、第一次專家諮詢會議委員簽到表	175
圖 157、第一次專諮會專題報告現場照片	176
圖 158、第一次專諮會現場實地勘查照片	177
圖 159、第二次專諮會簽到表	179
圖 160、專家諮詢會議主持人范光龍教授及台灣中油天然氣事業部李皇章執行長 致詞...	180

圖 161、視訊連線之國外專家學者 發表意見(紅色圈選處為 2 位海外專家學者).....	180
圖 162、計畫主持人黃志誠教授講解簡報大綱及內容.....	181
圖 163、覆沙減輕對策擬定流程規劃圖.....	182
圖 164、漂沙及地形變遷學理.....	184
圖 165、G1 區測量到不同季節的摩擦速度機率分佈圖。.....	187
圖 166、懸浮漂沙粒徑分析結果調查成果圖。圖為大潭藻礁 G2 點位的懸浮粒徑夏天及冬天 變化結果，顯示大浪會造成粒徑大的粗沙被懸浮傳輸。.....	187
圖 167、觀塘藻礁 G2 測站之示性波高及漂沙懸浮濃度每日時序列圖。波高及濃度測站皆 位於 G2 測站。.....	188
圖 168、觀塘藻礁 G2 測站示性波高及懸浮漂沙濃度關係圖。.....	188
圖 169、計畫區水深及堤頭示意圖.....	189
圖 170、計畫區沙源與匯示意圖。.....	189
圖 171、外推方案與迴避替代修正方案模式流速結果圖。.....	190
圖 172、外推方案與迴避替代修正方案模式地形變遷圖。.....	190
圖 173、Google 影像有碎波帶與水深疊合圖。.....	192
圖 174、沉降速度(w_s)與粒徑(d)關係圖。.....	195
圖 175、可動參數(u^*/w_s)與無因次海砂粒徑(D^*)關係圖。第 2-3 次調查成果，懸浮物密度在 左圖設為 2.6 g/cm^3 ，右圖為 1.3 g/cm^3 。.....	195
圖 176、可動參數(u^*/w_s)與無因次海砂粒徑(D^*)關係圖。第 4-6 次調查成果，懸浮物密度在 左圖設為 2.6 g/cm^3 ，右圖為 1.3 g/cm^3 。.....	195
圖 177、機械清淤法(Mechanical dredges)與水力清淤法(Hydraulic dredges)之圖例。.....	197
圖 178、永安漁港機械清淤工法案例(上圖)與環評報告水力清淤工法(下圖)實際案例。....	198
圖 179、實驗目標區示意圖及現場照片.....	200
圖 180、現場工作照.....	201
圖 181、實施清沙後現場照，圖中泥水部分為利用水柱噴起區域.....	201
圖 182、海沙採樣點位.....	205
圖 183、氣泡射流試驗流程.....	206
圖 184、氣泡射流防淤現場目標區中心位置圖.....	208
圖 185、氣泡射流防淤現場目標區現場照片.....	208
圖 186、氣泡射流防淤現場施作流程.....	209
圖 187、氣泡射流防淤實驗成果.....	210
圖 188、G1 區歷年礁體露出範圍及柴山多杯珊瑚生長位置。.....	215
圖 189、現況模擬 紅色線段：不透水結構物；黑色圓點：模擬值輸出點位；紅色三角形： ADCP 設置位置.....	263
圖 190、校驗階段期間(2021 年 5 月 2 日至 2021 年 5 月 31 日)新竹浮標風速、風向、示性波 高、波向時序資料。.....	264
圖 191、5 月 2 日至 5 月 31 日實測(黑色)與模擬結果(藍色)時序列圖：(a)水位 (b)X 方向流	

速 (c)Y 方向流速 (d)示性波高 (e)波向	265
圖 192、1 月 19 日至 1 月 31 日實測(黑色)與模擬結果(藍色)時序列圖：平均底床剪力流速	266

表目錄

表 1、計畫預定(黑色)與實際(紅色)干特圖	5
表 2、柴山多杯珊瑚存在的點位紀錄表，其中有部分珊瑚已受到沙埋影響。資料來源：中油生態執行委員會第五次簡報報告。	7
表 3、竹圍每月潮位統計表(2000-2021).....	25
表 4、新竹浮標 2001-2021 年每月最大波高、月平均示性波高及月平均週期統計表	26
表 5、新竹浮標 2002-2021 年每月示性波高分佈統計表	27
表 6、竹圍測站 2002-2021 年每月海水表面溫度統計表。	29
表 7、國立中央大學 [2017]報告中實驗時間整理表	31
表 8、各分區沿岸兩點經緯度之整理.....	41
表 9、桃園竹圍 65 年至 106 年每月潮位統計表.....	42
表 10：資料來源與處理方式.....	48
表 11、G1 區潮波流儀基礎設定資料表	52
表 12、G1 區潮波流儀佈放時間及有效資料時間彙整表	54
表 13、中油公司第三座 LNG 接收站施工進度彙整表	55
表 14、烟花颱風影響時間表.....	68
表 15、G2 區潮波流儀基礎設定資料表.....	82
表 16、儀器佈放時間及有效資料時間彙整表.....	84
表 17、烟花颱風影響時間表.....	93
表 18、G1、G2 完整有潮波流資料時間表.....	105
表 19、各同時段碎波指數大於 0.29 占總數的百分比彙整表.....	107
表 20、第一次光學濁度計率定公式彙整表.....	123
表 21、漂沙現場調查設備彙整表.....	129
表 22、中油公司第三座 LNG 接收站施工進度彙整表	130
表 23、烟花颱風影響時間表.....	139
表 24、第一次 G1、G2、G3 採樣點位經緯度彙整表	159
表 25、第二次 G1、G2、G3 採樣點位經緯度彙整表	162
表 26、第三次 G1、G2、G3 採樣點位經緯度彙整表	165
表 27、各次平均中值粒徑(D50)(um)計算結果	166
表 28、第一次底質粒徑調查成果.....	167
表 29、第二次底質粒徑調查成果.....	168
表 30、第三次底質粒徑調查成果.....	169
表 31、實驗目標區四個角落經緯度彙整表.....	200
表 32、實驗結果(視角 A 及視角 B)	202
表 33、實驗結果(視角 C 及視角 D)	203
表 34、G1 區潮間帶淤積海沙後之衝擊減緩可能措施整理表。	213

一、計畫背景

1.1 計畫緣起與目的

由歷年衛星圖像結果顯示，大潭藻礁位於海沙覆蓋變動的區域，受自然海象變動影響其漂沙行為。中油第三座天然氣接收站設置站址鄰近大潭藻礁區，為維護大潭藻礁生態棲息環境，工業港採離岸開放式配置，但因工業港的建置，其防波堤仍可能影響潮波流改變，中油公司於 107 年曾委託專業團隊根據現場海流環境及工業港規模進行水工模擬試驗，107 年的研究計劃為三接港由突堤方案改為離岸港，但是尚未進行外推之前的研究方案。受限於實驗設備與尺度限制，水工模型試驗主要考量波浪產生的近岸流，難以考量潮流與風的作用。另外，以往的現場研究多規畫短期調查，且非在漂沙變化劇烈的 G1 的區位進行。本研究直接在 G1 下潮帶位置長期進行觀測，且包含以往沒有的紊流與漂沙粒徑等的現場調查。本研究直接在現場量化雷諾應力與懸浮漂沙特性，更清楚掌握自然的漂沙狀況，與以往的研究有相輔相成之處。

1.2 計畫目標

依據學理為基礎，實際進行現場潮波流與漂沙調查，並蒐集相關監測與數值模擬資料，來掌握觀塘工業港區漂沙機制，探討漂沙濃度、漂沙覆蓋變化的成因，並據此研擬覆沙減輕策略。

1.3 計畫範圍

本計畫範圍為觀塘工業區暨工業專用港區，及其鄰近的近岸海域及潮間帶位置，計畫重點範圍名稱 G1、G2、G3 如圖 1 所示。

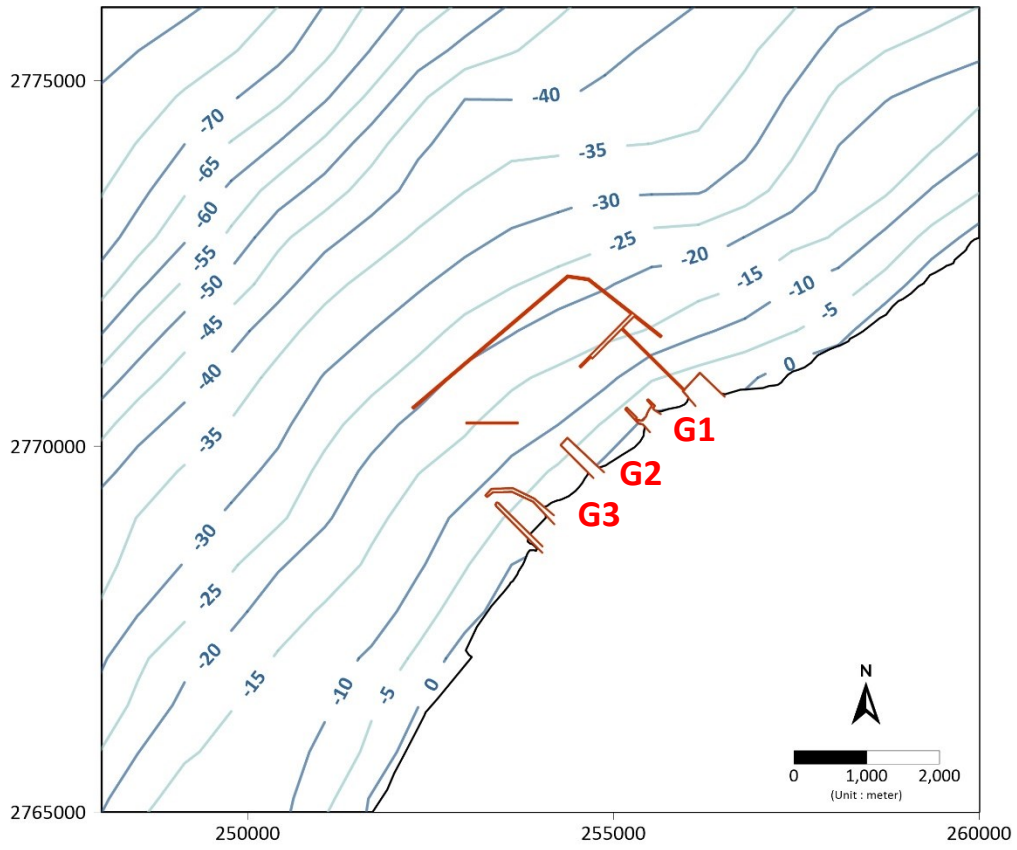


圖 1、計畫範圍圖。觀塘工業區暨工業專用港相關設施配置及 G1、G2、G3 潮間帶位置圖。

二、工作項目與執行進度

2.1 工作項目

本計畫整體工作項目與內容(依招標文件所訂)如下，將進行資料蒐集及文獻分析、各項現場調查分析、召開專家諮詢討論會，及研擬可行的覆沙減輕策略。本計畫需執行的工作項目及內容包括以下各項：

- 一、**相關資料搜集與分析**：須包含 (A)文獻資料蒐集及分析：進行文獻蒐集、整理、分析及更新。(B)觀測資料蒐集、彙整及分析：進行蒐集可用的調查資料，包括環評監測單位、本公司委外研究單位、氣象局等政府機關所進行相關環境監測與藻礁生態調查數據的蒐集及分析。
- 二、**現場調查及分析**：完成漂沙及底質粒徑的調查與分析，建立藻礁棲地的環境因子資料，量化工業港海域防波堤建造時的海象與漂沙特性資料。並依據學理，分析所搜集的資料，探討漂沙濃度、漂沙覆蓋變化的成因，包括潮汐、波浪、近岸流速剖面、懸浮漂沙粒徑、沉積底質粒徑的變化，包括：
 1. **潮波流現場調查**：進行學理性的統整分析，包括波浪與多尺度的海流運動分析，潮波流引起的漂沙作用營力特性分析等，並進行報告彙整與論述。調查項目包括潮汐、波浪、及海流(簡稱潮波流)的現場調查作業，潮波流的調查位置分別於 G1 及 G2 區海域各一處，設置調查點位，進行逐時調查資料收集。G1 區海域調查點位，規劃為連續一年的逐時調查。有效資料達成率最低要求為 70%，若未達成設定之達成率，應予補測。G2 區海域調查點位，於計畫期間內，在冬、夏季及颱風侵襲期間各進行 1 次，共至少進行 3 次的現場調查，每次調查至少須要連續 28 天以上之逐時調查資料。如計畫期間無發佈陸上颱風警報，則於次一個冬或夏季施行。
 2. **漂沙機制現場調查**：進行學理性的統整分析，包括漂沙作用營力特性分析、漂沙啟動條件及沉降條件等調查分析成果，並進行報告彙整與論述。調查項目包括(1)近岸**流速剖面**、(2)懸浮漂沙濃度垂直分佈、(3)懸浮漂沙粒徑、(4)覆沙底質粒徑調查。視調查方法，佐以現場率定、採樣、驗證的程序進行之。(1)近岸**流速剖面**、(2)懸浮漂沙濃度垂直分佈、(3)懸浮漂沙粒徑的調查位置為觀塘港 G1 區海域一點位，於計畫期間內，在冬、夏季及颱風侵襲期間各進行 1 次，共至少進行 3 次的現場調查，**每次調查至少須要連續 7 天以上的逐時調查**。如計畫期間無發佈陸上颱風警報，則於次一個冬或夏季施行。漂沙的調查點位須要鄰近潮波流 G1 區海域調查點位；另外，漂沙與潮波流調查的時間區段須有重疊。(4)覆沙底質粒徑的調查位置在觀

塘港 G1 及 G2 區海域至少共 24 點位，在冬、夏季及颱風後各進行 1 次，共至少進行 3 次的現場調查，合計於計畫期間至少共進行 72 點次的調查。上述 G1、G2 區海域現場調查點位之設置，廠商須於服務建議書載明，並於開工前與主辦單位討論確認後設置。

- 三、**專家現勘、諮詢與討論會**：在計畫期間內，舉辦至少兩次的專家現勘、諮詢與討論會議。在覆沙減輕對策擬訂的過程中，需諮詢及彙整海岸工程和生態專家學者之經驗與意見，專家諮詢會議之舉辦須至少邀請一位國外專家學者參與。邀請之專家學者，須任職於國內外之公私立大專院校，工作滿三年以上之助理教授、助理研究員以上或相當以上之職等與工作經驗，其研究、工作專長或學經歷等，須與計畫之內容相關。上述之專家諮詢會議，國外專家學者如因疫情等不可抗拒因素(如 covid-19)，可以視訊會議替代。
- 四、**覆沙減輕對策方向研擬**：彙整國內外文獻資料及國內外專家學者之意見、蒐集歷年颱風對大潭藻礁棲地地形的影響、可行的改善工法、分析與建議，並進行現場港、工區漂沙懸浮載特性、自然營力、生態與環境特性等，同時考量現場工程之施工可行性規劃，進行統整後再擬定可行的覆沙減輕對策構想。包括可行的工法蒐集、分析與建議。

2.2 執行進度

本計畫之工作與預定進度規劃如下表 1，根據招標書規範，執行期為 15 個月，其中包括資料蒐集、現場調查、專家會議、期中報告、期末報告等工作事項，並將各階段調查成果提送時間整理於。本團隊已於 110 年 4 月 26 日進行開工，相關工作事項請參閱第三章及第四章。

表 1、計畫預定(黑色)與實際(紅色)干特圖

工作項目名稱	執行時間月份(從 2021 年起算)															查核事項
	第 1 季			第 2 季			第 3 季			第 4 季			第 5 季			
月次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
實際月份	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	
1. G2 潮波流剖面 28 天調查		■	■	■	■	■	■					■				完成提送資料與佈放報告
2. G1 潮波流調查連續一年	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	完成提送資料與佈放報告
3. 底質粒徑調查		■	■	■	■		■					■				完成提送資料與佈放報告
4. G1 高頻流速剖面調查		■	■	■			■					■				完成提送資料與佈放報告
5. G1 懸浮濃度剖面調查		■	■	■			■					■				完成提送資料與佈放報告
6. G1 懸浮粒徑調查		■	■	■			■					■				完成提送資料與佈放報告
7. 資料蒐集彙整	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	每季提送階段成果
8. 期中報告									■	■						期中報告審核
9. 專家現勘、諮詢與討論會										■	■			■	■	提送會議舉辦成果
10. 覆沙減輕對策方向研擬									■	■						
11. 期末報告															■	期末報告審核
工作進度估計百分比(%)(累積數)	10	30					50			60		80		90	100	

三、關鍵問題及研究方法

3.1 關鍵問題

大潭藻礁位於海沙覆蓋變動的區域，受自然海象變動影響其漂沙行為。工業港防波堤雖採離岸堤的設計，但其施做完成後的棧橋開口，及遮蔽效應可能會改變海岸水動力的海流與波浪環境，也可能因此改變漂沙過程造成海岸地形變遷，在自然變動會造成 G1 覆沙的影響，與未來施工完成後的可能造成的海岸物理環境的改變，目前面對的挑戰與有待解決的關鍵問題包含：

- (1) G1 區因自然海象變動而產生覆沙淤積問題(圖 2)
- (2) G1 及 G2 區域的藻礁及柴山多杯珊瑚有被覆沙影響衝擊的情形(圖 3、表 2)。
- (3) 若覆沙增加，擬定可行的覆沙減輕對策方向。

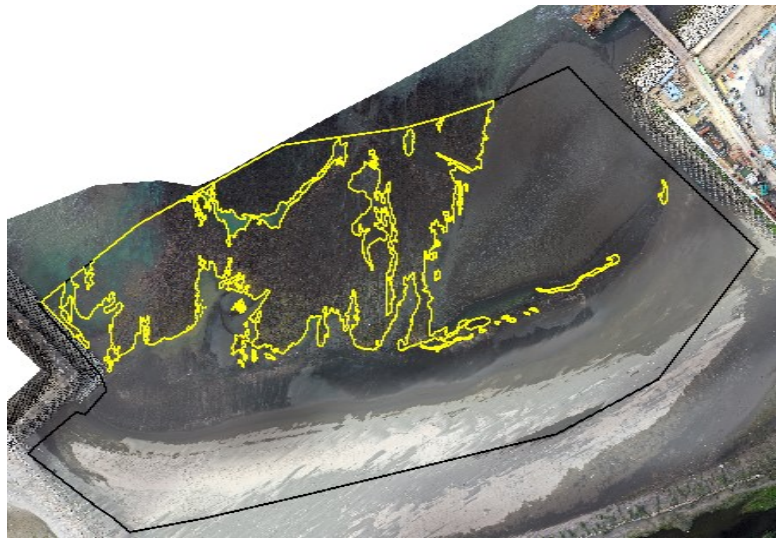


圖 2、G1 區靠近北側結構物覆沙單季增加的空照影像。(攝於 2019 年 5 月)
註:控制面積(黑線)，非沙面積(黃線)



圖 3、柴山多杯珊瑚受到沙埋影響的照片。(攝於 2019 年 8 月)

表 2、柴山多杯珊瑚存在的點位紀錄表，其中有部分珊瑚已受到沙埋影響。資料來源：中油生態執行委員會第五次簡報報告。

	存活	未發現	未定	沙埋	水下	非珊瑚	重複點位	合計
中油 G1	30	2	0	0	1	2	0	35
中油 G2	27	9	0	4	0	0	0	40
農委會	35	19	2	10	2	1	3	72
共同點位	14	-	-	1	-	-	-	15

3.2 研究方法與步驟

根據國外重要期刊文獻之現場數據證實，懸浮沈積物濃度(Suspended Sediment Concentration)會對珊瑚礁及藻礁的無節珊瑚藻覆蓋及生存產生顯著地影響，此乃因為過高的濁度會使珊瑚礁及藻礁的動植物受到影響，阻礙他們原本的生物（代謝、生長等）功能。國內的研究尚未對藻礁的懸浮物濃度特性加以研究探討，更沒有結合水動力及懸浮物濃度的觀測來進行量化的研究。未來藻礁環境存在的課題為離岸港蓋好後防波堤結構物可能會改變海岸的潮波流水動力行為，也可能使得沉積物傳輸的平衡改變，使得海岸環境發生漂沙濃度通量改變與地形變遷。因此本計畫將在計劃區域的藻礁現場，實際量化並觀測潮波流特性、懸浮沈積物特性、覆沙的物理過程，懸浮沈積物特性將結合紊流觀測來同步量化、參數化，以建立背景漂沙資料。

圖 4 為漂沙過程簡圖，顯示漂沙的物理過程相當複雜，在小尺度過程中底床載(bed load)等過程，受到海流(inflow)產生的底床剪應力(τ_b)而影響，懸浮載受到海流與波浪的紊流而影響。因此要深入探討整個漂沙機制需要調查外部營力的潮波流，需要調查紊流、懸浮漂沙濃度剖面、懸浮粒徑、覆沙粒徑等。本計畫除了將進行資料蒐集及文獻分析，後進行各項現場調查，進行完分析後，召開專家諮詢討論會，來商討研擬可行的覆沙減輕對策方向。

茲依本計畫研究主旨與工作項目內容，研擬計畫工作流程，如圖 5 所示。以下茲就本計畫各研究工作之工作執行構想說明。本計畫首先將進行相關計畫的背景資料搜集及分析，目前的關鍵問題及鄰近的調查資料不足，因此本計畫將補足現場調查不足的資料，將依據學理，分析所搜集的資料，探討漂沙濃度、漂沙覆蓋變化的成因，最後研擬覆沙減輕對策方向。針對關鍵漂沙問題的解決對策，本研究執行的計畫目標包含：

1. 相關物理資料搜集及分析。包含文獻資料報告、環評監測單位(泛亞工程公司、中油委外研究單位)、氣象局、海管處等相關的環境監測數據進行蒐集及分析。
2. 進行現場調查與分析。本計畫首要將完成漂沙機制及底質粒徑的調查與分析。瞭解大潭藻礁區內海象與漂沙特性的變化，包括潮汐、波浪、海流、紊流、懸浮漂沙粒徑、沉積底質粒徑的變化。
3. 建立棲地淤積對策研擬的基礎資料。建立棲地復育所需的環境因子資料，量化未建港前的大潭藻礁潮間帶潮波流與漂沙特性資料。
4. 進行藻礁漂沙機制分析。本計畫將依據學理，來分析所搜集的資料，探討漂沙濃度、漂沙覆蓋變化的成因。

5. 舉辦專家諮詢會，商討覆沙減輕對策的方向。包括可行的工法蒐集、分析與建議。

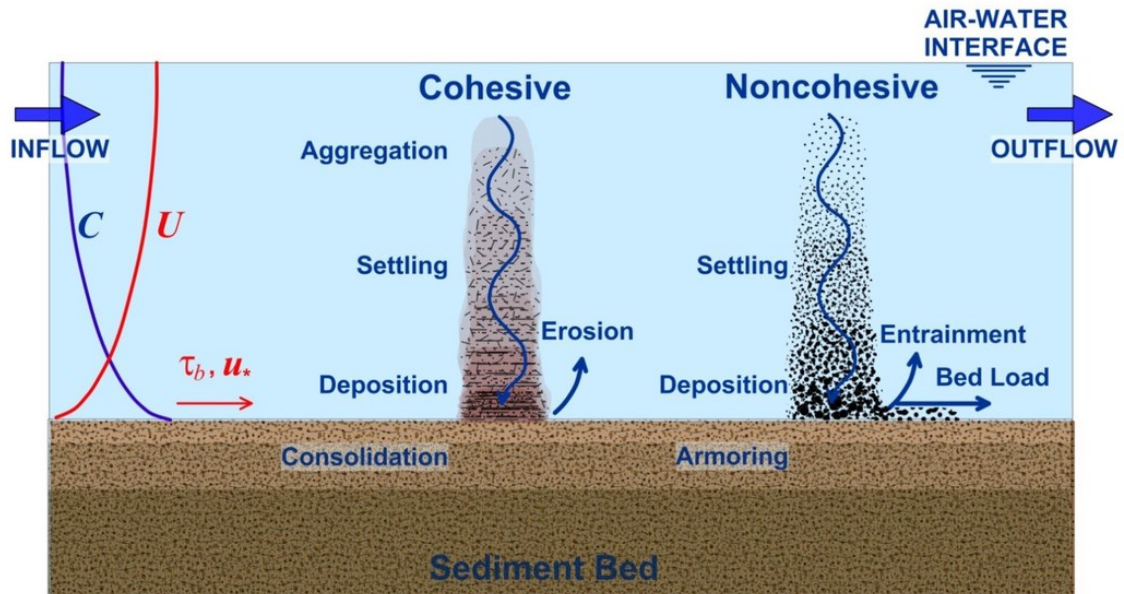


圖 4、漂沙過程簡圖。漂沙機制包含沉降(settling)、堆積(deposition)、再懸浮(entrainment)。底床載(bed load)等過程，受到海流(inflow)產生的底床剪應力(τ_b)而影響，懸浮載受到海流與波浪的紊流而影響。

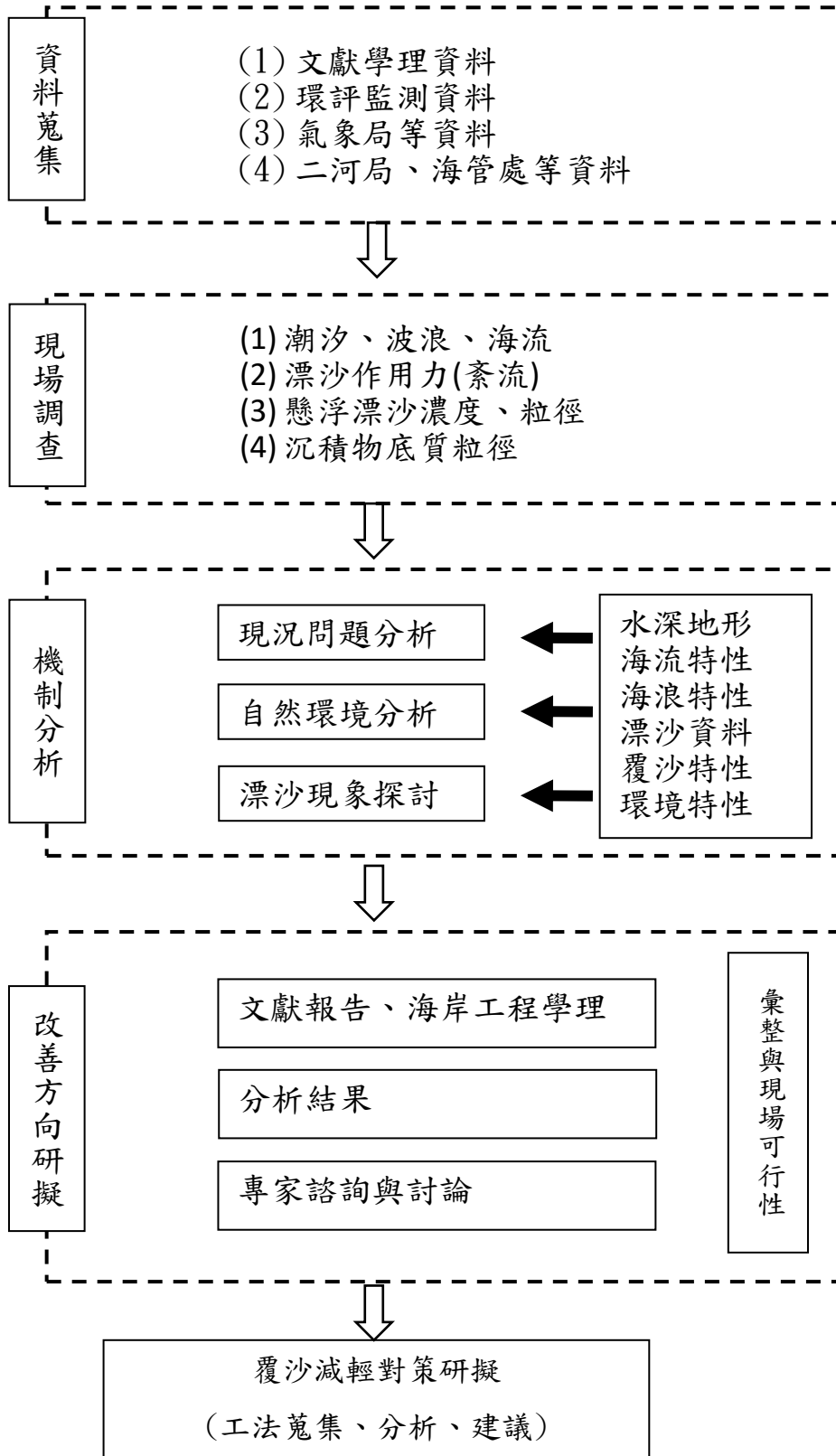


圖 5、工作流程及步驟規劃圖。

3.3 關鍵問題與計畫目標

針對目前現況問題，本計畫鏈結關鍵問題與計畫目標如下：

1. 補足現場調查資料

(1) 補充未建港前的 G1 與 G2 區潮波流現場資料

三接為離岸港，離岸防波堤興建後，港域及潮間帶波浪會受到防波堤遮蔽效應影響，波浪雖然會被遮蔽減少，但是數值模擬結果顯示潮流會加速。未來三接離岸港興建完成後，潮波流環境將會有所改變，本計畫的首要目標即為補充未建港前的潮間帶潮波流背景資料。

(2) 補充未建港前的 G1 區的漂沙現場資料

懸浮漂沙濃度、懸浮漂沙粒徑、海床底質粒徑、紊流應力資料

2. 量化大潭藻礁區海沙容易覆蓋的區域與釐清其成因

3. 覆沙減輕對策方向研擬

本計畫漂沙減輕對策研究方向為「利用自然力來排沙清淤」。本計畫漂沙減輕對策研擬前，會考量現場港、工區漂沙懸浮載特性、自然營力、生態與環境特性等，進行可行的改善工法研擬。需藉由調查資料彙整分析釐清幾點重要因素。

四、資料蒐集、分析與評述

本工作項目基本資料蒐集，涵蓋不同的資料來源與屬性。學理背景與文獻資料蒐集包含研究報告、研討會論文與國際期刊等公開的研究文件報告。資料來源包含：

- (1) 環評監測資料：潮間帶高解析度空拍影像資料、連續漂沙濃度資料、地形水深測量資料
- (2) 中央氣象局：新竹浮標資料(包含風速、風向、波高、週期、波向)
- (3) 二河局：歷年地形水深測量資料
- (4) 環評監測資料：柴山多杯珊瑚分佈資料

4.1 學理文獻資料分析

4.1.1 漂沙啟動條件

史爾茲(Shields)利用因次分析在 1936 年提出臨界史爾茲參數(θ_{cr})用以描述沙粒受到流動啟動的初始條件：

$$\theta_{cr} = \frac{\tau_{b,cr}}{(\rho_s - \rho)gd} = \frac{u_{*,cr}^2}{(s-1)gd},$$

其中 $\tau_{b,cr}$ 為臨界底床剪應力、 ρ_s 為海沙的密度、 ρ 為海水密度、 g 是重力加速度、 d 是海沙粒徑、 $u_{*,cr}^2$ 是臨界剪力速度、 $s = \rho_s / \rho$ 是比重。簡化時，常設定 $\theta_{cr} = 0.05$ ，而很多文獻證實臨界史爾茲參數為無因次顆粒粒徑(D_*)的函數，而

$$D_* = [(\rho_s - \rho) / \rho \cdot (g / \nu^2)]^{1/3} d,$$

其中 ν 為流體運動黏滯度。

漂沙的啟動條件為研究漂沙的重要條件與探討的問題，彙整多年來的研究成果 Shields 臨界漂沙啟動條件為一般最簡化的固定值為 0.05，精確上其為無因次粒徑參數的函數，更多的漂砂啟動條件研究與探討可以參考 Beheshti and Ataie-Ashtiani [2008]。近期的研究發現利用可動參數 $u_{*,cr} / w_s$ ，可以更簡單，也有效的探討漂沙啟動行為。

因為臨界史爾茲參數為無因次顆粒粒徑(D_*)的函數，兩者皆含有變數粒徑 d ，因此使用上需要疊代收斂，較不方便。Beheshti and Ataie-Ashtiani [2008] 蒐集了數篇過去知名的研究文獻及實驗資料，認為利用可動參數(movability number, M)可以更適切的描述沙粒的啟動條件，

$$M = \frac{u_{*,cr}}{w_s} = \begin{cases} 9.6674 \times D_*^{-1.57}; D_* \leq 10 \\ 0.4738 \times D_*^{-0.226}; D_* > 10 \end{cases}$$

其中 w_s 是沉降速度。

以往的漂沙研究多在沙質海岸進行，最近國際期刊上發表了在珊瑚礁一篇研究漂沙的重要文獻，如 Pomeroy *et al.* [2017]、Pomeroy *et al.* [2018]、Pomeroy *et al.* [2021]。他們的研究也是利用可動參數 M 來研究珊瑚礁的漂沙行為，他們認為

$$M = \frac{u_{*,cr}}{w_s} \geq 1: \text{fully developed suspension}$$

其中的沉降速度 w_s ，Pomeroy *et al.* [2017] 建議利用 Soulsby [1997] 提出的經驗公式：

$$w_s = \frac{\nu}{D} \left(\sqrt{10.36D_*^2 + 1.049D_*^3} - 10.36 \right)$$

本研究將利用現場調查資料來探討漂沙啟動條件的可動參數 M 。

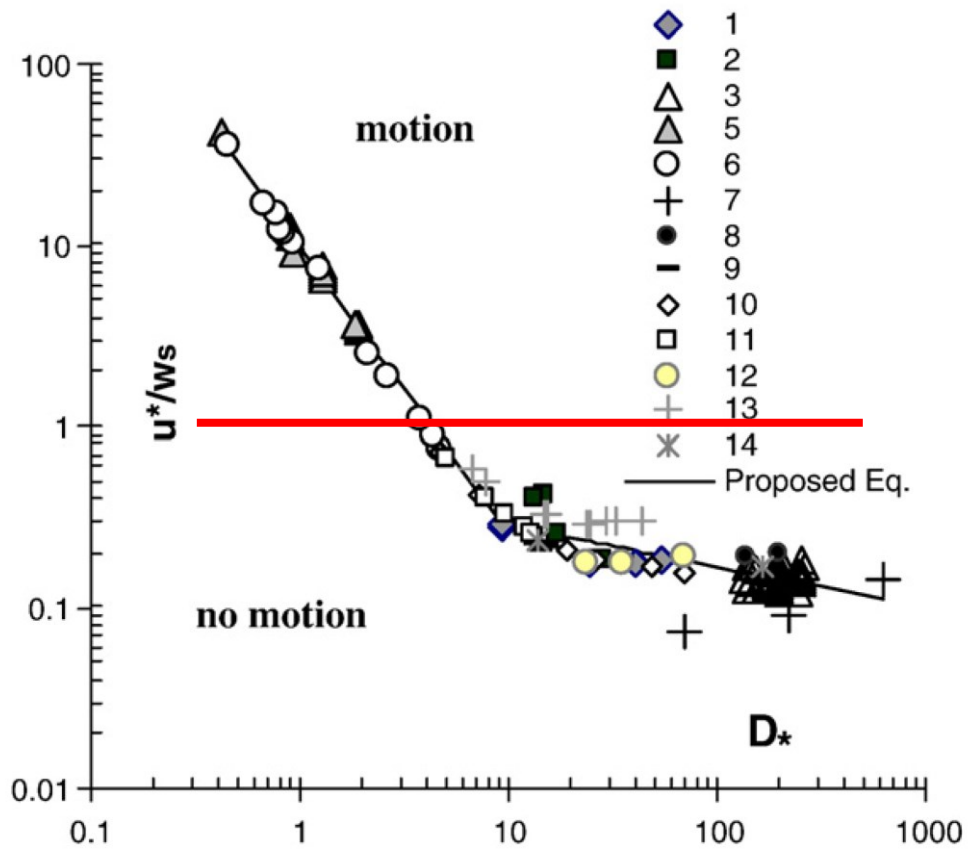


圖 6、漂沙啟動條件圖。資料來源：Beheshti and Ataie-Ashtiani [2008]。

4.1.2 懸浮漂沙學理

目前國際上學界在海岸的漂沙過程及地形變遷模擬常使用 Delft 3D 模式，其具有半開放式的模式架構，除了商業使用外，也有開放程式碼提供給國際上的學者進行交流與模式改善。此模式在學術研究已有相當多知名的著作發表與驗證，並提供公開的數理與學理著作支撐，其中最著名的學理支撐論文為[Lesser *et al.*, 2004]。本研究雖然沒有數值模擬的工作項目，但現場調查到的資料與分析，也必須在有學理支撐的基礎上繼續精進，未來能提供給模式發展與精進。本計畫彙整基礎漂沙學理如下。

懸浮漂沙的傳輸基本上與溫度、鹽度或其他物質的傳輸過程類似，皆可以傳輸對流方程式描述。但漂沙與其他物質相異的特性則大大的影響了其傳輸過程，這些特性帶來的過程如底床與水體間的沉積物輸送、重力帶來的沉降速度及紊流擾動等，可於模式中模擬。

一、對流與擴散傳輸方程式

懸浮漂沙在水體的擴散與傳輸可以傳輸對流方程式所描述：

$$\frac{\partial c^{(l)}}{\partial t} + \frac{\partial uc^{(l)}}{\partial x} + \frac{\partial vc^{(l)}}{\partial y} + \frac{\partial (w - w_s^{(l)})c^{(l)}}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon_{s,x}^{(l)} \frac{\partial c^{(l)}}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon_{s,y}^{(l)} \frac{\partial c^{(l)}}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left(\varepsilon_{s,z}^{(l)} \frac{\partial c^{(l)}}{\partial z} \right) = 0$$

其中， $c^{(l)}$ 為漂沙的質量濃度(kg/m^3)； u 、 v 及 w 為流體流速(m/s)； $\varepsilon_{s,x}^{(l)}$ 、 $\varepsilon_{s,y}^{(l)}$ 及 $\varepsilon_{s,z}^{(l)}$ 為漂沙的渦流擴散項(m^2/s)； $w_s^{(l)}$ 為漂沙沉降速度(m/s)。式中前二至四項描述了漂沙在 x 、 y 、 z 方向上的傳輸，第五至七項則為漂沙在 x 、 y 、 z 方向上的擴散，漂沙濃度隨時間的變化即由這三方向的傳輸和擴散行為所構成。

二、沉積物沉降速度

非黏性 (non-cohesive) 沉積物的沉降速度可由 OOO 提出之公式，透過粒徑尺寸計算，如下式所示：

$$w_{s,0}^{(l)} = \begin{cases} \frac{(s^{(l)} - 1)gD_s^{(l)2}}{18\nu}, & 65\mu\text{m} < D_s \leq 100\mu\text{m} \\ \frac{10\nu}{D_s} \left(\sqrt{1 + \frac{0.01(s^{(l)} - 1)gD_s^{(l)3}}{\nu^2}} - 1 \right), & 100\mu\text{m} < D_s \leq 1000\mu\text{m} \\ 1.1\sqrt{(s^{(l)} - 1)gD_s^{(l)}}, & 1000\mu\text{m} < D_s \end{cases}$$

其中， $s^{(l)} = \rho_s^{(l)} / \rho_w$ 為漂沙的相對密度； $D_s^{(l)}$ 為 representative diameter，可由漂沙粒徑推算； ν 為水體的運動黏度參數 (m^2/s)。

在高濃度的漂沙環境中，水體間的漂沙彼此影響，使得漂沙整體的沉降速度減少。如此因「阻礙」而減少的沉降速度 $w_s^{(l)}$ 可以下式表示：

$$w_s^{(l)} = \left(1 - \frac{c_m^{tot}}{C_{soil}}\right)^5 w_{s,0}^{(l)}$$

$$c_m^{tot} = \sum_{l=1}^{l_{sed}} c_s^{(l)}$$

其中， c_m^{tot} 為不同粒徑漂沙的濃度總和； C_{soil} 為參考濃度； $w_{s,0}^{(l)}$ 為基礎漂沙沉降速度。

三、擴散傳輸項

漂沙的擴散傳輸由紊流環境所控制，這些紊流擾動除水體本身的紊流程度，亦包含高濃度漂沙、波浪運動及波流交互作用帶來的紊流。透過渦流黏滯可計算紊流帶來的垂直方向上的擴散傳輸，如下式所示：

$$\varepsilon_s^{(l)} = \beta \varepsilon_f$$

其中， $\varepsilon_s^{(l)}$ 為渦流擴散項，即漂沙在垂直方向的混合係數； β 為 Van Rijn 的 beta 參數； ε_f 為水體混和係數，係數之數值設定取決於模式中所選用的紊流模式。

邊界條件：水面 ($z = \zeta$)

在自由液面處 ($z = \zeta$)，垂直方向的漂沙擴散通量為零，因此水面邊界條件可以下式表示：

$$-w_s^{(l)} c^{(l)} - \varepsilon_{s,z}^{(l)} \frac{\partial c^{(l)}}{\partial z} = 0$$

邊界條件：底床 ($z = z_b$)

透過計算底床與水體間的漂沙通量，可了解懸浮漂沙與底床沉積物質的交換量，進而可計算底床沉積物質的侵蝕與淤積量，以得知底床高程變化。底床的邊界條件以下式表示：

$$-w_s^{(l)} c^{(l)} - \varepsilon_{s,z}^{(l)} \frac{\partial c^{(l)}}{\partial z} = D^{(l)} - E^{(l)}$$

其中， $D^{(l)}$ 為沉積物沉降率； $E^{(l)}$ 為沉積物侵蝕率。

在模式中，漂沙物質在水體與底床間的交換（即沉積與侵蝕）發生於一「近底床層」，此近底床層即為 k_{mx} -layer，其位於 Van Rijn's reference height 之上，reference height (a) 以下式表示：

$$a = \min \left[\max \left\{ AKSFAC \cdot k_s, \frac{\Delta_r}{2}, 0.01h \right\}, 0.02h \right]$$

其中， $AKSFAC$ 為模式供使用者自行輸入的比例參數； k_s 為模式供使用者自行輸入的水流相關效應之粗糙參數； Δ_r 為波紋高程； h 為水深。

當沉積發生，即表示懸浮物質離開 kmx -layer，往下進入底床；反之，侵蝕發生時，沉積物質自底床離開，往上進入 kmx -layer。

漂沙自底床離開，往上進入 kmx -layer 的侵蝕通量以下式表示：

$$\begin{aligned} E^{(l)} &= \varepsilon_s^{(l)} \frac{\partial c^{(l)}}{\partial z} = \alpha_2^{(l)} \varepsilon_s^{(l)} \left(\frac{c_a^{(l)} - c_{kmx}^{(l)}}{\Delta z} \right) \\ &= \frac{\alpha_2^{(l)} \varepsilon_s^{(l)} c_a^{(l)}}{\Delta z} - \frac{\alpha_2^{(l)} \varepsilon_s^{(l)} c_{kmx}^{(l)}}{\Delta z} \end{aligned}$$

其中， $\alpha_2^{(l)}$ 為漂沙濃度校正參數； $c_a^{(l)}$ 為 reference height (a) 處的漂沙濃度； $c_{kmx}^{(l)}$ 為 kmx -layer 內的平均漂沙濃度； $\Delta z = z_{kmx} - a$ ，為 kmx -layer 內的計算網格至 reference height (a) 的高程差。式中最後兩項分別為 kmx -layer 的源項(source term)與匯項(sink term)，此兩項相減即為底床沉積物的侵蝕通量。

漂沙自 kmx -layer 離開，往下進入底床的沉積通量以下式表示：

$$\begin{aligned} D^{(l)} &= w_s^{(l)} c_{kmx(bot)}^{(l)} \\ &= \alpha_1^{(l)} w_s^{(l)} c_{kmx}^{(l)} \end{aligned}$$

其中， $c_{kmx(bot)}^{(l)} = \alpha_1^{(l)} c_{kmx}^{(l)}$ ，為 kmx -layer 底層之漂沙濃度； α_1 為校正參數。

本計畫將漂沙之學理整理彙整成以下之圖圖 7 所示。本團隊於桃園市政府海岸管理工程處的計畫「觀音、新屋海岸水質、海流、漂沙及其他環境因子對於藻礁生態影響之調查評估計畫」中，完成利用 Delft 3D 於桃園海岸進行水動力模擬結果，將相關水動力驗證結果彙整於附錄五中。

Suspended transport

$$\frac{\partial c^{(l)}}{\partial t} + \frac{\partial uc^{(l)}}{\partial x} + \frac{\partial vc^{(l)}}{\partial y} + \frac{\partial (w - w_s^{(l)})c^{(l)}}{\partial z}$$

Transport terms

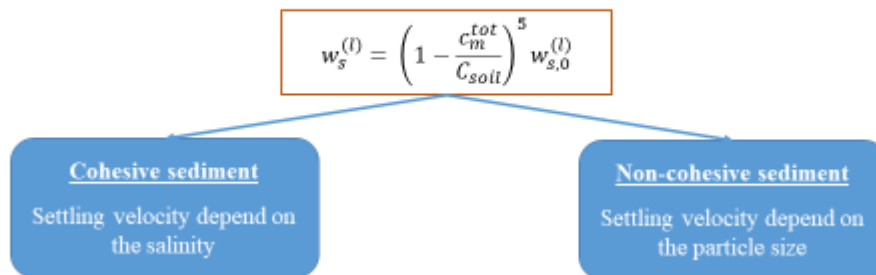
$$- \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon_{s,x}^{(l)} \frac{\partial c^{(l)}}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon_{s,y}^{(l)} \frac{\partial c^{(l)}}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left(\varepsilon_{s,z}^{(l)} \frac{\partial c^{(l)}}{\partial z} \right) = 0$$

Diffusivity terms

$c^{(l)}$	mass concentration of sediment fraction (l) [kg/m ³]
u, v, w	flow velocity components [m/s]
$\varepsilon_{s,x}^{(l)}, \varepsilon_{s,y}^{(l)}, \varepsilon_{s,z}^{(l)}$	eddy diffusivities of sediment fraction (l) [m ² /s]
$w_s^{(l)}$	(hindered) sediment settling velocity of sediment fraction (l) [m/s]

4

Sediment settling velocity



C_{soil}	the reference density (input parameter)
$w_{s,0}$	the 'basic' sediment fraction specific settling velocity
c_m^{tot}	the total mass concentration, which is the sum of the mass concentrations of the sediment fractions :

$$c_m^{tot} = \sum_{l=1}^{l_{sed}} c_s^{(l)}$$

5

Sediment settling velocity

Non-cohesive sediment

$$w_{s,0}^{(l)} = \begin{cases} \frac{(s^{(l)} - 1)gD_s^{(l)2}}{18\nu}, & 65\mu\text{m} < D_s \leq 100\mu\text{m} \\ \frac{10\nu}{D_s} \left(\sqrt{1 + \frac{0.01(s^{(l)} - 1)gD_s^{(l)3}}{\nu^2}} - 1 \right), & 100\mu\text{m} < D_s \leq 1000\mu\text{m} \\ 1.1\sqrt{(s^{(l)} - 1)gD_s^{(l)}}, & 1000\mu\text{m} < D_s \end{cases}$$

$s^{(l)}$ relative density $\frac{\rho_s^{(l)}}{\rho_w}$ of sediment fraction (l)
 $D_s^{(l)}$ representative diameter of sediment fraction (l)
 ν kinematic viscosity coefficient of water [m^2/s]

7

Dispersive transport

Turbulent closure models:

1. Constant coefficient.
2. Algebraic eddy viscosity closure model.
3. k- ϵ turbulence closure model.
4. k- τ turbulence closure model (β -functionality)



Eddy viscosity at each layer interface (ϵ_f)



Vertical sediment mixing coefficient:

$$\epsilon_s^{(l)} = \beta_{eff}^{(l)} \epsilon_f$$

β is the Van Rijn's 'beta' factor / effective 'beta' factor.

For sediment fraction $< 150 \mu\text{m} \Rightarrow \beta = 1.0$

Cohesive sediment: $\epsilon_s^{(l)} = \epsilon_f$

Non-cohesive sediment:
(k- ϵ turbulent model) $\epsilon_s^{(l)} = \beta_{eff}^{(l)} \epsilon_f$

$$\beta_{eff}^{(l)} = 1 + (\beta^{(l)} - 1) \frac{\tau_c}{\tau_w + \tau_c}$$

$$\beta^{(l)} = 1 + 2 \left(\frac{w_s^{(l)}}{u_{*,c}} \right)^2$$

τ_c : bed shear stress due to current
 τ_w : bed shear stress due to wave

8

Boundary conditions

Water surface boundary (at $z = \zeta$):

$$-w_s^{(l)} c^{(l)} - \varepsilon_{s,z}^{(l)} \frac{\partial c^{(l)}}{\partial z} = 0$$

Bed boundary condition (at $z = z_b$):

$$-w_s^{(l)} c^{(l)} - \varepsilon_{s,z}^{(l)} \frac{\partial c^{(l)}}{\partial z} = D^{(l)} - E^{(l)}$$

$D^{(l)}$ sediment deposition rate of sediment fraction (l)
 $E^{(l)}$ sediment erosion rate of sediment fraction (l)

strongly differ for cohesive and non-cohesive sediment

9

Erosion and Deposition

2. Non-cohesive sediment

The transfer of sediment between the bed and the flow is modelled using **sink and source** terms acting on the **near-bottom layer** that is entirely above Van Rijn's reference height.

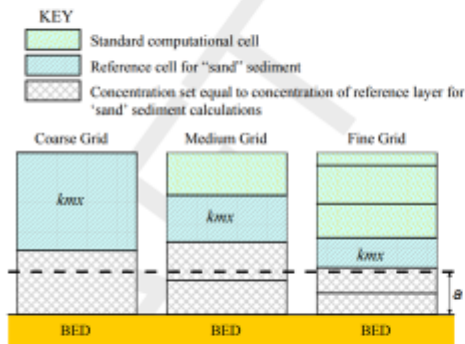


Figure 8.1: Selection of the k_{mx} layer; where a is Van Rijn's reference height

Van Rijn's reference height:

$$a = \min \left[\max \left\{ AKSFAC \cdot k_s \cdot \frac{\Delta_r}{2}, 0.01h \right\}, 0.02h \right]$$

$AksFac$ user-defined proportionality factor (morphology input file).
 k_s user-defined current-related effective roughness height.
 Δ_r wave-induced ripple height (const = 0.025m)
 h water depth

11

Erosion and Deposition

2. Non-cohesive sediment

$$\left. \begin{aligned} D^{(l)} &= w_s^{(l)} c_{kmx(bot)}^{(l)} \\ c_{kmx(bot)}^{(l)} &= \alpha_1^{(l)} c_{kmx}^{(l)} \end{aligned} \right\} D^{(l)} = \alpha_1^{(l)} w_s^{(l)} c_{kmx}^{(l)}$$

$$\boxed{\text{Sink}_{deposition}^{(l)} = \alpha_1^{(l)} w_s^{(l)} c_{kmx}^{(l)}}$$

$$\left. \begin{aligned} E^{(l)} &= \varepsilon_s^{(l)} \frac{\partial c^{(l)}}{\partial z} \\ c_{kmx(bot)}^{(l)} &= \alpha_2^{(l)} \left(\frac{c_{kmx}^{(l)} - c_a^{(l)}}{\Delta z} \right) \end{aligned} \right\}$$

$$\rightarrow E^{(l)} = \alpha_2^{(l)} \varepsilon_s^{(l)} \left(\frac{c_a^{(l)} - c_{kmx}^{(l)}}{\Delta z} \right) \rightarrow E^{(l)} = \frac{\alpha_2^{(l)} \varepsilon_s^{(l)} c_a^{(l)}}{\Delta z} - \frac{\alpha_2^{(l)} \varepsilon_s^{(l)} c_{kmx}^{(l)}}{\Delta z}$$

$$\boxed{\text{Sink}^{(l)} = \left[\alpha_2^{(l)} \frac{\varepsilon_s^{(l)}}{\Delta z} + \alpha_1^{(l)} w_s^{(l)} \right] c_{kmx}^{(l)}}$$

$c_a^{(l)}$ the reference concentration
 $c_{kmx}^{(l)}$ the concentration in the centre of the kmx layer

Source term of the bottom of kmx layer

$$\boxed{\text{Source}^{(l)} = \alpha_2^{(l)} c_a^{(l)} \frac{\varepsilon_s^{(l)}}{\Delta z}}$$

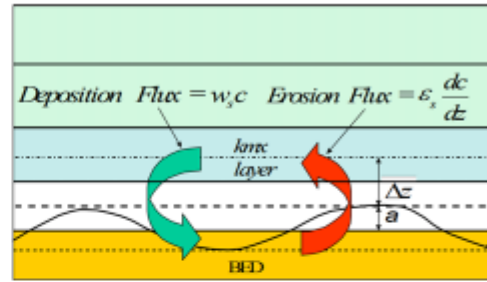


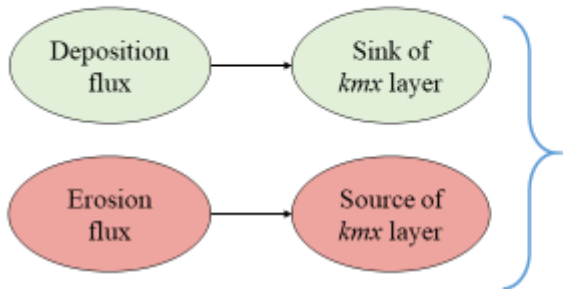
Figure 8.2: Schematic arrangement of flux bottom boundary condition

Sink term of the bottom of kmx layer

14

Erosion and Deposition

2. Non-cohesive sediment



As the reference concentration and the concentration in the centre of the kmx layer c_{kmx} are known, the exponent $A^{(l)}$ can be determined.

$$c_{kmx}^{(l)} = c_a^{(l)} \left(\frac{a(h - z_{kmx})}{z_{kmx}(h - a)} \right)^{A^{(l)}} \Rightarrow A^{(l)} = \frac{\ln \left(\frac{c_{kmx}}{c_a} \right)}{\ln \left(\frac{a(h - z_{kmx})}{z_{kmx}(h - a)} \right)} \quad (8.20)$$

The concentration at the bottom of the kmx layer is:

$$c_{kmx(bot)}^{(l)} = c_a^{(l)} \left(\frac{a(h - z_{kmx(bot)})}{z_{kmx(bot)}(h - a)} \right)^{A^{(l)}} \quad (8.21)$$

$A^{(l)}$ Rouse number

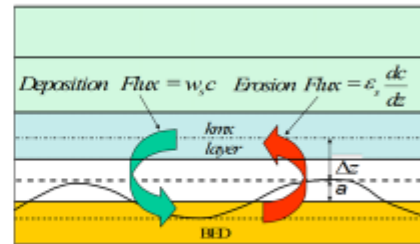


Figure 8.2: Schematic arrangement of flux bottom boundary condition

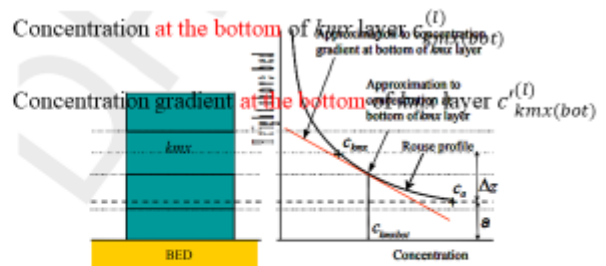


Figure 8.3: Approximation of concentration and concentration gradient at bottom of kmx layer

12

圖 7、懸浮漂沙機制基礎學理。(Delft 3D 模式)

4.2 基本海氣象特性

4.2.1 氣象

茲蒐集交通部中央氣象局[中央氣象局, 2020]桃園新屋氣象站 2014~2021 年(新屋氣象站成立於 2013 年 7 月 1 日)，各項氣候統計結果概要說明如下：

一、氣溫

根據交通部中央氣象局桃園新屋氣象站 2014~2021 年氣候觀測統計資料顯示，歷年月平均溫度在攝氏 15.8~29.6 度間，月平均最高氣溫在 7 月、攝氏 35.9 度，最低氣溫則在 1 月、攝氏 7.9 度。

二、降雨量與降雨日數

根據交通部中央氣象局桃園新屋氣象站 2014~2021 年氣候觀測統計資料顯示，歷年月平均降雨量為 37.6~269.6mm 間，月平均降雨量最多在 6 月、最少則在 7 月，另月平均降雨日數在 6.0~13.5 天之間。

三、相對濕度

根據交通部中央氣象局桃園新屋氣象站 2014~2021 年氣候觀測統計資料顯示，歷年月平均相對濕度在 75.4~83.9%，其中以 5 月之月平均相對溼度最高，10 月為最低。

四、風速

根據交通部中央氣象局桃園新屋氣象站 2014~2021 年氣候觀測統計資料顯示，歷年月最大十分鐘風速在 13.0~16.1m/s 間，其中以 9 月之月最大十分鐘風速最大，5 月為最小。歷年月最大陣風在 20.7~26.2m/s 間，其中以 9 月之月最大陣風最大，5 月為最小。

五、風向

根據交通部中央氣象局桃園新屋氣象站 2014~2021 年氣候觀測統計資料顯示，歷年月平均風向在 41.25~223.5 度。另外歷年夏季 6-8 月平均風向為 202.9 度，歷年冬季 12-2 月平均風向為 44.2 度。

六、颱風

根據中央氣象局颱風資料庫資料統計，從 1958 年起至 2021 年止，中央氣象局共發佈颱風警報之颱風有 430 場，依照侵台颱風路徑所示，如圖 8 所示。從中央氣象局

颱風資料庫，可得知其中有 209 場為侵台颱風，另計有 13 次特殊路徑，第六類路徑佔颱風共有 31 場，百分比為 14.83%，是比例中最高的。

桃園市位於臺灣西北海岸，依 1958~2021 年共 64 年統計結果，影響此區海域颱風以路徑第 1、2、3、6、7、9、特殊路徑有關，如圖 5，統計期間共約 156 次侵台颱風，其中包含 3 次特殊路徑，平均每年約 2.44 個颱風影響桃園市的海域。

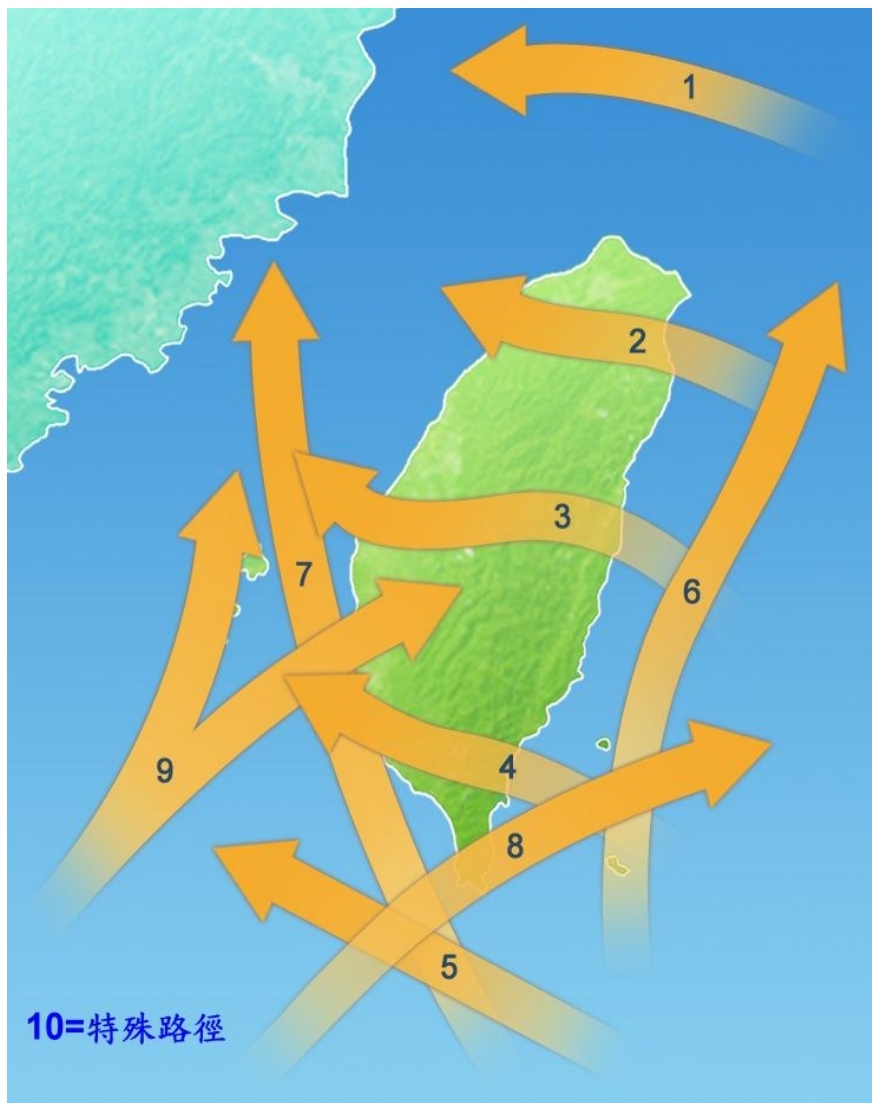


圖 8、侵台颱風路徑分類圖

資料來源：中央氣象局網站颱風資料庫

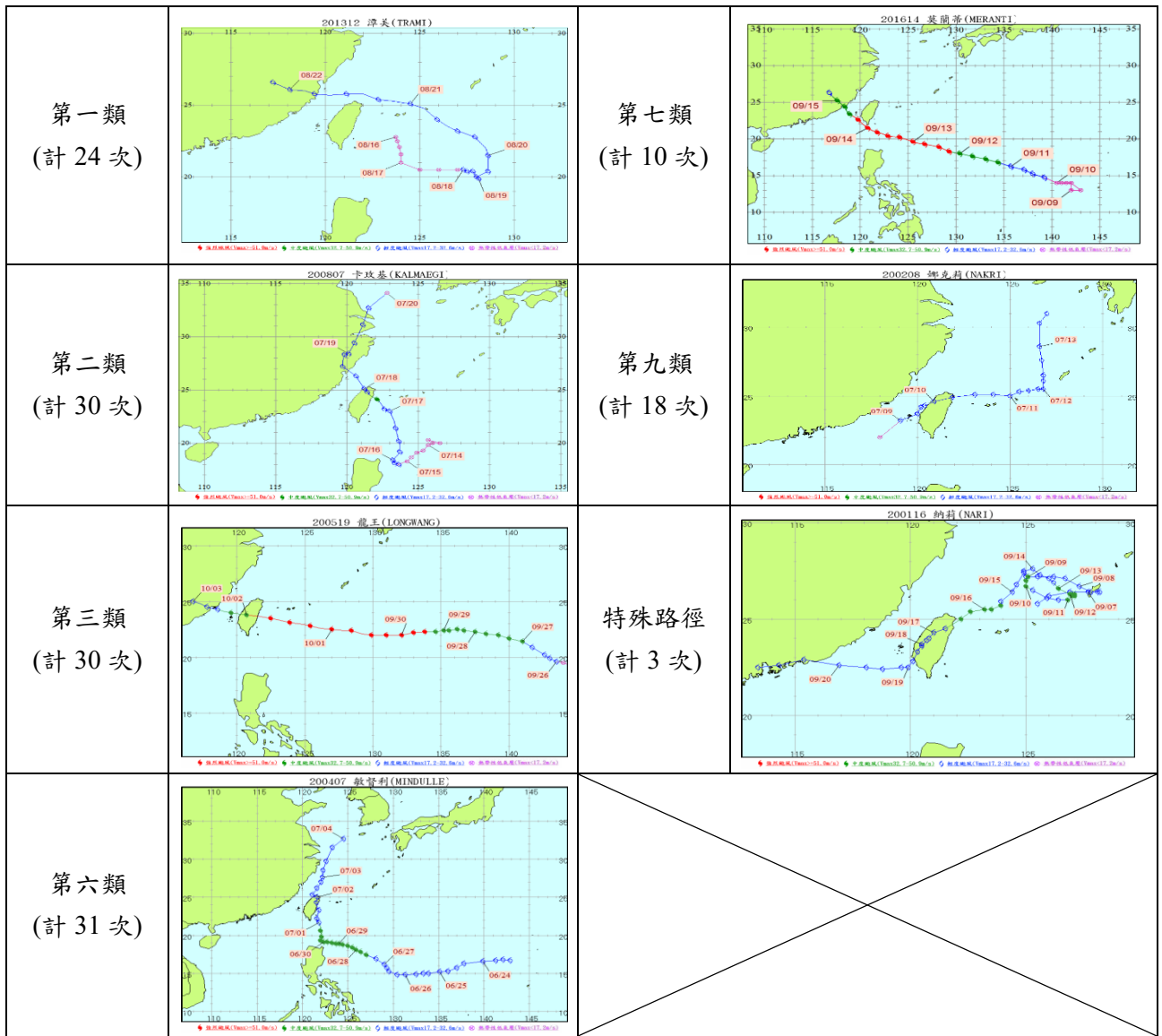


圖 9、侵襲桃園海岸之各類颱風路徑圖

資料來源：本團隊彙整

4.2.2 海象

一、潮汐

蒐集中央氣象局於桃園竹圍潮位站，統計時間為 2002 至 2021 年之實測資料。將蒐集之最高天文潮、平均高潮位、平均潮位、平均低潮位及最低天文潮位資料加以彙整，列於表 3，表中潮位標高單位為公尺。桃園竹圍於 2002~2021 年期間之全年最高天文潮位與全年最低天文潮位分別為 2.126 公尺與-2.243 公尺，全年平均潮位為 0.058，而全年平均高潮位減去全年平均低潮位為 2.876 公尺。含暴潮位的最高高潮位為 2.425 公尺，最低低潮位為-2.440 公尺。

表 3、竹圍每月潮位統計表(2000-2021)

月份	最高高潮位 暴潮位 (公尺)	最高天文潮 (公尺)	平均高潮位 (公尺)	平均潮位 (公尺)	平均低潮位 (公尺)	最低天文潮 (公尺)	最低低潮位 (公尺)	平均潮差 (公尺)
1	1.946	1.797	1.294	-0.111	-1.624	-2.243	-2.440	2.918
2	1.926	1.825	1.284	-0.087	-1.539	-2.203	-2.244	2.823
3	2.076	1.926	1.337	-0.062	-1.496	-2.082	-2.109	2.830
4	2.031	1.939	1.403	0.012	-1.430	-2.034	-2.191	2.833
5	2.026	1.924	1.466	0.100	-1.344	-2.013	-2.121	2.810
6	2.284	1.959	1.529	0.153	-1.320	-1.913	-2.073	2.849
7	2.344	2.053	1.584	0.190	-1.302	-1.828	-2.059	2.886
8	2.425	2.101	1.630	0.236	-1.250	-1.827	-1.961	2.880
9	2.250	2.126	1.592	0.202	-1.270	-1.823	-1.844	2.862
10	2.116	2.104	1.530	0.112	-1.373	-2.053	-2.121	2.903
11	2.051	1.993	1.459	0.022	-1.499	-2.175	-2.296	2.958
12	2.003	1.849	1.358	-0.063	-1.573	-2.224	-2.305	2.931
全年	2.425	2.126	1.455	0.058	-1.421	-2.243	-2.440	2.876

資料來源：中央氣象局，統計時間 2000 至 2021 年

二、波浪

中央氣象局目前設有 8 個波浪觀測站，包含 6 個海氣象資料浮標站及 2 個沿岸波浪站，距離桃園市最近的測站為新竹測站，測站位置為新竹市香山區，浮標座標位置為東經 120.843900 度，北緯 24.760800 度，約在新竹海山漁港外海離岸約 6.4 公里，該處水深約 24.5 公尺。波高統計資料如表 4 及表 5，統計時間為 2001 至 2021 年。圖 10 為新竹浮標 2002-2021 年每月包高統計圖，圖 11 為新竹浮標 2002-2021 年每月示性波高分布圖。平均示性波高夏天為 0.6 公尺，冬天為 1.2 公尺；平均夏天週期為 4.3 秒，平均冬天週期為 4.96 秒。值得注意的是夏天受 2008 年的薔密颱風影響，最大波高可達 12.45 公尺，週期可達十幾秒。

表 4、新竹浮標 2001-2021 年每月最大波高、月平均示性波高及月平均週期統計表

月份	觀測 次數	最大波高				月平均 示性	月平均 週期
		波高 (m)	尖峰週期 (秒)	波向(度)	發生時間 (年月日)	波高(m)	(秒)
1	12314	4.62	-	22	2016/1/23	1.28	5.0
2	11120	4.35	10.4	11	2013/2/8	1.20	4.9
3	12184	5.18	11.6	225	2006/3/12	0.96	4.7
4	12007	3.25	9.4	337	2018/4/6	0.75	4.5
5	11852	2.93	9.8	0	2014/5/5	0.64	4.3
6	11756	3.49	10.4	247	2009/6/22	0.67	4.2
7	10682	5.78	9.8	0	2013/7/13	0.63	4.2
8	11455	6.79	18.9	33	2015/8/8	0.61	4.5
9	12047	12.45	13.1	348	2008/9/28	0.86	4.8
10	12700	8.94	10.4	0	2007/10/6	1.24	4.9
11	12317	4.54	10.4	0	2017/11/18	1.21	4.9
12	12488	4.95	13.1	11	2010/12/16	1.37	5.0

資料來源：中央氣象局，統計時間 2000 至 2021 年

表 5、新竹浮標 2002-2021 年每月示性波高分佈統計表

月份	觀測 次數	示性波高分佈百分比			
		小於 0.6	0.6~1.5	1.5~2.5	大於 2.5
	公尺	小浪	中浪	大浪	
1	12314	11.3	56.8	28.3	3.7
2	11120	21.9	48.5	25.1	4.6
3	12184	29.5	54.7	14.0	1.7
4	12007	43.4	51.2	5.2	0.2
5	11852	53.6	44.3	2.0	0.1
6	11756	48.1	49.7	2.1	0.1
7	10682	59.4	36.2	3.9	0.5
8	11455	62.0	34.9	2.4	0.7
9	12047	41.2	46.3	10.7	1.9
10	12700	14.3	55.3	26.8	3.7
11	12317	15.5	56.3	25.4	2.8
12	12488	10.9	51.3	30.8	7.1

資料來源：中央氣象局，統計時間 2000 至 2021 年

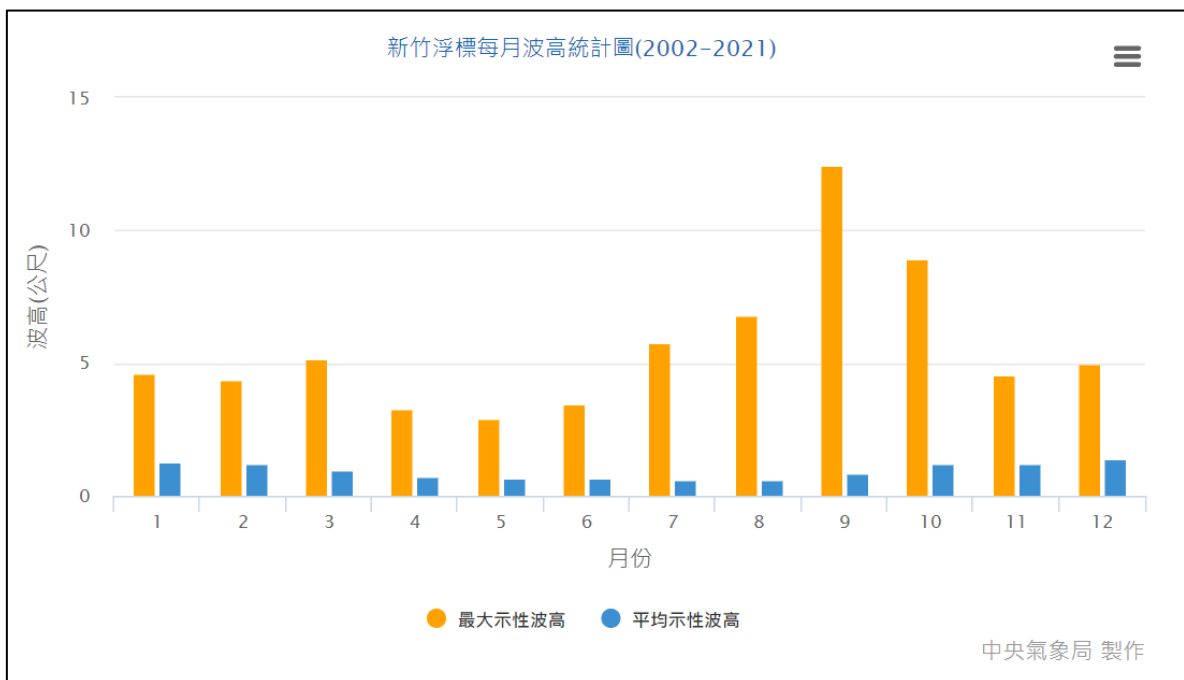


圖 10、新竹浮標 2002-2021 年每月波高統計圖

資料來源：中央氣象局，統計時間 2000 至 2021 年

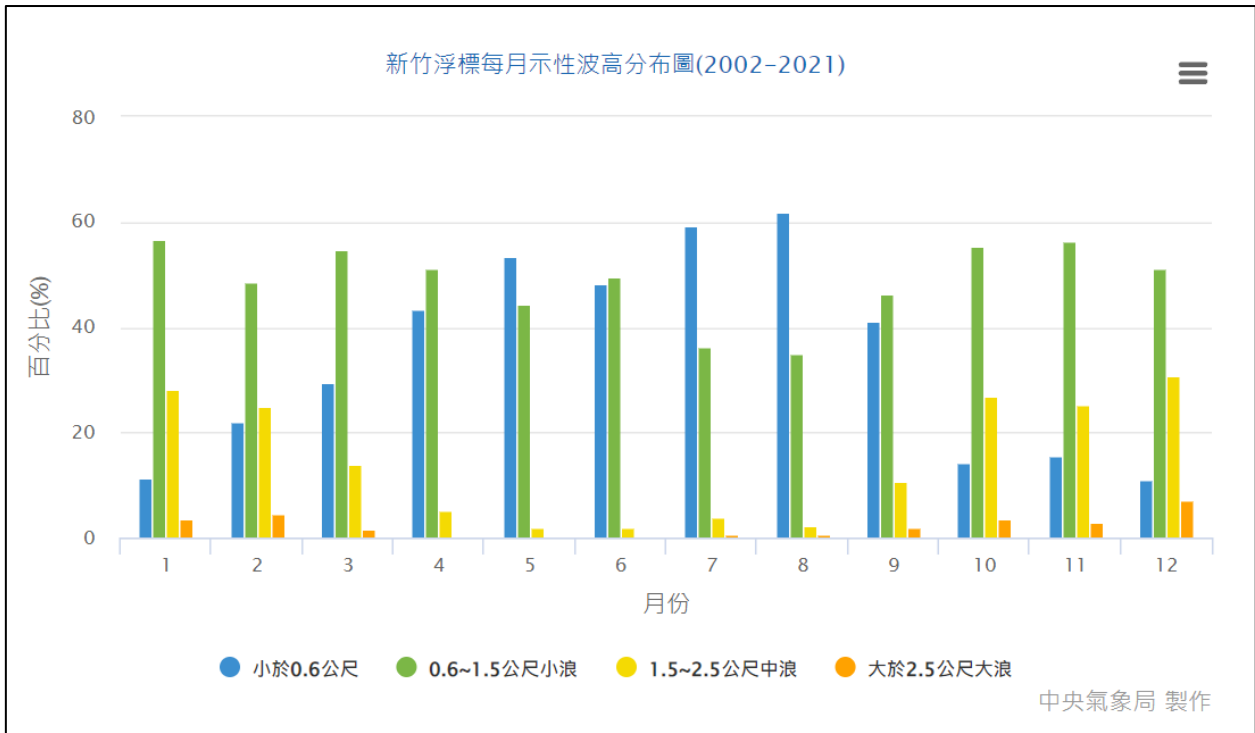


圖 11、新竹浮標 2002-2021 年每月示性波高分佈圖。
 資料來源：中央氣象局，統計時間 2000 至 2021 年

三、海溫

交通部中央氣象局桃園竹圍測站 2002~2021 年每月海溫觀測結果，如表 6 所示。歷年月平均海溫在 17.0 度~29.8 度之間，全年平均海溫是 23.6 度；根據 2002~2021 年觀測結果，月最高海溫在 2008 年及 2010 年、35.1 度，最低溫則在 2004 年、11.5 度。

表 6、竹圍測站 2002-2021 年每月海水表面溫度統計表。

月份	最高海溫	最高溫	平均海溫	最低海溫	最低溫
	(°C)	發生年	(°C)	(°C)	發生年
1	21.6	2017	17.3	11.5	2004
2	22.2	2019	17.0	11.7	2004
3	24.2	2018	18.7	13.0	2005
4	27.9	2019	22.4	16.4	2005
5	31.7	2018	26.0	20.9	2014
6	32.1	2019	28.1	23.4	2010
7	33.2	2019	29.8	25.8	2021
8	35.1	2010	29.7	25.2	2013
9	32.0	2019	28.3	23.1	2002
10	35.1	2008	24.9	19.6	2010
11	26.6	2008	24.1	17.4	2013
12	24.9	2018	20.8	12.7	2003

資料來源：中央氣象局，統計時間 2000 至 2021 年

四、近岸流

根據國立中央大學 [2017]的報告，該報告在桃園白玉海岸及觀新藻礁保護區各設一組潮波流儀，該報告儀器擺設位置如圖 12，兩組設備擺放水深約為 3~4 公尺，並於四個不同季節進行測量，將四次調查時間整理表 7。

圖 13 及圖 14 為白玉海岸夏季及冬季的海流及方向時序列圖與海流流速頻譜圖，此結果可以視為不受到海岸結構物影響的資料。調查結果顯示，在遠離結構物的 4 米水深以內的海岸帶，夏天的海流較小，約為 0.5 m/s 以內，海流方向為流向東北方。冬天的流速最大約 0.6 m/s 以內，海流方向為流向西至西南方。由頻譜圖可以知道，夏天的海流主要受到潮流的影響，半日潮為主要成份。秋天與冬天的海流則受到較長週期成份的影響很大，亦即除了半日潮之外，有受到風趨流等較長週期振盪的驅動力所影響。

國立中央大學 [2017]的報告指出桃園海岸的突堤會影響海流的方向，產生所謂的突堤效應。由圖 15 可以發現，海流在遠離突堤的白玉海岸呈現一般認知在台灣海峽海流的特性，亦即夏天因為西南風吹拂，使得海流流向東北方向；秋冬則轉為流向西南或西方。相對的在突堤的南側海流則往東及南向流，並不會往西南或者西邊的方向流動。根據數值模結果，突堤南岸附近潮流因為受結構物影響，漲潮時形成逆時針渦流，使得突堤南岸為向東北或北方之流動；台灣海峽退潮時海流往東北向退去，也讓近岸的海流在退潮時亦往東北向流動，因此突堤改變海流的往覆運動特性，造成突堤南端的潮流不管在漲潮或退潮時皆往東北方向運動。由不同的地點觀測及數值模擬比較結果發現，桃園海岸地區的突堤南北側海流會受到改變，產生所謂的突堤效應，使得近岸海流系統被突堤改變。

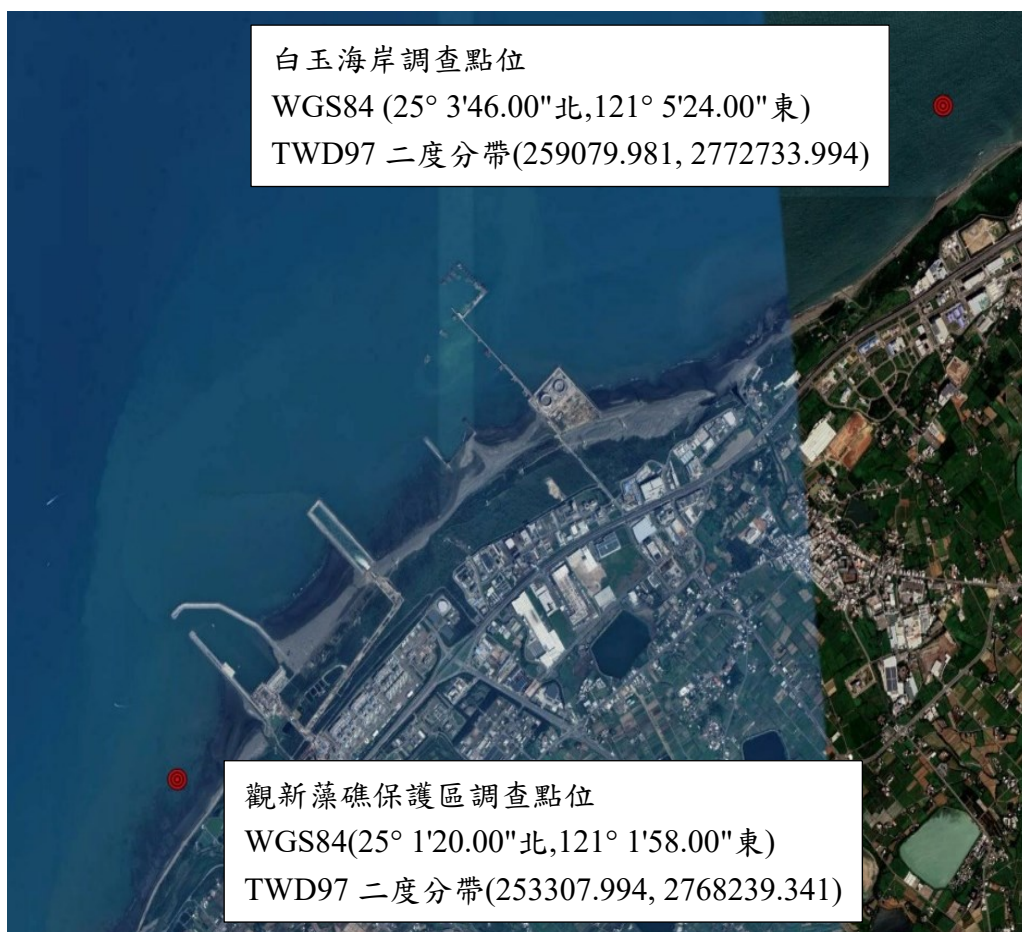
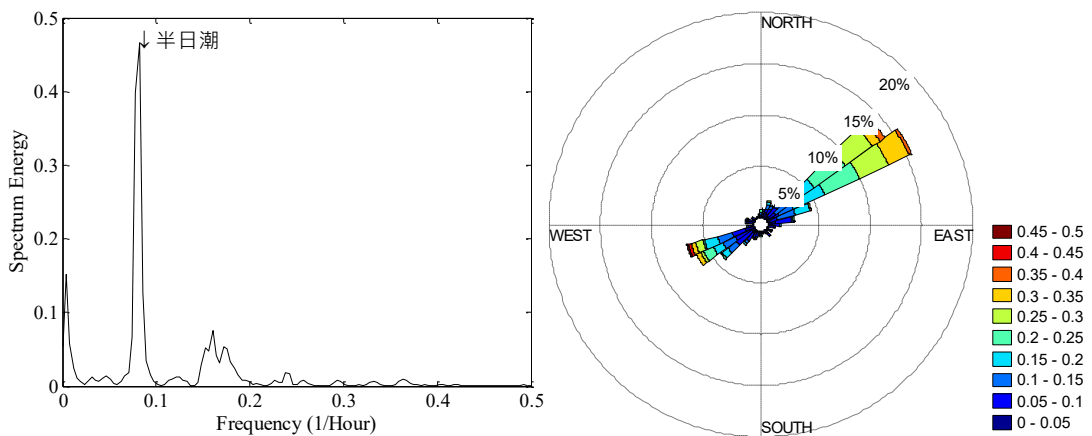
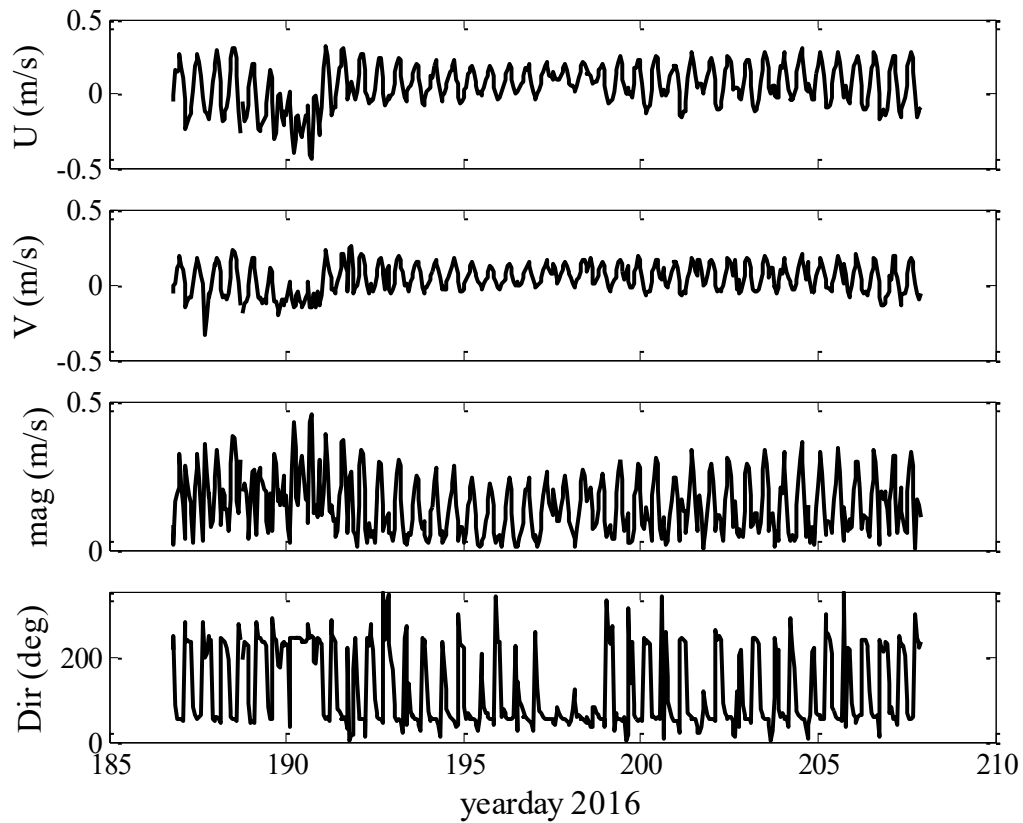


圖 12、國立中央大學 [2017]報告中儀器調查點位圖

表 7、國立中央大學 [2017]報告中實驗時間整理表

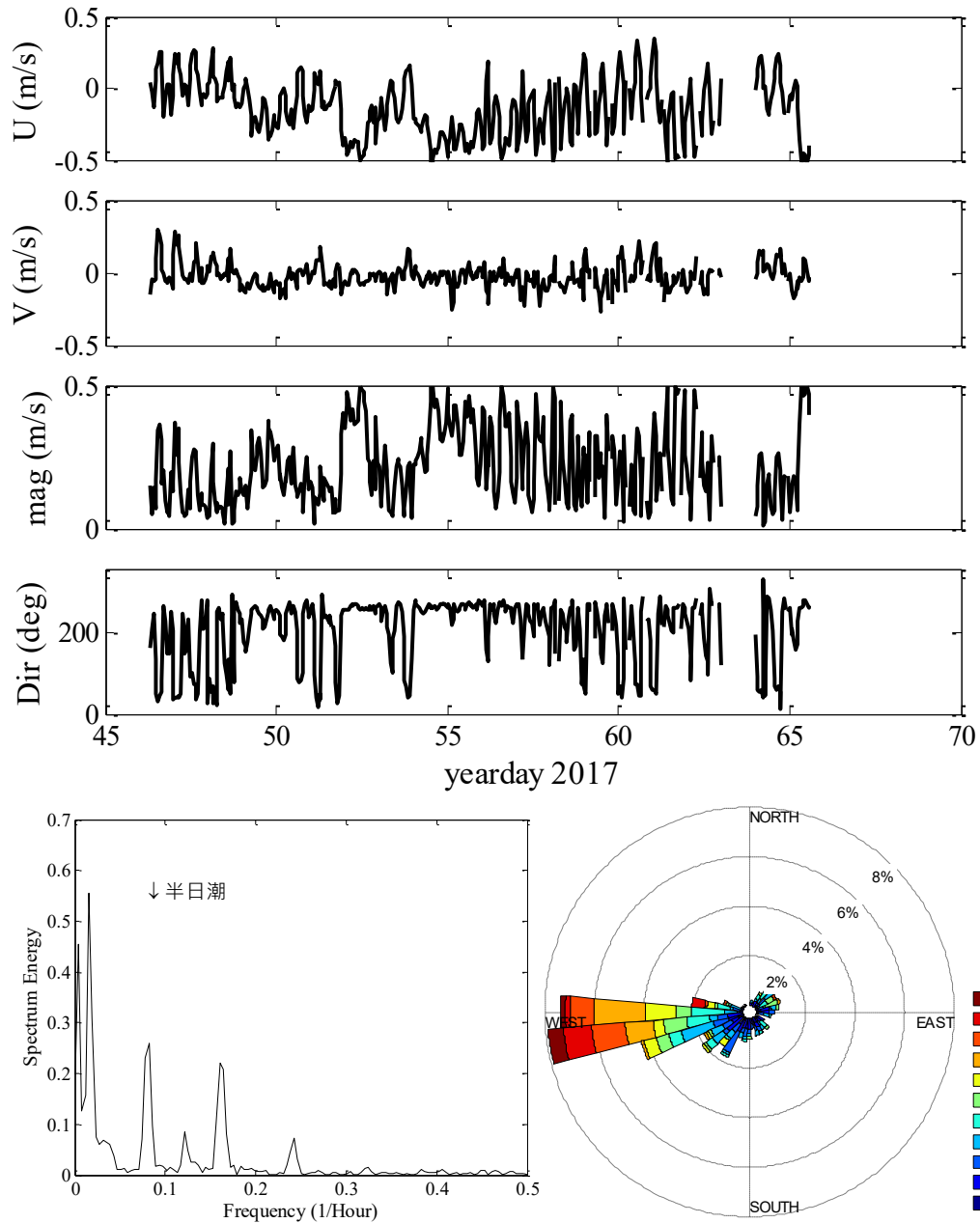
	實驗期間	代表季節
第一次實驗	2016/7/9~2016/7/26	夏
第二次實驗	2016/11/14~2016/11/27	冬
第三次實驗	2017/2/16~2017/3/4	冬
第四次實驗	2017/5/24~2018/6/14	春



(U：東西向、V：南北向、mag：流速大小、Dir：流向)，流速大小頻譜圖，流向(去向)強度玫瑰圖，時間為 2016 年 07 月(夏)

圖 13、白玉海岸夏天的海流逐時變化圖

(資料來源：[國立中央大學, 2017])



(U：東西向、V：南北向、mag：流速大小、Dir：流向)，流速大小頻譜圖，流向(去向)強度玫瑰圖，時間為2017年02月(冬)

圖 14、白玉海岸冬天的海流逐時變化圖

(資料來源：[國立中央大學, 2017])

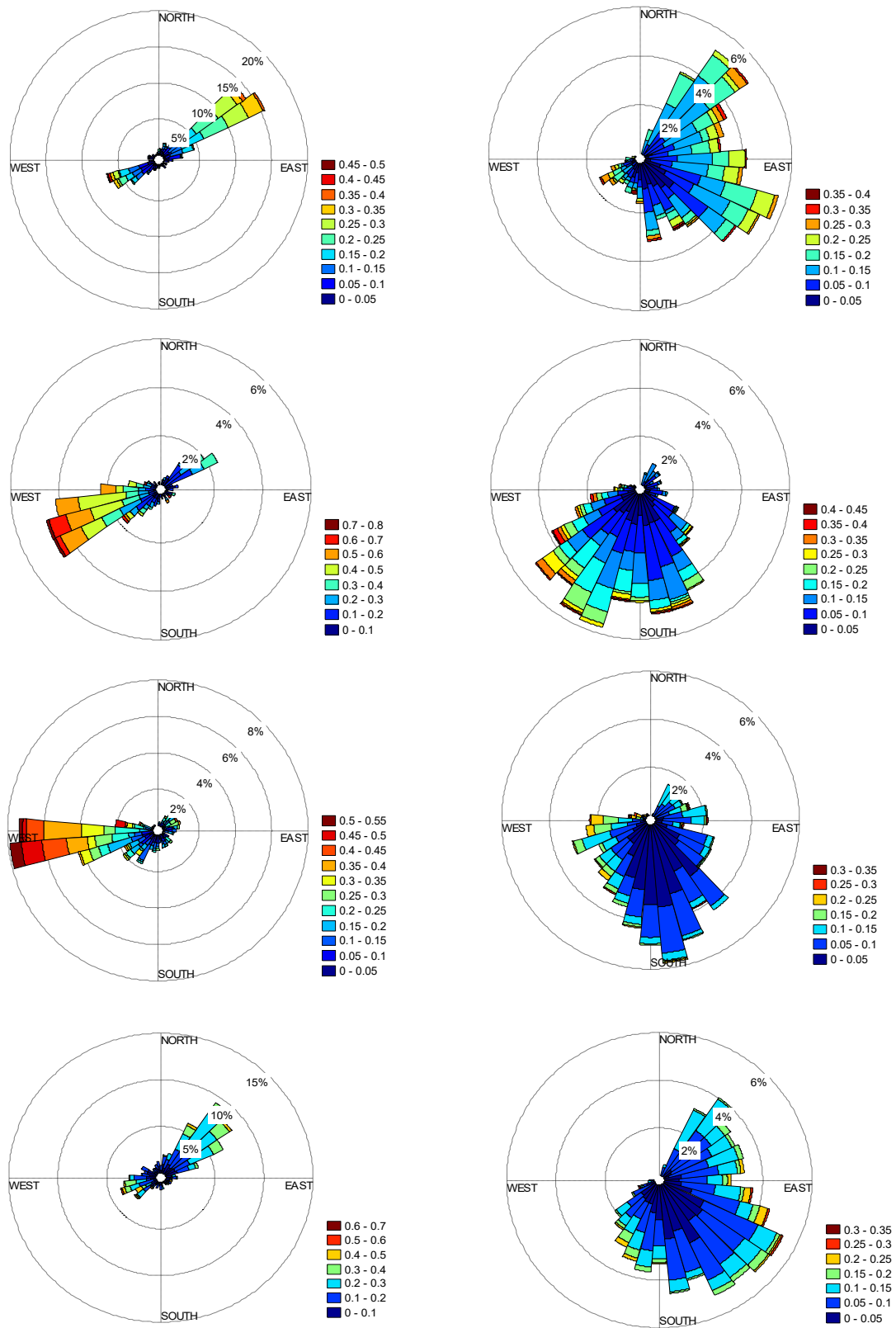


圖 15、海流方向的空間特性分析比較圖，左行為白玉海岸，右行為藻礁保護區資料；由上而下分別為四季的資料

(資料來源：[國立中央大學, 2017])

4.3 懸浮漂沙濃度特性

本團隊蒐集觀塘工業區工業專用港施工期間環境監測報告環境監測年報 109 年度(定稿本)中的每日礁體懸浮固體監測資料，其報告主辦機關為台灣中油股份有限公司，執行單位為環興科技股份有限公司。以下為所蒐集的每日礁體懸浮固體監測資料：

該報告各測站 GPS 定位點為 G2(25°2.202' N, 121°2.935' E)，保護區(25°1.16' N, 121°1.946' E)，如圖 16 所示，該測站採用光學濁度計(Optical Backscatter Sensor, OBS)進行測量。該測站已於 109 年 1 月 1 日起開始進行每日漂沙監測至 109 年 12 月 31 日，共計 365 日，如圖 17 所示。

依照桃園市觀塘工業區工業專用港環境影響說明書環境現況差異分析及對策檢討暨環境影響差異分析報告中說明，懸浮固體濃度持續 300 小時達 100mg/L 以上，即採取應變措施，包括：增加污染防止膜、降低浚挖施工功率等。並儘速查明其原因。若係受浚挖工程影響，台灣中油公司將即研提並採取改善應變措施。若非本工程影響，將研判結果通知相關主管機關。漂沙監測儀器擺設位置設在潮間帶上，故會受到潮汐的影響導致退潮時期儀器會露出水面，因而無法測得資料，故將無資料時期視作漂沙濃度大於 100 ppm，則各季懸浮固體濃度大於 100 ppm 的最長區間如下：

109 年第 1 季(1~3 月)(圖 18(a))，G2 區之懸浮固體濃度大於 100 ppm 的最長區間為 208 小時(01/24 12:00 至 02/02 21:00)，保護區則為 86 小時(02/16 07:00 至 02/19 21:00)。

109 年第 2 季(4~6 月)(圖 18(b))，G2 區之懸浮固體濃度大於 100 ppm 的最長區間為 172 小時(04/02 19:00 至 04/09 23:00)，保護區則為 85 小時(04/03 22:00 至 04/07 11:00)。

109 年第 3 季(7~9 月)(圖 18(c))，G2 區之懸浮固體濃度大於 100 ppm 的最長區間為 58 小時(09/01 01:00 至 09/03 11:00)，保護區則為 59 小時(09/20 15:00 至 09/23 02:00)。

109 年第 4 季(10~12 月)(圖 18(d))，G2 區之懸浮固體濃度大於 100 ppm 的最長區間為 740 小時(11/26 23:00 至 12/27 19:00)，保護區則為 236 小時(10/16 23:00 至 10/26 19:00)。

綜觀 109 年度懸浮固體濃度監測結果，僅有 G2 區發生兩次懸浮固體濃度持續 300 小時大於 100ppm 的情形，其時間區間分別為 10/05 03:00 至 10/26 18:00，共 519 小時，及 11/26 23:00 至 12/27 19:00，共 740 小時。根據以往的研究可知懸浮固體濃度與海象波高有顯著正相關關係，故該報告蒐集離觀塘工業區工業專用港的中央氣象局新竹浮標資料進行比對，但因為新竹浮標於 109 年 11 月 13 日儀器故障，故於 11 月中

之後未有波浪資料，故僅比對 109 年 10 月的資料，其結果如圖 19 所示。由圖上可知 10 月 5 日之後的波高皆大於 1.5 公尺，屬中浪以上的浪況，且經比對本計畫工程進度，於上述兩個區間因風浪過大皆無執行海事工程，故推論造成此因素，主要受自然風浪因素導致，部分原因也可能受 G1 區施工便橋之結構物影響海流流速及流向等因素干擾，根據流體力學基本原理，在主流方向有一橫斷面將會改變水流方向及大小，在結構物後下游處會生成紊亂渦流，會增強漂沙懸浮能力，結構物使得整體水流變慢，在變慢處沉降變得容易發生。然而，因為自然波浪為懸浮固體再懸浮的主要機制，在波浪尚未被結構物產生遮蔽效應前，人為結構物影響與自然作用力的影響差異，目前仍難以判斷並量化其影響量。考量施工便橋為短期措施，建議持續觀察。

109 年度北永續區未發生懸浮固體濃度持續 300 小時大於 100ppm 的情形，北永續最長區間為 236 小時(10/16 23:00 至 10/26 19:00)。

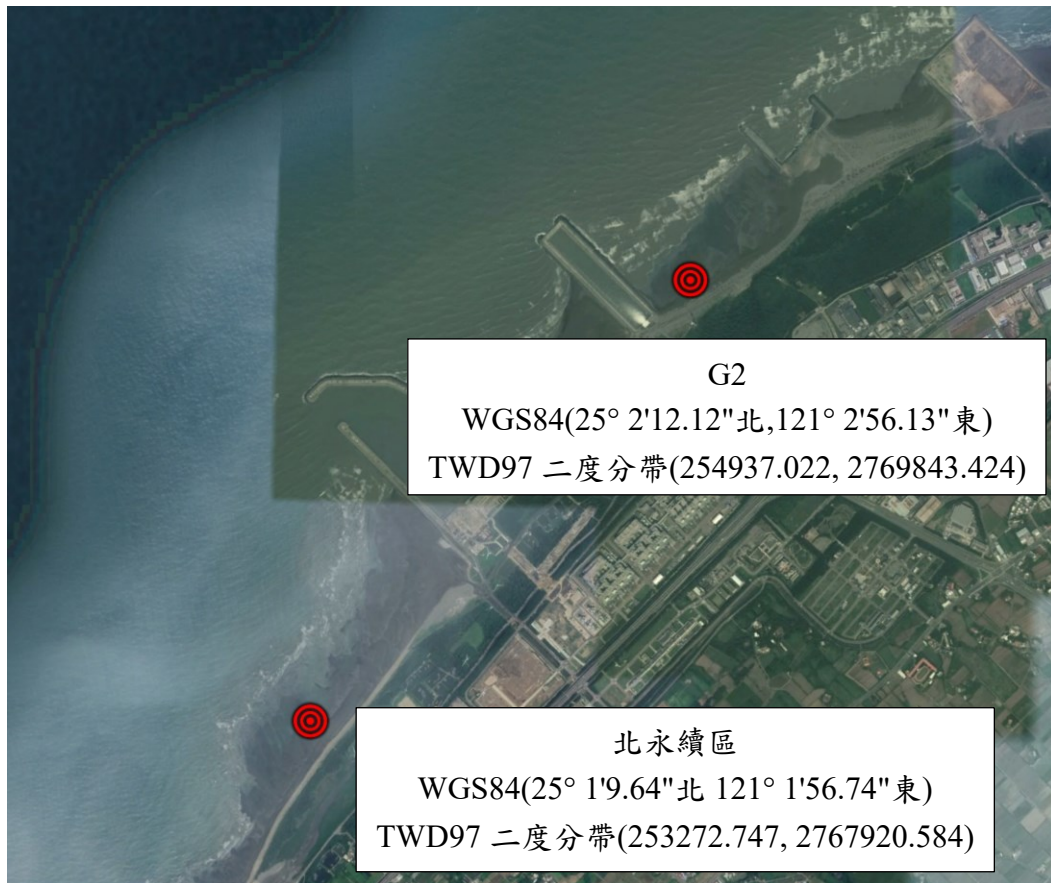


圖 16、各測站 GPS 定位點

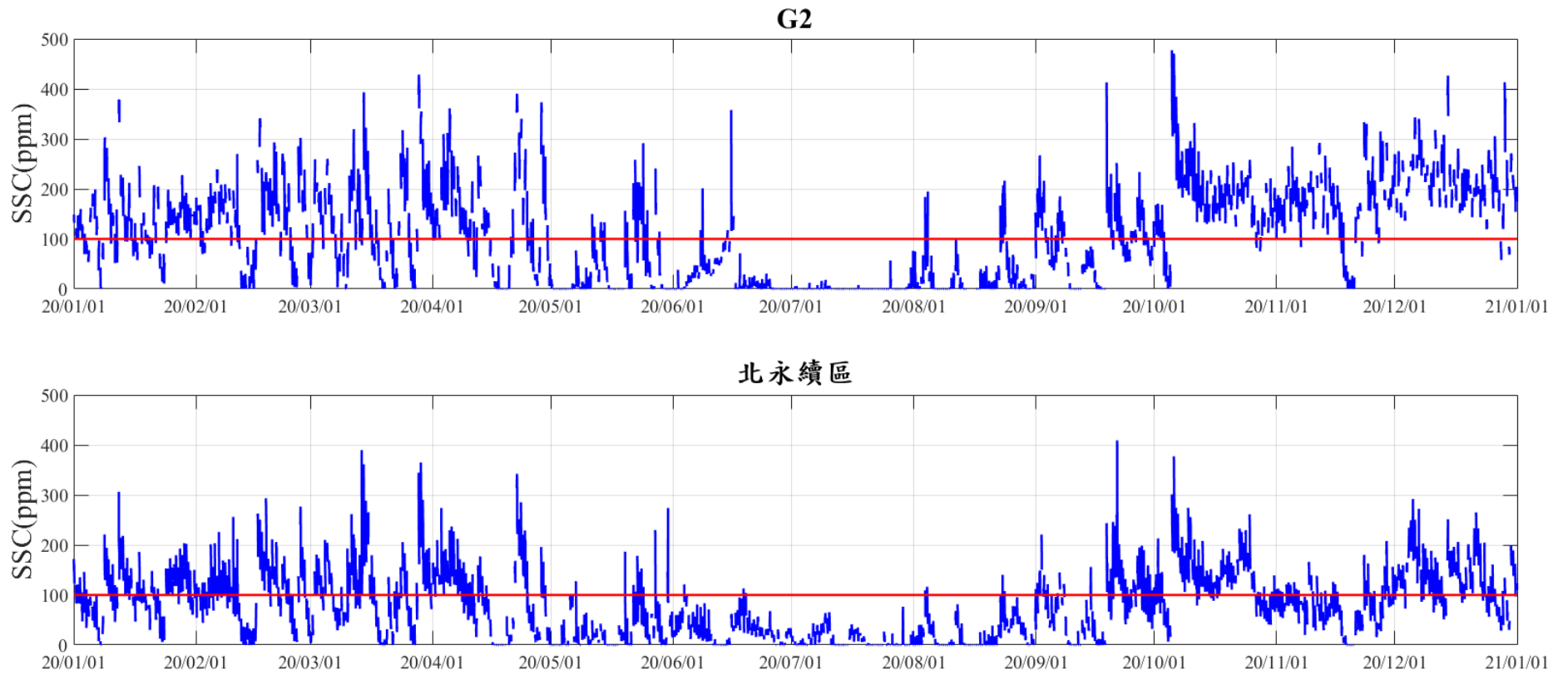


圖 17、109 年度漂沙濃度逐時資料時序列圖

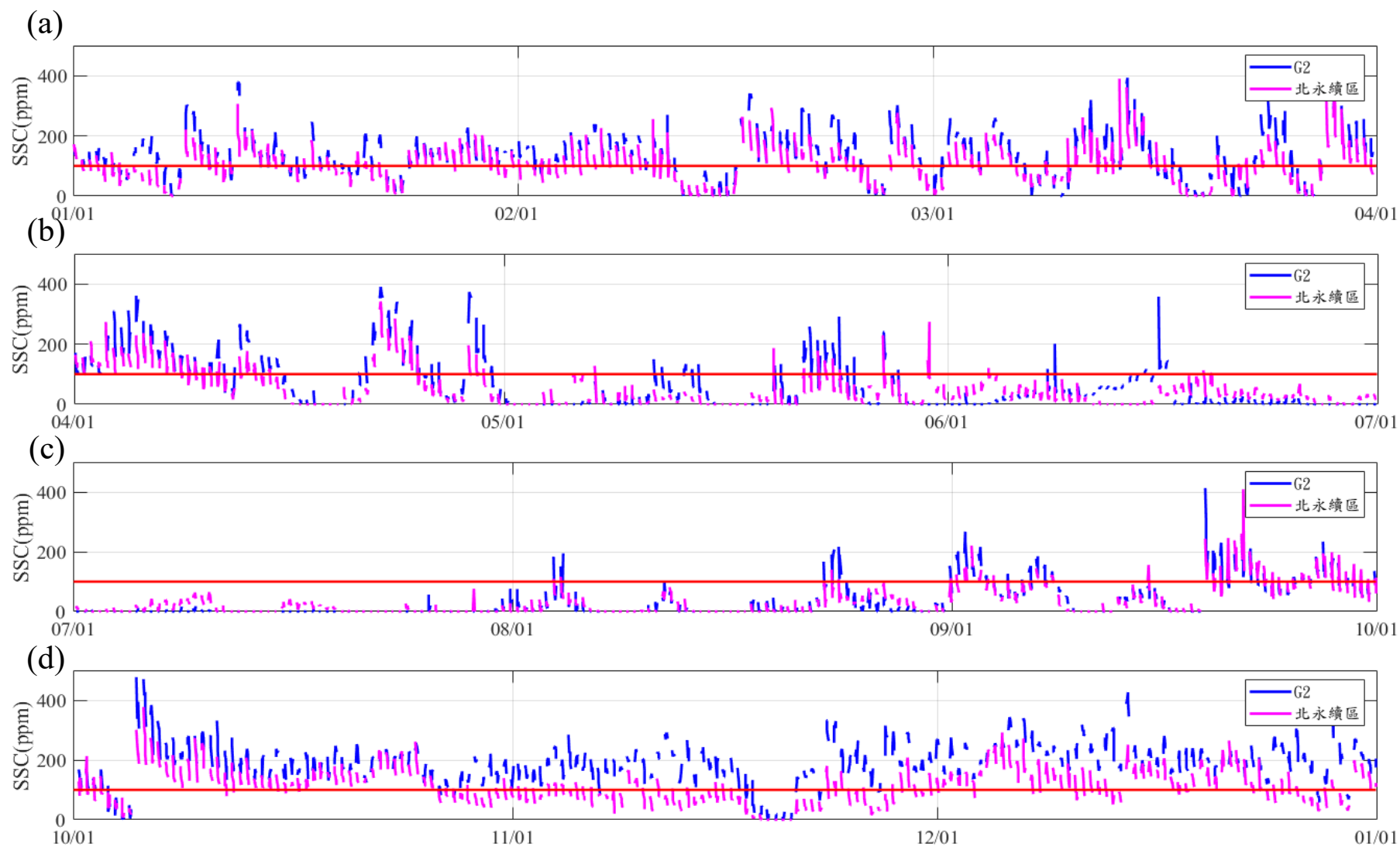


圖 18、109 年度各季漂沙濃度逐時資料時序列圖(a)第 1 季(1~3 月)(b)第 2 季(4~6 月)(c)第 3 季(7~9 月)(d)第 4 季(10~12 月)

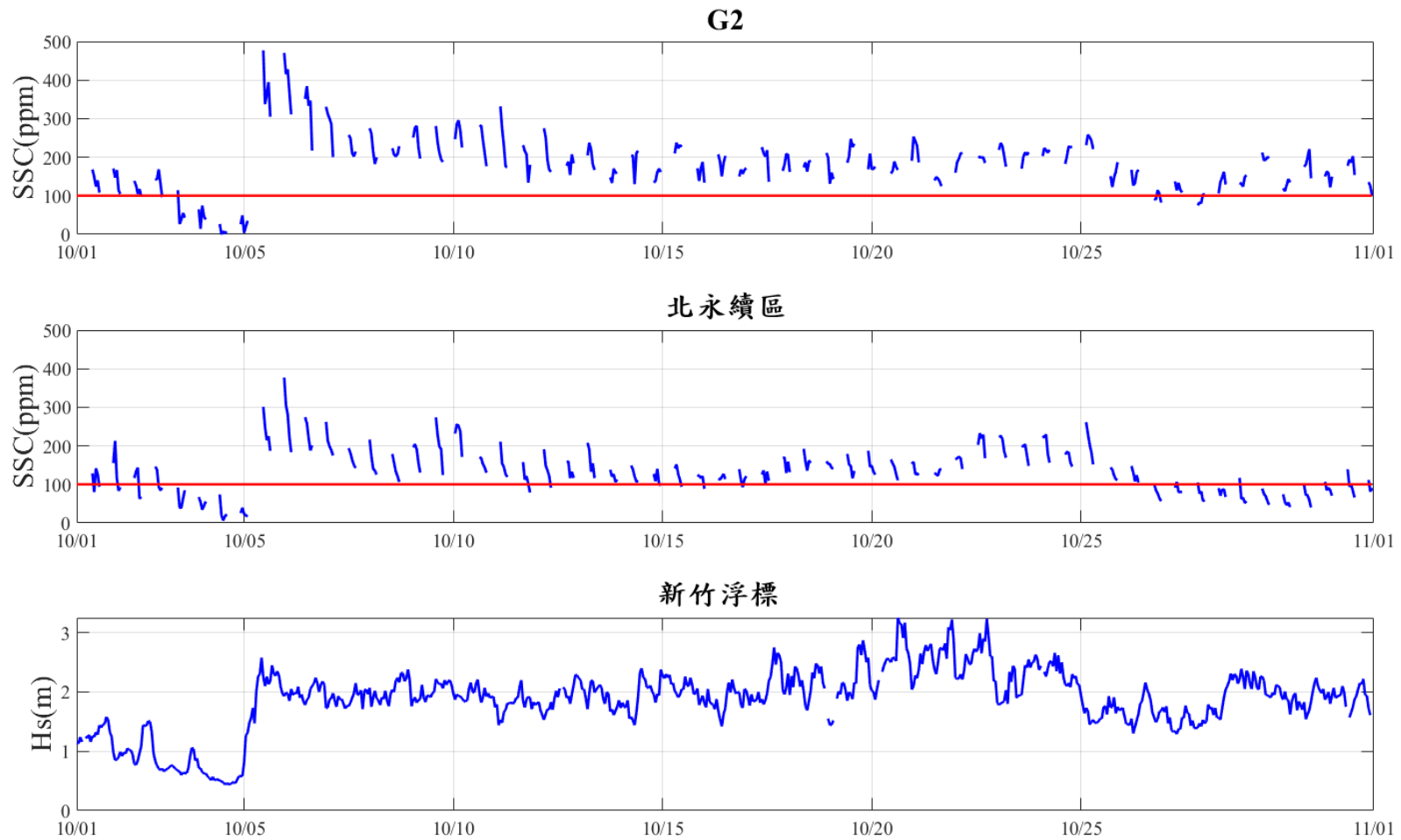


圖 19、109 年 10 月每日懸浮固體監測資料連續超過 300 小時時序列圖

(上圖:G2 區漂沙濃度時序列圖；中圖:北永績區漂沙濃度時序列圖；下圖:新竹浮標示性波高時序列圖)

4.4 礁體覆沙變化特性

本團隊蒐集觀塘工業區工業專用港施工期間環境監測報告環境監測季報 110 年第 3 季（定稿本）中的高解析度影像地形地貌攝影資料，其報告主辦機關為台灣中油股份有限公司，執行單位為環興科技股份有限公司。以下為所蒐集的高解析度影像地形地貌攝影資料：

4.4.1 調查方法

(一) 調查分區方法

為方便討論，故定義一控制面積，主要由岸線、平均低潮線及兩個側邊界的向離岸方向的分界線所組成。依照海岸特性劃定沿岸分區，此為岸線分界，再透過海岸地形及竹圍潮位站平均低潮位定義出平均低潮線，並將岸線分界及平均低潮線畫出側邊界分界線，即可定義出控制面積範圍，如圖 20 所示。沿岸分區以海岸特性劃設分區，並以平均低潮位線為離岸邊界，總共區分為 A1 至 A12，分別為南永續區、南緩衝區 1、南緩衝區 2、核心區、北緩衝區、北永續區、觀塘工業區 G3、觀塘工業區 G2、觀塘工業區 G1、觀塘工業區北堤至觀音溪口、觀音溪口至大堀溪口 1、觀音溪口至大堀溪口 2，其分區範圍及經緯度資料如圖 21 及表 8 所示。

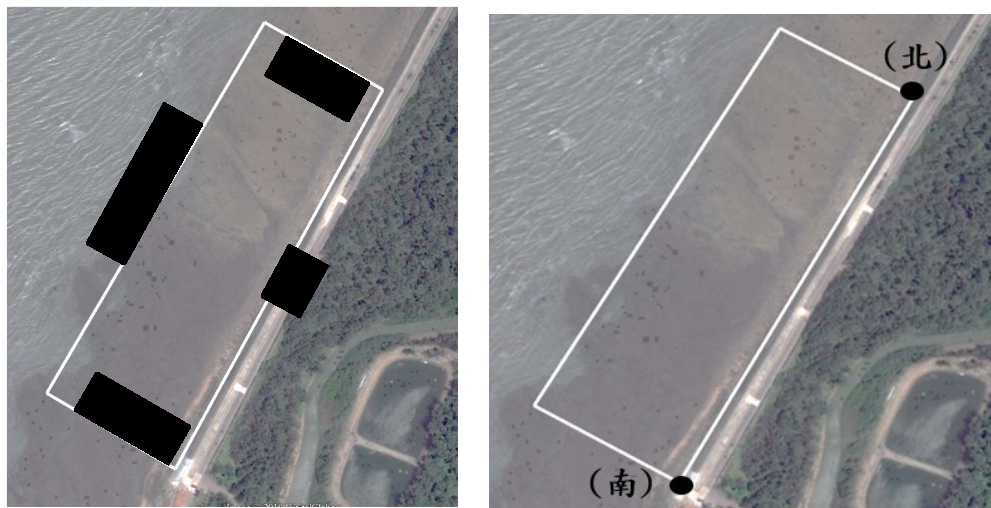


圖 20、定義控制面積示意圖及岸線邊界兩點示意圖

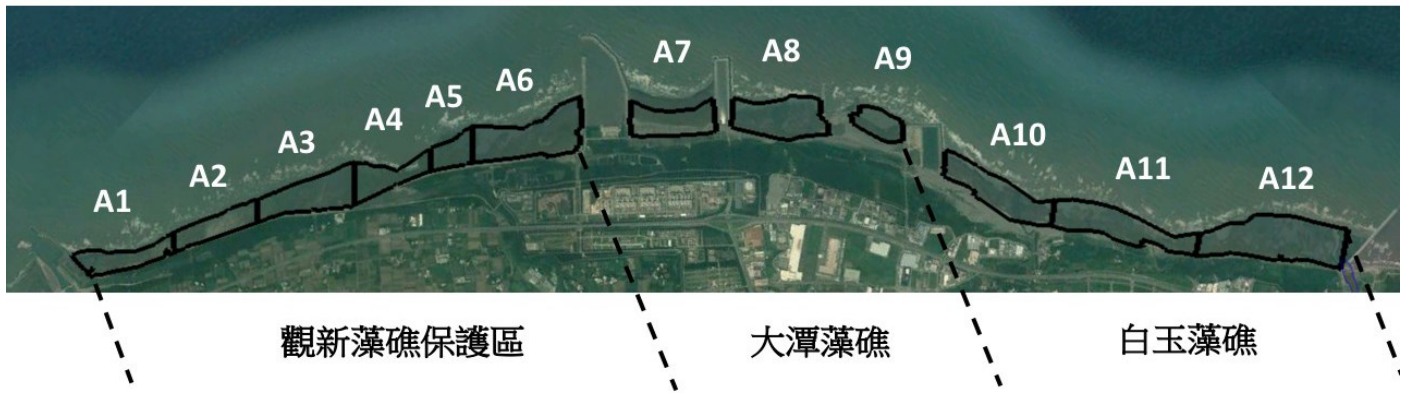


圖 21、海岸特性劃設分區圖

表 8、各分區沿岸兩點經緯度之整理

海岸特性	編號	緯度(南)	經度(南)	緯度(北)	經度(北)
南永續區 1	A1	24°59'26.52" N	121°00'55.99" E	24°59'49.37" N	121°01'10.58" E
南永續區 2	A2	24°59'49.37" N	121°01'10.58" E	25°00'12.57" N	121°01'23.11" E
南緩衝區	A3	25°00'12.57" N	121°01'23.11" E	25°00'35.20" N	121°01'42.66" E
核心區	A4	25°00'35.20" N	121°01'42.66" E	25°01'01.06" N	121°01'54.78" E
北緩衝區	A5	25°01'01.06" N	121°01'54.78" E	25°01'15.26" N	121°02'07.42" E
北永續區	A6	25°01'15.26" N	121°02'07.42" E	25°01'32.34" N	121°02'20.49" E
觀塘工業區 G3	A7	25°01'44.55" N	121°02'30.41" E	25°02'02.85" N	121°02'49.42" E
觀塘工業區 G2	A8	25°02'06.67" N	121°02'52.09" E	25°02'24.66" N	121°03'16.72" E
觀塘工業區 G1	A9	25°02'28.10" N	121°03'23.14" E	25°02'34.77" N	121°03'40.16" E
觀塘工業區北堤 至觀音溪出海口	A10	25°02'38.83" N	121°03'52.69" E	25°02'49.72" N	121°04'28.48" E
觀音溪出海口至 大堀溪出海口	A11	25°02'49.72" N	121°04'28.48" E	25°03'12.33" N	121°05'08.65" E
觀音溪出海口至 大堀溪出海口	A12	25°03'12.33" N	121°05'08.65" E	25°03'38.35" N	121°05'45.34" E

(二)平均低潮線定義方法

依照經濟部水利署第二河川局桃園海岸地形測量資料，測量範圍北至老街溪口、南至永安漁港，搭配中央氣象局桃園竹圍潮位站於 65 年至 106 年期間之每月潮位統計如表 9 所示。依據每月潮位統計表的全年平均低潮位為-1.427 公尺，其潮高基準使用相對台灣基準(TWVD2001)，並搭配海岸地形資料即可求出平均低潮線的經緯度。

表 9、桃園竹圍 65 年至 106 年每月潮位統計表

(單位:公尺)							
月份	最高高潮位	最高天文潮	平均高潮位	平均潮位	平均低潮位	最低天文潮	最低低潮位
1 月	1.946	1.644	1.289	-0.094	-1.618	-2.05	-2.44
2 月	2.092	1.646	1.284	-0.08	-1.548	-1.949	-2.274
3 月	2.041	1.693	1.337	-0.06	-1.497	-1.823	-2.25
4 月	2.031	1.735	1.401	0.002	-1.422	-1.869	-2.191
5 月	1.984	1.739	1.456	0.05	-1.382	-1.919	-2.121
6 月	2.097	1.743	1.518	0.107	-1.353	-1.922	-2.073
7 月	2.354	1.788	1.575	0.146	-1.307	-1.885	-2.059
8 月	2.414	1.823	1.618	0.192	-1.269	-1.815	-2.08
9 月	2.304	1.817	1.595	0.149	-1.272	-1.714	-1.781
10 月	2.027	1.798	1.513	0.074	-1.395	-1.822	-2.151
11 月	2.044	1.716	1.432	-0.025	-1.502	-1.953	-2.296
12 月	1.958	1.648	1.351	-0.09	-1.568	-2.021	-2.305
全年	2.414	1.73	1.445	0.034	-1.427	-1.888	-2.44
註：1.資料來源：中央氣象局網站 2.潮高潮差單位：公尺「潮高基準相對台灣高程基準(TWVD 2001)」							

三、影像判別

取得影像進行處理後以電腦軟體搭配人力的方式進行影像判別，由於海沙常與生物礁體的顏色相近，為減少電腦誤判，故利用人力判讀結合地理資訊系統 ArcGIS 判讀方式，座標系統為 WGS84 zone51N，因礁體及礫石較難區別，故在影像判別時將控制面積內全部非沙區域圈起(包含礁體及礫石)，如圖 22。

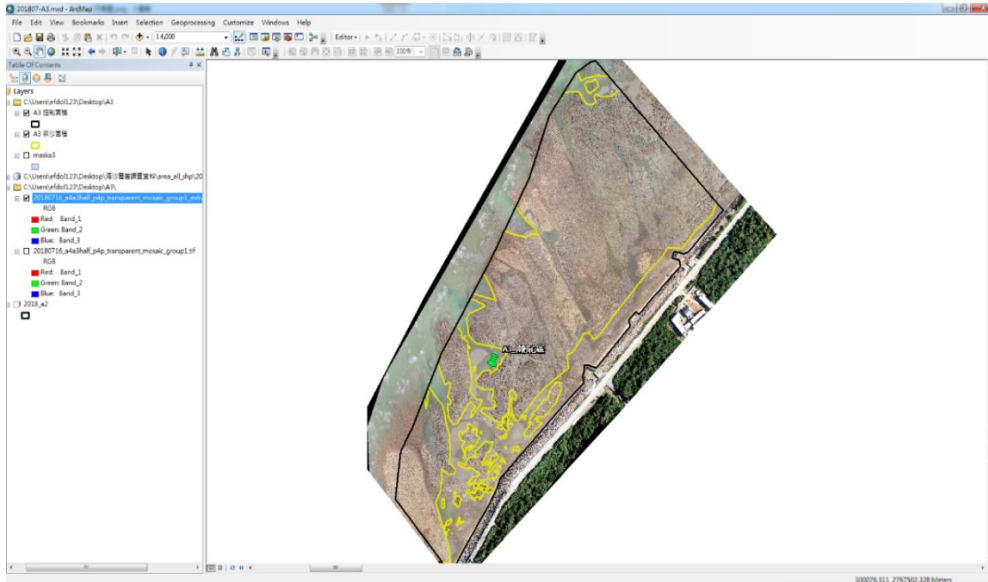


圖 22、ArcGIS 實際操作畫面，控制面積(黑線)、非沙面積(黃線)

4.4.2 調查成果


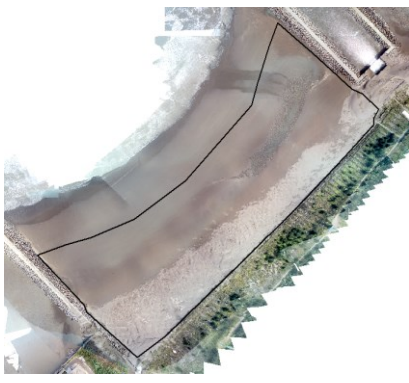

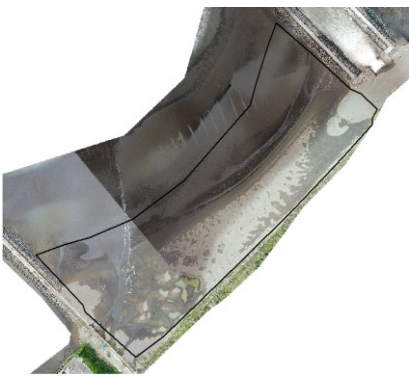
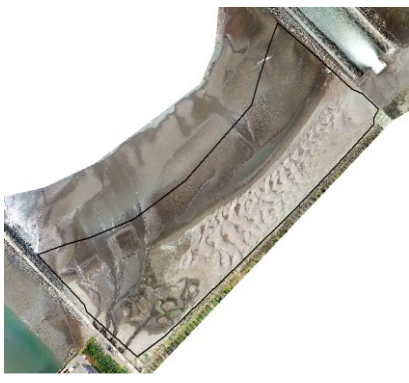


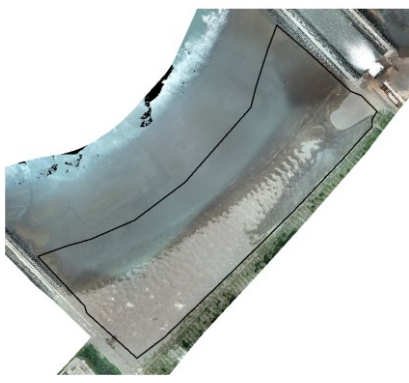
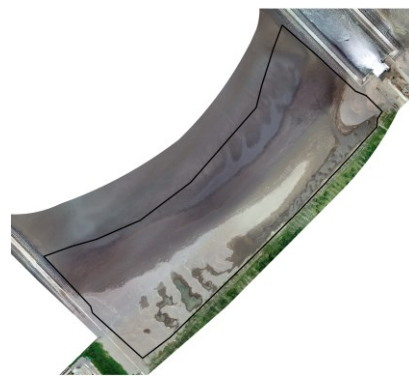
從分區 G3 歷次空拍結果來看，如圖 23 所示，從 108 年 8 月至 110 年 8 月，共 9 次高解析度空拍影像上，並無觀察到礁體露出範圍，分區 G3 皆全區覆沙。

分區 G2 歷次空拍結果來看，如圖 24 所示，分區 G2 覆沙多集中在靠近陸側區域及 G1 南側結構物的位置，分區 G2 控制範圍內覆沙變動隨潮汐變化稍有變動，但歷次記錄觀測變化並不明顯，分區 G2 覆沙變動情形相對分區 G1 穩定許多。

從分區 G1 空拍結果來看，如圖 25 所示，歷次分區 G1 覆沙區域多集中在陸側以及陸側靠近 G1 北側結構物，礁體露出範圍多集中於海側及 G1 南側結構物。從觀察歷次覆沙分布變化可發現，109 年 11 月與 110 年 2 月調查結果較歷年結果相比覆沙區域明顯增加許多。從 110 年 2 月至 110 年 5 月空拍結果顯示 G1 覆沙範圍減少，控制範圍中間的礁體露出。110 年 8 月空拍結果與上季相比，控制範圍中間的覆沙範圍增加，但控制範圍中間偏北的礁體露出。

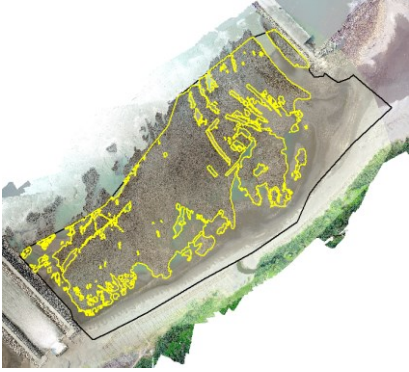
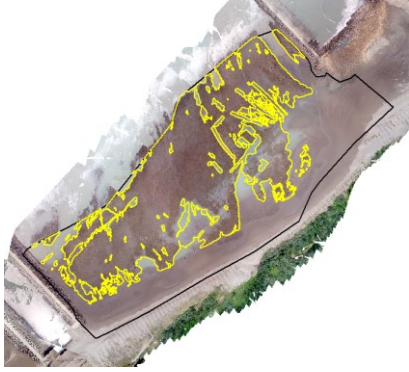





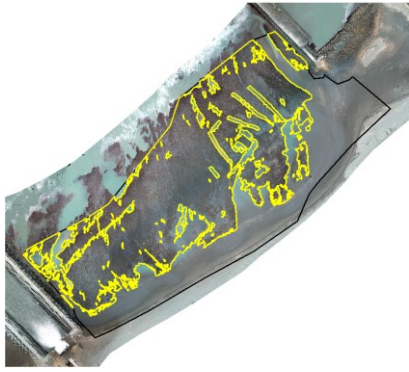

從歷次高解析度空拍結果來看，G1 控制面積北側靠近 G1 北側結構物中可觀察到明顯的覆沙季節變動。由 108 年 11 月、109 年 2 月及 110 年 2 月皆可發現靠近 G1 北側結構物中有礁體露出之情形，而每年的 5 月及 8 月的空拍結果可發現靠近 G1 北側結構物的礁體皆被沙覆蓋。而 G1 南側角落處，在靠近 G1 南側結構物海側皆呈現礁體露出，變動較小。從歷次調查結果顯示，靠近 G1 南側結構物的覆沙變動較小。覆沙變動區域集中於控制範圍中間處及靠近 G1 北側結構物處，顯示除了既有人工結構物對該區域有可能造成影響外，其它水動力因素也可能會影響該區域的覆沙情形。

然而有關影響海岸覆沙變動因子諸多，包含：風(季風、颱風)、波、流及工程結構物(包括中油進場開發三接即存在之影響因子，如東鼎時代建造之圍堤與設施)影響等，推論目前棧橋工程西南側淤沙(即 G1 區東北側)的可能主因有二，一為 108 年度因無颱風侵襲無法帶走 G1 區堆積的沙，二為緊鄰 G1 區的棧橋墩柱造成流動特性改變因而造成泥沙積累於 G1 區。若在主要流動方向有一橫斷面將會改變水流方向及大小，應該會在下游增強漂沙懸浮能力。同時結構物使得整體水流在遮蔽區處(G1 區東北側)變慢，在流速變慢處沉降變得容易發生，加上東北季風的風驅流將導致更大的輸沙通量傳送到 G1 區，且 G1 區為迎風面的地形，因此可能導致 G1 區容易積沙。然而，因為自然波浪為懸浮固體再懸浮的主要機制，在波浪尚未被外海結構物產生遮蔽效應前，人為結構物影響與自然作用力的影響差異，由新竹浮標與本計畫調查到的波浪資料進行比對，外港防波堤未興建完全，因此遮蔽效應不明顯，截至調查的日期應仍以自然因素為主要影響 G1 區的漂沙因素。

G3		
108 年第 1 季 (8 月)	108 年第 2 季 (11 月)	109 年第 1 季 (2 月)
		
109 年第 2 季 (5 月)	109 年第 3 季 (8 月)	109 年第 4 季 (11 月)
		
110 年第 1 季 (2 月)	110 年第 2 季 (5 月)	110 年第 3 季 (8 月)
		



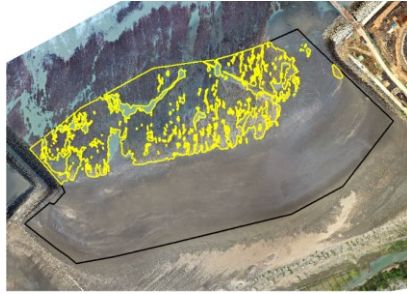
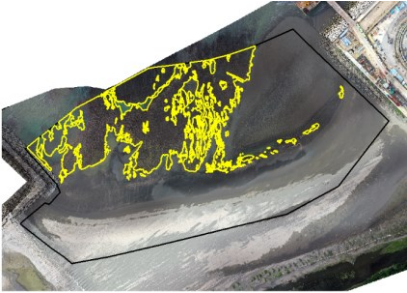


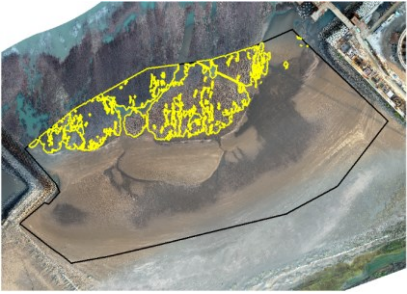
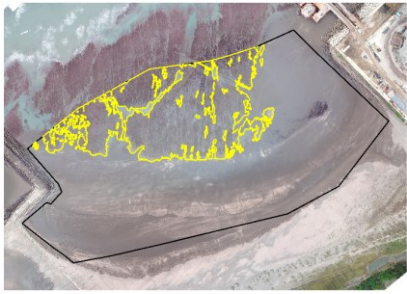

註：圖中控制面積(黑線)、非沙面積(黃線)

圖 23、區域 G3 歷次空拍資料輸出成果

G2		
108 年第 1 季 (8 月)	108 年第 2 季 (11 月)	109 年第 1 季 (2 月)
		
109 年第 2 季 (5 月)	109 年第 3 季 (8 月)	109 年第 4 季 (11 月)
		
110 年第 1 季 (2 月)	110 年第 2 季 (5 月)	110 年第 3 季 (8 月)
		

註：圖中控制面積(黑線)、非沙面積(黃線)

圖 24、區域 G2 歷次空拍資料輸出成果

G1		
108 年第 1 季 (8 月)	108 年第 2 季 (11 月)	109 年第 1 季 (2 月)
		
109 年第 2 季 (5 月)	109 年第 3 季 (8 月)	109 年第 4 季 (11 月)
		
110 年第 1 季 (2 月)	110 年第 2 季 (5 月)	110 年第 3 季 (8 月)
		

註：圖中控制面積(黑線)、非沙面積(黃線)

圖 25、區域 G1 歷次空拍資料輸出成果

4.5地形水深變化特性

1. 資料來源

桃園水深地形資料總共有四份，其來源與資料處理方式如表 10 所示。101 年 05 月與 105 年 05 月的兩筆資料均使用直接取得的 xyz 檔案。109 年 05 月及 110 年 06 月的地形資料由 DWG 檔案轉換成 xyz 檔案。

表 10：資料來源與處理方式

編號	地形測量日期	承辦單位	資料處理
1	101 年 05 月	二河局	直接使用 XYZ 檔案
2	105 年 05 月	二河局	直接使用 XYZ 檔案
3	109 年 05 月	二河局	由 DWG 檔案轉檔為 XYZ 檔案
4	110 年 06 月	二河局	由 DWG 檔案轉檔為 XYZ 檔案

2. 侵淤變化圖

利用所蒐集到的 4 筆的水深地形資料，進行運算得到地形侵淤圖，觀測範圍以大潭電廠及觀塘工業區附近水域為主，並以 110 年 06 月的等水深線為基準來檢視。圖中正值的部分使用藍色標示，表示該處地形變化變為更高的高程，即為地形淤積，反之，負值的部分以紅色標示，表示該處為地形侵蝕。

圖 26 為近 5 年的地形侵淤圖(105 年~110 年)，由上述資料可發現，水深 15 公尺以內主要以侵蝕為主，且集中在大潭電廠以北區域，大潭電廠以南水域則僅有少部分淤積及侵蝕情形。圖 27 為近 9 年的地形侵淤圖(101 年~110 年)，由長時間的水深變化可發現，水深 5 公尺以內以淤積為主，且集中在大潭電廠周圍，而水深 5 至 15 公尺則以侵蝕為主。另外，依據「藻礁委託研究報告(期末報告) 定稿本(桃園縣府 2014 年 1 月)」，「桃園市二級海岸防護計畫」核定本 (2021 年 6 月)」及「108 年度桃園市海岸水文地理資訊暨海漂垃圾調查評估計畫期末報告(定稿本)(2019 年)」，桃園海岸長期的優勢輸沙傳輸方向為由北向南，整體而言，近幾十年因為河川沙源大幅度降低，沿岸輸沙又被突出結構物攔阻，除突出結構物附近淤積外，大部分海岸均呈侵蝕狀態。尤其在計畫區附近觀新保護區海岸因永安漁港、大潭電廠進水口導流堤阻止漂沙進入，海岸呈侵蝕狀態大潭海岸受四道突堤限制，G3、G1 區呈淤積，除受劇烈海象天候影響(如颱風)，地形漸趨穩定。

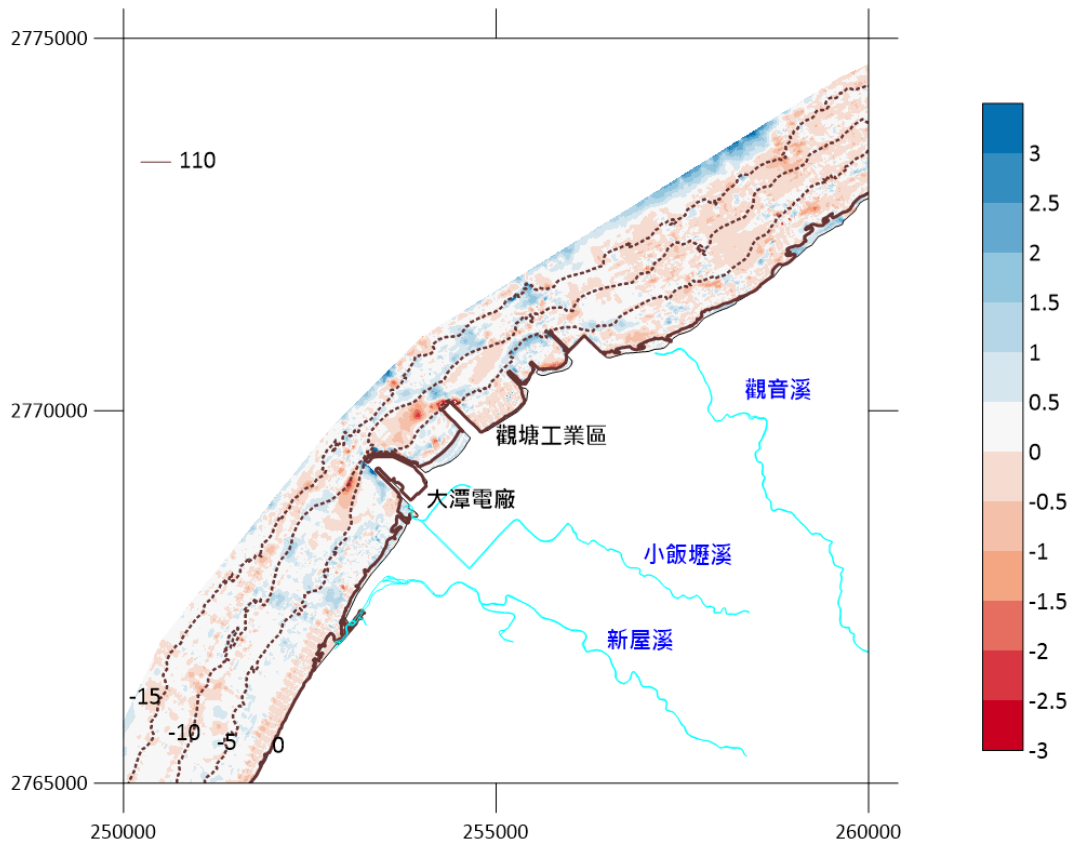


圖 26、105 年 5 月至 110 年 6 月侵淤變化圖(110 年 06 月-105 年 05 月)

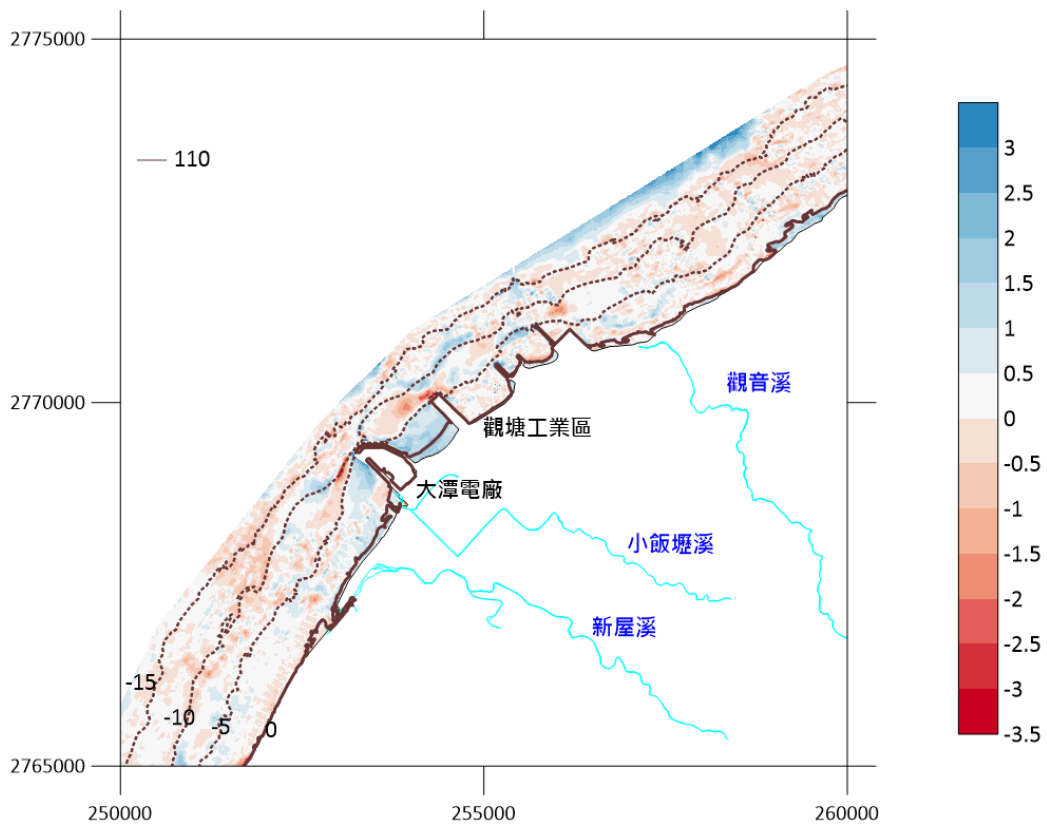


圖 27、101 年 5 月至 110 年 6 月侵淤變化圖(110 年 06 月-101 年 05 月)

4.6 柴山多杯珊瑚分佈

計畫之目標為掌握工業港區漂沙機制，探討漂沙濃度、漂沙覆蓋變化的成因，並據此研擬覆沙減輕策略。由關鍵問題分析，本研究計畫了解漂沙機制主要的目的是要協助解釋及解決可能的漂沙及覆沙掩蓋藻礁及珊瑚問題，包括 G1 區不受颱風侵襲時容易淤積問題，因此計畫重點在保護整個 G1 藻礁棲地，且下潮帶為藻類及生物較豐富的區域，並有柴山多杯珊瑚的存在，因此潮波流及漂沙機制現場調查的地點建議在靠近柴山多杯珊瑚的下潮帶位置進行。如圖 28 為柴山多杯珊瑚的生存點位分佈圖，其水深約 $EI = -1.6$ 到 $EI = -2$ 公尺的等深線位置。



圖 28、柴山多杯珊瑚點位分佈圖。由資料可知柴山多杯珊瑚多分佈在水深約 $EI = -1.6$ 到 $EI = -2$ 公尺的黃色線位置。

五、潮波流現場調查

5.1 G1 區潮波流調查

5.1.1 調查設備、點位與頻率

一、 調查設備

本計畫 G1 區現場佈放潮波流儀(Nortek Signature1000 ADCP)以底部定點錨定式進行，現場儀器佈放照片如圖 29 所示。本次 G1 區潮波流儀基礎設定值整理於表 11。本調查項目著重在進行觀塘工業區遮蔽區海岸帶之波浪、潮位及流場調查作業，調查頻度與點位以輔合漂沙調查為原則。本計畫主要針對計畫區的潮、波、流進行調查，依照相關文獻可知，波浪週期約小於 10 分鐘，且本計畫在調查潮波流時，皆為長時間的測量，故為了保護設備及有限的電池與記憶體的情況下，本計畫在設定設備時，以 4Hz 資料連續取樣，以 Burst 之紀錄方式進行資料採集，每小時的一開始連續取 4096 筆，約 17 分鐘。



圖 29、G1 區潮波流設備器現場照片

表 11、G1 區潮波流儀基礎設定資料表

項目	設定值
探頭	壓力、溫度、五音鼓、傾度及電子羅盤儀
取樣頻率	潮波流同時測量，以 4Hz 資料連續取樣， 每小時取 4096 筆。
每層尺寸	0.2 公尺
層數	30 層
最小盲距	0.1 公尺

二、 調查點位

本團隊已於 G1 區佈放一組整合式潮波流儀，詳細點位如圖 30 所示。因調查位置在潮間帶，水深約為 TWVD2001= -1.9 公尺處，因此潮波流儀只在大退潮時露出，故每隔一個月大退潮時期進行儀器維護及保養，每隔兩個月將儀器收回並蒐集資料。本計畫潮波流調查選點依據，主要是選擇在低潮位線以下，其水深約 TWVD=-2.0 公尺左右，在柴山多杯珊瑚喜好的生存水深位置。因點位有限，調查點位選在兩突堤中間，應屬於較具代表性之點位。

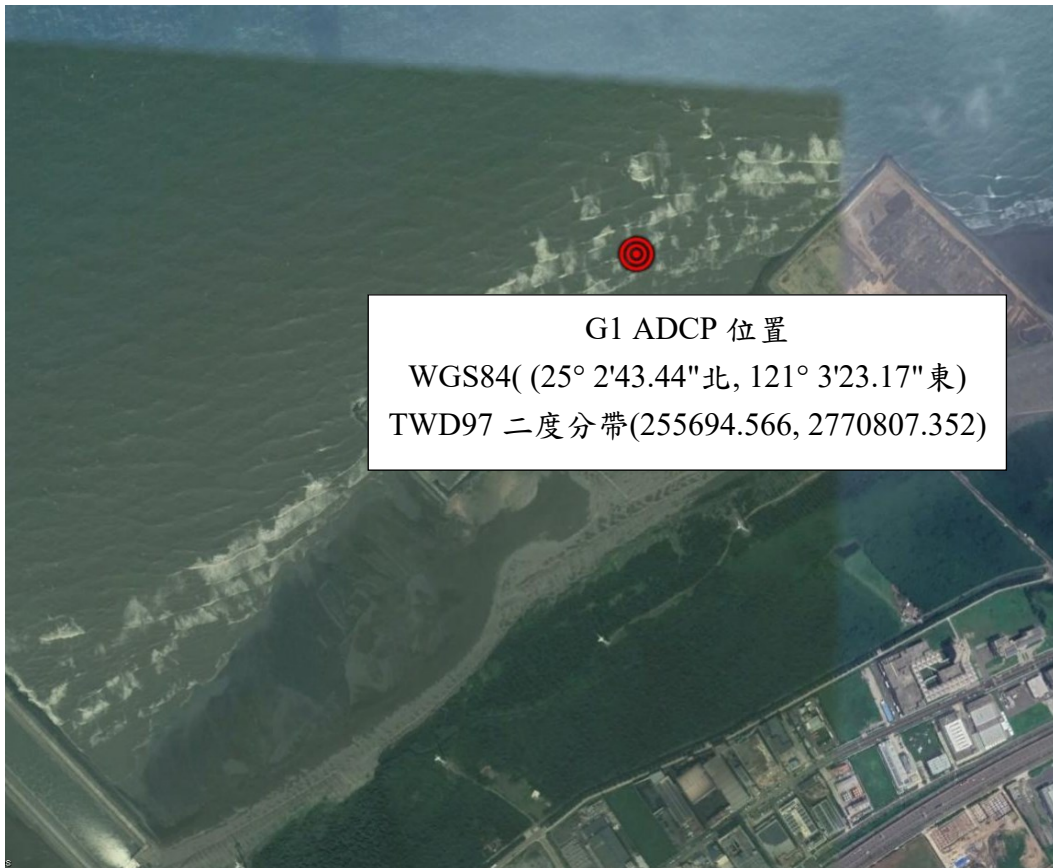


圖 30、G1 區整合式潮波流儀位置圖。

三、 調查頻率

本計畫需於 G1 區進行連續 1 年的潮波流現場逐時測量資料，海象觀測調查作業達成率最低要求為 70%，至少需有 256 天的資料。

本團隊已於 110 年 4 月 27 日於 G1 區佈放一組整合式潮波流儀，並每兩個月進行設備更換，將相關儀器佈放時間及有效資料時間彙整於表 12，本計畫蒐集中油第三座 LNG 接受站施工進度於表 13，相關照片如圖 31~ 圖 34 所示。本團隊共進行五次設備現場設備更換，有效資料時間達到 324 天。在五次現場調查中僅第三次於調查期間內，設備因不明原因導致設備翻覆，讓原先應有 76 天有效資料變成只有 48 天有效資料。經本團隊緊急搶修，將原先設備架進行重新加強使其更堅固，以避免設備再次翻覆。

表 12、G1 區潮波流儀佈放時間及有效資料時間彙整表

編號	佈放時間	有效資料時間
第一次	110/4/27 ~ 110/6/24	110/4/27 17:00 ~ 110/6/24 15:00 (~57 天)
第二次	110/6/24 ~ 110/8/23	110/6/24 16:00 ~ 110/8/23 16:00 (~60 天)
第三次	110/8/23 ~ 110/11/9	110/8/23 17:00 ~ 110/10/10 23:00 (~48 天)
第四次	110/11/9 ~ 111/1/6	110/11/9 07:00 ~ 111/1/6 06:00 (~57 天)
第五次	111/1/6 ~ 111/4/18	111/1/6 07:00 ~ 111/4/18 18:00 (~102 天)

表 13、中油公司第三座 LNG 接收站施工進度彙整表

G1 區潮波流調查時間	工程進度	施工空拍圖
<p>第一次 (110/4~110/6)</p>	<p>完成施工便橋 & 進行棧橋主體工程 (109.8.29)</p> <p>已完成北防波堤#1~#17 沉箱拖放定位。 正進行棧橋主體工程(外套鋼管打設、基 樁)施作。(110.6.15)</p>	
<p>第二次 (110/6~110/8)</p>	<p>已完成北防波堤#1~#19 沉箱拖放定位。 正進行棧橋主體工程(外套鋼管打設、基 樁)施作。(110.8.15)</p>	
<p>第三次 (110/8~110/11)</p>	<p>已完成北防波堤#1~#22 沉箱拖放定位。 正進行棧橋主體工程(外套鋼管打設、基 樁等工項)施作。(110.10.15)</p>	
<p>第四次 (110/11~111/1)</p>	<p>已完成北防波堤#1~#22 沉箱拖放定位。 正進行 A2 橋台背牆及翼牆鋼筋綁紮、 P1 樁帽圍堰第一層側模組立等工項。 (111.01.16)</p>	
<p>第五次 (111/1~111/4)</p>	<p>已完成北防波堤#1~#26 沉箱拖放定位。 正進行 P7 基礎頂層鋼筋綁紮等工項 (110.4.20)</p>	

資料來源:台灣中油股份有限公司第三座 LNG 接收站施工月報



圖 31、G1 區第一次(110/4/27~110/6/24)潮波流儀佈放現場照片
(上圖:設備佈放, 下圖:設備回收)



圖 32、G1 區第二次(110/6/24 ~ 110/8/23)潮波流儀佈放現場照片
(上圖:設備佈放, 下圖:設備回收)



圖 33、G1 區第三次(110/8/23~110/11/9)整合式潮波流儀佈放現場照片
(上圖:設備佈放, 下圖:設備回收)



圖 34、G1 區第四次(110/11/9~111/1/6)潮波流儀佈放現場照片
(上圖:設備佈放, 下圖:設備回收)



圖 35、G1 區第五次(111/1/6~111/4/18)潮波流儀佈放現場照片
(上圖:設備佈放, 下圖:設備回收)

5.1.2 調查成果

G1 區的儀器佈放平均水深為 2.6 公尺，調查有效資料時間長達 324 天。圖 36 為本計畫 G1 區潮波流調查全時段時序列圖，由上而下分別為潮汐資料、流速大小及波高資料。調查時間從 110 年 4 月 27 日 17 點 至 111 年 4 月 18 日 18 點，共 8546 小時，扣除退潮、設備替換及設備翻覆等問題，有效時數達 7451 小時，作業達成率約為 87%。

為了方便討論將 G1 整年的資料，本計畫以季節的方式討論，季節定義方式根據前人文獻結果[Jan *et al.*, 2002]，利用季風定義出四個季節，冬季為 11 月、12 月、1 月、2 月、3 月；春季為 4 月、5 月；夏季為 6 月、7 月、8 月；秋季為 9 月、10 月。

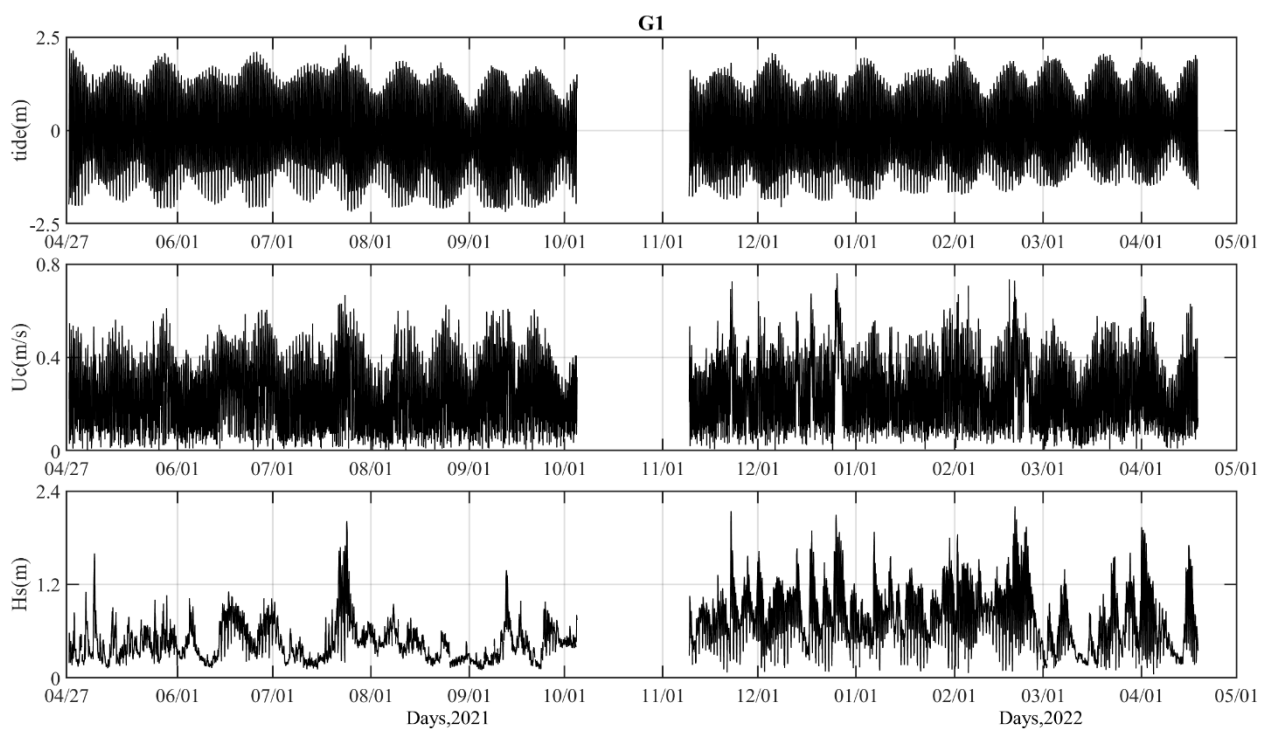


圖 36、G1 區潮波流調查全時段時序列圖。
由上而下分別為潮汐資料、流速大小及波高資料。

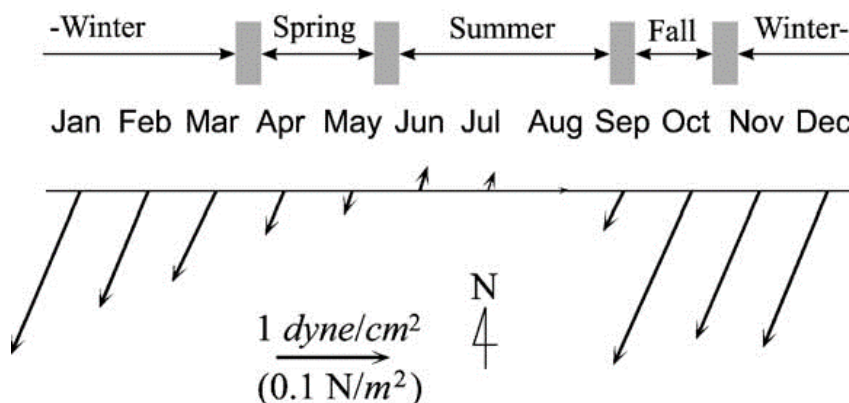


圖 37、季節劃分示意圖 資料來源:[Jan *et al.*, 2002]

一、潮汐特性

圖 38~圖 42 為 G1 區四個季節的潮汐調查時序列及頻譜分析圖。G1 區的儀器佈放平均高程約為 2.6 公尺。各季節調查期間皆涵蓋了完整的大小潮週期，實際測得的潮差為 4.47 公尺，由各季節的水位圖，可以知道在潮汐水位變化趨勢非常接近。由頻譜分析圖可以知道 G1 區潮汐水位主要由半日潮所主宰，全日潮僅佔全部能量非常小部分。

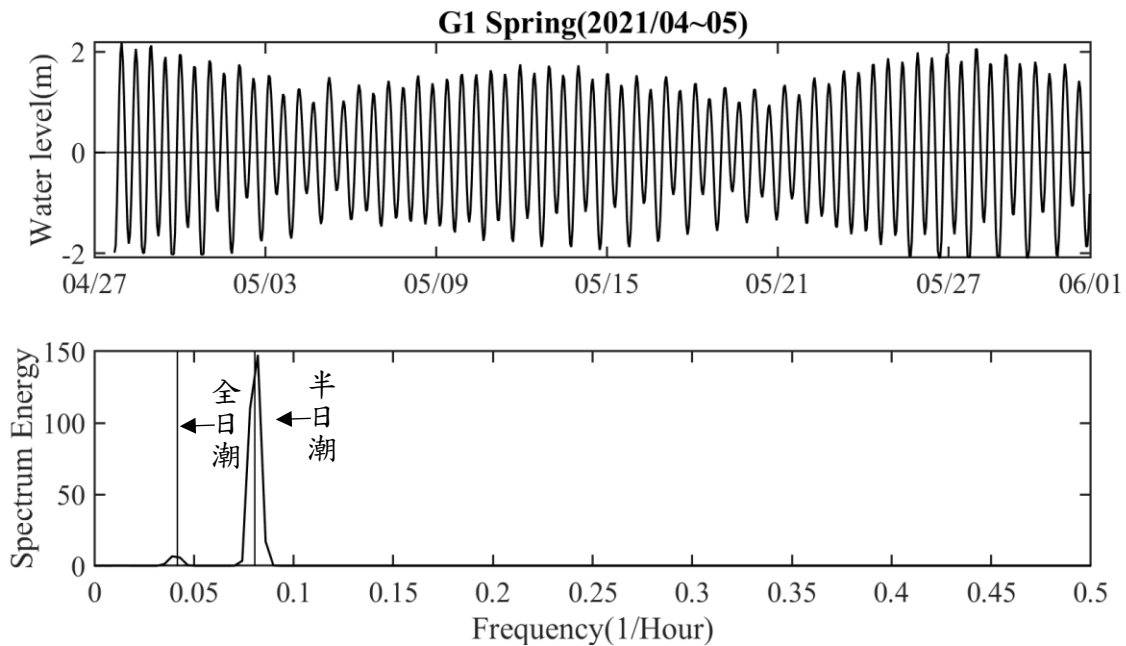


圖 38、G1 區春季(110/4/27 ~ 110/5/31)潮汐調查成果時序列圖及頻譜分析圖。
由上而下為潮汐時序列圖、頻譜分析圖。

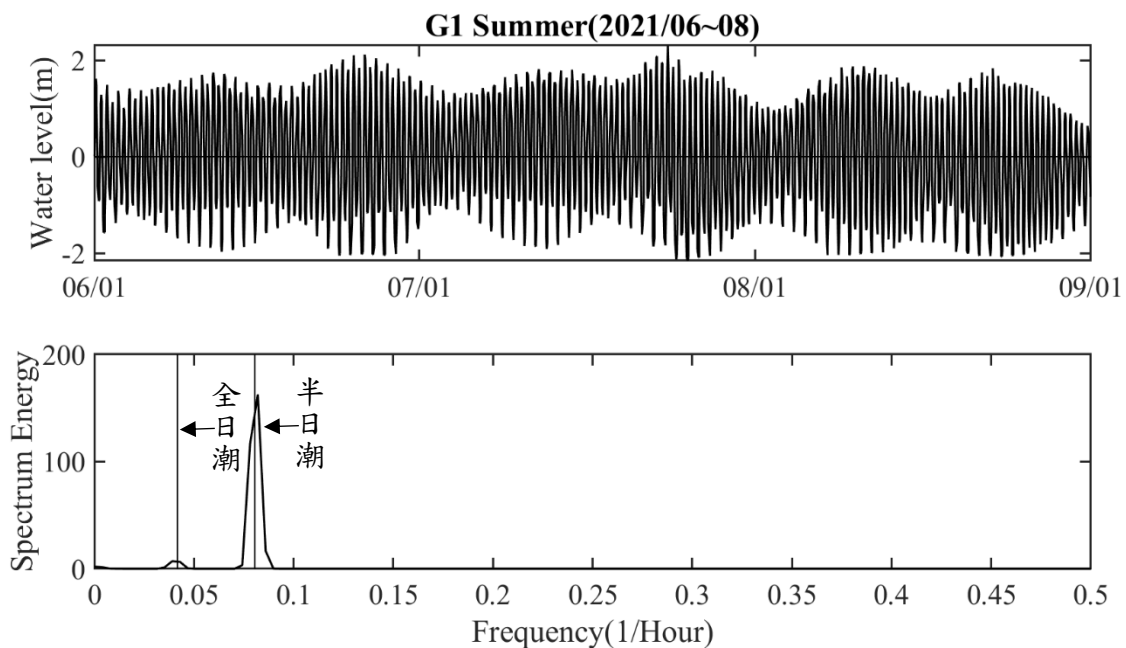


圖 39、G1 區夏季(110/6/1 ~ 110/8/31)潮汐調查成果時序列圖及頻譜分析圖。
由上而下為潮汐時序列圖、頻譜分析圖。

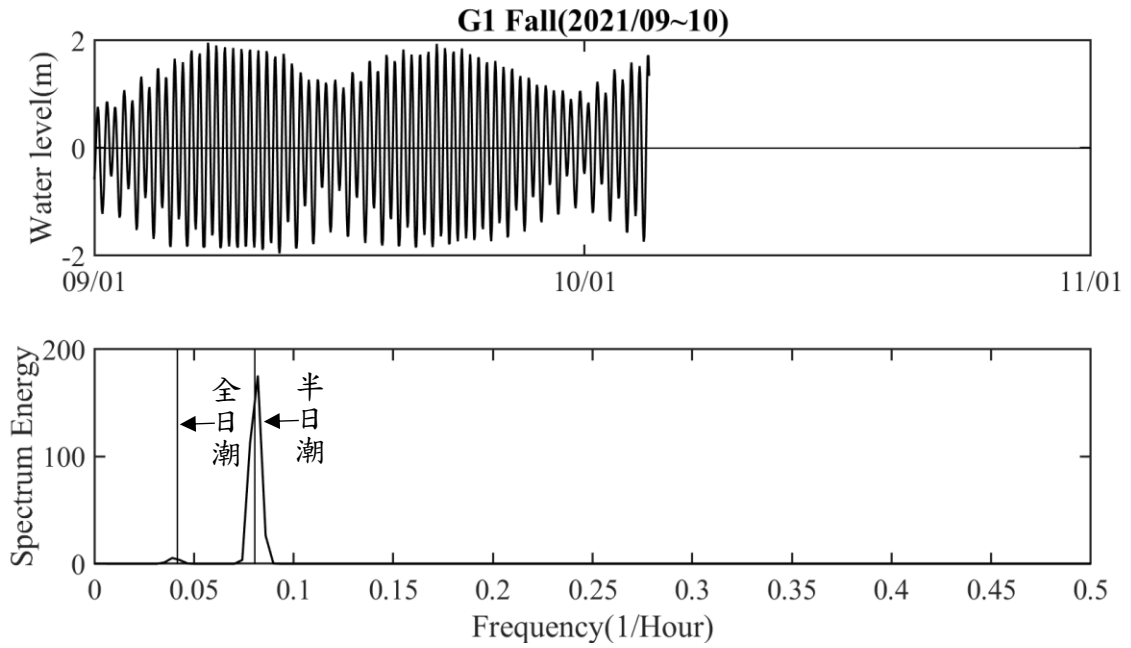


圖 40、G1 區秋季(110/9/1 ~ 110/10/04)潮汐調查成果時序列圖及頻譜分析圖。
由上而下為潮汐時序列圖、頻譜分析圖。

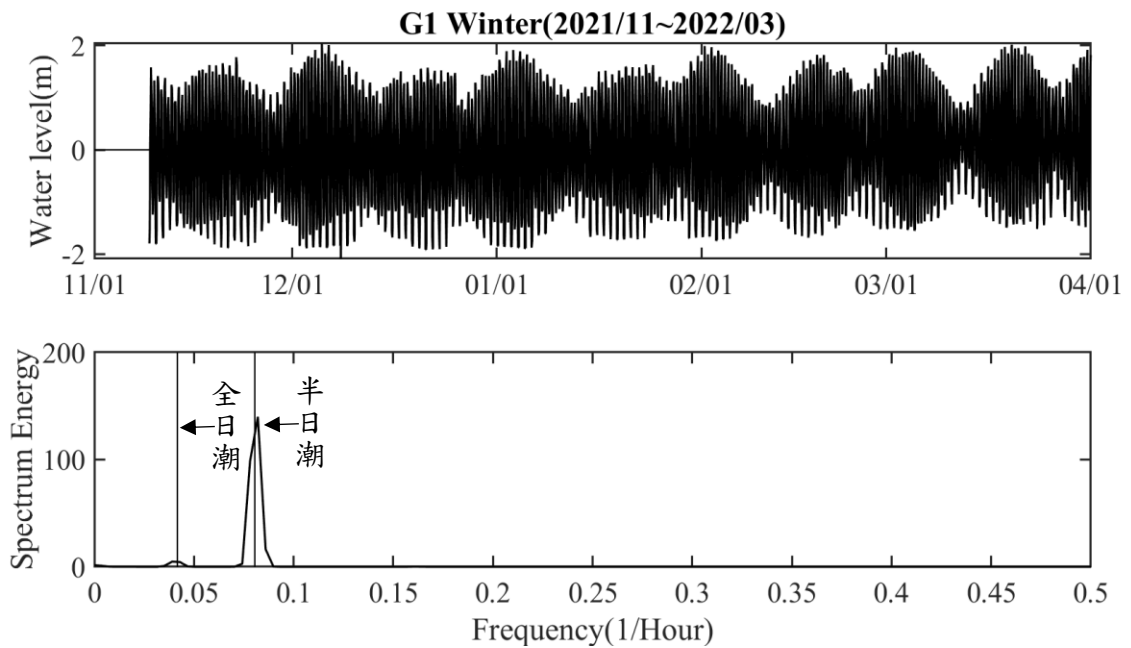


圖 41、G1 區冬季(110/11/9 ~ 111/3/31)潮汐調查成果時序列圖及頻譜分析圖。
由上而下為潮汐時序列圖、頻譜分析圖。

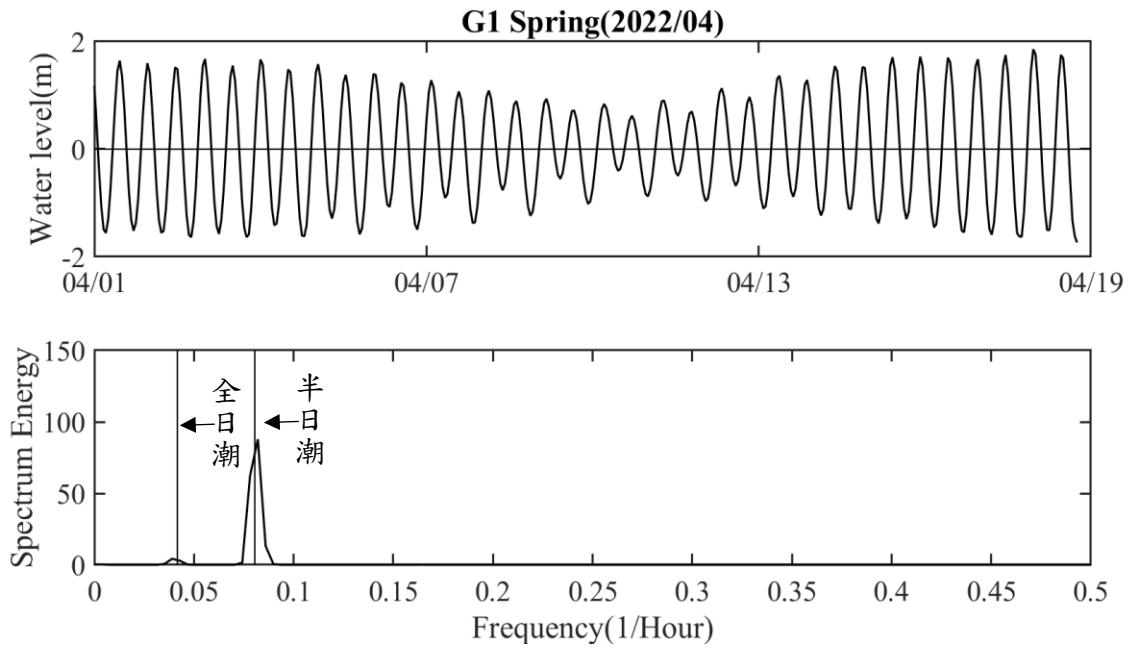


圖 42、G1 區春季(111/4/1 ~ 111/4/18)潮汐調查成果時序列圖及頻譜分析圖。
由上而下為潮汐時序列圖、頻譜分析圖。

二、波浪特性

圖 43~圖 47 為 G1 區各季節的波浪時序列資料，因調查期間由 110/4/27 起至 111/4/19 日止，故調查期間將分為兩次春季，夏、秋、冬各一次。

圖 43 為第一次春季調查結果，調查期間從 110/4/27~110/5/31，由此時間區間觀測到最大波高為 1.6 公尺，尖峰週期多為 2-7 秒左右，大部分波浪能量集中在 4-6 秒，波浪來向約 345 度~360 度間。

圖 44 為夏季調查結果，調查期間從 110/6/1~110/8/23，由此時間區間觀測到最大波高為 2.01 公尺，大部分的示性波高介於 0.2-0.8 公尺間，尖峰週期多為 2-7 秒左右，大部分波浪能量集中於 4-6 秒，波浪來向較為寬廣，波浪來向約為 315~360 度間。另外從時序列資料，可看到 7 月 21 日~7 月 25 日明顯受到烟花颱風所影響，導致示性波高、週期及波浪能量都有明顯上升的情形發生。將烟花颱風相關資料彙整於表 14 中。

圖 45 為秋季調查結果，調查期間從 110/9/1~110/10/4，由此時間區間觀測到最大波高為 1.38 公尺，尖峰週期多為 2-7 秒左右，大部分波浪能量集中在 4-6 秒，波浪來向約 285 度~15 度間。

圖 46 為冬季調查結果，調查期間從 110/11/9~111/3/31，由此時間區間觀測到最大波高為 2.2 公尺，大部分的示性波高介於 0.4-1.2 公尺間，尖峰週期多為 2-10 秒左右，大部分波浪能量集中在 4-6 秒，波浪來向較為集中，波浪來向約 345 度~15 度間。

圖 47 為第二次春季調查結果，調查期間從 111/4/1~111/4/18，由此時間區間觀測到最大波高為 1.94 公尺，尖峰週期多為 2-7 秒左右，大部分波浪能量集中在 4-7 秒，波浪來向約 345 度~15 度間。

圖 48~圖 51 為四季的示性波高、週期、波向統計圖及四個季節波高波向玫瑰圖，當中春季因有兩次調查結果，故再次合併為一季的資料進行討論。根據上述的統計結果，可發現波高明顯在夏季較小，秋、冬波高較大。由週期的統計結果發現，G1 區四個季節不僅受到短週期 4-6 秒的風浪作用，也容易受到較長週期 10 秒以上所影響。另外可發現，秋、冬相比夏季，有較多長週期浪進入。由波向統計資料可發現，春、秋、冬季波浪來向多為北方，較為集中約在 345 度~15 度間；夏季則較為寬廣，波浪來向為西北到西北北向，約在 315 度~360 度間。

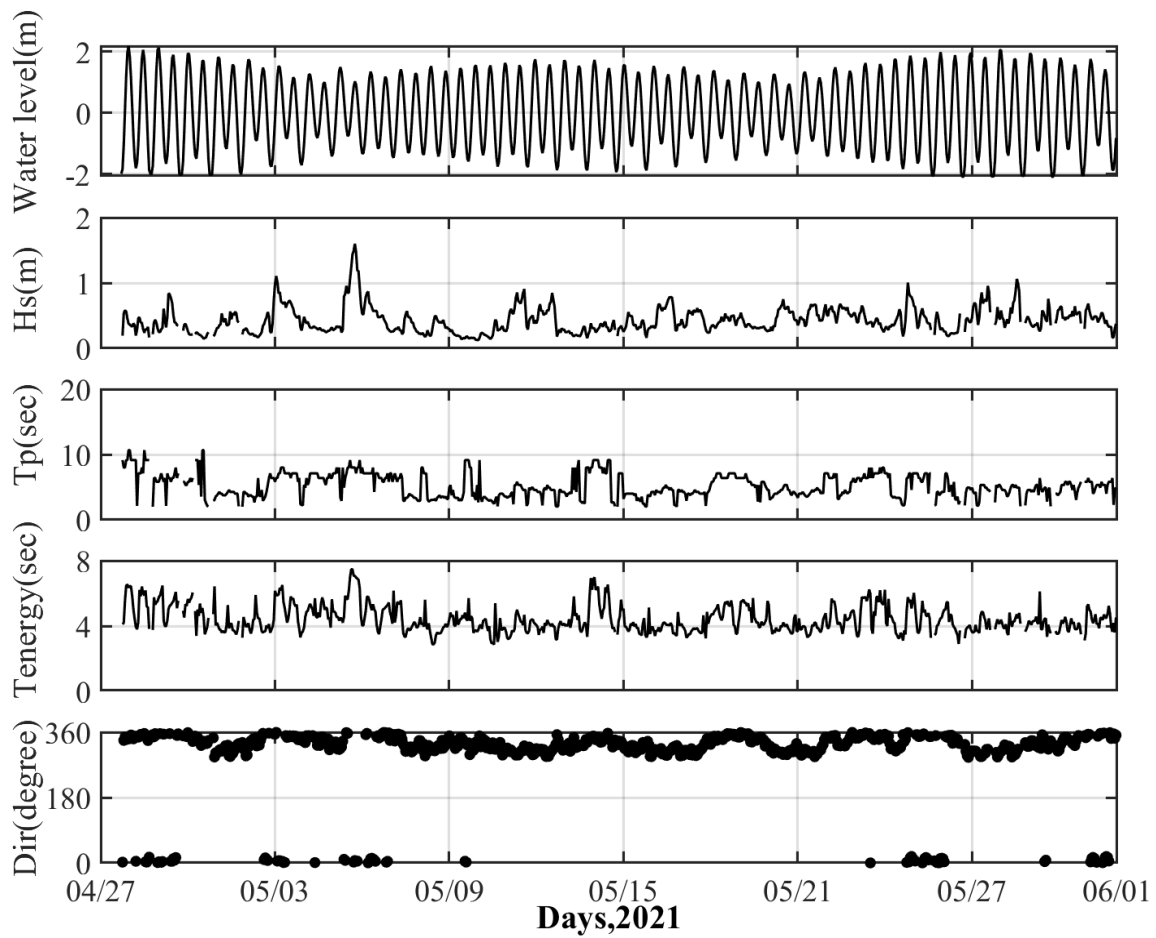


圖 43、G1 區春季(110/4/27~110/5/31)的潮汐波浪調查成果時序列圖。
 由上而下為潮汐、示性波高、尖峰週期、能量加權波浪週期、波浪方向(來向)。

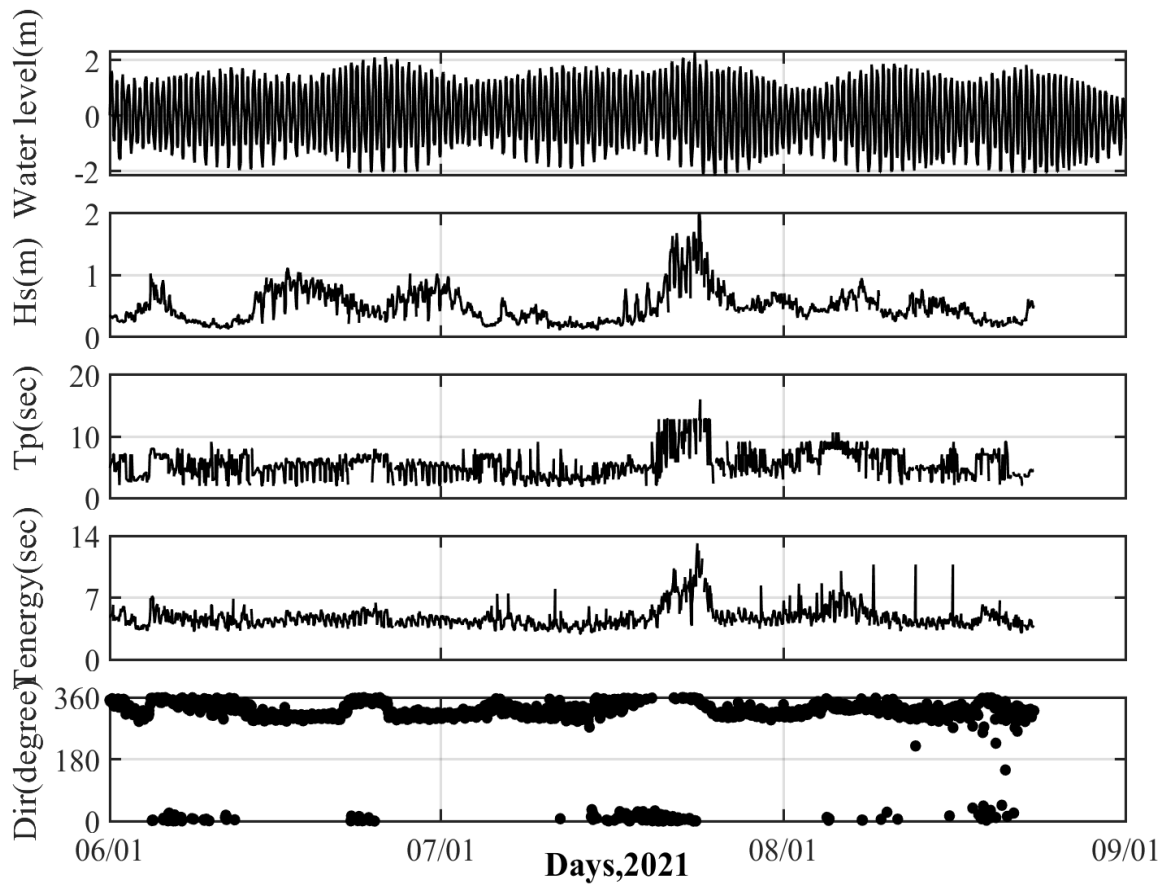


圖 44、G1 區夏季(110/6/1 ~ 110/8/31)的潮汐波浪調查成果時序列圖。
 由上而下為潮汐、示性波高、尖峰週期、能量加權波浪週期、波浪方向(來向)。

表 14、烟花颱風影響時間表

颱風名稱	警報期間	颱風路徑圖
烟花 (IN-FA)	2021-07-21 20:30 2021-07-24 11:30	<p>202106烟花(IN-FA)</p> <p>◆ 強烈颱風(Vmax=51.0m/s) ◆ 中度颱風(Vmax32.7-50.9m/s) ◆ 輕度颱風(Vmax17.2-32.6m/s) ⊙ 熱帶性低氣壓(Vmax=17.2m/s)</p>

資料來源:颱風資料庫

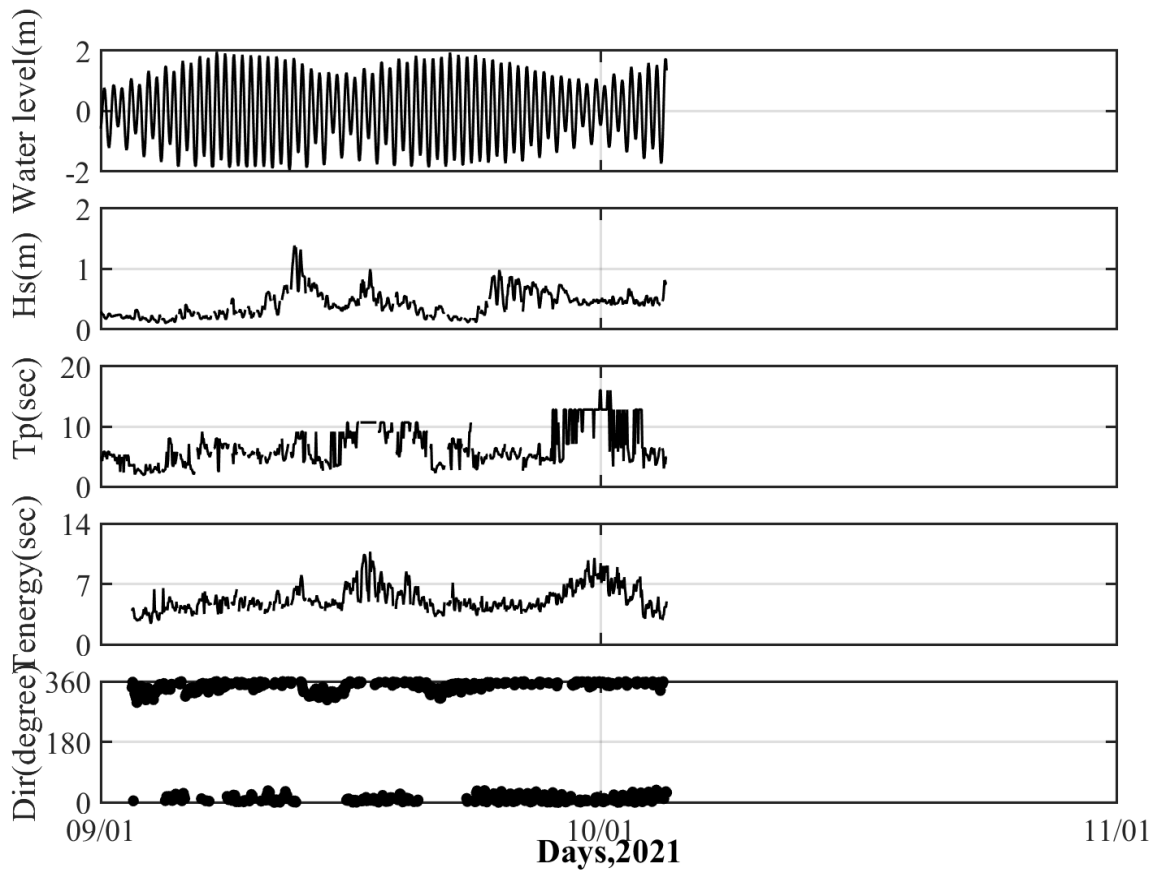


圖 45、G1 區秋季(110/9/1 ~ 110/10/04)的潮汐波浪調查成果時序列圖。
由上而下為潮汐、示性波高、尖峰週期、能量加權波浪週期、波浪方向(來向)。

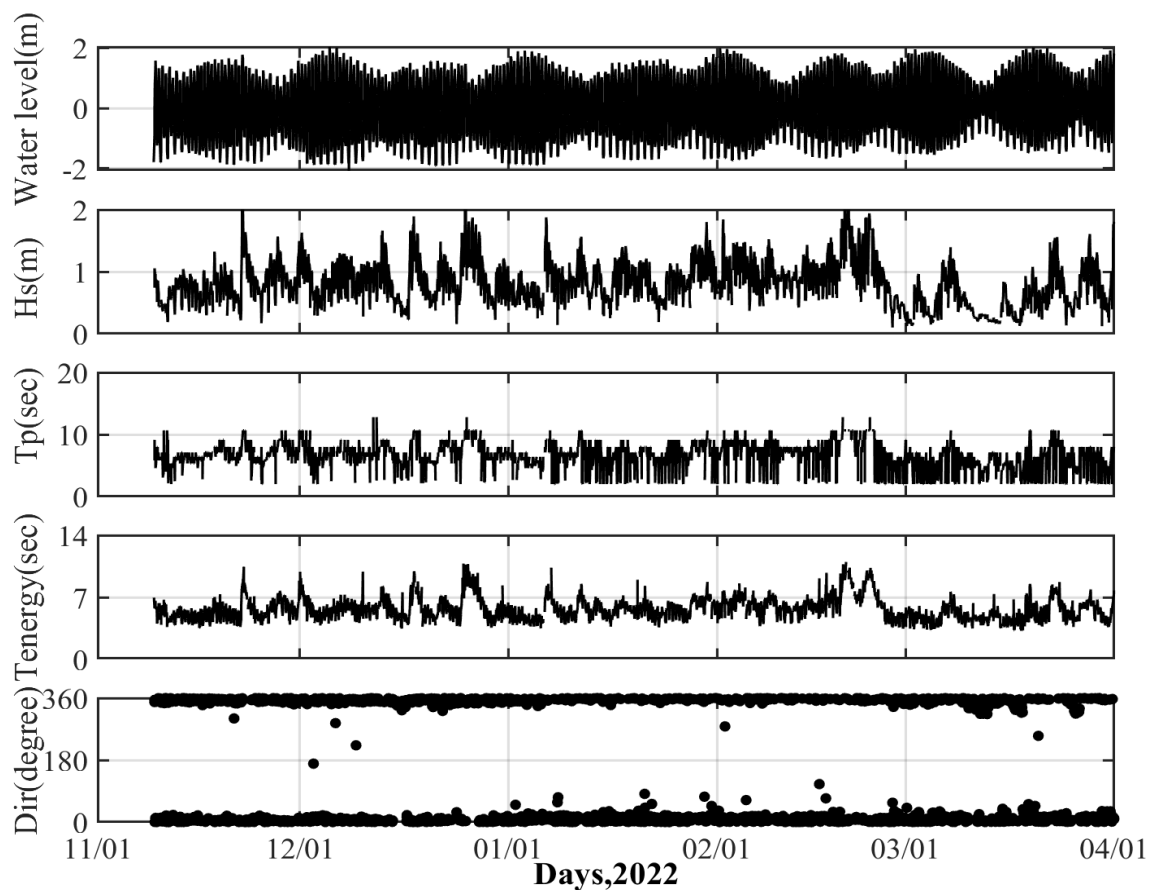


圖 46、G1 區冬季(110/11/9 ~ 111/3/31)的潮汐波浪調查成果時序列圖。
由上而下為潮汐、示性波高、尖峰週期、能量加權波浪週期、波浪方向(來向)。

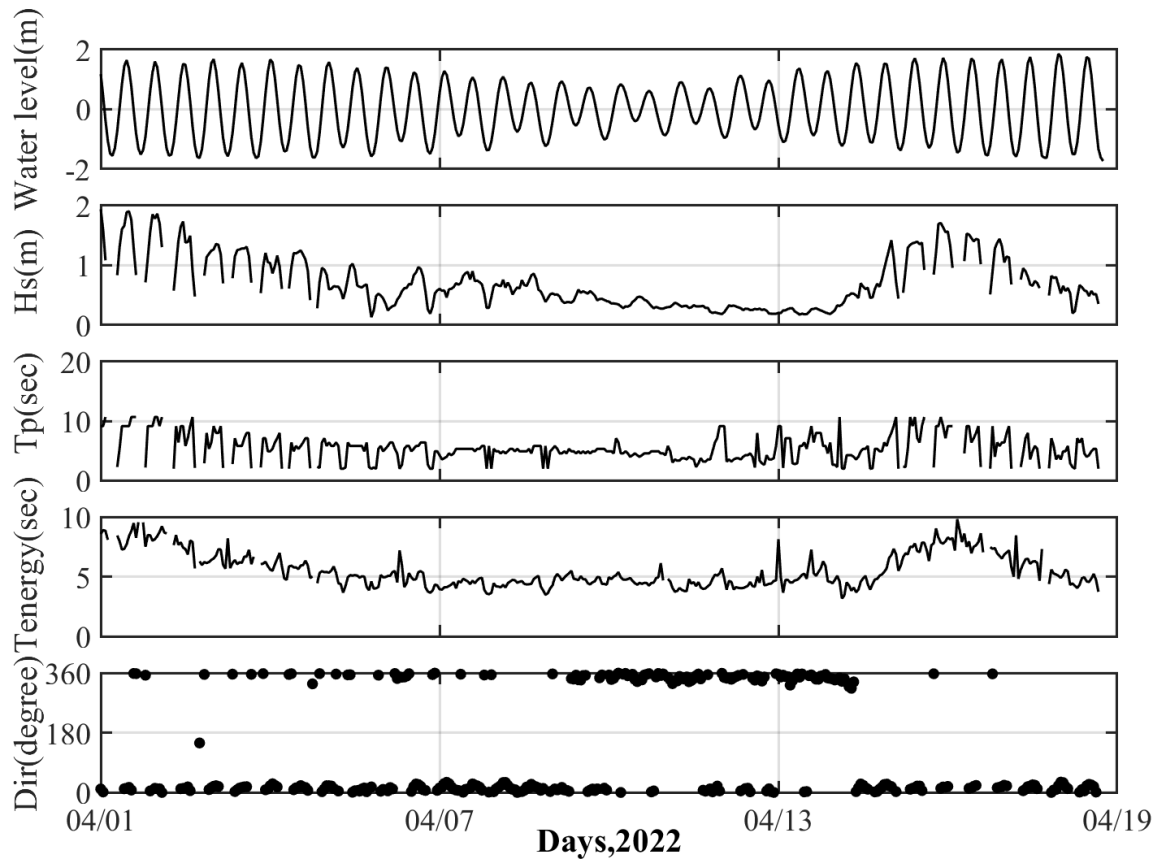


圖 47、G1 區春季(111/4/1 ~ 111/4/18)的潮汐波浪調查成果時序列圖。
 由上而下為潮汐、示性波高、尖峰週期、能量加權波浪週期、波浪方向(來向)。

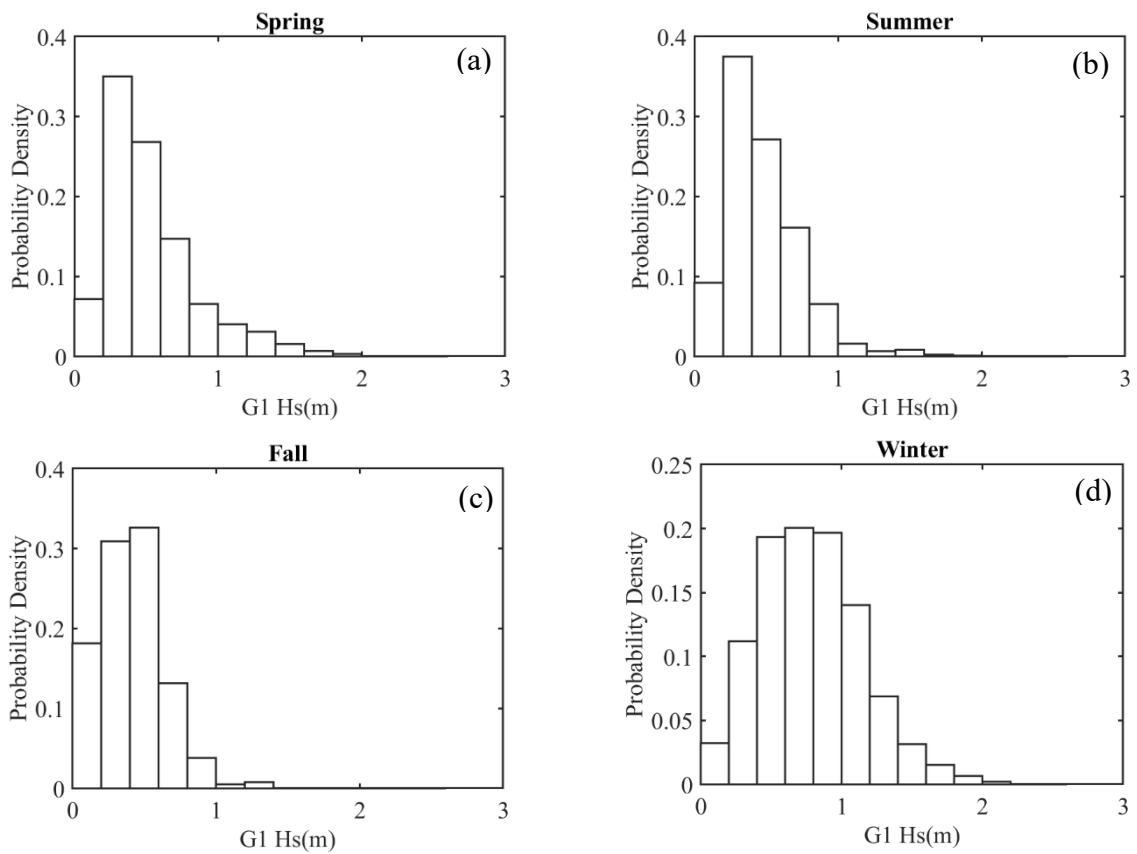


圖 48、G1 區四季的示性波高統計圖。(a)春季(b)夏季(c)秋季(d)冬季。

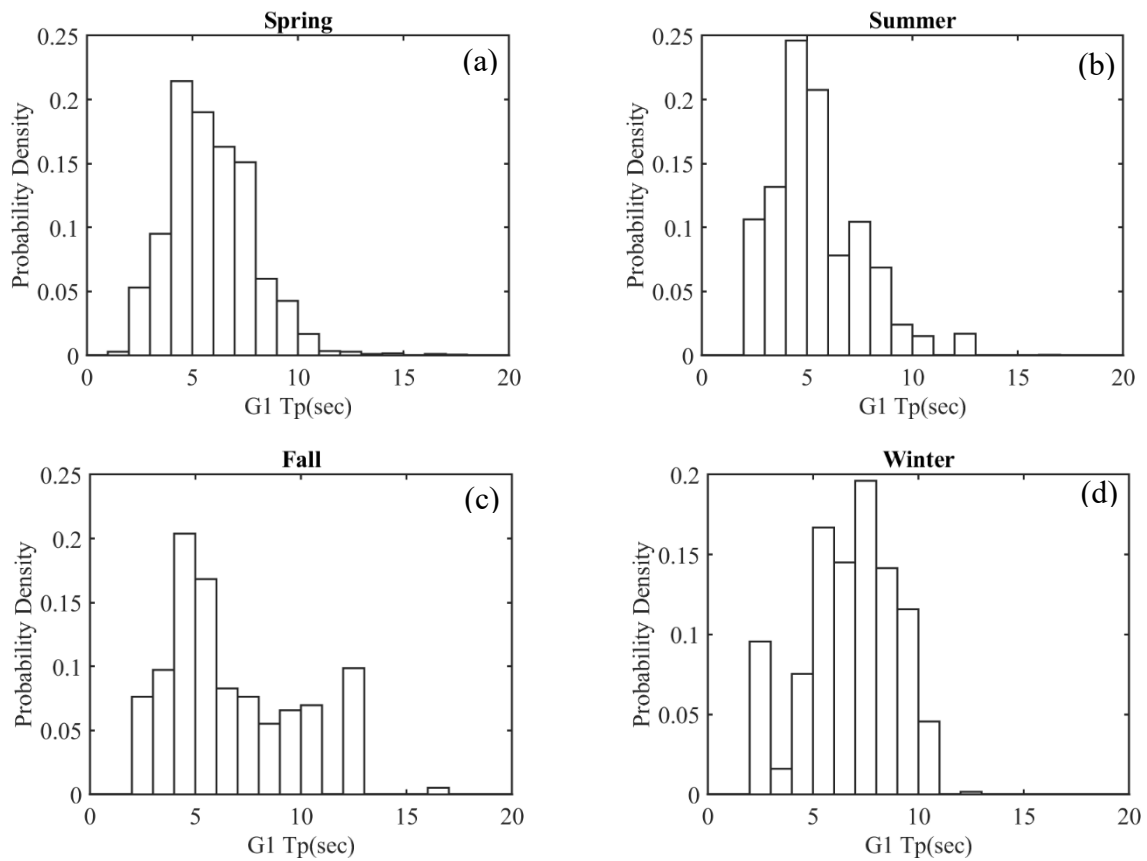


圖 49、G1 區四季的尖峰週期統計圖。(a)春季(b)夏季(c)秋季(d)冬季。

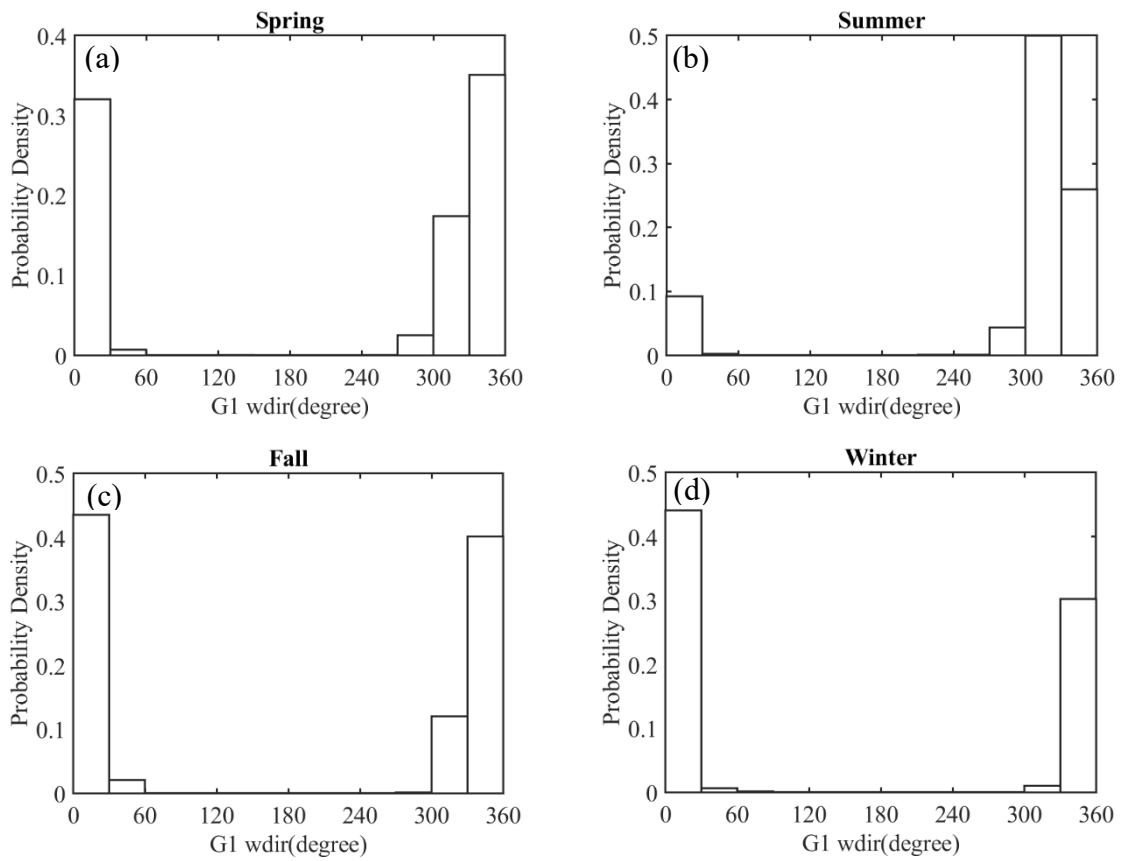


圖 50、G1 區四季的波浪方向(來向)統計圖。(a)春季(b)夏季(c)秋季(d)冬季

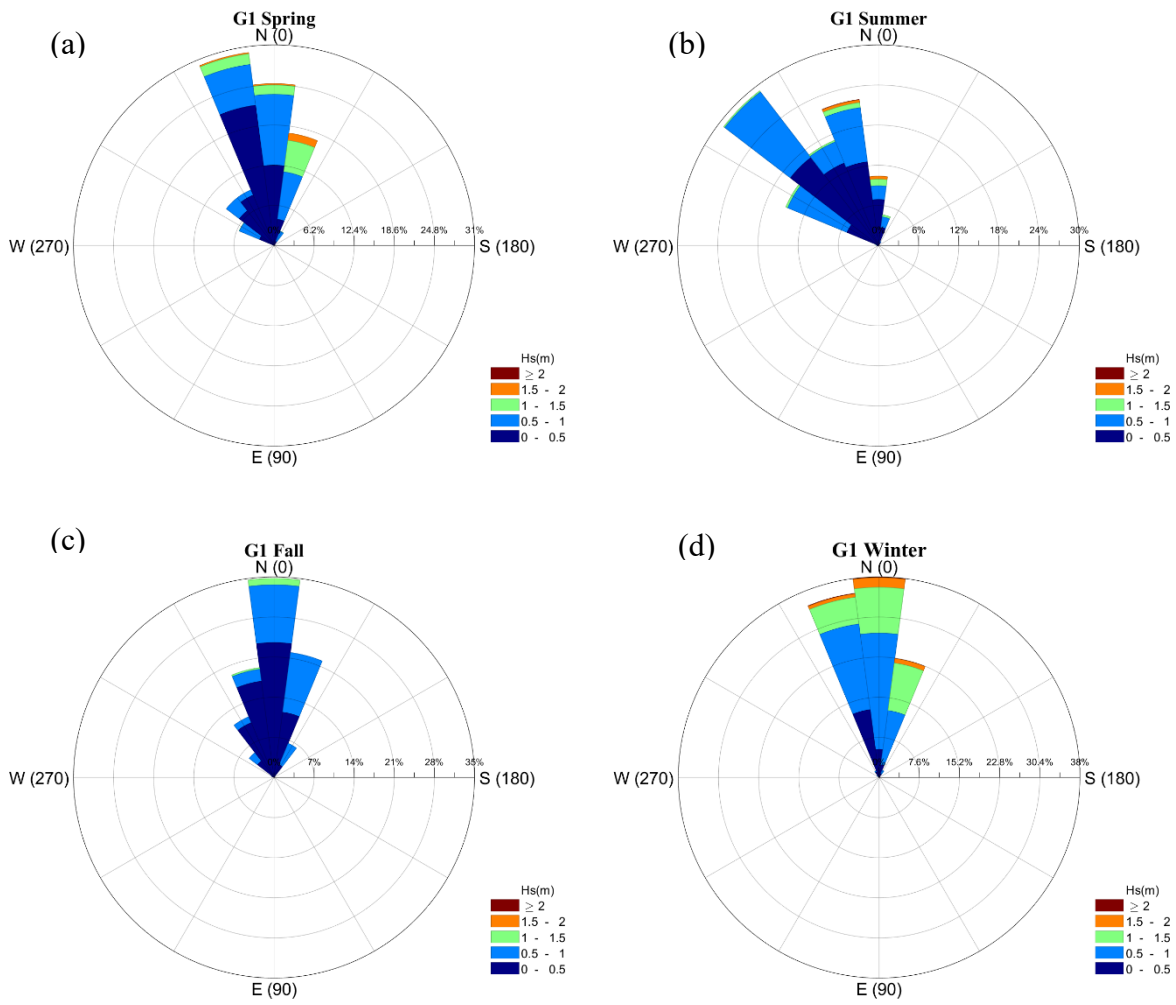


圖 51、G1 區四季的波高波向玫瑰圖。(a)春季(b)夏季(c)秋季(d)冬季

三、海岸流特性

因近岸流在海岸工程常指稱為因碎波引起的流動，為避免混淆。本計畫建議定義如下：本研究指稱的「海流」稱為「海岸流(coastal current)」是指利用雷諾分離法移除波浪的震盪速度()與移除紊流速度()的平均流，平均流的時間尺度需大於波浪的震盪尺度，在現場資料的分析上一般定義為 10-20 分鐘以上的平均。在桃園海岸的平均流主要包含潮流(Tidal current)、風趨流(wind-driven current)與近岸流(nearshore current)」。此乃因為計畫區的桃園海岸位處在台灣海峽通道的一側，受台灣海峽強勁潮流的影響，即使是計畫區的淺水域潮間帶可能仍受潮流的作用。因桃園海岸位處於東北季風盛行的區域，強烈季風吹拂水面，也會在近水面處甚至於整層水層引起上層水體擾動與風趨流(wind-driven current)；風趨流對水深平均流(depth-averaged current)的影響在淺水處遠大於深水處。而近岸流則為波浪在近岸因為輻射應力變化產生的水流運動。

圖 52~圖 56 為 G1 區各季節的海流時序列資料及海流頻譜分析資料，因調查期間由 110/4/27 起至 111/4/19 日止，故調查期間將分為兩次春季，夏、秋、冬各一次。

圖 52 為第一次春季調查結果，由資料顯示調查區間的海流流速，約從 0 到 0.6 m/s 間震盪，平均流速為 0.24 m/s，方向約為東到西向(90-270 度)。

圖 53 為夏季調查成果，由資料顯示調查區間的海流流速，約從 0 到 0.4 m/s 間震盪，平均流速為 0.25 m/s，方向約為東到西向(90-270 度)。另由 7 月 21 日~7 月 25 日的資料中，明顯看出受到烟花颱風影響，流速明顯增加，最高有達到 0.94 m/s，且在颱風期間流向集中約 225 度。

圖 54 為秋季調查結果，由資料顯示調查區間的海流流速，約從 0 到 0.4 m/s 間震盪，平均流速為 0.26 m/s，方向約為東到西向(90-270 度)。

圖 55 為冬季調查結果，由資料顯示調查區間的海流流速，約從 0 到 0.5 m/s 間震盪，平均流速為 0.26 m/s，方向約為東到西向(90-270 度)。

圖 56 為第二次春季調查，由資料顯示調查區間的海流流速，約從 0 到 0.4 m/s 間震盪，平均流速為 0.24 m/s，方向約為東到西向(90-270 度)。

圖 57 為各季節頻譜分析成果，海流的主要成分仍為潮汐所引起，半日潮流主宰，但是因為單純的半日潮流受到地形作用及結構物效應及非線性平流效應，G1 區海域的海流也可以看到更高頻率及全日潮分量的成分存在。圖 58 為四個季節流速流向玫瑰圖，由圖上可發現 G1 區四個季節流向皆為東到西向(90-270 度)。且可以從夏季及冬季的流速流向玫瑰圖看出該區有受到季風所影響導致兩個圖不一樣，分別往東北向及西南向的海流有增強的趨勢。根據我們利用驗證過的現場調查模式[廖凱芹, 2018]，並將結果進行 潮流、風趨流、近岸流的成分分析，桃園海岸淺水區的構成海流的主要成

份為潮流及風趨流。在潮流小的時候，波浪造成的近岸流效應或加大。因為近岸流主要是波浪淺化後的輻射應力改變，造成平均水位的空間不均勻(波揚與波降)，因此區的地形沒有明顯的碎波不均勻，故少有穩定的近岸流產生。

根據上述結果可發現，G1 調查點位海流成分，主要為半日潮流所引起，且計畫區受到夏季及冬季季風影響，使得在夏季及冬季分別往東北向及西南向的海流有增強的趨勢。

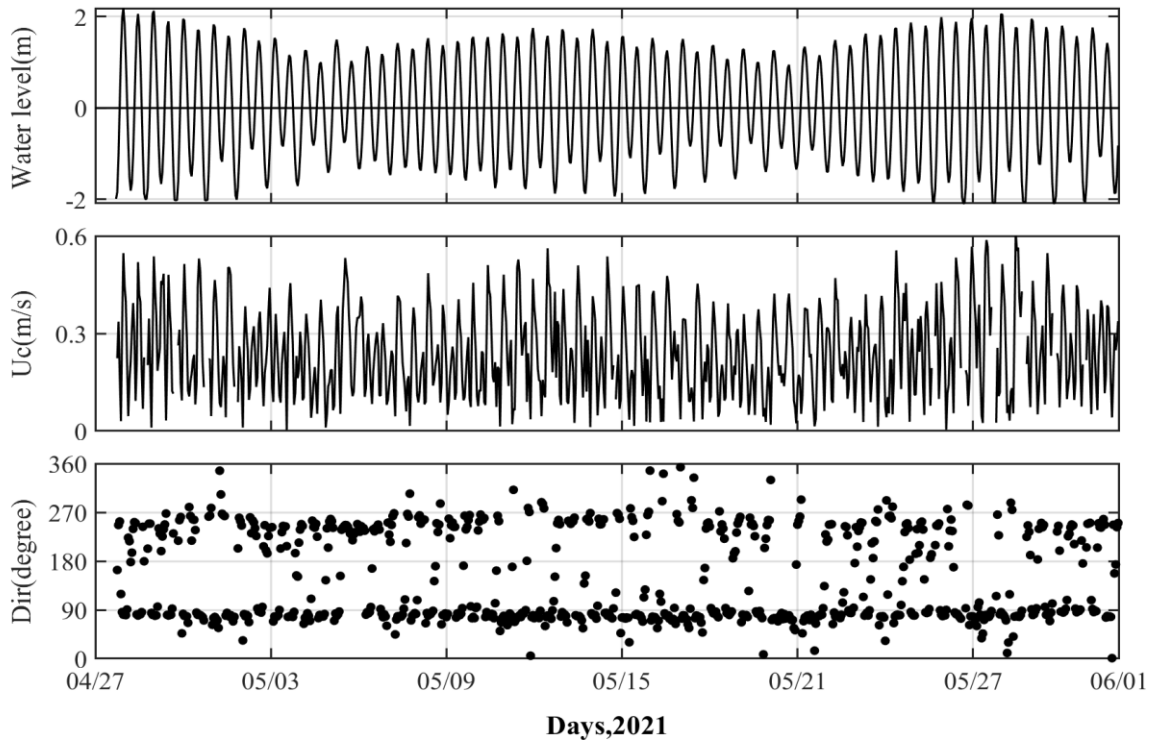


圖 52、G1 區春季(110/4/27 ~ 110/5/31)海流調查成果圖。上至下為潮汐、流速與流向。

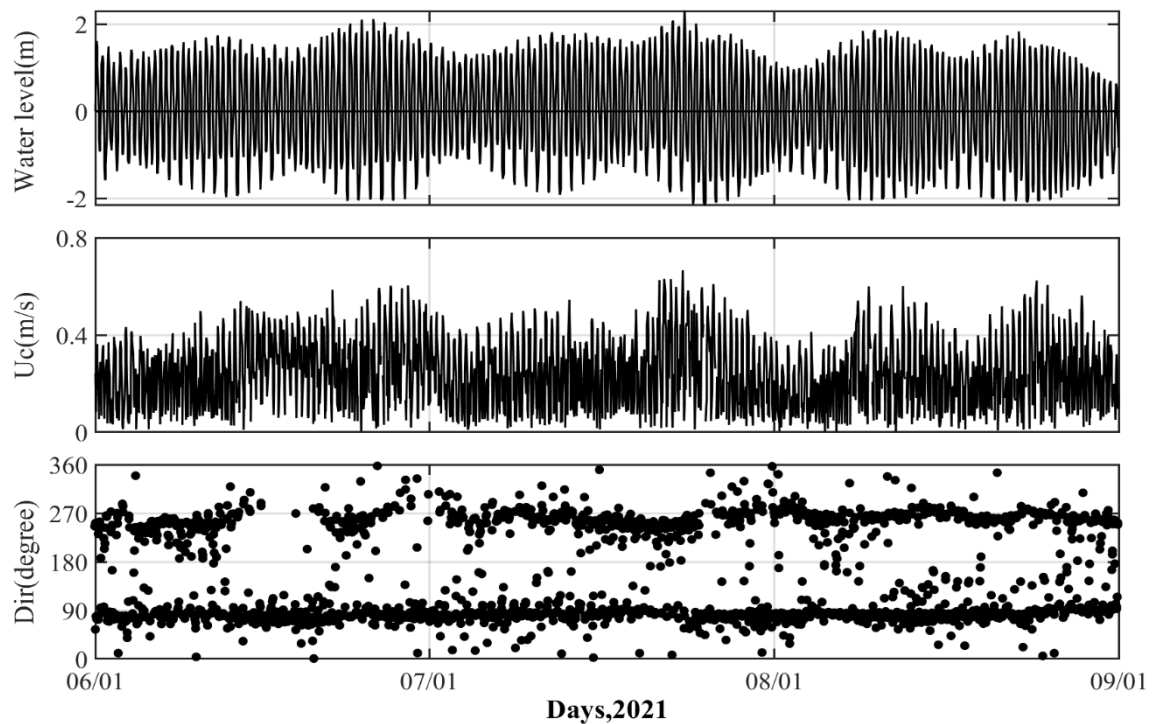


圖 53、G1 區夏季(110/6/1 ~ 110/8/31)海流調查成果圖。上至下為潮汐、流速與流向。

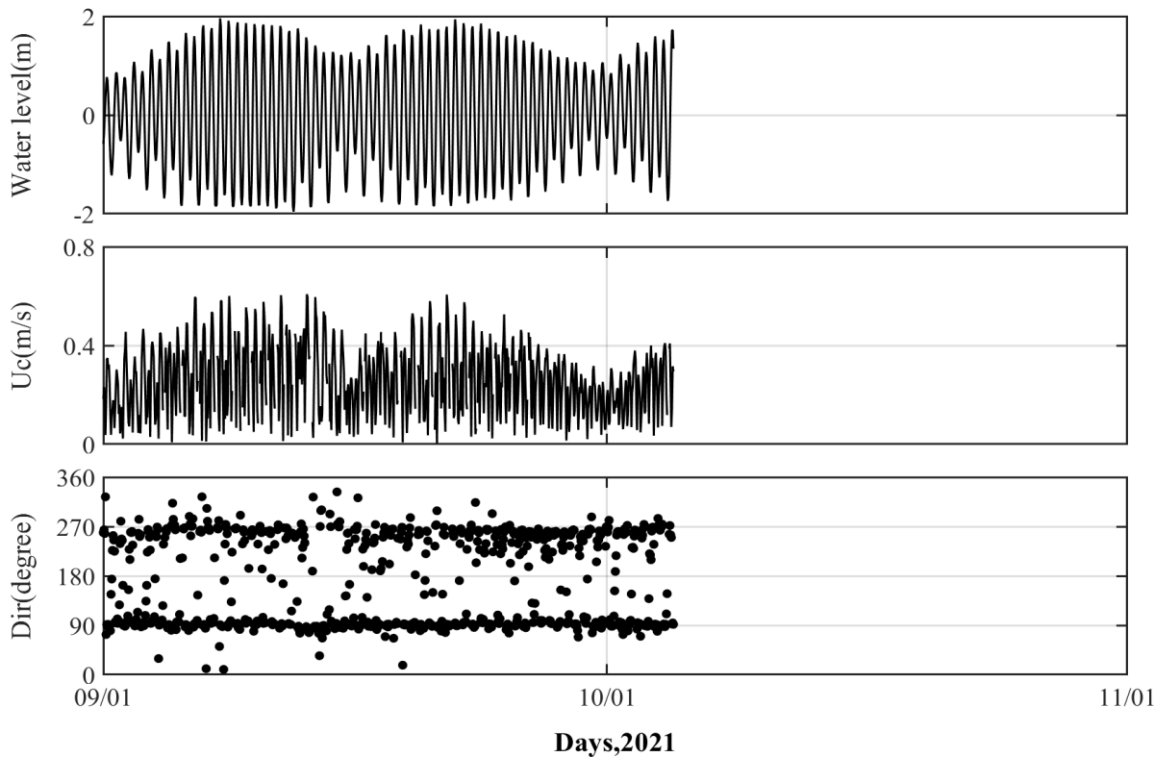


圖 54、G1 區秋季(110/9/1 ~ 110/10/04)海流調查成果圖。上至下為潮汐、流速與流向。

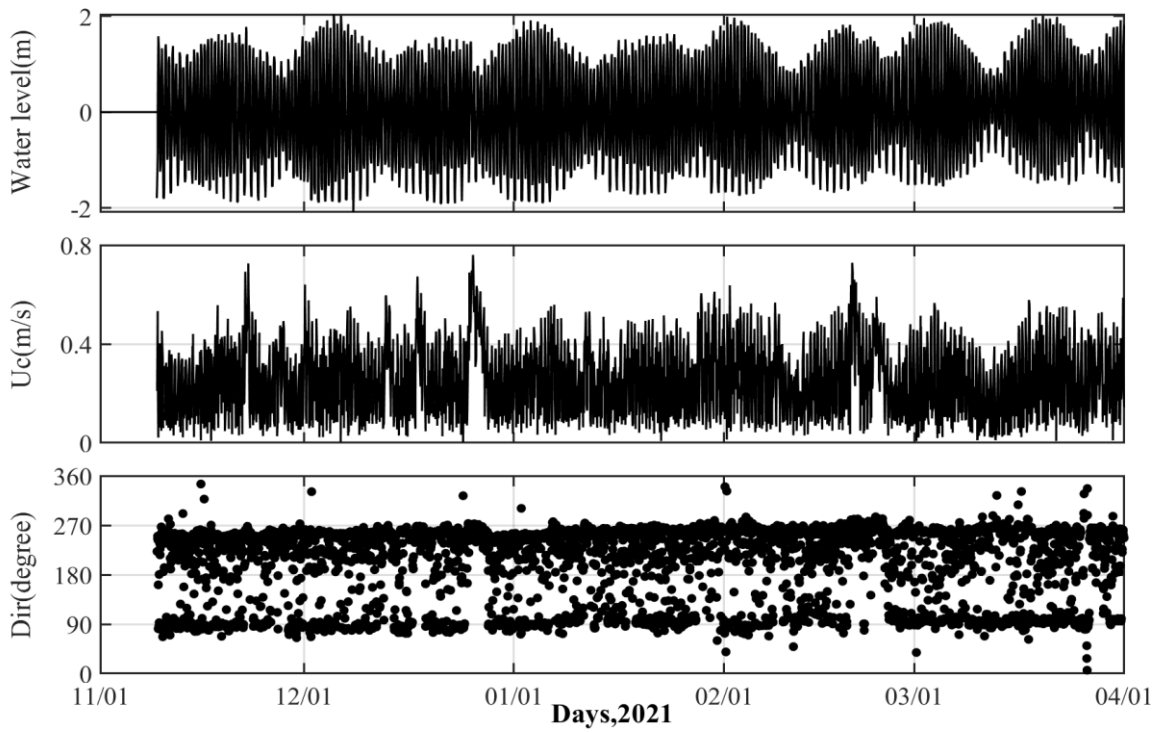


圖 55、G1 區冬季(110/11/9 ~ 111/3/31)海流調查成果圖。上至下為潮汐、流速與流向。

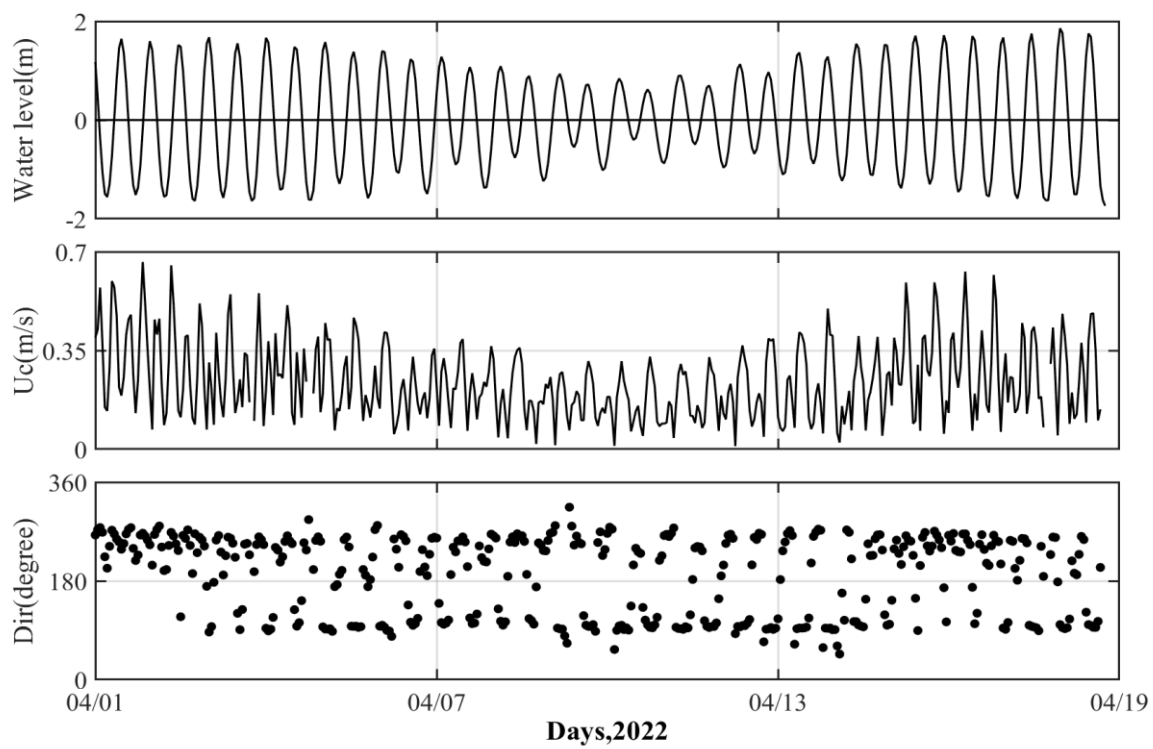


圖 56、G1 區春季(111/4/1 ~ 111/4/18)海流調查成果圖。上至下為潮汐、流速與流向。

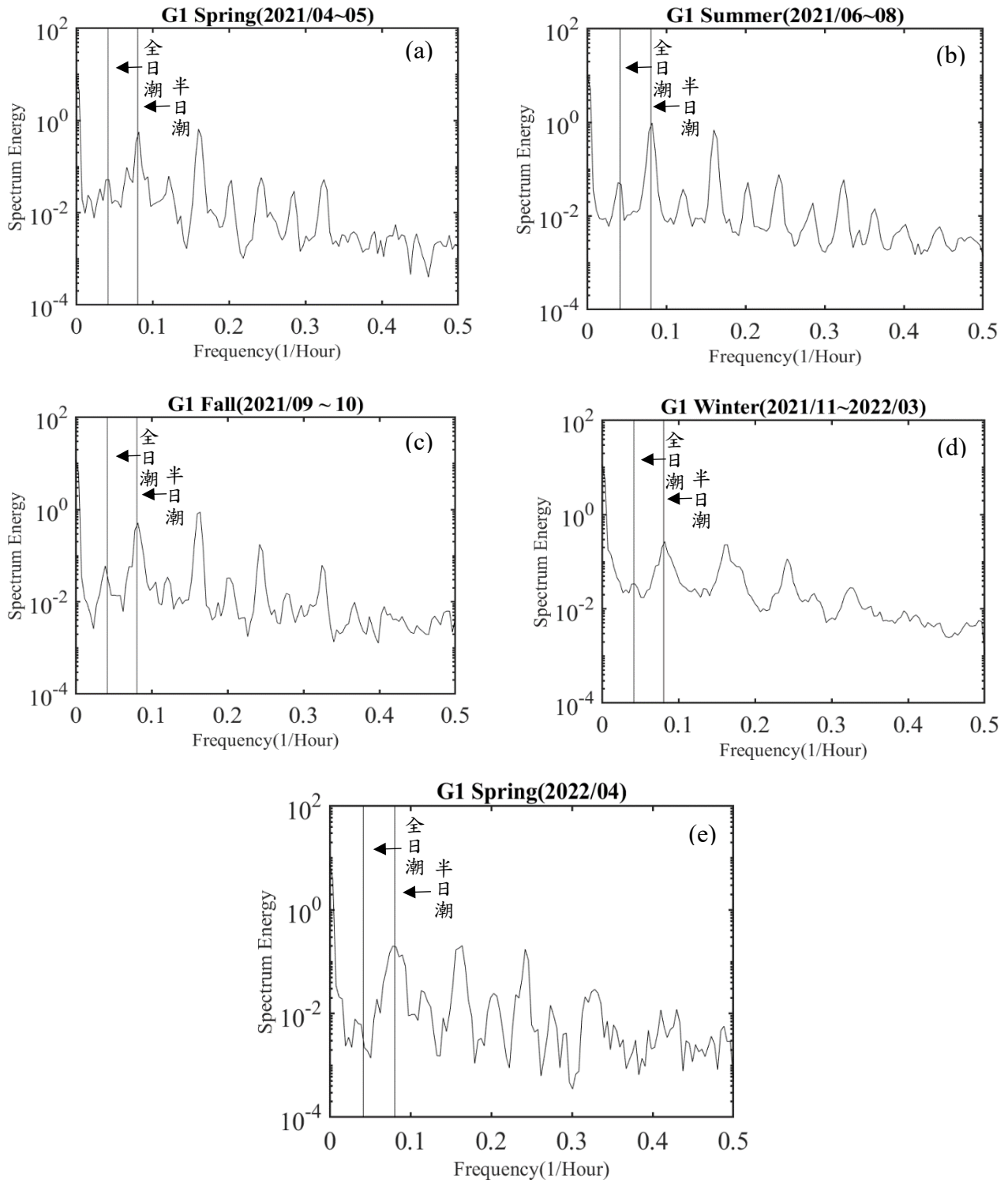


圖 57、G1 區各季海流頻譜分析圖。(a)春季第一次(b)夏季(c)秋季(d)冬季(e)春季第二次。

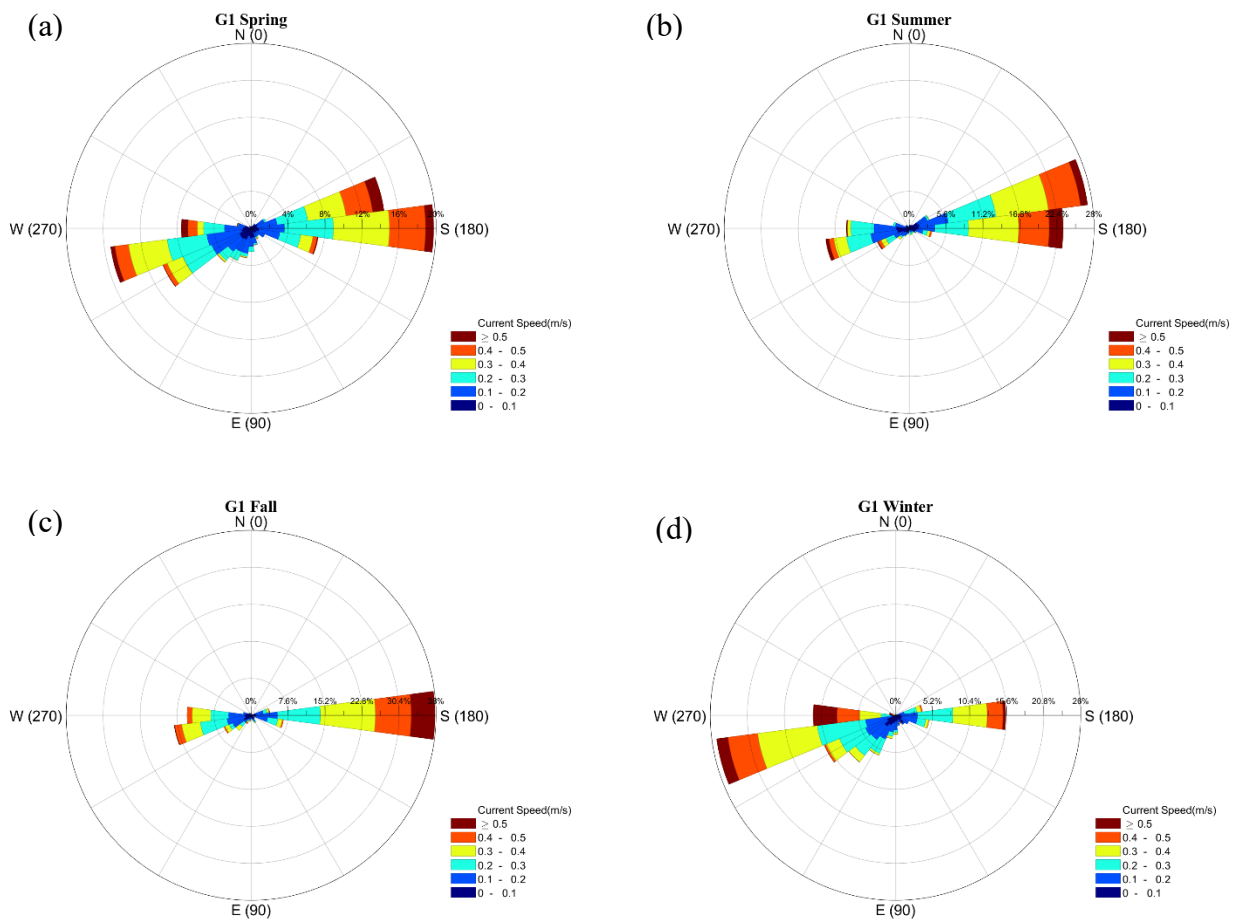


圖 58、G1 區四季的流速流向玫瑰圖。(a)春季(b)夏季(c)秋季(d)冬季。

5.2 G2 區潮波流調查

5.2.1 調查設備、點位與頻率

一、 調查設備

本計畫 G2 區現場佈放潮波流儀(Nortek Signature1000 ADCP)以底部定點錨定式進行，現場儀器佈放照片如圖 59 所示。本次 G2 區潮波流儀基礎設定值整理於表 15。本調查項目著重在進行觀塘工業區遮蔽區海岸帶之波浪、潮位及流場調查作業，調查頻度與點位以輔合漂沙調查為原則。本計畫主要針對計畫區的潮、波、流進行調查，依照相關文獻可知，波浪週期約小於 10 分鐘，且本計畫在調查潮波流時，皆為長時間的測量，故為了保護設備及有限的電池與記憶體的情況下，本計畫在設定設備時，以 4Hz 資料連續取樣，以 Burst 之紀錄方式進行資料採集，每小時的一開始連續取 4096 筆，約 17 分鐘。



圖 59、G2 區潮波流設備器現場照片

表 15、G2 區潮波流儀基礎設定資料表

項目	設定值
探頭	壓力、溫度、五音鼓、傾度及電子羅盤儀
取樣頻率	潮波流同時測量，以 4Hz 資料連續取樣，每小時取 4096 筆。
每層尺寸	0.2 公尺
層數	30 層
最小盲距	0.1 公尺

二、 調查點位

本團隊已於 G2 區佈放一組整合式潮波流儀，詳細點位如圖 60 所示。因調查位置在潮間帶，水深約為 TWVD2001= -1.9 公尺處。本計畫潮波流調查選點依據，主要是選擇在低潮位線以下，其水深約 TWVD=-2.0 公尺左右，在柴山多杯珊瑚喜好的生存水深位置。因點位有限，調查點位選在兩突堤中間，應屬於較具代表性之點位。



圖 60、G2 區整合式潮波流儀位置圖。

三、 調查頻率

本計畫需於計畫期間在 G2 區總共進行 3 次潮波流現場調查，規劃為冬、夏季各一次，並於颱風侵襲期間佈放一次，若計畫期間沒有發佈陸上颱風警報，則將颱風調查的次數移往計畫期內的下一個冬天(夏天)或另一季節，每次儀器佈放調查至少 28 天。

本團隊於 G2 區共進行四次佈放整合式潮波流儀，將相關儀器佈放時間及有效資料時間彙整於表 16，相關現場照片，如圖 61 所示。

表 16、儀器佈放時間及有效資料時間彙整表

編號	佈放時間	有效資料時間
第一次	110/7/22 ~ 110/10/5	110/7/22 10:00 ~ 110/10/5 15:00 (75 天)
第二次	110/10/5 ~ 110/12/3	110/10/5 16:00 ~ 110/12/3 04:00 (58 天)
第三次	111/1/6 ~ 111/3/31	111/1/6 07:00 ~ 111/3/31 03:00 (83 天)
第四次	111/3/31 ~ 111/5/15	111/3/31 04:00 ~ 111/05/15 20:00 (45 天)



圖 61、G2 區第一次(110/7/22~110/10/5)潮波流儀佈放現場照片
(上圖:設備佈放, 下圖:設備回收)



圖 62、G2 區第二次(110/10/5~110/12/3)潮波流儀佈放現場照片
(上圖:設備佈放，下圖:設備回收)

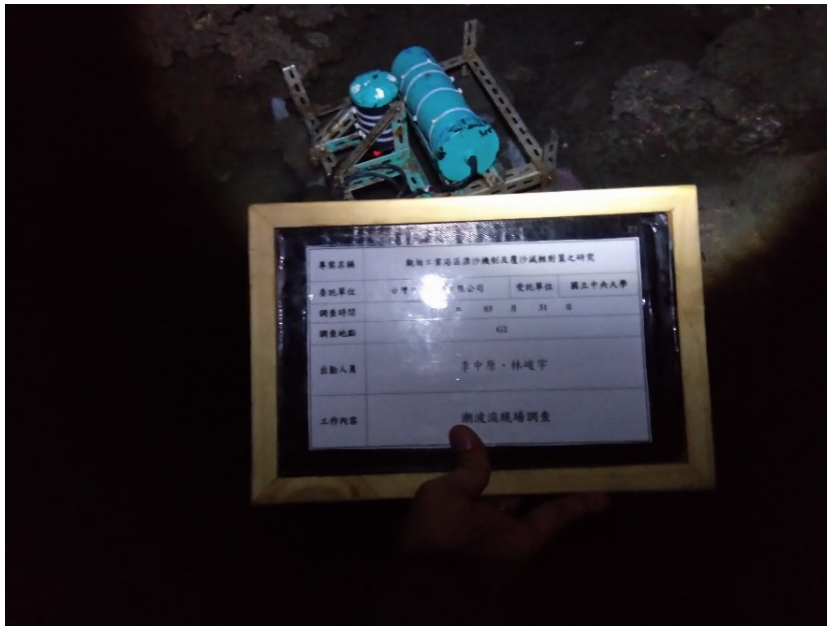


圖 64、G2 區第四次(111/3/31~111/5/15)潮波流儀佈放現場照片
(上圖:設備佈放, 下圖:設備回收)

5.2.2 調查成果

G2 區的潮波流調查的佈放平均水深為 2.5 公尺，調查有效資料時間長達 261 天。圖 65 為本計畫 G2 區潮波流調查全時段時序列圖，由上而下分別為潮汐資料、流速大小及波高資料。G2 區第三次現場調查時(111/1/6~111/3/31)，因設備異常，故無波浪資料。

為了方便討論將 G2 整年的資料，本計畫以季節的方式討論，季節定義方式根據前人文獻結果[Jan *et al.*, 2002]，利用季風定義出四個季節，冬季為 11 月、12 月、1 月、2 月、3 月；春季為 4 月、5 月；夏季為 6 月、7 月、8 月；秋季為 9 月、10 月。

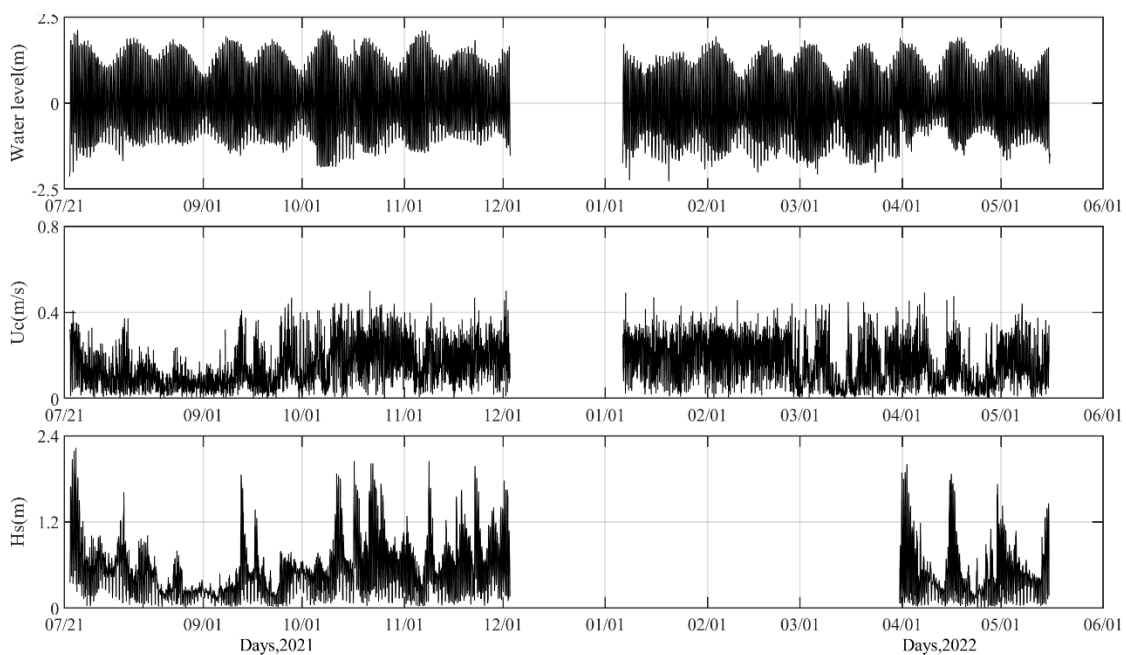


圖 65、G2 區潮波流調查全時段時序列圖。
由上而下分別為潮汐資料、流速大小及波高資料。

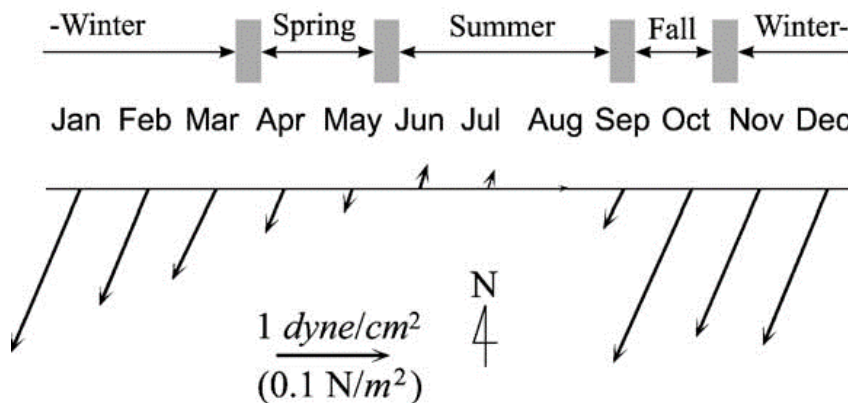


圖 66、季節劃分示意圖 資料來源:[Jan *et al.*, 2002]

一、潮汐特性

圖 67~圖 70 為 G2 區四個季節的潮汐調查時序列及頻譜分析圖。G2 區的儀器佈放平均高程約為 2.5 公尺。各季節調查期間皆涵蓋了完整的大小潮週期，實際測得的潮差 4.39 公尺，由各季節的水位圖，可以知道在潮汐水位變化趨勢非常接近。由頻譜分析圖可以知道 G2 區潮汐水位主要由半日潮所主宰，全日潮僅佔全部能量非常小部分。

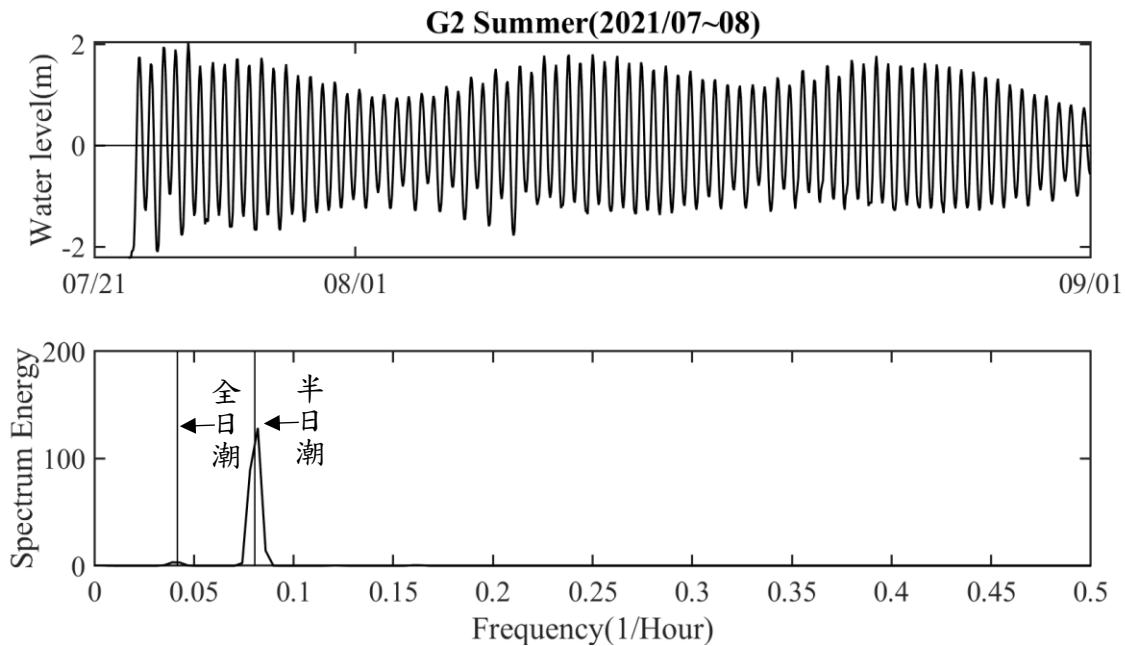


圖 67、G2 區夏季(110/7/22 ~ 110/8/31)潮汐調查成果時序列圖及頻譜分析圖。
由上而下為 G1 區潮汐時序列圖、頻譜分析圖。

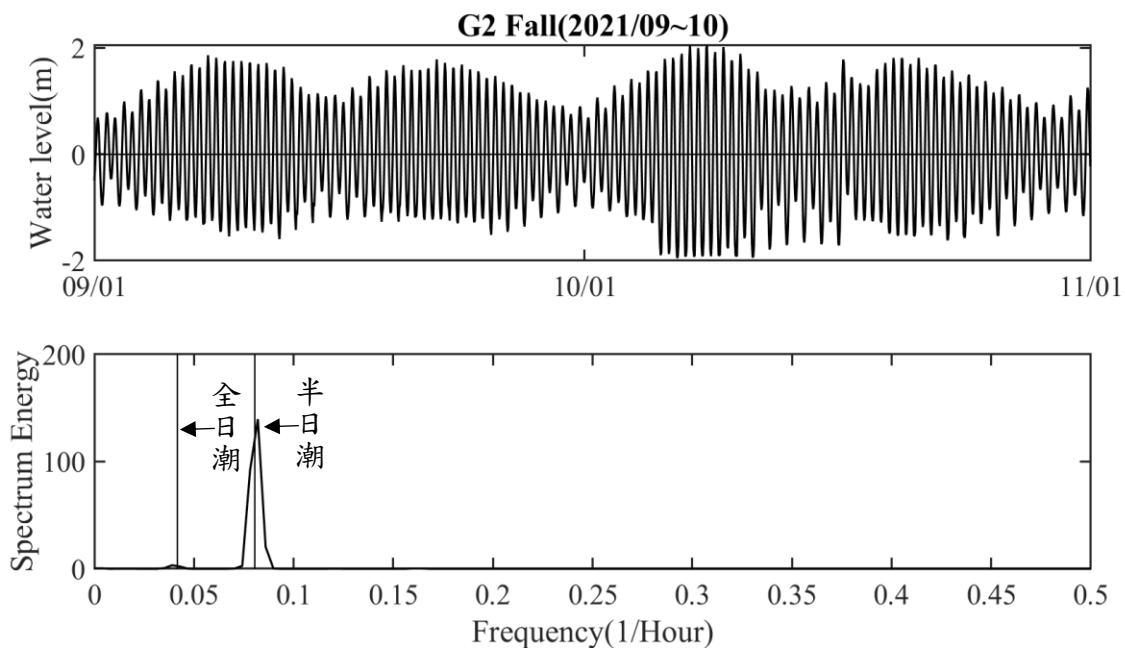


圖 68、G2 區秋季(110/9/1 ~ 110/10/31)潮汐調查成果時序列圖及頻譜分析圖。
由上而下為 G1 區潮汐時序列圖、頻譜分析圖。

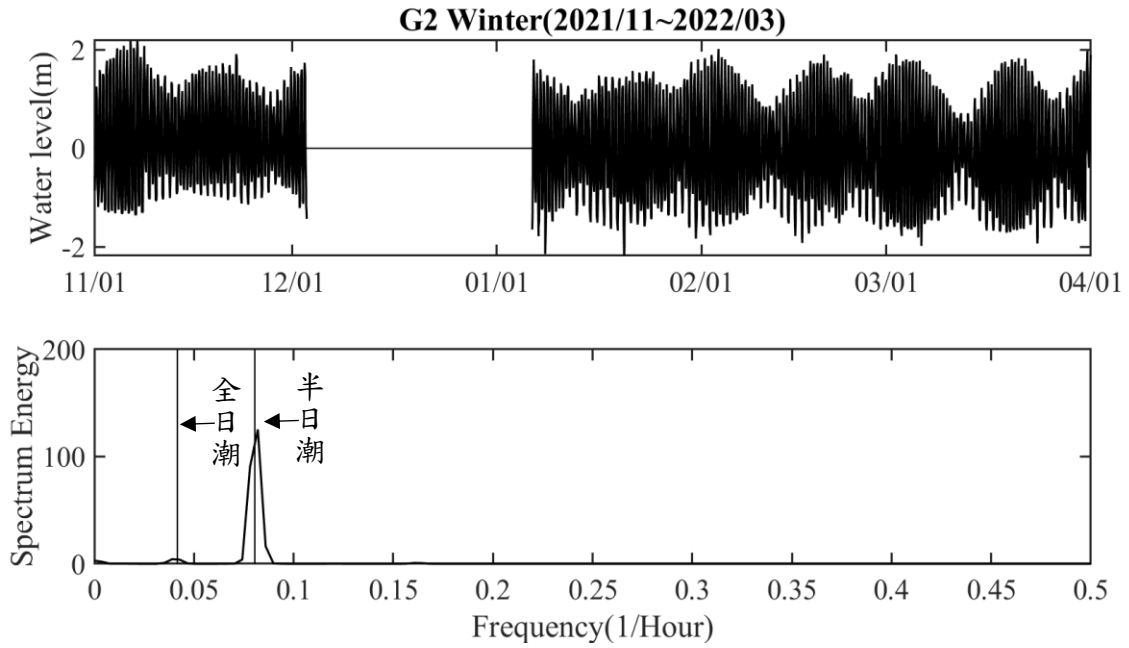


圖 69、G2 區冬季(110/11/1 ~ 110/12/3、111/1/6~111/3/31)潮汐調查成果時序列圖及頻譜分析圖。

由上而下為 G1 區潮汐時序列圖、頻譜分析圖。

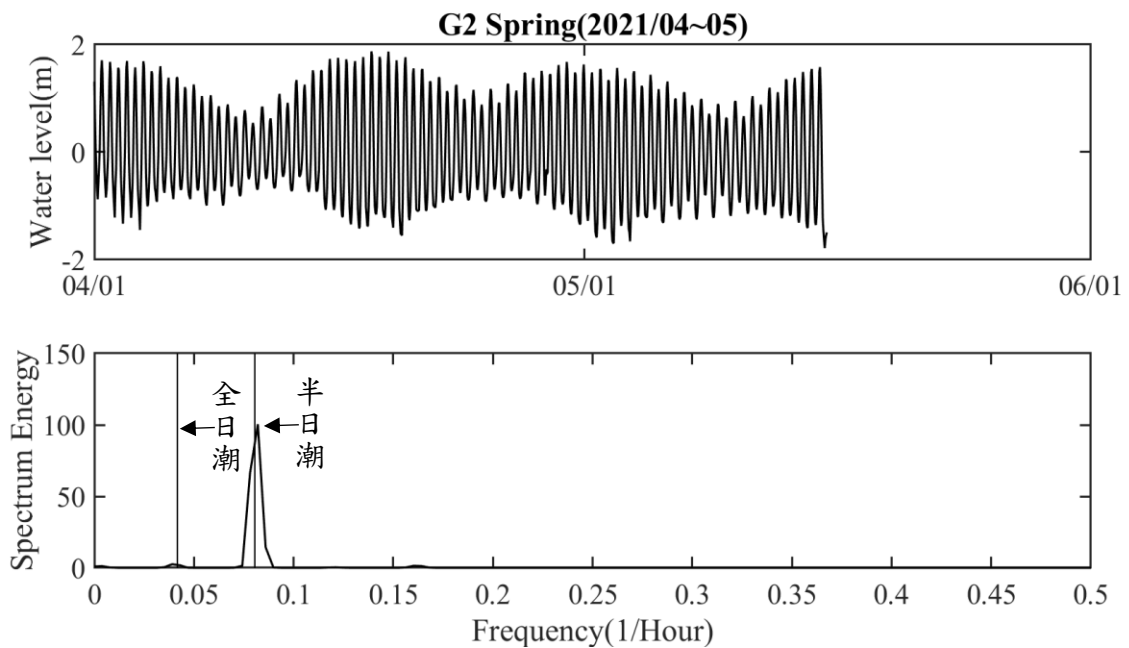


圖 70、G2 區春季(111/4/1 ~ 111/5/15)潮汐調查成果時序列圖及頻譜分析圖。
由上而下為 G1 區潮汐時序列圖、頻譜分析圖。(要改圖)

二、波浪特性

圖 71 為 G2 區夏季調查結果，調查期間從 110/7/22 ~ 110/8/31，由此時間區間觀測到最大波高為 2.23 公尺，大部分的示性波高介於 0.2-0.8 公尺間，尖峰週期多為 2-7 秒左右，大部分波浪能量集中於 4-6 秒，波浪來向約為 270~330 度間。另外從時序列資料，可看到 7 月 21 日~7 月 25 日明顯受到烟花颱風所影響，導致示性波高、週期及波浪能量都有明顯上升的情形發生。將烟花颱風相關資料彙整於表 17 中。

圖 72 為秋季調查結果，調查期間從 110/9/1~110/10/31，由此時間區間觀測到最大波高為 2.04 公尺，尖峰週期多為 5-10 秒左右，大部分波浪能量集中在 2-6 秒，波浪來向約 315 度~360 度間。

圖 73 為冬季調查結果，調查期間從 110/11/1 ~ 110/12/3，由此時間區間觀測到最大波高為 2.05 公尺，大部分的示性波高介於 0.4-1.2 公尺間，尖峰週期多為 6-10 秒左右，大部分波浪能量集中在 2-6 秒，波浪來向較為集中，波浪來向約 300 度~330 度間。

圖 74 為春季調查結果，調查期間從 111/4/1~111/5/15，由此時間區間觀測到最大波高為 2 公尺，大部分的示性波高介於 0.2-0.6 公尺間，尖峰週期多為 2-7 秒左右，大部分波浪能量集中在 4-7 秒，波浪來向約 270 度~330 度間。

圖 75~圖 78 為四個季節示性波高、週期、波向統計圖及四個季節波高波向玫瑰圖。根據上述的統計結果，可發現波高明顯在夏季較小，冬波高較大。由週期的統計結果發現，G2 區四個季節不僅受到短週期 3-6 秒的風浪作用，也容易受到較長週期 10 秒以上湧浪的影響。由波向統計資料可發現，秋、冬波浪來向較為集中約在 300 度~330 度間，春、夏則較為寬廣，波浪來向約在 270 度~330 度間。

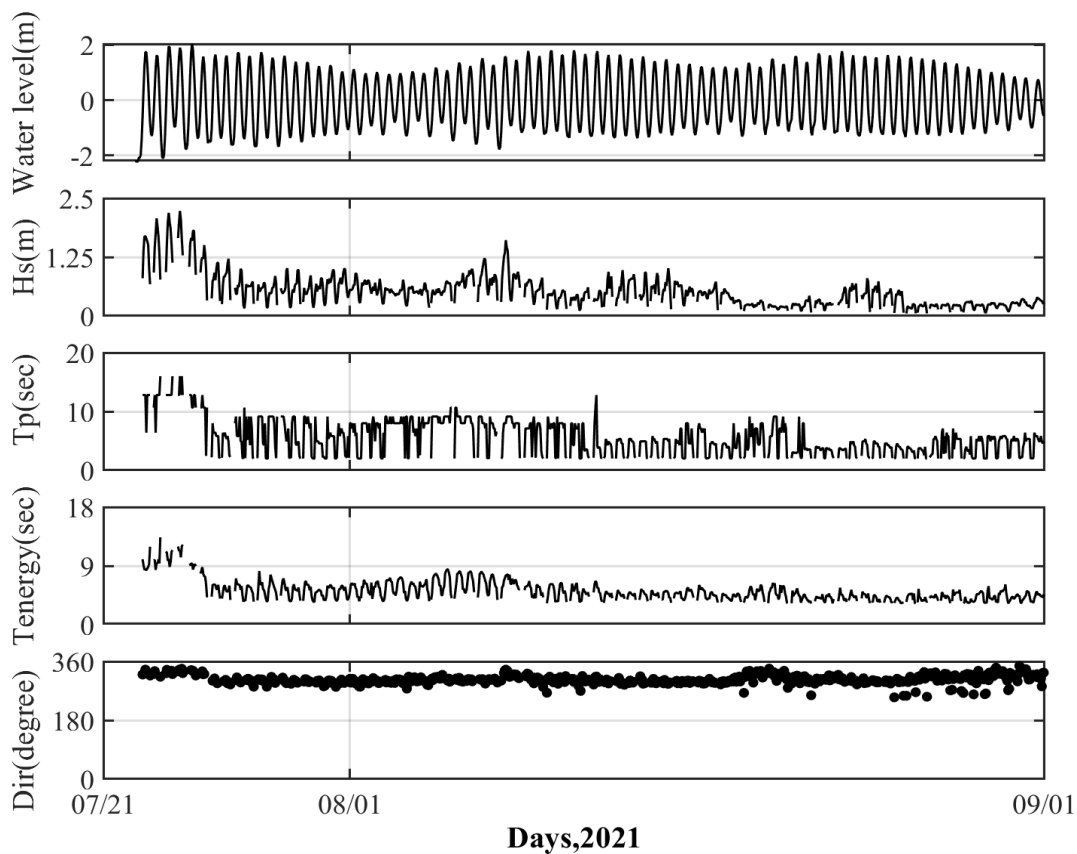


圖 71、G2 區夏季(110/7/22 ~ 110/8/31)潮汐波浪調查成果時序列圖。由上而下為潮汐、示性波高、尖峰週期、能量加權波浪週期、波浪方向(來向)。

表 17、烟花颱風影響時間表

颱風名稱	警報期間	颱風路徑圖
烟花 (IN-FA)	2021-07-21 20:30 2021-07-24 11:30	

資料來源:颱風資料庫

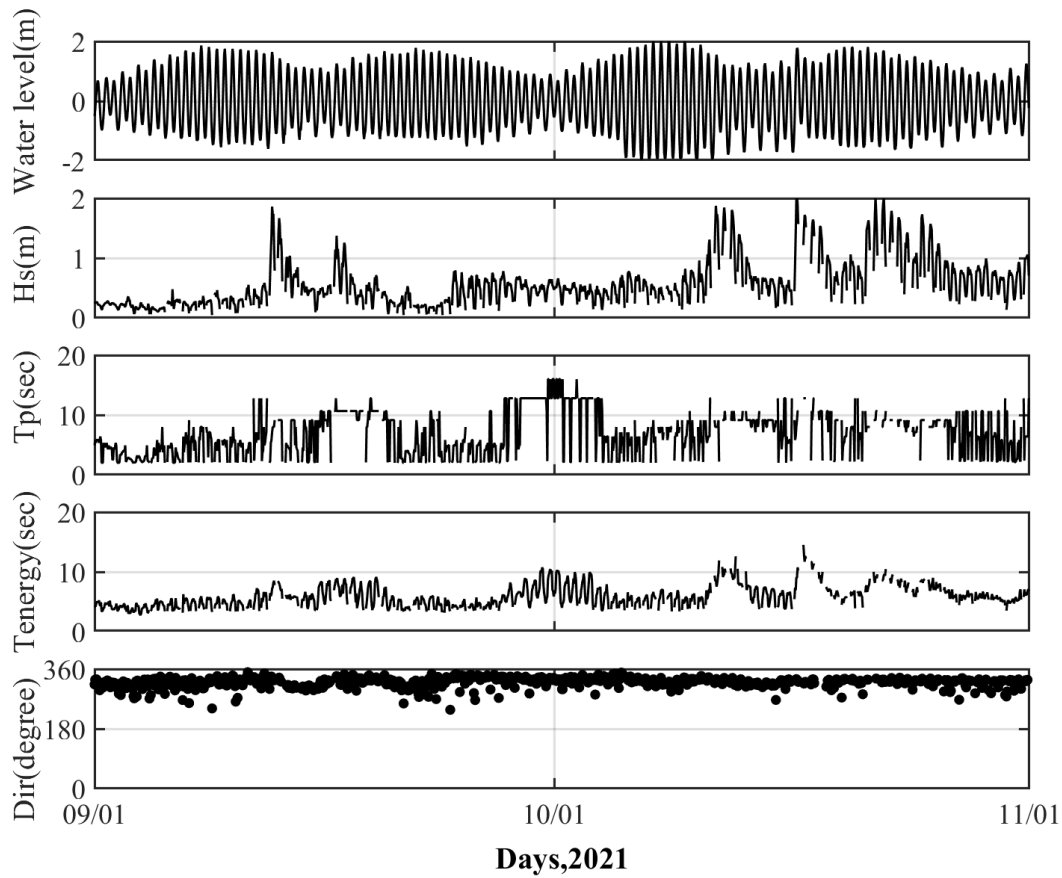


圖 72、G2 區秋季(110/9/1 ~ 110/10/31)潮汐波浪調查成果時序列圖。
 由上而下為潮汐、示性波高、尖峰週期、能量加權波浪週期、波浪方向(來向)。

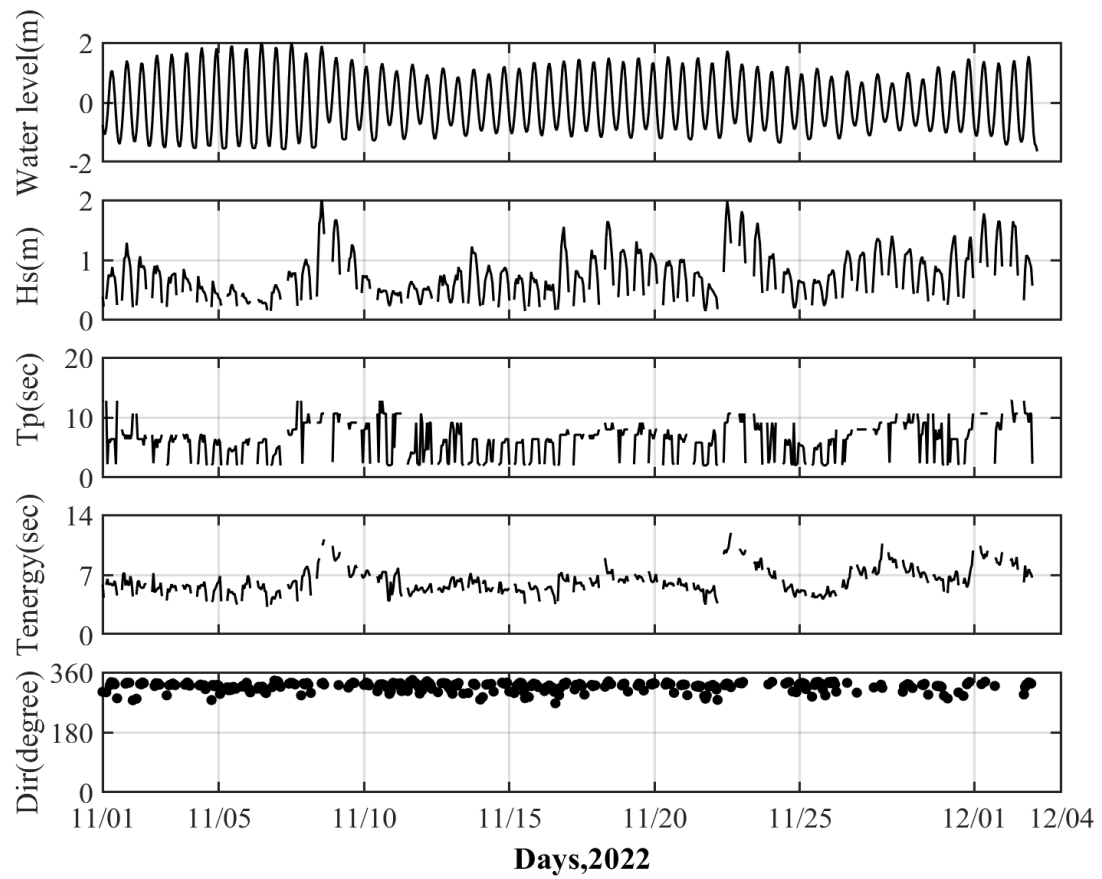


圖 73、G2 區冬季(110/11/1 ~ 110/12/3)潮汐波浪調查成果時序列圖。
 由上而下為潮汐、示性波高、尖峰週期、能量加權波浪週期、波浪方向(來向)。

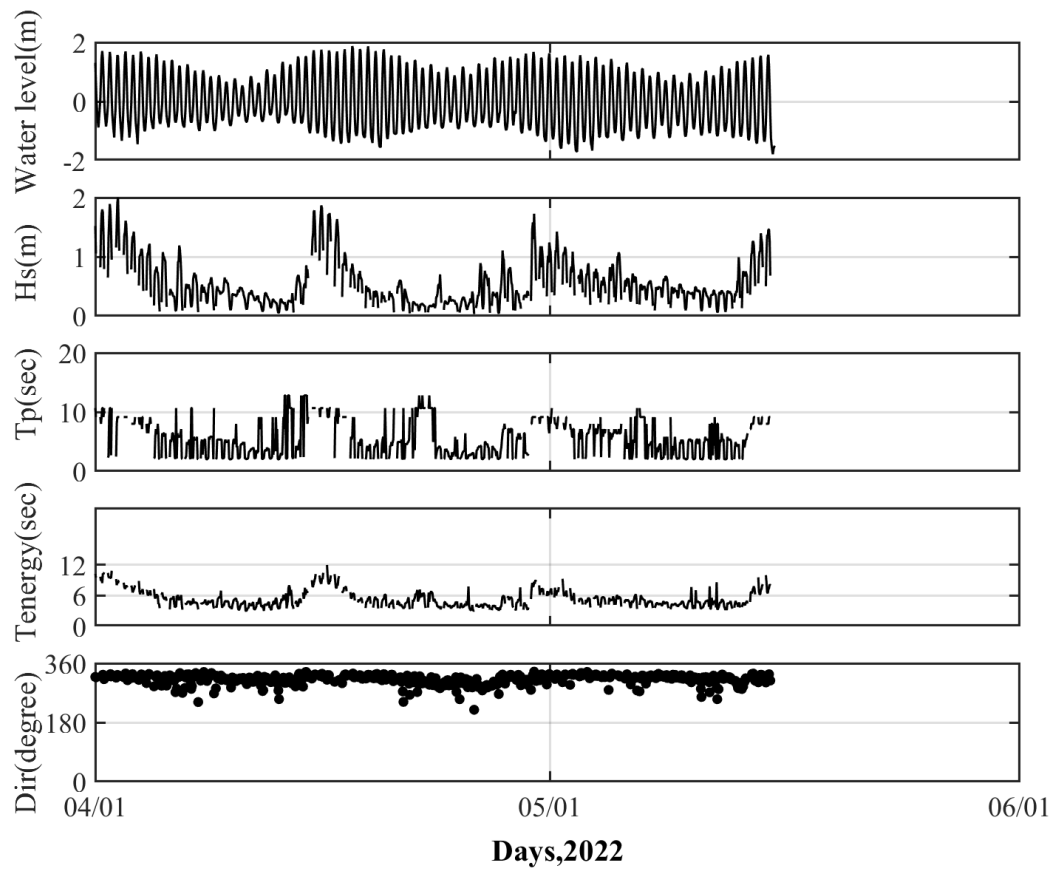


圖 74、G2 區春季(111/4/1 ~ 111/5/15)潮汐波浪調查成果時序列圖。
由上而下為潮汐、示性波高、尖峰週期、能量加權波浪週期、波浪方向(來向)。

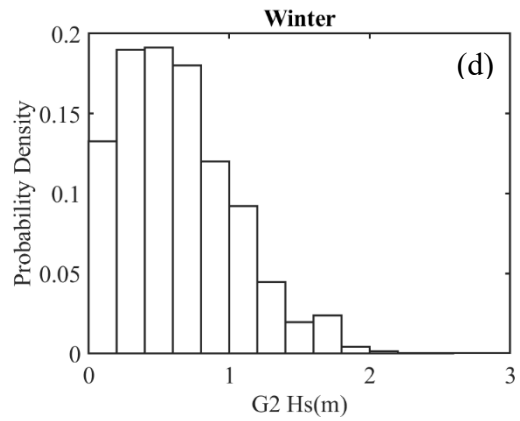
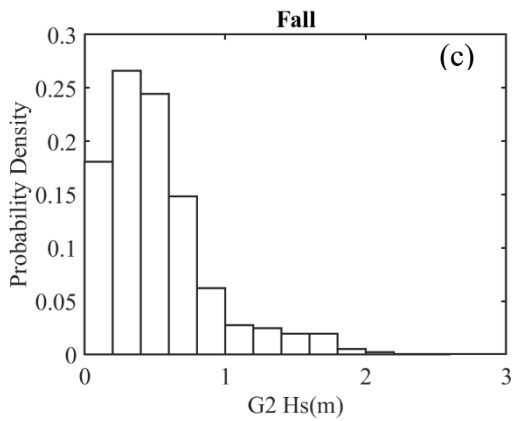
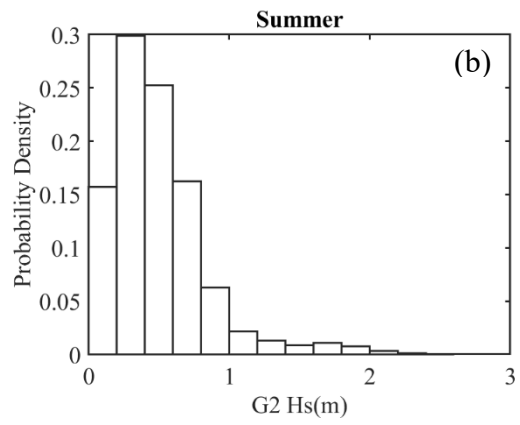
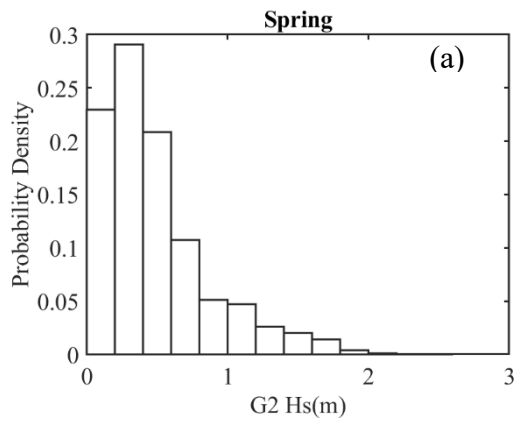


圖 75、G2 區四個季節示性波高統計圖。(a)春季(b)夏季(c)秋季(d)冬季

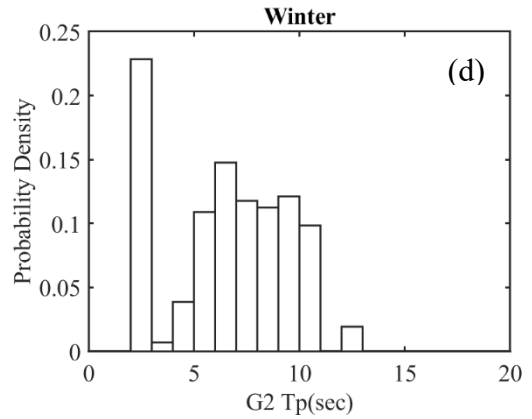
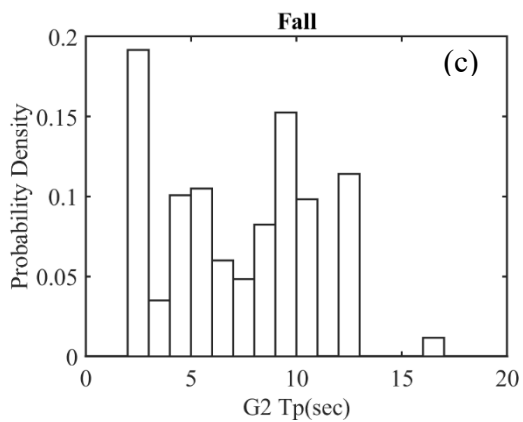
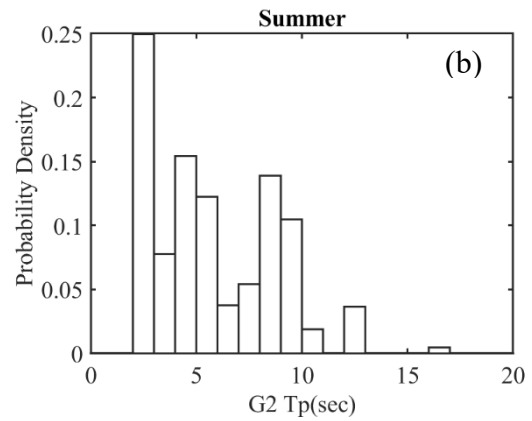
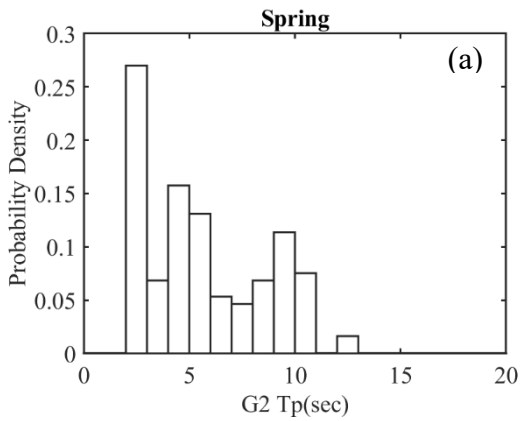


圖 76、G2 區四個季節尖峰週期統計圖。(a)春季(b)夏季(c)秋季(d)冬季

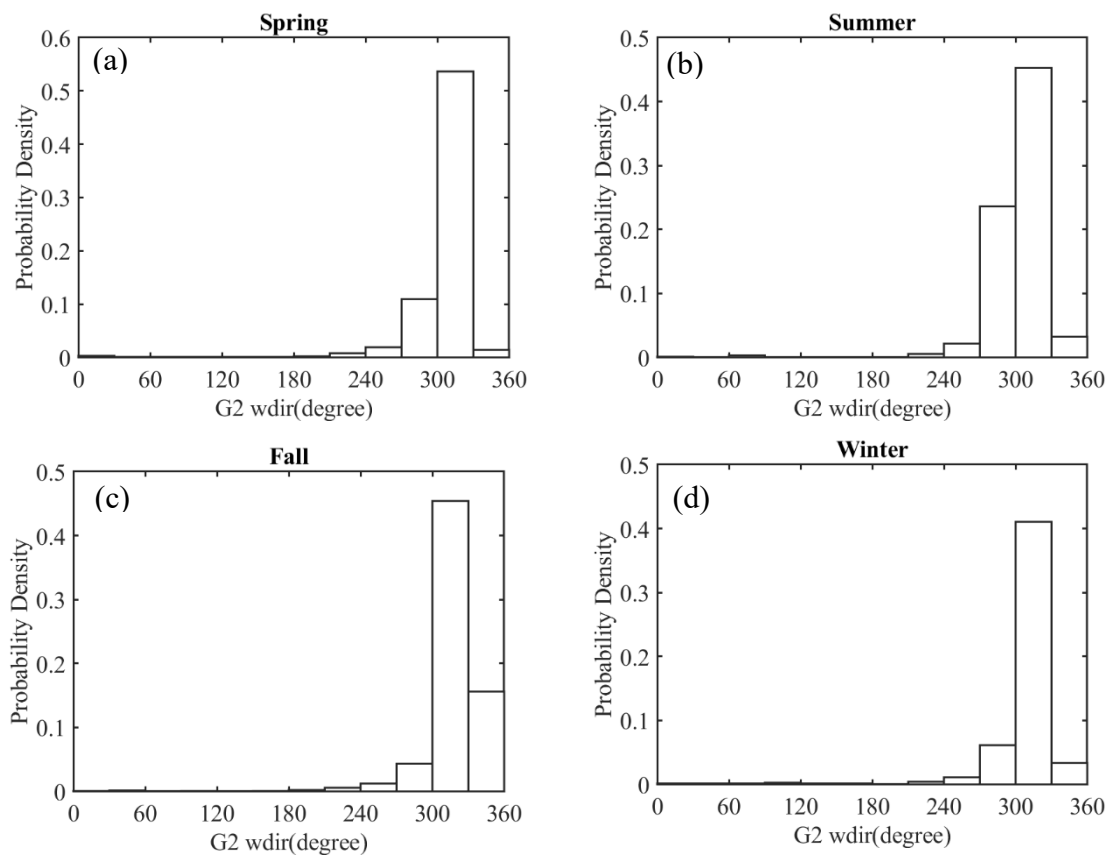


圖 77、G2 區四個季節波浪方向(來向)統計圖。(a)春季(b)夏季(c)秋季(d)冬季

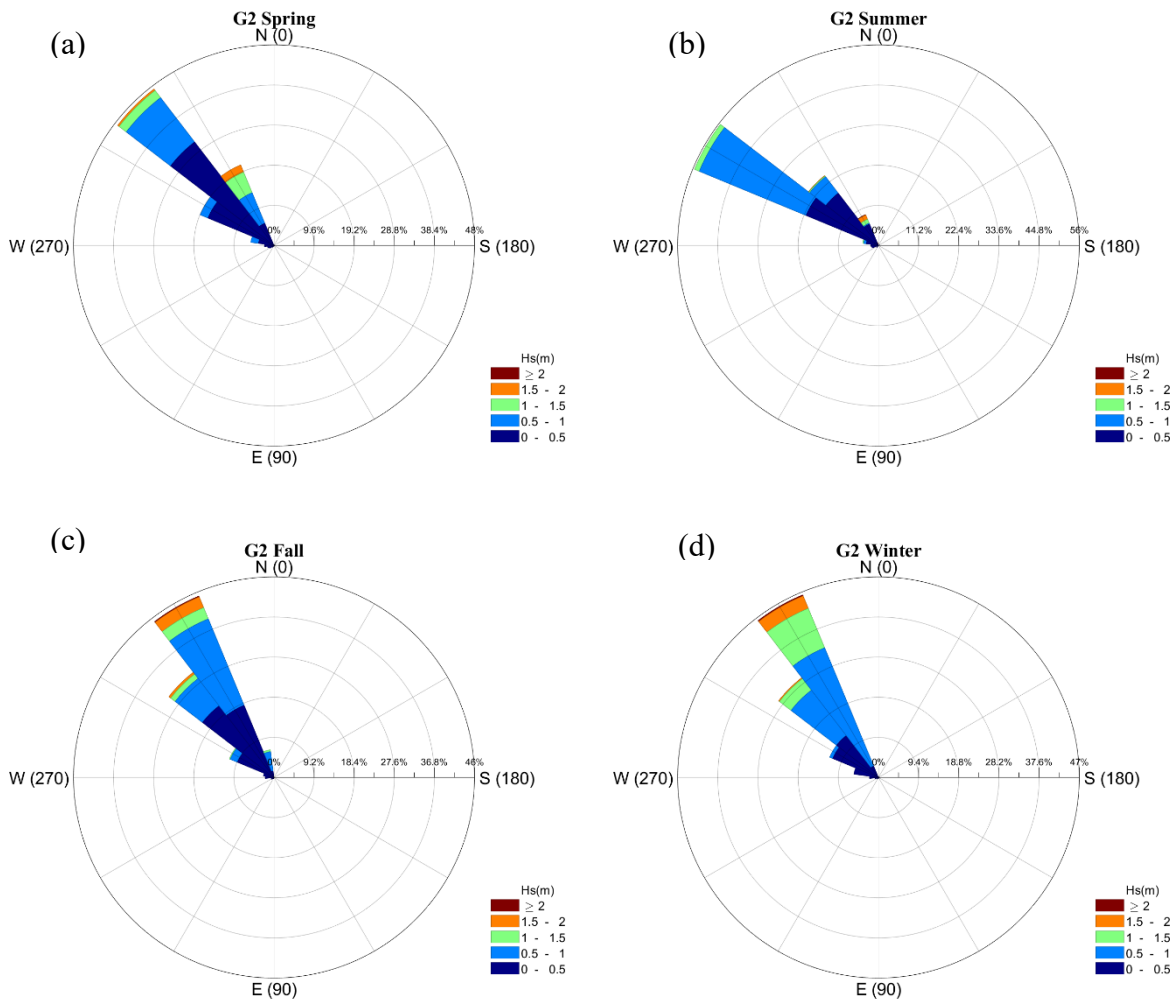


圖 78、G2 區四個季節波高波向玫瑰圖。(a)春季(b)夏季(c)秋季(d)冬季

三、海岸流特性

圖 79 為夏季調查成果，由資料顯示調查區間的海流流速，平均流速為 0.11 m/s，流向較為寬廣約為東北到西南向(60-270 度)。另由 7 月 21 日~7 月 25 日的資料中，明顯看出受到烟花颱風影響，流速明顯增加，且在颱風期間流向集中約 225 度。

圖 80 為秋季調查結果，由資料顯示調查區間的海流流速，平均流速為 0.15 m/s，流向主要為西南到東北向(180-225 度)。

圖 81 為冬季調查結果，由資料顯示調查區間的海流流速，平均流速為 0.17 m/s，冬季流向更為集中，主要為西南向(225 度)。

圖 82 為 G2 區春季調查，由資料顯示調查區間的海流流速，平均流速為 0.13 m/s，流向約為西南到東北向(180-225 度)。

圖 83 為 G2 區各季節頻譜分析成果，G2 區海流的主要成分仍為潮汐所引起，半日潮流主宰，但是因為單純的半日潮流受到地形作用及結構物效應及非線性平流效應，G1 區海域的海流也可以看到更高頻率及全日潮分量的成分存在。圖 84 為 G2 區四個季節流速流向玫瑰圖，由結果可發現，G2 區夏季及冬季的流速流向玫瑰圖，受到季風所影響導致兩個圖流向不一樣，分別往東北向及西南向的海流有增強的趨勢。根據我們利用驗證過的現場調查模式[廖凱芹,2018]，並將結果進行潮流、風趨流、近岸流的成分分析，桃園海岸淺水區的構成海流的主要成份為潮流及風趨流。在潮流小的時候，波浪造成的近岸流效應或加大。因為近岸流主要是波浪淺化後的輻射應力改變，造成平均水位的空間不均勻(波揚與波降)，因此區的地形沒有明顯的碎波不均勻，故少有穩定的近岸流產生。

根據上述結果可發現，G2 區調查點位海流成分，主要為半日潮流所引起，且計畫區受到夏季及冬季季風影響，使得在夏季及冬季分別往東北向及西南向的海流有增強的趨勢。

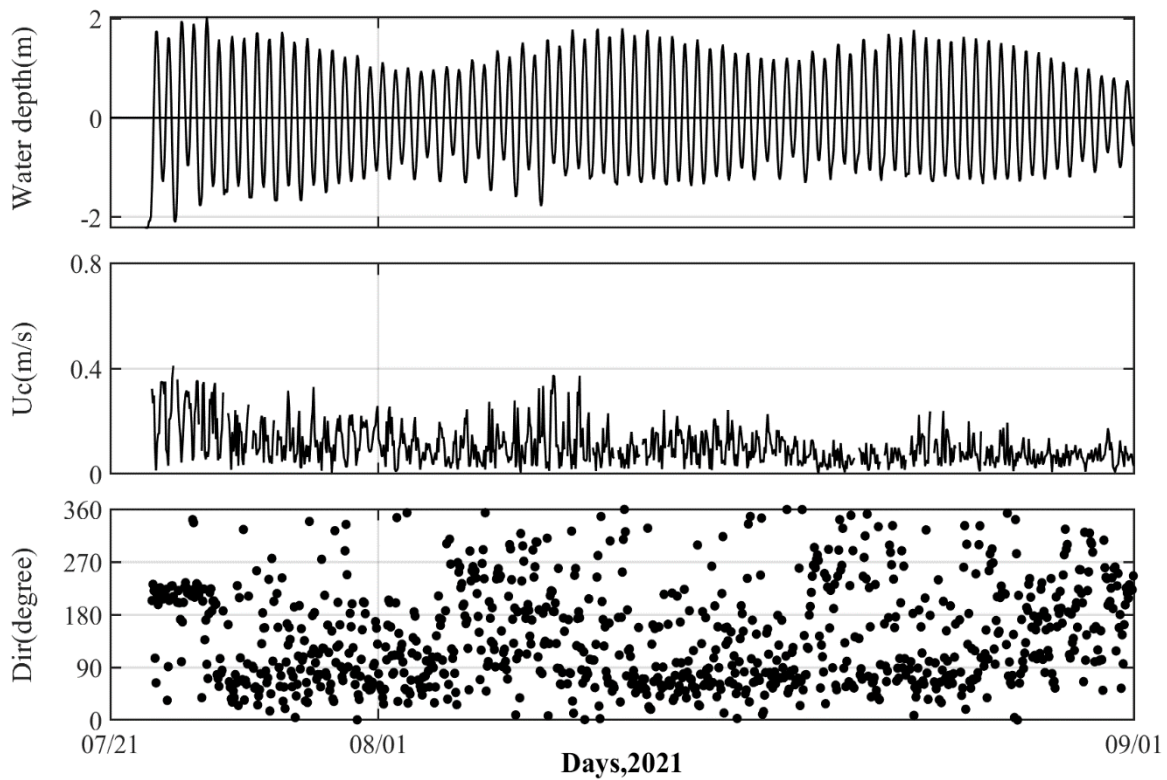


圖 79、G2 區夏季(110/7/22 ~ 110/8/31)海流調查成果圖。由上而下為潮汐、海流流速、海流流向

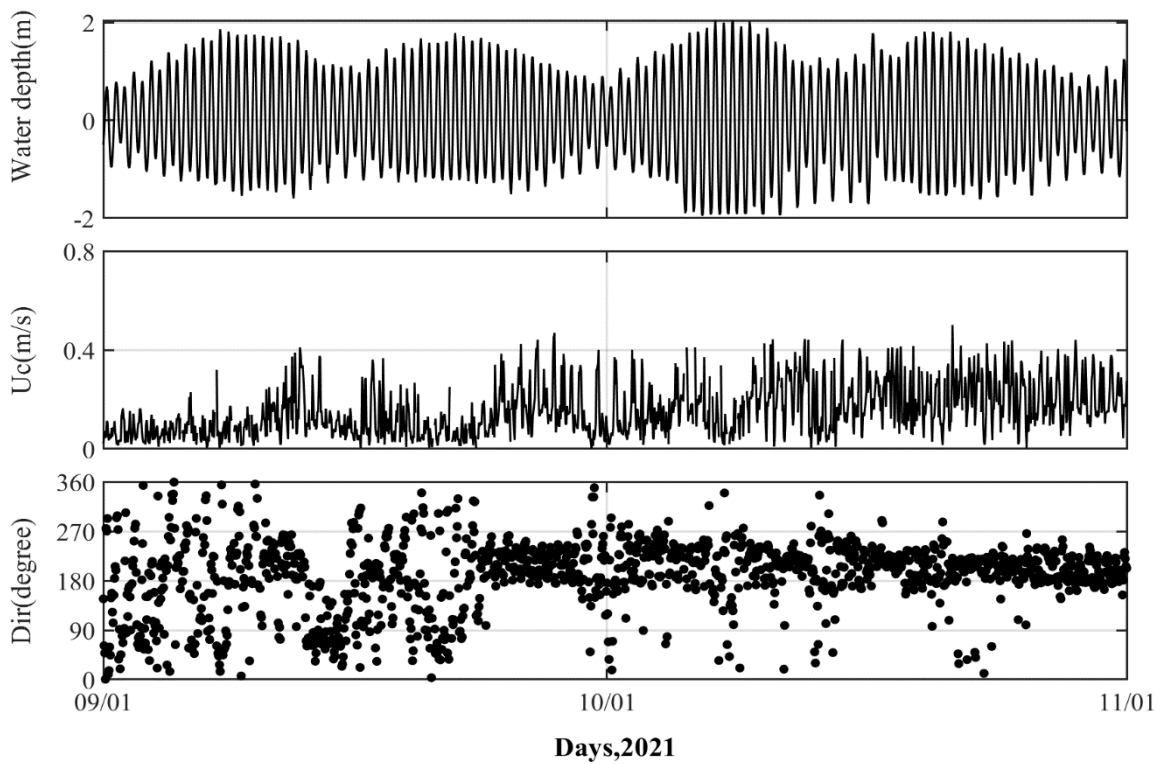


圖 80、G2 區秋季(110/9/1 ~ 110/10/31)海流調查成果圖。由上而下為潮汐、海流流速、海流流向

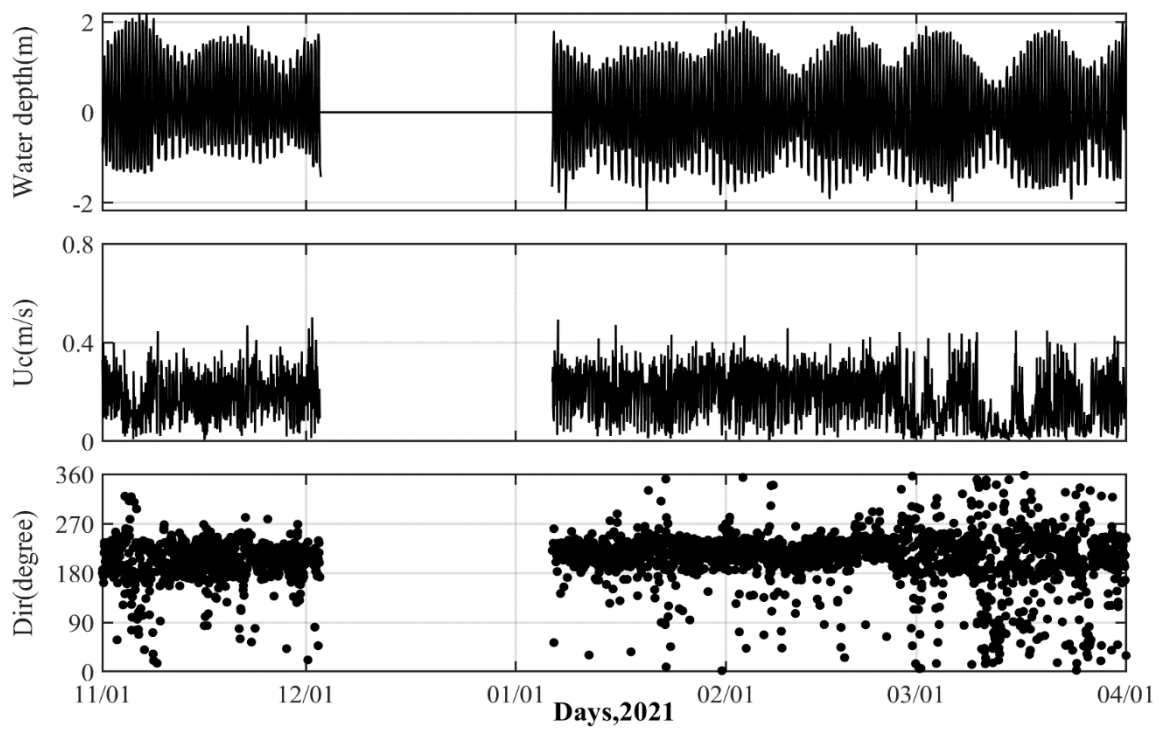


圖 81、G2 區冬季(110/11/1 ~ 110/12/3、111/1/6~111/3/31)海流調查成果圖。由上而下為潮汐、海流流速、海流流向

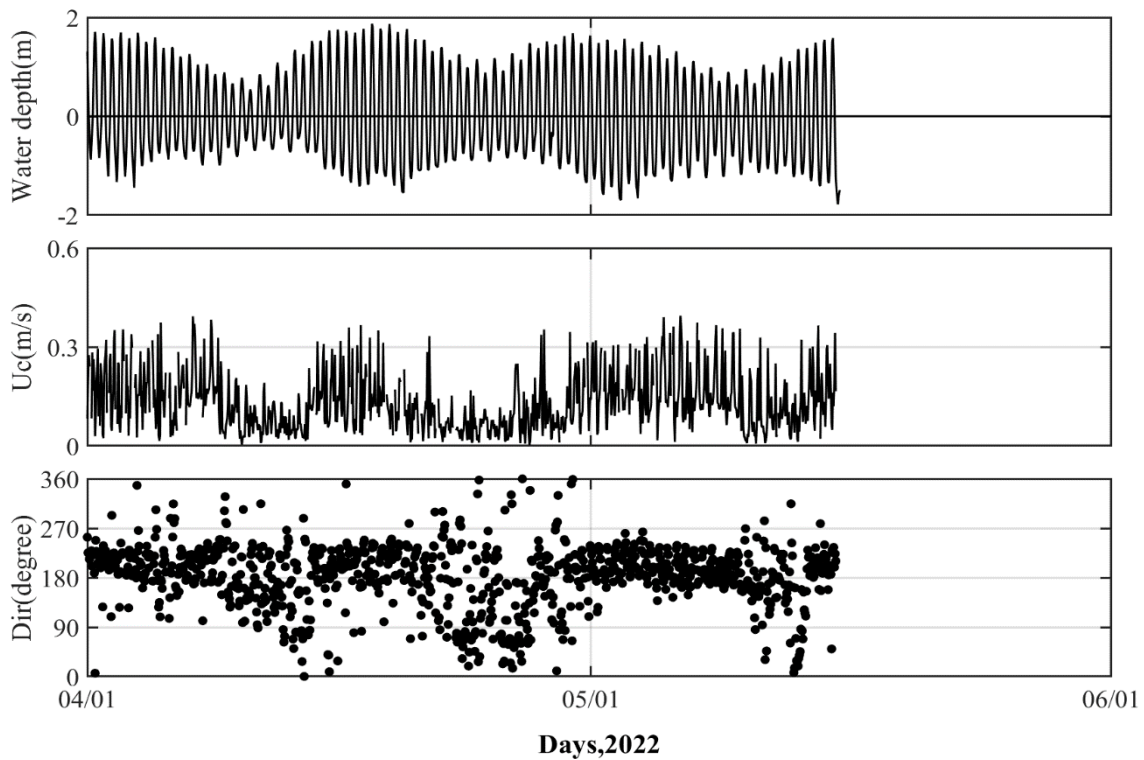


圖 82、G2 區春季(111/4/1 ~ 111/5/15)海流調查成果圖。由上而下為潮汐、海流流速、海流流向

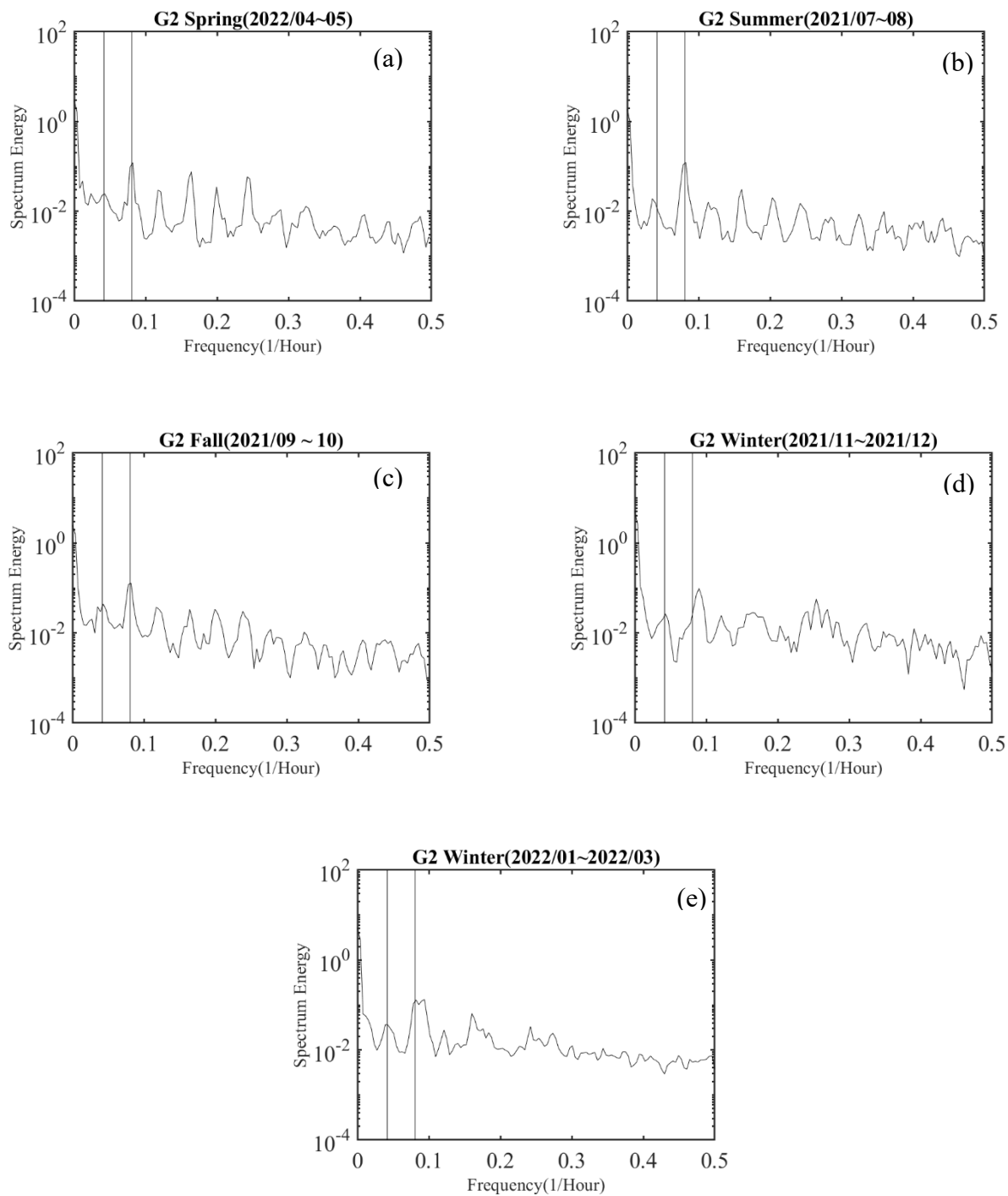


圖 83、G2 區各時間區間海流頻譜分析圖。(a)春季(b)夏季(c)秋季
(d)冬季(110/11/1 ~ 110/12/3) (e)冬季第二次(111/1/6~111/3/31)

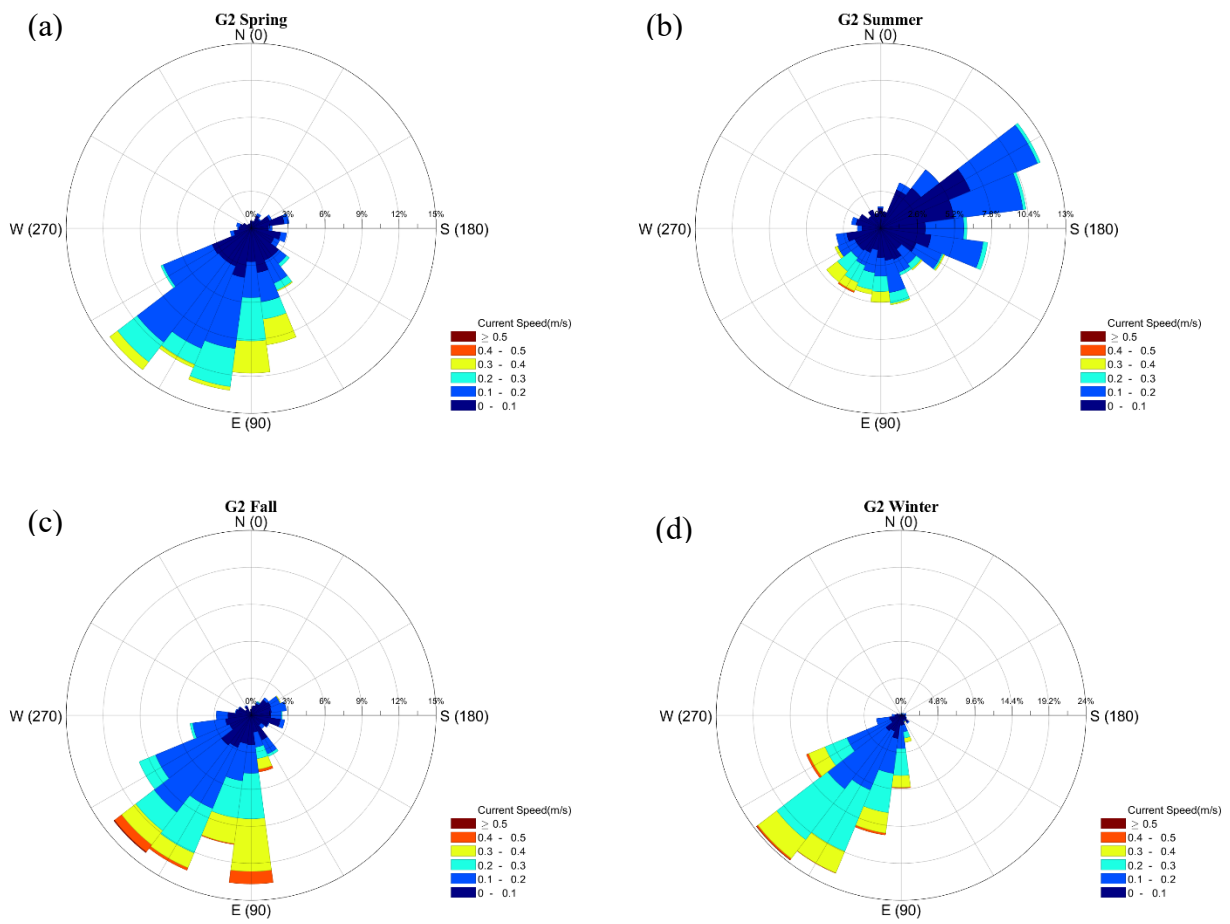


圖 84、G2 區四個季節流速流向玫瑰圖。(a)春季(b)夏季(c)秋季(d)冬季

5.3 G1 區與 G2 區比較

本節將針對 G1、G2 兩個區域同時期的調查資料進行比較，圖 85 為 G1、G2 區兩個海域高程比較圖，由上圖可看發現 G1 區及 G2 區的高程變化類似，另外由 5.1 節及 5.2 節調查結果中，可知兩個區域皆是以半日潮為主。因兩組設備現場有設備翻覆或無波浪資料等情形發生，故將兩組機組完整有潮波流資料時間整理於表 18 中。

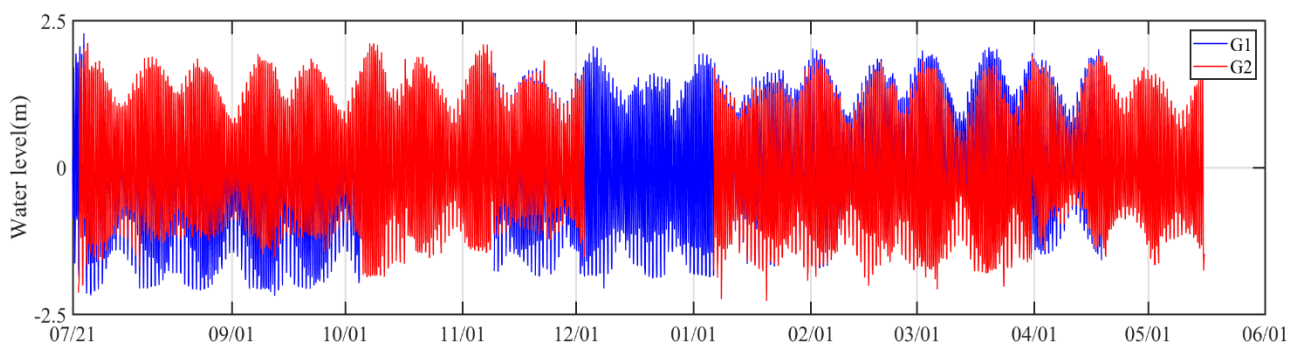


圖 85、G1、G2 區海域水位比較圖

表 18、G1、G2 完整有潮波流資料時間表

	代表季節	有效時間
第一次	夏	110/07/22 10:00 ~ 110/08/23 16:00 (31 天)
第二次	秋	110/09/02 10:00 ~ 110/10/05 15:00 (32 天)
第三次	冬	110/11/09 07:00 ~ 110/12/03 04:00 (23 天)
第四次	春	111/03/31 04:00 ~ 111/04/18 18:00 (18 天)

一、波浪特性

本團隊蒐集交通部中央氣象局距離桃園市最近的海象測站新竹浮標資料做為外海資料做為比對，圖 86 為四次 G1、G2 及新竹浮標同時段示性波高時序列圖，由圖可以發現本計畫區波高資料與外海新竹浮標有高的相關性。

圖 87~圖 90 為四次同時段的波浪比較時序列圖，並將上述資料進行統計，統計資料如圖 91~圖 94 所示，分別為四個同時段示性波高、週期、波向統計圖及四個同時段波高波向玫瑰圖。根據上述的結果可發現 G1、G2 區四個同時段波高分布類似。在波浪尖峰週期部分，G1、G2 區兩個區域皆有受到短週期 2-6 秒的風浪作用影響，且在 9~10 月、11~12 月、3~4 月的資料中可發現，G2 區明顯比 G1 區有較多長週期(10 秒以上)湧浪出現。由波高波向玫瑰圖可看出在東北季風盛行時期(秋、冬、春季)，G1、G2 及新竹浮標主要波向偏北，只有夏季時期 G1、G2 及新竹浮標稍微不同，G1、G2 夏季主要波向偏西北，而新竹浮標主要偏西。

在近岸水動力中，波浪碎波和底床摩擦所引起的能量消散一直都被認為是波浪能量消散的主因，故本團隊利用碎波指標進行比較，碎波指標依照[Ruessink, 2010] 文中定義碎波帶與波高水深比關係的方法，並藉著影像及觀測數據與前人文獻作比較，將碎波帶的強度區間做分類，波高水深比小於 0.38 區分為未碎波，大於 0.38 為碎波帶。本計畫根據[林則名, 2013]文中定義在藻礁區碎波指標完全無碎波現象的指標為 0.29，高於此值表示波浪多有破碎現象，反之，低於此值表示波浪較少有破碎現象。本研究定義的碎波指標為 0.3 左右，此值是利用攝影機加上現場測量示性波高及水深來判斷有無碎波，此值偏低的原因為因為地形坡度較緩(坡度約 1/100)。另外，碎波的定義是採用示性波高，也會讓此值偏小。一般實驗室約 0.5，現場不規則波利用示性波高都小於 0.38。圖 95~圖 98 分別為四個同時段的碎波指標時序列圖。並將各時段碎波指數大於 0.29 占總數的百分比彙整於表 19 中，由上述資料可發現 G1 區明顯比 G2 區更容易有碎波情形發生。

另外，我們有將 20 分鐘的資料進行頻譜分析，在分析結果目前仍沒有看到有亞重力波的出現。一般珊瑚礁是因為陡坡造成劇烈的碎波，加上有地形及潟湖等效應，造成有亞重力波的成份。推測沒有看到亞重力波桃園藻礁海岸的地形屬於緩坡漸變，無劇烈的水深變化引起的碎波，跟珊瑚礁的地形有點差異。

本計畫調查點位位於大潭藻礁區潮間帶與新竹浮標外海的波浪資料，很明顯的水深位置不同。因為實際的海浪為一頻譜波(通常為寬譜)的特性，波浪在礁區觸底淺化後會有碎波、底床耗損等現象，觀測區域水深淺，潮差大，推測是不同波高及水深造成不同頻率波的耗損程度有所不同，也讓頻譜能量分佈及主頻有轉移現象。淺水區及現場的不規則頻譜波利用能量加權波浪周期來定義會更好(例如 Madsen *et al.* [1988]及 Z

C Huang *et al.* [2012b])。因為能量會有所耗損，利用能量加權波浪周期更可以看出其變化。此現象非常有趣，值得未來深入探討。

表 19、各同時段碎波指數大於 0.29 占總數的百分比彙整表

	G1	G2
第一次(110/07~08)	29%	23%
第二次(110/09~10)	20%	5%
第三次(110/11~12)	58%	27%
第四次(111/03~04)	33%	20%

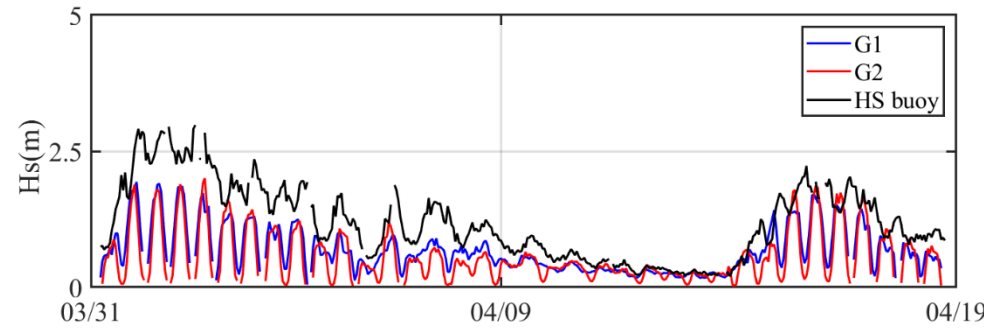
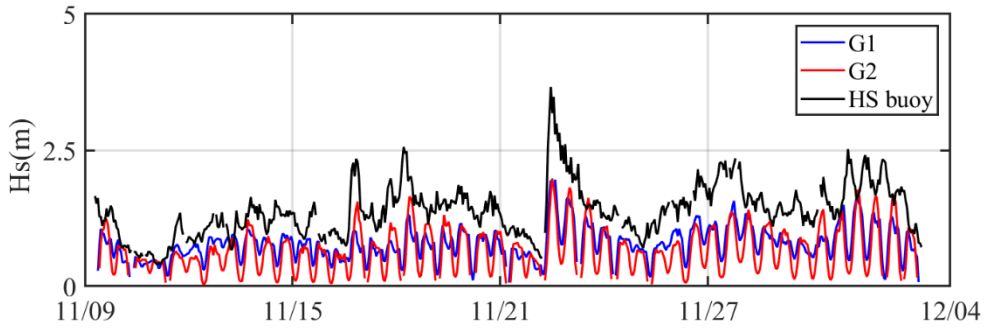
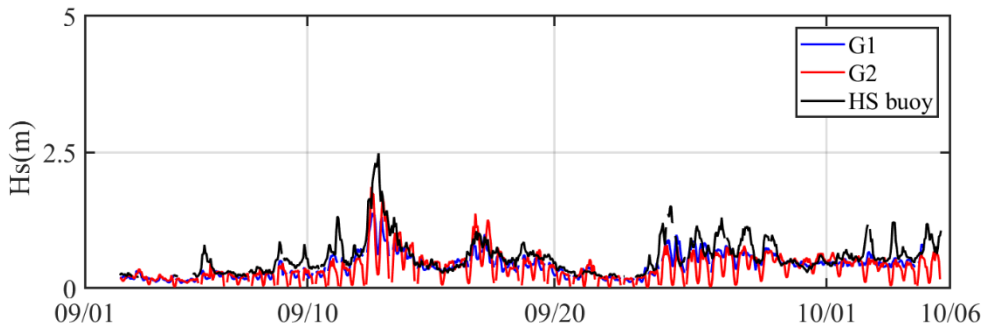
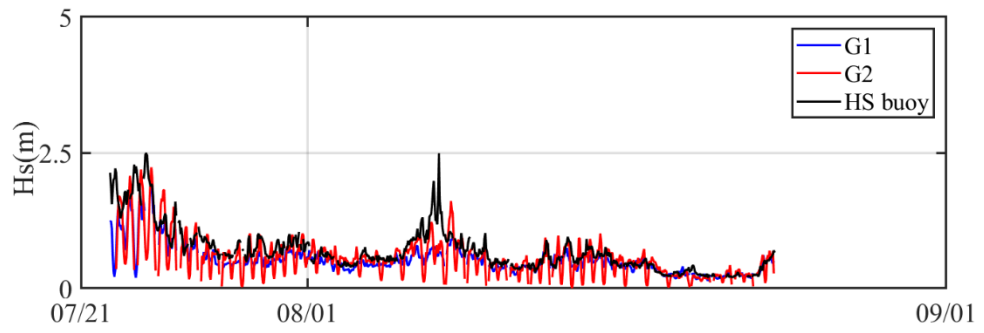


圖 86、四次 G1(藍線)、G2(紅線)及新竹浮標(黑線)同時段示性波高時序列圖。

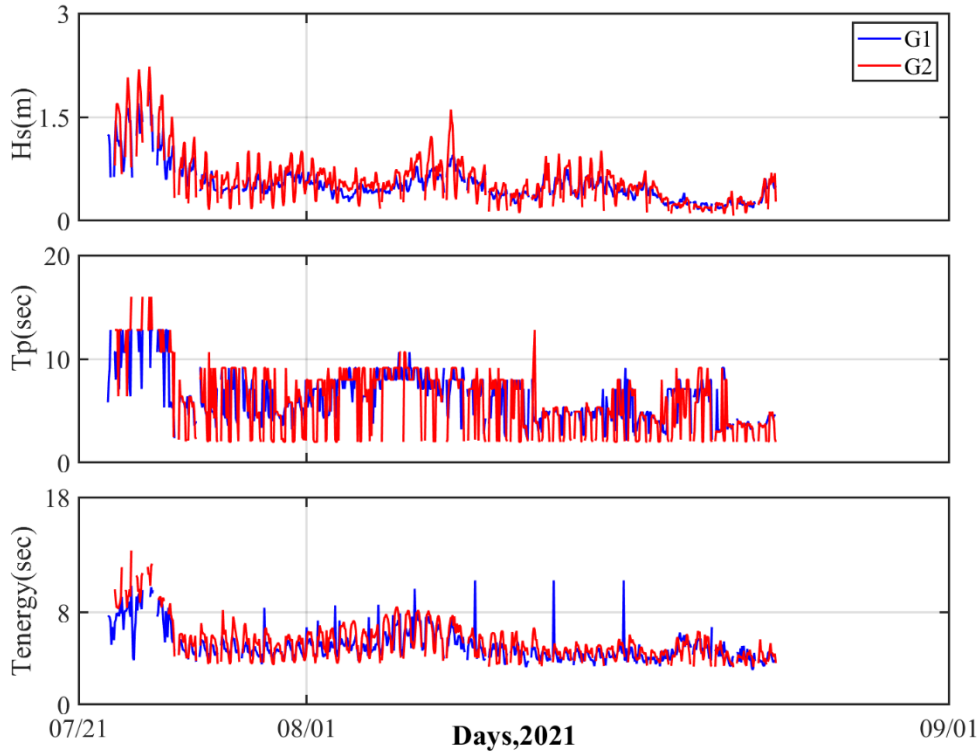


圖 87、第一次 G1、G2 區同時段波浪時序列比較圖。由上而下為示性波高、尖峰週期、能量加權波浪週期。

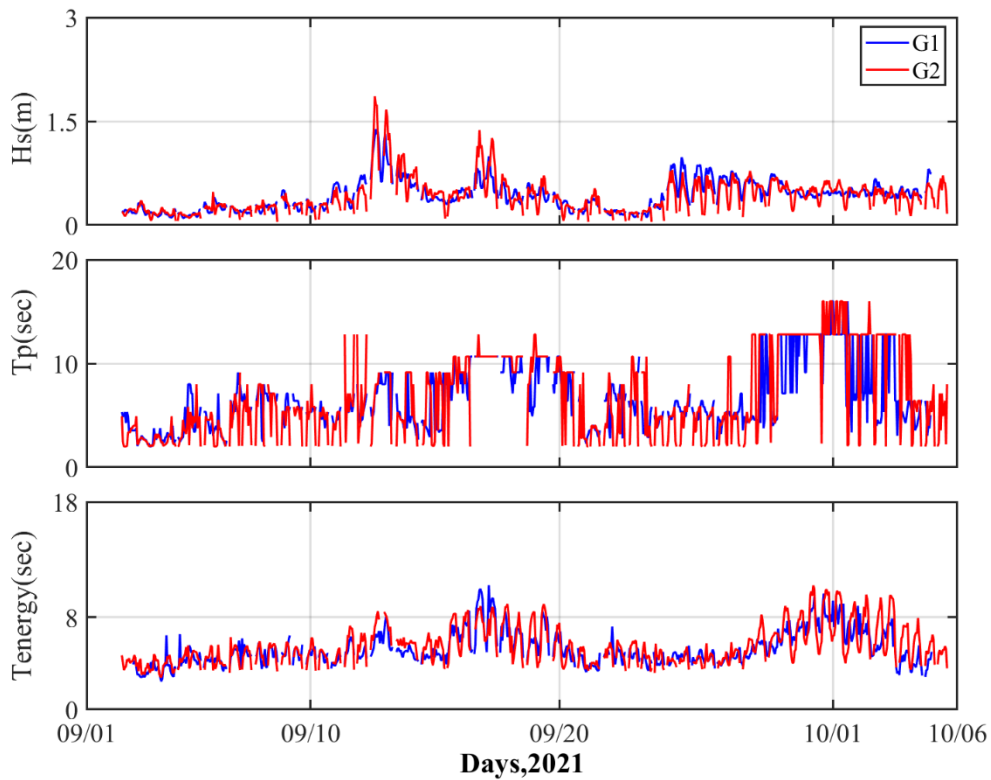


圖 88、第二次 G1、G2 區同時段波浪時序列比較圖。由上而下為示性波高、尖峰週期、能量加權波浪週期。

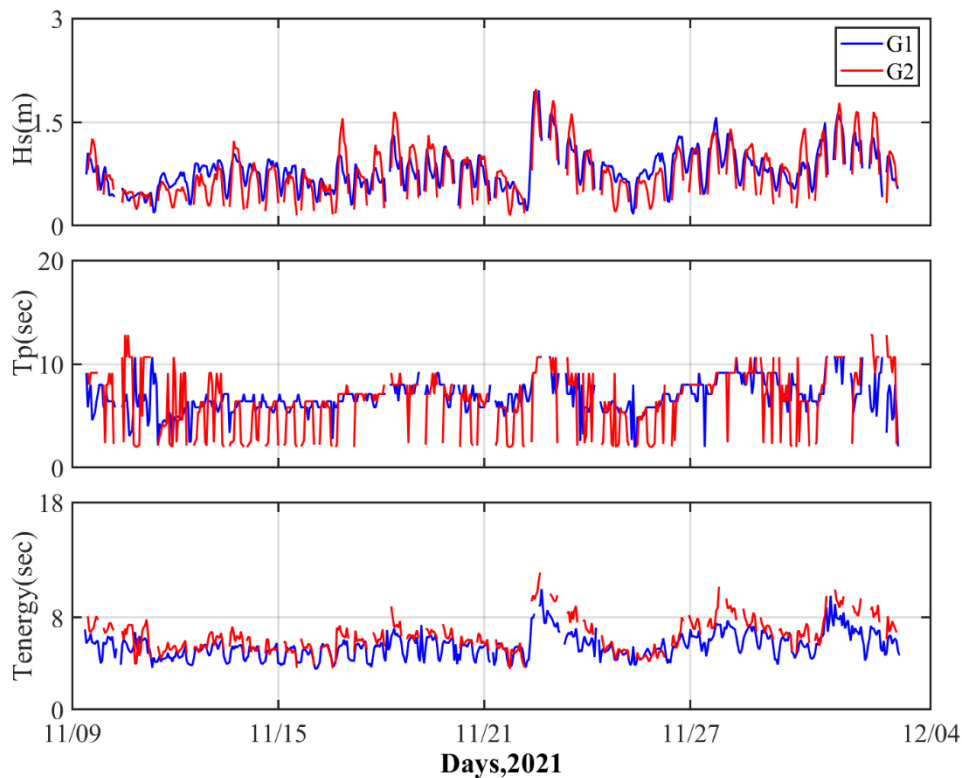


圖 89、第三次 G1、G2 區同時段波浪時序列比較圖。由上而下為示性波高、尖峰週期、能量加權波浪週期。

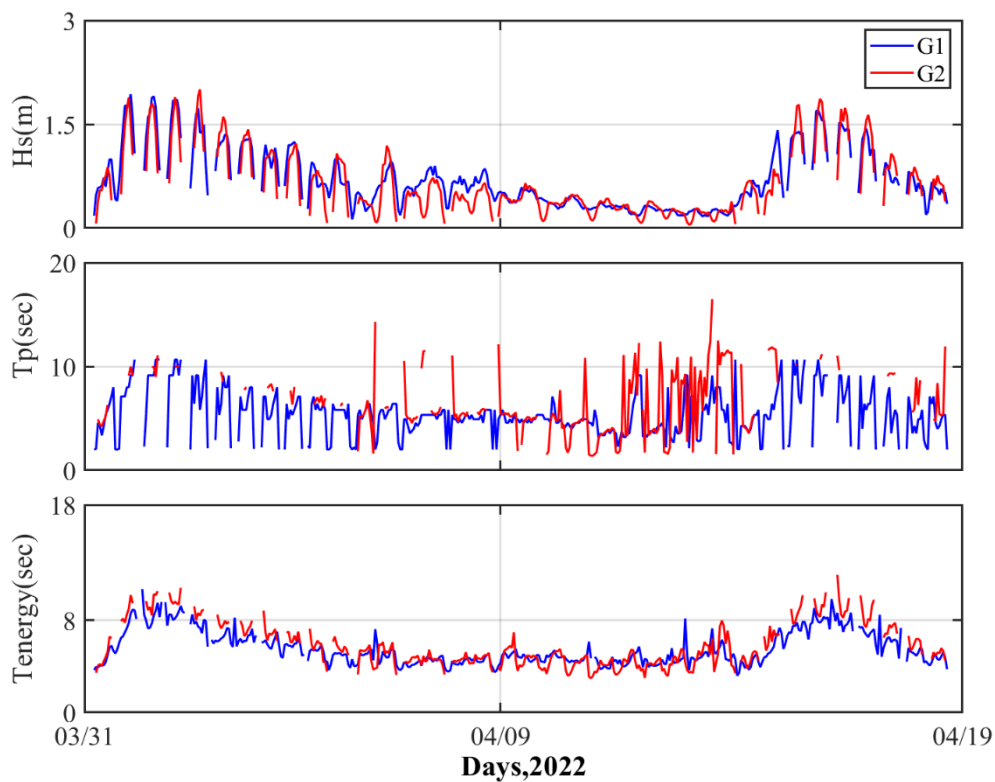


圖 90、第四次 G1、G2 區同時段波浪時序列比較圖。由上而下為示性波高、尖峰週期、能量加權波浪週期。

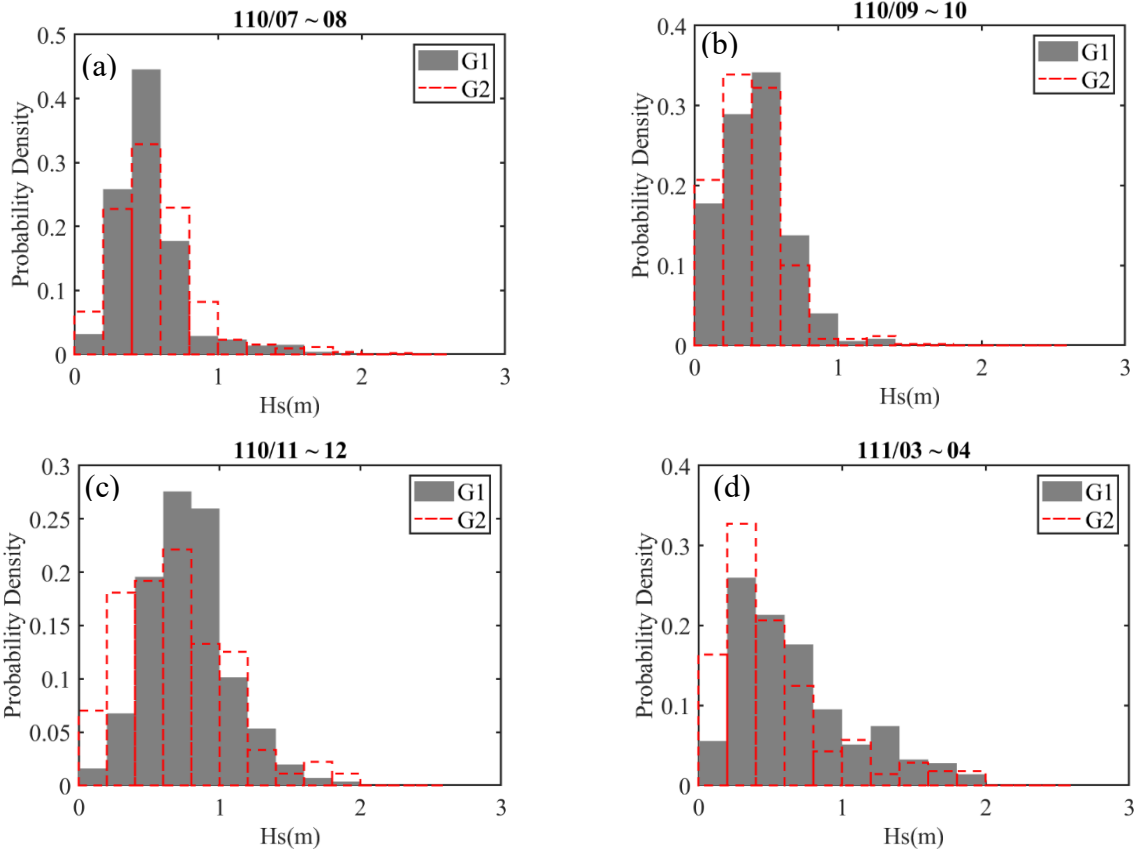


圖 91、G1、G2 區四個同時段示性波高統計圖。

(a)第一次 (b) 第二次 (c) 第三次 (d) 第四次

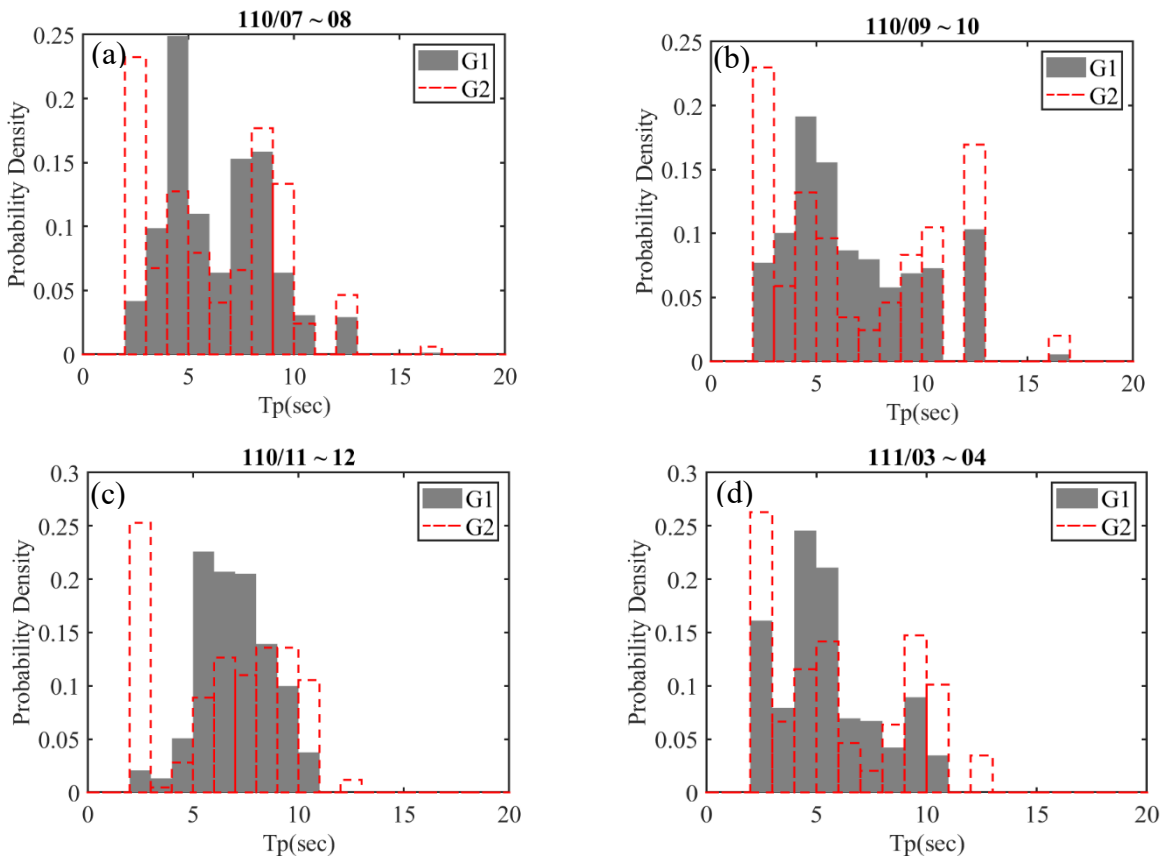


圖 92、G1、G2 區四個同時段尖峰週期統計圖。

(a)第一次 (b) 第二次 (c) 第三次 (d) 第四次

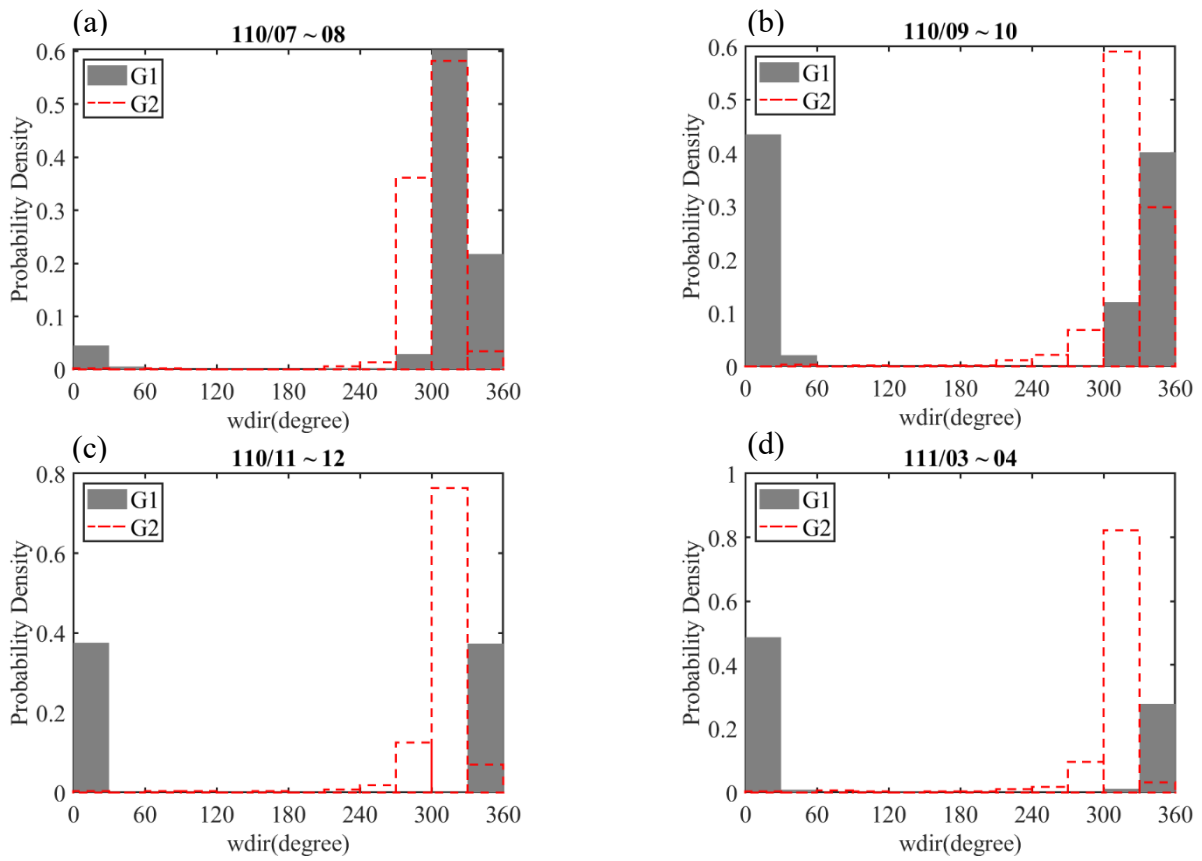


圖 93、G1、G2 區四個同時段波浪方向(來向)統計圖。
 (a)第一次 (b) 第二次 (c) 第三次 (d) 第四次

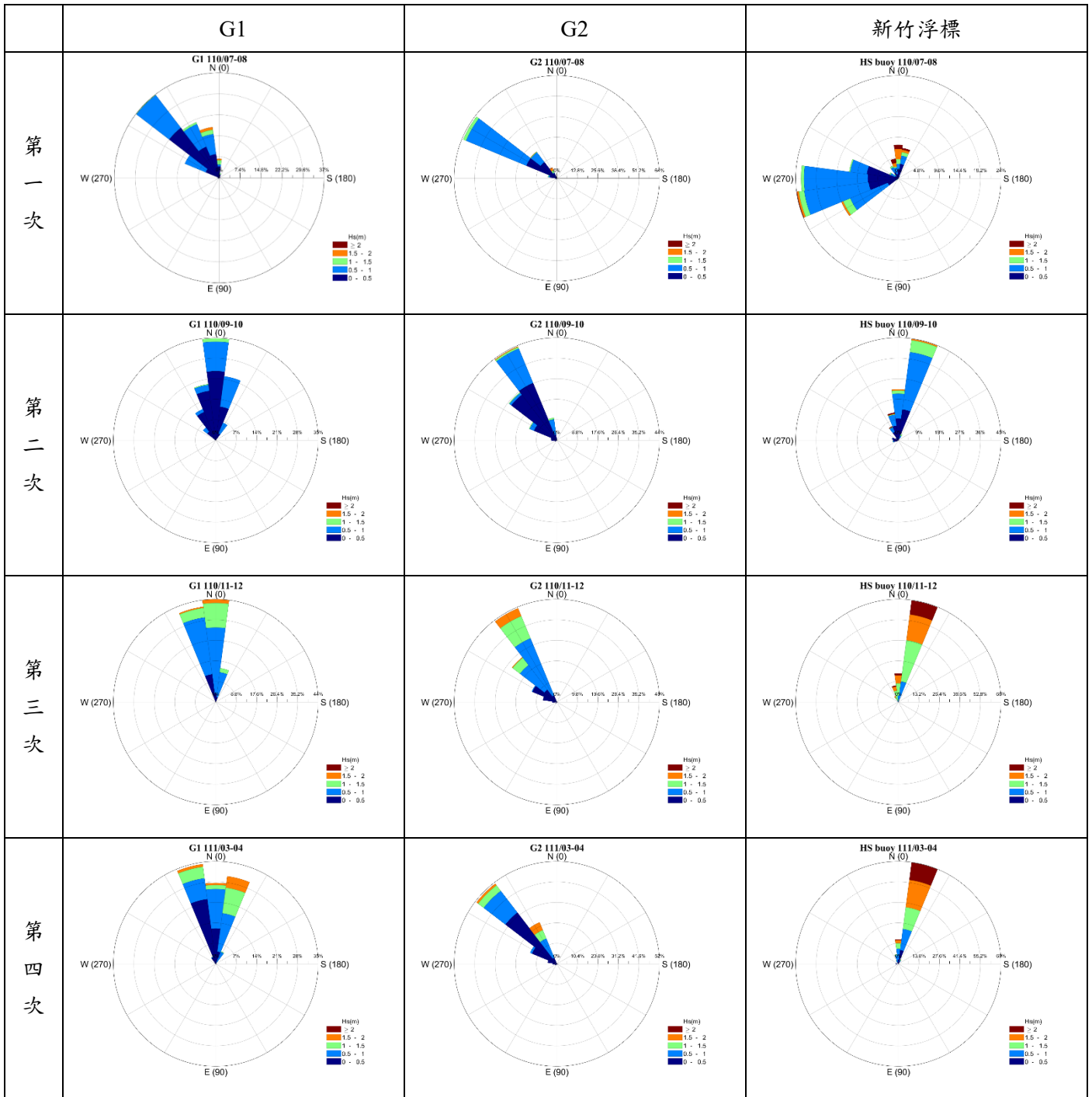


圖 94、G1、G2 區及新竹浮標四個同時段波高波向玫瑰圖。

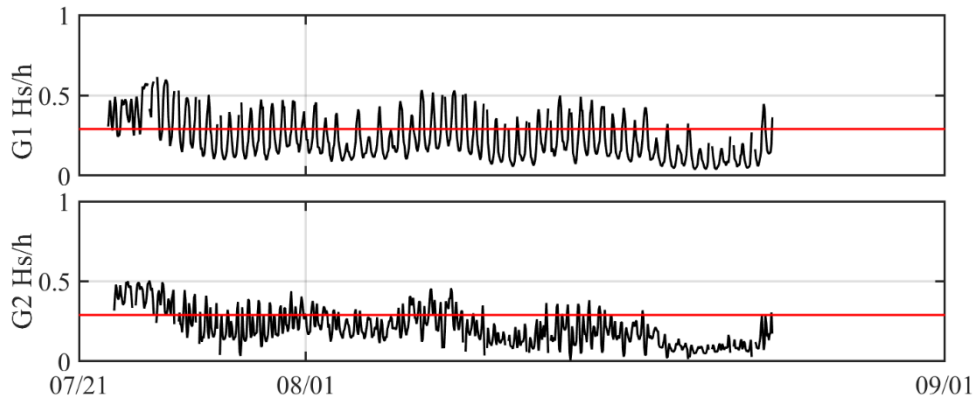


圖 95、第一次 G1、G2 區同時段碎波指標時序列圖。紅線為根據[林則名, 2013]文中定義在藻礁區碎波指標完全無碎波現象的指標為 0.29

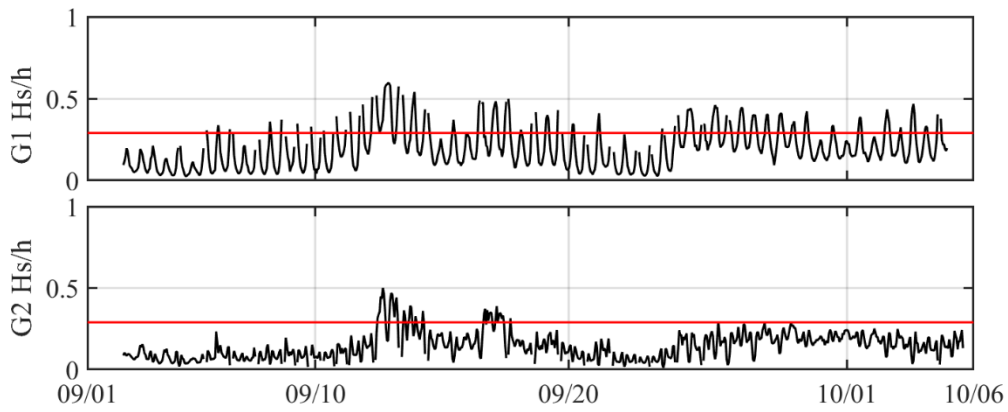


圖 96、第二次 G1、G2 區同時段碎波指標時序列圖。紅線為根據[林則名, 2013]文中定義在藻礁區碎波指標完全無碎波現象的指標為 0.29

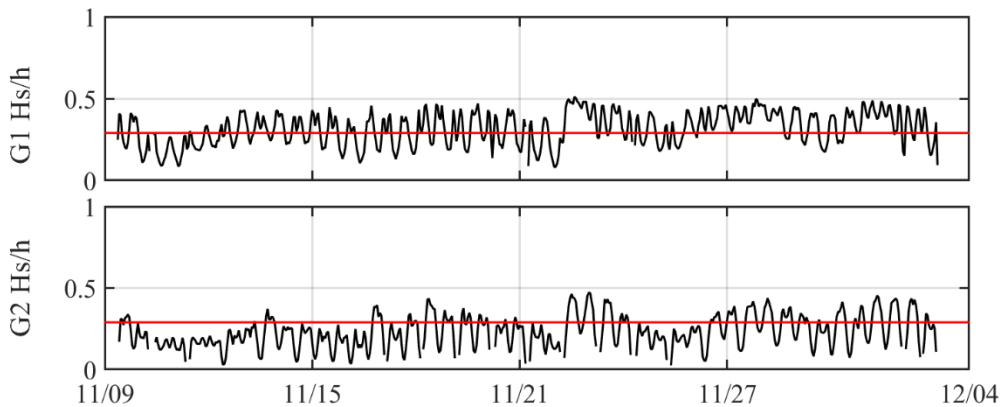


圖 97、第三次 G1、G2 區同時段碎波指標時序列圖。紅線為根據[林則名, 2013]文中定義在藻礁區碎波指標完全無碎波現象的指標為 0.29

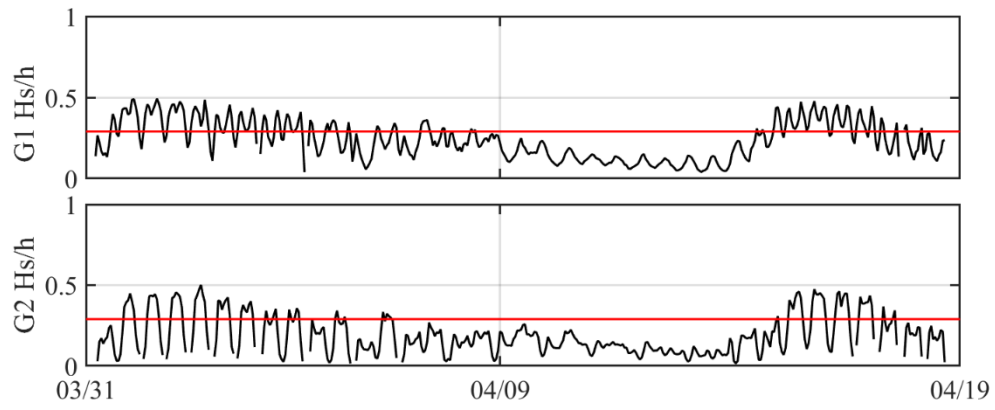


圖 98、第四次 G1、G2 區同時段碎波指標時序列圖。紅線為根據[林則名, 2013]文中定義在藻礁區碎波指標完全無碎波現象的指標為 0.29

二、海岸流特性

圖 99~圖 102 為 G1、G2 區四個同時段的流速大小時序列圖，並將流速進行統計，統計結果如圖 103 所示。由上述資料可發現 G1、G2 區流速大小大致無異。圖 104 為四個同時段的流速流向玫瑰圖，由圖上可發現 G2 區流向及流速分布明顯比 G1 區複雜，應該是受到結構物的影響所導致，潮流受突堤的結構物作用影響而產生流速與流向的轉變。另外也可發現，G1、G2 區皆有受到季風所影響，使得在夏季及冬季分別往東北向及西南向的海流有增強的趨勢。

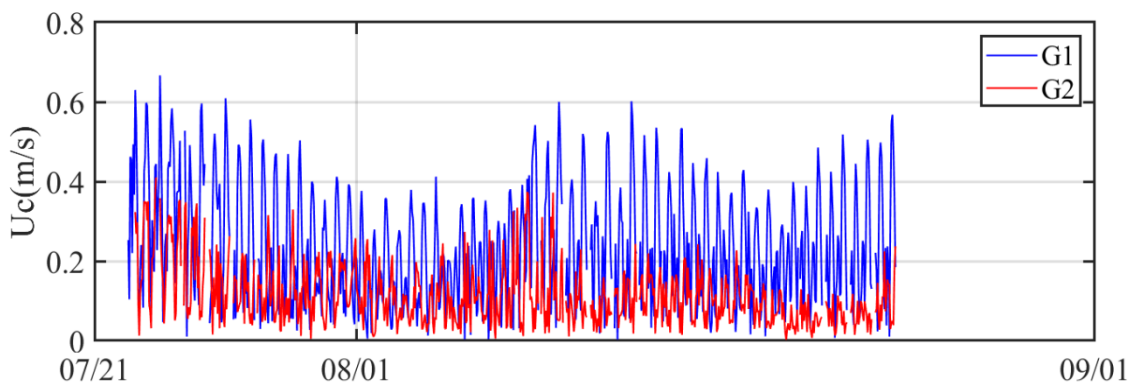


圖 99、第一次 G1、G2 區同時段流速大小比較圖

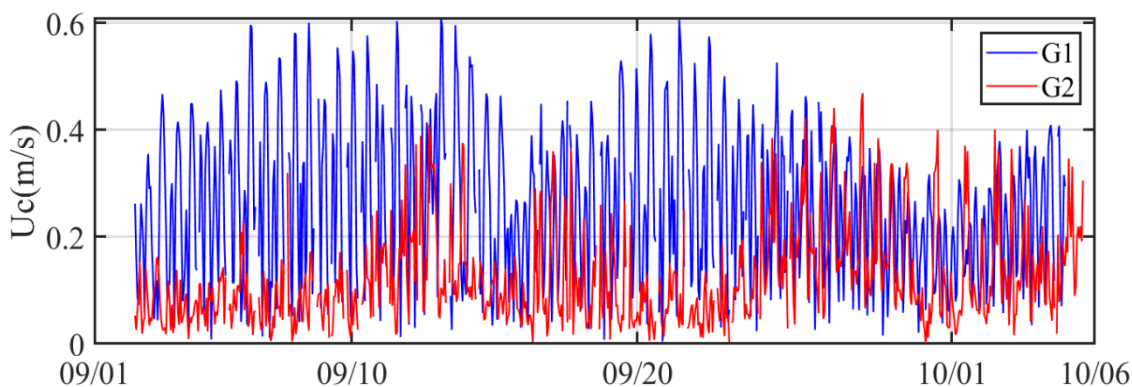


圖 100、第二次 G1、G2 區同時段流速大小比較圖

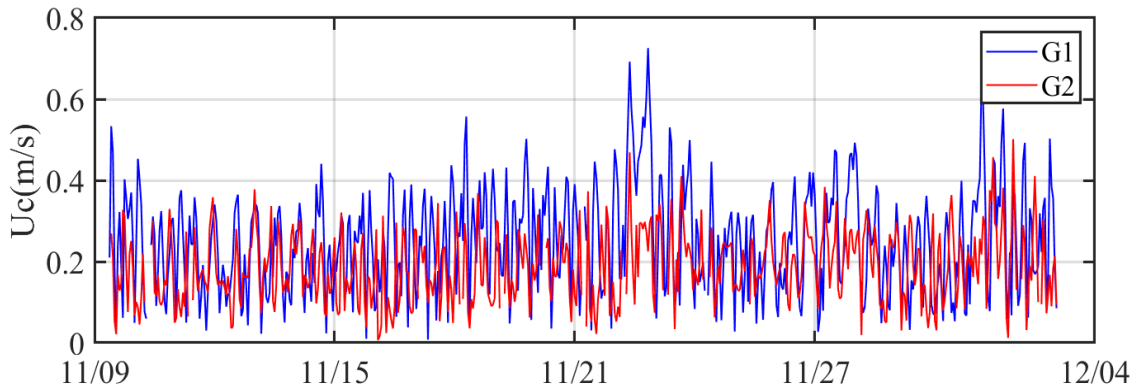


圖 101、第三次 G1、G2 區同時段流速大小比較圖

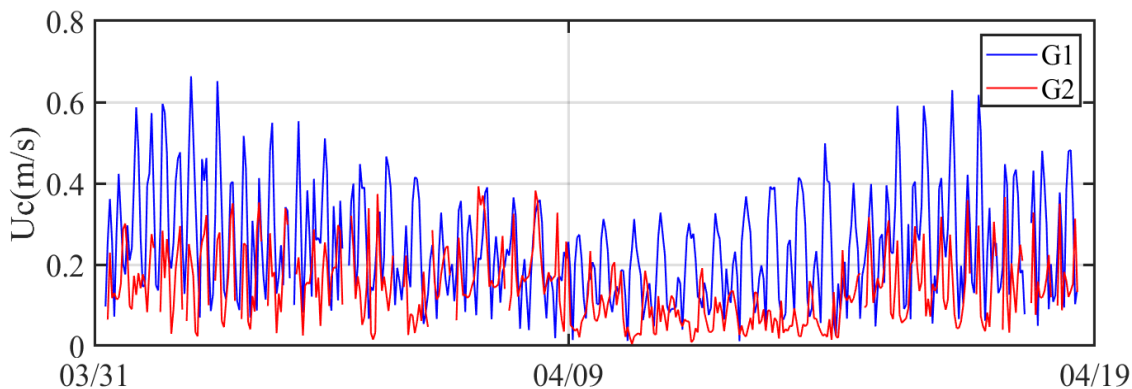


圖 102、第四次 G1、G2 區同時段流速大小比較圖

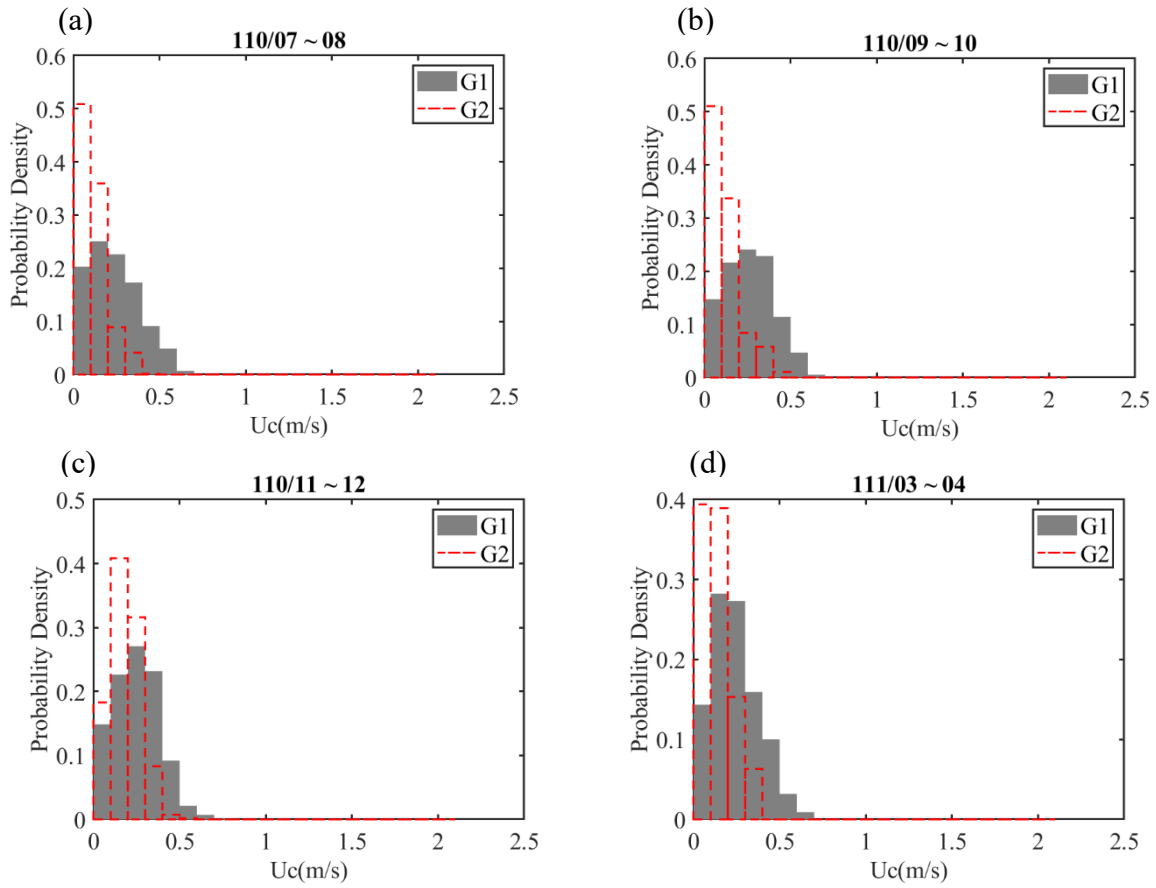


圖 103、G1、G2 區四個同時段流速大小統計圖
 (a)第一次 (b) 第二次 (c) 第三次 (d) 第四次

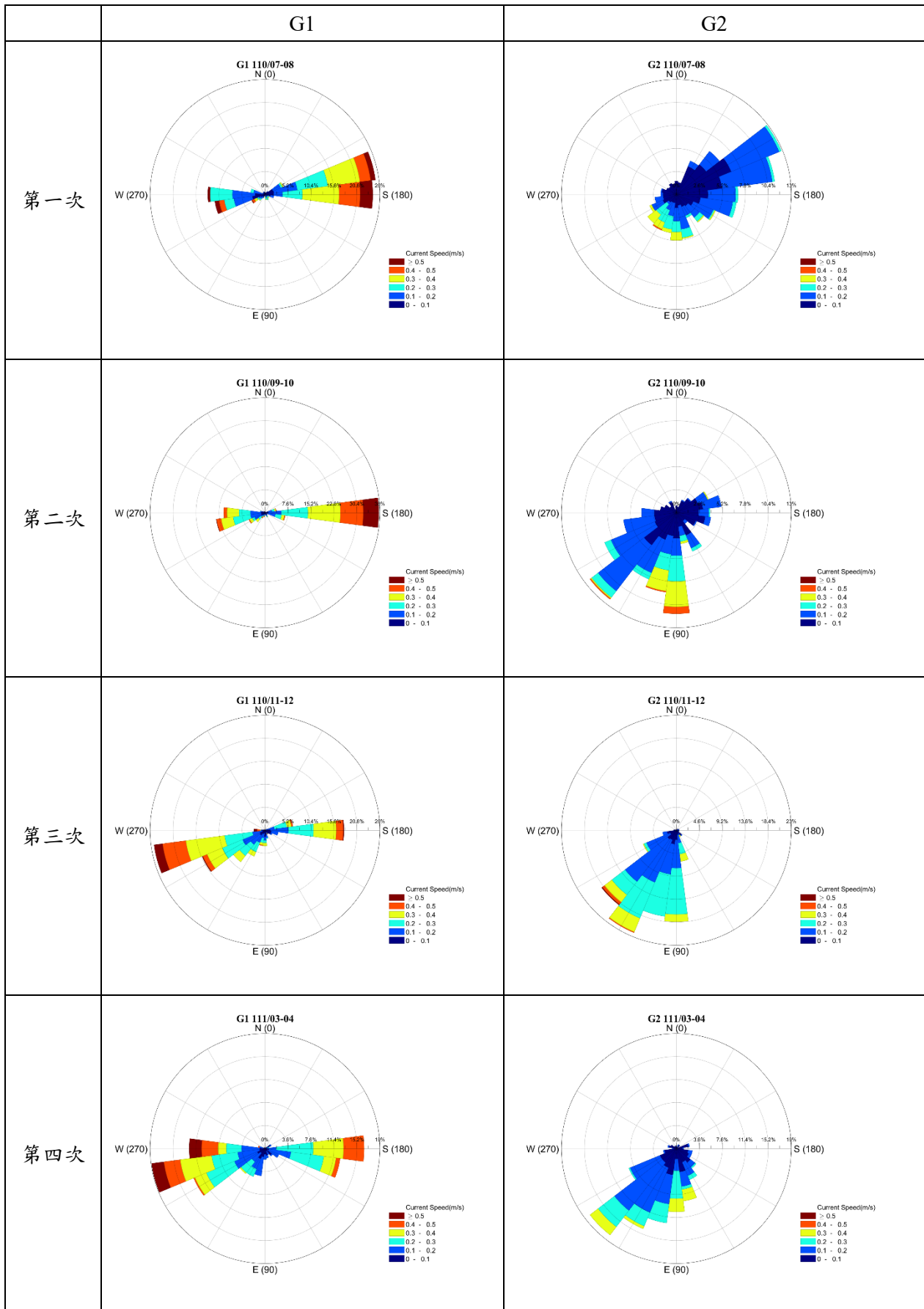


圖 104、G1、G2 區四個同時段流速流向玫瑰圖

六、漂沙現場調查

本工作項目需要進行學理性的統整分析，包括漂沙作用營力特性分析、漂沙啟動條件及沉降條件等調查分析成果，並進行報告彙整與論述。調查項目包括(1)近岸流速剖面、(2)懸浮漂沙濃度垂直分佈、(3)懸浮漂沙粒徑、(4)覆沙底質粒徑調查。視調查方法，佐以現場率定、採樣、驗證的程序進行之。漂沙機制的調查包含紊流、懸浮漂沙粒徑、懸浮濃度垂直剖面、覆沙底質粒徑調查與分析，調查設備、點位與頻率如下所示。

6.1 調查設備、點位與頻率

6.1.1 調查設備

一、近岸流速剖面

在海岸邊的流動包含各種不同的尺度的水體運動，包含潮流、波浪、紊流等不同大小的水體運動。在物理上，要探討漂沙的機制，必須使用可以量測到相等於漂沙尺度的調查設備；在學理上，漂沙乃由紊流直接驅動，因此本計畫使用可以測量到紊流的高頻流速儀來進行調查。除此之外，本計畫採用的最先進的五音束整合式潮波流剖面儀也可以利用來探討高頻紊流的特性，之後有機會可以繼續進行資料分析，將兩種設備的結果加以整合利用。

本計畫紊流剖面的調查將採用高頻單點聲波式杜普勒流速計(Acoustic Doppler Velocimeter, ADV)，儀器分為兩個部分，一為探針探測硬體，另一為訊號處理硬體，並在儀器防水殼裡面配有自記式電源供應之電池。探測方式是由探頭射出高頻聲波，射出距探頭 5 - 18 公分擊到 2 立方公分的取樣體積後，反射到三軸接收端並加以運算三個向量之速度、訊噪比、相關係數等其他物理海洋訊號，經訊號處理硬體可以將向量轉換全球座標系統，並記錄之。根據 Z C Huang [2015]及 Z C Huang and Tsai [2013]等人的珊瑚礁及藻礁現場海岸海流觀測，採用 16Hz 即可以測量到小尺度的紊流。儀器利用杜普勒原理進去偵測，即利用聲波頻率的改變來探測出水體裡面的流速。

本計畫已於 G1 區現場佈放一套高頻流速儀陣列，垂直 4 點，共 4 組高頻單點聲波式杜普勒流速計(ADV)以底部定點錨定式進行調查，現場儀器佈放照片如圖 105 所示。其陣列垂直高度示意圖如圖 106 所示，由高到低分別為離地 80cm、55cm、30cm、15cm。



圖 105、高頻單點聲波式杜普勒流速計實景照片

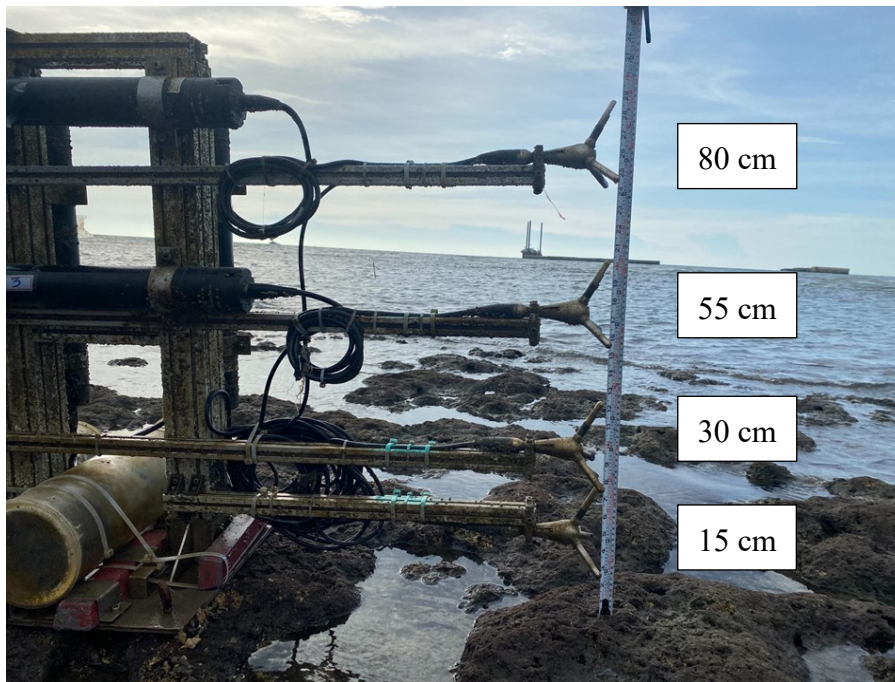


圖 106、高頻流速儀陣列探頭高度照片

二、懸浮漂沙濃度垂直分佈

本計畫懸浮漂沙濃度的調查設備，採用美國 Campbell Scientific Inc. (CSI) 公司生產的光學濁度計 (Optical Backscatter Sensor, OBS)。光學濁度儀全長約 14.1cm，直徑約 2.5cm，儀器前端有一量測窗，進行量測時會發射一近紅外光，藉由接收流體中懸浮微粒反射光訊號強度來量測流體濁度大小。儀器所發出之近紅外光波長為 $850\pm 5\text{ nm}$ ，取樣頻率最大可設定為 10Hz。

光學濁度計需利用現場取得的懸浮漂沙進行率定，可以在取得現場的海水樣本後，依照環保署所公告之水中總溶解固體及懸浮固體檢測方法(NIEA W210.58A)來求取濃度，其方法概要為將攪拌均勻之水樣以一已知重量之玻璃纖維濾片過濾，濾片移入 103~105°C 烘箱中乾燥至恆重，其所增加之重量即為懸浮固體重。其詳細步驟及計算公式如下所示：

1. 玻璃纖維濾片之準備：將濾片皺面朝上鋪於過濾裝置上，打開抽氣裝置，連續各以 20 mL 試劑水沖洗 3 次，繼續抽氣至除去所有之水分。將濾片取下置於圓盤上，移入烘箱中以 103~105°C 烘乾 1 小時，再將之取出移入乾燥器中冷卻，待其恆重後加以稱重。重複上述烘乾、冷卻、乾燥、稱重之步驟，直至前後兩次之重量差在 0.5 mg 範圍內。將含濾片之圓盤保存於乾燥器內備用。
2. 濾片及樣品量之選擇：樣品量以能獲得 2.5 至 200 mg 間之固體重，如固體含量太低則可增加樣品體積至 1L 為止。若過濾時間超過 10 分鐘以上，則可加大濾片之尺寸或減少樣品之體積。
3. 樣品分析：將已稱重之濾片裝於過濾裝置上，以少量的試劑水將濾片定位。樣品移取過程中須以磁石攪勻，以移液管或量筒量取定量之水樣通過過濾裝置。分別以至少 20mL 試劑水沖洗濾片 3 次，待洗液流盡後繼續抽氣約 3 分鐘。將濾片取下移入圓盤中，放入烘箱以 103~105°C 烘乾至少 1 小時後，將之移入乾燥器中冷卻後稱重。重複前述烘乾、冷卻、乾燥及稱重步驟，直至前後兩次之重量差在 0.5 mg 範圍內。

$$\text{懸浮固體 (mg/L)} = \frac{(\text{懸浮固體及濾片重 (g)} - \text{濾片重 (g)}) \times 1000}{\text{樣品體積 (L)}}$$

懸浮漂沙濃度測量率定：本計畫使用的光學濁度計在進行觀測前後皆以標準化的程序進行率定。雖然光學濁度計和懸浮漂沙濃度有極佳的線性關係，但是因為濁度容易受到粒徑特性的影響而改變，因此懸浮漂沙濃度的率定必須在光學濁度計現場觀測的點位附近，進行含有當地懸浮固體水樣的採集，再加以率定 [Downing, 2006]。率定

使用的水槽必須驗證過，證實為混攪均勻、不受氣泡等影響的水槽中進行率定，方能得到好結果(圖 107)。在水槽中率定過程中，每一個率定值也必須利用烘乾秤重法來獲取真實的懸浮漂沙濃度值，因濁度與懸浮漂沙濃度有極佳的線性關係，因此在獲取多點不同濃度的率定曲線後，可以有效推估懸浮漂沙濃度。本計畫在佈放光學濁度計附近的海域位置進行水樣的採集來率定光學濁度計，第一次率定結果如圖 108 所示，第一次率定的結果如表 20 所示。

懸浮漂沙重量濃度調查，使用四個光學濁度計進行調查，為了利用高頻流速儀的高頻聲波與懸浮漂沙濃度的關係[Ha *et al.*, 2009]獲得更多垂直點位的濃度剖面資料，故將光學濁度計(OBS)與高頻單點聲波式杜普勒流速計(ADV)架設在同一組設備架上，現場儀器佈放照片如圖 109 所示。其陣列垂直高度示意圖如圖 110 所示，由高到低分別為離地 80cm、55cm、30cm、15cm。第一次現場調查時，因不明原因使離地 80cm 的光學濁度計設備異常，故無離地 80cm 的光學濁度計資料。

表 20、第一次光學濁度計率定公式彙整表

SSC= A X+ B 單位: SSC: (mg / L), X: mV						
儀器編號	S10343(離地 15cm)		S9778(離地 30cm)		T9519(離地 55cm)	
係數	A	B	A	B	A	B
		0.1461	8.5406	0.1416	8.4329	0.1414

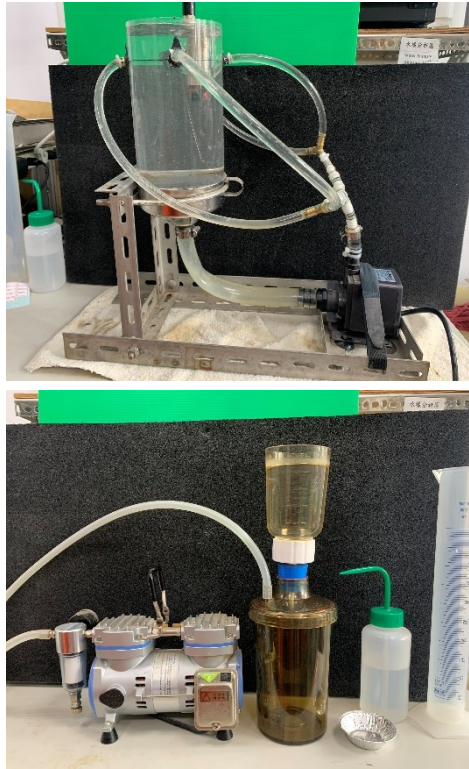


圖 107 光學濁度計率定水槽、烘乾秤重設備實景照片

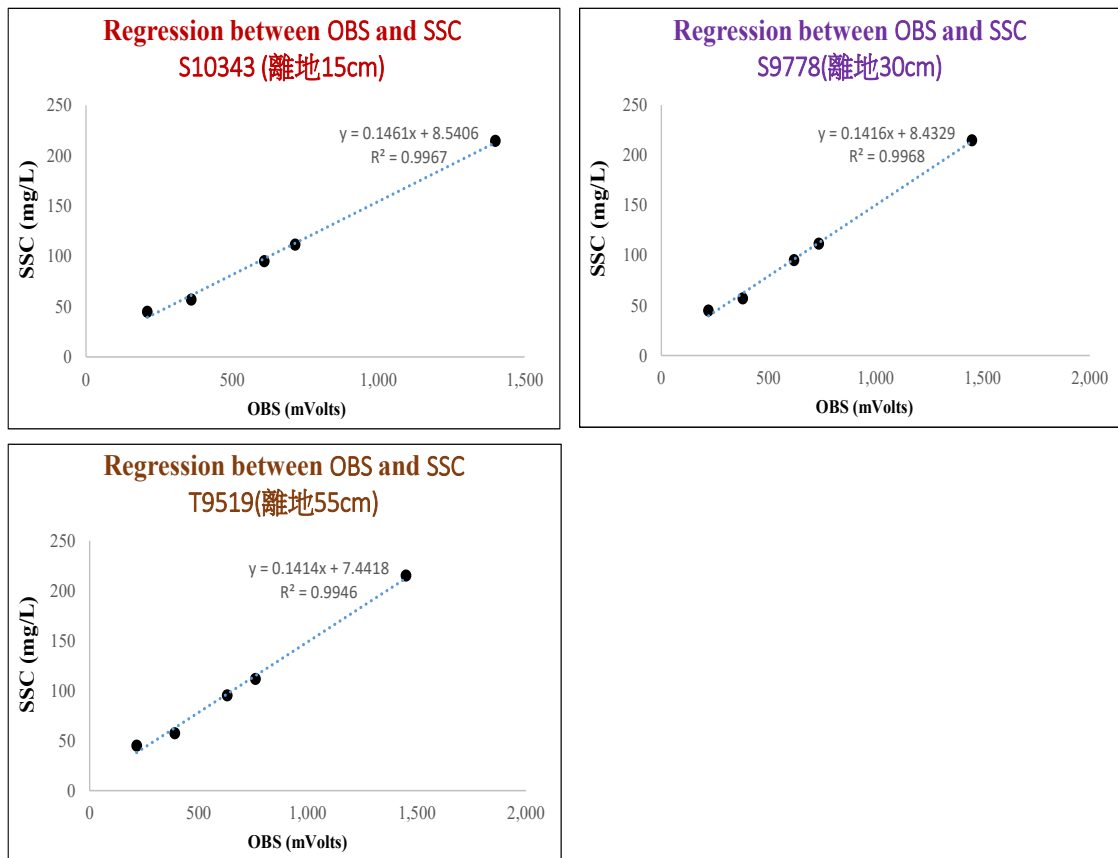


圖 108、第一次光學濁度計率定結果圖



圖 109、光學濁度計陣列實景照片

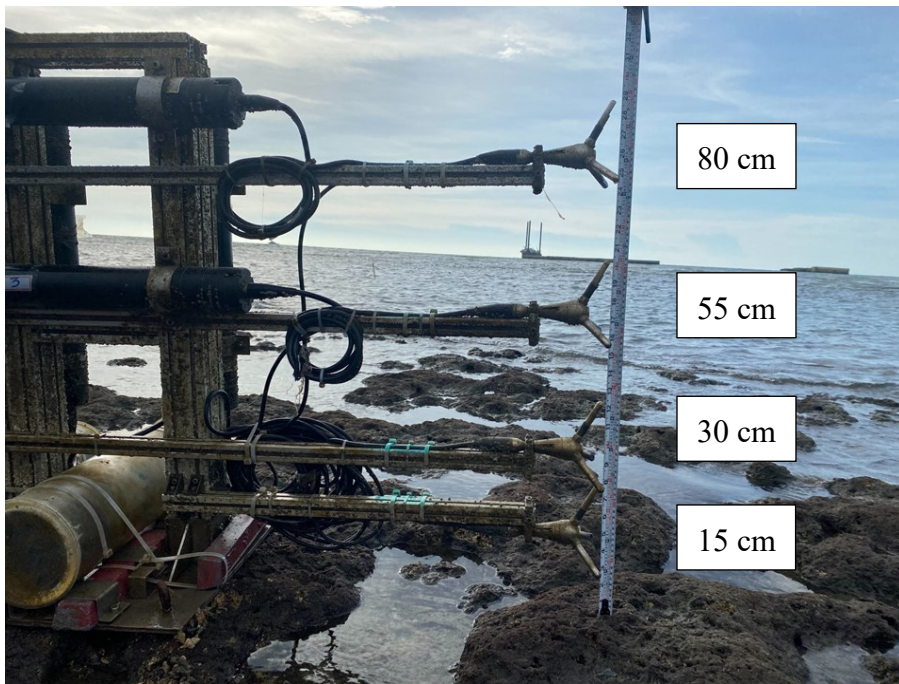


圖 110、光學濁度計陣列探頭高度示意圖

三、懸浮漂沙粒徑

懸浮漂沙濃度還有粒徑會受到作用力的影響而改變測量的值，最好的方式乃直接在現場測量。本計畫懸浮漂沙的粒徑調查將採用現場雷射粒徑分析儀，可以直接測量到海中的懸浮漂沙粒徑。粒徑分析儀主要基於光受顆粒影響的背向散射原理，利用雷射光受到水中顆粒產生的散射行為來測量的水中懸浮海沙的粒徑大小。本計畫懸浮載漂沙粒徑(μm)的調查，乃採用現場雷射粒徑儀(LISST 200X)進行調查，此雷射粒徑分析儀(LISST 200X)乃是由美國 SEQUOIA 公司所生產更新前一代的最新產品，儀器如圖 111 所示。雷射粒徑儀(LISST 200X) 是一款水下型的基於雷射散射原理來量測懸浮粒徑，能量測粒徑範圍從 1 到 500 微米，最大深度能達到 600 公尺。現場雷射粒徑分析儀(LISST 200X)佈放照片如圖 111 所示。其陣列垂直高度示意圖如圖 112 所示，由高到低分別為離地 40 cm、20 cm。



圖 111、現場雷射粒徑分析儀(LISST 200X)儀器設備照片。

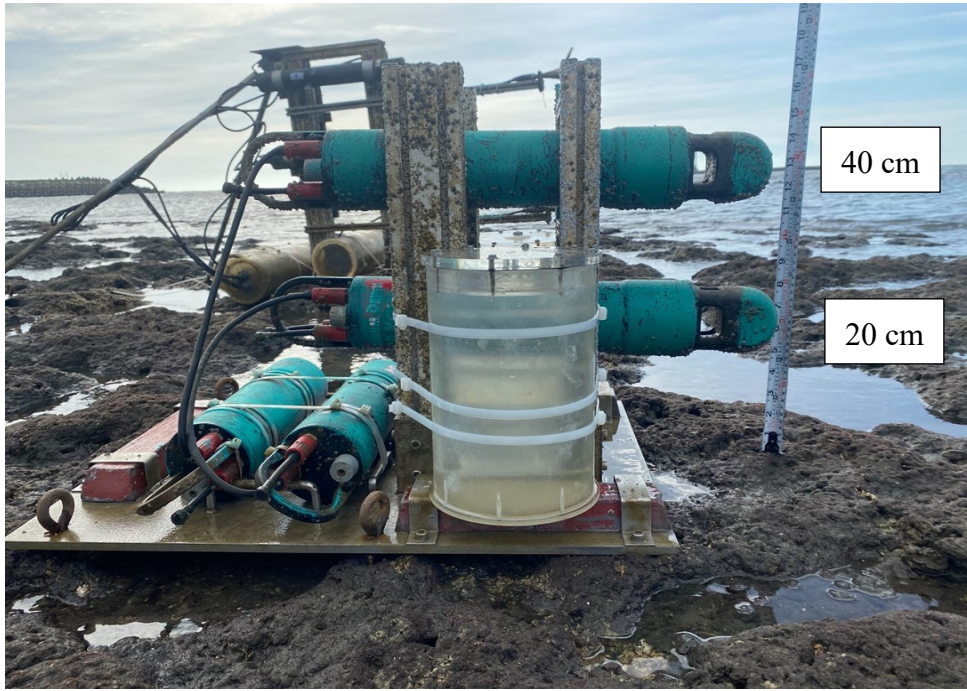


圖 112、現場雷射粒徑分析儀陣列(LISST 200X)探頭高度示意圖

6.1.2 調查點位與頻率

本計畫預計於計畫期間在 G1 區總共進行 3 次於計畫期間內，在冬、夏季及颱風侵襲期間各進行 1 次，共至少進行 3 次的現場調查，每次調查至少須要連續 7 天以上的逐時調查。



本團隊於 110 年 7 月 22 日至 7 月 24 日，於 G1 區佈放一組高頻流速儀陣列(ADV)加光學濁度計陣列架(OBS)及一組現場雷射粒徑儀陣列架(LISST)，調查設備位置圖如圖 113 所示。並於 110 年 8 月 24 日將設備帶回實驗室進行儀器維護及資料下載。現場照片如圖 114 所示。本團隊並於 111 年 1 月 7 日進行第二次漂沙現場調查，其現場照片如圖 115 所示。並額外新增一組潮波流儀(Nortek Signature1000 ADCP)，希望能更深入的探討高頻紊流的特性。本團隊於 111 年 1 月 19 日進行第三次漂沙現場調查，其現場照片如圖 116 所示，因前兩次調查時皆有儀器損壞，故於第三次調查起約每 7 日前往現場進行儀器維護，各次的儀器維護如圖 114~ 圖 119 所示，並各次調查頻率及調查設備彙整於表 21。

本團隊於計畫期間共進行 7 次現場調查，於 G1 區佈放一組高頻流速儀陣列(ADV)加光學濁度計陣列架(OBS)及一組現場雷射粒徑儀陣列架(LISST)，並於第 2 次現場調查新增一組潮波流儀(Nortek Signature1000 ADCP)，第 3 次現場調查再新增一組潮波流儀(Nortek Signature1000 ADCP)，希望能更深入的探討高頻紊流的特性。調查設備位置如圖 113 所示。

表 21、漂沙現場調查設備彙整表

	調查設備	現場設備組數	資料能用組數	佈放時間
第一次	高頻流速儀陣列(ADV)	4	0	110/7/24 ~ 110/8/24 (約 31 天)
	光學濁度計(OBS)	4	3	
	現場雷射粒徑儀(Lisst)	2	2	
第二次	高頻流速儀陣列(ADV)	4	3	111/1/7 ~ 111/1/18 (約 12 天)
	光學濁度計(OBS)	4	4	
	現場雷射粒徑儀(Lisst)	2	2	
	Down-looking ADCP	1	1	
第三次	高頻流速儀陣列(ADV)	4	3	111/1/19 ~ 111/2/17 (約 30 天)
	光學濁度計(OBS)	4	4	
	現場雷射粒徑儀(Lisst)	2	2	
	Down-looking ADCP	1	1	
	Up-looking ADCP	1	1	
第四次	高頻流速儀陣列(ADV)	4	4	111/4/20 ~ 111/5/4 (約 14 天)
	光學濁度計(OBS)	4	4	
	現場雷射粒徑儀(Lisst)	2	2	
	Down-looking ADCP	1	1	
	Up-looking ADCP	1	1	
第五次	高頻流速儀陣列(ADV)	4	4	111/5/4 ~ 111/5/13 (約 9 天)
	光學濁度計(OBS)	4	4	
	現場雷射粒徑儀(Lisst)	2	2	
	Down-looking ADCP	1	1	
	Up-looking ADCP	1	1	
第六次	高頻流速儀陣列(ADV)	4	4	111/5/13 ~ 111/5/27 (約 15 天)
	光學濁度計(OBS)	4	4	
	現場雷射粒徑儀(Lisst)	2	2	
	Down-looking ADCP	1	1	
	Up-looking ADCP	1	1	

表 22、中油公司第三座 LNG 接收站施工進度彙整表

漂沙調查時間	工程進度	施工空拍圖
<p>第一次 (110/7~110/8)</p>	<p>已完成北防波堤#1~#19 沉箱拖放定位。 正進行棧橋主體工程(外套鋼管打設、基 樁)施作。(110.8.15)</p>	
<p>第二至第三次 (111/1~111/2)</p>	<p>已完成北防波堤#1~#22 沉箱拖放定位。 正進行 P3 樁帽圍堰底板銲道補強、P1 樁帽圍堰第二層側模地面預組等工項。 (111.2.11)</p>	
<p>第四至第六次 (111/4~111/5)</p>	<p>已完成北防波堤#1~#28 沉箱拖放定位。 正進行 P1 基礎頂層鋼筋組立等工項。 (111.05.19)</p>	

資料來源:台灣中油股份有限公司第三座 LNG 接收站施工月報

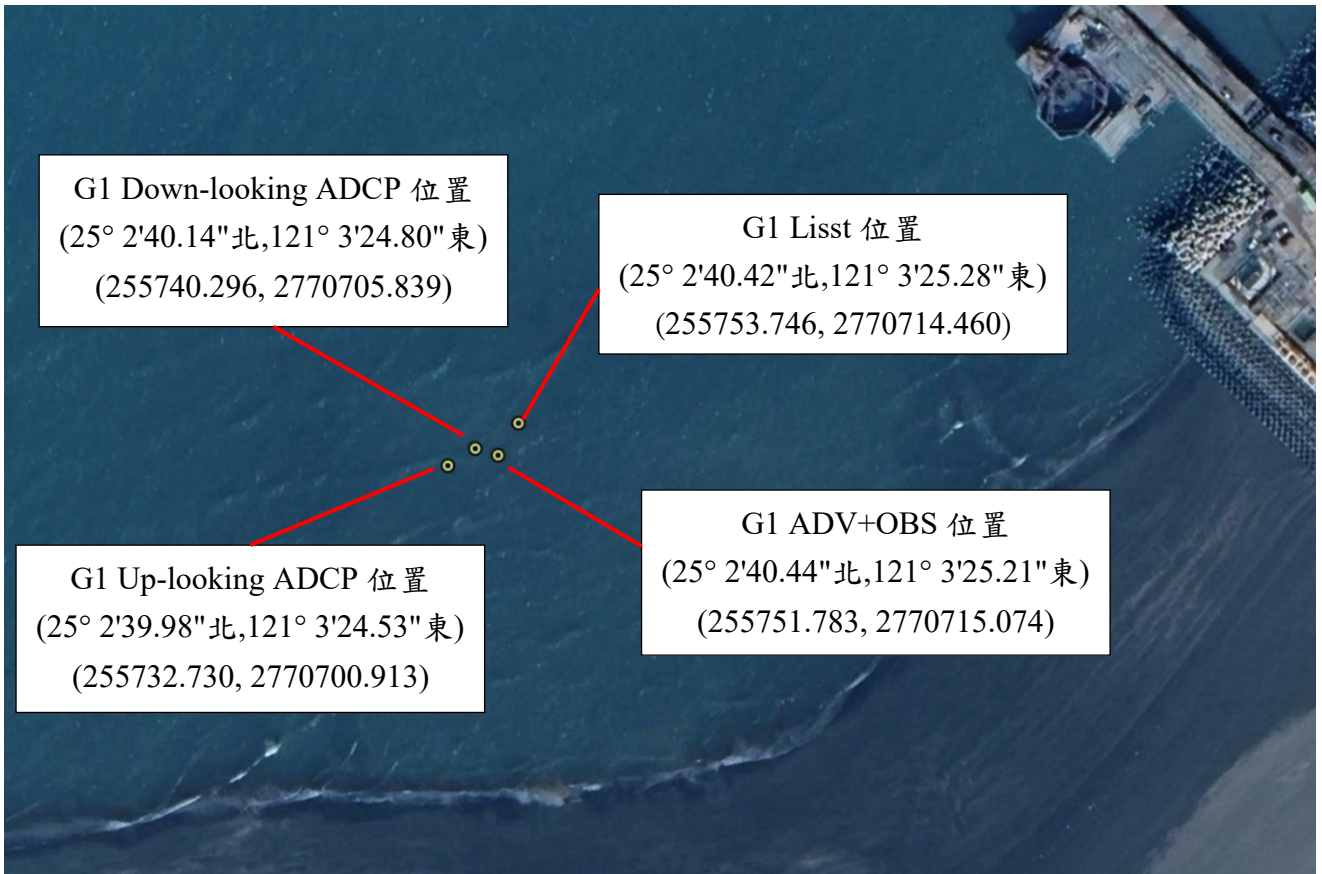


圖 113、漂沙現場調查設備位置圖。



圖 114、110年7月23日~7月24日於G1區架設設備現場照片
(上:現場作業照、中:ADV+OBS設備照、下:Lisst設備照)



圖 115、111 年 1 月 7 日於 G1 區架設設備現場照片
(上:ADV+OBS 設備照、中:Lisst 設備照、下:Down-looking ADCP 設備照)



圖 116、111 年 1 月 19 日於 G1 區架設設備現場照片
 (左上: Up-looking ADCP 設備照、左下: ADV+OBS 設備照、右上: Down-looking ADCP 設備照、右下: Lisst 設備照)



圖 117、111 年 4 月 20 日於 G1 區架設設備現場照片
 (左上: Up-looking ADCP 設備照、左下: ADV+OBS 設備照、右上: Down-looking
 ADCP 設備照、右下: Lisst 設備照)



圖 118、111 年 5 月 4 日於 G1 區架設設備現場照片
 (左上: Up-looking ADCP 設備照、左下: ADV+OBS 設備照、右上: Down-looking ADCP 設備照、右下: Lisst 設備照)

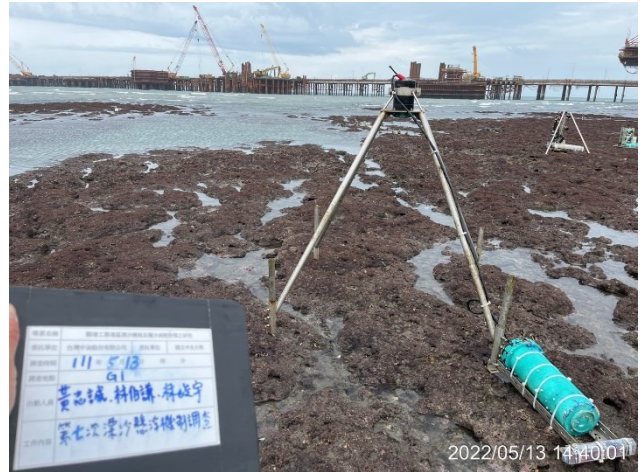


圖 119、111 年 5 月 13 日於 G1 區架設設備現場照片
 (左上: Up-looking ADCP 設備照、左下: ADV+OBS 設備照、右上: Down-looking ADCP 設備照、右下: Lissat 設備照)

6.2 漂沙調查成果

6.2.1 第一次成果

一、流速剖面

利用 Nortek 聲學多普勒測速儀 (ADV) 來調查流速分量，其中向離岸方向速度為 u 、沿岸方向速度為 v 、垂直方向速度為 w 利用相空間 Goring Derek 和 Nikora Vladimir (2002) 的方法從 ADV 速度時間序列中去除尖峰(Spikes)。然後將速度旋轉到主要方向。圖 120a、b 和 c 顯示了 ADV 測量的結果，ADV 距底部的高度分別為 0.15、0.30 和 0.55 m。值得注意的是，ADV 4 (0.8 m) 因電池問題而失敗。三個 ADV 表明，沿岸速度 v 明顯大於向離岸分量 u 。在這裡， u 和 v 分量分別表示波浪和沿岸流方向。經檢視後，此次的 ADV 調查結果為錯誤的資料，原因為在設定時的最大流速區間的設定值過小，導致測量的結果為錯誤資料，此資料無法利用做更進一步的分析。

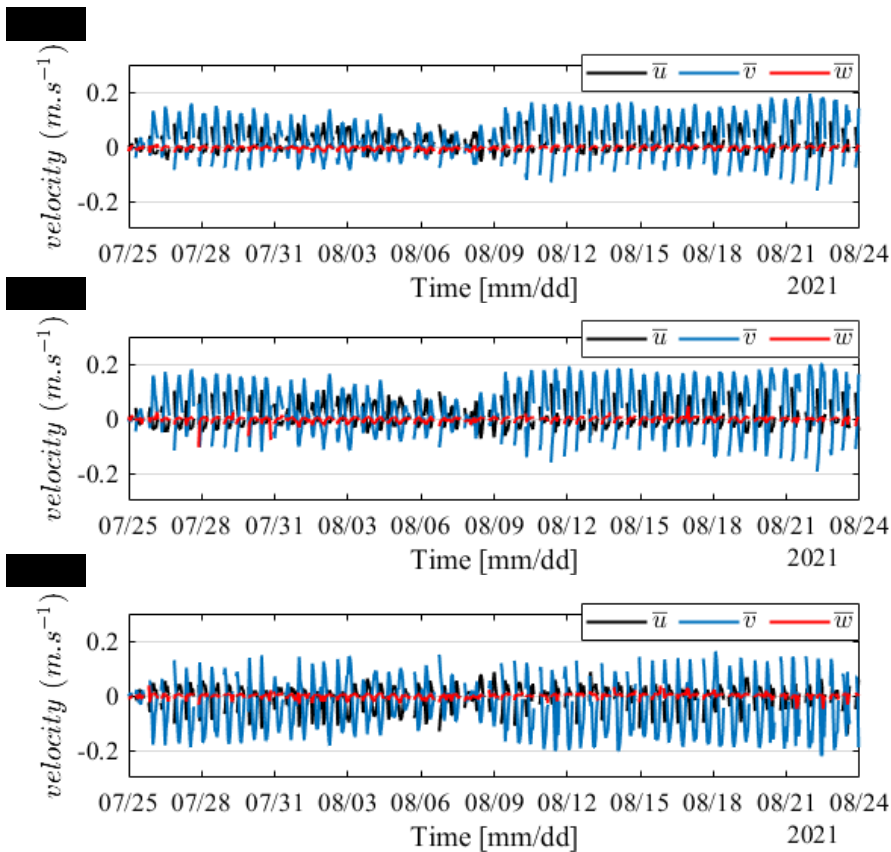


圖 120、三個 ADV 的速度分量 (u 、 v 和 w)。從上到下分別表示 (a) ADV 1、(b) ADV 2 和 (c) ADV 3。此次為錯誤的測量與調查。

二、懸浮漂沙質量濃度分佈

圖 121 顯示了在三個不同高度的懸浮漂沙質量濃度 (C_m) 的調查結果，包括 OBS 1 (0.15 m)、OBS 2 (0.30 m) 和 OBS 3 (0.55 m)。漂沙質量濃度的值在約為 10 至 500 mg/L 區間震盪，觀測期間的平均值為 110 mg/L，標準偏差為 73.5 mg/L。懸浮漂沙質量濃度在此三個不同高度的觀測值幾乎是相似的，沒有水層間上下濃度梯度的存在，顯示在淺水區的水體混合相當均勻。

7/23 至 7/25 明顯受到烟花颱風影響導致懸浮漂沙質量濃度 (C_m) 有明顯的峰值產生。因剪應力主要的來源有波浪、海流、波流交互作用等；淺水區的波浪效應最大，而影響波浪的參數又以波高為最重要，因此會讓懸浮漂沙濃度跟波高有較雷同的趨勢。另蒐集 G1 區潮波流儀波高時序列圖資料，如圖 122 所示，由時序列圖可發現懸浮漂沙質量濃度 (C_m) 與波高有相關的變化趨勢。

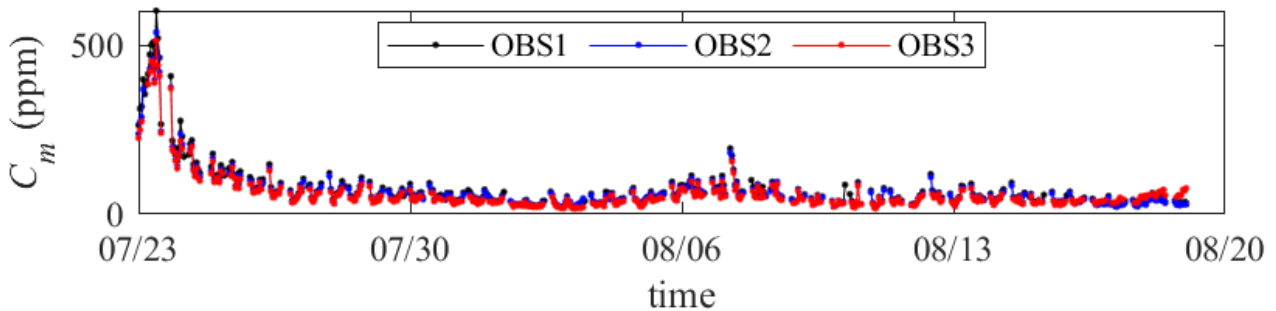


圖 121、第一次調查的懸浮漂沙濃度時序列圖。高度位置：OBS1(15 cm)、OBS2(30 cm)、OBS3(55 cm)。

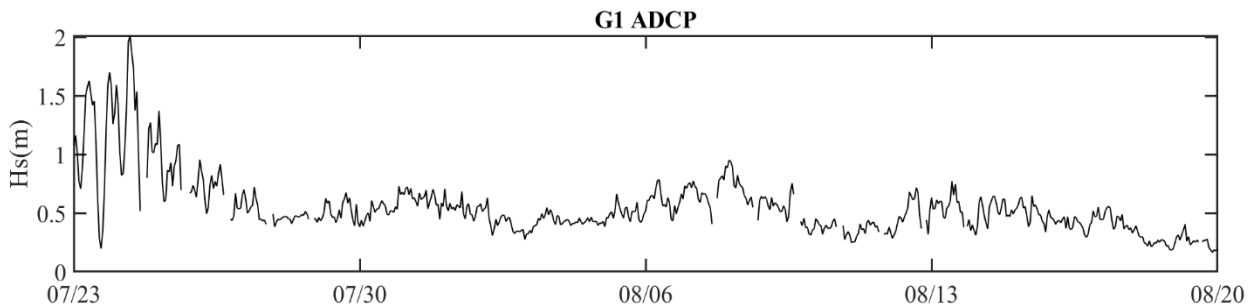


圖 122、第一次調查期間的 G1 區潮波流儀波高時序列圖。

表 23、烟花颱風影響時間表

颱風名稱	警報期間	颱風路徑圖
烟花 (IN-FA)	2021-07-21 20:30 2021-07-24 11:30	

資料來源:颱風資料庫

三、懸浮漂沙粒徑分佈

懸浮沉積物粒徑由兩個 LISST 測量。LISST1 和 LISST2 分別部署在底部上方 0.2 和 0.4 m 的高度。圖 124 顯示了水柱中懸浮沉積物的顆粒，本次調查中的懸浮泥沙粒徑以 D10、D50、D90 三個主要統計參數表示。D10 表示體積濃度累積量為 10% 對應的粒徑，D50 表示體積濃度累積量為 50% 對應的粒徑，而 D90 表示體積濃度累積量為 90% 對應的粒徑。

本次調查結果的中值粒徑 D50 範圍為 50–100 μm 。然而，這與 SSC 變化的趨勢相似，在最後幾天的測量中觀察到沉積物的粒徑較大，然後在調查結束時這些粒徑再次減小。

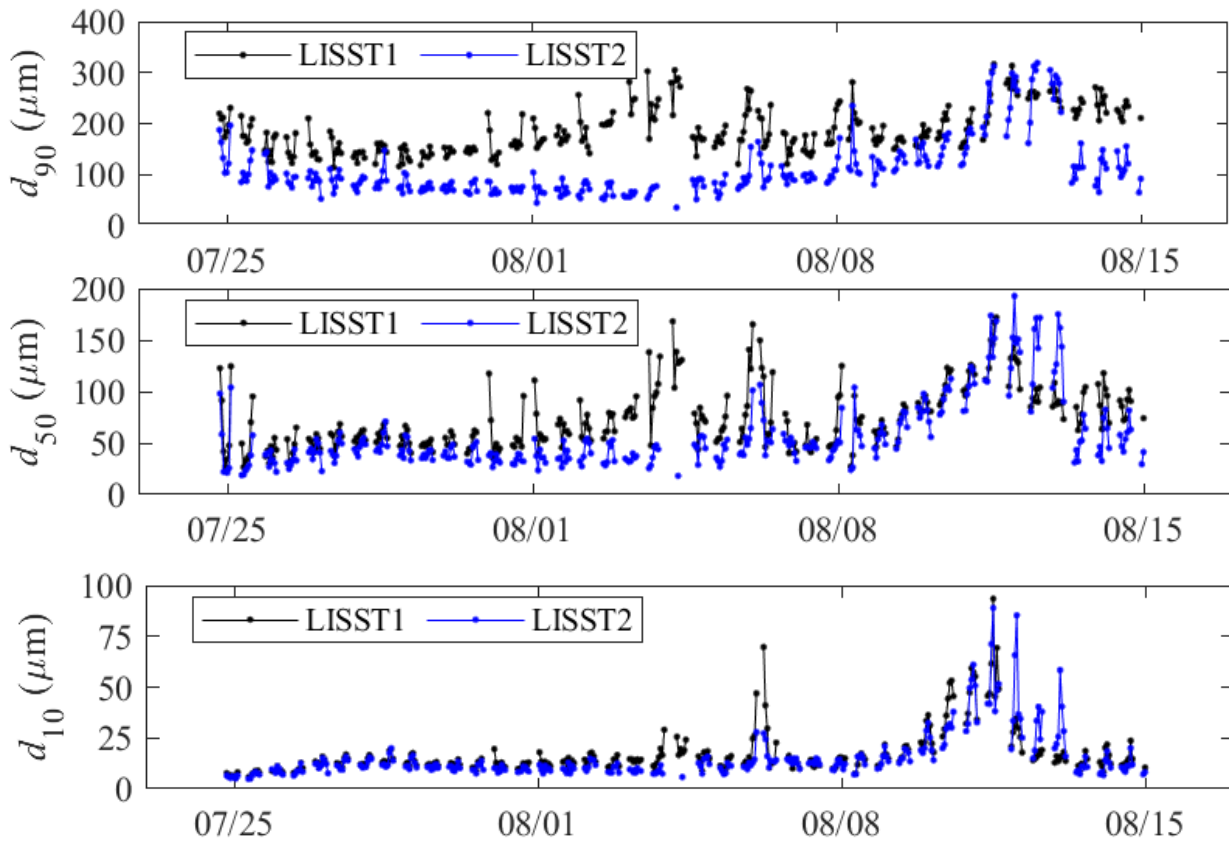


圖 123、第一次調查之懸浮漂沙粒徑分佈。高度位置：LISST1(20 cm)、LISST2(40 cm)。

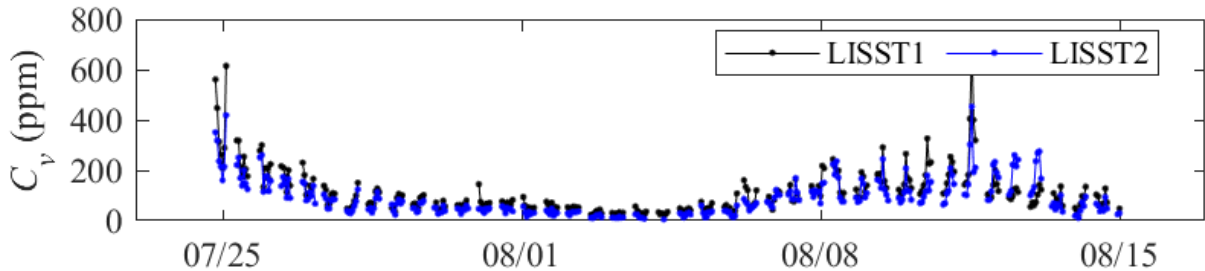


圖 124、第一次調查之懸浮漂沙體積濃度分佈。高度位置：LISST1(20 cm)、LISST2(40 cm)。

6.2.2 第二至三次成果

一、流速剖面

本計畫利用 Nortek 聲學多普勒測速儀 (ADV) 來調查流速分量，利用相空間 Goring Derek 和 Nikora Vladimir (2002) 的方法從 ADV 速度時間序列中去除尖峰 (Spikes) 後，並將原始笛卡兒座標系統 (Cartesian coordinate) 速度旋轉成向離岸方向，定義由正北方順時針旋轉 180 度為向岸方向流速 (u)，並依照右手定則，定義出沿岸方向流速 (v) 及垂直方向流速 (w)。

紊流通常以雷諾分離法來表示，也就是將水體瞬時流速 (\mathbf{u}) 分解為三項不同的速度項，平均流速 ($\bar{\mathbf{u}}$)、波浪引起的波引流速 wave-induced component ($\tilde{\mathbf{u}}$) 及紊流流速 turbulent component (\mathbf{u}')，其水體瞬時流速公式如下：

$$\mathbf{u} = \bar{\mathbf{u}} + \tilde{\mathbf{u}} \quad (\text{式 6.2.2-1})$$

而 $\mathbf{u} = (u, v, w)$ ， $\bar{\mathbf{u}} = (\bar{u}, \bar{v}, \bar{w})$ ， $\tilde{\mathbf{u}} = (\tilde{u}, \tilde{v}, \tilde{w})$ ， $\mathbf{u}' = (u', v', w')$ 。

在較低波浪強度與流速情況下，儀器雜訊可能會影響採樣頻率在 4Hz 以上的資料品質。為獲得最佳的紊流流速資料，將使用紊流頻譜中慣性次區 (inertial subrange) 的資料，把頻譜結果不在 1Hz 頻寬 (bandwidth) 內及對數斜率 (logarithmic slope) 不在 $-5/3 \pm 0.2$ 範圍內資料去除。將剩餘的資料進行 20 分鐘的平均計算出平均流速 ($\bar{\mathbf{u}}$)，並透過 [Shaw and Trowbridge, 2001] 的最小平方差分濾波方法 (adaptive-least-squares differencing filtering) 將波引流速 ($\tilde{\mathbf{u}}$) 及紊流流速 (\mathbf{u}') 分離出來。

這種濾波方法在兩組聲學多普勒測速儀 (ADV) 佈放距離遠大於擬序漩渦 (coherent eddies) 的長度尺度，即能最大限度減少紊流剪應力 (turbulent shear stress, TSS) 受到波偏差影響。本計畫 4 組佈放距離遠大於計算後的紊流積分尺度，四組 ADV 距底部的高度分別為 0.15、0.30、0.55 及 0.8 m。根據本團隊在其他區域進行紊流分離時發現總體平均法 (ensemble-averaging methods) 及相位平均法 (phase-averaging methods)，這種濾波技術大約存在 10–20% 偏差 [Na *et al.*, 2018; Scott *et al.*, 2005]。在雷諾應力 (Reynolds stress) 的推算及資料品質上，使用共頻譜 (cospectra) $u'w'$ 為向離岸分量和 $v'w'$ 為沿岸方向分量在 ogive 曲線測試 (ogive curve testing, OgT) 進行推算 [Feddersen and Williams, 2007; Shaw and Trowbridge, 2001]。在無因次積分共頻譜下利用 $v'w'$ 在 ogive 曲線測試進行推算， $Og_{v'w'}(f)$ 將定義如下 (利用 $u'w'$ 在 ogive 曲線測試進行推算公式與式 6.2.2-2 類似)：

$$Og_{v'w'}(f) = \frac{\int^f Co_{v'w'}(\hat{f}) d\hat{f}}{u_*^2} \quad (\text{式 6.2.2-2})$$

式中 $Co_{v'w'}$ 是共頻譜(cospectra) $v'w'$ ，一般來說在無波偏差影響下，該值將由 0 至 1 逐漸增加[Ruessink, 2010]。當 $Og_{v'w'}(f)$ 和 $Og_{u'w'}(f)$ 沒有逐漸增加時，該資料將被去除。之後再進行更進一步的紊流計算中，只使用在慣性次區(inertial subrange)且通過 ogive 曲線測試(ogive curve testing, OgT)的資料。

在紊流分離使用[Shaw and Trowbridge, 2001]所提出的最小平方差分濾波方法(adaptive-least-squares differencing filtering) ST01。有關 ST01 的詳細算法及相關應用的研究詳見相關文獻[Ruessink, 2010; Yoon and Cox, 2010]，該方法假設兩組不同的 ADV 所測得的不相干的信號視為紊流，而相干的信號則是波浪運動，因此在測量紊流時至少需要兩組不同的 ADV 進行測量，而在點位 1 的波引流速(\hat{U}_1)即被定義為：

$$\hat{U}_1(t) = \int_{-T/2}^{T/2} \hat{h}(t-\tau)U_2(t)d\tau \quad (\text{式 6.2.2-3})$$

式中 t 是濾波器長度(filter length)、 \hat{h} 是濾波器寬度(filter weights)、 U_2 是點位 2 的流速。濾波器長度一般選擇尖峰波浪週期的一半，最小平方濾波器常用的濾波器寬度 \hat{h} 如下：

$$\hat{\mathbf{h}} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{U}_1 \quad (\text{式 6.2.2-4})$$

式中 \mathbf{A} 是點位 2 的流速視窗矩陣(windowed data matrix) $M \times N$ 、 M 是資料的個數、 N 是濾波器寬度的數量、 \mathbf{U}_1 是點位 1 的流速。

濾波後，在點位 2 三個方向(u,v,w)的流速分量資料皆會被計算，導致矩陣 \mathbf{A} 自由度的數量大約會增加 3 倍，矩陣 \mathbf{A} 會變成 $M \times 3N$ 。並將利用 \mathbf{A} 及 $\hat{\mathbf{h}}$ 進行摺積(convolving)，來推估點位 1 的相干性波浪速度 coherent wave velocity (\hat{U}_1):

$$\hat{\mathbf{U}}_1 = \mathbf{A} \hat{\mathbf{h}} \quad (\text{式 6.2.2-5})$$

而點位 1 的紊流流速即可被推估如式 6.2.2-6:

$$\Delta \hat{\mathbf{U}} = \mathbf{U} - \hat{\mathbf{U}}_1 \quad (\text{式 6.2.2-6})$$

在點位 1 的 ADV 的紊流相干性運動是利用 ST01 方法透過點位 2 的 ADV 所測得的流速所推導的。紊流流速波動(\mathbf{u}'_1)是可透過衰減的瞬時速度的波動減去相干性波浪運動獲得。

本計畫已完成利用頻譜分析計算三個速度分量(u,v,w)各別的瞬時速度、波引速度及紊流速度。本計畫 ADV 採樣頻率為 16Hz，每小時取 16384 筆。ADV 資料在進行計算時去除線性趨勢與去除平均值後，將資料分別切成 1024 筆，過程中以重疊 50% 資料(overlap 50%)進行分割，每小時共可得 35 個頻譜，並搭配漢寧視窗(Hanning window)進行快速傅立葉轉換(Fast Fourier Transform)進行分析，對於所有頻譜平均後，自由度

約 70。當頻率位於表面波段範圍內，u 分量跟 v 分量的能量頻譜會遠大於 w 分量的能量頻譜，與碎波帶的淺水波資料及珊瑚區域的研究相似，兩者的趨勢近似 f^{-3} 。當三個速度分量的能量頻譜在 0.6 至 4Hz 的範圍內大致相等，即在大於表面波段範圍內時，展現與在慣性次區(inertial subrange)斜率-5/3 特徵類似[Z-C Huang *et al.*, 2012a; Ruessink, 2010; Thornton, 1979]。當頻率高於 4 Hz 時，v 分量保持-5/3 能量頻譜但 u 跟 w 分量為較低能量頻譜時，表示說該資料受到雜訊所影響，[Z-C Huang *et al.*, 2012a; Lanckriet and Puleo, 2013; Ruessink, 2010]等人的研究，也觀察到在高頻率範圍內的雜訊位準(noise level)。

摩擦速度(u_*)計算公式如下:

$$\rho u_*^2 = |\tau_t|, \quad (\text{式 6.2.2-7})$$

其中利用紊流剪應力(TSS)可以定義雷諾應力(τ)如下:

$$\tau_t = (-\rho \overline{u'w'}, -\rho \overline{v'w'}, 0) \quad (\text{式 6.2.2-8})$$

圖 125 為第二及第三次調查之雷諾應力時序列圖。高度位置：ADV1(15 cm)、ADV2(30 cm)、ADV3(55 cm)。圖中 $\overline{u'w'}$ 為向離岸分量、 $\overline{v'w'}$ 為沿岸方向分量、 $|\tau|$ 為雷諾應力的大小、 u_* 為摩擦速度。由上圖可知，摩擦速度介於 0-0.04(m/s)間。

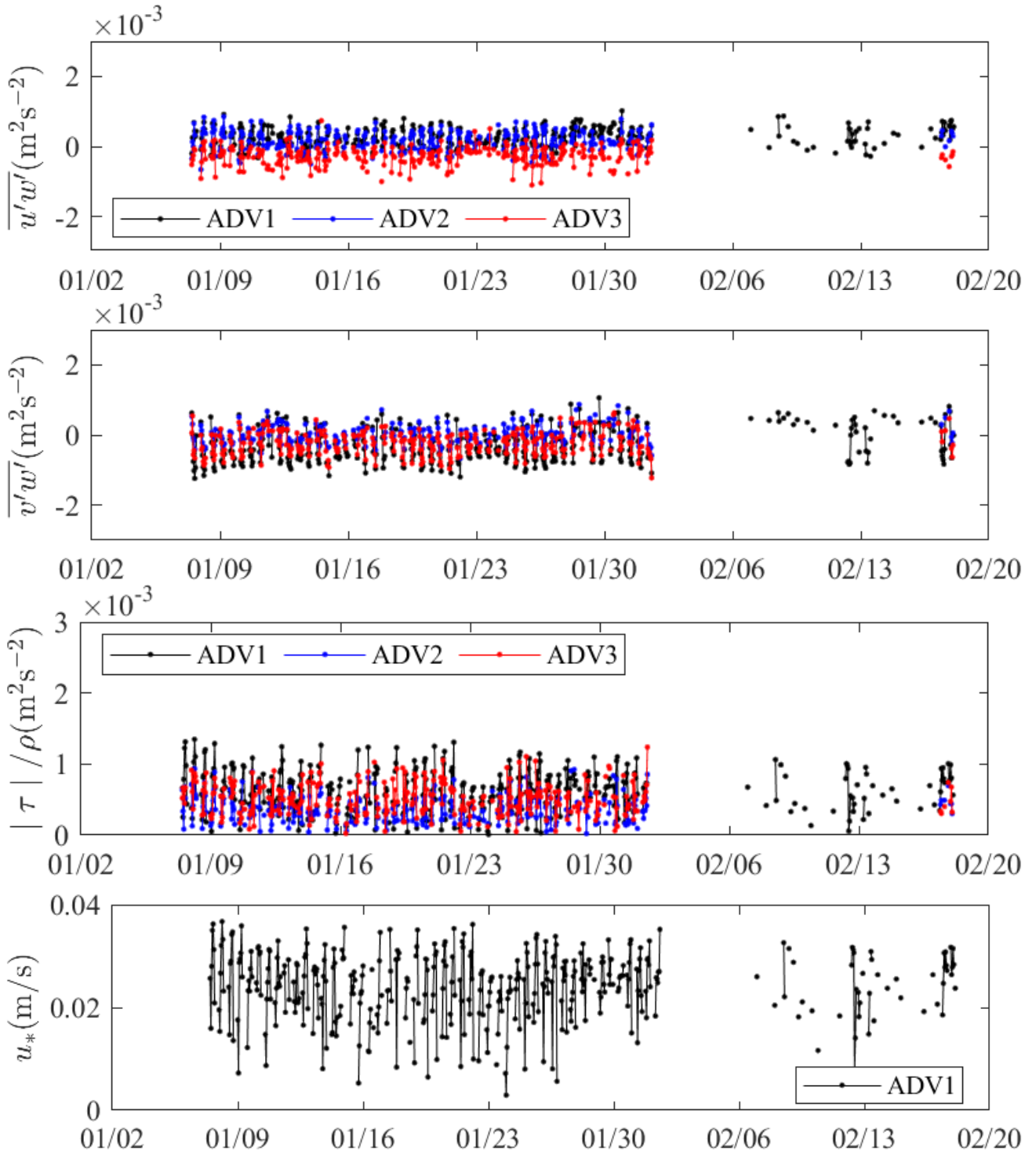


圖 125、第二及第三次調查之雷諾應力時序列圖。高度位置：ADV1(15 cm)、ADV2(30 cm)、ADV3(55 cm)。 $\overline{u'w'}$ 為向離岸分量、 $\overline{v'w'}$ 為沿岸方向分量、 $|\tau|$ 為雷諾應力的大小、 u_* 為摩擦速度。

二、懸浮漂沙質量濃度分佈

圖 126 為第二及第三次現場調查結果，其中為在四個不同高度 OBS 的懸浮漂沙質量濃度時序列圖，包括 OBS1 (0.15 m)、OBS2 (0.30 m)、OBS3 (0.55 m)、OBS4(0.8m)。調查期間懸浮漂沙質量濃度約為 40 - 1460 mg/L，平均值為 470 mg/L，標準偏差為 271 mg/L。懸浮泥沙濃度的變化趨勢在水體中的不同位置幾乎是相似的，在這四個觀測位置濃度的量值相差不大。

圖 127 為第二及第三次調查期間的 G1 區潮波流儀波高時序列圖，由上述資料可知，懸浮漂沙質量濃度 (C_m)與波高有高度相關。

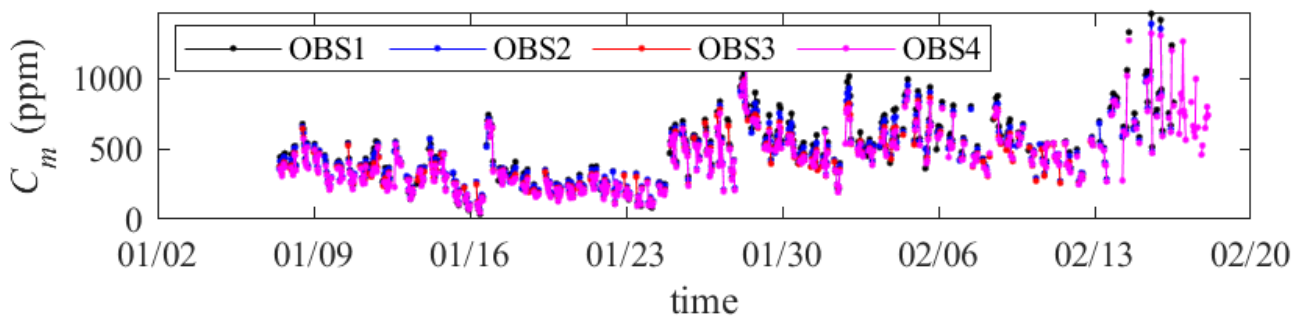


圖 126、第二及第三次調查之懸浮漂沙質量濃度分佈。高度位置：OBS1(15 cm)、OBS2(30 cm)、OBS3(55 cm)、OBS4(80 cm)。

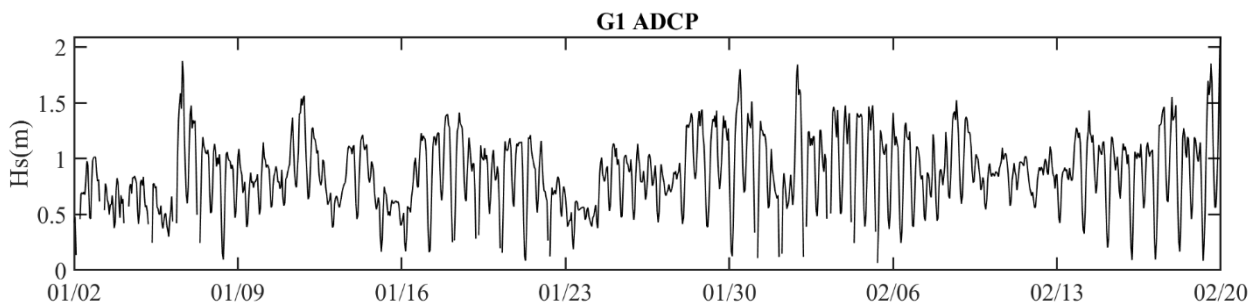


圖 127、第二及第三次調查期間的 G1 區潮波流儀波高時序列圖。

三、懸浮漂沙粒徑分佈

圖 128 及圖 129 為第二及第三次現場懸浮漂沙粒徑分佈調查結果，本次調查結果的中值粒徑 D_{90} 在 $100\text{-}250\mu\text{m}$ 區間範圍變化，平均值 $160\pm 43\mu\text{m}$ ； D_{50} 在 $25\text{-}150\mu\text{m}$ 區間變化，平均值 $69\pm 33\mu\text{m}$ ； D_{10} 在 $10\text{-}50\mu\text{m}$ 區間變化，平均值 $10\pm 6\mu\text{m}$ 。由圖 128 時序列結果，可以發現 LISST1(離地 20cm)及 LISST2(離地 40cm)，兩個不同高度的懸浮漂沙粒徑分佈(D_{90} 、 D_{50} 、 D_{10})，顯示在淺水區的水體混合相當均勻。

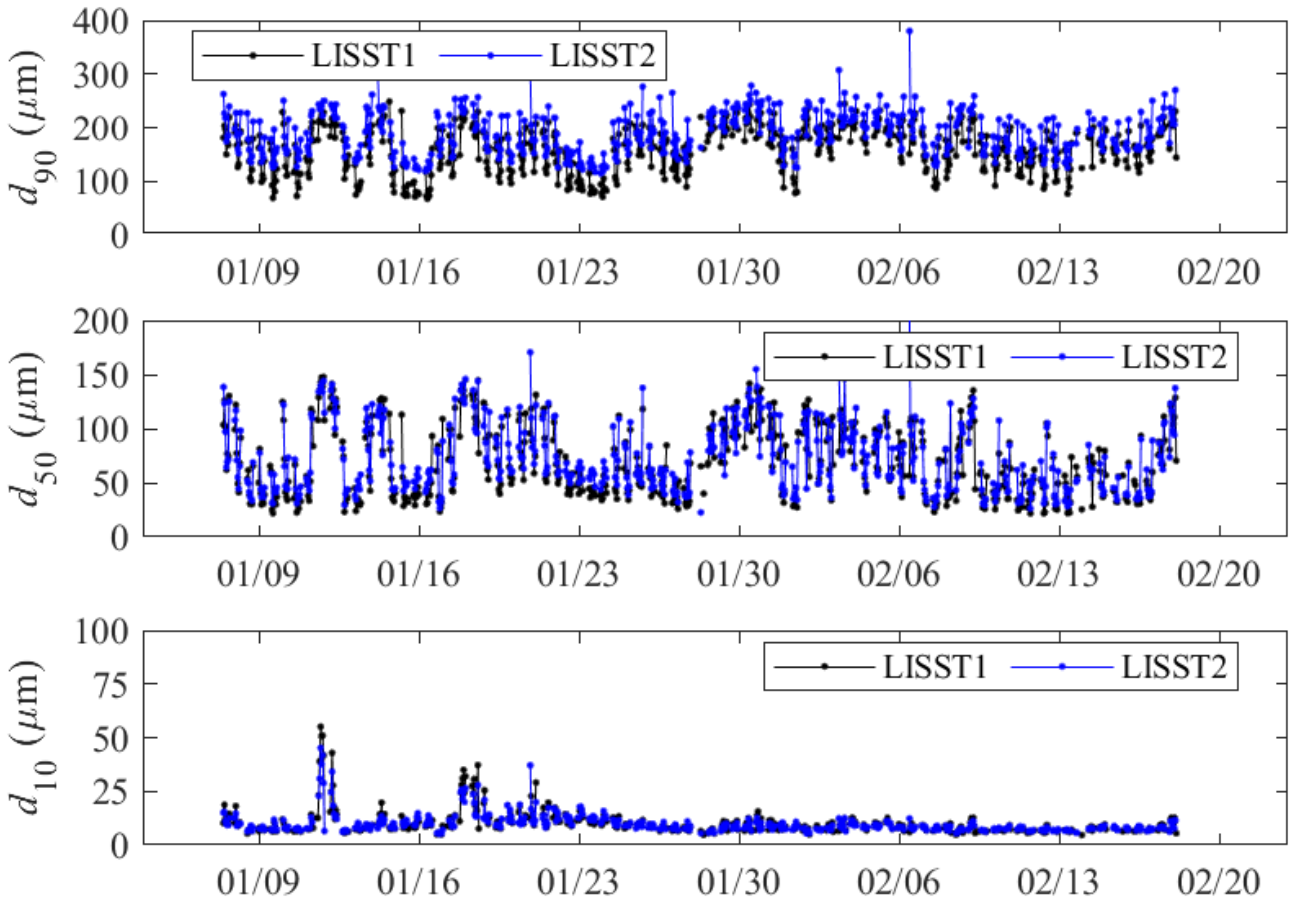


圖 128、第二及三次調查之懸浮漂沙粒徑分佈。高度位置：LISST1(20 cm)、LISST2(40 cm)。

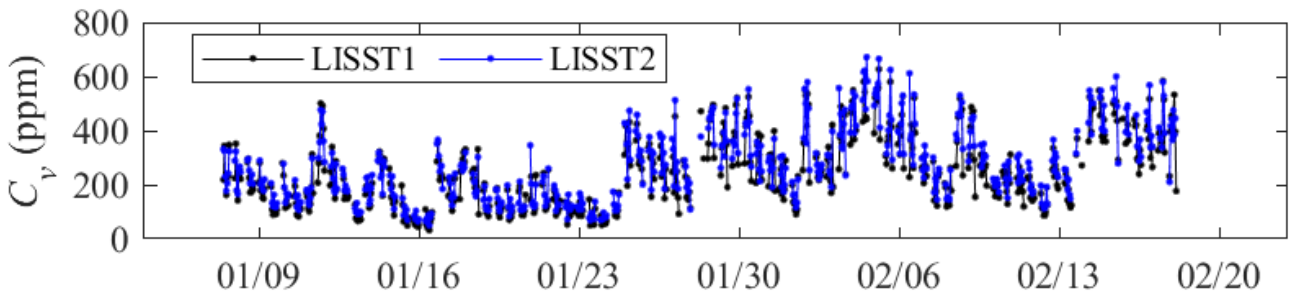


圖 129、第二及三次調查之懸浮漂沙體積濃度分佈。高度位置：LISST1(20 cm)、LISST2(40 cm)。

6.2.3 第四至六次成果

一、流速剖面

圖 130 為第四至第六次調查之雷諾應力時序列圖。高度位置：ADV1(15 cm)、ADV2(30 cm)、ADV3(55 cm)。圖中 $\overline{u'w'}$ 為向離岸分量、 $\overline{v'w'}$ 為沿岸方向分量、 $|\tau|$ 為雷諾應力的大小、 u_* 為摩擦速度。由上圖可知，摩擦速度介於 0-0.04(m/s)間。

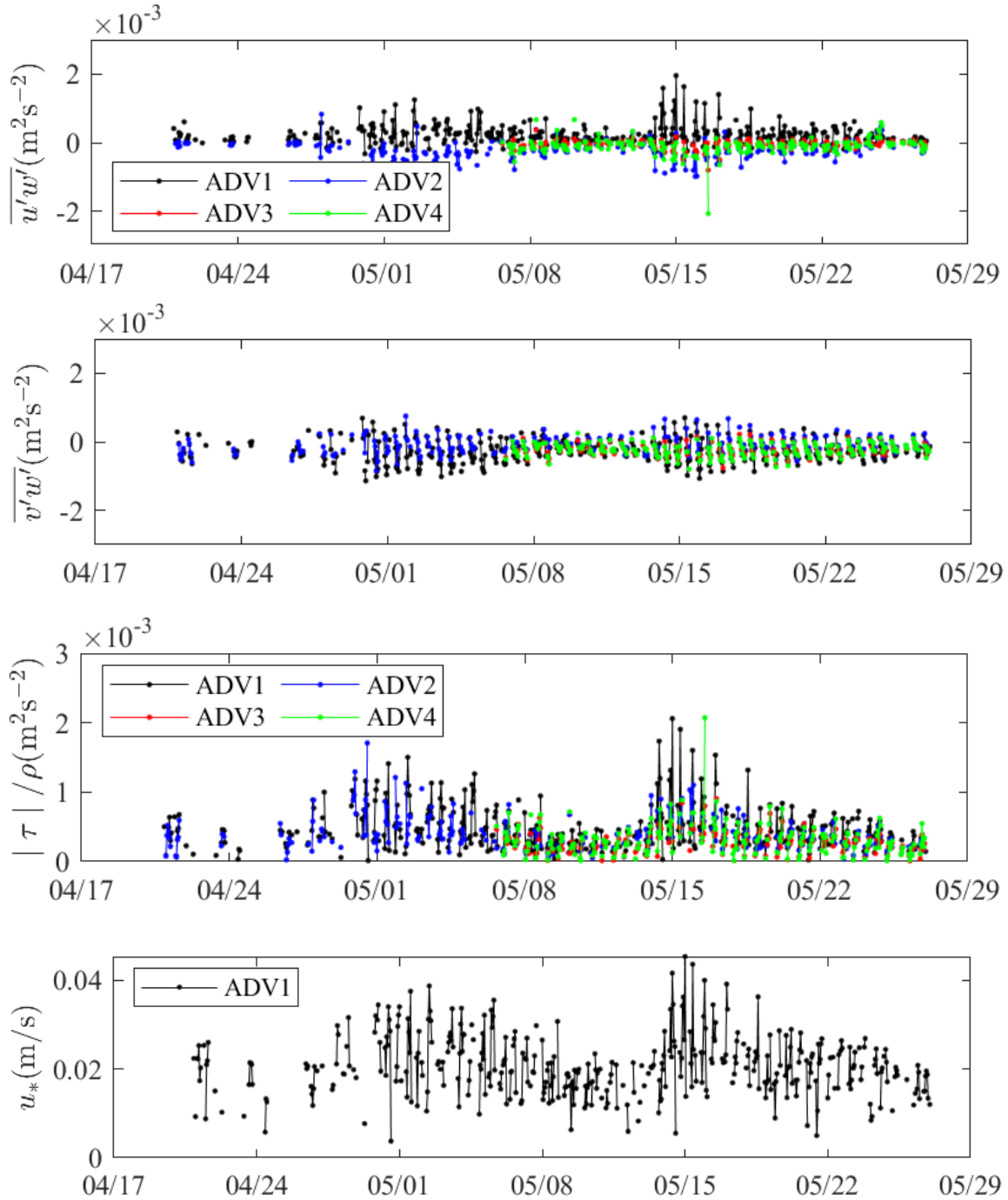


圖 130、第四至第六次調查之雷諾應力時序列圖。高度位置：ADV1(15 cm)、ADV2(30 cm)、ADV3(55 cm)、ADV4(80 cm)。 $\overline{u'w'}$ 為向離岸分量、 $\overline{v'w'}$ 為沿岸方向分量、 $|\tau|$ 為雷諾應力的大小， u_* 為摩擦速度。

二、懸浮漂沙質量濃度分佈

圖 131 為第四至第六次現場調查結果，其中為在四個不同高度 OBS 的懸浮漂沙質量濃度時序列圖，包括 OBS1 (0.15 m)、OBS2 (0.30 m)、OBS3 (0.55 m)、OBS4(0.8m)。調查期間懸浮漂沙質量濃度約為 0 - 1100 mg/L，平均值為 100 mg/L，標準偏差為 114 mg/L。懸浮泥沙濃度(C_m)的變化趨勢在水體中的不同位置幾乎是相似的，在這四個觀測位置濃度的量值相差不大。

另外，可發現 5/1 及 5/16 前後有約 7-8 天的峰值周期變化，因該時段無潮波流儀資料故本團隊另蒐集新竹浮標資料進行比對，如圖 132 所示，該時段明顯受到海氣象因素影響導致有峰值週期產生

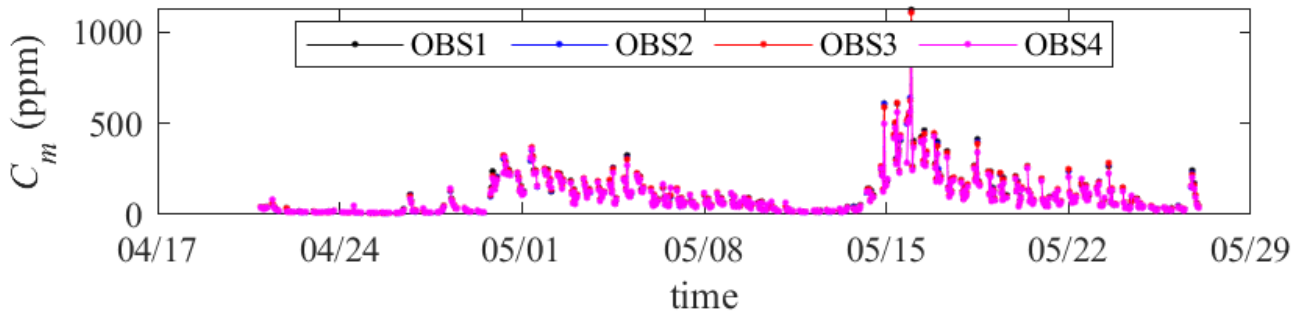


圖 131、第四至第六次調查之懸浮漂沙濃度分佈。高度位置：OBS1(15 cm)、OBS2(30 cm)、OBS3(55 cm)、OBS4(80 cm)。

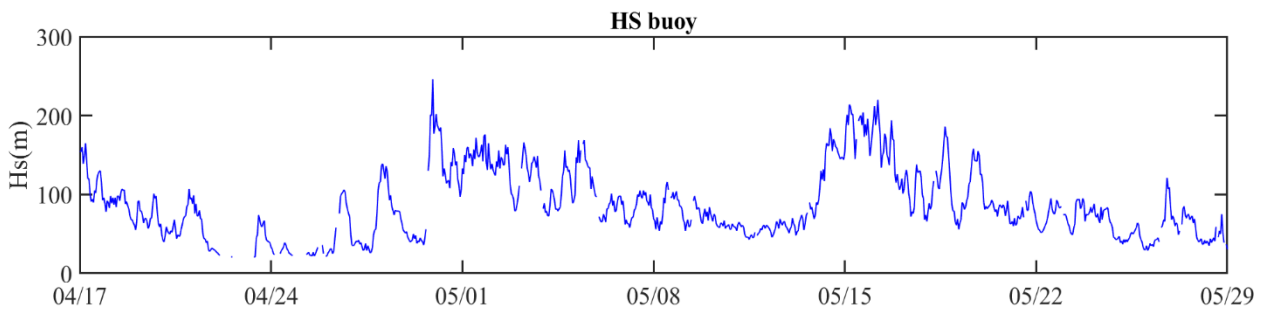


圖 132、第四至第六次次調查期間的新竹浮標波高時序列圖。

三、懸浮漂沙粒徑分佈

圖 133 及圖 134 為第四至六次現場懸浮漂沙粒徑分佈調查結果。由時序列結果，可以發現 LISST1(離地 20cm)及 LISST2(離地 40cm)，兩個不同高度的懸浮漂沙粒徑分佈(D90、D50、D10)，LISST2 (離地 40cm)略高於 LISST1(離地 20cm)。一般而言，底部的濃度應會較大，但是此區的垂直分布有幾個特別不同特性，一為淺水區的垂直混合非常好，導致垂直濃度沒有差異。另一為此區域鄰近大潭熱出水口，有可能是受到表層熱擴散的熱捲流(thermal plume)所影響，讓表層的溫差造成的混攪，讓表層濃度較高。另一個可能為生物產生的生物膜影響；因為生物膜密度較低，所以有可能讓輕的懸浮物在表面濃度較高。

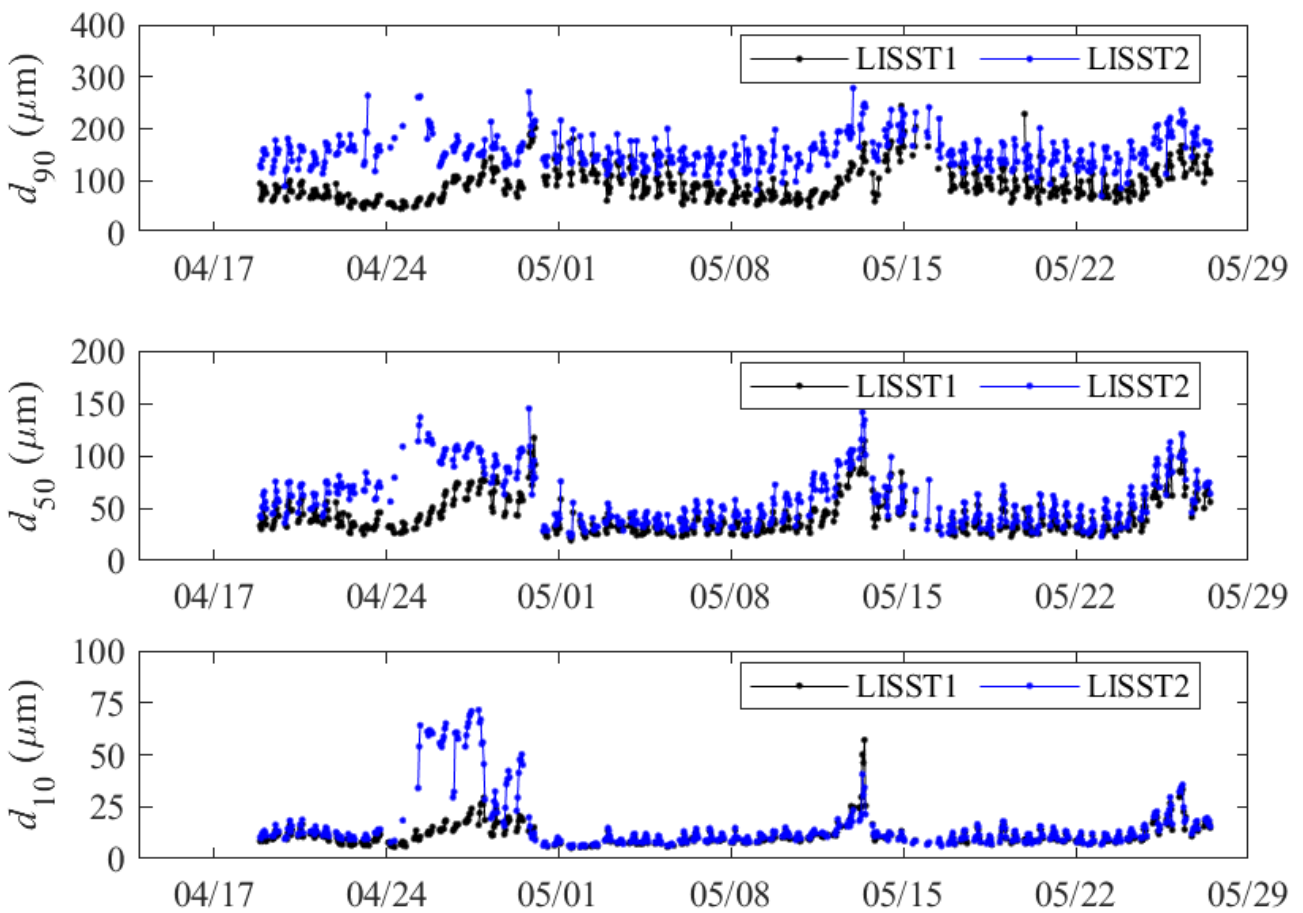


圖 133、第四至六次調查之懸浮漂沙粒徑分佈。高度位置：LISST1(20 cm)、LISST2(40 cm)。

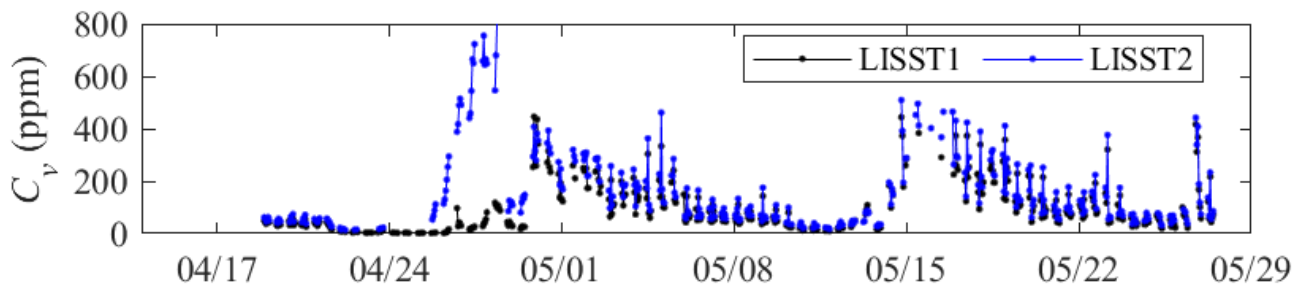


圖 134、第四至六次調查之懸浮漂沙體積濃度分佈。高度位置：LISST1(20 cm)、LISST2(40 cm)。

6.2.4 懸浮漂沙微觀及成分分析

如圖 135 及 圖 136 為 OBS 測量到的懸浮漂沙質量濃度與 LISST 測量到的體積濃度的比較散佈圖，此二者的比例為推算的懸浮物密度。由此結果推算的懸浮物密度在第二至三次調查及第四至六次調查的結果分別為 $1.09 \pm 0.17 \text{ g/cm}^3$ 、 $1.4 \pm 0.62 \text{ g/cm}^3$ ，有時候小於 1 的值可能是儀器測量誤差所致。整體而言，利用 OBS 與 LISST 推算的懸浮物密度約為 1.1 至 1.4 g/cm^3 。此結果顯示藻礁區水中的懸浮沉積物除了矽沙類的海沙成分之外，尚有含比重非常輕的其他物質。

因為藻礁區屬於生物活耀的區域，海水中比重較輕的懸浮物可能是由生物細胞產生的細胞外聚合物 (Extracellular polymeric substance, EPS) 聚集成有結構的生物膜 (biofilm)。本計畫在 2002 年 7 月 4 日至 7 月 6 日，連續三天，每天進行約 7 個小時的水樣採集，並在採水樣後立即進行顯微鏡觀察懸浮物的微觀特性，判斷其是否有絮凝等其他改變懸浮物粒徑大小的作用，並觀察生物膜是否存在在水體內。因採集當天的漂沙懸浮濃度甚低，因此採集到的水樣先靜置約 2 分鐘後，直接採集底部的沉積物樣本進行觀察。圖 137 為在顯微鏡下觀察到的懸浮物微觀特性範例；由圖可以看出，除了具結晶結構的矽沙類的石英外，尚大量存在如果凍般的不規則狀的生物膜羽翼物。一般而言，生物膜的比重非常的小，幾乎趨近於水；例如，在生物反應槽進行的試驗發現生物膜的濕密度約為 $1-1.14 \text{ g/cm}^3$ ([Ro and Neethling, 1991])。建議未來應進行更精確的生物膜密度調查，直接採集藻礁區域更多的懸浮物樣本進行分析。

為了瞭解藻礁沉積物的特性，本計畫自主增加了沉積物礦物分析。利用光薄片與光學顯微鏡進行半定量分析，如圖 138。基質的定義為非常小顆粒，顯微鏡無法判斷其具有礦物形狀與邊界；不透光礦物為可判定其礦物象，但無法確定為何種礦物；岩屑的定義為非常小顆粒非黏土類的，石英跟長石混在一起，半定量的結果顯示石英成分只有約佔 50-65% 的比例。圖 138 為 X 光繞射結果，顯示礦物成分主要為矽沙類的石英，另有白雲石、長石，及黏土類的綠泥石和伊萊石。礦物成分的比重石英=2.65，綠泥石= 2.6-2.9、白雲石= 2.84、長石= 2.55~2.76、伊萊石= 2.60~2.63。綠泥石與依萊石屬於黏土類，顯示在藻礁區域有黏土類的沉積物存在。

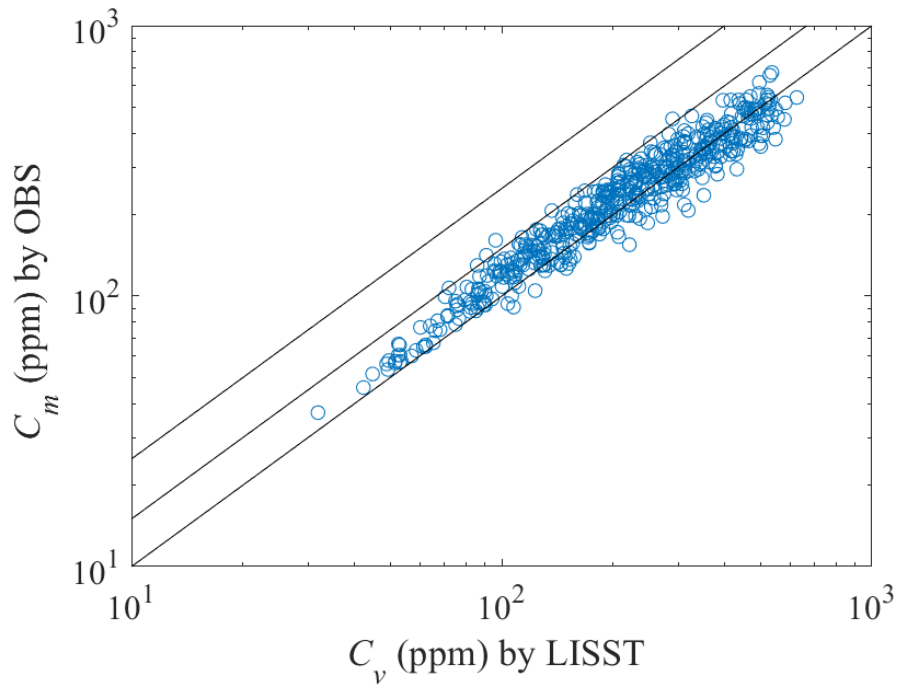


圖 135、第二至三次調查之懸浮漂沙質量濃度與體積濃度的散佈圖。圖中的實線從上到下為 2.5、1.5、及 1 的比例值。

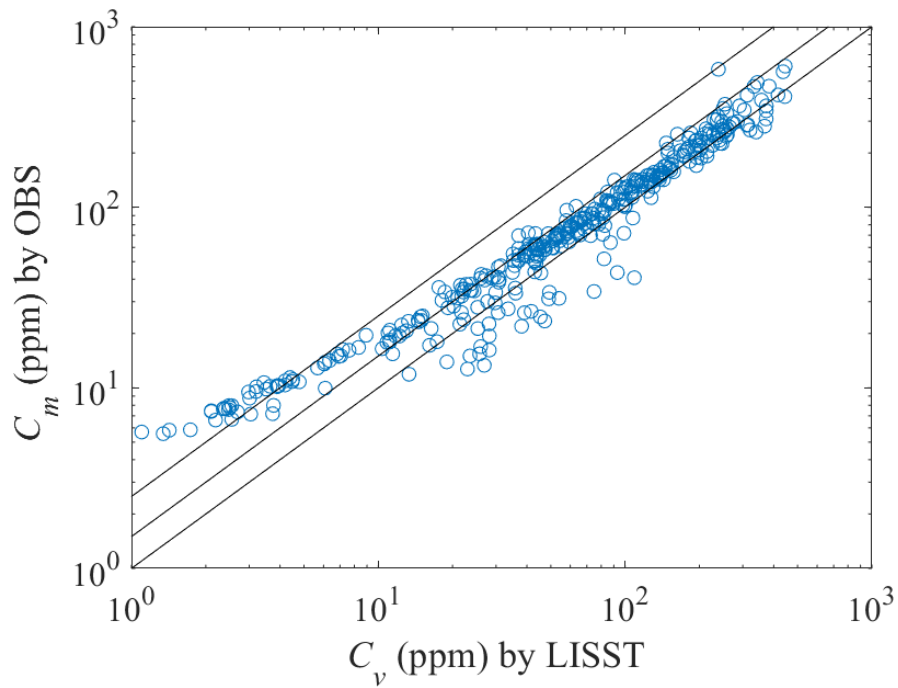


圖 136、第四至六次調查之懸浮漂沙質量濃度與體積濃度的散佈圖。圖中的實線從上到下為比例 2.5、1.5、及 1 的值。

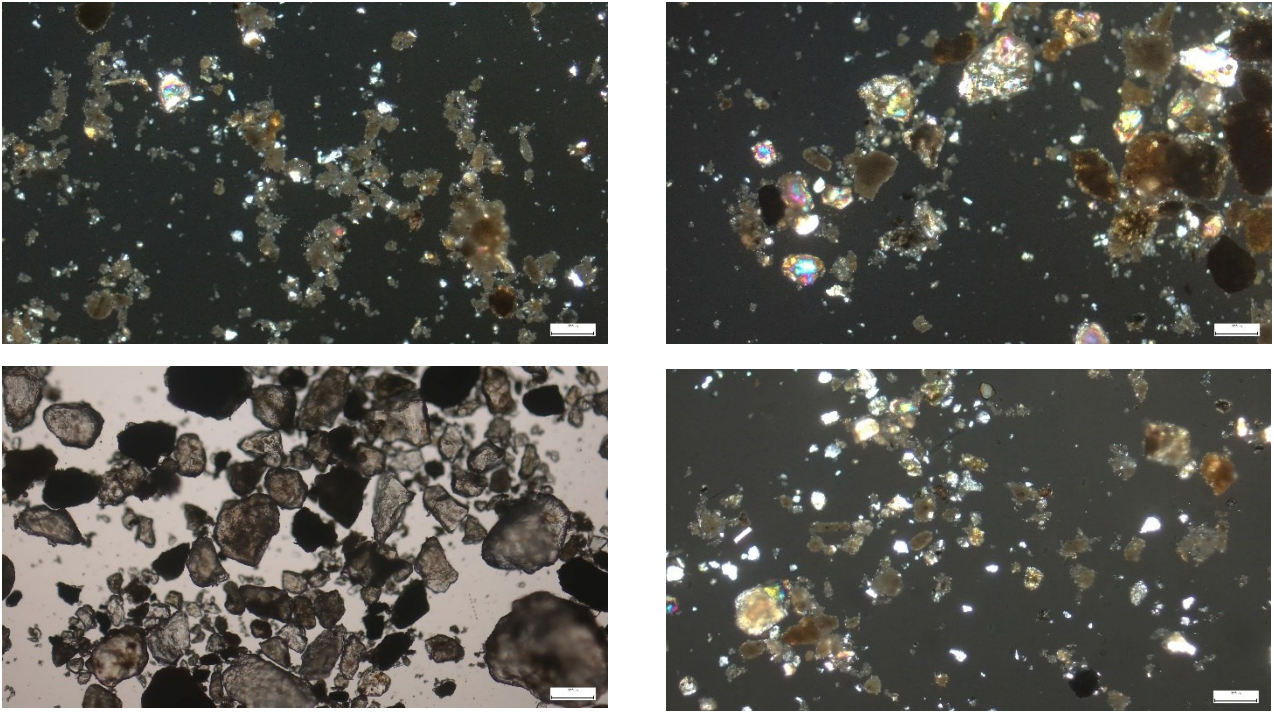


圖 137、水體懸浮物顯微鏡觀察結果樣本範例。

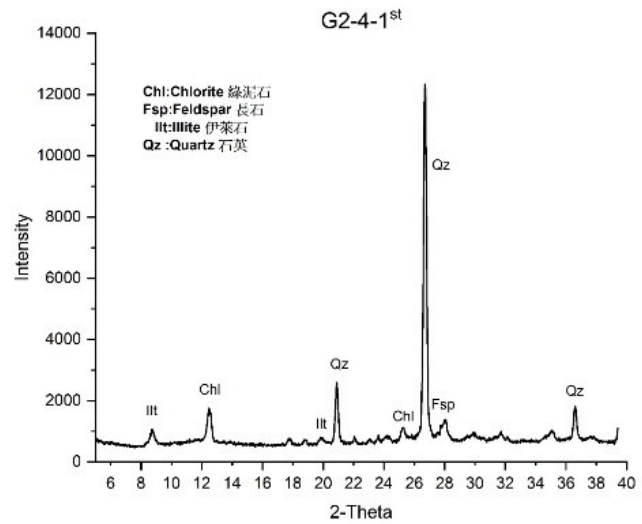
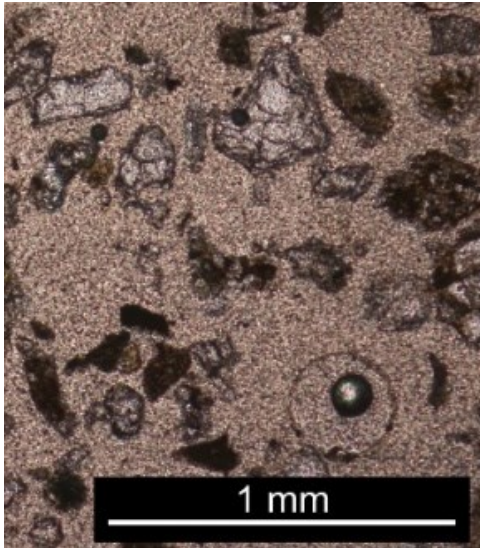


圖 138、潮間帶沉積物礦物分析。G2 區沉降桶採集到之懸浮沉積物光薄片樣本(左圖)與 X 光繞射結果。

6.3 覆沙底質粒徑調查

6.3.1 調查方法、點位與頻率

(一)調查方法

底質粒徑的調查，參考環署檢字第 104109644 號公告之底泥採樣方式(NIEA S104.32B)進行，以採樣鏟的方式進行採樣。採樣時，採集 0~15 公分厚之表層沉積物，並記錄其 GPS 座標及照片。

取得現場的底質後，利用雷射粒徑分析儀分析(Beckman Coulter)進行分析。實驗室雷射粒徑分析儀(Beckman Coulter)如圖 139 所示。其量測原理為利用光散射原理測定懸浮在液體或乾粉中的沉積物粒徑分布。彈性光散射 ELS 是量測微米到毫米顆粒大小範圍的主要方法。ELS 散射光的頻率與入射光相同，其散射光強度是顆粒光學性質和粒度的函數。顆粒散射光強度包含下列變數：粒度、顆粒折射率、介質折射率、光波長、極化和散射角。若將樣品濃度控制在適當範圍內使樣品散射出足夠的強度；同時也將樣品濃度控制在顆粒間相互作用最小的程度以及最小倍數散射使測量能建立在單個彈性顆粒散射的基礎上；再依照微粒系統基本假設假定樣品折射率和顆粒濃度均一。符合上述條件後散射強度只為散射角、顆粒形狀和粒度的函數，如此一來散射強度、散射角、顆粒形狀和粒度之間的關係已知我們就可以透過測量散射光角度分析散射強度圖中特定形狀所代表的粒度分布。

利用雷射粒徑分析儀分析(Beckman Coulter)，沉積物分析前的處理步驟包括：

1. 於離心管中裝入適量之樣本(至多 1 克)。
2. 洗去海鹽：於離心管中加入約 15 ml 的去離子水攪拌震盪後離心(4500 rpm, 6 分鐘)倒去上層清液 並重複此步驟一次。
3. 去有機物：加入 15 雙氧水至 10 毫升攪拌震盪後將管蓋稍微轉開並放置於超音波震盪機震盪 30 分鐘後取出靜置數日使雙氧水及有機物充分反應以去除有機物。將樣本離心後去除上層清液再次加入雙氧水確定是否反應完全若已反應完全則加入去離子水震盪後離心去除上層清液重複做三次將殘留之雙氧水洗去。
4. 去碳酸鹽：加入 10 鹽酸到 7.5 毫升放入超音波震盪機震盪 30 分鐘後將管蓋稍微轉開靜置 4 小時以上再加去離子水至 30 毫升震盪後離心去除上層清液後再加入 10 鹽酸檢驗是否已反應完全若已反應完全加蒸餾水至 30 毫升震盪後離心去除上層清液重複做三次將殘留之鹽酸洗去。
5. 加入 1 六偏磷酸鈉($\text{Na}_6(\text{PO}_3)_6$)至 10 毫升做為離散劑放入超音波震盪機震盪 30 分鐘後靜置一天使凝聚之沉積物顆粒分離即可上機測量。



圖 139、雷射粒徑分析儀(Beckman Coulter)照片

(二)調查點位與頻率

第一次現場採樣時間為 110 年 8 月 25 日、110 年 8 月 27 日、110 年 9 月 8 日至 110 年 9 月 9 日，共四天現場工作天，現場採集照片如圖 140 所示，第一次現場採樣點位，如圖 141~圖 143 所示，三個區域共 31 點，G1 區共 16 個點位，G2 區共 12 點位，G3 區共 4 點，並將各點為經緯度彙整於表 24 中。

第二次採樣時間為 111 年 1 月 6 日及 111 年 1 月 19 日，共兩天現場工作天，現場採集照片如圖 144 所示，第二次現場採樣點位，如圖 145~圖 147 所示，三個區域共 29 點，G1 區 13 點、G2 區 12 點、G3 區 4 點，並將各點為經緯度彙整於表 25 中。

第三次採樣時間，為 111 年 5 月 17 日，共一天現場工作天，現場採集照片如圖 148 所示，第三次現場採樣點位，如圖 149~圖 151 所示，三個區域共 33 個點位，G1 區 16 點、G2 區 13 點、G3 區 4 點，並將各點為經緯度彙整於表 26 中。



圖 140、第一次(110/8/25)底質採樣現場照片



圖 141、第一次 G1 區採樣點位

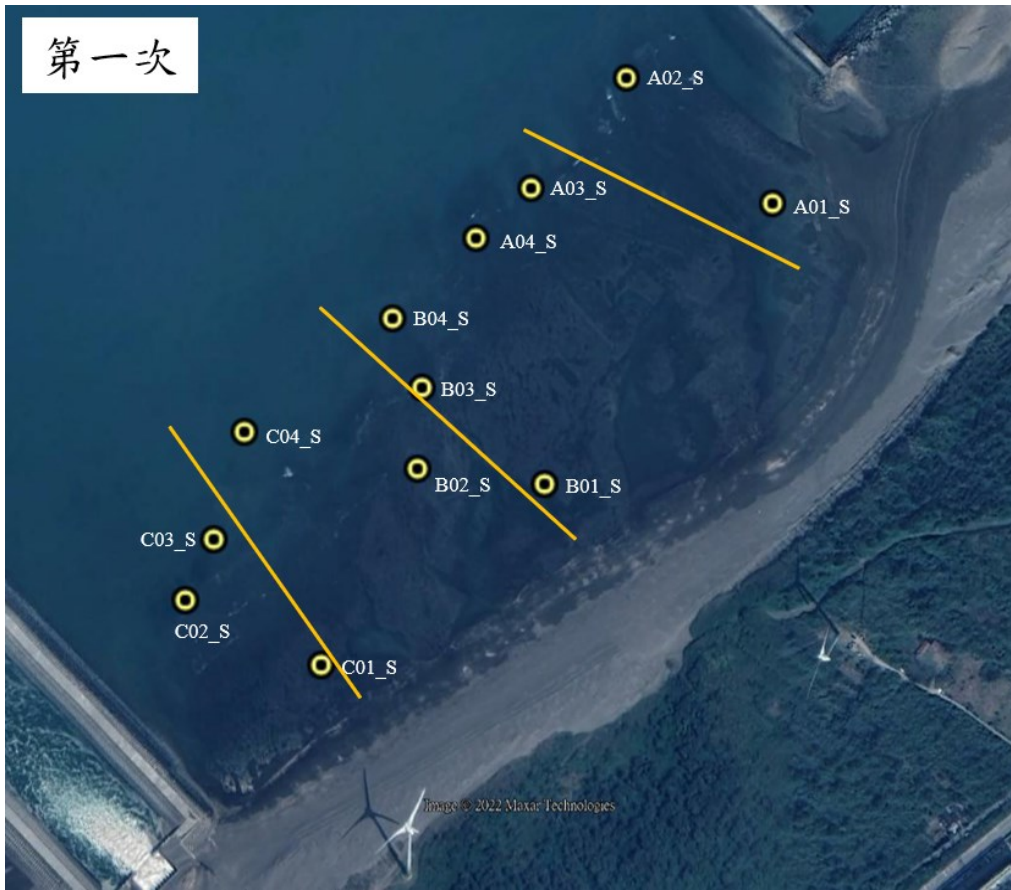


圖 142、第一次 G2 區採樣點位



圖 143、第一次 G3 區採樣點位

表 24、第一次 G1、G2、G3 採樣點位經緯度彙整表

G1			G2		
點位	緯度	經度	點位	緯度	經度
A01_S	25° 2' 37.496" N	121° 3' 31.277" E	A01_S	25° 2' 24.389" N	121° 3' 8.611" E
A02_S	25° 2' 38.947" N	121° 3' 29.102" E	A02_S	25° 2' 28.050" N	121° 3' 4.010" E
A03_S	25° 2' 42.353" N	121° 3' 26.971" E	A03_S	25° 2' 24.850" N	121° 3' 0.943" E
A04_S	25° 2' 44.056" N	121° 3' 28.613" E	A04_S	25° 2' 23.417" N	121° 2' 59.190" E
B01_S	25° 2' 34.245" N	121° 3' 31.903" E	B01_S	25° 2' 16.469" N	121° 3' 1.325" E
B02_S	25° 2' 35.045" N	121° 3' 30.579" E	B02_S	25° 2' 16.908" N	121° 2' 57.361" E
B03_S	25° 2' 36.902" N	121° 3' 27.508" E	B03_S	25° 2' 19.176" N	121° 2' 57.494" E
B04_S	25° 2' 40.646" N	121° 3' 22.421" E	B04_S	25° 2' 21.134" N	121° 2' 56.562" E
B05_S	25° 2' 38.656" N	121° 3' 23.461" E	C01_S	25° 2' 11.526" N	121° 2' 54.416" E
B06_S	25° 2' 42.043" N	121° 3' 19.148" E	C02_S	25° 2' 13.304" N	121° 2' 50.194" E
C01_S	25° 2' 33.771" N	121° 3' 25.391" E	C03_S	25° 2' 14.971" N	121° 2' 51.043" E
C02_S	25° 2' 36.816" N	121° 3' 21.348" E	C04_S	25° 2' 17.952" N	121° 2' 51.943" E
C03_S	25° 2' 37.871" N	121° 3' 20.714" E	G3		
C04_S	25° 2' 39.880" N	121° 3' 18.598" E	點位	緯度	經度
C05_S	25° 2' 42.681" N	121° 3' 16.430" E	A01_S	25° 1' 56.647" N	121° 2' 36.492" E
C06_S	25° 2' 43.623" N	121° 3' 14.785" E	A02_S	25° 1' 57.277" N	121° 2' 35.149" E
			A03_S	25° 1' 58.325" N	121° 2' 34.141" E
			A04_S	25° 1' 59.484" N	121° 2' 32.075" E



圖 144、第二次(11/1/19)底質採樣現場照片

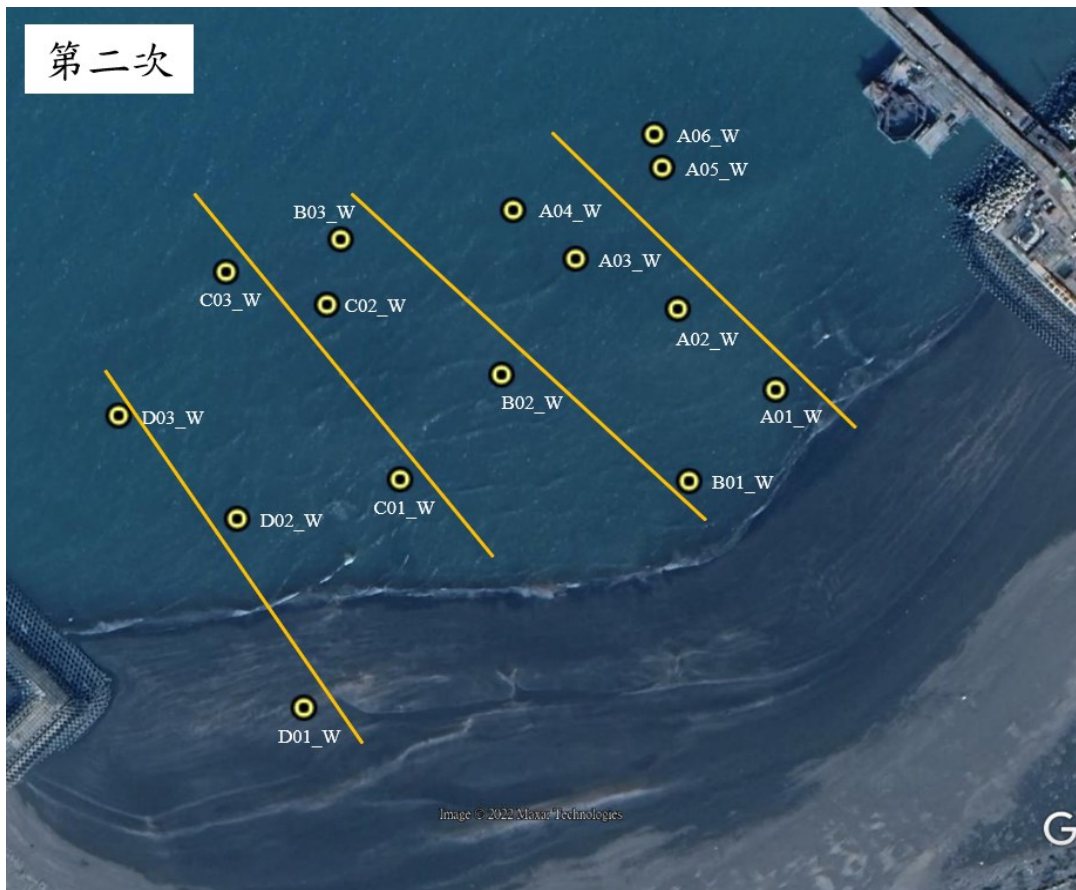


圖 145、第二次 G1 區採樣點位

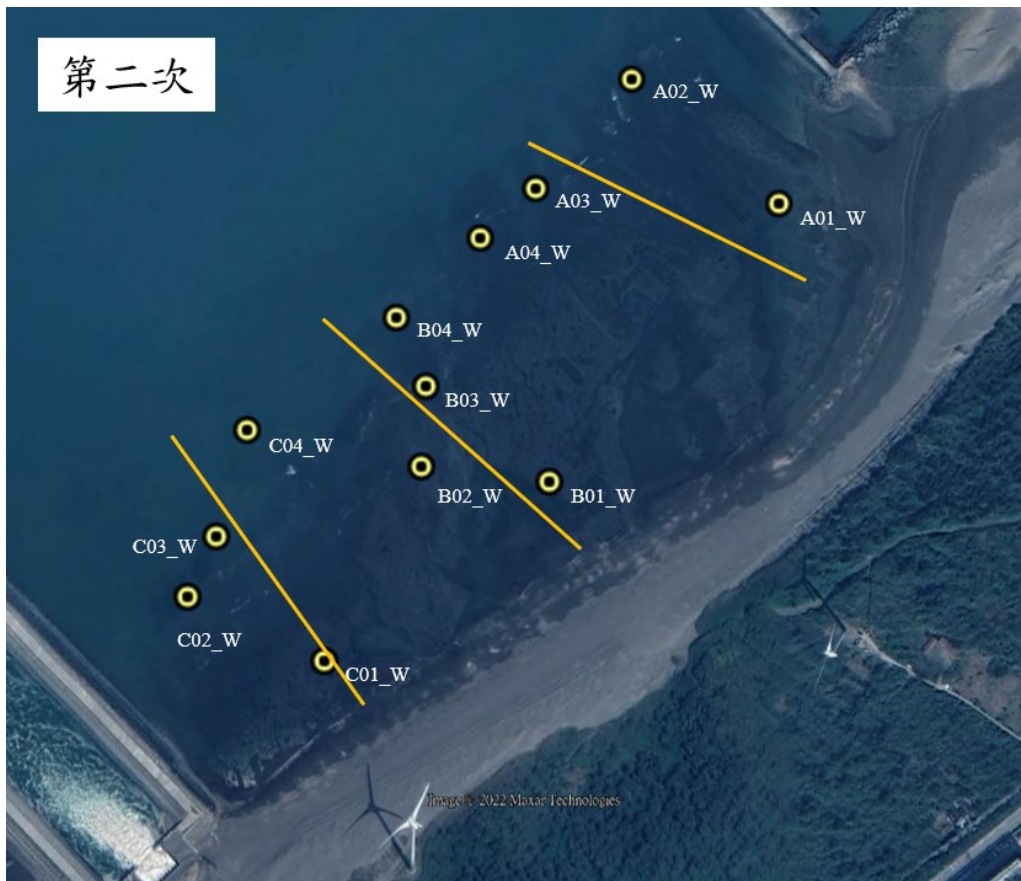


圖 146、第二次 G2 區採樣點位

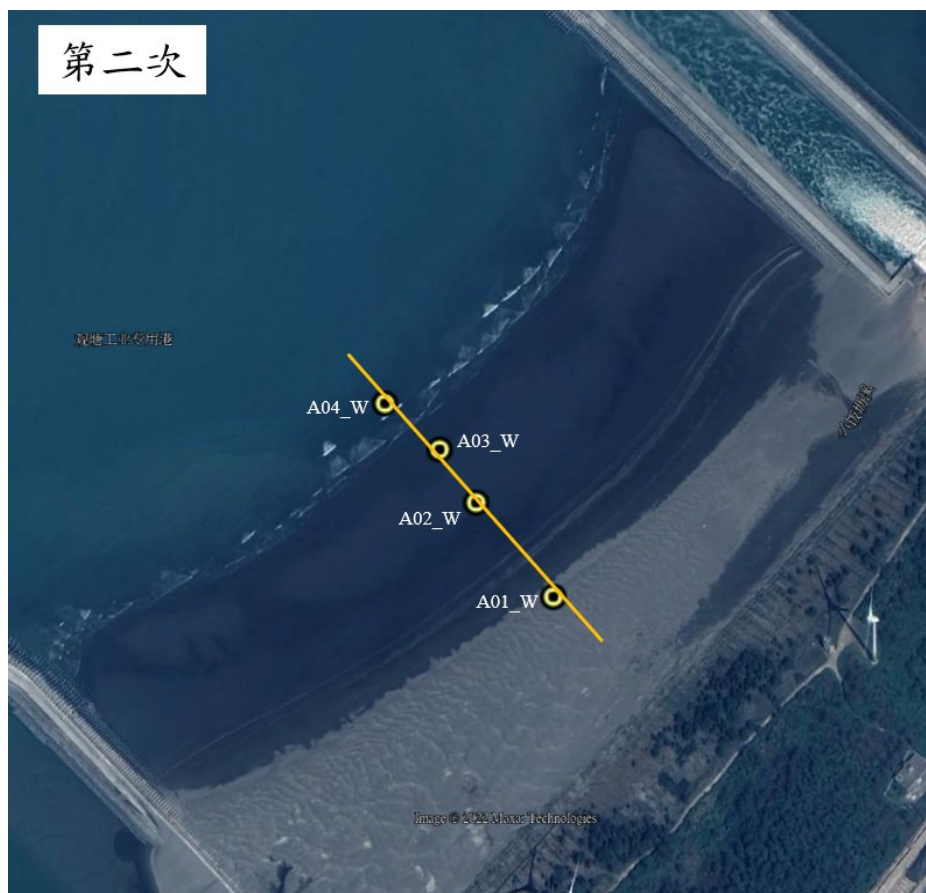


圖 147、第二次 G3 區採樣點位

表 25、第二次 G1、G2、G3 採樣點位經緯度彙整表

G1			G2		
點位	緯度	經度	點位	緯度	經度
A01_W	25° 2' 39.606" N	121° 3' 29.239" E	A01_W	25° 2' 24.389" N	121° 3' 8.611" E
A02_W	25° 2' 40.769" N	121° 3' 27.735" E	A02_W	25° 2' 28.050" N	121° 3' 4.010" E
A03_W	25° 2' 41.496" N	121° 3' 26.154" E	A03_W	25° 2' 24.850" N	121° 3' 0.943" E
A04_W	25° 2' 42.20" N	121° 3' 25.19" E	A04_W	25° 2' 23.417" N	121° 2' 59.190" E
A05_W	25° 2' 38.350" N	121° 3' 23.429" E	B01_W	25° 2' 16.469" N	121° 3' 1.325" E
A06_W	25° 2' 43.292" N	121° 3' 27.392" E	B02_W	25° 2' 16.908" N	121° 2' 57.361" E
B01_W	25° 2' 38.310" N	121° 3' 27.886" E	B03_W	25° 2' 19.176" N	121° 2' 57.494" E
B02_W	25° 2' 39.836" N	121° 3' 24.998" E	B04_W	25° 2' 21.134" N	121° 2' 56.562" E
B03_W	25° 2' 41.788" N	121° 3' 22.500" E	C01_W	25° 2' 11.526" N	121° 2' 54.416" E
C01_W	25° 2' 38.35" N	121° 3' 23.43" E	C02_W	25° 2' 13.304" N	121° 2' 50.194" E
C02_W	25° 2' 40.848" N	121° 3' 22.291" E	C03_W	25° 2' 14.971" N	121° 2' 51.043" E
C03_W	25° 2' 41.323" N	121° 3' 20.722" E	C04_W	25° 2' 17.952" N	121° 2' 51.943" E
D01_W	25° 2' 35.138" N	121° 3' 21.960" E	G3		
D02_W	25° 2' 37.799" N	121° 3' 20.920" E	點位	緯度	經度
D03_W	25° 2' 39.271" N	121° 3' 19.076" E	A01_W	25° 1' 55.700" N	121° 2' 36.700" E
			A02_W	25° 1' 58.500" N	121° 2' 34.200" E
			A03_W	25° 2' 0.100" N	121° 2' 33.000" E
			A04_W	25° 2' 1.500" N	121° 2' 31.200" E



圖 148、第三次(111/5/17)底質採樣現場照片

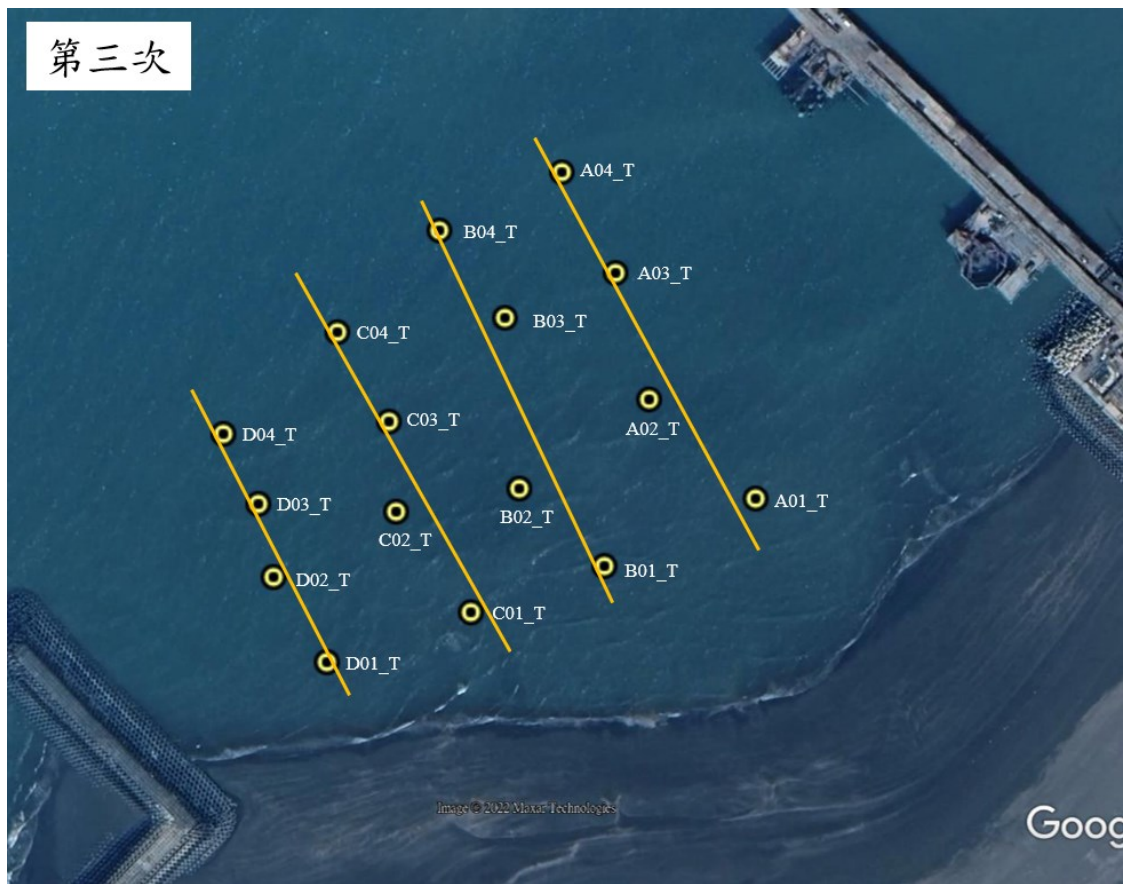


圖 149、第三次 G1 區採樣點位

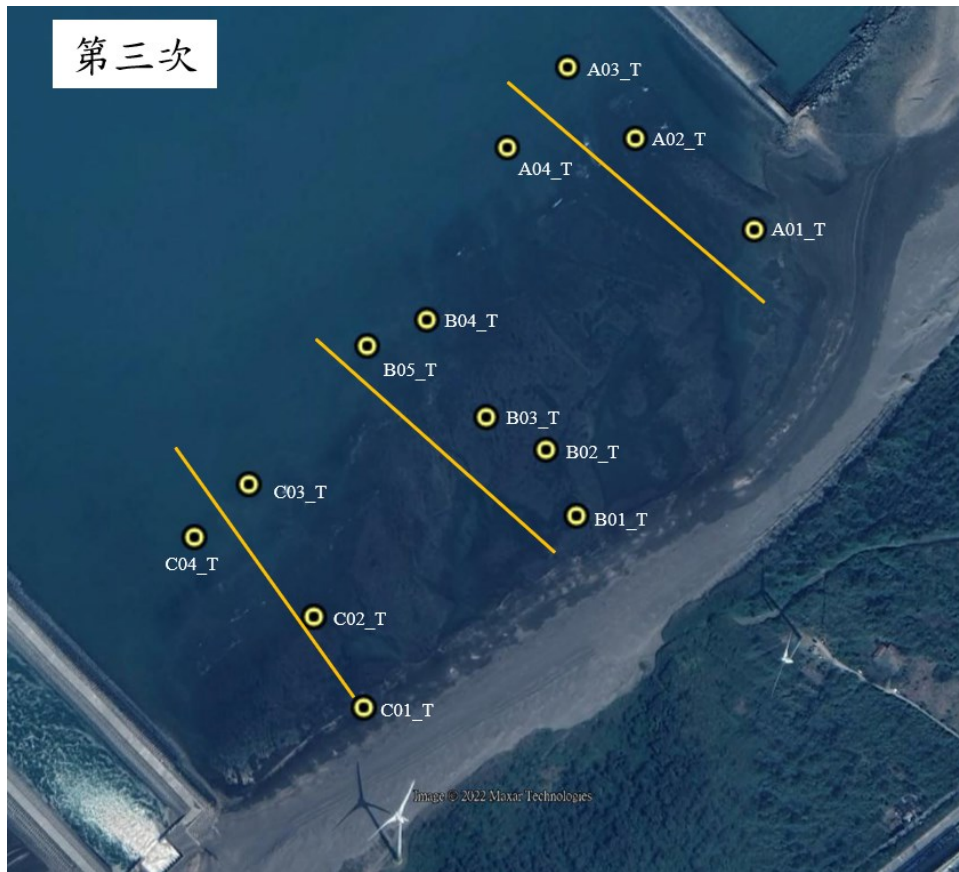


圖 150、第三次 G2 區採樣點位

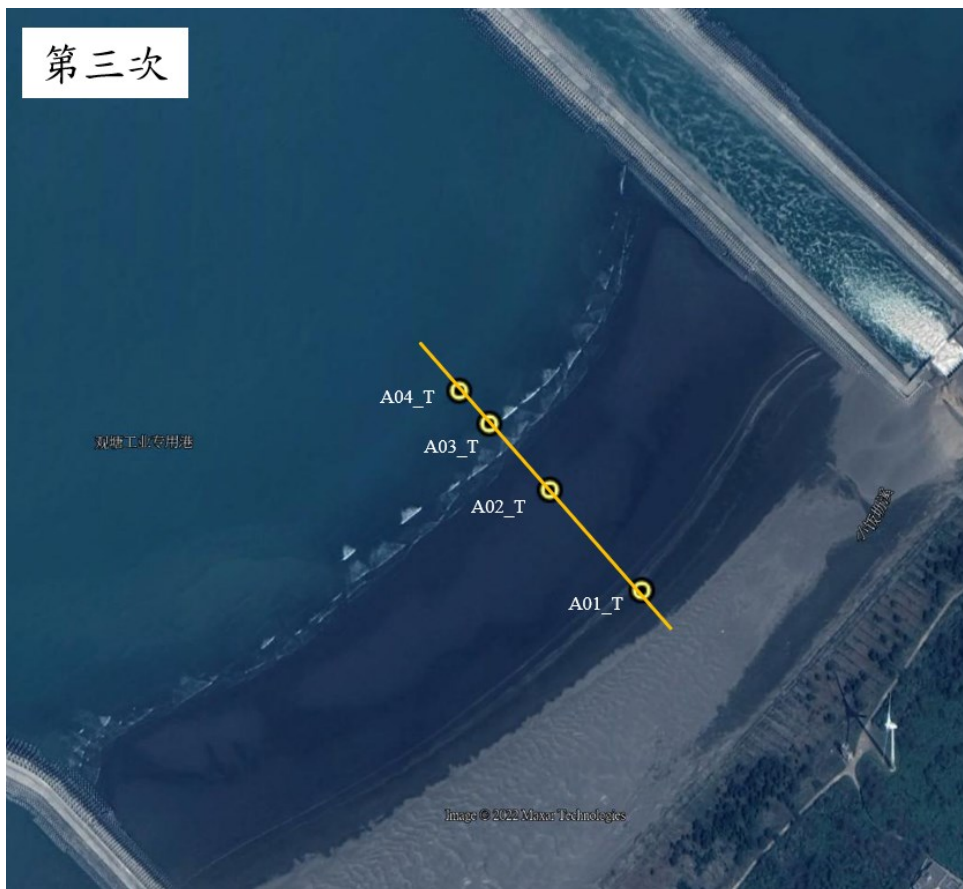


圖 151、第三次 G3 區採樣點位

表 26、第三次 G1、G2、G3 採樣點位經緯度彙整表

G1			G2		
點位	緯度	經度	點位	緯度	經度
A01_T	25° 2' 40.016" N	121° 3' 27.446" E	A01_T	25° 2' 24.770" N	121° 3' 9.137" E
A02_T	25° 2' 41.492" N	121° 3' 25.711" E	A02_T	25° 2' 27.672" N	121° 3' 5.130" E
A03_T	25° 2' 43.393" N	121° 3' 25.168" E	A03_T	25° 2' 29.954" N	121° 3' 2.830" E
A04_T	25° 2' 44.923" N	121° 3' 24.282" E	A04_T	25° 2' 27.391" N	121° 3' 0.742" E
B01_T	25° 2' 39.019" N	121° 3' 24.966" E	B01_T	25° 2' 16.000" N	121° 3' 3.000" E
B02_T	25° 2' 40.164" N	121° 3' 23.576" E	B02_T	25° 2' 18.000" N	121° 3' 2.000" E
B03_T	25° 2' 42.716" N	121° 3' 23.339" E	B03_T	25° 2' 19.000" N	121° 3' 0.000" E
B04_T	25° 2' 44.037" N	121° 3' 22.251" E	B04_T	25° 2' 22.000" N	121° 2' 58.000" E
C01_T	25° 2' 38.339" N	121° 3' 22.788" E	B05_T	25° 2' 21.199" N	121° 2' 55.990" E
C02_T	25° 2' 39.822" N	121° 3' 21.560" E	C01_T	25° 2' 10.327" N	121° 2' 55.953" E
C03_T	25° 2' 41.161" N	121° 3' 21.434" E	C02_T	25° 2' 13.009" N	121° 2' 54.283" E
C04_T	25° 2' 42.500" N	121° 3' 20.574" E	C03_T	25° 2' 16.984" N	121° 2' 52.066" E
D01_T	25° 2' 37.608" N	121° 3' 20.448" E	C04_T	25° 2' 15.396" N	121° 2' 50.284" E
D02_T	25° 2' 38.857" N	121° 3' 19.566" E	G3		
D03_T	25° 2' 39.937" N	121° 3' 19.303" E	點位	緯度	經度
D04_T	25° 2' 40.977" N	121° 3' 18.716" E	A01_T	25° 1' 59.000" N	121° 2' 39.000" E
			A02_T	25° 2' 2.000" N	121° 2' 36.000" E
			A03_T	25° 2' 5.000" N	121° 2' 33.000" E
			A04_T	25° 2' 4.000" N	121° 2' 34.000" E

6.3.2 調查成果

表 28~ 表 30 分別為三次沉積物粒徑調查成果彙整表，其中將第一次調查資料視為夏季資料，第二次為冬季資料，而第三次資料原預定於颱風後進行調查，因計畫期間無發佈陸上颱風警報，故於 5 月中進行調查，做為春季資料。

本團隊將中值粒徑(D_{50})整理於衛星影像上，如圖 152~圖 154 所示。並計算平均中值粒徑(D_{50})進行討論，為求資料準確性，故將各區所有的資料計算其平均值及標準偏差，將超過平均值正負一倍標準偏差的視為離異值，移除離異值後進行重新計算平均值，將計算結果整理於表 27 中。由上述資料可發現，G1 區底質粒徑分佈明顯有季節性差異，夏季粒徑結果較細(~260 μm)，冬季、春季粒徑較粗(~400 μm)。G2 區則無明顯季節性差異，G2 區在三次調查中皆為較粗的顆粒(~450 μm)。G3 區無明顯季節性差異，皆為較細的顆粒(~260 μm)。根據潮波流、漂沙現場調查成果可知，G1 區夏季粒徑較細(約 260 μm)，冬季、春季粒徑較粗(約 400 μm)。G2 粒徑較粗(約 450 μm)，G3 粒徑較細(約 260 μm)。根據學理可知，大浪時易將海沙捲起使其懸浮。海沙懸浮後若有底床剪應力降低，使得沉降通率高於懸浮通率，則海沙會沉降。根據調查成果可知，G1 區北側的突堤水深較淺，讓冬季劇烈的優勢漂沙通量得以進入 G1 區，且 G1 區的波浪衰減大，使 G1 形成易沉積的環境。並因為冬季浪大易使細顆粒底質的再懸浮，故使冬、春季底質皆為較粗的，夏季因風浪較小導致細顆粒也會沉積於底部。G2 區因受既有結構物影響導致沙源較難進入，且波浪相對 G1 有力，故易將細顆粒的捲起帶走，使其較不容易淤積。G3 區也受既有結構物影響，導致該區域粒徑皆為較細。

表 27、各次平均中值粒徑(D_{50})(μm)計算結果

	G3	G2	G1
第一次(夏)	264	441.6	268.46
第二次(冬)	266.8	490.23	393.81
第三次(春)	248.2	438.15	427.2

表 28、第一次底質粒徑調查成果

區塊	點位	D ₁₀ (um)	D ₅₀ (um)	D ₉₀ (um)
G1	A01_S	170.6	276.7	555.8
	A02_S	113.7	180.2	308.0
	A03_S	153.9	241.8	453.1
	A04_S	199.7	768.0	1757.0
	B01_S	178.8	294.4	528.3
	B02_S	193.3	425.6	1254.0
	B03_S	127.0	217.2	740.3
	B04_S	194.5	503.8	1062.0
	B05_S	137.5	227.9	578.6
	B06_S	118.6	205.5	343.5
	C01_S	251.5	498.4	1044.0
	C02_S	19.1	158.9	261.5
	C03_S	140.7	289.6	987.1
	C04_S	195.3	358.2	637.6
	C05_S	63.2	188.4	344.0
	C06_S	84.0	316.0	757.0
G2	A01_S	70.4	249.8	1007.0
	A02_S	409.1	881.5	1677.0
	A03_S	228.6	589.6	1349.0
	A04_S	255.9	601.4	1396.0
	B01_S	164.4	325.0	813.3
	B02_S	211.4	645.5	1384.0
	B03_S	183.1	563.7	1604.0
	B04_S	241.5	616.9	1398.0
	C01_S	173.6	292.6	556.3
	C02_S	3.8	155.4	388.4
	C03_S	10.9	270.1	886.9
	C04_S	148.0	261.4	525.1
G3	A01_S	185.0	290.2	487.1
	A02_S	164.5	265.7	485.7
	A03_S	166.5	268.6	493.4
	A04_S	156.4	257.6	479.8

表 29、第二次底質粒徑調查成果

區塊	點位	D ₁₀ (um)	D ₅₀ (um)	D ₉₀ (um)
G1	A01_W	138.5	219.7	387.6
	A02_W	149.8	238.0	462.8
	A03_W	195.3	409.3	764.3
	A04_W	123.5	190.1	310.1
	A05_W	241.2	1008.0	1719.0
	A06_W	195.8	1039.0	1744.0
	B01_W	138.0	220.0	392.2
	B02_W	256.4	541.7	962.4
	B03_W	259.8	454.4	782.0
	C01_W	147.1	231.7	437.4
	C02_W	182.2	335.0	686.4
	C03_W	200.1	413.3	857.1
	D01_W	190.5	380.8	763.3
	D02_W	174.1	648.0	1511.0
	D03_W	192.8	633.8	1362.0
G2	A01_W	204.9	635.9	1211.0
	A02_W	233.2	555.8	1060.0
	A03_W	191.5	406.4	776.7
	A04_W	231.5	486.7	903.6
	B01_W	145.2	343.1	767.5
	B02_W	173.0	646.1	1580.0
	B03_W	499.5	1076.0	1731.0
	B04_W	129.9	280.9	649.5
	C01_W	218.0	396.9	813.7
	C02_W	198.9	352.1	637.6
	C03_W	366.9	563.1	848.9
	C04_W	243.3	516.2	910.4
G3	A01_W	129.9	193.3	269.6
	A02_W	184.3	313.0	578.2
	A03_W	168.1	278.1	507.7
	A04_W	161.5	255.5	437.7

表 30、第三次底質粒徑調查成果

區塊	點位	D ₁₀ (um)	D ₅₀ (um)	D ₉₀ (um)
G1	A01_T	280.0	639.2	1577.0
	A02_T	242.4	471.0	858.0
	A03_T	141.8	533.1	1728.0
	A04_T	148.4	369.7	1549.0
	B01_T	516.6	817.5	1433.0
	B02_T	175.9	391.5	774.4
	B03_T	193.7	459.2	888.1
	B04_T	156.0	361.1	923.8
	C01_T	200.3	438.5	1038.0
	C02_T	179.4	526.5	1271.0
	C03_T	166.1	368.0	667.0
	C04_T	209.8	558.0	1478.0
	D01_T	156.2	324.9	1015.0
	D02_T	99.4	206.5	675.9
	D03_T	152.5	327.6	721.0
	D04_T	120.3	226.0	652.2
G2	A01_T	199.7	563.3	1039.0
	A02_T	359.0	869.6	1645.0
	A03_T	328.2	604.6	1217.0
	A04_T	124.0	197.0	353.2
	B01_T	99.0	155.0	221.5
	B02_T	211.1	432.6	888.6
	B03_T	163.5	369.4	1717.0
	B04_T	176.7	335.5	647.0
	B05_T	193.4	640.6	1425.0
	C01_T	172.8	338.0	740.3
	C02_T	202.4	380.1	851.7
	C03_T	375.1	706.7	1273.0
	C04_T	157.8	279.3	562.4
G3	A01_T	158.1	245.1	365.5
	A02_T	154.8	251.3	478.5
	A03_T	162.5	283.2	565.6
	A04_T	126.2	209.8	421.0

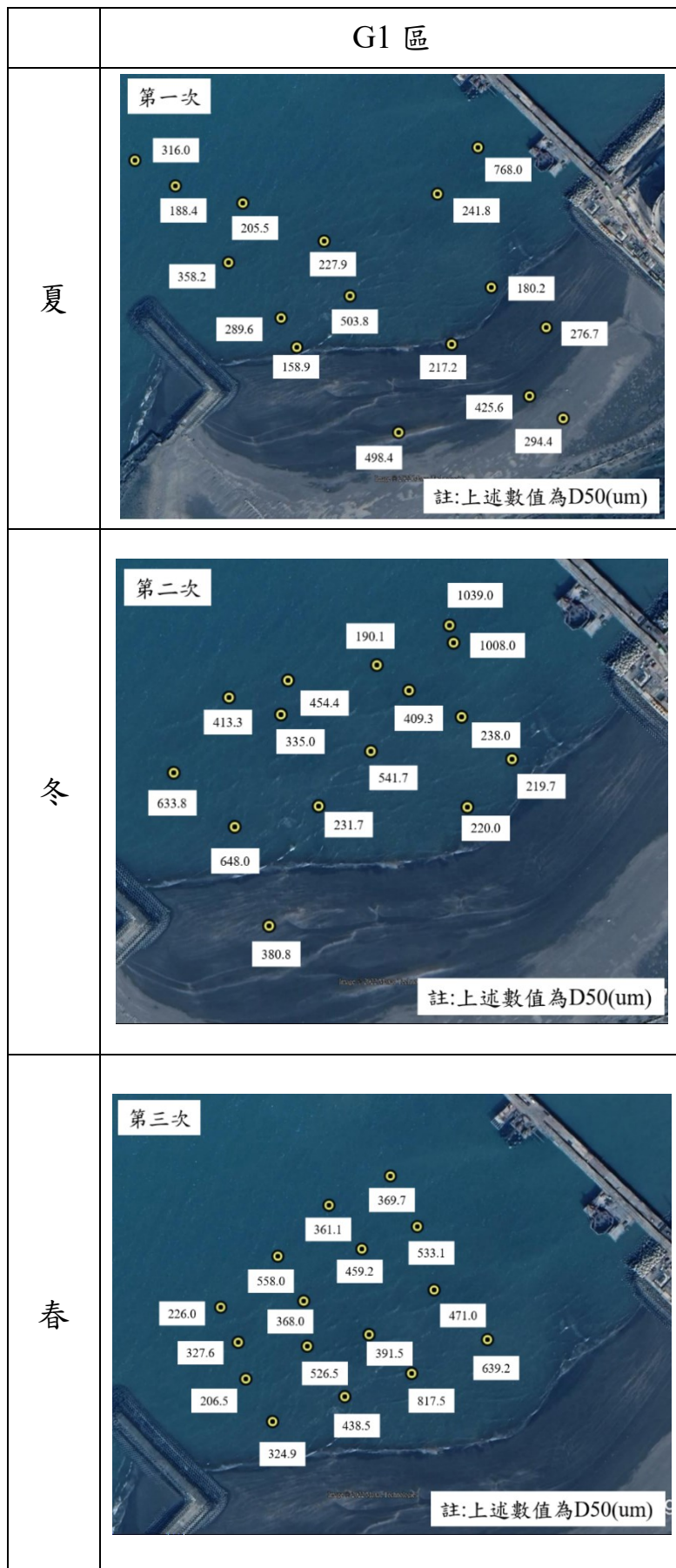


圖 152、G1 區三次中值粒徑分布圖

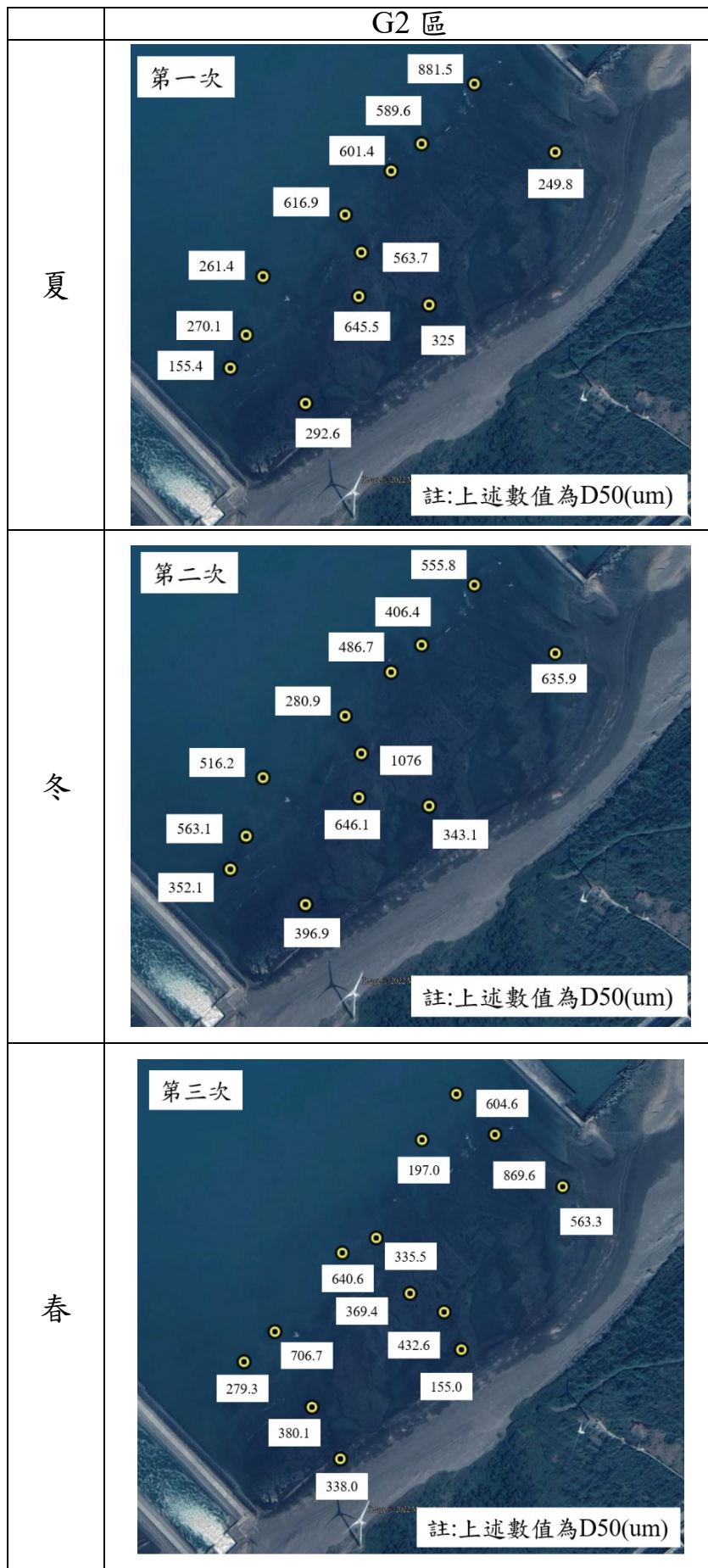


圖 153、G2 區三次中值粒徑分布圖

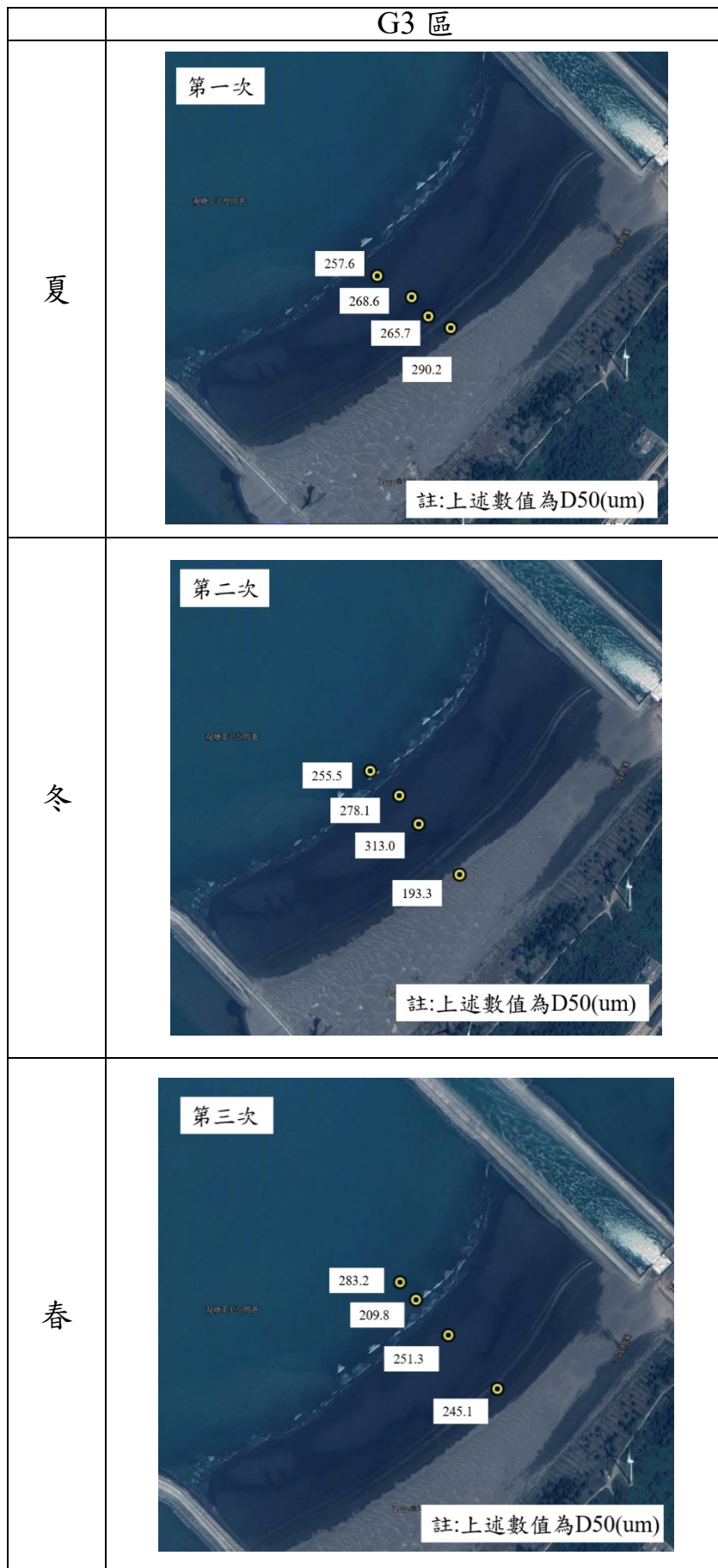


圖 154、G3 區三次中值粒徑分布圖

七、舉辦專家現勘、諮詢與討論會

本計劃在計畫期間內舉辦兩次的專家現勘、諮詢與討論會議。在覆沙減輕對策方向擬訂的過程中，諮詢及彙整海岸工程和生態專家學者之經驗與意見，專家諮詢會議之舉辦，邀請了兩位國外專家學者參與。

7.1 第一次專家諮詢會

本團隊已於 2022 年 3 月 17 日(四)舉行第一次專家諮詢會議，會議地點位於國立中央大學，會議議程詳圖 155 所示。當天邀請國內外海洋工程學以及生態專家、學者共襄盛舉，以提升並精進本計畫的成果。當天共出席 13 位委員，包含 2 位海外專家學者，美國德拉瓦大學土木及環境工程系徐天健教授和美國德州農工大學海洋工程系張廣安教授，以視訊連線的方式同步參與，針對計畫主持人的簡報內容發表專業意見並相互切磋討論。其餘 11 位出席委員詳如以下簽到單所示(圖 156)。

本次研討會主要內容為專題報告、諮詢討論、午宴及現場實地勘查。專題報告部分，由計畫主持人黃志誠所長將計畫範圍大潭藻礁(潮間帶)的漂沙及地形變遷現況和未來狀況推估作詳盡的資料分析，把監測所得資料及漂沙機制整理說明，並提出問題聚焦使委員針對目前現況提出建議及方針。當天會議現場照片整理於圖 157 所示。現場實地勘查部分，於大退潮時期實地現場勘查桃園大潭藻礁 G1 區，使與會的專家學者更了解計畫區內的現場實地情形，更容易使學術理論與海岸現況上有更緊密的連結。現場照片如圖 158 所示。當天天氣不佳，但是委員們仍堅持留在現場將議題討論完，才賦歸。會議記錄及委員提供之意見詳附錄二。

國立中央大學

開會事由：111 年度台灣中油股份有限公司

「觀塘工業港區漂沙機制及覆沙減輕對策之研究」第一次專家諮詢會議

開會時間：111 年 3 月 17 日(星期四)上午 10 時整

開會地點：國立中央大學地球科學院 科一館一樓 S123 會議室
(320 桃園市中壢區中大路 300 號)

議程表

項次	內容	時間
一、	主席致詞	10:00 – 10:10
二、	專題報告	10:10 – 11:00
三、	綜合討論	11:00 – 12:00
四、	午餐	12:00 – 13:30
五、	現勘	13:40 – 15:30
會議地點：中央大學會議室 S123 現勘地點：大潭藻礁 G1		

圖 155、第一次專家諮詢會議議程表

**觀塘工業港區漂沙機制及覆沙減輕對策之研究
專家諮詢會議**

國立中央大學 2022年3月17日

服務單位	姓名	職稱	簽名
台灣中油 天然氣事業部	李皇章	執行長	
台灣中油 環境保護及生態保育處	黃志堅	副處長	黃志堅
台灣世曦工程顧問股份有限公司	朱志誠	經理	朱志誠
國立臺灣海洋大學	許泰文	校長	許泰文
國立臺灣大學海洋研究所	范光龍	教授	
國立臺灣大學 工程科學及海洋工程學系	林銘崇	名譽教授	林銘崇
國立臺灣海洋大學 海洋生物研究所	邵廣昭	榮譽教授	邵廣昭
國立中興大學生命科學系	林幸助	教授	林幸助
國立成功大學水工試驗所	江文山	研究員	江文山
國立成功大學水工試驗所	黃國書	研究員	黃國書
國立中央大學 水文及海洋科學研究所	錢樺	教授	錢樺
國立中央大學 水文及海洋科學研究所	吳祚任	教授	吳祚任
台灣中油 環境保護及生態保育處	鄭吉延	先生	鄭吉延

圖 156、第一次專家諮詢會議委員簽到表

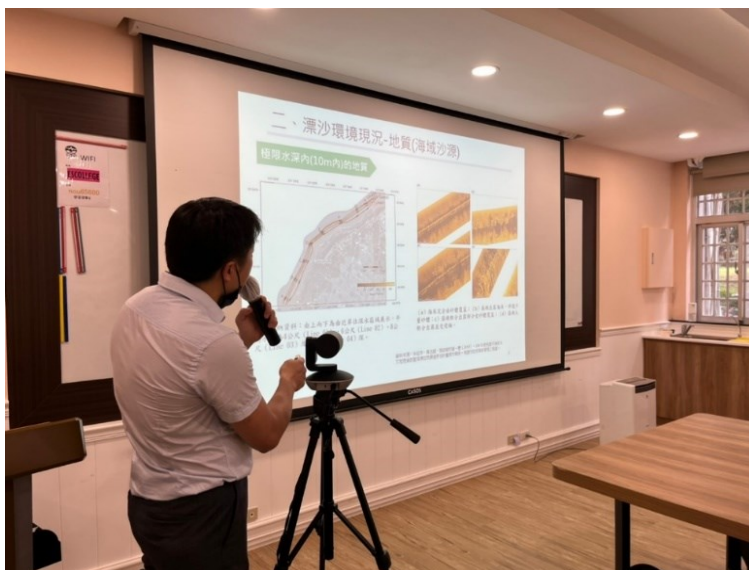


圖 157、第一次專諮會專題報告現場照片



圖 158、第一次專諮會現場實地勘查照片

7.2 第二次專家諮詢會

第二次專家諮詢會議於 2022 年 6 月 23 日(四)舉行，地點位於國立中央大學科一館一樓 S123 室，邀請國內外海岸工程學以及生態學者、業界專家共襄盛舉，以提升並精進本計畫的成果。本次專家諮詢會共出席 18 位委員，其中包含 2 位海外專家學者，美國德拉瓦大學土木及環境工程系徐天健教授和美國德州農工大學海洋工程系張廣安教授，以視訊連線的方式同步參與全程會議，為針對計畫主持人的簡報內容發表專業意見並相互切磋討論。其餘 16 位出席委員詳如圖 159 所示。此外也邀請到國立臺灣海洋大學河海工程學系簡連貴教授、國立成功大學水利及海洋工程系簡仲和教授願意提供書面審查意見，讓本次專家諮詢會議的意見內容豐富度更加充實。

本次專家諮詢會議主要內容為專題報告、諮詢討論、午宴。專題報告部分，由計畫主持人黃志誠教授將計畫範圍大潭藻礁(潮間帶)的海氣象環境現況、海沙及沉積物現況、漂沙及地形變遷現況作詳盡的資料分析，並把監測所得資料作為未來三接港興建情況推估，最後提出衝擊減緩與清淤方向的討論，並提出議題聚焦使委員們針對目前現況提出建議及方針。當天會議照片如圖 160~ 圖 162 所示。第二次會議記錄及委員提供之意見詳附錄三。

觀塘工業港區漂沙機制及覆沙減輕對策之研究
第二次專家諮詢會議

國立中央大學 2022年6月23日

服務單位	姓名	職稱	簽名
台灣中油 天然氣事業部	李皇章	執行長	李皇章
台灣中油 環境保護及生態保育處	黃志堅	副處長	黃志堅
台灣世曦工程顧問股份有限公司	朱志誠	協理	朱志誠
國立臺灣大學海洋研究所	范光龍	教授	范光龍
國立臺灣大學 工程科學及海洋工程學系	林錦崇	教授	林錦崇
國立中央大學 水文及海洋科學研究所	吳祚任	教授	吳祚任
台灣中油 環境保護及生態保育處	鄭吉廷	先生	鄭吉廷
國立臺灣海洋大學	許泰文	校長	線上視訊
國立成功大學水工試驗所	江文山	研究員	線上視訊
國立成功大學水工試驗所	黃國書	研究員	線上視訊
國立臺灣大學生命科學系	李培芬	教授	線上視訊
國立臺灣海洋大學海洋生物研究所	林鏘美	教授	線上視訊
國立臺灣海洋大學水產養殖學系	李孟洲	教授	線上視訊
國立中山大學生物科學系	張學文	教授	線上視訊
國立臺灣海洋大學 海洋生物研究所	邵廣昭	教授	線上視訊

國立臺灣海洋大學
海洋工程
科技碩士學位學程

蘇仕峯 教授

蘇仕峯

圖 159、第二次專諮會簽到表



圖 160、專家諮詢會議主持人范光龍教授及台灣中油天然氣事業部李皇章執行長 致詞

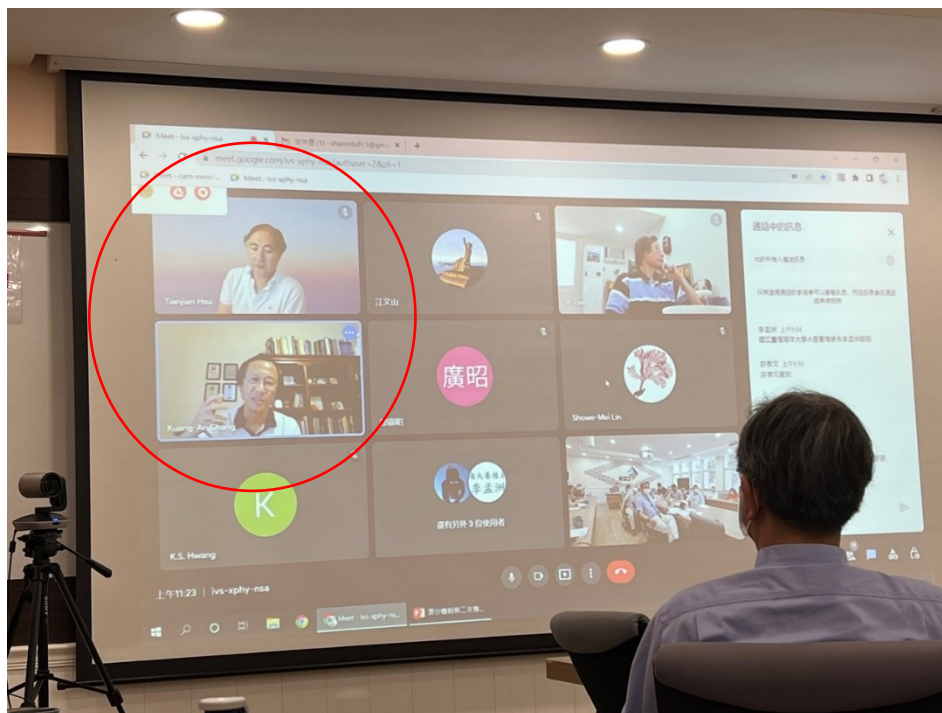


圖 161、視訊連線之國外專家學者 發表意見(紅色圈選處為 2 位海外專家學者)



圖 162、計畫主持人黃志誠教授講解簡報大綱及內容

八、覆沙減輕對策方向研擬

覆沙減輕對策方向研擬需彙整國內外文獻資料及國內外專家學者之意見、蒐集歷年颱風對大潭藻礁棲地地形的影響、可行的改善工法、分析與建議，並進行現場港、工區漂沙懸浮載特性、自然營力、生態與環境特性等，同時考量現場工程之施工可行性規劃，進行統整後再擬定可行的覆沙減輕對策構想。包括可行的工法蒐集、分析與建議。

8.1 覆沙減輕對策研擬構想及規劃流程

本計畫初步擬定之覆沙減輕對策規畫流程如下圖所示，規劃過程需彙整國內外文獻資料，並分析及量化未開發前的藻礁區漂沙懸浮載特性，結合漂沙源、匯分析、自然營力特性(海流、海浪、地形)、生態特性與環境特性，清楚瞭解漂沙機制與特性後再擬定可能的減輕對策，對策擬定需要考量現場工程之施工可行性規劃後再進行一統整，並擬定覆沙減輕對策的方向。過程中將彙整國內外專家學者之意見，蒐集可行之改善工法，最後擬定覆沙減輕對策方向。初步規劃之覆沙減輕對策規劃流程如下圖 163 所示。

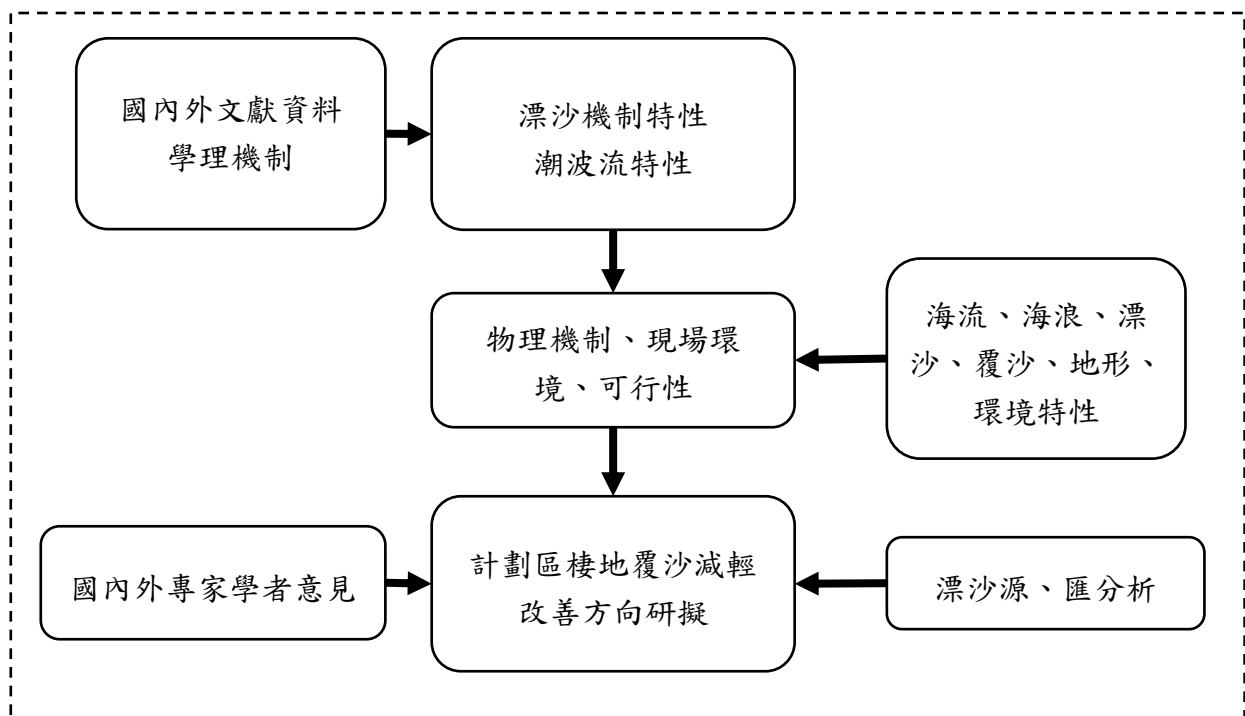


圖 163、覆沙減輕對策擬定流程規劃圖

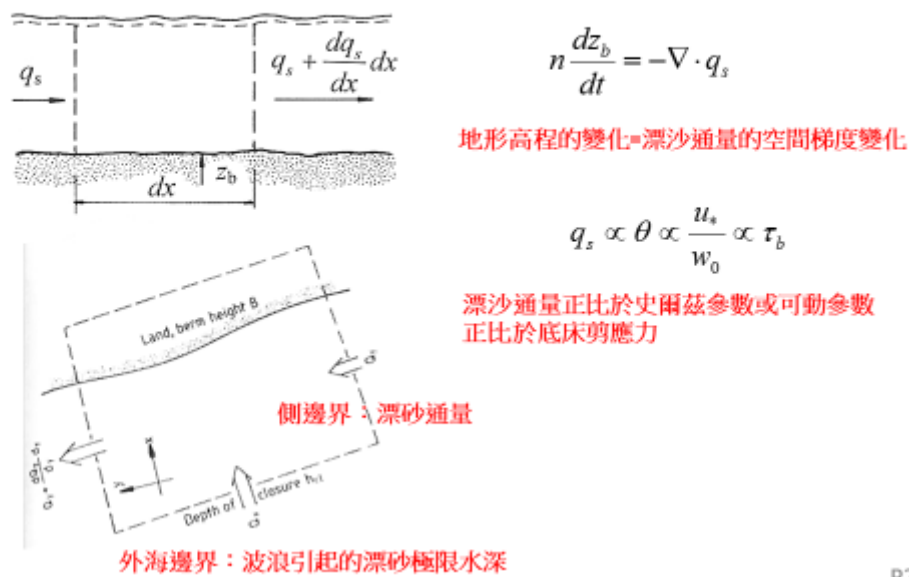
本計畫漂沙減輕對策研究方向為「防淤」。本計畫漂沙減輕對策研擬前，考量現場港、工區漂沙懸浮載特性、自然營力、生態與環境特性等，進行可行的改善工法研擬。需藉由調查資料彙整分析釐清幾點重要因素，初步擬定以下重要元素：

- (1) **漂沙源與匯**：釐清目標區，並以不同時間與空間尺度加以釐清漂沙源匯、量級與大小。
- (2) **覆沙機制釐清**：利用調查資料釐清覆蓋在藻礁上的覆沙機制，包含啟動與沉降條件、傳輸條件等。
- (3) **自然營力討論**：瞭解現場調查資料與環境作用力，初步規劃利用自然營力之作用，進行自然作用排沙。
- (4) **現場小型試驗**：本計畫規劃進行小型之覆沙改善現場試驗，過程中紀錄觀測海沙變動的結果。

8.2 漂沙機制學理分析

本團隊已對計畫區現場環境的漂沙基礎學理進行掌握，將針對以下幾個大項進行說明及討論。如圖 164 為漂沙及地形變遷的基礎學理 [Nielsen, 1992]，漂沙通量的空間變化會產生地形高程的變化，而在一個定義區內的漂沙通量可以拆解為沿岸與向離岸的兩個方向。漂沙通量在參數化模式過程，一般多用可動與史爾茲等參數來量化輸沙量[Hwung *et al.*, 2010]；這一些量化漂沙的參數主要包含兩個參數，一為水動力特性的底床剪應力 (τ_b) 或摩擦速度 (u_*)，二為沉積物特性的粒徑 (d_{50}) 或沉降速度 (w_0)。

漂沙及地形變遷學理



P25

圖 164、漂沙及地形變遷學理

一、自然水動力特性

本計畫考量漂沙學理及現場調查資料來討論波浪、潮汐、海流等自然水動力營力特性。因為實際的自然海岸水動力包含不同時間尺度的差異，需考量海流(current)產生的底床剪應力，加上波浪震盪運動(wave orbital motion)的剪應力，並加入波流交互作用的影響。本研究指稱的「海流」或「海岸流(coastal current)」是指利用雷諾分離法移除波浪的震盪速度(\tilde{u})與移除紊流速度(u')的平均流，平均流的時間尺度需大於波浪的震盪尺度，在現場資料的分析上一般定義為 10-20 分鐘以上的平均。在桃園海岸的平均流主要包含潮流(Tidal current)、風趨流(wind-driven current)與近岸流(nearshore current)。此乃因為計畫區的桃園海岸位處在台灣海峽通道的一側，受台灣海峽強勁潮流的影響，即使是計畫區的淺水域潮間帶可能仍受潮流的作用。因桃園海岸位處於東北季風盛行的區域，強烈季風吹拂水面，也會在近水面處甚至於整層水層引起上層水

體擾動與風趨流(wind-driven current)；風趨流對水深平均流(depth-averaged current)的影響在淺水處遠大於深水處。而近岸流則為波浪在近岸因為輻射應力變化產生的水流運動。

廖凱芹 [2018]、林伯謙 [2018]、藍亦汝 [2022]利用 Delft 3D 水動力模式，與現場資料進行比較驗證與分析。其中廖凱芹將潮汐、風、與波浪的各別作用力總和或分離考量，來探討潮流、風趨流、與近岸流各因子對總和海岸流的影響。林伯謙更利用四季的現場觀測資料重現海岸流的水動力，探討桃園淺水域(TWVD 約負 1.5-2 公尺)四季的海岸流變化。藍亦汝則利用 Delft 3D 更新的非結構性網格模式，更清楚驗證與討論計畫區的海岸流特性。他們的研究都證實，在淺水域的潮間帶，潮流仍是桃園海岸流的主要成分，而風趨流則視風速的大小，會讓海岸流的潮流震盪方向位移，轉而朝向風趨的方向。例如，西南季風盛行時，則海岸流會呈現震盪趨往東北方，造成淺水海域的月或季平均海流方向朝向東北向。相反地，東北季風盛行時，則海岸流會呈現震盪趨往西南方，造成淺水海域的月或季平均海流方向朝向西南向。因桃園海岸為東北季風盛行區域，東北季風的大小與作用時間明顯強過西南季風，而形成在淺水海域的年平均海岸流朝往西南向。因為風趨流對水深平均流(depth-averaged current)的影響在淺水處遠大於深水處，所以在越淺的區域風趨流的影響越明顯。

根據調查成果圖 165 為冬季(現場第 2-3 次調查成果)及春季(4-6 次調查成果)所測量到的摩擦速度機率分佈圖，由圖可以清楚看出冬季的水體的摩擦速度值比較偏高，顯示冬季的大浪造成較大的紊流可以讓更多的海沙懸浮。如圖 166 為懸浮漂沙粒徑分析結果調查成果圖，夏天與冬天的差異為漂沙及礁體覆沙差異的主要原因，主要原因為大浪會造成粒徑大的粗沙被懸浮傳輸。另從圖 167 為示性波高及漂沙懸浮濃度每日時序列圖及圖 168 為示性波高及懸浮漂沙濃度關係圖，由結果可知懸浮濃度與波高具有相當高的正相關，亦即波高大則懸浮濃度就會高。

二、 沉積物特性：

沉積在潮間帶的沉積底質粒徑，在 G1 區域有明顯季節差異，夏季較細約為 280 μm ，冬季較粗約為 450 μm 。G2 區域季節差異不明顯，不同季節皆約為 450 μm 。G3 區域季節差異不明顯，不同季節皆約為 270 μm 。由 G1 區潮間帶觀測到的懸浮粒徑結果可發現，夏季懸浮粒徑較小，冬季懸浮粒徑較大。

三、 漂沙臨界水深

國立中央大學 [2017]分析了大潭進水口突堤效應計算了漂沙臨界移動水深。若假設計畫區沉積物中值粒徑為為 200 微米，根據 Hallermeier [1980]的漂沙移動界限水深公式，搭配中央氣象局新竹浮標長年的調查資料可推算，計畫區漂沙內部移動水深約為 10 公尺，外部移動水深為 15 公尺。由計畫區地形水深資料，如圖 170 所示，可以得知因台電進水口堤頭水深約為 10 公尺，因此台電進水口可以有效地阻擋了大部分的沿岸漂沙。

四、 計畫區漂沙源與匯

計畫區漂沙來源與匯，主要為三項(1)海域沙源 (2)河川沙源 (3)風吹沙匯，圖 170 為計畫區漂沙沙源與沙匯示意，逐項說明如下：

- (1) 海域沙源:因計畫區漂沙臨界可動水深內(約 10 公尺)，海底底床夾雜礁體、礫石與海沙，並沒有大量沙源。故海域底床應該以懸浮載方式提供沙源。
- (2) 河川沙源:計畫區上游多屬於小河川，漂沙供給量屬小量，且既有突堤將計畫區分割，但仍然可能透過懸浮載方式，由外部邊界提供小部分沙源。
- (3) 風吹沙匯:目前尚未有相關資料。在計畫區潮間帶的沙被強勁的東北季風往潮上帶吹送，並形成沙丘(現 G2 區鄰近大潭電廠出水口已有形成小沙丘)。

整體漂沙機制初步彙整，可知計畫區在漂沙臨界可動水深內(約 10 公尺)主要以礁體為海床，部分沉積海沙多以懸浮載進行傳輸。計畫區漂沙濃度冬季時期明顯高於夏季時期，且漂沙濃度與波浪有良好的關係，說明了冬季因風浪大，故產生較高懸浮濃度，而這些高的懸浮濃度，會順著東北季風的風趨流往西南向傳送。而這些高懸浮濃度的水團不一定會沉降於某區塊，需有一適合環境條件下才會導致沉積。

另外由環評報告中的結果顯示，外推方案與迴避替代修正方案相比較，可知外推方案對桃園海岸環境影響較為輕微，如圖 171 與圖 172 所示。由環評報告中模擬結果可知，三接站外推方案建港後，由北往南漂沙主要會在 G1 區北側棧橋附近因進入遮蔽區而沉降，最南僅到約 G2 區附近，不會有大量將漂沙帶向南邊觀新藻礁位置之情形發生。觀新藻礁區受到台電進水口導流堤及永安漁港等沿岸構造無影響，阻滯漂沙影響，導致該區長期以來皆是侵蝕情形，外推方案建港後，觀新藻礁區仍維持侵淤互現的現況。

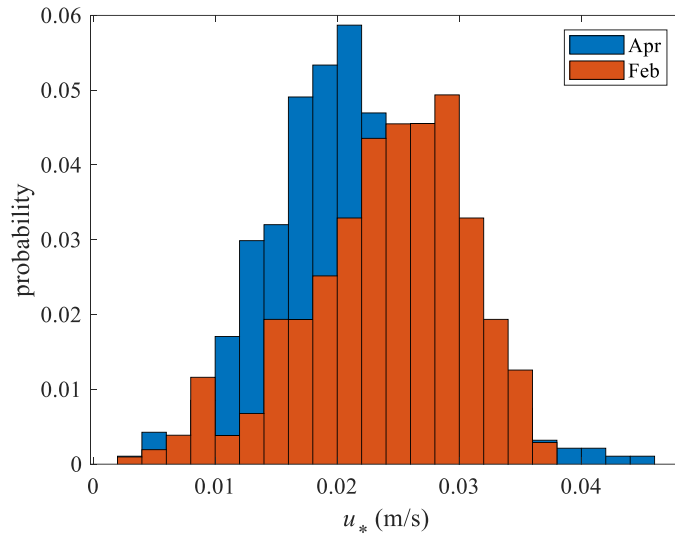


圖 165、G1 區測量到不同季節的摩擦速度機率分佈圖。

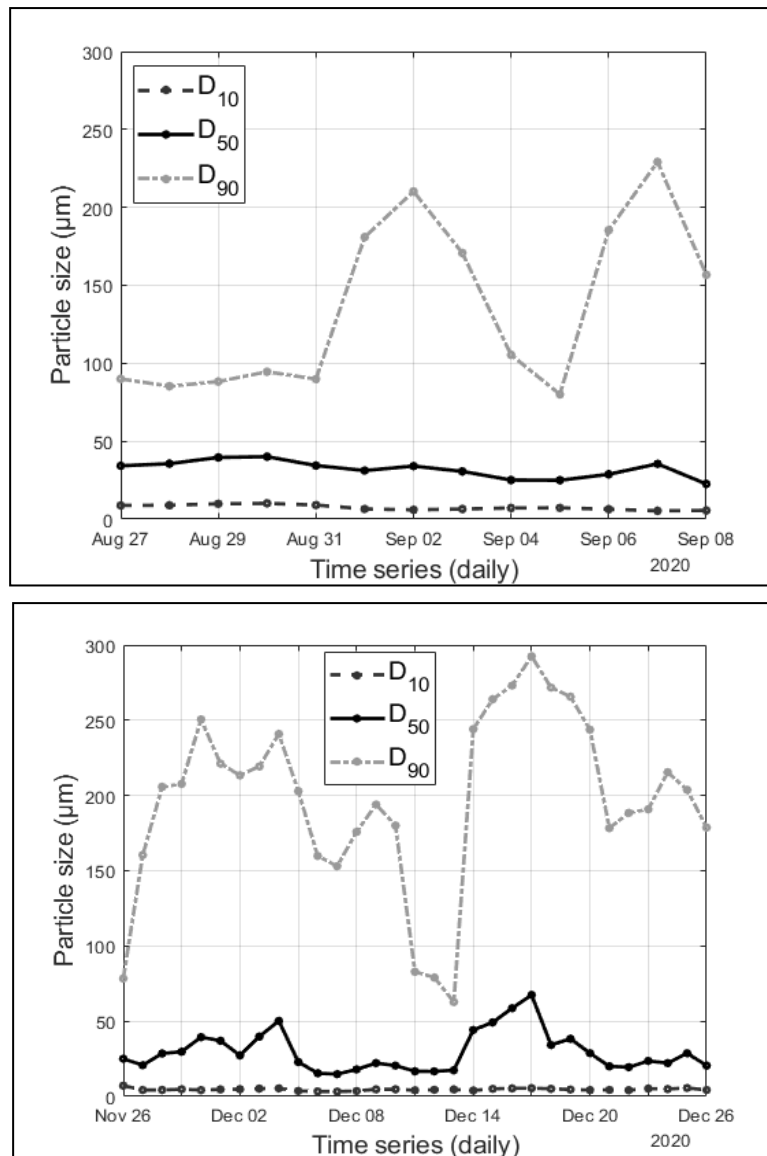


圖 166、懸浮漂沙粒徑分析結果調查成果圖。圖為大潭藻礁 G2 點位的懸浮粒徑夏天及冬天變化結果，顯示大浪會造成粒徑大的粗沙被懸浮傳輸。

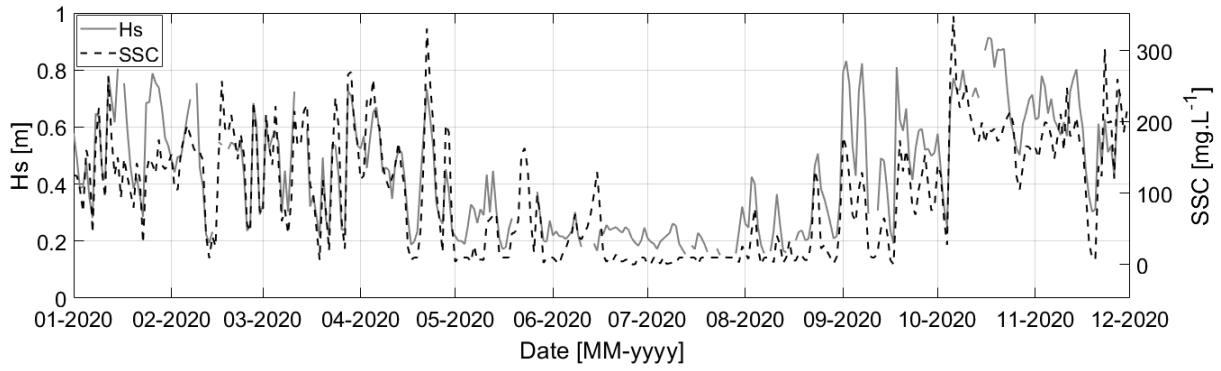


圖 167、觀塘藻礁 G2 測站之示性波高及漂沙懸浮濃度每日時序列圖。波高及濃度測站皆位於 G2 測站。

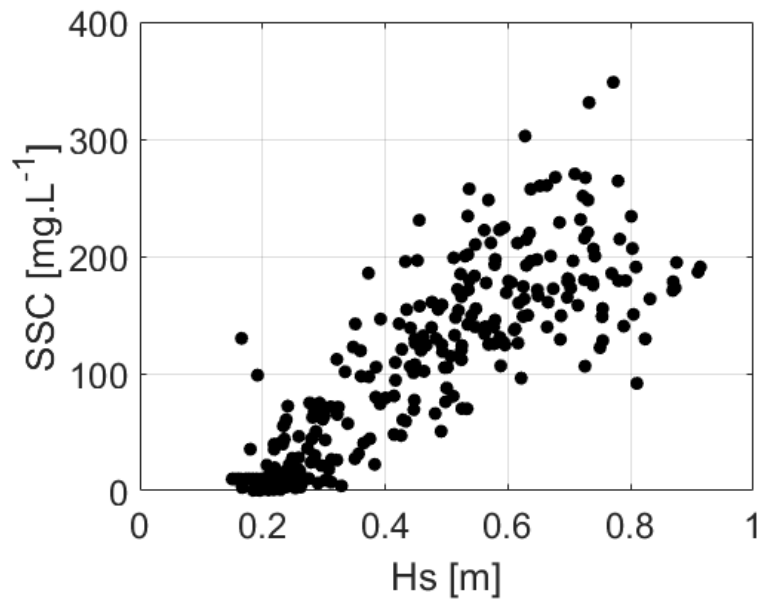


圖 168、觀塘藻礁 G2 測站示性波高及懸浮漂沙濃度關係圖。



圖 169、計畫區水深及堤頭示意圖



圖 170、計畫區沙源與匯示意圖。

註:圖中紅色圓形為堤頭位置，紅色及藍色箭頭分別為沙源及沙匯傳遞方向示意圖。

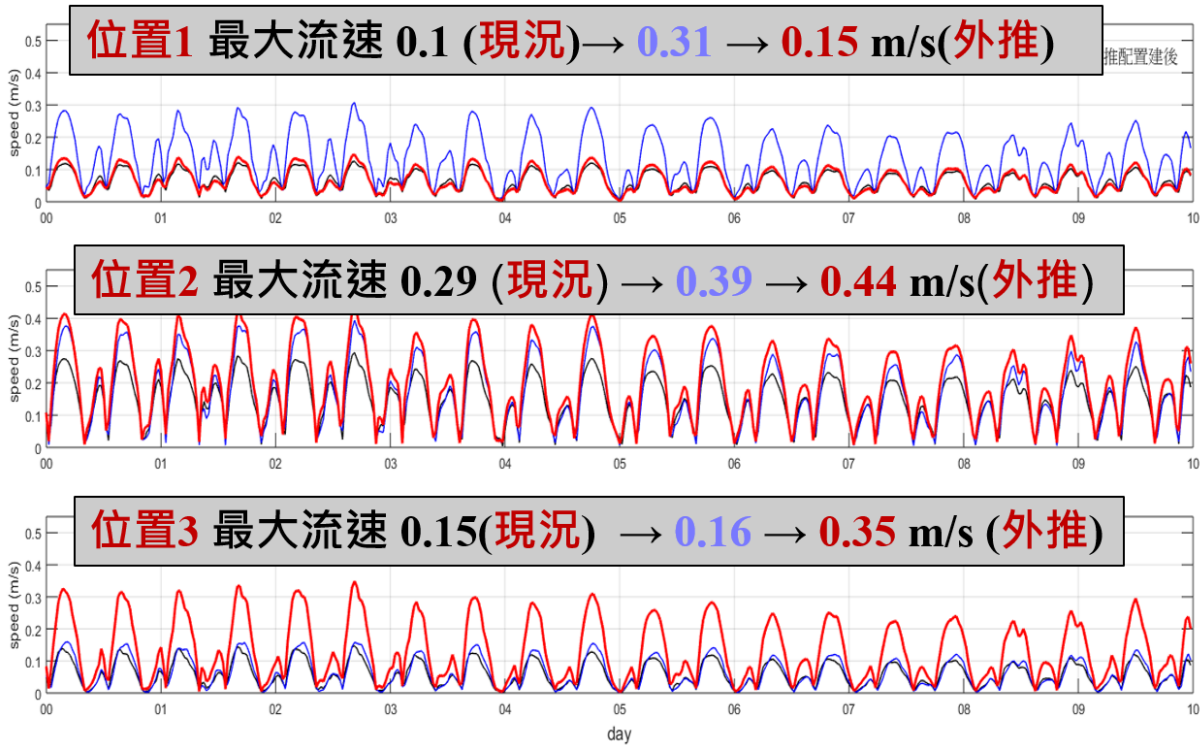


圖 171、外推方案與迴避替代修正方案模式流速結果圖。
 (資料來源:桃園市觀塘工業區工業專用港環境影響說明書環境影響差異分析報告(外推方案))

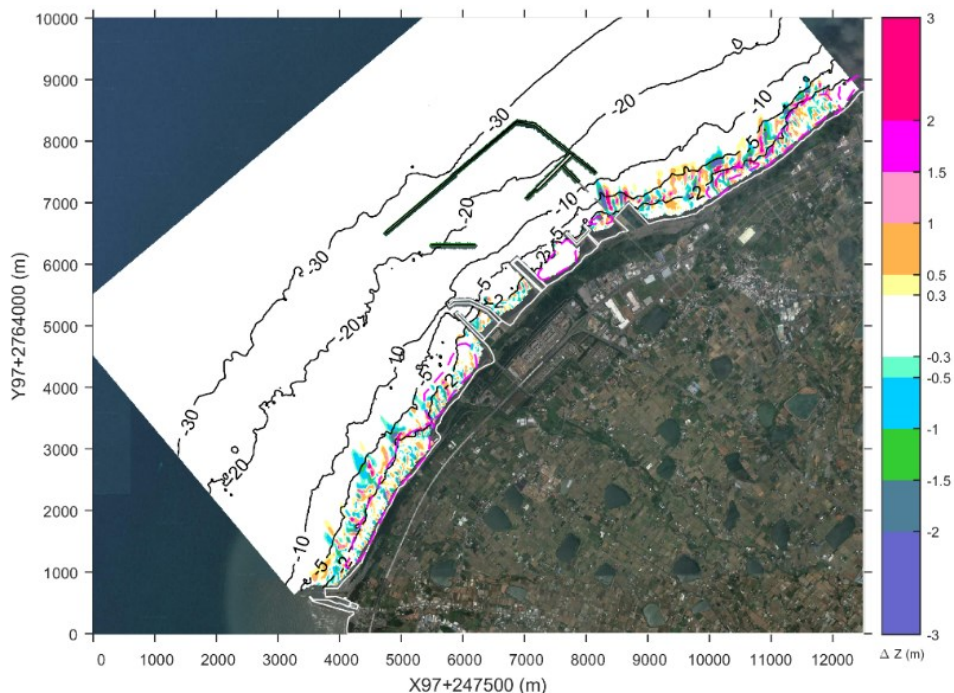


圖 172、外推方案與迴避替代修正方案模式地形變遷圖。
 (資料來源:桃園市觀塘工業區工業專用港環境影響說明書環境影響差異分析報告(外推方案))





圖 173、Google 影像有碎波帶與水深疊合圖。

五、漂沙啟動條件分析

Beheshti and Ataie-Ashtiani [2008]彙整了過去知名的研究成果及實驗資料，建議利用可動參數(movability number, M)來描述海沙的是否啟動條件，他們迴歸很多資料後，建議海沙是否可以運動的臨界條件可以寫成：

$$M = \frac{u_{*,cr}}{w_s} = \begin{cases} 9.6674 \times D_*^{-1.57}; D_* \leq 10 \\ 0.4738 \times D_*^{-0.226}; D_* > 10 \end{cases}$$

值得注意的是上式為水流應力與沙子啟動的臨界經驗關係，而最近 Pomeroy *et al.* [2017]、Pomeroy *et al.* [2018]、Pomeroy *et al.* [2021]。他們的研究也是利用可動參數 M 來研究珊瑚礁的漂沙行為，他們研究中採用

$$M \equiv \frac{u_{*,cr}}{w_s} \geq 1: \text{fully developed suspension}$$

本計畫的沉降速度 w_s 利用 Soulsby [1997]提出的經驗公式來進行估計：

$$w_s = \frac{v}{D} \left(\sqrt{10.36 D_*^2 + 1.049 D_*^3} - 10.36 \right)$$

其中 D_* 為無因次顆粒粒徑，其定義為

$$D_* = \left[(\rho_s - \rho) / \rho \cdot (g / \nu^2) \right]^{1/3} d$$

另外，我們也利用 Wu and Wang [2006]彙整的經驗公式來推估：

$$w_s = \frac{Av}{Bd'} \left(\sqrt{\frac{1}{4} + \left(\frac{4B}{3A^2} D_*'^3 \right)^{1/a}} - \frac{1}{2} \right)^a$$

其中 $A=33.9$ 、 $B=0.98$ 、 $a=1.33$ ，而 $d'=d/0.9$ 、 $D_*'=D_*/0.9$ 為轉換後的參數。由式中，我們可以知道影響本計畫的沉降速度的物理變數主要為沉積物密度 ρ_s 及粒徑 d 。一般之海水密度 ρ 為 1025 kg/m^3 ，若我們取懸浮物密度 ρ_s 為 2600 kg/m^3 或 1300 kg/m^3 ，並繪製粒徑與沉降速度的關係圖如下圖 175 與圖 176。我們可以推理知道(1)在相同粒徑條件下，沉積物密度的變化影響若從 1300 kg/m^3 變成 2600 kg/m^3 ，則沉降速度約變成 4-5 倍；此乃因為沉降速度受制於 $(\rho_s - \rho)$ ，其物理意義為扣掉浮力後之沉積物的有效重力變為 $275 \text{ (kg/m}^3) \times 9.81 \text{ (m}^2/\text{s)}$ 及 $1575 \text{ (kg/m}^3) \times 9.81 \text{ (m}^2/\text{s)}$ 。若(2) 在相同密度的條件下，沉積物粒徑從 $100\mu\text{m}$ 變成 $200\mu\text{m}$ ，則沉降速度約變成 3-4 倍。

若在一般砂質海岸的環境中，若沉積物大多由砂砂類的石英，與些微黏土類的綠泥石和伊萊石所組成，則海沙密度約 2600 kg/m^3 左右。但是利用 OBS 與 LISST 推算的懸浮物密度約為 1.1 至 1.4 g/cm^3 。此結果顯示藻礁區水中的懸浮沉積物除了砂

砂類的海沙成分之外，尚有含比重非常輕的其他物質，初步判定其為生物膜羽翼 (biofilm) 或者其他有機碎屑。除了具結晶結構的矽砂類的石英外，藻礁區的懸浮沉積物存在大量如果凍般的生物膜或有機碎屑。因生物膜的比重非常的小，幾乎趨近於水，因此會造成整體測量到的懸浮沉積物密度有所差異。

藻礁的懸浮物存在兩種密度不同的物質，亦即矽砂類海沙(比重約為 2.5-2.7 g/cm³)與生物膜(假設比重約為 1-1.14 g/cm³)，此兩種懸浮物的混合密度約 1.1 至 1.4 g/cm³ 之間。那麼海水中懸浮沉積物的密度差異是否影響藻礁系統中的漂沙行為？由顯微鏡下觀察到的懸浮物微觀分析，可以知道其兩種物質雖同時存在海水中，但少有膠結的情形發生，因此比較不會發生粒子碰撞後而產生的粒徑改變的絮凝或膠結現象。若我們忽略不同密度顆粒的細微交互作用，則海沙的運移過程是否仍遵循以往的漂沙理論？圖 XXX 與圖 XXX 調查成果繪製成可動參數(u^*/w_s)與無因次海砂粒徑(D^*)的關係圖，其中摩擦速度為實測值，沉降速度為利用 Soulsby [1997] 的經驗式並帶入懸浮物密度 ρ_s 為 2.6 g/cm³，並分別利用 LISST 測量到的 d_{50} 及 d_{90} 帶入計算。由結果可知，我們用 LISST 及 ADV 觀察到的懸浮漂沙，多落在常用的漂沙起動閥值曲線(Threshold curve for incipient motion of sediment)經驗式的可動區間內；這是個可預測的結果，因為我們測量到的是懸浮沉積物在水中懸浮的狀態。值得關注的結果是，當我們以 d_{90} 帶入此關係圖中，所測量到的關係越趨近漂沙起動閥值曲線。此結果代表粗粒徑的懸浮顆粒已鄰近漂沙起動與不起動的邊界值。Pomeroy et al. [2017] 等人利用 $M = u_{*,cr}/w_s = 1$ 為閥值門檻顯然跟本調查的海沙懸浮狀態有差異，而觀測到的可動參數 M 與無因次海砂粒徑(D^*)關係符合指數關係，意即 $M = \alpha \times D_*^\beta$ ，符合 Beheshti and Ataie-Ashtiani [2008] 所彙整的經驗式。

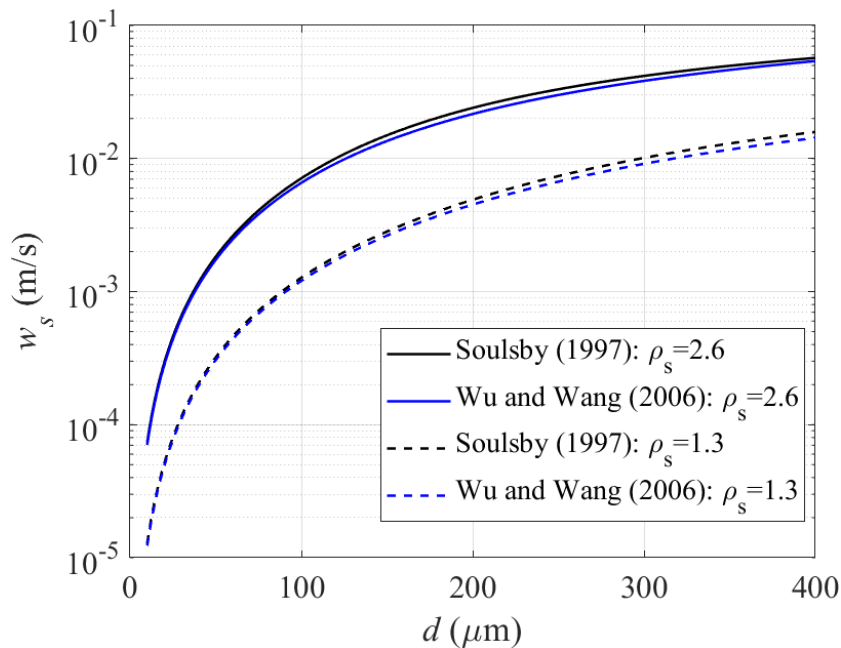


圖 174、沉降速度(w_s)與粒徑(d)關係圖。

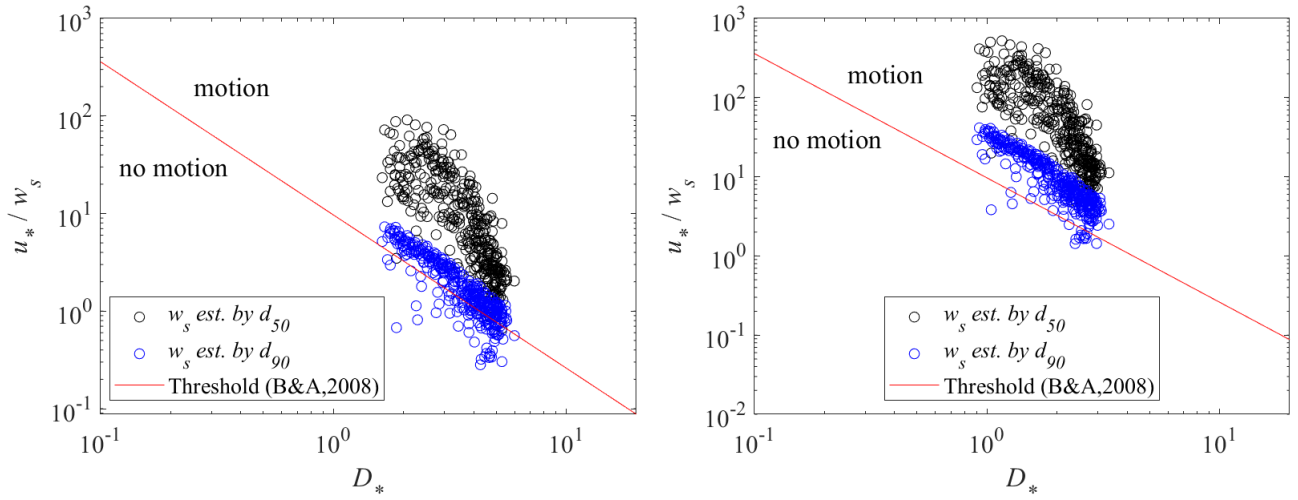


圖 175、可動參數(u^*/w_s)與無因次海砂粒徑(D^*)關係圖。第 2-3 次調查成果，懸浮物密度在左圖設為 2.6 g/cm^3 ，右圖為 1.3 g/cm^3 。

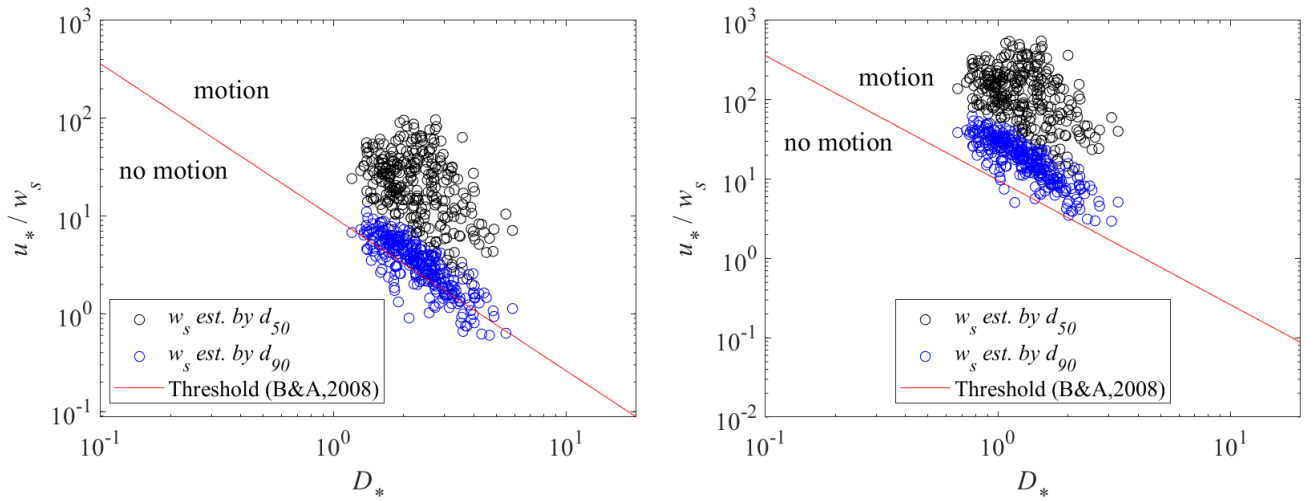


圖 176、可動參數(u^*/w_s)與無因次海砂粒徑(D^*)關係圖。第 4-6 次調查成果，懸浮物密度在左圖設為 2.6 g/cm^3 ，右圖為 1.3 g/cm^3 。

8.3 漂沙減輕對策方向

如同珊瑚礁生態系一樣，高漂沙濃度與漂沙沉降率對藻礁的生態而言都是極大的壓力([Kuo *et al.*, 2020])。因為藻礁保育目前已是社會急遽關切的議題，任何漂沙與覆沙減輕的對策規劃皆須進行考量，找尋多數認同可行、保育可行與工程可行，再進行清淤與防淤；在工程可行的方式下，以藻礁保育最大化，無礁體傷害的方式進行。例如，台灣水庫淤積的清除問題，也與時精進改善中。水庫清淤除了用機械清淤法，在旱季以沙石車直接挖掘進行水庫泥沙清淤，目前也有利用排沙渠道(例如曾文水庫)，在汛期時利用洪水引起的高流速與高濁流進行自然重力排沙。在藻礁漂沙與覆沙減輕對策上，除了傳統清淤工法之外，可以朝向研發或實驗其他清淤或者防淤工法，以有利藻礁保育的新式作法進行工程手段。

「清淤 (Dredging)」是指將已沉降的「淤沙」處的海沙，以人工方式在規畫區內進行「移除」海沙的行為，之後將移除的海沙運移到「堆置」區。傳統的清淤方法包含 如圖 177(<http://iuoe25.org/content/221/304/default.aspx>)：

- (1) **機械清淤法(Mechanical dredges)**：以工作浮台搭配挖土機或螺旋絞刀，直接挖取土方置於運輸船，載至堆置區。
- (2) **水力清淤法(Hydraulic dredges)**：利用水力讓沙變為流動態，吸取水與沙的混合濁流至堆置區或船上。之後以管線法(Pipeline dredges)抽取濁流，並將泥沙抽至堆置區；或以船台水力清淤(Hopper dredges)，將泥沙抽取至泥沙載船上，再運送到堆置區堆放。

在台灣有案例實績的清淤法，如圖 178，常見的清淤工法為的機械清淤法(Mechanical dredges)。該工法將挖土機置於工作平台，在低潮位時將泥沙挖取至工作平台上，再運送至堆置區。顯然地，因為挖取沙石過程容易也將藻礁也挖除，且在潮間帶上，工作載台與重機具進入保育區容易造成保育問題，在工法選擇上須謹慎為之。

根據環評書件，若覆沙增加時將採用抽沙浚碟的方式進行，然而，若以傳統海域清淤及排沙工法，如機械清淤法(Mechanical dredges)以大型機具直接在藻礁上進行清淤或是以水力清淤法(Hydraulic dredges)以軟管等小型管件進行水利清淤，可能引發環保爭議，藻礁覆沙區係以懸浮沙為主，衝擊減輕效應對策方面，處理懸浮力應屬可行方向之一，因此覆沙控制建議先採局部小區域進行現場實驗。本計畫規劃兩個現場實驗與一個實驗室實驗，各實驗說明如下。並於次小節彙整討論提出的工法優劣點。



圖 177、機械清淤法(Mechanical dredges)與水力清淤法(Hydraulic dredges)之圖例。



圖 178、永安漁港機械清淤工法案例(上圖)與環評報告水力清淤工法(下圖)實際案例。

8.3.1 清沙實驗

實驗一：清沙回淤現場試驗

(一) 實驗目的

在退潮時，利用小型抽水馬達所增加流速，直接將目標區的海沙利用水柱予以移除，覆沙移除後施以觀察，並每 7-14 天觀察記錄一次，以利未來提出漂沙減輕對策。

(二) 實驗區域

本試驗目標區乃利用歷史空拍影像選擇 G1 區海沙覆蓋容易變動的區域，作為目標區選點主要原因，並於容易變動區域選定離中潮位較近區域，框定一 5×5 公尺小區域範圍，以利進行抽水排沙，目標區示意圖及現場照片如圖 179 所示，為了方便討論目標區內的覆沙變化，將四個角落分別命名，並用 GPS 紀錄定位，詳細經緯度及各角落代號彙整於表 31。

(三) 實驗方法與結果

本計畫於 111 年 4 月 15 日於退潮時前往目標區，利用水中馬達抽取鄰近海水，直接將目標區的海沙利用水柱予以移除，現場工作照如圖 180。現場工作時發現，較難只依靠水柱力量，將目標區內的海沙完整移除，因水柱所造成的懸浮泥水易受到地形因素，導致懸浮泥水回流至原先區域，如圖 181 所示，但本團隊還是盡量將目標區內的海沙移除，持續到海水漲至目標區，才停止噴水。另外，水柱過強的話，易對環境生態造成影響，故本實驗水柱大小以不傷害目標區生態環境外且能有效造成水體擾動的前提下，進行清沙動作。

覆沙移除後施以觀察，並每 7-14 天觀察一次，實驗結果如表 32 及表 33 所示，共觀察三次，於 04/28(14 天後)、05/04(19 天後)及 05/13(28 天後)進行觀察。本實驗在觀察期間並未發生劇烈的天氣變化，如颱風等。由結果可發現視角 A 及視角 C 的調查結果較難看出差異，視角 B 及 D 明顯在潮池內沙有持續增多的現象發生，且約 04/28(14 天後)覆沙情形就與 04/14(清沙前)環境類似。另外從 05/04 至 05/13 的結果中，更明顯的發現覆沙情形有增加現象發生，此結果簡單說明目標區的覆沙回淤時間尺度約為 9~14 天。

從本實驗的結果發現，利用水柱的方式，除非施以強大劇烈的水流，否則較難達到完整清沙的動作，成效不好，且有許多條件需要克服，如：海水抽取點、水柱沖刷位置、水柱大小、施作困難等等。故不建議使用此方法來研擬未來漂沙減輕對策方向。

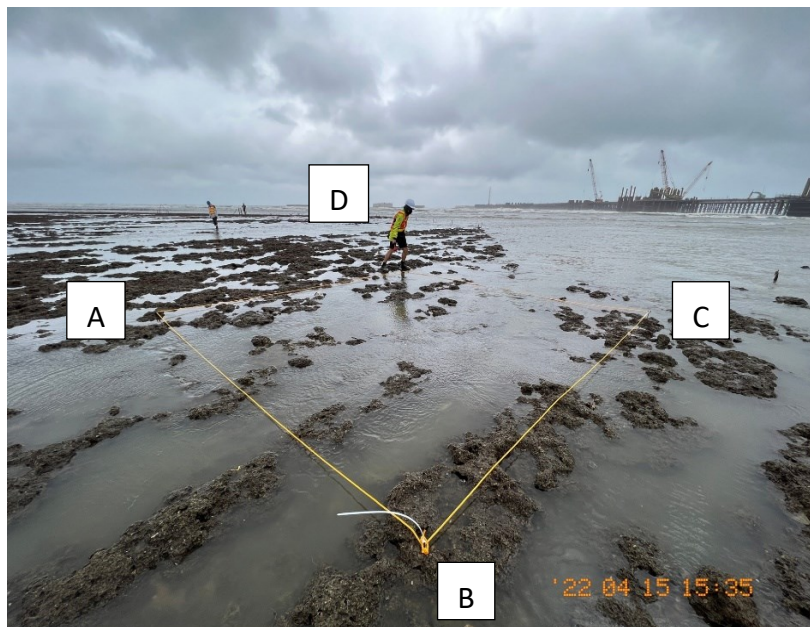
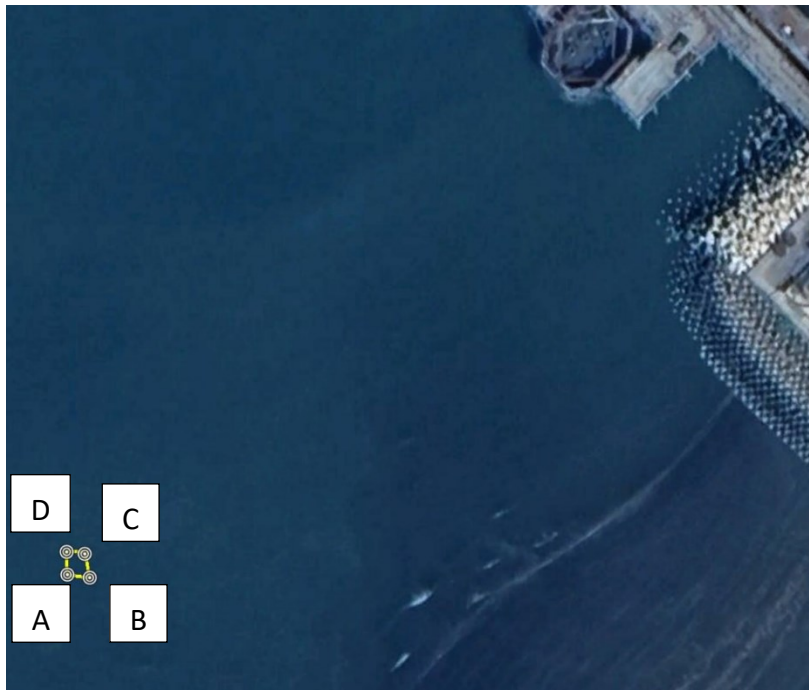


圖 179、實驗目標區示意圖及現場照片

表 31、實驗目標區四個角落經緯度彙整表

代號	A	B	C	D
緯度	25° 2'39.66" 北	25° 2'39.64" 北	25° 2'39.81" 北	25° 2'39.83" 北
經度	121° 3'26.97" 東	121° 3'27.15" 東	121° 3'27.11" 東	121° 3'26.96" 東



圖 180、現場工作照



圖 181、實施清沙後現場照，圖中泥水部分為利用水柱噴起區域

表 32、實驗結果(視角 A 及視角 B)





















	A	B
04/15 (清沙前)		
04/15 (清沙後)		
04/28 (14 天)		
05/04 (19 天)		
05/13 (28 天)		

表 33、實驗結果(視角 C 及視角 D)

	C	D
04/15 (清沙前)		
04/15 (清沙後)		
04/28 (14 天)		
05/04 (19 天)		
05/13 (28 天)		

實驗二：氣泡射流防淤實驗室試驗

(一)實驗目的

在實驗室以一壓克力透明水槽，採集現場海沙的樣本，鋪設於底床，並以氣泡射流使海沙懸浮，觀察及記錄海沙懸浮過程。

(二)實驗方法與結果

本計畫於國立中央大學近岸泥沙輸送實驗室內，利用一長型透明壓克力筒(直徑 15 公分、高 65 公分)，搭配桃園海岸大潭 G2 區現地沉積物進行實驗，其沙粒中值粒徑約 290~390(um)，採樣點位如圖 182 所示。

將沙樣放入壓克力筒底部中，並放入水於壓克力筒內，待沙樣穩定後，利用空壓機噴射氣泡射流，使底部沉積物懸浮，觀察並紀錄射流對沉積物之影響，實驗流程如圖 183 所示。實驗過程中發現，氣泡射流能輕易地使沉積物懸浮，若持續進行氣泡噴射，沉積物懸浮狀況亦得持續，不會有沉降現象。當射流停止之後約莫 5 秒內，大顆粒沉積物即完成沉降，小顆粒將會持續數分鐘後才完成沉降。

從本實驗中發現，氣泡射流相比利用水柱或抽沙方法，對於沉積物懸浮之效果甚佳，且因是利用氣泡的方式，故較容易執行且維護也簡單。本團隊也將氣泡射流進行現場試驗，其詳細調查方法及調查成果，請詳見下節報告中。從本實驗室試驗結果顯示，氣泡射流方法未來可能可以做為漂沙減輕對策之方向之一。

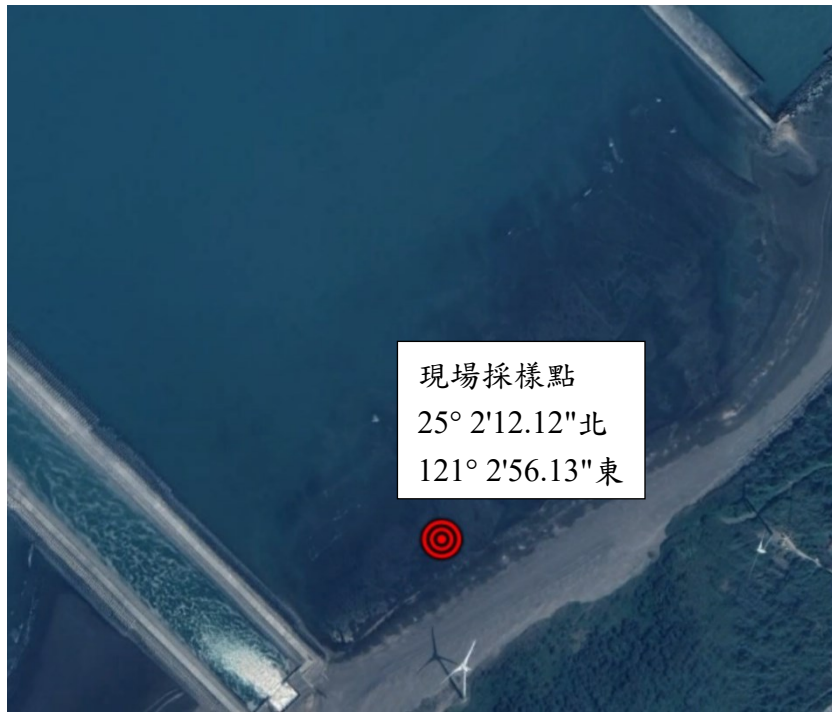
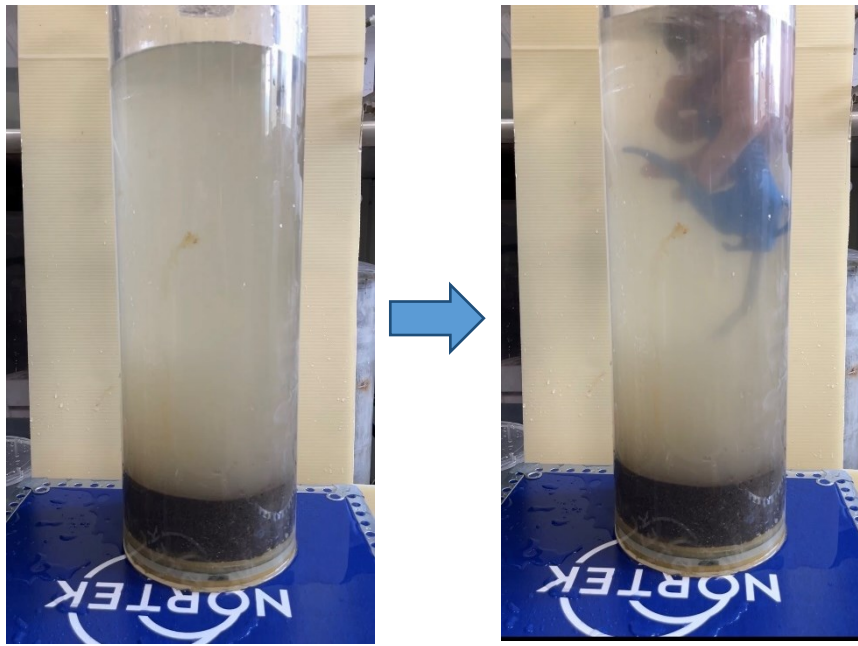
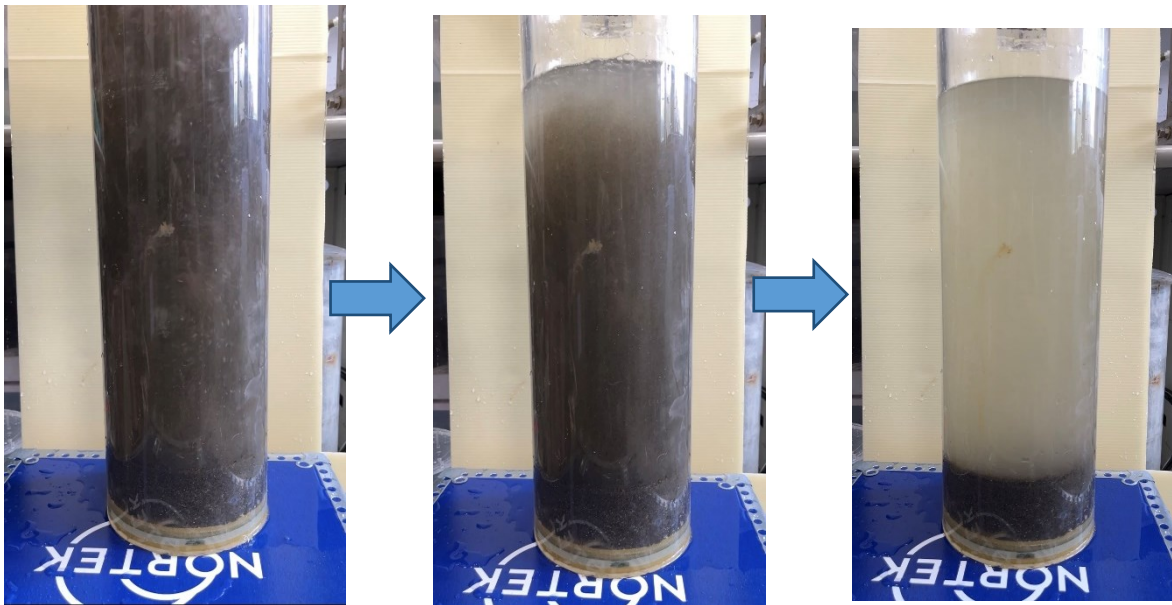


圖 182、海沙採樣點位



原始情形

放入氣槍



通入氣泡射流
使沉積物均勻混和

停止噴射

待置沉積物沉降

圖 183、氣泡射流試驗流程

實驗三：氣泡射流防淤現場試驗

(一)實驗目的

規劃框定一小區域範圍，在退潮時，於海床底部海沙上注入微小氣泡，增加紊流懸浮能力，並檢視海沙是否可以有效排除。

(二)實驗區域

本試驗目標區選定 G2 區鄰近大潭電廠出水口附近，框定一 1×1 公尺小區域範圍，目標區點位如圖 184 所示，目標區海沙最大厚度約為 5 公分左右，現場照片如圖 185。

(三) 實驗方法與結果

本計畫於 111 年 7 月 12 日於退潮時前往目標區，利用氣泡射流直接將目標區的海沙予以移除，氣泡射流約持續施作約 10 分鐘左右，現場施作流程如圖 186 所示。現場工作時可發現，利用氣泡射流易將海沙再懸浮，本實驗並等退潮目標區裸露後進行觀察，可發現目標區海沙明顯有減少的情形發生，實驗成果如圖 187。

從本實驗的結果發現，利用氣泡射流的方式，較易達到清沙的動作，但氣泡射流防淤仍然有許多問題需要克服，如：氣泡造成懸浮漂沙濃度增加、水中溶氧增加等等。但與利用水柱來進行清沙的方式相比，明顯用氣泡射流來清沙有效率許多，且施作方便。未來若要利用氣泡射流來做為漂沙減輕的主要對策方向的話，建議於實驗室及現場進行完整的實驗與評估，方能達到維持海岸漂沙環境與生態的平衡。

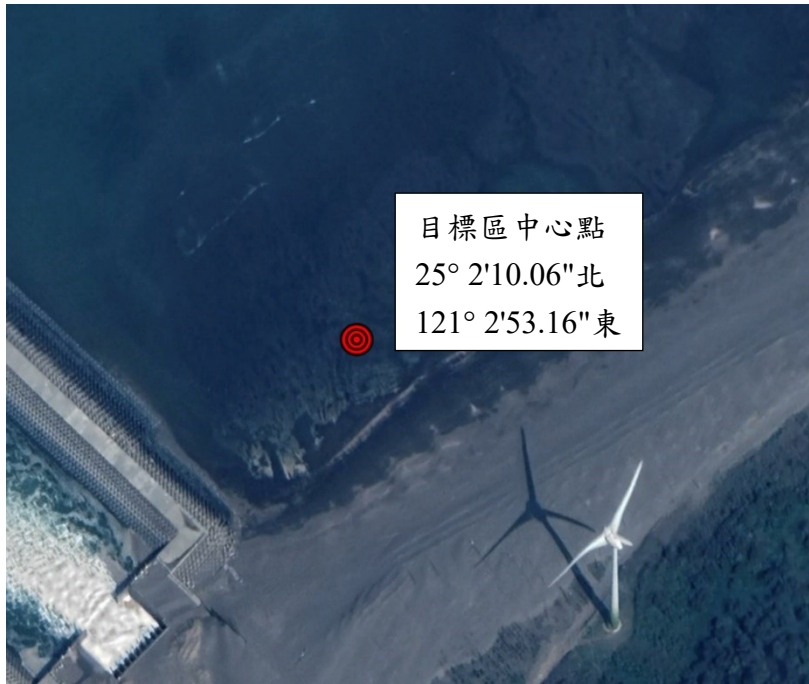


圖 184、氣泡射流防淤現場目標區中心位置圖



圖 185、氣泡射流防淤現場目標區現場照片

於退潮時期前往目標區



利用氣泡射流進行清沙



圖 186、氣泡射流防淤現場施作流程

施作前



施作後



圖 187、氣泡射流防淤實驗成果

8.3.2 漂沙與覆沙減輕對策方向

覆沙影響判定與減輕對策啟動原則

依據環評書件內容，監測資料若有發現異常時，應通報主管機關進行後續處理。未來在施工及營運階段，持續定期進行水深地形監測，如因上游輸沙量改變導致淤沙有影響營運(港域操航安全)或藻礁生態之虞，將啟動預防性(人為干擾)抽沙清淤機制。依據此淤沙的處理原則，本計畫建議分為幾個階段進行 G1 區的覆沙影響判定與減輕對策啟動原則：

第一階段：利用既有的環評監測及監督機制，在環評季報、年報報告持續觀察此覆沙現象，發生異常狀態即突然增加時，在監測報告提出警訊，則通報主管機關啟動應變。

第二階段：利用生態執行委員會的監督與諮詢功能，在覆沙發生異常時，提送到生態執行委員會的例行性會議或召開臨時會開會討論，由執委會初判斷警訊及異常現象原因，啟動專家諮詢會議進行討論，並決議繼續觀察或進行覆沙清淤的衝擊減緩工程措施。

第三階段：進行清淤工程等處置作為評估。

覆沙淤積發生異常之可能處置作為與對策方向

依據地形變遷與漂沙通量守恆方程式，減少或維持潮間帶覆沙淤積的方法，有兩大類，亦即讓其漂沙通量小於零或等於零。不要有淤積的方法為讓漂沙通量小於零(不要讓沙進入到系統中，或讓沙離開系統)，或等於零(讓沙在系統中維持懸浮)，以下針對此兩大類與可能之方法進行討論，整理如表 34：

1. 漂沙通量小於零

(1) 阻斷沙源(不要讓沙進入系統)

如同諮詢會議中的黃委員所論述，不要讓沙進入到系統中(Keep sand out of the system)：如同漂沙機制分析，導致 G1 潮間帶區域的淤沙原因為右側的儲槽突堤堤頭水深太淺(約 3 公尺)，加上東北季風的風趨流將大量懸浮漂沙灌入 G1 區域。要阻擋劇烈漂沙帶的沙源(5-10 公尺水深)進入到系統中，需要透過很大量體的工程手段，例如在漂沙優勢方向的上游設突堤攔沙(衍生真的突堤效應)。然而此方式在有生態保育的系統中將難以實現，且與目前的相關法令，如海管法維持自然海岸的精神背道而馳。

(2) 創造沙匯(讓沙離開系統)

桃園海岸因東北季風強烈的特性而讓潮間帶之上產生沙丘，在 G1、G2 區的區位也是有存在風吹沙丘的特性。沙丘的沙源為潮間帶的海沙沉降後被

風繼續吹到上潮帶之上而程穩定之沙丘。若能在不傷及礁體的情況下，將上潮帶的沙丘與潮間帶的海沙移除，則能創造沙匯，減少潮間帶的海沙堆積現象。另外，在不傷及礁體的情況下，利用水力抽沙，將局部堆積海沙，利用管線抽至去處，也可以讓沙離開系統創造沙匯。

2. 漂沙通量等於零

(1) 讓沙在系統中維持懸浮(Keep sand suspending in the system)：泥沙進到系統中，若能讓泥沙持續保持懸浮狀態，不沉降則不會發生淤積。在三接外推方案中，港廓遮蔽的水域內，潮流在局部區位會加速，但是因遮蔽效應還是會減少波浪的剪應力，因此在遮蔽區與非遮蔽區的交界面附近，也就是水流挾沙能力由強轉弱的區位就會是泥沙落淤的熱區，海沙沉降後於退潮時給於懸浮力，使其順著退潮海流離開系統。若冀望以人為外力來保持，可行性需要考量。

表 34、G1 區潮間帶淤積海沙後之衝擊減緩可能措施整理表。

分類	使漂沙通量小於零			使漂沙通量等於零
	阻斷沙源	創造沙匯	創造沙匯	
可能施作方式	在上游興建突堤阻斷沙源。	在不傷及礁體的情況下，將上潮帶的沙丘與潮間帶的海沙移除。	在不傷及礁體的情況下，利用水力抽沙，將局部堆積海沙，利用管線抽至去處。	改變控制區內的水動力環境，利用氣泡增加沉降區的懸浮力。在退潮時增加懸浮力，使沉降的海沙再次懸浮傳送到控制區外。
優點	阻斷大量沙源，短期效果明顯。	短期效果明顯。施工方式簡單。處理“固態”海灘沙源，沒有“流態”高濃度海沙擴散問題。	短期效果明顯。“流態”海沙容易持續性抽取，效率高。	沒有混擬土工程；氣泡工程容易施作。
缺點	增加人工突堤，與自然海岸精神違背，減少棲地面積，有影響生態之虞。無法阻斷所有粒徑的漂沙。	因為沒有阻斷來源，間隔一段時間可能會回淤，像是漁港內的清淤需要持續性施作。	水力抽“流態”海沙會增加局部懸浮漂沙，抽沙時需要控制高濃度漂沙的外溢。沒有阻斷沙源，會回淤，要持續性施作。	長期維持氣泡的經費高。氣泡可能帶來溶氧過高等另外問題。效果緩慢。
挑戰	可以阻斷“大部分”沙源，但是仍有細顆粒或者小部分漂沙可以進入系統，可以延長覆沙時間尺度，但是不能根治。	要解決海沙去處問題；需要確保工程手段不傷害礁體；需要進行社會溝通。因沒有阻斷沙源，一段時間仍可能回淤。	要解決海沙去處問題；要控制高濃度抽沙源外溢；衝擊海中生態之虞；要解決海沙去處問題。	需要徹底了解遮蔽區所有的水動力。需要進行更深入研究，了解氣泡濃度、施加氣壓等工程手段。工程難度高。
生態衝擊性	中至高	中低	中	控制得宜，可能影響低
工程可行性	高	最高	高	中低
財務需求	最高	中低	中	中
維護需求	中低	高	高	中高
初步評估結語	經費高、增加海域硬性工程設施，突堤社會觀感非常不佳大、違背自然海岸精神。除非有其他效益，不建議規畫施作。	因為最直接、工程可行最高，建議在需要時可以優先以實驗性質小規模施作。建議需搭配生態調查、高密度地形變遷等研究進行評估影響。	建議持續精進或研究其內容。	建議持續精進或研究其內容。

研究已經發現海岸帶主要影響海流及輸沙“淨”方向的环境作用力為東北季風。在東北季風盛行的桃園，在排沙時可以考量施以另一方向的人工環境作用力，增加其排沙效能。例如，於退潮時，增加其水體紊流，並考量海沙沉降速度，使海流能夠懸浮粒徑較大的海沙，使其達到自然排沙之效果。然而，未來的環境持續變異，包含不同時間與空間尺度的影響，例如極端氣候、年際變動、季節性變動、颱風極端海氣象等因素，而近年的水庫清淤排放沙源也可能造成輸沙環境改變。工程施工中若有覆沙增加之情況發生時備受社會關注，然而漂沙系統夾雜自然與人為複雜等因素，藻礁的清淤如何施作？建議持續監測，凝具共識。目前覆沙啟動條件仍多有討論，尚未形成共識，啟動條件之問題尚有：(1) 警戒條件之設定為何？覆沙低於平均低潮位(絕對高程約-1.5公尺)處警戒？(2) 清淤啟動條件？覆沙危及柴山多杯珊瑚(分佈在水深約-1.6-1.9公尺潮池處)在下潮帶絕對高程約-1.6公尺處啟動？(3) 清淤啟動的時間？一季超標就啟動？還是一年超標？。因目前覆沙環境仍變化中，覆沙狀況雖持續增加，但仍有季節性變動、颱風未侵襲帶走覆沙等因素。

綜合整理專家諮詢會中，所有專家學者對覆沙衝擊減緩方向的意見：

- (1) 應有更細緻的地形變遷預測模式
- (2) 應持續監測判定
- (3) 整合生態調查資料與保育

在清淤工法的討論上的共識：

- (1) 傳統傷害礁體的挖峻工法不可為
- (2) 低影響的新工法
- (3) 應規劃好清淤流程
- (4) 達成是否清淤的共識
- (5) 小規模實驗
- (6) 考量與評估生態之影響

目前數值模擬預測受限於地形高程測量點位的密度不足（目前約 100*100 公尺一個點位），用在大範圍的模擬較可信。然而目前遇到的挑戰是 G1 的及棧橋橋墩漂沙問題，尺度已經小到一二十公尺內。要使漂沙模擬結果更精確，需要在五米水深內到高潮位的精細地形水深及高程測量資料。因為五米水深內的碎波取決於地形水深，好的地形資料才有辦法進行更精確的水動力模擬，及後續更細緻的漂沙數值模擬。地形測量密度最好約 10*10 公尺左右一個點位。在施測時，陸域潮間帶高程可用岸基光達，若用傳統人力 RTK 測量則需注意測線密度。海域測量需要注意測線密度，因有礁體得立體高程會影響測量誤差，施測時最好能有頃度計進行資料品管。所有的水深資料需要進行潮位、湧浪及頃度矯正，建議未來要進行更細微的地形測量及更小尺度的漂沙模擬。將意見彙整於建議中。

8.3.3 G1 區歷年海沙覆蓋變化

本計畫蒐集 G1 區歷年覆沙與礁體露出範圍，並將結果套疊如圖 188 所示。由結果可發現 2020 年道 2022 年 G1 區海沙覆蓋的區域都有變動的情形，資料顯示這三年覆沙逐漸增加，變動的位置主要發生在中上潮帶的位置，其中紅點為柴山多杯孔的部分點位，靠近海測的黑框線為下潮帶 TWVD=-1.46 公尺的位置。

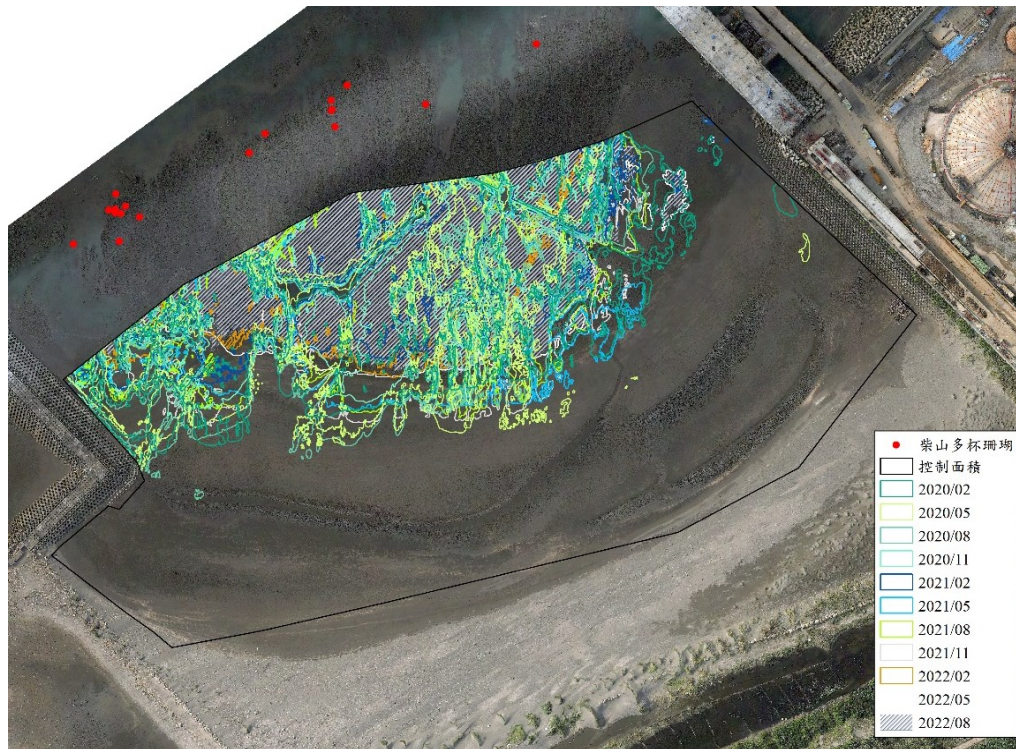


圖 188、G1 區歷年礁體露出範圍及柴山多杯珊瑚生長位置。

委員意見與建議綜合整理

※是否應進行清淤?

- 沙埋現象是否需進行清淤?宜由生態專業人士認定之。(應達成是否清淤的共識)
- 如果確定淤積的來源是由外推施工造成，那麼是否應從源頭去想出更好的減輕對策才是治本之道，如只在潮間帶區用氣泡射流方式清淤也只是治標而已。誠如簡報第 59 頁最後所寫的那句話「淤積的環境，即使清理後也會回淤」。?(應達成是否清淤的共識)
- 抽沙後續的效應?如果開發不會改變原淤積趨勢，清除後變成滯沙池，還是會在淤?淤積速率?對鄰近影響? 如果原淤積趨勢改變?那未來的侵淤熱點?(應有更細緻的地形變遷預測模式)
- 另外一種珊瑚礁地形產生的水動力是渦流，產生渦流會讓泥沙不易流出淤沙區，未來也可進一步探討這個問題。(應有更細緻的地形變遷預測模式)
- 本次會議議題探討藻礁受覆沙掩蓋，因應方式考慮採用水力清淤，然而，對於藻礁區的水動力特性尚未掌握，無論採用何種清淤方式，懸浮起的泥沙能否流出藻礁盤後不再流回尚未可知，因此，進一步了解更精細的空間與時間尺度是必要的。(應有更細緻的地形變遷預測模式)
- 以桃園南端藻礁而言，目前調查資料顯示在觀新藻礁北側海域和大潭藻礁 G1 海域潮間帶有季節性的區塊性積沙，可視為積沙的自然界變化。另外，此研究計畫中進行的藻礁局部清淤實驗也顯示已清淤區塊過不久又有積沙累積。由此判斷，桃園南部的藻礁區潮間帶的積沙，似乎以人工方式來清淤，效果不大。(應達成是否清淤的共識)
- 實際沙埋範圍與厚度，宜有實際監測數據，俾利後續處理與判定。(應持續監測判定)
- 海岸地形變遷乃為海岸趨於穩定之過程。海岸地形未達穩定狀態，若藉由人工清淤以維持現況地形，乃屬不切實際。(應達成是否清淤的共識)
- 港內淤積以細粒懸浮質沉積為主，其淤積量較為有限，也較有可能採用人為清淤改善；但港外自然海岸之淤積，其數量偏大，且會長年持續，故不建議進行人為清淤，待海岸穩定後，即可恢復自然生態。(應達成是否清淤的共識)
- 建議短期(3~5 年)內不清淤，觀察淤積(區位、量體，泥沙粒徑)或侵蝕(區位、量體)特性是否趨於穩定，往下再決定是否清淤。(應達成是否清淤的共識)
 - 此一時間尺度為根據大潭電廠進/出口結構物完工後鄰近地形變遷特性所估計。
 - 在此一變遷過程未達穩定之前，如果變成設定門檻，只要超過就去清淤，將使清淤工作沒完沒了。並且這一區的棲地就會一直處於擾動狀態，不見得有利生態發展!?
 - 如果屆時穩定的淤積範圍不大(標準可以另訂)，何妨在藻礁生態系中容許其他生態系可能的發展。
- 在解決週遭水體中的懸浮沙粒過高現象前，不建議進行任何清淤工程。(應達成是否清淤的共識)
- 此研究計畫中進行的藻礁局部清淤實驗也顯示已清淤區塊過不久又有積沙累積，

無論用何種人工方式清淤，只要週遭水體中的懸浮沙粒過高，在藻礁區潮間帶發生的區塊性大量積沙，都無法避免。因此，在解決週遭水體中的懸浮沙粒過高現象前，不建議進行任何清淤工程。(應達成是否清淤的共識)

※如何清淤？與清淤工法之選擇

- 在美國現在在推廣以自然為本的設計(Nature-based design)建議納入思考方向。(低影響的新工法)
- 藻礁覆沙區係以懸浮沙為主，衝擊減緩對策方面，似就勢順導為宜。基於此概念「增加懸浮力、改變沉積環境」之策略應屬適切方向。(低影響的新工法)
- 如何證明所述方法可以避免破壞藻礁?多大馬力?何種水深?(低影響的新工法)
- 傳統海域清淤工法，都需要先鑽井才能做抽沙的動作，會破壞藻礁，所以此方法應該不可行。(傳統挖峻工法不可為)
- 水力清淤法較機械清淤法較好，但堆置區域在何處?可能要到觀新藻礁區下游，或向西更遠的外海，對藻礁的生態仍須研究。(應規劃好清淤流程)
- 清除的淤沙何處去?(應規劃好清淤流程)
- 水力清淤如要實施，須先完成長期觀測再配合學理分析，釐清工業港漂沙機制及覆沙，確認空間淤積分布與範圍，時間尺度是否以長期分析覆蓋時間並影響珊瑚成長，基於這些基礎資料，可以考慮水力清淤是否可行，如可行清淤時間及範圍需有適當規劃。(應規劃好清淤流程)
- 目前清淤方式可分為機械清淤、水力清淤與中大提及之氣泡射流清淤。機械清淤是以重機具之方式將淤沙挖取與清除，因機組之移入與清淤作業挖取之過程，將可能對藻礁區產生直接之損傷，損害原有藻礁區內生物之棲息環境。(傳統挖峻工法不可為)
- 簡報中用人工水管水利沖沙，宜注意方向，避免對生態造成傷害，如有試驗，可以釐清一些憂慮。(小規模實驗)
- 以空氣射流增加懸浮，藉由自然海流排沙，可能實施在哪裡?由那裡的海流排沙?可以做小規模研究來看(小規模實驗)
- 空氣射流增加懸浮之構想很創新，但不建議，因為直接影響該區生態。建議採自然或人為改變流況方式。(低影響的新工法)
- 抽沙機具乃以實務為準，在不影響礁體，僅抽取淤沙之條件下，建議以簡易吸管式抽沙機具為宜，若再於吸管頭加裝噴水頭，以加強海沙之懸浮，則更可提昇抽沙作業之效率。(應規劃好清淤流程)
- 覆沙減輕有幾個原則，以下說明乃一般港池要減少淤積的 3 種策略，三接離岸港廓與陸地間的水域嚴格講不算是封閉的港區，不過某些條件卻也十分類似：例如其遮蔽波浪的效應，因此自然也可參照。
 - Keep sand out (KSO): 不讓沙進到系統。然而這在此區非常不可能實現，因為那需要透過很大量體的工程手段，例如在漂沙優勢方向的上游設突堤攔沙(衍生真的突堤效應)，與目前的相關法令，如海管法維持自然海岸的精神背道而馳。
 - Keep sand moving (KSM): 如果 KSO 行不通，表示泥沙會進到系統，這時只有

讓沙保持運動，自然不會掉下來；然而在三接港廓遮蔽的水域內，雖然潮流通透，並且在局部區位還會加速，惟預期碎波的力道將大幅降低，因此在遮蔽區與非遮蔽區的交界面附近，也就是水流挾沙能力由強轉弱的區位就會是泥沙落淤的熱區，若冀望以人為外力來保持 KSM 者，可行性相當低。

- Keep sand navigable(KSN): 如果泥沙難免落淤者，那麼就一定要注意不要等到泥沙淤到無法清理或很難清理。例如，一般泥沙淤積如果深度不大或是多為非黏性 (cohesiveless) 顆粒者，其可清理程度會遠較具黏性(通常為小於 74 μ m 的粉土或黏土)的淤積為高。鄰近的大潭電廠進水口的案例可資借鏡。

- 如果 KSN 是唯一可遵循之策略，在方法上可能還需審慎評估，畢竟這非港池或航道浚深，傳統清淤方式應該很難於此施作。(應規劃好清淤流程)
 - 訂定一個清淤門檻
 - 在現場或實驗室(大比尺)建立一個可行清淤模式，其中就可包括環評建議使用的水力清淤法(Hydraulic dredges)
 - 可考慮藉助大退潮的流動，必要時加上人為擾動(於高平潮時)
 - 不同水深區位的淤積特性與清淤模式未必相同，特別是在潮間帶。
- 桃園南部的藻礁積沙的區塊目前以觀新藻礁北側海域和大潭藻礁 G1 海域潮間帶較為嚴重，似是因突堤效應造成，也許可由此著手來了解可以改善之處。(低影響的新工法)
- G1 週遭水體中的懸浮沙粒過高現象，是否可以先改善此區域的海水流速或循環不良來做為考量點，而不是進行清淤，畢竟要治本(不要只治標)。(低影響的新工法)

※清淤施行需要考慮之條件與問題

- 珊瑚成長及生存水質非常重要，水力清淤或氣泡清淤屬於流體或空氣排沙，是否影響水質濁度，或排沙要排到哪裡？如沙源往下游或深海排放，將製造另一個區域之藻礁覆蓋問題。(考量與評估生態之影響)
- 潮間帶清淤請在低潮位時進行，因為聲音在水中不易衰減而且會傳播至遠方，對水中生態影響很大，如器具在水中施工，請用低噪音設備。(考量與評估生態之影響)
- 未來若進行清淤作業，請強化生態監測的涵蓋度和監測項目研擬，包括設置衝擊區和對照區，以及特定指標生物的選擇與頻度的考量。也可能要針對潮間帶的藻礁生態系（外界關注的重點）和海洋亞潮帶的生態系分別研擬。(考量與評估生態之影響)
- 用氣泡射流清淤法來清除潮間帶的淤沙，可能還是要有一些初步的實驗來看其成效及利弊得失。這部分建議可與中油公司委託的生態調查團隊互相合作來進行，以便能取得利用這些工法清淤之後，對底棲無脊椎動物特別是柴山多杯珊瑚及殼狀珊瑚藻的影響。(考量與評估生態之影響)
- 水力清淤與氣泡射流清淤皆為將沙變為流動態，透過抽取濁流清除，變為流動態之過程，若無法有效控制作業範圍與抽取成效，周遭環境之濁度及懸浮固體將在短時間內大幅上升，過高之懸浮固體將可能對藻礁生物產生負面影響。(考量與評估生態之影響)
- 以桃園南部的藻礁積沙的區塊大都是在藻礁上半部，而此區域棲息有許多的小型魚類以及無脊椎底棲動物（如螃蟹、螺貝類等等），如進行清淤工程會對這些底棲動物會造成生存衝擊。(考量與評估生態之影響)

九、結論與建議

9.1 結論

1. 本計畫已完成的現場調查成果包含：

- (1) 完成 G1 區海域連續一年的逐時調查，有效資料達成率高達 87%。
- (2) 完成 G2 區域共至少進行 3 次的現場潮波流調查，每次調查至少須要連續 28 天以上之逐時調查資料。G2 區現場潮波流調查有效資料時間長達 261 天。
- (3) 完成 6 次近岸流速剖面調查。
- (4) 完成 6 次懸浮漂沙濃度垂直分佈調查
- (5) 完成 6 次懸浮漂沙粒徑調查
- (6) 完成 3 次覆沙底質粒徑調查，且每次調查皆在 24 點位以上，第一次調查共 31 點位，第二次調查共 29 點位，第三次調查共 33 點位，三次共 93 點位。

2. 潮波流調查成果

(一)G1 區潮波流調查成果

- (1) G1 區潮汐水位主要由半日潮所主宰，全日潮僅佔全部能量非常小部分。
- (2) G1 區波高明顯在夏季較小，秋、冬波高較大。
- (3) G1 區四個季節不僅受到短週期 2-6 秒的風浪作用，也容易受到較長週期 10 秒以上的影響。另外，可發現秋、冬相比夏季，有較多長週期浪進入。
- (4) G1 區春、秋、冬季波浪來向多為北方，較為集中約在 345 度~15 度間；夏季則較為寬廣，波浪來向為西北到西北北向，約在 315 度~360 度間。
- (5) G1 區近岸流四個季節平均流速約 0.25 m/s，流向皆為東到西向(90-270 度)。另外從夏季及冬季的流速流向玫瑰圖，可看出該區有受到季風影響，導致夏季及冬季分別往東北向及西南向的近岸流有增強的的趨勢。

(二)G2 區潮波流調查成果

- (1) G2 區潮汐水位主要由半日潮所主宰，全日潮僅佔全部能量非常小部分。
- (2) G2 區波高明顯也是在夏季較小，冬波高較大。
- (3) G2 區四個季節不僅受到短週期 4-6 秒的風浪作用，也容易受到較長週期 10 秒以上湧浪的影響。
- (4) G2 區秋、冬波浪來向較為集中約在 300 度~330 度間，春、夏則較為寬廣，波浪來向約在 270 度~330 度間。
- (5) G2 區近岸流四個季節平均流速約為 0.14 m/s，流向皆為西南到東北向(180-225 度)。另外從夏季及冬季的流速流向玫瑰圖，可看出該區有受到季風影響，導致夏季及冬季分別往東北向及西南向的近岸流有增強的趨勢。

(三)G1 區與 G2 區潮波流調查結果比較

- (1) G1、G2 區四個同時段波高分布類似。
 - (2) G1、G2 區兩個區域皆有受到短週期 2-6 秒的風浪作用影響，在東北季風盛行時期(9 ~3 月)，G2 區明顯比 G1 區有較多長週期(10 秒以上)湧浪出現。
 - (3) 在東北季風盛行時期(秋、冬、春季)，G1、G2 及新竹浮標主要波向偏北，夏季時期主要波向偏西北方
 - (4) 由碎波指標可發現，G1 區明顯比 G2 區更容易有碎波情形發生。
 - (5) 由資料可知，G1、G2 區同時段近岸流流速大小大致無異。
 - (6) 四個同時段的流速流向玫瑰圖，可發現 G2 區流向及流速分布明顯比 G1 區複雜，應是受到結構物的影響所導致，潮流受突堤的結構物作用影響而產生流速與流向的轉變。另外也可發現，G1、G2 區皆有受到季風所影響，使得在夏季及冬季分別往東北向及西南向的海流有增強的趨勢。
3. 在 G1 區域進行多種設備高強度的整合調查，在夏季 7-8 月的調查發現，懸浮漂沙濃度 SSC 約為 10 - 280 mg/L，平均值為 110 mg/L。懸浮漂沙中值粒徑 D_{50} 範圍為 50 - 100 μm 。冬季 1-2 月的調查發現，懸浮漂沙濃度 SSC 約為 40 - 1460 mg/L，平均值為 470 mg/L。懸浮漂沙中值粒徑 D_{50} 範圍為 25 - 150 μm 。4-5 月的調查發現，懸浮漂沙濃度 SSC 約為 0 - 1100 mg/L，平均值為 100 mg/L，。懸浮漂沙中值粒徑 D_{50} 範圍為 50 - 100 μm 。這三季的調查都發現

懸浮漂沙濃度的垂直分佈在水體中的不同位置幾乎是相似的，亦即懸浮漂沙濃度在垂直方向沒有差異。

4. 測量到的摩擦速度約為 0-0.04 m/s，冬季的摩擦速度較大。在 G1 區潮間帶位置，已沉降的底質粒徑分佈明顯有季節性差異，夏季粒徑較細(約 260 μm)，冬季、春季粒徑較粗(約 400 μm)。G2 與 G3 區則無明顯季節性差異，G2 粒徑較粗(約 450 μm)，G3 粒徑較細(約 260 μm)。
5. 綜合整理大潭藻礁的漂沙與覆沙機制結果

資料顯示在白玉、大潭及觀新藻礁區域，因為海床大多為礁體，沉積的海沙在空間上分佈不均勻，多以懸浮載進行傳輸。因桃園海岸的冬季浪明顯高於夏季，導致冬季的懸浮漂沙濃度明顯高於夏季。又因東北季風強過西南季風，使得整年的優勢漂沙方向往西或西南向。波浪引起的漂沙極限水深在夏季約為 5 公尺，冬季約為 10 公尺。模擬的底床剪應力由外海向岸遞增，約在水深 2-3 公尺處達到最大值後，因碎波波高衰減後，向岸逐漸遞減；而 G1、G2、G3 緊鄰的突堤長度分別約為 3、5、6 及 10 公尺。因 G1 北側的突堤水深僅有 3 公尺，在冬季大浪產生的高濃度懸浮漂沙容易進入 G1 區，使得 G1 較 G2 及 G3 面臨更劇烈的漂沙通量進入。海沙懸浮後若有底床剪應力降低，使得沉降通率高於懸浮通率，則海沙會沉降。因為 G1 及 G2 的下潮帶地形水深差異，使得 G1 的下潮帶位置較 G2 容易發生碎波衰減，也導致 G1 的中及上潮帶的波高較小，懸浮力下降。簡言之，東北季風引起的往南優勢漂沙方向為桃園海岸沒有人為構造物的自然特性，而大潭原有的四道突堤長度與間隔，及下潮帶的地形水深分佈則影響了潮間帶藻礁的沙沉積過程。G1 區北側的突堤水深較淺，讓冬季劇烈的優勢漂沙通量得以進入 G1 區，且潮間大波浪衰減大，較 G2 形成易沉積的環境。

6. 本計畫綜整各專家與學者之意見，認為應持續監測以有利未來進行衝擊減緩的決策；應有更細緻的地形變遷預測模式，確定未來何處會淤積；整合生態調查資料與保育。在清淤的作為與方向上，傳統會挖到藻礁的工法不可為，應利用影響低的新工法進行；應規劃好清淤流程；達成是否清淤的共識；以小規模實驗驗證可行與降低衝擊；清淤的同時應考量與評估生態之影響。

9.2 建議

1. 因三接外推港興建過程與完工後，棧橋下將是連接港區南北水域的主要通道，且棧橋在港域與大潭及觀新藻礁的上游點，是此三個下游區域的漂沙與營養鹽來源的重要水道。建議在棧橋上觀測建立劇烈漂沙帶(10 公尺水深)的漂沙通量資料，量化並掌握東北季風及颱風劇烈事件及漲退潮帶來的漂沙來源特性及改變。棧橋觀測資料將可以協助未來港域及藻礁生態保育的治理工作。
2. 目前的所有研究成果因受限於地形測量的密度不足，目前僅有約 100 公尺一個點位，然而 G1 覆沙的問題尺度已經小到 10-30 公尺，建議未來要進行更細微的地形測量及更小尺度的漂沙模擬。
3. 無論何種清淤方式，建議未來應先進行現地較具規模之試驗，評估其於經濟面之可行性以及環境生態面的影響，同時在環境生態面的評估建議可以棲地之物理環境變化（例如外加流速）為評估標準。
4. 目前減輕覆沙方式仍有回淤、清淤後海沙去向、生態影響問題，應考量利用可辨識之沙源進行了解。
5. 本研究有助於了解桃園海岸的漂沙機制，桃園海岸的漂沙地形變遷，建議未來將漂沙機制與海岸地形變遷融入環教教材中，讓民眾可以知道桃園海岸的沙來沙往與地形變遷的自然現象。

附錄一、期中報告意見回覆

「觀塘工業港區漂沙機制及覆沙減輕對策之研究」期中報告

審查意見	回覆說明
一、蘇委員仕峯	
<p>1. 本計畫「觀塘工業港區漂沙機制及覆沙減輕對策之研究」之前期計畫曾在 107 年進行現場海流調查及工業港水工模型試驗，因此建議說明本計畫所執行的工作內容(例如近岸現場觀測配置及數值模擬)，與前期計畫有何相輔相成之處，讓本研究更佳完善。</p>	<p>感謝委員，補充增加以下敘述：107 年的研究計畫為三接港由突堤方案改為離岸港，但是尚未進行外推之前的研究方案。受限於實驗設備與尺度限制，水工模型試驗主要考量波浪產生的近岸流，難以考量潮流與風的作用。另外，以往的現場研究多規畫短期調查，且非在漂沙變化劇烈的 G1 的區位進行。本研究直接在 G1 下潮帶位置長期進行觀測，且包含以往沒有的紊流與漂沙粒徑等的現場調查。本研究直接在現場量化雷諾應力與懸浮漂沙特性，更清楚掌握自然的漂沙狀況，與以往的研究有相輔相成之處。</p>
<p>2. 圖 1 建議放入比例尺與等深線，方便看出未來工業港所在水深與離岸距離。</p>	<p>感謝委員意見，依審查意見遵照辦理。</p>
<p>3. 建議補充說明觀測位置 G1 和 G2 的選取依據，例如平面空間上有何特殊性？設置在礁坪之水深有何代表性？</p>	<p>感謝委員，補充增加以下敘述：本計畫潮流調查選點依據，主要是選擇在低潮位線以下，其水深約 TWVD=-2.0 公尺左右，在柴山多杯珊瑚喜好的生存水深位置。因點位有限，調查點位選在兩突堤中間，應屬於較具代表性之點位。</p>
<p>4. 圖 2 引用環評報告書之題目、執行單位與發表時間需詳列，圖片盡量清晰。</p>	<p>感謝委員，因應內容調整，本圖已經刪除。</p>
<p>5. 圖 3 的黃線範圍內應該指覆沙區域，建議說明清楚。</p>	<p>感謝委員意見，依審查意見遵照辦理。</p>
<p>6. 圖 5 應為表格。</p>	<p>感謝委員意見，依審查意見遵照辦理。</p>
<p>7. 第 17~20 頁有關漂沙學理的內容建議以文字書寫取代圖，方便後續研究參考，若是之</p>	<p>感謝委員意見，依審查意見遵照辦理。請參閱期末報告第 4.1.2 節。</p>

<p>後將採用 Delft3D 模式進行模擬，也是建議文字描述。</p>	
<p>8. 第 21 頁建議加入風向。</p>	<p>感謝委員意見，依審查意見遵照辦理。</p>
<p>9. 第 25 頁，波浪表 4 與表 3 更正。平均週期可分夏冬兩季或是四季。</p>	<p>感謝委員意見，依審查意見遵照辦理。</p>
<p>10. 第 25 頁海溫重覆。</p>	<p>感謝委員意見，已將重複部分移除。</p>
<p>11. 第 26 頁提到”海流則受到較長週期成份的影響很大，亦即除了半日潮之外，有受到風驅流等較長週的海流則受到較長週期成份的影響很大，亦即除了半日潮之外，有受到風驅流等較長周期...”，是否指在圖 15 與 16 的最低頻能量？若是，可說明風驅流如何在觀測數據中分析出。</p>	<p>感謝委員，我們增加以下敘述：所觀測到的海流為包含風、潮汐、波浪等作用力的“綜合”結果，我們是利用觀測的海流資料與風、波、潮流的相關性分析，及數理模式將潮波流等因子分離並重塑水動力後，與現場資料進行比對而得。詳細資料驗證與討論可以參閱廖凱芹 [2018]、林伯謙 [2018]、藍亦汝 [2022]等之研究成果。</p>
<p>12. 第 35 頁提到”部分原因也可能受 G1 區施工便橋之結構物影響海流流速及流向等因素干擾，根據流體力學基本原理，在主流方向有一橫斷面將會改變水流方向及大小，在結構物後下游處會生成紊亂渦流，會增強漂沙懸浮能力，結構物使得整體水流變慢，在變慢處沉降變得容易發生。然而...”，第 39 頁同樣提到，是否需要在現階段做此推論？棧橋墩柱對水流若有明顯影響，以數值模式驗證在網格大小需要很精細，現場觀測則要在棧橋上下游設置儀器。</p>	<p>感謝委員意見，因懸浮漂沙濃度特性與礁體覆沙變化特性中皆有發現異常的情形發生，如：G2 懸浮固體濃度連續 300 小時超過 100ppm，依照環評要求，若三接站施工單位懸浮固體濃度連續超過 100ppm，需降低功率、加強污染防治、通報主管機關等，G1 區覆沙增多。故推論造成此因素主要受自然因素(風、浪、颱風)影響，但不排除受結構物所影響導致，故才会有此推論。</p> <p>棧橋墩柱對水流影響，現還無法量化，故建議可在棧橋進行潮波流調查，且棧橋調查可以在極端氣等惡劣海象調查補足不易取得之資料，之後可評估試辦納入中長期調查計畫參考。</p>
<p>13. 第 49 和 74 頁，潮波流同時測量以 4Hz 資料連續取樣，每小時取 4096 筆，即每小時觀測 1028 秒，珊瑚礁現場觀測的學術研究會</p>	<p>感謝委員意見，因本計畫主要針對計畫區的潮、波、流進行調查，依照相關文獻可知，波浪週期約小於 10 分鐘，且本計畫在調查潮波流時，皆為長時間的測量，故為了保護設備</p>

<p>連續量測超過此時間以獲得珊瑚礁特有的長週期波動。</p>	<p>及有限的電池與記憶體的情況下，本計畫在設定設備時，以 4Hz 資料連續取樣，以 Burst 之紀錄方式進行資料採集，每小時的一開始連續取 4096 筆，約 17 分鐘。我們有將 17 分鐘的資料進行頻譜分析，在分析結果目前仍沒有看到有亞重力波的出現。一般珊瑚礁是因為陡坡造成劇烈的碎波，加上有地形及潟湖等效應，造成有亞重力波的成份。推測沒有看到亞重力波桃園藻礁海岸的地形屬於緩坡漸變，無劇烈的水深變化引起的碎波，跟珊瑚礁的地形有點差異。</p>
<p>14. 第 56 頁，潮差約 4 公尺可再更精確此值。</p>	<p>感謝委員意見，此為誤植，已依審查意見辦理修正。</p>
<p>15. 第 57 頁，波浪 4~6 月與 6~8 月波向分布在 285~360 度，從 NNW 向而來?</p>	<p>感謝委員意見，G1 區波浪 4~6 月與 6~8 月波向分布在 285~360 度，約從 NNW 向而來。</p>
<p>16. 圖 44 和 48，海流流向朝東? 頻譜低於全日潮的為何?</p>	<p>感謝委員意見，G1 區 6~8 月及 9~10 月的海流流向約是東-西向間震盪。由頻譜分析的圖低於全日潮的能量應該為風驅流等較長週期振盪的驅動力所影響。</p>
<p>17. 圖 47 波向從北方來?</p>	<p>感謝委員意見，經確認，G1 區的波浪在 9~10 月波向的確由北方來。</p>
<p>18. 第 78 頁，7~10 月波浪來向 270~360 度?</p>	<p>感謝委員意見，經確認，G2 區波浪 7~10 月波向來向約 270~360 度。</p>
<p>19. 第 103 頁解釋熱捲流的特性擾動漂沙，溫排水口北側是否需要海水分層溫度與水流觀測?</p>	<p>感謝委員，我們也認為需要進行溫度的測量方更能確認此特性，目前已將此部分的推論移除。</p>
<p>二、林委員銘崇</p>	
<p>1. Shields 臨界漂沙起動條件 $\theta_{cr}=0.05$(P.15) 是否具普遍性?</p>	<p>感謝委員意見，已增加以下的敘述在報告裡：漂沙的起動條件為研究漂沙的重要條件與探討的問題，彙整多年來的研究成果 Shields 臨界漂沙起動條件為一般最簡化的固定值為 0.05，精確上其為無因次粒徑參數的函數，更</p>

	<p>多的漂砂起動條件研究與探討可以參考 Beheshti and Ataie-Ashtiani [2008]。近期的研究發現利用可動參數 $u_{*,cr}/w_s$，可以更簡單，也有有效的探討漂沙起動行為。</p>
<p>2. P.39，G1 分區有明顯之覆沙季節變動，其覆沙區位是否亦同?請補充說明。</p>	<p>感謝委員意見，G1 分區明顯有覆沙季節變動，冬季沙埋，夏季裸露，其主要覆沙變動較大的區域主要集中在靠近 G1 北側結構物附近。</p>
<p>3. 圖 25~27(P.45)顯示較深處(如 10m 以外)侵蝕，較淺處淤積，其可能機制如何?請補充說明。</p>	<p>感謝委員。補充說明如下：依據「藻礁委託研究報告(期末報告) 定稿本(桃園縣府 2014 年 1 月)」，「桃園市二級海岸防護計畫」核定本(2021 年 6 月)」及「108 年度桃園市海岸水文地理資訊暨海漂垃圾調查評估計畫期末報告(定稿本)(2019 年)」，桃園海岸長期的優勢輸沙傳輸方向為由北向南，整體而言，近幾十年因為河川沙源大幅度降低，沿岸輸沙又被突出結構物攔阻，除突出結構物附近淤積外，大部分海岸均呈侵蝕狀態。尤其在計畫區附近觀新保護區海岸因永安漁港、大潭電廠進水口導流堤阻止漂沙進入，海岸呈侵蝕狀態大潭海岸受四道突堤限制，G3、G1 區呈淤積，除受劇烈海象天候影響(如颱風)，地形漸趨穩定。</p>
<p>4. 海流調查結果以潮流為主，是否可能分離出波浪引致之近岸流?</p>	<p>感謝委員，我們增加以下敘述：所觀測到的海流為包含風、潮汐、波浪等作用力的“綜合”結果，我們是利用觀測的海流資料與風、波、潮流的相關性分析，及數理模式將潮波流等因子分離並重塑水動力後，與現場資料進行比對而得。詳細資料驗證與討論可以參閱[林伯謙, 2018; 廖凱芹, 2018; 藍亦汝, 2022]等之研究成果。</p>

<p>5. 圖 75(P.101)顯示於水體中之不同位置懸浮漂沙濃度變化之位相大抵一致，相對之外力，如流速等是否亦同？</p>	<p>感謝委員，我們增加以下敘述：漂沙濃度在淺水區不同水深位置的濃度大致相同，此結果為此調查之重要新發現成果。傳統理論，若在沙灘海岸上有沙源在底部，底部再懸浮將使得濃度有梯度，但是調查結果發現漂沙濃度非常均勻，此結果可能是因為藻礁粗糙底床產生的剪應力相當大，使得懸浮漂沙來不及有梯度變化就被均勻地混合。此現象值得後續持續研究探討。</p>
<p>6. 覆沙「減輕」對策是否有容許值之設定？</p>	<p>感謝委員，考量藻礁保育與工程不確定等的影響，目前覆沙減輕對策的明確作為尚未有定論。本計畫綜整各專家與學者之意見，彙整意見如內容與結論。因為藻礁保育已是社會關切的重要議題，任何漂沙與覆沙減輕的對策規劃皆須進行審慎考量，找尋多數認同可行、保育可行與工程可行，再進行清淤與防淤；在工程可行的方式下，以藻礁保育最大化，無傷害礁體與生物的方式下進行。</p>
<p>7. 建議扼要說明覆沙評估計算流程。</p>	<p>感謝委員意見，依審查意見辦理修正。</p>
<p>8. 第八章之節次標示有誤(目錄亦同)</p>	<p>感謝委員意見，依審查意見辦理修正。</p>
<p>三、黃委員志堅</p>	
<p>1. 氣象等資料蒐集建議期間應一致，如 2000-2021。</p>	<p>感謝委員意見，已將氣象等資料更新為 2014-2021 年。</p>
<p>2. 後續可依照實測漂沙值變化，搭配成大水工所模擬之漂沙變化做比較驗證結果。</p>	<p>感謝委員意見，建議未來視情況需要進行未來外推後的驗證。</p>
<p>3. 中油公司已提出外推方案，建議應將新港型及相關模擬資料加以補充及驗證討論。</p>	<p>感謝委員意見，依審查意見辦理修正。</p>
<p>4. 主要沉降位置大約在水深幾公尺範圍？請補充說明。</p>	<p>除了靠近棧橋受到結構物的區域影響之外，G1 潮間帶海沙會發生沉降的位置為上潮帶。已將 G1 歷年覆沙與礁體露出範圍進行套疊如 8.2.3 節中所示。</p>

<p>5. G1 區漂沙主要沉降因素為何?請補充說明。</p>	<p>感謝委員意見，如結論所彙整：模擬的底床剪應力由外海向岸遞增，約在水深 2-3 公尺處達到最大值後，因碎波波高衰減後，向岸逐漸遞減；而 G1、G2、G3 緊鄰的突堤長度分別約為 3、5、6 及 10 公尺。因 G1 北側的突堤水深僅有 3 公尺，在冬季大浪產生的高濃度懸浮漂沙容易進入 G1 區，使得 G1 較 G2 及 G3 面臨更劇烈的漂沙通量進入。海沙懸浮後若有底床剪應力降低，使得沉降通率高於懸浮通率，則海沙會沉降。因為 G1 及 G2 的下潮帶地形水深差異，使得 G1 的下潮帶位置較 G2 容易發生碎波衰減，也導致 G1 的中及上潮帶的波高較小，懸浮力下降。簡言之，G1 區北側的突堤水深較淺，讓冬季劇烈的優勢漂沙通量得以進入 G1 區，且 G1 區的波浪衰減大，較 G2 形成易沉積的環境。</p>
<p>6. 未來棧橋作為監測點之可行性如何?請評估並補充說明。</p>	<p>感謝委員意見，已補充於報告中。因三接外推港興建過程與完工後，棧橋下將是連接港區南北水域的主要通道，且棧橋在港域與大潭及觀新藻礁的上游點，是此三個下游區域的漂沙與營養鹽來源的重要水道。建議在棧橋上觀測建立劇烈漂沙帶(10 公尺水深)的漂沙通量資料，量化並掌握東北季風及颱風劇烈事件及漲退潮帶來的漂沙來源特性及改變。棧橋觀測資料將可以協助未來港域及藻礁生態保育的治理工作。</p>
<p>7. 請團隊多拍攝照片及影像記錄，可供未來中油對外說明現場狀況使用。</p>	<p>感謝委員意見，依審查意見遵照辦理。</p>
<p>四、簡委員仲和(書面意見)</p>	
<p>1. 期中報告需要完成工作項目主要為基本資料蒐集、現場調查，G1 波潮流第三次調查流失 38 天，底床質粒徑第一次調查完成，資</p>	<p>感謝委員肯定，將持續更新。</p>

料尚在分析中；進度大致符合需求，實屬不易。	
2. 第 25 頁：第 3 行表 4 與表 3 是否正確？ 另，宜述明新竹測站設置水深，波高最大值期間之颱風名稱。表 4 後兩欄標題應係「月平均」之示性波高、與平均週期？	感謝委員意見，依審查意見遵照辦理修正。 表 4 後兩欄標題應為月平均之示性波高與月平均週期，已修正。
3.4.3 節：說明引用濃度測站之設置水深。連同 4.4 節覆沙面積或非覆沙面積之各季變化表比較說明。	感謝委員意見，4.3 節及 4.4 節本團隊蒐集觀塘工業區工業專用港施工期間環境監測報告環境監測年報 109 年度(定稿本)裡的資料，該兩組懸浮漂沙濃度測站設置水深約為 2 公尺。該報告並無量化覆沙面積與非沙面積，圖中黃線只是為了易於辨識礁體。
4. 第 44 頁項 2.是否為「侵淤變化圖」？	感謝委員，錯字已訂正。
5. 第 101 頁最後一段後三行有關趨勢變化說明是否正確，轉變時間點宜明確記述。	感謝委員意見，已加載日期於報告中。
6. 第 6 章懸浮載測站宜註明設置水深。另，覆沙底質粒徑至 9 月底已完成 4 次調查，累計數量相當多，應善用雷射粒徑分析儀，盡快完成分析。	感謝委員意見，資料分析已補充於期末報告中。
7. 第 5 章相關現場調查潮波流成果，及第 6 章漂沙懸浮載、底床粒徑調查成果，建議後續增列各項調查之各次成果、特性說明之對照比較表。	感謝委員意見，更多的資料分析與成果已持續更新並補充於期末報告中。
五、黃委員國書(書面意見)	
1. 本計畫主要工作在於潮間帶水流與漂沙之監測與分析，冀能由此了解 3 接鄰近岸灘之淤/覆沙機制特性，則未來才有辦法進一步擬定減輕策略。整體而言，本次期中報告就監測方面大致符合預期工作內容，不過在分析探討層面則可再加強，尤其施測位置在最動態的潮間帶，數據取得不易。	感謝委員肯定，將持續更新。

<p>2. 波、流資料應仔細交代從原始數據到製成最後所呈現的時間序列圖的過程，因為最後所見的時間序列圖時間軸橫跨數月，然而因為測點位在碎波帶內，與傳統在水深 10 米深所做的波、流測量是很不一樣的情況。建議可以某一日(24 hrs)的實測數據為例說明資料分析之流程。</p>	<p>感謝委員意見，本計畫之流速及紊流資料的分析方法乃參考 Huang (2015)，已將過程詳述於期末報告中。本計畫潮波流資料品管上，會利用壓力計資料將設備露出水面時的資料移除，並搭配相關度(Correlation)、訊號強度(Amplitude)等參數來判斷資料之可信程度。</p>
<p>3. p.25, 4.2.3 從圖 15, 圖 16, 圖 17 所顯示者判斷，應該是位於碎波帶內的資料，因此才會隨季節變動。本小節標題”海流”---建議改為”近岸流”(nearshore current)，並且不需要獨立成一小節，置於4.2.2 海象 小節下即可。近岸流主要是波浪碎波所形成的流動。</p>	<p>感謝委員意見，依審查意見遵照辦理。</p>
<p>4.(承 2) 圖 15, 圖 16, 圖 17 引述之資料建議在本文中交代一下施測位置(座標)、水深與觀測期間。</p>	<p>感謝委員意見，依審查意見遵照辦理。</p>
<p>5.(承 2) p.49 之後所有的「海流」建議全部改為「近岸流」。</p>	<p>感謝委員意見。因近岸流在海岸工程常指稱為因碎波引起的流動，為避免混淆。本計畫建議定義如下：本研究指稱的「海流」稱為「海岸流(coastal current)」是指利用雷諾分離法移除波浪的震盪速度(\tilde{u})與移除紊流速度(u')的平均流，平均流的時間尺度需大於波浪的震盪尺度，在現場資料的分析上一般定義為 10-20 分鐘以上的平均。在桃園海岸的平均流主要包含潮流(Tidal current)、風趨流(wind-driven current)與近岸流(nearshore current)。此乃因為計畫區的桃園海岸位處在台灣海峽通道的一側，受台灣海峽強勁潮流的影響，即使是計畫區的淺水域潮間帶可能仍受潮流的作用。因桃園海岸位處於東北季風盛行的區域，強烈季風吹拂水面，也會在近水面處甚至於整層水層引起上層水體擾動與風趨流(wind-driven current);風趨流對水</p>

	深平均流(depth-averaged current)的影響在淺水處遠大於深水處。而近岸流則為波浪在近岸因為輻射應力變化產生的水流運動。
6. p.34, 將無資料時期視作漂沙濃度大於 100 ppm 用意為何需要於文中交代。	感謝委員意見, 將依審查意見遵照辦理。
7. 圖 22~圖 24: 控制範圍(黑線)之訂定基準與非沙邊界(黃線)之獲得方法需要於文中交代。	感謝委員意見, 依審查意見遵照辦理補充。
8. 表 8, “.....以 4Hz 資料連續取樣, 每小時取 4096 筆。”亦即每小時約紀錄 17 分鐘(1,024 秒), 請再說明是連續的 17 分鐘或是分段? 而後面所呈現的所謂 Hs 是每小時的統計值?	感謝委員意見, 潮波流儀的設定為以 4Hz 資料連續取樣, 並在記憶體及電池容量有限的條件下, 以 Burst 之紀錄方式進行資料採集, 每小時的一開始連續取 4096 筆, 約 17 分鐘。示性波高(Hs)的計算為每小時的壓力頻譜的統計值。
9. p.51, ”.....第三次於調查期間內設備因不明原導致翻覆, 讓先應有 76 天有效資料變成只 38 天有效資料....”殊為可惜。不知道現有儀器未來擴充即時資料傳輸的機會如何?	感謝委員意見, 現有儀器主要以自計式為主, 且因設備位於下潮帶以下, 每月露出時間僅大潮時期約 2~3 天, 故較難以即時傳輸的方式蒐集資料。
10. 波高波向玫瑰圖缺百分比(圖 39、圖 43、圖 47、圖 54、圖 58)。	感謝委員意見, 依審查意見遵照辦理修正。
11. 圖 39、圖 43 代表偏夏季(4 月下旬到 8 月下旬)的波高波向玫瑰圖; 圖 47 代表偏冬季(9 月上旬到 10 月上旬)的結果; 圖 58 代表偏冬季(10 月上旬到 12 月上旬)的結果; 但圖 54 卻跨夏、冬季(7 月下旬到 10 月上旬), 建議將圖 54 分成 7~8 月與 9~10 月兩部分呈現;	感謝委員意見, 於期末報告中潮波流現場調查將依前人文獻結果[Jan <i>et al.</i> , 2002], 利用季風定義出四個季節, 冬季為 11 月、12 月、1 月、2 月、3 月; 春季為 4 月、5 月; 夏季為 6 月、7 月、8 月; 秋季為 9 月、10 月, 並依此分季方式進行討論。
12. (承 10) 所有相關圖說應對比外海的新竹浮標長期統計資料, 對該 2 測點(G1 區與 G2 區潮間帶)的波向特性做一探討: 以圖 43、圖 47 為例, 6~8 月外海波向會偏西, 9~10 月則明顯偏北(圖 14, 圖 15), 但圖 43(6~8 月)主	感謝委員意見, 依審查意見遵照辦理, 以對比 2 個測站與外海新竹浮標資料的波項特性, 彙整於 5.3(一)節中, 由資料可發現在東北季風盛行時期(秋、冬、春季), G1、G2 及新竹浮標主要波向偏北, 只有夏季時期 G1、

<p>要波向偏西北，與外海不一致；到了冬季則又一致(外海跟潮間帶都偏北)，是否表示有其他因素未納入討論？</p>	<p>G2 及新竹浮標稍微不同，G1、G2 夏季主要波向偏西北，而新竹浮標主要偏西。</p>
<p>13. p.86 “..... 另外由玫瑰圖可發現 G1 區明顯受到潮流影響.....” 此一推論需要再斟酌：首先，此區潮流流向偏東北(退潮)西南(漲潮)，而圖 62 左(G1 區)則集中在東向，其次，從頻譜圖上呈現與半日潮相關應該是施測位置在潮間帶的關係：潮位變化影響碎波位置，而潮間帶海流(應為近岸流)理論上會與波浪碎波後形成之沿岸或向離岸流動關係較大。</p>	<p>感謝委員意見，依審查意見遵照辦理，重新審視文字，將其修正。</p>
<p>14. p.17~4.1.2 小節似未完成？建議將 Delft 3D 所示之學理架構簡單翻譯、綜整，於期末報告呈現。</p>	<p>感謝委員意見，已依審查意見遵照辦理，</p>
<p>15. 儀器所在位置的水深變動很大，建議期末時要對水深變化(漲退潮過程)跟波高大小的關係略作說明，並嘗試跟新竹浮標的資料做相關分析。</p>	<p>感謝委員意見，依審查意見遵照辦理，已補充相關波高與水深的分析及調查資料與新竹浮標資料相關分析等資料，請詳見於 5.3(一)節中。</p>
<p>六、海洋委員會海洋保育署</p>	
<p>1. P39, 所劃設之控制面積範圍是否包含中油歷年來發現及記錄之柴山多杯珊瑚點位? 建議套疊歷年發現之柴山多杯珊瑚分布圖於 G1、G2 空拍圖。</p>	<p>感謝委員意見，將依照意見辦理。</p>
<p>3. P45、P46 有關圖 25-28 之文字說明(如 105 年 5 月至 101 年 5 月侵淤...)請以通用方式陳述(如 P.44)。</p>	<p>感謝委員意見，將依照意見辦理。</p>
<p>4. 本計畫諸多監測設備架設於潮間帶，該區域為本海域保育類柴山多杯珊瑚生長熱區，規劃前及施放時請務必檢視設置地點現況並避開。</p>	<p>感謝委員意見，依審查意見遵照辦理。</p>

<p>5. P103，有關 110 年 8 月異常水團，推測浚渫工程沒有良好防護措施，可以讓高濃度懸浮漂沙往外擴散，建議蒐集當時鄰近海域其他工程相關資料以及補充觀塘工業港環境監測年報 110 年度之懸浮漂沙濃度資料，適當說明。</p>	<p>感謝委員意見，此部分文字與敘述已修正，將補充相關資料依照意見辦理。</p>
<p>6. P121，清沙回淤現場試驗以水柱移除海沙，規劃前請考量水量、底質及海流等相關條件，勿造成回淤海沙影響鄰近柴山多杯珊瑚。</p>	<p>感謝委員意見，依審查意見遵照辦理。</p>
<p>七、天然氣事業部</p>	
<p>1. 有關報告書 P7 提及棧橋及港區遮蔽效應可能改變海岸水動力的海流與波浪環境，也可能因此改變漂沙過程造成海岸地形變遷，為避免誤解，建議相關文字敘述酌予調整。</p>	<p>感謝委員意見，已修正為：大潭藻礁位於海沙覆蓋變動的區域，受自然海象變動影響其漂沙行為。工業港防波堤雖已採離岸堤的設計，並修改港型來減少離岸港對波浪的遮蔽效應。港型呈喇叭狀，會使得計畫區因束縮效應讓海流加速。在自然變動的與離岸港的交互作用下，未來海岸水動力環境將更加複雜。</p>
<p>2. 本計畫位於桃園海岸防護計畫二級防護區，故面臨何時應清淤議題，本案倘能建立相關判斷準則(即覆沙已影響藻礁區生態)，將有助於清淤與否之決策(e.g. 漂沙淤積厚度、淤積量體、淤積時間、覆沙率等)。</p>	<p>感謝委員，考量藻礁保育與工程不確定等的影響，目前覆沙減輕對策的明確作為尚未有定論。本計畫綜整各專家與學者之意見，彙整意見如內容與結論。因為藻礁保育已是社會關切的重要議題，任何漂沙與覆沙減輕的對策規劃皆須進行審慎考量，找尋多數認同可行、保育可行與工程可行，再進行清淤與防淤；在工程可行的方式下，以藻礁保育最大化，無傷害礁體與生物的方式下進行。</p>
<p>3. 專家現勘、諮詢及討論會專家學者建議增加更多面向專家，如生態領域之方力行教授。</p>	<p>感謝委員意見，專家諮詢會議廣邀近 15 位左右之學者，並含兩名國外之學者參與。</p>
<p>4. 簡報第 13 頁提及 G1、G2 區之潮波流差異的描述，G1 碎波較早、流速較慢，故較易淤積，G2 則是碎波較晚，流速較快，故不易</p>	<p>在波流交互作用的環境中，影響漂沙的底床應力包含海流(Current)及波浪(Waves)及其交互作用，一般而言，在淺水的海岸帶又以波</p>

<p>淤積；第 28 頁又提及 G1 區較 G2 區流速快？請補充說明。</p>	<p>浪引起的剪應力強過海流引起的剪應力。G1 區流速大過 G2，但是 G1 其波浪略小於 G2，最主要是 G1 面臨劇烈的漂沙通量，因此容易淤積。簡言之，G1 區北側的突堤水深較淺，讓冬季劇烈的優勢漂沙通量得以進入 G1 區，且 G1 區的波浪衰減大，較 G2 形成易沉積的環境。</p>
<p>5. 是否能依據目前觀測現象推估和比較外推方案與現況之差異，以進一步掌握未來侵淤熱區以及早因應。</p>	<p>可以。但是目前數值模擬預測受限於地形高程測量點位的密度不足（目前約 100*100 公尺一個點位），用在大範圍的模擬較可信。然而我們遇到的挑戰是 G1 及棧橋橋墩漂沙問題，其尺度已經小到一二十公尺內。要使漂沙模擬結果更精確，需要在五米水深內到高潮位的精細地形水深及高程測量資料。因為五米水深內的碎波取決於地形水深，好的地形資料才有辦法進行更精確的水動力模擬，及後續更細緻的漂沙數值模擬。</p>

附錄二、期末報告意見回覆

審查意見	回覆說明
一、工作小組審查意見	
<p>1、所有工項皆符合工作說明書所列如期完成。</p> <p>(1) 文獻蒐集:有</p> <p>(2) G1 潮波流(70%，256 天):5 次，324 天 (87%)</p> <p>(3) G1 近岸流 5 次</p> <p>(4) G2 潮波流，261 天</p> <p>(5) 漂沙_G1:7 次調查，冬、夏、颱風近岸流速剖面 懸浮漂沙濃度垂直分佈 懸浮漂沙粒徑 覆沙底質粒徑:三次採樣， G1+G2+G3/16+12+4/13+12+4/16+13+4</p> <p>(6) 專家學者會議兩次(3/17+現勘；6/23)</p> <p>(7) 覆沙減輕對策研擬</p>	<p>感謝委員。</p>
<p>2.依據工作說明書 4.2.1 成果報告書應包含...”中英文摘要”，目前期末報告電子檔缺英文摘要。</p>	<p>感謝委員，已修正於期末報告定稿本中。</p>
<p>3. 格式與排版、錯字問題：目錄 4.5 排版問題。目錄 9.1 排版問題。圖目錄 缺圖 30~圖 106、圖 108~圖 115、圖 117、134、136、137、圖 142~157、圖 166~173。表目錄 缺表 1。圖目錄 圖 3 柴山多杯孔珊瑚->柴山多杯珊瑚。P7 圖 3 柴山多杯孔珊瑚->柴山多杯珊瑚。圖 5 漂砂?沙?用字是否統一。P10、11；1.(2)漂砂?漂沙?。P12；(4)環評監測資料:柴山多杯珊瑚。P149 第二段 第五行及第七行有空格。</p>	<p>感謝委員，已修正於期末報告中。</p> <p>統一用字為”漂沙”，“柴山多杯珊瑚”</p>
<p>4. P53 調查頻度兩點位以”相輔合” 漂沙調查為原則？誤繕？</p>	<p>感謝委員，已修正於期末報告中。</p>
<p>5. P65~P79 圖說的部份為 G1 區，請增加區域描述(因後面 G2 潮波流波浪特性圖說皆有標示 G2 區)</p>	<p>感謝委員，已修正於期末報告中。</p>

<p>6. P87 調查成果第一段描述，圖 68 為本計畫”G1”區...，應為 G2；同頁圖 68 圖說應為 G2 區。</p>	<p>感謝委員，已修正於期末報告中。</p>
<p>7. P95 圖 78 圖說請補 G2 區以統一圖說描述。</p>	<p>感謝委員，已修正於期末報告中。</p>
<p>8. P117 6.1.1 第二段第三行 儀器防水殼”裡”裡面，贅字。P135 二、懸浮漂沙質量濃度分布 第一段第四行 濃度”的”在此，贅字。P146 第二段第三行 本計畫在”2002”年 7 月 4...，年份請確認；同段倒數第三行 例如，在生物反應槽進行的”的”試驗...，贅字。P180 第二段第五行，更清楚驗”整”與討論? 驗證?。P181 第二段第四行 會順著東北季風的風”區”?風驅?。P181 第三段第五行 ... 永安漁港等沿岸構造”無影響”?</p>	<p>感謝委員，已修正於期末報告中。</p>
<p>9. P141 提及漂沙質量濃度與波高有高度相關，是否有進行兩者間的相關性分析或僅依時序圖波峰變化來判斷?</p>	<p>感謝委員，已修正於期末報告中。漂沙質量濃度的變化主要跟底床剪應力有關，在淺水域的底床剪應力主要受波浪(波高、週期、水深)作用，又以波浪為主。</p>
<p>10. P210 期中報告意見回覆有部分回覆說明未完成?請說明。</p>	<p>感謝委員，期中意見回覆以在審查日前提提交審查，並於修正於期末報告中。</p>
<p>11. 目前進行的兩項清淤試驗皆為在潮間帶以人為介入方式處理，主要以增加漂沙懸浮為前提，但無法保證漂沙懸浮後會移出系統，專家學者有提及自然為本的設計，有可能的方向為何?例如採取減少沙源進入系統的方法?如隨潮汐漲退於沙源進入系統的位置進行抽沙是否可行?至於沙匯處則採取增加懸浮力後隨潮汐移出系統?</p>	<p>感謝委員，已補充修正於期末報告中。在三接港完工後，整個系統(大潭及觀音)的漂沙進出口通道主要為棧橋下的水道。如報告內討論，要減少系統的沙有兩個方法 1.不要讓沙進入到系統中,2.讓沙在系統中維持懸浮，或者海沙沉降後再於退潮時在懸浮離開此系統。相關可能的覆沙衝擊減緩措施已彙整於報告中。</p>
<p>12. 本研究覆沙減輕並未訂出清淤標準及位置，例如漂沙淤積達到水深 1.5 米，有可能危及指標生物生存時啟動清淤機制，建議仍</p>	<p>感謝委員，已補充修正於期末報告中。相關覆沙衝擊減緩警戒及措施已彙整於報告中，本計畫已彙整擬定監測警戒流程，並依據</p>

<p>應訂出供本公司參考或作為後續進一步試驗研究基礎。</p>	<p>G1 區的海岸漂沙機制之特性，整理不同的出海沙覆沙減緩方式及其優劣，作為後續進一步試驗研究的基礎。</p>
<p>二、蘇委員仕峯</p>	
<p>(一) 本研究計畫主題為了解漂沙機制（利用現場觀測），同時間又邀請專家學者討論淤積減輕對策（利用人工清淤），然而，對策擬定的流程應該是根據現場觀測得到的物理背景參數，先以數值模式率定驗證，接著再加上三接的外廓方案後再進行數值模擬，從工程結構物和波潮流交互作用之水動力結果為依據，再提出清淤減輕對策。因此，前面兩次專家諮詢會議無明確定論，然而三接方案完工後會明顯改變漂沙水動力是肯定的，無論未來藻礁生態環境變好、變差，甚至不變，未來都有持續現場觀測之必要，並且需搭配數值模擬研究。</p>	<p>感謝委員，已補充說明於期末報告中。目前的所有研究成果因受限於地形測量的密度不足，目前僅有約 100 公尺一個點位，然而 G1 覆沙的問題尺度已經小到 10-30 公尺，建議未來要進行更細微的地形測量及更小尺度的漂沙模擬。將意見彙整於建議中。</p>
<p>(二) 研究報告在文獻引用的部分需要正確（p.15、p.179 和 p.180），若內容引用到研究生論文或其他執行中的研究計畫也須註明。</p>	<p>感謝委員，已修正於期末報告中。</p>
<p>(三) 報告內容之數學方程式及符號遺漏，請補齊（p.143, p.144）。</p>	<p>感謝委員，已修正於期末報告中。</p>
<p>(四) 本研究波浪碎波指標引用 Ruessink(2010)，碎波帶的波高水深比以 0.38 為指標，這研究應該是針對沙灘海岸，對於藻礁地形是否適用需要檢討。另一個文獻林(2013)定義藻礁之碎波指標為 0.29，對於珊瑚礁地形，這些值似乎稍低，建議針對碎波指標之引用詳細說明。</p>	<p>感謝委員，已補充說明於期末報告中。本研究定義的碎波指標為 0.3 左右，此值是利用攝影機加上現場測量示性波高及水深來判斷有無碎波，此值偏低的原因為因為地形坡度較緩(坡度約 1/100)。另外，碎波的定義是採用示性波高，也會讓此值偏小。一般實驗室約 0.5，現場不規則波利用示性波高都小於 0.38。</p>
<p>(五) 許多研究都提到珊瑚礁環境的代表波浪為長週期亞重力波，此波浪會影響漂沙行為，本計劃區之藻礁地形理當有此成分波，報告書都沒有顯示，請補充說明理由。</p>	<p>感謝委員，已補充說明於期末報告中。我們有將 17 分鐘的資料進行頻譜分析，在分析結果目前仍沒有看到有亞重力波的出現。一</p>

	<p>般珊瑚礁是因為陡坡造成劇烈的碎波，加上有地形及潟湖等效應，造成有亞重力波的成份。推測沒有看到亞重力波桃園藻礁海岸的地形屬於緩坡漸變，無劇烈的水深變化引起的碎波，跟珊瑚礁的地形有點差異。</p>
<p>三、黃國書委員</p>	
<p>(一) 整體而言，期末報告大致符合工作內容。</p>	<p>感謝委員。</p>
<p>(二) 本研究除了提供/保存現況潮間帶附近之波、潮、流實測紀錄並探討漂沙機制之外，很重要者是可作為未來港廓完工後之比對資料；惟嚴格講，就潮間帶(尤其G1區)而言，本次調查啟動時棧橋已經施工，且後續沉箱也已陸續拖放，建議洽施/監工單位獲得沉箱安置工進資料，對應表12的5次調查時間，於該表加一欄位註記。</p>	<p>感謝委員，已修正於期末報告中。</p>
<p>(三) 新竹浮標可視為不受三接港廓影響的鄰近參考點，因此無論現階段乃至未來，應持續收集並分析其長期與短期化趨勢（主要是波浪）。</p>	<p>感謝委員，執行團隊也非常認同新竹浮標的重要性。將持續收集資料。</p>
<p>(四) 新竹浮標長期統計資料平均周期大約4~5秒（表4），（20年間）最大波高對應之尖峰週期則在9~13秒間，惟圖46~49，圖74~77發現實測尖峰周期經常有接近10秒甚至超過10秒的情況，原因為何可略說明或討論。圖上的能量加權波浪周期又是指？</p>	<p>感謝委員，已補充說明在報告裡。本計畫調查點位位於大潭藻礁區潮間帶與新竹浮標外海的波浪資料，很明顯的水深位置不同。因為實際的海浪為一頻譜波(通常為寬譜)的特性，波浪在礁區觸底淺化後會有碎波、底床耗損等現象，觀測區域水深淺，潮差大，推測是不同波高及水深造成不同頻率波的耗損程度有所不同，也讓頻譜能量分佈及主頻有轉移現象。淺水區及現場的不規則頻譜波利用能量加權波浪周期來定義會更好(例如 Madsen <i>et al.</i> [1988]及 Z C Huang <i>et al.</i> [2012b])。因為能量會有所耗損，利用能量加權波浪周期更可以看出其變化。此現象非常有趣，未來值得深入探討。</p>

<p>(五) p.104，波高水深比小於 0.38 區分為未碎波是參考自 Ruessink2 (2010) 的建議？煩於本文中略述其研究背景與概要。</p>	<p>感謝委員，已補充說明於期末報告中。本研究定義的碎波指標為 0.3 左右，此值是利用攝影機加上現場測量示性波高及水深來判斷有無碎波，此值偏低的原因為因為地形坡度較緩(坡度約 1/100)。另外，碎波的定義是採用示性波高，也會讓此值偏小。一般實驗室約 0.5，現場不規則波利用示性波高都小於 0.38。</p>
<p>(六) 圖 90~93，波高顯示數據是連續的，但週期則有許多斷點？</p>	<p>感謝委員，將重新審視資料，並將資料更新於期末報告中。</p>
<p>(七) 無論何種清淤方式，建議未來應先進行現地較具規模之試驗，評估其於經濟面之可行性以及環境生態面的影響，同時在環境生態面的評估建議可以棲地之物理環境變化(例如外加流速)為評估標準。</p>	<p>感謝委員，執行團隊也非常認同您的建議。已將意見彙整於建議中。</p>
<p>(八) p.18~21，建議重新製圖，中文化標示以與該小節文字對照。另，4-1 節與 8-2 節建議整併。</p>	<p>感謝委員，已修正於期末報告中，並將 4-1 節與 8-2 節進行整併。</p>
<p>(九) p.30、p.74,雖然小節標題已改為”近岸流”，惟後續內文均還是寫為”海流”，建議統一訂正。</p>	<p>感謝委員，海流、近岸流之定義與計算說明，已補充修正於報告中。</p>
<p>(十) 所有潮汐變化時序列圖(圖 41、42、43、44.....)縱坐標請將標註”water depth”改為”water level”。此外，所有儀器擺放位置的敘述請用”高程”，不要用”水深”，例如，p.61，第一行”G1 區的儀器佈放(改為>>高程)為(改為>>E.L.+或-??公尺)。</p>	<p>感謝委員，已修正於期末報告中。</p>
<p>(十一) p.53，表 11，”.....以 4Hz 資料連續取樣，每小時取 4096 筆。”亦即每小時約紀錄 17 分鐘(1024 秒)，雖已於審查意見回覆說明是連續的 17 分鐘(p.215)，惟建議應於內文中適當位置再說明。</p>	<p>感謝委員，已修正於期末報告中。</p>
<p>四、林委員銘崇：</p>	

<p>(一) 圖 6(p.14)之漂沙啟動條件係針對單一沙粒,處理實務課題當以實質漂沙移動界線水深更為適切,於章節 4.1.1 應可說明。</p>	<p>感謝委員,已補充說明於期末報告中。</p>
<p>(二) 水流調查顯示本計畫水域以潮流為主,整體而言應屬合理,惟 G1 之淤沙區可能係主要受波浪引致近岸流之作用。</p>	<p>感謝委員,已補充說明於期末報告中。根據我們利用驗證過的現場調查模式,並將結果進行 潮流、風趨流、近岸流的成分分析,桃園海岸淺水區的構成海流的主要成份為潮流及風趨流。在潮流小的時候,波浪造成的近岸流效應或加大。因為近岸流主要是波浪淺化後的輻射應力改變,造成平均水位的空間不均勻(波揚與波降),因此區的地形沒有明顯的碎波不均勻,故少有穩定的近岸流產生。</p>
<p>(三) 圖 129、130(p.141)顯示調查 G1 之懸浮漂沙質量濃度分布與波高之時系列變化(第二、三次調查)趨勢相似度似不如圖 124、125 之第一次調查結果及圖 170(p.183)G2 測站結果,以波高表示處理雖較具方便性,但可能參數化關係更具意義。</p>	<p>感謝委員,已補充說明於期末報告中。非常認同委員所說的參數化關係更具物理意義。因剪應力主要的來源有波浪、海流、波流交互作用等;淺水區的波浪效應最大,而影響波浪的參數又以波高為最重要,因此會讓懸浮漂沙濃度跟波高有較雷同的趨勢。</p>
<p>(四) 圖136、137(p.145)顯示懸浮漂沙體積濃度離地40公分處略大於離地20公分處,是否合理?請說明。</p>	<p>感謝委員,已補充說明於期末報告中。一般而言,底部的濃度應會較大,但是此區的垂直分布有幾個特別不同特性,一為淺水區的垂直混合非常好,導致垂直濃度沒有差異。另一為此區域鄰近大潭熱出水口,有可能是受到表層熱擴散的熱捲流(thermal plume)所影響,讓表層的溫差造成的混繳,讓表層濃度較高。另一個可能為生物產生的生物膜影響;因為生物膜密度較低,所以有可能讓輕的懸浮物在表面濃度較高。</p>
<p>(五) 藻礁覆沙底質粒徑調查顯示G1、G2、G3各區特性迥異,能否檢討其可能機制?</p>	<p>感謝委員,根據調查成果可知,G1 區夏季粒徑較細(約 260 um),冬季、春季粒徑較粗(約 400 um)。G2 粒徑較粗(約 450 um),G3 粒徑</p>

	較細(約 260 um)。根據學理可知，大浪時易將海沙捲起使其懸浮。海沙懸浮後若有底床剪應力降低，使得沉降通率高於懸浮通率，則海沙會沉降。根據調查成果可知，G1 區北側的突堤水深較淺，讓冬季劇烈的優勢漂沙通量得以進入 G1 區，且 G1 區的波浪衰減大，使 G1 形成易沉積的環境。並因為冬季浪大易使細顆粒底質的再懸浮，故使冬、春季底質皆為較粗的，夏季因風浪較小導致細顆粒也會沉積於底部。G2 區因受既有結構物影響導致沙源較難進入，且波浪相對 G1 有力，故易將細顆粒的捲起帶走，使其較不容易淤積。G3 區也受既有結構物影響，導致該區域粒徑皆為較細。
(六) p.207 提到 G1 區容易受到 10 秒以上湧浪之影響，不過週期 10 秒之波浪學理上仍屬風浪(wind wave)，而非湧浪(Swell)。	感謝委員，已修正於期末報告中。
(七) 報告內容雖於 4.1.2 章節介紹相關學理，建議針對漂沙地形變化模式 Delft 3D 實質內容及其驗證處理規則適度說明，以前後對照論述之可信度。	感謝委員，已修正於期末報告中。
(八) 藻礁覆沙區係以懸浮沙為主，衝擊減輕效應對策方面，就勢順導處理懸浮力應屬可行方向之一。	感謝委員，已補充說明於期末報告中。
五、簡仲和委員(書面意見)	
(一) 期末報告現場調查、諮詢會議皆已完成，進度符合需求。	感謝委員。
(二) 期末報告是否應有中、英文摘要，請斟酌。	感謝委員，已修正於期末報告中。
(三) p.26: 表 4 標題應為「 <u> </u> 最大波、「月平均示性波高」。	感謝委員，已修正於期末報告中。
(四) p.31: 表 7 代表季節分類，與 P61、P87 季節分類應一致。	感謝委員，已修正於期末報告中。

<p>(五) 各幅地形侵淤圖都使用二度分帶座標，而圖 12、16、21、33 觀測點所附座標為經緯度座標，一增列觀測點二度分帶座標獲個觀測點位置檢附經緯度座標，以便瞭解位置所在。</p>	<p>感謝委員，依意見辦理補充。</p>
<p>(六) 圖 46~61 之途說應加註「G1 站」，以與 G2 站同一系列圖說有所區別。</p>	<p>感謝委員，已修正於期末報中。</p>
<p>(七) 5.1.2 節、5.2.2 節、5.3 節中小節(一)潮汐特性;(二)波浪特性...等小節編碼，英語 5.1.1、5.2.1 節中小節編碼不使用括弧一致，一遍對照檢讀。</p>	<p>感謝委員，已修正於期末報告中。</p>
<p>(八) p.30、p.74、p.98、p.113 之小節標題雖為「近岸流特性」，內文說明多用海流、潮流，因三者特性、分析方法並不一樣；同時，建議應加強漲退潮之流速、流向的特性說明，作為覆沙減輕對策之參考。</p>	<p>感謝委員，海流、近岸流之定義與計算說明，已補充修正於報告中。</p>
<p>(九) 目前減輕覆沙方式仍有回覆、去向、生態影響問題，應考量利用可辨識之沙源進行了解。</p>	<p>感謝委員，執行團隊也非常認同您的建議。將意見彙整於建議中。</p>
<p>六、許明雄委員</p>	
<p>(一) 本案位於生態敏感區，然而目前蒐集清淤方法之相關資料，均為國內外海域(或水庫)以工程考量之疏浚手段案例，請說明文中提及美國以自然為本之設計(低影響的新工法)?p.45、p.46 有關圖 25-28 之文字說明(如 105 年 5 月至 101 年 5 月侵淤...)請以通用方式陳述(如 p.44)。</p>	<p>感謝委員，已補充說明修正於期末報告中。</p>
<p>(二) 如果後續要比較實驗一及實驗三之成果，2 者試驗場地選擇不同尺度之考量為何?</p>	<p>感謝委員，當初選擇清沙回淤現場試驗施作地點，主要選擇離水源較近且有較多覆沙區域，故選擇 G1 區進行實驗。氣泡射流防淤現場試驗，因需要有潛水員下潛至底部，故選擇較易下水的 G2 區進行試驗。</p>
<p>(三) 實驗一清沙回淤現場試驗，顯示清淤 14 天後即回淤，且後續監測覆沙情形有增加現</p>	<p>感謝委員，由於清沙回淤試驗僅只有一小區塊，故可能會受到不同時驗時間或地點有不</p>

<p>象，然而比對圖25區域G1歷次空拍資料來看，顯示5月至8月期間非沙面積有減縮趨勢，是否實驗時間點選擇不同，會有不同之結果？</p>	<p>同結果，但從本次的清沙回淤試驗，還是可以看出被清理後的區域，還是會受到自然環境因素影響導致，再次回淤。</p>
<p>(四) 本計畫經由不同實驗，發現氣泡射流相比利用水柱或抽砂方法，具有效果佳、易執行及維護簡單等優點，建議將這些優點列表逐一比對。</p>	<p>感謝委員，已依照意見進行辦理，新增優缺點等考量修正於報告中。</p>
<p>七、高偉騰委員</p>	
<p>(一)p.43，4.3 懸浮漂沙濃度特性部分，「依據環評要求，於施工期間懸浮漂沙濃度不能連續300小時大於100ppm...」，本段建議依照環評書件內容說明。</p>	<p>感謝委員，已補充說明修正於期末報告中。依照桃園市觀塘工業區工業專用港環境影響說明書環境現況差異分析及對策檢討暨環境影響差異分析報告中說明，懸浮固體濃度持續300小時達100mg/L以上，即採取應變措施，包括：增加污染防止膜、降低浚挖施工功率等。並儘速查明其原因。若係受浚挖工程影響，台灣中油公司將即研提並採取改善應變措施。若非本工程影響，將研判結果通知相關主管機關。</p>
<p>(二)p.42，4.2 調查成果，文中出現「G1區」及「A9控制區域」等兩種方式描述，是否有特別意涵，如無特別意義請統一說明方式。</p>	<p>感謝委員，已修正於期末報告中，統一用字為「G1區」。</p>
<p>(三)p.44 建議調整文字；誠如本報告內容，漂沙機制複雜，影響因子至少有風(季風、颱風)、波、流及工程結構物影響等。其中「工程結構物影響」除了文中所提及之棧橋外，還有東鼎時代即存在之圍堤設施，目前似乎亦未有科學研究證據顯示棧橋之影響度(或百分比)。因此，建議刪修或加入中油進場開發三接即存在之影響因子(如東鼎時代建造之圍堤與設施)，以免遭誤解或錯誤援引圍G1區之淤積現象是棧橋建造所致。</p>	<p>感謝委員，已修正於期末報告中。</p>

<p>(四) p.37, 圖 19、109 年 10 月每日懸浮固體監測資料,想請教懸浮固體濃度及波高監測資料比較,是否有辦法以「相關係數」等方式呈現其相關程度?</p>	<p>感謝委員,已修正於期末報告中。漂沙質量濃度的變化主要跟底床剪應力有關,在淺水域的底床剪應力主要受波浪(波高、週期、水深)作用,又以波浪為主。</p>
<p>(五) p.158, 6.3.2 調查成果,請教 G1 區底質粒徑分布明顯有季節性差異的可能原因?</p>	<p>感謝委員,已補充說明修正於期末報告中。根據調查成果可知,G1 區夏季粒徑較細(約 260 um),冬季、春季粒徑較粗(約 400 um)。G2 粒徑較粗(約 450 um),G3 粒徑較細(約 260 um)。根據學理可知,大浪時易將海沙捲起使其懸浮。海沙懸浮後若有底床剪應力降低,使得沉降通率高於懸浮通率,則海沙會沉降。根據調查成果可知,G1 區北側的突堤水深較淺,讓冬季劇烈的優勢漂沙通量得以進入 G1 區,且 G1 區的波浪衰減大,使 G1 形成易沉積的環境。並因為冬季浪大易使細顆粒底質的再懸浮,故使冬、春季底質皆為較粗的,夏季因風浪較小導致細顆粒也會沉積於底部。</p>
<p>(六) 有關實驗三氣泡射流防淤現場試驗部分,請教氣泡射流現場試驗無比照實驗一(水柱沖刷)進行「回淤時間尺度」之調查原因?是兩者可能差距不大或是另有考量?請說明。</p>	<p>感謝委員,因氣泡射流防淤現場試驗,主要目的是測試氣泡能否使沉積物再懸浮,故無紀錄 G2 區回淤的速率。</p>
<p>(七) 9.3.1 清沙實驗,本公司開發三接環評承諾施工人員機具不進入 G1/G2 區,並設有管理單位(本公司天然氣事業部觀塘處),於此提醒如本計畫因學術研究而有人員設備需進入上開區域之必要時,仍應向本公司管理單位(天然氣事業部觀塘處)提出申請,並建議徵得執委會與環評主管機關認同。</p>	<p>感謝委員,依意見辦理。</p>
<p>(八) p.46, 「侵」淤,誤繕;p.144 圖號遺漏、段落中。</p>	<p>感謝委員,已修正於期末報告中。</p>

<p>(九) 簡報 p.6，大日誌有誤及建議，201801 有誤，應為 201812 三接開工申報；建議加入東鼎時期已建築之海堤時間。</p>	<p>感謝委員意見，依意見遵照辦理。</p>
<p>(十) 簡報 p.70，有關儲槽突堤之敘述，主要論述四道突堤對於漂沙之影響與比較，建議加強說明，避免錯誤解讀與援引。</p>	<p>感謝委員意見，依意見遵照辦理。</p>
<p>八、張世駿委員</p>	
<p>(一) 雖然潮間帶是否清淤各方意見不同，且需審慎考量其效益、可行性、是否引發關注造成不必要困擾或後續影響等因素，惟仍感謝中大團隊提供覆沙減輕對策之可行方案予本公司未來清淤之參考，本公司亦將持續關注潮間帶之淤沙情形。</p>	<p>感謝委員指導。</p>
<p>(二) 報告 P.158 表示調查結果 G1 夏季淤沙粒徑較細、冬季較粗；G2 夏季冬季淤沙粒徑均較粗，請說明原因或可能來源推估。</p>	<p>感謝委員，根據調查成果可知，G1 區夏季粒徑較細(約 260 um)，冬季、春季粒徑較粗(約 400 um)。G2 粒徑較粗(約 450 um)，G3 粒徑較細(約 260 um)。根據學理可知，大浪時易將海沙捲起使其懸浮。海沙懸浮後若有底床剪應力降低，使得沉降通率高於懸浮通率，則海沙會沉降。根據調查成果可知，G1 區北側的突堤水深較淺，讓冬季劇烈的優勢漂沙通量得以進入 G1 區，且 G1 區的波浪衰減大，使 G1 形成易沉積的環境。並因為冬季浪大易使細顆粒底質的再懸浮，故使冬、春季底質皆為較粗的，夏季因風浪較小導致細顆粒也會沉積於底部。G2 區因受既有結構物影響導致沙源較難進入，且波浪相對 G1 有力，故易將細顆粒的捲起帶走，使其較不容易淤積。</p>
<p>(三) 計畫中採用水力清淤試驗於G1約9-14天回淤、氣泡清淤試驗於G2，是否有紀錄G2之回淤速率？</p>	<p>感謝委員，因氣泡射流防淤現場試驗，主要目的是測試氣泡能否使沉積物再懸浮，故無紀錄 G2 區回淤的速率。</p>
<p>九、黃志堅委員</p>	

<p>(一) 本研究有助於了解桃園海岸的漂沙機制，桃園海岸的漂沙地形變遷，未來亦會將漂沙機制與海岸地形變遷融入環教教材中，讓民眾可以知道桃園海岸的沙來沙往與地形變遷的自然現象。</p>	<p>感謝委員，將建議加入於建議未來工作中。</p>
<p>(二) 本研究專家學者建議 G1 及棧橋橋墩漂沙問題及監測，尺度已小至 10~20 公尺以內，請受託單位說明及建議應如何進行更細緻的地形變遷監測的作法。</p>	<p>感謝委員，已補充說明修正於期末報告中。目前數值模擬預測受限於地形高程測量點位的密度不足（目前約 100*100 公尺一個點位），用在大範圍的模擬較可信。然而目前遇到的挑戰是 G1 的及棧橋橋墩漂沙問題，尺度已經小到一二十公尺內。要使漂沙模擬結果更精確，需要在五米水深內到高潮位的精細地形水深及高程測量資料。因為五米水深內的碎波取決於地形水深，好的地形資料才有辦法進行更精確的水動力模擬，及後續更細緻的漂沙數值模擬。地形測量密度最好約 10*10 公尺左右一個點位。在施測時，陸域潮間帶高程可用岸基光達，若用傳統人力 RTK 測量則需注意測線密度。海域測量需要注意測線密度，因有礁體得立體高程會影響測量誤差，施測時最好能有頃度計進行資料品管。所有的水深資料需要進行潮位、湧浪及頃度矯正。</p>

附錄三、第一次專諮會會議紀錄

國立中央大學
111 年度觀塘工業港區漂沙機制及覆沙減輕對策之研究
第 1 次專家諮詢會議
會議紀錄

一、 時間：111 年 3 月 17 日(星期四)上午 10 時 00 分

二、 地點：本校地球科學學院科一館 S123 會議室

三、 主持人：國立臺灣海洋大學 許泰文 校長 紀錄：呂家宜

四、 出(列)席名單及人員：如簽到表

五、 會議過程：

由本計畫主持人黃志誠所長介紹出席委員後，交由主席許泰文校長致詞展開會議。透過計畫主持人黃志誠所長的簡報向各委員報告目前計畫推展的方向及目前團隊所累積、蒐集的數據資料分析以供委員們得以提出未來大潭藻礁潮間帶覆沙可能的問題與解決的對策。詳細委員回饋意見如下。於午宴過後，委員們實際勘查大潭藻礁 G1 區，親臨現場討論目前覆沙狀況。

六、 專家諮詢意見：

(一) 美國德拉瓦大學土木及環境工程系 許天健教授

1. 模式中是否有將沉降速度條件放入?
2. 在懸浮漂沙粒徑調查結果中不同水深調查中結果類似，無明顯的差異，是否受到 flock 的影響? 建議可在懸浮漂沙粒徑調查同一點位上在不同水深進行取樣分析，並計算不同水深的沉降速度。
3. 懸浮漂沙粒徑調查中粒徑與懸浮固體濃度的關係為何?

(二) 美國德州農工大學海洋工程系 張廣安教授

1. 目前無人機調查結果來看，請問看到的是漂沙的量?建議未來可利用 AI 來進行藻礁辨識。
2. 未來數值模擬建議成立一專業的數值團隊進行。

(三) 國立臺灣海洋大學 許泰文校長

1. 本計畫對於觀塘工業港開發對藻礁漂沙覆蓋影響評估與機制分析非常重要，執行重點宜以結合實測數據整理與學理分析，作出更具說服力環差說明並提出適當減輕對策。
2. 未來環境差異，本計畫執行重點
 - (1)漂沙在不同尺度(時間和空間)，如颱風前後、極端氣候、年際和季節變動、水庫排沙等。
 - (2)模式宜結合生態系統，縮小時間和空間尺度，探討水流和漂沙對生態或生態對於水流交互作用，釐清漂沙與生態互動機制。
 - (3)監測系統宜請中油支援，建立長期性監測團隊，就監測範圍、頻率、突發性氣候，呈現動態與長期變化趨勢。

(四) 國立臺灣海洋大學海洋生物研究所 邵廣昭教授

1. 漂沙及汙染是目前影響觀塘工業港區生態最主要的環境因子。
2. 從生態角度來看，漂沙對生態(特別是殼狀珊瑚藻及柴山多杯珊瑚)的影響，此兩者間之關係要作連接，亦即生態調查的資料如何和漂沙監測的資料同步。
3. 漂沙的數值模擬或預測要有實地驗證來看模擬是否準確。未來如果可以把漂沙的量能夠量化(每天或每週的累積)上網即時公開，(如同工程施工將噪音的分貝即時用電子看板顯示一樣)會比較有公信力與說服力。
4. 桃園市府海管處委託「生物多樣性指標及監測」計畫和「漂沙或汙染的監測計畫」是不同的計畫，兩者間要相互對接合作及整合才能解決問題，找到適當的減輕對策。
5. 對於大家目前關注的物種，如珊瑚礁及柴山多杯珊瑚應該要做更大範圍的生態時空分布的調查，即全台灣的海岸分布，從他們的分布熱區和非熱區來了解影響他們分布及數量的變動的環境因子、最適棲地，才能夠了解如何去保育及復育這些物種。

(五) 國立臺灣大學工程科學及海洋工程學系 林銘崇教授

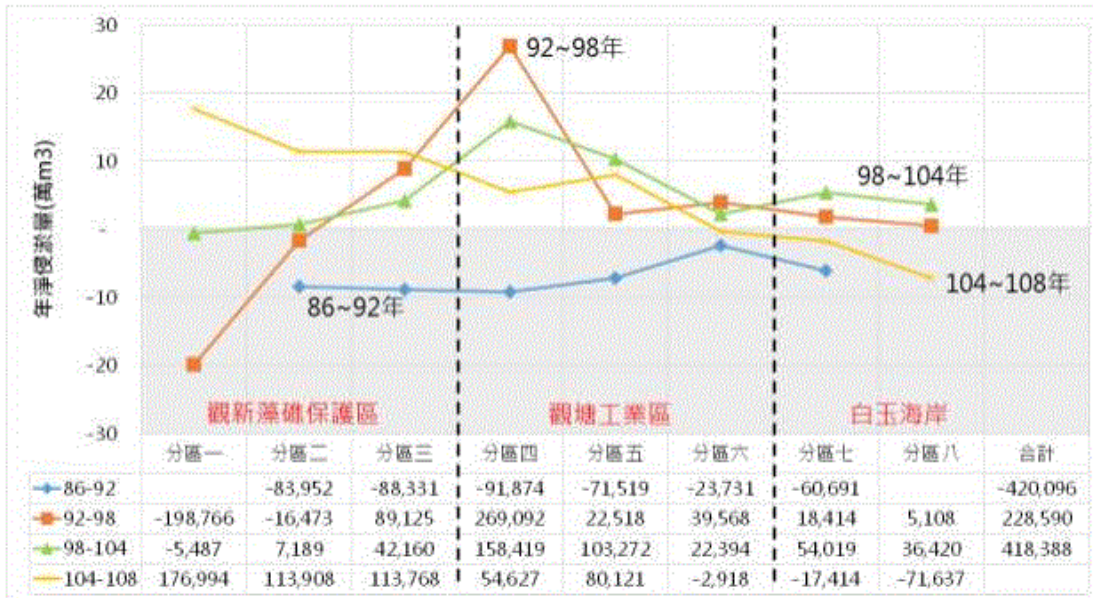
1. 台灣西海岸近岸水域，長期大範圍之漂沙移動趨勢大致呈由北往南，本計畫區以三接港建設案計畫範圍為主，此長期漂沙移動特性，仍宜納計畫評估中。
2. 本研究計畫範圍大致包含藻礁區、港區水域與周邊海域，但各區域之漂沙機制迥異，是否適合以完全相同方式處理？
3. 漂沙與生態系是呈雙向互動的，建議相關單位推動生態系漂沙之研究課題。

(六) 國立中興大學生命科學系 林幸助教授

1. 對潮間帶生物如殼狀珊瑚藻之影響評估要能模擬到沉積物沉降3公分，5天時間之門檻值，是否能作到？
2. 模式尺度是否能模擬到G1或G2空間區域之影響？是否能從柴山多杯珊瑚分布或活的殼狀珊瑚藻的分布來推測或校正模式。
3. 水流影響到漂沙，漂沙影響到生物多樣性，漂沙尺度是否能再降？
4. G1沙源是否從草漂沙丘來？草漂沙丘的沙源又從哪裡來？
5. 觀新藻礁保護區若以後為淤積趨勢，對生態之影響令人擔憂，是否有因應對策？

(七) 台灣世曦工程顧問股份有限公司 朱志誠經理

1. 海岸地形變遷乃為海岸趨於穩定之過程，由台灣世曦公司分析 86~104 年間地形侵淤之特性可知，現有海岸構造物造成之地形變動已漸趨穩定，另蒐集 108 年之水深地形資料補充分析後，亦顯示計畫區侵淤幅度更形減少，但觀新藻礁區塊之原有侵蝕特性已轉為淤積（詳圖所示）。



2. 由覆沙率調查結果可知，近年來之變動率皆有限，此乃說明地形趨於穩定之現象，但此變動幅度不大之現象，是否屬於大尺度趨於動態平衡之變化，則仍值得後續研究確認。

3. 本計畫區有長年地形變遷之水深測量資料，在數值模擬已採用 98~104 年之地形進行模式驗證率定，現今地形監測工作仍持續進行，應考量再採用 104~108 年間之地形進行二次模式驗證率定，即採用雙驗證過程，以更形提昇數值模擬之可靠度。

(八) 台灣中油 環境保護及生態保育處 黃志堅副處長

1. 現在的調查資料與之前所作的模擬能不能回饋到模擬資料裡面，以觀看準確度以及是否可行以及改善空間。

2. 漂沙的寬度厚度及體積如何因應可能產生生態的影響，使這邊的生態得以維持甚至更好，使港區營運得以持續。

3. 沙源到底是減少還是增加？現在目前是減少的狀態，若未來沙源是增加的情形，整體的變化會如何？

(九) 國立成功大學水工試驗所 江文山研究員

1. 目前基礎資料有粒徑、速度、波潮流等資料，做了非常高頻率多點位的分析，建議增加輸沙通量，把輸沙通量做進一步的提升，把濃度、粒徑和速度做一個整合，去計算出在不同季節、不同地點它的輸沙通量到底是如何，以了解沉積狀況，提供和地形變遷比對的重要資料。

2. 有關地形變遷的侵淤，近 10 年來，大崛溪以南至永安漁港沿岸一公里以內，它的沙是在增加的，每一年將近 21 萬立方公尺，未來這個區域沙是會增加的，究竟來源是哪？

3. 近水口這邊淤積的沙，十幾年來累積了將近 200 萬立方公尺，從 107 年的環評報告書內提到要去疏濬將近 110 萬立方公尺，這個港蓋上去後，水文條件改變，北邊的波浪被遮蔽掉，南邊的波浪遮蔽的相對之少，在量測的部分應該提供重要的佐證，建港前後 G1、G2、G3 的波潮流參數改變多少，得以了解近 200 萬立方公尺的沙將如何重新分配。

(十) 國立成功大學水工試驗所 黃國書研究員

1. 沙源部分在河川入沙的方面，現有數據需再收集更久以前的資料，同時了解一下數據推估的過程：通常河川局部都是用在較小的流量(沙量)下的實測，統計分析外插獲得，因此引用上要再斟酌。

2. 水深 10 米以內的沙層厚度是需要更多調查，這也是模式推估地形變遷上很重要的邊界條件，也是此區與台灣西岸絕大多數純沙質海岸最大不同之處。

3. 小於 80 微米的粒料占比？

4. 風吹沙也是此區很顯著的沙匯/源，但是調查資料十分缺乏。

5. 沙粒的啟動條件在礁體上會跟平滑底床十分不同。

6. 模式的發展要從水下、潮間帶合起來發展一個 Hybrid 模式，不過要準確到更細緻的模擬，也需要相應的現場調查資料。

(十一) 國立中央大學水文及海洋科學研究所 吳祚任教授

1. 這幾年影響觀塘區域之強烈颱風較少，因此目前觀測、分析與模擬結果以週期性之季風、洋流及波浪為主，然而依台灣過去歷史經驗，颱風對沙丘變遷及近岸輸沙影響極大。建議未來可建立情境颱風，並導入情境颱風所引致之局部強烈洋流，以比較工業港區在颱風時期對漂沙之影響。

2. 建立成立數據模擬小組，從颱風情境氣象場之建立、波浪模式、近岸洋流模式、風暴潮模式以及結構物三維數值模式予以整合，以完整模擬與預測極端氣候下之漂沙行為。

(十二) 國立中央大學水文及海洋科學研究所 錢樺教授

1. 此問題乃關於高精度對海陸交界漂沙之定量預測，由於海洋環境複雜，因此預測結果不確定性較高，接近於目前科學技術之極限(尚 science 討論)。首要工作在於評估目前所能掌握之預測工具是否夠用。

2. 其中包括對於數值模式之檢討、評估，此方面應更精細的比對水動力之監測數據，包括紊流強度與 SSC 剖面等，不能僅侷限於水位、流場，對於機制之研究極其重要，對於模式技術之檢討，要投入資源，同時也要收集可用於模式進階比對、調校之紊流、SSC Profile、粒徑分析等時間變化序列，以上新的科學知識，必須提前做好知識轉譯，以便供適時的公眾揭露。

(十三) 國立成功大學水工試驗所 江文山研究員

1. 建議依據所量測的資料進行各藻礁區的水文條件在時間上的變化，據以說明建港前後的差異，同時據以判斷建港前後的漂沙與地形變化。
2. 建議將量測的水文參數與漂沙濃度參數進行成份分離，並各別計算輸沙通量與其在空間上的梯度，進而可以判斷不同成份在不同區域與時間的侵淤趨勢。
3. 近年地形量測的分析結果顯示計畫區的大趨勢呈現逐漸淤積的現象，若此趨勢持續下去，長期對此區域的藻礁受到沙埋的潛勢可能有增加的疑慮，建議深入探討。
4. 過去十數年計畫區的部分區域累積超過百萬方的淤積土方，這是過去的海域水文與泥沙條件下所形成的結果，未來因工程開發海域的水文條件改變，這些既有的淤積泥沙可能重新傳輸擴散，有必要研究探討其行為與導致的結果。
5. 依環評報告得評估顯示開發後在短期的颱風作用後 G1~G3 區的外海區有淤積的現象，但是受限於時間、設備與技術上的限制，考慮長期的環境條件作用後的變動趨勢，僅有高度簡化後的分析並未有比較細緻符合實際的評估結果，考量到未來長期的環境力作用後，上述淤積在外海的初期趨勢是否會進一步往潮間帶輸送，以致影響到藻礁生態，宜建立長期地形變遷預測模式進行評估。

六、散會：中午 12 時 30 分

附錄四、第二次專諮會會議紀錄

國立中央大學
111 年度觀塘工業港區漂沙機制及覆沙減輕對策之研究
第 2 次專家諮詢會議

會議紀錄

- 一、時間：111 年 6 月 23 日(星期四)上午 10 時 00 分
- 二、地點：本校地球科學學院科一館 S123 會議室
- 三、主持人：國立臺灣大學海洋研究所 范光龍 教授 紀錄：呂家宜
- 四、出(列)席名單及人員：如簽到表
- 五、會議過程：

由本計畫主持人黃志誠教授介紹出席委員後，交由主席范光龍教授致詞展開會議。透過計畫主持人黃志誠教授的簡報向各委員報告目前計畫推展的方向及目前團隊所累積、蒐集的數據資料分析以供委員們得以提出未來大潭藻礁潮間帶覆沙可能的問題與解決的對策。詳細委員回饋意見如下。

六、專家諮詢意見：

(一) 美國德拉瓦大學土木及環境工程系 徐天健教授

- 1.簡報第 17 頁，底床剪應力的臨界值設為 $5(N/m^2)$ 是否高估？

(二) 美國德州農工大學海洋工程系 張廣安教授

- 1 傳統海域清淤工法，都需要先鑽井才能做抽沙的動作，會破壞藻礁，所以此方法應該不可行。
- 2.Delft 3D 的模式結果驗證是否完成？要先做對的水動力模擬，才能做對的沉積物傳輸的模擬。未來是否能利用模式結果來預測未來藻礁覆蓋的情況？
- 3.在美國現在在推廣以自然為本的設計(Nature-based design)建議納入思考方向。
- 4.長期監測設備的資料結果需要謹慎的驗證資料可信度。

(三) 國立臺灣海洋大學 許泰文校長

- 1. 先長期觀測再配合學理分析，釐清工業港漂沙機制及覆沙，如：
 - (1) 水動力（風波潮流，特別是近岸流、沿岸流及向離岸流）在現況與工業港水動力差異性分析，氣候變遷波浪能量及近岸流或海水位上升影響。
 - (2) 漂沙機制與海岸線變遷：漂沙沙源、臨界水深，底質粒徑分布，空間尺度：大尺度與局部尺，時間尺度：潮流漲退、風趨流及波浪衍生沿岸流與向離岸流及海流衍生的漂沙。
 - (3) 突堤效應：原始海岸、大潭電廠突堤建置及工業港水動、漂沙機制、海岸地形變化差異分析。
- 2. 水力清淤如要實施，須完成前述工作，確認空間淤積分布與範圍，時間尺度是否以長期分析覆蓋時間並影響珊瑚成長，基於這些基礎資料，可以考慮水力清淤是否可行，如可行清淤時間及範圍需有適當規劃。

3. 珊瑚成長及生存水質非常重要，水力清淤或氣泡清淤屬於流體或空氣排沙，是否影響水質濁度，或排沙要排到哪裡？如沙源往下游或深海排放，將製造另一個區域之藻礁覆蓋問題。
4. 未來三接興建情況推估建議以跨校團隊完成水文、漂沙、地形變遷與生態監測、水動力與漂沙及海岸地形變化即時性(real time)數值模擬、環境影響評估、藻礁復育和利害關係人與民眾之橋接溝通。
- 5.

(四) 國立臺灣海洋大學海洋生物研究所 邵廣昭教授

本計劃能夠在短短的幾個月內從不同的面向去收集到相當豐富完整的資料，並做了深入的分析，個人深表敬佩與肯定。個人先就今天簡報檔的內容先請教一些不了解和疑問的地方：

1. 簡報第 26 頁的左圖看來 G1 和 G2 應該是侵蝕的環境，第 54 到 56 頁的環評報告的分析結果亦然。但是在 6 月 6 號中油所委託海大林綉美老師所執行的「觀塘藻礁區域生態調查及監測計劃」的期末報告中有寫到 G1 地區的北邊有可能因為施工造成懸浮物及沉積物增加的現象。這點和本報告目前的研究似乎有不一致的結果，故建議兩個團隊可以互相交流和討論，釐清可能的原因。
2. 簡報第 28 頁的淨侵淤量統計表整理的很好，容易懂也有說服力，不知是否有 105 年之後的監測資料來以加上去來看較長期的變動趨勢。
3. 用氣泡射流清淤法來清除潮間帶的淤沙，可能還是要有一些初步的實驗來看其成效及利弊得失。這部分建議可與中油公司委託的生態調查團隊互相合作來進行，以便能取得利用這些工法清淤之後，對底棲無脊椎動物特別是柴山多杯珊瑚及殼狀珊瑚藻的影響。如果確定淤積的來源是由外推施工造成，那麼是否應從源頭去想出更好的減輕對策才是治本之道，如只在潮間帶區用氣泡射流方式清淤也只是治標而已。誠如簡報第 59 頁最後所寫的那句話「淤積的環境，即使清理後也會回淤」。
4. 簡報第 34 頁的 Y 軸是什麼？單位為何？
5. 簡報第 52 頁在計算機 to 單曲有白點的圈圍起來的範圍是表示受影響區，還是淤積區呢？
6. 簡報第 59 頁左邊的 A 和 B 圖，請問 B 圖是對照組嗎？

(五) 國立臺灣大學工程科學及海洋工程學系 林銘崇教授

1. 藻礁覆沙特性(覆沙厚度、面積等)是否可以經由資料蒐集歸納分析，獲取藻礁覆沙與環境水動力特性之參數關係？
2. 數值模擬結果顯示海流以潮流為主，應屬正確，不過於港口處是否存在近岸環流？於藻礁區是否存在碎波帶？
3. 於近岸區底床剪力值顯示不小，其鉛直向上分量相較於沙粒沉降速度大小如何？
4. 數值模擬使用之各相關模式，尤其漂沙及地形變化模式，建議適度介紹說明。
5. 藻礁覆沙區係以懸浮沙為主，衝擊減緩對策方面，似就勢順導為宜。基於此概念「增加懸浮力、改變沉積環境」之策略應屬適切方向。

(六) 國立台灣大學海洋研究所 范光龍教授

- 1.潮間帶清淤請在低潮位時進行，因為聲音在水中不易衰減而且會傳播至遠方，對水中生態影響很大，如器具在水中施工，請用低噪音設備。
- 2.從潮間帶往外海方向再挖深一些，這樣就可以減少往潮間帶堆積的沙量。

(七) 國立台灣大學生命科學系 李培芬教授

- 1.桃園市政府擬在大潭和白玉海域設立保護區，目前先以設立野生動物重要棲息環境作為提出的申請內容，預計 7-8 月間即可提出文件，請海洋保育署審議。未來傾向將觀新藻礁生態系野生動物保護區擴大，在大潭的柴山多杯珊瑚和小燕鷗的出現區域以核心區的方式劃設，緩衝區則依此向外擴大，但以大潭藻礁區為主，永續利用區可能以水深 6 公尺到防風林區為界。這是目前的想法，未來還會有修正的空間。
- 2.建議本案能驗證經濟部曾文生次長於去年對外界所說的大潭藻礁 G1 和 G2 區淤沙都會減少的說法，並釐清其間測的時間尺度，簡報中提及夏冬可能不相同，是否監測頻度採每半年一次即可？或每年一次？
- 3.建議本案的模擬預測可以連結線場的實測和生物性的監測資料，特別是殼狀珊瑚藻、柴山多杯珊瑚與其他指標生物的分布，進行漂沙改變和生物監測資料的連結分析。就環評承諾的環境監測計畫內容而言，現有的生態監測點位略少了些，無法掌握細緻區位（不同潮汐）的狀態，建議中油公司考慮增加，或以面的方式擴大涵蓋度，記錄納入空間資訊，分析亦同。
- 4.未來若進行清淤作業，請強化生態監測的涵蓋度和監測項目研擬，包括設置衝擊區和對照區，以及特定指標生物的選擇與頻度的考量。也可能要針對潮間帶的藻礁生態系（外界關注的重點）和海洋亞潮帶的生態系分別研擬。

(八) 台灣世曦工程顧問股份有限公司 朱志誠經理

- 1.沙埋現象是否需進行清淤?宜由生態專業人士認定之。
- 2.實際沙埋範圍與厚度，宜有實際監測數據，俾利後續處理與判定。
- 3.海岸地形變遷乃為海岸趨於穩定之過程。海岸地形未達穩定狀態，若藉由人工清淤以維持現況地形，乃屬不切實際。
- 4.抽沙機具乃以實務為準，在不影響礁體，僅抽取淤沙之條件下，建議以簡易吸管式抽沙機具為宜，若再於吸管頭加裝噴水頭，以加強海沙之懸浮，則更可提昇抽沙作業之效率。
- 5.港內淤積以細粒懸浮質沉積為主，其淤積量較為有限，也較有可能採用人為清淤改善；但港外自然海岸之淤積，其數量偏大，且會長年持續，故不建議進行人為清淤，待海岸穩定後，即可恢復自然生態。
- 6.有關海汙法之適用性，目前僅限政府公告之“公私場所”，而港域浚挖或人工養灘行為，則尚無該法之適用。

(九) 國立成功大學水工試驗所 江文山研究員

以下面 2 張 ppt 表示:

1. 興建前後驅動力有何改變? 具體量化數據

2. 假如驅動力變成西到西南向為優勢, 這優勢力量是否足以驅動漂沙?

3. 以往東北風為優勢, 以東北向為上游, 西南向為下游, 形成突堤效應, 興建後, 若優勢為西到西南向, 上下游相反, 原淤積的趨勢重新分布

4. G1、G2 & G3 區會如何? 進水口淤積速率?

環評關於地形變遷與侵淤相關承諾

- ✓ 台電大潭電廠進水口南側海域-3m~-10m 處淤積明顯, 規劃於施工期間將淤沙清除 (面積約 28 公頃, 淤積量約 40 萬方比較基礎?)
- ✓ G3 區現有淤積區域, 亦進行一次抽沙作業 (面積約 50 公頃, 淤積量約 95 萬方比較基礎?)
- ✓ 為確保觀音溪水流之順暢, 依據原環評承諾 觀音溪口如有淤塞, 立即進行疏浚

■ 清除的淤沙何處去?

■ 抽砂後續的效應? 如果開發不會改變原淤積趨勢, 清除後變成滯沙池, 還是會再淤, 速率? 對鄰近影響?

■ 如果原淤積趨勢改變? 那未來的侵淤熱點?

■ 如何證明所述方式可以避免破壞藻礁? 多大馬力? 何種水深?

1. 抽砂時機:
未來會將每年監測結果與前一年同期比較, 並向專家學者諮詢, 若有影響藻礁生態系之虞, 即啟動清淤工作。

2. 抽砂方式:
以小型工作船利用水力泵及抽沙管(塑膠軟管)抽沙, 施工機具不會放置在礁體上, 以避免破壞礁體。

抽砂範圍要加大
清除的淤沙何處去?

台電大潭電廠進水口南側
海域-3m~-10m處

(十) 國立成功大學水工試驗所 黃國書研究員

1. 覆沙減輕有幾個原則, 以下說明乃一般港池要減少淤積的 3 種策略, 三接離岸港廓與陸地間的水域嚴格講不算是封閉的港區, 不過某些條件卻也十分類似: 例如其遮蔽波浪的效應, 因此自然也可參照。

- Keep sand out (KSO): 不讓沙進到系統。然而這在此區非常不可能實現, 因為那需要透過很大量體的工程手段, 例如在漂沙優勢方向的上游設突堤攔沙(衍生真的突堤效應), 與目前的相關法令, 如海管法維持自然海岸的精神背道而馳。

- Keep sand moving (KSM): 如果 KSO 行不通, 表示泥沙會進到系統, 這時只有讓沙保持運動, 自然不會掉下來; 然而在三接港廓遮蔽的水域內, 雖然潮流通透, 並且在局部區位還會加速, 惟預期碎波的力道將大幅降低, 因此在遮蔽區與非遮蔽區的交界面附近, 也就是水流挾沙能力由強轉弱的區位就會是泥沙落淤的熱區, 若冀望以人為外力來保持 KSM 者, 可行性相當低。

- Keep sand navigable(KSN): 如果泥沙難免落淤者, 那麼就要注意不要等到泥沙淤到無

法清理或很難清理。例如，一般泥沙淤積如果深度不大或是多為非黏性(cohesiveless)顆粒者，其可清理程度會遠較具黏性(通常為小於 74 μm 的粉土或黏土)的淤積為高。鄰近的大潭電廠進水口的案例可資借鏡。

2.(承 1.)如果 KSN 是唯一可遵循之策略，在方法上可能還需審慎評估，畢竟這非港池或航道浚深，傳統清淤方式應該很難於此施作。

- 訂定一個清淤門檻

- 在現場或實驗室(大比尺)建立一個可行清淤模式，其中就可包括環評建議使用的水力清淤法(Hydraulic dredges)

- 可考慮藉助大退潮的流動，必要時加上人為擾動(於高平潮時)

- 不同水深區位的淤積特性與清淤模式未必相同，特別是在潮間帶。

3. 建議短期(3~5 年)內不清淤，觀察淤積(區位、量體，泥沙粒徑)或侵蝕(區位、量體)特性是否趨於穩定，往下再決定是否清淤。

- 此一時間尺度為根據大潭電廠進/出口結構物完工後鄰近地形變遷特性所估計。

- 在此一變遷過程未達穩定之前，如果變成設定門檻，只要超過就去清淤，將使清淤工作沒完沒了。並且這一區的棲地就會一直處於擾動狀態，不見得有利生態發展！?

- 如果屆時穩定的淤積範圍不大(標準可以另訂)，何妨在藻礁生態系中容許其他生態系可能的發展。

(十一) 國立中央大學水文及海洋科學研究所 吳祚任教授

1. 本案對桃園藻礁區域進行史無前例的監測與研究，值得肯定與鼓勵。

2. 陸源漂沙(風吹沙)在該地為重要源匯，建議在監測上更深入探討。

3. 過去 4~5 年無重大極端氣候事件，但仍需考慮極端氣候之情境分析，特別是風吹沙所可能在颱風下之源匯情況並以數值模擬分析。

4. 空氣射流增加懸浮之構想很創新，但不建議，因為直接影響該區生態。建議採自然或人為改變流況方式。

5. 數值模式方面(簡報第 48 頁)紊流範圍與網格疏密交界過於接近，建議適度擴大高解析度範圍。

6.簡報第 36 頁懸浮漂沙粒徑-G1 於 8/15 後，似有明顯區別，有無解釋方式?

(十二) 國立台灣海洋大學海洋工程科技學士學位學程 蘇仕峰教授

1.本次會議議題探討藻礁受覆沙掩蓋，因應方式考慮採用水力清淤，然而，對於藻礁區的水動力特性尚未掌握，無論採用何種清淤方式，懸浮起的泥沙能否流出藻礁礁盤後不再流回尚未可知，因此，進一步了解更精細的空間與時間尺度是必要的。

2.以個人利用相位解析波浪模式模擬經驗與國際相關研究，從數百公尺到數公里的礁盤，各種波浪週期成分的能量在向離岸方向分布有空間差異，例如高水位情況下，離岸位置是湧浪較高，海岸線附近則是以長週期亞重力波較高，這種長週期波浪會在向離岸空間上產生駐波結構。此外，G1、G2 和 G3 沿岸空間因受到導流堤區隔，形成接近 1 公里平方的口袋型灣澳，這種地貌也可能構成沿岸駐波效應。駐波會造成泥沙集中，未來數值模擬可注意這種水動力特性。

3.另外一種珊瑚礁地形產生的水動力是渦流，產生渦流會讓泥沙不易流出淤沙區，未來也可進一步探討這個問題。

4.空間與時間尺度縮小需要的地形水深需要更詳細，目前模擬所用的地形水深解析無法完整表現沙灘與礁盤地形的差異，建議後續能更精細量測。

(十三) 國立臺灣海洋大學海洋生物研究所 林綉美教授

1.潮間帶有積沙情況，是否應啟動清淤程?

Comments: 以桃園南部藻礁而言，目前調查資料顯示在觀新藻礁北側海域和大潭藻礁 G1 海域潮間帶有季節性的區塊性積沙，可視為積沙的自然界變化。另外，此研究計畫中進行的藻礁局部清淤實驗也顯示已清淤區塊過不久又有積沙累積。由此判斷，桃園南部的藻礁區潮間帶的積沙，似乎以人工方式來清淤，效果不大。

2.環評建議使用水力清淤法(Hydraulic dredges)，是否可行?

Comments: 此研究計畫中進行的藻礁局部清淤實驗也顯示已清淤區塊過不久又有積沙累積，無論用何種人工方式清淤，只要週遭水體中的懸浮沙粒過高，在藻礁區潮間帶發生的區塊性大量積沙，都無法避免。因此，在解決週遭水體中的懸浮沙粒過高現象前，不建議進行任何清淤工程。

3.氣泡射流清淤工法的概念是否可行?或者有其他有效之漂沙控制做法?

Comments: 如上述，在解決週遭水體中的懸浮沙粒過高現象前，不建議進行任何清淤工程。

4.清淤對生態的衝擊及提醒?

Comments: 以桃園南部的藻礁積沙的區塊大都是在藻礁上半部，而此區域棲息有許多的小型魚類以及無脊椎底棲動物（如螃蟹、螺貝類等等），如進行清淤工程會對這些底棲動物會造成生存衝擊。

5.其他之綜合建議?

Comments:

1. 桃園南部的藻礁積沙的區塊目前以觀新藻礁北側海域和大潭藻礁 G1 海域潮間帶較為嚴重，似是因突堤效應造成，也許可由此著手來了解可以改善之處。
2. G1 週遭水體中的懸浮沙粒過高現象，是否可以先改善此區域的海水流速或循環不良來做為考量點，而不是進行清淤，畢竟要治本（不要只治標）。

(十四) 國立中山大學生物科學系 張學文教授

1. 沙源應該是影響此地藻礁的重點，懸浮載如果是礁區主要漂沙傳輸的方式，其沙的來源應有較清楚的研究，其中北邊的沙丘在夏季會不會形成沙源供給尤其應該釐清。
2. 目前棧橋已完工，G1 礁體覆沙率時序列顯示有小幅增加，如未來南北防坡堤興建完成後，或有秋季颱風來襲，對冬季殼狀珊瑚藻生長仍可能會因覆沙有所影響，若是增加覆沙，清淤就成了不得已的作法。
3. 柴山多杯珊瑚生長季在夏季，覆沙的影響與殼狀珊瑚藻正好相對應，兩者的保育模式有季節性的差異，而其他珊瑚與殼狀珊瑚藻的生長，與覆沙可能有交互關係，不同季節的覆沙對礁體維持現況或改變為其他組成至關重要。
4. 水力清淤法較機械清淤法較好，但堆置區域在何處?可能要到觀新藻礁區下游，或向西更遠的外海，對藻礁的生態仍須研究。
5. 以空氣射流增加懸浮，藉由自然海流排沙，可能實施在哪裡?由那裡的海流排沙?可以

做小規模研究來看

6. 簡報中用人工水管水利沖沙，宜注意方向，避免對生態造成傷害，如有試驗，可以釐清一些憂慮。
7. 底床剪應力冬天圖(簡報第 51 頁)，兩個圖 Y 軸的 scale 似乎不同

(十五) 國立臺灣海洋大學水產養殖學系 李孟洲教授

目前清淤方式可分為機械清淤、水力清淤與中大提及之氣泡射流清淤，

1. 機械清淤是以重機具之方式將淤沙挖取與清除，因機組之移入與清淤作業挖取之過程，將可能對藻礁區產生直接之損傷，損害原有藻礁區內生物之棲息環境。
2. 水力清淤與氣泡射流清淤皆為將沙變為流動態，透過抽取濁流清除，變為流動態之過程，若無法有效控制作業範圍與抽取成效，周遭環境之濁度及懸浮固體將在短時間內大幅上升，過高之懸浮固體將可能對藻礁生物產生負面影響。

六、 散會：中午 12 時 50 分

附錄五、Delft3D 模式校驗資料

本團隊蒐集桃園市政府海岸管理工程處的計畫「觀音、新屋海岸水質、海流、漂沙及其他環境因子對於藻礁生態影響之調查評估計畫」中模式校驗資料。

該計畫為釐清數值模式結果於桃園海域流場之重現能力，透過 2021 年 5 月之實際潮波流觀測資料與同一時期模式結果進行相似度比較以驗證模式。實測資料由 ADCP 潮波流儀取得，ADCP 設置點位位於 G1 區內鄰近結構物、水深約 3 公尺處，如圖 189 所示，模式內亦於同樣位置處設立一模擬值輸出點位；實測值與模擬值的相似度由 Skill 值量化[Willmott, 1981]，其定義如下：

$$Skill = 1 - \frac{\sum |X_{simu} - X_{obs}|^2}{\sum (|X_{simu} - \overline{X_{obs}}| + |X_{obs} - \overline{X_{obs}}|)^2}$$

方程式中 X_{simu} 為模擬值； X_{obs} 為觀測值； $\overline{X_{obs}}$ 為觀測值之平均。計算出來的 Skill 值會落在 0 到 1 之間，Skill 值愈接近 1，表示模擬值與觀測值的誤差愈小，兩者相似度愈高，即模式模擬結果愈好；Skill 值愈接近 0，則兩者相似度愈低，表示模式模擬結果與實際觀測資料相去甚遠。

透過 2021 年 5 月 2 日至 5 月 31 日的新竹浮標風、波浪資料做為邊界條件進行現況模擬，並以同時段之 ADCP 實測資料進行模式校驗，浮標風速、風向、示性波高、波向時序資料如圖 190。校正後最佳模擬結果如圖 191 所示，圖內為模擬值與同時期 ADCP 實測值之水位、X 方向流速、Y 方向流速、示性波高、波向時序列，Skill 值依序為 0.99、0.95、0.85、0.70 及 0.75，模擬值與觀測值呈高度相似。該校正過之數值模式基於此非結構性網格，透過給定的地形水深、風、浪及潮汐條件可準確模擬出現實環境的流場變動。

另以 2022 年 1 月 19 日至 1 月 30 日的新竹浮標風、波浪資料做為邊界條件進行現況模擬，並以同時段之 ADV 實測資料進行平均底床剪力流速校驗。校驗結果如圖 192，該校驗過的模式可重現實測之剪力流速量值以及其變動趨勢。

綜合以上，驗證結果顯示本次計畫使用之模式具有一定程度能力可重建桃園近岸波流場。

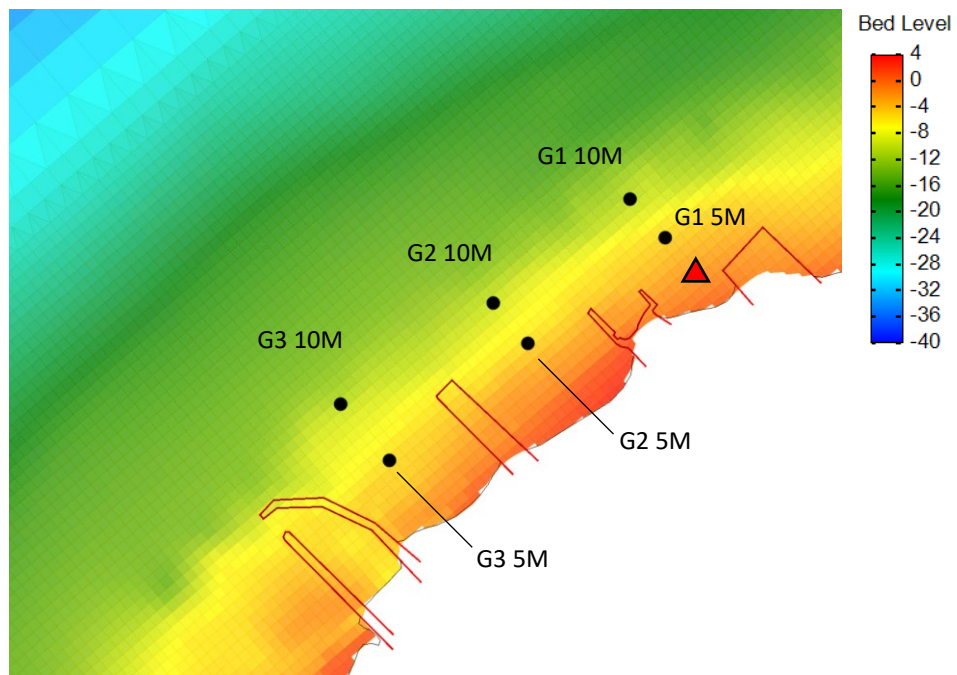


圖 189、現況模擬

紅色線段：不透水結構物；黑色圓點：模擬值輸出點位；
紅色三角形：ADCP 設置位置

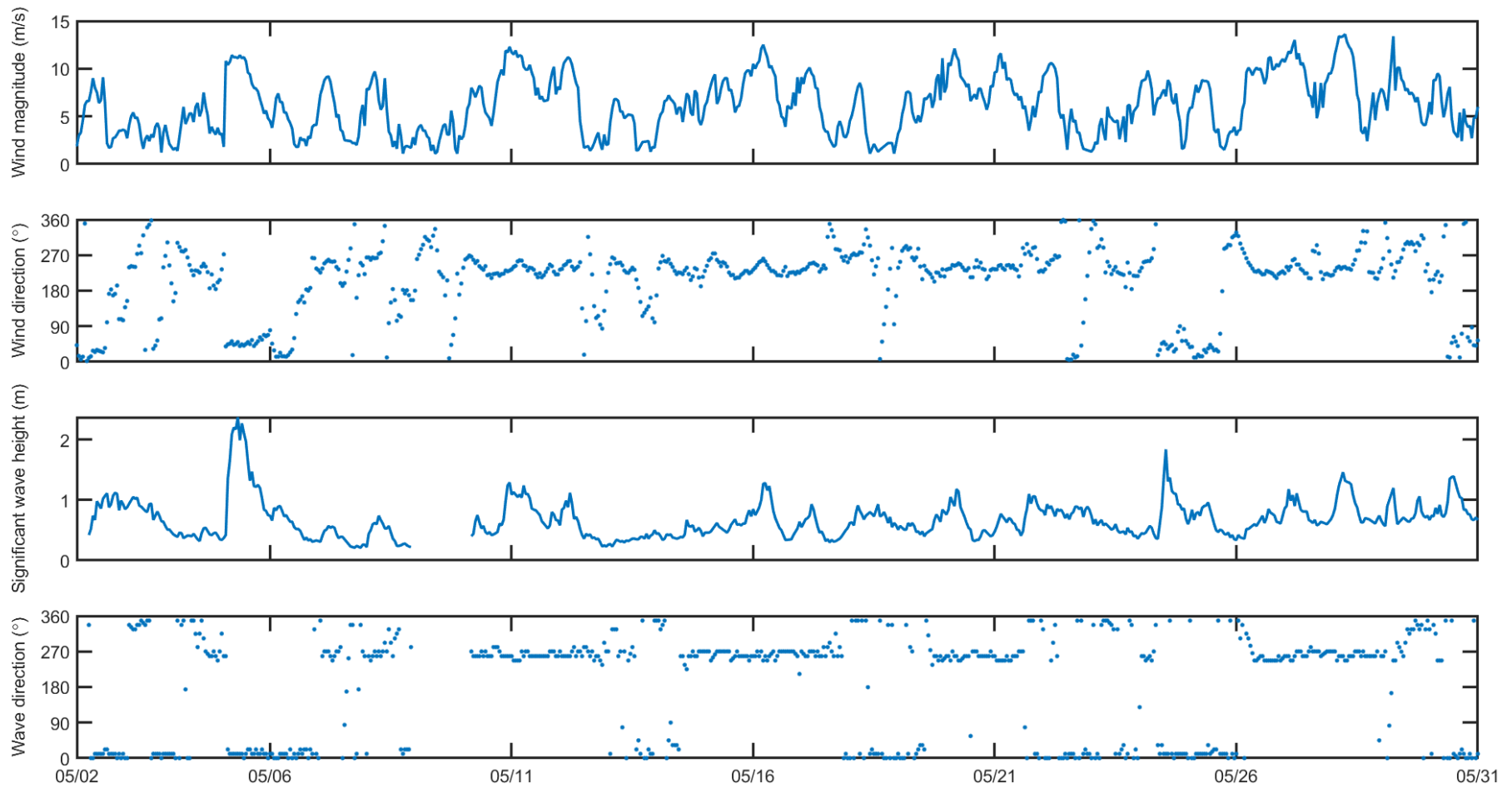


圖 190、校驗階段期間(2021 年 5 月 2 日至 2021 年 5 月 31 日)新竹浮標風速、風向、示性波高、波向時序資料。

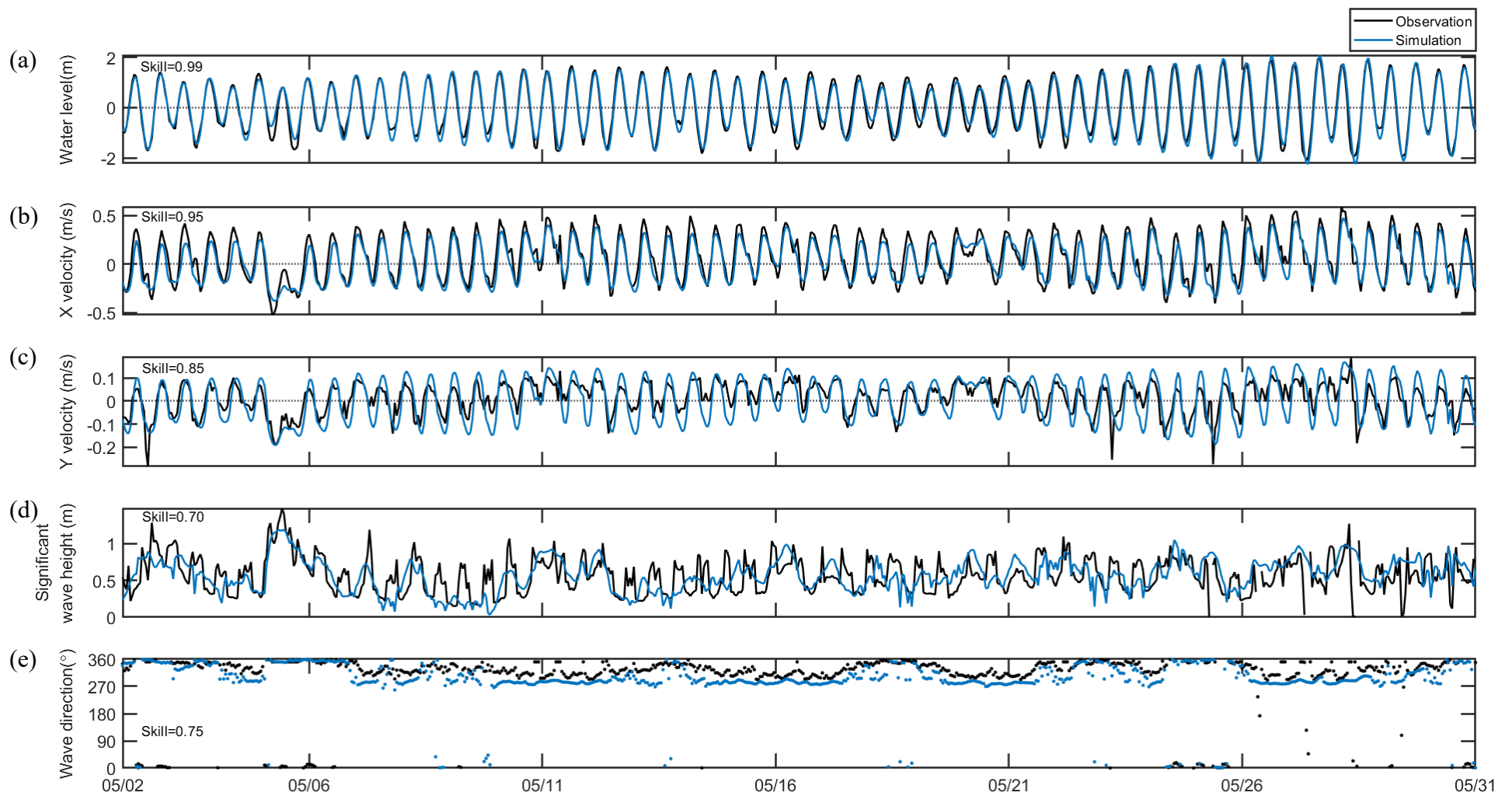


圖 191、5 月 2 日至 5 月 31 日實測(黑色)與模擬結果(藍色)時序列圖：(a)水位 (b)X 方向流速 (c)Y 方向流速 (d)示性波高 (e)波向

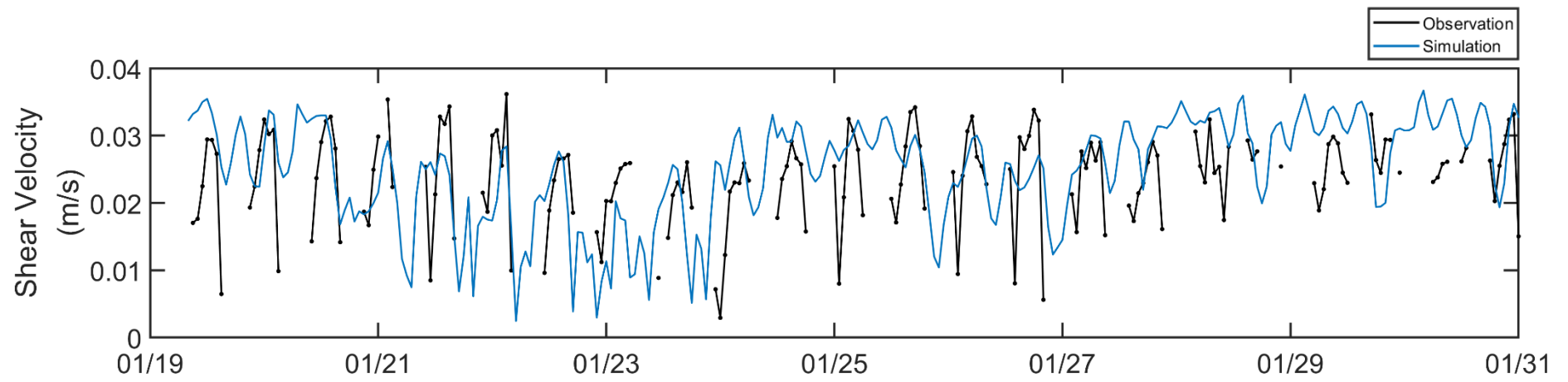


圖 192、1 月 19 日至 1 月 31 日實測(黑色)與模擬結果(藍色)時序列圖：平均底床剪力流速

參考文獻

- Beheshti, A. A., and B. Ataie-Ashtiani (2008), Analysis of threshold and incipient conditions for sediment movement, *Coastal Engineering*, 55(5), 423-430, doi:10.1016/j.coastaleng.2008.01.003.
- Downing, J. (2006), Twenty-five years with OBS sensors: The good, the bad, and the ugly, *Continental Shelf Research*, 26(17-18), 2299-2318, doi:10.1016/j.csr.2006.07.018.
- Feddersen, F., and A. J. Williams (2007), Direct Estimation of the Reynolds Stress Vertical Structure in the Nearshore, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 24(1), 102-116, doi:10.1175/jtech1953.1.
- Ha, H. K., W. Y. Hsu, J. P. Y. Maa, Y. Y. Shao, and C. W. Holland (2009), Using ADV backscatter strength for measuring suspended cohesive sediment concentration, *Continental Shelf Research*, 29(10), 1310-1316, doi:10.1016/j.csr.2009.03.001.
- Hallermeier, R. J. (1980), A profile zonation for seasonal sand beaches from wave climate, *Coastal Engineering*, 4, 253-277, doi:[https://doi.org/10.1016/0378-3839\(80\)90022-8](https://doi.org/10.1016/0378-3839(80)90022-8).
- Huang, Z.-C., L. Lenain, W. K. Melville, J. H. Middleton, B. Reineman, N. Statom, and R. M. McCabe (2012a), Dissipation of wave energy and turbulence in a shallow coral reef lagoon, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 117(C3), n/a-n/a, doi:10.1029/2011jc007202.
- Huang, Z. C. (2015), Vertical structure of turbulence within a depression surrounded by coral-reef colonies, *Coral Reefs*, 34(3), 849-862, doi:10.1007/s00338-015-1304-0.
- Huang, Z. C., L. Lenain, W. K. Melville, J. H. Middleton, B. D. Reineman, N. Statom, and R. M. McCabe (2012b), Dissipation of wave energy and turbulence in a barrier-reef lagoon, *Journal of Geophysical Research-Oceans*, 117, C03015, doi:10.1029/2011JC007202.
- Huang, Z. C., and W. T. Tsai (2013), In situ measurements of turbulent dissipation rate over an algal reef, paper presented at the 23rd International Polar and offshore Engineering Conference, Anchorage.
- Hwung, H. H., Z. C. Huang, and K. S. Hwang (2010), An experimental study of the cross-shore evolution of artificial submerged sand bars, *Coast Eng. J.*, 52(4), 261-285, doi:10.1142/s057856341000221x.
- Jan, S., J. Wang, C.-S. Chern, and S.-Y. Chao (2002), Seasonal variation of the circulation in the Taiwan Strait, *Journal of Marine Systems*, 35(3), 249-268.
- Kuo, C. Y., S. Keshavmurthy, A. Chung, Y. Y. Huang, S. Y. Yang, Y. C. Chen, and C. A. Chen (2020), Demographic census confirms a stable population of the critically-endangered caryophyllid coral *Polycyathus chaishanensis* (Scleractinia; Caryophyllidae) in the Datan Algal Reef, Taiwan, *Sci Rep*, 10(1), 10585, doi:10.1038/s41598-020-67653-8.
- Lanckriet, T., and J. A. Puleo (2013), Near-bed turbulence dissipation measurements in the inner surf and swash zone, *118*(12), 6634-6647, doi:<https://doi.org/10.1002/2013JC009251>.
- Lesser, G. R., J. A. Roelvink, J. van Kester, and G. S. Stelling (2004), Development and validation

of a three-dimensional morphological model, *Coastal Engineering*, 51(8-9), 883-915, doi:10.1016/j.coastaleng.2004.07.014.

- Madsen, O. S., Y. K. Poon, and H. Graber (1988), Spectral wave attenuation by bottom friction: Theory, paper presented at 21st Int. Conf. Coastal Eng. , ASCE.
- Na, B., K.-A. Chang, Z.-C. Huang, W.-Y. Hsu, W.-L. Chuang, and Y.-Y. Chen (2018), Large-scale laboratory observation of flow properties in plunging breaking waves, *Coastal Engineering*, 138, 66-79, doi:<https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2018.04.002>.
- Nielsen, P. (1992), *Coastal bottom boundary layers and sediment transport*, World Scientific.
- Pomeroy, A. W. M., R. J. Lowe, M. Ghisalberti, C. Storlazzi, G. Symonds, and D. Roelvink (2017), Sediment transport in the presence of large reef bottom roughness, *Journal of Geophysical Research-Oceans*, 122(2), 1347-1368, doi:10.1002/2016jc011755.
- Pomeroy, A. W. M., R. J. Lowe, M. Ghisalberti, G. Winter, C. Storlazzi, and M. Cuttler (2018), Spatial Variability of Sediment Transport Processes Over Intratidal and Subtidal Timescales Within a Fringing Coral Reef System, *J. Geophys. Res.-Earth Surf.*, 123(5), 1013-1034, doi:10.1002/2017jf004468.
- Pomeroy, A. W. M., C. D. Storlazzi, K. J. Rosenberger, R. J. Lowe, J. E. Hansen, and M. L. Buckley (2021), The Contribution of Currents, Sea-Swell Waves, and Infragravity Waves to Suspended-Sediment Transport Across a Coral Reef-Lagoon System, *Journal of Geophysical Research-Oceans*, 126(3), doi:10.1029/2020jc017010.
- Ro, K. S., and J. B. Neethling (1991), Biofilm Density for Biological Fluidized Beds, *Research Journal of the Water Pollution Control Federation*, 63(5), 815-818.
- Ruessink, B. G. (2010), Observations of Turbulence within a Natural Surf Zone, *Journal of Physical Oceanography*, 40(12), 2696-2712, doi:10.1175/2010jpo4466.1.
- Scott, C. P., D. T. Cox, T. B. Maddux, and J. W. Long (2005), Large-scale laboratory observations of turbulence on a fixed barred beach, *Measurement Science and Technology*, 16(10), 1903-1912, doi:10.1088/0957-0233/16/10/004.
- Shaw, W. J., and J. H. Trowbridge (2001), The Direct Estimation of Near-Bottom Turbulent Fluxes in the Presence of Energetic Wave Motions %J Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 18(9), 1540-1557, doi:10.1175/1520-0426(2001)018<1540:Tdeonb>2.0.Co;2.
- Soulsby, R. L. (1997), *Dynamics of Marine Sands: A Manual for Practical Applications*, Thomas Telford, London.
- Thornton, E. B. (1979), Energetics of breaking waves within the surf zone, 84(C8), 4931-4938, doi:<https://doi.org/10.1029/JC084iC08p04931>.
- Willmott (1981).
- Wu, W. M., and S. S. Y. Wang (2006), Formulas for sediment porosity and settling velocity, *Journal of Hydraulic Engineering*, 132(8), 858-862, doi:10.1061/(asce)0733-9429(2006)132:8(858).
- Yoon, H.-D., and D. T. Cox (2010), Large-scale laboratory observations of wave breaking turbulence over an evolving beach, 115(C10), doi:<https://doi.org/10.1029/2009JC005748>.
- 中央氣象局 (2020), <https://www.cwb.gov.tw/V8/C/>, edited.
- 林伯謙 (2018), 桃園海岸近岸流四季變化之研究, 中央大學.

林則名 (2013), 藻礁區的波浪頻譜消散特性, 國立中央大學, 桃園縣.

國立中央大學 (2017), 104 年桃園市觀新藻礁生態保育委託專業服務勞務採購案 *Rep.*, 桃園市政府農業局.

廖凱芹 (2018), 桃園海岸近岸流之數值模擬, 61 pp, 國立中央大學, 桃園縣.

藍亦汝 (2022), <20220719 碩士論文.pdf>, 77 pp, 國立中央大學, 桃園縣.