

金門國家公園重要海岸地景點地形 變遷監測計畫（112-113年）

112年度成果報告書

受委託單位：陶林數值測量工程有限公司

計畫主持人：李 暉

共同主持人：任家弘

計畫期程：中華民國112年1月至113年12月

計畫經費：新臺幣345萬元

內政部國家公園署金門國家公園管理處 委託辦理

中華民國112年12月

（本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見）

摘要

內政部國家公園管理署金門國家公園管理處有鑑於金門與烈嶼海岸的珍貴地景與沙灘受到海岸地形作用影響，產生海崖的崩塌、退後與沙灘的變遷，為了解中長期海岸變遷的趨勢，委託辦理「金門國家公園重要地景點地形變遷監測計畫 (112-113)」。112 年度計畫期間曾遭受 7 月 28 日中度颱風杜蘇芮直接侵襲，以及 9 月 5 日中度颱風海葵自南側掠過等影響。執行團隊針對古寧頭北山斷崖海岸、古寧頭北山海堤海岸、金湖新頭海岸、烈嶼黃厝海岸、烈嶼南山頭海岸等 5 處重要灘面於 4 月（冬末）、8 月（杜蘇芮颱風過後）、10 月（夏末）各執行 1 期 RTK 灘面高程測量；針對古寧頭北山斷崖海岸、古寧頭北山海堤海岸、烈嶼貓公石海岸、烈嶼黃厝海岸、烈嶼 L56 據點海岸、烈嶼南山頭海岸等 6 處海岸，於 5 月初完成海崖光達掃描；針對古寧頭北山斷崖海岸、古寧頭北山海堤海岸、金湖新頭海岸、烈嶼貓公石海岸等 4 處海岸，於 5 月初完成 UAV 航空攝影測量外業。利用上述灘面及海崖高程等測量資料建立數值高程模型，進行不同時期差值分析。利用 UAV 航拍成果產製正射影像，並蒐集歷史航遙測影像包含 47 年航拍原始像片及 98 年五千分之一正射影像，套繪分析海岸線變異情形。為了解沙灘區沉積物粒徑分布情形，收集古寧頭北山斷崖海岸、古寧頭北山海堤海岸、金湖新頭海岸、烈嶼貓公石海岸、烈嶼黃厝海岸、烈嶼 L56 據點海岸、烈嶼南山頭海岸等 7 處海岸沙灘區沉積物，以篩分析以及雷射粒徑分析儀進行粒徑分析。於古寧頭北山斷崖海岸與烈嶼南山頭海岸等 2 處關注岸段設置自記式氣象站，自 112 年 5 月起蒐集現地氣象資料，作為判斷海岸崩塌潛勢之參考依據。

關鍵字：金門海岸、侵淤、即時動態定位、地面雷射掃描、粒徑分析、氣象站

Abstract

Since the precious landscapes along the coasts of Kinmen and Lieyu Islands are affected by coastal geomorphological process , causing coastal cliff collapses and change of beaches, Kinmen National Park has initiated this project to understand the trends in medium to long-term coastal changes. The study area experienced the direct impact of Typhoon Doksuri on July 28 and the indirect influence of Typhoon Haikui passing from the south on September 5 during this project. Real-Time Kinematic GNSS survey was conducted in April (late winter), August (after Typhoon Doksuri), and October (late summer) for five important beach areas, including the Beishan Cliff Coast in Gunningtou, Beishan Seawall Coast in Gunningtou, Xintou Coast in Jinhu, Huangcuo Coast in Lieyu, and Nanshantou Coast in Lieyu. Terrain laser scanning for the cliffs at Beishan Cliff Coast, Beishan Seawall Coast, Xintou Coast, and Maokong-Rock Coast in Lieyu had been completed in May. UAV aerial photogrammetry surveys were also completed in May for Beishan Cliff Coast, Beishan Seawall Coast, Xintou Coast, and Maokong-Rock Coast. The collected data were used to establish digital elevation models for multitemporal analyses. Original aerial photos from 1958 and 1:5000 map scale orthophotos from 2009 were collected to analyze coastal line changes. To understand the distribution of sediment particle sizes in beach areas, sediment samples were collected from seven coastal areas, and particle size analysis were performed using sieve analysis and a laser particle size analyzer. Two data logging weather stations were installed in Beishan Cliff Coast and Nanshantou Coast to collect on-site meteorological data since 2023 May, serving as a reference for assessing risk of coastal collapse.

Keywords: Kinmen coast, Sedimentation and Erosion, Real-Time Kinematic, Terrain laser scanning, Particle size analysis, Data logging weather station

目錄

摘要	I
目錄	III
表目錄	V
圖目錄	VI
壹、計畫工作項目及工作內容	1
一、計畫緣起	1
二、計畫範圍	1
三、計畫目標	5
四、工作項目	5
貳、計畫期程	8
一、執行進度規劃	8
參、建立數值高程模型	11
一、控制測量	11
二、灘面高程測量	17
三、海崖高程測量	53
肆、沙灘區沉積物粒徑分布分析	78
一、沙灘區沉積物取樣	78
二、沉積物粒徑分析	83
伍、套繪分析重要岸段之海岸線變化情形	94
一、蒐集既有影像	94
二、無人飛行載具航空攝影測量	95
陸、蒐集現地氣象資料	117
一、設置自記式氣象站	117
二、氣象站資料	122
柒、研擬未來經營管理之因應措施	132
一、無海崖海灘（金湖新頭海岸）	132

二、 有海崖海灘.....	132
捌、 計畫研究成果投稿至國家公園學報.....	134
玖、 重要海岸地景點導覽網頁.....	134
結論與建議.....	137
一、 結論.....	137
二、 建議.....	139
參考文獻.....	140
採購評選審查意見回覆.....	141
期初工作計畫書書面審查意見回覆.....	144
期中報告書審查意見回覆.....	147
期末報告書審查意見回覆.....	151

表目錄

表 1-1	分年度工作項目一覽表	7
表 2-1	112 年度外業辦理情形	10
表 3-1	本計畫採用衛星追蹤站	11
表 3-2	高坑一等水準點 (KM15) 清查成果	12
表 3-3	海岸控制點坐標成果	16
表 3-4	112 年各海岸 RTK 測量點數與點密度統計	20
表 3-5	古寧頭北山斷崖海岸 112 年侵淤變化情形	34
表 3-6	古寧頭北山海堤海岸 112 年侵淤變化情形	37
表 3-7	金湖新頭海岸 112 年侵淤變化情形	40
表 3-8	烈嶼黃厝海岸 112 年侵淤變化情形	42
表 3-9	烈嶼南山頭海岸 112 年侵淤變化情形	46
表 3-10	112 年灘面侵淤總量統計表 (單位：立方公尺)	50
表 3-11	RIEGL VZ-1000 雷射掃描儀性能表	54
表 3-12	掃描間距、目標距離與點雲密度對照表	54
表 3-13	古寧頭北山斷崖海岸光達點雲控制點誤差	64
表 3-14	常用光達資料位移監測方法	66
表 3-15	古寧頭北山斷崖海岸 A 區斷面圖與說明	71
表 3-16	古寧頭北山斷崖海岸 B 區斷面圖與說明	72
表 3-17	古寧頭北山斷崖海岸 C 區斷面圖與說明	73
表 3-18	烈嶼南山頭海岸 A 區斷面圖與說明	76
表 4-1	各樣區採樣數量統計	78
表 5-1	執行團隊採用之無人機規格	96
表 5-2	空域限制範圍說明表	99
表 5-3	飛航參數表	102
表 6-1	古寧頭北山斷崖海岸分段地形發育及特性 (112 年 7 月拍攝)	129

圖目錄

圖 1-1	計畫範圍圖.....	1
圖 1-2	古寧頭北山斷崖海岸與古寧頭北山海堤海岸作業範圍.....	2
圖 1-3	金湖新頭海岸作業範圍.....	2
圖 1-4	烈嶼貓公石海岸作業範圍.....	3
圖 1-5	烈嶼黃厝海岸作業範圍.....	3
圖 1-6	烈嶼 L56 據點海岸作業範圍.....	4
圖 1-7	烈嶼南山頭海岸作業範圍.....	4
圖 2-1	112 年度預定進度甘梯圖.....	9
圖 2-2	113 年度預定進度甘梯圖.....	9
圖 3-1	靜態衛星觀測.....	13
圖 3-2	靜態衛星測量外業情形.....	13
圖 3-3	可採用之既有點位案例.....	14
圖 3-4	新設控制點（古寧頭北山斷崖海岸）.....	14
圖 3-5	GNSS 靜態觀測檢核流程圖.....	15
圖 3-6	GNSS 已知點與海岸控制點分布圖.....	16
圖 3-7	即時動態定位衛星測量採用設備.....	17
圖 3-8	RTK 測量作業情形（以古寧頭北山海堤為例）.....	18
圖 3-9	潮汐預報表（以水頭潮位站為例）.....	19
圖 3-10	預報潮位時序圖（以水頭潮位站為例）.....	20
圖 3-11	RTK 測量點分布（以 112 年 4 月古寧頭北山斷崖海岸為例）.....	21
圖 3-12	測量點緊鄰灘面邊界（以 112 年 4 月金湖新頭海岸為例）.....	22
圖 3-13	測量點緊鄰灘面邊界（以 112 年 4 月烈嶼南山頭海岸為例）.....	22
圖 3-14	輸出 RTK 測量成果（以 112 年 4 月古寧頭北山海堤海岸為例）.....	23
圖 3-15	ArcMap 軟體之 Spline 內插工具.....	23
圖 3-16	古寧頭北山斷崖海岸 112 年 4 月 DEM 套疊 0 公尺高程海岸線.....	24
圖 3-17	古寧頭北山斷崖海岸 112 年 8 月 DEM 套疊 0 公尺高程海岸線.....	24

圖 3-18	古寧頭北山斷崖海岸 112 年 10 月 DEM 套疊 0 公尺高程海岸線	25
圖 3-19	古寧頭北山海堤海岸 112 年 4 月 DEM 套疊 0 公尺高程海岸線	25
圖 3-20	古寧頭北山海堤海岸 112 年 8 月 DEM 套疊 0 公尺高程海岸線	26
圖 3-21	古寧頭北山海堤海岸 112 年 10 月 DEM 套疊 0 公尺高程海岸線	26
圖 3-22	金湖新頭海岸 112 年 4 月 DEM 套疊 0 公尺高程海岸線	27
圖 3-23	金湖新頭海岸 112 年 8 月 DEM 套疊 0 公尺高程海岸線	27
圖 3-24	金湖新頭海岸 112 年 10 月 DEM 套疊 0 公尺高程海岸線	28
圖 3-25	烈嶼黃厝海岸 112 年 4 月 DEM 套疊 0 公尺高程海岸線	28
圖 3-26	烈嶼黃厝海岸 112 年 8 月 DEM 套疊 0 公尺高程海岸線	29
圖 3-27	烈嶼黃厝海岸 112 年 10 月 DEM 套疊 0 公尺高程海岸線	29
圖 3-28	烈嶼南山頭海岸 112 年 4 月 DEM 套疊 0 公尺高程海岸線	30
圖 3-29	烈嶼南山頭海岸 112 年 8 月 DEM 套疊 0 公尺高程海岸線	31
圖 3-30	烈嶼南山頭海岸 112 年 10 月 DEM 套疊 0 公尺高程海岸線	32
圖 3-31	古寧頭北山斷崖 0 公尺高程海岸線變遷情形	33
圖 3-32	古寧頭北山斷崖海岸 112 年 4 月至 8 月侵淤變化	34
圖 3-33	古寧頭北山斷崖海岸 112 年 8 月至 10 月侵淤變化	35
圖 3-34	古寧頭北山斷崖海岸 112 年 4 月至 10 月侵淤變化	35
圖 3-35	古寧頭北山海堤 0 公尺高程海岸線變遷情形	36
圖 3-36	古寧頭北山海堤海岸 112 年 4 月至 8 月侵淤變化	37
圖 3-37	古寧頭北山海堤海岸 112 年 8 月至 10 月侵淤變化	38
圖 3-38	古寧頭北山海堤海岸 112 年 4 月至 10 月侵淤變化	38
圖 3-39	金湖新頭海岸 0 公尺高程海岸線變遷情形	39
圖 3-40	金湖新頭海岸 112 年 4 月至 8 月侵淤變化	40
圖 3-41	金湖新頭海岸 112 年 8 月至 10 月侵淤變化	41
圖 3-42	金湖新頭海岸 112 年 4 月至 10 月侵淤變化	41
圖 3-43	烈嶼黃厝海岸 0 公尺高程海岸線變遷情形	42

圖 3-44	烈嶼黃厝海岸 112 年 4 月至 8 月侵淤變化	43
圖 3-45	烈嶼黃厝海岸 112 年 8 月至 10 月侵淤變化	44
圖 3-46	烈嶼黃厝海岸 112 年 4 月至 10 月侵淤變化	44
圖 3-47	烈嶼南山頭 0 公尺高程海岸線變遷情形	45
圖 3-48	烈嶼南山頭海岸侵淤情形 (2013 年 5 月至 2016 年 11 月)	46
圖 3-49	烈嶼南山頭海岸 112 年 4 月至 8 月侵淤變化	47
圖 3-50	烈嶼南山頭海岸 112 年 8 月至 10 月侵淤變化	48
圖 3-51	烈嶼南山頭海岸 112 年 4 月至 10 月侵淤變化	49
圖 3-52	颱風後金湖新頭海岸侵蝕情形 (112 年 8 月)	50
圖 3-53	烈嶼南山頭海岸東北側颱風後大量堆積的罕見現象 (112 年 10 月)	51
圖 3-54	古寧頭北山斷崖海岸受颱風侵蝕導致上方出露 (112 年 8 月)	52
圖 3-55	北山海堤海岸受颱風侵蝕導致樹木崩落與海崖出露 (112 年 8 月)	52
圖 3-56	古寧頭北山海堤海岸沉積物受海浪搬運作用移動 (112 年 10 月)	52
圖 3-57	烈嶼黃厝海岸受颱風侵蝕持續崩落 (112 年 8 月)	53
圖 3-58	地面式三維雷射掃描作業流程圖	55
圖 3-59	易受遮蔽之複雜地形.....	56
圖 3-60	烈嶼南山頭海岸地形現象	57
圖 3-61	利用 RTK 移動站作為臨時性控制點.....	57
圖 3-62	古寧頭北山斷崖海岸外業掃描情形	57
圖 3-63	烈嶼貓公石海岸外業掃描情形	58
圖 3-64	烈嶼黃厝海岸外業掃描情形	58
圖 3-65	烈嶼南山頭海岸外業掃描情形	58
圖 3-66	海崖掃描點雲.....	59
圖 3-67	古寧頭北山斷崖海岸點雲拼接成果	60
圖 3-68	古寧頭北山斷崖海岸點雲多站平差精度	60

圖 3-69	烈嶼貓公石海岸點雲拼接成果	61
圖 3-70	烈嶼貓公石海岸點雲多站平差精度	61
圖 3-71	烈嶼南山頭海岸點雲拼接成果	62
圖 3-72	烈嶼南山頭海岸點雲多站平差精度	62
圖 3-73	烈嶼黃厝海岸點雲拼接成果	63
圖 3-74	烈嶼黃厝海岸點雲多站平差精度	63
圖 3-75	光達點雲濾除 (以烈嶼南山頭海岸為例)	65
圖 3-76	M3C2 應用於邊坡變異案例	66
圖 3-77	動態海崖剖面剖線矩陣(Emery & Kuhn, 1982).....	67
圖 3-78	M3C2 演算法說明 (Lague et al. 2013)	68
圖 3-79	古寧頭北山斷崖海岸 105 至 112 年 M3C2 變異距離.....	69
圖 3-80	古寧頭北山斷崖海岸變異分析關注岸段與斷面位置	70
圖 3-81	古寧頭北山斷崖海岸 A 區點雲.....	71
圖 3-82	古寧頭北山斷崖海岸 B 區點雲.....	72
圖 3-83	古寧頭北山斷崖海岸 C 區點雲.....	73
圖 3-84	烈嶼南山頭海岸 105 至 112 年 M3C2 變異距離	74
圖 3-85	烈嶼南山頭海岸海岸變異分析關注岸段與斷面位置	75
圖 3-86	烈嶼南山頭海岸 A 區點雲.....	76
圖 3-87	烈嶼南山頭海岸 B 區點雲.....	77
圖 4-1	古寧頭北山斷崖海岸樣區取樣位置	79
圖 4-2	古寧頭北山海堤海岸樣區取樣位置	79
圖 4-3	金湖新頭海岸樣區取樣位置	80
圖 4-4	烈嶼貓公石海岸樣區取樣位置	80
圖 4-5	烈嶼黃厝樣區取樣位置	81
圖 4-6	烈嶼 L56 據點海岸樣區取樣位置	81
圖 4-7	烈嶼南山頭樣區取樣位置	82
圖 4-8	沉積物粒徑表.....	83
圖 4-9	Microtrac S3500 雷射粒徑分析儀規格	84

圖 4-10	Microtrac S3500 雷射粒徑分析儀	85
圖 4-11	古寧頭北山斷崖海岸沉積物粒徑分布圖	86
圖 4-12	古寧頭北山海堤海岸沉積物粒徑分布圖	87
圖 4-13	金湖新頭海岸沉積物粒徑分布圖	88
圖 4-14	烈嶼貓公石海岸沉積物粒徑分布圖	89
圖 4-15	烈嶼黃厝海岸沉積物粒徑分布圖	90
圖 4-16	烈嶼 L56 據點海岸沉積物粒徑分布圖	91
圖 4-17	烈嶼南山頭海岸沉積物粒徑分布圖	92
圖 4-18	烈嶼南山頭海岸靠海側礫石堆積	93
圖 5-1	47 年 U2 拍攝原始像片初步拼接成果	94
圖 5-2	98 年金門縣五千分之一正射影像	94
圖 5-3	無人機航空攝影測量作業流程	95
圖 5-4	遙控無人機註冊紀錄	97
圖 5-5	遙控無人機投保紀錄	98
圖 5-6	無人機專業高級操作證	100
圖 5-7	航空標佈設型態	101
圖 5-8	航空標 RTK 測量	101
圖 5-9	古寧頭北山斷崖海岸與北山海堤海岸飛航規劃設計圖	102
圖 5-10	金湖新頭海岸飛航規劃設計圖	103
圖 5-11	烈嶼貓公石海岸飛航規劃設計圖	103
圖 5-12	影像特徵點提取	104
圖 5-13	影像特徵點匹配與稠密點雲重建	104
圖 5-14	正射影像微分糾正流程圖	105
圖 5-15	古寧頭北山斷崖海岸 UAV 正射影像	105
圖 5-16	古寧頭北山斷崖海岸 98 年航拍正射影像數化海岸線	106
圖 5-17	古寧頭北山斷崖海岸 112 年 UAV 正射影像數化海岸線	107
圖 5-18	金湖新頭海岸 98 年航拍正射影像	108
圖 5-19	金湖新頭海岸 112 年 UAV 正射影像	108

圖 5-20	烈嶼貓公石海岸 98 年航拍正射影像數化海岸線	109
圖 5-21	烈嶼貓公石海岸 112 年 UAV 正射影像數化海岸線	110
圖 5-22	古寧頭北山斷崖海岸線變化情形 (局部放大)	111
圖 5-23	古寧頭北山斷崖海岸線變化情形	112
圖 5-24	烈嶼貓公石海岸線變化情形 (因林木遮蔽故以樹冠外廓代表)	113
圖 5-25	烈嶼貓公石海岸線變化情形—局部放大 1 (最多後退 4.0 公尺)	114
圖 5-26	烈嶼貓公石海岸線變化情形—局部放大 2 (最多後退 4.6 公尺)	115
圖 5-27	烈嶼貓公石海岸線變化情形—局部放大 3 (最多後退 5.8 公尺)	116
圖 6-1	CR200 資料記錄處理器	117
圖 6-2	傾斗式雨量計示意圖.....	118
圖 6-3	TEROS 10 土壤溼度計.....	118
圖 6-4	古寧頭北山斷崖海岸氣象站位置	119
圖 6-5	烈嶼南山頭海岸氣象站位置	119
圖 6-6	基樁埋設情形.....	120
圖 6-7	完成基樁埋設.....	120
圖 6-8	電腦設定資料處理器程式	121
圖 6-9	埋設土壤濕度計.....	121
圖 6-10	完成自記式氣象站設置	121
圖 6-11	112 年 5 月氣象站資料 (降雨量與邊坡土壤濕度)	122
圖 6-12	112 年 6 月氣象站資料 (降雨量與邊坡土壤濕度)	123
圖 6-13	112 年 7 月氣象站資料 (降雨量與邊坡土壤濕度)	124
圖 6-14	112 年 8 月氣象站資料 (降雨量與邊坡土壤濕度)	125
圖 6-15	112 年 9 月氣象站資料 (降雨量與邊坡土壤濕度)	126
圖 6-16	112 年 10 月氣象站資料 (降雨量與邊坡土壤濕度)	127

圖 7-1	古寧頭北山斷崖海岸上方排水溝	133
圖 9-1	海岸地景地圖頁面.....	134
圖 9-2	海岸環景導覽.....	135
圖 9-3	自記式氣象站資料查詢	135
圖 9-4	海岸地景介紹.....	136

壹、計畫工作項目及工作內容

一、計畫緣起

金門與烈嶼海岸的珍貴地景與沙灘受到海岸地形作用影響，產生海崖的崩塌、後退與沙灘的變遷；由過去調查研究結果顯示，金門地區灘岸高程受季風改變沿岸流而有明顯季節性變化，又海岸斷崖受短時強降雨影響易導致崩塌。本計畫規劃跨年度之監測，以了解目前海岸作用的狀況與速率；其成果並將與歷史調查監測資料加以比對，輔以遙測歷史影像、UAV 航拍資料（DEM 與正射影像）或雷射掃描資料套繪分析，了解中長期海岸變遷的趨勢；另於關注岸段設置自記式氣象站以收集當地氣象因子資料，作為未來經營管理之參考依據。

二、計畫範圍

本計畫監測之重要海岸地景點包含古寧頭北山斷崖海岸、古寧頭北山海堤海岸、金湖新頭海岸、烈嶼貓公石海岸、烈嶼黃厝海岸、烈嶼 L56 據點海岸及烈嶼南山頭海岸等 7 處，作業範圍如圖 1-1 至圖 1-7 所示。

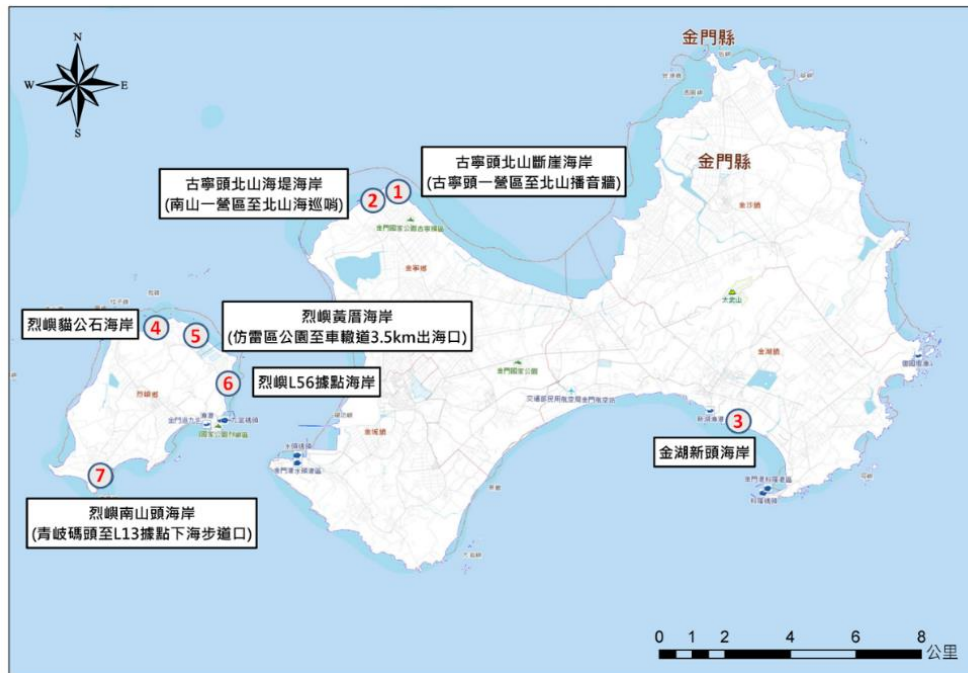


圖 1-1 計畫範圍圖





圖 1-4 烈嶼貓公石海岸作業範圍



圖 1-5 烈嶼黃厝海岸作業範圍



圖 1-6 烈嶼 L56 據點海岸作業範圍



圖 1-7 烈嶼南山頭海岸作業範圍

三、計畫目標

- (一)建立研究區沙灘與海崖的數值地形模型，以分析短時距與中時距的海岸地形變遷。
- (二)於研究區沙灘進行沉積物取樣與粒徑分析，以了解海岸沉積物粒徑分佈與其特性。
- (三)運用遙測歷史影像、UAV 航拍現況正射影像或樣區位於航道附近不易進行 UAV 航拍者以雷射掃描資料取代，套繪分析海岸地形長期變化情形。
- (四)於關注岸段設置自記式氣象站以蒐集現地因子，作為判斷海岸崩塌潛勢、提供預警之參考資料。

四、工作項目

- (一)重要區段海岸地形變遷監測：

- 1、建立精密數值地形模型 (DTM) 與表面光譜網格資料：

- (1)灘面高程：針對 5 處重要海岸段灘面（古寧頭北山斷崖海岸、古寧頭北山海堤海岸、金湖新頭海岸、烈嶼黃厝海岸、烈嶼南山頭海岸），以即時差分定位動態衛星測量 (RTK-GPS) 進行地形測量（每半年至少 1 次），與前期資料比對，了解灘面的高程變化與侵蝕和淤積情形、0 公尺高程海岸線變化，藉此評估未來海岸線變遷趨勢。
- (2)海崖高程：以三維地面光達掃描儀 (LiDAR) 或 UAV 航拍 (DEM 與正射影像) 收集 6 處海岸段（古寧頭北山斷崖海岸、古寧頭北山海堤海岸、烈嶼貓公石海岸、烈嶼黃厝海岸、烈嶼 L56 據點海岸、烈嶼南山頭海岸）斷崖之地表資訊（計畫期間至少 1 次），作為長期監測地形發育與地景保育研究、數位典藏之基礎。其中，北山斷崖海岸之成果需與 104-105 年歷史資料進行比對，計算本計畫與前案計畫年間之海崖高程變化及風化崩塌情形。

- (3)將灘面及高程測量資料(RTK-GPS 測量點與 LiDAR 或 UAV 點雲)，配合地理資訊系統之資料處理與內插 (interpolation)，或以點雲資料進行比對，建立各岸段數值地形模型 (DTM)，作為長期監測地形發育與地景保育研究、數位典藏之基礎。
 - 2、收集 7 處海岸 (古寧頭北山斷崖海岸、古寧頭北山海堤海岸、金湖新頭海岸、烈嶼貓公石海岸、烈嶼黃厝海岸、烈嶼 L56 據點海岸、烈嶼南山頭海岸) 沙灘區沉積物，以雷射粒徑分析儀進行粒徑分布分析，了解海岸沉積物粒徑分佈與其特性。
 - 3、輔以運用遙測歷史影像和 UAV 航拍資料 (DEM 與正射影像) 或雷射掃描資料，套繪分析重要岸段之海岸線變化情形。
- (二)第一年度須完成設置自記式氣象站：
- 設置於古寧頭北山斷崖海岸、烈嶼南山頭海岸等 2 處海岸段，蒐集現地資料，作為判斷海岸崩塌潛勢之參考依據。
- (三)以研究成果的海岸變遷趨勢，研擬未來經營管理之因應措施。
- (四)繳交期中報告書，並出席機關召開之期中審查會議。
- (五)繳交執行成果報告書、地形測量原始資料、DTM 模型及差異分析成果檔案、國家公園學報投稿文件及電子檔 (含各階段報告及成果報告之 doc 及 pdf 及簡報檔)。

表 1-1 分年度工作項目一覽表

工作項目		112 年度	113 年度	工作海岸段
重要區段 海岸地形監測	建立精密數值地形 模型(DTM)與表面 光譜網格資料	灘面高程測量及分 析 (RTK)	每半年至少一次	5 處海岸灘面： 古寧頭北山斷崖海岸、古寧頭北山海堤海岸、金 湖新頭海岸、烈嶼黃厝海岸、烈嶼南山頭海岸
		海崖高程資料收集 及分析 (LiDAR 或 UAV)	計畫期間至少一次	6 處海岸斷崖： 古寧頭北山斷崖海岸、古寧頭北山海堤海岸、烈 嶼貓公石海岸、烈嶼黃厝海岸、烈嶼 L56 據點海 岸、烈嶼南山頭海岸
		建立各海岸段 數值地形模型 (DTM)	計畫期間至少一次	7 處海岸： 古寧頭北山斷崖海岸、古寧頭北山海堤海岸、金 湖新頭海岸、烈嶼貓公石海岸、烈嶼黃厝海岸、烈 嶼 L56 據點海岸、烈嶼南山頭海岸
	沙灘區沉積物粒徑分布分析		計畫期間至少一次	7 處海岸： 古寧頭北山斷崖海岸、古寧頭北山海堤海岸、金 湖新頭海岸、烈嶼貓公石海岸、烈嶼黃厝海岸、烈 嶼 L56 據點海岸、烈嶼南山頭海岸
	套繪分析重要岸段之海岸線變化情形		計畫期間至少一次	7 處海岸： 古寧頭北山斷崖海岸、古寧頭北山海堤海岸、金 湖新頭海岸、烈嶼貓公石海岸、烈嶼黃厝海岸、烈 嶼 L56 據點海岸、烈嶼南山頭海岸
自記式氣象站		設置	維護	2 處海岸： 古寧頭北山斷崖海岸、烈嶼南山頭海岸
研擬未來經營管理之因應措施		✓	✓	
繳交期中報告書，並出席機關召開之期中審查會議		✓	✓	
繳交執行成果報告書、地形測量原始資料、DTM 模型及 差異分析成果檔案、國家公園學報投稿文件及電子檔		✓	✓	

貳、計畫期程

一、執行進度規劃

(一)分項工作進度

1、112 年：

- (1)第一期：於 112 年 02 月 23 日前檢送工作計畫書，經審查通過後，撥付契約金額總價百分之三十。
- (2)第二期：於 112 年 07 月 13 日前交付期中報告書 15 份，出席機關舉行之期中審查會議，經審查通過後，撥付契約金額總價百分之三十。
- (3)第三期：於 112 年 11 月 16 日前交付期末報告書 15 份，出席機關舉行之期末審查會議，經審查通過後，於 12 月 14 日前修正完成送交書面成果報告 20 份及相同內容電子檔 2 份(含 1.成果報告書 word 檔及 pdf 檔 2.各期會議簡報 ppt 檔 3.投稿國家公園學報 word 檔)，完成驗收後，檢據辦理結算撥付尾款(契約金額總價百分之四十)。

2、113 年：

- (1)第一期：於 113 年 01 月 17 日前檢送工作計畫書，經審查通過後，撥付契約金額總價百分之三十。
- (2)第二期：於 113 年 07 月 18 日前交付期中報告書 15 份，出席機關舉行之期中審查會議，經審查通過後，撥付契約金額總價百分之三十。
- (3)第三期：於 113 年 11 月 15 日前交付期末報告書 15 份，出席機關舉行之期末審查會議，經審查通過後，於 12 月 12 日前修正完成送交書面成果報告 20 份及相同內容電子檔 2 份(含 1.成果報告書 word 檔及 pdf 檔 2.各期會議簡報 ppt 檔 3.投稿國家公園學報 word 檔)，完成驗收後，檢據辦理結算撥付尾款(契約金額總價百分之四十)。

項次	工作項目	月次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
		年別	112年度計畫月計預定進度% (*:表示委辦契約簽訂起第一個月)											
		月份	二*	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二	
壹	RTK-GPS地形測量	11.50			5.75						5.75			
貳	LiDAR雷射掃描	40.22			20.11						20.11			
參	UAV航拍	8.04			4.02						4.02			
肆	資料蒐集及處理	5.75			1.00	1.00	1.00	1.00		1.00	0.75			
伍	沙灘沉積物粒徑分析	1.44			0.25	0.25	0.25				0.25	0.25	0.24	
陸	設置及維護自記式氣象站	33.05	1	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	2.3	
查核點														
壹	工作計畫書		★											
貳	期中報告書							★						
參	期末報告書											★		
肆	成果報告書												★	
預定進度百分比			1.00	3.30	34.43	4.55	4.55	4.30	3.30	4.30	34.18	3.55	2.54	
預定進度累積百分比			1.00	4.30	38.73	43.28	47.83	52.13	55.43	59.73	93.91	97.46	100.00	

圖 2-1 112 年度預定進度甘梯圖

項次	工作項目	月次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		年別	113年度計畫月計預定進度% (*:表示委辦契約簽訂起第一個月)											
		月份	一*	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二
壹	RTK-GPS地形測量	14.29				7.14						7.15		
貳	LiDAR雷射掃描	19.64				9.82						9.82		
參	UAV航拍	9.64				4.82						4.82		
肆	資料蒐集及處理	16.43	0.8	1.64	1.64	1.64	1.64	1.64	1.64	1.64	1.64	1.64	0.87	
伍	沙灘沉積物粒徑分析	15.00				10	2.5	2.5						
陸	設置及維護自記式氣象站	25.00	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	1.90
查核點														
壹	工作計畫書		★											
貳	期中報告書								★					
參	期末報告書												★	
肆	成果報告書													★
預定進度百分比			2.90	3.74	3.74	35.52	6.24	6.24	3.74	3.74	3.74	25.53	2.97	1.90
預定進度累積百分比			2.90	6.64	10.38	45.90	52.14	58.38	62.12	65.86	69.60	95.13	98.10	100.00

圖 2-2 113 年度預定進度甘梯圖

表 2-1 112 年度外業辦理情形

	監測 頻率	古寧頭北山 斷崖海岸	古寧頭北山 海堤海岸	金湖 新頭海岸	烈嶼貓公石海 岸	烈嶼 黃厝海岸	烈嶼 L56 據點海岸	烈嶼 南山頭海岸
灘面高程測 量及分析 (RTK)	計畫 要求	每半年 1 次	每半年 1 次	每半年 1 次		每半年 1 次		每半年 1 次
	團隊 規劃	每半年 1 次 颱風後 1 次	每半年 1 次 颱風後 1 次	每半年 1 次 颱風後 1 次		每半年 1 次 颱風後 1 次		每半年 1 次 颱風後 1 次
	辦理 情形	112 年 4 月 112 年 8 月 112 年 10 月	112 年 4 月 112 年 8 月 112 年 10 月	112 年 4 月 112 年 8 月 112 年 10 月		112 年 4 月 112 年 8 月 112 年 10 月		112 年 4 月 112 年 8 月 112 年 10 月
海崖高程資 料收集及分 析 (LiDAR)	計畫 要求	1 次	1 次		1 次	1 次	1 次	1 次
	團隊 規劃	每年 1 次	1 次		1 次	1 次	1 次	每年 1 次
	辦理 情形	112 年 5 月	預計 113 年		112 年 5 月	112 年 5 月	預計 113 年	112 年 5 月
套繪分析重 要岸段之海 岸線變化情 形 (UAV)	計畫 要求	1 次	1 次	1 次	1 次	1 次	1 次	1 次
	團隊 規劃	1 次	1 次	1 次	1 次	1 次	1 次	1 次
	辦理 情形	112 年 5 月	112 年 5 月	112 年 5 月	112 年 5 月	預計 113 年	預計 113 年	預計 113 年
沙灘區沉積 物粒徑分布 分析	計畫 要求	1 次	1 次	1 次	1 次	1 次	1 次	1 次
	團隊 規劃	每年 1 次	1 次	1 次	1 次	1 次	1 次	每年 1 次
	辦理 情形	112 年 4 月	112 年 4 月	112 年 4 月	112 年 8 月	112 年 4 月	112 年 8 月	112 年 4 月

參、建立數值高程模型

一、控制測量

(一) 已知點清查

本計畫採用金門本島及烈嶼之衛星追蹤站(表 3-1)與地層相對穩固之高坑一等水準點(KM15)作為已知點。執行團隊於 112 年 2 月完成實際踏勘,掌握測區實際交通與已知點現況,已知點清查成果如表 3-2 所示。已知點現地清查內容包含點名、點號、等級、標樁種類、材質、測設時間、標樁號碼、標樁刻字等資料查對;記錄點位保存情況,是否毀損或佚失應如實紀錄,若有植生密布造成遮蔽情況,則須安排清理作業;點位周圍環境描述,包括衛星訊號接收干擾情形、遮蔽物及透空情形,並拍攝點位照片,以利後續檢測路線規劃與方法之設計。

表 3-1 本計畫採用衛星追蹤站

行政區	點號	點名	等級	建置機關
金門縣 金沙鎮	KMNM	金門	一等衛星控制點 (GNSS 連續站)	內政部地政司
金門縣 金沙鎮	JNSA	金沙	衛星追蹤站	內政部 國土測繪中心
金門縣 金湖鎮	JNHU	金湖	一等衛星控制點 (GNSS 連續站)	內政部 國土測繪中心
金門縣 烈嶼鄉	LEYU	烈嶼	一等衛星控制點 (GNSS 連續站)	內政部 國土測繪中心

表 3-2 高坑一等水準點 (KM15) 清查成果

點名	高坑		點號	KM15	
點位等級	一等水準點		點位狀況	良好	
二度分帶坐標	N	2706862.803 m	高程	橢球高	30.112 m
	E	188080.621 m		正高	18.521 m
位置圖			點位遠照		
					
			<p>點位近照</p> 		

(二) 靜態衛星測量

1、簡介

全球導航衛星定位系統 (Global Navigation Satellite System, GNSS) 泛指接收美國全球定位系統 (Global Positioning System, GPS)、俄國的格洛納斯系統 (Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema, GLONASS)、中國北斗衛星導航系統 (BeiDou Navigation Satellite System, BDS) 與歐盟的伽利略定位系統 (Galileo) 等導航系統之定位技術。靜態觀測方式 (圖 3-1)，係多部接收儀透過相對定位技術，消除同時段之衛星時鐘、軌道及電離層等多種誤差，同時觀測四顆以上衛星，透過基線計算及自由網平差等檢核流程，最終解算獲得點位坐標成果。外業觀測情形如圖 3-2 所示。

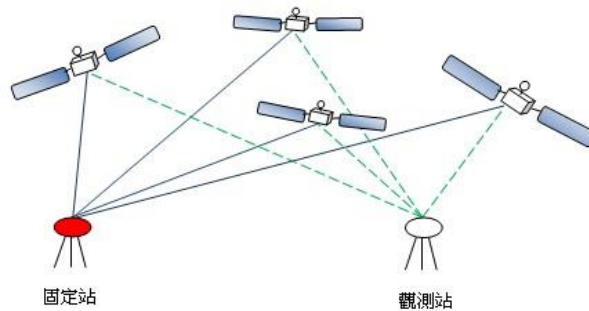


圖 3-1 靜態衛星觀測

資料來源：衛星定位測量簡介，臺北市政府地政局土地開發總隊網站



(a) 古寧頭北山斷崖海岸



(b) 烈嶼貓公石海岸

圖 3-2 靜態衛星測量外業情形

2、控制點佈設

執行團隊於各處重要岸段佈設 1 至 2 處控制點，作為灘面高程測量 (RTK 測量) 與海崖高程資料測量 (地面式三維雷射掃描及無人飛行載具航空攝影測量) 之依據。為維護國家公園重要海岸地景點之自然地景，如海岸鄰近區域已有其他計畫或單位佈設之點位 (圖 3-3)，則可直接採用之。如需新設控制點，則挑選地質穩固不易變動之區位，如堤頂或人工構造物表面，確定點位不涉及私人或其他單位管轄之土地後，以電鑽搭配植筋膠埋設可長期保存之鋼片樁控制點 (圖 3-4)。



(a) 地政局圖根點



(b) 其他點位

圖 3-3 可採用之既有點位案例



圖 3-4 新設控制點 (古寧頭北山斷崖海岸)

3、控制點聯測

將已知點與海岸控制點施行 GNSS 靜態同步觀測求解控制點坐標，參考衛星測量中心 (1994) 之 GPS 衛星定位觀測規範 (三、四等衛星控制點)，擬定作業條件如下：

- (1) 最少觀測時間 60 分鐘。
- (2) 所有接收器最少的連續且同步觀測時間為 45 分鐘。
- (3) 點位遮蔽仰角應小於 40 度。
- (4) 點位精度因子 (PDOP) 應小於 10。

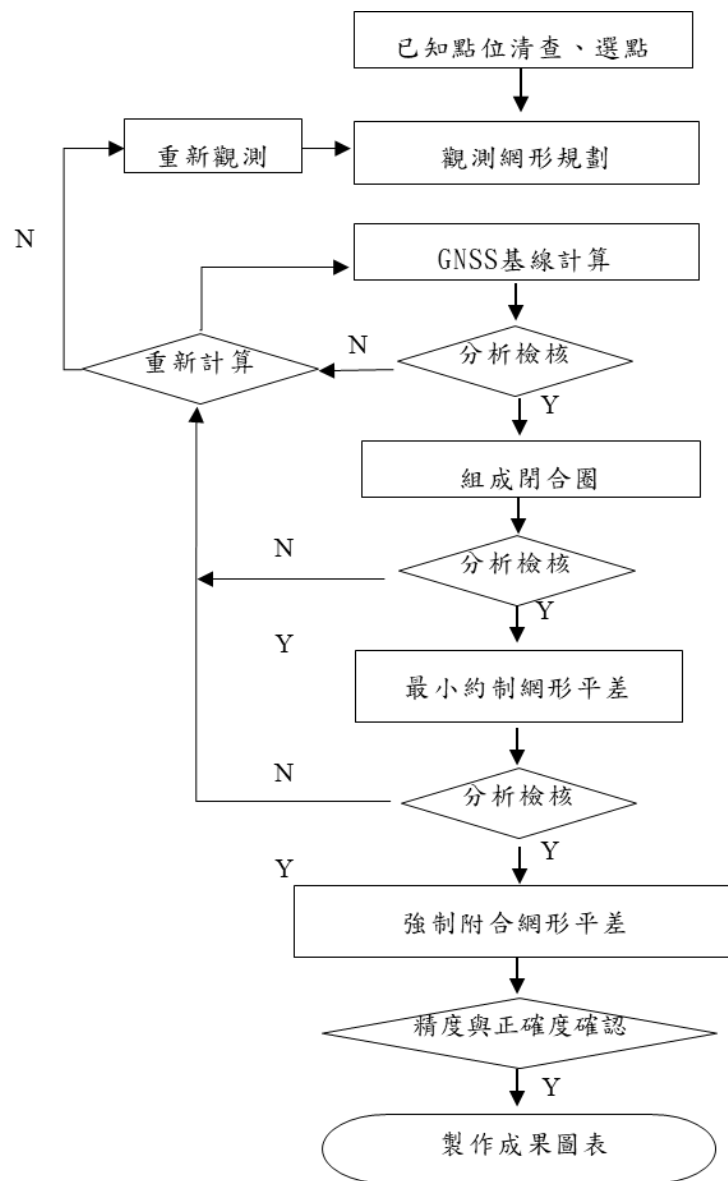


圖 3-5 GNSS 靜態觀測檢核流程圖

4、控制點成果

衛星定位測量之高程成果為橢球高，為使測量成果符合正高系統，以高坑一等水準點 (KM15) 為正高改正基準，採 EGM 2008 Geoid 大地起伏模型將橢球高轉換為水準高程。點位坐標成果如表 3-3 所列，分布情形如圖 3-6 所示。

表 3-3 海岸控制點坐標成果

點號	TWD97 二度分帶坐標		正高	海岸	備註
	N	E			
KMNP04	2709392.363	180444.832	3.454	北山斷崖	新設控制點
KMNP03	2709354.713	180416.682	11.108	北山斷崖	新設控制點 (備用)
KM03	2709142.385	179690.745	3.640	北山海堤	既有點位
J111006	2702532.924	190882.633	5.357	金湖新頭	既有圖根點
KM01	2704760.389	174788.832	2.745	黃厝	既有點位
J090576	2700884.302	171990.681	5.450	南山頭	既有圖根點 (備用)
KM75	2700872.453	171981.045	5.052	南山頭	既有航空標
G04	2703507.046	175562.828	3.216	L56 據點	既有點位
J070506	2705104.214	173421.488	13.390	貓公石	既有圖根點

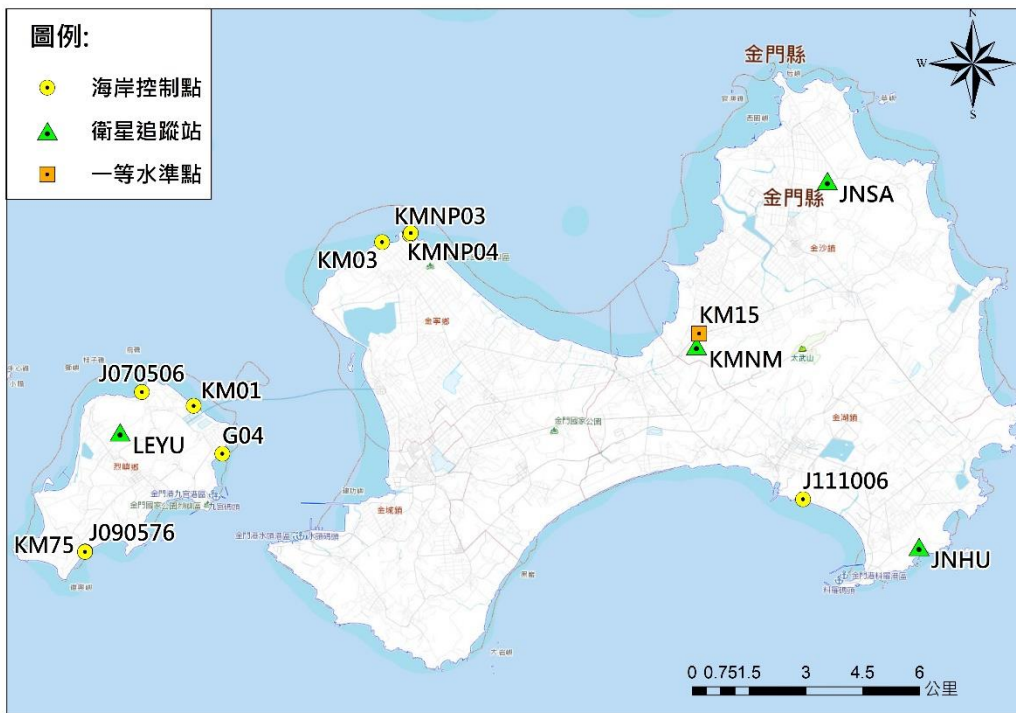


圖 3-6 GNSS 已知點與海岸控制點分布圖

二、灘面高程測量

本計畫要求於古寧頭北山斷崖海岸、古寧頭北山海堤海岸、金湖新頭海岸、烈嶼黃厝海岸、烈嶼南山頭海岸等 5 處海岸，每半年執行一次即時動態定位衛星測量，透過比較不同時期數值地形模型並計算差異（Difference of DEM, DOD），可分析區域內受到地形作用產生侵蝕與堆積的範圍與其嚴重程度。執行團隊考量颱風過後恐有劇烈之地形變化，因此優規規劃颱風過後增加一期灘面高程測量，以掌握變化趨勢。其中古寧頭北山斷崖海岸及烈嶼南山頭海岸曾於 105 年計畫進行監測，可與歷史資料進行比對，計算本計畫與前案計畫年間之海崖高程變化與風化崩塌情形。執行團隊已於 112 年 4 月完成第一期灘面高程測量，112 年 8 月完成第二期（杜蘇芮颱風後）灘面高程測量，112 年 10 月完成第三期灘面高程測量。

（一）採用設備

執行團隊採用之基站為 Trimble 5700 衛星接收機，移動站為 Trimble R8 衛星接收機，兩者以 Trimble 無線電即時連接進行 RTK 觀測。儀器設備如圖 3-7 所示。



Trimble 5700 衛星接收機（基站）及天線



Trimble R8 衛星接收機（移動站）

圖 3-7 即時動態定位衛星測量採用設備

(二)外業測量

1、即時動態定位衛星測量 (Real Time Kinematic, RTK)

執行團隊自行設立 RTK 測量系統 (圖 3-8)，將 GNSS 基站設立於海岸控制點，透過無線電即時傳送校正訊號至移動站進行灘面高程測量。除避免沙灘區網路通訊不良，以致無法順利連線至國土測繪中心之 e-GNSS 服務施測外，考量各海岸均已設置控制點，可利用較短的測站基線提升 GNSS 測量精度。



圖 3-8 RTK 測量作業情形 (以古寧頭北山海堤為例)

2、作業規劃

依前期計畫辦理經驗，金門本島與烈嶼之海岸地形作用主要受到 5 月至 10 月之颱風，以及 10 月至 3 月的東北季風所影響。夏季若有颱風侵襲，恐產生嚴重的沙灘侵蝕與海崖崩塌；東北季風時期則會造成沙灘堆積現象。因此執行團隊規劃在 112 及 113 年度 4 月與 10 月，以及計畫期間擇一次颱風過後，於古寧頭北山斷崖海岸、古寧頭北山海堤海岸、金湖新頭海岸、烈嶼黃厝海岸、烈嶼南山頭海岸等 5 處海岸沙灘區進行灘面 RTK 測量，以了解地形變化情形。參考中央氣象局出版之 112 年潮汐表，利用水頭潮位站與料羅灣潮位站之潮汐預報表 (圖 3-9) 及預報潮位時序圖 (圖 3-10)，規劃於大潮日之退潮期間進行灘面高程測量。

金門水頭潮汐預報表 Forecast Times and Heights of High and Low Waters at Shuitou

GMT + 8:00

112年(西元2023)

24°25'16"N 118°17'21"E

四月 APR				五月 MAY				六月 JUN				
潮時 Time	潮高 Height	潮時 Time	潮高 Height	潮時 Time	潮高 Height	潮時 Time	潮高 Height	潮時 Time	潮高 Height	潮時 Time	潮高 Height	
1 02:29 -168 160 L	09:28 75 403 H	15:25 -105 224 L	21:17 58 386 H	16 02:25 -204 124 L	09:08 140 468 H	15:16 -140 189 L	21:16 129 457 H	1 02:44 -160 168 L	09:25 106 434 H	15:35 -132 196 L	21:36 92 420 H	
2 03:42 -182 146 L	10:21 99 427 H	16:19 -134 194 L	22:16 88 416 H	17 03:39 -221 107 L	10:08 169 497 H	16:17 -182 146 L	22:21 168 496 H	2 03:44 -172 156 L	10:10 128 456 H	16:21 -166 162 L	22:27 125 453 H	
3 04:34 -202 126 L	11:02 124 452 H	17:02 -165 163 L	23:01 120 448 H	18 04:40 -238 90 L	10:57 196 524 H	17:02 -198 130 L	23:11 157 485 H	3 04:33 -185 143 L	10:48 150 478 H	17:02 -198 130 L	23:11 157 485 H	
4 05:15 -220 108 L	11:35 145 474 H	17:38 -194 135 L	23:40 150 478 H	19 05:30 -246 82 L	11:40 214 542 H	17:40 -226 102 L	23:52 183 511 H	4 05:16 -193 135 L	11:22 168 496 H	17:40 -226 102 L	23:52 183 511 H	
5 05:51 -232 97 L	12:04 164 492 H	18:12 -239 89 L		20 00:03 226 554 H	06:14 -244 85 L	12:19 221 549 H	18:35 -278 51 L	5 05:55 -195 133 L	11:56 181 510 H	18:17 -247 81 L		
6 00:16 174 502 H	06:24 -236 92 L	12:33 177 505 H	18:45 -239 89 L	21 00:46 234 562 H	06:54 -231 97 L	12:55 218 546 H	19:14 -287 41 L	6 00:32 202 530 H	06:34 -190 138 L	12:29 188 516 H	18:54 -261 67 L	
7 00:51 191 519 H	06:57 -232 96 L	13:01 184 512 H	19:17 -253 75 L	22 01:27 229 558 H	07:31 -212 117 L	13:28 206 534 H	19:51 -285 43 L	7 01:11 210 539 H	07:12 -178 150 L	13:03 188 516 H	19:31 -267 61 L	
8 01:26 199 527 H	07:30 -220 108 L	13:30 186 514 H	19:49 -260 68 L	23 02:06 214 542 H	08:06 -189 139 L	14:00 188 516 H	20:26 -274 54 L	8 01:52 209 537 H	07:51 -162 166 L	13:38 183 511 H	20:09 -266 63 L	
9 02:02 198 526 H	08:03 -203 125 L	14:00 181 509 H	20:23 -262 66 L	24 02:45 191 519 H	08:40 -166 162 L	14:31 165 494 H	21:01 -256 73 L	9 02:34 199 527 H	08:31 -144 185 L	14:16 172 500 H	20:51 -257 72 L	
10 02:40 188 516 H	08:38 -181 148 L	14:32 171 499 H	20:59 -256 72 L	25 03:25 163 491 H	09:15 -143 185 L	15:02 140 468 H	21:38 -232 96 L	10 03:21 183 511 H	09:16 -126 202 L	14:59 156 484 H	21:38 -242 86 L	
11 03:22 171 499 H	09:17 -156 173 L	15:08 154 482 H	21:40 -244 84 L	26 04:09 134 462 H	09:55 -121 208 L	15:39 113 441 H	22:20 -207 122 L	11 04:14 165 494 H	10:09 -111 217 L	15:52 137 466 H	22:35 -224 104 L	
12 04:11 148 476 H	10:02 -129 199 L	15:52 133 461 H	22:32 -226 102 L	27 05:00 107 435 H	10:44 -99 229 L	16:25 85 413 H	23:12 -181 147 L	12 05:15 151 479 H	11:15 -104 224 L	17:00 121 449 H	23:41 -208 120 L	
13 05:13 124 452 H	11:03 -104 224 L	16:51 108 436 H	23:39 -207 121 L	28 06:05 87 415 H	11:51 -84 244 L	17:29 62 390 H		13 06:23 145 474 H	12:31 -110 218 L	18:22 115 443 H		
14 06:31 111 439 H	12:28 -92 236 L	18:15 92 420 H		29 00:16 -162 166 L	07:20 81 409 H	13:17 -85 244 L	18:59 53 381 H	14 00:54 -198 130 L	07:32 151 479 H	13:46 -133 195 L	19:45 126 454 H	
15 01:01 -198 131 L	07:54 117 445 H	14:00 -105 223 L	19:52 99 427 H	30 01:31 -155 173 L	08:29 89 417 H	14:35 -103 225 L	20:29 65 393 H	15 02:08 -196 132 L	08:36 166 494 H	14:54 -168 160 L	21:00 150 478 H	
												31 02:43 -146 182 L
												09:05 133 461 H
												15:30 -166 163 L
												21:45 124 452 H

潮高: 前者為相對當地平均海面(以當地平均潮位為零)。後者為當地最大比例尺海圖基準面起算(以當地最低低潮位為零)。單位為釐米(cm)
 Height: The former is relative to local Annual Mean Water Level and the latter is relative to chart datum. Both are shown in centimeters.
 H:高潮 High tide L:低潮 Low tide ● 新月 New moon ○ 上弦 First Quarter Moon ○ 滿月 Full moon ○ 下弦 Third Quarter Moon
 ①②③ 代表當年前三高天文潮發生日。

中央氣象局海象測報中心
 Marine Meteorology Center, CWB

圖 3-9 潮汐預報表 (以水頭潮位站為例)

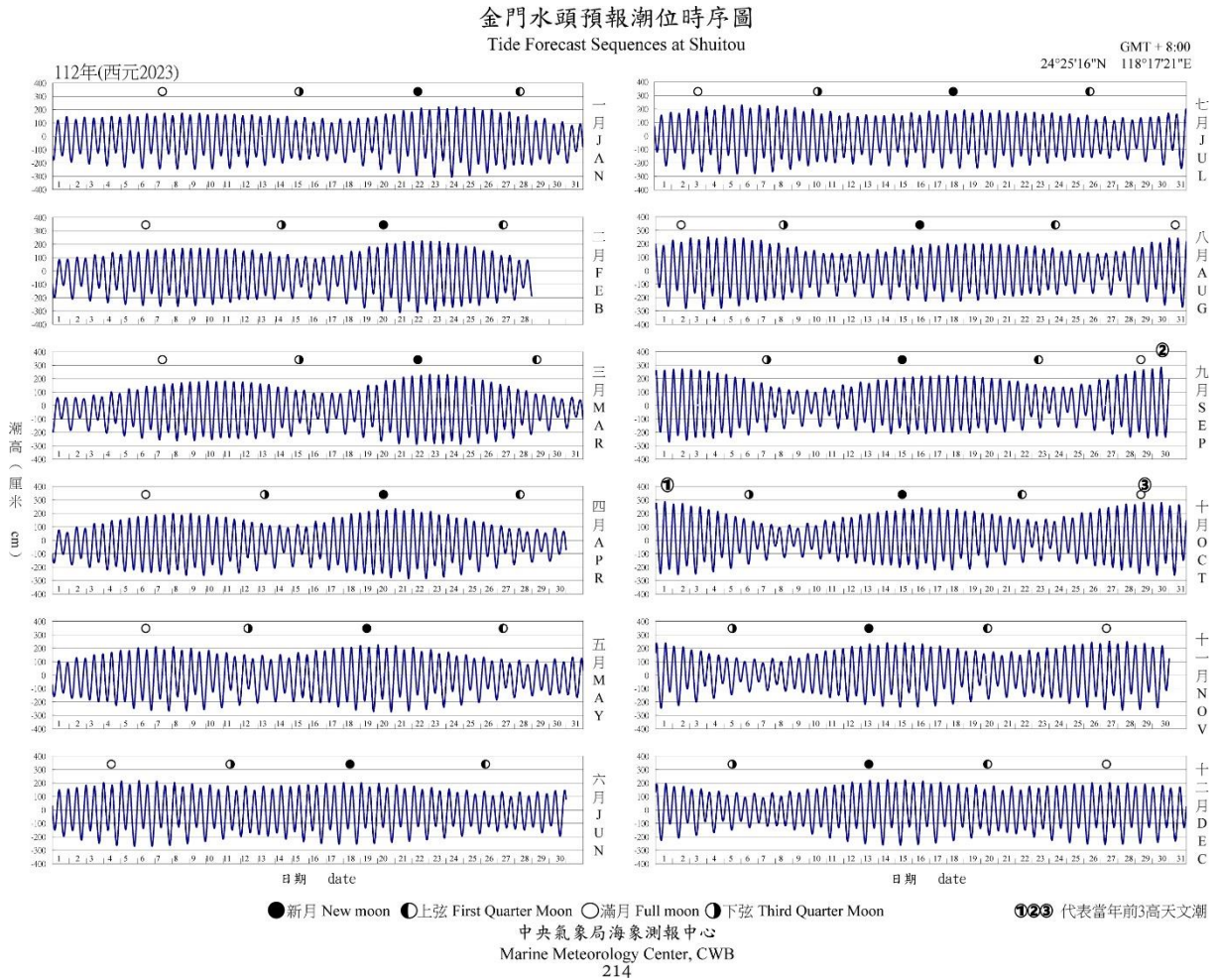


圖 3-10 預報潮位時序圖 (以水頭潮位站為例)

3、辦理情形

本計畫規劃 20 公尺之測量間距，而實際於灘面執行高程測量時，會針對地形變化較大的區域增加測量點，使地形測量成果貼近現地情形。歷次測量作業測量點統計如表 3-4 所示，點密度均高於原訂每 400 平方公尺 1 點之作業規劃。

表 3-4 112 年各海岸 RTK 測量點數與點密度統計

測區	測量時間	對照農曆	RTK 測量點數	點密度 (平方公尺/點)
古寧頭北山斷崖海岸	112 年 4 月 22 日	三月初三	91	189.1
	112 年 8 月 25 日	七月初三	77	223.5
	112 年 10 月 28 日	九月十四	118	145.8
古寧頭北山海堤海岸	112 年 4 月 24 日	三月初五	81	174.6
	112 年 8 月 25 日	七月初三	117	120.9
	112 年 10 月 30 日	九月十六	133	106.3

測區	測量時間	對照農曆	RTK 測量點數	點密度 (平方公尺/點)
金湖新頭海岸	112 年 4 月 21 日	三月初二	89	340.7
	112 年 8 月 23 日	七月初一	129	235.1
	112 年 10 月 29 日	九月十五	163	186.0
烈嶼黃厝海岸	112 年 4 月 22 日	三月初三	154	226.5
	112 年 8 月 24 日	七月初二	142	245.6
	112 年 10 月 29 日	九月十五	222	157.1
烈嶼南山頭海岸	112 年 4 月 23 日	三月初四	116	160.1
	112 年 8 月 26 日	七月初四	115	161.5
	112 年 10 月 27 日	九月十三	129	144.0

4、施測原則

除至少每 20 公尺測量 1 點灘面高程外，原則上盡可能緊鄰灘面邊界施測。以金湖新頭海岸為例(圖 3-12)，測量點已達建物前緣，即灘面與水泥道路邊界。烈嶼南山頭海岸測量範圍則自青岐出海口至中段過後，已達較無沙灘變化之金門層露頭範圍(圖 3-13)。



圖 3-11 RTK 測量點分布 (以 112 年 4 月古寧頭北山斷崖海岸為例)

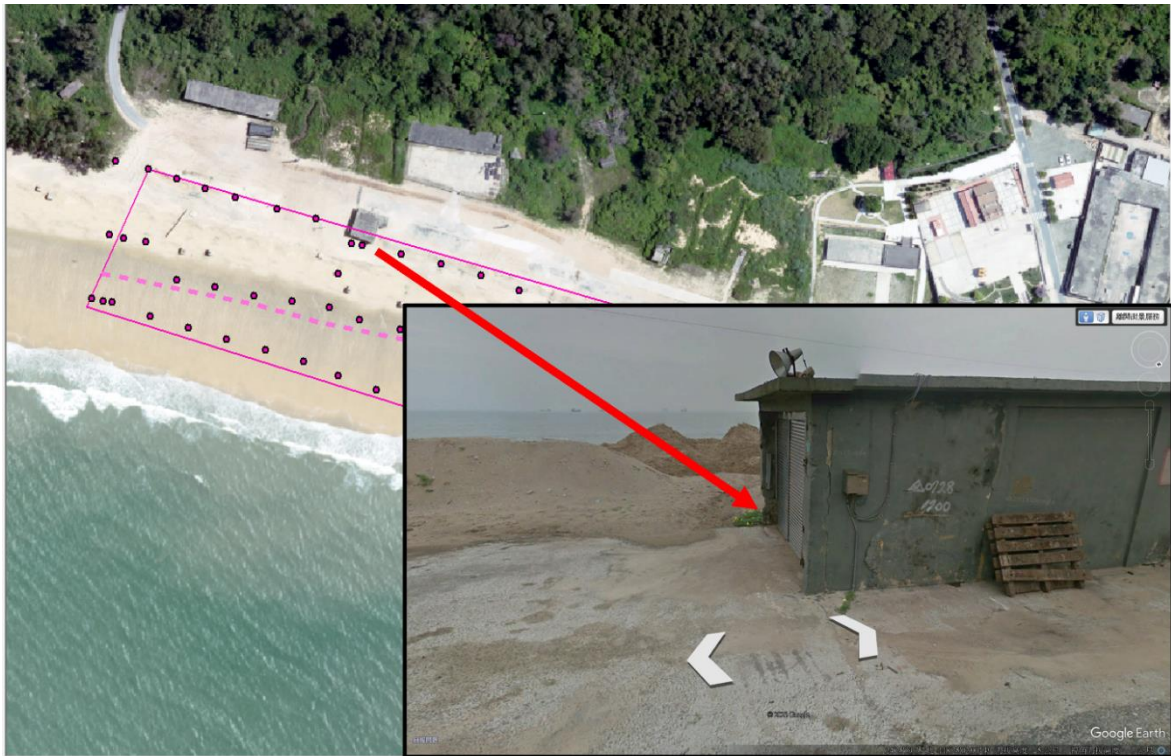


圖 3-12 測量點緊鄰灘面邊界 (以 112 年 4 月金湖新頭海岸為例)

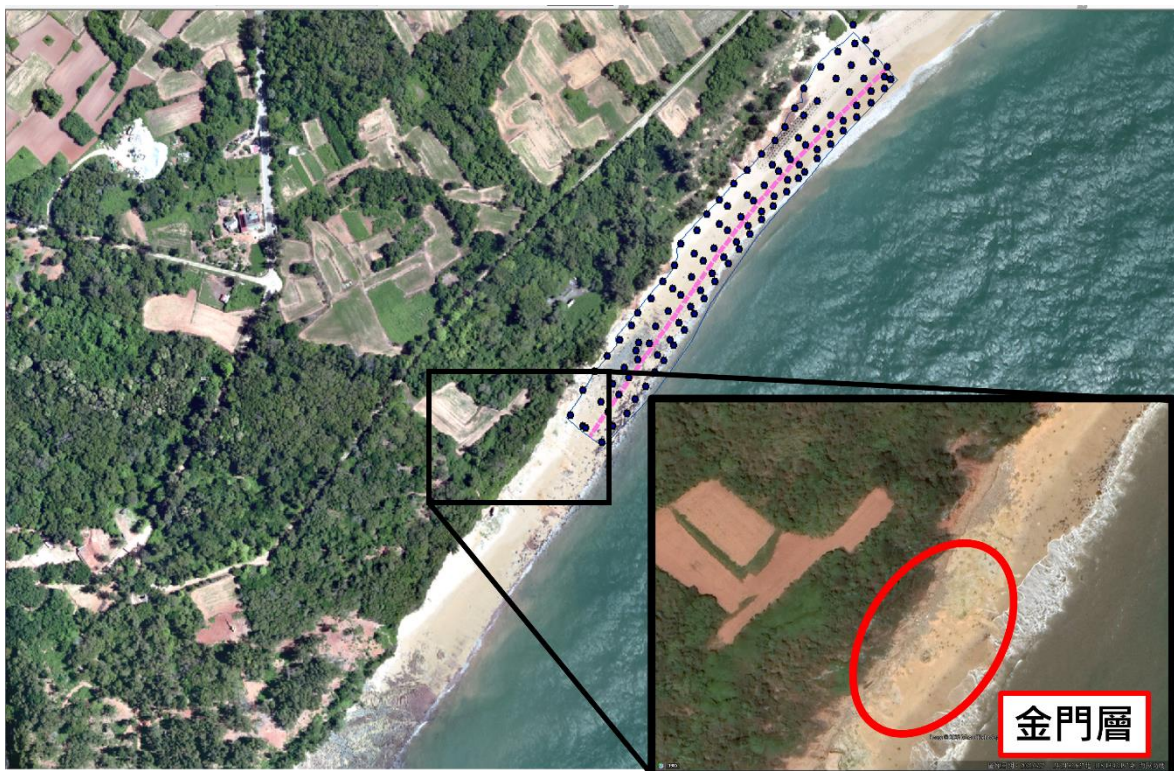


圖 3-13 測量點緊鄰灘面邊界 (以 112 年 4 月烈嶼南山頭海岸為例)
(三)數值高程模型套疊 0 公尺高程海岸線

將 RTK 測量資料 (包含平面及高程坐標、測量精度、觀測條件、測量時間等) 輸出為數值檔 (圖 3-14), 利用 Arcmap 地理資訊系統軟體提供之 Spline 內插工具 (圖 3-15) 產製 5 公尺解析度數值高程模型 (Digital Elevation Model, DEM), 供後續地形變化分析使用。各處海岸 DEM 分層設色圖套疊 0 公尺高程海岸線如圖 3-16 至圖 3-30 所示。

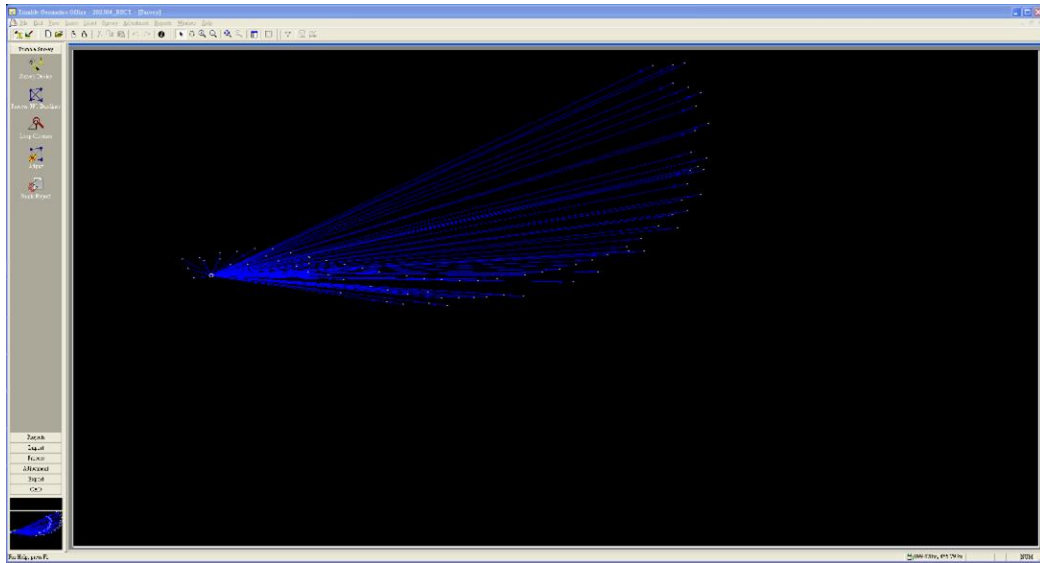


圖 3-14 輸出 RTK 測量成果 (以 112 年 4 月古寧頭北山海堤海岸為例)

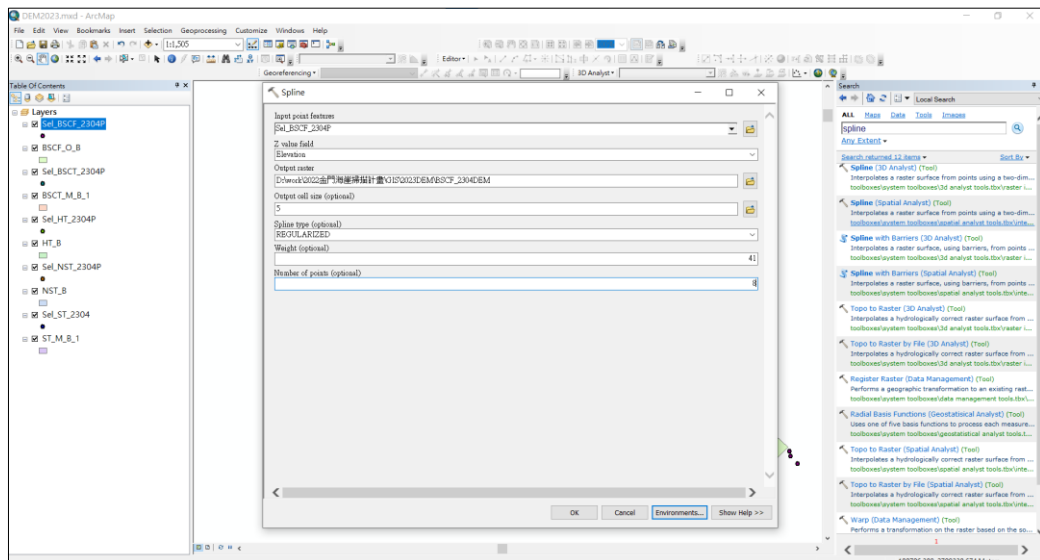


圖 3-15 ArcMap 軟體之 Spline 內插工具

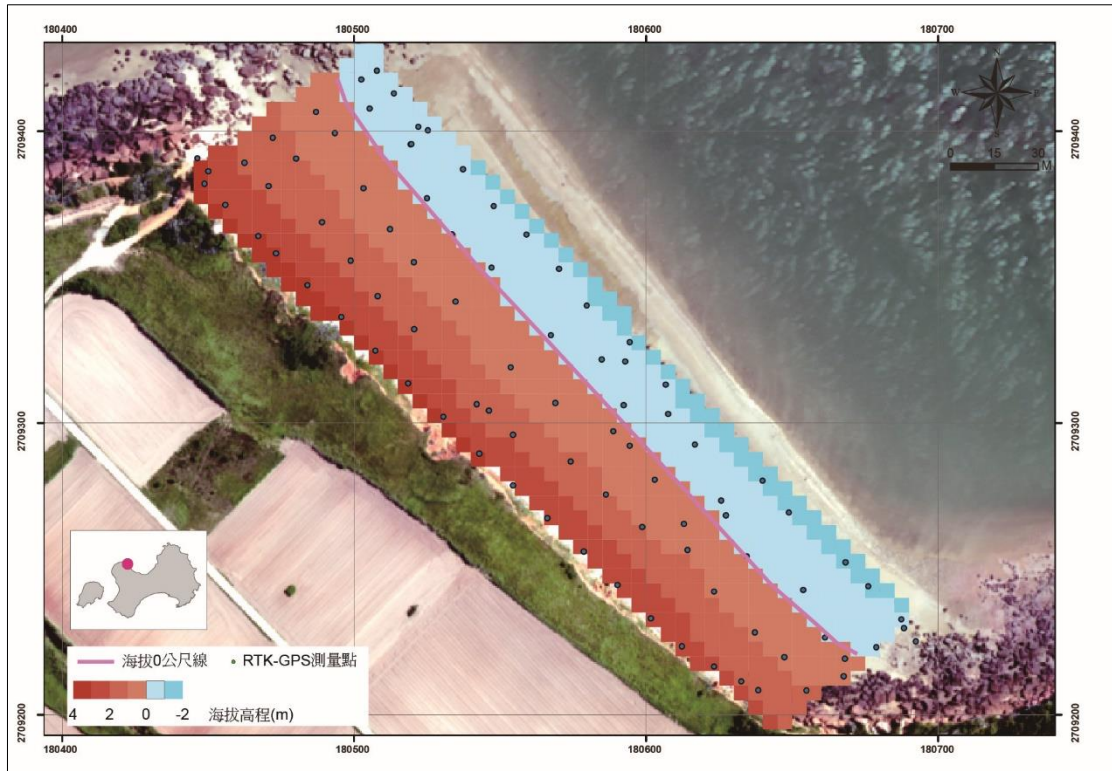


圖 3-16 古寧頭北山斷崖海岸 112 年 4 月 DEM 套疊 0 公尺高程海岸線

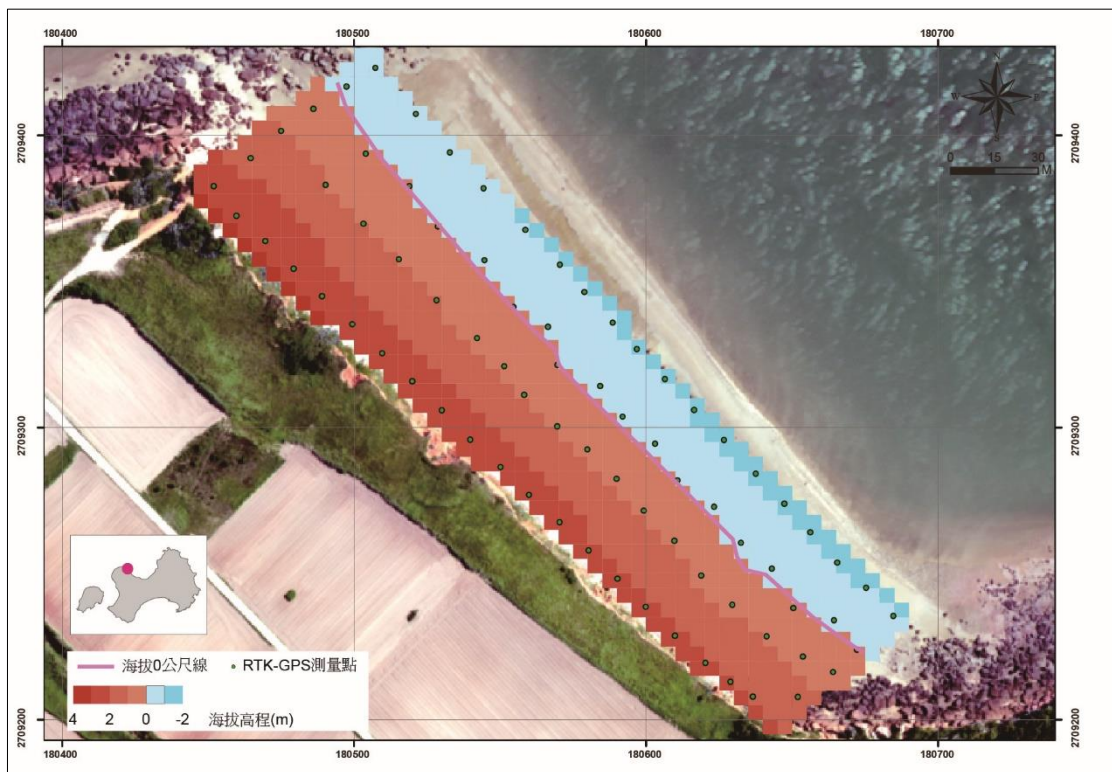


圖 3-17 古寧頭北山斷崖海岸 112 年 8 月 DEM 套疊 0 公尺高程海岸線

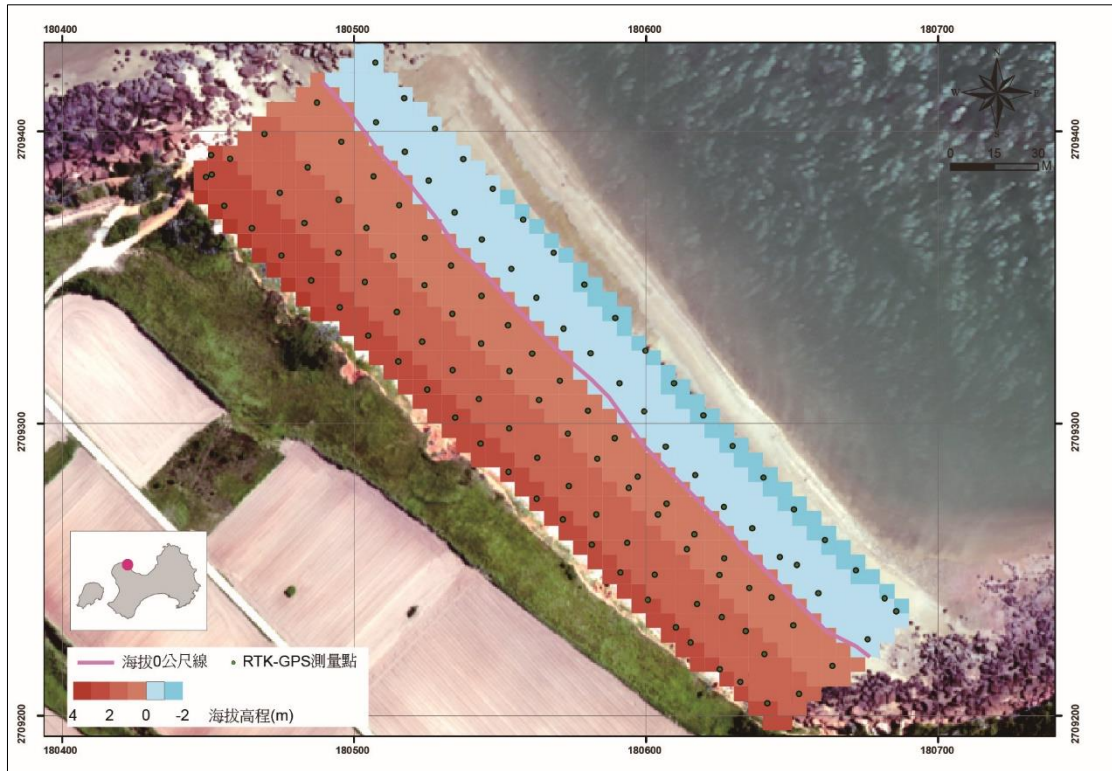


圖 3-18 古寧頭北山斷崖海岸 112 年 10 月 DEM 套疊 0 公尺高程海岸線

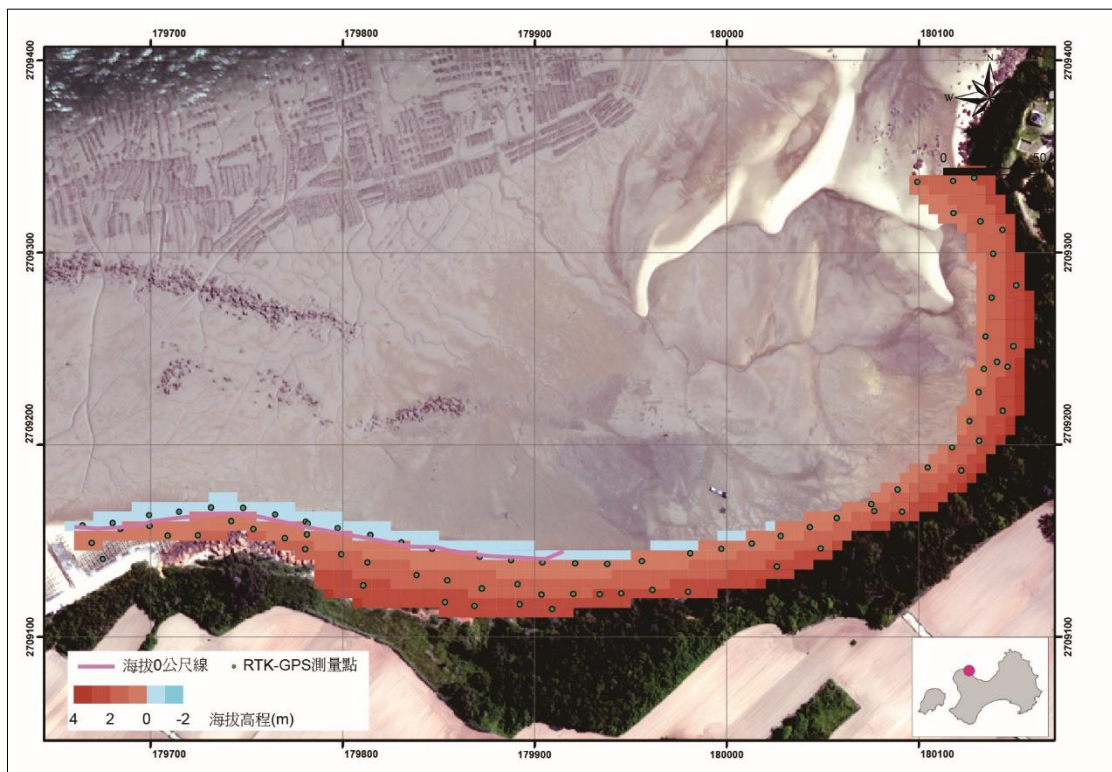


圖 3-19 古寧頭北山海堤海岸 112 年 4 月 DEM 套疊 0 公尺高程海岸線

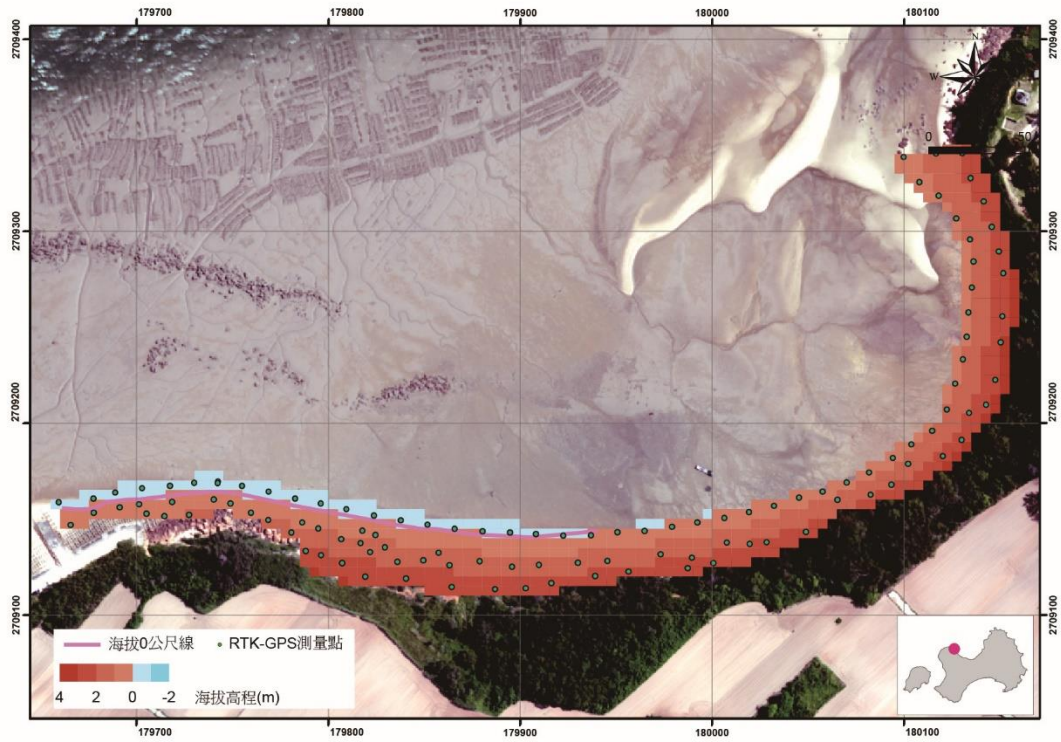


圖 3-20 古寧頭北山海堤海岸 112 年 8 月 DEM 套疊 0 公尺高程海岸線

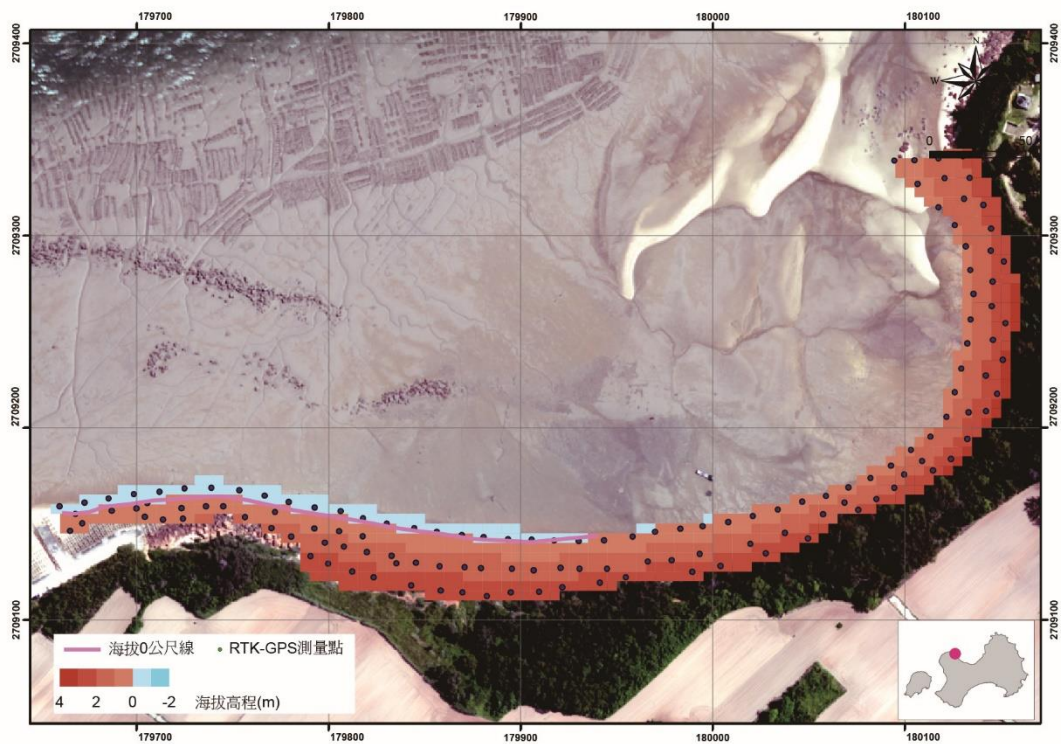


圖 3-21 古寧頭北山海堤海岸 112 年 10 月 DEM 套疊 0 公尺高程海岸線

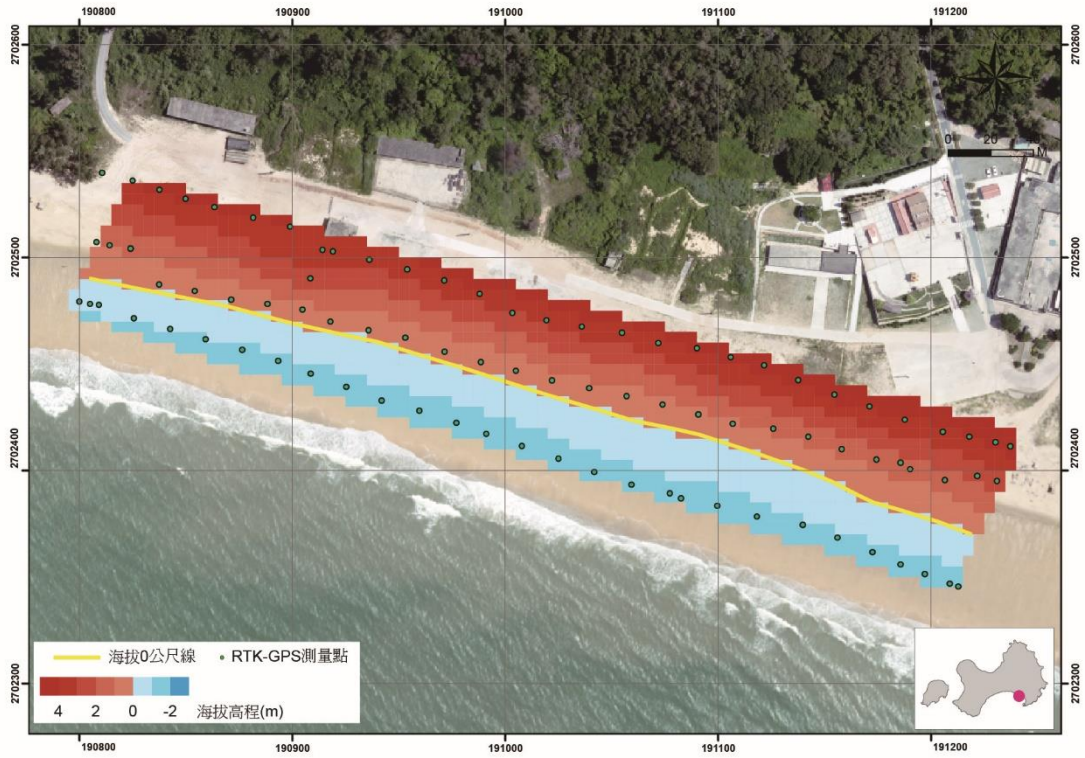


圖 3-22 金湖新頭海岸 112 年 4 月 DEM 套疊 0 公尺高程海岸線

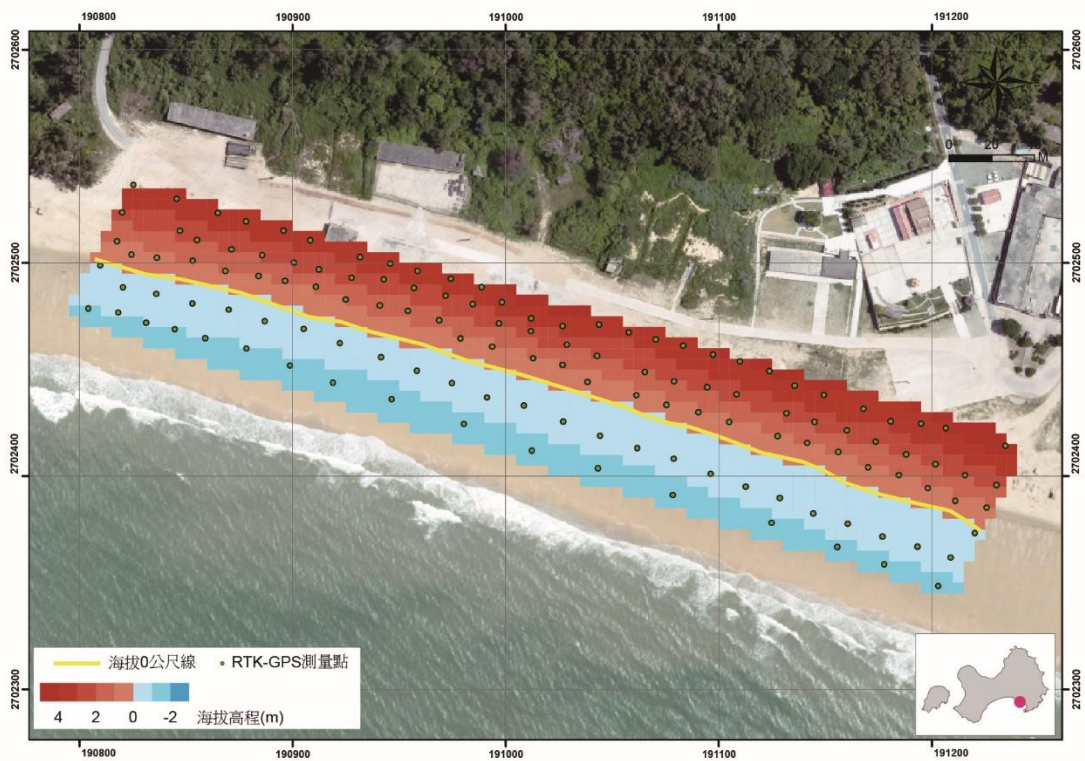


圖 3-23 金湖新頭海岸 112 年 8 月 DEM 套疊 0 公尺高程海岸線

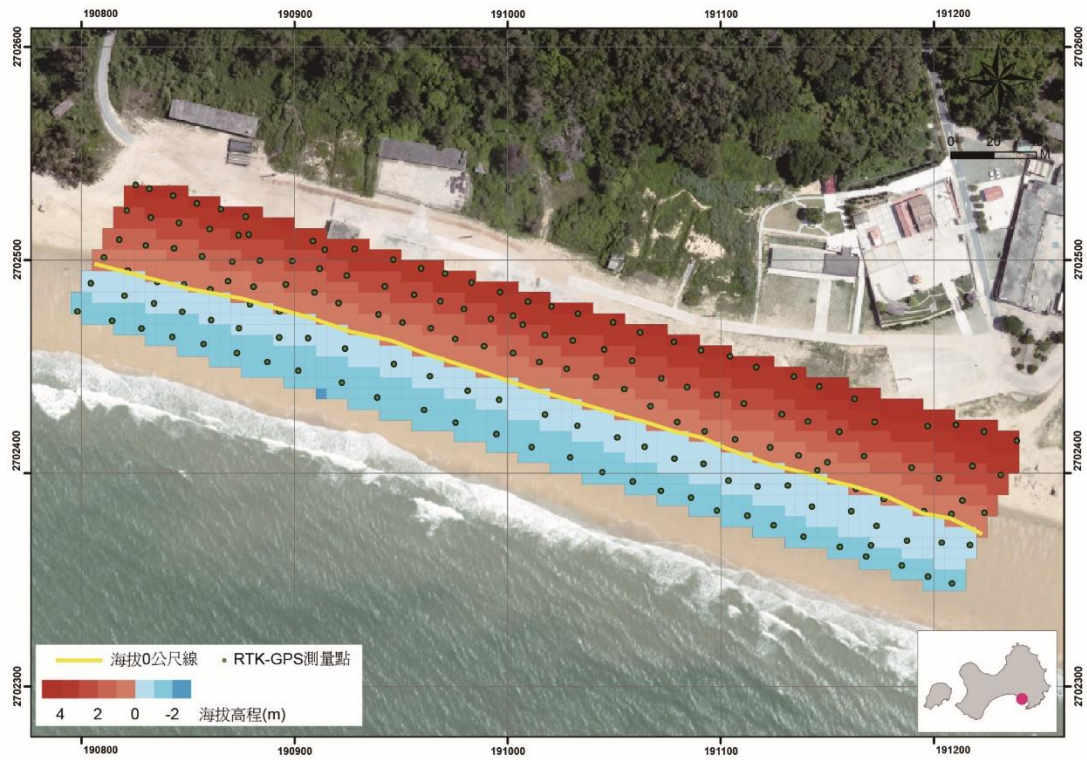


圖 3-24 金湖新頭海岸 112 年 10 月 DEM 套疊 0 公尺高程海岸線

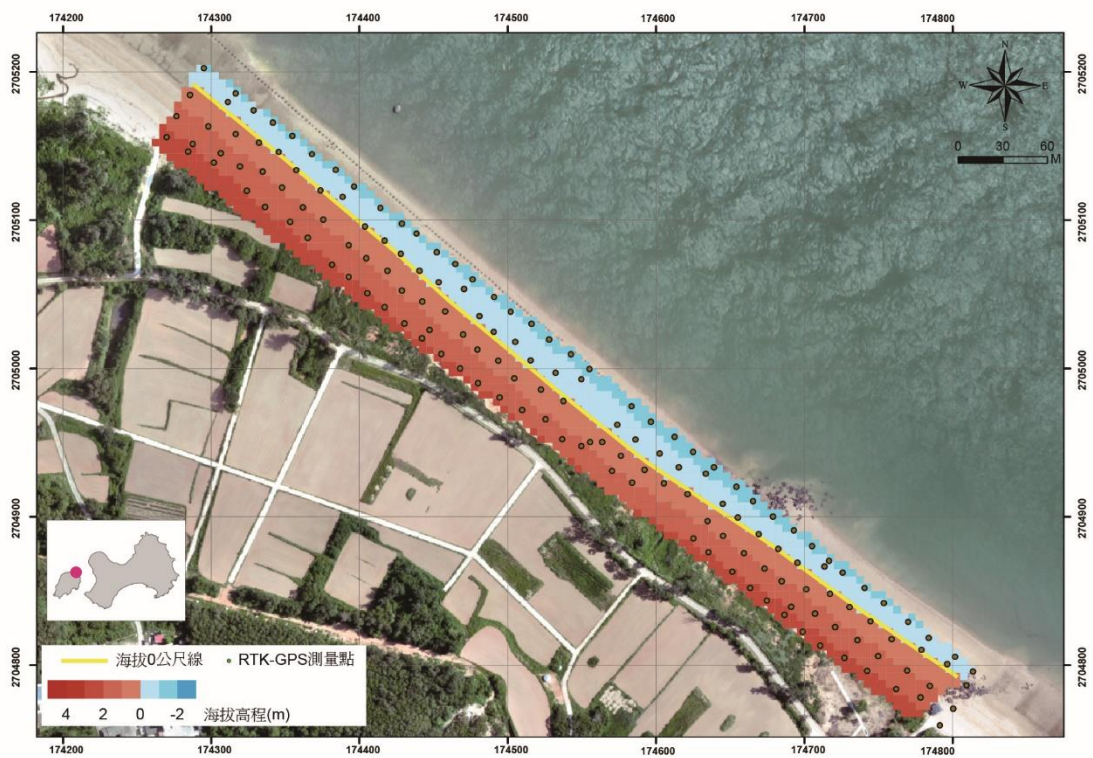


圖 3-25 烈嶼黃厝海岸 112 年 4 月 DEM 套疊 0 公尺高程海岸線

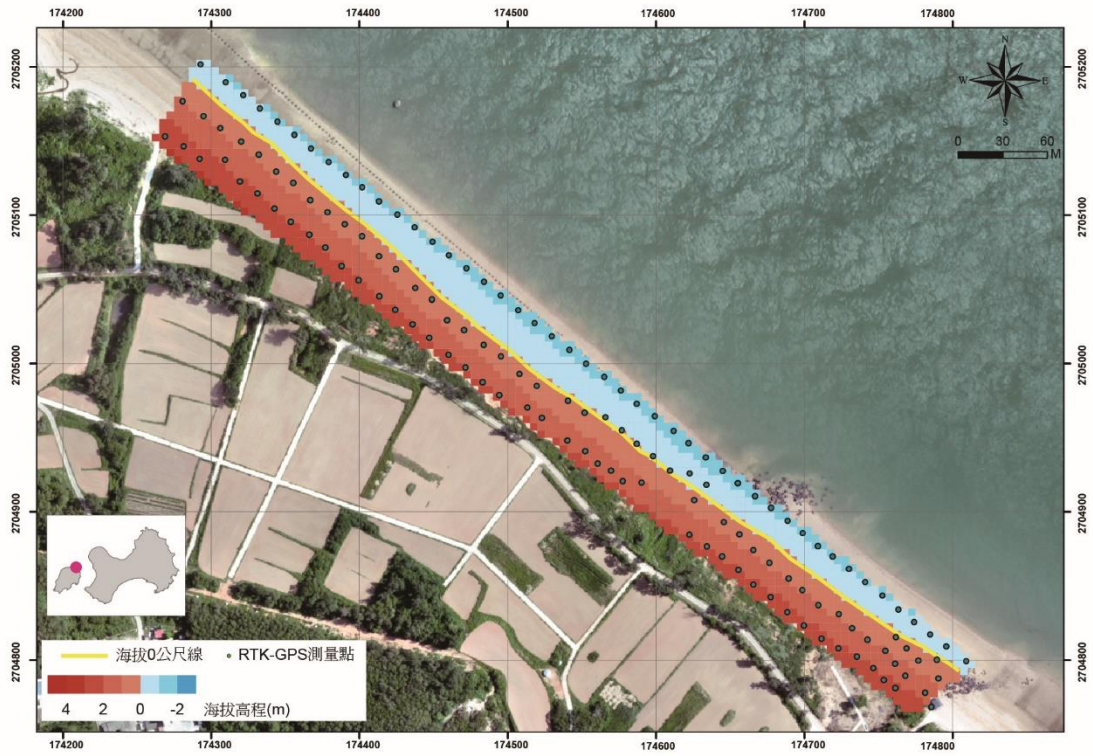


圖 3-26 烈嶼黃厝海岸 112 年 8 月 DEM 套疊 0 公尺高程海岸線

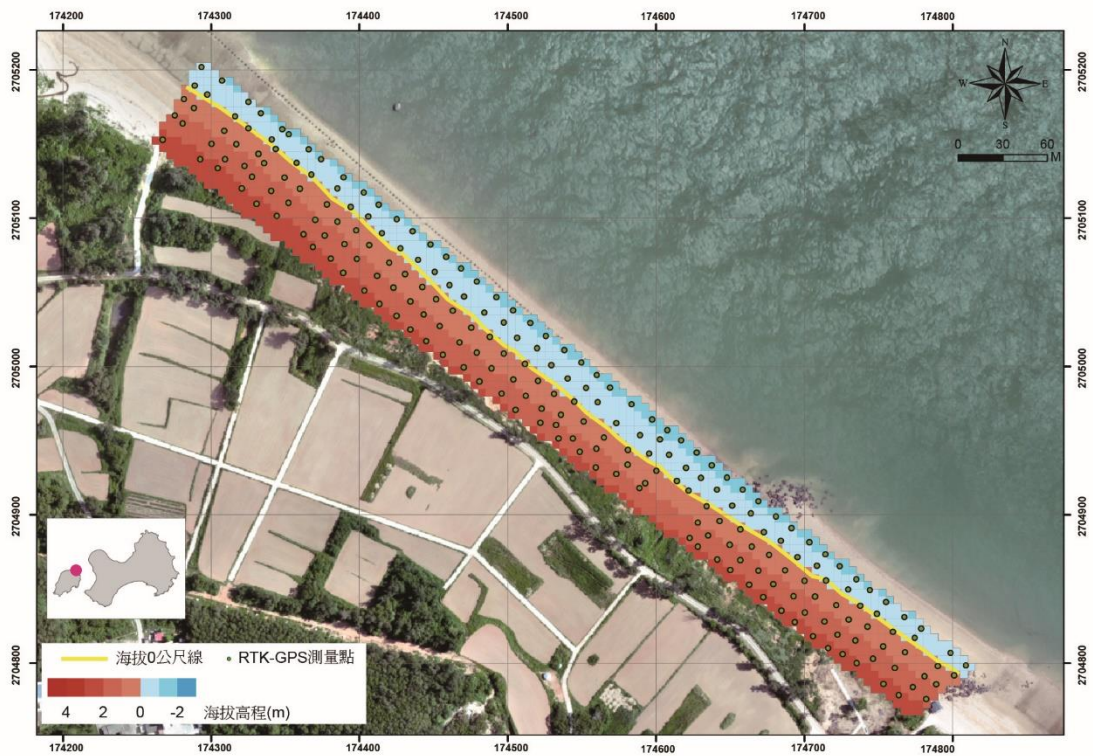


圖 3-27 烈嶼黃厝海岸 112 年 10 月 DEM 套疊 0 公尺高程海岸線

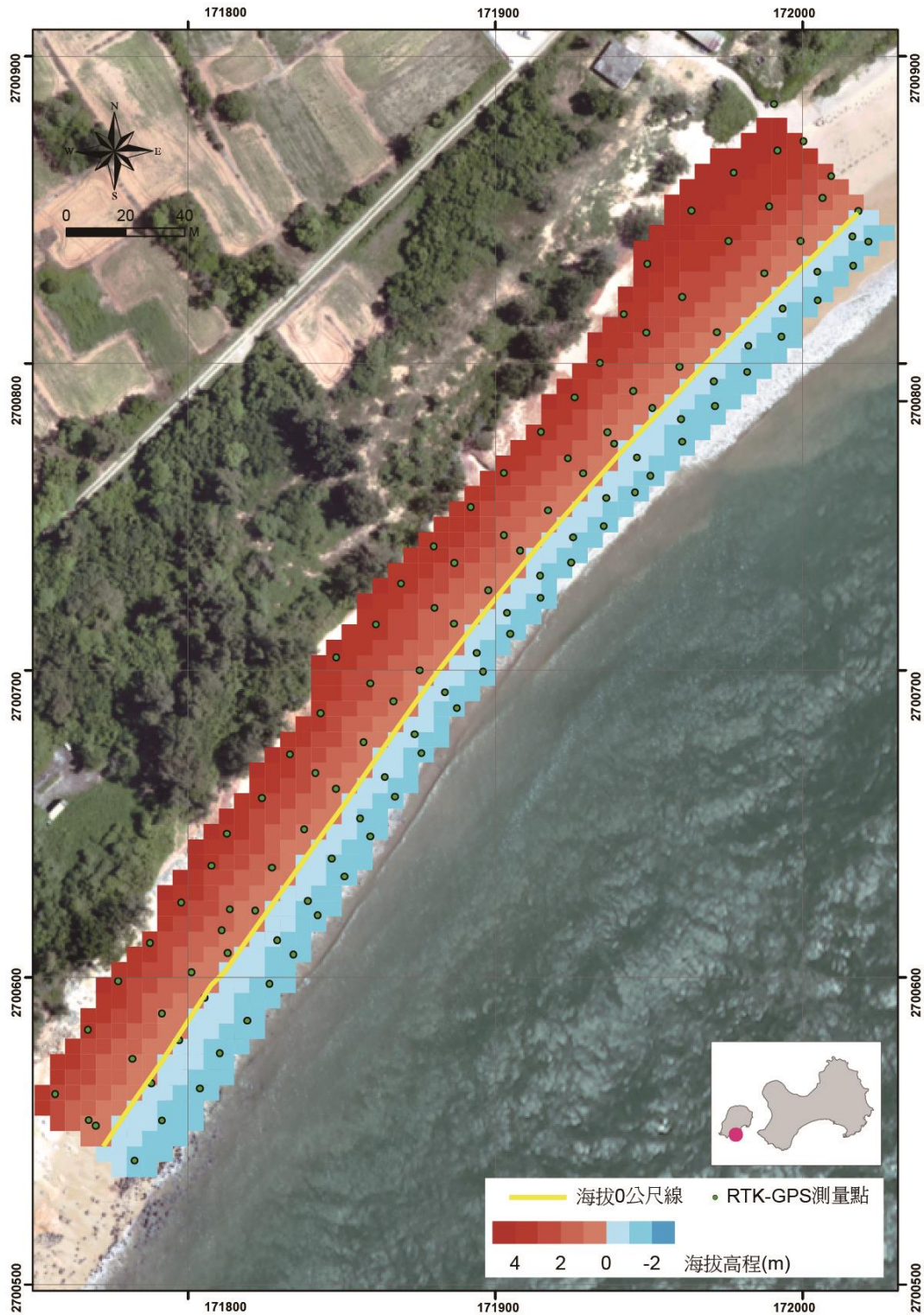


圖 3-28 烈嶼南山頭海岸 112 年 4 月 DEM 套疊 0 公尺高程海岸線

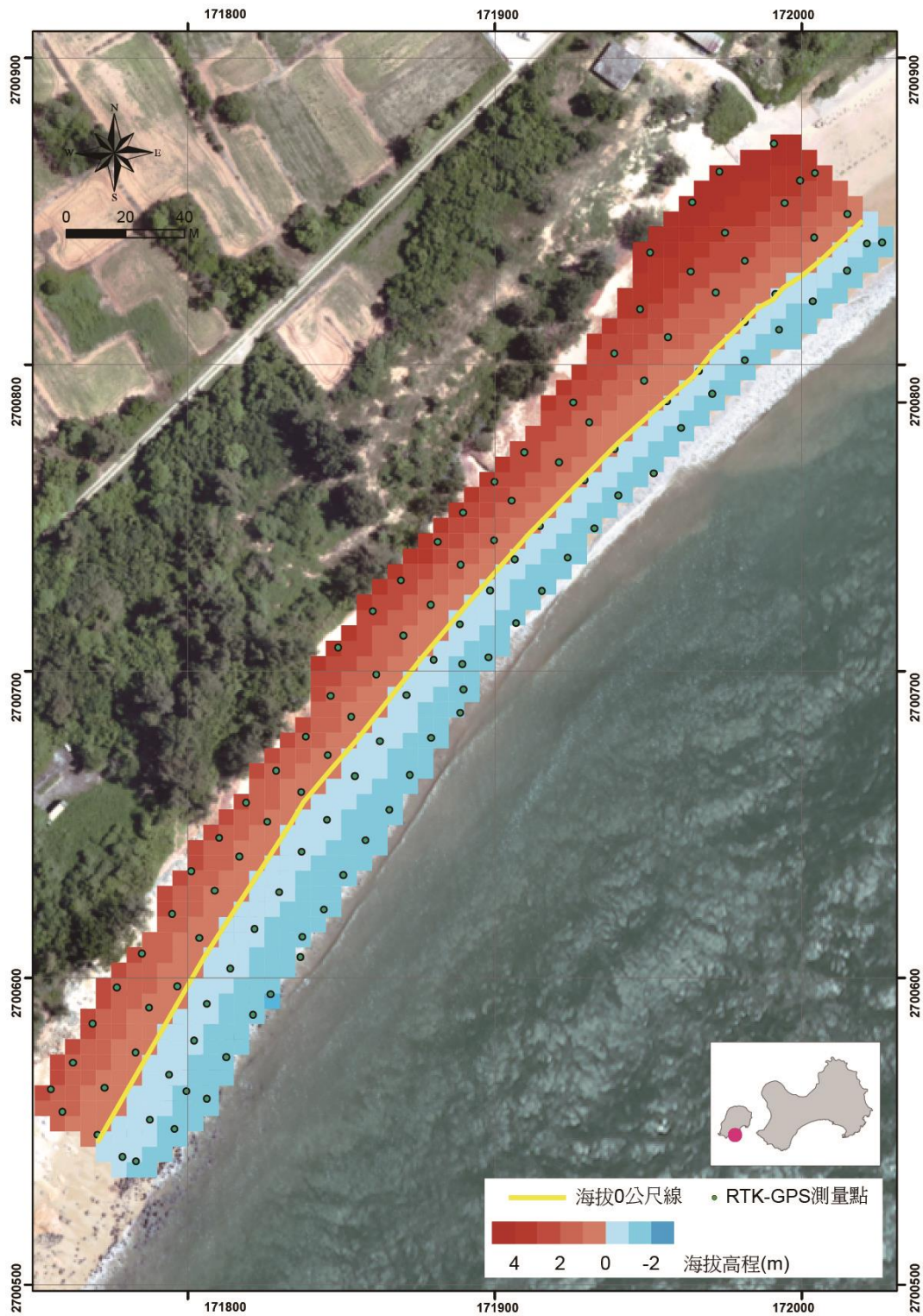


圖 3-29 烈嶼南山頭海岸 112 年 8 月 DEM 套疊 0 公尺高程海岸線

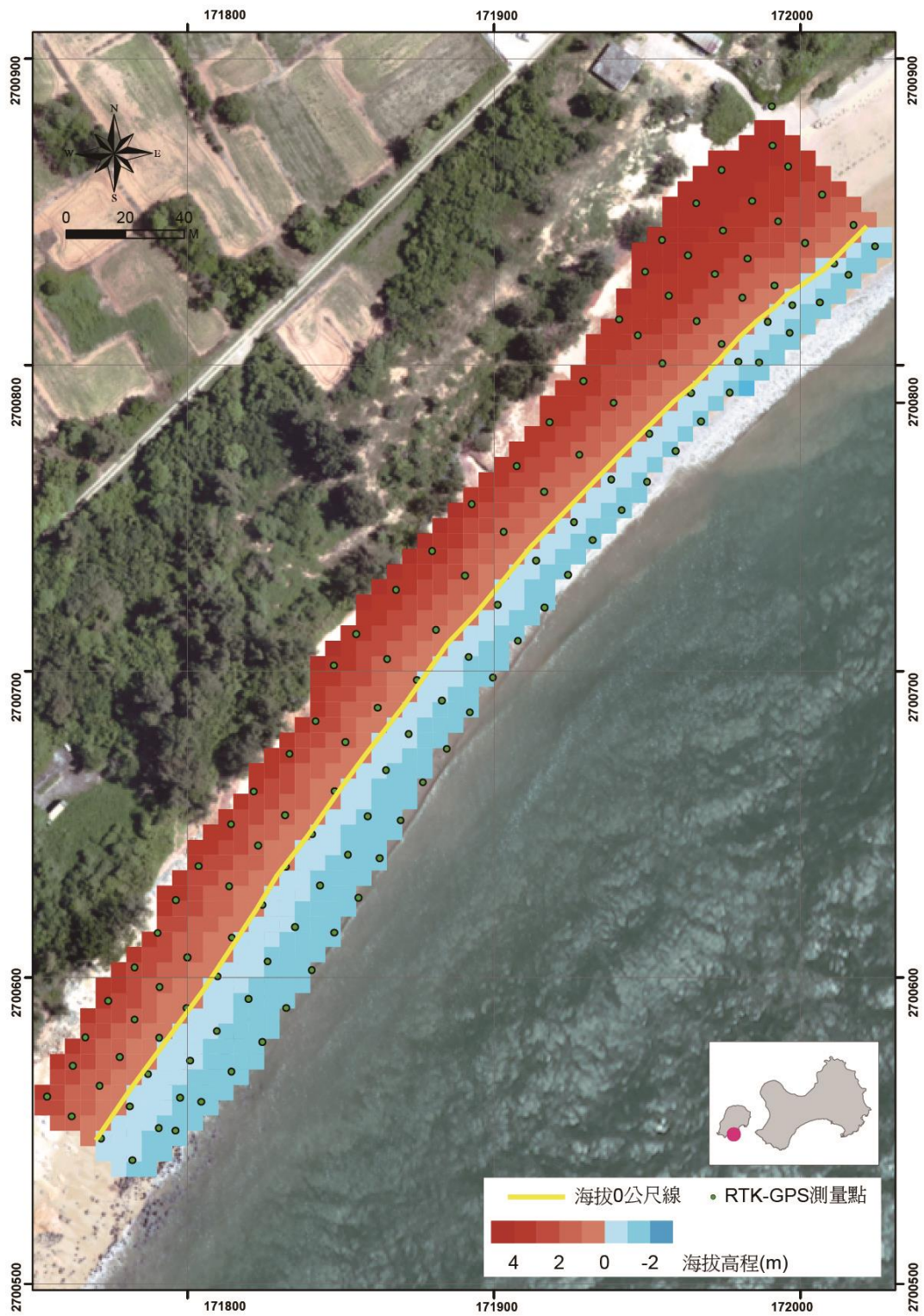


圖 3-30 烈嶼南山頭海岸 112 年 10 月 DEM 套疊 0 公尺高程海岸線

(四) 灘面地形變遷趨勢

1、古寧頭北山斷崖海岸

(1) 0 公尺高程海岸線變遷

古寧頭北山斷崖 0 公尺高程海岸線 112 年 4 月至 10 月期間變遷情形(圖 3-31)在西北段非常接近,在東南段較有變化。112 年 4 月時的 0 公尺高程海岸線相當平直,經 112 年 7 月 28 日中度颱風杜蘇芮侵襲過後,112 年 8 月有 2 段局部海岸線向內陸凹入,顯示其帶來的侵蝕現象。112 年 10 月時,0 公尺高程海岸線又向海面靠近且漸趨平緩,顯示後期有回復堆積的現象。

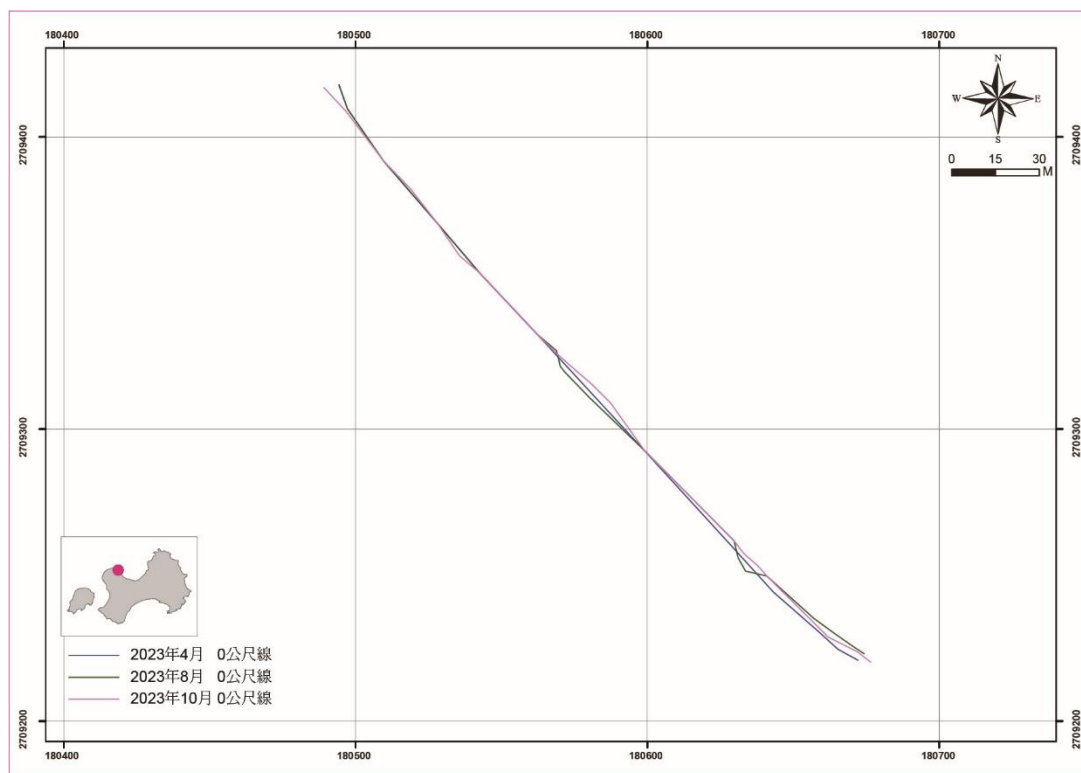


圖 3-31 古寧頭北山斷崖 0 公尺高程海岸線變遷情形

(2) 侵淤變化情形

古寧頭北山斷崖海岸於 112 年計畫監測期間侵淤變化情形如表 3-5 所述，各期間侵淤變化圖詳圖 3-32 至圖 3-34。

表 3-5 古寧頭北山斷崖海岸 112 年侵淤變化情形

監測期間	侵淤變化	說明
112 年 4 月至 8 月	侵蝕量：747.59 立方公尺 堆積量：1150.84 立方公尺 淨堆積量：403.24 立方公尺 平均整體堆積：0.023 公尺	侵蝕範圍主要分布於西南側近海崖處，佔整體面積約 66.3%；堆積範圍主要分布在海灘中央，佔整體面積約 33.7%。顯示在杜蘇芮颱風的作用下，沙灘區雖然在靠海崖區有明顯侵蝕，但是整體監測沙灘範圍仍呈現堆積情形。
112 年 8 月至 10 月	侵蝕量：882.82 立方公尺 堆積量：184.48 立方公尺 淨侵蝕量：698.34 立方公尺 平均整體侵蝕：0.041 公尺	歷經 7 月杜蘇芮颱風少量堆積後，9 月海葵颱風雖未直接侵襲金門，但其作用卻造成海灘在靠近海崖及靠海側均呈現侵蝕現象，佔整體面積約 67.1%；遠離海崖與海面的中央部分及頭尾兩側則呈現堆積現象，佔整體面積約 32.9%。
112 年 4 月至 10 月 (總計)	淨侵蝕量：295.10 立方公尺 平均整體侵蝕：0.017 公尺	古寧頭北山斷崖海岸在歷經 112 年颱風季後，雖有 42.5% 的面積屬於侵蝕範圍，57.5% 的面積屬於堆積範圍，但整體海灘淨侵淤量仍以侵蝕居多。

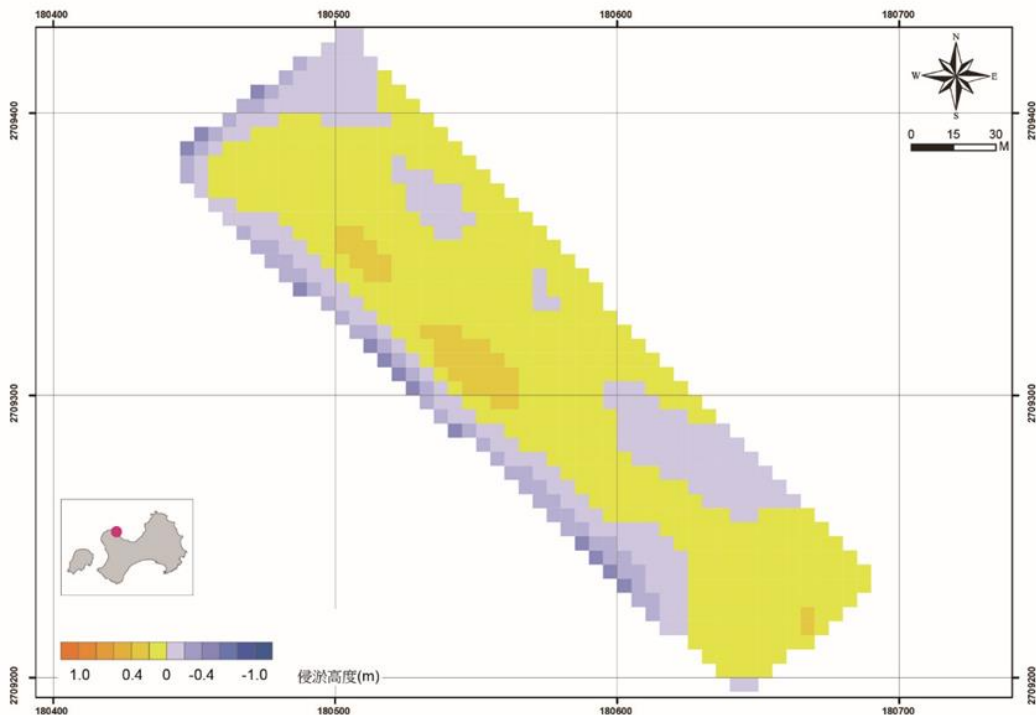


圖 3-32 古寧頭北山斷崖海岸 112 年 4 月至 8 月侵淤變化

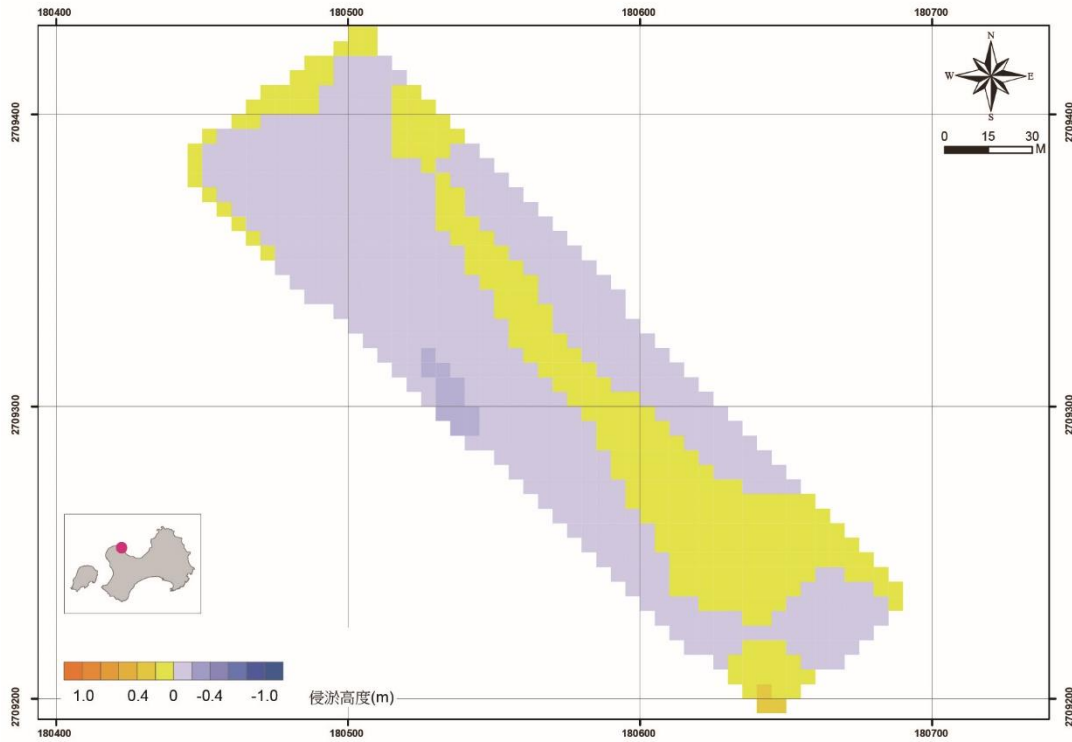


圖 3-33 古寧頭北山斷崖海岸 112 年 8 月至 10 月侵淤變化

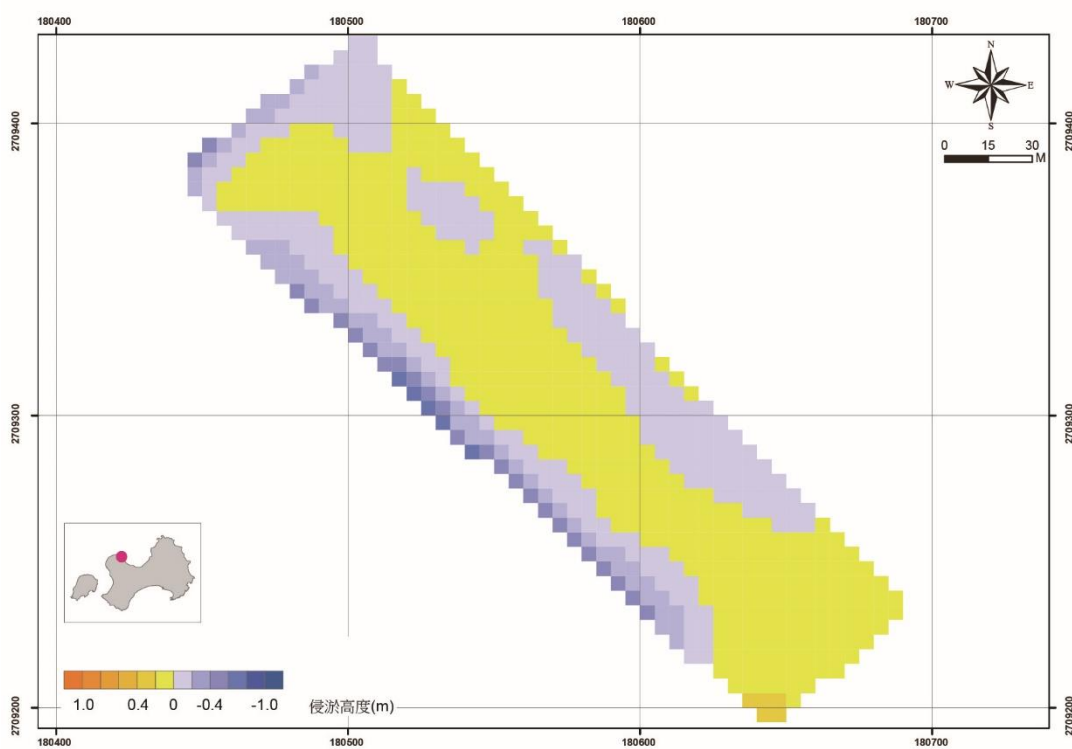


圖 3-34 古寧頭北山斷崖海岸 112 年 4 月至 10 月侵淤變化

2、古寧頭北山海堤海岸

(1) 0 公尺高程海岸線變遷

古寧頭北山海堤 0 公尺高程海岸線僅位於海岸西側，東北側灘面海拔高程均大於 0 公尺。在歷經 112 年 7 月杜蘇芮颱風與 8 月海葵颱風後，於 112 年 4 月至 10 月期間（圖 3-35）並未發現明顯的影響，屬於本計畫監測海岸中 0 公尺高程海岸線變化較小者。

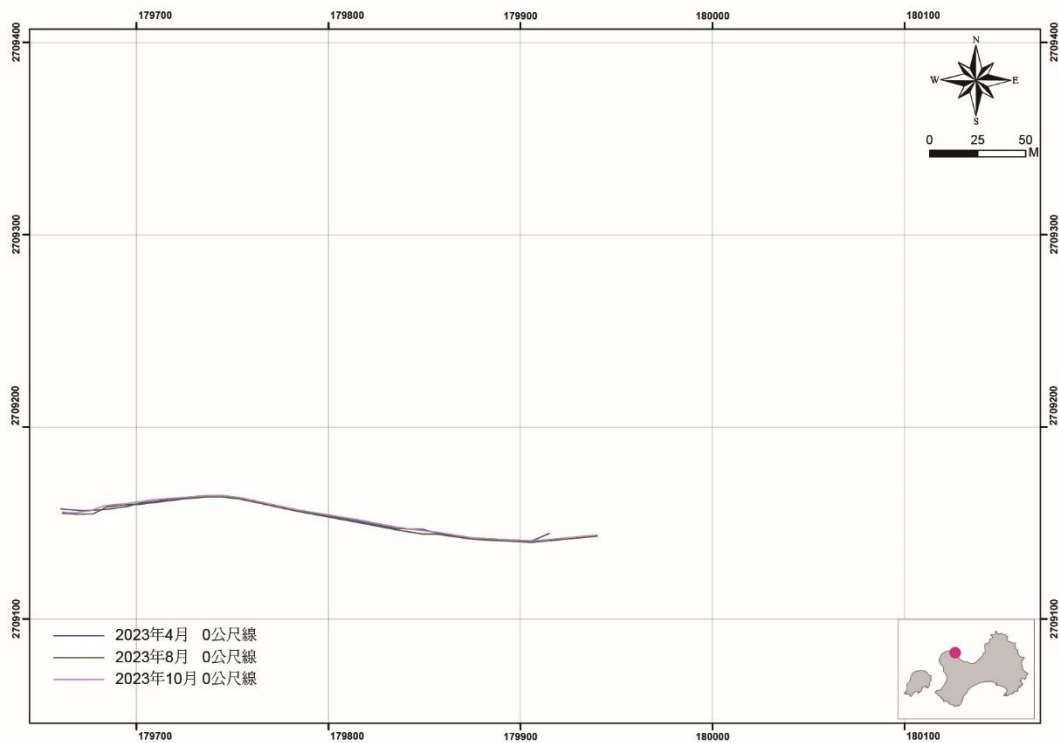


圖 3-35 古寧頭北山海堤 0 公尺高程海岸線變遷情形

(2) 侵淤變化情形

古寧頭北山海堤海岸於 112 年計畫監測期間侵淤變化情形如表 3-6 所述，各期間侵淤變化圖詳圖 3-36 至圖 3-38。

表 3-6 古寧頭北山海堤海岸 112 年侵淤變化情形

監測期間	侵淤變化	說明
112 年 4 月至 8 月	侵蝕量：302.54 立方公尺 堆積量：1152.28 立方公尺 淨堆積量：849.74 立方公尺 平均整體堆積：0.060 公尺	侵蝕範圍主要分布於西南側近海崖處及東北側海灘，佔整體面積約 32%；其餘範圍均呈現堆積情形，佔整體面積約 68%。
112 年 8 月至 10 月	侵蝕量：617.64 立方公尺 堆積量：459.24 立方公尺 淨侵蝕量：158.40 立方公尺 平均整體侵蝕：0.011 公尺	歷經 7 月杜蘇芮颱風堆積作用後，9 月海葵颱風雖未直接侵襲金門，但卻造成古寧頭北山海堤海岸東側近海崖區域有顯著侵蝕現象，部分區域高程下降接近 0.25 公尺。合計約 51.2% 的海灘面積呈現侵蝕作用，48.8 的海灘面積呈現堆積作用，整體侵淤變化趨勢由堆積轉為侵蝕現象。
112 年 4 月至 10 月 (總計)	淨堆積量：691.34 立方公尺 平均整體堆積：0.049 公尺	古寧頭北山斷崖海岸在歷經 112 年颱風季後，整體以堆積作用為主，約佔 72.2% 的海灘面積；其餘 27.8% 的海灘面積為侵蝕作用，多分布於東北側與南側近海崖處。

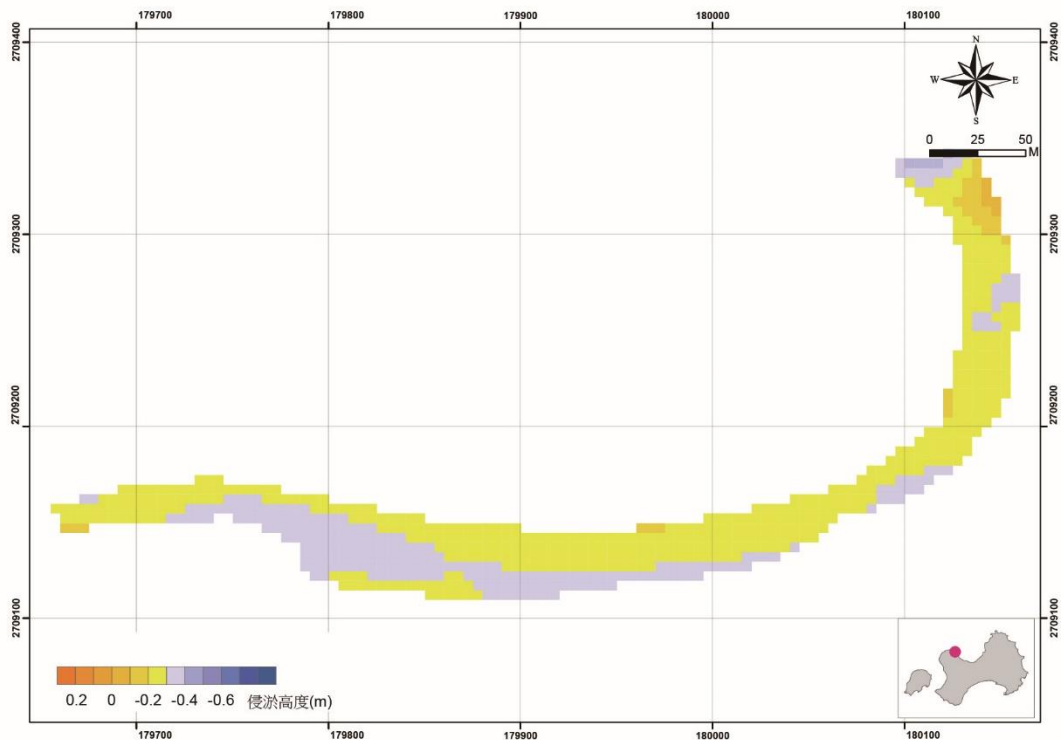


圖 3-36 古寧頭北山海堤海岸 112 年 4 月至 8 月侵淤變化

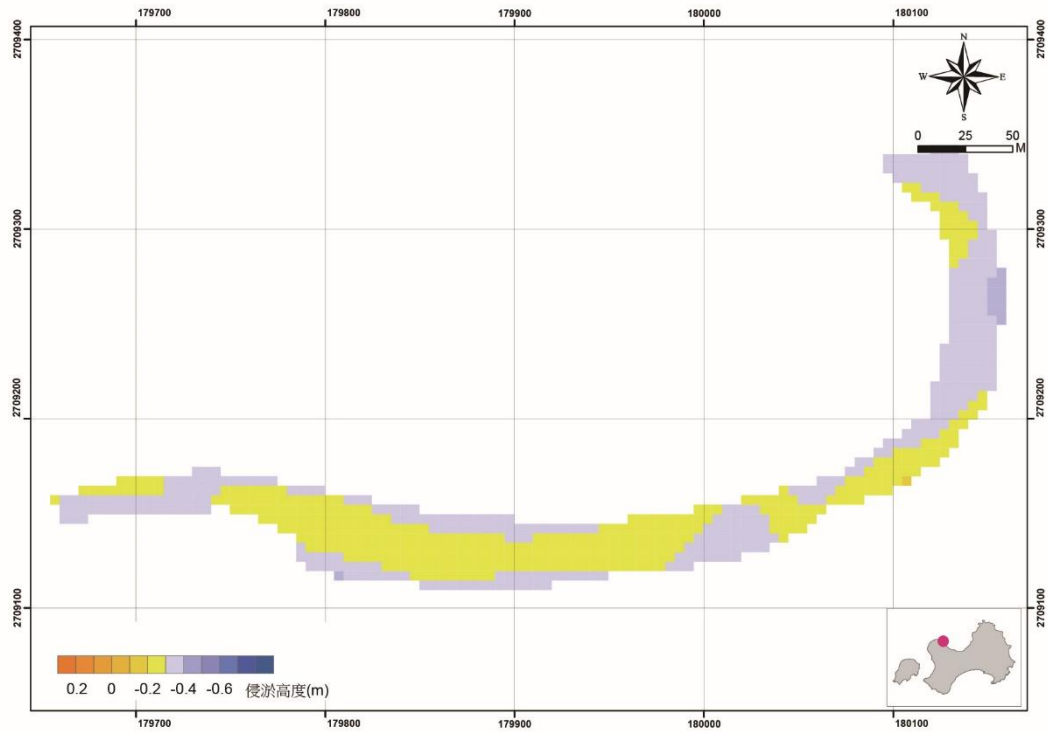


圖 3-37 古寧頭北山海堤海岸 112 年 8 月至 10 月侵淤變化

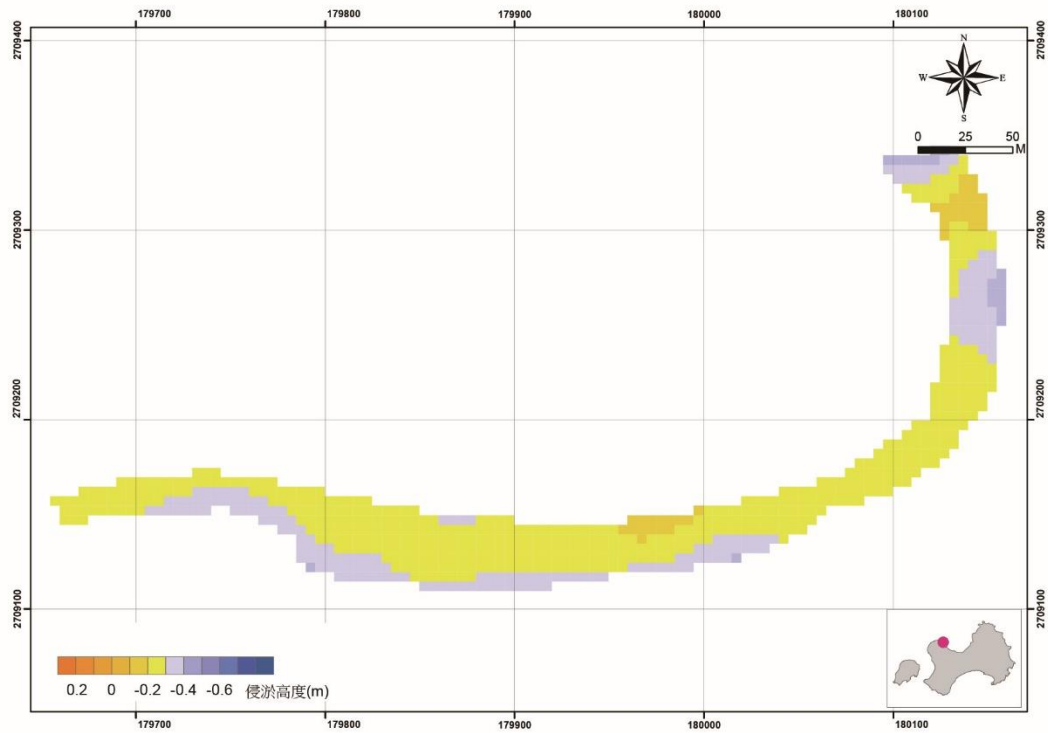


圖 3-38 古寧頭北山海堤海岸 112 年 4 月至 10 月侵淤變化

3、金湖新頭海岸

(1) 0 公尺高程海岸線變遷

金湖新頭海岸 0 公尺高程海岸線在 112 年 4 月至 10 月期間之變遷情形如圖 3-39 所示。112 年 4 月時，0 公尺高程海岸線在最南側，表示最靠近海面。在歷經 112 年 7 月 28 日杜蘇芮颱風所帶來的侵蝕作用後，112 年 8 月的 0 公尺海岸線明顯向陸地後退，各段後退距離約 4.5 公尺至 10.6 公尺不等。而後在 112 年 10 月又有堆積回復之趨勢，東段 0 公尺高程海岸線恢復到靠近 112 年 4 月份的位置，西側則僅有少量推進。

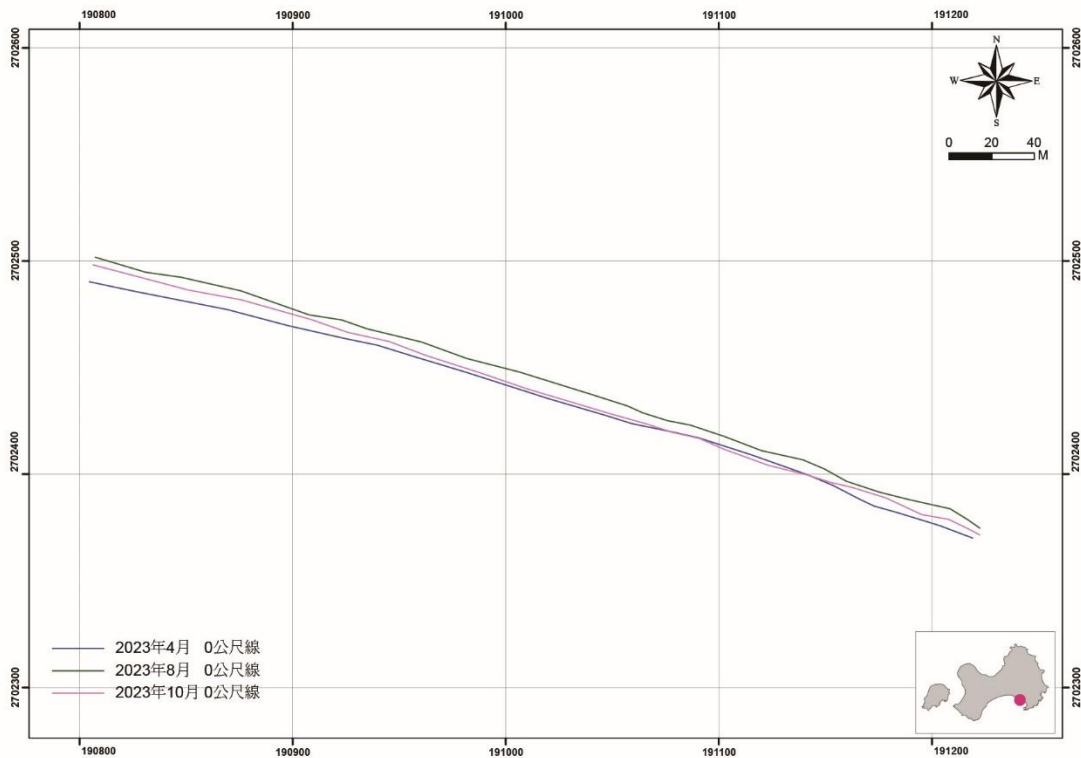


圖 3-39 金湖新頭海岸 0 公尺高程海岸線變遷情形

(2) 侵淤變化情形

金湖新頭海岸海岸於 112 年計畫監測期間侵淤變化情形如表 3-7 所述，各期間侵淤變化圖詳圖 3-40 至圖 3-42。

表 3-7 金湖新頭海岸 112 年侵淤變化情形

監測期間	侵淤變化	說明
112 年 4 月至 8 月	侵蝕量：10214.71 立方公尺 堆積量：812.09 立方公尺 淨侵蝕量：10214.71 立方公尺 平均整體侵蝕：0.337 公尺	侵蝕範圍遍布於金湖新頭海岸的絕大部分區域，佔整體面積約 83.3%；堆積範圍主要在南側靠海區域，佔整體面積約 16.7%。金湖新頭海岸沙灘區的淨侵蝕量為 10214.74 立方公尺，平均侵蝕達 0.337 公尺，顯示 112 年 7 月杜蘇芮颱風帶來相當顯著的侵蝕現象。
112 年 8 月至 10 月	侵蝕量：6083.40 立方公尺 堆積量：2036.24 立方公尺 淨侵蝕量：4767.15 立方公尺 平均整體侵蝕：0.157 公尺	在 9 月海葵颱風從金門南邊掠過後，作用由前期明顯的侵蝕轉變為堆積現象，佔整體面積約 73.1%，在沙灘中段處最為明顯；侵蝕範圍主要分布在靠南側海灘，佔整體面積約 26.9%。
112 年 4 月至 10 月 (總計)	淨侵蝕量：5447.56 立方公尺 平均整體侵蝕：0.180 公尺	金湖新頭海岸在歷經 112 年颱風季後，於 112 年 4 月至 10 月期間，侵蝕作用所佔面積約 76.5%，平均沙灘海拔降低量達 0.180 公尺，具有明顯的侵蝕現象。

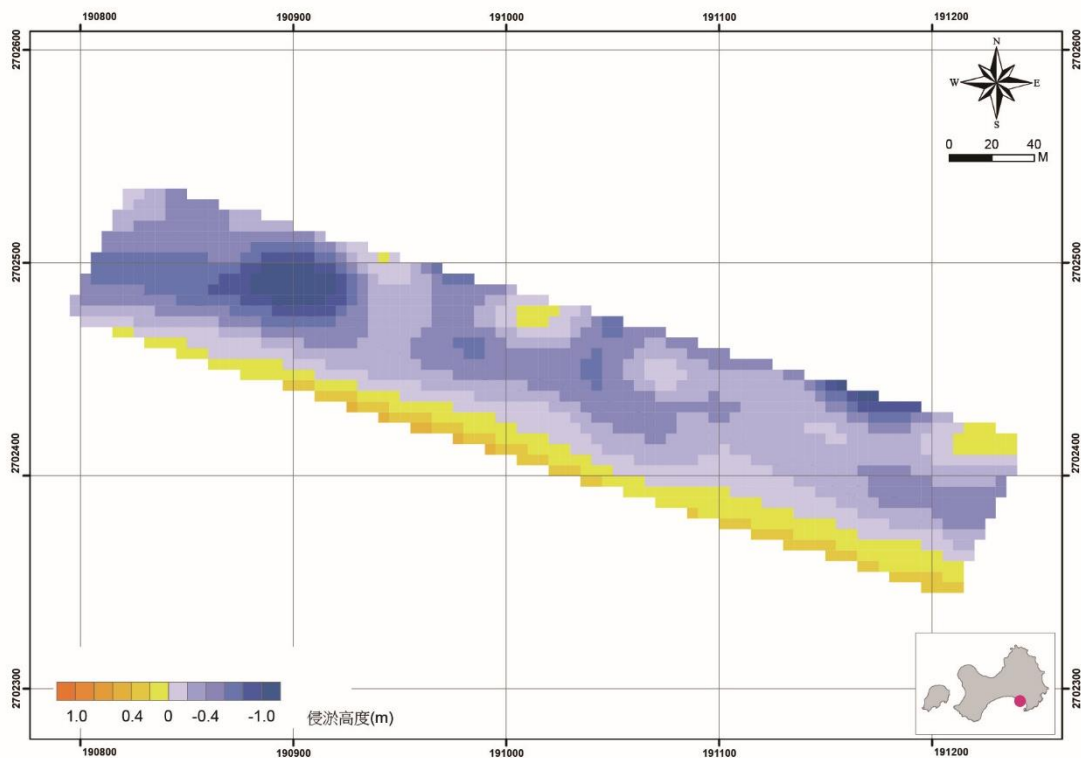


圖 3-40 金湖新頭海岸 112 年 4 月至 8 月侵淤變化

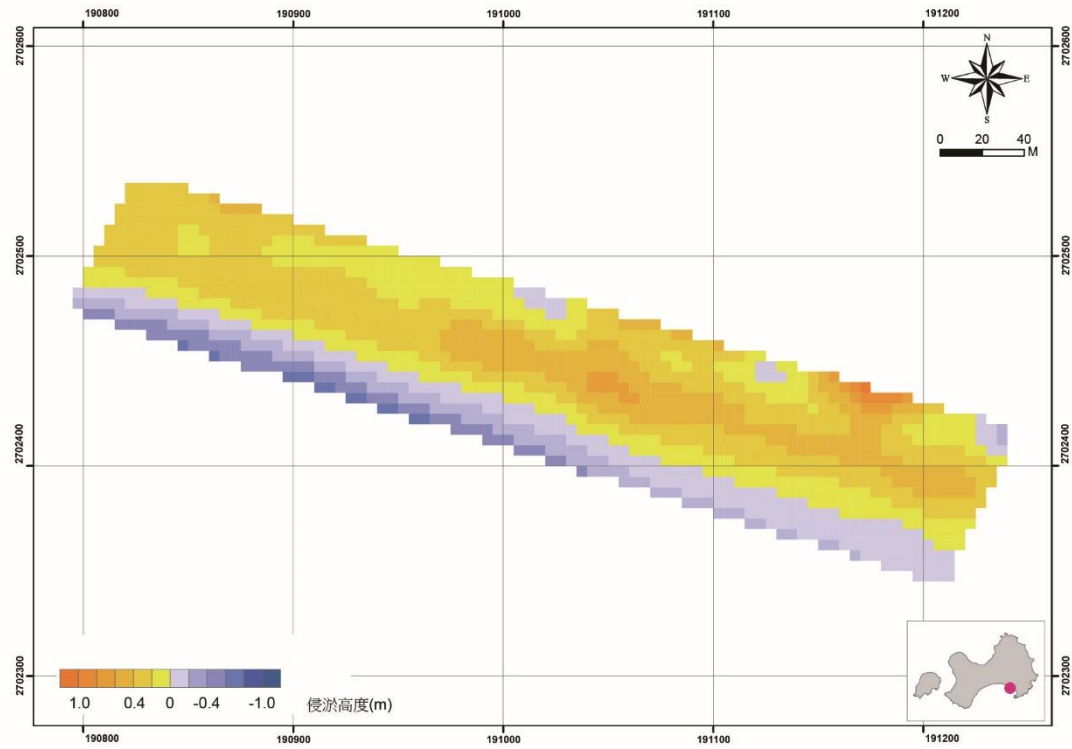


圖 3-41 金湖新頭海岸 112 年 8 月至 10 月侵淤變化

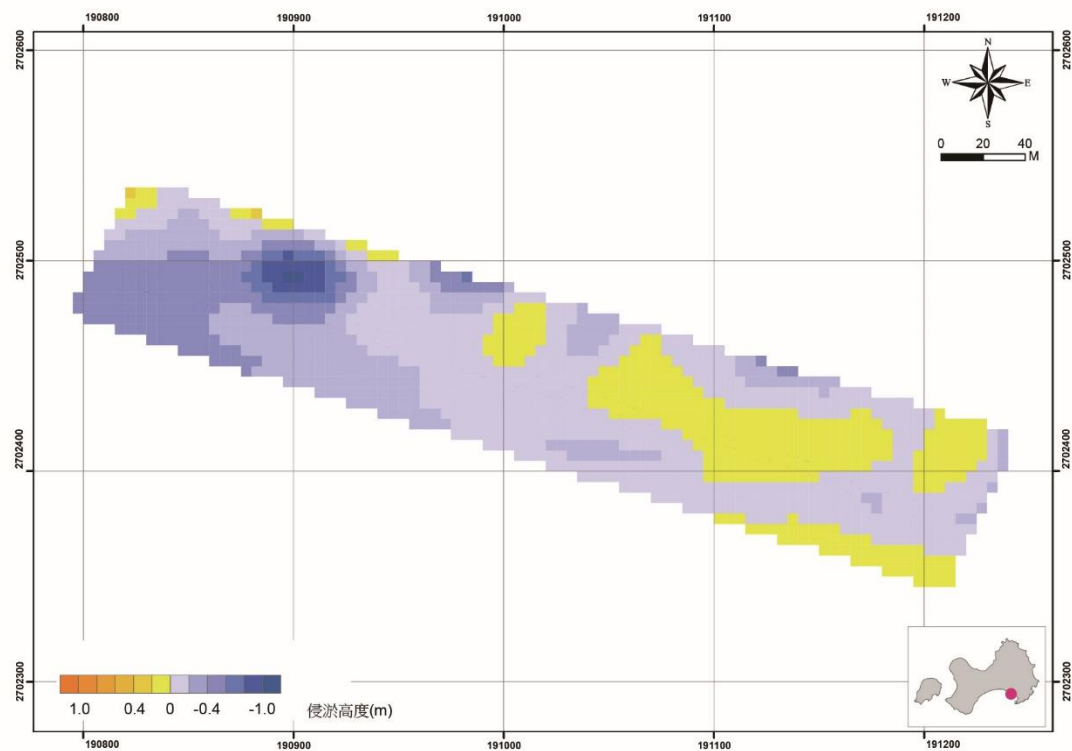


圖 3-42 金湖新頭海岸 112 年 4 月至 10 月侵淤變化

4、烈嶼黃厝海岸

(1) 0 公尺高程海岸線變遷

烈嶼黃厝海岸於 112 年 4 月至 10 月期間，在歷經 7 月杜蘇芮颱風與 8 月海葵颱風後，0 公尺高程海岸線並無顯著變化（圖 3-43），平面位置差異均小於 5 公尺。

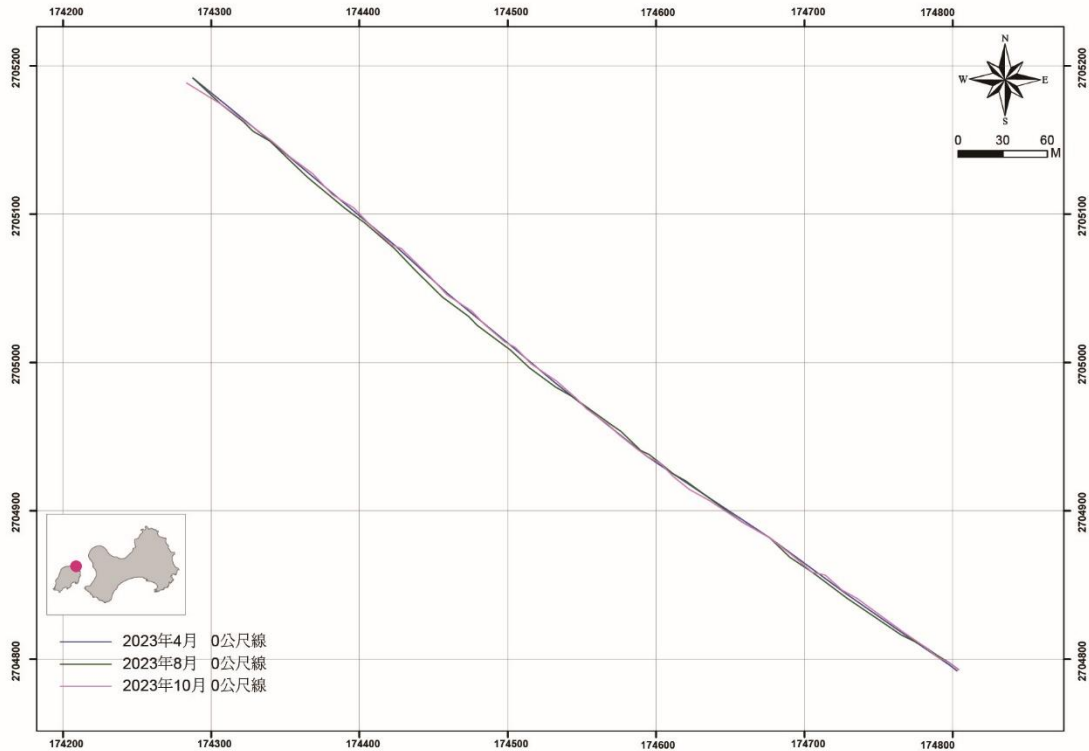


圖 3-43 烈嶼黃厝海岸 0 公尺高程海岸線變遷情形

(2) 侵淤變化情形

烈嶼黃厝海岸於 112 年計畫監測期間侵淤變化情形如表 3-8 所述，各期間侵淤變化圖詳圖 3-44 至圖 3-46。

表 3-8 烈嶼黃厝海岸 112 年侵淤變化情形

監測期間	侵淤變化	說明
112 年 4 月至 8 月	侵蝕量：1497.52 立方公尺 堆積量：1925.96 立方公尺 淨堆積量：428.44 立方公尺 平均整體堆積：0.012 公尺	侵蝕範圍主要分布於西北與東南側海灘中央及靠海處，佔整體面積約 51.3%；其餘堆積範圍佔整體面積約 48.7%，靠近海崖處有較多堆積量體。整體海灘呈現小量堆積。
112 年 8 月至 10 月	侵蝕量：1583.25 立方公尺 堆積量：1681.70 立方公尺	歷經 7 月杜蘇芮颱風少量堆積後，9 月海葵颱風雖未直接侵襲金門，其作用持

監測期間	侵淤變化	說明
	淨堆積量：98.45 立方公尺 平均堆積侵蝕：0.003 公尺	續對烈嶼黃厝海岸產生少量堆積現象。海灘中段部分呈現堆積作用，佔整體面積約 54.4%；海灘西北側與東南側則呈現侵蝕作用，佔整體面積約 45.6%。
112 年 4 月至 10 月 (總計)	淨堆積量：526.90 立方公尺 平均整體堆積：0.015 公尺	烈嶼黃厝海岸在歷經 112 年颱風季後，主要以堆積作用為主，佔整體範圍約 62.2%；侵蝕作用佔整體範圍約 37.8%，主要分布於西北與東南側。平均海拔高程增加約 0.015 公尺，屬於少量堆積作用範圍。

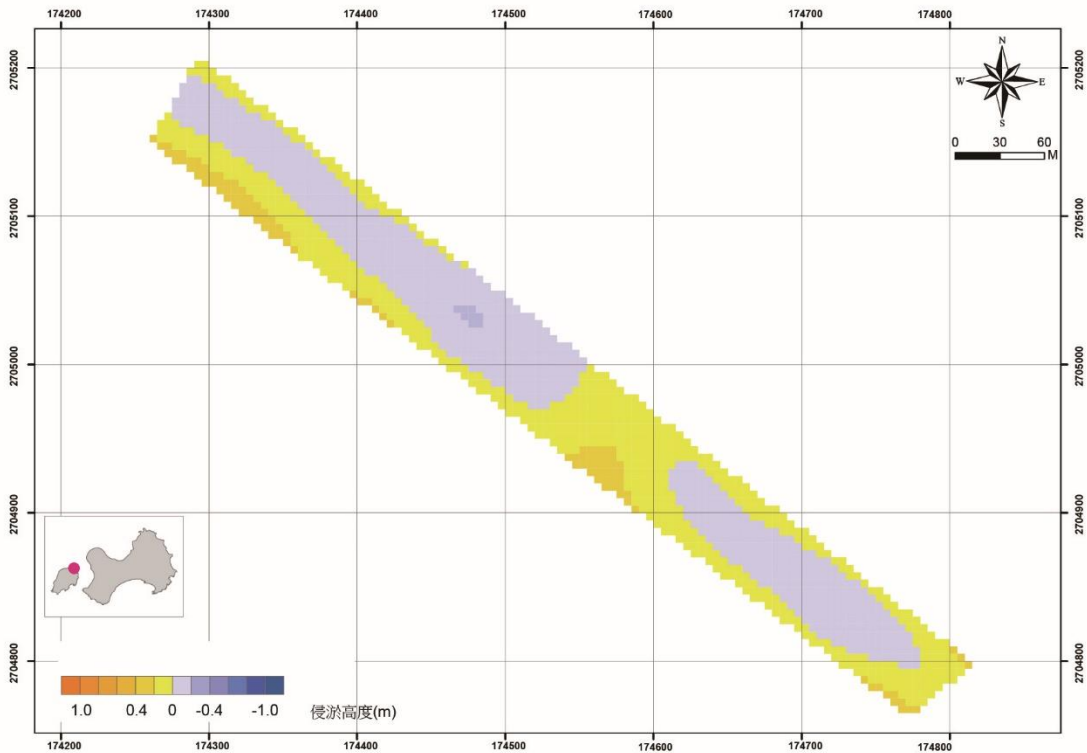


圖 3-44 烈嶼黃厝海岸 112 年 4 月至 8 月侵淤變化

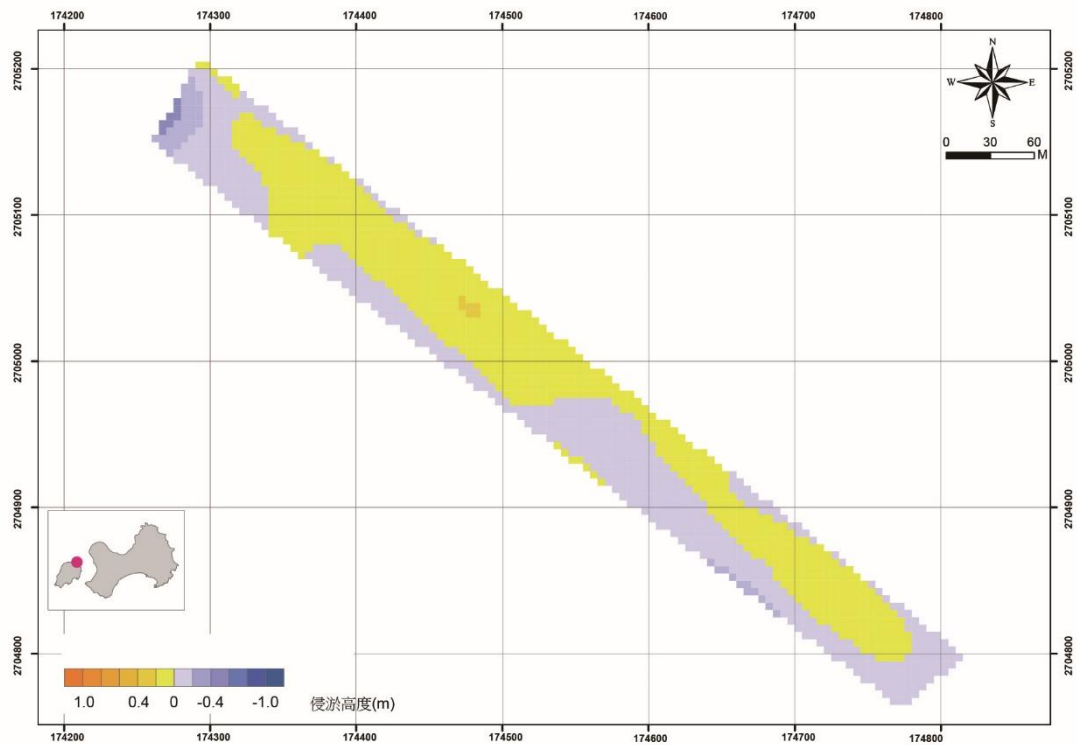


圖 3-45 烈嶼黃厝海岸 112 年 8 月至 10 月侵淤變化

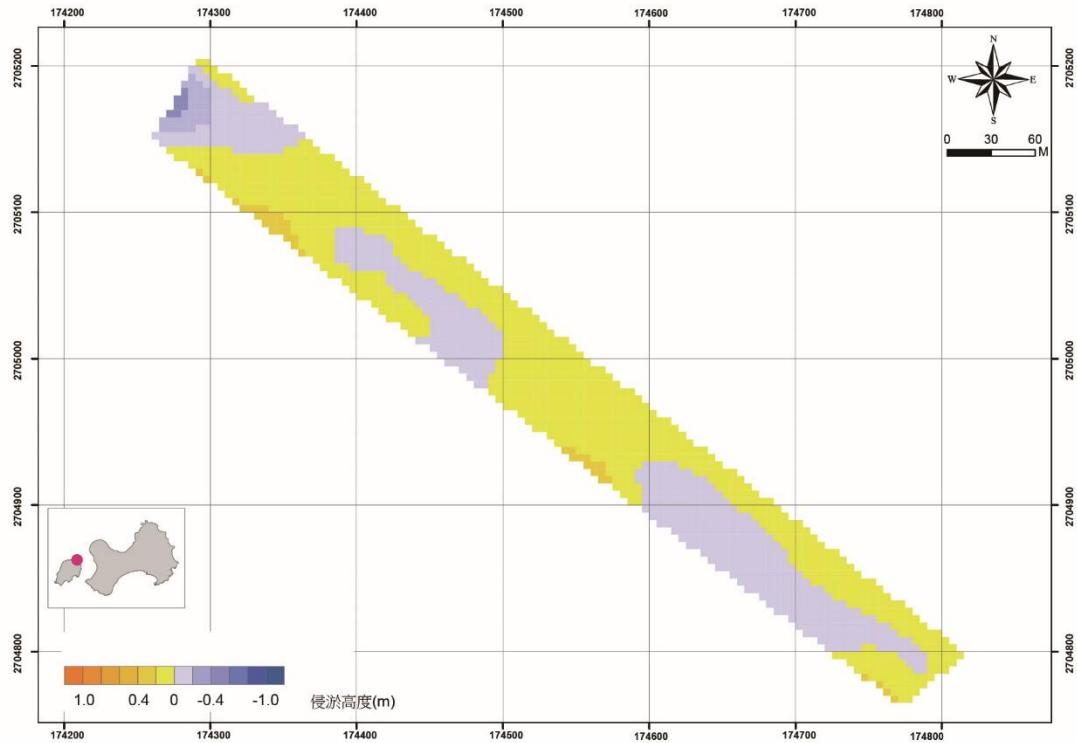


圖 3-46 烈嶼黃厝海岸 112 年 4 月至 10 月侵淤變化

5、烈嶼南山頭海岸

(1) 0 公尺高程海岸線變遷

烈嶼南山頭 0 公尺高程海岸線 112 年 4 月至 10 月期間變遷情形 (圖 3-47) 在東北側約 20% 的範圍內較不明顯，其餘 80% 在 112 年 4 月時最靠近海面，經 112 年 7 月 28 日中度颱風杜蘇芮侵襲過後，112 年 8 月時向陸地後退的距離高達 11 公尺以上，又在 112 年 10 月時向海側移動約 5 公尺。0 公尺高程海岸線整體變化趨勢是先往陸地退縮後，又往海面推進部份。

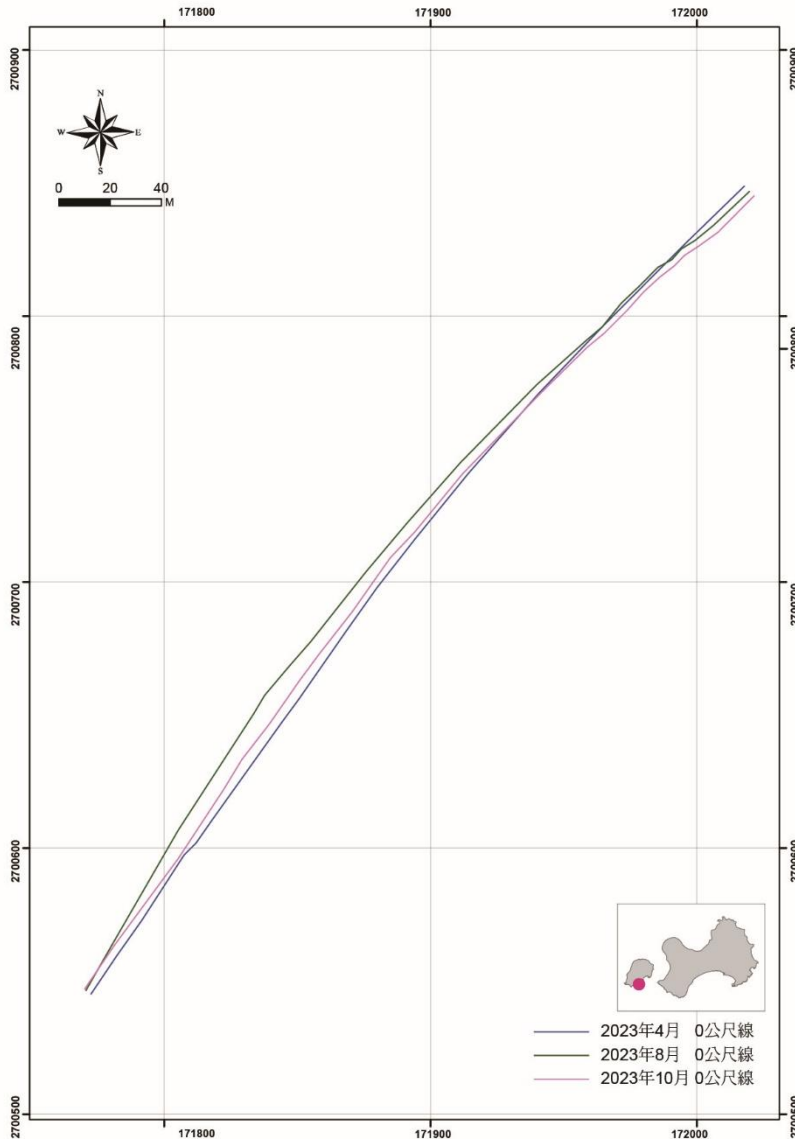


圖 3-47 烈嶼南山頭 0 公尺高程海岸線變遷情形

(2) 侵淤變化情形

烈嶼南山頭海岸於 112 年計畫監測期間侵淤變化情形如表 3-9 所述，各期間侵淤變化圖詳圖 3-49 至圖 3-51。

表 3-9 烈嶼南山頭海岸 112 年侵淤變化情形

監測期間	侵淤變化	說明
112 年 4 月至 8 月	侵蝕量：8839.69 立方公尺 堆積量：1251.34 立方公尺 淨侵蝕量：7588.35 立方公尺 平均整體侵蝕：0.409 公尺	112 年 7 月杜蘇芮颱風過後，地形作用以侵蝕作用為主，分布於海灘西側大部分範圍，佔整體面積約 78.8%；堆積範圍主要位於近海側以及東北邊消波塊堆放區域。烈嶼南山頭海岸沙灘區主要呈現明顯侵蝕作用，然而在颱風過後，東北邊消波塊區域呈現堆積現象則是歷年（圖 3-48）少有的情況。
112 年 8 月至 10 月	侵蝕量：284.08 立方公尺 堆積量：7920.21 立方公尺 淨堆積量：7636.13 立方公尺 平均整體堆積：0.411 公尺	112 年 9 月海葵颱風雖未直接侵襲金門，但其自南邊掠過造成烈嶼南山頭海岸明顯的堆積作用，堆積面積佔整體面積約 93.3%，侵蝕則僅佔 6.7%。平均整體堆積高度為 0.411 公尺，將杜蘇芮颱風期間大量侵蝕的沉積物彌補回來。
112 年 4 月至 10 月 (總計)	淨堆積量：47.79 立方公尺 平均整體堆積：0.003 公尺	烈嶼南山頭海岸在歷經 112 年颱風季後，有 54.2% 的面積屬於侵蝕範圍，主要分布在西南側；有 45.8% 的面積屬於堆積範圍，主要在東南側靠海處以及西北側消波塊區域。海灘監測範圍土砂量僅增加 47.79 立方公尺，少量堆積作用。

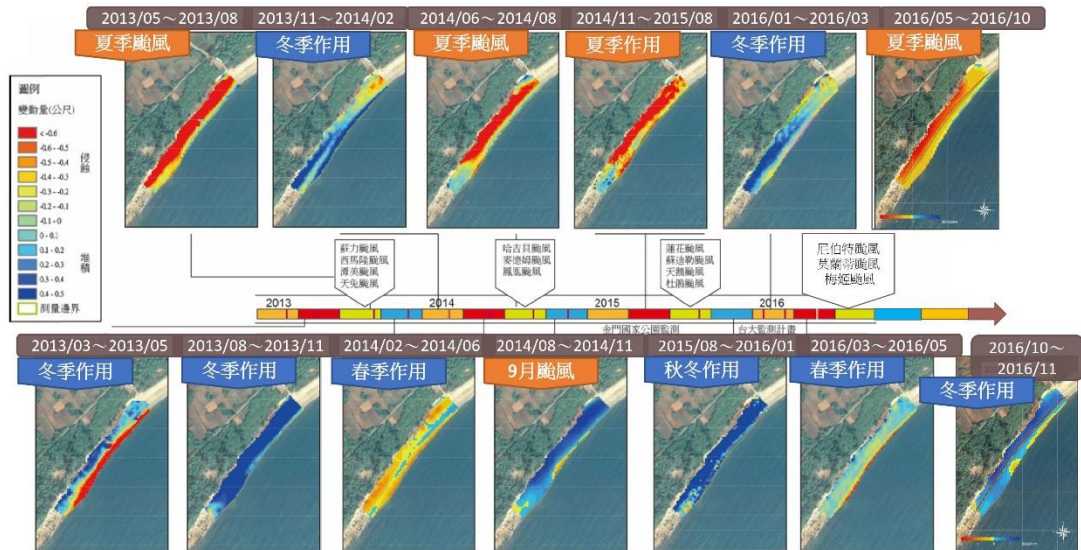


圖 3-48 烈嶼南山頭海岸侵淤情形 (2013 年 5 月至 2016 年 11 月)

資料來源：金門國家公園 105 年度海岸地景保育暨監測計畫

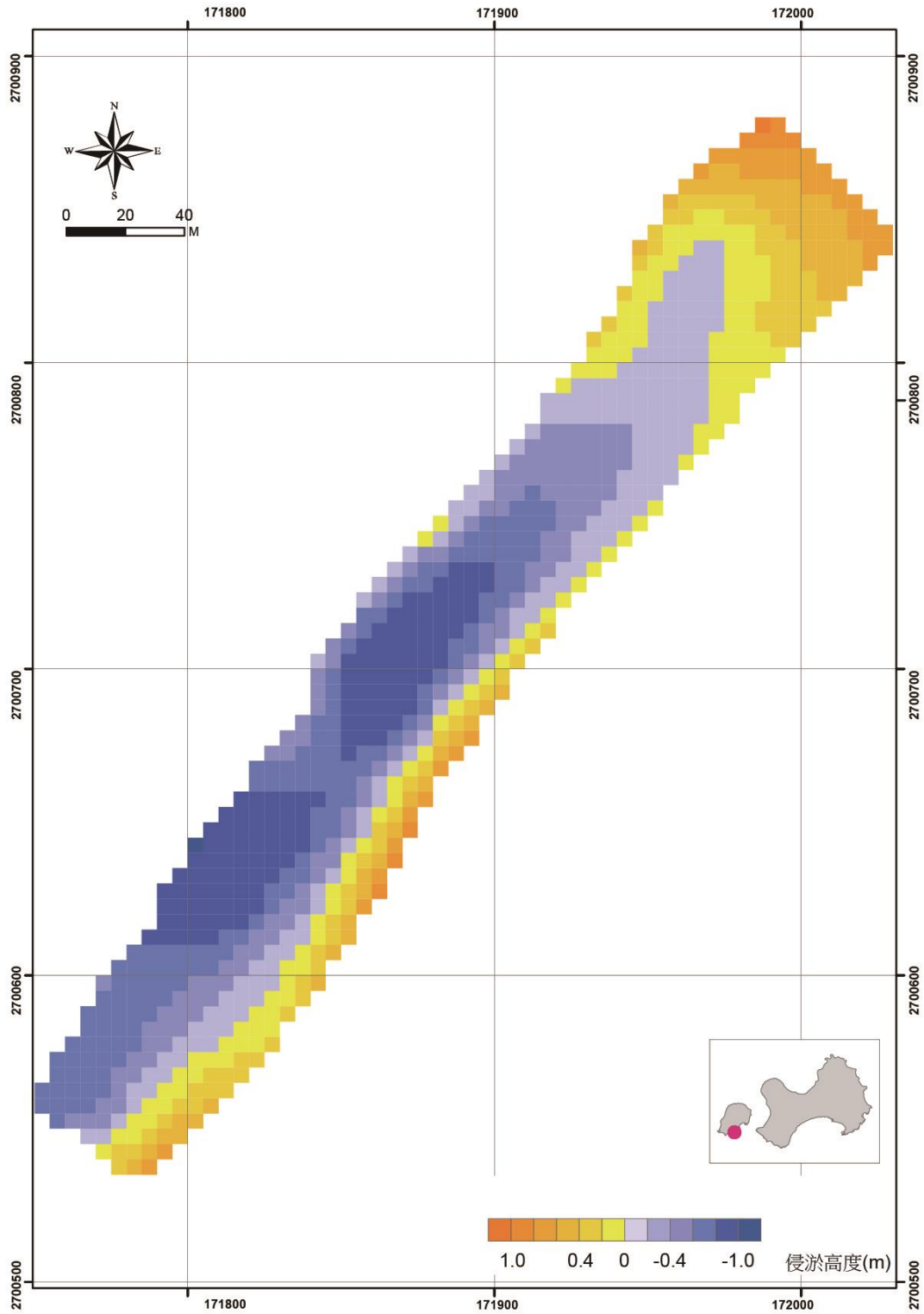


圖 3-49 烈嶼南山頭海岸 112 年 4 月至 8 月侵淤變化

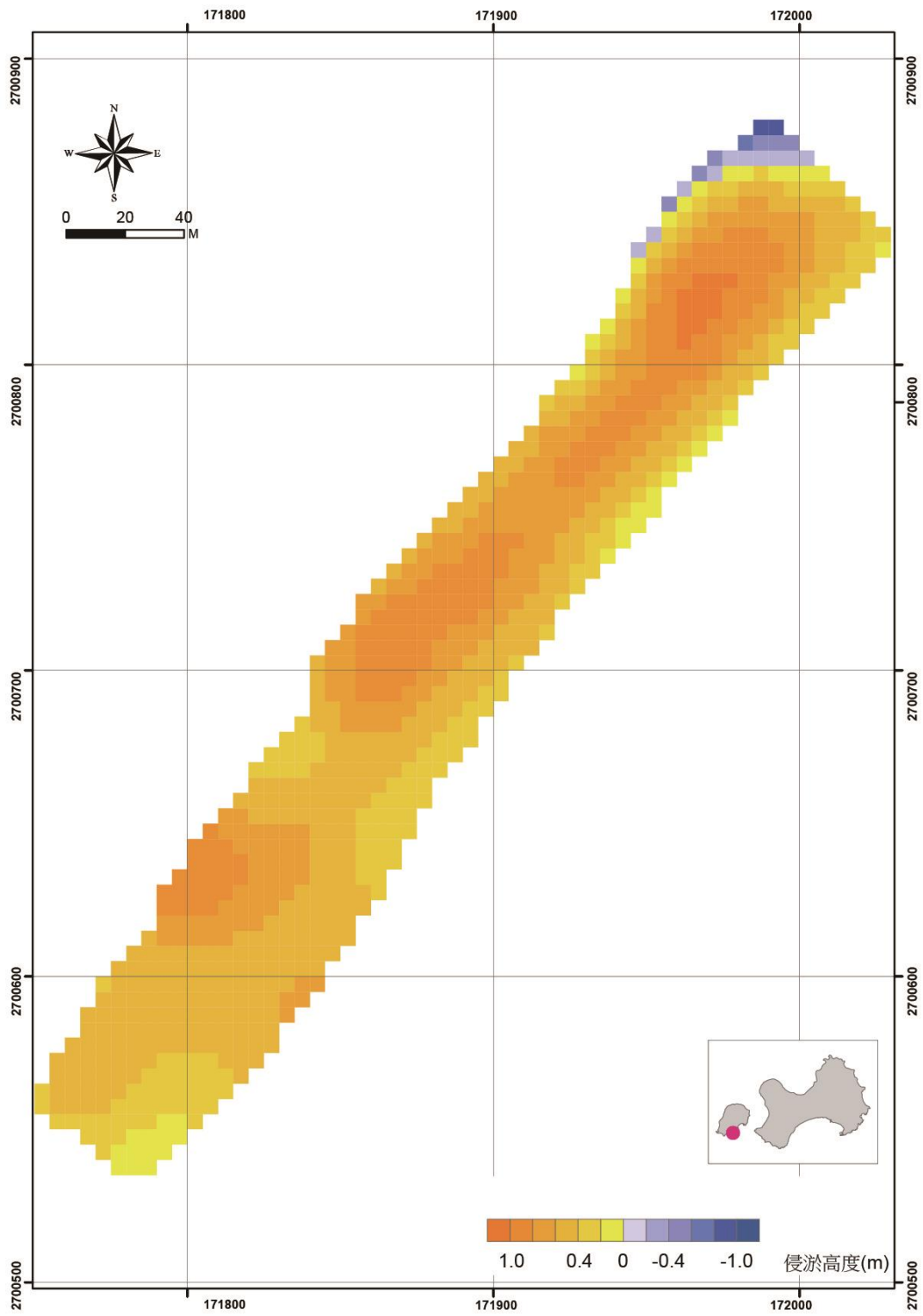


圖 3-50 烈嶼南山頭海岸 112 年 8 月至 10 月侵淤變化

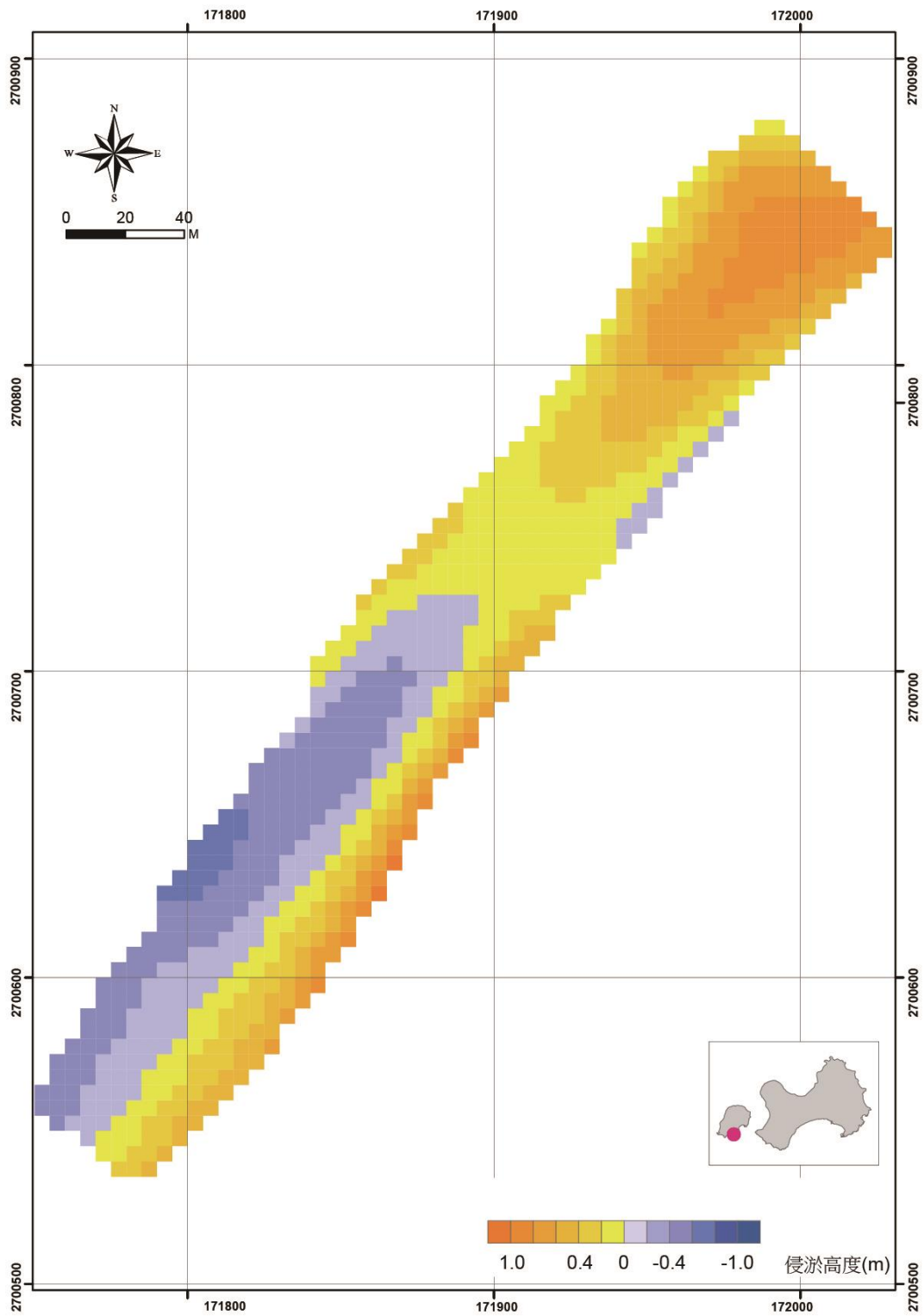


圖 3-51 烈嶼南山頭海岸 112 年 4 月至 10 月侵淤變化

(五)小結

本計畫 112 年度古寧頭北山斷崖海岸、北山海堤海岸、金湖新頭海岸、烈嶼黃厝海岸、南山頭海岸等 5 處灘面侵淤總量統計表如表 3-10 所示。依照以往文獻顯示，颱風侵襲所帶來劇烈的搬運與侵蝕作用，通常會造成沙灘大量沉積物流失。如同金湖新頭海岸與烈嶼南山頭海岸資料成果，在 112 年 7 月 28 日中度颱風杜蘇芮侵襲過後，呈現明顯的侵蝕作用，甚至導致金湖新頭海岸的建築地基掏空而倒塌，原本在沙灘底下的金門層岩石也因此出露(圖 3-52)。歷經 7 月杜蘇芮颱風及 9 月海葵颱風後，海岸搬運作用攜帶部分沉積物至沙灘堆積，導致金湖新頭海岸與烈嶼南山頭海岸的地形作用由原本的侵蝕轉為堆積，減緩颱風所造成的侵蝕量。

表 3-10 112 年灘面侵淤總量統計表 (單位：立方公尺)

海岸 期間(事件)	古寧頭北山 斷崖海岸 (19,605 m ²)	古寧頭北山 海堤海岸 (18,150 m ²)	金湖新頭 海岸 (33,475 m ²)	烈嶼黃厝 海岸 (39,800 m ²)	烈嶼南山頭 海岸 (21,950 m ²)
112 年 4 月至 8 月 (杜蘇芮颱風)	▲403.24	▲849.74	▽10214.71	▲428.44	▽7588.35
112 年 8 月至 10 月 (海葵颱風)	▽698.34	▽158.40	▲4767.15	▲98.45	▲7636.13
合計	▽295.10	▲691.34	▽5447.56	▲526.90	▲47.79



(a) 建築地基掏空倒塌



(b) 金門層出露

圖 3-52 颱風後金湖新頭海岸侵蝕情形 (112 年 8 月)

執行團隊於烈嶼南山頭東北側觀察到颱風後堆積的罕見現象，於 112 年 4 至 8 月、8 至 10 月期間持續堆積，導致 112 年 10 月時本應受侵蝕裸露的消波塊幾乎完全被沉積物覆蓋（圖 3-53），而圖中遠處（海岸西南側）依稀可見受侵蝕的情形。



圖 3-53 烈嶼南山頭海岸東北側颱風後大量堆積的罕見現象（112 年 10 月）

古寧頭北山斷崖海岸、古寧頭北山海堤海岸、烈嶼黃厝海岸等 3 處灘面鄰接由沉積岩形成之貓公石所形成的海崖，在降雨侵襲下會形成崩塌物，掉落進入海灘區域，導致這些海岸雖然受到颱風侵襲，卻反而形成堆積的狀況。降雨所造成的海崖崩落物與海岸搬運能力的平衡會造成不同灘面地形變化：

1、如果海崖停止崩落而海岸持續搬運作用

會形成先堆積後侵蝕的狀況，如同古寧頭北山斷崖海岸（圖 3-54）與北山海堤海岸所經歷的過程。從圖 3-55 中崖崩樹木與海崖出露情形可見侵蝕的嚴重性；圖 3-56 中可看到受到颱風侵襲崩落的物質受海浪搬運作用移動，部分已經離開海灘，其中淺色的大顆粒（礫石粒徑物）主要為風化剩餘的黏土，是殘餘在灘面上的海崖崩落物。



圖 3-54 古寧頭北山斷崖海岸受颱風侵蝕導致上方出露 (112 年 8 月)



圖 3-55 北山海堤海岸受颱風侵蝕導致樹木崩落與海崖出露 (112 年 8 月)



圖 3-56 古寧頭北山海堤海岸沉積物受海浪搬運作用移動 (112 年 10 月)

2、如果崩落物持續產生

則沙灘地形會持續堆積，如同烈嶼黃厝海岸（圖 3-57）的情形。從圖中可見崖面風化花崗岩因崩落呈現新鮮顏色，崩落堆積物則堆積於下方，而陡直坡腳內凹的情形則顯示曾受暴浪侵蝕。



圖 3-57 烈嶼黃厝海岸受颱風侵蝕持續崩落（112 年 8 月）

三、海崖高程測量

本計畫要求於古寧頭北山斷崖海岸、古寧頭北山海堤海岸、烈嶼貓公石海岸、烈嶼黃厝海岸、烈嶼 L56 據點海岸、烈嶼南山頭海岸等 6 處海岸段，於計畫執行期間，以三維地面雷射掃描技術或 UAV 航拍（正射影像與 DEM）至少收集 1 期斷崖之地表資訊，作為長期監測地形發育與地景保育研究、數位典藏之基礎。執行團隊考量古寧頭北山斷崖海岸及烈嶼南山頭海岸屬重要監測岸段，且可與 104-105 年歷史資料進行比對，優規規劃 112 及 113 年度各一期雷射掃描作業，以利不同年度間海崖高程變化及風化崩塌情形分析。目前執行團隊已於 112 年 5 月初前完成古寧頭北山斷崖海岸、烈嶼貓公石海岸、烈嶼黃厝海岸、烈嶼南山頭海岸等 4 處海岸高程測量，預計 113 年 4 月執行古寧頭北山海堤海岸、烈嶼 L56 據點海岸測量以及古寧頭北山斷崖、烈嶼南山頭等 2 處海岸第 2 期測量。

（一）地面式三維雷射掃描

三維雷射掃描又稱光達(Light Detection and Ranging, LiDAR)，是一種不受天候影響的主動式光學遙測技術，利用集中光束之雷射對目標物或地表進行掃描，並利用回傳之訊號計算儀器至目標間的距離以及相對關係，進而化算為相對坐標。地面光達之應用領域廣泛，可用於危險邊坡監測、3D 海岸地景保存等工程、地景、建物或特殊目標物之模型建立。執行團隊利用地面光達蒐集重要海岸段地形點雲成果，作為金門國家公園長期監測地形發育與地景保育研究、數位典藏之基礎。

(二)採用設備

執行團隊採用奧地利廠商 RIEGL VZ-1000 雷射掃描儀進行海岸地形掃描。其水平掃描幅度可達 360 度，垂直掃描幅度自天頂距 30 度至 130 度，上方搭載 Nikon D700 數位單眼相機進行攝影，可將真實色彩投影至掃描點雲成果，並將影像用於產製 360 度環景照片。RIEGL VZ-1000 雷射掃描儀性能如表 3-11 所示，可依照待測目標距離與需求點雲密度調整掃描參數，三者對照關係參考表 3-12 所列。

表 3-11 RIEGL VZ-1000 雷射掃描儀性能表

	雷射掃描頻率	70 kHz	100 kHz	150 kHz	300 kHz	
	有效量測點數	29,000 點/秒	42,000 點/秒	62,000 點/秒	122,000 點/秒	
	最遠測距	反射率 $\geq 90\%$	1,400 m	1,200 m	950 m	450 m
		反射率 $\geq 20\%$	700 m	600 m	500 m	350 m
	準確度	8 mm				
	精密度	5 mm				
	最短測距	2.5 m				

表 3-12 掃描間距、目標距離與點雲密度對照表

測線間距	距離	50 m	100 m	200 m	450 m	750 m	1,000 m
------	----	------	-------	-------	-------	-------	---------

0.02 度	點距 (cm)	1.7	3.5	7.0	15.7	26.2	34.9
	密度(pts/ m ²)	3282	820	205	40	14	8
0.04 度	點距 (cm)	3.5	7.0	14.0	31.4	52.4	69.8
	密度(pts/ m ²)	820	205	51	10	3	2
0.06 度	點距 (cm)	5.2	10.5	20.9	-	-	-
	密度(pts/ m ²)	364	91	22	-	-	-

(三)作業流程

地面式三維雷射掃描作業流程包含測站位置及掃描參數規劃、外業掃描、經資料處理內業流程，產製點雲濾除分類成果等，如圖 3-58 所示。

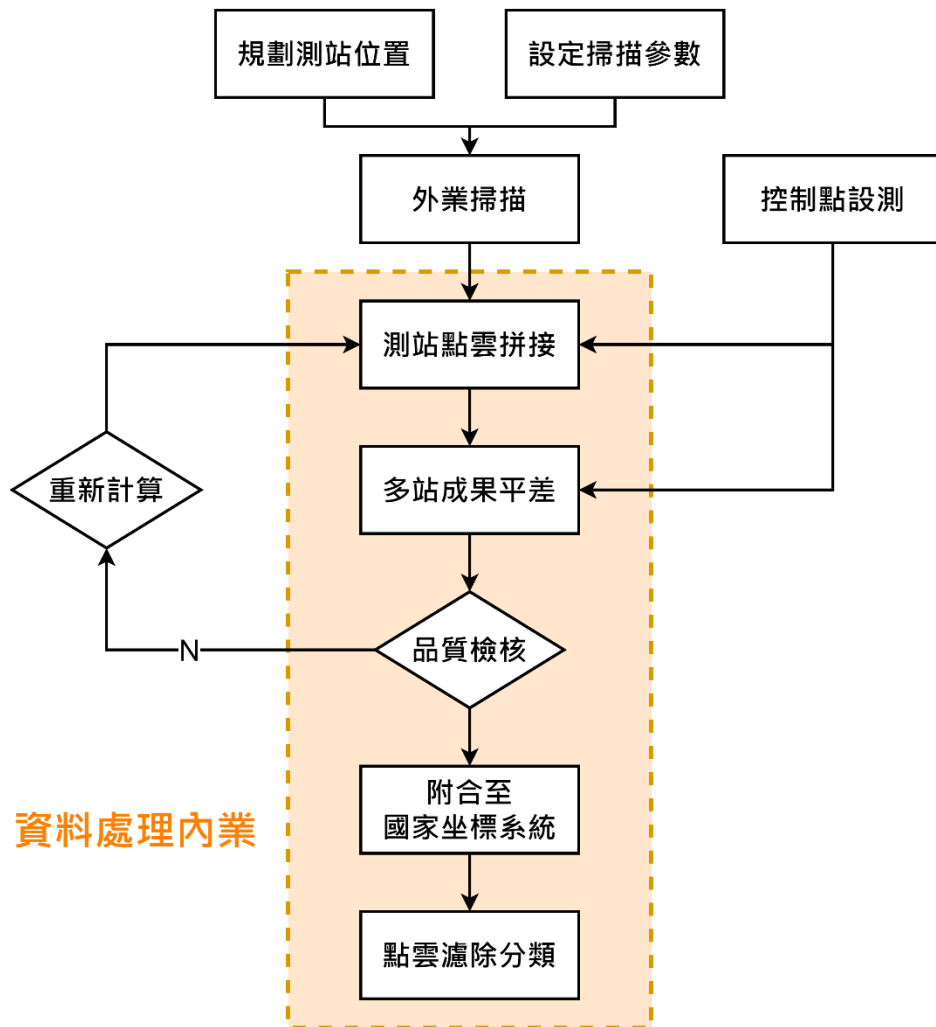


圖 3-58 地面式三維雷射掃描作業流程圖

1、規劃測站位置及掃描參數

執行團隊規劃採用 0.04 度之掃描測線間距，理論上每隔 150

公尺設立一處測站，即可獲得每平方公尺 90 點以上之點雲密度。然而依照執行團隊 105 年執行與本計畫相關「海岸地景保育調查暨監測計畫」與「金門國家公園海岸地景資源調查及保育管理規劃」之經驗與 112 年 2 月份現地踏勘了解，本計畫金門重要海岸之地形複雜度高(如圖 3-59)，為避免地形特徵受海崖或海灘岩石遮蔽導致地形成果空缺，應於地形複雜處增加測站以避免點雲闕漏。又因本計畫重要海岸地景點景觀(如圖 3-60(a)細緻之洋蔥狀風化紋理)具有研究與保存之特殊價值，可利用雷射掃描點雲翔實記錄之。且針對其他值得關注的現象，如新發生之崩落(圖 3-60(b))，亦可利用掃描點雲成果計算其體積等資訊。考量上述情形，執行團隊視情形於重要地點，平均約每 20 至 30 公尺即增設一處測站，或利用加密(0.02 度)之測線掃描間距，建立重要海岸地景點之完整點雲資料。



(a) 古寧頭北山斷崖海岸

(b) 烈嶼南山頭海岸

圖 3-59 易受遮蔽之複雜地形



(a) 洋蔥狀風化



(b) 新發生之崩落

圖 3-60 烈嶼南山頭海岸地形現象

(1) 外業掃描

為維護國家公園海岸地景點景觀，執行團隊於外業掃描時不設立實體控制點，而是於沙灘設立 RTK 移動站作為臨時性控制點(圖 3-61)，供內業人員以標竿尖點指認控制點，以將測量成果附合至絕對坐標。各海岸段外業掃描情形如圖 3-62 至圖 3-65 所示



圖 3-61 利用 RTK 移動站作為臨時性控制點



圖 3-62 古寧頭北山斷崖海岸外業掃描情形



圖 3-63 烈嶼貓公石海岸外業掃描情形



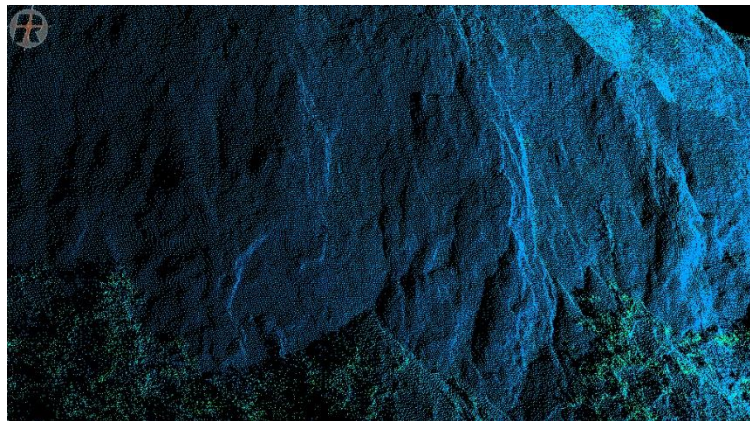
圖 3-64 烈嶼黃厝海岸外業掃描情形



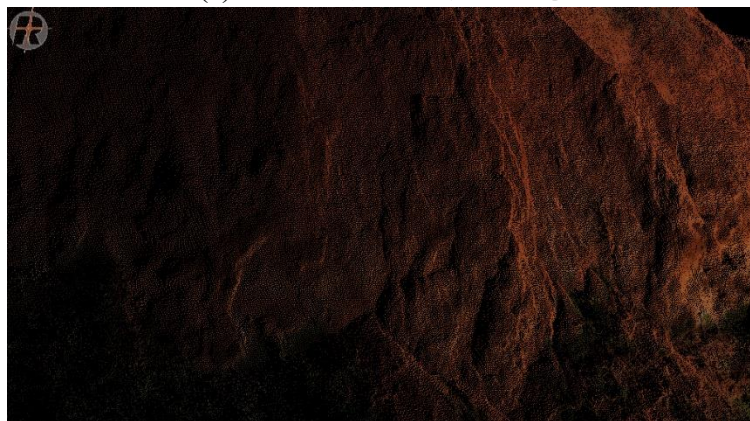
圖 3-65 烈嶼南山頭海岸外業掃描情形

2、測站點雲拼接與多站成果平差

各測站之掃描點雲原始成果 (圖 3-66) 均位於各自的測站坐標系統 (Scanner's Own Coordinate System, SOCS) 下, 無法直接套疊。需將各測站點雲透過特徵共軛點 (如反光標、測量標、自然特徵點等) 或地形進行擬合, 將不同局部坐標系之點雲透過七參數轉換至相同的專案坐標系統 (Project Coordinate System, PRCS) 中。然而測站拼接的坐標轉換過程中必定存在誤差, 導致不同測站成果間有位移、錯動等不一致之情形。必須利用多站平差技術 (Multi-Station Adjustment), 迭代計算平移、旋轉、尺度等參數, 計算出多個測站點雲的最佳總體擬合。執行團隊已完成 112 年掃描之 4 處海岸之點雲拼接與多站成果平差作業, 成果及精度如圖 3-67 至圖 3-74 所示。



(a) 以反射值強度展示顏色



(b) 真實色彩

圖 3-66 海崖掃描點雲



圖 3-67 古寧頭北山斷崖海岸點雲拼接成果

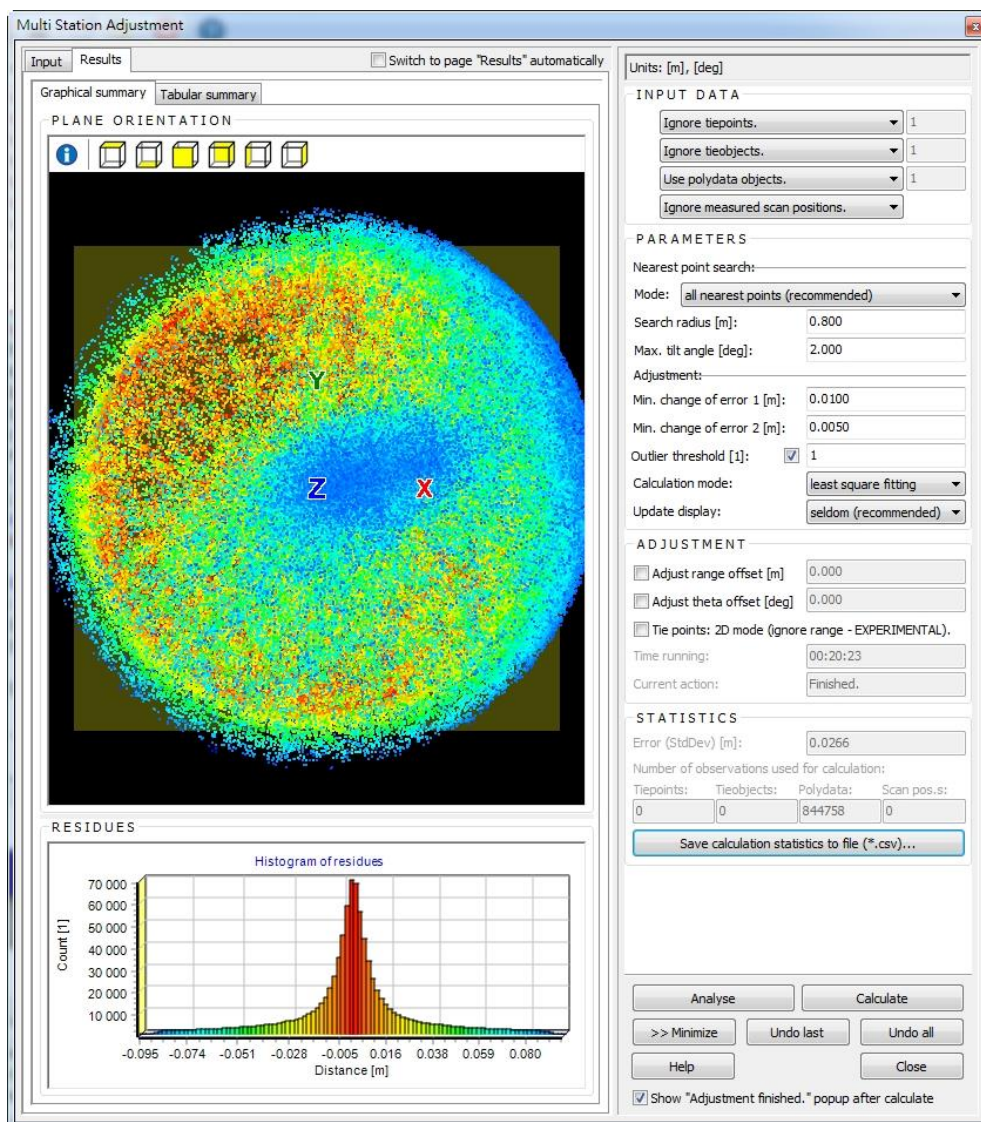


圖 3-68 古寧頭北山斷崖海岸點雲多站平差精度

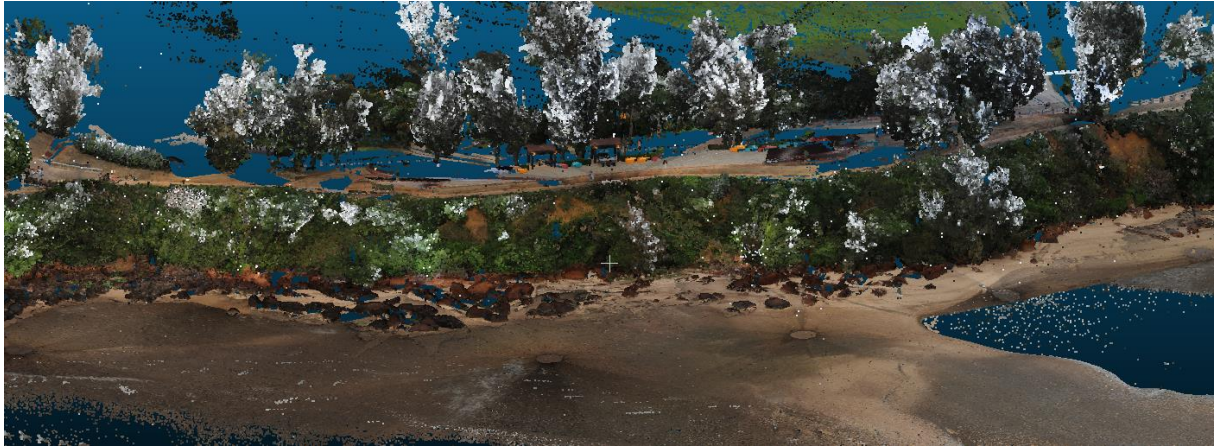


圖 3-69 烈嶼貓公石海岸點雲拼接成果

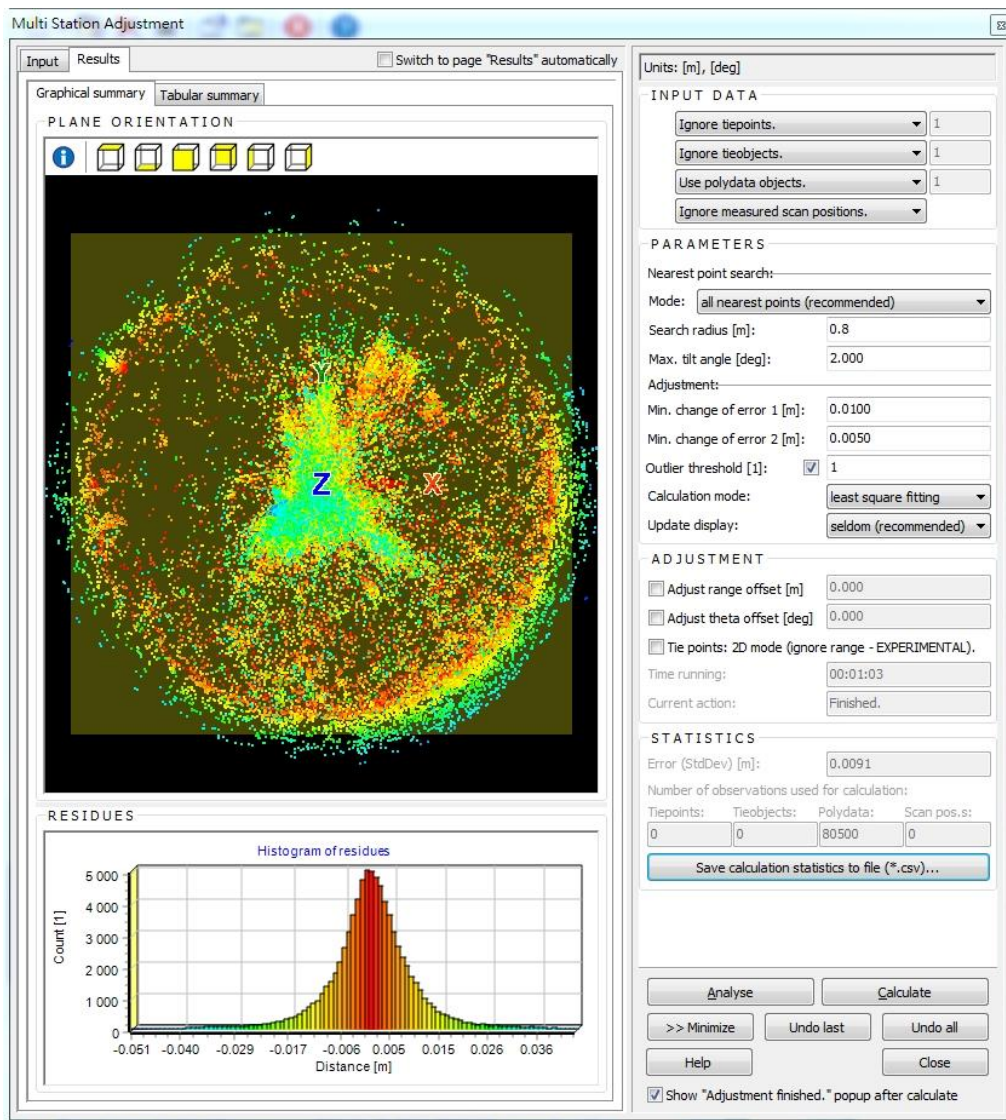


圖 3-70 烈嶼貓公石海岸點雲多站平差精度

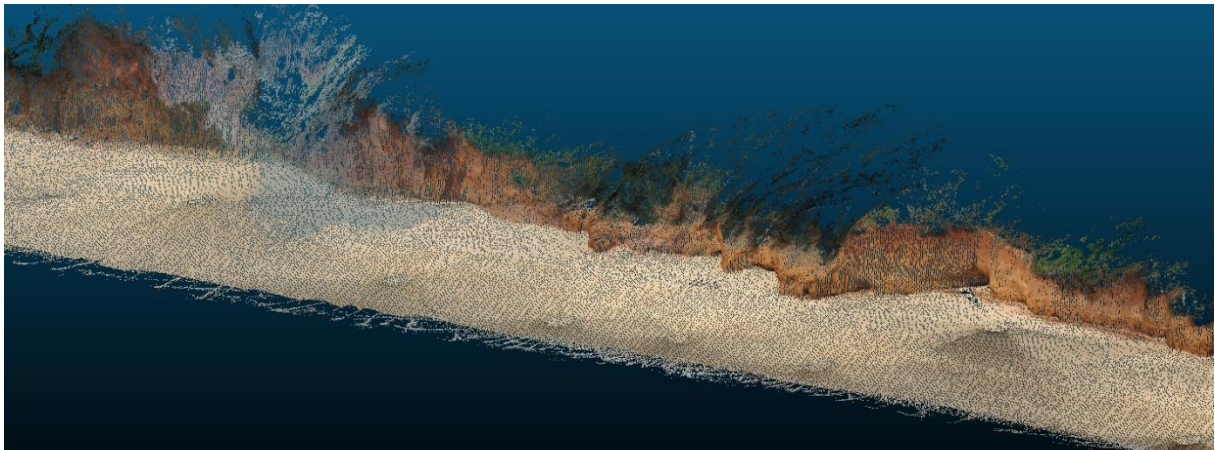


圖 3-71 烈嶼南山頭海岸點雲拼接成果

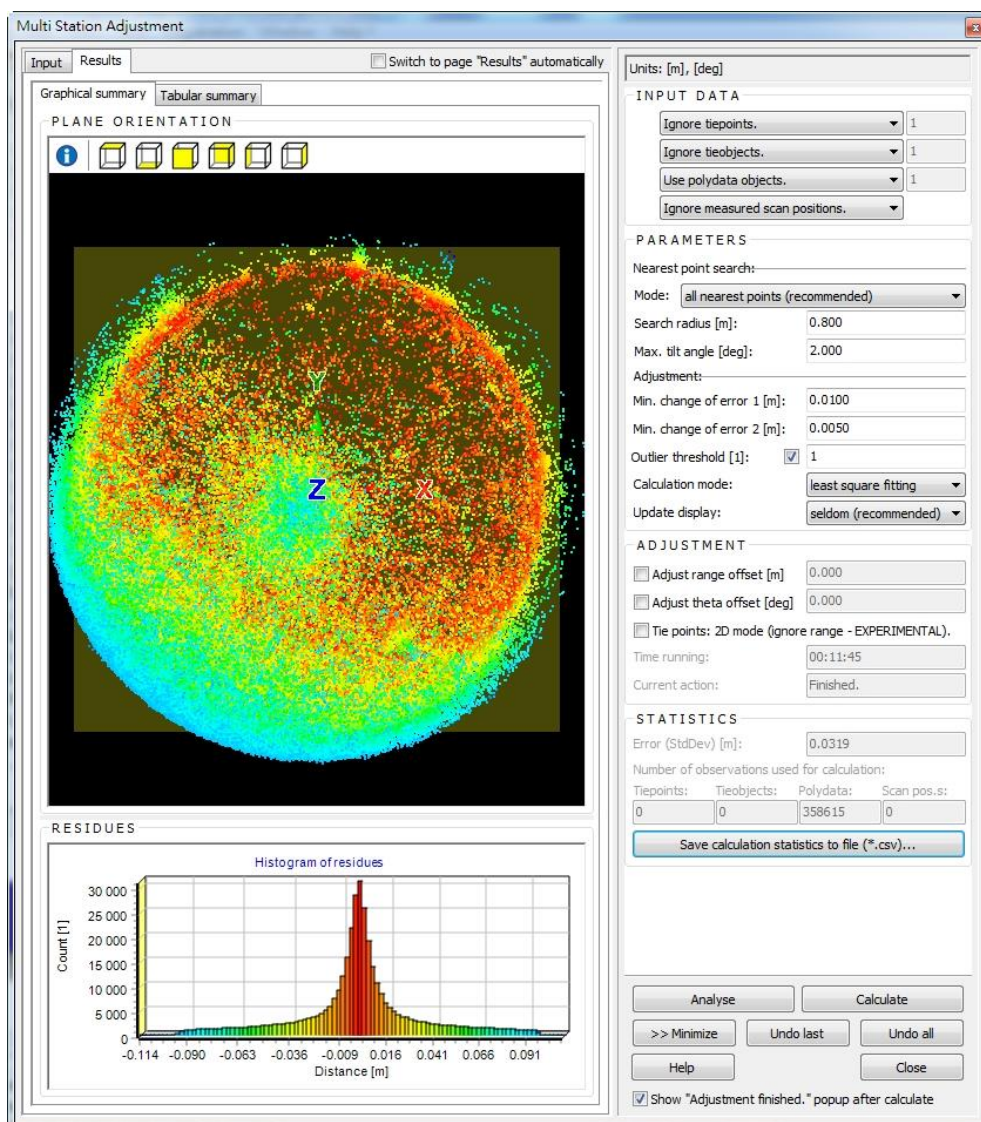


圖 3-72 烈嶼南山頭海岸點雲多站平差精度



圖 3-73 烈嶼黃厝海岸點雲拼接成果

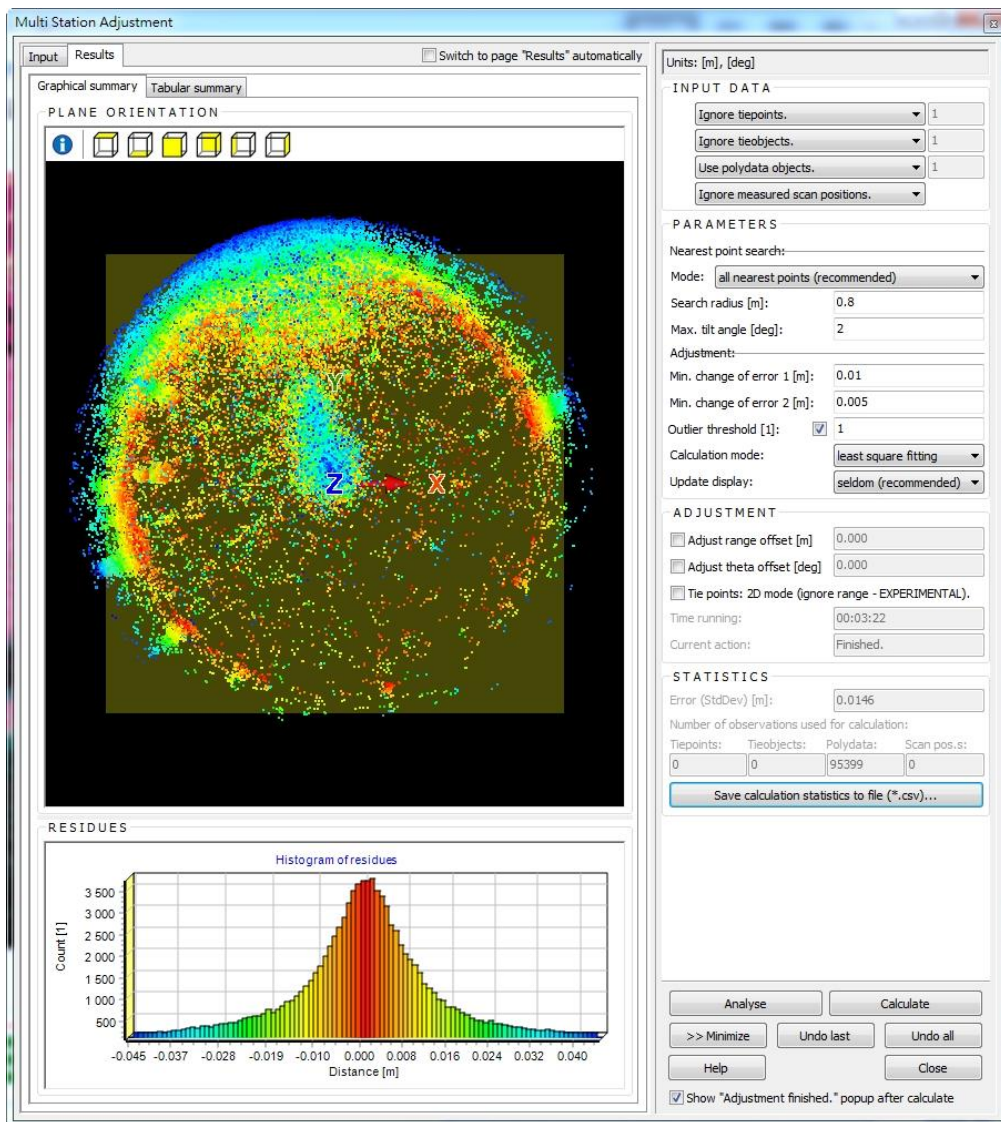


圖 3-74 烈嶼黃厝海岸點雲多站平差精度

3、 附合至國家坐標系統

經過拼接與平差過後的點雲仍屬於局部坐標系統，需利用控制點坐標將其再度轉換到絕對坐標系統，如衛星定位常用之世界大地測量坐標系統 (World Geodetic System-84, WGS84)，或國家所採用之 1997 臺灣大地基準二度分帶投影坐標系統。須注意金門地區所採用之中央經線與臺灣本島不同，為東經 119 度。控制點轉換之誤差 (表 3-13) 可作為點雲絕對坐標誤差之品質評估依據。

表 3-13 古寧頭北山斷崖海岸光達點雲控制點誤差

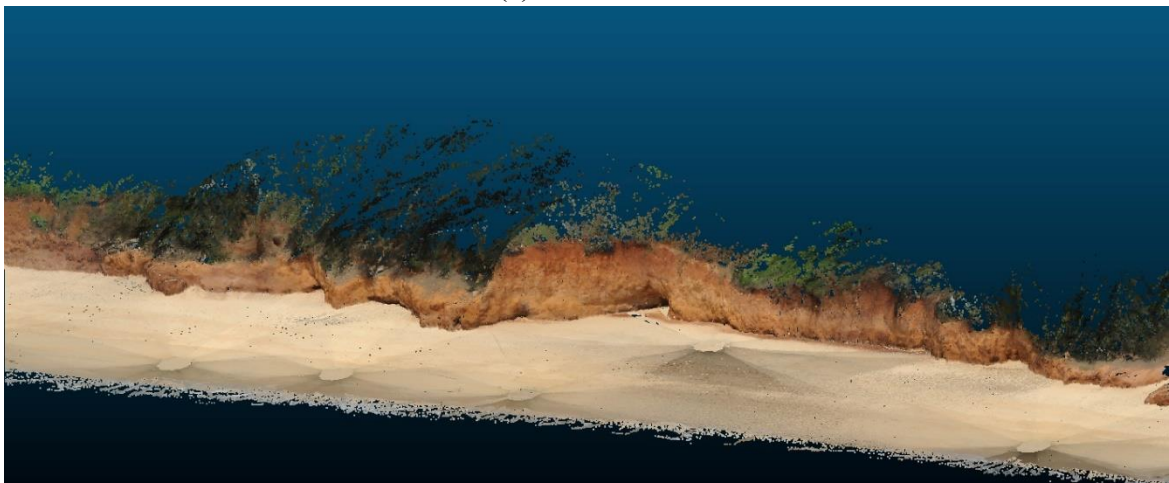
海岸	點號	控制點誤差 (公尺)		
		ΔX	ΔY	ΔZ
古寧頭北山斷崖海岸	KMNP04	-0.021	0.025	-0.020
	BSCL02	0.018	0.019	-0.003
	BSCL03	-0.007	-0.006	0.031
	BSCL05	0.004	-0.023	0.003
	BSCL06	0.006	-0.014	-0.011
烈嶼貓公石海岸	A09	0.040	-0.014	-0.002
	J070506	-0.015	0.016	0.007
	M01	-0.014	-0.019	0.004
	M02	-0.011	0.017	-0.009
烈嶼黃厝海岸	KM01	0.062	0.005	-0.058
	HL01	-0.028	0.064	0.016
	HL02	-0.017	0.055	0.049
	HL03	-0.025	0.031	0.038
	HL04	-0.009	-0.011	-0.004
	HL05	-0.023	-0.026	0.006
	HL06	-0.022	-0.064	-0.050
烈嶼南山頭海岸	HL07	0.062	-0.055	0.002
	N001	0.034	-0.017	-0.095
	NSTL01	0.016	-0.023	-0.003
	NSTL02	0.005	-0.023	0.073
	NSTL03	0.010	-0.013	0.064
	NSTL04	0.017	0.040	0.019
	NSTL05	-0.016	0.036	0.001
NSTL06	-0.066	0.001	-0.059	

4、點雲濾除分類

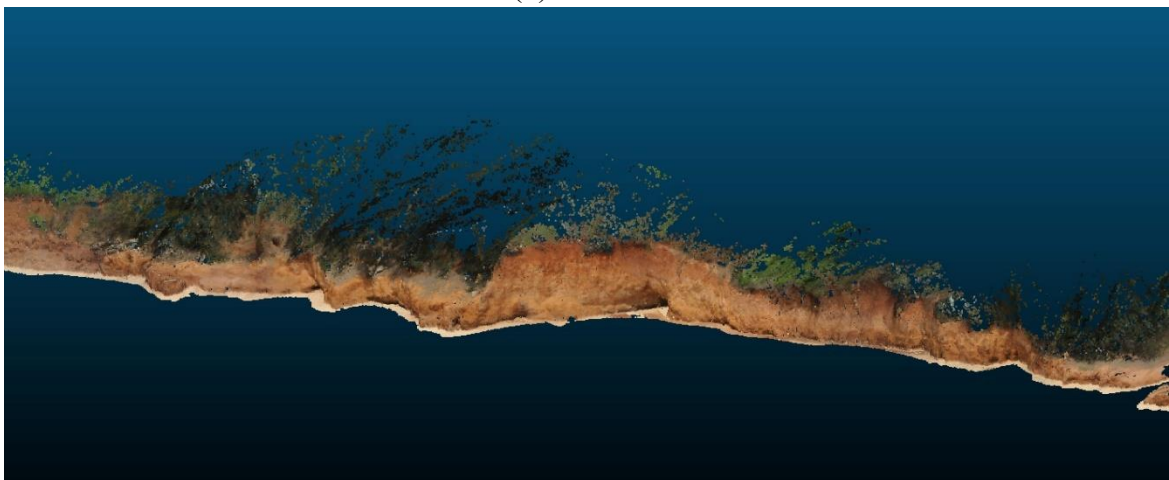
點雲資料可能蘊含水氣或其他環境物質影響所產生之雜訊點，可由反射強度 (Intensity) 或人工判釋移除之。考量產製 DEM 與分析海岸地形變遷之需求，將植被、岩石、建物構造等地物分離，僅保留地面點，再更進一步從地面點中萃取海崖，如圖 3-75 所示。



(a) 完整點雲



(b) 地面點



(c) 海崖點雲

圖 3-75 光達點雲濾除 (以烈嶼南山頭海岸為例)

(四)105 年至 112 年變異分析

1、多時期光達資料變異分析

光達資料常用於地形表面之位移監測，方法可分為模型對模型、點對模型、點對點等，如表 3-14 所述。考量海崖屬於陡峭邊坡，本計畫擬採用以 C2C 概念為基礎的 Multiscale Model to Model Cloud Comparison (M3C2) 演算法 (案例如圖 3-76) 進行海崖變異分析。

表 3-14 常用光達資料位移監測方法

方法	說明	適用性
模型對模型 DEM of Difference (DoD)	分類出點雲資料內的地面點後，產製 DEM，再以 DEM 網格差值計算的方式估算高程變化量。	適用於平坦地形，不適用於陡峭坡面 (因陡坡變動方向與差值計算方向垂直)。
點對模型 Cloud to Mesh Distance (C2M)	以前期之點雲資料產製三維 mesh 模型，並以此為參考模型，再計算後期點雲資料與此參考模型面之距離，用於分析變異程度。	產製三維 mesh 模型之過程需耗費較高的運算資源。因遮蔽或其他因素導致資料缺失處，可能組成與現實情形不符之三維 mesh 模型，需針對不符處進行編修剔除。
點對點 Cloud to Cloud comparison (C2C)	直接採用前後期點雲資料進行點雲間的比較。	保留原始點雲資料的表面細緻特徵，亦避免內插過程所產生的錯誤，適用於高密度之點雲資料。

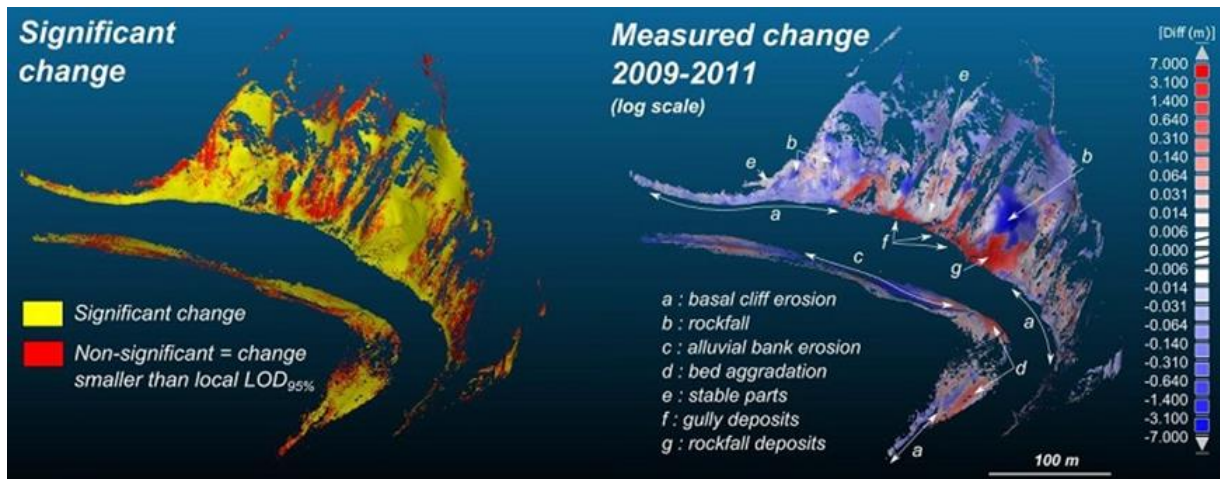


圖 3-76 M3C2 應用於邊坡變異案例

資料來源：https://www.cloudcompare.org/doc/wiki/images/f/f5/M3C2_illustration.jpg

2、海崖剖面

根據 Emery 與 Kuhn 於 1982 年提出的動態海崖剖面剖線矩陣

(Matrix of active sea-cliff profiles)，依照海崖特性、陸地(Subaerial, SA)侵蝕作用強度及海水面下(Marine, M)侵蝕作用強度對海崖剖面進行分析(圖 3-77)。故利用地面式三維雷射掃描獲取海崖剖面資訊，可以協助判斷海崖侵蝕作用的特性，並據此研擬相關策略。

(1)上方有抵抗侵蝕的岩層(圖 3-77 (B))

A、海蝕作用大者(圖 3-77 (a)或(b))：海崖剖面較陡，或呈現海蝕凹壁之情形。

B、上方降雨入滲海崖(圖 3-77 (d))：形成較緩的海崖。

(2)下方有抵抗侵蝕的岩層(圖 3-77 (C))

A、海蝕作用大者(圖 3-77 (a)或(b))：形成下方突出而上方凹向後的海崖剖面。

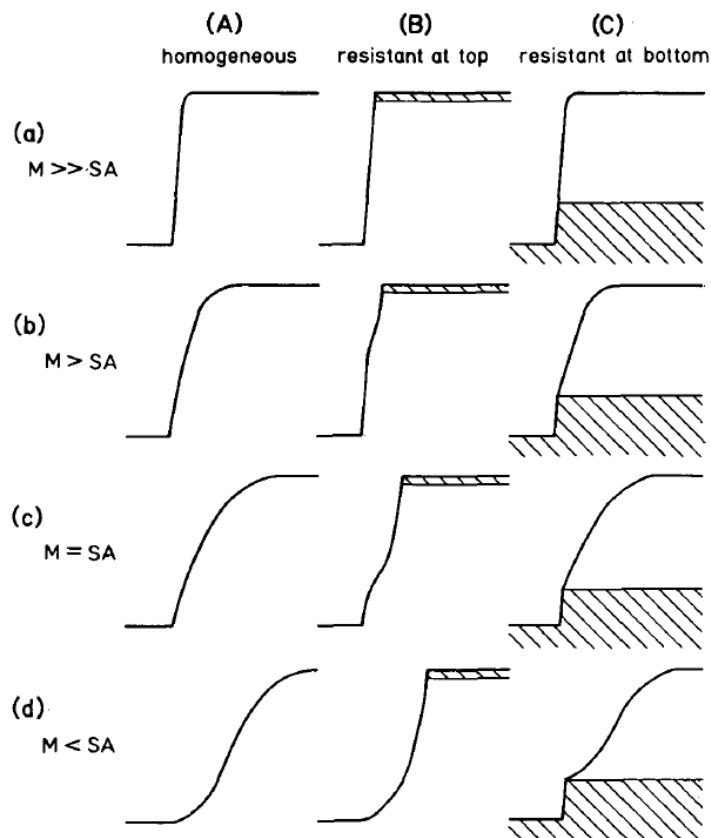


圖 3-77 動態海崖剖面剖線矩陣(Emery & Kuhn, 1982)

3、M3C2 演算法

(1)作業流程

- A、資料前處理：套疊前後期點雲，利用固定構造物（階梯、房屋、構造物等角點）確保前後期點雲間無系統誤差或其他不吻合情形。從地面點中再度分類出海崖點雲進行後續變異分析。
- B、點雲疏化：適度疏化原始點雲可在保留地表細部特徵的同時降低運算所需資源，並減緩粗差（outlier）點雲造成的影響。疏化方法為以固定間距規則對參考點雲（前期點雲）進行重新取樣得到核點，且核點亦可儲存為網格資料供其他加值應用。
- C、計算法向量：以半徑參數定義每個核點的鄰近範圍，並由鄰近範圍內的所有點雲擬合出一個表面，計算該表面之法向量（圖 3-78 a Step1）。兩期點雲的變異情形將沿著每個核點的法向量方向進行計算。
- D、距離計算：沿法向量計算兩期點雲的變異程度，不僅能忠實反映表面起伏之細節，更可避免直接計算最鄰近點距離時，因套合成果不佳所引致的錯誤（圖 3-78 b Step2）。在計算距離時，使用閾值限制核點的搜尋範圍可提升運算效率，並有效避免點雲缺失所造成的錯誤（圖 3-78 b）。

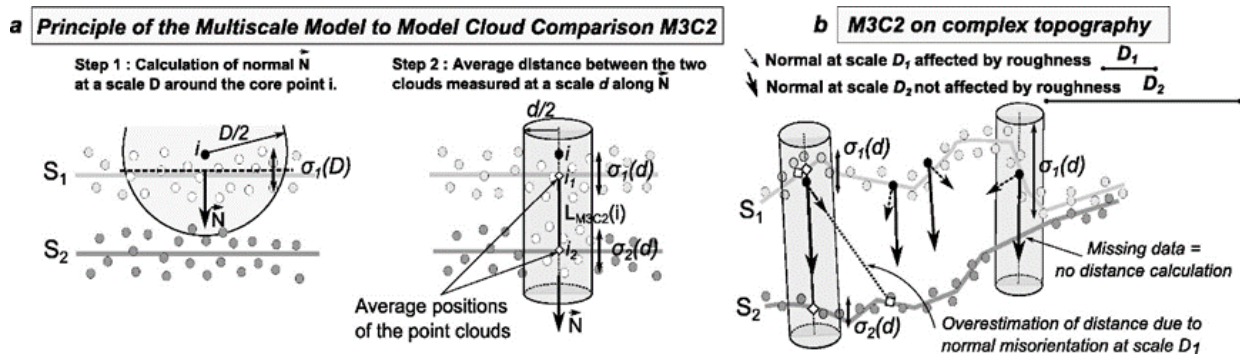


圖 3-78 M3C2 演算法說明 (Lague et al. 2013)

(2) 古寧頭北山斷崖海岸

古寧頭北山斷崖海岸 105 至 112 年間海崖變遷距離如圖 3-79 所示，其中海崖堆積情形幾乎僅發生於西北側（靠近攀繩

處) 碉堡下方；侵蝕最嚴重處發生於東南側海灘(圖中深藍色區域)，與圖 5-22(98 年至 112 年間歷史影像海岸線變化情形) 相呼應。將變動量大或值得關注的海岸段編號後，分區計算侵蝕情形(圖 3-38) 並繪製斷面圖如后。

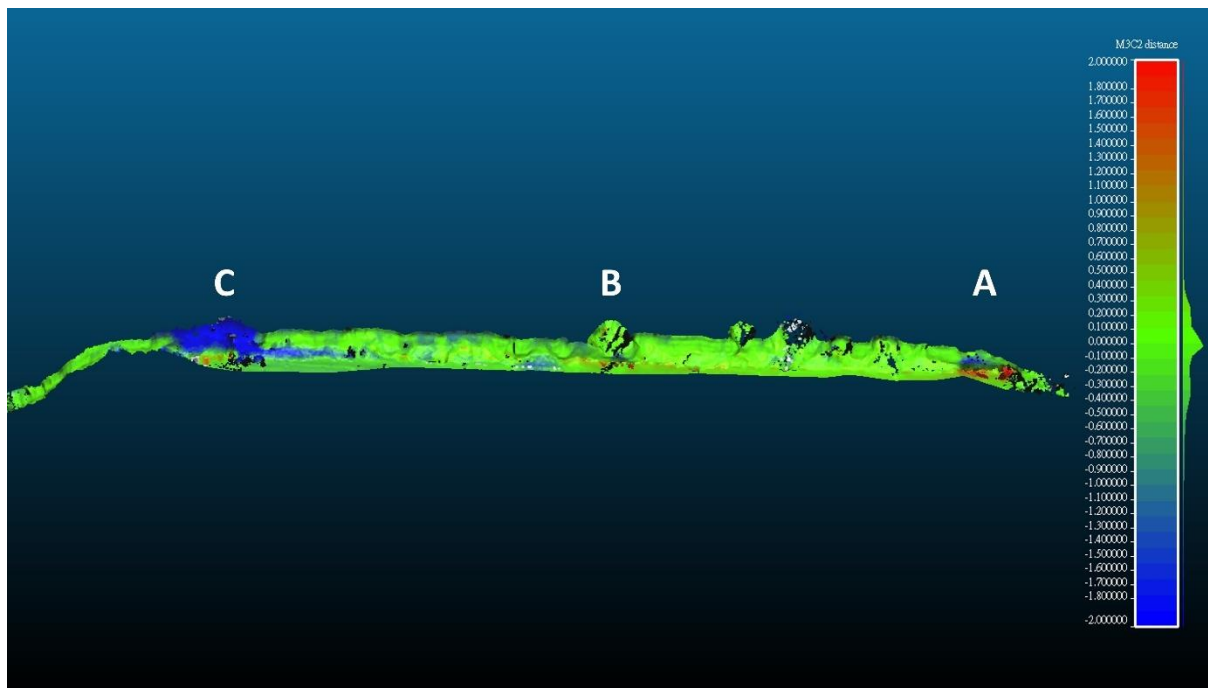


圖 3-79 古寧頭北山斷崖海岸 105 至 112 年 M3C2 變異距離



圖 3-80 古寧頭北山斷崖海岸變異分析關注岸段與断面位置

A、西北側碉堡下方



(a) 105 年光達點雲



(b) 112 年光達點雲

圖 3-81 古寧頭北山斷崖海岸 A 區點雲

表 3-15 古寧頭北山斷崖海岸 A 區斷面圖與說明

斷面圖	說明
<p style="text-align: center;">古寧頭北山斷崖斷面編號 1546</p>	<p>本段海崖受上方碉堡保護，故下方崖錐堆積後坡腳又受侵蝕，形成較陡的坡面。</p>

B、海崖中段侵蝕凹陷



(a) 105 年光達點雲

(b) 112 年光達點雲

圖 3-82 古寧頭北山斷崖海岸 B 區點雲

表 3-16 古寧頭北山斷崖海岸 B 區斷面圖與說明

斷面圖	說明
<p>古寧頭北山斷崖海岸斷面編號1111</p> <p>高程(公尺)</p> <p>— 105年 — 112年</p> <p>距離(公尺)</p>	<p>崖底有後退及沉積物堆積的現象，堆積高度約 50 公分至 1 公尺。</p>
<p>古寧頭北山斷崖海岸斷面編號1028</p> <p>高程(公尺)</p> <p>— 105年 — 112年</p> <p>距離(公尺)</p>	<p>海崖上方與下方均受風化侵蝕影響損失土砂，海崖坡度則趨緩。</p>

C、東南側海灘



圖 3-83 古寧頭北山斷崖海岸 C 區點雲

表 3-17 古寧頭北山斷崖海岸 C 區斷面圖與說明

斷面圖	說明
<p>古寧頭北山斷崖海岸斷面編號739</p> <p>高程(公尺)</p> <p>— 105年 — 112年</p> <p>距離(公尺)</p>	<p>風化後的坡底沉積物受搬運作用移出，導致海崖坡度變陡。</p>
<p>古寧頭北山斷崖海岸斷面編號650</p> <p>高程(公尺)</p> <p>— 105年 — 112年</p> <p>下方海崖</p> <p>距離(公尺)</p>	<p>此段為古寧頭北山斷崖海岸侵蝕作用最明顯之處，上方海崖後退的距離達 6 公尺以上，從歷史影像中亦可觀察出相同情形；下方海崖後退距離約 3 公尺左右。</p>

(3) 烈嶼南山頭海岸

烈嶼南山頭海岸 105 至 112 年間海崖變遷距離如圖 3-84 所示，靠近青岐碼頭處幾乎受沙灘沉積物覆蓋，海崖出露面積小且無明顯變異；海岸中段有部分侵蝕現象；侵蝕最嚴重處位於西南側金門層露頭範圍之海崖。將侵蝕較嚴重的海岸段編號後，分區計算侵淤情形（圖 3-85）並繪製斷面圖如后。

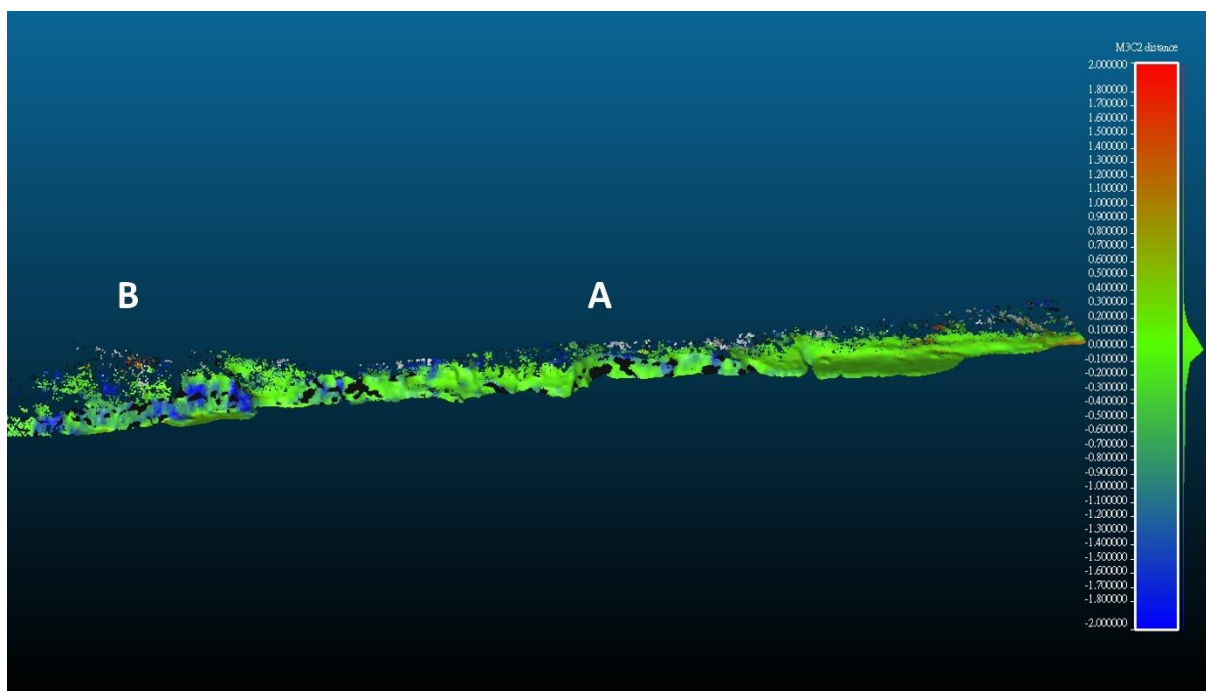


圖 3-84 烈嶼南山頭海岸 105 至 112 年 M3C2 變異距離



圖 3-85 烈嶼南山頭海岸海岸變異分析關注岸段與断面位置

A、海崖中段倒懸



圖 3-86 烈嶼南山頭海岸 A 區點雲

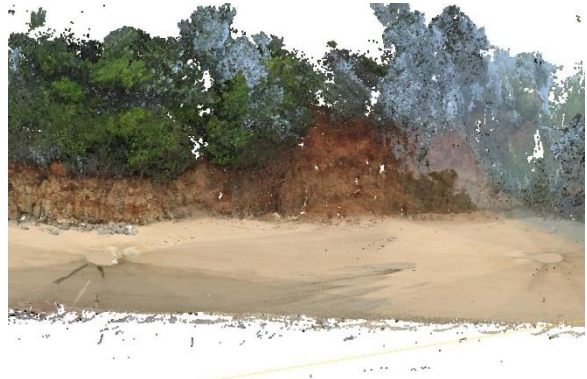
表 3-18 烈嶼南山頭海岸 A 區斷面圖與說明

斷面圖	說明
<p>烈嶼南山頭海岸編號1027</p> <p>崖頂</p> <p>灘面位置</p> <p>— 105年 — 112年</p> <p>1.84 m</p>	<p>於 105 年光達掃描資料中可見海崖受拍浪作用，導致坡腳侵蝕掏空之端倪。在 112 年光達掃描資料中則能更加明顯看出倒懸之形狀。坡腳後退凹陷距離約達 1.84 公尺。</p>

B、西南側金門層露頭處



105 年



112 年

圖 3-87 烈嶼南山頭海岸 B 區點雲

斷面圖	說明
<p>烈嶼南山頭海岸斷面編號451</p> <p>高程(公尺)</p> <p>距離(公尺)</p> <p>— 105年 — 112年</p>	<p>坡底沉積物遭受搬運作用，海崖下半部明顯後退超過 2 公尺。</p>
<p>烈嶼南山頭海岸斷面編號177</p> <p>高程(公尺)</p> <p>距離(公尺)</p> <p>— 105年 — 112年</p>	<p>上方岩層堅硬，無明顯侵蝕作用，海崖下方侵蝕後退約 1 公尺。</p>

肆、沙灘區沉積物粒徑分布分析

一、沙灘區沉積物取樣

為了解海岸沉積物粒徑分佈與其特性，計畫要求於計畫範圍內全數 7 處海岸（古寧頭北山斷崖海岸、古寧頭北山海堤海岸、金湖新頭海岸、烈嶼貓公石海岸、烈嶼黃厝海岸、烈嶼 L56 據點海岸、烈嶼南山頭海岸）進行沙灘沉積物之採樣與分析。在採樣作業前將會以圖面作業方式規劃採樣點，且於進行即時動態衛星定位測量的 5 處進行採樣時，可配合即時動態定位衛星施測位置進行採樣。

(一) 作業規劃

- 1、採樣時間：除冬末（3 至 4 月）外，執行團隊於古寧頭北山斷崖及烈嶼南山頭等 2 處重要岸段，優規規劃額外一期夏末（10 月）之採樣工作，以掌握不同季節堆積與侵蝕對沙灘區沉積物所造成之影響。
- 2、採樣間距：於沙灘面長側每 200 公尺採樣 1 點，寬側每 20 公尺採樣 1 點，範圍涵蓋整個目標沙灘區域。
- 3、採樣數量：每個樣本點預計採 100 公克左右沉積物。

(二) 採樣情形

執行團隊已於 112 年度完成全數 7 處海岸之採樣作業，採樣情形及採樣點位置如表 4-1 及圖 4-1 至圖 4-7 所示。

表 4-1 各樣區採樣數量統計

樣區	採樣數量	採樣時間	特性
古寧頭北山斷崖海岸	10	112 年 4 月	北側海岸（貓公石）
古寧頭北山海堤海岸	10	112 年 4 月	北側海岸（貓公石）
金湖新頭海岸	15	112 年 4 月	南側海岸（純沙岸）
烈嶼貓公石海岸	2	112 年 8 月	北側海岸（貓公石）
烈嶼黃厝海岸	20	112 年 4 月	北側海岸（貓公石）
烈嶼 L56 據點海岸	2	112 年 8 月	北側海岸（純沙岸）
烈嶼南山頭海岸	15	112 年 4 月	南側海岸（純沙岸）

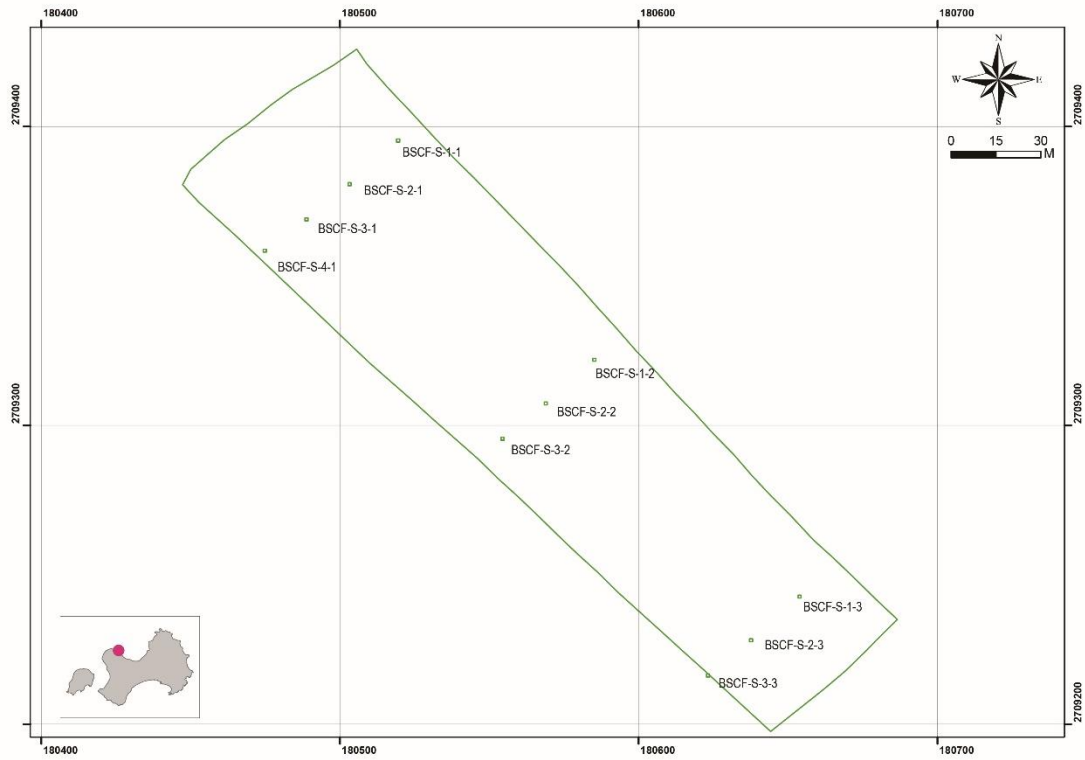


圖 4-1 古寧頭北山斷崖海岸樣區取樣位置

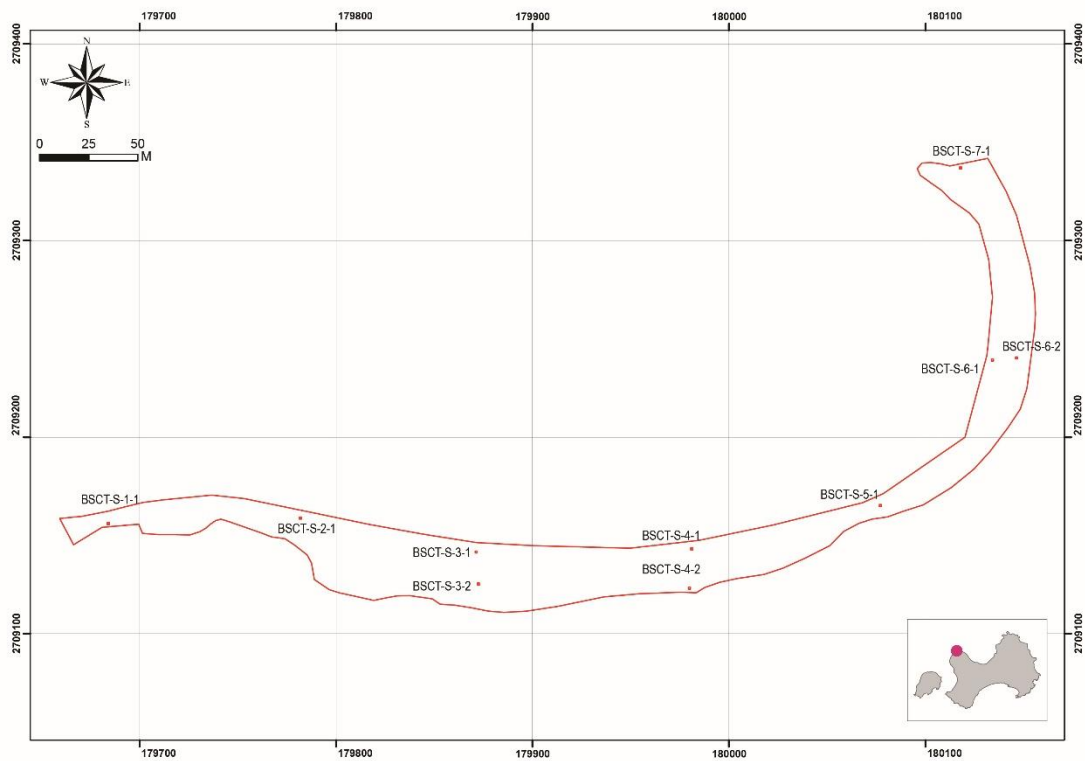


圖 4-2 古寧頭北山海堤海岸樣區取樣位置

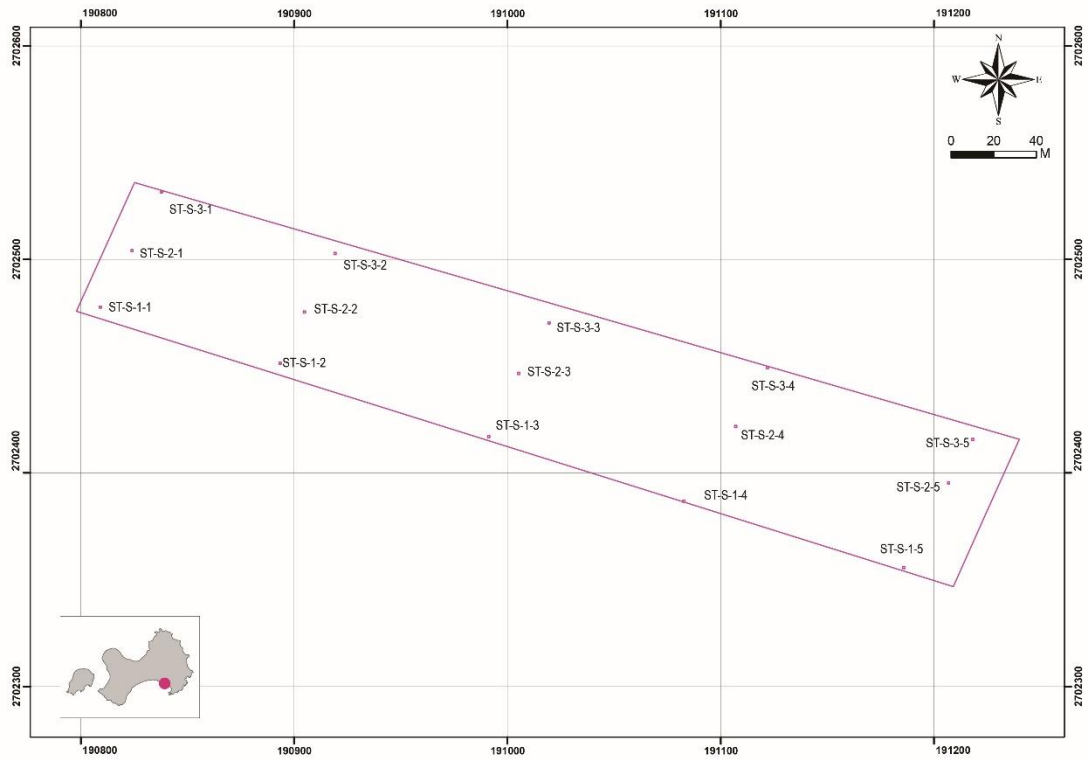


圖 4-3 金湖新頭海岸樣區取樣位置

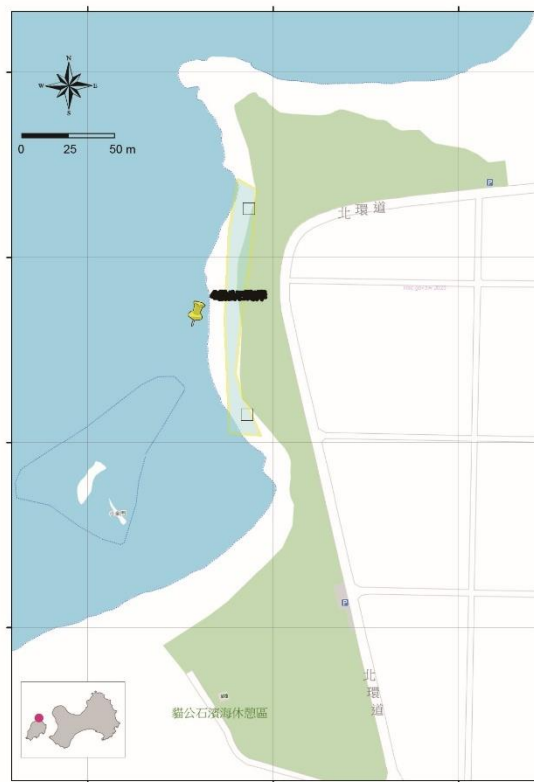


圖 4-4 烈嶼貓公石海岸樣區取樣位置

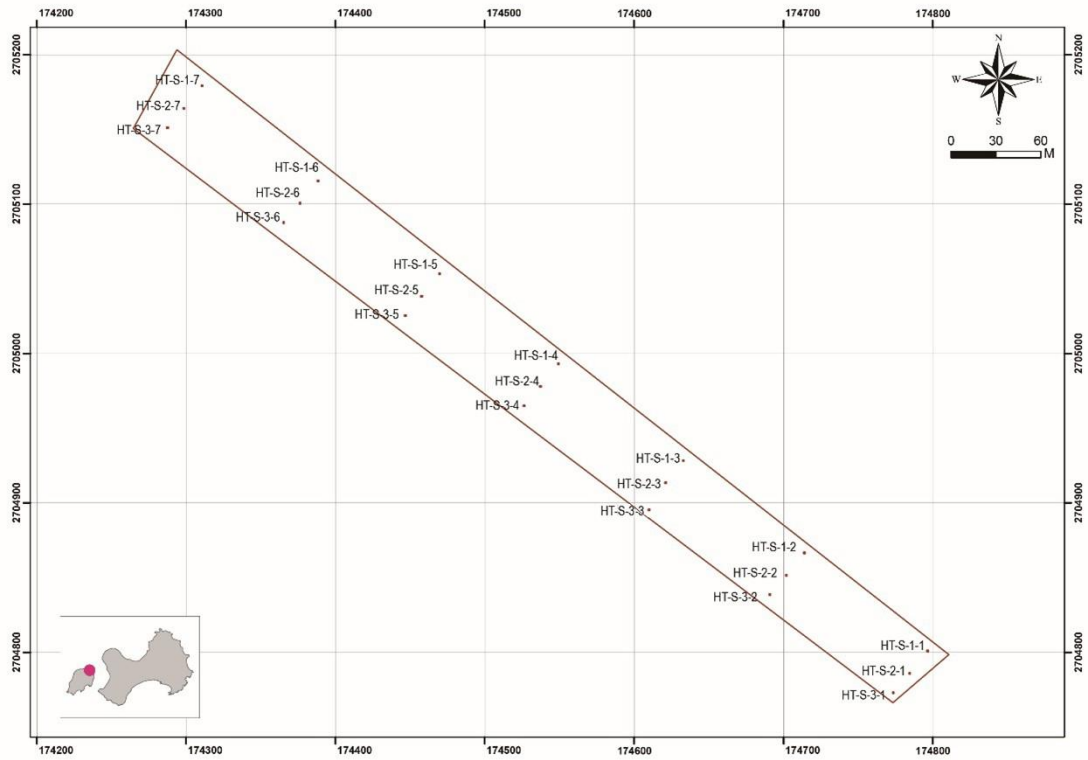


圖 4-5 烈嶼黃厝樣區取樣位置



圖 4-6 烈嶼 L56 據點海岸樣區取樣位置

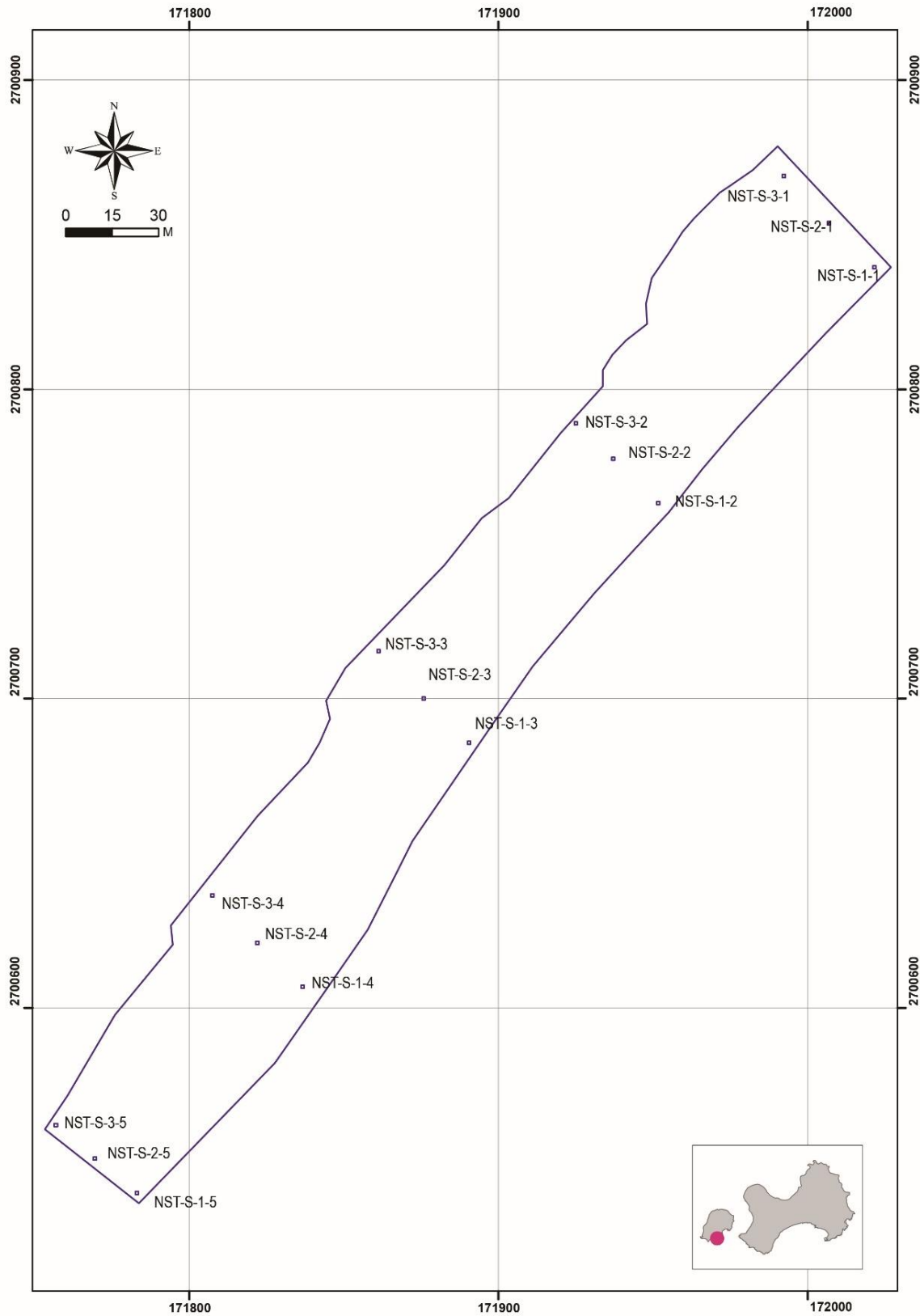


圖 4-7 烈嶼南山頭樣區取樣位置

二、沉積物粒徑分析

每個樣本點採樣物約 100 至 300 公克，送至實驗室進行後續分析，以了解沉積環境及沉積粒徑分布狀況。由於沉積物粒徑分布較廣，執行團隊將粒徑分析實驗分成兩個部分：較大 (0.063 mm 以上) 粒徑的礫石、砂與粉砂利用篩分析；較小 (0.063 mm 以下) 粒徑範圍則利用雷射粒徑分析儀進行分析。

(一) 篩分析

執行團隊採用的篩網共有九級，分別為 16 mm、8 mm、4 mm、2 mm、1 mm、0.5 mm、0.25 mm、0.125 mm 與 0.063 mm 等。將樣本以攝氏 50 度烘乾 24 小時後，再將乾燥樣本放入最大篩網上開始進行搖篩。粗粒沉積物會被留在篩網上，細粒的沉積物則會掉落。20 分鐘後將各篩網內的沉積物進行秤重與統計分析，可以獲得一系列粒徑的沉積物重量，回推該粒徑沉積物占整體的比例，並藉以了解其沉積環境與特性。依據英國標準協會劃分 (圖 4-8)，2 mm 以上屬於礫的粒徑，2 mm 至 0.06 mm 屬於砂粒徑，0.06 mm 至 0.002 mm 屬於粉砂粒徑，0.002 mm 以下屬於黏土粒徑。執行團隊將上述各篩粒徑劃分整合成 2 mm 以上之礫粒徑範圍、2 mm 至 0.063 mm 的砂粒徑範圍、0.063 mm 以下則屬於利用雷射粒徑分析儀分析的粉砂與黏土粒徑範圍。

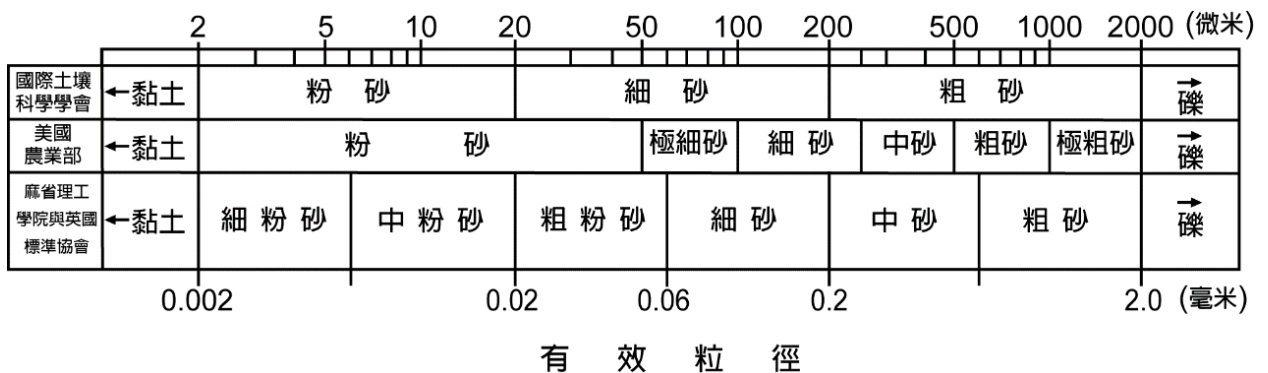


圖 4-8 沉積物粒徑表

(二)雷射分析

1、採用設備

雷射粒徑分析採用國立高雄師範大學地理系之 Microtrac S3500 雷射粒徑分析儀，設備規格如圖 4-9 所示，設備外觀如圖 4-10 所示。



TECHNICAL DATA

Measuring range	0.02 µm - 2.8 mm
Measuring principle	Laser diffraction
Lasers	3x Red 780 nm
Laser power	3 mW nominal
Detection system	Two fixed photo-electric detectors with logarithmically spaced segments placed at correct angles for optimal scattered light detection from 0.02 to 165 degrees using 151 detector segments.
Data	Volume, number and area distributions as well as percentile and other summary data
Data format	Stored in ODBC format in encrypted Microsoft Access Databases to ensure compatibility with external statistical software applications.
Data integrity	Data integrity may be ensured using FDA 21 CFR Part 11 compliant security features including password protection, electronic signatures and assignable permissions
Measuring time	~ 10 to 30 seconds
Power requirements	AC input: 90 - 132 VAC, 47 - 63 Hz, single phase 200 to 265 VAC, 47 - 63 Hz, single phase
Power consumption	25 W nominal, 50 W max. (depending on options installed)
Environmental conditions	Temperature: 5° to 40° Celsius (50° to 95° Fahrenheit) Humidity: 90% RH, non- condensing maximum Storage temperature: -10° to 50° Celsius (14° to 122° Fahrenheit) (dry only) Pollution: Degree 2
Physical specifications	Case Material: Steel and impact resistant plastic Exterior surfaces are finished with corrosion resistant paint or plating
Dimensions (W x H x D)	~ 560 x 360 x 460 mm (22 x 14 x 18 in)
Weight	~ 27 kg (60 lbs)
Eductor air supply	100 psi (689 kPa) maximum pressure 5 CFM (8,5 m3/h) at 50 psi (345 kPa) minimum flow rate Free of dry contaminants, moisture and oil
Vacuum	Vacuum must exceed 50 CFM

圖 4-9 Microtrac S3500 雷射粒徑分析儀規格

資料來源：<https://www.microtrac.com/products/particle-size-shape-analysis/laser-diffraction/s3500/>



圖 4-10 Microtrac S3500 雷射粒徑分析儀

2、分析步驟

分析步驟參考 Lewis (1994) 及游玉璇 (2021) 的方法加以設計，粒徑較小砂泥質樣本分析前處理步驟如下：

- (1) 將數克的細顆粒樣本置入 50 ml 的抗酸鹼硬樹脂離心管中，加入 30 ml 的 35% 雙氧水 (H_2O_2)，靜置 24 小時，使其充分去除沉積物中的有機質。
- (2) 靜置 24 小時之後，置入離心機中，以轉速 3000 rpm 離心 8 分鐘，使沉積物沉澱，並與溶液分離，以便利用滴管抽取出沉積物上層的雙氧水溶液。
- (3) 加入純水至離心管 8 分滿高度，置入離心機中，以轉速 3000 rpm 離心 8 分鐘。離心後，利用滴管抽取出純水，並重複此步驟清洗 3 次，至澄清為止。
- (4) 將清洗後的樣本浸泡於 8% 的六偏磷酸鈉 ($(NaPO_3)_6$) 溶液中，靜置 24 小時，使沉積物顆粒達電中性，以避免絮凝作用導致顆粒聚集。
- (5) 使用超音波震盪器震盪樣本離心管 30 秒，確保沉積物顆粒完全分離，即可上機進行粒徑分析。
- (6) 將樣本置入雷射粒徑分析儀 Microtrac S3500 進行粒徑分析。

(三)初步分析成果

成果顯示所有樣區樣本的粉砂與黏土佔比都極低，接近於 0，因此均分布在三角圖的底邊。各海岸樣區分析成果分述如后。

1、古寧頭北山斷崖海岸樣區

古寧頭北山斷崖海岸沉積物（圖 4-11）靠海側大部分為砂粒徑，少部分為礫石粒徑；越靠近海崖則砂粒徑比例降低，礫石粒徑比例增加；靠近海崖側樣本則是以礫石粒徑為主。沙灘表面堆積的物質是由海崖被侵蝕後退產生，以及沿岸流帶來的沉積物所構成，上述沉積物粒徑分布的空間特性充分表現古寧頭北山斷崖海岸的特性：海崖側受到海浪搬運作用侵蝕後退，因此屬於礫石粒徑的貓公石碎屑堆積在靠海崖側，且越靠近海崖處粒徑越大；沙灘上越靠海側，砂粒徑沉積物的比例越高，顯示此類堆積沉積物是由沿岸流所帶來。

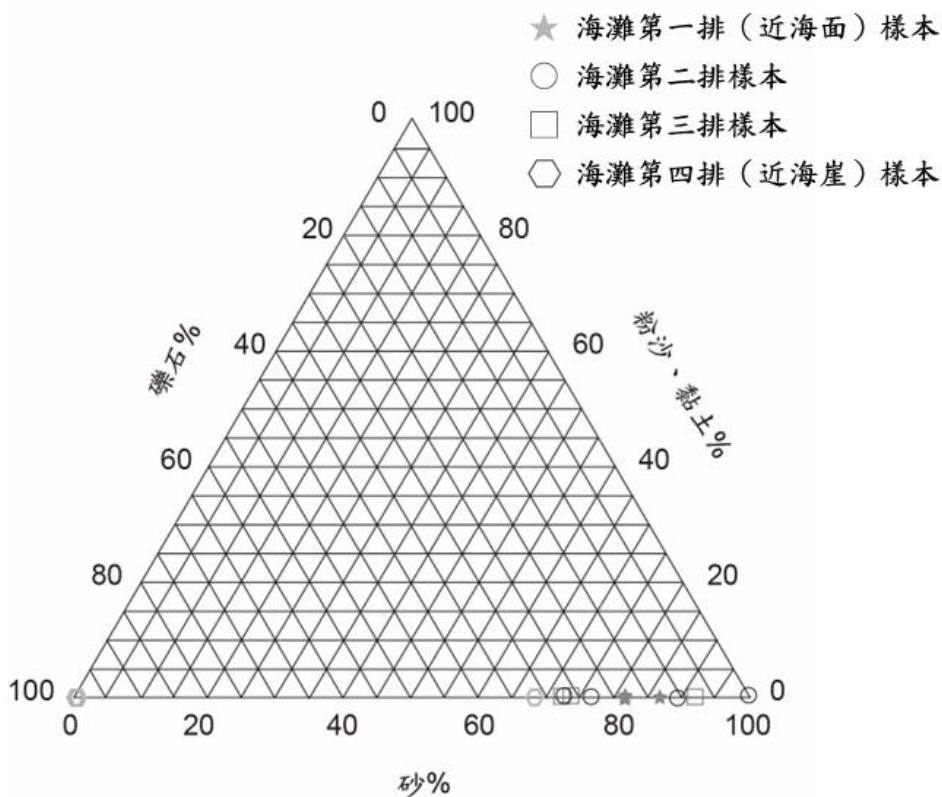


圖 4-11 古寧頭北山斷崖海岸沉積物粒徑分布圖

2、古寧頭北山海堤海岸樣區

古寧頭北山海堤海岸沉積物（圖 4-12）靠近海崖側以砂粒徑為主；越靠近海面，則砂粒徑比例降低，礫石粒徑比例上升。這些礫石粒徑的沉積物是海崖受侵蝕後退所產生的貓公石碎屑，受到海浪搬運作用後堆積在靠海面側。北山斷崖與北山海堤位置雖相近，粒徑分布卻呈現相反現象：北山斷崖的貓公石碎屑被推到坡腳堆積；北山海岸貓公石碎屑則堆積在海岸與泥灘交界處。兩者差異主要在有無廣潮汐灘地保護：北山斷崖無寬廣潮汐灘地保護，海崖受颱風暴潮侵蝕造成貓公石崩落，堆積在高潮線附近；北山海堤有寬廣潮汐灘地保護，因此沙灘以砂粒徑為主，較粗粒徑沉積物出現在低潮位附近。

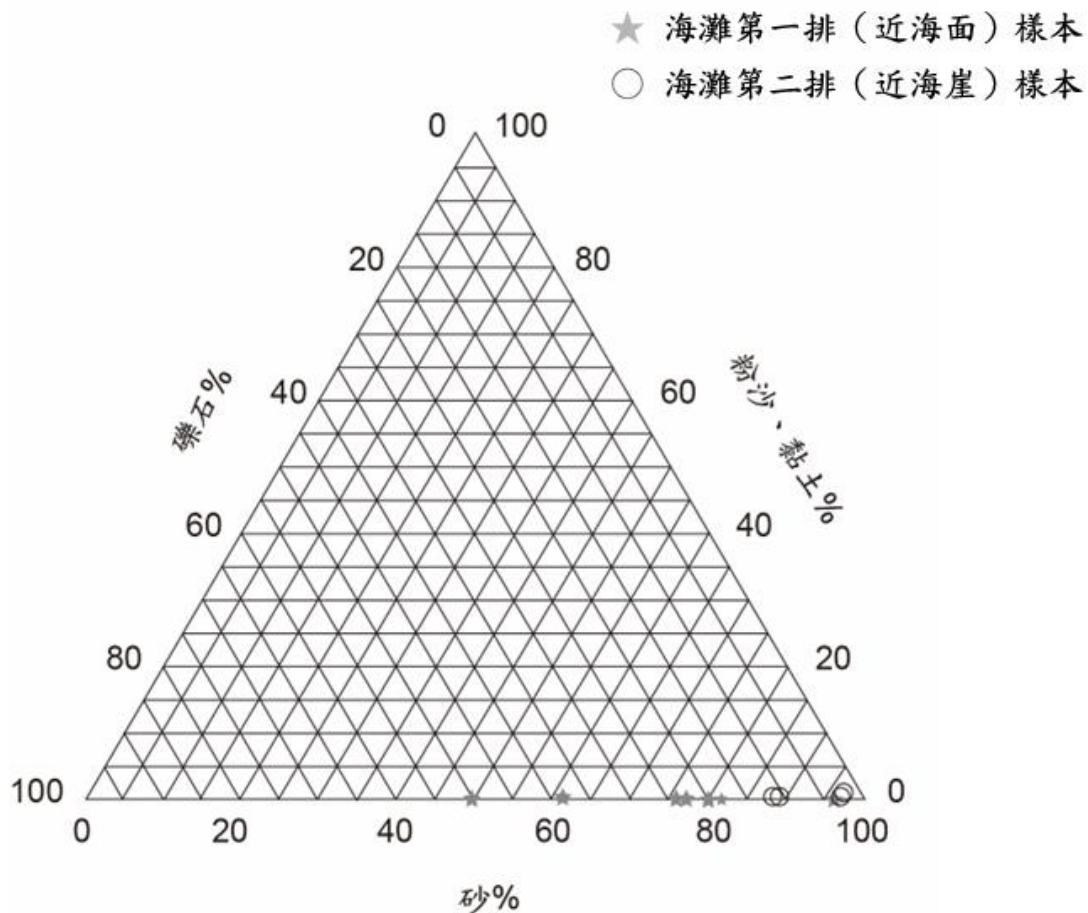


圖 4-12 古寧頭北山海堤海岸沉積物粒徑分布圖

3、金湖新頭海岸樣區

金湖新頭海岸沉積物粒徑（圖 4-13）超過 95% 屬於砂粒徑，其餘粒徑沉積物佔比非常低，與烈嶼南山頭海岸的沙灘沉積物情形相似。金湖新頭海岸主要是由砂粒徑沉積物堆積，因此容易在暴潮與颱風期間形成明顯侵蝕，又在東北季風時期堆積回復。

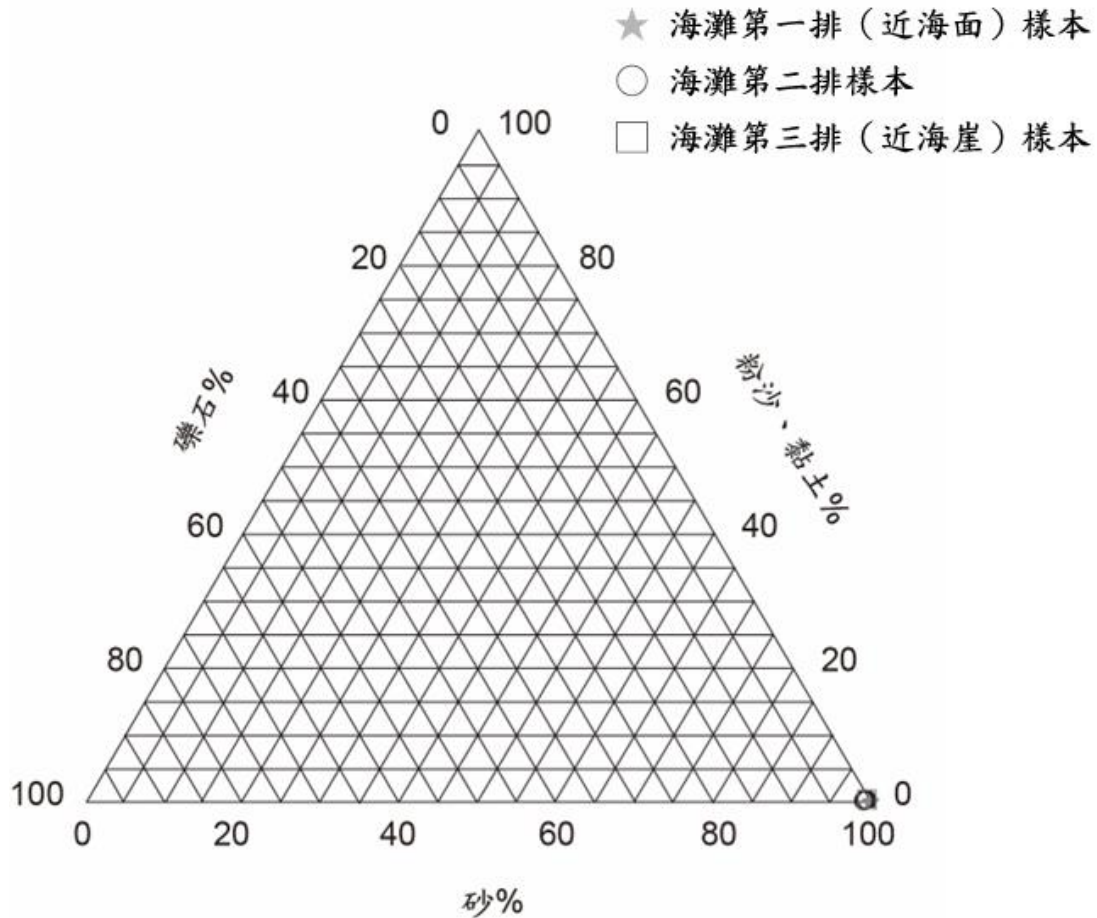


圖 4-13 金湖新頭海岸沉積物粒徑分布圖

4、烈嶼貓公石海岸樣區

由於烈嶼貓公石海岸寬度較窄，因此僅在海灘中段兩側進行採樣。其樣本（圖 4-14）顯示以砂粒徑為主，約佔 75%至 80%；其餘則為礫石粒徑，約佔 20%至 25%，主要由貓公石碎屑構成。烈嶼貓公石海岸之海崖受侵蝕後退產生貓公石碎屑，礫石堆積在本段灘面上。

★ 海灘中段採樣樣本

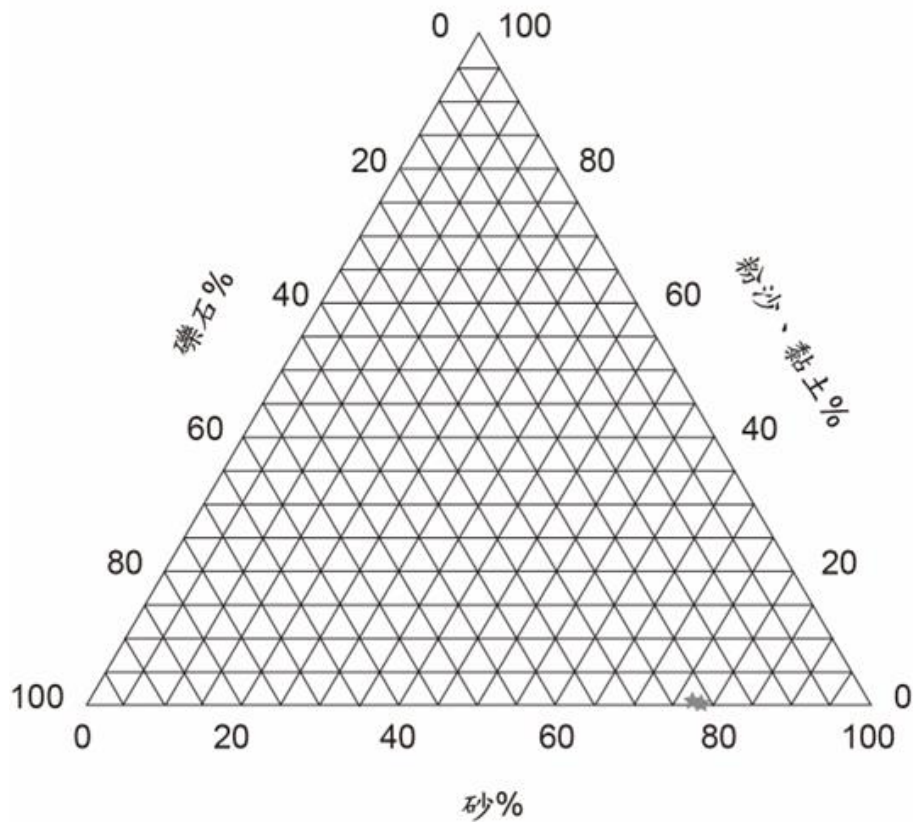


圖 4-14 烈嶼貓公石海岸沉積物粒徑分布圖

5、烈嶼黃厝海岸樣區

烈嶼黃厝海岸沉積物（圖 4-15）中，沉積物粒徑以砂粒徑為主，約佔 50%至 88%；其次則以礫粒徑為主，約佔 15%至 48%。結果顯示烈嶼黃厝海岸沉積物可能受到貓公石風化崩落的影響，因此在海灘上有許多礫粒徑沉積物，其粒徑分佈反映現地地質多受貓公石的貢獻，而此波浪作用可能與海岸所在位置有所關聯。

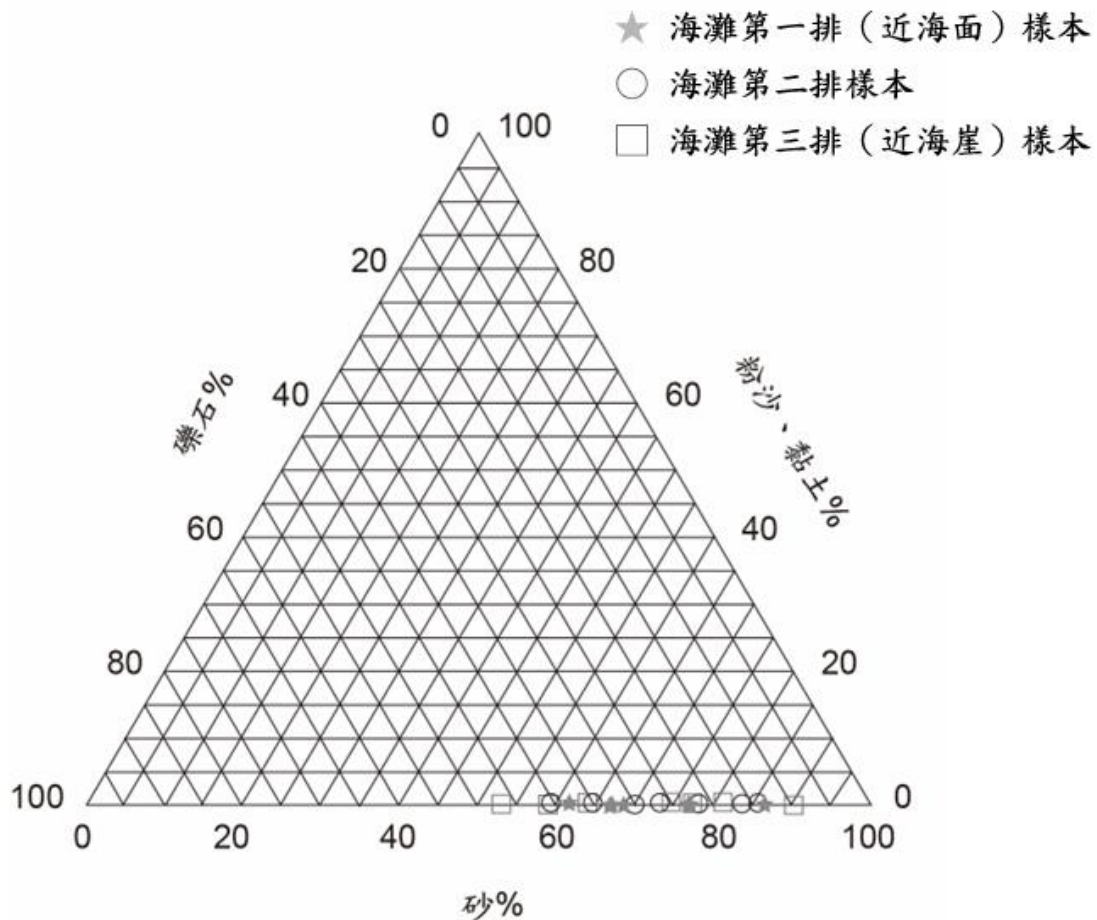


圖 4-15 烈嶼黃厝海岸沉積物粒徑分布圖

6、烈嶼 L56 據點海岸樣區

由於烈嶼 L56 據點海岸寬度較窄，因此在海灘中段兩側進行沙灘區沉積物採樣。其樣本（圖 4-16）顯示主要以砂粒徑為主。

★ 海灘中段採樣樣本

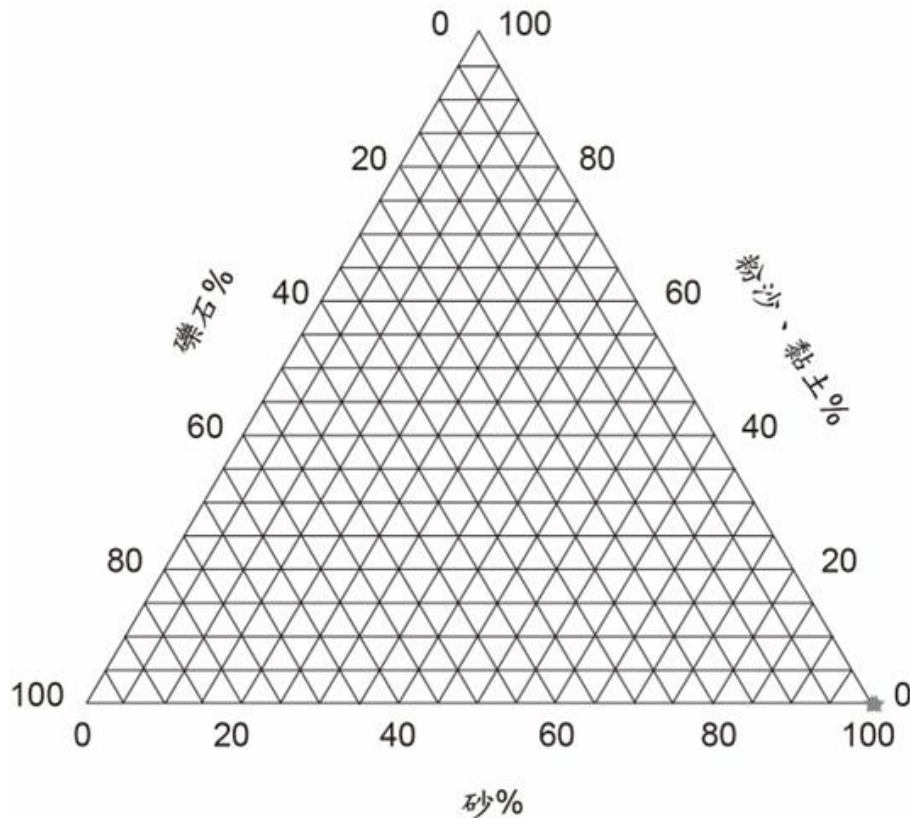


圖 4-16 烈嶼 L56 據點海岸沉積物粒徑分布圖

7、烈嶼南山頭海岸樣區

烈嶼南山頭海岸沉積物（圖 4-17）中，近海崖的樣本幾乎均為砂粒徑；海灘中段樣本的砂粒徑比例些微下降至 87%，礫石粒徑比例上升至 13%；近海面的樣本粒徑分布則較廣，砂粒徑比例自 44% 至 94% 不等，礫石粒徑自 6% 至 56% 不等。從現地照片（圖 4-18）可以觀察到有許多礫石粒徑的沉積物出現在海灘靠近海面處，與高礫石粒徑比例、低砂粒徑比例的樣本資料相互呼應。其中靠近金門層處黏土粒徑非常容易被海水帶離，不易出現在沙灘上，因此取樣

與粒徑分析時未能顯示。

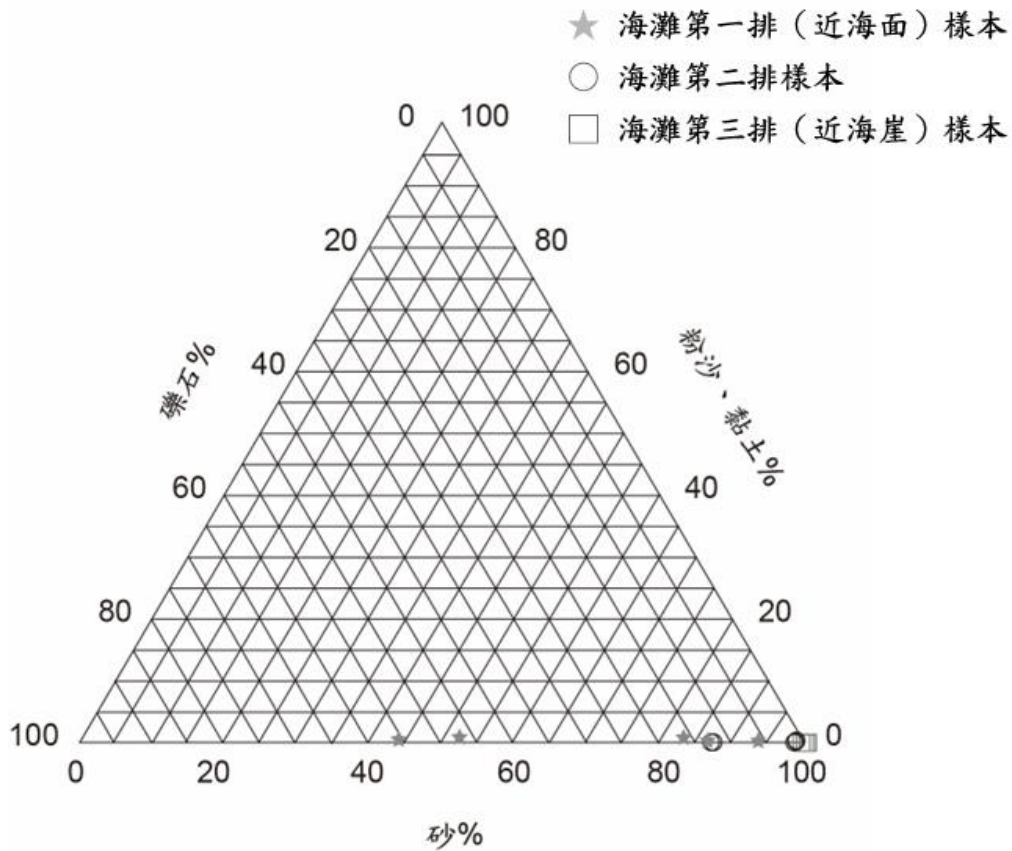


圖 4-17 烈嶼南山頭海岸沉積物粒徑分布圖



圖 4-18 烈嶼南山頭海岸靠海側礫石堆積

伍、套繪分析重要岸段之海岸線變化情形

執行團隊規劃採用歷史航遙測影像及本計畫 UAV 正射影像分析套繪古寧頭北山斷崖海岸、古寧頭北山海堤海岸、金湖新頭海岸、烈嶼貓公石海岸、烈嶼黃厝海岸、烈嶼 L56 據點海岸、烈嶼南山頭海岸等 7 處重要海岸線變化情形。

一、蒐集既有影像

執行團隊目前蒐集歷史影像包含 47 年 U2 拍攝原始像片 (圖 5-1) 及 98 年金門縣五千分之一正射影像 (圖 5-2)。其中 U2 影像已經過初步拼接, 但仍不具有坐標資訊。考量 U2 影像距今已逾 60 年, 大部分地物如坵塊、道路等均已改變, 惟三合院等歷史建築變動較小, 建議後續應利用歷史建築搭配地籍圖等資料進行影像對位套疊。

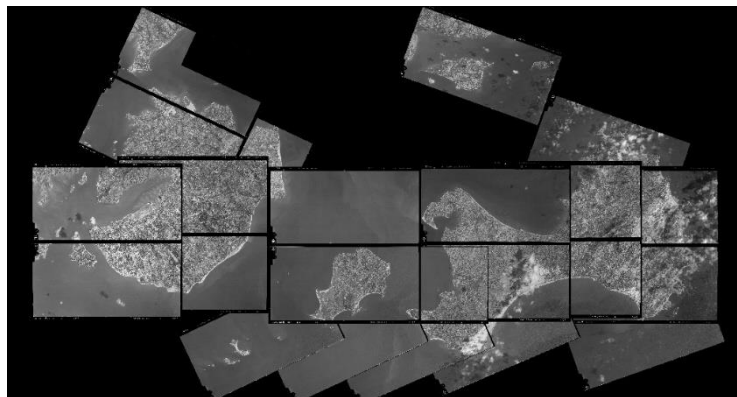


圖 5-1 47 年 U2 拍攝原始像片初步拼接成果



圖 5-2 98 年金門縣五千分之一正射影像

二、無人飛行載具航空攝影測量

無人機航空攝影測量 (Aerial Photogrammetry) 之作業項目自規劃、無人機航拍，經空中三角測量 (Aerial Triangulation)、影像處理流程，產製正射影像，流程如圖 5-3 所示。執行團隊規劃於古寧頭北山斷崖海岸、古寧頭北山海堤海岸、金湖新頭海岸、烈嶼貓公石海岸等 4 處海岸進行無人飛行載具航空攝影測量，協助了解海岸地形變遷情形。

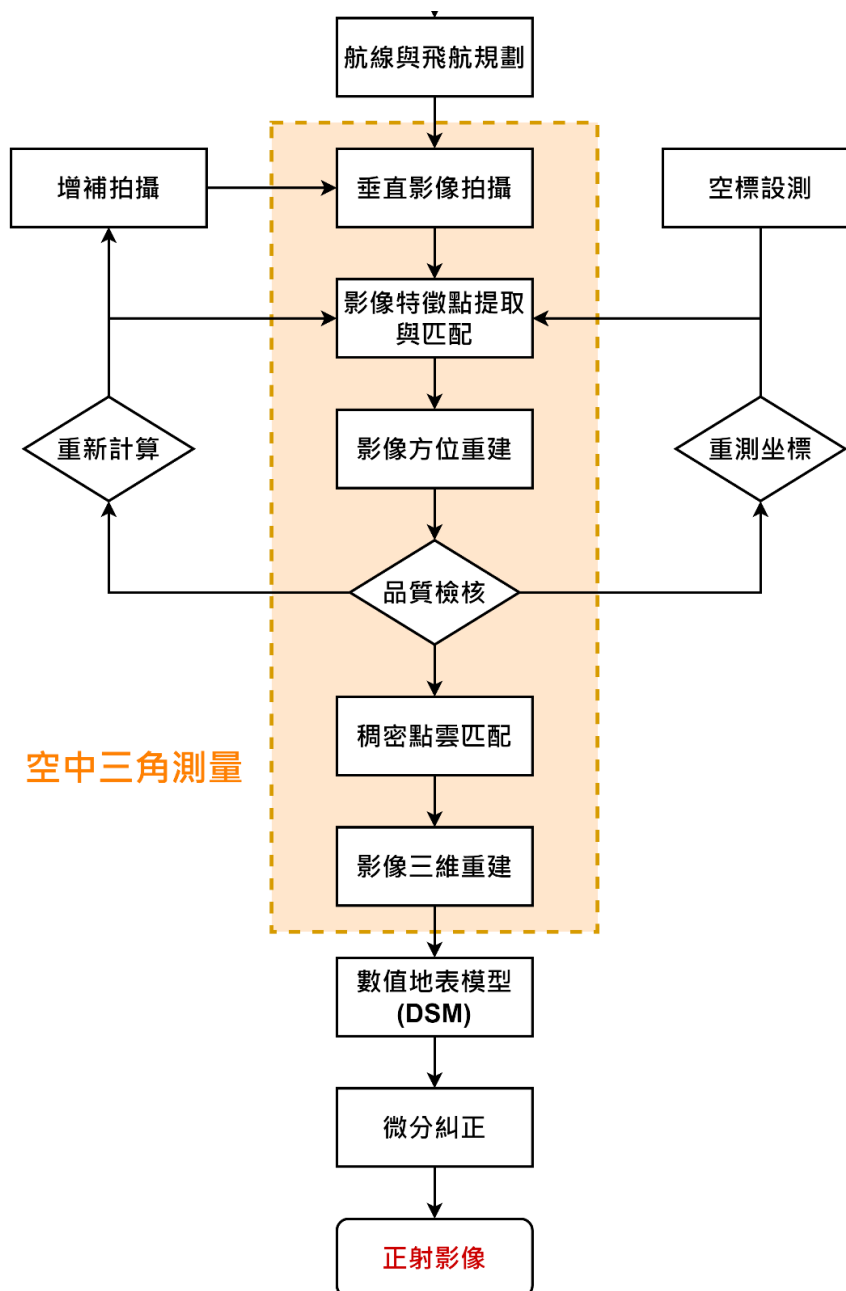


圖 5-3 無人機航空攝影測量作業流程

(一)採用設備

執行團隊考量計畫海岸作業範圍及機動性需要，採用 Autel 小型旋翼機 EVOII Pro，以應對拍攝之需求。該型號無人飛行載具擁有 GNSS 導航系統、數據通訊與影像傳輸模組，可依規劃航線執行飛行任務。規格請參考表 5-1。

表 5-1 執行團隊採用之無人機規格

UAV 外形	
類型	小型多軸旋翼
廠牌	美國 Autel
型號	Autel EVOII Pro
相機型號	XT705
相機焦距	10.57 mm
相機像素	5472 x 3648 (2000 萬像素)
翼展/機身長	35.4 公分/ 42.4 公分
最大起飛重量	1.19 公斤
最大航程/最大升限	25 公里/ 500 公尺
動力來源	7100mAh 82Wh
滯空時間	40 分鐘
抗風能力	5 級
巡航速度	19 m/s
導航定位方法	GNSS 單點定位
通訊與傳輸	無線電傳輸
地面控制站軟體	Autel Explorer™APP
自動返航功能	有

(二)作業流程

1、 依遙控無人機管理規則辦理之前置作業

因應遙控無人機活動漸增，為明確相關管理方式，交通部借鑒美國、歐盟、日本等國家立法經驗與國際民航組織規範，於「民用航空法」中增訂遙控無人機專章，主要針對器材及人員管理、活動區域、操作限制及相關罰則，使無人機操作工作之更加專業、嚴謹。交通部發布之「遙控無人機管理規則」訂於 109 年 03 月 31 日正式生效。

(1)遙控無人機註冊

依據遙控無人機管理規則第二章第六條，自然人所有之最大起飛重量二百五十公克以上之遙控無人機及政府機關(構)、學校或法人所有之遙控無人機，應向民航局申請註冊，將民航局賦予之註冊號碼標明於遙控無人機顯著處，始得操作。執行團隊遙控無人機註冊紀錄如圖 5-4 所示。

註冊號碼	申請日期	註冊日期	有效日期	廠牌	型號	序號	狀況	
B-AAA99111	2022/03/18	2022/03/18	2024/03/18	自製無人機 (含航空模型機)	TL-M6-3	TLUAVM6003	有效	明細 列印註冊標籤
B-AAA82684	2021/03/22	2021/03/22	2023/03/21	自製無人機 (含航空模型機)	TL-VTOL_B	00001	有效	明細 列印註冊標籤
B-AAA78907	2021/01/14	2021/01/15	2023/01/14	自製無人機 (含航空模型機)	FMS1800-1	00001	有效	明細 列印註冊標籤
B-AAA23598	2020/04/13	2020/04/13	2024/04/11	自製無人機 (含航空模型機)	TL-VTOL	TLUAVVTOL0001	有效	明細 列印註冊標籤
B-AAA22380	2020/04/10	2020/04/10	2024/04/08	自製無人機 (含航空模型機)	TL-M6VR	TLUAVM6002	有效	明細 列印註冊標籤
B-AAA22381	2020/04/10	2020/04/10	2024/04/08	自製無人機 (含航空模型機)	TL-M6AG	TLUAVM6001	有效	明細 列印註冊標籤
B-AAA82487	2021/03/17	2021/03/18	2023/03/17	Autel Robotics	EVO II Pro	HV5920491832	有效	明細 列印註冊標籤

圖 5-4 遙控無人機註冊紀錄

(2)遙控無人機保險

依據民用航空法第九十九條之十五第三項規定，政府機關（構）、學校或法人於依前條第三項從事活動前，應依第九十三條第一項所定辦法之損害賠償額，投保責任保險。故執行團隊採用之遙控無人機已辦理保險，相關證明如圖 5-5 所示。



110_112_20(110)新產險字第1379號保險單

正本 新光產物無人機責任保險

保單號碼：132011SHF0000002 本單係 132010SHF0000003 續保

委 任 人：陶林數值測量工程有限公司 統一編號：84993104

通訊地址：40653 台中市北屯區崇德路二段130號17樓

被保險人：陶林數值測量工程有限公司 統一編號：84993104

通訊地址：40653 台中市北屯區崇德路二段130號17樓

保險期間：自民國111年03月29日24時起至民國112年03月29日24時止

應保費：NTD82,976*

承保地區：中華民國地區(臺灣、澎湖、金門、馬祖)

無人機類別：固定翼、多旋翼

無人機飛行區域：人口稠密區

無人機飛行用途：政府相關用途及商業用途

保險標的物：詳承保明細

承保內容	保險金額
無人機責任保險	
每一意外事故賠償責任之保險金額	NTD3,000,000*
每一意外事故財物損失責任之保險金額	NTD1,000,000*
本保險契約之最高賠償金額	NTD4,000,000*
每一事故自負額：每一事故 NTD2,500*	

附加或特約條款：
Y2X新光產物Y2X電腦系統程序轉換不保附加條款

--- 以下空白 ---

新光產物無人機責任保險-承保明細

編號	機型/序號	註冊號碼	最大起飛重量 (kg)	機齡(年)
1	固定翼-自製機B-AAAR2684 無人機(含航空機型機) JTL-VTOL_B/C0001		11,500	1
2	多旋翼 -Autel -Robotics EVO 11 Pro/HV5920401832	B-AAAR2487	2,000	1

--- 以下空白 ---

本保險單聲明事項：
本公司依據個人資料保護法第35條規定之告知事項包括蒐集之目的、個人資料類別及利用期間、方式等事項。除於營業個人資料時之告知外，並已詳載於本公司官網個人資料告知事項等處提供閱覽，或可洽各戶專線查詢。

被保險人注意事項：
一、本保險單所出被保單，如有變更，被保險人應立即向本公司辦理變更手續，否則如有任何意外發生時，本公司不負賠償責任。
二、保險單之交付及《保》公司簽發之正式收據為準。
三、本保險單係附加本公司在案專案，不生效力。

中華民國 111 年 3 月 28 日 備案截止 覆核
110323094449/092199229241111



新光產物保險股份有限公司
總經理 何英蘭

第1頁共3頁 A 7349229



2011SHF0000002

第3頁共3頁

圖 5-5 遙控無人機投保紀錄

(3)飛航限制與空域申請

A、民航局公告之飛航限制規範

飛航限制區主要依據交通部民航局於遙控無人機管理資訊系統所公告之空域限制範圍，其包含交通部民航局依據民用航空法第 4 條所劃定之禁航區、限航區與機場或飛行場四周一定距離範圍及地方政府或主管機關所公告禁止區或限制區，說明如表 5-2 所示。

表 5-2 空域限制範圍說明表

管理單位 或申請單位	空域限制	說明
交通部民航局	限航區	有條件限制航空器(包含無人機)禁行飛航作業，由民航局飛航公報公告之，如 RCR45 為第三核能發電廠，依據飛航公報為晝夜連續限航，向民航局申請前應事先徵得管理單位同意後，得執行遙控無人機管理規則第 33 條災害應變或緊急情況。
	禁航區	依據當時情況由飛航公報公告禁航區。
	機場或飛行場 四周一定距離範圍	航空站範圍規劃暫依機場四周禁止施放有礙飛安物體規定所劃定距離辦理，係以機場跑道兩端中心點為圓心，半徑 5 公里向外左右各 35 度所劃之弧與以機場跑道中心線左右兩側各 2.6 公里之區域所連線範圍；前項連線範圍外，自跑道兩端中心點延伸 5 公里處向外延伸 10 公里及由跑道中心線向兩側延伸 2.6 公里處向外延伸 3.4 公里形成之四邊形範圍內，自地表起算 200 呎(60 公尺)以上高度(依各機場情況)，禁止從事遙控無人機活動。 飛行場則以飛行場四周之一定距離範圍則規劃以飛行場經緯度座標為中心，半徑 1 公里之圓形範圍以內，自地面起，禁止從事遙控無人機活動。
縣市政府 及中央主管機關	禁止區	由地方政府統一公告其轄區各管理機關空域禁止區或限制區，並整合於無人機管理資訊系統中。
	限制區	

B、航拍區域空域申請

依據遙控無人機管理規則第 32 條之規定「政府機關(構)、學校或法人從事民用航空法第九十九條之十四第一項第一款至第八款規定之操作限制活動時，應於活動日十五日前檢附活動計畫書向民航局申請許可；於人群聚集或室外集會遊行上空活動，應檢附直轄市、縣(市)政府及相關中央主管機關同意文件。前項活動應於每次活動前、後於指定時間內至民航局指定資訊系統登錄飛航資訊。第一項申請之許可期限，以三個月為限。但政府機關為執行業務者，得延長至一年。每次飛航活動前、後於指定時間內至民航局指定資訊系統登錄飛航資訊。」於民航局指定資訊系統申辦。

(4)遙控無人機專業操作證(高級)

執行團隊具備「無人多旋翼機專業操作證 Ia 及 Ib」、「無人飛機專業操作證 Ia」(圖 5-6)，操作許可項目可申請飛航高度逾地面或水面四百呎 (G1)、夜間作業或目視範圍外作業及延伸視距飛航 (G2) 等項目。

I. 中華民國 REPUBLIC OF CHINA		VII. 交通部民用航空局 CIVIL AERONAUTICS ADMINISTRATION, MOTC		
II. 類別 Title of Licence	遙控無人機 專業操作證			
III. 證號 Number	T12365****			
IV. 姓名 Name of Holder	林清全			
IVa. 出生日期 Date of Birth	[Redacted]			
VI. 國籍 Nationality	中華民國 TAIWAN(ROC)			
X. 局長 Director General 		XI. 		IX. 發證日 Date of Issue 12 Sep 2022 屆期日 Date of Expiry 22 Sep 2024

XII. & XIII. 操作資格與備註 Rating & Remarks		T123654996
無人飛機 Airplane		<ul style="list-style-type: none"> 於構造/重量/操作限制下，具有對其他操作證者進行教學之資格 活動區域與操作限制排除，應由政府機關(構)、學校或法人提出申請 定-定位模式 農-僅限農務作業使用 漁-僅限休閒釣魚使用(農、漁均須配合 G2)
無人直昇機 Helicopter		
無人多旋翼機 Multi-Rotors	Ia2:G1	
其他		
<ul style="list-style-type: none"> Ia<2, 2<Ia<25, 25<Ia<150, 150<Ia, Ia2<2, 2<Ia<15, 15<Ia<25, 25<Ia<150, 150<Ia G1: 400 呎以上/視距外/夜間 G2: 投擲或噴灑物件 G3: 人群聚集或室外集會遊行上空 		VII. 持用人簽名 Signature of Holder [Redacted]

I. 中華民國 REPUBLIC OF CHINA		VII. 交通部民用航空局 CIVIL AERONAUTICS ADMINISTRATION, MOTC		
II. 類別 Title of Licence	遙控無人機 專業操作證			
III. 證號 Number	K12156****			
IV. 姓名 Name of Holder	黃濟寰 HUANG,JI-HUAN			
IVa. 出生日期 Date of Birth	[Redacted]			
VI. 國籍 Nationality	中華民國 TAIWAN(ROC)			
X. 局長 Director General 		XI. 		IX. 發證日 Date of Issue 01 Apr 2022 屆期日 Date of Expiry 30 Mar 2024

XII. & XIII. 操作資格與備註 Rating & Remarks		K12156****
無人飛機 Airplane	Ia:G1	<ul style="list-style-type: none"> 於構造/重量/操作限制下，具有對其他操作證者進行教學之資格 活動區域與操作限制排除，應由政府機關(構)、學校或法人提出申請 定-定位模式 農-僅限農務作業使用 漁-僅限休閒釣魚使用(農、漁均須配合 G2)
無人直昇機 Helicopter		
無人多旋翼機 Multi-Rotors	Ib:G1,G2	
其他		
<ul style="list-style-type: none"> Ia<2, 2<Ia<25, 25<Ia<150, 150<Ia, Ia2<2, 2<Ia<15, 15<Ia<25, 25<Ia<150, 150<Ia G1: 400 呎以上/視距外/夜間 G2: 投擲或噴灑物件 G3: 人群聚集或室外集會遊行上空 		VII. 持用人簽名 Signature of Holder 黃濟寰

圖 5-6 無人機專業高級操作證

2、航空標設測

(1)航空標選址

航空標測量點作為約制高品質空中三角模型成果，佈標規劃分佈須考量作業範圍與網型分佈，應選擇對空有 40 度以上透空度，於航線方向無遮蔽，並包覆測區為原則。實際情況再依現地地形、交通、透空度等狀況調整。本計畫測區為海岸地形，除各海岸控制點可作為航空標外，其餘航空標需於可達之道路、堤防或灘面進行規劃，每處預計佈設至少 5 個航空標。

(2)航空標型態

航空標外觀應以影像容易辨識且易於判斷中心點位置為

原則，設計尺寸為 GSD 標準 5 倍以上之黑白相間正方形，以噴漆方式佈設。如灘面無法設置固定航空標及噴漆佈設者，則採臨時布標由鋼釘固定，如圖 5-7 所示。



噴漆佈設固定航空標



鋼釘固定臨時布標

圖 5-7 航空標佈設型態

(3) 航空標測量

除各海岸控制點採衛星靜態測量外，佈設於道路、堤坊之固定航空標或灘面之臨時性航空標以 RTK 方式施測，作業情形如圖 5-8 所示。



固定航空標 RTK 測量



臨時布標 RTK 測量

圖 5-8 航空標 RTK 測量

3、飛航規劃

執行團隊於古寧頭北山斷崖海岸、古寧頭北山海堤海岸、金湖

新頭海岸、烈嶼貓公石海岸各規劃一處航區，飛航參數如表 5-3 所列，各處航線與航空標位置規劃如圖 5-9 至圖 5-11 所示。烈嶼黃厝海岸、L56 據點海岸、南山頭海岸等 3 處海岸預計 113 年進行拍攝。

表 5-3 飛航參數表

項次	項目	設定
1	每處航區佈設航空標數量	5
2	無人飛行載具對地航高	120 公尺
3	無人飛行載具航速	7 m/s
4	影像側向重疊度	60%
5	影像前後重疊度	80%
6	影像地面解析度	約 2.72 公分

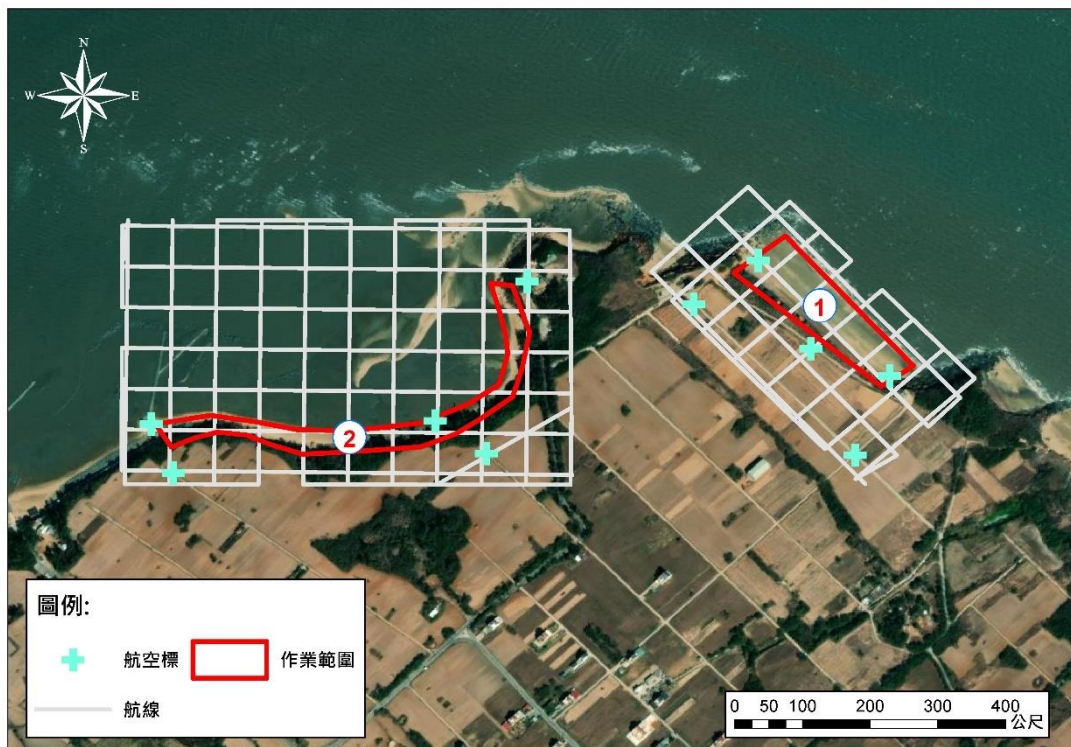


圖 5-9 古寧頭北山斷崖海岸與北山海堤海岸飛航規劃設計圖



圖 5-10 金湖新頭海岸飛航規劃設計圖

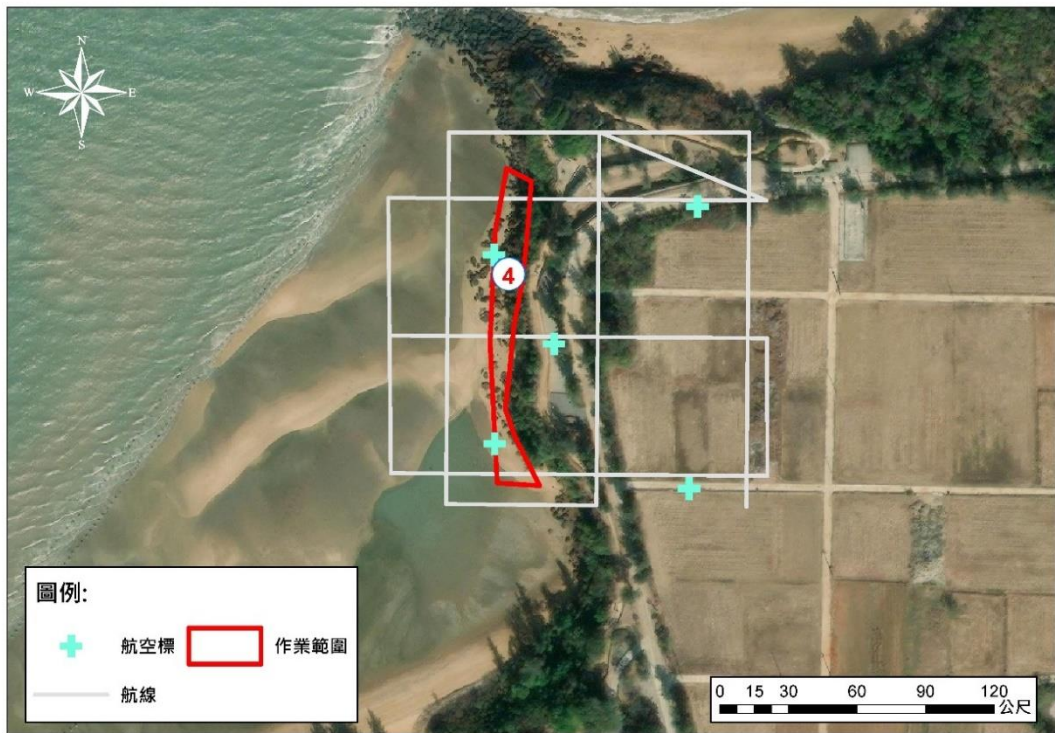


圖 5-11 烈嶼貓公石海岸飛航規劃設計圖

4、影像匹配與空中三角平差

將控制點資料及影像匯入航測軟體，採 Agisoft Metashape 或 Bentley ContextCapture 軟體，以 Structure from Motion (SfM) 技術進行影像三維重建。透過 Scale-Invariant Feature Transform (SIFT) 演算法，於連續影像中提取大量不同特徵點進行影像匹配，得以推算不同影像攝影當下之相對位置，並透過增加影像調整計算結果。SfM 係一個從具有重疊的影像集中解算相機參數及三維點坐標的問題，透過大量影像匹配點與共軛點結合空中三角測量概念進行影像方位重建，估算內、外方位參數，透過控制點進行約制套合，進行影像稠密匹配後取得密點雲，整體作業如圖 5-12、圖 5-13 所示。

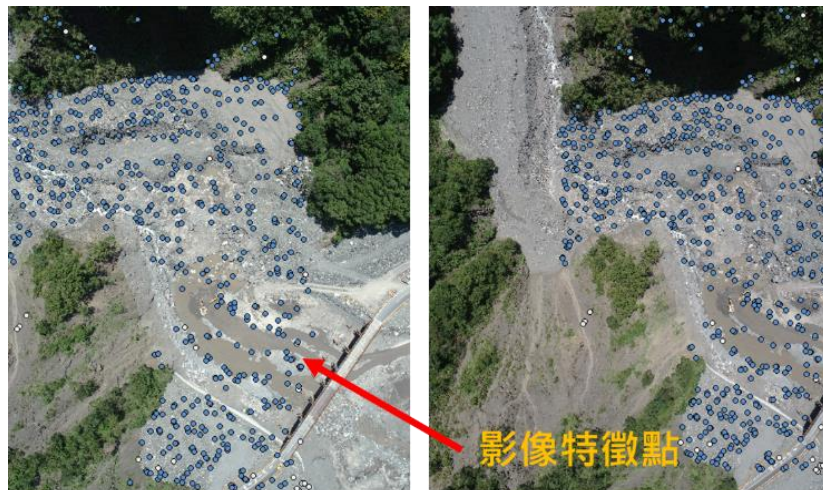


圖 5-12 影像特徵點提取

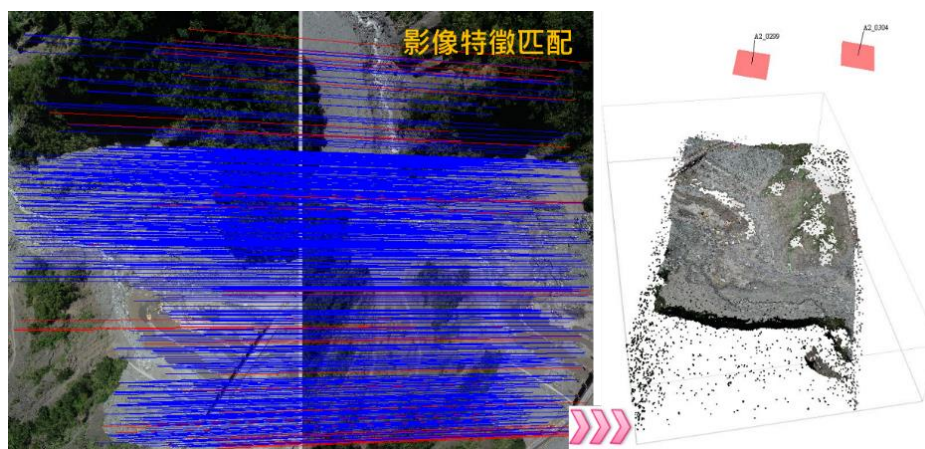


圖 5-13 影像特徵點匹配與稠密點雲重建

5、製作正射影像

以微分糾正法消除影像因相機傾斜及地形因素所造成傾斜及高差位移，接續進行全區影像進行無縫鑲嵌 (mosaic) 作業 (圖 5-14)。正射影像由檢核人員檢查其影像品質、連續地物之合理性後，由影像編修人員進行必要之修正。本計畫產製地面解析度優於 3 公分 (圖 5-15)，可細緻表現地表覆蓋情形。

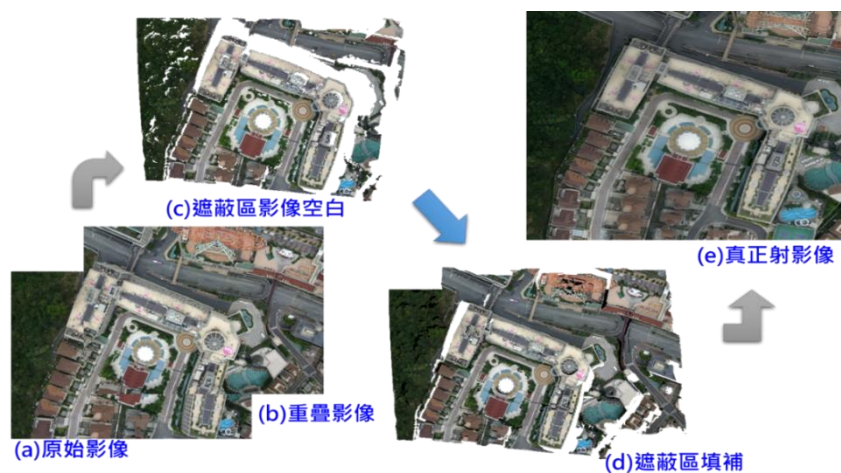


圖 5-14 正射影像微分糾正流程圖



圖 5-15 古寧頭北山斷崖海岸 UAV 正射影像

(三) UAV 正射影像與歷史影像

1、古寧頭北山斷崖海岸



圖 5-16 古寧頭北山斷崖海岸 98 年航拍正射影像數化海岸線



圖 5-17 古寧頭北山斷崖海岸 112 年 UAV 正射影像數化海岸線

2、金湖新頭海岸

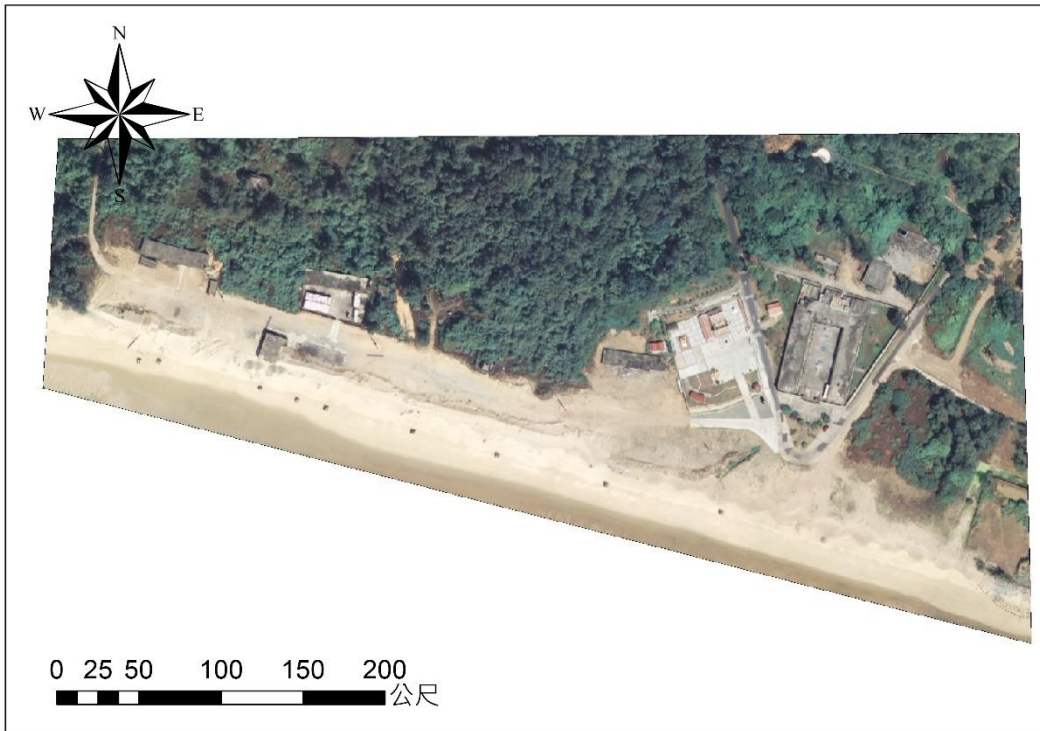


圖 5-18 金湖新頭海岸 98 年航拍正射影像

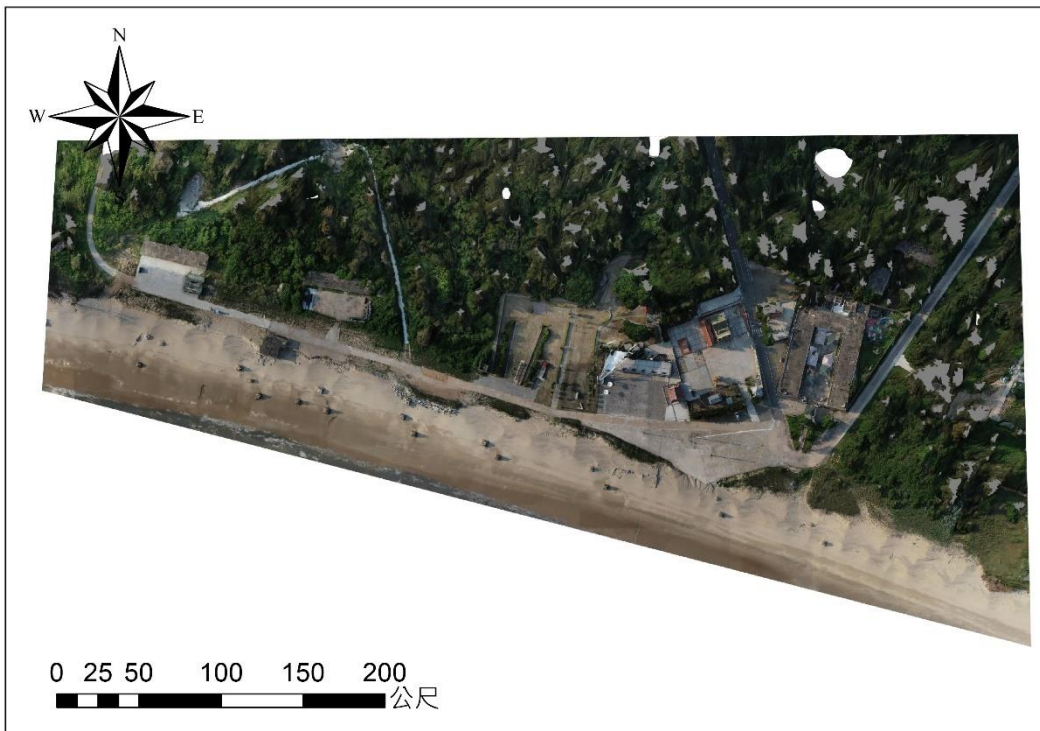


圖 5-19 金湖新頭海岸 112 年 UAV 正射影像

3、烈嶼貓公石海岸



圖 5-20 烈嶼貓公石海岸 98 年航拍正射影像數化海岸線



圖 5-21 烈嶼貓公石海岸 112 年 UAV 正射影像數化海岸線

(四)套繪分析海岸線變化情形

1、古寧頭北山斷崖海岸

古寧頭北山斷崖海岸 98 年至 112 年間，海岸線變化最劇烈的地點位於東南側（圖 5-22），最大後退距離高達 6.2 公尺。其餘岸段則無顯著變化情形，如圖 5-23 所示。

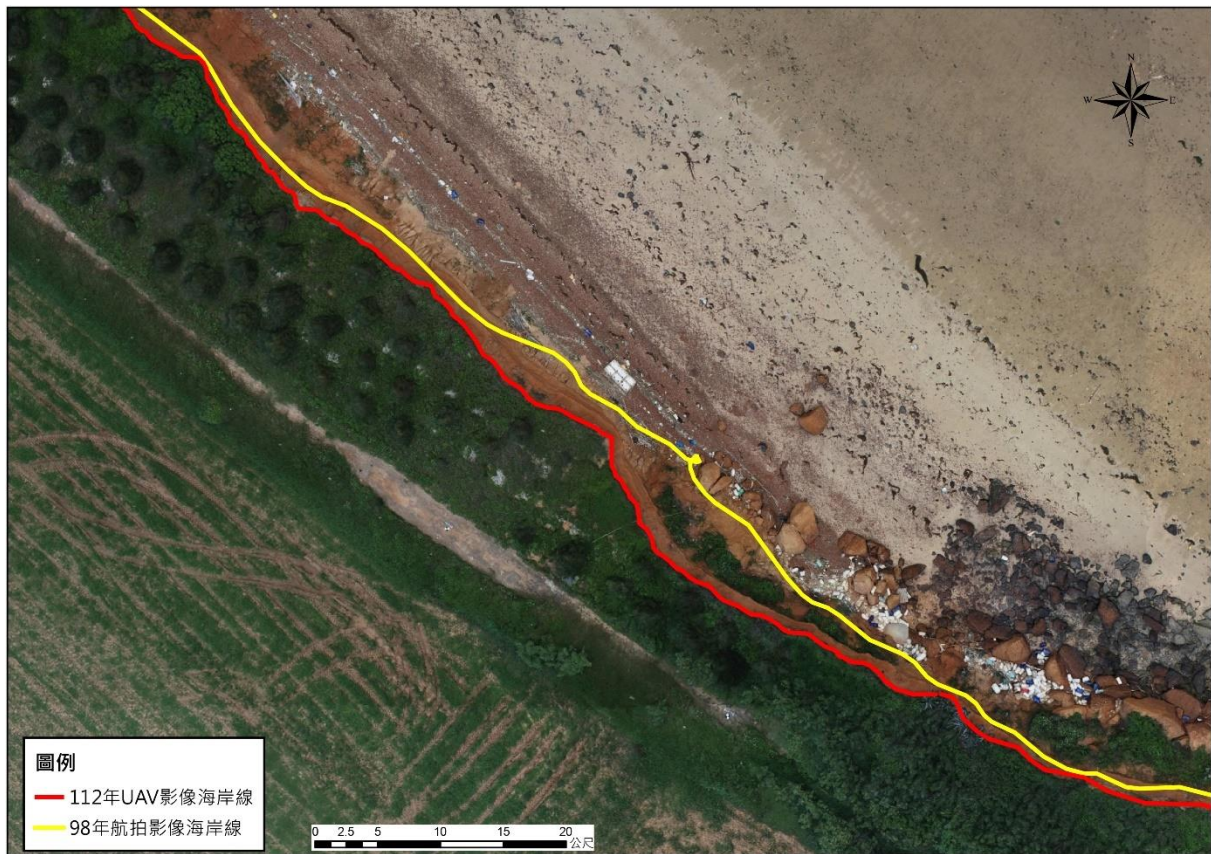


圖 5-22 古寧頭北山斷崖海岸線變化情形（局部放大）



圖 5-23 古寧頭北山斷崖海岸線變化情形

2、烈嶼貓公石海岸

烈嶼貓公石海岸因林相茂密，不論從航拍正射影像俯視或地面光達掃描側視角度均難獲得實際的崖面位置。故判釋海岸線時僅能以相同的繪製原則（描繪樹冠外廓）進行數化，故其中亦有 98 年海岸線較 112 突出者。98 年至 112 年間，海岸線變化情形如圖 5-24 所示。其中有 3 處海岸線後退量高達 4 公尺以上，如圖 5-25 至圖 5-27。



圖 5-24 烈嶼貓公石海岸線變化情形（因林木遮蔽故以樹冠外廓代表）



圖 5-25 烈嶼貓公石海岸線變化情形一局部放大 1 (最多後退 4.0 公尺)



圖 5-26 烈嶼貓公石海岸線變化情形—局部放大 2 (最多後退 4.6 公尺)



圖 5-27 烈嶼貓公石海岸線變化情形—局部放大 3 (最多後退 5.8 公尺)

陸、蒐集現地氣象資料

執行團隊於 112 年 4 月底完成古寧頭北山斷崖海岸與烈嶼南山頭海岸等 2 處關注岸段之自記式氣象站設置作業，並持續維護設備運作至 113 年計畫結束。利用自記式氣象站蒐集現地氣象資料，可以提供現地降雨量與邊坡含水率每小時之資訊，並據此判斷關注岸段之崩塌潛勢，提供災害預警。亦可搭配颱風事件前後兩期雷射掃描資料計算，獲得事件的降雨量與崩塌量之關係，對已經發生的事件進行推估。

一、設置自記式氣象站

(一)採用設備

1、資料收集處理器 (Data Logger)

Campbell 之 CR200 資料記錄處理器 (圖 6-1) 主要功能為量測感測器獲得環境資訊，並進行資料處理與紀錄，成為可輸出的環境資料數值。由 12V 外接電池配合太陽能板提供電力運作，量測包含電阻、電壓差、脈衝與頻率等相關由感測器傳來之訊號並處理與記錄。記錄的方式是每 10 秒量測一筆資料，再配合研究需求彙整成每 30 分鐘或 1 個小時的資料輸出。內部量測是由程式進行控制，依據不同的感測器與量測訊號有不同的程式與接線方式。

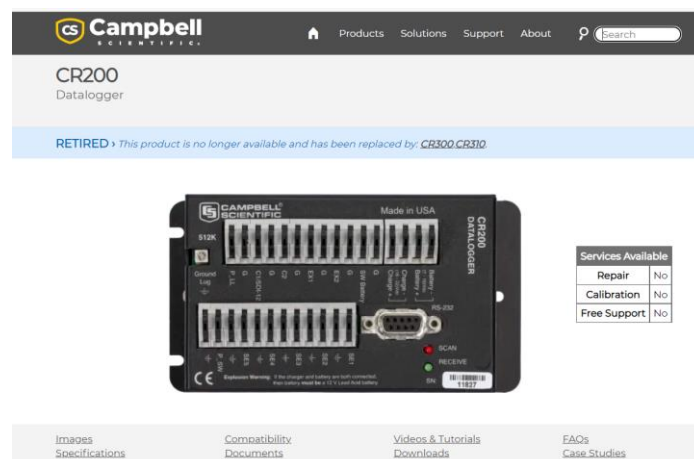


圖 6-1 CR200 資料記錄處理器

資料來源：CR200: Datalogger (campbellsci.com)

2、雨量計 (Rain Gauge)

降雨量是影響海崖邊坡土壤含水量的重要因子。執行團隊採用之標準型雨量計 (圖 6-2)，當雨量達到最小單位 (0.1 mm) 時，內部傾斗累積的降雨會傾動至一側，傾斗下方連接的磁鐵會與內部的感測元件接近一次而產生一個脈衝訊號，透過連接至 CR200 資料記錄處理器的纜線傳遞訊號，記錄並輸出成期間之降雨量資料。

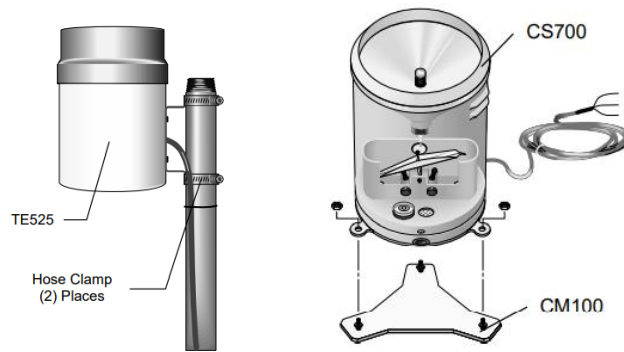


圖 6-2 傾斗式雨量計示意圖

資料來源：campbellsci.com

3、土壤溼度計 (Soil Water Content Sensor)

執行團隊採用之土壤濕度計為 METER 公司所生產之 TEROS 10 土壤溼度計 (圖 6-3)，可用於量測海崖的風化花崗岩土壤內部土壤體積含水量，搭配雨量計判讀現場降雨狀況和海崖邊坡土壤內部含水量之關係，並監測海崖邊坡穩定性。海崖含水量愈高，則代表內部邊坡穩定愈低，愈可能產生崩塌地邊坡不穩定狀況。



圖 6-3 TEROS 10 土壤溼度計

資料來源：TEROS 10 | Simple Soil Water Content Sensor | METER (metergroup.com)

(二) 氣象站設置

1、氣象站選址

執行團隊於 112 年 2 月進行現地踏勘，針對古寧頭北山斷崖海岸及烈嶼南山頭海岸 2 處關注岸段，選定雨量計不受林木遮蔽且具有裸露土壤供濕度計埋設之位置(圖 6-4、圖 6-5)設置氣象站。其中北山斷崖氣象站位置隱蔽，不易受遊憩觀光民眾影響；南山頭氣象站位於海岸南側步道旁，張貼告示以期民眾共同維護公物。



圖 6-4 古寧頭北山斷崖海岸氣象站位置



圖 6-5 烈嶼南山頭海岸氣象站位置

2、埋設基樁

執行團隊於 112 年 3 月底至 2 處關注岸段埋設基樁，以土壤取樣器向下鑽孔至少 50 公分之深度，插入基樁、灌注水泥並調整水平後（圖 6-6），待水泥凝固完成基樁埋設作業（圖 6-7）。

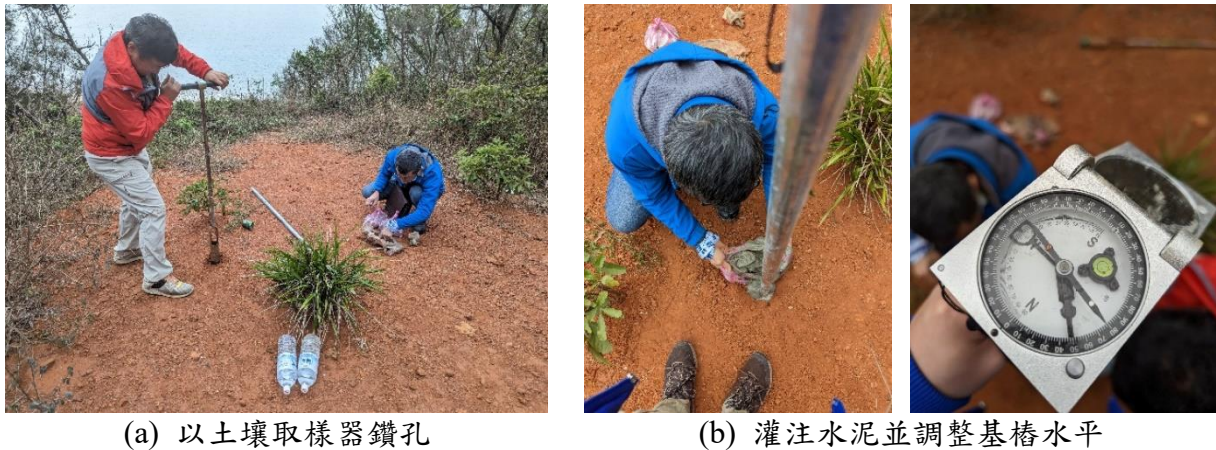


圖 6-6 基樁埋設情形

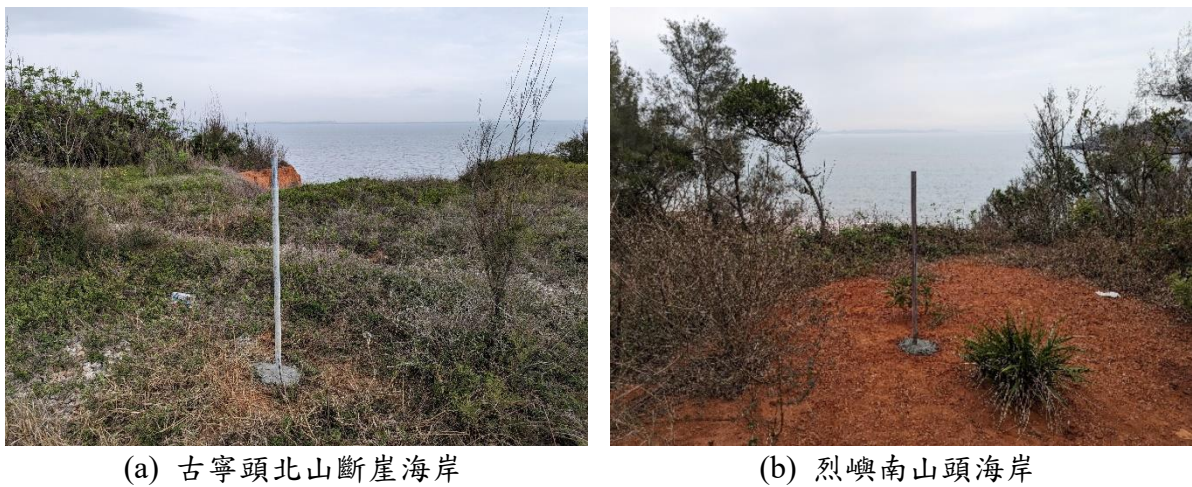


圖 6-7 完成基樁埋設

3、設置儀器

執行團隊接續於 112 年 4 月底完成資料收集處理器程式設定（圖 6-8）、埋設土壤濕度計（圖 6-9）及安裝雨量計等作業，並張貼告示避免民眾任意觸碰損毀（圖 6-10）。



圖 6-8 電腦設定資料處理器程式



(a) 古寧頭北山斷崖海岸

(b) 烈嶼南山頭海岸

圖 6-9 埋設土壤濕度計



(a) 古寧頭北山斷崖海岸

(b) 烈嶼南山頭海岸

圖 6-10 完成自記式氣象站設置

二、氣象站資料

(一) 逐月氣象站資料 (降雨量與邊坡土壤濕度圖)

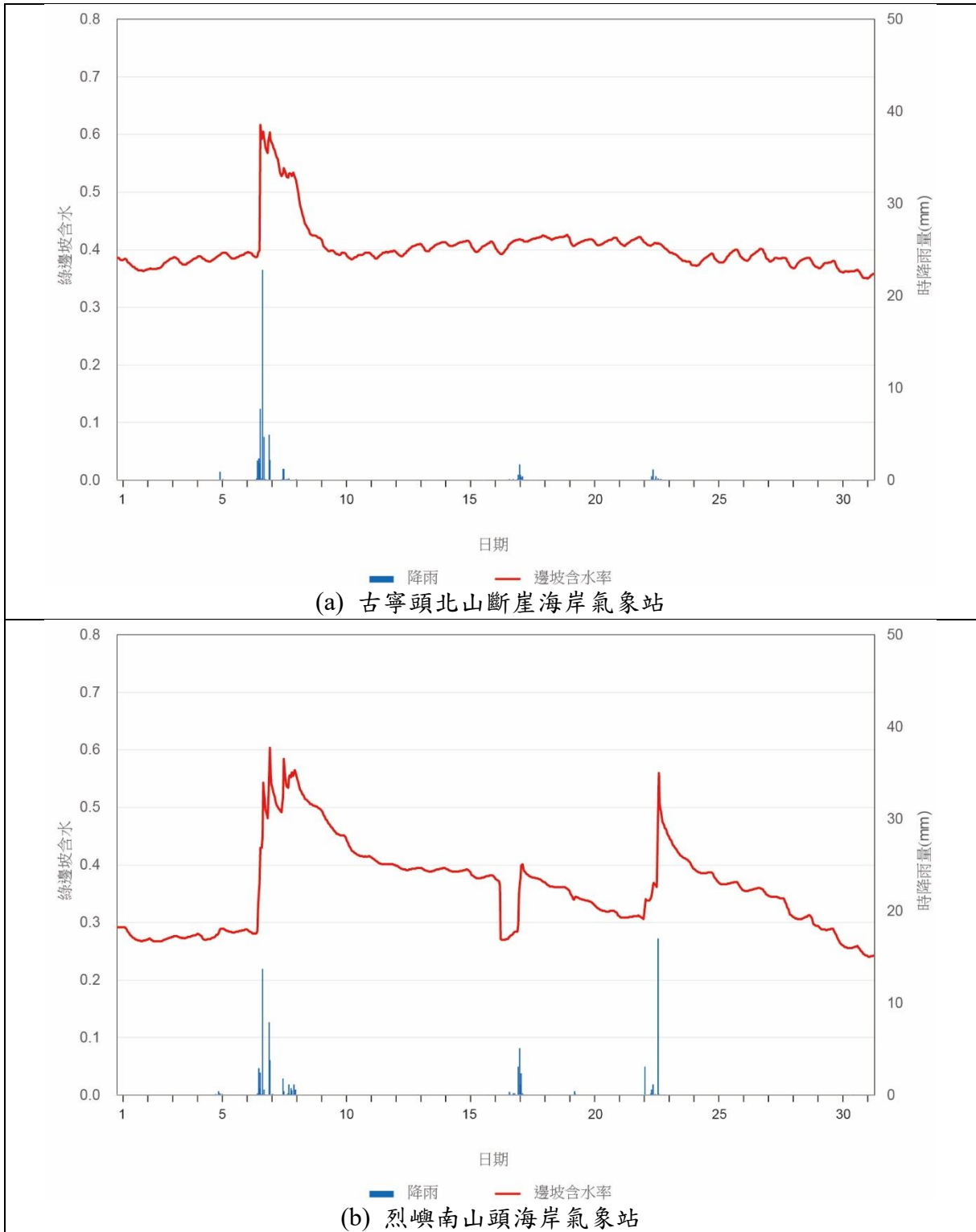


圖 6-11 112 年 5 月氣象站資料 (降雨量與邊坡土壤濕度)

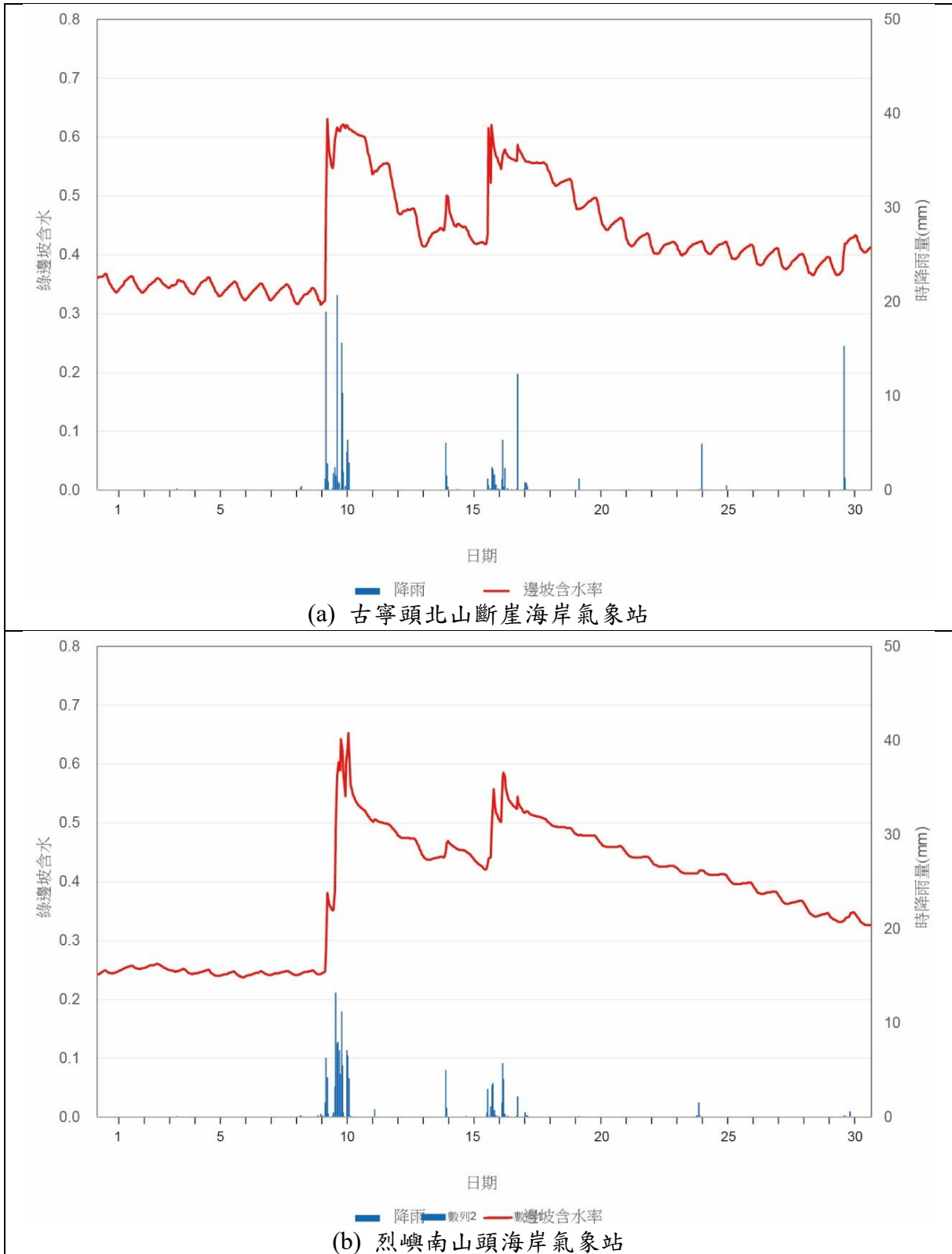


圖 6-12 112 年 6 月氣象站資料 (降雨量與邊坡土壤濕度)

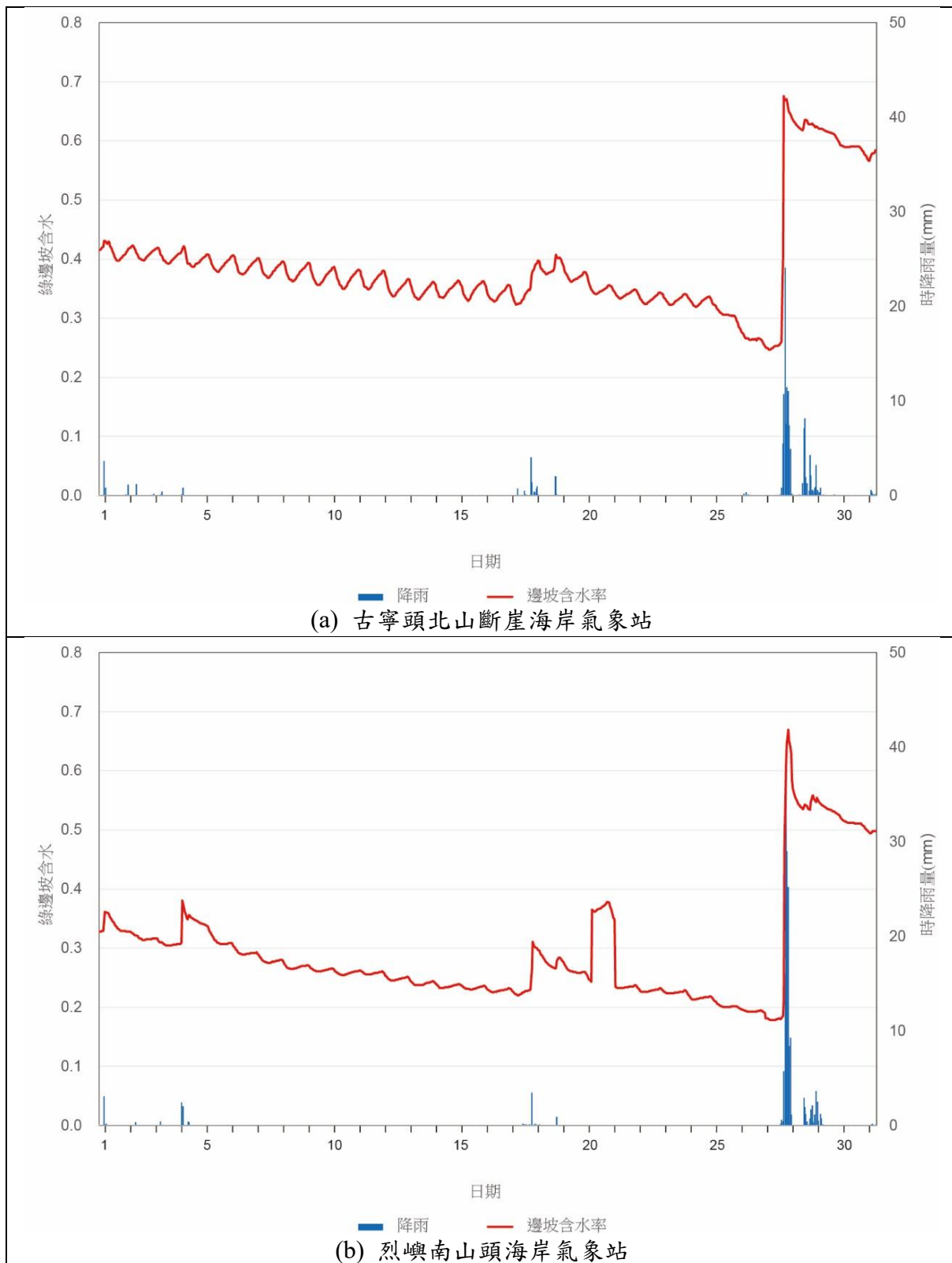


圖 6-13 112 年 7 月氣象站資料 (降雨量與邊坡土壤濕度)

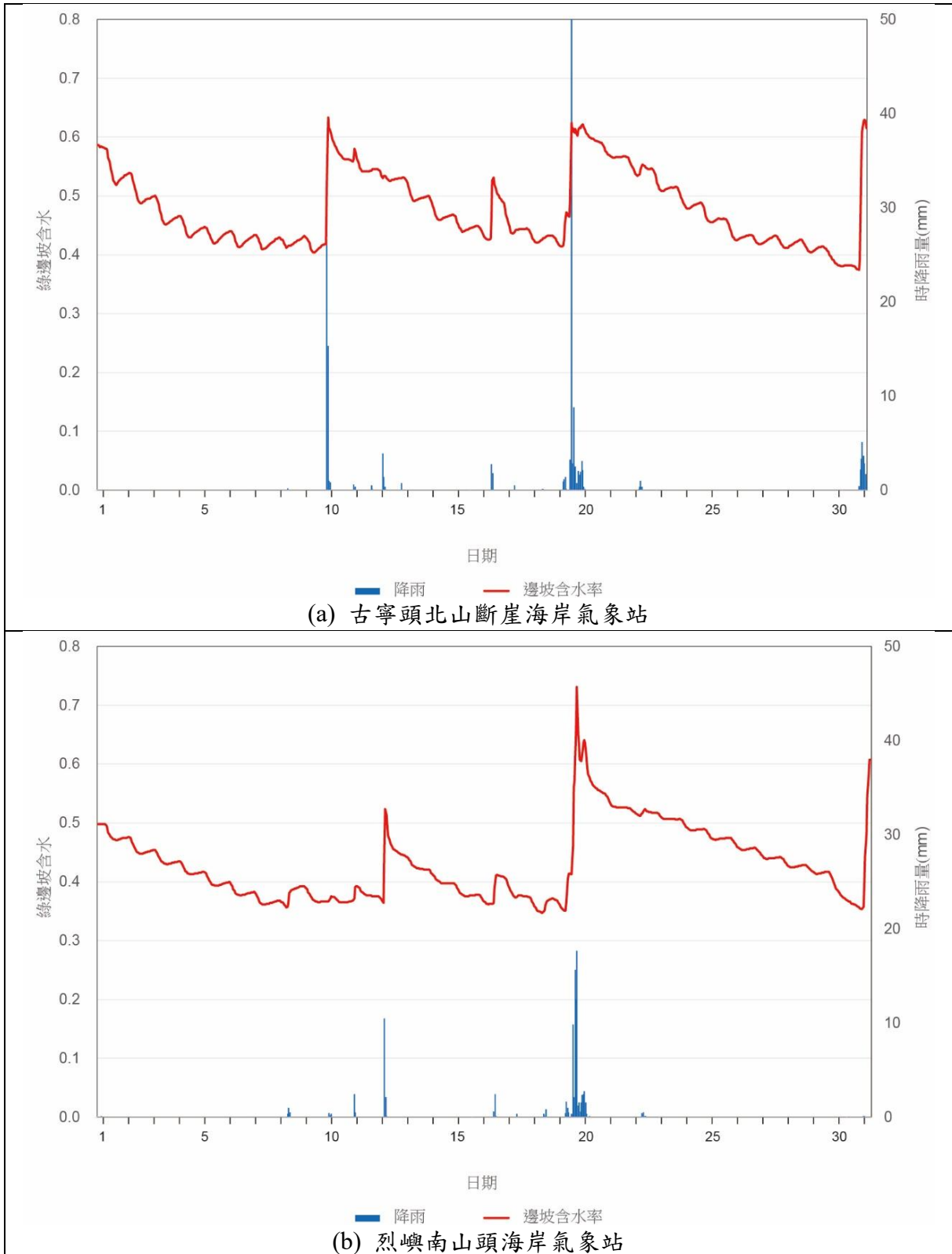


圖 6-14 112 年 8 月氣象站資料 (降雨量與邊坡土壤濕度)

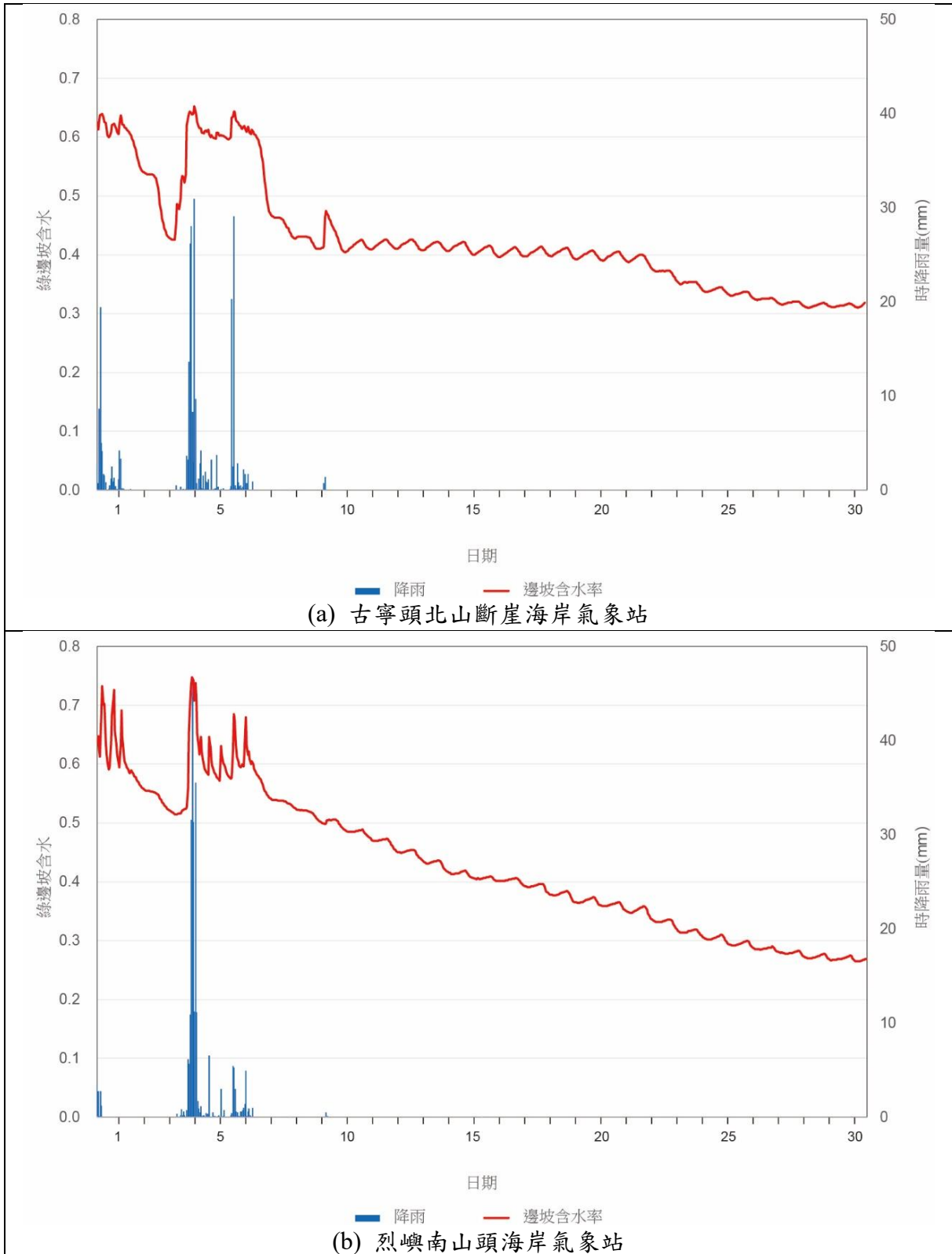


圖 6-15 112 年 9 月氣象站資料 (降雨量與邊坡土壤濕度)

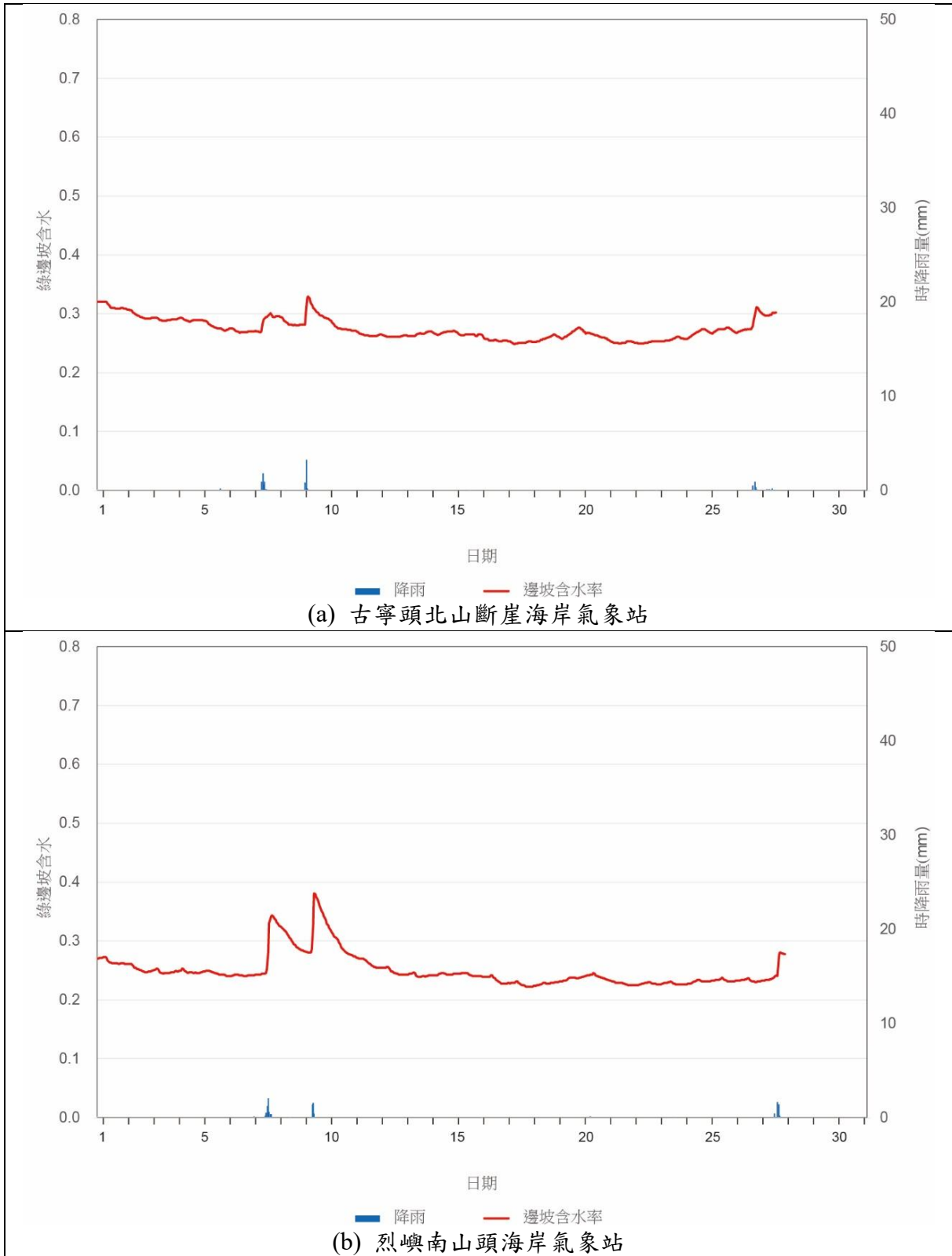


圖 6-16 112 年 10 月氣象站資料 (降雨量與邊坡土壤濕度)

(二)古寧頭北山斷崖海岸氣象站資料分析

以過去經驗而言，月累積降雨量大於 100 mm 時，邊坡可能會有不穩定的狀況發生。就 112 年 4 月至 10 月資料觀察，6 月至 9 月皆滿足月累積雨量超過 100 mm 的條件。期間颱風影響包含 7 月杜蘇芮颱風侵襲期間總降雨量達 118 mm，最大時降雨達 24.0 mm/hr；9 月海葵颱風影響期間總降雨 216.0 mm，最大時降雨達 31.0 mm/hr。再加上 8 月 19 至 20 日的總降雨量達 85.7 mm，最大時降雨達 50.6 mm/hr。上述較大的降雨事件使土壤含水率頻頻超越 0.62，甚至在杜蘇芮颱風期間達到 0.68，對於邊坡穩定構成較大威脅。

期間	最大時降雨 (mm/hr)	期間總降雨 (mm)
5.7-5.8	5.9	14.9
6.9-6.10	20.7	92.6
6.16-6.17	12.3	33.3
7.27-7.29 (杜蘇芮颱風)	24.0	118.0
8.19-8.20	50.6	85.7
9.1	19.4	60.5
9.3-9.6 (海葵颱風)	31.0	216.0

(三)烈嶼南山頭海岸氣象站資料分析

就 112 年 4 月至 10 月資料觀察，6 至 9 月的月累積雨量皆接近或超過 100 mm。期間颱風影響包含 7 月杜蘇芮颱風期間總降雨量達 134.2 mm，最大時降雨達 38.3 mm/hr；9 月海葵颱風影響期間總降雨量達 236.0 mm，最大時降雨達 46.0 mm/hr。加上 8 月 20 日的總降雨量達 72.0 mm，最大時降雨達 17.6 mm/hr。這些較大的降雨事件使土壤含水率頻頻超越 0.65，甚至最高在海葵颱風影響期間達到 0.74，對於南山頭海岸邊坡穩定構成威脅。




期間	最大時降雨 (mm/hr)	期間總降雨 (mm)
5.6-5.7	14.0	35.0
6.9-6.10	13.2	92.8
7.27-7.28 (杜蘇芮颱風)	38.3	134.2
8.20	17.6	72.0
9.3-9.6 (海葵颱風)	46.0	236.0

(四)小結

上述兩處氣象站雖然相距不遠(約 13 公里),但觀察氣象站資料可以得知兩處降雨情況與降雨量有明顯差異。不同降雨情況對邊坡穩定度的影響有所不同,且邊坡土壤含水率在不同特性的邊坡也有差異。表 6-1 就古寧頭北山斷崖海岸說明海崖分段地形發育及特性。後續將配合 113 年度古寧頭北山斷崖海岸與烈嶼南山頭海岸邊坡掃描資料,了解地形變遷情形在計畫期間降雨狀況下的反應,為本計畫 113 年度執行的重點項目。

表 6-1 古寧頭北山斷崖海岸分段地形發育及特性 (112 年 7 月拍攝)

海岸段	說明
	<p>本段海崖受到上方碉堡保護,海崖主要呈現下方崖錐堆積(來自上方海崖風化物質崩落)。</p>
	<p>本段海崖除了下方崖錐堆積外,上方凹陷則是由上方平坦區逕流匯集產生侵蝕所致。</p>

海岸段	說明
	<p>本段海崖右側凹陷是由上方平坦區逕流匯集產生侵蝕，導致整段海崖都被移除。</p>
	<p>本段海崖右側呈現高角度後退，以及海崖下方崖錐堆積。</p>
	<p>本段海崖右側呈現高角度後退，海崖下方呈現由上部海崖匯集逕流產生侵蝕溝，因此中央部分相對突出。</p>

海岸段	說明
	<p>本段海崖特性為植被密布與下方海灘貓公石塊堆積。</p>
	<p>由此影像可以觀察到海崖上方逕流匯集與侵蝕溝之形成。</p>

柒、研擬未來經營管理之因應措施

本計畫 112 年度監測期間遭受 7 月 28 日中度颱風杜蘇芮直接侵襲，以及 9 月 5 日中度颱風海葵自南側掠過金門等影響，於各處重要岸段之海崖與海灘分別造成侵蝕或堆積現象。以下就不同海灘型態分別進行小結或建議：

一、無海崖海灘（金湖新頭海岸）

金湖新頭海岸屬於無海崖海灘，因此其灘面變化主要受到海浪作用搬運與堆積沉積物的影響。若以搶灘構造物為參考基準進行檢視，過去金湖新頭海岸在颱風侵襲下尚稱穩定，但歷經 112 年杜蘇芮颱風與海葵颱風連續侵襲和掠過的影響，卻有灘面明顯侵蝕以及結構物損壞的情形。執行團隊建議管理單位應持續關注，並運用長期影像資料了解金湖新頭海岸未來的變遷情形有無異狀。現階段尚不建議進行人工介入保護的經營管理措施。

二、有海崖海灘

（一）古寧頭北山斷崖海岸、古寧頭北山海堤海岸、烈嶼黃厝海岸

古寧頭北山斷崖海岸、古寧頭北山海堤海岸、烈嶼黃厝海岸地形作用包含降雨使邊坡含水量上升導致海崖崩塌，以及颱風造成海灘侵蝕等。海灘同時受到由海崖崩塌造成的沉積物堆積搬入，以及海岸侵蝕所造成的沉積物搬離移出影響，且兩者間的規模與發生頻率各不相同，因此形成複雜的地形動態。除此 3 處海岸崩落的貓公石塊可以提供減少海浪能量並達成沙灘保護的效益外，古寧頭北山斷崖海岸上方的排水溝（圖 7-1）亦可減緩降雨造成的侵蝕與崩塌情形。執行團隊預計 113 年度 4 月將針對古寧頭北山斷崖進行計畫期間第 2 次光達邊坡掃瞄作業，屆時將可觀察出 112 年 5 月至 113 年 4 月期間，歷經杜蘇芮颱風、海葵颱風以及其他降雨事件後，形成的海崖侵蝕情形。預計將突顯海崖上方有無設置排水溝的差異，

可作為管理單位未來規劃保護措施的參考資料。



圖 7-1 古寧頭北山斷崖海岸上方排水溝

(二) 烈嶼南山頭海岸

烈嶼南山頭海岸之海崖與其他海崖的差異在於其玄武岩風化程度較低，主要崩塌形式為玄武岩塊沿著三組柱狀節理崩落，以及上方岩屑土壤小規模侵蝕崩落，作用速率相對較慢且規模較小。南山頭沙灘過去呈現颱風季大量侵蝕，東北季風時期轉為堆積的規律。執行團隊結合 112 年度灘面 RTK 高程測量資料與現地海岸組成物質進行觀察，海灘東北側消波塊具有防護效果，西南側也已有玄武岩對沙灘形成保護。執行團隊預計 113 年度 4 月針對烈嶼南山頭海岸進行計畫期間第 2 次光達邊坡掃瞄作業，屆時將可觀察出 112 年 5 月至 113 年 4 月期間，歷經杜蘇芮颱風、海葵颱風以及其他降雨事件後，形成的海崖侵蝕情形。未來或許可利用其他區域採集的玄武岩塊作為拋石，放置於海灘低潮線附近減緩侵蝕。

捌、計畫研究成果投稿至國家公園學報

執行團隊將彙整歷史檔案、地形測量資料與海岸變遷趨勢，研擬未來計畫範圍經營管理之因應措施，並將成果分年度投稿至國家公園學報。考量古寧頭北山斷崖海岸及烈嶼南山頭海岸屬重要監測岸段，且可與 104-105 年歷史資料進行比對，因此規劃 112 年度投稿烈嶼南山頭海岸計畫成果，113 年度投稿古寧頭北山斷崖海岸計畫成果，並將於書面成果報告中提供投稿國家公園學報 word 檔。

玖、重要海岸地景點導覽網頁

為妥善利用監測成果並便於檢視，執行團隊優規規劃導覽網頁，建置內容包含海岸地景環景導覽、海岸地景介紹、氣象觀測站查詢等功能（設計畫面如圖 9-1 至圖 9-4），以利計畫工作成果展示。



圖 9-1 海岸地景地圖頁面



圖 9-2 海岸環景導覽



圖 9-3 自記式氣象站資料查詢

1

地景介紹
列表切換

2

地景照片收錄

海岸地景介紹

海岸地景環景導覽

氣象觀測站查詢

三地景列表

- 北山斷崖海岸
- 北山海墘海岸
- 金湖新頭海岸
- 顯公石海岸
- 黃厝海岸
- L56據點海岸
- 南山頭海岸

南山頭海岸








3

地質地形介紹

地質、地形

烈嶼南山頭海岸位於東南角，在地形上由沙灘、砂岩平台（金門層）與高聳的玄武岩海崖（烈嶼玄武岩）組成，是重要的海岸地景點與烈嶼玄武岩露頭與玄武岩風化的地質現象觀察點。

其中烈嶼玄武岩為中新世玄武岩熔岩流所形成，快速噴發冷凝形成直立柱狀節理，使其風化崩落形成陡直的海崖。其中風化更劇烈的部分可觀察到「洋蔥狀風化」現象，風化的紅色物質與磁鐵石的氧化鐵淋溶富集紅色不同，屬於玄武岩中鐵質氧化所形成（宮守業，2007）。陡直的柱狀玄武岩海崖在風化與侵蝕作用下持續後退，成為壯觀地海岸地景，配合人工水泥碼頭掉落在海灘上更顯現出地形作用的速率。在掉落海岸後風化玄武岩剝除露出新鮮的玄武岩，形成黑色的玄武岩圓礫，是金門重要的海岸地景。

而金門層沉積岩中具有交錯層、透鏡體與各種沉積構造，是非常珍貴的地質與地形景觀（宮守業，2007）。非常值得開發為重要的地質地形與環境教育場域。

地形監測





2016-05~2016-10
侵蝕的紅色與橘色區域在南山頭海灘的西北側靠近玄武岩處，有許多區域兩次數值地形模型高差大於1公尺，呈現明顯侵蝕。在海岸北側與東側黃色的區域則呈現些微侵蝕的情形，部分區域則是藍色，屬於些微堆積的狀況。

2016-10~2016-11
颱風過後10至11月間，本段沙灘以堆積為主，10至11月堆積量8952.75立方公尺（已回堆64.9%）

4

地形監測成果

圖 9-4 海岸地景介紹

結論與建議

本計畫辦理 112 年至 113 年金門國家公園重要海岸地景點地形變遷監測，截至 112 年期末階段，各工作項目工作進度及 113 年度後續規劃說明與建議事項如后：

一、結論

(一)海崖高程資料收集及分析

執行團隊於 5 月初完成古寧頭北山斷崖海岸、烈嶼貓公石海岸、烈嶼黃厝海岸、烈嶼南山頭海岸光達掃描外業。後續將於 113 年 4 月進行古寧頭北山斷崖海岸、烈嶼南山頭海岸之第二期光達掃描，以及古寧頭北山海堤海岸、烈嶼 L56 據點海岸之光達掃描作業。

(二)建立各海岸段數值地形模型

利用各期地形測量資料以 GIS 軟體內插建立各岸段之數值高程模型，進行不同時期之差異分析比較。若依文獻資料及以往經驗預估，颱風侵襲導致的搬運與侵蝕作用，通常會造成沙灘大量沉積物流失。但是執行團隊於烈嶼南山頭東北側觀察到颱風後大量堆積的罕見現象，且於 112 年 4 至 8 月、8 至 10 月期間持續堆積，導致 112 年 10 月時本應受侵蝕裸露的消波塊幾乎完全受沉積物覆蓋。

(三)沙灘區沉積物粒徑分佈分析

古寧頭北山斷崖海岸、古寧頭北山海堤海岸、金湖新頭海岸、烈嶼貓公石海岸、烈嶼黃厝海岸、烈嶼 L56 據點海岸、烈嶼南山頭海岸等 7 處海岸的沉積物粒徑以砂或礫石為主，幾乎沒有粉砂及黏土。古寧頭北山斷崖海岸樣本越靠近海崖，則粒徑越大、礫石比例越高；古寧頭北山海堤海岸則呈現相反現象，越靠近海面，則粒徑越大、礫石比例越高。兩者差異主要在有無廣潮汐灘地保護：北山斷崖無寬廣潮汐灘地保護，海崖受颱風暴潮侵蝕造成貓公石崩落，堆積在高潮線附近；北山海堤有寬廣潮汐灘地保護，因此沙灘以砂

粒徑為主，較粗粒徑沉積物出現在低潮位附近。金湖新頭海岸與烈嶼 L56 據點海岸的樣本幾乎均由砂所組成。烈嶼貓公石海岸多為貓公石碎屑的樣本；烈嶼黃厝海岸的粒徑分布較廣，應也是受貓公石風化崩落影響。烈嶼南山頭海岸在靠近海面側則有部份樣本屬於礫石粒徑比例較多，部份樣本屬於砂粒徑比例較多；靠近金門層出露處之黏土粒徑非常容易被海水帶離，不易出現在沙灘上，因此取樣與粒徑分析時未能顯示。預計 113 年針對古寧頭北山斷崖海岸及烈嶼南山頭海岸等 2 處重要岸段，額外執行一期夏末採樣工作，以掌握不同季節堆積與侵蝕對沙灘區沉積物所造成之影響。

(四)套繪分析重要岸段之海岸線變化情形

執行團隊已完成古寧頭北山斷崖海岸、古寧頭北山海堤海岸、金湖新頭海岸、烈嶼貓公石海岸等 4 處海岸之 UAV 影像拍攝，除古寧頭北山海堤海岸以外，其餘 3 處已完成 UAV 正射影像產製。蒐集歷史影像包含 47 年航拍原始像片、98 年航拍正射影像，並利用影像數化海岸線以分析套繪變異情形。古寧頭北山斷崖海岸線變化最劇烈的地點位於東南側，最大後退距離高達 6.2 公尺，與 105 至 112 年間光達資料判釋成果相符，其餘岸段則無顯著變化情形；預計 113 年進行烈嶼黃厝海岸、烈嶼 L56 據點海岸、烈嶼南山頭海岸等剩餘 3 處之 UAV 拍攝作業。

(五)設置自記式氣象站

112 年 4 月底已完成氣象站設置，將持續蒐集現地氣象資料，並定期維護其運作。

(六)重要海岸地景點導覽網頁

執行團隊已完成導覽網頁設計，後續將整合計畫期間測量資料與分析成果後上稿。以達成本計畫海岸地景環景導覽、海岸地景介紹、氣象觀測站查詢等成果展示效益。

二、建議

(一)繪製平均高潮位線

依照本年度繪製 3 期 0 公尺高程海岸線的成果，在短時距內並無明顯的變化，未來可依據更長期的觀測資料了解地形變遷情形。本年度利用古寧頭北山斷崖及烈嶼南山頭海岸前後期地面三維雷射資料，以變異偵測演算法及剖面圖分析海崖退後情形。針對未建立多時期地面三維雷射掃描資料的海岸，建議未來可利用灘面 DEM 資料搭配潮位站資料繪製平均高潮位線，輔以判斷陸地退縮情形。

(二)烈嶼貓公石海岸

烈嶼貓公石海岸因林相茂密，不論從航拍正射影像俯視或地面光達掃描側視角度均難獲得實際的海崖位置，故建議未來貓公石海岸的監測作業應以灘面高程測量為主。又因此處衛星觀測條件不佳，如欲辦理灘面高程測量，應以地面光達進行灘面掃描或全測站儀測量地形點。

(三)夏季作用後測量時間調整

本計畫規劃於冬末東北季風作用後（農曆三月）及夏末作用後（農曆九月）辦理灘面高程測量以及沙灘區沉積物採樣作業。依過往經驗，東北季風於農曆九月後恐已增強，建議 113 年度應考慮將相關作業時間提前。

參考文獻

- (一)內政部 (民 109)，基本測量 2020 年成果，109 年 8 月 10 日台內字第 1090263608 號公告。
- (二)內政部地政司衛星測量中心 (民 83)，辦理一二等衛星控制點測量作業規範。
- (三)宮守業、林英生 (民 96)，金門烈嶼海岸地質地形調查，內政部營建署金門國家公園管理處委託研究報告 (編號：PG9603-0297)。
- (四)峰騰測繪股份有限公司 (民 105)，金門國家公園 105 年度海岸地景保育暨監測計畫。內政部營建署金門國家公園管理處委託辦理計畫。
- (五)國立臺灣大學 (民 105)，金門國家公園海岸地景資源調查及保育管理規劃，內政部營建署金門國家公園管理處委託辦理計畫。
- (六)Blot t, S. J. and K. Pye (2012) Particle size scales and classification of sediment types based on particle size distributions: review and recommended procedures. *Sedimentology*, 59 (7), 2071-2096.
- (七)James, M. R., Robson, S., and Smith, M. W. (2017) 3-D uncertainty-based topographic change detection with structure-from-motion photogrammetry: precision maps for ground control and directly georeferenced surveys. *Earth Surf. Process. Landforms*, 42: 1769–1788.
- (八)K. O. EMERY, G. G. KUHN; Sea cliffs: Their processes, profiles, and classification. *GSA Bulletin* 1982;; 93 (7): 644–654.
- (九)Lague, D.; Brodu, N.; Leroux, J. Accurate 3D comparison of complex topography with terrestrial laserscanner: application to the Rangitikei canyon (N-Z). *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 2013,82, 10–26

採購評選審查意見回覆

會議意見	意見回覆	章節/圖表	頁次
委員一			
1. 灘面高程測量及分析，由於各監測海岸之灘面高程在全年中變化甚大，是否再增加測量次數？沉積物粒度分析的次數，是否也需增加？	感謝委員意見，執行團隊根據過往在金門監測調查經驗，建議 RTK-GPS 監測分別於 4 月及 10 月各進行 1 次，可反映冬季東北季風及夏季西南季風對於海岸線高程之影響。另考量颱風為明顯侵蝕事件，故優規規劃於颱風侵蝕季視情形增加 1 次 RTK-GPS 監測作業。並於北山斷崖海岸、南山頭海岸加值規劃冬夏季作用後 2 期沉積物粒徑分析。	表 2-1	p.10
2. 坡腳侵蝕明顯存在，是否提出具體可行的防治方法？	感謝委員意見，有關崖壁崩塌及海岸線變動情形，過往缺乏實際觀測累積資料，難以具體辯論。國家公園從監測計畫開啟，至今有將近 10 年，預期將可更好地說明現場情形，提供國家公園論述海岸地景變遷重要資訊。	-	-
3. 颱風過後，對灘面高程有明顯影響，有無必要增加測量？	感謝委員意見，考量颱風為明顯侵蝕事件，故規劃於颱風侵蝕季視情形增加 1 次監測作業。	表 2-1	p.10
4. 導覽網頁的建置，能兼顧地景保育與環境教育，立意甚佳。	感謝委員肯定。	-	-
委員二			
5. 有關第一年度所完成設置自記氣象站，其中包含古寧頭北山斷崖，及烈嶼南山頭等 2 處，因為位於偏僻海邊，受環境影響，其所設置自記氣象站應慎選妥善位置，俾便維護。請問廠商是否已選定其位置？另所完成設置自記氣象站在預算編列上屬於設置費用，2 年期滿後是否交由金管處？並請將維護方法亦同時技術轉移金管處同仁。預估 112 年何時能完成？	感謝委員意見，預期設置地點已有先行現場勘查。本案結案後該設備權限將移交供貴處持續收集基礎資料，維護辦法亦將提供 貴處參考。預計 112 年度工作計畫書審查完畢後即進場設置自記式氣象站。	圖 6-4 至 圖 6-5	p.119

會議意見	意見回覆	章節/圖表	頁次
(甘特圖看不出來)建議及早完成以便蒐集資料提供分析。			
6. 除廠商規劃增值網頁導覽及調查項目增加之外，有關本計畫重要區段海岸地形變遷監測「海崖高程」，邀標書規定計畫期間至少1次以三維地面光達掃描儀 (LiDAR) 或 UAV 航拍 (DEM 與正射影像) 收集 6 處海岸段斷崖之地表資訊，作為長期監測地形發育與地景保育研究、數位典藏之基礎。針對大金門古寧頭北山斷崖及烈嶼南山頭海岸 2 處指標地點，廠商是否提高 2 次作為回饋？	感謝委員意見，針對古寧頭北山斷崖海岸及烈嶼南山頭海岸等 2 處指標地點，執行團隊均已優規規劃 2 次 (每年各 1 次) LiDAR 資料蒐集，以及冬夏季作用後 2 期沉積物粒徑分析。	表 2-1	p.10
委員三			
7. 請就現地之瞭解，說明未來經營管理具體方向或策略。	感謝委員意見，金門海岸地景相當珍貴，例如南山頭的玄武岩更可反映重要地質歷史事件，建議國家公園參考北愛爾蘭案例，仍以監測為主要工作，持續紀錄現地時空變化情形，作為長期經營管理策略重要基礎資訊。	-	-
8. 請定義海岸線變遷是以 0 m 海岸線或高灘線為分析基礎？以及選擇的理由。	感謝委員意見，執行團隊將依據 DEM 資料進行 0 m 海岸線分析，並利用 UAV 正射影像搭配歷史航照資料套疊分析高灘線變化情形。	-	-
9. UAV 及 LiDAR 測量儀器獲得地表資訊精度不同，請說明如何修正比對？	感謝委員意見，執行團隊規劃 UAV 及 LiDAR 之作業目標不同：LiDAR 主要獲取海崖立面資訊；UAV 則透過垂直取像產製正射影像進行海岸線變化分析，並利用側拍補足地面 LiDAR 不易到達之地表資訊。	-	-
委員四			
10. 廠商規劃增值服務提供導覽網頁，請說明後續如何維護管理？	感謝委員意見，增值製作之導覽網站於履約期間預計將掛載本廠商伺服器維護，結案後若要移交 貴處自行維護，需與 貴處資訊單位溝	-	-

會議意見	意見回覆	章節/圖表	頁次
	通確認儲存空間等問題。		
11. 空拍機請注意不得使用大陸廠牌。另，禁航區可透過申請專案許可飛行。	感謝委員意見，本計畫預計使用團隊自行組裝設計或美國廠牌無人機。禁航區內原則採 LiDAR 進行監測，如團隊評估須於禁航區內進行無人機作業，將依照民航局相關規定辦理申請。	表 5-1	p.96
12. 金門海岸潮差大，請說明 1 年執行 2 個月份監測是否足夠？有無可能增加監測次數？	感謝委員意見，執行團隊根據過往在金門監測調查經驗，建議 RTK-GPS 監測分別於 4 月及 10 月各進行 1 次，可反映冬季東北季風及夏季西南季風對於海岸線高程之影響。另考量颱風為明顯侵蝕事件，故規劃於颱風侵蝕季視情形增加 1 次監測作業。	表 2-1	p.10
委員五			
13. 本案邀標規範自記式氣象站設置地點為「古寧頭北山斷崖」及「烈嶼南山頭」，本服務建議書設置地點為「古寧頭北山斷崖」及「貓公石海岸」，請廠商補充說明。	感謝委員意見，執行團隊服務建議書誤植自記式氣象站設置地點，將依 貴處邀標書規範，設置於古寧頭北山斷崖海岸及烈嶼南山頭海岸。	圖 6-4、 圖 6-5	p.119、 p.119
委員六			
14. 本服務建議書編列 RTK-GPS 地形測量費用偏低，請廠商補充說明。	感謝委員意見，執行團隊差旅費用及工資皆獨立編列，因此 RTK-GPS 項目主要以儀器成本、維護等費用計價，顯示偏低。	-	-
委員七			
15. 廠商過往實績承攬過經濟部水利署、河川局、行政院農業委員會水土保持局、自來水公司等單位委託計畫，請問就執行其他單位案件的經驗，能否提供本部營建署國家公園相關專業建議？是否有其他可改進或參考辦理的事項？	感謝委員意見，金門海岸地景相當珍貴，例如南山頭的玄武岩更可反映重要地質歷史事件，建議國家公園參考北愛爾蘭案例，仍以監測為主要工作，持續紀錄現地時空變化情形，作為長期經營管理策略重要基礎資訊。	-	-

期初工作計畫書書面審查意見回覆

會議意見	意見回覆	章節/圖表	頁次
1. 本案經本處書面審查原則通過，請依本處書面審查意見修正後送交修訂版計畫書 2 份備查，並依契約內容及時程辦理。	感謝委員意見，遵照辦理。	-	-
2. 工作計畫書第 13 至 14 頁，計畫團隊預計新設 4 處海岸控制點，請提供預定設置點精確座標，以套疊確認是否涉及私人或其他單位管轄土地，是否需調整或申請。	感謝委員意見，新設 4 處海岸控制點原則設置於貴處管轄之土地。團隊將於埋樁前預先施測，並提供貴處設置點坐標，確認不涉及私人或其他單位管轄土地後，再行埋設。	2、控制點佈設	p.14
3. 工作計畫書第 28 頁，是否有考慮設置較牢固之特徵共軛點？各次監測不須重新佈設標記，且可減少重新佈設可能造成之誤差，提供成果套疊參考？	感謝委員意見，除控制點可作為特徵共軛點外，規劃採用自然特徵點以及暫時性之測量標，作為測站拼接共軛點，避免破壞海岸地景。	圖 3-61	p.57
4. 工作計畫書第 36 至 37 頁，有關航空標設置問題： (1). 本案預計佈設之航空標材質為何？是否為永久佈設？若為永久佈設，應注意設置點位土地所有權屬。 (2). 目前規劃每處佈設 5 個航空標，然而依圖 2-29 至圖 2-31 航線規劃，並非全部照片皆至少拍到其中 1 個航空標，如何確保空拍照片可順利疊合影像？	感謝委員意見。 (1). 本計畫新設之控制點及既有點位（如路面測量鋼釘、圖根點等）可兼作航空標使用，其餘航空標將採用臨時性布標，以克服灘面不易佈設永久性航空標，並減少海岸地景之人為干涉。 (2). 原則只需於測區四周及中心佈設航空標，即可藉由影像特徵點提取與匹配、重建影像方位等航空攝影測量程序，產製稠密點雲與數值地表模型，進而製作正射影像。	圖 5-7、 圖 5-9 至 圖 5-11	p.101 至 p. 103
5. 工作計畫書第 39 至 41 頁，有關沉積物取樣與粒徑分析： (1). 依據第 9 頁表 2-1，「北山斷崖海岸」及「烈嶼南山頭海岸」規劃進行 2 次採樣分析，依據第 IX 頁說明為分析冬	感謝委員意見。 (1). 「北山斷崖海岸」及「烈嶼南山頭海岸」規劃於 112 年度冬末(3 至 4 月)與夏末(10 月)進行採樣。 (2). 考量其餘海岸侵蝕情形較不顯著，規劃於 113 年度冬末(3 至 4 月)作用	(一)作業規劃	p.78

會議意見	意見回覆	章節/圖表	頁次
<p>夏季作用後 2 期沉積物粒徑，是否皆規劃在 112 年度執行？預訂採樣月份為何？</p> <p>(2). 其餘海岸段，預訂採樣月份如何？是否也需考量冬夏季作用之差異？</p> <p>(3). 團隊預計「於沙灘面長側每 200 公尺採樣 1 點、寬側每 20 公尺採樣 1 點，範圍涵蓋整個目標沙灘區域，且每個樣本點預計採 100 公克左右沉積物」，而後「取至少 10 克」以離心作粒徑分析。請問本項工作之規劃，是每個灘岸混合所有樣本後取 10 克進行分析以代表整個灘岸？或是每個樣點分別分析以建立整個灘岸面狀的粒徑分佈情形？如是前者，是否需考量離岸遠近或灘岸東西側因受海流或地形影響的粒徑分佈差異性？</p>	<p>後執行採樣，了解堆積之情形。</p> <p>(3). 團隊規劃於每處樣點分別進行粒徑分析，建立面狀的粒徑分佈情形，以了解各處海岸沉積物粒徑分布的空間特性。</p>		
<p>6. 工作計畫書第 47 頁，歷史影像為何採用 99 年航拍正射影像？是否已有取得其他年份之正射影像，評估其影像品質？</p>	<p>感謝委員意見，99 年航拍正射影像是於工作計畫書內示意用，團隊將陸續蒐集其他年份之影像。</p>	<p>一、蒐集既有影像</p>	<p>p.94</p>
<p>7. 建議可配合本處已辦理之歷年海岸地形數值測量成果進行本案海岸線變化情形分析。</p>	<p>感謝委員意見，遵照辦理。</p>	<p>-</p>	<p>-</p>
<p>8. 考量未來海岸線變化長期監測之需求，建議本案新設置之海岸控制點應以石樁加設鐵蓋方式設置或以石樁加鋼片方式設置，並選擇不易被干擾之地點設置。</p>	<p>感謝委員意見，本計畫新設海岸控制點將選擇貴處管轄且不易被干擾之地點，比照圖根點形式，採平面鋼樁加鋼片方式設置。</p>	<p>圖 3-4</p>	<p>p.14</p>

會議意見	意見回覆	章節/圖表	頁次
<p>9. 依契約第 14 條規定，本案研究成果「以廠商為著作人，機關取得著作財產權。廠商得基於教學、研究、著述、內部訓練等正當目的，無償使用該著作，並得以上述正當使用目的再授權他人利用。」請廠商如有相關研究報告、研討會發表或新聞稿及粉絲頁等保育宣導，應揭露為本處提供計畫經費為宜。</p>	<p>感謝委員意見，遵照辦理。</p>	<p>-</p>	<p>-</p>
<p>10. 有關本案監測計畫內灘面高程測量及分析其頻率每半年至少 1 次，因本案涉及不同季節風向之影響，其海灘流沙進出變化及海浪對海岸線影響等，故建議測量分析時間點考量海灘沙量變化之情形合理設置。</p>	<p>感謝委員意見，團隊考量金門與烈嶼海岸地形作用主要受到 5 至 10 月颱風影響，造成嚴重沙灘侵蝕與海崖崩塌；10 至 3 月東北季風影響，產生沙灘堆疊現象，規劃於 4 月與 10 月大潮期間，以及一期颱風過後進行灘面高程測量。</p>	<p>(二)外業測量</p>	<p>p.18</p>
<p>11. 本案海崖高程資料收集及分析(含套繪分析重要岸段之海岸線變化情形)，及前述海灘流沙及俟後計畫成果資料，將納入海岸侵蝕改善之工程或養灘工作重要參考依據。</p>	<p>感謝委員意見。</p>	<p>-</p>	<p>-</p>

期中報告書審查意見回覆

會議意見	意見回覆	章節/圖表	頁次
業務單位 (保育研究課)			
1. p.13, 第一行贅字「定位系統」刪除; 靜態觀測方式應為圖 3-1, 內文請修正。	感謝委員提醒, 已更正誤繕文字。	-	p.13
2. 有關 p.17-p.25「灘面測量高程」: (1). p.17, 根據本處「金門國家公園海岸地景資源調查及保育管理規劃」及「金門國家公園 105 年地景保育調查暨監測計畫」, 於 103、104 及 105 年三個年度皆有調查紀錄, 建議納入本案歷史資料比對。 (2). 是否已可初步看出 112 年 4 月所測量成果與歷史資料的比較結果? 請補充說明。 (3). 圖 3-9 所示南山頭海岸 RTK 測量點未包含本案預定所有範圍 (參考報告書 p.4), 請廠商補充說明是否書面報告未顯示所有工作範圍? 或實際操作縮小執行範圍, 其理由為何? (4). 各岸段的灘面高程請盡可能緊鄰崖底起測, 如未能緊鄰崖底, 請補充說明考量 (例如 p.21 圖 3-12 所示新頭海岸測量點分布, 與崖底尚有一段明顯距離)。 (5). p.22 漏字: 圖 3-16「至」圖 3-20 所示。	(1). 感謝委員建議, 古寧頭北山斷崖海岸及烈嶼南山頭海岸有重複調查範圍, 將納入歷史資料進行比對。 (2). 112 年 4 月灘面高程測量成果與歷史資料比較結果, 將列入下一期報告書內。 (3). 南山頭海岸 RTK 測量範圍自青岐出海口至中段過後, 已達較無沙灘變化之金門層露頭範圍 (圖 3-13), 與歷史資料測量範圍相同。另南山頭海崖高程測量以光達進行全面掃描, 亦包含中後段灘面地表資訊。 (4). 金湖新頭海岸測量點已達建物前緣, 即灘面與水泥道路邊界 (圖 3-12)。剩餘未測量範圍看似灘面而實為人工建造物。 (5). 感謝委員提醒, 已補充漏繕文字。	圖 3-12、 圖 3-13	p.17
3. 有關 p.26-p.38「海崖高程測量」: (1). p.26 內容說明目前已完成 5 處海岸高程測量, 惟其後相關分析未提及「古寧頭北山海堤海岸」及「烈嶼貓公石海岸」, 請補充說明目前辦	(1). 古寧頭北山海堤海岸現以 UAV 航空攝影測量產製點雲進行海崖高程測量, 執行團隊將評估是否補測光達; 烈嶼貓公石海岸已完成光達資料拼接, 將於下一期報告書內闡述分析成果。	三、海崖 高程測量	p.53

會議意見	意見回覆	章節/圖表	頁次
<p>理進度及預訂工作進度。</p> <p>(2). 「烈嶼 L56 據點」預定於 113 年何時辦理，請補充說明。</p> <p>(3). 圖 3-30、3-32、3-34 古寧頭北山斷崖、烈嶼南山頭及烈嶼黃厝三處海岸皆未包含本案預定所有範圍（參閱報告書 p.2~p.4），請廠商補充說明是否書面報告未顯示所有成果範圍？或實際操作縮短執行範圍，其理由為何？</p> <p>(4). p.38 初步分析之「崩塌及堆積量體」是否將呈現於下一期報告書？</p>	<p>(2). 兩處重點關注岸段（古寧頭北山斷崖海岸與烈嶼南山頭海岸）之第二期海崖高程測量將於 113 年 4 月份辦理。</p> <p>(3). 由於海崖範圍狹長，難於報告書截圖呈現完整成果，故僅以局部畫面示意。執行團隊已另提供主辦課室完整光達點雲拼接成果之飛行導覽影片。</p> <p>(4). 初步分析之崩塌及堆積量體將列入下一期報告書內。</p>		
<p>4. 有關 p.39-p.46「沙灘區沉積物粒徑分布分析」：</p> <p>(1). 本案合約規定共 7 處海岸須辦理本項工作，目前尚有烈嶼貓公石海岸及烈嶼 L56 據點海岸兩處未採樣，是否預計明（113）年進行採樣分析？請補充說明。</p> <p>(2). p.39 漏字：圖 4-1「至」圖 4-5 所示。</p> <p>(3). p.42 圖 4-5 缺少點位 3-3，請檢視修正。</p> <p>(4). p.45 黃厝樣區</p> <p>i. 該段文字前段說明「樣本以砂粒徑為主，其次則以礫粒徑為主……」，與後半段說明「在海岸上有許多礫粒徑沉積物，超過砂粒徑沉積物」，是否前後矛盾？</p> <p>ii. 樣本 3-3 與其餘沉積物樣本差異為何？建議文字說明並其原因如何請說明？</p> <p>(5). p.46 南山頭樣區 1-2 及 1-3 皆為靠海側樣本，理論上有較大的海浪營力推送粒徑較大的沙灘沉</p>	<p>(1). 已補充預計 113 年 4 月烈嶼貓公石海岸及烈嶼 L56 據點海岸等 2 處海岸採樣作業。</p> <p>(2). 感謝委員提醒，已補充漏繕文字。</p> <p>(3). 已修正圖 4-5 闕漏取樣點位。</p> <p>(4).</p> <p>i. 感謝委員指正，已補充漏繕文字「……，『粒徑明顯』超過砂粒徑沉積物。」</p> <p>ii. 將於後續報告補充樣本分析內容。</p> <p>(5). 南山頭樣區 1-2 及 1-3 樣本表現較異常，執行團隊後續將釐清樣本有無混淆，必要時將重新進行取樣。</p> <p>(6). 感謝委員建議，執行團隊已蒐集相關報告，後續將納入分析參考。</p>	肆、沙灘區沉積物粒徑分布分析	p.78

會議意見	意見回覆	章節/圖表	頁次
<p>積物，卻顯示粒徑較大的礫粒成分含量較高，建議是否重新取樣分析？或是否有可資說明之可能原因？。</p> <p>(6). 黃厝海岸沙灘粒徑大、南山頭海岸沙灘粒徑小，除了砂源成因之外，建議參考第八河川局有關潮波流等資料分析浪潮營力之影響。</p>			
<p>5. 有關 p.47-p.58「套繪分析重要岸段之海岸線變化情形」</p> <p>(1). p.47 說明目前蒐集影像包含 47 年航拍原始相片及 98 年金門縣五分之一正攝影像，惟工作計畫書所列為 99 年金門縣五分之一正攝影像，請確認資料為 98 年或 99 年？</p> <p>(2). p.53 圖 5-6 無人機操作證個資隱碼請確實。</p> <p>(3). p.55 針對 4 處海岸段進行飛航規劃，惟本案標的有 7 處海岸線，有關黃厝、L56 及南山頭 3 處岸段是否缺漏？或納為下期工作進度？請補充說明。</p> <p>(4). p.58 請說明目前已完成正射影像製作的岸段，並應與歷史資料進行比對分析。</p>	<p>(1). 感謝委員提醒，經確認應為 98 年資料，99 年文字為誤植。</p> <p>(2). 已修正圖 5-6。</p> <p>(3). 已補充烈嶼黃厝海岸、L56 據點海岸、南山頭海岸等 3 處海岸預計 113 年進行拍攝。</p> <p>(4). 已補充圖 5-22、圖 5-23 說明。</p>	<p>伍、套繪分析重要岸段之海岸線變化情形</p>	<p>p.94</p>
<p>6. p.67 小結建議補充說明不同特性的邊坡實際所指特性為何？例如是否受到地表覆蓋植被、土壤性質、母岩性質、坡向、坡度等特性影響所造成之差異？</p>	<p>已補充表 6-1 說明古寧頭北山斷崖海岸分段地形發育及特性。</p>	<p>表 6-1</p>	<p>p.129</p>
<p>7. 建議補充本案 112 年度期中報告結論章節，並請補充參考文獻章節。</p>	<p>遵照辦理，已補充相關章節。</p>	<p>結論 參考文獻</p>	<p>p.137 至 p.140</p>
烈嶼區管理站			
<p>8. 建議補充說明歷史資料</p>	<p>遵照辦理，將於下一期報告</p>	<p>-</p>	<p>-</p>

會議意見	意見回覆	章節/圖表	頁次
之分析比對項目。	書呈現歷史資料分析比對成果。		
黃副處長怡平			
9. 請廠商協助將監測資料轉化為淺顯易懂的文字及呈現方式，俾便本處與民眾說明及溝通。	遵照辦理，將於下一期報告書呈現相關成果。	-	-

期末報告書審查意見回覆

會議意見	意見回覆	章節/圖表	頁次
鄭處長瑞昌			
1. 本計畫目前成果顯示新頭海岸呈現侵蝕情形，然該海岸近期因淤沙議題規畫設置擋土牆工程，本案為跨年度計畫，建議後續再觀察與注意。	感謝委員建議，執行團隊將持續觀察監測新頭海岸侵淤情形。	表 1-1	p.7
2. 無人機涉資安問題，請確認符合相關規定。	遵照辦理。	-	p.96 至 p.100
3. 部分海崖因具有碉堡構造物等標的明顯的地物，如有崩塌即相當明顯。本計畫目前以監測資料進行分析說明，請補充探討下列問題： (1). 平均高潮線、0 公尺海岸線是否有持續退縮之情形？ (2). 如何解讀崩塌問題？例如後方是否涉及民眾生命財產安全？若 0 公尺海岸線不變、國土面積不變，則是否有必要阻止崩塌？ (3). 可否分析不同海岸段的崩塌確切成因如何？各岸段受到海浪沖刷、地表侵蝕或承重壓力等不同影響，若須採取防護，應如何判斷相對應之措施？	(1). 執行團隊今年繪製 0 公尺海岸線，未來將增繪平均高潮線，並檢視在更長時間尺度下有無持續退縮之情形。 (2). 海崖崩塌主要受到上方降雨匯集產生入滲導致孔隙水壓上升而形成邊坡不穩定，或是海崖坡腳受到颱風暴潮侵蝕形成崩塌。在 0 公尺海岸線無明顯變化的情形下，目前建議以監測方式了解作用的頻率與規模，未來再依據更多的數據與海崖地形變遷情形研擬適當因應策略。 (3). 圖 3-77 由海崖剖面、陸地與海水面下侵蝕作用強度和海崖特性來分析，若上方有抵抗侵蝕岩層且海蝕作用大者，海崖剖面會呈現較陡或有海蝕凹壁；在海崖受到上方降雨入滲造成海崖邊坡則會形成較緩的海崖。在下方有抵抗層的情形且海蝕作用大者，會形成下方突出而上方凹向後的剖面。因此由雷射掃描製作之海崖剖面可以協助判斷海崖侵蝕作用的特性，並研擬相關策略。	(四)灘面地形變遷趨勢、 (四)105 年至 112 年變異分析	p.33 至 52、p.67 至 p.77
4. 本處近年於烈嶼車轍道 3.2 公里處設置截水溝，	由本研究觀察，南山頭相對較抗蝕，因此海崖崩塌不明	表 6-1	p.129

會議意見	意見回覆	章節/圖表	頁次
目前觀察已有草本植被生長；北山斷崖上方種植防風樹種及設置截水溝，建議納入探討相關措施對於現地抗崩塌是否已有成效？	顯。北山斷崖在 2023 年 7 月與 9 月颱風豪雨降雨影響，雖然有植被與截水溝，但是西半段上方出現蝕溝侵蝕擴大與海崖崩塌，顯示本年度颱風降雨可能超過截水溝設計流量與植被保護，形成海崖侵蝕與崩塌。		
5. 請補充說明 113 年預定監測月份與 112 年已監測月份相同與否？	113 年對應之相同農曆月份（三月及九月）與 112 年度相同，亦為國曆 4 月與 10 月。考量東北季風增強前以及計畫期程，執行團隊將與業務單位討論將農曆九月提前至其他月份。	二、建議	p.139
6. 可否以動畫呈現展示整體大小金門在同一時期，各海岸線的侵淤變化情形？	感謝委員建議，執行團隊將以動畫或圖片形式顯示整體大小金門在同一時期，各海岸線的侵淤變化情形。	-	-
7. 美國 1958 年的 U2 航照資料，可考量以道路或湖泊等進行套疊比對。	感謝委員建議，執行團隊經比對認為道路與湖泊變化情形較大，歷史建築變化則相對小，故發想可由地籍資料協助套疊影像。	圖 5-1	p.94
8. 如有本處協助申請相關地籍資料之必要，請本處企劃經理科及保育研究科協助辦理。	感謝委員。	圖 5-1	p.94
黃副處長怡平			
9. 簡報第 37 頁，分析顯示該段海岸退縮 6.2 公尺，如何判斷此退縮程度嚴重與否？是否有其他國家或地區有相似案例可供比對說明？	執行團隊將蒐集國內外其他案例，於 113 年工作計畫書中呈現。	-	-
10. 請協助轉化淺顯易懂的內容，使民眾易於理解，並可提供管理單位作為未來採取經營管理原則與措施之參考。	感謝委員建議，執行團隊將持續努力精進。	-	-
環境維護科			
11. 建議補充說明設置雨量計的目的與功用，以及監測至今獲得之資料對於現地海岸監測應用之分析結果。	感謝委員建議，已補充現地降雨量與邊坡含水率每小時資料提供高時間解析度現場狀況，搭配颱風事件前後兩期雷射掃描資料計算，可獲得事件的降雨量與崩塌量之	一、設置自記式氣象站	p.117

會議意見	意見回覆	章節/圖表	頁次
	關係。也可以利用這樣的關係對過去的事件作推估。惟目前僅有一期雷射掃描資料，較難搭配氣象站資料進行時序性分析說明，故執行團隊規劃於 113 年收集第二期光達海崖資料後補充說明內容。		
12. 每次測量時段是否有統一標準？例如漲退潮時段、大小潮日等條件。	已補充原則於大潮日之退潮時段進行灘面高程測量。	2、作業規劃	p.18 至 20
13. 整體海岸灘面顯示淤積，是否表示無海岸侵蝕，假如海崖在此情形下發生崩塌，應解釋為受到土壤含水率較大之影響？	海灘面上體積增加是由海崖崩塌物質移動到海灘面，同時受到海水侵蝕作用的結果。如果海灘面體積增加是指崩塌掉落海灘的物質並未完全被海水搬運移除，而非海岸無侵蝕。而配合前述之動態海崖剖面剖線矩陣 (Matrix of active sea-cliff profiles) (Emery et al., 1982) 可以更了解海崖剖面是受到海浪侵蝕或是海崖上方崩塌之影響。	圖 3-77	p.67
業務單位 (保育研究科)			
14. 報告書封面及內頁左下角請加註為 112 年度期末報告書。	遵照辦理。	-	-
15. 封面及內頁左上角主辦機關請修正全銜：內政部國家公園署金門國家公園管理處。	遵照辦理	-	-
16. 第 XI 至 XVIII 頁，標題請修正為各期會議「審查意見回覆」。另，部分頁次對照有誤或缺漏，請修正。	遵照辦理。	-	-
17. 報告書第 19 頁建議補充表 3-4 測量時間之日期，可用於對照農曆。此外，同一測區在不同月份之 RTK 測量點數不一，請補充其理由，並說明點數對於成果之影響如何。	已補充測量日期及農曆於表 4-1。考量海灘地形相對平緩，執行團隊原規劃 20 公尺之測點間距。實際執行外業測量時，實際測點密度均高於原先規劃，且於灘面施測時會針對地形變化較大的區域增加測量點，故不同時期的測量點數稍有出入。執行團隊亦利用高密度的地面光	表 4-1	p.78

會議意見	意見回覆	章節/圖表	頁次
	達點雲作為參考資料，分析不同參數內插 RTK 測量點所獲得的 DEM 與實際地形之落差，成果將補充於國家公園學報投稿內容。		
<p>18. 報告書第 31 頁開始分析灘面地形變遷趨勢，各段海岸之「侵淤變化情形表」問題如下：</p> <p>(1). 所計算平均整體堆積或侵蝕為高度或體積？若係高度，是指 0 m 線的平均變化嗎？</p> <p>(2). 0.017 公尺即表示變化量僅有 1.7 公分，是否在誤差範圍內？建議第參大章應補充本計畫建立數值高程模型的最小單位及誤差範圍資訊。</p> <p>(3). 目前各海岸段 4 月與 8 月之間的差異，皆以 7 月經歷颱風作為主要影響因子進行探討分析，但 4 月至颱風前的變化未知之情形下，是否能直接將 7 月颱風作為造成明顯侵蝕或堆積之作用因子？建議再予斟酌。</p> <p>(4). 各海岸段 8 月至 10 月的侵淤變化說明，在 9 月海葵颱風之後，有些地方呈現堆積、有些則全然相反顯示為侵蝕，是否可從各海岸方位、地形地貌等因素進行比較探討，以說明可能原因？</p> <p>(5). 表 3-6 古寧頭北山海堤海岸總計 112 年 4 月至 11 月平均整體變化，於說明段表示整體以堆積作用為主，但侵淤變化則顯示平均整體為侵蝕情形，請再檢視確認。</p> <p>(6). 表 3-9 說明烈嶼南山頭於今年之侵淤表現為歷年少有的情況，建議是否應補充歷史資料呈現</p>	<p>(1). 係指體積增減平均於測區面積的高度差異，計算方式是兩期 DEM 差值計算體積增減量，再除以測區面積獲得高度差異。正值代表高程增加（堆積），負值代表高程減少（侵蝕）。</p> <p>(2). 感謝委員建議，於(三)數值高程模型套疊 0 公尺高程海岸線補充說明數值高程模型為 5 公尺解析度。執行團隊正在分析 RTK 產製數值地形模型的誤差，完整成果將補充於國家公園學報投稿內容。</p> <p>(3). 感謝委員建議，根據過去經驗，颱風與東北季風是主要侵淤因子，故假設 4 月至 8 月地形變化主要是颱風造成，而 11 月至隔年 4 月的地形變化主要是東北季風造成，執行團隊將再檢視修正報告書用詞。</p> <p>(4). 感謝委員建議，執行團隊將蒐集過去計劃及明年度測量資料，持續進行探討並提出可能影響的因素。</p> <p>(5). 感謝委員指正，已修正誤繕文字。</p> <p>(6). 感謝委員建議，執行團隊已補充歷史資料（圖 3-48）及並持續於明年度進行監測。</p>	(四)灘面地形變遷趨勢	p.33 至 p.45

會議意見	意見回覆	章節/圖表	頁次
之情形。(報告書第 134 頁併請建議補充說明。)			
<p>19. 報告書第 48 至 51 頁小結：</p> <p>(1). 新頭海岸錯字請修正。</p> <p>(2). 表 3-10 侵淤統計表是計算各海岸段之總量或以單位面積為單位？如係為總量，建議提供各海岸段面積資訊。</p> <p>(3). 南山頭海岸於颱風後堆積的現象如與歷史研究成果不同，是否考慮金門大橋工程構造物，以及大橋開通後減少大小金門之間船隻來往，對於海流之影響，進而對海岸侵淤變化之影響？建議探討並補充說明可能原因。(報告書第 134 頁併請建議補充說明。)</p> <p>(4). 古寧頭北山斷崖海岸、古寧頭北山海堤海岸、烈嶼黃厝海岸之海崖應係由沉積岩形成之貓公石地質，而非風化花崗岩，請確認修正。(報告書第 128 頁內文併請修正。)</p> <p>(5). 內文圖 3-52 誤植為圖 3-53，請修正。</p> <p>(6). 內文寫到殘餘在灘面上淺色的大顆粒主要為風化剩餘的黏土，是海崖崩落物，然而黏土應是較容易被海水侵蝕的物質，該礫石粒徑物是否為黏土，建請再分析確認。</p>	<p>(1). 感謝委員指正，已修正誤繕文字。</p> <p>(2). 感謝委員建議，侵淤統計表是計算各海岸段之體積變化總量，已補充各海岸段面積資訊於表 3-10。</p> <p>(3). 本計畫明年度將持續進行監測，目前尚無法論定堆積與侵蝕與過去的差別是否能直接連結到大橋與船隻活動。</p> <p>(4). 感謝委員指正，已修正誤繕內容。</p> <p>(5). 感謝委員指正，已修正誤繕內容。</p> <p>(6). 執行團隊在現場調查時已確認為黏土粒徑完全風化，由於是由海崖塊狀崩落，因此短暫時間還會停留在海灘。後續若受到侵蝕而黏土脫落，則容易被海水帶離不會停留在沙灘，因此採樣沉積物中粉沙與黏土粒徑物質比例極低。</p>	(五)小結	p.50 至 p.53
<p>20. 報告書第 64 至 74 頁，海崖高程測量 105 年至 112 年變異分析：</p> <p>(1). 各海岸段 M3C2 變異距離圖，請補充指北針及比例尺。</p> <p>(2). 各海岸段關注岸段與斷面位置圖，建議補充各框列關注段之面積資</p>	<p>(1). M3C2 變異距離為 3D 點雲截圖，同一畫面內距離受視角及遠近影響，故無比例尺。指北針及比例尺請參考圖 3-80 及圖 3-85 等主題圖。</p> <p>(2). 考量關注段海崖主要為立面，故以斷面編號為主。</p>	(四)105 年至 112 年變異分析	p.65 至 p.77

會議意見	意見回覆	章節/圖表	頁次
<p>訊。</p> <p>(3). 請補充說明圖 3-77 及圖 3-78 光達點雲內之紅色線條代表意義。</p> <p>(4). 表 3-15, 左側海崖高程 112 年高於 105 年, 是否不合理? 請再檢視確認, 並補充說明。</p> <p>(5). 表 3-16 顯示斷面編號 1111 之上方侵蝕凹陷處有沉積物堆積的現象, 然而該處已是該段海岸斷面最高處, 如何說明堆積物來源?</p> <p>(6). 表 3-17, 崖頂大多為同一平面之高程, 然而此兩斷面 112 年最高處高程皆高於 105 年之高程, 建議再檢視確認對照資料。此外, 斷面編號 650 表示「下方海崖後退距離約 3 公尺左右」, 建議於圖面標示「下方海崖」。</p> <p>(7). 報告書第 19 頁說明烈嶼南山頭海岸測量範圍自青岐出海口至中段過後, 因金門層露頭範圍較無沙灘變化 (圖 3-11)。報告書第 71 頁, 海崖高程分析說明烈嶼南山頭海岸「侵蝕最嚴重處位於西南側金門層露頭範圍之海崖」。依據後者分析情形, 是否有可能金門層之侵蝕較不易觀察而非無沙灘變化, 建議考量仍辦理中段之後的灘面高程資料測量建置, 藉以提供相關分析探討。</p> <p>(8). 表 3-18 建議於圖面標示灘面與崖頂位置。此外, 該斷面圖是否缺漏座標軸? 請檢視修正。</p>	<p>(3). 紅色線條為其他圖層, 已修正光達點雲截圖。</p> <p>(4). 感謝委員建議, 從表 3-15 中斷面圖可見 105 年與 112 年礮堡位置吻合, 應無系統性誤差或大錯。已補充說明海崖受上方礮堡保護, 故下方崖錐堆積後坡腳又受侵蝕, 形成較陡的坡面。</p> <p>(5). 經檢視 105 年斷面編號 1111 上方侵蝕凹陷處之光達點雲較稀疏, 故斷面線亦較無代表性, 已修正斷面圖。</p> <p>(6). 經檢視此段海岸於 105 年資料中受遮蔽等因素影響, 未能完整掃描至崖頂 (或崖頂點雲數量不足, 較難具有代表性), 故 112 年最高處之高程高於 105 年。已於斷面編號 650 加註下方海崖位置。</p> <p>(7). 感謝委員建議, 執行團隊將於 113 年 4 月以地面式三維雷射掃描蒐集中段之後之灘面高程資料。</p> <p>(8). 已於表 3-18 加註灘面與崖頂位置, 另考量該處海崖倒懸之特殊現象難以正確展繪斷面線, 故先以「點雲剖面」取代斷面線進行展示, 並以量測距離取代坐標軸。</p>		
<p>21. 報告書第 83 至 89 頁, 粒徑分析初步成果:</p> <p>(1). 部分此外岸段海岸長度</p>	<p>(1). 感謝委員建議, 將於明年初報告內容加強探討。</p>	<p>(三)初步分析成果</p>	<p>p.86 至 p.91、p.137</p>

會議意見	意見回覆	章節/圖表	頁次
<p>較長，灘岸粒徑是否應考慮分段探討說明？</p> <p>(2). 古寧頭北山斷崖與北山海堤為相鄰海岸，但靠崖側與靠海側之粒徑分佈呈現幾乎相反之情形，是否能補充探討可能原因。(報告書第 134 頁併請建議補充說明。)</p> <p>(3). 烈嶼貓公石海岸樣區顯示多為砂粒徑而礫石粒徑比例偏少，是否表示該海岸較無崩塌而無大型粒徑成分之補充？</p> <p>(4). 烈嶼南山頭海岸樣區沉積物區分為「靠近海崖」、「海灘中段」及「靠近海面」，內文請修正。此外，該段海岸出露金門層應有較高比例之黏土，然其粒徑分析皆未顯示此粒徑，可否說明可能原因？(報告書第 134 頁併請建議補充說明。)</p>	<p>(2). 感謝委員建議，已補充探討內容(北山斷崖呈現貓公石碎屑被推到坡腳堆積，北山海岸則呈現貓公石碎屑堆積在海岸與泥灘交界處。兩者差異主要在有無廣潮汐灘地保護。北山海堤有寬廣潮汐灘地保護因此沙灘以砂粒徑為主，較粗粒徑沉積物出現在低潮位附近；北山斷崖無寬廣潮汐灘地保護，海崖受颱風暴潮侵蝕造成貓公石崩落，堆積在高潮線附近)於相關章節。</p> <p>(3). 推測可能是因為後退速率較慢導致。</p> <p>(4). 感謝委員指正，已修正相關文字。黏土粒徑非常容易被海水帶離，不易出現在沙灘上，因此取樣與粒徑分析時未能顯示。</p>		
<p>22. 報告書第 105 頁，98 年烈嶼貓公石海岸林相茂密，航拍影像判釋海岸線可能受樹冠層影響，進而影響報告書 109 至 112 海岸線變化情形判釋結果。可否取得更多年份之航拍影像，判釋海岸線提供下一節進行套疊比較分析？</p>	<p>感謝委員建議，烈嶼貓公石海岸因林相茂密，不論從航拍正射影像俯視或地面光達掃描側視角度均難獲得實際的崖面位置。故判釋海岸線時僅能以相同的繪製原則(描繪樹冠外廓)進行數化，已於相關章節與建議加註數化時之考量。</p>	2、烈嶼貓公石海岸、二、建議	p.113、p.139
<p>23. 報告書第 107 至 112 頁套繪分析海岸線變化情形，有些海岸套疊情形顯示 112 年海崖較 98 年海崖突出，應是人工判釋造成之誤差，建議補充說明誤差範圍。</p>	<p>感謝委員建議，部分 112 年海崖較 98 年突出，主要是受樹冠遮蔽影響，亦較難量化其誤差範圍，建議應參考整個海岸段的趨勢，或裸露海崖之海岸線。</p>	2、烈嶼貓公石海岸	p.113
<p>24. 報告書第 125 頁，小結僅就「古寧頭北山斷崖說明海崖分段地形發育及特性」，建議補充烈嶼南山頭，作為了解降雨狀況對於地形變遷情形探討之</p>	<p>感謝委員建議，執行團隊將於 113 年工作計畫書補充烈嶼南山頭海岸相關資訊。</p>	-	-

會議意見	意見回覆	章節/圖表	頁次
基本資訊。			
25. 目前氣象站資料僅說明資料本身，建議補充說明氣象站資料應用於地形變化分析之探討。	感謝委員建議，氣象站資料搭配前後期雷射掃描資料，可推估降雨量與崩塌量之關係。惟目前僅有一期雷射掃描資料，較難搭配氣象站資料進行時序性分析說明，故執行團隊規劃於 113 年收集第二期光達海崖資料後補充說明內容。	一、結論	p.138
26. 報告書第 128 頁： (1). 依據前面章節之分析，並非每處海崖與海灘均是明顯侵蝕作用，部分則呈現堆積情形，請檢視修正。 (2). 錯別字請修正。 (3). (#) 是否欲標示圖 7-1? 請檢視修正。	感謝委員指正，已修正(1)至(3)誤繕內容。	柒、研擬未來經營管理之因應措施	p.132 至 p.133
27. 報告書第 133 至 134 頁： (1). 請補充建議事項 (結論與建議)。 (2). 113 年預計分別於 4 月及 10 月辦理監測，建議檢視 112 年監測之農曆日期，挑選相對應之農曆月份辦理。 (3). 113 年 10 月大多已進入農曆 9 月期間，按照過去經驗，農曆 9 月東北季風已開始增強。該次監測目標為提供夏末海岸情形，建議應盡可能於東北季風開始增強前完成。 (4). 團隊預計於 113 年 10 月額外執行一期粒徑採樣工作，惟本案 113 年期末報告繳交期限為 11 月 15 日，建請評估採樣分析與成果說明所需期程。 (5). 套繪分析內文僅敘述本期工作成果，建議應補充說明經套疊分析顯示之海岸線變化情形。 (6). 自記式氣象站建議應補	(1). 已補充建議事項。 (2). 感謝委員建議，113 年對應之相同農曆月份 (三月及九月) 亦為國曆 4 月與 10 月。 (3). 考量東北季風增強前以及計畫期程，執行團隊將與業務單位討論將農曆九月提前至其他月份。 (4). 承上，粒徑採樣時間是配合灘面 RTK 高程測量作業辦理，將一併討論提前作業之可行性。 (5). 已於內文補充。 (6). 感謝委員建議，氣象站資料搭配前後期雷射掃描資料，可推估降雨量與崩塌量之關係。惟目前僅有一期雷射掃描資料，較難搭配氣象站資料進行時序性分析說明，故執行團隊規劃於 113 年收集第二期光達海崖資料後補充說明內容。	結論與建議	p.137 至 p.139

會議意見	意見回覆	章節/圖表	頁次
充說明雨量、土壤含水率等資料顯示對於現地影響之探討與分析結論。			