



摘要

金門地區東北角海岸往年辦理過田埔、營山（田墩）等區之海域環境調查，為補充金門地區東北角海域環境之基本地形，金門縣水產試驗所辦理「金門縣馬山至山后海域環境測定調查」，主要針對馬山—山后連線之海域進行水深地形調查，另須將往年田埔、營山（田墩）海岸所測定海域地形資料進行連接彙整，以獲得大金門東北角完整海岸及海域基本地形資料，做為後續該地區相關規劃設計施作之參考基礎。

本計畫以大金門東北海岸—馬山至山后連線涵蓋之海域（至水域禁限止範圍）範圍，海岸線長度約 2.7 公里、海域面積約 24.3 平方公里，於 102 年度調查監測一次，主要工作內容為：(1)控制系統檢測及引測；(2)潮位站架設及高程引測；(3)海岸地形測量；(4)海域水深測量（單音束）；(5)資料整理 3D 地形成果編印，以建立大金門東北角完整地形資料庫，俾提供後續相關研究之基礎資料。本次施測馬山至山后海域地形成果，可知水深大多介於 0 至 -20m 左右，最深可達 -30m，海底地形較陡且不規則，暗礁林立。

海岸地形監測陸域部份以 3D 雷射掃描技術（地面光達）取代傳統地形測量進行施測，其以高密度之點雲資料增加陸域地形之準確性，建議未來持續採用光達掃描系統進行施測，以達到監測比對之準確性及可靠性。

金門地區四面環海，本計畫已完成大金門東北角〔營山（田墩）⇒馬山—山后⇒田埔〕等區之海域環境調查，為達金門周圍海域水深地形資料建置之完整性，建議後續可將未測定之金門區域，依區域分為 3 至 5 年之計畫辦理，除建立金門地區海域環境之基本測繪成果，更可提供後續相關單位作為國土規劃利用及航行安全之基礎圖資參考。

關鍵字：馬山至山后海域、單音束、地面光達、大金門東北角



目 錄

摘 要	I
目 錄	II
附件目錄	IV
圖目錄	V
表目錄	VII
第一章 計畫概述	1
1-1 計畫緣起	1
1-2 計畫位置及範圍	2
1-3 計畫依據	3
1-4 工作項目	3
1-5 工作規範	3
1-5-1 控制系統檢測及引測	3
1-5-2 潮位站架設及高程引測	4
1-5-3 海岸地形測量	4
1-5-4 海域水深測量 (單音束)	4
1-5-5 資料整理 3D 地形成果編印	5
1-6 執行進度	6
1-7 作業流程	9
1-8 海陸域地形調查	10
第二章 控制測量	11
2-1 控制系統	11
2-2 控制點資料	11
2-3 新設控制點	12
2-4 平面控制測量	14
2-4-1 平面控制系統檢測	14
2-4-2 平面控制測量	16
2-5 高程控制測量	19
2-5-1 高程控制系統檢測	19
2-5-2 高程控制測量	21
第三章 海岸地形測量	22



3-1	地面光達作業說明.....	23
3-1-1	地面光達系統.....	23
3-1-2	地面光達作業.....	24
3-1-3	地面光達定位原理.....	24
3-1-4	地面光達資料套疊.....	26
3-1-5	地面光達成果.....	28
3-2	傳統三次元測量.....	30
3-3	光達測量與傳統測量比較.....	33
第四章	海域水深測量（單音束）.....	35
4-1	潮位觀測.....	35
4-1-1	潮位站架設.....	35
4-1-2	潮位站高程引測.....	35
4-1-3	潮位資料蒐集.....	37
4-2	單音束測深系統（Single-Beam Echo Sounder System）.....	38
4-2-1	單音束作業流程.....	38
4-2-2	單音束儀器設備.....	39
4-2-3	單音束作業方法.....	41
4-3	單音束水深資料處理.....	46
4-4	單音束測深精度分析.....	49
第五章	成果圖檔繪製.....	50
5-1	1/1000 原始測線軌跡圖.....	50
5-2	1/1000 水深地形成果圖.....	50
5-3	水深 2D 色階圖成果.....	52
5-4	水深 3D 色階圖成果.....	53
5-5	大金門東北角水深地形成果.....	55
第六章	結論與建議.....	59
6-1	結論.....	59
6-2	建議.....	59



附件目錄

- 附件一、委員審查意見與回覆
- 附件二、控制點坐標成果表
- 附件三、樁位點誌記
- 附件四、GPS 平差計算成果
- 附件五、水準計算成果
- 附件六、水深外業測量記錄表(SB)
- 附件七、水深測量計算表(SB)

附 圖、3D 水深地形色階圖



圖目錄

圖 1-1	金門馬山至山后海域環境測定作業範圍圖	2
圖 1-2	進度甘特圖 (Gantt Chart)	7
圖 1-3	作業流程圖	9
圖 1-4	作業方式示意圖	10
圖 2-1	控制點相關位置	11
圖 2-2	控制樁鋼標樣式圖 (右圖現場樁位近照)	12
圖 2-3	新設控制點點誌記	13
圖 2-4	GPS 衛星定位儀器照	14
圖 2-5	GPS 衛星測量基線計算、平差、偵錯作業流程	17
圖 2-6	GPS 觀測網形圖	18
圖 2-7	GPS 觀測工作照	18
圖 2-8	精密自動記錄水準儀儀器照	19
圖 3-1	地面光達作業流程圖	22
圖 3-2	反光標樣式	23
圖 3-3	掃描儀坐標系統示意圖	26
圖 3-4	地面光達資料套疊過程 (馬山至山后潮間帶)	26
圖 3-5	拼接匹配計算表	27
圖 3-6	3D 點雲成果比對圖	28
圖 3-7	地面光達掃描點雲成果	28
圖 3-8	地面光達掃描 360 度環景圖	29
圖 3-9	地面光達工作照	29
圖 3-10	三次元地形測量作業流程	30
圖 3-11	全測站經緯儀	30
圖 3-12	三次元地形測量工作照	31
圖 3-13	陸域地形測量成果圖 (縮繪)	32
圖 3-14	地面光達與三次元測點圖	32
圖 3-15	草嶼地形分布圖	33
圖 4-1	潮位觀測站分佈圖	36
圖 4-2	潮位資料曲線圖	37
圖 4-3	單音束水深測量作業流程圖	38



圖 4-4	單音束水深測量用船舶	39
圖 4-5	單音束水深量測系統 (ODOM Hydrotrac)	39
圖 4-6	聲速檢校鈸與湧浪補償器儀器照	41
圖 4-7	單音束測線規劃與實測軌跡圖	42
圖 4-8	儀器架設示意圖.....	43
圖 4-9	漲退潮之潮間帶重疊區域示意圖	45
圖 4-10	單音束水深現場作業情形	46
圖 4-11	單音束水深資料處理流程圖.....	46
圖 4-12	單音束水深精度檢核圖	49
圖 5-1	原始測線軌跡圖－馬山至山后海域	50
圖 5-2	網格 40M 測量成果圖－馬山至山后海域.....	51
圖 5-3	水深地形等深線圖－馬山至山后海域	51
圖 5-4	水深地形 2D 色階套疊正射影像圖－馬山至山后海域	52
圖 5-5	水深地形 3D 色階圖－馬山至山后海域	53
圖 5-6	水深地形 3D 色階套疊正射影像圖－馬山至山后海域	54
圖 5-7	水深地形等深線圖－大金門東北角海域	55
圖 5-8	水深地形 2D 色階圖－大金門東北角海域	56
圖 5-9	水深地形 2D 色階套疊正射影像圖－大金門東北角海域	56
圖 5-10	水深地形 3D 色階圖－大金門東北角海域	57
圖 5-11	水深地形 3D 色階套疊正射影像圖－大金門東北角海域	58



表目錄

表 1-1	各項工作執行進度表	7
表 1-2	各項工作測量精度規範表	10
表 2-1	已知控制點檢測坐標比較表	15
表 2-2	已知控制點檢測坐標反算距離較差表	16
表 2-3	已知控制點檢測坐標反算方位角較差表	16
表 2-4	新設控制點檢測坐標反算距離較差表	18
表 2-5	水準點檢測精度表	20
表 3-1	RIEGL LMS VZ-1000 主要規格	23
表 3-2	點雲套疊精度表	27
表 3-3	3D 雷射掃描測量與傳統測量之比較表	33
表 4-1	驗潮站高程引測計算表	36
表 4-2	Trimble AgGPS 332 儀器規格表	40



第一章 計畫概述

1-1 計畫緣起

臺灣之農林漁牧業轉型的腳步逐漸加快，政府極力推展休閒體驗型漁業，金門四面環海，漁業發展以近海漁撈及淺海養殖為主，內陸養殖為輔。近年來由於漁業資源枯竭，加上大陸漁船非法炸魚及越界濫捕，對金門縣漁業發展影響甚鉅。如何解決金門縣上述之問題，將是目前金門最重要及迫切發展之方向。

因此，為有效保護金門沿岸海洋漁業資源及帶動該區漁業轉型，考量漁業資源管理、培育、休閒與生活品質，除投放人工魚礁外，並可設置定置網結合海上平台及箱網養殖，建構海洋牧場基礎及發展休閒漁業。投放人工魚礁及定置網漁業結合箱網養殖，不僅可提高海域生產力，節省經營成本，亦可兼營海洋生態旅遊及觀光休閒遊憩，體驗漁業活動，增加當地民眾就業機會，倍增漁民收益。

金門地區漁業人口自 1973 年至今現有統計數字，整體呈下滑減少趨勢，至 1993 年僅剩 528 人。關於漁業生產量，根據金門縣統計年報，金門縣近海漁業生產量自 1994 年以後就持續下降，至 1991 年僅有 2,988 公噸，1992 年尚有 3,714 公噸，到 1998 年僅剩下 1,850 公噸，產量已不及以往的一半。以金門地區之消費結構，資源狀態及生產技術，宜朝向落實推展管理型漁業及休閒漁業，客觀整體與長期考量漁業施政，使海洋漁業資源作最有效配置，兼顧漁民福利與漁村建設平衡發展。

金門地區產業正加速轉型當中，內外環境壓力交相影響，漁業景氣低迷之際，除積極投放人工魚礁培育資源，另引進臺灣最傳統且高技術性、高生產力，且與漁村生活息息相關之沿岸定置網漁業與海洋箱網養殖業及海洋觀光休閒平台，活絡地方經濟，使傳統及觀光休閒產業均能兼容並進，俾能再造金門漁業發展之新契機。



金門地區東北角海岸往年辦理過田埔、營山（田墩）等區之海域環境調查，為補充金門地區東北角海域環境之基本地形，金門縣水產試驗所（以下簡稱 貴所）委託金門縣物資處代為辦理「金門縣馬山至山后海域環境測定調查」委託技術服務（以下簡稱本計畫），主要針對馬山—山后連線之海域進行水深地形調查，另須將往年田埔、營山（田墩）海岸所測定海域地形資料進行連接彙整，以獲得大金門東北角完整海岸及海域基本地形資料，做為後續該地區相關規劃設計施作之參考基礎。

1-2 計畫位置及範圍

本計畫作業範圍如圖 1-1 藍色斜線區域所示，主要以大金門東北海岸—馬山至山后連線涵蓋之海域（至水域禁限止範圍）為主，海岸線長度約 2.7 公里、海域面積約 24.3 平方公里。

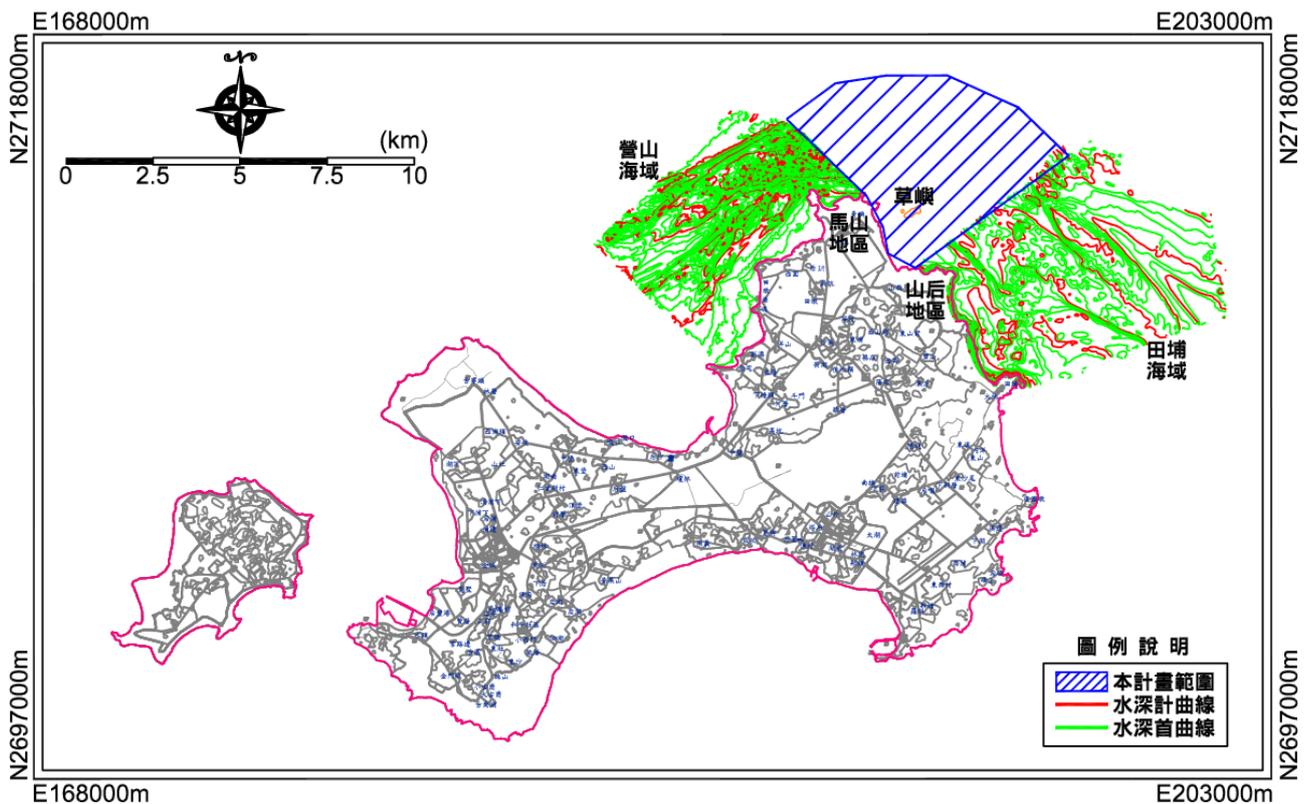


圖 1-1 金門馬山至山后海域環境測定作業範圍圖



1-3 計畫依據

金門縣大金門東北角地區於 93 年及 97 年分別辦理田埔及營山（田墩）之海域環境地形調查，為補充金門地區東北角海域環境之基本地形資料，以健全地區之海域地形，並提供 貴所瞭解海域地形變化，故辦理本計畫。

1-4 工作項目

本計畫需執行之工作項目如下：

- (一)、控制系統檢測及引測。
- (二)、潮位站架設及高程引測。
- (三)、海岸地形測量。
- (四)、海域水深測量（單音束）。
- (五)、資料整理 3D 地形成果編印。

1-5 工作規範

1-5-1 控制系統檢測及引測

1.控制系統：

- ★平面坐標系統：採用內政部金門地區 TWD97 坐標系統。
- ★高程坐標系統：採用內政部金門地區一等水準高程系統。

2.已知控制點檢測：

- (1)引用內政部二等衛星控制點、三等控制點及一等水準點為基準，但引用之前必須對原有點位進行檢測，檢測證明該點位未經移動後，方得引用。如未通過檢測之點，必須通知 貴所，以免日後誤用。
- (2)已知控制點之檢測以檢測相鄰三個點位間之夾角及距離為原則，將檢測值與已知值分別視為獨立不相關之變數，加以檢定，角度較差在 ± 10 秒以內、距離較差在 $\pm 1/20,000$ 以內者視為可用。
- (3)水準點之檢測亦應以檢測相鄰二點位間之高程差為原則，高程差之較差應小於 $\pm 8\text{mm}\sqrt{K}$ （K 表公里數），檢定通過後方得引用。



1-5-2 潮位站架設及高程引測

須與陸域岸線地形測量採用相同的控制基準，達到全區一致且海、陸域同系統的目的，以直接水準引測高程至潮位設置點，水深測量前需進行潮位站架設及觀測做水深量測改正之依據。其潮位觀測頻率以中央氣象局之資料格式至少每六分鐘一筆觀測資料，於進行水深測量時進行觀測至水深測量外業結束時止。

1-5-3 海岸地形測量

1.測量範圍：

以海岸自高潮線往內陸 100 公尺範圍內，測繪至岸線特徵物為止，範圍涵蓋潮間帶與濱海陸地區域，並涵蓋沿岸各級漁、商港區（港區陸、海範圍需全部納入），測量製圖比例尺 1/1,000。

2.岸線地形測量可用施測方式：傳統平面測量、航空攝影測量、GPS 測量、空載或地面光達測繪（LIDAR）。

3.等高線測繪間隔在地形平坦地區為 1 公尺，在山區或地形陡峭變化急遽區域間距為 5 公尺，以便於圖上清楚展示為主；於不便使用等高線顯示之地區，得以圖式或標高點表示之。

4.作業時應儘量利用漲退潮時間加大測量範圍，以能與海域測量資料重疊銜接，避免產生間隙。

1-5-4 海域水深測量 (單音束)

1.採用單音束測深儀可同時輸出數值及感應紙圖面成果，其測深精度至少為 0.01 公尺 \pm 0.25% depth(測深值)。為提高測深精度，減低測深值因波浪起伏所造成之誤差，須架設湧浪補償器（Heave Compansator）輔助之。每次測量前將於適當地點風浪影響較小處利用檢校盤（BarCheck）檢測聲速設定值，並調整感應桿入水深。其架設儀器時其 DGPS 天線與音鼓架設位置應在同一軸上且湧浪補償器應擺設在測深音鼓桿旁。

2.定位測量：



採 DGPS 系統即時定位，定位精度在 $\pm 1M$ 之內。觀測同時即記錄各個測點的實際觀測原始資料（WGS84 坐標系統），資料內容有觀測時間，經緯度坐標值等數據。並立即將 WGS84 坐標系統之成果利用坐標轉換方式轉換成 TWD97 坐標系統。

3. 導航系統：

在觀測時須有適當的導航系統將船隻行駛路線與規劃測線做即時展示，便於測量成果品質掌控。因此在導航部份，須符合以下條件：

- (1) 可即時整合 DGPS 定位資料及測深成果，成為具有三度空間資料的成果格式。
- (2) 事前規劃測線，將規劃測線與實際測線一併展示。
- (3) 經由系統所提供之水深斷面圖可監視水深變化情形，以利進行水深資料品質管制。
- (4) 海上註記功能：船隻航行到礁石、浮筒、定置漁網等之物件旁時，啟動本功能可將相關物件名稱、坐標及時間記錄下來，以利後續作業時可將相關物件註記於圖上。

4. 測線規劃：

水深測量測線規劃方式是採測線垂直岸邊，而測線彼此間以相互平行排列，測線密度間距依使用目的進行規劃，一般測線規劃以 50M 一條測線，測量間距每 5 公尺一點，另外在測線之垂直方向以每 500 公尺規劃檢核測線，以檢核施測成果。

5. 調查船舶可使用機關試驗船配合承商海上進行調查作業。

1-5-5 資料整理 3D 地形成果編印

包含連接田埔等已測定海域資料彙整，所需資料由 貴所提供。

1. 水深測量成果報告書 10 份。
2. 1/1000 原始測線軌跡圖及電子檔 5 片。
3. 1/1000 水深地形成果圖及電子檔。成果圖採 TM2 坐標並以 AutoCAD 格式存檔，測量點網格化（40M）、等深線及岸線地形三圖層 5 片。
4. 3D 水深地形色階圖 10 份。



1-6 執行進度

本案工作期程自簽約日起至150日曆天須完成所有作業並提送成果報告書及相關成果資料。完成控制系統檢測及引測；潮位站架設及高程引測；海岸地形測量；海域水深測量（單音束）等外業工作，並進行海陸域地形圖檔繪製及3D地形資料整理成果編印。整體工作進度整理如表1-1與圖1-2所示，各階段完成之工作項目如下：

1. 期初階段：

決標次日（102年1月25日）起20日曆天（102年2月14日）內提送專業責任險及委託技術服務執行計畫書至 貴所審查。

2. 期中階段：

簽約日起80日曆天（102年4月30日）內完成山后至草嶼海域段調查，並提送期中報告至 貴所審查。

3. 期末階段：

簽約日起130日曆天（102年6月19日）內完成山后至馬山海域段調查，並提送期末報告至 貴所審查。

4. 成果階段：

簽約日起150個日曆天（102年7月9日）內完成山后至馬山段所有工作事項，並交付成果報告書。

工作項目	日期	102年度																				
		一月			二月			三月			四月			五月			六月			七月		
		上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬
一. 控制系統檢測及引測																						
二. 潮位站架設及高程引測																						
三. 海岸地形測量																						
四. 海域水深測量(單音束)																						
五. 資料整理3D地形成果製作																						
六. 報告編撰與列印																						
各階段報告查核點		■ 期初報告(2/14)						■ 期中報告(4/30)						■ 期末報告(6/19)						■ 成果報告(7/9)		
		※ 執行進度包含內業資料處理時間 ※ 2/9~2/17共計9天為102年春節連假																				

【備註】以日曆天計者，除行政院人事行政局所公布之春節放假日數免計工期外，其餘所有日數均應計入履約期限



圖 1-2 進度甘特圖 (Gantt Chart)

表 1-1 各項工作執行進度表



項次	工作項目		作業時程	備註
1	工作規劃		102.01.25決標日	
			102.02.14前提送工作執行計畫書	
			102.04.30前提送期中報告	
			102.05.02期中簡報	
			102.05.17提送期中報告(修正版)	
			102.06.19前提送期末報告	
			102.07.09前提送成果資料	
			102.07.12現場勘查(驗收)	
				102.07.12期末簡報
2	準備工作	儀器檢核校驗	已完成校驗·詳校驗報告	
		勞工安全教育訓練	102.02.01	
3	控制系統檢測及引測	樁位清查與新設	102.02.24~102.02.27	
		平面控制測量(含檢測)	102.03.03	
		高程控制測量(含檢測)	102.02.25~102.02.28	
4	潮位站架設及高程引測	潮位站架設	102.02.24	
		潮位站高程引測	102.02.25	
5	海岸地形測量	地面光達測量	102.02.26~102.03.07	
		三次元地形測量	102.03.05~102.03.10	
6	海域水深測量(單音束)	出海申請	102.01.24已向海巡署提出申請並核可 【核可文號：岸檢字第A10201240001-2556號】	
		測線規劃	已規劃	
		潮位觀測	102.02.24~102.03.10	
		海域水深測量(單音束)	102.02.26~102.03.09	
7	資料整理3D地形成果製作	資料後處理	102.03.25~102.05.20	
		地形圖繪製	102.03.25~102.06.15	
		3D色階圖製作	102.03.25~102.06.15	
8	報告製作	工作執行計畫書撰寫	102.01.25~102.02.04	
		期中報告撰寫	102.04.10~102.04.30	
		期末報告撰寫	102.06.01~102.06.17	
		成果報告撰寫	102.06.18~102.07.09	

1-7 作業流程

本計畫相關作業之聯繫、作業進度管理與協調、水深測量時間的掌握及成果資料彙整與圖檔製作等方面，皆為工作能順利進行與否的重要環節。故針對本計畫各項工作做一詳實規劃，其整體作業流程如圖 1-3 所示。

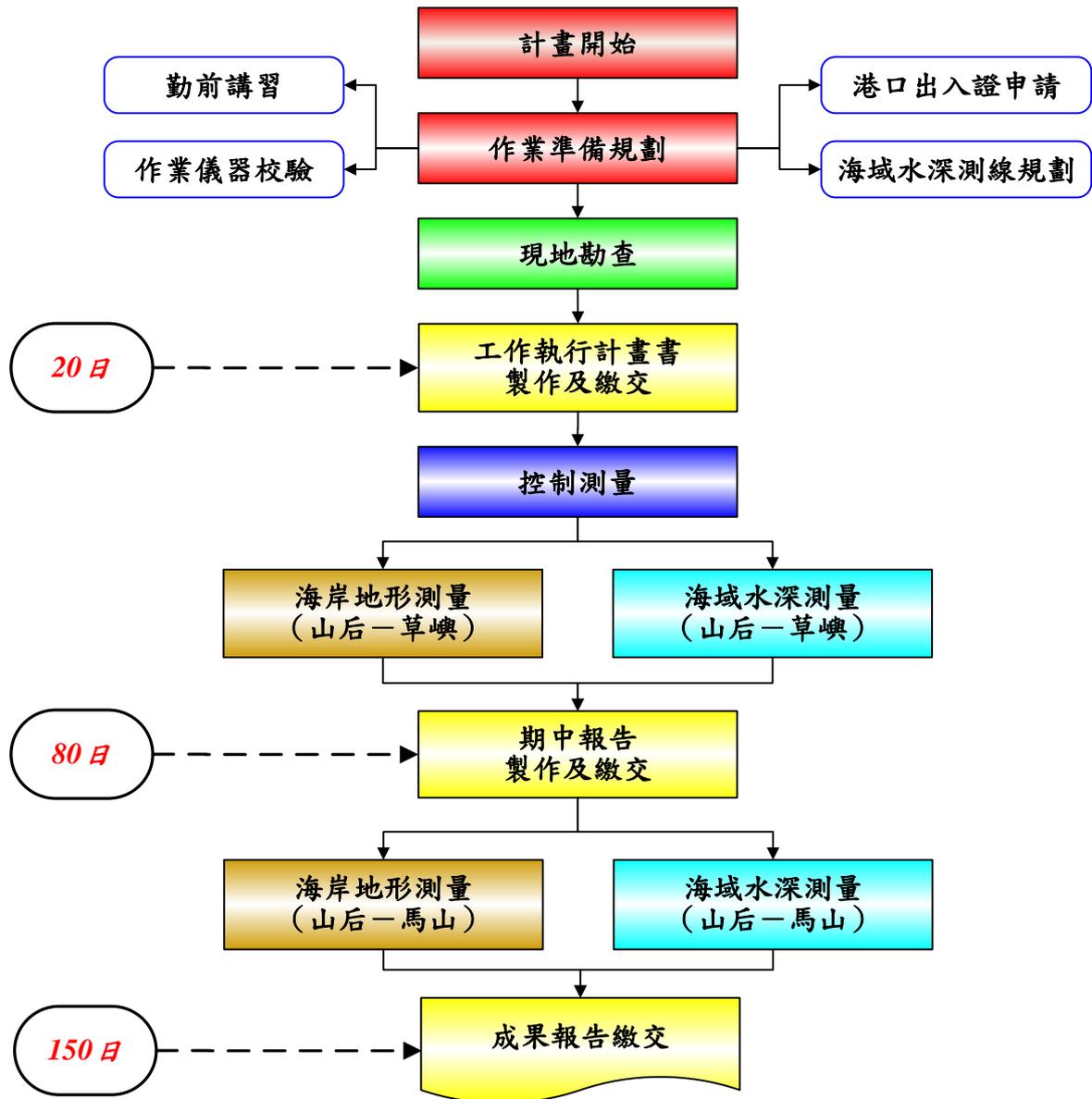


圖 1-3 作業流程圖

【註】：金門草嶼係位於金門東北角青嶼東方海岸外，面積約七百平方公尺，是金門東北海岸外最大的一座離島，位置如圖 1-1。

1-8 海陸域地形調查

有關海域地形成果圖依規範要求以比例尺 1/1,000 進行水下地形測繪作業，於測區海域範圍內使用單音束測深系統，約每 5m 可得到一實測水深資料；海岸地形測量則以地面光達及傳統三次元地形施作（如圖 1-4）。相關工作項目及精度要求則符合契約「工作計畫書」規定，彙整如表 1-2 所示，各項作業方式及其原理介紹則詳述於後。

表 1-2 各項工作測量精度規範表

工作項目	工作規範
控制系統	1.平面系統：採用內政部公告之大地基準（TWD97）
	2.高程系統：採用內政部公告之金門地區高程基準（TWVD2001）
平面控制測量	已知控制點之檢測以檢測相鄰三個點位間之夾角及距離為原則，角度較差需在 ± 10 秒以內、距離較差需在 $\pm 1/20,000$ 以內
高程控制測量	水準點之檢測應以檢測相鄰二點位間之高程差為原則，高程差之較差應小於 $\pm 8\text{mm}\sqrt{K}$ （K 表公里數）
海岸地形測量	測量製圖比例尺 1/1,000，等高線測繪間隔在地形平坦地區為 1 公尺，在山區或地形陡峭變化急遽區域間距為 5 公尺，以便於圖上清楚展示為主；於不便使用等高線顯示之地區，得以圖式或標高點表示之
海域水深測量 (單音束)	水深測量測線規劃方式是採測線垂直岸邊，而測線彼此間以相互平行排列，測線規劃以 50M 一條測線，測量間距每 5 公尺一點，另外在測線之垂直方向以每 500 公尺規劃檢核測線

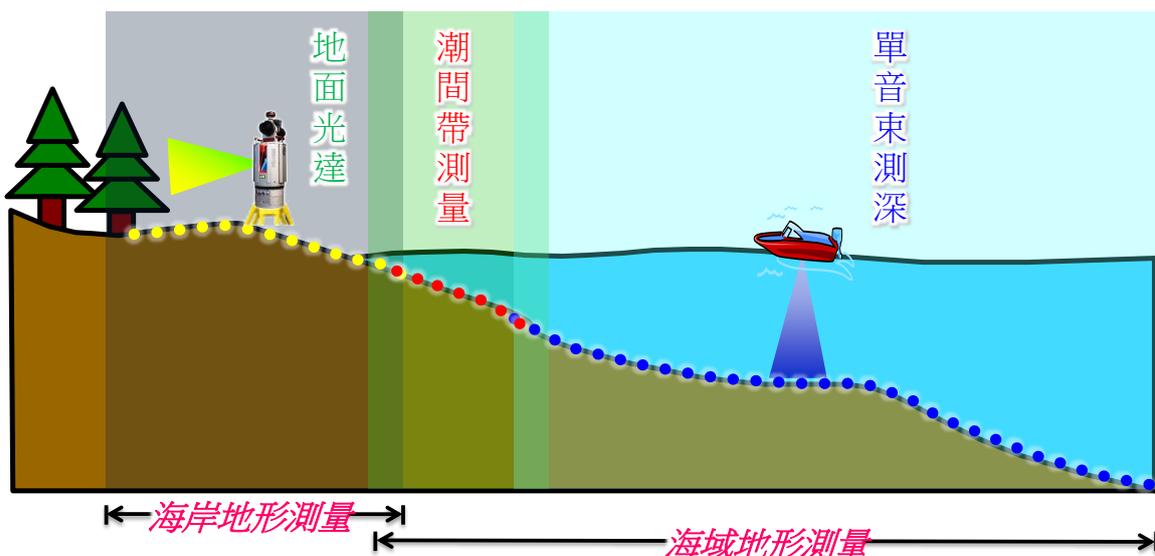


圖 1-4 作業方式示意圖

第二章 控制測量

2-1 控制系統

為求本計畫全區一致且海、陸域同系統之目的，且各項測量資料能完整接合，故本計畫統一採用之坐標系統如下所述（量度單位則以公尺為基準）：

- ◆平面控制系統：內政部公告之金門地區大地基準 TWD97。
- ◆高程控制系統：內政部公告之金門地區高程基準 TWVD2001。
- ◆投影坐標系統：採用經差二度分帶橫麥卡托（TransverseMercator）坐標系統（TM2°），中央子午線 119°。

2-2 控制點資料

在作業進行前，茲蒐集計畫範圍附近內政部公告之控制點資料，經考量點位分佈狀況，本計畫選用一等級水準點 KM09、KM10 及三等控制點 WX11、WX13、WX14 等 5 點作為本計畫之平面及高程控制點，並於海岸新設 4 點控制點（NO01~NO04），其控制點點號及點位分佈如圖 2-1 所示。

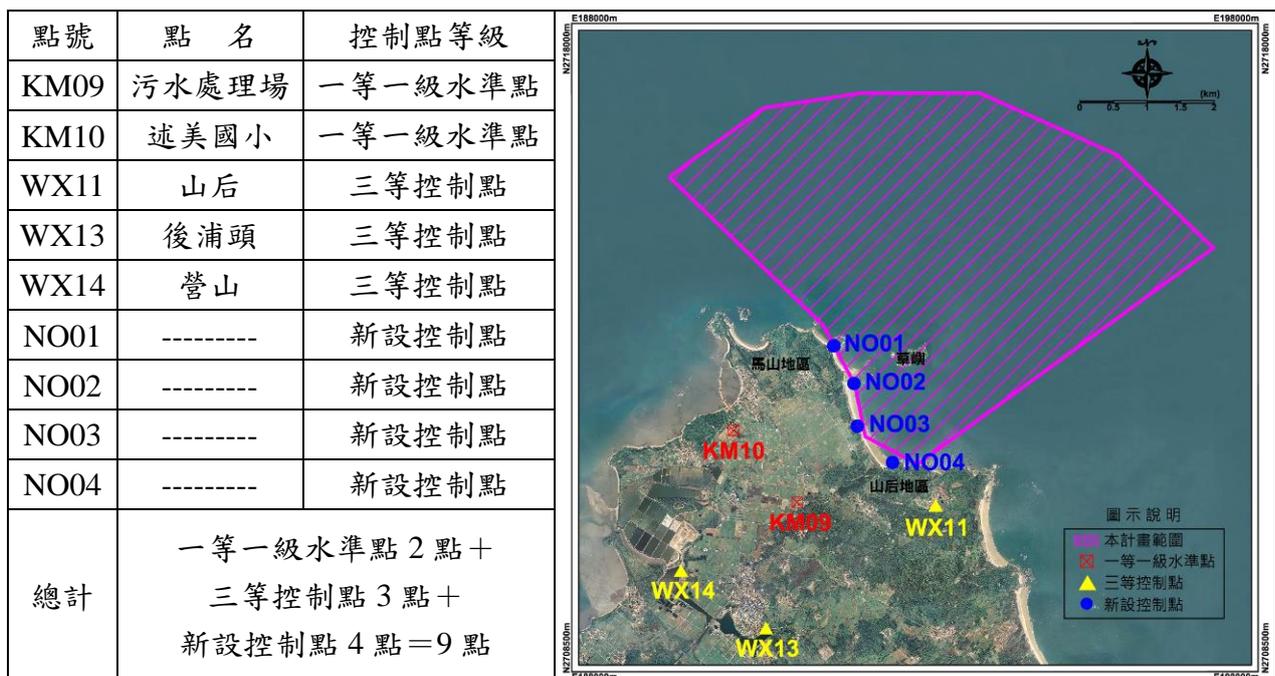


圖 2-1 控制點相關位置

2-3 新設控制點

本計畫海岸線長約 2.7 公里，為增加測量精度及後續海岸地形測量應用方便性，沿岸線約每 1~1.5 公里佈設 1 組控制點（採點對方式），並視需求選定適當位置埋設控制點，再由檢測合格之已知平面控制點及一等一級水準點，引測至新設控制點。選點原則如下說明：

1. 點位需均勻分佈於測區內，持地圖實地選點，注意地上情況與地圖是否相似。
2. 控制點選定後，應在地上埋設固定樁（臨時控制點可用木樁，樁頂中心釘鐵釘，表示點位），埋樁規格如圖 2-2 所示，並製作樁位點誌，如附件三及圖 2-3 所示。
3. 控制點應選擇展望良好，可供日後測量使用之點，以設置於地質穩固、無局部滑動之未登錄地及公有地為原則。
4. 點位之設置不得影響人、車交通安全，避免直接埋設於道路路面，並以交通便捷易於到達為佳。
5. 對空通視需良好，點位仰角遮蔽在 360 度之水平角度中至少有 60% 以上應小於 40 度為原則。
6. 遠離廣播電台、電視轉播站、雷達站、微波站、高壓電線及其他電磁波源，避免干擾衛星訊號之接收。

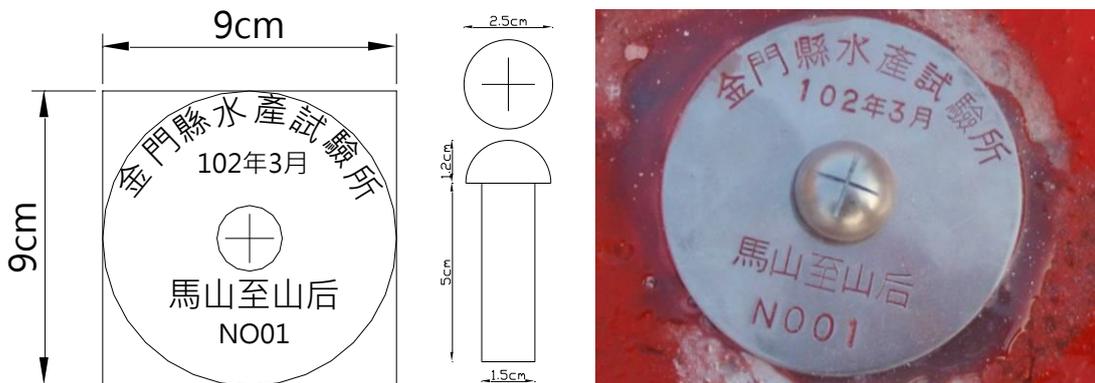


圖 2-2 控制樁鋼標樣式圖（右圖現場樁位近照）

新設控制點點誌記

計畫名稱：金門縣馬山至山后海域環境測定調查

點名 STATION NAME	NO01	日期 DATE	102年3月
等級 ORDER	新設控制點	TWD97 縱坐標 (N) (Y) (m)	2713277.916
樁號 STATION NO.	NO01	TWD97 橫坐標 (E) (X) (m)	191795.065
樁別 REMARKS	鋼片樁	TWVD2001 高程 HEIGHT (m)	4.515
詳圖：		略圖：	
<p>說明：</p> <p>光華路二段往馬山方向，右轉沙青路直行 700m 再右轉 270m 見一岔路左轉直行 620m 至海邊 PC 路上。</p>			
<p>近照：</p>		<p>遠照：</p>	

圖 2-3 新設控制點點誌記

2-4 平面控制測量

2-4-1 平面控制系統檢測

本項工作主要係檢測現存之已知控制點，藉由 GPS 靜態觀測檢核各已知控制點相關位置是否變動（位移），以避免引用錯誤之已知點造成坐標誤差，並由檢測合格之已知控制點引測平面坐標至新設控制樁位，作為後續測量使用。

1. 測量設備：

公分級之雙頻 GPS 衛星定位儀，可進行靜態、快速靜態及動態測量，儀器精度達 $\pm 5\text{mm} + 1\text{ppm} \times L$ （ L 為單一基線之長度），小於規範要求之精度誤差，其儀器照如圖 2-4 所示。



Leica System 500 系列



Trimble 5700 型

圖 2-4 GPS 衛星定位儀器照

2. 作業流程：

選定測區內已知控制點

使用雙頻 GPS 接收儀採蛙跳式測量

3. 觀測方法：

以雙測站重覆基線觀測原則

- (1) 採用公分級雙頻 GPS 衛星定位儀以靜態觀測方式 40 分鐘以上。
- (2) 同時使用多台雙頻衛星接收儀，採蛙跳方式進行測量。
成果須符合已知點檢測精度
- (3) 各測站對空通視皆良好，施測時有效角應設定為 15 度，每間隔 15 秒記錄一次衛星資料。
- (4) 施測時 PDOP 值應小於 10 始可進行施測。
- (5) 所有觀測量皆經過週波脫落之偵測與改正及平差計算。



4.觀測品質管制：

- (1)外業觀測檢核：觀測時間是否超過 40 分鐘、衛星顆數是否大於 4 顆、PDOP 值是否小於 10、仰角設定是否大於 15 度。
- (2)原始觀測資料檢核：GPS 訊號是否連續觀測、儀器高及點名輸入是否正確。

5.檢測精度要求：

已知控制點之檢測以檢測相鄰三個點位間之夾角及距離為原則，將檢測值與已知值分別視為獨立不相關之變數，加以檢定，角度較差在 ± 10 秒以內、距離較差在 $\pm 1/20,000$ 以內者視為可用。

6.已知點檢測成果：

本計畫採用 GPS 進行平面控制系統檢測，以靜態觀測檢測已知三等控制點 WX11、WX13 及 WX14 共 3 點平面控制點，其檢測成果如下所示（相關 GPS 平差計算成果詳附件四）：

- (1)GPS 觀測後經週波脫落改正、基線解算及最小約制平差，剔除不合格之基線，再經由強制套合平差計算出正確之坐標值。原坐標成果與最小約制平差計算坐標成果比較其差值如表 2-1 所示，其中 WX13 為計算時採用之固定點，故其差值為 0。

表 2-1 已知控制點檢測坐標比較表

點號	最小約制網坐標(m)		已知點坐標(m)		坐標差值(m)		距離(m)
	縱坐標(N)	橫坐標(E)	縱坐標(N)	橫坐標(E)	縱坐標(N)	橫坐標(E)	
WX11	2710891.103	193305.799	2710891.116	193305.807	-0.013	-0.008	0.015
WX13	2709050.716	190785.639	2709050.716	190785.639	0.000	0.000	0.000
WX14	2709911.852	189522.609	2709911.831	189522.598	0.021	0.011	0.024

- (2)距離檢核各基線長與原坐標成果反算距離，其差值精度如表 2-2，已知點檢核總計 3 條基線，檢核成果其距離差值精度皆小於 $1/20000$ ，符合檢測精度要求，可作為後續坐標套合平差計算使用。
- (3)經方位角檢核各基線之方位角與原坐標成果反算之方位角差值比較如表 2-3 所示，檢核成果其方位角差值精度皆小於 10 秒，符合檢測精度要求，可作為後續坐標套合平差計算使用。



表 2-2 已知控制點檢測坐標反算距離較差表

起點	終點	反算距離	檢測距離	距離較差	距離較差 檢測精度	精度規範 1/20000	備註
		[1]	[2]	([1]-[2])		容許誤差	
		(m)	(m)	(m)		(m)	
WX13	WX11	3120.614	3120.628	0.014	1/ 219762	0.156	合格
WX13	WX14	1528.660	1528.657	-0.003	1/ 566170	0.076	合格

表 2-3 已知控制點檢測坐標反算方位角較差表

起點	終點	反算角度	檢測角度	角度較差	精度規範 ±10 秒	備註
		[1]	[2]	([1]-[2])		
		(度-分-秒)	(度-分-秒)	(秒)	(秒)	
WX13	WX11	53-51-38	53-51-37	-0.4	10.0	合格
WX13	WX14	124-17-10	124-17-07	-3.2	10.0	合格

(4)綜合上述檢測成果得知所有已知點位均符合檢測精度要求，故 WX11、WX13 及 WX14 等 3 點可作為後續測量使用。

2-4-2 平面控制測量

平面控制測量主要採用 GPS 衛星定位測量方式執行，由檢測合格之已知平面控制點，引測至新設控制點，利用 GPS 接收儀靜態觀測蒐集衛星訊號，藉由 GPS 套裝軟體解算各基線分量，再進行 3D 坐標網形平差，解算出各點之坐標值。

1.作業內容：

- (1)應在測區周圍與測區內佈設足夠之控制點，始能進行後續之測量作業。
- (2)平面控制測量應採用檢測合於精度之控制點進行測量。
- (3)施行 GPS 衛星定位測量時，應同時填寫觀測記錄表，記錄施測點名、點號、量測之天線高、儀器接收之起迄時間、衛星訊號接收狀況、點位透空情況及點位周遭環境（是否有廣播電臺、雷達站、微波站、高壓電塔等）。

2.測量設備：

公分級之雙頻 GPS 衛星定位儀，儀器精度達±5mm+1ppm×L（L 為單一基線之長度）。

3.作業流程： 根據已知三角點與控制點分布圖以 GPS 雙測站重覆基線方式觀測獲取高精度坐標



4.GPS 資料處理：

- (1)GPS 觀測資料進行格式轉檔，基線計算採用 Trimble Business Center V2.5 套裝軟體，逐一配對同時觀測之測點組成基線並解算基線長度及各分量長度 (dX,dY,dZ)。
- (2)基線解算後得各測段所有基線，利用網形平差 GPS 套裝軟體，將每測段觀測之 GPS 網經最小約制平差後剔除解算不合基線。
- (3)由每時段最小約制平差後確定無解算錯誤之基線，再逐一加入整網平差，得一最終之 GPS 最小約制平差成果。
- (4)GPS 衛星測量基線計算、平差、偵錯作業流程如圖 2-5 所示。

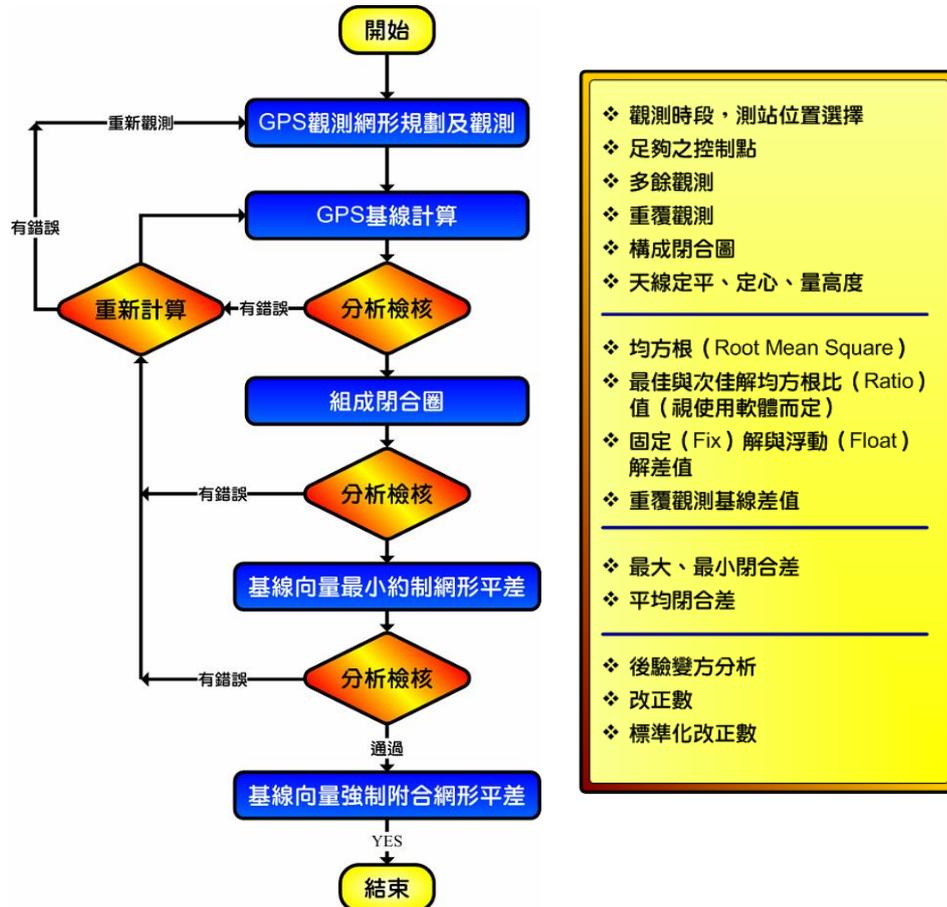


圖 2-5 GPS 衛星測量基線計算、平差、偵錯作業流程

5. 平面控制測量成果：

- (1) 新設控制點距離檢核各基線長與原坐標成果反算距離如表 2-4。
- (2) 本計畫平面控制測量 GPS 觀測網形成果如圖 2-6 所示，於 102 年 3 月 3 日同一時段以 9 台 GPS 同時進行觀測，共解算出 31 條基線，GPS 觀測工作照如圖 2-7 所示；最小約制網平差成果共剔除 1 條基線 (WX11-T001)，剔除率為 3.23%。

表 2-4 新設控制點檢測坐標反算距離較差表

起點	終點	反算距離	檢測距離	距離較差	距離較差 檢測精度	精度規範 1/20000	備註
		[1]	[2]	([1]-[2])		容許誤差	
		(m)	(m)	(m)		(m)	
NO02	NO01	638.824	638.815	-0.009	1/ 72239	0.032	合格
NO03	NO04	754.008	754.002	-0.006	1/ 124102	0.038	合格

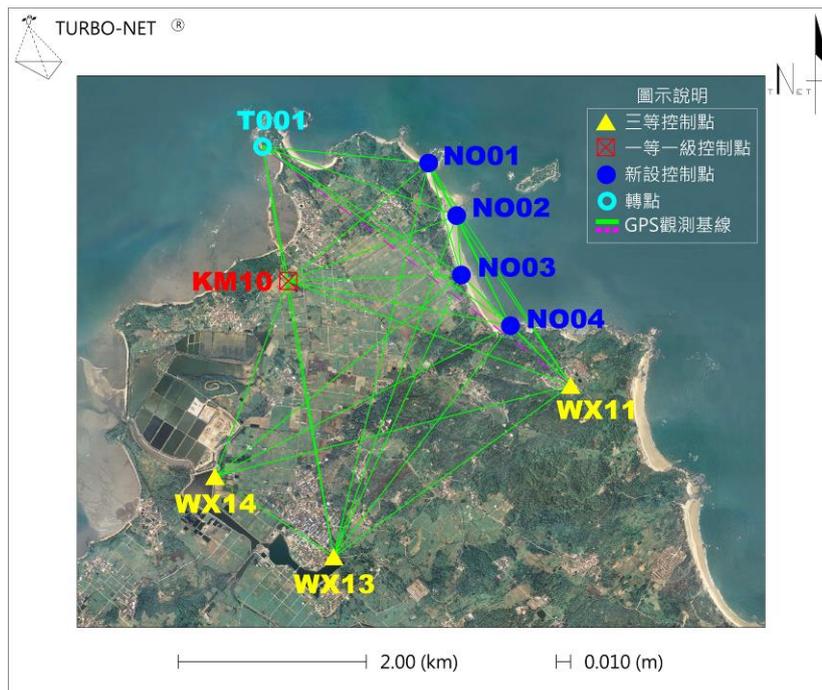


圖 2-6 GPS 觀測網形圖



圖 2-7 GPS 觀測工作照

2-5 高程控制測量

2-5-1 高程控制系統檢測

本項工作為檢測內政部公告之已知一等一級水準點，採用條碼式精密水準儀對已知水準點進行直接水準測量，以檢測其高程是否有變動，確定水準點高程無變動後再引測新設控制點，作為高程控制使用。選定測區附近之內政部一等水準點 KM09 及 KM10 共 2 點進行檢測，其點位分佈位置如前圖 2-1 所示。直接水準相關作業說明如下：

1. 測量設備：

儀器採用精密自動記錄水準儀 Zeiss DiNi11T 搭配條碼尺進行觀測，儀器照如圖 2-8 所示。



圖 2-8 精密自動記錄水準儀儀器照

2. 觀測方法：

- (1) 豎立水準尺：將甲尺置於起點上，取前後視約相等距離（不得大於 60m）後，將乙尺置於尺墊上，調整水準尺上氣泡，使其居中。
- (2) 將水準儀置於二根水準尺的中間，調整儀器使氣泡居中後，觀測甲尺的讀數並記錄。
- (3) 將水準儀轉向乙尺，不可轉動踵定螺旋，若氣泡偏離容許範圍，則儀器須重做檢定。若在容許範圍內，對準乙尺讀取讀數並記錄。
- (4) 觀測完畢後，後視尺及儀器往行進方向移動，前視尺則轉動尺面，並確保尺墊位置不動，此時，前視尺變成後視尺，重覆上述之步驟，直至終點的水準點上。
- (5) 於接近終點時，調整前後視距離，使每一測段的測站數為偶數，



即保證同一支尺（甲尺）放在起點與終點之點位上，如此可避免水準尺零點不在尺底部的誤差。

3.觀測品質管制：

- (1)同一測段之往返觀測，應由同一觀測者使用同一類型之儀器及設備，沿同一道路進行。
- (2)施測外業應儘量避免於中午進行，以避免強光及高溫之影響，另應配備較長遮陽罩，以減少雜散光之影響。
- (3)施測時扶尺員應隨時注意並確保水準尺與尺墊垂直性及穩定性。
- (4)除轉彎處，每一測站儀器與二水準尺之三個位置，盡量成一直線。
- (5)當觀測水準點時，須仔細查對該點之位置、編號及名稱是否相符。
- (6)施測時，應儘量避免隨意設置臨時轉點，但得依實際需要，於二水準點之間設置臨時轉點。遇長橋梁及隧道，可於其間設置數個臨時轉點，切成數個小測段分組同時施測。

4.檢測精度要求：

水準點之檢測亦應以檢測相鄰二點位間之高程差為原則，高程差之較差應小於 $\pm 8\text{mm}\sqrt{K}$ （K表公里數），檢定通過後方得引用。

5.水準點檢測成果：

本次採用全自動電子水準儀搭配條碼尺進行高程控制點檢測作業，檢測測區附近內政部公告之一等一級水準點 KM09 及 KM10 共 2 點，檢測水準路線總長約 7.18 km，測段水準精度統計如表 2-5 所示，由表可知本計畫已知水準點檢測水準精度皆符合規範規定（精度優於 $\pm 8\text{mm}\sqrt{K}$ ），檢測之一等一級水準點（2 點）高程均未變動，可作為後續水準高程引測使用，水準計算表詳參附件五，檢測之高程成果詳參附件二所示。

表 2-5 水準點檢測精度表

起點		終點		資料高差	檢測高差	較差	測段距離	閉合精度	誤差規範	備註
點號	高程值(M)	點號	高程值(M)	(M)	(M)	(mm)	(KM)	$\text{mm}\sqrt{K}$	$\text{mm}\sqrt{K}$	
KM09	18.22298	KM10	14.27733	-3.94565	-3.94971	-4.06	7.18	1.51	8	合格

【備註】水準閉合精度= $\frac{\text{較差}}{\sqrt{\text{測段距離}}}$

2-5-2 高程控制測量

經由檢測合格之一等一級水準點以直接水準方式進行測區新設控制點高程引測，作為測區高程控制之依據。

1.測量設備：採用精密自動記錄水準儀 Zeiss DiNi11T。

2.作業要求：

- (1)以直接水準方式往返觀測，閉合於不同之兩已知點上，並加讀視距，距離以不超過 70m 為原則。
- (2)直接水準觀測之往返閉合差不得超過 $12\text{mm}\sqrt{K}$ (K 為水準路線之公里數)。

3.水準資料處理：

於外業測量完成後，必須對觀測資料加以整理、檢查，以確定資料是否合乎規範要求，其檢核主要分為如下二部份：

- (1)檢查單一測站之觀測資料：內容包括前後視距差、最長視距、最低與最高讀數、前後視距累積差等項目；此檢查項目中部份可直接於儀器內設定，在測量過程隨時提出警告訊息，避免重測而浪費時間。但為確定觀測資料之有效性，會利用程式自動對觀測資料進行檢查工作，若有不符情形，會自動提示，並退回外業重測。
- (2)檢查單一測段之觀測資料：內容包括往返閉合差精度、測段中每測站之視距累積誤差、起終點號是否相符等項目，同樣用程式自動對單一測段往返觀測資料進行檢查工作，若有不符情形，會自動提示，並退回外業重測。

4.高程控制測量成果：

經高程檢測無誤之已知一等一級水準點引測至測區新設控制點，其水準精度統計如前表 2-4 所示，水準閉合精度為 $1.51\text{mm}\sqrt{K}$ ，引測精度符合規範規定（小於 $12\text{mm}\sqrt{K}$ ，其中 K 為路線長公里數）。



第三章 海岸地形測量

本計畫海岸地形測量主要針對地形特徵點及地物點進行測量，測量範圍自高潮線往內陸 100 公尺測繪或至岸線特徵物為止，範圍涵蓋潮間帶與濱海陸地區域，並涵蓋沿岸各級漁、商港區（港區陸、海範圍需全部納入），採用 3D 雷射掃描測量（簡稱地面光達）方式進行海岸地形測繪，在遮蔽嚴重或地面光達無法測繪處（如水下）則輔以傳統三次元平面測量進行補測以求得數值地形測量資料之完整性。

地面光達掃描以自動記錄方式施測測區特徵點（高程點），其作業流程如圖 3-1，並繪製等高線間距 1.0m 之等高線圖（如遇地形起伏劇烈區域等高線間距改以 5.0m），測量製圖比例尺 1/1,000，於不便使用等高線顯示之地區，得以圖式或標高點表示之。

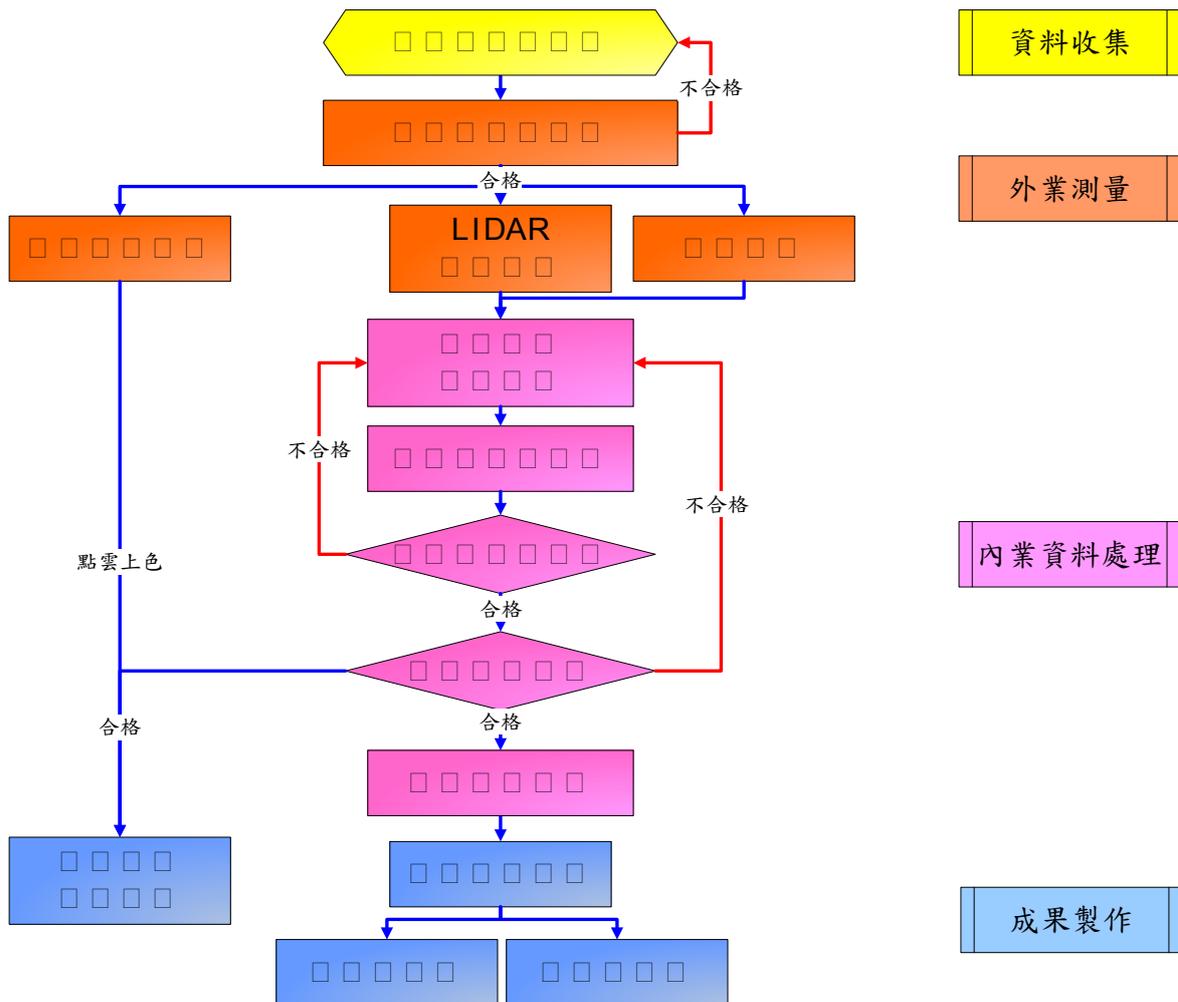


圖 3-1 地面光達作業流程圖

3-1 地面光達作業說明

3-1-1 地面光達系統

1.地面光達：

本計畫使用奧地利製 RIEGL LMS VZ-1000 型 3D 地面雷射掃描儀器，搭配 Nikon D700 數位相機（1,200 萬畫素），掃描速度每秒達 125,000 點，掃描方式為縱向掃描，雷射波長 1,500nm，水平視角 360 度，垂直視角 100 度，單點精度 10mm，平均精度 5mm，測距最遠達 1,200m，其儀器規格與儀器照如表 3-1 所示。

表 3-1 RIEGL LMS VZ-1000 主要規格

	項 目	規 格
	測量範圍	up to 1,200 m (反射率 90%) up to 560 m (反射率 20%)
	測距精度	8mm (單次); 5mm (平均)
	光束參數	光束散度 0.3 mrad (30mm/100m)
	測量速率	125,000 點/秒
	掃描範圍	0 to 100 度 (垂直); 0 to 360 度 (水平)
	掃描解析度	14''
	內 建	傾角計、同步計時器
	相 機	外接式高階數位相機 Nikon D700

2.反光規標：

規標點為標的物週遭預先建立的控制點體系，作為雷射掃描校正及轉測站共軌用，規標設置以每次掃描作業能夠同時抓取至少三點為原則，於測區依地形變化規劃佈設反光規標，作為各測站連結以及坐標轉換之依據。掃描作業完成時，將點雲資料與規標點坐標進行套合演算，完成 3D 點雲模型製作，反光標樣式如圖 3-2。

	照片	2D 點雲	3D 點雲		照片	2D 點雲	3D 點雲
稜鏡反光標				圓筒反光標			

圖 3-2 反光標樣式



3-1-2 地面光達作業

地面光達系統係利用雷射測距儀發射雷射光，並同時接收目標物反射的訊號以測量儀器至目標物的距離；而藉由有效距離或標準範圍內之測站至掃描點的斜距，結合掃描的水平與垂直方向，即可推求掃描點與測站的三度空間相對坐標差，並結合專業數位相機，透過攝影影像及雷射掃描儀互補技術賦予每一個向量掃描點顏色屬性，製作成彩色點雲圖。

1.作業方法：全面採用地面光達進行海岸地形測量，地面光達無法施測區域以傳統經緯儀補測之。

- (1)依據地形變化於測區規劃佈設三個以上反光規標。
- (2)由控制點以導線及水準測量方式施測規標平面坐標及高程（作為平面及高程控制）。
- (3)開始進行全區域陸域地形特徵點（高程點）掃描。
- (4)內業資料處理，非地形資料雜點濾除。
- (5)資料處理輸入規標點平面坐標及高程，並以軟體進行整體坐標高程平差轉換。

2.作業優勢：

- (1)測點較傳統經緯儀測量密度高，更能完整呈現地貌。
- (2)雷射掃描以多個導線點為平面高程控制平差之依據，測點精度高且平均。
- (3)作業範圍大、資料收集速度快，更能掌握作業時效。
- (4)非接觸式與非破壞性量測，避免作業人員處於危險環境，保護人員作業安全。
- (5)作業時自動拍攝 360 度環景照片可茲比對現地地貌變化。

3-1-3 地面光達定位原理

地面光達其主要構造為雷射測距儀加上等角速度的反射稜鏡，兩者相互配合進行掃描點之定位。雷射測距儀可主動發射雷射光進行雷射測距，當雷射光與待測物體接觸時會反射訊號，待地面光達接收到

反射訊號後即可計算出待測物體與儀器之距離，另配合等速反射稜鏡依據現地狀況設定水平與垂直方向角度增量，藉以收集各點位之水平與垂直方向角度，所有的掃描點可依據量測到之兩個方向角與距離量算出掃描點位與測站之相對三維坐標差，此時坐標系統為掃描儀坐標系統，坐標系統示意如圖 3-3 所示，可分為以下 4 種：

1.Camera Coordinate System (CMCS) 相機坐標系統：

當相機架設於掃描儀上時形成同軸狀況，但掃描儀雷射發射器與相機鏡頭所在位置不同，拍攝出相片位置也會與掃描儀資料定位不相同，因此需透過 CMCS 將拍攝出相片與掃描儀資料做定位。

2.Scanner's Own Coordinate System (SOCS) 掃描儀坐標系統：

每次掃描時所得到坐標系統為獨立相對坐標系統，當 3D 雷射掃描儀移動時又將形成另一個獨立相對坐標系統，如測站移動 12 次就多 12 組獨立相對坐標系統，此系統稱為 SOCS。

3.Project Coordinate System (PRCS) 專案坐標系統：

將各站所建立一個獨立 SOCS (掃描儀坐標系統)，整合統一成同一個坐標系統，此時各站資料才可連接。

4.Global Coordinate System (GLCS) 世界坐標系統：

將 PRCS (專案坐標系統) 所掃描的反光規標 (共軛點)，透過新設控制點坐標高程轉換成平面 (內政部 TWD97) 坐標系統及金門一等水準高程系統。

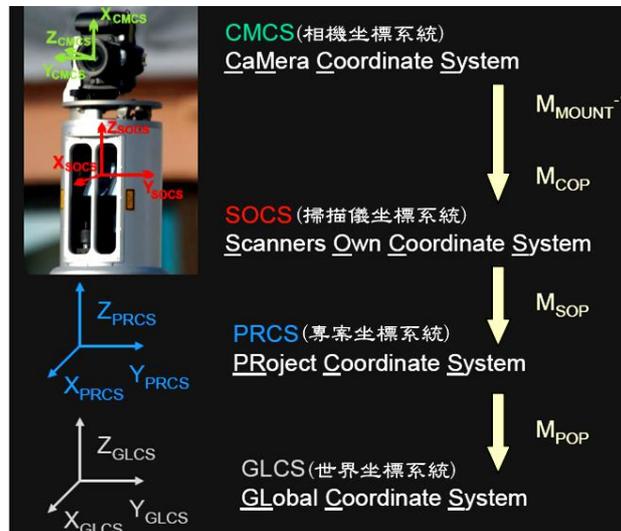


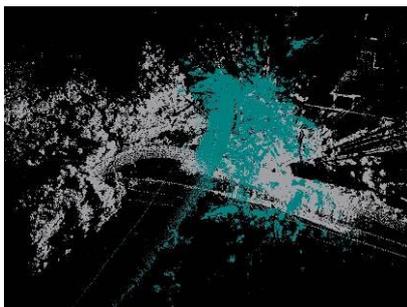
圖 3-3 掃描儀坐標系統示意圖

3-1-4 地面光達資料套疊

地面光達的各個掃描站會建立獨立 SOCS (掃描儀坐標系統)，不同掃描站的點雲資料分屬不同坐標系統，必須將掃描坐標轉換到統一坐標系，並依照地形變化規劃佈設反光規標或選取共軛點位置，以便於不同測站套疊及測掃資料坐標高程平差校正。套疊步驟如下：

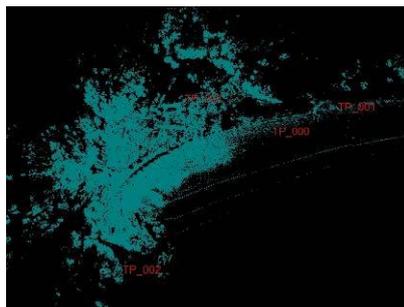
- 1.資料套疊先選取掃描站與掃描站間點雲資料重疊區域 (Overlap) 裡共軛點 (反光標) 進行套疊，如圖 3-4 步驟所示。
- 2.運用共軛點 (反光標) 套合後，將掃描站與掃描站之間重疊區域選出進行 Multi Station Adjustment (MSA) 點雲拼接匹配動作，此拼接方法是運用三角網資料進行點雲套疊動作，拼接完後產生拼接標準差，透此套疊關係將提出精度指標 (如圖 3-5 所示)，並彙整點雲套疊精度表如表 3-2 所示。兩站套疊完後需要再次檢查點雲重疊區資料情況，其餘掃描站都運用此方式進行資料套疊。
- 3.完成上述點雲資料整理流程後，經精度檢查無誤後，即可將點雲資料作後續運用。

【Step 1】



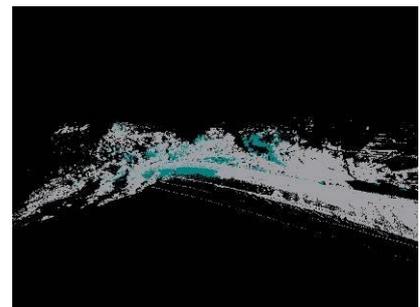
資料未套疊
(顏色表示不同站)

【Step 2】



選取共軛點
(紅字表示)

【Step 3】



測站套疊後
(顏色表示不同測站)

圖 3-4 地面光達資料套疊過程 (馬山至山后潮間帶)



表 3-2 點雲套疊精度表

區域：馬山至山后潮間帶

測站	測站1	測站2	測站3	測站4	測站5	測站6	測站7	測站8
測站	套疊站(匹配點數量)							
測站1		✓		✓				
測站2		1605	✓	✓				
測站3			64	✓				
測站4				2445	✓		✓	
測站5					163	✓	✓	✓
測站6						179	✓	✓
測站7							9308	✓
測站8								1829
精度(m)	----	0.0019	0.0048	0.0009	0.0042	0.0046	0.0014	0.0030

註：1. 『✓』為套疊所用基準站
 2. 精度為上述所有測站匹配點雲計算後之誤差值
 3. 精度不可大於0.005m
 4. 精度規範參考「國防部軍備局生產製造中心」規範。

例：測站2(1605)=測站1(基準站)+
 測站2(套疊站)計算後求得誤差值
 =0.0019(m)

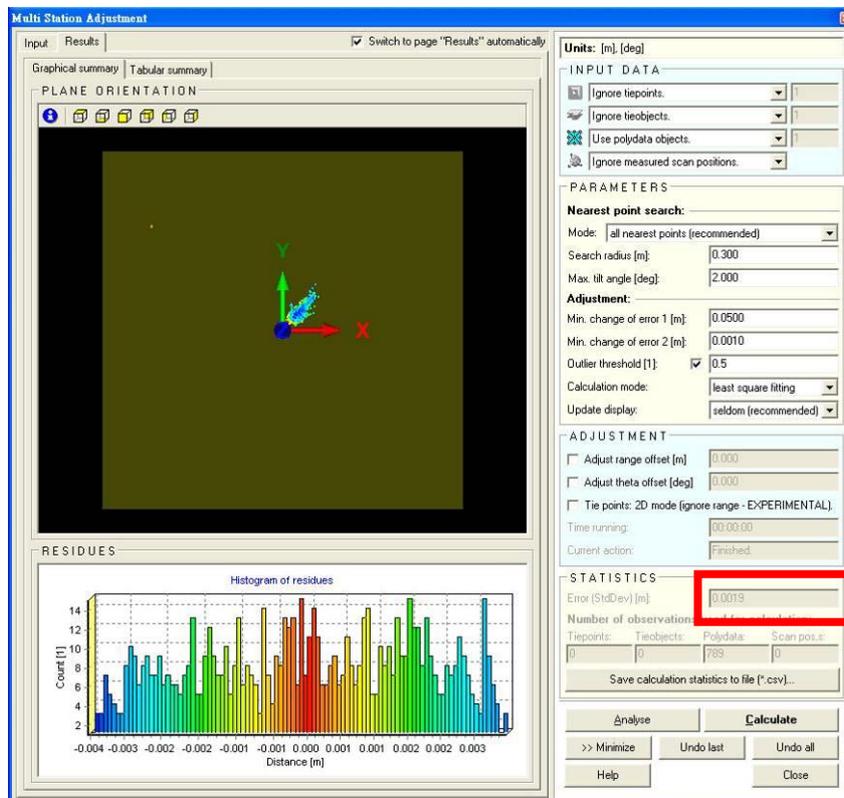


圖 3-5 拼接匹配計算表

3-1-5 地面光達成果

本計畫已於 102 年 2 月 26 日至 3 月 7 日完成馬山至山后潮間帶地面光達掃描，其掃描點雲成果如圖 3-6 及圖 3-7 所示，360 度環景圖及工作照如圖 3-8 及圖 3-9 所示。

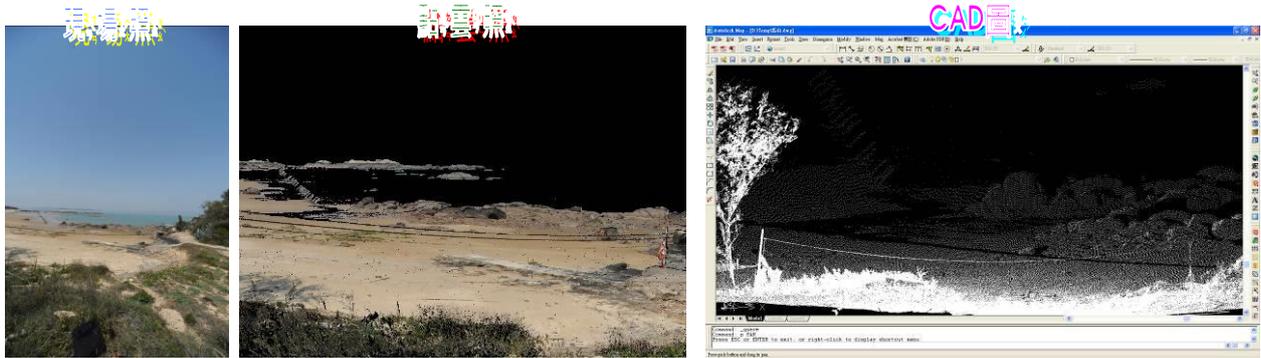


圖 3-6 3D 點雲成果比對圖



圖 3-7 地面光達掃描點雲成果



圖 3-8 地面光達掃描 360 度環景圖

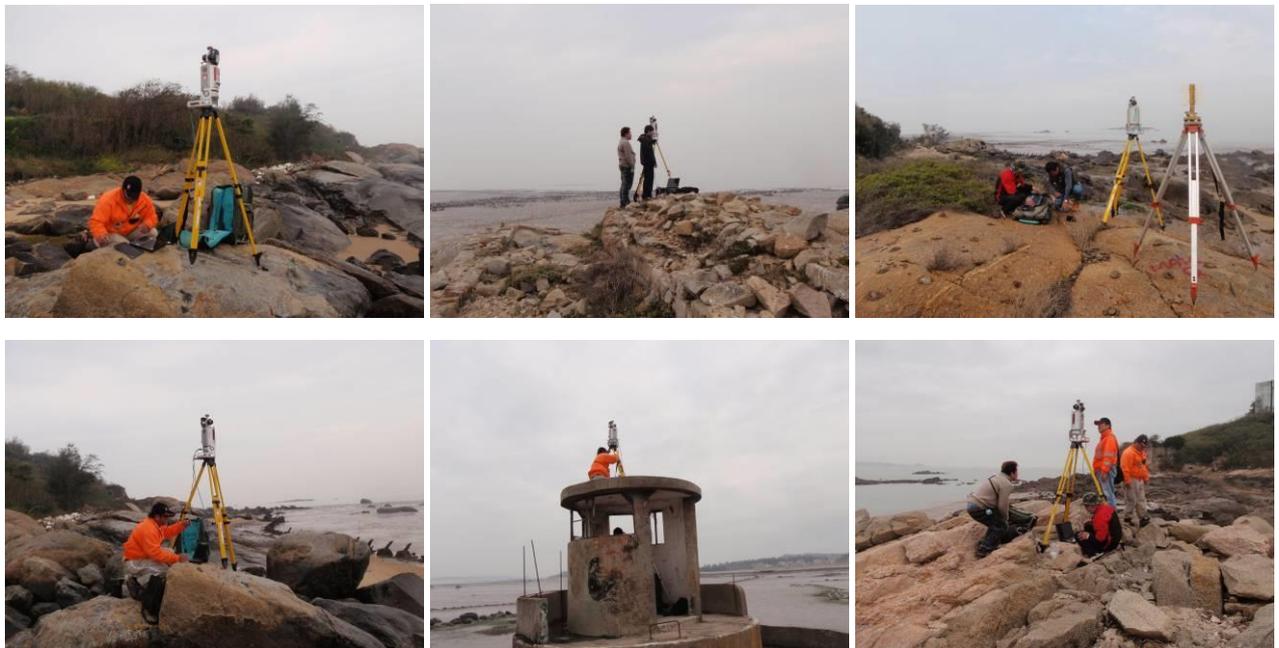


圖 3-9 地面光達工作照

3-2 傳統三次元測量

在潮間帶測量部分，因地面光達無法穿透水面，故在退潮時改以傳統三次元測量方式進行潮間帶地形測量，並在人員安全情況下盡可能涉水以加大測量範圍，使其與海域測量重疊銜接以避免產生間隙。

另外本計畫地形測量範圍多為海濱植物，鑒於地面光達作業因地形限制或遮蔽嚴重而無法繪製地形圖之處，則對該處地形進行傳統三次元光線法測量及調繪，作業原則如下：

- ★調繪時針對地面光達作業無法測繪處，應補測地物、地貌。
- ★遮蔽嚴重處需補測獨立標高點以利等高線繪製。
- ★針對雷射掃描成果無法清楚辨識處，需詳加以調繪。
- ★道路、重要機關、港口或其他重要地標應加以調查名稱。

1.作業流程：如圖 3-10 所示。



圖 3-10 三次元地形測量作業流程

2.測量設備：Trimble®系列全測站經緯儀，儀器照如圖 3-11 所示。



圖 3-11 全測站經緯儀

3.製圖要求：

依據雷射掃描資料，3D 向量點雲資料轉繪製平面圖，進行平面地形圖製作，並需符合下列相關事項：

- (1)圖例、圖層、顏色、線型規格，依內政部最新版「基本地形圖資料庫圖式規格表」規範辦理。
- (2)地形、地物之取捨均按一千分之一比例尺地形圖作業規定辦理。
- (3)等高線繪製間隔在地形平坦地區為 1 公尺，在山區或地形陡峭變化急遽區域間距為 5 公尺，以圖上清楚展示為主；於不便使用等高線顯示之地區，得以圖示或標高點表示之。



圖 3-12 三次元地形測量工作照

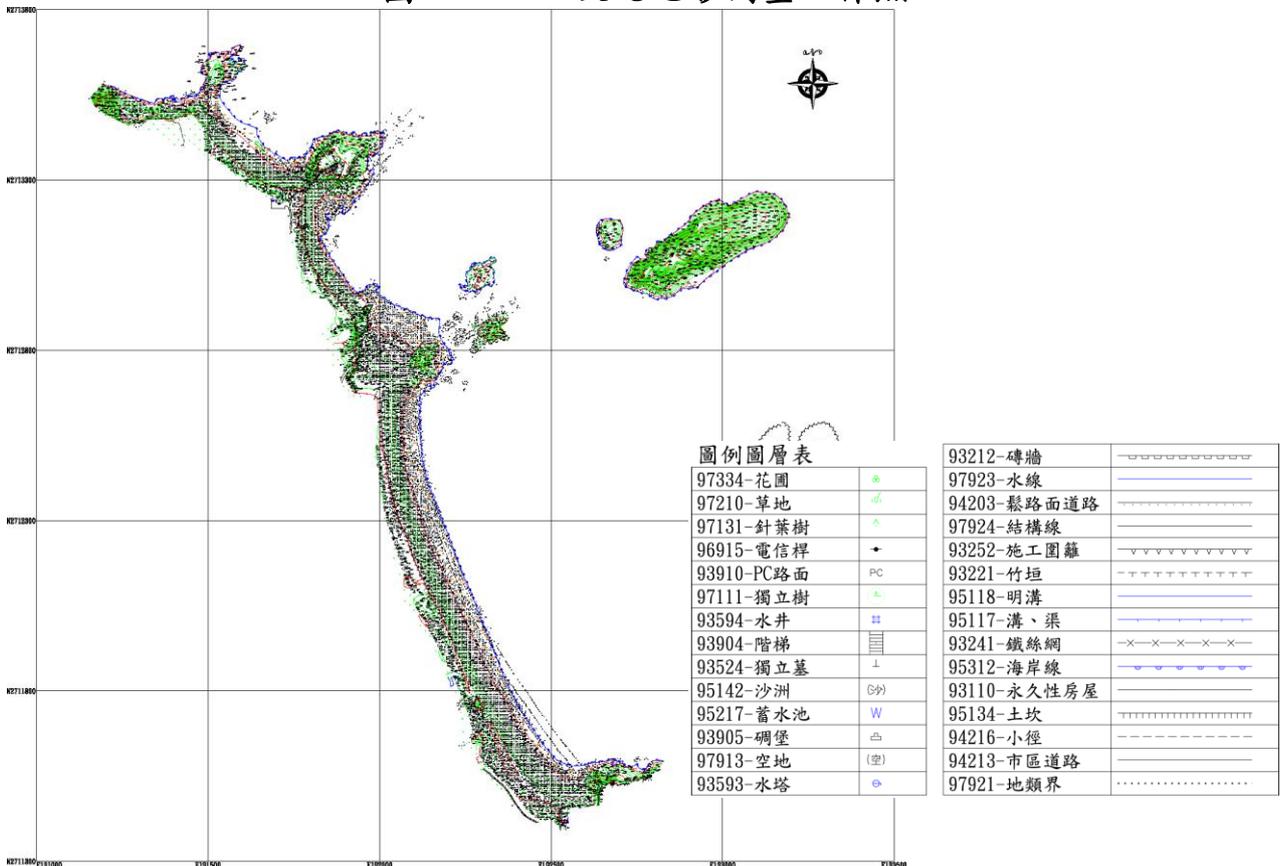


圖 3-13 陸域地形測量成果圖 (縮繪)

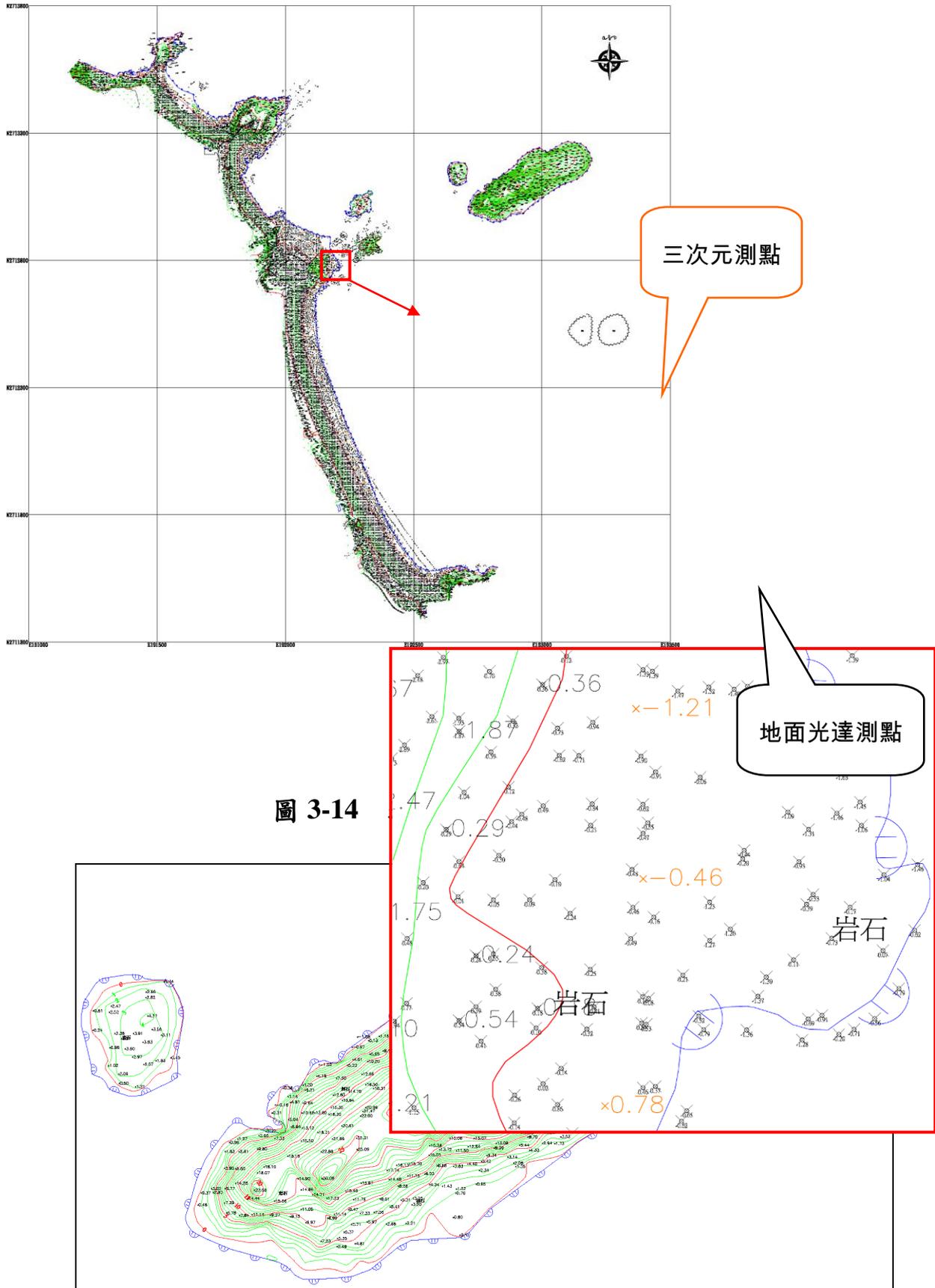


圖 3-14

圖 3-15 草嶼地形分布圖

3-3 光達測量與傳統測量比較

在現今的海岸變遷研究，多半是採取傳統測量以經緯儀的三次元方式進行，現場測量結束後，再於內業中進行繪圖作業，意即將所測量之記錄繪製成相關圖面（如地形圖、斷面圖等）。然而以 3D 雷射掃描（即稱光達）所進行之量測記錄方式，其程序已有相當地不同，以 3D 雷射掃描進行的方式中，對於被測物進行整體空間之掃描記錄，所獲取是整個三維的空間資訊，並且建立其坐標，每一個掃描點雲中的點都具有其特定之坐標值，因此可以很精準地測量出相關尺寸，同時保存其空間資訊，亦可記錄其現場實際狀況，並將完整的空間資訊在內業作業中進行編輯與處理，甚可獲得地形圖、斷面圖相關圖面。

由於在海岸變遷研究上，3D 雷射掃描技術為近年來新興之技術，在尚未普及情形之下，相對的操作以及儀器設備成本則較偏高於現今慣用之測繪記錄方式，但其掃描技術所顯現之成果卻能夠大幅提昇附加的價值。以下則針對兩種不同量測記錄實際進行之操作項目進行比較（如表 3-3 所示）：

表 3-3 3D 雷射掃描測量與傳統測量之比較表

項 目	傳統測量	3D 雷射掃描測量
繪製圖面程序	測繪時記錄於儀器上，並於內業工作時新繪於 CAD 系統	以掃描機掃描記錄於筆記型電腦內，內業工作將之掃描資訊轉換至 CAD 系統描繪
測量資料數位化	無，必須以內業手動方式進行	有，掃描進行同時數位化資訊
測量範圍可及性	低，人不可觸及之處難以進行實地的測量	高，以雷射光束進行的掃描行為，無阻礙物即可進行量測
量測距離	經緯儀最長 2000 公尺，測量長距離時採取累進測量方式	100 公尺以上，無阻礙物之狀況下，最遠可達 2000 公尺
測量精確度	低，以人員方式之平面測量方式易產生人員判讀之誤差，並且容易忽略被測物實際的形狀	高，在掃描專案中生成絕對坐標系統，專案點雲中之點均有其相對坐標值，在三維的空間資訊中能很精準地獲得尺寸



第四章 海域水深測量 (單音束)

本計畫水深地形測量範圍如前圖 1-1 藍色斜線所示，其海域測量面積約 24.3 平方公里，測量方式以單音束測深系統施測，其相關儀器規格及作業方式說明如下：

4-1 潮位觀測

金門位於臺灣海峽西側中部，緊鄰大陸，其潮汐屬於半日潮汐，每一潮汐日有兩次高潮，兩次低潮，主要受太平洋之潮汐影響，漲潮時海水從太平洋經海峽兩端流入臺灣海峽內，退潮時，由海峽兩端流出，漲退潮流向不同，而金門地區除受臺灣海峽之潮流影響，有明顯的變化外，更由於金門地區鄰近九龍江口，受其鄰近水域影響亦甚大。



水深測量作業所收集的水深值為水面至海床相對距離，要計算海床實際高程，需得知水面絕對高程，因此測深作業時必須同步觀測潮位高程，本計畫潮位觀測時間配合水深測量期程為 102 年 2 月 26 日至 3 月 9 日。

4-1-1 潮位站架設

本計畫之驗潮站架設在馬山觀測所右側一簡易碼頭，與后嶼相望，其主要為軍方運補至草嶼島之人工碼頭，此碼頭在退潮時不會露出水面（最下層台階），位置如圖 4-1 所示，以作為水深測量期間之潮位修正依據。

4-1-2 潮位站高程引測

驗潮站之高程以直接水準往返觀測方式從檢測合格之控制點 T001 引測推算，求得馬山 BM 驗潮站(坐標 N:2713560m;E:190256m) 高程為 0.097m，其計算式如表 4-1 所示，水準路線距離約 0.81km，水準高程閉合差為-0.53mm，閉合精度為 $0.59\text{mm}\sqrt{K}$ ，符合精度規範。

表 4-1 驗潮站高程引測計算表

點 號	距 離		標 尺 讀 數			配賦值 (mm)	高 程 (m)	備 註 (平均值)
	後視	前視	後 視	間 視	前 視			
T001	30.44	0.00	1.94483				4.51491	
	21.25	28.17	1.08976		0.65321	-0.04	5.80649	
	15.57	20.73	1.07200		1.50358	-0.03	5.39264	
	40.79	17.10	1.13450		1.47127	-0.02	4.99335	
	37.50	39.04	2.06307		0.25507	-0.05	5.87273	
	36.26	37.21	2.59605		2.52032	-0.05	5.41543	
	16.81	35.16	0.11539		2.10927	-0.05	5.90216	
BM	1.50	21.79	0.41799		2.60686	-0.03	3.41066	
馬山BM	4.24	4.24	3.73154		3.73154	0.00	0.09711	
BM	21.53	1.50	2.62648		0.41790	0.00	3.41075	3.41075
	35.52	17.08	2.17939		0.14158	-0.03	5.89562	
	37.42	36.06	2.56964		2.66986	-0.05	5.40510	
	38.97	37.55	0.30174		2.10789	-0.05	5.86681	
	17.26	41.07	1.45262		1.17084	-0.05	4.99765	
	20.81	15.52	1.49990		1.06208	-0.02	5.38817	
	28.27	21.11	0.64593		1.09112	-0.03	5.79692	
T001	0.00	30.37	0.00000		1.92791	-0.04	4.51491	
觀測距離 = 0.81Km 觀測高差 = 0.00053m 已知點高差 = 0.00000m 閉合差 = -0.53mm 閉合精度 = 0.59 mm √K								



略圖



詳圖



遠照



近照

圖 4-1 潮位觀測站分佈圖

4-1-3 潮位資料蒐集

1. 本計畫潮位觀測使用 Sea-Bird SBE 39 型自記式潮位儀 (如右圖), 此乃高精度溫度、壓力感測之潮位觀測記錄儀器, 利用儀器本身內建程式將水中壓力換算成水深值, 壓力感測器解析度



0.002 %、精確度 0.1%, 同時搭載 4M byte 記憶體, 可連續記錄 466,000 筆資料。

2. 潮位站設置完成後即進行每日 24 小時連續水位觀測記錄, 並於水深測量時段以每隔 6 分鐘一筆連續記錄水位變化, 進行連續觀測與資料蒐集, 俟水深量測作業結束後將潮位儀取出, 並下載潮位資料繪製成潮位曲線圖 (如圖 4-2 所示), 檢視潮位量測的正確性, 查看是否有奇異值, 以獲得當地潮位變化狀況。

3. 金門潮汐型態屬半日潮型 (潮汐週期約十二小時又二十五分), 馬山最大潮位變化約 5.506m 出現於 102 年 3 月 2 日 14 時 24 分至 21 時 2 分左右。

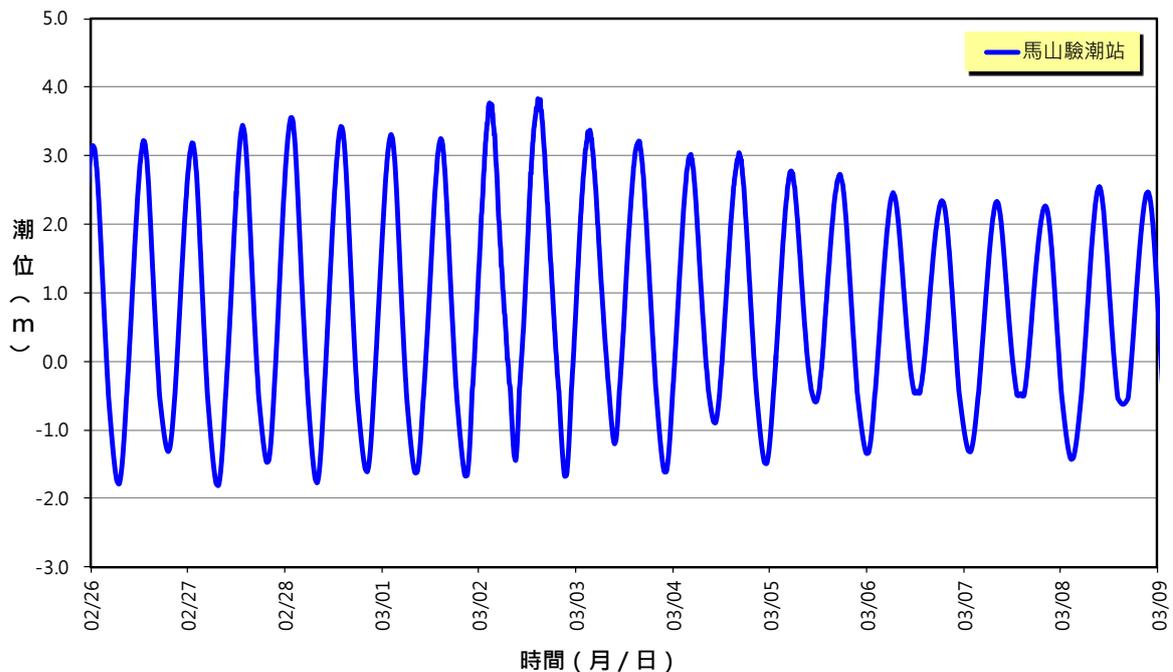
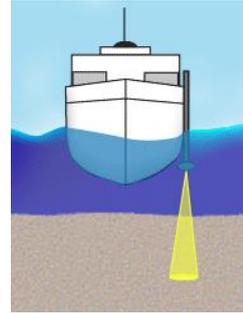


圖 4-2 潮位資料曲線圖

4-2 單音束測深系統 (Single-Beam Echo Sounder System)

水深測量藉由聲納感應器發射及接收聲波，利用聲波在水中來回傳遞速度與時間換算成底床至感應器距離，即是水深測值。本計畫以單音束測深系統進行海域水深測量，該系統包括單音束測深儀、DGPS 及湧浪補償儀等儀器所組成之測深系統，各項儀器設備及作業說明如后。



4-2-1 單音束作業流程

本計畫使用單音束水深測量，作業流程可約略分成①測量前準備、②儀器檢校測試、③水深資料收集、④水深資料檢核及⑤水深成果製作等五大項，其流程圖如圖 4-3 所示。

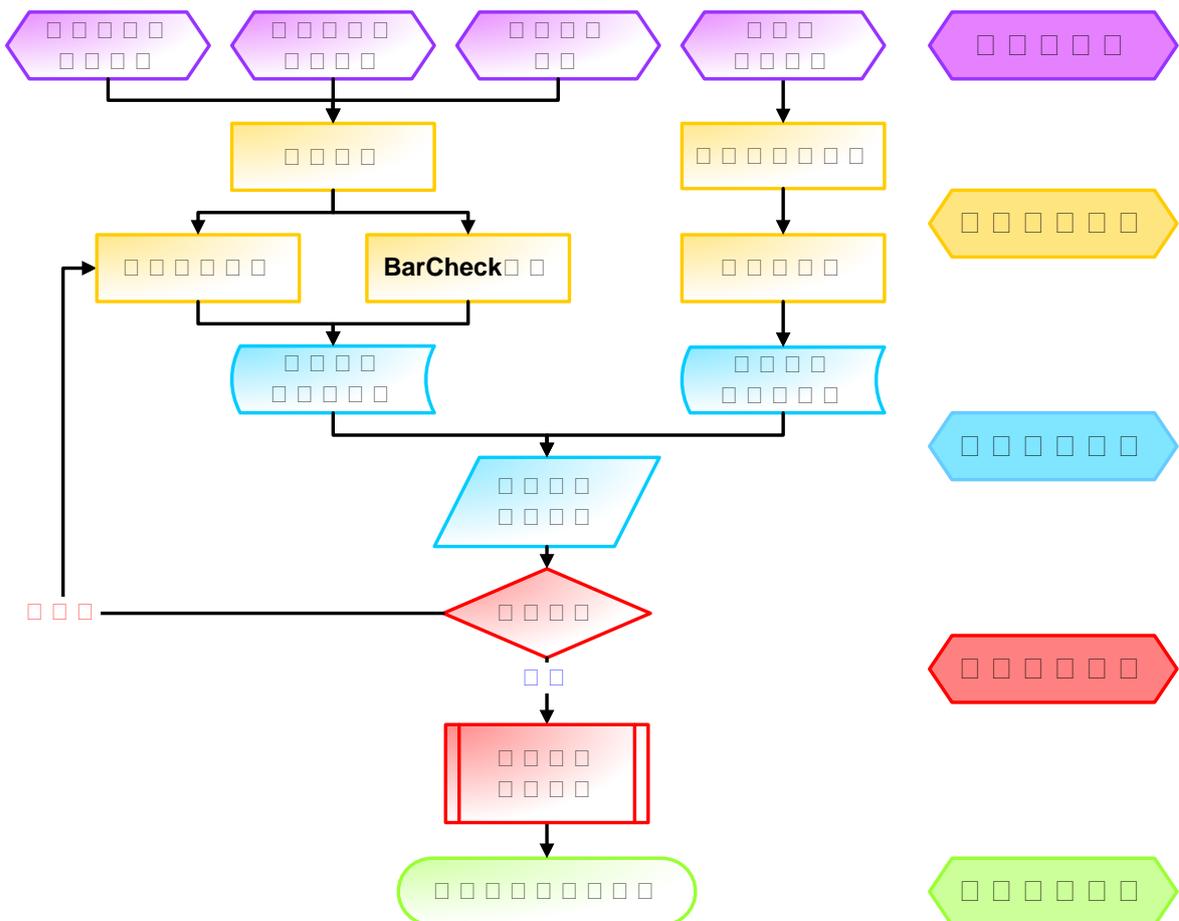


圖 4-3 單音束水深測量作業流程圖

4-2-2 單音束儀器設備

1. 作業船舶：

現場水深測量船隻採用 貴所試驗船（水試壹號及水試貳號），並租用當地適合作業之船舶（金豐八號）進行海域水深測量作業，船艙內空間適合放置單音束測深儀等相關儀器。



水試壹號



水試貳號



金豐八號

圖 4-4 單音束水深測量用船舶

2. 單音束測深音鼓：

採用儀器為美國 ODOM 公司出產 Hydrotrac 200KHz 攜帶式測深儀（如圖 4-5）。儀器具防水功能且攜帶方便，適用範圍自淺灘到大陸棚。其測深精度為 $0.01\text{m} \pm 0.25\% \text{ depth}$ （測深值），音鼓測深範圍 0~200 m，可同時輸出數值及類比（熱感紙）圖面資料成果。且測深儀具備內部時鐘，可固定時間（以秒為單位）繪製水深標記線，以作為類比及數位水深測值資料比對使用，並且搭配 TSS 湧浪補償器進行波浪高差修正。若發現訊號品質不佳或異常的水深值，即可利用此測深圖紙檢核有問題的水深資料，藉以修正水深值。

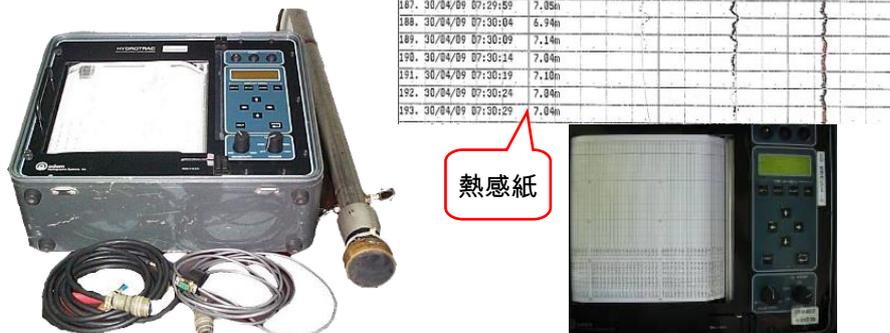


圖 4-5 單音束水深量測系統（ODOM Hydrotrac）

3.定位系統：

採用美國 Trimble 公司 DGPS 衛星定位儀（型號 AgGPS 332），可接收由廣播基地站所發送之 DGPS 差分訊號即時修正定位，其定位精度達 50cm 以內（平面距離），其儀器規格如表 4-2 所示。

表 4-2 Trimble AgGPS 332 儀器規格表

項 目	規 格	儀器照
1. Receiver Type	L1, C/A code, with carrier phase smoothing	
2. Channels	12-channel, parallel tracking	
3. Update Rate	1 Hz default, 5 Hz max	
4. Horizontal Accuracy	<1 m 95% confidence (DGPS*)	
5. Baud Rates	4,800 ; 9,600 ; 19,200	
6. Data Input / Output Protocol	NMEA 0183	
7. Timing Output:	PPS (HCMOS, active high, rising edge sync)	
8. Beacon frequency range	283.5 kHz - 325.0 kHz	

4.聲速檢校：

單音束聲速以聲速檢校鈸（Bar check）校驗，如圖 4-6(A)，作業時由檢校鈸放置固定深度，調整測深儀聲速值使其測深儀讀數符合檢校鈸放置深度，檢視測深差異量是否在儀器精度合理範圍內。

5.湧浪補償儀：

由於實際海面會隨著風及潮流作用而有瞬間高低起伏的變化產生，湧浪補償器即為測量浪高起伏的單軸向感測器，本計畫採用 TSS HS-50 型湧浪補償儀（如圖 4-6(B)）來量測水面瞬間高低變化量，其測量精度為 5cm RMS，主要應用陀螺儀穩定時受外力作用（慣性作用）產生加速度，藉由時間與加速度大小積分求出高程變化量，以修正水深測量時波浪造成的測量誤差。



(A) 聲速檢校鈸（Bar check）



(B) TSS HS-50 湧浪補償器

圖 4-6 聲速檢校鈹與湧浪補償器儀器照

6. 船隻導航：

以自行研發測量船隻導航系統『Lead Survey』

(如右圖)，同步結合 DGPS 定位資料及測深成果，本系統具有三度空間資料的成果格式，同時具備事前與現場規劃測線能力，可引導船隻沿規劃測線行進，並將實際測深軌



跡與規劃測線同步展示，使作業人員在船隻偏離測線時可即時修正行駛方向，保持水深測量作業在規劃測線上。除此之外，『Lead Survey』軟體可即時顯示水深斷面圖及具有海上註記能力，讓作業人員可監視水深變化情形外，在作業進行中如遇到礁石、浮筒或定置漁網等，並可將相關名稱、坐標及時間記錄下來，以利後續製作成果圖時可將相關物件標示於圖上。

4-2-3 單音束作業方法

1. 作業時程：

本計畫單音束水深測量於 102 年 2 月 26 日至 3 月 9 日以 2~3 組 SB 外業分別完成海域單音束水深作業，隨後進行水深資料處理工作。

2. 測線規劃與軌跡：

- (1) 單音束水深測量測線規劃方式採用測線垂直岸邊，而測線彼此間以相互平行排列，測線密度間距規劃以 50M 一條測線（如圖 4-7 上圖黃色線），測量間距每 5 公尺一點，另外在測線之垂直方向以每 500 公尺規劃檢核測線（如圖 4-7 上圖藍色線），以檢核施測成果。
- (2) 此外，為完整銜接田埔、營山（田墩）地區等海岸及海域，往計畫範圍兩側各再加測 100 公尺，以利銜接。
- (3) 本計畫單音束實測軌跡如圖 4-7 下圖所示，共計 102/02/26、02/28、03/06、03/07（各二組 SB）；03/08、03/09（各三組 SB），總計 6 天。

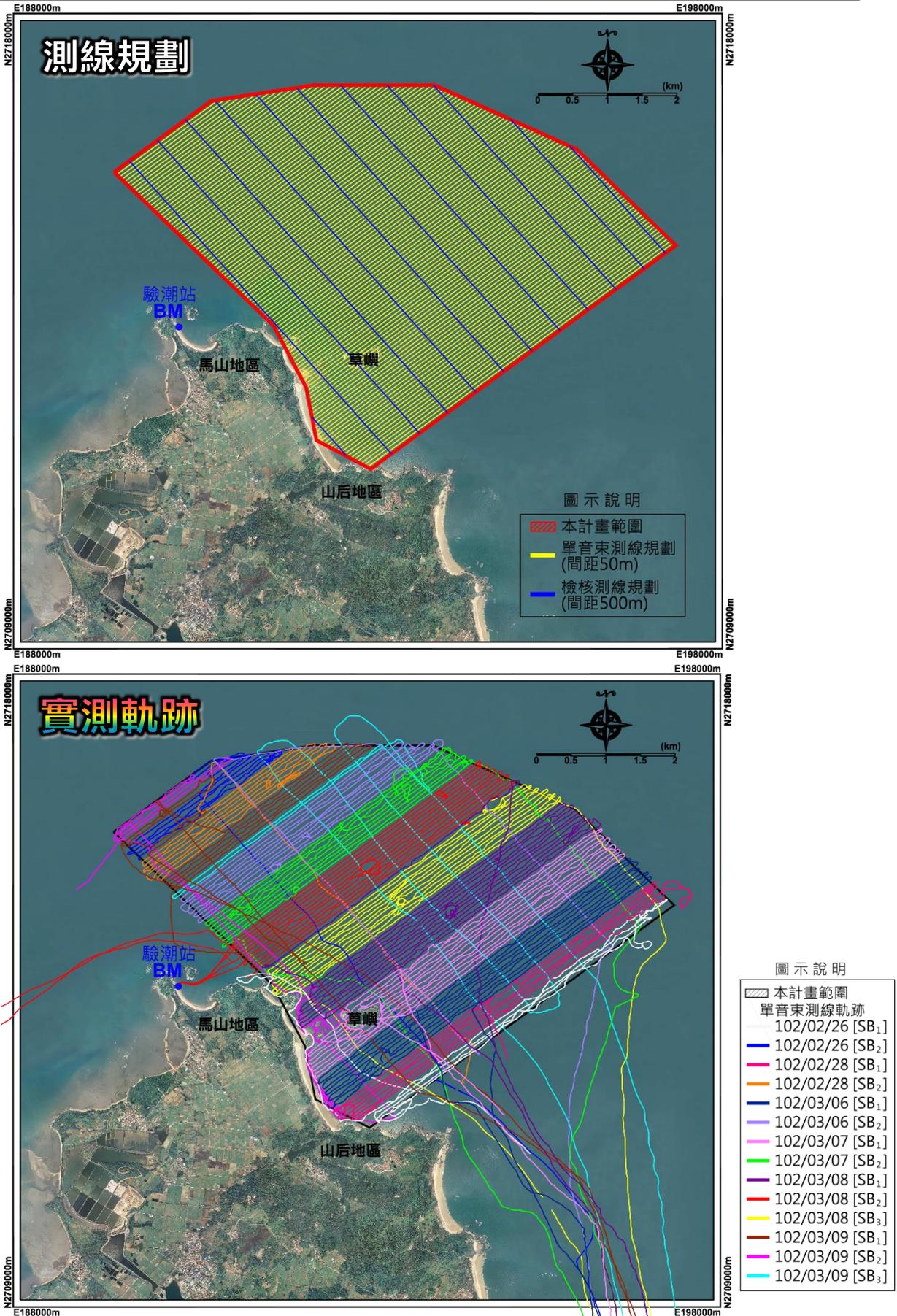


圖 4-7 單音束測線規劃與實測軌跡圖

3.定位系統檢測：

定位系統之穩定性關係到測深精度，施測前於岸上檢測定位誤差，其平面定位誤差小於 $\pm 1\text{M}$ 方可繼續進行水深測量工作，若不合，在排除控制點本身精度、周遭接收環境及儀器架設缺失的問題後仍未達要求精度時，則更換設備重新進行檢測。此外，水深測量軟體於外業資料蒐集時，會將 DGPS 訊號不佳之測點自動刪除，避免使用偏差較大之定位點資料。

4.測深儀器架設：

DGPS 天線盤與單音束音鼓架設位置在同一軸上，湧浪補償器則擺設在測深音鼓桿旁，如圖 4-8 所示。

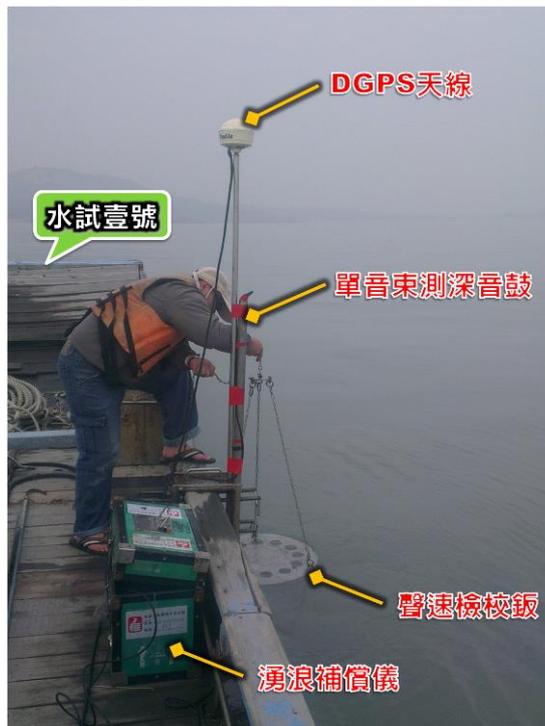


圖 4-8 儀器架設示意圖

5.水中聲速率定：

測深儀利用聲波在水中傳遞時間來計算水下深度，利用水下音鼓感測器，由主機送出固定頻率、速度的聲波，藉由聲波離開感測器到接收到同一組反射聲波所需時間（聲波來回所需時間），計算出感測器至水底的距離（如下公式），因此在水深測量正式作業前，必須先進行水中聲速率定，以便後續水深計算時進行修正。

$$D=V \times T \div 2 \quad (\text{公式})$$

其中 D：距離；V：聲速；T：時間

每次測量前將於適當地點風浪影響較小處利用水深 Bar Check 檢校鈹檢測聲速設定值，並調整感應桿入水深（如前圖 4-8 所示）。

6.湧浪參數修正：

水深測量過程中，波浪及船隻行進所造成之上下起伏，影響水深測量的成果，因此輔以湧浪補償儀（Motion Sensor），以記錄船隻上下起伏高度（heave），以作為波浪影響之修正，並盡量避免在風力 3 級及示性波高（有義波高）0.5 公尺以上時作業。

7.潮位參數改正：

所測得之水深測量值均需經潮位改正，以求得實際水底高（與陸域一致高程系統），故於水深測量前需先架設潮位站進行潮位觀測，以坐標權重進行測區潮位高程計算。

8.海陸接合區：

於測量前須先進行測區潮汐狀況之瞭解，陸域地形（地面光達）測量時程選定*退潮*時間進行潮間帶地形掃描，且臨水線以下由測量人員在安全情況下涉水施測，藉以測得最大灘線之範圍；極近岸水深（單音束）測量時程選定*漲潮*時間進行施測，兩者藉由漲退潮之潮間帶重疊區域進行成果區段連結，如圖 4-9 所示意。



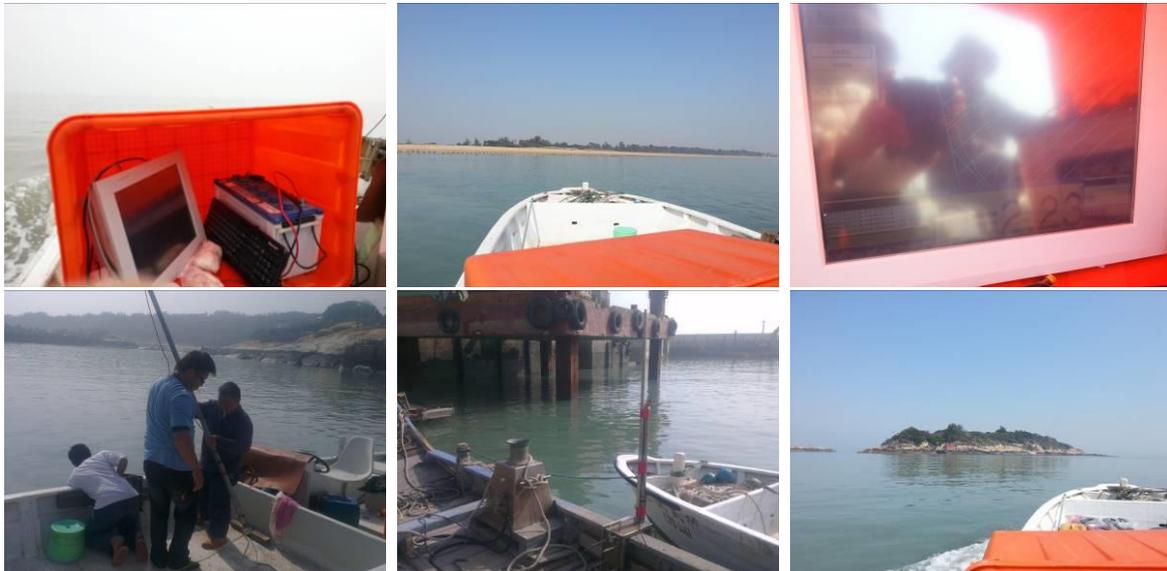
圖 4-9 漲退潮之潮間帶重疊區域示意圖

9.水深作業實錄：

本計畫作業共完成金門縣馬山至山后海域測區之單音束測深，圖 4-10 為現場作業之相關照片，包含：單音束系統、ODOM 主機、GPS 定位系統及資料蒐集…等工作實況。



水試壹號



水試貳號



圖 4-10 單音束水深現場作業情形

4-3 單音束水深資料處理

單音束水深測量資料細分為定位資料、測深資料、湧浪資料與潮位資料等四大項，於外業完成後進行資料整理（流程如圖 4-11 所示），資料處理時需先瞭解資料品質是否可用，處理項目主要有資料篩選、潮位修正、檢核線查核及等深線繪製，以下就水深資料處理步驟進行說明：

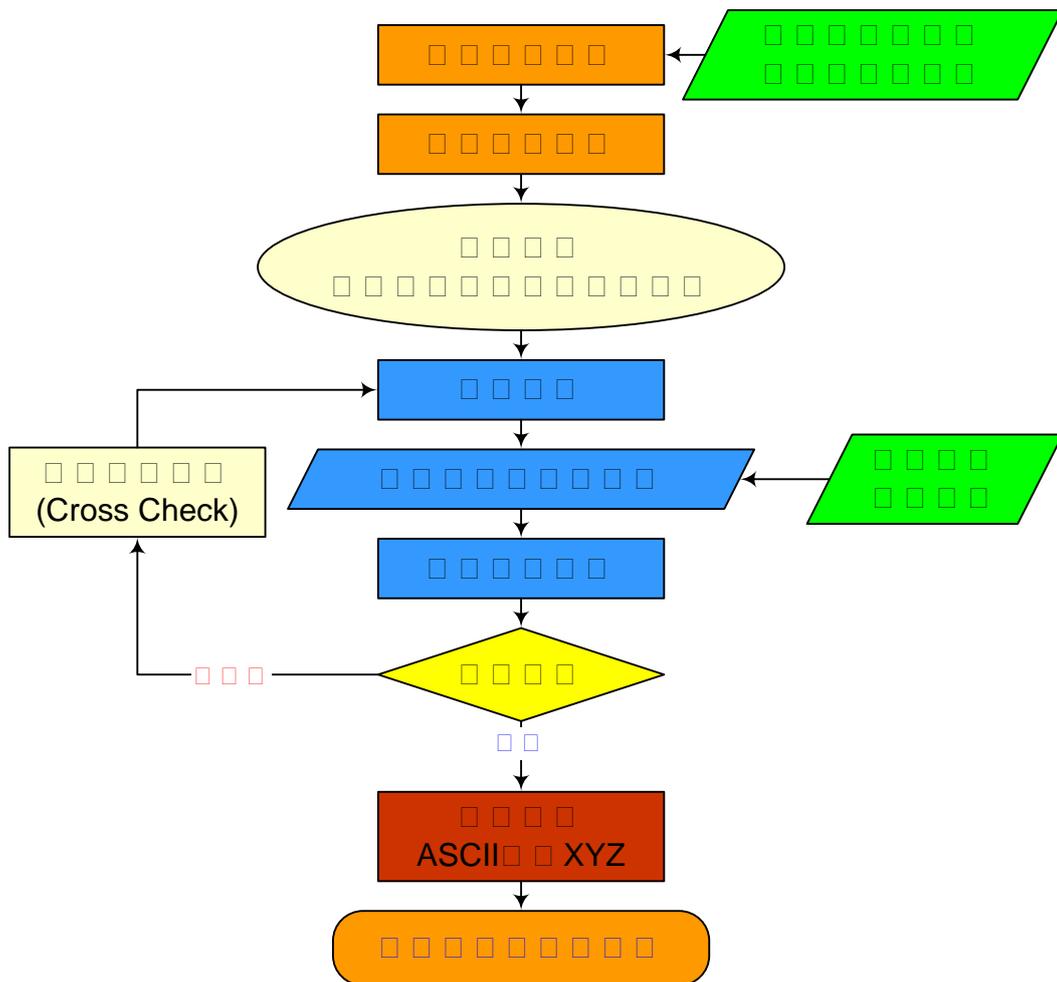


圖 4-11 單音束水深資料處理流程圖

1. 資料合併：

先將單音束水深測量所蒐集之定位資料、測深資料及湧浪資料做合併整理。首先讀入 GPS 定位資料，再依據 GPS 定位時間找出該時間之測深值及湧浪補償值，依序將 GPS 定位資料、測深資料及湧浪



資料整合成一筆有 X,Y (GPS 定位值) 及 D (潮位未修正之測深值) 之水深點。

2.資料篩選：

水深測量過程中常有許多無法避免之誤差產生，例如 GPS 差分資料接收不正常、測深儀儀器穩定度不佳...等種種狀況，利用自動及人工篩選將錯誤之資料數據刪除或修正。

(1)DGPS 資料修正：可將測點展繪於圖上，觀察測量軌跡走向，發現有跳點或明顯的位置偏離軌跡即可進行資料修正。

(2)測深資料修正：透過標示日期、時間及水深值之測深儀類比資料圖紙，比對問題點之水深數據，藉以修正測深資料。

3.潮位修正：

水深測量作業時船隻會隨著當地潮汐而有高低變化之情形，因此水深資料在作潮位修正時為得到真正的海床高度，須採用接近當地潮汐變化之潮區劃分，若無潮區劃分，於不同時間內蒐集之水深資料，再採用不同潮位資料來修正時，將會造成水深重疊區之水深數值無法銜接，類似會有二個海床面上下錯開不吻合之情形發生。

4.水深計算：

依據雜訊濾除後的水深測點，計算內插出該位置、時間之潮位值後，再由潮位將其化算至中潮位系統之實際海床高程。水深測值修正計算式如下：

水深資料計算式如下 (t 表示時間)：

水深值(D_t)=原始水深測值(D_p)－湧浪補償器測值(W_h)

潮位高程(T_t)= $T_{t1} + [(T_{t2} - T_{t1}) \times (t_x - t_1) \div (t_2 - t_1)]$

海床高程(Z)=潮位高程(T_{tx})－水深值(D_t)

$= T_{t1} + [(T_{t2} - T_{t1}) \times (t_x - t_1) \div (t_2 - t_1)] - (D_p - W_h)$

【註】 D_t ：時間為 t 時之水深測值； D_p ：原始水深測值

W_h ：湧浪補償器測值； Z ：海床高程

T_{tx} ：時間為 t_x 時之潮位高程 (以實際測值內插計算)



4-4 單音束測深精度分析

本計畫以單音束測深系統進行水深地形施測並加入潮位及聲速等資料修正，修正資料展繪於 AutoCAD 繪圖軟體後，將單音束主測線與檢核線之測點分離，進行精度檢核分析，以檢核線測點為中心，搜尋半徑 5m 內鄰近之主測線水深測點，並統計兩者間之高程差異值，以求得本次水深施測精度。

依據經濟部水利署水利規劃試驗所「海岸防護規劃基本資料觀測調查作業規範(草案)(一般性海堤)(第一次修正), 2011.11」規定說明，其水深精度要求為水深誤差(95%信賴區間)不得大於 $[a^2+(b \times d)^2]^{1/2}$ 公尺為原則，式中 $a=0.5$ 、 $b=0.013$ 、 d 為水深(公尺)，其精度規範與 IHO (國際海測組織) S-44 規範標準之一等規範相同。

計算成果總檢核點數 2398 點，合格點數總計 2173 點，不合格點數總計 225 點，合格率为 90.62%，符合精度規範，並繪製水深精度檢核圖如圖 4-12 所示。

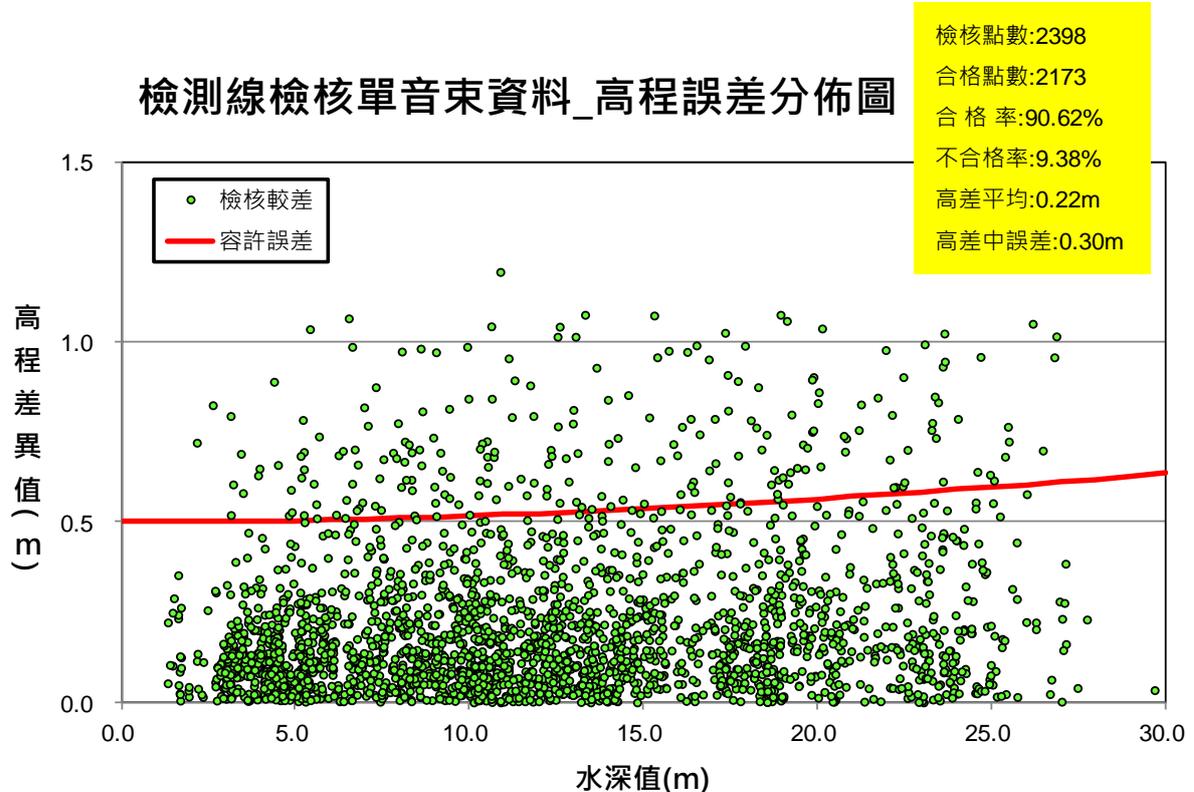


圖 4-12 單音束水深精度檢核圖

第五章 成果圖檔繪製

5-1 1/1000 原始測線軌跡圖

以自行研發之測量軟體 Lead Survey 將水深原始定位檔展繪至 AutoCAD 繪圖軟體，製成比例尺 1/1000 之原始測線軌跡圖，如圖 5-1。

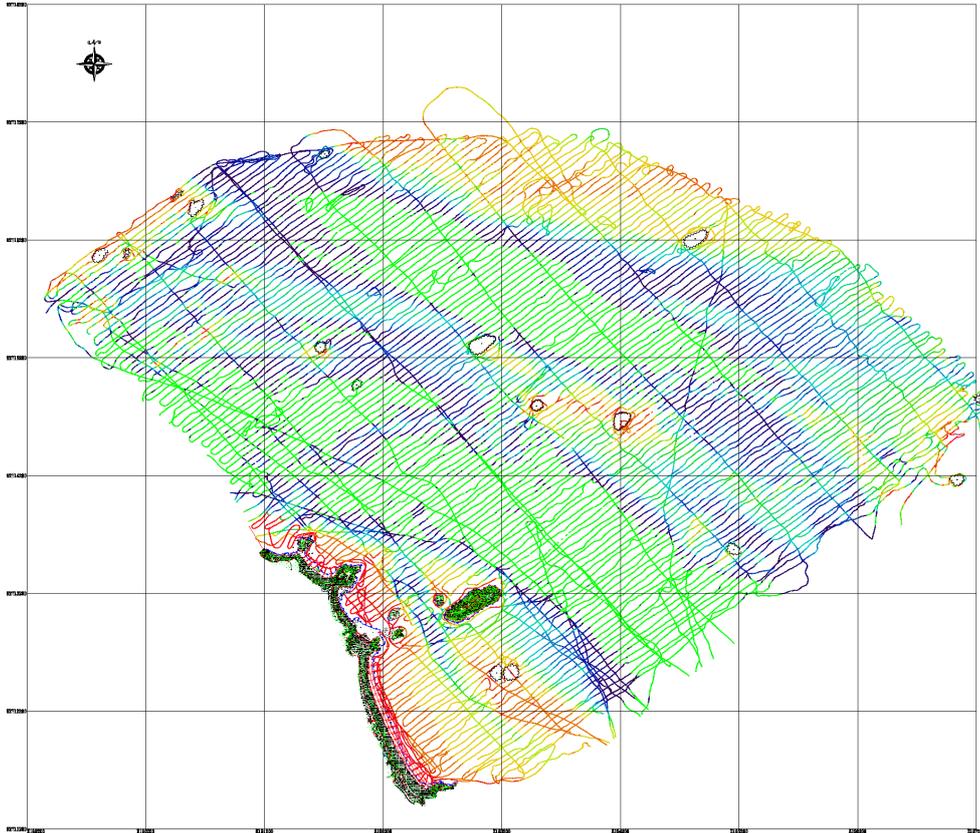


圖 5-1 原始測線軌跡圖—馬山至山后海域

5-2 1/1000 水深地形成果圖

依水深測量範圍所測得之水深資料整合於 AutoCAD 繪圖軟體，繪製馬山至山后海陸域地形圖，利用程式採用不規則三角網 (Triangulation Irregular Network, TIN) 法進行等深線自動生成，再以人工逐條修繪方式檢查等深線繪製合理性，套疊陸域岸線測量成果，本次 1/1000 水深地形成果縮繪如圖 5-2 及圖 5-3 所示，圖上等深線間距為 1m，圖面上桃紅色實線為計曲線 (間隔為 5m)，水藍色實線為首曲線 (間隔為 1m)。本次水深大多介於 0 至 -20m 左右，最深可達 -30m，海底地形較陡且不規則，暗礁林立。

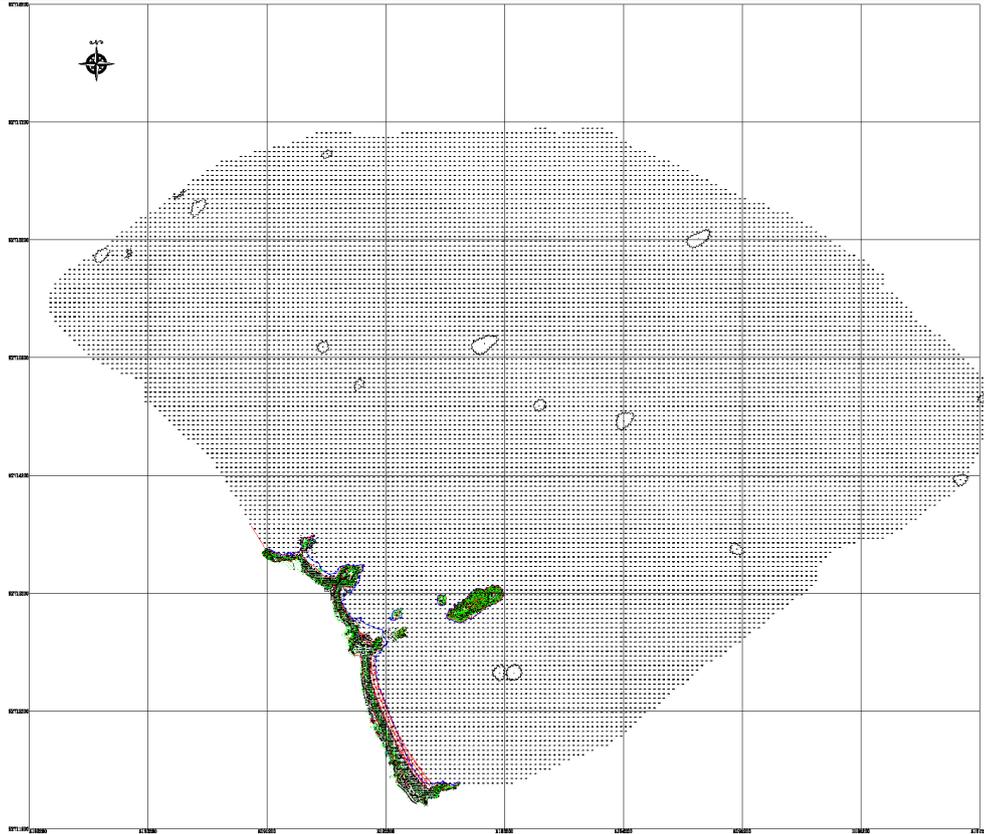


圖 5-2 網格 40M 測量成果圖—馬山至山后海域

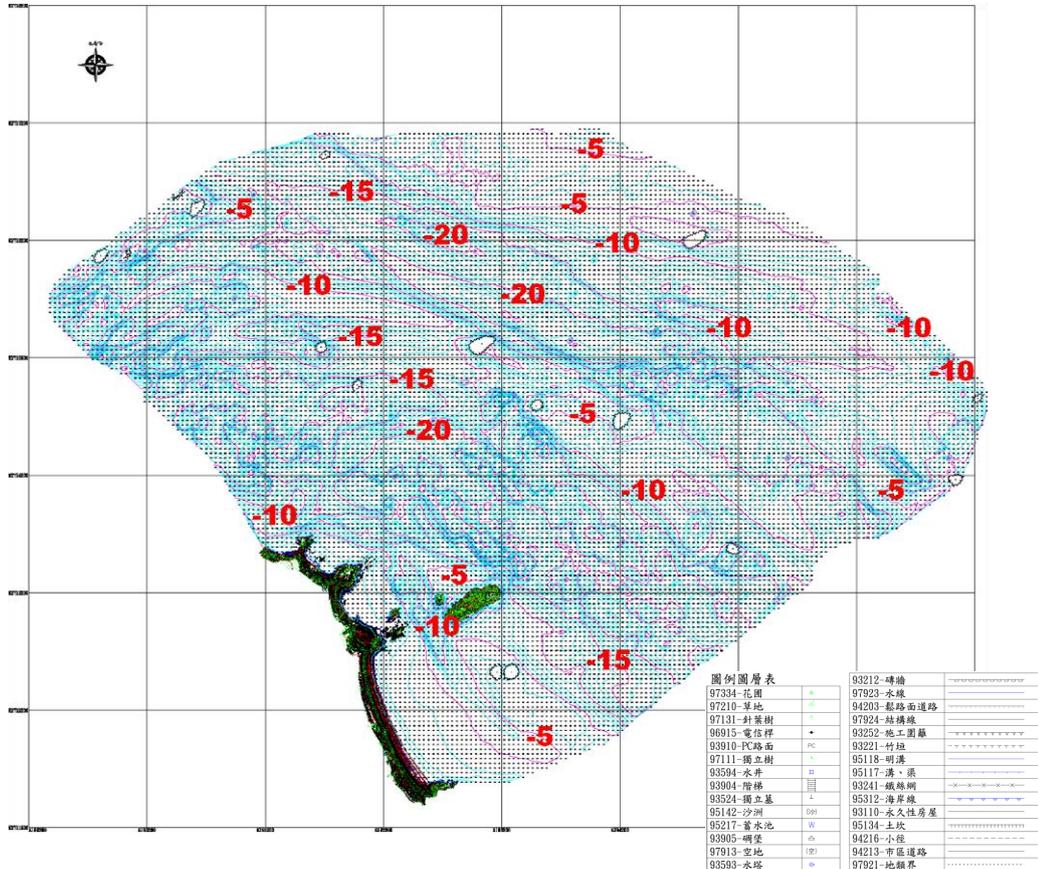


圖 5-3 水深地形等深線圖—馬山至山后海域

5-3 水深 2D 色階圖成果

另以克利金法 (Krigin) 計算，將水深資料製作成約 40m×40m 網格資料，再將其網格資料製作成本海岸區域之 2D 數值地形模型，並套疊岸上正射影像如圖 5-4 所示。

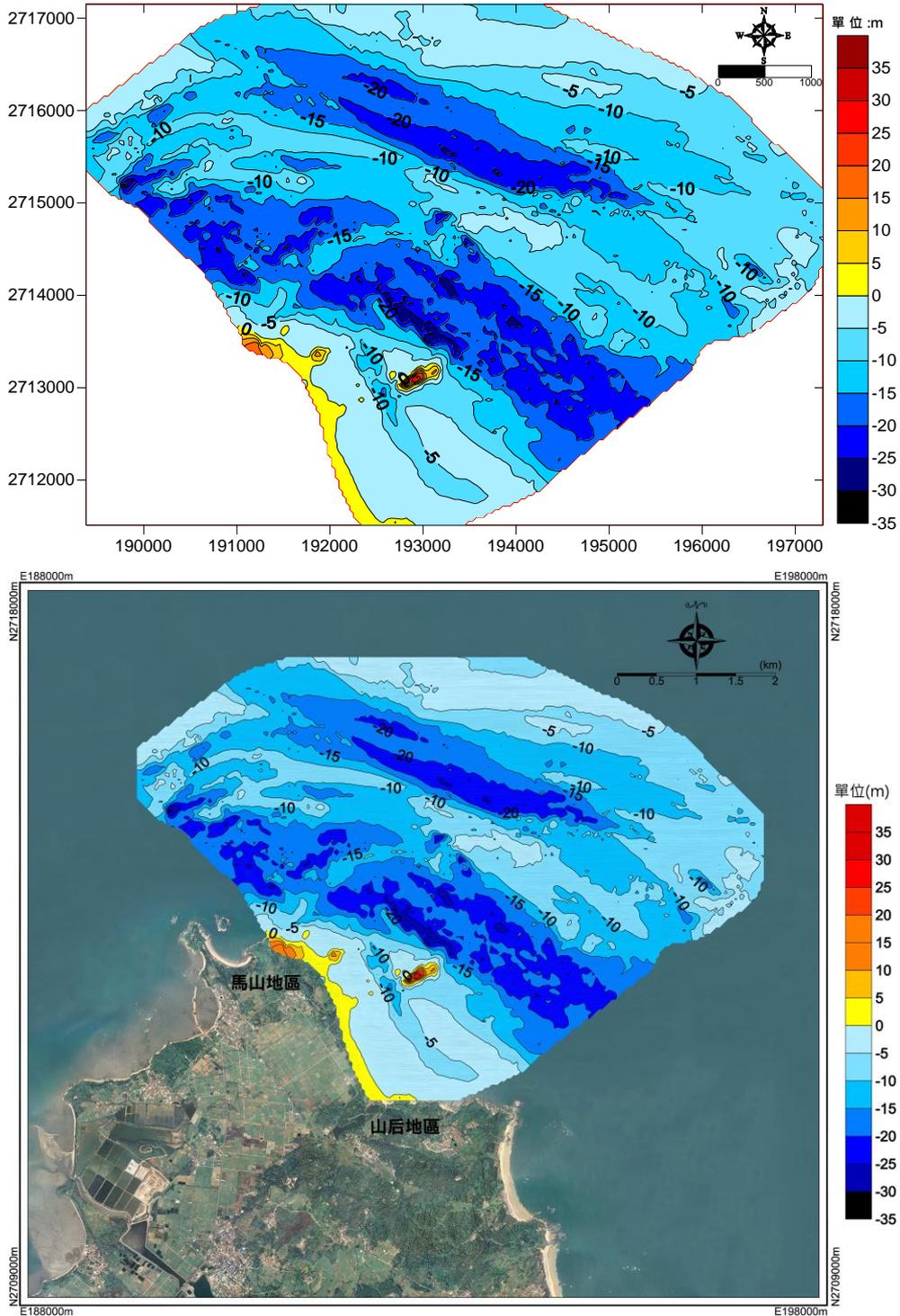


圖 5-4 水深地形 2D 色階套疊正射影像圖—馬山至山后海域

5-4 水深 3D 色階圖成果

此外，以 Fleadmaus 3D 地形圖製作軟體將實測之數值地形資料匯入，以權重方式製作成地形 3D 色階圖，如圖 5-5 所示，並套疊岸上正射影像成果，如圖 5-6 所示。

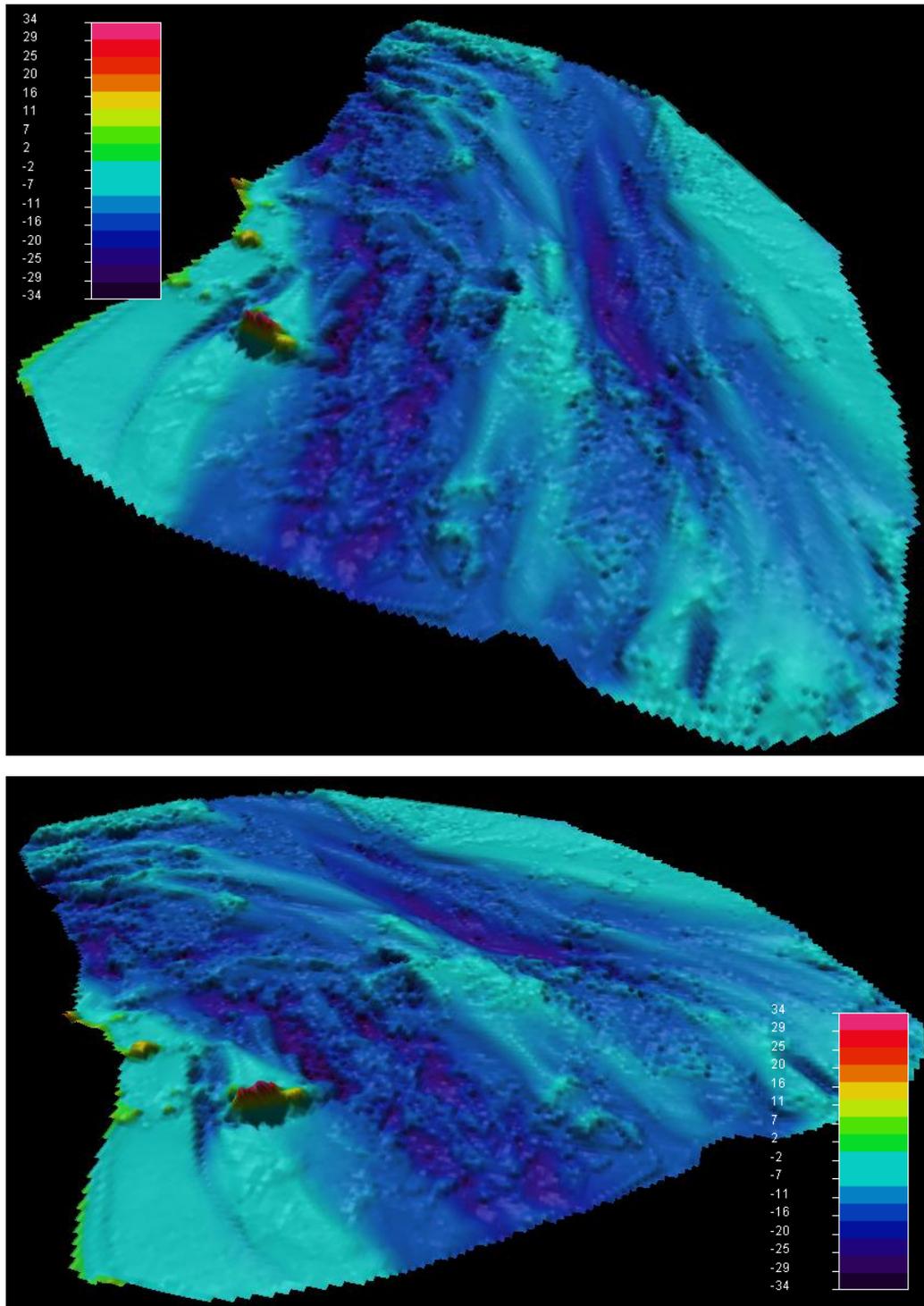


圖 5-5 水深地形 3D 色階圖—馬山至山后海域

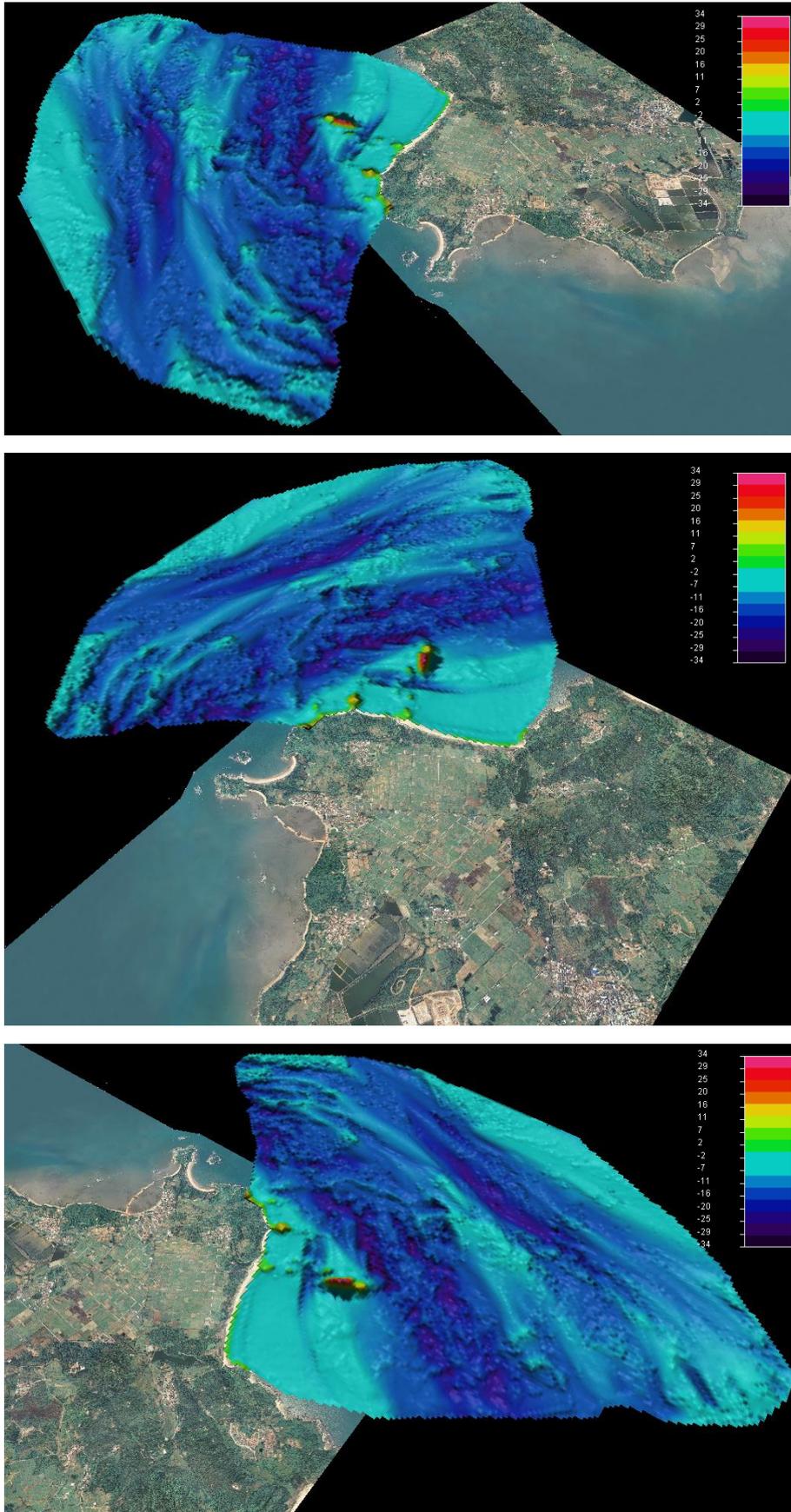


圖 5-6 水深地形 3D 色階套疊正射影像圖—馬山至山后海域

5-5 大金門東北角水深地形成果

彙整往年田埔、營山（田墩）海岸所測定海域地形資料進行連接，依水深測量範圍所測得之水深資料整合於 AutoCAD 繪圖軟體，繪製海陸域地形圖，成果如圖 5-7 所示，再將水深資料製作成 40m×40m 網格後，製作大金門東北角 2D 及 3D 色階圖，成果如圖 5-8 至圖 5-11 所示。

其中，由於 94 年田埔區域施測時所採用之高程系統，當時內政部未與臺灣基隆海平面高程基準進行聯測；而 97 年營山（田墩）區域及本計畫 102 年馬山至山后區域均統一採用內政部最新公告之金門地區水準點進行高程計算，因此，為達到高程系統銜接之一致性，遂將 94 年田埔區域之高程系統進行高差修正（=水深 D-2.398m），再進行三區域資料彙整。

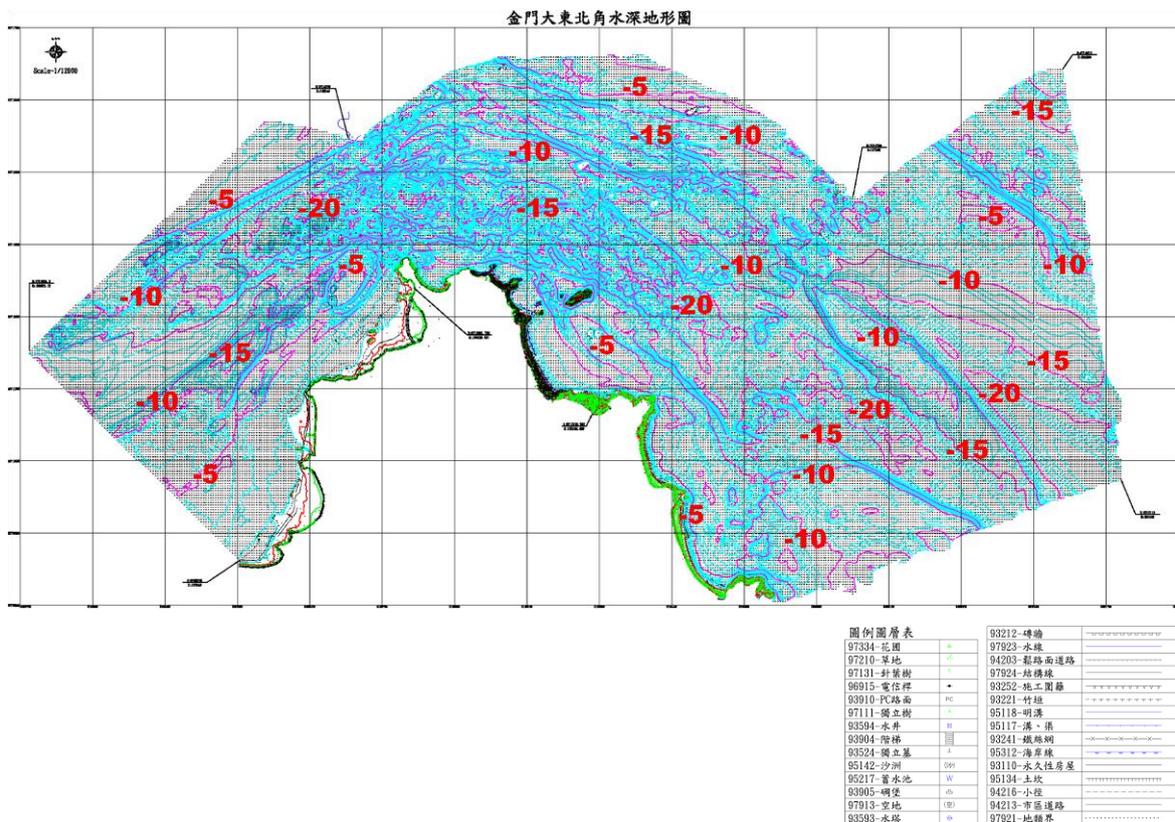


圖 5-7 水深地形等深線圖—大金門東北角海域

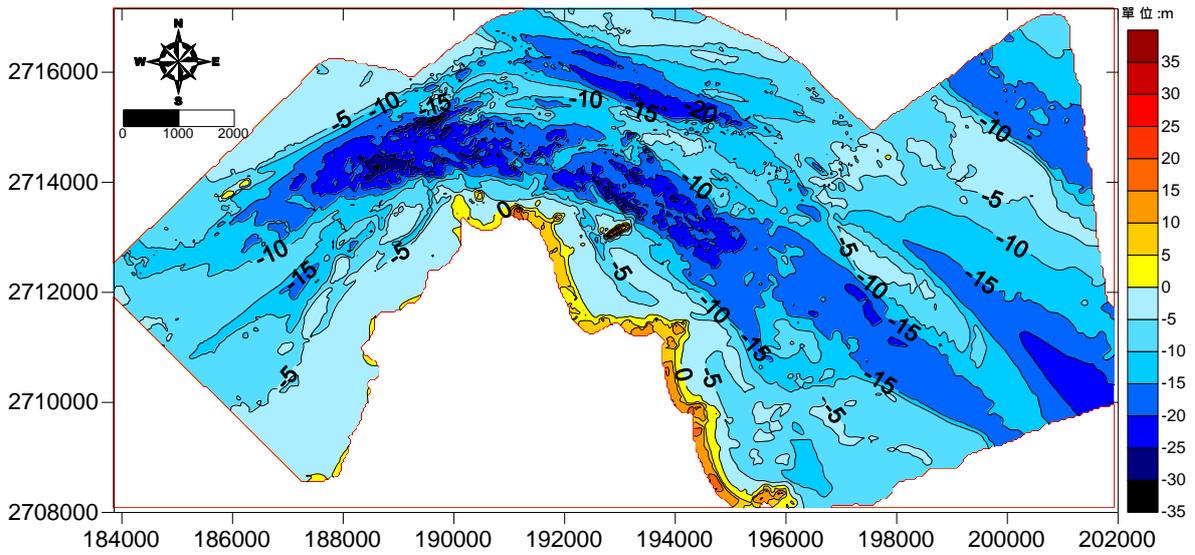


圖 5-8 水深地形 2D 色階圖—大金門東北角海域

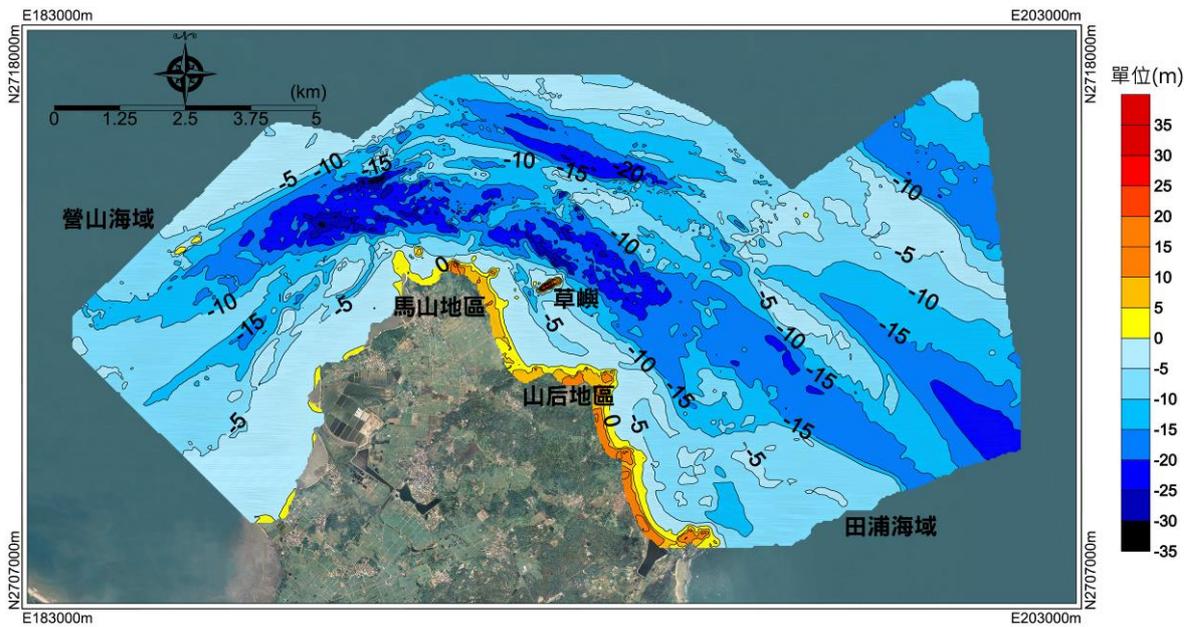


圖 5-9 水深地形 2D 色階套疊正射影像圖—大金門東北角海域

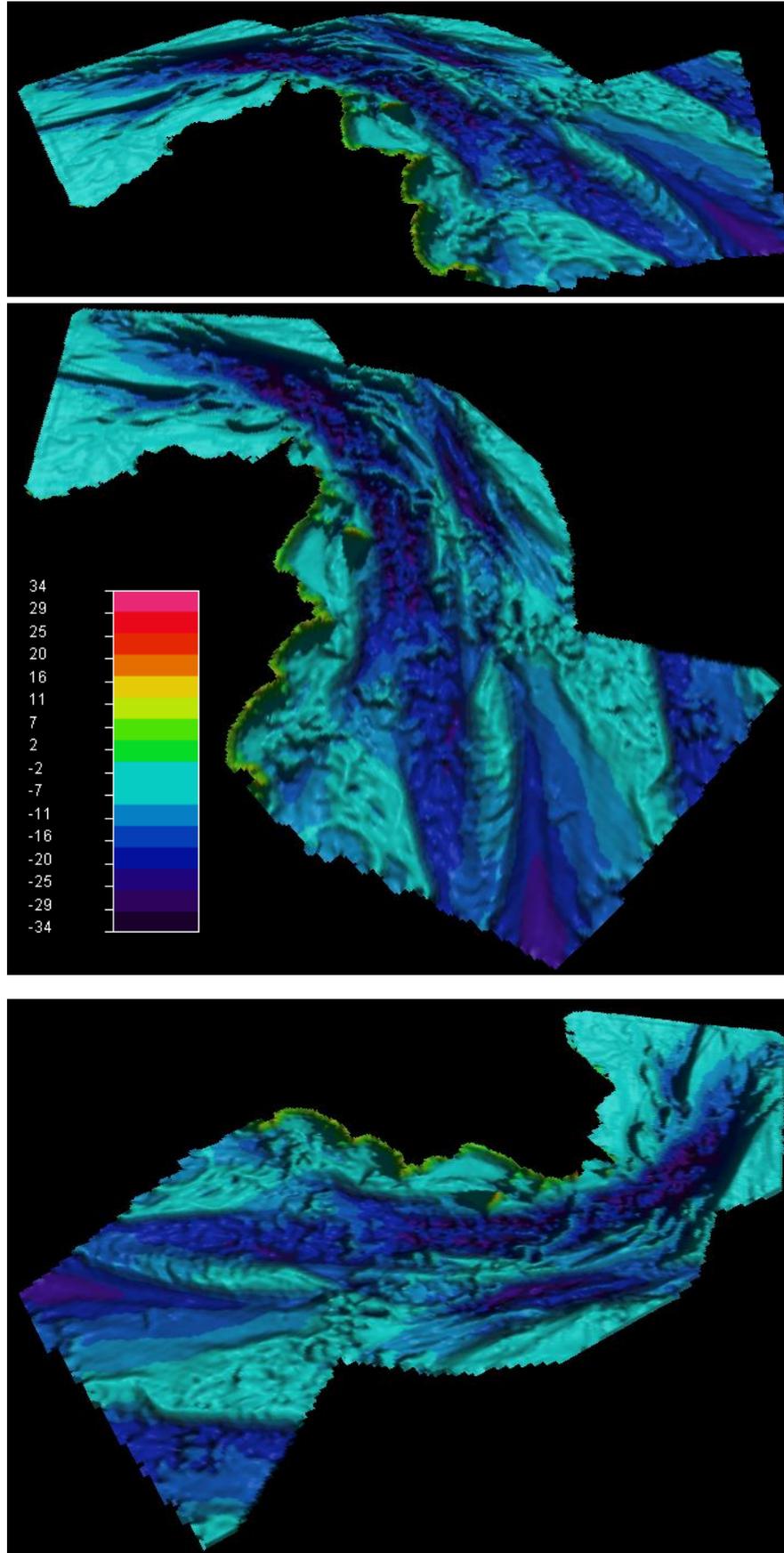


圖 5-10 水深地形 3D 色階圖—大金門東北角海域

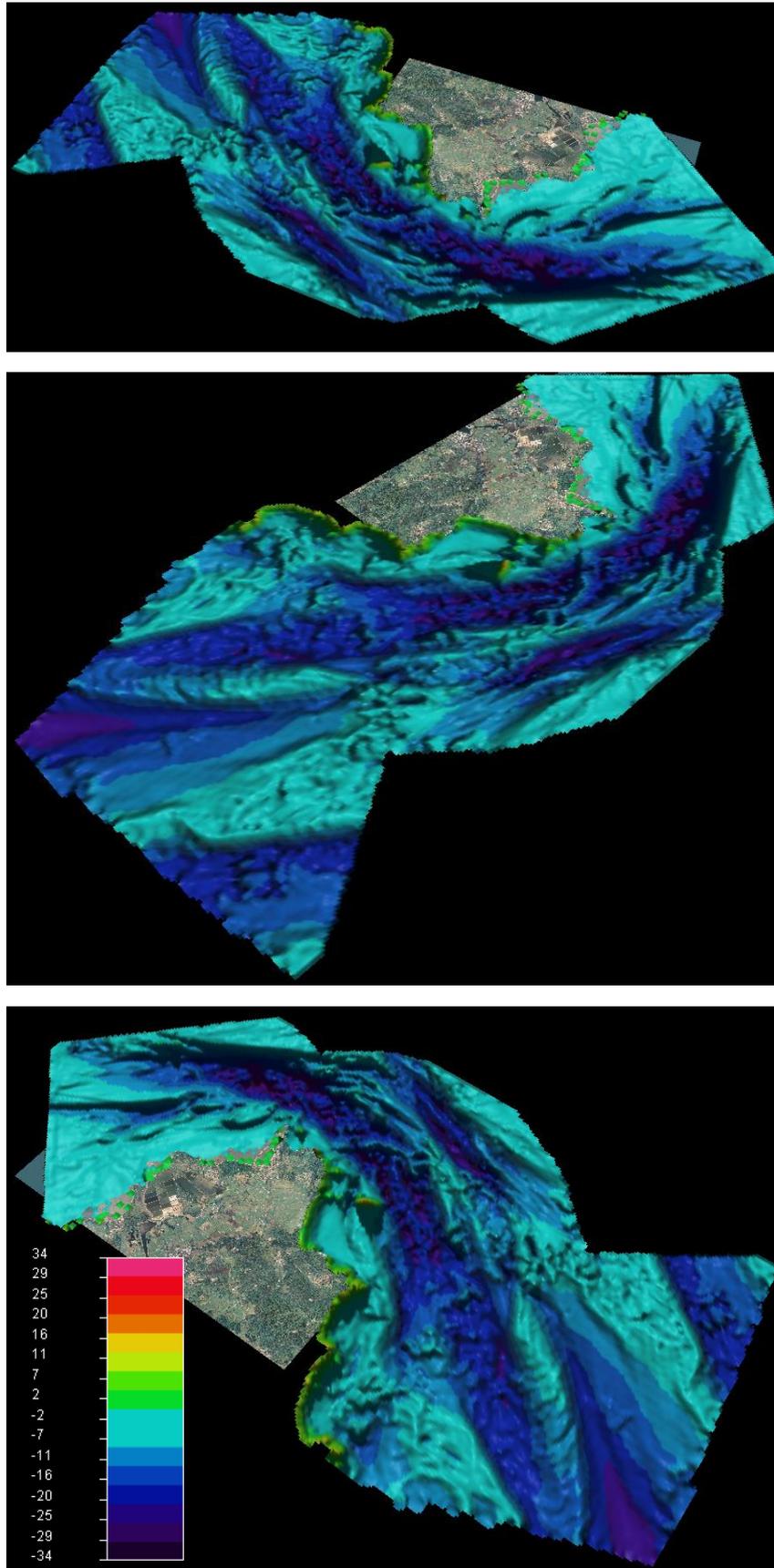


圖 5-11 水深地形 3D 色階套疊正射影像圖—大金門東北角海域



第六章 結論與建議

本次執行 102 年度「金門縣馬山至山后海域環境測定調查」乙案，歷時約六個月期間。本成果報告旨在提送控制系統檢測及引測；潮位站架設及高程引測；海岸地形測量；海域水深測量（單音束）；成果圖檔繪製等成果，相關測量作業均於開工後陸續進場執行，並於時程控管內完成。

6-1 結論

1. 已知控制點檢測成果，可知以衛星定位儀檢測測區附近內政部公告之三等控制點 WX11、WX13 及 WX14 共 3 點平面控制點均符合檢測精度要求，可作為後續坐標套合平差及測量使用。
2. 已知水準點檢測成果，可知以電子水準儀檢測測區附近內政部公告之一等一級水準點 KM09 及 KM10 共 2 點，其測段精度皆小於 $\pm 8\text{mm}\sqrt{K}$ ，符合規範要求，可供後續水準測量使用。
3. 本次施測馬山至山后海域地形成果，可知水深大多介於 0 至 -20m 左右，最深可達 -30m，海底地形較陡且不規則，暗礁林立。

6-2 建議

1. 海岸地形監測陸域部份以 3D 雷射掃描技術（地面光達）取代傳統地形測量進行施測，其以高密度之點雲資料增加陸域地形之準確性，建議未來持續採用光達掃描系統進行施測，以達到監測比對之準確性及可靠性，另於海岸陸域地形歷史資料之保存效益有相當大之成效，日後若有新測資料可利用歷史點雲資料進行地形侵淤比對。
2. 金門地區四面環海，由於本計畫已完成大金門東北角〔營山（田墩） \Rightarrow 馬山—山后 \Rightarrow 田埔〕等區之海域環境調查，為達金門周圍海域水深地形資料建置之完整性，建議後續可將未測定之金門區域，依區域分為 3 至 5 年之計畫辦理，除建立金門地區海域環境之基本測繪成果，更可提供後續相關單位作為國土規劃利用及航行安全之基礎圖資參考。