

103 年度水深資料及高程基準

分析工作案

期末報告

主辦機關：內政部

執行單位：國立交通大學

中華民國 103 年 12 月

目次

目次.....	I
表次.....	III
圖次.....	IV
摘要.....	VI
Abstract.....	VII
第壹章 緒論.....	1-1
1-1 前言.....	1-1
1-2 目標.....	1-1
1-3 位置及範圍.....	1-1
第貳章 工作項目及人員編組.....	2-1
2-1 工作項目.....	2-1
2-2 人員編組.....	2-2
2-3 工作進度.....	2-4
2-4 成果繳交格式.....	2-6
2-5 成果繳交項目及日期.....	2-6
第參章 衛星追蹤站穩定度分析.....	3-1
3-1 陽明山(YMSM)、東沙(TNSM)、墾丁(KDNM)及北港站(PKGM)衛星追蹤站及其副點相對關係檢測.....	3-1
3-1-1 北港衛星追蹤站檢測.....	3-1
3-1-2 墾丁衛星追蹤站檢測.....	3-5
3-2 蒐集陽明山(YMSM)、東沙(TNSM)、墾丁(KDNM)及北港站(PKGM)衛星追蹤站歷年觀測數據.....	3-10
3-3 進行觀測數據計算分析並比對其於國際框架系統 ITRF 之坐標變化情形.....	3-10
第肆章 東沙潮位站系統維護及資料分析工作.....	4-1
4-1 辦理潮位站系統維護及保養工作.....	4-1
4-2 蒐集東沙地區潮位數據並製作符合中央氣象局規定之格式繳交.....	4-5
4-3 分析東沙地區潮位數據.....	4-7
第伍章 建製東沙地區塊礁分布圖.....	5-1
5-1 既有塊礁製圖方法及規範檢討.....	5-1
5-2 製作 10 幅 1/5000 比例尺東沙塊礁分布圖.....	5-4
5-3 塊礁分布圖產製成果.....	5-5
第陸章 基隆臨時潮位站維護及新設站代辦採購工作.....	6-1
6-1 辦理基隆臨時潮位站(正濱漁港旁)數據資料蒐集分析及其系統定期保養維護工作.....	6-1

6-1-1	基隆臨時潮位站維護保養作業	6-3
6-1-2	基隆臨時潮位站潮位分析	6-4
6-2	代辦新設潮位站採購工作	6-9
6-2-1	潮位站設置前期評估作業	6-9
6-2-2	採購規劃及經費需求概估	6-11
6-2-3	潮位站設備採購	6-12
6-2-4	採購及建置時程及經費	6-19
6-2-5	新設潮位站潮位分析	6-20
第七章	論文期刊	7-1
第八章	研提中程個案計畫方案	8-1
第九章	結論與建議	9-1
9-1	結論	9-1
9-2	建議	9-2
參考文獻		
附錄一 審查意見及回覆		
附錄二 代辦新設潮位站採購工作報價單		
附錄三 103 年度東沙潮位資料蒐集與分析		
附錄四 GrafNet 解算參數設定		
附錄五 GIPSY 解算參數		
附錄六 東沙、臨時潮位站及新設潮位站工作表		
附錄七 期刊論文		

表次

表 1-1 工作項目及範圍.....	1-2
表 2-1 人力工作配置圖.....	2-3
表 2-2 計畫工作人員組織表.....	2-3
表 2-3 工作項目預定進度及實際進度.....	2-5
表 3-1 PKGM 站 GPS 外業觀測資訊.....	3-3
表 3-2 PKGM 站平差坐標成果減去公告坐標之較差(單位：公分).....	3-4
表 3-3 PKGM 站 GPS 控制測量邊長成果檢核.....	3-5
表 3-4 GPS 控制測量方位角成果檢核(GPS 控制測量-公告坐標).....	3-5
表 3-5 副點 PKGA→PKG C 高程差成果.....	3-5
表 3-6 KDNM 站副點 GPS 外業觀測資訊.....	3-8
表 3-7 KDNM 坐標成果較差(單位：公分).....	3-8
表 3-8 KDNM 站 GPS 控制測量邊長成果檢核.....	3-9
表 3-9 GPS 控制測量方位角成果檢核(GPS 控制測量-公告坐標).....	3-9
表 3-10 副點 KDNB→KDNC 高程差成果.....	3-9
表 3-11 衛星追蹤站觀測起迄日期.....	3-10
表 3-12 臺灣 IGS 追蹤站於 86~101 年間點變化情形(單位：cm).....	3-12
表 3-13 移除速度場趨勢後 E、N、h 坐標值標準差(單位：cm).....	3-18
表 3-14 IGS 站與 4 個衛星追蹤站點位變化速率(單位：cm/yr).....	3-18
表 4-1 東沙潮位站設備廠牌及型號.....	4-2
表 5-1 物件分割方式偵測礁塊面積精度(DEM：影像=4：1).....	5-3
表 5-2 塊礁總面積成果.....	5-3
表 5-3 潟湖區塊礁分布圖統計成果.....	5-7
表 5-4 交界處塊礁分布圖統計成果.....	5-7
表 6-1 基隆臨時潮位站設備廠牌及型號.....	6-2
表 6-2 基隆臨時潮位站調和分析分潮表.....	6-6
表 6-3 採購項目及經費預估表.....	6-12
表 6-4 代辦潮位站設備、型號及數量.....	6-13
表 6-5 導覽機建置規格及數量.....	6-15
表 6-6 設備及軟體擴充.....	6-19
表 6-7 代辦新設潮位站採購工作期程.....	6-20
表 6-8 代辦新設潮位站採購經費及完工日期.....	6-20
表 6-9 新設潮位站調和分析分潮表_壓力式.....	6-22
表 6-10 新設潮位站調和分析分潮表_音波式.....	6-24

圖次

圖 1-1 東沙環礁地理位置.....	1-2
圖 1-2 衛星追蹤站分布圖.....	1-3
圖 1-3 基隆區潮位站相關位置圖	1-3
圖 3-1 北港衛星追蹤站(PKGM)主點	3-2
圖 3-2 北港衛星追蹤站(PKGM)周圍副點	3-2
圖 3-3 追蹤站 PKGM 及其副點相對位置略圖.....	3-3
圖 3-4 墾丁衛星追蹤站(KDNM)主點.....	3-6
圖 3-5 點位 KDND 周圍堆置大型廢棄物狀況(箭頭為 KDND 位置)	3-6
圖 3-6 本次外業使用追蹤站副點	3-7
圖 3-7 追蹤站 KDNM 及其副點相對位置略圖	3-7
圖 3-8 副點 KDNB 外業周圍概況.....	3-8
圖 3-9a TWTF 衛星追蹤站點位水平坐標 86 至 101 年變化.....	3-10
圖 3-10a TNML 衛星追蹤站點位水平坐標 86 至 101 年變化	3-11
圖 3-11a TCMS 衛星追蹤站點位水平坐標 86 至 101 年變化.....	3-12
圖 3-12 TNSM 之 E、N 坐標解算時序	3-14
圖 3-13 TNSM 之橢球高解算時序	3-14
圖 3-14 YMSM 之 E、N 坐標解算時序	3-15
圖 3-15 YMSM 之橢球高解算時序	3-15
圖 3-16 PKGM 之 E、N 坐標解算時序.....	3-16
圖 3-17 PKGM 之橢球高解算時序.....	3-16
圖 3-18 KDNM 之 E、N 坐標解算時序	3-17
圖 3-19 KDNM 之橢球高解算時序	3-17
圖 4-1 線路配置圖.....	4-1
圖 4-2 潮位站管線布設示意圖.....	4-2
圖 4-3 東沙潮位站壓力式水位計分析表	4-3
圖 4-4 東沙潮位站壓力式水壓計校正	4-3
圖 4-5 東沙海巡署辦公室旁電信箱內水溫計線路被剪斷情形	4-4
圖 4-6 自記式潮位計支架斷裂.....	4-6
圖 4-7 連續式潮位計觀測潮位時序	4-7
圖 5-1 塊礁分布圖產製作業流程	5-2
圖 5-2 結合 DEM 與衛星影像(比重 4:1)後分割之塊礁分布.....	5-2
圖 5-3 東沙測深光達數據 1/5000 圖幅接合表	5-4
圖 5-4 本年度新增潟湖區試作圖幅與人工數化塊礁邊界	5-6
圖 5-5 本年度新增交界處試作圖幅與人工數化塊礁邊界	5-7
圖 5-6 潟湖區圖幅數化(藍底)與偵測塊礁邊界(紅線)套疊.....	5-8

圖 5-7 交界處圖幅數化(藍底)與偵測塊礁邊界(紅線) 套疊	5-9
圖 6-1 基隆臨時潮位站設置地點略圖	6-1
圖 6-2 中正路 341 號及其左側民家旁通道	6-2
圖 6-3 靜水井位置.....	6-2
圖 6-4 東岸會議室屋頂太陽能板及儀器箱位置	6-3
圖 6-5 基隆臨時潮位站遭海浪沖毀(2014.1.6).....	6-3
圖 6-6 基隆臨時潮位站維修後現況(2014.1.28).....	6-4
圖 6-7 基隆臨時潮位站時序資料	6-5
圖 6-8 調和分析之頻率對應振幅成果_基隆臨時潮位站	6-8
圖 6-9 調和分析之頻率對應相位角成果_基隆臨時潮位站	6-8
圖 6-10 國立海洋科技博物館主題館區(面北寧路 369 巷道)之舊台電進水 口	6-10
圖 6-11 藍色箭頭指水準原點、紅色箭頭指新設潮位站(進水口)之位置	6-11
圖 6-12 代辦新設潮位站系統架構	6-14
圖 6-13 新設潮位站系統完工照片	6-14
圖 6-14 導覽機外型.....	6-15
圖 6-15 導覽機顯示介面.....	6-16
圖 6-16 導覽機首頁.....	6-16
圖 6-17 導覽機海科館介紹分頁.....	6-17
圖 6-18 導覽機水準測量介紹分頁	6-17
圖 6-19 導覽機遊戲介面.....	6-18
圖 6-20 新設潮位站時序資料.....	6-21
圖 6-21 新設潮位站音波式潮位計資料異常示意	6-22
圖 6-22 調和分析之頻率對應振幅成果_新設潮位站壓力式	6-23
圖 6-23 調和分析之頻率對應相位角成果_新設潮位站壓力式	6-23
圖 6-24 調和分析之頻率對應振幅成果_新設潮位站音波式	6-25
圖 6-25 調和分析之頻率對應相位角成果_新設潮位站音波式	6-25

摘要

本計畫延續 101 年度水深資料及高程基準分析工作案，持續進行東沙衛星追蹤站穩定度分析，並與台灣本島陽明山、墾丁及北港衛星追蹤站比對、蒐集東沙潮位站數據，及檢討塊礁產製作業方法及流程並繪製十幅。另外，於基隆長潭里海洋科學博物館代辦潮位站採購工作，並分析基隆正濱漁港臨時性連續潮位站及新設之潮位站數據。

分析東沙衛星追蹤站與台灣本島陽明山、墾丁及北港衛星追蹤站長時間觀測數據，整體而言臺灣本島內衛星追蹤站 E 方向速度場向東偏移且自北而南趨勢遞減，至最南端 KDNM 為向西偏移；N 方向速度場均為向南偏移且由北至南量值遞減。東沙潮位站數據分析中，連續式潮位計觀測數求得據算數平均海水面為-0.0126m，調和分析得平均海水面為-0.0164m。東沙地區塊礁分布圖已針對前期方法檢討及提出改進辦法，並產製 10 幅 1/5000 圖幅塊礁分布圖。完成基隆臨時潮位站維護及新設站代辦採購工作。

Abstract

This project continues the “Bathymetric data and Height Datum Analysis” work conducted in 2012. There are four subjects within the scope of this project. First, the stability analysis of Dongsha and Yangmingshan satellite tracking station is continued and expanded to Taiwan tracking stations located in Peikang and Kenting for comparison. Secondly, tidal observation and analysis are maintained for Dongsha. Thirdly, the operation procedure of coral reef patch mapping is improved and ten 1/5000 map sheets are produced. In addition, the purchase of Zhang-Tan-Li tidal station for National Museum of Marine Science and Technology in Keelung is accomplished. And tidal observation and analysis are maintained for Cheng-Bin and Zhang-Tan-Li tide stations.

Regarding the long-term analysis of satellite tracking stations, the velocity field of tracking stations are generally toward north and east. And the trends of velocity field magnitude are reduced from north to south of Taiwan. In Dongsha tidal analysis, the mean sea levels computed by arithmetic mean and harmonic analysis of observations are -0.0126m and -0.0164m from the continuous tide gauge. The operation procedure of coral reef patch mapping is improved and ten 1/5000 map sheets are produced. The purchase of Zhang-Tan-Li tidal station and maintenance of Cheng-Bin and Zhang-Tan-Li tidal stations are accomplished.

第壹章 緒論

1-1 前言

本計畫為「101年度水深資料及高程基準分析工作案」之後續擴充工作。衛星追蹤站為長期全天候觀測之接收站，具有相當高精度站位坐標，於一、二、三等衛星控制點施測時加入衛星追蹤站以提高成果精度，以符合控制點精度要求；此外衛星追蹤站亦可提供進行衛星定位施測者同時段觀測數據，具有提升定位精度、降低儀器及人力使用數量之便利性。102年度計畫解算東沙(TNSM)及陽明山(YMSM)衛星追蹤站點位長時間變化，追蹤站更換天線前、後解算成果並無顯著差異。由解算結果推估 TNSM 與 YMSM 站速度場於 E、N 方向約為 3cm/yr、-1cm/yr，橢球高方向則不顯著，與臺灣本島上 IGS 站解算速度場大致吻合，本計畫持續進行東沙及陽明山衛星追蹤站穩定度分析，並與臺灣本島墾丁(KDNM)及北港(PKGM)衛星追蹤站比對。

1-2 目標

本年度持續前一年度計畫內容，持續進行東沙及陽明山衛星追蹤站穩定度分析，並與墾丁及北港衛星追蹤站比對。在潮位站部分，持續維護東沙及基隆地區新設臨時潮位站並完成資料分析。在圖資生產方面，探討並修正前期建立之東沙環礁塊礁分布圖產製作業方法及流程，並據以完成 10 幅 1/5,000 比例尺塊礁分布圖，期使水深資料可適用於多元化應用領域。

1-3 位置及範圍

本計畫工作項目包含衛星追蹤站穩定度分析、潮位資料蒐集及分析及塊礁分布圖製作，各項目涵蓋之範圍如表 1-1 所示。東沙環礁距離小港機場約 240 哩(直線距離)，位置如圖 1-1 所示；陽明山、北港及墾丁衛星追蹤站分別位於臺北市士林區、雲林縣北港鎮及屏東縣恆春鎮(圖 1-2)；基隆市正

濱漁港(圖 1-3 三角形)及長潭里漁港(圖 1-3 長方形)位於臺灣本島之北端，在富貴角與鼻頭角中間，圖 1-3 中圓形為基隆港位置。

表 1-1 工作項目及範圍

工作項目	範圍
衛星追蹤站穩定度分析	東沙環礁、陽明山、北港及墾丁(圖 1-1 及圖 1-2)
潮位資料蒐集及分析	東沙環礁、基隆市正濱漁港、長潭里漁港(圖 1-1 及圖 1-3)
塊礁分布圖製作	東沙環礁(圖 1-1)

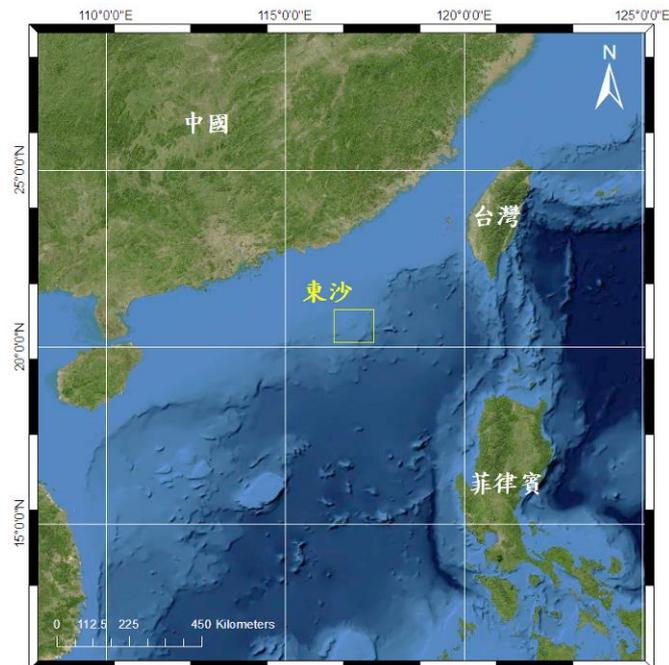


圖 1-1 東沙環礁地理位置

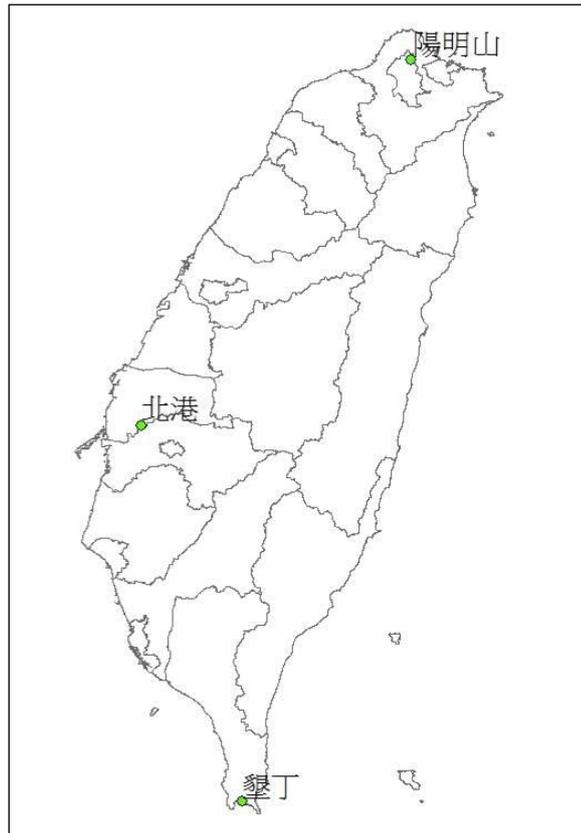


圖 1-2 衛星追蹤站分布圖

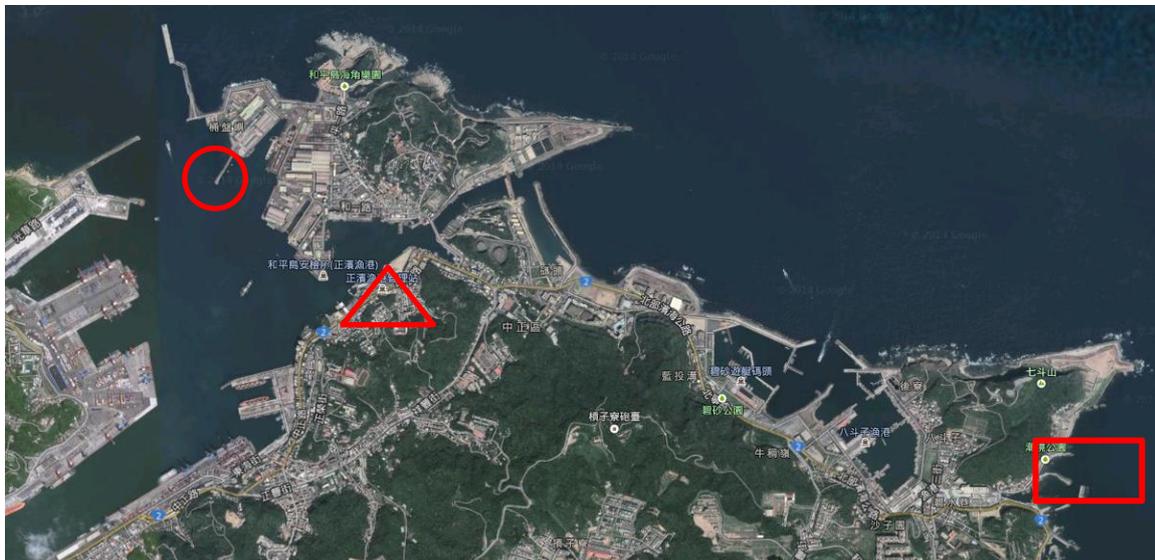


圖 1-3 基隆區潮位站相關位置圖

第貳章 工作項目及人員編組

2-1 工作項目

本計畫之工作項目分為四大項目，第一個項目為衛星追蹤站穩定度分析，第二個項目為東沙潮位站系統維護及資料分析工作，第三項為建製東沙地區塊礁分布圖，第四項為基隆臨時潮位站維護及新設站代辦採購工作，謹分別臚列如下：

2-1-1 衛星追蹤站穩定度分析

內政部 101 及 102 年度「水深資料及高程基準分析工作案」針對東沙及陽明山追蹤站之穩定度進行探討，由長年接收數據進行精密單點定位並觀測其隨時間序列變化，本年度加入墾丁及北港站進行分析。

- (1)蒐集陽明山(YMSM)、東沙(TNSM)、墾丁(KDNM)及北港站(PKGM)衛星追蹤站歷年觀測數據。
- (2)進行觀測數據計算分析，並比對其於國際框架系統 ITRF 之坐標變化情形。

2-1-2 東沙潮位站系統維護及資料分析工作

- (1)辦理潮位站定期維護及保養工作。
- (2)蒐集東沙地區潮位數據，並製作符合中央氣象局規定之格式(需繳交東沙地區當年度至少 180 天以上潮位數據，資料格式參考中央氣象局說明 <http://www.cwb.gov.tw>)
- (3)分析東沙地區潮位數據

2-1-3 建製東沙地區塊礁分布圖

- (1)既有塊礁製圖方法及規範檢討。
- (2)製作 10 幅 1/5000 比例尺東沙塊礁分布圖。

2-1-4 基隆臨時潮位站維護及新設站代辦採購工作

- (1)辦理基隆臨時潮位站(正濱漁港旁)數據資料蒐集分析及其系統定期保養維護工作。
- (2)配合內政部需要，依政府採購法相關規定，代辦新設潮位站採購工作(含監辦及底價核定等事項)。本項工作所需費用，採報經內政部核定經費額度(經核定納入工作計畫書者，無須再行報部)後，以檢據核銷方式辦理。

2-1-5 論文期刊

提送期刊或研討會論文文稿至少 2 篇。

2-1-6 研提中程個案計畫方案

依本案歷年工作執行成效及國內外相關研究發展方向，規劃並草擬與本案工作相關之 105 至 108 年間中程個案計畫方案（格式如後附件，可參考內政部地政司衛星測量中心網站公布欄之中程個案計畫範例），於 103 年 4 月 30 日前繳交初稿，此後配合內政部審查意見定期修正內容，並適時接受諮詢。

2-1-7 成果效益評估

配合科技部辦理本案計畫年度成果效益評估需要，依內政部提供之撰寫格式，填寫本案相關成果效益報告書、績效指標及佐證資料，並適時接受諮詢。

2-2 人員編組

2-2-1 工作組織架構

本計畫將由本校防災與水環境研究中心負責整體計畫之執行，部份工作委請中山大學海洋環境與工程系協助辦理。本計畫由史天元教授

擔任計畫主持人，負責擬定計畫及執行管理，廖志中教授將負責協助計畫進度管控及工作協調，中山大學海洋環境與工程系薛憲文教授負責潮位數據分析。本計畫工作團隊各主要成員分組及所擔任之工作項目如表 2-1 所示。

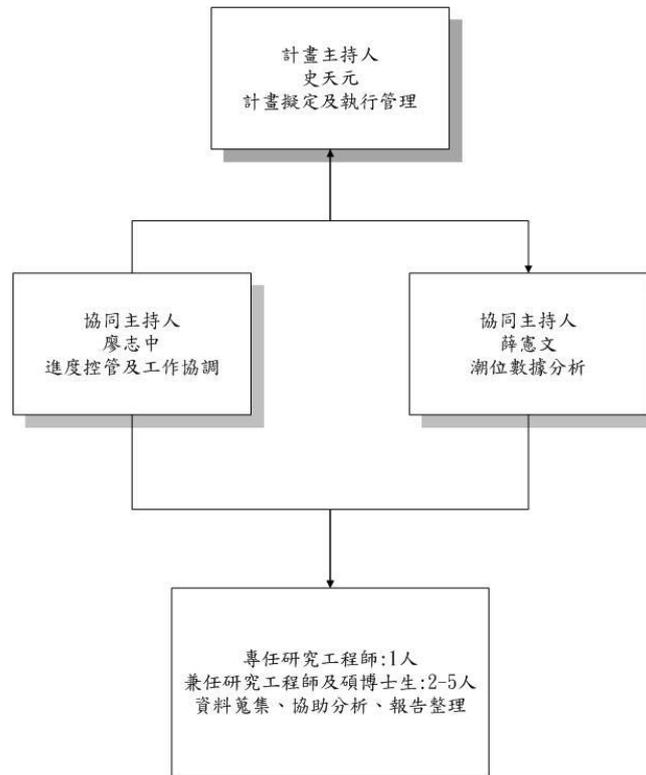


表 2-1 人力工作配置圖

2-2-2 人員組織及執掌

為確保本計畫之成功，除由史天元教授擔任計畫主持人，負責擬定計畫、進度管控、工作協調及成果整合外，並邀集中山大學協助辦理。計畫工作人員組織如表 2-2 所示。

表 2-2 計畫工作人員組織表

計畫職務	姓名	現職	學經歷
計畫主持人	史天元	交通大學土木工程系 暨防災與水環境研究中心 教授	加拿大紐布朗斯維克大學測量博士 國立交通大學土木工程學系副教授
協同主持人	薛憲文	中山大學海洋環境及工程系 副教授	美國西雅圖華盛頓大學博士 國立台北工專土木科副教授

協同主持人	廖志中	交通大學土木工程系 暨防災與水環境研究中心 教授	美國科羅拉多大學土木工程博士 國立交通大學土木工程學系副教授
研究人員	王慧蓉	交通大學防災與水環境研究 中心工程師	國立交通大學土木工程研究所碩士
研究人員	王韋樺	中山大學海洋環境及工程系 研究助理	中山大學海洋環境及工程碩士
博士生	林暉尊	交通大學土木工程系 博士生	國立交通大學土木工程研究所 博士生
計畫助理	鍾佳廷	交通大學防災工程研究中心 行政助理	國立暨南大學學士

2-3 工作進度

依據本計畫服務建議徵求書，本計畫自簽約日起至民國 103 年 11 月 21 日完成所有工作項目，概估整個工作期間約為 9 個月，茲將各項工作及時程列如表 2-3，本計畫各項工作均順利進展並獲得成果，符合進度要求，無延誤之情事發生。

茲將 1~4 工作項目各子項目時程說明如下：

1. 衛星追蹤站穩定度分析

(1)YMSM、TNSM、KDNM 及 PKGM 站歷史資料蒐集及整理 3~7 月

(2)時序分析 7~11 月

2. 東沙潮位站系統維護及資料分析工作

(1)連續式潮位站維護 3~11 月

(2)連續式潮位站資料蒐集 3~11 月

(3)連續式潮位資料分析 10~11 月

3. 建製東沙地區塊礁分布圖

(1)既有塊礁製圖方法及規範檢討 3~7 月

(2)製作 10 幅 1/5000 比例尺塊礁分布圖 8~10 月

4. 基隆臨時潮位站維護及新設站代辦採購工作

2-4 成果繳交格式

東沙地區 103 年度 180 天以上之潮位數據，資料格式符合中央氣象局之標準格式。

2-5 成果繳交項目及日期

2-5-1 第一期

工作計畫書於簽約日次日起 1 個月內繳交 3 份裝訂成冊之書面報告及電子檔 1 份。

2-5-2 第二期

103 年 7 月 11 日前繳交期中報告書 12 份，內容包含：

1. 衛星追蹤站穩定度分析報告進度
2. 既有塊礁製圖方法及規範檢討
3. 新設站代辦採購工作進度

2-5-3 第三期

103 年 11 月 21 日前繳交期末報告書初稿 12 份，內容包含：

1. 衛星追蹤站穩定度分析報告
2. 東沙潮位站系統維護及資料分析成果
3. 既有塊礁製圖方法及規範檢討
4. 10 幅 1/5000 比例尺東沙塊礁分布圖
5. 基隆臨時潮位站數據及分析結果
6. 新設站建置完成
7. 國內外期刊或研討會論文文稿投稿 2 篇

第參章 衛星追蹤站穩定度分析

內政部 101、102 年度「水深資料及高程基準分析工作案」針對東沙(YMSN)及陽明山(YMSN)衛星追蹤站之長年觀測數據，以精密單點定位成果探討兩衛星追蹤站穩定度。此外，另架設 GPS 於衛星追蹤站之副點，並使用 GrafNet 8.4 (NovAtel, 2011)解算主點與副點建立之網形，以瞭解追蹤站及其副點間之相對位置是否變動。

今年度計畫除了持續針對陽明山與東沙衛星追蹤站觀察外，另將蒐集墾丁(KDNM)、北港(PKGM)衛星追蹤站之觀測數據以擴大研究範圍，以 GIPSY 6.1.2(JPL, 2012)軟體之精密單點定位成果探討追蹤站穩定度，並比較解算成果與臺灣本島 IGS 站速度場差異。追蹤站及其副點間之相對位置檢測部分亦新增墾丁及北港衛星追蹤站 GPS 控制測量。

3-1 陽明山(YMSM)、東沙(TNSM)、墾丁(KDNM)及北港站(PKGM)衛星追蹤站及其副點相對關係檢測

101、102 年度「水深資料及高程基準分析工作案」中以 GPS 控制測量檢測東沙(TNSM)、陽明山(YMSM)衛星追蹤站及其副點之相對關係，GPS 控制測量平差後坐標成果以 101 年公告之 TWD97 控制點坐標檢核。網形平差皆以追蹤站為固定站，由解算坐標化算之追蹤站與副點邊角關係無顯著差異。本年度分別於 5 月 30 日及 9 月 28 日完成北港及墾丁衛星追蹤站與副點之相對關係檢測外業，解算軟體皆為 GrafNet 8.40，並以追蹤站作為控制點，解算參數如附錄四。

3-1-1 北港衛星追蹤站檢測

北港衛星追蹤站設置於北港地政事務所頂樓，其天線安置於鋼筋混凝土澆築之柱體頂端(圖 3-1)，天線鄰近周圍設有 PKGA、PKGB 及 PKGC 三個副點(圖 3-2)。追蹤站 PKGM 及其三副點相對位置略圖如圖 3-3 所示。



圖 3-1 北港衛星追蹤站(PKGM)主點



圖 3-2 北港衛星追蹤站(PKGM)周圍副點

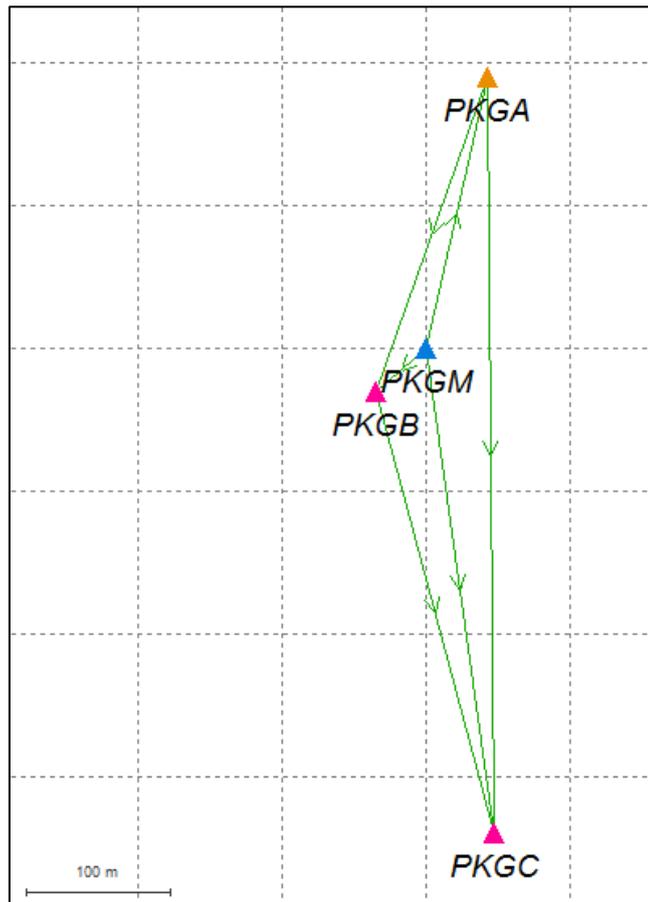


圖 3-3 追蹤站 PKGM 及其副點相對位置略圖

本次 GPS 控制測量外業施測方式為同步於三個副點(PKGA、PKGB、PKGC)上架設 GPS，外業觀測成果與北港衛星追蹤站(PKGM)接收資料共同進行網形平差解算。各點位儀器型號與觀測時段如表 3-1 所示，接收儀型號及天線盤廠牌皆為 Trimble，其中 5700 兩組接收儀皆搭配 ZEPHYR Geodetic 天線盤，另一組使用 NetR9 接收儀則搭配 ZEPHYR Geodetic Model 2 天線盤；各控制點位與追蹤站觀測頻率皆為 1 秒。點位解算時 NetR9 使用 GPS 與 GLONASS 觀測量，而 5700 僅採用 GPS 衛星觀測量。

表 3-1 PKGM 站 GPS 外業觀測資訊

作業日期	副點	接收儀	觀測時間
103/05/30	PKGA	NetR9	13 : 31-17 : 33
	PKGB	5700	13 : 09-17 : 34
	PKGC	5700	13 : 32-17 : 39

GPS 控制測量平差後坐標成果以 101 年公告之 TWD97 控制點坐標檢核，網形平差以 PKGM 為固定站。其中，副點 PKGB 原先控制點位由於透空度不佳，內政部國土測繪中心於 101 年已另尋新點取代之，而該新設點位 102 年間因故遺失，故本次外業施測仍設站於原先控制點，惟該點僅有 89 年公告坐標，此處 PKGB 除了直接與 89 年公告坐標比對外，另將 89 年公告坐標加上 3-3 小節中 PKGM 站速度場推估 PKGB 點位於 101 年坐標作為檢核。平差成果分別減去公告坐標得到之差值如表 3-2 所示，在三個副點皆以高程方向較差最大，PKGA、PKGC 水平坐標之較差皆小於 1cm，而高程方向較差則略大，分別為 1.2cm 與 1.5cm，PKGB 點位則因透空度較差，導致其坐標標準差大於其他點位；表 3-3 及表 3-4 呈現邊長與角度差異成果，排除與副點 PKGB 相關點位關係，其餘邊長與方位角差值皆不顯著，邊長相對誤差量級落於 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ ，邊長差值最大為 PKGA-PKGC 之 -1.6cm；方位角差值皆於 $10''$ 內，最大為 PKGM-PKGA 之 $-9''$ 。

表 3-2 PKGM 站平差坐標成果減去公告坐標之較差(單位：公分)

測站		坐標標準誤差	較差 (89 年)	較差 (101 年)
PKGA	N	1.24	-	-0.7
	E	1.23	-	-1.0
	h	1.29	-	-1.2
PKGB	N	1.24	-22.2	-10.8
	E	1.24	42.5	5.0
	h	1.30	-29.1	-3.8
PKGC	N	1.22	-	0.9
	E	1.22	-	0.3
	h	1.22	-	-1.5

表 3-3 PKGM 站 GPS 控制測量邊長成果檢核

(GPS 控制測量-公告坐標)

起訖站別	距離 (m)	相對誤差(ppm) (89 年)	相對誤差(ppm) (101 年)
PKGA-PKGB	229.5650	245.91	327.00
PKGA-PKGC	520.9438	-	30.23
PKGA-PKGM	190.9673	-	47.53
PKGB-PKGC	315.1827	1048.55	397.26
PKGB-PKGM	46.1626	3853.55	709.78
PKGC-PKGM	337.7038	-	24.52

表 3-4 GPS 控制測量方位角成果檢核(GPS 控制測量-公告坐標)

起訖站別	角度(89 年)			角度(101 年)		
	°	'	''	°	'	''
PKGM-PKGA	-			-0	0	9
PKGM -PKGB	0	33	13	0	8	35
PKGM -PKGC	-			-0	0	2
PKGA-PKGB	0	7	13	0	1	21
PKGC-PKGA	-			0	0	5
PKGC-PKGB	-0	3	49	-0	0	11

除 GPS 控制測量外，本次外業亦進行逐差水準測量施測，提供高程差成果檢核。以 PKGA 至 PKGC 之高程差檢核如表 3-5 所示，其中公告坐標與 GPS 控制測量所列為橢球高差，水準測量為正高差，而由於點位間距離最遠僅 520.9438m，故大地起伏對於兩高程基準差值之影響予以忽略。GPS 控制測量高程差與公告坐標僅差-0.3cm，逐差水準與公告坐標差值為-1.5cm。

表 3-5 副點 PKGA→PKGC 高程差成果

	公告坐標	GPS 控制測量	逐差水準
高程差(m)	0.667	0.664	0.652

3-1-2 墾丁衛星追蹤站檢測

本年度 9 月 28 日完成墾丁衛星追蹤站(KDNM)與其副點之相對

關係檢測外業。墾丁衛星追蹤站設置於墾丁國家公園管理處內，其天線安置於鋼筋混凝土澆築之柱體頂端(圖 3-4)，天線鄰近周圍設有 KDNB、KDNC 及 KDND 三個副點。本次執行外業期間，點位 KDND 因其上方堆置管理處內大量廢棄物且無法立即移除(圖 3-5)，故本次外業僅使用主點 KDNM 以及副點 KDNB、KDNC(如圖 3-6)，共 3 點，點位相對位置略圖如圖 3-7 所示。



圖 3-4 墾丁衛星追蹤站(KDNM)主點



圖 3-5 點位 KDND 周圍堆置大型廢棄物狀況(箭頭為 KDND 位置)



圖 3-6 本次外業使用追蹤站副點

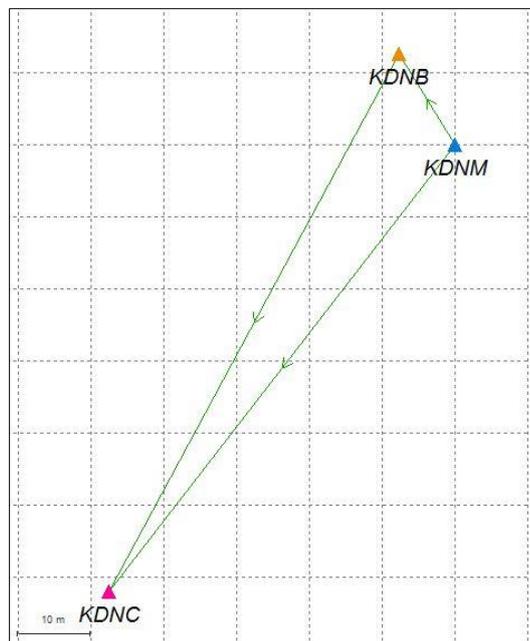


圖 3-7 追蹤站 KDNM 及其副點相對位置略圖

本次 GPS 控制測量外業施測方式為同步於兩個副點上架設 GPS，外業觀測成果與墾丁衛星追蹤站(KDNM)接收資料共同進行網形平差解算。各點位儀器型號與觀測時段如表 3-6 所示，架設接收儀型號及天線盤廠牌皆為 Trimble，包含一組 5700 接收儀皆搭配 ZEPHYR Geodetic 天線盤，及一組 NetR9 接收儀則搭配 ZEPHYR Geodetic Model 2 天線盤；各控制點位與追蹤站觀測頻率皆為 1 秒，共同觀測時段約 4 小時 14 分。

表 3-6 KDNM 站副點 GPS 外業觀測資訊

作業日期	副點	接收儀	觀測時間
103/09/28	KDNB	NetR9	9：45-14：08
	KDNC	5700	9：50-14：04

GPS 控制測量平差後坐標成果以 101 年公告之 TWD97 控制點坐標檢核，網形平差以 KDNM 為固定站。平差成果中，坐標值檢核以解算成果減去公告坐標之差值如表 3-7 所示，副點水平坐標 E、N 單一方向差值皆小於 1cm，高程方向較差則較大，分別為-3.5cm 與 -4.3cm。KDNB 點位位於 KDNM 鄰近處，該點位周圍林木環繞(如圖 3-8)，故透空度甚差。

表 3-7 KDNM 坐標成果較差(單位：公分)
(GPS 控制測量-公告坐標)

測站		坐標標準誤差	較差
KDNB	N	1.26	0.09
	E	1.26	-0.66
	h	1.49	-3.5
KDNC	N	1.26	0.65
	E	1.26	0.78
	h	1.44	-4.3



圖 3-8 副點 KDNB 外業周圍概況

表 3-8 及表 3-9 呈現邊長與角度差異成果邊長與方位角差值，邊長差值最大為 KDNB-KDNC 之-1.5cm，為最長之基線；邊長相對誤差以及方位角差值均以線 KDNB-KDNM 最大，邊長相對誤差為 435.58ppm，方位角差值為-41”，此結果應為此邊長 14.770m 相對較短，故於點位坐標些微偏差對於相對誤差及基線方位角偏差反映顯著。

表 3-8 KDNM 站 GPS 控制測量邊長成果檢核
(GPS 控制測量-公告坐標)

起訖站別	距離 (m)	相對誤差(ppm)
KDNB-KDNC	83.896	182.75
KDNB-KDNM	14.770	435.58
KDNC-KDNM	77.560	126.76

表 3-9 GPS 控制測量方位角成果檢核(GPS 控制測量-公告坐標)

起訖站別	角度		
	。	’	”
KDNM-KDNB	-0	0	41
KDNB-KDNC	-0	0	2
KDNB-KDNC	0	0	4

以逐差水準測量檢核高程差成果，KDNB 至 KDNC 之高程如表 3-10 所示，其中公告坐標與 GPS 控制測量所列为橢球高差，水準測量為正高差。GPS 控制測量高程差與公告坐標僅差 0.76cm，而與逐差水準測得差值為-1.69cm。

表 3-10 副點 KDNB→KDNC 高程差成果

	公告坐標	GPS 控制測量	逐差水準
高程差(m)	-1.8720	-1.8796	-1.8551

3-2 蒐集陽明山(YMSM)、東沙(TNSM)、墾丁(KDNM)及北港站(PKGM)衛星追蹤站歷年觀測數據

本案已完成蒐集民國 82 年設置之陽明山、墾丁衛星追蹤站以及民國 83 年設置之北港、東沙衛星追蹤站觀測數據，各追蹤站蒐集觀測數據起迄日期如表 3-11 所示。衛星追蹤站蒐集數據經坐標解算後進行分析。

表 3-11 衛星追蹤站觀測起迄日期

衛星追蹤站	數據日期
陽明山(YMSM)	83 年 1 月 10 日~101 年 6 月 10 日
東沙(TNSM)	84 年 4 月 14 日~101 年 7 月 22 日
墾丁(KDNM)	83 年 1 月 02 日~101 年 6 月 10 日
北港(PKGM)	84 年 2 月 21 日~101 年 6 月 10 日

3-3 進行觀測數據計算分析並比對其於國際框架系統 ITRF 之坐標變化情形

臺灣本島內設有桃園(TWTF)1 處與新竹工業技術研究院光復院區(TNML、TCMS)2 處，共 3 座 IGS 衛星追蹤站，可供國內 GPS 接收儀定位檢校及板塊運動監測之參考。彙整此 3 座 IGS 衛星追蹤站自 86 年至 101 年在 ITRF2008 國際地球參考框架下點位坐標，將 ITRF2008 公告坐標以 86 年坐標值作為較差值基準繪製其點位坐標時序，其速度場變化如圖 3-9~圖 3-11 所示，期間點位變化趨勢為逐漸向東南方移動，而高程方向僅 TWTF 站具有顯著變化，TNML 與 TCMS 則略為下降但不顯著。86~101 年歷經 15 年各點位變化如表 3-12 所示。

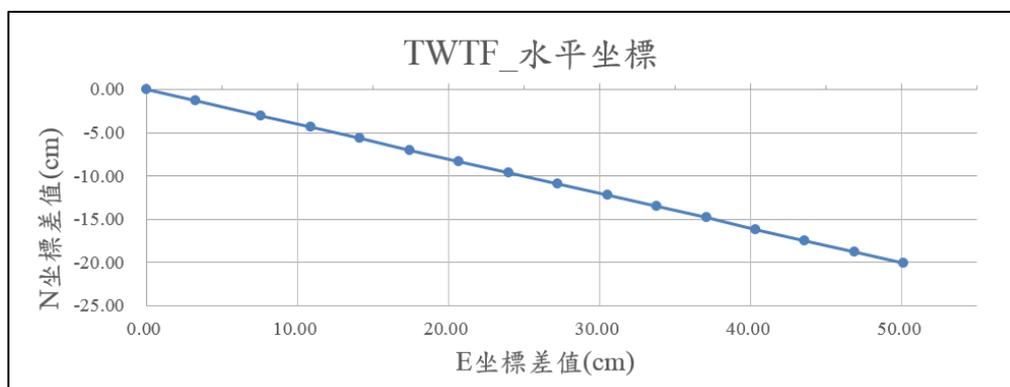


圖 3-9a TWTF 衛星追蹤站點位水平坐標 86 至 101 年變化

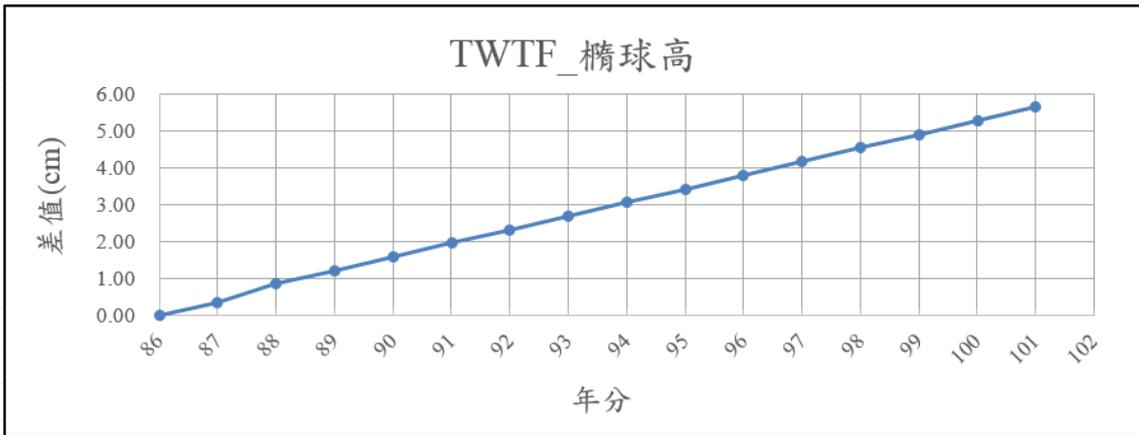


圖 3-9b TWTF 衛星追蹤站點位高程坐標 86 至 101 年變化

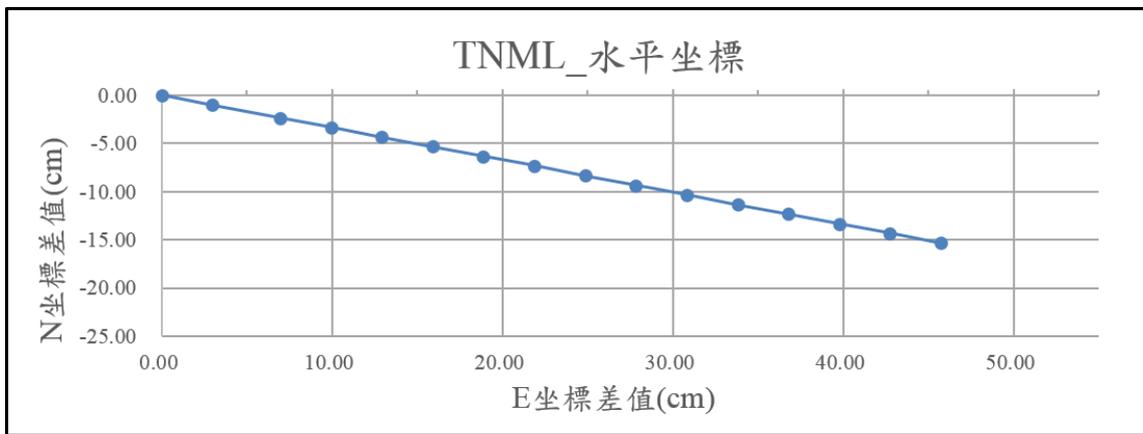


圖 3-10a TNML 衛星追蹤站點位水平坐標 86 至 101 年變化

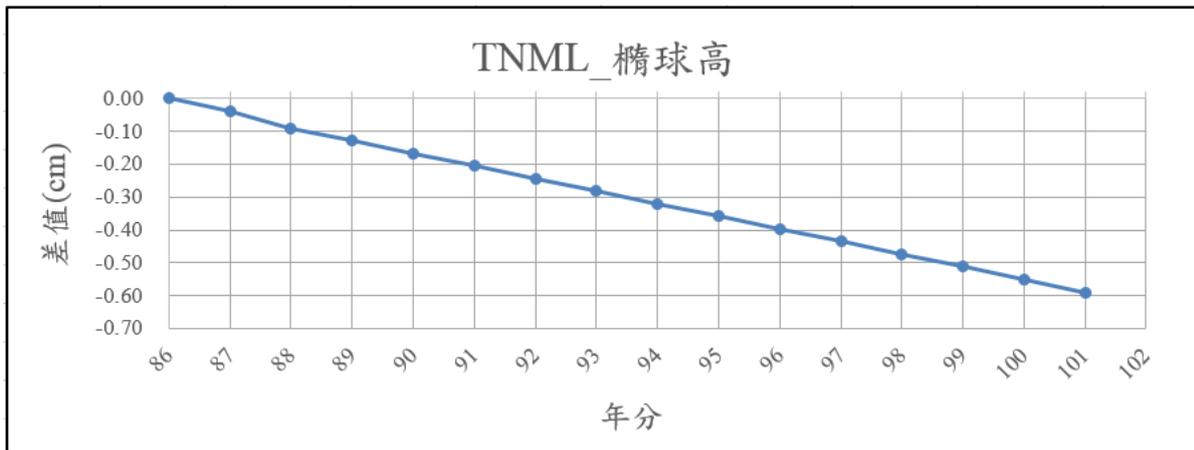


圖 3-10b TNML 衛星追蹤站點位高程坐標 86 至 101 年變化

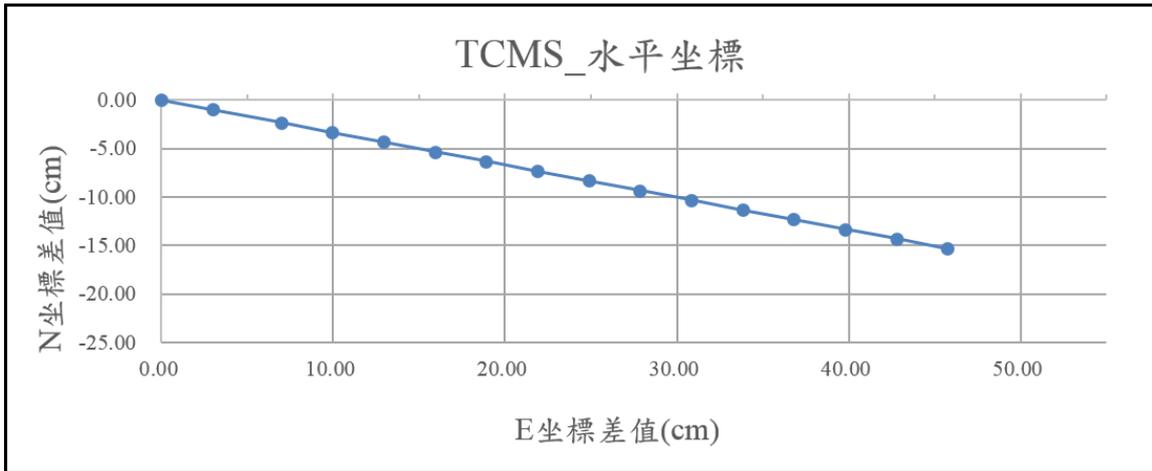


圖 3-11a TCMS 衛星追蹤站點位水平坐標 86 至 101 年變化

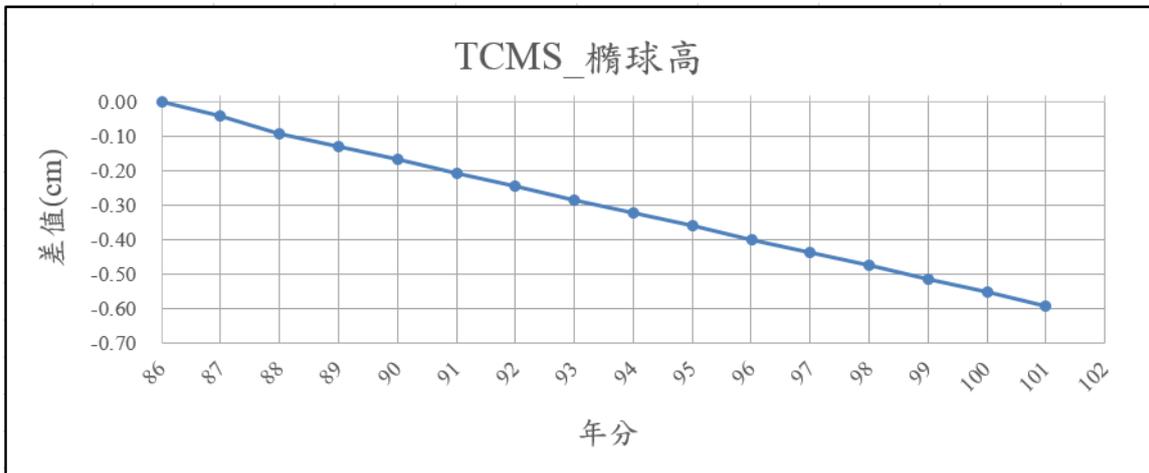


圖 3-11b TCMS 衛星追蹤站點位高程坐標 86 至 101 年變化

表 3-12 臺灣 IGS 追蹤站於 86~101 年間點變化情形(單位：cm)

	E	N	h
TWTF	50.15	-20.08	5.65
TNML	45.74	-15.31	-0.59
TCMS	45.74	-15.31	-0.59

追蹤站穩定度分析部分為使用 GIPSY 軟體進行精密單點定位之方式，由長年解算坐標觀察各追蹤站點位速度場。GIPSY 軟體之精密單點定位將海潮覆載(Ocean loading)、固體潮(solid tide)、對流層映射函數(Troposphere mapping functions)等改正量以模型化方式進行改正(解算參數如附錄五)，各改正模型則可透過網路至 JPL 伺服器取得。GIPSY 解算時需要使用精密星曆，

而軟體解算程序中使用資料庫並未提供早期之精密星曆資料可供使用，故時序分析時以 92 年起每日觀測進行解算，並未將前段數據列入分析。內政部 102 年度「水深資料及高程基準分析工作案」中已完成陽明山及東沙位星追蹤站解算，解算坐標成果 N、E、h 減去 TWD97 參考坐標系統於 101 年公告坐標值之時間序列如圖 3-12~圖 3-15 所示，兩站點位水平坐標均呈現向東南方向移動趨勢，橢球高則無明顯抬升或沉陷現象；更換天線盤前、後點位解算成果並無顯著影響呈現於時間序列上。

本年度計畫加入墾丁、北港衛星追蹤站解算成果以擴大衛星追蹤站分析範圍，解算坐標成果 N、E、h 減去 TWD97 參考坐標系統於 101 年公告坐標值之時間序列如圖 3-16~圖 3-19 所示。墾丁衛星追蹤站點位水平坐標呈現向西南方向移動趨勢，且時間序列於 95 年 12 月 26 日前後於 N、E、h 均具有顯著點位變動，此現象對應中央氣象局地震測報中心記錄，該日 20 時 26 分及 20 時 26 分發生之恆春大地震，其震央位於屏東南偏西方及西方外海，芮氏規模均為 7.0，並於後續發生數次規模 5 左右之地震紀錄，應為該次地震致使點位變動；橢球高則無顯著變化趨勢。北港衛星追蹤站點位水平坐標亦呈現逐年向東南方偏移，且由橢球高時間序列顯示該點位具顯著沉陷現象，自 92 年至 101 年沉陷量已達約 20cm，根據水利署地層下陷水準網監測成果顯示，雲林縣為地層下陷嚴重區域，北港地區平均下陷速率可達 3cm/yr 以上。

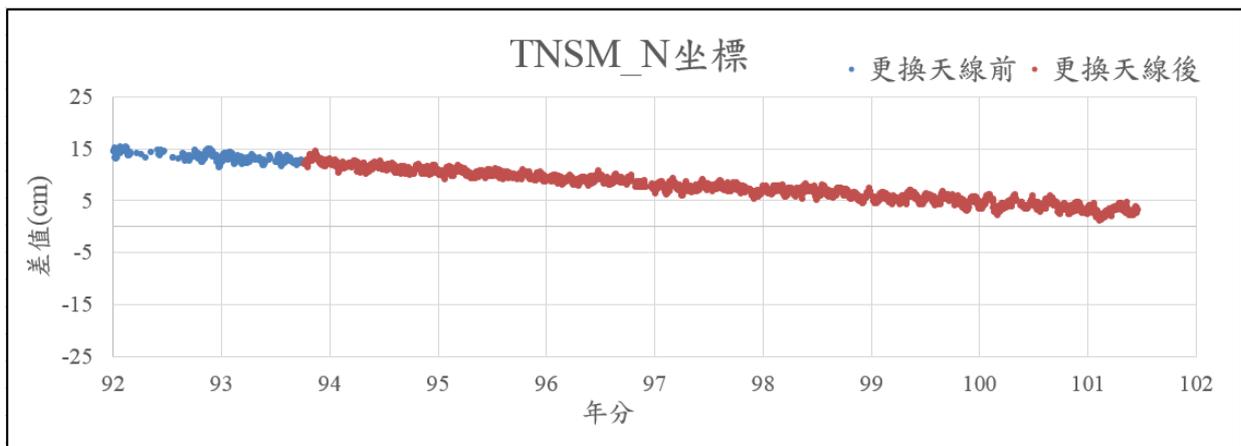
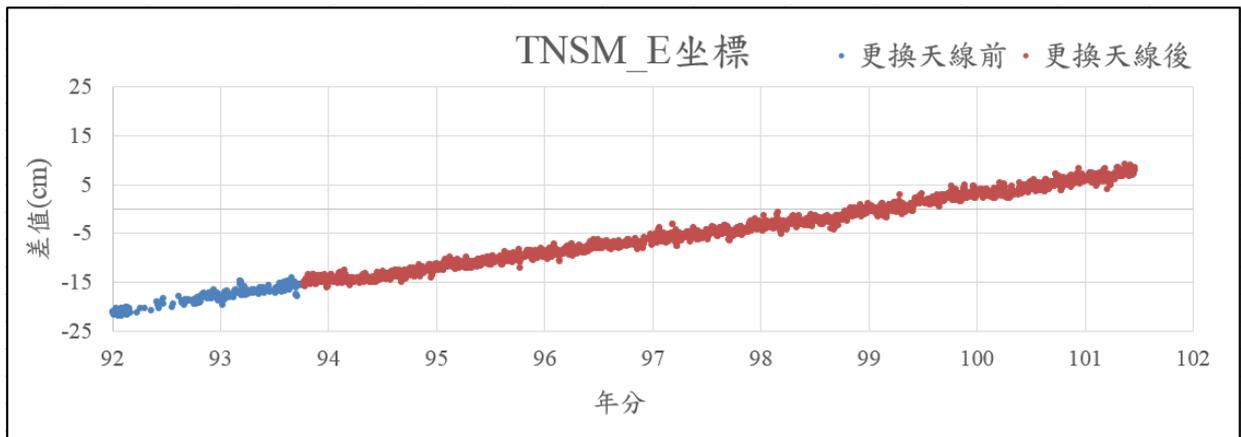


圖 3-12 TNSM 之 E、N 坐標解算時序

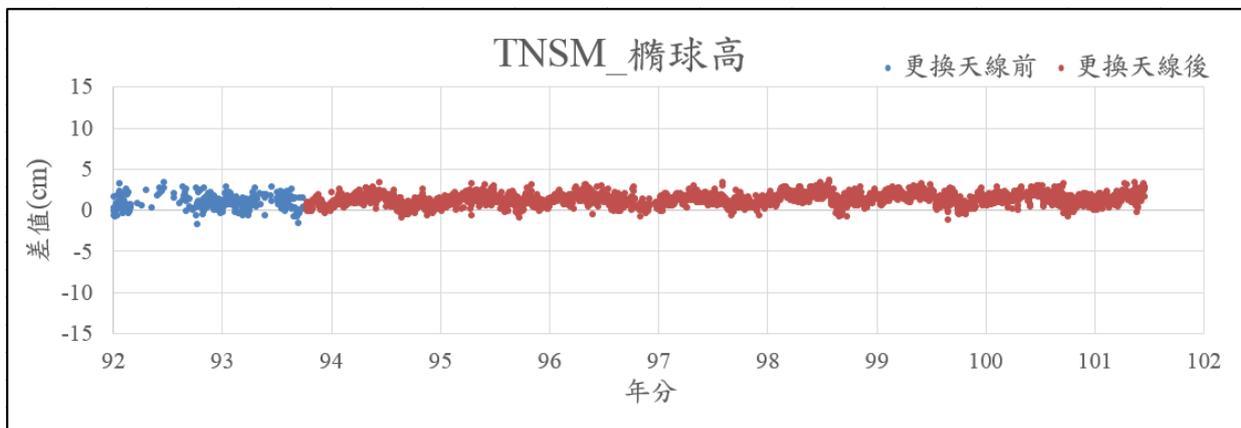


圖 3-13 TNSM 之橢球高解算時序

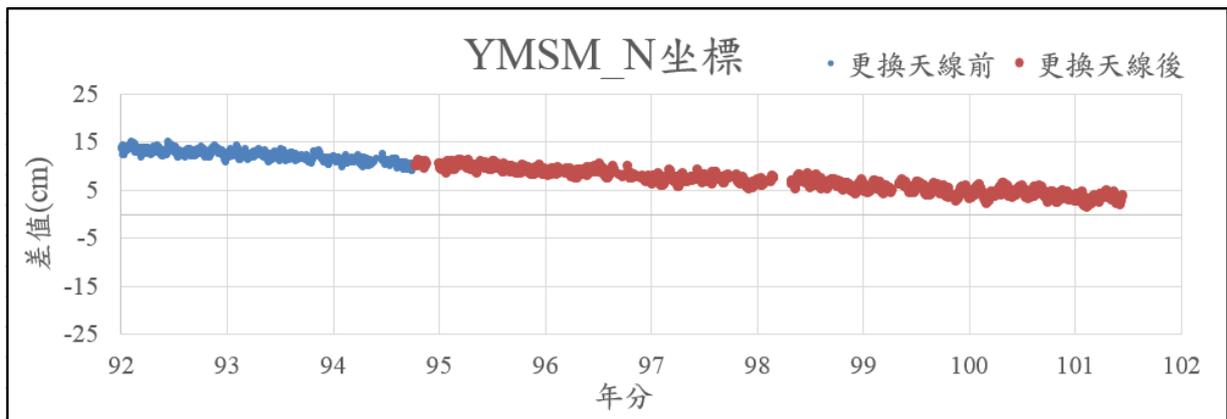
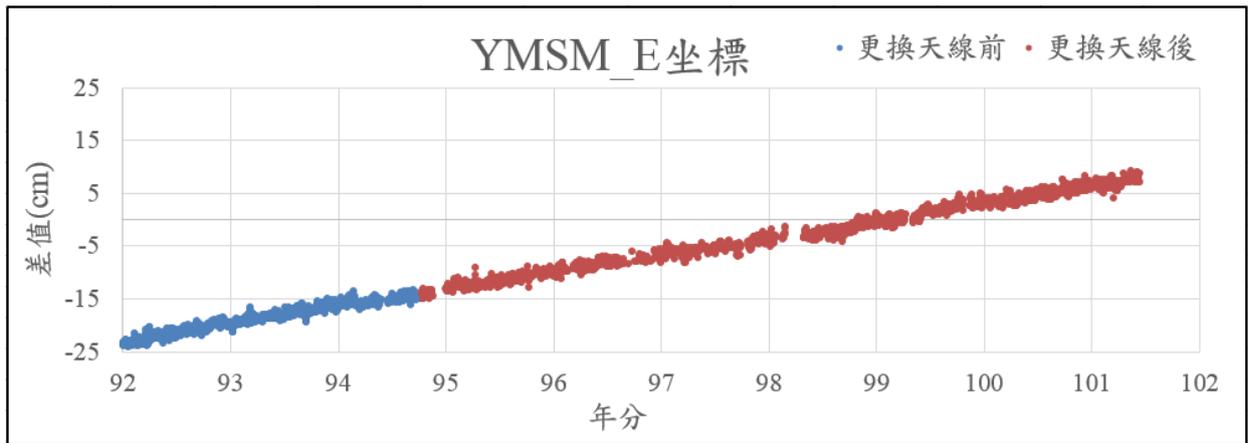


圖 3-14 YMSM 之 E、N 坐標解算時序

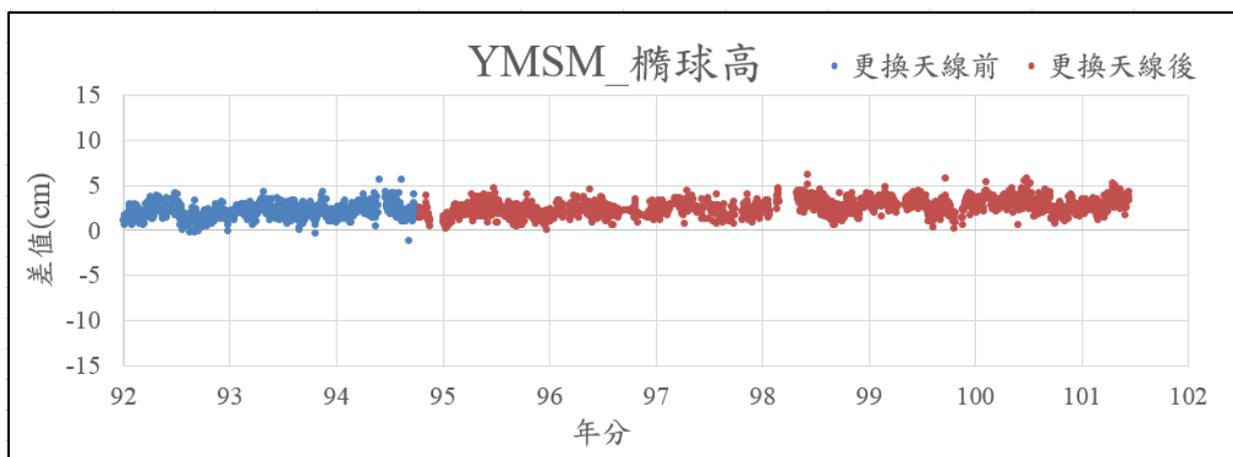


圖 3-15 YMSM 之橢球高解算時序

假設各點位移動趨勢為受速度場影響，將一次式回歸方式獲得一坐標隨時間改變關係式，則該關係式斜率即為速度場影響量，即以線性式 $y(t)=a+bt$ 回歸，其中 t 為時間， $y(t)$ 為時間 t 對應坐標值， a 為截距， b 即為所求速度場。各觀測時間解算 E、N、h 坐標值減去速度場影響後，得該地

不受速度場影響之水平坐標，此坐標標準差如表 3-13，各站皆顯示於高程方向具最大標準差。

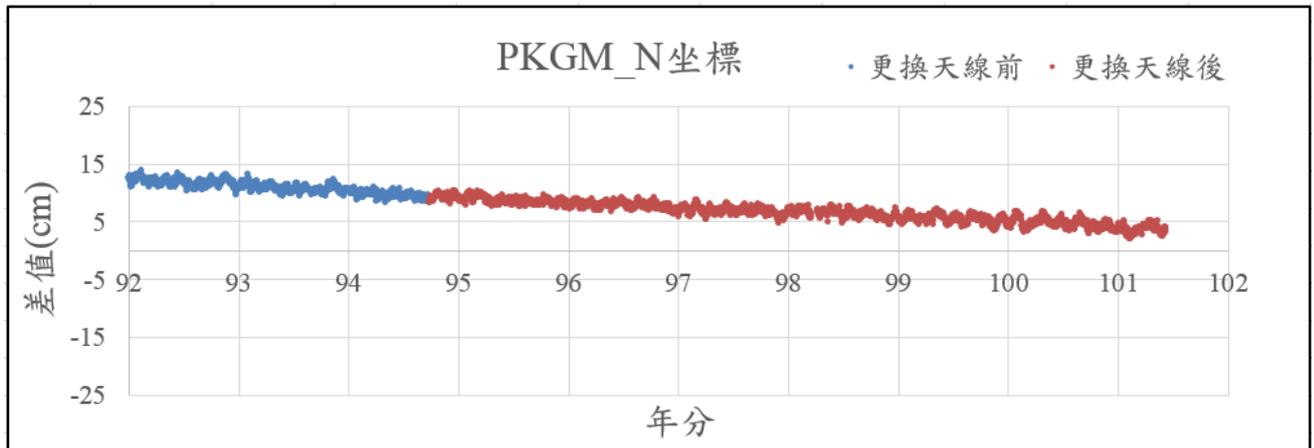
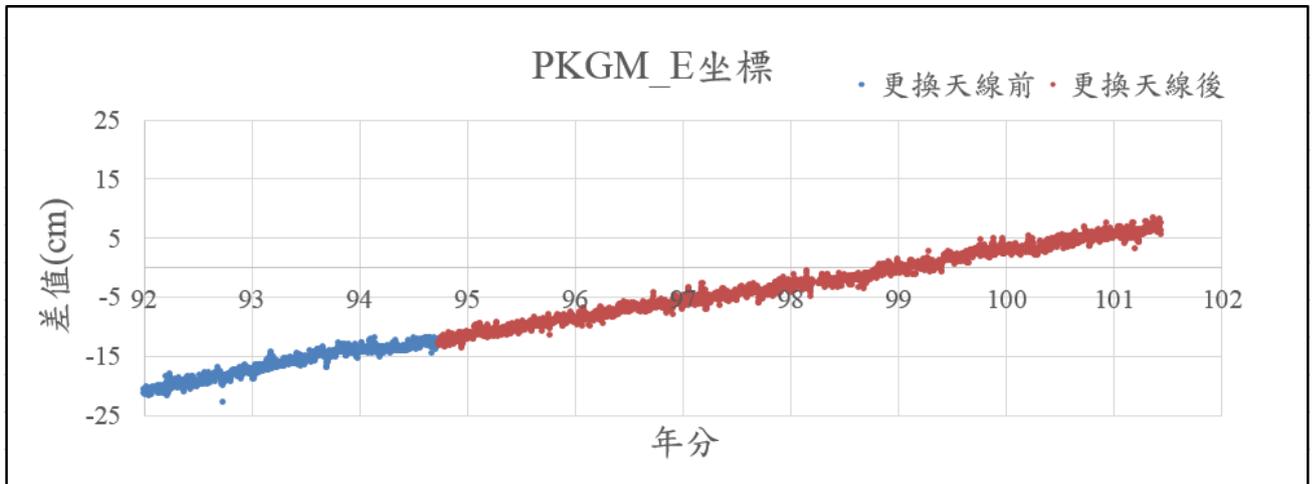


圖 3-16 PKGM 之 E、N 坐標解算時序

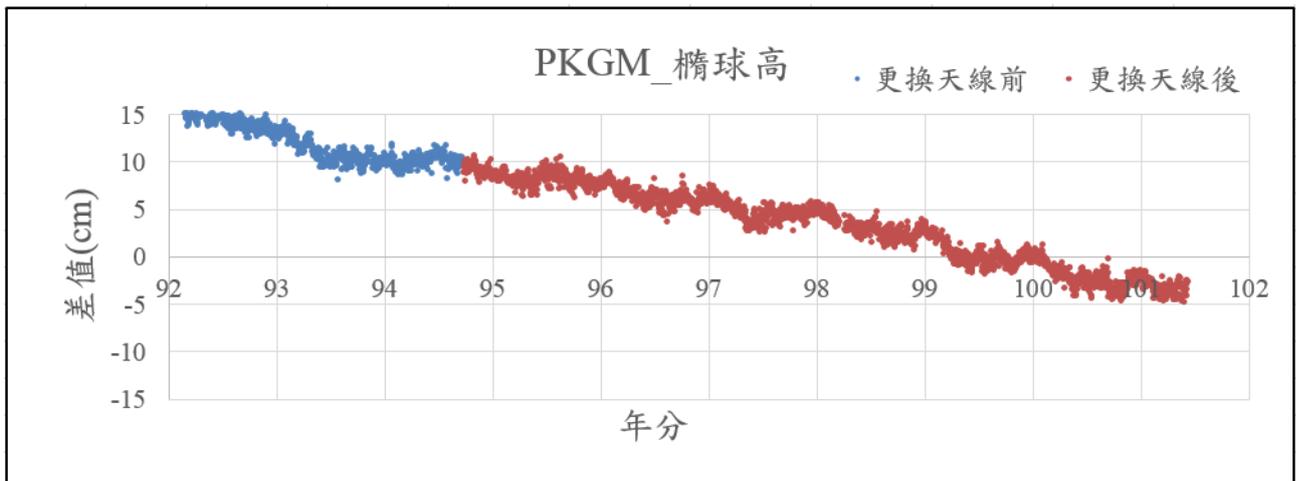


圖 3-17 PKGM 之橢球高解算時序

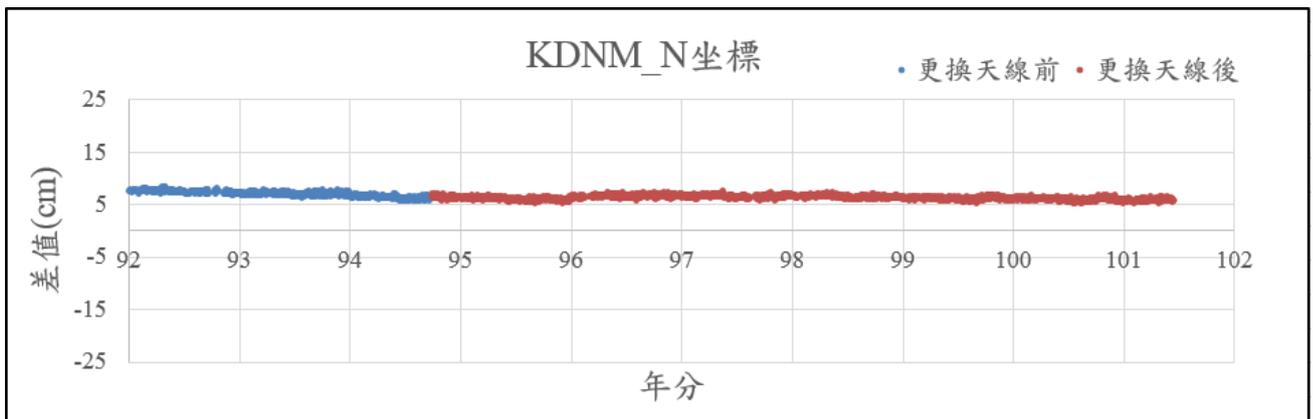
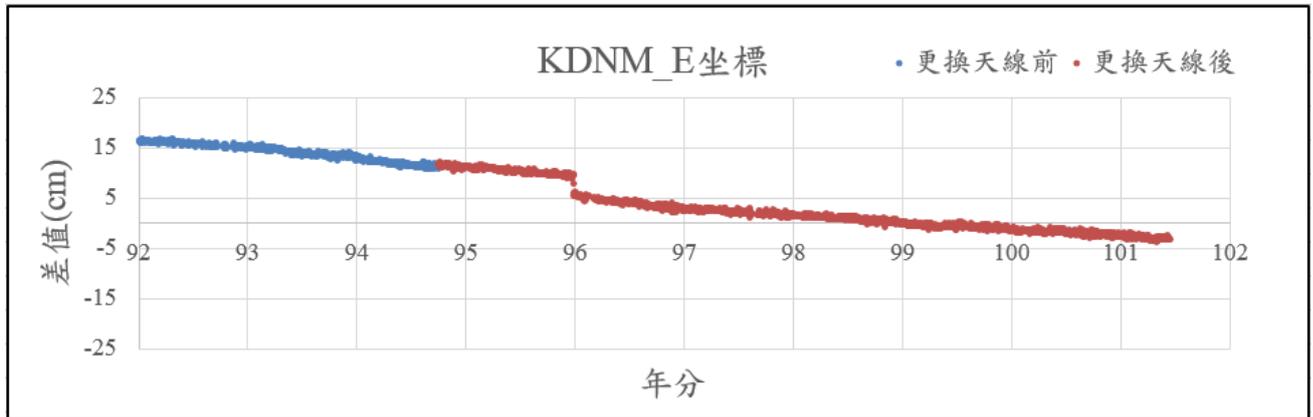


圖 3-18 KDNM 之 E、N 坐標解算時序

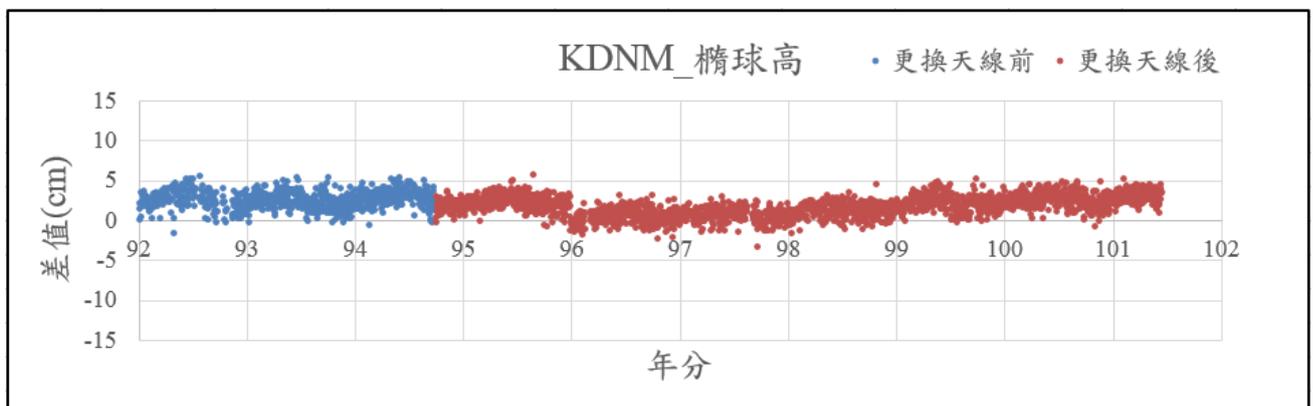


圖 3-19 KDNM 之橢球高解算時序

IGS 站與 4 個內政部衛星追蹤站速度場比對部分，IGS 站速度場使用表 3-12 中 86~101 年間 E、N、h 坐標變化量，計算每年變化率，內政部衛星追蹤站速度場則由各站所有解算坐標成果求其線性式之斜率 b 作為坐標變化率，而墾丁追蹤站則以 95 年 12 月 26 日之坐標變動點為分界，前後段

數據分別求其回歸式。表 3-14 比對 IGS 追蹤站速度場與衛星追蹤站之點位坐標變化率，TNSM、YMSM 各點變化率均大略與 IGS 站一致，E、N 坐標分別約有 3cm/yr 與 -1cm/yr 變化率，高程變化則均相對較不顯著；PKGM 站 E、N 坐標速度場為 2.88cm/yr、-0.88cm/yr 略小於 TNSM 與 YMSM，而高程沉陷達 -1.95cm/yr 最為顯著；KDNM 站於 E 方向速度場方向則與其餘點位相異，此成果比對中研院地球科學研究所郭隆晨博士網頁提供成果，民國 89~94 年間於 E 方向速度場為 -2.24cm，趨勢與本案成果相似。整體而言，臺灣本島內衛星追蹤站大致呈現 E 方向速度場自北而南向東趨勢遞減，至最南端 KDNM 為向西偏移；N 方向速度場均為向南偏移且由北至南量值遞減。

表 3-13 移除速度場趨勢後 E、N、h 坐標值標準差(單位：cm)

站名	E	N	h
TNSM	0.75	0.51	0.78
YMSM	0.69	0.66	0.77
PKGM	0.70	0.63	0.97
KDNM	0.35	0.27	0.98

表 3-14 IGS 站與 4 個衛星追蹤站點位變化速率(單位：cm/yr)

		V_E	V_N	V_h
TWTF		3.34±0.01	-1.34±0.01	0.38±0.01
TNML		3.05±0.01	-1.02±0.01	-0.04±0.01
TCMS		3.05±0.01	-1.02±0.01	-0.04±0.01
TNSM		2.97±0.03	-1.23±0.02	0.06±0.03
YMSM		3.24±0.02	-1.11±0.02	0.12±0.03
PKGM		2.88±0.02	-0.88±0.02	-1.95±0.03
KDNM	變動前	-1.86±0.02	-0.48±0.02	-0.10±0.03
	變動後	-1.44±0.02	-0.17±0.02	0.56±0.03

水利署 103 年度地層下陷計畫案中亦針對北港衛星追蹤站(PKGM)進行點位監測，其採用二次差分並固定金門衛星追蹤站(KMNM)，97~103 年間點位水平方向位移為與本案相反之向西北方，高程方向為沉陷則與本案一致。將中央研究院地科所郭隆晨博士網頁提供 89~94 年間 PKGM 速度場減去 KMNM 速度場，即得 PKGM 相對於 KMNM 水平方向速度場為向西北方，高程方向仍為沉陷，即可解釋水利署 103 年度地層下陷計畫案成果為何與本案相異。

表 4-1 東沙潮位站設備廠牌及型號

設備	廠牌	型號
QML201 資料蒐集器	VAISALA	QML201A
DSU232	VAISALA	DSU232
CF CARD	SanDisk	COMPACTFLASH
壓力式水壓計	DRUCK	PTX1830
水溫計	RIXEN	SETRON
無線電模組	MOXA	W2150
太陽能板	SHARP	NE-80E2E2
充電控制器	XANTREX	C60
電池	YUASA	CMF-II

潮位站每 6 個月進行一次定期保養，並維護潮位站系統運作正常及數據資料傳輸。本年度於 3 月 13 日至 3 月 20 日及 9 月 18 日至 9 月 25 日完成二次保養。

第一次保養工作

本次保養前海洋國家管理處通知未收到水溫資料，因此攜帶水溫計備品以供更換。保養過程時發現充電控制器輸出至記錄器電壓不足 12V，現場加裝穩壓計以穩定電壓。保養及維修工作如下：



圖 4-2 潮位站管線布設示意圖

一、資料記錄器

- a. 資料接收檢視。
- b. 儲存裝置檢視。
- c. 下載資料。

二、壓力式水位計

- a. 壓力式水位計清潔。
- b. 檢視記錄器讀值，經量測壓力式水位計長度與讀值相同(圖 4-3)。
- c. 壓力校正器校正壓力。

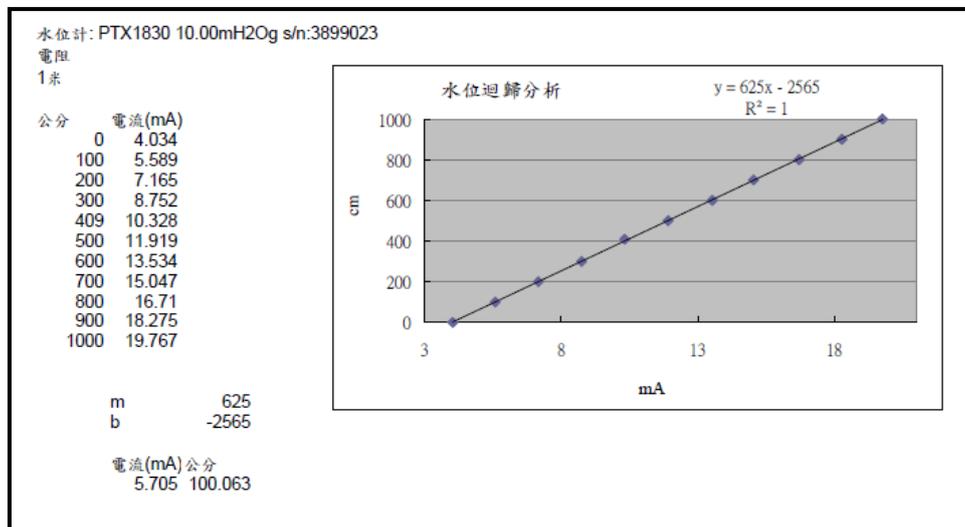


圖 4-3 東沙潮位站壓力式水位計分析表



圖 4-4 東沙潮位站壓力式水壓計校正

三、水溫計

- a.溫度計清潔。
- b.檢視溫度計外觀，並檢視溫度讀值。

四、蓄電瓶

- a.檢查各端子點及接點清潔。
- b.測量電池電壓。

五、MOXA N-PORT

檢查現場訊號強度及燈號是否正常。

六、水溫計更換

位於海巡署辦公室旁的電信箱內水溫計線路被剪斷(圖 4-5)，造成訊號中斷，重新拉線後資料接收正常。



圖 4-5 東沙海巡署辦公室旁電信箱內水溫計線路被剪斷情形

七、加裝穩壓器

保養檢查太陽能充電控制器時，發現輸出至記錄器端電壓不足 12V，現場先加裝一台 DC TO DC 穩壓器後，輸出電壓恢復 12V。

第二次保養工作

本次檢查各項設備功能並校驗壓力式水位計。保養及維修工作如下：

一、資料記錄器

a.資料接收檢視。

b.儲存裝置檢視。

c.下載資料。

二、壓力式水位計

a.壓力式水位計清潔。

b.檢視記錄器讀值，經量測壓力式水位計長度與讀值相同。

c.壓力校正器校正壓力。

d.量測水位計支桿長度及壓力式水位計長度。

三、水溫計

a.溫度計清潔。

b.檢視溫度計外觀，並檢視溫度讀值。

四、蓄電瓶

a.檢查各端子點及接點清潔。

b.測量電池電壓。

五、MOXA N-PORT

檢查現場訊號強度及燈號是否正常。

保養檢查電池內阻有變高之情形，電池使用年限已達5年，目前暫不影響系統運作，擬於下次保養時更換。

4-2 蒐集東沙地區潮位數據並製作符合中央氣象局規定之格式繳交

內政部民國100年「以透水光達測繪技術測製東沙地區數值地形模型工作」案於東沙碼頭建置之潮位站並持續進行潮位數據分析。本計畫擬繳交該站180天以上之潮位觀測資料並持續維護該站功能運作。

潮位站原始觀測潮位為每秒一筆，水溫為每10秒一筆。觀測資料定義如下：

1. 15秒潮位資料：每秒取樣，每15秒資料以算數平均計算彙整成一

筆資料。

2. 6 分鐘潮位資料：每 10 秒取樣一次，每 6 分鐘之 36 筆取樣資料平均值。

3. 6 分鐘水溫資料：每 10 秒取樣一次，每 6 分鐘之 36 筆取樣資料平均值。

4. 測站電壓：6 分鐘記錄瞬間讀值。

102 年度「水深資料及高程基準分析工作案」計畫已將東沙潮位站之自記式與連續式潮位計資料接收運作復原。103 年 9 月 9 日登島進行潮位站維護時，固定自記式潮位計支架已部分斷裂(如圖 4-6)，對應本年度自記式潮位計數據經分析得平均海水面具有約-14cm 偏移，故本年度自記式潮位數據分析內容僅供參考。兩組潮位計數據進行分析如附錄三，本報告僅節錄其中連續式潮位計數據分析成果。



圖 4-6 自記式潮位計支架斷裂

連續式潮位計型號為 Druck PTX1830 壓力式潮位計，資料蒐集時間為 102 年 12 月 1 日至 103 年 9 月 24 日，共計 297 天。本分析數據採用每 6 分

鐘潮位資料，即為每 10 秒取樣一次，每 6 分鐘之 36 筆取樣資料平均值。
連續式潮位計觀測數據依時序如圖 4-7 所示。

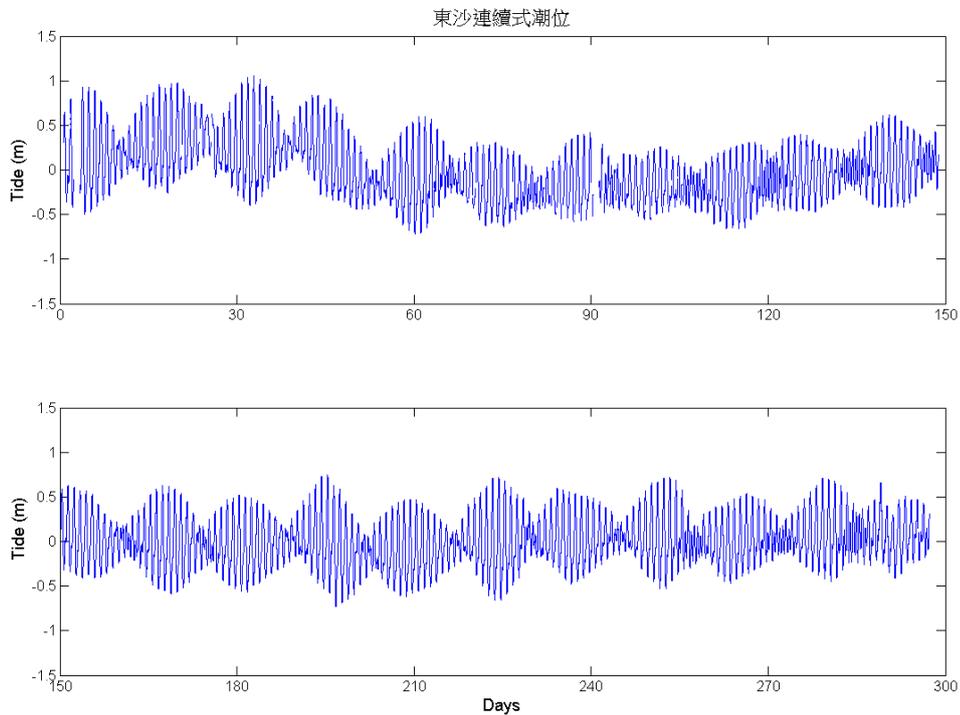


圖 4-7 連續式潮位計觀測潮位時序

4-3 分析東沙地區潮位數據

持續進行長期性潮位觀測，為建立參考高程基準之必需條件。內政部國土測繪中心(99)於「水深測量技術發展先期研究」所述，由美國陸軍工兵署之作業規範(USACE, 2001)中指出，可分別於不同地區設立長期(主要)、中期(次級)與短期(第三級)之潮位站，其中長期(主要)控制潮位站為一至少需要 19 年週期之連續驗潮觀測站，主要可利用其潮汐資料計算調和分析常數，以供潮汐預報及基準面推算之用。中期(次級)控制潮位站為一觀測時間可以少於 19 年，但必須大於 1 年以上週期之潮位站，以提供 365 天海平面季節變化之調和分析使用。短期(第三級)潮位站則為觀測時間少於 1 年，但至少要有 30 天週期之潮位站，其主要在於提供 29 天之調和分析常數。

調和分析是以牛頓所提出之平衡潮(equilibrium tide)理論為基礎，將潮位的時間序列視為數種不同週期分潮的線性加總，如式 4-1 所示，其中由最

小二乘法解析出各分潮(M)及其振幅(A_i)、相位角(ε_i)，藉以分析當地潮汐特性，並可對未來潮位進行推算。本研究使用調和分析方法解析東沙地區潮位特性，由主要分潮重組後計算平均水深，同時亦由觀測水深直接平均獲得平均水深。本計畫使用以 Matlab 程式語言建構之 t_tide 程式進行調和分析，其分析振幅與相位角之演算法乃根據 Godin(1972), Foreman(1977)及 Foreman(1978)之 FORTRAN 程式碼為基礎，並增進部分分析功能(Pawlowicz et al., 2002)。

$$\begin{aligned}
 Y(t) &= a_0 + \sum_{i=1}^M [a_i \cos(\omega_i t) + b_i \sin(\omega_i t)] \\
 &= a_0 + \sum_{i=1}^M A_i \cos(\omega_i t - \varepsilon_i)
 \end{aligned}
 \tag{4-1}$$

連續式潮位計數據經調和分析解析出之 62 個主要分潮(附錄三之表 4)，分潮頻率(cycles per hour, cph)對應振幅、相位角關係如圖 7、8 所示，頻率接近 1/24(0.042)之全日潮分潮振幅 K1(26.09cm)、O1(21.75cm)、P1(9.02cm)，頻率為 1/12(0.083)之半日潮分潮振幅 M2(14.52cm)、S2(4.71cm)、N2(3.44cm)，由振幅可推斷為全日潮。以潮型判別式判斷，法國制與美國制判別式計算值分別為 2.49、3.29，判別皆屬全日潮。由潮位觀測數據直接求取算數平均之平均海水面為-0.0126m，而經調和分析濾除雜訊及非顯著分潮得 62 分潮重組，求取重組後潮位之算數平均得平均海水面為-0.0164m。

第五章 建製東沙地區塊礁分布圖

本章節針對去年度完成之塊礁製圖方法及規範進行檢討，再據以完成 10 幅 1/5000 比例尺東沙塊礁分布圖。

5-1 既有塊礁製圖方法及規範檢討

102 年度「水深資料及高程基準分析工作案」中使用東沙地區數值高程模型(Digital Elevation Model, DEM)以及福衛二號影像試作塊礁分布圖，依單一 1/5000 圖幅內地形特性不同分別選取環礁內瀉湖區、瀉湖礁台交界與環礁礁台三測試區進行實作，並以分類正確率與 kappa 指標檢核塊礁偵測成果，檢核用之參考塊礁分布圖則以人工數化 DEM 方式產製。塊礁分布圖試作以地形趨勢面、DEM 與影像物件分割等方式實現，使用不同方法及數據進行偵測之成果顯示，將 DEM 與衛星影像結合以物件分割方式進行塊礁偵測，且物件分割依 DEM 與影像權重比 4:1 時具最佳成果，完整塊礁分布圖產製流程如圖 5-1 所示。

圖 5-2 為三圖幅以結合 DEM 與衛星影像(比重 4:1)後分割之塊礁分布，其中紅線為以 DEM 手繪塊礁，藍底為影像偵測出塊礁。分類結果精度如表 5-1 所示，除瀉湖區 kappa 值為 73.91%較低外，其於分類精度指標均達 90% 以上。表 5-2 為三試作區面積成果及誤差百分比，其中瀉湖區塊礁面積誤差百分比達-38.73%，顯示該成果於漏授面積上仍有改善空間。

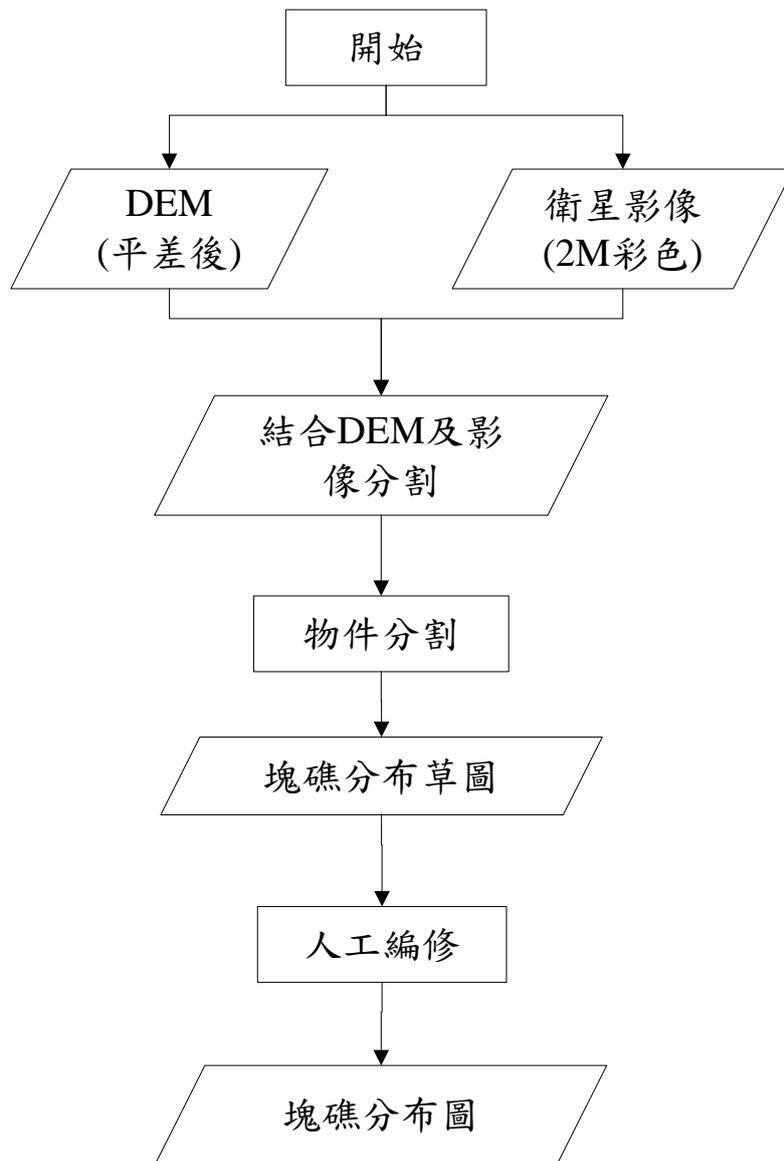


圖 5-1 塊礁分布圖產製作業流程

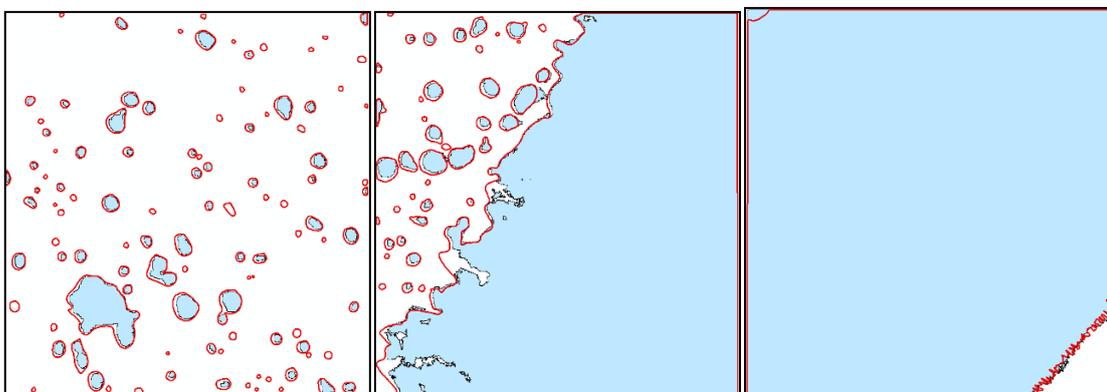


圖 5-2 結合 DEM 與衛星影像(比重 4:1)後分割之塊礁分布

(由左至右依序為瀉湖區、交界處及礁台上)

表 5-1 物件分割方式偵測礁塊面積精度(DEM：影像=4：1)

瀉湖區	正確率	96.66%
	kappa	73.91%
交界處	正確率	96.24%
	kappa	90.41%
礁台上	正確率	99.49%
	kappa	90.23%

表 5-2 塊礁總面積成果

塊礁總面積 (m ²)	瀉湖區	交界處	礁台上
手繪	618132	5421290	7028438
偵測	378725	5195667	7046262
誤差百分比	-38.73%	-4.16%	0.25%

102 年度提出之塊礁偵測方法是採用物件分割方式，數據則結合 DEM 及衛星影像偵測出顯著邊界以分割出塊礁區域，分割時需給予兩種數據間之權重與尺度參數。選定權重、尺度參數方式為測試不同比例及數值，分別產出塊礁偵測成果，以三試作區分類精度之平均值為依據。此作法具眾多參數影響成果，且各圖幅內地形特性適用參數皆需各別探討，故作為實務上塊礁圖產製之流程較不適當。考量塊礁本身即為海底地形中高程變化較顯著之凸起，本年度僅使用 DEM 作為塊礁圖產製資料。

102 年度探討單獨使用 DEM 數據以物件分割方式之測試結果，以 eCognition 軟體(Baatz et al., 2004)多尺度分割(multi-resolution segmentation)模式給予 10、20、30…90、100，共 10 種尺度參數，再由分割區塊內之平均高程劃分類別，以平均值大於 0 者為塊礁物件。該方法於瀉湖中水較深區域部分塊礁因平均高程條件而被剔除。

本年度採用物件分割後合併方式進行塊礁萃取。第一步同樣以多尺度分割方式偵測塊礁物件，使用較小尺度參數 10 以增加小面積物件被偵測出之可能性；第二步為合併平均高程相近之物件，由於塊礁以外區域高程變化相對較小，若相鄰物件平均高程差值小於一門檻值則進行合併而形成平均高程較低之物件，將之移除即所求之塊礁分布。此處合併門檻值設為 3。

5-2 製作 10 幅 1/5000 比例尺東沙塊礁分布圖

102 年度「水深資料及高程基準分析工作案」中已選擇瀉湖區、交界處與礁台上三試作區，其幅圖編號分別為 87142013、87142036 與 87142046，如圖 5-3 所標示紅框處。本年度將自前期選擇之三試作區擴增範圍，另選擇 10 幅 1/5000 圖幅，包含位於瀉湖區之圖幅編號 87142014、87142015、87142023、87142024、87142025、87142034、87142035，交界處圖幅編號 87142016、87142026、87142045，其分布如圖 5-3 中藍框處。

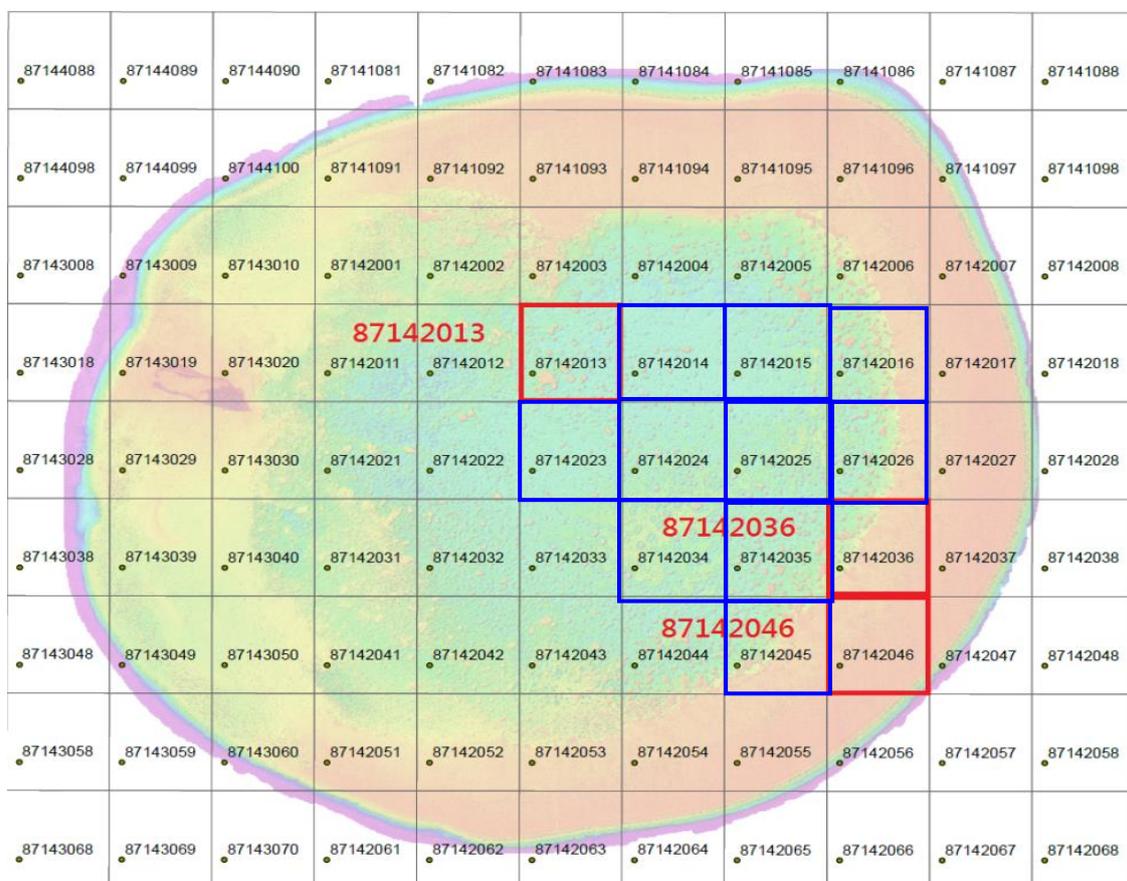


圖 5-3 東沙測深光達數據 1/5000 圖幅接合表

本年度新增瀉湖區與交界處地形資料分別如圖 5-4、圖 5-5，其中黃色多邊形為依據 DEM 人工數化之塊礁邊界。數化圈選時以 DEM 坡度大於 15 度區域及 Fledermaus 軟體展示三維地形輔助判釋塊礁邊界。產製塊礁需符合下列原則：

1. 塊礁面積大於 100 平方公尺才加以圈選
2. 塊礁底部與頂部高差大於 5 公尺
3. 繪製出的塊礁進行平滑化，使其更符合塊礁外型

5-3 塊礁分布圖產製成果

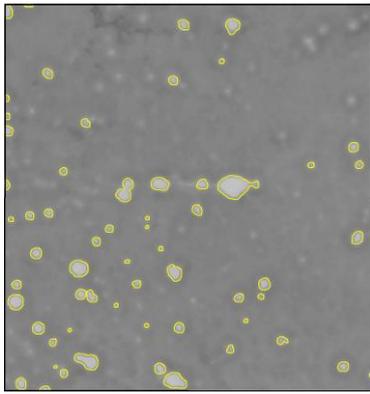
塊礁分布圖以人工數化成果檢核，依檢核分類精度之方式，單一圖幅內可能有四類，即：(A)數化為塊礁且偵測為塊礁；(B)數化為塊礁但偵測為非塊礁；(C)數化為非塊礁但偵測為塊礁；(D)數化為非塊礁且偵測為非塊礁，則作為分類精度指標之正確率及 kappa 值公式如下：

$$\text{正確率} = (A+D) / (A+B+C+D)$$

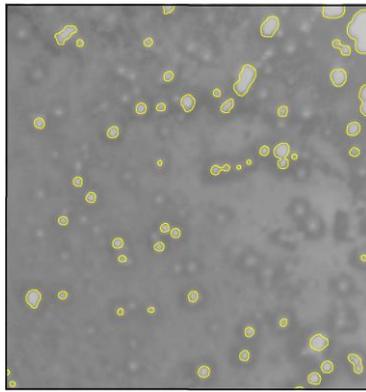
$$\text{Kappa} = ((A+D)-(A+C)(A+B)+(B+D)(C+D))/(A+B+C+D) \div ((A+B+C+D)-(A+C)(A+B)+(B+D)(C+D))/(A+B+C+D)$$

本年所選取 7 幅瀉湖區、3 幅交界處塊礁分布以人工數化檢核之統計成果如表 5-3、表 5-4 所示。瀉湖區分類精度指標 kappa 值最低為圖幅 87142015 之 76.41%，因該圖幅內具 12 個誤授塊礁，其餘皆達 80% 以上；交界處圖幅 kappa 值則均達 93% 以上成果。兩類之分類精度成果皆相較於 102 年度有提升。瀉湖區數化與偵測塊礁分布圖套疊如圖 5-6，數化之塊礁較鄰近時易偵測為單一塊礁，且針對同一塊礁而言，偵測面積普遍略大。

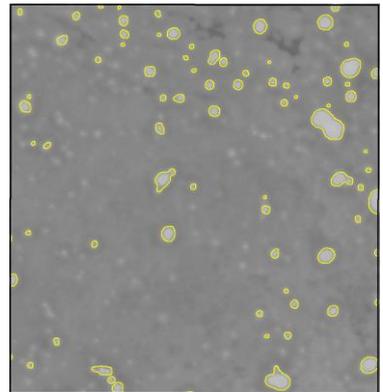
交界處各圖幅中，漏授塊礁數均達 10 個以上，但由於漏授塊礁單一面積普遍較小，故並未對分類精度有顯著影響。交界處數化與偵測塊礁分布圖套疊如圖 5-7。



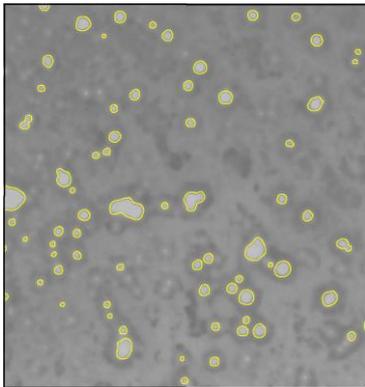
87142014



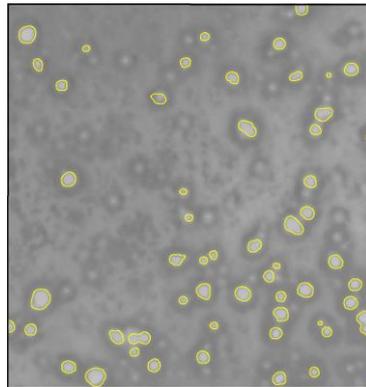
87142015



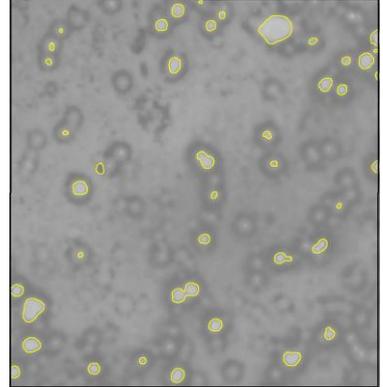
87142023



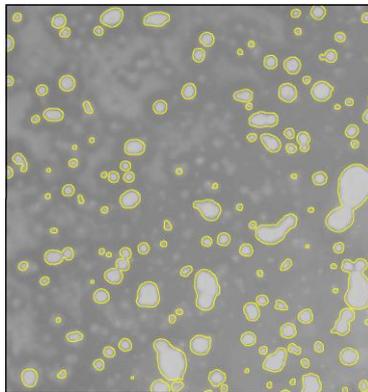
87142024



87142025



87142034



87142035

圖 5-4 本年度新增瀉湖區試作圖幅與人工數化塊礁邊界

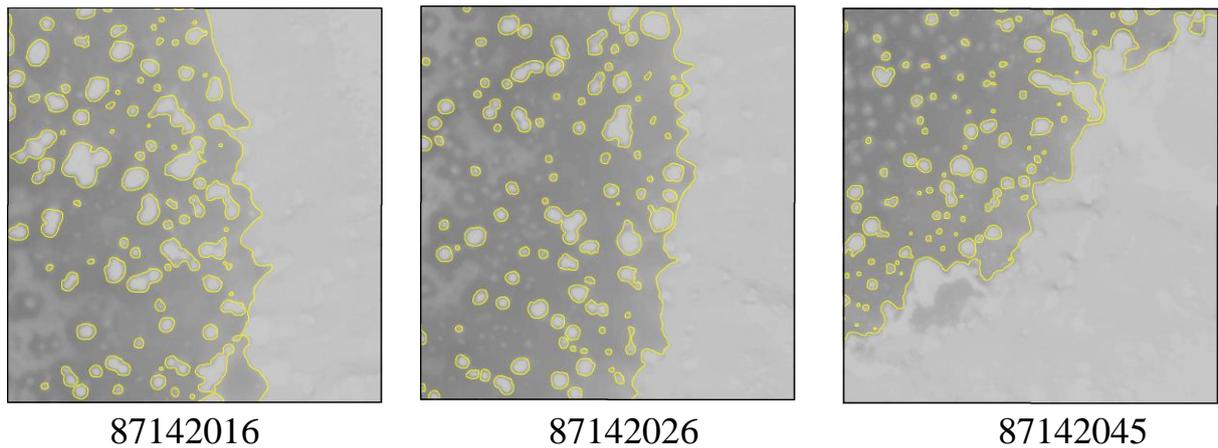


圖 5-5 本年度新增交界處試作圖幅與人工數化塊礁邊界

表 5-3 潟湖區塊礁分布圖統計成果

圖幅編號	數化/偵測 塊礁數	誤授/漏授 塊礁數	分類精度(%)	
			正確率	kappa
87142014	60/58	2/1	98.73	82.31
87142015	54/54	2/0	98.15	78.97
87142023	79/65	2/10	98.51	81.26
87142024	71/64	2/5	98.57	82.67
87142025	56/52	4/1	98.07	78.86
87142034	41/50	12/2	98.39	76.41
87142035	134/120	0/5	96.85	86.25

表 5-4 交界處塊礁分布圖統計成果

圖幅編號	數化/偵測 塊礁數	誤授/漏授 塊礁數	分類精度	
			正確率	kappa
87142016	90/74	0/13	96.80	93.60
87142026	94/76	0/10	96.94	93.73
87142045	93/66	0/27	97.03	93.79

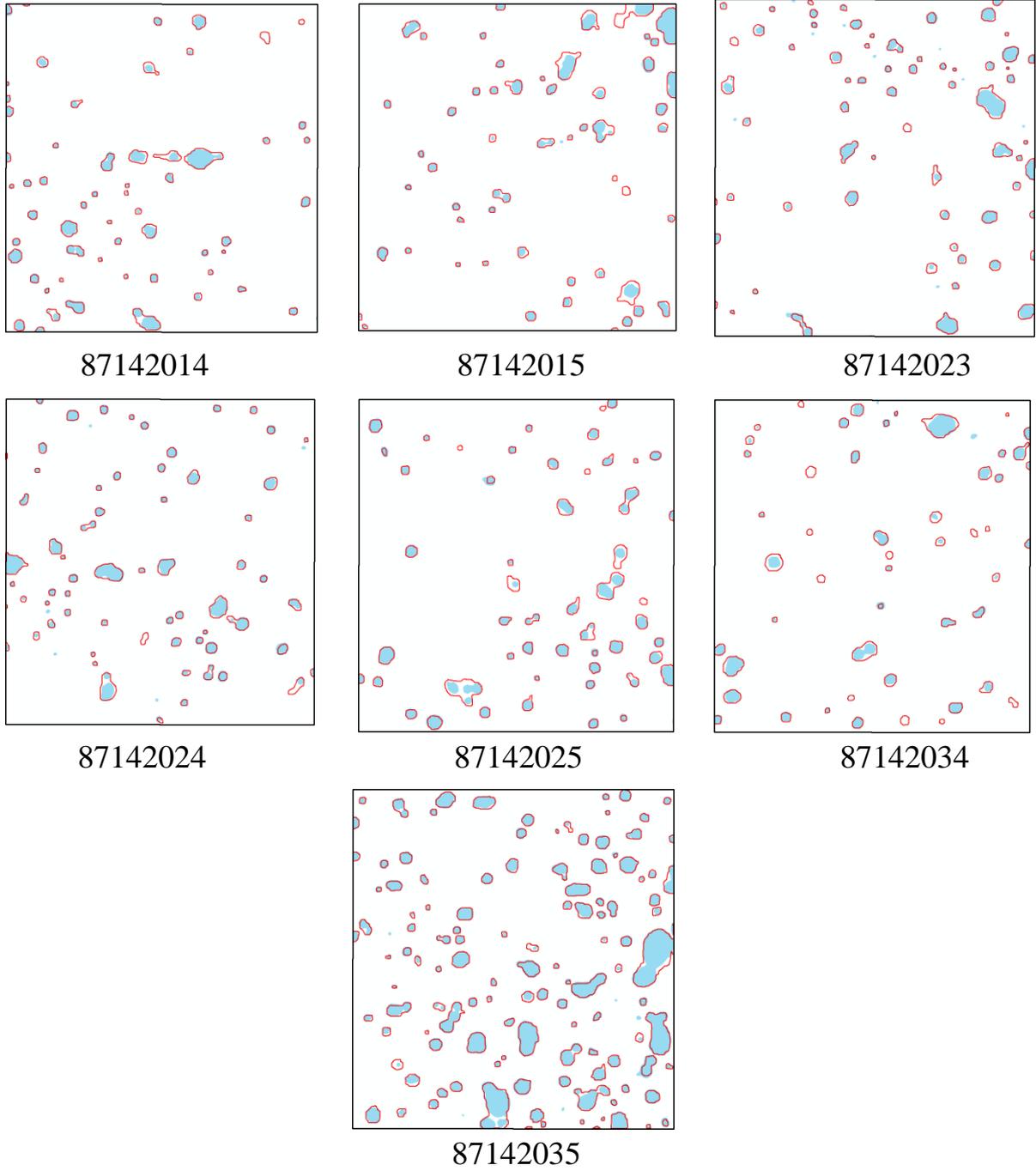


圖 5-6 瀉湖區圖幅數化(藍底)與偵測塊礁邊界(紅線)套疊

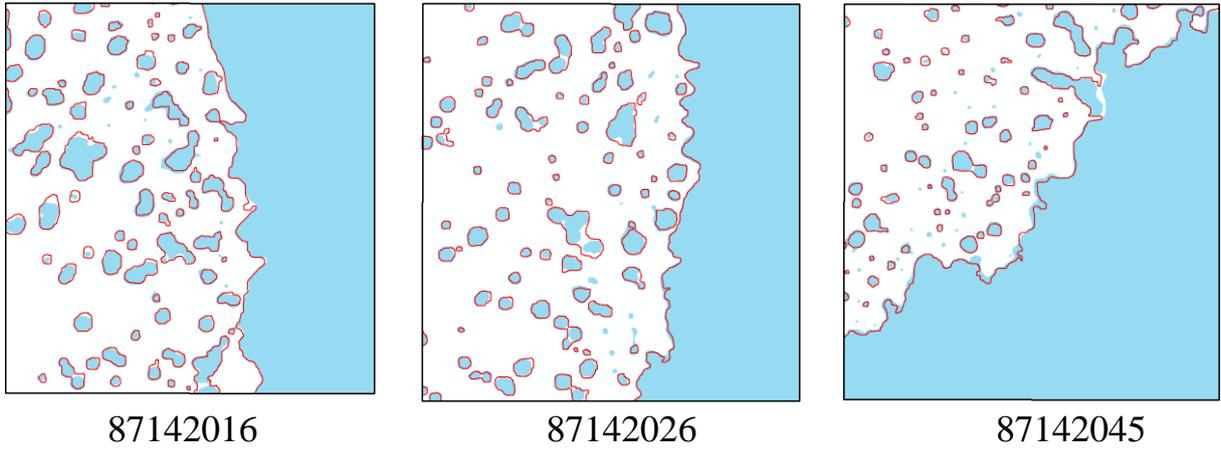


圖 5-7 交界處圖幅數化(藍底)與偵測塊礁邊界(紅線) 套疊

第陸章 基隆臨時潮位站維護及新設站代辦採購工作

6-1 辦理基隆臨時潮位站(正濱漁港旁)數據資料蒐集分析及其系統定期保養維護工作

前期計畫新設之臨時性潮位站於民國 102 年 9 月 4 日完工，潮位站設置於正濱漁港專用區進出口東側岩岸如圖 6-1 所示，此為未登記之國有土地。地質為裸露岩盤，地形位於灣內，故受風浪之影響較小。詳細位置在基隆市中正路 341 號之東岸會議室後方牆外，須經民家旁通道前往，如圖 6-2 所示。

潮位站以 PVC 管為靜水井，固定於堤上，包含一具壓力式潮位計與一具溫度計，記錄器與蓄電池置於掛式不鏽鋼儀器箱內，潮位站設備及廠牌如表 4-1 所示。潮位站旁設置植入性不鏽鋼鋼樁，以為參考基準點，並聯測到民家與東岸會議室間之基隆界樁 A61。

潮位站位置設置於圖 6-3 高堤前海域，儀器箱則固定於東岸會議室屋頂女兒牆外側貼壁，如圖 6-4，儀器使用電源以太陽能為主。

儀器箱內除安置記錄器外，並設置蓄電池與太陽能板，以期能長期自主性觀測。訊號以租用 GSM 服務方式傳輸至氣象局、維護廠商及交通大學。如此可降低斷訊風險，於發現異常後可即時維修，預計每 3 個月定期抄取數據與維護。



圖 6-1 基隆臨時潮位站設置地點略圖



圖 6-2 中正路 341 號及其左側民家旁通道



圖 6-3 靜水井位置

表 6-1 基隆臨時潮位站設備廠牌及型號

設備	廠牌	型號
QML201 資料蒐集器	VAISALA	QML201A
CF Card	—	—
壓力式水位計	DRUCK	PTX1830
水溫計	RIXEN	PT100
GPRS 模組	KEPRO	MA8-2(CWB2)
太陽能板	PiTEK	PM65
充電控制器	MORNINGSTAR	SHS-6



圖 6-4 東岸會議室屋頂太陽能板及儀器箱位置

6-1-1 基隆臨時潮位站維護保養作業

本年度進行 4 次維護保養作業，已完成 3 次，分別為 1 月 28 日、6 月 19 日及 10 月 1 日，第 4 次保養擬於 12 月辦理。

一、第 1 次維護保養作業

去年 12 月底時因潮位數據未即時回傳至氣象局及交通大學，遂請維護廠商協助會勘，廠商於本年 1 月 6 日到場檢測，發現靜水井被海浪沖毀，水位計感應器故障，經重新設計靜水井，於 1 月 27 日及 28 日完成修復，進行系統測試，運作正常，氣象局及交通大學端可正常接收潮位數據。



圖 6-5 基隆臨時潮位站遭海浪沖毀(2014.1.6)



圖 6-6 基隆臨時潮位站維修後現況(2014.1.28)

二、 第 2 次維護保養作業

第 2 次維護保養作業於 6 月 19 日完成，經測試水溫計感測器發生故障，亦於本次維護時一併更換。

三、 第 3 次維護保養作業

第 3 次維護保養作業於 10 月 1 日完成。

6-1-2 基隆臨時潮位站潮位分析

102 年度「水深資料及高程基準分析工作案」中蒐集基隆臨時潮位站數據，並與相同觀測時間段之基隆、龍洞兩潮位站數據進行分析比對。潮位分析成果顯示基隆臨時潮位站與基隆、龍洞潮位站潮位特性相近。本年度持續進行數據蒐集與分析比對。目前資料蒐集時間自 103 年 1 月 28 日至 10 月 31 日之 6 分鐘潮位資料，蒐集潮位時序如圖 6-7 所示。

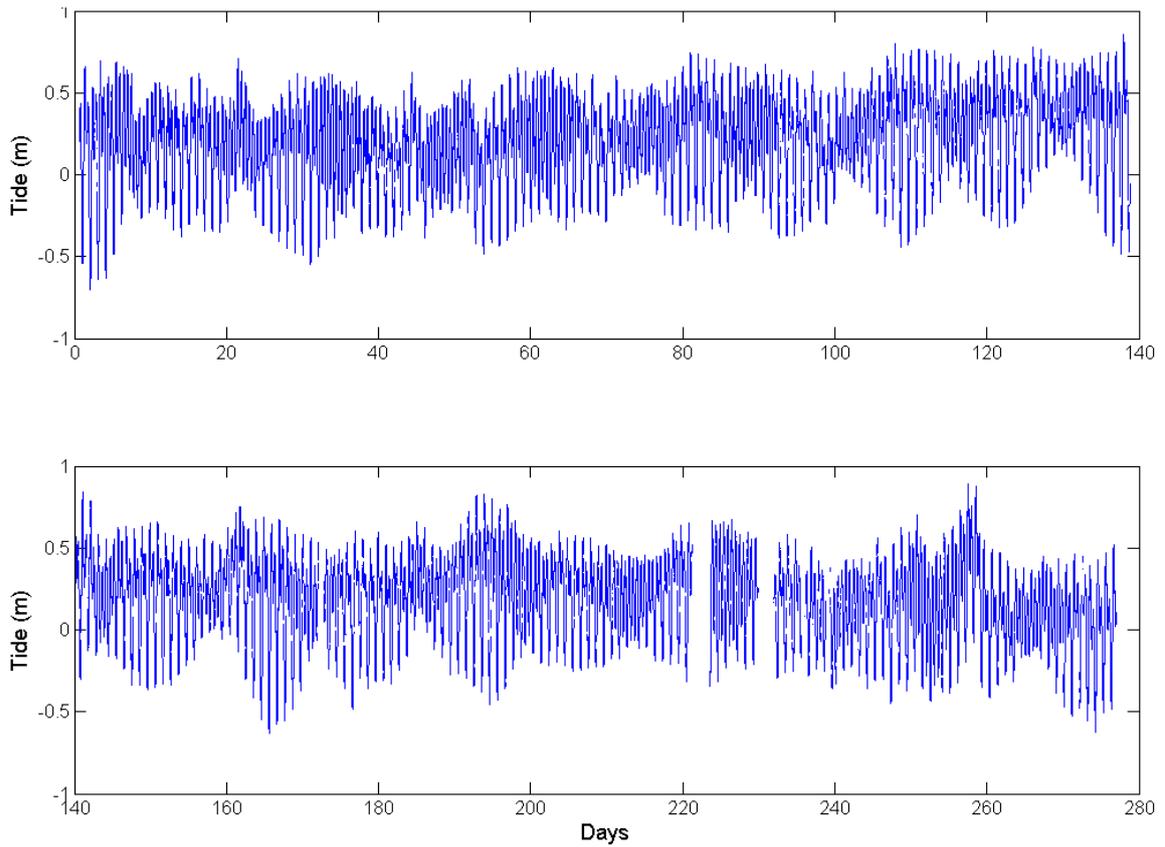


圖 6-7 基隆臨時潮位站時序資料

經調和分析解析出 62 個分潮如表 6-2 所示，包含各分潮頻率、振幅、振幅誤差、相位角、相位角誤差及信噪比(Signal-to-Noise Ratio, SNR)。將調和分析之主要分潮結果以橫軸為頻率(cycles per hour, cph)，縱軸為振幅(m)及相位角(deg)繪製於圖 6-8 及圖 6-9。

表 6-2 基隆臨時潮位站調和分析分潮表

tide	Freq (cph)	amp (m)	amp_err (m)	pha (deg)	pha_err (deg)	snr
2MK5	0.202799	0.0008	0.001	10.55	42.13	1.7
2MK6	0.24458	0.0009	0.001	117.49	42.01	1.4
2MN6	0.240006	0.0022	0.001	292.86	19.21	10
2MS6	0.244352	0.003	0.001	32.25	13.93	18
2N2	0.077466	0.0039	0.002	219.28	34.52	2.9
2Q1	0.035686	0.0042	0.002	209.04	22.24	5.3
2SK5	0.208447	0.0001	0.001	211.05	310.42	0.029
2SM6	0.247176	0.0009	0.001	32.59	45.78	1.6
3MK7	0.283309	0.0004	0	336.47	44.03	1.7
ALP1	0.034383	0.0013	0.002	170.4	72.44	0.5
BET1	0.040031	0.0012	0.002	98.18	78.11	0.41
CHI1	0.040478	0.003	0.002	359.05	30.88	2.7
EPS2	0.076164	0.0077	0.002	257.85	17.37	11
ETA2	0.085083	0.002	0.002	129.14	52.93	0.73
J1	0.043302	0.008	0.002	272.61	11.96	19
K1	0.041781	0.1559	0.002	135.54	0.63	7.30E+03
K2	0.083562	0.0122	0.002	83.79	9.18	28
K2	0.083562	0.0172	0.002	26.47	6.47	56
L2	0.082031	0.0171	0.002	328.53	11.58	55
LDA2	0.081812	0.007	0.002	306.11	19.21	9.3
M10	0.402546	0.0004	0	68.08	38.9	2.6
M2	0.080509	0.2556	0.002	107.76	0.52	1.20E+04
M3	0.120764	0.006	0.001	269.21	8.26	51
M4	0.161019	0.0138	0.001	301.84	3.78	2.50E+02
M6	0.241528	0.0042	0.001	74.26	10.24	35
M8	0.322037	0.0008	0	314.56	19.34	10
MF	0.003052	0.0163	0.021	61.08	72.41	0.63
MK3	0.12229	0.0026	0.001	350.17	17.29	9.9
MK4	0.164071	0.0022	0.001	280.34	19.29	6.6
MKS2	0.080737	0.0029	0.002	212.83	38.85	1.6
MM	0.001521	0.0074	0.021	139.07	159.54	0.13
MN4	0.159497	0.006	0.001	171.76	8.69	47

表 6-2 基隆臨時潮位站調和分析分潮表(續)

MO3	0.119238	0.0023	0.001	57.12	19.49	7.3
MS4	0.163843	0.0091	0.001	215.16	5.64	1.10E+02
MSF	0.002824	0.0027	0.021	128.1	430.47	0.018
MSK6	0.247404	0.0001	0.001	80.15	344.31	0.021
MSM	0.001303	0.028	0.021	90.15	42.21	1.8
MSN2	0.084855	0.005	0.002	86.5	27.15	4.8
MU2	0.077685	0.026	0.002	68.96	5.17	1.30E+02
N2	0.078988	0.0621	0.002	322.04	2.16	7.30E+02
NO1	0.040259	0.0068	0.002	341.33	10.16	14
NU2	0.079207	0.0212	0.002	346.42	6.33	85
O1	0.038729	0.1192	0.002	126.83	0.79	4.30E+03
OO1	0.044833	0.0017	0.002	134.45	39.06	0.83
OQ2	0.075945	0.0012	0.002	71.91	109.85	0.29
P1	0.041553	0.0605	0.002	23.81	1.74	1.10E+03
P1	0.041553	0.0516	0.002	142.61	2.04	8.00E+02
PHI1	0.042009	0.0028	0.002	260.63	36.68	2.3
Q1	0.037207	0.0248	0.002	348.36	3.78	1.90E+02
RHO1	0.037426	0.0039	0.002	336.54	25.2	4.5
S2	0.083333	0.0634	0.002	4.07	2.07	7.60E+02
S4	0.166667	0.0027	0.001	121.68	18.78	9.3
SIG1	0.035904	0.0031	0.002	197.68	30.79	2.8
SK3	0.125114	0.0012	0.001	320.3	38.72	1.9
SK4	0.166895	0.0009	0.001	169.9	49	0.98
SN4	0.162321	0.0013	0.001	58.78	40.04	2.1
SO1	0.044605	0.001	0.002	94.36	92.19	0.31
SO3	0.122062	0.0005	0.001	271.26	82.75	0.39
SSA	0.000228	0.0591	0.021	280.89	20	8.2
TAU1	0.038957	0.0021	0.002	152.85	53.31	1.4
THE1	0.043083	0.0009	0.002	321.33	101.07	0.25
UPS1	0.046355	0.0006	0.002	242.67	113.66	0.11

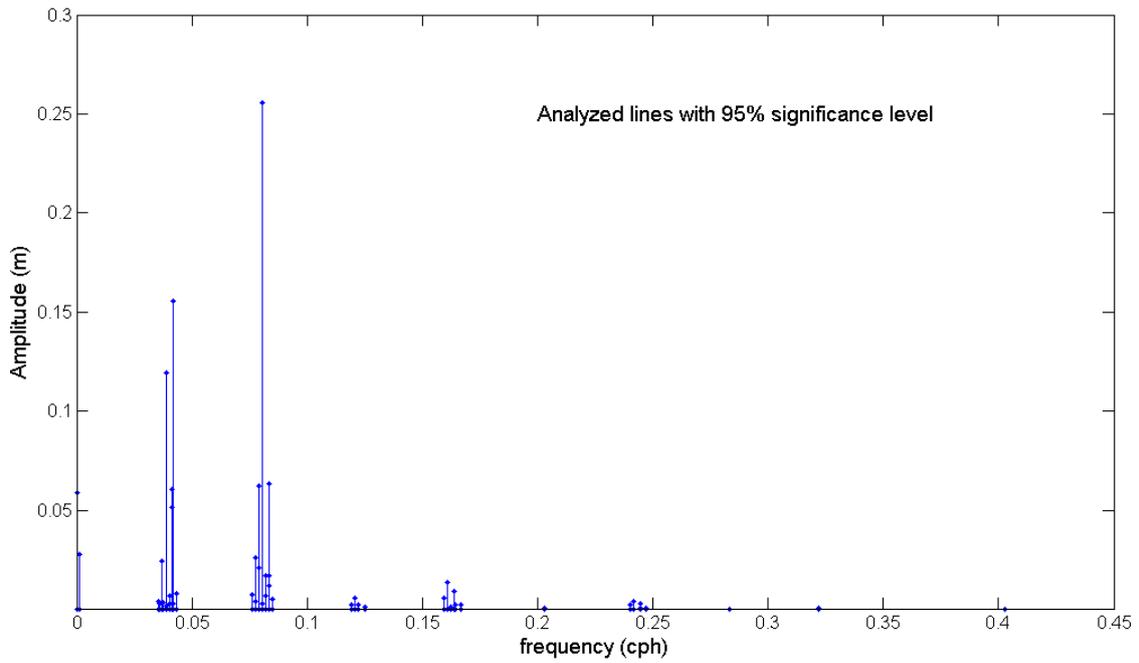


圖 6-8 調和分析之頻率對應振幅成果_基隆臨時潮位站

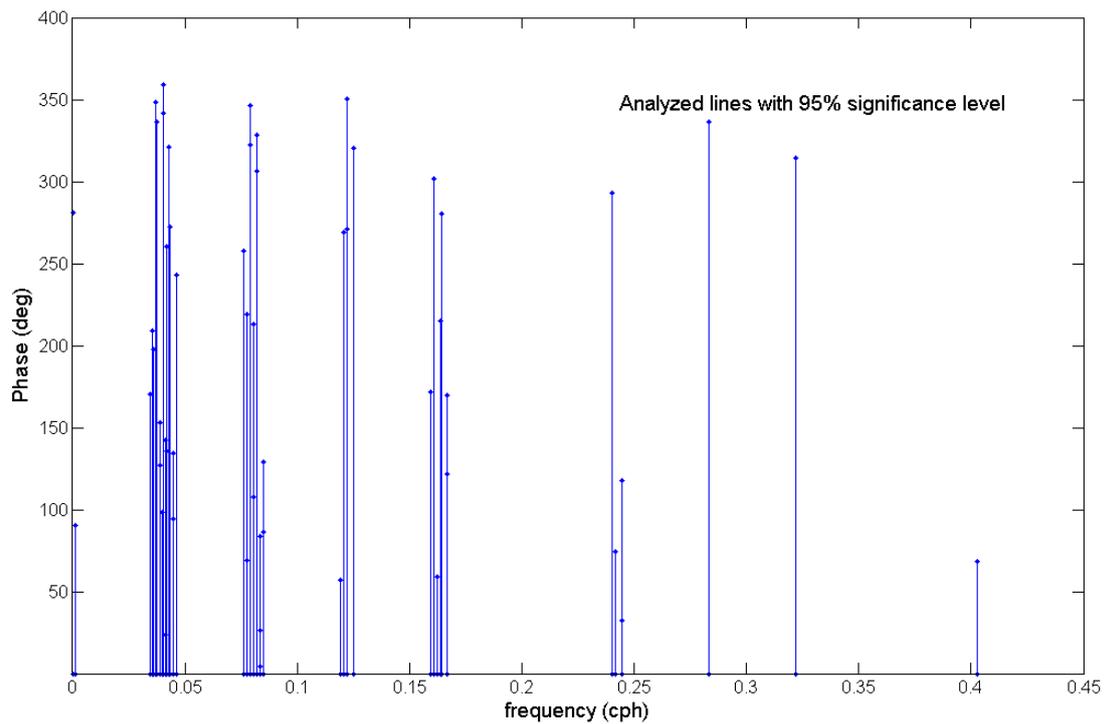


圖 6-9 調和分析之頻率對應相位角成果_基隆臨時潮位站

由潮位觀測數據以算數平均求平均海水面為 0.2056m，以 t_tide 進行調和分析所得 62 個分潮重組後，得平均海水面為 0.2057m。

6-2 代辦新設潮位站採購工作

由於基隆現有潮位站（圖 1-3 圓形位置）位於基隆港，離臺灣水準原點新址（面長潭里漁港）距離較遠，為便利聯測潮位，且依國立海洋科技博物館建議，配合規劃相關科學教育（科教）導覽設施，本案規劃於原點附近新設潮位站（圖 1-3 長方形位置）。

按合約規定，本項係配合內政部需要，依政府採購法相關規定，代辦新設潮位站採購工作（含監辦及底價核定等事項）；所需費用，採報經內政部核定經費額度（經核定納入工作計畫書者，無須再行報部）後，以檢據核銷方式辦理。

本項工作將依合約及政府採購法相關規定辦理招標文件製作、標案發包、底價訂定審議、履約管理、驗收、移交及至結案等事項，並代辦採購、開標、比價、議價、決標、驗收等監辦業務。

6-2-1 潮位站設置前期評估作業

本案經會同內政部、交通部中央氣象局、基隆市信義地政事務所（市府地政處協助）及國立海洋科技博物館等人員分次勘查，初步擇定 2 個候選地點後，於 103 年 3 月 19 日下午由內政部召開「臺灣水準原點」附近新設潮位站所需用地勘選會議，邀請行政院農業委員會漁業署（請假）、交通部中央氣象局、國立海洋科技博物館、基隆市政府（產業發展處、地政處）、基隆市信義地政事務所、內政部國土測繪中心及本校共同與會，當日並有當地長潭里辦公處、長潭社區發展協會等代表參加。

按內政部 103 年 3 月 28 日台內地字第 1030126573 號函送會議紀錄結論，原列平浪橋西側碼頭、長潭人行橋內側中段水域等 2 處候選地點，雖各有其優點，惟經再次勘查，倘國立海洋科技博物館主題館區（面北寧路 369 巷道）之舊台電進水口與港內確有相通者，由於該

進水口坐落屬科教用地、腹地大，且更適合接通市電、網路及後續管理維護與科教導覽設施等規劃，本案原則依與會機關及長潭里辦公處、長潭社區發展協會等代表意見，優先擇於該進水口處(相關位置如圖 6-10 及圖 6-11)新設潮位站。

經內政部會後再洽國立海洋科技博物館協助確認結果，前開進水口與港內確有相通，爰依該會議結論及政府採購法相關規定，規劃後續代辦本項新設潮位站及其科教導覽設施相關採購工作事宜。



圖 6-10 國立海洋科技博物館主題館區(面北寧路 369 巷道)之舊台電進水口



圖 6-11 藍色箭頭指水準原點、紅色箭頭指新設潮位站（進水口）之位置

6-2-2 採購規劃及經費需求概估

本案參考國內、外相關儀器配備及交通部中央氣象局、國立海洋科技博物館建議，初步規劃採購下列事項，惟如總經費不足全數支應，得依實際執行情形增減項目內容：

1. 潮位觀測設備（包括音波式水位計、壓力式水位計、具數位記錄器之浮筒式水位計、GPS 式浮標等）
2. 氣象觀測設備（包括氣溫計、氣壓計、海上型風向風速計等）
3. 觀測資料記錄、傳輸及展示設備（包括資料記錄器、大太陽能板、充電控制器、GPS、資訊軟硬體等）
4. 靜水井（包括不鏽鋼式、一般浮筒式等）
5. 科教導覽設施（包括水準原點、新設潮位站之展板架、互動設施、裝置藝術等）
6. 其他相關事項。

採購所需經費依上述事項概估列表如下，部分參考規格報價如附錄二，合計總經費需求至少新臺幣 200 萬元，如表 6-3，表內各項經費為概估數，得依實際執行情形增減，但合計後不得超過總數。

表 6-3 採購項目及經費預估表

項次	事項	內容	初估經費 (萬)	備註
1	潮位觀測設備	包括音波式水位計、壓力式水位計、具數位記錄器之浮筒式水位計、GPS 式浮標等。	70	附錄二
2	氣象觀測設備	包括氣溫計、氣壓計、海上型風向風速計等。	28	附錄二
3	觀測資料記錄、傳輸及展示設備	包括資料記錄器、大太陽能板、充電控制器、GPS、資訊軟硬體等。	30	附錄二
4	靜水井	包括不鏽鋼式、一般浮筒式等。	20	附錄二
5	科教導覽設施	包括水準原點、新設潮位站之展板架、互動設施、裝置藝術等。	50	
6	其他相關事項	本案相關事項。	2	
合計總數 (各項經費為概估數，得依實際執行情形增減，但合計後不得超過總數)			200	

6-2-3 潮位站設備採購

潮位站設備採購進行潮位站建置、導覽機建置及設備及軟體擴充等三項。

6-2-3-1 潮位站建置

潮位站建置已於本年度6月6日上網公告，6月18日開標，因第一次開標未達三家廠商，遂於6月25日進行第二次開標，第二次開標共有2家廠商投標，由翰昇環境科技公司得標，契約金額為1,092,000元。本案已於9月23日完成建置及測試，並提供2年保固。採購之設備、架構圖及完工照片如表6-4、圖6-12及圖6-13所示，內容包含：

1. 潮位觀測設備(包括音波式水位計 1 支、壓力式水位計 2 支、水溫計 1 支)
2. 氣象觀測設備 (氣溫計 1 支、氣壓計 1 支、海上型風向風速計 1 支)
3. 觀測資料記錄、傳輸及展示設備 (GPRS 通訊設備、RS-232 串列設備聯網伺服器、資料蒐集記錄器、太陽能板 2 片、充電控制器、市電充電器、電池、儀器箱)
4. 不鏽鋼式靜水井。

表 6-4 代辦潮位站設備、型號及數量

設備名稱	廠牌	型號	數量
音波式水位計	AquaTrak	3000XDRCR and 4110 Controller	1
壓力式水位計	GE Druck	PTX 1830	2
水溫計	森鴻	PT-100	1
氣溫計	SKYE	SKYE SKH2023/1/A	1
氣壓計	VAISALA	BAROCAP	1
風向風速計	YOUNG	YOUNG 05106	1
GPRS 通訊設備	廣新	MA8-2(CWB2)	1
RS-232 串列設備聯 網伺服器	MOXA	NPort 5210	1
資料蒐集記錄器	VAISALA	QML201C	1
太陽能板	聚恆	TYNP62409135	2
充電控制器	Morningstar	SHS-10	1
市電充電器	明緯	DR-60-12	1
電池	臺灣湯淺	NP65-12	1

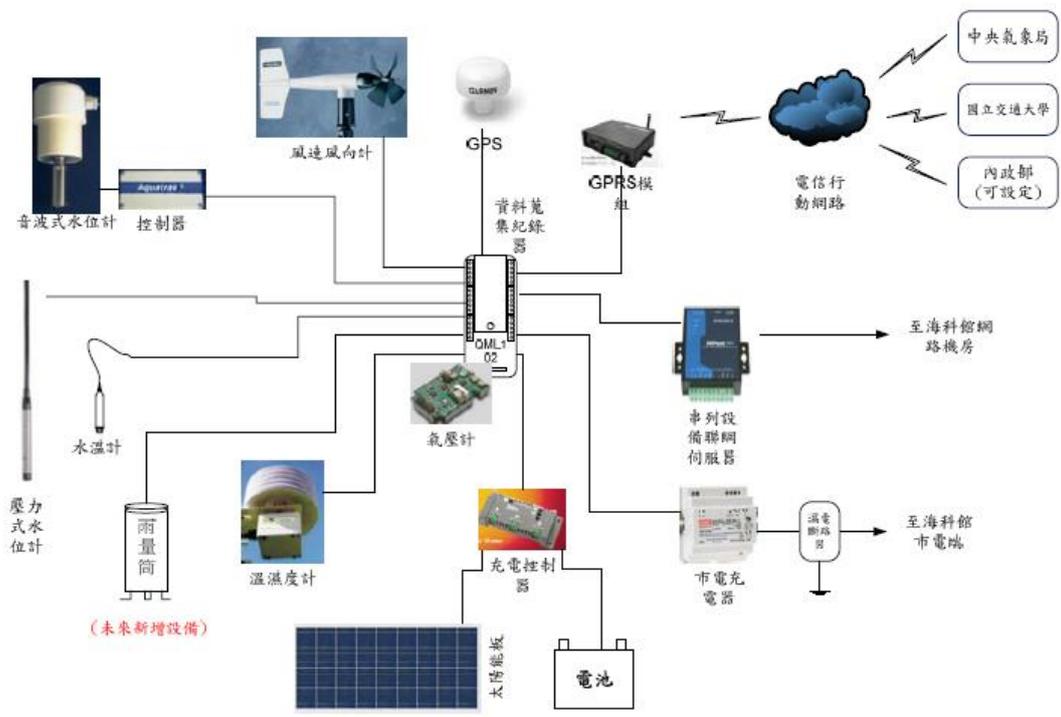


圖 6-12 代辦新設潮位站系統架構



圖 6-13 新設潮位站系統完工照片

6-2-3-2 導覽機設施

導覽機於 103 年 8 月 21 日進行公開取得報價單，8 月 26 日截止，至截止日僅有群廣資訊股份有限公司投標，未達三家廠商報價，經核准改採限制性招標，於 9 月 2 日進行議價，議價後金額為 470,000 元整。採購項目如表 6-5 所示。圖 6-14 至圖 6-19 為導覽機外型及相關介面介紹。

表 6-5 導覽機建置規格及數量

產品型號	內容明細	數量
觸控式導覽機台	1. 金屬導覽機台組 2. 42 吋工業級LED 螢幕 + 紅外線觸控屏 3. 工業級電腦主機： Intel i3 3.3GHz / 4G RAB / 500GB 硬碟 / 內建無線網卡 4. Windows 7 Pro 作業系統	2 台
導覽機軟體設計		1 式



圖 6-14 導覽機外型



圖 6-15 導覽機顯示介面



圖 6-16 導覽機首頁

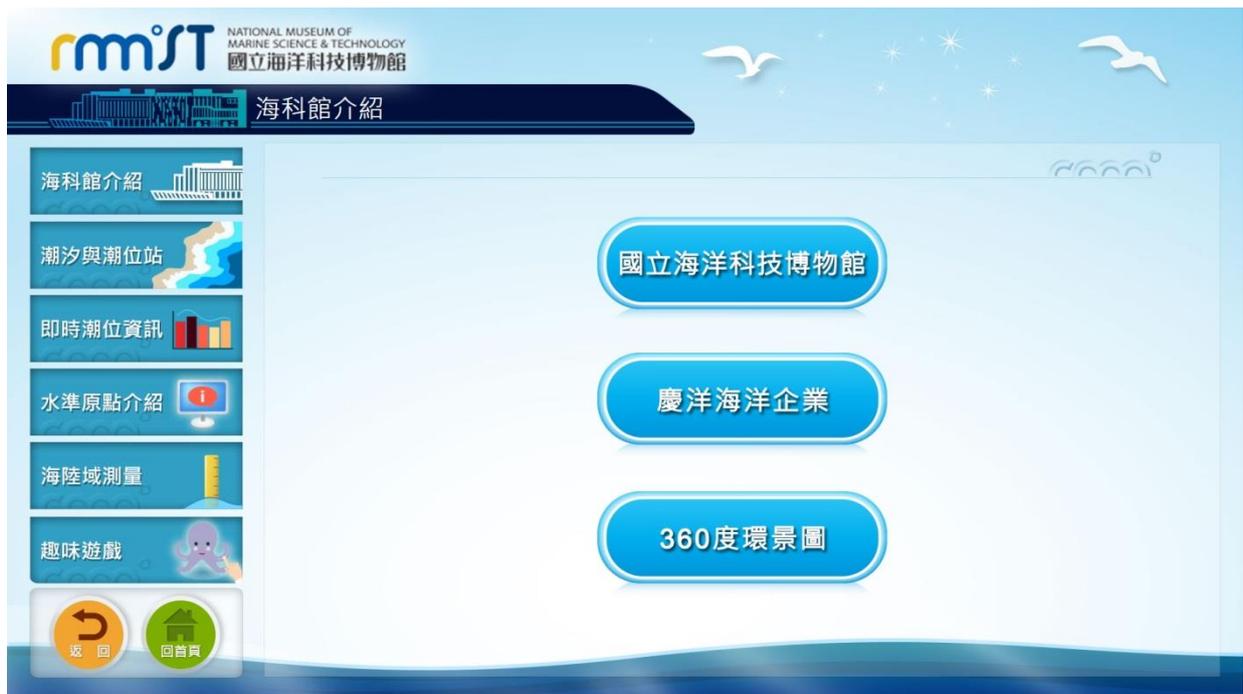


圖 6-17 導覽機海科館介紹分頁

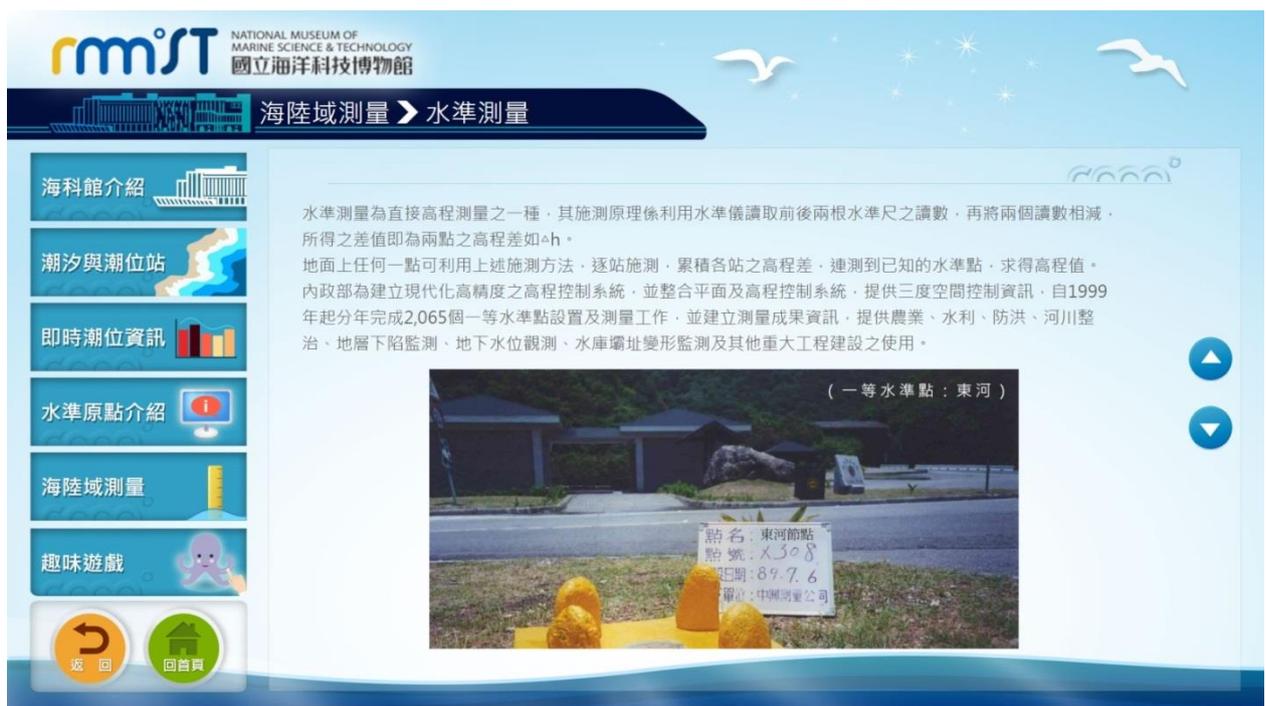


圖 6-18 導覽機水準測量介紹分頁



圖 6-19 導覽機遊戲介面

6-2-3-1 設備及軟體擴充

除上述購置之潮位站設備外，增加雷達波水位計及水尺，並撰寫潮位資訊接收程式以供導覽機及其他設備介接(表 6-6)。設備及軟體擴充於 103 年 11 月 24 日與新設潮位站建置廠商(翰昇環境)進行議價，12 月 8 日完工，金額為 230,000 元整。

表 6-6 設備及軟體擴充

項目	規格	數量
雷達波水位計	B.M. Tecnologie Industriali CW56	1
水尺	不鏽鋼材質	1
潮位資訊接收程式	1.潮位站資料介接及轉入資料庫 2.導覽機資料同步 3.資料處理項目： - 音波式潮位 - 壓力式潮位 - 雷達波潮位 - 風速 - 風向 - 陣風 - 氣溫 - 氣壓 - 水溫 - 雨量 - 雨量筆數 - 測站電壓 4.導覽機及電腦端軟體安裝 5.配合需求提供介接。	1

6-2-4 採購及建置時程及經費

代辦新設潮位站規劃已於 103 年 3~4 月完成，6 月 25 日完成潮位站設備採購相關流程，8 月完成導覽機採購，7~10 月完成潮位站設備及導覽機建置，12 月 8 日完成設備及軟體擴充。工作期程、經費及完成日期如表 6-7 及表 6-8 所示。

表 6-7 代辦新設潮位站採購工作期程

項目		103 年									
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
規劃	預定	■	■	■							
	執行	■	■	■							
潮位站設備採購	預定			■	■	■	■				
	執行				■						
導覽機採購	預定				■	■	■				
	執行						■				
潮位站設備建置	預定						■	■	■	■	
	執行						■	■	■		
導覽機建置	預定							■	■	■	
	執行							■	■	■	
設備及軟體擴充	預定									■	■
	執行									■	■

表 6-8 代辦新設潮位站採購經費及完工日期

品項	主要內容	金額	完工日期	得標廠商
潮位站設備	1.潮位觀測設備 2.氣象觀測設備 3.觀測資料記錄、傳輸及展示設備 4.不鏽鋼式靜水井	1,092,000	103.9.23	翰昇環境科技公司(公開取得報價單)
導覽機設施	1.導覽機 2.介面設計	470,000	103.10.29	群廣資訊股份有限公司(公開取得報價單)
潮位站設備及軟體擴充	1.雷達波水位計 2.水尺 3.潮位資訊接收程式	230,000	103.12.8	翰昇環境科技公司(限制性招標)
合計金額 1,792,000				

6-2-5 新設潮位站潮位分析

本年度已蒐集新設潮位站資料日期自 103 年 10 月 3 日至 103 年 10 月 31 日，包含壓力式與音波式潮位計觀測數據(圖 6-20)，共約 27

日。音波式潮位計於裝設初期 10 月 3 日~10 月 8 日以及 10 月 12 日~10 月 14 日兩段期間因接收資料異常(如圖 6-21 紅色標示)而剔除，故蒐集分析潮位時序較為不完整，約觀測時間段 73%。

新設潮位站壓力式數據經調和分析解析出 20 個分潮如表 6-9 所示。將調和分析之主要分潮結果以橫軸為頻率(cycles per hour, cph)，縱軸為振幅(m)及相位角(deg)繪製於圖 6-22 及圖 6-23。

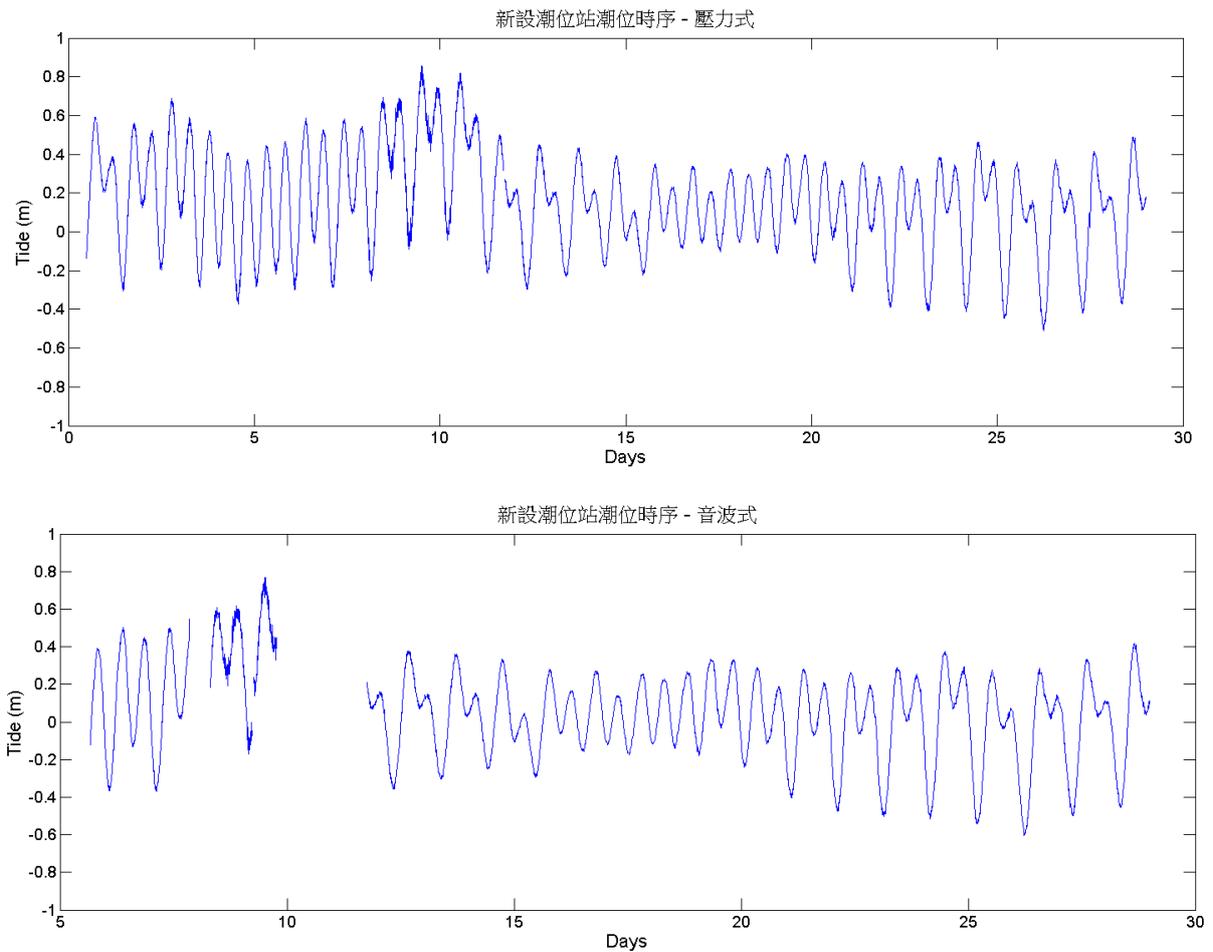


圖 6-20 新設潮位站時序資料

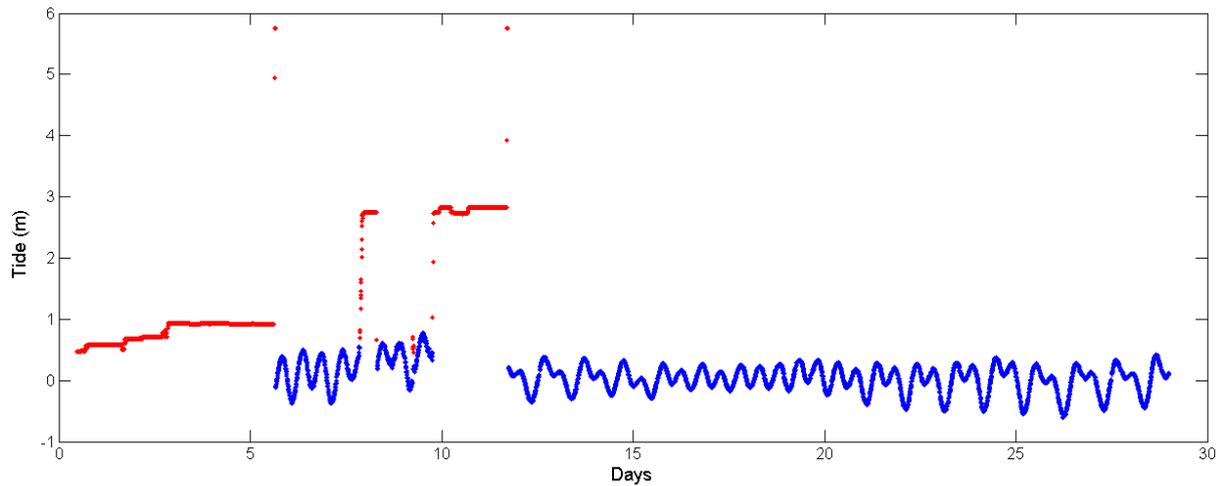


圖 6-21 新設潮位站音波式潮位計資料異常示意

表 6-9 新設潮位站調和分析分潮表_壓力式

tide	Freq (cph)	amp (m)	amp_err (m)	pha (deg)	pha_err (deg)	snr
2MK5	0.202799	0.0011	0.001	94.47	72.88	0.67
2MS6	0.244352	0.0006	0.001	242.24	67.01	0.64
2SK5	0.208447	0.0001	0.001	117.88	1343.15	0.0023
2SM6	0.247176	0.0006	0.001	234.56	75.31	0.55
3MK7	0.283309	0.001	0.001	153.36	60.88	0.9
K1	0.041781	0.1008	0.064	29.39	40.57	2.5
K2	0.083562	0.023	0.095	327.52	306.4	0.059
M10	0.402546	0.0009	0.001	32.57	28.5	2.9
M2	0.080509	0.0401	0.095	103.38	131.41	0.18
M3	0.120764	0.0051	0.004	302.93	47.56	1.3
M4	0.161019	0.0025	0.002	302.55	46.1	1.4
M6	0.241528	0.0007	0.001	73.05	55.2	0.88
M8	0.322037	0.0003	0.001	303.36	94.66	0.28
MS4	0.163843	0.0031	0.002	257.82	38.4	2.1
MSF	0.002824	0.0232	0.111	116.83	274.95	0.043
O1	0.038729	0.0493	0.064	257.06	89.47	0.59
P1	0.041553	0.0334	0.064	36.46	108.72	0.27
S2	0.083333	0.0846	0.095	305.12	64.58	0.79
S4	0.166667	0.002	0.002	212.02	61.99	0.86
SK3	0.125114	0.002	0.004	345.12	145.76	0.19

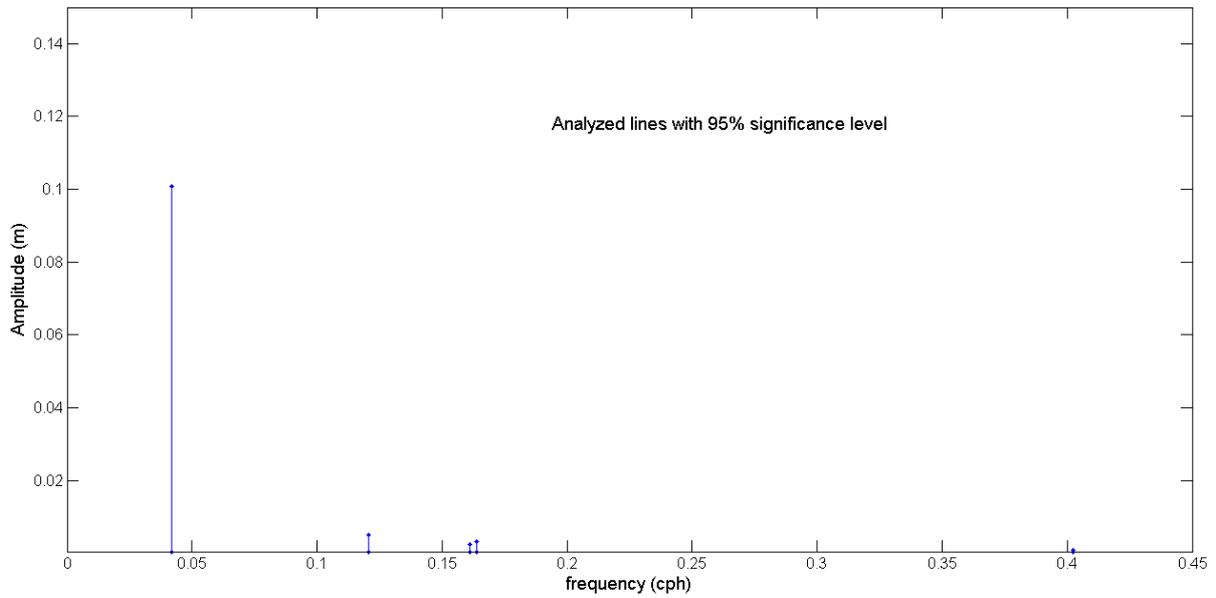


圖 6-22 調和分析之頻率對應振幅成果_新設潮位站壓力式

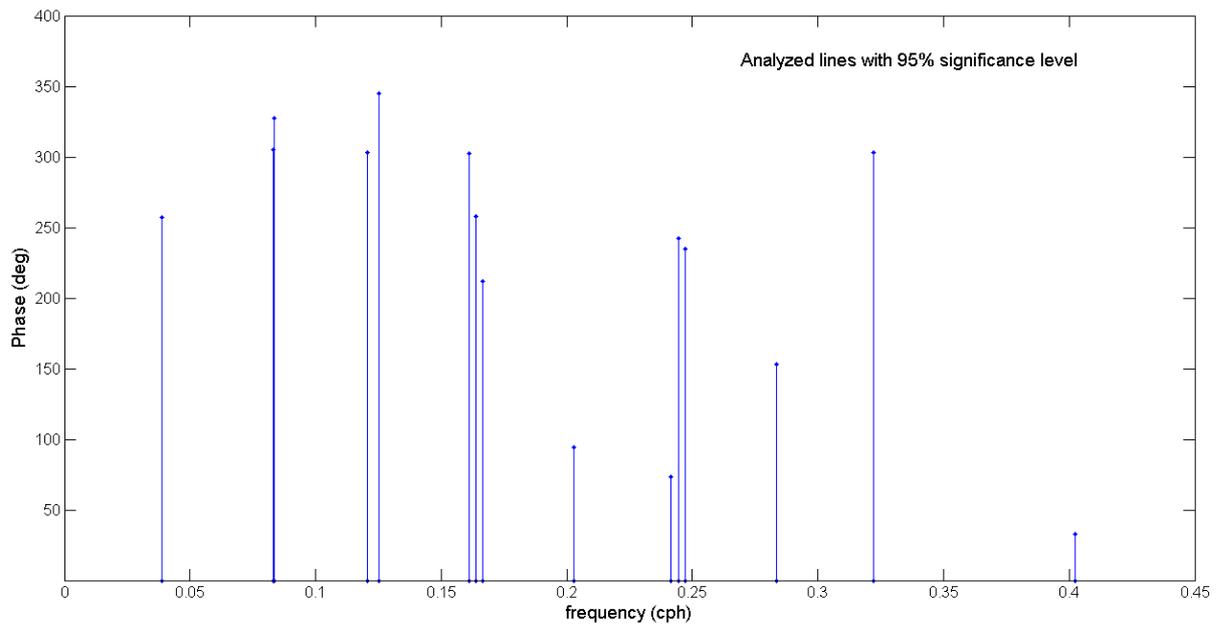


圖 6-23 調和分析之頻率對應相位角成果_新設潮位站壓力式

音波式數據經調和分析解析 20 個分潮如表 6-10 所示，調和分析之主要分潮結果以橫軸為頻率(cycles per hour, cph)，縱軸為振幅(m)及相位角(deg)繪製於圖 6-24 及圖 6-25。

表 6-10 新設潮位站調和分析分潮表_音波式

tide	Freq (cph)	amp (m)	amp_err (m)	pha (deg)	pha_err (deg)	snr
2MK5	0.202799	0.0034	0.001	313.19	23.74	6.3
2MS6	0.244352	0.0012	0.001	69	46.46	1.3
2SK5	0.208447	0.0016	0.001	138.59	53.73	1.4
2SM6	0.247176	0.0008	0.001	88.75	74.53	0.56
3MK7	0.283309	0.0017	0.001	163.88	33.5	3
K1	0.041781	0.1258	0.077	41.53	39.22	2.7
K2	0.083562	0.0291	0.116	305.15	296.81	0.062
M10	0.402546	0.0009	0.001	27.02	35.05	1.9
M2	0.080509	0.0262	0.116	191.74	246.66	0.051
M3	0.120764	0.008	0.006	286.7	40.23	1.8
M4	0.161019	0.0046	0.002	220.84	23.39	5.3
M6	0.241528	0.0017	0.001	51.42	31.94	2.6
M8	0.322037	0.0024	0.001	127.43	13.56	14
MS4	0.163843	0.0043	0.002	277.14	26.15	4.5
MSF	0.002824	0.0282	0.028	65.62	57.01	1
O1	0.038729	0.0208	0.077	221.58	255.7	0.073
P1	0.041553	0.0416	0.077	48.6	105.09	0.29
S2	0.083333	0.1069	0.116	282.75	62.55	0.84
S4	0.166667	0.0023	0.002	17.33	50.61	1.3
SK3	0.125114	0.0059	0.006	247.11	64.17	1

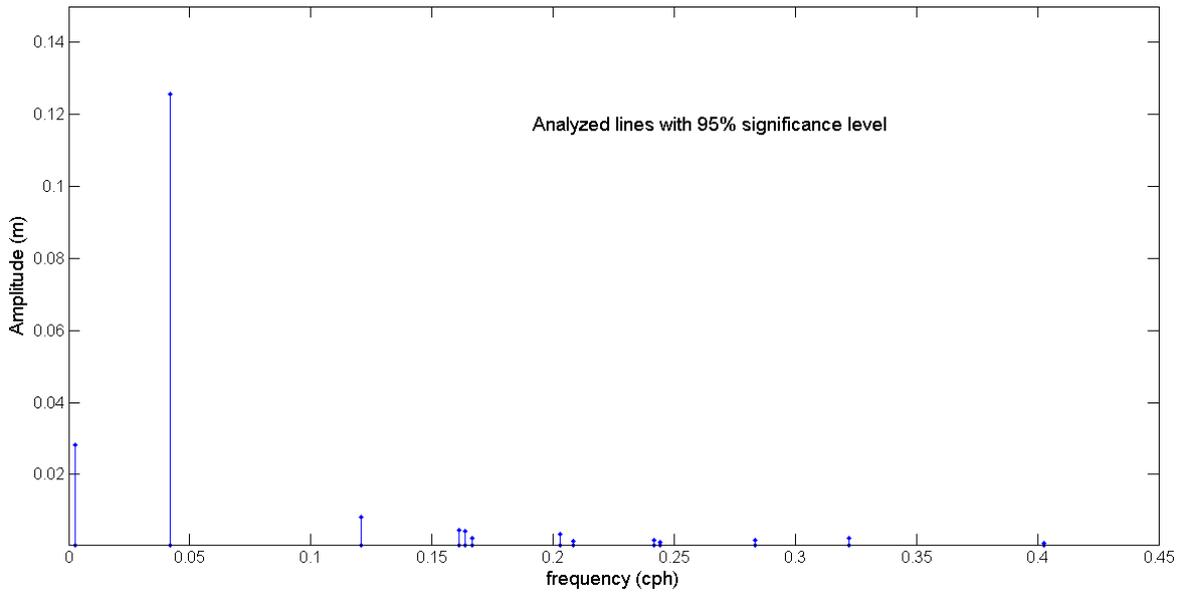


圖 6-24 調和分析之頻率對應振幅成果_新設潮位站音波式

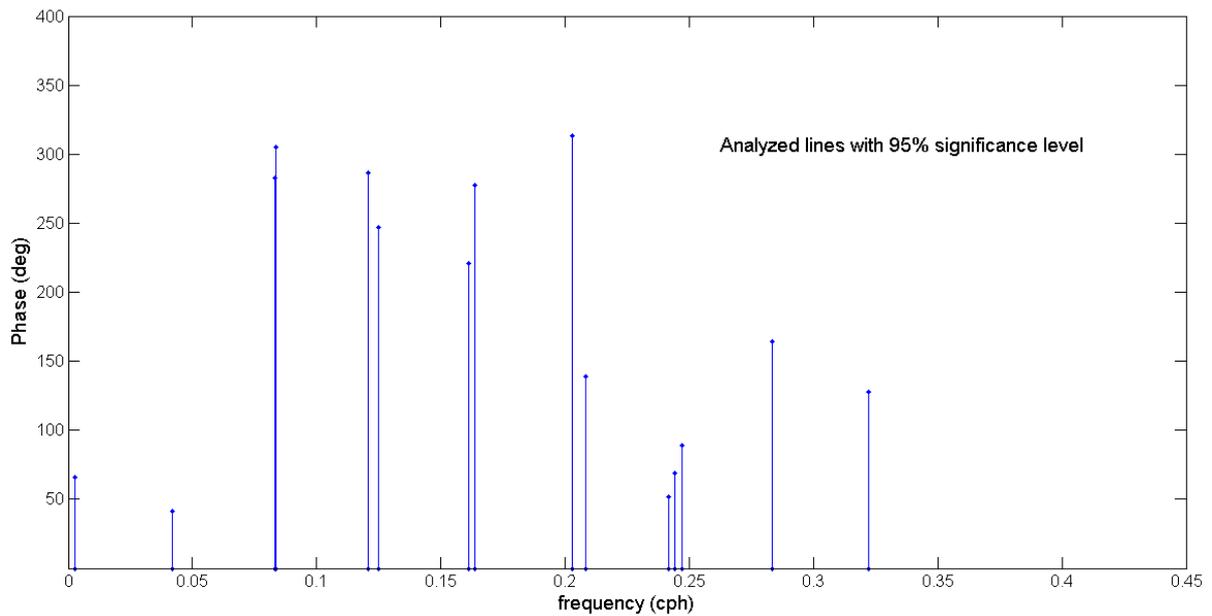


圖 6-25 調和分析之頻率對應相位角成果_新設潮位站音波式

由新設潮位站壓力式潮位計觀測數據以算數平均求平均海水面為 0.1590m，以 t_tide 進行調和分析所得 20 個分潮重組後，得平均海水面為 0.1580m；音波式潮位計觀測量求算數平均之平均海水面高程 0.1455m，調和分析後平均海水面為 0.1417m。

分別比較新設潮位站兩潮位計觀測量平均值與調和分析後重組平均值之差值，壓力式潮位計僅 1mm 屬於合理結果，音波式潮位計

達 3.8mm 則偏大。此現象推測乃因壓力式潮位計有經過氣壓校正，而音波式潮位計測得水面則包含天氣帶來的影響。由於目前觀測時間並不長，故調和分析可能尚無法有效掌握及濾除天氣的影響。此外，由於兩潮位計設置於同一鋼管內，所得平均海水面理應相近，而目前化算後兩者間約有 1.5cm 之差距，目前已請廠商協助釐清是否能消滅此偏差。

第柒章 論文期刊

本計畫本年度目前刊出之 SCI 期刊論文一篇，國內期刊一篇：

Shih, Peter T.Y., Ya-Hsing Chen, Jie-Chung Chen, 2014. Historic Shipwreck Study in Dongsha Atoll with Bathymetric LiDAR, Archaeological Prospection, 23:139-146, (wileyonlinelibrary.com) DOI: 10.1002/arp.1466. (IF₂₀₁₂:1.489)

林暉尊、史天元、陳杰宗，2014。由測深光達反射率進行底質分類之研究 (Substrate Classification with the Reflectivity of Bathymetric Lidar)，航測及遙測學刊，18(3):145-152。

論文全文置於附錄七，以下為該兩論文之摘要：

Historic Shipwreck Study in Dongsha Atoll with Bathymetric LiDAR

Dongsha Atoll is a coral reef located in the South China Sea. The surrounding area is characterized by dangerous shoals. Historic shipwrecks mark past human activities. Due to the shallow water and risky navigational conditions in the area, a sonar survey with platforms on the water surface was not feasible. Airborne bathymetric LiDAR, which utilizes green laser for measurement, however, is a proven convenient method for studying shipwrecks around the atoll, particularly in shallow-water areas. At a point density of about 3.5m by 3.5 m, four shipwrecks were identified. The bathymetric measurements allow not only the length of the shipwreck to be estimated, but also its height above the sea floor. The full waveform record of the laser reflection also provided information to separate the wreckage from its surroundings. This provides an excellent working environment for marine archaeological analysis, as not only the location, but also the depth and geomorphological information can be assessed in an integrated setting.

由測深光達反射率進行底質分類之研究

測深光達(Bathymetric Lidar)以雷射掃描方式施測，由回波訊號之分析可了解雷射脈衝所歷經介質及界面等狀態，除可獲取水深、水底地形資料外，亦能提供與底質種類相關資訊。本研究採用以物件為基礎(object-based)之分類方式針對AHAB Hawk Eye II系統之測深光達反射率進行底質分類。為增加分類時類別判釋依據，除反射率外，另計算反射率平均(mean)、方差(variance)、均質度(homogeneity)、相關性(correlation)、對比度(contrast)、差

異度(dissimilarity)、熵(entropy)以及角二次矩(angular second moment)等紋理影像，將反射率及紋理影像共計9波段進行影像分割，分割後各區塊即為以物件為基礎之分類單位。由區塊中選取四個不同類別之訓練區，並以最近法(nearest neighbor)將各物件分類。以分離度(separability)檢視分類成果，各類別之間Jeffries-Matusita距離最低值為1.710，大於一般認定達到明確分類之門檻值。

本年度已投稿 Survey Review 期刊論文一篇，摘要如下：

Site Selection of Reference Tidal Station for National Height Datum in Taiwan

National vertical datums are mostly referenced to a tidal level of one or a group of tidal stations. The Keelung tidal station has been serving as the reference tidal station of the Taiwan National Height Datum for more than a century; all orthometric height in Taiwan is zeroed to the mean sea level of an astronomical period of this station. A monument of the Taiwan height origin was established nearby, but due to construction, the height origin has been relocated to the newly built National Museum of Marine Science and Technology in Badouzi. To keep a tidal station close to the new height origin, and also to address the subsidence problem of the current Keelung station, a search for a new site for the reference tidal station is underway. As part of the preliminary assessment, a tidal station has been established at the nearby Cheng-Bin Fishery Port. We performed tidal comparisons of observations collected from the Keelung, Cheng-Bin, and nearby Longdong (to the east) and Taipei Harbour (to the west) stations. In addition to the harmonic analysis, tidal levels of different definitions were computed to determine the potential influence resulting from the change of reference tidal station to the national height datum. From concurrent observations over 3 months, September 5 to December 17, 2013, the amplitude and phase of significant tidal components were found to be similar between Keelung and Cheng-Bin stations, while the Longdong and Taipei Harbour stations presented larger deviation. The differences of mean sea level were significant. Although the deviation between the national vertical datum zero and the tidal level was noted in previous studies, the Cheng-Bin station showed relatively much smaller changes.

第捌章 研提中程個案計畫方案

依本案歷年工作執行成效及國內外相關研究發展方向，規劃並草擬與本案工作相關之 105 至 108 年間中程個案計畫方案，該方案已於 103 年 4 月 30 日繳交初稿，6 月 30 日內政部召開測繪科技相關後續中程個案計畫方案研討事宜會議，後續將依照會議紀錄修正計畫工作方案，並已於 7 月 31 日繳交修正稿。

第玖章 結論與建議

9-1 結論

本計畫執行期間，各項工作均順利進展並獲得初步之成果，符合進度要求，無延誤之情事發生，經由各方聯繫與資料蒐集及彙整，並配合本計畫實際執行之作業經驗，歸納結論如下。

- 一、分析國內 4 衛星追蹤站長時觀測數據，整體而言臺灣本島內衛星追蹤站 E 方向速度場向東偏移且自北而南趨勢遞減，至最南端 KDNM 為向西偏移；N 方向速度場均為向南偏移且由北至南量值遞減。
- 二、東沙潮位站數據分析中，連續式潮位計觀測數求得據算數平均海水面為-0.0126m，調和分析得平均海水面為-0.0164m。
- 三、東沙地區塊礁分布圖已針對去年方法檢討及提出改進辦法，並產製 10 幅 1/5000 圖幅塊礁分布圖。
- 四、基隆臨時潮位站分別於 103 年 1 月 28 日、6 月 19 日及 10 月 1 日進行維護保養作業，潮位站觀測數據經分析以算數平均求平均海水面為 0.2056m，調和分析得平均海水面為 0.2057m；新設潮位站已完成選址採購及建置，並設置導覽機於海洋科學博物館展區。壓力式潮位觀測數據經分析以算數平均求平均海水面為 0.1590m，調和分析得平均海水面為 0.1590m；音波式潮位觀測數據經分析以算數平均求平均海水面為 0.0555m，調和分析得平均海水面為 0.0517m。
- 五、基隆新設潮位站壓力式及音波式潮位計觀測量平均值與調和分析後重組平均值之差值，壓力式潮位計僅 1mm 屬於合理結果，音波式潮位計達 3.8mm 則偏大。此現象推測乃因壓力式潮位計有經過氣壓校正，而音波式潮位計測得水面則包含天氣帶來的影響。由於目前觀測時間並不長，故調和分析可能尚無法有效掌握及濾除天氣的影響。此外，由於兩潮位計設置於同一鋼管內，所得平均海水面理應相近，而目前

化算後兩者間約有 1.5cm 之差距，目前已向廠商協助釐清是否能消減此偏差。

9-2 建議

根據本年度已完成項目，提出未來建議事項如下：

- 一、本年度完成國內 4 衛星追蹤站長時觀測數據，建議未來納入太麻里、鳳林、金門及馬祖站以擴大分析範圍，並針對 IGS 站數據之公告速度場與 GIPSY 解算後推算速度場比較。
- 二、北港追蹤站控制測量與水準測量高差問題尚未釐清，建議未來進行檢測。
- 三、東沙潮位站系統建議持續定期更新維護，以供後續持續蒐集分析潮位數據。
- 四、基隆地區新設潮位站已完成建置工作，建議持續更新維護，以獲得長期數據供後續設置規劃及潮位分析使用。

參考文獻

1. 內政部國土測繪中心，99。99年水深測量技術發展先期研究工作總報告書，捷連科技有限公司。
2. 內政部，100。以透水光達測繪技術測製東沙地區數值地形模型工作，國立交通大學。
3. 內政部，101。101年度水深資料及高程基準分析工作案，國立交通大學。
4. 內政部，102。102年度水深資料及高程基準分析工作案，國立交通大學。
5. 史天元、薛憲文、陳雅信、陳杰宗、陳佳勳，99。自記式潮位站設置：東沙經驗，地籍測量，29(2):34-45。
6. Baatz, M., U. Benz, S. Dehghani, M. Heynen, A. Holtje, P. Hofmann, I. Lingenfelder, M. Mimler, M. Sohlbach, M. Weber, and G. Willhaucj, 2004. eCognition Professional User Guide 4, Definiens Imagine GmbH, Munchen, Germany.
7. Foreman, M. G. G., 1977. Manual for Tidal Heights Analysis and Prediction, Pacific Marine Science Report 77-10, Institute of Ocean Science, Patricia Bay, Sidney, BC, Canada, 97.
8. Foreman, M.G.G., 1978. Manual for tidal currents analysis and prediction. Pacific Marine Science Report 78-6, Institute of Ocean Sciences, Patricia Bay, Sidney, BC, 57.
9. Godin, G., 1972. The Analysis of Tides, University of Toronto Press, Toronto, 264.
10. JPL, 2012. GIPSY-OASIS, California Institute of Technology.
<https://gipsy-oasis.jpl.nasa.gov/index.php?page=software>, last time access, 2013-02-19.
11. NovAtel, 2011, GrafNav / GrafNet User Guide.
http://www.novatel.com/assets/Documents/Waypoint/Downloads/NavNet840_Manual.pdf, last time access, 2013-7-12.
12. Pawlowicz, R., B. Beardsley, and S. Lentz, 2002, Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T_TIDE, Computers and Geosciences 28(8): 929-937.
13. Sea-Bird, 2009. SBE 39 Temperature (Pressure Optional) Recorder User Manual, Version 021, Sea-Bird Electronics, Inc.
14. USACE, 2001, Engineering and Design: Hydrographic Surveying, Army Corps of Engineers, Department of the Army, USA, Manual No. EM 1110-2-1003.

附錄一 審查意見及回覆

期末報告書審查意見及回覆

審查意見	意見回覆
劉委員啟清	
1.本計畫工作相當繁重,尤其東沙的潮位站維護相當辛苦,至今能得到相當寶貴的資料,值得讚賞。	1.謝謝委員肯定。
2.有關追蹤站穩定性分析,除了北港B副點(PKGB)顯然有移動外,其餘在水平方向差異還算合理,但在高程略大,看圖 3-8 顯然四周草木雜生,會影響到高程的精度。但為何水準高差差異達 2 公分(KDNB→KDNC)好像大太多了,建議下年度有機會再測一次。	2. GPS 控制測量與水準測量高差問題尚未釐清,將於下年度計畫案中探討澄清。
3.國際三個連續追蹤站只用國際公布的長期速度場,並未實際計算,建議下年度可以收集實際資料,計算後可以比較 GIPSY 軟體計算的結果與國際坐標的吻合度。	3.下年度會針對 IGS 站數據之公告速度場與 GIPSY 解算後推算速度場比較。
4.有關文中幾處文字與圖說談到”平面坐標”建議改為”水平坐標”,因為這是 3D 坐標內的水平分量。	4.遵照辦理。
5.P3-12 提到早年並無精密星曆,這可能不正確,應該 GIPSY 軟體尚未提供計算早期的資料。	5.已將此敘述更正。GIPSY 軟體解算程序所使用資料庫並未提供計算早期的資料。
楊委員名	
1.本計畫工作項目眾多,不但進度順利推展,且均獲得良好之成果。	1.謝謝委員肯定。
2.以精密單點定位技術分析國外追蹤站資料之創意良好,104 年度可納入更多衛星追蹤站進行分析。	2.104 年度之分析預計會納入鳳林、太麻里、金門及馬祖衛星追蹤站。
3.GPS campaign-mode 外業觀測在高程方向的精度仍不足,因此在與水準資料比較時,似乎仍以水準高差較為可靠。	3. 高程方向精度不足可能為觀測時間不足所致。GPS 控制測量與水準測量高差問題尚未釐清,會於下年度計畫案中探討澄清。
4.「潮位觀測數據算數平均」和「調和分析 62 分潮重組」之差異何在?	4. 「潮位觀測數據算數平均」為觀測量直接求得算數平均,「調和分析 62

可稍作補充說明。	分潮重組」則經過調和分析將雜訊及非顯著分潮濾除後之平均值。該說明已補充於 P4-8。
5.潮位資料之分析工作宜持續進行，建議納入後續年度進行。	5. 下年度將會持續進行潮位資料分析工作。
陳委員國華	
1.本案執行成果完善，予以肯定	1.謝謝委員肯定。
2.P3-1，3-3 內容建議編修排版(第 2 段;第 1 段)	2.已修改 P3-1 及 P3-3。
3.建議投影片 P21 放入報告內比較分析。	3.已將該部分內容補充於 P3-19。
4.P3-4 表 3-2 對於 PKGB 的分析，其 89~101 的位移量與 PKGM 之位移是否一致?可一併補充討論於表 3-2 及對應段落內容。	4.表 3-2~表 3-4 與 PKGB 直接與 89 年公告坐標比對外，另將 89 年公告坐標加上 3-3 小節中 PKGM 站速度場推估 PKGB 點位於 101 年之坐標比較。
5.P3-5 第 1 段表 3-10 應誤植，應為表 3-5。	5.已修改 P3-5。
6.表 3-5 及表 3-10 之高程差比較，建議納入不同高程系統差異之敘述、討論，以及 GPS 可能測高誤差。	6.公告坐標與 GPS 控制測量所列为橢球高差，水準測量為正高差，而由於點位間距離最遠為 520.9438m，故大地起伏對於兩高程基準差值之影響予以忽略。相關敘述已補述於 p3-5。GPS 控制測量與水準測量高差問題尚未釐清，會於下年度計畫案中探討澄清。
7.表 3-7 之較差(KDNB)並不明顯，然內文提及明顯，建議補充說明。	7.該段屬不恰當敘述，已將相關文字刪除如 P3-7~3-8。
8.P3-8 最後一段 732.58ppm 與表 3-8 不一致，建議修正?	8. 732.58ppm 為誤植，已將內文更正為 435.58ppm，與表 3-8 一致。
9.IGS 站應用 86~101 年 ITRF2008 框架，如何應用?建議補充說明 (P3-10)。	9. IGS 衛星追蹤站於 86~101 年之 ITRF2008 公告坐標以 86 年坐標值作為較差值基準繪製其點位坐標時序，即可求得 IGS 站點位速度場。
10.P3-15，迴歸估計速度量，對於同震位移量如何考量在 $y(t)=a+bt$ 函式內?或如何考慮?	10.根據地震發生日期前後分別迴歸取得兩速度場。相關說明已列於 P3-17。

劉委員正倫	
1.P2-5 表 2-3 工作項目預定進度，因本次為期末報告，建議應將實際工作進度一併列出，以茲比較。另 P6-19 表 6-7 工作期程與目前進度不一致，請修正。	1.已修正表 2-3 及表 6-7。
2.P3-5 與 P3-9 逐差水準測量成果與 GPS 測量結果有 1.2cm~2.4cm，有無可分析之原因？	2. GPS 控制測量與水準測量高差問題尚未釐清，會於下年度計畫案中探討澄清。
3.P4-6 敘述，本報告僅節錄其中「連續式潮位計」數據分析成果，惟”摘要”及”結論”均有列出「自記式潮位計」成果是否妥適？	3.自記式潮位計數據分析最終並未列入本年度成果，已將摘要與成果內文修改。
4.本報告中有「基隆臨時潮位站」、「正濱漁港潮位站」、「正濱臨時之潮位站」、「長潭里漁港潮位站」、「長潭里潮位站」及「新設潮位站」...等名詞，建議名詞統一。	4.已統一使用基隆臨時潮位站及新設潮位站。
5.文字修正建議如下： (1)P3-4 第八行邊長邊長修正為邊長。 (2)P6-3~P6-4 第一次維護保養作業修改為第 1 次維護保養作業，第二次及第三次亦修正為第 2 次及第 3 次。 (3)P6-13 第 6 行資料蒐集紀錄器修正為資料蒐集記錄器。	5. (1)已修正。 (2)已修正。 (3)已修正。
王委員成機	
1.墾丁站水平移動方向與其他追蹤站水平移動方向不同，是否有其他佐證資料？	1.此成果與中央研究院地科所郭隆晨博士提供於個人網站上成果一致。
2.壓力式潮位計及音波式潮位計觀測數據化算後兩者有 10 公分之差距，建議再釐清?(P6-25)	2. 10cm 之差距來自於先前未給予正確之潮位計常數修正量，目前經修正後兩者間差距減少為 1.5cm，目前已

	請廠商協助釐清是否可進一步再減少此偏差量。
3.請於第玖章結論章節增加建議事項。	3.建議事項已補充於 P9-2。
4.自記式潮位計支架部分斷裂後續處理情形為何?(P4-6)	4.發現斷裂後已更新潮位計支架並重新安置潮位計。
地政司	
1.依 P2-6 第 17 行所述「蒐集國內外現有塊礁製圖方法及規範」該項目應為誤植，請予以刪除。(P2-6)	1.已刪除。
2.依 P3-1 第 2 行所述以精密單點定位成果探討衛星追蹤站穩定度，又報告後附解算參數為追蹤站與副點間網形平差之參數，可否分別加強說明精密單點定位及網形平差之解算流程及參數。(P3-1)	2.網形平差與精密單點定位參數表單分別列於附錄四與附錄五；軟體解算說明已分別新增於 P3-1 與 P3-12。
3.依 P3-1 第 10 行所述「...北港衛星追蹤站 GPS 控制測量，目前已完成北港追蹤站施測，墾丁衛星追蹤站外業...」請修改調整文字內容。(P3-1)	3.已修正。
4.依 P3-5 第 2 行所述「...以 PKGA 至 PKGC 之高程差檢核如表 3-10 所示，GPS 控制測量...」，其中「3-10」應為誤植，請修改為「3-5」。(P3-5)	4.已修正。
5.表 3-5 中高程差成果比較，GPS 控制測量成果之高程為橢球高 h 或已加入大地起伏 N 進行化算為正高比較，請於報告內加註說明以免誤解。(P3-5)	5.公告坐標與 GPS 控制測量所列为橢球高差，水準測量為正高差，而由於點位間距離最遠為 520.9438m，故大地起伏對於兩高程基準差值之影響予以忽略。相關敘述已補述於 p3-5。
6.GPS 外業觀測時使用 NetR9 及 Trimble 5700 兩種不同儀器，NetR9 目前至少可接收 GNSS 系統中 GPS、GLONASS 兩種訊號以上，在解算時資料有無加入解算，還是僅用 GPS 觀測量，另就使用不同儀器解算成果是否影響定位精度，請補充說明。(P3-7)	6.接收儀為 NetR9 之點位解算時使用 GPS 與 GLONASS 之觀測量，解算成果並未顯現出使用不同儀器影響定位精度。

<p>7.依 P3-18 第 1 行所述比對 IGS 追蹤站速度場與衛星追蹤站之點位坐標變化率，TNSM、YMSM 各點變化率均大略與 IGS 站一致，可否加強說明點位間之相對關係或板塊運動之關係，何以 TNSM 點位坐標速度變動與本島 IGS 測站變化率一致？(P3-18)</p>	<p>7.台灣介於菲律賓海板塊與歐亞板塊交界，其中台灣 IGS 站與 TNSM、YMSM 均屬位於歐亞板塊上，故就大致移動趨勢上為一致，測站變化率則稍有不同。</p>
<p>8.4-3 分析東沙地區潮位數據章節中，可否加入調和分析最小二乘法之公式，另附錄三中圖 7、8 無法看出對應之分潮，可否補充說明主要潮位各符號之意義及於圖內加註重要分潮對應之值。(P4-7)</p>	<p>8.調和分析中最小二乘法之公式補充說明於 P4-8 之式 4-1。 附錄三提及各分潮主要為日、月引力所致接近全日及半日週期之分潮，並無對分潮符號各別定義。文中所提及 6 個分潮以紅色標示呈現於圖 7、8。</p>
<p>9.本期末報告有關論文期刊部分，只有 2 篇論文之摘要部分，建議請將 2 篇論文全文置入。</p>	<p>9.已新增附錄七置入論文全文。</p>
<p>10.請於本期末報告增加建議之相關章節，補充對下年度之後續規劃工作說明。</p>	<p>10.建議及後續工作項目已補充於 P9-2。</p>

期中報告書審查意見及回覆

審查意見	意見回覆
劉委員啟清	
1.有關東沙自記式與連續式潮位計取得平均海水面數據的差異，最簡單的檢核方式是在檢測時，同時讀取當時的記錄值，即可校正。	感謝委員提供建議。由於東沙外業的限制，本年度尚未能有即時比對機會，但是將盡速釐清兩者不吻合之問題。
2. 另在調和分析時，2 個分析方法所得的主要分潮數不相同，這也會產生相當大的差異，如連續式潮位計最低頻率為 SSA(182.748538 天)，Amp 達 8.57 公分，而自記式潮位計由於時間短，最低頻率為 MM(27.394 天)，其 Amp 為 5.14 公分。然而看連續式同一分潮之 Amp 為 2.04 公分，可見低頻之採用與不採用，會有數公分或數十公分的差異，以上也是可能造成平均海水面的差異。另外，1 個主要的頻率(年週期)尚未進來，所得的平均海水面亦可能不同。	資料時間長短確實與分潮數目有關，故兩組潮位資料長度不同確實可能造成平均海水面差異。關於平均海水面差異過大的另一項疑慮為潮位站常數是否由於維護時儀器拆裝造成儀器常數變動所致，會於下次登島進行潮位站維護時重新確認。
3.潮位站採購工作是否有包括安裝？在潮位站設置時，站中穩定井旁需要有可以量測感應器設置高度的參考點(依儀器架設方法而不同)，而測站外需要有 1 個潮位站水準點，是否應該同時納入採購工作？	採購包含安裝，東沙潮位站安裝時已裝設高程引測用固定支架及引測用參考點，並埋設有潮位站水準點，編號 TG77。參考點至潮位站水準點之引測由交通大學以直接水準測量方式執行，潮位計零點至參考點之垂距，已列入維修時之必要項目，並將嚴格執行。
4.附表中各調和分析分量之表格，應該要有單位呈現。	調和分析分潮表各欄均已補上單位。
楊委員名	
1.圖 3-7、3-9、3-11、3-13 其 Y 軸之範圍可以考慮儘量一致性。	各圖縱、橫軸值域已調整一致。
2. PKGB 坐標變化之可能原因為何？	PKGB 點位坐標變化是以 89 年公告坐標作為較差參考，故坐標變化相對較大。

劉委員正倫	
1.表 3-2 中 PKGB 係以 89 年公告坐標值比較，故差異較大，可否考量將 PKGA 及 PKGC 亦以 89 年坐標值比較，觀察 PKGA、PKGB 及 PKGC 3 點之間相對是否有位移？(P3-4)	PKGA 與 PKGC 並無 89 年公告坐標，而 PKGB 並無 101 年分公告坐標，因此無法直接將各點於同一年分之公告坐標下比較。
2.東沙站之「自記式潮位儀」與「連續式潮位儀」兩者所得之平均海水面絕對值差異達 0.266m，可否分析可能之原因？	該差值疑為潮位站常數未確實量測所致，待下次登島進行潮位站維護時重新確認。
3. 6-2-5 採購及建置預估時程章節中，建議分成規劃時程及實際時程，並分別補充說明。(P6-9)	已於 6-2-5 章節加入工作期程，並於文字中加入說明。
4.以下為本次期中報告書中相關文字建議修正內容： (1)台灣、台北建議修改成臺灣、臺北。 (2)文中敘及本部修改為內政部。 (3)年份建議使用民國。 (4)文中提及之參考文獻未納入參考文獻章節。 (5)補充說明基隆臨時潮位站儀器型式及型號。	(1)遵照辦理 (2)遵照辦理 (3)遵照辦理 (4)遵照辦理 (5)基隆臨時潮位站儀器採用壓力式連續觀測型式潮位計，型號為 Druck PTX 1830，紀錄器為 Vaisala QML 201A。
陳委員國華	
1.本案期中成果執行內容豐富，分析完整，予以肯定。	謝謝委員肯定。
2. 衛星追蹤站穩定度分析部分，建議補充說明相關資訊如下： (1)GIPSY 及 GrafNet 計算使用的參數。 (2)表 3-2 至表 3-4 成果，建議補充對應的誤差分析。 (3)表 3-5 與 3-3 章節的分析時間不一致，請補充說明，另後續分析宜加入板塊事件之影響。 (4)表 3-8 變化速率的估計方法宜補充說明。	(1) GrafNet 與 GIPSY 解算參數已分別新增於附錄四、五。 (2)已補充說明。 (3)表 3-5 所列已蒐集追蹤站觀測數據，為自追蹤站建置完成開始，而 3-3 章節中追蹤站穩定度分析部分為使用精密單點定位方式進行，解算時需要精密星曆，而早年並無精密星曆資料可供使用，故並未將前段數據列入分析。 (4)變化速率是以線性式 $y(t)=a+bt$ 回

<p>(5)圖 3-4 至 3-14 及表 3-6 穩定度宜加入誤差分析。</p>	<p>歸，其中 t 為時間，$y(t)$ 為時間 t 對應坐標值，a 為截距，b 即為所求速度場。此說明已新增於 P3-10。 (5) 圖 3-4 至 3-14 及表 3-6 位移相關速度場誤差補列於表 3-8。</p>
<p>3.圖 4-4 的 6 分鐘潮位資料是否有篩選機制?</p>	<p>自記式潮位計需定期取出維護，未安置於潮位站期間資料先以人工剔除；記載潮位頻率 60 秒一筆資料並未篩選，取每六分鐘潮位平均值。</p>
<p>4.第 4-3 節，內政部國土測繪中心(2010b)文獻宜補正。</p>	<p>此部分為內文引用標示錯誤，已更正。</p>
<p>5.第陸章” 臨時” 潮位站一詞，建議釐清。</p>	<p>由於正濱站目前為計畫中對高程原點潮位站選擇評估使用，並未有長期設置之規劃，故以臨時稱之。東沙潮位站雖然規格與正濱站相同，但是設置標的為長期營運。有關名稱之使用，將遵照內政部決議。</p>
<p>王委員成機</p>	
<p>1.表 3-6 臺灣 IGS 追蹤站於 1997~2012 年間點變化表中，TWTF 桃園站其高程是上昇且變化較另外 2 站(TNML、TCMS)大 1 個尺度，可能原因為何?</p>	<p>TNML、TCMS 兩站位於新竹，TWTF 位於桃園，本案將嘗試了解原因。</p>
<p>2.北港衛星追蹤站高程由民國 92 至 101 年間下陷約達 20 公分，應與該地區地層下陷速率有關，建議與水利署佈設之地層下陷水準網做比對。</p>	<p>水利署地層下陷水準網監測成果顯示，雲林縣為地層下陷嚴重區域，北港地區平均下陷速率 3cm/yr 以上。</p>
<p>3.墾丁衛星追蹤站點位變化速率在 E 方向之速度場，其大小與方向皆與其他點位不同，是否可與中研院地球科學研究所之數據做比較。(P3-12)</p>	<p>中研院地球科學研究所郭隆晨博士網頁提供成果中，民國 89~94 年間於 E 方向速度場為-2.24cm，方向與本案成果相同，量值亦接近。</p>
<p>4.新設潮位站周邊科普導覽設施已於 7 月 9 日進行公開取得企劃書招標，工程進度請掌握。</p>	<p>遵照辦理。</p>
<p>地政司</p>	
<p>1. 2-1-7 成果效益評估章節內容中</p>	<p>遵照辦理。</p>

提及「國科會」請修改為「科技部」。(P2-2)	
2.2-3 工作進度章節第 2 行所述「……概估整個工作期間約為 10 個月，茲將……」，其中「10 個月」請修改為「9 個月」。(P2-4)	遵照辦理。
3.有關北港衛星追蹤站副點 PKGB 於本次報告中提及外業施測以舊點為主，是否考慮再與國土測繪中心確認新點位置，重新辦理控制點坐標檢核作業。(P3-4)	本案於北港衛星追蹤站外業採用 PKGB 舊點乃因新設點位鋼標已遺失。關於 PKGB 新舊點位訊息已向國土測繪中心控制測量科黃華尉專員確認。
4.請於第肆章 4-1「辦理潮位站系統維護及保養工作」章節內增加相關設備例如資料紀錄器、水位計及水溫計等設備安裝及辦理現場保養情形照片。(P4-2、4-3)	遵照辦理，已補充於 4-1。
5. 第 10 行 102 年度「水深……分析工作案」計劃已將東沙……，其中「計劃」請修改為「計畫」。(P4-4)	遵照辦理。
6.有關自記式記與連續式潮位計解算之平均海水面分別為 0.2653m 與-0.01662m，為何有如此差異，與地點或是其他因素造成，請予以補充說明。(P4-7)	該差值疑為潮位站常數未確實量測所致，待下次登島進行潮位站維護時重新確認。
7.分析東沙地區潮位數據章節中提及依據美國作業規範中有關主要、次級及第三級潮位站定義，依此，東沙潮位站是否可提升為次級控制潮位站？	依據次級潮位站定義，為一觀測時間可以少於 19 年，但必須大於 1 年以上週期之潮位站，東沙潮位站由民國九十八年起有潮位觀測記錄，已符合此一要求。
8.有關第伍章建置東沙地區塊礁分布圖章節內容中提及「分布圖」請修正為「分布圖」；另 P5-4 第 9 行「圖 5-3」、P5-5 第 6 行圖幅編號「87142016 87142026 87142045」皆筆誤發生重複情形。	已統一採用「分布圖」。圖幅編號誤植已更正。

<p>9.有關東沙地區塊礁分布圖之製程是否與漲、退潮有關連性，請予以補充說明。</p>	<p>塊礁分佈圖之製作是由透水光達施測所產製東沙環礁地形，而與海潮漲退無關。</p>
<p>10.請於 6-2-4「科教導覽設施」章節中補充說明預計辦理工作項目，建議可以表格欄位方式呈現。(P6-9)</p>	<p>已於 6-2-4 補充預計履約之工作項目。</p>

工作計畫書審查意見及回覆

審查意見	意見回覆
1.依 P1-1 第 3 行所述『本計畫為「102 年度水深資料及高程基準分析工作案」之後續擴充工作。衛星...』，其中「102」請修改為「101」。(P1-1)	1.已於 P1-1 第三行修改。
2.1-3「位置及範圍」章節內容敘述有點混亂，未明確表達，請更新說明，並增加正濱漁港與長潭里漁港之地理位置圖。(P1-1)	2.已修正內文並增加表格。
3.請將 P3-1 第 3 行所述「...目針對東沙衛星追蹤站...」「東沙」刪除。(P3-1)	3.已於 P3-1 修改。
4.請於 3-4-2「代辦新設潮位站採購工作」章節中各項工作請建立章節編號。(P3-11~14)	4.已建立章節符號。
5.3-4-2「代辦新設潮位站採購工作」章節中有關「潮位站建置經費概估」及「科普導覽設施經費概估」請整合成 1 項工作項目，並盡量以表格欄位方式呈現。	5.已整合成 1 項工作項目。
6.請於 3-4-2「代辦新設潮位站採購工作」章節中增加新設潮位站建置辦理工作預計時程規劃說明。	6.已增加於 6-2-5 章節。
7.依 P4-1 第 3 行所述「1.東沙衛星追蹤站穩定度分析報告」請將「東沙」刪除。(P4-1)	7.該項目已合併至 2-5 成果繳交項目章節。

附錄二 代辦新設潮位站採購工作報價單

附件一 潮位站不含站房及科教導覽設施報價單一

項目	說明	數量	單位	單價	總價
1	音波式水位計	1	台	345,000	345,000
2	壓力式水位計	1	支	102,000	102,000
3	水溫計	1	支	19,100	19,100
4	六要素氣象觀測儀	1	個	150,000	150,000
5	GPS Receiver	1	支	4,500	4,500
6	GPRS通訊模組	1	台	17,700	17,700
7	撥接數據機(不含線路門號)	1	台	18,000	18,000
8	資料處理儲存單元	1	台	185,960	185,960
9	太陽能板120W	1	片	10,200	10,200
10	充電控制器	1	台	4,200	4,200
11	電池50AH	2	台	5,700	11,400
12	市電充電器	1	式	4,500	4,500
13	不鏽鋼靜水井	1	組	165,000	165,000
14	儀器箱	1	個	37,500	37,500
15	線材、固定件及耗材	1	台	42,050	42,050
16	施工安裝(含水下施工)	1	式	159,500	159,500
17	接收端軟體設定安裝測試	1	式	54,600	54,600
					1,331,210
					營業稅 66,561
	總計新台幣(含稅)				1,397,771

1 保固一年。
2 不含市電申請及裝設等相關費用。

附件二 潮位站不含站房及科教導覽設施報價單二

參照 YOUR REFERENCE	編號 OUR NO.	有效期間 VALIDITY	報價日期 DATE	
	LE103QU011	30 天 DAYS	14-Mar-14	
項目 ITEM	說明 DESCRIPTION	數量 Q'TY	單價 UNIT PRICE	總價 TOTAL
			NT\$	NT\$
A	基隆八斗子海科館新設潮位站 儀器： 1. Sutron 資料收集器 Xuite 9210 含校時用GPS、儀器箱、GSM Modem、遠端電源控制等 2. Aquatrak 音波式水位計含4110控制器 3. 壓力式水位計 4. 水溫計 (PT-100 不含轉換器) 5. GPRS(可送4個IP) 6. 太陽能板 7. 安裝費	1 1 1 1 1 1 1 lot		680,000
B	穩定井、儀器箱、太陽能板安裝支架含安裝費	1 lot		250,000
	總價：新台幣玖拾參萬元正			930,000
	NOTE: 以上報價格含5%營業稅。			

附錄三 103 年度東沙潮位資料蒐集與分析

103 年度東沙潮位資料蒐集與分析

史天元¹ 林暉尊² 薛憲文³

Tian-Yuan Shih Wei-Tsun Lin Shiahn-wern Shyue

摘要

東沙潮位站設置於東沙島上，為一設置於靜水井內之連續式潮位計，並於鄰近處架設自記式潮位計備用。兩潮位計分別於 101、102 年因故而導致作業中斷，並於 102 年底施工完成修復。本報告分別對兩組潮位計數據進行分析比對，連續式潮位計數據自 102 年 12 月 1 日至 103 年 9 月 24 日，共 297 天；自計式資料自 102 年 10 月 8 日至 103 年 9 月 9 日，共計 336 天。

一、前言

東沙島新建碼頭上設有東沙潮位站，其設置包含一套安置於靜水井內之連續式潮位計，以及裝置於鄰近處之自記式潮位計。民國 101 年連續式潮位計由於營舍施工致使其作業中斷，故 102 年度「水深資料及高程基準分析工作案」計畫執行期間將潮位站復建列為工作項目，並於 102 年 12 月 1 日恢復運作。自記式潮位計於 102 年 8 月 25 日因受風浪破壞而損毀，於同年 10 月 8 日重新裝設進行資料接收。103 年 9 月 9 日登島進行潮位站維護時，固定自記式潮位計支架已部分斷裂(圖 1)，故該潮位站數據僅供參考。本報告針對兩潮位站蒐集數據資料進行分析比對，由調和分析(Harmonic Analysis)，解析出潮位中各分潮頻率(frequency)、振幅(amplitude)及相位角(phase angle)，並配合潮位站水準參考點計算平均海面。

圖 1、自記式潮位計支架斷裂

¹ 國立交通大學土木工程學系 教授

² 國立交通大學土木工程學系 博士班候選人

³ 國立中山大學海洋環境及工程學系 副教授



二、觀測數據

本案使用之自記式潮位計型號皆為 SBE 39TP 型無電纜線壓力式潮位計 (Sea-Bird, 2009)，其水深量測範圍為 20 公尺，潮位觀測精度為 ± 2 公分。該型潮位計藉由置於內部之電池提供電力才可運作，因此交通大學團隊每隔一段時間須將潮位計自水中取出並進行儀器維護、電池更換、數據下載，並以電腦與 SBE 39TP 內部石英鐘校時，以確保其可正常運作(史天元等，2010)。潮位計所記錄之壓力值為感測器所承受各種來源之總壓力，並假設在承受率定氣壓時，記錄壓力值為 0。實際觀測時大氣壓力隨時間改變，因此需進行氣壓改正。改正後壓力值依公式將其值轉換為水深值，即此處分析之潮位數據。本年度蒐集潮位觀測數據時間自民國 102 年 10 月 8 至民國 103 年 9 月 9 日，期間約 336 天，記載頻率為 60 秒一筆。分析數據由 2 組潮位計所測得，以輪替方式盡可能取得連續觀測之潮位，各自記式潮位計對應之觀測時間段如表 1 所列。後續進行調和分析時，先將各組潮位計觀測潮位重新取樣為 6 分鐘一筆，取樣方式為每 6 分鐘觀測量取平均值，並將各自記式潮位計觀測數據依時序合併(如圖 2)。

表 1、自記式潮位計各潮位觀測時段

潮位計 編號	年 月	102			103								
		10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SBE1985					██████████								
SBE4915		██████████							██████████				
維護日期		10/8		12/25	1/7				5/6				9/9

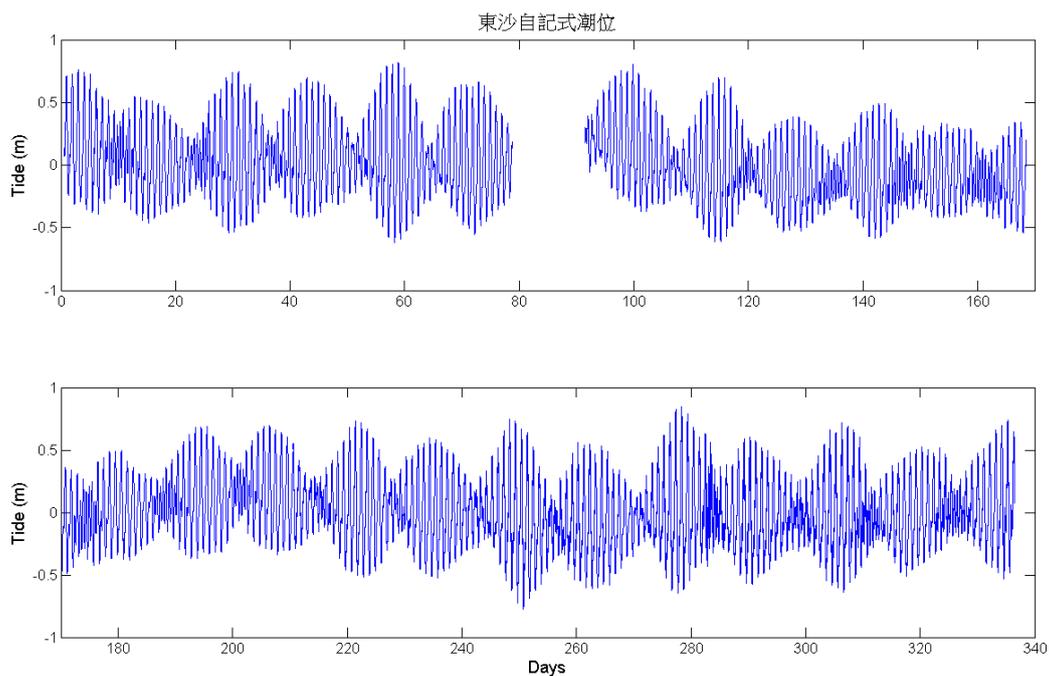


圖 2、自記式潮位計觀測資料組合後潮位時序

連續式潮位計型號為 Druck PTX1830 壓力式潮位計，資料蒐集時間為 102 年 12 月 1 日至 103 年 9 月 24 日，共 297 天潮位觀測數據。本分析數據採用每六分鐘潮位資料，即為每 10 秒取樣一次，每 6 分鐘之 36 筆取樣資料平均值。連續式潮位計觀測數據依時序如圖 3 所示。

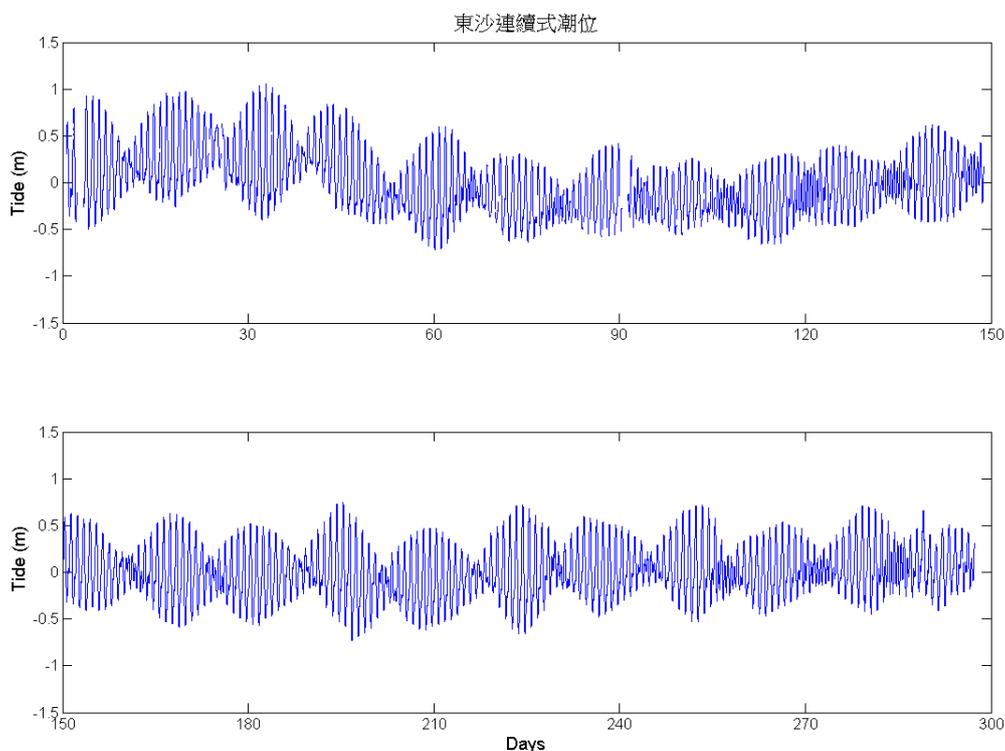


圖 3、連續式潮位計觀測潮位時序

三、潮位分析

調和分析方法常用於處理潮位觀測資料，其原理是以牛頓所提出之平衡潮 (equilibrium tide) 理論為基礎，將潮位的時間序列視為數種不同週期分潮的線性加總，由最小二乘法解析出各分潮及其振幅、相位角，藉以分析當地潮汐特性，並可對未來潮位進行推算。本研究使用調和分析方法解析東沙地區潮位特性，由主要分潮重組後計算平均海水面，同時亦由觀測潮位直接平均獲得平均海水面。

本文使用以 Matlab 程式語言建構之 t_tide 程式進行調和分析，其分析振幅與相位角之演算法乃根據 Godin(1972), Foreman(1977) 及 Foreman(1978) 之 FORTRAN 程式碼為基礎，並增進部分分析功能(Pawlowicz et al., 2002)。自記式與連續式潮位數據調和分析成果於以下小節分述。

3.1 自記式潮位數據分析

經調和分析解析出之 62 個主要分潮如表 2 所示，表中所列包含各分潮頻率、振幅、振幅誤差、相位角、相位角誤差及信噪比(Signal-to-Noise Ratio, SNR)。將調和分析之主要分潮結果以橫軸為頻率(cycles per hour, cph)，縱軸為振幅(m)及相位角(deg)繪製如圖 4、5 所示，其中主要分潮為頻率接近 1/24(0.042)之全日潮 K1(23.08cm)、O1(17.45cm)、P1(8.69cm)，及頻率為 1/12(0.083)之半日潮 M2(15.31cm)、S2(5.47cm)、N2(3.63cm)，由振幅顯示東沙島以全日潮為主。由潮型判別式判斷，以法國制計算式可算得該值為 1.95，屬於全日潮；以美國制計算式可算得 2.65，亦為全日潮。潮位觀測與調和分析之預報潮位時序如圖 6 所示。

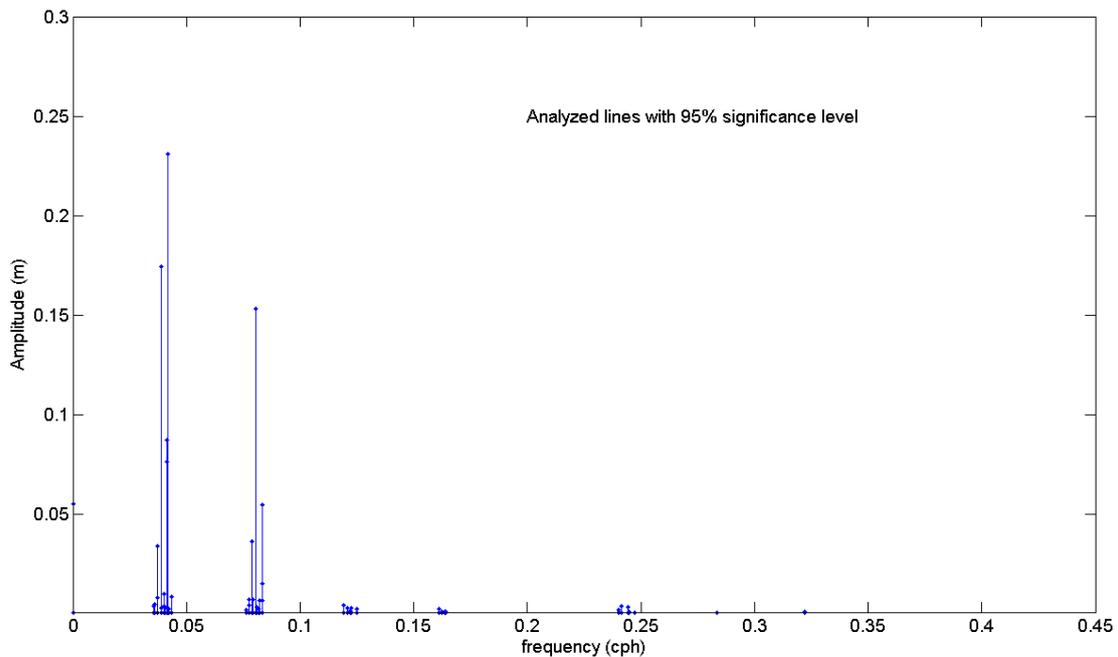


圖 4、調和分析之頻率對應振幅成果_自記式潮位計

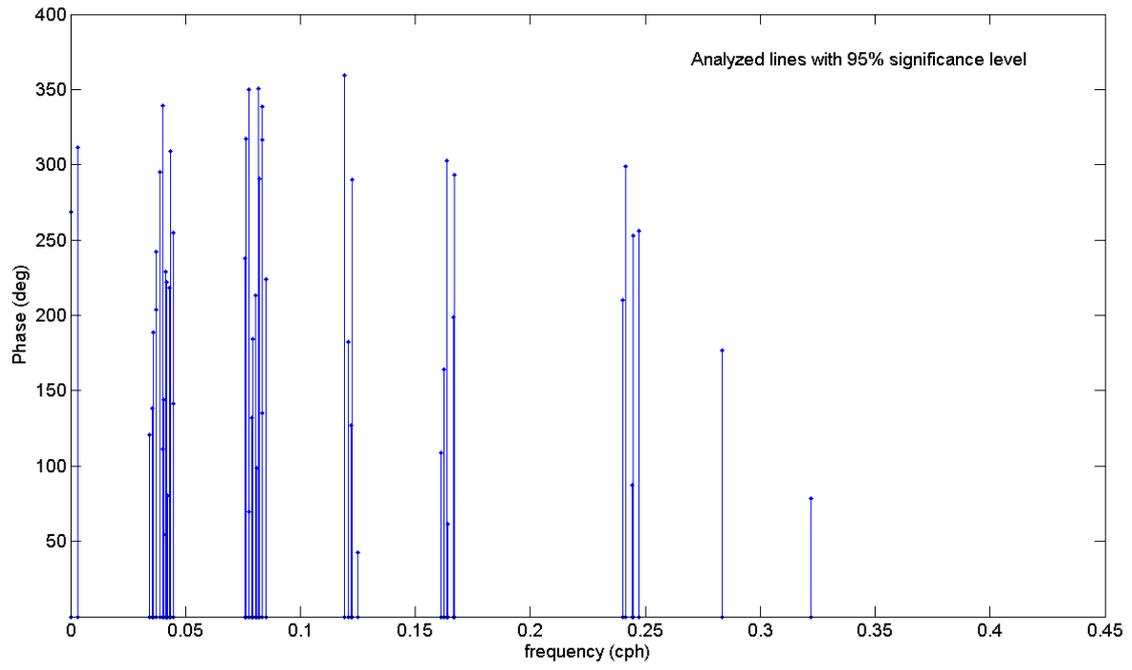


圖 5、調和分析之頻率對應相位角成果_自記式潮位計

表 2、調和分析主要分潮表_自記式潮位計

tide	freq	amp	amp_err	pha	pha_err	snr
2MK5	0.202799	0.0001	0	194.36	263.48	0.044
2MK6	0.24458	0.0006	0	253.12	31.25	2.2
2MN6	0.240006	0.0018	0	210.02	13.34	23
2MS6	0.244352	0.0032	0	87.46	7.17	73
2N2	0.077466	0.0039	0.001	349.71	21.91	7.4
2Q1	0.035686	0.0038	0.002	138.52	27.36	3.2
2SK5	0.208447	0.0001	0	93.64	177.79	0.083
2SM6	0.247176	0.0005	0	256.09	46.62	1.6
3MK7	0.283309	0.0004	0	176.43	35.92	2.6
ALP1	0.034383	0.0019	0.002	120.65	54.52	0.78
BET1	0.040031	0.0035	0.002	339.18	28.35	2.7
CHI1	0.040478	0.0027	0.002	144.14	37.87	1.6
EPS2	0.076164	0.0018	0.001	317.25	48.5	1.5
ETA2	0.085083	0.0006	0.001	223.86	93.04	0.18
J1	0.043302	0.0082	0.002	309.01	12.98	15
K1	0.041781	0.2308	0.002	221.83	0.47	1.20E+04
K2	0.083562	0.0066	0.001	135.24	9.56	21
K2	0.083562	0.0149	0.001	338.87	4.23	1.10E+02
L2	0.082031	0.0065	0.001	290.47	21.55	20
LDA2	0.081812	0.0019	0.001	350.58	44.99	1.8
M10	0.402546	0.0002	0	26.83	75.78	0.82
M2	0.080509	0.1531	0.001	213.53	0.56	1.10E+04
M3	0.120764	0.0027	0.001	182.27	15.78	15
M4	0.161019	0.0023	0.001	108.48	15.19	16
M6	0.241528	0.0036	0	298.86	6.48	97
M8	0.322037	0.0007	0	78.61	17.36	15
MF	0.003052	0.0069	0.027	311.77	227.69	0.063
MK3	0.12229	0.0027	0.001	290.25	14.13	14
MK4	0.164071	0.0007	0.001	61.32	34.76	1.7
MKS2	0.080737	0.0032	0.001	98.51	20.25	4.9
MM	0.001521	0.0069	0.027	121.68	227.25	0.064
MN4	0.159497	0.0004	0.001	9.04	80.42	0.59
MO3	0.119238	0.0042	0.001	359.29	8.53	35
MS4	0.163843	0.0009	0.001	302.73	37.9	2.4
MSF	0.002824	0.0046	0.027	336.68	343.78	0.028

表 2、調和分析主要分潮表_自記式潮位計(續)

MSK6	0.247404	0.0003	0	17.61	50.85	0.78
MSM	0.001303	0.0051	0.027	204.69	307.45	0.035
MSN2	0.084855	0.0008	0.001	98.92	112.38	0.3
MU2	0.077685	0.007	0.001	69.42	12.29	23
N2	0.078988	0.0363	0.001	132.21	2.38	6.30E+02
NO1	0.040259	0.0098	0.002	111.08	7.81	21
NU2	0.079207	0.0067	0.001	184.49	12.86	21
O1	0.038729	0.1745	0.002	295.29	0.59	6.80E+03
OO1	0.044833	0.0016	0.002	141.22	38.01	0.59
OQ2	0.075945	0.001	0.001	237.61	83.46	0.51
P1	0.041553	0.0869	0.002	54.48	1.41	1.70E+03
P1	0.041553	0.0764	0.002	228.9	1.61	1.30E+03
PHI1	0.042009	0.0022	0.002	80.54	56.25	1.1
Q1	0.037207	0.0337	0.002	203.9	3.06	2.50E+02
RHO1	0.037426	0.0076	0.002	242.09	14.02	13
S2	0.083333	0.0547	0.001	316.47	1.51	1.40E+03
S4	0.166667	0.0003	0.001	198.54	93.23	0.37
SIG1	0.035904	0.0046	0.002	188.69	22.66	4.6
SK3	0.125114	0.0021	0.001	42.69	16.91	9.2
SK4	0.166895	0.0001	0.001	292.95	242.05	0.032
SN4	0.162321	0.0007	0.001	163.97	51.16	1.4
SO1	0.044605	0.0015	0.002	254.68	68.88	0.5
SO3	0.122062	0.0012	0.001	126.84	29.62	2.7
SSA	0.000228	0.055	0.027	268.71	28.51	4
TAU1	0.038957	0.0028	0.002	38.63	54.34	1.8
THE1	0.043083	0.0018	0.002	218.54	55.14	0.75
UPS1	0.046354	0	0.002	259.93	2854.26	0.00012

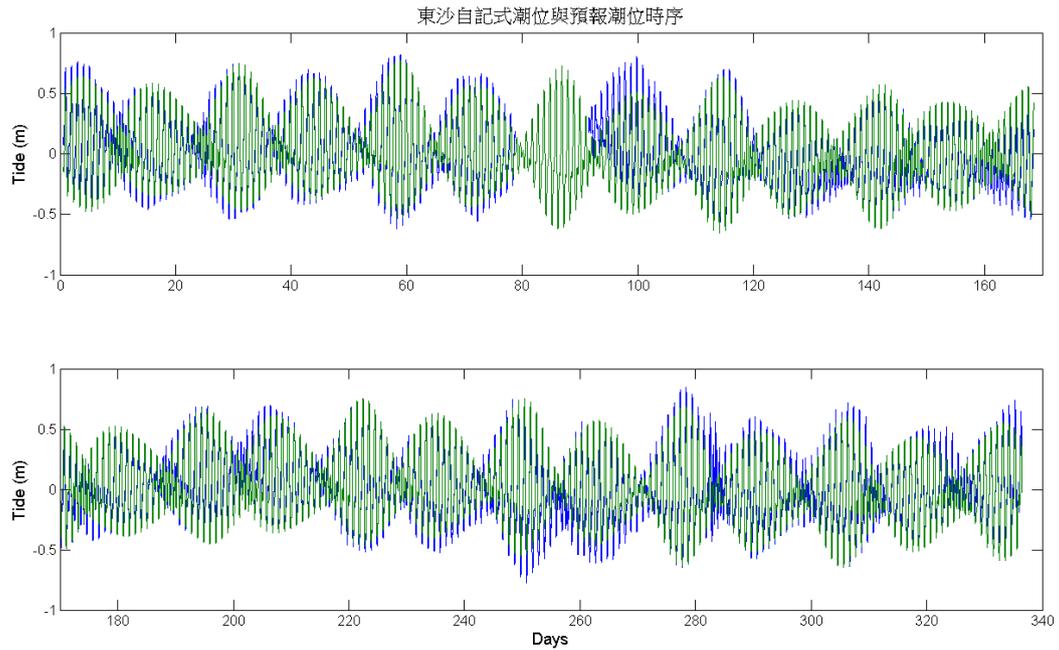


圖 6、自記式潮位計觀測潮位與預報潮位時序圖
(藍：觀測潮位；綠：預報潮位)

由潮位觀測數據直接計算之平均海水面為-0.1406m，由各月份潮位觀測計算的平均海水面如表 3 所示。將使用 t_tide 進行調和分析所得 62 分潮重組後，得平均海水面為-0.1414m。

表 3、自記式潮位計平均海水面計算

觀測時間		月平均海水面 (m)	平均海水面 (m)
開始	結束		
2013/10/08 13:18	2013/10/31 23:54	-0.0654	-0.1406
2013/11/01 00:00	2013/11/30 23:54	-0.0789	
2013/12/01 00:00	2013/12/31 23:54	-0.1158	
2014/01/01 00:00	2014/01/31 23:54	-0.0660	
2014/02/01 00:00	2014/02/28 23:54	-0.2319	
2014/03/01 00:00	2014/03/31 23:54	-0.2399	
2014/04/01 00:00	2014/04/30 23:54	-0.0702	
2014/05/01 00:00	2014/05/31 23:54	-0.0945	
2014/06/01 00:00	2014/06/30 23:54	-0.2098	
2014/07/01 00:00	2014/07/31 23:54	-0.1778	
2014/08/01 00:00	2014/08/31 23:54	-0.1741	
2014/09/01 00:00	2014/09/09 23:54	-0.1056	

3.2 連續式潮位數據分析

連續式潮位計數據經調和分析解析出之 62 個主要分潮如表 4 所示。分潮頻率(cycles per hour, cph)對應振幅、相位角關係如圖 7、8 所示，振幅較顯著分潮以紅色標示於圖 7、8 中，包含頻率接近 1/24(0.042)之全日潮分潮振幅 K1(26.09cm)、O1(21.75cm)、P1(9.02cm)，頻率為 1/12(0.083)之半日潮分潮振幅 M2(14.52cm)、S2(4.71cm)、N2(3.44cm)，由振幅可推斷為全日潮。以潮型判別式判斷，法國制與美國制判別式計算值分別為 2.49、3.29，判別皆屬全日潮。潮位觀測與調和分析之預報潮位時序如圖 9 所示。

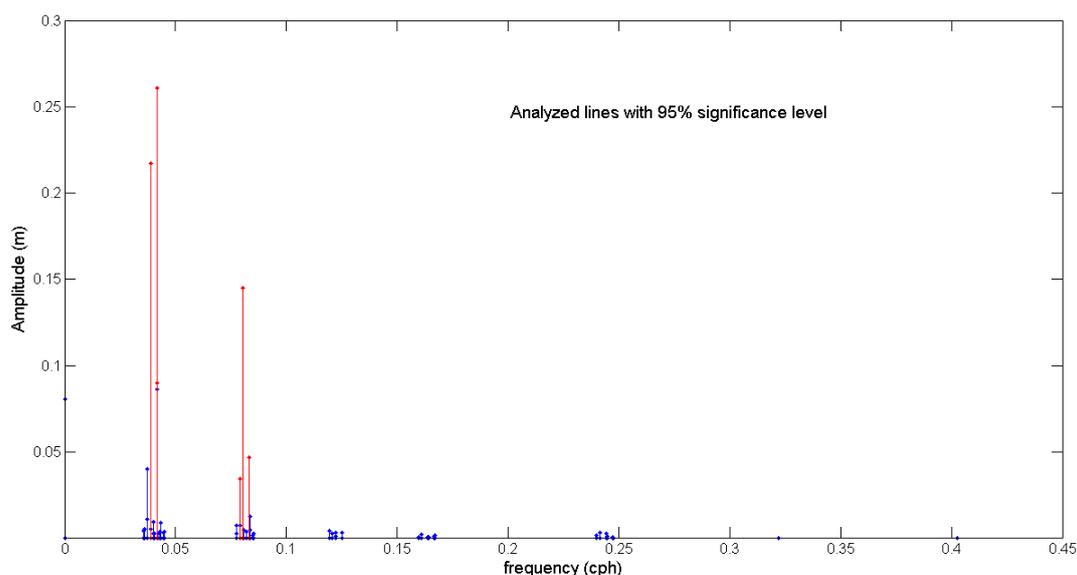


圖 7、調和分析之頻率對應振幅成果_連續式潮位計

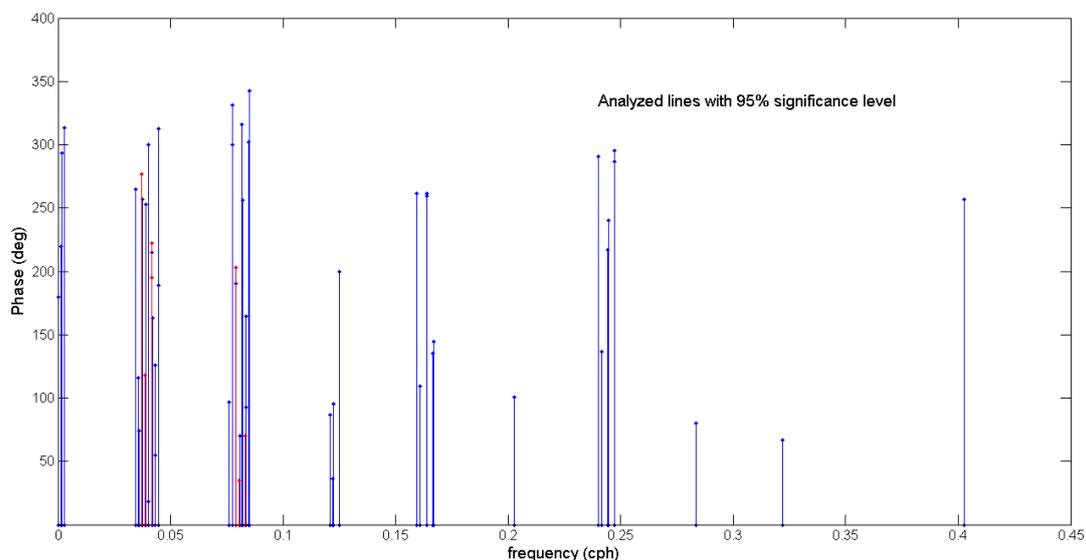


圖 8、調和分析之頻率對應相位角成果_連續式潮位計

表 4、調和分析主要分潮表_連續式潮位計

tide	freq	amp	amp_err	pha	pha_err	snr
2MK5	0.202799	0.0003	0	100.19	62.4	0.85
2MK6	0.24458	0.001	0	241.81	22	7.9
2MN6	0.240006	0.0017	0	289.91	11.69	22
2MS6	0.244352	0.0029	0	217.55	6.92	64
2N2	0.077466	0.0027	0.002	330.6	31.81	3.2
2Q1	0.035686	0.0046	0.002	114.65	27.01	4.9
2SK5	0.208447	0.0002	0	83.63	88.86	0.45
2SM6	0.247176	0.0008	0	287.94	25.89	4.8
3MK7	0.283309	0.0002	0	83.35	72.52	0.61
ALP1	0.034383	0.0013	0.002	263.74	94.9	0.41
BET1	0.040031	0.0029	0.002	300.02	43.99	2
CHI1	0.040478	0.0027	0.002	6.1	46.28	1.7
EPS2	0.076164	0.0013	0.002	96.52	64.42	0.78
ETA2	0.085083	0.0031	0.002	343.29	32.42	4.2
J1	0.043302	0.009	0.002	56.22	13.72	19
K1	0.041781	0.2609	0.002	215.08	0.47	1.60E+04
K2	0.083562	0.0049	0.002	164.75	19.45	11
K2	0.083562	0.0128	0.002	92.41	7.5	72
L2	0.082031	0.0038	0.002	255.98	27.12	6.3
LDA2	0.081812	0.0011	0.002	316.7	80.56	0.49
M10	0.402546	0.0003	0	251.95	24.94	4.5
M2	0.080509	0.1452	0.002	34.71	0.59	9.20E+03
M3	0.120764	0.0028	0.001	87	16.73	11
M4	0.161019	0.0024	0.001	109.14	13.69	16
M6	0.241528	0.0032	0	136.54	6.18	78
M8	0.322037	0.0003	0	61.64	26.04	4.3
MF	0.003052	0.0147	0.032	74.87	123.5	0.22
MK3	0.12229	0.0033	0.001	94.63	14.78	16
MK4	0.164071	0.0008	0.001	262.95	46.99	1.8
MKS2	0.080737	0.0051	0.002	70.26	18.49	12
MM	0.001521	0.0176	0.032	293.33	102.92	0.31
MN4	0.159497	0.0007	0.001	262.5	51.31	1.2

MO3	0.119238	0.0046	0.001	3.22	11	30
MS4	0.163843	0.0009	0.001	261.88	38.59	2.1
MSF	0.002824	0.0079	0.032	313.34	228.7	0.063
MSK6	0.247404	0.0004	0	298.52	61.31	1
MSM	0.001303	0.0174	0.032	219.65	103.96	0.3
MSN2	0.084855	0.0016	0.002	301.56	53.36	1.1
MU2	0.077685	0.0076	0.002	299.77	11.31	25
N2	0.078988	0.0344	0.002	203.19	2.47	5.20E+02
NO1	0.040259	0.0097	0.002	21.56	9.86	22
NU2	0.079207	0.0075	0.002	190.41	11.44	24
O1	0.038729	0.2175	0.002	117.88	0.58	1.10E+04
OO1	0.044833	0.0036	0.002	313.58	35.15	3.1
OQ2	0.075945	0.001	0.002	39.92	88.93	0.43
P1	0.041553	0.0902	0.002	194.96	1.31	1.90E+03
P1	0.041553	0.0863	0.002	222.15	1.37	1.70E+03
PHI1	0.042009	0.0027	0.002	163.24	43.23	1.7
Q1	0.037207	0.0399	0.002	276.13	3.15	3.70E+02
RHO1	0.037426	0.011	0.002	256.23	11.88	28
S2	0.083333	0.0471	0.002	70.01	1.84	9.70E+02
S4	0.166667	0.001	0.001	133.41	34.38	2.8
SIG1	0.035904	0.0052	0.002	74.29	24.11	6.4
SK3	0.125114	0.0033	0.001	199.43	15.25	15
SK4	0.166895	0.0018	0.001	142.94	20.92	9.3
SN4	0.162321	0.0003	0.001	30.98	103.74	0.29
SO1	0.044605	0.0033	0.002	189.29	38.92	2.5
SO3	0.122062	0.0014	0.001	37.56	36.05	2.9
SSA	0.000228	0.0805	0.032	179.83	22.5	6.5
TAU1	0.038957	0.0054	0.002	253.73	19.42	6.8
THE1	0.043083	0.0041	0.002	125.8	30.32	3.8
UPS1	0.046354	0.0005	0.002	80.88	298.35	0.049

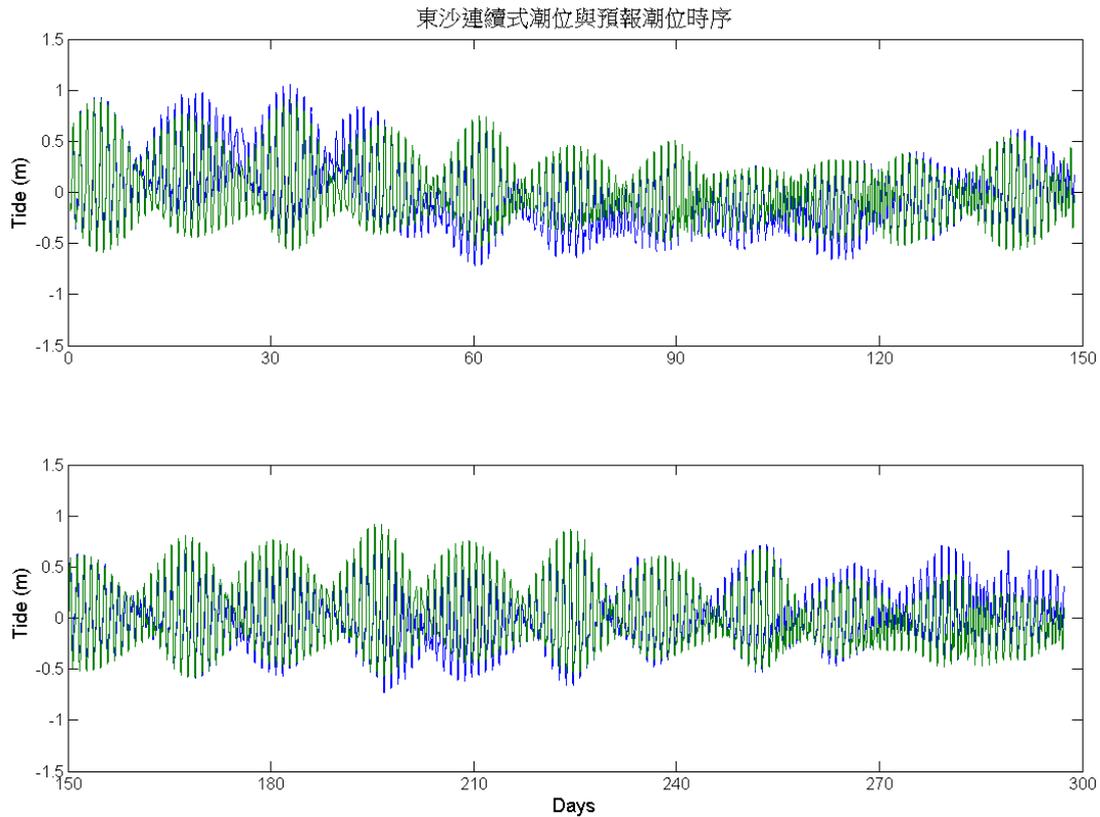


圖 9、連續式潮位計觀測潮位與預報潮位時序圖

(藍：觀測潮位；綠：預報潮位)

由潮位觀測數據直接計算之平均海水面為-0.0126m，由各月份潮位觀測計算的平均海水面如表 5 所示。將使用 t_tide 進行調和分析所得 62 分潮重組後，得平均海水面為-0.0164m。

表 5、連續式潮位計平均海水面計算

觀測時間		月平均海水面 (m)	平均海水面 (m)
開始	結束		
2013/12/01 08:00	2013/12/31 23:54	0.2218	-0.0126
2014/01/01 00:00	2014/01/31 23:54	0.0437	
2014/02/01 00:00	2014/02/28 23:54	-0.1804	
2014/03/01 00:00	2014/03/31 23:54	-0.1961	
2014/04/01 00:00	2014/04/30 23:54	-0.0073	
2014/05/01 00:00	2014/05/31 23:54	-0.0205	
2014/06/01 00:00	2014/06/30 23:54	-0.0729	
2014/07/01 00:00	2014/07/31 23:54	-0.0152	
2014/08/01 00:00	2014/08/31 23:54	0.0171	
2014/09/01 00:00	2014/09/24 07:54	0.0636	

四、結論

本報告分析東沙地區自記式與連續式潮位數據，皆解析出 62 分潮。自記式潮位數據經調和分析後平均海水面高程為-0.1414m，而由觀測潮位直接平均則為-0.1406m；連續式潮位數據經調和分析後平均海水面高程為-0.0164m，而由觀測潮位直接平均則為-0.0126m。

參考文獻

- 史天元、薛憲文、陳雅信、陳杰宗、陳佳勳，2010。自記式潮位站設置：東沙經驗，地籍測量，29(2):34-45。
- Foreman, M.G.G., 1977. Manual for tidal heights analysis and prediction. Pacific Marine Science Report 77-10, Institute of Ocean Sciences, Patricia Bay, Sidney, BC, 97pp.
- Foreman, M.G.G., 1978. Manual for tidal currents analysis and prediction. Pacific Marine Science Report 78-6, Institute of Ocean Sciences, Patricia Bay, Sidney, BC, 57pp.
- Godin, G., 1972. The Analysis of Tides. University of Toronto Press, Toronto, 264pp.
- NOAA, 2013. Tidal datums. URL: http://tidesandcurrents.noaa.gov/datum_options.html , last time access, 2013/10/15.
- Pawlowicz, R., B. Beardsley, and S. Lentz, Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T_TIDE, Computers and Geosciences 28(8): 929-937.
- Sea-Bird, 2009. SBE 39 Temperature (Pressure Optional) Recorder User Manual, Version 021, Sea-Bird Electronics, Inc.

附錄四 GrafNet 解算參數設定

Datum information

DATUM = WGS84 AUTO ; Processing Datum
INPDATUM = ON WGS84 AUTO ; Input Datum (ON=Use processing datum)

General options

ELEV_MASK = 15.0
OUTPUT_MODE = GRAFNET
DETAILED_SUM = OFF
TIMERANGE = ALL 1085463122.0 1085477642.0 2 0
INTERVAL = 1.00
FIX_INTERVAL = 1.00
PROCESS_DIR = REVERSE
BOTH_DIR = ON

Advanced settings

CYCLE_TOL = 0.0 ; Automatic doppler slip detection
STATIC_SLIP_TOL = 0.4000 ; L1/iono free cycle slip tolerance
L2_SLIP_TOL = 0.4000 ; small cycle slip tol on L2 (cycles)
L2_LOCKTIME = OFF
WRITE_RESIDUALS = ON ; create binary value file/satellite residuals
WRITE_SLIP_MSG = ON ; write cycle slip messages
LOCKTIME_CUTOFF = 4.0 ; locktime cutoff value

Fixed static solution options

FIX_CUBE = AUTOREDUCE 0.500 1.500 -1 ; Fixed solution search area options
FIX_L2_NOISE = AUTO -1 ; Fixed solution L2 noise model
FIX_IONO_DIST = 5.000 -1 ; Distance for switching to Iono model for AUTO L2 noise
FIX_REFINE = OFF ; Refine L1/L2 fixed solution
FIX_STRICT = OFF OFF ; Stricter RMS and reliability tolerances
FIX_CORRECT_SLIP = OFF ; Correct integer cycle slips

Dual frequency options: Use PCODE, L2 for ambiguity searching.

Iono free processing(FREE), correct PCODE for iono.

DUAL_FREQUENCY = OFF ON OFF OFF
USE_PCODE = OFF OFF

New measurement standard deviation (weighting) settings

STD_MODE = ELEV ;Measurement weighting mode
(ELEV/CN0/STANDARD/ADAPTIVE)
STD_CODE = 4.0000 ; Code measurement standard deviation (m)
STD_PHASE = 0.0200 ON ; Carrier meas SD (m) (ON/OFF refers to adjustment for L3)
STD_DOPPLER = 1.0000 ON ; Doppler meas stddev (m/s) (ON/OFF referes to auto-doppler
setting)
STD_REJECT = NORMAL 3.0 2.5 3.0 6.0 4.5 ; LevelStr CodeRej PhaseRej DopplerRej CodeReset
PhaseReset
STD_SKIP = 15.0 5 1 ; dMaxRejSec, nSkipCodeEpochs, nSkipPhaseEpochs
STD_DIST = LOW 1.00 7.50 ; Distance effects (OFF/HIGH/MEDIUM/LOW/MANUAL)
ManHzPPM ManVtPPM
STD_RELTOL = 4.00 ; Reliability tolerance for rejecting outliers

End-of-file

附錄五 GIPSY 解算參數

Orbit products:

-orb_clk flinnR \\

Ocean loading coefficients:

-add_ocnld fes2004 \\

Adds additional solid tide models:

-tides WahrK1 PolTid FreqDepLove OctTid

Troposphere mapping functions:

-trop_map VMF1GRID \\

Data weight in the filter [phase range]:

-dwght 1.0E-5 1.0E-3 \\

Random walk troposphere parameter for static solutions:

-trop_z_rw 5E-8 \\

Troposphere gradient parameters [km/sqrt (sec)]:

-wetzgrad 5.0E-9 \\

Final postfit window before edit point cycle:

-post_wind 2.5E-3 2.5E-5 \\

Maximum number of edtpnt2 cycles:

-edtpnt_max 12 \\

Minimum slip for inserting a phase break:

-pb_min_slip 10E-5 \\

Minimum elevation cutoff (degrees):

-w_elmin 7 \\

Performs input number of iterations of ambiguity resolution:

-amb_res 2 \\

附錄六 東沙、臨時潮位站及新設潮位站工作表

東沙登島工作報告

登島日期	離島日期	人員(單位與人名)	交通方式	核准單位與文號	作業內涵
103/01/07	103/07/07	史天元	軍機	國防部空軍司令部戰備訓練處/國空戰防字第 1020004077；海管處	定期維護自記式潮位站。
103/03/13	103/03/20	邱智廉、林佑鐘	民航機	國空戰防字第 1020004871；海管處	東沙潮位站維修及維護。
103/05/06	103/05/06	史天元	軍機	國防部空軍司令部戰備訓練處/國空戰防字第 1030001406；海管處	定期維護自記式潮位站。
103/09/10	103/09/10	史天元、林暉尊	軍機	國防部空軍司令部戰備訓練處/國空戰防字第 1030002697；海管處	定期維護自記式潮位站。
103/09/18	103/09/25	邱智廉、林佑鐘	民航機	國空戰防字第 1030002697；海管處	東沙潮位站維修及維護。

基隆臨時潮位站工作報告

日期	人員(單位與人名)	作業內涵
2014/01/06	翰昇環境科技股份有限公司	現場檢測，發現靜水井被沖毀，sensor 故障，導致無觀測資料
2014/01/27	翰昇環境科技股份有限公司 劉曜誠、陳仁皓、羅逸忠	現場修復靜水井，並重新拉線，將資料載出測試系統
2014/01/28	翰昇環境科技股份有限公司 劉曜誠、陳仁皓、羅逸忠	修復完成，系統測試正常，運作正常。
2014/06/26	翰昇環境科技股份有限公司	定期保養
2014/07/09	內政部:黃鉅富 交通大學:史天元 翰昇環境科技股份有限公司: 林連楓	以直接水準聯測潮位計參考點(上方不銹鋼箱內底)與潮位計水準點
2014/9/23~ 2014/9/26	翰昇環境科技股份有限公司	潮位站建置

海科館潮位站工作報告

日期	人員(單位與人名)	作業內涵
2014/01/22	交通大學:史天元	現勘
2014/03/11	翰昇環境科技股份有限公司:林連楓副理 交通大學:史天元教授、王慧蓉副工程師	現勘
2014/03/19	內政部:陳杰宗、黃鉅富、廖純傑 氣象局:呂理弘 海科館:陳麗淑、蘇蜂鈞 基隆市政府產業發展局;何惠政、李振睿 基隆市政府地政處:羅錦誦 基隆市中正區長潭里辦公處:張淵翔里長 基隆市信義地政事務所:戴清文 交通大學:史天元、王慧蓉、林暉尊 國土測繪中心:湯凱佩、黃華尉	「臺灣水準原點」附近新設潮位站所需用地勘選會議
2014/07/09	內政部:黃鉅富 交通大學:史天元 翰昇環境科技股份有限公司:林連楓	現勘
2014/09/24 至 9/26	翰昇環境科技股份有限公司	潮位站架設
2014/10/22	交通大學:史天元、林暉尊	水準測量

附錄七 期刊論文

Historic Shipwreck Study in Dongsha Atoll with Bathymetric LiDAR

PETER TIAN-YUAN SHIH^{1*}, YA-HSING CHEN² AND JIE-CHUNG CHEN³

¹ Department of Civil Engineering, National Chiao Tung University, Hsinchu, Taiwan

² Disaster Prevention and Water Environment Research Center, National Chiao Tung University, Hsinchu, Taiwan

³ Ministry of Interior, Taipei, Taiwan

ABSTRACT Dongsha Atoll is a coral reef located in the South China Sea. The surrounding area is characterized by dangerous shoals. Historic shipwrecks mark past human activities. Due to the shallow water and risky navigational conditions in the area, a sonar survey with platforms on the water surface was not feasible. Airborne bathymetric LiDAR, which utilizes green laser for measurement, however, is a proven convenient method for studying shipwrecks around the atoll, particularly in shallow-water areas. At a point density of about 3.5 m by 3.5 m, four shipwrecks were identified. The bathymetric measurements allow not only the length of the shipwreck to be estimated, but also its height above the sea floor. The full waveform record of the laser reflection also provided information to separate the wreckage from its surroundings. This provides an excellent working environment for marine archaeological analysis, as not only the location, but also the depth and geomorphological information can be assessed in an integrated setting. Copyright © 2013 John Wiley & Sons, Ltd.

Key words: Underwater archaeology; bathymetric LiDAR; South China Sea; waveform; remote sensing; coral reef

Introduction

Due to its remote location and being under military management, archaeological research on Dongsha Atoll is quite limited in. Based on an investigation of the ecological environment, the process of development of the islands and previously discovered artefacts, three surveys have been successfully conducted, including the discovery of the 'Dongsha Ruins' site (Chen, 1997). Within the site, objects such as porcelain sherds, pottery, charcoal, iron nails and ironware, as well as shells and guano, have been uncovered, indicating that these are remnants of the activity of Chinese fisher folk. In addition to the cultural heritage on land, there are a number of shipwrecks in the Dongsha area. Pickford (1995) documented seven ships sunk in the Dongsha area between 1609 and 1863, including *Utrecht*, *Frederik Adolphus*, *Singular*, *City of Shirez*, *Phantom*, *Georges Sand* and an unidentified ship. With the support from the Construction and Planning Agency of the Taiwan

Government, Chiau *et al.* (2005) conducted an underwater cultural heritage study. This project was focused on shipwrecks and other isolated objects in the region.

In order to explore the airborne bathymetric LiDAR technology, and collect detailed sea-floor terrain information for Dongsha Atoll, the Ministry of Interior of Taiwan supported a project utilizing this technology for mapping Dongsha Atoll. This project has two major objectives. The first is to evaluate this technology, and develop a strategy on adopting this technology for future mapping of shallow-water areas. The other is to establish sea-floor terrain information for various marine research projects in Dongsha. In Dongsha, typhoons usually occur in summer and strong winds are experienced in winter. Due to its specific location and weather conditions, research in Dongsha is always challenging.

The number of applications of airborne LiDAR for archaeological prospection is growing. Specific visualization and analysis schemes have been developed for this purpose (Bennett *et al.*, 2012; Challis *et al.*, 2011; Hesse, 2010; Kokalj *et al.*, 2013), but most use topographic LiDAR systems and the study sites are on land. In this study, an application of airborne hydrographic LiDAR (AHL; also known as ABL,

* Correspondence to: Peter Shih, Department of Civil Engineering, National Chiao Tung University, Hsinchu, Taiwan. E-mail: tyshih@mail.nctu.edu.tw

Airborne Bathymetric LiDAR) is reported. The AHL uses green laser and is designed for bathymetric survey. Application of AHL for archaeological prospection has been undertaken by Doneus *et al.* (2013) and Prahov *et al.* (2011). In this study, the potential of AHL for historic shipwreck studies is explored.

Bathymetric LiDAR

Airborne bathymetric LiDAR has made significant progress in recent years. JALBTCX (2011) provides a good collection of the documents. The most widely applied underwater sensors for shipwreck searches include side-scan sonar systems, sub-bottom profilers, multi-beam depth sounding systems and marine magnetometers. For example, Boyce *et al.* (2009) used a Marine Magnetics Seaspy (Overhauser) marine magnetometer and a Garmin 200 kHz echo sounder. Plets *et al.* (2008) reported the use of three-dimensional Chirp sub-bottom profiler. All of these systems were operated from surface vessels, but terrain and navigation limitations are major factors that restrict bathymetric survey from surface vessels.

Bathymetric LiDAR originated from laser detection of underwater objects (Guenther and Goodman 1978; LaRocque and West 1990). The current system includes a laser ranging device, a scanning mechanism and a direct georeferencing system. A digital imaging device usually accompanies the bathymetric LiDAR system in

operation, which provides additional information for data editing. Typically, bathymetric LiDAR is utilized for detecting the sea bottom in shallow coastal waters (< 50 m). A green laser with a wavelength of 532 nm is used for penetrating water to measure the sea floor. Although the water surface could be identified from the waveform of the green laser reflection/scattering, an infrared channel (1064 nm) and the Raman channel (645 nm) provide more reliable and accurate identification and measurement of the water surface. Due to the consideration of different signal strengths resulting from different water depths, the green laser return is digitized with two receivers. One is for the deep channel, the other for the shallow channel. The laser scanner used in the Dongsha Atoll survey has multiple channels, including one infrared channel, two green channels and one channel for Raman scatter. This system is also equipped with a topographic LiDAR, which operates on the infrared channel only. The laser scanner simultaneously collects 4 kHz bathymetric and 64 kHz topographic LiDAR soundings, and digital images acquired at 1 Hz cover the LiDAR scanned area. A IDE UI-2250SE digital camera was used with 1200 × 1600 pixel resolution and focal length of 12 mm. Full waveform information is stored for the bathymetric laser (Henrik, 2006).

The laser fired from the laser scanner maintains a forward angle from nadir, which is close to 20°. This can avoid direct reflection from the sea surface. The laser scanner system principle is shown in Figure 1, where V is the flying direction, θ is the forward angle,

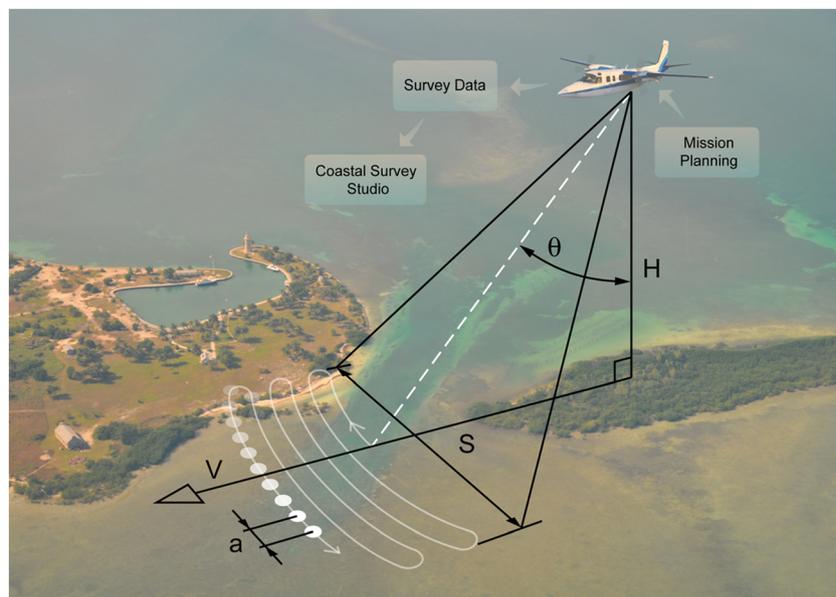


Figure 1. AHAB HawkEye II system principle. This figure is available in colour online at wileyonlinelibrary.com/journal/arp

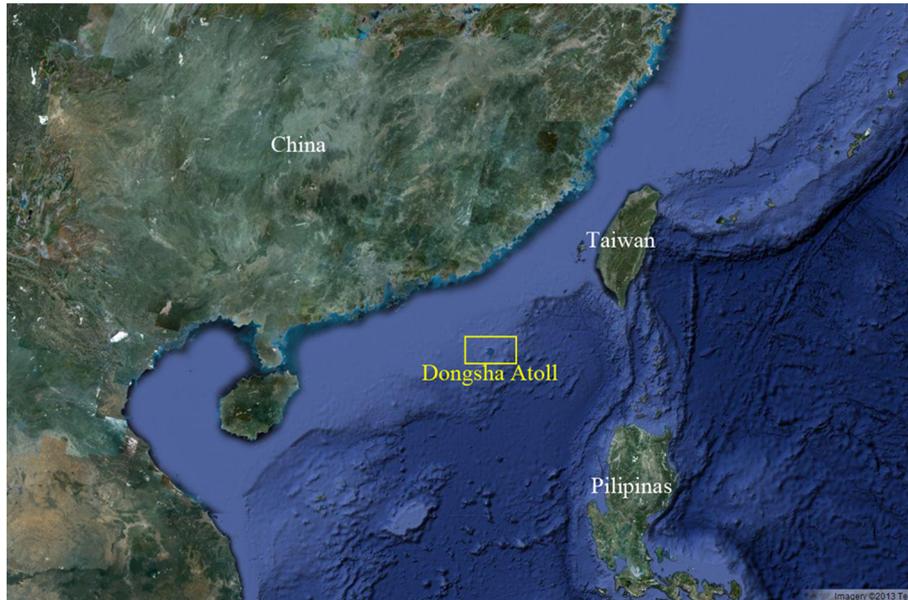


Figure 2. The location of Dongsha Atoll (retrieved on 20 May 2013 from <http://maps.google.com.tw>). This figure is available in colour online at wileyonlinelibrary.com/journal/arp

S is the swath width, a is the point spacing and H is the flying height. In general, it applies a one-dimensional scanning mechanism.

Case study

The study site is Dongsha Atoll. ‘Dongsha’ literally means ‘East Sands’ in Chinese. The name originates from numerous submerged reefs in the area. Relative to the other three ‘sands’, Nansha (South Sands), Chungsha (Middle Sands) and Shihsha (West Sands), Dongsha is in the East. Dongsha Island is the only land above water year-round in this atoll, and is also known as Pratas Island. This island is located about 20.7018° N, 116.7266° E, which is about 240 nautical miles from Kaohsiung, Taiwan, 230 from Penghu, 170 from Hongkong, 140 from Shantou and 420 from Manila (Figure 2). This geographical setting makes Dongsha

an important site for both sea transportation and fisheries. Dongsha and the South China Sea both lie on the path of the maritime silk-road (Jacq-Hergoualc’h, 2002; Li, 2006). Because this completely developed coral atoll features a rich marine life and unique geographical and ecological features, Dongsha Atoll was designated as a national park in 2007.

LiDAR data processing and Dongsha survey result

In late September of 2010, a bathymetric LiDAR survey was conducted for the complete Dongsha Atoll. Contrary to shipborne sensors, bathymetric LiDAR is airborne and is free from the navigation risk imposed by shoals. Airborne bathymetric LiDAR is not a common technology. At present, there are only four companies commercially manufacturing airborne bathymetric LiDAR systems, namely, Airborne Hydrography AB (AHAB) from Sweden, Optech Inc. from Canada, Fugro (Tenix) LADS from Australia, and RIEGL from Austria. The instrument used in the 2010 survey was a Hawkeye II manufactured by

Table 1. Survey parameters for Dongsha Atoll.

Parameter	Mission 1	Mission 2
Spot spacing (m)	3.5 × 3.5	2 × 2
Flight altitude (m)	400	300
Survey speed (knots)	150	150
Swath width (m)	160	120
Area (km ²)	450	20
Total flight lines	203	26
Flying hours (h)	22	6
Bathymetric soundings per second		4000
Topographic soundings per second		64000

Table 2. Validation results for Dongsha Atoll.

Evaluation approach	ALB-SB
Points	80 630
Mean difference (m)	-0.51
Standard deviation (m)	0.44
Max Absolute Difference (m)	2.85
Points of difference < 0.5 m (%)	58.56
Points of difference < 1 m (%)	82.81

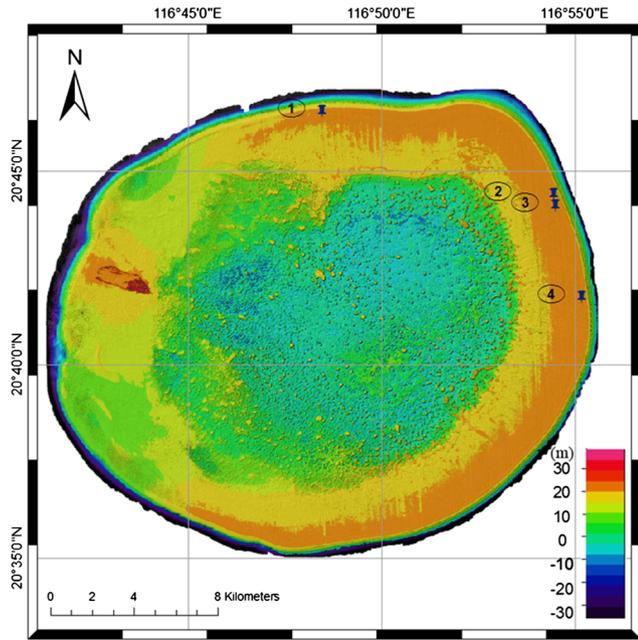


Figure 3. The four possible shipwrecks from bathymetric LiDAR survey. This figure is available in colour online at wileyonlinelibrary.com/journal/arp

AHAB. The point density of the survey is about 3.5 m by 3.5 m (Shih *et al.*, 2011). With this dataset, the shipwrecks are studied from both bathymetric and photographic information.

The aerial survey was conducted during the day time of 22–25 September 2010. In total, 229 flight lines were flown. The survey parameters are listed in Table 1. In addition to the 3.5 m density for the entire atoll, a further 20 km² area located in the east portion of the atoll was surveyed with a 2 m density. Dongsha Airport was used as the base of operations.

A Swearingen SA-226 T aircraft was used as the flying platform. In order to reduce the sun glint influence, the flight direction was chosen to be north–south. Two cross lines, in the east–west direction, were flown for data validation.

Data were processed using AHAB’s CSS, Fledermaus and GreenC software packages. The CSS processing uses the position and orientation information, along with the LiDAR return and waveform information to compute three-dimensional positions of each data point on the ellipsoid height system. The data points are then reviewed and cleaned in Fledermaus while viewing the associated waveform and digital camera imagery with GreenC. After consolidating all of the information, there are 46 908 917 measured points (waveforms) in the 450 km² area. Data validation is conducted with an overlap between both the parallel lines and the cross lines. The accuracy meets the specification of IHO S44 class 1b (IHO, 2008). That is, one standard deviation is less than 25 cm. Eleven square kilometre sonar measurements were also made for additional data validation (Shih *et al.*, 2011). All measurements are in good accordance.

For bathymetric LiDAR data validation of Dongsha Atoll, sonar survey were conducted after data acquisition. Because of the different footprint of LiDAR and sonar, the flat seabed should be selected for validation. The interval between the survey lines is about 40 m, and the interval of cross lines is 500 m at Dongsha Atoll for internal accuracy check. Due to the same reason, the survey area at Dongsha Atoll is almost in the southern Dongsha island. In March 2011 the total survey area was about 14 km². The difference statistics are shown in Table 2. The mean difference is about 50 cm and the sonar surface is higher than the LiDAR data. This situation may be caused by the topography

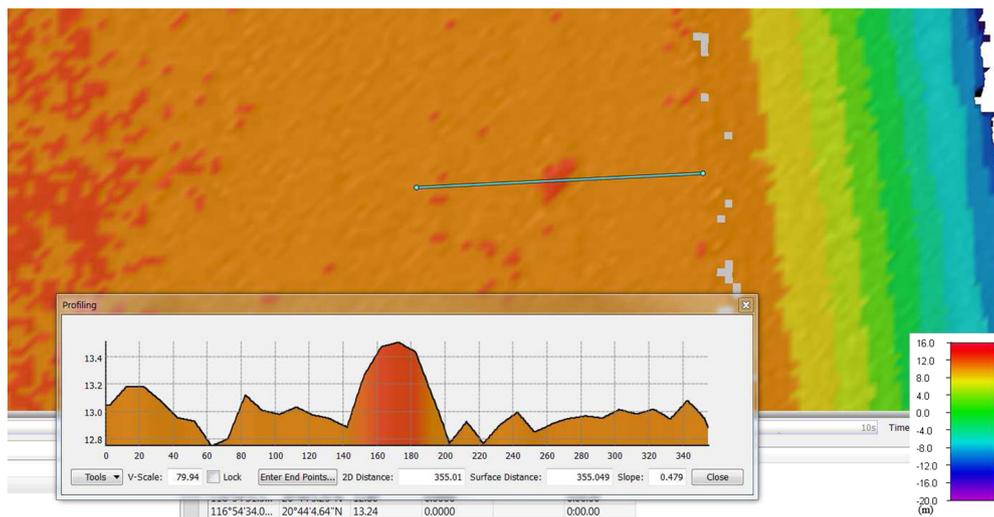


Figure 4. The profile of Target 4 (north is towards the top). This figure is available in colour online at wileyonlinelibrary.com/journal/arp

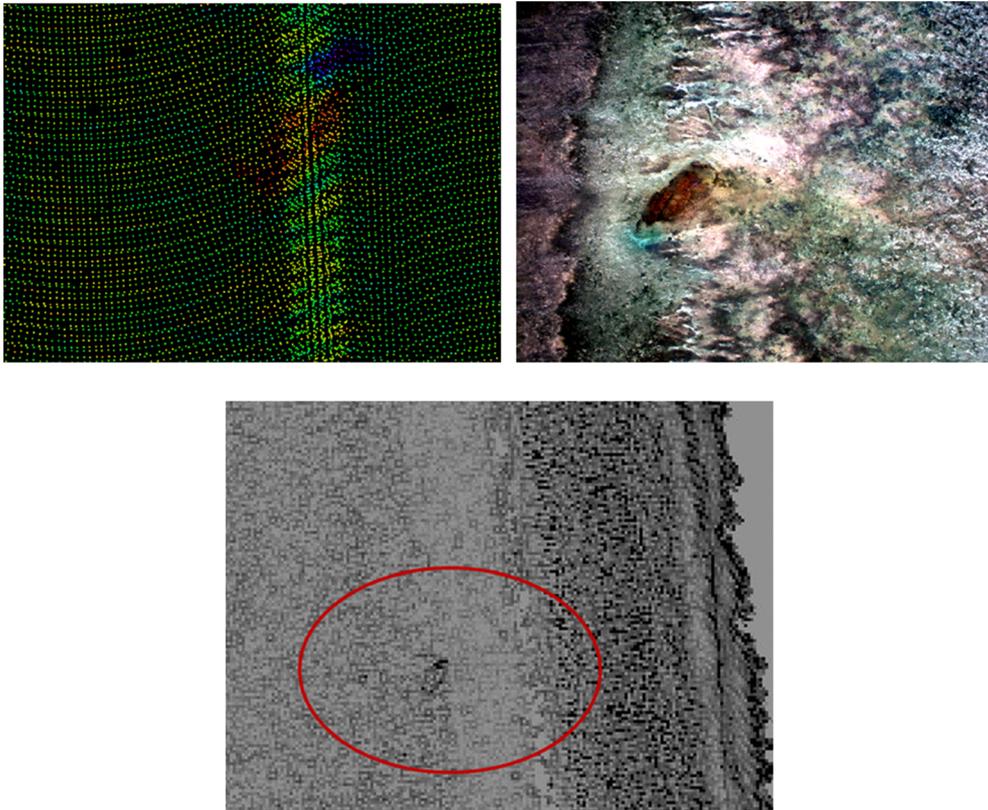


Figure 5. (a) The top view of Target 4; (b) digital image of Target 4 (c) Accessibility from the bathymetric model. This figure is available in colour online at wileyonlinelibrary.com/journal/arp

of Dongsha Atoll, which changes greatly, and the different footprint of sonar and LiDAR.

Shipwrecks identified from bathymetric LiDAR

The identification of shipwrecks was made by human interpretation during editing point clouds with aerial

photographs. From the bathymetric LiDAR survey, four possible ship wrecks were found (Figure 3): all four are on the reef flat. The identification of the shipwrecks was mainly performed by observing the digital images taken with a small format frame camera during the airborne LiDAR survey. Then, the length, width and height could be measured from both the airborne image and LiDAR

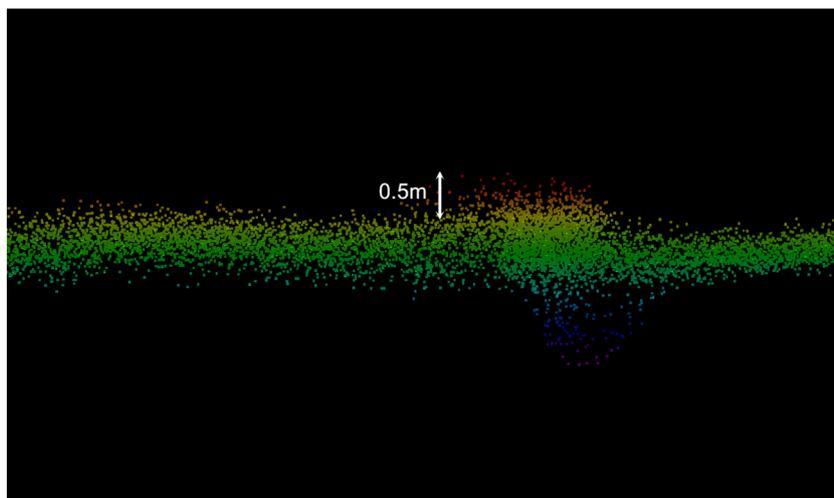


Figure 6. The side view of Target 4. This figure is available in colour online at wileyonlinelibrary.com/journal/arp

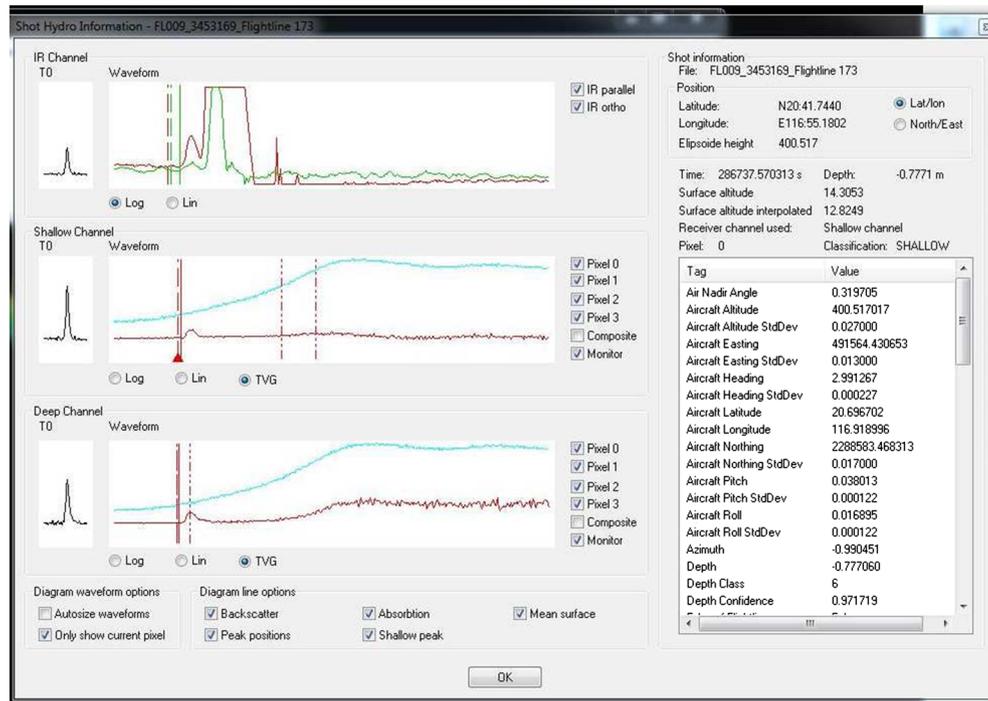


Figure 7. The waveform of Target 4. This figure is available in colour online at wileyonlinelibrary.com/journal/arp

point cloud. Due to the similarity between cases, only the figures related to Target 4 are included in this article.

From the profile, the height anomaly caused by the shipwreck could be identified (Figure 4). Bathymetric side-view, accessibility, sky-view, trend removal and LiDAR waveform are all helpful in providing additional information on the shipwrecks (Figures 5–7). From the survey result, not only could the length and width be measured, but also the height of the shipwreck above the sea floor. The parameters identified for these four targets are listed in Table 3. The reflectance of the ship's surface material could also be derived from the waveforms. This could provide even more information about the shipwreck. It was also revealed that the digital image was far more helpful in identifying the shipwrecks, but the LiDAR measurements provided more quantitative information. The existence of the four shipwrecks identified in this study were confirmed by the Ministry of Culture (2011) based on field reconnaissance.

Shipwrecks identified from side-scan sonar

After surveying the literature in Chinese and in other languages, 28 recorded shipwrecks could possibly be located in the region. With side-scan sonar, Chiau *et al.* (2005) identified 11 possible shipwrecks at nine sites in this region.

The depth range of bathymetric LiDAR is largely influenced by water turbidity and sea-bed reflectance, as well as limitations originating from the system characteristics, such as laser energy and detector sensitivity. Water turbidity is usually measured with a Secchi-disk reading. The nominal penetration capability of Hawkeye II is 3× Secchi depth. At Dongsha Atoll, the water clarity is high and the limitation of water depth with the laser scanner is about 50 m. The bathymetric LiDAR operation is also influenced by the water surface condition. A rough surface and white water would generate difficulties. Therefore, the survey of 2010 was conducted in September during the best season of a year. The entire atoll was successfully mapped. All 11 targets identified by Chiau *et al.* (2005) are located in the outer part of the atoll, which is beyond the range of bathymetric LiDAR.

The 11 possible targets of shipwrecks identified in Chiau *et al.* (2005) are shown in Figure 8. The background is a depth-coded colour map of the digital bathymetric model produced from the bathymetric

Table 3. Measurements for the four targets.

Target	Length (m)	Width (m)	Height (m)
1	43.3	10.0	1.5
2	29.5	10.5	2.0
3	35.6	8.0	1.0
4	44.7	17.2	0.5

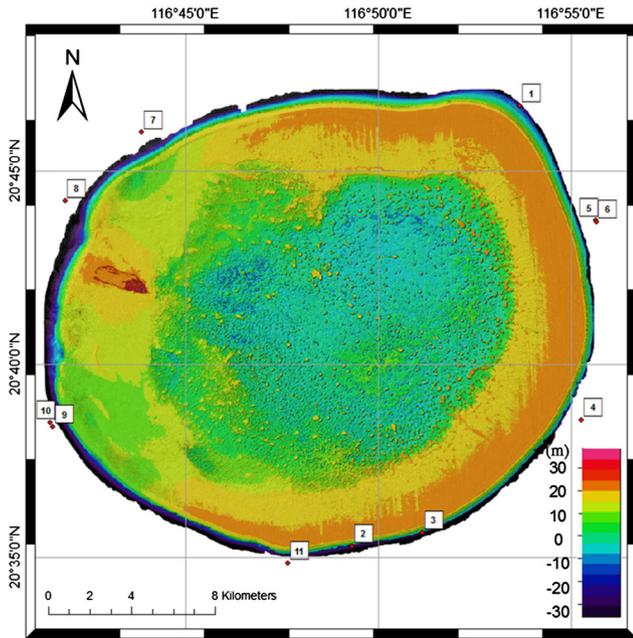


Figure 8. The locations of 11 possible shipwrecks from sonar survey. This figure is available in colour online at wileyonlinelibrary.com/journal/arp

LiDAR survey. Most shipwrecks are located in the relatively deeper water area, beyond the navigational limitations of surface research vessels, and sites 4–11 are out of the bathymetric LiDAR survey region.

The identification of shipwrecks was made by human interpretation from the images formed by side-scan sonar. From these examples it can be seen that interpretation is not an easy task, however, both the horizontal and vertical size of the shipwrecks could be estimated from the survey.

Conclusion

This study reveals that bathymetric LiDAR is an effective tool. Whereas the detecting devices operated from surface vessels are limited by the navigational conditions, airborne bathymetric LiDAR provides an efficient and convenient way of surveying, particularly in shallow-water areas. Although the spatial resolution is 3.5 m in the current study, which limited the capability for detecting smaller wrecks, the coming generation of bathymetric LiDAR is expected to reach much higher spatial resolution. The specification of the Coastal Zone Mapping and Imaging Lidar (CZMIL) project product requirement requested the identification of 2 m × 2 m × 2 m navigation hazards (Macon, 2011). Therefore, airborne bathymetric LiDAR could provide an even more promising tool for shipwreck identification and marine heritage studies. With the dataset produced by

AHL, systematic archaeological analysis could then be performed. In this study, AHL was used to measure length, width and height from the shipwrecks. Although AHL is capable of identifying shipwrecks, it was easier to find and identify them in the aerial images acquired during the AHL mission under the particular condition of this study, but AHL was found useful in confirming the shipwrecks identified.

Acknowledgements

The authors are deeply indebted to the Coast Guard Administration, particularly Dongsha Headquarters, Marine National Park Headquarters, Air Force and Civilian Aviation Authority of the Taiwan Government, Daily Air, and many others. Without their generous support this mission would have been impossible. The authors also wish to express their sincere gratitude to Mr Dushan Arumugam, Miss Almudena Perez-Gonzalez, Mr Jonas Gunnarsson and Mr Sean Maguire for their great contributions to the survey. The constructive comments and suggestions from the two anonymous referees are gratefully acknowledged, which have greatly improved the readability of this article.

References

- Bennett R, Welham K, Hill RA, Ford A. 2012. A comparison of visualization techniques for models created from airborne laser scanned data. *Archaeological Prospection* **19**: 41–48. DOI: 10.1002/arp.1414.
- Boyce JI, Reinhardt EG, Goodman BN. 2009. Magnetic detection of ship ballast deposits and anchorage sites in King Herod's Roman Harbour, Caesarea Maritima, Israel. *Journal of Archaeological Science* **36**(7):1516–1526.
- Challis K, Forlin P, Kincey M. 2011. A generic toolkit for the visualization of archaeological features on airborne LiDAR elevation data. *Archaeological Prospection* **18**: 279–289. DOI: 10.1002/arp.421.
- Chen CY. 1997. A preliminary archaeological survey of the Dongsha and Nansha Taiping Islands. *Bulletin of the Institute of History and Philology Academia* **68**(2): 449–502. (In Chinese.)
- Chiau WY, Chen YY, Hsieh HH. 2005. The Investigation of Ancient Ship Wrecks in the Dongsha Area. Construction and Planning Agency: Taiwan. (In Chinese.)
- Doneus M, Doneus N, Briese C, Pregarbauer M, Mandlbürger G, Verhoeven G. 2013. Airborne laser bathymetry – detecting and recording submerged archaeological sites from the air. *Journal of Archaeological Science* **40**: 2136–2151.
- Guenther GC, Goodman LR. 1978. Laser applications for near-shore nautical charting, *Proceedings of SPIE Ocean Optics V* **160**: 174–183.
- Henrik K. 2006. *HawkEye II Technical Description*. Airborne Hydrography AB; Jonkoping, Sweden

由測深光達反射率進行底質分類之研究

林暉尊¹ 史天元^{2*} 陳杰宗³

摘要

測深光達(Bathymetric Lidar)以雷射掃描方式施測，由回波訊號之分析可了解雷射脈衝所歷經介質及界面等狀態，除可獲取水深、水底地形資料外，亦能提供與底質種類相關資訊。本研究採用以物件為基礎(object-based)之分類方式針對 AHAB Hawk Eye II 系統之測深光達反射率進行底質分類。為增加分類時類別判釋依據，除反射率外，另計算反射率平均(mean)、方差(variance)、均質度(homogeneity)、相關性(correlation)、對比度(contrast)、差異度(dissimilarity)、熵(entropy)以及角二次矩(angular second moment)等紋理影像，將反射率及紋理影像共計 9 波段進行影像分割，分割後各區塊即為以物件為基礎之分類單位。由區塊中選取四個不同類別之訓練區，並以最近鄰法(nearest neighbor)將各物件分類。以分離度(separability)檢視分類成果，各類別之間 Jeffries-Matusita 距離最低值為 1.710，大於一般認定達到明確分類之門檻值 $\sqrt{2}$ 。

關鍵詞：紋理影像、分割、以物件為基礎分類、分離度

1. 前言

空載測深光達(Airborne Lidar Bathymetry, ALB)為一項藉由航空載具搭載整合雷射掃描測距系統、全球定位系統(Global Positioning System, GPS)及慣性導航儀(Initial Navigation System, INS)之水深探測技術。測深光達主要使用波長 532nm 綠光波段雷射進行測深，為一般陸域光達施測常用之 1064nm 紅外光波段雷射經倍頻處理後所得，採用此波段乃因其具有較佳透水能力(Guenther *et al.*, 2000)。

記錄所發射綠光雷射訊號之回訊波形，經由分析波形特徵後可了解施測區域特性。圖 1 為一測深光達綠光頻道之回波訊號範例，由訊號波形中偵測出水面回訊(surface return)及水底回訊(bottom return)之間的時間差(Δt)，即為雷射於水中歷經時間，可進一步計算出水深及海底地形，藉由海底地形衍生出地形特性如地形粗糙度(rugosity)可提供珊瑚礁及生物棲地繪製(Brock *et al.*, 2006;

Wedding *et al.*, 2008)；另一方面，水底回訊部分受底質種類及地形等因素影響而有所差異(Wang and Philpot, 2007)，故其強度值本身可提供底質分類之依據，亦或與多光譜影像結合使用(Chust *et al.*, 2010)。除使用前述測深及回訊強度外，亦可由雷射回訊波形本身所包含之水體光學特性以及底質特性進行分類，如 Tulldahl and Wikströmb (2012) 使用波形之波寬(pulse width)、波形面積(pulse area)作為植生與底質分類。

綜觀影像分類機制，由分類時之單元區分，可分為像元與物件兩種。像元(pixel-based)式分類考量各像元之各種屬性值進行分類，物件(object-based)式則以物件為單元。以物件為單元除增加統計樣本數外，亦可將由像元組成之物件的形狀(shape)、紋理(texture)等空間特徵納入考量，能增加資料的維度以提升分類的完整性。有關空間特徵的選取，Zajac (2008)認為測深光達所獲得之強度與反射值影像圖資，具有可描述施測區底質之空間樣式(spatial pattern)。而 Cottin *et al.* (2011)採用

¹ 國立交通大學土木工程學系測量及空間資訊組 博士生

² 國立交通大學防災與水環境研究中心 教授

³ 內政部地政司 科長

*通訊作者，電話：03-5712121 ext.54940, E-mail: tyshih@mail.nctu.edu.tw

收到日期：民國 102 年 04 月 25 日

修改日期：民國 103 年 02 月 07 日

接受日期：民國 103 年 05 月 12 日

灰階伴隨矩陣(gray level co-occurrence matrix, GLCM)所計算之紋理特徵。本研究使用測深光達反射率及其所計算出之紋理影像先進行影像分割,以分割出物件作為基礎進行底質分類,分類成果以各類別於光譜之分離度(separability)檢驗合理性。

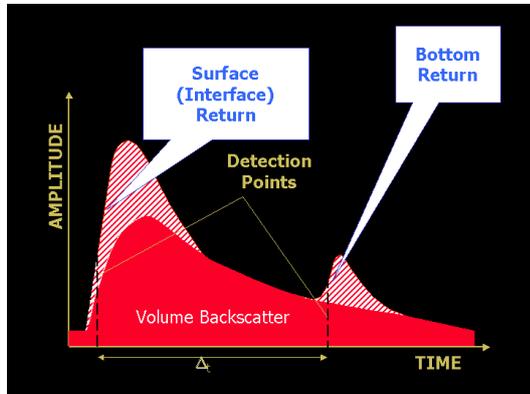


圖 1 綠光頻道回波訊號示意(Guenther, *et al.*, 2000)

2. 研究數據

本研究使用 AHAB HawkEye II 測深光達系統獲取之水底反射率數據,該系統可發射波長為 1064nm 之雷射紅外光及波長 532nm 綠光兩個波段(LaRocque, *et al.*, 2004),而接收訊號頻道則有紅外光、拉曼散射紅光及綠光,其中藉由綠光頻道中測得之水底反射訊號即可獲得施測區域之水底反射率(reflectance)。AHAB 使用 HawkEye II 後處理軟體 CSS(Coastal Survey Studio)進行波形處理及分析,將吸收係數(absorption coefficient)、背向散射係數(backscattering coefficient)等施測時海水之光學特性反衍出,以提供不同施測點間因環境條件造成之誤差(Lin *et al.*, 2010)。

施測區域位於瑞典 Kosterhavet 國家公園境內,如圖 2 所示。本次施測一共包含 26 條航帶,分為四個平行航線方向,如圖 2 中紅色線段所示,施測點雲密度為 2m×2m,測得點雲坐標以 UTM zone 32N 投影參數轉換為平面坐標,涵蓋範圍約介於 6521953~6533424N、612728~619440E。本研究將測區之測深光達點雲反射率數據網格化(如圖 3 所示),並透過直方圖等化(Histogram equalization)轉為 8bit 影像,供後續影像處理使用。



圖 2 研究區瑞典 Kosterhavet 國家公園
(Source: “Kosterhavet nationalpark, Sverige.” 58°53'44".80 N, 11°00'27".41 E, Google Earth. Jan. 1, 2009. April 25, 2013)

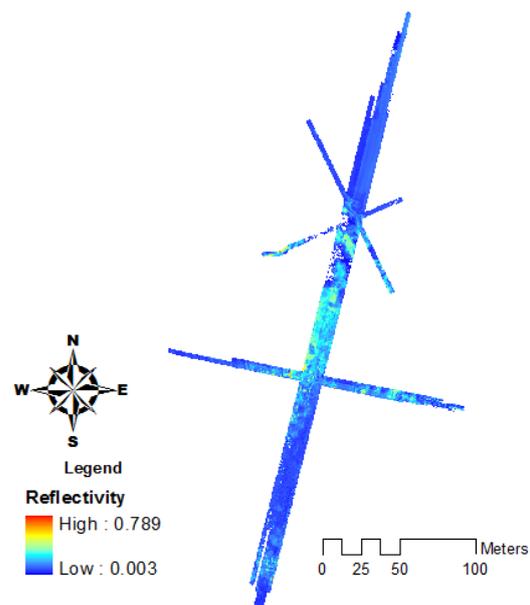


圖 3 研究區網格化反射率數據

3. 研究方法

本研究使用測深光達之反射率進行底質分類,採用以物件為分類單元(object-based)之方式進行。物件由影像分割(image segmentation)產出,除了參考光達點雲反射率經網格化為影像外,加入由反射

率影像計算之紋理影像；再選取訓練區以最鄰近法 (nearest neighbor) 法分類。圖 3 為本研究實驗流程，各步驟詳述於以下小節。

3.1 紋理影像計算

灰階共生矩陣為一表達像元值於某一方向與距離的罩窗之間的相對出現頻率 (relative frequency)。本研究計算 8 種反射率之 GLCM 紋理影像，包含平均(mean)、方差(variance)、均質度 (homogeneity)、相關性 (correlation)、對比度 (contrast)、差異度(dissimilarity)、熵(entropy)以及角二次矩(angular second moment)，以提供更豐富的分類參考資訊(Anys *et al.*, 1994; Haralick *et al.*,

1973)。圖 4 為本研究所使用反射率數據及其所計算出之 8 種紋理影像擷取範例。

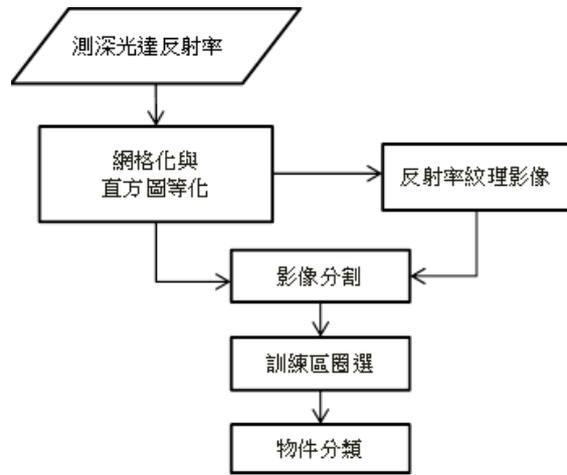


圖 3 研究流程圖

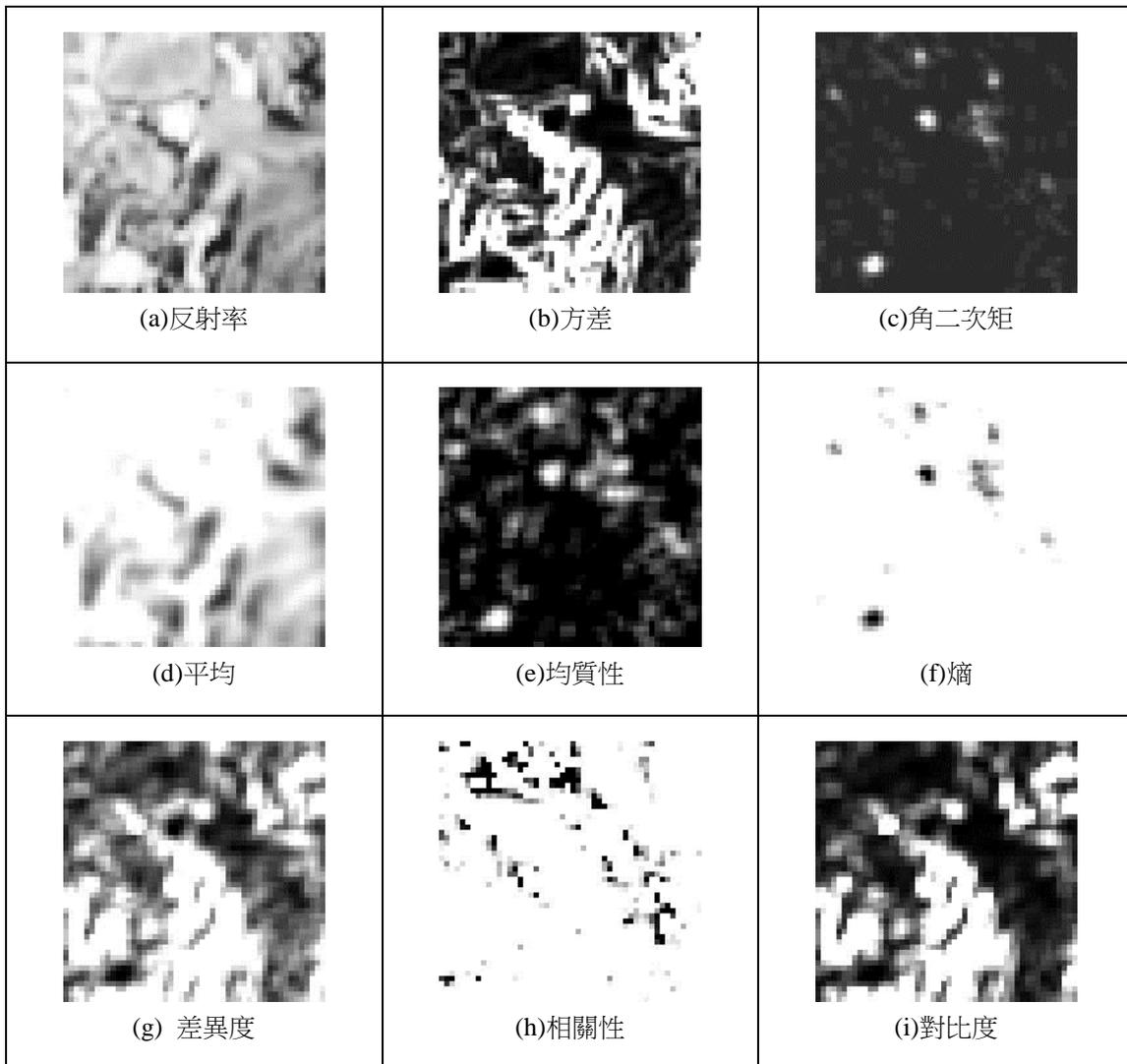


圖 4 由反射率所計算出之紋理影像

3.2 影像分割

以物件為分類單元需先由資料根據某種原則進行區塊切割，區塊範圍內即視為同一物件。影像分割除了可根據灰度值外，亦可以加入物件形狀相關指標。本研究使用 eCognition 軟體中之多解析度分割 (multi-resolution segmentation) 模式對影像進行影像分割，該軟體可提供多波段影像分割，各波段權重可由使用者自行訂定；影像分割所根據之灰度值與形狀條件兩項可分別調整權值，並由使用者給定尺度參數 (scale parameter) 作為停止門檻 (Definiens, 2006)。

eCognition 之分割機制是由區域合併 (region-merging) 的方式實現，以每一個像元均視為一個物件為起始，物件之間合併至最終的結果即為對整張影像的分割。由鄰近物件之間的合併可計算出一異質性 (heterogeneity)，若兩物件合併後重新計算異質性之值低於門檻值則兩物件合併，而當整張影像中任兩相鄰物件合併之異質性均大於門檻值，即表示影像分割完成。異質性差值 f 如公式(1)所定義， w_{color}

與 w_{shape} 由使用者給定之參數，兩者皆分別介於 0 至 1 間且 $w_{color} + w_{shape} = 1$ ，而 Δh_{color} 與 Δh_{shape} 為兩個待合併物件所計算出之異質性 (Benz *et al.*, 2004)。

$$f = w_{color} \cdot \Delta h_{color} + w_{shape} \cdot \Delta h_{shape} \quad (1)$$

其中 w_{color} ：考慮光譜異質性改變量之權重

Δh_{color} ：物件合併前後光譜之異質性差值

w_{shape} ：考慮形狀因子之權重

Δh_{shape} ：物件合併前後形狀因子之異質性差值

考慮分割影像可能具有多波段，以各波段分別給予權重方式以計算合併前後之加權光譜異質性差值，其值 Δh_{color} 計算如公式(2)，以 boj_1 、 boj_2 表兩待合併物件， $merge$ 為合併後物件。

Δh_{shape} 為考慮物件形狀之參數，該值之定義又以緊密度 (compactness) 與平滑度 (smoothness) 之異質性差值決定 (Baatz and Schäpe, 2000)，如式(3)所示，其中 $w_{compact}$ 、 w_{smooth} 參數關係與前述 w_{color} 、 w_{shape} 之間關係相同，定義如公式(4)、(5)。

$$\Delta h_{color} = \sum_c w_c (n_{merge} \cdot \sigma_{c,merge} - (n_{obj_1} \cdot \sigma_{c,obj_1} + n_{obj_2} \cdot \sigma_{c,obj_2})) \quad (2)$$

其中 c ：波段數

w_c ：各波段對應的權重

n ：物件之像素總個數

σ_c ：波段 c 之灰度值標準差

$$\Delta h_{shape} = w_{compt} \cdot \Delta h_{compt} + w_{smooth} \cdot \Delta h_{smooth} \quad (3)$$

$$\Delta h_{compt} = n_{merge} \cdot \frac{l_{merge}}{\sqrt{n_{merge}}} - (n_{obj_1} \cdot \frac{l_{obj_1}}{\sqrt{n_{obj_1}}} + n_{obj_2} \cdot \frac{l_{obj_2}}{\sqrt{n_{obj_2}}}) \quad (4)$$

$$\Delta h_{smooth} = n_{merge} \cdot \frac{l_{merge}}{b_{merge}} - (n_{obj_1} \cdot \frac{l_{obj_1}}{b_{obj_1}} + n_{obj_2} \cdot \frac{l_{obj_2}}{b_{obj_2}}) \quad (5)$$

其中 l ：物件周長

b ：bounding box 之周長

物件合併時，合併前後異質性的差值 f 將會增加，此時若任一合併之 f 值皆大於給定的尺度參數門檻值，即表示停止合併且完成影像分割。本研究將各波段設為等權重，而異質性之權重 w_{color} 、 w_{shape} 、 $w_{compact}$ 、 w_{smooth} 則考慮到分割影像區域位於海域而幾乎屬於無人造物體，所分割物件則無形狀上考量，故設定 w_{color} 為 1，即僅以各波段光譜作為分割考量。尺度參數以 10 開始每次增加 5 至 100 測試，尺度參數與分割物件數量間關係如圖 5 所示，尺度參數為 10 時分割達 6052 個，增加 5 則切割物件個數急遽減少為 2818 個。理論上較小的尺度參數所獲得分割物件相對較小，物件內部之異質性較小較佳；而考慮物件內紋理完整性，物件內所包含紋理特徵需具有足夠描述該物件。此處選用 25 作為尺度參數，由於此時再增加尺度參數時，物件個數減少速率已趨於穩定。以上述參數進行影像分割，該影像一共分割為 1082 個物件。

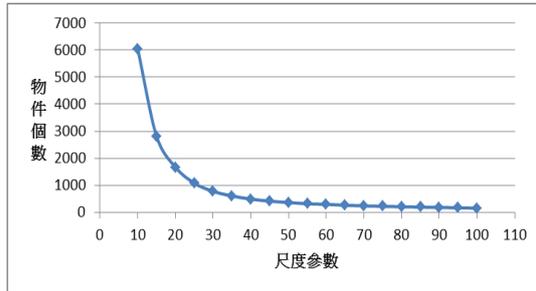


圖 5 尺度參數與切割物件個數關係

3.3 訓練區圈選

一般訓練區圈選主要以圈選數已知不同類別作為分類樣本，分類過程則根據各樣本之光譜特性進行。由於本研究並無實驗區地物類別資料，故以測試方式進行訓練區圈選。訓練區圈選均以影像分割後之物件為單位，而選取訓練區時 eCognition 之 Feature space optimization 功能提供選取訓練區於物件之特徵空間中的關係，可於進行分類前先了解訓練區選擇狀況以及各特徵對於分類的影響程度。

本實驗選定訓練區需滿足區塊內 8 個紋理影像波段各別灰度值範圍不超過 1，即紋理影像皆屬均調。訓練區圈選後透過 Feature space optimization 預先計算訓練區之分離度以確認圈選為有效。最終選取之 4 個訓練區如下圖 6。表 1 為各訓練區之 9 個波段之值，該值為單一物件中各波段分別取平均之結果。

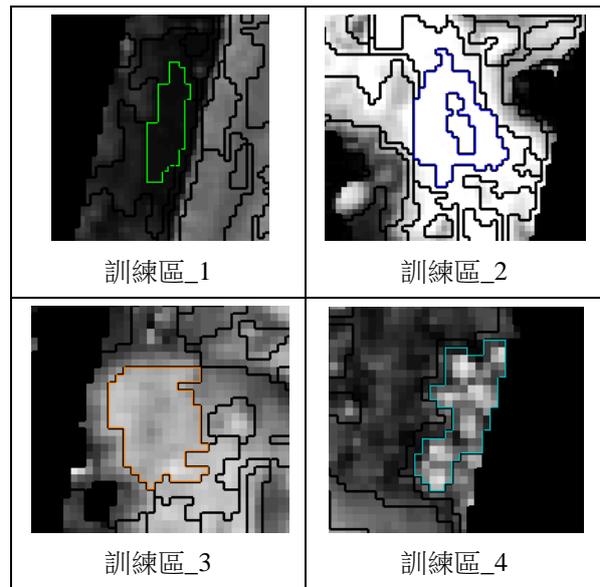


圖 6 圈選訓練區

表 1 訓練區內各特徵平均值

	訓練區_1	訓練區_2	訓練區_3	訓練區_4
反射率	11.96	249.16	165.59	112.47
方差	0.34	2.00	33.69	250.01
角二次矩	177.55	132.48	47.31	44.04
平均	10.61	255.00	225.20	150.04
均質性	237.82	223.12	63.06	2.06
熵	99.46	151.12	254.78	254.93
差異度	7.18	10.08	79.60	251.04
相關性	255.00	255.00	198.08	255.00
對比度	1.18	0.91	26.39	243.40

3.4 物件分類

本實驗由測深光達反射率數據生成其 8 個紋理影像，由反射率與此 8 個紋理影像共 9 個波段進行底質分類。此處採用最鄰近法

(Nearest Neighbor, NN)，其概念在於將物件每一波段視為單一維度上之距離，如具有 n 個波段，則計算待分類物件與各訓練區物間之 n 維之歐氏距離 (Euclidean distance)，待分類物件之類別即為與其距離最近之訓練區物件類別。此方法不需給定分類之參數，圈選之訓練區直接反映於分類成果。

此分類於光譜呈現上可被接受。

表 2 分類成果之 J-M 距離

	Class1	Class2	Class3	Class4
Class1	0	1.999	1.878	1.991
Class2		0	1.832	1.999
Class3			0	1.710
Class4				0

4. 成果與討論

本實驗分類成果如圖 7 所示。由於缺乏此實驗區驗證數據，並無法直接檢驗分類之正確性。以分離度 (separability) 檢視分類成果中任兩個類別間在光譜上是否可明確區分，此處使用 J-M 距離 (Jeffries-Matusita distance)，其定義如公式 (6)，其中 i, j 為兩分類， C 為協方差矩陣 (covariance matrix)， μ 為類別內之平均值。一般認定 J-M 距離之值大於 $\sqrt{2}$ 時，即可視為兩類別足夠分離 (Trigg and Flasse, 2001)。本實驗中任兩類別間之 J-M 距離如表 2 所示，其中最小值為 class3 與 class4 之間的 1.710，顯示

5. 結論與建議

本研究使用測深光達反射率影像進行底質分類，選取 4 種類別的訓練區，以物件為分類單元，再使用分離度檢測各分類類別，成果顯示滿足一般認定之區分門檻，亦即 J-M 距離值大於 $\sqrt{2}$ 。本研究缺乏實地或驗證數據，故未能檢核分類成果精度。此外，在分類資料方面，未來若能由測深光達波形紀錄萃取其他特徵，如 Cottin *et al.* (2009) 所計算者，將波形訊號中水底回訊部分萃取數種波形指標，則可望更豐富分類所需資訊。

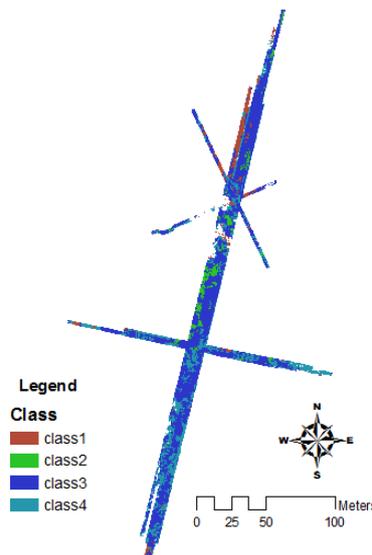


圖 7 實驗區分類成果

$$J - M_{ij} = \sqrt{2(1 - e^{-\alpha})}$$

$$\text{其中 } \alpha = \frac{1}{8} (\mu_i - \mu_j)^T \left(\frac{C_i + C_j}{2} \right)^{-1} (\mu_i - \mu_j) + \frac{1}{2} \ln \left[\frac{\frac{1}{2} |C_i + C_j|}{\sqrt{|C_i| \times |C_j|}} \right] \quad (6)$$

參考文獻

- Anys, H., A. Bannari, D. C. He, and D. Morin, 1994. Texture analysis for the mapping of urban areas using airborne MEIS-II images, Proceedings of the First International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition, Strasbourg, France, 3: 231-245.
- Baatz, M. and A. Schäpe, 2000. Multiresolution segmentation- an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. In: Strobl, J. Blaschke, T., Griesebner, G. (Eds.), *Angewandte Geographische Information-Verarbeitung XII*. Wichmann Verlag, Karlsruhe, 12-23.
- Benz, U.C., P. Hofmann, G. Willhauck, I. Lingenfelder, M. Heynen, 2004. Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 58(3-4):239-258.
- Brock, J. C., C. W. Wright, I. B. Kuffner, R. Hernandez, and P. Thompson, (2006). Airborne lidar sensing of massive stony coral colonies on patch reefs in the northern Florida reef tract. *Remote Sensing of Environment*, 104(1):31-42.
- Cottin, A. G., D. L. Forbes, and B. F. Long, 2009. Shallow seabed mapping and classification using waveform analysis and bathymetry from Shoals lidar data. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 35(5):422-434.
- Chust, G., M. Grande, I. Galparsoro, A. Uriarte, and Á. Borja, (2010). Capabilities of the bathymetric Hawk Eye LiDAR for coastal habitat mapping: A case study within a Basque estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 89(3):200-213.
- Collin, A. G., B. F. Long, and P. Archambault, 2011. Benthic classifications using bathymetric lidar waveforms and integration of local spatial statistics and textural features. *Journal of Coastal Research*, 62:86-98.
- Definiens, 2006. Definiens Professional 5 User Guide. http://www.pcigeomatics.com/products/ecog_aplications/ecog5_UserGuide.pdf, last accessed on April 25, 2013.
- Guenther, G. C., A. G. Cunningham, P. E. LaRocque, and D. J. Reid, 2000. Meeting the accuracy challenge in airborne lidar bathymetry, Proceedings of EARSeL-SIG-Workshop LIDAR, Dresden/FRG, June 16 - 17, 2000.
- Haralick, R. M., K. Shanmugan, and I. Dinstein, 1973, Textural features for image classification, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 3(6):610-621.
- LaRocque, P. E., J. R. Banic, and A. G. Cunningham, 2004. Design description and field testing of the SHOALS-1000T airborne bathymeter, SPIE conference, Orlando Florida, April 13 -15, 2004.
- Liu, X., H. M. Tulldahl, and A. Axelsson, 2010. Bathymetry LiDAR reflectance processing and seafloor classification. Proceeding of European LiDAR Mapping Forum, Netherlands, 30 Nov. - 1 Dec., 2010.
- Trigg, S., and S. Flasse, 2001. An evaluation of different bi-spectral spaces for discriminating burned shrub-savannah. *International Journal of Remote Sensing*, 22(13):2641-2647.
- Tulldahla H. M. and S. A. Wikströmb, 2012. Classification of aquatic macrovegetation and substrates with airborne lidar, *Remote Sensing of Environment*, 121(1):347-357.
- Wang, C-K., and W. D. Philpot, 2007. Using airborne bathymetric lidar to detect bottom type variation in shallow waters, *Remote Sensing of Environment*, 106(1):123-135.
- Wedding, L. M., A. M. Friedlander, M. McGranaghan, R. S. Yost, and M. E. Monaco, (2008). Using bathymetric lidar to define nearshore benthic habitat complexity: Implications for management of reef fish assemblages in Hawaii. *Remote Sensing of Environment*, 112(11):4159-4165.
- Zajac, R. N., 2008. Challenges in marine, soft-sediment benthoscape ecology. *Landscape Ecology*, 23(1):7-18.

Substrate Classification with the Reflectivity of Bathymetric Lidar

Wei-Tsun Lin¹ Tian-Yuan Shih^{2*} Jie-Chung Chen³

ABSTRACT

Bathymetric Lidar utilizes laser and scanning mechanism for measurement. From the recorded return signal of laser pulse, which is affected by both media and boundary between media layers, not only the water depth, but also the substrate information could be collected. This study explores the potential of substrate classification with reflectivity derived from AHAB Hawkeye II bathymetric lidar. Object-based classification scheme is adopted. Besides the reflectivity, eight GLCM based textures, namely, mean, variance, homogeneity, correlation, contrast, dissimilarity, entropy, and angular second moment are also computed. Image segmentation is applied for producing objects and then training areas of four classes are selected. The nearest neighbor classifier is applied for classifying the objects. The result is analyzed with Jeffries-Matusita distance, one index for measuring separability. It is shown that all J-M distances between the classes are larger than 1.710, which is larger than the threshold value of $\sqrt{2}$.

Keywords: Texture image, Segmentation, Object-based classification, Separability

¹ PhD student, Department of Civil Engineering, National Chiao Tung University

² Professor, Disaster Prevention & Water Environment Research Center, National Chiao Tung University

³ Section Chief, Department of Land Administration, Ministry of Interior

*Corresponding Author, Phone: 886- 3-5712121 ext.54940, E-mail: tyshih@mail.nctu.edu.tw

Received Date: Apr. 25, 2013

Revised Date: Feb. 07, 2014

Accepted Date: May. 12, 2014

- Hesse R. 2010. LiDAR-derived local relief models – a new tool for archaeological prospection. *Archaeological Prospection* **18**(2): 67–72. DOI: 10.1002/arp.
- IHO. 2008. *IHO Standards for Hydrographic Surveys*, 5th edn. Special Publication No. 44, International Hydrographic Bureau; Monaco Cedex. http://www.iho.int/iho_pubs/standard/S-44_5E.pdf.
- Jacq-Hergoualc'h M. 2002. *The Malay Peninsula: Crossroads of the Maritime Silk Road (100 BC–1300 AD)*, translated by Victoria Hobson. Brill Academic Publishers; Leiden; 749 pp.
- JALBTCX. 2011. Publications. <https://shoals.sam.usace.army.mil/Publications.aspx> (accessed on 2 April 2011).
- Kokalj Ž, Zakšek K, Oštir K. 2013. Visualizations of Lidar derived relief models. In *Interpreting Archaeological Topography, Airborne Laser Scanning, 3D Data and Ground Observation*, Opitz RS, Cowley D (eds). Occasional Publication 5 of the Aerial Archaeology Research Group, Oxbow Books: Oxford; 100–114.
- LaRocque PE, West GR. 1990. Airborne laser hydrography: an introduction. *Proceedings, ROPME/PERSGA/IHB Workshop on Hydrographic Activities in the ROPME Sea Area and Red Sea*, October 24–27, Kuwait City. http://www.jalbtcx.org/downloads/Publications/28LaRocque_West_99.pdf (accessed 14 December 2009).
- Li Q. 2006. *Maritime Silk Road*, translated by William W. Wang. China Intercontinental Press: Beijing, China; 194 pp.
- Macon CL. 2011. *Coastal Zone Mapping and Imaging Lidar (CZMIL) Development Update*. International Lidar Mapping Forum 2011: New Orleans, LA.
- Ministry of Culture. 2011. *The Second Phase Inventory of Underwater Cultural Assets Near Taiwan in 2011*. Ministry of Culture: Taiwan. (In Chinese.)
- Pickford N. 1995. *The Atlas of Ship Wrecks and Treasures: The History, Location, and Treasures of Ships Lost at Sea*. DK Publishing, Inc.: New York.
- Plets RMK, Dix JK, Adams JR, et al. 2008. The use of a high-resolution 3D Chirp sub-bottom profiler for the reconstruction of the shallow water archaeological site of the Grace Dieu (1439), River Hamble, UK. *Journal of Archaeological Science* **36**(2): 408–418.
- Prahov N, Angelova H, Kotsev A, Popov A, Dimitrov S. 2011. Predictive modeling in archaeology: world practice and Bulgarian perspectives. *Bulgarian e-Journal of Archaeology* **1**: 71–121.
- Shih PTY, Dushan A, Shyue SW. 2011. Bathymetric Lidar survey of Penghu Islands and Dongsha Atoll. *Sea Technology Magazine* **November**: 42–45.