

# 潮間帶基本地形測量技術發展計畫

李佩珊<sup>1</sup> 白敏思<sup>2</sup> 蘇惠璋<sup>3</sup> 林燕山<sup>4</sup>

<sup>1</sup>內政部土地測量局海洋測量課測量員

<sup>2</sup>內政部土地測量局海洋測量課課長

<sup>3</sup>內政部土地測量局副局長

<sup>4</sup>內政部土地測量局局長

## 摘要

臺灣四面環海，擁有豐富多樣的自然資源，然因經濟快速發展及颱風、地震不斷威脅，沿海地形產生巨大變化。潮間帶區域具有地形複雜性高且變動劇烈的特性，來自海洋及陸地的力量共同塑造出特殊的地形、地貌與生態環境。傳統測量技術應用上的限制，傳統水深測量不易測量近岸地區，陸測無法在濕軟的退潮地區觀測。本計畫在陸域採空載光達、海域因空載測深光達是否可有效應用於臺灣西部海域，尚須進一步探討，乃先進行臺灣周圍海水透視度分析，故在海域範圍仍採用船測進行。本計畫獲致陸域 85 平方公里、海域 154 平方公里面積；1/2500 陸域地形圖 32 幅、陸海域地形圖 72 幅、海域地形圖 74 幅；數值高程及表面模型；進行彰、雲、嘉縣外海 4 次及臺灣 1 次透視度分析。

關鍵字：潮間帶、地形、空載光達、透視度、沙奇盤、數值高程模型

## Development Plan of Surveying Technique on Tidal Flat

Pei-Shan Lee\* Min-Szu Pai Huei-Jhang Su Yan-Shan Lin

\* Surveyor, Hydrographic Survey Section, Land Survey Bureau

## ABSTRACT

Taiwan, surrounded by ocean, owns plenty of natural resources. However, due to the vast economical development and frequent earthquakes and typhoons, the coastland varies by leaps and bounds. The tidal flat is affected by ocean and land, thus result in the complex terrain and dynamic changes in this area. The application of traditional methods on tidal flat is limited owing to the extreme shallow water, the mud and sand terrain. As a consequence, the plan uses airborne lidar on the land. Cause the functioning ability of bathymetric lidar is constrained by the water clarity, the plan uses the secchi disk to measure the transparency information around Taiwan. The sonar is used in the ocean part of tidal flat. 85 square kilometers of land coverage and 154 square kilometers of ocean coverage are surveyed. The scale of terrain maps is 1 to 2500. 32 frames of land, 72 frames contain both land and ocean and 74 frames of ocean terrain maps are obtained. Digital elevation model and digital surface model are edited. Secchi disk survey were done 4 times in the offshore areas of Chunghwa, Yunlin, Chiayi and once around Taiwan.

Key words: tidal flat; terrain; airborne lidar; transparency; secchi disk; DEM

## 一、前言

潮間帶隨漲潮而屬海域，退潮時又屬陸域，潮

間帶海域區域因水深極淺，一般船隻無法駛入，僅能勉強採用竹筏、膠筏、橡皮艇、玻璃纖維工作船、水上摩托車或無人載具如遙控船進行水深測量；潮間帶陸域區域因地質鬆軟含水，控制點佈設困難且

容易遺失，亦造成人員測量之困難及成本的增加。傳統測量技術的限制，及作業時需配合潮汐的問題為潮間帶陸域及海域以傳統測量技術花費龐大又難以有效率地獲取正確資訊之困境（李佩珊等，2006）。經考量傳統測量技術於潮間帶地形測量之困難，爰規劃下列工作，以測試光達技術於潮間帶地區之應用性，全案作業流程如圖 1。

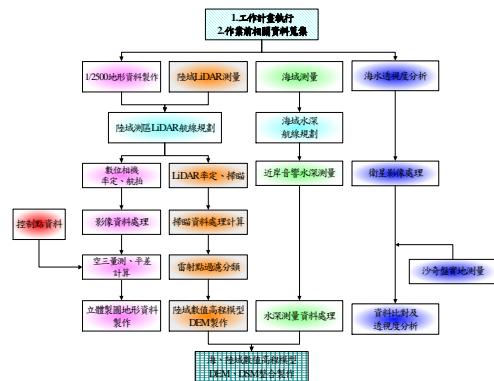


圖 1 本案作業流程

## 二、技術

本案實際評估空載光達於潮間帶地區之作業成果精度及辦理空載測深光達應用於臺灣西岸潮間帶區域之前置作業探討-沙奇盤調查及透視度分析。空載光達與空載測深光達均為以飛機為載具之光達系統，兩系統主要不同在其波長之設計，空載光達僅能測量陸域，空載測深光達則可獲致海域資訊。

### 2.1 空載光達

本案作業使用之空載光達是加拿大 OPTECH 公司生產，型號 ALTM 3070C，作業的技術規格重點包括：

- (1) 航高限制：與訊號分析處理速度及雷射器發射能量等因素有關，最低 200 公尺，最高 3000 公尺，慣用 500-1500 公尺（離地面高度）。
- (2) 光達測距解析度：1 公分。
- (3) 光達回波觀測數目：每個雷射脈衝，紀錄第一回波、第二、第三及最後回波四個回波觀測數。
- (4) 光達 Intensity 反應強度值：12 bits 輻射量測紀錄。
- (5) 掃瞄旋角視域(Field of View, FOV)：從 0 度，最大到 50 度(±25 度)，一般作業採±7~±20 度。
- (6) 掃瞄鏡轉動頻率：每秒掃瞄線的次數，與掃瞄速度、掃瞄旋角視域有關，若以 Z 字型軌跡雙向掃瞄

方式而言，雙向來回掃瞄算一次，最小約 20 Hz，高達 70 Hz。

(7) 雷射脈衝率：光達每秒量測的點數，早期設備 5 kHz，本儀器 70 kHz(或 71kHz)。

(8) 掃瞄形式：若以掃瞄點地面軌跡描述來區分，有雙向掃瞄 Z 字型軌跡、橢圓型軌跡、平行線軌跡等型式，本儀器是雙向掃瞄 Z 字型軌跡。

(9) 雷射光束發散角 (Divergence)：亦稱瞬時 IFOV (Instantaneous Field of View, IFOV)，為發射孔徑與雷射光波長組成的函數，ALTM 3070 可選擇採兩種光束發散角，0.2 mrad (1/e) 以及 0.7 mrad (1/e)。

(10) GPS 資料率：1 Hz 及 2 Hz 數據量最常使用。

(11) 掃瞄帶寬(Swath width)：與掃瞄旋角視域 FOV、航高限制有關。本儀器最寬掃瞄帶寬為 0.93×航高。

(12) Across-track spacing：垂直飛行方向測點取樣間距，慣用 0.5~2 公尺。

(13) Along-track spacing：飛行方向測點取樣間距，慣用 0.3~1 公尺。

(14) 方位參數解算精度：慣用 0.02°~0.05°。

(15) 雷射波長：地形測量應用之雷射波長一般為 1064 奈米。

### 2.2 船載單音束

本案測深作業採用 ODOM Hydrotrac 測深儀進行，外業作業前須先進行聲速剖面量測及水中聲速校正板檢校，相關流程如圖 2。

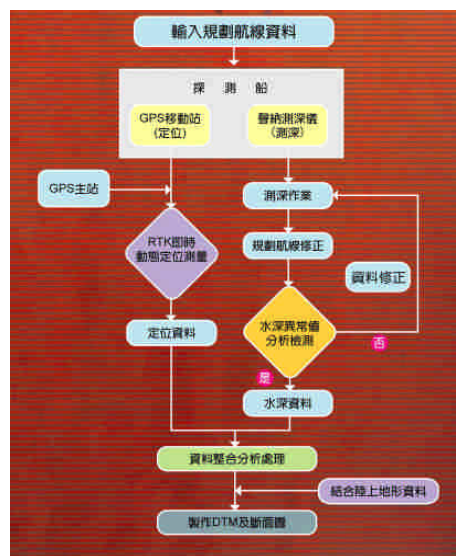


圖 2 水深測量流程圖

## 2.3 空載測深光達與沙奇盤

空載測深光達系統利用裝載於航空器之每秒高達數千至上萬頻率的雷射光束，進行水下資料蒐集（亦可進行陸域資料蒐集），每1道雷射光可得到2筆測量數據，第1筆測量數據（紅外雷射波長為1064nm）反射值：測量範圍內首先遇到之水體表面；第2筆測量數據（綠雷射波長為532nm）反射值：測量範圍內水下物體或海底（吳萬順等，2005）。

空載測深光達系統作業最主要的限制為海水透明度 (Seawater Transparency)，國外數據在清澈水域下測深範圍為0.5至70公尺，但通常可測得之深度約光學深度(Optical Depth)2至3倍距離，光學深度係以人工判讀沙奇盤置於水下可透視之程度，即沙奇盤深度(Secchi Disk Depth)。以沙奇盤進行透視度調查的方法，乃用手抓住繩子將沙奇盤降入水中，直至該盤消失於觀察者的眼中，此時取水面在繩上位置（刻劃）至盤面距離所量得的深度稱之為沙奇深度，亦代表水的透視度的指標（謝東發等，2006）。

本案作業為評估空載測深光達於臺灣西岸近岸海域之測深作業，針對環臺灣近岸海域辦理1次並於彰化、雲林、嘉義縣近岸辦理4次沙奇盤調查，以實測數據分析瞭解測深光達於臺灣西岸潮間帶廣大之區域辦理之可行性。

## 三、成果與分析

本案結合空載光達及船載單音束測深資料套疊如圖3，作業涵蓋範圍如圖4。

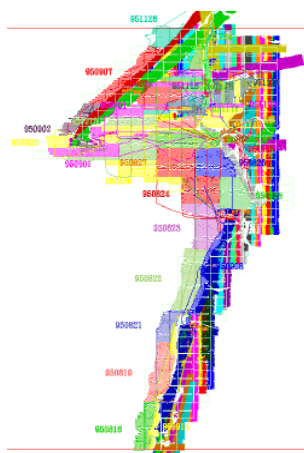


圖3 陸海域資料套疊

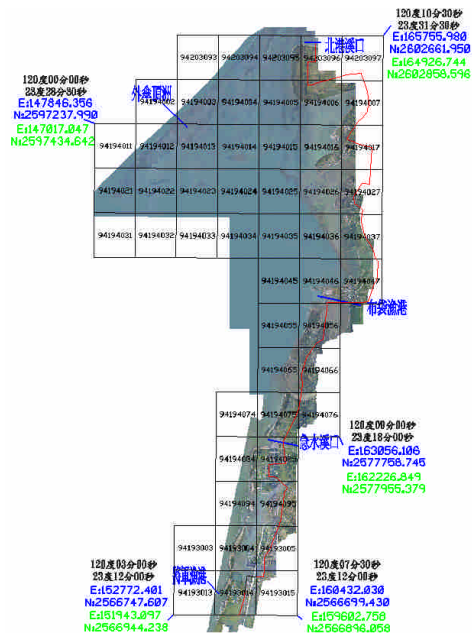


圖4 本次作業範圍

## 3.1 陸域資料

取得光達掃描資料後，首先需進行資料的前處理工作。程序包括了資料下載與整理、POS 資料解算、光達點雲解算、資料檢核與航帶平差等。並針對內、外部精度進行分析。其中內部精度即代表航帶間精度。其利用多條航帶重疊處組成之不規則三角網(Triangular Irregular Networks, TIN)進行高程差異的比對，以獲取航帶間的差異性，分析成果如圖5。

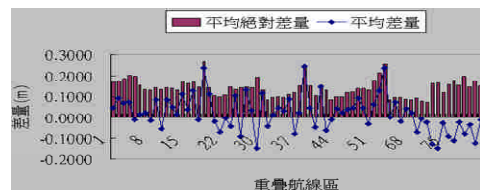


圖5a 左右重疊航線處誤差分析圖

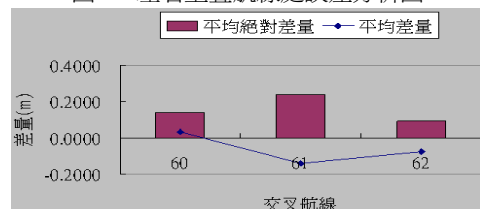


圖5b 交叉航線處誤差分析圖

外部精度是將已知的地面高程點比對光達點資料所表現的地形趨勢面。利用 RTK 檢核點比對光達點資料的成果。整體檢核點之比對成果高程精度為

9 公分，且 95% 之高程誤差在 20 公分內；其餘 5% 誤差在 30 公分內。高程誤差平均值為 3 公分，顯示並無太顯著之系統誤差。

### 3.2 海域資料

單一測線初步篩除可疑的水深資料，如訊號品質不佳的水深值、異常的水深值及定位品質不佳的水深點。加入各項修正資料，包含潮位資料、聲速剖面資料、儀器架設偏移參數、船隻姿態資料及率定資料等，整合同一測區的測深資料，利用資料間的相互重疊或交錯部分來比較其差值以剔除不符的水深點。

設定驗收檢核線資料各點 5 公尺範圍以內進行搜尋，取範圍內最近測線點進行比對，搜尋結果共 1166 點檢核點數，高程差量平均值為 -0.01 公尺，標準偏差為 0.14 公尺，檢核高程差分佈圖如圖 6。

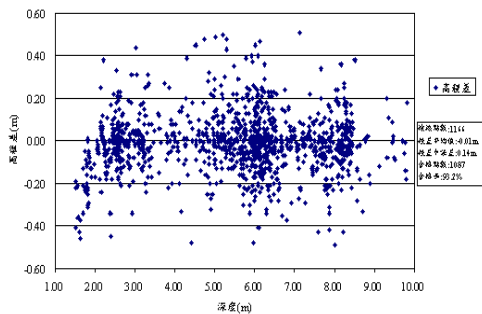


圖 6 檢核線資料比對誤差分佈圖

### 3.3 地形資料

#### 3.3.1 數值高程、表面模型

本案獲致數值表面模型 (DSM) 及數值高程模型 (DEM)，陸域範圍網格間距為 1 公尺，陸海域範圍網格間距為 5 公尺，製作流程如圖 7。DEM 成果圖如圖 8。

#### 3.3.2 地形圖

本計畫採用之攝影相機為 Trimble 公司之 APPLANiX 子公司專業用航攝數位相機，經率定、空中三角平差、立體製圖等作業後，編輯獲致本案比例尺為 1/2500 地形圖，計有陸域 32 幅、陸海域 72 幅及海域 74 幅共 178 幅地形圖成果，成果一覽如圖 9。

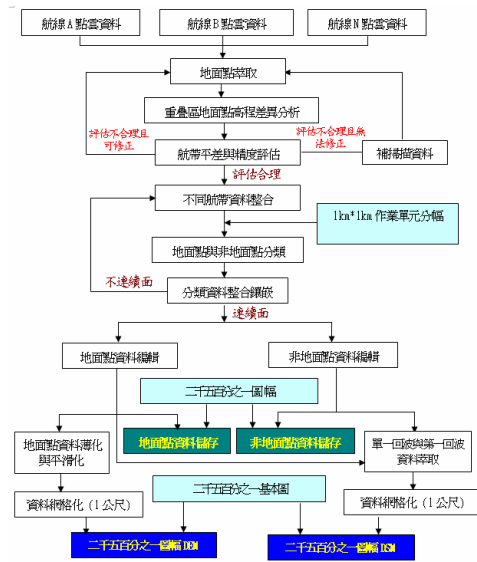


圖 7 1/2500 圖幅 DSM 與 DEM 產製流程圖

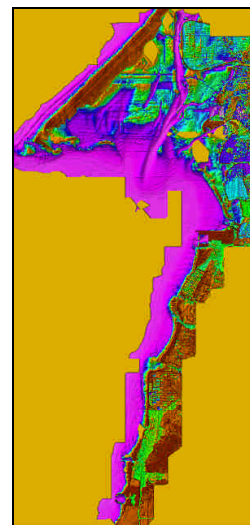


圖 8 本案 DEM 成果

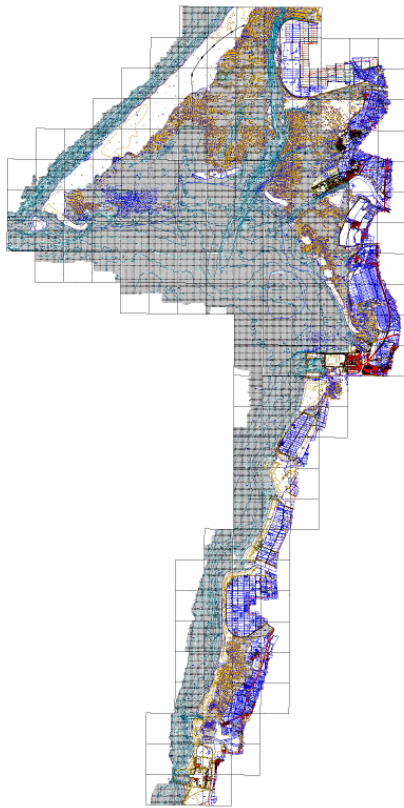


圖 9 1/2500 數值地形圖測繪成果一覽圖

### 3.4 透視度資料

臺灣近岸海域之沙奇盤實測點為 70 點，本案廠商在迴歸分析作業中，將  $G/R > 10$  的不合理點位剔除，再以剩餘的實測點進行迴歸分析，當得出迴歸趨勢後，再將誤差大於兩倍標準差的實測點剔除，重覆進行迴歸分析至所有點皆具有良好的迴歸趨勢(係以迴歸相關係數大於 0.6 為檢核標準)，分析流程如圖 10。

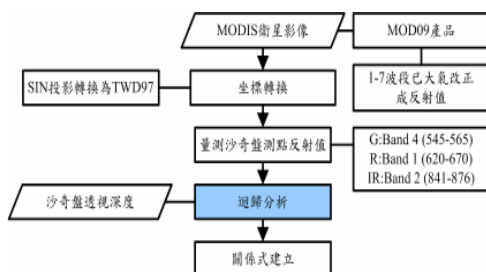


圖 10 臺灣近岸透視度分析流程  
彰化、雲林、嘉義縣近岸海域之沙奇盤實測點

為 60 點，於四季各辦理一次調查，本案廠商對迴歸結果亦採用統計方式，將超過 3 倍標準差之點位判定為隱含大錯誤之觀測值，以迴歸相關係數大於 0.6 為檢核標準，並於剔除錯誤觀測值後重新進行迴歸計算，分析流程如圖 11。

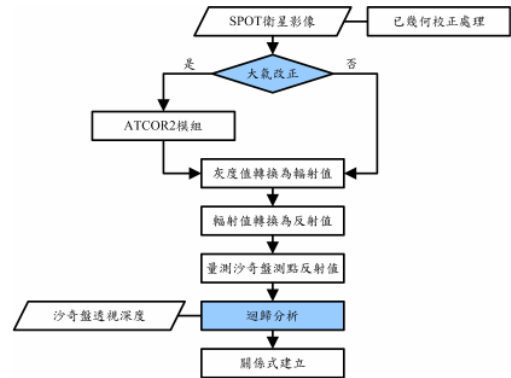


圖 11 彰化、雲林、嘉義縣近岸透視度分析流程

## 四、結論與建議

本次潮間帶基本地形測量技術發展計畫海域測區以將軍漁港地區以北至北港溪出口以南，測區南北長約 36 公里，海岸線全長則約 50 公里。本案採用空載光達辦理陸域測量，配合以船載單音束辦理近岸海域測量，結合兩種資料，獲致數值表面模型、數值高程模型，經以與空載光達掃描作業同時拍攝之數位相片繪製 1/2500 比例尺地形圖。另以沙奇盤環臺灣辦理 1 次、於彰雲嘉辦理 4 季之實地調查，分別配合以 MODIS 與 SPOT 衛星影像分析獲致近岸之透視度成果。

潮間帶海域區域，需於最高潮期進行近岸測量，近岸區不建議以東西或南北方向之航線進行，以確保獲致最大之海域水深資料。另因臺灣近岸海域使用特性，海域作業區有蚵架分布，基於安全考量，無法全面性獲取水深資料，然仍應獲取蚵架外範圍界，並應航行於部分水道。

透視度分析，雖限制影像拍攝與透視度調查時間相差 7 天內，然因大氣及海象變化迅速，因此沙奇盤與衛星拍攝時間不同步狀況下，各次分析均在刪除過多點位下方獲致迴歸成果。初步發現彰、雲、嘉外海在本計畫調查時期透視度成果均不甚佳，而臺灣之調查因僅進行一次，時間上之獲取頻率尚嫌不足，未來方需進行更深入探討以瞭解臺灣應用測



深光達之可行性。

彰雲嘉之透視度分析成果發現在近岸海水透視度較差之地區，例如本計畫施測之彰化地區，測深光達將不易成功，然而臺灣近岸之透視度變化大，即使如東海岸或高屏等透視度較佳區域，亦可能有部分時間透視度不佳。

臺灣近岸的海象與海水狀態變化較快，常因雨水造成河流下游夾帶大量泥沙，且工業污染及海流交錯，其海水透視度普遍不佳且難以預測，應以各海岸之性質如沙岸、岩岸、出河口、港口、水溫較高區或沖淤區等不同典型海水區域進行透視度監測，可較有效掌握近岸海水透視度變化之時間與空間狀態，篩選適合施測之地區及其時段後應用測深光達，並搭配陸域光達與船測聲納，將可有效完成潮間帶之地形測繪工作。

## 謝誌

本論文係國科會專題研究計畫「測繪科技發展計畫」（編號 095-0804-15-0002）之子計畫「潮間帶基本地形測量技術發展計畫」之研究成果，承蒙國科會經費之補助使本研究得以順利完成，謹致謝忱。

## 參考文獻

1. 吳萬順、林昌鑑、王焱、謝東發（2005）「先進國家海洋政策與海洋測量科技發展考察」，內政部土地測量局出國報告。
2. 謝東發、李佩珊、白敏思、蕭輔導（2006）「臺灣西部沿岸海水透視度調查應用於測深光達測量先期研究」，第四屆數位地球國際研討會，第 142-149 頁。
3. 李佩珊、謝東發、白敏思、蘇惠璋、蕭輔導（2006）、「沿海地區空載光達測量精度分析—以彰濱工業區為例」，第二十五屆測量及空間資訊研討會，第 1213-1220 頁。
4. 李佩珊、謝東發、鍾文彥、林文勇、白敏思、蕭輔導（2006）「沙奇盤海水透視度調查之研究」，內政部土地測量局自行研究報告。
5. 內政部土地測量局（2007）「潮間帶基本地形測量技術發展計畫」工作總報告書，內政部土地測量局。