

# 潮間帶地形測繪先導計畫

## Pilot Plan of Tidal Zone Terrain Surveying

謝東發<sup>1</sup>

Tung-Fa Hsieh

內政部土地測量局

Land Survey Bureau

白敏思<sup>2</sup>

Min-Szu Pai

內政部土地測量局

Land Survey Bureau

蕭輔導<sup>3</sup>

Fuu-Dao HSiao

內政部土地測量局

Land Survey Bureau

### 【摘要】

臺灣地區位居亞熱帶，四面環海，擁有豐富多樣的自然景觀與動植物資源，然歷經數十年來經濟的快速發展，加上受颱風、地震不斷威脅，為國土風貌帶來巨大的衝擊。近來因歷經多次嚴重之震、風災及大量之開發、建設，使得沿海地形已產生重大變化，因此為規劃永續與優質的國土資訊，因應社經環境快速變化與實際需求，有效規劃國土利用，兼顧環保與經濟發展，達到國土永續經營之目標，內政部土地測量局自 93 年度起執行「潮間帶地形測繪先導計畫」，運用先進測量技術，於 95 年底辦理完成彰化縣近岸國土基本資料，作為國土規劃與管理之重要基礎。

陸、海域交接的潮間帶區域，因為傳統測量技術的限制，歷來此區域間地形資料欠缺，造成國土圖資不完整，因此本計畫嘗試運用新技術克服，規劃國內首見以空載光達（LiDAR）測深光達辦理潮間帶地形測量，利用雷射掃描技術結合衛星定位系統（GPS）慣性導航單元（IMU）與數位相機，快速獲取數值化地表空間資訊特性，執行潮間帶地形測繪工作。本案海域工作區原以測深光達辦理測量作業，因底質與波浪作用導致海水濁度較高，經測試不利測深光達作業，該範圍後續以船載測深辦理地形測量，惟同時測深光達在臺灣東北角與東部獲得相當寶貴的資料，提供日後引進時選擇施測區參考。本案之測量成果經與陸域地形圖套疊，發現可精確銜接並延伸陸域數值地形模型（DTM）至海域，填補陸、海交界圖資，結合海域及陸域基本圖，完整國土測量。

**關鍵詞：**光達，數值地形模型

### ABSTRACT

Surrounded by seawater, Taiwan Island is situated at the subtropics with variety of animal and botanical creatures. The rapidly economic developments in the past decades of years, highly urbanization, and the threat of earthquake and typhoon have drastically incurred tremendous impacts to the terrain along seashore. For the purpose

<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> 前內政部土地測量局局長

of reaching the goal of everlasting management, and meeting practical needs on rapid changes of economic development and environmental protection, planning an exceptional national land information system is a basic work. The Land Survey Bureau (LSB) performed a Pilot Plan of Tidal Zone Terrain Surveying with advanced technology in 2004, and a follow-up plan in 2006 to accomplish the near shore along Changhua County for establishing the important bases of national land management.

In tidal zone, terrain data are usually in short because of the difficulty to collect data for traditional methods. Advanced technologies such as Airborne LiDAR, GPS, IMU, and multi-beam echo sounder, digital airphotogrammetric camera were introduced to overcome some difficulties in the cases mentioned above. Bathymetric LiDAR was first adopted at the beginning but was failed for the water clarity in the planned area. Interesting echoes were captured in the east shore of Taiwan. Aerophotogrammetric surveying and multi-beam echo sounder were also used. The overall results were compared with the topographic maps. Establishment of continuous data of national territory from land to territorial waters is possible.

**Keywords :** LiDAR ; DTM

## 一、前言

臺灣地區位居亞熱帶，四面環海，近岸地區擁有豐富多樣的自然景觀與動植物資源，近來因大量之開發、建設，使得沿海地形已產生重大變化，因此規劃建立維護優質的國土資訊，以因應社經環境快速變化與實際需求及有效規劃國土利用，兼顧環保與經濟發展，達到國土永續經營之目標，亟需運用先進測量技術，建立完整國土基本資料，作為國土規劃與管理之重要基礎。

國土範圍的確定需透過精確的測量，國土包括海域、陸域以及海陸交接地帶的潮間帶區域。其中潮間帶的測量與調查可做國土調查、國土維護、工程施工、資源開發、海岸變遷、環境監控、生態保育之應用基礎，並防制地下水超限利用、地層下陷及海岸侵蝕、保護海洋環境、強化海岸管理。在潮間帶區域範圍，來自海洋及陸地的影響同時可見，兩邊的力量共同塑造出潮間帶區域特殊的地形、地貌與生態環境，因此海洋環境或是陸地環境的變遷，都直接或間接的影響潮間帶區域，對於潮間帶區域這種地形複雜性高且變動劇烈的特性，有賴透過有計畫的測量與調查來進行國土維護與管理。

基於上述理由，內政部土地測量局選擇臺灣西部彰化縣沿海區域，配合潮位狀況辦理潮間帶地形測量工作，建立比例尺 1/2500 之潮間帶地形圖資，供民間及相關單位使用。潮間帶海域範圍之測量工作，受潮汐漲、退潮及障礙物影響，使得潮間帶測量工作作業困難，有鑑於此，目前極需要利用高解析、高科技測繪系統，以最經濟、迅速、有效的方式，及時獲取海岸潮間帶區域地貌正確資訊及變遷等資訊。裝載於飛行載具之高科技測深光達 ( Bathymetric Lidar ) 技術已經被證實為一個精確、有效益、快速、彈性且安全之方法，相較於傳統船載聲納測

深系統需較費時或甚至無法到達之區域如淺水或多岩礁近岸等，均可利用空載測深光達系統來進行有效率的量測與資料蒐集作業 (Ebrite et al.,2001)，因此本計畫以光達技術搭配船載測深，並引進測深光達，評估在臺灣西部海域之測量深度，並提供做為後續臺灣近海水域海底變遷、海岸線變化等參考，同時建立高精度及高解析度海底數值地形資料，與陸域資料進行整合，以確立整個國家海岸線資料之統一與完整。

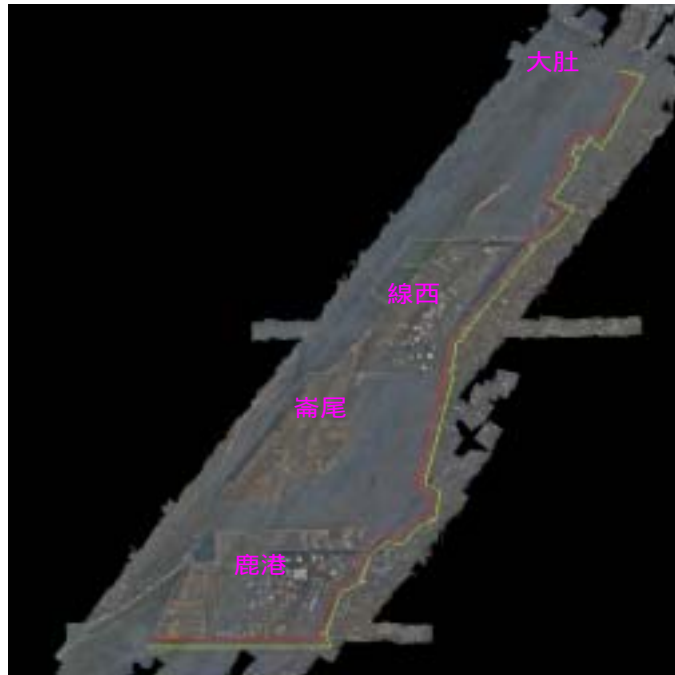


圖 1 計畫範圍

測區範圍(如圖 1)北自大肚溪出海口南岸端，南至員林大排出海口北岸端，東至南北端間海堤堤面中線為原則之連線往東 200 公尺止，西至當地最低潮位線起算至水深 5 公尺處，未築海堤部分以該範圍南北端已築海堤終端中線連接線為準計之，並包括兩處彰濱工業區全部。

## 二、作業執行

### (一)控制測量工作

為順利完成本次陸域、海域範圍測量，需佈設足夠之平面與高程控制點，於測區範圍附近選擇均勻之已知控制點做為後續測量依據，包括平面及高程控制點，其中平面控制以靜態 GPS 觀測，採用內政部公告之 TWD97 平面基準；高程控制以直接水準辦理，採用內政部公告之 TWVD2001 高程基準。

光達測量以 GPS 結合 INS (慣性導航系統) 定位；水深測量利用 GPS-RTK 定位搭配測深儀進行，可即時獲得各測點之三維坐標及高程資料，減少因漲退潮影響而產生之高程變化，惟受到 GPS-RTK 無線電發射接收之距離限制(約 7-10 公里)，海域測量範圍需在主站設置之無線



圖 2 GPS-RTK 無線電範圍示意圖

電有效距離內，如圖 2 所示。

## (二)陸域測量工作

彰化潮間帶區域坡度平緩，加上潮汐落差大，退潮時裸露水面之陸域區域面積廣大，規劃採用空載光達(LiDAR)結合數位相機辦理資料蒐集，作業前需要有完整的飛航計畫，計畫的內容須考量包括掃描區範圍、實施地形的高度、預定規劃的載具航高、掃描儀掃描角度、每一航線涵蓋地面寬度、航線間的重疊率、交叉航線位置、點雲分布密度及配合潮汐漲退潮資料與航區管制等種種條件，故於實際進行飛航之前，必須規劃詳細的飛航資訊及展繪飛航規劃圖及提出飛航申請，以確定飛航任務之可行性，圖 3 掃描航線示意圖。

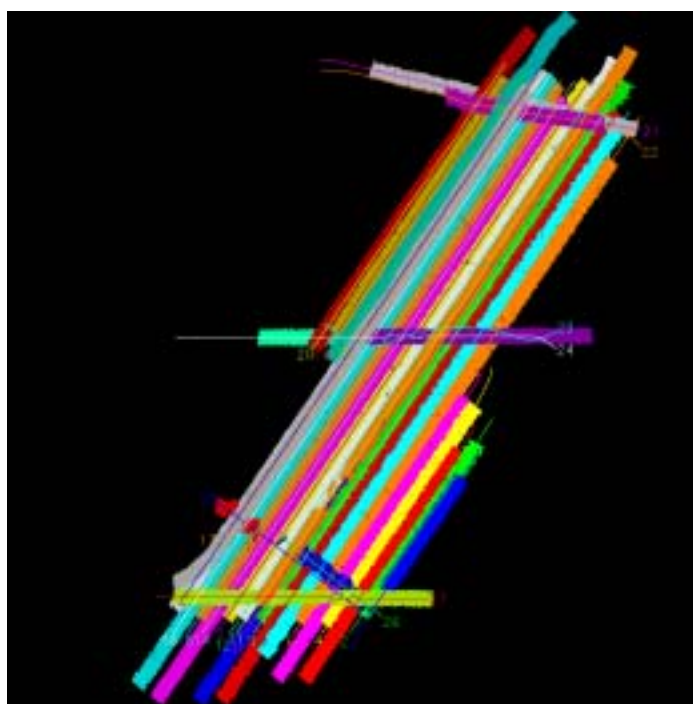


圖 3 掃描航線示意圖

請，以確定飛航任務之可行性，圖 3 掃描航線示意圖。

為使空載 LiDAR 雷射掃描獲取最佳資料，於作業時間之規劃上亦需考量，影響最大者為 GPS 之觀測時段；為能使載具於飛行軌跡能獲得最佳之 GPS 資料解算品質，因此必須先針對作業區域上空之衛星幾何分布情形進行了解，利用 GPSurvey v2.35 之 GPS 外業觀測規劃模組，可事先對衛星之顆數時段表、出沒軌跡圖、幾何精度指標 (PDOP 值) 與出沒高度圖等資訊規劃最佳之觀測時段。作業時依交通部中央氣象局發布當地潮汐預報漲、退潮時間進行測量，以獲取高、低潮位線位置。共掃描 29 條航帶，含 7 條交叉航線及 1 條檢查線，共計約有 1.95 億個最後回波之雷射點，陸域作業範圍為 115.982 平方公里，所獲得雷射點之密度為每平方公尺 1.69 個點數。

## (三)海域測量工作

海域測量工作於計畫初期即採取 2 個方案，以測深光達或音束測深辦理，因測深光達於計畫範圍因水體濁度因素無法蒐集資料，遂採取音束測深辦理海域測量工作。

### 1.測深光達測深

由於目前臺灣尚無測深光達設備，本計畫為提供先進測量技術並提昇測繪品質及效率，引進加拿大測深光達辦理測深，以 BN-2B 作為載具，作業時於臺中清泉崗機場裝載設備，執行 15 條航線，由於電源供應及機艙溫度過高等因素，共執行 3 天掃描，面積約 50 km<sup>2</sup>，所有掃描結果均無水底反射之雷射回波值，因此評估此區域無法進行測深光達測深 (林志交等，2005)。本次成果顯示，海

水透視度扮演以測深光達辦理近岸水深測量技術使用之關鍵，在西岸之水質混濁環境下，該系統無法測得水深資料，僅有東區等較清澈水域可獲得水深資料，然而其水深變化較陡峻之特性使可施測之面積相對較小，於臺灣近岸地形測量的利用明顯受限，東岸及澎湖、綠島或蘭嶼、東沙等週邊海域可能較為適用此種水深測量法進行規劃施測。然而就其效率而言，以本次作業為例，3 小時時間可獲取約 10 平方公里之測深資料，較傳統單音束水深測量方式更為迅速。

鑒於引進測深光達系統不易，同時於臺灣東部選擇宜蘭東澳及花蓮港地區進行測試，進行 1 條航線，可測至深度 28 公尺處；花蓮港地區共計執行 22 條航線，並同時實施陸地及海底地形施測，測得深度 37 公尺。

## 2. 音束測深

本計畫原引進測深光達進行潮間帶水深測量工作，惟因海水透視度因素，致無法獲取水深資料，為完整獲取測區範圍海底地形資訊，乃以單音束水深儀器進行測量，水深作業測線採垂直岸線(東西向)，而測線彼此間以相互平行排列，測線密度間距規劃為 25 公尺一條，另外在測線之垂直方向以每 250 公尺規劃檢核測線，以檢核施測成果，測線如圖 4。定位採用 RTK 即時動態衛星，於陸上設一基站或接收廣播站訊號，配合海上移動站測定船隻位置，記錄測深時刻的位置坐標。水中聲速隨著水中溫度、壓力及濃度(鹽度)而有所變化，隨著聲速的不同造成整個測深斷面產生聲速折射現象，進而影響水深測量成果，因此每次測量時必須於測區範圍內量測聲速剖面，以作為水深測量之聲速校正因子，精確修正水深測量成果。



圖 4 測線情形

臺灣西部因潮差大與坡度平緩，使得近岸海域測量受到限制，所能辦理施測時間每日僅數小時，且須視海象狀況方能決定是否可出海，加上此範圍養殖業盛行，更增測量難度。對於極近岸處以及蚵架田之水深測量作業，無法在於低潮位時進行水深測量，需事先利用潮位預報資料，選擇漲潮時間施測，除可加大水深測量涵蓋範圍且能與陸域施測範圍有所重疊、不致產生間隙，亦可交互比對兩者測量成果之品質，海測作業情形如圖 5。

臺灣西部因潮差大與坡度平緩，使得近岸海域測量受到限制，所能辦理施測時間每日僅數小時，且須視海象狀況方能決定是否可出海，加上此範圍養殖業盛行，更增測量難度。對於極近岸處以及蚵架田之水深測量作業，無法在於低潮位時進行水深測量，需事先利用潮位預報資料，選擇漲潮時間施測，除可加大水深測量涵蓋範圍且能與陸域施測範圍有所重疊、不致產生間隙，亦可交互比對兩者測量成果之品質，海測作業情形如圖 5。



圖 5 近岸海測作業情形



### 三、作業成果

#### (一) 地形圖

地形圖資料包含地物、地類、地貌，並依其性質分層，地形圖編繪原則以內政部頒布相關基本地形圖資料庫地形資料分類編碼、圖式規格表規定辦理。

因潮間帶範圍涵蓋了部分陸域與部分海域，現有陸域規範尚顯不足。本計畫於海域部分加入 50 公尺間距 DEM 資料與水線資料，對於近岸特有之地物如消波塊、風力發電機等依內政部土地測量局「潮間帶基本地形圖資 GIS 資料整合處理試辦作業」工作草擬之圖示標註。地形圖成果並與正射影像套繪，以檢查地形圖資料是否有遺漏，套繪情形如圖 6。

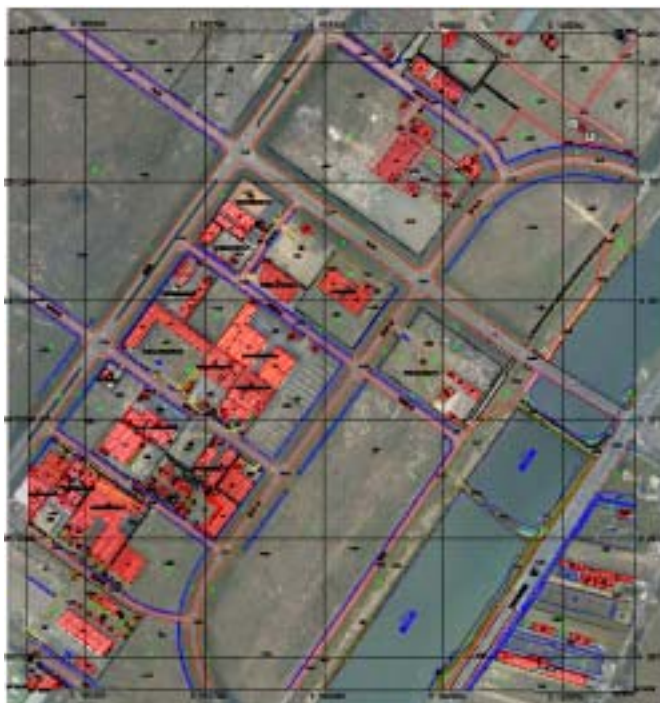


圖 6 正射影像與地形圖套繪

#### (二) DEM 及 DSM

經過分幅、分類、編輯與薄化處理後之地表面與地形面點雲資料結合水深測量資料，即可藉由其紀錄的高程資料，產製網格的 DTM 資料，以 TerraScan 及 TerraModeler 軟體，將地面點與地表覆蓋資訊分別組成地面高程與地表覆蓋面，其次分別組成 DEM 與 DSM 方格網，圖 7 為 DEM 成果三維視景。根據內政部所公佈之「高精度及高解析度數值地形模型測製規範(草案)」，數值地形模型可分為數值高程模型(Digital Elevation Model, DEM)與數值覆蓋面模型(Digital Surface Model, DSM)二種，其定義如下：



圖 7 DEM 成果三維視景

### 1.數值高程模型(Digital Elevation Model , DEM)

DEM 描述不含植被及人工建物之地表天然面高程起伏的數值模型。此模型是以規則網格式離散點所組成。為了便於資料的管理及後續應用，在此我們定義離散點是等間距的方格點。

### 2.數值覆蓋面模型(Digital Surface Model , DSM)

DSM 表示地球表面可見光無法穿透的最上層表面的數值模型。它與數值高程模型不同之處乃在表示地表建物及長年生植被的最上層表面。此模型亦是以規則網格式離散點所組成，在此我們同樣定義離散點是等間距的方格點。

### (三) 陸海圖資整合

將現有 1/5,000 基本圖資料供比對本計畫產製之 1/2,500 地形圖,但因 1/5,000 基本圖測繪之坐標系統為 TWD67 系統，與現行 TWD97 坐標系統存在系統性偏差。因此在比對作業上，選擇特定圖幅圖框點坐標以 TWD97 與 TWD67 轉換程式進行坐標轉換後套疊比對，由於兩種圖籍製圖時間差異頗大，現地地形變化也隨著各項公共工程而有顯著不同，如圖 7 所示，其中藍色為 1/5,000 基本圖，黃色為本次 1/2,500 地形圖，圖中左側紅色線形為台 61 線快速道路，其地形雖然變化劇烈，亦選擇部分明確線形進行比對，比對結果在數十公分範疇。

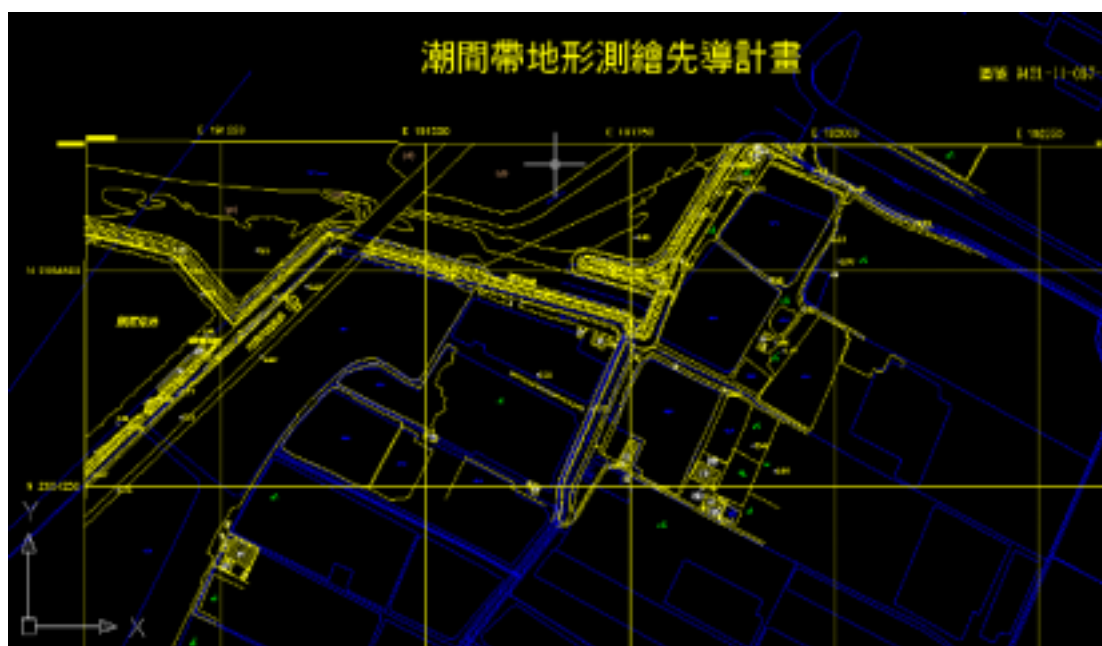


圖 7 地形圖整合

## 四、結論

(一) 潮間帶區域屬於海域與陸域間交界之模糊地域，隨著潮汐變化，潮間帶地形測量時需海域測量技術與陸域測量技術，該區域因為傳統測量技術的限

制，歷來此區域間地形資料欠缺，造成國土圖資不完整，因此本計畫嘗試運用新技術克服，執行潮間帶地形測繪工作。經執行發現，以光達掃描結合船載測深可有效辦理臺灣西部潮間帶測繪。

- (二) 本計畫希望利用空載測深光達之快速、有效特性，來建立高精度及高解析度數值地形資料，特別是以往不易量測之極近岸潮間帶地區，雖然臺灣西部地區因海水混濁致無法獲得測深資料；然而在東部海岸則分別 28 公尺（東澳）及 37 公尺（花蓮港）之深度資訊，因此若能確實掌握沿海透視度資料，能加速近岸地區之測量工作。
- (三) 本案之測量成果經與陸域地形圖套疊，發現可精確銜接並延伸陸域數值地形模型（DTM）至海域，填補陸、海交界圖資，結合海域及陸域基本圖，完整國土測量，作為國土規劃與管理之基礎。

### 參考文獻

- (1) 內政部土地測量局，2007，「潮間帶基本地形圖資 GIS 資料整合處理試辦作業」工作總報告書。
- (2) 內政部土地測量局，2006，「潮間帶地形測繪先導計畫」工作總報告書。
- (3) 林志交、王弘基、張坤樹、李彥弘，2005，SHOALS 透水光達系統於臺灣沿海水深測量測試報告，新竹縣，工業技術研究院。
- (4) Ebrite, S., Pope, R.W., and Lillycrop, W.J., 2001. A multi-agency solution for coastal surveys –SHOALS in the Pacific, Proc. Oceans 2001, MTS/IEEE, Nov. 5-8, Honolulu, Hawaii, (in press).