

近岸測量設備可應用區域之研究

謝東發¹、李佩珊¹、蔡鴻勳²、林燕山³

- 1.內政部國土測繪中心測量員
- 2.內政部國土測繪中心簡任技正
- 3.內政部國土測繪中心主任

摘要

臺灣海岸線長達 1500 公里，隨著海岸開放，使得該區域土地利用漸趨多元化，如觀光遊憩、生態保育、經濟發展、交通建設等，近岸地區地形圖資日顯重要，海岸空間之利用有其全面性考量與不可逆性特質，為兼顧保育與開發始能確保自然環境資源之永續發展，因此近岸空間資訊應儘早即全面建立，提供相關使用，鑑此，本中心陸續辦理相關圖資建置工作。

近岸測量設備與技術近年來有突破性的進步，音束測深儀（Echo Sounding）與光達（Light Detection And Ranging）...等設備普遍被使用於近岸測量工作，因測量設備有其特性與作業限制，對於其適合應用之區域有必要予以探析，以提升測量工作效能，避免經費虛擲。本文考量臺灣海岸地形、地質特性，並加入測量儀器特性與能力等因素，提出相關分析資料供使用者辦理近岸測量參考。

關鍵詞：音束測深儀，光達

A STUDY OF COASTAL TERRAIN SURVEY METHODS

Tung-Fa Hsieh^{*} Pei-Shan Lee Hung-Shiun Tsai Yen-Shan Lin

^{*} Surveyor, National Land Surveying and Mapping Center

ABSTRACT

Various land use on the littoral zone, for instance the tourism, economical development, transportation infrastructure and ecology preserve result in the importance of coastal topographic map. To ensure the sustainable development of natural resources the offshore maps must be built as early as possible. Therefore, the national land surveying and mapping center, NLSC, has been working on the topographic maps in recent years. The echo sounding and light detection and ranging, lidar, were utilized in the littoral zone. Due to the limitation of the survey equipments, the suitability of different equipment in zone of different environmental attribute is analyzed. Considering the coastal terrain properties, geological attributes, equipment ability etc., the outcomes are listed for your reference.

Keywords: Echo Sounding ; Light Detection And Ranging

一、前言

海岸國土之調查應用為國家海洋政策之重點，近岸地區之國土規劃、管理及資源開發等工作，均

需高精度及高解析度的近岸地形資料，以往因受限於傳統測量技術限制，測量作業不僅具較大之危險性且花費龐大又難以有效取得正確資訊，隨著近岸測量儀器與技術陸續引進與快速開發，可克服上該限制，獲得完整精確的近岸地形資料。近年來，本

中心執行近岸基本圖資測繪，已使用空載光達、空載測深光達、數位航拍相機、單音束測深儀、多音束測深儀等設備辦理近岸地形測量，對於各項近岸測量設備之實際作業經驗，可提供參考。

另本中心 95 年度以空載測深光達辦理彰化近岸海域測量，因底質與波浪作用導致海水濁度較高，無法進行測深作業，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測試，可測深達 30 公尺，可知近岸測量會因地形與其他因素影響，測量方法需予以考量，發現若使用不合適測量方法，易造成時間延遲、增加支出等負面效應，遂進行本研究，藉由加入地形、底質...等因子，來分析各項近岸測量設備可應用之區域。

二、近岸測量設備

近岸及海域地形測量工作所使用之儀器有單音束測深儀、多音束測深儀、數位航空相機、陸域光達與測深光達等設備，其中數位航空相機、陸域光達應用於退潮時露出水體部分地形測量，而音束測深儀與測深光達應用於水下地形測量。若以物理原理來區分，音束測量係紀錄聲波傳遞時間來推算地形地物空間位置，而數位相機與光達係紀錄光波傳遞時間來推算地形地物空間位置。若以載具種類來區分，音束測量搭載於船隻上進行資料蒐集，而數位相機與光達係搭載於飛機（直升機或定翼機）上進行資料蒐集。

2.1 空載光達

空載雷射掃描整體系統，包括雷射 (Laser) 掃描系統硬體元件、全球衛星定位系統 (GPS)、慣性測量單元 (IMU) 及數據處理軟體等之整合構成作業系統，系統是利用脈衝或光柱、接收器時間系統、計數和光線行進時間來進行一連串的作業。因為雷射束的速度是已知，大約每秒 30 萬公里，因此我們能以光束從發射至返回接收的時間來計算光束發射點與物體間距離，公式：距離 = (光速 * 時間差) / 2，得到光束發射點與物體間距離後，再經計算得到載具在坐標系統的空間位置，即得物體在坐標系統的空間位置。以光達測量之優點為可快速獲取地面 3 維空間資料。其精度受到包含儀器率定 (雷射、雷射點與天線位置) 精度、全球衛星定位系統定位精度、慣性測量單元姿態精度、點雲 (Point

Clouds) 密度與平差模式 (Adjustment Method) 等。LiDAR 的優勢在於其雷射點的密度很高，雷射槍每秒對地面掃描的頻率可達 33KHz (史天元等, 2002)，這意味著空載 LiDAR 技術每秒可掃描獲取三萬餘點的座標。此外，因 LiDAR 原始資料是純文字，故後期製作時較傳統航照製作數值高程模型方便許多 (黃鐘等, 2004)。

2.2 空載測深光達

空載測深光達藉由可透水光波 (綠光) 來進行水下地形測量，亦可運用於陸域測量，其作業原理同空載光達，作業情形如圖 1，其作業能力受限於水體透視度，透視度可定義為一定條件下肉眼可透視水之深度，影響海水透視度的因素很多，包含海水中藻類含量、浮游生物、水色、日照強度、底質種類、波浪、流的變化與天候...等，經調查發現臺灣近岸海水透視度差異極大，以中西部近岸海水透視度最差。

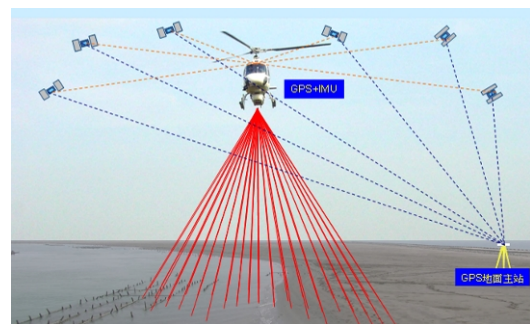


圖 1 測深光達作業示意圖

海水透視度值從 0 公尺至 20 公尺不等，透視度之 2 倍左右之深度為適合綠色植物生長之水的最上層區域，其為研究海洋學之重要參數並且可用於發展物理及生物模型、及指出適合空載測深光達作業區域 (Thorkild, 2002)。諸多影響透視度因素以日照強度、底質與浪的交互作用對海水透視度產生較大影響。測深光達成功案例顯示，測深光達可以透視的深度約為沙奇盤透視度 (Secchi Disk Visibility) 之 2 至 3 倍 (林志交等, 2005)。

2.3 數位航空攝影相機

航空攝影整體系統，包括航照相機系統硬體元件、資料處理單元 (掃描與數化設備) 及數據處理軟體等之整合構成作業系統，原始資料是利用裝載於航空載具上之航拍相機，以被動式成像所蒐集而

得，透過像片重疊與地面布標方式來解算地面點在坐標系統的空間位置。其精度受到包含天候、儀器條件（鏡頭、成像解析度等）、載具姿態精度、資料處理程序與平差模式等。數位航測相機由於採用 CCD 感測器，增加了可攝影的時間；品質提升，避免底片曝光、沖洗和掃描過程中，人為或其他因素造成影像的扭曲偏差，可同時獲取全色態、Near-IR、RGB 影像。

2.4 音束測深儀

音束測深系統主要單元分為測深單元、定位單元、船體姿態單元、資料收集單元。在預定的航線上施測，音鼓每次發射音束取得音鼓下方之水深值，隨著船隻移動可得測線水深。在提供足夠密度測線水深資料後，可以內插方式繪製等深線，以取得地形變化趨勢。音束測深儀早期以單音束測深儀（Single-beam）為主，近年來許多多音束測深儀（Multi-beam）已被普遍使用於水深測量作業，同測線距離多音束測深儀可蒐集更多水深資訊，圖 2 為音束測深作業情形。

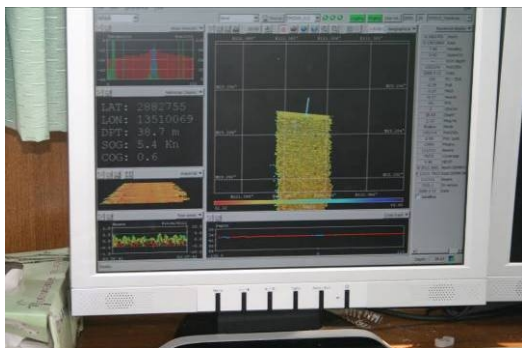


圖 2 音束測深作業情形

音束測深儀之作業原理為水中的速度是可藉由計算得知，因此我們能以音束從發射至返回接收的時間來計算音束發射中心與物體間距離，得到音束發射點與物體間距離後，再經計算得到載具在坐標系統的空間位置，即得物體在坐標系統的空間位置。以音束測深之優點為垂直方向上具公分級解析能力，儀器較便宜，在儀器組裝及操作上簡單易上手，資料量小，處理簡單且單純。其精度受到包含測深儀測深精度、定位精度、水中聲速、潮位量測及潮差改正、船體前後傾斜、左右搖擺運動(Pitch&Roll)、船體上下升降及船向(Heave & Yaw)、儀器間的時間延遲(Latency)等。

三、資料分析

3.1 作業效率與儀器精度

本研究將對上述測量設備之特性、能力（單位時間作業範圍、測量精度、測量密度等）與作業限制等因素進行分析比較，歸納出其適合作業區域。

經彙整分析，單音束測深儀與多音束測深儀精度皆達公分級（1 公分-7 公分）；數位航測相機像元大小達 $12\mu\text{m}$ ；空載測深光達垂直精度約 25 公分，精度均符合 IHO（國際海道組織） Older 1 等級之水深測量標準。

而作業效率部分，單音束測深儀的作業效率約為 10km/hr（依船速 6 節計算），多音束亦約為 10km/hr（依船速 6 節計算），多音束測點數會較單音束多數十倍；光達的優勢在於其雷射點的密度很高，雷射槍每秒對地面掃描的頻率可達 33KHz（史天元等，2002），作業效率達 70 平方公里/小時（依航高 400 公尺，航速 180 海浬/小時計算），可於短時間辦理大面積測量作業。

3.2 海岸地形

本研究將台灣海岸地形區分為 4 區塊，分別為東部海岸、西部海岸、南部海岸與北部海岸，分析其利用何種設備辦理測量最適宜。

3.2.1 東部海岸

東部近岸區域山海相連，瀕臨太平洋的斷層地形使的坡度極陡，因此近岸水深較其他區域深，漲退潮影響不大，且海象較穩定，適合以測量船為載具，搭配音束測深儀進行水下地形測量，惟須考量測深儀之能力是否可測較深水域；近岸陸域部分可使用定翼機或直升機搭配航拍相機施測。

3.2.2 西部海岸

臺灣西部近岸屬於堆積地形，底質以沙為主，河口範圍底質則為泥，此區域坡度平緩且潮差大，至許多區域於退潮時裸露於水面之上（圖 3），因此可使用直升機為載具搭配數位航測相機於退潮時辦理水面範圍施測，另於漲潮時利用膠筏為載具搭配音束測深儀辦理水面下範圍施測；河口部分為地形變化較劇烈區域，於暴雨或颱風過後，可使用機動性強之測量車搭配雷射掃描儀辦理地形測量，快速獲取河口地形資料與進行變遷分析。



圖 3 河口區（北港溪）

3.2.3 南部海岸

岩岸與礁石散佈的南部近岸區域，因地形與海象因素的影響，極近岸對於船測具有危險性，因其海水透視度良好，適合利用直升機搭載測深空載雷射掃描系統進行地形測量或以水上摩托車、遙控船等機動性強之載具搭配音束測深儀，其餘近岸區對船測安全不影響，可使用測量船搭配音束測深儀辦理地形測量；近岸陸域部分可使用定翼機或直升機搭配航拍相機施測。

3.2.4 北部海岸

此範圍東臨太平洋，北接東海，西濱臺灣海峽，為東北季風發達區。岩石與礁石散佈的臺北近岸區域，因地形與海象因素影響，極近岸對於船測具危險性，因其海水透視度良好，適合以直升機搭載測深光達進行地形測量，或以水上摩托車、遙控船等載具搭配音束測深儀施測，其餘近岸區對船測安全不影響，可使用測量船搭配音束測深儀辦理地形測量；近岸陸域部分因地形曲折，適合使用直升機搭配航拍相機施測。

3.3 近岸地(底)質

因上一節對於近岸地形只是概括的分類，事實上，海岸地形是以各種型態交錯分布，因此可用地質角度來區分近岸型態，本研究初分為沙質區（含泥質區）、礁石區（含岩與礁）與其他區域（含港區、航道、保護區及需較細部水下地形區域）。

3.3.1 沙質區

海岸地區因岩屑沙粒堆積成為沙灘，如北部海岸沙灘地形，或因河流、海水的堆積作用，呈現沙岸地形，如臺灣西部沙岸。另河口區域因河流挾帶中上游沙、泥等底質堆積於海岸，所以一般泥岸散

佈於河川出海口附近，如大肚溪、濁水溪等大溪河出海口。

沙質區特色為坡度較緩，西部海岸、河口或峽灣區會出現，因底質粒徑小，容易受風浪影響，地形變化快速，適合以效率高之儀器來辦理測量，如航拍數位相機與陸域光達來測量露出水面或沙洲，因本區域受風、浪與底質交互作用，致水體渾濁，不適合測深光達施測，宜以單音束測深儀來進行水下測量。

3.3.2 礁石區

岩岸與礁石岸為底床相連之近岸，其形成的原因不同，地質為岩石之海岸，受海蝕與風化作用，形成各種岩岸地形；礁石岸為生物的碳酸鈣骨骸經過長期的累積形成，再因浪與風交互衝擊，而形成類似岩石的礁岸。礁石區特色為坡度較陡，分布於東部海岸、南部海岸與北部海岸，其特色為地形變化不大，且水體較清澈，以船測辦理時有安全上之顧慮，適合以空載測深光達來辦理測量，小區域亦可以作業人員直接測量方式進行，圖 4 為本中心辦理台北縣石門鄉近岸礁石區測量作業情形，利用全站站經緯儀(Total Station)進行近岸地形資料蒐集。



圖 4 礁石區測量作業情形

3.3.3 其他區域

含港區、航道、保護區及需較細部水下地形區域，因需要較精細測量數據且對於精度要求較高，適合以多音束測深儀辦理施測，如果區域內水體透視度條件良好，亦可利用空載測深光達進行地形測量作業。

3.4 作業現制

測深儀主要以船為載具搭載施測，因此測深作業會受限船隻航行時的限制，如水深太淺、海浪對

船隻之影響及障礙物（養殖區、暗礁），另外則是儀器的作業能力可達之最大水深；光波測量設備以地面或飛機搭載設備施測，會受飛機能力（電力供應）、飛航管制、天候、水體渾濁度（測深光達）、儀器的作業能力可達之最大水深及儀器費用高昂等因數影響。

3.5 資料分析

經彙整與分析相關資訊，初步得到下列結論：以航空載具搭載之測量設備（數位航拍相機、陸域光達、測深光達）可快速辦理大面積測量，其限制條件為天候與雲遮；數位航拍相機與陸域光達適合辦理退潮時露出水體之地形測量工作，測深光達適合辦理礁石區（如臺灣北部近岸區域）與淺水區測量，惟其限制條件為水體需清澈，讓雷射光波能穿透水體並接收反射光波訊號；而以船隻為載具之音束測深設備為目前主要測深工具，其限制條件為海象（如東北季風時期較不適作業），適合一般水域（單音束測深儀）與港區、航道、保護區及需較細部水下地形區域測量（多音束測深儀），各測量設備適用區域會整如表 1。

表 1 各測量設備適用區域

設備種類	適用區域
航拍數位相機	近岸陸域、沙洲
陸域光達	近岸陸域、沙洲
測深光達	近岸陸域、沙洲、淺水區、礁石區
單音束測深儀	一般水域
多音束測深儀	港區、航道、保護區及需較細部水下地形區域

四、結論

近岸測量需考量地形、底質與其他因素所造成之影響，唯有篩選合適之測量設備，才可提升測量工作效能、確保測量成果經度與避免資源浪費，所獲取較佳之測量數據，可提供後續成果製作之優質資料來源。

近岸陸域與沙洲（如外傘頂洲、河口沙洲、潟湖沙洲）可使用數位航拍相機、陸域光達或測深光達辦理測量；淺水區、礁石區可使用測深光達辦理測量；一般水域可使用單音束測深儀辦理測量；港區、航道、保護區及需較細部水下地形區域可使用多音束測深儀辦理測量。

參考文獻

1. 謝東發、陳鴻智、白敏思、蘇惠璋、林燕山 (2007)，「近岸地形測繪方法最佳化之研究」，內政部國土測繪中心自行研究報告。
2. 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」，內政部『辦理 LIDAR 之高精度及高解析度數值地形測繪、資料庫建置與應用推廣工作案』成果發表暨應用研討會，新竹縣，工業技術研究院。
3. 黃鐘、詹瑜璋、李建成、史天元、胡植慶、陳于高 (2004)，「空載雷射掃描技術製出之數值高程模型之簡介」。地質，23 卷，經濟部中央地質調查所，臺北縣，第一期，pp.34~54。
4. 史天元、彭淼祥 (2002)，「九二一地震災區空載雷射掃描作業成果初步報告」，第二十一屆測量學術及應用研討會論文集，國立交通大學，新竹，pp.449~456。
5. Thorkild, A.,2002. Transparency of the North Sea and Baltic Sea—a Secchi depth data mining study, oceanologia, 44(3), 2002, pp. 323-337.