

第一章 前言

1-1 研究動機及目的

地面光達 (Ground-based Lidar) 是種非接觸式、主動式的監測系統，可在極短的時間內取得大量表面點位之三維資料，得到距離影像及其回訊強度等資訊，為一種三維量測系統。主要利用雷射測距之原理，由儀器本身發射出雷射光束，接觸到物體表面後反射再接收所反射之訊號。經由相位或脈衝時間差之計算，可推得斜距，再配合掃描角度，計算出掃描儀中心至物點之三維座標差。

相較於傳統的測量技術，地面光達可提供大量之點位資料，進而詳細描述待測物之表面，可用於建物之三維模型建置或崩塌地等地形進行變形監測及調查。

地面光達技術有快速地獲得地表物高密度點雲資料的特性，不需到達崩塌區進行觀測。這些地方可能是較不容易到達的區域，也減少測量時意外的發生，對於必須保握時間性的災區地形測量而言，為一有效率且安全的方法。且比起傳統的技術如全測站 (Total Station)、GPS 僅能測有限點位座標的限制，地面光達所得到的點雲資料之量數眾多，可充分描述一個面，點雲中的每個點都有其三維座標值，更具經濟效益且節省時間。特別是在緊急災難發生時，能否即時地製作出地形圖，對於災區重建、災害預防而言都是極為重要的工作。

故本研究之主要目的如下：

1. 瞭解地面光達之作業原理、及在工程測量上應用之可行性探討。
2. 對點雲資料結構及其處理方法進行探討。
3. 利用網格化後之點雲資料進行崩塌地製圖之研究。

1-2 地面光達在工程測量上之應用

「工程測量」之定義為：在工程建設勘查設計、施工和管理階段所進行的各種測量工作。按工作順序和性質分為勘查設計階段的控制測量和地形測量；施工階段的施工測量和設備安裝測量；管理階段的變形觀測和維修養護測量(金

其坤等，1993)。而地面光達的技術可應用在於變形觀測及維修養護測量方面，如建物之三維模型重建、古蹟修補維護、隧道的變形偵測及其零級資料建檔、邊坡地之變形監測等。

張裕民等人(2003)將 3D 雷射掃描技術應用於隧道工程，對於隧道尺寸、地質紀錄、施工品質、工程估驗、現場施工決策及完工隧道零級資料建檔等均可詳細紀錄。而應用於使用中的隧道的檢測亦可在不影響交通流量的環境下，進行隧道變形、裂縫的掃描偵測，迅速找出可靠的受損位置。除了隧道施工中及例行性檢測有極大貢獻外，亦可結合現有之管理系統(如 GIS 管理系統)，進行資料庫更新與管理，做為主管機關精確之決策評估依據。

蕭國鑫等人(2003)利用 Optech ILRIS- 3D 地面雷射掃描儀取得竹東中豐路旁已整治後崩塌地之地面點雲資料後，製作等高線或高密度數值網格高程後，再與崩塌前 1/5,000 基本圖高程數化資料進行比對，以瞭解地形變化及進行崩塌土石方量之推估，並繪製剖面圖以助於瞭解測試區的地形起伏情形。

Bornaz et al. (2002)以自行研發之 LSR (Laser Scanner Registration) 軟件，對地面光達掃描之資料進行濾除、疊合、定位後，並輸出為一般通用的檔案格式如 AUTOCAD 可使用之 DXF 格式、Surfer 可用之 ASCII 格式，以方便使用者產生 TIN (Triangulate irregular Network)、DSM (Digital Surface Model)、等值線圖及剖面圖等工程測量所需之測量產品。並以河谷、礦坑、崩塌地為例，進行掃描作業，以獲得之點雲資料進行 TIN、等值線圖、剖面圖製作，並分析土石方量之變化及地形走向。

Ono et al. (2000)透過地面光達對兩次不同時期之崩塌地進行掃描作業，進行變形監測，並進行護坡工程之研究，以達到即時災區地形圖製作及防災之目的。

1-3 崩塌地製圖

近年來由於人口不斷增加，使得旅遊、住宅及交通運輸等需求亦大幅增長，導致山坡地開發利用的範圍越來越大，使得每當颱風、豪雨、甚至地震發生時，

往往會造成山崩、地滑、土石流等災害發生，造成人民生命財產的威脅。其實大部分的坡地災害都是可以防止或避免，如何防止這些災害發生及防範於未然，崩塌地調查及分析方法建立，實為研究之重點。

一般山坡地、丘陵地或台地，其坡面的一部份，由於土塊失去平衡向下方或側面移動的現象，皆可稱之為崩塌。崩塌可分為山崩與地滑兩種情形，其差異可由其運動型態與機制兩方面予以區別：山崩是急速的移動，一旦移動後即趨安定。而地滑的移動速度，則極緩慢，且不只於一次的滑動，多半有再發的傾向。台灣因地形、地質以及氣象因素，大部分屬山崩為多，地滑則多發生於西部山麓二次堆積地帶，呈大規模移動現象較少，其兩者特性如表 1-1（陳信雄，1995）。

表 1-1 山崩與地滑之特性（陳信雄，1995）

項目	山崩	地滑
地質	與地質的關係較少	多發生於特殊地質的地質構造地區
土質	主要發生於山坡地地下的不連續面（多半是表土與下層的境界面）	主要是以黏性土為滑動面而移動
地形	多發生於 20° 以上的急傾斜地	多發生於 5°~20° 以上的緩坡面，尤其是上部為台地地形
活動狀況	突發性	連續性、再發性
移動速度	10mm/日以上，速度極大	多在 0.01~10mm/日，一般速度緩
土塊	土塊被攪亂	土塊攪亂少，多保持原地形移動
誘因	降雨，特別是降雨強度	受地下水之影響大
厚度規模	平均厚度 2m，規模小	平均厚度 20m，規模大，從 1~100ha
徵候	多半無徵候，為突發性者	發生前有龜裂、陷落、隆起以及地下水柱的變動
台灣代表地區	中央山脈、東部青灰岩地區	西部山麓、紅土台地、南部青灰岩地區，二次堆積地區

傳統上是以工程測量方式獲取崩塌地之高程相關資訊，所能量測的範圍較小，同時崩塌地可能仍處於持續變化的狀態，在測量過程可能會有意外發生，增加測量工作之困難。此外，也可利用航照立體像對產生高程資料，但航空照片的時效性並不高，無法在第一時間得到崩塌地的航照影像。表 1-2 為利用傳

統測量方法與地面光達技術進行崩塌地觀測之比較。

表 1-2 地面光達與傳統測量方法之比較 (Ono et al., 2000)

測量方法	一般測量方法				3D 雷射掃描系統
	全測站		航空攝影測量	GPS	地面光達
	具反射稜鏡	不具反射稜鏡			
儀器型號	TCA 1800 (Leica)	Rec Elta RL (Zeiss)	6008 metric (Rollei)	Trimble 4000SSI (Trimble)	LMS Z210 (Riegl)
測量媒介	近紅外光		可見光	衛星	近紅外光
測量方式	主動		被動	被動	主動
資料收集 方式	直接		間接	直接	直接
測量限制	夜間仍可行		夜間無法觀測	至少需接收到五 顆衛星之訊號	夜間仍可行
測量精度	2mm+2ppm (around 4mm 1km ahead)	5mm+3ppm (100m about 5mm)	1mm to several CMs	2cm+2ppm (against base line)	±2.5cm
測量距離	2500m	150m	NA	Around 1 km	350m
測量效率	10pts/hr		NA	10pts/hr	10 ⁶ pts/hr
備註				RTK	無須反射稜鏡

故透過地面光達之精度高、速度快之優點，能在災害發生後的第一時間，立即取得崩塌地的地表三維資訊，將所獲得之點雲資料透過網格化處理，以製作高精度之 DEM 資料，進而產製等值線圖、剖面圖；若有不同時期之崩塌地 DEM 資料，也可以進行土石方量改變量及地形變化之分析，而達到崩塌地監測之目的。

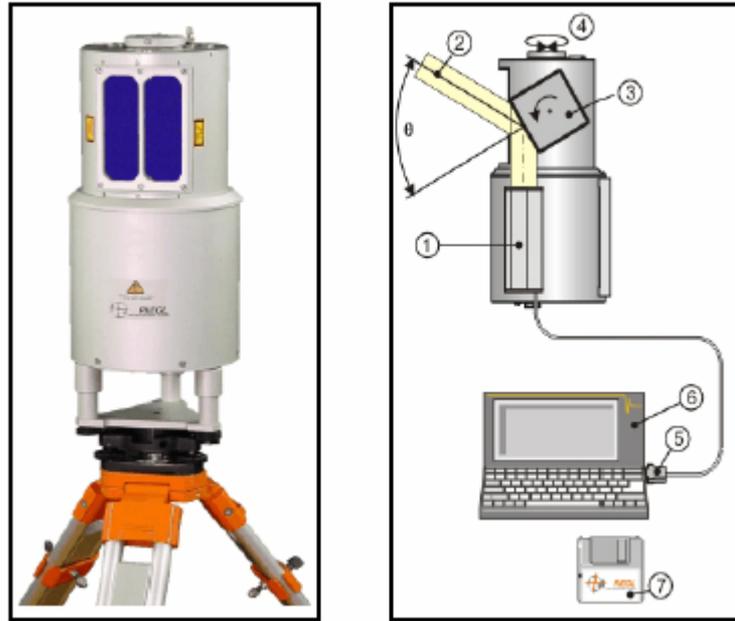
此外，若能在地面光達進行作業的同時，取得崩塌地的數值影像，透過高精度 DEM 資料將數值影像經過幾何校正之處理以產製正射像片，再與 DEM 資料進行套合而成三維透視圖，更方便用於崩塌地之判釋及變形分析。

1-4 三維雷射掃描系統

1-4-1 三維雷射掃描原理

三維雷射掃描儀系統主要具有(1)快速準確的雷射測距儀(2)導引雷射光以等角速度掃描的反射稜鏡等兩種構造；其中的雷射測距儀可主動發射雷射光，並同時接收來自「自然物表面」反射的訊號進行測距(曾及史，2003)。而針對每個掃描點資訊，藉由測站至掃描點的斜距，配合雷射掃描的水平與垂直方向角，可推求每一個掃描點與測站的三度空間相對座標差；若已知測站的三維座標、或欲量測的目標物具有足夠的控制點座標，則可換算推求每一掃描點的三維大地座標。目前雷射掃描速度可達數千到數萬點/秒，瞬間產生大量的觀測資料；因此，通常需要連接電腦即時儲存掃描資料。

此處以 RIEGL 公司之 LMS-Z210i 型雷射掃描儀為例(RIEGL LMS GmbH, 2002)，其三維雷射掃描儀架構如圖 1-1 所示，架構包括圖中標註之①雷射測距儀本體；②可掃描範圍(垂直掃描角度： $0^{\circ}\sim 80^{\circ}$)；③旋轉掃描稜鏡；④水平旋轉光學頭(optical head，水平旋轉角度： $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$)；⑤電腦連接埠；⑥筆記型電腦及⑦資料儲存裝置。由於三維雷射掃描以主動式光源進行量測，因此在黑暗中或天氣不佳時仍可施行觀測。另外，亦有部分的三維雷射掃描儀可同時接收反射的雷射光及可見光，可將可見光的強度及色彩數貼在三維座標點上，形成所謂的三維影像(3D Image)，進而建立虛擬實境(曾及史，2003)。



(a)

(b)

圖 1-1 (a) LMS-Z210i 雷射掃描儀 (b) LMS-Z210i 雷射掃描儀相關架構

(RIEGL LMS GmbH, 2002)

1-4-2 三維雷射掃描系統比較

三維雷射掃描儀依其掃描的有效距離有完全不同的應用領域。曾及史 (2003) 依掃描的有效距離將目前商業化的掃描儀分為短、中、長距離及航空雷射掃描儀等四種類型：(1) 短距離雷射掃描儀指其最長掃描距離短於 1 公尺者，通常用於小型模具、古文物及醫學上之量測，最為便宜普及；(2) 最長掃描距離在 1~30 公尺者則歸類於中距離雷射掃描儀，多用於大型模具或室內空間之量測；(3) 而最長掃描距離大於 30 公尺者則歸類於長距離雷射掃描儀，可用於建築物、洞穴、土木工程等大型物體之測量者；(4) 航空雷射掃描儀則其最長掃描距離通常需大於 1 公里，且需配合精確的導航定位及方位系統，用於大範圍地表起伏之測量。若以工程測量的應用考量，以長距離雷射掃描儀較為合適。

目前生產長距離雷射掃描儀的廠商並不多，下表 1-3 列出較為常見之六種雷射掃描儀規格。

表 1-3 常見雷射掃描儀規格比較 (曾及史, 2003)

型號	Callidus	Cyrax 2500	I-SiTE	GS100	ILRIS 3D	LMS-Z420
製造商	Trimble	Cyrax Technolog	I-SiTE	MENSI	Optech Inc.	Riegl USA
Eye Safety	Class 1	Class 2	Class 1	Class 2	Class 1	Class 1
Wavelength(nm)	905	532	904	N/A	N/A	904
Std Range (m)	32	1.5~50	2~300	2~100	350	2~250
Max Range (m)	150	100	450		800	1000
Range Accuracy (mm)	5	5	25	6	10	10
IFOV (mrad)	0.17	0.12	3	0.06	0.3	0.25
Scan Rate (Hz)	28000	1000	6000	1000	2000	9000
H FOV (deg)	360	40	340	360	40	360
V FOV (deg)	180	40	80	60	40	80
H angular Accuracy (deg)	0.017	N/A	N/A	0.018	N/A	0.0025
V angular Accuracy (deg)	0.03	N/A	N/A	0.018	N/A	0.002
Weight (kg)	15	20.5	13	13	12	14.5

1-5 論文架構

本論文共分五章，各個章節主題說明如下：

第一章：說明本論文的研究動機與目的，地面光達系統之設計、應用及規格比較及本論文之架構。

第二章：三維資料結構及檔案格式說明，以兩種三維檔案格式 PLY 及 PIF 為例。

第三章：多測站點雲資料之校準及地理座標之套疊轉換，詳述 ICP 演算法架構，以竹東整治地為例進行疊合研究。

第四章：點雲資料產製 DEM 資料之精度品質評估，及利用 DEM 資料進行數值影像正射糾正及套合之研究。

第五章：本論文研究之結論及建議。