

# 地面式三維雷射掃瞄於野溪地形監測之應用

## --以屏東縣來社溪上游段為例

吳孟姍<sup>[1]</sup> 陳國威<sup>[2]</sup> 黃振全<sup>[3]</sup>

**摘要** 相較於傳統地測、航攝、空載光達等，地面式三維雷射掃瞄儀具有高精度、高密度及高機動性等特點，適用於野溪與邊坡地形監測。本文應用地面式三維雷射掃瞄技術於 2013 年 7 月份及 10 月份針對屏東縣來社溪上游主、支流進行地形掃瞄，取得來社溪 6km 密集地形測量點，建立 0.5m 數值高程模型、地形圖圖資等。地面式光達成果與 2011 年度空載光達資料進行比對，探討二者點雲在野溪測量的應用面向差異，透過光達測繪地形成果，了解 2011 年 10 月至 2013 年 7 月兩年間，及 2013 年 7 月至 10 月間來社溪地形及土砂變遷。

關鍵詞：光達、三維雷射掃描、野溪、數值高程模型

## Application of Topography Survey by Terrestrial 3D Laser

### Scanner for Torrent and Slope

#### --A case of Laishe Creek and Poly Creek, PingTung, Taiwan

Meng-Shan Wu<sup>[1]</sup> Kou-Wei Chen<sup>[2]</sup> Chen-huan Huang<sup>[3]</sup>

**ABSTRACT** Slope erosion, landslide and debris flow result in morphology change unexpectedly. Topography survey regularly and acquired after events is more important. In this case, topography survey is carried out in July, 2013, at Laishe Creek. Each creek acquired topography point by terrestrial 3D laser scanner, and build digital terrain model with 5m pixel size. Compare with tradition measurements, aerial photogrammetry and airborne LiDAR, terrestrial 3D laser scanner has characteristics of high accuracy, high density, high mobility. After the survey in July and October, 2013, at Laishe Creek, we can understand changes of morphology.

Key word：LiDAR (Light Detect and Ranging)、3D laser scanner、Torrent、DEM(Digital Elevation)

## 一、前言

台灣山坡地所占面積廣闊，每年受到數次颱風及地震活動瀕仍影響，常有崩塌、土石流發生，野溪邊坡沖蝕、崩塌及土石流災後地形瞬變，地形的定期監測或事件後快速取得實為重要。傳統測量或航照立體對產生高程資訊，再比對災害前後的的地形變化趨勢，在野外測量或取得完整航照資訊，往往需要花費較多時間與人力物力(許海龍等，2006)。空載光達以高精度、高解析度、高度自動

[1] 台灣檢驗科技股份有限公司環境服務部空資組副工程師 (\* 通訊作者 E-mail:jallyjuice@gmail.com)

Asst. Engineer, Environmental Services, SGS Taiwan

[2] 行政院農業委員會水土保持局臺南分局副工程師

Asst. Engineer, Tainan branch, Soil and Water Conservation Bureau

[3] 行政院農業委員會水土保持局臺南分局局長

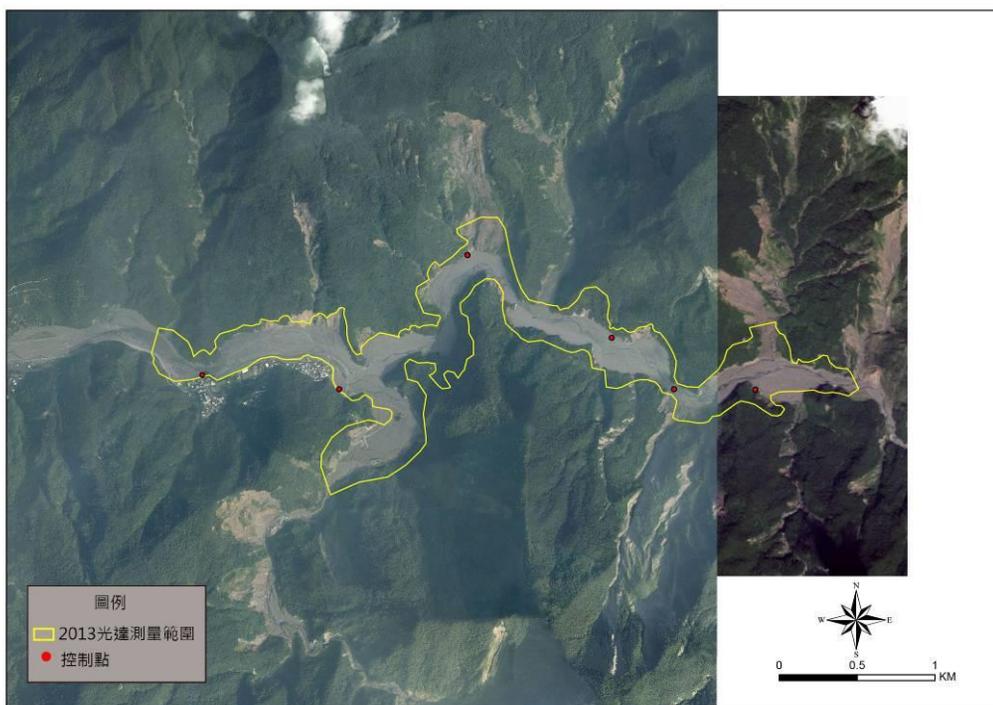
Sub-administration Director, Soil and Water Conservation Bureau

化且高效率的優勢，已成為世界各國進行大面積三維地表資料測製的主流與趨勢（徐偉城，2007），然而空載光達作業受限於載具花費與天候影響高，機動性則不如地面型光達高。

本文應用地面型光達於屏東縣山區野溪進行地形、地貌調查，分別在 102 年 7 月與 10 月施測。本文闡述其調查方法優缺，探討其應用。並針對來社溪上游 102 年度 7 月調查成果並與 101 年度空載光達資料進行比對，探討二者點雲應用之差異，並了解 101 年 10 月至 102 年 7 月間與 102 地形及土砂變遷。

## 二、研究區域背景

本研究區位於屏東縣來社溪上游段，皆為土石災害潛勢區，屏東縣來義鄉來義村為莫拉克颱風重大土石災區之一。本文調查範圍，為來義鄉來社(內社)溪上游處主流、支流共6公里(圖一)。



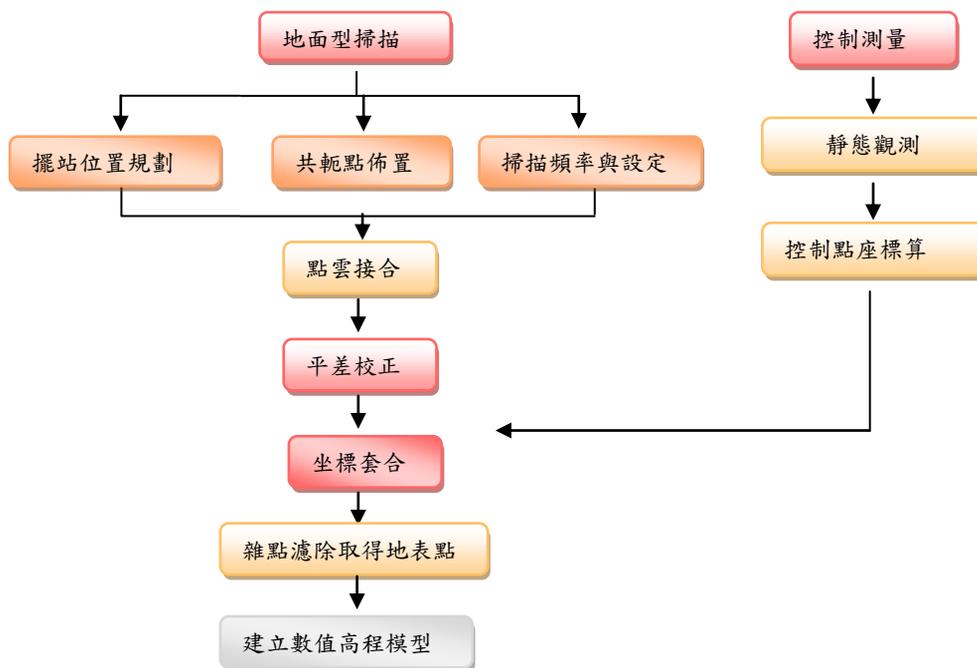
圖一 屏東縣來社溪上游102年施測範圍示意圖

## 三、研究方法

102 年來社溪上游地形測量執行共兩次，分別為 7 月與 10 月，詳如表一。其測量方法與資料處理流程如圖二，並分述以下幾項：

表一：102 年來社溪上游地形測量執行時間

趟次	主流地形測量執行日期	支流地形測量執行日期
一	102.07.08~07.09	102.07.26
二	102.10.07~10.08	102.10.01



圖二 地面型光達測繪處理流程圖。

(一) 地面型光達設備簡介

光達以雷射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，間接取得點座標。本研究採用 Riegl 三維雷射掃描儀 VZ-1000 (照片一)，該設備掃描可依待測物需求調整有效測量頻率，有效測距最高可達 1400m，有效測量頻率與測距詳見表二，能支援高速及長距離掃描，除可獲得高密度點雲以外，並能擷取長距離空間資訊。掃描儀上方搭載一台 1200 萬畫素的 Nikon D700 相機，可於各站掃描時直接進行 360 度環景拍照，獲取各站現況照片資訊，並可由照片中每個像素的 RGB 值賦予每個測點資料 RGB 值成為真實色彩點雲，在視覺上宛如真實空間。

表二：Riegl 三維雷射掃描儀 VZ-1000 有效測量頻率與有效測距表

有效測量頻率		70 kHz	100 kHz	150 kHz	300 kHz
量測點數		29,000 點/秒	42,000 點/秒	62,000 點/秒	122,000 點/秒
最遠測距	反射強度 ≥ 90%	1,400 m	1,200 m	950 m	450 m
	反射強度 ≥ 20%	700 m	600 m	500 m	350 m

Riegl 雷射掃描儀收集點雲資訊具有即時多重回波(Online Full WaveForm Analysis)分析特性，即掃描儀會紀錄不同物體反射之波型，待測物反射回波特性不同，可自動分類舉例如圖三，便於分辨地表點，有利於植被濾除。

(二) 控制測量

為求測量參考依據一致，先擇測區建築物頂樓設置加密控制點(照片二)，加密控制點則接收超過 4 小時，由至少三處臨近測區內政部國土測繪中心設置之一等衛星控制點連續追蹤站連測解算求得，一等衛星控制點座標採用內政部國土測繪中心公告之最新成果，一九九七坐標系統之 2010 年成果，因

此加密控制點精度至少達四等點精度。使用於解算加密控制點之一等衛星控制點坐標表列於表三。

於測區內佈設六處控制點(照片二)，作為地面光達掃描點雲坐標控制作用。因本測區東西狹長主流跨越約 5 公里，控制點須平均分布，避免集中一側造成坐標整體偏轉，分布情況如圖一所示，各點採用雙頻 GPS 分別靜態接收約 40~60 分鐘，並與加密控制點、鄰近一等衛星控制點進行連測。河道地形經常性變動，測區內控制點須於每次監測時重新施測。本測區控制點精度如表四。

表三：一等為衛星控制點使用之點位資料表

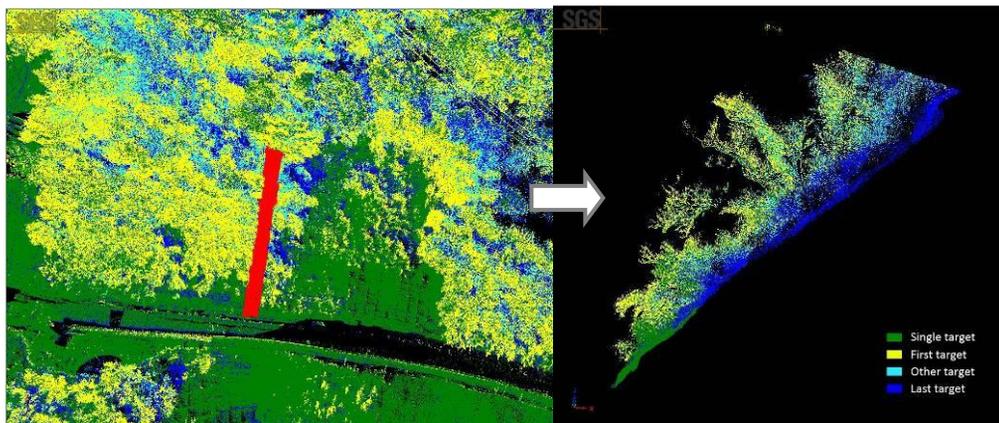
點號	點名	縱座標(M)	橫座標(M)	正高(M)	所屬單位	備註
GS46	來義國小	2492008.407	213941.407	140.843	地調所	一等衛星控制點
WDAN	萬丹	2500747.170	199039.776	37.503	氣象局	一等衛星控制點
NJOU	南州冀箕湖	2489413.108	205905.108	53.207	氣象局	一等衛星控制點
FALI	枋寮	2474055.178	208146.874	42.634	國土測繪	一等衛星控制點

表二：本計畫引測之控制點坐標與精度表

點號	點名	縱座標(M)	橫座標(M)	正高(M)	sdv_y(cm)	sdv_x(cm)	sdv_z(cm)	設置位置	設置時間	備註
LY001	來義派出所	2491828.728	216704.620	218.816	0.23	0.25	0.66	舊派出所頂樓	102/07	
tp01	樁 1	2491832.518	220229.031	367.995	1.3	1.51	3.15	河道	102/07	不應用於點雲座標套合
tp02	樁 2	2491835.613	219707.357	341.961	0.62	0.97	1.69	河道	102/07	
tp03	樁 3	2492166.202	219305.885	314.997	0.43	0.43	2.19	河道	102/07	
tp04	樁 4	2492695.772	218382.037	267.988	0.91	0.81	2.01	河道	102/07	不應用於點雲座標套合
tp05	樁 5	2491835.819	217559.074	226.939	0.36	0.43	0.89	道路	102/07	
tp06	樁 6	2491925.937	216682.839	199.641	0.26	0.29	0.9	道路	102/07	
tp01-Oct	樁 1	2491846.011	220309.939	344.311	0.56	0.87	1.76	河道	102/10	
tp02-Oct	樁 2	2491841.685	219696.929	313.504	0.9	0.67	2.41	河道	102/10	不應用於點雲座標套合
tp03-Oct	樁 3	2492146.938	219219.226	279.977	0.77	0.85	1.45	河道	102/10	



照片一：左圖為 Riegl VZ-1000 設備，右圖為來社溪執行之工作照。



圖三：Riegl 雷射掃描儀多重回波分類示意圖



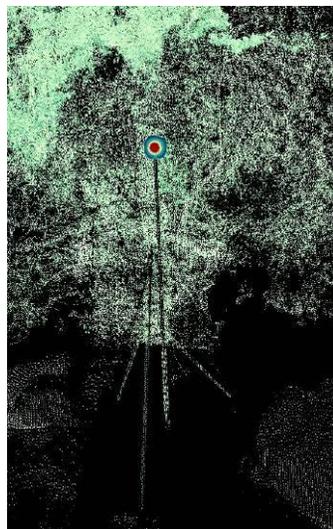
照片二：靜態觀測，左為加密控制點，右為測區控制點。

### (三) 地面型光達測量實行

地面光達施測時測站分布與掃瞄模式選擇，考量現地地形、點雲接合方式、掃瞄儀至待測物距離等進行調整，現地測量方式分述如下：

1. 測站分布：光達以發射雷射光為媒介，藉由物體反射特性取得待測物之距離及三維空間資訊，主要考量現地地形、掃瞄儀與待測物之間通視狀況。測站選擇至高處及河道轉折處佈設。來社溪測站間距約 400~600m，僅最上游處約 300m。
2. 掃瞄測線間距：點雲密度受測線間距影響，可依成果需求調整掃瞄儀旋轉角度，雷射光束以掃瞄儀為中心程放射，相同旋轉角度設定下，測距越遠則點距越大。旋轉角度越大則施測速度越快。為顧及遠距測點點量以及掃瞄速率採用 0.04 度，此設定於測距 500 公尺處，每平方公尺仍有 8 點，兩站互補則每平方公尺可有超過 8 點得密度。

3. 反光標佈設：於測區控制點樁位上佈設反光規標（照片三），於掃描執行時同時加密掃瞄，加密掃瞄之點雲如圖四。加密掃瞄之點雲會由圓周規算中心點座標，作為內業處理時 TWD97 座標轉換參數求解使用。



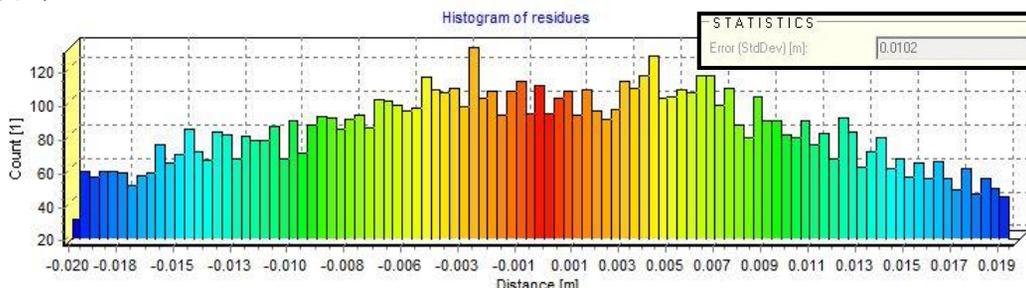
照片三：反光規標佈設(左)

圖四：規標加密點雲(右)

(四) 點雲資料處理

1. 點雲接合：各測站之點雲資料接合的方式包括，反光標共軛點（Tiepoint）對應接合、特徵點接合、地形擬合等。接合方式與掃描施測方式相互影響。地形擬合方式可用於特徵點少、測站間距較遠之案例。

2. 多站平差(Multi Station Adjustment)：先以各測站單點定位之 GPS 座標進行相對位置初步接合。再採多站平差校正法，即以點雲材料計算各站點雲相同法向量之平面，以迴圈收斂計算方式，進行平差校正，可使接合誤差最小。圖五為來社溪共 31 測站平差結果，標準差為 1.02 公分，整體皆在 2 公分以下。



圖五：多站平差之標準差分布圖（以 102 年 7 月共 31 站為例）

3.取得地面點

將點雲根據高度（或稱高程）以不同顏色標示，可看出掃描資料點描繪出的地面與地上物（植被或人工建物，如樹木、房舍等），稱為「數值表面模型」(digital surface model, DSM)，進一步細分 DSM 的地面與地上物，並濾除地上物，則可取得地面點。

(五) 建立數值高程模型

將地面點使用適性之內插方法，將離散之點雲資料轉變為連續之網格(或向量式)資

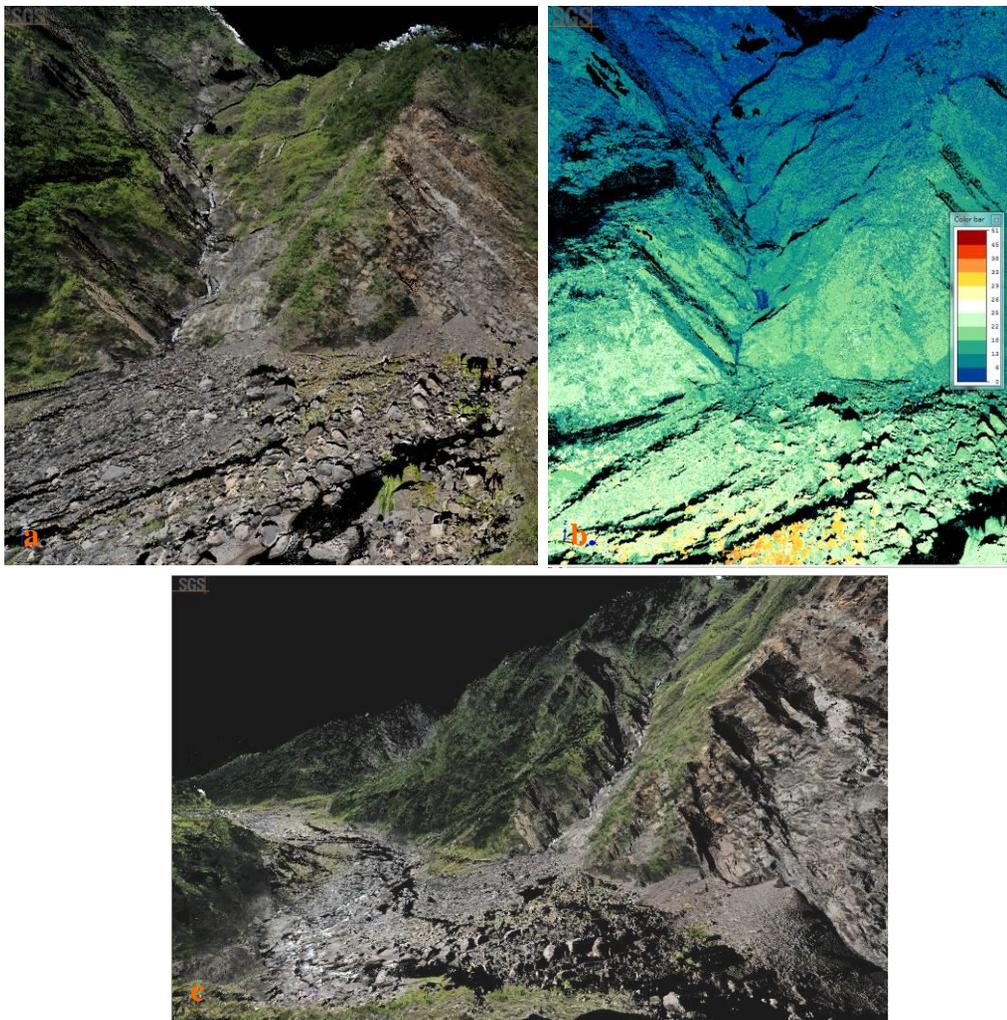
料，為數值高程模型（digital elevation model, DEM）。本研究使用最近鄰內插法，將點雲資料內插為 0.5Mdem。

## 四、結果與討論

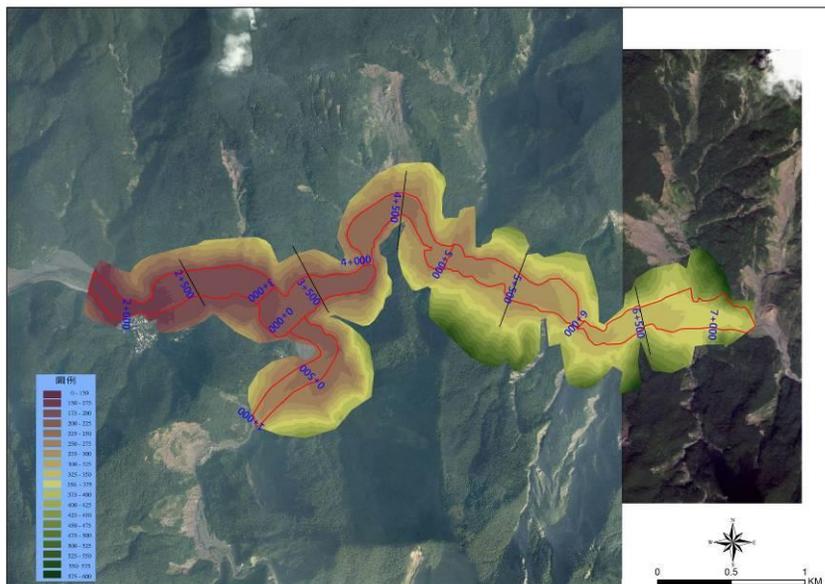
### （一） 地面式光達調查成果

來社溪地面光達調查點雲成果如圖六，建立之 DEM 分層設色舉例如圖七，後續能產製細緻之地形圖。

雷射光直線前進，受到物體障蔽無法通視為光達測量之限制之一，由現地調查之現況、點雲資料及數值地形模型等資料，來社溪測區河道較寬、谷深，雷射光能到達的距離可超過 500m。植被茂密之邊坡，雖有多重回波功能協助取得地表點，仍可能因植被層次過多，地表點仍需判釋其可靠程度。



圖六：點雲成果示意圖。圖 a.來社溪上游真實色彩點雲；圖 b.與 a.同處，以反射強度呈現；圖 c.來社溪真實色彩點雲。



圖七：0.5m 數值高程模型，以 102 年 10 月為例

(二) 與空載光達調查資料比較

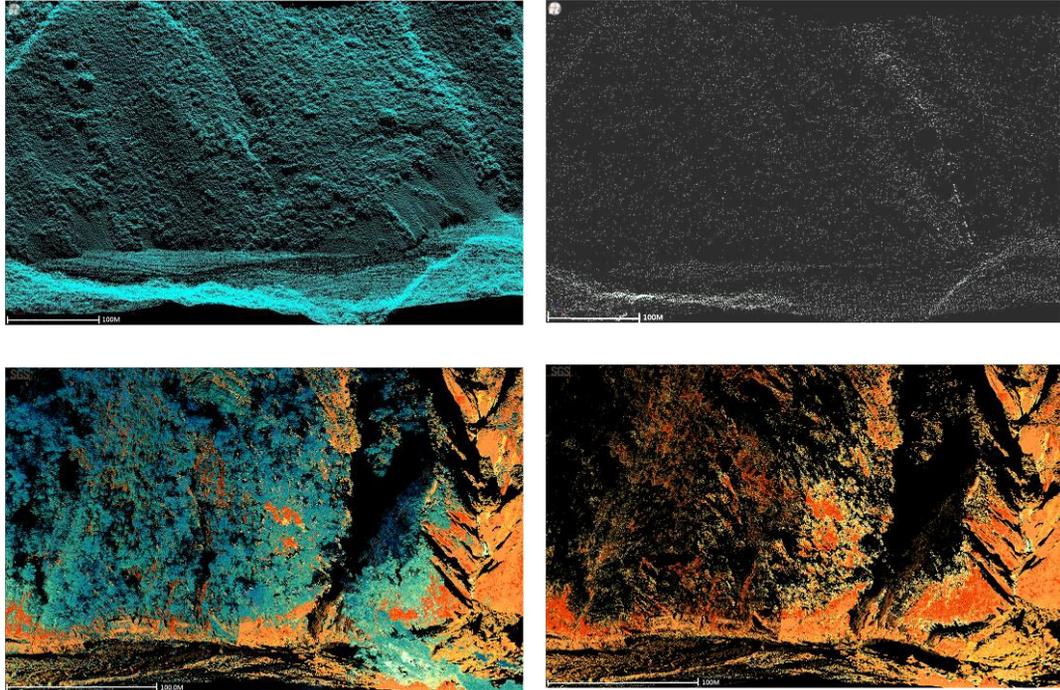
空載光達能於大範圍有效地取得測點，已成為世界各國進行大面積三維地表資料測製的主流與趨勢(徐偉城, 2007)。空載與地面式光達引進台灣約莫十年，近年亦有移動式光達能加載於各種載具如用於車載能快速測量道路邊坡、用於船載能測量水庫或能行船之河道邊坡地形，但移動式載具目前並不適用於野溪地形測量。以下藉由來社溪100年10月空載光達掃描資料與102年度地面光達資料進行比較，以了解兩種方法在野溪測量應用的層面與限制。

空載光達能快速取得大範圍點雲，但無法取得地表立面資訊，因此邊坡坡度越陡處點雲量越少；地面式光達能測量範圍受限於地形，測站數量與施測效率視現地地形而定，但機動性較高，另外，固定式測量精度亦較高，二者比較如表三。

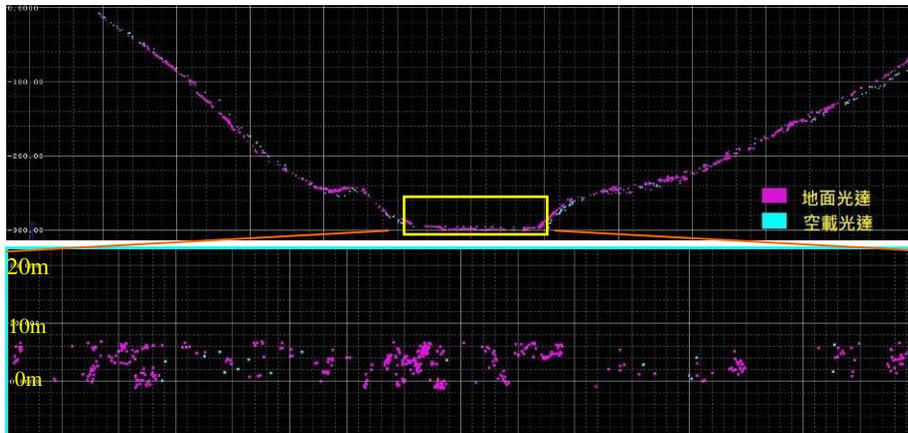
表三：空載與地面光達比較

方法	涵蓋範圍	設備精度	點密度	遮蔽地區	執行與否受天候影響程度
空載光達	大	5~15cm(少數可達 2cm)	較低	立面、頂面完全受遮蔽處	受天候影響更高,高雲量則無法執行
地面固定式光達	受地形影響	5mm	較高	機動性較高,但邊坡高處頂面取點不易	無雨、無溪流暴漲情況即可執行

野溪地表點的取得易受植被覆蓋影響，空載光達與地面光達皆有多重回波功能（部分廠牌型號無），加以軟體濾點分類功能，能協助判釋與取得地表點。雷射光無法穿透植被，須仰賴由孔隙穿透至地表，地表點的取得正確率，除了不受遮蔽外，取決於點雲密度是否足夠正確分離地表點與地上點。圖八、九分別為空載光達與地面光達點雲濾點前後示意，圖十點雲隨機切片，可見地面型光達點獲得地表點密度較高。單一地面掃描儀測站掃描點量由中心向外遞減，可參看表四；實際地面測量將有多站相互補足，點雲密度則受測站數量有所不同，依本個案點雲統計，採樣同時包含河道及邊坡處點雲，本區空載光達點雲與地面光達點雲濾除地上點前後之密度可整體為表六，以供參考。雖僅為本測區之參考值，可能因地有異，可見空載光達確能提供大範圍地形資料，但作為地形監測，恐點量不足導致地表點判釋不夠精確。



圖八：空載光達點雲濾點前後示意



圖九：地面光達單站點雲濾點前後示意

表四：Riegl三維雷射掃瞄儀VZ-1000單一測站於不同測距之密度

測距(公尺)	5	10	50	100	200	500
點距(公分)	0.35	0.70	3.49	6.98	13.96	34.91
密度(點/平方公尺)	82070	20517	820	205	51	8

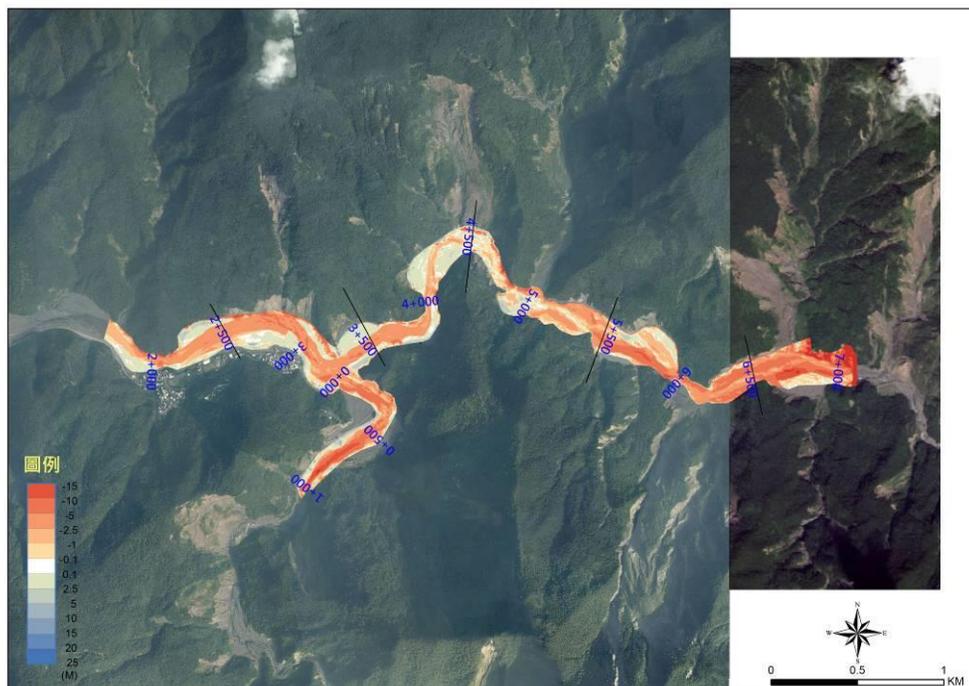
備註：以測線間距為0.04度為例，測線角度越小密度越高，但越耗時。

表五：空載光達點雲與地面光達點雲濾除地上點前後之密度參考

密度(點/平方公尺)	濾點前	濾點後
地面式光達(TLS)	251.19	8.88
空載光達(ALS)	1.22	0.04

(三) 來社溪 100 年 10 月至 102 年 7 月地形變遷

100 年 10 月~102 年 7 月地形變化，可由空載光達所建立之 DEM 與 102 年度進行變化分析，製成高程變化圖呈現如圖十一。100 年空載光達測量執行之控制點與 102 年地面光達控制點不一致，加上點雲密度不相同，於邊坡植被覆蓋區精度明顯不一，因此兩期地形比對只採河道地區呈現。整體來說 100 年 10 月至 102 年 7 月本測區河道為主要侵蝕區。相對傳統僅以地形圖進行比對，高程變化圖能清楚呈現侵蝕或淤積發生位置，本測區定期監測則能呈現歷年地形變化。



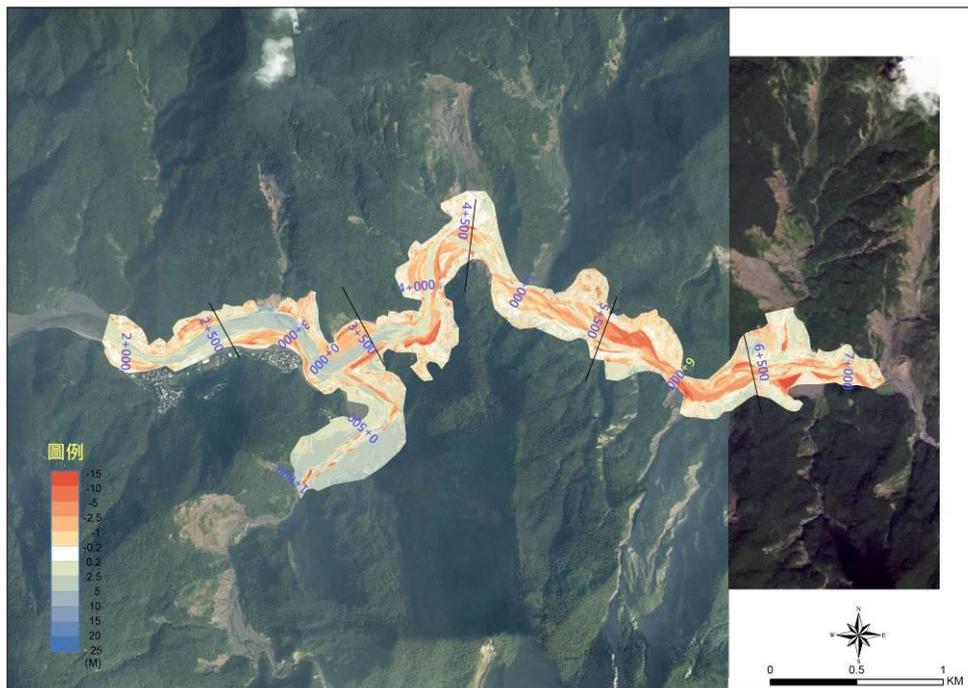
圖十一：來社溪上游 100 年 10 月~102 年 7 月地形高程變化圖

(四) 來社溪 102 年 7 月至 102 年 10 月地形變化

102 年 7 月至 102 年 10 月間短時距監測，期間歷經 102 年夏天颱風季，所有發佈警報之侵台颱風相關資訊如表六。對本測區河道地形有高影響，造成崩塌、土石變遷的颱風主要為康芮及天兔。期間河道地形變化如圖十二。來社溪河道上游段（約 4k~7k）侵蝕為主，單位變化量為每平方公尺-1.6 公尺至 -0.7 公尺，越上游則單位侵蝕量越高；下游段以堆積為主，單位變化量在 0.5 公尺~1.2 公尺。將來社溪河道區域按里程分割統計，統計範圍可參看圖七，102 年度颱風季前後河道地形變化量呈現如表七。

表六：102 年颱風季發佈警報之侵台颱風相關資訊

年份	警報期間	中文名稱	近台強度	侵台路徑分類	近台近中心最大風速(m/s)	主要影響範圍描述
2013	10/04~10/07	菲特	中度	1	38	北部及東北部海面
2013	09/19~09/22	天兔	強烈	5	55	東半部三縣市、高雄市及屏東縣降下超大豪雨
2013	08/27~08/29	康芮	輕度	6	25	中南部超大豪雨
2013	08/20~08/22	潭美	輕度	1	30	中、北部影響大
2013	07/11~07/13	蘇力	強烈	2	51	中、北部影響大、高雄



圖十二：來社溪上游 100 年 10 月~102 年 7 月地形高程變化圖

表七：102 年度颱風季前後河道區地形變化量(範圍請參看圖七)

	支流	1.7k~3k	3k~4k	4k~5k	5k~6k	6k~7.3k	測區河道總計
堆積量(立方公尺)	195487.08	353570.77	210289.63	30996.22	14187.73	48474.99	853006.42
侵蝕量(立方公尺)	-51884.37	-103564.44	-128360.22	-133637.11	-294998.66	-334999.54	-1047444.35
面積(平方公尺)	116514.84	215481.58	160392.94	145807.87	167938.46	205898.30	1012033.99
單位堆積量(公尺/平方公尺)	1.68	1.64	1.31	0.21	0.08	0.24	0.84
單位侵蝕量(公尺/平方公尺)	-0.45	-0.48	-0.80	-0.92	-1.76	-1.63	-1.03
單位變化量(公尺/平方公尺)	1.23	1.16	0.51	-0.70	-1.67	-1.39	-0.19

## 五、結論

本文應用地面式光達技術於野溪地形，配合 GPS 定位測量，於颱風季前後施測，分別為 102 年 7 月與 10 月執行，除了與 100 年測量資料比對，了解長期變化，更量化本年度地形受颱風季的影響。

空載光達能有效取得大範圍國土地形、地貌，但其能執行之天日受天候條件之約束相較多數測量方式都較嚴苛，短時距如颱風事件後，難以快速進行地形測量。地面光達取得之範圍雖不如空載，但機動性較高、精度較高，高點雲密度可提高地表點判釋準確性，並能深入野溪林中測量，適用於高精度、高時效性之地形監測。

來社溪地形 102 年 7 月至 102 年 10 月，主要受康芮及天兔颱風影響，本測區上游段以侵蝕為主，下游段則堆積為多。定期監測透過 DEM 與高程變化圖以清楚呈現侵淤變化，及其發生位置與變化量，有助於對測區地形變遷與土砂搬運之計算。定期於颱風雨季前後施測，能確實掌握變因，更能由歷年受颱風雨季影響之土砂量，進一步對測區地形變遷進行推估。

## 參考文獻

徐偉城(2007)，LiDAR 與環境調查/監測/災害防救應用，國土資訊系統通訊，61：69-79。

許海龍（2006）應用 3D 雷射掃描技術於崩塌地地層滑動監測，岩盤工程研討會論文集，377-386。

## 謝辭

本研究為「103 年度南部地區水土保持保育治理先期計畫」之來社溪光達測量作業部分成果，也感謝立邦工程技術顧問有限公司王嫻兮技師在相關工作上的協助。