

崩塌地 3D 雷射掃描測繪研發計畫 期末報告書

A Study on Landslide by 3D Laser
Scanning Survey and Drawing



委辦機關：行政院農業委員會林務局

研究單位：東南技術學院防災科技研究所

計畫主持人：許海龍 教授／博士

中華民國 九十四 年 十一 月 三十 日

崩塌地 3D 雷射掃描測繪研發計畫

A Study on Landslide by 3D Laser Scanning Survey and Drawing

委託機關：行政院農業委員會林務局

執行機關：東南技術學院

計畫主持人：許海龍 教授/博士

中華民國 九十四 年 十二 月

目 錄

一、 前言.....	1
(一) 計畫緣由與監測地點.....	1
(二) 工作項目.....	6
(三) 工作流程.....	8
二、 研究目的.....	9
三、 調查方法.....	11
(一) 崩塌地現場取樣方法及現場調查照片.....	11
(二) 3D 雷射掃描作業.....	16
四、 研究結果.....	43
(一) 現地地質取樣與試驗結果.....	43
(二) 崩塌地 3D 掃描、分析結果.....	45
五、 結論與建議.....	66
誌謝.....	73
參考文獻.....	74
期中報告審查會議紀錄.....	75
期末報告審查會議紀錄.....	77
附錄一、目前各類地面 3D 雷射掃描說明	
附錄二、粒徑分佈曲線圖	
附錄三、土壤三軸壓縮強度 CIU 試驗	
附錄四、補充資料	
附錄五、柔性蜂巢管設置說明	

一、前言

(一) 計畫緣由與監測地點

台灣本島的地質條件特殊，山區地形陡峭，地質脆弱，河短流急，且位於歐亞大陸板塊和菲律賓海板塊交界處~屬於環太平洋地震帶的一部份，地震活動相當頻繁，921 大地震後，部分地區的表土因地震搖晃而鬆弛，若加以颱風豪雨頻襲；則在地質不穩定區的順向坡地帶、表土鬆軟區或裸露礫石岩層區，易受其影響而產生崩塌；當有崩塌或土石流災害發生時，會改變區域性的地形地貌，而獲取此災後地形資料的方式，傳統是以實地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。但野外測量或取得完整航照資訊，往往需要花費較多的時間與人力物力，利用地面三維雷射掃描系統 ILRIS-3D(Intelligent Laser Ranging and Imaging System)，除了可以在短時間內，機動性的測取高密度點雲且高精度的數值地形資料外；配合點雲資料模型化，則可形成三維向量圖形的空間資料。另外以 GPS 測量地面控制點，將測量區域轉換成為絕對大地座標，如此可以依需求轉換成所需要的 DEM 網格，再疊合不同時期的掃描資料進行比對分析。

行政院農委會林務局，為國有林地治理與復育以及集水區整體治理之目的，選定其管轄地區之“埔里壠溪支流”、“新竹土場”、“花蓮玉里 11 林班地”以及“嘉義 152 林班地”等四處崩塌地做為調查與整治之地點供為研究，如圖 1-1，1-2，1-3，1-4 所示，藉由 GPS 衛星定位及使用地面 3D 雷射掃描測量方式，每隔一段時期對監測地點進行 3D 雷射掃描以獲取大量點位資訊，並利用所得點位資訊探討該崩塌地邊坡目前穩定性及變化趨勢，並提供土石崩塌量與河道沖刷與淤積量，供作“工程措施”與“防救災”之參考。



圖 1-1 埔里壠溪支流崩塌地位置



圖 1-2 新竹土場崩塌地位置圖

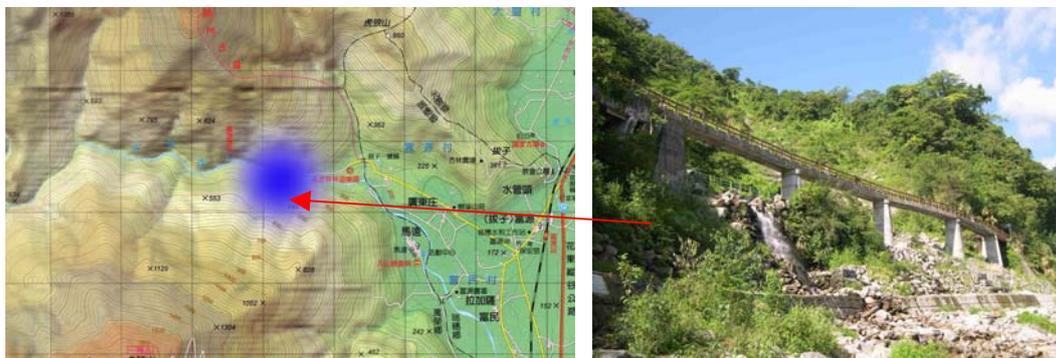


圖 1-3 花蓮玉里 11 林班地崩塌地位置圖



圖 1-4 嘉義 152 林班地崩塌地位置圖

1. 埔里壠溪支流崩塌地：埔里壠溪支流崩塌地位於南投縣埔里鎮往鯉魚潭方向之台 14 線右轉投 79 線，為壠溪之上游，其測量區域為上游梳子壩與下游開口壩之間的河道地形與崩塌區域。該區域為土石流發生區域，目前只仰賴上游梳子壩與下游開口壩作為土石流災害控制。如圖 1-5：



圖 1-5 埔里壠溪支流防砂壩與崩塌地分佈狀況

2. **新竹土場崩塌地:** 新竹土場崩塌地位於新竹縣五峰鄉土場，122 縣道往五峰，經桃山隧道至 122 線道終點土場，其橋樑已沖毀，目前為河道上之便道，而其測量區域為橋樑上游 500 公尺範圍內之河道變化與崩塌區域。該區域為土石流發生區域，目前無任何防治措施。如圖 1-6 所示：



圖 1-6 新竹土場橋樑與崩塌地分佈狀況

3. **花蓮玉里 11 林班地事業區（花蓮富源）崩塌地:** 花蓮玉里 11 林班地事業區崩塌地位於花蓮富源森林遊樂區內，富源溪上游石橋旁一崩塌區域，目前其測量區域上有施作一些簡單之護坡，而且以混擬土材質作為排水道。大部分區域已有植被，測量區域裸露的部分已不多，所以監測範圍受限於其裸露的區域。如圖 1-7 所示：



圖 1-7 花蓮富源邊坡與崩塌區域分佈狀況

4. **嘉義 152 林班地崩塌地**：嘉義 152 林班地崩塌地位於台 18 線往阿里山森林遊樂區內，此測量區域目前有三座開口壩新建完成，主要防治土石流對下游之危害。如圖 1-8 所示：



圖 1-8 嘉義阿里山開口壩與崩塌區域分佈狀況

崩塌地監測工作其作業期間為 94.07.13 至 94.11.10，這段期間進行了埔里壠溪四次掃描，新竹土場四次掃描，花蓮富源四次掃描以及嘉義 152 林班地一次的掃描結果，而造成每次掃描有不同結果的主要因為每年夏季颱風的影響，作業期間一共歷經大小颱風四次，包括三次強烈颱風與一次中度颱風，其所夾帶之強風豪雨，對作業區域皆造成相當大的影響。如表 1-1 所示：

表 1-1 940713~941110 作業期間有發布警報之颱風一覽表

編號	中文名稱	英文名稱	警報期間	強度
200519	<u>龍王</u>	LONGWANG	09/30~10/03	強烈
200513	<u>泰利</u>	TALIM	08/30~09/01	強烈
200509	<u>馬莎</u>	MATSA	08/03~08/06	中度
200505	<u>海棠</u>	HAITANG	07/16~07/20	強烈

(二) 工作項目

(一) GPS 監測控制點勘選與埋設：於埔里壠溪、五峰土場、花蓮玉里 11 林班以及嘉義 152 林班四個監測區各選定 3 個控制點、做為後續資料處理之固定點，如果監測區地形條件符合之下，則相關點位盡量以不銹鋼鋼標中間植入不銹鋼棒方式固定於地表面上。而且選定相關點位的條件為不變動以及透空良好區域，例如：防砂壩或道路上不受暴雨沖刷所影響之區域。

(二) GPS 長時間觀測：因為作業區域大部分位於山區，所以透空度不甚良好，為得到足夠的 GPS 資料，每次之 GPS 連續觀測時間為 3 小時以上。

(三) GPS 資料處理與計算：將本次計畫 GPS 所觀測之資料，利用 Bernese

v4.2 軟體進行資料解算。

- (四) 地面 3D 雷射掃瞄作業：利用 GPS 進行點位觀測所得之資訊為一點狀分布的三維信息，雖然可以獲取高精度之監測成果，但若欲對於監測區做全面的資訊掌握仍稍嫌不足，故利用最近廣為大眾接受之地面 3D 雷射掃瞄技術來輔助 GPS 測量之不足，是一最佳之方法，因此本次計畫亦規劃利用地面 3D 雷射掃瞄技術針對監測區進行全面性之掃瞄。
- (五) 地面 3D 雷射掃瞄資料模型化建置：利用地面 GPS 控制點之三維坐標，將地面 3D 雷射掃瞄資料化算至絕對坐標系統 (TWD97)，並將所獲取之雷射點雲 (Point Clouds) 成果模型化，提供後續防救災工程規劃設計、現場施工使用。
- (六) 雷射點雲資料處理與 DEM 製作：地面 3D 雷射掃瞄技術雖然是山坡地監測之一最佳之方法，但仍是有其限制存在，會因地上物遮蔽與植被影響，所得到之原始點雲資料不足或非地表點，此解決辦法除了外業資料取得以外，再來則須依靠內業資料內差與率除，如此才能得到一完整且精準之 DEM 資料，以便於後續分析比較。
- (七) 土方量之計算：將雷射點製成 DEM 後，利用 DEM 組成 TIN 模型，並進行土方量的計算。
- (八) 現地地質調查、取樣與試驗：
- (九) 測量成果報告撰寫：將本計畫所執行之工作項目、相關測量成果及圖、表，進行比對分析，以及計算崩塌量與河道沖淤量。

(三) 工作流程

為完成上述之工作項目，在仔細評估工作順序後，本次計畫之工作流程如圖 1-9 所示。

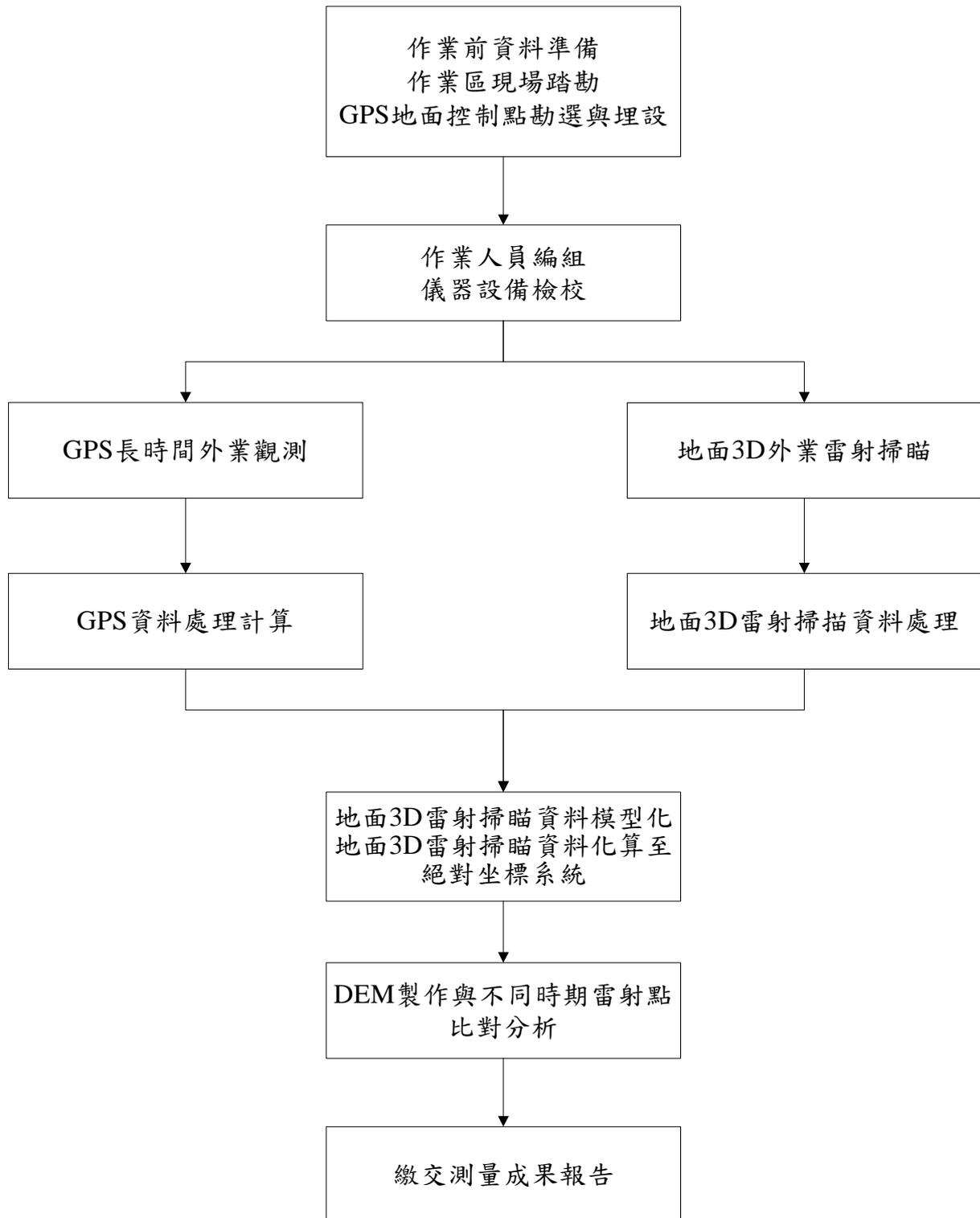


圖 1-9 林務局埔里等四處崩塌地作業流程圖

二、研究目的

山坡地之邊坡除經常受到自然界之應力如重力、降雨、風力、地震力等作用而產生滑動、崩壞、落石等現象外。近年來，由於人口增加、社會快速發展，平地土地利用已趨近飽和，人類的活動和居住範圍逐漸由平地往上延伸到山區，特別是在大都會區周圍的丘陵地帶，以及山區公路之兩旁，坡地更是過度的開發利用。人為的開發行為導致坡地災害時有所聞。但是山坡地係一項重要的土地資源，山坡地之開發利用乃無法避免，當務之急就是在開發、利用山坡地時如何防止坡地災害的發生，以及如何監測山坡地的變動情形以作為判定安全與否之根據。

邊坡穩定度監測中，已發生位移的大小是一個重要的指標。目前已採用的監測方法有測量的方法和岩土工程方法。測量的方法是採用三角控制網，用全站儀等獲取資料，這種方法雖然積累了不少經驗，但在測量過程中要耗費大量的時間。採用測斜儀也是較為普遍的岩土工程監測位移的方法，但目前主要還是手工方法，測量時人必須到現場。測斜儀直接的監測結果為角度，經計算轉化為位移，即土體內某一點位移，無法直接獲取邊坡表面位移的大小。目前人們已經注意到以上方法的局限性，採用其他的方法，如 G.P.S.方法。該方法可以實現遠距離連續觀察，直接獲取邊坡表面某點處的三維座標，進而根據座標值在不同時間的變化來獲取絕對位移的大小或變化情況。但是不管大地工程、地質工程及相關領域的專家所判斷可能發生問題的地點仍屬於點狀監測型態，無法全面代表邊坡全區之地滑現象，本文便以 3D 雷射掃描系統進行全面之 3D 雷射掃描，求得邊坡全面之 3D 向量資料，並以均勻分布之原則佈設掃描雲點，可進一步得到邊坡均勻精密點位座標，並與精密 3D 模型交叉分析比對，得到最客觀之監測資料。

行政院農業委員會林務局為了確保“國土發展與保育”政策，選定后列四個崩塌地之處所（1）、南投埔里墘溪、（2）、新竹五峰土場、（3）、花蓮玉里 11 林班地（富源）、（4）、嘉義 152 林班地，為 94 年度研究地點。

本研究在於使用 3D 雷射掃描儀的新技術，在事後進行坍方量的估算以利下游的防砂壩之設計；提供崩塌原因分析及因應對策；藉由持續性前往量測所得面積及土石方量之數值歷程（變化量），作為判斷該崩塌面是否擴大之基本資料供參考應用。

三、調查方法

(一) 崩塌地現場取樣方法及現場調查照片

山坡地之崩塌原因除震動（如地震等）、豪雨、氣候之冷熱變化等物理性或化學性、坡面植被、樹木等作用外，當然就是土質特性，則利用崩塌地現場從事土壤之樣品選取。爰此，依據現場之堪察及選點從事“現場取樣之工作”。

1. 依地形、地貌在每個崩塌地選定“6組銅圈取樣”，供作土壤物理性質試驗，求取土樣之物理性質與特性，以為工程規劃設計之依據；同時，利用圓鋤求取3" ϕ 不擾動薄管，供求土樣之力學特性與土層強度如 c 、 c' 值與 ϕ 、 ϕ' 角。
2. 銅圈或3" ϕ 不擾動薄管之選擇方法如同一般鑽機取樣，不過在此係用人工很謹慎地挖除、剷平、選樣、磨平後再套管、密封、標示而後完成，如後列採樣數量表及各崩塌地現場採樣方法照片之所示。

【現場調查照片】

1. 埔里壠溪支流崩塌地

(1) 調查日期：2005 年 05 月 20 日

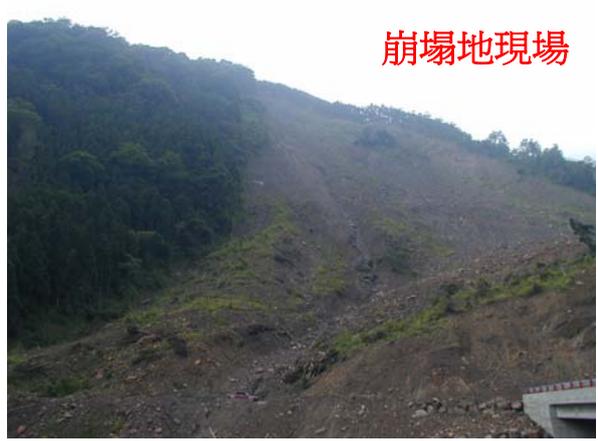
(2) 調查內容：銅圈取樣 6 組，鏟取地表崩積土 5 袋。



2. 新竹土場崩塌地

(1) 調查日期：2005 年 08 月 29 日

(2) 調查內容：銅圈取樣 6 組，鏟取地表崩積土 5 袋。



3. 花蓮玉里 11 林班事業區（富源）崩塌地

(1) 調查日期：2005 年 07 月 25 日

(2) 調查內容：銅圈取樣 6 組，鏟取地表崩積土 6 袋。



4. 嘉義 152 林班地崩塌地

(1) 調查日期：2005 年 11 月 08 日

(2) 調查內容：銅圈取樣 6 組，鏟取地表崩積土 5 袋。



(二) 3D 雷射掃描作業

1. GPS 監測控制點勘選與埋設：四個監測區各選定 3 個控制點、做為後續資料處理之固定點，於埔里壠溪選定點名為 0581、0610 以及 0623 三個控制點，如圖 3-1 所示，於新竹土場選定點名為 WU01、WU02 以及 WU03 三個控制點，如圖 3-2 所示、於花蓮富源選定點名為 T589、TX01 以及 TX02 三個控制點，如圖 3-3 所示，與嘉義 152 林班地選定點名為 GY01、GY02 以及 GY03 三個控制點，如圖 3-4 所示。

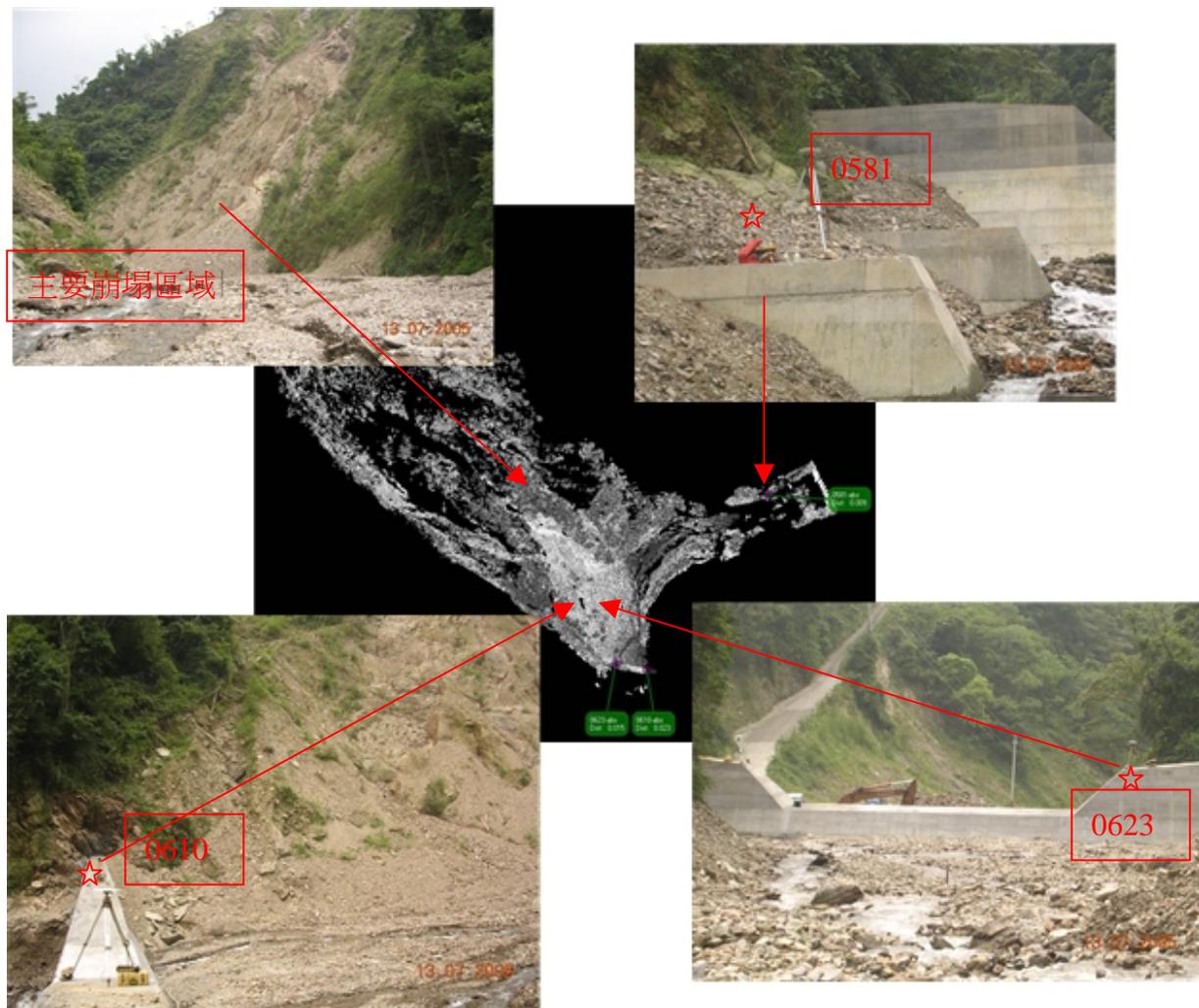


圖 3-1 埔里壠溪地面控制點分佈圖

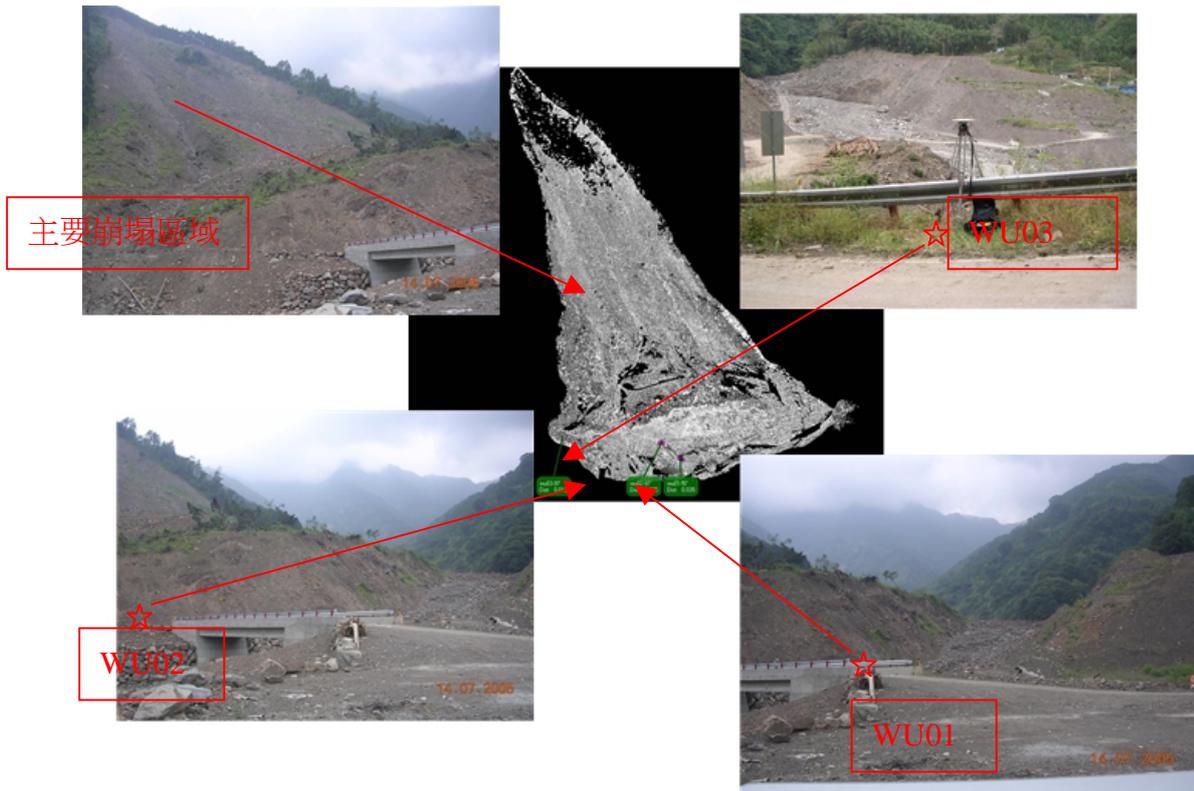


圖 3-2 新竹土場地面控制點分佈圖



圖 3-3 花蓮富源地面控制點分佈圖

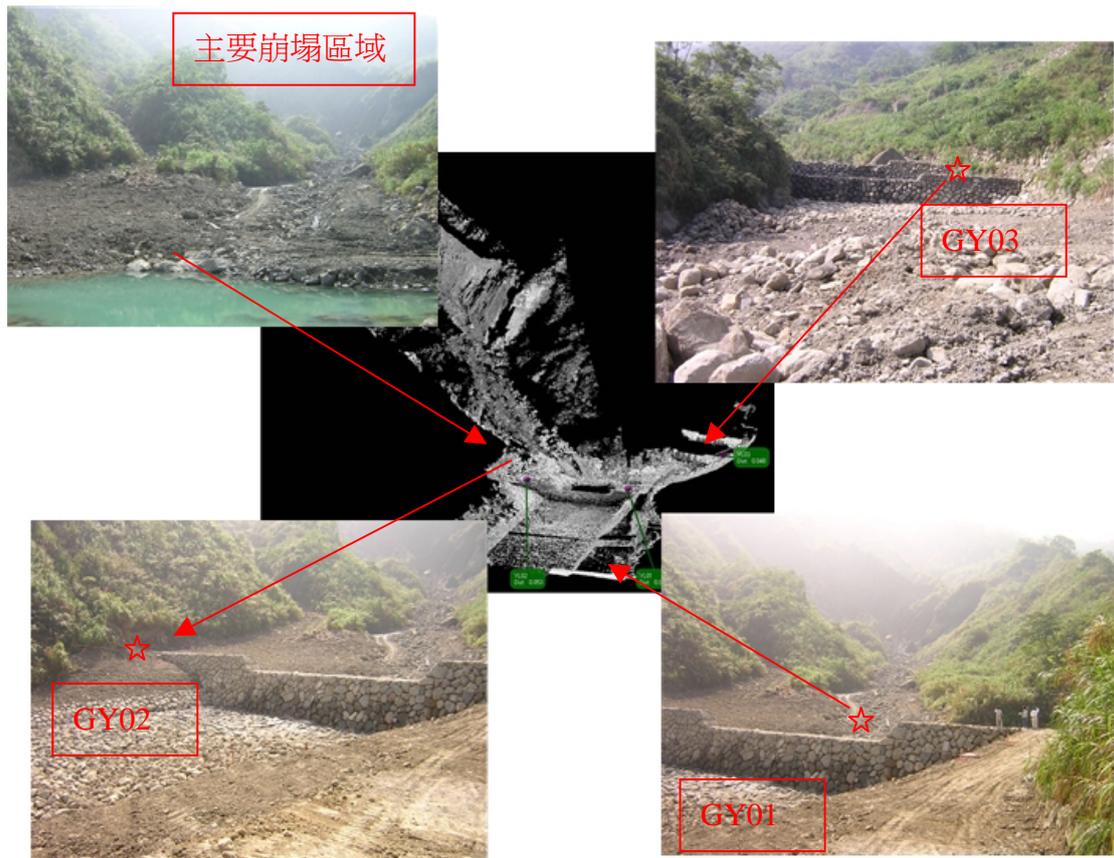


圖 3-4 嘉義 152 林班地地面控制點分佈圖

2. GPS 外業觀測：

- (1) 觀測儀器：採用全波長大地測量雙頻衛星接收儀 3 部進行觀測，於同一時段，採用同一廠牌之儀器及天線盤。
- (2) 觀測時間：在每次進行地面 3D 雷射掃描時，同時進行 GPS 觀測，每次三小時以上。
- (3) 基座檢校：每部衛星接收儀搭配固定之光學定心基座（編號識別），並於辦理外業觀測前實施校正，其對心誤差不得大於 3mm，另定心基座如因碰撞或摔落時，立即更換或重新校正。
- (4) 同一時段所有衛星接收儀連續且同步觀測時間：至少三小時，惟訊號中斷達三百秒以上，視為另一時段，如圖 3-5。
- (5) 觀測取樣間隔：為 15 秒。
- (6) 架設天線應定心、定平、依指北針調整天線特定標記指向北方，並

量測天線高度。天線高度以原廠公制尺量測三次，讀至公分下一位，取其平均值輸入儀器，並將讀數記錄於觀測紀錄表；觀測結束後，亦重量天線高，並於觀測紀錄表記錄之。

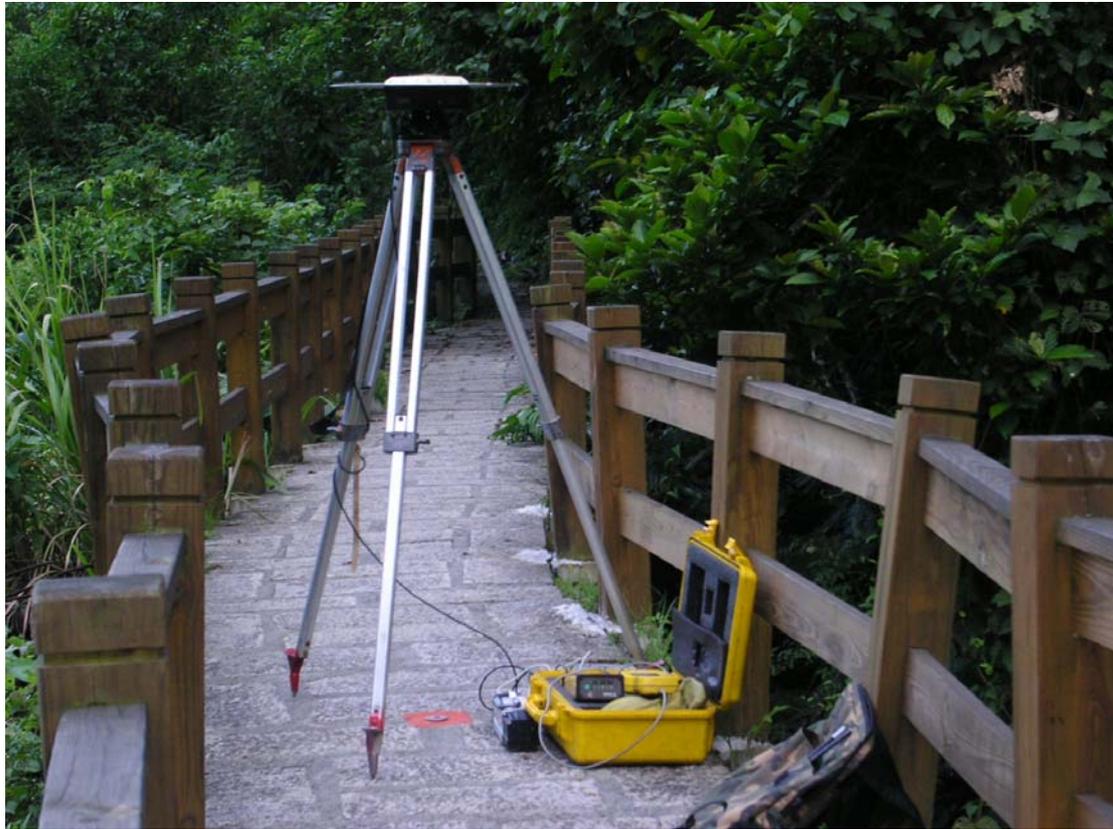


圖 3-5 GPS 外業觀測情形

3. GPS 資料處理與計算

GPS 測量成果的品質，取決於資料處理過程是否完善，故野外觀測蒐集的資料，應先逐日逐時段處理，求解各基線分量後，再結合全部所觀測基線的資料，進行整體網形平差的成果與分析。

因此，在執行本次計畫時，對於觀測資料的解算，採 Bernese V4.2 版，因此對於資料處理的過程須十分嚴密而謹慎，圖 3-6 為此次處理整個觀測資料的作業流程，而詳細說明分述如后。

由於此次外業觀測上採用的儀器均為同一廠牌的儀器（Trimble 系列衛星定位接收儀），因此在採用原廠傳輸軟體傳輸至電腦後，有以下的幾個步驟須加以進行：

- (1) 核對下載檔名與儀器儲存檔名是否相同，若否則研判是否儲存錯誤或是下載錯誤。
- (2) 檢核觀測訊息檔 (*.mes)，確定點號、天線高、觀測時間是否正確，若否則加以註記並於後續進行修正。
- (3) 確定觀測資料量是否足夠，單點定位是否成功，否則須修正後續觀測計畫進行重測。
- (4) 資料於各階段均進行備份，並確認觀測無誤後製作實際觀測時段表，並分別化算垂高至天線盤底部。
- (5) 為配合 Bernese V4.2 版軟體計算使用，將原始的觀測資料轉換為標準的 Rinex 格式檔，並檢核檔頭是否有誤，若有錯誤則加以進行修正。
- (6) 使用修正後之垂高（換算至天線盤底部），進行 Rinex 格式檔的編修，以使 Rinex 格式檔能為 Bernese V4.2 版軟體應用計算。

Bernese 軟體是由瑞士伯恩大學天文研究所 (Institute of Astronomy, University of Berne) 所研發的，而於 2000 年 8 月發表現行的 Bernese V4.2 版，該軟體除了一般性 GPS 資料處理功能外，另有 BPE (Bernese Processing Engine) 可自動化處理 GPS 資料、計算軌道參數、極運動 (Polar Motion) 參數、地球轉動 (Earth Rotation) 參數、推求區域性及全球性之電離層模式、對流層折射附加參數與模擬 GPS 資料之功能，整個計算流程如圖 3-6。

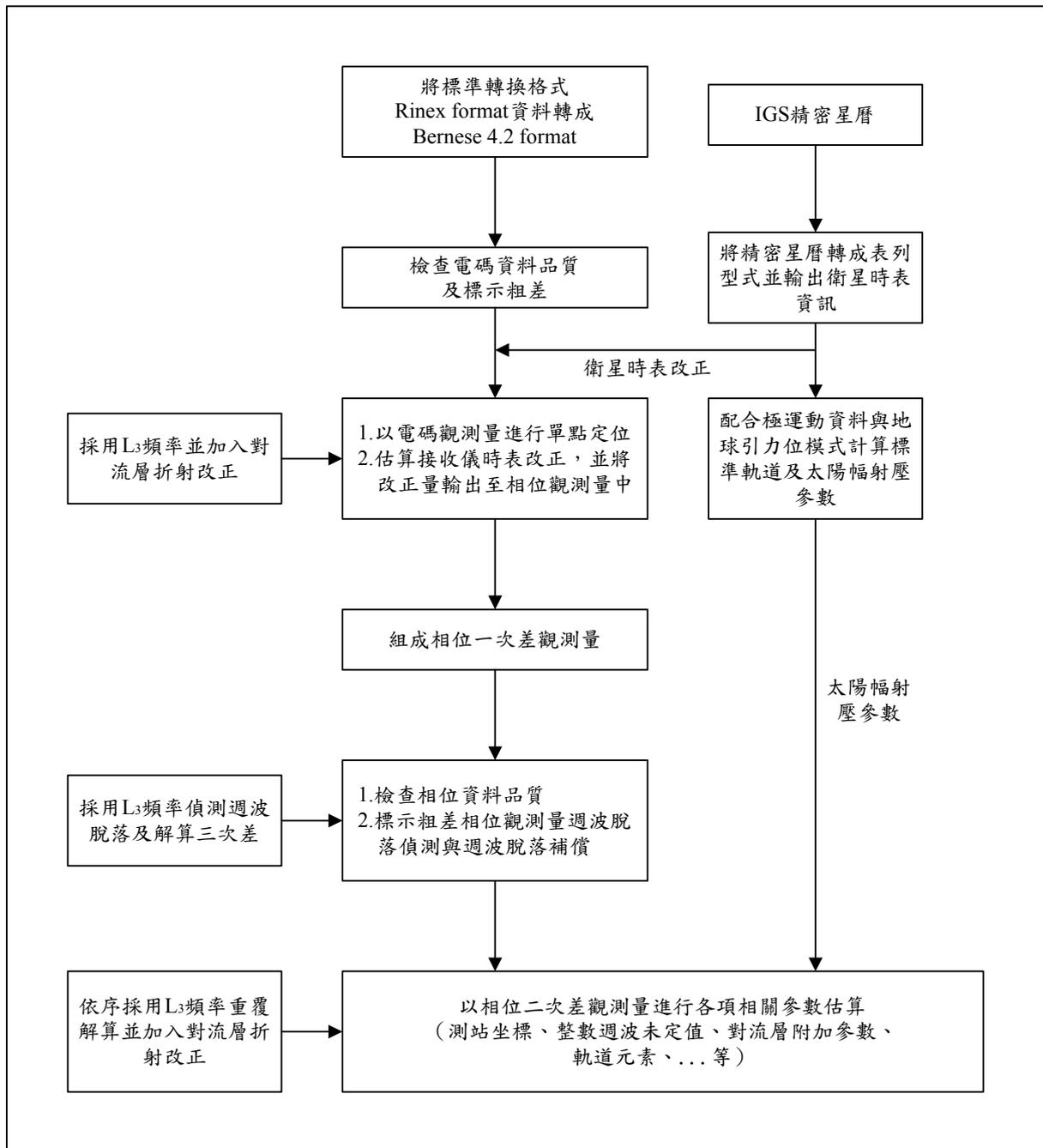


圖 3-6 Bernese V4.2 版計算流程圖

當蒐集上述資料後，於進行資料計算前，尚須下載內政部土地測量局衛星追蹤站的資料聯合計算，才能將本工作 GPS 觀測資料化算統一的國家座標系統 (TWD97)，如表 3-1 所示；

表 3-1 衛星追蹤站位置

GPS 控制點資料	縱座標 (N)	橫座標 (E)	橢球高程 (h)	解算位置
北港衛星追蹤站	2608670.782	179111.707	43.107	埔里壠溪，嘉義 152 林班地
太麻里衛星追蹤站	2501771.714	250769.221	58.793	花蓮富源
陽明山衛星追蹤站	2784255.922	307867.6622	784.081	新竹土場

Bernese 軟體對於中、短距離基線的求解，其軟體中功能強大的資料處理模式可使精度及穩定度較一般的商用軟體為優，但針對此觀測時段較短情況下，其求解成功率相形降低。而在計算過程中，繁瑣的操作模式更增加人為錯誤的比例，因此，實際計算中，必須十分小心的加以運作，為解決此一問題，延長觀測時間為最佳的方式，故本次工作所有的觀測時段，共同觀測時間皆至少為 3 小時，經解算後埔里壠溪、五峰土場、花蓮富源及嘉義 152 林班控制點之 GPS 觀測網形圖如圖 3-7、圖 3-8、圖 3-9 及圖 3-10 所示。

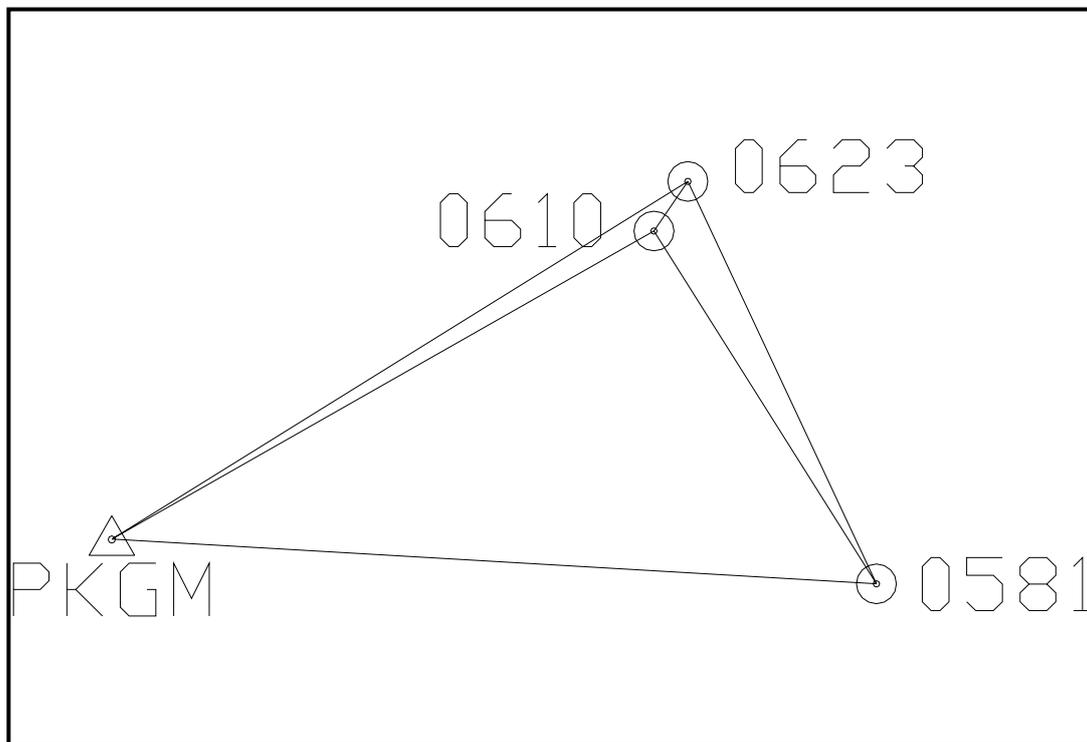


圖 3-7 埔里壠溪 GPS 觀測網形示意圖

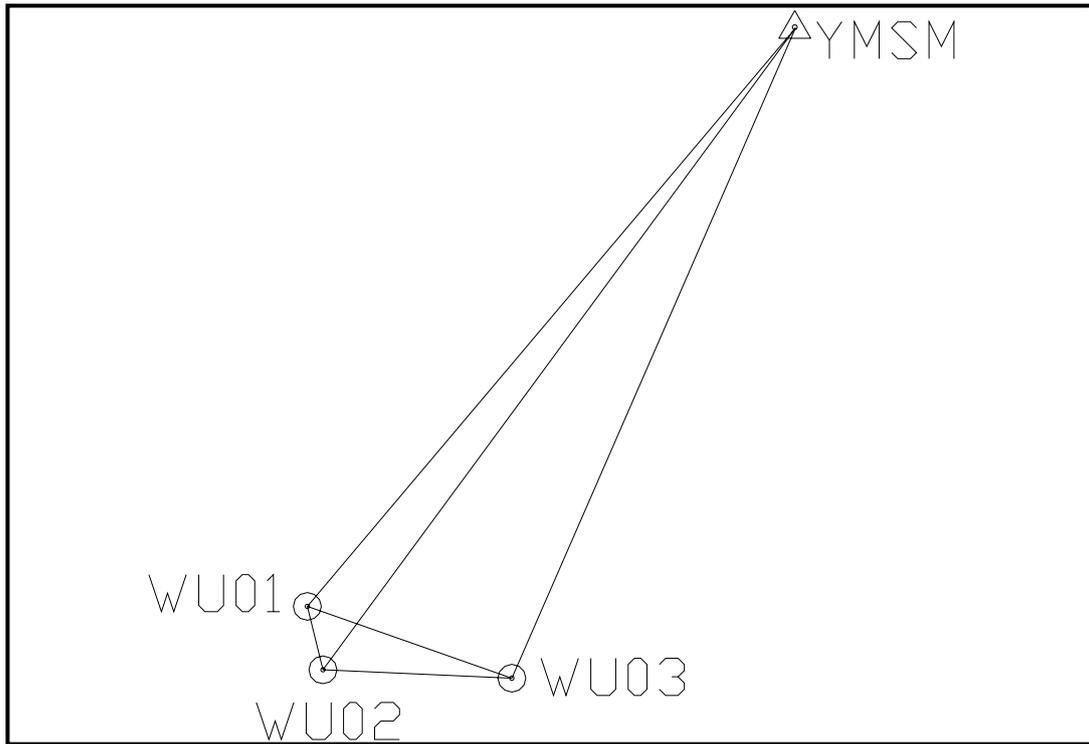


圖 3-8 新竹土場 GPS 觀測網形示意圖

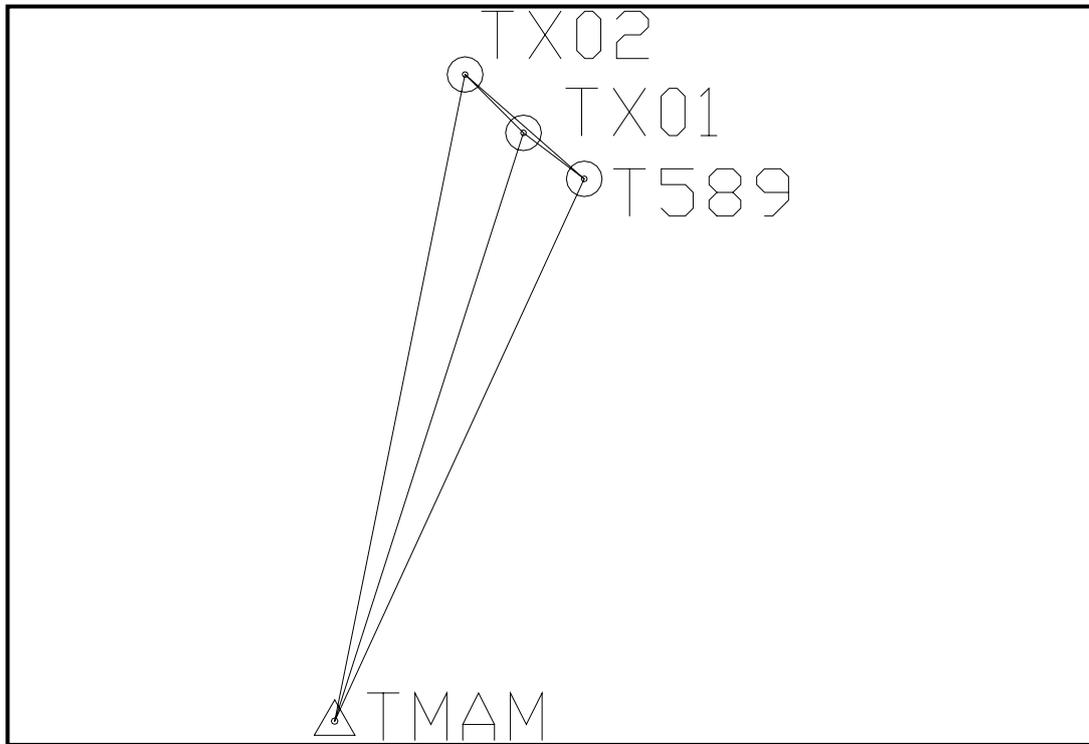


圖 3-9 花蓮富源 GPS 觀測網形示意圖

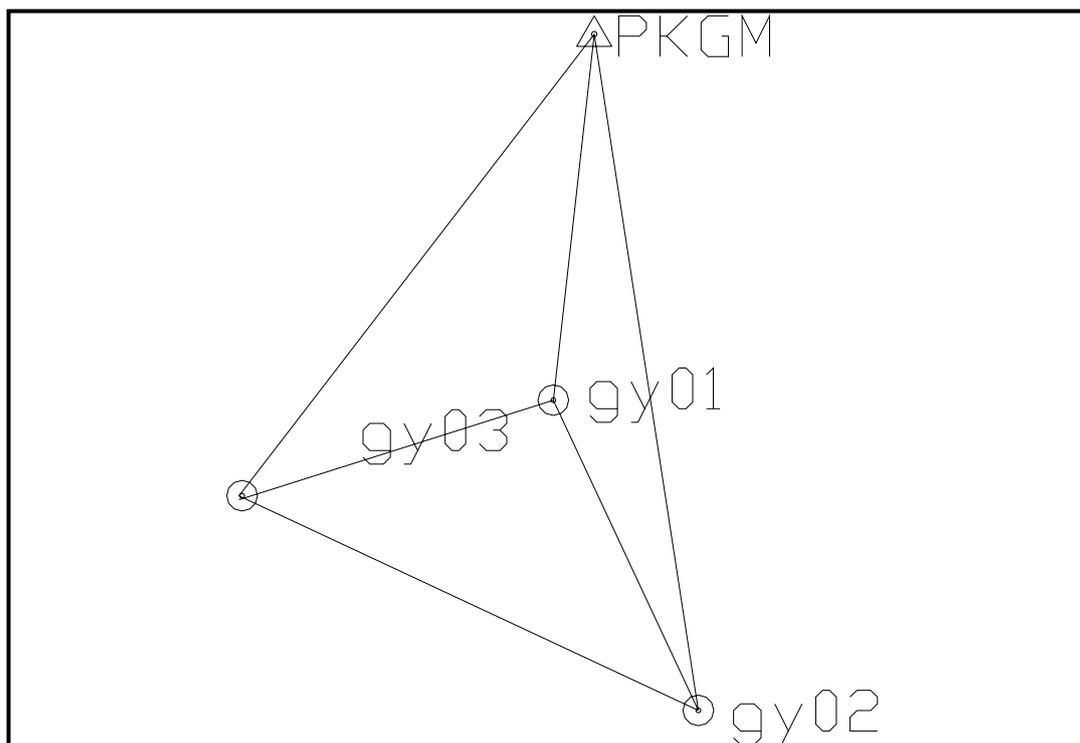


圖 3-10 嘉義 152 林班地 GPS 觀測網形示意圖

1. 地面 3D 雷射掃描作業

由於測量技術的進步，傳統測量僅能以點為基礎進行測繪，由點圖徵組成線圖徵，測量點的密度與成本皆難以應用在建立詳盡的資料庫上，僅能應用於傳統二維製圖。而最新的地面三維雷射測量技術，可在數分鐘內獲取數十萬點的測量點數據，組成詳盡的面描述，平均點密度約為數公分左右，因此對於獨特的地理環境及歷史文物古蹟皆可進行超高密度的測量與描述，作到數值化保存與管理，可以使用在文化研究、古蹟維護與觀光發展等應用上。除此之外，由於非常密集的量測特性，可以達到一般測量無法達到的詳盡程度，也開始應用在數位城市建置與各種景觀模擬的應用上，提供各種縣政規劃決策支援之用，有效減少不當開發造成的損失。

雷射的觀測有效距離(Range)是儀器重要的應用條件，尤其對大型地物或場景的觀測，或是無法接近的地物，皆需要較長的觀測距離。然

而，距離越遠的地物觀測精度越差，若要保持儀器所宣稱的測距精度，則觀測距離需在其標準範圍(Standard Range)內。雷射掃描儀的定位精度與測距精度、瞬間視角(Instantaneous Field of View, IFOV)、及水平與垂直直角精度皆有關係，所以必須綜合這些所有條件來評估雷射掃描儀在進行外業時所需要的參數，整個地面 3D 雷射掃描原理如圖 3-11 所示。

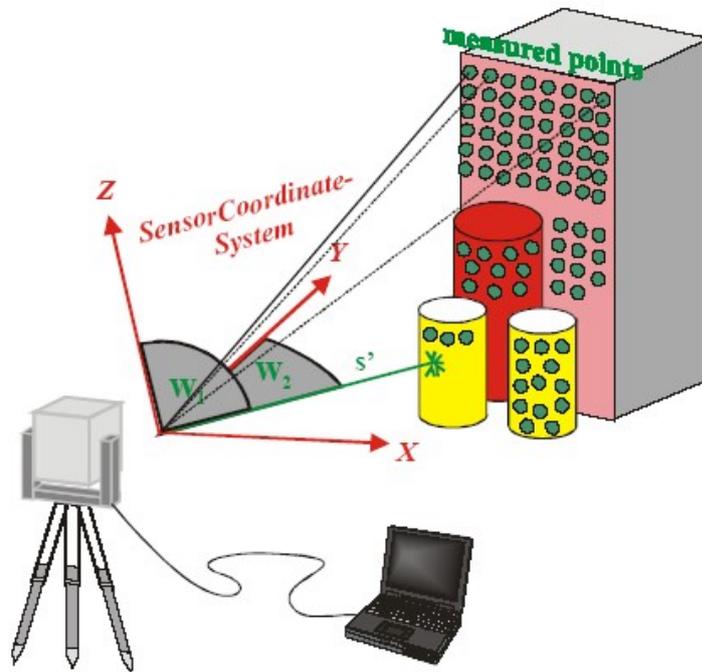


圖 3-11 地面 3D 雷射掃描示意圖

在實際上進行測量時，應注意事項如下：

- (1) 由於現行的雷射掃描儀器無定心定平裝置，當進行一個待測物觀測時，是由不同測站所測點雲整合於同一相對座標系統，以進行後續的模型套合動作。觀測者須考慮觀測物兩次測量的重疊區域，以便日後進行模型套合，重疊區域通常為 30%，可依現場狀況做調整。
- (2) 進行觀測時，有些物體無法反射雷射光，例如鏡子，或光滑金屬面，造成掃描儀於該區域接收不到反射訊號，使得所得到的物體點雲資料，有部分無資料區域。

- (3) 以雷射掃描儀進行觀測時，能在短時間內收集大量的點雲資料，但所需的往往只是其中的部分，資料過於龐大會造成日後處理的困難，觀測者應選取適當的掃描間距。
- (4) 三維雷射掃描儀的主要構造是一部快速準確的雷射測距儀加上一組可導引雷射光以等角速度掃描的反射稜鏡，針對每一掃描點可測得測站至掃描點的斜距，配合掃描的水平與垂直方向角，可推求得每一掃描點與測站之三度空間相對座標差，若測站之三維座標為已知，則可求得每一掃描點的三維座標。但此座標為相對座標，需將相對座標轉換成 TWD97 絕對座標。

本次作業依照需求，使用地面 3D 雷射掃描的方式進行崩塌邊坡或建築物的量測，而採用的儀器為加拿大 Optech 公司生產的 ILRIS-3D (Intelligent Laser Ranging and Imaging System)，如圖 3-12，屬長距離之地面三維雷射掃描儀，儀器本身內含掃描稜鏡的快速雷射測距儀，它具有無需反射稜鏡即可精確獲得掃描點的三維座標，並可在短時間內得到大量的點位資訊（每秒 2000 點）。而採用地面三維雷射掃描具有如下之優點：

- (1) 儀器本身只要具有一個立足點，即以不接觸被測物的方式快速獲得掃描範圍內非常高密度且高精度的三維點位，並配合資料處理可得到三維向量圖形的空間資料。
- (2) 採用主動式量測不需可見光源，因此可不受天候影響，不論白天或是夜晚均可進行待測物體的量測。



項目	規格
尺寸	31.2cm × 31.2cm × 20.5cm
雷射波長	1540 nm
掃瞄距離	3m ~ 1200m
水平視角	40°
垂直視角	40°
重量	12 kg
掃瞄頻率	2000 pts/sec
目標鎖定精度	4mm
模型精度	3mm
景深解析力	3mm

圖 3-12 加拿大 Optech 公司 ILRIS-3D 儀器性能

而地面三維雷射掃描儀主要施測方式，即由雷射發射源發射雷射光，再經由接收物體反射回來的訊號，藉此求取反射物體的空間位置；本計畫採用之 ILRIS-3D 雷射掃描儀採用的方式為時間差量測法 (Time-of-Flight)，其施測原理主要藉由掃描儀本身發射脈衝雷射光至待測物體表面，並接收物體表面反射回來的訊號，依式 3-1 公式計算出掃描儀與待測物體間的距離；圖 3-13 為其量測的示意圖。

$$\rho = \frac{1}{2} c \Delta t \quad (3-1)$$

其中 ρ 為距離， c 表光速， t 為時間

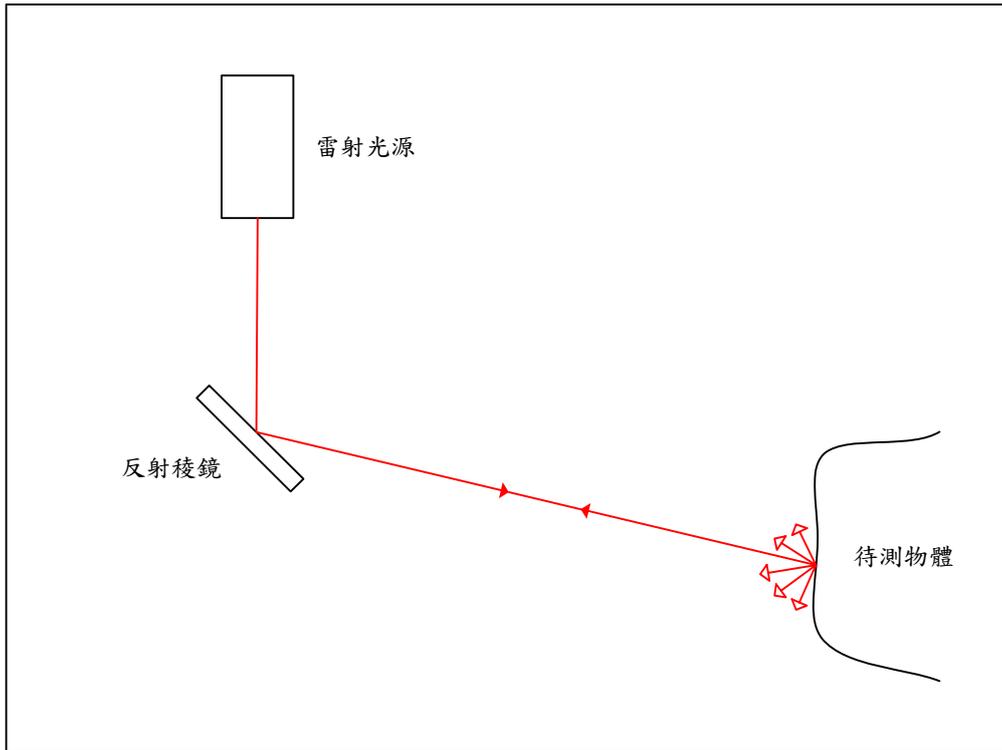


圖 3-13 時間差量測法示意圖

於每次的外業掃描中，雷射點間距設定約為 8 cm；ILRIS-3D 在實際掃描中，對物體反射可選定“First”及“Last”兩種反射模式，“First”模式表接收物體的第一次反射訊號，“Last”模式表接收物體的最後的反射訊號，兩者於實體構造物（如建物、樓梯、...等）所得資訊相同，但對於地表具稀疏植被（如雜草、疏林、...等）時，“Last”模式可部分穿透而得到地表點位資料，因此，考量實驗區現場狀況，雷射點反射模式選定“Last”模式，以獲取較多地表資料，外業三維雷射掃描操作如圖 3-14 所示。

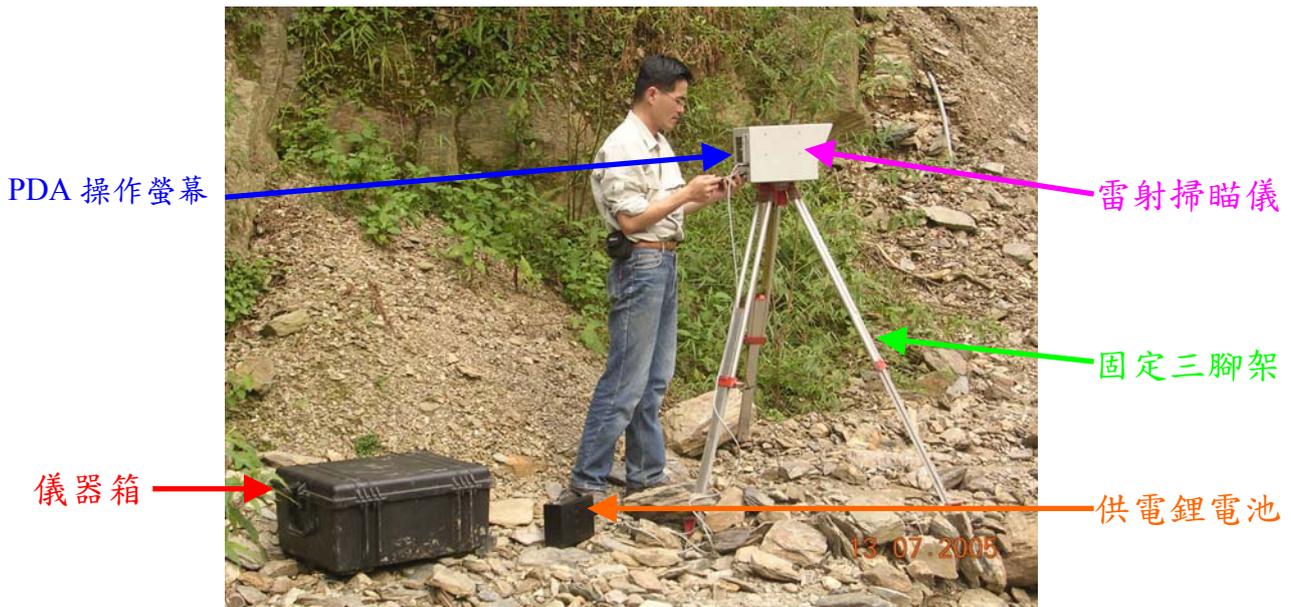


圖 3-14 外業三維雷射掃描操作實景

而掃描的資料初步以儀器所附轉換程式將原始資料（*.i3d 檔）解壓縮並轉換成後續處理軟體使用，而每次獲得點位資料約介於 3~4 百萬點，因此所獲得點位資料是非常龐大的，且由於點雲資料由各個視景所建構而成，因此如何將點雲良好接合，是一項重要的工作。

2. 地面 3D 雷射掃描資料模型化建置

於現場進行地面 3D 雷射掃描時，可能因掃描區域面積過大，無法一次將所有區域涵蓋掃描，而必須分次及多個不同的角度才能掃描完成，因此所獲得之資料為許多不同的掃描檔案累積而成，必須加以接合才能得到最後整個測區之點雲資料。以本次計畫之四處崩塌地依各區域範圍不同以及操作人員不同而所設定的參數也有所不同，所以最後檔案多寡也有所不同，但最終目的，都是在測區範圍內得到足夠的雷射點資料。最後本計畫在點雲資料的接合上，使用 Innovmetric Software 公司生產的 PolyWork 9.0 版的軟體，採用的接合原理為曲面匹配法，其作業流程如圖 3-15，而內容分述如后。

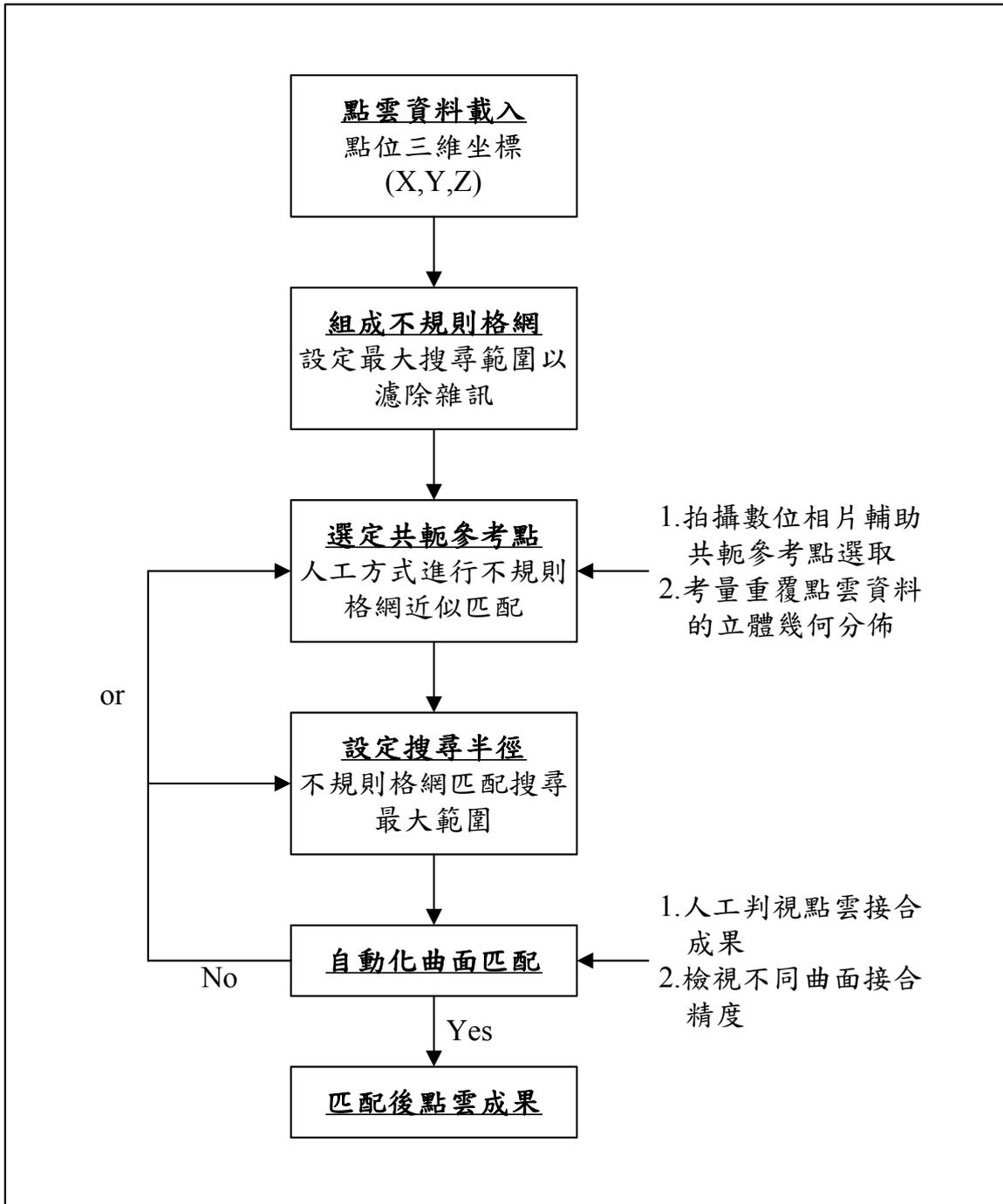


圖 3-15 PolyWork 9.0 版點雲接合流程圖

(1) 點雲資料載入：一般而言，三維雷射掃描儀所獲取的資料量均十分龐大，在儀器設計上資料儲存方式均以壓縮的格式儲存，因此必需以儀器所附的軟體進行資料解壓縮與格式轉換；以本文所使用的 ILRIS-3D，採用 ILRIS-3D Parser 軟體進行這項工作，將原始檔（*.3d）轉換至點雲資料格式（*.pif），並同時獲得視景影像檔

(* .bmp) 及掃描資訊檔 (* _pf_log.txt)；視景影像檔可以了解單次掃描現場的概略狀況，作為後續人工選取共軛點的參考；而掃描資訊檔記錄單次掃描的相關資訊（如掃描模式 First or Last、點間距、...等），作為後續資料處理的設定依據。

- (2) 組成不規則格網 (wireframe)：當資料載入後，使用 PolyWork 8.0 版軟體進行資料處理工作，而點位資料量的多寡可藉由選定的載入間距的大小來決定，一般均依照掃描資訊檔記錄的平均點間距來設定，以獲取最完整的資料，接著軟體會將點雲資料組成不規則格網圖 3-16 的形式，作為後續點雲接合的基礎。

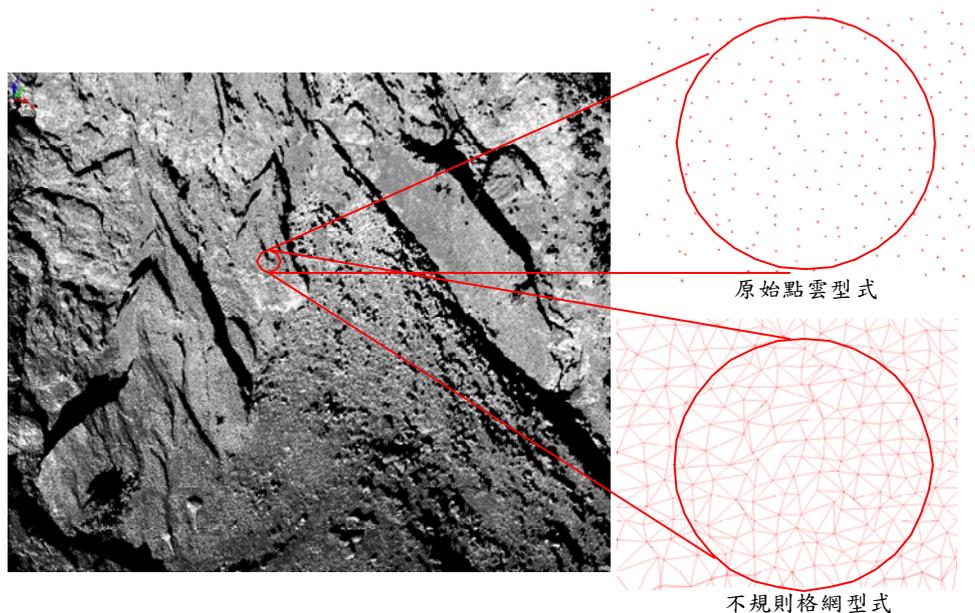


圖 3-16 點雲資料組成不規則格網

- (3) 選取共軛參考點進行人工近似匹配：由於重覆點雲區的不規則格網目前並無法以電腦完全自動化匹配，因此採行自動匹配前，需由人工方式選取兩個不同點雲間重覆的共軛點（至少需 3 點以上）進行人工匹配，使不同點雲的不規則格網大約重合，以利後續自動化匹配。

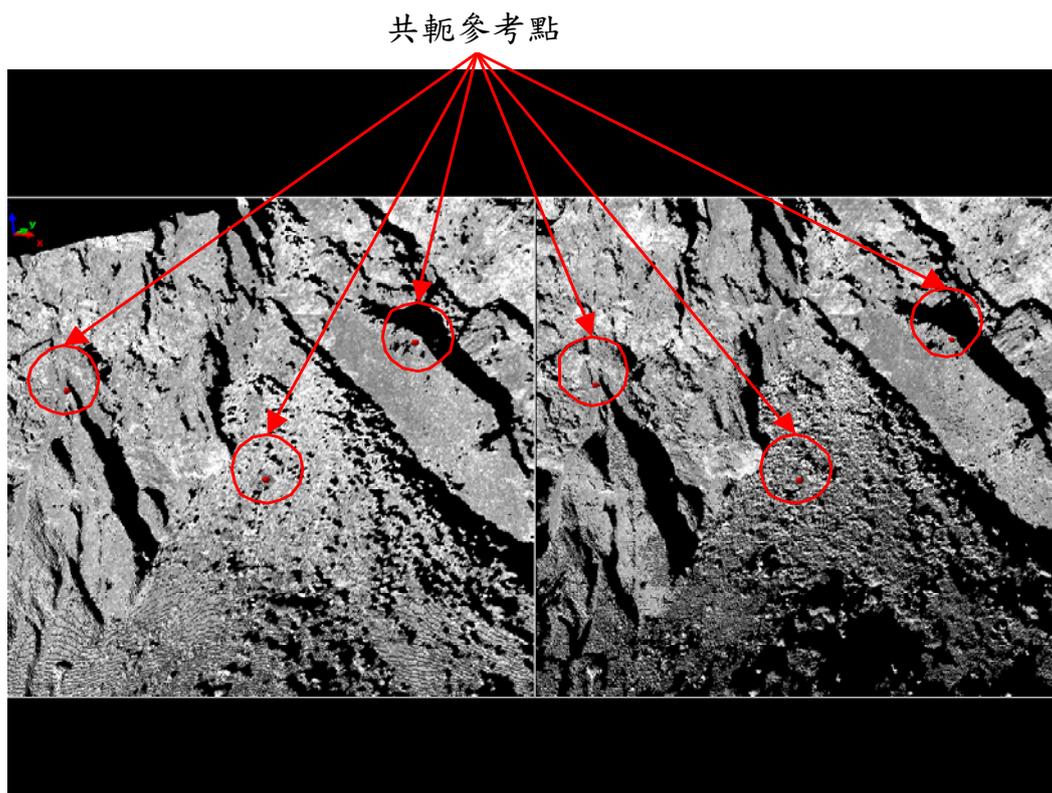


圖 3-17 共軛參考點選取

- (4) 設定搜尋半徑進行自動匹配：當人工近似匹配完成後，兩群不同的點雲資料已大致接合完成，此時於軟體中設定匹配的搜尋半徑，以進行自動匹配；通常，設定半徑範圍採漸進式逐步減小，因為其進行自動匹配時，會搜尋設定半徑內所有不規則格網進行最佳化接合，若設定值一下子給定過小，則可能無法搜尋出合適的接合面而失敗，但若給定值過大，則運算過程中可能導至誤判而使接合成果產生扭曲變形，如圖 3-18 所示。一般而言，若於螢幕辨視人工匹配成果無明顯偏差時，通常以 10~20 cm（端看掃描間距為何，若間距愈大，初次設定值相對增大），再逐步減小進行匹配，直至成果符合所需精度；而搜尋半徑雖可無限制縮小，但若小於點間距時其實已無太大意義，其所得成果差異已非常小，且容易造成匹配成果發散。

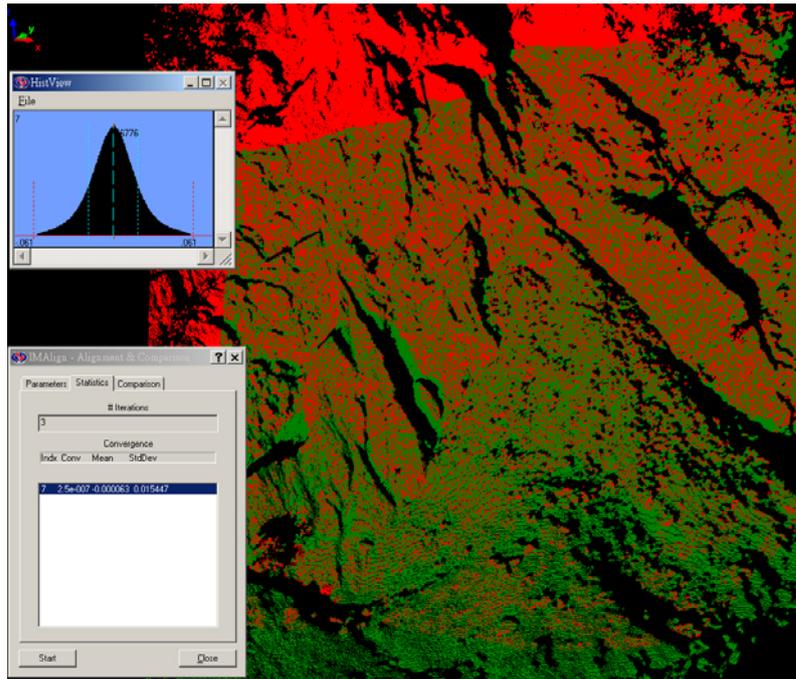
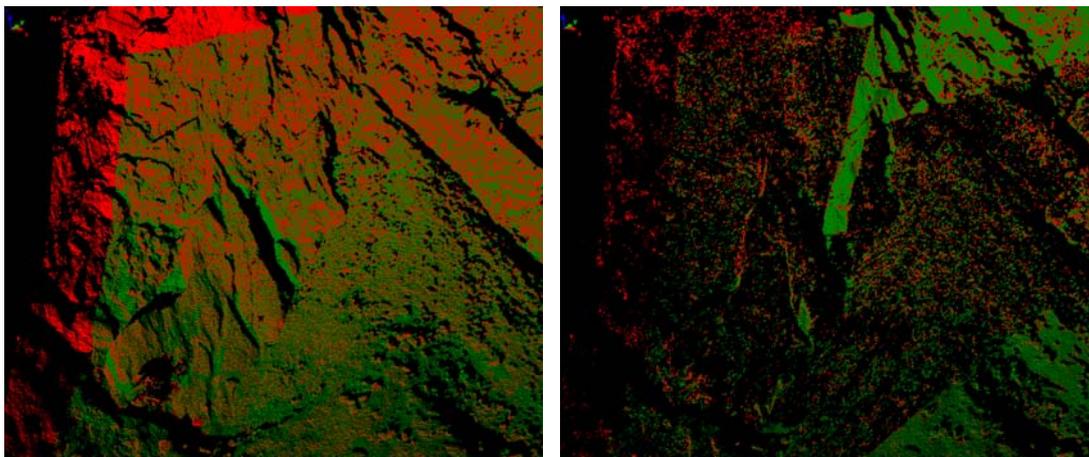


圖 3-18 設定搜尋半徑進行自動匹配

(5) 濾除重覆點位輸出成果：經由前述步驟反覆執行後，待成果符合所需精度後，需對重覆點位進行刪除動作，因為不論接合精度再高，對於重覆區域內點位並無法重疊，因此造成區域內點位密度明顯較其他區域為高（幾近 2 倍），如圖 3-19 所示，若不加以濾除，則會對後續進行成果分析造成困擾；待所有重覆點位進行濾除後，則可輸出單次掃描成果之點位三維資料。



點位濾除前

點位濾除後

圖 3-19 重覆點位濾除

(6) 單次掃描成果：經過上述模型接合步驟後，便可輸出單次掃描成果之雷射點三維資料，本計畫共四區 13 次掃描資料，在此，每區以一次掃描資料為代表，如圖 3-20、圖 3-21、圖 3-22 及圖 3-23 所示。



圖 3-20 埔里壩溪測量成果點雲圖

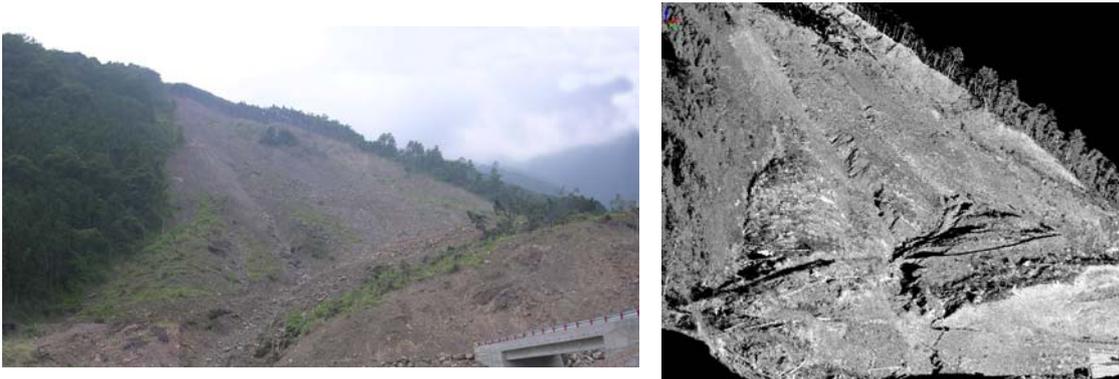
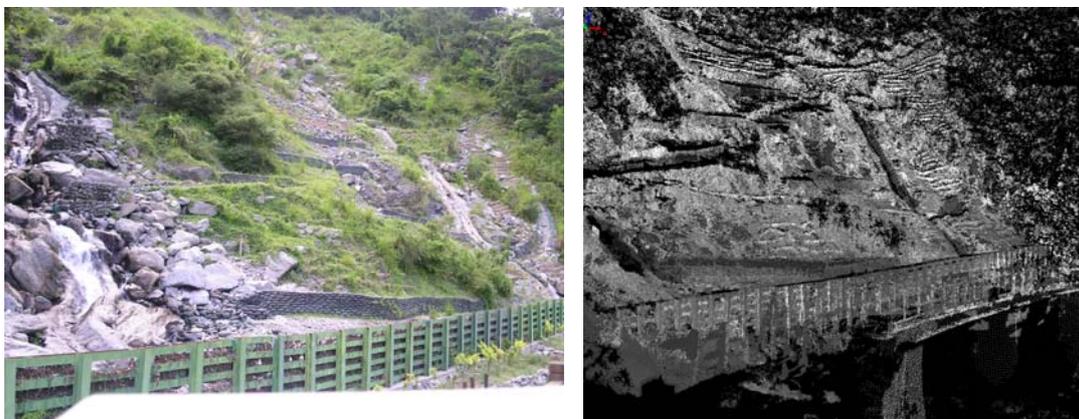


圖 3-21 新竹土場測量成果點雲圖



3-22 花蓮富源測量成果點雲圖



圖 3-23 嘉義 152 林班地測量成果點雲圖

3. 雷射點雲資料處理與 DEM 製作

(1) 相對座標系轉換至 TWD97 大地座標系

掃描儀座標系與地面座標系之關係可表示如圖 3-24，其中 S 為掃描儀的位置，P 點為待測點的位置，O 點為地面座標系的原點。 ρ 為 S 到 P 之間的距離， α 為 S 與 P 點之間的垂直角， θ 為其水平角（掃描儀座標系中）。

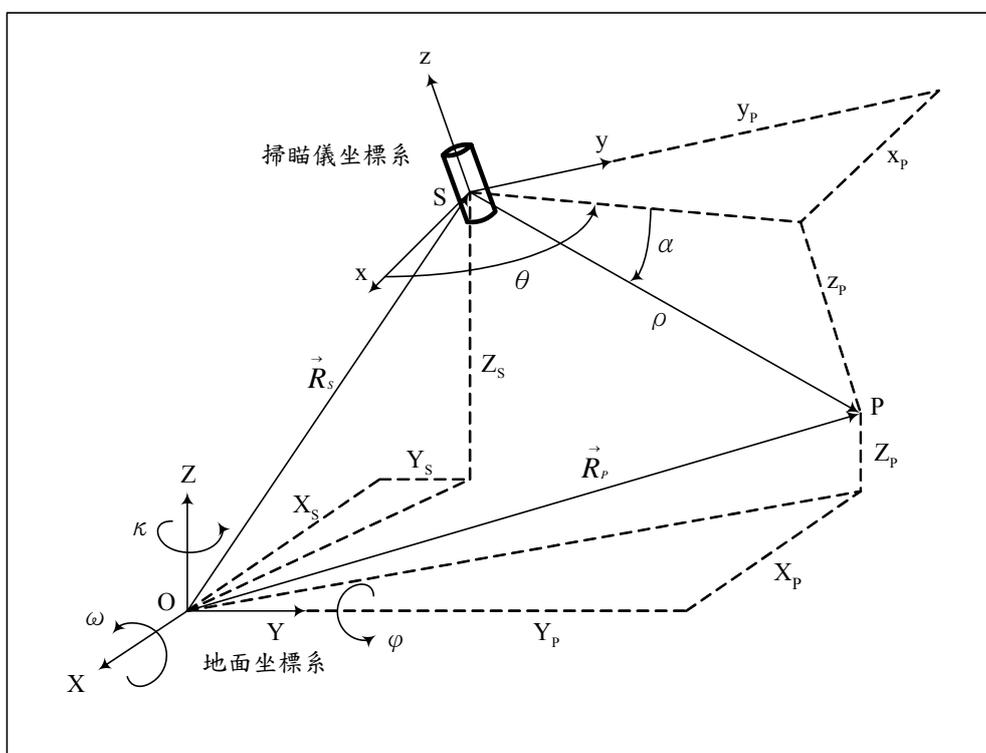


圖 3-24 掃描儀座標系與地面座標系關係圖（修改自 Lichti, 2002）

則由掃描儀座標系轉換到地面座標系的數學式可寫成如 (3-2)，利用三個或以上的地面控制點座標進行轉換 (Lichti, 2002)。

$$\vec{R}_p = M \vec{r}_p + \vec{R}_s \quad (3-2)$$

$\vec{r}_p = [x_p \ y_p \ z_p]^T$: P 點在掃描儀座標系中的座標向量。

$\vec{R}_p = [X_p \ Y_p \ Z_p]^T$: P 點在地面座標系中的座標向量。

$\vec{R}_s = [X_s \ Y_s \ Z_s]^T$: 掃描儀座標系原點 S 在地面座標系的座標向量。

M 為一分別繞 X、Y、Z 軸旋轉 (ω 、 ϕ 、 κ) 角度之旋轉矩陣。

$$M = \begin{bmatrix} \cos \phi \cos \kappa & \cos \omega \sin \kappa + \sin \omega \sin \phi \cos \kappa & \sin \omega \sin \kappa - \cos \omega \sin \phi \cos \kappa \\ -\cos \phi \sin \kappa & \cos \omega \cos \kappa - \sin \omega \sin \phi \sin \kappa & \sin \omega \cos \kappa + \cos \omega \sin \phi \sin \kappa \\ \sin \phi & -\sin \omega \cos \phi & \cos \omega \cos \phi \end{bmatrix} \quad (3-3)$$

(3-3) 式可改寫成：

$$\vec{r}_p = M^T (\vec{R}_p - \vec{R}_s) \quad (3-4)$$

而地面座標系統採用台灣地區使用之 TWD97 (Taiwan Datum 1997) 座標系統，其目的在藉由 GPS 測量將掃描儀座標系統的成果轉換至台灣地區的 TWD97 座標系統，以將彼此間相對變化量，呈現至大區域的範圍內。為方便計算，故先將掃描儀座標系統轉換至 TWD97 的地心座標系統，再利用參考橢球體計算並投影至 TWD97 二度分帶座標，而 TWD97 建構係採用國際地球參考框架 (International Terrestrial Reference Frame 簡稱為 ITRF)。ITRF 為利用全球測站網之觀測資料成果推算所得之地心座標系統，其方位採國際時間局 (Bureau International de l'Heure 簡稱為 BIH) 定義在 1984.0 時刻之方位。參考橢球體採用 1980 年國際大地測量學與地球物理學協會 (International Union of Geodesy and geophysics 簡稱為 IUGG) 公布之參考橢球體 (GRS80)，其橢球參數如

下：長半徑 $a=6378137$ 公尺；扁率 $f=1/298.257222101$ （內政部，1998）。

本計畫測區中會勘選三個地面控制點，並且進行 GPS 測量，雷射點資料可以利用此三點座標進行絕對座標轉換，以嘉義 152 林班地點雲為例，由天線盤中心可以定出每個控制點的相對座標，如圖 3-25 所示。

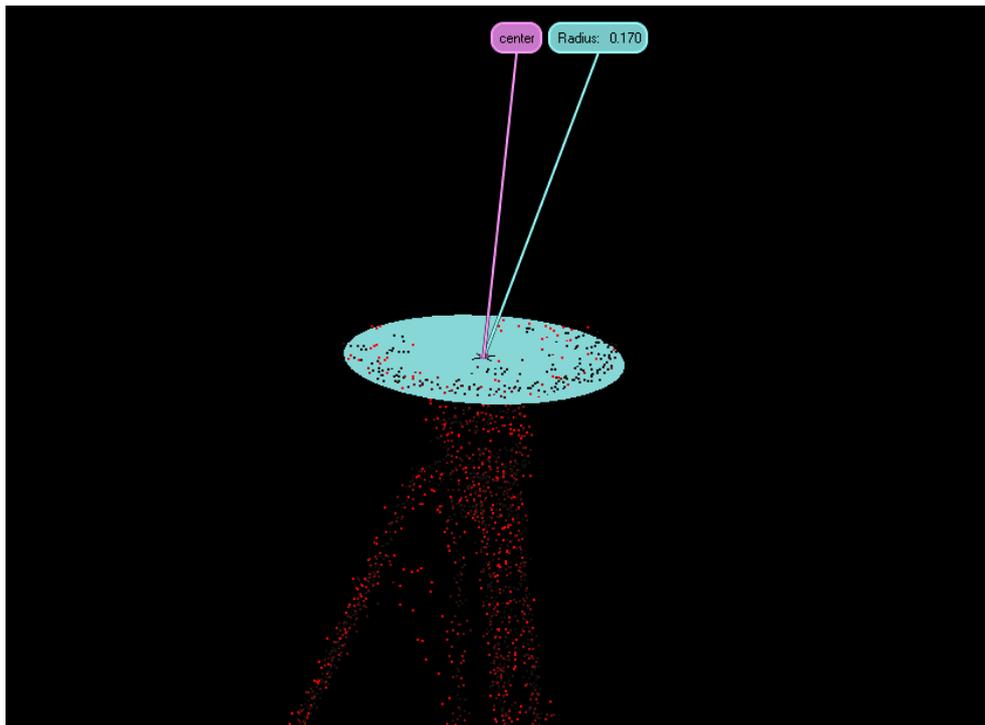


圖 3-25 點雲量測天線盤中心（嘉義 152 林班地）

由解算出來之絕對座標對應至每個相對座標，如此便可進行座標轉換，轉換後會有每個座標的轉換精度，其精度皆在 3 公分以內，如圖 3-26 所示。

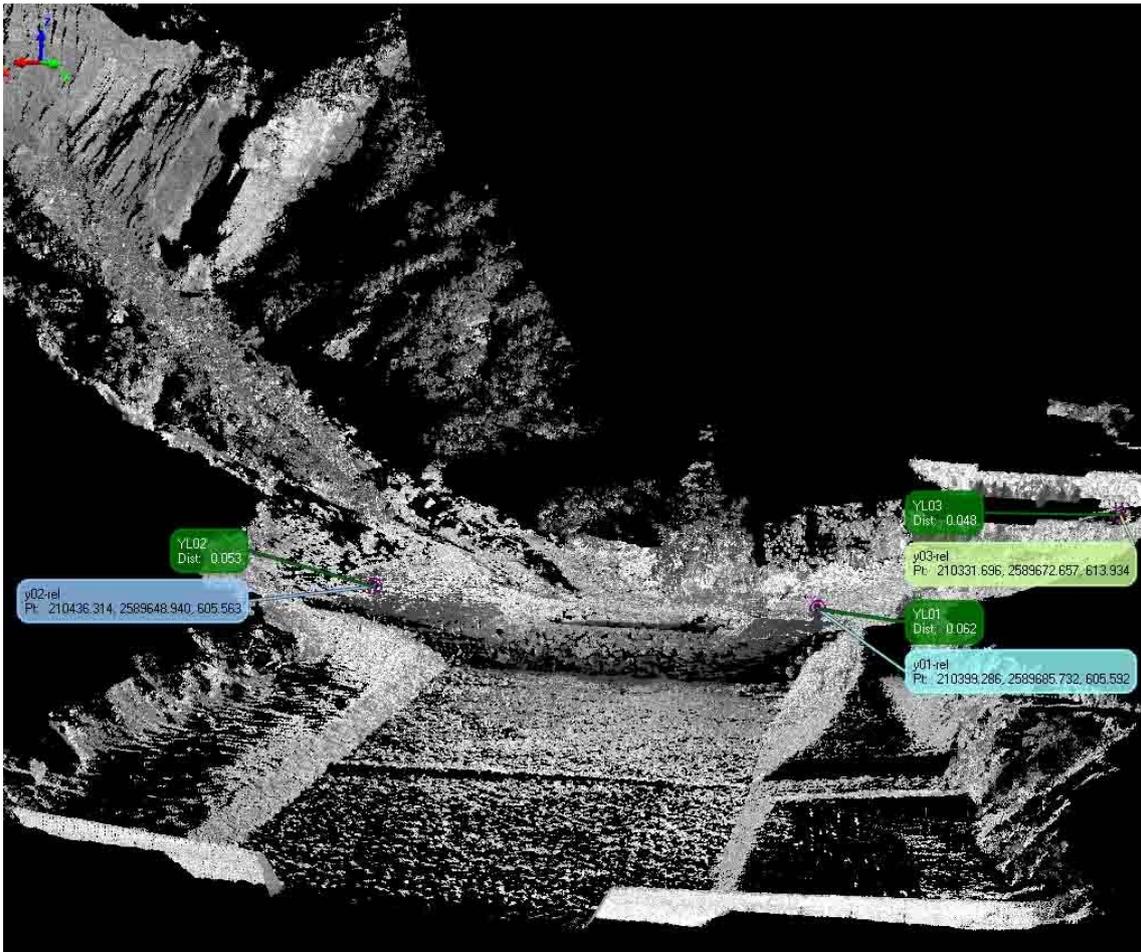


圖 3-26 利用 GPS 控制點轉換座標（嘉義 152 林班地）

(2) 測量區域 DEM 製作

- a. 地面物濾除：掃描資料包含了所有地形地物，但就資料比對上來說，地面以上的地物會造成 DEM 製作時的誤判，以致於比對資料的誤差，所以在此需要將地面以上的樹木或人工建物進行濾除，以保持 DEM 的正確，而 DEM 的正確與否則直接影響往後比對的精確性，若雷射點無法穿透遮蔽物或植被來獲得地表面雷射點，也將造成 DEM 的誤差，在此可以切橫斷面來判斷資料濾除是否完善，如圖 3-27 與圖 3-28 所示。

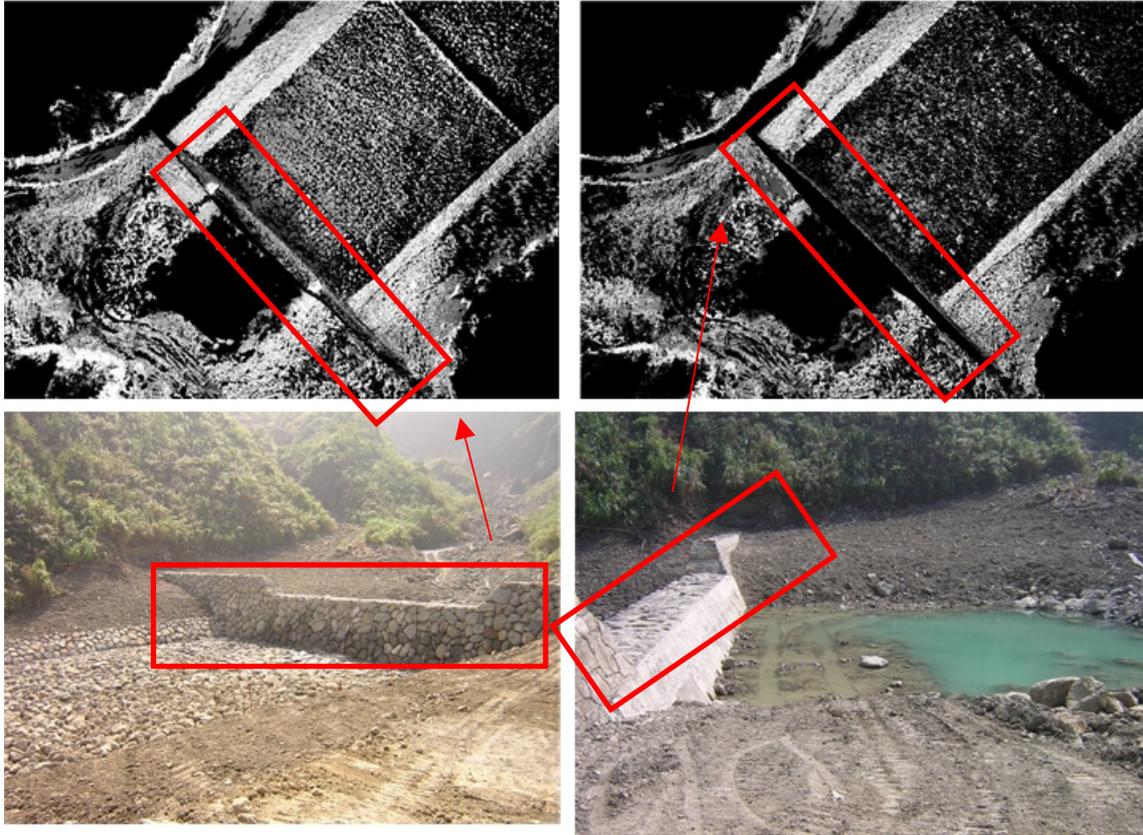


圖 3-27 雷射點資料防砂壩體經濾除前後比較之一（嘉義 152 林班地）

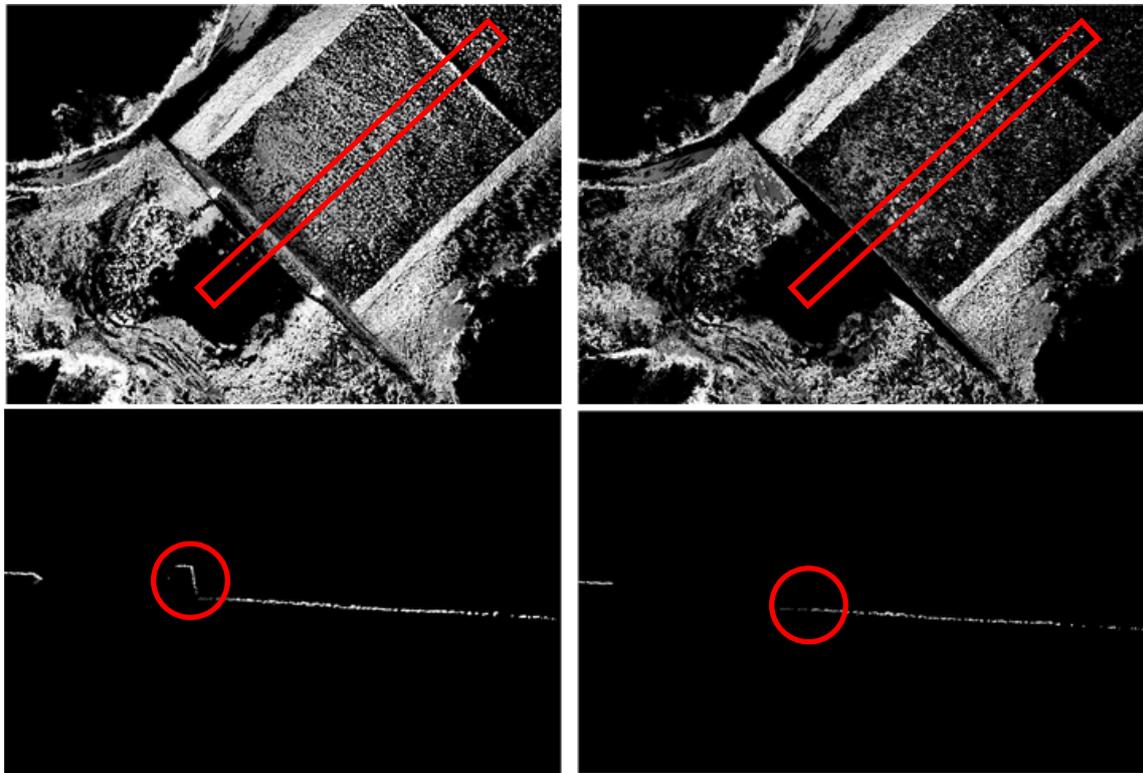
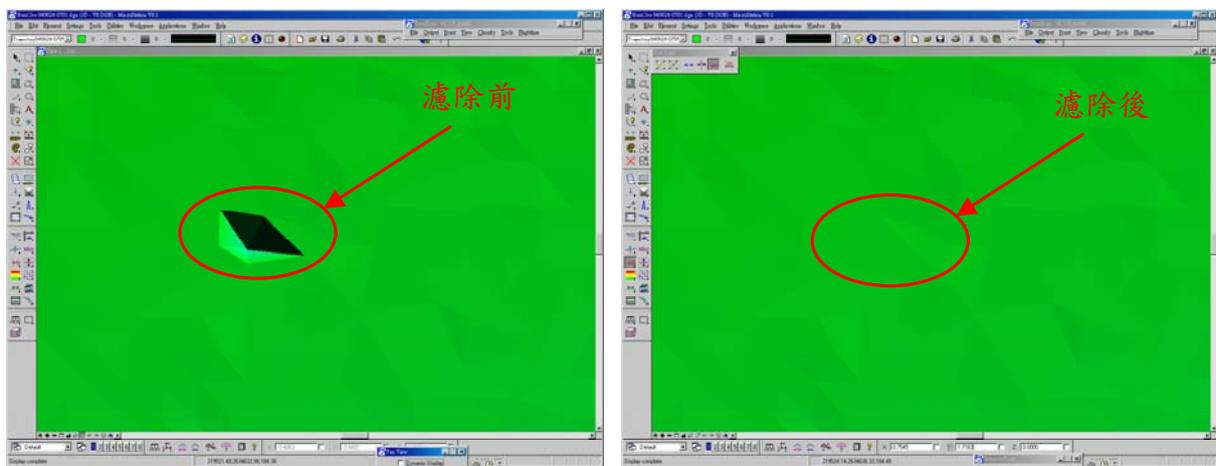


圖 3-28 雷射點資料防砂壩體經濾除前後比較之二（嘉義 152 林班地）

- b. 雷射點組成三角網格並去除不合理點：雷射點資料相當龐大，所以資料濾除方面還是會有一些不完善的地方，所以在此將雷射點組成模型，以模型來判斷是否有不適合之雷射點並濾除，由圖 4-28 可以看出，崩塌地為雜亂無章之地形，地表面更是大大小小石頭密佈，基本上，當資料濾除過後並不會得到一平滑的資料，如此要判斷是否濾除上有何不完善的地方是非常困難的，在此只要注意植被的地方是否有濾除完善。



- a. 將地面之地上物濾除完成後，利用這些點雲進行 DEM 的製作，因遮蔽或植被造成雷射點資料不足的地方進行內差，依需求輸出一規則網格，將 DEM 模型化而形成一向量資料之 POLYGONAL FILE，

圖 3-29 模型低點濾除前後示意圖

- c. DEM 製作與模型化：如圖 3-30 所示，利用此模型進行資料比較。

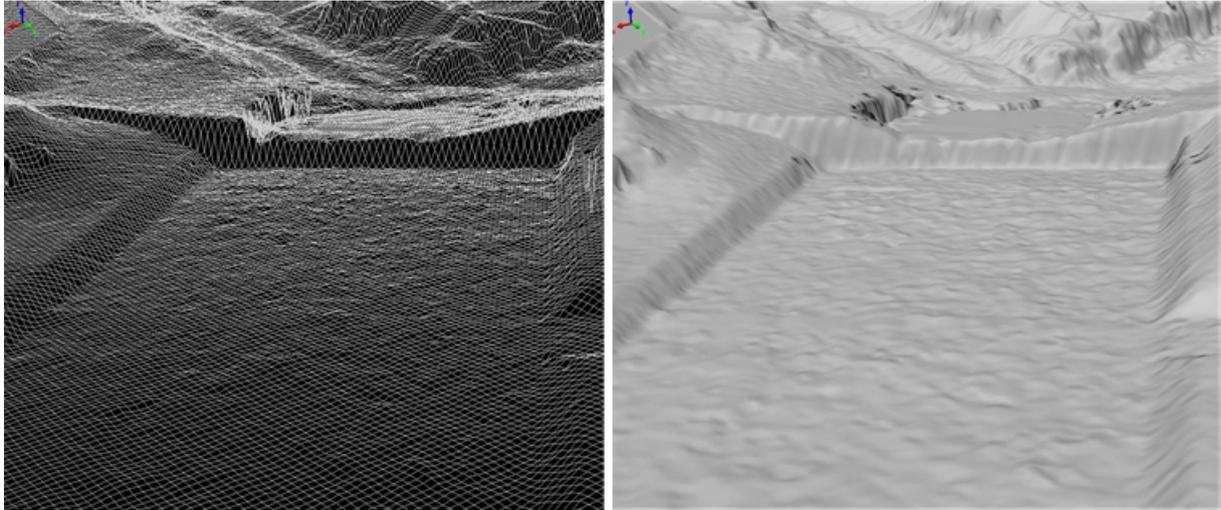


圖 3-30 DEM 規則網格與模型化

4. 土方量計算

土方計算作業採用商用套裝軟體 polywork9.0，演算方式採用不規則三角形網（Triangular Irregular Network，TIN）以區域內雷射點雲，每三點構成一個三角形平面（如圖中 $\triangle ABC$ ），於測區內佈滿 TIN 三角形後，與假設高程平面比較並計算土方，其示意如圖 3-31。

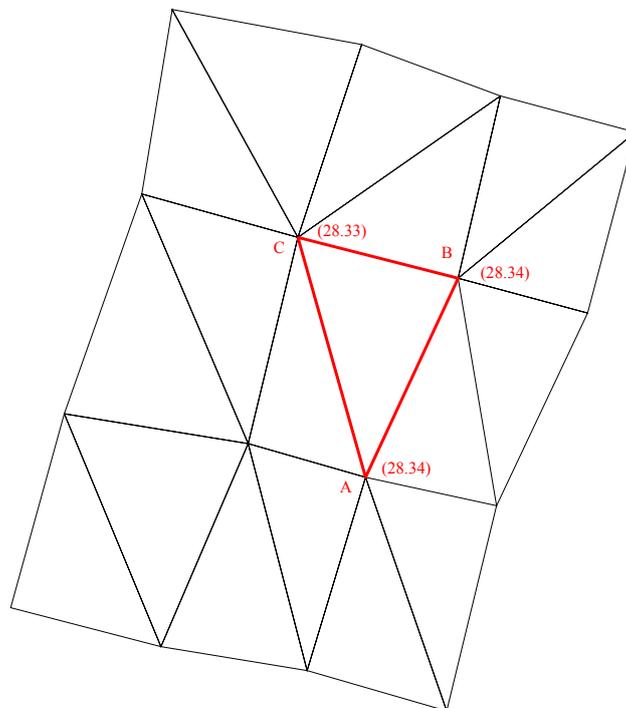


圖 3-31 TIN 演算法示意圖

如圖 3-31，三角形 ABC 之面積為 $1/2*B*H$ ，B 為三角形之底邊，H 為三角形之高；而體積 V 為 $1/2(A1+A2)*h$ ，其中 A1 為實際表面積，A2 為設計高程面積，h 則為實際表面平均高與設計高程差；餘以此類推累加計算而得所需之土方。以參考設計高程為基準面時，實測計算基地內土方。另，四處崩塌地土方量參考第 69~72 頁。

四、研究結果

(一) 現地地質取樣與試驗結果

1. 土壤一般物理性質試驗

本試驗主要係利用劈管取樣之土樣進行。試驗項目及依據規範如下：

- (1) 含水量試驗 (ASTM D2216)：求取土壤含水量，藉以估算飽和度及乾單位重。
- (2) 比重試驗 (ASTM D854)：求取土壤乾土顆粒比重，藉以計算孔隙比及飽和度。
- (3) 顆粒分析試驗 (ASTM D421 及 D422)：本試驗包括比重計分析與篩分析試驗。本試驗之目的在求得土壤之粒徑分佈，求取土壤顆粒粒徑分布曲線，作為土壤分類、濾層設計、滲透係數推估及液化分析之用。
- (4) 土壤分類 (ASTM D2487)：試驗之進行依 ASTM D422 之規定實施。
- (5) 相對密度試驗 (ASTM D4253-83)。

本次四個崩塌地土壤之物理性質試驗結果，整理如表 4-1(粒徑分析曲線圖參考附錄二)。由此可知其土壤含水量性能很低，一旦遇水很易呈飽和狀態而流動，本來細顆粒主要是填充在卵礫石或破碎岩塊之空隙間，以維持土層整體群系之穩定度，今因細顆粒土壤之流動造成粗顆粒（卵礫石或岩塊）之移動。再由 C_u 值顯示墾溪 $C_u=4.77 < 6.00$ 為不良級配之地層。

另，由表 4-2 結果顯示，新竹土場與墾溪之 ϕ 角與 ϕ' 角對水分之乾濕影響土壤之穩定度較不明顯，但於花蓮玉里崩塌處則 $\phi=11.8^\circ$ 、 $\phi'=37.9^\circ$ 顯示對排水之影響很大，亦是應多注意坡地之縱橫向排水系統措施，裨利或增加坡地之穩定度。

表 4-1 物理性質試驗結果

取樣地點	銅圈編號	含水量 ω_n (%)	比重 Gs	濕土單位重 γ_t (t/m ³)	乾土單位重 γ_d (t/m ³)	最大乾密度 γ_{dmax} (t/m ³)	最小乾密度 γ_{dmin} (t/m ³)	相對密度 Dr (%)
新竹土場	S-1	1.36	2.67	1.53	1.51	1.86	1.47	12.60
南投墘溪	S-1	16.30	2.66	1.71	1.47	1.66	1.43	19.6
花蓮玉里 11 林班	S-1	9.65	2.66	1.80	1.64	1.95	1.53	8.50
	S-2	4.74	2.66	1.41	1.35			
	S-3	4.70	2.66	1.60	1.53			
嘉義 152 林班	S-1	13.7	2.68	1.65	1.45	/		
	S-2	16.30	2.67	1.41	1.21			
	S-3	11.50	2.66	1.69	1.52			
	S-4	13.40	2.67	1.51	1.33			
	S-5	14.90	2.67	1.29	1.12			
	S-6	13.30	2.66	1.42	1.25			

2. 三軸壓縮強度試驗

試驗係以自崩塌地取回之土樣依乾搗法分層夯實並依據室內試驗求得之相對密度製作試體。試體直徑約 5.0cm，高 10.0cm 之試體後，將其上下置以濾紙及飽和之透水石，外面再圍以不透水之橡皮模，而後以 1.5 kg/cm² 之反水壓，使試體飽和，飽和階段完成後，再調整試體之圍壓 (σ_3)，依取樣之土壤特性，試體以壓密排水情況下，施加軸差載重，載重的施加採應變控制，載重施加至試體剪力破壞或變形量達 15% 即為破壞，其應變速度約 0.015cm/min，軸差載重之大小可由荷重計 (LP500) 讀取，同時不排水情況記錄孔隙水壓力及軸向變形；試體達剪力破壞後，亦需量取試體破壞面之角度及記錄研判破壞型式，試驗完成後並量測試體之含水量。再取同樣土壤施以不同之圍壓，重覆上述之試驗方法，共施做三次試驗，每一試驗均求得 Mohr 圓，並經由數個 Mohr 圓所組成之包絡線決定土壤於總應力狀態下之剪力強度參數 C 及摩擦角 ϕ ，另將前述各試驗破壞等之 σ_1 及 σ_3 ，經扣除其孔隙水壓，獲得 σ'_1 及 σ'_3 之 Mohr 圓，求取土壤於有效應力狀況下之剪力強度參數 C' 及 ϕ' ，如

表 4-2 所示、附錄三所示。

表 4-2 土壤三軸壓 CIU 試驗一覽表

土樣來源	樣號	深度 (m)	ω_n (%)	γ_t (t/m ³)	C (t/m ²)	ϕ (°)	C' (t/m ²)	ϕ' (°)	Soil Type
新竹土場	NO.1	0.0-1.0	1.36	1.53	0.0	17.5	0.0	18.2	SP
南投壠溪	NO.2	0.0-1.0	16.3	1.71	0.0	12.7	0.0	15.8	SP
花蓮玉里	NO.3	0.0-1.0	9.65	1.80	0.0	11.8	0.0	37.9	SP

註：SP 即級配欠佳之砂土

(二) 崩塌地 3D 掃描、分析結果

1. 資料比對、崩塌土石量計算及河道變化

本計畫分成四個崩塌地共 13 次掃描，除了嘉義 152 林班地目前只有一次雷射點資料外，其他三各區域皆有其四段時期 DEM 資料，利用不同時期 DEM 資料進行資料比對可以得到一誤差分析表。嘉義 152 林班地崩塌區域因為只有一次掃描資料，在此只針對其庫容量來進行討論。若兩兩掃描資料互相比較則可以顯示出其誤差圖表，在此依前後次資料互相比對，並依地形變化、土石量計算及河道變化作討論。

(1) 埔里壠溪

a. 94.07.13~94.08.15 比對分析：

這段期間台灣歷經強烈颱風海棠以及中度颱風馬莎二個颱風，其所夾帶的暴雨對這地區造成很大的影響，兩段時期互相比對結果，依誤差比較圖分析，主要崩塌區域堆積深度增加約 5 公尺，而局部邊坡崩塌深度最深達到 6 公尺，而邊坡其他地方大致上看來是沒有變動的，邊坡上一些零星綠色部分，其合理解釋為 DEM 濾除時，沒有將植被完全濾除所造成的結果。

這段區域特殊的地方在於上游處設置了一個梳子壩，離梳子壩下游處約 500 處設置一防砂壩，當暴雨發生時，依梳子壩上游處無土石堆積看來，流量並無夾帶土石形成土石流，經梳子壩阻擋而造成上游堆積，所以豐沛的流量會通過梳子壩直接對下游沖刷，造成梳子壩下游處河道沖刷嚴重，這段期間向下沖刷深度最大約至 3.5 公尺；而在防砂壩上游處則是造成了堆積，並將防砂壩淤滿，淤積深度約為 2 公尺，如圖 4-1 所示。

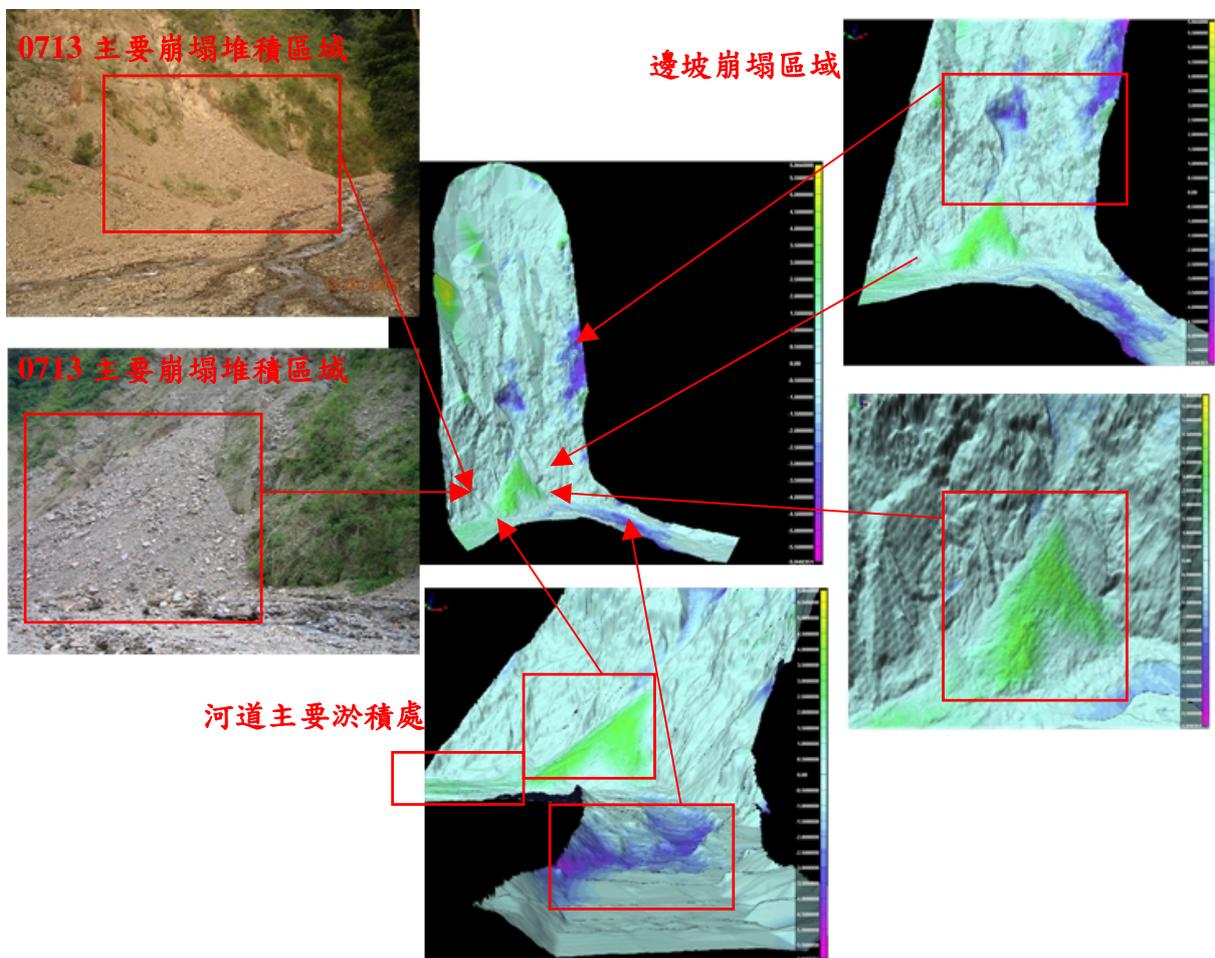


圖 4-1 埔里壩溪 94.07.13~94.08.15 期間之變化狀況

b. 94.08.15~94.09.13 比對分析：

這段期間台灣歷經強烈颱風泰利，兩段時期相互比對結果，依誤差比較圖分析，主要崩塌區域堆積深度增加約 5.08 公尺，而

局部邊坡崩塌的地方主要有兩處，而崩塌深度最深達到 7.06 公尺，而邊坡其他地方大致上看來是沒有變動的，邊坡上一些零星綠色部分，其合理解釋為 DEM 濾除時，沒有將植被完全濾除所造成的結果。

至於河道部分，前一段時期已經將潛壩上游處淤滿，而且梳子壩下游處的沖刷也無太大的變化，所以河道的變化在這段時期裡幾乎無任何變化，如圖 4-2 所示。

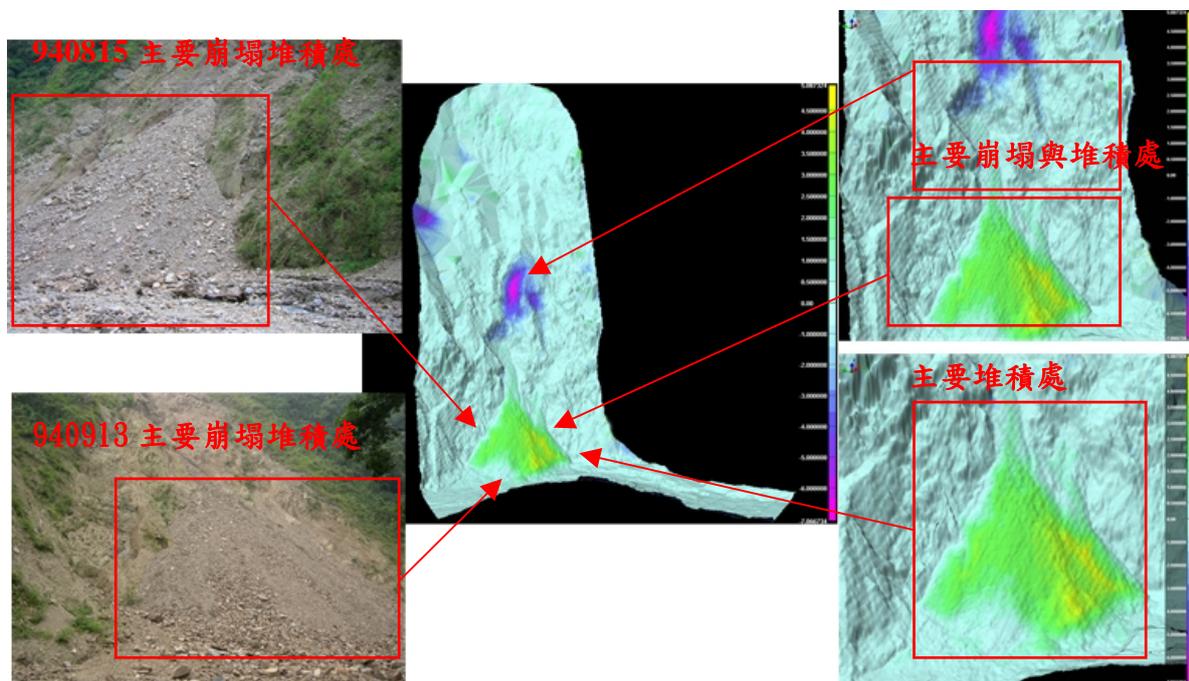


圖 4-2 埔里壩溪 94.08.15~94.09.13 期間之變化狀況

c. 94.09.13~94.10.21 比對分析：

這段期間台灣歷經強烈颱風龍王，兩段時期相互比對結果，其似乎沒有太多的變化，主要崩塌區域之崩塌狀況也趨於穩定，只有因雨量造成沖刷而在主要堆積處下方形成一小型堆積，而主要堆積處右方新形成一小型崩塌，依誤差比較圖分析，主要崩塌區域因沖蝕所形成的堆積深度 0.75 公尺，而局部邊坡崩塌的地方新生成一處，其崩塌深度最深達到 4.29 公尺，而邊

坡其他地方大致上看來是沒有變動的，邊坡上一些零星綠色部分，其合理解釋為 DEM 濾除時，沒有將植被完全濾除所造成的結果。至於河道部分，河道的變化在這段時期裡幾乎無任何變化，如圖 4-3 所示。

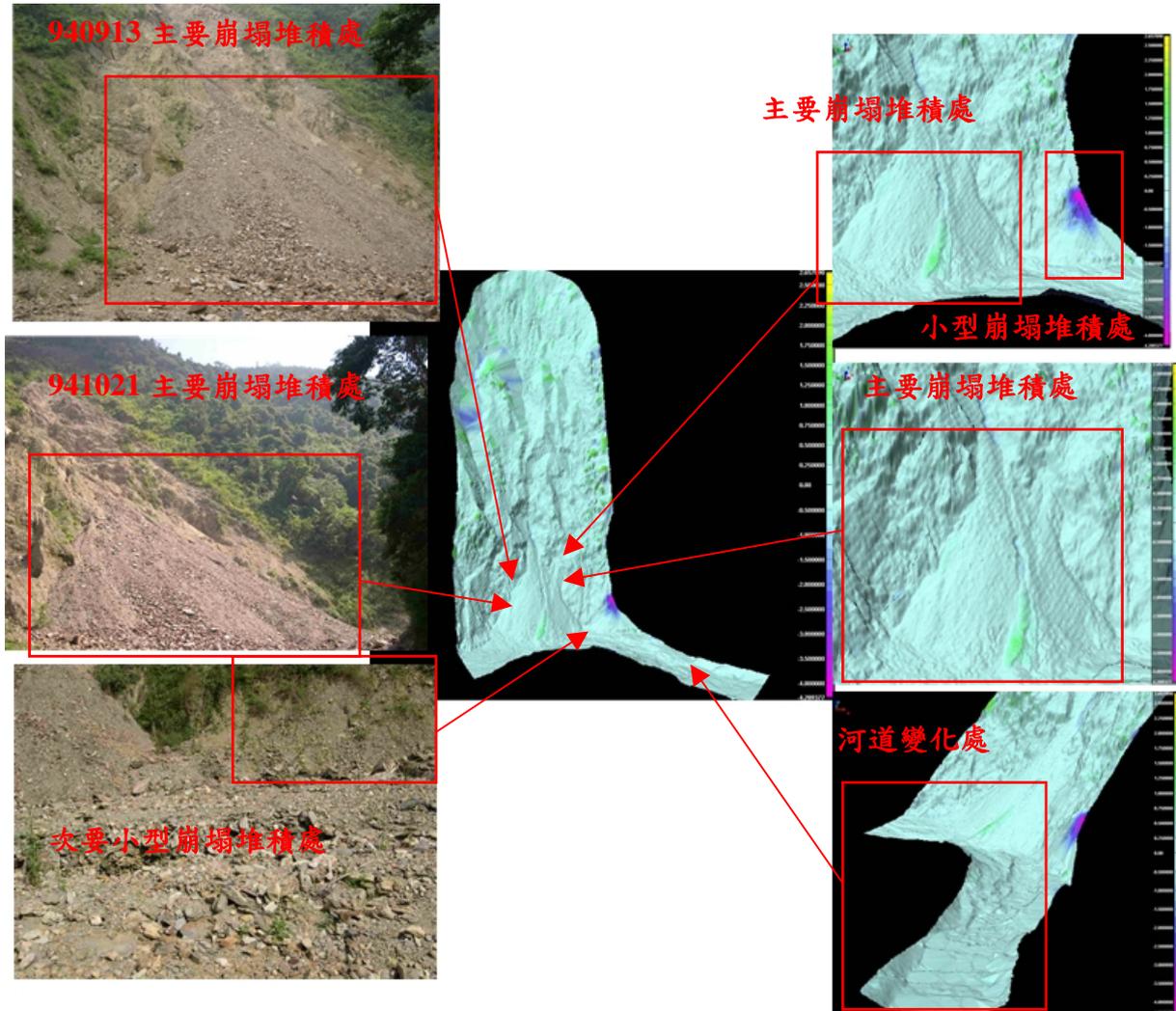


圖 4-3 埔里墘溪 94.09.13~94.10.21 期間之變化狀況

d. 94.07.13~94.10.21 崩塌堆積量、沖刷與淤積量

埔里墘溪依實際狀況，本文在此分成三各區域去計算主要崩塌區堆積量、沖刷量與淤積量，因四次掃瞄資料兩兩進行比較，所以會有三種變化量，分別為主要崩塌區域變化量、防砂壩上游淤積區域變化量與梳子壩下游處沖刷區域變化量，如圖 4-4 所示。

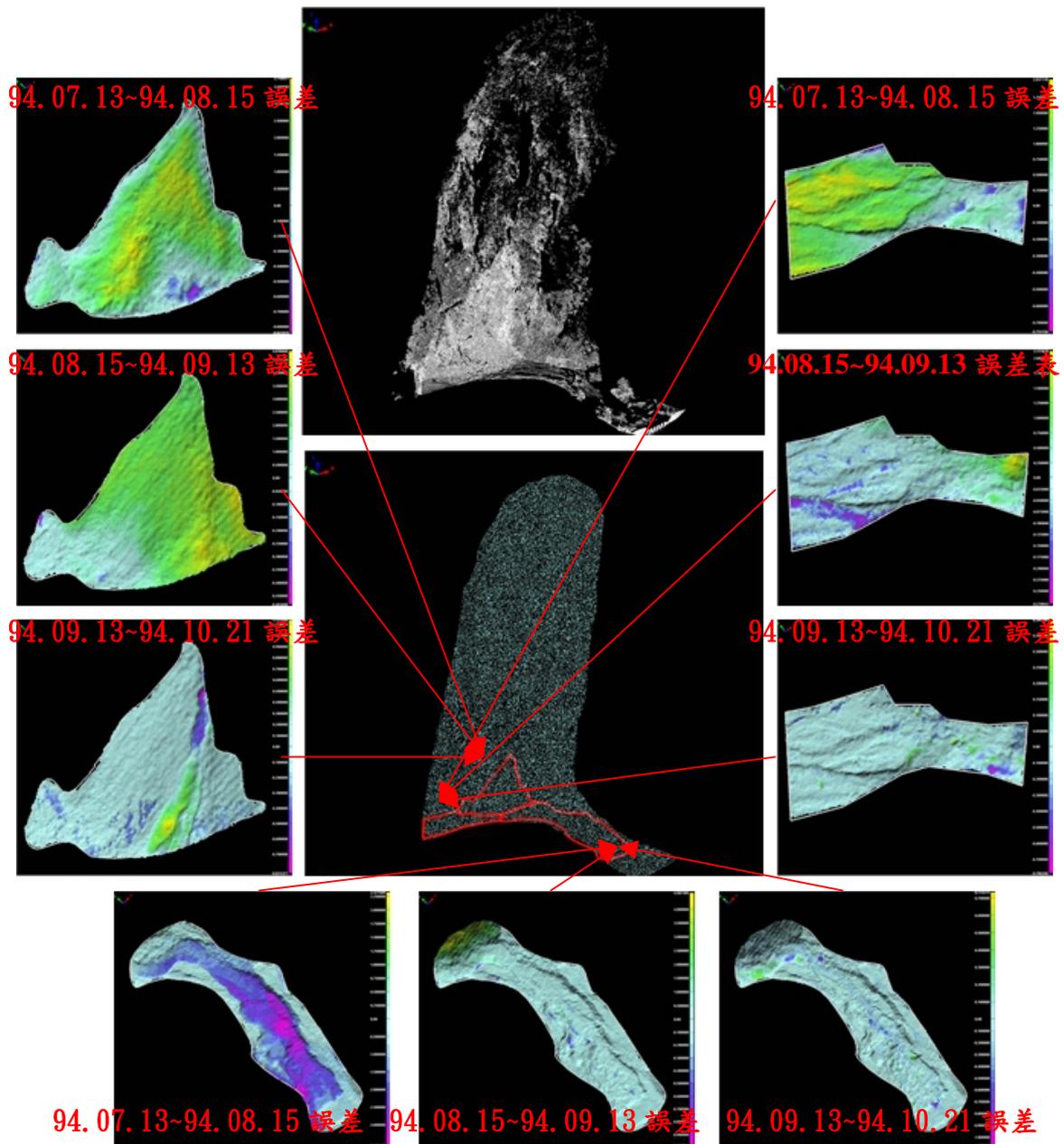


圖 4-4 埔里壠溪 94.07.13~94.10.21 三區域變化狀況

埔里壠溪容積計算上，本計畫四次點雲資料以一高程 723 公尺水平面為基準來計算堆積與沖淤量，每次掃瞄資料投影至基準面即可求出容積，如圖 4-5 所示，兩段不同時期的容積量相減即為兩段時期資料的變化量，如表 4-3 所示。

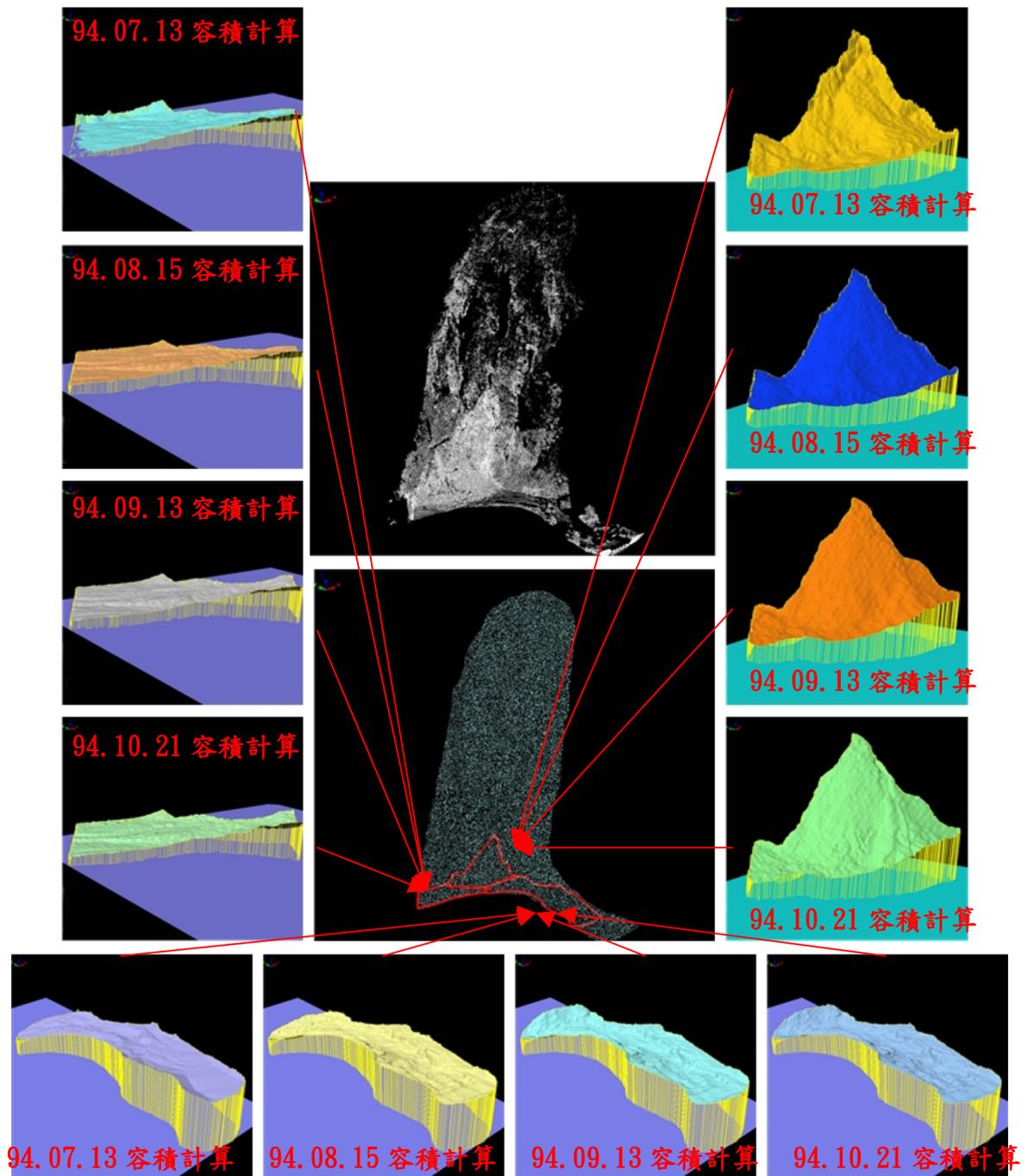


圖 4-5 埔里壩溪 94.07.13~94.10.21 三區域容積計算

表 4-3 埔里壠溪三區域變化量比較表（以高程 723 公尺為計算基準）

作業日期		94.07.13	94.08.15	94.09.13	94.10.21
容積量 (m ³)	主要崩塌區域	14,813	17,149	18,694	18,703
	下游淤積區域	3,656	4,684	4,774	4,718
	上游沖刷區域	42,492	38,782	39,351	39,126
比對期間		94.07.13 ~94.08.15	94.08.15 ~94.09.13	94.09.13 ~94.10.21	/
兩次掃描 期間變化量	主要崩塌區域	+2,336	+1,545	+9	
	下游淤積區域	+1,028	+90	-56	
	上游沖刷區域	-3,710	+569	-225	
正值：代表堆積或淤積			負值：代表沖刷		

(2) 新竹土場

a. 94.07.14~94.09.14 比對分析：

這段期間台灣歷經強烈颱風海棠、中度颱風馬莎以及強烈颱風泰利三個颱風，其所夾帶的暴雨形成土石流對這地區造成很大的影響，甚至橋樑也已遭沖毀，而且河道變化相當大。兩段時期相互比對結果，依誤差比較圖分析，崩塌地下方邊坡沖刷深度為 12.94 公尺，而局部邊坡小型崩塌區域堆積深度為 3.43 公尺，而邊坡上有一主要沖蝕溝，雨水會沿沖蝕溝排至河道，故每次暴雨過後將會加深沖蝕溝深度，其沖蝕溝深度為 13.49 公尺，如圖 4-6 所示。

94.07.14 進行第一次掃瞄時，其主要目的是崩塌地範圍，所對於河道部分並無掃瞄完整，94.09.14 第二次掃瞄時，河道變化已經相當的大，所以比對上河道部分會比較顯的資料不足，河道部分沖刷區域最大深度約為 13 公尺，而且橋樑已經沖毀，橋上兩個控制點也已經遺失，所以後續的 GPS 控制點位置，都是臨時選定的控制點。

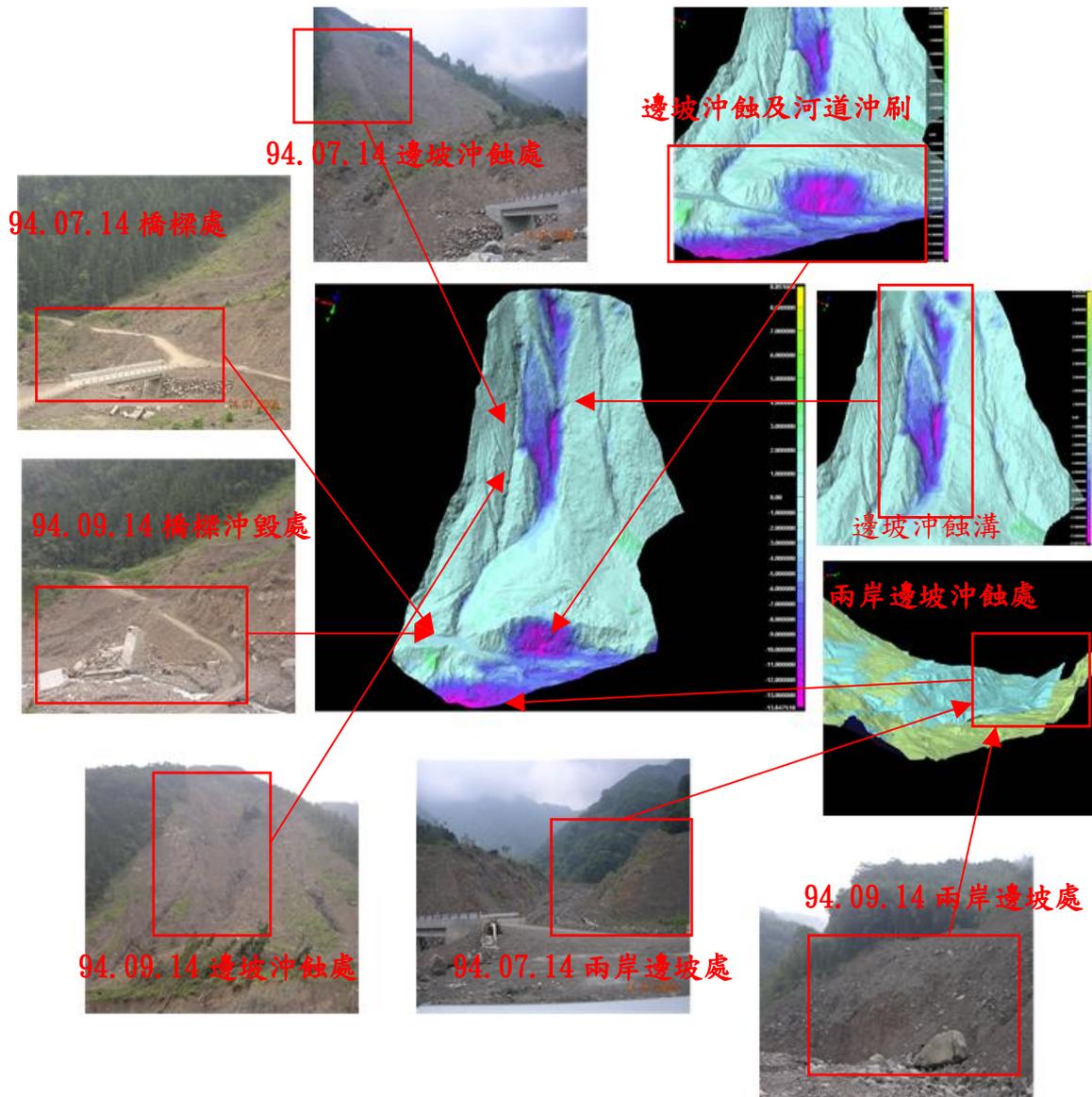


圖 4-6 新竹土場 94.07.14~94.09.14 期間之變化狀況

b. 94.09.14~94.10.20 比對分析：

這段期間台灣歷經強烈颱風龍王，兩段時期相互比對結果，依誤差比較圖分析，崩塌地下方邊坡沖刷深度並無任何大的變化，而局部邊坡小型崩塌區域之崩塌深度也無任何變化，而邊坡沖蝕溝因下雨沖刷則有少許的變化，其沖刷深度增加最多約 2 公尺。

至於河道部分，此區域持續施工整治中，所以河道部分似乎有太多的人工介入，其變化量為人為所造成並不是崩塌或土石流堆積造成，如圖 4-7 所示。

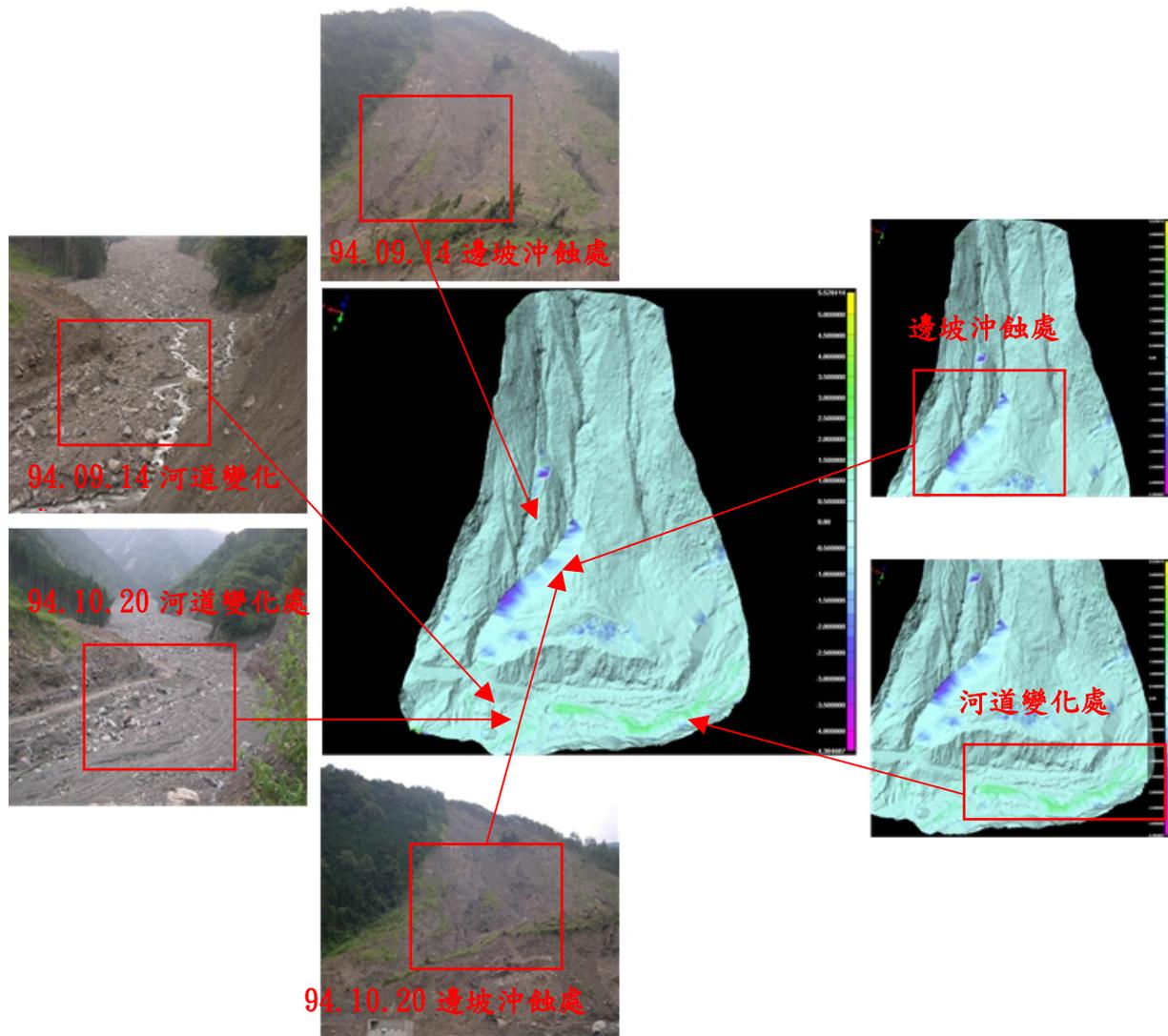


圖 4-7 新竹土場 94.09.14~94.10.20 期間之變化狀況

c. 94.10.20~94.11.07 比對分析：

這段期間並無任何颱風警報發生，兩段時期相互比對結果，依誤差比較圖分析，崩塌地下方邊坡沖刷深度並無任何大的變化，而局部邊坡小型崩塌區域之崩塌深度也無任何變化，而邊坡沖蝕溝因下雨沖刷則有少許的變化，其沖刷深度增加最多約 2.11 公尺。

至於河道部分，此區域持續施工整治中，所以河道部分似乎有太多的人工介入，其變化量為人為所造成並不是崩塌或土石流堆積造成，如圖 4-8 所示。

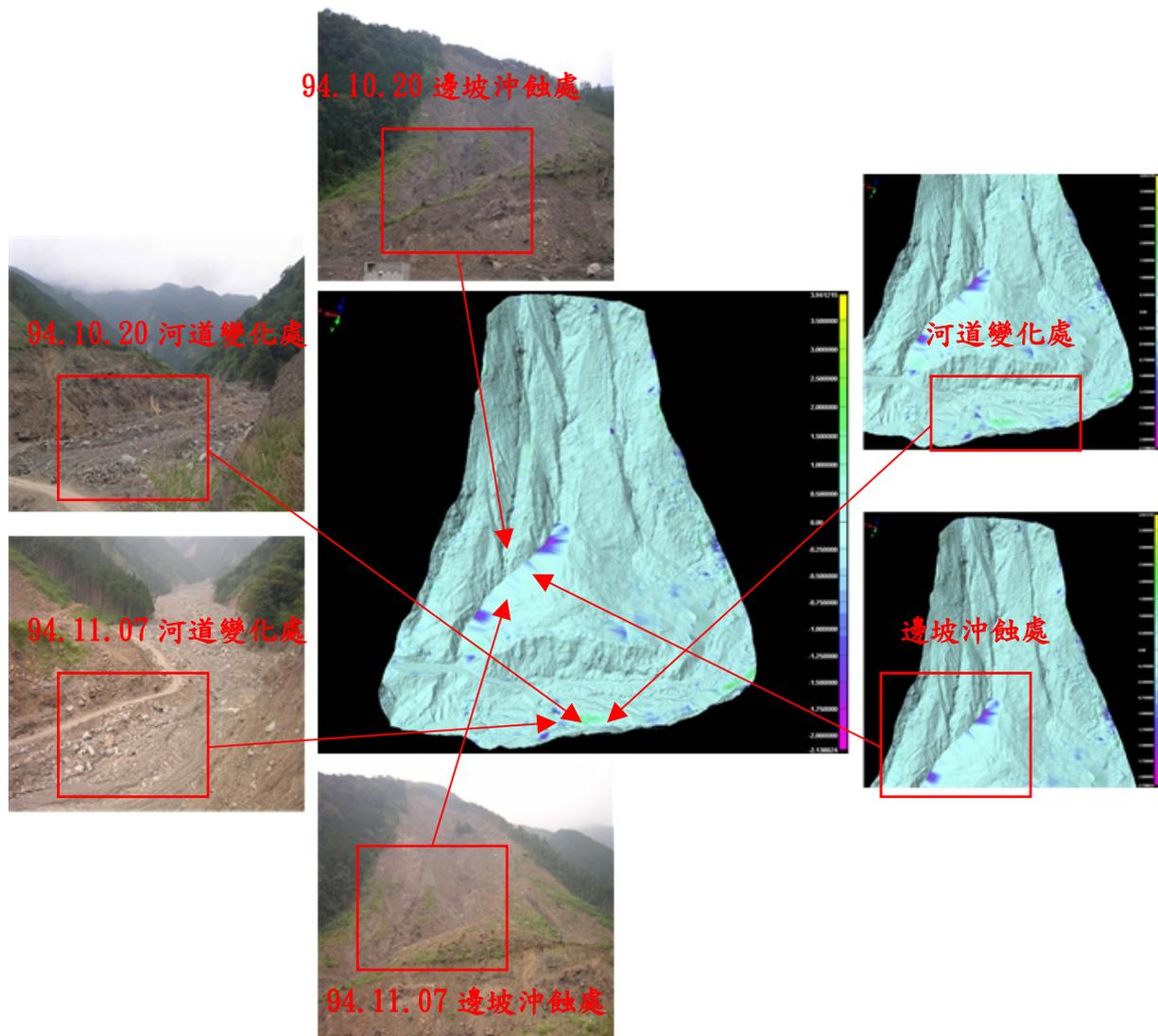


圖 4-8 新竹土場 94.10.20~94.11.07 期間之變化狀況

d. 新竹土場河道變化分析

本文只就 94.07.14~94.09.14 期間所產生的變化來分析，因期間歷經強烈颱風海棠、中度颱風馬莎以及強烈颱風泰利三個颱風，所以變化量最大，其後兩次掃瞄因作業區域施工，其變化量為人為力量所造成而不予討論，其河道變化最明顯為兩側邊坡因沖刷而崩塌，而且其橋樑也已沖毀，河道北邊邊坡沖刷深度約為 50 公尺，河道南邊崩塌地下方沖刷深度約為 13 公尺，如圖 4-9 所示。

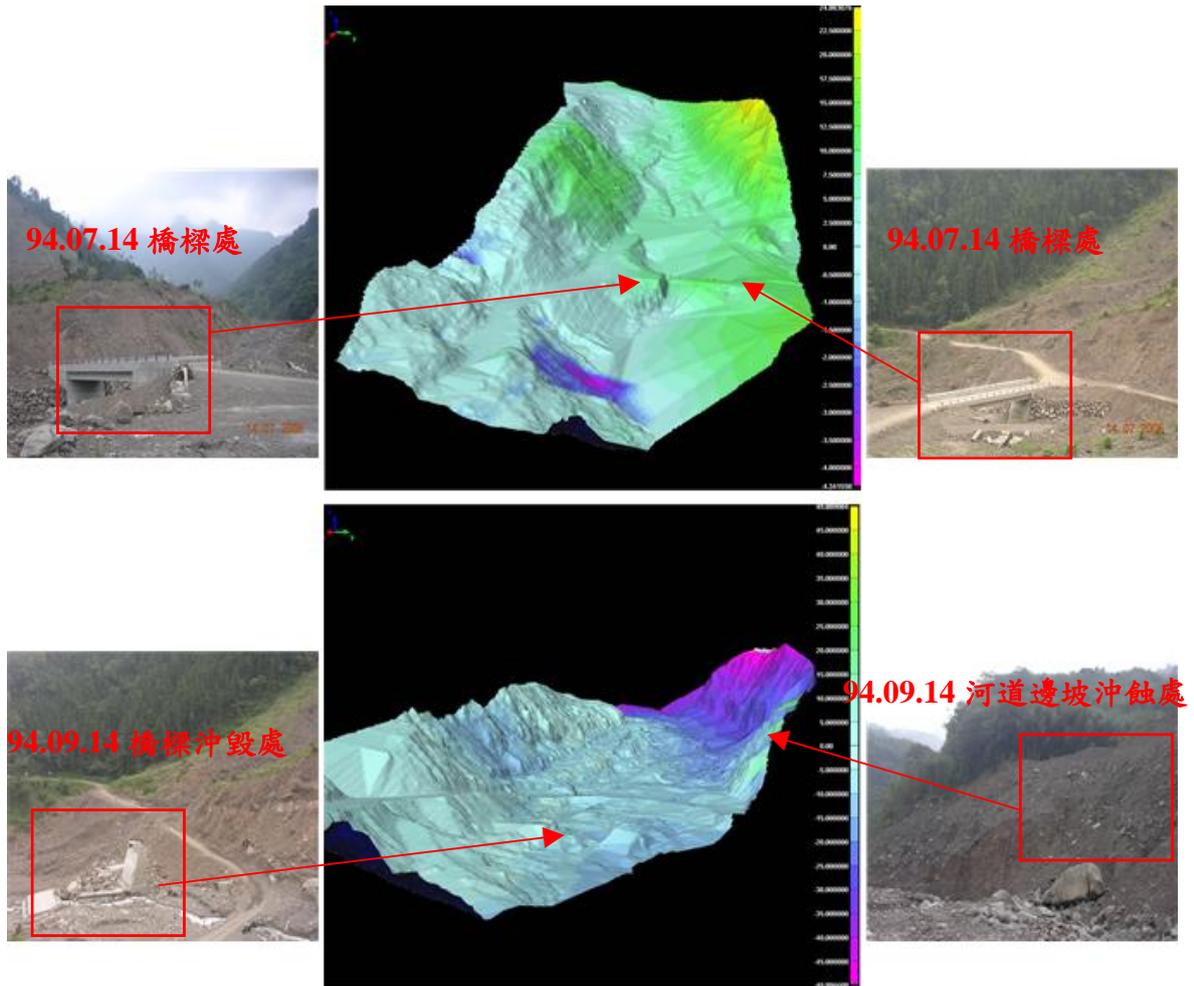


圖 4-9 新竹土場河道邊坡與橋樑之變化狀況

e. 94.07.14~94.11.07 崩塌堆積量、沖刷與淤積量

新竹土場依實際狀況，本文在此分成三各區域去計算崩塌地
 下方邊坡、邊坡沖蝕溝與小型崩塌區域，因四次掃瞄資料兩兩進
 行比較，所以會有三種變化量，分別為崩塌地下方邊坡沖刷變化
 量、邊坡沖蝕溝沖刷變化量與小型崩塌區域堆積變化量，如圖 4-10
 所示。

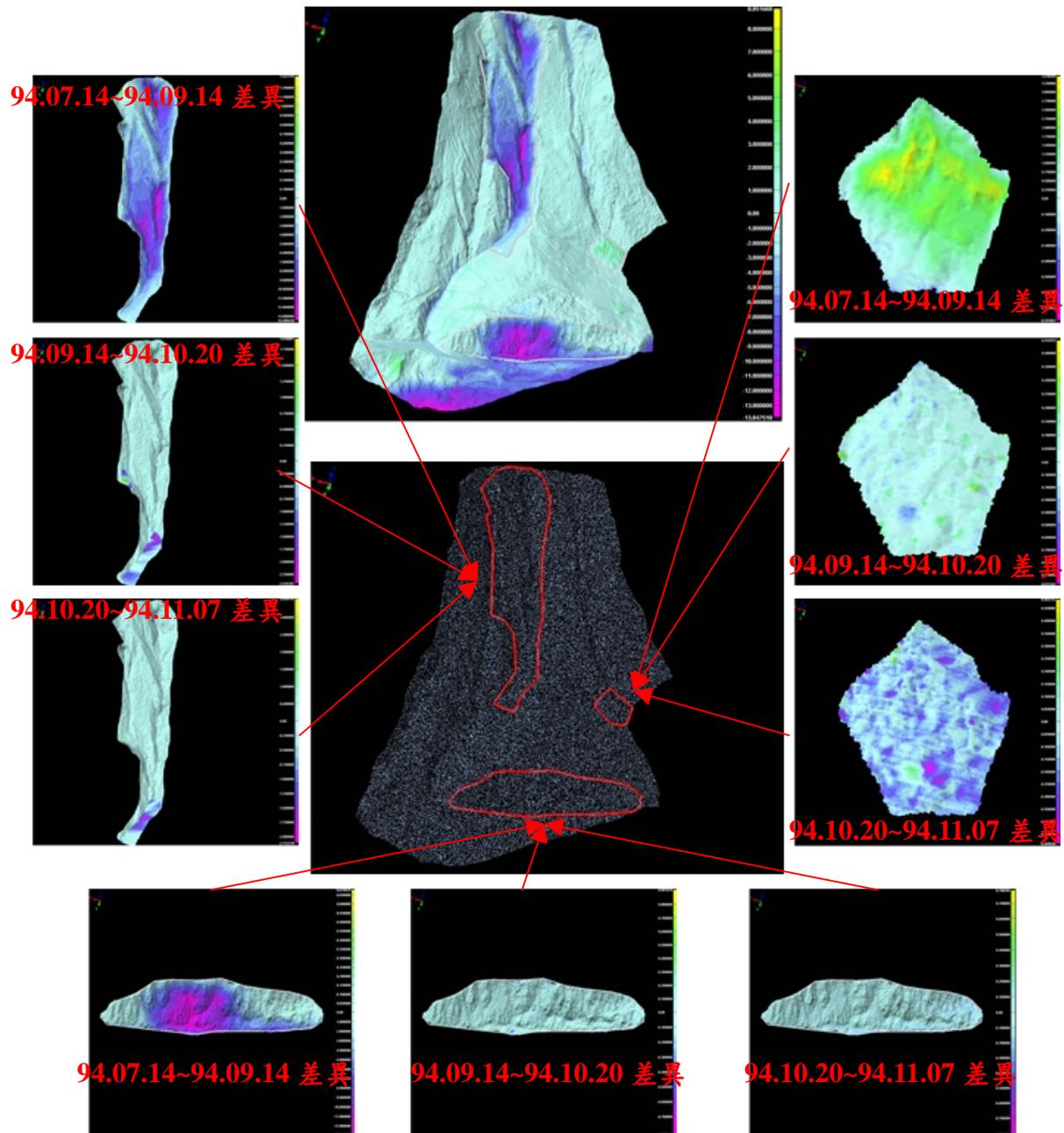


圖 4-10 新竹土場 94.07.14~94.11.07 三區域之變化狀況

新竹土場容積計算上，本計畫四次點雲資料以一高程 833 公尺水平面為基準來計算堆積與沖刷量，每次掃瞄資料投影至基準面即可求出容積，如圖 4-11 所示兩段不同時期的容積量相減即為兩段時期資料的變化量，如表 4-4 所示。

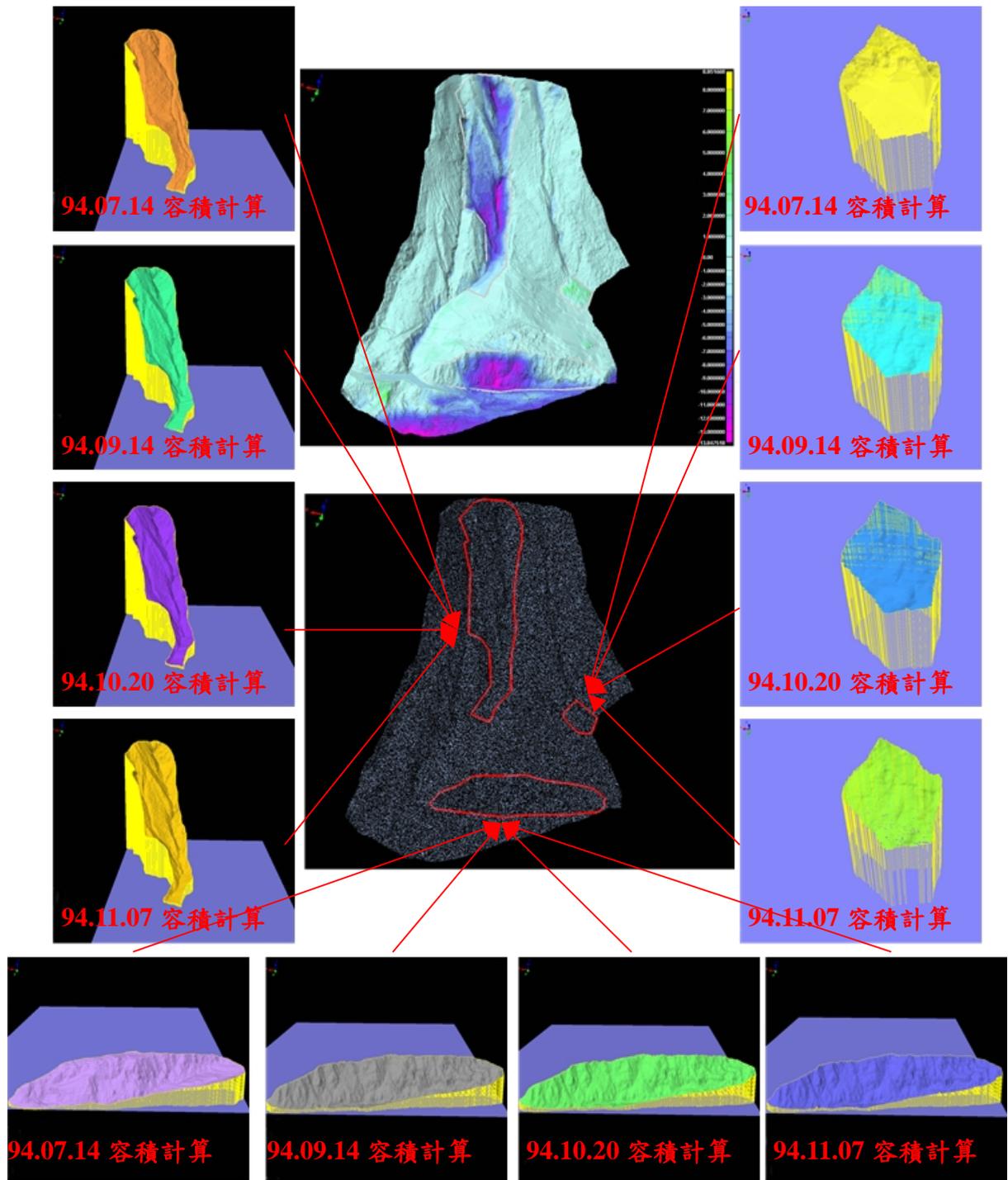


圖 4-11 新竹土場 94.07.14~94.11.07 沖蝕量之計算

表 4-4 新竹土場三區域變化量比較表（以高程 833 公尺為計算基準）

作業日期		94.07.14	94.09.14	94.10.20	94.11.07
容積量 (m ³)	崩塌地下方邊坡	102,362	67,118	67,125	66,883
	邊坡沖蝕溝	7,078	8,664	8,680	8,523
	小型崩塌區域	1,067,123	1,018,302	1,017,065	1,017,875
比對期間		94.07.13 ~94.08.15	94.08.15 ~94.09.13	94.09.13 ~94.10.21	/
兩次掃描 期間變化量	崩塌地下方邊坡	-35,244	+7	-242	
	邊坡沖蝕溝	+1,586	+16	-157	
	小型崩塌區域區域	-48,821	-1,237	+810	
正值：代表堆積或淤積			負值：代表沖刷		

(3) 花蓮富源

a. 94.08.02~94.08.21 比對分析：

花蓮富源崩塌區域位於富源國家森林遊樂區內，94.08.02 掃瞄結果其裸露地表大致上佔了七成以上，而其裸露地表皆可能造成崩塌的地區，94.08.21 掃瞄時，其裸露地表皆已有植被披覆，如此情形顯示其崩塌行為已趨於緩和，而對雷射掃瞄來說，則會因為植被而造成地面點取得的困難，如圖 4-12 所示。

由兩段時期比較後之誤差分析圖顯示，因植被影響造成許多不合理地方，誤差圖淺綠色部分便是植被造成DEM濾除不完善而顯示出來的誤差，如此會容積量計算的誤差，經計算結果兩段時期容積量差值為-1,573m³，若考慮因DEM濾除不完整所造成的誤差，花蓮崩塌地這段時期並無任何的變動量。

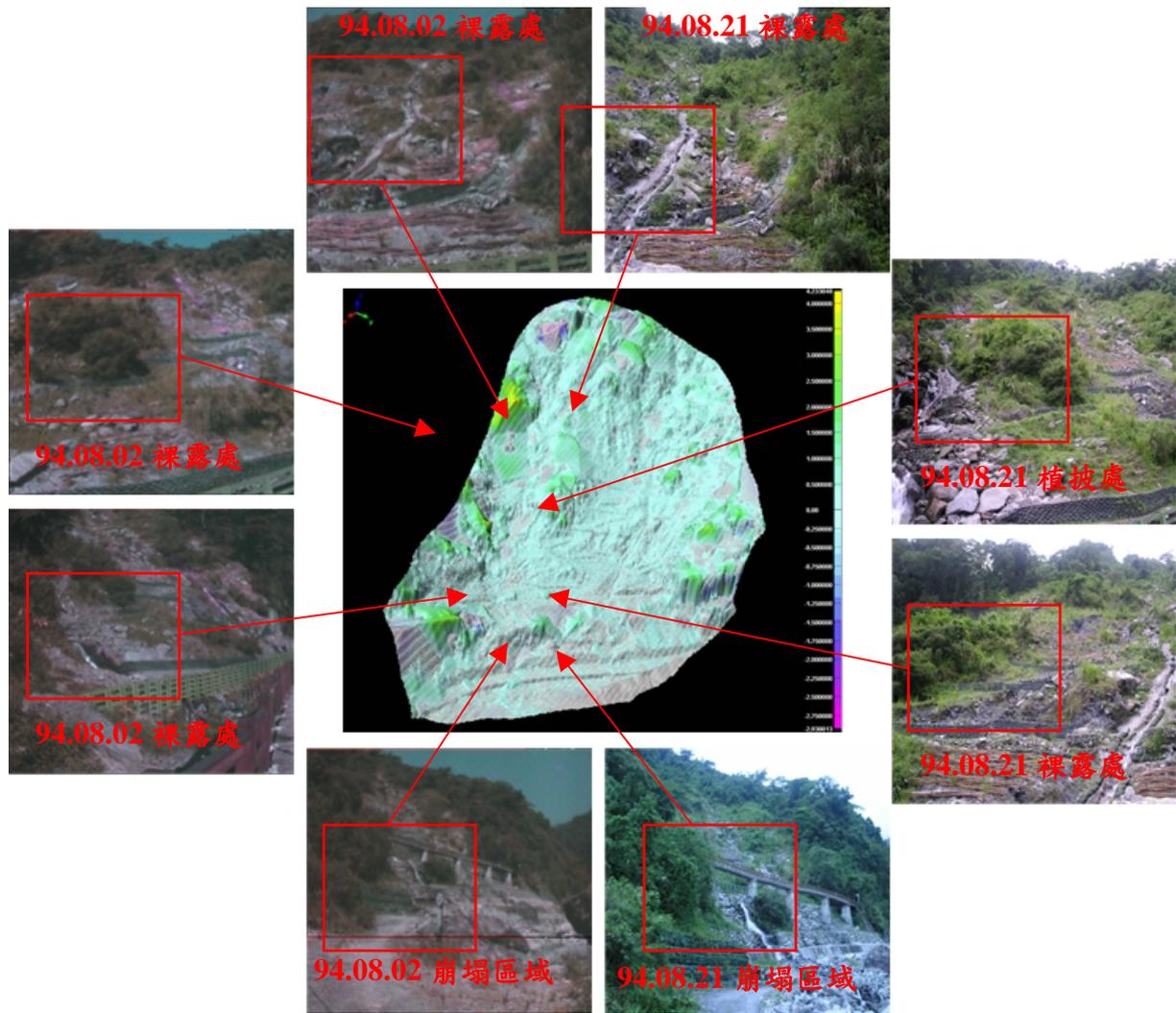


圖 4-12 花蓮富源 94.08.02~94.08.21 崩塌地之變化狀況

b. 94.08.21~94.10.26 比對分析：

這兩段時期作業期間，其裸露地表皆已有植被披覆，尤其 94.10.26 掃瞄期間其植被披覆已接近九成，其裸露地方只剩下混凝土排水道，如此情形更顯示其崩塌行為已趨於緩和，而相對地，則會因為植披而造成地面點取得的困難，如圖 4-13 所示。

由兩段時期比較後之誤差分析圖顯示，此兩次DEM濾除較為完善，並無較不合理的地方，經計算結果兩段時期容積量差值為 823m^3 ，若考慮因DEM濾除不完整所造成的誤差，花蓮崩塌地這段時期並無任何的變動量。

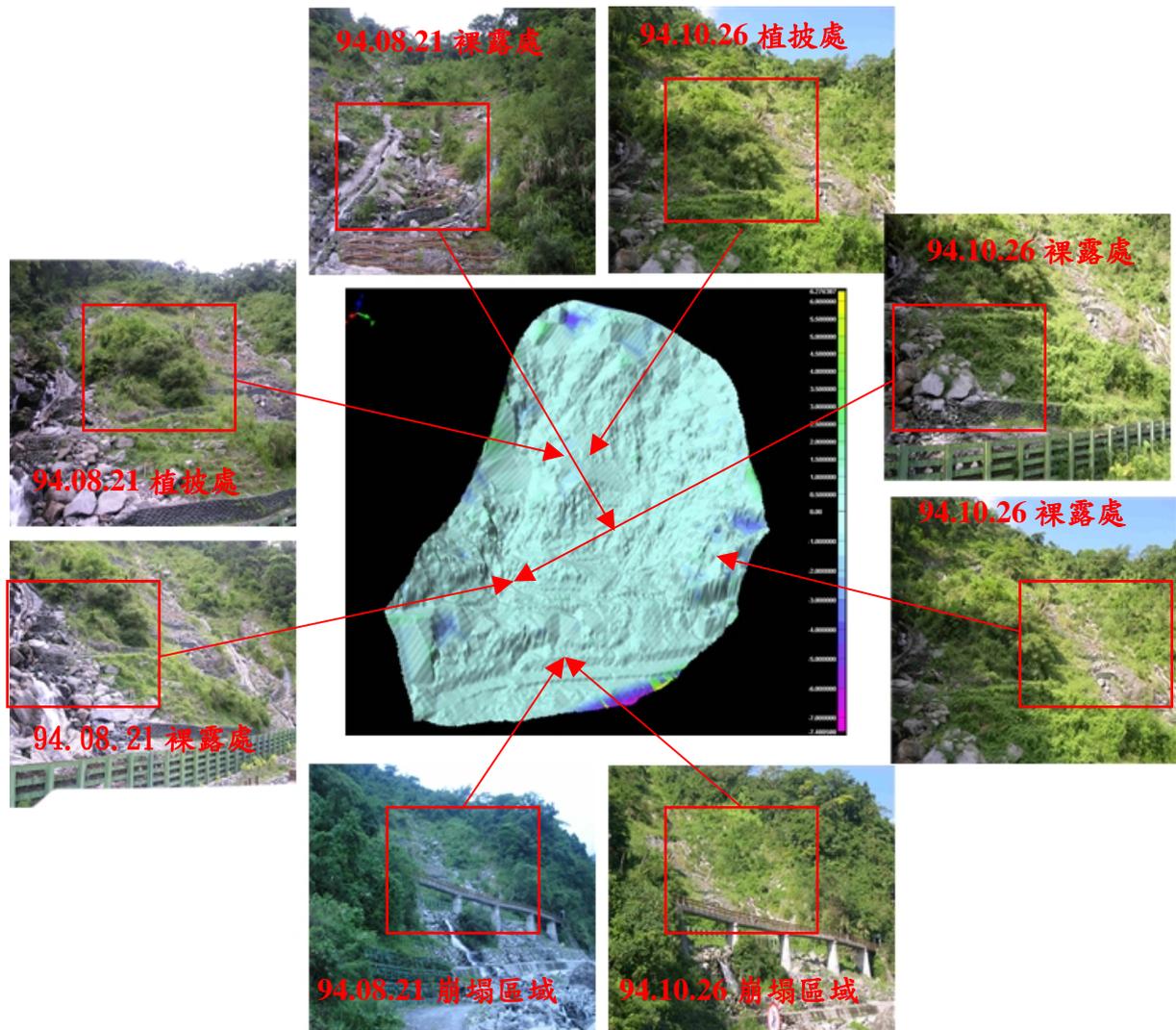


圖 4-13 花蓮富源 94.08.21~94.10.26 崩塌地之變化狀況

c. 94.10.26~94.11.10 比對分析：

這兩段時期作業期間，其裸露地表皆已有植被披覆，其裸露地方只剩下混凝土排水道，如此情形表示這段時期崩塌行為已停止，現場狀況只有一些混凝土排水道因水量過大的一些零星沖刷，對整體崩塌量並無太大的影響，如圖 4-14 所示。

由兩段時期比較後之誤差分析圖顯示，此兩次DEM濾除仍有某些不合理的地方，經計算結果兩段時期容積量差值為 156m^3 ，若考慮因DEM濾除不完整所造成的誤差，花蓮崩塌地這段時期並無任何的變動量。

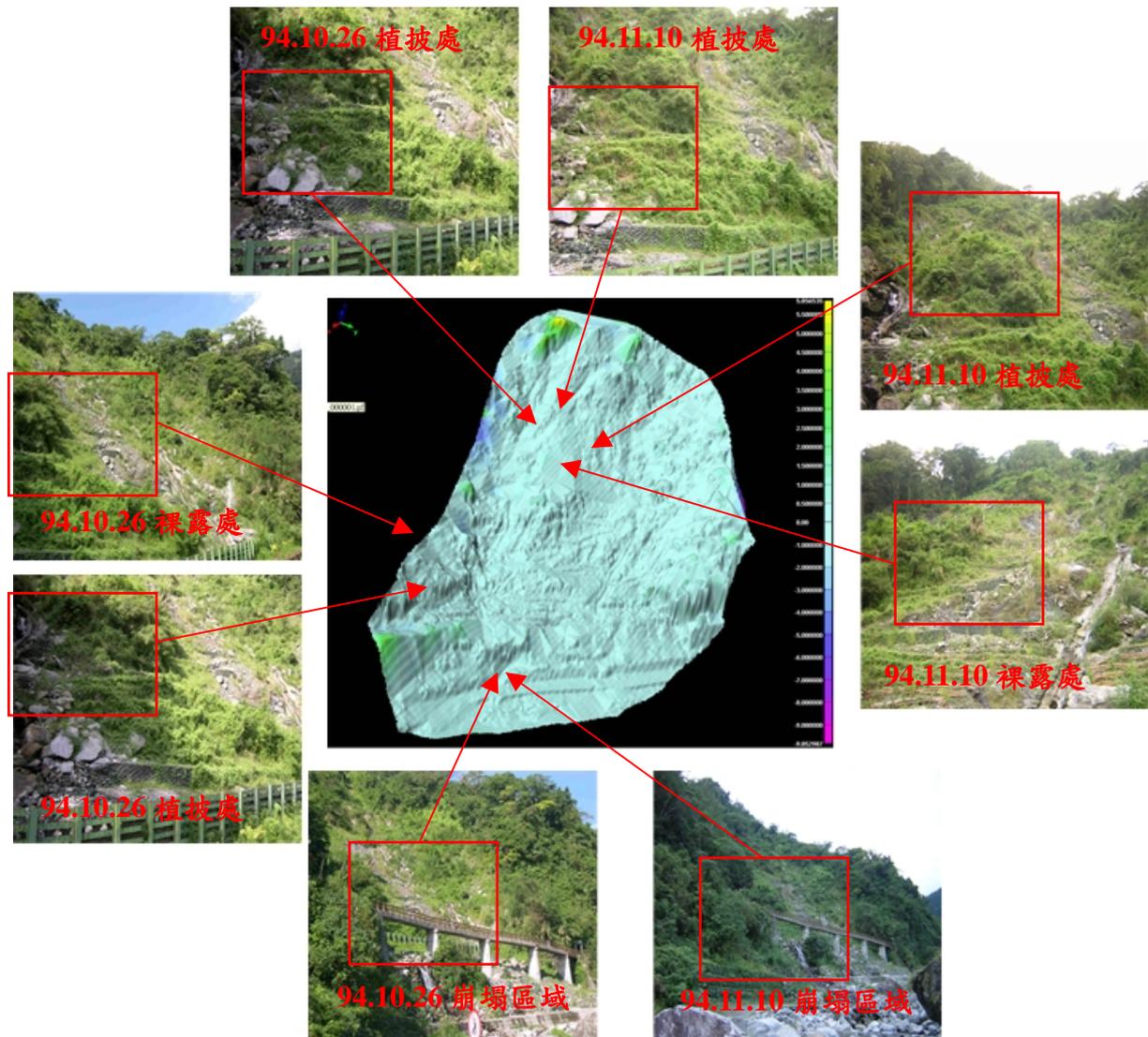


圖 4-14 花蓮富源 94.10.26~94.11.10 崩塌地之變化狀況

d. 94.08.02~94.11.10 容積計算：

花蓮富源崩塌地之容積計算上，本計畫四次點雲資料以一高程 264 公尺水平面為基準來計算堆積與沖刷量，如圖 4-15 所示，每次掃瞄資料投影至基準面即可求出容積，兩段不同時期的容積量相減即為兩段時期資料的變化量，如表 4-5 所示。

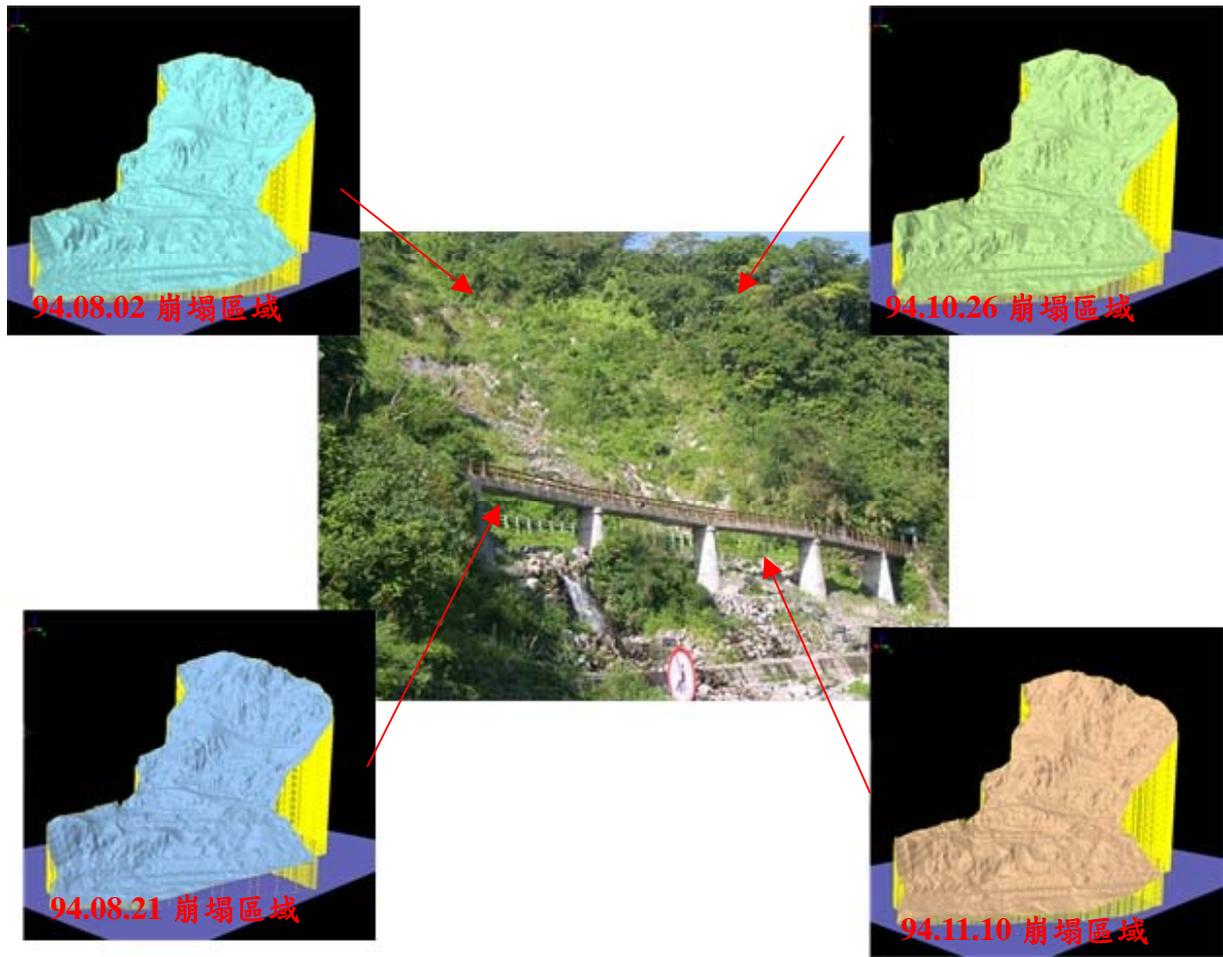


圖 4-15 花蓮富源 94.08.02~94.11.10 崩塌地之容積計算

表 4-5 花蓮富源區域變化量比較表（以高程 264 公尺為計算基準）

作業日期		94.08.02	94.08.21	94.10.26	94.11.10
容積量 (m ³)	花蓮富源崩塌地	249,046	247,473	248,296	248,452
比對期間		94.08.02 ~94.08.21	94.08.21 ~94.10.26	94.10.26 ~94.11.10	
兩次掃描 期間變化量	崩塌地下方邊坡	-1,573	+823	+156	
正值：代表堆積或淤積			負值：代表沖刷		

(4) 嘉義 152 林班地

本次計畫嘉義 152 林班地 3D 雷射掃瞄部分，目前只有作業一次，在此並沒有兩段不同時期雷射點的比較資料，所以只能就一次雷射點資料進行分析。此崩塌處建立了三個防砂壩來進行防治，本文就壩體之間的兩個防砂壩容量進行分析並計算其防砂壩容量。

【防砂壩容量計算範圍線定義】

嘉義 152 林班地崩塌區域共有三個防砂壩，所以其防砂壩容量分成 AB 兩區，在此需將 AB 兩區的範圍線定義出，並且沿著上下游兩個防砂壩定義範圍線，如圖 4-16。

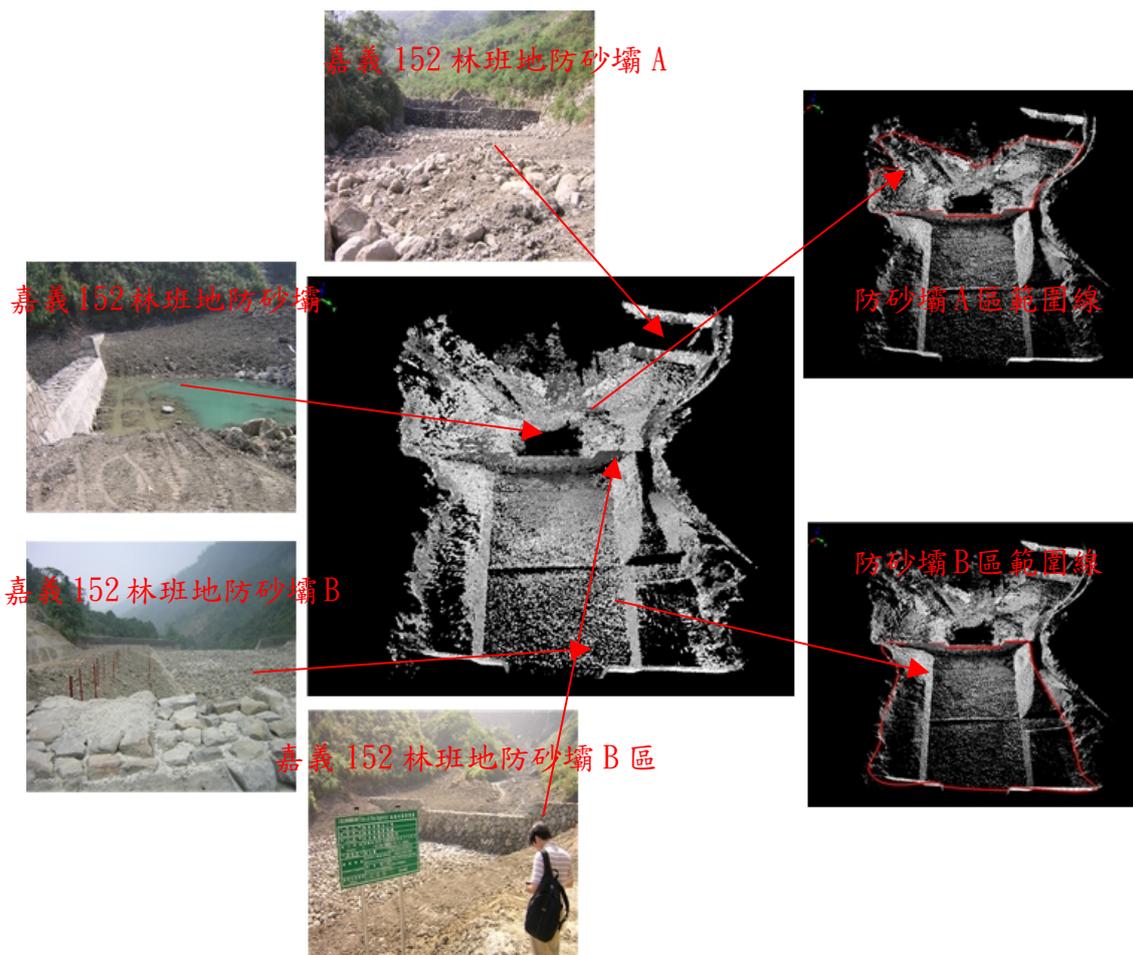


圖 4-16 嘉義 152 林班地 94.11.08 防砂壩容積現況與計算範圍線

【防砂壩容量計算範圍線模型化】

將所定義出來的範圍線內製作其 DEM，此 DEM 為假設之 DEM，計算容積之前需將假設 DEM 與實際地表 DEM 進行模型化，將兩種 DEM 套疊起來，其容量差值即為防砂壩容量，如圖 4-17 所示。

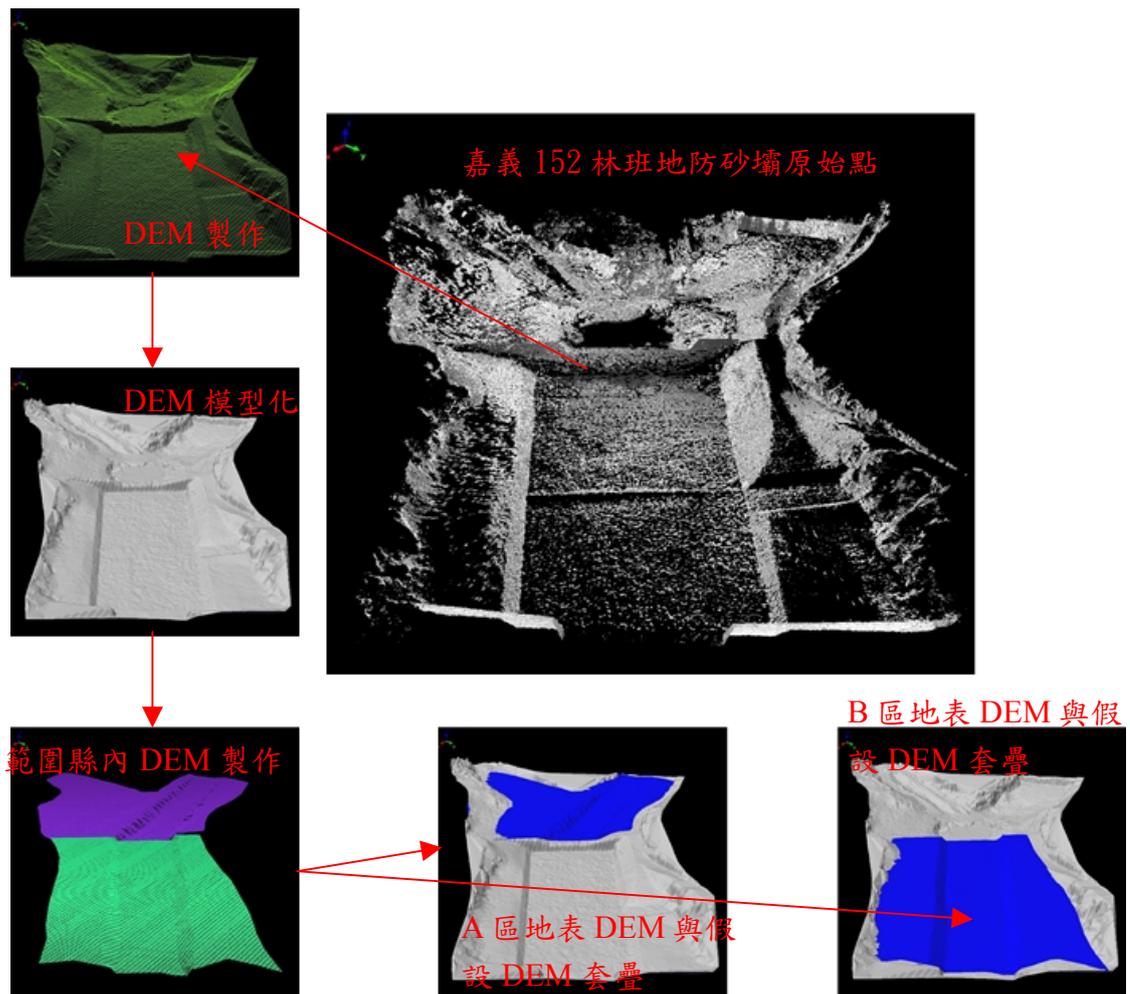


圖 4-17 嘉義 152 林班地 94.11.08 兩區防砂壩模型化

【防砂壩容量計算】

本文計算庫容量時，A 區的範圍線比較難以訂定，上游範圍線圈選比較沒有標準做法，而 B 區範圍線則是沿著壩體邊緣線標示出來，而容積計算則是以高程 590 公尺為基準水平面分別求出兩模型的容積，兩容積相減即為庫容量，如圖 4-18 所示。

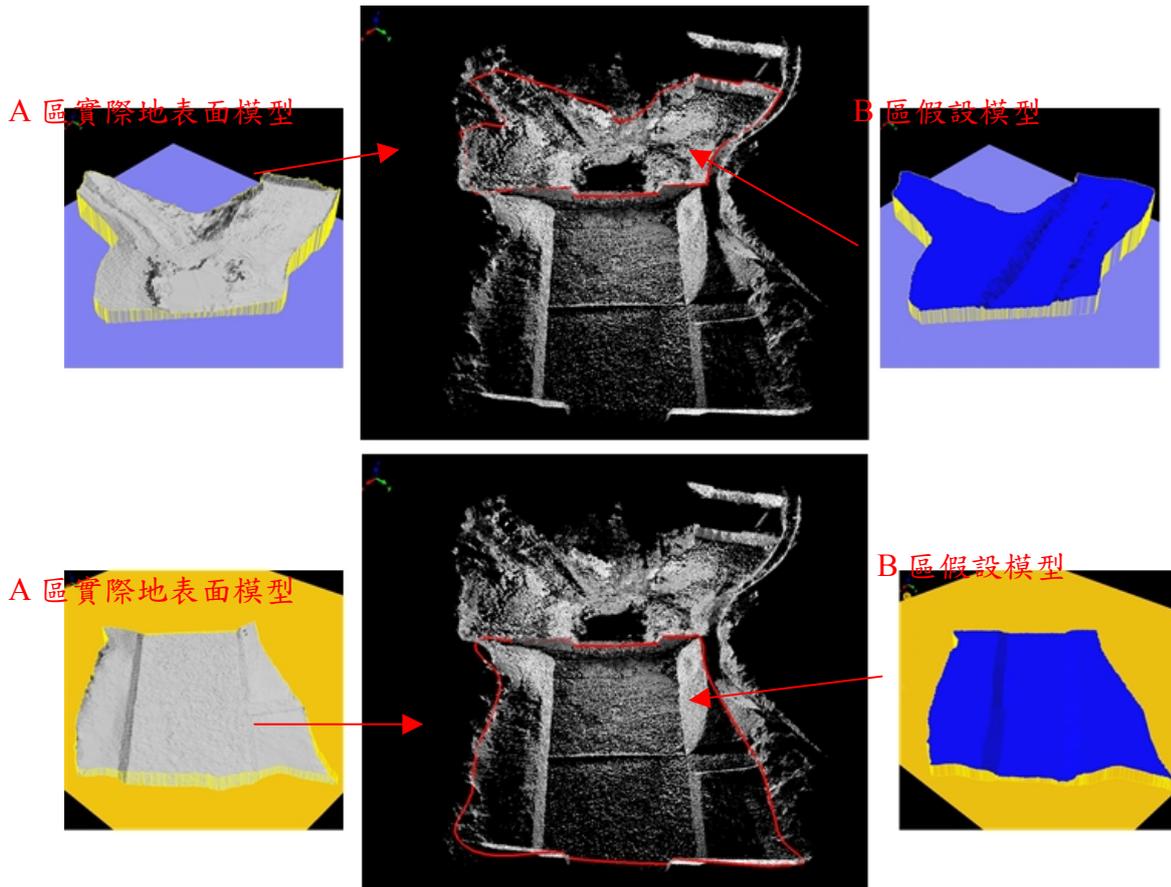


圖 4-18 嘉義 152 林班地 94.11.08 兩區防砂壩容積計算圖

表 4-6 嘉義 152 林班地兩區防砂壩容量容積計算表

防砂壩容量計算 (m^3)	A 區		B 區	
	實際地表面模型	假設模型	實際地表面模型	假設模型
相對防砂壩容量	32,737	50,770	32,142	48,301
實際防砂壩容量	18,033		16,159	

五、結論與建議

對於本次研究的四大地域之處所：南投壠溪、新竹土場、花蓮玉里 11 林班地（富源）與嘉義 152 林班地的崩塌地，經初步現地勘查結果發現超大豪雨是災害的主要原因。依據中央氣象局降雨量統計記錄如表 5-1 顯示：

表 6-1 四處崩塌地平均日雨量記錄表

崩塌地處所	平均日降雨量 (mm)	記錄時間	備註
南投壠溪支流	293.0	94 年 07 月 19 日	九十四年度最大日 平均降雨量
新竹土場	203.5	94 年 05 月 12 日	
花蓮富源	352.0	94 年 07 月 18 日	
嘉義 152 林班	297.0	94 年 06 月 14 日	

至於四個崩塌地之處所，依已見建議先行實施後列之先期治理，首先不管何處崩塌地建議應先行採用空中撥撒植物如田菁等，以保護崩塌坡面之表面沖刷或再刷深；且於溪道再依重力式水流之流通路徑，但盼若在回填基底時，以“柔式蜂巢管埋裝入河溪主流道之基部”，並在河道轉彎處構築丁壩或護岸或潛壩；特別是富源崩塌地在崩塌地：於棧道入口處有被發現棧道護欄有破裂痕跡產生，故建議加強棧道基底穩固措施，或在崩塌地之底部與富源溪交會處增築丁壩或護岸，以及與富源溪附近（崩塌地正下方距離 5~10m 處），各做工程一處，以保護行人安全與防止沖刷或保固崩塌地。

對於南投壠溪支流、新竹土場、花蓮富源三處崩塌地實施擋土措施或工程時，建議採用之土壤強度可參考表 5-2 所示。至於嘉義 152 林班地因時間緊迫容於下年度再分析。

表 5-2 土壤強度一覽表

項目 崩塌地點	物理特性		總應力		有效應力		備註
	ω_n (%)	γ_t (t/m ³)	C (t/m ²)	ϕ (^o)	C' (t/m ²)	ϕ' (^o)	
新竹土場	1.36	1.53	0.0	17.5	0.0	18.2	
南投墘溪	16.3	1.71	0.0	12.7	0.0	15.8	
花蓮玉里	9.65	1.80	0.0	11.8	0.0	37.9	

(一) 對於本次研究之對象—崩塌地，經研討與評估發現於 1999 年 921 大地震後致使土壤結構鬆散，而又因豪雨造成大量雨水滲入鬆散土質中之毛細管或邊坡之裂縫內，以致降低土壤內部之有效應力，使土壤顆粒之間失去摩擦力，形成細顆粒之流動化；同時，再加上原有崩塌地之底部南投墘溪支流、新竹土場、花蓮富源三處所均位于主河溪之轉彎處，急流衝擊山坡之轉彎處，使河道轉彎處平衡力量之坡腳被沖毀，失去坡腳對坡面土壤重量之支撐力而改變坡面之穩定度；又在坡面疏散不整之植被，瞬時間內無法排除豪雨帶來的大量雨水，激發超額孔隙水壓力，導致土壤顆粒間摩擦力與有效應力降低，造成坡地之陸續崩塌，導致坡地之崩塌災害，造成山坡之崩塌現象產生。

一般邊坡排水可分為地表排水與地下排水：(1)、地表排水：防止坍方首應注意防止地面水流經土壤不穩定之地區。不論填挖路段，邊坡線上方所有低窪積水之處，均需設法排水以減少地表逕流滲入軟弱或不穩定地區。(2)、地下排水：地下水係造成邊坡崩塌最大主因，故無論填挖地區，地下排水均極為重要，而各種不同的地下排水方法，其效果及使用情形需視當地地質結構、氣候條件及地理環境而異。請參閱「水土保持手冊—農地篇 P1-51

~P1-82”與“水土保持手冊—工程篇 P2-27~P2-29 及 P2-97~P2-116”。

依已見仍建議：

1. 水流係依重力作用往下慣性流暢，在河道填築時亦宜研究河道（流道）埋入柔性式蜂巢管以利排水，而非僅加高堆平或修築回填土（含卵礫石等）。
2. 崩塌地應速作“植被”並開鑿坡面排水溝包括縱橫向排水者。
3. 觀測記錄每年整年度雨量記錄並製表建檔，供未來邊坡整治或植等工程時實施作業之參考。
4. 盡量採用“多段階梯式”之潛壩或護坡編紮。

(二) 3D 雷射掃瞄監測作業，本年度計畫於七月至十一月期間，執行五峰土場、埔里壠溪及花蓮富源崩塌地各 4 次與嘉義阿里山 1 次，總共 13 次 3D 雷射掃瞄，因此對這四處崩塌地，我們提出下列幾點作為未來持續監測與資料處理利用之建議：

1. 花蓮富源森林遊樂區崩塌地之點雲資料分析結果，這段期間其崩塌量並無明顯的變化，而且因邊坡植被覆蓋造成資料率除產生誤差，另一方面，因植被覆蓋更顯示出邊坡已趨於穩定，若此區域無變動發生，可考慮監測另一崩塌區域。
2. 崩塌地作業區域的選擇方面，建議能以災害發生時，可迅速到達的區域，如以西半部為主，不要過於分散，當災害發生時，可以在條件許可下，取得即時的點源資料。
3. 台灣地區，其颱風發生季節集中於 7-9 月，由資料顯示出，最後一次掃瞄結果的變動量皆無明顯的變化，若以一個月為間隔進行作業，建議以三次掃瞄為主。

4. 點雲資料分析結果顯示，3D-ILRIS 雷射掃瞄作業可以大範圍且快速取得高精度點雲資料，邊坡穩定與沖刷上，整個邊坡面地形點雲資料的取得，便於分析邊坡是否滑動，邊坡因水流沖刷而產生之沖蝕溝變化情形；崩塌量計算與河道變遷上，點雲資料所構成的 DEM 可以精確地推估崩塌區域土石量的變化情形，上游河道因土石流造成的沖刷與堆積，也可以清楚看出其變化情況。
5. 建議在大範圍、交通不方便、新構築之道路、欲快速完成且永續經營之條件，儘量採用光達 (LiDAR) 空載雷射掃描計數之監測方法為宜，如此，既省時、省力、省費用又可於第一時間內有效掌握災害現場資訊，以提供防救災體系、規劃治理及整體設計的重要參考依據。
6. 各崩塌地區歷次土方量比較成果如下表。

埔里壩溪三區域變化量比較表 (以高程 723 公尺為計算基準)

作業日期		94.07.13	94.08.15	94.09.13	94.10.21
容積量 (m ³)	主要崩塌區域	14,813	17,149	18,694	18,703
	下游淤積區域	3,656	4,684	4,774	4,718
	上游沖刷區域	42,492	38,782	39,351	39,126
比對期間		94.07.13 ~94.08.15	94.08.15 ~94.09.13	94.09.13 ~94.10.21	/
兩次掃描 期間變化量	主要崩塌區域	+2,336	+1,545	+9	
	下游淤積區域	+1,028	+90	-56	
	上游沖刷區域	-3,710	+569	-225	
正值：代表堆積或淤積			負值：代表沖刷		

新竹土場三區域變化量比較表（以高程 833 公尺為計算基準）

作業日期		94.07.14	94.09.14	94.10.20	94.11.07
容積量 (m ³)	崩塌地下方邊坡	102,362	67,118	67,125	66,883
	邊坡沖蝕溝	7,078	8,664	8,680	8,523
	小型崩塌區域	1,067,123	1,018,302	1,017,065	1,017,875
比對期間		94.07.13 ~94.08.15	94.08.15 ~94.09.13	94.09.13 ~94.10.21	
兩次掃描 期間變化量	崩塌地下方邊坡	-35,244	+7	-242	
	邊坡沖蝕溝	+1,586	+16	-157	
	小型崩塌區域區域	-48,821	-1,237	+810	
正值：代表堆積或淤積			負值：代表沖刷		

花蓮富源區域變化量比較表（以高程 264 公尺為計算基準）

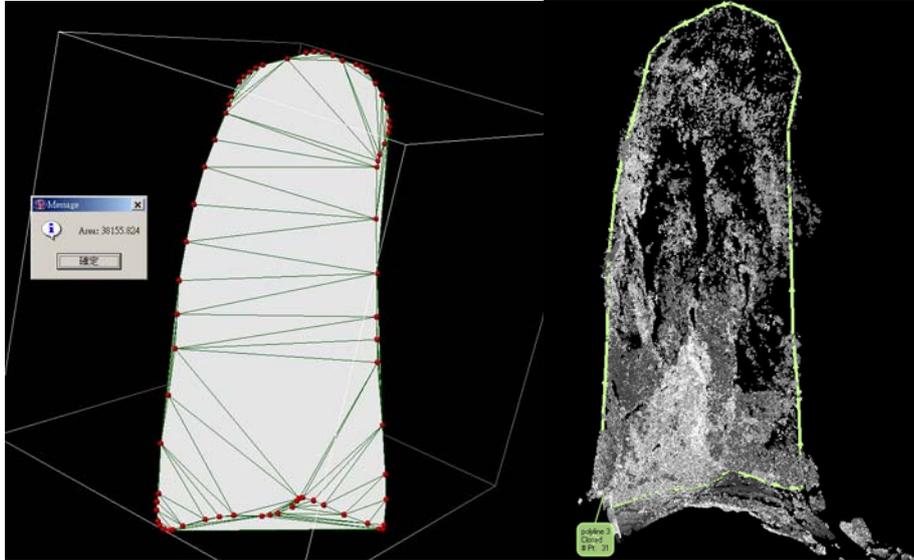
作業日期		94.08.02	94.08.21	94.10.26	94.11.10
容積量 (m ³)	花蓮富源崩塌地	249,046	247,473	248,296	248,452
比對期間		94.08.02 ~94.08.21	94.08.21 ~94.10.26	94.10.26 ~94.11.10	
兩次掃描 期間變化量	崩塌地下方邊坡	-1,573	+823	+156	
正值：代表堆積或淤積			負值：代表沖刷		

嘉義 152 林班地兩區庫容量容積計算表

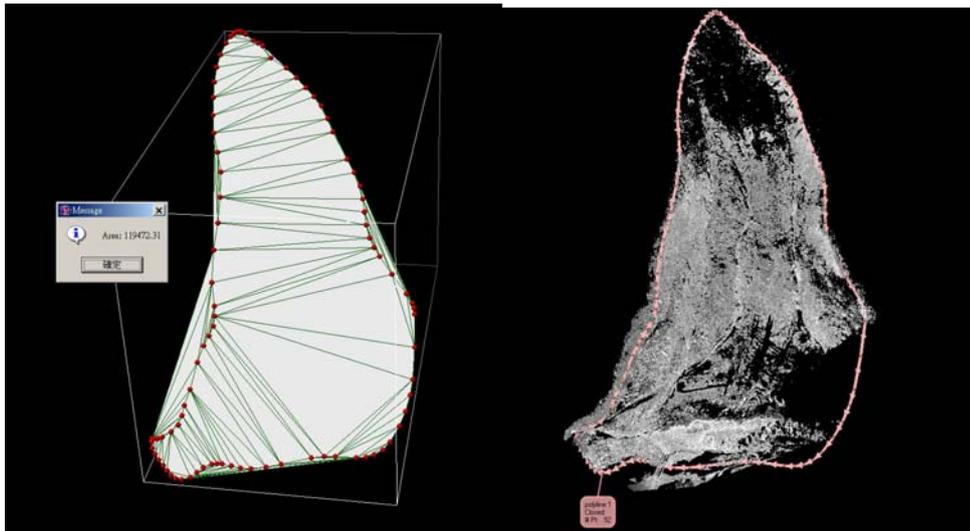
庫容量計算 (m ³)	A 區		B 區	
	實際地表面模型	假設模型	實際地表面模型	假設模型
相對庫容量	32,737	50,770	32,142	48,301
實際庫容量	18,033		16,159	

7. 各崩塌地區崩塌面積

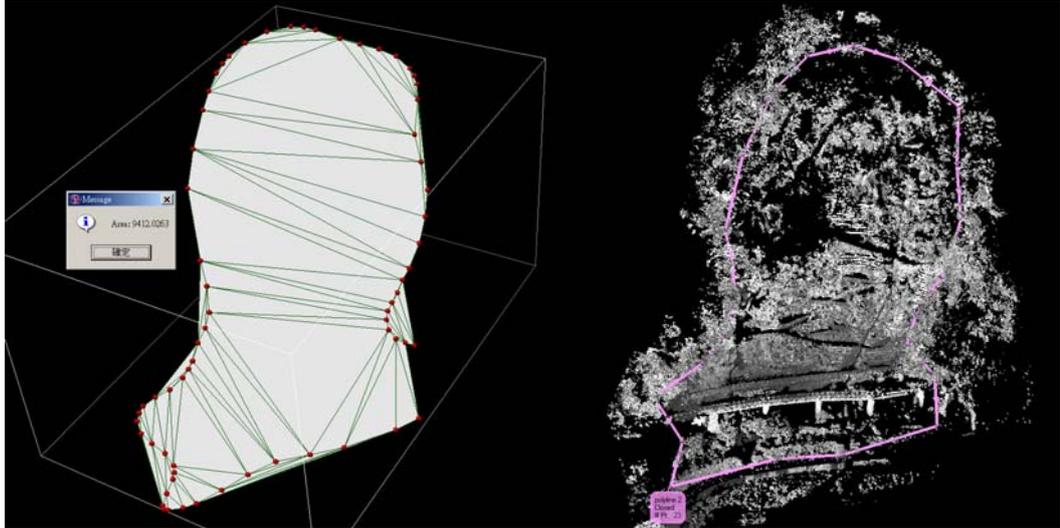
(a)、埔里壠溪：崩塌面積 38155 m²



(b)、新竹土場：崩塌面積 119472 m²



(c)、花蓮富源：崩塌面積 9412 m²



(d)、嘉義 152 林班地：崩塌面積 39627 m²

