東南技術學院　東南學報　第三十期　中華民國九十五年六月出版　第157-166頁

三維雷射掃描儀在地形監測之應用

莊睦雄[1]　鍾隆文[1]　徐士誠[2]　陳顥銘[2]　吳宗彥[2]

1東南技術學院助理教授　2東南技術學院防災科技研究所研究生

摘　要

山崩和地表滑動經常發生在山坡地社區，造成許多人命的傷亡和巨大財物的損失。為了降低災害的損失，甚至避免災害的發生，監測系統的課題日益受到重視。本研究著重於對地形地表變動監測，提供微地形資料庫的資訊，建立微地形變動判釋、診斷機制與模式，首先於坡地潛在災害發生區域布設樁點形成衛星定位監測網，利用高精度衛星定位接收儀觀測這些控制點的絕對位置及相對位置，配合衛星定位監測網，找到原始架設3D 雷射掃瞄儀適當的空間位置，配合地理資訊系統(GIS)的三維空間分析功能，進行3S（GPS、RS、GIS）系統與三維空間資訊的資訊整合，利用軟體的功能分析、比對微地形的變化位置、大小與方向，建立完整的微地形變化資料庫。

關鍵字：地表監測，3D 雷射掃描儀，微地形資料庫。

NATIONAL CENTRAL LIBRARY ROC 國家圖書館

壹、前言

台灣的自然環境優美，但地理位置特殊，位於大陸與大洋的交界，為海洋與大陸性氣團進退折衝的地方，氣候多變化每年5～6月間會有異常梅雨，7～10月間則有頻仍之颱風侵襲，此等特殊氣候常帶來豪雨加上地形陡峻河川短促經常引發嚴重土砂災害。同時，台灣位於歐亞大陸板塊與菲律賓板塊接觸帶上，地質構造複雜，亦為全世界地殼變動最激烈地區之一，從地震的頻繁可見一般。再加上人為土地開發不當，因此經常造成山崩、地層滑動、土石流等災害，至於平原地區之深開挖工程建設亦因地質鬆軟、地下水位高，造成土壤隆起、上舉破壞、砂湧、地盤下陷、房屋傾斜龜裂下陷、支撐破壞等工程災害，其次由於地工條件之高度不確定性，許多土木工程常於規劃、調查、設計或施工階段無法完全掌握，致使施工中或使用時造成災害，每每導致人民生命財產嚴重的傷害與損失，社會各界對於災害的問題一向非常關心，因此如何提供正確、快速、簡易、周詳的量化資訊，在災害發生前可以預先防範處置或是緊急疏散民眾避免災情擴大是當今學者努力的目標。

本研究主要針對地表變動監測，提供微地形資料庫的資訊，建立微地形變動判釋、診斷機制與模式，首先於研究範圍內的潛在坡地災害發生處布設樁點形成衛星定位監測網，利用高精度衛星定位接收儀持續觀測這些控制點的絕對位置及相對位置，一旦這些控制點發生絕對位置的改變或具有相對位移，即有可能發生坡地災害，例如山坡地滑動、土石流等的危險。其次，配合衛星定位監測網，利用衛星定位系統即時動態(RTK)的放樣功能，找到原始架設3D 掃描儀的正確空間位置，本研究利用高精度衛星定位系統所提供的座標控制點，進行3D 微地形建模以及地表變形的比較。採用地理資訊系統空間3D 的功能，進行資訊的整合，利用軟體的功能分析、比對微地形的變化位置、大小與方向，建立完整的微地形變化的資料庫。

貳、3D 雷射掃描儀的原理

3D 地形掃描儀（3D Geo-scanner）是利用雷射測距之原理，由儀器本身發射出雷射光束，接觸到觀測物體後接受其反射之訊號。依3D 掃描儀測量原理之不同(Boehler 2000, 2001)，可分為時間差量測及三角法兩種。

一、時間差量測（Time-of-Flight）

由掃描儀之二極體發射出脈衝雷射光到觀測物體表面，再接收經由觀測物體表面反射回來的訊號，計算該期間之時間長度，由光速、時間算出掃描儀與物體之間的距離。

優點是用此方法的掃描儀可比三角法（triangulation）測量較遠的距離，缺點為測近距離時，精度較差。在基本上，測距誤差仍是隨著距離增大。現今市面上之掃描儀多採用這種系統，如：Riegl LMS-Z210、cyrax2500、Optech ILRIS-3D...等機種。

NATIONAL CENTRAL LIBRARY 國家圖書館 ROC

二、三角法（triangulation）

第一種三角法是利用三角形幾何關係求得距離。先由掃描儀發射雷射光到觀測物體表面，紀錄入射與反射之間的夾角，利用在基線另一端之相機（CCD camera）接收物體反射之訊號，且雷射光源與 CCD 之間的基線長度經率定已知，經由三角形幾何關係來推算掃描儀與觀測物體之間的距離。

與上述時間差（TOF）系統相比較，優點為此種方法在近距離（小於2m）的精度比時間差系統為佳，缺點為通常其最大測距範圍也較短。測距精度與本身基線長度有關。與時間差系統相同，測距誤差一樣隨著距離而增加。目前採用這種方法的商業化掃描儀有 MENSI S10、S25（MENSI，2002）。

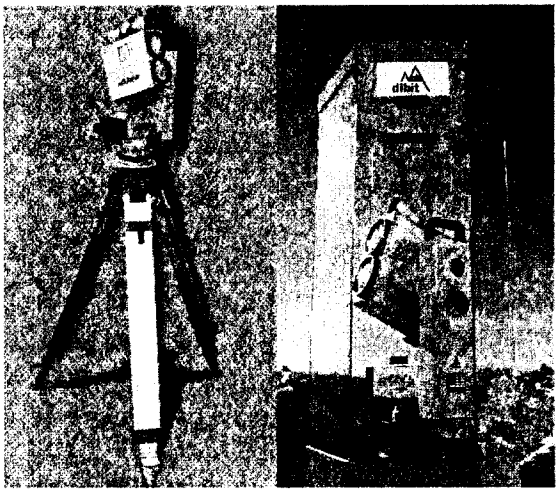
另外一種三角法是利用兩台分別架設在基線兩端的相機，接收經觀測物體反射之訊號，計算掃描儀與物體間之距離。

參、3D 雷射掃瞄儀成果

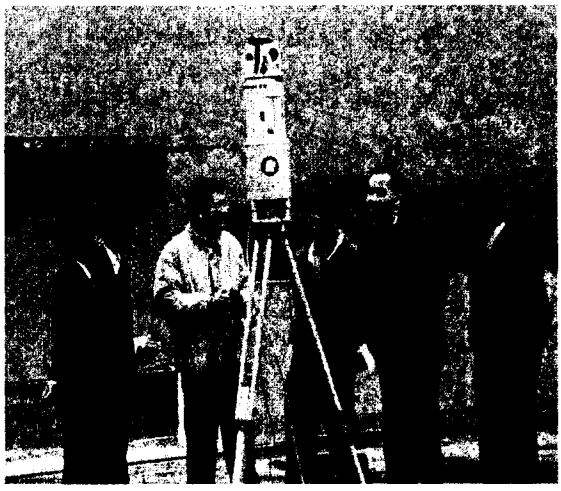
雷射掃描儀的優點在於能在短時間內快速地獲得物體表面大量的空間覆蓋資訊，每秒所能觀測的點位能達數千點之多，相較於傳統的測量技術，如全測站經緯儀、GPS，僅能提供有限的點位座標資訊，雷射掃描儀可以提供大量之點位資料，進而詳實描述待測物之表面。此外，掃描儀不需人員到達可能會發生危險的地方，如崩塌地、礦坑、等地點，避免人員意外的發生以安全地進行變形監測。目前已有多位學者應用於結構物變形分析(吳宗江、張裕民、魏育民、高書屏，2003)，傳統測量提供土木工程重要的施工依據，如地形圖、放樣...等，但是對於竣工後的工程或是使用中的建設所產生的變形量卻無法提供全面且精確的數據，而需仰賴土木結構的偵測方式進行資料蒐集，由於無法直接取得全面之位移資料，而使結構變形的計算較不客觀。採用 3D 掃描的技術進行結構物全面且連續性的掃描，可精確取得結構物精密點雲座標，經計算可求得全體之變形量，進行變形分析，以便於提供後續維修精準的數據。國外學者已有將3D 掃描的技術應用於邊坡滑動的觀測與研究(Joanneum，2002)，可以得到精確的體積變動量與觀測時間的函數。

本計畫期初評估之3D 地形掃描儀以 Dibit Geoscanner 為主，如圖一所示，量測距離最遠至2500公尺，精度2公分，此款儀器在長時間的觀察之下可謹慎的測量出地形位移的可靠變化數值，在危險容易變動的區域可以量測可信賴的數值，且有防護箱，可在惡劣的天氣使用，RIEGL 原廠目前已有新款 LMS - Z420儀器，此型號的功能較 Dibit Geoscanner 優越，除了精度提高外，掃描的速度快十倍，且外加有高解析度的全彩相機擷取影像，可做3D 影像座標處理，價格上又比 Dibit Geoscanner 便宜，LMS - Z420 儀器原廠至本校地理資訊中心展示、操作與測試的情況如圖二所示，由於3D 地形掃描儀器進步太快，本研究未來潛力可期。

NATIONAL CENTRAL LIBRARY 國家圖書館 ROC



圖一、Dibit Geoscanner 之3D 地形掃描儀



圖二、LMS - Z420原廠至本校測試

一、分析模式討論與微地形資料庫的建立

依據3D 地形掃描儀特性與研發的觀測技術，建立潛勢山坡地的微地形資料庫，計算坡地3D 地形變化的大小、方向與速度的初步診斷機制、數值模式以及地理資訊系統的程式撰寫。診斷機制、數值模式以及地理資訊系統的程式是本研究的重點。

（一）第一個方法是將3D 地形掃描儀轉出的大量資料，建立規則的3D 向量資料格式，藉由 Autocad 的點線面資料分析，首先利用 vba 巨集指令，將3D 資料讀入Autocad，並建立點線面比對資料，針對向量資料系統，透過不同觀測日期的資料，進行運算，建立一最佳化的目標函數，並利用巨集式啟發性搜尋法，來加以求解。其次，亦可利用其他的3D 向量資料處理軟體建立各特徵物的平面方程式，並求取平面方程式的法線向量，比較不同時期各特徵物平面方程式的法線向量的變化，可以瞭解各特徵物三維變動的情形。本計畫已初步建立九份地區的微地形資料庫如圖三。

（二）第二個方法是將3D 地形掃描儀轉出的大量資料，透過地理資訊系統的3D 功能處理，先行利用3D 的運算功能，把可能有變動的資料進行初步的篩選，切出實際變動的資料數量之後，建立規則的3D 網格式資料，再使用數值演算進行比對與計算各資料點移動的大小、方向與速度。本研究透過地理資訊系統的3D 功能處理，將3D 地形掃描儀轉出的資料與航照圖比對，如圖四所示，

（三）第三個方法是將3D 地形掃描儀自動鎖覘標點的功能，透過地理資訊系統的3D 功能處理，先行選點，把可能有變動的資料進行初步的篩選，由研究生調查現場比對資料固定覘標點，建立高精度的覘標控制點，再進行不同觀測日期各資料點移動的大小、方向與速度的比對與計算。

（四）第四個方法是將3D 地形掃描儀設定區域後自動掃描，透過3D 軟體進行後處理，此方法直接利用相對座標的點雲圖比對地物平面的法線向量，法線向量有變化即為地物3D 的旋轉量之變化，此方法僅使用相對座標比對，因此3D 地形掃描儀的設置較簡易。

NATIONAL CENTRAL LIBRARY ROC 國家圖書館



圖三、九份地區擋的微地形資料庫

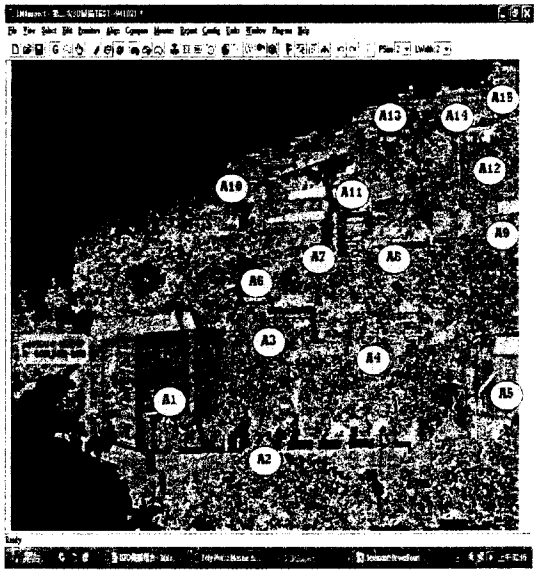


圖四、地形掃描儀轉出的資料與航照圖比對

二、3D 地形掃描分析的成果

以94年4月25日與7月21日兩次掃描點雲圖為例，3D 地形掃描分析的步驟與成果分述如下：

1、將兩次掃描點雲圖進行比較，選定掃描區域可比對的區塊，A1~A15，如圖五所示，每一個區塊選取數小區塊為比對的平面如圖六紅色標記處。



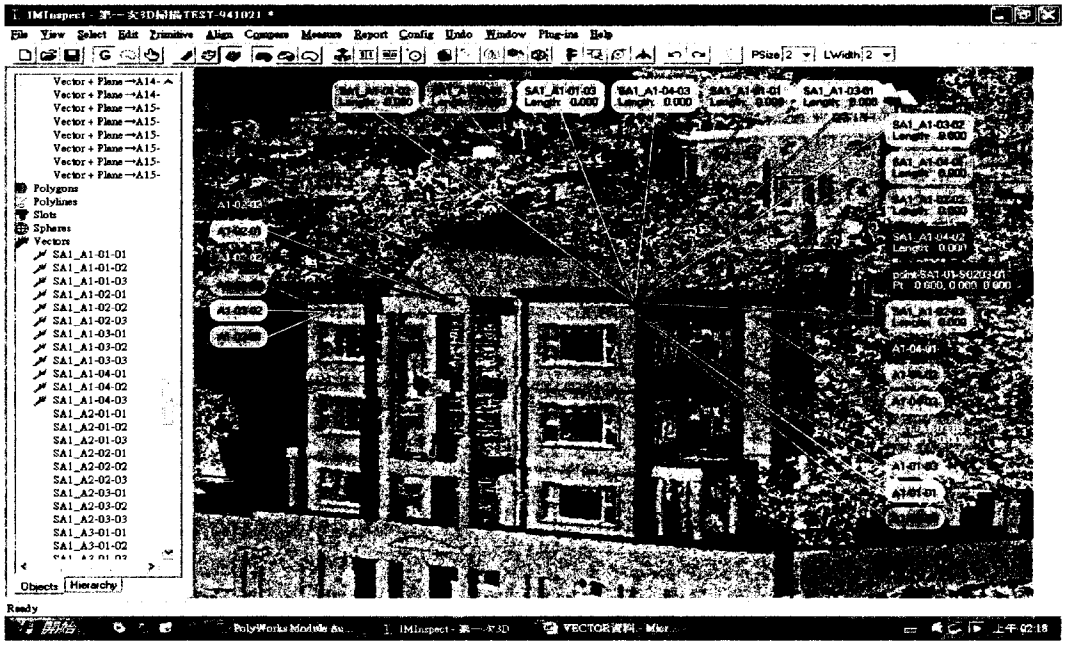
圖五、選定掃描區域可比對的區塊(A1~A15)



圖六、選取比對的平面

2、將兩次掃描點雲圖可比對的區塊，每一個區塊選取數小區塊後，建立可比對的平面方程式與法線向量，如圖七。

NATIONAL CENTRAL LIBRARY 國家圖書館 ROC



圖七、A1小區塊的平面方程式與法線向量

3、將兩次掃描點雲圖的小區塊，建立法線向量比對成果如表 1

表1、兩次掃描點雲圖的小區塊的法線向量差值比較

Vector 編號	兩次法線向量的差值比較		
SA1_A1-01	-0.0012	-0.0013	-0.0019
SA1_A1-02	0.0011	-0.0015	-0.0071
SA1_A1-03	0.0000	0.0003	0.0144
SA1_A1-04	0.0035	-0.0044	-0.0195
SA1_A2-01	0.0019	-0.0019	0.0077
SA1_A2-02	0.0049	-0.0003	-0.0139
SA1_A2-03	-0.0023	-0.0001	-0.0233
SA1_A3-01	0.0040	0.0001	-0.0094
SA1_A3-02	0.0029	-0.0001	-0.0087
SA1_A3-03	-0.0041	-0.0003	-0.0098
SA1_A3-04	0.0023	0.0004	-0.0169
SA1_A4-01	0.0009	-0.0003	-0.0110
SA1_A4-02	0.0069	-0.0032	-0.0022
SA1_A5-01	-0.0047	0.0022	-0.0170
SA1_A6-01	-0.0144	-0.0209	0.0044
SA1_A6-02	-0.0007	0.0012	0.0089
SA1_A7-01	0.0055	-0.0039	-0.0253
SA1_A7-02	0.0142	-0.0094	-0.0238
SA1_A7-03	0.0155	-0.0108	-0.0134
SA1_A7-04	0.0085	-0.0040	-0.0098

NATIONAL CENTRAL LIBRARY 國家圖書館 ROC

SA1_A8-01	0.0033	-0.0016	0.0110
SA1_A9-01	0.0051	-0.0016	-0.0101
SA1_A10-01	0.0006	-0.0005	-0.0232
SA1_A10-02	-0.0069	0.0000	-0.0159
SA1_A10-03	0.0007	0.0006	0.0215
SA1_A11-01	0.0026	-0.0014	-0.0141
SA1_A11-02	-0.0033	0.0016	-0.0020
SA1_A12-01	-0.0043	-0.0009	0.0278
SA1_A13-01	0.0002	0.0000	0.0170
SA1_A13-02	-0.0039	0.0000	0.0093
SA1_A14-01	0.0025	-0.0015	-0.0060
SA1_A14-02	-0.0029	0.0021	0.0146
SA1_A15-01	-0.0096	0.0012	-0.0236
SA1_A15-02	0.0052	-0.0009	0.0069

4、持續監控可疑的區塊，並實施簡易測量加以比較。

肆、結果與討論

現代的災害防救觀念，係將災害分為平時減災、災前整備、災時應變與災後復建四個階段，本研究在平時減災階段可提供微地形 DTM 的資料可應用於進行科學化、綜合性之災害潛勢評估，以掌握地區災害危險性，製作3D 防災地圖，明確標示災害危險處所、避難場所、避難路線、防災機關、人口動態等資料，供作災害對策細緻化之基礎資料，亦可提昇民眾之防災意識與智能。災前整備階段可依據本計畫微地形診斷機制，判釋坡地災害潛變區域，加強該區民眾防災意識及防災措施。災時應變階段可有效的提供防救災人員判斷災況規模，整合防救災資源與資訊，提昇應變的效能。災後復建階段可將災前與災後的微地形 DTM 的資料進行比對、分析，迅速且確實規劃災後復原重建的工作。

本研究初步成果暨建議整理如下：

一、本研究已完成九份地區第一期微地形資料建檔，於示範區內，會同結構、大地、防災及測量領域的專家學者共同於現場會勘，選定適當的 3D 地形掃瞄監測區域，並建立 3D 地形的微地形資料庫。

二、本研究利用地理資訊系統軟體將 3D 微地形資料庫的相對座標轉換為 TM2 絕對座標，初步成果可以疊合於航照圖上，但是此方法選用五點全球衛星定位系統為控制點，其誤差範圍現階段無法小於 1 公分，因此微地形資料庫的 TM2 絕對座標建議只作位置的展示查詢，微地形的變動比對以相對座標較佳。

三、本研究擬從大量 3D 微地形的點雲資料中萃取出所需要的部分以及能自動萃取出特徵物以減少人工之介入的模式與數值方法，此部份可利用 ploywork 軟體自動建立平面之工具達到上述功能，經由測試萃取出特徵物包括平面與法線向量皆可使誤差收斂，可應用於微地形的變動分析。

四、本研究經反覆測試與研究已初步完成計算坡地 3D 地形變化量，包括傾角與距離的診斷機制，採用 polywork 軟體建立特徵物的平面方程式及法線向量，由於通過各特徵物平面之法線向量為唯一，因此比對不同掃描時間各特徵物平面之法線向量可以求得不同掃描時間微地形的傾角與距離的變化。

五、3D 掃描儀之優點為為地形資料庫之建檔，本計畫歷經 3 次 3D 掃描建檔，可提供後續的地形變動量分析。本次分析以各平面法線量分析為主，後續可以依據此 3D 為地形資料庫發展更合適之分析方法，提供地表地物變量分析之參考。

六、本研究採用各測站微地形的變動單獨比對以及相對座標直接建立各特徵物平面之法線向量，比較不同掃描時間微地形的傾角與距離的變化，只需決定通視良好的視域，透過精密地形掃瞄，將點位資料轉出即可進行數值分析，相對於不同測站點雲資料整合於同一座標系統，以及利用地理資訊系統將 3D 微地形資料庫轉換為 TM2 絕對座標後再作微地形變動的比較，必需先建立控制點，因此採用各測站微地形的變動單獨比對以及相對座標直接比較微地形變動可以簡化 3D 地形掃瞄的標準作業流程。

參考文獻

1. 游豐吉，GPS 遠距離監測系統於地滑區偵測之計畫，第 22 屆測量學術研討會論文集。

2. 余騰鐸，GPS 全自動公共設施監測系統，第 22 屆測量學術研討會論文集。

3. 郭隆晨，高精度 GPS 觀測在地球科學上之應用，第 22 屆測量學術研討會論文集。

4. 劉瑞煌，即時動態 GPS 測量應用於都市計畫莊測定之可行性計畫，第 22 屆測量學術研討會論文集。

5. 林老生，GPS 結合全測站經緯儀在地籍測量中的應用，第 22 屆測量學術研討會論文集。

6. 郭朗哲、曾義星和史天元，地面雷射掃描儀測量作業問題探討，第 22 屆測量學術研討會論文集。

7. 吳宗江…等，利用 3D 雷射掃描技術進行結構物變形分析，第 22 屆測量學術研討會論文集。

8. 國立成功大學，空載 LiDAR 與地面 ILRIS-3D 雷射測繪系統之技術應用發表會。

9. 賴志恆，2003。雷射掃描點雲資料八分樹結構化之計畫，國立成功大學測量工程系碩士論文。

10. Boehler, W., A. Marbs, 2002. 3D Scanning Instruments, CIPA, Heritage Documentation - International Workshop on Scanning for Cultural Heritage Recording - Corfu, Greece.

11. Boehler, W., G.Heinz, A. Marbs, 2001. The Potential of Non-contact Close Range Laser Scanners for Cultural Heritage Recording, Proceedings of CIPA International Symposium, Potsdam, Germany.

12. Besl, P. J. and N. D. Mckay, 1992. A Method for Registration of 3-D shapes, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 14, pp.239-256.

13. Cyra, 2002. Cyra Technologies, Inc, http://www.cyra.com/index.html.

14. Gordon, Stuart, Derek Lichti and Mike Stewart, 2001. Application of a High-Resolution Ground-baesd Laser Scanner for Deformation Measurements, 19 – 22 March 2001 Orange, California, USA 23.

15. Lichti, D. D., S. J. Gordon and M. P. Stewart, 2002. Ground-Based Laser Scanners: Operation, Systems and Applications, Geomatica, 56 (1): 21-33.

16. Lichti, D. D. and B. R. Harvey, 2002. An Investigation into the Effects of Reflecting Surface Material Properties on Terrestrial Laser Scanner

17. Measurements, Geomatics Research Australasia, 76: 1-22.

18. Lichti, D. D., M. P. Stewart, M. Tsakiri and A. J. Snow, 2000. Benchmark Testing on a Three-Dimensional Laser Scanning System, Geomatics Research Australasia, 72: 1-23.

19. MENSI, 2002. MENSI 3D Surveying Products, http://www.mensi.com/.

20. POB, 2003. Point of Beginning Magazine, http://www.pobonline.com/.

21. Wehr, A. and U. Lohr 1999. Airborne Laser Scanning – an Introduction and Overview. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 54 (2-3): 68-82.

NATIONAL CENTRAL LIBRARY ROC