

# 岩石坡面位態分類程式開發

馮正一<sup>(1)</sup> 陳奕凱<sup>(2)</sup> 錢滄海<sup>(3)\*</sup> 彭思顯<sup>(4)</sup>

## 摘要

本研究開發「岩石坡面位態分類程式」，可將三維雷射掃描點雲資料進行三角網格化處理，以模糊群聚法進行岩石坡面位態分類，建立一貫化之處理、分類與展示等作業程序。本研究的新構想為對岩坡的掃描於由近距離拓展至遠距掃描、結合 GPS 確定岩坡面點雲之絕對座標，並以 Matlab 發展視窗界面一貫化之處理程序。本研究亦選擇三處試驗場址進行三維點雲掃描與 GPS 量測，用以測試所開發的位態分類程式。

(**關鍵詞**：三維雷射掃描、衛星定位系統、點雲、模糊群聚分析)

## Development of Attitude Classification Program for Rock Slope Surfaces

*Zheng-Yi Feng, Yi-Kai Chen, Chang-Hai Chien \**

Associate Professor, Graduate student, Assistant Professor, Department of Soil and Water Conservation,

National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan, R.O.C.

Department of Soil and Water Conservation,

*S.H Peng*

Assistant Professor, Department of Space Design

Chienkuo Technology University, Changhua, Taiwan, R.O.C.

## Abstract

This study developed an attitude classification program for rock slope surfaces. The program systematically processes point clouds for triangular grids, classifies rock surface for their attitudes,

---

<sup>(1)</sup> 國立中興大學水土保持學系副教授

<sup>(2)</sup> 國立中興大學水土保持學系研究生

<sup>(3)</sup> 國立中興大學水土保持學系助理教授 \*通訊作者 E-mail: mikechien@nchu.edu.tw

<sup>(4)</sup> 建國科技大學空間設計系助理教授

and demonstrates the classified results. The new ideas of this study are extending the 3D scanning to "long-distance" from "short-distance", combining GPS measurement, and developing a Matlab graphical user interface for data processing. This study selected three sites for 3D scanning and GPS measurements and the data were used for testing the developed attitude classification program.

(**Keywords:** 3D laser scanning, global position system, point cloud, fuzzy clustering analysis)

## 前言

岩石坡面位態量測是地表地質調查重要的一環。但傳統量測位態方法對於陡峭的岩坡或通達不易的岩坡，調查人員常需攀爬且耗費人時後，方能量得少數的位態。除可能造成調查人員較大的危險外，效率也不佳。傳統量測位態方法 Slob et al.(2005)也認為有以下之缺點：人為取樣偏差；危險性高；岩坡表面攀爬困難；費時費力與昂貴。

有鑑於此，本研究利用三維雷射掃描儀擷取岩石坡面之點雲(point clouds)、量測控制點之 GPS 座標，藉由內業分析間接達到量測露頭位態之目的，藉以取代直接量測露頭表面可能衍生之危險及施行之困難。

本研究主要目的為開發岩石坡面位態分類程式，將三維雷射掃描點雲資料進行網格式處理，以模糊群聚法 (fuzzy C-mean clustering)進行岩石露頭位態判釋與分類，建立一貫化之處理、判釋、分類與展示等作業程序。

與洪子恩等(2007)之研究比較，本研究再提出多個創新構想與改良，使整體作業流程更順暢、精確度提高，在實務上更易推廣。本研究內容之創新處，包括：(1)將三維掃描於岩坡位態之應用由近距離掃描拓展至遠距；(2)結合 GPS 量測確定岩坡面點雲之絕對

座標；(3)發展 Matlab 窗界面一貫化之分類處理程序。

與傳統之現地位態量測相比，本研究之程序具有快速及遠距量測之優點，且可減低地質師攀爬岩坡之風險，節省地質調查之時間，提高岩石坡面位態量測作業之效率與正確性。而所開發的「岩石坡面位態分類程式」將加速位態分類分析，免除繁複的指令輸入與記憶。

## 研究方法

本研究之研究方法與步驟以圖 1「魚骨圖」說明，研究項目概分為 4 大項：A 現地 3D 掃描與 GPS 測量技術，B FastRBF 處理技術，C 坡面位態處理技術，D「岩石坡面位態分類程式」開發。



圖 1 研究方法與步驟關聯魚骨圖

Figure 1 Research method and procedures

### 2-1 遠距 3D 掃描

本研究使用 Dibat LPM98 GeoScanner 進行遠距掃描，取得岩坡表面之點雲資料以進

行分析，儀器照片如圖 2 所示。

一般而言，一個邊坡的掃瞄時間約為 3~4 小時，視坡面大小而定。此 3D 掃描儀掃瞄距離可達 800 公尺以上。洪子恩等(2007)之前期研究所使用之 Mensi GS 100 Laser Scanner 僅可達 100 公尺。



圖 2 Dibat GeoScanner 3D 掃描儀  
Figure 2 Dibat GeoScanner 3D Scanner

## 2-2 GPS 測量

在現地進行 3D 雷射掃描時，可一併進行 GPS 測量，以取得各資料點雲的絕對座標。使用之 GPS 接受器如圖 3 所示，GPS 資料讀取器如圖 4 所示。



圖 3 GPS 接收器  
Figure 3 GPS receiver



圖 4 GPS 資料讀取器  
Figure 4 GPS data recorder

GPS 接受器需定點接收衛星傳送資料至少 1~2 小時以上，以得較精確之資料。而洪子恩等(2007)之前期研究並未使用 GPS，僅以羅盤定位，其精度較差。

GPS 接收儀接收資料後，需申請內政部國土測繪中心(原內政部土地測量局)之 GPS 基本控制點資料，計算後方能求得正確的大地座標。

## 2-3 點雲三角形網格化處理

3D 雷射掃描點雲資料在經由 GPS 量測資料賦予絕對座標後，可以 Matlab FastRBF Toolbox(FarField, 2004)進行資料內插及網格化，其中 RBF 為 Radial Basis Function。

FastRBF 工具箱能將三維點資料以數學函數作代表，並對因視角而無法掃描到之岩石坡面死角進行坡面重建，並建立 TIN 網格化(Triangulated Irregular Network)，整個岩石邊坡坡面即可以 N 個三角形組成的 TIN 網格來代表。

## 2-4 TIN 三角網格位態計算

位態包括傾向與傾角。TIN 網格將包含 N 個三角網格，而每個三角形均有其位態。利

用每三個點構成一個平面之特性，可計算出每一個三角網格之平面方程式(公式 1)係數：

$$AX + BY + CZ + D = 0 \quad (1)$$

其中 A、B、C 分別代表 X、Y、Z 之係數及 D 為常數項。在每個三角形的平面方程式係數求得之後，即可計算每一個三角形網格之走向與傾角，計算方法可參考洪子恩等(2007)與 Feng et al. (2001)。

#### 2-4 模糊群聚分析 (Fuzzy C-mean clustering)

本研究進行位態分類之方法與步驟，同前期研究(洪子恩等，2007)與採用 Hammah and Curran (1998)之模糊群聚分析 Fuzzy c-mean 演算法。其主要步驟簡述如下：

- (1) 決定位態分類數，即 Fuzzy c-mean 群聚數 K，假設為 K 個群心法向量。本研究以隨機方式於 N 個單位法向量中任取 K 個法向量作為初始群心法向量。
- (2) 計算每一三角網格之單位法向量到各群心法向量之差異值。
- (3) 利用每一單位法向量到各群心法向量之差異值計算歸屬度矩陣。
- (4) 計算所得之歸屬度矩陣代入改良式方位矩陣以計算新的群心法向量，再以新的群心法向量重複步驟(1)~(4)。
- (5) 計算前後兩次歸屬度矩陣之各元素相差值之絕對值，與預設容忍值比較，決定是否終止迭代，該絕對值小於容忍值即結束迭代，獲得分類後 K 個群心法向量。
- (6) 最後將分類後的 K 個群心法向量倒算為位態，即完成分類後 K 個位態。

### 「岩石坡面位態分類程式」之開發

本研究開發「岩石坡面位態分類程式」係利用 MATLAB 程式 Guide 工具箱發展視窗介面，撰寫輸入介面、輸出介面，包含下拉式功能選單、掃描資料之輸入、資料內插與網格化等，並將模糊群聚法之分類方法視窗化。最後將處理結果、分析成果，以圖形展示，加速使用者對岩坡表面之位態判釋。

- (1) 基本選單與輸入介面：建立包含掃描資料之輸入、資料內插與網格化等功能選單(圖 5)。

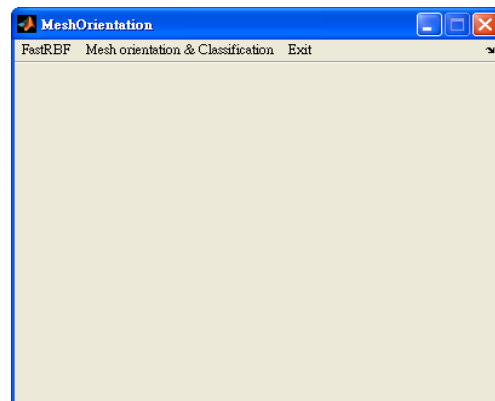


圖 5 基本選單介面

Figure 5 The pull-down menu interface

- (2) FastRBF 補點與網格化：a. 點選 FastRBF 選單，匯入現地 3D 掃描所收集的原始資料。b. 資料匯入後，程式將展示掃描資料點雲，並要求輸入欲分析的資料範圍；若無特定分析範圍，則直接對所有點雲資料進行補點與網格化之作業。c. 輸入補點以及網格化參數。使用者可自己決定網格化後各三角網格的大小 (surface resolution)。d. 計算完畢後，程式會展示處理完成之網格圖形(圖 6)，並要求匯出



- (3) 網格檔案,以利進行後續網格位態的計算與分類動作(如圖 6 所示)。

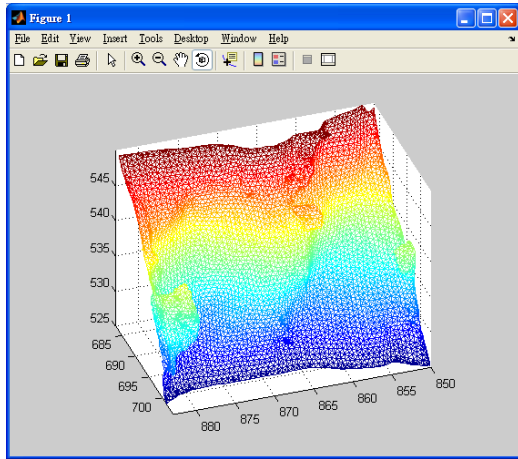


圖 6 FastRBF 補點與網格化後之範例結果  
Figure 6 A FastRBF sample result of TIN

- (4) 網格位態計算與分類視窗: a. 點選 Mesh orientation & Classification 選單,匯入經前一步驟處理完成之網格檔,計算各三角網格的位態,並將結果匯出,進入分類視窗。b. 選擇 Fuzzy C-mean 分類方法;指定分類數(Cluster number)、Fuzziness 與

Tolerance 等參數後開始分類計算。c. 分類後之結果會顯示在視窗中央,此時可以拖曳縱橫向捲軸或直接於空格內填入 X、Y 角度來調整適當的展示角度(圖 7)。

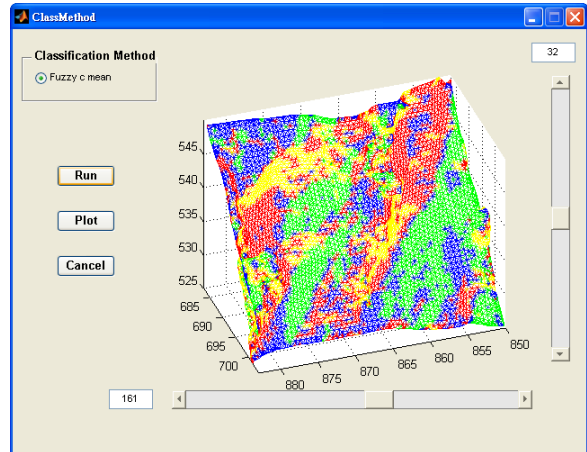


圖 7 位態分類視窗

Figure 7 The attitude classification interface

- (5) 位態展示視窗化發展:將最後分類結果以不同顏色標示於網格上以代表不同的位態,加快使用者理解的速度(圖 8)。

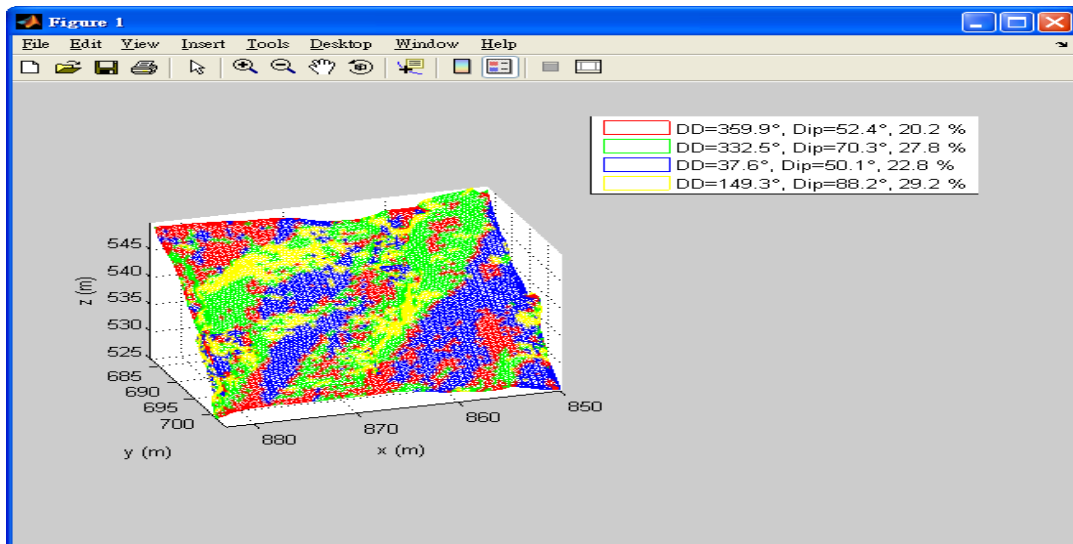


圖 8 分類結果展示視窗

Figure 8 The results presentation interface

本研究所開發的「岩石坡面位態分類程式」可加速位態分類分析，免除記憶繁複的指令，且較不易錯輸指令。可迅速變更分析參數，考慮各種不同的分析條件，如變更分析區間、網格大小、容忍值與模糊值等，可提昇分類效率與節省時間。最後分類結果以顏色區分不同的位態，以利與現地岩石坡面比較。

### 三維掃描試區

本研究選定三處試區進行三維雷射掃描，其中二處位於台中縣太平市，一處位於台中縣和平鄉。試區概況如下：

#### 4-1 試區一

試區一位於台中縣道 136 號旁頭汴坑溪對岸之一處露頭，所屬地層為頭料山層。試區層面分明，屬一砂頁岩互層之露頭，弱面大致由一層面(圖 9)弱面一處)與兩組節理所控制，露頭下方為頭汴坑溪。其中層面藉由人工量測之位態為：傾向：61.2°；傾角：40.0°。

#### 4-2 試區二

此試區同樣位於台中縣道 136 線旁，所屬地層為桂竹林層，該地層以細粒厚層塊狀砂岩及砂頁岩互層為主，局部含厚層頁岩。由圖 10 所示，坡面與坡址部分皆有少量土石堆積，推測此處露頭乃因邊坡崩塌而出露，上方有解壓節理產生，其中主要弱面經由人工測量所得之位態(圖 10 弱面一處)：傾向：60.1°、傾角：46.2°。

#### 4-3 試區三

此試區位於和平鄉博愛村松鶴部落旁之

大甲溪河床上，地層屬於白冷層裡冷段。如圖 11 所示，該露頭具有兩組明顯弱面，其人工量測所得之位態分別為：1.弱面一：傾向：154.0°；傾角：30.6°； 2.弱面二：傾向：315.2°；傾角：79.2°。



圖 9 試區一照片

Figure 9 Test Site 1



圖 10 試區二照片

Figure 10 Test Site 2



圖 11 試區三照片

Figure 11 Test Site 3

## 分類結果與討論

本研究將利用模糊群聚分析各試區的掃描資料進行分類，其中每個試區分別使用三種不同的網格大小：0.3m、0.5m 與 0.7m，將探討不同網格大小對於分類結果的影響。

### 5-1 模糊群聚分析結果

試區一內「弱面一」之模糊群聚分析位態隨著群聚數變化，如表 1 所示，在三種不同大小的網格下，「弱面一」的群心位態隨著  $k$  增加至 6 以後，其變化量有減小的趨勢。以試區一而言，網格位態分類結果群聚數  $k=12$  時較佳。

試區二內「弱面一」之模糊群聚分析位態隨著群聚數變化，如表 2 所示，在三種不同大小的網格下，「弱面一」的群心位態隨著  $k$  增加至 7 以後，其變化量有減小的趨勢。以試區二而言，網格位態分類結果群聚數  $k=10$  時較佳。

試區三內「弱面一」與「弱面二」之模糊群聚分析位態隨著群聚數變化，如表 3 所示，在網格大小=0.3m 下，「弱面一」的群心

位態隨著  $k$  增加至 8 以後，其變化量有減小的趨勢。但在網格大小=0.5m 與 0.7m 下，「弱面一」的群心位態與實際位態差異較大，推測主要原因可能為弱面一在空間中所佔的面積較小(圖 11)，若使用較大的網格尺寸將試區網格化，則位於弱面一之網格容易失真，而影響了網格位態的計算結果。如表 4 所示，在三種不同大小的網格下，「弱面二」的群心位態隨著  $k$  增加至 5 以後，其變化量開始減少。以試區三而言，網格位態分類結果群聚數  $k=11$  時較佳。

以上結果顯示，利用模糊群聚法計算出之群心位態，最後均能出現變化量變小的結果，即群心位態隨著群聚數增加其值變動不大。若將各試區最小尺度的網格中最理想的群心位態與現地實測值比較，發現兩者之間約有傾向  $0\sim 10^\circ$  與傾角  $0\sim 5^\circ$  的誤差，但群心位態值仍可反應現地坡面位態之趨勢。

### 5-2 群心位態值誤差之探討

應用三維雷射掃描可排除大部分之人為誤差，但仍具有儀器誤差如：

1. GPS 定位誤差。
2. 掃描儀掃描目標物時軟體判斷目標物中心位置之誤差。
3. 掃描儀本身的距離誤差與角度誤差。

岩坡掃描所得點雲網格化後，對於一明顯的弱面而言，其包含的網格會有相近的法向量(位態)，由於本研究使用的模糊群聚分類法是將所有網格一併納入分類，因此在  $k$  較小的情況下不易找出吾人感興趣的弱面的真實位態。經多次測試結果逐漸增加  $k$  來重新計算，可以提高各個網格法向量的細分程度，並使吾人感興趣弱面的群心位態漸漸逼

表 1 試區一分析位態與實測位態  
Table 1 Test site 1 – result comparison

弱面一	網格大小 =0.3m		網格大小 =0.5m		網格大小 =0.7m	
	DD(°)	dip(°)	DD(°)	dip(°)	DD(°)	dip(°)
實測值	61.2	40	61.2	40	61.2	40
k=2	64.9	86.6	59.7	86.5	51.5	86.6
k=3	38.5	46.4	37.8	46.2	37.3	47
k=4	41.1	44.6	39.3	44.2	38.9	44.8
k=5	39.2	43.6	38.3	43.2	38.3	43.7
k=6	52.2	41.3	50.4	41.1	49	41.2
k=7	53	40.8	50.8	40.6	49.2	40.7
k=8	54	40.5	51.2	40.2	50.4	40.2
k=9	53.6	40.1	53.3	39.6	50.5	40
k=10	55.9	39.5	53.6	39.5	50.5	39.8
k=11	55.8	39.5	53.7	39.5	51.5	39.4
k=12	56.8	39.2	54.1	39.4	51.5	39.4

表 2 試區二分析位態與實測位態  
Table 2 Test site 2 – result comparison

弱面一	網格大小 =0.3m		網格大小 =0.5m		網格大小 =0.7m	
	DD(°)	dip(°)	DD(°)	dip(°)	DD(°)	dip(°)
實測值	60.1	46.2	60.1	46.2	60.1	46.2
k=2	16.1	53.5	17.6	53.7	18.6	54
k=3	29.6	49.6	28.9	49.9	27.7	50.4
k=4	43.9	51	37.6	50	47	58.2
k=5	47.9	50.9	49.3	53.2	48.8	56.8
k=6	43.4	49.1	37.9	48.7	53.7	57.8
k=7	53.9	53.6	57.9	52.6	55.2	57.2
k=8	51.3	53.8	62.6	51.3	51.4	56.5
k=9	58.8	49.1	57.2	50.7	52	56.7
k=10	60.7	48.2	59.8	49.7	52.7	57.7
k=11	64	45.6	63.8	48.2	59.6	52.3
k=12	66.7	45.6	63.5	48	62.1	50.6

表 3 試區三「弱面一」分析位態與實測位態  
Table 3 Test site 3 – result comparison

弱面一	網格大小 =0.3m		網格大小 =0.5m		網格大小 =0.7m	
	DD(°)	dip(°)	DD(°)	dip(°)	DD(°)	dip(°)
實測值	154	30.6	154	30.6	154	30.6
k=2	140.8	40.6	140.2	38.3	138.1	36.7
k=3	132.6	42.5	135.5	29.8	164.6	35.9
k=4	133.5	34.4	170.1	31.7	128.4	32.6
k=5	129.4	30.6	176.4	30.4	138.5	42.2
k=6	153.8	31.3	127.8	26.3	138.7	44.9
k=7	160.9	27.8	139.4	37	149.4	20.7
k=8	146.1	30.1	144.7	24.2	142.5	44.4
k=9	146.9	27.6	136.7	30.4	129.2	37.1
k=10	153.5	32	129.7	34.7	141.6	43.9
k=11	150.8	28.3	125.7	34.7	141.8	46.2
k=12	150.7	33.1	145.7	35.4	141	46.3

表 4 試區三「弱面二」分析位態與實測位態  
Table 4 Test site 3 – result comparison

弱面一	網格大小 =0.3m		網格大小 =0.5m		網格大小 =0.7m	
	DD(°)	dip(°)	DD(°)	dip(°)	DD(°)	dip(°)
實測值	315.2	79.2	315.2	79.2	315.2	79.2
k=2	278.9	86.1	262.1	87.7	229.5	88.4
k=3	297.6	85.4	296.6	85.5	288.9	87.9
k=4	302.3	83.3	303.5	81.9	302.8	85
k=5	303.6	77	304.4	80.8	304.9	82.9
k=6	304.1	76.3	304.4	77	305.6	82.4
k=7	304.2	74.8	305.2	80.4	305.6	80.6
k=8	304.4	74.6	305.3	80	305.9	80.1
k=9	304.4	74	305.2	76.6	305.9	79.8
k=10	304.5	73.9	305.2	76	305.7	78.1
k=11	305.1	83.6	305.2	75.9	305.8	77.9
k=12	305.3	83.1	305.2	75.7	305.9	77.9



近真實位態。然而本研究於現地所量測之位態僅能代表單一露頭平面之位態，且量測過程中因為是人為判讀仍有誤差存在。

另外試區中不屬於露頭之物體(如植生)也摻雜於掃描的點雲中，因而在計算網格單位法向量時，這些雜點也提供了不真實的單位法向量，影響了後續的分類結果。

FastRBF 中網格化之子程式在進行點雲網格化時，演算法本身判斷上亦會產生的誤差。

## 結論與建議

本研究選擇三個試區以 3D 雷射掃描儀進行岩坡表面之掃描，取得空間座標點雲，利用 MATLAB 程式 Guide 工具箱所撰寫之視窗化程式進行內插補點與網格化、網格位態計算，最後利用模糊群聚分析進行位態之群聚分類，以提高使用者操作此程式的便利性。本研究亦將三維掃描於岩坡位態之應用由近距離拓展至遠距；且結合 GPS 量測以確定岩坡坡面點雲之絕對座標。

以模糊群聚分析而言，本研究選擇之三個試區所分類出之群心位態，均能隨著群聚數  $k$  增加，降低其變化量，並在  $k=10\sim 12$  間出現最接近實測值之群心位態，能在無實測值的狀況下，方便使用者對弱面位態的判釋。雖然最終群心位態與現實量測位態仍有誤差存在，但其群心位態亦尚能代表現地之位態情形。對於增加位態辨識之準確度、誤差的降低，建議可從雜點濾除進行後續研究。

在使用 FastRBF 工具箱對試區點雲進行網格化時，使用越小的網格越能代表現地真實幾何。但對同一試區而言，使用越細的網

格尺度，其總網格數會越多，因而增加了 FastRBF 補點與網格化程式、網格位態計算程式與模糊群聚分類法的計算量。故適當地選定足以代表現地幾何之網格大小，有助於程式運算與位態判釋的速度。

三維雷射掃描與傳統之位態量測相比，可減除地質師攀爬陡峭岩坡之危險，具有快速及遠距量測之優點。

本研究所開發的「岩石坡面位態分類程式」可加速模糊群聚法位態分類分析，免除繁複的指令輸入與記憶。

## 誌謝

本文承國科會 NSC97 - 2622 - E - 005 - 012 - CC3 之支持，致使本研究得以順利完成，作者在此表達謝意。

## 參考文獻

1. 洪子恩、馮正一、吳宗江(2007) 「應用三維雷射掃描於岩石露頭位態之量測」, 水土保持學報, 第 39 卷, 第 3 期, pp.247-267。
2. Slob, S., Hack, R., van Knapen, B., Turner, K., Kemeny, J. (2005) A method for automated discontinuity analysis of rock slope with 3D laser scanning. TRB Annual Meeting CD-ROM.
3. Feng, Q., Sjögren, P., Stephansson, O., Jing, L. (2001) Measuring fracture orientation at exposed rock faces by using a non-reflector total station. Engineering Geology, Vol. 59, pp. 133-146.
4. Hammah, R. E. and Curran, J. H. (1998) Fuzzy cluster algorithm for the automatic

水土保持學報 42(2) : 167-176(2010)  
Journal of Soil and Water Conservation,42(2) : 167-176(2010)

identification of joints sets. Int. J. Rock. Mech.  
and Min. Sci. Vol. 7, pp. 889-905.

5. FarField Technology Ltd. (2004) FastRBF  
Toolbox User manual.

---

99年05月04日收件

99年05月05日修改

99年05月06日接受