

由隧道輪進地質資料建構立體地質模型

俞旗文

中興工程顧問社大地工程研究中心副經理

摘要

本文研發電腦軟體GeoMap3D系統可自動擷取資料庫之開挖面輪進地質資料，以高效率之電腦自動化方式，自動製作平面之隧道地質展開圖、產生岩盤隧道之立體地質模型圖外，並可由直接指定模型中任意位置產生斷面地質圖、輸出成果再使用電腦虛擬實境(Virtual Reality)技術，將隧道地質展開圖成果直接轉檔而可於網際網路進行傳輸及線上瀏覽，進行立體地質模型展示，有助於現場施工者據以進行地質弱面統計、關鍵岩塊分析、前方地質預判，或區段地質模式建立。核心程式以微軟Visual Basic 6.0撰寫，地質模型相關資料庫以微軟Access(mdb)格式儲存。所建成之三維地質模型存為獨立檔案，可修改編輯，進行資料庫管理，並以虛擬實境技術展現三維地質模型，進行線上即時瀏覽。

關鍵字：開挖面地質、隧道地質展開圖、三維隧道地質模型、案例說明。

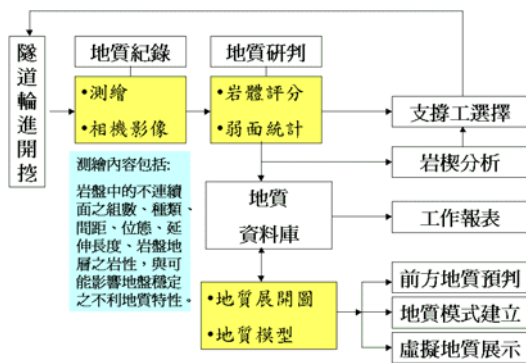
一、前言

在鑽炸法施工之隧道中，地質工程師需配合輪進開挖作業辦理隧道開挖面地質描述、地質紀錄。同時需透過岩體評分、弱面統計、關鍵岩塊分析(王銘德與陳錦清，1993)之成果，建議開挖面支撐工之施作方式。累積一段里程地質資料後，再進一步再繪製地質展開圖或建立地質模型，除滿足現場例行報表提供之目的外，並有助現場施工時據以進行前方地質預判或區段地質模式建立。

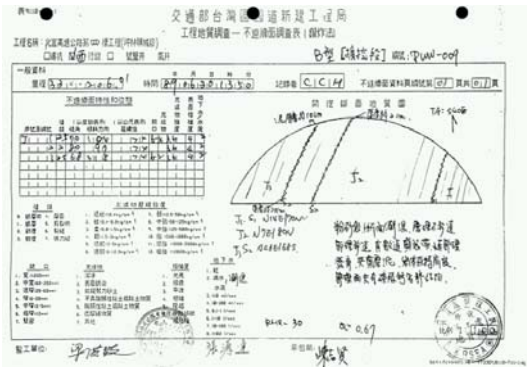
以往辦理隧道地質展開圖之繪製均以人工為之，但因施工中每輪開挖所紀錄之地質資料日積月累，數量龐大；且檔案日久破損殘缺，整理不易，常造成可貴之資料流失，無法有效進行地質展開圖之繪製應用或傳承資料，殊為可惜。由於目前個人電腦技術不斷進步，因此本文進一步研究並發展更有效率之岩盤隧道地質展開圖之電腦化製作方法，除增強原有系統之使用親和力外，並可結合「岩盤隧道施工資料自動化處理系統」之地質資料庫系統(俞旗文等，2002)，於中文視窗環境以VB6.0為程式開發工具，開發如圖一所示隧道施工現場地質作業流程中之所需之各項模組功能，建立一電腦化隧道地質資料整合系統，稱之為GeoMap3D系統。

上述系統可自動擷取資料庫之地質資料，以高效率之電腦自動化方式，產生

岩盤隧道之立體地質模型圖。此系統除具有自動製作平面或立體之隧道地質展開圖之功能外，並可由直接指定模型中任意位置產生斷面地質圖、或以弱面統計資料視需要進行隧道岩塊安定分析。此外為加強資料之可用性，輸出成果再使用電腦虛擬實境(Virtual Reality)技術，將隧道地質展開圖成果直接轉檔而可於網際網路進行傳輸及線上瀏覽，進行立體展示。本研究中，核心程式以微軟Visual Basic 6.0撰寫，地質模型相關資料庫以微軟Access(mdb)格式儲存。所建成之三維地質模型存為獨立檔案，可修改編輯，進行資料庫管理，並以虛擬實境技術展現三維地質模型，進行線上即時瀏覽。



圖一 隧道輪進地質紀錄作業流程



圖二 開挖面地質手動測繪例

二、開挖斷面地質資訊

傳統上，隧道地質記錄工作方式，係由隧道地質師於現場手繪開挖面出露之地質構造，以目視方法對岩體觀察研判，並量測各構造位態、間距及充填物特性，記錄於隧道地質記錄表與岩體評分表。但在不影響施工進行之前提下，隧道地質師於開挖面記錄時間極為有限，因此僅能針對弱面分布及岩體狀況，作簡易快速且盡可能全面性的描繪。一般開挖面記錄方式主要可分為(1)手動測繪，與(2)相機影像兩種方式，其特點說明如下：

1.1 手動測繪

圖二所示為國內某隧道施工現場以手動測繪隧道開挖面地質紀錄之一例。測繪內容包括：岩盤中的弱面(不連續面)之組數、種類、間距、位態、延伸長度、岩盤地層之岩性，與可能影響地盤穩定之不利地質特性。由於作業現場通常情況雜亂、紀錄時間有限，因此紀錄有時難免失真。所有紀錄資料日久累積保存不易，一旦需進行資料整理查閱，有時需翻箱倒櫃，苦不堪言。

1.2 相機影像岩體評分

以普通或數位相機拍攝開挖面地質影像，可避免手動測繪失真之情況。相機

拍攝開挖面地質影像最大缺點在隧道中粉塵及水氣多，能見度不佳。為能拍攝清晰的影像，拍攝時應注意燈光控制與鏡頭的清潔，並且不建議使用閃光燈。拍攝隧道開挖面影像時，拍攝的位置以能拍攝完整的開挖面為原則，但對於跨徑大的隧道，為了達到高解析度影像要求，可考慮將開挖面分區拍攝，再將影像接合。

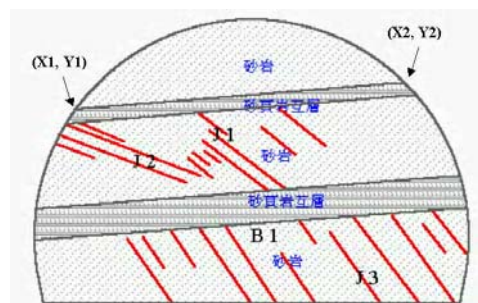
近年來，國內外也有許多研究致力於應用數位影像處理技術於隧道工程施工作業中，其目的均是藉由數位化後之開挖面影像，以擷取開挖面之地質構造。除可取得隧道影像，進行資料庫之系統化管理外，亦可提高岩體評分之準確性及進一步將地質構造立體視覺化，對於隧道之施工研判幫助甚大。但因開挖面影像品質並不穩定，因此完全自動化作業並不容易(蔡茂生，1994；江金安與呂守陞，2000；王純祥與白世偉，2003)。

二、隧道地質資料庫

無論透過手動測繪或相機影像，必須將施工輪進中每一輪開挖岩盤面中所見之地質特性，轉化為具結構化資料，方能於電腦中建立地質資料庫，以利後續處理運用。圖三所示為隧道輪進開挖面之地質影像，透過數化擷取程序，將資料建檔後重繪結果。數化程序通常仍需專業人員進行專業性之研判，以確保資料之正確合理。



(a) 影像資料

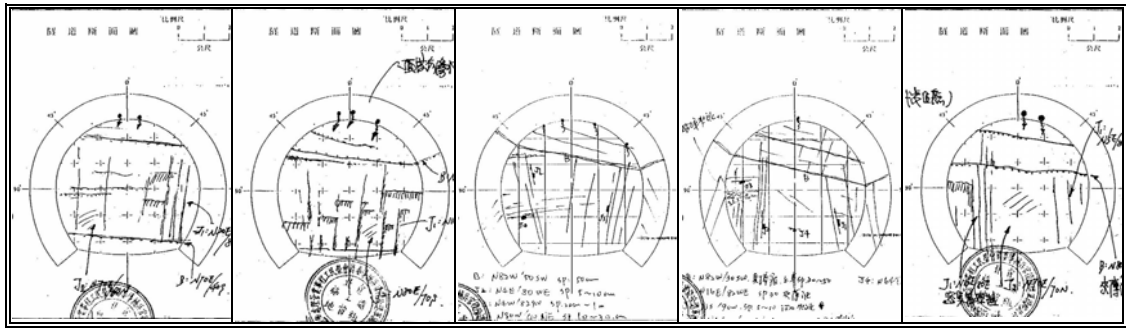


(b) 數化資料

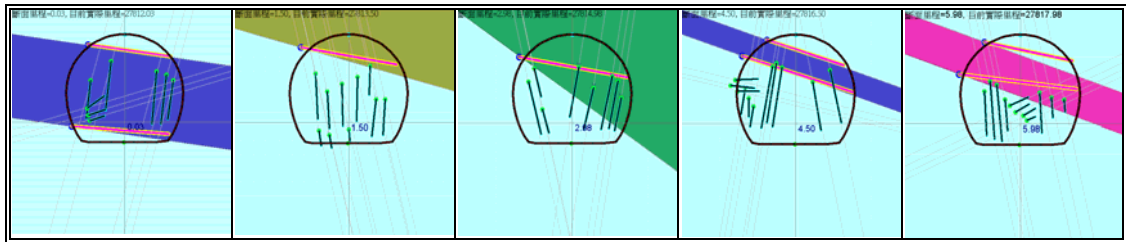
圖三 隧道輪進開挖面地質影像數化

圖四所示則為某範例隧道導坑輪進連續五個開挖面之手動地質測繪影像，透過數化擷取程序資料建檔後重繪結果，如圖五所示。範例隧道導坑所得地質將用於其後續主坑隧道平行開挖時之地質預判參考。

表一所示為圖四、五所示範例隧道導坑輪進開挖面之地質資料透過數化擷取後所建成一資料庫檔相關資料表格式。資料表欄位內容包括 [座標X1]、[座標Y1]、[座標X2]、[座標Y2]、[里程值]、[傾向(方位角)]、[傾角]、[構造種類]等。表中資料有八處層面與若干節理弱面(分為兩組)。



圖四 隧道輪進連續五個開挖面之手動測繪影像



圖五 手動測繪影像數位擷取重繪結果

表一 開挖面線性構造擷取結果資料表內容範例

編號 ID No.	座標 X1	座標 Y1	座標 X2	座標 Y2	里程值 station	傾向 dip direction	傾角 Dip Angle	構造種類 Plane Type
1	-1.63	3.44	2.04	2.91	27812	160	40	0:bedding
2	-2.36	-.2	1.96	-.55	27812	160	40	0:bedding
3	-2.11	3.32	2.11	2.56	27813.5	170	40	0:bedding
4	-2.31	2.91	2.41	2.01	27815	188	50	0:bedding
5	-2.36	2.96	2.56	1.36	27816.5	188	30	0:bedding
6	-1.26	3.67	2.11	2.56	27816.5	188	30	0:bedding
7	-1.56	3.57	2.26	2.76	27818	190	30	0:bedding
8	-2.66	2.16	2.46	1.51	27818	190	30	0:bedding
J-1	-1.51	1.86	-1.71	.15	27812	110	80	1:joint
J-1	-.6	2.71	-.85	.5	27812	110	80	1:joint
J-1	1.41	2.26	1.21	-.1	27812	110	80	1:joint
J-1	1.86	2.11	1.61	-.1	27812	110	80	1:joint
J-1	2.16	1.86	1.91	.1	27812	110	80	1:joint
J-2	-1.66	.6	-.9	1.16	27812	340	60	1:joint
J-2	-1.61	.3	-.85	.55	27812	340	60	1:joint
J-2	-1.56	.05	-.9	.25	27812	340	60	1:joint

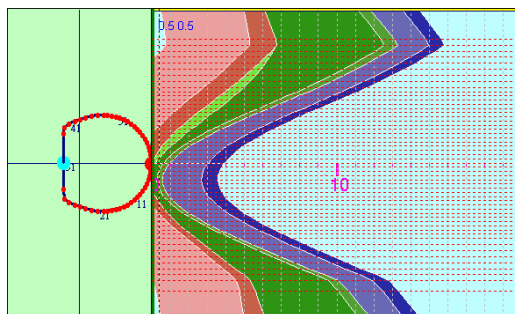
三、隧道地質模型展示

在鑽炸法施工之隧道現場，隧道地質資料展示方式如提供例行性報表(如圖二例)以供施工管控或支撐需求研判，此外則為建立某特定隧道區段之地質統計分析，如繪製地質展開圖、建立地質模型，以有助現場施工者據以進行地質弱面統

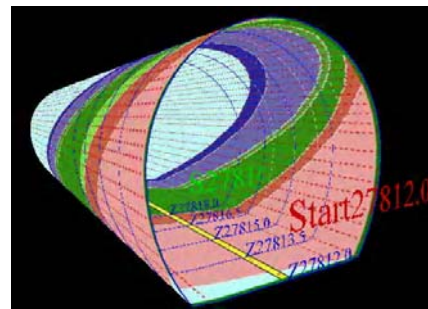
計、關鍵岩塊分析、前方地質預判，或區段地質模式建立。

傳統上繪製隧道地質展開圖方法，係專業地質工程師根據某隧道段區間中各輪進開挖斷面及側壁出露里程之地質測繪成果，再依隧道形狀需求、隧道方位角軸線長度為準，將兩側壁的測繪結果由底部往頂部展開成平面。傳統的手動繪製方法，對於矩形斷面尚不致太難，但對於圓弧斷面則繪製過程極為繁瑣。中興顧問社曾於1993年嘗試收集隧道地質資料，建立一有系統之資料庫，並由該讀取資料繪製隧道之展開圖。此系統稱為TUNLOG。其主要功能架構有資料輸入/修改、處理、繪圖輸出(列印報表，及繪製展開圖)三大部分。系統之執行分別由Base IV、MS Fortran、Micro Station等三項軟體加以支援。此系統曾於若干隧道實際應用，由於使用者輸入複雜度高、介面繁多，因此推廣成果不甚理想。

本文經由所研發GeoMap3D電腦程式直接由前述地質資料庫，依據斷面擷取之弱面資料、隧道開挖面形狀及隧道方位，指定隧道區段里程，可快速生成2D隧道地質展開圖，如圖六(a)所示。將2D隧道地質展開圖套貼於隧道3D空間即可快速建構完成隧道立體地質模型，如圖六(b)所示。圖六中僅有經由表一資料中取出層面資料加以分層填色所得；圖七中所示則為增加其他弱面(節理)並假定所有弱面連續性為100%情況時所得對應結果。

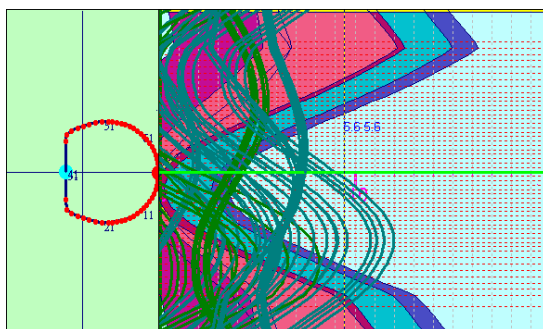


(a) 2-D

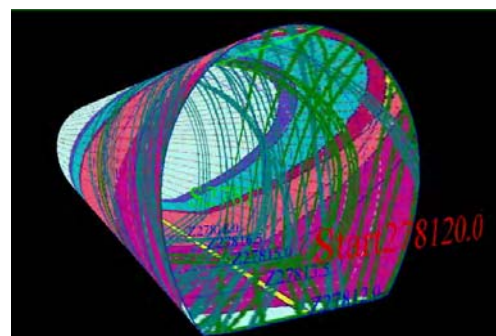


(b) 3-D

圖六 隧道地質展開圖(層面)



(a) 2-D

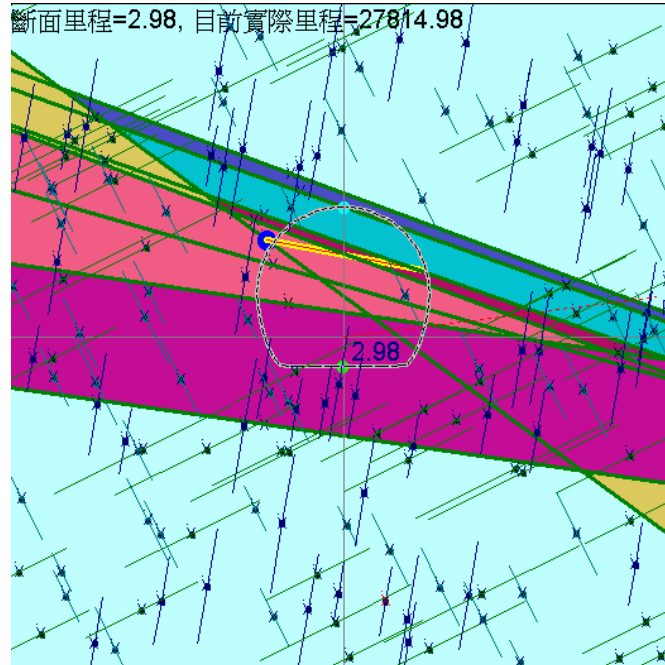


(b) 3-D

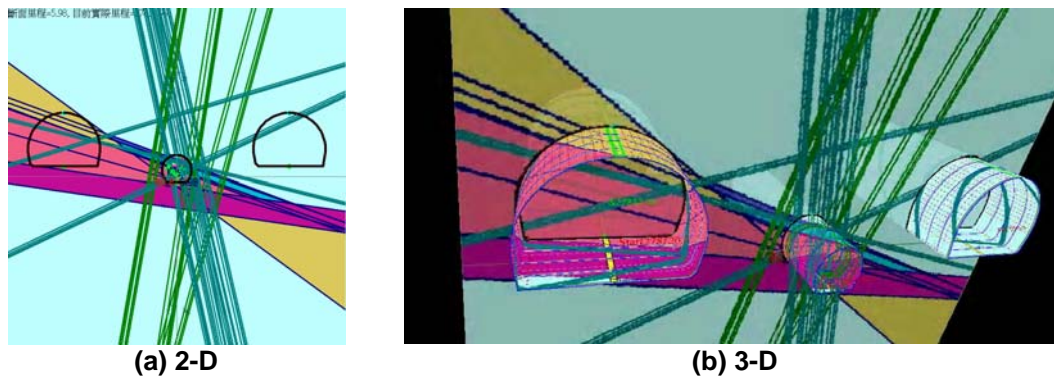
圖七 隧道地質展開圖(所有弱面)

電腦化之GeoMap3D系統可於地質展開圖區間任意里程處，內插繪製隧道斷面地質圖，如圖八所示。此功能將極有助於進行前方地質預判。本斷面圖中節理

模式依據俞旗文(1999)「弱面痕跡長度之二維視窗尺寸效應研究」中建議方法，由開挖斷面實測節理面平均點數與平均痕跡長度重建二維空間弱面分佈所得結果。經過此法之運用可使原本侷限於隧道斷面內之所有低連續性之弱面可與隧道相交而呈現於地質展開圖表面。



圖八 隧道地質展開圖(所有弱面)



圖九 並行隧道三維地質模型

隧道立體地質模型之建構主要係利用2D隧道地質展開圖輸出之影像，結合地質資料庫中隧道幾何資料與擷取之弱面數位資料，再將結果輸出寫成VRML2.0格式(Ames, et al., 1997)之檔案格式(*.wrl)，即可以個人電腦虛擬實境技術進行3D隧道地質展開圖。使用者利用網路瀏覽器(Internet Explorer)與網路瀏覽器外掛程式(如SGI公司之CosmoPlayer)，即可進行Internet互聯網之網上三維空間展示。此設計將有利於立體地質模型，在電腦螢幕上任意地進行縮放、各種角度瀏覽、飛行視覺模擬、並可將建置模型檔案，應用於遠端傳送與線上展示。圖九所示為

利用範例隧道(圖四、五；表一)之五個斷面輪進地質資料，透過GeoMap3D系統之處理，於三維空間展示範例導坑隧道與其後主坑隧道平行開挖時之地質模型，以供施工預判參考。

五、結論與建議

- (a) 由於目前電腦技術不斷進步，因此本文研發更有效率之岩盤隧道地質展開圖之電腦化製作方法，除以中文視窗環境建立系統各介面模組外，並使用電腦虛擬實境(Virtual Reality)技術，將隧道地質展開圖成果可於網際網路瀏覽，進行立體展示。
- (b) 隧道施工輪進中、每輪開挖面影像、地質構造資料，皆以地質資料庫方式儲存，除可大量降低文件數量外，對於地質資料之永久留存、查詢與統計分析等應用均極為便利。經由本文所研發GeoMap3D電腦程式直接由地質資料庫，依據斷面擷取之弱面資料、隧道開挖面形狀及隧道方位，指定隧道區段里程，可快速生成2D與3D隧道地質展開圖與三維地質模型。系統可以節省傳統作業所需大量人力，地質展開圖電腦化之後可迅速內外插取得不同里程斷面地質剖面協助地質師進行前方地質預判、進行弱面統計、岩楔分析等。最後成果可透過網際網路的傳輸三維地質模型虛擬實境檔，可使位處遠方之其他工程師與現場工作人員作及時溝通及建議，有效提昇隧道工作效率。

參考文獻

1. 中興工程顧問社(1993)，「隧道地質紀錄及繪圖程式TUNLOG使用手冊(修訂一版)」。
2. 王銘德、陳錦清(1993)，「關鍵岩塊理論於隧洞工程岩楔分析之應用」，第五屆大地工程研討會，台北縣龍門。
3. 蔡茂生(1994)，「岩體評分及地質記錄作業自動化」，營建知訊136 期，頁10-19。
4. 中興工程顧問社北宜工程處 (1996)，「導坑地質開挖資料檔案(里程27885 至 27742)」。
5. Ames, A.L, D. R. Nadeau. and J. L. Moreland (1997), "VRML 2.0 Source Book 2nd edition", John Wiley & Sons, Inc.
6. 俞旗文(1999)，「弱面痕跡長度之二維視窗尺寸效應研究」，中興工程季刊第六十四期。
7. 江金安、呂守陞(2000)，「隧道影像分析/三維顯示系統之建置」，國立台灣工業技術學院碩士論文。
8. 俞旗文、李國榮、楊黃政、林明華、張玉鄰(2002)，「岩盤隧道施工資料自動化處理系統」，中興工程顧問社工程研究基金專案研究報告(編號R-GT-02-04)。
9. 王純祥、白世偉(2003)，「三維地層信息系統在岩土工程中應用研究」，岩土力學第24卷第4期。
10. 俞旗文、葛文忠(2003)，「電腦三維地質圖之製作」，中華地理資訊學會2003年會暨學術研討會論文集，高雄。
11. 俞旗文(2003)，「隧道弱面岩楔分析與三維展示系統研發」，第十屆大地工程研討會論文集，台北三峽。