

深層岩體潛移邊坡滑動行為研究—以廬山地滑為例

林俐玲^{(1)*} 黃振全⁽²⁾ 顏呈仰⁽³⁾ 黃貞凱⁽⁴⁾ 鄭裕適⁽⁵⁾ 張益通⁽⁶⁾

摘要

廬山層為台灣脊梁山脈區西翼之厚層板岩分佈區，因劈理發達，容易沿劈理扭曲及碎裂，國內著名之邊坡滑動災害，如梨山、力行產業道路沿線等，多與此板岩特性有關。經研究變質岩區山坡，其葉理(劈理、片理)發達的特性，常使岩體受重力作用產生葉理位態變化，進而引發重力潛移作用。廬山地滑邊坡為一高傾角順向葉理岩坡深層潛移運動之典型案例。

由調查結果顯示，豪雨造成地下水入滲為本邊坡滑動之主因。因為岩性分佈的影響，使得坡體中央存有厚層風化板岩；暴雨時地下水入滲此一區域積蓄，並使孔隙水壓力上昇，導致有效應力下降，進而降低滑動面剪力強度，觸發潛移作用。

經由岩心劈理位態發現，滑動面附近的劈理面常呈高角度傾角，顯示岩體在潛移作用下使劈理位態發生變化，滑動深度可能達到80公尺以上。板岩地質特性為國內高山地區工程推動常面臨之重要課題，期以廬山地滑邊坡於板岩地層之調查成果，供後續相關應用之參考。

(**關鍵詞**：地滑，潛移作用，板岩)

Deep Seated Creep Deformation of a Slate Rock Slope – A Case Study of Landslide in Lushan Area

Li-Ling Lin⁽¹⁾, Chen-Chuan Huang⁽²⁾

Professor⁽¹⁾ and Graduate Student⁽²⁾, Department of Soil and Water Conservation, National Chung-Hsing University, Taichung402, Taiwan, R.O.C.

Cheng-Yan Yen⁽³⁾, Jen-Kai Huang⁽⁴⁾

Engineer⁽³⁾ and Manager⁽⁴⁾, Liming Engineering Consultants Co., LTD, Taichung 408, Taiwan, R.O.C.

⁽¹⁾ 國立中興大學水土保持學系教授，通訊作者 e-mail:lllin@dragon.nchu.edu.tw

⁽²⁾ 國立中興大學水土保持學系博士班研究生

⁽³⁾ 黎明工程顧問股份有限公司工程師

⁽⁴⁾ 黎明工程顧問股份有限公司經理

⁽⁵⁾ 水土保持局南投分局工程員

⁽⁶⁾ 水土保持局南投分局正工程司

Yu-Shih Cheng⁽⁵⁾, Yi-Tong Chang⁽⁶⁾

Specialist⁽⁵⁾ and Senior Specialist⁽⁶⁾, Nantou Branch, Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Nantou 540, Taiwan, R.O.C.

ABSTRACT

Lushan formation was found in thick slate region around the west flank of Taiwan Central Range. The rock slopes tend to deform or fracture along the well-developed slate cleavages, for example, Lishan and Lishin road etc. Studies show metamorphic rock slopes with well-developed foliations (i.e. cleavage or schistosity) tend to creep by gravity with changes of orientations of foliations. Lushan landslide demonstrates a typical deep-seated creep deformation of a slate rock slope with high dip angles.

The study shows the ground water infiltration brought up by torrential rain is the major cause of sliding. There is a layer of thick weathered slate around the center of the slope. The ground water accumulated in this area during rain storms causing higher pore pressure and lower effective stress. The creep of the slope was then triggered by relatively lower shear strength compared with increasing total stress of the slope added by ground water.

The orientations of rock samples show a trend of high dip angles around the sliding cleavages. It demonstrates a cleavage orientation change due to a slope creep and up to 80 meters deep. Overall, the geological character of slate is a significant engineering issue in mountain area of Taiwan. This study provides useful information for future engineering projects in slate area.

(Keywords: geological investigation, slate, slope, sliding)

前言

廬山溫泉上方邊坡，數十年來每逢豪大雨即有滑動破壞現象發生，83年道格颱風之後，本區陸續又受到賀伯颱風及921地震等災害影響，其中更以94年瑪莎及海棠颱風和95年69豪雨災情最為嚴重，96年柯羅莎颱風及97年卡玫基與辛樂克颱風亦均產生輕微的滑動破壞，不僅對依賴本公路進出的部落居民生計危害甚大，並且對下方的廬山溫泉

觀光區安全構成威脅，溫泉區的居民對家園走山的疑慮日深，而溫泉觀光的開發正日益蓬勃，面對此一潛在威脅可能產生之危害與損失，遂引起有關單位的重視(水土保持局第三工程所，2006，2008)。是以中央地質調查所、水土保持局等各級政府機關紛紛投入經費及心力針對本邊坡之滑動機制進行研究與調查，本文主要參考農委會水土保持局近3年來在本區域的調查成果，對於本區的滑動機制作一深入的分析探討。

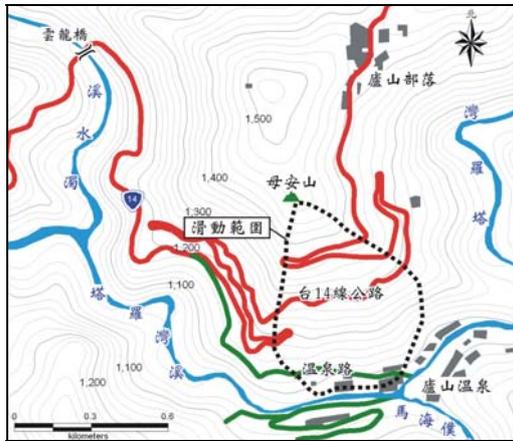


圖 1. 研究區位置圖

Figure 1. The location of study area.

研究區位於南投縣仁愛鄉精英村廬山溫泉區上方(圖1)，屬濁水溪上游支流塔羅灣溪流域。邊坡趾部為塔羅灣溪溪畔右岸(海拔1085公尺)，邊坡頂部則為母安山三角點(海拔1499公尺)，邊坡縱向長約820公尺、寬約480公尺，邊坡頂部與底部落差約400公尺，估計滑動範圍面積約30公頃。

省道台14線在本研究區坡面蜿蜒而上，為霧社通往廬山、平靜、靜觀、屯原等原住民部落之唯一道路，由於本區為一老舊地滑區，其中88K至91K路段，數十年來即有規模大小不一的滑動破壞，造成交通中斷，因初期破壞規模不大，因此未引起特別注意，但83年8月道格颱風對本區造成嚴重災情，不僅滑動加劇，造成交通中斷，滑動面下方的廬山溫泉區更因上游雲海附近產生大型崩塌，土石下移後在此河段淤積造成嚴重損失，重創溫泉區產業。

在調查期間曾使本邊坡產生明顯滑動的降雨事件，分別為海棠颱風(940716)、瑪莎颱風(940803)、69水災(950609)及辛樂克颱風(970911)。就近期觀察所得而言，其災

害情形可以歸納為以下4類破壞現象：

- (一)道路沿線構造物損壞
- (二)房舍傾倒、擠壓災害
- (三)塔羅灣溪淤塞、溢流災害
- (四)坡面受豪雨沖刷災害

上述災害情形在道路構造物損害及房屋傾倒災害部分與研究區坡體之地滑現象具有密不可分之關係，經調查應為邊坡潛移滑動所造成之現象。

文獻回顧

關於重力作用造成岩坡發生深層滑動的研究，近年來有許多的國內外學者發表類似案例，尤其是與本研究區相似之葉理發達岩坡特別容易發現此一情形。

Varnes(1978)根據沿斜坡向下移動的材料及方式，將山崩分為墜落、傾翻、滑動、側滑與流動等5基本類型(表1)，而深層的岩體潛移(Deep Creep)在歸納上屬流動型(flow)邊坡破壞模式，Varnes認為潛移作用不僅影響淺層土壤，亦可能發生在深層岩體。

Zischinsky(1966)發現在奧地利阿爾卑斯山會有大規模岩體在不連續的剪切面上緩慢流動的情形，並且邊坡上的葉理伴隨發生了位態的變化，使得位態在邊坡自由面發生傾向相反的情形，因此推測這是由潛移作用所造成的。

Ter-Stepanian(1966)認為邊坡上的岩體深部潛移作用(deep creep)所造成的變形現象不只會表現在土壤層，岩體亦會受到影響，其過程通常是極為緩慢的，且具有持續性。

表 1. 邊坡破壞型式 Varnes(1978)

Table 1. Type of slope deformation.

運動類型	材料種類		
	岩石	工程土壤	
		粗粒為主	細粒為主
墜落 Falls	岩石墜落	岩屑墜落	土墜落
傾覆 Topples	岩石傾覆	岩屑傾覆	土傾覆
滑動 Slides	轉動 Rotational	岩石崩移	岩屑崩移 土崩移
	移動 Translational	岩塊滑動	岩屑塊滑動 土塊滑動
		岩石滑動	岩屑滑動 土滑動
側落 Lateral Spreads	岩石側落	岩屑側落	土側落
流動 Flows	岩石流動 (深層潛移)	岩屑流動 (土層潛移)	土流動
複合運動	複合兩種或兩種以上之運動方式		

不同的地質構造環境及岩體特性會產生不同的深層潛移作用樣式，依據岩體及邊坡型態可區分為 3 種類型，分別為：常發生在順向坡的平面型深層潛移(planar deep creep)、常發生在短斜坡處的旋轉型深層潛移(rotational deep creep)及最常見於逆向坡的一般型深層潛移(general deep creep)。

Nemcok(1972)發現變質岩區山坡潛移作用具有以下特徵：變質岩為非均質的，葉理(劈理、片理)發達，受重力的作用常使葉理變形呈類似拱彎型的褶皺(buckling fold)的型態，變形延伸至坡趾，近地表的岩層被彎曲。在深部的潛移呈現較為塑性的性質，由於岩體為非均質，故大部分的不連續變形常沿著近地表的剪力面產生。此外，Nemcok亦發現受到潛移作用的岩層其往下傾倒的速度通常很緩慢，每年可能只有數公釐至數公分之間，但最大的潛移速度每天可達到 20 公分，或每年最大 6 公尺，而變形深度可達到 250-300 公尺深。

Radbruch-Hall(1978)對潛移作用做一個

較為正式的定義：潛移是一種崩塌的形式，在鄰近邊坡的地質材料以非常緩慢的方式往下或往外移動的作用，岩層沒有連續的破裂面，在一些地區邊坡岩層易受到重力的作用而產生向下傾倒的潛移現象。

由以上案例說明得知，深層的岩體潛移作用與岩石的葉理特性具有相當的關連性，日本學者 Chigira(1992)依據葉理位態的特性，將岩體潛移作用分成 4 大類型(圖 2)，其分類如下所述：

1. TYPE I. 順向坡的拱彎褶皺型(Buckling folds formed in consequent slopes)。
2. TYPE II. 逆向坡的拖曳褶皺型(Drag folds formed in obsequent slopes)。
3. TYPE III. 葉理高傾角的折彎褶皺型(Bending folds formed in slopes with steeply dipping foliation)。
4. TYPE IV. 順向坡的斷層型(Faults formed in consequent slopes)。

在 TYPE I 的順向坡類型中，通常發生在坡度比葉理傾角平緩的情況，因此岩層將受到底層基岩的束制無法自由活動，所以當岩體順葉理方向向下邊坡運動時，將使坡趾處產生拱彎褶皺(圖 3(b))。

而在此一類型的岩體潛移作用，其運動方向通常受葉理位態所控制，若葉理位態與坡向並不平行時，岩體運動方向將介於葉理與坡向之間。而趾部的拱彎褶皺同樣與潛移運動方向一樣，會受葉理位態的影響，褶皺的軸向會介於葉理位態與坡面坡向之間，而通常此類型的邊坡會在上邊坡的潛移岩體底層或趾部的拱彎褶皺附近發現局部的斷層。

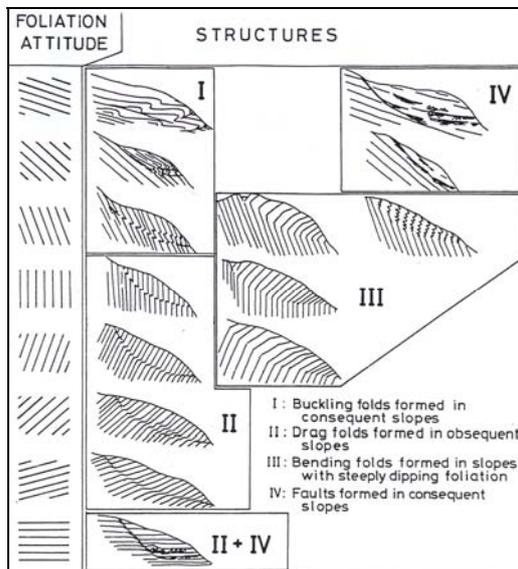


圖 2. 葉理位態與岩坡潛移類型

【摘自 Chigira(1992)】

Figure 2. Type of rock creep and foliation attitude.

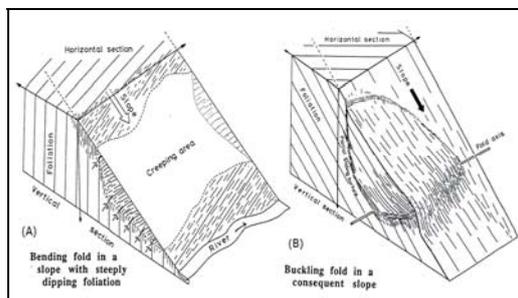


圖 3. 葉理與坡面傾角關係說明 type I.(順向坡型態(b))及 type III. (葉理高傾角型態(a))

【摘自 Chigira(1992)】

Figure 3. The relation of foliation and dip.

研究材料與方法

3.1 研究區概況

3.1.1 地理位置與交通

本地滑區位於南投埔里盆地東側與中央山脈能高山、奇萊山之間，座落於奇萊南

峰向西側延伸之支稜上。屬濁水河流域塔羅灣溪集水區，於塔羅灣溪與馬海僕溪匯流處的北邊。

台 14 線為主要對外聯絡道路，台 14 線西起彰化市，於埔里沿眉溪河谷進入仁愛鄉，經由南豐、大同、春陽和精英等 4 村，止於能高山麓屯原；支線台 14 甲線可由霧社經清境農場、合歡山通往大禹嶺銜接台 8 線。投 87 線於研究區起點附近與台 14 線相接，為廬山溫泉區的聯外道路。

3.1.2 產業

本區農產以溫帶果樹（蘋果、桃、梨）、高冷花卉、蔬菜及高山茶葉等高經濟作物為大宗。除農業之外，另一重要產業為觀光業，假日進入廬山溫泉區的觀光客相當可觀，為國家重要之觀光景點。其溫泉屬鹼性碳酸氫鈉泉，清澈無味，品質極佳，甚具觀光價值。

3.1.3 氣象與水文

蒐集中央氣象局日月潭氣象站 1942 年起迄 2007 年資料，另採用 1952 年後之廬山雨量站觀測資料，經整理結果，降雨集中在 5-9 月，年平均降雨量 2,496mm。

3.1.4 地形與地質

東臨能高諸山，北接合歡群峰，南面則有卓社大山，以西為埔里盆地。在台灣地形分區上，位於脊樑山脈帶，變質岩為主之地區，西接雪山山脈及玉山山脈，以東則為東台片岩山地。本地區河流兩岸的邊坡均有數層高度不等的河階地出現，下方的廬山溫泉區即位於最下層的河階台地上，屬高山河谷地形，河流的下切作用與兩岸的側蝕作用明顯，形成許多不穩定邊坡，各坑溝的向源侵

蝕作用也很常見。

本區在地質分區上屬於中央山脈西翼地質區的脊樑山脈帶（何春蓀，1986），岩層多受變形與變質作用影響，褶皺、斷層、岩石劈理等構造處處可見。屬中新世廬山層，主要為黑色到深灰色的硬頁岩、板岩和砂質頁岩組成，廬山層代表所有分布在中央山脈的脊樑山脈帶內中新世的硬頁岩及板岩系，它的標準出露地點就在本研究區下方的廬山溫泉(圖 4)。

3.2 邊坡破壞及地表變位情形

廬山邊坡明顯且劇烈之裂隙多半位於坡體之兩側；在邊坡西側依序為台 14 線 91K+600、89K+700、88K+350、88K+050 及投 87 線麗蘆飯店前道路等處，而在邊坡

東側依序為 91K+950、91K+350、90K+200 等處，這些裂隙方向多橫跨道路且與上下裂隙形成連結之現象，若將其加以連結則可以勾勒出一滑動體的形狀，而滑動體之下方即為涵碧莊飯店傾倒破壞及附近道路發生隆起擠壓裂隙之位置(圖 5)。

此一滑動體的地表變位情形，經過調查期間於台 14 線公路 89K+600~90K+300、91K+200~91K+600 等路段佈置兩條橫跨滑動區的測線觀測後發現，在滑動區外的觀測樁位幾乎沒有滑動位移，但在滑動區內的觀測樁位則在暴雨前後會產生明顯的變位量，並且變位向量頗為一致(圖 5)，顯示滑動區內坡體呈現整體向下移動之現象。由於滑動體內的地表變位頗為一致，且滑動區內的屋舍、建物則幾乎不見損壞跡象，據此推斷

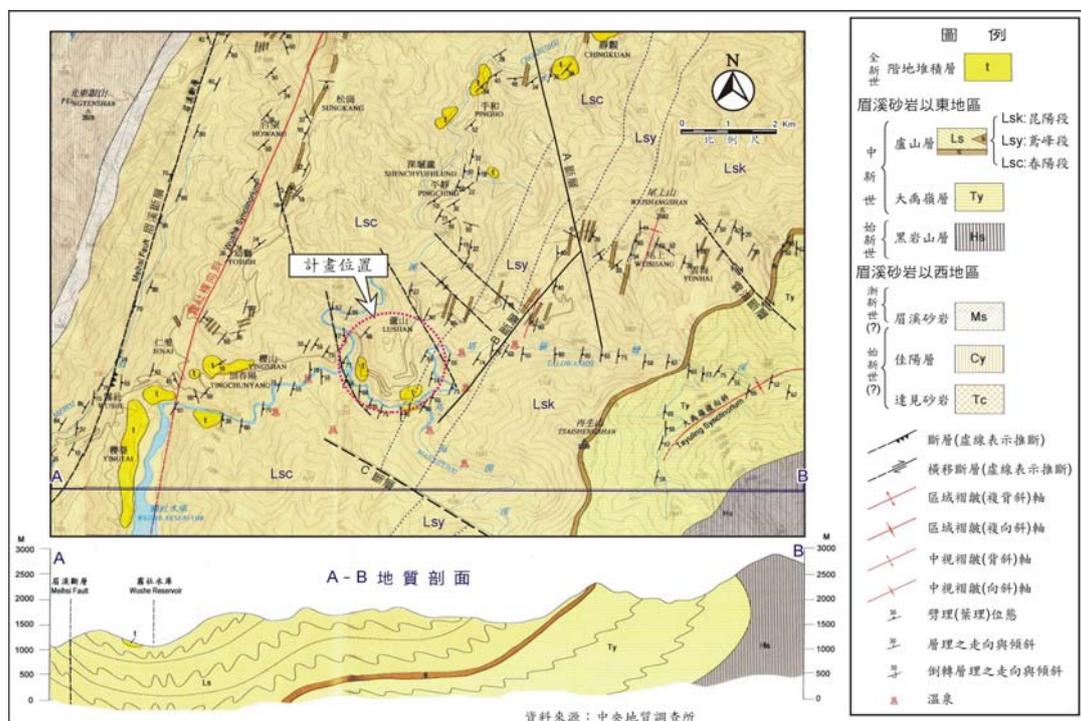


圖 4. 研究區區域地質圖

Figure 4. Geologic map of the study area.

滑動深度可能極深，滑動作用係成單一塊體向下運動，致使所量測到的運動向量幾乎為同一方向。

3.3 滑動面變位調查

本邊坡之滑動面調查主要採用以下兩種方式：

3.3.1 傾度管滑動面監測

自 94 年 6 月起共於本邊坡設置 10 處傾度管觀測孔，每個月進行 1 次人工量測。

3.3.2 時域反射法(TDR)滑動面監測

由於本研究區域屬老舊地滑區且地層滑動跡象明顯，因此除一般地滑地調查監測所

採用之傾斜儀等監測儀器之外，再佈置電子式 TDR 觀測井，主要目的為監測滑動深度，提供與人工計讀之傾度管互補比對的資料判釋依據。

96 年 9 月起於本邊坡主要縱斷面佈置 4 孔 TDR 觀測孔(如圖 6)，並採自動化方式監測，每天 1 次。時域反射法是一種以電磁波進行監測及探查的方法，基本原理與雷達(Radar)相似，但 TDR 之電磁波侷限在一維之傳輸線系統中發送與接收。由於時域反射技術埋設之電纜線本身即為一連續性且可多點量測的感應器，加上不受設置方向的限制，不易受地下物質的侵害，不因濕度、溫度、或地下水狀態的改變而有所影響，以及儀器

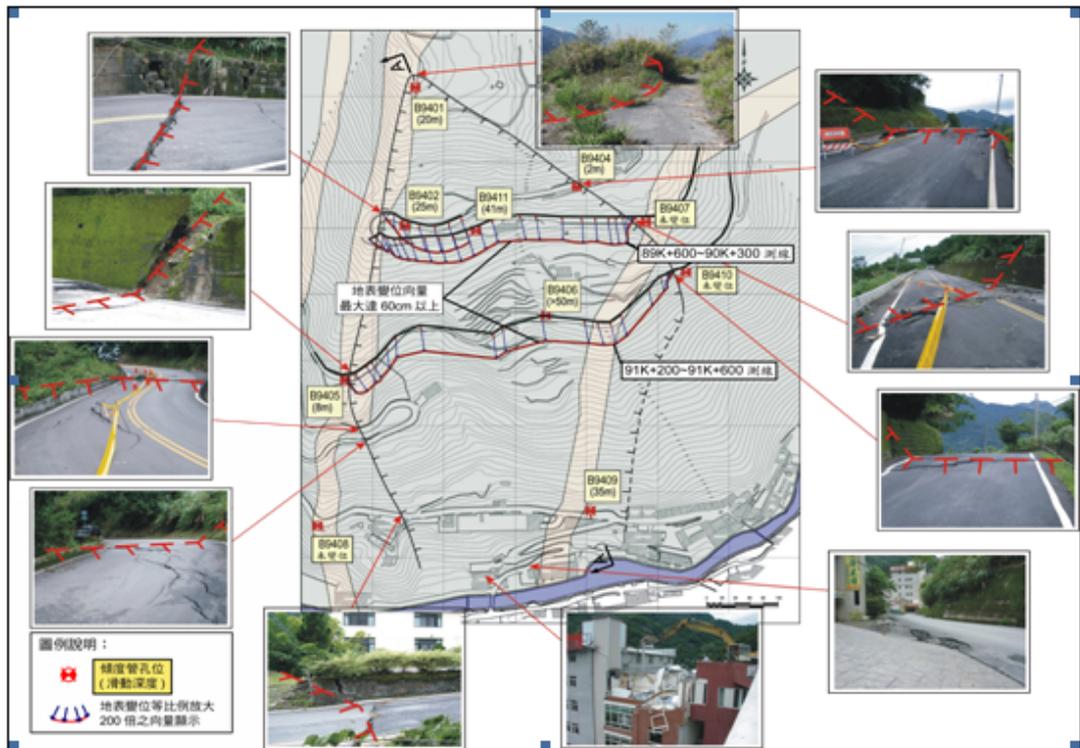


圖 5. 95 年 6 月 9 日水災邊坡裂隙及變位概況說明
Figure 5. Disasters of torrential rain, June 9, 2006.

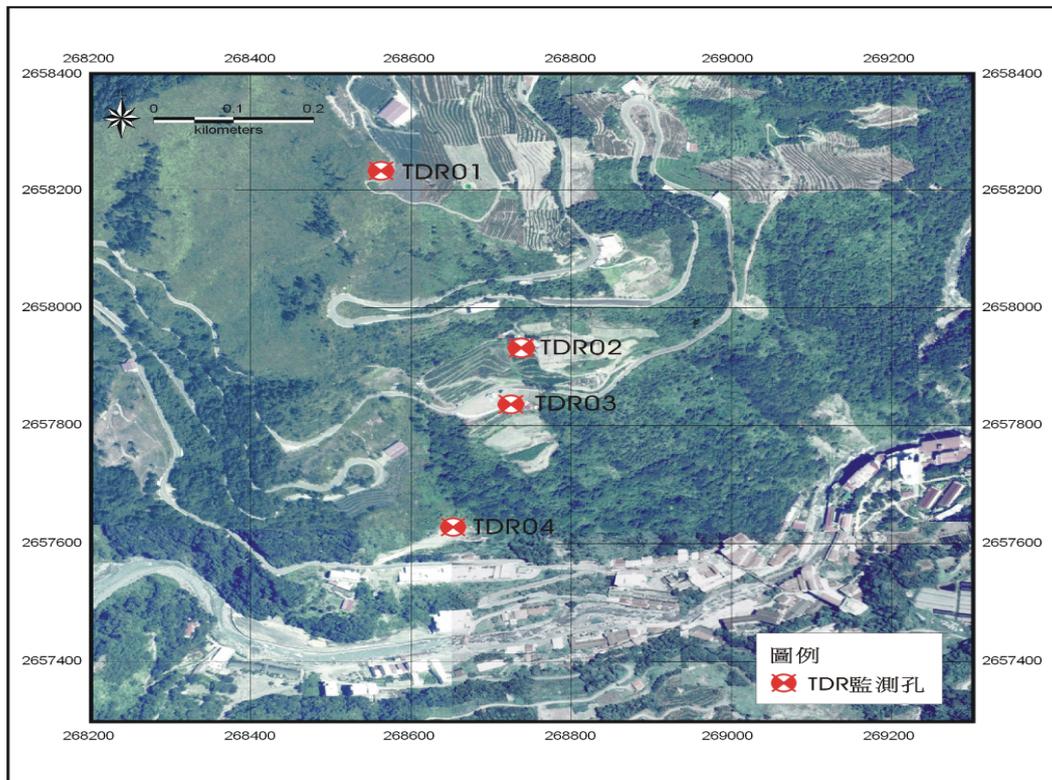


圖 6. TDR 監測孔位置圖

Figure 6. Monitor location of TDR.

設備簡便快速且具經濟實惠等優點，近年來在地滑現地調查的應用上已頗有取代傳統的架勢（蘇苗彬等，2006）。

TDR 製波器發出之脈衝訊號在遇到斷面材質不同或幾何形狀不同時會產生反射訊號，因此利用此原理來監測土體變形。首先在所要量測變形的土體上鑽孔，放入同軸纜線，然後用水泥漿填塞，使纜線、灌漿材料與土體緊密接合。隨著土體變形將應力傳至灌漿材料再傳給同軸纜線，當土體變形增加，TDR 反射之波形亦會隨之增加 (Su 1987; Lin et al. 2006)。

在地滑監測系統中，最重要的便是定出滑動層位置與地層變形量，分析及描述地層

滑動，一般測定地層變形的方式有傾斜觀測管或自動管內傾斜移等，各項監測儀器皆有其優缺點與適用性，並需要考量經濟性及效用，以較經濟的方法達到有效的監測目的（楊清良等，2003），TDR 以上孔式儀器為基礎，搭配被動式監測纜線，可用於現地工程監測，在某些特定情況下，可藉由 TDR 訊號所包含的訊息，量化局部剪力變形量（湯士弘等，2006），鑽孔放入同軸電纜並以水泥漿灌漿固結後，利用製波器及讀取設備，可以監測滑動情形，與傳統監測儀器比較，優點包括同軸電纜使用普遍購置容易，因此費用相對低廉，另有節省時間、即時顯示坡體滑動變位情形，以及透過網路傳輸，可以做遠端監控，研究人員不需於颱風豪雨

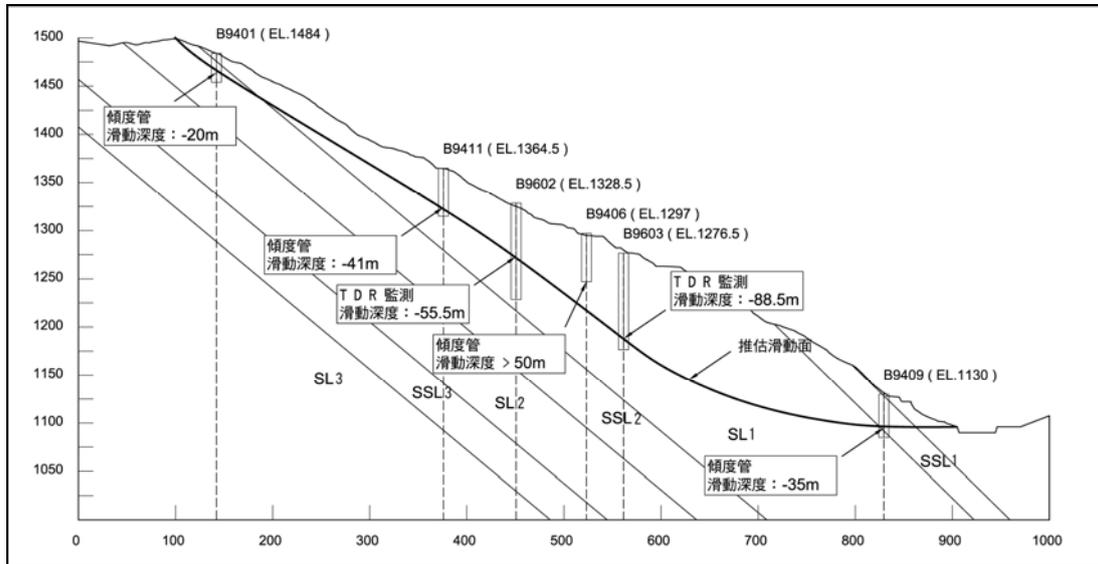


圖 7. 廬山地滑邊坡 A-A 剖面圖

Figure 7. A-A section of Lushan landslide.

災害發生的危險時刻到現地讀取資料，另外尚可利用因傾斜過大，無法繼續使用傾斜儀觀測的鑽孔埋入 TDR 同軸電纜，延長鑽孔觀測壽命及節省經費等優點，TDR 也有一些使用上的缺點，包括 TDR 設置深度必須超越監測的滑動面深度，若深度不足，則 TDR 是無法反映傾斜的程度的，另外依目前的研究，尚無法有效量化位移的程度，且 TDR 量測的結果無法判斷滑動的方向 (William F. Kane, 2000)，經由正確的使用，TDR 可以是非常好的量測工具，除了崩塌或滑動的監測外，也可以用在壩體、橋台與橋墩的安全監測，更可以與其他監測儀器結合，做自動化的觀測及預警系統 (William F. Kane et al. 2001)。

由監測結果顯示，滑動區內傾度管在69水災後均產生滑動變位，靠近滑動區兩側的滑動深度較淺，位於中央的滑動深度較深，符合地表變位調查對於單一滑動體的推

斷。而為補充傾度管調查之成果，於96年9月新設的TDR監測孔，則在該年度的柯羅莎颱風(10/08~10/11)過後，分別於TDR9602與TDR9603二孔偵測到地層剪動產生的反射波形，剪動深度分別為55.5M及88.5M。經此補充後，對於本研究區的掌握更加明確(圖7)，亦符合地表觀察對單一滑動體之推論。

結果與討論

4.1 地質構造模型

本地區為廬山層標準出露地點，區域岩層分佈主要屬廬山層春陽段，岩性以劈理面發達的暗灰色板岩為主。根據調查結果，本研究區板岩岩層依其岩性概分為板岩(SL)及砂質板岩(SSL)兩大類，岩層性質如下：

4.1.1 板岩(SL)

板岩為本地區最主要之岩性，一般為灰

黑色，質地堅硬，劈理面發達，越靠近地表，劈理面開裂程度越明顯，並多呈風化狀態，部分劈理發達並有重力潛移現象，使劈理呈現層間扭曲狀；劈理間隙多在 1 公分以下，劈理傾角度多為 40 度至 70 度之間，但時可見高角度劈理；於薄互層處，劈理多與層理平行。

4.1.2 砂質板岩(SSL)

部分板岩因砂質含量較高，具有類似砂岩之特徵與產狀，與板岩(SL)略有不同，因此歸類為砂質板岩。本類岩性劈理面較不發達，常被節理切割成塊狀，岩性通常較堅硬，常形成地形上的突出部。

在岩層分佈上主要以板岩(SL)為主，砂質板岩(SSL)則呈帶狀出露在板岩(SL)層內，而現地崩積層多為兩種岩層風化後堆積材料。前述幾條帶狀砂質板岩(SSL)層的走向大致平行，並與區域板劈理的走向一致，為東北-西南走向，向東北傾斜(圖 8)。

在弱面調查方面，根據以往研究指出，在廬山到中央山脈西側之間的板岩帶只有一組遍佈的劈理，此組遍佈的岩盤劈理屬軸向劈理，其位態為東北-西南走向，並向東傾斜，傾角約 40-60 度之間(羅偉，2007)；而本邊坡的弱面位態分佈與前述研究大致相符，主要弱面即為該組遍佈的板岩劈理面，經實地量測之節理統計結果，其位態大致為北偏東 10 至 40 度，向東南傾斜 40 至 70 度(圖 8)。除主要弱面(即劈理面)之外，本地區仍常見到兩組節理，即走向節理與傾向節理，其傾角多在 40 度至 70 度間(圖 8)。在這兩組節理中，又以走向為北偏西，向西南傾斜的節理組(傾向節理)為最優勢之節理

(predominant joint)。

4.2 滑動機制說明

在本邊坡案例中，與前述文獻相較同屬葉理(劈理)發達的岩坡，並且劈理位態與邊坡呈小角度斜交，地質構造上吻合 TYPE I 的順向坡類型，以下針對弱面位態與岩性分佈對本邊坡的影響分項說明：

4.2.1 弱面位態對邊坡的關係

本滑動體在外觀上呈角錐狀的型態，與一般常見的地滑邊坡樣態並不相同，其主要原因係受岩體弱面影響所致。將兩組主要的弱面位態(劈理面與傾向節理面)展繪到地形圖上時，可發現地表裂隙與弱面位態在地表的交線頗為吻合；西側的滑動體邊界可能受劈理位態所控制，東側的滑動體邊界受傾向節理所控制(圖 8)。

再觀察滑動面的形狀，若將滑動體上半部的傾度管或 TDR 監測孔滑動深度加以串連，可以劃出一條與劈理傾角相近的直線(圖 9)，顯示滑動面受弱面影響之特性。

弱面位態除造成滑動體形狀及滑動面的影響外，劈理走向與坡面不平行斜交也使滑動體產生西側較低、東側較高的不對稱現象(圖 8)；根據 Chigira(1992)研究，此係葉理(劈理)影響岩體運動方向所致(圖 3(b))。

4.2.2 岩性分佈對邊坡的影響

在地質調查中發現邊坡存有數條平行的帶狀砂質板岩分佈，邊坡西側的邊界裂隙沿砂質板岩層 SSL2 的分佈而發展(圖 8)，附近的傾度孔位亦在 SSL2 岩層的上方發現錯動變形，顯示滑動發生時，砂質板岩層因為岩體較為緻密、強度高，滑動面可能沿此岩

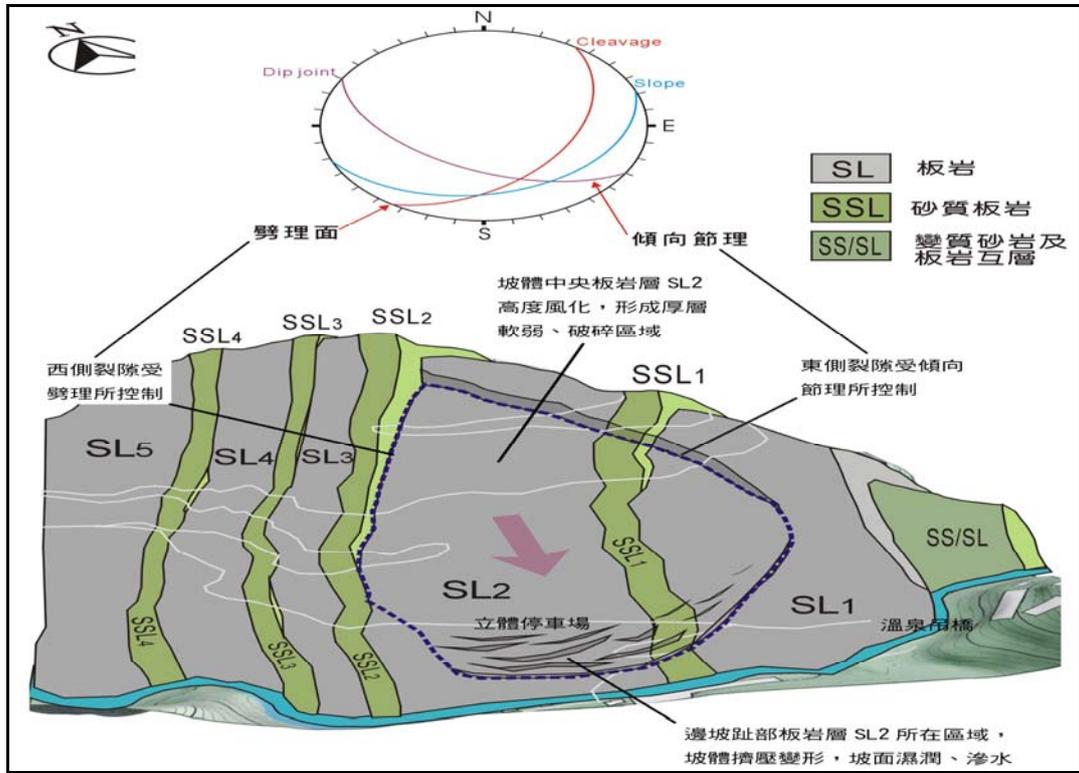


圖 8 地質構造模型說明

Figure 8. Geological model of study area.

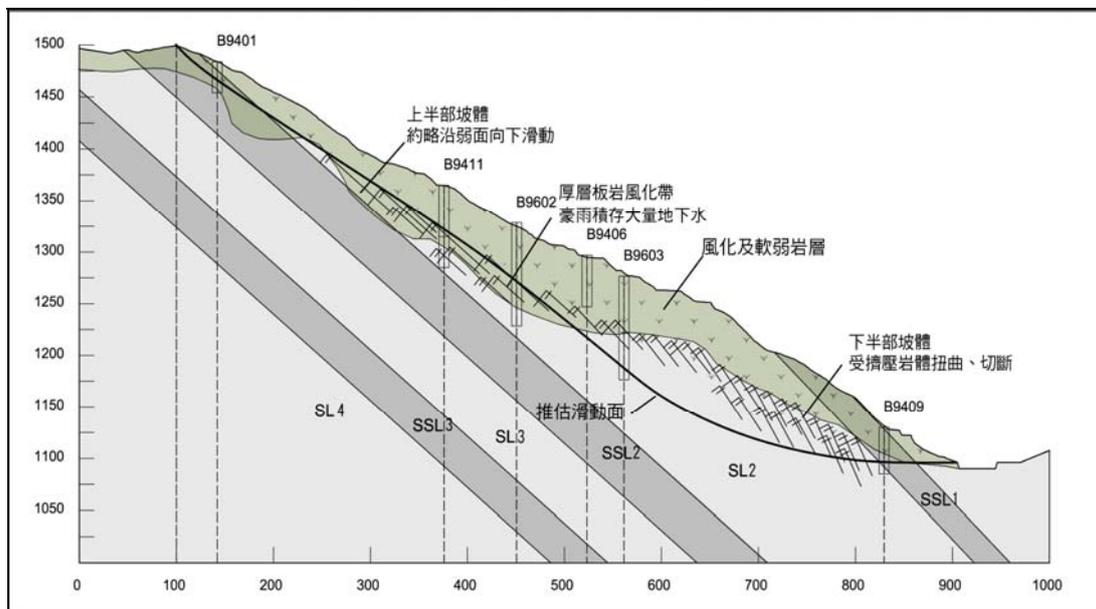


圖 9. 滑動機制說明

Figure 9. The mechanism of sliding.

層介面發生。而板岩層 SL2 夾在砂質板岩層 SSL1 與 SSL2 之間，其劈理高度發達的特性，使得此區域的岩盤高度風化，堅實岩盤深度較深。當暴雨侵襲時，地下水在此一區域蓄昇造成若從地表的現象觀察，邊坡趾部坡面濕潤、終年洩水不斷的區域亦為此板岩層 SL2 所在位置(廬山立體停車場附近)。

再者滑動發生時，坡趾處地表擠壓變形、房屋傾倒等破壞現象多發生在板岩層 SL2 的區域，顯示此一板岩層 SL2 確為本地滑區地質上的弱帶(圖 8)；是以，傳統廬山溫泉商店的開發多集中在岩性較強的砂質板岩層 SSL1 以東的溫泉吊橋附近；除前述劈理位態造成岩體不對稱運動的因素外，岩性的差異也是砂質板岩層 SSL1 區域破壞現象較少的原因之一。

4.2.3 滑動作用對板岩剪切的影響

根據 Chigira(1992)研究，TYPE I 的順向坡類型在滑動體的底層常有局部的斷層現象，在本研究區邊坡確為一常見的情形，在各鑽探孔位的滑動面附近的確可以發現滑動的剪裂帶，其外觀頗為類似斷層痕跡。

至於文獻所述，潛移作用對板岩劈理產生的變化，多半可在坡址處之滑動面附近發現，根據附近深度之鑽探岩心調查，幾乎均為接近 90 度的高角度劈理傾角變化，推斷應為滑動作用擠壓板岩所產生之劈理變化。

結論

由監測資料顯示，豪雨造成地下水入滲為本邊坡滑動主因，因為岩性分佈的影響，使得坡體中段的板岩層 SL2 存在厚層之軟弱

風化帶；暴雨時地下水入滲此區域積蓄，造成孔隙水壓力上昇，引起有效應力下降，並引致滑動面強度下降而不利邊坡穩定性。

因劈理發達的特性，使坡體形成無數微小的潛在岩體。當暴雨入滲增加坡體重量、降低剪力強度後，順劈理位態向下運動的岩體，終致下方束制岩體因岩性過於破碎，無力支撐上方荷重坡體，而觸發潛移作用。坡體重量增加，且引起孔隙水壓力增加，導致有效應力下降，不利邊坡穩定性。

誌謝

本研究參採行政院農業委員會水土保持局南投分局委辦「廬山地滑監測及後續治理規劃」、經濟部中央地質調查所委辦「地質敏感區災害潛勢評估與監測－重大山崩災害潛勢地區災害模擬與監測(1/4)」成果報告方得以順利完成，特此感謝；另並感謝行政院農業委員會水土保持局吳輝龍局長的行政團隊、地質專家謝敬義先生及中興大學蘇苗彬教授在調查期間的指導以及交通大學林志平教授在TDR監測的協助。

參考文獻

1. 行政院農業委員會水土保持局第三工程所 (2006)，台 14 線 88K 至 91K 地滑地治理調查規劃工程成果報告，共 241 頁。
2. 行政院農業委員會水土保持局南投分局 (2008)，廬山地滑監測及後續治理規劃成果報告，共 270 頁。
3. 何春蓀 (1986)，台灣地質概論，經濟部中

- 央地質調查所，P11-100
4. 徐鐵良 (2002)，地質與工程，中國工程師學會，P212。
 5. 湯士弘、林志平、林文欽、鐘志忠、董家鈞、李建成(2006)，2006 岩盤工程研討會論文集，609-620。
 6. 黃振全、林俐玲、顏呈仰、黃貞凱、張益通、鄭裕適(2008)，應用 TDR 量測台 14 線 88K 地滑之研究，第 6 屆海峽兩岸山地災害與環境保育學術研討會論文集，B-10。
 7. 楊清良、蘇苗彬(2003)，運用時域反射技術與傾斜觀測管在量測地層變形之適用性研究，p1-13。
 8. 經濟部中央地質調查所(2006)，南投縣仁愛鄉廬山岩體滑動勘察報告，P2。
 9. 經濟部中央地質調查所(2008)，地質敏感區災害潛勢評估與監測—重大山崩災害潛勢地區災害模擬與監測(1/4)期末報告，共 172 頁。
 10. 羅偉、楊昭男、劉佳玫、郭人瑋(2007)，「臺灣中央山脈能高越嶺路沿線岩石劈理形態之初步研究」，資源與環境學術研討會，花蓮。
 11. 蘇苗彬、廖建鑫 (2006)，使用 TDR 量測梨山地層滑動面之成果分析，2006 岩盤工程研討會論文集，p358
 12. Chigira, M. (1992) Long-term Gravitational deformation of rocks by mass rock creep: *Engineering Geology*, 32, 157-184.
 13. Dowding, C.H., Dussud, M.L., Kane, W.F. and O'Connor, K.M. (2003), "Monitoring Deformation in Rock and Soil with TDR Sensor Cables", *Geotechnical Instrumentation news*, June 2003, pp.51-599
 14. Lin and Tang, "Quantification of Cable Deformation with Time Domain Reflectometry: Implication for Landslide Monitoring", *Geotechnical Testing Journal*, in print (2006)
 15. Nemcok, A.(1972) Gravitational slope deformation in high mountains: *Proc. 24th Int. Geol. Congr., Montreal, Sect., 13*, 132-142.
 16. Radbruch-Hall, D. (1978) Gravitational creep of rock masses on slopes. In: B. Voight (Editor), *Rockslides and Avalanches, 1. Natural Phenomena*. Elsevier, Amsterdam, 607-657.
 17. Su, M.B., "Quantification of Cable Deformation with Time Domain Reflectometry," Ph.D. Dissertation, Northwestern Univ., Evanston, IL, 112 pp (1987).
 18. Ter-Stepanian, G. I. (1966) Types of depth creep of slopes in rock masses: *Proc. 1st Congr. Int. Soc. Rock Mechanics. Lisbon., 2*, 157-160.
 19. Varnes, D. J. (1978) Slope movement types and processes: In *Landslides, Analysis and Control. Nat. Acad. Sci. Spec. Rep.*, 176, 11-35.
 20. William F. Kane (2000), "Monitoring Slope Movement with Time Domain Reflectometry", *Geotechnical Field Instrumentation: Application for Engineering and Geologists*, pp.1-8
 21. William F. Kane, Timothy J. Beck and

Jeremy J. Hughes (2001), "Application of time domain reflectometry to landslide and slope monitoring", TDR 2001, Second International Symposium and Workshop on Time Domain Reflectometry for Innovative Geotechnical Applications, pp.1-10

22. Zischinsky, U. (1966) On the deformation of high slopes: Proc.1st Congr.Int. Soc.

Rock Mechanics. Lisbon., 2, 179-185.

98年05月25日收件

98年06月08日修改

98年08月01日接受