

台灣中部南投丘陵地區地滑之特性

王文能⁽¹⁾ 吳仁明⁽²⁾ 張義雄⁽³⁾ 謝金德⁽⁴⁾

摘要

南投丘陵係由膠結鬆散的砂岩夾頁岩所構成，並呈明顯的單面山或豚背嶺地形，其順向坡為地滑頻發之處。雙坑與過溪城兩地滑為南投丘陵兩標準的順向坡地滑，地表地質、鑽探、孔內傾斜管、地下水等調查結果，顯示該等地滑均發生於頭料山層香山相的地層內，地層呈南北走向，向東傾斜 $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ ；每一地滑均由數個滑動體所構成，滑動層為黃褐色表土與風化砂岩塊，透水性佳，厚度 3~14m，其下為透水性較差之灰色新鮮岩盤；降雨致使地下水壓上昇，是地滑的主要誘因；由於雙坑地滑為擠壓式滑動，而過溪城地滑則為牽引式滑動，因此在治理對策上，前者應先處理上邊坡，後者則先穩定下邊坡滑動體。

(關鍵詞：地滑、順向坡、擠壓式滑動、牽引式滑動)

Characteristics of Landslides in the Hilly Region of Nantou, Central Taiwan

Wen-Neng Wang, Jen-Ming Wu

Energy and Resources Laboratories, Industrial Technology Research Institute
Hsinchu, Taiwan 310, R.O.C.

Yih-Shong Chang, Chin-Deh Hsieh

Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan
Nantou, Taiwan 540, R.O.C.

ABSTRACT

The geological formation of hilly land in Nantou is mainly composed of loosely-cemented sandstone alternated with shale. The cuesta landscape is well-developed. Landslides usually occur on dipslopes. Typical examples of landslides on dipslopes can be found in the vicinity of Shuang-Keng and Guoh-Shi-Cherng villages. The results indicate all landslides occurred in the stratum of Toukoshan Formation. The outcrops strike N-S and dip $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ to the east. Each landslide consists of several sliding blocks. The sliding blocks comprise yellowish brown soils and weathered sandstone, and are considered rather permeable. The blocks, underlain by fresh grayish sandstone, ranged 3~14m in thickness. Increase of pore-water pressure induced by rainfall is identified as the triggering factor of landslides. As the Shuang-Keng landslide

-
- (1) 工業技術研究院能源與資源研究所地礦組地工室主任
 - (2) 工業技術研究院能源與資源研究所地礦組地工室研究員
 - (3) 行政院農業委員會水土保持局第三工程所長
 - (4) 行政院農業委員會水土保持局簡任技正

shows characteristics of progressive movement, remedial measures are recommended to remove the weight of the crown area. The Guoh-Shi-Cherng landslide exhibits a regressive behavior, priority should be given to the stabilization of the toe area.

(Key Words: landslide , dip-slope ,progressive movement , regressive movement)

一、前言

地滑屬於地質災害之一，它是指在某些特殊地質環境的邊坡，受到重力、地下水等作用，而使邊坡的地質材料，沿著某一軟弱帶，發生較大規模且斷斷續續的滑動。因此，在進行地滑治理規劃時，應先瞭解其地質環境後，再選適當工程組合，方能取得經濟而有效的成果。

台灣本島位處造山活動帶上，即在歐亞大陸板塊和菲律賓海盆板塊衝撞之縫合線區，由於此兩板塊相互擠壓，造成了一些與工程建設有關之地質現象。台灣地區依各個地質時代的沉積物，並承受不同過程的地質構造作用的結果，大致可分為澎湖群島、濱海平原、西部麓山帶、中央山脈西翼、中央山脈東翼、台東縱谷、及海岸山脈等數個主要地質區（何春蓀，1986）（圖 1）；每一地質區呈現不同的地質特性，因此，所發生的地滑特性亦隨之而異。

本文係以西部麓山帶地質區中西段的山投丘陵為例，說明其地滑特性與治理構想。

二、南投丘陵區的自然背景

西部麓山帶由中央山脈西側的起伏山地（加裡山山脈與阿里山山脈）開始，向西漸變為較低緩的丘陵（如，豐原丘陵、南投丘陵），更西進入臺地（如，大肚台地、八卦山台地）。

本地質區內的最早沉積物在漸新世時已經開始，沉積作用歷經中新世、上新世，至更新世初期，爾後發生主要造山運動，沉積在盆地內的岩層經過褶曲及斷層作用，造成本地質區內的許多構造現象。岩層受擠壓

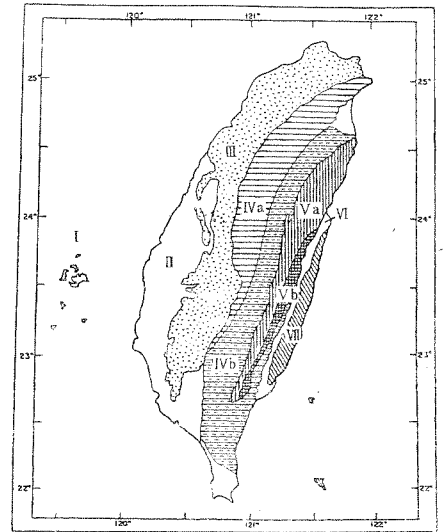


圖 1 臺灣地質分區圖⁽¹⁾

Fig. 1 Geologic provinces of Taiwan⁽¹⁾

變動的強度，由麓山帶的東部向西逐漸減弱，因此，在麓山帶的東部，緊密而不對稱的褶曲和低角度的逆斷層特別顯著，在西部的丘陵地和台地都是以平緩的褶曲為主，斷層的數目和規模也向西減低（何春蓀，1986）。

南投丘陵位於西部麓山帶地質區的中西段，是烏溪南岸至濁水溪北岸間的丘陵性山地（林朝榮，1957），山峰或稜線的標高，大多在 200~300m 間。南投丘陵之東西兩側為雙逆斷層和三義(車籠埔)斷層所限，而分別與集集大山山脈及南投平原相鄰；丘陵區本身大致為一向斜山陵，但向斜東翼被蹄貓斷層截失，因而出露於南投丘陵的地層，由西而東遞新，地層大致呈南北走向，向東傾斜 15°~30°（圖 2）。

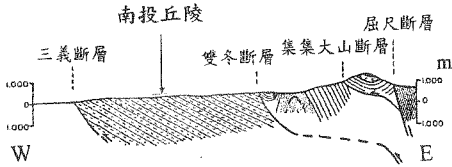


圖 2 南投丘陵區地質構造剖面圖

Fig. 2 Structure section across the Nantou hill region

本區出露的岩層雖未經強烈的擠壓變動作用，但是屬於較新的地層，岩石膠結鬆散，透水層與難透水層交互成層，地層傾角亦較緩，風化岩層大多限於地表淺處，故地滑多為順向坡滑動，且滑動面位置及地下水位，亦大多較淺。

三、地滑的發育環境

1. 地形

地形坡度是地滑發育的基本地形條件，根據研究結果，發現坡度小於 10° 的邊坡，鮮有地滑發生； $15^\circ \sim 35^\circ$ 的邊坡上，地滑的分佈顯著增加。

南投丘陵整體上呈一系列的單面山 (Cuesta) 地形，其東側為向東傾斜 $15^\circ \sim 30^\circ$ 的順向坡，是地滑頻發的地形坡面。

2. 地質

地滑的分佈常具區域集中性，而這種區域集中性總是與某些岩層有密切的關係，亦即地層控制了地滑的分布集中性。

根據地層岩性與地滑發育的相關程度，可以把地層分為穩定地層、偶滑地層、易滑地層等三類；其中，易滑地層是指易於發生地滑的地層，包括呈區域性分布的粘性土、頁岩、泥岩、軟弱岩、

板岩、千枚岩等。

出露於南投丘陵的地層，主要為卓蘭層與頭嵙山層香山相，該等地層係由數十公分至數公尺厚、淡棕~淡灰色、細粒砂岩或粉砂岩，夾數公分至數十公分厚之灰色頁岩所組成；由於地層年代較新，故砂岩的膠結都相當鬆散，透水性佳，強度低，單軸抗壓強度多在 $200\text{kg}/\text{cm}^2$ 以下；頁岩係具葉理 (fissility) 的細粒泥質岩石，屬於難透水層，且強度亦不高；因此，卓蘭層與頭嵙山層香山相均屬於易滑地層。

3. 降雨

降雨對地滑發展過程的作用有二，一是侵蝕並軟化不連續面，加速滑動帶的形成；二是增加滑動體的重量，誘發滑動。一般而言，年降雨量在 500mm 以上的區域即有地滑分佈， $1,000\text{mm}$ 以上的區域就有較多的地滑分佈。

南投丘陵地區年平均降雨量約為 $2,000\text{mm}$ ，雨量多集中在每年的 $5 \sim 9$ 月；月降雨量超過 600mm 者，多出現於 $8、9$ 月份；最大日降雨量，係民國 79 年 8 月 19 日的 213.5mm 。86 年 6 月 4~30 日間的累積降雨量為 648.5mm ，其中，只有 6 月 8、18、19、25、28、及 30 日等 6 天沒下雨，故加上 7 月 1 日的 110mm 降雨量 (圖 3)，則累積降雨量達 760mm 左右，超過年平均降雨量的三分之一，誘發南投丘陵南段的雙坑路尾與過溪城兩大規模的地滑，地表構造物及農作物均受到嚴重損害；爾後，隨著降雨的多寡，雖有多少的滑動，但 9 月上旬以後，到翌 (87) 年 1 月上旬間，幾無降雨，地表亦未發現滑動現象；87 年 2 月 4 日~19 日間及 5 月 19 日~6 月 3 日間的累積降雨量，分別為 488mm 及 370mm ，因而亦分別於 2 月 20 日及 6 月 3 日，再度發生明顯的滑動。因此，連續降雨可謂是本區地滑的主要誘因之一。

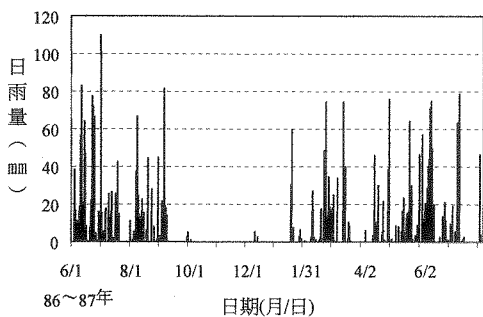


圖 3 南投丘陵區降雨量統計圖

Fig. 3 Daily rainfall in the study area (1997.6 ~1998.7)

四、南投丘陵區的地滑特性

頭料山層香山相的分佈範圍佔南投丘陵總面積的 1/2 以上，而雙坑地滑與過溪城地滑是頭料山層香山相內相當典型的地滑(圖 4~5)，因此，該等地滑的特性，大致可代表南投丘陵區內其他地滑的特性。

1. 平面滑動

依滑動面的幾何形狀，可將地滑的滑動形態分為平面滑動、弧形滑動、複合形滑動。

南投丘陵區同斜構造發達，地形多呈單面山，多數地滑發生在順向坡上，滑動面受層理控制而以平面滑動為多。

2. 淺層滑動

根據滑動面深度(h)，可將地滑分類為表層滑動($h < 5m$)，淺層滑動($5m < h < 15m$)，中層滑動($15m < h < 30m$)，深層滑動($31m < h < 50m$)及超深層滑動($h > 50m$)等。

本區地滑大多為淺層滑動。根據雙坑

與過溪城兩地滑區地質鑽探結果，得知自地表至地表下 3~14m 處(表 1、2)，均為黃棕色之表土層與黃棕色之風化砂岩，是為風化岩層；再往地下深處，轉為灰色的砂岩或粉砂岩與頁岩之互層，是為新鮮岩盤。若將各鑽孔間之風化岩層與新鮮岩盤的界面連結起來，卻幾乎與層面一致，因此前述風化岩層應為滑動層(圖 6~7)；滑動層與新鮮岩盤的界面，即為滑動面。

3. 牽引式滑動或推擠式滑動

依地滑起動時的力學特徵，可分為 1) 牽引式滑動，即下邊坡滑動體或滑動體腳部先滑動，使上邊坡滑動體或滑動體頭部失去支撐而滑動；2) 推擠式滑動，即從上邊坡開裂，並向下邊坡擠壓而發生滑動。

過溪城地滑區包含 A、B、C、D 及 E 等五滑動體(圖 5)。A 滑動體所在位置地勢最高，除了西南側出現一條長 20m 的側方裂隙外，滑動體內並無較明顯的滑動現象；B 滑動體緊接著 A 滑動體東南側的趾部，滑動體西半部出現較多的張力裂隙，東半部則較不明顯。

C 滑動體位於 B 滑動體之東南，沿著高約 5m 的舊滑落崖下，有寬十餘公尺的下陷帶(落差 1m 左右)，不但裂隙較多，而且有積水情形，但是腳部的壓力裂隙並不甚明顯。另外，根據表 1 的孔內傾斜結果，得知 A、B、C 三滑動體的滑動順序，是從 C 滑動體開始，爾後帶動 B、A 滑動體的牽引式滑動。

表 2 係雙坑地滑區孔內傾斜儀的量測結果，顯示在同一測線中，頭部的滑動面累積位移量，大多比足部者為大，而且，頭部之孔內傾斜管被剪斷的時間，亦比足部者為早，證實本地層滑動係屬於上邊坡往下邊坡擠壓的推擠式滑動。

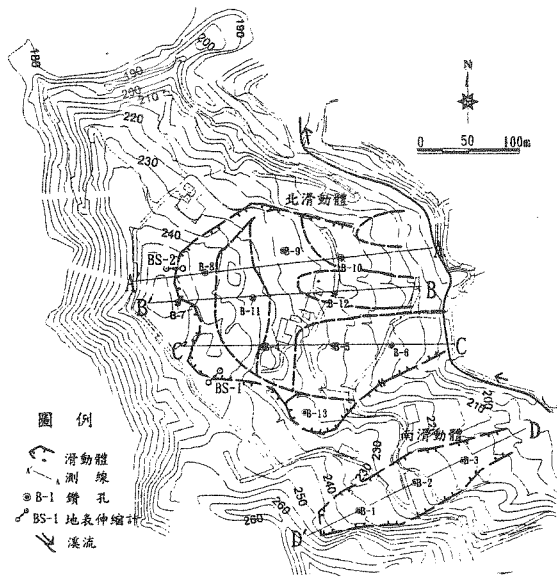


圖 4 雙坑地滑地形圖

Fig. 4 The topographic map of Shuang-Keng landslide

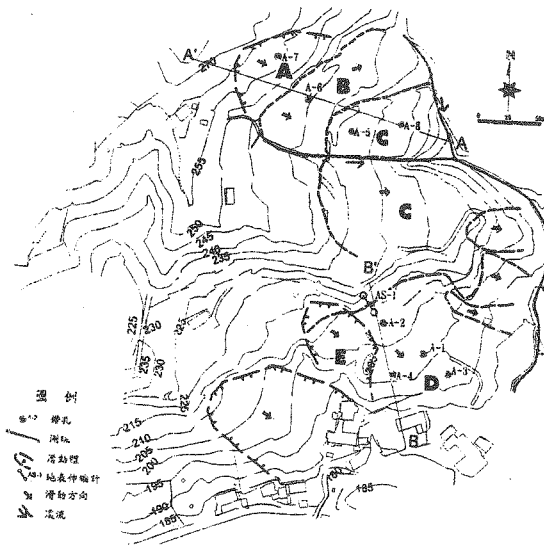


圖 5 過溪城地滑地形圖

Fig. 5 The topographic map of Guoh-Shi-Cherng landslide

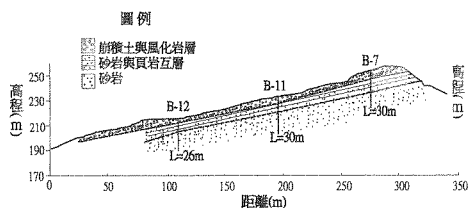


圖 6 雙坑地滑區 B-B' 地質剖面圖
Fig. 6 Geologic profile along B-B' section in Shuang-Keng landslide

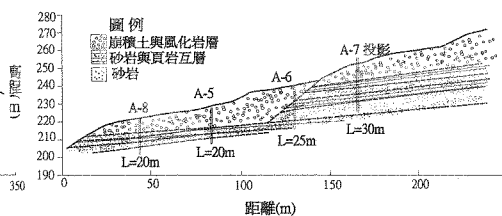


圖 7 過溪城地滑區 A-A' 地質剖面圖
Fig. 7 Geologic profile along A-A' section in Guoh-Shi-Cherng landslide

表 1 過溪城地滑孔內傾斜儀量測結果

Table 1 Results of inclinometer monitoring in Guoh-Shi-Cherng landslide

孔號	孔深(m)	滑動面深度(m)	累積位移量(cm)	說 明
A-5	20	4.1	1.64	87/6/11 傾斜儀僅能下至 4.1m
A-6	25	2.0	3.77	87/6/11 傾斜儀僅能下至 2.0m
A-7	30	2.5	2.70	87/7/31 傾斜儀僅能下至 2.5m
A-8	20	3.3	2.76	87/6/11 傾斜儀僅能下至 3.3m

表 2 雙坑地滑區孔內傾斜儀量測結果

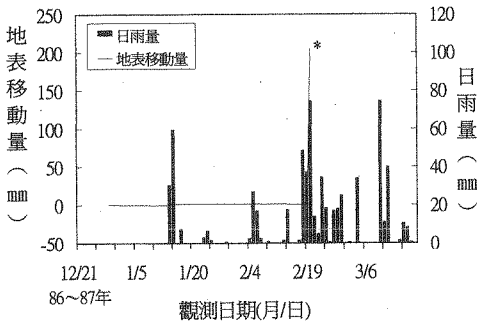
Table 2 Results of inclinometer monitoring in Shuang-Keng landslide

孔號	孔深(m)	滑動面深度(m)	累積位移量(cm)	說 明
B-1	25	2.5	3.19	87/6/11 傾斜儀僅能下至 2.5m
B-2	20	4.5	1.45	87/6/11 傾斜儀僅能下至 4.5m
B-3	20	4.2	1.14	87/6/11 傾斜儀僅能下至 4.2m
B-4	25	6.5	4.90	87/4/9 傾斜儀僅能下至 6.5m
B-5	20	4.0	4.11	87/4/9 傾斜儀僅能下至 4.0m
B-6	20	4.0	1.79	87/6/11 傾斜管遭施工破壞
B-7	30	7.0	—	尚未觀測到滑動面
B-8	25	5.0	1.03	87/2/25 傾斜儀僅能下至 5.0m
B-9	25	2.5	1.23	87/2/25 傾斜儀僅能下至 2.5m
B-10	30	4.5	3.38	87/4/9 傾斜儀僅能下至 4.5m
B-11	25	6.5	4.15	87/2/25 傾斜儀僅能下至 6.5m
B-12	26	3.5	1.62	87/4/9 傾斜儀僅能下至 3.5m

4. 降雨與地下水為主要誘因

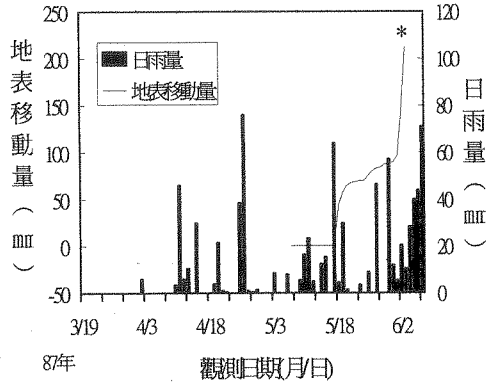
根據雙坑地滑區之地表伸縮計(編號 BS-1, 2 及 BS-1', 2') 的觀測資料(圖 8~11), 86 年 12 月至 87 年 1 月上旬間無降雨, 故 BS-1 與 BS-2 兩處地表並無滑動現象; 87 年 1 月 14~15 日的累積雨量 90mm, 而 BS-1 與 BS-2 兩處的地表移動量分別為 1.7mm 與 -3.0mm; 同年 2 月 18~19 日的累積雨量 85.5mm, 該兩處開始不穩定(地表移動量 BS-1=-0.2mm, BS-2=-4.0mm), 隨著後續降雨, 促使頭部發生大量滑動, BS-1 與 BS-2 兩伸縮計因而先後於 2 月 20 日及 24 日損毀, 裂隙、湧水等滑動現象則隨著後續降雨, 自地滑頭部往足部漸遞出現, 至翌(3)月 12 日左右, 才出現在趾部附近。另外, BS-1' 與 BS-2' 由於 5 月 17~18 日的降雨, 累積雨量 68.5mm, 有明顯的滑動, 滑動量分別為 43.6mm 與 105.6mm, 爾後, 隨著降雨而斷斷續續滑動, 至 6 月 3 日, 累積雨量 264.5mm, 再度發生大量滑動, 並使 BS-1' 與 BS-2' 兩伸縮計損毀, 但趾部的滑動現象, 遲至 6 月 7 日左右才出現。

由前述觀測資料, 得知雙坑地層滑動與降雨有密切的關係, 且當兩天內的累積雨量達到 70mm 左右時, 即開始滑動, 表示屬於較淺層的滑動; 滑動的順序, 似乎是冠部至頭部間的土體先喪失穩定性, 爾後, 再往下邊坡方向擠壓。



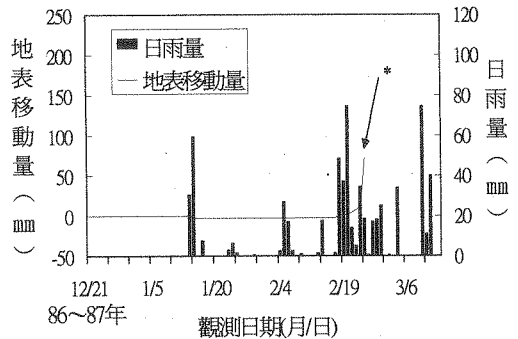
*87/02/20 伸張量超過儀器範圍, 儀器破壞

圖 8 BS-1 地表累積移動量與日雨量關係
Fig. 8 Relationship between precipitation and displacement detected by BS-1 extension meter



*87/02/24 伸張量超過儀器範圍, 儀器破壞

圖 9 BS-2 地表累積移動量與日雨量關係圖
Fig. 9 Relationship between precipitation and displacement detected by BS-2 extension meter

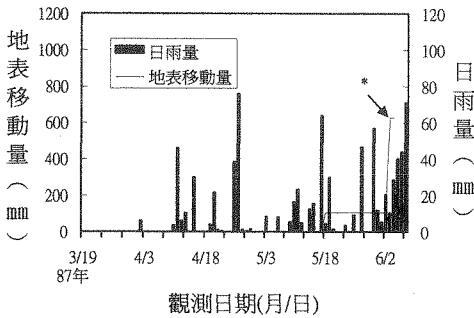


*87/06/03 伸張量超過儀器範圍, 儀器再次破壞

圖 10 BS-1' 地表累積移動量與日雨量關係圖
Fig. 10 Relationship between precipitation and displacement detected by BS-1' extension meter

五、地滑治理原則

地滑整治工程大致可分為抑制工程與抑止、工程兩大類。所謂抑制工程，係指以改變邊坡之地形或地下水等自然環境條件來穩定邊坡的各種工程設施，如整坡、排水等；抑止工程，係指以工程結構物來抑止邊坡滑動的各種工程設施，如打樁、擋土牆等。



*87/06/03 伸張量超過儀器範圍，儀器再次破壞

圖 11 BS-2' 地表累積移動量與日雨量關係圖
Fig. 11 Relationship between precipitation and displacement detected by BS-2' extension meter

此外，雙坑地滑區的各鑽孔地下水位於 87 年 2~4 月間，隨著降雨而明顯上昇(圖 12)，發生滑動時的地下水位亦幾乎接近地表面，顯示連續降雨會使地下水位上昇，進而增加滑動帶的孔隙水壓，影響邊坡穩定性。

因此，連續降雨使得地下水位升高，是發生本區地滑災害的主要誘因。

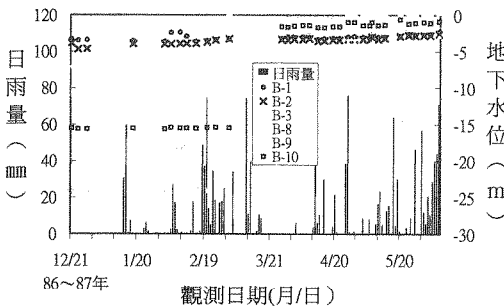


圖 12 雙坑地滑區地下水位與日雨量關係圖
Fig. 12 Relationship between groundwater level and precipitation in Shuang-Keng landslide

地滑防治之一般規劃原則：

- (1) 防治工程多以抑制工程為主，而抑止工程係用以穩定較小滑動體，以防民房或重要設施直接受損。
- (2) 地滑活動較劇時，原則上先施以抑制工程。
- (3) 降雨後短時間內即發生地滑者，防治工法以地表排水或暗渠為主。
- (4) 降雨後數日始發生地滑者，防治工法以橫向集水管、集水井、地下排水隧道等為主。
- (5) 規模較小的地滑，可施以土方工程(填土，挖土)或擋土工程等；規模較大者，則以排水工程、局部挖方、或河川構造物等為主。
- (6) 地滑通常係由數個相關連的滑動體所構成，且其活動多是某一滑動體失去平衡而誘發，故可先設法穩定該滑動體，然後再進行整體的防治工作。

根據地滑特性，本區地滑災害之治理規劃原則，可歸納如下：

- (1) 本區地下水主要是來自降雨與地表逕流的補注，因此應盡速進行地表排水工程。
- (2) 地下水為災害之主要誘因，可利用地下排水工程，予以排除或降低地下水位，依滑動面深度，規劃之地下排水工程，包括有暗渠、橫向集水管及集水井。
- (3) 頭部附近的裂隙與側方裂隙，是降雨滲下地下及地下水流通的最佳管道，因此，可先從頭部的張力裂隙、下陷帶、與側方裂隙等區，進行地

下排水工程。

- (4) 推擠式滑動的地滑，應先穩定上邊坡滑動體或滑動體頭部；牽引式滑動的地滑，則先穩定下邊坡滑動體或滑動體腳部。

六、結論

台灣西部麓山帶地質區的岩質，在更新世初期（約 2,000,000 年前），受到蓬萊造山運動的擠壓作用而出露地表。岩層受擠壓變動的強度，由麓山帶的東部向西逐漸減弱，因此，在麓山帶東部的加裡山山脈與阿里山山脈，緊密而不對稱的褶曲和低角度的逆斷層特別顯著；在西部的丘陵區（如：豐原丘陵、南投丘陵等），都是以平緩的褶曲為主，並呈單面山地形。

南投丘陵係由地質年代較新的鬆散砂岩與頁岩交互成層所組成，歷經河流侵蝕順向坡坡腳、降雨、地下水等作用，使本區邊坡常沿著地層層面，發生平面滑動；地滑頭部附近，裂隙或下陷帶相當發達，降雨不但增加滑動體的重量，而且沿著上述裂隙或下陷帶下滲至地下，促使頭部的穩定性先遭受破壞，並逐漸往下邊坡擠壓；或是先破壞腳部的穩定性，爾後往上邊坡發展，而造成整個邊坡的滑動。

總而言之，順向坡及鬆散的砂岩夾雜著頁岩，分別是本區的地形與地質潛因；降雨與地下水，是本區地滑的主要誘因。

七、誌謝

本研究之經費由行政院農委會支助。研究期間承蒙張技正三郎、施技正東榮、水保局第五工程所張所長新民等指導，及工研院能資所尹承遠、蕭富田、胡玉亭、翁勳政、吳少明等諸君協助調查，謹此一併致謝。

參考文獻

1. 何春蓀(1986)，「台灣地質概論」，經濟部中央地質調查所出版，第 11-100 頁。 175
2. 林朝榮(1957)，「台灣地形」，台灣省地質調查委員會，第 231-246 頁。
3. 農委會、水保局、能資所(1992)，「崩塌地調查、規劃與設計手冊(地滑篇)」，214 頁。
4. 日本農林水產省構造改善局(1989)，「土地改良事業計畫設計基準，計畫，農地地滑防止對策」，農業土木學會，179 頁。
5. 日本建設省河川局(1985)，「建設省河川砂防技術基準(案)設計編」，山海堂，第 132 頁。

88 年 7 月 21 日 收稿

88 年 7 月 28 日 修正

88 年 08 月 4 日 接受