

扇平林道崩塌地地層調查 ——電探方法的應用

黃瓊瓏

摘 要

扇平林道是聯絡林試所六龜分所與所轄扇平工作站的交通要道。由於地質地形條件欠佳，加之開建時所採標準不高，維修經費不足，自民國六十五年在第一林班路段發生第一次崩塌，爾後在同一地點其狀況逐年惡化，更於78年9月再次發生大規模崩塌，路基崩失修復困難，遂有更改路線以避開崩塌地之議。本調查即針對崩塌發生的原因，往後可能動向，以及新路線的安全性等問題，進行研究。

根據電氣探測調查結果，發現崩塌發生的主要原因，是由於地下水侵入了地層中的軟弱層，而形成淺層和深層的滑動面，其深度分佈在地表下1.5m、4.8m、8.6m以及20m、35m附近。在崩塌頭部下陷區有截水溝的存在，反而促使逕流集中入滲，需妥為處理。林道預定改道路徑，其安全性大抵上無問題，惟位於崩塌地上方的路段，長期而言，似屬於崩塌影響的範圍，須特別注意排水及棄土。全段新路線開建後，應加強初期的護坡工程。崩塌地的處理原則，先求不使其惡化，注重上方的排水和土方穩定，俟有餘力可考慮下方溪流之整治和坡面的植生。

關鍵詞：崩塌地、滑動層、電氣探測、大地比電阻

黃瓊瓏，1990。扇平林道崩塌地地層調查——電探方法的應用。林業試驗所研究報告季刊, 5(3):193-200。

Stratum Investigation of Landslide on Shan-Ping Logging Road - An Application of Electrical Inspection Technique

Chiung-Piau Huang

[Summary]

Shan-Ping logging road is a very important access connecting Lu-Kuei research station and Shan-Ping work station. However, a severe landslide occurred in 1976 due to unstable geologic strata, concentrated rain fall, and insufficient road maintenance. From then on, it became worse especially during the typhoon season of every year. In September of 1989, this landslide moved downslope again and caused irrecoverable damage to the road. Eventually, it was decided to design a new path to prevent the road from being destroyed frequently by landslide. The purposes of this investigation are attempting to find out the reasons of recurring landslide, forecast the developmental tendency in future, and discuss the safety of constructing the new path.

According to analytical results of electrical inspection, the main factor of causing

79年3月送審

79年7月通過

landslide is groundwater which seeps into weak strata. Groundwater had improved the formation of slipping layers beneath the ground surface. The depths of slipping layers are approximately in 1.5m、4.8m、8.6m、20m and 35m from the surface. A diversion ditch located at slump head of landslide is still concentrating runoff and improving water seepage. It is a negative factor on stabilizing earth block, and has to be treated properly. Comprehensively considering, there is no problem with the safety of new path, however, drainage system and waste soil treatment in the section upon the upslope of landslide are two vital points to be particularly emphasized. In brief, the slope protection measurements ought to be completed accompanying with the excavation of new path to reduce landslide. Besides, river consolidation and slope revegetation will make this landslide more stable, but it costs too much budget. After all, to drain runoff out of landslide area and stabilize the soil block is the principle of controlling landslide in the first stage.

Key words: Landslide、slipping layer、electrical inspection、earth specific resistance.

Chiung-Piau Huang, 1990. Stratum Investigation of Landslide on Shan-Ping Logging Road An Application of Electrical Inspection Technology. Bull., Taiwan For. Res. Inst. New Series, 5(3) 193-200.

一、緒 言

六龜扇平林道崩塌地，位於林業試驗所六龜分所轄區第一林班範圍內，緊傍著老濃溪的一條支流—三合溪的右岸，貫穿扇平林道的上下邊坡，呈狹長型。崩塌地的橫寬約170公尺，縱長約為320公尺，中間有一天然排水道分割成大小兩個崩塌地，看似相互獨立，卻是由共同的內在因子所引起，且彼此產生影響。總崩塌地面積，連道路上下方陷的部分一併計算，約有6公頃，規模可謂相當大(如圖1)。

本崩塌地的主體位置，由溪畔標高400公尺起，向上邊坡延伸至標高540公尺，面向東南方。道路上邊坡之地塊，受下陷利土石推擠崩落的作用，仍有部分地表植被留存；至於其下邊坡，則多為崩落土石所衝擊，故坡面上幾無植被殘留。整體的平均坡度在 $45^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 之間，相當陡峭。在地質構造上，本地區屬於漸新世(Oligocene)的樟山層(Changshan formation)；(歐文溥, 1967)，以灰黑色和灰黃色的板岩狀頁岩為主，常夾有灰色薄層砂岩，淺層處間夾有石墨質或粘土質頁岩，節理相當發達，且地層大體上向東、東南面傾斜，有劇烈的褶皺。土壤為紅黃灰化粘土質壤土及石質砂壤土之混合，厚度約50公分；地被植物為天然闊葉樹樟櫟林，多為山龍眼、石櫟類、苦槠類，林下植物以蕨類為主，沿階草次之(蔭陸忠, 1984)。由於地質地形條件的不

良，加上林道開闢後導致地塊平衡的破壞及地表逕流集中等外在因素，於民國65年發生第一次崩塌，隨即於67~71年之間相繼擴大加深，每逢颱風過境或豪雨集中時，動輒路基崩毀交通中斷。通常於災害之後所採取的護護措施，是向山腹內側開挖，以獲得足夠的路基寬度，同時在上下邊坡修築擋土牆，以穩定邊坡土石利於植生。最近一次崩塌，發生於民國78年9月12日，時當莎拉(Sarah)颱風來襲之際，根柢扁平工作站所測得的雨量資料：9月10日—99.5mm，9月11日—186mm，9月12日—23.2mm，三天內的總雨量達308.7mm，終於引起崩塌再次發生，且情況比已往更為嚴重，原有路面向下滑落約10公尺，頭部下陷明顯加劇，東面的小崩塌更形擴大。

為了縫透現有交通的順暢，暫時在下陷路基上方的崩積土上面，推開一臨時通路，並根據現場初步踏勘得知：原有林道路基已經崩失，所需修護費用鉅大，且遇雨再次坍塌的可能性甚高，非為常久之計，應重新勘定一新線以避開此一崩塌區域，方為一勞永逸的辦法。在本研究中，主要應用電探方法對此崩塌地的地層結構及崩塌原因做一初步探討，並對研議中新路線的開闢及崩塌地的控制等事項，提出若干建議。

二、材料與方法

(一)應用方法概述：本文中所謂電探，是大地比

電阻探測的簡稱，其基本原理，是利用各種不同的地層具有不同比電阻值的特性，以及地層中含水率的變化對其比電阻的影響，從而判釋地層的結構。根據Archie法則所述，岩石本身的比電阻 ρ_w ，和當其被水飽和的比電阻 ρ_s 之間，呈現一定的關係 ($\rho_s = a \rho_w / \phi^m$ ， ϕ 為孔隙率； a 為孔隙率型態常數； m 為膠結度常數)；同樣的，完全水飽和的比電阻 ρ_s ，與部分水飽和的比電阻 ρ_u ，亦存在一定的關係 ($\rho_u = b \rho_s S_w^n$ ， S_w 為飽和度； b 和 n 為常數)。因此，每一種岩層所能測得的比電阻值，其範圍變化很大，例如：頁岩為 $0.8 \sim 10^4 \Omega \cdot m$ ；石灰岩為 $6 \times 10^2 \sim 5 \times 10^3 \Omega \cdot m$ ；砂岩為 $10^2 \sim 10^3 \Omega \cdot m$ (申潤德, 1975)。故而電探數值之解析，必須先瞭解地形和地質條件，再根據不同地層的厚度及比電阻值，反覆比對，從而決定不同的岩性及含水狀況，在這一步驟上，需要充分的現場觀察及技術經驗累積，以減少可能的誤差。

電探的基本理論推尊，在國外早有完整的資料(清野武, 1947; Maeda, K., 1955)，而在日本也有應用於崩塌地的先期調查(志村馨, 1965; 申潤德, 1975)。在國內的應用，則由陳信雄於1975年引進，並做較有系統的介紹及研習。在應用的結果可靠性方面，可舉二處實例說明之：其一，對花蓮壽豐鄉水邊崩塌地的電探(陳信雄，

1978)，在電探點1號位置分析獲知，滑動層深度為2.2m~2.9m，而2.9m~7.7m為乾硬泥岩；同一位置之鑽探結果，滑動層深度為2.3m~3.1m，3.1m~7.6m為乾硬泥岩。在電探點2號位置的分析，滑動層深度為5.5m~7.9m；同一位置之鑽探結果，滑動層深度為4.9m~7.6m。其二為新店大台北華城的地下水層電探(蘇慶忠, 1984)，在1號水井位置之探測水層為16m~40m及60m~100m，鑽井後獲知16m~40m為砂頁岩互層，而在87m~97m則為砂岩層，含有豐富的裂隙水層。在第2號水井位置之探測水層為60m~80m及120m，鑽井後獲知自56m~77m是以砂岩為主的砂頁岩互層含水層，在116m~126m則為粗砂岩並夾有砂頁岩互層的含水層。由上述實例得知：電探不可能絕對準確，但根據現場經驗，其準確性可達70~80%，故仍值得做為崩塌地和含水層之初步調查方法。

二探測儀器：使用日本橫河電機製作所製造的大地比電阻探測儀YEW-3244型(Earth specific resistance tester)，其主要規格及性能如下：

1. 最大電壓：600伏特；最大電流：500 mA。
2. 應用Wenner四極法，加上一接地電極。
3. 最大垂直探測深度約100公尺。
4. 電力來源：12伏特，40A以上之汽車用可

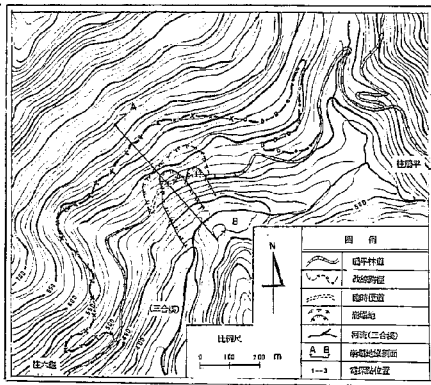


圖1. 崩塌地之地形及電探點位置
Fig 1. Topographic map of landslide and locations of electrical inspection points

充電池電池。

(三)調查方法：

1.崩塌地之地層構造調查

(1)選定位置進行地層電氣探測：在崩塌地臨時便道的路面上，選定三個探測點，一處位於東面的小崩塌地上，二處位於主要崩塌地上(如圖1)。

以Wenner四極法，逐次將電極棒向探測點兩側移位，以探測不同深度的電阻值，並記錄於設定的記錄紙上。每一點的探測深度均為40公尺。

(2)探測結果整理分析及繪圖：在記錄紙上，將測得的電阻值(R)，乘上其相對深度的值 $2\pi a$ (a為深度)，可得到比電阻值 ρ ($\rho=2\pi aR$)。然後使用雙對數方格紙，以橫軸為a(深度，單位為m)，縱軸為 ρ (比電阻值，單位為 Ω/m)，點出各對應深度a和 ρ 的位置，並連接各點，同時使其線條平滑化，即為所謂的 ρ -a曲線。其次，將 ρ -a曲線依照一定的分析步驟，在Sundberg的標準曲線及Hummel的輔助曲線上，反覆比對，即可

以計算出各不同地層的深度和比電阻值，而繪成地層柱狀圖。將三處電探點的地層柱狀圖繪出之後，連接相似形狀的各地層，並判別其所屬岩性的種類，以圖例說明標示之，則得到最後的地層構造圖。

2.現地踏勘

(1)崩塌地頭部下陷情況調查及下陷原因探討。

(2)原有林道崩塌狀況調查。

(3)預定新闢林道部分段落沿線勘查。

3.綜合判釋

根據電探的結果以及現地調查所獲得資料互相比照，分析該崩塌地發生的原因、目前穩定性、未來可能動向。並對預定新闢林道路線之計畫，提出若干建議。

三、研究結果

(一)崩塌地埋共計有三個電探點，1號位於東面的

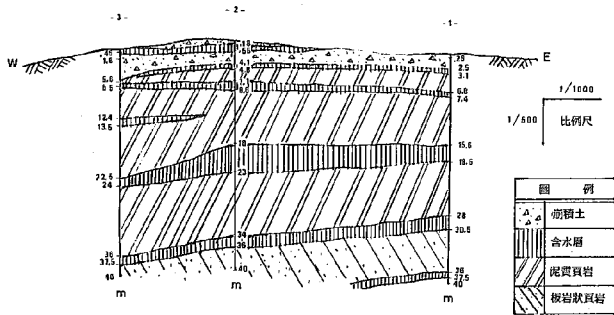


圖2. 崩塌地之地層剖面
Fig 2. The strata profile of landslide

部分，2號和3號位於主要的部分上，探測深度均達40公尺。其結果經整理分析之後，繪出各電探點的 ρ -a曲線分析圖，並且計算出各地層深度和比電阻值。根據此一結果而繪出地層剖面圖(圖2)。由地層剖面圖中，很明顯的顯示出地層裡存在著若干含水層，此乃因為本地區的岩層構造是以頁岩為主，部分節理發達且較破碎易於吸水，常在較密緻頁岩層的上方形成滯水層。另外在靠近

地表較淺層的部分，夾有破碎的石墨質頁岩，同樣的易於吸水膨潤而變成滑動層，在地表10公尺內，有三層滑動層，分別位於1.5m、4.8m及8.6m附近，是造成上層地塊不穩定的原因，但尚不足以造成大規模地坍塌。然而在20m和35m左右的地方，亦有二層滑動層，已遭地下水的入侵，應是主導大規模崩塌地要件。此外，根據現場岩石露頭調查，岩層向東南南面傾斜約40度，故以此

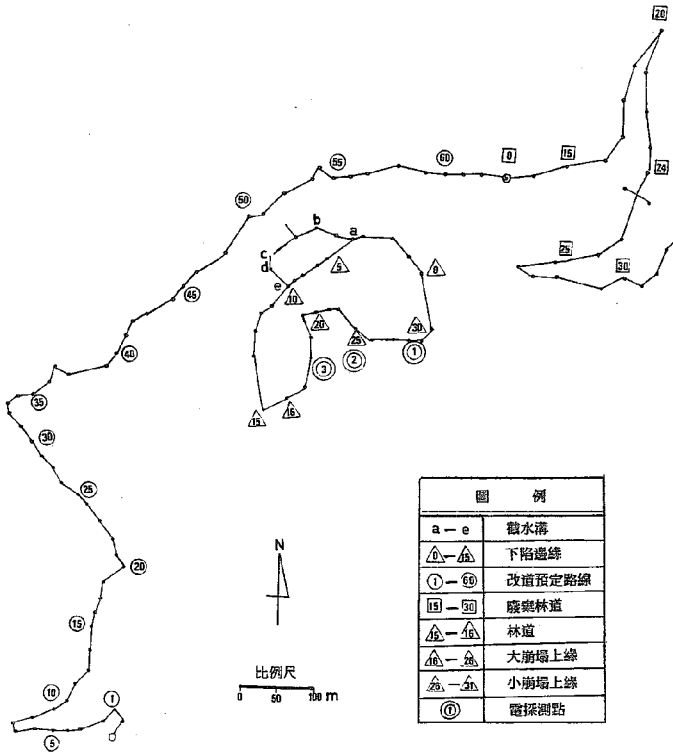


圖3. 林道改線路徑及崩塌範圍測繪

Fig 3. Surveying map of new road path and landslide area

順向坡的結構，也是促使深層滑動發生的主因之一。

(二)現地勘查分為二部分，其一是对崩塌地頭部及其附近地形的踏勘；其二是對新預定路線的踏勘。六龜分所同仁已經對崩塌地上半部的境界，以及新路線定點測繪完成(如圖3)。根據圖面上測點位置做現地調查，發現在崩塌地頭部下陷邊緣0

~5的位置，於本次莎拉颱風來襲之際，再次下滑，落差達3公尺，因而擴大下方的小崩塌地，並推動主要崩塌地，遂導致大面積地塊之失衡破壞。查其原因，則是因為集中逕流沿著頭部下陷的舊有裂隙，下滲至地層中的各滑動層，且因量大，故亦深及至地表下20m和35m的層次。故不僅有淺層的土石崩落，亦兼有深層的地塊滑動。再者

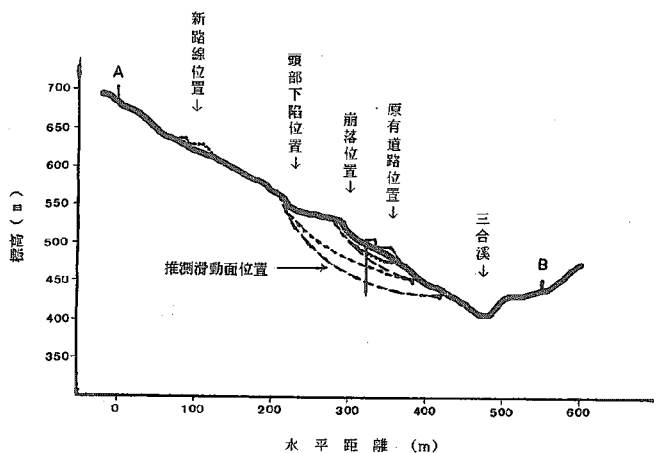


圖4. 崩塌地縱剖面示意

Fig 4. A longitudinal section of landslide slope

崩塌地頭部上方於若干年前設有截水溝一段(區3a~e)，是為穩定邊坡工程所做的排水工程。在b~c段間，發現有輕微下陷的跡象，平均約為1m。且據現場人員稱：降雷稍強時，此溝由最高處往下約20m有水，再往下力則水分全入滲至地下。由此判斷，此截水溝已不具排除地表水功能，

反有助長逕流集中下滲之不利作用。

其次是對新預定路線之勘查。林道之改線，其目地為避開上述的崩塌地，以維護林道交通的順暢。圖3中所表示的，自測點①~⑥是新測的段落，然後與一廢棄的作業道(⑦~⑩)銜接。自整體地形來看，改線所經過範圍的主要部分與崩

塌地同屬一坡面，故其地質地層構造狀況，應和崩塌地區類似。當沿著東端廢棄作業道的入口走到接合點位置(即是在測點④)沿途地況平緩且頗為穩定，於此次颱風過後並未有大崩塌，僅有二、三處小崩塌，但植被已快速恢復，顯示其坡面穩定度高。在西端的部分，自測點①~⑤路段所在地區，雖地勢較陡，卻是由板岩狀堅硬頁岩所造成的，所以岩性密實堅硬，地層穩定當無太多的顧慮。在測點⑥~⑧的中段地區，是屬地層結構較脆弱地區，與崩塌地之情況相似，然而地勢較平，道路大抵沿著平緩的等高線構築，可減少許多控塌方以及對地塊平衡的擾動。

(二)根據電探結果以及斷面圖形的綜合判釋，可以用圖4加以說明。它顯示的是對主要坡面縱剖面的解析，包括範圍涵蓋蓋谷、崩塌地、和新路線位置(如圖1之A—B線)。依崩塌地頭部與趾部位置，以及電探所得滑動層深度之判釋，崩塌地最深的滑動層自頭部下陷處，往下延深約有180m，較淺層則有若干小規模的滑動面交互影響，其中的關係雖不明顯，視下滲水量的多寡及入滲的層次，而引起不同規模的崩塌。此外滑動面與趾部雖未達溪流河床，但其堆疊而下的崩積物常因溪流淘刷而流失，致使河岸侵蝕擴大，因而間接影響到崩塌地坡面的安定。在崩塌地頭部與新設路線之間，其水平距離約為一百公尺，坡面上植被保持相當完整，大體而言，尚未直接受崩塌之干擾，但其前緣之土石則有小片崩落或坡面侵蝕之現象，可視之位於崩塌地之影響範圍內。

四、討 論

(一)有關崩塌地的處理，應考慮下列重點：

1. 地下水滲入淺層之滑動層，是為崩塌的主因，故減少上方坡面地表逕流進入崩塌地，實為首要事項；其次是要設法使進入崩塌地的逕流，迅速排除而不集中滲入地下。如前述之截水溝a—b—c段不但沒有排除逕流的功能，反而有使逕流集中而增加入滲量的負作用。應在原有的b—c段上，沿等高線將截水溝向兩側延伸，徹底將逕流導出崩塌地之外，而且溝底應加設防護措施，如鋪設水泥或塑膠布等。在大小崩塌地之間有一天溝渠排水道，須妥為利用，可以將坡面和道路所集的部分逕流，由此排出，則可達到分散逕流的效果。

2. 崩塌地本身面積廣大，滑動層複雜，且地形地質不佳，以此條件去做全面的坡面穩定及復

舊處理，恐所費不貲，非本所負擔得起。可能進行的局部工作，是利用原有的林道及臨時便道為基礎，穩固其上下邊坡的土石方。最簡便有效的方法，是應用多層方型蛇籠堆疊起來，以重力穩定坡腳，且利於排水，又能隨地塊的變動而自行調整其位置，施工亦無困難。俟坡面穩定後，可使植被自然恢復，或填混草種肥料等混合物，以加速綠化效果。

3. 三合溪流經此段，形成一左彎曲流，使崩塌地下方成為一受水流攻擊的坡面，尤其在颱風期間河水暴漲，河岸被淘刷更為嚴重，致影響崩塌地的安定性，因此溪岸及坡腳的穩定工程，亦為相關重點之一。所考慮的工程方法，應以控制流心、固定河床和穩定安息角為要點。若能在三合溪上規劃攔砂壩，亦為有效的控制工程方法，惟必須對攔砂壩設置的地點、型式、大小等項目，做一仔細評估。因此，坡面穩定工程與溪流整治工程，應視為一體，做整體的評估。

(二)林道改線開闢之注意事項可歸結如下：

1. 預定路線於測點①~⑧的路段尚屬平緩，但地層皆質鬆脆，且地層傾斜方向幾與坡面平行，於開挖後必定會產生若干小崩塌和土石崩落之狀況，在其未擴大成大型崩塌時，宜立刻採用適當的護坡工程，予以控制，最為省錢易行，並且應特別注意分散逕流排水系統的配置，不使逕流集中於某一範圍，否則一旦使地下水大量滲入滑動層時，大規模土塊平衡遭受破壞之後，就不易恢復原狀，惟依地形觀之，此處坡面很容易受到崩塌的影響。雖然從現地踏勘，尚無直接證據顯示是為崩塌的一部分，但以長遠眼光來看，它是屬於崩塌地影響所及的範圍，是沒有疑問的，所以應考慮有第二條選擇路線。

2. 依目前坡面的植被狀況，對穩定地表土塊極有幫助，因此開路之棄土應規劃出適當的堆置地點，不可直接往下邊坡傾倒，否則將損及植被，增加荷重，而導致沖蝕加速。

3. 新路線距崩塌地頭部的水平距離約為100m，若能保持崩塌地的穩定而不惡化，則新路線可不受其影響；若現在下陷的頭部持續滑落崩墜，則其範圍將往坡面上拓展，終將波及新林道而危及其安全，主要取決因素，則是受坡面逕流下滲成地下水量多寡的控制。

4. 西面路段自測點①~⑧之地區，坡度較為陡峭，但因岩性堅硬，大體而言道路的維護較容易，然一般施工上的注意事項仍應顧及。

(三)電探方法的應用，可做為崩塌地處理規劃的

初期調查之用，其目的在求得對狀況的初步瞭解，故不能用以取代若干必要的調查方法，如鑽探、土壤力學性質分析等項目，所以是一種輔助性的調查方法，本方法最大的優點是花費節省、具時效性、可迅速獲得結果且有相當的準確性，惟需再進一步考慮整體的需要，配合其它方法再進行調查。

因限於時間及經費的短絀，本研究未對滑動層土壤做力學上的測試及分析，有關河岸穩固工程及攔砂壩的設置亦未有較詳細的調查。若有鑑於實際上的需要，必須在有關地區做一綜合規劃，則至少應再加上地質鑽探調查，以充分瞭解地層構造的各项特質數據，並做為各種工程設計方面的依據。

五、結 論

綜上所述，獲得若干簡要結論：

(一)崩塌地復舊所需人力物力極鉅，若無法大規模整治，則以局部為之，使其保持現況不再惡化。

(二)林道改線乃勢在必行，預定開建的路線應屬適宜，惟需特別注意崩塌地上方坡面的排水及穩定。此外，似可考慮再規劃另一路徑，完全避開崩塌地之影響範圍。

(三)林道開始開建時，應同時加強邊坡的穩定工程，絕不可為節省少量護坡工程費用，而導致日後災害的發生和維護費用的鉅增。

誌 謝

六龜分所同仁楊吉雄先生的關說分析及何合格先生協助現場踏勘均給予本調查極大的幫助。

引用文獻

- 林朝榮 1974 台灣地質 台灣省文獻委員會 49~86,96~97.
- 耿文溥 1967 台灣南部甲仙及旗山間之地質地調所彙刊 (19):1~13.
- 陳信雄 1975 崩塌地調查與處理技術之訓練及研究 台j合作報告 (12):15~29, 152~163.
- 陳信雄 1978 山區道路崩塌調查及其處理工程 台大實驗林研究報告 (122):57~74.
- 黃瓊彪 1982 地下水動向與地層滑動相關性之研究 博士論文 18~41,271~290.
- 蔡鑒忠、黃正良 1984 上游集水區沖蝕崩塌之研究 林試所上游集水區試驗研究成果彙編 210~223.
- 蘇慶忠 1984 坡地社區開發與地下水資源利用相關性的研究 台大森林系碩士論文。39~72.
- 山口眞一 1974 地すべり山崩れ—實驗と對策。大明堂。15~86.
- 申潤植 1975 地すべり調査計畫と對策設計。國土防災會社。40~73.
- 申潤植 1989 地すべり工學—理論と實踐 山海堂 86~91,433~495.
- 志村賢 1965 電氣探查法 昭晃堂
- 清野武 1947 電氣探礦 電氣書院
- Highway Research Board. 1958. Landslide and engineering practice. NASNRC.20~68.
- Maeda,K.1955. Apparent resistivity for dipping beds. Geophysics(20):140~147.
- Sterrett, R.J. and T.B. Edil. 1982. Groundwater flow systems and stability of a slope. Groundwater, 20(1):5~10.
- Schwab, G.O. and R.K. Frevert. 1981. Soil and water conservation engineering(3rd Edition). John Wiley & Sons, Inc.314~344.