

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

## 子計畫：崩積地層的力學行為(1/3)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC94-2211-E-009-045-

執行期間：94年08月01日至95年07月31日

執行單位：國立交通大學土木工程學系(所)

計畫主持人：廖志中

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 95 年 6 月 1 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 ■期中進度報告

崩積地層工址特性評估與大地工程問題—  
崩積地層的力學行為(1/3)

**Mechanical Behavior of Colluvium Deposit**

計畫類別： 個別型計畫       整合型計畫

計畫編號：NSC 94-2211-E-009-045

執行期間： 94年8月1日至 95年7月31日

計畫主持人：廖志中

共同主持人：

計畫參與人員：黃玉麟、劉盛華、張振成

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告     完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：國立交通大學

中 華 民 國 95 年 5 月 31 日

## 一、中文摘要

崩積地層為邊坡破壞後堆積於邊坡上或山腳下的地質材料，崩積層的型態依據岩石及土壤物質的材料型態與其下移破壞型態的不同可分為三類：岩塊堆積崩積層、土石混合堆積崩積層、以及岩層滑動崩積層。因為受到原有邊坡材料、破壞型態、形成年代等的影響，崩積地層具高度的不均質性、不易調查性、及實驗結果代表性不足等現象，因此，無論力學或水力特性均不易掌握。因此，有必要加以詳細的研究。本研究計畫屬整合性計畫『崩積地層工址特性評估與大地工程問題』的子計畫二。整合性計畫旨在探討崩積層工址特性、地形地貌、如何受地表逕流及地下水文影響、風化與侵蝕、崩積地層材料力學行為、破壞機制及模式、模擬分析方法、與相關之大地工程問題等。本子計畫則負責針對硬岩地區大規模平面滑動形成的崩積地層之力學行為（以梨山地區為例）加以研究，主要研究內容包括崩積地層的組成及形成微觀機制、崩積地層之力學行為（含風化破碎岩體、粉土質黏土介面、風化岩體、及複合人造試體）、及風化岩體的定量分類等等。本報告為第一年的期中成果，包含梨山地滑區概述及實驗場址選定、地質鑽探、孔內試驗、崩積材料分類、及成因探討

關鍵詞：崩積地層、破碎岩體、風化岩體、力學行為

### Abstract

Colluvial deposit is a geological material induced by slope failures. Depending on the slope-failure mode and the original geo-material, the resulted type of colluvial deposit may be different. The colluvial deposits can be divided into three categories, rock fragment colluvium, soil-rock mixed colluvium, and fractured rock colluvium. The composition of colluvium usually is

more or less heterogeneous which may result in higher uncertainty in the determination of its engineering properties. Site characterization for engineering site on colluvial deposit is relatively difficult. An integrated research project looking for a reasonable approach to understand the Site characterization of colluvium is needed. This sub-project belongs to the three-year integrated project "Site Characterization and Engineering Problems in Colluvial Deposit". This project is responsible for studying the origin and the mechanical behavior of the colluvium by using site investigation, in-situ and laboratory experiments. The testing materials include fractured rock, interface with silty clay, weathered rock, and artificial colluvium. The experiments adopted include laboratory triaxial test, compression test and direct shear test with large scale, laboratory ultrasonic measurement, borehole P and S waves measurements, and borehole acoustic televiewer test. This report presents the research results for the first year. The results include the description of experiment station, the drilling logging, the images of borehole televiewer, the classification of colluvium deposits, and the mechanism of the landslide of Li-Shan area

**Keywords:** Colluvium, Site Characterization, Fractured Rock, Weathered Rock, Mechanical Behavior

## 二、緣由與目的

因地質、地形、及環境（地震、降雨等），不同型態的邊坡破壞為大自然的正

常現象，尤其於地質條件不佳及環境劇烈變化區，不同大小規模的邊坡破壞或規律性或突發性的發生時有所聞。崩坍的岩石及土壤物質容易因滾落、滑動、崩塌等經過位移作用而在崖錐或邊坡下方原有的地層之上堆積，形成「崩積層」或「崩積土」，覆蓋於原地本來出露之地質材料。崩積地層邊坡常具有高度活動性，因此，當工程或土地利用位於或通過崩積層組成之邊坡，常引致重大災害以及可觀之經濟損失。對於邊坡破壞的種類、機制、分析方法、邊坡材料性質、及邊坡行為，國內外大地工程界已有相當多的經驗與研究成果。然而，邊坡破壞後堆積於邊坡上或山腳下的地質材料，因為受到原有邊坡材料、破壞型態、形成年代等的影響，崩積地層具高度的不均質性、不易調查性、及實驗結果代表性不足等現象，因此，無論力學或水力特性均不易掌握。相對的工程破壞機制也不甚清楚，因而於分析、設計、及施工上皆未臻完美。臺灣山麓地區大小規模之崩積層經常可見，並產生大量砂石堆積於山谷河床。例如，梨山地區發育於老崩積層中之大規模滑動即為重要之案例，台北盆地東南側麓山帶（新店、石碇等）地區大規模的社區於崩積地層上開發。過去國科會、水保局等機構曾陸續針對中橫公路梨山大規模崩積層上的不穩定邊坡個案推動多年相關研究，針對該個案之地質背景、工程性質、破壞機制、工程穩定措施評估、與長期監測等投下不少心血與財力進行研究（1-15），釐清梨山大規模邊坡滑動的破壞機制並提供整治評估許多重要的參考。但是仍有不少有關崩積層的問題仍有其進一步研討，譬如：地形地相與過去崩滑、位移、堆積歷史與崩積層型態與特性的因果關係與研判，地下水與逕流入滲的影響與分析，風化與侵蝕的角色與影響，含水量/飽和度的變化與穩定性之關連，崩積層材料具代表性之力學行為與力學性質及力學模式、崩積層破壞機制及模式、崩積層邊坡之復發性及漸進性破壞的分析方法、推估材料參數的合宜手段、合理考量材料性質高度不確定性的途徑、

和最佳的工址調查計畫等。上述待釐清的問題非單一計畫所能完成，本研究團隊因此擬針對這些問題組成整合性研究計畫，推動不同的子計畫，分頭進行同時相互合作，期能在崩積層之調查、試驗、模擬、分析等問題上多方面加以研討。本子計畫擬針對硬岩地區大規模滑動形成的崩積地層之力學行為（以梨山地區為例）加以有系統且深入的研究，主要研究內容包括崩積地層的組成及形成微觀機制、崩積地層的力學行為（含風化破碎岩體、粉土質黏土介面、及風化岩體）、及風化岩體的定量分類等等。

董家鈞與楊賢德（16）將崩積層的型態依據岩石及土壤物質的材料型態與其下移破壞型態的不同分為三類：岩塊堆積崩積層、土石混合堆積崩積層、以及岩層滑動崩積層。上述分類與崩坍的種類息息相關，其性質除與母岩相關外與形成年代及環境也具高度相關性。前兩者崩積材料具高度不均質性，其代表試體甚難決定，因此力學性質一般以統計方法歸納的經驗式或統計值用於分析設計。因此不在本計畫的研究範圍。至於岩層滑動崩積層乃因為部分岩層之崩移或滑動所生，若其岩石材質本身強度足，崩移後其崩積體尚可維持一塊體，而坐落在其下方的地表上，維持臨界穩定狀態。因此崩積體與原有地表的介面為一不穩定的不整合面。若地層年代輕或崩體本身軟弱，則不容易經由鑽探結果發現其介面。若岩石本身堅硬，崩移後雖維持塊體形狀，但崩積體本身甚為破碎，地表水甚易下滲，連帶的亦將崩體內的細料帶至介面上堆積，再者如果地下水位隨季節性的變化如於介面附近上下波動，不僅使介面鄰近的崩積體及下層岩體加速風化外，易會加速介面材料的崩解擴大。若崩積層與原地層介面上水壓升高或介面上材料強度因風化而弱化，則有可能再促發復發性之滑動或潛變性之滑動。

工研院（8）曾對梨山地區進行詳細調查，他們認為梨山地區岩層主要由灰黑色板岩所組成，其上覆蓋層為較厚之崩積土，由於受劇烈的地質作用影響，岩層破碎及風

化程度不一。他們採用日本學者藤原明敏之地滑地質風化程度分類標準將梨山地區岩層加以分類。分為崩積土、強風化層、中風化層、弱風化、岩盤。由鑽探資料顯示，其岩層最上層皆由厚度不一（二至十五公尺）的崩積土所覆蓋，其下為中風化板岩或中至強風化板岩，第三層常為含黏土的強風化板岩，其下再出現中風化板岩或中至強風化板岩。更下方的地層，則因地而異，有些接著弱風化板及岩層，有些則於弱風化層出現前夾一至二次的中風化板岩或中至強風化板岩，及第三層常為含黏土的強風化板岩。報告指出含黏土的強風化層為滑動面所在。又由鑽探資料顯示，此含黏土的強風化層皆位於觀測最高水位之下或附近。富國公司（3）針對梨山地區的滑動機制進行檢討，他們由排水廊道，發現岩盤中剪裂泥及巨大剪裂帶，他們並比對崩積層底部之黏土質板岩，認為與剪裂泥相似，而提出以往大家認為的強風化板岩應為剪裂泥，他們亦認為梨山地區是因地質作用（梨山斷層的作用引致岩盤破碎）所形成的破碎岩層，剪裂帶亦為滑動面。申請人認為梨山地區的崩積地層為古大規模岩層滑動所形成的可能性甚高（因為大規模斷層活動於地層淺處引致剪力帶的機率比引致大規模順向滑動的機率小），其中上覆崩積土應為崩滑體上層破碎土石堆積而成或後其表層崩滑所形成，新鮮岩盤至崩積土間則為崩積岩塊推機而成，因板岩強度高滑動後尚可呈一塊體只是受撞擊呈破碎狀，其後受地表或地下水入滲及流動的影響而風化。重複出現中風化層及含黏土強風化層則應為一次以上的岩層滑動所形成，至於含黏土強風化層的形成，可能為滑動前的地表，亦即其為不整合面，或為上覆崩積土集中風化板岩因地表水下滲將細粒料往下帶而受阻堆積於岩盤面上，或因地下水上下變化使破碎岩體風化所形成，或者是上述三者綜合形成，但皆有待進一步研究加以疑清。因此滑動引致的崩積地層組成及形成機制為本子計畫的研究重點之一，為達此目的將與其他子計畫共同進行詳細且深入的供址調

查。

國內外對於崩積地層的力學性質常視崩積地層的種類，以案例型態利用現地或室內力學實驗或倒推分析加以決定。因工程需求或早期調查及實驗工具較為傳統，大多採用NX尺寸試體進行傳統的力學性質試驗（三軸及直剪等）(9, 10, 17, 18, 19)。文獻研究大多以力學邊坡穩定分析所需的力學性質決定為導向，而未對崩積地層各組成物進行力學行為探討及崩積地層的材料力學組成律模式加以建立，亦未考慮崩積材料力學性質的尺寸效應。因此本子計畫擬利用不同尺寸的試體進行各種試驗（壓密、直剪、三軸等等），試驗中除量測應力、應變、及孔隙水壓外，亦將進行應力波量測。試驗的材料包括崩積破碎岩體，粉土質黏土介面、風化岩體、新鮮板岩，並將依調查成果並遵循相似定律製作複合人造試體進行大型三軸試驗。試驗結果將用於決定各崩積地層組成材料的力學性質及行為，及複合材料的三軸受壓行為及破壞模式。上述波速量測結果除用於探討崩積地層材料的破裂行為外，亦將初步嘗試用於建立風化岩層的定量化分類。

本計畫分三年執行，研究內容包括實驗場址決定及調查、現地試驗、室內試驗、成因探討、力學行為分析等等。本報告為第一年度的期中報告，主要成果為場址選定、地質鑽探、孔內試驗、實驗室設備建立等等。

### 三、結果與討論

本子計畫旨在探討崩積層內崩積土形成的機制、崩積材料的力學分類及其相對應的力學行為。因此以梨山地滑區為例，配合其他子計畫進行詳細研究。第一年度（今年）執行至今研究成果重點如下：

#### （一）梨山地滑區概述及實驗場址選定：

工業技術研究院利用既有滑動體監測結果，航照，線形，岩性構造，水系，崩塌地與地球物理探測等判釋後將梨山地區地分為西地滑，東南地滑與東北地滑三個區與的地滑分區，西地滑區主要由

A-1~A-9 等九個滑動土體所組成，各個滑動體在平面上呈馬蹄或角形；東南地滑區由 B-1~B-14 等十四個滑動土體所組成，主要滑動方向為北北東，約略與區域性的地層走向平行；東北地滑區 C-1~C-10 等十個滑動體所組成，多位於逆向坡而朝西北滑動，主要滑落崖多沿地層走向排列，在平面上呈馬蹄形或角形。其後中華顧問工程司(1999)的調查報告延用工研院能資所所做之地滑分類，但在西區增加了 A-10~A-13 四個滑動土體，東南區增加了 B-15~B-31 十七個滑動土體，東北區則未增加。富國技術公司在 2001 年於分類上採用了以上的分類，但於分析上則僅將梨山地滑區分為四區，除引用原有之西及東北二區外，再將原東南區細分為東南(一)區及東南(二)區，東南(一)區代表於梨山賓館上下所存在之滑動體，東南(二)區則為國民旅舍上下方所存在之滑動體(圖一)。考慮場址須滿足各子計畫的研究目的，本整合性計畫擇定 B-9 滑動體，為主要的研究對象。原因如下：1、它位於梨山整個滑動區之中間位置，本身具有很多大大小小的滑動體。2、滑動體本身需具有很多的滑動面存在，可供研究、判釋及模擬。3、廢棄的國民旅舍位於其中，鑽探、地物、現地試驗的用地取得及操作性較為方便。

#### (二)地質鑽探：

本項工作於國民旅社 B-9 滑動體上進行二孔鑽探(圖二)，孔號 N-1 鑽探深度 40 米，孔號 N-2 鑽探深度 80 米。因此選擇鑽探法以旋鑽法為主，以鋼索取岩心法取出地層岩心，並利用超泥將來穩定孔壁。在保護岩心部分，除了將岩心裝入岩心箱內，本研究利用保鮮膜將每一公尺岩心包裹住，保持岩心新鮮度，將岩心置入 PVC 管內，再放入岩心箱內，多出的空間以海綿塊塞入，此處保護避免在搬運過程中對岩心的擾動破壞。經由上述鑽探方法，本次所得岩心均甚為完整，即便，滑動面所在的軟弱土層取樣也甚為成功，圖三為其中一段的柱狀圖及岩心照片。

#### (三)現地試驗

本計畫配合 N-1, N-2 鑽探孔進行孔內

波速量測及聲波式及光學式孔內影像量測，期中影像量部分原計畫於本年度購買設備，明年度進行量測，但考慮研究的需要，由執行單位經費先行添購，並於本年度進行量測。完成成果如下：N-1 孔部份，聲波式孔內影像量測深度由地表下 19.4m 至地表下 38.8m；懸垂式孔內 P-S 波量測施作深度由地表下 4.0m 至地表下 30.0m。N-2 孔部份，聲波式孔內影像量測施作深度由地表下 26.3m 至地表 76.0m；光學式孔內影像量測施作深度由地表下 0.0m 至地表下 76.0m。圖四為 N-2 孔的影像成果。經由影像透過不連續面投影分析，若以軟弱土層為界，其各段的劈理方位變化甚大，顯示崩積體經過數次的滑動。N-2 孔深度 70m 以下由岩心判斷為新鮮岩盤，圖五為由影像經不連續面分析所得新鮮板岩的劈理面分析結果，其劈理面方位平均值為  $N57^{\circ}E/46^{\circ}SE$  與工研院能資所(1993)調查結果，地層走向  $N15^{\circ}\sim 45^{\circ}E$ ，向東南傾斜  $15^{\circ}\sim 35^{\circ}$ ，略微不同且傾角較陡，有待未來進一步驗證。

#### (四)室內試驗

本計畫將利用 N-1, N-2 鑽孔的岩心，將不同分類的是體進行三軸等各項試驗，由於試體準備不易，及儀器需加以修改、添購(荷重盒等)，目前試體準備正進行中，儀器亦尚在測試中，正式實驗將於六月展開，相信實驗成果可在七月底完成。

#### (五)崩積材料分類

根據工研院對於梨山地區大規模崩積土層分類法，先加以分類，工研院將梨山地區崩積土層分為五類：崩積土(Dt)、強風化岩(W1)、中風化岩(W2)、弱風化岩(W3)與岩盤(Rf)，分類準則如表。上述分類經多方比較與判釋後，發現並不足以分類梨山地區崩積土層，在參考分類相關等文獻後，應考慮顆粒大小、顆粒排列方式、膠結物以及弱面的多寡當主要分類因子，本計畫初步建議的崩積層材料分類為崩積土、強風化岩、弱風化岩與風化碎片、新

鮮岩石。詳系的分類說明可參考未來的完整報告。

#### (六)成因探討

區域地質資料顯示梨山地區地層走向約呈  $N15^{\circ}\sim 45^{\circ}E$ ，向東南傾斜  $15^{\circ}\sim 35^{\circ}$ ；而梨山地區地勢由南向北遞降，以宏觀角度來看，梨山地滑區屬於逆向坡型態。由以往本研究區 B-9 滑動區之滑動監測資料之結果，其滑動方向為向北方大甲溪河谷方向滑動。鑽探結果及孔內不連續面量測儀之量測結果，其劈理亦大致呈東北—西南走向，傾向東南，劈理為板岩區主要之不連續面，輕度變質岩區之劈理常表現出層面劈理的特性，將不連續面位態與地形搭配，其結果亦為逆向坡的特徵。N-2 孔地表下 52.8m 之軟弱層開始至地表下 70m 之新鮮岩盤之間，其平均不連續面位態為  $N68^{\circ}E/34NW$ ，與其他深度之不連續面位態傾向相反。一般逆向坡邊坡破壞之型態，大多為翻倒型破壞 (Toppling Failure)，但翻倒型破壞之不連續面位態需呈現高角度之傾斜，而本研究區經由孔內不連續面量測儀量測結果之位態傾角分布在  $30^{\circ}\sim 50^{\circ}$  之間，以此評斷為翻倒型破壞甚為不妥。根據日本學者 Chigira(1992) 提出之大規模山崩潛移作用模式分類，B-9 滑動體類似第二類，即逆向坡之拖曳褶皺型，此類型之特徵為葉理位態與坡向呈逆向，邊坡外側因重力產生潛移，使原本相同位態之劈理經由滑動體拖曳後偏離原來之傾向。而使滑動體產生滑動條件之弱面，即為灰色粉土質黏土之軟弱層。

#### 四、計畫成果自評

本報告為第一年之期中成果，針對梨山坍塌滑區的 B9 坍塌體進行調查研究，經過十個月的執行，本計畫已完成二孔地質鑽探、孔內影像量測、實驗室設備建立、孔內不連續面分析、崩積材料分類、崩坍原因探討。計畫皆依原計畫書執行，目前所得僅為初步實驗成果，有未來二年繼續執行，相信可達成預期成果。至目前為止，二篇碩士論文正準備中（黃玉麟、劉盛

華），未來可改寫成研討會或期刊論文。

#### 五、參考文獻

1. 國立中興大學土木工程學系，「梨山地區地層滑動整治計劃成效評估」，行政院農業委員會水土保持局第二工程所，民國 91 年 12 月，SNCB-91-099
2. 國立中興大學，「梨山地滑地區綜合資料庫建立與應用」，行政院農業委員會水土保持局第二工程所，民國 89 年 12 月
3. 富國技術工程股份有限公司，「八十八年度坡地災害整治計劃「監測系統分析及運用」委託技術服務」，行政院農業委員會水土保持局第二工程所，民國 92 年 2 月，JC-991024
4. 中華水土保持學會，「梨山地滑地區管理準則之研究(一)」，台灣省政府水土保持局第二工程所，民國 87 年 6 月
5. 中華水土保持學會，「梨山地滑地區管理準則之研究(二)」，台灣省政府水土保持局第二工程所，民國 87 年 6 月
6. 財團法人工業技術研究院能源與資源研究所，「八十四年度梨山地區地層滑動整治計劃「監測系統」委託技術服務」，台灣省政府農林廳水土保持局第二工程所，民國八十五年十二月
7. 觀宇工程顧問有限公司，「八十八年下半年及八十九年度「加強辦理治山防災計劃」——梨山地區地層滑動整治「監測系統維修與監測」委託技術服務」，行政院農業委員會水土保持局第二工程所，民國九十年二月
8. 工業技術研究院能源與資源研究所，「梨山地區地層滑動調查與整治方案規劃」，台灣省政府農林廳水土保持局，民國八十二年三月
9. 林炳森、方世杰、黃信彰，「崩積土坡地力學性質及穩定性研究」，行政院國家科學委員會防災科技研究報告 79-64 號，

民國八十年七月，NSC 79-0414-P005-07B

11. 林炳森、方世杰，「崩積土坡地力學性質及穩定性研究」，行政院國家科學委員會防災科技研究報告 79-94 號，民國八十年八月，NSC 79-0414-P005-08B

12. 蘇苗彬，「中橫公路崩積土坡地地下水調查研究」，行政院國家科學委員會防災科技研究報告 78-37 號，民國七十八年十月

13. 蘇苗彬、劉啟鋒、蘇建隆，「中橫公路崩積土坡地地下水調查研究(二)」，行政院國家科學委員會防災科技研究報告 79-10 號，民國七十九年八月，NSC 79-0414-P005-06B

14. 陳時祖，「中橫公路大規模崩積土之辨認與判釋」，行政院國家科學委員會防災科技研究報告 80-03 號，民國八十年九月，NSC 80-0414-P006-12B

15. 陳時祖、宋國城、李森吉、鄭元振，「中橫公路大規模崩積土之辨認與判釋(二)」，行政院國家科學委員會防災科技研究報告 81-08 號，民國八十一年十月，NSC 81-0414-P006-12B

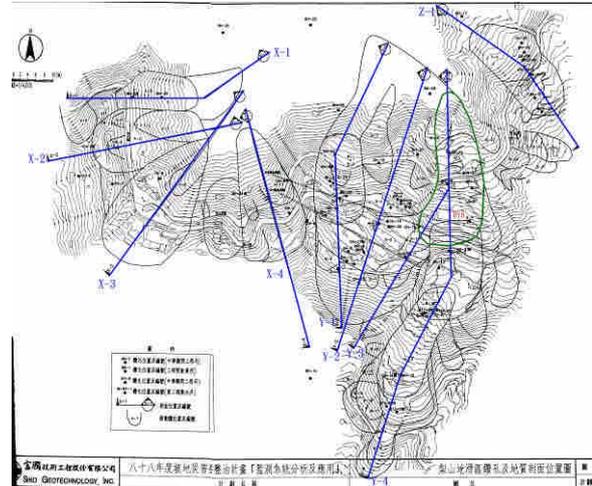
16. 萬獻銘，「中橫公路邊坡崩坍地黏土礦物與坡面破壞之關係研究」，行政院國家科學委員會防災科技研究報告 75-52 號，民國七十六年七月

17. 董家鈞、楊賢德，『崩基層之分類與工程特性研究』水土保持研究 第八卷第 1 期，2001。

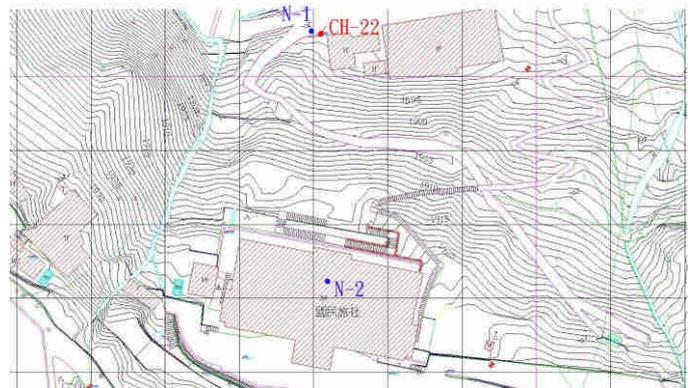
18. Bell, F.G. and Maud, R.R., Landslide associated with the colluvial soils overlying the Natal Group in the greater Durban region of Natal, South Africa, Environmental Geology 39, (9), pp.1029-1038, 2000.

19. Cruden, D.M., Thomson, H.J., and Peterson, A.E., The Edgerton Land slides, Can. Geotech. J. 32, 989-1001,1995.

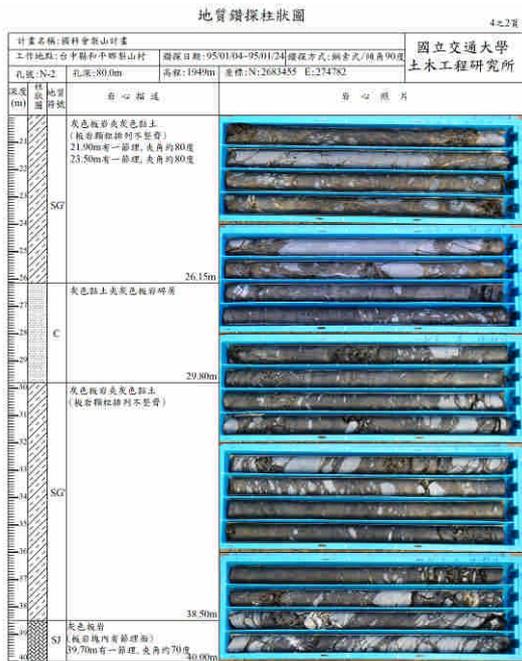
20. Al-Hooud, A.S., Saket, S. K., Husein, A.I., Investigation of failure of highway embankment founded on colluvium and suggested stabilization measures for reconstruction, Engineering Geology 38, pp. 95-116, 1994



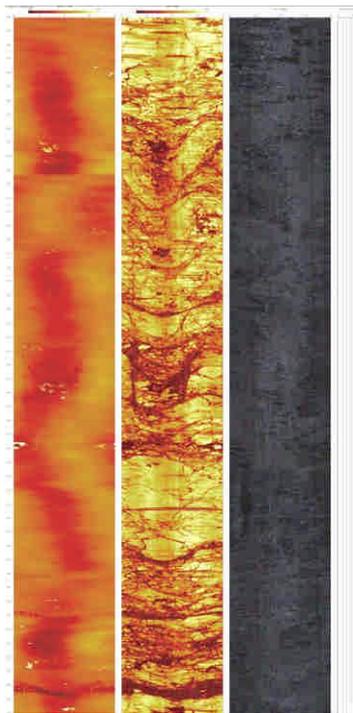
圖一、梨山地區崩塌分區(8)



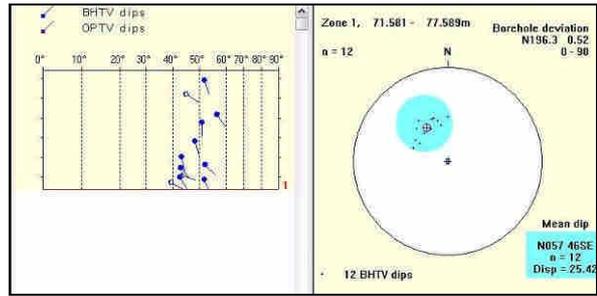
圖二、鑽探孔位圖



圖三、岩心及柱狀圖



圖四、孔內影像圖



圖五、N-2 70 m 以下新鮮板岩劈理方位統計圖