

國立交通大學  
土木工程學系碩士班

碩士論文

滑移型崩積層材料分類及其力學模式

-以梨山地滑區為例



Classification and Constitutive Modeling of Sliding-Type Colluvial Materials  
- Li-Shan LandSlide Area as an Example

研究生：賴忠良

指導教授：潘以文 博士

中華民國九十五年七月

滑移型崩積層材料分類及其力學模式-以梨山地滑區為例

Classification and Constitutive Modeling of Sliding-Type Colluvial Materials  
-Li-Shan LandSlide Area as an Example

研究生：賴忠良

Student: Chung-Liang Lai

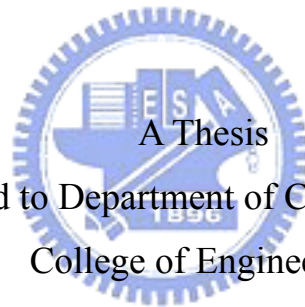
指導教授：潘以文 博士

Advisor: Dr. Yii-Wen Pan

國立交通大學

土木工程學系碩士班

碩士論文



Submitted to Department of Civil Engineering  
College of Engineering

National Chiao Tung University

In Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Civil Engineering

July 2006

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十五年七月

# 滑移型崩積層材料分類及其力學模型-以梨山地滑區為例

學生：賴忠良

指導教授：潘以文 博士

國立交通大學土木工程學系碩士班

## 中文摘要

崩積層可視為複雜之複合性材料，由很軟的崩積土至很硬的新鮮岩盤均可能出現，絕不能以單一的土壤或岩石材料來看待。欲藉取樣探討崩積層之材料特性與力學行為時，若鑽探技術不成熟因而不能有效取得完整岩樣時，取出的岩心內所含之軟弱材料或夾心常遭循環迴水沖掉，僅剩顆粒狀板岩塊。尤以崩積層中位於滑動面上之材料，多屬於鬆散細顆粒材料，甚不易取得不擾動樣品。本研究首先為了取得品質良好的崩積層岩樣，謹慎規劃鑽探方法配合使用超泥漿穩定液，提高岩心提取率並盡量降低岩樣所受擾動，期能令岩樣接近真實崩積層的現地地質材料條件，除能由岩樣觀察崩積層實際的破碎程度，也期望以岩樣進行之力學試驗，代表真實的崩積層現地性質。

本研究以梨山崩積地滑區作為試驗場址，期望由深入瞭解此類『滑移型地滑區之崩積層』（簡稱『滑移型崩積層』）之材料特性與行為出發，嘗試將此類崩積層材料加以分類，再以不同的力學模型來建立，以期了解各地層的特性及滑動現象。過去學者引用藤原明敏（1979）地表地質分類準則，係以風化程度為主對梨山崩積層加以分類分層。本研究則基於材料判識結果，加入考量地質材料、弱面/裂隙、膠結填充物與風化程度、及顆粒排列方式…等因素，對試驗場址崩積層予以分類：包含第一類（代碼SY），灰色板岩夾黃色黏土（又分排列整齊與不整齊）；第二類（代碼SG），灰色板岩夾灰色黏土（又分排列整齊與不整齊）；第三類（代碼S），灰色板岩（又分包含節理與不含節理）；第四類（代碼C），灰色黏土夾灰色板岩碎屑（軟弱層）；另加回填土（代碼BF）。

在材料力學行為的模型上，本研究將試驗區地層材料區分為三大類，第一類屬於軟弱泥質的材料，其本身具有彈塑性的特性，因此視為土壤，可採用摩爾-庫倫的彈塑性模式；第二類屬於風化岩體材質，具有彈塑性體再加上規則化弱面的特性，可採用彈塑性組構性模式；第三類屬於新鮮的岩盤內含數組規則化弱面，本身具有近彈性體的特性，可採用等值異向性彈性岩體力學模式。最後運用此等力學模式，並結合室內、外試驗結果推估所需模式中之參數，配合FLAC程式試用於試驗場址之邊坡穩定分析。

關鍵字：崩積層、岩體、分類、力學模式、邊坡穩定

Classification and Constitutive Modeling of Sliding-Type Colluvial  
Materials - Li-Shan Landslide Area as an Example

Student : Chung-Liang Lai

Advisor : Dr. Yii-Wen Pan

Department of Civil Engineering  
National Chiao-Tung University

## Abstract

Colluvium can be regarded as complicated composite geomaterials; its contents may range from soft colluvial soil to very hard rock, hence should be treated and modeled with care. This study carefully selected appropriate approach for borehole exploration. The rock cores retrieved from the exploration were carefully examined to study the fracture nature in the colluvium; the cores were then used for laboratory tests in order to characterize their physical and mechanical properties.

The Li-Shan landslide region was taken as a study site in order to investigate the material characteristics and mechanical behavior of the colluvial materials in a “sliding-type colluvium”. Unlike other classification mainly according to the degree of weathering, this study classify the colluvium materials found in the studied region into several types according appeared factors including major material, weak planes/cracks, cementation/fillings, weathering intensity, blocky orientation patterns, and so forth. Various types are identified and classified as follows. The first type is composed of grey slate mixed with yellow clay (Type SY); Type SY is further divided into two sub-types according to the alignment slate blocks in the colluvium. The second type is composed of gray slate mixed with gray clay (Type SG); Type SG is also further divided into two sub-types according to the alignment slate blocks. The third type is composed of gray slate (Type S); Type S is further divided into two sub-types according to whether or not joints are present. The fourth type is mainly soft stratum which may include gray clay and gray slate fragments (Type C). The last type of colluvial material identified in the studied site is backfill (Type BF).

To describe the mechanical behavior of geo-materials in the studied site, the colluvium materials were modeled according to their deformability and fractureness. Materials majorly composed of soft clayey soils tends to behavior as elastoplastic soil, they are modeled as a Mohr-Coulomb material in this study. Weathered rock mass with regular joints were also modeled as elastoplastic geomaterial. However, the elastic stiffness and yielding criterion should take into account the structure pattern of regular joints. Regularly jointed fresh rock

mass is modeled as an equivalent anisotropic elastic material. A case study of numerical calculation adopting the aforementioned mechanical models with material parameters estimated from other references was carried out. The result of the numerical simulation seems acceptable.

Keywords : Colluvium; Rock mass; Classification; Constitutive Modeling; slope stability



## 誌謝

首先，真的很感謝我的恩師 潘以文博士。由於本身資質及反應均不好，但恩師卻不厭其煩的耐心指導，使得我的論文能夠順利的完成，並仔細的幫我做校正及修正，使得論文能夠趨於完善，特別於此感謝我的恩師。

另外於口試期間幸蒙 黃燦輝教授、蔡光榮教授、田永銘教授以及 陳昭旭副教授給予本人諸多的建議及許多錯誤的指正，使本論文趨於更加完善嚴謹，特於此表示由衷的感謝與致意。

此外於研究期間，特別感謝工研院柳志錫學長、楊明宗學長以及尹承遠學長，對於研究區梨山提出許多的資料及建議，做為本次研究的參考，特別於此處，感謝學長的協助；同時感謝黃明萬學長及王慧蓉學姊對於他們專業領域上的協助與指導；感謝鑽探師傅黃王平及其組員，如果沒有你們取得良好的鑽探試體，就沒有辦法很順利的完成此本論文；感謝同期研究的同學劉盛華及黃玉麟，彼此一同在梨山鑽探監工，一起做研究，一起撐過最後論文的口試；最後謝謝每一位大地組的同學、學弟及學長們，陪我度過這兩年的研究所生活。

最後，我要特別的感謝家人及我週遭的朋友們，謝謝你們在這兩年內對我的支持與鼓勵，使我能順利的完成此論文。



# 目錄

中文摘要 .....	I
Abstract .....	II
誌謝 .....	IV
目錄 .....	V
圖目錄 .....	VII
表目錄 .....	X
第一章 前言 .....	1
1-1 研究動機與目的 .....	1
1-2 研究內容、方法與流程 .....	1
1-3 論文架構與內容 .....	2
第二章 文獻回顧 .....	5
2-1 崩積層型態與特性 .....	5
2-2 崩積層材料特性與力學行為模式 .....	6
2-2-1 顆粒集合體力學模式 .....	6
2-2-2 富弱面岩體力學模式 .....	8
2-2-3 BIMROCK 模式 .....	13
2-3 崩積層邊坡之數值模擬案例 .....	14
2-3-1 數值模擬前人研究成果 .....	14
2-3-2 討論 .....	20
2-4 梨山地區試驗場址之環境與地滑特性 .....	20
2-4-1 梨山地區背景 .....	20
2-4-2 梨山地滑地區以往相關研究 .....	23
2-4-2-1 前人研究成果 .....	23
2-4-2-2 討論 .....	26
2-4-3 梨山各地滑分區及滑動土體之回顧探討 .....	26
2-5 邊坡穩定分析方法 .....	31
2-5-1 土壤邊坡穩定分析方法 .....	32
2-5-1-1 極限平衡法 (Limit Equilibrium Method) .....	32

2-5-1-2 變形分析法.....	36
2-5-2 岩石邊坡穩定分析方法.....	37
2-5-3 梨山邊坡分析案例.....	39
2-5-4 討論.....	41
第三章 現地鑽探取樣與岩心地質分類統計.....	42
3-1 鑽探規畫.....	42
3-2 地層分類準則.....	50
3-3 地質柱狀圖.....	53
3-4 岩體弱面特性及統計.....	60
3-5 討論.....	73
第四章 岩體力學模型建立及公式之推導.....	75
4-1 不同類型之力學模型建構.....	75
4-2 力學模型中參數標定的方法.....	77
4-2-1 現地試驗參數取得.....	81
4-2-2 室內實驗參數取得.....	83
4-2-3 Mohr-Coulomb 破壞模式係數推導.....	86
4-3 與試驗結果比較.....	88
第五章 邊坡穩定分析應用案例.....	92
5-1 分析工具.....	92
5-2 模擬斷面簡化分層.....	93
5-3 數值模擬模型與結果.....	95
5-4 結果討論.....	105
第六章 結論與建議.....	106
6-1 結論.....	106
6-2 建議.....	108
參考文獻.....	109



## 圖目錄

圖 1.1、研究流程圖一 .....	3
圖 1.2、研究流程圖二 .....	4
圖 2.1、(a)岩塊堆積崩積層(b)土石混合堆積崩積層(c)岩層滑動崩積層(董家鈞、楊賢德，2001).....	5
圖 2.2、物體的摩擦性質示意圖(滑動的臨界狀態)(施國欽，2005).....	7
圖 2.3、庫倫剪力強度破壞準則(施國欽，2005) .....	7
圖 2.4、莫爾-庫倫破壞準則(施國欽，2005).....	8
圖 2.5、橫向等向性岩體(Goodman,1976).....	10
圖 2.6、兩組不可忽略節理厚度之岩體：(a)具有兩組節理之物質(b)具有第二組節理之等效物質(PANDE，1993).....	12
圖 2.7、重力平衡後邊坡剪應變增量(林光敏，2002) .....	17
圖 2.8、無水位狀態下降低強度時邊坡之塑性區分佈(林光敏，2002) .....	17
圖 2.9、自由水位下邊坡之剪應變累積(林光敏，2002) .....	18
圖 2.10、自由水位下水平位移分佈圖(林光敏，2002) .....	18
圖 2.11、FLAC 模擬後的位移向量(Stewart & Ripley，1999) .....	19
圖 2.12、梨山地滑區地理位置圖(修改自工研院，2005) .....	21
圖 2.13、梨山地區區域地質圖(劉岫雲，2003) .....	23
圖 2.14、崩積土直接剪力試驗結果細料含量(F)與凝聚力(c)之關係(劉啟鋒，1990).....	24
圖 2.15、崩積土直接剪力試驗結果細料含量(F)與內摩擦角( $\psi$ )之關係(劉啟鋒，1990).....	24
圖 2.16、梨山地滑區滑動土體分佈圖(蘇苗彬，2003) .....	27
圖 2.17、東南二區地下水位變化狀況(富國，2001) .....	28
圖 2.18、東南二區孔內傾斜變化狀況(富國，2001) .....	29
圖 2.19、東南二區地表傾斜變化狀況(富國，2001) .....	30
圖 2.20、東南二區地表位移變化狀況(富國，2001) .....	31
圖 2.21、平面破壞土體之平衡條件(吳偉特,1980) .....	33
圖 2.22、圓弧滑動破壞之平衡條件(吳偉特,1980) .....	34
圖 2.23、一般切片分析法之切片側力假設(吳偉特，1980) .....	34
圖 2.24、Bishop 修正分析法之切片側力假設(吳偉特，1980).....	35
圖 2.25、土體楔形滑動破壞機制之模擬(1)被動楔形區(2)中央楔形區(3)主動楔形區(吳東	

嶽，2005).....	35
圖 2.26、岩層平面滑動之幾何條件(吳偉特，1980) .....	37
圖 2.27、岩坡翻倒與滑動破壞之條件(Hoek & Bary，1977).....	38
圖 2.28、岩坡楔形滑動破壞之幾何形狀(吳偉特，1980) .....	39
圖 2.29、II-II'測線剖面圖(能資所，1993).....	41
圖 3.1、鑽孔孔位之剖面圖(改編自富國，2001) .....	43
圖 3.2、鑽孔孔位平面配置圖 .....	43
圖 3.3、HQ-3 索式岩心管構造總成(摘自 BOART LONGYEAR).....	46
圖 3.4、HQ 拋射器構造總成(摘自 BOART LONGYEAR) .....	47
圖 3.5、岩心分類流程圖 .....	52
圖 3.6、N-1 孔 0~20m 地質鑽探柱狀圖.....	54
圖 3.7、N-1 孔 20~40m 地質鑽探柱狀圖.....	55
圖 3.8、N-2 孔 0~20m 地質鑽探柱狀圖.....	56
圖 3.9、N-2 孔 20~40m 地質鑽探柱狀圖.....	57
圖 3.10、N-2 孔 40~60m 地質鑽探柱狀圖.....	58
圖 3.11、N-2 孔 60~80m 地質鑽探柱狀圖.....	59
圖 3.12、N-1 及 N-2 孔節理數量及角度統計圖.....	69
圖 3.13、N-1 及 N-2 孔節理個數及節理厚度統計表.....	69
圖 3.14、N-1 及 N-2 孔劈理數量及角度統計表.....	70
圖 3.15、N-2 孔 52~56m 新鑽孔岩心放大照片.....	71
圖 3.16、CH-19 孔 40~60m 舊有鑽孔岩心照片(取自工研院).....	72
圖 3.17、由 Televiewer 觀測 N-2 孔所得節理的分佈(黃玉麟，2006).....	73
圖 3.18、Televiewer 與室內岩心判釋之比對(黃玉麟，2006).....	74
圖 4.1、第一類：灰色黏土夾灰色板岩顆粒 .....	76
圖 4.2、第二類：破碎板岩岩體 .....	76
圖 4.3、第三類：灰色板岩內含有節理(節理厚度不可忽略) .....	77
圖 4.4、第四類：灰色板岩內含有節理(節理厚度可忽略) .....	77
圖 4.5、力學模型中參數標定的方法之流程圖 .....	80
圖 4.6、懸垂式 P-S 波探測示意圖(摘自 Nigbor and Imai，1994).....	82
圖 4.7、超音波系統配置示意圖(傳遞時間法) .....	84

圖 4.8、脈衝產生/接收器 .....	85
圖 4.9、P 波及 S 波探頭 .....	85
圖 4.10、HP 54600 型之示波器 .....	85
圖 4.11、Mohr-Coulomb 破壞準則 (from FLAC manual) .....	86
圖 4.12、Mohr-Coulomb 模型：流動法則定義的範圍(from FLAC manual).....	87
圖 4.13、三維座標系統表示圖(Jaeger, 1979) .....	88
圖 4.14、橫向等向性材料波傳方向與粒子運動方向(董家鈞, 1998) .....	91
圖 5.1、FLAC 程式運算 (from FLAC manual) .....	92
圖 5.2、模擬剖面網格 .....	95
圖 5.3、各層分區圖 .....	96
圖 5.4、重力平衡時之不平衡力圖 .....	97
圖 5.5、重力平衡時之位移分佈圖 .....	97
圖 5.6、重力平衡時之剪應變累積增量圖 .....	98
圖 5.7、FS=1.01 時之不平衡力圖 .....	99
圖 5.8、加入地下水位影響後之不平衡力圖 .....	100
圖 5.9、將整體安全係數調至 FS=0.74 時之不平衡力圖 .....	101
圖 5.10、將整體安全係數調至 FS=0.74 時之位移圖 .....	101
圖 5.11、將整體安全係數調至 FS=0.74 時之剪應變累積增量圖 .....	102
圖 5.12、地下水位位於地表下 10m 之不平衡力圖 .....	103
圖 5.13、地下水位位於地表下 25m 之不平衡力圖 .....	103
圖 5.14、地下水位位於地表下 33m 之不平衡力圖 .....	104
圖 5.15、地下水位位於地表下 33m 之位移圖 .....	104
圖 5.16、地下水位位於地表下 33m 之剪應變累積增量圖 .....	105

## 表目錄

表 2.1、山崩之分類(Varnes,1978).....	5
表 2.2、數值模擬使用參數表(林光敏, 2002) .....	15
表 2.3、邊坡穩定分析參數建議表(中華顧問, 1999) .....	16
表 2.4、直接剪力試驗結果(能資所, 1993) .....	25
表 2.5、三軸 SCU 試驗結果(能資所, 1993).....	26
表 3.1、HQ-3 岩心管規格 .....	44
表 3.2、舊鑽機與新鑽機優缺點比較 .....	45
表 3.3、超泥漿®穩定液 v.s.傳統皂土比較表.....	48
表 3.4、本研究初步岩性判釋表 .....	53
表 3.5、N-1 孔岩心裂縫描述.....	61
表 3.6、N-2 孔岩心裂縫描述.....	63
表 4.1、由 $K_n$ 及 $K_s$ 值推估合適之 $V_s$ 與 $V_p$ 值.....	79
表 4.2、N-1 孔位 P-S Logging 量測統計表.....	81
表 4.3、完整岩石之壓力波速( $V_p$ )及剪力波速( $V_s$ ) .....	84
表 5.1、N-1 鑽孔地層種類及層差.....	93
表 5.2、N-2 鑽孔地層種類及層差.....	94
表 5.3、分層相對深度及種類 .....	94
表 5.4、AA、BB、CC 及 DD 層數值模擬參數輸入值.....	95