

國立交通大學
土木工程學系碩士班
碩士論文



梨山地區崩積層成因與崩積材料之力學行為

The Origin and Mechanical behavior of
Colluvial Deposits at the LiShan area

研究生：王智仁

指導教授：廖志中 博士

中華民國九十七年七月

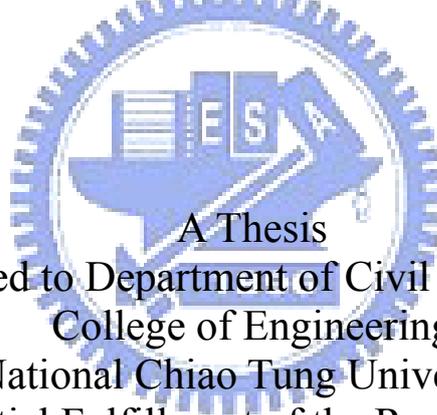
梨山地區崩積層成因與崩積材料之力學行為

The Origin and Mechanical behavior of Colluvial Deposits at the LiShan area

研究生：王智仁
指導教授：廖志中 博士

Student: Chih-Jen Wang
Advisor: Dr. Jyh-Jong Liao

國立交通大學
土木工程學系碩士班
碩士論文



A Thesis
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 2008
Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十七年七月

梨山地區崩積層成因與崩積材料之力學行為

The Origin and Mechanical behavior of Colluvial Deposits at the LiShan area

學生：王智仁

指導教授：廖志中 博士

國立交通大學土木工程學系碩士班

中文摘要

梨山崩積層是由破碎板岩與其風化形成之土壤所構成，經侵蝕作用造成凹凸起伏之地形。此種地形、地質條件極易於豪雨或地震後產生滑動。本研究藉由地質鑽探取得之完整鑽心及既有之地質資料對此區域之崩積層形成之崩塌機制加以分析探討。隨後於實驗室進行一系列的一般物理性質試驗及三軸壓密不排水試驗，利用試驗結果分別對崩積材料的力學行為與粒徑分佈及岩塊含量等關係進行分析討論，來幫助釐清崩積材料力學性質與滑動關係，使整個梨山區域之崩積材料特性及崩積層形成之崩塌機制更為明瞭。

本文針對梨山地滑區 B13 滑動體 B1 鑽孔所鑽得之崩積材料進行一系列的三軸不排水試驗，結果顯示滑動面材料之岩塊含量低於 16%，主要為基質土壤所構成，越深層滑動帶越有過壓密之現象。綜合劉盛華(2007)對梨山崩積層軟弱材料之試驗結果得出，此區域之灰色黏土夾板岩碎屑類材料之 $C' \doteq 0.3 \text{ kg/cm}^2$ ， $\Phi' \doteq 20.6^\circ$ 。另外綜合羅文驤(2007)對梨山區域板岩夾粘土類材料比較發現，其強度有隨岩塊含量增加而增加之趨勢。此外，結合唐禎國(2007)及黃玉麟(2006)之資料，由劈理位態分布狀況推估梨山地區崩積層之形成可能為大規模之山坡潛移導致。研究場址 B13 滑動體下層軟弱層區亦應為潛移剪切作用形成。

關鍵字：崩積層、併構岩、三軸壓密不排水實驗、邊坡潛移

The Origin and Mechanical behavior of Colluvial Deposits at the LiShan area

Student : Chih-Jen Wang

Advisor : Dr. Jyh Jong Liao

Institute of Civil Engineering

National Chiao Tung University

Abstract

The Lishan colluvial deposits are composed of fractured slate and its weathered soils. The ground surface exhibits concave-convex relief which were formed by erosion. Thus, the terrain and geology indicate that landslide is easy to be triggered by rainfall or earthquake. The study aims to investigate the origin of the colluvial deposits and the mechanical behavior of the deposits. Hence, two borehole are drilled at the landslide area, one at zone 5 and the other at zone 13. A series of physical property tests and undrained triaxial compression tests of colluvial cores are conducted.

The colluvial cores drilled from the sliding belt of the landslide zone 13 shows that sliding interfaces are composed of grey clay with 16% less of slate detritus. Besides, a series test of liquid limit and plastic limit on the core specimens are performed. The test results show that the deeper of sliding interface is the more over-consolidation of the interface material. The results of undrained triaxial compression tests show that the strength parameters of grey clay with slate detritus C' and Φ' are about 0.3 kg/cm^2 and 20.6° , respectively. The test results also show that the triaxial peak strength increase with the increase of block content. Finally, the study integrates the site investigation results of Huang(2006) and Tang(2007) and concludes that the Lishan colluvial deposits may be formed by large-scale hillslope creep. The deeper sliding belt at landslide zone 13 is also formed by a large-scale hillslope creep.

Key Word:colluvial deposits, Bimrock, Triaxial compression test, Hillslope Creep

誌謝

當初很幸運的可以考進來這裡的研究所，也很幸運的可以拜在廖老師的門下。研究所的這兩年來受了指導教授 廖志中博士很多的教導與照顧，老師常常為了改學生的論文一個頭兩個大的，也很感謝另一位指導的潘以文老師，被兩個老師一起釘的經驗並不是每個研究生都會有的經驗，但進了潘廖之後，才發現這其實很不錯，這應該也是只有潘廖才會有的體驗吧！真的很謝謝兩位老師，最後這本論文才能順利完成。也謝謝在學時，方永壽教授、林志平教授、黃安斌教授及單信瑜教授在課業學問上的教導。另外並感謝口試委員李德河教授、黃燦輝教授、陳昭旭副教授與吳建宏助理教授百忙之中抽空為我指導，費心的審核與提供建議，才能使學生的論文得以完成，特別致上最高謝意。

謝謝研究所生活中的各位同學，你們替我帶來了很多生活跟課業上的幫忙與樂趣，有幸跟大家一起當同學，真是有福氣！特別謝謝同門的凱，還有小田跟聰吉，歹戲拖棚，讓你們等很久了啦！也謝謝一起在梨山鑽探的很龜的永奇的陪伴。謝謝阿華跟小驤學長以及全修，教我關於試驗儀器的架設還有實驗方面的問題。最後我也要謝謝那幫支持我的大學好友(就是你們啊！！要點名嗎！？呵)默默的替我加油！很謝謝大家！還有那些默默在背後支持我為我加油的人，謝謝你們。

最後，謝謝我的家人們，爸媽，妹妹以及伴我一起長大的弟弟，謝謝你們一路的支持我並帶給我精神上的鼓勵。還有看不到這本論文的爺爺，因為有您的保佑，我才可以順利口試，也希望你在另一個世界過的更好。

目 錄

中文摘要.....	I
ABSTRACT.....	II
第一章 前言.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究目的.....	2
1.3 研究流程.....	2
第二章 文獻回顧.....	4
2.1.1 崩積層的形成.....	4
2.1.2 崩積層崩塌特性與型態.....	6
2.1.3 崩塌破壞行為與邊坡潛移模式.....	7
2.2 土石混合材料之力學特性.....	10
2.3 梨山地區概況介紹.....	25
2.3.1 地理位置與交通概況.....	25
2.3.2 地形與地質.....	27
2.3.3 氣象與水文.....	29
2.4 梨山過去相關文獻摘述.....	30
2.4.1 地滑狀況.....	30
2.4.2 崩積層材料分類.....	36
2.4.3 既有一般物性及力學試驗成果.....	43
第三章 研究方法.....	53
3.1 地質鑽探.....	53
3.1.1 研究場址.....	53
3.1.2 鑽探位置.....	55
3.1.3 鑽探取樣方法與保存.....	58
3.2 試驗規劃.....	63
3.2.1 試驗材料及數量規劃.....	63
3.2.2 試驗流程.....	65
3.2.3 試體準備.....	66
3.3 實驗設備.....	68
3.3.1 軟岩三軸試驗系統.....	68
3.3.2 土壤三軸試驗設備.....	75
3.4 實驗步驟.....	76
3.4.1 三軸壓縮試驗-灰色板岩夾灰色黏土材料.....	76

3.4.2 三軸壓縮試驗-灰色黏土夾灰色板岩碎屑材料	77
3.4.3 基本物性試驗	78
第四章 研究結果與討論	80
4.1 一般物理性質試驗	80
4.2 三軸壓密不排水試驗結果	82
4.2.1 三軸壓密不排水應力應變曲線-灰色板岩夾灰色黏土	84
4.2.2 三軸壓密不排水應力應變曲線-灰色黏土夾板岩碎屑	85
4.2.3 三軸壓密不排水超額孔隙水壓變化曲線-灰色板岩夾灰色黏土 ...	90
4.2.4 三軸壓密不排水超額孔隙水壓變化曲線-灰色黏土夾板岩碎屑 ...	92
4.2.5 三軸壓密不排水試驗剪力強度參數	94
4.2.6 綜合分析討論	95
4.3 崩積層形成原因探討	103
4.3.1 地質鑽探結果	103
4.3.2 崩積層形成的崩塌機制探討	103
第五章 結論與建議	113
5.1 結論	113
5.2 建議	114
參考文獻	115
附錄 A	119
附錄 B	125

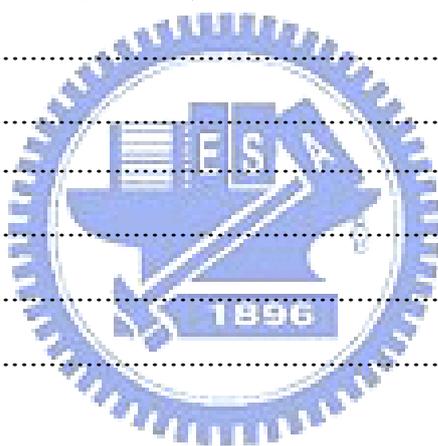


表 目 錄

表 2-1 卵礫石含量對粘土砂土強度參數的影響(Holtz&Willard, 1961).....	16
表 2-2 5 組不同含量比的砂-黏土混合試體(Vallejo, 2000).....	16
表 2-3 梨山地滑區地層相關文獻表	33
表 2-4 崩積地層分類基準表(藤原明敏, 1979)	38
表 2-5 岩心分類方法(黃玉麟, 2006)	39
表 2-6 崩積層材料分類組成與特性、力學模式與建議使用的破壞準則	39
表 2-7 與過去研究者對梨山崩積層歸納(唐禎國, 2007)	47
表 2-8 梨山崩積材料力學性質 (劉盛華, 2007)	48
表 2-9 四號篩以下重模直接剪力試驗結果(工研院, 1993)	49
表 2-10 三軸SCU試驗結果(工研院, 1993).....	49
表 2-11 一般物理性質試驗結果(方世傑, 1990)	49
表 2-12 崩積土與砂質黏土基本參數(劉啟鋒, 1990)	50
表 2-13 不同粒徑凝聚力與摩擦角大小(劉啟鋒, 1990)	50
表 2-14 砂質黏土強度參數(劉啟鋒, 1990)	50
表 2-15 梨山地區崩積土層的相關研究整理	51
表 3-1 B5 滑動體監測儀器列表(整理自富國工程, 2001).....	54
表 3-2 三軸壓密不排水試驗規劃與取樣位置	64
表 4-1 B1 孔現地含水量	81
表 4-2 試驗段物理性質結果	82
表 4-3 試體基本資料表	83
表 4-4 三軸壓密不排水試驗試體基本資料表(劉盛華, 2007)	97
表 4-5 試體編號及基本資料表(羅文驤, 2007)	98
表 4-6 劈理統計表	105
表 4-7 G1 排水廊道地質調查資料(整理自水保局二工所, 2003)	106
表 4-8 G2 排水廊道地質調查資料(整理自水保局二工所, 2003)	107
表 4-9 X2 與X3 劈理位態資料(唐禎國, 2007).....	108

圖目錄

圖 1-1 研究流程圖.....	3
圖 2-1 邊坡發展圖(Wood, 1942).....	5
圖 2-2 崩積層分類示意圖(董家鈞、楊賢德, 2001).....	6
圖 2-3 典型崩塌地地形示意圖(藤原明敏, 1970).....	6
圖 2-4 岩石邊坡破壞模式(Hoek&Bray, 1977).....	8
圖 2-5 山坡潛移作用類型(Chigira, 1992).....	9
圖 2-6 併構岩體積含量比與有效摩擦角關係圖(Medley, 2001).....	17
圖 2-7 不同取樣面積岩塊粒徑對取樣面積平方根正規化後出現.....	17
圖 2-8 試體強度受到尺寸效應影響結果圖(Marsal, 1969).....	18
圖 2-9 最大粒徑與內摩擦角關係(Marachi, 1972).....	18
圖 2-10 岩塊與基質在不同含量下之排列 (Montrasio, 1998).....	19
圖 2-11 多個立方體元素所構成單一個試體示意圖(Montrasio, 1998).....	19
圖 2-12 應變門檻值 ε_{max} 與岩塊含量 p 之關係圖(Montrasio, 1998).....	20
圖 2-13 單剪試驗尖峰剪力強度與含量比關係圖.....	20
圖 2-14 不同圍壓中孔隙率與含量比曲線 (Vallejo, 2000).....	21
圖 2-15 含量比變化下砂與黏土顆粒排列情形 (Vallejo, 2000).....	21
圖 2-16 乾淨砂受黏土填於孔隙中之理論模型(Vallejo, 2000).....	22
圖 2-17 破壞強度與不同岩塊體積含量關係圖(蔡文傑, 2002).....	22
圖 2-18 楊氏模數與不同岩塊體積含量關係圖(蔡文傑, 2002).....	23
圖 2-19 凝聚力與不同岩塊體積含量關係圖(蔡文傑, 2002).....	23
圖 2-20 內摩擦角與不同岩塊體積含量關係圖(蔡文傑, 2002).....	24
圖 2-21 梨山交通位置圖(工研院能資所, 1993).....	26
圖 2-22 梨山地滑分區示意圖(水保局二工所, 2005).....	28
圖 2-23 梨山地區區域地質圖(劉岫雲, 2003).....	29
圖 2-24 梨山地滑分區與滑動體位置圖(劉岫雲, 2003).....	35
圖 2-25 B9 滑動體上B-B'剖面地層與劈理位態圖(黃玉麟, 2006).....	36

圖 2-26 典型梨山地區崩積層剖面(工研院，1993).....	40
圖 2-27 梨山地區地層材料分類圖示(工研院，1993).....	40
圖 2-28 岩心分類流程圖(黃玉麟，2006).....	41
圖 2-29 崩積層材料分類(賴忠良，2006).....	41
圖 2-30 X1、X2 及X3 鑽孔位置示意圖(劉盛華，2007).....	42
圖 2-31 岩心分類流程圖(唐禎國，2007).....	42
圖 2-32 材料力學行為分類流程圖(唐禎國，2007).....	43
圖 2-33 方世傑(1990)等於台七甲 73 k鑽孔、篩分析及塊狀取樣位置圖 ...	52
圖 3-1 鑽孔位置示意圖	55
圖 3-2 B1 鑽孔位置及深度圖(修改自富國工程，2001).....	56
圖 3-3 B1 鑽孔位置示意圖	56
圖 3-4 B2 鑽孔位置及深度圖(修改自富國工程，2001).....	57
圖 3-5 B2 鑽孔位置示意圖	57
圖 3-6 鋼索式取岩心法示意圖(Clayton, et al., 1995).....	59
圖 3-7 實際鋼索取樣現況	60
圖 3-8 爪狀矛頭.....	61
圖 3-9 三層岩心筒(劉武志，1979).....	61
圖 3-10 岩心筒內外管及鑽頭	62
圖 3-11 岩心保存方式.....	62
圖 3-12 三軸實驗流程圖	65
圖 3-13 單刃岩心切割機	67
圖 3-14 岩心切割機控制旋鈕介面圖	67
圖 3-15 軟岩三軸系統配置圖(林智惠，2003).....	72
圖 3-16 軟岩三軸試驗系統全景	73
圖 3-17 MTS 458 控制器	73
圖 3-18 油壓機(林智惠，2003).....	74
圖 3-19 油壓缸與真空幫浦(林智惠，2003).....	74
圖 3-20 內置式荷重計、壓力轉換器(林智惠，2003).....	74
圖 3-25 不同緊密度之土壤有飽和度與B值之關係 (Black，1973)	77

圖 4-1 有效圍壓 2kg/cm^2 之應力應變曲線及孔隙水壓圖	84
圖 4-2 LVDT及Load cell之架設位置示意圖	86
圖 4-3 試驗後試體歪斜情況(以C-B105 為例).....	87
圖 4-4 應力應變與孔隙水壓圖(圍壓 3kg/cm^2 、反水壓 2kg/cm^2).....	88
圖 4-5 應力應變與孔隙水壓圖(圍壓 4kg/cm^2 、反水壓 2kg/cm^2).....	88
圖 4-6 應力應變與孔隙水壓圖(圍壓 5kg/cm^2 、反水壓 2kg/cm^2).....	89
圖 4-7 岩塊含量類似之應力應變曲線	89
圖 4-8 2kg/cm^2 有效圍壓下超額孔隙水壓變化圖	90
圖 4-9 岩塊含量與超額孔隙水壓比較	91
圖 4-10 超額孔隙水壓變化曲線圖(圍壓 3kg/cm^2 ，反水壓 2kg/cm^2).....	92
圖 4-11 超額孔隙水壓變化曲線圖(圍壓 4kg/cm^2 ，反水壓 2kg/cm^2).....	93
圖 4-12 超額孔隙水壓變化曲線圖(圍壓 5kg/cm^2 ，反水壓 2kg/cm^2).....	93
圖 4-13 用莫爾圓求剪力強度圖	94
圖 4-14 應力應變及孔隙水壓變化圖(圍壓 4kg/cm^2 、反水壓 3kg/cm^2).....	99
圖 4-15 應力應變及孔隙水壓變化圖(圍壓 3kg/cm^2 、反水壓 2kg/cm^2).....	99
圖 4-16 應力應變及孔隙水壓變化圖(圍壓 4kg/cm^2 、反水壓 2kg/cm^2).....	100
圖 4-17 應力應變及孔隙水壓變化圖(圍壓 5kg/cm^2 、反水壓 2kg/cm^2).....	100
圖 4-18 應力應變及孔隙水壓變化圖(圍壓 4kg/cm^2 、反水壓 2kg/cm^2).....	101
圖 4-19 高岩塊比應力應變及孔隙水壓比較	101
圖 4-20 岩塊含量與軸差應力比較	102
圖 4-21 岩塊含量與軸差應力比較(羅文驥，2007).....	102
圖 4-22 劈理角度統計示意圖	109
圖 4-23 破壞與劈理關係示意圖(修改自Chigira，1992).....	110
圖 4-24 B2 孔劈理位態立體投影圖.....	110
圖 4-25 A-A'剖面線圖.....	111
圖 4-26 A-A'剖面線位置圖.....	111
圖 4-27 劈理轉向示意圖	112

第一章 前言

1.1 研究背景

位在環太平洋火山地震帶上的台灣，長久以來受到了歐亞大陸板塊及菲律賓海板塊相互碰撞擠壓下，使得此區域有著活躍的地質活動，造成了台灣先天地質構造的多樣性。再加上台灣位處熱帶、亞熱帶氣候區裡，配合不同季節季風影響，產生了高溫、多雨及潮濕的氣候。這些內外營力的交互作用下，加速了地層的風化和河川的侵蝕，導致地質構造及地形環境的變異性大且複雜。每每暴雨過後，山區邊坡時常可見崩坍破壞或滑移的現象，邊坡破壞後的堆積物，往往在下邊坡或崖錐處形成大小規模不一的崩積層，不整合的覆蓋在原岩層上。

梨山為一古崩塌地，崩塌地下之地層屬於中新世廬山層，主要由板岩構成。崩塌地之主要組成材料為板岩及其風化所形成的土壤，板岩岩質破碎、軟弱，風化土壤以含岩屑的黏土為主。此種地質條件極易於豪雨或地震後產生滑動。民國七十九年四月連續降雨後，梨山賓館、台汽客運梨山站，以及國民旅舍等建物均有嚴重下陷與龜裂之情形，而台七甲線 73 公里處發生路基邊坡塌陷流失，造成交通中斷，對當地居民生命財產安全產生嚴重影響，因此學術界及坡地、公路等管理單位開始對梨山地區規劃一系列之研究整治。

過去梨山相關研究指出，此地區是由膠結不良的崩積材料(山坡堆積物)與風化程度不一的板岩(風化擾動或破碎板岩層)覆蓋於新鮮板岩上所構成，一般認為主要滑動層材料為粉土質黏土層。礙於過去鑽探品質不佳，許多滑動層之黏土岩心提取率極低，由於岩心品質不佳，故多使用重模試體施作室內實驗，以決定崩積材料的力學性質。此外，即使利用明坑開挖

之天然崩積層試體，進行直接剪力試驗，由於很難開挖至滑動層，且結果散亂，致使滑動層之物理及力學性質難以具有代表性。黃玉麟(2006)、賴忠良(2006)、唐禎國(2007)、謝孟修(2007)、劉盛華(2007)及羅文驤(2007)等人，於梨山使用適合此區域之鑽探方式，提高鑽探品質及滑動層黏土岩心之提取率後，藉由取得之完整鑽心進行崩積材料分類及一系列之現地及室內試驗。才對於崩積材料組成特性及崩積層形成機制有了初步之了解。

1.2 研究目的

本研究延續唐禎國(2007)、劉盛華(2007)及羅文驤(2007)等人於梨山崩積材料之相關研究。綜合先前研究成果對此區域之崩積材料及形成崩積層的崩塌機制加以分析探討。隨後於實驗室進行一系列的一般物理性質試驗及三軸壓密不排水試驗，利用試驗結果分別對崩積材料的力學行為與粒徑分佈及岩塊含量等關係進行分析討論，來幫助釐清崩積材料力學性質與滑動關係，使梨山崩塌區形成之崩塌機制更為明瞭。

1.3 研究流程

本研究首先收集整理梨山地滑區之相關文獻、舊有鑽孔資料、監測資料及梨山地滑區整治工程之計畫報告等。挑選合適之研究場址進行地質鑽探，再由鑽探取得之完整岩心及舊有之鑽探資料，了解地滑區內各層地質的組成。找出其軟弱帶之區域，進一步由整個滑動體來闡述梨山地滑區之崩塌機制。

除此之外，亦收集回顧國內外對於崩積層這種土石混合材料等相關力學文獻加以整理探討，利用上述取得之完整岩心，進行一系列的一般物性實驗及三軸壓密不排水試驗，最後將室內實驗結果整理分析，來解釋崩積

材料的力學行為與其崩塌機制。本研究流程如圖 1-1 所示。

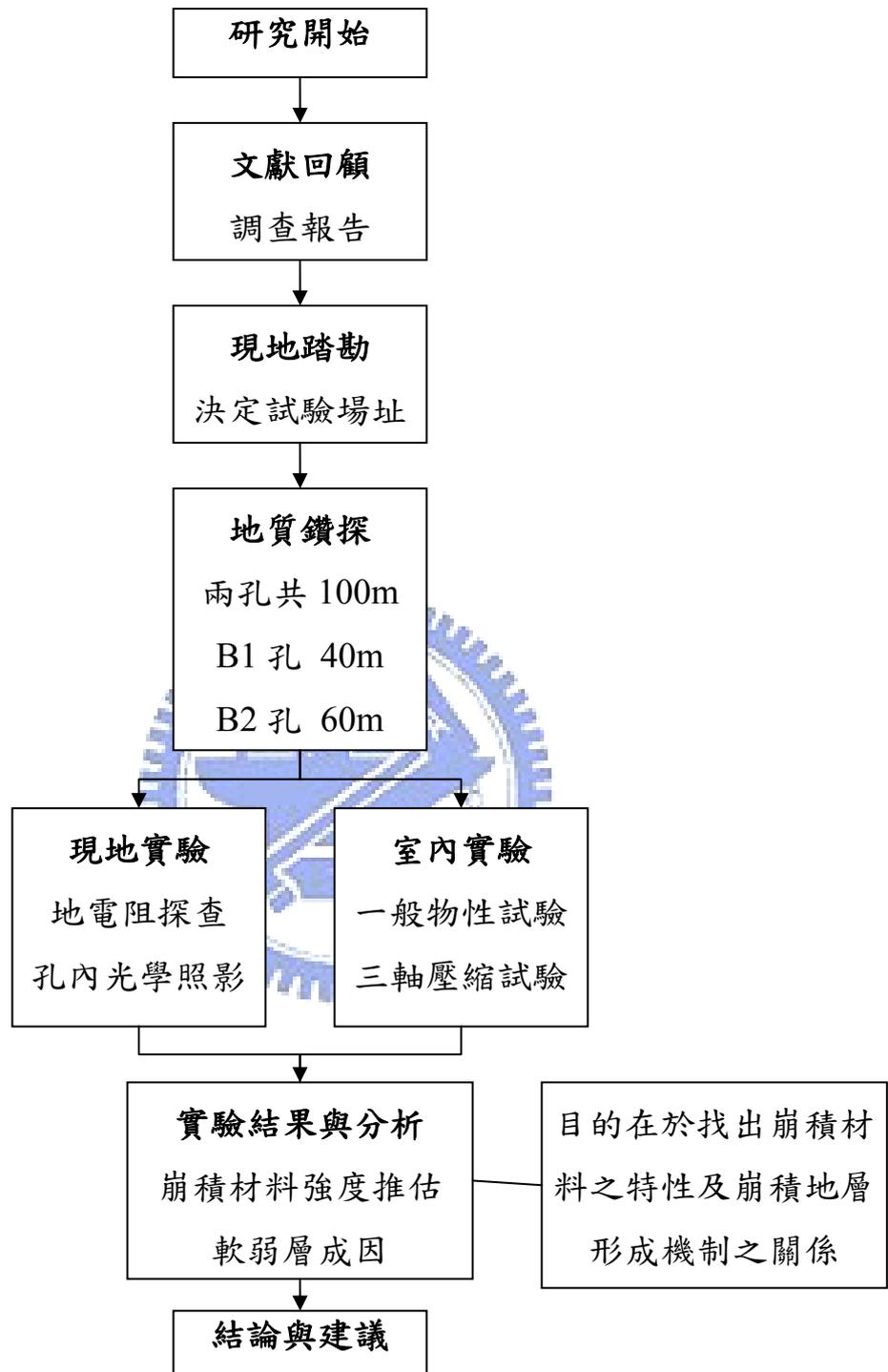


圖 1-1 研究流程圖

第二章 文獻回顧

2.1 崩積層的形成與特性

2.1.1 崩積層的形成

因地質、地形、氣候等自然因素，使得原本在邊坡上部的土、石、人為回填材料或上述物質的混合物，造成物理或化學性的風化，產生不穩定的現象，經由滾動、滑動、或崩塌等重力作用向低處移動，造成邊坡破壞或滑動。這些物質往往在坡腳處形成無一定形狀大小的堆積物，覆蓋在原本的岩層上，即為崩積層。洪如江(1979)認為在上游集水區或礦區上、下方常有崩積土，在斷層帶上或附近的地質材料較為破碎或軟弱，因此也會造成小規模的崩坍地或是崖錐堆積。

Wood(1942)於Geomorphology(B.W.Spark, 1960)書中提出一邊坡發展觀念，如圖 2-1。以下為各階段說明：

1. 為一開始幾乎呈垂直未受風化之原始邊坡，稱此坡面為自由面(free surface)。
2. 邊坡開始受風化侵蝕並產生岩屑，受重力影響後堆積於坡腳，即形成一新坡面，稱此坡面為自然邊坡(constant slope)。
3. 持續風化侵蝕產生岩屑並逐漸往上邊坡堆積。
4. 較細之物質風化後受雨水沖刷經搬運並堆積至坡腳，則形成一沖洗邊坡(wash slope)之坡面。
5. 雨水沖刷使較細物質漸朝上邊坡堆積，且自由面受風化而逐漸消失。
6. 自由面消失，自然邊坡亦受沖刷而逐漸向上邊坡後退。
7. 沖洗邊坡持續發展直至自然邊坡消失。

王鑫(1986)將邊坡之位置，分成上、中及下部，依坡形分為凸、平及

凹坡，用以解釋邊坡本身對於環境關係的相互影響，例如：在凸坡上部土壤侵蝕多半受雨水撞擊造成，而山坡中部其坡形大多較為平直，常出現短暫性的堆積現象。第一次驟雨造成之上部邊坡地表物質沖刷，隨著逕流被搬運至山坡中部坡度平緩處堆積，形成之堆積物就成為下次驟雨搬運攜帶的物質。在坡的下部則為永久性的堆積。

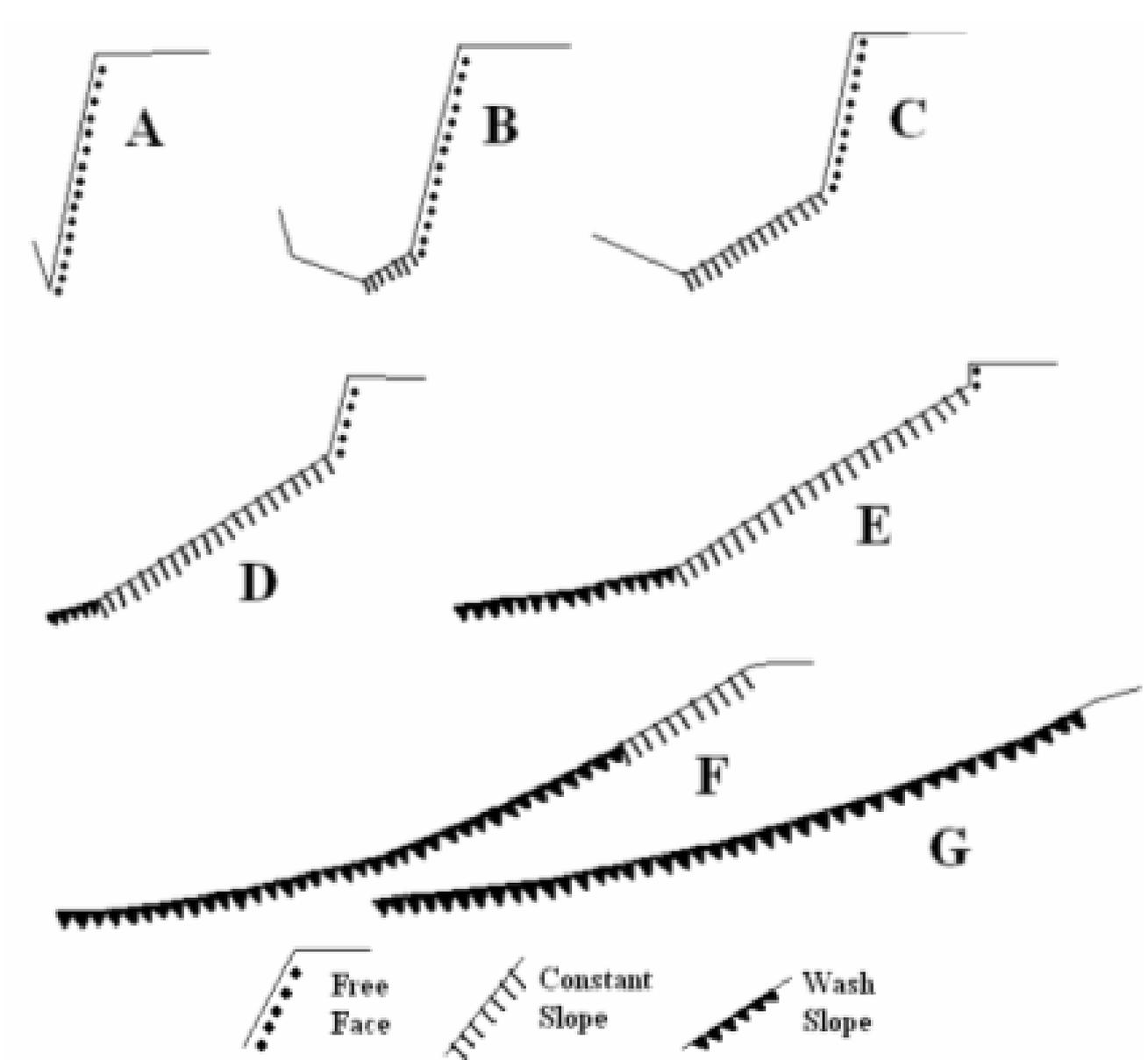


圖 2-1 邊坡發展圖(Wood, 1942)

2.1.2 崩積層崩塌特性與型態

崩坍的種類與母岩、形成年代與環境息息相關，典型崩塌地之特徵可依其崩塌地之塊體崩落方式與堆積位置來區分。李文勳(1971)與徐鐵良(1983)定義崩積土依照距離母岩的遠近，可分為距離較近的岩屑堆積或距離較遠的崖錐堆積。而董家鈞與楊賢德(2001)將崩積層的位移破壞型態分為岩塊堆積崩積層、土石混合崩積層與岩層滑動崩積層。如圖 2-2。

藤原明敏(1970)指出崩塌地之坡頂一般為張力區，伴隨張力裂縫與頂部塌陷產生崩崖的特徵，而坡頂塊體陷落後，受重力影響往下邊坡移動，直到坡度減緩而停止，而於坡址處產生塊體堆積而隆起的情形。如圖 2-3。

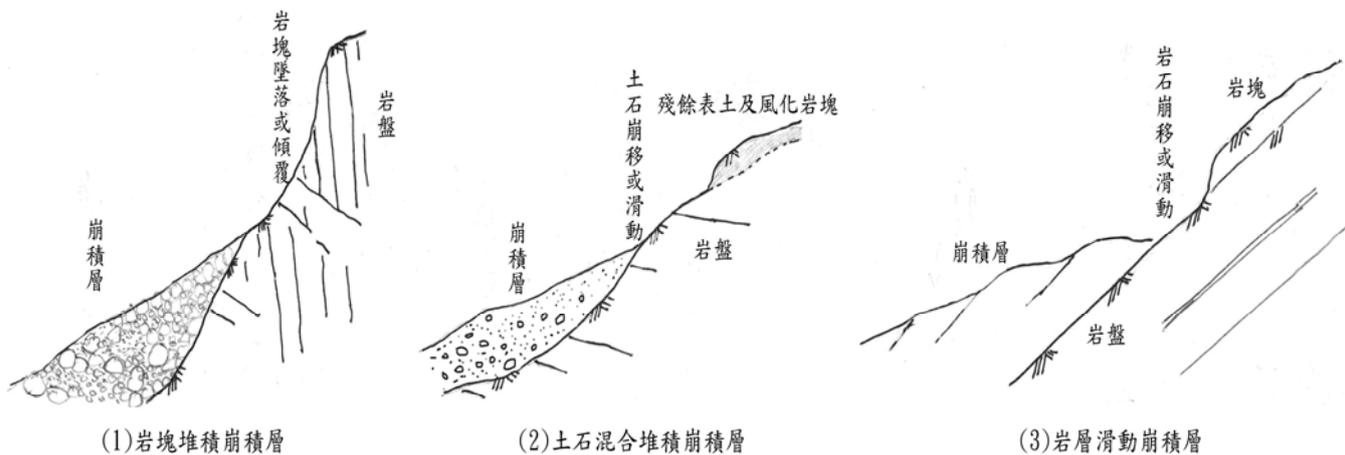


圖 2-2 崩積層分類示意圖(董家鈞、楊賢德，2001)

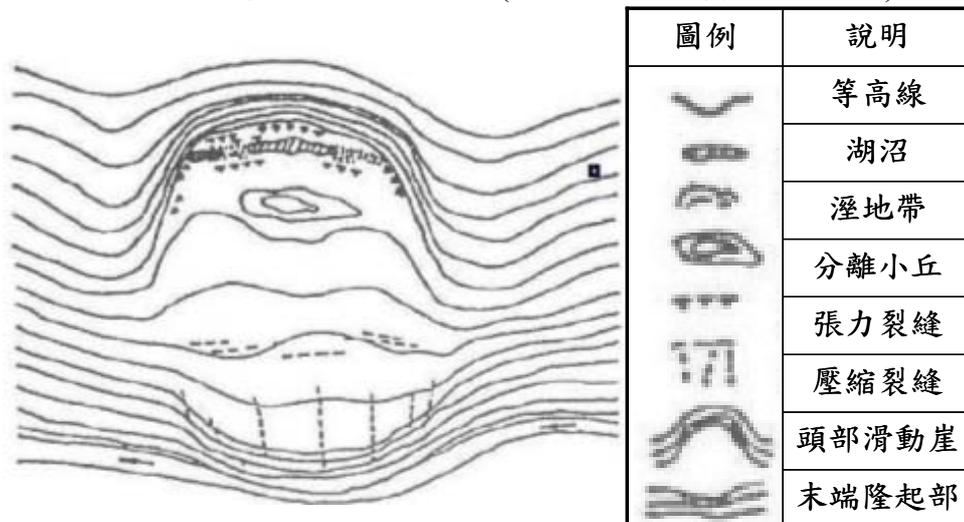


圖 2-3 典型崩塌地地形示意圖(藤原明敏，1970)

2.1.3 崩塌破壞行為與邊坡潛移模式

梨山地層由板岩所組成，岩性單調有崩積層不均勻覆蓋，雖然岩坡的破壞可概略分為五種(Hoek&Bray，1977)，如下所述：

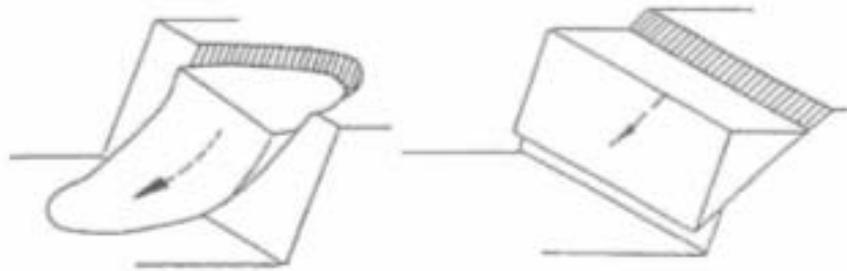
1. 圓弧破壞：大都發生在極破碎的岩盤或性質近似土壤之岩盤，產生岩塊體滑動。
2. 平面破壞：大都發生在順向坡且沿層面移動。
3. 楔形破壞：沿著兩個不連續面之交線方向，出露於坡面上方而產生之岩塊體滑動。
4. 傾倒破壞：大都發生在岩層不連續面傾角接近垂直，或是岩塊重心向外傾斜已超出岩塊之投影面時而傾倒，如圖 2-4。
5. 複合式破壞；以上有兩種以上一起出現為複合式破壞。

然而對於較大地區邊坡的破壞，日本學者Chigira(1992)提出岩體潛移作用形成的破壞型態，他依據葉理位態的特性，提出四大類型分類如圖 2-5，其分類如下所述：

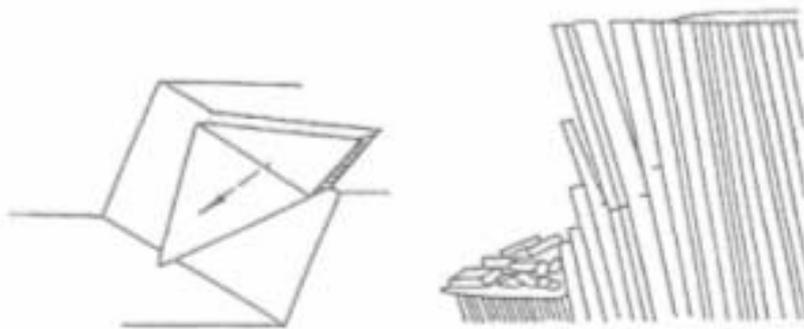
1. 順向坡之拱彎褶皺型(Buckling folds formed in consequent slopes)：葉理位態的形式較緩，與坡向之位態關係為順向，因受到重力的影響，產生拱彎型的潛移作用，並在邊坡外側造成凸起變形。
2. 逆向坡之拖曳褶皺型(Drag folds formed in obsequent slopes)：葉理位態呈現高角度或與坡向呈逆向時，邊坡外側的葉理會因重力的作用而產生類似拖曳褶皺狀的潛移現象。
3. 葉理高傾角之折彎褶皺型(Bending folds formed in slopes with steeply dipping foliation)：其葉理位態常為高角度，邊坡外側的葉理受到重力的作用而向下或向外產生折彎的潛移現象，由剖面來看，其葉理型態呈現「<」字型。

4. 順向坡之斷層型(Faults formed in consequent slopes)：葉理位態較為平緩且與坡面平行，邊坡外側受到重力的作用，而產生類似斷層面的潛移面。

邱坤豪(2000)發現，鄰近梨山崩積地區之佳陽地區近河谷之板岩劈理位態與邊坡上之板岩劈理位態傾向相反，認為此區劈理之變化乃因大規模邊坡潛移造成，而並非構造上之褶皺作用。



(a)圓弧型破壞(Circular failure) (b)平面破壞(Planar failure)



(c)楔形破壞(Wedge failure) (d)傾倒破壞(Toppling failure)

圖 2-4 岩石邊坡破壞模式(Hoek&Bray，1977)

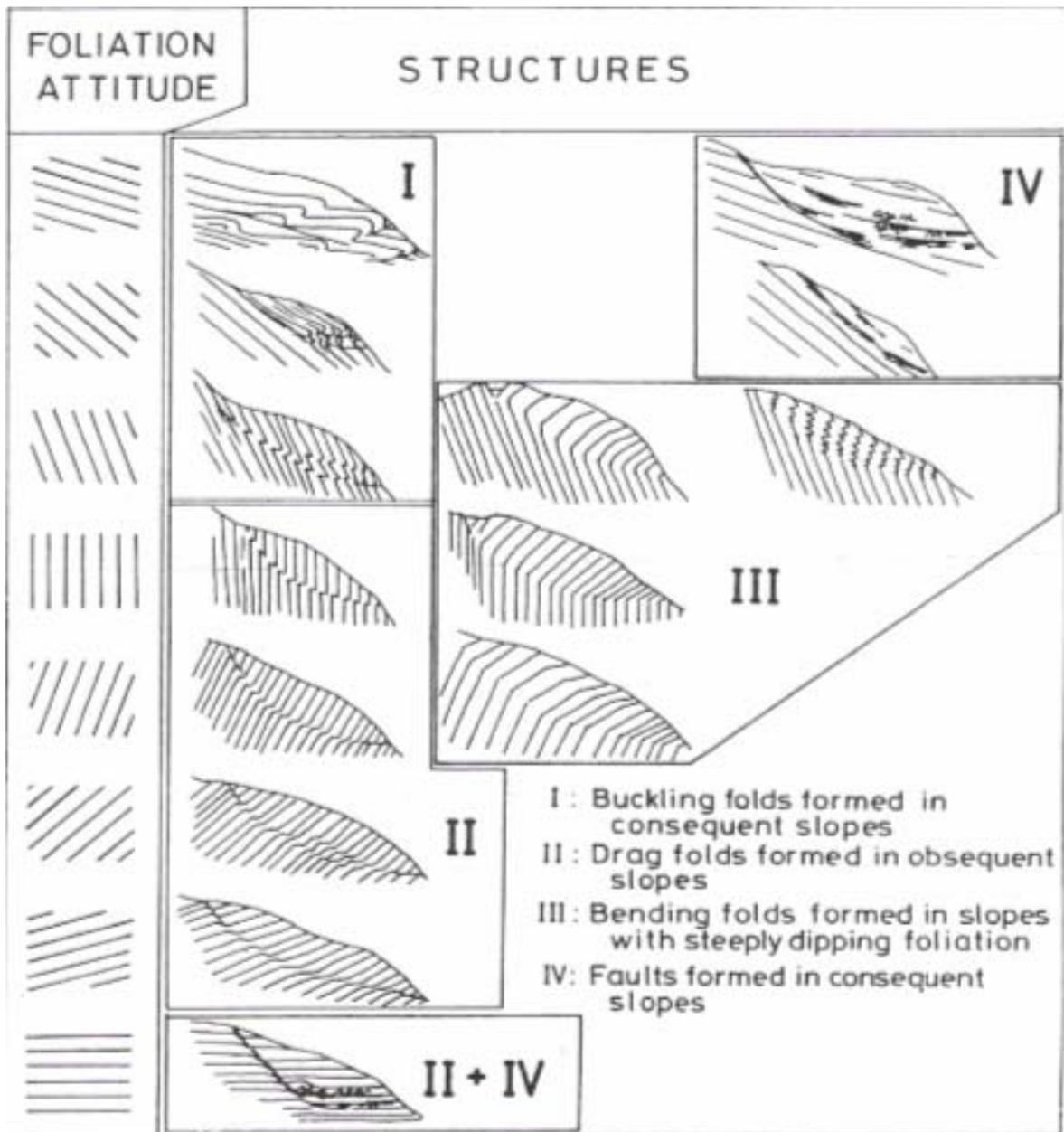


圖 2-5 山坡潛移作用類型(Chigira, 1992)

2.2 土石混合材料之力學特性

崩積材料多為組成不規則且顆粒大小懸殊、不均質性高。因此對於類似此種土石混合材料組成的岩體必須加以定義並探討其力學行為。

許靖華(1988)描述土、石混合材料如下：「包含不同粒徑之本身或外來的碎片及岩塊鑲嵌在基質泥中所構成之岩體。」，可稱為「混同層」或「混成岩」(Melange)。

Medley(1994)認為所謂的Melange或其他材料顆粒組成類似的岩體，只要是具有軟弱基質材料與硬質岩塊所構成的岩體，在力學行為與力學分析模式應該相同，因此定義此類岩石為Bimrock (Block-in-Matrix)，可稱為「併構岩」(林銘郎，2000)。Medley(2001)亦定義岩體材料內岩塊與基質之強度與勁度比必須滿足 $\tan\phi_{\text{block}}/\tan\phi_{\text{matrix}} \geq 2.0$ 或 $E_{\text{block}}/E_{\text{matrix}} \geq 2.0$ 其中之一的條件才可稱此材料為Bimrock (Block-in-Matrix)，他認為低於此標準時，當複合材料受剪，破壞面可能轉變為穿過岩塊。另外Medley(2001)認為岩塊的分佈與含量深深的影響著併構岩的力學行為。較高含量的岩塊導致了破壞的路徑較蜿蜒，破裂沿著岩塊發展，較長的破裂路徑直接造成材料的摩擦阻抗增加。他利用室內三軸試驗對當地的併構岩做實驗得到圖 2-6 的結果，雖然實驗組數多集中在岩塊含量 0~40% 的地方，而高含量僅 80% 一個，但是仍然可看出岩塊含量增加使有效摩擦角提升，同時驗證了岩塊在併構岩中的影響是相當可觀的。

Medley(2002)由露頭及地質圖量測Franciscan Melange的最大觀測粒徑 (d_{mod})，量測區域大小範圍差異甚大，粒徑量測大小由數公釐至數十公里。Medley量測粒徑大小的目的在探討何謂併構岩的岩塊及基質。圖 2-7 為其

依不同量測面積所得岩塊大小出現的相對頻率。為易於比較各種不同面積的粒徑皆以各面積的平方根除之，而相對出現頻率則以各面積的各粒徑總數目除以各面積的總顆粒數目。圖 2-7 也顯示在不同的取樣面積下岩塊尺寸的相對頻率分佈曲線類似，各面積取樣合理的最大岩塊粒徑為 $0.75\sqrt{A}$ 。他認為粒徑小於 $0.05\sqrt{A}$ 的顆粒僅所佔的比例小於 1%，不影響整體 Melange 的性質，因此建議粒徑 $0.05\sqrt{A}$ 為基質與岩塊的分界。他提出特徵工程尺寸 L_c (characteristic engineering dimension) 供不同的工程定義基質與岩塊尺寸使用， L_c 可為隧道長度、基礎寬度及試體直徑等。

Holtz & Willard (1961) 曾探討土壤礫石混合物力學參數的變化，他們分別於粘土 (摩擦角 $\Phi' 24\sim 26^\circ$) 及砂土 (摩擦角 $\Phi' 35\sim 37^\circ$) 中加入礫石施作試驗，發現礫石含量增加時，有效摩擦角相對增加，而凝聚力 c' 卻降低，如表 2-1 所示。除此之外，不同的土壤加入等比例的礫石之後，其 c' 及 Φ' 之改變量也有所不同。

Marsal (1969) 認為試體直徑 D 與顆粒最大粒徑 d_{max} 之比值小於 6 時，尺寸效應會有明顯之影響，但當比值漸增後，影響程度將逐漸縮小，而當此一比值大於 10 左右時，抗剪摩擦角會趨近一定值，如圖 2-8。

Marachi (1972) 研究三種不同土石壩材的力學特性，利用現地粒徑分佈曲線平移製作成體積較小的試體 (直徑 2.8in, 12in, 36in)，大型三軸試驗結果指出最大顆粒尺寸增大時，其內摩擦角降低之趨勢，不受材料不同而改變，如圖 2-9；Marachi 也認為三種不同的土石壩材料雖然粗顆粒強度不同，但顆粒形狀以及材料配比接近時，應力應變行為和抗剪強度會相當接近。

Montrasio (1998) 研究山義大利 Parma 附近山崩所形成的崩積土層，稱此崩積土層為「complex soil」，崩積土層由黏土、粉土與破碎岩塊構成。

Montrasio(1998)認為岩塊含量的多寡會影響 complex soil 的力學行為與受剪時應變之改變量，因此他建立數學模型來分析 complex soil 的力學行為。

Montrasio(1998)將complex soil材料構成理想化，如圖 2-10，圖中a為無岩塊存在的土體；圖b為材料內岩塊互相接觸，岩塊顆粒間之孔隙存在基質土壤，材料的破壞行為主要由岩塊所控制；圖c材料內岩塊懸浮(floating)在基質土壤中，岩塊顆粒彼此並無接觸，當應變量增加達到應變門檻值時，懸浮(floating)在基質中的岩塊逐漸接觸直到圖b的狀態。

Montrasio(1998)認為complex soil材料的力學行為會受到材料的應變門檻值所影響，為建立此指標他將單一個試體分割成許多立方體元素所構成的群體，如圖 2-11。假設岩塊不可壓縮以便得到應變門檻值 ϵ_{max} 與岩塊含量 p 的關係；

$$P = V_G / V \dots\dots\dots(2-1)$$

P ：岩塊體積含量比

V ：複雜土基質加岩塊體積含量

V_G ：複雜土中岩塊的體積含量



$$\begin{aligned} \epsilon_{max} &= \frac{Li - 2Ri}{Li} \\ &= 1 - 2 \frac{Ri}{Li} \\ &= 1 - 2 \left(\frac{\sqrt[3]{\frac{3}{4\pi} V_G}}{\sqrt[3]{V}} \right) \\ &= 1 - 2 \sqrt[3]{\frac{3p}{4\pi}} \end{aligned} \dots\dots\dots(2-2)$$

Li 為元素的邊長， Ri 為元素中礫石之半徑

由公式 2-2 可得到應變門檻值 ϵ_{max} 與岩塊含量 p 的關係，如圖 2-12。

Montrasio(1998)指出當岩塊體積含量比(p)在 30%以下時，在試體剪動應變量達到 20%，材料內岩塊彼此並無接觸，試體內基質土壤將沿著岩塊周圍而產生滑動破壞；岩塊體積含量比(p)達到 50%時，試體內岩塊彼此互相接觸，剪力強度將由岩塊相互摩擦所控制。

Vallejo與Mawby(2000)認為粗顆粒接觸型態是由孔隙率所控制，他們將五組不同比例砂土與粘土的混合材料以靜態夯實法製作重模試體，並進行單向度直剪試驗，試驗結果如表 2-2。

根據試驗結果，Vallejo與Mawby(2000)推導出砂與黏土混合物之孔隙率公式(n_{mix} ，公式 2-3)；另外根據單剪試驗尖峰剪力強度與含量比關係，如圖 2-13 顯示在砂土含量比低於 40%時，力學行為由黏土控制；砂土含量比在 40~70%之間時，強度由砂土與黏土相互所提供；當砂土含量比再 75%以上，力學行為則由砂土所控制。

$$n_{mix} = \frac{V_0 - [(W_s/\gamma_s) + (W_c/\gamma_c)]}{V_0} \dots\dots\dots(2-3)$$

(n_{mix} :砂與黏土混合物之孔隙率； W_s :砂子重量； W_c :黏土重量； γ_s :砂子單位重； γ_c :黏土單位重； V_0 :靜態夯實 24 小時後的試體體積)

同時，Vallejo及Mawby整理孔隙率隨砂、黏土含量比分佈改變曲線發現，孔隙率/含量改變曲線，能更確切區分材料含量比的臨界值，如圖 2-14。圖中虛線代表試驗中實際量測計算得到的孔隙率改變曲線，利用公式 2.4 求得。而實線段為理論孔隙率改變直線，茲以圖 2-14、圖 2-15、圖 2-16 說明如何得到理論孔隙率。圖 2-16 (A)表示乾淨砂的孔隙率，因此乾淨砂的孔隙率 n_s 可表為：

$$n_s = \frac{V_{VS}}{V_T} = V_{VS} \dots\dots\dots(2.4)$$

n_s ：砂的孔隙率

V_{VS} ：乾淨砂孔隙體積

V_T ：砂總體積，在此假設 $V_T=1$

因此，當乾淨砂加入黏土時，如圖 2-15(A)~(C)情形下，黏土等於填充於砂子間孔隙中。此時砂土與黏土混合物孔隙率因黏土填充於其中而會有下降的情形，如圖 2-14 中實線 C → B 線段。當黏土完全填於乾淨砂孔隙中時，乾淨砂土中的孔隙由黏土與黏土孔隙組成。圖 2-14(C) 為砂土完全被黏土取代，因此孔隙只存在於黏土中。

$$n_s = V_{VS} = V_{VC} + V_C \dots\dots\dots(2.5)$$

$$n_c = \frac{V_{VC}}{V_{VC} + V_C} \dots\dots\dots(2.6)$$

V_{VS} ：乾淨砂中孔隙體積

V_C ：乾淨砂填入的黏土體積

V_{VC} ：黏土中孔隙體積

n_c ：黏土的孔隙率



由公式 2.5 與 2.6 整理得到公式 2.7 的砂與黏土最緊密的孔隙率：

$$n_c = \frac{V_{VC}}{V_{VC} + V_C} = \frac{V_{VC}}{n_s}$$
$$V_{VC} = n_s n_c$$
$$n_{mix-min} = \frac{V_{VC}}{V_T} = n_s n_c \dots\dots\dots(2.7)$$

$n_{mix-min}$ ：砂與黏土混合物所能達到最低的孔隙率，而此時所對應之最小砂土含量為 $s-min$ ，如公式 2.8

$$\begin{aligned}
\omega_{s-\min} &= \frac{W_s}{W_s + W_c} \\
&= \frac{\gamma_s V_s}{\gamma_s V_s + \gamma_c V_c} \\
&= \frac{\gamma_s (V_T - V_{VS})}{\gamma_s (V_T - V_{VS}) + \gamma_c (V_{VS} - V_{VC})} \\
&= \frac{\gamma_s (1 - n_s)}{\gamma_s (1 - n_s) + \gamma_c (1 - n_c) \cdot n_s} \dots\dots\dots(2.8)
\end{aligned}$$

在圖 2-13 與圖 2-14 相互比對後，更清楚由孔隙率區分出砂黏土含量不同下所反應之力學行為，然而砂子與土壤混合試體與本研究的風化板岩夾黏土有以下的差距：

1. 砂子與黏土間顆粒差異大，風化板岩與基質間差異沒這麼明顯，是否風化板岩夾黏土層的孔隙率變化如同圖 2-13 所表現有待研究。
2. 砂子與黏土的強度差異亦不如板岩與黏土間明顯，因此本研究之材料是否力學行為等同砂土混合物也待實驗結果加以探討。

蔡文傑(2002)研究不同比例的基質與岩塊所構成材料的力學行為，基質材料使用高嶺土，岩塊為水泥漿所製成粒徑 1cm 之圓球狀塊體，將拌合完成的混合材料逕行等向壓密，壓密完成後利用岩心鑽機鑽出試體進行試驗。試驗結果指出：

1. 單軸壓縮狀態下，材料力學行為由基質或界面性質控制，在基質與岩塊界面容易產生破壞面；在三軸狀態下，材料受到側向的束制，此時基質與岩塊共同控制材料的力學行為，因此破壞強度與岩塊體積比成正比關係，如圖 2-17 所示。
2. 楊氏模數會隨著岩塊體積比增加而上升，如圖 2-18 所示。
3. 材料內岩塊體積含量 0%~46%時，凝聚力隨岩塊體積比增加而降低，內摩擦角隨岩塊體積比增加而提高，見圖 2-19 與圖 2-20。

表2-1 卵礫石含量對粘土砂土強度參數的影響(Holtz&Willard, 1961)

Gravel content(%)	Clayey matrix		Sandy matrix	
	Φ' (°)	c'(psi)	Φ' (°)	c'(psi)
0	24.0	8.7	35.7	3.7
20	25.6	7.0	37.0	6.6
35	25.1	8.3		
50	32.2	4.5	41.3	5.5
60	34.2	5.0	42.0	5.0

表 2-2 5 組不同含量比的砂-黏土混合試體(Vallejo, 2000)

Test No.	Sample composition		Normal stress (kPa)	Porosity n_{mix} (%)	Percentage by weight of sand in mixture, ω_s (%)
	Sand (N)	Clay (N)			
1	3	0	54.2	37	100
2	3	0	102.1	36	
3	3	0	150.0	35	
4	3	1	54.2	32	75
5	3	1	102.1	30	
6	3	1	150.0	25	
7	2	3	54.2	36	40
8	2	3	102.1	35	
9	2	3	150.0	35	
10	1	3	54.2	41	25
11	1	3	102.1	39	
12	1	3	150.0	39	
13	0	3	54.2	56	0
14	0	3	102.1	48	
15	0	3	150.0	50	

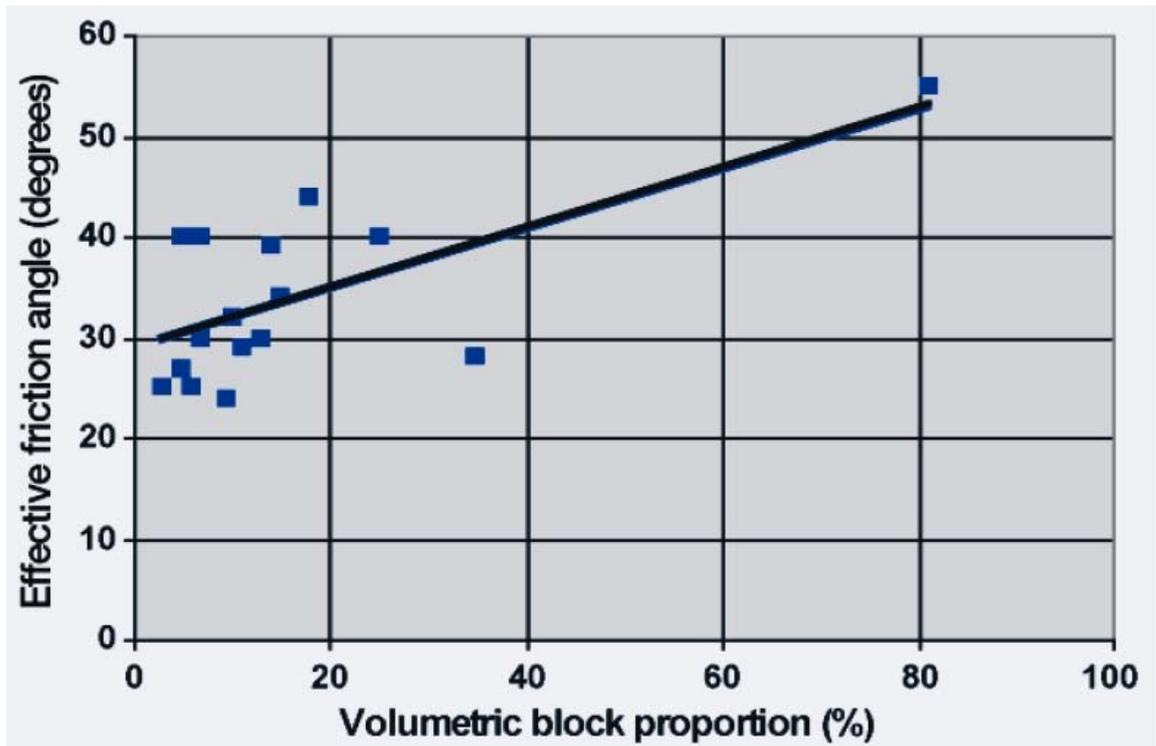


圖 2-6 併構岩體積含量比與有效摩擦角關係圖(Medley, 2001)

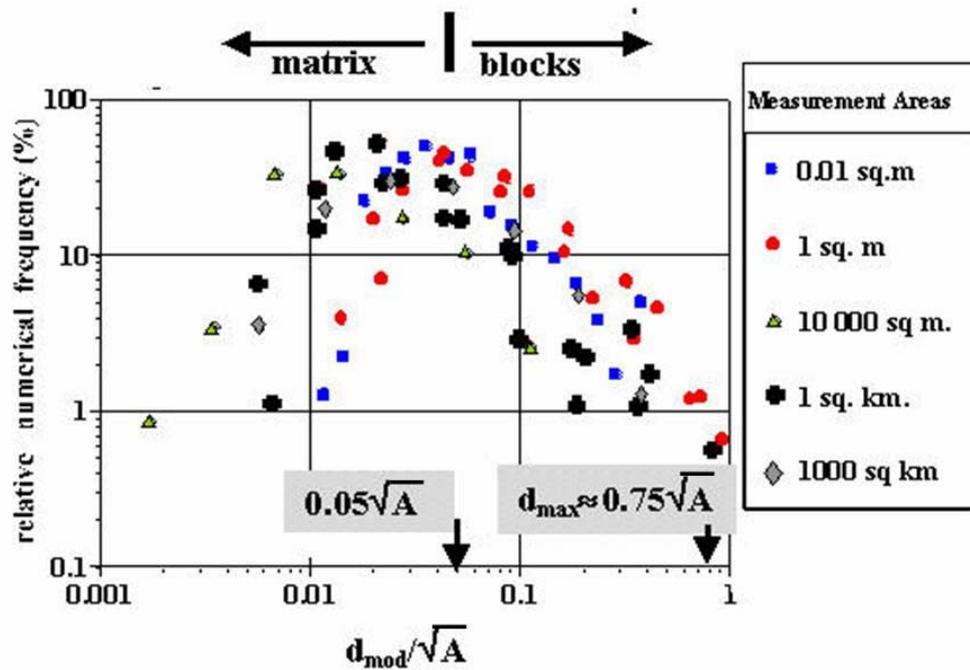


圖 2-7 不同取樣面積岩塊粒徑對取樣面積平方根正規化後出現機率分佈圖(Medley, 2002)

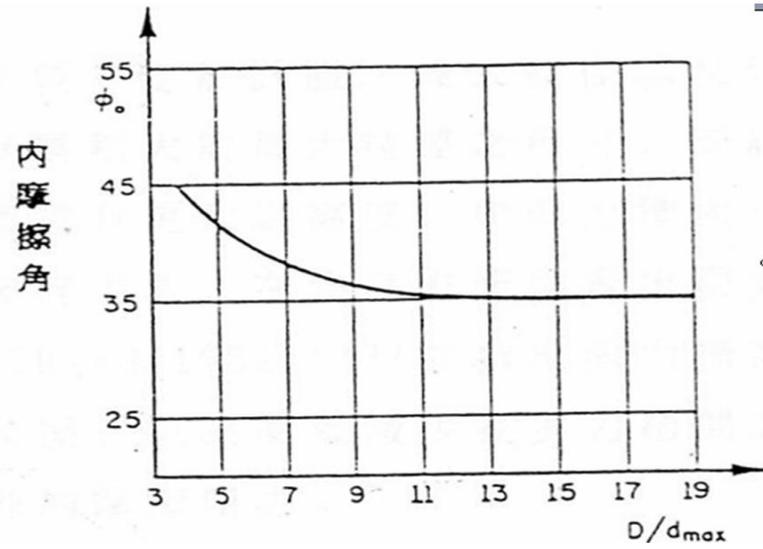


圖 2-8 試體強度受到尺寸效應影響結果圖(Marsal, 1969)

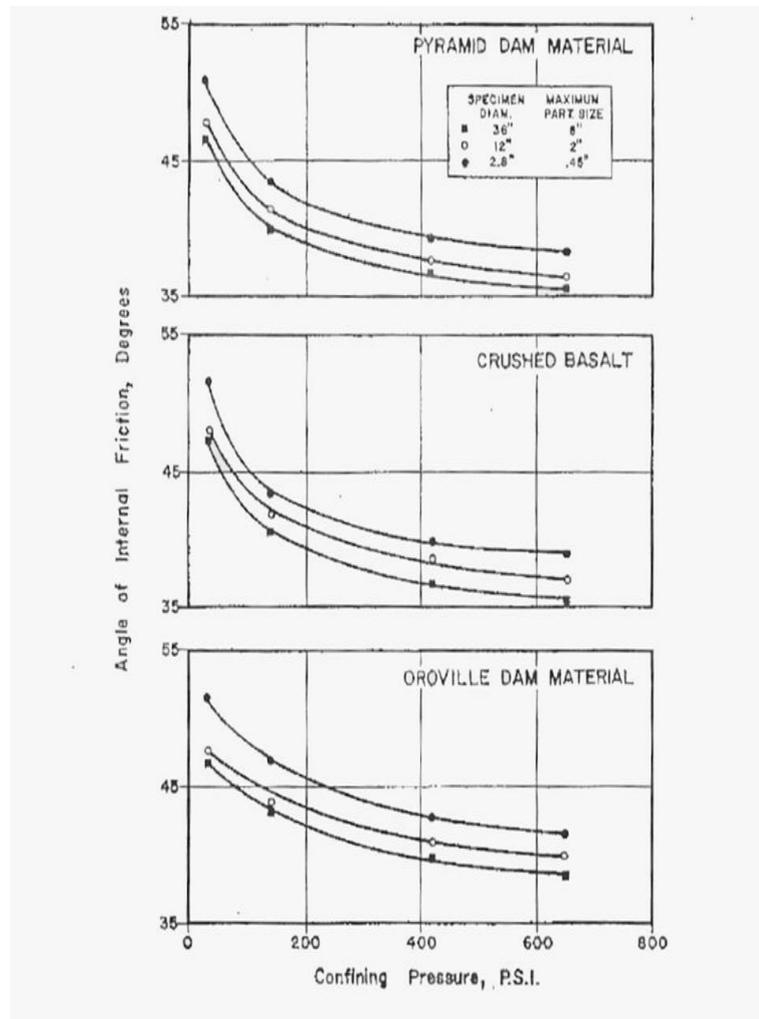


圖 2-9 最大粒徑與內摩擦角關係(Marachi, 1972)

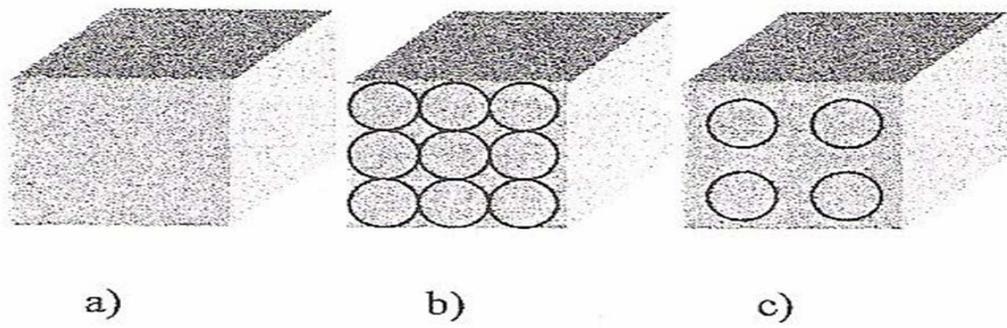


圖 2-10 岩塊與基質在不同含量下之排列 (Montrasio, 1998)

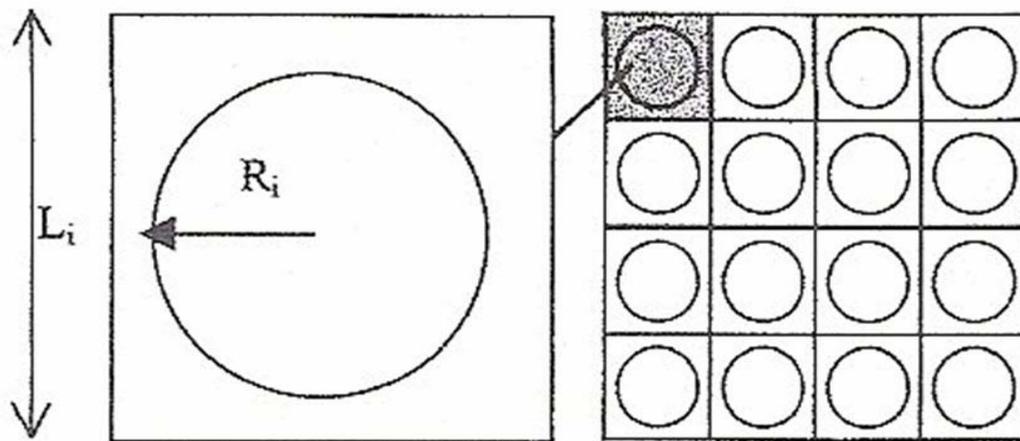


圖 2-11 多個立方體元素所構成單一個試體示意圖(Montrasio, 1998)

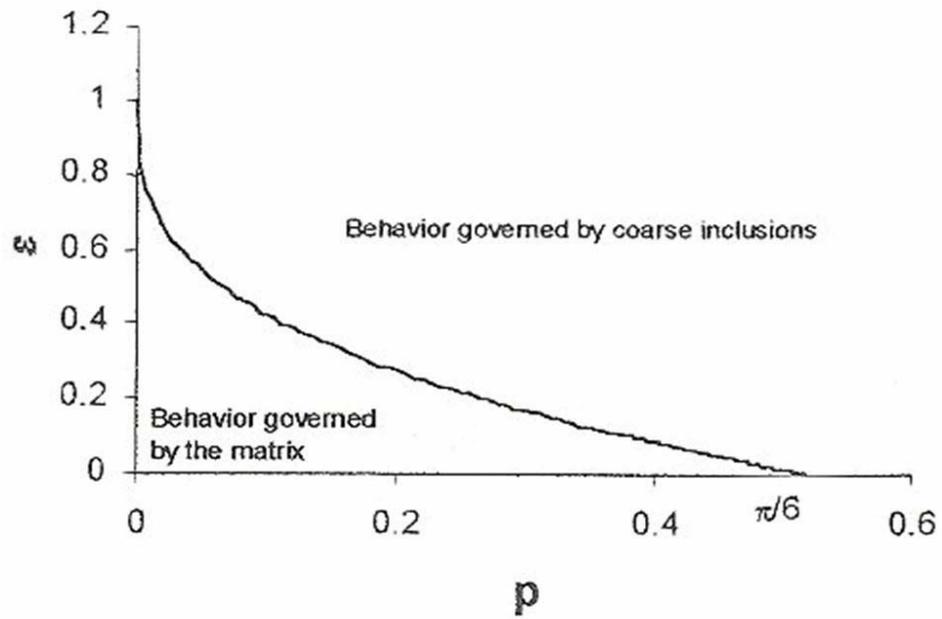


圖 2-12 應變門檻值 ε_{max} 與岩塊含量 p 之關係圖(Montrasio, 1998)

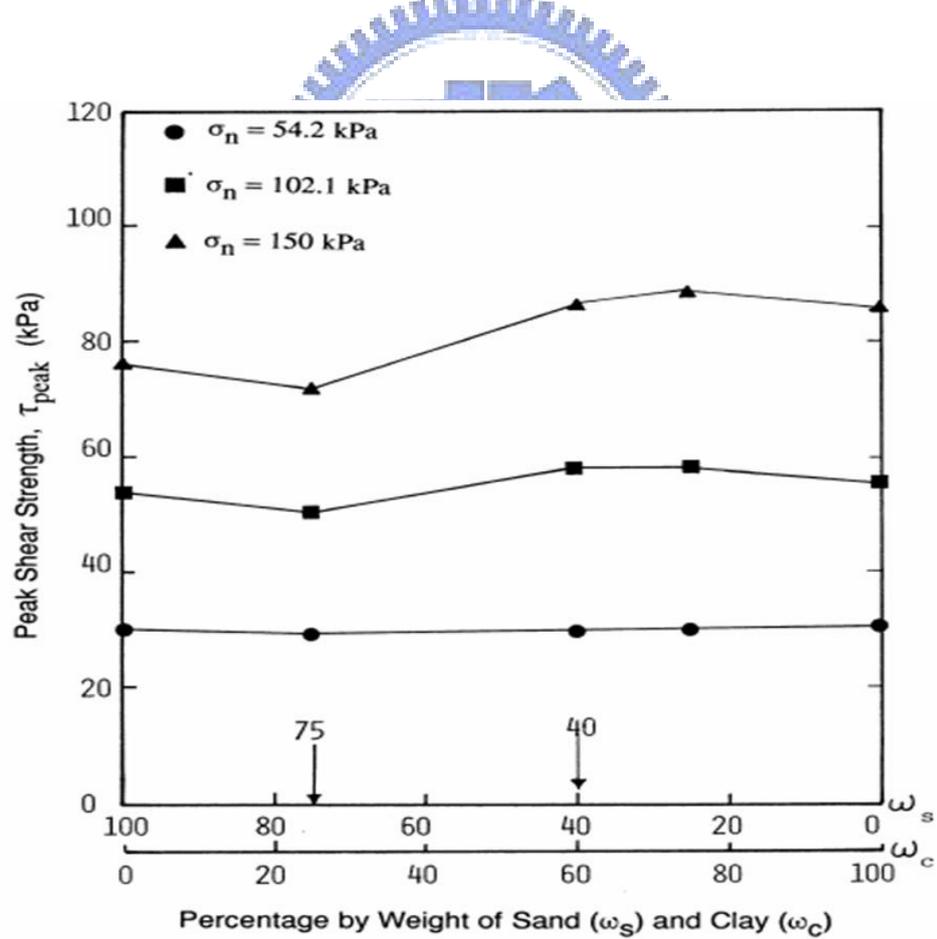


圖 2-13 單剪試驗尖峰剪力強度與含量比關係圖

(Vallejo&Mawby, 2000)

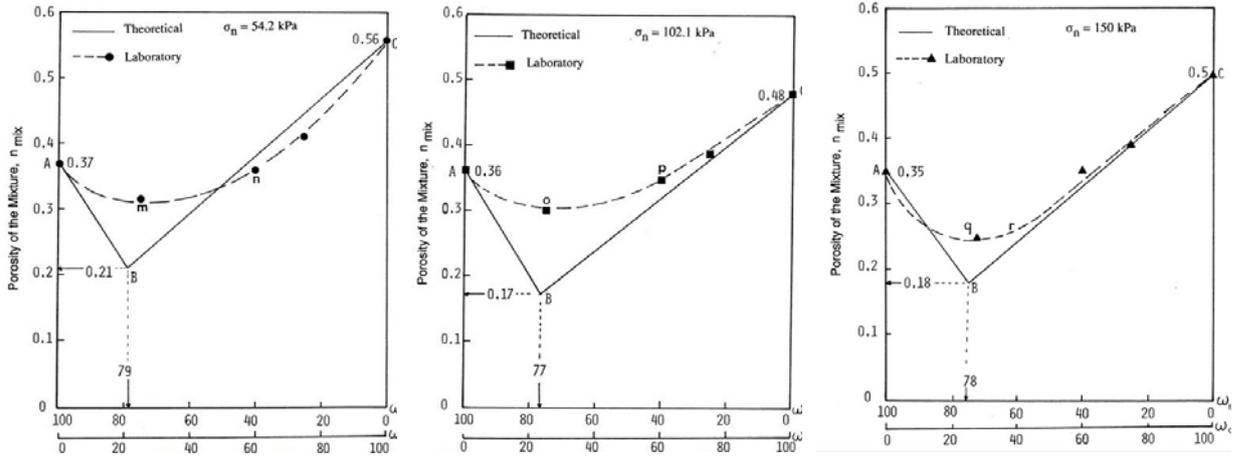


圖 2-14 不同圍壓中孔隙率與含量比曲線 (Vallejo, 2000)

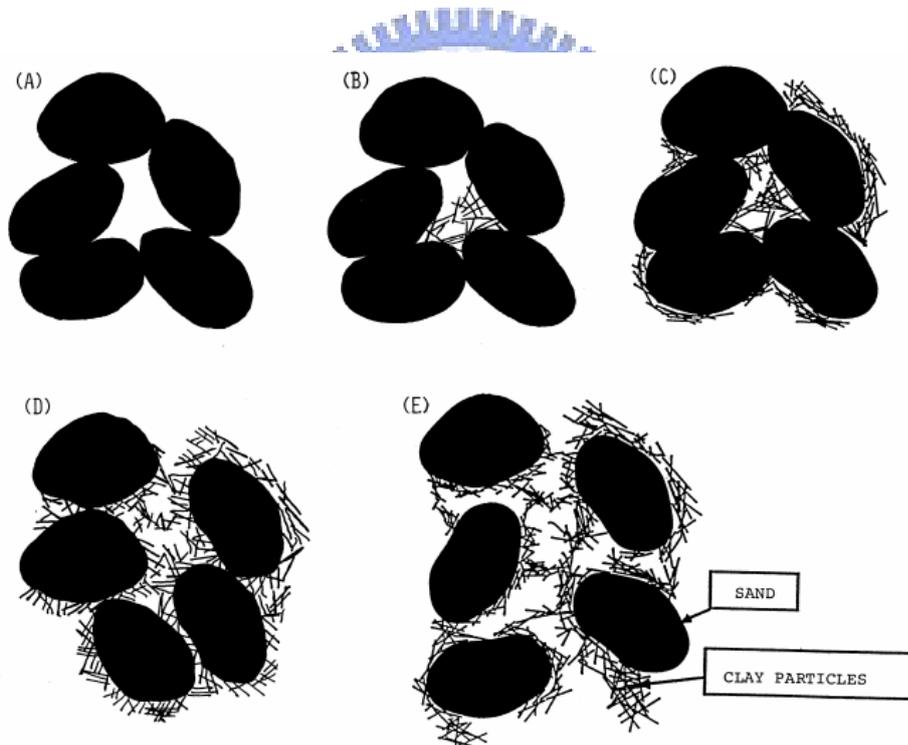


圖 2-15 含量比變化下砂與黏土顆粒排列情形 (Vallejo, 2000)

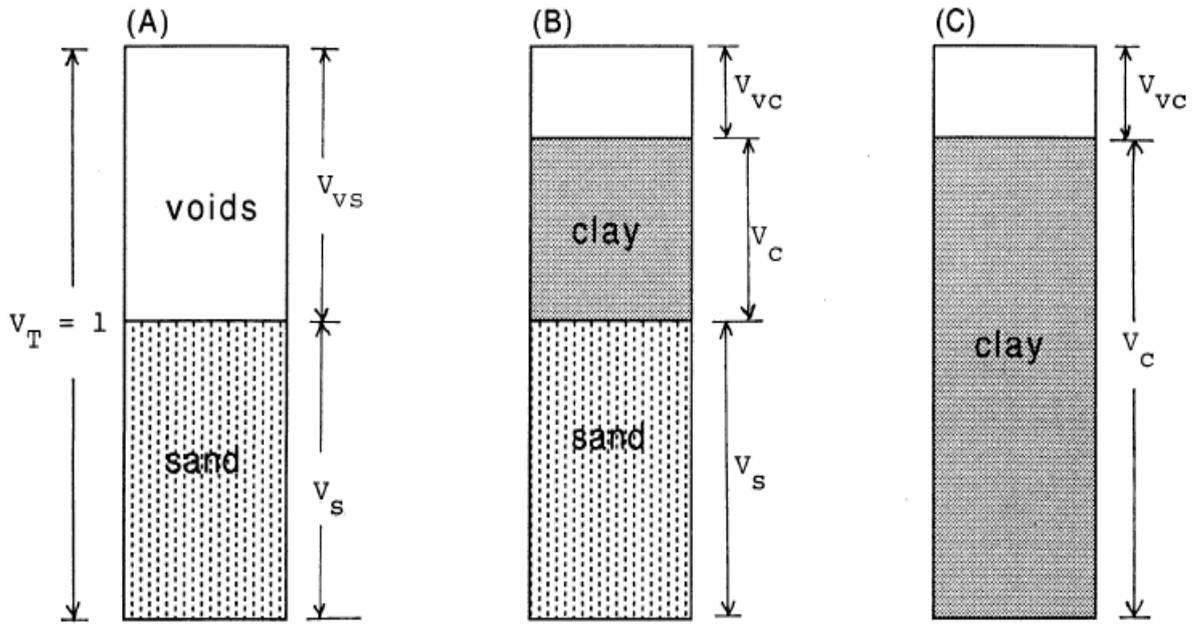


圖 2-16 乾淨砂受黏土填於孔隙中之理論模型(Vallejo, 2000)

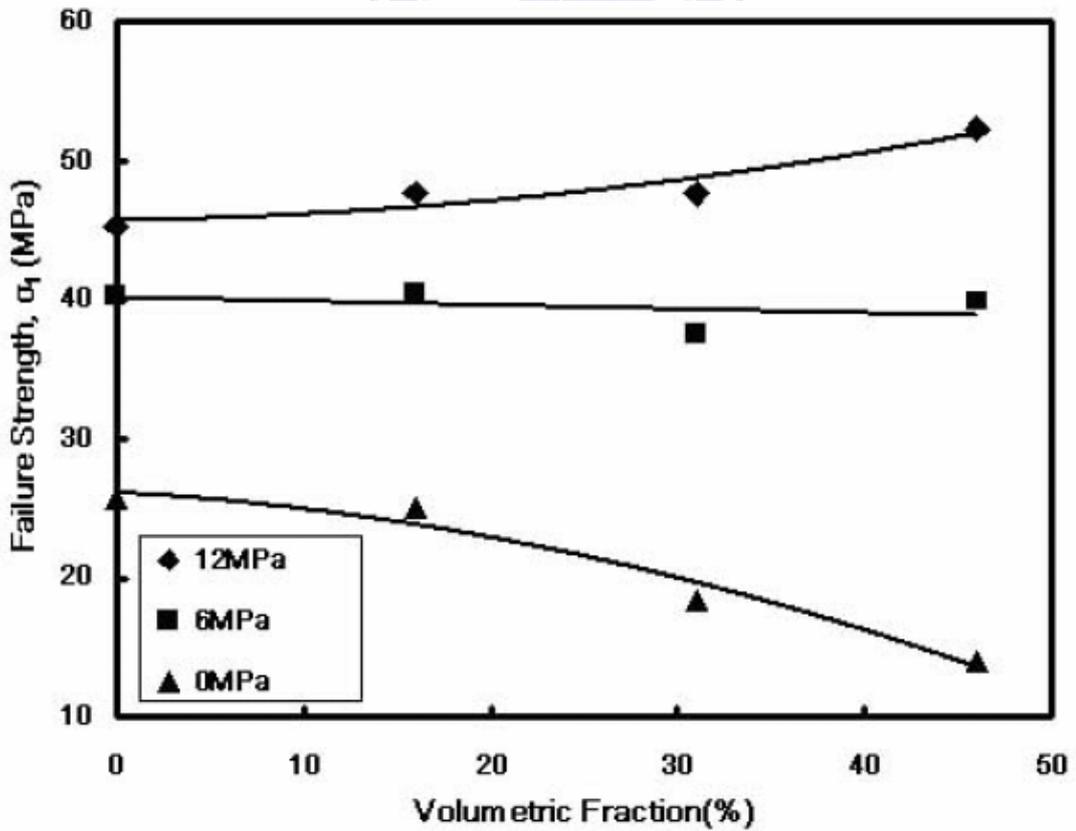


圖 2-17 破壞強度與不同岩塊體積含量關係圖(蔡文傑, 2002)

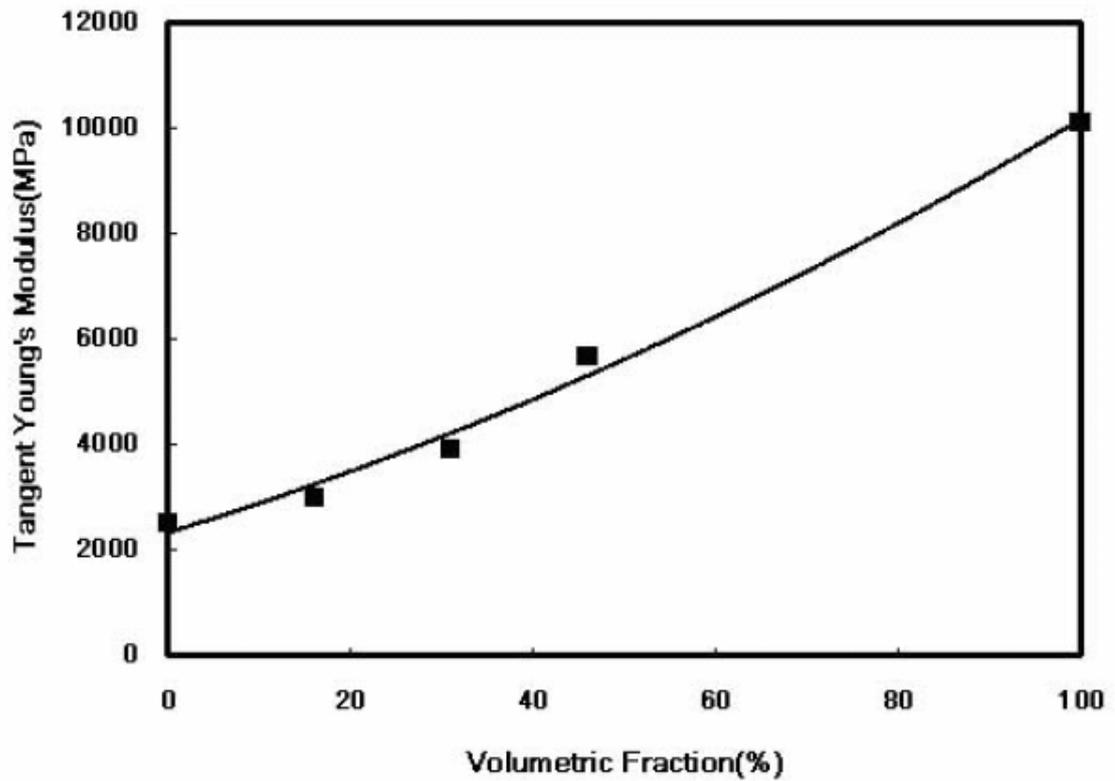


圖 2-18 楊氏模數與不同岩塊體積含量關係圖(蔡文傑，2002)

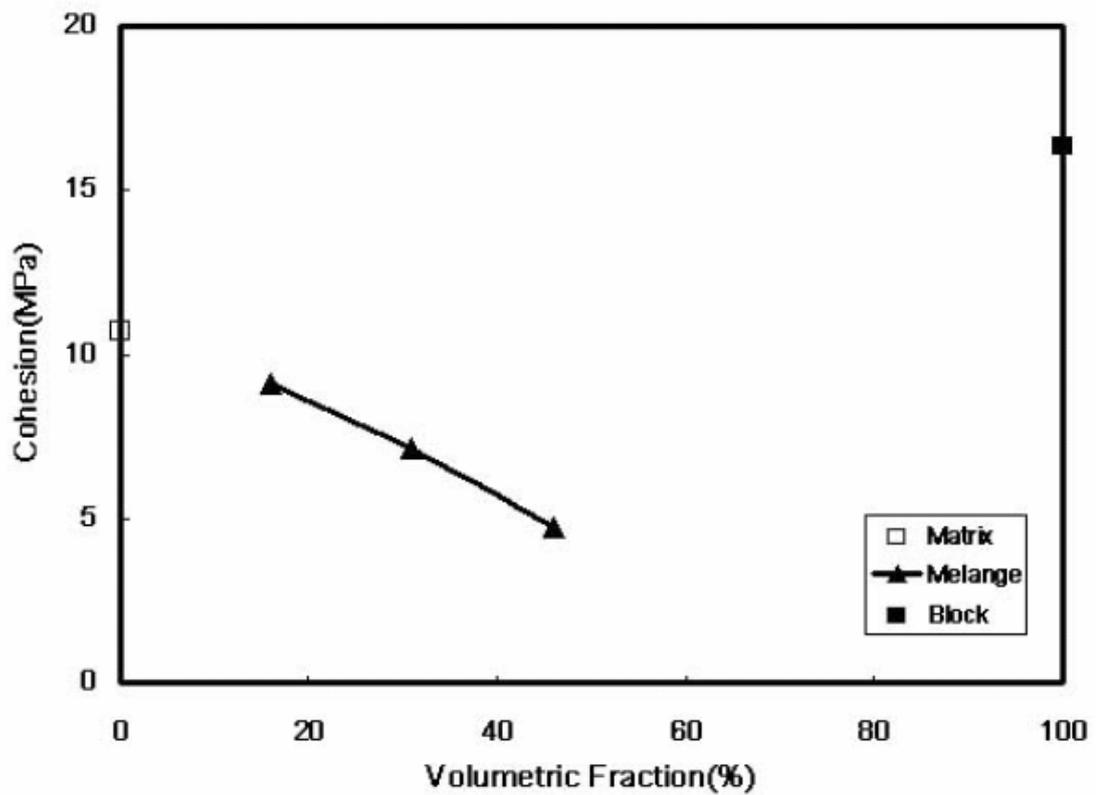


圖 2-19 凝聚力與不同岩塊體積含量關係圖(蔡文傑，2002)

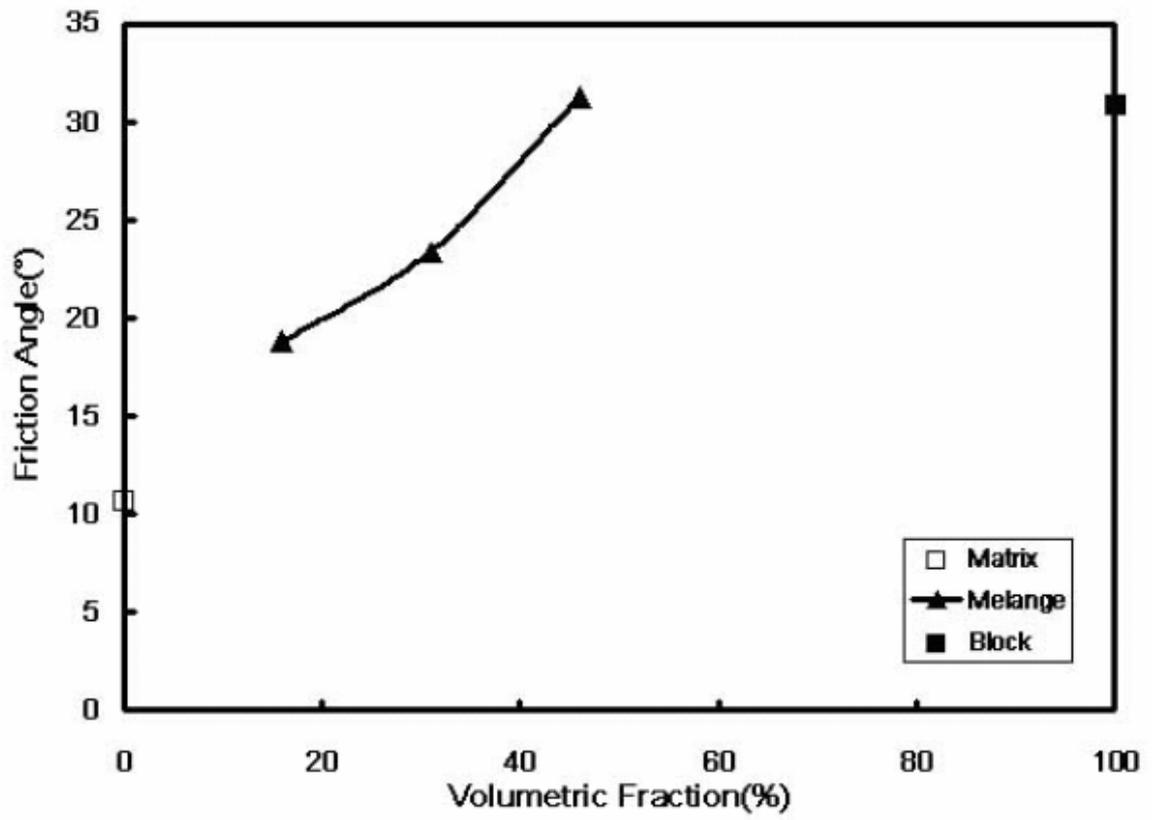


圖 2-20 內摩擦角與不同岩塊體積含量關係圖(蔡文傑，2002)



2.3 梨山地區概況介紹

本研究場址位於台中縣和平鄉梨山地滑區，本節針對梨山地滑區之基本概況加以說明。

2.3.1 地理位置與交通概況

梨山，位於台灣中部地區，臺中市東北東約 100 公里的中央山脈裡，標高 1,950 公尺，面積 31,300 公頃，行政區劃分隸屬於台中縣和平鄉梨山村，如圖 2-21。設籍人口約 2,000 人，以種植溫帶水果及高冷蔬菜而聞名。與雪霸及太魯閣國家公園相鄰，是台灣山區著名的觀光景點。梨山為中橫公路(台八線)與中橫公路宜蘭支線(台七甲線)的交會點。中部橫貫公路西起台中縣東勢鎮，沿大甲溪河岸蜿蜒進入中央山脈地區，途中經和平、谷關以及德基水庫後行至梨山，長 82 公里。梨山自中橫公路開通後，即為東西交通的樞紐重鎮；沿中橫公路繼續向東行進翻越大禹嶺過後可達花蓮縣，長 137 公里。若由宜蘭支線向東北過思源啞口後即可抵達宜蘭縣，長 112 公里。中橫公路為台灣東西聯絡要道，但九二一地震過後，谷關至德基路段坍方嚴重，幾經重新修復，但又遭逢七二水災重創，迄今尚未修復。目前進出梨山僅能由台七甲線或由中部轉接台二十一線，至埔里後接台十四線往霧社，再由台十四甲線經合歡山及大禹嶺至梨山，路途遙遠且山路崎嶇(富國工程，2001)。

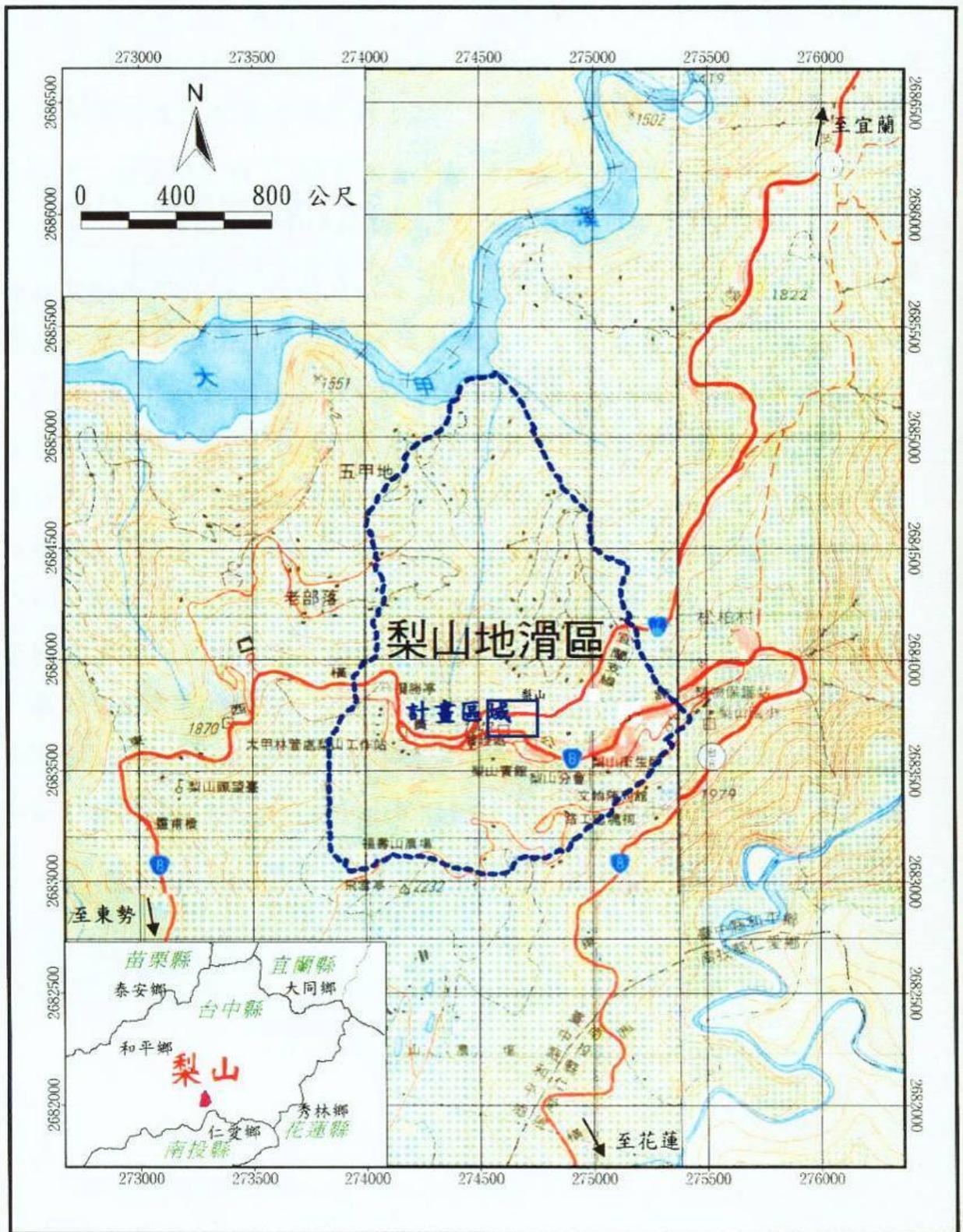


圖 2-21 梨山交通位置圖(工研院能資所，1993)

2.3.2 地形與地質

梨山地滑區位於中央山脈西側的雪山山脈板岩山塊(徐鐵良, 1983)。面積約 230 公頃, 呈倒三角形, 海拔標高在 1,800~2,100 公尺之間, 平均高度約在 2,000 公尺, 地形走勢由南向北漸減下降至大甲溪河床(1,400 公尺), 南側稜線為福壽山農場(2,232 公尺)。唐禎國(2007)引用Davis地形輪迴學說, 依河流切割之侵蝕型態, 指出此處屬壯年期之河谷地形, 下切作用明顯。沿大甲溪兩岸有呈東北-西南走向, 坡度約為 15~30°之山脊相互交錯排列。河谷兩岸靠近河床之坡面, 偶有 30~50°之陡坡存在且岩盤裸露, 但在河谷上部近山脊處, 顯露出幼年期地形特徵, 留有前期侵蝕或沉積的遺跡。山腰則分佈著起伏的大小滑動土體, 呈標準的地滑地形。水保局第二工程所(2005)將梨山崩塌地區大致以集水區內之主要河谷為界, 由西到東劃分為西區、東南區、東北區三個地滑區如圖 2-22。根據地質調查結果, 顯示此崩坍地形成是由於過去發生大規模岩盤滑動所造成, 指出梨山賓館南側之馬蹄形陡坡(古滑落崖)下, 有一向北延伸出之平緩山脊(古滑動體), 而呈凸狀台地型之地滑地形。

梨山地滑區依照何春蓀(1986)之地質分類, 屬於第三紀輕度變質岩區, 其出露之地層屬中新世廬山層, 如圖 2-23 所示。本層主要由黑色至深灰色板岩(slate)、千枚岩(phyllite)、硬頁岩(argillite)及深灰色硬砂岩互層所組成, 偶有零星散佈之泥灰岩團塊, 劈理相當發達。此外, 由於地形陡峭及河谷解壓與地質構造、氣候等自然因素影響, 致使岩盤風化程度及岩層破碎程度均相當嚴重。工研院能資所(1993)指出覆蓋於新鮮岩盤上之崩積滑動體材料, 組成風化程度不一的板岩塊體與風化板岩碎屑, 岩性單調, 偶夾砂岩與石英岩, 組成顆粒粒徑不一, 膠結性不佳, 強度低, 透水性高, 地層走向約呈N15°~45°E, 向東南傾斜 15~35°, 並發現在河谷處之層面及劈理的傾斜角度近乎垂直, 但在稜線或山坡上轉為平緩, 認為此一

現象可能是因岩性軟弱及河谷解壓，造成邊坡頂部岩層潛移翻倒所致。富國技術工程公司(2001)進行排水廊道開挖之地質調查時，在崩積層底部量測岩層位態資料，經統計結果顯示劈理平均位態為N36°E/32°SE，並有三組高角度節理：(1)N32°W/86°SW；(2)N29°E/83°SE；(3)N68°W/82°SW。由此三組節理可發現其傾角甚陡，幾近垂直，走向間夾角約為 $45+\Phi/2$ 。推斷其所受之大地應力方向，最大主應力方向為水平向，且其走向約為南北向，中間主應力方向則為垂直向，最小主應力方向為水平向，且其走向垂直最大主應力方向，因此其走向應為東南向。沿此垂直之節理面應可發現水平項之滑動痕跡，亦即此區域之岩層曾受橫移斷層之力學機制影響。



圖 2-22 梨山地滑分區示意圖(水保局二工所，2005)

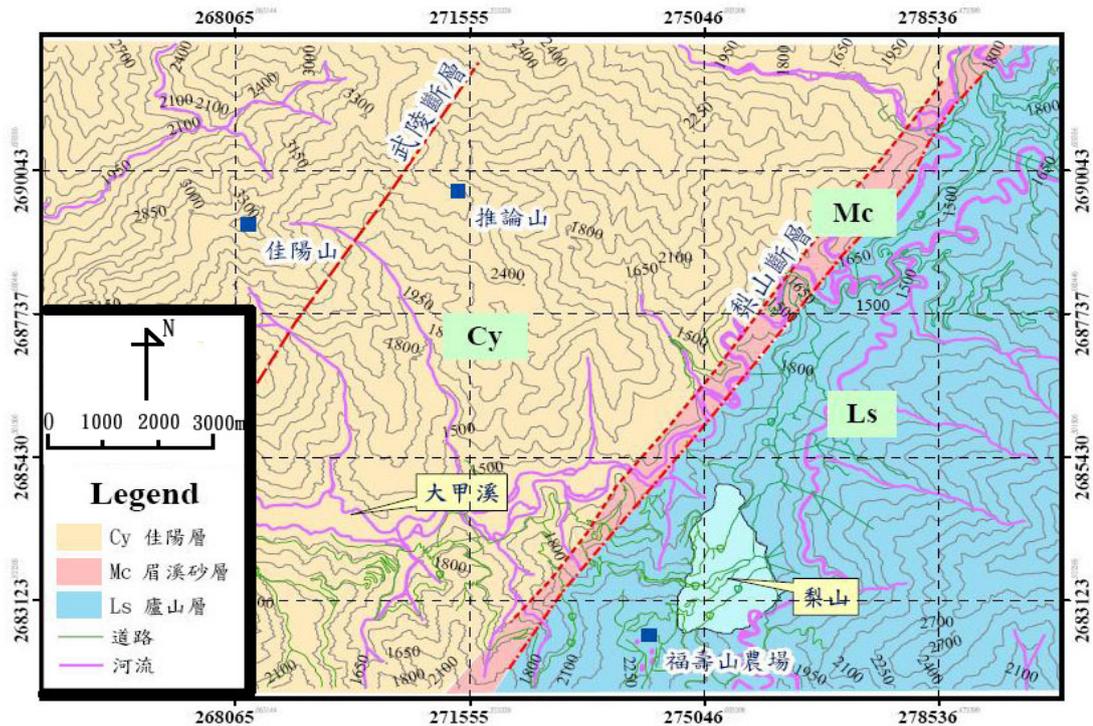


圖 2-23 梨山地區區域地質圖(劉岫雲，2003)

2.3.3 氣象與水文

大甲溪由東向西流經梨山地滑區之北緣。內有兩條主要溪流，分別匯集西區集水區(梨山小築附近)與東南區集水區(梨山賓館至榮民醫院附近)的水，並在地滑區中央偏北處匯合後，向北流入大甲溪。

由民國 85~91 年間中央氣象局梨山監測站資料得出梨山地區年平均氣溫 15.2°C ，最冷 1、2 月約 $6\sim 16^{\circ}\text{C}$ 之間，月平均氣溫最低為 1 月 9.4°C ；而 7、8 月溫度較高約 $17\sim 28^{\circ}\text{C}$ ，月平均氣溫最高為 6 月之 22°C ，夏涼冬寒，相對濕度約在 75~80%。梨山地區年平均降雨量 2,152 公釐，降雨主要受台灣地區梅雨季節及本區地形所影響，使得本區春夏季之雨量豐沛，全年中 2~9 月之月平均雨量均達 190 公釐以上，其中 5、6 月之平均雨量達 514 公釐；而秋冬季則雨量甚少，自 11 月至翌年 2 月為乾季，雨量僅及年雨量之 20.2%。此外，由工研院能資所(1993)在梨山地區地層滑動整治報告中，地下水位監測資料顯示地下水位容易受到降雨量之影響而改變其水位深度。

2.4 梨山過去相關文獻摘述

2.4.1 地滑狀況

民國七十九年四月，梨山地區因連日豪雨，造成省道台七甲線 70K+150 處大規模地層活動，長約 60 公尺路段遭到破壞，道路因而中斷，在崩塌區域上緣梨山賓館、梨管所活動中心、國民旅舍、台汽客運梨山站與台八線等處有嚴重的道路或建築物下陷與龜裂現象，此次的災害同時也推動梨山地滑區一系列的相關研究與整治。

張其教(1984)統計梨山地區邊坡災害較易發生在五至八月雨量豐沛時期，邊坡滑動材料為崩積土。萬獻銘(1986)利用 x-ray 繞射分析崩積土礦物成份，發現此土層組成礦物為石英、伊萊石、綠泥石、交錯層黏土與膨潤石等黏土礦物。膨潤石及他種黏土礦物經風化作用後，黏土化現象顯著，在各種內外因素搭配下可能產生崩坍，且膨潤石含量多寡會影響崩坍規模大小。他種礦物具有扁平晶形，且聚遇水膨脹現象，常發現於崩塌地中。

梨山地滑區地層相關文獻詳細說明依日期整理如表 2-3。中華顧問(1996)將梨山地滑區地層組成探討依鑽探、室內試驗與現地調查結果，區分為三層：崩積土、風化破碎板岩、新鮮岩盤；劉長齡(1991)研究中橫公路岩坡地下水，指出中橫公路梨山以西岩層組成依序為，山坡堆積物、風化擾動板岩層、風化破碎板岩層及新鮮岩盤；蘇苗彬(1990)、蔡光榮(1987)認為梨山地滑區地層材料為山坡堆積物、風化板岩層與新鮮岩盤所組成，而在山坡堆積物與風化板岩層或風化板岩層與新鮮岩盤之間夾雜黏土質粉土層；工研院能資所(1993)規劃梨山崩坍地區 28 個鑽探孔，經由岩心判釋後指出，此區域之岩盤主要由板岩所構成，其上覆有較厚之崩積層，一般厚約 2~10 公尺，部份地區厚達 38 公尺，由崩積土內部存在枯木，得知崩積土為過去邊坡滑動所造成的堆積物，而岩盤受到地質作用的影響，地

表下 40 公尺處岩盤仍相當破碎，地下水造成風化作用的產生，使得破碎岩盤內產生褐色黏土，因此推估此區域岩層由崩積土、風化程度不一的板岩及新鮮板岩所構成。邱坤豪(2000)發現，鄰近梨山崩積地區之佳陽地區近河谷之板岩劈理位態與邊坡上之板岩劈理位態傾向相反，認為此區劈理之變化乃因大規模邊坡潛移造成，而並非構造上之褶皺作用。

由於地層內風化程度嚴重，材料結構破碎，加上地震、豪雨等影響，造成此區域大小規模不一的地層滑動或潛移頻繁，地層內形成多個滑動塊體與滑動面。亞新工程顧問公司(1984)在台八線 82 公里處邊坡調查結果指出地層滑動破壞面位於崩積土層與新鮮岩盤間的軟弱粉土層，此層滑動速率隨著地下水位的升高而增加。蔡光榮(1987)認為邊坡滑動潛勢最高處在崩積土層的淺層不規則處，在崩積土層底部與風化破碎岩層或新鮮岩板岩層接觸位置，常形成透水層，容易加速風化對岩層的作用。劉長齡(1991)、蘇苗彬(1990)、蔡光榮(1987)認為易發生邊坡破壞的主要滑動層面為黏土質粉土夾層，此層夾於山坡堆積物與風化板岩層之間或風化板岩層與新鮮岩盤之間，在雨季發達的季節，由於地下水位的升高，也增加地層滑動的潛能，而地下水位的上升與下降也加速地層風化的可能。林炳森(1991)指出中橫公路崩積土材料在降雨或地下水升高時，大量的水流會使滲流壓力增加，迫使土體內孔隙水壓上升，有效應力降低，加上土體顆粒飽和度上升而降低抗剪角，使得邊坡破壞容易發生滑動。

蘇苗彬(1990)指出滑動土體以崩積土層為主，此土體沿著崩積土層下方的砂質黏土夾層滑動，其破壞的形式推估為類似平面滑動破壞。謝敬義(1984)認為在德基至梨山路段的邊坡破壞應屬於深層圓弧滑動，地層滑動的破壞面在風化破碎地層與岩盤之間。亞新工程顧問公司(1990)在中橫公路台七甲 73k+150 路基災害修復工程報告指出，台汽客運梨山站西側與國民旅舍的滑動破壞，滑動面深度達 20 公尺至 42 公尺。

工研院能資所(1993)利用早期的研究與滑動體監測報告，並加入航照、線形構造、岩性構造、水系、崩塌地與地球物理探測等調查，判釋後將梨山地區地滑現象區分成A、B、C三種等級的危險程度，並分為西地滑區、東南地滑區與東北地滑區等三個區域的地滑分區，如圖 2-24 所示。西地滑區主要由A1~A9 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B1~B14 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C1~C10 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。

黃玉麟(2006)藉由B9 滑動體N1、N2 鑽孔所取得岩心資料與孔內攝影及波速量測等現地試驗結果分析，綜合此區域地質狀況與排水廊道開挖獲得之地質資料，研判指出此滑動體邊坡向北傾斜，而劈理傾向東南，如圖 2-25，邊坡的破壞並非為順著層面或劈理面的順向坡滑動，推測B9 滑動體下層滑動層滑動的破壞方式可能屬於大規模山坡潛移作用形成剪力面滑動所形成，破壞誘因可能為地震、豪雨、或大甲溪下切河谷等因素；中上層滑動層推估可能是由於地下水上下變化造成此層風化程度較高，於是在原有滑動體上再度形成沿著此風化程度較高之滑動面。

唐禎國(2007)延伸黃玉麟(2006)B9 滑動體滑動潛移模式屬 Chigira 逆向坡之拖曳褶皺型，認為附近之 B4 滑動體滑動機制理應相同，但研究後並未發現潛移造成拖曳之劈理反轉帶，推測 B4 滑動體亦屬第二類潛移模式，但為小型潛移且劈理反轉帶即軟弱層位置所在，故無法如 B9 滑動體般找出其劈理反轉處。B1 滑動體亦未發現劈理有轉向之情形，資料雖大致相同，但立體投影圖看出板岩之劈理位態分布較密集，推測曾經受過滑動，劈理位態稍受影響，其劈理位態亦稍有漸變之趨勢，與 B4 滑動體相似，推測亦為逆向坡之拖曳褶皺型之小規模山崩潛移破壞。

表 2-3 梨山地滑區地層相關文獻表

研究者 (年代)	研究位置	研究結果	滑動體地層組成
張其教 (1984)	梨山地區	邊坡災害較易發生在五月至八月雨量豐沛時期。	
亞新工程 (1984)	台八線 82 公里處	調查指出地層滑動破壞面位於崩積土層與新鮮岩盤間的軟弱粉土層，此層滑動速率隨著地下水位的升高而增加。	
謝敬義 (1984)	中橫德基至梨山段	邊坡破壞應屬於深層圓弧滑動，地層滑動的破壞面在風化破碎地層與岩盤之間。	
萬獻銘 (1986)	中橫公路沿線	崩積土礦物成份為石英、伊萊石、綠泥石、交錯層黏土與澎潤石等黏土礦物。此類礦物經風化作用後，黏土化現象顯著；澎潤石含量多寡會影響崩坍規模大小。他種礦物有扁平晶形，且可能聚遇水膨脹，常發現於崩塌地中。	
蔡光榮 (1987)	中橫德基至梨山段	認為邊坡滑動潛勢最高處在崩積土層的淺層不規則處；在崩積土層底部與風化破碎岩層或新鮮岩板岩層接觸位置，常形成透水層，容易加速風化對岩層的作用。	山坡堆積物、風化板岩層與新鮮岩盤所組成
蘇苗彬 (1990)		滑動土體以崩積土層為主，此土體沿著崩積土層下方的黏土夾層滑動，其破壞的形式推估為類似平面滑動破壞。	山坡堆積物、風化板岩層與新鮮岩盤所組成
亞新工程 (1990)	中橫公路台七甲 73k+150	報告指出，台汽客運梨山站西側與國民旅舍的滑動破壞，滑動面深度達 20 公尺至 42 公尺。	
劉長齡 (1991)	中橫公路沿線 岩坡地下水	指出中橫公路梨山以西岩層組成依序為，山坡堆積物、風化擾動板岩層、風化破碎板岩層及新鮮岩盤。	山坡堆積物、風化擾動板岩層、風化破碎板岩層及新鮮岩盤

表 2-3(續) 梨山地滑區地層相關文獻表

研究者 (年代)	研究位置	研究結果	滑動體地層組成
林炳森 (1991)		此區崩積土材料在降雨或地下水升高時，大量的水流會使滲流壓力增加，迫使土體內孔隙水壓上升，有效應力降低，加上土體顆粒飽和度上升而降低抗剪角，使得邊坡破壞容易發生滑動	
工研院 能資所 (1993)	梨山地區	此區域主要由板岩所構成，上覆之崩積層厚約 2~10 公尺，部份地區厚達 38 公尺，皆為過去邊坡滑動所造成的堆積物，而岩盤受到地質作用的影響，地表下 40 公尺處岩盤仍相當破碎，地下水造成風化作用的產生，使得破碎岩盤內產生褐色黏土。	崩積土、風化程度不一的板岩及新鮮板岩構成
中華顧問 (1996)	梨山地區	由鑽探、室內試驗與現地調查結果，主要可分為三層：崩積土、風化破碎板岩、新鮮岩盤	崩積土、風化破碎板岩、新鮮岩盤
邱坤豪 (2000)	鄰近梨山崩積 地區之佳陽地 區	發現，近河谷之板岩劈理位態與邊坡上之板岩劈理位態傾向相反，認為此區劈理之變化乃因大規模邊坡潛移造成，而並非構造上之褶皺作用。	
富國工程 (1996)	梨山地區	由 G1、G2 排水廊道發現一巨大剪裂帶，其中剪裂泥經比對與 B11、B13 滑動體鑽孔底部之黏土狀板岩相當類似。研判為剪裂泥之延伸，而非強風化板岩。推估此區較深層之基盤中由於大地應力作用造成相當廣泛之剪裂帶，當大甲溪河谷下切造成河谷解壓後，造成滑動變位或潛移變位。	

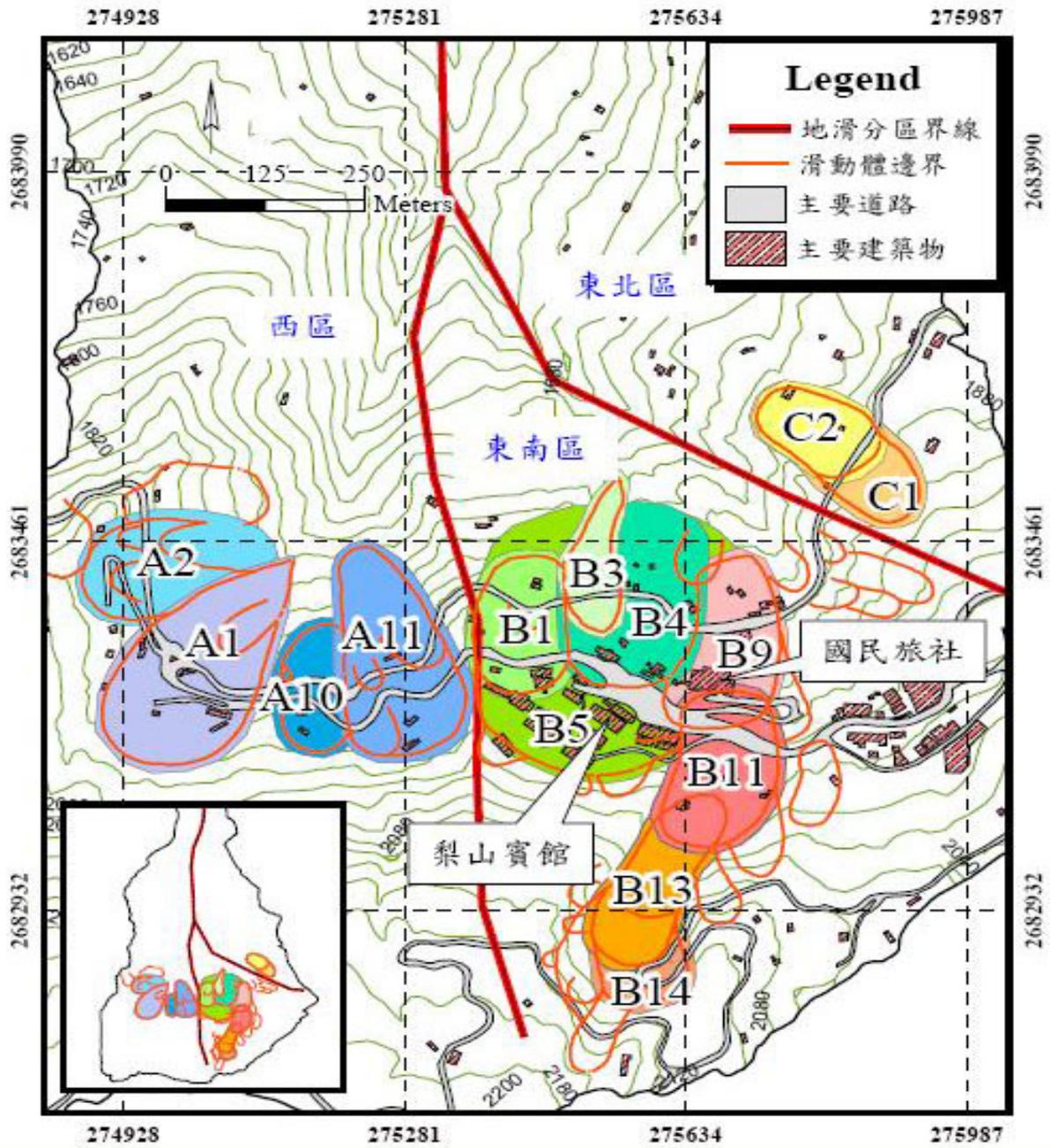


圖 2-24 梨山地滑分區與滑動體位置圖(劉岫雲，2003)

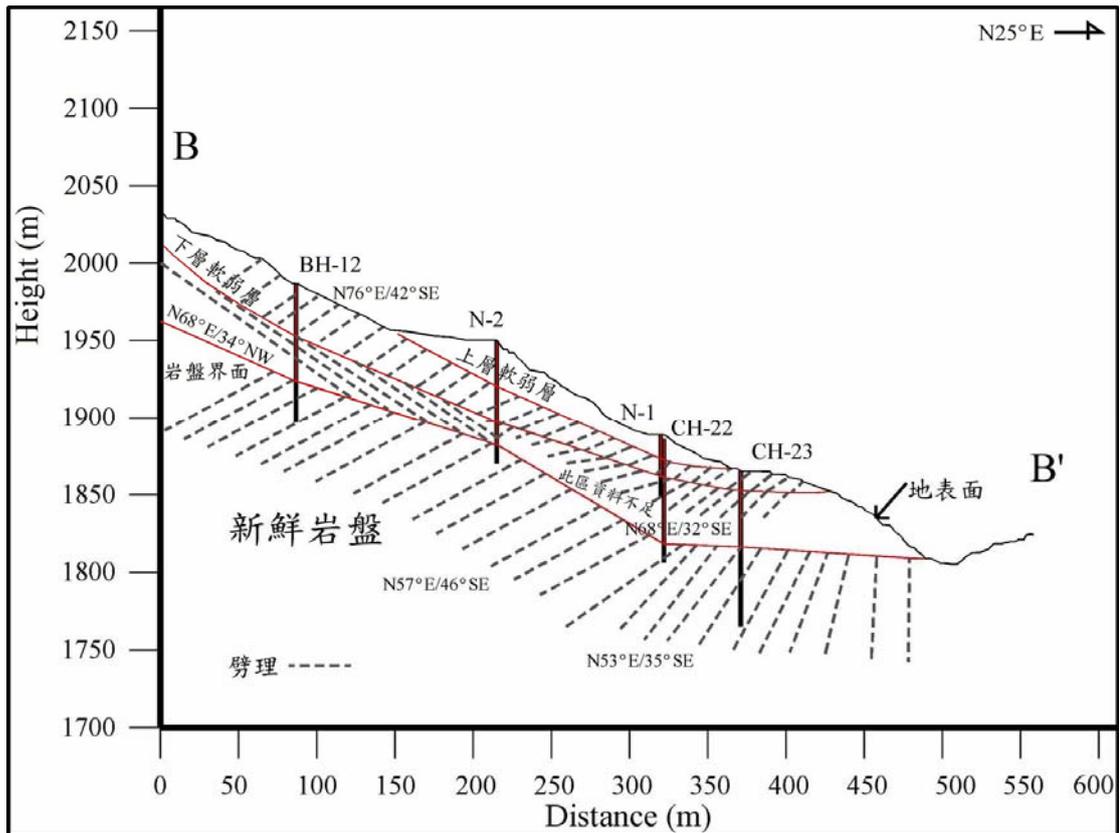


圖 2-25 B9 滑動體上 B-B' 剖面地層與劈理位態圖(黃玉麟，2006)

2.4.2 崩積層材料分類

工研院(1993)採用藤原明敏地滑地質風化程度分類標準，將梨山地區組成地層崩積土層分為五類，如表 2-4 所示。典型地層剖面與地層材料狀況如圖 2-26、圖 2-27，第一層由崩積土(Dt)覆蓋，主要包含一般棕色表土及含礫石之土壤。下一層為風化岩層，其因風化等級不同，又可細分為兩類；中風化層(W2)與弱風化層(W3)。崩積土與風化岩層中間或是風化岩層與新鮮岩盤介面夾強風化岩層(黏土質粉土層(W1))，在這些岩層下方為母岩，也就是新鮮岩盤(Rf)。藤原明敏從風化程度對崩積層材料來分類，礙於早期台灣鑽得的岩心品質不良，無法做更進一步的研究。由圖 2-27 亦明顯可看出鑽探的岩心只能取得板岩岩塊，岩塊與岩塊間膠結的土壤均無法取樣，其分類無法充分反應梨山崩積地層之特性。也因此不能瞭解岩心

中岩塊細料顆粒間排列分佈情形，更無法製作試體並施做室內力學試驗。

黃玉麟(2006)對梨山崩積層B9 滑動體鑽的N1 孔及N2 孔，改良鑽探方法以後，提高岩心提取率超過 95%並取得完整的岩心，且可以清楚的紀錄岩塊間膠結土壤之特徵。藉此提出以地質材料、顆粒排列方式、弱面與裂隙、膠結充填物以及風化程度等五項指標，來分類梨山地層之岩心。第一類灰色板岩夾黃色黏土(SY)，主要分佈在滑動體淺層接近地表部分；位於地水位以上，黃色黏土可能為地表細料土壤順著地表水沿裂隙下滲而膠結於板岩裂隙之間；第二類灰色板岩夾灰色黏土(SG)，其板岩所夾之灰色黏土，應為原崩積物之母岩因風化作用而生；第三類灰色完整板岩(S)則為新鮮岩盤的部分；第四類灰色黏土夾灰色板岩碎屑則為軟弱層，其他研究或稱為沉泥質黏土層，判定可能為滑動面。整理如表 2-5 所示，分類方法流程如圖 2-28。

賴忠良(2006)參考黃玉麟(2006)材料分類準則後，以材料力學行為模式為觀點將崩積層材料分為四類，如圖 2-29。第一類，灰色黏土夾灰色板岩顆粒；第二類，破碎板岩岩體；第三類，灰色板岩內含有節理(節理厚度不可忽略)；第四類，灰色板岩內含有節理(節理厚度可忽略)。表 2-6 列出各類型崩積層材料組成與特性、力學模式與建議使用的破壞準則。

唐禎國(2007)在梨山地滑區滑動體B9、B1 及B4 分別規劃X1、X2 及X3 三個鑽探孔，鑽孔位置如圖 2-30，地質鑽探結果依黃玉麟(2006)分類法為基礎加以判釋，認為黃玉麟(2006)所考慮之分類並未加入黏土含量比例多寡的觀點，故加入岩塊與基質材料比例的觀點，提出對於此區崩積材料的分類方式，岩心分類流程圖如圖 2-31；除此更依力學行為亦將其分成五類，如圖 2-32 所示，其中本研究將利用灰色板岩夾灰色黏土及灰色黏土夾板岩碎屑這類併構岩材料進行室內實驗。

表 2-4 崩積地層分類基準表(藤原明敏，1979)

地滑地質符號	名稱	岩心的形狀及色調	組成地質的特徵	崩積土地滑 (崩積土 黏質土)	岩盤地滑 (岩盤 風化岩)
Dt	崩積土	土砂狀 褐色系	1.含一般的表土層，廣義的崩積土是夾礫的土壤，常呈褐色部分。 2.滑動面亦有可能發生於二次堆積物中。 3.老期崩積土以 Dt2 表示，岩盤中的擾亂黏土以 Dc1，細片至破片狀的擾亂部分以 Dr 表示。	移動土塊	移動土塊
W1	強風化岩	黏土狀 原岩色系	1.與原岩石呈同一色調的黏土，硬質黏土及未固結狀之粉土。 2.黏土類保持原岩石組織，砂質類呈均質土類。 3.褐色系以 W1'表示。 4.為一次堆積物。	準移動或準不動土塊	移動土塊
W2	中風化	細片 原岩色系	1.與原岩石呈同一色調且呈細片狀的岩心。 2.地表的岩層露頭富含裂隙或軟質。 3.褐色系以 W2'表示。	準不動岩盤	移動至準移動土塊
W3	弱風化岩	圓板狀至塊狀 原岩色系	1.與原岩石呈同一色調且呈圓板狀至塊狀的岩心。 2.地表呈新鮮岩層露頭。 3.褐色系以 W3'表示。	不動岩盤	準不動岩盤
Rf	基盤岩	棒狀 原色岩系	新鮮的基盤岩 岩心呈完整棒狀。	不動岩盤	不動岩盤
備註			W3 及 Rf 若位於 Dt、Dc1、Dr、W2 之上時，則應視為移動岩塊。	1.地形平緩。 2.山谷地形。 3.馬蹄狀滑落土體，地表坡面陷沉帶，水池及濕窪地。	1.地形較陡。 2.山脊形地形。 3.地滑頭部及兩側與線狀構造有密切關係。

表 2-5 岩心分類方法(黃玉麟，2006)

類別	代碼	岩心描述	說明
第一類	SY	灰色板岩夾黃色黏土	板岩顆粒排列整齊為 SY 板岩顆粒排列不整齊為 SY'
第二類	SG	灰色板岩夾灰色黏土	板岩顆粒排列整齊為 SG 板岩顆粒排列不整齊為 SG'
第三類	S	灰色板岩	完整板岩塊為 S 含節理面分佈則為 SJ
第四類	C	灰色黏土夾灰色板岩碎屑	軟弱層
第五類	BF	回填土	

表 2-6 崩積層材料分類組成與特性、力學模式與建議使用的破壞準則

(賴忠良，2006)

崩積層材料		材料描述與力學行為	力學模式	破壞準則(建議)
編號	材質			
第一類	灰色黏土夾灰色板岩顆粒	灰色黏土夾板岩顆粒、偶夾一些許石英顆粒，抗剪強度相當低。	彈塑性力學模式	摩爾-庫倫彈塑性模式
第二類	破碎板岩岩體	破碎的岩體材料，灰色板岩及灰色黏土所組成，內含極高密度節理面，屬於強到中度風化性的板岩，板岩顆粒排列不規則性。輕度至中度變質作用造成礦物重新排列形成劈理面，承受到大地應力作用後，形成整齊破碎的狀態。	彈塑性力學模式	Hoek-Brown 準則
第三類	灰色板岩內含有節理(節理厚度不可忽略)	具有較完整的板岩塊，力學行為受不連續面分布及不連續面間接觸機制控制。內部只具有幾組的節理存在，而節理面，大部分夾有灰色黏土。	彈-塑性體加上弱面的特性	PANDE(1993)組構性彈塑性力學模式
第四類	灰色板岩內含有節理(節理厚度可忽略)	完整的板岩塊，力學行為主要受不連續面分布及不連續面間接觸機制控制。內部只具有幾組的節理存在，節理面厚度薄到可以忽略或不存在。	彈性體力學模式	屈服前：林建宏(1992)之異向性等值岩體力學彈性關係。屈服後：Hoek-Brown 或摩爾-庫倫岩石破壞準則

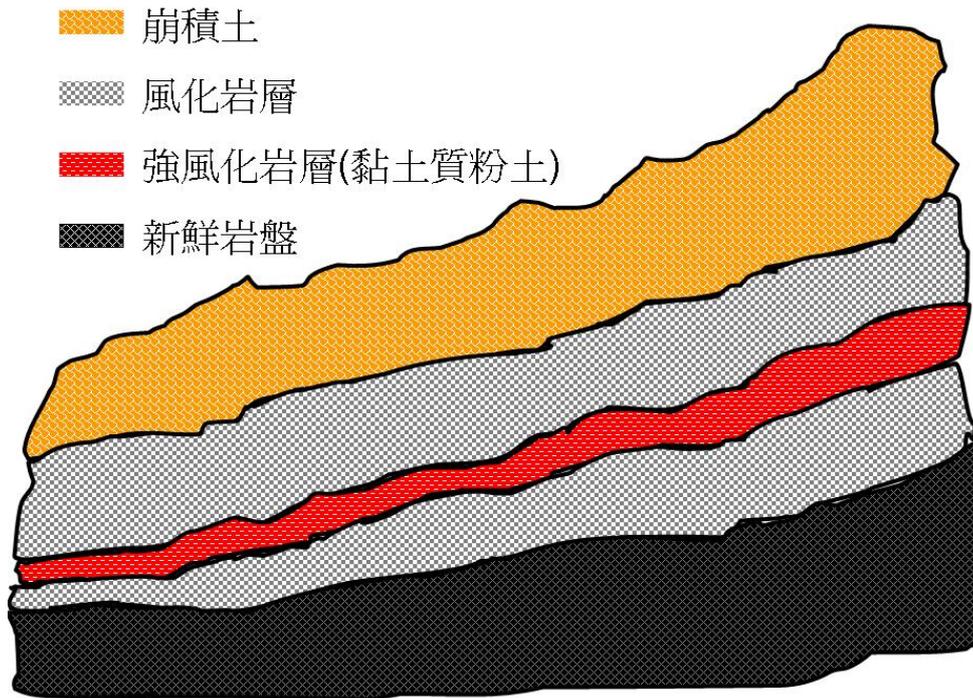


圖 2-26 典型梨山地區崩積層剖面(工研院，1993)



圖例說明

格數	第 1 格	第 2 格	第 3 格	第 4 格	第 5 格
土壤種類	崩積土 (Dt)	強風化板岩 (W1)	中風化板岩 (W2)	弱風化板岩 (W3)	新鮮板岩 (Rf)
說明	黃棕色 / 砂質粉土，時夾破碎岩塊	黑色 / 黏土狀	黑色 / 細片狀	黑色 / 圓板狀至塊狀	黑色 / R Q D > 7.5

圖 2-27 梨山地區地層材料分類圖示(工研院，1993)

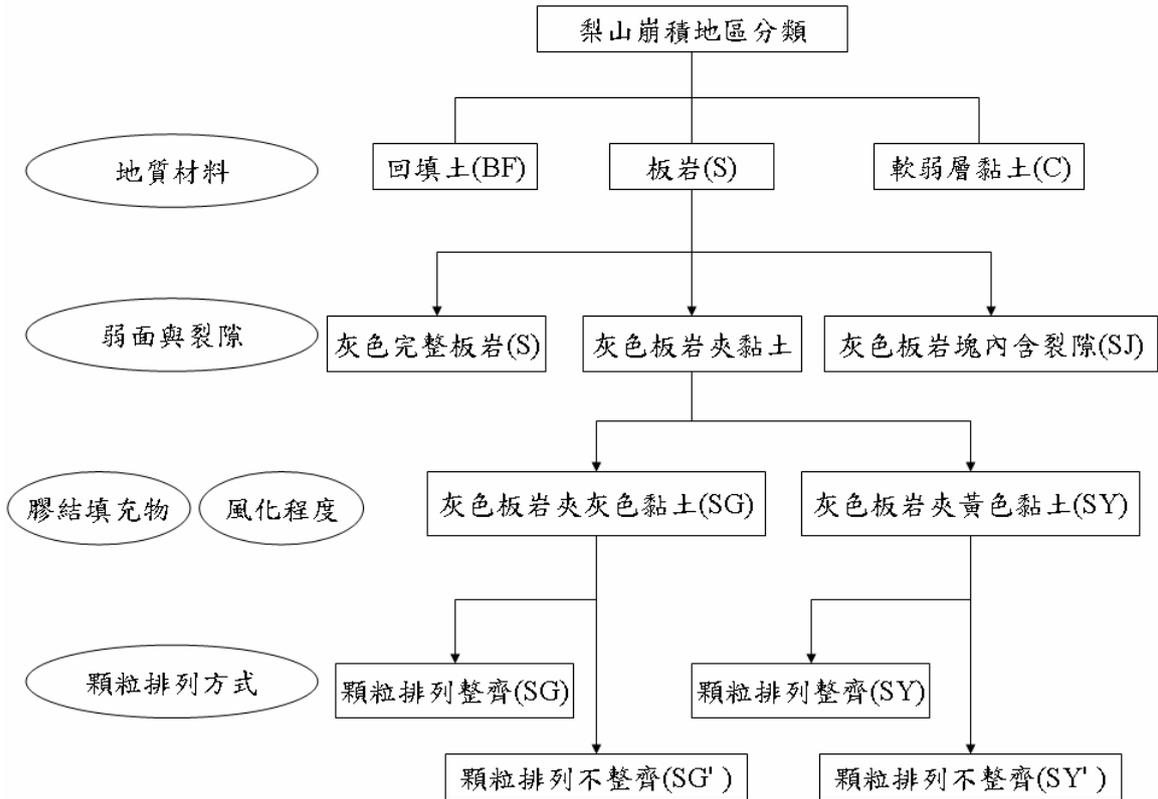


圖 2-28 岩心分類流程圖(黃玉麟, 2006)

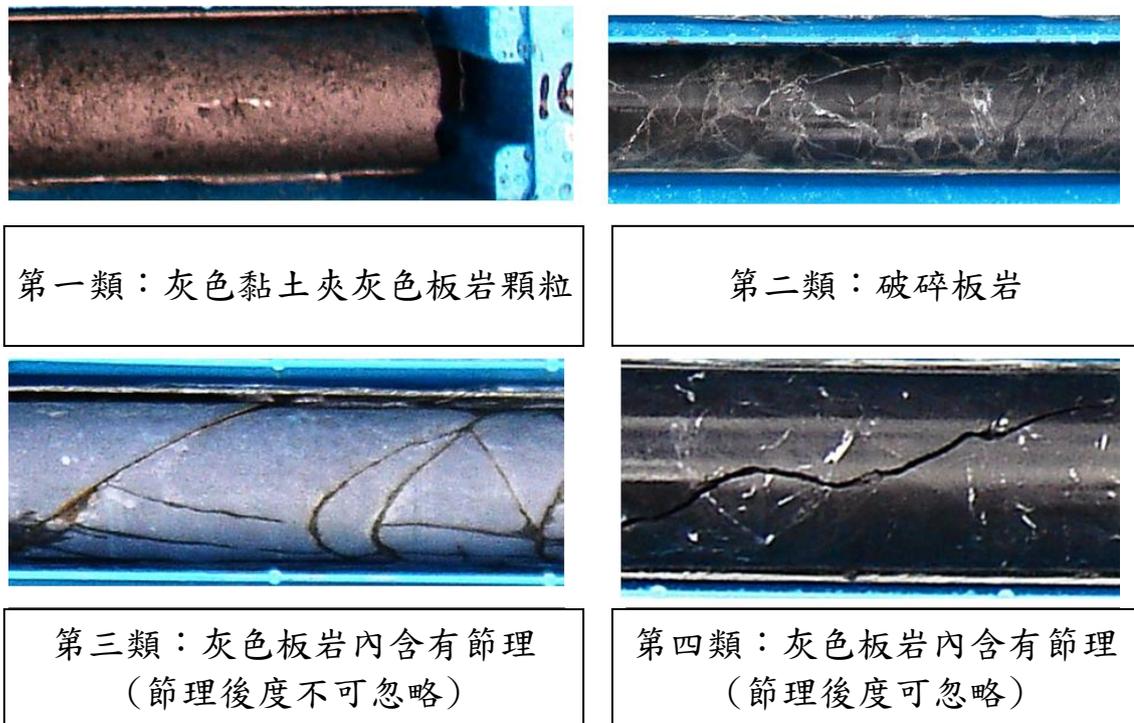


圖 2-29 崩積層材料分類(賴忠良, 2006)

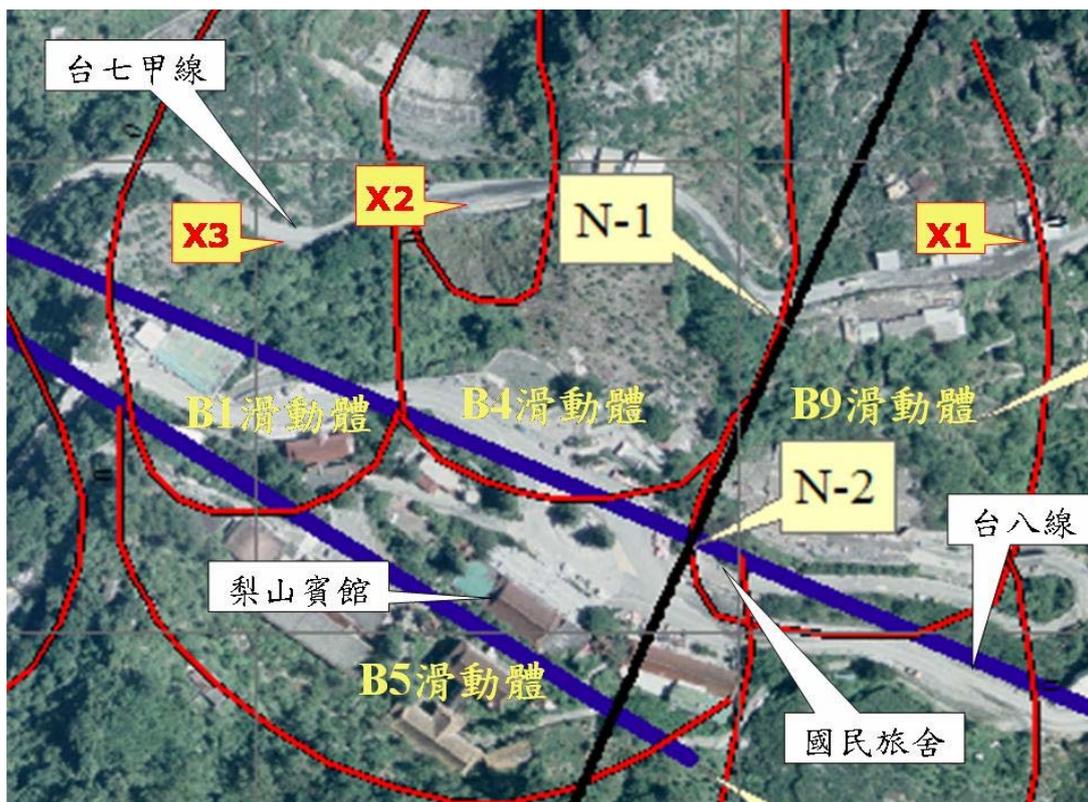


圖 2-30 X1、X2 及 X3 鑽孔位置示意圖(劉盛華，2007)

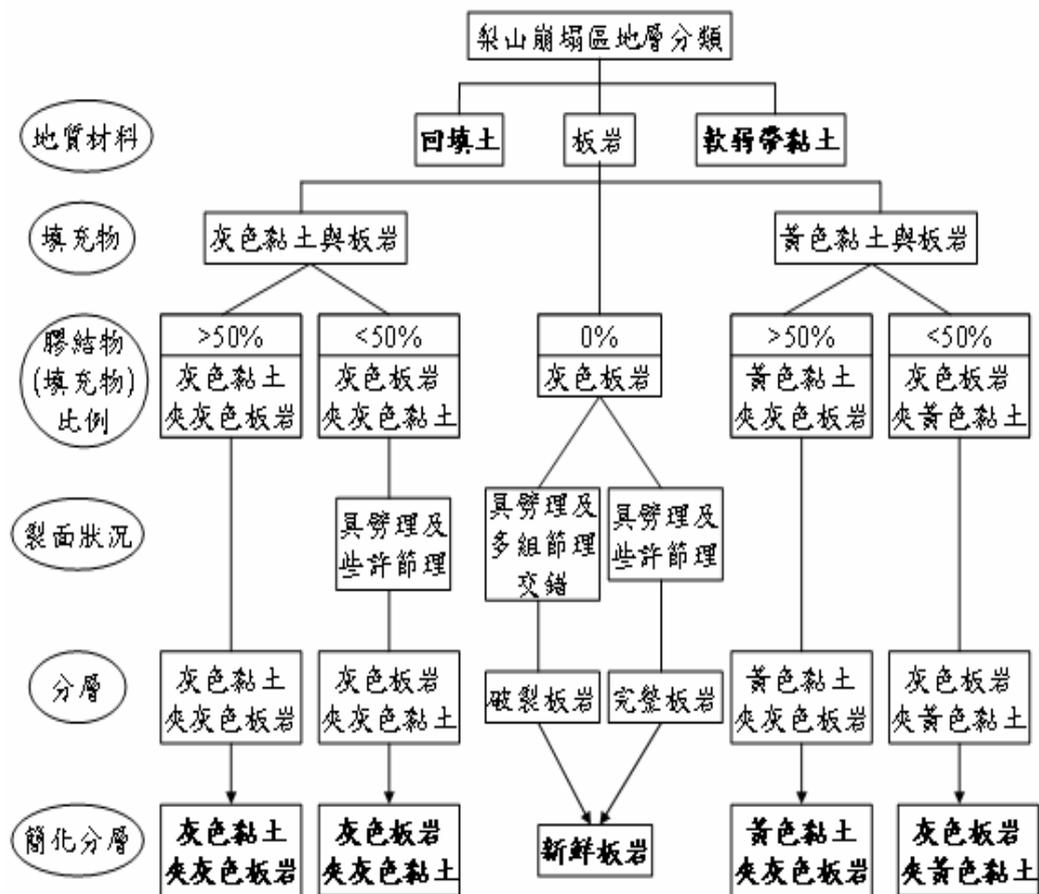


圖 2-31 岩心分類流程圖(唐禎國，2007)

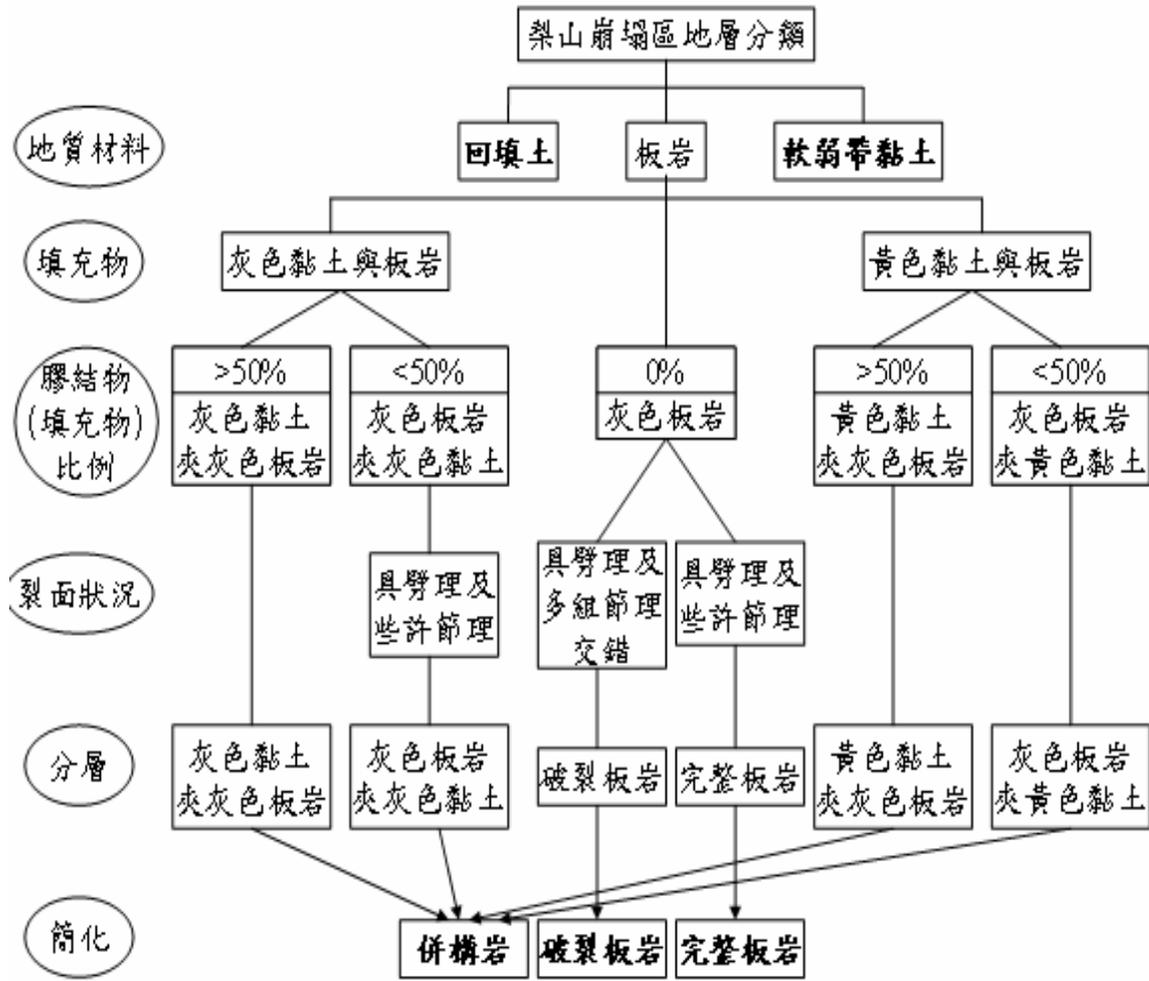


圖 2-32 材料力學行為分類流程圖(唐禎國，2007)

2.4.3 既有一般物性及力學試驗成果

依藤原明敏的分類，梨山崩積層可分為崩積土層、風化岩層、軟弱粉砂質黏土層及岩盤等。其強度及膠結性不一，新鮮岩盤處常帶有劈理及節理，不易取得完整試體。因此早期多用重模試體或明坑開挖得到之崩積土壤進行試驗。各類研究都對崩積層分類有不同的定義，為避免混淆，本研究接則統一採用唐禎國(2007)之分類，見表 2-7。劉盛華(2007)將過去學者或工程單位(蘇苗彬，1990、亞新顧問，1990、林柄森，1991、蔡光榮，1987、工研院，1993)研究所得的力學性質整理如表 2-8，分別討論各類材料在重模以及自然試體下強度參數。

工研院能資所(1993)調查梨山地層滑動，對此處地層材料做相關的室內試驗，其中直接剪力試驗採用四號篩以下之顆粒重模試體進行六組試驗；三軸試驗則以取自滑動面附近土樣，以自然沉降重模所得試體進行試驗。試驗結果如表 2-9、表 2-10。其中表 2-10 顯示以自然沈降法所得的重模土樣，主要由黏土、粉土或黏土質粉土所組成，重模後三軸試驗所得的凝聚力與抗剪角偏低，性質如同土壤，剪力試驗的抗剪角則較三軸試驗結果高出很多，可能是重模的夯實能量不同，且材料也不盡相同所致。

方世傑(1990)、楊東賢(1990)及黃信璋(1991)於梨山中橫公路台七甲 73k 處以鑽孔及塊狀試體取樣，鑽孔分佈於 B1、B4 滑動體上，見圖 2-33。圖中 BH1~BH6 為方世傑等人所佈鑽孔位置。N1、N2 為黃玉麟(2006)於 B9 滑動體進行鑽探取樣。

在表 2-11 為方世傑(1990)於中橫公路 73k 處試驗所得的一般物理性質試驗結果，顯示崩積土在現地含水量狀況下其膠結性不良；現地取得塊狀土體進行大型直接剪力試驗結果，凝聚力在 $0.017\sim 0.25\text{kg/cm}^2$ 間，摩擦角約 $31.9\sim 38^\circ$ ；利用鑽探在滑動面處的沉泥質黏土的土樣，其直接剪力試驗結果為凝聚力 0.13kg/cm^2 ，摩擦角 18.2° ，而三軸試驗(三段式飽和壓密不排水)得到結果為，凝聚力 0.29kg/cm^2 ，摩擦角 18.5° ，方世傑推估此沉泥質黏土為造成滑動的主因；崩積土的壓縮性：壓縮指數 $0.15\sim 0.16$ ，再壓縮指數為 $0.014\sim 0.018$ ，預壓密壓力 $0.3\sim 0.5\text{kg/cm}^2$ ，此預壓密壓力推估為覆土層因滑動而造成解壓；而岩石的耐久性試驗則被歸納為中高耐久性之岩石。

楊東賢(1990)使用台七甲 73k 邊坡之鑽探岩心(NX 尺寸)，進行一系列消散性耐久試驗、超音波試驗、單壓試驗與點載重試驗。研究成果將地層材料分為崩積土、破碎板岩崩積層、沉泥質黏土層、新鮮岩盤。試驗結果

顯示崩積土風乾含水量 0.12%、密度 2.7g/cm^3 、比重 2.70、吸水率 0.32%，沉泥質黏土層風乾含水量 0.26%、密度 2.67g/cm^3 、比重 2.69、吸水率 0.57%。黏土礦物經由 X 光繞射分析得到主要成份為雲母。另外於利用反覆泡水、烘乾模擬不同風化循環中，測得與超音波速以及單壓強度，結果發現風化循環次數愈高其超音波速愈低，單壓強度也愈低。

黃信璋(1991)研究台七甲 73k 滑動層沉泥質黏土層力學特性，結果為沉泥質黏土含水量 9.6%~14.5%，平均單位重 2.315t/m^2 ，三軸不排水壓縮強度試驗有效凝聚力 $0.13\sim 0.29\text{kg/cm}^2$ ，有效摩擦角 $18.2\sim 18.5^\circ$ ，標準貫入值因孔位不同約在 10~14 與 4~6，屬於軟弱至中等硬度之黏土，單向度壓密曲線 $C_c=0.088\sim 0.092$ 、 $C_r=0.023\sim 0.024$ 。

劉啟鋒(1990)研究中橫公路台七甲 72K+500 處的邊坡穩定性，在監測兩孔水位計(A-1 深度 20m、A-2 深度 13m)資料後發現地表下 5.85m 與 5.57m 處有一滑動面。其研究在埋設兩孔水位計旁各進行一立方公尺之明坑開挖，取得崩積土密度分別為 1.99g/cm^3 與 1.93g/cm^3 ，並在選擇 A-1 明坑開挖下方進行直徑 1.1m 的試井開挖(深度 6.3m)，並將試井開挖所得到的現地土樣進行相關的材料特性試驗(開挖取得之材料土壤基本性質表 2-12)，試井開挖後土壤分層為表土層(0.0~0.6m)、灰黑色板岩礫石土(0.6~2.40m)、黃棕色黏土夾雜板岩塊與岩層(2.40~4.20m)、破碎灰色板岩層(4.20~5.90m)、砂質黏土(5.90~6.30m)。另外利用縮小現地顆粒級配以製作重模試體再進行直接剪力試驗，試驗結果如表 2-13 及表 2-14。經由粒徑分佈曲線得知明坑土樣顆粒分佈一致，屬於良好級配土壤，而其板岩材料消散耐久性試驗得到在第二次循環百分比平均為 94.87%，其抗風化能力不弱；另外在直接剪力試驗結果得知，最大顆粒粒徑變大，細粒料含量減少時，凝聚力有逐漸變小的趨勢，摩擦角值隨著試體最大顆粒粒徑增加而上升，與細料含量之關係則較不明顯，可能因試驗儀器不同及試體大小尺寸

影響所致。

由上述梨山地區崩積土層的相關研究將其整理為表 2-15。方世傑(1990)等人將梨山地區地層組成由地表向下區分為崩積土層、風化板岩層、新鮮岩盤，粉土質黏土層則夾於各層之間。粉土質黏土層含水量在 15~18%之間、抗剪角 9~16°，被判定為地層滑動主要層面；崩積土的抗剪角大約在 35~40°之間，凝聚力偏低，可能是與材料形成方式有關，板岩顆粒隨機的分佈在地層內，顆粒大小不一，造成膠結性不良，剪力強度可能受到顆粒大小所控制；板岩主要組成礦物為雲母，因此容易受到風化作用，而依照風化程度的差異也反映在板岩顆粒的形狀上，在模擬風化作用，風化循環次數愈高其超音波速愈低，單壓強度也愈低。

中興大學與工研院所做的梨山崩坍地材料力學試驗，大多在研究軟弱的粉土質黏土的力學行為，對於崩積土層與風化板岩層僅以直剪試驗定義力學參數，但其組成相較於粉土質黏土更複雜且顆粒大小不一。

羅文驤(2007)則視梨山崩積層為併構岩材料，並針對影響其材料強度因子加以探討。所施作併構岩之試體發現破壞面未有直接穿越岩塊者，多為沿著岩塊間發展。岩塊分布較少區域產生膨脹情形，而岩塊分布較多區域則束制膨脹的行為。岩塊含量高時，岩塊相互束制，可能產生岩塊相互磨擦而延邊緣破碎之行為，反應較大之強度。當岩塊含量小於 25%，材料強度依舊有隨著岩塊增加而成長之趨勢。併構岩材料之彈性模數隨岩塊含量增加而上升，並具隨應變量增大而遞減之趨勢，岩塊含量少之併構岩，在大應變量下遞減情形也較大。

劉盛華(2007)探討梨山滑動地層之滑動面材料(灰色黏土夾板岩碎屑)之顆粒組成及強度關係。發現此類材料岩塊含量約 2.77~8.74%，基質土壤含量 91.26~97.23%；試體比重 2.64~2.76、飽和含水量 8.93%~16.42%、孔

隙比 0.28~0.55、有效粒徑 $D_{10}=0.00102\sim0.0218\text{mm}$ 、 $D_{60}=0.1\sim2.42\text{mm}$ 、 $D_{30}=0.009\sim0.22\text{mm}$ 、 $C_u=84.75\sim406.86$ 、 $C_c=0.07\sim0.99$ ，統一土壤分類法分類為粉土質砂(SM)。一般物理性質試驗結果，板岩比重為 2.76、飽和含水量 0.25%、孔隙比 0.00702；基質材料比重 2.70、液性限度 39.88%、塑性限度 29.56%、塑性指數 10.32%，Casagrande(1948)的塑性圖分類為低塑性粉土 (ML)。推估深層灰色黏土夾灰色板岩碎屑，岩塊含量較低(10%以下)，且最大岩塊粒徑 2cm 或更小，三軸實驗結果顯示岩塊含量與材料強度並無明顯的關係，亦即無明顯尺寸效應，材料行為由基質土壤控制，但岩塊排列方式與分佈會影響試體的破壞型態與應力應變曲線的行為。材料在受剪初期，孔隙水壓隨應變量增加而增加，隨著應變量增加到某一定值，受剪脹作用影響，孔隙水壓開始降低，此現象類似緊密砂或過壓密黏土的材料行為。由三個不同應力路徑試驗結果，利用 p'q'圖可回歸得到修正的破壞包絡線 K_f line，可得到材料強度參數為凝聚力 $c=0.13\text{ kg/cm}^2$ ，有效摩擦角 $(\Phi')=26.74^\circ$ 。



表 2-7 與過去研究者對梨山崩積層歸納(唐禎國，2007)

研究者(年代)	崩積層分類				
藤原明敏(1979)	崩積土	風化破碎岩 或弱風化岩	強風化岩	基盤岩	回填土
方世杰(1990)	崩積土	風化板岩層	粉土質黏土層	新鮮岩盤	回填土
唐禎國(2007)	灰色板岩 夾黃色黏土	灰色板岩 夾灰色黏土	灰色黏土 夾灰色板岩碎屑	完整板岩	回填土

註：唐禎國(2007)解釋，當板岩岩塊含量超過 50%，則以灰色板岩在前。當黏土含量較多，則以灰色黏土或黃色板岩在前

表 2-8 梨山崩積材料力學性質 (劉盛華, 2007)

資料來源 地層參數 地層種類	蘇苗彬(1990)		亞新顧問(1990)		林炳森(1991)		蔡光榮(1987)		工業技術研究院 能源與資源研究 所(1993)		中華工程(1996)						
	c (t/m ²)	Φ (°)	c (t/m ²)	Φ (°)	c (t/m ²)	Φ (°)	c (t/m ²)	Φ (°)	c (t/m ²)	Φ (°)	c (t/m ²)	Φ (°)					
崩積土	0	35	0	29.0-34.5	0.17-1.6	33.0-38.0	1.9-3.9	33.5-35.0	0.1-2.2	15-45	0.04-1.97	27.1-27.5					
強至中度風 化板岩	皆以重模試體為主		皆以鑽探取樣所 得到之天然試體 (NX)		皆以鑽探取樣所 得到之天然試體 (NX)		崩積土材料為重 模試體 滑動面材料為現 地薄管取得之天 然試體		2.0-6.0		36-39						
滑									崩積土	皆以鑽探取樣所 得到之天然試體 (NX)		皆以鑽探取樣所 得到之天然試體 (NX)		皆以重模試體為主		皆以鑽探取樣所得 到之天然試體(NX)	
動									強至中度 風化板岩								
面	弱風化至 新鮮板岩	2.1-3.8	9.0-16.0	1.3-2.9	18.2-18.5	1.8-4.0	25-45	0-2.0	20-23	0.3-1.8	28.5-31.3						
備註	皆以重模試體為主		皆以鑽探取樣所 得到之天然試體 (NX)		皆以鑽探取樣所 得到之天然試體 (NX)		崩積土材料為重 模試體 滑動面材料為現 地薄管取得之天 然試體		皆以重模試體為主		皆以鑽探取樣所得 到之天然試體(NX)						

表 2-9 四號篩以下重模直接剪力試驗結果(工研院，1993)

項目	C'	ψ'	備註
1	0.6	36	預壓 6kg/cm ²
2	0.2	39	預壓 3kg/cm ²
3	0.2	23	
4	0	23	
5	0.05	20	
6	0.3	38	

表 2-10 三軸 SCU 試驗結果(工研院，1993)

項目	1	2	3	4	5
抗剪角(°)	10	19	14	19	13
凝聚力(kg/cm ²)	0.07	0	0.04	0	0
有效抗剪角(°)	20	34	15	45	28
有效凝聚力(kg/cm ²)	0.1	0.08	0.22	0.02	0.01
土樣分類	SC	SP-SC	SC	SP-SM	SM

註：土樣分類乃利用統一土壤分類規範所區分 S 為砂土，C 為黏土，M 為粉土。P 代表土壤材料為貧級配。

表 2-11 一般物理性質試驗結果(方世傑，1990)

材料取得方式	土層材料	一般物理性質						
		濕密度(g/cm ³)	比重	孔隙比	含水量(%)	液性限度(%)	塑性限度(%)	液性指數(%)
明坑開挖	崩積土	2.14	2.7	0.49	18.07	42	28	14
鑽探 bh-1	崩積土	2.02	2.75	0.42	3.83	NP	NP	NP
	灰色板岩碎屑	2.17	2.75	0.44	10.59	NP	NP	NP
	沉泥質黏土	2.29	2.82	0.42	15.15	25	18	7
鑽探 bh-2	崩積土	1.94	2.67	0.6	16.19	NP	NP	NP
	灰色板岩碎屑	2.42	2.74	0.23	8.51	32	21	11

註：分類法與黃玉麟(2006)做比較，崩積土同(SY' 或 SY)；灰色板岩碎屑類似(SG)，沉泥質粘土稱為軟弱帶(C)

表 2-12 崩積土與砂質黏土基本參數(劉啟鋒，1990)

試驗項目 土樣	含水量 (%)	比重 (10 號篩以下)	阿太堡限度		土壤分類	
			液限	塑限	AASHTO	USCS
A-1 明坑土樣	13.99	2.75	38	23	A-2-6	GC
A-2 明坑土樣	12.04	2.76	40	23	A-2-6	GC
試井之砂質黏土	15.65	2.77	25	13	A-6	SC/CL

表 2-13 不同粒徑凝聚力與摩擦角大小(劉啟鋒，1990)

最大粒徑	2"	3/4"	#4	#8	#16	#30	#50	#100	#200
強度參數									
凝聚力(kg/cm ²)	0.03	0.35	0.38	0.49	0.65	0.66	0.66	0.68	0.67
摩擦角(°)	35.02	21.56	24.16	33.12	30.51	29.75	33.06	33.22	33.07

表 2-14 砂質黏土強度參數(劉啟鋒，1990)

試驗方法	不壓密不排水直剪	壓密不排水直剪
強度參數		
凝聚力(kg/cm ²)	0.21	0.38
摩擦角(°)	9.15	15.67

表 2-15 梨山地區崩積土層的相關研究整理

	含水量(%)		凝聚力(kg/cm ²)	摩擦角(°)	比重
方世傑 (1990)	18.07 (明坑開挖土樣，崩積土)		0.017~0.25	31.9~38	2.7
	15.15 (BH-1 鑽孔，沉泥質粘土)		0.13(直接剪力試驗)	18.2(直接剪力試驗)	2.82
			0.29(三軸試驗)	18.5(三軸試驗)	
劉啟鋒 (1990)	12.04~15.65		0.21(不壓密不排水直剪)	9.15(不壓密不排水直剪)	2.77
			0.38(壓密不排水直剪)	15.67(壓密不排水直剪)	
黃信璋 (1991)	9.6~14.5		0.13~0.29	18.2~18.5	
楊東賢 (1990)	崩積土	風乾含水量 0.12%	密度 2.7g/cm ³	比重 2.70	吸水率 0.32%
	沉泥質粘土	風乾含水量 0.26%	密度 2.67g/cm ³	比重 2.69	吸水率 0.57%

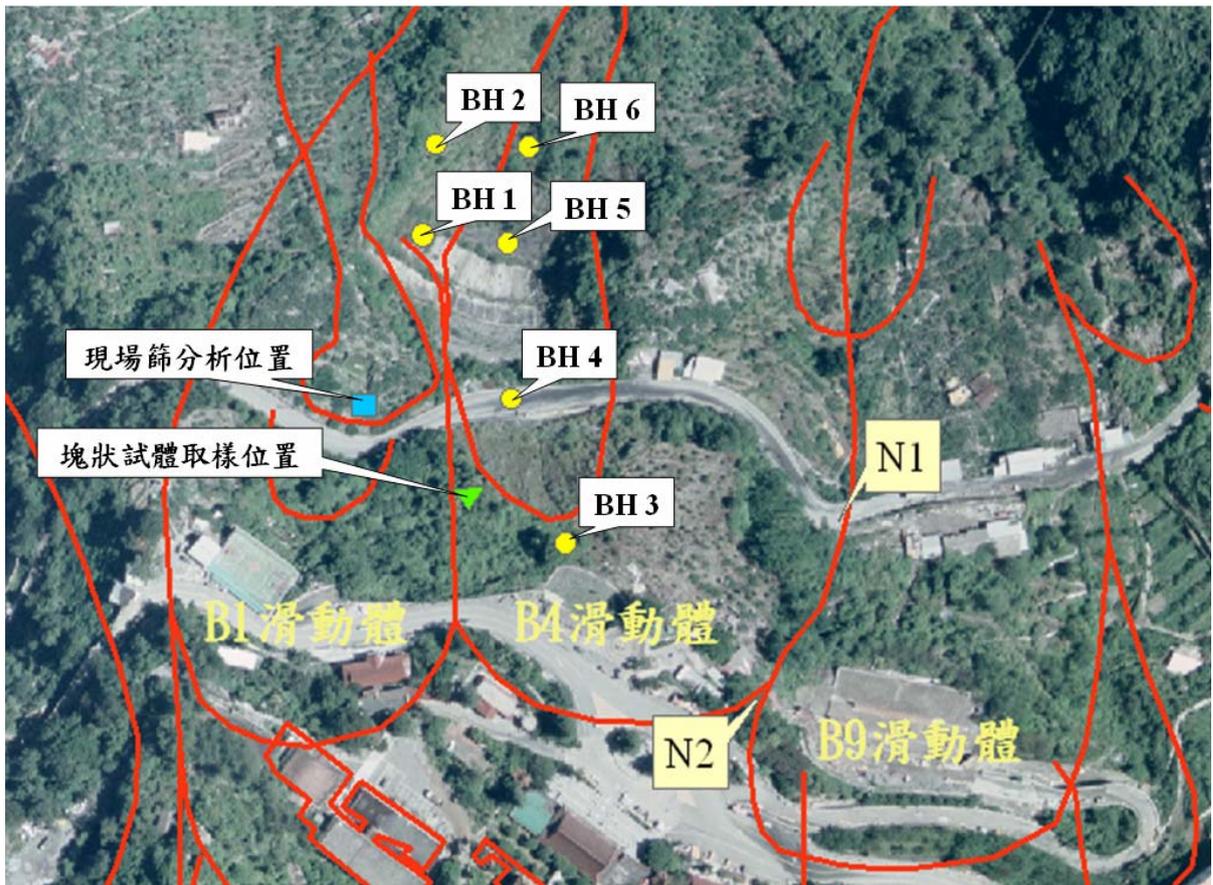


圖 2-33 方世傑(1990)等於台七甲 73 k 鑽孔、篩分析及塊狀取樣位置圖
(羅文驤, 2007)



第三章 研究方法

綜合早期梨山地滑區之相關研究，得知此地滑區是由於地盤有過大規模的滑動，造就了地質上本身不穩定的因素。之後在加上地震或暴雨等自然天災，導致崩積層上方地層再一次或多次的滑動以及各類型之風化作用影響，使得地層材料多處風化破碎、強度低。本研究主要延續唐禎國(2007)、劉盛華(2007)及羅文驤(2007)等人於梨山崩積材料之相關研究。利用高品質的地質鑽探，增加對於該地區地層資料的了解，結合舊有之地質資料進而提出梨山地滑區崩積層之形成機制、隨後利用取得之鑽心對於崩積材料進行室內試驗，藉由一系列物性與力學實驗，來探討崩積材料之力學行為。最後結合上述所有研究成果，期望可以來解釋崩積材料力學性質與滑動關係，以及整個梨山區之崩積材料及崩塌機制。



3.1 地質鑽探

3.1.1 研究場址

本研究將選擇梨山地滑區之B5 及B13 滑動體來進行地質鑽探，如圖3-1 所示。其選址之理由如下敘述：

1. B5 滑動體：

- a. 由黃玉麟(2006)於 B9 滑動體 N2 所鑽取所得之岩心可發現二軟弱帶，藉由劈理位態來看，深層滑動層之劈理位態有 180 度的反轉，推測由於山坡大規模潛移破壞所導致此一拖曳帶。為驗證位於 B9 滑動體上方之 B5 滑動體是否亦有因潛移破壞所造成之拖曳帶，因此考量後，於 N2 孔上方不遠處再施鑽 B2 孔，以確認梨山地滑區大規模潛移破壞之可能性。

- b. 依據黃玉麟(2006)及唐禎國(2007)針對梨山地滑區所作之鑽探佈孔，作更廣更全面的規劃來進一步驗證梨山地滑區形成的滑動成因。
- c. 對於B5 滑動體，過去已有許多鑽孔，且佈置許多關於地滑監測儀器，整理如表 3-1 可得許多監測資料。有助於滑動成因的分析及岩心判釋之輔助。

2. B13 滑動體：

- a. 加強 B 區滑動體關於滑動面及滑動型態在縱向方面之分析。
- b. 根據富國工程(2001)，推估 B11、B13 滑動體底部之黏土狀板岩，與 G1、G2 排水廊道之剪裂泥相似，研判其為剪裂帶之延伸。為驗證整體滑動態勢，及期望鑽取可供室內實驗對於滑動材料探討之鑽心，故於此區鑽探。

表 3-1 B5 滑動體監測儀器列表(整理自富國工程，2001)

系統	儀器項目(編號)數量	
自動監測	管內傾斜儀一組	
	地表伸縮儀一組	
	雨量計一組	
	壓力式水位計一組	
人工監測	孔隙水壓計(NWP-1)	
	孔隙水壓計(NWP-2)	
	水管式地盤傾斜計(T-5)	
施工中 安全監測	第一期集水井 (W9)	傾斜儀觀測管一組 水位觀測井一組 壓力式水位計一組 建物傾斜儀一組
	第三期集水井 (W5)	水位觀測井一組 建物傾斜儀兩組
	G2 排水廊道	傾斜儀觀測管兩組 水位觀測井四組 建物傾斜儀六組



圖 3-1 鑽孔位置示意圖

3.1.2 鑽探位置

為了釐清梨山地滑區崩積材料之材料特性與滑動機制，故鑽探深度以達到新鮮岩盤為原則，需包括以唐禎國(2007)所分類之崩積土、風化板岩、新鮮板岩而粉土質黏土(即軟弱帶)更為本次研究重點。

B13 滑動體之B1 鑽孔深度，參考富國技術工程公司(2001)之y-4-01 剖面圖及相關監測報告來判斷鑽至新鮮岩盤之深度。B1 鑽孔如圖 3-2 紅線所示，深度以達新鮮岩盤故取 40 公尺為主，孔位位於B13 滑動體之中央，現場照片如圖 3-3；而B5 滑動體之B2 鑽孔深度，參考富國技術工程公司(2001)之y-1-01 剖面圖至新鮮岩盤之深度，B2 鑽孔如圖 3-4 所示，深度約取 60 公尺估計到達岩盤，現場照片如圖 3-5。

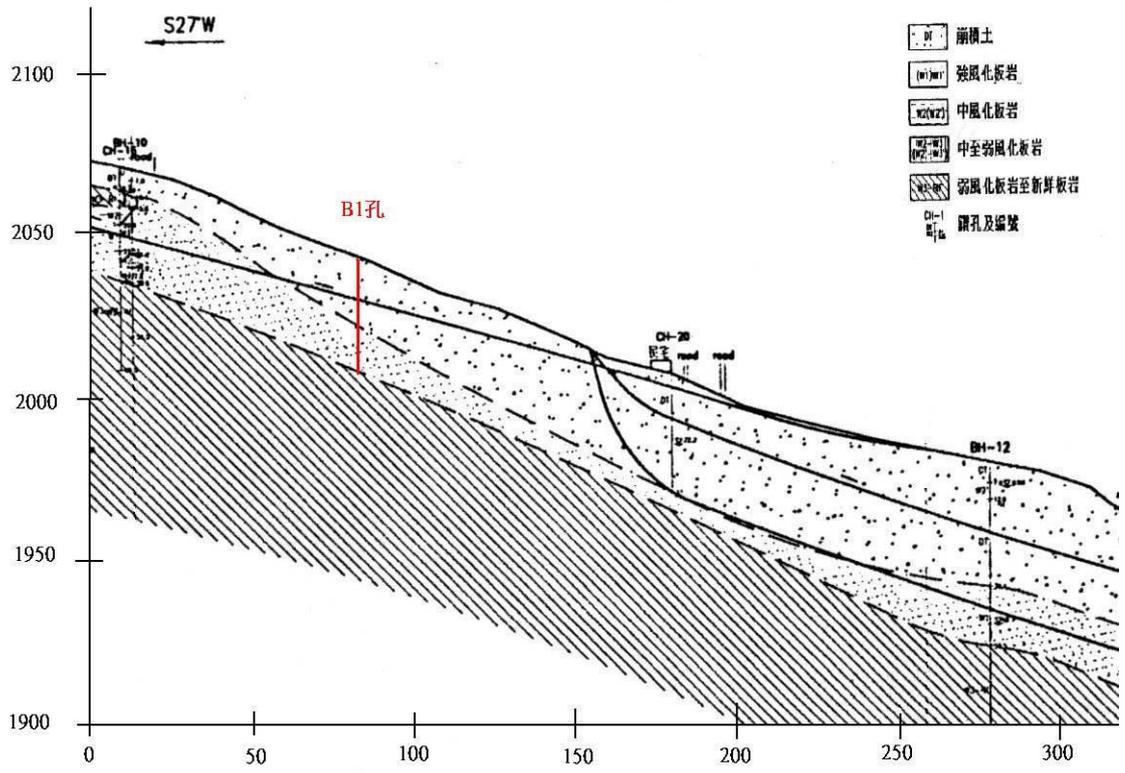


圖 3-2 B1 鑽孔位置及深度圖(修改自富國工程，2001)

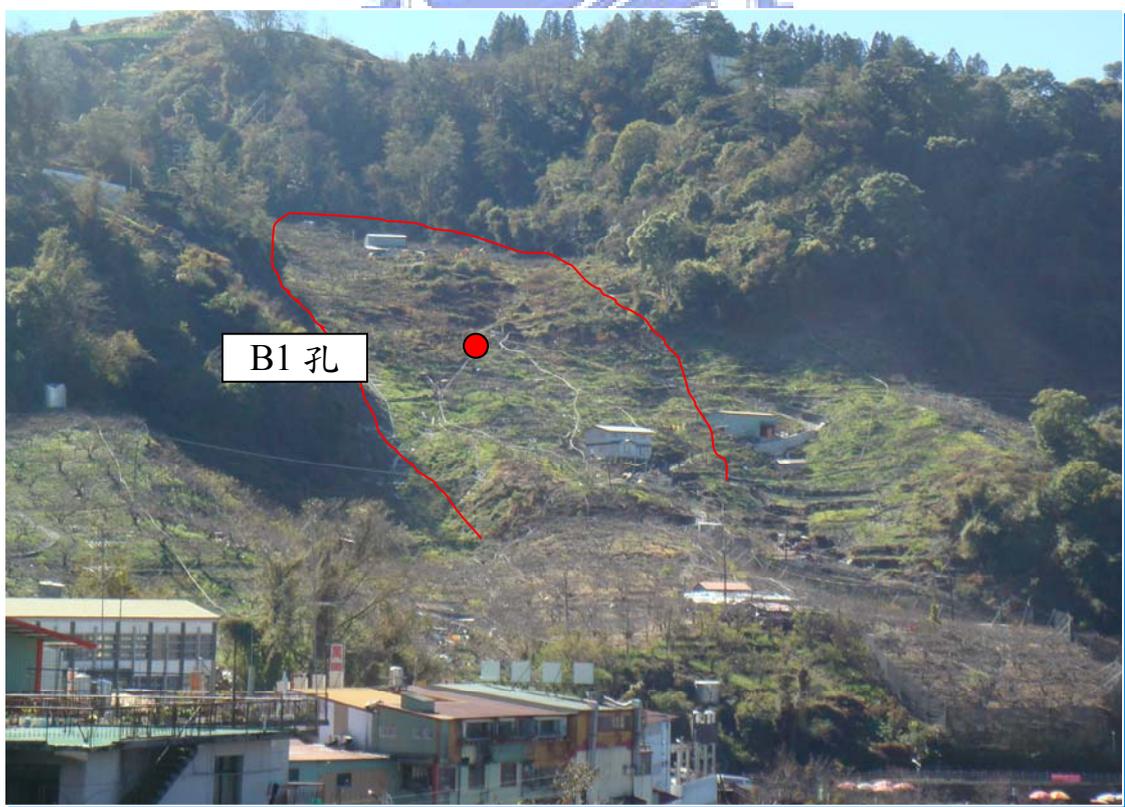


圖 3-3 B1 鑽孔位置示意圖

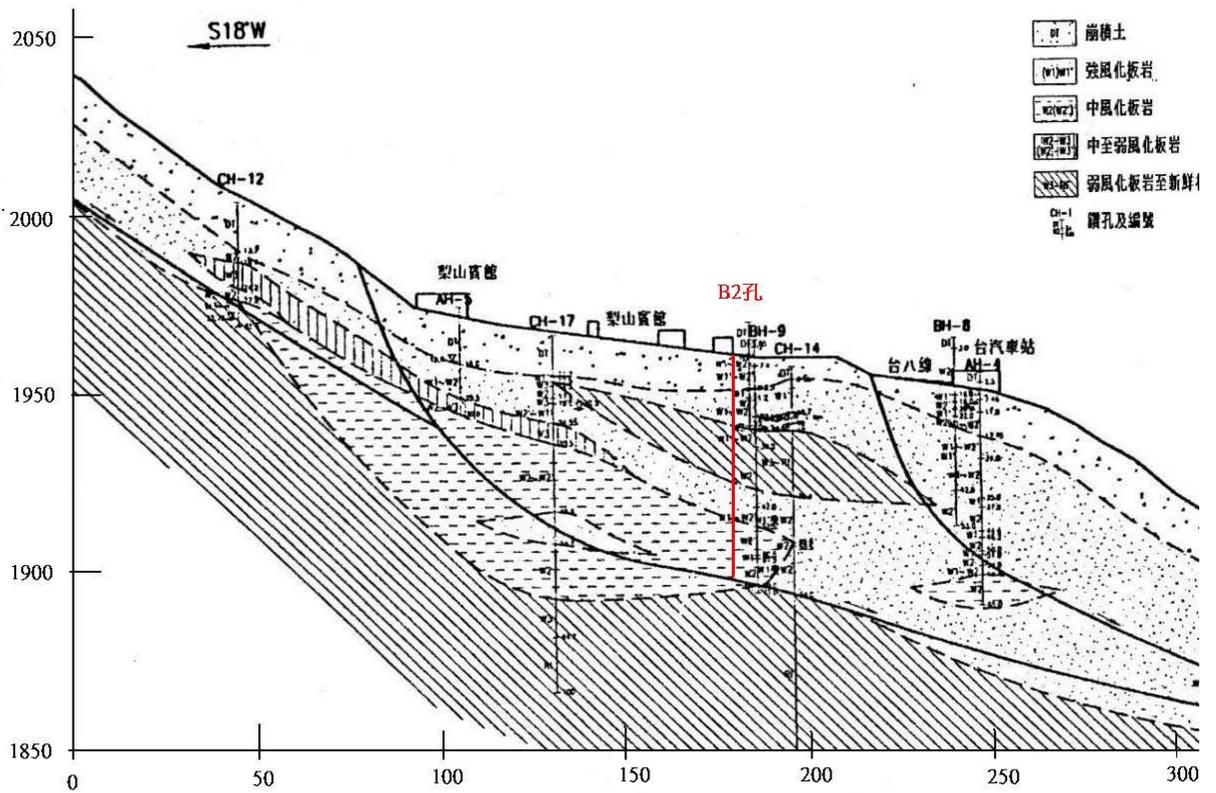


圖 3-4 B2 鑽孔位置及深度圖(修改自富國工程，2001)

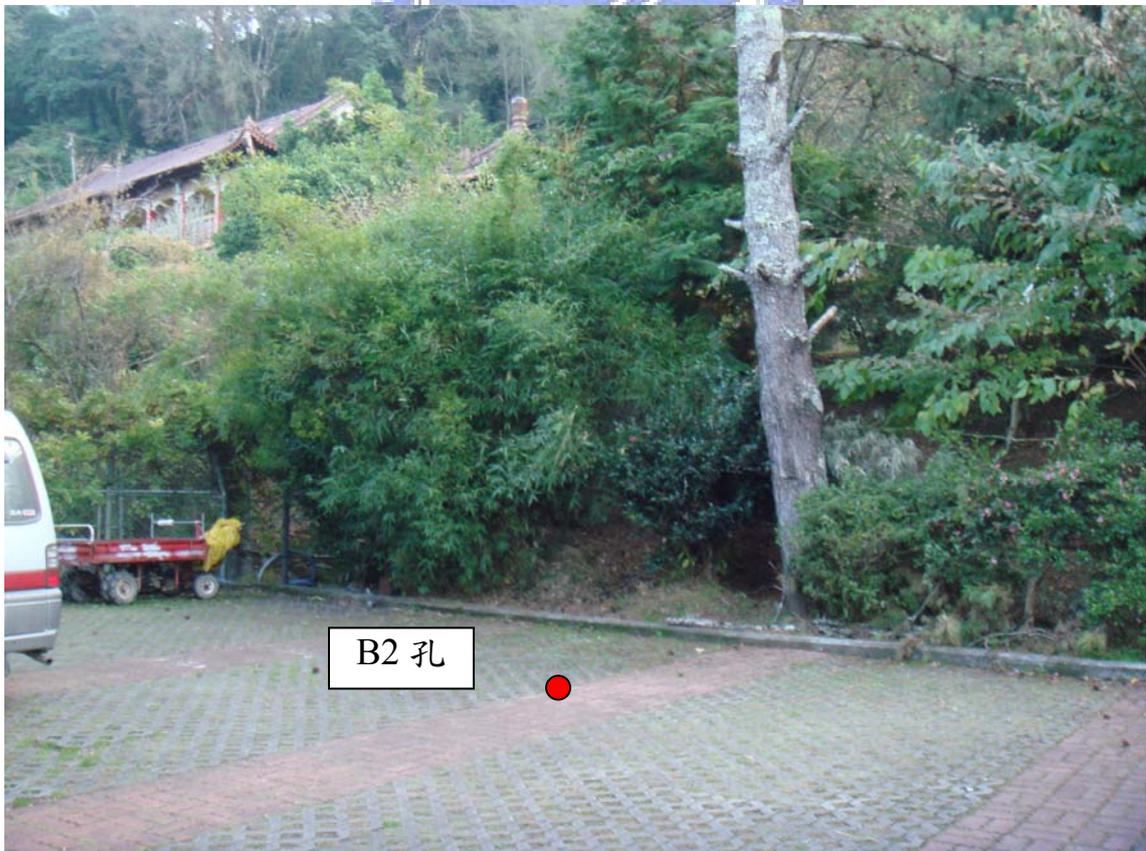


圖 3-5 B2 鑽孔位置示意圖

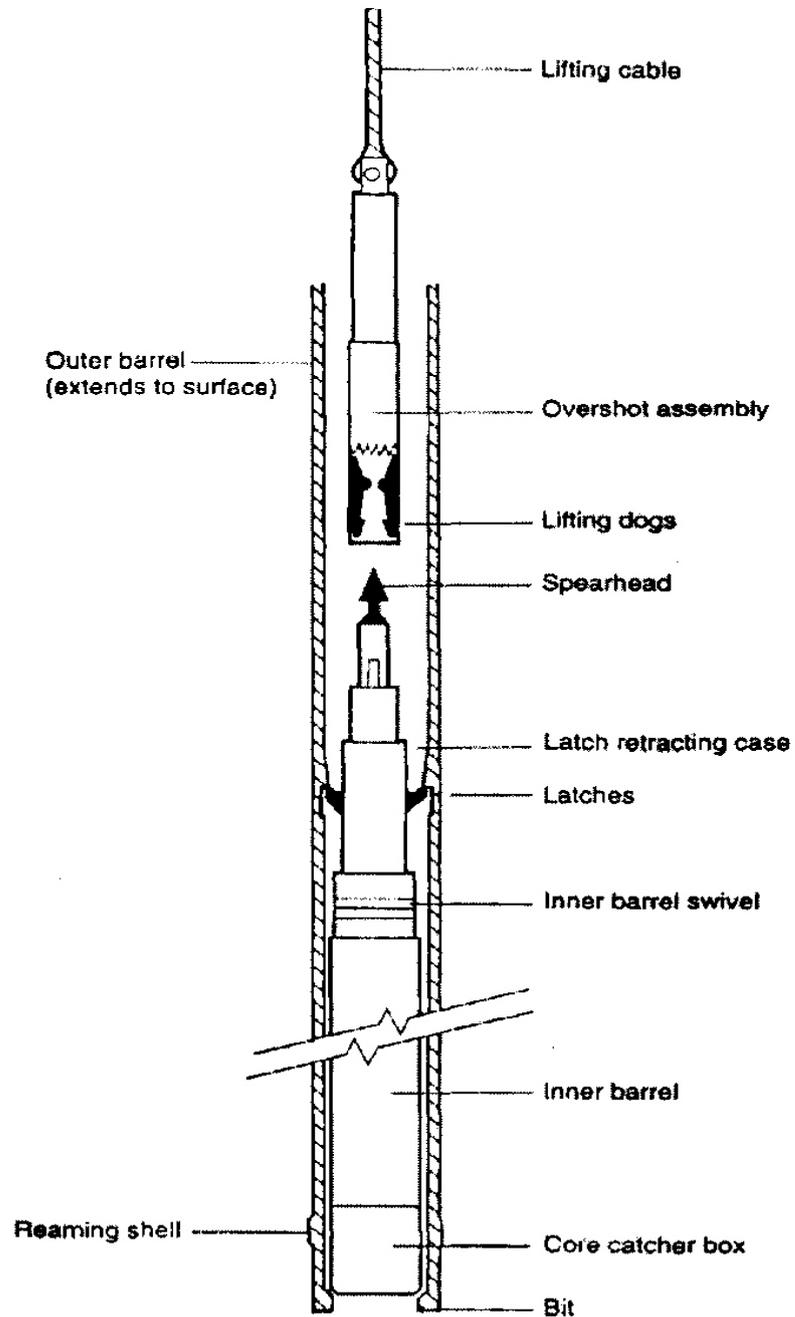
3.1.3 鑽探取樣方法與保存

本研究之地質鑽探採用黃玉麟(2006)經考慮地質材料條件評估過後且於梨山實地鑽探亦有良好成果，所建議利用之旋轉式鑽探(Rotary drilling)，搭配鋼索取樣方式，如圖 3-6。且使用超泥漿作為穩定液來鑽掘 HQ(6.2cm)規格之岩心。實際鋼索取樣方式如圖 3-7 所示，當取樣器內鑽取之岩心須由地底下取出時，只需將鑽桿管最上端之鑽管轉開，由管口放入連接鋼索之拋射桿，使拋射桿與鑽桿底部岩心管內管上端之爪狀矛頭接合，利用捲揚機即可吊出內管與取樣器，圖 3-8 為爪狀矛頭。此法可免除拆卸鑽桿的繁瑣動作，可加快鑽探速度以及減少鑽孔之擾動，同時因泥漿水持續迴流而增加孔壁的保護性。

林忠義(1999)岩心取樣器採用伸縮式三層岩心筒，如圖 3-9 及圖 3-10 所示，其特色為內管之內部另有兩片分裂式的第三層管，其材料為鋁合金，內部鍍有低摩擦係數之硬質鉻，或銅板壓成，或不鏽鋼管，岩心可平順滑入分裂管。當裝滿岩心或岩心已堵塞時，將岩心筒取出，卸下內管組合頭及岩心夾套(core lifter case)，裝上岩心壓縮活塞螺絲及接頭，即可用手搖唧筒將分裂式的第三層管與岩心緩緩擠出，取出之岩心為幾近未受擾動之原狀。

由取樣器取出之岩心，經初步描述完岩心，待整箱 4 公尺長岩心皆放滿之後，進行拍照及整理，等待時需將岩心蓋蓋上，盡量避免試體之水分蒸發。將每公尺之岩心包裹保鮮膜後放入長度約等長之 PVC 管中，於兩端再包覆保鮮膜，之後把 PVC 管放入岩心箱中依深度放置。岩心箱與 PVC 管間之空隙在以石蠟蠟封，如圖 3-11 所示，澆灌時需注意應使石蠟在接近凝固時在澆灌，避免石蠟溫度過高將 PVC 管兩端之保鮮膜溶化影響內部岩心。石蠟冷卻後再蓋上岩心箱之蓋子，即可使試體在保存過程中免除水

份之流失消耗。且為了避免岩心箱在崎嶇山路運送中彼此碰撞，運送時外層利用大型海綿包裹，減少運送過程中對岩心之損害。



Principal components of the Longyear NQ-3 wireline drilling system

圖 3-6 鋼索式取岩心法示意圖(Clayton, et al., 1995)

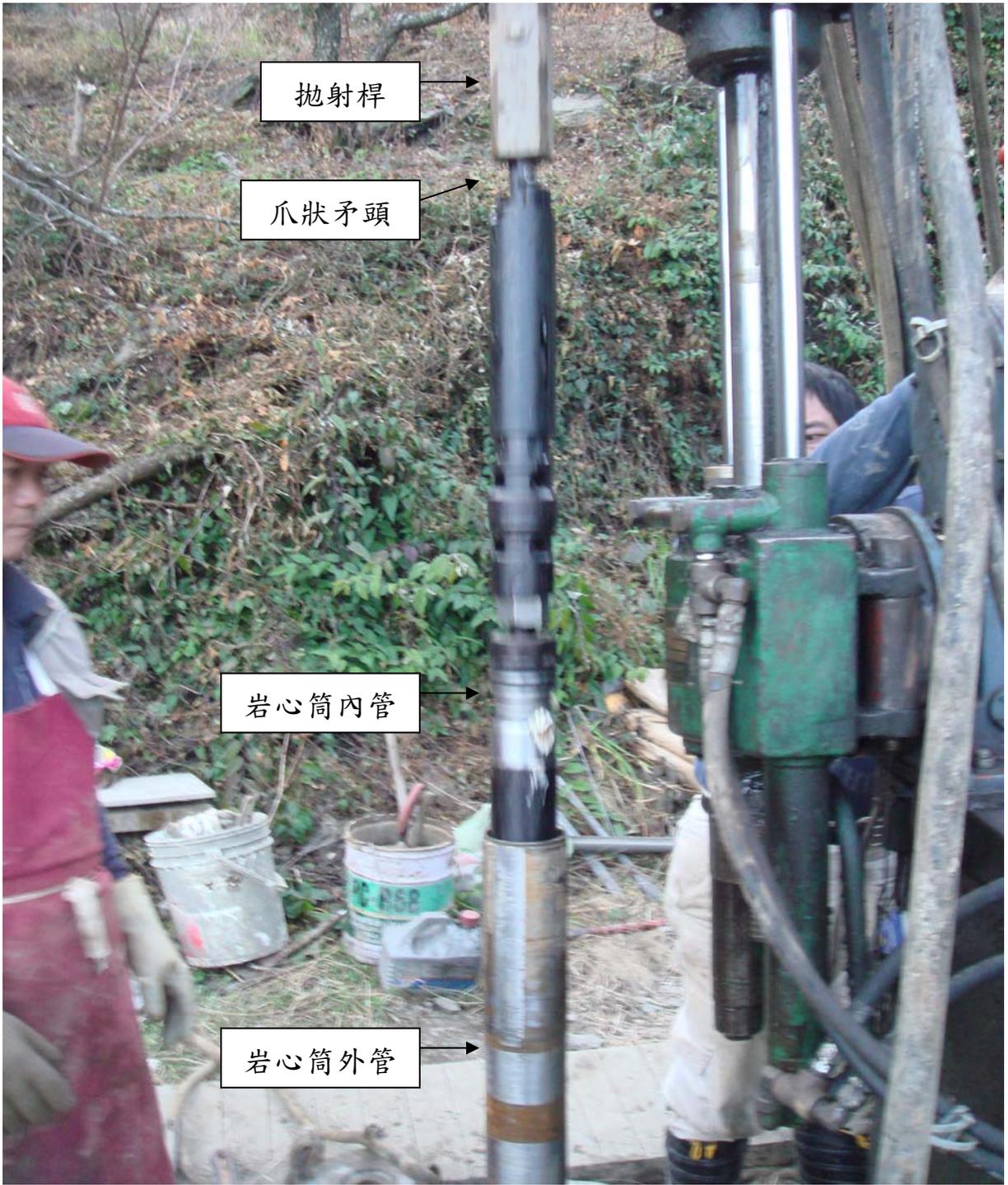


圖 3-7 實際鋼索取樣現況



爪狀矛頭

圖 3-8 爪狀矛頭

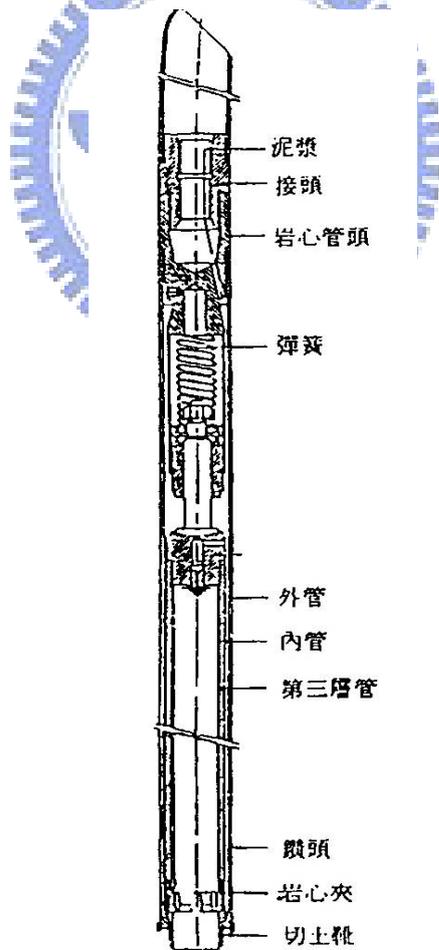


圖 3-9 三層岩心筒(劉武志，1979)



圖 3-10 岩心筒內外管及鑽頭

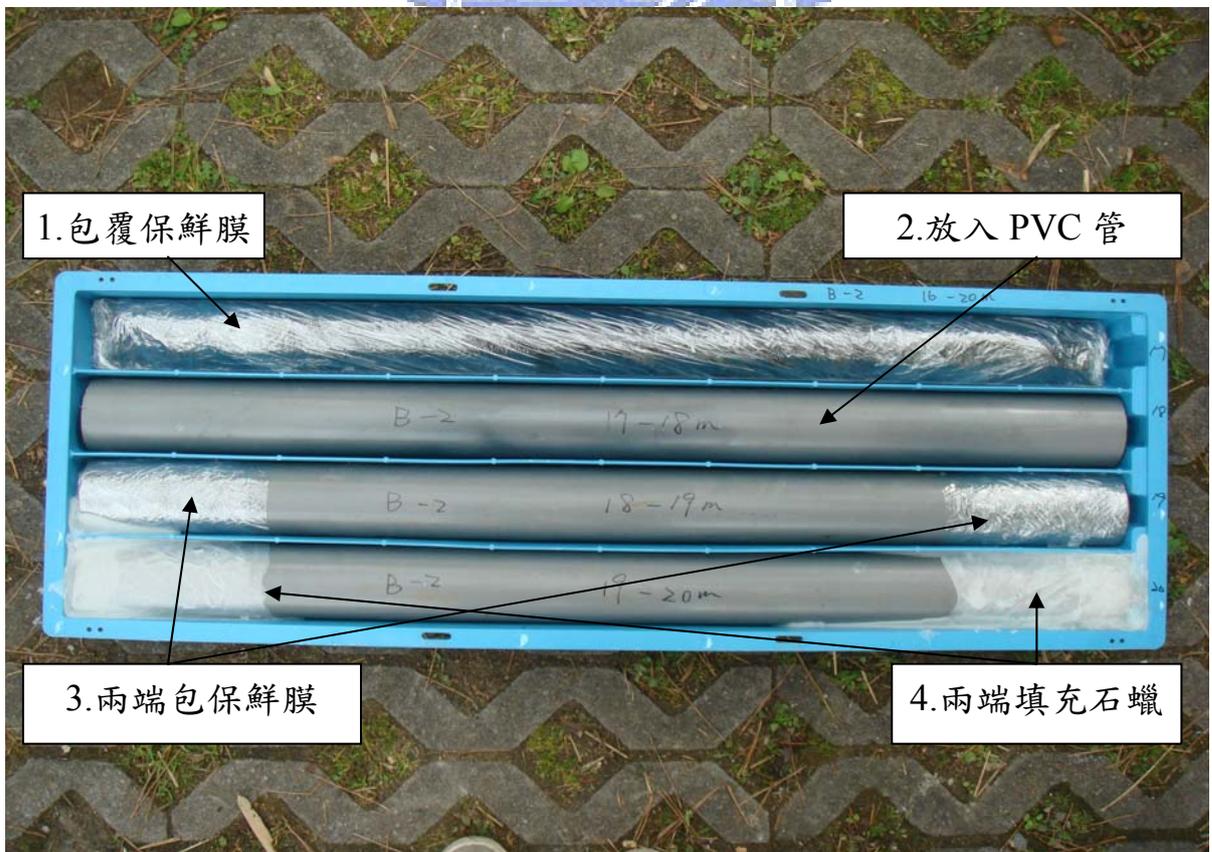


圖 3-11 岩心保存方式

3.2 試驗規劃

3.2.1 試驗材料及數量規劃

本研究針對梨山地滑區 B13 滑動體所鑽得之鑽心，利用灰色板岩夾灰色黏土及灰色黏土夾板岩碎屑這兩類併構岩材料，藉由一般物理性質試驗與三軸壓密不排水試驗結果探討顆粒組構對材料破壞行為及材料力學強度的影響。

本研究所規劃之一般物理性質試驗，一部份由現地鑽探所取出材料馬上秤重，之後密封在送回實驗室烘乾量得現地含水量，隨後進行濕篩，以了解其粒徑分布。另一部份材料則是使用三軸試驗後之試體材料，進行篩分析後，再施做一般物理性質試驗。

三軸壓密不排水試驗部分，如表 3-2 所示共進行 14 個併構岩試體的三軸壓密不排水試驗，岩性包含灰色黏土夾板岩碎屑及灰色板岩夾灰色黏土。鑒於試驗材料強度介於黏土與硬岩之間，因此三軸加壓速率應介於土壤剪動速率與硬岩剪動速率之間。本研究以應變控制，加壓速率為 0.003%/sec；受到試驗儀器的限制，可施加最大圍壓為 7kg/cm^2 ，反水壓最大為 2kg/cm^2 ，因此規劃 14 顆如表 3-2 之圍壓與反水壓大小之三軸壓密不排水試驗。

表 3-2 三軸壓密不排水試驗規劃與取樣位置

試體編號	孔號	深度 (m)	圍壓 (kg/cm ²)	反水壓 (kg/cm ²)	有效圍壓 (kg/cm ²)	有效圍壓 (kg/cm ²)
C-B101	B1	13.10-13.25	4	2	2	2
C- B102	B1	13.40-13.55	5	2	3	3
C- B103	B1	13.55-13.70	6	2	4	4
C- B104	B1	13.70-13.85	4	2	2	2
C- B105	B1	13.85-14.00	3	2	1	1
C- B106	B1	15.00-15.20	4	3	1	1
C- B107	B1	24.55-24.70	3	2	1	1
C- B108	B1	24.70-24.85	4	2	2	2
C- B109	B1	24.85-25.00	5	2	3	3
SG- B101	B1	18.80-19.00	0.5	2.5	2	2
SG- B102	B1	14.55-14.70	5	2	3	3
SG- B103	B1	14.75-14.90	4	2	2	2
SG- B104	B1	17.55-17.70	4	2	2	2
SG- B105	B1	19.65-19.80	6	2	4	4

註：編號意義：C、SG 為岩性分類，唐禎國(200)C 代表灰色黏土夾板岩碎屑、SG 代表灰色板岩夾灰色黏土。B1 為孔號分類。

3.2.2 試驗流程

本研究主要使用本校土壤三軸試驗儀器對灰色黏土夾板岩碎屑材料施做三軸壓密不排水試驗；而灰色板岩夾灰色黏土材料則由本校軟岩三軸試驗設備MTS 810 試驗機來進行三軸壓密不排水試驗，流程如圖 3-12。

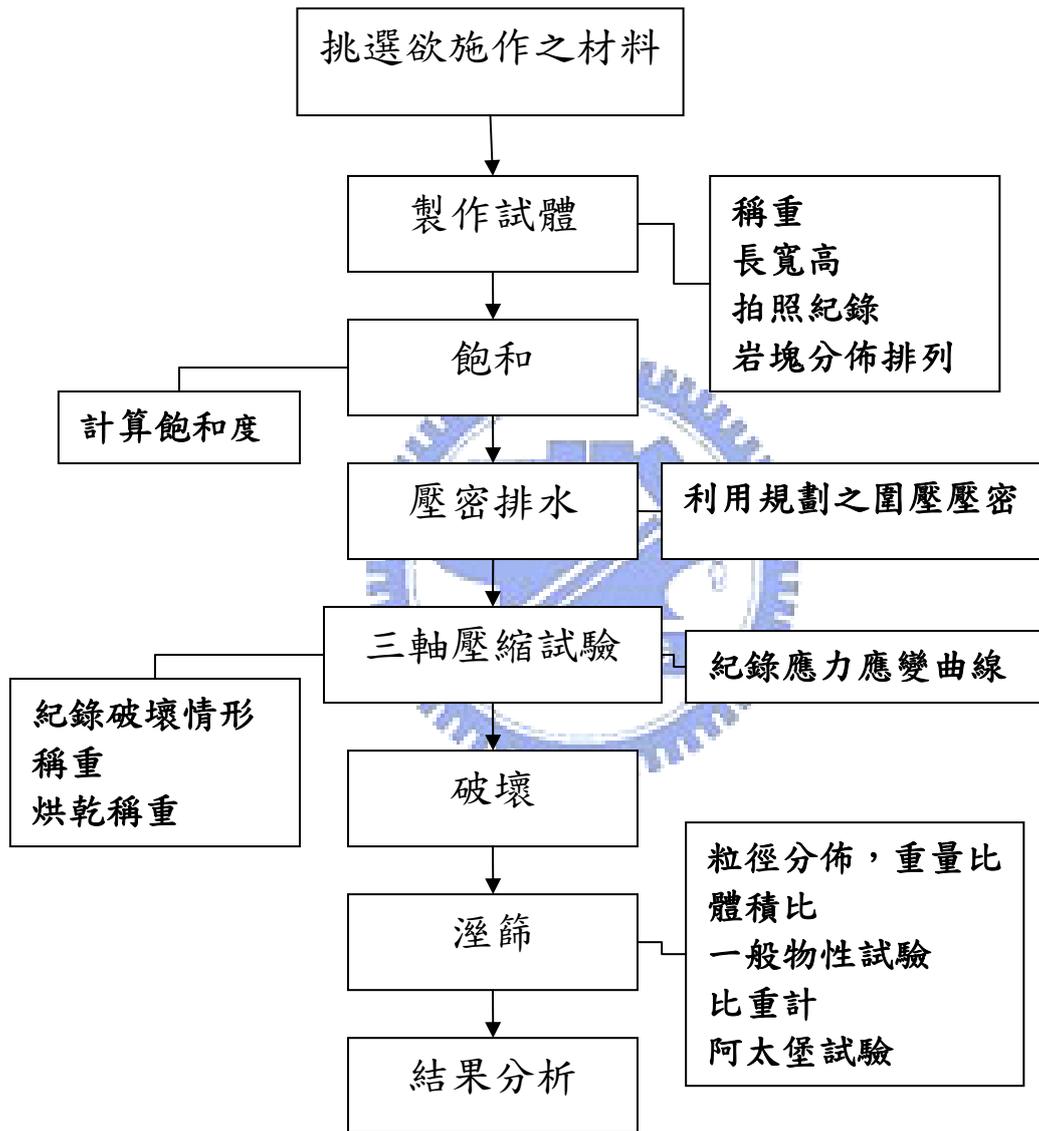


圖 3-12 三軸實驗流程圖

3.2.3 試體準備

ISRM(1979)對岩石試驗試體之規範提出幾點建議：

1. 試體形狀為圓柱體，長徑比(L/D)約 2.5~3.0，其中直徑不低於 NX 尺寸 (54mm)，另外試體之最大粒徑尺寸不能超過直徑的 1/10。
2. 試體表面之粗糙度小於 0.02mm，且與試體縱軸線之垂直偏差度小於 0.001rad 或 0.05mm/50mm。
3. 試體於製作前後含水量變化在 1%以內。
4. 然而，本研究之材料異於軟岩或硬岩者，岩心包含了較硬之板岩岩塊與較軟弱之黏土、粉土或砂土。板岩塊、黏土、砂土、粉土在強度及壓縮性上即有明顯不同，有時無可避免的在切割後造成試體末端剝落。因此在試體末端填補 200 號篩以下細料並磨平，避免末端不平造成應力集中或端版效應影響實驗結果。然本研究所準備之併構岩試體內最大岩塊有 25mm~40mm，因此無法符合 ISRM 規定之 1/10 岩塊尺寸。因此試體可能有高度的不均質性。

本研究在切割三軸試驗所需之岩心時，採用劉盛華(2007)經過多次嘗試，建議梨山此種崩積材料切割前進速率為 1.75cm/min較理想。切割機為單刃岩心切割機，如圖 3-13 及圖 3-14 所示。



圖 3-13 單刀岩心切割機



圖 3-14 岩心切割機控制旋鈕介面圖

3.3 實驗設備

由於本研究中分別對於灰色板岩夾灰色黏土以及灰色黏土夾板岩碎屑進行三軸不排水試驗，由文獻可知，當岩塊含量高時，勢必影響其強度。所以對於灰色板岩夾灰色黏土此類併構岩材料，利用交大自行研發改良的軟岩三軸室搭配 MTS 810 材料試驗機進行試驗；而灰色黏土夾板岩碎屑這類併構岩材料則利用土壤三軸試驗設備進行試驗。以下則針對本研究所採用之三軸試驗系統加以說明。

3.3.1 軟岩三軸試驗系統

本研究利用交大自行研發改良的軟岩三軸室搭配 MTS 810 材料試驗機，針對灰色板岩夾灰色黏土此類材料進行三軸壓縮不排水試驗。在實驗過程中，首先進行 FLUSH 及飽和，飽和後並壓密，待壓密完成便進行剪動，剪動過程中，利用儀器內建 LVDT 量測軸向變形量，紀錄材料在受剪過程中的變形量。下面分別針對 MTS 810、三軸系統、量測元件、資料擷取系統以及氣壓及水壓控制設備加以說明。

1. MTS 810

MTS 810 為 MTS 公司所製造，三軸系統則經柳政男(1998)、黃惠儀(1999)、林景民(2001)、洪任賢(2002)及葉季霖(2003)以及劉盛華(2007)等長期改良，使 MTS810 結合三軸系統可進行三軸試驗，透過電腦與完整的量測元件來進行電腦伺服控制，有效控制軸壓和圍壓系統。圍壓系統則利用電磁比例壓力控制閥油壓機及加壓器，分別控制實驗過程中之軸向力與圍壓，精確掌控試驗中應力變化行為。系統配置如圖 3-15 與圖 3-16 所示。

2. 軸壓系統

羅文驤(2007)，軸壓系統所採用的 MTS 810 材料試驗機，本身具有自動回饋功能，可進行應變或應力控制之試驗，且配置有讀取並記錄加載量的資料擷取系統。主要載重設備包括載重架、荷重感應器、加壓桿、伺服閥、油壓方向控制器、油壓供應器以及冷卻系統。

3. 三軸室

岩石三軸室不同於一般土壤三軸設備，需要較高的圍壓，材料通常以金屬居多，並且有較高的安全係數。一般而言，三軸室管壁與底座只有一個接合面，此種接合之形式稱為凸緣接合，搭配 U 型圈作為油封，輔以 O-Ring 來彌補 U 型圈在小圍壓時油封不足的缺點。

羅文驤(2007)，普通土壤三軸室設計能承受最大 15 MPa 之壓力，然而一般岩石強度可能不止於此，故本三軸室採用降伏強度超過 300 MPa 的不鏽鋼(沃斯田鐵系不鏽鋼 304)。為方便架設，在設計上參考土壤三軸結構設計理念，基本儀器設備組成如下：

- a. 三軸室管壁：三軸室管壁為不鏽鋼(沃斯田鐵系不鏽鋼 304，降伏強度超過 300MPa)所鑄成，長度為 50 公分，厚為 0.9 公分，可承受最大室壓為 15 MPa，大約 150 kg/cm^2 。
- b. 三軸室支撐構架：頂盤由四根支柱垂直通過三軸室內與底盤連接，並利用底座上螺絲固定頂盤與底盤，四根支柱採用鎳鉻合金鋼以強化並降低變形量。實驗前後，僅利用鈎鈎上下抬昇三軸室管壁，試體架設或更換試體完成後，將套環圈於頂盤外圍以螺絲固定，維持三軸室氣密性。
- c. 頂盤：加壓桿與軸承固定於頂盤上。上有調節閥，注油時用以排出氣泡，油滿後關閉調節閥保持三軸室完全與外界隔離。頂盤由四根支柱垂直通過三軸室內與底盤連接，並利用底座上螺絲固定頂盤與

底盤，四根支柱採用鎳鉻合金鋼以強化並降低變形量。實驗前後，僅利用鈎鈎上下抬昇三軸室管壁，試體架設或更換試體完成後，將套環圈於頂盤外圍以螺絲固定，維持三軸室氣密性。

- d. 內部配件：三軸室內有內置式荷重盒固定於底盤，置於底盤可消除受到加壓桿摩擦阻力產生的誤差。試體的頂蓋和加壓桿連結，底蓋利用插銷固定在內置式荷重盒。頂蓋與底蓋皆有透水石並預留孔洞，可經水管進水注入試體內部，進行試體飽和、壓密或排水試驗。三軸室內亦設有剪力波元件連外接頭，可進行波速測量。
- e. 底盤：底盤上設有 4 個進出水孔可進行排水或壓密；一個連接圍壓壓力轉換器的孔洞；12 個提供內置式荷重盒和局部應變計使用的電壓傳訊棒，可將內置式荷重盒和局部應變計之電壓值傳出三軸室連接至資料擷取系統，但仍然保持三軸室的密封性。

軸壓的控制可利用 MTS 458 控制器上旋鈕，如圖 3-17。控制三軸室軸向壓力，經由劉盛華(2007)改良後，搭配個人電腦的 NI PCI-6035E 擷取卡，並使用 Labview 軟體控制剪動的應變速率。

圍壓供應系統可分成油壓和氣壓，氣壓通常可在低於 1MPa 時，供應穩定的圍壓。當圍壓超過 1MPa，空壓機提供的壓力無法達到供給要求，則轉換為油壓系統供應。以下分別介紹其功能：在較低壓力時，使用氣壓控制面板和空壓機控制提供圍壓及協助飽和所需的反水壓，如圖 3-15 所示；油壓系統由具備電磁比例壓力控制閥的油壓機提供，具備兩個比例控制閥，電磁比例壓力軸室氣密性。

軸壓的控制可利用 MTS 458 控制器上旋鈕，見圖 3-17。控制三軸室軸向壓力，經由劉盛華(2007)改良後，搭配個人電腦的 NI PCI-6035E 擷取卡，並使用 Labview 軟體控制剪動的應變速率。

圍壓供應系統分成油壓和氣壓，氣壓低於 1MPa時供應穩定的圍壓。當圍壓超過 1MPa，空壓機提供的壓力無法達到供給要求，則轉換為油壓系統供應。以下分別介紹其功能：在較低壓力時使用氣壓控制面板，如圖 3-15，由空壓機控制提供圍壓及協助飽和所需的反水壓；油壓系統由電磁比例壓力控制閥的油壓機及一加壓器提供，見圖 3-18 及圖 3-19。具備兩個比例控制閥，電磁比例壓力控制閥與電磁比例流量控制閥，壓力控制閥與電磁比例流量控制閥，可輸入電流值控制油壓機輸出的流量或壓力或使用手動旋扭控制其流量與壓力，液壓油為中油出品R-68型(羅文驤，2007)。

加壓器的功能除可放大油壓機給予之壓力外；並可平衡油壓機初始脈衝壓力避免因試驗後油質受到試體碎屑污染損害油壓機，三軸室與油壓機之間以高壓軟管連接。透過 NI PCI-6035E 擷取卡，經由電腦伺服控制與電磁比例流量控制閥控制油壓，可有效的控制油壓大小。加壓器的功能除可放大油壓機給予之壓力外；並可平衡油壓機初始脈衝壓力避免因試驗後油質受到試體碎屑污染損害油壓機，三軸室與油壓機之間以高壓軟管連接。透過 NI PCI-6035E 擷取卡，經由電腦伺服控制與電磁比例流量控制閥控制油壓，可有效的控制油壓大小(羅文驤，2007)。

4. 量測元件

量測儀器如圖 3-20 所示。軸差應力由 Applied Measurement Limited 製造的內置式荷重計量測，可於油壓狀態下使用，極限荷重為 50kN。圍壓與孔隙水壓量測使用壓力轉換器，圍壓壓力轉換器由 TML 公司製造，型號為 PW-20MPa，最大壓力範圍為 20MPa，激發電壓為 10V；孔隙水壓壓力轉換器之最大壓力範圍則為 3.5MPa。軸向應變由 MTS 810 內置之 LVDT 量測，其精度可達 0.001mm，最大位移量可達±50mm，對應之電壓為±10V。

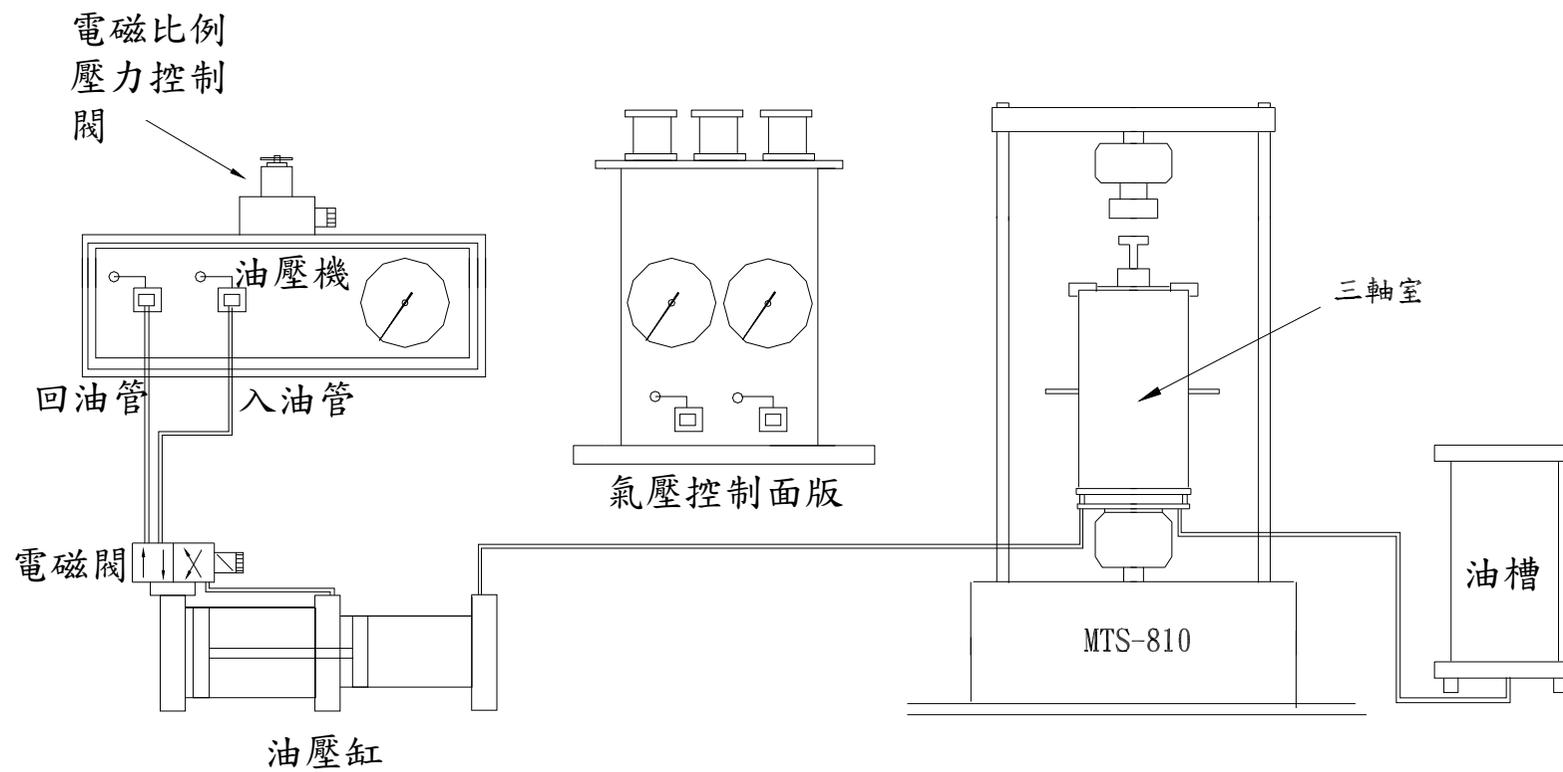


圖 3-15 軟岩三軸系統配置圖(林智惠，2003)



圖 3-16 軟岩三軸試驗系統全景



圖 3-17 MTS 458 控制器



圖 3-18 油壓機(林智惠，2003)

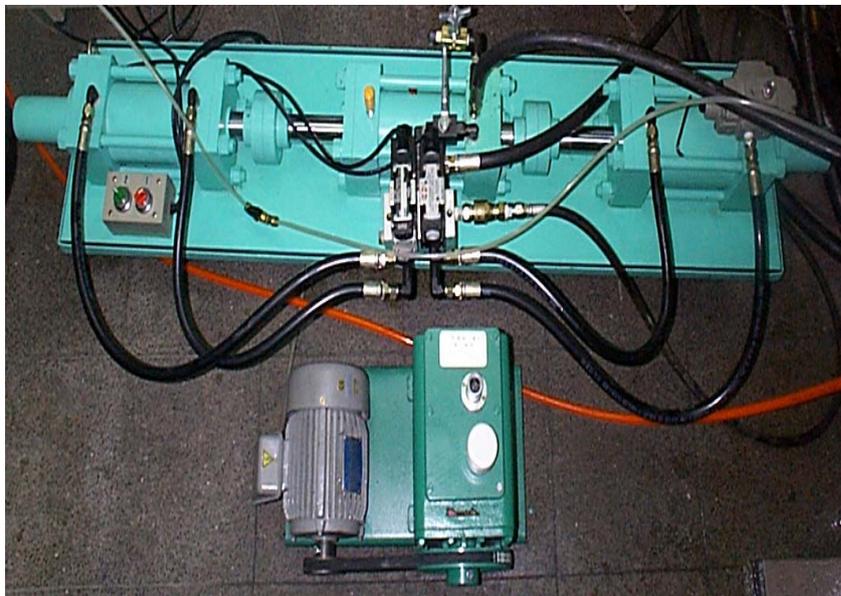


圖 3-19 油壓缸與真空幫浦(林智惠，2003)

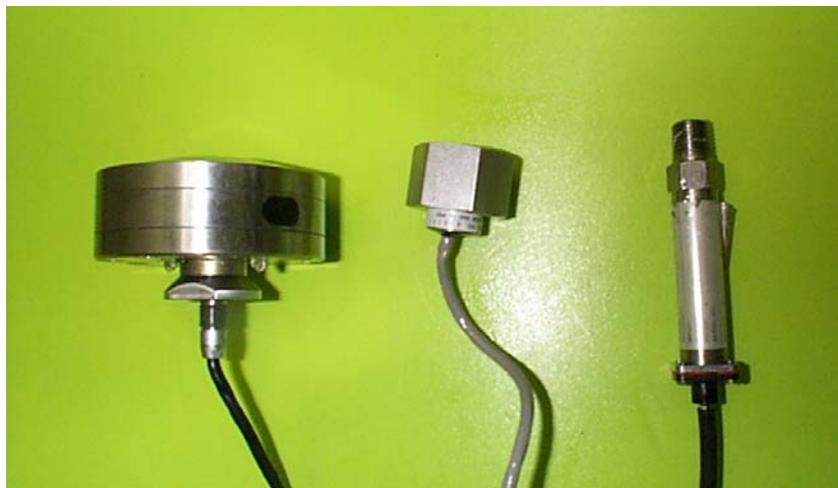


圖 3-20 內置式荷重計、壓力轉換器(林智惠，2003)

3.3.2 土壤三軸試驗設備

對於灰色黏土夾板岩碎屑此類材料則使用英國 WYKEHAM FARRANCE 公司生產的 100kN STEPLESS Compression Test Machine 搭配三軸系統。加載方式為應變控制，其最大軸向壓縮能力為 100kN。荷重量測則是由 Applied Measurement Limited 製造的拉壓式荷重計量測(Load cell) 將之置於反力樑之下方。此荷重元可用於量測軸向荷重達 25kN。應變量測則於三軸室蓋上另外架設 LVDT 量得在實驗過程中之軸向應變。空壓機為提供試驗所需壓力之來源，壓力上限為 $10\text{kg}/\text{cm}^2$ 。利用手動式調壓閥提供試體所需之圍壓，反水壓部分亦使用手動式調壓閥施壓於除氣水桶，利用塑膠管路，將水壓施加於試體內部；壓力表可顯示圍壓及反水壓之大小，精度為 $0.2\text{kg}/\text{cm}^2$ 。圍壓及孔隙水壓量測採用可耐壓 1400kPa 水壓計 (Pressure Transducer)。

此外信號擷取設備則使用具高訊號穩定度萬用數位電表(Agilent HP 34970A)，將擷取到各感測器的類比訊號經由電表轉換成數位訊號，在透過 RS232 介面輸入到電腦。

3.4 實驗步驟

本研究之主軸為崩積材料試體於不同圍壓下的三軸壓密不排水實驗，試驗中量測試體內孔隙水壓、軸向變形與應力變化，探討此類材料在受剪時的孔隙水壓變化，應力應變行為及變形性。

3.4.1 三軸壓縮試驗-灰色板岩夾灰色黏土材料

實驗利用國立交通大學軟岩三軸試驗設備，搭配個人電腦、labview 控制軟體及萬用數位電表(Agilent HP 39760A)，將擷取到各感測器的類比訊號經由電表轉換成數位訊號資料擷取至個人電腦。以 0.003%/sec 應變速率剪動。實驗步驟如下：

1. 選取所需的岩心段，製成長徑比接近 2.5~3.0 的試體，再修整其上下面使之平整，量測試體的重量、長度及直徑，並拍照紀錄岩塊間分佈情形。
2. 將試體包裹熱縮膜，再將試體移至三軸室內。
3. 利用氣壓將儲油槽之機油(型號 CPC-R68)注入三軸室內，上方調節閥打開排出三軸室內氣泡，待機油注滿即關閉上方調節閥，保持三軸室密封並與外界隔絕。
4. 進行 flush 階段，將水注入試體內，保持圍壓與反水壓間差值不超過 0.2kg/cm^2 。並且隨時將下管排水閥門打開，將氣泡隨著水排出。
5. 當排出的水不再含氣泡之後，隨即加大圍壓至 2.2kg/cm^2 ，反水壓至 2.0kg/cm^2 ，並使兩者壓力差值依然維持在 0.2kg/cm^2 左右。方世傑(1990)提到中橫公路附近之黏土與類併構岩材料之孔隙比約 0.29~0.46。圖 3-21 為 Black(1973)所提出土壤飽和階段中 B 值、飽和度與孔隙比的關係可發現；當中發現當土壤孔隙比為極緊密土壤時($e=0.4$)，土壤 B 值在達到 0.75 時飽和度已趨於 99.5%。因此故當 B 值達到 75% 以上至不再上升時，即

判斷達到飽和。本研究試體飽和的時間約一天。

6. 開啟試體排水的閥門，再依照情況加圍壓進行均向壓密，紀錄試體在壓密時之體積變化。
7. 壓密完成後，關閉排水的閥門，隨即利用已設定好的剪動速率，控制 0.003%/sec 應變速率進行實驗。過程中同時量測軸向力、圍壓、水壓變化、軸向變形利用 LVDT 量測應變量，以做為實驗分析之用。
8. 試驗結束後，拍照紀錄試體破壞情形。稱重，最後放入烘箱烘乾。

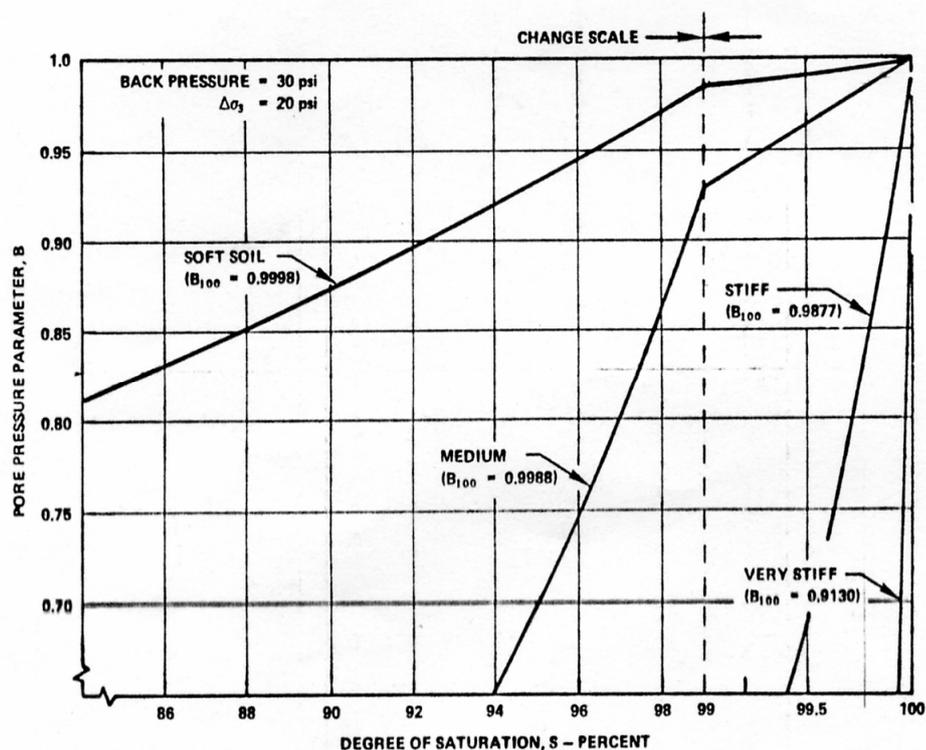


圖 3-21 不同緊密度之土壤有飽和度與 B 值之關係 (Black, 1973)

3.4.2 三軸壓縮試驗-灰色黏土夾灰色板岩碎屑材料

參考 ASTM D2850-87 所建議土壤三軸壓密不排水試驗步驟。選取所需的岩心段，裁切成長徑比約等於 2.5~3.0 的試體，再修整其上下面使之平整，量測試體的重量、長度及直徑後進行試驗。實驗利用國立交通大學土壤三軸試驗儀器，搭配個人電腦及萬用數位電表(Agilent HP 34970A)，將擷取到各感測器的類比訊號經由電表轉換成數位訊號資料擷取置個人

電腦，剪動為應變控制，以 0.003%/sec 應變速率剪動。實驗步驟如下：

1. 選取所需的岩心段，製成長徑比接近 2.5~3.0 的試體，再修整其上下面使之平整，量測試體的重量、長度及直徑，並拍照紀錄岩塊間分佈情形。
2. 製作完成試體後，將試體套上橡皮膜，置入三軸室中。
3. 進行 flush 階段，將水注入試體內，保持圍壓與反水壓間差值不超過 0.2 kg/cm²。並且隨時將下管排水閥門打開，將氣泡隨著水排出。
4. 當排出水不再含氣泡後，隨即加大壓力至預定之孔隙水壓力來飽和試體，(劉盛華(2007)建議壓力 2kg/cm²，飽和較為快速)，保持側向壓力大於孔隙水壓力，直到試體飽和。
5. 開啟試體排水的閥門，在依照實驗所需的壓密狀態來進行等向壓密，此時紀錄試體在壓密時之體積變化。
6. 當試體不在排水，並確定孔隙水壓不在上升，表示壓密完成。此時關閉排水的閥門，進行波速量測，而後依規範的應變速度來進行加載步驟。
7. 於實驗的過程中同時量測軸向力、圍壓、孔隙水壓以及軸向變形，以做為實驗分析之用。

3.4.3 基本物性試驗

1. 一般物理性質試驗

本研究施作一般物性試驗項目包括：篩分析與比重計分析試驗、含水量試驗(ASTM D2216-80)、土粒比重試驗(ASTM D854-83)、阿太堡限度(Atterberg limits)試驗(ASTM D4318-84, D427-83)、孔隙率試驗。試體之準備、試驗方法及步驟，參考 ASTM 規範所提供之建議。

2. 篩分析與比重計分析試驗

篩分析試驗材料部分取自現地取出秤重後包裹保鮮袋之材料另一部

分為三軸壓密不排水試驗完成，試體烘乾秤重後之材料。傳統篩分析試驗是以乾篩法(ASTM D452-85)，將打散後的烘乾試體裝入篩網後放置到搖篩機上，利用機器搖篩，或是可利用人力搖篩。本研究考量灰色黏土夾灰色板岩碎屑(C)材料之粗顆粒(200 號篩以上)容易受到外力影響而破碎，同時因細粒料(200 號篩以下)具有黏土的可塑性，當烘乾時容易形成團塊，若利用工具將其打散時容易造成顆粒的破碎，因此使用濕篩法來進行篩分析。

濕篩法並沒有固定的試驗標準規範，因此經由前人的經驗法加以改良成適合施做灰色黏土夾灰色板岩碎屑(C)的方式，試驗步驟如下：

- a. 準備兩個水盆，選用可以放入篩網的大小。將 4、10、20、40、60、100、200 號篩烘乾並秤重。
- b. 將烘乾試體放置適量水中，浸泡 12 到 24 小時不等，確定試體顆粒大致上被水泡散後，由於細粒料(200 號篩以下)具有低塑性，因此細粒料(200 號篩以下)容易附著在粗顆粒(200 號篩以上)上或是形成團塊，此時利用手去攪拌與柔捏，將團塊捏散，持續攪拌到材料顆粒均勻的散佈在水中。
- c. 將四號篩放入空的水盆中，到入含有材料顆粒的泥水，輕搖篩網將小於四號篩的顆粒洗到空的水盆中，重複動作洗到篩網上只殘留大於四號篩網眼的顆粒。
- d. 重複步驟 3，將洗去四號篩以下之顆粒材料分別依篩網網眼大小(4、10、20、40、60、100、200 號篩)順序洗入顆粒。最後殘留在水盆中的顆粒為小於 200 號篩的細粒料。
- e. 最後放入烘箱後烘乾，即可得到篩分析曲線濕篩法後小於 200 號篩的顆粒依照 ASTM D422-63 的規範施做比重計分析。

第四章 研究結果與討論

4.1 一般物理性質試驗

在表 4-1 為 B1 孔現地鑽取出岩心選取無法施作室內實驗之岩心段，立即秤重後包裹保鮮袋防止水分散失，運回實驗室內施作現地含水量及篩分析結果。由表中可得知該處灰色板岩塊之現地含水量介在 1.27~1.73% 之間；灰色板岩夾灰色黏土之現地量含水則介在 2.27~7.35% 之間；灰色黏土夾板岩碎屑之現地含水量則介在 8.98~16.12% 間，變化幅度較大。

此外，表 4-2 為經過三軸試驗後施作之物理性質試驗結果，其中 C-B 系列試體求得飽和含水量約在 10.122~15.399% 之間，比重則介於 2.673~2.714 之間，平均液性限度在 34.67%，平均塑性限度在 19.78%。



表 4-1 B1 孔現地含水量

編號	取樣深度 (m)	試樣說明	現地含水量 (%)	4 號篩以上顆粒含量 (%)	200 號篩以下顆粒含量 (%)	塑性限度 (%)	塑性限度 (%)
B-1 1	4.7	黃色板岩塊	9.9187				
B-1 2	5.5	黃色黏土夾破碎岩屑	20.498	34.315	31.91		
B-1 3	11.00~11.05	灰色黏土夾破碎岩塊	14.753	13.637	44.32	27	17
B-1 4	15.62~15.7	灰色黏土夾破碎岩塊	16.1216	2.364	58.35		
B-1 5	18.00~18.15	灰色黏土夾破碎岩塊	8.9833	25.559	26.47	38	22
B-1 6	25.60~25.80	灰色板岩夾灰色黏土	2.2795	42.178	17.90	31	21
B-1 7	25.80~26.00	灰色板岩夾灰色黏土	7.351	43.04	10.56	30	20
B-1 8	28.00~28.16	灰色破碎板岩	1.2701	98.525	0.684		
B-1 9	42.0~42.1	灰色破碎板岩	1.363				
B-1 10	42.1~42.25	灰色破碎板岩	1.397				
B-1 11	42.25~42.35	灰色破碎板岩	1.739				

註: B-1 1 為一整塊小塊黃色板岩塊無法進行濕篩; B-1 2、B-1 4、B-1 8 則因為過 200 號篩之土壤太少無法施作阿太堡試驗; B-1 9~11 則與 B-1 8 材料相似, 皆為整段板岩但都破碎成大塊之岩塊, 大多無法過 4 號篩, 故亦沒進行篩分析。

表 4-2 試驗段物理性質結果

編號	深度(m)	飽和含水量 (%)	B value	4 號篩以上顆粒含量 (%)	比重	液性限度 LL (%)	塑性限度 PL (%)	孔隙比 e
C-B101	13.10-13.25	14.233	0.92	4.536	2.684	40	17	0.415
C-B102	13.40-13.55	12.396	0.94	3.114	2.696	30	17	0.356
C-B103	13.55-13.70	10.122	0.97	0.862	2.706	29	17	0.282
C-B104	13.70-13.85	13.976	0.97	0.064	2.682	32	18	0.386
C-B105	13.85-14.00	15.399	0.94	1.424	2.712	33	21	0.444
C-B106	15.00-15.20	16.239	0.91	9.541	2.726	27	18	0.486
C-B107	24.55-24.70	13.465	0.91	10.34	2.673	36	15	0.396
C-B108	24.70-24.85	15.11	0.97	18.47	2.714	42	26	0.423
C-B109	24.85-25.00	13.893	0.89	15.36	2.695	43	29	0.415
SG-B101	18.80-19.00	6.62	0.87	68.23				
SG-B102	14.55-14.70	12.863	0.76	13.55				
SG-B103	14.75-14.90	11.744	0.83	15.76				
SG-B104	17.55-17.70	9.155	0.81	29.58				
SG-B105	19.65-19.80	5.496	0.85	77.18				

4.2 三軸壓密不排水試驗結果

本研究針對梨山地滑區B13 滑動體所鑽得之崩積材料進行三軸不排水試驗，規劃如表 3-2 所示，共進行 14 個併構岩試體的三軸壓密不排水試驗，岩性包含灰色黏土夾板岩碎屑及灰色板岩夾灰色黏土。

利用深度 12-25 公尺之間之岩心材料，裁切試體編號C-B101~C-B109 等 9 顆灰色黏土夾板岩碎屑試體及SG-B101~SG-B105，5 顆灰色板岩夾黏土試體進行三軸壓密不排水試驗，試體資料如表 4-3 所示。

表 4-3 試體基本資料表

編號	深度(m)	飽和含水量 (%)	B value	4 號篩以上 顆粒含量(%)	200 號篩以下 顆粒含量(%)	圍壓 (kg/cm ²)	反水壓 (kg/cm ²)	有效圍壓 (kg/cm ²)
C-B101	13.10-13.25	14.233	0.92	4.536	54.2591	4	2	2
C-B102	13.40-13.55	12.396	0.94	3.114	51.8371	5	2	3
C-B103	13.55-13.70	10.122	0.97	0.862	53.1812	6	2	4
C-B104	13.70-13.85	13.976	0.97	0.064	77.4628	4	2	2
C-B105	13.85-14.00	15.399	0.94	1.424	73.1098	3	2	1
C-B106	15.00-15.20	16.239	0.91	9.541	45.1722	4	3	1
C-B107	24.55-24.70	13.465	0.91	10.34	50.88	3	2	1
C-B108	24.70-24.85	15.11	0.97	18.47	31.342	4	2	2
C-B109	24.85-25.00	13.893	0.89	15.3562	52.3462	5	2	3
SG-B101	18.80-19.00	6.62	0.87	68.23	7.2628	0.5	2.5	2
SG-B102	14.55-14.70	12.863	0.76	13.55	36.8664	5	2	3
SG-B103	14.75-14.90	11.744	0.83	15.76	39.3871	4	2	2
SG-B104	17.55-17.70	9.155	0.81	29.58	27.4759	4	2	2
SG-B105	19.65-19.80	5.496	0.85	77.18	3.9433	6	2	4

4.2.1 三軸壓密不排水應力應變曲線-灰色板岩夾灰色黏土

本試驗受剪時荷重利用內置式荷重元量得，而軸向變形則利用MTS內建之LVDT量測。圖 4-1 為有效圍壓為 2kg/cm^2 情況下之情形，發現當岩塊含量越高，其強度亦有越增強之趨勢。且到 20% 之應變時仍未達其尖峰強度。

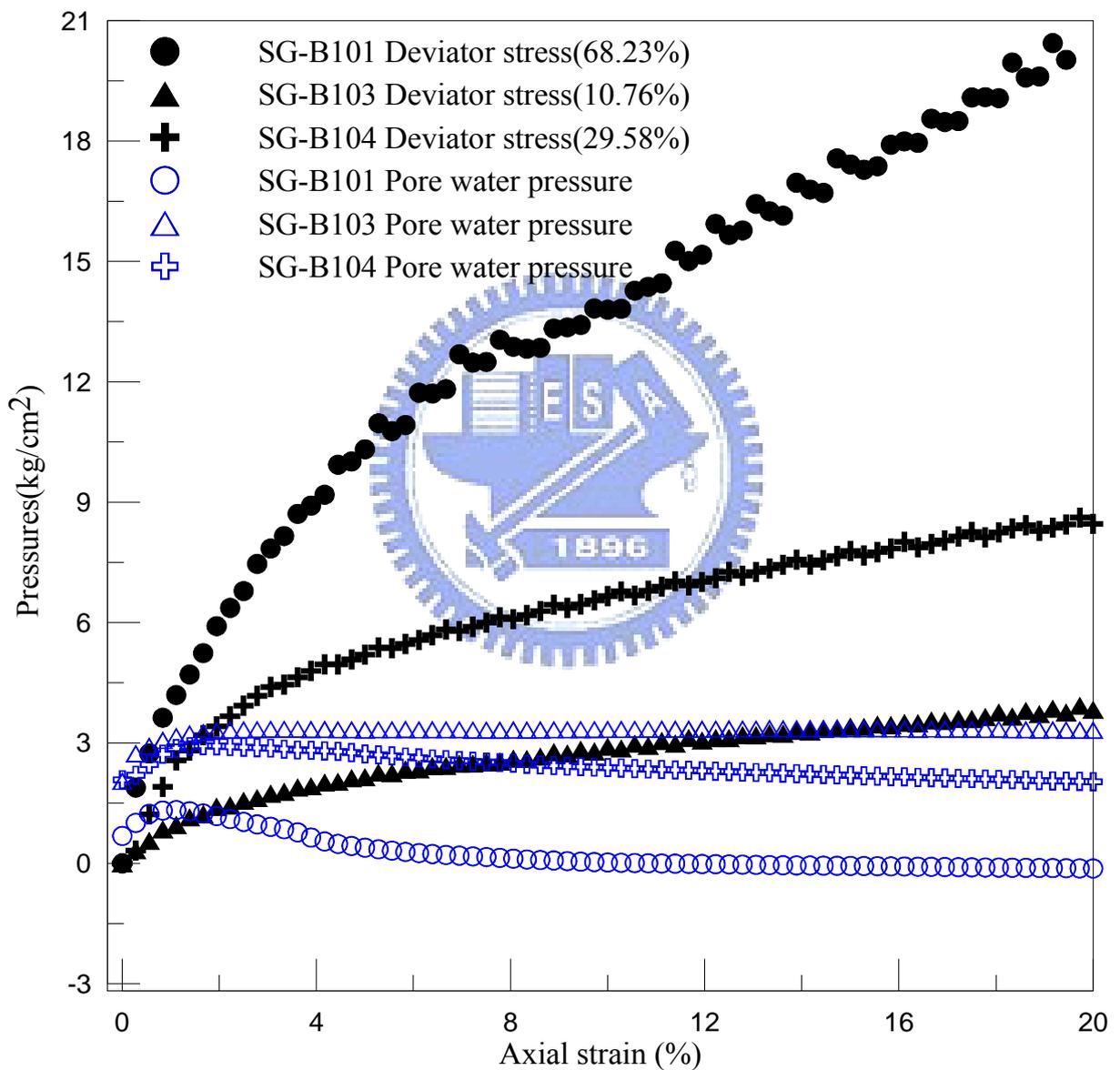


圖 4-1 有效圍壓 2kg/cm^2 之應力應變曲線及孔隙水壓圖

4.2.2 三軸壓密不排水應力應變曲線-灰色黏土夾板岩碎屑

本試驗由荷重元來量測受剪時之軸向應力，而軸向應變則於三軸室蓋上另外架設LVDT量得，如圖 4-2 所示。本研究定義達到 20%應變量或應力值達到尖峰值後視為試體破壞。然而，由於此種試驗材料其不均質之特性，再加上本實驗所使用之三軸試驗儀器，其加壓桿與頂蓋接合處為傳統的半球狀之凹槽，並非現在較常使用之加壓桿與頂蓋鎖著的關係。導致此類試體其頂蓋於受剪過程中便會逐漸歪斜偏向某方，使得軸向應力無法完全於垂直向作用。造成有些試體試驗後半段之應力應變曲線跳動情況，且試體受後剪後亦有歪斜現象發生，如圖 4-3。

在圖 4-4 為圍壓 3kg/cm^2 反水壓 2kg/cm^2 條件下，C-B105 及C-B107 試體之應力應變曲線，圖中發現其曲線相當類似，且強度其實差異不大，都在約 3-6%的應變量就不再有巨幅的變動。其中C-B107 岩塊比為 10.34% 而CB105 岩塊比為 1.42%，推測試體內岩塊含量造成其強度差異之原因。

在圖 4-5 為圍壓 4kg/cm^2 反水壓 2kg/cm^2 條件下，C-B101、C-B104 及 C-B108 試體之應力應變曲線，圖中發現C-B104 有一尖峰值出現，對照試體破壞後狀態(由附錄B)可發現其破壞方式有一明顯的傾斜破壞面。此外強度約在 $1\sim 1.5\text{kg/cm}^2$ 之間，4%的應變量後就不再有巨幅的變動。

在圖 4-6 為圍壓 5kg/cm^2 反水壓 2kg/cm^2 條件下，C-B105 及C-B107 試體之應力應變曲線，可看出曲線後半段皆有一應力的爬升。但如前述，由於試驗儀器之關係，及此類試體本身之不均質，在剪動過程中多會有造成試體歪斜扭曲之現象，此現象多在 6-8%應變量後發生，其後之應力應變曲線並非為其真實之路徑。若由 6%之應變量來看，亦可看出岩塊含量高時，強度亦較高。變量後就不再有巨幅的變動。

在圖 4-7 為岩塊含量較低且相近試體之應力應變曲線之比較圖，由圖中可發現，當圍壓較高時可發展出較高之強度。但強度差異不大。

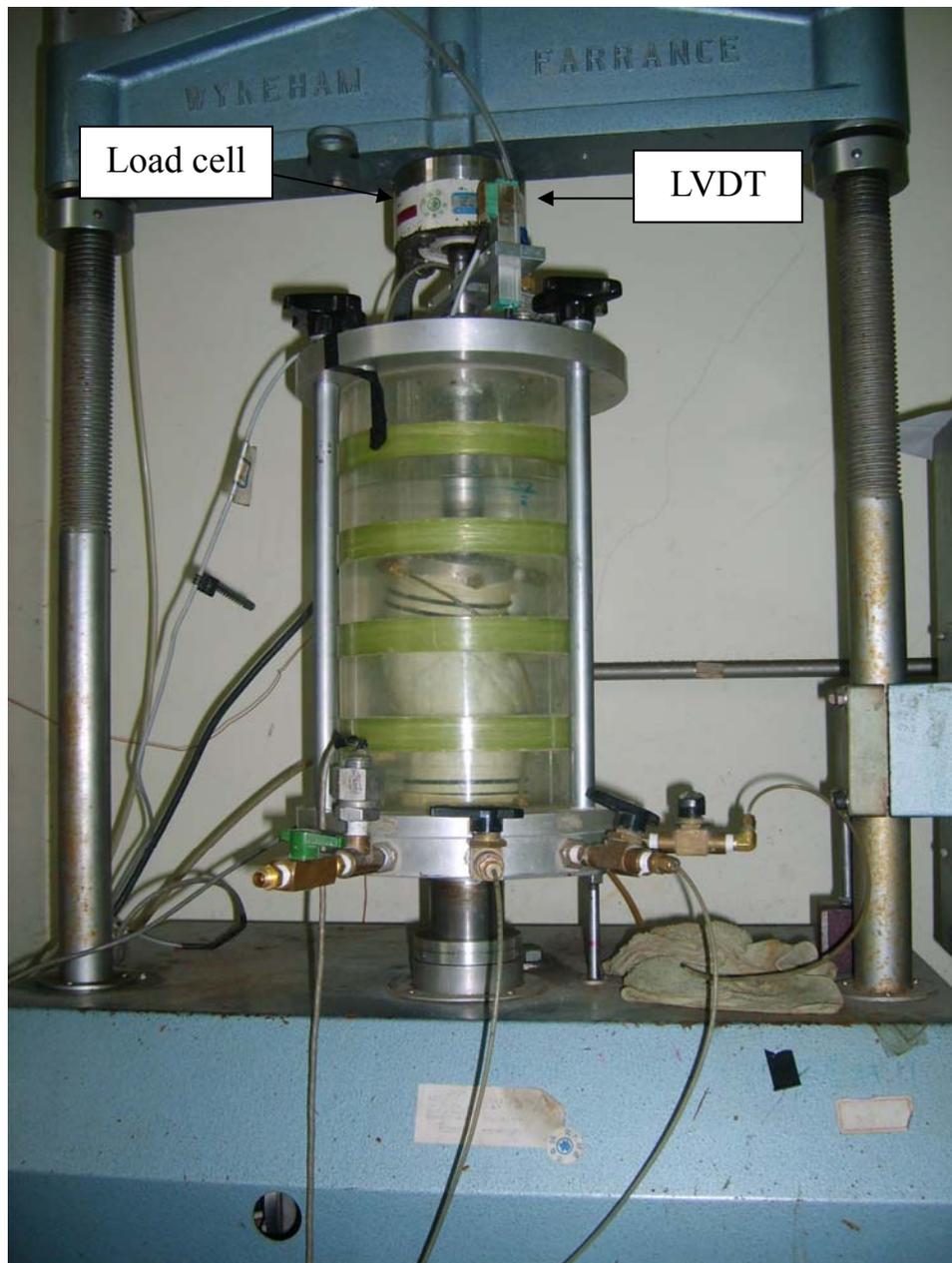


圖 4-2 LVDT 及 Load cell 之架設位置示意圖



圖 4-3 試驗後試體歪斜情況(以 C-B105 為例)

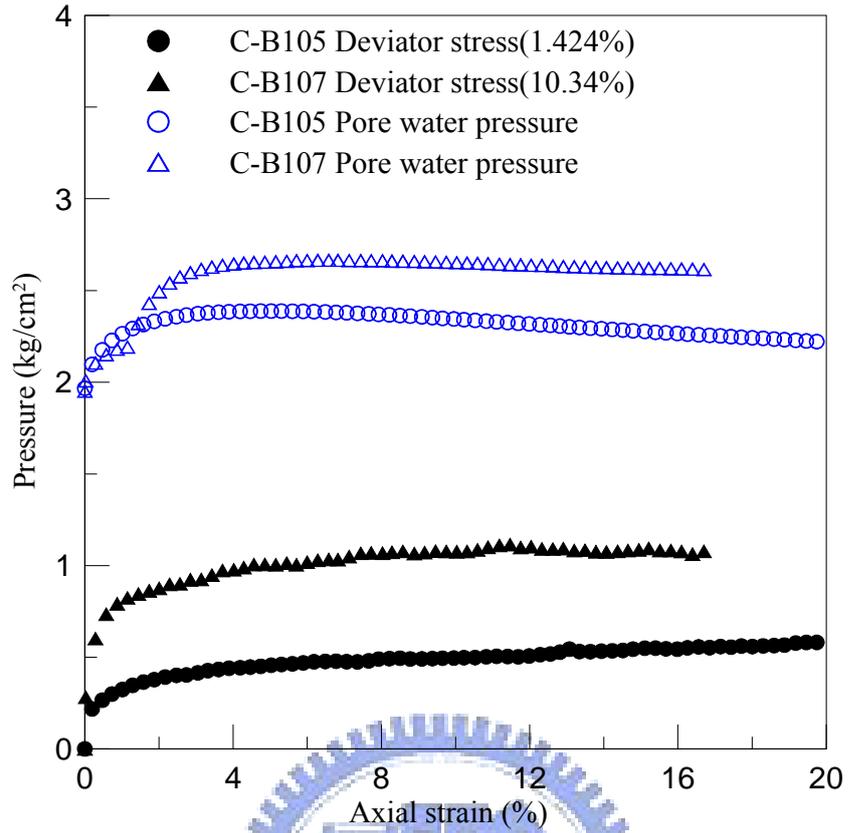


圖 4-4 應力應變與孔隙水壓圖(圍壓 3 kg/cm^2 、反水壓 2 kg/cm^2)

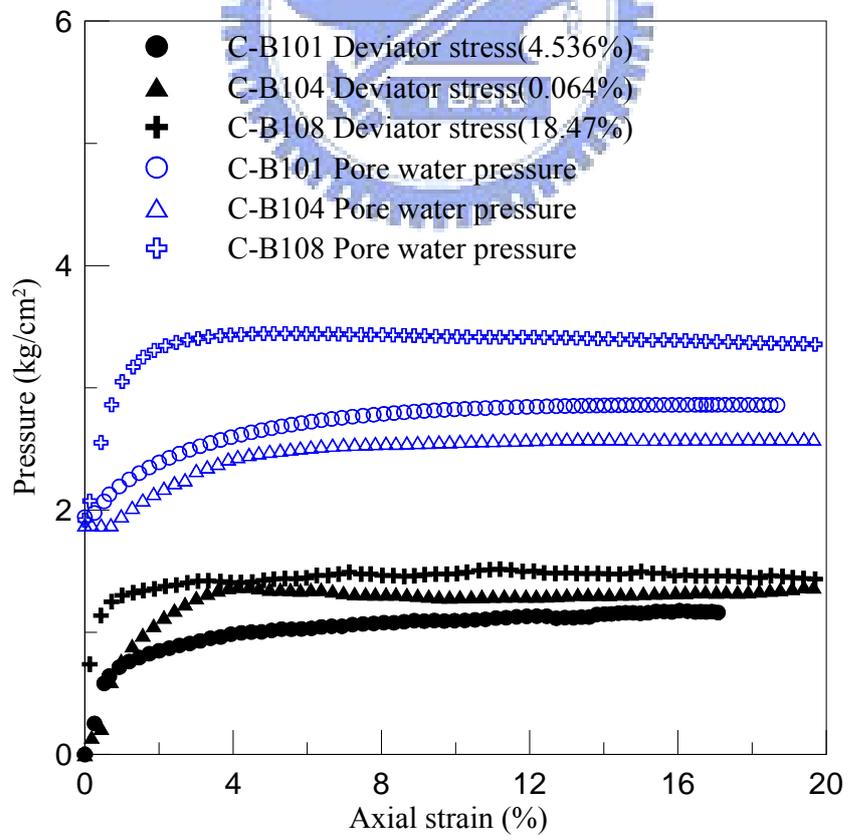


圖 4-5 應力應變與孔隙水壓圖(圍壓 4 kg/cm^2 、反水壓 2 kg/cm^2)

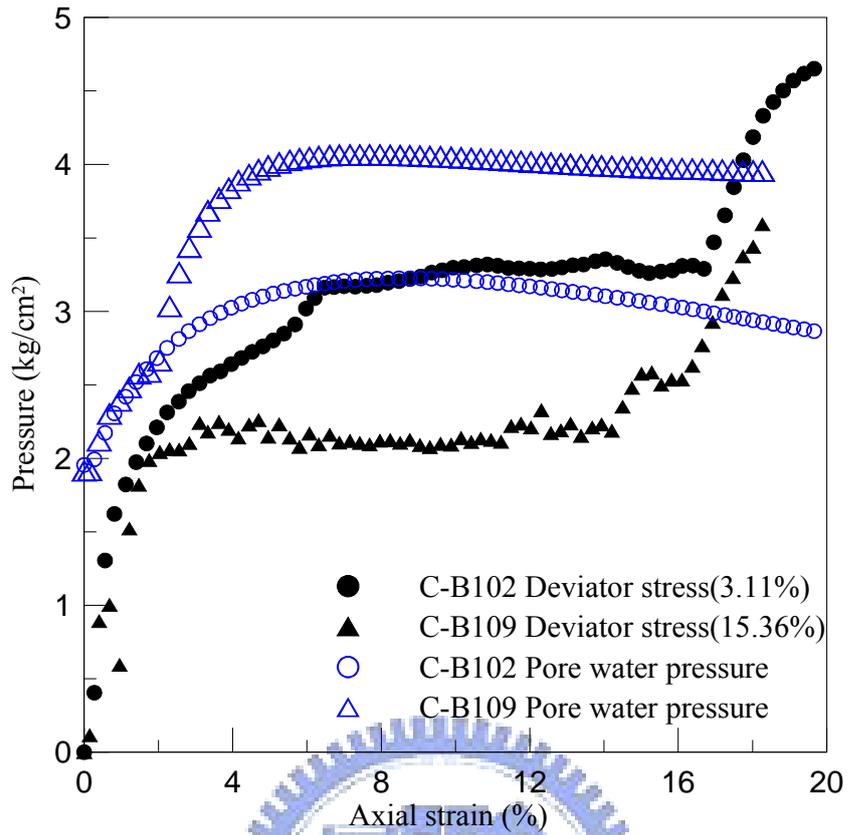


圖 4-6 應力應變與孔隙水壓圖(圍壓 5kg/cm^2 、反水壓 2kg/cm^2)

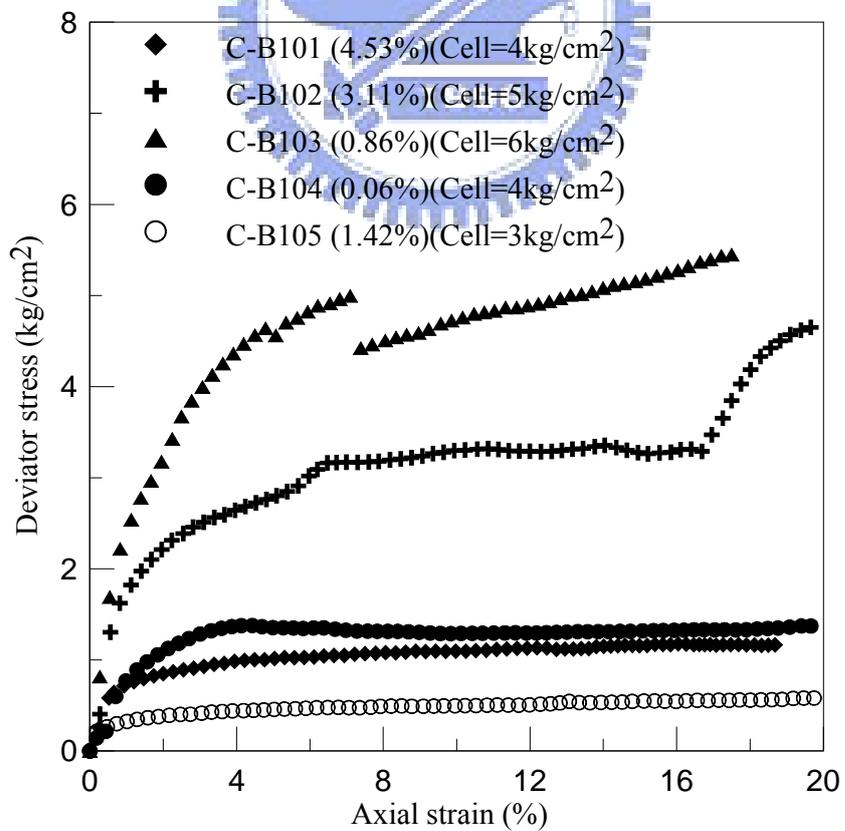


圖 4-7 岩塊含量類似之應力應變曲線

4.2.3 三軸壓密不排水超額孔隙水壓變化曲線-灰色板岩夾灰色黏土

在圖 4-8 為材料性質相同之試體分別在有效圍壓 2kg/cm^2 應力狀態下超額孔隙水壓變化的趨勢，可看出在受剪初期，超額孔隙水壓隨應變量增加而增加，當應變量達到某一值時，SG-B101 與 SG-B104 之超額孔隙水壓受到剪脹作用導致孔隙水壓隨著應變量增加而減少。而 SG-B103 似乎並無此趨勢。此外，圖 4-9 亦發現岩塊比含量越高，此趨勢似乎越明顯。

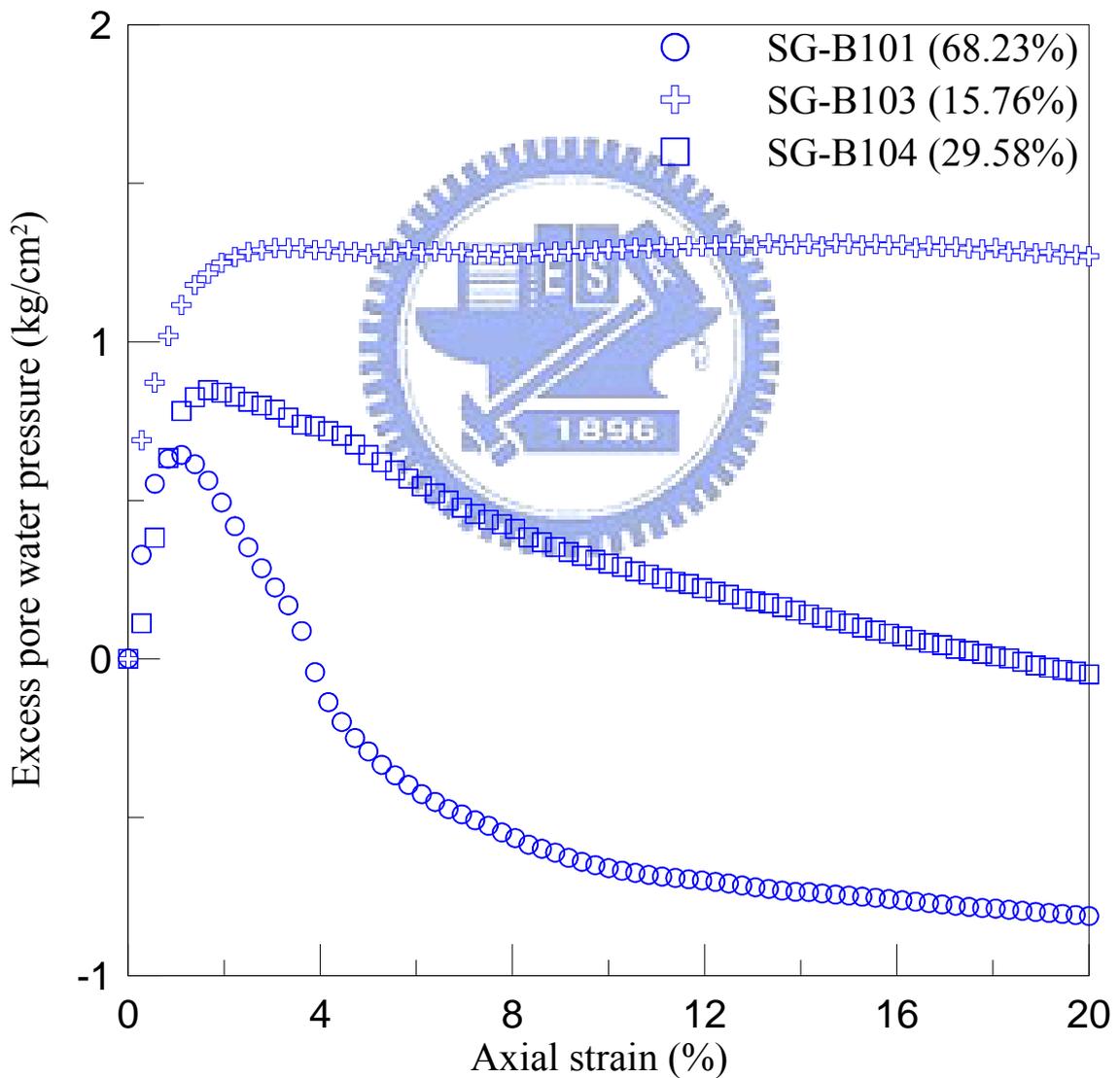


圖 4-8 2kg/cm^2 有效圍壓下超額孔隙水壓變化圖

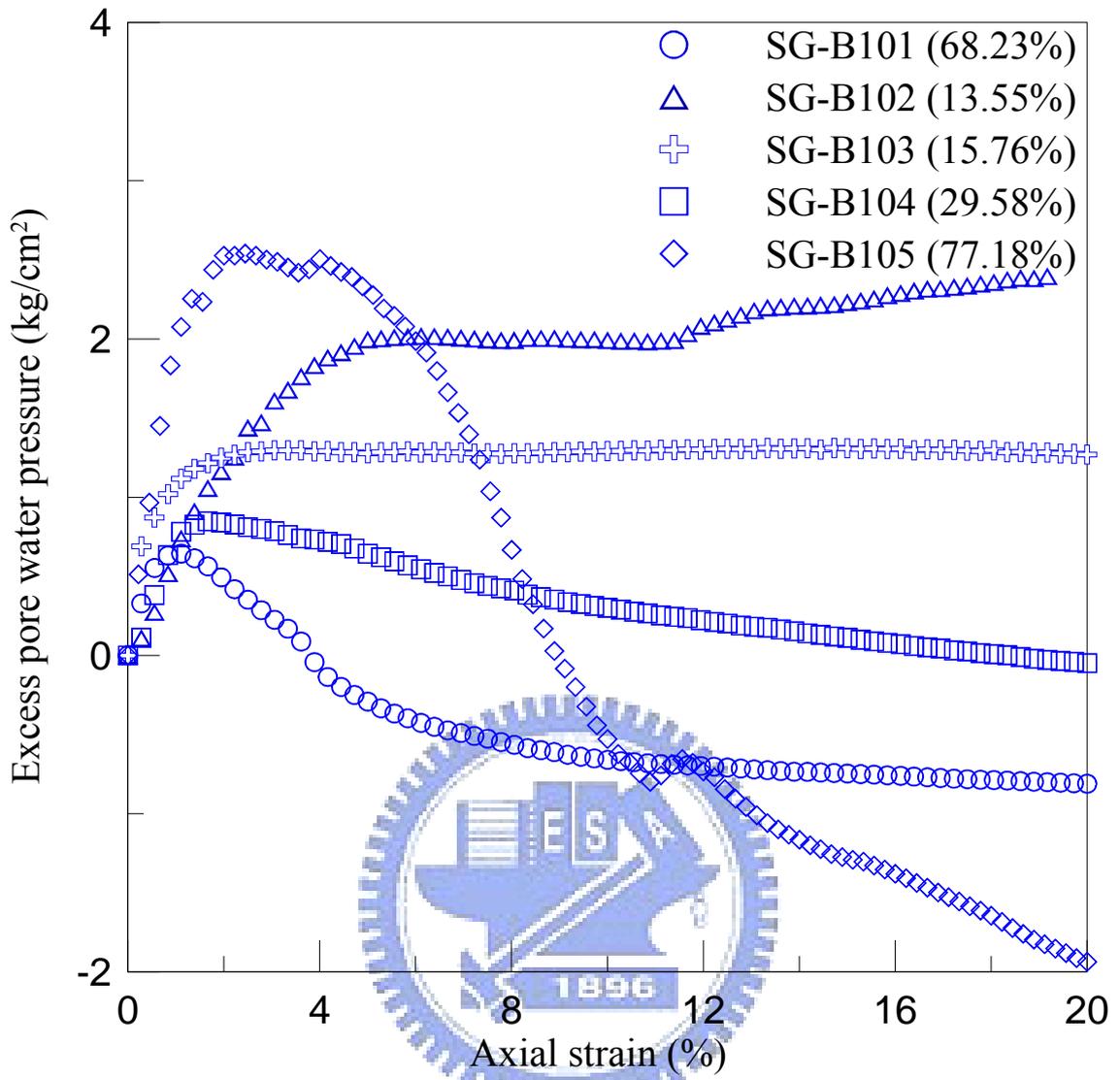


圖 4-9 岩塊含量與超額孔隙水壓比較

4.2.4 三軸壓密不排水超額孔隙水壓變化曲線-灰色黏土夾板岩碎屑

本節就三軸試驗剪動過程中，超額孔隙水壓隨著軸向應變增加之變化來加以討論。圖 4-10 為試體C-B105 及C-B107 在圍壓 3kg/cm^2 、反水壓 2kg/cm^2 之應力狀態下變化情形；圖 4-11 為試體C-B101、C-B104 及C-B108 在圍壓 4kg/cm^2 、反水壓 2kg/cm^2 之應力狀態下變化情形；圖 4-12 為試體C-B102 及C-B109 在圍壓 5kg/cm^2 、反水壓 2kg/cm^2 之應力狀態下變化情形。比較上三圖可看出在受剪初期，超額孔隙水壓隨應變量增加而增加，當應變量達到某一個極限值時，受到剪脹作用超額孔隙水壓會隨著應變量增加而減少，此現象類似緊密砂或過壓密黏土的材料行為。此外，比較岩塊含量之差異發現，在相同條件下，當岩塊含量較高時，會激發出較高之孔隙水壓。

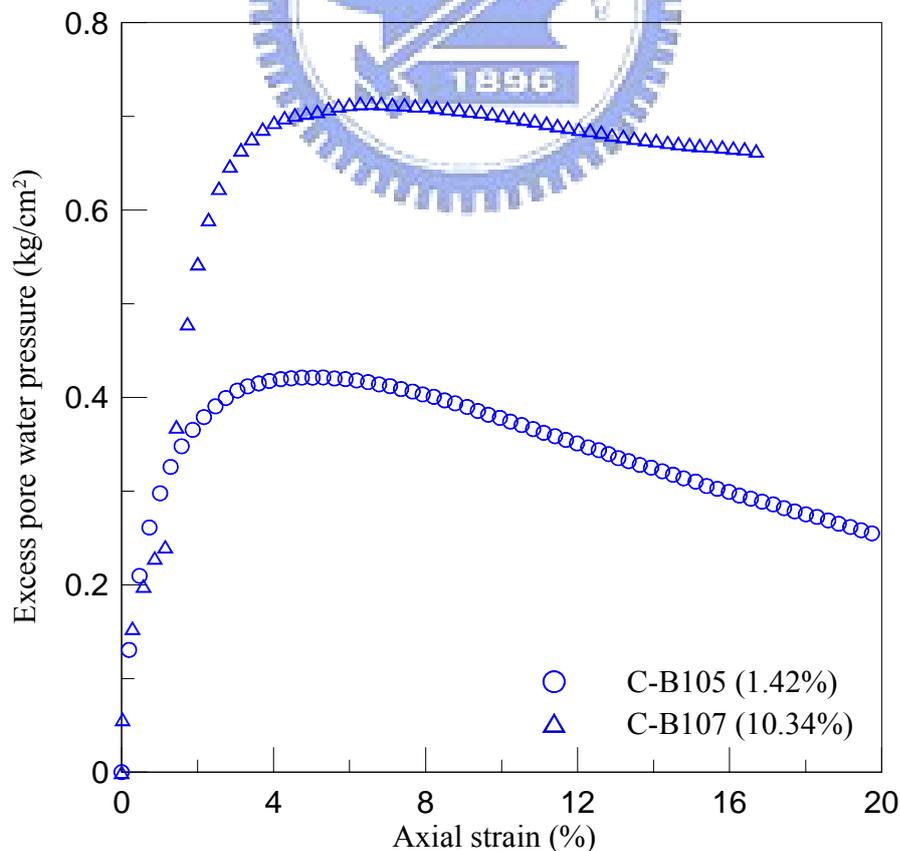


圖 4-10 超額孔隙水壓變化曲線圖(圍壓 3kg/cm^2 ，反水壓 2kg/cm^2)

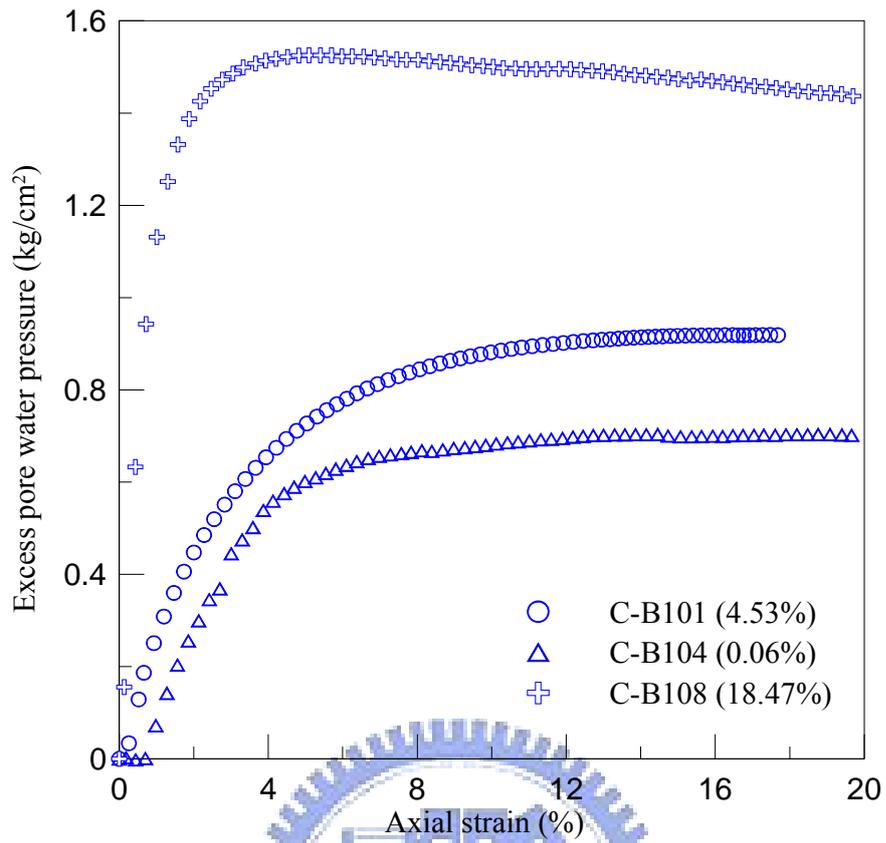


圖 4-11 超額孔隙水壓變化曲線圖(圍壓 4kg/cm^2 ，反水壓 2kg/cm^2)

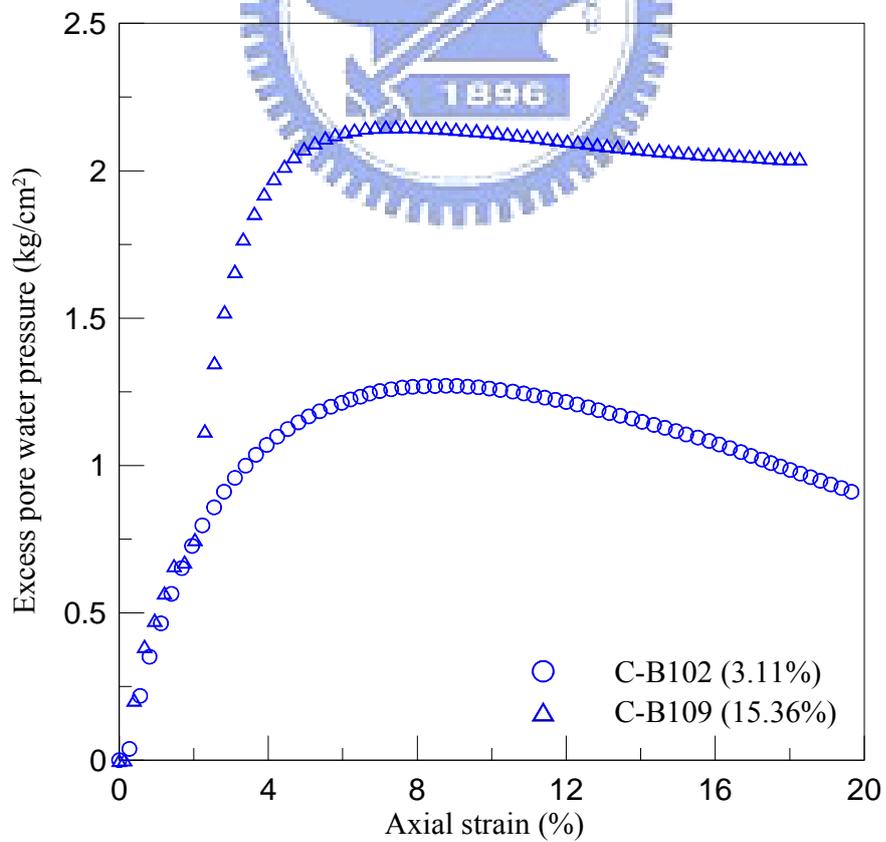


圖 4-12 超額孔隙水壓變化曲線圖(圍壓 5kg/cm^2 ，反水壓 2kg/cm^2)

4.2.5 三軸壓密不排試驗剪力強度參數

利用本研究所施做之C-B1 系列試體，綜合劉盛華(2007)對於梨山崩積層內軟弱材料C-N2 系列試體，採用岩塊比含量少之試驗結果，藉由莫爾圓求出此區域灰色黏土夾板岩碎屑材料的 $C' = 0.297\text{kg/cm}^2$ ， $\Phi' = 20.59^\circ$ ，如圖 4-13 所示。

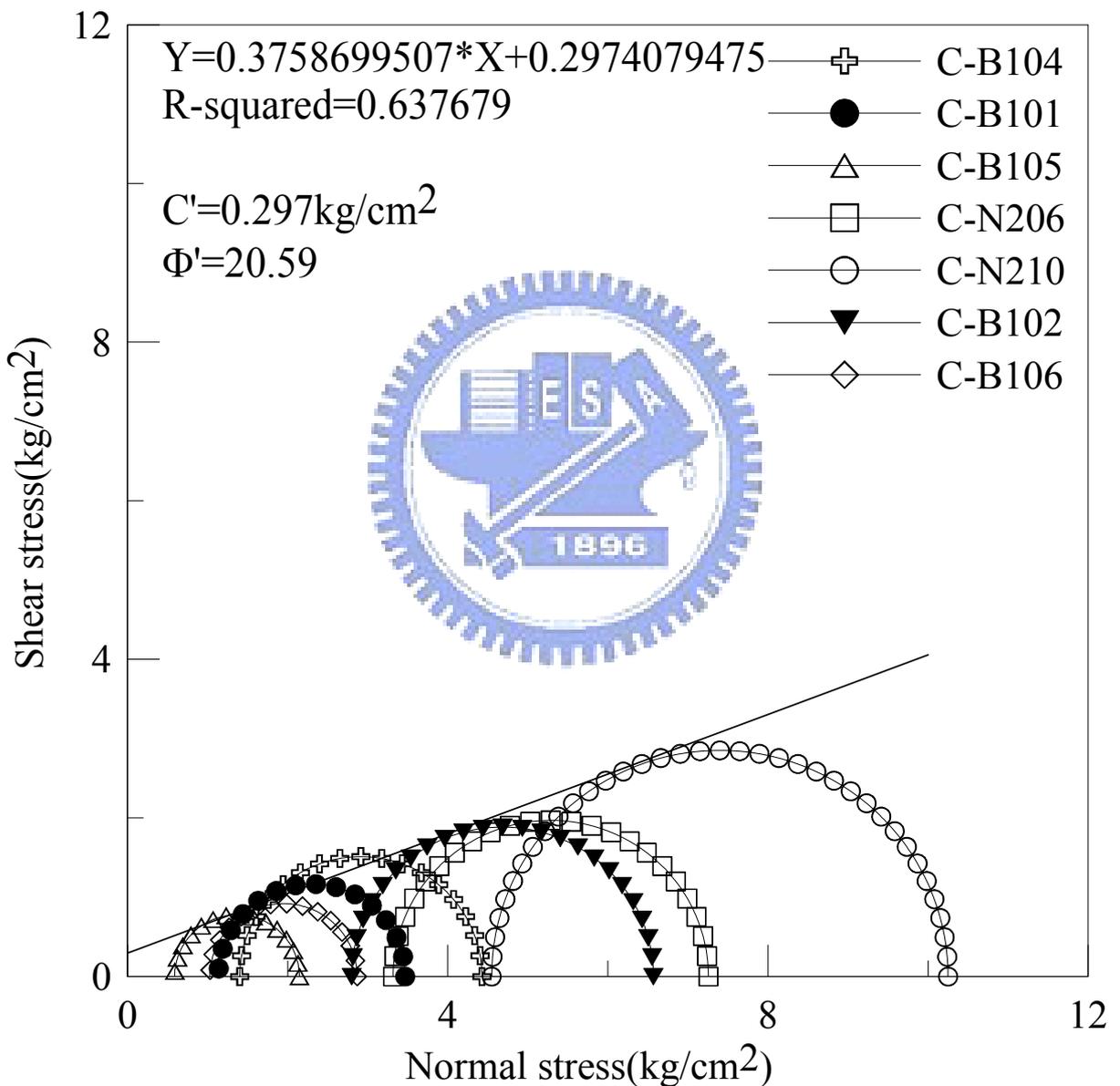


圖 4-13 用莫爾圓求剪力強度圖

4.2.6 綜合分析討論

劉盛華(2007)曾對於梨山軟弱材料(灰色黏土夾板岩碎屑)進行一系列試驗，表 4-4 為其所得之相關資料表。以下就岩塊含量相近之試體結果進行比較。圖 4-14 圍壓 $4\text{kg}/\text{cm}^2$ ，反水壓 $3\text{kg}/\text{cm}^2$ 情況下，C-N205 軸差強度約 $6\text{kg}/\text{cm}^2$ ，劉盛華指出此試體岩塊含量雖低，但岩塊排列方式具有方向性，且集中於一處。當應變量增加時，岩塊彼此接觸，反映在應力應變曲線上造成有一尖峰強度。孔隙水壓部份，在一開始往上激發了些許孔隙水壓之後便隨著軸向應變量增加而減少，可看出緊砂或過壓密之行為。在圖 4-15 則是圍壓 $3\text{kg}/\text{cm}^2$ ，反水壓 $2\text{kg}/\text{cm}^2$ 之情形，在此情況下其實差異不大；圖 4-16 在圍壓 $4\text{kg}/\text{cm}^2$ ，反水壓 $2\text{kg}/\text{cm}^2$ 情況看出 C-N201 及 C-N206 其曲線皆相當類似，但軸差強度皆較 C-B101 大了約兩倍，且達 20% 應變時仍未達其尖峰強度，孔隙水壓部份 C-N201 及 C-N206 略有往下跑之趨勢，但其實差異性不大；而圖 4-17 在圍壓 $5\text{kg}/\text{cm}^2$ ，反水壓 $2\text{kg}/\text{cm}^2$ 條件下之情形，由於 C-B102 之應力路徑如前章節所述，由於在試驗過程中試體扭曲程度過大，造成後半段跳升之應力路徑，無法比較應力應變行為。整體而言 C-B1 系列在剪動初期約 4-6% 應變量時應力應變曲線皆以達平緩，但大多數 C-N2 系列試體在 20% 之應變量時仍未到達其尖峰強度，而在相同條件下 C-N2 系列之強度皆大於 C-B1 系列，除了 C-N201 及 C-N205 大了許多之外，其他並無相差太多。孔隙水壓方面比較各條件下之情況。看出孔隙水壓變化，C-N2 系列試體之孔隙水壓曲線達某一值後便會往下跑；而 C-B1 系列之試體，除了 C-B102 試體有此情形外，卻不易發現此趨勢，但其孔隙水壓並無太大差異。推測岩塊含量相近之材料強度，當其深度越深(C-N2 系列試體取樣位置皆在 50 多公尺處；C-B1 系列試體則位於 15-25 公尺處)，會有過壓密情形越大，造成強度上之差異。或因為 C-N2 系列試體皆位於深層軟弱帶以致有此現象產生。

此外，另用SG-B1 系列試體與羅文驤(2007)對於梨山類併構岩材料(灰板岩夾黏土)相比。圖 4-18 為岩塊含量約在 30%左右，圍壓 $4\text{kg}/\text{cm}^2$ ，反水壓 $2\text{kg}/\text{cm}^2$ 之情形，看出趨勢相當一致，但SG-Ah系列試體強度仍較大。且達 20%應變時皆未達其尖峰強度。推測主要由於工研院(2005)之Ah系列試體存放較久，且岩心的保存並未蠟封，使得試體乾縮、含水量流失，造成強度上的差異。而孔隙水壓方面，達某一值後便會往下跑，三者皆然。另就討論高岩塊含量下之情況，如圖 4-19 所示，在反水壓皆為 $2\text{kg}/\text{cm}^2$ 情況下圖中SG-B105 圍壓 $6\text{kg}/\text{cm}^2$ ，而SG-N101 及SG-Ah103 圍壓皆 $6.5\text{kg}/\text{cm}^2$ ，亦可發現當岩塊含量越高，其強度也越高。

由實驗結果綜合來說，當岩塊含量低時，圍壓增加其軸差應力亦會跟著增加。如圖 4-7 所示。此外比較岩塊含量百分比與軸差強度關係，如圖 4-20 及圖 4-21，可看出當岩塊含量越高其軸差應力也會越高，即使岩塊含量低於 25%也有此現象。孔隙水壓部份出在受剪初期，孔隙水壓隨應變量增加而增加，岩塊含量高的會有明顯的剪脹作用，而岩塊含量低的較無此現象。如圖 4-9 岩塊含量越高，此趨勢似乎越明顯。

表 4-4 三軸壓密不排水試驗試體基本資料表(劉盛華，2007)

試體 編號	孔號	深度 (m)	長度 h (mm)	直徑 d (mm)	長 徑 比 h/d	4 號篩以上(岩塊) 顆粒含量(%)		4 號篩到 200 號 篩之間(粗顆粒) 顆粒含量(%)		200 號篩以下(細 顆粒)顆粒含量 (%)		圍壓 (kg/cm ²)	反水壓 (kg/cm ²)	有效圍壓 (kg/cm ²)	B 值
						重量比	體積比	重量比	體積比	重量比	體積比				
C-N201	N-2	55.65-55.85	159.50	61.00	2.61	6.52	4.63	39.67	40.47	53.81	54.90	4.00	2	2	0.8
C-N202	N-2	56.00-56.20	167.00	61.86	2.70	10.83	7.82	48.52	50.16	40.65	42.02	3.00	2	1	0.88
C-N203	N-2	56.17-56.35	149.50	61.45	2.43	3.92	2.77	48.95	49.54	47.12	47.69	2.00	1	1	0.79
C-N204	N-2	57.15-57.35	162.20	62.10	2.61	27.36	20.82	57.47	62.64	15.18	16.54	4.00	3	1	0.87
C-N205	N-2	58.30-58.50	155.20	61.80	2.51	10.10	7.26	48.06	49.58	41.84	43.16	4.00	3	1	0.83
C-N206	N-2	54.5-54.70	150.42	61.80	2.43	8.92	6.40	37.97	39.02	53.11	54.58	4.00	2	2	0.8
C-N207	N-2	54.70-54.90	167.00	61.90	2.70	12.06	8.74	54.44	56.50	33.50	34.76	4.00	2	2	0.75
C-N208	N-2	55.05-55.2	167.20	61.86	2.70	6.02	4.28	52.37	53.34	41.61	42.38	5.00	2	3	0.82
C-N209	N-2	55.25-55.45	162.64	62.00	2.62	3.62	2.55	52.37	52.95	44.01	44.50	5.00	2	3	0.85
C-N210	N-2	55.45-55.65	155.40	60.12	2.58	7.05	5.03	34.61	35.36	58.34	59.61	5.00	2	3	0.85

註：編號意義：C 為唐禎國(200)分類之灰色黏土夾板岩碎屑材料、N2 為孔號分類。

表 4-5 試體編號及基本資料表(羅文驤，2007)

試體編號	孔號	深度 (m)	長度 (mm)	直徑 (mm)	h/d	面積比 (%)	體積比 (%)	重量比 (%)	有效圍壓 (kg/cm ²)	反水壓 (kg/cm ²)	B 值
SG-N101	N1	18.23~18.38	152.5	62.9	2.42	47.39	60.83	65.3	4.50	2	0.75
SG-N201	N2	18.4~18.6	152.3	60.9	2.50	28.93	25.52	30.90	4.50	2	0.81
SG-N202	N2	44.8 ~ 45.0	153.47	62.2	2.47	27.58	27.25	30.44	2.00	2	0.85
SG-N203	N2	53.4 ~ 53.36	183.125	61.15	2.98	33.13	33.79	39.38	6.00	2	0.86
SG-Ah101	Ah1	37.03~37.18	151.68	61.93	2.45	3.84	14.53	16.81	4.50	2	0.83
SG-Ah102	Ah1	37.55~37.75	153.49	61.63	2.50	16.61	17.28	18.96	6.00	2	0.75
SG-Ah103	Ah1	37.80~37.95	152.32	60.97	2.50	51.21	56.86	61.70	4.50	2	0.77
SG-Ah104	Ah1	38.70~38.85	159.49	61.19	2.60	19.41	30.11	33.91	2.00	2	0.82
SG-Ah105	Ah1	38.85~39.00	155.28	62.21	2.50	27.66	27.89	31.29	4.50	2	0.83
SG-Ah106	Ah1	39.55~39.70	150.55	60.61	2.49	19.76	17.44	20.00	6.00	2	0.76
SG-Ah107	Ah1	12.00~12.15	157.00	60.96	2.57	12.40	23.07	28.06	2.00	2	0.82
SG-Ah108	Ah1	16.80~16.95	164.92	60.24	2.72	2.70	3.89	4.80	4.50	2	0.87
SG-Ah109	Ah1	19.85~20.00	151.59	59.37	2.55	3.93	3.02	3.47	2.00	2	0.85
SG-Ah110	Ah1	17.05~17.20	169.13	60.92	2.76	2.32	5.02	6.39	2.00	2	0.89
SG-Ah111	Ah1	17.25~17.40	152.88	60.92	2.510	17.91	18.40	20.21	6.00	2	0.88

註：編號意義：SG：岩性分類，為黃玉麟(2006)所代表灰色板岩夾灰色黏土層。N1、N2、Ah1：孔號分類。

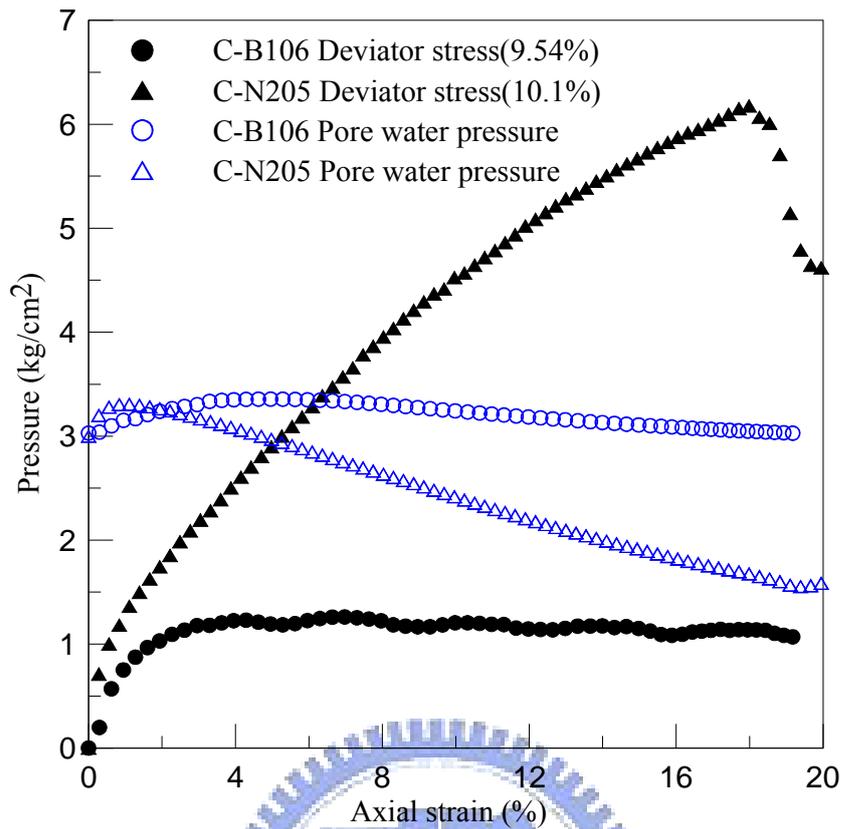


圖 4-14 應力應變及孔隙水壓變化圖(圍壓 4kg/cm²、反水壓 3kg/cm²)

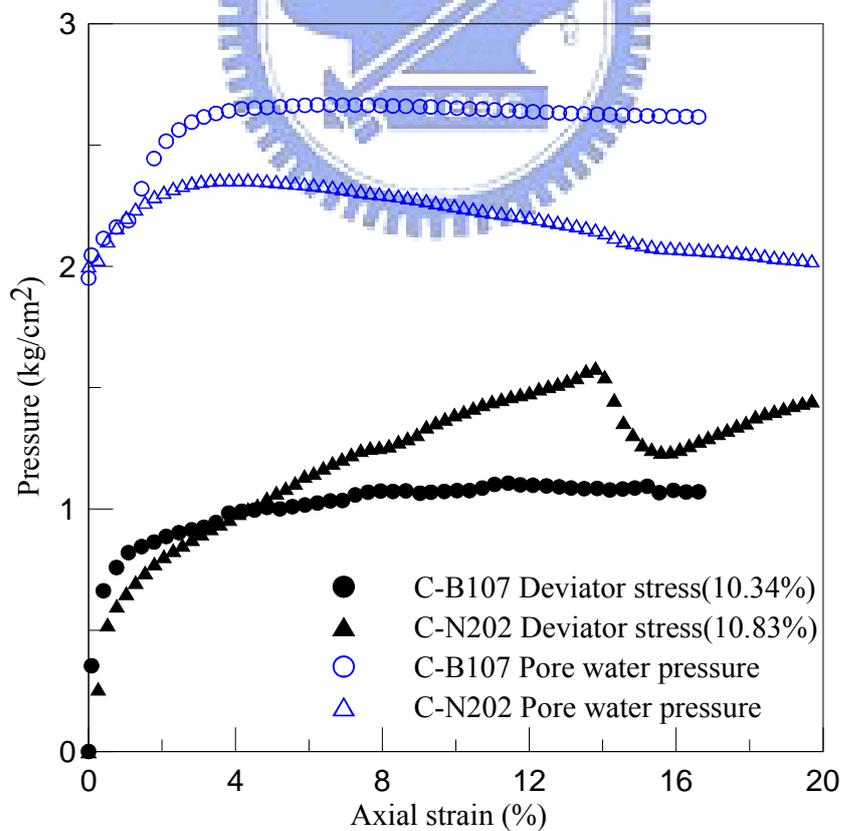


圖 4-15 應力應變及孔隙水壓變化圖(圍壓 3kg/cm²、反水壓 2kg/cm²)

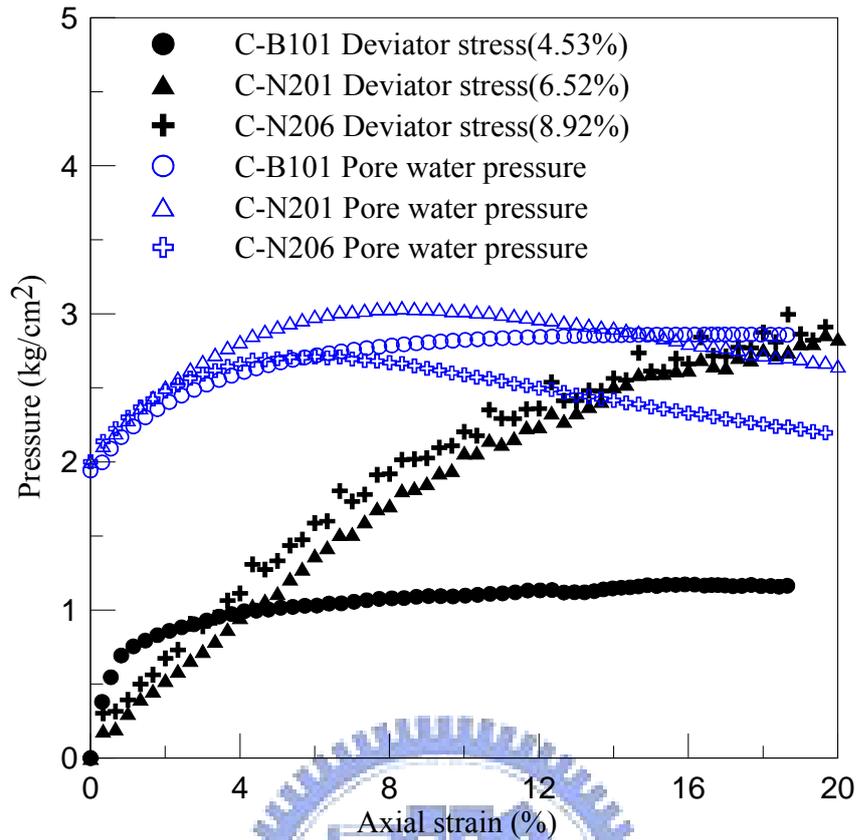


圖 4-16 應力應變及孔隙水壓變化圖(圍壓 4 kg/cm^2 、反水壓 2 kg/cm^2)

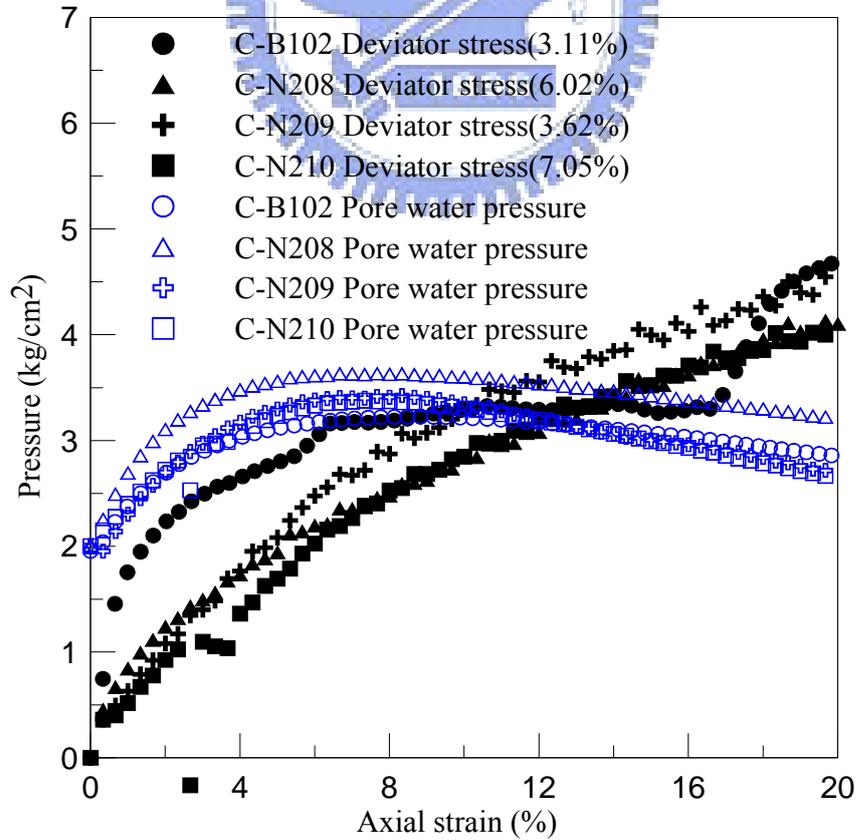


圖 4-17 應力應變及孔隙水壓變化圖(圍壓 5 kg/cm^2 、反水壓 2 kg/cm^2)

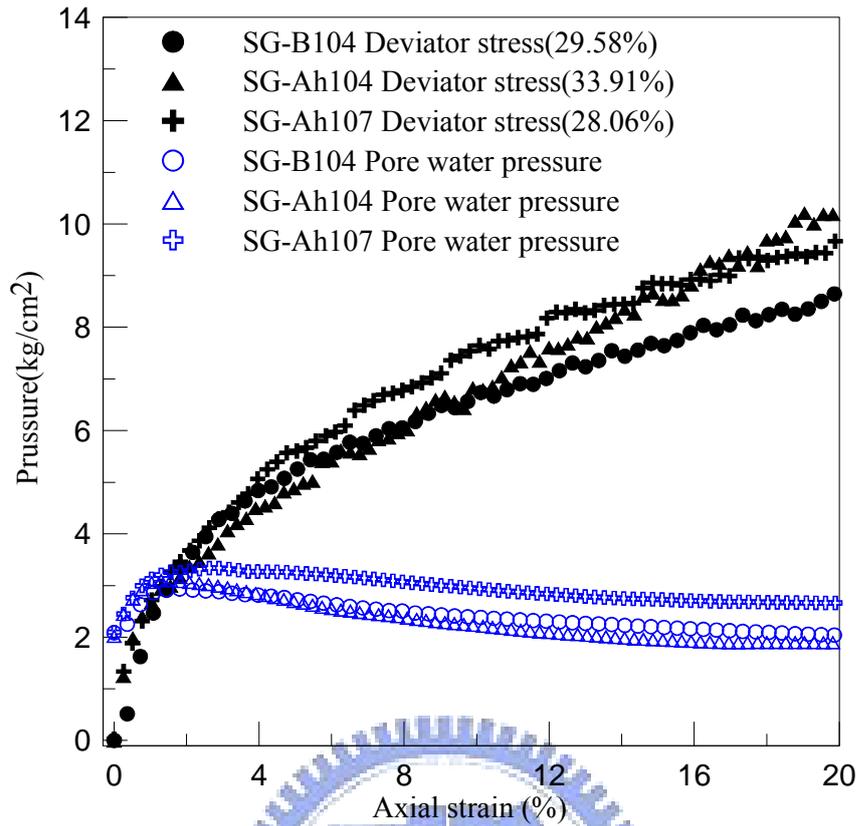


圖 4-18 應力應變及孔隙水壓變化圖(圍壓 4kg/cm²、反水壓 2kg/cm²)

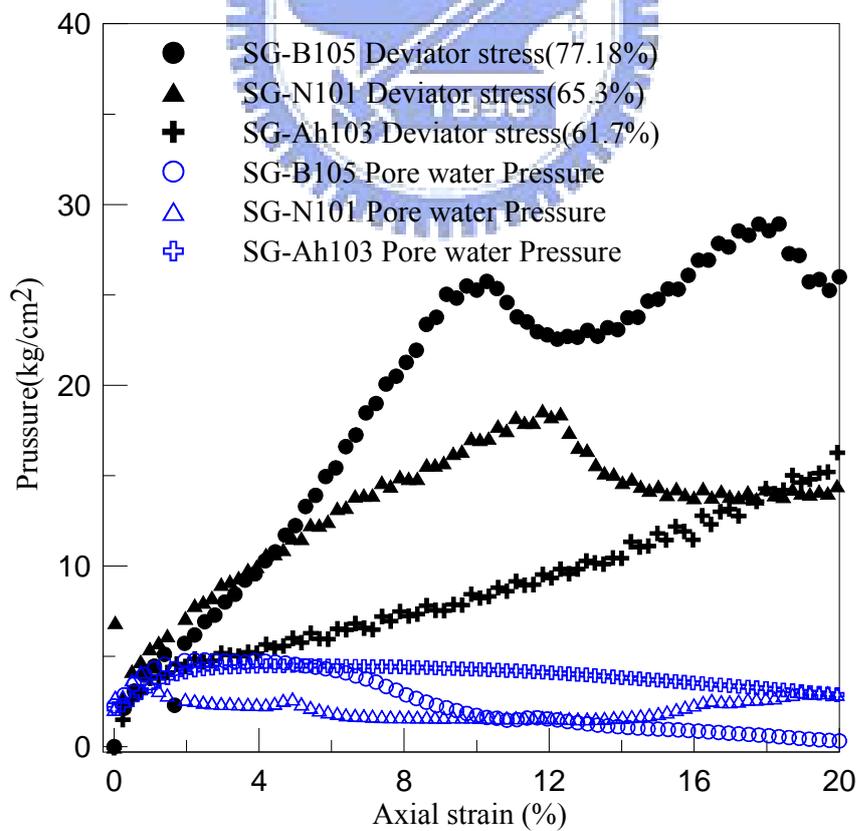


圖 4-19 高岩塊比應力應變及孔隙水壓比較

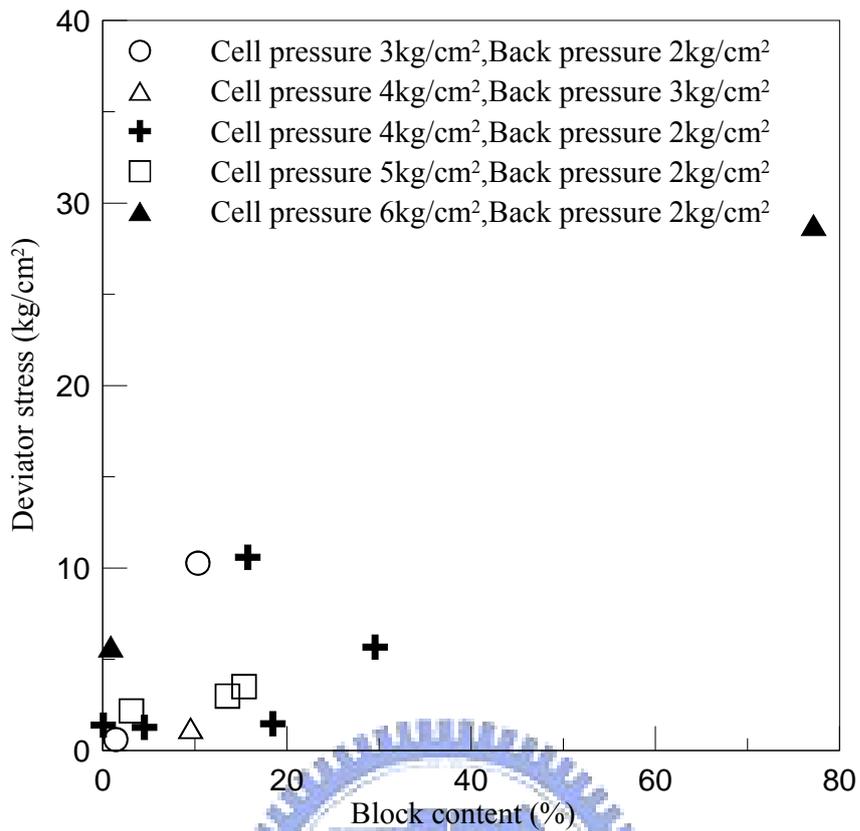


圖 4-20 岩塊含量與軸差應力比較

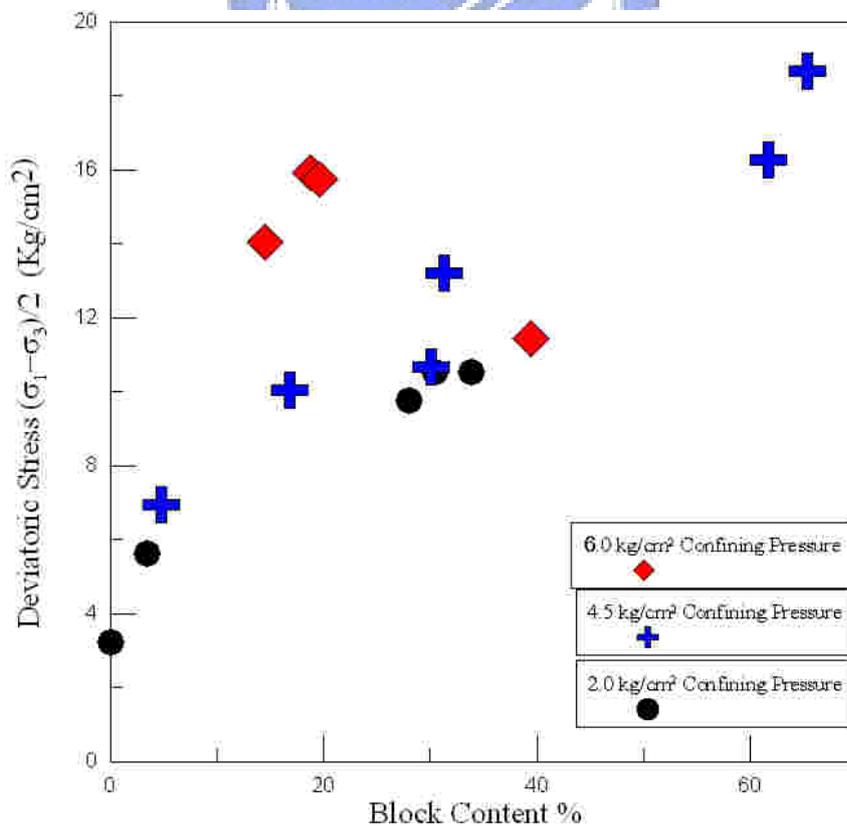


圖 4-21 岩塊含量與軸差應力比較(羅文驤, 2007)

4.3 崩積層形成原因探討

4.3.1 地質鑽探結果

本研究於梨山地質鑽探結果，依據唐禎國(2007)所定義之分類法則來進行岩心之描述，由岩心照片(附錄 A)可發現 B13 滑動體之 B1 鑽孔有兩層軟弱帶分別位於 12.00~16.70m 及 22.00~25.20m 處；而 B5 滑動體之 B2 鑽孔由所鑽取出之岩心並無軟弱帶材料存在。至底下 50 多公尺處仍有黃色黏土夾灰色板岩存在，推估為崩積土層且未鑽至新鮮岩盤。

4.3.2 崩積層形成的崩塌機制探討

梨山地滑區之地層屬於中新世廬山層，主要由板岩構成。其岩性單調劈理發達。本研究主要由梨山地滑區之區域地質資料及本次鑽探孔所取得之孔內造影所取得之不連續面位態來歸納加以討論。

位於 B13 滑動體之 B1 孔並未施做孔內造影試驗，無法得知其不連續面之位態資料。假設此區域之劈理位態的傾向傾角一致，利用取得之鑽心進行劈理角度的統計，整理如表 4-6。可大略觀察出劈理角度越接近軟弱帶角度越趨於平緩，劈理越密集，且破碎處較多，如圖 4-22。推測 B13 滑動體之深層軟弱帶為 Chigira 第二型潛變破壞，如圖 4-23 所示。

一般認為梨山地區滑動破壞通常發生在位於沉泥質粘土夾層當中，而 B5 滑動體之 B2 鑽孔中並未發現此類材料，且至 50 多公尺處仍發現到黃色黏土夾板岩，這類一般認為較淺層之崩積土才可發現之材料，由此推估此鑽孔鑽至 50 多公尺處仍為崩積土層。由圖 4-24 為 B2 孔內造影統計結果，上方崩積層平均劈理位態角度為 N20°E/67°SE 和大多梨山地區之層理走向 N15°~35°E/15°~35°SE 的傾角為大。此處鑽孔下方由於有兩道排水廊道通

過，其地質調查資料如表 4-7 及表 4-8 所示，利用排水廊道所得之資料來詳細說明此區域之崩塌機制。富國工程(2003)由排水廊道開挖所得發現，G1 廊道開挖至 0k+175m 約 B2 孔附近處之地質資料顯示有一巨型剪裂帶。其中岩體以灰黑色板岩碎片、角礫及剪裂泥為主，大量剪裂泥以不規則型態出現，0k+162~168.5m 有一 N40°E/40°S 之界面出現，界面以上為棕灰至黃棕色板岩塊夾黃棕色黏土。與 B2 孔底部 50 多公尺處鑽得灰色板岩夾黃色黏土之情形相符，且剪裂泥與粘土狀之強風化板岩極為相似。利用此處界面位態角度 N40°E/40°SE。相較於上方 B2 孔所得之劈理位態，傾角較小。此外，綜合唐禎國(2007)於下邊坡 B4 滑動體所鑽之 X2 孔之劈理位態資料，如表 4-9 所示。製作剖面線 A-A'，見圖 4-25 圖 4-26。

黃玉麟(2006)於 B9 滑動體由孔內照影之 N2 孔位態資料發現有劈理傾向方向反轉的情況，且反轉之現象發生在軟弱層與新鮮岩盤之間的風化板岩層(52.80-67.80m)，此類型之特徵為原本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。而在 G2 排水廊道約 0k+344m 處進入 B9 滑動體下方，深度約在地表下 60~70 m，與富國工程(2003)觀察發現 G2 排水廊道之剪裂泥中常會出現 N60°~80°W/20°~30°NE 的剪裂面相符。剪裂面上並有很明顯之擦痕，代表其間層產生相對之滑動，而其移動方向顯示為上盤相對下滑，更可確定滑動體拖曳的行為。

由現地鑽孔施作之孔內光學造影可知此崩積土層之平均劈理位態為 N20°E/67°SE，較下方排水廊道內量測到之不連續面位態 N40°E/40°SE 大，由 B4 滑動體剖面線 A-A'，圖 4-25，及黃玉麟(2006)於 B9 滑動體之結果，推測 B5 滑動體亦為 Chigira 第二型潛變破壞，只是 B2 鑽孔位於上邊坡，在潛變上層較似翻倒破壞造成上部之傾角會比下方的大，且無傾角反轉之現象，如圖 4-27 所示。

表 4-6 劈理統計表

深度(m)	劈理角度(°)
13.75	45
13.80	45
16.90	25
17.10	40
17.40	48
17.50	45
18.35	35
18.55	45
19.60	20
19.70	25
19.82	20
21.10	30
21.55	10
21.60	15
21.90	10

表 4-7 G1 排水廊道地質調查資料(整理自水保局二工所，2003)

基本資料	廊道編號	G-1	廊道口位置座標	N: 2683564, E: 274473
	廊道總長度	350 m	廊道穿越之滑動體	A11、B1、B2、B5
地質資料	廊道內位置	位態資料		附註
	0k+0m~0k+18m	劈理 $N60^{\circ}E \sim EW/35^{\circ} \sim 50^{\circ}S$ 節理 $N20^{\circ} \sim 30^{\circ}W/70^{\circ} \sim 80^{\circ}N$ $N50^{\circ} \sim 70^{\circ}E/55^{\circ} \sim 65^{\circ}S$		
	0k+18m~0k+20m			剪裂帶
	0k+20m~0k+23m	劈理 $N30^{\circ} \sim 60^{\circ}E/45^{\circ} \sim 60^{\circ}S$ 節理 $N30^{\circ} \sim 50^{\circ}W/70^{\circ}S \sim 70^{\circ}N$ $N30^{\circ} \sim 40^{\circ}E/30^{\circ} \sim 50^{\circ}S$		
	0k+23m~0k+28m			剪裂帶
	0k+28m~0k+43m	劈理 $N30^{\circ} \sim 60^{\circ}E/40^{\circ} \sim 60^{\circ}S$ 節理 $N40^{\circ} \sim 50^{\circ}E/40^{\circ} \sim 50^{\circ}S$ $N10^{\circ} \sim 20^{\circ}W/50^{\circ} \sim 70^{\circ}S$		
	0k+43m~0k+47m	劈理 $N40^{\circ} \sim 50^{\circ}E/40^{\circ} \sim 50^{\circ}S$ 節理 $N20^{\circ} \sim 50^{\circ}W/50^{\circ} \sim 70^{\circ}S$ $N30^{\circ} \sim 40^{\circ}W/55^{\circ} \sim 60^{\circ}N$		黃棕色板岩，節理面常夾岩屑及黏土
	0k+47m~0k+55m	劈理 $N45^{\circ} \sim 50^{\circ}W/50^{\circ} \sim 55^{\circ}S$ 節理 $N40^{\circ} \sim 55^{\circ}W/70^{\circ} \sim 80^{\circ}S$ $N70^{\circ} \sim 75^{\circ}W/70^{\circ} \sim 80^{\circ}N$		灰黑色板岩，節理面鏽染，常夾岩屑及黏土
	0k+55m~0k+57m	層面 $N30^{\circ}E/70^{\circ} \sim 80^{\circ}S$		剪裂帶
	0k+57m~0k+93m	劈理 $N45^{\circ} \sim 60^{\circ}E/50^{\circ} \sim 60^{\circ}S$ 節理 $N10^{\circ} \sim 20^{\circ}W/55^{\circ} \sim 70^{\circ}S$ $N40^{\circ} \sim 50^{\circ}W/70^{\circ} \sim 85^{\circ}N$		灰黑色板岩，岩體完整
	0k+93m~0k+94m			破碎帶
	0k+94m~0k+105m	劈理 $N45^{\circ} \sim 50^{\circ}E/55^{\circ} \sim 60^{\circ}S$ 節理 $N10^{\circ} \sim 20^{\circ}W/55^{\circ} \sim 70^{\circ}S$ $N40^{\circ} \sim 50^{\circ}W/70^{\circ} \sim 85^{\circ}N$		灰黑色破碎板岩，節理面鏽染
	0k+105m~0k+120m			灰黑色極破碎板岩，夾少至多量剪裂泥，節理多不連續，劈理位態變化劇烈
	0k+120m~0k+170m			剪裂帶，以灰黑色板岩碎片、角礫及剪裂泥為主，大量剪裂泥以不規則型態出現，162~168.5m有一 $N40^{\circ}E/40^{\circ}S$ 之界面出現，界面以上為棕灰至黃棕色板岩塊夾黃棕色黏土
	0k+170m~0k+183m			黃棕色至棕灰色極破碎板岩，劈理不明顯，節理不連續
0k+183m~0k+284m			剪裂帶	
0k+284m~0k+350m	劈理 $N30^{\circ} \sim 70^{\circ}E/40^{\circ} \sim 70^{\circ}N$		灰黑色板岩，岩體完整呈厚片狀，偶見不連續節理	

表 4-8 G2 排水廊道地質調查資料(整理自水保局二工所，2003)

基本資料	廊道編號	G-2	
	廊道口位置座標	N: 2683591, E: 274453	
	廊道總長度	550 m	
	廊道穿越之滑動體	A11、B1、B2、B4、B5、B9、B11、B23	
地質資料	廊道內位置	位態資料	附註
	0k+0m~0k+8m	劈理 $N10^{\circ} \sim 45^{\circ}W / 25^{\circ} \sim 45^{\circ}S$ 節理 $N40^{\circ} \sim 60^{\circ}W / 50^{\circ} \sim 70^{\circ}S$	
	0k+8m~0k+12m		剪裂帶
	0k+12m~0k+43m	劈理 $N15^{\circ} \sim 45^{\circ}W / 25^{\circ} \sim 45^{\circ}S$ 節理 $N60^{\circ} \sim 85^{\circ}W / 60^{\circ} \sim 80^{\circ}S$ $N15^{\circ} \sim 25^{\circ}W / 45^{\circ} \sim 60^{\circ}S$ $N5^{\circ} \sim 25^{\circ}E / 55^{\circ} \sim 70^{\circ}N$	
	0k+43m~0k+44m		剪裂帶
	0k+44m~0k+56m	劈理 $N40^{\circ} \sim 50^{\circ}W / 50^{\circ} \sim 60^{\circ}S$ 節理 $N55^{\circ} \sim 65^{\circ}W / 80^{\circ}N \sim 80^{\circ}S$	
	0k+56m~0k+57m		剪裂帶
	0k+57m~0k+95m	劈理 $N45^{\circ} \sim 65^{\circ}E / 40^{\circ} \sim 50^{\circ}S$ 節理 $N45^{\circ} \sim 65^{\circ}W / 60^{\circ} \sim 75^{\circ}S$	
	0k+95m~0k+112m	劈理 $N45^{\circ} \sim 65^{\circ}E / 40^{\circ} \sim 50^{\circ}S$ 節理 $N45^{\circ} \sim 60^{\circ}W / 80^{\circ}S \sim 80^{\circ}N$	
	0k+112m~0k+116m	層面 $N45^{\circ}E / 40^{\circ}S$	灰色石英砂岩
	0k+116m~0k+118m	節理 $N65^{\circ} \sim 70^{\circ}W / 50^{\circ} \sim 60^{\circ}N$ $N40^{\circ} \sim 50^{\circ}E / 40^{\circ}S$	
	0k+118m~0k+119m		剪裂帶
	0k+119m~0k+135m	劈理 $N50^{\circ} \sim 60^{\circ}E / 40^{\circ} \sim 50^{\circ}S$ 節理 $N45^{\circ} \sim 60^{\circ}W / 75^{\circ} \sim 85^{\circ}S$	灰黑色板岩，破碎至極破碎，偶夾黏土
	0k+135m~0k+163m	劈理 $N50^{\circ} \sim 60^{\circ}E / 40^{\circ} \sim 50^{\circ}S$	灰黑色板岩，破碎至極破碎，節理位態變化大
	0k+163m~0k+202m		剪裂帶
	0k+202m~0k+205m	劈理 $N45^{\circ} \sim 55^{\circ}E / 25^{\circ} \sim 35^{\circ}S$ 節理 $N40^{\circ} \sim 50^{\circ}W / 40^{\circ} \sim 75^{\circ}N$	
	0k+205m~0k+220m	層面 $N30^{\circ} \sim 40^{\circ}E / 45^{\circ} \sim 55^{\circ}S$ 轉至 $N20^{\circ} \sim 40^{\circ}E / 60^{\circ} \sim 70^{\circ}S$ 節理 $N50^{\circ} \sim 60^{\circ}W / 60^{\circ} \sim 70^{\circ}N$ $N45^{\circ} \sim 60^{\circ}W / 50^{\circ} \sim 70^{\circ}S$	灰黑色板岩及灰色砂岩互層，砂岩均破碎成塊狀，劈理約與層面平行，劈理面及層面間常夾有薄層剪裂泥，偶有剪裂面出現，岩盤有輕微擾動現象
	0k+220m~0k+237m	劈理 $N30^{\circ} \sim 40^{\circ}E / 65^{\circ} \sim 80^{\circ}S$	
	0k+237m~0k+252m	層面 $N50^{\circ} \sim 60^{\circ}E / 60^{\circ} \sim 65^{\circ}S$	
	0k+252m~0k+257m		剪裂帶

表 4-7(續) G2 排水廊道地質調查資料(整理自水保局二工所，2003)

地質資料	廊道內位置	位態資料	附註
	0k+257m~0k+275m	劈理 $N50^{\circ} \sim 60^{\circ}E / 60^{\circ} \sim 65^{\circ}S$	灰黑色破碎板岩，偶夾剪裂帶
	0k+275m~0k+287m	劈理 $N60^{\circ}E / 50^{\circ} \sim 60^{\circ}S$	灰黑色板岩，岩質堅硬，劈理不明顯
	0k+287m~0k+308m	層面 $N65^{\circ} \sim 70^{\circ}E / 55^{\circ} \sim 60^{\circ}S$	
	0k+308m~0k+309m		剪裂帶
	0k+309m~0k+317m	劈理 $N65^{\circ} \sim 70^{\circ}E / 60^{\circ}S$	
	0k+317m~0k+327m		剪裂帶
	0k+327m~0k+338m	劈理 $N60^{\circ} \sim 70^{\circ}E / 50^{\circ}S$ 節理 $N10^{\circ} \sim 35^{\circ}W / 70^{\circ} \sim 80^{\circ}N$	
	0k+338m~0k+353m	劈理 $N60^{\circ}E / 50^{\circ}S$ $N35^{\circ}E / 40^{\circ}S$	
	0k+353m~0k+365m		剪裂帶
	0k+365m~0k+385m	劈理 $N30^{\circ} \sim 40^{\circ}E / 80^{\circ} \sim 90^{\circ}N$ 轉至 $N45^{\circ} \sim 50^{\circ}E / 50^{\circ} \sim 60^{\circ}S$ 節理 $N30^{\circ} \sim 45^{\circ}W / 70^{\circ} \sim 80^{\circ}N$ $N20^{\circ} \sim 40^{\circ}E / 65^{\circ} \sim 75^{\circ}N$	
	0k+385m~0k+388m		剪裂帶
	0k+388m~0k+462m	劈理 $N50^{\circ} \sim 70^{\circ}E / 70^{\circ} \sim 90^{\circ}N$ 節理 $N20^{\circ} \sim 40^{\circ}W / 70^{\circ} \sim 80^{\circ}N$	灰黑色板岩，岩體完整堅硬，一組節理斷續出現
	0k+462m~0k+477m		剪裂帶
	0k+477m~0k+498m	劈理 $N65^{\circ} \sim 70^{\circ}E / 70^{\circ} \sim 80^{\circ}N$	灰黑色破碎板岩，易剝落成片狀，劈理明顯
0k+498m~0k+547m		剪裂帶	
0k+547m~0k+550m		灰黑色板岩，岩體完整，劈理不明顯	

表 4-9 X2 與 X3 劈理位態資料(唐禎國，2007)

孔位	深度(m)	劈理位態 (傾向/傾角)	劈理位態 (走向/傾角)	說明
X2	14.8-18.8	$285^{\circ}/37^{\circ}$	$N15^{\circ}E/37^{\circ}WN$	B4- I 崩體
	20.2-30.3	$105^{\circ}/29^{\circ}$	$N15^{\circ}E/29^{\circ}SE$	B4- II 崩體
	30.6-47.9	$114^{\circ}/43^{\circ}$	$N24^{\circ}E/43^{\circ}SE$	B4- III 崩體
	48.5-60.0	$138^{\circ}/43^{\circ}$	$N48^{\circ}E/37^{\circ}SE$	新鮮板岩
X3	0-21.0	缺		
	21.2-32.2	$129^{\circ}/46^{\circ}$	$N39^{\circ}E/46^{\circ}SE$	B1- II 崩體
	32.4-40.0	$128^{\circ}/50^{\circ}$	$N38^{\circ}E/50^{\circ}SE$	新鮮板岩

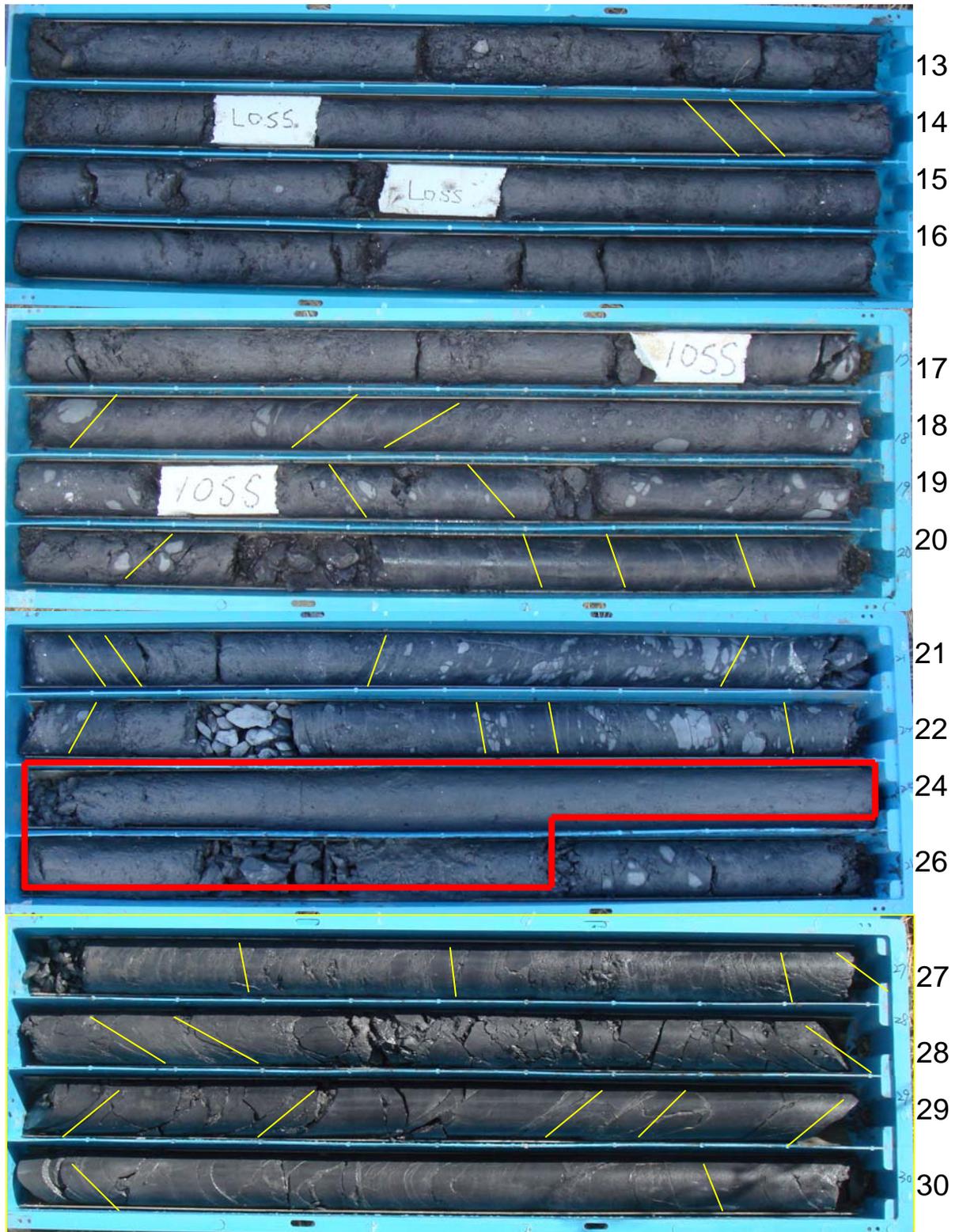


圖 4-22 劈理角度統計示意圖

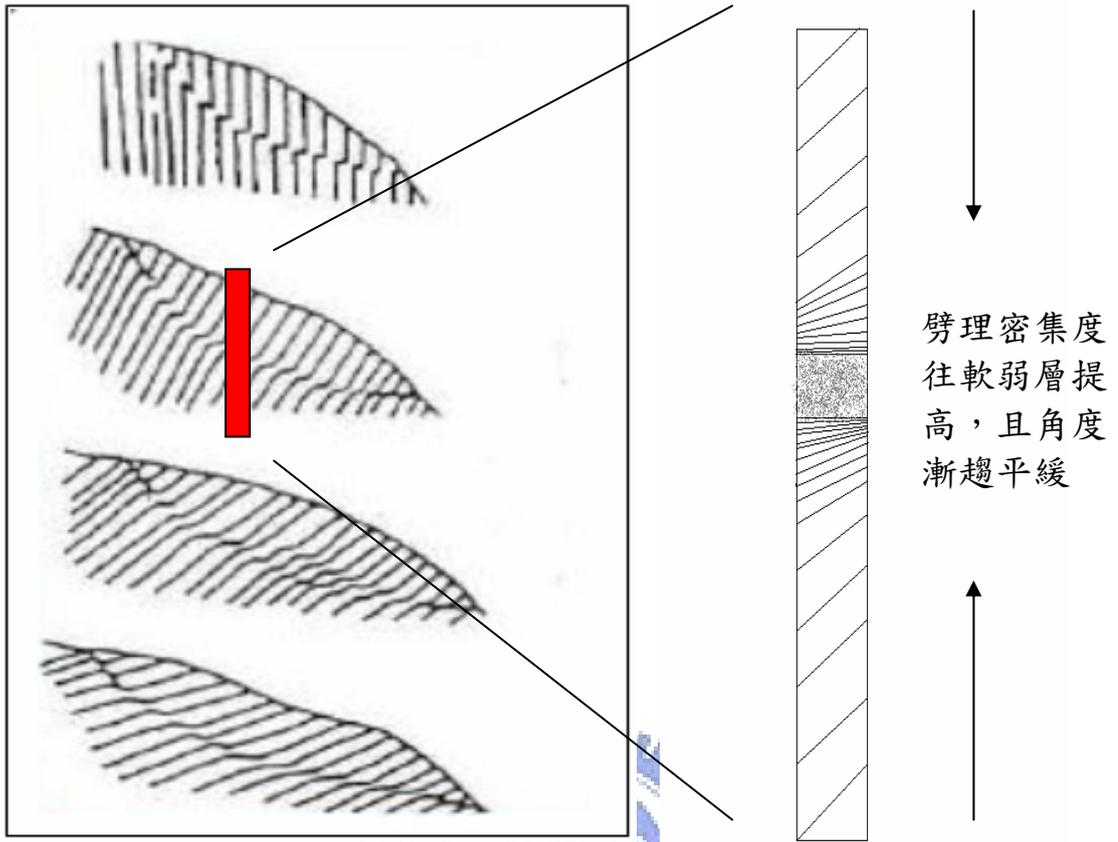


圖 4-23 破壞與劈理關係示意圖(修改自 Chigira, 1992)

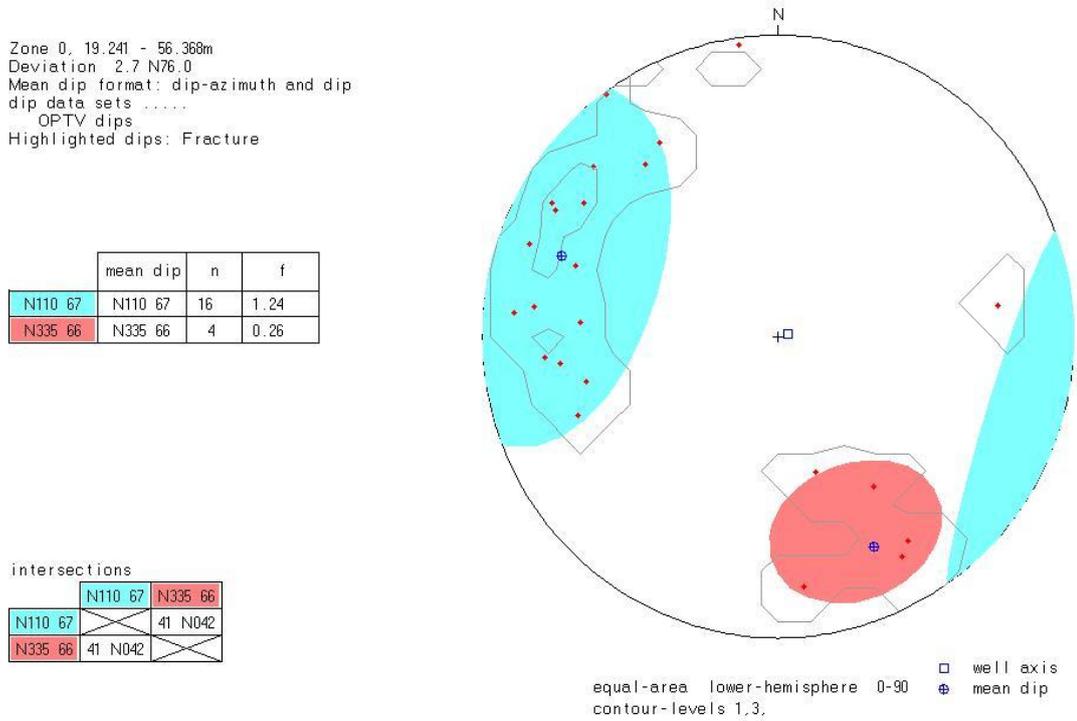


圖 4-24 B2 孔劈理位態立體投影圖

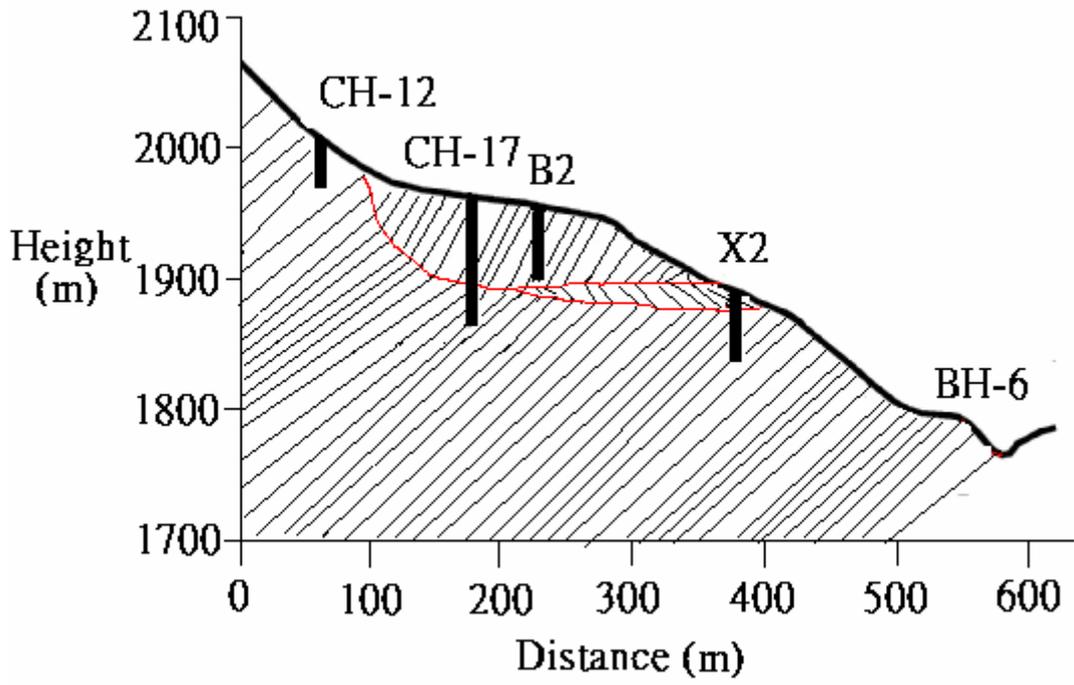


圖 4-25 A-A'剖面線圖



圖 4-26 A-A'剖面線位置圖

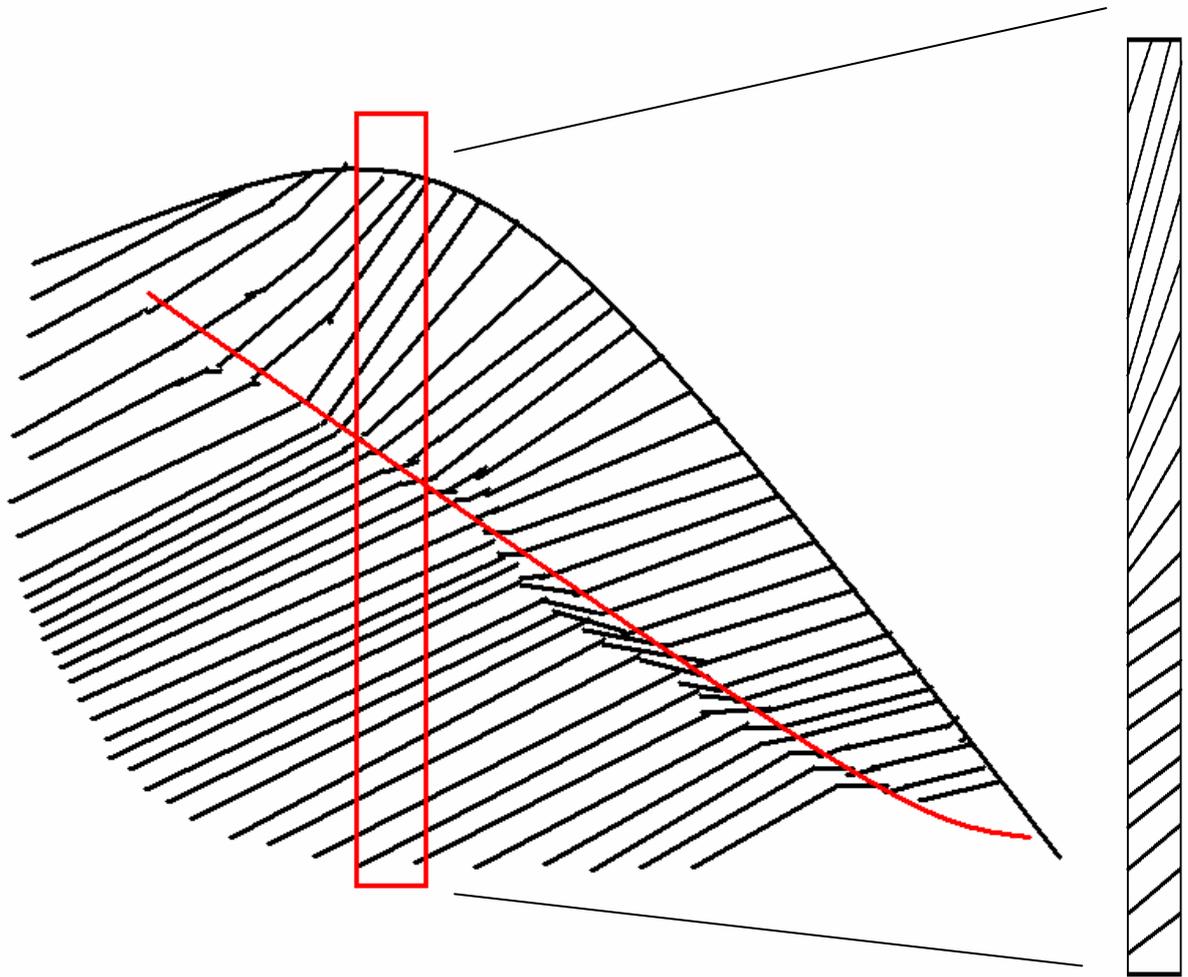


圖 4-27 劈理轉向示意圖

第五章 結論與建議

5.1 結論

1. 梨山地區 B13 滑動體於 12 月份灰色板岩塊之現地含水量介在 1.27~1.73%之間；灰色板岩夾灰色黏土之現地含水量則介在 2.27~7.35%之間；灰色黏土夾板岩碎屑之現地含水量則介在 8.98~16.12%間。經三軸試驗後，灰色黏土夾板岩碎屑類試體飽和含水量約在 10.122~15.399%之間，比重則介於 2.673~2.714 之間，平均液性限度在 34.67%，平均塑性限度在 19.78%
2. 灰色黏土夾板岩碎屑類試驗結果發現，當試體岩塊含量很小，在相同圍壓及反水壓的條件下其應力應變曲線強度其實差異不大，在約 3-6%的應變量就不再有巨幅的變動；顆粒材料含量類似之試體在各種不同圍壓在下之情況，可以發現材料性質相近軸差應力會隨著圍壓加大而變大。與劉盛華(2007)所述不同，推測 C-N2 系列試體由於岩心試樣擺放過久，導致其含水量溢失造成有過壓密之現象；或因為 C-N2 系列試體皆位於深層軟弱帶以致有此現象產生。
3. 由灰色板岩夾粘土類試驗結果發現，比較岩塊含量百分比與軸差強度關係，發現當岩塊含量越高其軸差應力也會越高，即使岩塊含量低於 25% 也有此現象。與羅文驤(2007)對於梨山地區類併構岩材料(灰色板岩夾黏土)類材料之尖峰軸差強度隨岩塊含量增加而呈現增加之趨勢相同
4. 綜合劉盛華(2007)對於梨山崩積層內軟弱材料之試驗結果，利用莫爾圓求出此區域灰色黏土夾板岩碎屑材料的 $C' = 0.297\text{kg/cm}^2$ ， $\Phi' = 20.59^\circ$ 。
5. 利用 B1 鑽孔進行劈理角度統計，推測 B13 滑動體之滑動型態亦為 Chigira 第二型潛變破壞。B2 鑽孔鑽至 50 幾公尺處仍見黃色黏土夾板岩材料，推測其未達滑動面，內無軟弱層材料，推估仍為崩積土層。由孔

內光學造影知此崩積土層之平均劈理位態為為 $N20^{\circ}E/67^{\circ}SE$ ，較下方排水廊道內量測到之不連續面位態 $N40^{\circ}E/40^{\circ}SE$ 大，推測其 B5 滑動體亦為 Chigira 第二型潛變破壞，只是 B2 鑽孔位於上邊坡，在潛變上層較似翻倒破壞造成上部之傾角會比下方的大，且無傾角反轉之現象。

5.2 建議

1. 由於本實驗所使用之三軸試驗儀器，其加壓桿與頂蓋接合處為傳統的半球狀之凹槽，並非現在較常使用之加壓桿與頂蓋鎖著的關係。導致此類試體其頂蓋於受剪過程中便會逐漸歪斜偏向某方，使得軸向應力無法完全於垂直向作用。造成有些試體試驗後半段之應力應變曲線跳動情況，且試體受後剪後亦有歪斜現象發生，建議往後對於此類試體進行三軸試驗應該採用能使加壓感與頂蓋鎖合在一起的，致使在剪動過程中不會有頂蓋逐漸歪斜。
2. 由於梨山崩積層內組成不均質，顆粒大小不一，差異性大。雖曾有研究針對此區崩積材料做力學參數探討，但材料不均質，取樣位置接近的岩心，實驗結果亦有差異，岩塊含量亦會造成影響，且以往鑽探大多使用 HQ 或小於 HQ 之岩心規格，無法評估尺寸效應對試體的影響。因此由試驗室試驗甚難決定其代表性力學性質，應由數值試驗配合決定之。建議往後可使用較大尺寸之鑽探搭配數值模擬的方式來更進一步的來決定梨山崩塌地崩積材料之力學參數。

參考文獻

1. 洪如江(1979),「土工技術在台灣山崩中應用」,邊坡穩定與坍方研討會,第 147~172 頁。
2. 王鑫(1985),「中橫公路道路邊坡的地貌分析」,行政院國家科學委員會防災科技研究報告 74-48 號。
3. 董家鈞、楊賢德(2001),「崩積層之分類與工程特性研究」,水土保持研究,第八卷第 1 期。
4. 藤原明敏(1970),「地すべり調査解析」,理工圖書株式會社,222 頁。
5. 邱坤豪(2000),「台灣中部德基至梨山地區岩石劈理位態分佈之研究」,國立中央大學,碩士論文。
6. 林銘郎、鄭富書、翁作新、洪如江(2000),台灣斷層泥之特性及斷層泥力學評估新發展,土工技術雜誌,第 79 期,第 91-106 頁。
7. 蔡文傑(2002),巨觀等向性混成岩製作表面影像與力學性質,國立中央大學,碩士論文。
8. 富國技術工程股份有限公司(2001),「八十八年度坡地災害整治計畫『監測系統分析及運用』委託技術服務工作報告」,行政院農委會水土保持局第二工程所委託。
9. 工業技術研究院能源與資源研究所(1993),「梨山地區地層滑動調查與整治方案規劃-總報告」,行政院農委會水土保持局第二工程所委託。
10. 徐鐵良(1992),「地質與工程」,科技圖書,臺北。
11. 唐禎國(2007),「崩積層之的地形特徵與崩積層的行成-以梨山崩坍地為例」,國立交通大學,碩士論文。
12. 行政院農委會水土保持局第二工程所(2005),「梨山地滑東北區加強調查與規劃成果報告書」。

13. 劉岫雲(2004),「空間風險分析模式之建立與其在梨山崩塌地之應用」, 國立中興大學, 碩士論文。
14. 張其教(1984),「東西橫貫公路谷關梨山段公路邊坡災害性質之研究」, 國立交通大學, 碩士論文
15. 萬獻銘(1986),「中橫公路邊坡崩塌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。
16. 中華顧問工程司(1996),「八十五年度坡地災害整治計畫-梨山地區地層滑動基本設計與補充調查委託技術服務期末報告」, 行政院農委會水土保持局第二工程所委託。
17. 劉長齡(1991),「中橫公路岩坡地下水調查研究」, 行政院國家科學委員會防災科技研究報告 80-24 號。
18. 蘇苗彬(1990),「中橫公路邊坡穩定之調查與力學特定之試驗分析研究」, 行政院國家科學委員會防災科技研究報告 79-10 號。
19. 蔡光榮(1987),「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 75-36 號。
20. 黃玉麟(2006),「崩積地層的組成及形成機制-以梨山地區為例」, 國立交通大學, 碩士論文
21. 劉盛華(2007),「梨山崩積層內軟弱土層的力學行為」, 國立交通大學, 碩士論文。
22. 羅文驤(2007),「梨山崩積層中類併構岩(板岩夾黏土)之力學行為」, 國立交通大學, 碩士論文。
23. 陳信雄(1995),「崩塌地調查與分析」, 渤海堂文化事業有限公司, 臺北。
24. 方世傑(1990),「中橫公路崩積土坡地力學特性之初步研究」, 國立中興大學, 碩士論文。
25. 黃信璋(1991),「中橫公路沉泥質粘土層動態特性之初步研究之初步研

- 究」，國立中興大學，碩士論文。
26. 楊東賢(1990)，「風化作用對中橫公路板岩強度影響之研究」，國立中興大學，碩士論文。
 27. 劉武志(1995)，「取岩心鑽鑿技術」，地工技術雜誌，第 49 期，27-38 頁。
 28. 謝敬義(1990)，「技術講座專欄 6.地質鑽探」，地工技術雜誌，第 31 期，106-123 頁。
 29. 林忠義(1999)，「鑽探擾動性對軟岩力學性質之影響」，國立交通大學，碩士論文。
 30. 林智惠(2003)，「膠結不良砂岩在不同應力路徑下之力學行為」，國立交通大學，碩士論文。
 31. 柳政男(1998)，「軟岩多功能儀器研發與軟砂岩基本性質之探討」，國立交通大學，碩士論文
 32. 黃慧儀(1999)，「軟弱砂岩之三軸試驗」，國立交通大學，碩士論文
 33. Sparks, B.W.(1960), “Geomorphology”, 1960
 34. Chigira, M.(1992), “Long-term gravitational deformation of rocks by mass rock creep” , Eng. Geol., Vol.32, pp. 157-184 , 1992
 35. Medley, E.W.(2001), “Orderly Characterization of Chaotic Franciscan Melanges”, Eng. Geol., Felbau 19, pp.20-33, 2001
 36. Medley, E. W. (1994), “Using stereological method to estimate the volumetric proportions of blocks in mélanges and similar block in matrix rocks (bimrocks), “ 7th International IAEG Congress, Lisbon, Portugal, pp. 1031-1040.
 37. Holtz, W.G.(1961), “Triaxial Shear Characteristics of Clayey Gravel Soils”, Proceedings of the 5th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Paris, Vol.1,pp.143-149, 1961
 38. Marsal, R. J. (1967), “Large Scale Testing of Rockfill Materials”, Proceedings of ASCE, Journal of Soil Mechanics and Foundation Division,

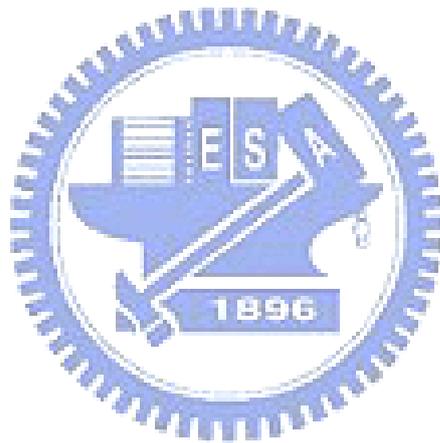
- Vol.93, pp.27-43.
39. Marsal, R. J., “Mechanical Properties of Rockfill and Gravel Materials”, Proceedings of the 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineerings, Mexico, Vol.3, pp.499-506.
40. Marachi, N.D. (1972), Chan, N.C. and Seed, H.B., “Evaluation of Properties of Rockfill Materials”, Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, pp. 95-113.
41. Montrassio, L. (1998), “Characterization of Complex Soil”, The Geotechnics of Hard Soils – Soft Rocks, pp. 702-714.
42. Vallejo, L.E. and Mawby, R. (2000), “Porosity Influence on the Shear Strength of Granular Material-Clay Mixtures”, Eng. Geol., Vol.58, pp.125-136.



附錄 A

B1 孔鑽探報表

B2 孔鑽探報表



地質鑽探柱狀圖

1之2頁

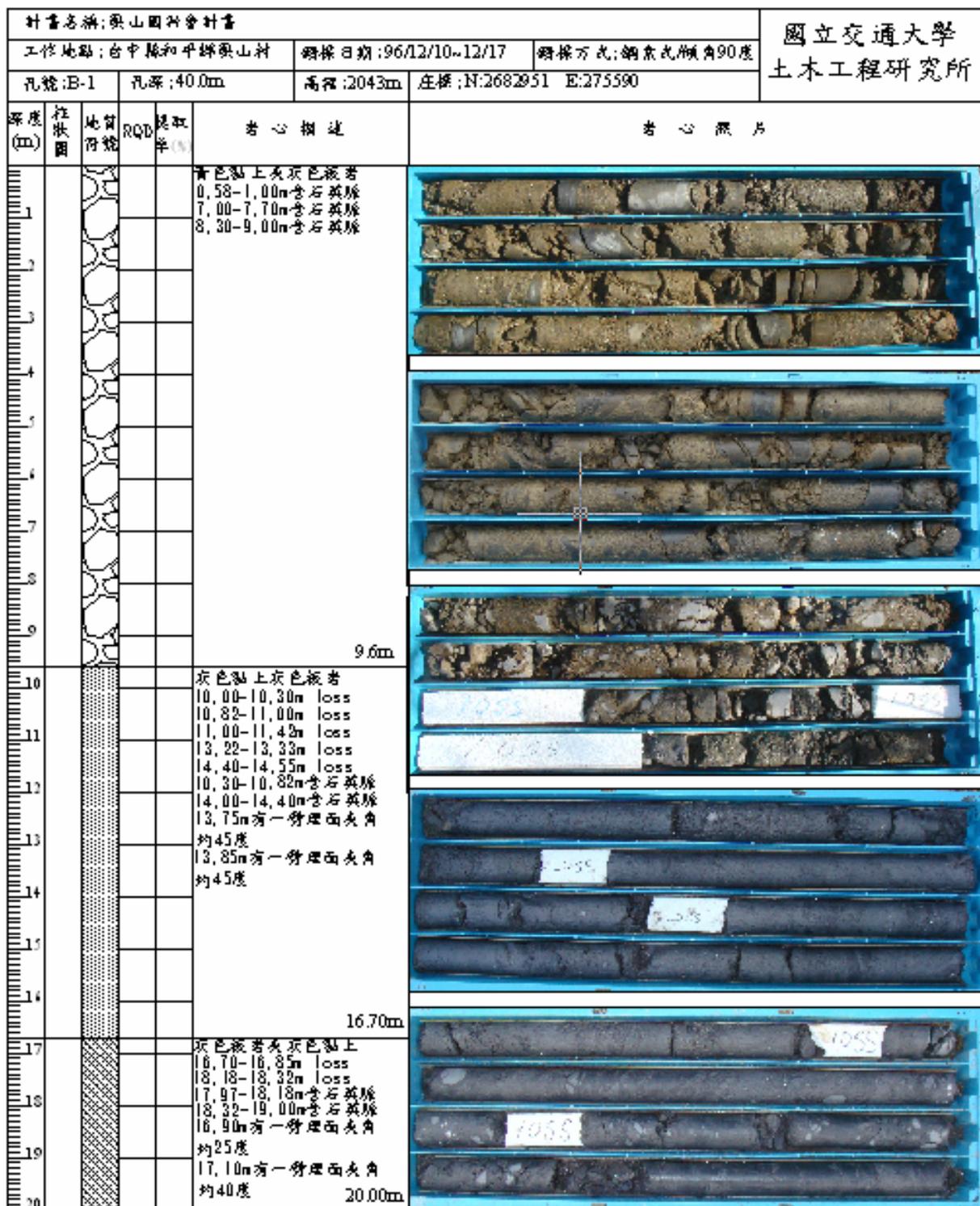


圖 A-1 B1 孔 0~20m 地質鑽探柱狀圖

地質鑽探柱狀圖

2 of 2

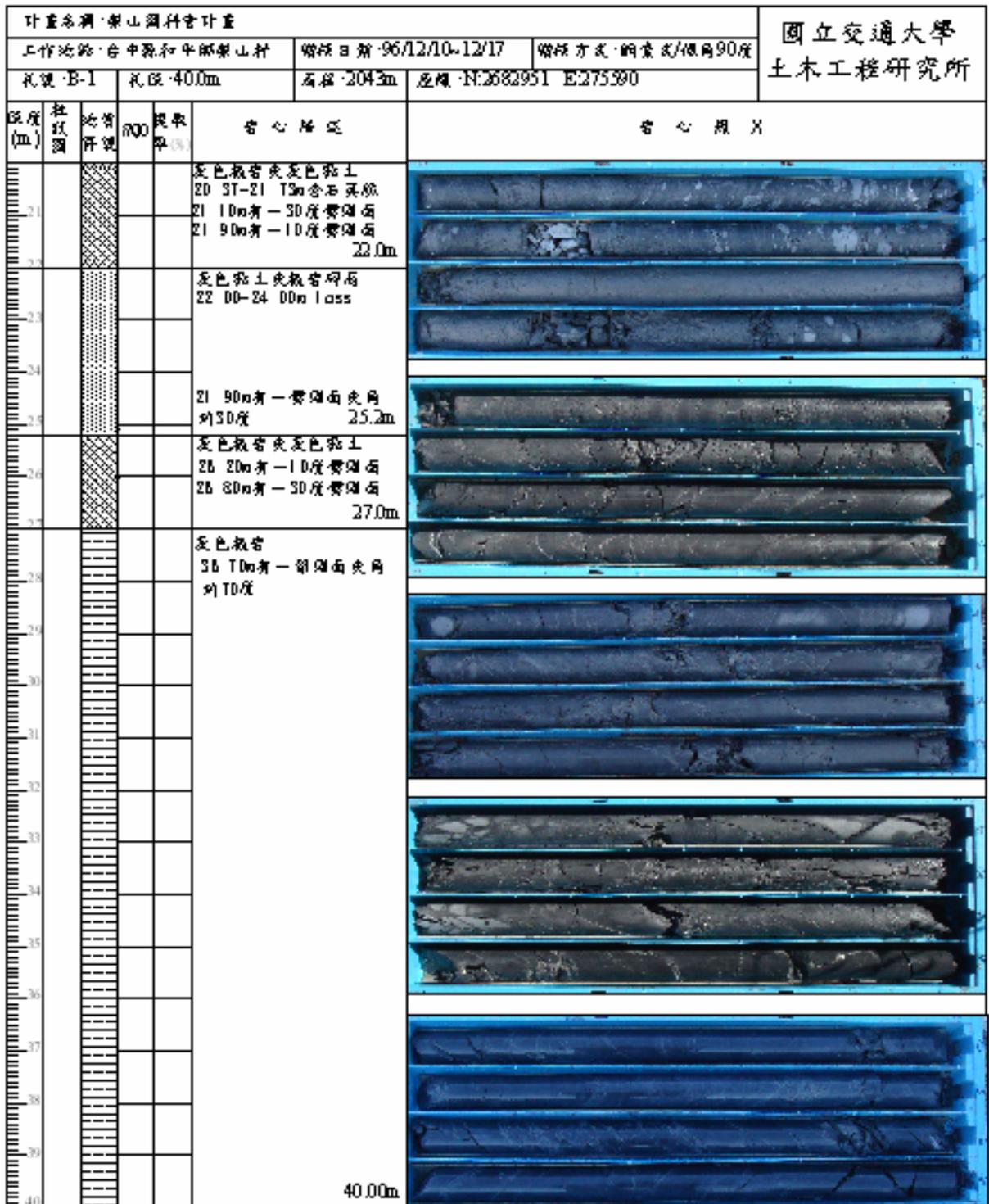


圖 A-2 B1 孔 20~40m 地質鑽探柱狀圖

地質鑽探柱狀圖

1 之 3 頁

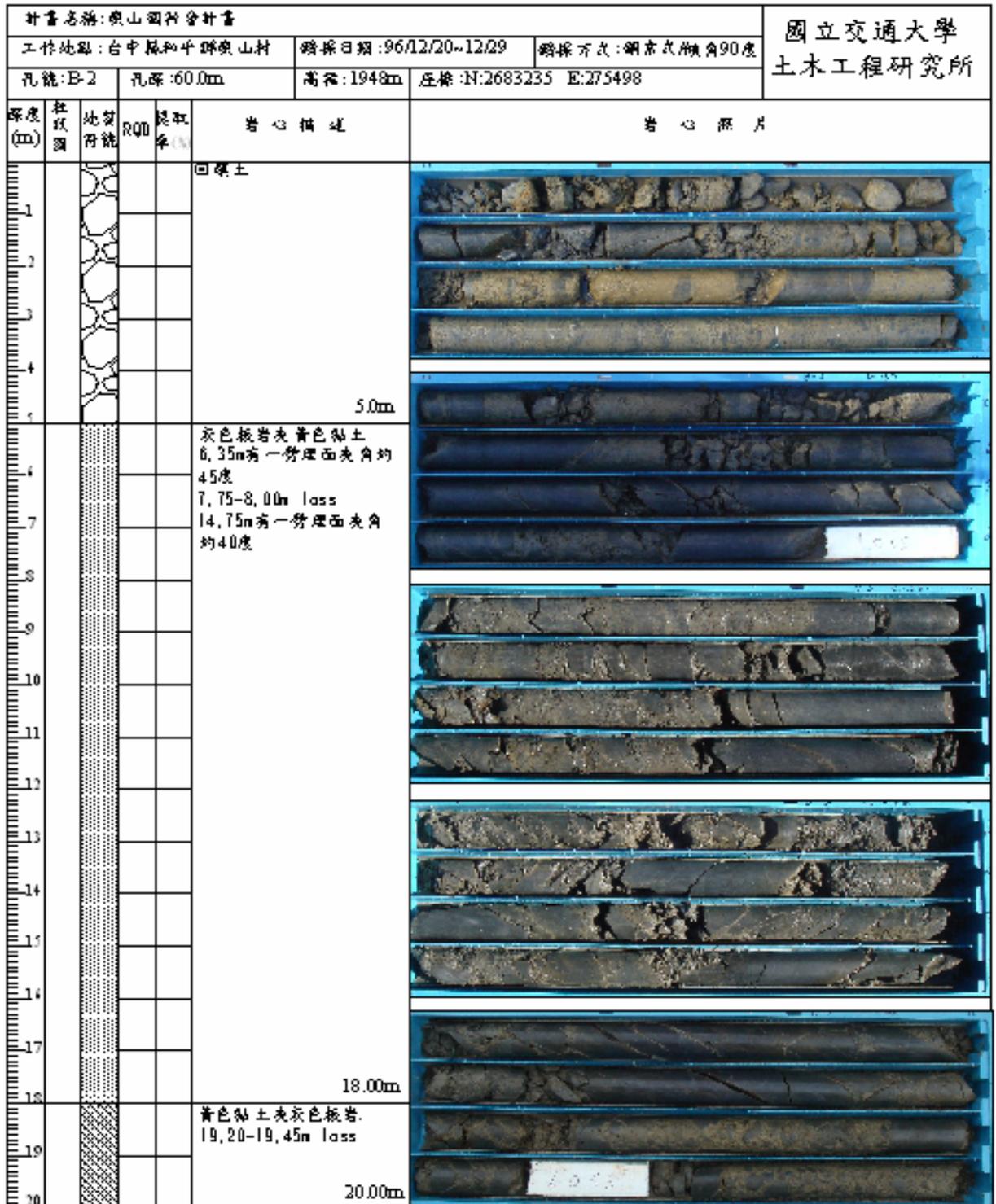


圖 A-3 B2 孔 0~20m 地質鑽探柱狀圖

地質鑽探柱狀圖

2之3頁

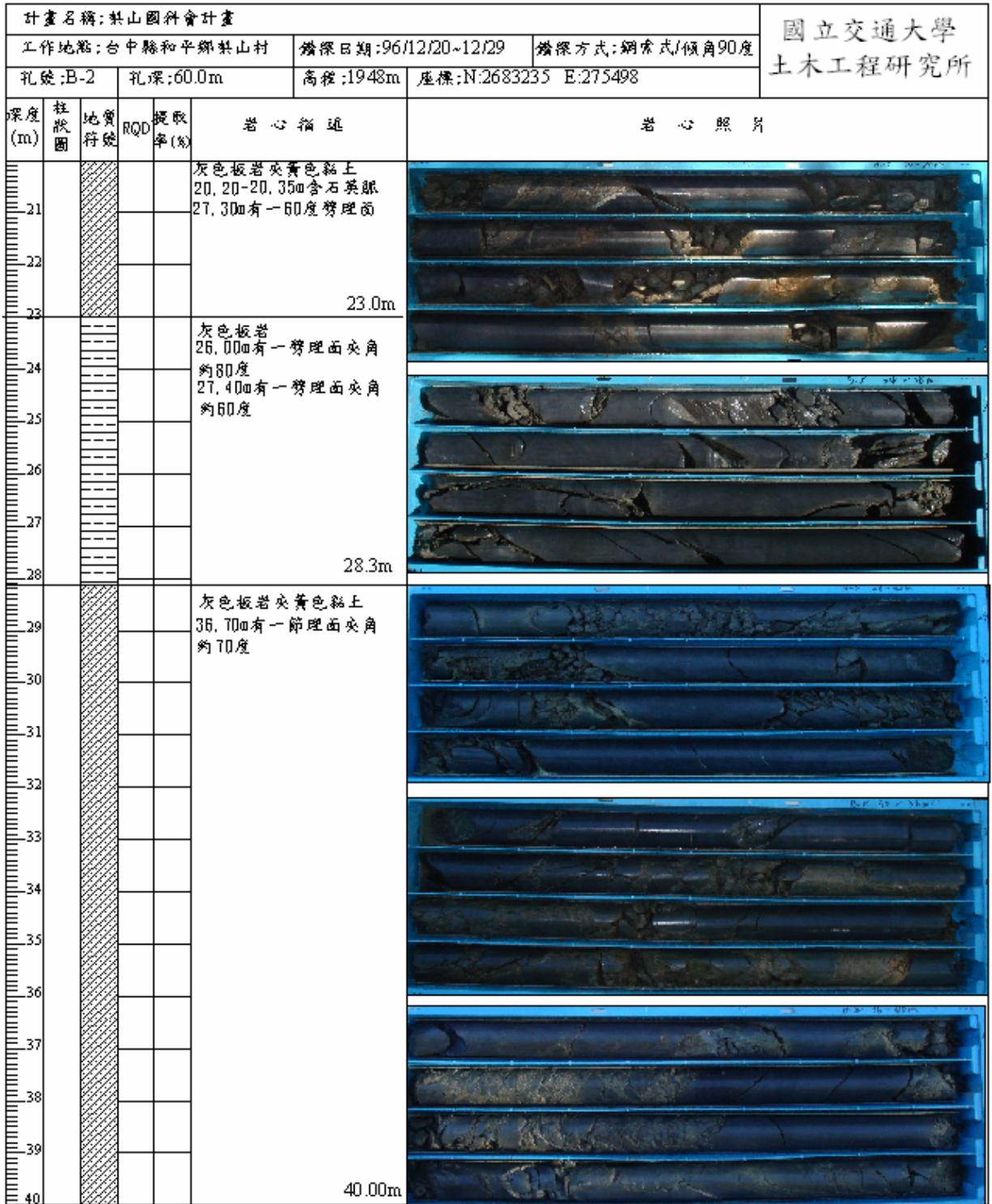


圖 A-4 B2 孔 20~40m 地質鑽探柱狀圖

地質鑽探柱狀圖

3元3頁

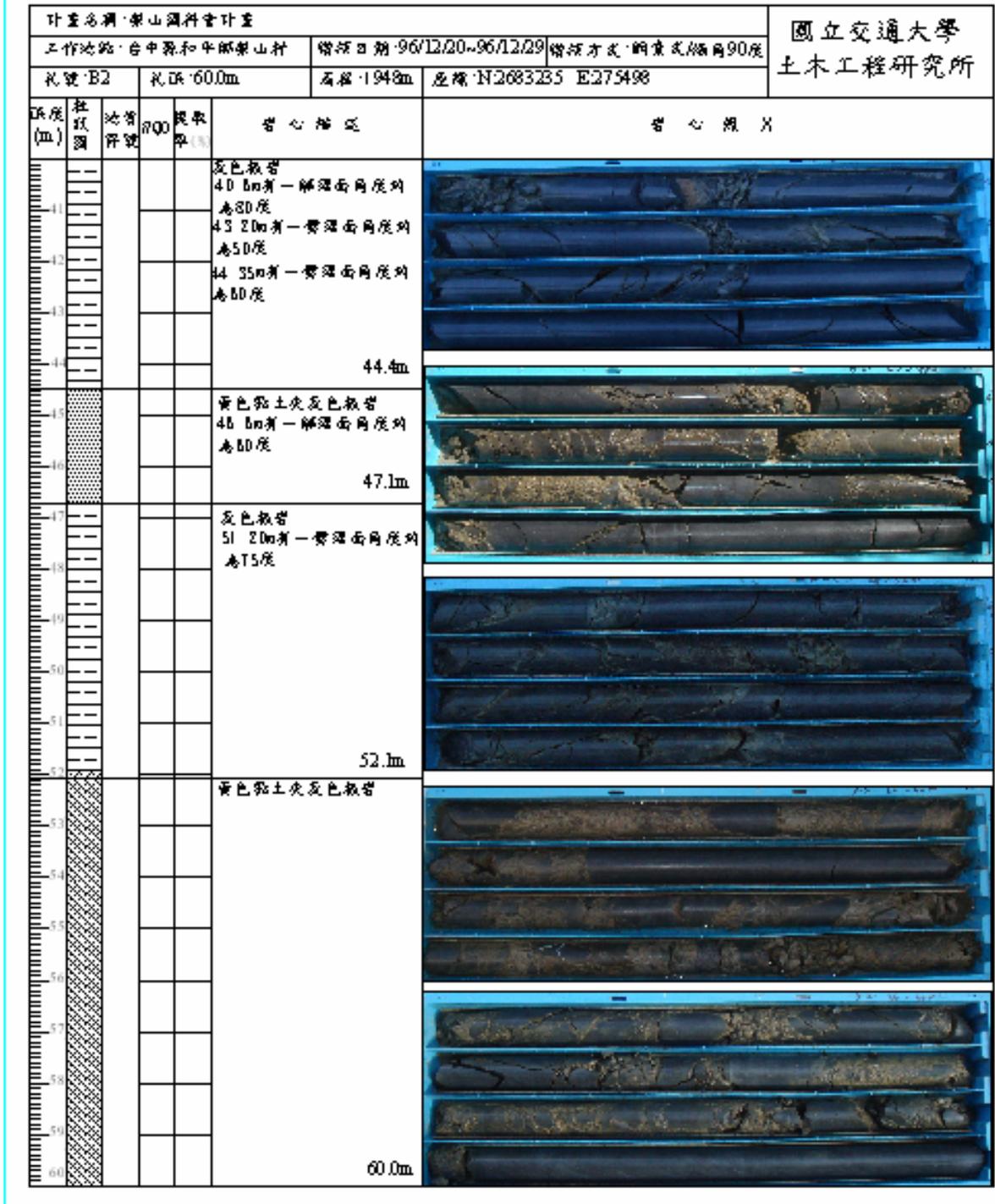
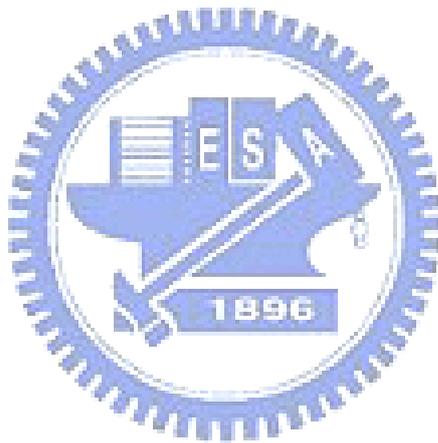


圖 A-5 B2 孔 40~60m 地質鑽探柱狀圖

附錄 B

三軸試驗結果



試驗編號：SG-B101	材料性質：灰色板岩夾灰色黏土	岩塊含量：68.23%
鑽孔編號：B1	試驗深度：18.80~19.00m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓
控制儀器：MTS 810	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：王智仁

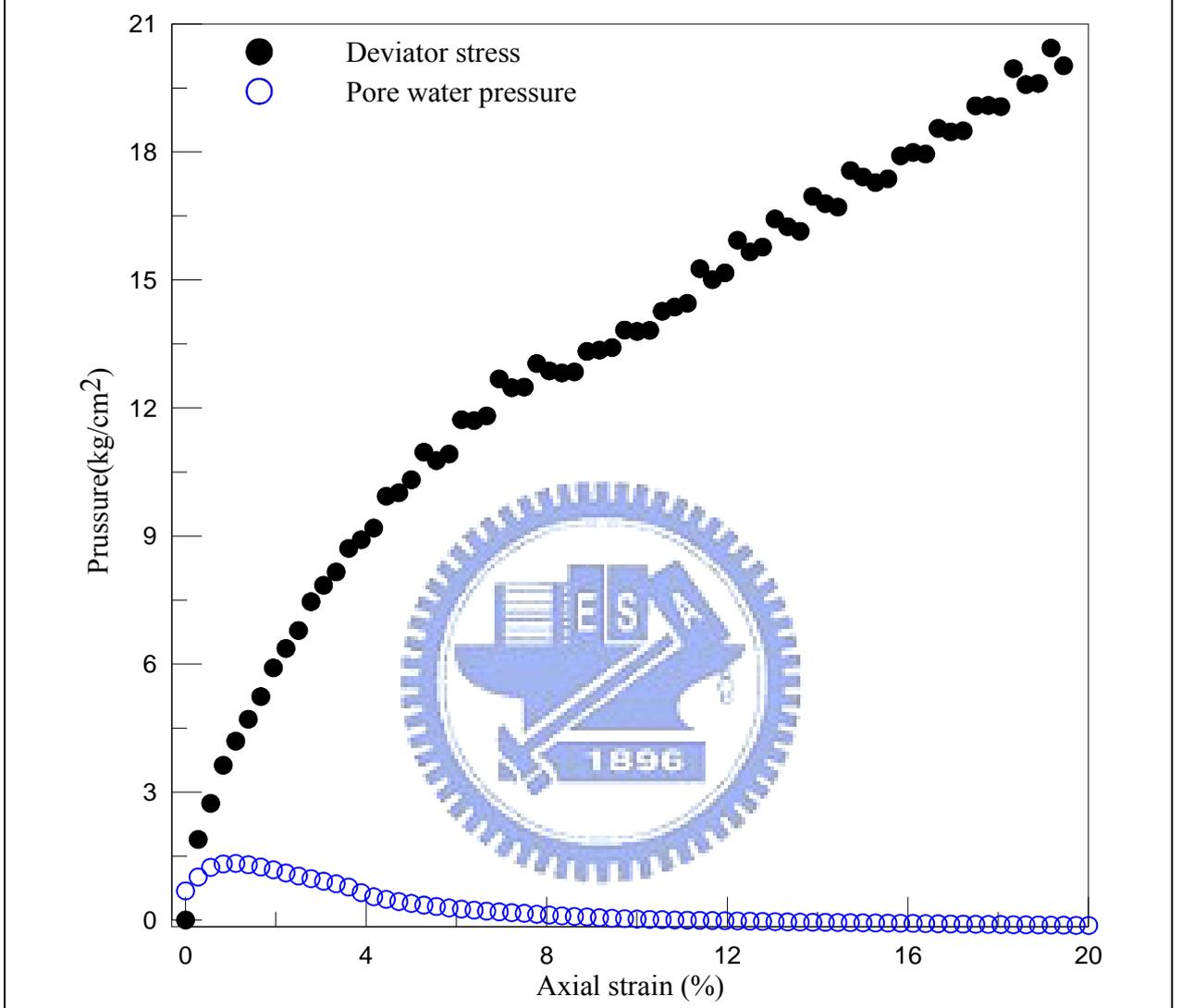


Figure No.	圖 B-1 SG-B101 應力應變及孔隙水壓變化曲線圖
------------	------------------------------

試驗編號：SG-B101	材料性質：灰色板岩夾灰色黏土	岩塊含量：68.23%
鑽孔編號：B1	試驗深度：18.80~19.00m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓
控制儀器：MTS 810	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：王智仁

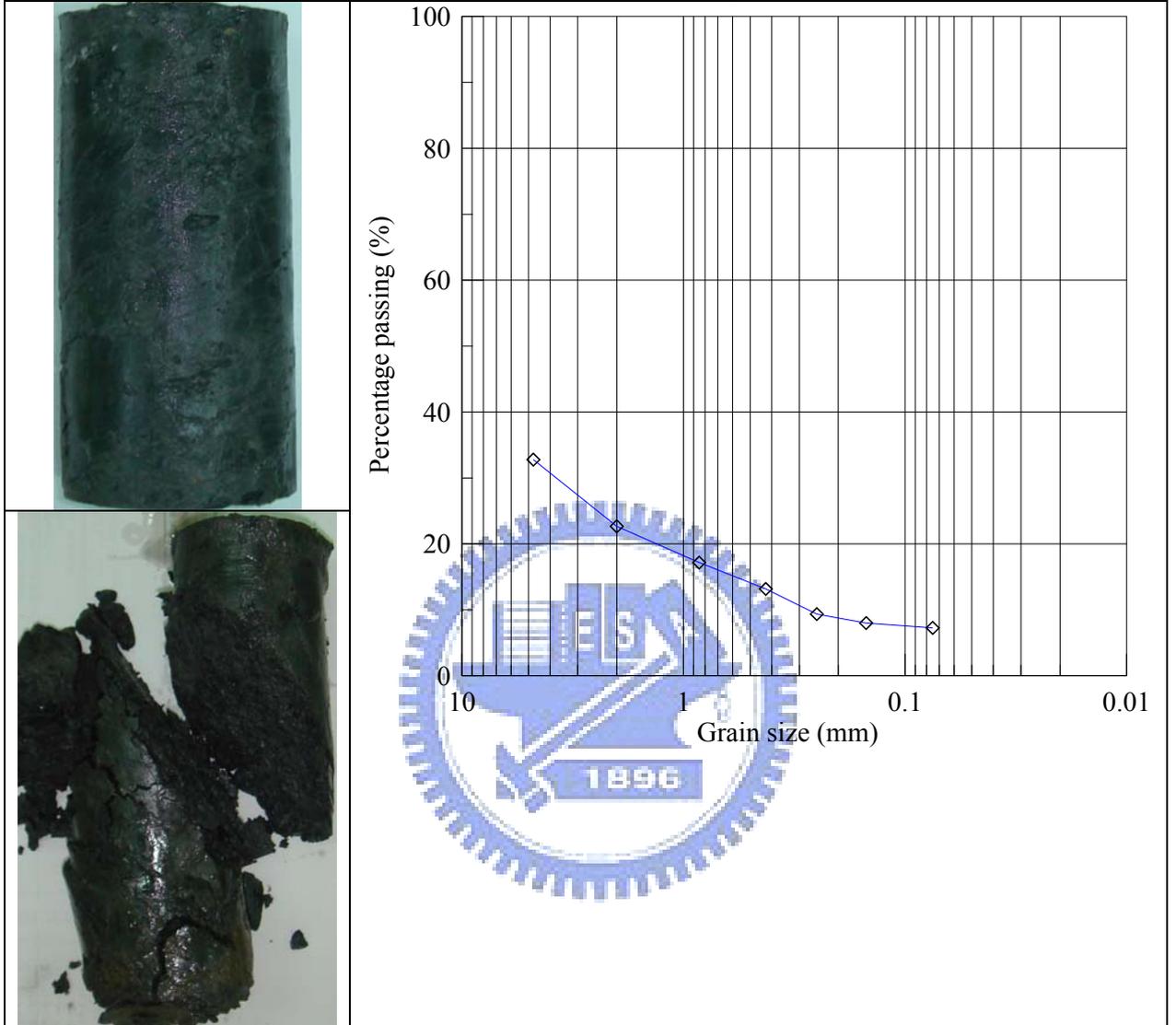


Figure No.

圖 B-2 SG-B101 試體照片與粒徑分布圖

試驗編號：SG-B102	材料性質：灰色板岩夾灰色黏土	岩塊含量：13.55%
鑽孔編號：B1	試驗深度：14.55~14.70m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓
控制儀器：MTS 810	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：王智仁

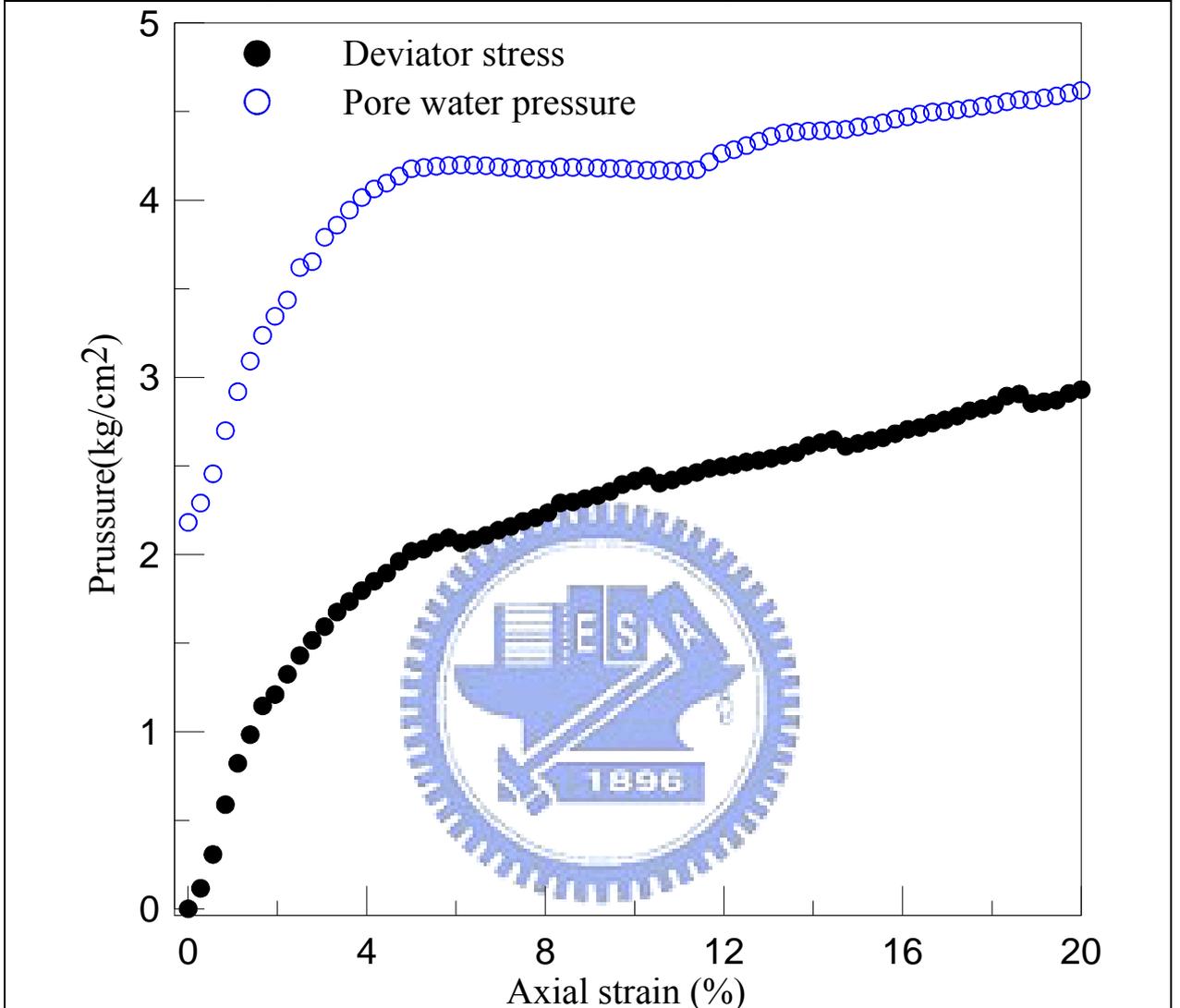


Figure No.	圖 B-3 SG-B102 應力應變及孔隙水壓變化曲線圖
------------	------------------------------

試驗編號：SG-B102	材料性質：灰色板岩夾灰色黏土	岩塊含量：13.55%
鑽孔編號：B1	試驗深度：14.55~14.70m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓
控制儀器：MTS 810	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：王智仁

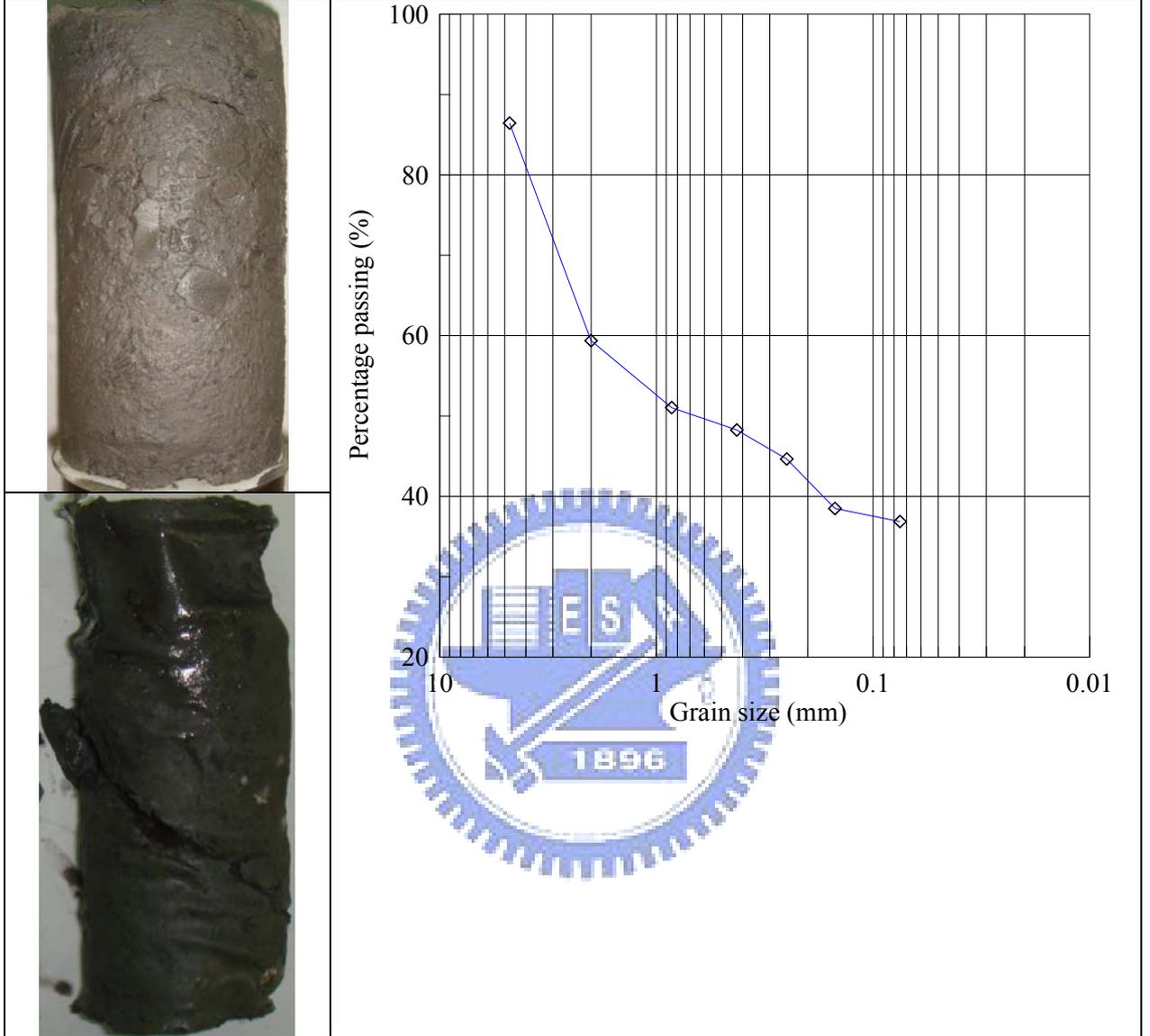


Figure No.

圖 B-4 SG-B102 試體照片與粒徑分布圖

試驗編號：SG-B103	材料性質：灰色板岩夾灰色黏土	岩塊含量：15.76%
鑽孔編號：B1	試驗深度：14.75-14.90m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓
控制儀器：MTS 810	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：王智仁

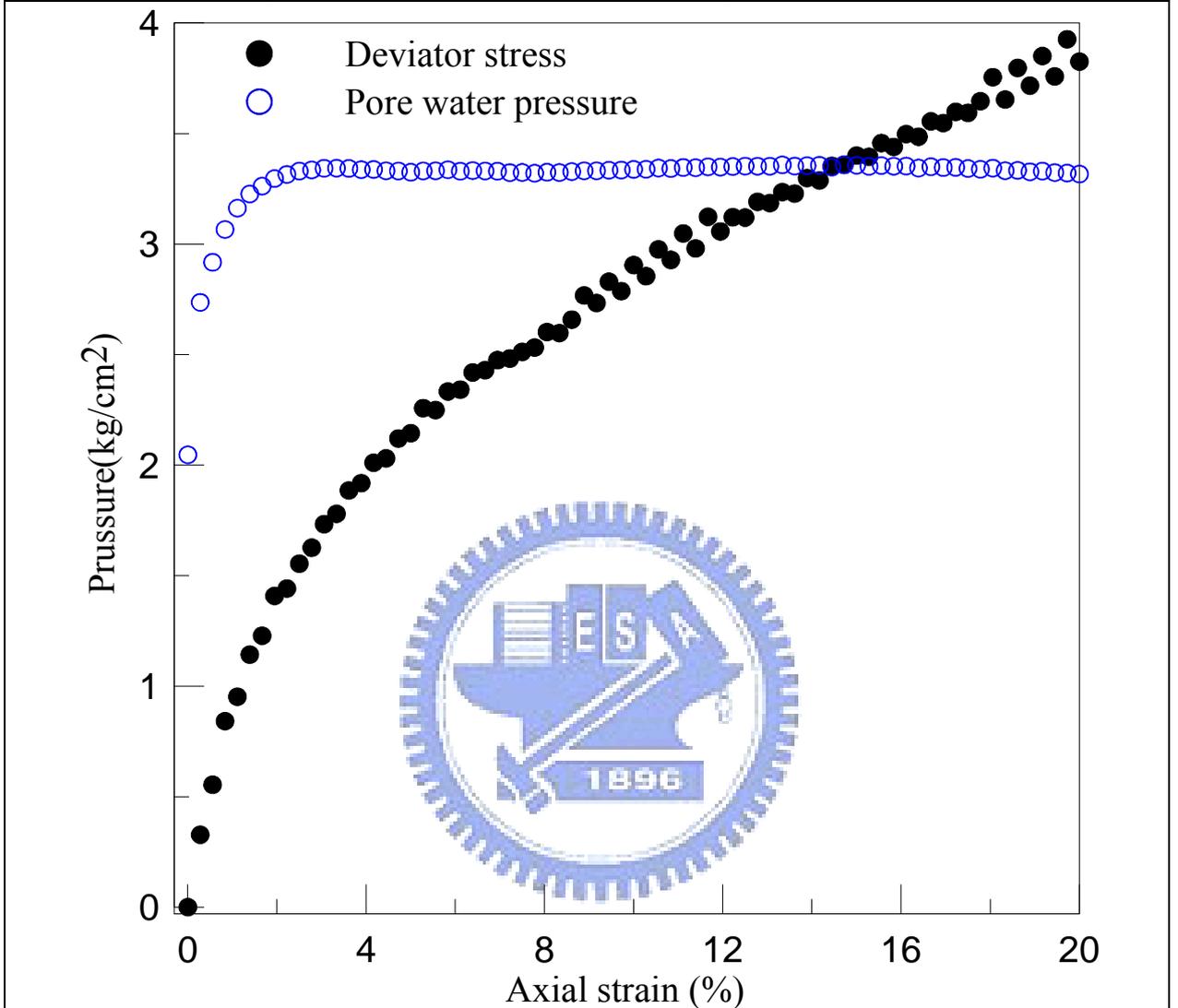


Figure No.

圖 B-5 SG-B103 應力應變及孔隙水壓變化曲線圖

試驗編號：SG-B103	材料性質：灰色板岩夾灰色黏土	岩塊含量：15.76%
鑽孔編號：B1	試驗深度：14.75-14.90m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓
控制儀器：MTS 810	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：王智仁

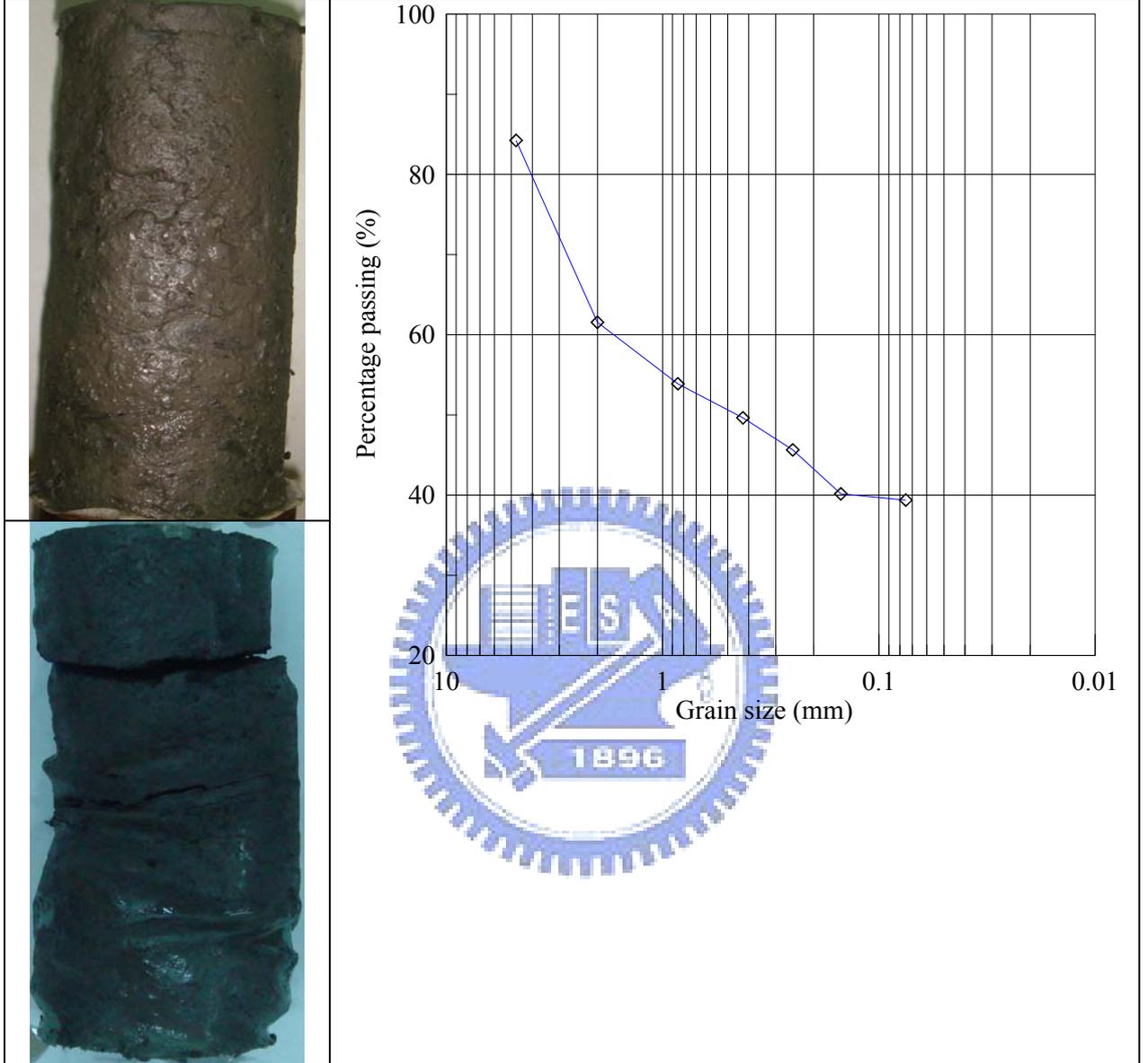


Figure No.

圖 B-6 SG-B103 試體照片與粒徑分布圖

試驗編號：SG-B104	材料性質：灰色板岩夾灰色黏土	岩塊含量：29.58%
鑽孔編號：B1	試驗深度：17.55~17.70m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓
控制儀器：MTS 810	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：王智仁

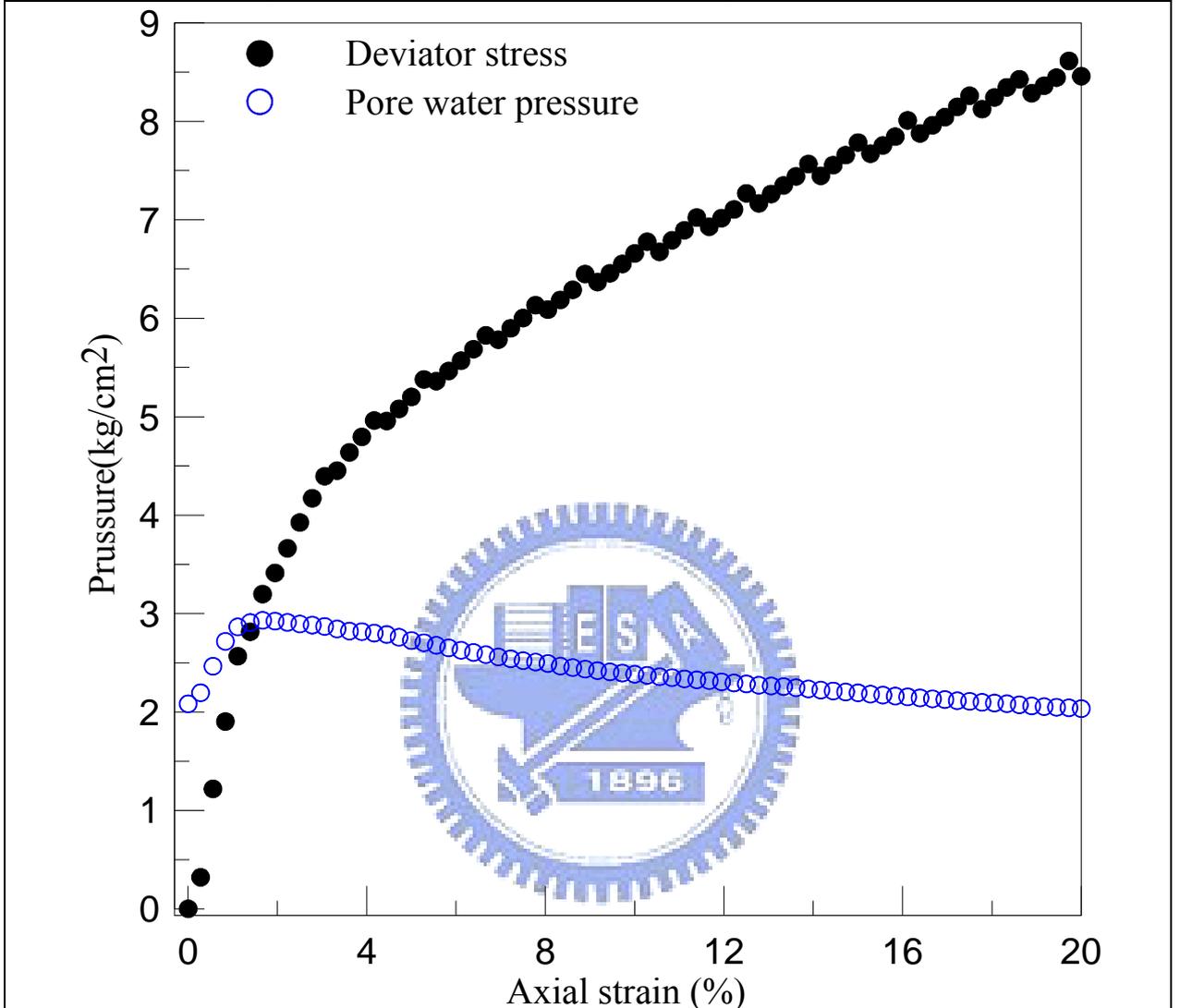


Figure No.

圖 B-7 SG-B104 應力應變及孔隙水壓變化曲線圖

試驗編號：SG-B104	材料性質：灰色板岩夾灰色黏土	岩塊含量：29.58%
鑽孔編號：B1	試驗深度：17.55~17.70m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓
控制儀器：MTS 810	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：王智仁

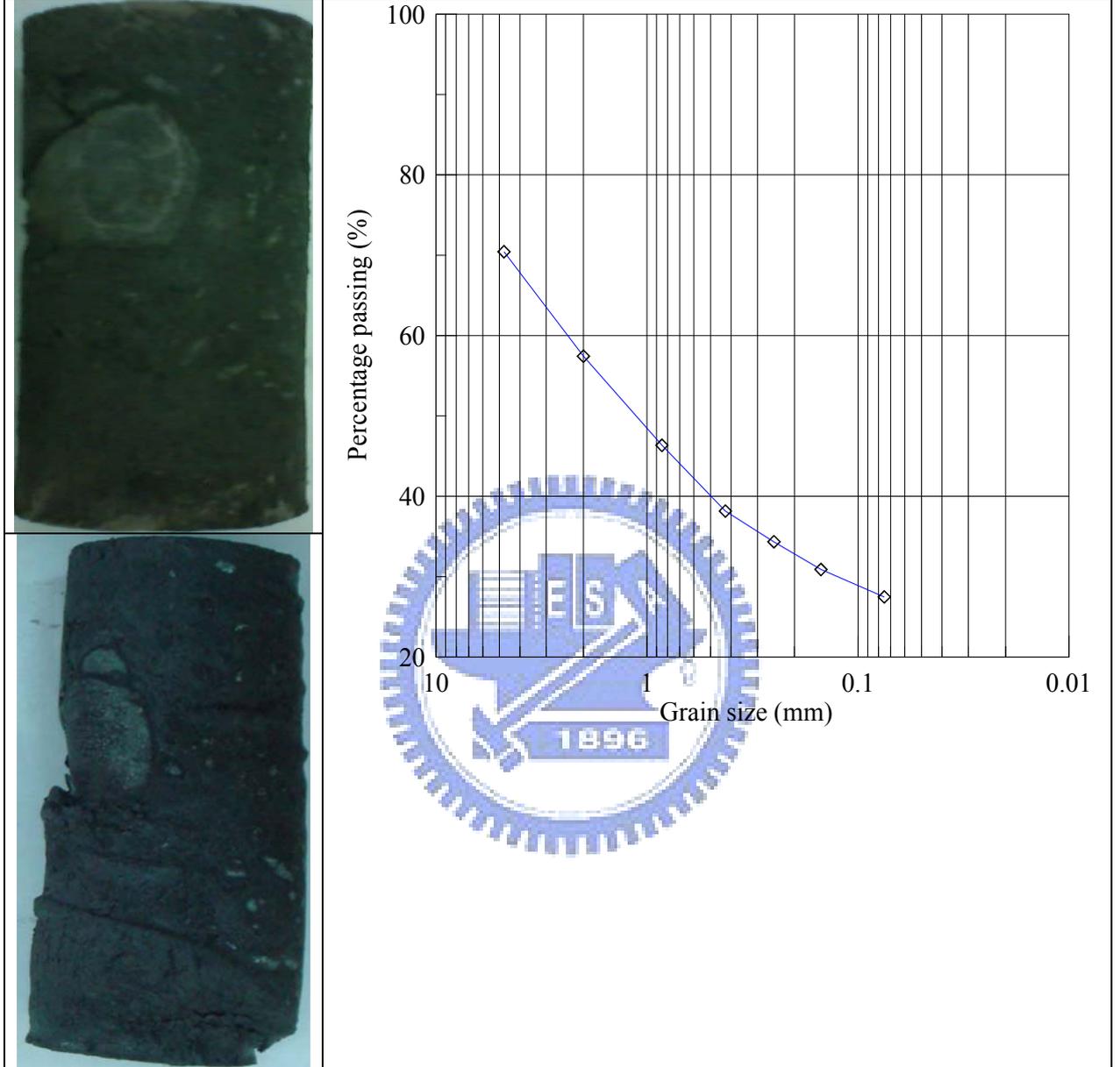


Figure No.

圖 B-8 SG-B104 試體照片與粒徑分布圖

試驗編號：SG-B105	材料性質：灰色板岩夾灰色黏土	岩塊含量：77.12%
鑽孔編號：B1	試驗深度：19.65~19.80m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓
控制儀器：MTS 810	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：王智仁

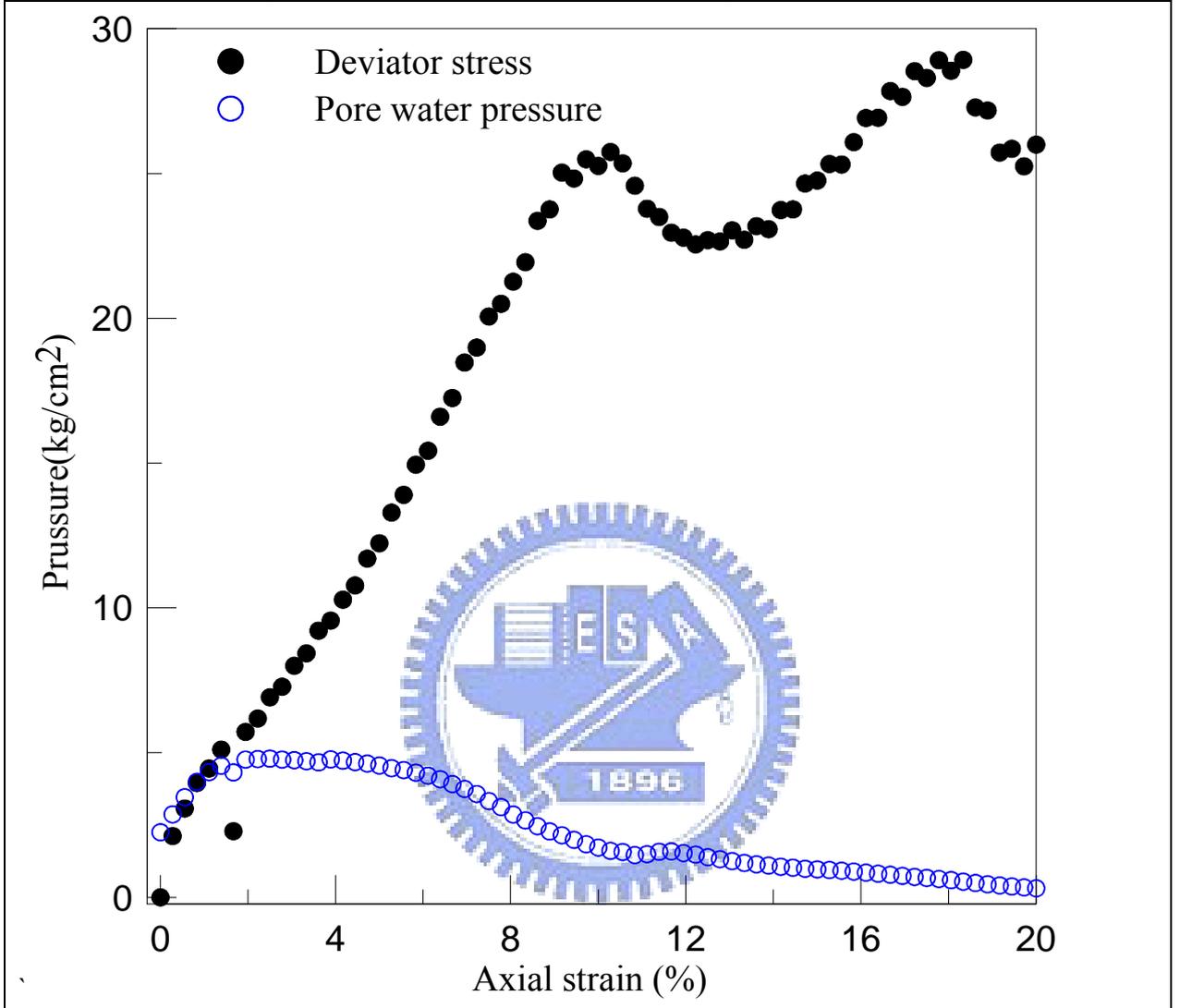


Figure No.	圖 B-9 SG-B105 應力應變及孔隙水壓變化曲線圖
------------	------------------------------

試驗編號：SG-B101	材料性質：灰色板岩夾灰色黏土	岩塊含量：77.12%
鑽孔編號：B1	試驗深度：19.65~19.80m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓
控制儀器：MTS 810	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：王智仁

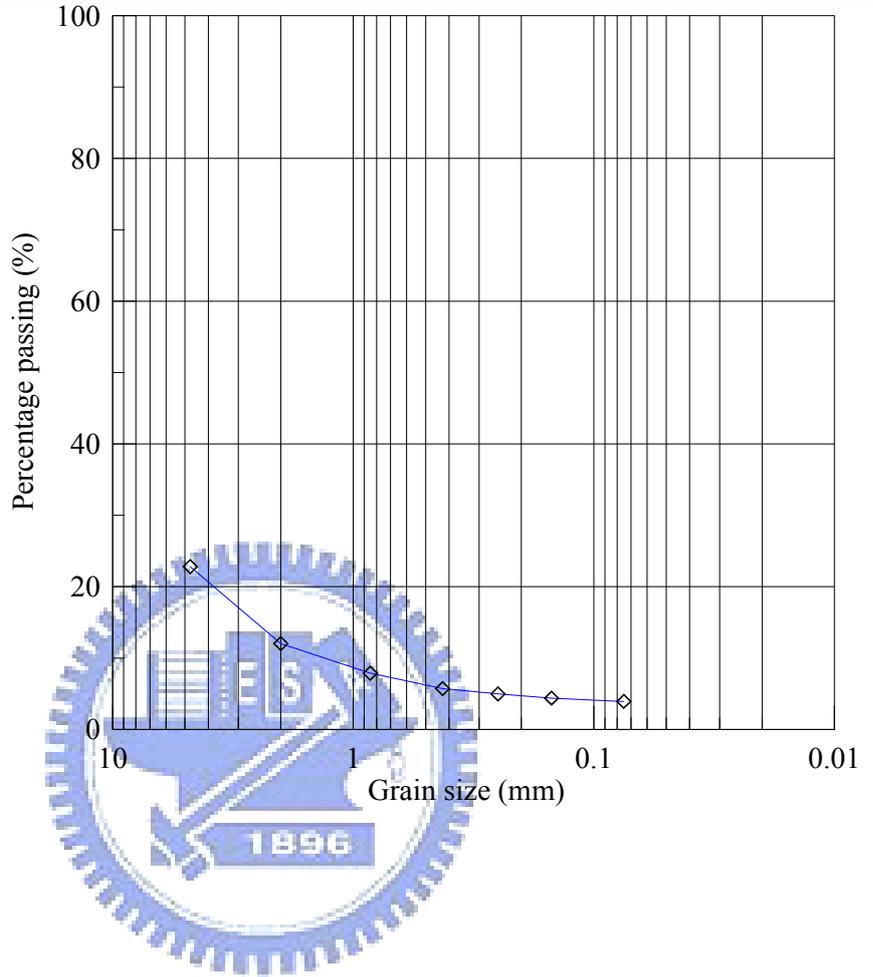


Figure No.

圖 B-10 SG-B105 試體照片與粒徑分布圖

試驗編號：C-B101	材料性質：灰色黏土夾板岩碎屑	岩塊含量：4.536%
鑽孔編號：B1	試驗深度：13.10-13.25m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓
控制儀器：土壤三軸	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：王智仁

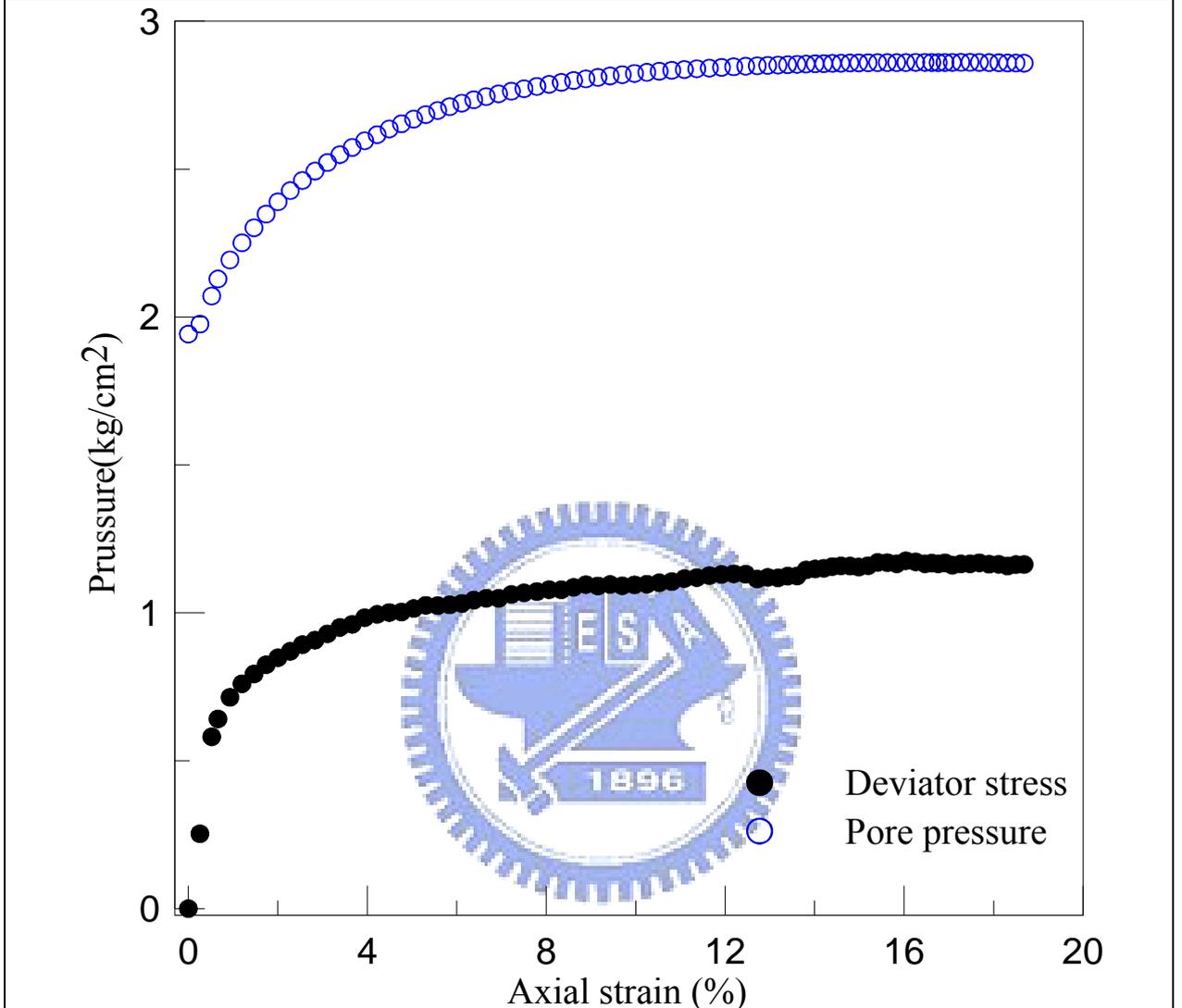


Figure No.	圖 B-11 C-B101 應力應變及孔隙水壓變化曲線圖
------------	------------------------------

試驗編號：C-B101	材料性質：灰色黏土夾板岩碎屑	岩塊含量：4.536%
鑽孔編號：B1	試驗深度：13.10-13.25m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓
控制儀器：土壤三軸	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：王智仁

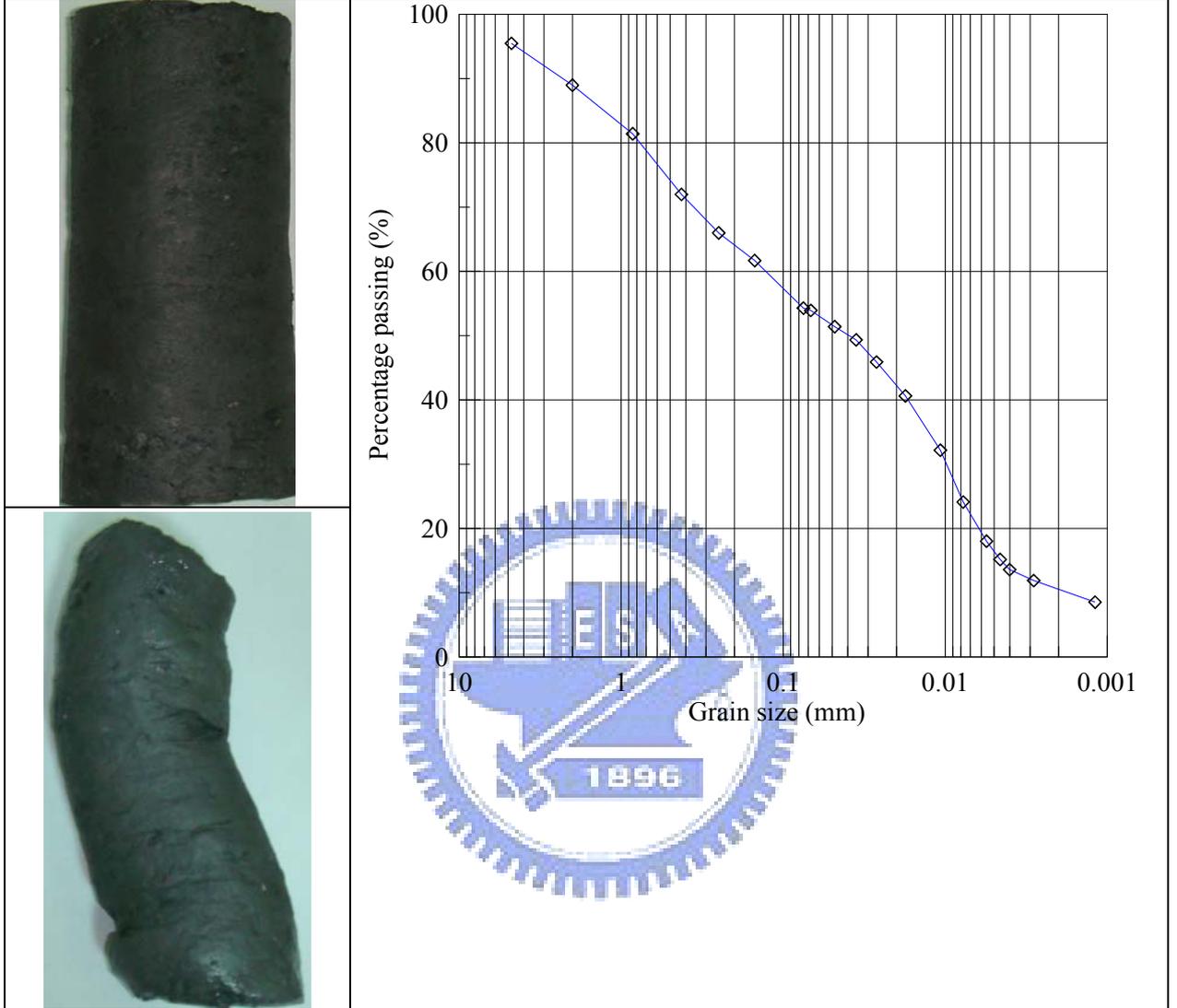


Figure No.

圖 B-12 C-B101 試體照片與粒徑分布圖

試驗編號：C-B102	材料性質：灰色黏土夾板岩碎屑	岩塊含量：3.114%
鑽孔編號：B1	試驗深度：13.40-13.55m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓
控制儀器：土壤三軸	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：王智仁

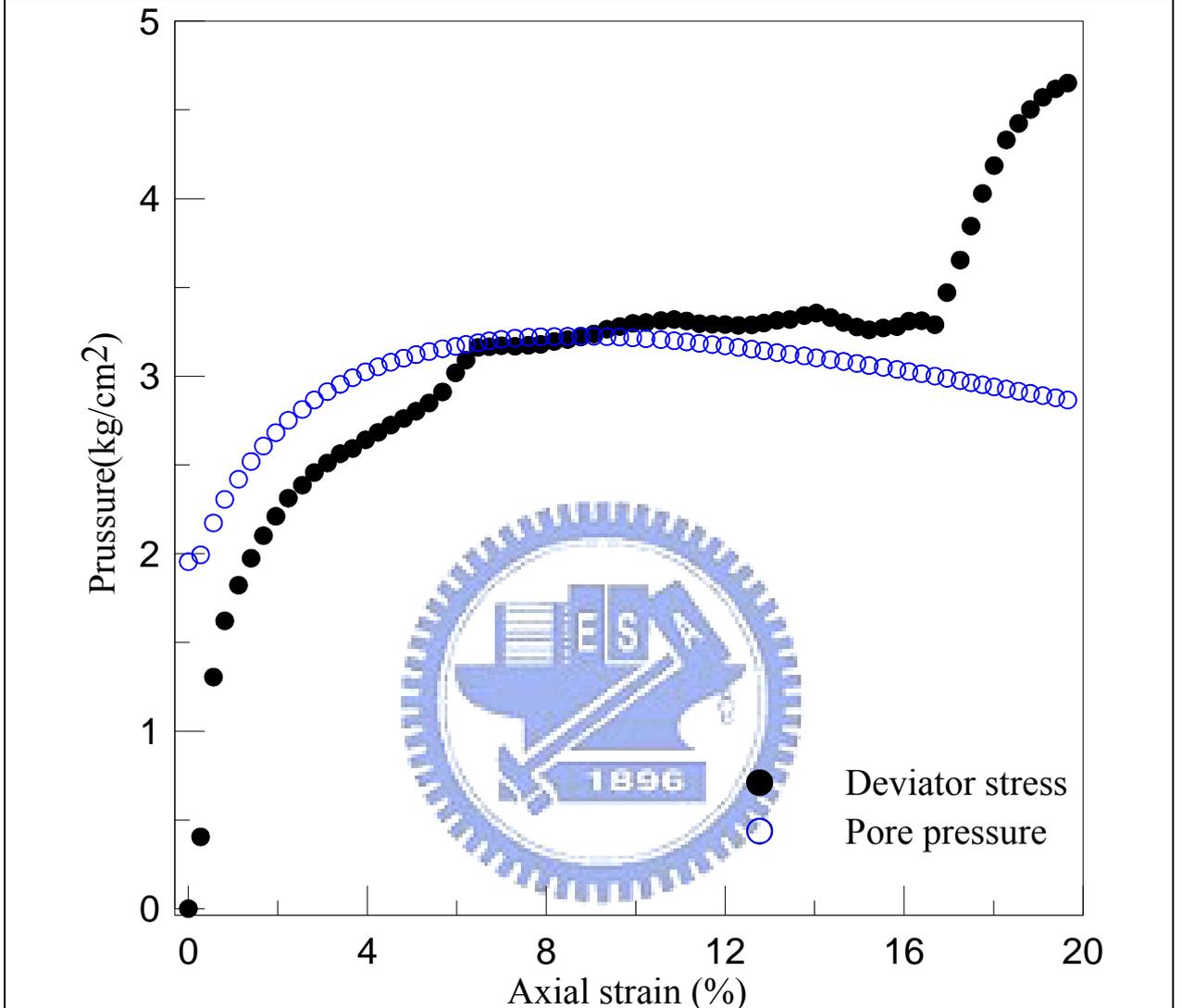


Figure No.	圖 B-13 C-B102 應力應變及孔隙水壓變化曲線圖
------------	------------------------------

試驗編號：C-B102	材料性質：灰色黏土夾板岩碎屑	岩塊含量：3.114%
鑽孔編號：B1	試驗深度：13.40-13.55m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓
控制儀器：土壤三軸	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：王智仁

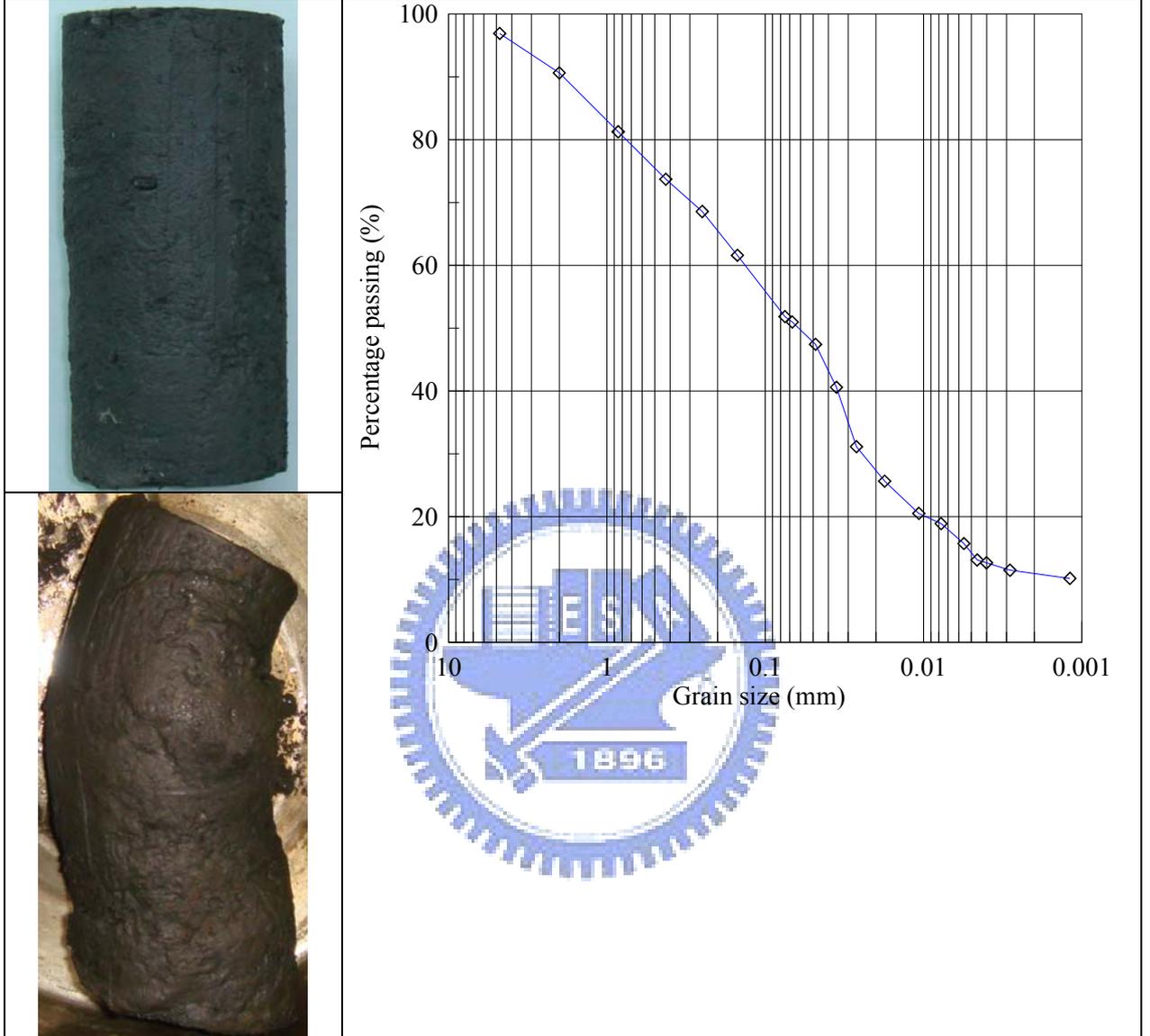


Figure No.

圖 B-14 C-B102 試體照片與粒徑分布圖

試驗編號：C-B103	材料性質：灰色黏土夾板岩碎屑	岩塊含量：0.862%
鑽孔編號：B1	試驗深度：13.55-13.70m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓
控制儀器：土壤三軸	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：王智仁

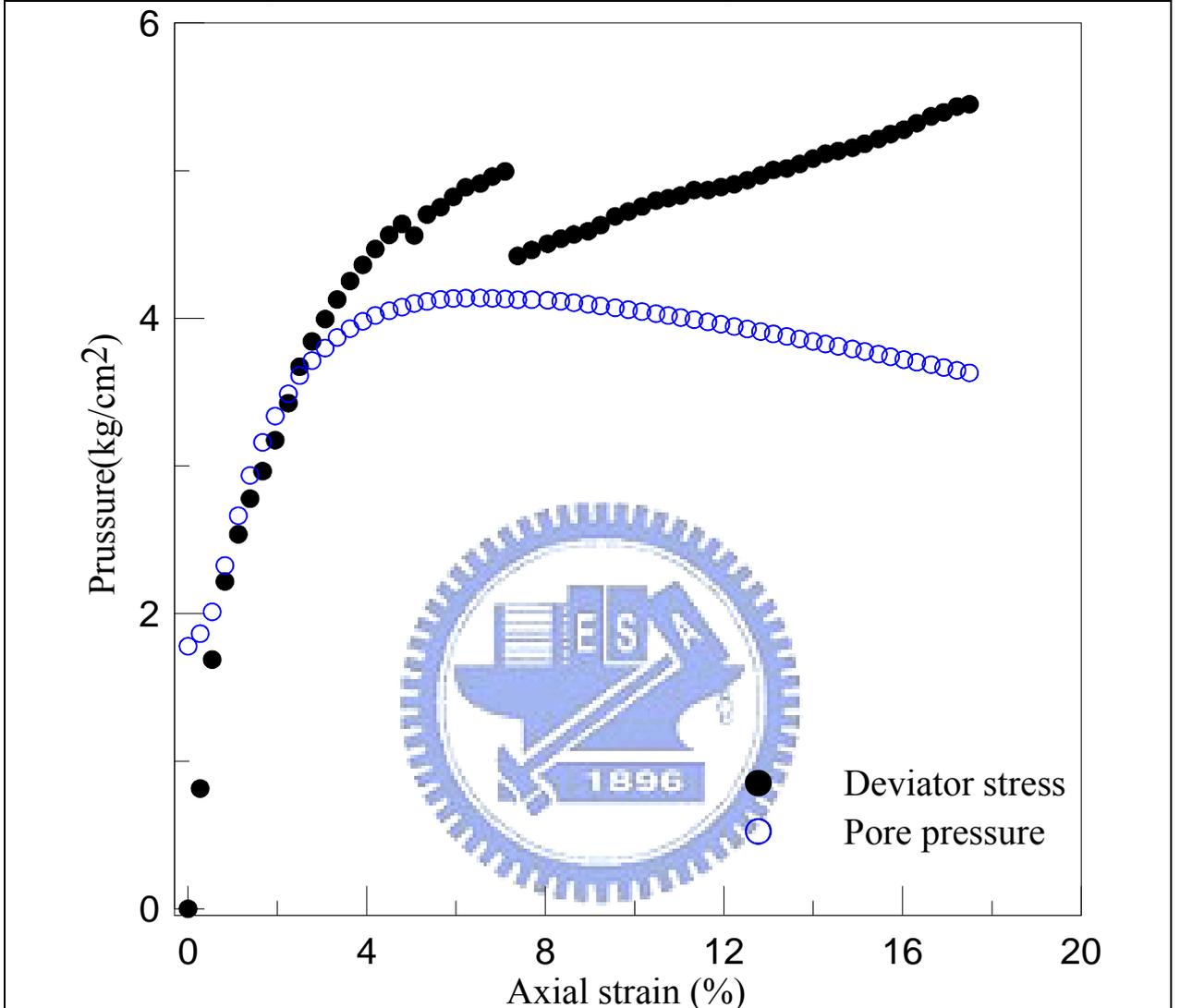


Figure No.	圖 B-15 C-B103 應力應變及孔隙水壓變化曲線圖
------------	------------------------------

試驗編號：C-B103	材料性質：灰色黏土夾板岩碎屑	岩塊含量：0.862%
鑽孔編號：B1	試驗深度：13.55-13.70m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓
控制儀器：土壤三軸	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：王智仁



Figure No.

圖 B-16 C-B103 試體照片與粒徑分布圖

試驗編號：C-B104	材料性質：灰色黏土夾板岩碎屑	岩塊含量：0.064%
鑽孔編號：B1	試驗深度：13.70-13.85m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓
控制儀器：土壤三軸	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：王智仁

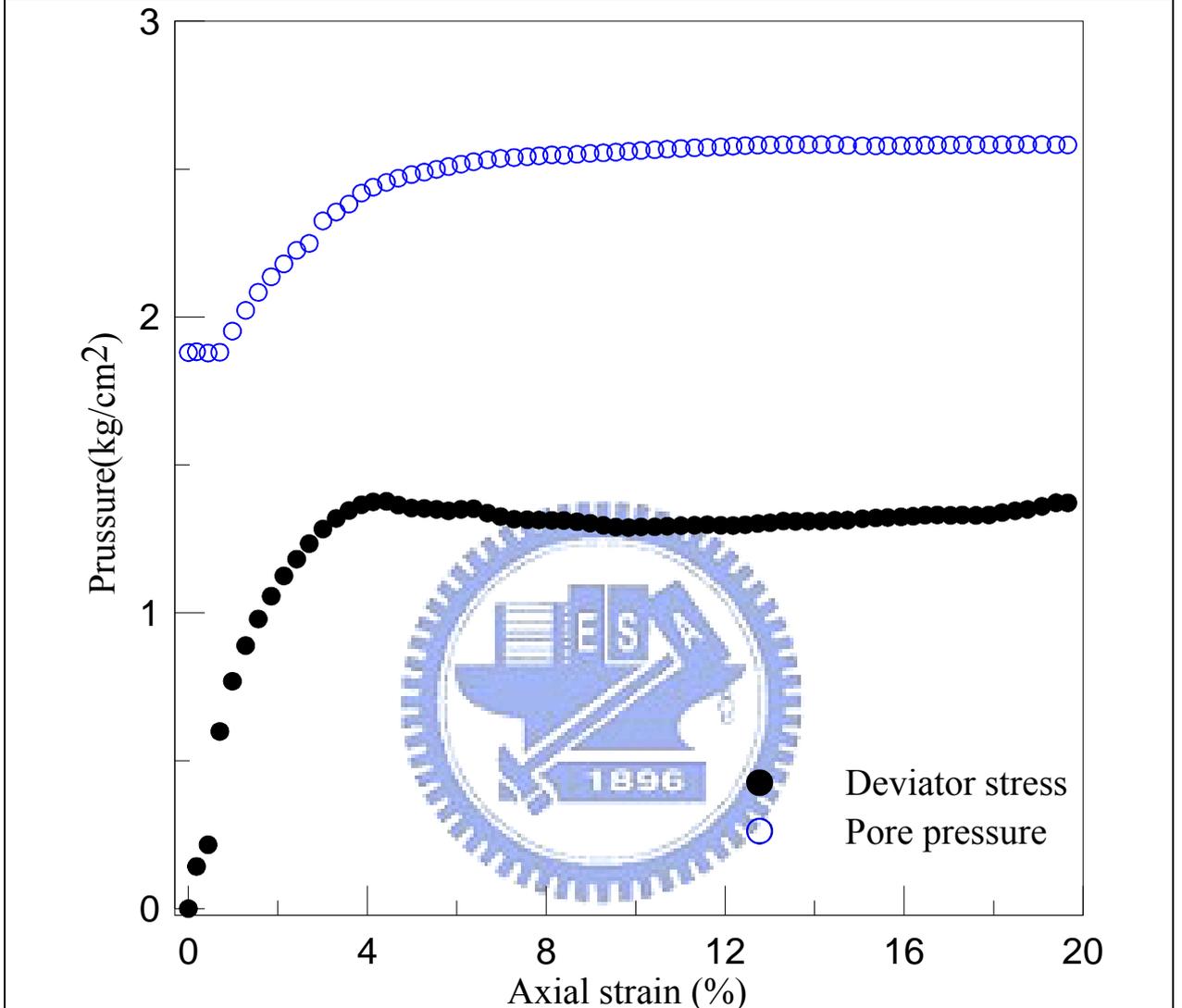


Figure No.	圖 B-17 C-B104 應力應變及孔隙水壓變化曲線圖
------------	------------------------------

試驗編號：C-B104	材料性質：灰色黏土夾板岩碎屑	岩塊含量：0.064%
鑽孔編號：B1	試驗深度：13.70-13.85m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓
控制儀器：土壤三軸	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：王智仁

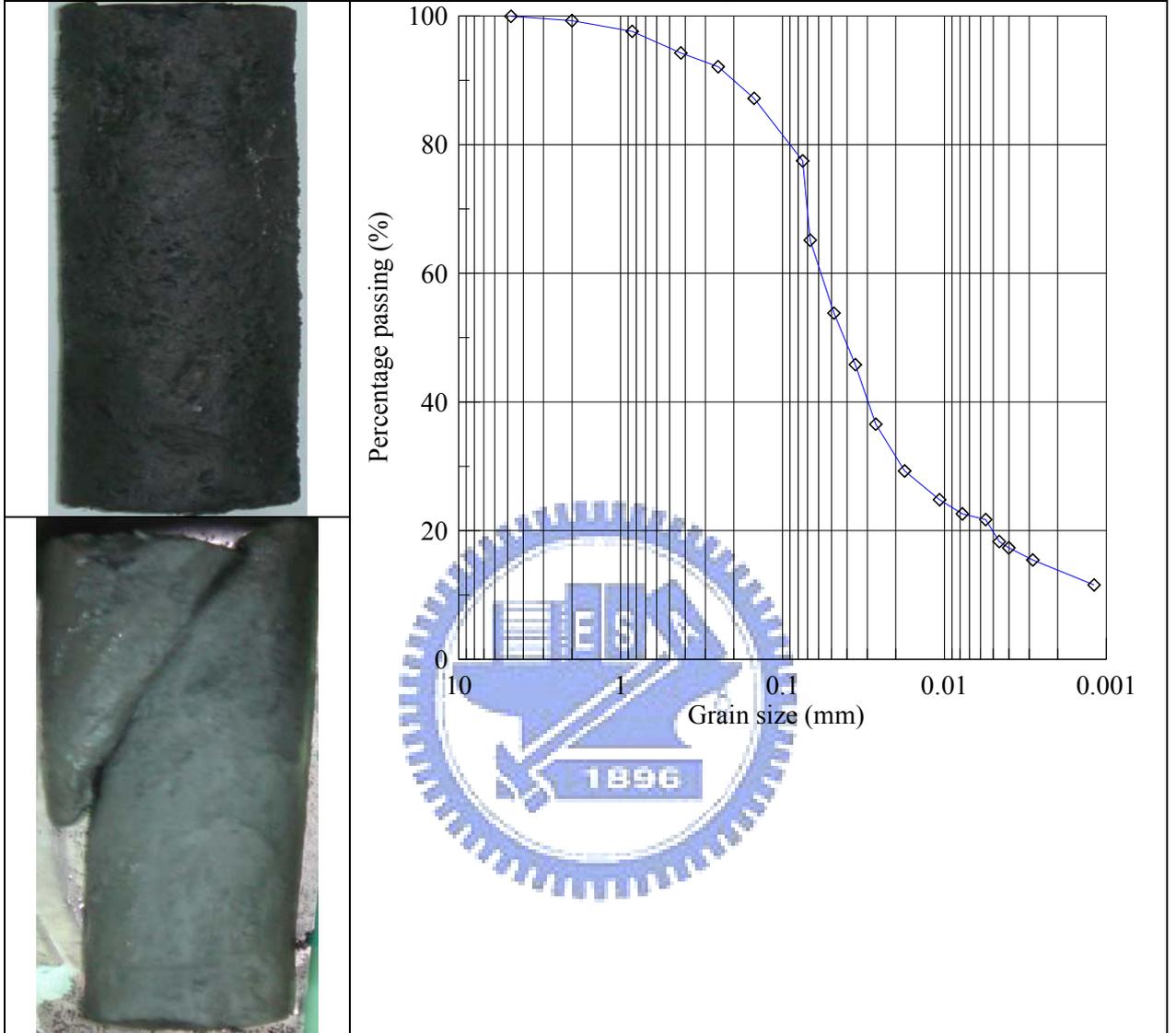


Figure No.

圖 B-18 C-B104 試體照片與粒徑分布圖

試驗編號：C-B105	材料性質：灰色黏土夾板岩碎屑	岩塊含量：1.424%
鑽孔編號：B1	試驗深度：13.85-14.00m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓
控制儀器：土壤三軸	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：王智仁

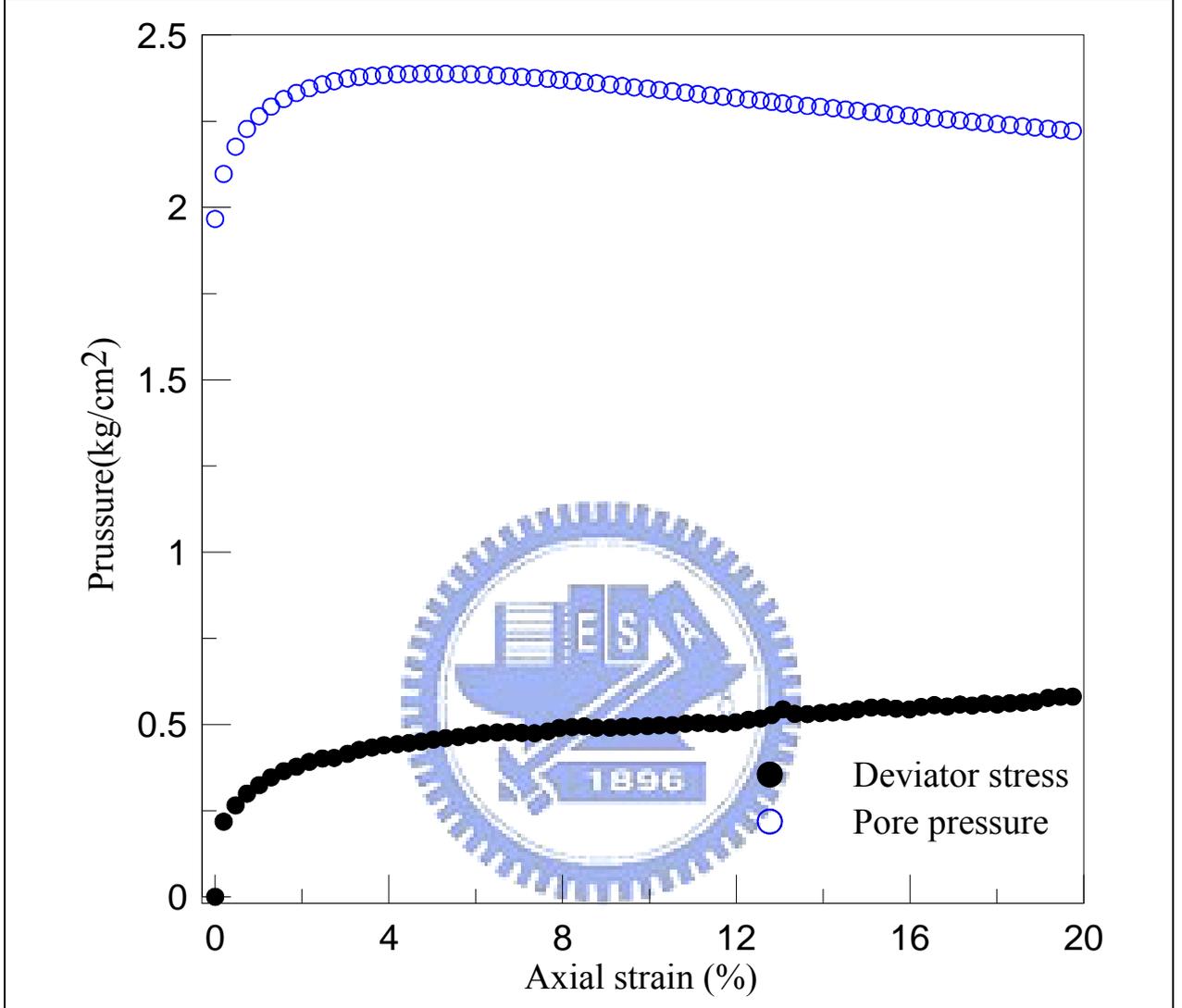


Figure No.	圖 B-19 C-B105 應力應變及孔隙水壓變化曲線圖
------------	------------------------------

試驗編號：C-B105	材料性質：灰色黏土夾板岩碎屑	岩塊含量：1.424%
鑽孔編號：B1	試驗深度：13.85-14.00m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓
控制儀器：土壤三軸	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：王智仁

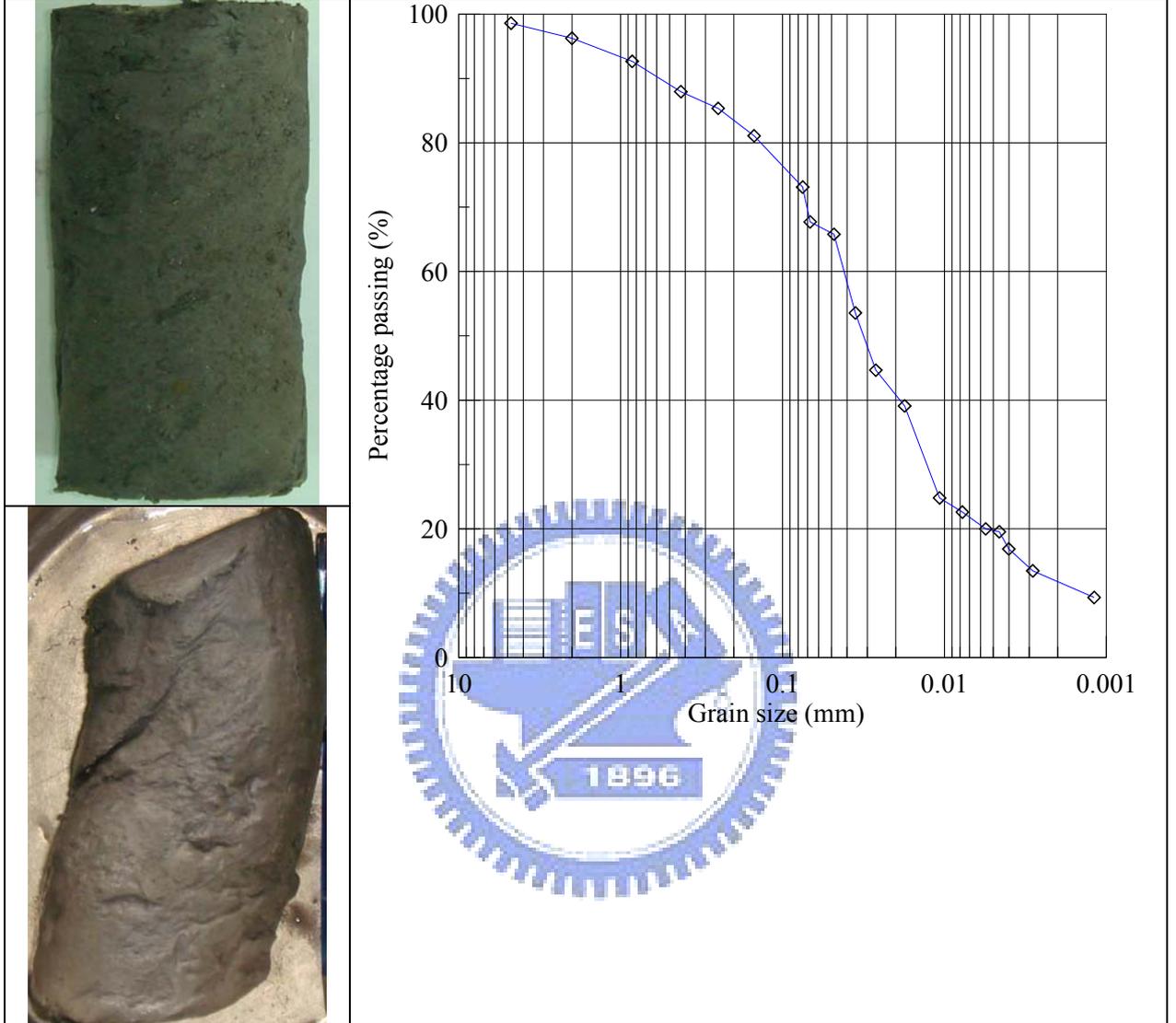


Figure No.

圖 B-20 C-B105 試體照片與粒徑分布圖

試驗編號：C-B106	材料性質：灰色黏土夾板岩碎屑	岩塊含量：9.541%
鑽孔編號：B1	試驗深度：15.00-15.20m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓
控制儀器：土壤三軸	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：王智仁

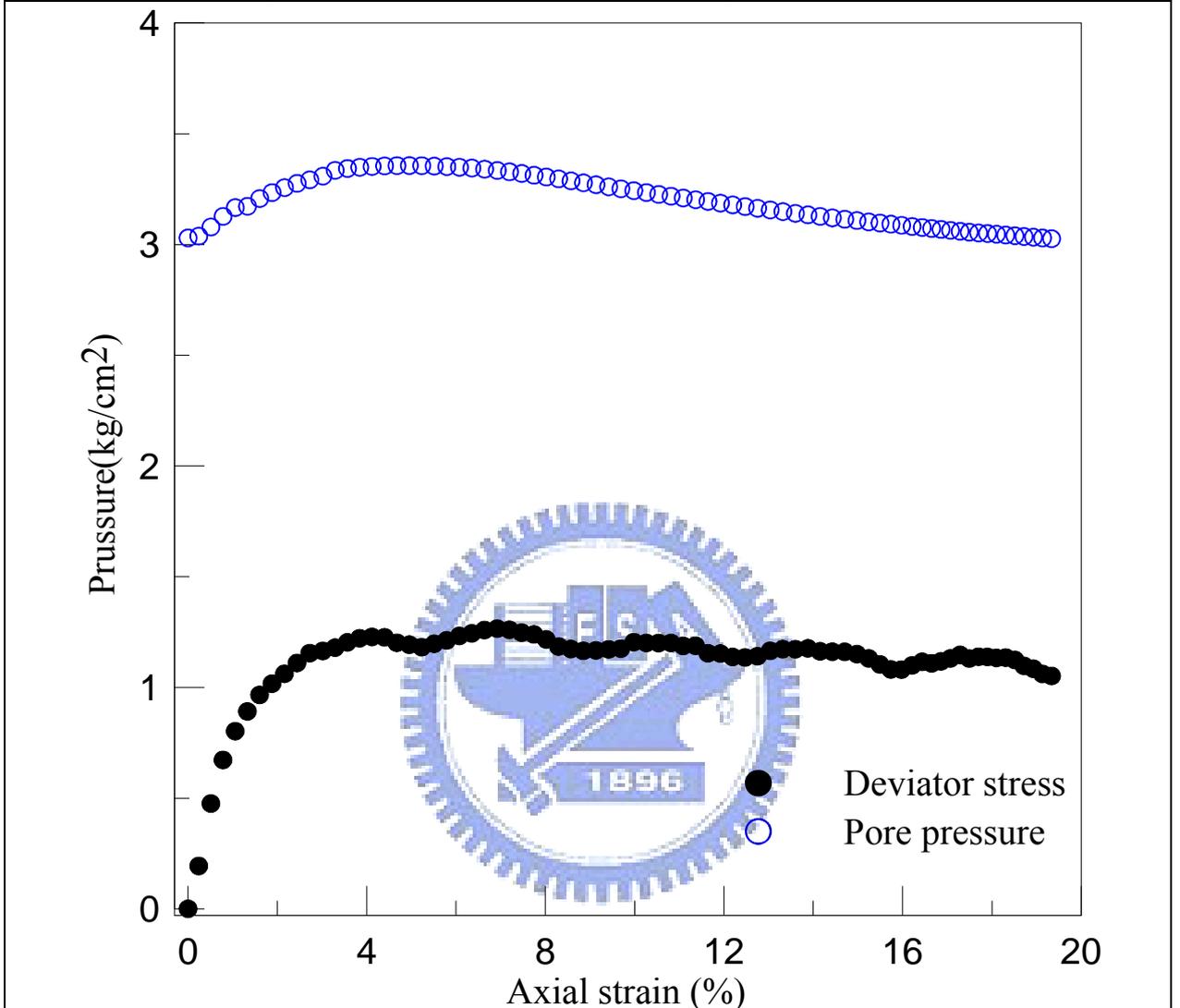


Figure No.	圖 B-21 C-B106 應力應變及孔隙水壓變化曲線圖
------------	------------------------------

試驗編號：C-B106	材料性質：灰色黏土夾板岩碎屑	岩塊含量：9.541%
鑽孔編號：B1	試驗深度：15.00-15.20m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓
控制儀器：土壤三軸	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：王智仁



Figure No.

圖 B-22 C-B106 試體照片與粒徑分布圖

試驗編號：C-B107	材料性質：灰色黏土夾板岩碎屑	岩塊含量：10.34%
鑽孔編號：B1	試驗深度：24.55-24.70m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓
控制儀器：土壤三軸	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：王智仁

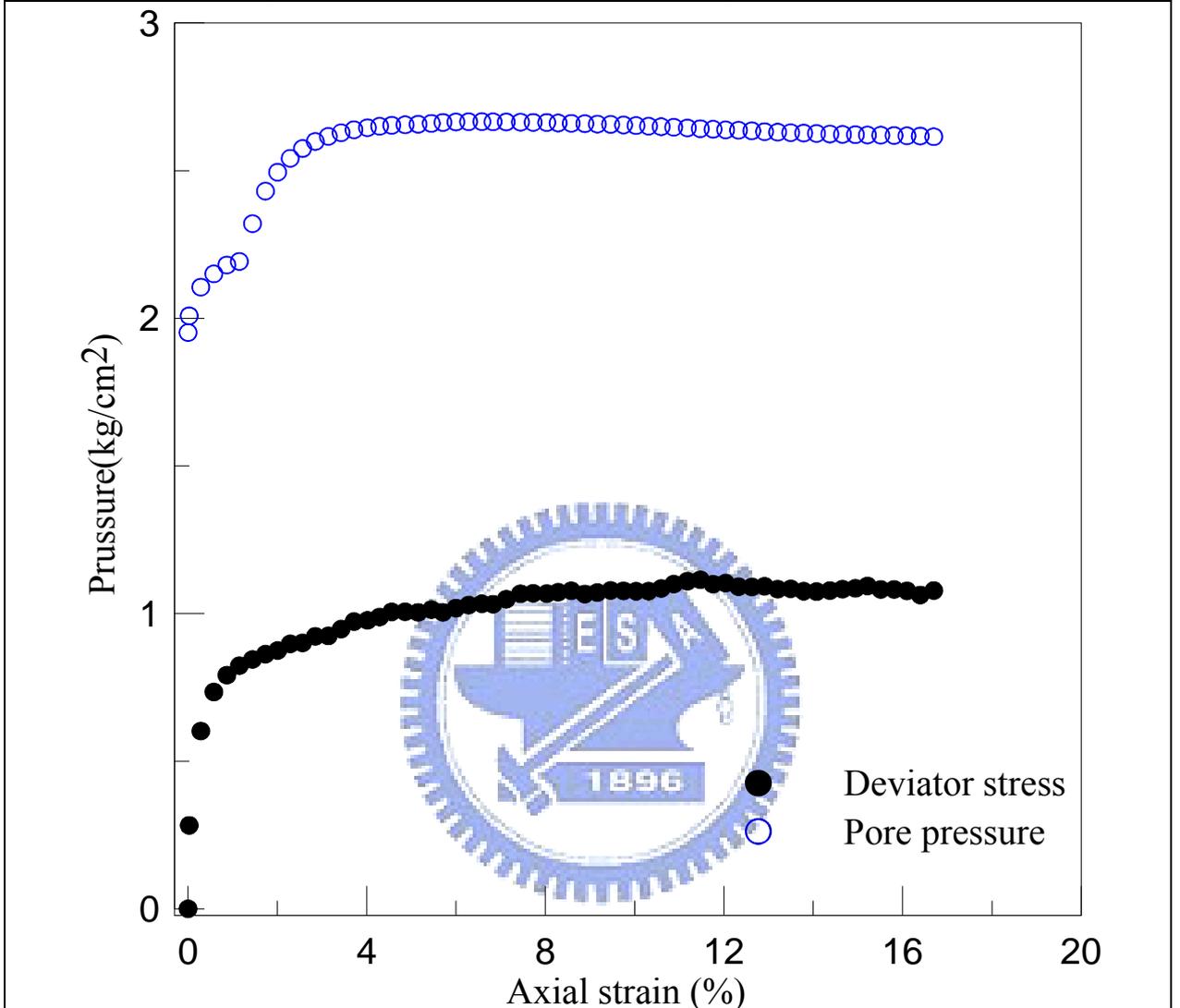


Figure No.

圖 B-23 C-B107 應力應變及孔隙水壓變化曲線圖

試驗編號：C-B107	材料性質：灰色黏土夾板岩碎屑	岩塊含量：10.34%
鑽孔編號：B1	試驗深度：24.55-24.70m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓
控制儀器：土壤三軸	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：王智仁

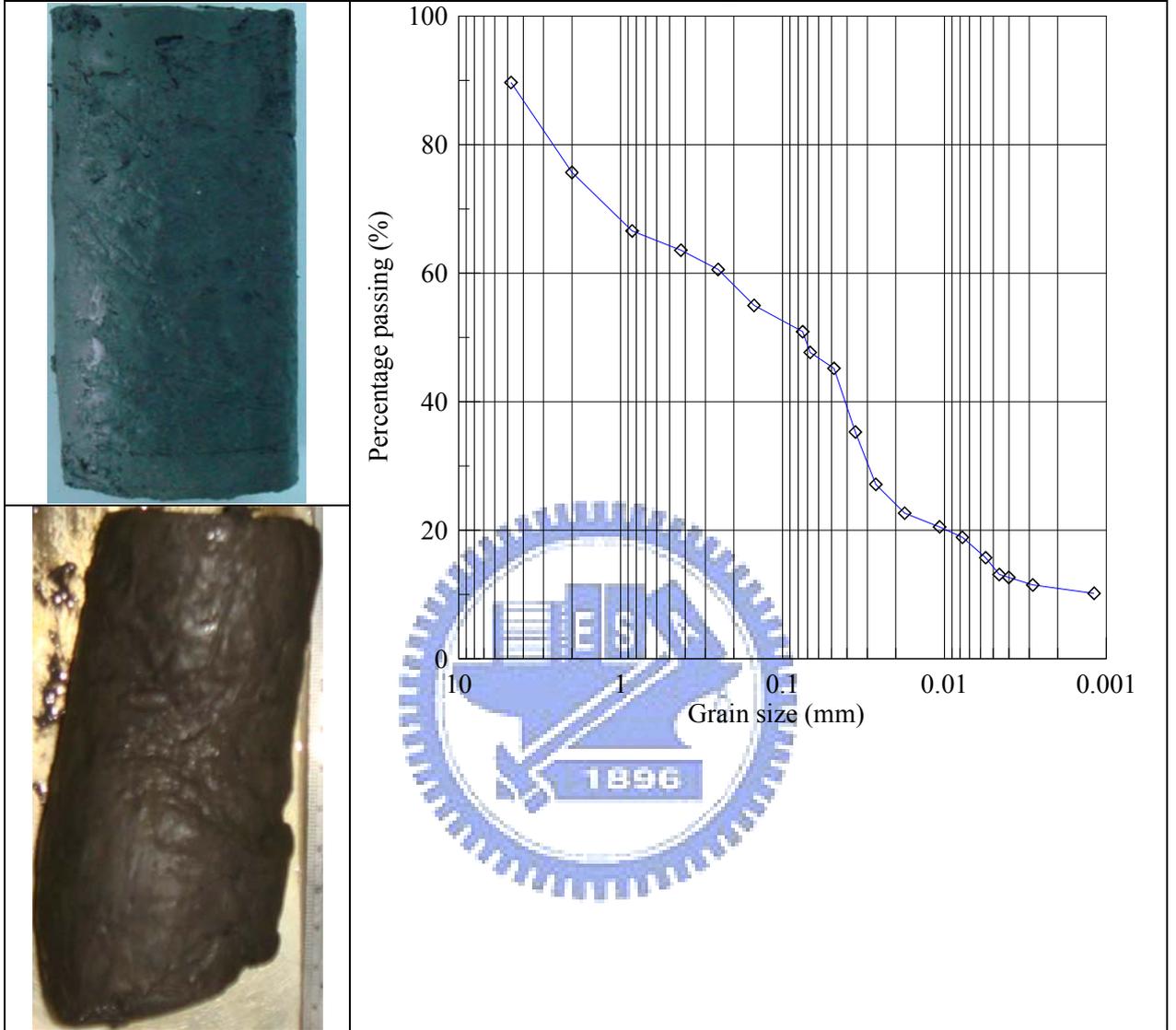


Figure No.

圖 B-24 C-B107 試體照片與粒徑分布圖

試驗編號：C-B108	材料性質：灰色黏土夾板岩碎屑	岩塊含量：18.47%
鑽孔編號：B1	試驗深度：24.70-24.85m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓
控制儀器：土壤三軸	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：王智仁

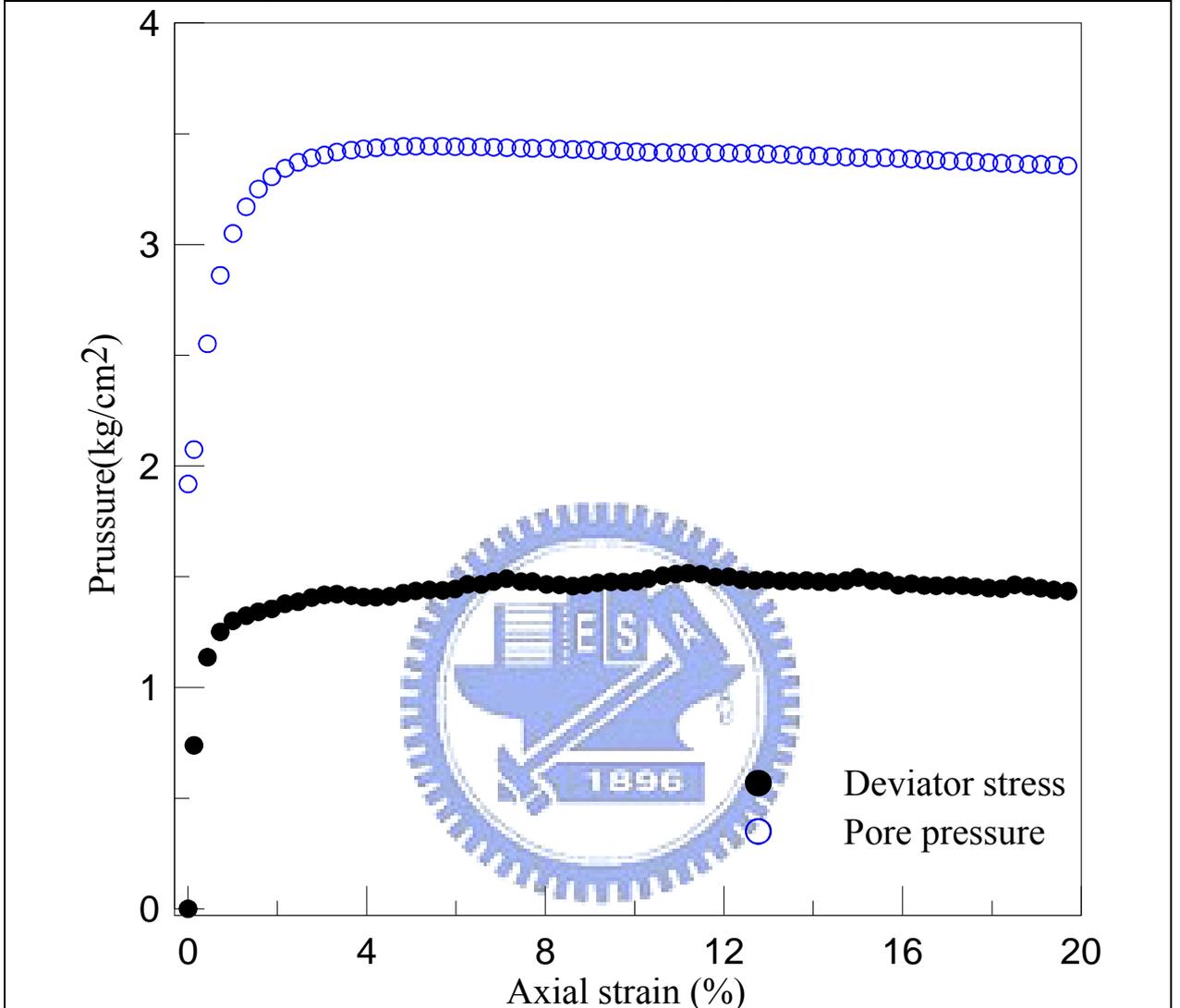


Figure No.	圖 B-25 C-B108 應力應變及孔隙水壓變化曲線圖
------------	------------------------------

試驗編號：C-B108	材料性質：灰色黏土夾板岩碎屑	岩塊含量：18.47%
鑽孔編號：B1	試驗深度：24.70-24.85m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓
控制儀器：土壤三軸	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：王智仁



Figure No.

圖 B-26 C-B108 試體照片與粒徑分布圖

試驗編號：C-B109	材料性質：灰色黏土夾板岩碎屑	岩塊含量：15.36%
鑽孔編號：B1	試驗深度：24.85-25.00m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓
控制儀器：土壤三軸	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：王智仁

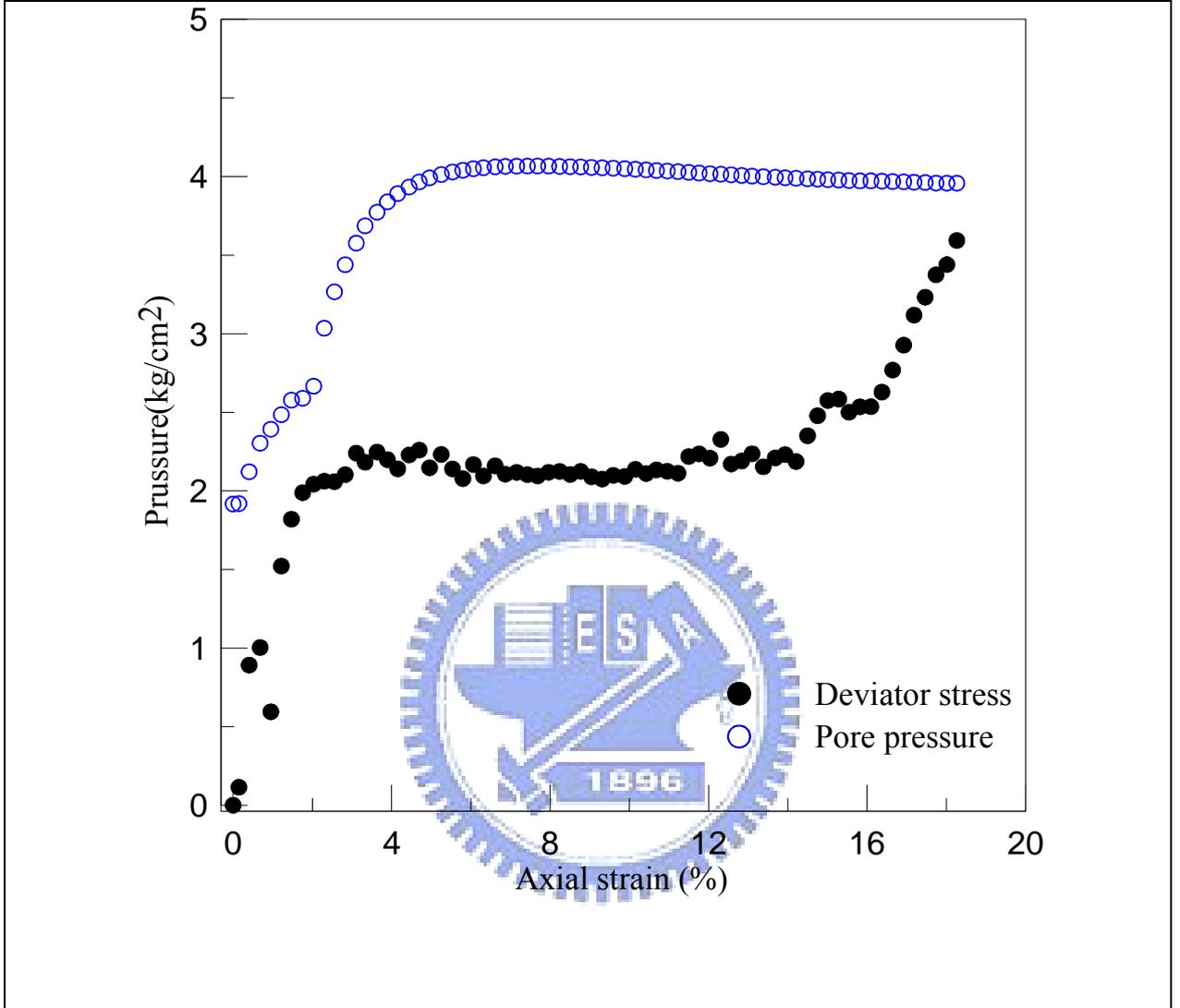


Figure No.	圖 B-27 C-B109 應力應變及孔隙水壓變化曲線圖
------------	------------------------------

試驗編號：C-B109	材料性質：灰色黏土夾板岩碎屑	岩塊含量：15.36%
鑽孔編號：B1	試驗深度：24.85-25.00m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓
控制儀器：土壤三軸	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：王智仁

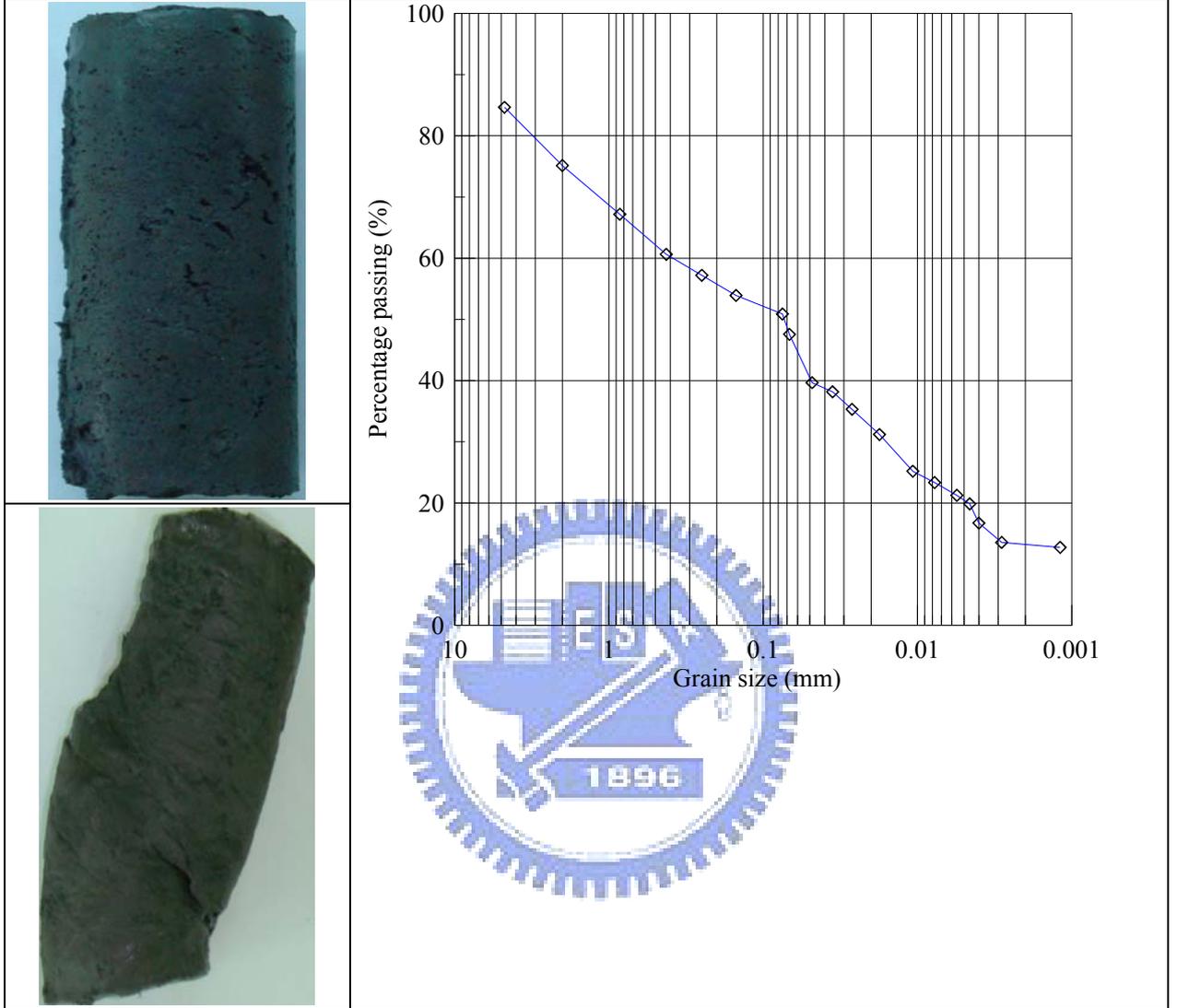


Figure No.

圖 B-28 C-B109 試體照片與粒徑分布圖