

國立交通大學
土木工程學系碩士班
碩士論文

梨山崩積層內軟弱材料之力學行為

Mechanical Behavior of the Weak Material in Li-shan
Colluvial Deposits

研究生：劉盛華

指導教授：廖志中 博士

中華民國九十六年十一月

梨山崩積層內軟弱材料之力學行為

Mechanical Behavior of the Weak Material in Li-shan Colluvial
Deposits

研究生：劉盛華

Student: Sheng-Hua Liou

指導教授：廖志中 博士

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 2007
Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十六年十一月

梨山崩積層內軟弱材料之力學行為

學生：劉盛華

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

梨山崩積層為大規模岩坡破壞所形成，材料組成為破碎板岩及其風化後產物，由於受到形成年代、形成方式以及一次或多次的相對滑動作用與風化作用等影響，造成材料岩心提取率低、材料性質難以界定。

本研究針對梨山崩積體 B-9 滑動體之滑動面材料，灰色黏土夾灰色板岩碎屑，進行一系列的一般物理性質、粒徑分析、與三軸壓密不排水試驗，同時觀察試體表面與端面顆粒分佈狀況，藉以得到顆粒形狀、含量與排列方式對於滑動面材料行為的影響。研究結果顯示，滑動面材料之岩塊含量低於 10%，主要為基質土壤所構成，岩塊最大粒徑 2cm 左右或更小，岩塊形狀主要有次圓粒狀、圓粒狀、片狀或次稜角狀三種顆粒形狀。滑動面形成原因係由山坡潛移作用形成剪力面滑動造成，因此岩塊排列具有方向性；當岩塊含量低於 10% 時，不影響材料強度，基質材料為主要影響灰色黏土夾灰色板岩碎屑力學行為的因素，但其岩塊排列方式會影響試體破壞模式。

關鍵字：崩積層、岩塊含量、基質土壤、三軸壓密不排水試驗。

Mechanical behavior of the Weak Material in Li-shan Colluvial Deposits

Student : Sheng-Hua Liou

Advisor : Dr. Jyh Jong Liao

Institute of Civil Engineering

National Chiao Tung University

Abstract

Large-scale of the rock slope failure formed the Li-Shan colluvial deposits. The deposits are composed of fractured slate and its weathered soils. Due to the weathering, erosion, and frequently sliding, the nature of the deposits is heterogeneous. Hence, the mechanical behavior and mechanical properties of colluvial deposits are difficult to be determined because of difficult sampling.

The study aims to investigate the mechanical behavior of the weakest material of the deposits, grey clay with slate detritus. A series of physical property tests and consolidated undrained triaxial tests was performed on the specimens prepared from high quality drilling cores. Based on the experimental results, the influence of slate block content and distribution on the triaxial strength, stress-strain curve, and failure mode is discussed.

According to test results, the rock content of the specimens includes 10% less of slate block and 80 % more of matrix soil (grey clay); three types of the shape of slate block were observed including subround, round, and sheet or subangular. Some of the specimens exhibit the long axis of the slate block parallel to the ends of the core, which reflects the fact that the layer of the deposit (grey clay with slate detritus) are formed by slope shear failure. Due to

the content of slate detritus less than 10 %, the triaxial strength is not influenced by the content of slate detritus, but depends on the magnitude of confining pressure. However, the stress-strain curve and failure mode are dependent of the distribution of slate detritus in the specimens.

Key Word : Colluvial Deposits , Mechanical Behavior, Block content, Slate Detritus, Matrix, Consolidated Undrained Triaxial Test.



誌謝

承蒙指導教授 廖志中博士三年來的悉心指導與耐心教悔，使得本論文順利完成。時光匆匆，轉眼已達論文完成之際，記得剛進研究所老師說的一席話：「試驗前的準備工作是最繁雜，需要細心跟耐心。」令我印象深刻，銘記在心，除了學習課本上的知識外，研究的生活也讓我體會到做任何事情都必須抱持著耐心與熱誠，困難的事情終有解決之道，這些觀念與啟發令我終生受用不盡。感謝潘以文教授在試驗過程與論文上給予的建議與指導，以及感謝柳志錫博士與古志生教授在口試期間對與論文的建議與指教。另外感謝南亞技術學院的何明雄博士，給予我在修復儀器軟硬體時的建議與指導，並且提供我技術上的支援。

感謝楊明宗學長、張振成學長、鍾志中學長給予我課業與生活上的指導與建議；謝謝同門師兄弟玉麟與政良，同窗好友仁弘、聖傑在研究生活中的陪伴；謝謝大地組學弟們的支援，尤其是羅文驤學弟，任勞任怨的幫我做實驗，感謝你們。另外感謝帶我進入實驗室，讓我融入實驗生活的林智慧學姐，感謝您教會我許多實驗的方法與技巧。

感謝生我育我的父母親，以及伴我一起長大的弟弟，謝謝你們義無反顧的支持我並帶給我精神上的鼓勵。最後將本論文獻給在天國的外婆，因為有您的陪伴，我才可以順順利利過完人生的每個階段。

目錄

誌謝	iv
目錄	v
圖目錄	viii
表目錄	xiv
第一章 緒論	1
1-1 研究動機	1
1-2 研究目的	3
1-3 研究方法與流程	3
第二章 文獻回顧	5
2-1 梨山地層基本資料概述	5
2-2 崩積層定義、形成原因與材料分類	13
2-2-1 崩積層定義與形成原因	13
2-2-2 崩積層材料分類	18
2-3 崩積層材料力學相關文獻收集	28
2-4 影響力學試驗結果的因子	51
2-5 土、岩混合材料之力學特性	53
2-6 強度準則與材料破壞行為	66

2-6-1 土壤的破壞行為	66
2-6-2 Mohr-Coulomb 剪力強度破壞準則	69
第三章 研究方法、試驗規劃與試驗儀器	74
3-1 試驗材料來源	74
3-1-1 取樣位置與方法	74
3-2 試驗規劃	82
3-2-1 試驗材料選擇	82
3-2-2 試驗數量及試驗方式	85
3-2-3 試驗流程	87
3-2-4 試驗準備	89
3-3 試體儀器	93
3-4 試驗步驟與規範	102
3-4-1 三軸壓密不排水試驗步驟	102
3-4-2 基本物性試驗	103
第四章 試驗結果與分析	105
4-1 一般物理性質試驗結果	105
4-2 三軸壓密不排水試驗結果	118
4-2-1 三軸壓密不排水試驗應力應變曲線	120
4-2-2 三軸壓密不排水試驗孔隙水壓變化曲線	129



4-2-3 剪力波試驗結果	133
4-2-4 三軸壓密不排水試驗剪力強度參數	136
4-3 綜合討論	137
4-3-1 顆粒分佈與破壞型態	137
4-3-2 顆粒分佈與材料強度關係	144
4-3-3 室內與現地剪力波速比較	149
4-3-4 試驗結果與過去研究比較	152
第五章 結論與建議	154
5-1 結論	154
5-2 建議	156
參考文獻	159
附錄 A	163
附錄 B	170
附錄 C	172
附錄 D	203
附錄 E	205



圖目錄

圖 1-1 研究流程.....	4
圖 2-1 梨山交通位置圖(工業技術研究院能源與資源研究所，1993).....	6
圖 2-2 梨山地區區域地質圖(劉岫雲，2003).....	8
圖 2-3 梨山地滑分區與滑動體位置圖(摘自劉岫雲，2003).....	12
圖 2-4 崩積層的位移破壞形態分類圖(董家均與楊賢德，2001).....	14
圖 2-5 B-9 滑動體位置圖 (黃玉麟，2006).....	16
圖 2-6 B-9 滑動體上 B-B'剖面地層與劈理位態圖(黃玉麟，2006).....	17
圖 2-7 典型梨山地區崩積層剖面.....	20
圖 2-8 梨山地區地層材料分類圖示(工業技術研究院能源與資源研究所， 1993).....	21
圖 2-9 岩心分類流程圖(黃玉麟，2006).....	22
圖 2-10 賴忠良(2006)崩積層材料分類.....	23
圖 2-11 鑽探孔 X1、X2 及 X3 地理位置示意圖(改自羅文驤，2007).....	25
圖 2-12 岩心分類流程圖(唐禎國，2007).....	26
圖 2-13 材料力學行為分類流程圖(唐禎國，2007).....	27
圖 2-14 現地級配曲線(方世杰，1990).....	32
圖 2-15 SW ₁ 、SW ₂ 、SW ₃ 塊狀取樣試體之粒徑分佈曲線(方世杰，1990)	33
圖 2-16 SW ₄ 、SW ₅ 、SW ₆ 塊狀取樣試體之粒徑分佈曲線(方世杰，1990)	33

圖 2-17	SW ₇ 、C ₁ 、C ₂ 塊狀取樣試體之粒徑分佈曲線(方世杰，1990)	..... 34
圖 2-18	大型直接剪力試驗結果(SD ₃)(方世杰，1990)	..... 34
圖 2-19	大型直接剪力試驗結果(SW ₄)(方世杰，1990)	..... 35
圖 2-20	大型直接剪力試驗結果(SW ₅)(方世杰，1990)	..... 35
圖 2-21	BH1 沉泥質粘土單壓強度試驗應力應變曲線(方世杰，1990)	..... 36
圖 2-22	BH2 沉泥質粘土單壓強度試驗應力應變曲線(方世杰，1990)	..... 36
圖 2-23	小型直接剪力試驗結果(方世杰，1990)	..... 37
圖 2-24	三軸壓縮試驗剪應力、正向力關係曲線(方世杰，1990)	..... 37
圖 2-25	三軸壓縮試驗應力應變曲線與孔隙水壓變化曲線(方世杰，1990)	38
圖 2-26	單向度壓密試驗結果(一)(方世杰，1990)	..... 38
圖 2-27	單向度壓密試驗結果(二)(方世杰，1990)	..... 39
圖 2-28	崩積土細料含量(F)與凝聚力(C)之關係(劉啟鋒，1990)	..... 42
圖 2-29	崩積土細料含量與內摩擦角之關係(劉啟鋒，1990)	..... 42
圖 2-30	超音波速與腐朽指數關係(乾燥試體)(楊東賢，1990)	..... 44
圖 2-31	超音波速與腐朽指數關係(浸水試體)(楊東賢，1990)	..... 44
圖 2-32	風化循環次數與單壓強度關係(楊東賢，1990)	..... 45
圖 2-33	小型三軸試驗結果(總應力)	..... 46
圖 2-34	小型三軸試驗結果(有效應力)	..... 46
圖 2-35	沉泥質粘土單向壓密度曲線(BH3)	..... 47

圖 2-36 沉泥質粘土單向壓密度曲線(BH4).....	47
圖 2-37 ISRM 土壤與岩石材料依強度分級(JOHNSTON, 1993)	51
圖 2-38 不同取樣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).....	54
圖 2-39 試體強度受到尺寸效應影響結果圖(MARSAL, 1969).....	55
圖 2-40 最大粒徑與內摩擦角關係(MARACHI,1972).....	56
圖 2-41 岩塊與基質在不同含量下之排列 (MONTRASIO, 1998).....	57
圖 2-42 多個立方體元素所構成單一個試體示意圖(MONTRASIO, 1998)	58
圖 2-43 應變門檻值 E_{MAX} 與岩塊含量 P 之關係圖 (MONTRASIO, 1998).....	59
圖 2-44 單剪試驗尖峰剪力強度與含量比關係圖(VALLEJO 與 MAWBY, 2000)	61
圖 2-45 併構岩體積含量比與有效摩擦角關係圖	62
圖 2-46 破壞強度與不同岩塊體積含量關係圖(蔡文傑, 2003)	64
圖 2-47 楊氏模數與不同岩塊體積含量關係圖(蔡文傑, 2003)	64
圖 2-48 凝聚力與不同岩塊體積含量關係圖(蔡文傑, 2003)	65
圖 2-49 內摩擦角與不同岩塊體積含量關係圖(蔡文傑, 2003)	65
圖 2-50 正常壓密黏性土壤行為 (摘自 ATKINSON, 1978)	68
圖 2-51 過壓密黏性土壤行為 (ATKINSON, 1978)).....	68
圖 2-52 材料單元受力示意圖(COULOMB, 1776).....	70
圖 2-53 MOHR CIRCLE 與破壞包絡線示意圖(MOHR COULOMB, 1910).....	70

圖 2-54 正常壓密黏土破壞包絡線與修正破壞包絡線(摘自 DAS,2002).....	72
圖 2-55 過壓密黏土之破壞包絡線與修正破壞包絡線(摘自 DAS,2002).....	73
圖 3-1 鑽孔點位位置與地形等高線圖(黃玉麟，2006).....	75
圖 3-2 鑽孔點位之剖面圖(改編自富國).....	76
圖 3-3 鋼索式取岩心法裝置示意圖(CLAYTON, ET AL., 1995).....	78
圖 3-4 放置岩心之岩心箱	79
圖 3-5 鑽頭、鑽桿與內部取樣器	79
圖 3-6 鑽機與鑽探過程(孔號 N-1).....	80
圖 3-7 鑽機與鑽探過程(孔號 N-2).....	80
圖 3-8 保護岩心方式	81
圖 3-9 N-2 孔滑動面材料照片(53~56 米，紅色虛線)	83
圖 3-10 N-2 孔滑動面材料照片(56~57 米，紅色虛線)	83
圖 3-11 滑動層面位置示意圖(N-2 孔)(黃玉麟，2006).....	84
圖 3-12 三軸壓密不排水試驗流程圖	87
圖 3-13 板岩與基質土壤一般物理性質試驗流程圖.....	88
圖 3-14 灰色板岩夾黃色黏土(SY).....	90
圖 3-15 灰色板岩夾灰色黏土(SG).....	90
圖 3-16 灰色黏土夾灰色板岩碎屑(C)	90
圖 3-17 灰色板岩(S).....	90

圖 3-18 單刃岩心切割機.....	91
圖 3-19 試體裁切示意圖.....	91
圖 3-20 裁切完成後試體狀況.....	92
圖 3-21 三軸 K_0 試驗設備示意圖(洪若安, 2006).....	94
圖 3-22 馬達驅動控制系統示意圖(洪若安, 2006).....	95
圖 3-23 剪力波元件試驗系統示意圖(林智惠 2003).....	99
圖 3-24 壓電陶瓷晶片剪力波元件尺寸(林智惠 2003).....	99
圖 3-25 試體頂蓋剪力波元件 (發射端) 嵌入示意圖(林智惠 2003).....	100
圖 3-26 試體底座剪力波元件 (接收端) 嵌入示意圖(林智惠 2003).....	100
圖 4-1 岩塊(顆粒粒徑大於 4 號篩以上).....	106
圖 4-2 粗顆粒(顆粒粒徑在 4 號篩與 200 號篩之間).....	106
圖 4-3 細顆粒(顆粒粒徑在 200 號篩以下).....	107
圖 4-4 試體編號 C-N202~205((有效應力 $1\text{KG}/\text{CM}^2$) 粒徑分佈曲線.....	110
圖 4-5 試體編號 C-N201、206、207 (有效應力 $2\text{KG}/\text{CM}^2$) 粒徑分佈曲線.....	111
圖 4-6 試體編號 C-N208~210 (有效應力 $3\text{KG}/\text{CM}^2$) 粒徑分佈曲線.....	112
圖 4-7 灰色黏土夾灰色板岩碎屑(C)材料內代表性岩塊形狀 A、B、C(A 為長 軸、B 為短軸、H 為厚度、D 為直徑).....	113
圖 4-8 岩心表面顆粒分佈狀況(第一種岩塊分佈類型).....	115
圖 4-9 岩心剖面顆粒分佈狀況(第一種岩塊分佈類型).....	115

圖 4-10 岩心表面顆粒分佈狀況(第二種岩塊分佈類型).....	116
圖 4-11 岩心剖面顆粒分佈狀況(第二種岩塊分佈類型).....	116
圖 4-12 岩塊分佈示意圖(圖 C1 為第一種岩塊分佈類型、圖 C2 為第二種岩塊分佈類型).....	117
圖 4-13 應力應變與孔隙水壓變化曲線(圍壓 $3\text{KG}/\text{CM}^2$, 反水壓 $2\text{KG}/\text{CM}^2$)	123
圖 4-14 應力應變與孔隙水壓變化曲線(圍壓 $2\text{KG}/\text{CM}^2$, 反水壓 $1\text{KG}/\text{CM}^2$)	124
圖 4-15 應力應變與孔隙水壓變化曲線(圍壓 $4\text{KG}/\text{CM}^2$, 反水壓 $3\text{KG}/\text{CM}^2$)	125
圖 4-16 應力應變與孔隙水壓變化曲線(圍壓 $4\text{KG}/\text{CM}^2$, 反水壓 $2\text{KG}/\text{CM}^2$)	126
圖 4-17 應力應變與孔隙水壓變化曲線(圍壓 $5\text{KG}/\text{CM}^2$, 反水壓 $2\text{KG}/\text{CM}^2$)	127
圖 4-18 顆粒材料含量類似之應力應變曲線.....	128
圖 4-19 孔隙水壓變化曲線(圍壓 $4\text{KG}/\text{CM}^2$, 反水壓 $3\text{KG}/\text{CM}^2$)	130
圖 4-20 孔隙水壓變化曲線(圍壓 $4\text{KG}/\text{CM}^2$, 反水壓 $2\text{KG}/\text{CM}^2$)	131
圖 4-21 孔隙水壓變化曲線(圍壓 $5\text{KG}/\text{CM}$, 反水壓 $3\text{KG}/\text{CM}^2$).....	132
圖 4-22 剪力波試驗結果(C-N203 56.17-56.35 有效側向壓力 $1\text{KG}/\text{CM}^2$)	135
圖 4-23 剪力波試驗結果 (C-N209 55.25-55.45 有效側向壓力 $3\text{KG}/\text{CM}^2$)	135
圖 4-24 三軸壓密不排水試驗 P'Q'圖	136
圖 4-25 試體 C-N201、C-N202、C-N203 岩塊排列狀況與試體破壞情形	140
圖 4-26 試體 C-N204、C-N205、C-N206 岩塊排列狀況與試體破壞情形	141
圖 4-27 試體 C-N207、C-N208、C-N209 岩塊排列狀況與試體破壞情形	142

圖 4-28 試體 C-N210 岩塊排列狀況與試體破壞情形.....	143
圖 4-29 岩塊含量與軸差應力關係.....	146
圖 4-30 F 與軸差應力關係(F 為粗顆粒與細顆粒比例).....	147
圖 4-31 岩塊分佈與軸差應力關係圖(羅文驤，2007).....	148
圖 4-32 現地 P-S 波波速資料與岩心判釋比對結果(黃玉麟，2006).....	150
圖 4-33 孔 N-1 深度 26~27M 岩心照片	151
圖 4-34 C-N203 與 C-N209 試體照片	151
圖 A-1 N-1 孔 0~20M 地質鑽探柱狀圖.....	164
圖 A-2 N-1 孔 20~40M 地質鑽探柱狀圖.....	165
圖 A-3 N-2 孔 0~20M 地質鑽探柱狀圖.....	166
圖 A-4 N-2 孔 20~40M 地質鑽探柱狀圖.....	167
圖 A-5 N-2 孔 40~60M 地質鑽探柱狀圖.....	168
圖 A-6 N-2 孔 60~80M 地質鑽探柱狀圖.....	169
圖 C-1 C-N201 併構岩應力應變曲線，孔隙水壓變化曲線.....	173
圖 C-2 C-N201 PQ 圖，小應變下應力行為.....	174
圖 C-3 C-N201 併構岩粒徑分佈曲線與破壞示意圖.....	175
圖 C-4 C-N202 併構岩應力應變曲線，孔隙水壓變化曲線.....	176
圖 C-5 C-N202 PQ 圖，小應變下應力行為.....	177
圖 C-6 C-N202 併構岩粒徑分佈曲線與破壞示意圖.....	178

圖 C-7 C-N203 併構岩應力應變曲線，孔隙水壓變化曲線.....	179
圖 C-8 C-N203 PQ 圖，小應變下應力行為.....	180
圖 C-9 C-N203 併構岩粒徑分佈曲線與破壞示意圖.....	181
圖 C-10 C-N204 併構岩應力應變曲線，孔隙水壓變化曲線.....	182
圖 C-11 C-N204 PQ 圖，小應變下應力行為.....	183
圖 C-12 C-N204 併構岩粒徑分佈曲線與破壞示意圖.....	184
圖 C-13 C-N205 併構岩應力應變曲線，孔隙水壓變化曲線.....	185
圖 C-14 C-N205 PQ 圖，小應變下應力行為.....	186
圖 C-15 C-N205 併構岩粒徑分佈曲線與破壞示意圖.....	187
圖 C-16 C-N206 併構岩應力應變曲線，孔隙水壓變化曲線.....	188
圖 C-17 C-N206 PQ 圖，小應變下應力行為.....	189
圖 C-18 C-N206 併構岩粒徑分佈曲線與破壞示意圖.....	190
圖 C-19 C-N207 併構岩應力應變曲線，孔隙水壓變化曲線.....	191
圖 C-20 C-N207 PQ 圖.....	192
圖 C-21 C-N207 併構岩粒徑分佈曲線與破壞示意圖.....	193
圖 C-22 C-N208 併構岩應力應變曲線，孔隙水壓變化曲線.....	194
圖 C-23 C-N208 PQ 圖，小應變下應力行為.....	195
圖 C-24 C-N208 併構岩粒徑分佈曲線與破壞示意圖.....	196
圖 C-25 C-N209 併構岩應力應變曲線，孔隙水壓變化曲線.....	197

圖 C-26 C-N209 PQ 圖，小應變下應力行為	198
圖 C-27 C-N209 併構岩粒徑分佈曲線與破壞示意圖	199
圖 C-28 C-N210 併構岩應力應變曲線，孔隙水壓變化曲線.....	200
圖 C-29 C-N210 PQ 圖	201
圖 C-30 C-N210 併構岩岩塊分佈與破壞示意圖	202
圖 E-1 BH-2(U-1)三軸試驗破壞包絡曲線與 PQ 圖	206
圖 E-2 BH-2(U-1)三軸試驗應力應變曲線與孔隙水壓化曲線.....	207
圖 E-3 BH-3(U-1)三軸試驗破壞包絡曲線與 PQ 圖	208
圖 E-4 BH-3(U-1)三軸試驗應力應變曲線與孔隙水壓化曲線.....	209
圖 E-5 BH-3(U-1-1)三軸試驗破壞包絡曲線與 PQ 圖.....	210
圖 E-6 BH-5(U-1)三軸試驗應力應變曲線與孔隙水壓化曲線.....	211
圖 E-7 BH-5(U-1)三軸試驗破壞包絡曲線與 PQ 圖	212
圖 E-8 BH-5(U-1-1)三軸試驗應力應變曲線與孔隙水壓化曲線	213
圖 E-9 BH-2(U-1)三軸試驗破壞包絡曲線與 PQ 圖	214
圖 E-10 BH-1 直接剪力試驗破壞包絡曲線.....	215
圖 E-11 BH-13 直接剪力試驗破壞包絡曲線.....	216
圖 E-12 BH-12 直接剪力試驗破壞包絡曲線.....	217
圖 E-13 BH-9 直接剪力試驗破壞包絡曲線.....	218
圖 E-14 BH-3 直接剪力試驗破壞包絡曲線.....	219

圖 E-15 BH-2 直接剪力試驗破壞包絡曲線..... 220



表目錄

表 2-1 岩心分類對照表.....	19
表 2-2 岩心分類方法.....	22
表 2-3 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).....	24
表 2-4 歷年來梨山地層組成材料力學相關研究成果.....	29
表 2-5 一般物理性質試驗結果(方世杰，1990).....	31
表 2-6 崩積土層粒徑分佈性質與工程分類(方世杰，1990).....	32
表 2-7 崩積土與砂質黏土基本參數(劉啟鋒，1990).....	41
表 2-8 不同粒徑凝聚力與摩擦角大小(劉啟鋒，1990).....	41
表 2-9 砂質黏土強度參數(劉啟鋒，1990).....	41
表 2-10 四號篩以下重模直接剪力試驗結果(工業技術研究院能源與資源研究所，1993).....	48
表 2-11 三軸 SCU 試驗結果(工業技術研究院能源與資源研究所，1993).....	49
表 2-12 卵礫石含量對粘土砂土強度參數的影響 (HOLTZ 與 WILLARD，1961)	55
表 2-13 5 組不同含量比的砂-黏土混合試體(VALLEJO,(2000)).....	60
表 3-1 鑽探與現地孔內試驗規劃表(黃玉麟，2006).....	75
表 3-2 板岩一般物理性質試驗與取樣位置.....	85

表 3-3 土壤物性試驗規劃與取樣位置.....	86
表 3-4 三軸壓密不排水試驗規劃與取樣位置.....	86
表 3-5 量測系統規格表.....	97
表 4-1 板岩一般物理性質試驗結果.....	107
表 4-2 基質土壤一般物理性質試驗結果.....	108
表 4-3 岩塊、粗顆粒與細顆粒含量表.....	109
表 4-4 三軸壓密不水試驗試體基本物性(粒徑分佈曲線)資料表.....	109
表 4-5 三軸壓密不水試驗試體基本資料表.....	119
表 4-6 三軸壓密不水試驗試體基本物性資料表 2.....	120
表 4-7 試體破壞應變與軸差強度.....	122
表 4-8 試體 C-N203 與 C-N209 基本資料表.....	134
表 4-9 試體 C-N203 與 C-N209 剪力波速資料表.....	134
表 4-10 試驗試體內岩塊、粗顆粒與細顆粒含量.....	137
表 4-11 顆粒含量、軸差強度與破壞應變關係表.....	145
表 4-12 室內剪力波速量測資料表(試體 C-N203 與 C-N209).....	150
表 D-1 板岩一般物理性質結果.....	204
表 D-2 基質土壤一般物力性質試驗結果.....	204

第一章 緒論

1-1 研究動機

台灣島位處於環太平洋地震帶上，屬於亞熱帶氣候，具有複雜的地形與地質環境以及多樣性的氣候變化，外在與內在的因素引發並加速各種物理與化學性的作用力發生，造成地形外貌與地質結構變化劇烈，邊坡潛移或滑動屢見不鮮。邊坡破壞後，常於邊坡下方或崖錐處形成堆積物，此崩積材料與母岩之間形成不整合面，由於受到形成年代、形成方式以及一次或多次的相對滑動作用與風化作用等影響，此不整合面常為上覆崩積材料再次滑動的滑動面。

梨山地區應為大規模岩層滑動所形成的崩塌地，地質劃分屬中新世廬山層，由黑灰色板岩所構成。民國六、七十年代開始，梨山地區常於雨量豐沛時期造成地層滑動（張其敦，1984），多次路基塌陷流失（如中橫公路台八線 80K，82K 附近）、房屋龜裂（如梨山小舍）等重大災害，因為民眾的經濟與生命安全皆有重大損失，進而引發相關單位與學者的研究整治。

早期研究結果(亞新工程顧問公司，1984、蔡光榮，1987、蘇苗彬，1990、劉長齡，1991、工業技術研究院能源與資源研究所，1994)指出梨山崩塌地係由膠結不良崩積層（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）覆蓋在新鮮板岩之上所構成。一般認為主要滑動層面為粉土質黏土層，而崩積土淺層不規則處或風化作用造成板岩破碎處皆有可能形成滑動層面，雨量豐沛的季節

常造成地下水位的升高，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，土體顆粒飽和度上升而降低抗剪角，增加地層滑動的潛能。

本研究針對梨山崩積體 B-9 滑動體下邊坡之滑動面材料，即灰色黏土夾灰色板岩碎屑(黃玉麟，2006)，之力學行為加以探討。由於區域地層材料破碎，岩心提取率偏低，材料內顆粒組成類似混合土石材料或併構岩材料，因此早期研究梨山地層材料特性多以重模試體來進行室內試驗，重模過後的試體已經改變現地狀況，且重模試體的方法會影響試驗結果。本研究利用高品質的鑽探取得完整的試體，於實驗室進行一系列的三軸壓密不排水試驗，並由試驗結果探討滑動面材料行為受顆粒組成、圍壓等等之影響。



1-2 研究目的

本研究針對梨山崩積體 B-9 滑動體下邊坡之滑動面材料，即灰色黏土夾灰色板岩碎屑(黃玉麟，2006)，之力學行為加以探討。利用高品質的鑽探取得完整的試體，於實驗室進行一系列的三軸壓密不排水試驗及一般物理性質試驗，並藉由試驗結果來決定此併構岩材料的基質土壤(粗、細顆粒)與板岩的一般物理性質、三軸壓密不排水試驗的強度參數與應力應變行為，並探討岩塊(4 號篩以上顆粒)與粗(4 號篩以下，200 號篩以上顆粒)、細(200 號篩以下顆粒)顆粒的比例與組成對於此併構岩材料力學性質的影響。

1-3 研究方法與流程

本研究首先收集梨山地區相關地層滑動文獻資料以及地層材料分類的方法，並回顧國內外土石混合材料與併構岩材料的相關力學資料。使用黃玉麟(2006)在梨山 B-9 滑動體 N-2 鑽探孔，深度在 53~57m 之間滑動層面材料，進行數組一般物理性質試驗與三軸壓密不排水試驗。最後將室內試驗結果進行整理、分析與討論。研究流程圖如圖 1-1。



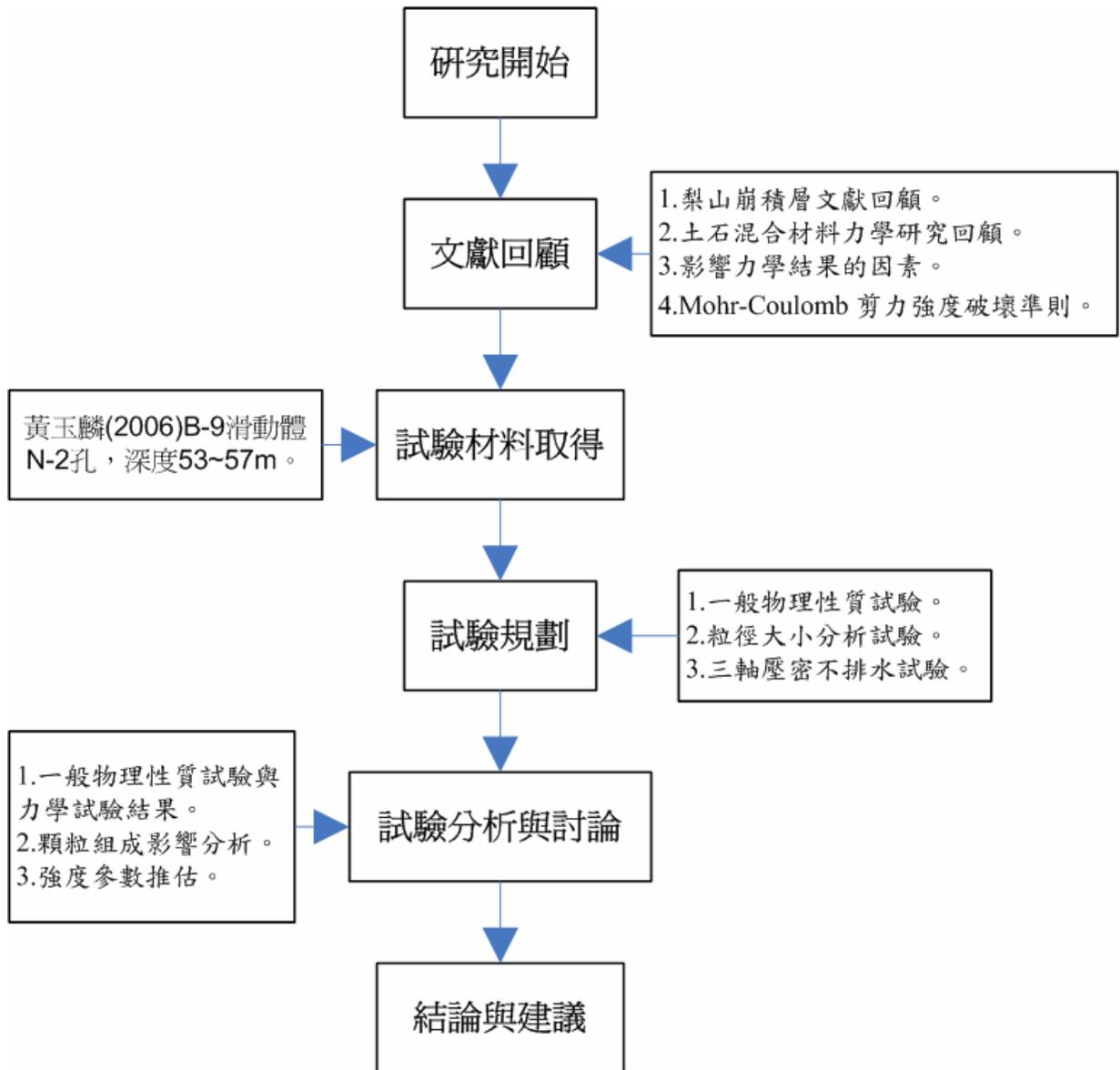


圖 1-1 研究流程

第二章 文獻回顧

2-1 梨山地層基本資料概述

地理位置與交通狀況

梨山崩坍地位於台中市東北東方中央山脈中，行政區劃分為台中縣和平鄉梨山村(圖 2-1)，標高 1950 公尺，面積約 31300 公頃，與雪霸及太魯閣國家公園相鄰，人口約 2000 人，以種植溫帶水果與高冷蔬菜聞名。地理位置處在中橫公路西段(台八線與台七甲線交會處)，由梨山村向西行，途中經德基、谷關最後可達中橫公路主幹線(台八線)西緣起點台中縣東勢鎮，長約 82 公里；沿台八線向東行過大禹嶺後可達花蓮縣，長約 137 公里；沿中橫公路宜蘭支線(台七甲線)向東北行經思源啞口可到達宜蘭縣，長約 112 公里。921 大地震後，谷關、德基路段坍方，造成交通中斷，目前可由埔里往霧社，經合歡山與大禹嶺至梨山村或由宜蘭經中橫公路宜蘭支線(台七甲線)至梨山。本研究區域係位於梨山村原國民旅舍附近，B-9 滑動體(工業技術研究院能源與資源研究所，1993)之下邊坡上。

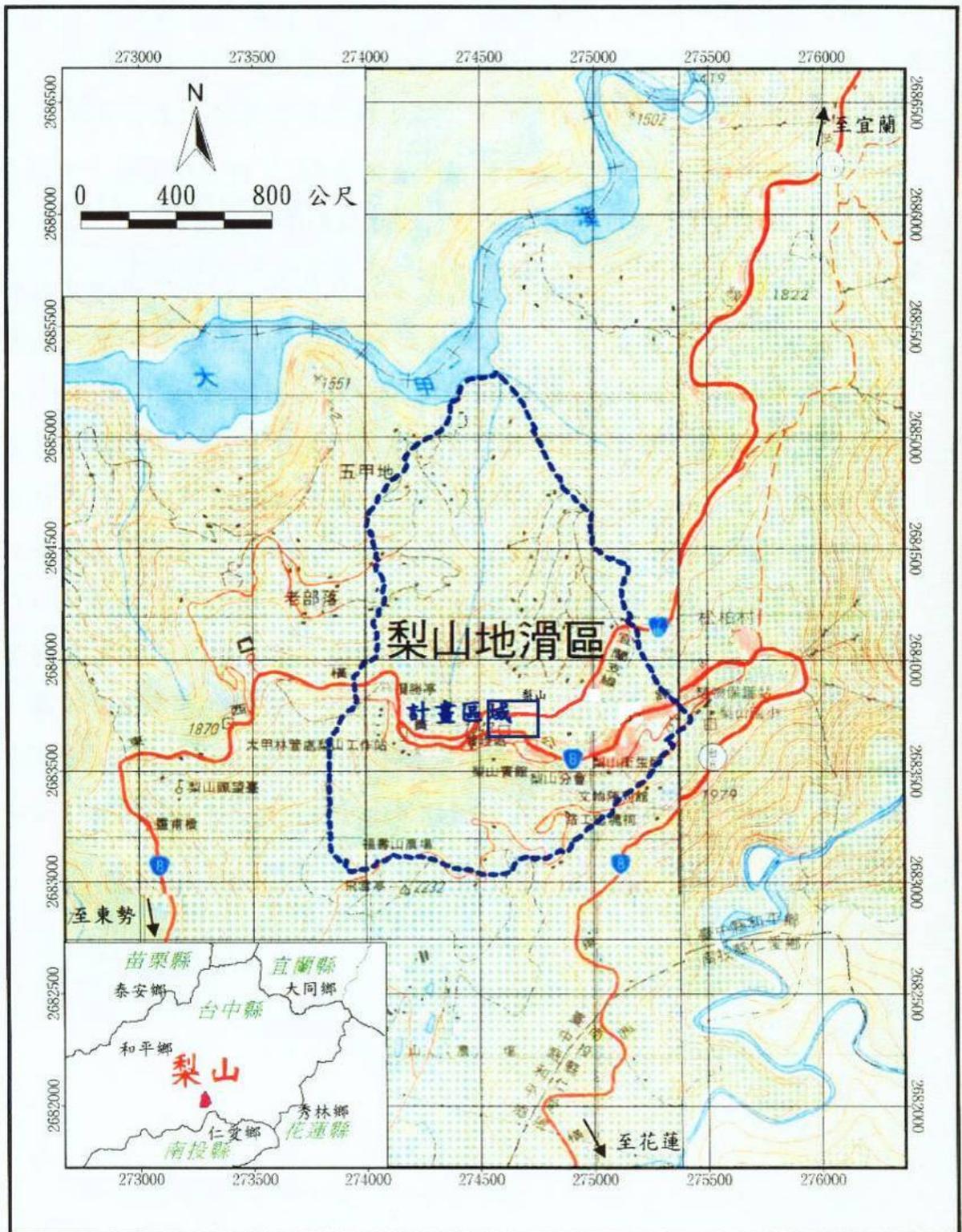


圖 2-1 梨山交通位置圖(工業技術研究院能源與資源研究所，1993)

地形與地質

梨山崩坍地地質劃分為中央山脈西側的雪山山脈板岩山塊(徐鐵良, 1983), 平均高度在 2000 公尺以上, 北緣大甲溪, 南側稜線為福壽山農場, 地形走勢由南向北下降至大甲溪河床, 河谷兩岸坡度約 $30^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 。大甲溪河谷上部接近山脊處, 存在侵蝕或沉積的遺跡, 山腰上則分佈著起伏的大小丘陵地, 形成標準的地滑地形(黃玉麟, 2006); 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, 唐禎國(2007)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。

依照何春蓀(1986)之地質分類, 梨山崩坍地位在中央山脈地質區之西側, 屬於第三紀輕度變質岩區, 地層為中新世廬山層(圖 2-2), 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。工業技術研究院能源與資源研究所(1993)指出覆蓋於新鮮岩盤上之崩積滑動體材料, 組成為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 $N15^{\circ}\sim 45^{\circ}E$, 向東南傾斜 $15^{\circ}\sim 35^{\circ}$, 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, 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)N32°W/86°SW。

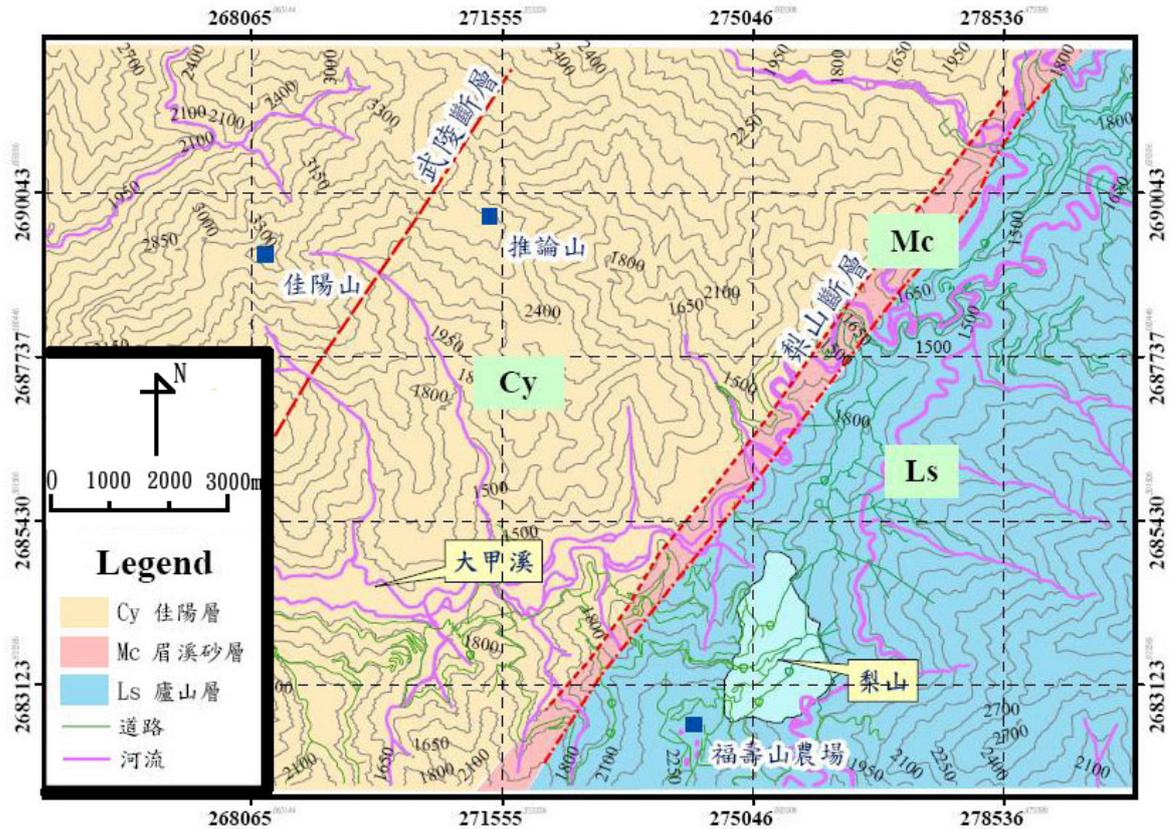


圖 2-2 梨山地區區域地質圖(劉岫雲，2003)

氣候與水文

梨山崩坍地屬於大甲溪流域；大甲溪為台灣中部之主要河川，源頭位在思源啞口附近之山峰，主要有兩條支流，形成西區集水區(梨山小築附近)與東南區集水區(梨山賓館至榮民醫院附近)，支流在地滑區中央偏北處匯合後，向北流入大甲溪。中央氣象局梨山監測站在民國 85~91 年監測資料指出年平均氣溫 15.2°C，年平均降雨量 2,152mm，2~9 月之月平均雨量達 190mm 以上，其中 5 月、

6月為雨季，平均雨量高達514mm，11月至翌年2月為旱季，平均雨量只有平均年雨量的20.2%。工業技術研究院能源與資源研究所(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。

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60m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、台灣汽車客運中心梨山站與省道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區崩坍地一系列的相關研究。

據統計，梨山地區邊坡災害較易發生在五月至八月雨量豐沛時期(張其敦，1984)，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，發現此土層的組成礦物為石英，伊萊石，綠泥石，交錯層黏土與澎潤石等黏土礦物。

梨山崩塌地地層組成由中華顧問(1996)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。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)認為梨山崩坍地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。工業技術研究院能源與資源研究所(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 2~10m，部份地區厚達 38m，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 40m 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。

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 82k 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。

此區域邊坡破壞受到水的因素影響頗深，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 米至 42 米。

工業技術研究院能源與資源研究所(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(圖 2-3)，西地滑區主要由 A-1~A-9 等九個滑動土體所組成，各個滑動體在平面上呈馬蹄或角形；東南地滑區由 B-1~B-14 等十四個滑動土體所組成，主要滑動方向為北北東，約略與區域性的地層走向平行；東北地滑區 C-1~C-10 等十個滑動體所組成，多位於逆向坡而朝西北滑動，主要滑落崖多沿地層走向排列，在平面上呈馬蹄形或角形。

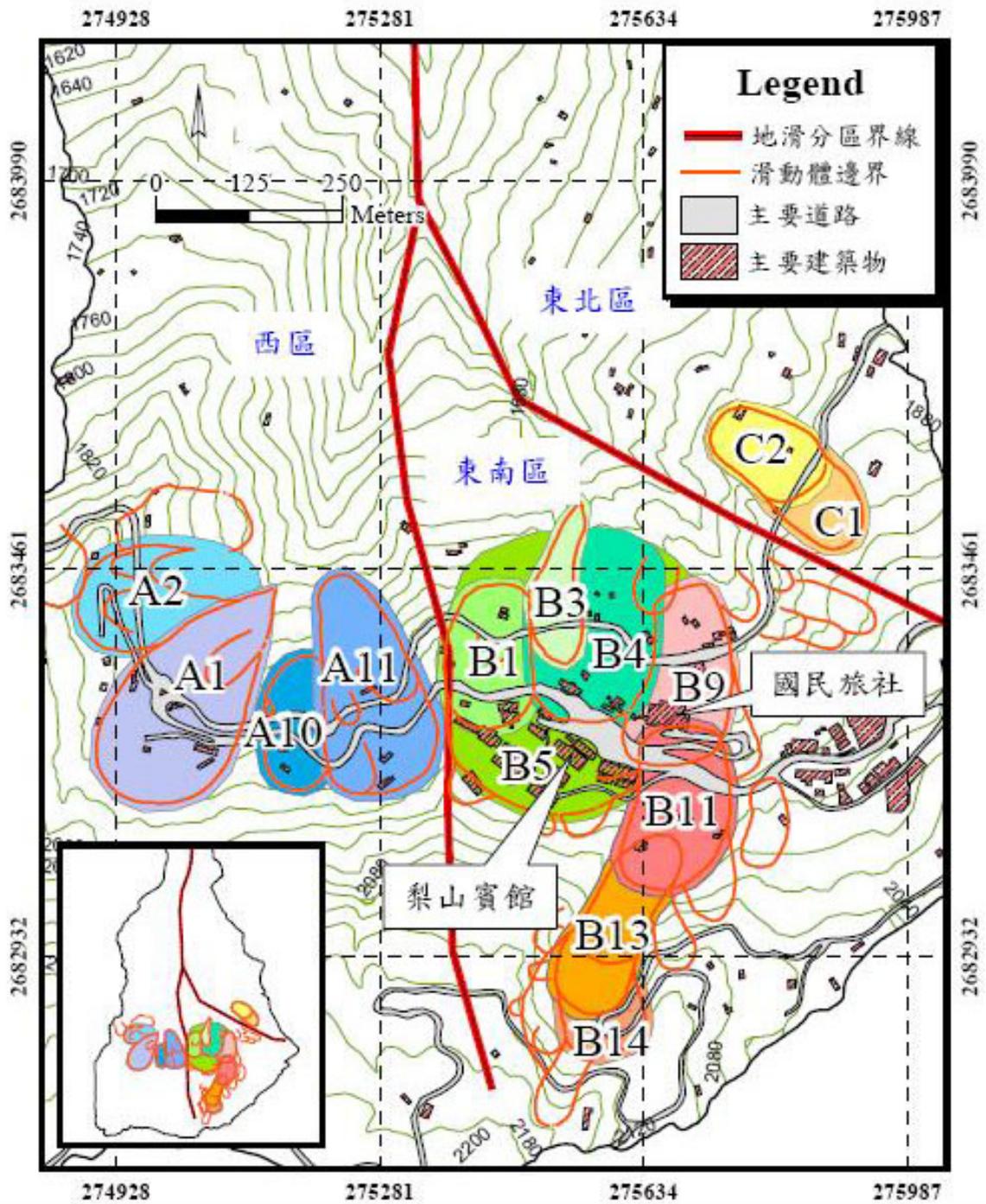


圖 2-3 梨山地滑分區與滑動體位置圖(摘自劉岫雲, 2003)

2-2 崩積層定義、形成原因與材料分類

2-2-1 崩積層定義與形成原因

邊坡往往會因為地質、地形或自然等因素，造成破壞或滑動，而滑動規模與頻率，依據邊坡本身條件與外在環境影響而有所不同，然而不論規模大小或滑動頻繁的邊坡，都會在下邊坡或崖堆上形成堆積物，這些原本在邊坡上的岩石，經過物理或化學等風化程序後，經由滾動、滑動或崩塌等重力作用向低處位移，形成無一定形狀與大小的堆積物，這些堆積物可稱為崩積土。洪如江(1979)認為在上游集水區或礦區上、下方常有崩積土堆積，在斷層帶上或附近的地質材料較為破碎或軟弱，因此形成小規模的崩坍地或是崖錐堆積。

崩坍的種類也與母岩、形成年代與環境息息相關。李文勳(1971)與徐鐵良(1983)定義崩積土依照距離母岩的遠近，可分為距離較近岩屑堆積或是距離較遠的崖錐堆積。董家均與楊賢德(2001)將崩積層的位移破壞形態分為，岩塊堆積崩積層、土石混合堆積崩積層與岩層滑動崩積層(圖 2-4)。

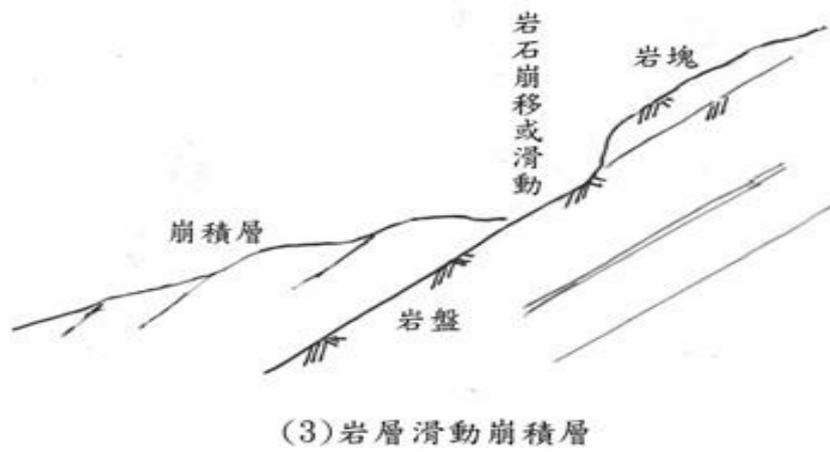
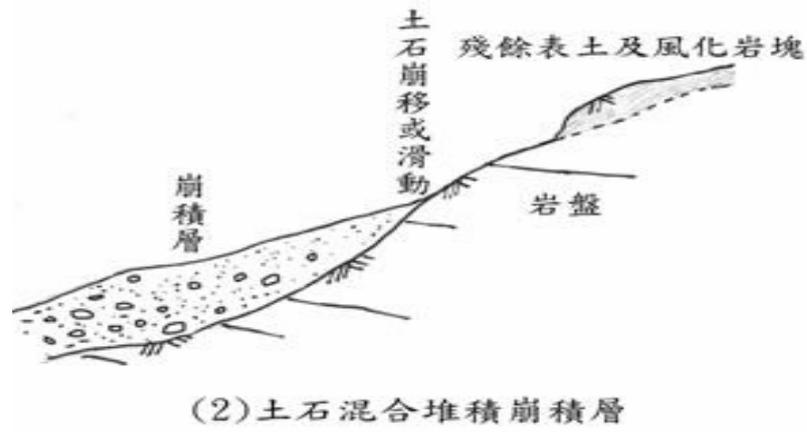
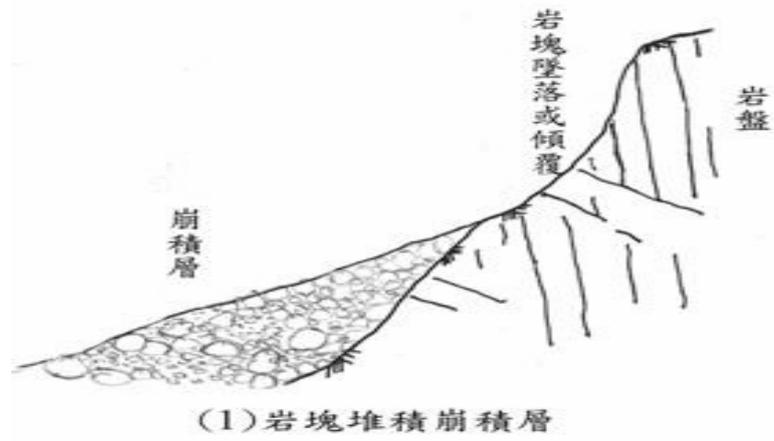


圖 2-4 崩積層的位移破壞形態分類圖(董家均與楊賢德，2001)

黃玉麟(2006)分析梨山崩坍地 B-9 滑動體(圖 2-5)的地質狀況與排水廊道開挖地質資料，配合 B-9 滑動體下邊坡所鑽探取得岩心資料與孔內攝影及波速量測等現地試驗結果，指出此滑動體邊坡向北傾斜，而劈理傾向東南(圖 2-6)，認為梨山崩坍地 B-9 滑動體的主要邊坡破壞並非為順著層面或劈理面的順向坡滑動，推測 B-9 滑動體中上層滑動層是由於原有滑動面上再度形成沿軟弱層所造成，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。

黃玉麟(2006)推測 B-9 滑動體有兩個主要滑動層面，滑動面材料產生原因是由於地下水位上下變動而形成上層滑動面的軟弱層材料；下層滑動面之軟弱層材料為山坡潛移作用，岩層間相互剪動所造成；在新鮮岩盤介面亦有潛移作用的跡象，但無明顯滑動，導致無軟弱層黏土介面的生成。

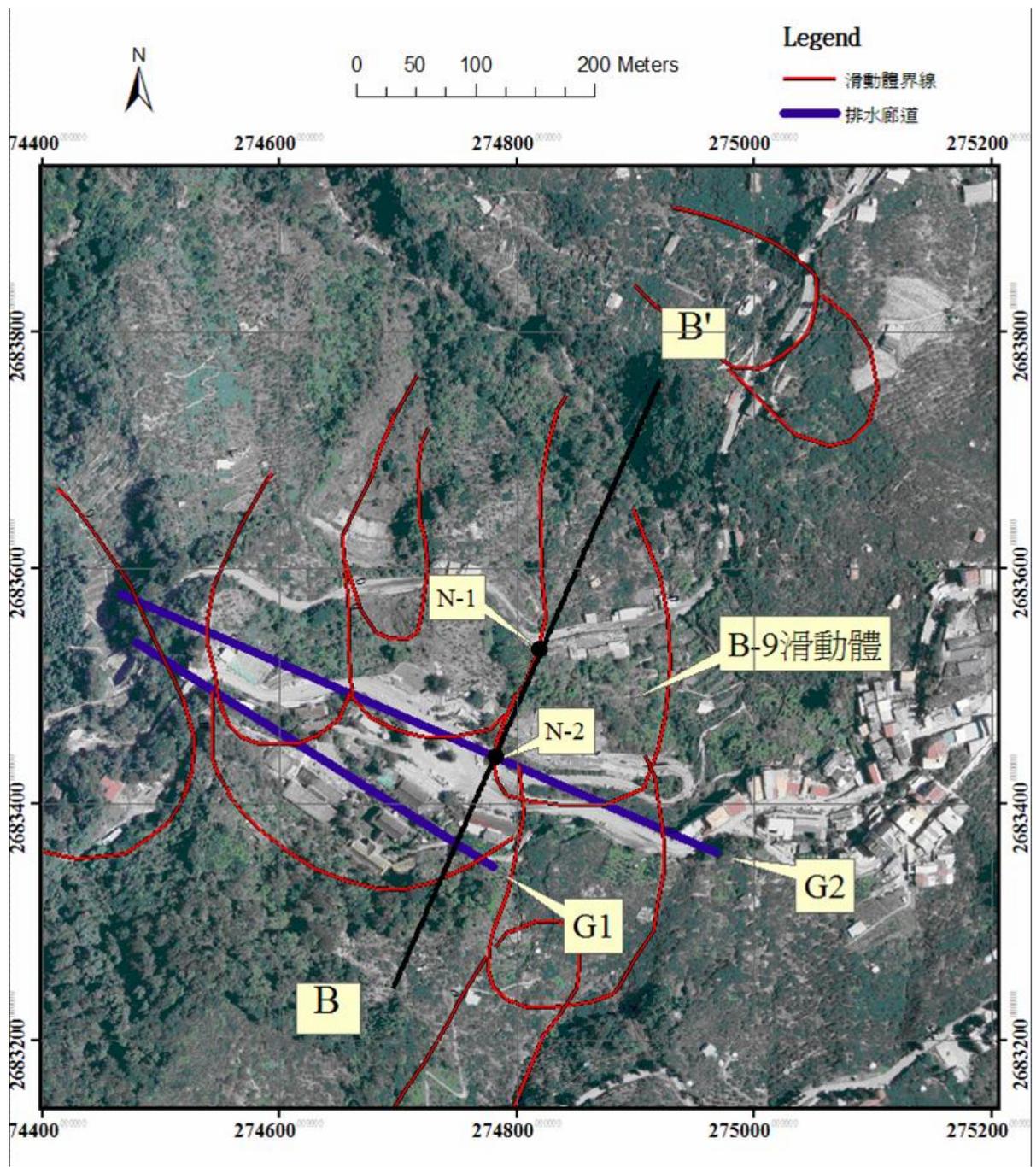


圖 2-5 B-9 滑動體位置圖 (黃玉麟，2006)

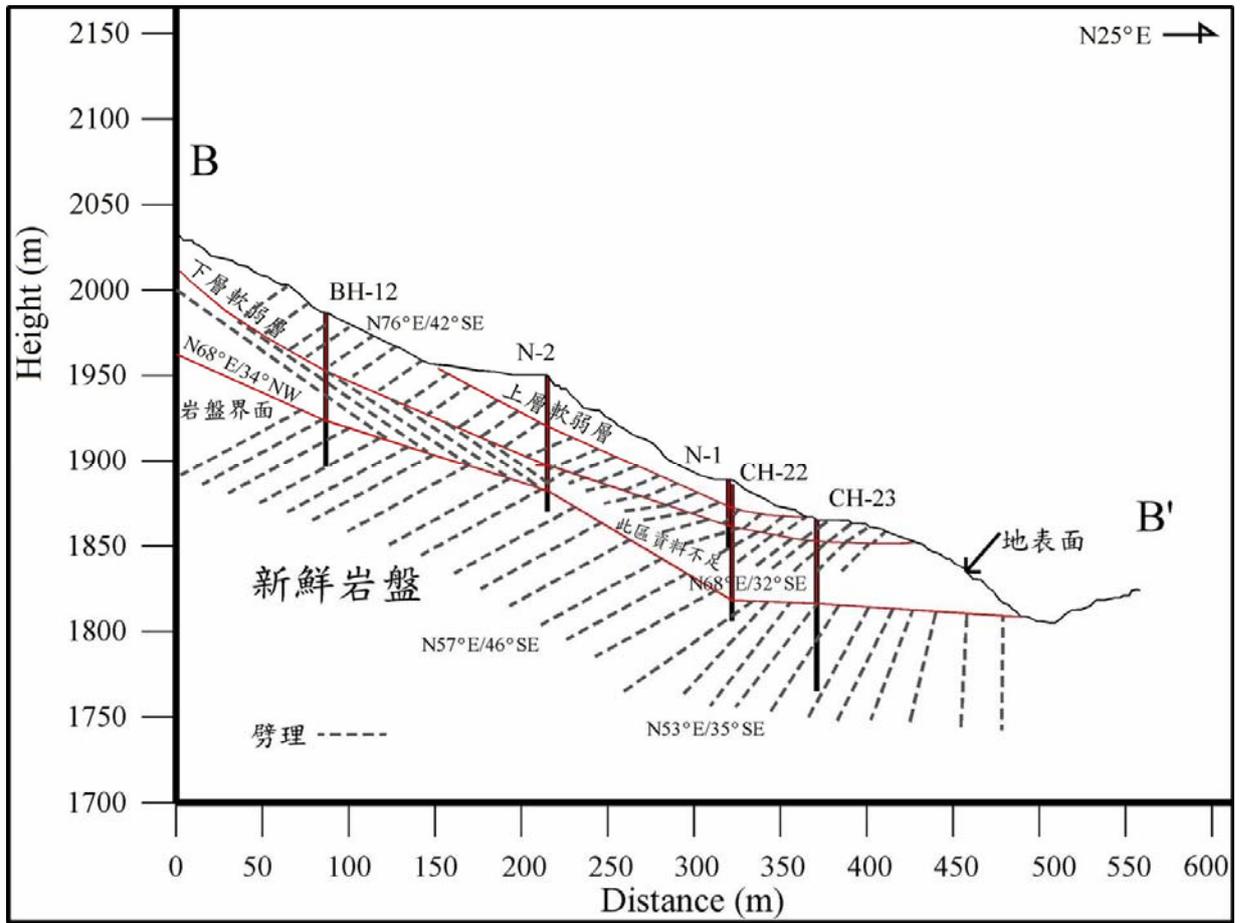


圖 2-6 B-9 滑動體上 B-B' 剖面地層與劈理位態圖(黃玉麟, 2006)

2-2-2 崩積層材料分類

梨山崩坍地地層材料分類最早由工業技術研究院能源與資源研究所(1993)所提出。黃玉麟(2006)、賴忠良(2006)在研究 B-9 滑動體的崩塌成因與數值模擬時，考慮此區域地滑成因、地質條件等多種因素，並配合力學試驗與數值模擬結果，提出以工業技術研究院能源與資源研究所(1993)為基礎的改良分類發法與流程。唐禎國(2007)進一步以岩塊與基質材料的比例加以分類，同時歸納出分類材料的方式與步驟。上述不同崩積材料分類法對照表如表 2-1，並分別說明如下：



表 2-1 岩心分類對照表

工業技術研究院能源與資源研究所(1993)	崩積土	強風化板岩	強至中風化板岩	中至弱風化板岩或弱風化板岩	新鮮板岩
黃玉麟分類(2006)	灰色板岩夾黃色黏土	灰色板岩夾灰色黏土或灰色黏土夾板岩碎屑	灰色板岩夾灰色黏土	灰色板岩	新鮮板岩(無黏土)
賴忠良分類(2006)	無分類	灰色黏土夾灰色板岩顆粒	破碎板岩岩體	灰色板岩內含有節理(節理厚度不可忽略)	灰色板岩內含有節理(節理厚度可忽略)
唐禎國分類(2007)	黃色黏土夾灰色板岩(不分黏土比例)	灰色黏土夾灰色板岩(黏土>70%)或灰色黏土夾板岩碎屑	灰色黏土夾灰色板岩(黏土50~70%)	灰色板岩夾灰色黏土(黏土<50%)	新鮮板岩

工業技術研究院能源與資源研究所(1993)針對梨山崩積地區進行大規模地質鑽探調查，依據日本學者藤原明敏(1979)之地表地質分類準則進行岩心分類，將梨山地區崩積層分為崩積土(Dt)、強風化板岩(W1)、中風化岩板岩(W2)、弱風化板岩(W3)與新鮮岩盤(Rf)五類(分類準則如附錄 B 與圖 2-8)，將梨山地區組成地層分為五類，典型地層剖面與地層材料狀況如圖 2-7，最上層由厚度不一的崩積土(Dt)覆蓋，在其下方為風化岩層(依風化程度不同，又分為中風化層(W2)與弱風化層(W3))，在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))，而在這些岩層下方為母岩，也就是新鮮岩盤(Rf)。

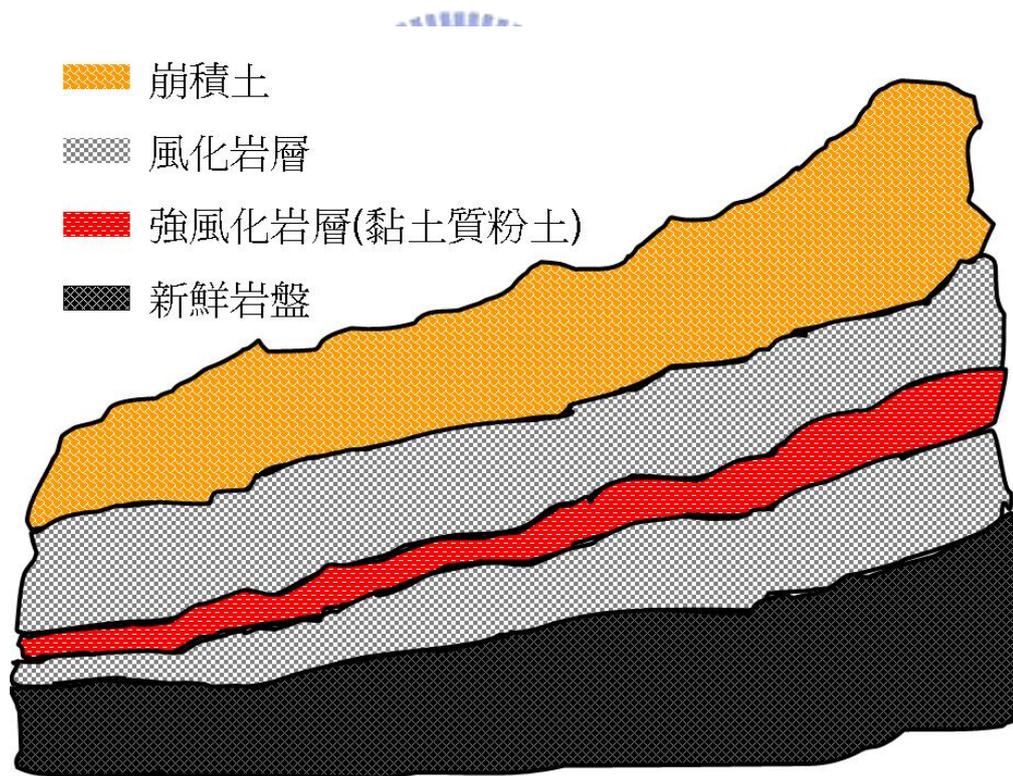


圖 2-7 典型梨山地區崩積層剖面



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 2-8 梨山地區地層材料分類圖示(工業技術研究院能源與資源研究所，1993)

黃玉麟(2006)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五項指標，分類梨山地層之岩心 (如表 2-2)，分類方法流程如圖 2-9。

表 2-2 岩心分類方法

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	

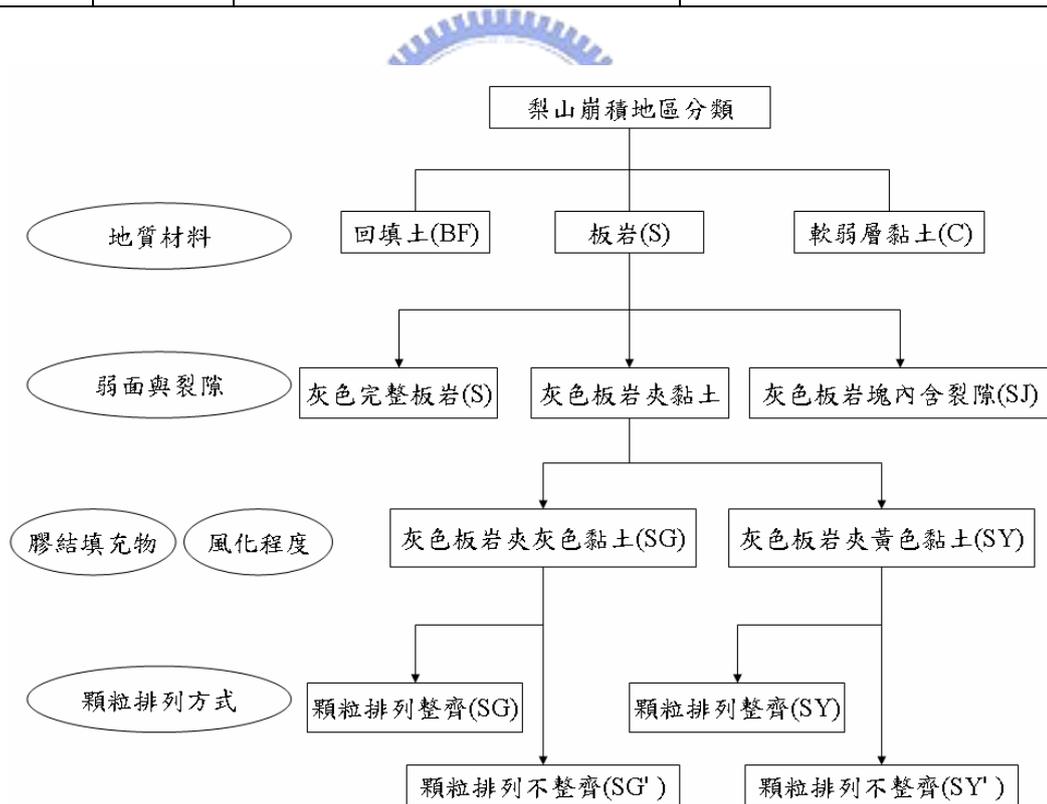


圖 2-9 岩心分類流程圖(黃玉麟，2006)

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(圖 2-10)，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 2-3 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。



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)

圖 2-10 賴忠良(2006)崩積層材料分類

表 2-3 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
24 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

唐禎國(2007)在梨山崩坍地滑動體 B-9、B-1、及 B-4 分規劃三個鑽探孔(X1、X2 及 X3 孔，鑽孔位置如圖 2-11)，地質鑽探結果依黃玉麟(2006)分類法為基礎，加入岩塊與基質材料比例的觀點，提出對於 B 滑動體內材料的分類方式，岩心分類流程圖如圖 2-12，也依力學行為亦將其分成五類如圖 2-13，

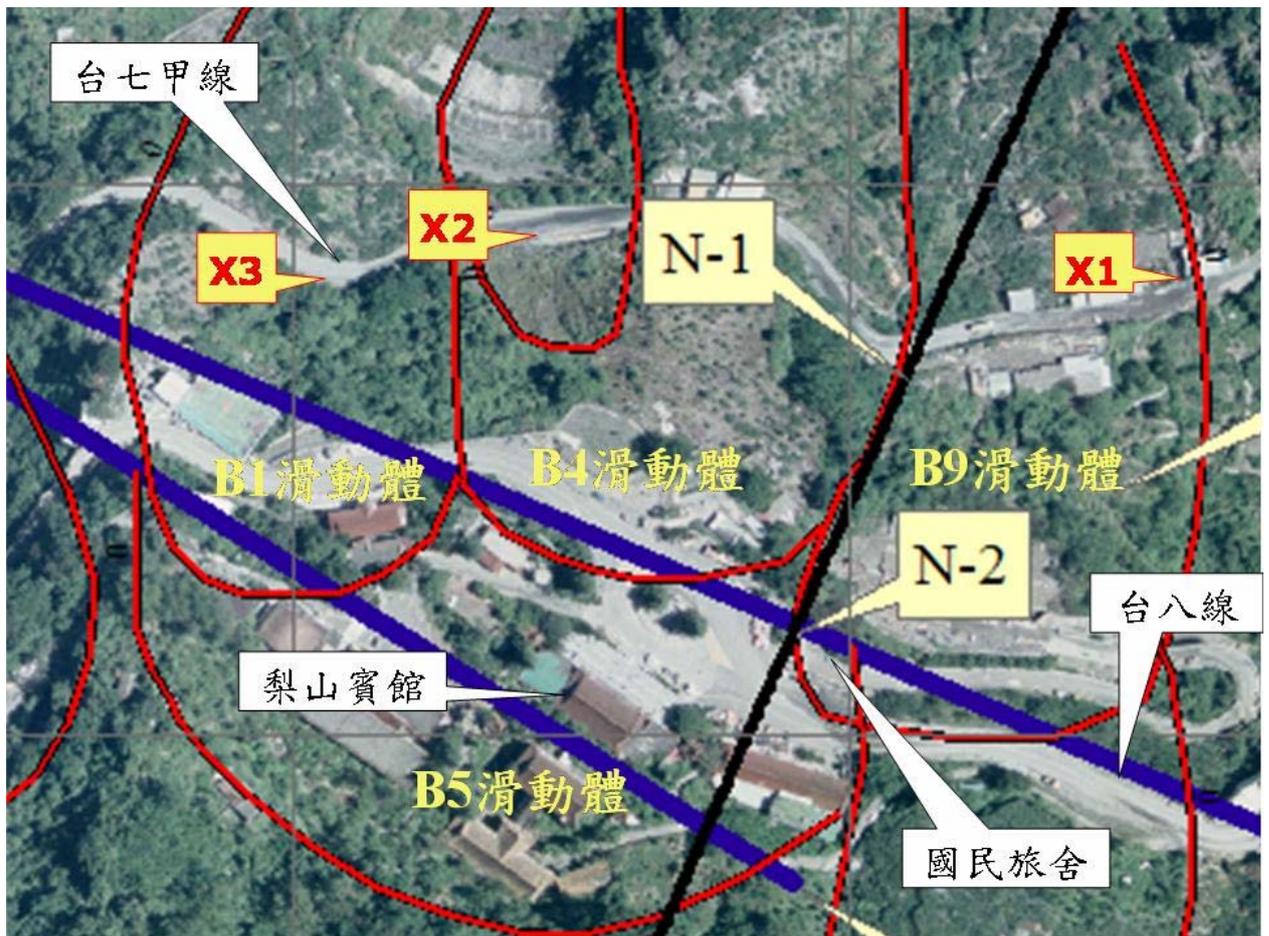


圖 2-11 鑽探孔 X1、X2 及 X3 地理位置示意圖(改自羅文驤，2007)

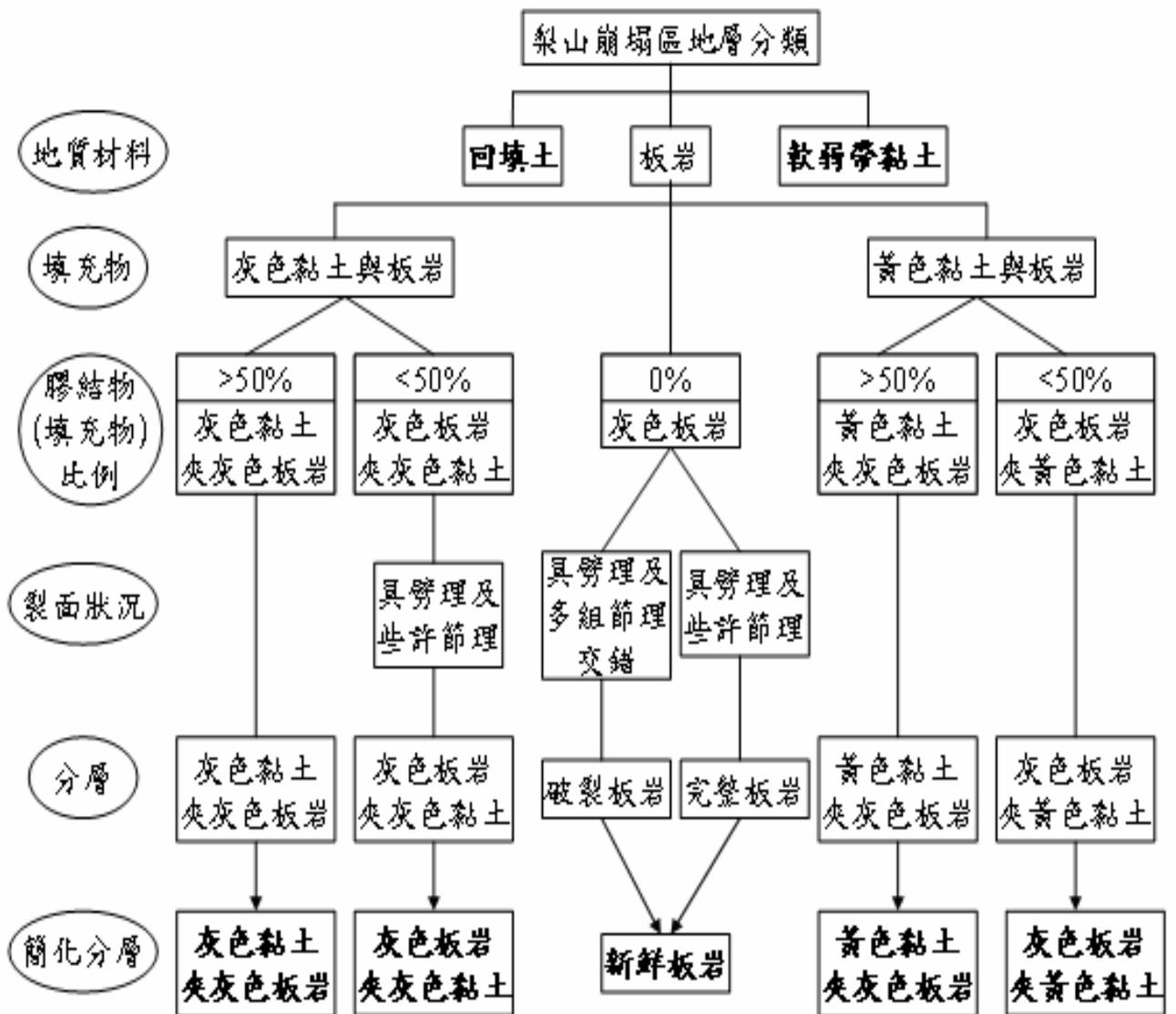


圖 2-12 岩心分類流程圖(唐禎國，2007)

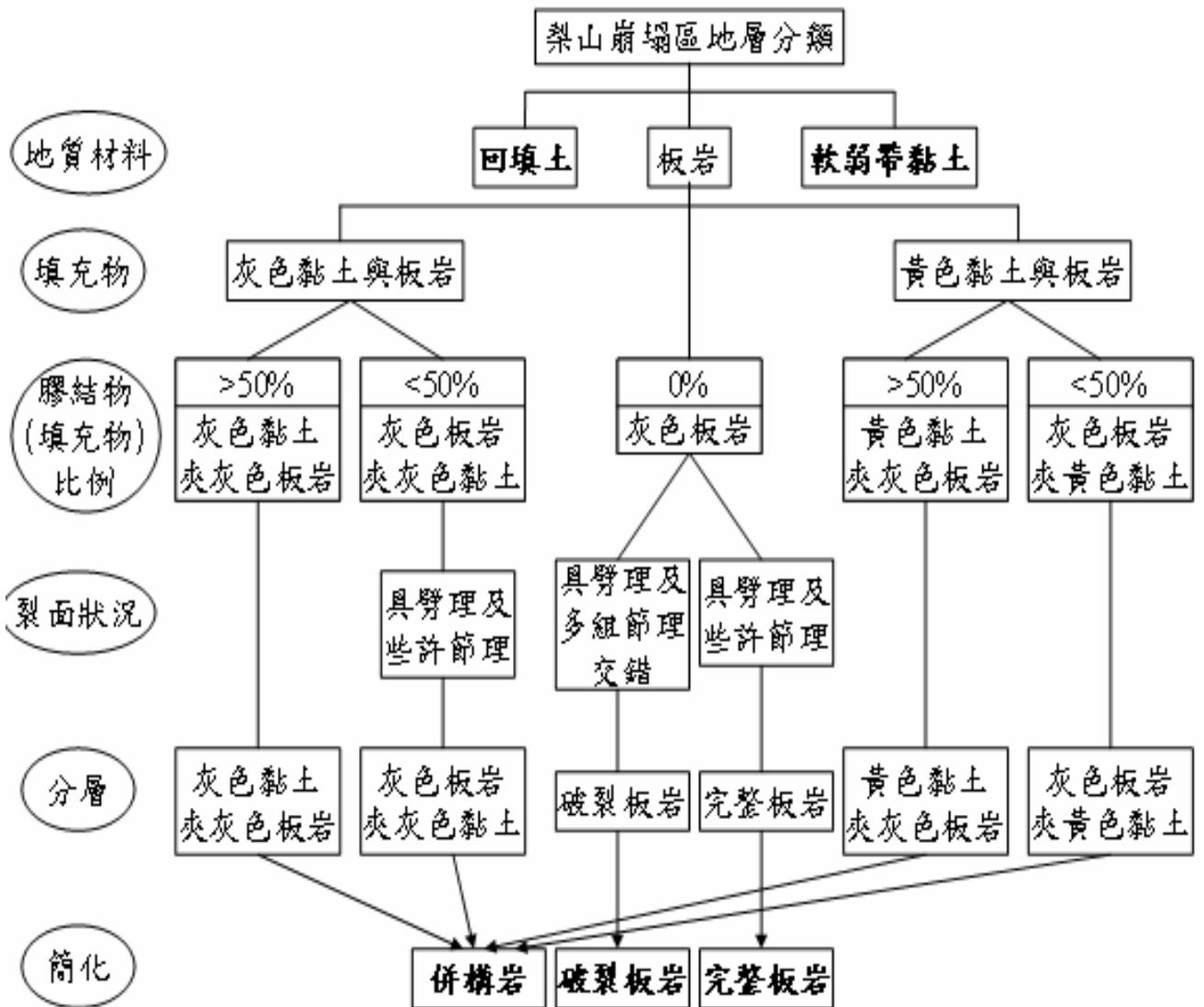


圖 2-13 材料力學行為分類流程圖(唐禎國，2007)

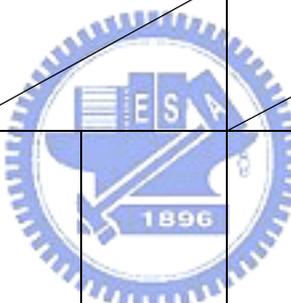
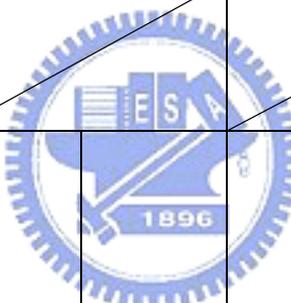
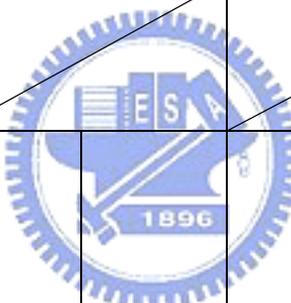
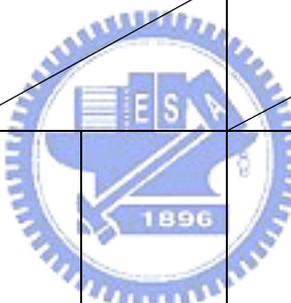
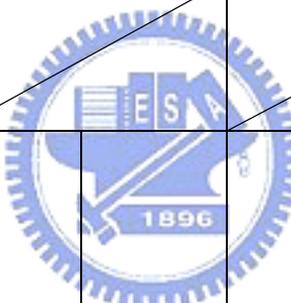
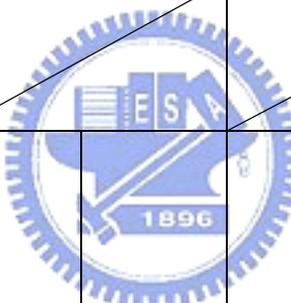
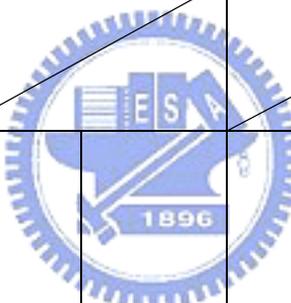
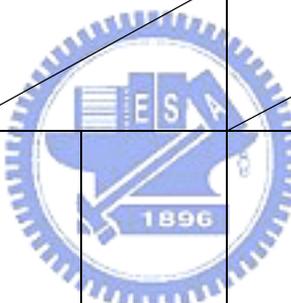
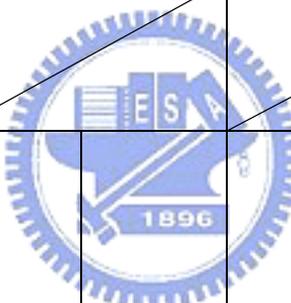
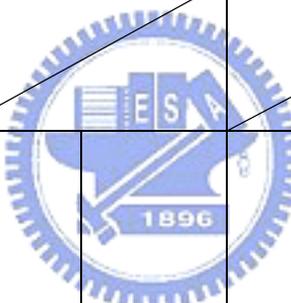
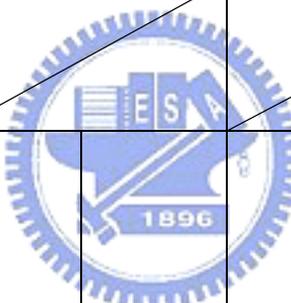
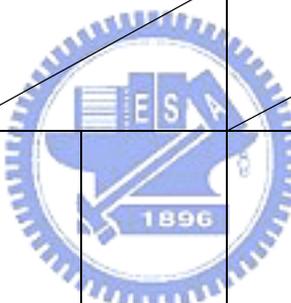
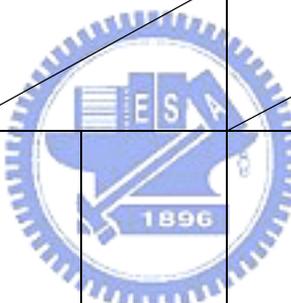
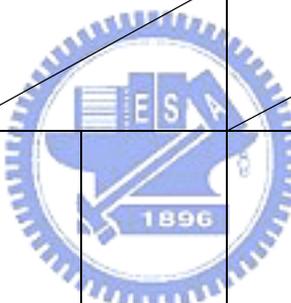
2-3 崩積層材料力學相關文獻收集

鑿於釐山崩坍地材料取樣不易，岩心提取率偏低，因此在材料力學行為研究較為不易，過去此區域材料力學研究上主要有蘇苗彬(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)等，表 2-4 為歷年來梨山地層組成材料力學相關研究成果。

大部分的研究皆是以邊坡穩定為考量，所求出的材料參數整理歸納出如表 2-4，地層材料主要包括崩坍的土層、風化岩層、滑動介面岩層與新鮮岩盤。各種材料的膠結性不佳，劈理發達，並帶部分的節理，因此材料較為破碎、強度低。由於不容易鑽取品質良好的岩心，因此部分研究試驗材料以重模試體為主，部分的天然試體為明坑開挖所取得的崩積土塊與鑽探取得之岩心。



表 2-4 歷年來梨山地層組成材料力學相關研究成果

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									2.0-6.0	36-39										
崩積土																			0.5-1.1	28.7-30.9
強至中 度風化 板岩																				
滑 動 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)		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)	

方世杰(1990)研究中橫公路崩積土坡地力學特性指出一般物理性質結果(表 2-5)：崩積土的濕密度為 $1.94\sim 2.14\text{ g/cm}^3$ 、比重 $2.67\sim 2.75$ 、孔隙比 $0.42\sim 0.6$ 、含水量 $3.83\sim 18.07\%$ 、液性指數為 NP 或 14%；灰色板岩碎屑的濕密度為 $2.17\sim 2.42\text{ g/cm}^3$ 、比重 $2.74\sim 2.75$ 、孔隙比 $0.23\sim 0.44$ 、含水量 $8.51\sim 10.59\%$ 、液性指數為 NP 或 11%；沉泥質黏土的濕密度 2.29 g/cm^3 、比重 2.82 、孔隙比 0.42 、含水量 15.15% 、液性指數 7% ，粒徑分佈結果如表 2-6、圖 2-14、15、16、17。在力學試驗方面結果：現地塊狀土體所進行大型直接剪力試驗結果(圖 2-18、19、20)，凝聚力在 $0.017\sim 0.25\text{ kg/cm}^2$ 之間，摩擦角在 $31.9^\circ\sim 38^\circ$ 之間；滑動面沉泥質黏土的土樣(薄管取樣，NX)進行單壓試驗、直接剪力試驗與三軸試驗(三段式飽和壓密不排水)。單壓試驗結果(圖 2-21、22)，單壓強度分別為 1.14 kg/cm^2 與 0.92 kg/cm^2 ；直接剪力試驗結果(圖 2-23)顯示凝聚力 0.13 kg/cm^2 ，摩擦角 18.2° ，推估為造成滑動的主因；而三軸試驗(三段式飽和壓密不排水)得到結果(圖 2-24、2-25)為凝聚力 0.29 kg/cm^2 ，摩擦角 18.5° ；單向壓密試驗結果(圖 2-26、27)指出崩積土壓縮指數 $0.15\sim 0.16$ ，再壓縮指數 $0.014\sim 0.018$ ，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結果，耐蝕指標 98.86% ，歸納為中高耐久性之岩石。他認為崩積土在現地含水量狀況下膠結性不良，含水量增加對於崩積土內部之摩擦角有一定程度的影響。

表 2-5 一般物理性質試驗結果(方世杰，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

表 2-6 崩積土層粒徑分佈性質與工程分類(方世杰，1990)

試樣編號	D10	D30	D60	D50	D _m	C _u	C _c	通過 #4 百分比	通過 #200 百分比	土壤統一 分類	備註
	mm	mm	mm	mm	mm	$\frac{D_{60}}{D_{10}}$	$\frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}}$				
明坑	0.59	30.0	49.01	44.02	56.70	83.05	31.13	19.31	7.91	GP - GW	下邊坡
SW1	0.47	1.91	6.18	4.05	8.13	13.15	1.26	55.75	0.97	SW	上邊坡
SW2	0.83	3.21	10.16	7.14	11.80	12.24	1.22	41.29	0.37	GW	上邊坡
SW3	0.80	2.86	7.14	5.24	7.21	8.93	1.43	47.47	0.34	GW	上邊坡
SW4	0.49	2.98	8.80	6.19	8.68	17.96	2.06	44.76	0.44	GW	上邊坡
SW5	0.47	2.14	8.09	5.47	7.90	17.21	1.20	47.63	0.41	GW	上邊坡
SW6	0.52	2.14	6.19	4.12	6.55	11.90	1.42	56.22	0.63	SW	上邊坡
SW7	0.50	2.26	8.09	5.24	8.26	16.18	1.26	48.56	0.18	GW	上邊坡

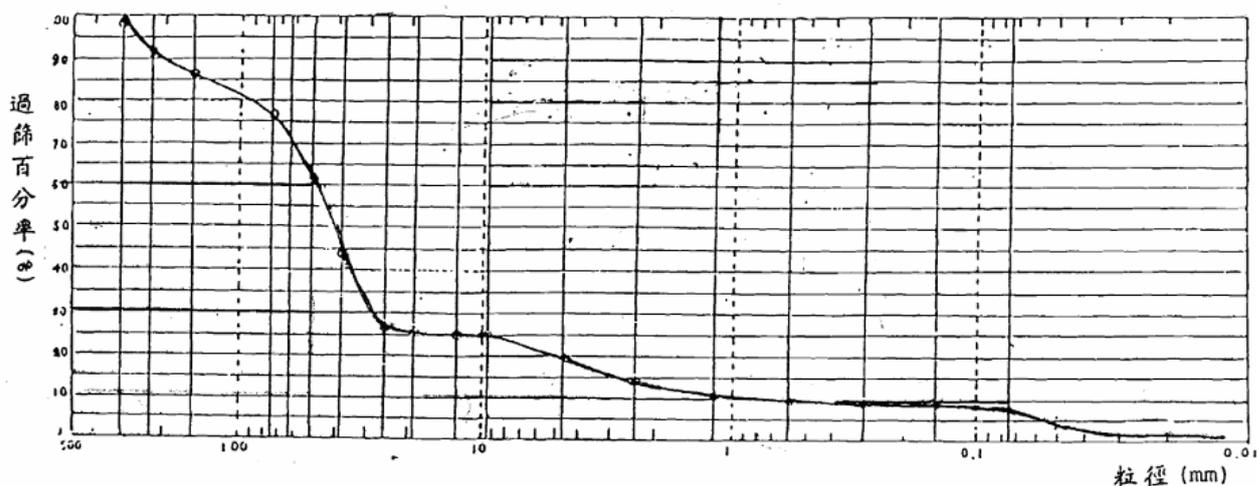


圖 2-14 現地級配曲線(方世杰，1990)

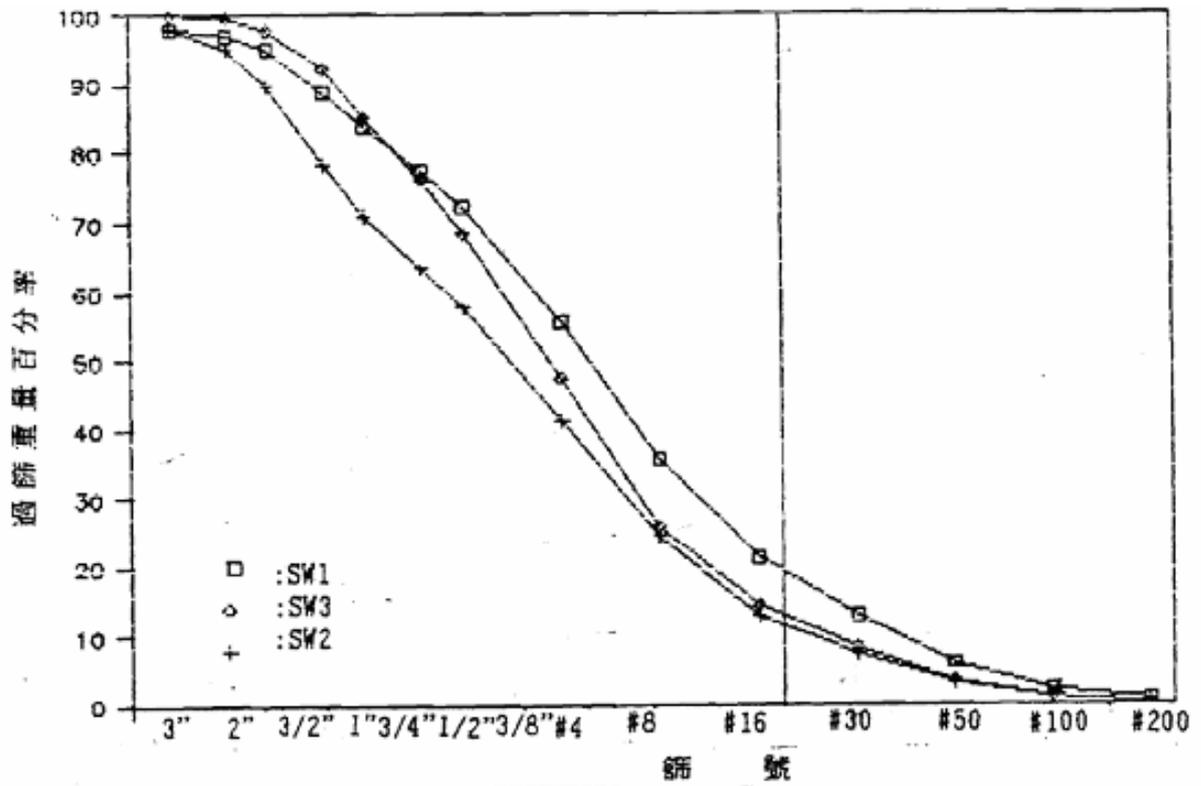


圖 2-15 SW₁、SW₂、SW₃ 塊狀取樣試體之粒徑分佈曲線(方世杰，1990)

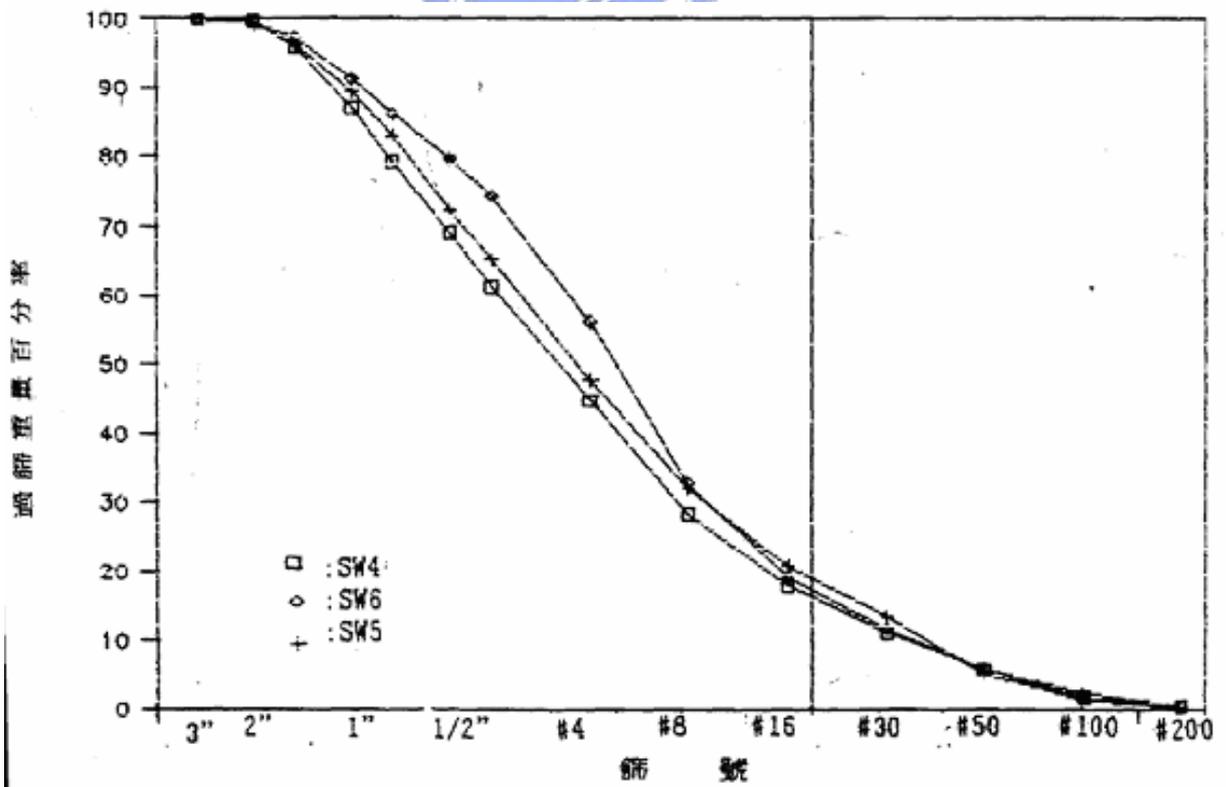


圖 2-16 SW₄、SW₅、SW₆ 塊狀取樣試體之粒徑分佈曲線(方世杰，1990)

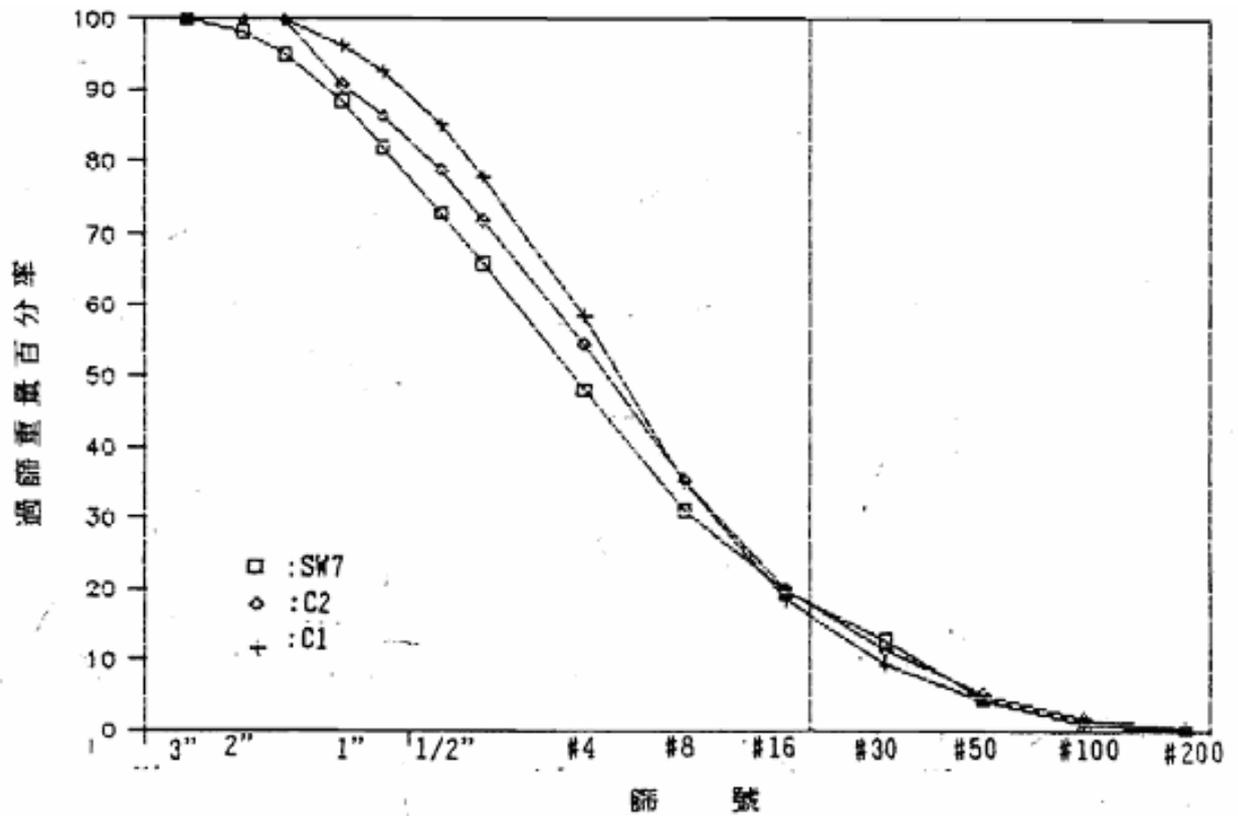


圖 2-17 SW₇、C₁、C₂塊狀取樣試體之粒徑分佈曲線(方世杰，1990)

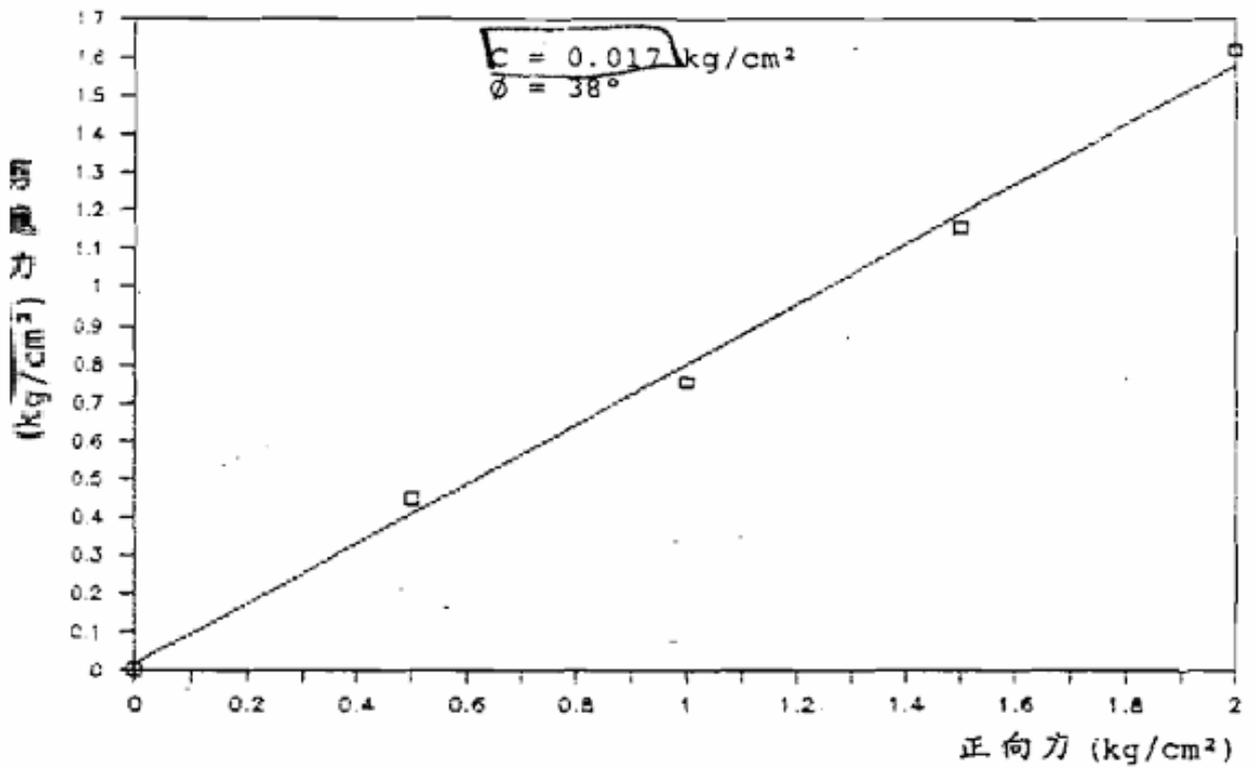


圖 2-18 大型直接剪力試驗結果(SD₃)(方世杰，1990)

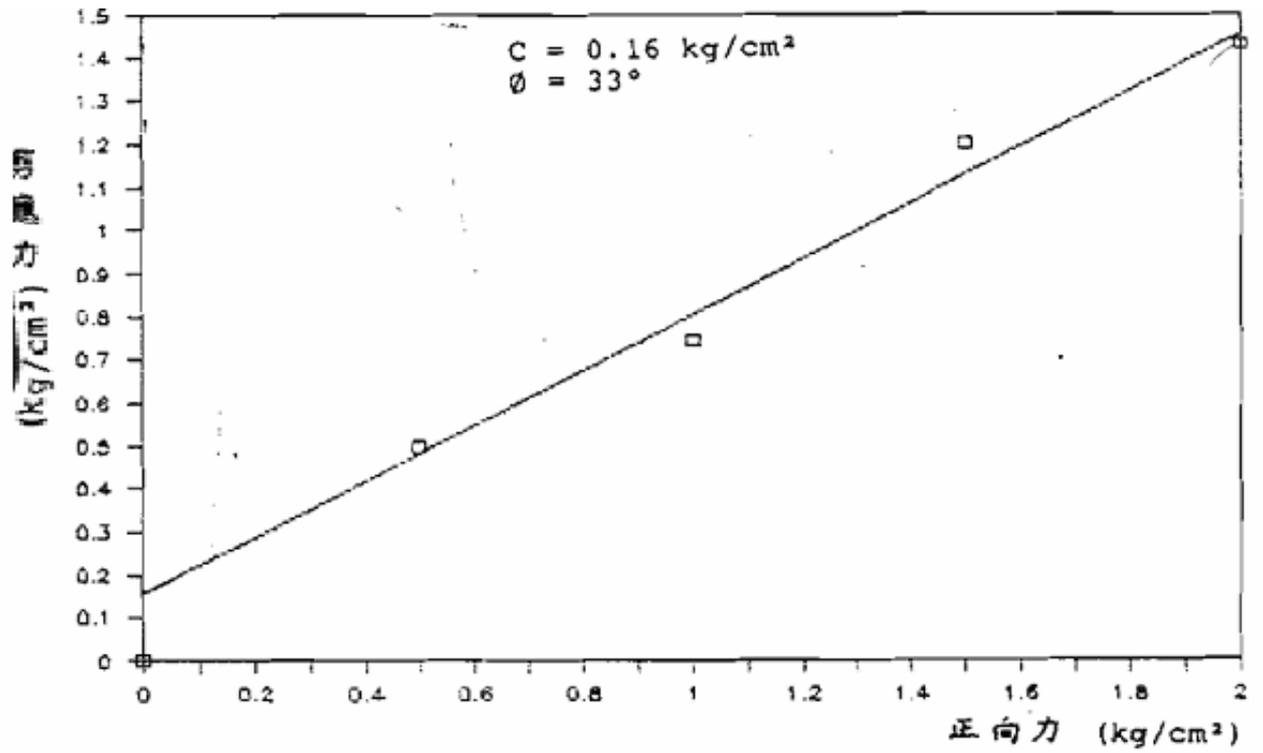


圖 2-19 大型直接剪力試驗結果(SW₄) (方世杰, 1990)

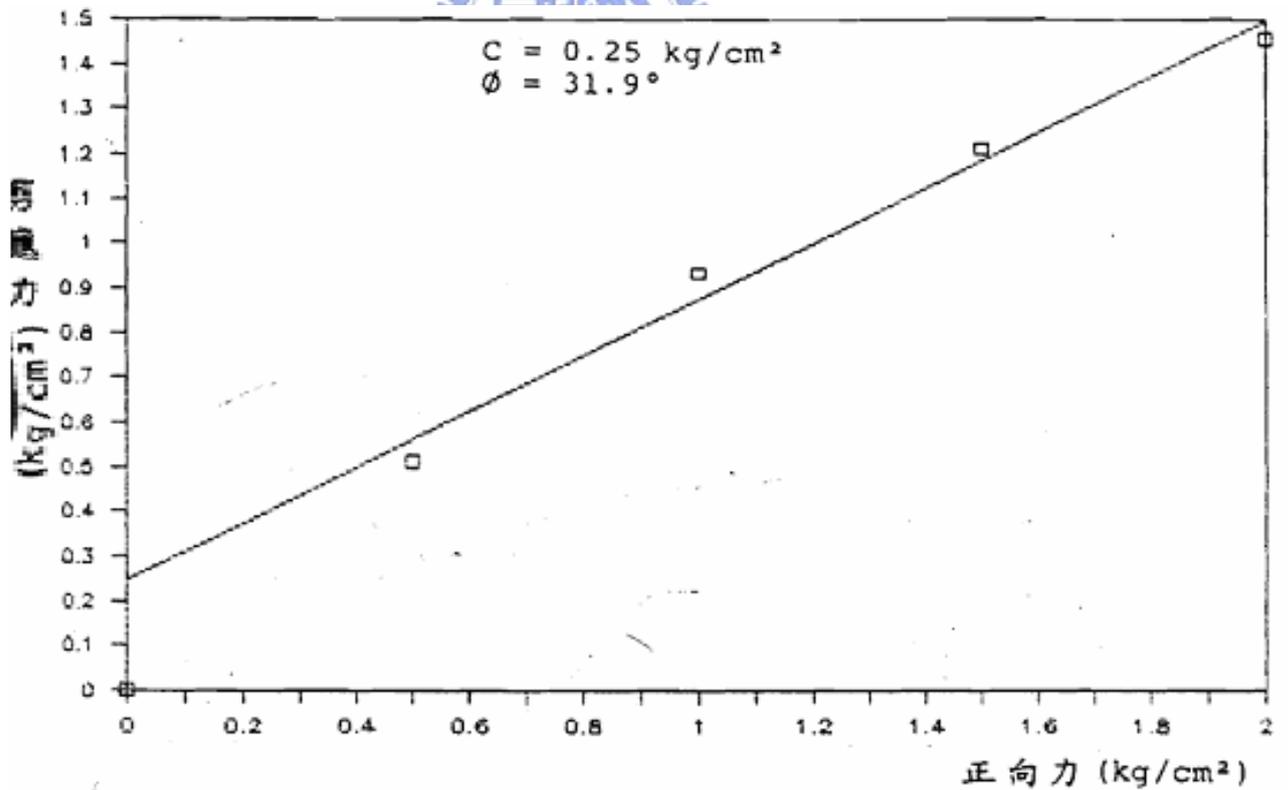


圖 2-20 大型直接剪力試驗結果(SW₅) (方世杰, 1990)

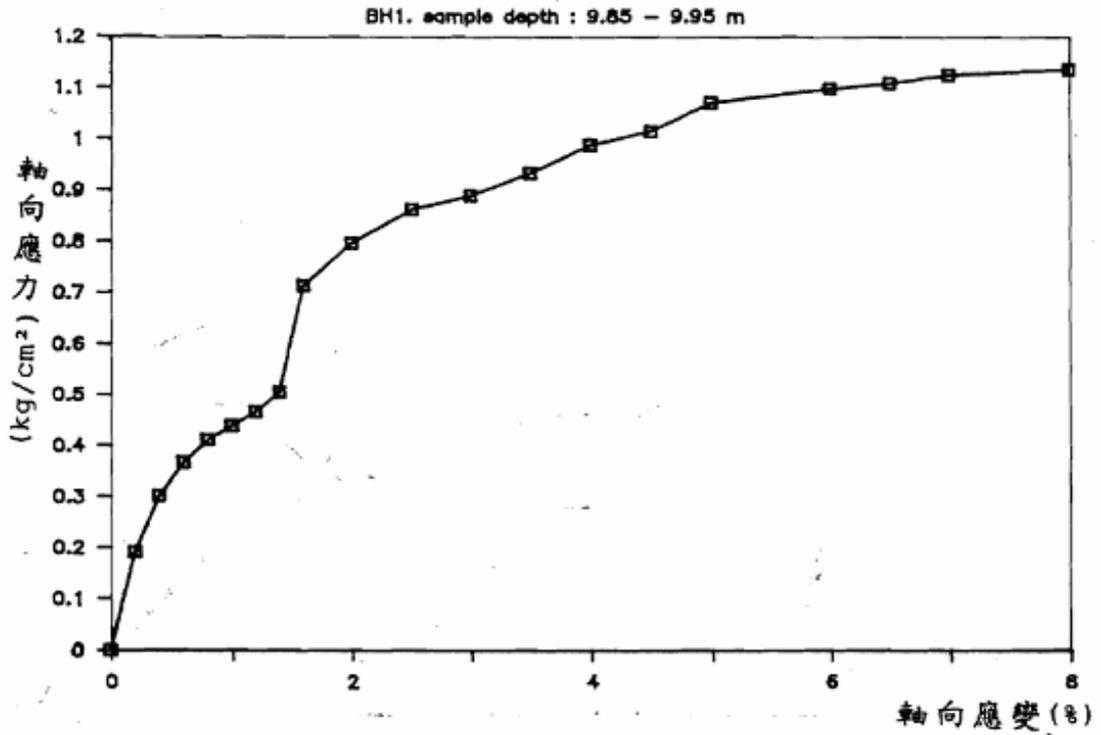


圖 2-21 BH1 沉泥質粘土單壓強度試驗應力應變曲線(方世杰，1990)

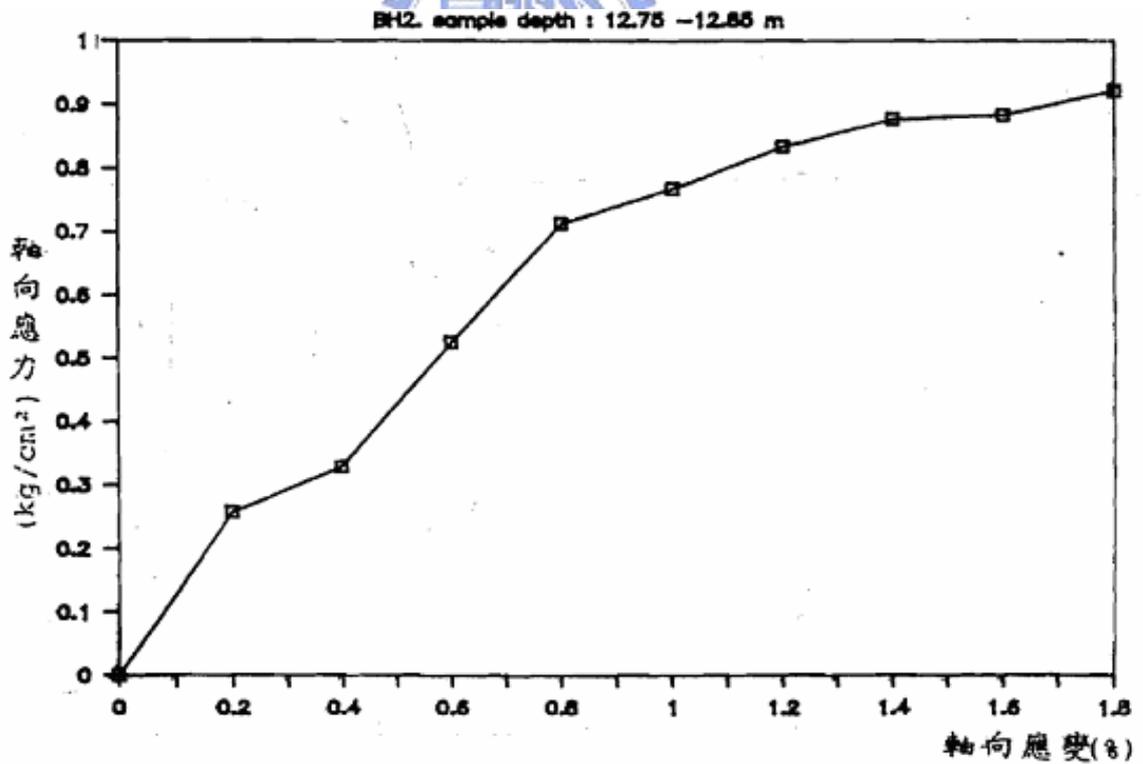


圖 2-22 BH2 沉泥質粘土單壓強度試驗應力應變曲線(方世杰，1990)

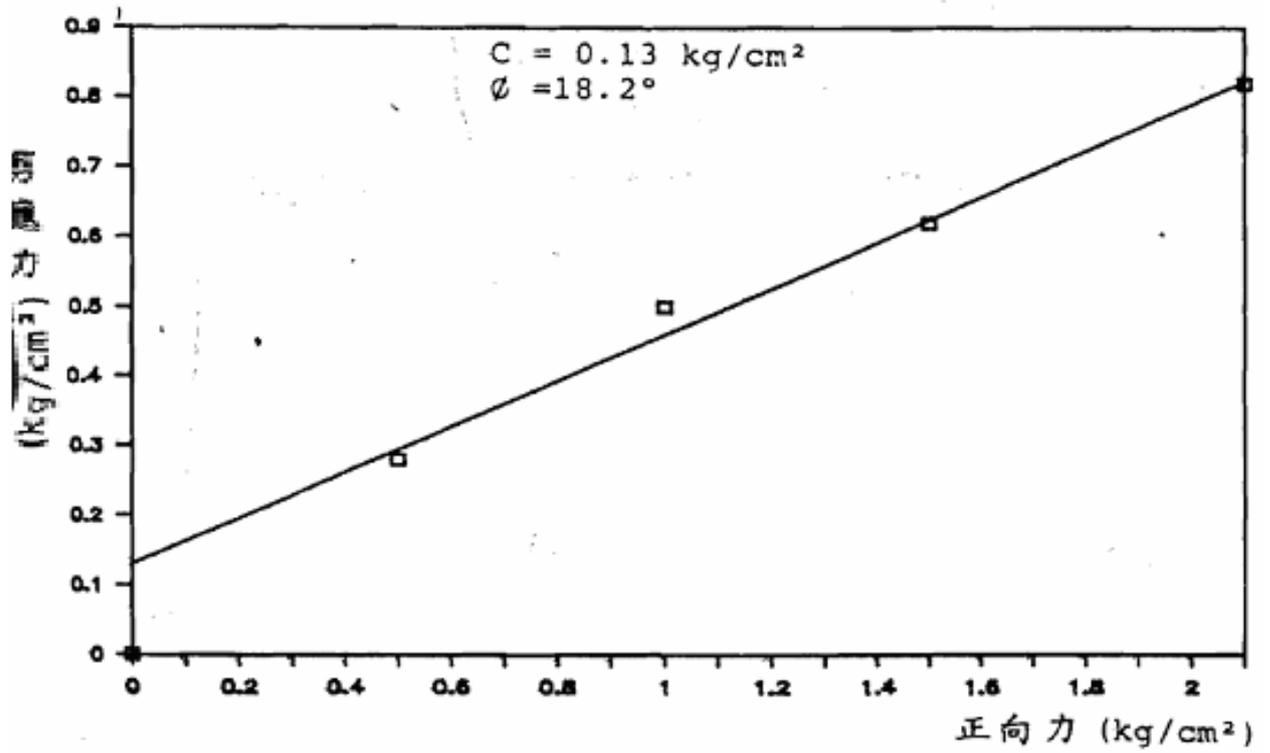


圖 2-23 小型直接剪力試驗結果(方世杰，1990)

應力	力 1 = 1.844	孔 隙 水 壓	1 = -.07	應 變	1 = 11.4
應力	力 2 = 2.768	孔 隙 水 壓	2 = -.07	應 變	2 = 5.200001
應力	力 3 = 5.306	孔 隙 水 壓	3 = -.19	應 變	3 = 16.4

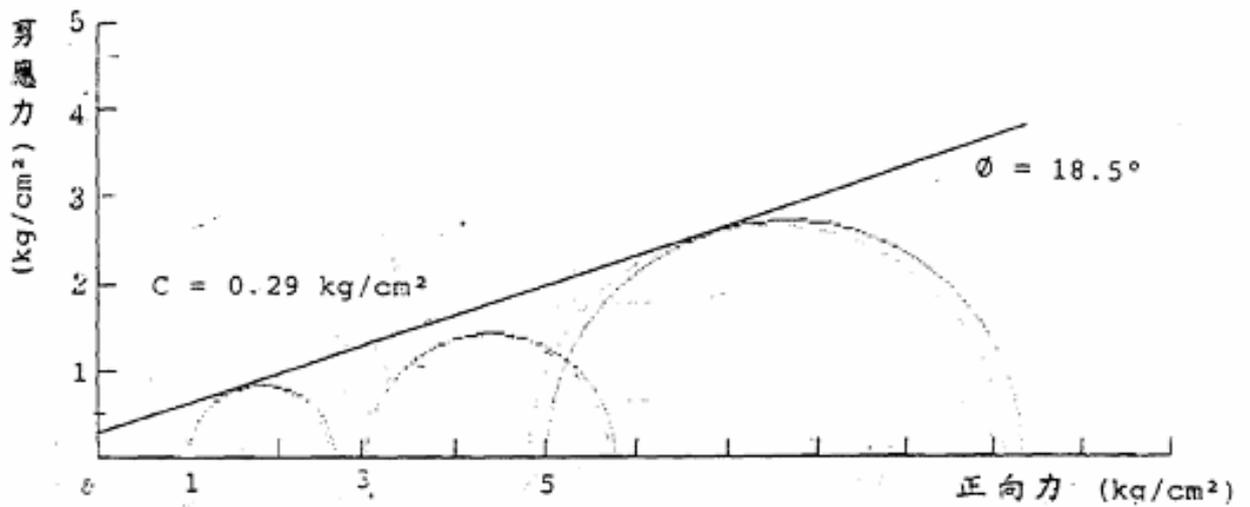


圖 2-24 三軸壓縮試驗剪應力、正向力關係曲線(方世杰，1990)

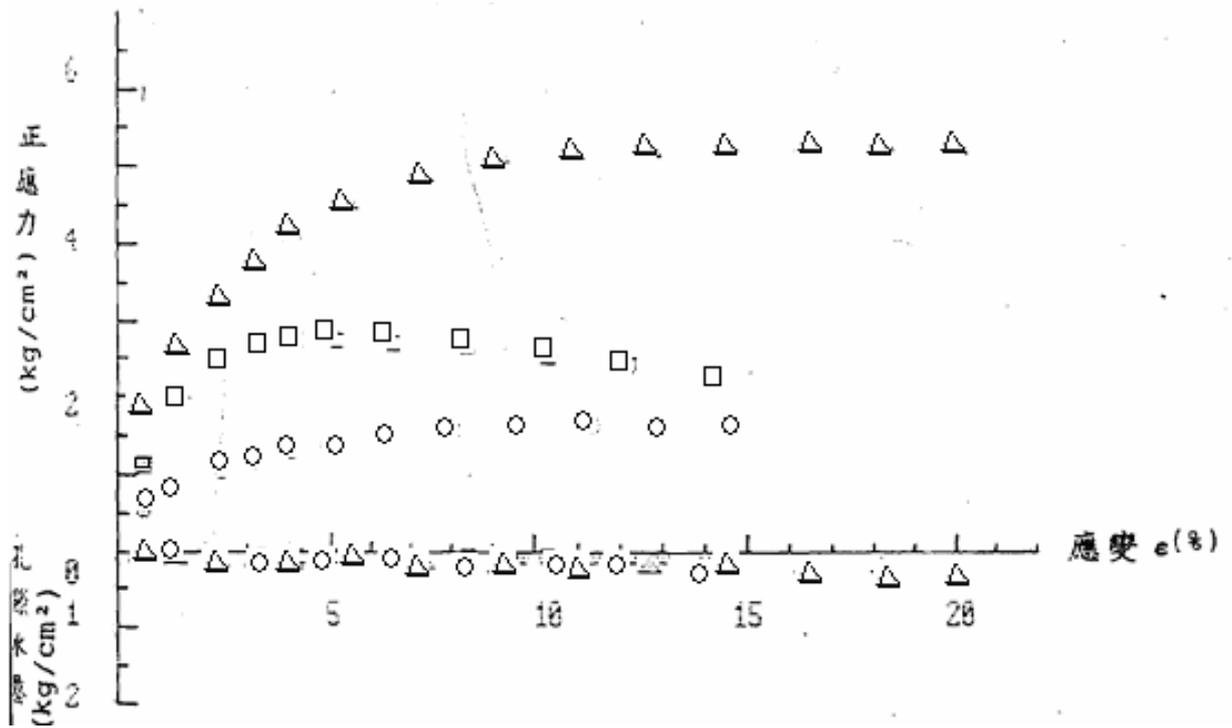


圖 2-25 三軸壓縮試驗應力應變曲線與孔隙水壓變化曲線(方世杰，1990)

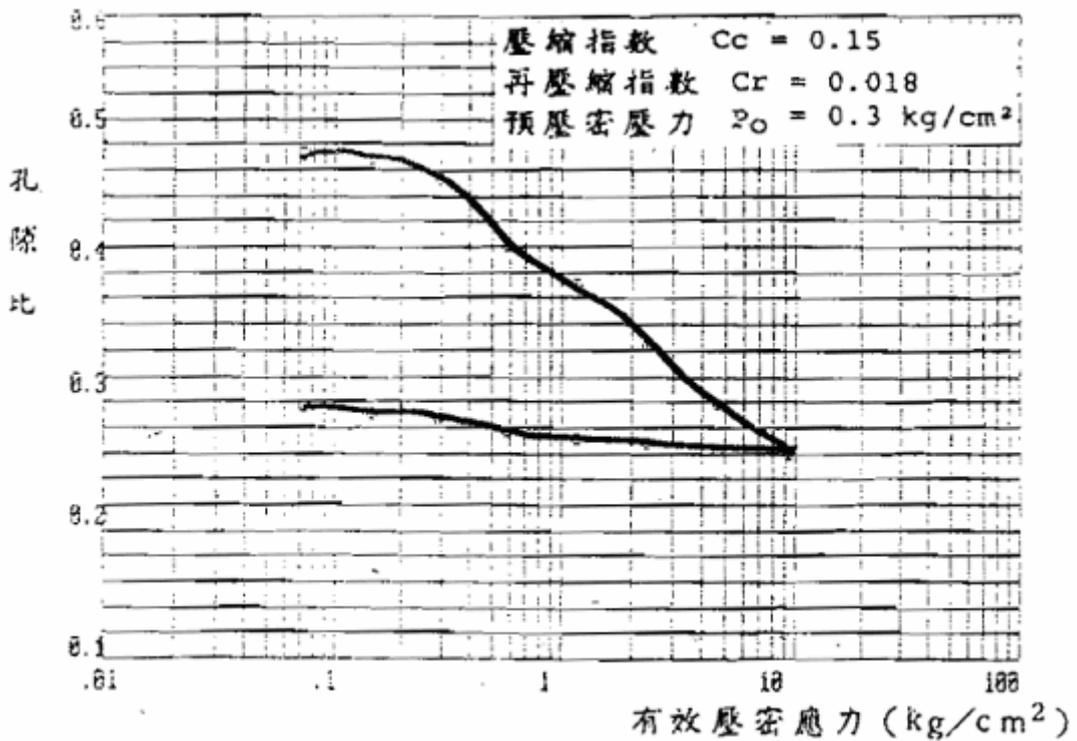


圖 2-26 單向度壓密試驗結果(一)(方世杰，1990)

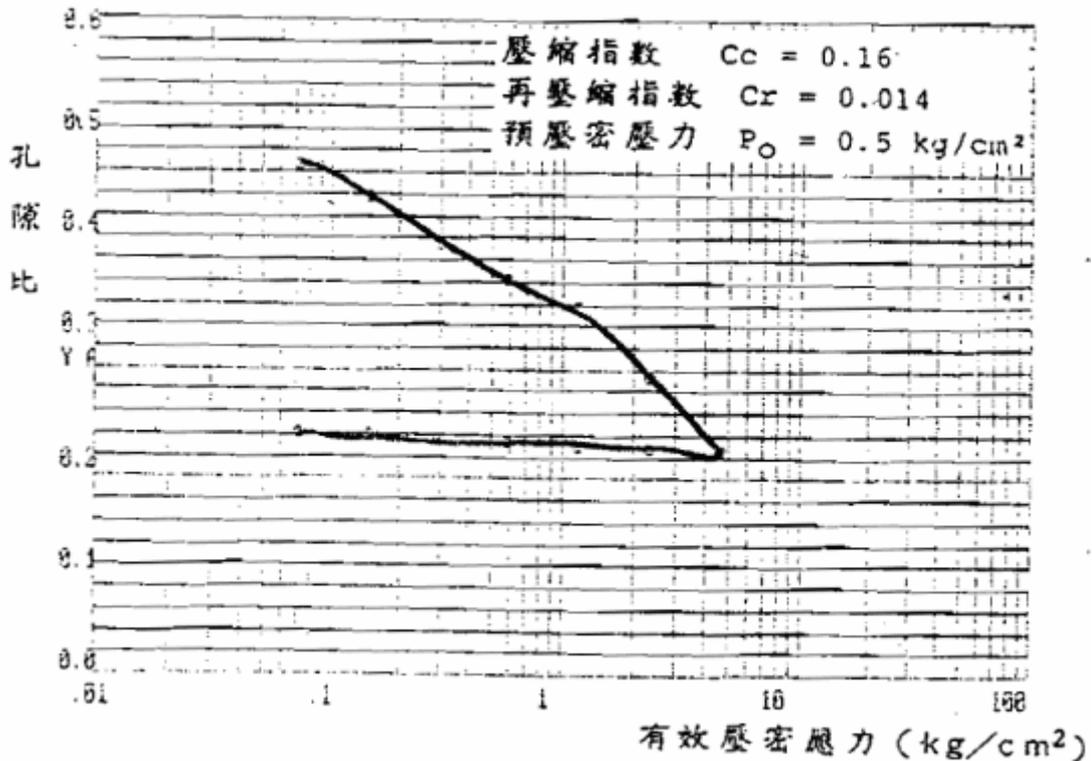


圖 2-27 單向度壓密試驗結果(二) (方世杰，1990)

劉啟鋒(1990)研究中橫公路台七甲線 72K+500 處的邊坡穩定性，在監測兩孔水位計(A-1 深度 20 米、A-2 深度 13 米)資料後發現地表下 5.85 米與 5.57 米處有一滑動面。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 1.99 g/cm^3 與 1.93 g/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 2-7)，試井開挖後土壤分層為表土層(0.0m~0.6m)、灰黑色板岩礫石土(0.6m~2.40m)、黃棕色黏土夾雜板岩塊與岩層(2.40m~4.20m)、破碎灰色板岩層(4.20m~5.90m)、砂質黏土(5.90m~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，試驗結果表 2-8、2-9。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，摩擦角則不確定，可能為試體大小尺寸影響所
致。圖 2-28、2-29 可看出凝聚力(c)、摩擦角 Φ 與顆粒粒徑的關係，試體最
大顆粒粒徑增加，細粒料含量減少，凝聚力(c)有逐漸變小的趨勢；摩擦角
 Φ 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。



表 2-7 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 2-8 不同粒徑凝聚力與摩擦角大小(劉啟鋒，1990)

最大粒徑 強度參數	2"	3/4"	#4	#8	#16	#30	#50	#100	#200
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 2-9 砂質黏土強度參數(劉啟鋒，1990)

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

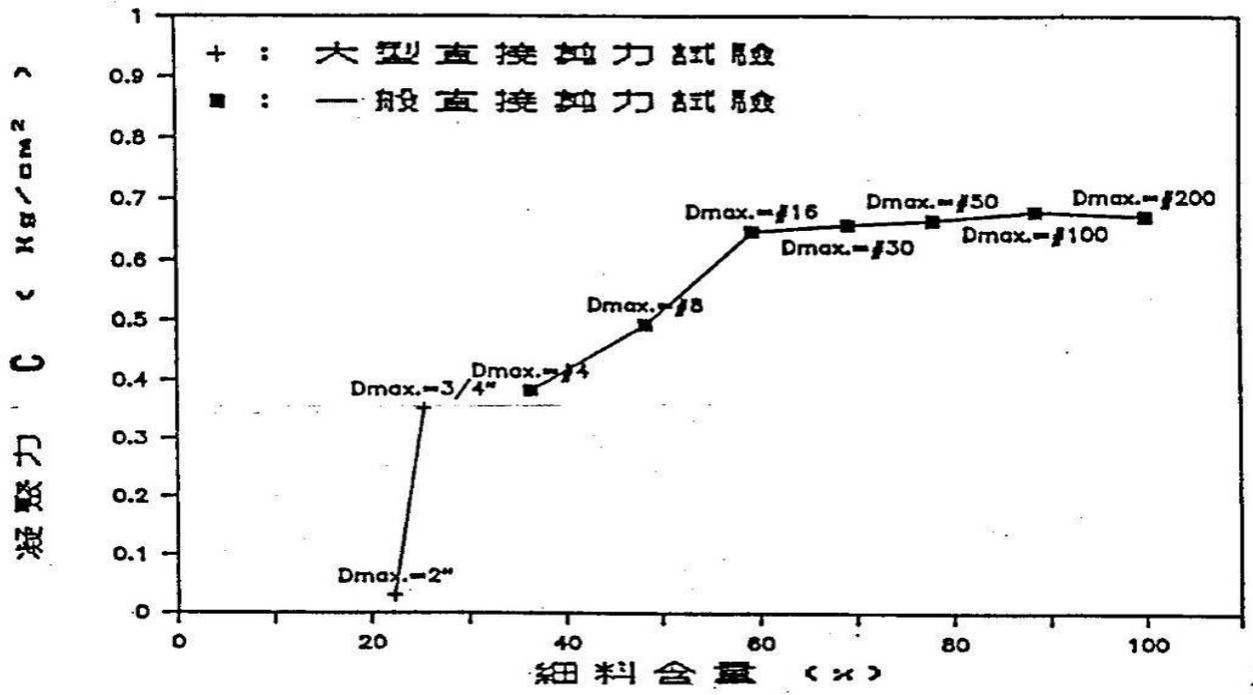


圖 2-28 崩積土細料含量(F)與凝聚力(c)之關係(劉啟鋒，1990)

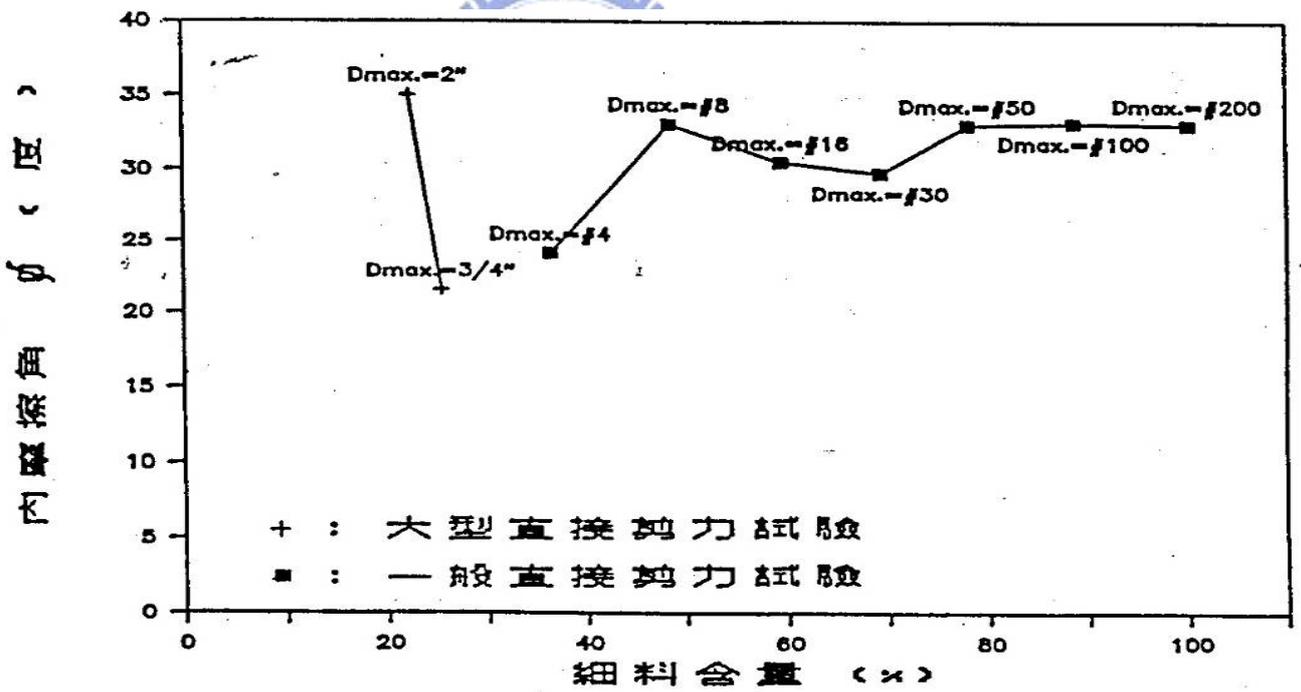


圖 2-29 崩積土細料含量與內摩擦角之關係(劉啟鋒，1990)

楊東賢(1990)研究風化作用對中橫公路板岩強度之影響，試驗材料取自宜蘭支線 73k 之邊坡之鑽探岩心(NX 尺寸)，鑽探結果地表向下組成為表土與破碎板岩崩積層、沉泥質黏土層、新鮮岩盤；一般物理性質結果崩積層含水量 0.12%、密度 2.7 g/cm^3 、比重 2.70、吸水率 0.32%，沉泥質黏土層含水量 0.26%、密度 2.67 g/cm^3 、比重 2.69、吸水率 0.57%，黏土礦物分析中得到主要成份為雲母。

其研究嘗試模擬現地風化作用，並藉由量測超音波速來分析風化作用對完整無弱面之新鮮板岩材料的影響。模擬方式為將試樣置於 105°C 之烘箱 24 小時後量測超音波速，在泡水一小時後再量測超音波速，用以推求試樣之腐朽指數，在泡水 24 小時並量測水中超音波速，此步驟為模擬現地風化作用的一次循環。在模擬不同風化循環次數 2、4、6、8、10、12、14) 試驗結果，發現風化循環次數愈高其超音波速愈低(圖 2-30、31)，單壓強度也愈低(圖 2-32)。

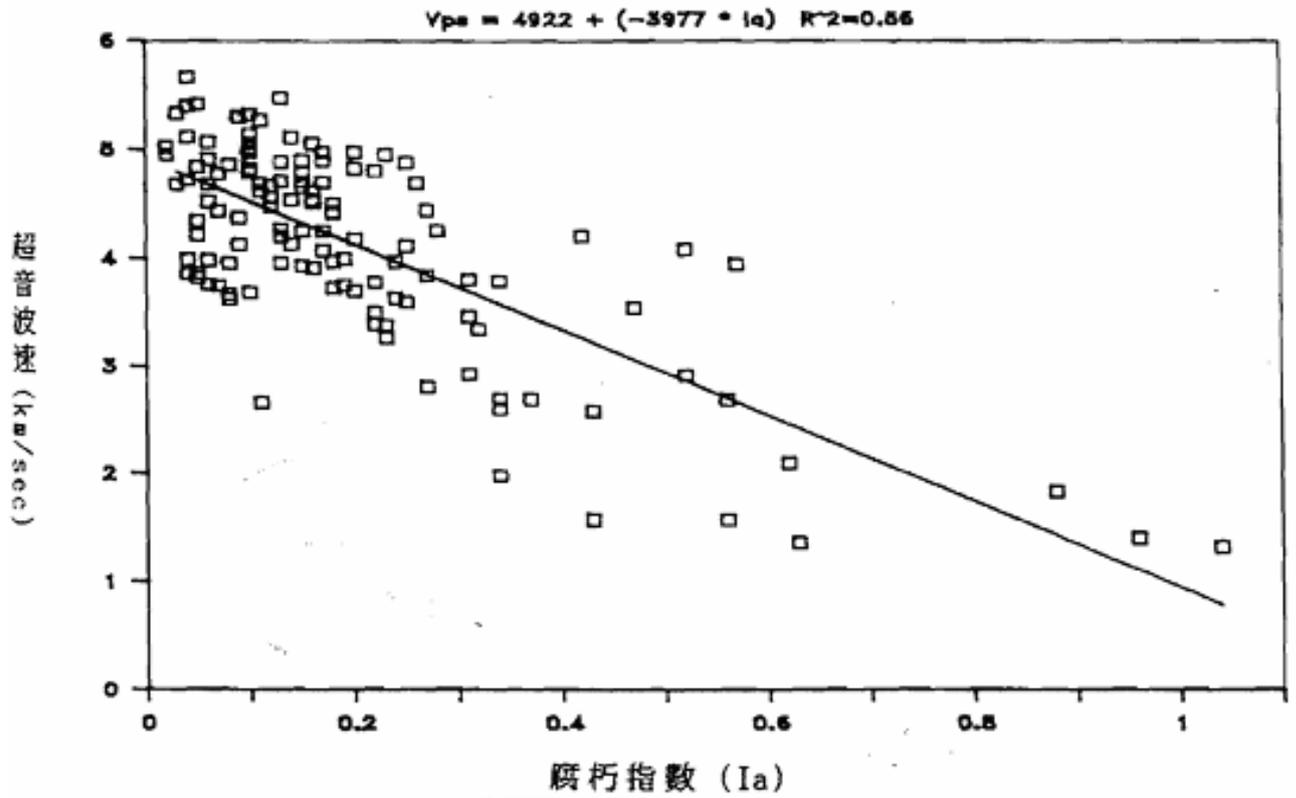


圖 2-30 超音波速與腐蝕指數關係(乾燥試體)(楊東賢，1990)

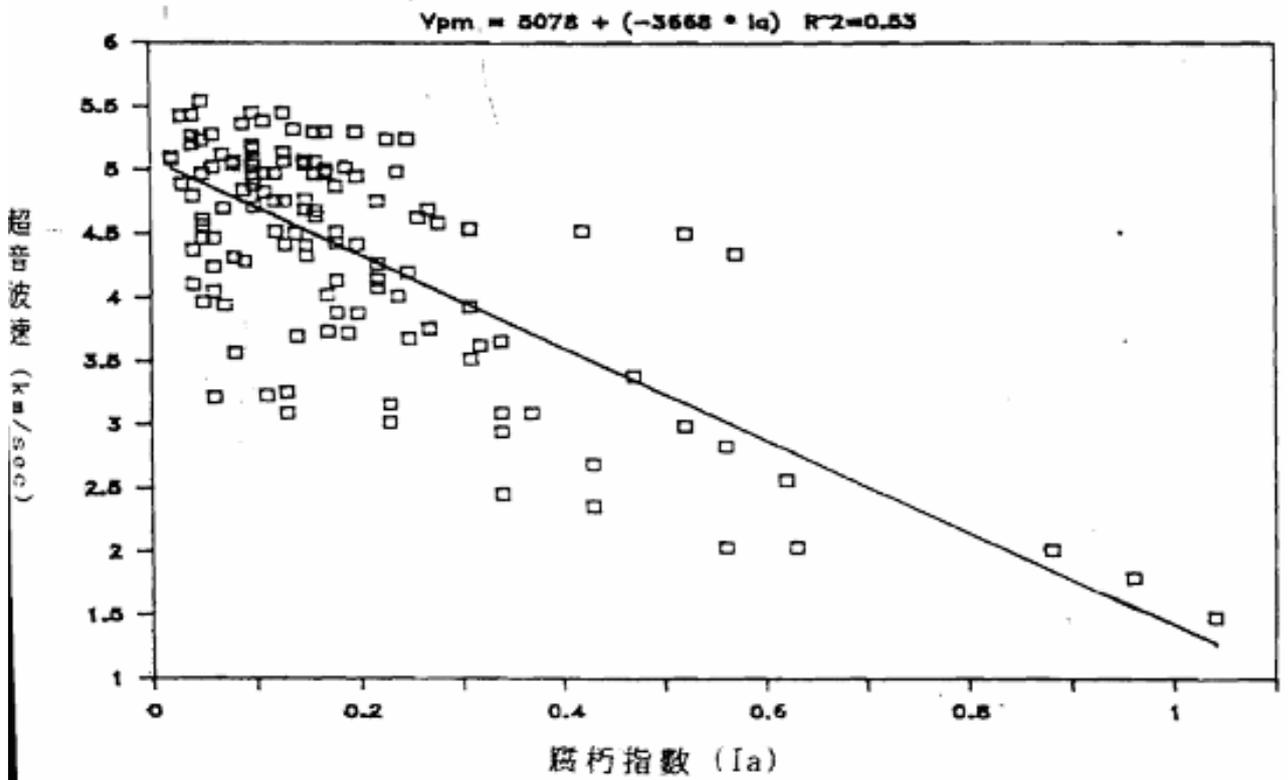


圖 2-31 超音波速與腐蝕指數關係(浸水試體)(楊東賢，1990)

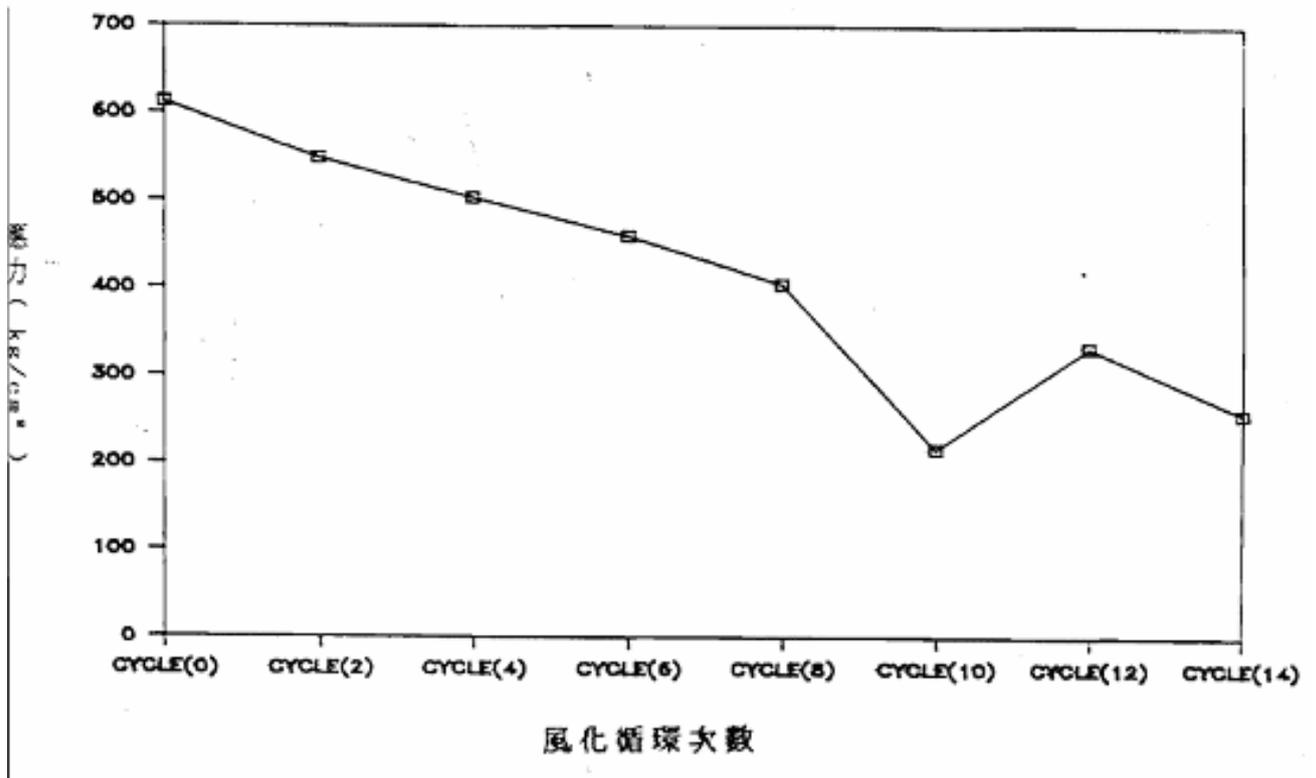


圖 2-32 風化循環次數與單壓強度關係(楊東賢，1990)

黃信璋(1991)研究中橫公路沉泥質黏土層動態特性，以沉泥質黏土為研究主要對象，將鑽探取得土樣，直接進行物性試驗、小型三軸試驗、直接剪力試驗與單向度壓密試驗，結果指出材料含水量 9.6%~14.5%，平均單位重 2.315 g/cm³，小型三軸試驗結果(圖 2-33、34)，凝聚力(c) 0.183 kg/cm²、摩擦角(Φ)14.4°、有效凝聚力(c')0.163 kg/cm²、有效摩擦角(Φ)17.2°，為各層強度最弱，因此判定沉泥質黏土為滑動層面主要構成材料；標準貫入值(N)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 $C_c=0.088\sim0.092$ 、 $C_r=0.023\sim0.024$ ，圖 2-35、36。

應力 1= 1.088
 應力 2= 2.161
 應力 3= 3.023

孔隙水壓 1=-.234
 孔隙水壓 2= .103
 孔隙水壓 3=-.902

應變 1= 7.7
 應變 2= 14
 應變 3= 11.2

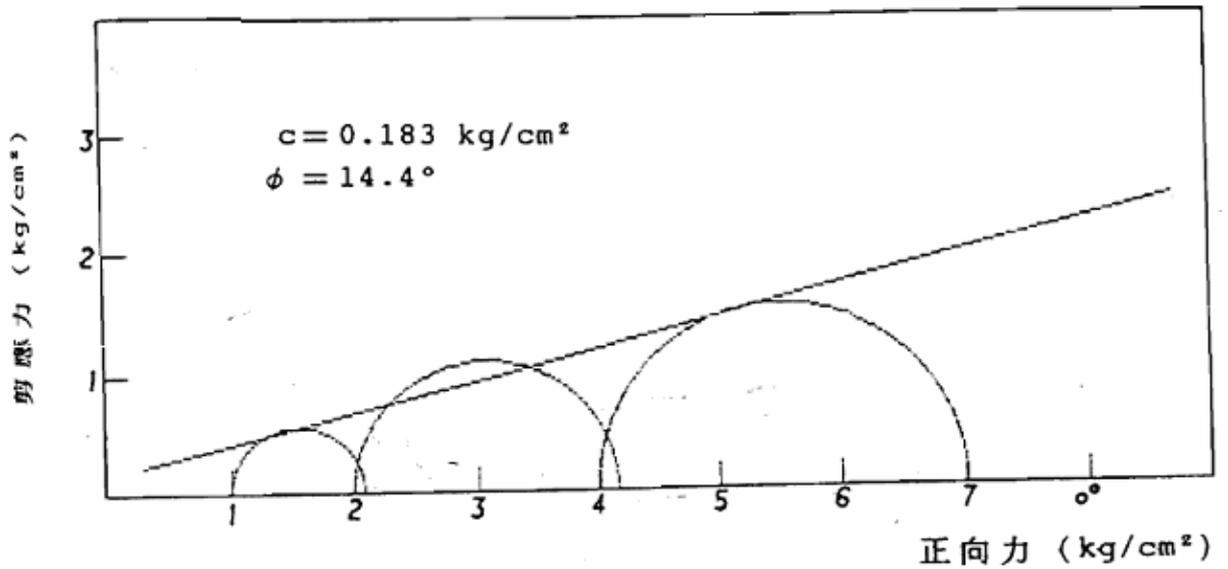


圖 2-33 小型三軸試驗結果(總應力)

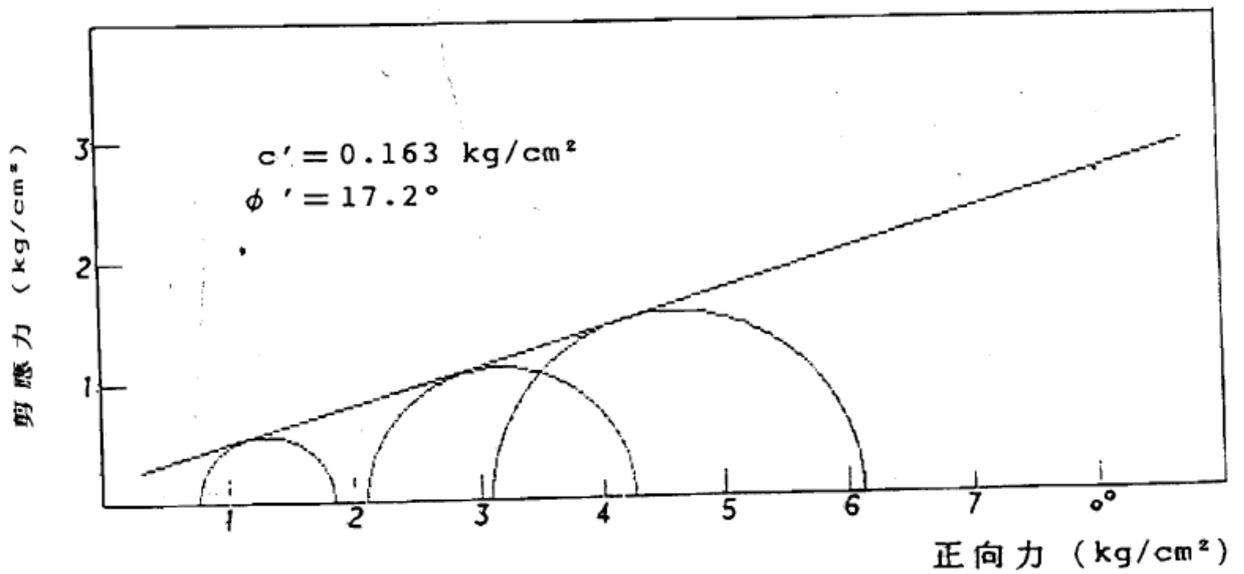


圖 5.3 小型三軸試驗結果 (有效應力)

圖 2-34 小型三軸試驗結果(有效應力)

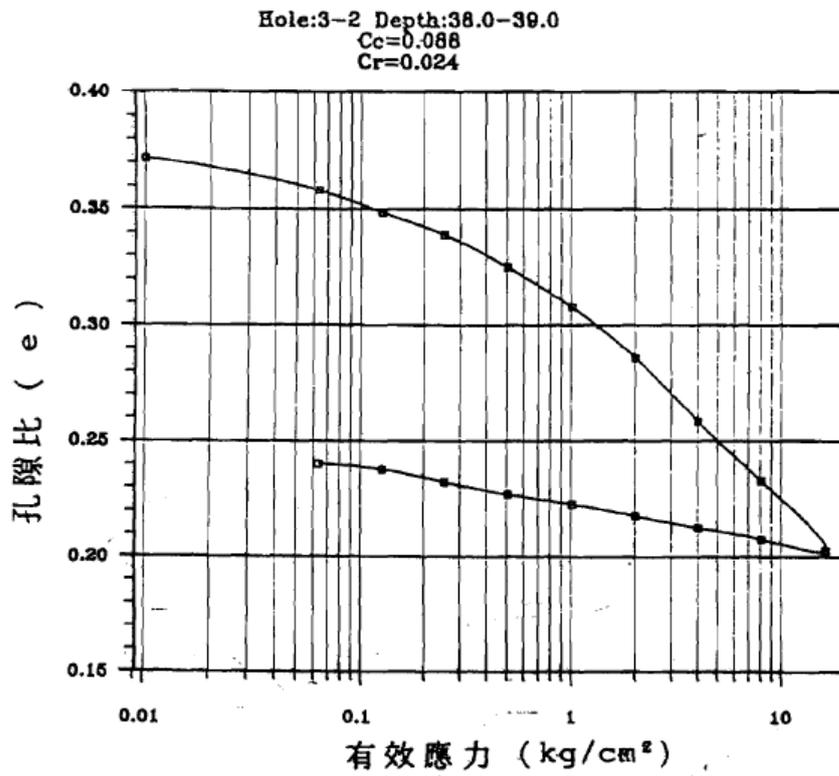


圖 2-35 沉泥質粘土單向壓密度曲線(BH3)

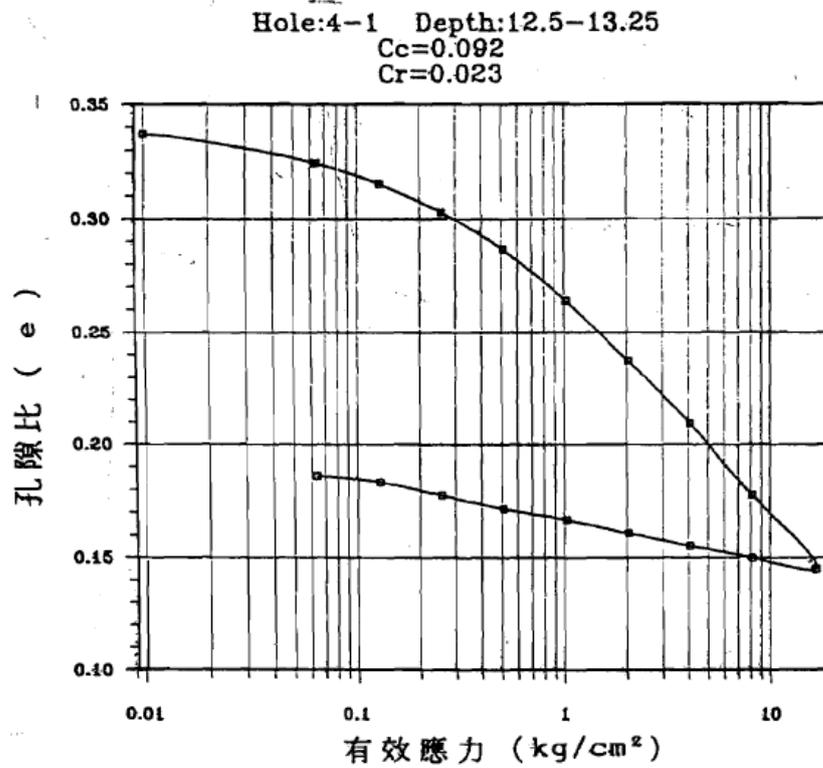


圖 2-36 沉泥質粘土單向壓密度曲線(BH4)

工業技術研究院能源資源研究所(1993)調查梨山地層滑動，對此處地層材料做相關的室內試驗。直接剪力試驗試體採用四號篩以下之顆粒進行重模進行五組試驗，結果如表 2-10；三軸試驗取自滑動面附近土樣，以自然沉降的方式進行重模，結果如表 2-11。滑動面的土樣，主要是由黏土、粉土或黏土質粉土所組成，三軸試驗結果顯示膠結性與抗剪角偏低，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，推估可能是重模的夯實能量不同所導致。剪力試驗破壞包絡線與三軸試驗應力應變曲線，孔隙水壓變化曲線、pq 圖與破壞包絡線結果曲線如附錄 E 之圖 E-1~15。

表 2-10 四號篩以下重模直接剪力試驗結果(工業技術研究院能源與資源研究所，1993)

孔號	深度	c'	Φ	備註
BH-2	38.00-39.00	0.6	36	預壓 6(kg/cm ²)
BH-3	18.00-19.50	0.2	39	預壓 3(kg/cm ²)
BH-9	26.00-27.00	0.2	23	
BH-12	47.00-49.00	0	23	
BH-13	20.00-21.00	0.05	20	
BH-1	19.00-20.00	0.3	38	

表 2-11 三軸 SCU 試驗結果(工業技術研究院能源與資源研究所，1993)

參數 \ 孔號	BH-2	BH-3	BH-3	BH-5	BH-5
抗剪角 (deg)	10	19	14	19	13
凝聚力 (kg/cm ²)	0.07	0	0.04	0	0
有效抗剪角 (deg)	20	34.52	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

由上述研究方法與結果可得知：

1. 梨山崩坍地滑動層材料，其岩心材料取得不易，因此在大部分實驗以重模試體為主，然而重模試體的方法與天然試體明顯有差異，因此研究結果其代表性需要加以討論。
2. 重模試體的方法，以縮小級現地配並以自然沉降法或乾夯法來製作試體，不論是哪一種方法，可知滑動層材料內部組成顆粒大小不一致，過去研究結果也得知，岩塊的最大粒徑會影響試驗的結果。
3. 部分試驗利用直接剪力試驗來得到滑動層材料參數，然而直剪試驗的試驗環境會限制材料的軸向與側向的變形，且控制破壞面的位置，此種試驗結果並不足以代表滑動層材料的材料參數。另外，三軸試驗的試驗組數不足，對於材料形為代表性不足。

因此，本研究認為必須以三軸壓密不排水試驗來討論滑動層材料的行為，較具有代表性且較符合現地狀況。此外，岩塊與基質土壤含量，以及岩塊分佈與排列方式對於滑動層材料的行為有較深的影響，因此收集影響力學試驗結果因素之文獻、土石混合材料與併構岩材料等相關文獻，研究最後利用試驗結果配合試驗材料表面岩塊分佈與試顆粒組成、含量等因素加以探討。

2-4 影響力學試驗結果的因子

一般來說地層的組成，不外乎為土壤與岩石所構成，土壤又可區分為砂性土壤、黏性土壤與卵礫石；岩石可以區分成火成岩、沉積岩與變質岩。ISRM(1981)將凝聚性土壤與岩石材料依強度分為 13 個等級，其中單壓強度在 1MPa 以下為土壤，分級由 S1 至 S6，而單壓強度在 1MPa 以上為岩石，分級由 R0 至 R6，如圖 2-37 所示。

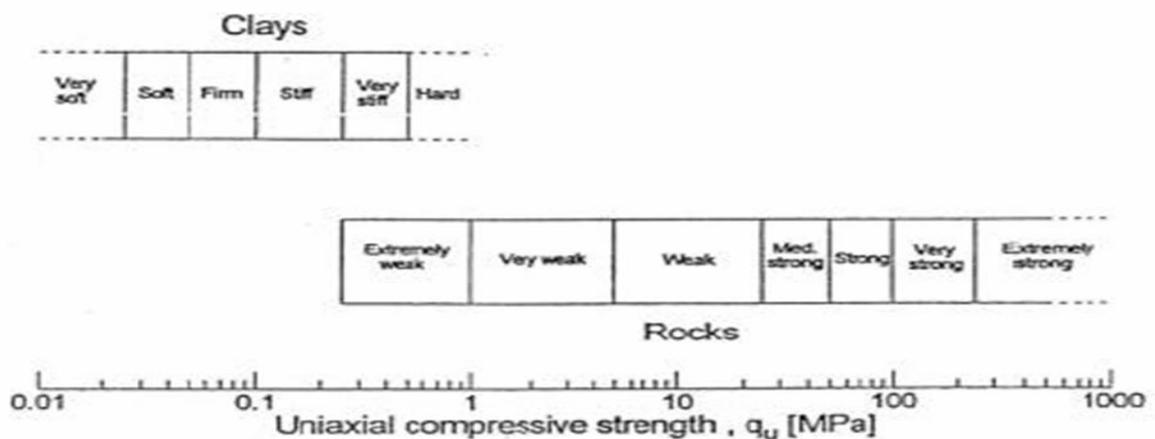


圖 2-37 ISRM 土壤與岩石材料依強度分級(Johnston, 1993)

影響剪力強度的因素，在砂土主要是受到孔隙比與剪脹性所影響，而黏土則是以應力歷史來決定強度的強弱，正常壓密黏土強度要比過壓密黏土強度低。Marachi(1972)指出卵礫石的強度受到試體內組成顆粒所影響，試體內的顆粒粒徑會影響尖峰內摩擦角，粒徑愈大摩擦角愈小。Holtz(1961)

指出在相同的重模製作過程下，細粒料含量愈高，抗剪強度愈低，而當細粒料為砂土成分居多時，其內部顆粒會產生互鎖效應。

Zeller(1957) 與 Wullimann(1957)、Kjaernsli(1963) 與 Sande(1963)、Orr(1981)研究材料含水量與飽和度對材料本身強度的影響，得到材料顆粒在較濕潤的狀態下，會因為顆粒間受到潤滑作用，而使得材料抗剪應力減少，因此乾燥試體的強度會比飽和試體高，在三軸狀態、相同圍壓下，內摩擦角與凝聚力會隨含水量增加而減少。

吳偉康(1983)研究含水量對於夯實礫石土強度的影響，發現在固定圍壓的狀況下破壞軸差應力會隨含水量升高而降低，內摩擦角隨飽和度增加而下降，當細粒料含量較低時，飽和度自 70%增加時，凝聚力會隨著飽和度增加而增加，再到達臨界值後就隨飽和度增加而降低。

其他會影響材料強度的因素還有孔隙率與顆粒形狀等，孔隙率愈小材料強度愈大。Lee(1967)研究發現孔隙率或孔隙比的變化對於材料強度的改變相當敏感。

在顆粒形狀方面，Holtz(1980)以礫石(最大粒徑 7.62cm)研究結果顯示，顆粒形狀為角形的材料其強度比顆粒形狀為圓形的材料強度來的高，因為顆粒形狀的不同會影響顆粒表面相互間的摩擦力，因而造成強度上的不同。

2-5 土、岩混合材料之力學特性

梨山崩坍地材料受到反覆的地層滑動與地下水風化影響頗深，由鑽探結果可知，容易發生滑動的地層材料之組成為風化岩塊與基質土壤，因此對與類似此種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：「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)認為岩塊的粒徑與分佈會影響破壞面的形式與抗剪強度；岩塊粒徑分佈範圍大，抗剪强度高，破壞面扭曲蜿蜒；岩塊粒徑分佈範圍小，抗剪強度低，呈現平滑波浪的破壞面。

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 2-38 為其

依不同量測面積所出的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 2-38 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 Lc (characteristic engineering dimension) 供不同的工程定義基質與岩塊尺寸使用，Lc 可為隧道長度、基礎寬度及試體直徑等。

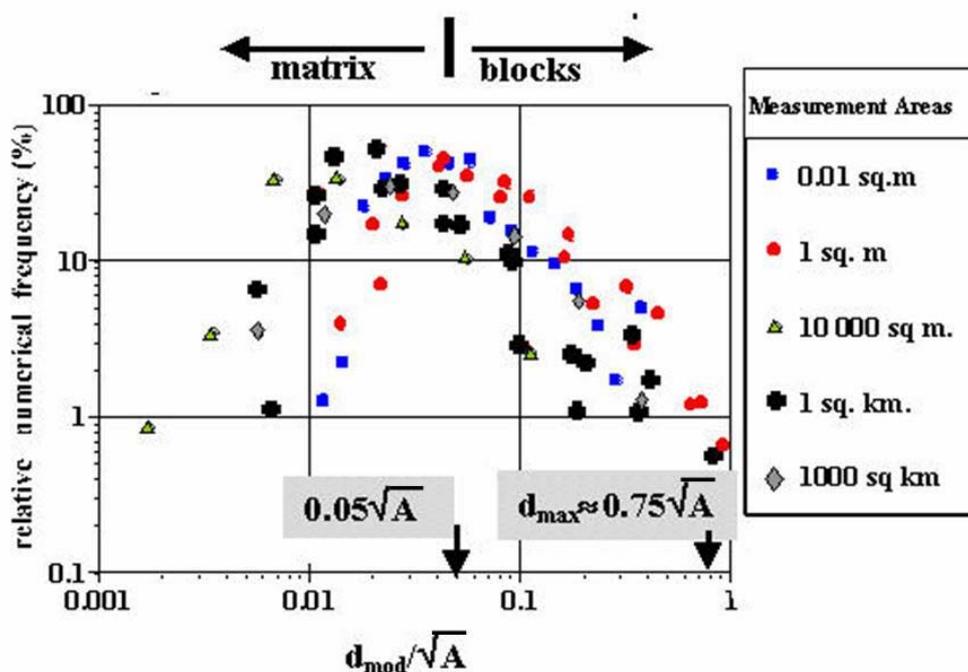


圖 2-38 不同取樣樣面積岩塊粒徑對取樣面積平方根正規化後出現機率分佈圖 (Medley, 2002)

Holtz 及 Willard (1961)探討土壤礫石混合物力學參數的變化，分別在粘土及砂土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 2-12。

表 2-12 卵礫石含量對粘土砂土強度參數的影響 (Holtz 與 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

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(圖 2-39)。

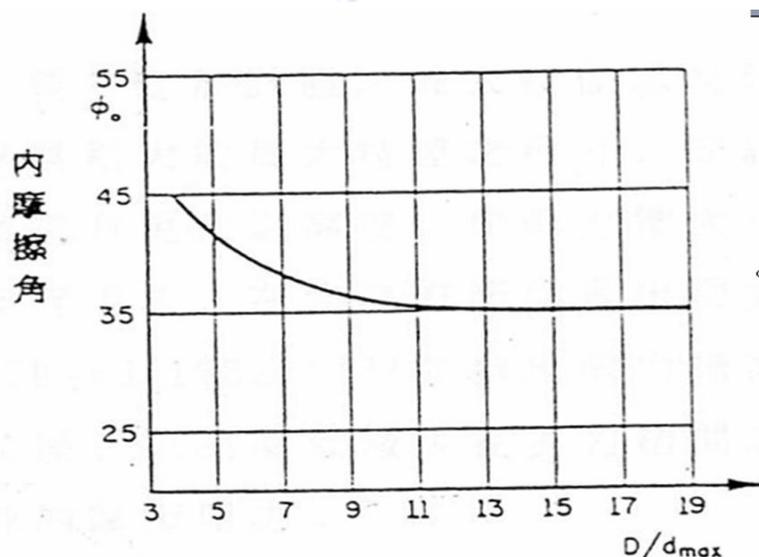


圖 2-39 試體強度受到尺寸效應影響結果圖(Marsal, 1969)

Marachi(1972)研究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 2.8 in, 12 in, 36 in)，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 2-40；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。

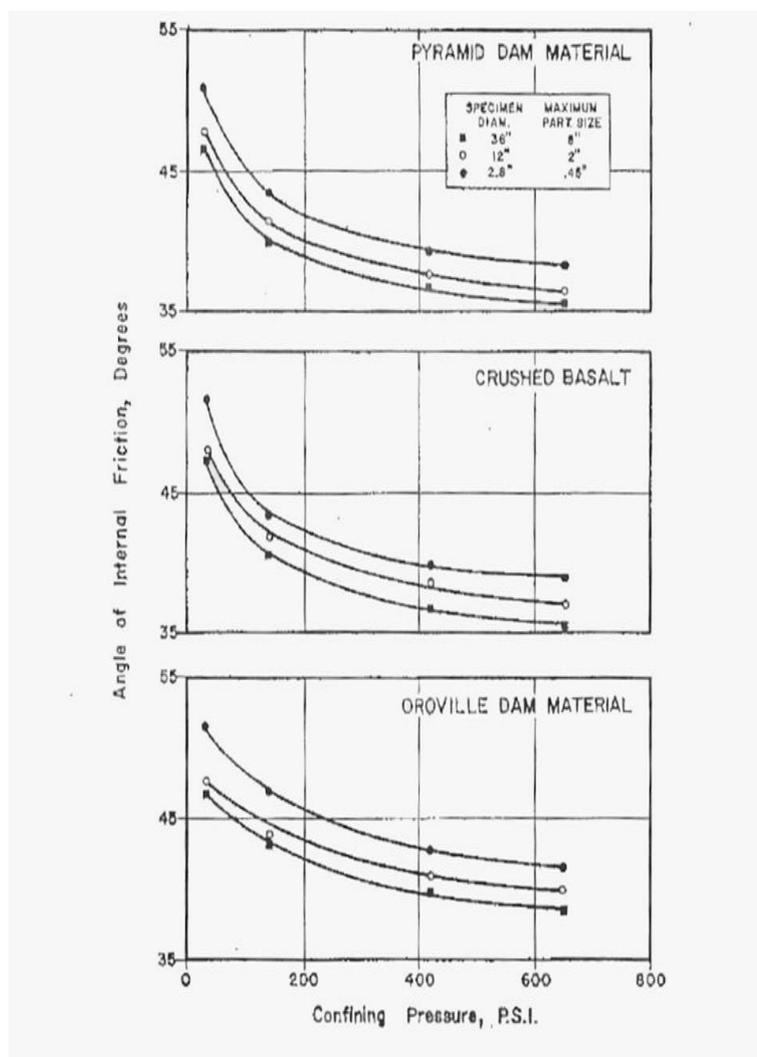


圖 2-40 最大粒徑與內摩擦角關係(Marachi ,1972)

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 2-41，圖 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。

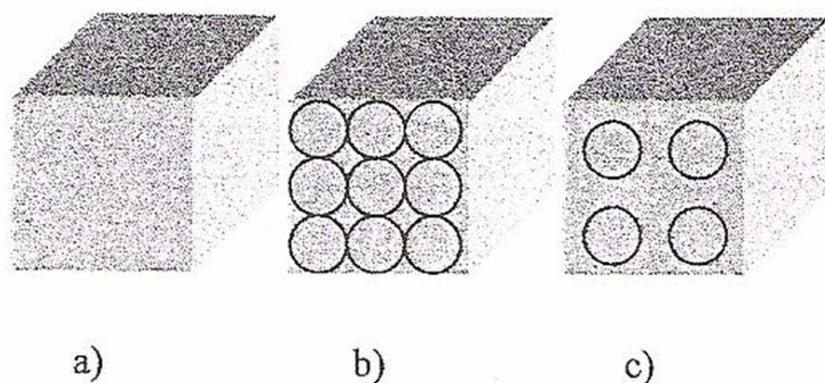


圖 2-41 岩塊與基質在不同含量下之排列 (Montrasio, 1998)

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(圖 2-42)，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；

$$p = \frac{V_G}{V} \dots\dots\dots (公式 2-1)$$

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

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

Li 為元素的邊長， Ri 為元素中礫石之半徑

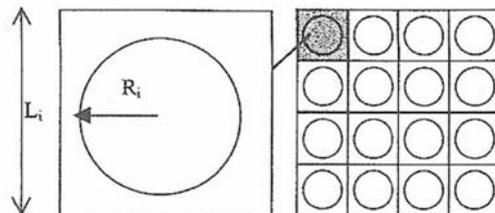


圖 2-42 多個立方體元素所構成單一個試體示意圖(Montrasio, 1998)

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 2-43，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。

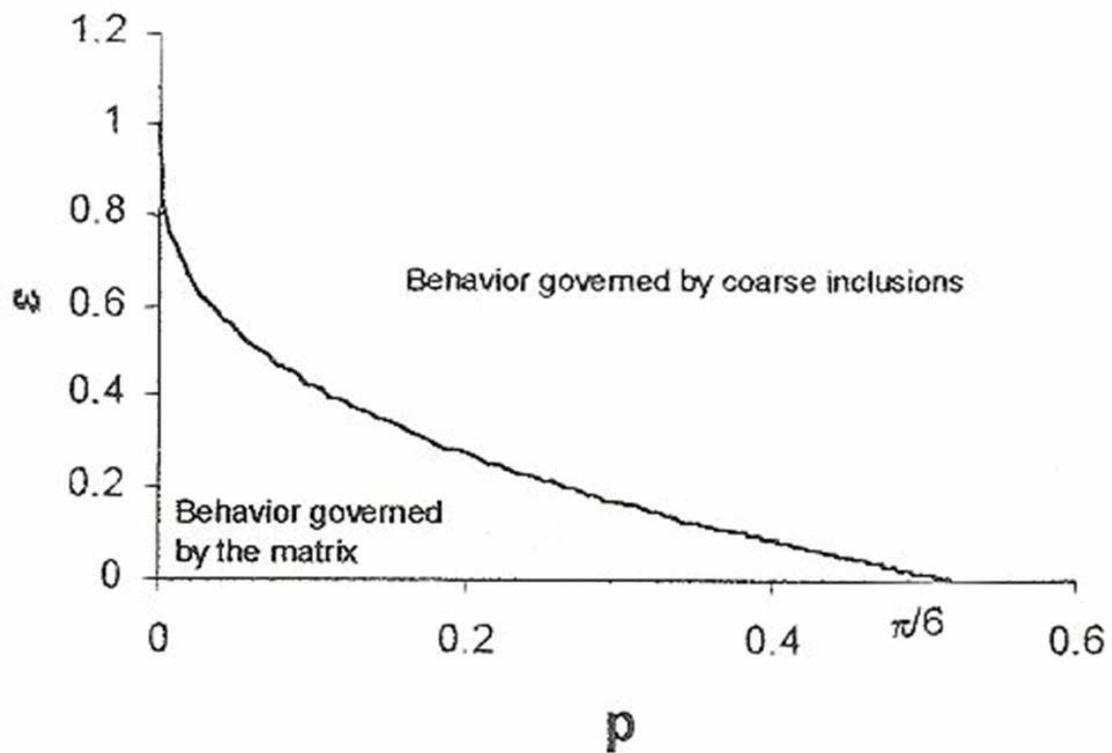


圖 2-43 應變門檻值 ε_{\max} 與岩塊含量 p 之關係圖 (Montrasio, 1998)

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 2-13。

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(圖 2-44)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。

表 2-13 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	

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

.....(公式 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)

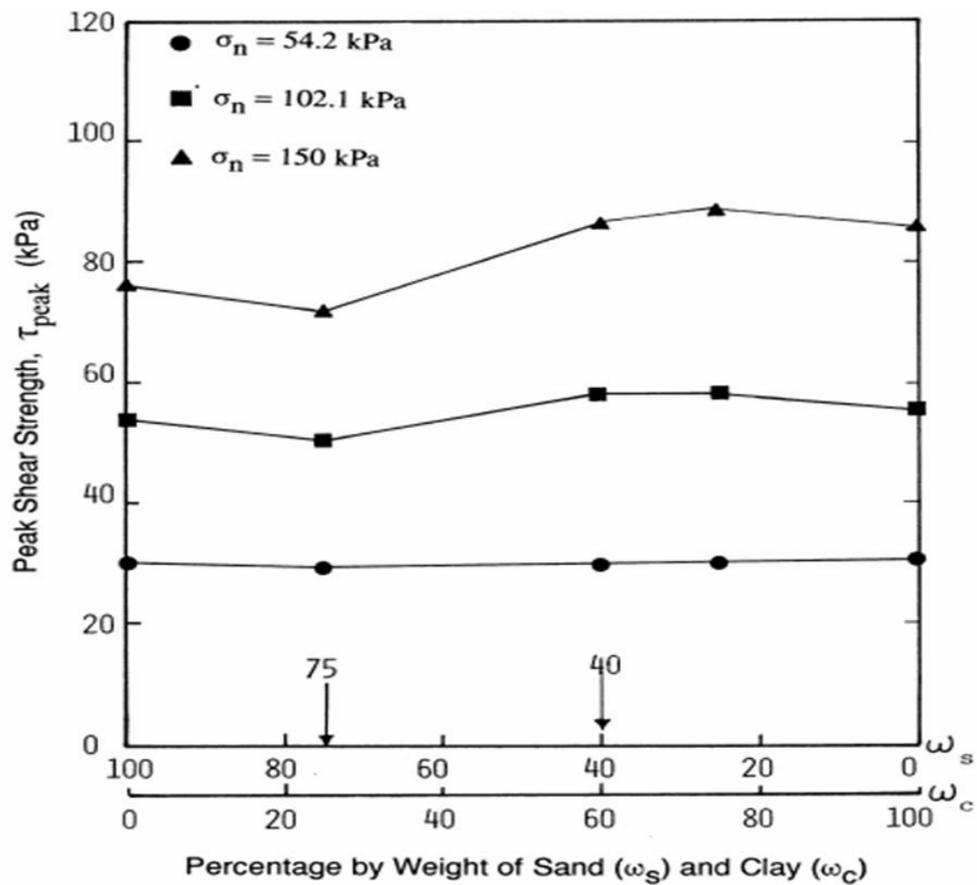


圖 2-44 單剪試驗尖峰剪力強度與含量比關係圖(Vallejo 與 Mawby, 2000)

Medley(2001)研究北加州一帶的剪裂帶之材料特性，認為材料內岩塊的分佈與含量為影響著併構岩(Bimrock)力學行為的主要因素；含量高的岩塊形成較蜿蜒的破壞面形式，破裂路徑較長造成材料的摩擦阻抗增加。室內三軸試驗結果指出岩塊含量增加使有效摩擦角提高(圖 2-45)。

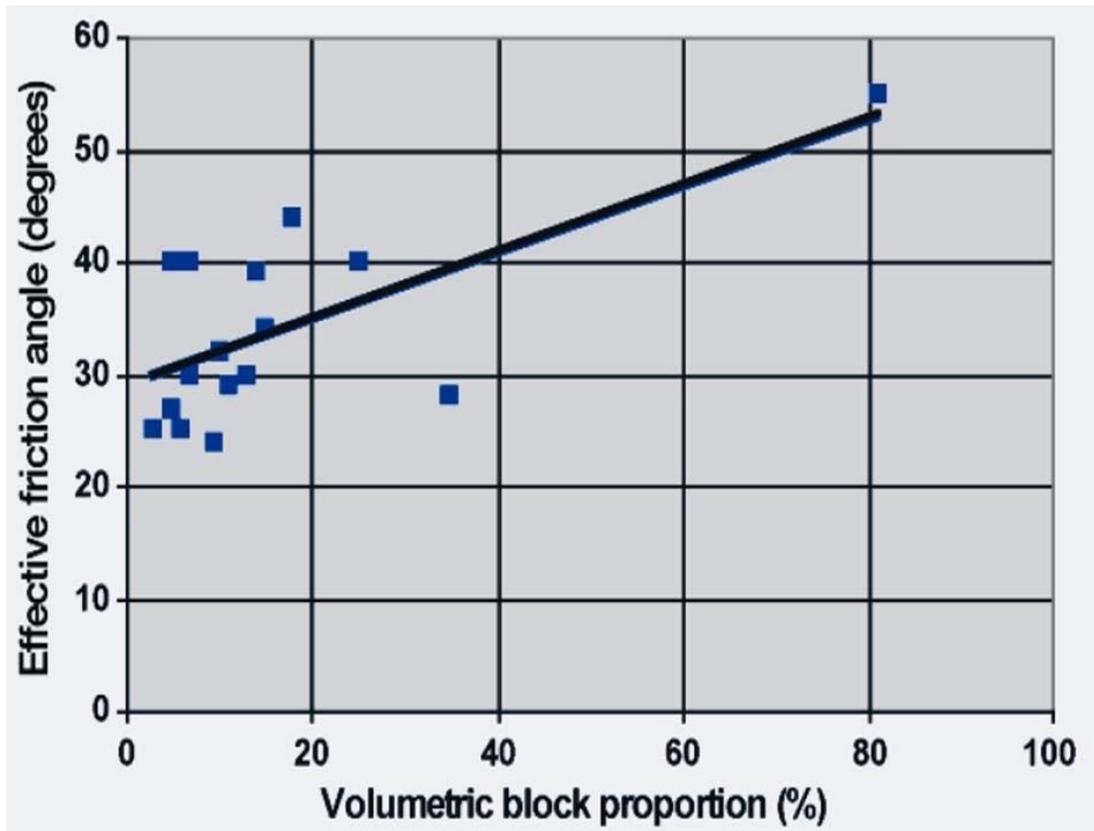


圖 2-45 併構岩體積含量比與有效摩擦角關係圖

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，圖 2-46。
2. 楊氏模數會隨著岩塊體積比增加而上升，圖 2-47。
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，圖 2-48 與 2-49。

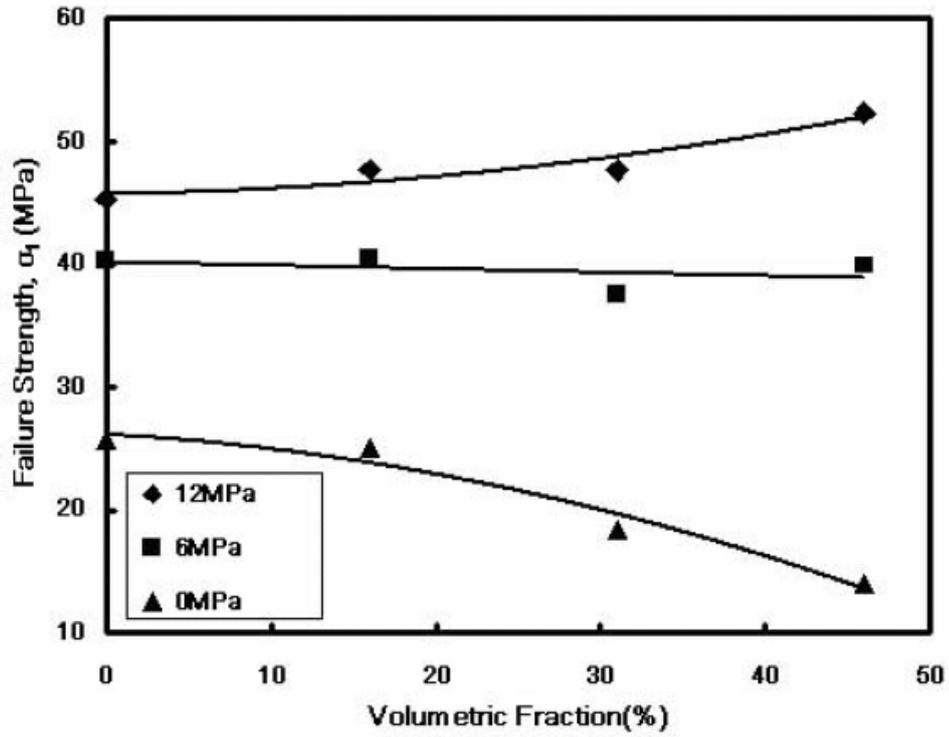


圖 2-46 破壞強度與不同岩塊體積含量關係圖(蔡文傑，2003)

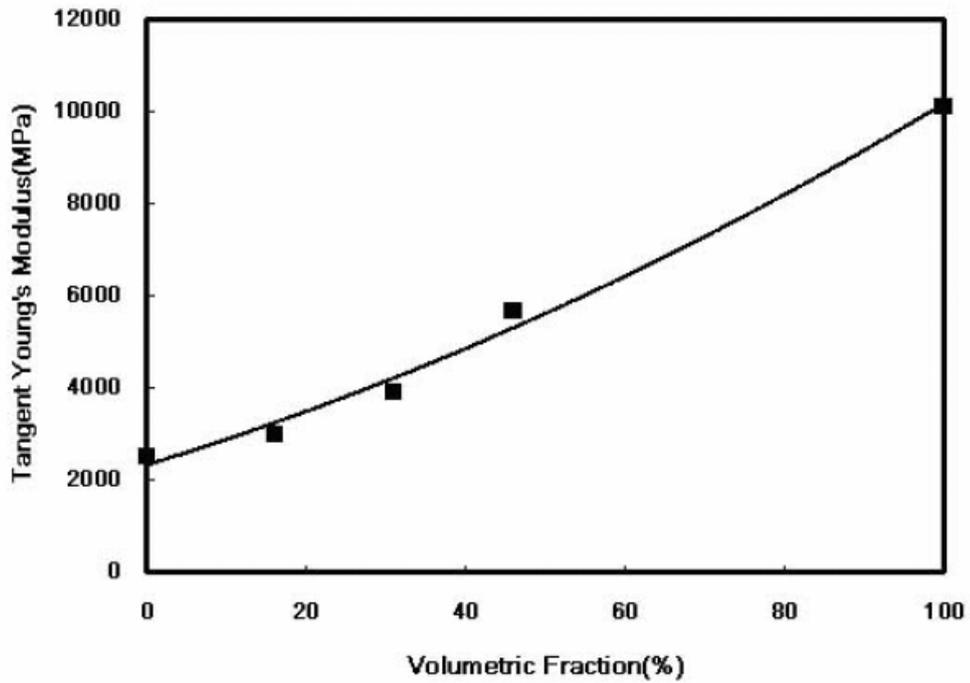


圖 2-47 楊氏模數與不同岩塊體積含量關係圖(蔡文傑，2003)

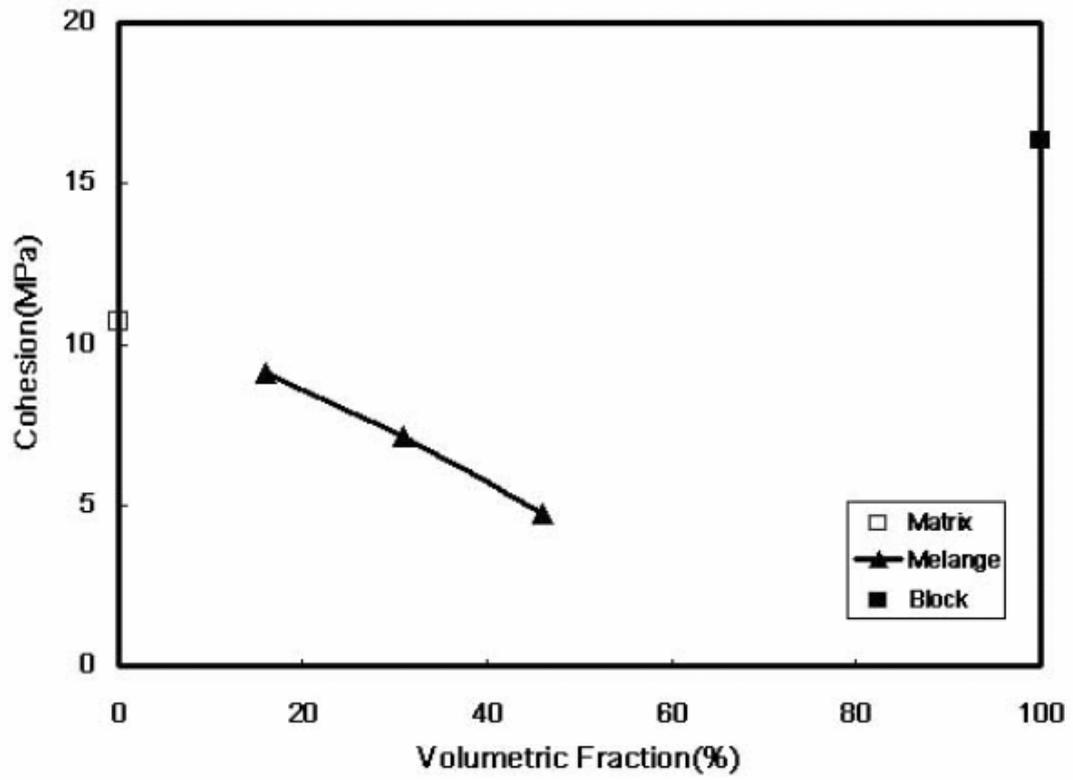


圖 2-48 凝聚力與不同岩塊體積含量關係圖(蔡文傑，2003)

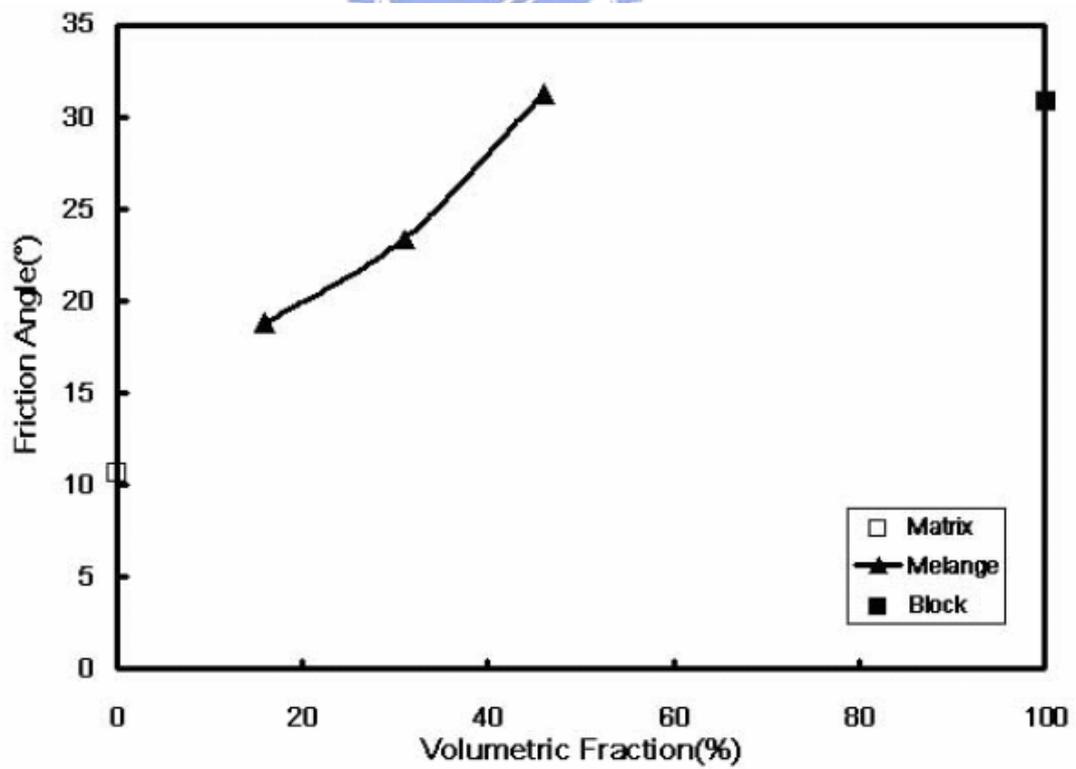


圖 2-49 內摩擦角與不同岩塊體積含量關係圖(蔡文傑，2003)

2-6 強度準則與材料破壞行為

2-6-1 土壤的破壞行為

本研究之研究對象為梨山崩坍地 B-9 滑動體主要滑動面的軟弱材料。黃玉麟 (2006)及唐禎國(2007)認為材料內基質粘土含量超過 50%時，此材料可分類為灰色黏土夾灰色板岩。本併構材料內具有沙土顆粒性的組構以及黏土，因此在此介紹砂土受剪行為以用來解釋崩積土與風化板岩的受剪行為；同時滑動層材料具有黏土含量，並以黏性土壤的受剪行為加以探討。

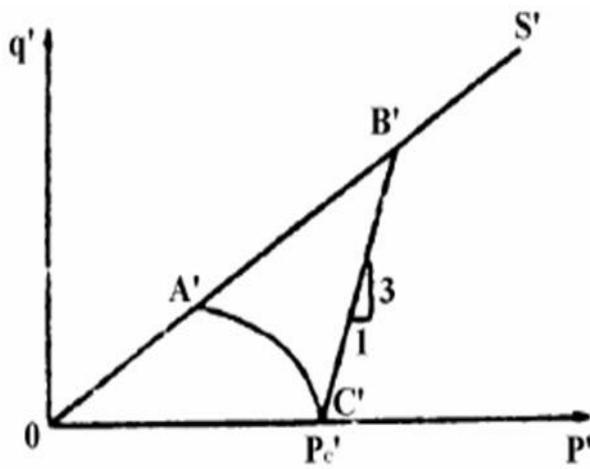
在砂土中，剪力強度受到顆粒形狀、級配、礦物種類、初始孔隙比、圍壓與加載速率而有不同的大小，緊砂與鬆砂的應力應變曲線有明顯的差異，緊砂受到剪脹性的影響，使得尖峰強度與殘餘強度有明顯的差異，同時也在不排水的狀況下產生負的超額孔隙水壓，而鬆砂剪強度尖峰值則不明顯，土粒對水產生正的超額孔隙水壓。

Alarcon(1988)對砂土受剪時的行為提出顆粒結構瓦解的觀念，當砂土受剪時應變軟化造成收縮性的砂土處於不穩定的狀態，顆粒組構逐漸瓦解，這時如有極小的剪應變便足夠讓顆粒重新排列，在不排水的狀況下，此現象會導致原本顆粒組構所承受的應力轉移至水，導致孔隙水壓增加，對於收縮性砂土強度明顯降低，在持續變形的作用下，達到穩定的狀態，因此當顆粒組構排列方式，使得瓦解趨勢愈高時所激發的孔隙水壓愈大。Alarcon

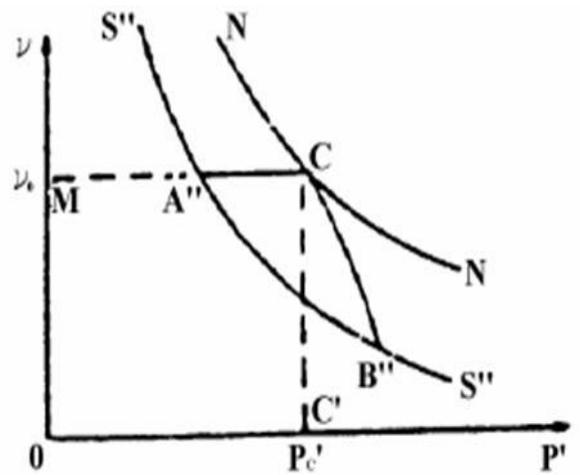
研究也指出對於收縮性砂土，當強度到達殘餘狀態時，砂土的組構呈現流動態為穩定狀態的強度，也顯示應變軟化的行為與砂土顆粒特性與孔隙率有關。Poulos(1981)認為砂土受剪過程中，顆粒重新排列組合，而達到穩定的狀況。

Atkinson(1978)指出黏性土壤，由於顆粒相互間的作用力不及相互間電化作用影響，因此有效應力、孔隙比、應力歷史、飽和度、毛細管張力等因素都會影響黏性土壤的剪力強度，正常壓密黏性土壤行為如圖 2-50，當正常壓密黏土受到壓密應力 P_c' ，比體積 v_0 位在 N-N 曲線上 C 點，不排水時比體積不變，應力路徑以 C-A'' 行徑，最後破壞於 A''。過壓密黏土行為如圖 2-51。



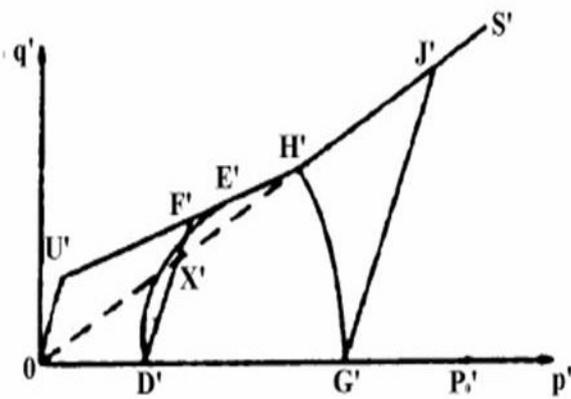


(a) $q' - p'$ 關係圖

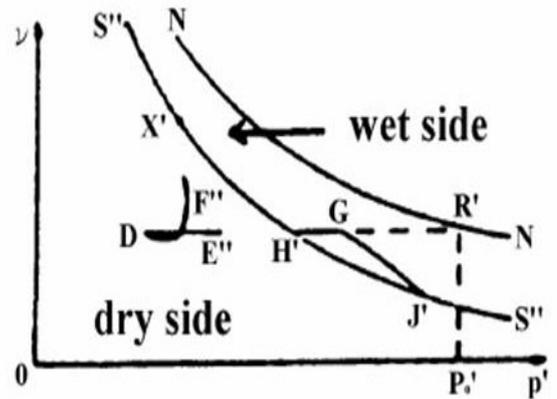


(b) $v - p'$ 關係圖

圖 2-50 正常壓密黏性土壤行為 (摘自 Atkinson, 1978)



(a) $q' - p'$ 關係圖



(b) $v - p'$ 關係圖

圖 2-51 過壓密黏性土壤行為 (Atkinson, 1978)

2-6-2 Mohr-Coulomb 剪力強度破壞準則

Coulomb(1776)提出影響岩石與土壤材料的剪力強度包含兩個因子,材料的凝聚力與正向力影響材料顆粒摩擦性,其與剪力強度之關係:

$$s = c + \sigma_n \tan \phi \quad \text{公式(2.4)}$$

(s : 剪力強度、 σ_n : 破壞面正向力、 c : 凝聚力、 ϕ : 材料內摩擦角)

由材料單元示意圖(圖 2-52)可推導出剪力強度(τ)與破壞面正向力與最大(σ_1)、最小(σ_3)正向力以及破壞面與水平面夾角(β)的關係::

$$\sigma_n = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3) + \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) \cos 2\beta \quad (2.5)$$

$$s = \tau = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) \sin 2\beta \quad (2.6)$$

由 Mohr circle 的關係圖(圖 2-53)中,可以看出 Mohr circle 與破壞包絡線的關係,破壞面與水平面夾角(β)與材料內摩擦角(ϕ)的關係公式:

$$\beta = \frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \quad (2.7)$$

由公式(2.4)到公式 (2.7) 可得最大主應力與最小主應的關係公式:

$$\sigma_1 = \frac{2c \cos \phi + \sigma_3(1 + \sin \phi)}{1 - \sin \phi} \quad (2.8)$$

當無圍壓時 $\sigma_3 = 0$ 帶入公式(2.8), 可以得到無圍壓縮強度(單軸壓縮強度) σ_c , 當最大主應力為零 $\sigma_1 = 0$ 時, 可以得到材料的張力強度 σ_T :

$$\sigma_c = \frac{2c \cos \phi}{1 - \sin \phi} \quad (2.9)$$

$$\sigma_T = \frac{2c \cos \phi}{1 + \sin \phi} \quad (2.10)$$

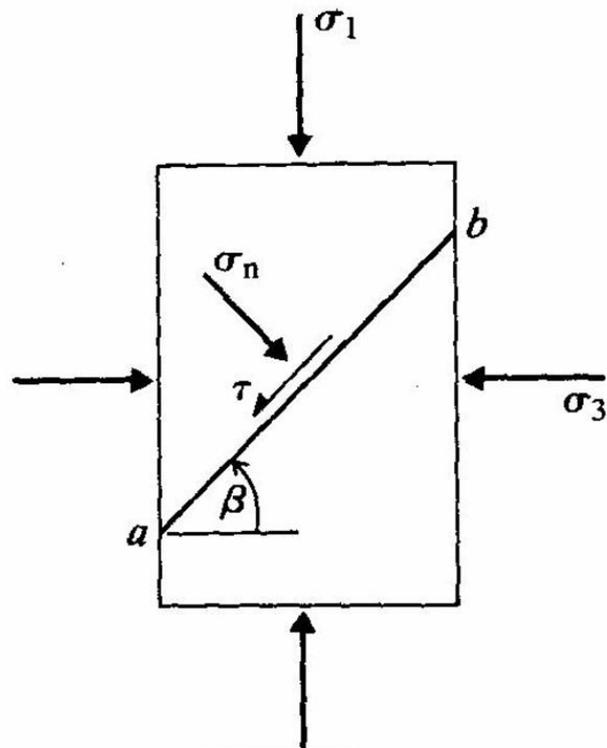


圖 2-52 材料單元受力示意圖(Coulomb, 1776)

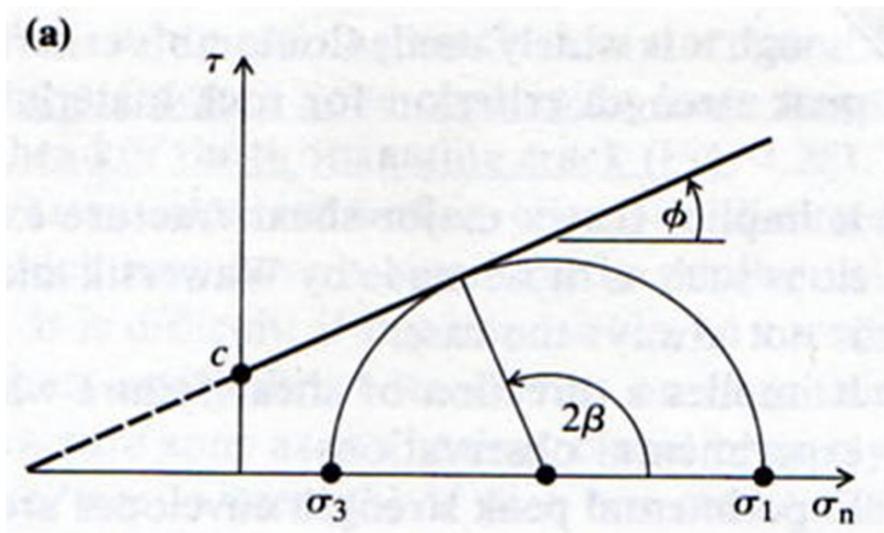


圖 2-53_ Mohr circle 與破壞包絡線示意圖(Mohr Coulomb, 1910)

三軸試驗結果可用應力路徑(stress path)來表示，應力路徑為試體在試驗過程中個點連續應力狀態的連接點。Lambe(1964)定義：

$$p' = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2}$$

$$q' = \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2}$$

公式(2.11)

(σ'_1 為有效正向壓力(kg/cm²)， σ'_3 為有效側向壓力(kg/cm²))

利用 p' 與 q' 為三軸試驗結果座標軸，可繪出三軸試驗之應力路徑。對於正常壓密黏土而言(圖2-54)，D點代表試驗中試體破壞狀況，B圓代表破壞時的應力狀態，線OF為破壞包絡線，可用公式(2.12)來表示：

$$\tau_f = \sigma' * \tan\phi$$

公式(2.12)

(τ_f 為試體剪應力(kg/cm²)， σ' 為有效正向應力(kg/cm²)， ϕ 為試體摩擦角(°))

線OF' 定義為修正破壞包絡線(K_f line)，可用公式(2.13)表示：

$$q' = p' * \tan\alpha$$

公式(2.13)

(α 為修正的破壞包絡線與水平線夾角(°))

因此利用圖 2-54 的幾何關係可得 ϕ (試體摩擦角)與 α (修正的破壞包絡線與水平線夾角)關係公式(2.14)：

$$\frac{DO'}{OO'} = \tan\alpha = \frac{\frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2}}{\frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2}} = \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{\sigma'_1 + \sigma'_3}$$

$$\frac{CO'}{OO'} = \sin\phi = \frac{\frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2}}{\frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2}} = \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{\sigma'_1 + \sigma'_3}$$

$$\phi = \sin^{-1}(\tan\alpha)$$

公式(2.14)

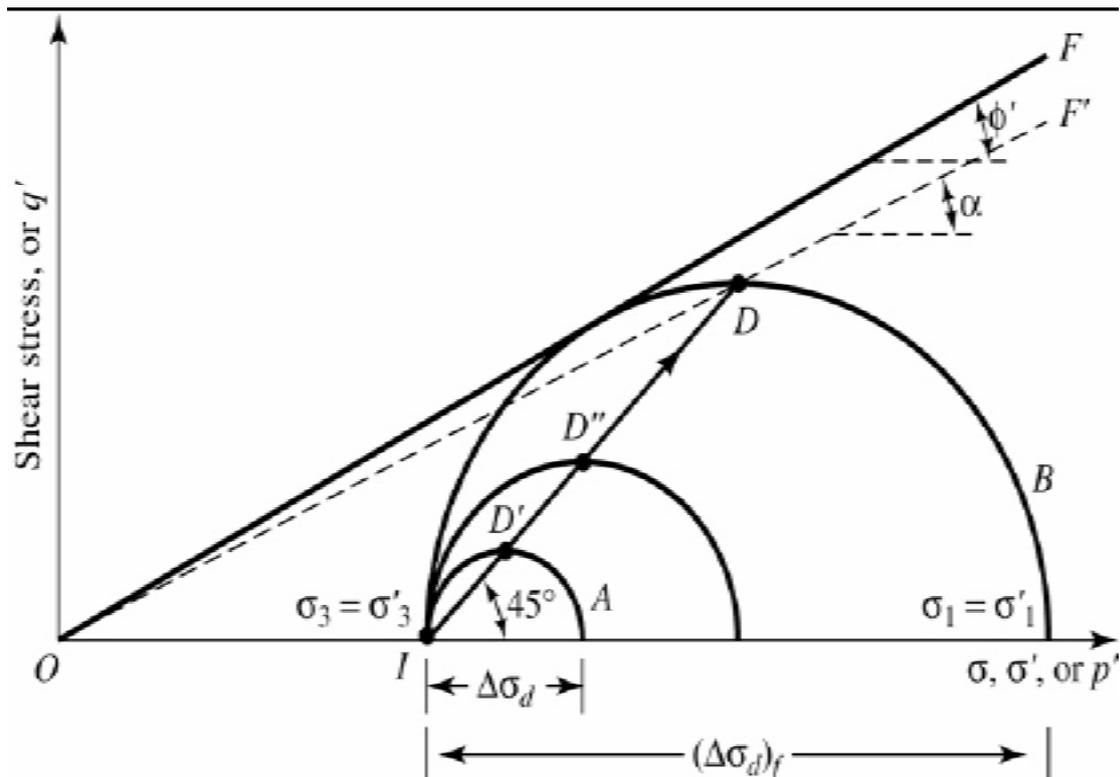


圖 2-54 正常壓密黏土破壞包絡線與修正破壞包絡線(摘自 Das,2002)

對於過壓密黏土而言(圖2-55)，破壞包絡線可用公式(2.15)來表示：

$$\tau_f = c + \sigma' * \tan \phi \quad \text{公式(2.15)}$$

(τ_f 為試體剪應力(kg/cm^2)， c 為土體凝聚力(kg/cm^2)， σ' 為有效正向應力(kg/cm^2)， ϕ 為試體摩擦角($^\circ$))

修正破壞包絡線(K_f line)，可用公式(2.16)表示：

$$q' = a + p' * \tan \alpha \quad \text{公式(2.16)}$$

(a 為修正破壞包絡線截距， α 為修正的破壞包絡線與水平線夾角($^\circ$))

因此利用圖 2-55 的幾何關係，可得 ϕ (試體摩擦角)與 α (修正的破壞包絡線與水平線夾角)關係公式(2.17)以及 c (土體凝聚力)與 a (修正破壞包絡線截距)的關係公式(2.18)：

$$\frac{R}{A+B} = \sin\phi = \frac{\frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2}}{c * \cot\phi + \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2}}$$

$$\tan\alpha = \frac{a}{A}$$

$$\tan\phi = \frac{c}{A}$$

$$\phi = \sin^{-1}(\tan\alpha) \quad \text{公式(2.17)}$$

$$c = \frac{a}{\cos\phi} \quad \text{公式(2.18)}$$

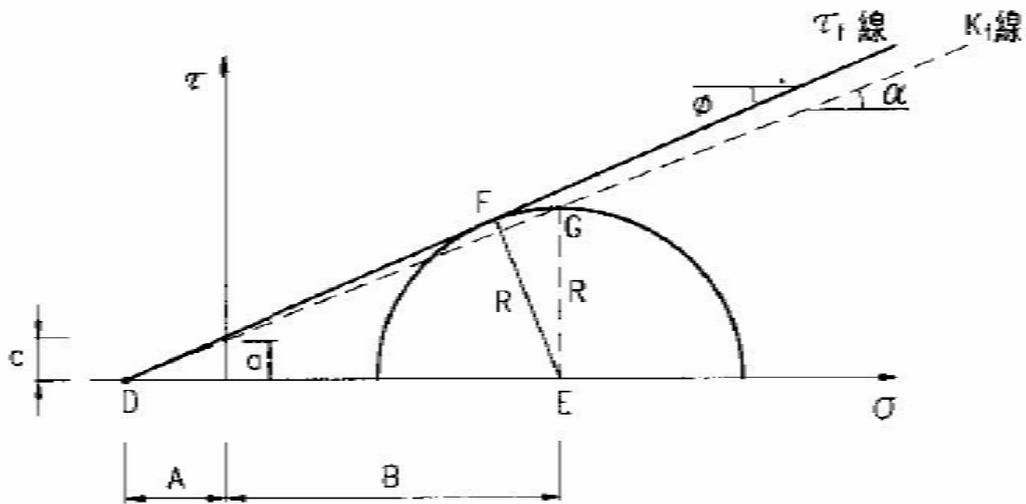


圖 2-55 過壓密黏土之破壞包絡線與修正破壞包絡線(摘自 Das,2002)

第三章 研究方法、試驗規劃與試驗儀器

3-1 試驗材料來源

3-1-1 取樣位置與方法

早期的研究下指出梨山崩坍地地層材料是由大規模地盤滑動所形成，然後因豪雨、地震等導致再一次或多次的地層滑動，加上各種類型風化作用盛行，造成地層材料疏鬆、強度低(工業技術研究院能源與資源研究所，1993)，因此地層材料取樣困難，鑽探岩心提取率偏低。

黃玉麟(2006)評估此區域地層材料條件後，參考工業技術研究院能源與資源研究所(1993)於 C 區的鑽探經驗，以鋼索式取岩心方法來提取岩心樣品，並利用超泥漿穩定液作為鑽探用迴水藉以降低鑽探過程中機具對岩心的擾動並保持岩心的完整性，此法可增加岩心提取率。本研究力學試驗材料來源為黃玉麟(2006)在國民旅社 B-9 滑動體下邊坡規劃 N-1、N-2 兩個鑽探孔(如圖 3-1、3-2，鑽探規劃表 3-1)所提取之岩心。

表 3-1 鑽探與現地孔內試驗規劃表(黃玉麟，2006)

孔位	N-1	N-2
位置	台七甲線南側	台八線北側
孔位高程(m)	1883	1930
岩盤高程(m) 鑽探前推估	1858	1878
風化層深度(m) 鑽探前推估	25	52
鑽探深度(m)	40	80

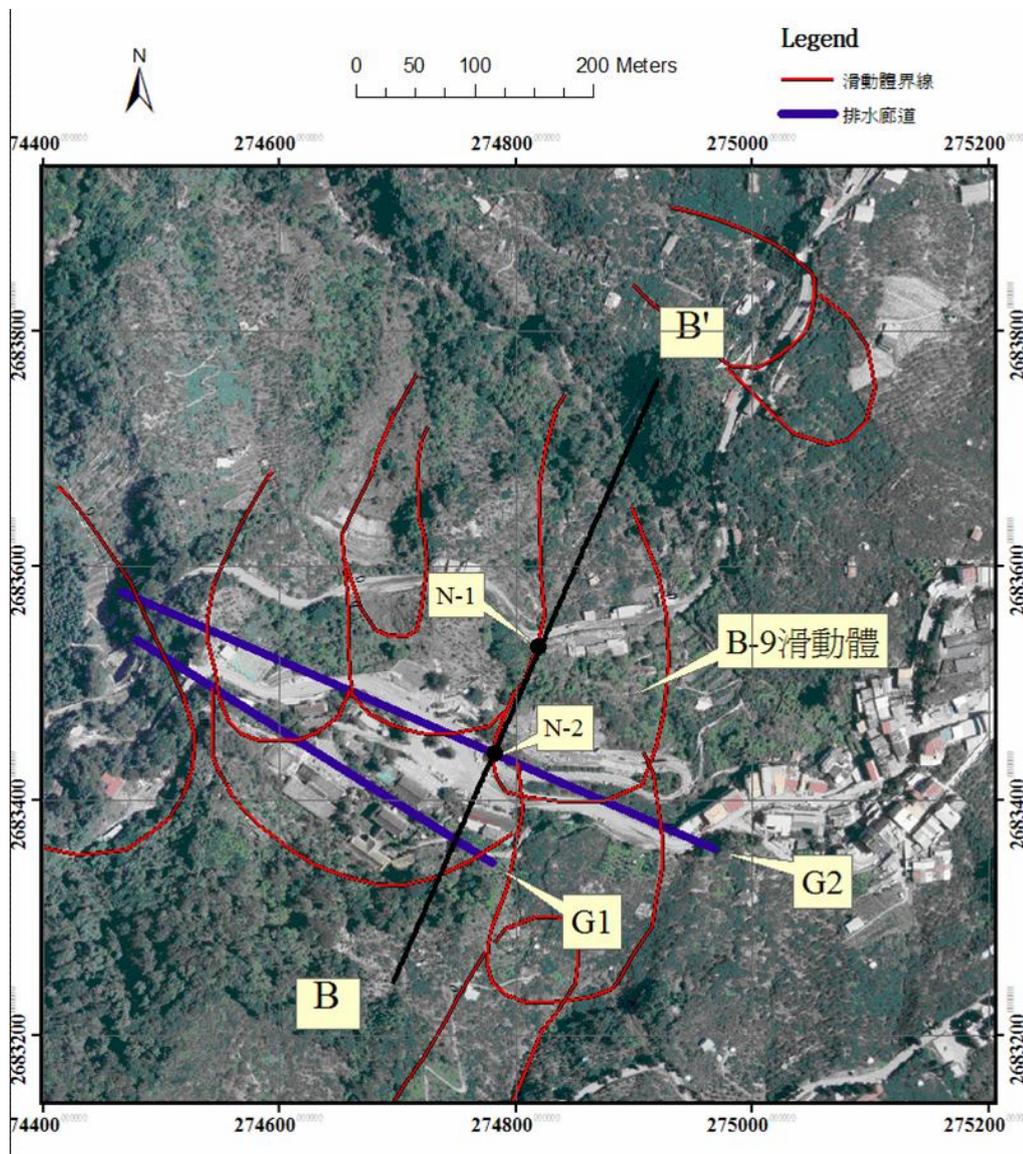


圖 3-1 鑽孔點位位置與地形等高線圖(黃玉麟，2006)

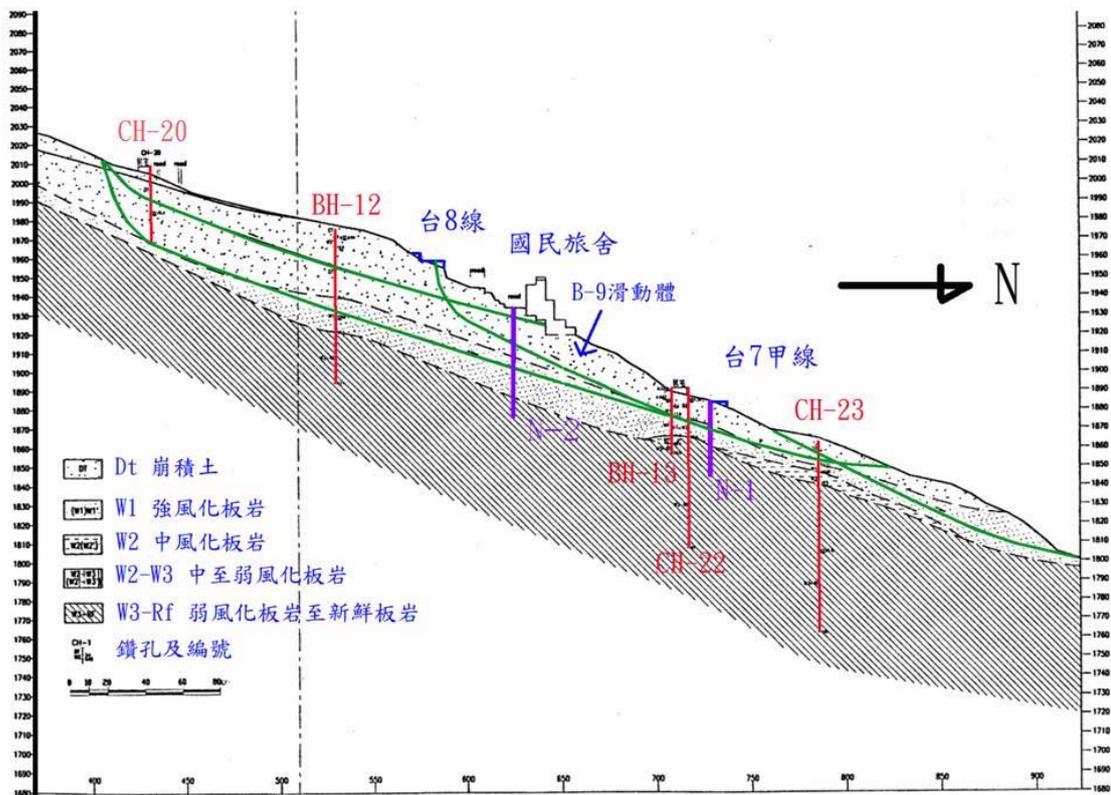


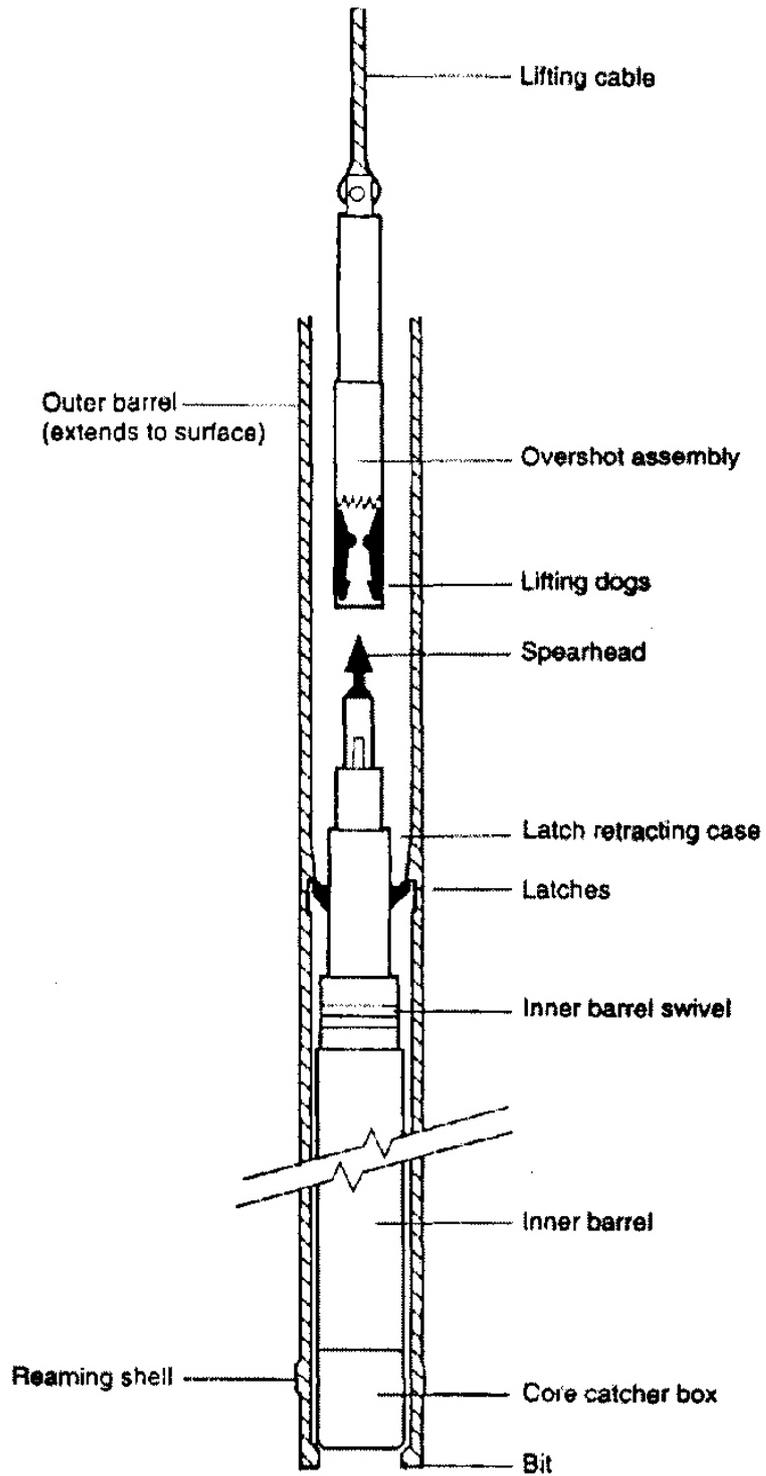
圖 3-2 鑽孔點位之剖面圖(改編自富國)

鑽探過程使用的鑽探器械為 KH-2L 改良型鑽機，鑽孔孔徑為 HQ(外徑 98mm，內徑 62mm)。鑽探方式以旋轉式鑽鑿法進行，取樣方式為鋼索取岩心法(圖 3-3)。

鋼索取樣法使用之岩心管內管有一爪狀的矛頭，取樣時只需將鑽進軸最上方鑽桿卸下，由鑽桿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，增加鑽探速度並減少鑽探時的擾動，同時因泥漿水持續迴流更增加孔壁的穩定性。

圖 3-4~8 為 N-1、N-2 兩孔鑽探工作現況。試體保存的方法是將鑽探所取之岩心放入直徑 7cm、長約 1m 之 PVC 管，兩端塞入海棉塊再以保鮮膜封住，PVC 管外側註明鑽探孔號與取樣深度後，將內含岩心之 PVC 管置入岩心箱內，最後在 PVC 管與岩心箱之間的縫隙塞入海棉塊，岩心保存狀況如圖 3-8；運送時，每箱岩心箱利用海綿墊包裹，岩心箱與車壁之間放入海綿墊，再將岩心箱固定於車廂之中。利用海綿塊與海棉墊可減少在運送過程中震動對岩心的影響。





Principal components of the Longyear NQ-3 wireline drilling system

圖 3-3 鋼索式取岩心法裝置示意圖 (Clayton, et al., 1995)



圖 3-4 放置岩心之岩心箱



圖 3-5 鑽頭、鑽桿與內部取樣器



圖 3-6 鑽機與鑽探過程(孔號 N-1)



圖 3-7 鑽機與鑽探過程(孔號 N-2)



圖 3-8 保護岩心方式



3-2 試驗規劃

本研究針對梨山崩坍地 B-9 滑動體主要滑動面材料，藉由物性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。

3-2-1 試驗材料選擇

梨山崩坍地主要滑動面材料，多數學者認為粉土質黏土所構成，工業技術研究院能源資源所(1994)建議將其分類為強風化板岩(W1)，而黃玉麟(2006)所提出的分類法將之歸納為灰色黏土夾灰色板岩碎屑(C)。

黃玉麟(2006)認為在 B-9 滑動體中有兩個主要的滑動面，上層為地下水上下變動而使風化板岩加速風化而形成，下層為潛移破壞造成上下岩層剪動後風化所形成。本研究試驗材料的選用黃玉麟(2006)在梨山 B-9 崩積體 N-2 孔所鑽採取的下層滑動面岩心，滑動體滑動面位置約在地表下 52~57 米之間，如圖 3-9~11，岩心分類為灰色黏土夾灰色板岩碎屑(C)。

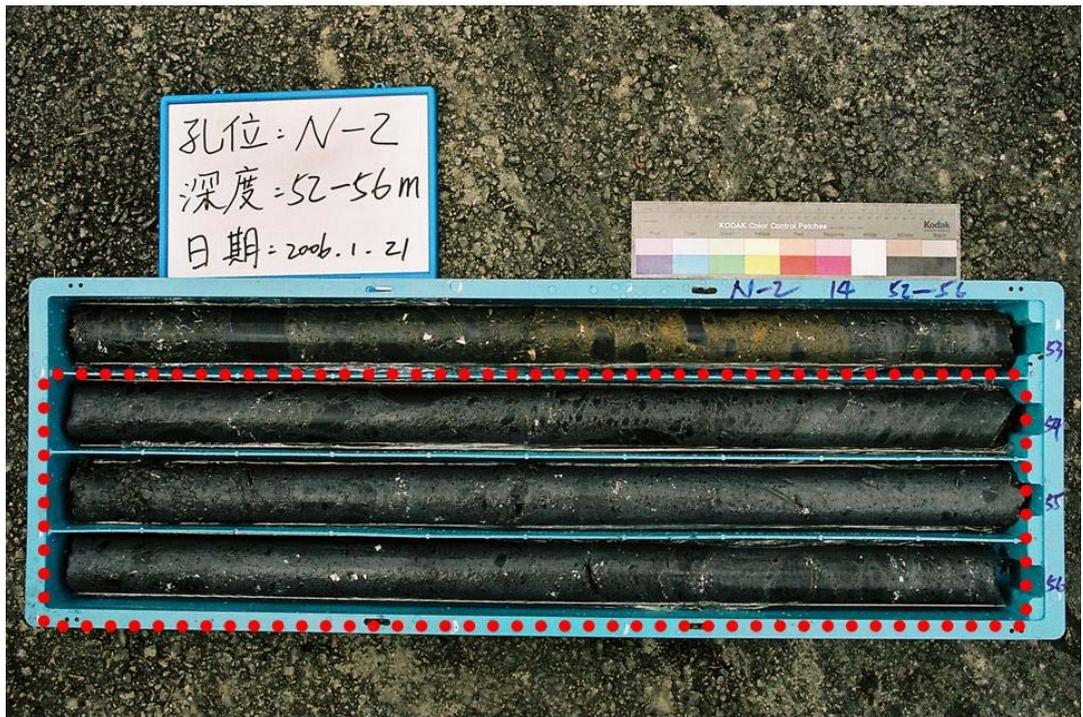


圖 3-9 N-2 孔滑動面材料照片(53~56 米，紅色虛線)



圖 3-10 N-2 孔滑動面材料照片(56~57 米，紅色虛線)

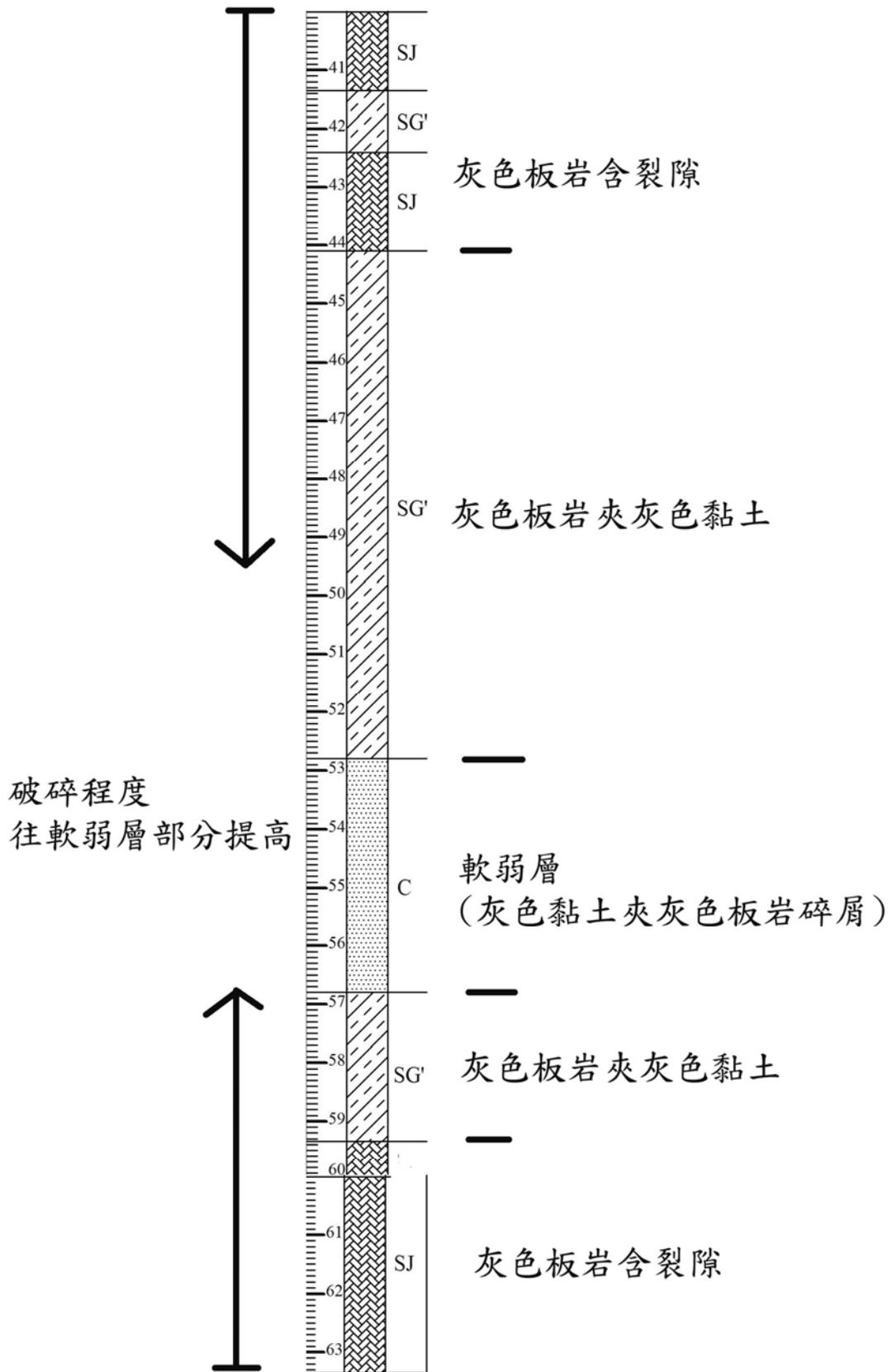


圖 3-11 滑動層面位置示意圖(N-2 孔)(黃玉麟，2006)

3-2-2 試驗數量及試驗方式

本研究所規劃之物性試驗，土壤基質材料使用三軸試驗後的試體材料，進行篩分析後，再施做一般物理性質試驗。而板岩塊部分則使用完整板岩進行一般物理性質試驗，表 3-2、3-3 為板岩塊與土壤基質一般物理性質試驗規劃與取樣位置表。

三軸壓密不排水試驗部分(表 3-4)，共進行 10 個試體的三軸壓密不排水試驗，鑑於試驗材料內為顆粒由大於 4 號篩以上之岩塊、顆粒介於 4 號篩與 200 號篩之間的粗顆粒、與顆粒小於 200 號篩以下之細顆粒等三種粒徑大小之顆粒所組成，而細顆粒含量大約佔 50%左右，其性質與粘土類似，推估材料有具有一定的應變量，因此三軸加壓方式以應變控制，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 5kg/cm²，反水壓最大為 3kg/cm²，因此規劃 10 顆如表 3-4 之圍壓與反水壓大小之三軸壓密不排水試驗。

表 3-2 板岩一般物理性質試驗與取樣位置

孔號	深度 (m)	比重試驗	含水量試驗	孔隙比試驗
N-2	60.00~65.00	9	9	9

表 3-3 土壤物性試驗規劃與取樣位置

孔號	深度 (m)	比重試驗	阿太堡限度試驗	含水量試驗
N-2	55.65-55.85	3	3	1
N-2	56.00-56.20	3	3	1
N-2	56.17-56.35	3	3	1
N-2	57.15-57.35	3	3	1
N-2	58.30-58.50	3	3	1
N-2	54.5-54.70	3	3	1
N-2	54.70-54.90	3	3	1
N-2	55.05-55.2	3	3	1
N-2	55.25-55.45	3	3	1
N-2	55.45-55.65	3	3	1

表 3-4 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)
C-N201	N-2	55.65-55.85	4	3	1
C-N202	N-2	56.00-56.20	3	2	1
C-N203	N-2	56.17-56.35	2	1	1
C-N204	N-2	57.15-57.35	4	3	1
C-N205	N-2	58.30-58.50	4	3	1
C-N206	N-2	54.5-54.70	4	2	2
C-N207	N-2	54.70-54.90	4	2	2
C-N208	N-2	55.05-55.2	5	2	3
C-N209	N-2	55.25-55.45	5	2	3
C-N210	N-2	55.45-55.65	5	2	3

3-2-3 試驗流程

本研究主要使用本校土壤三軸試驗儀器施做三軸壓密不排水試驗，試驗流程如圖 3-12；一般物理性質試驗則分為板岩塊與基質土壤進行，板岩塊選用 N-2 孔深度 60-65 米之大顆粒破碎板岩，土壤基質則使用三軸壓密不排水試驗後之同岩心段之材料，流程如圖 3-13。

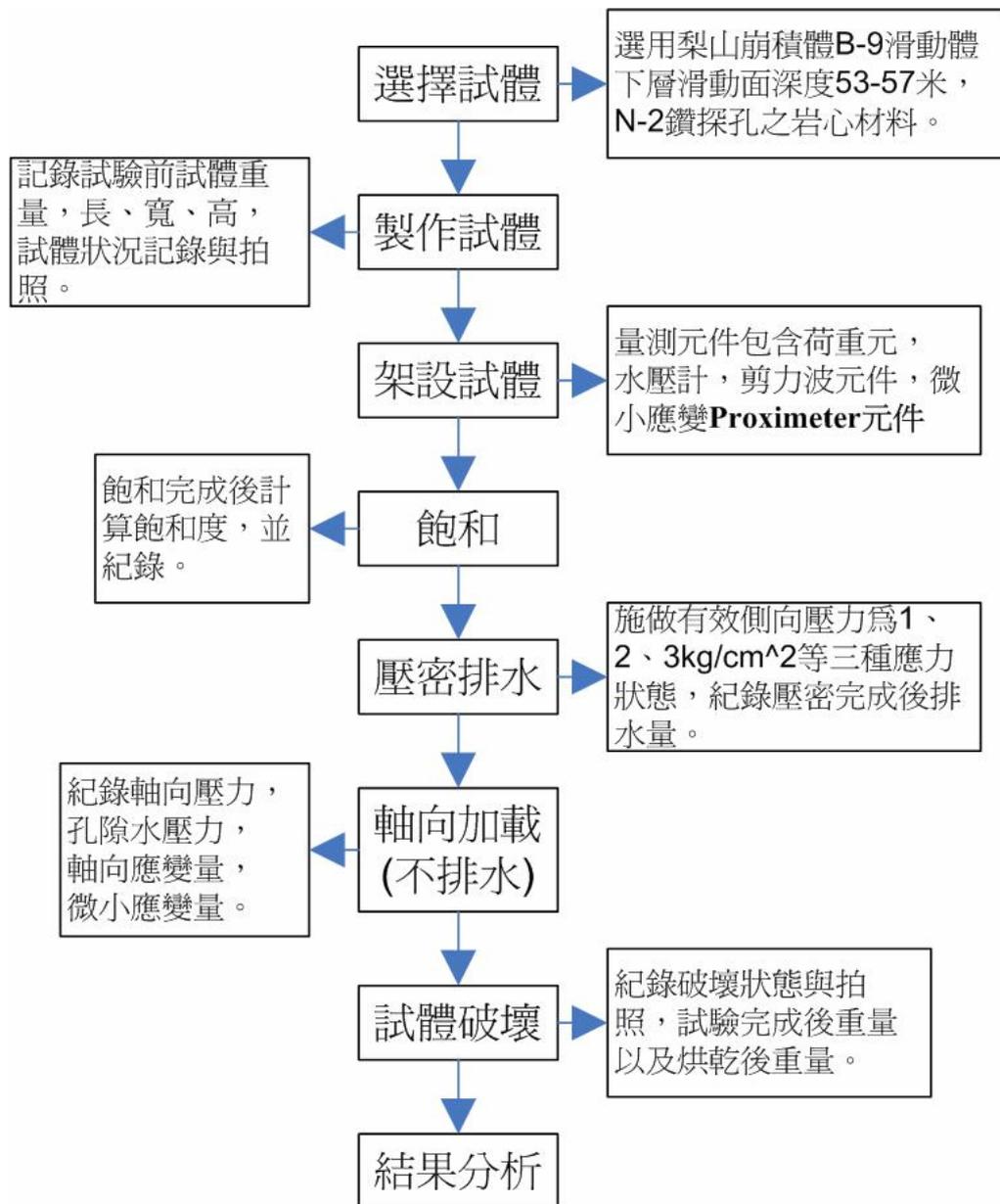


圖 3-12 三軸壓密不排水試驗流程圖

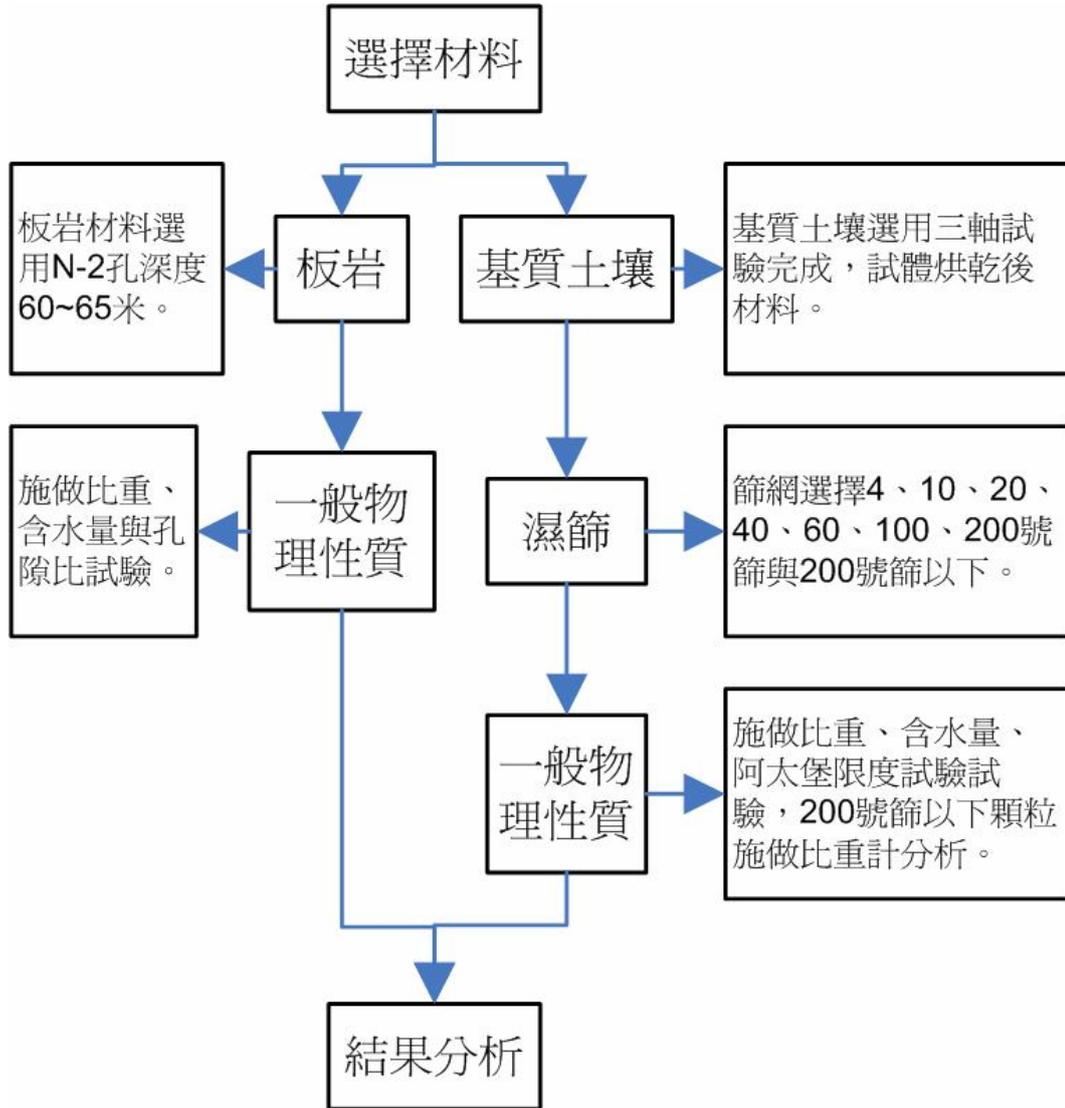


圖 3-13 板岩與基質土壤一般物理性質試驗流程圖

3-2-4 試驗準備

黃玉麟(2006)將 B-9 滑動體岩心分為灰色板岩夾黃色黏土(SY)(圖 3-14)、灰色板岩夾灰色黏土(SG)(圖 3-15)、灰色黏土夾灰色板岩碎屑(C)(圖 3-16)與灰色板岩(S)(圖 3-17)。本研究選用 N-2 孔所鑽取出岩心，滑動層材料約在 53~57 米間，岩心分類屬灰色黏土夾灰色板岩碎屑(C)。

由於灰色黏土夾灰色板岩碎屑(C)材料內含大小不一的風化板岩顆粒，因此試體必須利用岩石切割機裁切(圖 3-18)，為保持試體不受切割時震動所造成的破壞，切割時利用 PVC 管包覆在試體外側(圖 3-19)，並倒入超泥漿穩定液減少 PVC 管與試體間的空隙所造成的振動。裁切後試體可能有細小顆粒因震動而掉落，利用與試體相同性質之材料加以填補，塗抹在試體表面使試體切割面上使其平整，試體裁切完成後示意圖 3-20。

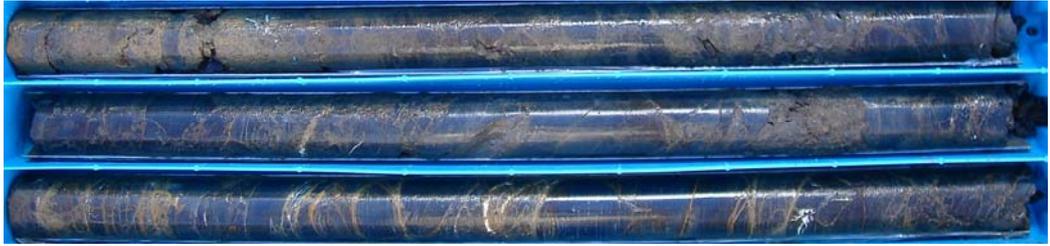


圖 3-14 灰色板岩夾黃色黏土(SY)



圖 3-15 灰色板岩夾灰色黏土(SG)



圖 3-16 灰色黏土夾灰色板岩碎屑(C)



圖 3-17 灰色板岩(S)



圖 3-18 單刃岩心切割機

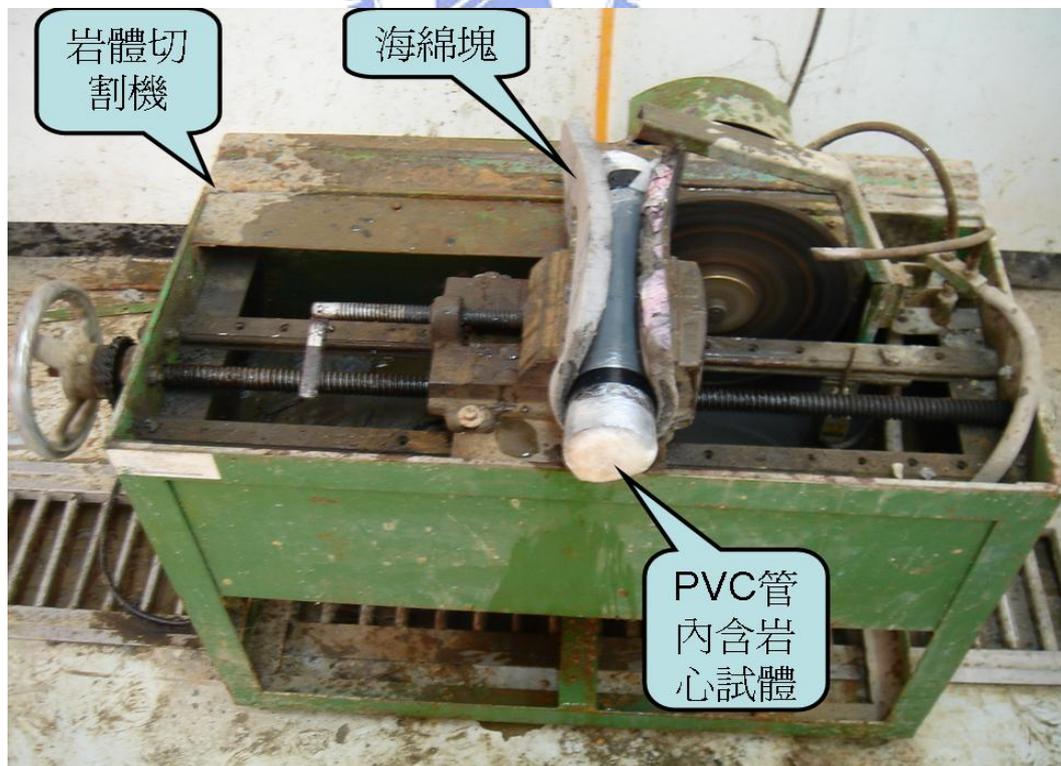


圖 3-19 試體裁切示意圖



圖 3-20 裁切完成後試體狀況



3-3 試體儀器

考量研究目的所需，試驗設備儀器必須具有量測軸向應力之荷重元、側向壓力之水壓計、孔隙水壓力之水壓計、微應變量之非接觸位移計以及剪力波速之剪力波元件等量測元件，因此採用本校土壤三軸試驗儀器(洪若安，2006)。

此三軸儀器可分為三軸室設備，軸向加載設備，控制與擷取信號設備，量測設備與氣壓及水壓控制設備等五個設備。

三軸室設備

以四根不鏽鋼圓柱來支撐並與三軸室下部僅密結合，其內部可安裝直徑為 70mm，長度 160mm 以下的試體進行試驗；試體頂蓋與底座嵌入剪力波元件（頂蓋為激發端，底座為接收端）在套上透水石；另外供水壓與氣壓管線連接至三軸試底部，在底部匯集成一簡單接線盤。

三軸試內部裝有兩組微應變感測器，試體架設完成後在相關位置上貼上標的物，目的在量測試體微應變範圍內軸向的位移量；荷重元固定在試體底部，可消除因為加壓感所造成摩擦阻力，藉以量測試體真實軸向承載力；試體頂蓋上方，加壓桿中裝設一氣壓缸，此裝置可獨立控制垂直與橫向應力，當圍壓作用在加壓桿時，可提供加壓桿的平衡與穩定。（基本設計圖如圖 3-21、3-22）

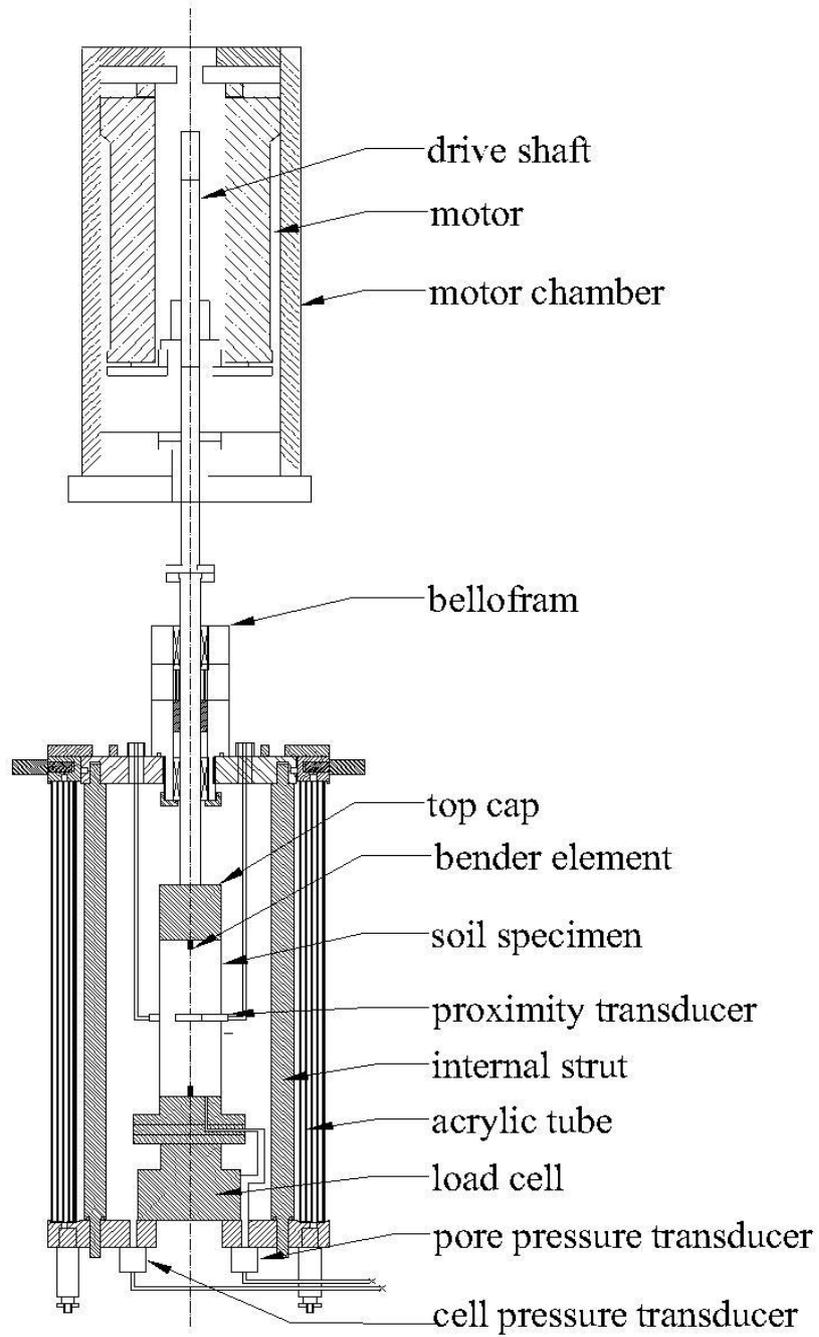


圖 3-21 三軸 K_0 試驗設備示意圖(洪若安，2006)

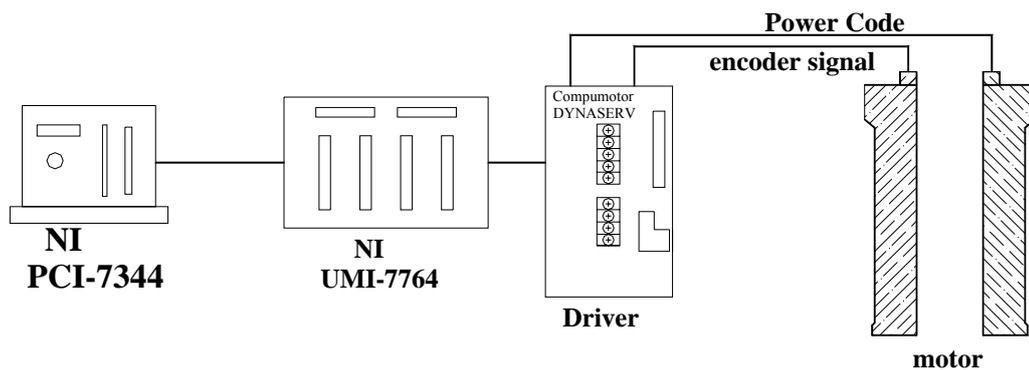


圖 3-22 馬達驅動控制系統示意圖(洪若安，2006)

軸向加載設備

軸向加載使用高解析度極高扭力電磁感應驅動馬達（步進/伺服馬達），其動作方式可為往復式與單向式。馬達最大扭力可達 220 N-m，最大軸向抗壓 4087 kg，最大軸向抗拉 2044kg，解析度為每轉 614400 步。試驗時利用馬達步進的數目、旋轉的方向與速度來控制試體受力之方向與變形速率。

控制與擷取信號設備

軸向加載設備是透過 LabVIEW 程式驅動馬達卡（NI PCI-7344）所控制，藉由程式傳送數位訊號至 terminal board（NI UMI-7764），再將訊號傳輸至馬達驅動器驅使馬達產生旋轉動能，另外 LabVIEW 程式可直接控制馬達的步數、方向與速度。

信號擷取設備使用四台 6.5 位數、22bit 具高訊號穩定度萬用數位電表（Agilent HP 34401A），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 GPIB 介面輸入到電腦。

量測設備

本試驗量測單元有三軸試驗所量測之軸向荷重、軸向應變、徑向應變、側向壓力與孔隙水壓力。

軸向荷重量測使用沉水式荷重元 (Load cell) 將之置於三軸室底部。此荷重元可用於量測軸向荷重達 25kN，此荷重元內部充滿除氣油，在其上方有一栓塞，當任何力量作用於荷重元，便會使栓塞向下移動並引發荷重元內產生等量的油壓，如此荷重元將只反應軸差應力，而不會被圍壓所影響。圍壓及孔隙水壓量測採用可耐壓 1400kPa 水壓計 (Pressure Transducer) (DATA AB) 使用。

軸向局部微應變的量測，主要利用二組非接觸式位移計 (Bently Nevada 3300XL NSv 8mm Proximity Transducer, system sensitivity=200Mv/mil)。位移計分別置於試體左右兩側，由兩位移計所量測到之位移作平均，即為試體徑向應變。量測範圍為 2.3mm，解析度在 $0.02\mu\text{m}$ ($2\times 10^{-5}\text{mm}$) 以下，輸出電壓為 0~20V，線性範圍為 0.25mm~1.75mm 之間，一組非接觸式位移計包含一個放大器 (amplifier)、電纜線 (cable) 和探頭 (probe)。量測方式利用渦電流原理的冷次定律，經由通電線圈離目標金屬物 (target) 位移所產生的磁場變化，而改變電流大小。各項量測設備之規格如表 3-5 所示。

表 3-5 量測系統規格表

感應器	量測範圍	解析度
非接觸式趨近儀	2.3 mm	0.5 μ m
沉水式荷重元	25kN	0.1N
水壓計	700kPa	0.01kPa

試驗進行中可利用剪力波元件求得試體的波速變化以探討剪力模數及彈性模數的變化，所以在三軸試體上下蓋加裝剪力波元件，本研究所使用之設備為自行組裝之剪力波速量測系統，圖 3-23 為剪力波量測系統之示意圖，各項元件之功能及規格如下：

1. 壓電陶瓷晶片：土壤中剪力波速的傳送與接收研究，最早由美國德州大學所發明，乃利用剪力片進行試驗，以石英或壓電水晶為主要元件，目前則是利用壓電陶瓷材料所組成之剪力波元件逐漸取代剪力片；本研究所使用之壓電陶瓷晶片為購自 PIEZO SISTEM 公司，型號 PSI-5H-S4，尺寸大小為 14.5×12×1mm，極化電壓為 10V，尺寸如圖 3-24 所示，將剪力波元件嵌入三軸室試體上下頂蓋中，並使用 Araldite 環氧樹脂（AB 膠）固定於三軸室上下頂蓋中，透水石部分則以矽膠填塞，總凸出約 1/4 元件長（約 3mm），試體上下蓋設計示意圖如圖 3-25 及圖 3-26 所示。目前國外試驗所

使用之剪力波元件(Bender Element)其材料多以聚水晶陶瓷(Polycrystalline Ceramics)代替傳統所使用之天然水晶體，除了具天然壓電晶體之壓電特性之外，亦可製作成任何所需要之尺寸，並且較不易受含水量及大氣狀況所影響。壓電特性指當材料受到機械外力作用時，將會產生相對於機械力大小之電壓；同樣地，當材料受到電壓作用時，會產生相對於此電壓大小的形狀改變。因此壓電現象產生的原因為壓電材料受到電壓作用會產生膨脹或收縮的行為，而壓電陶瓷晶片在淬煉時的極化方向決定了未來受一特定電壓方向作用下的變形方向，壓電陶瓷晶片可在不同方向上表現出壓電特性，故可表現出各種振動模式。

2. 函數產生器：主要功能在於產生單一脈衝正弦波，函數產生器輸出電壓予上蓋剪力波元件後將電能轉換為動能，透過土體傳遞剪力波。

3. 訊號擷取系統：當上蓋觸發一正弦波後，便採用示波器或電腦接收訊號，並記錄之，並在電腦上判斷剪力波到達時間；訊號接收系統應至少具有一個接收通道及一個觸發同步信號通道，若使用示波器可透過 RS232 或 GPIB 介面將訊號輸出或直接將結果列印，而本試驗利用電腦配合訊號處理卡及信號輸入盒（功能類似於一般訊號量測之 terminal board）接收試體底座剪力波元件所激發之電壓波形，並且利用軟體同時進行訊號平均運算等功能，最大接收訊號頻率為 25kHz。

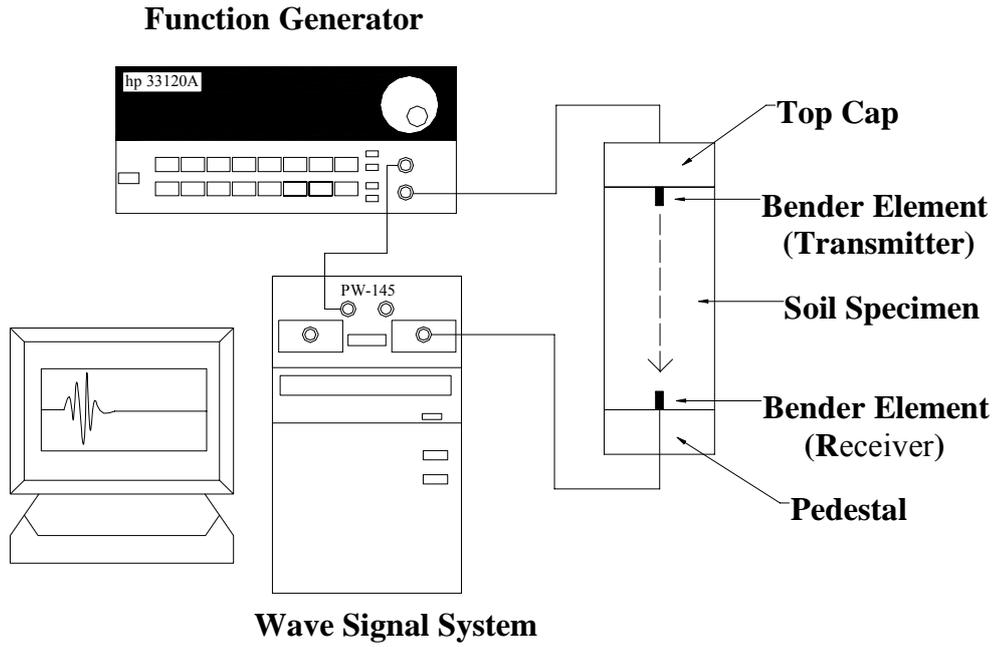


圖 3-23 剪力波元件試驗系統示意圖(林智惠 2003)

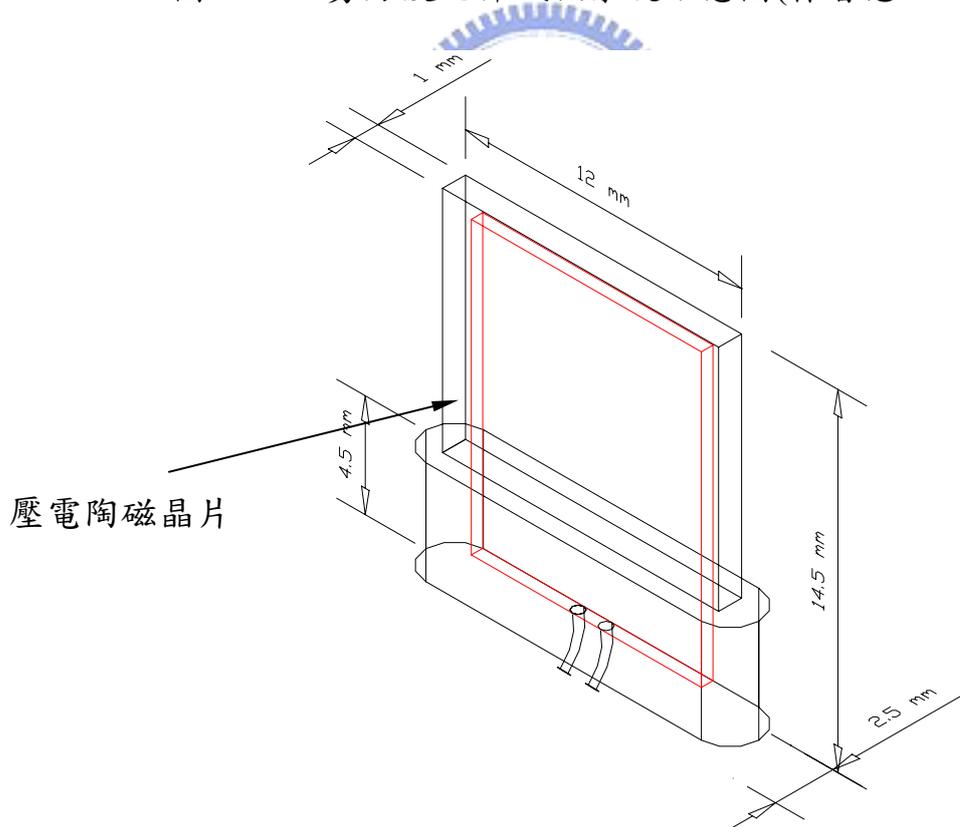


圖 3-24 壓電陶瓷晶片剪力波元件尺寸(林智惠 2003)

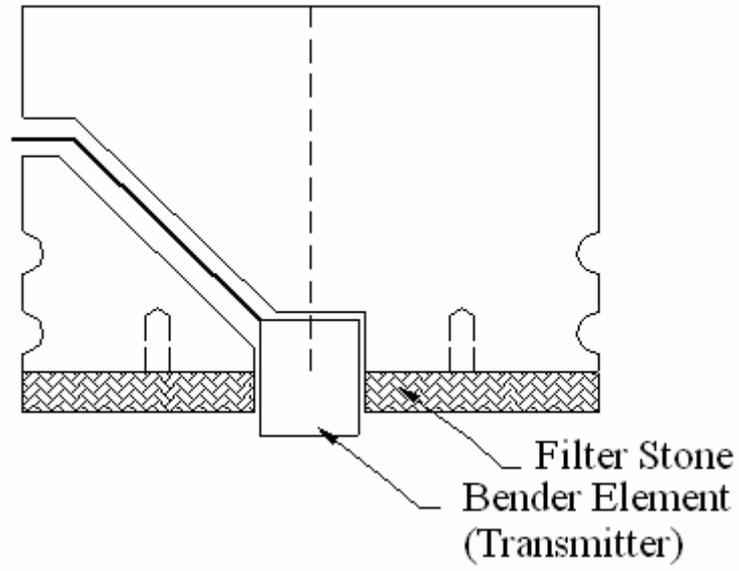


圖 3-25 試體頂蓋剪力波元件（發射端）嵌入示意圖(林智惠 2003)

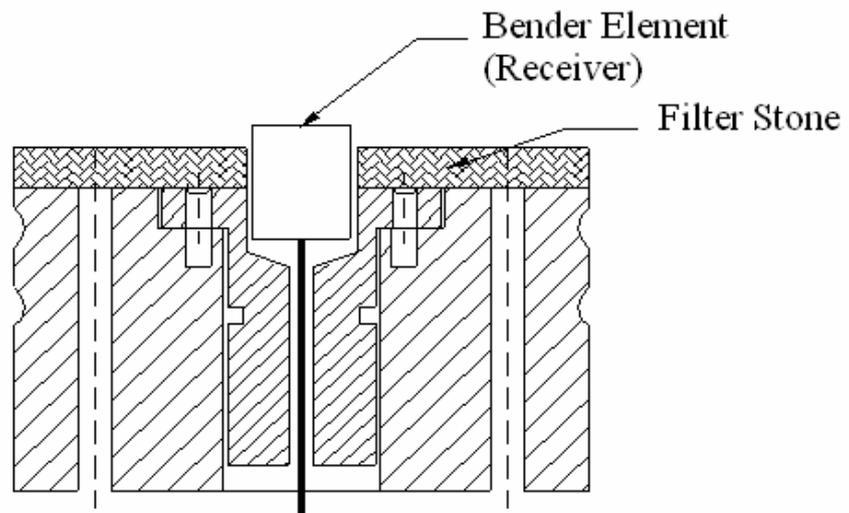


圖 3-26 試體底座剪力波元件（接收端）嵌入示意圖(林智惠 2003)

氣壓及水壓控制設備

空壓機為提供試驗所需壓力之來源，壓力上限為 10 kg/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 kg/cm^2 。



3-4 試驗步驟與規範

3-4-1 三軸壓密不排水試驗步驟

試驗參考 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。試驗步驟如下：

1. 製作完成試體後，將試體套上橡皮膜，架設小應變的量測裝置 proximitor 的感應鋼片並使之平整，再將試體移至三軸室內，再調整 proximitor 之感應距離，微調量測的線性範圍，約為 4~5 伏特。
2. 將側向壓力用水注入三軸室內，待水注滿後接上供給側向壓力之氣壓管線。
3. 給予 0.4 kg/cm^2 之側向壓力與 0.2 kg/cm^2 之孔隙水壓力，開起連接試體內部之排氣閥，當排氣閥流出穩定之水流，表示試體內空氣已排除，flush 完成。
4. 給予預定之孔隙水壓力來飽和試體(建議壓力 2 kg/cm^2 ，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、軸向變形以及小

應變，以做為實驗分析之用。

3-4-2 基本物性試驗

一般物理性質試驗

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。

篩分析與比重計分析試驗

篩分析試驗材料取自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：

1. 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。
2. 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。
3. 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。
4. 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(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。
5. 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 試驗結果與分析

4-1 一般物理性質試驗結果

本研究所進行試驗的材料為梨山崩坍地 B-9 滑動體滑動層材料，灰色黏土夾灰色板岩碎屑(C)(黃玉麟，2006)，材料顆粒分佈型態類似併構岩，為岩塊與基質土壤所組成，其分別定義如下：

- 1.岩塊：風化或岩層滑動所造成的板岩岩塊，顆粒粒徑在 4.76mm 以上(4 號篩以上)，最大顆粒粒徑短軸約 2cm，長軸約 2.5cm。圖 4-1。
- 2.基質土壤：為風化、黏土化或岩層滑動過後所形成的板岩碎屑，顆粒粒徑在 4.76mm~0.074mm(4 號篩與 200 號篩之)為粗顆粒(圖 4-2)，顆粒粒徑在 0.074mm 以下(200 號篩以下)為細顆粒(圖 4-3)，由分類可分類為粉土質或低塑性黏土。



圖 4-1 岩塊(顆粒粒徑大於 4 號篩以上)



圖 4-2 粗顆粒(顆粒粒徑在 4 號篩與 200 號篩之間)

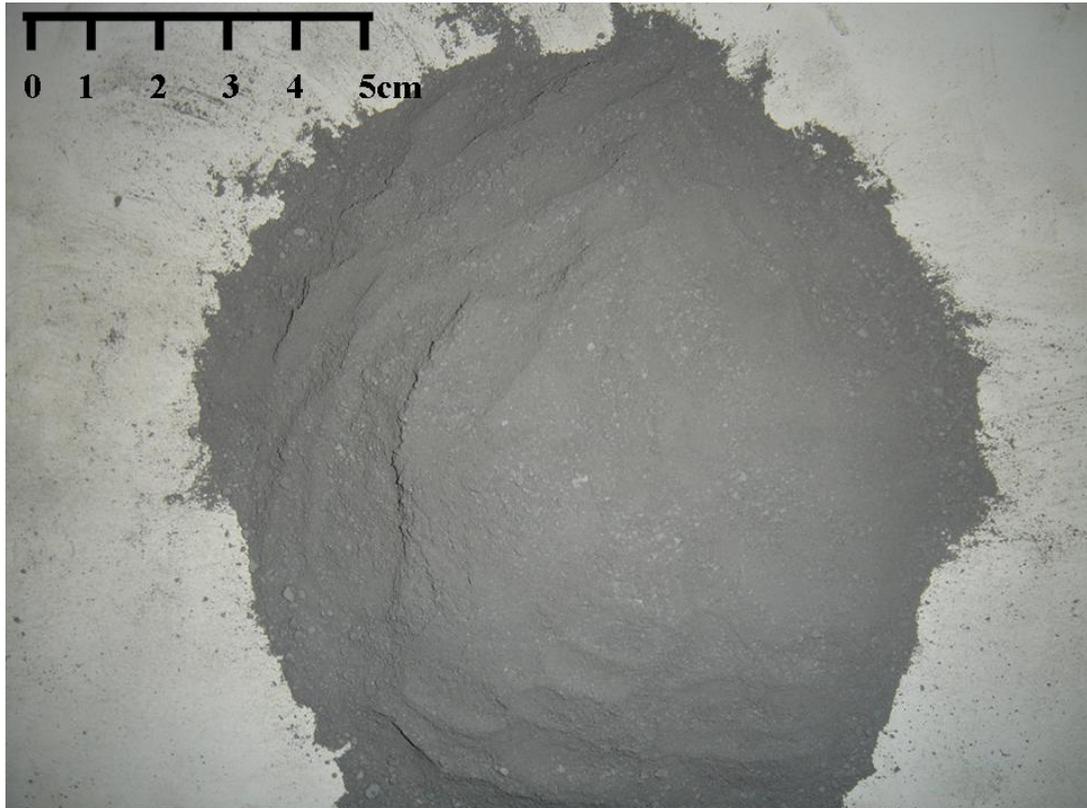


圖 4-3 細顆粒(顆粒粒徑在 200 號篩以下)

一般物理性質試驗結果(附錄 D)得到板岩比重為 2.76、飽和含水量 0.25%、孔隙比 0.00702，表 4-1；基質材料(表 4-2)比重 2.70、液性限度 39.88%、塑性限度 29.56%、塑性指數 10.32%，細顆粒可分類為低塑性粉土 (ML)。

表 4-1 板岩一般物理性質試驗結果

項目	比重 G_s	飽和含水量(%)	孔隙比 e
組數	3	3	3
平均值	2.76	0.25	0.00702
標準差	0.0125	0.0235	0.000605

表 4-2 基質土壤一般物理性質試驗結果

項目	比重 Gs	液性限度 LL(%)	塑性限度 PL (%)	塑性指數 PI (%)
組數	10	30	30	30
平均值	2.70	39.88	29.56	10.32
標準差	0.04	3.16	2.06	3.12

篩分析與比重計分析試驗結果如表 4-3、4-4、圖 4-4、4-5、4-6 與附錄 C。顆粒含量部分，除了試體編號 C-N204 岩塊含量 20.82%、基質土壤含量 79.18%，其他編號試體岩塊含量為 2.77%~8.74%之間、基質土壤含量 91.26%~97.23%；由粒徑分佈曲線可看出，有效粒徑 $D_{10} = 0.00102 \sim 0.0218\text{mm}$ 、 $D_{60} = 0.1 \sim 2.42\text{mm}$ 、 $D_{30} = 0.009 \sim 0.22\text{mm}$ 、 $C_u = 84.75 \sim 406.86$ 、 $C_c = 0.07 \sim 0.99$ ，統一土壤分類法分類為粉土質砂(SM)。

表 4-3 岩塊、粗顆粒與細顆粒含量表

試體編號	岩塊含量 (%)		粗顆粒含量 (%)		細顆粒含量 (%)	
	重量比	體積比	重量比	體積比	重量比	體積比
C-N201	6.52	4.63	39.67	40.47	53.81	54.90
C-N202	10.83	7.82	48.52	50.16	40.65	42.02
C-N203	3.92	2.77	48.95	49.54	47.12	47.69
C-N204	27.36	20.82	57.47	62.64	15.18	16.54
C-N205	10.10	7.26	48.06	49.58	41.84	43.16
C-N206	8.92	6.40	37.97	39.02	53.11	54.58
C-N207	12.06	8.74	54.44	56.50	33.50	34.76
C-N208	6.02	4.28	52.37	53.34	41.61	42.38
C-N209	3.62	2.55	52.37	52.95	44.01	44.50
C-N210	7.05	5.03	34.61	35.36	58.34	59.61

表 4-4 三軸壓密不水試驗試體基本物性(粒徑分佈曲線)資料表

試體編號	D ₆₀ (mm)	D ₃₀ (mm)	Effective size, D ₁₀ (mm)	Uniformity coefficient, C _u	Coefficient of gradation, C _c	土壤分類
C-N201	0.22	0.01018	0.00105	209.52	0.45	SM
C-N202	0.72	0.0105	0.00215	334.88	0.07	SM
C-N203	0.415	0.0102	0.00102	406.86	0.25	SM
C-N204	2.42	0.22	0.0218	111.00	0.92	SM
C-N205	0.6	0.022	0.003	200.00	0.27	SM
C-N206	0.215	0.010	0.00105	204.76	0.44	SM
C-N207	0.90	0.052	0.00305	295.08	0.99	SM
C-N208	0.52	0.022	0.0022	236.36	0.42	SM
C-N209	0.42	0.015	0.00215	195.35	0.25	SM
C-N210	0.1	0.009	0.00118	84.75	0.69	SM

註：土壤分類使用統一土壤分類法

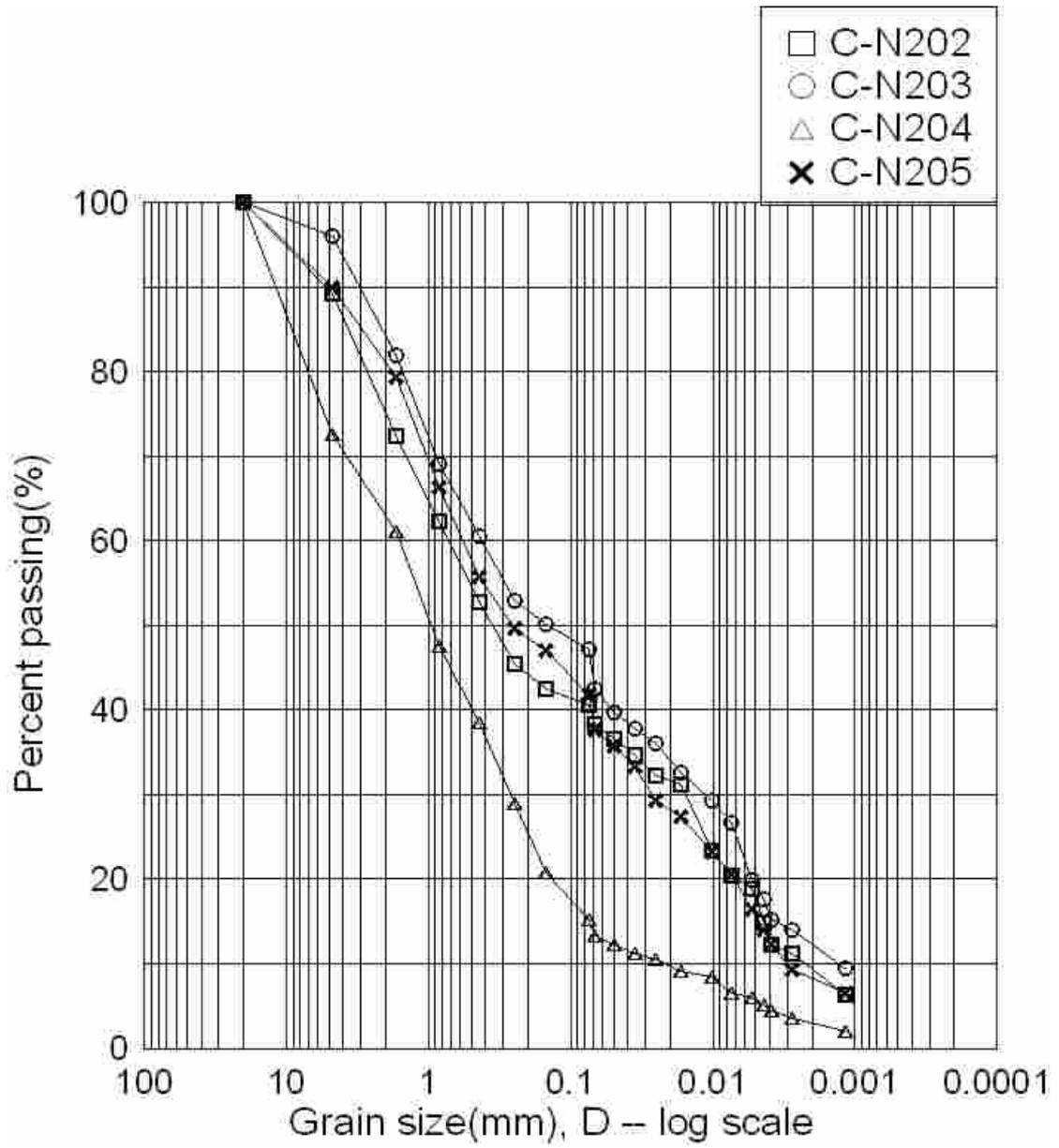


圖 4-4 試體編號 C-N202~205((有效應力 1kg/cm^2) 粒徑分佈曲線

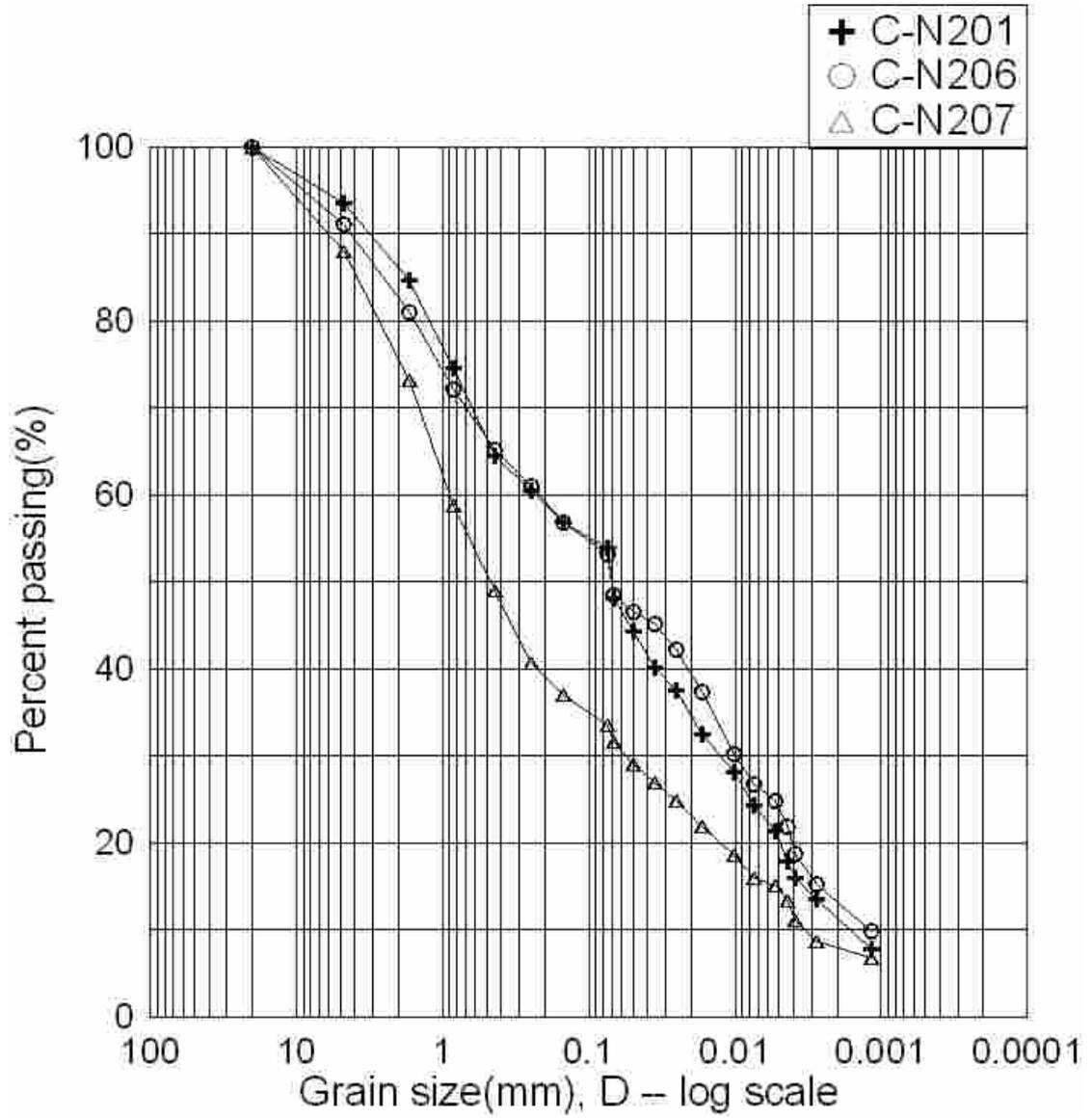


圖 4-5 試體編號 C-N201、206、207 (有效應力 2kg/cm^2) 粒徑分佈曲線

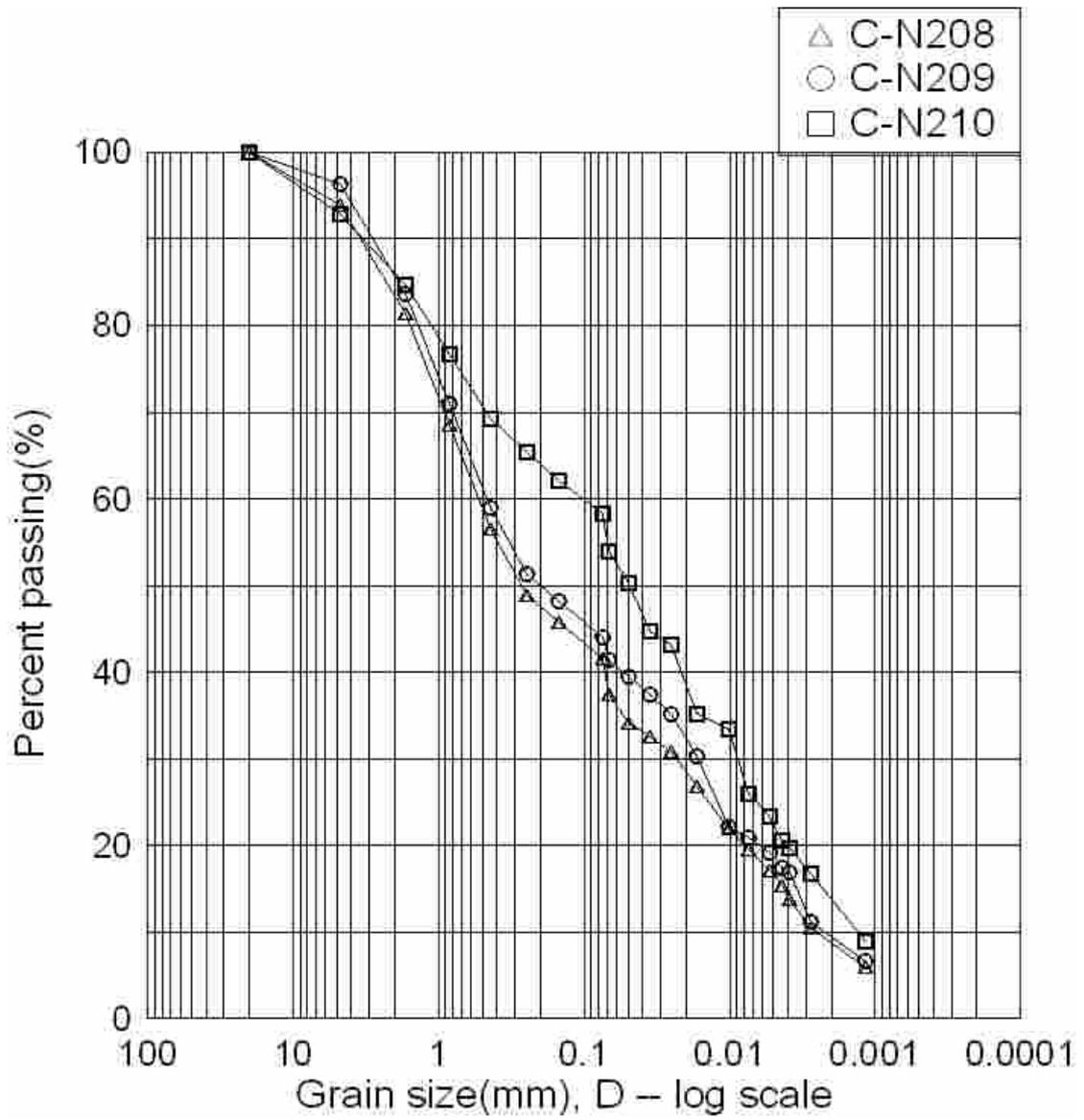


圖 4-6 試體編號 C-N208~210 (有效應力 3kg/cm^2) 粒徑分佈曲線

灰色黏土夾灰色板岩碎屑(C)材料內岩塊顆粒大小與形狀，利用篩分析(4號篩以上)過後顆粒材料加以分析。典型的岩塊顆粒形狀有三種：

1. 形狀 A(近似次圓粒狀)：此類型顆粒形狀為不規則的多邊形，近似次圓粒狀(subrounded)，長短軸比約在 0.6~1.8(圖 4-7，shape A)。
2. 形狀 B(圓粒狀)：此類型顆粒形狀近似圓粒狀(rounded)，長短軸比約為 1。(圖 4-7，shape B)
3. 形狀 C(似片狀次稜角狀)：此類型顆粒邊緣為不規則角狀，形狀近似片狀或次稜角狀(subangular)，長短軸比約為 3.25~1.25。(圖 4-7，shape C)

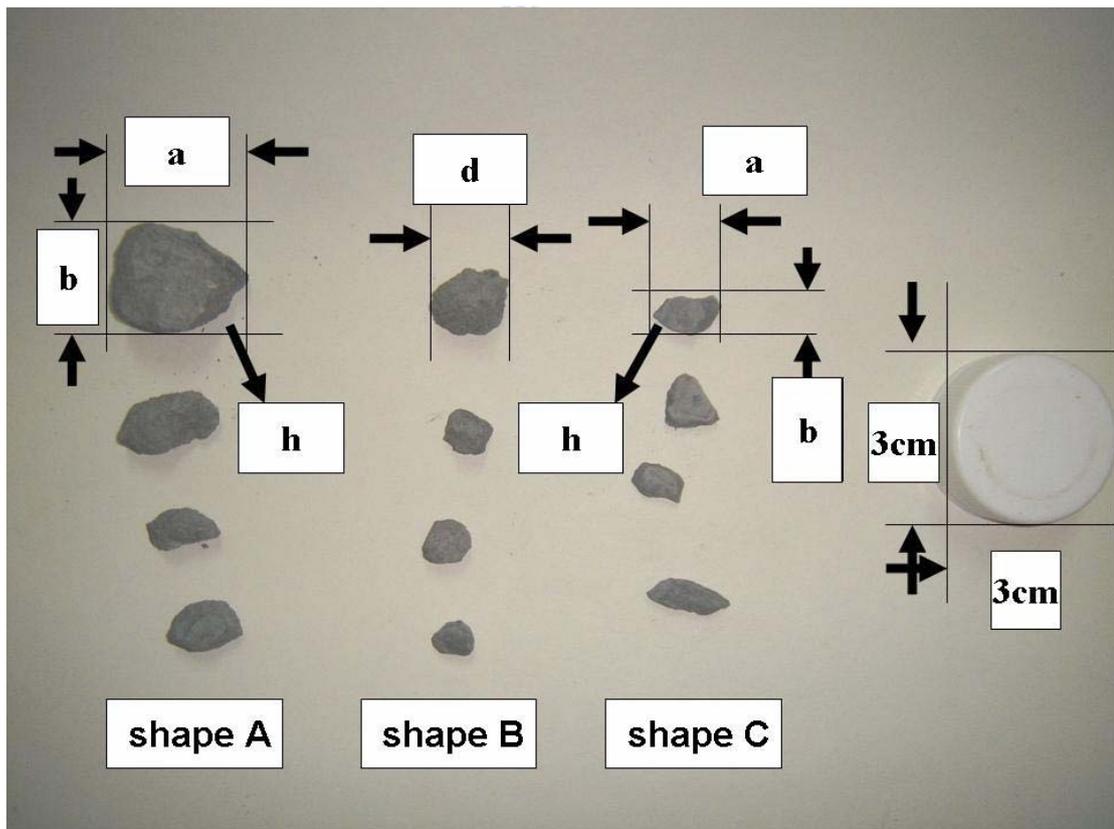


圖 4-7 灰色黏土夾灰色板岩碎屑(C)材料內代表性岩塊形狀 A、B、C(a 為長軸、b 為短軸、h 為厚度、d 為直徑)

觀察岩心表面與岩心端面顆粒排列與分佈情形後，可歸納灰色黏土夾灰色板岩碎屑(C)材料內岩塊排列方式主要有兩種：

1. 第一種岩塊分佈類型：觀察岩心表面(圖 4-8)可看出，岩心表面岩塊分佈主要由形狀 A、形狀 B、形狀 C 之顆粒所組成，顆粒長軸以平行岩心的二端面互疊；進一步由岩心端面觀察(圖 4-9)，形狀 A 之顆粒與形狀 B 分佈較少，只是偶夾於形狀 C 之顆粒之中，岩心端面顆粒分佈主要由形狀 C 所構成，其顆粒形狀為片狀。第一種岩塊分佈類型之試體為試驗材料編號 C-N203、C-N204 與 C-N205。
2. 第二種岩塊分佈類型：觀察岩心表面(圖 4-10)可看出，岩心表面岩塊分佈主要由形狀 A 與形狀 B 之顆粒所組成，顆粒排列方式散亂，無方向性；由岩心端面(圖 4-11)可看出，形狀 A 之顆粒集中於某一處，形狀 B 之顆粒則散佈在其周圍，形狀 C 之顆粒較少。第二種岩塊分佈類型之試體為試驗材料編號 C-N201、C-N202，C-N206、C-N207、C-N208、C-N209 與 C-N210。

藉由篩分析、比重計試驗與觀察岩塊顆粒以及顆粒分佈狀況後，由岩心表面可大概得之材料內部顆粒分佈的狀況，本文繪出具代表性灰色黏土夾灰色板岩碎屑(C)材料內岩塊分佈示意圖，如圖 4-12。

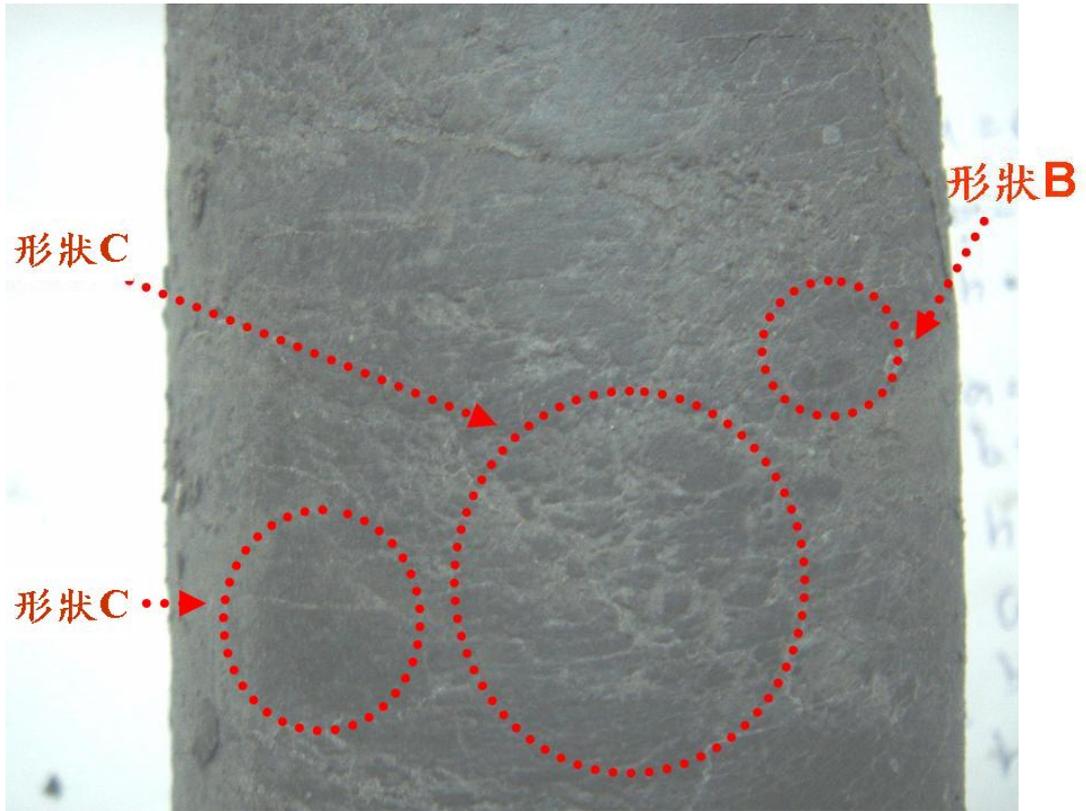


圖 4-8 岩心表面顆粒分佈狀況(第一種岩塊分佈類型)

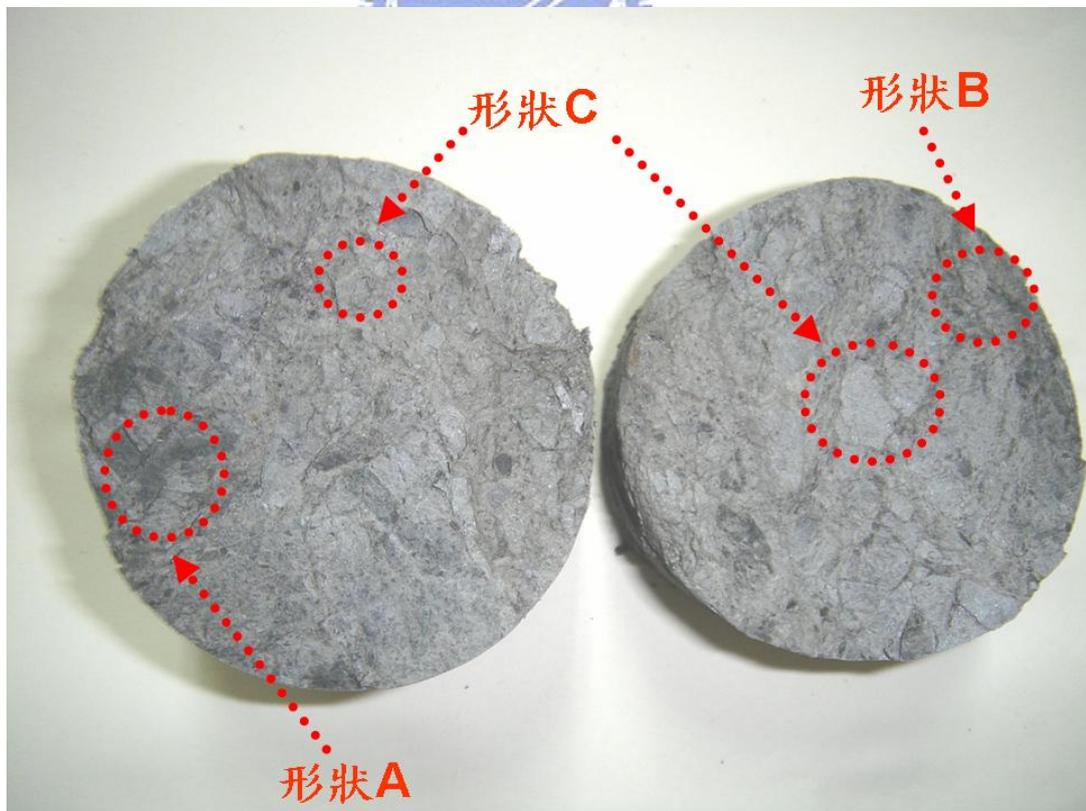


圖 4-9 岩心剖面顆粒分佈狀況(第一種岩塊分佈類型)

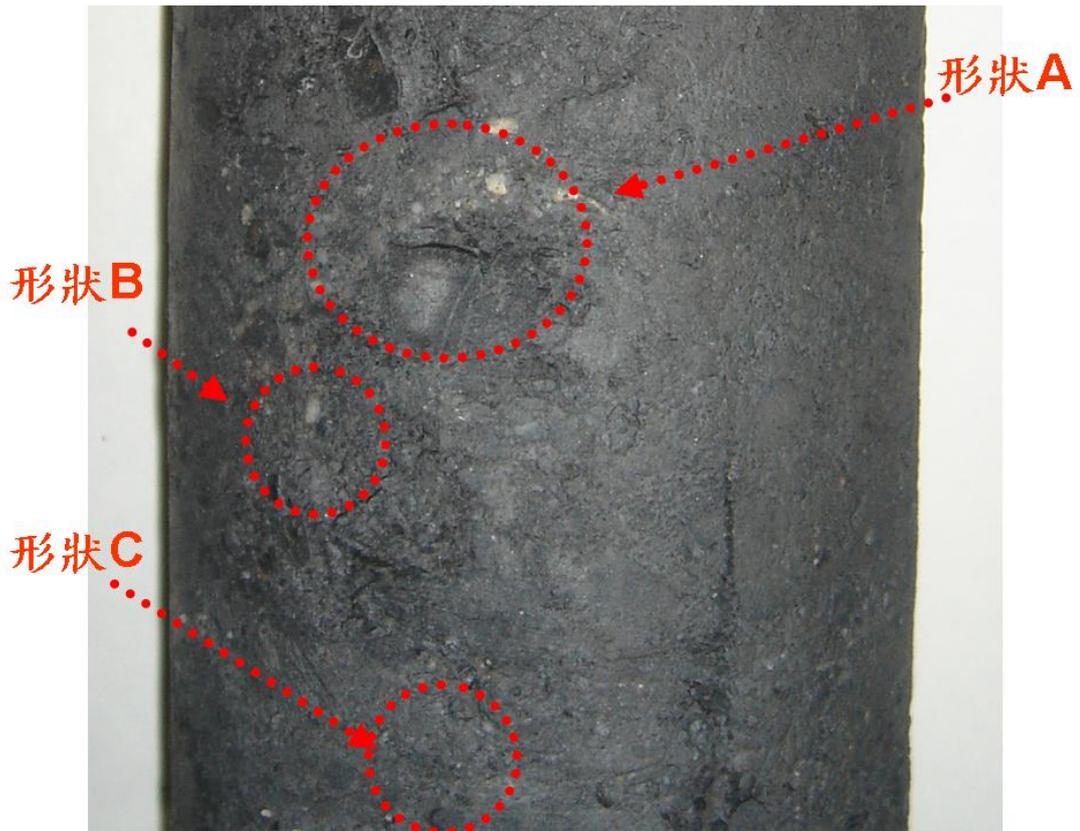


圖 4-10 岩心表面顆粒分佈狀況(第二種岩塊分佈類型)

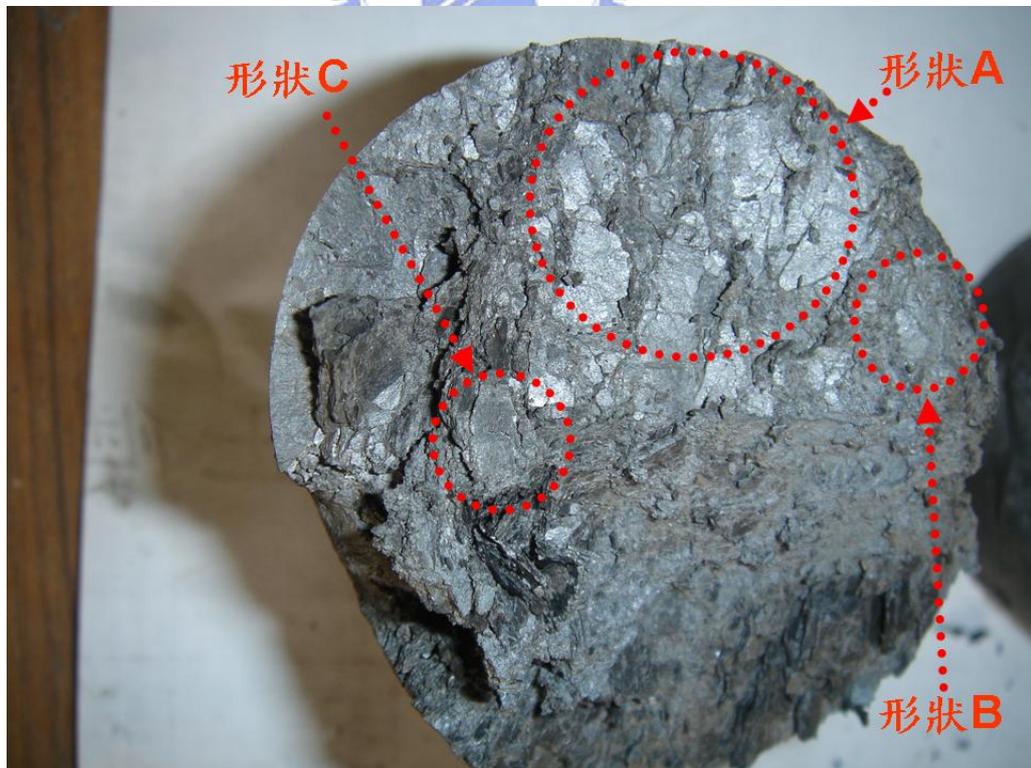


圖 4-11 岩心剖面顆粒分佈狀況(第二種岩塊分佈類型)

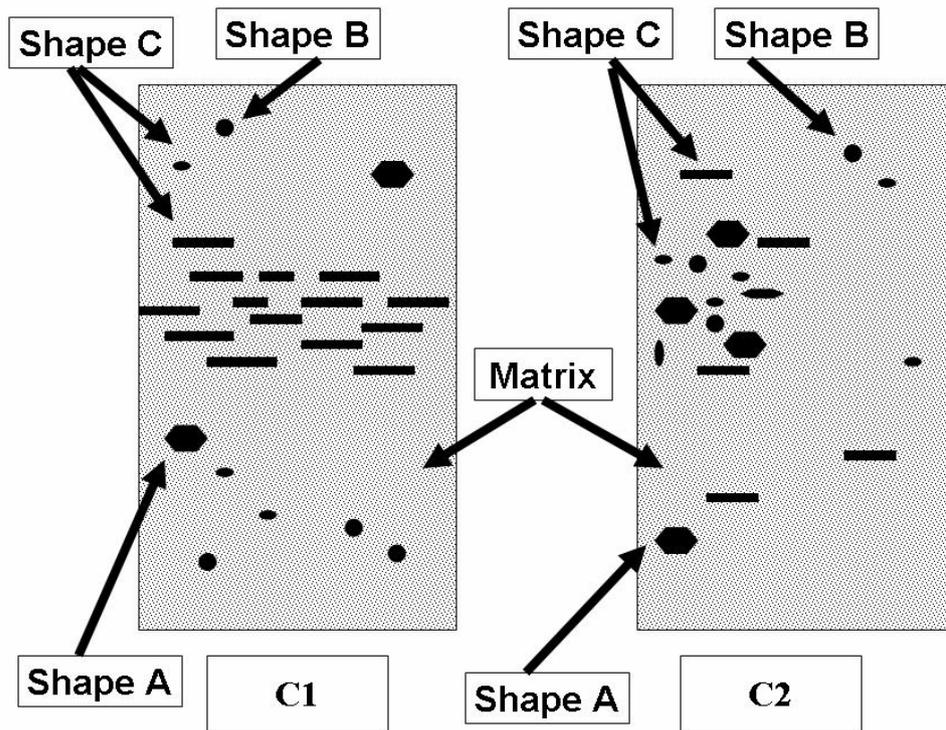


圖 4-12 岩塊分佈示意圖(圖 C1 為第一種岩塊分佈類型、圖 C2 為第二種岩塊分佈類型)



4-2 三軸壓密不排水試驗結果

本研究在 B-9 滑動體鑽探孔 N-2，深度 53~59 米之間，裁切試體編號 C-N201~C-N210 等 10 顆試體進行三軸壓密不排水試驗，試體長徑比控制在 2.5~3.0 之間，由篩分析所得結果顯示，除了試體編號 C-N204 岩塊含量 20.82%、基質土壤含量 79.18%，其他編號試體岩塊含量為 2.77%~8.74%之間、基質土壤含量 91.26%~97.23%；試體比重為 2.64~2.76、飽和含水量 8.93%~16.42%、孔隙比 0.28~0.55。驗試體基本資料如表 4-5、4-6。



表 4-5 三軸壓密不水試驗試體基本資料表 1

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

表 4-6 三軸壓密不水試驗試體基本物性資料表 2

試體編號	孔號	深度 (m)	比重 Gs	飽和含水量 w (%)	孔隙比 e
C-N201	N-2	55.65-55.85	2.69	16.42	0.51
C-N202	N-2	56.00-56.20	2.71	12.58	0.39
C-N203	N-2	56.17-56.35	2.72	15.99	0.55
C-N204	N-2	57.15-57.35	2.76	8.93	0.28
C-N205	N-2	58.30-58.50	2.72	9.29	0.30
C-N206	N-2	54.5-54.70	2.72	15.38	0.52
C-N207	N-2	54.70-54.90	2.64	13.41	0.47
C-N208	N-2	55.05-55.2	2.69	12.32	0.40
C-N209	N-2	55.25-55.45	2.70	14.95	0.48
C-N210	N-2	55.45-55.65	2.72	12.56	0.40

4-2-1 三軸壓密不排水試驗應力應變曲線

三軸壓密不排水試驗過程使用荷重元量測軸向應力，軸向位移則由步進馬達所控制，對於黏土材料而言，由於應變量大，因此一般定義應變量達 20%時，視為材料破壞應變量。本研究試驗部份材料無明顯尖峰強度，當應變量超過 20%，試體強度仍持續上升，因此本文以過去經驗破應變量達 20%之強度，視為灰色黏土夾灰色板岩碎屑(C)材料之破壞強度。

表 4-7 列出試體破壞應變、最大軸差以及試驗所施加的圍壓與孔隙水壓結果；圖 4-13~4-17，附錄 C 示，除了編號 C-N202、C-N204、C-N205 之應力應變曲線有明顯尖峰值外，其他試體在應變量達 20%時並無應變軟化的現象，附錄 C 之圖 C-12 為編號 C-C-N204 破壞後試體狀態，其破壞方式呈

現明顯的傾斜破壞面，其他試體在破壞後則呈現側向膨脹的破壞形態，類似正常壓密黏土破壞時所呈現的大肚子型態。

圖 4-18 為材料內顆粒含量相近試體之應力應變曲線比較圖，其強度與圍壓無明顯關係，部分試體具有尖峰強度，破壞行為並不相近，推測岩塊含量、形狀與分佈的型態，會影響材料的行為。

編號 C-N202 試體(表 4-7 與圖 4-13)，岩塊與基質含量與試體 C-N203、C-N205、C-N208、C-N209 相似，但並沒有隨著圍壓增加，軸差強度上升的趨勢，反而偏低，由試體表面顆粒分佈與破壞照片(附錄 C 之圖 C-6)，推估是由於岩塊集中於試體底部，隨著應變量達 13.93%時，岩塊彼此接觸，而形成滑動面，使得材料強度有偏低的現象。

編號 C-N204 試體(表 4-7 與圖 4-15)，岩塊含量達 20.82%，試體表面岩塊分佈為水平於試體剖面，可承受較高的強度，當應變量增加，岩塊彼此接觸，受到較均質的岩塊分佈與較高的岩塊含量，因此破壞形成明顯滑動面。

推估岩塊含量低於 10%時，材料強度不受岩塊含量影響，岩塊含量與分佈會影響材料破壞的模式。當岩塊含量高於 20%時，岩塊含量與分佈將影響材料強度以及破壞的模式。可由 Montrasio(1998)對 complex soil 材料行為做的描述加以解釋，當試體的應變量持續增加，但試體內部岩塊並無互相接觸的跡象，因此材料的破壞行為與型態由基質土壤所控制，呈現大肚

子的破壞形態；試體達到應變門檻值，材料內的岩塊開始互相接觸，當施加應力大於岩塊間的摩擦力時，造成岩塊的滑動而形成明顯破壞面。

由於試體含水量接近，因此上述現象，本文認為岩塊含量、排列有關，於 4-3-1 節詳加討論。

表 4-7 試體破壞應變與軸差強度

試體編號	孔號	深度 (m)	破壞應變 (%)	軸差應力 (kg/cm ²)	圍壓 (kg/cm ²)	反水壓 (kg/cm ²)	有效圍壓 (kg/cm ²)
C-N201	N-2	55.65-55.85	20.00	2.85	4	2	2
C-N202	N-2	56.00-56.20	13.93	1.59	3	2	1
C-N203	N-2	56.17-56.35	20.00	5.35	2	1	1
C-N204	N-2	57.15-57.35	8.39	20.30	4	3	1
C-N205	N-2	58.30-58.50	17.90	6.20	4	3	1
C-N206	N-2	54.5-54.70	20.00	2.90	4	2	2
C-N207	N-2	54.70-54.90	20.00	1.70	4	2	2
C-N208	N-2	55.05-55.2	20.00	4.11	5	2	3
C-N209	N-2	55.25-55.45	20.00	4.47	5	2	3
C-N210	N-2	55.45-55.65	20.00	4.17	5	2	3

註：軸差應力 $\Delta\sigma_d = \sigma_1 - \sigma_3$

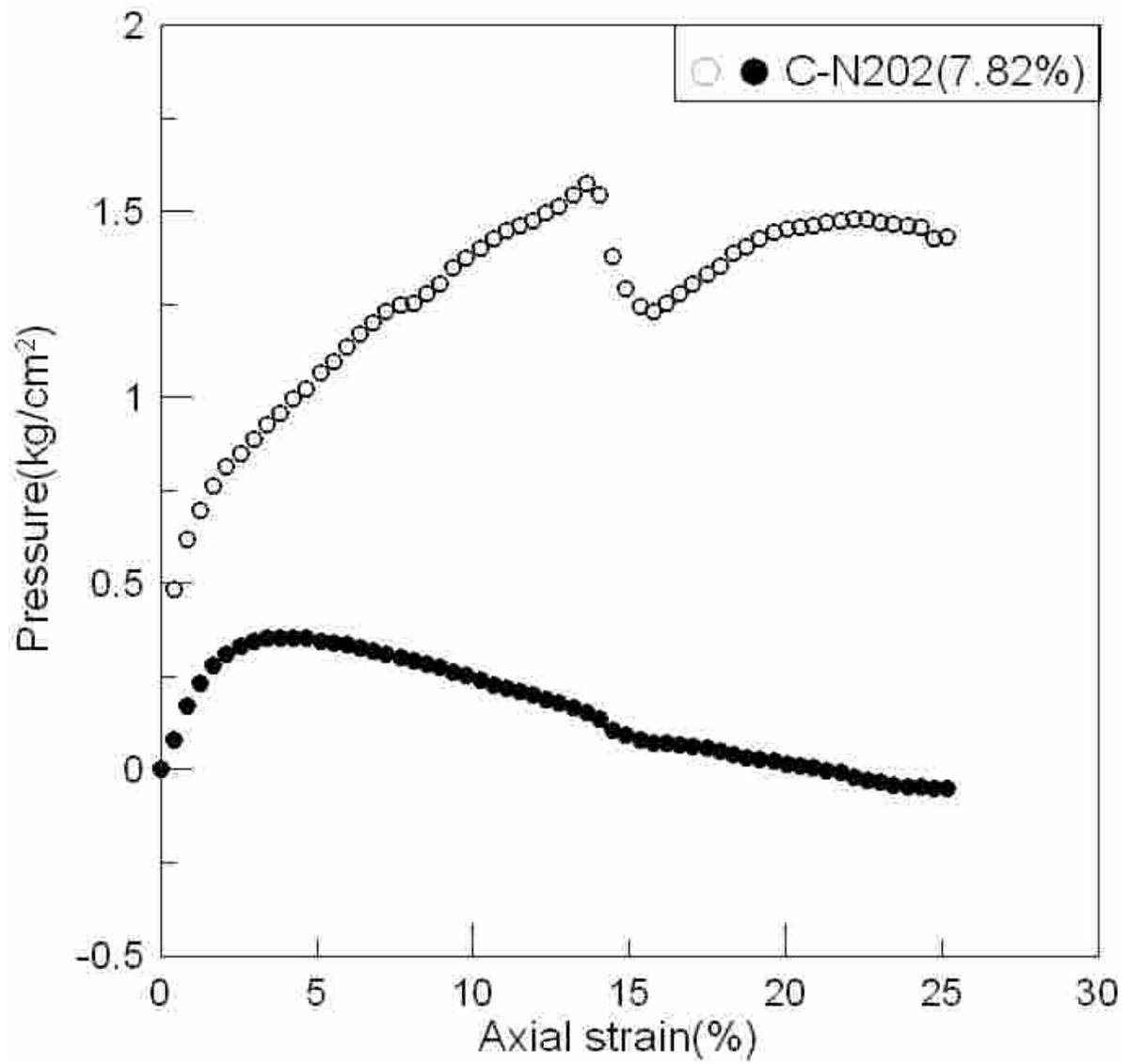


圖 4-13 應力應變與孔隙水壓變化曲線(圍壓 3kg/cm^2 , 反水壓 2kg/cm^2)

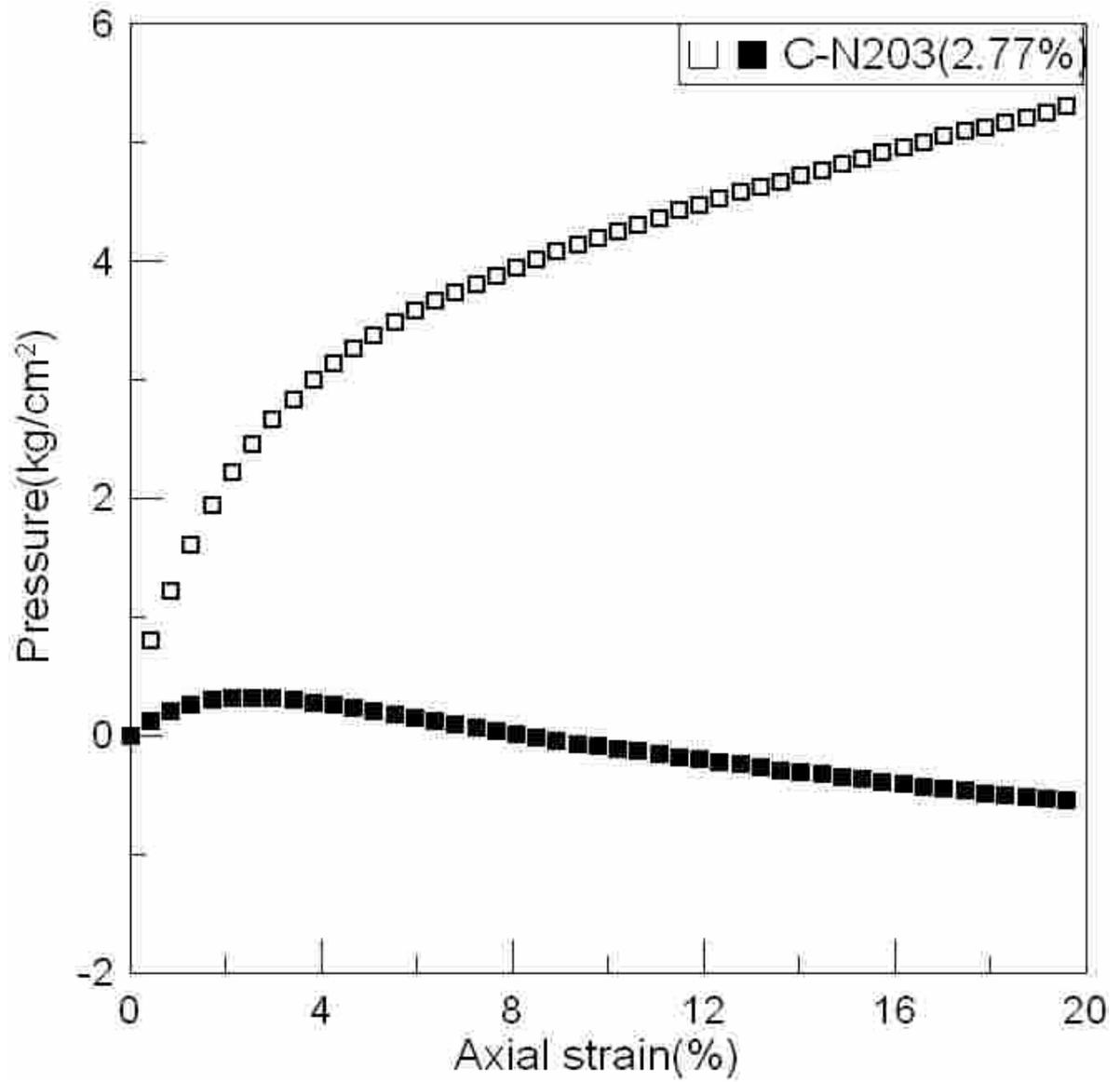


圖 4-14 應力應變與孔隙水壓變化曲線(圍壓 2kg/cm^2 , 反水壓 1kg/cm^2)

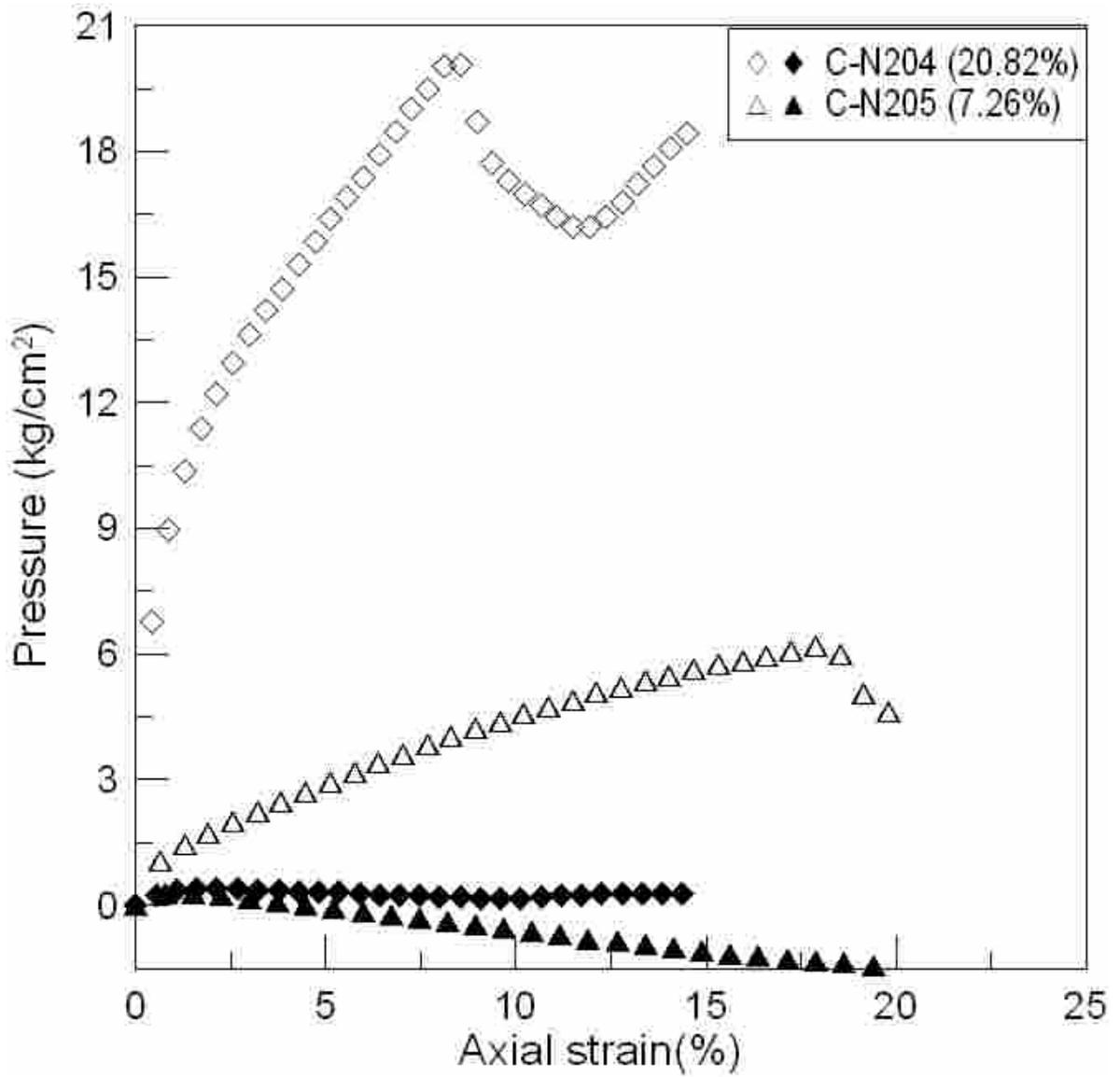


圖 4-15 應力應變與孔隙水壓變化曲線(圍壓 4kg/cm²，反水壓 3kg/cm²)

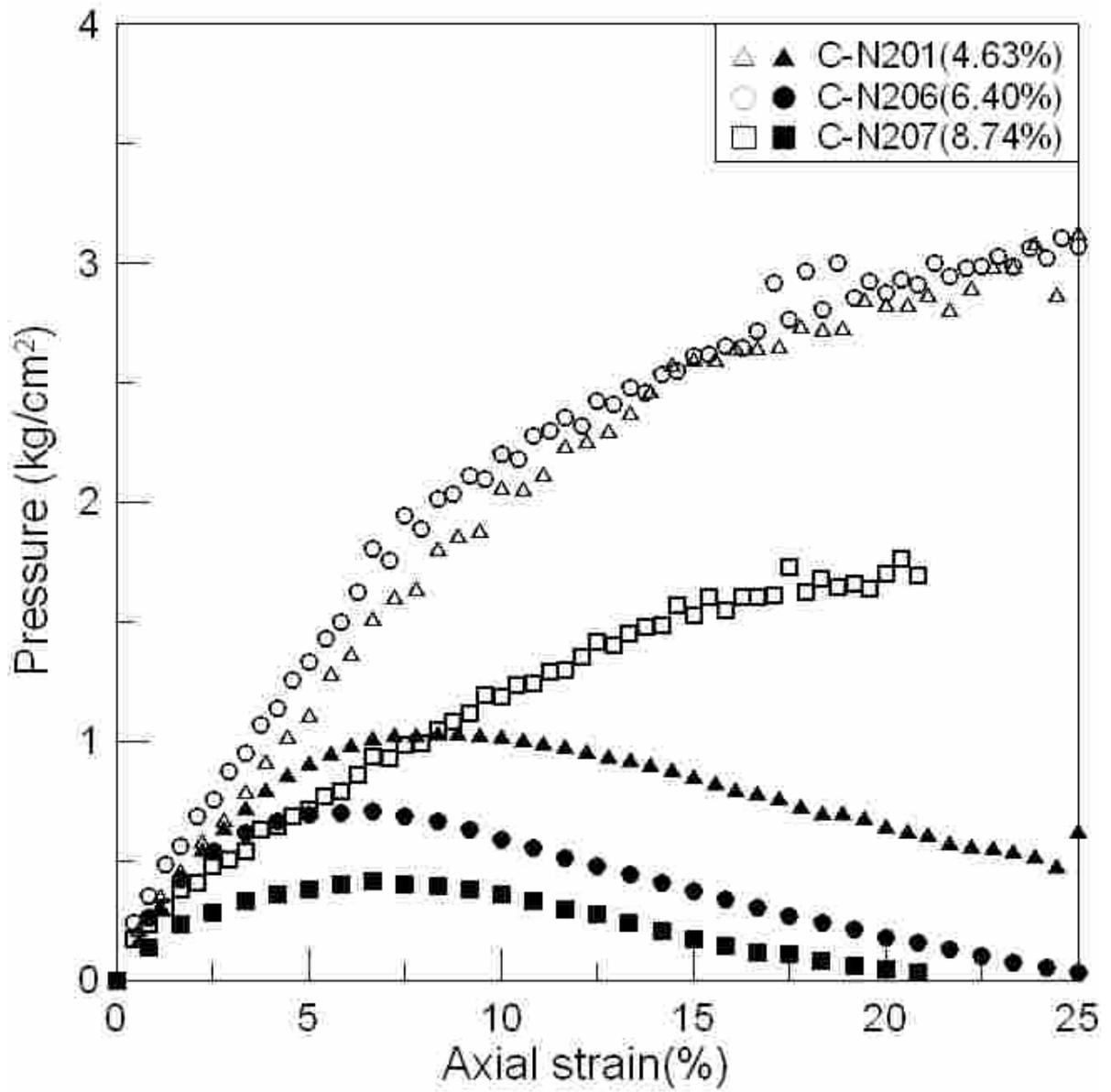


圖 4-16 應力應變與孔隙水壓變化曲線(圍壓 4kg/cm^2 , 反水壓 2kg/cm^2)

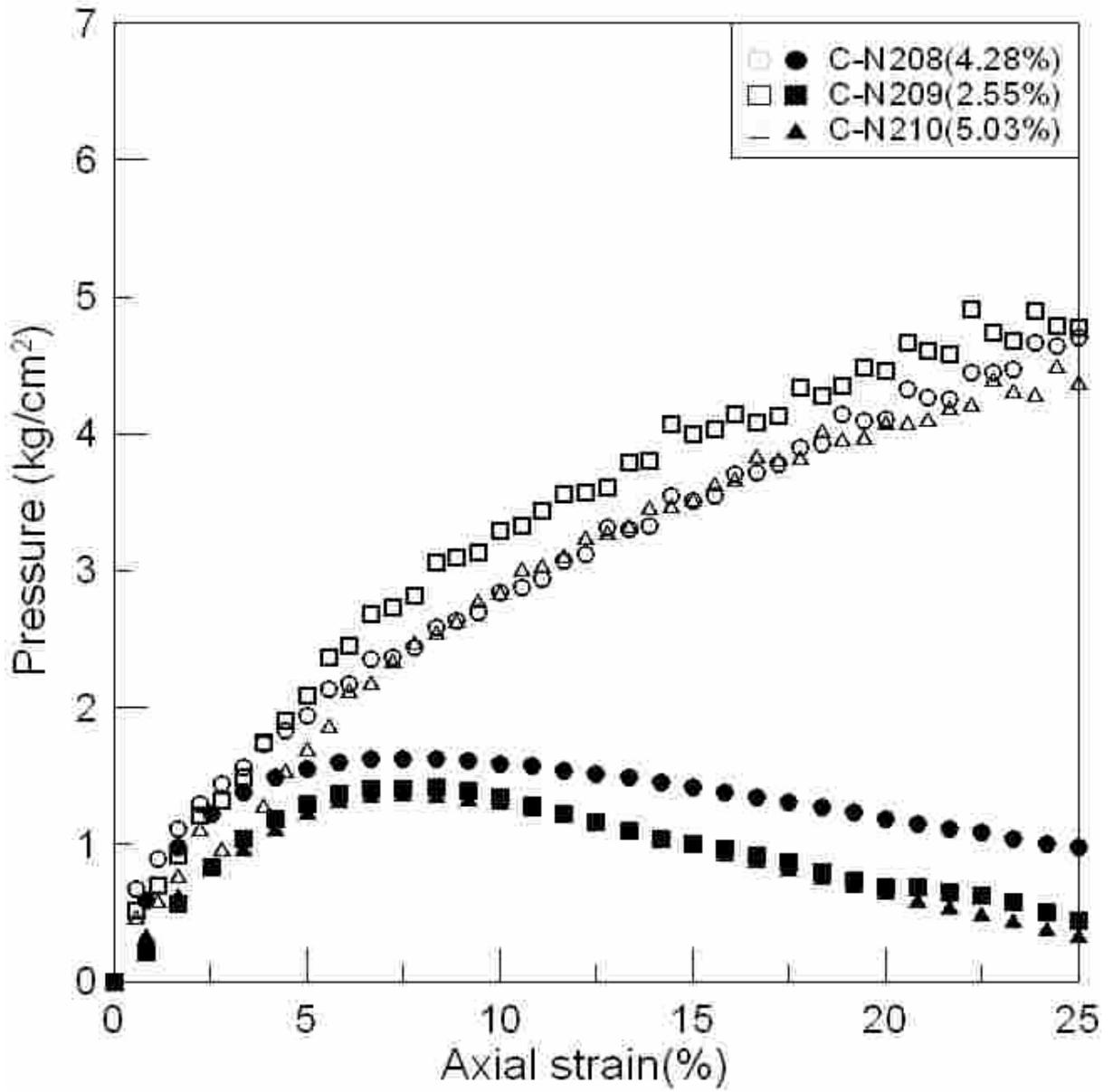


圖 4-17 應力應變與孔隙水壓變化曲線(圍壓 5kg/cm^2 ，反水壓 2kg/cm^2)

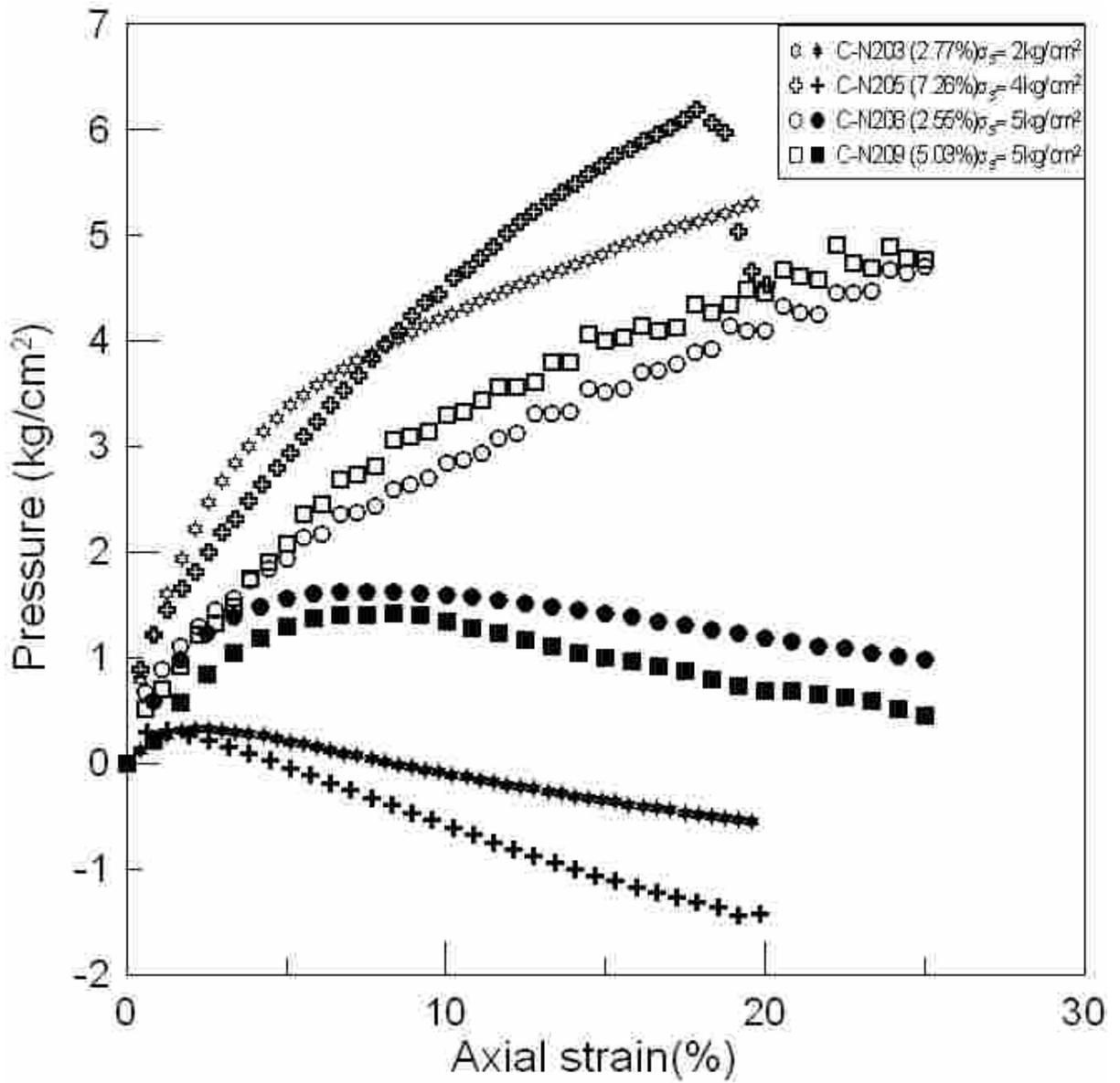


圖 4-18 顆粒材料含量類似之應力應變曲線

4-2-2 三軸壓密不排水試驗孔隙水壓變化曲線

三軸壓密不排水試驗在剪動過程中，孔隙水壓力會隨著軸向應變增加而增加或減小。圖 4-19 為試體 C-N204、CN205 在圍壓 4kg/cm^2 、反水壓 3kg/cm^2 的應力狀態下孔隙水壓變化的趨勢；圖 4-20 為試體 C-N201、C-N206 與 C-N207 在圍壓 4kg/cm^2 、反水壓 2kg/cm^2 的應力狀態下孔隙水壓變化的趨勢；圖 4-21 為試體 C-N208、C-N209 與 C-N210 在圍壓 4kg/cm^2 、反水壓 2kg/cm^2 之應力狀態下孔隙水壓變化的趨勢。由圖 4-19、4-20、4-21，可看出材料在受剪時孔隙水壓變化有相同的趨勢，受剪初期，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，受到剪脹作用而導致孔隙水壓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。

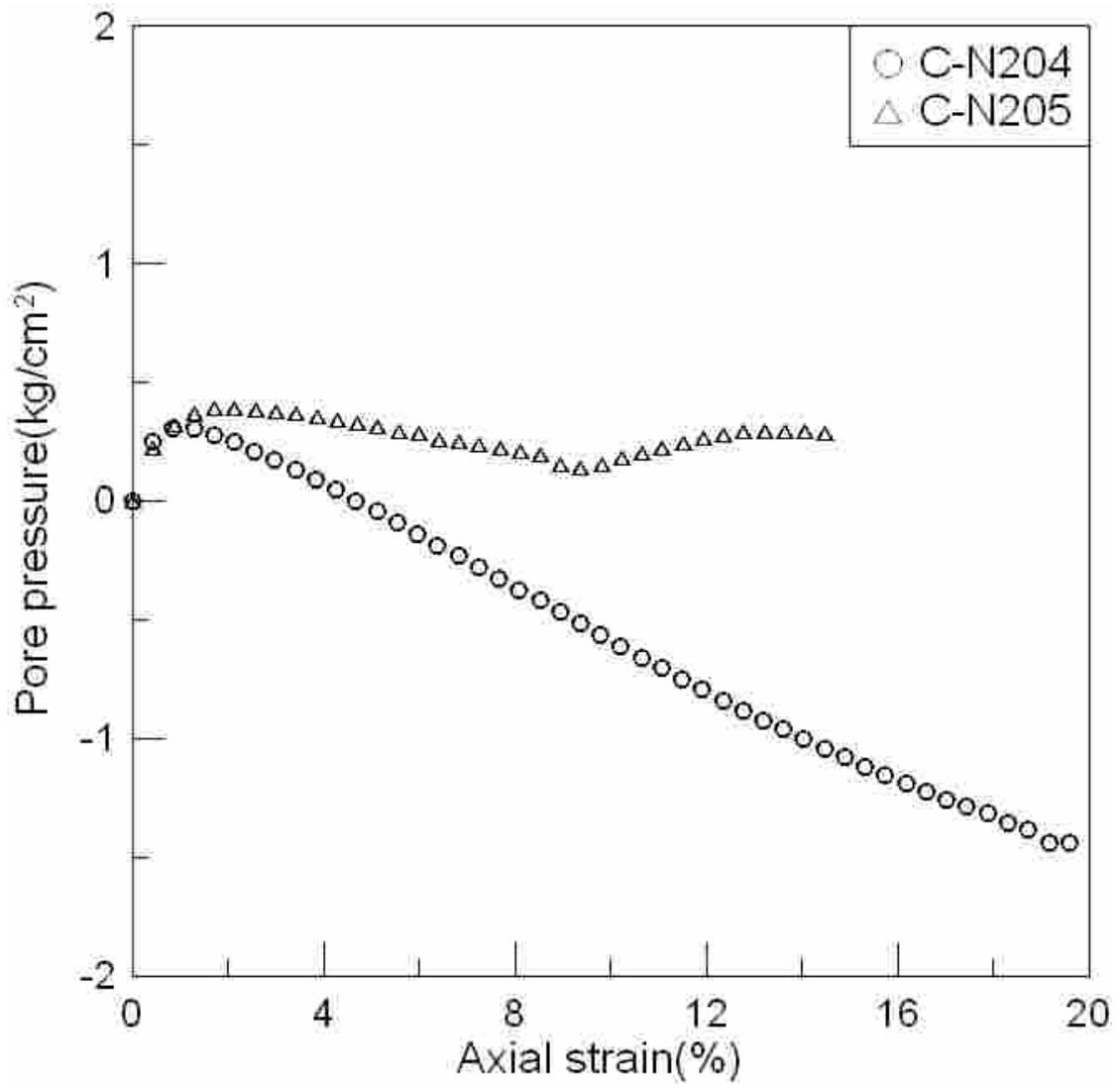


圖 4-19 孔隙水壓變化曲線(圍壓 4kg/cm^2 , 反水壓 3kg/cm^2)

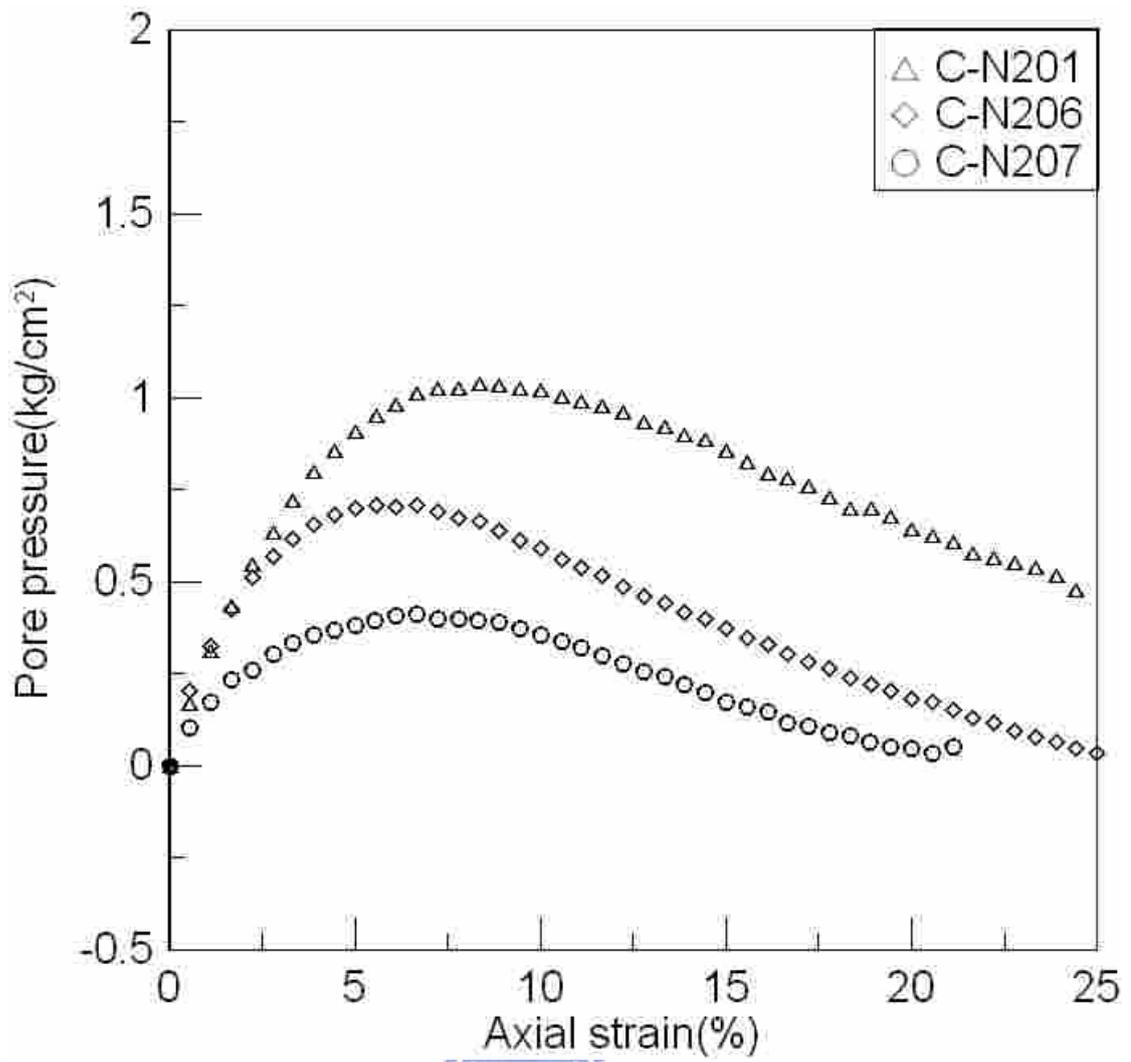


圖 4-20 孔隙水壓變化曲線(圍壓 4kg/cm^2 , 反水壓 2kg/cm^2)

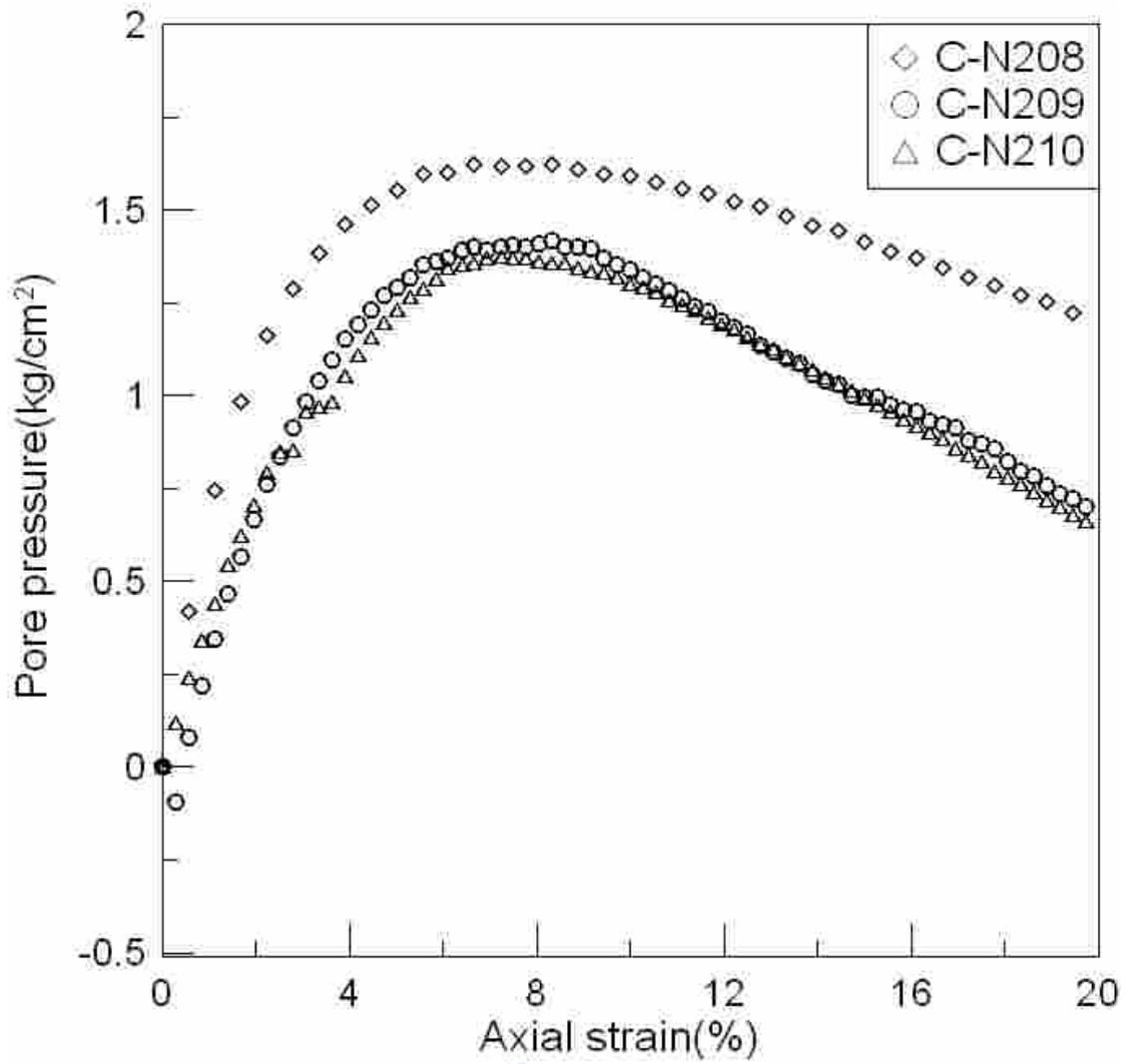


圖 4-21 孔隙水壓變化曲線(圍壓 5kg/cm，反水壓 3kg/cm²)

4-2-3 剪力波試驗結果

三軸壓密不排水試驗過程中分別在試體達到飽和與試體壓密完成階段進行剪力波速的量測，量測結果只有編號 C-N203 與 C-N209 具有明顯的波形可供辨識剪力波到達的時間，圖 4-22 與 4-23 為剪力波波形，紅色圈圈表示剪力波到達的時間，分別為 0.001128sec 與 0.000937sec，利用公式：

$$V_s = \frac{h}{t}$$

(V_s 為剪力波速(m/sec)， h 為試體長度(mm)， t 為剪力波到達時間(sec))

可得剪力波速分別為 132.54 m/sec 與 178.44 m/sec。表 4-8 與 4-9 為試體基本資料與剪力波速表。此波速為試體壓密完成時所量測之結果，試驗過程中應力狀態分別為 C-N209 有效側向壓力 3kg/cm^2 ，C-N203 有效側向壓力 1kg/cm^2 。

其他試體無法量測剪力波速原因推估如下：

1. 飽和完成階段

此階段量測結果無法判定試體的剪力波速，由於材料由原本岩層中鑽掘出來時，材料已由原本的應力狀態變成無側向束制的應力狀態，解壓的過程中造成材料內部小裂縫的產生以及孔隙比的增加，無法量測剪力波形。

2. 壓密完成階段

壓密完成後可排除試體受到解壓時的影響，但是剪力波形仍不明

顯，無法判釋，推測是由於試體內部岩塊、粗細顆粒的形狀、排列與分佈的方式所影響。

3. 試體切割面上所分佈的小岩塊，會造成剪力波元件的損壞或造成剪力波元件無法緊密與試體貼和，造成無法量測剪力波形或剪力波形不明顯。
4. 觀察試體內部顆粒形狀的排列，由於形狀 C 之顆粒排列具有方向性，形狀 A 與形狀 B 之顆粒較為分散，因此推估顆粒材料的排列方式會影響材料的剪力波形。

表 4-8 試體 C-N203 與 C-N209 基本資料表

試體 編號	比重	飽和含 水量 (%)	孔隙比	B	圍壓 (kg/cm ²)	岩塊 含量 (%)	粗顆粒 含量 (%)	細顆粒 含量 (%)
C-N203	2.72	15.99	0.55	0.79	2	2.77	49.54	47.69
C-N209	2.69	12.32	0.4	0.85	5	2.55	52.95	44.5

表 4-9 試體 C-N203 與 C-N209 剪力波速資料表

試體編號	剪力波到達時間 (sec)	剪力波速 (m/sec)
C-N203	0.001128	132.54
C-N209	0.000937	178.44

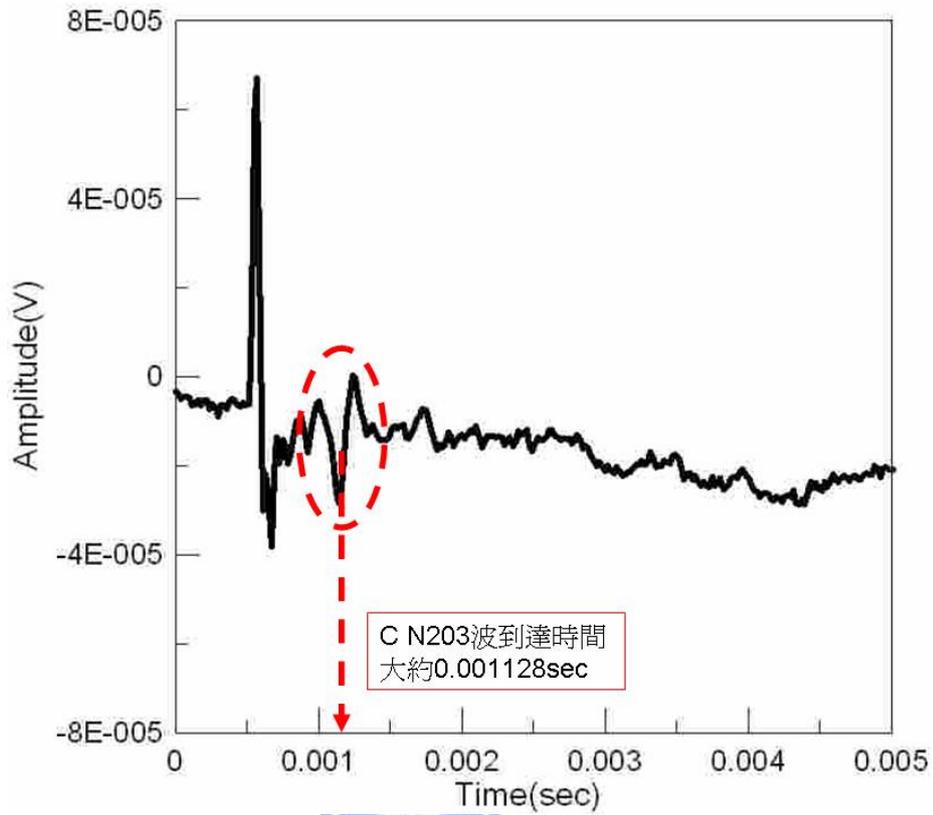


圖 4-22 剪力波試驗結果(C-N203 56.17-56.35 有效側向壓力 1kg/cm^2)

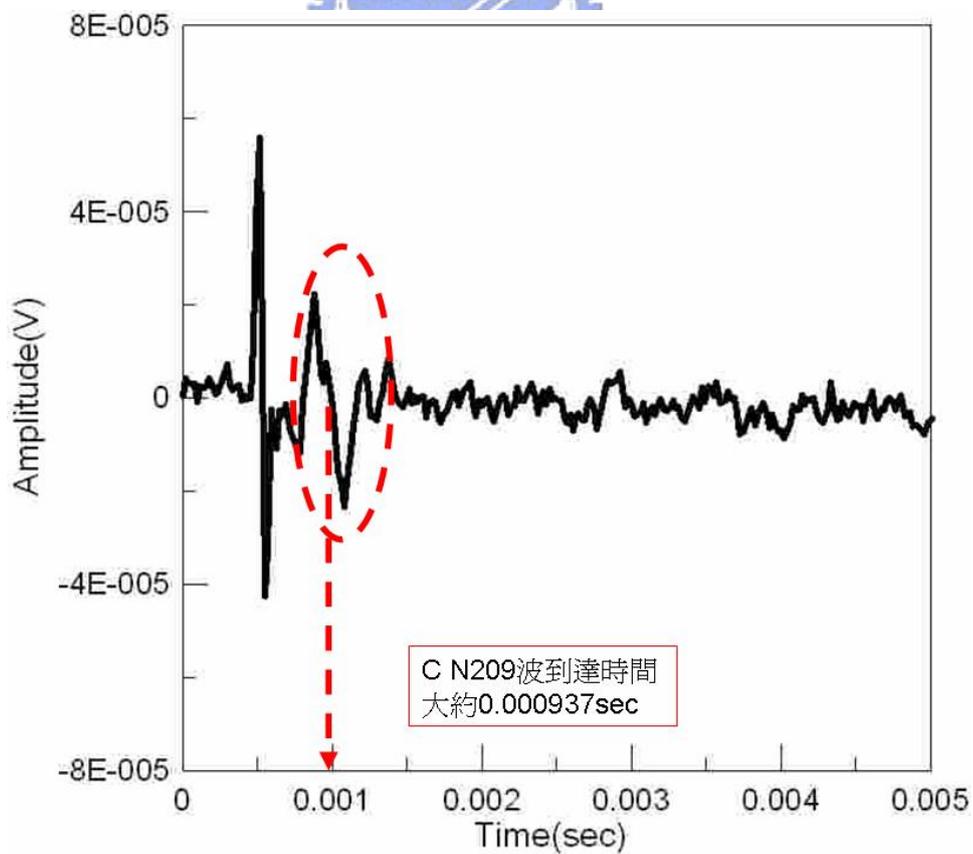


圖 4-23 剪力波試驗結果 (C-N209 55.25-55.45 有效側向壓力 3kg/cm^2)

4-2-4 三軸壓密不排水試驗剪力強度參數

由三軸壓密不排水試驗結果，以 p' 為 X 軸座標， q' 為 Y 軸座標，可繪出 p' - q' 圖(如圖 4-24)，可得修正破壞包絡線(K_f line)，利用 Lambe (1964) 所推導的破壞包絡線與修正破壞包絡線關係公式，可推求出材料凝聚力 $(c)=0.13 \text{ kg/cm}^2$ ，有效摩擦角 $(\Phi')=26.74^\circ$ 。

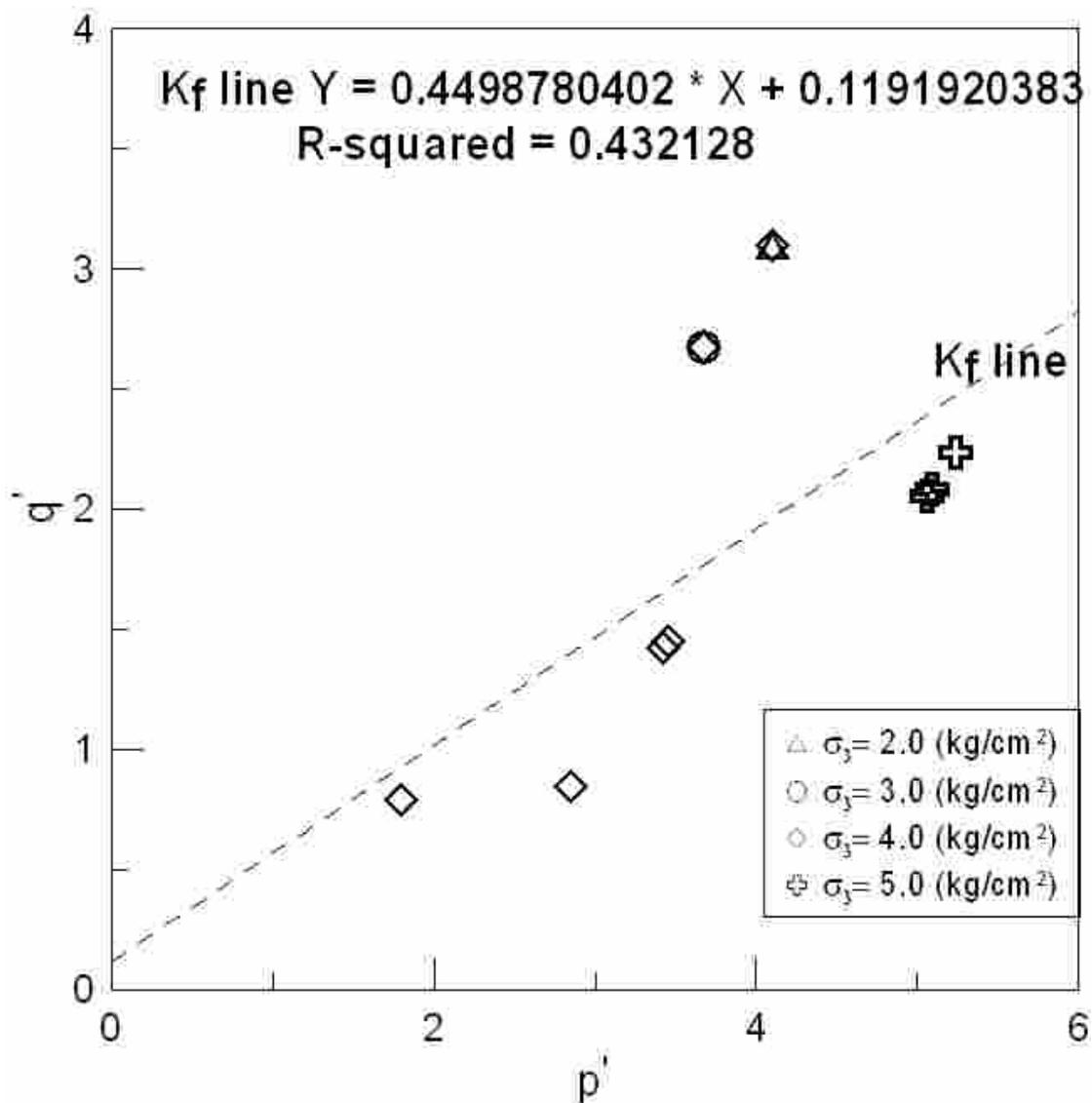


圖 4-24 三軸壓密不排水試驗 p' - q' 圖

4-3 綜合討論

4-3-1 顆粒分佈與破壞型態

粒徑分佈曲線可得到試體岩塊與基質土壤的重量比與體積比(表 4-10)，可知滑動面材料岩塊體積含量約在 10%以內，材料大部份由基質土壤所構成，岩塊分佈於其中。

表 4-10 試驗試體內岩塊、粗顆粒與細顆粒含量

試體編號	岩塊含量 (%)		粗顆粒含量 (%)		細顆粒含量 (%)	
	重量比	體積比	重量比	體積比	重量比	體積比
C-N201	6.52	4.63	39.67	40.47	53.81	54.90
C-N202	10.83	7.82	48.52	50.16	40.65	42.02
C-N203	3.92	2.77	48.95	49.54	47.12	47.69
C-N204	27.36	20.82	57.47	62.64	15.18	16.54
C-N205	10.10	7.26	48.06	49.58	41.84	43.16
C-N206	8.92	6.40	37.97	39.02	53.11	54.58
C-N207	12.06	8.74	54.44	56.50	33.50	34.76
C-N208	6.02	4.28	52.37	53.34	41.61	42.38
C-N209	3.62	2.55	52.37	52.95	44.01	44.50
C-N210	7.05	5.03	34.61	35.36	58.34	59.61

觀察試體表面岩塊排列方式如圖(圖 4-25、26、27、28)，大致上為本文所觀察的兩種岩塊排列方式，第一種岩塊排列方式，為岩塊較具方向性的排列，試體有 C-N203、C-N204、C-N205；第二種排岩塊排列方式，其岩塊排列較為散亂或集中於某一處，試體有 C-N201、C-N202，C-N206、C-N207、C-N208、C-N209、C-N210。觀察試體破壞時狀況，明顯看出有兩種破壞型態，第一種破壞型態為側向膨漲的形狀，如試體 C-N201、C-N202，C-N203、C-N205、C-N206、C-N207、C-N208、C-N209、C-N210；第二種破壞型態具有明顯滑動面產生，如試體 C-N204。另外，三軸應力應變曲線結果得知，除了試體 C-N202、C-N204、C-N205 有尖峰強度外，其餘試體應變量超過 20%時仍無應變軟化的現象。

討論岩塊排列方式、破壞模式與應力應變曲線的相關性，

1. 岩塊排列方式為第二種排列方式，岩塊顆粒散佈於基質土壤之中，當應變量大於 20%時，岩塊彼此並無接觸的跡象，由於基質土壤可承受較大的變形性，因此材料的變形行為與材料強度完全由基質土壤所控制，此結果反應在應力應變曲線上，然而試體 C-N202 在此種岩塊排列方式下具有尖峰強度，推估是由於岩塊聚集在試體某一處，隨著應變量增加，岩塊彼此接觸，當應力大於岩塊彼此摩擦強度時，造成應變軟化的現象。
2. 當岩塊排列方式為第一種排列方式時，此排列具有方向性，試體 C-N204，岩塊排列具有方向性且排列緊密，其岩塊含量達 20%以上，隨著

應變量增加，岩塊開始提供強度，當施加應力高於岩塊彼此摩擦強度時，形成滑動面，反應在應力應變曲線上，具有尖峰強度，破壞應變較低。而試體 C-N205，岩塊含量低(7.26%)，但岩塊排列方式具有方向性，且集中於試體某一處。應變量增加時，岩塊彼此接觸，反應在應力應變曲線上，具有尖峰強度。另外試體 C-N203 之應力應變曲線並無應變軟化之現象，推估雖然岩塊排列方式具有方向性，但岩塊含量低(2.77%)，分佈也較不集中，岩塊分佈較為平均，岩塊之間充滿基質土壤，試體變形時，岩塊之間的基質土壤有足夠空間向軸向與側向變形，導致無明顯尖峰強度。

因此本文推估，岩塊的排列方式以及岩塊在應變量增加時是否有接觸，會影響材料的強度與破壞的模式，此結果與 Montrasio(1998)提出混合土的三種力學模型相似。



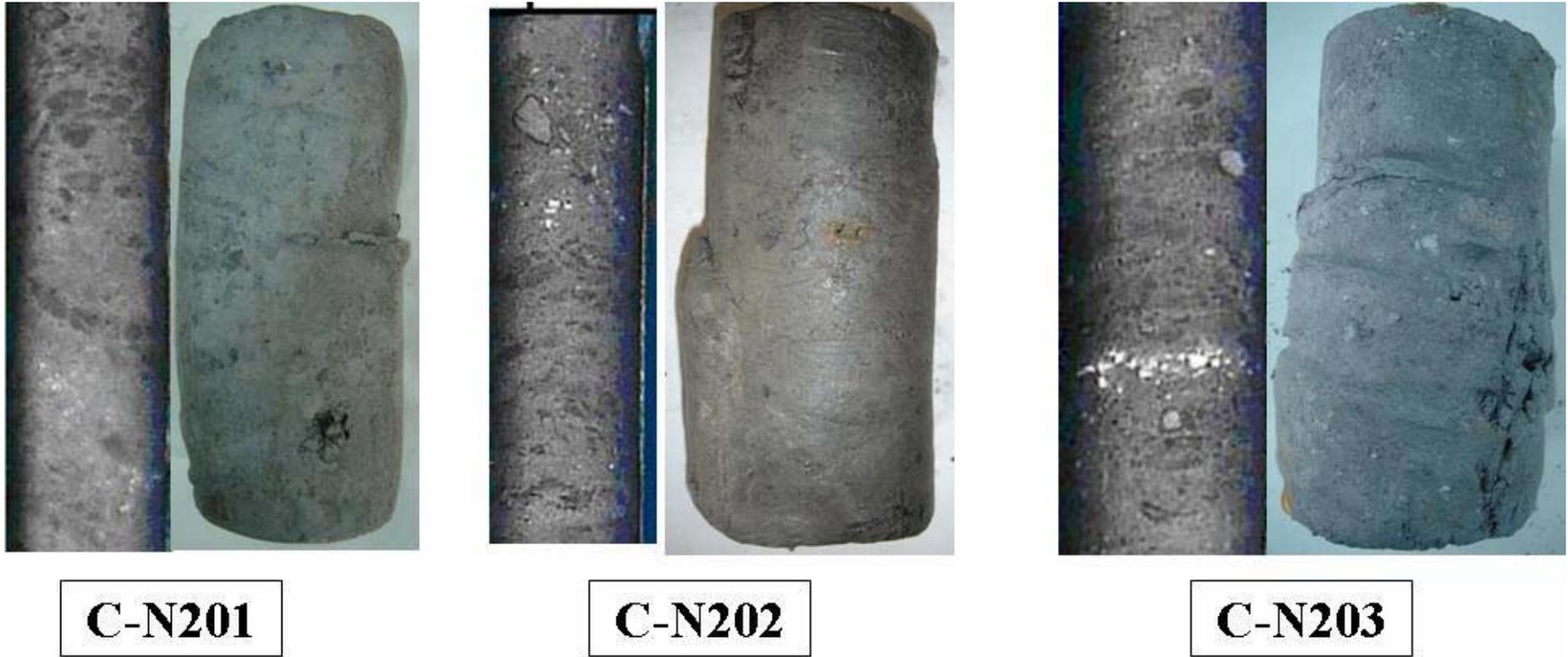


圖 4-25 試體 C-N201、C-N202、C-N203 岩塊排列狀況與試體破壞情形



C-N204

C-N205

C-N206

圖 4-26 試體 C-N204、C-N205、C-N206 岩塊排列狀況與試體破壞情形



圖 4-27 試體 C-N207、C-N208、C-N209 岩塊排列狀況與試體破壞情形



C-N210

圖 4-28 試體 C-N210 岩塊排列狀況與試體破壞情形



4-3-2 顆粒分佈與材料強度關係

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，本研究材料試體直徑約在 6.1cm，最大顆粒粒徑在 2cm 左右或更小，考慮岩塊含量偏低，為懸浮在基質土壤中的分佈型態，本文認為尺寸效應的影響應該不大。

圖 4-29 為岩塊含量與軸差應力關係圖，可看出隨著岩塊含量的增加，材料強度無明顯上升或下降的趨勢；圖 4-30 為粗、細顆粒的比例(f)與軸差應力的關係圖，可看出粗顆粒含量的增加，材料強度有下降的趨勢，反之，隨著細顆粒含量的增加，材料強度有上升的趨勢。推測造成此現象，係因細顆粒可承受之應變量較大，而粗顆粒可提供材料強度，因此當應變量大於 20%時，軸向壓力仍持續增加。

由於試驗組數不足且顆粒含量比例無法控制，因此研究中只能大略看出顆粒含量與材料強度的趨勢。

表 4-11 顆粒含量、軸差強度與破壞應變關係表

試體 編號	岩塊 含量 (%)	粗顆粒 含量 (%)	細顆粒 含量 (%)	粗、細 顆粒比 例 f	軸差強度 (kg/cm ²)	破壞應變 (%)	圍壓 (kg/cm ²)	反水壓 (kg/cm ²)
C-N201	4.64	40.47	54.90	0.74	4.20	20.00	4.00	2.00
C-N202	7.82	50.16	42.02	1.19	1.58	13.98	3.00	2.00
C-N203	2.77	49.54	47.69	1.04	6.91	20.00	2.00	1.00
C-N204	20.81	62.64	16.54	3.79	20.31	8.36	4.00	3.00
C-N205	7.27	49.58	43.16	1.15	6.62	17.96	4.00	3.00
C-N206	6.40	39.02	54.58	0.71	4.73	20.00	4.00	2.00
C-N207	8.74	56.50	34.76	1.63	2.65	20.00	4.00	2.00
C-N208	4.28	53.34	42.38	1.26	5.91	20.00	5.00	2.00
C-N209	2.55	52.95	44.50	1.19	6.78	20.00	5.00	2.00
C-N210	5.03	35.36	59.61	0.59	6.51	20.00	5.00	2.00

註：粗、細顆粒比例 $f = \text{粗顆粒含量}(\%) / \text{細顆粒含量}(\%)$

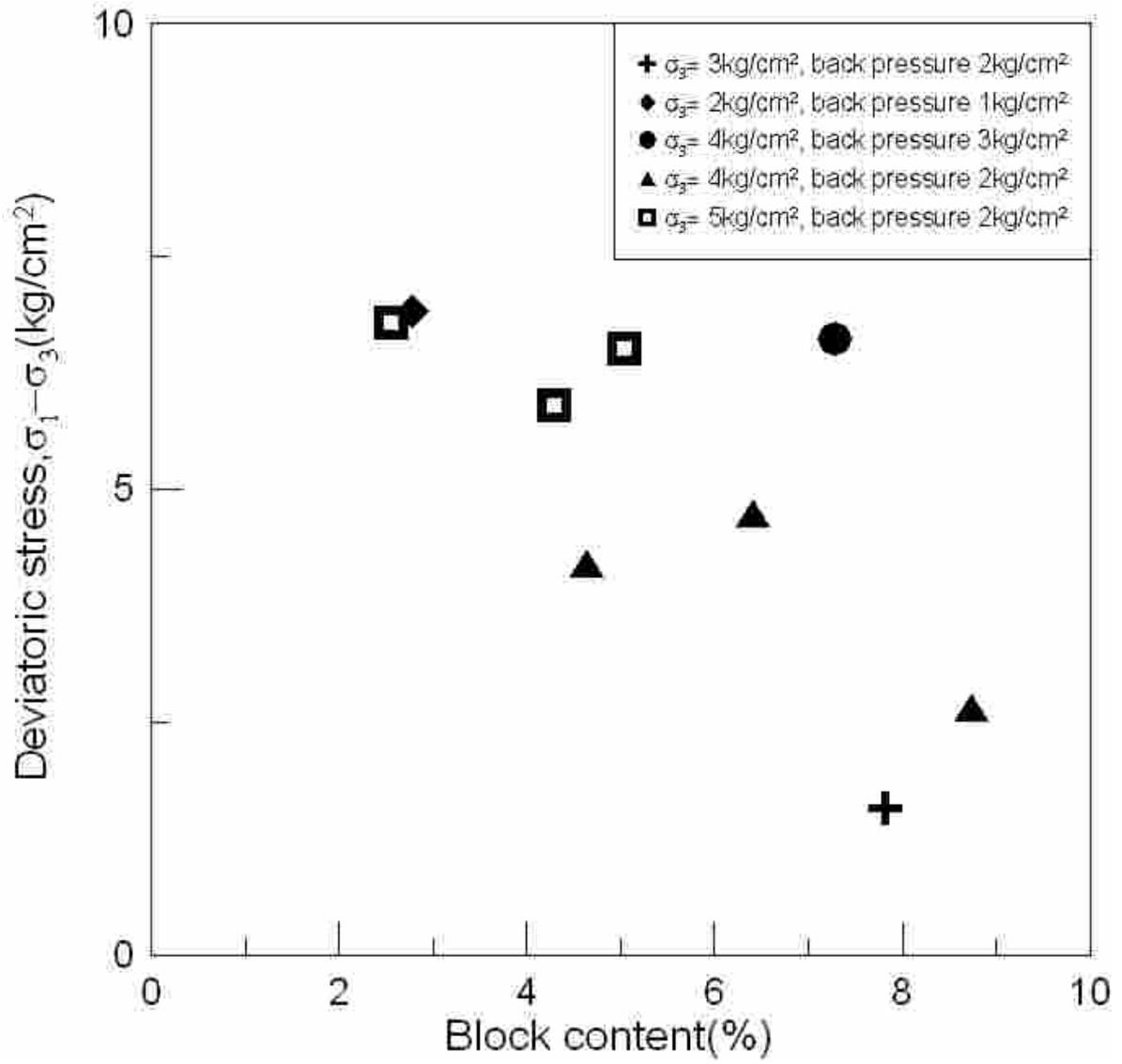


圖 4-29 岩塊含量與軸差應力關係

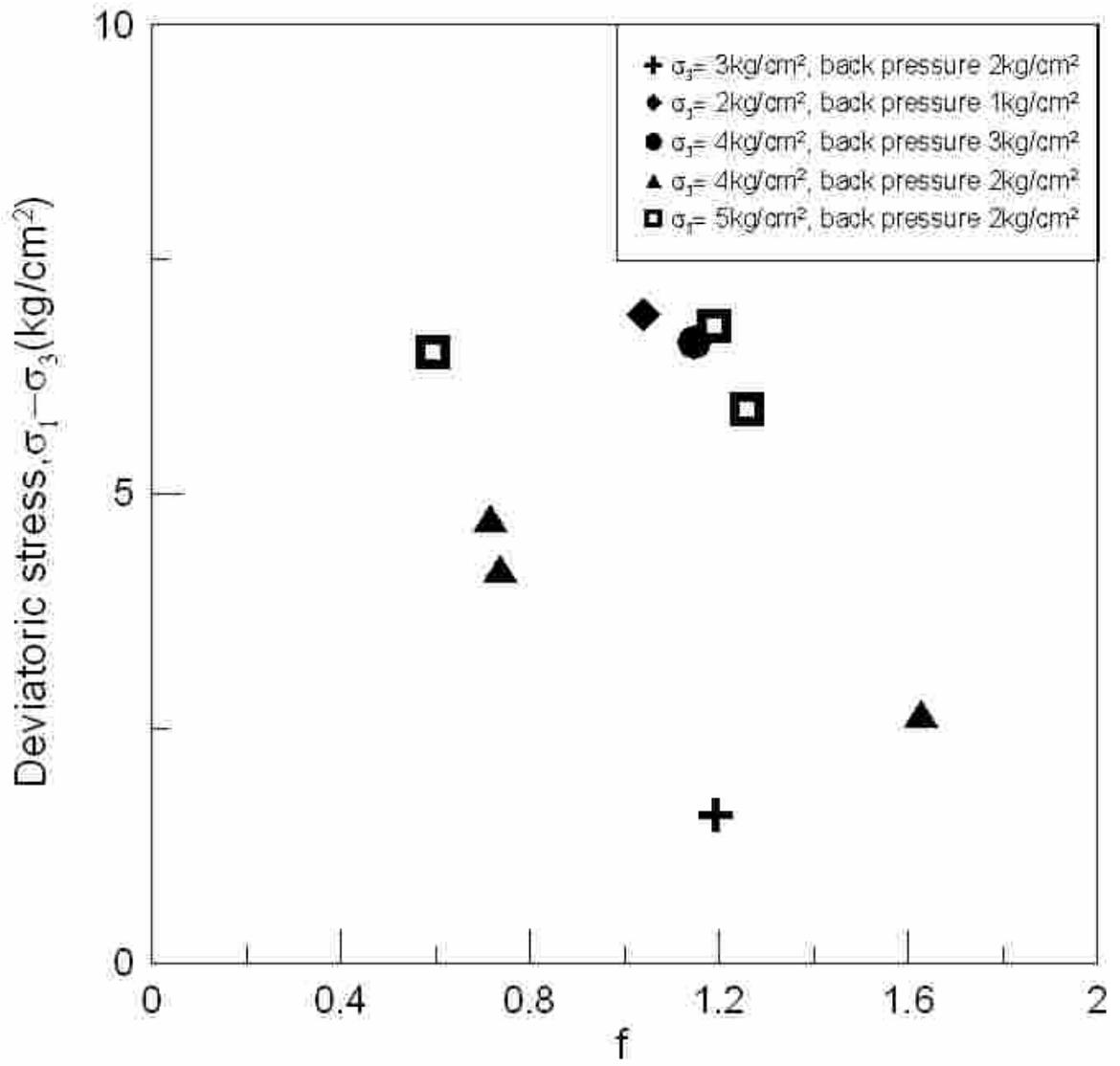


圖 4-30 f 與軸差應力關係(f 為粗顆粒與細顆粒比例)

羅文驤(2007)研究梨山崩積體 B-9 滑動體的類併構岩(板岩夾黏土)材料，指出隨著岩塊含量的增加，試體強度也會增加，圖 4-31。本研究經由三軸壓密不排水試驗結果後發現，岩塊含量與試體強度並沒有明確的關係，基質土壤內顆粒比例與分佈是主要影響材料強度的因子，因此推估在岩塊含量 10%以下時，材料的行為由基質土壤所控制。

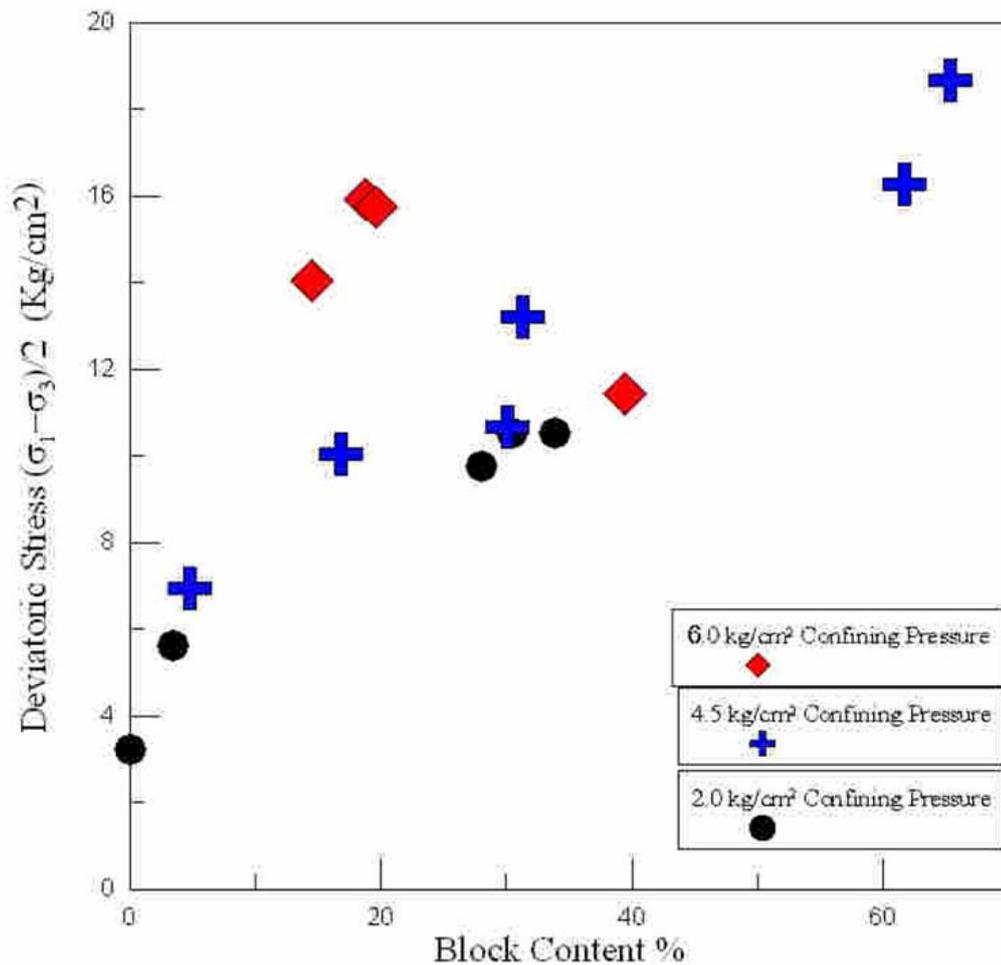


圖 4-31 岩塊分佈與軸差應力關係圖(羅文驤，2007)

4-3-3 室內與現地剪力波速比較

圖 4-32, 為黃玉麟(2006)在梨山崩坍地 B-9 滑動體 N-1 使用 P-S Logging 所量測的現地波速結果, 其中灰色黏土夾灰色板岩碎屑(C)之 P 波與 S 波分別為, 1219.5~1428.6m/s 與 595.6~724.9m/s; 室內波速係利用剪力波元件進行量測, 結果如表 4-12, S 波波速為 132.54 與 178.44 m/s。

比較室內與現地剪力波速的差異, 推估是由於量測尺寸的差異所造成。現地剪力波所量測到的範圍比室內所量測到的範圍廣, 由圖 4-33 與圖 4-34, 可比較現地岩體所含岩塊尺寸及含量與室內試體所含岩塊尺寸, 可知現地岩塊尺寸比室內岩塊尺寸大, 甚至大很多, 另外現地岩塊與基質土壤含量也比室內岩塊與基質土壤含量多, 因而造成剪力波速的差異; 再者, 鑽探取樣所造成的擾動與岩心解壓作用, 皆會對室內試體之剪力波速造成影響。

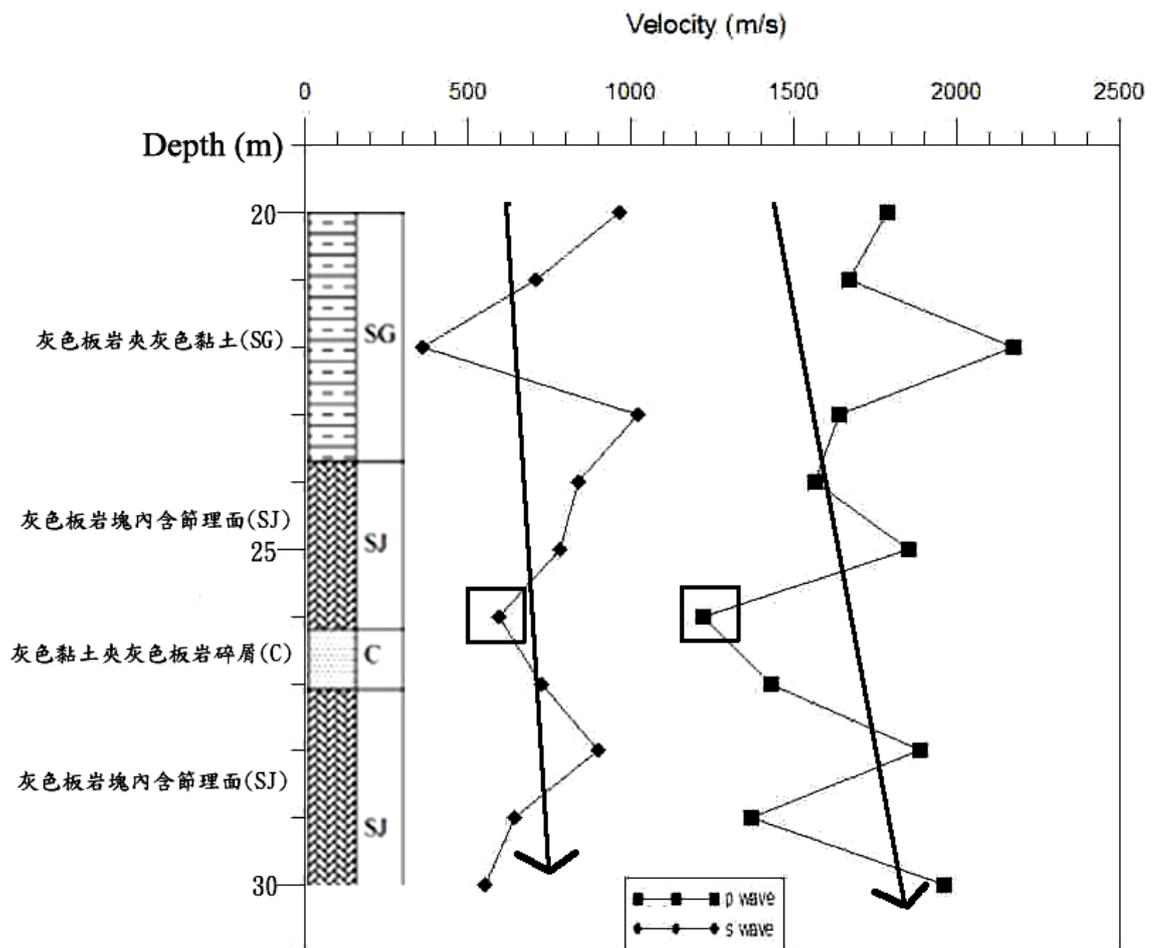


圖 4-32 現地 P-S 波波速資料與岩心判釋比對結果(黃玉麟，2006)

表 4-12 室內剪力波波速量測資料表(試體 C-N203 與 C-N209)

試體編號	剪力波到達時間 (sec)	剪力波速 (m/sec)
C-N203	0.001128	132.54
C-N209	0.000937	178.44



圖 4-33 孔 N-1 深度 26~27m 岩心照片

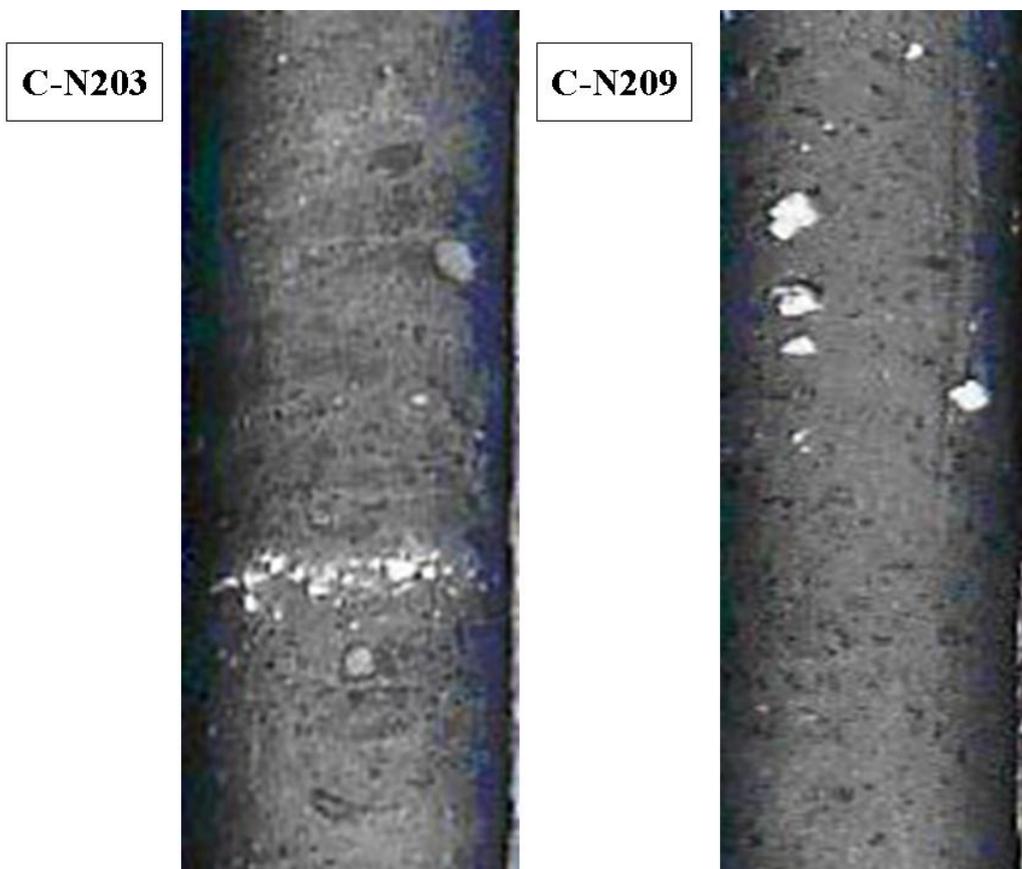


圖 4-34 C-N203 與 C-N209 試體照片

4-3-4 試驗結果與過去研究比較

本研究使用灰色黏土夾灰色版岩碎屑之天然試體，進行一般物理性質試驗、粒徑分析試驗與三軸壓密不排水試驗，並藉由觀察岩心表面與端面來推估顆粒分佈狀況，來探討材料破壞行為。試驗結果與過去研究略有差異，討論如下：

1. 方世杰(1990)對於滑動面材料進行直接剪力試驗與多段式三軸試驗，結果分別為凝聚力 0.13 kg/cm^2 、摩擦角 18.2° 與凝聚力 0.29 kg/cm^2 、摩擦角 18.5° ，與本研究試驗結果凝聚力 0.13 kg/cm^2 ，摩擦角 26.74° 略有差異，推估由於直接剪力試驗，其試驗環境不容許側向與軸向變形，且剪力面由儀器所控制，因此試驗結果可能是在岩塊分佈較少，基質土壤為主的位置，強度參數由基質土壤所控制；而多段式三軸試驗，試驗組數只有一顆試體，試驗結果代表性不足。
2. 劉啟峰(1990)利用縮小級配來重模試體，隨著岩塊最大粒徑增加，材料摩擦角與凝聚力有向上增加的趨勢，因此岩塊顆粒粒徑大小對於試驗結果有所影響，但本研究中認為此因素所造成結果較小，而並無考慮。劉峰(1990)的重模方式與天然試體有一定的差距，並未考慮岩塊形狀、排列與含量，以及基質土壤的含量，因此本文認為往後重模試體時必須考量岩塊與基質土壤分佈與含量。

3. 工業技術研究院能源與資源研究所(1993)利用縮小級配來重模試體，加以夯實後，進行三軸試驗，結果如附錄 E，有效摩擦角在 $15\sim 45^\circ$ 之間，差異過大，工業技術研究院能源與資源研究所認為此試驗結果受到重模夯實能量所影響，然而本文認為其重模方式考慮岩塊形狀、排列與含量，以及基質土壤的含量，造成試驗結果的迥異。另外，工業技術研究院能源與資源研究所(1993)利用 10 號篩以下顆粒，以自然沉降方式製作重模試體進行直接剪力試驗，此法所得試體與天然試體有所差異，並未考量 10 號篩以上顆粒所提供的強度參數，因此本文認為此結果不具代表性。
4. 黃信璋(1991)研究中橫公路沉泥質黏土層動態特性，以沉泥質黏土為研究主要對象，將鑽探取得土樣，進行小型三軸試驗，試驗結果得到有效凝聚力 0.163 kg/cm^2 、有效摩擦角 17.2° ，與本試驗結果也有差異，探討其試驗材料位置，約在地表下 22.6m，粒徑分析結果並無岩塊存在，推測其研究材料形成原因，可能是由於地下水位上下變動而形成(黃玉麟，2006)，而本試驗材料為滑動所形成剪力面材料，因此滑動層材料的形成原因，造成試驗結果的不同。
5. 中華工程(1996)以滑動面材料進行三軸試驗，試驗結果為凝聚力 $0.3\sim 1.8\text{kg/cm}^2$ 、摩擦角 $28.5\sim 31.3^\circ$ ，與本試驗結果雷同。

第五章 結論與建議

5-1 結論

本研究探討滑動面材料，灰色黏土夾灰色板岩碎屑(C)之材料力學行為與顆粒分佈的關係，利用三軸壓密不排水試驗結果，分析後得到主要結論如下：

1. 本研究的滑動面材料顆粒組成，除編號 C-N204 試體岩塊含量較高外，其餘試體岩塊含量為 2.77%~8.74%之間、基質土壤含量 91.26%~97.23%；試體比重為 2.64~2.76、飽和含水量 8.93%~16.42%、孔隙比 0.28~0.55、有效粒徑 $D_{10} = 0.00102 \sim 0.0218\text{mm}$ 、 $D_{60} = 0.1 \sim 2.42\text{mm}$ 、 $D_{30} = 0.009 \sim 0.22\text{mm}$ 、 $C_u = 84.75 \sim 406.86$ 、 $C_c = 0.07 \sim 0.99$ ，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)。
2. 觀察灰色黏土夾灰色板岩碎屑試體後，本研究試體典型岩塊形狀有三種：形狀 A，顆粒形狀為不規則的多邊形，近似次圓粒狀(subrounded)；形狀 B，顆粒形狀近似圓粒狀(rounded)；形狀 C，顆粒邊緣為不規則角狀，形狀近似片狀或次稜角狀(subangular)。岩塊排列方式有兩種：第一種岩塊分佈類型，形狀 A 與形狀 C 之顆粒以水平於岩心兩端面方向互疊，具有方向

性，形狀 B 之顆粒散佈於試體內；第二種岩塊分佈類型，岩塊分佈主要由形狀 A 與形狀 B 之顆粒所組成，集中於某一處，形狀 C 顆粒則夾雜於其中，顆粒排列方式散亂，無方向性。

3. 本文推估灰深層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，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，材料的行為由基質土壤所控制，但岩塊排列方式與分佈影響到試體的破壞型態與應力應變曲線的行為。

4. 灰色黏土夾灰色板岩碎屑試體，三軸不排水試驗，受剪初期，孔隙水壓隨應變量增加而增加，隨著應變量增加，受到剪脹作用影響，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。

5. 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 $(\Phi')=26.74^\circ$ 。

5-2 建議

1. 材料篩分析試驗的方法使用溼篩，由於乾篩法對於顆粒的擾動性過大，加上材料本身受到風化作用嚴重，因此粗顆粒易破碎，建議使用水洗篩網的方式降低對於材料顆粒擾動的影響；而溼篩法必須注意，當水洗到 100 號篩以下之顆粒時，由於顆粒太過細小容易堵住篩網，此時水量不可增加太多以免細顆粒被帶出篩網。另外在濕篩過程中，損失的顆粒重量約在 6% 左右。
2. 在進行剪力波速試驗時，剪力波元件容易受試體切割面上的小岩塊影響，造成損壞，同時可能造成剪力波元件無法緊密與試體貼和，使得剪力波形無法判讀或剪力波到達時間難以辨識。因此建議在裁切岩心時，可由岩心表面選擇岩塊含量較少的位置進行，或是將試體剖面上的顆粒清除，以細顆粒替代。
4. 滑動面材料由試體表面比只能大概了解岩塊顆粒分佈情形，因此建議以選取試體上下岩心段橫剖面與縱剖面的方式切割試體，或是以孔內攝影等技術，配合粒徑分佈曲線來觀察試體內部岩塊分佈狀況。
5. 本研究未考慮尺寸效應對試體的影響，因此建議以較大尺寸的試體或是利用數值模擬的方法來評估尺寸效應的影響。
6. 黃玉麟(2006)推測 B-9 滑動體有兩個主要滑動層面，上層滑動面材料產生原因是由於地下水位上下變動而形成上層滑動面；下層滑動面之軟弱層

材料為山坡潛移作用，岩層間相互剪動所造成；在新鮮岩盤介面亦有潛移作用的跡象，但無明顯滑動，導致無軟弱層黏土介面的生成。本研究材料，選用下層滑動層材料，一般來說，剪力所形成的滑動層，其岩塊分佈具有方向性，本研究部份材料可觀察到此現象，因此上層滑動層材料由於形成原因不同，其材料內部顆粒含量、排列方式等也與剪力所形成材料有所差異，因此對於地下水變化形成的灰色黏土夾灰色板岩碎屑應進行研究。

7. 本研究將三軸壓密佈排水試驗結果，繪出 pq 圖後，回歸出 K_f line，藉以求得材料強度參數，其中 K_f line 之 R-squares 為 0.432128，顯示每個試體試驗結果相關性偏低，由於岩塊分佈會影響強度，因此未來應結合鑽探、造影、室內試驗及數值模擬決定其強度參數。

8. 材料之 Poisson's ratio(ν)得到方法有二，第一，可在試體外側增加側向位移之感應器(應變環)，在進行三軸試驗剪動過程時進行量測，最後繪出側向變形與軸向變形的關係圖，即可求得 Poisson's ratio(ν)，由本文試體破壞照片可看出，部分試體側向變形主要發生位置並不是在試體中央，而一般應變環主要是架設在試體中央處，因此量測結果必須配合試體破壞行為與型態加以討論；第二，可利用波速與 Poisson's ratio(ν)的關係公式，假設試體為均質、均向且彈性的條件下，然而本文研究結果明顯得知灰色黏土夾灰色板岩碎屑材料，材料組成不均質、不均向且呈現塑性變形，因此本文不建議使用這個方法。

9. 材料之 Young's modulus(E) 得到方法有二，第一，三軸壓密不排水試驗結果可繪出應力應變曲線，而 Young's modulus(E)為此曲線之斜率，本文研究結果之應力應變曲線得知，材料形為呈現塑性變形，因此理論上可繪出 Young's modulus(E)的遞減曲線；第二，可利用波速與 Young's modulus(E)的關係公式，其假設試體為均質、均向且彈性的條件，然而本文研究結果明顯得知灰色黏土夾灰色板岩碎屑材料，材料組成不均質、不均向且呈現塑性變形，因此本文不建議使用這個方法。



參考文獻

1. 方世杰，“中橫公路崩積土坡地力學特性之初步研究”，國立中興大學土木工程研究所碩士論文，民國七十九年。
2. 黃信璋，“中橫公路沉泥質黏土層動態特性之初步研究”，國立中興大學土木工程研究所碩士論文，民國八十年。
3. 楊東賢，“風化作用對中橫公路板岩強度影響之研究”，國立中興大學土木工程研究所碩士論文，民國七十九年。
4. 劉啟鋒，“中橫公路崩積土坡地穩定性之研究”，國立中興大學土木工程研究所碩士論文，民國七十九年。
5. 徐鐵良，“地質與工程”，中國工程師協會，2000年3月。
6. 工業技術研究院能源與資源研究所，“梨山地滑東北區加強調查與規劃成果報告書”，行政院農業委員會水土保持局第二工程所，民國九十四年十二月。
7. 工業技術研究院能源與資源研究所，“梨山地區地層滑動調查與整治方案規劃總報告”，臺灣省政府農林廳水土保持局，民國八十二年三月。
8. 富國技術工程股份有限公司，“八十八年度坡地災害整治計畫 - 監測系統分析與應用-委託技術服務”，行政院農業委員會水土保持局第二工程所，民國九十年二月。

9. 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
10. 劉武志，”取岩心鑽探機具”，地工技術雜誌，民國84年3月，49期，第39-49頁。
11. 謝敬義，”地質鑽探資料之蒐集與解析”，地工技術雜誌，民國84年3月，49期，第39-49頁。
12. 謝敬義，”地質鑽探”，地工技術雜誌，民國79年9月，31期，第106-123頁。
13. 謝敬義，”中橫公路梨山至德基地區邊坡破壞之調查與處理”，地工技術雜誌，第7期，第50~61頁。
14. 萬獻銘，”中橫公路邊坡崩塌地黏土礦物與坡面破壞關係研究”，國科會防災科技研究報告75-52號，民國75年。
15. 蘇泰維、賴典章，”淺談未固結地層之地質鑽探方式”，地工技術雜誌，民國84年3月，49期，第51-56頁。
16. 洪如江，”地工技術在台灣山崩中應用”，邊坡穩定與坍方研討會，民國68年，第147~172頁。
17. 吳偉康，”含水量對夯實礫石土強度影響之研究”，台灣工業技術學院碩士論文，民國72年。
18. 黃玉麟，”崩積地層的組成及形成機制-以梨山地區為例”，交通大學碩

- 士論文，2006。
- 19.賴忠良，” 滑移型崩積層材料分類及其力學模式-以梨山地滑區為例” ，
交通大學碩士論文，2006。
- 20.洪若安，”非擾動粉土細砂試體之 K_0 壓密三軸試驗”，交通大學碩士論
文，2006。
- 21.唐禎國，「崩積層之的地形特徵與崩積層的行成- 以梨山崩坍地為例」，
交通大學，碩士論文，2007
- 22.Holtz, W. G. ,”Triaxial Shear Characteristics of Clayey Gravel Soils”,
Proceedings of the 5th International Conference on Soil Mechanics and
Foundation Engineerings, Paris, Vol.1, pp.143-149.
- 23.Kjaernsli, B. and Sande, a.,”Compressibility of Some Course-grained
materials”, Norwegian Geotechnical Institute Publication No.66.1963.
- 24.Kirkpatrick, W. M., “Effects of Grain Size and Grading on the Shearing
Behaviour of Granular Materials”, Proceedings of the 6th International
Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineerings, Canada, 1965,
Vol.1, pp.273-277.
- 25.Lee, K.L., Seed, H.B. and Dunlop, P., ”Effect of Transient Loading on the
Strength of Sand”, Proceedings of the 7th International Conference on Soil
Mechanics and Foundation Engineerings, Vol. 1, pp.239-247.
- 26.Marachi, N. Dean and Clarence K. Chen, and H. Bolton Seed,”Evaluation of
Properties of Rockfill Materials”,Journal of Soil Mechanics and Foundations
Division,1972, ASCE, Vol. 98, pp.95-114.
- 27.Marsal, R. J., ”Large Scale Testing of Rockfill Materials”, Proceedings of
ASCE, Journal of Soil Mechanics and Foundation Division, 1967, Vol.93,
pp.27-43.
- 28.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.
- 29.Medley, E.W., ”Orderly Characterization of Chaotic Franciscan Melanges”,
Eng. Geol., Felbau 19, 2001, pp.20-33
- 30.Montrassio, L., “Characterization of Complex Soil”, The Geotechnics of

- Hard Soils – Soft Rocks, 1998, pp. 702-714
31. Robinson, L.H., “The Effect of Pore and Confining Pressure on the Failure Process in Sedimentary Rock”, Proc. 3rd Symp. Rock Mech., Golden, Colo. , 1959, pp. 177-199
 32. 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
 33. Vutukuri, V.S., Lama, R.D. and Saluja, S.S., “Handbook on Mechanical Properties of Rocks” , 1974, Vol.1, pp.176-216
 34. Zeller, J. and Wullimann, R., “The Shear Strength of the Shell Materials for the Goschenalp Dam, Switzerland”, Proceedings of the 4th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1957, Vol. 2, pp. 399-404.



附錄 A

N-1 孔位鑽探報表

N-2 孔位鑽探報表



地質鑽探柱狀圖

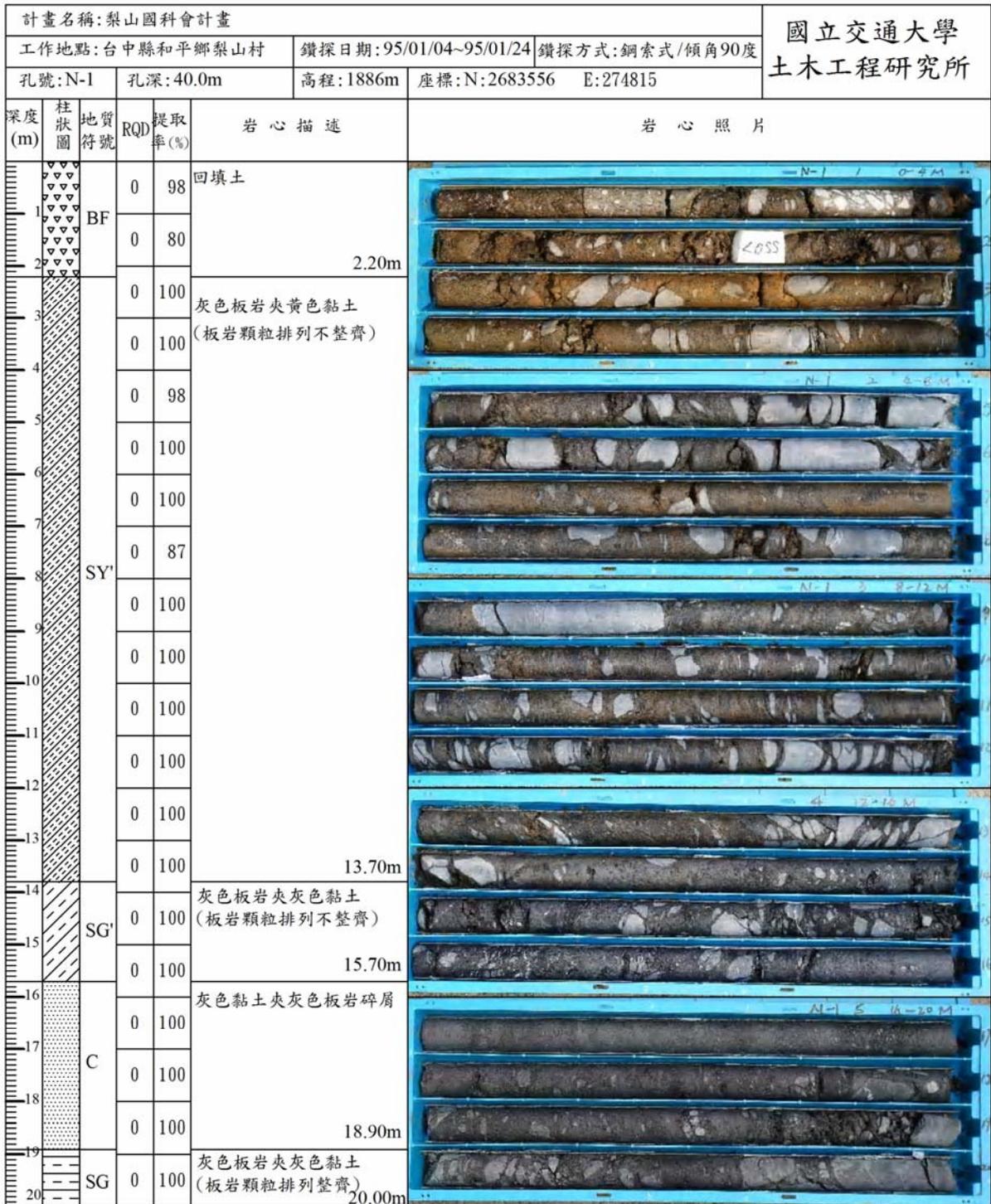


圖 A-1 N-1 孔 0~20m 地質鑽探柱狀圖

地質鑽探柱狀圖

2之2頁

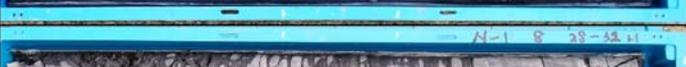
計畫名稱:國科會梨山計畫				國立交通大學 土木工程研究所								
工作地點:台中縣和平鄉梨山村		鑽探日期:95/01/04~95/01/24	鑽探方式:鋼索式/傾角90度									
孔號:N-1		孔深:40.0m	高程:1886m	座標:N:2683556 E:274815								
深度(m)	柱狀圖	地質符號	RQD	提取率(%)	岩心描述	岩心照片						
21	[SG]	[SG]	0	100	灰色板岩夾灰色黏土 (板岩顆粒排列整齊) 20.10m有一節理面, 夾角約40度 20.20m有一節理面, 夾角約70度 21.00m有一節理面, 夾角約52度 23.70m							
22			0	100								
23			0	100								
24			0	100								
25	[SJ]	[SJ]	0	100	灰色板岩 (板岩塊內有節理面) 25.00m有一節理面, 夾角約70度 26.20m							
26			0	100								
27	[C]	[C]	0	100	灰色黏土夾灰色板岩碎屑 27.10m							
28	[SJ]	[SJ]	0	100	灰色板岩 (板岩塊內有節理面) 29.00m有一節理面, 夾角約70度 29.70m有兩組節理, 一組夾角約75度, 另一組夾角約65度 30.85m							
29			0	100								
30			0	100								
31			0	100								
32	[SG]	[SG]	0	100	灰色板岩夾灰色黏土 (板岩顆粒排列整齊) 31.20m有一節理面, 夾角約50度 33.50m有一節理面, 夾角約70度 38.80m有一節理面, 夾角約80度 39.30m有一節理面, 夾角約85度 40.00m							
33			0	100								
34			0	100								
35			0	100								
36			0	100								
37			0	100								
38			0	100								
39			0	100								

圖 A-2 N-1 孔 20~40m 地質鑽探柱狀圖

地質鑽探柱狀圖

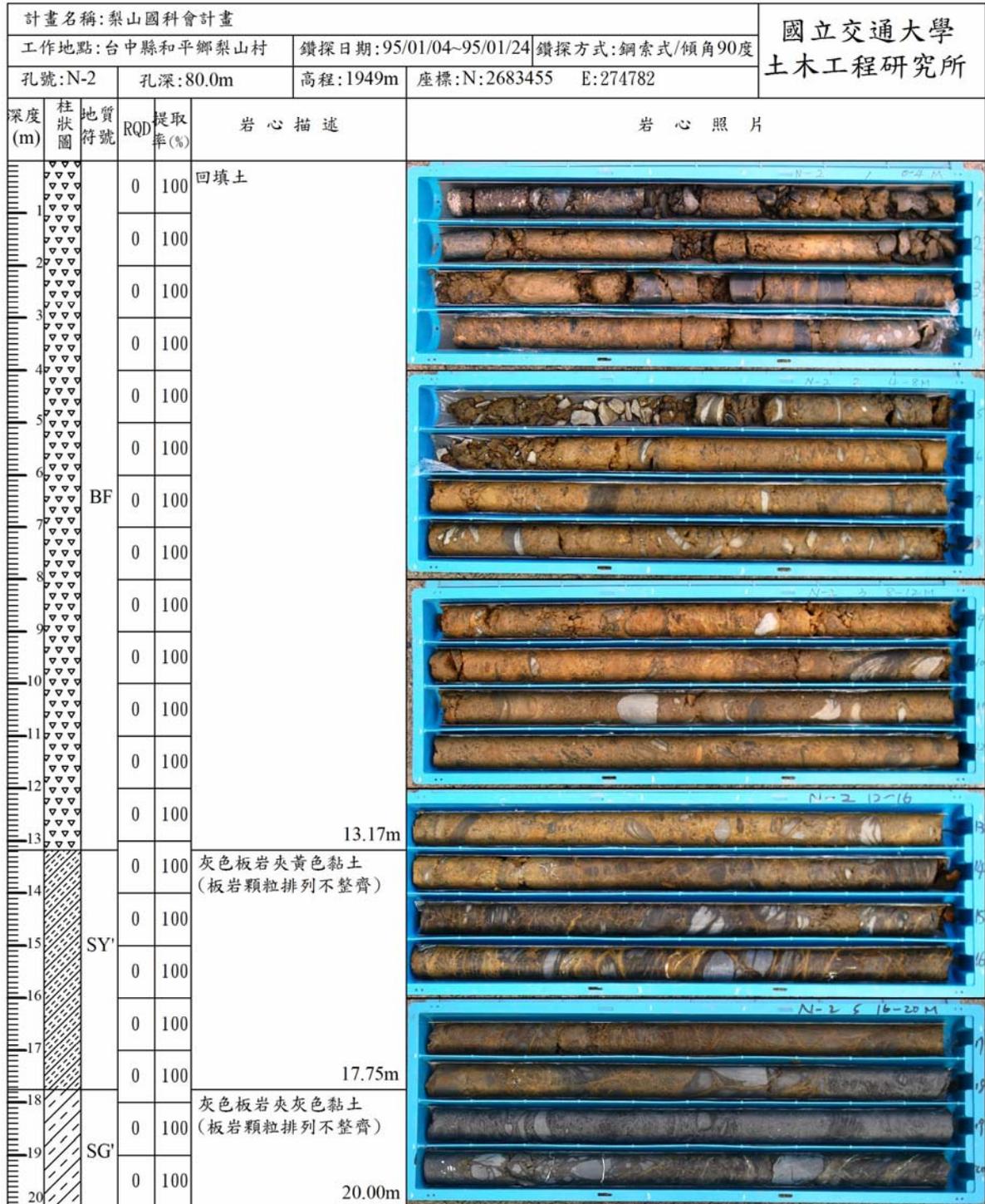


圖 A-3 N-2 孔 0~20m 地質鑽探柱狀圖

地質鑽探柱狀圖

4之2頁

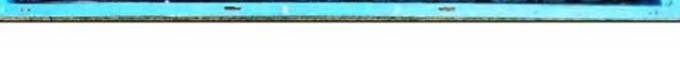
計畫名稱:國科會梨山計畫				國立交通大學 土木工程研究所							
工作地點:台中縣和平鄉梨山村		鑽探日期:95/01/04-95/01/24	鑽探方式:鋼索式/傾角90度								
孔號:N-2	孔深:80.0m	高程:1949m	座標:N:2683455 E:274782								
深度(m)	柱狀圖	地質符號	RQD	提取率(%)	岩心描述	岩心照片					
21	[Diagonal Hatching]	SG'	0	100	灰色板岩夾灰色黏土 (板岩顆粒排列不整齊) 21.90m有一節理, 夾角約80度 23.50m有一節理, 夾角約80度						
22			0	100							
23			0	100							
24			0	100							
25			46	100							
26			0	100							26.15m
27	C	0	100	灰色黏土夾灰色板岩碎屑							
28		0	100								
29		0	100								
30		0	100					29.80m			
31	SG'	0	100	灰色板岩夾灰色黏土 (板岩顆粒排列不整齊)							
32		0	100								
33		0	100								
34		0	100								
35		0	100								
36		0	100								
37		0	100								
38		0	100									38.50m
39	SJ	0	100	灰色板岩 (板岩塊內有節理面) 39.70m有一節理, 夾角約70度							
40		0	100			40.00m					

圖 A-4 N-2 孔 20~40m 地質鑽探柱狀圖

地質鑽探柱狀圖

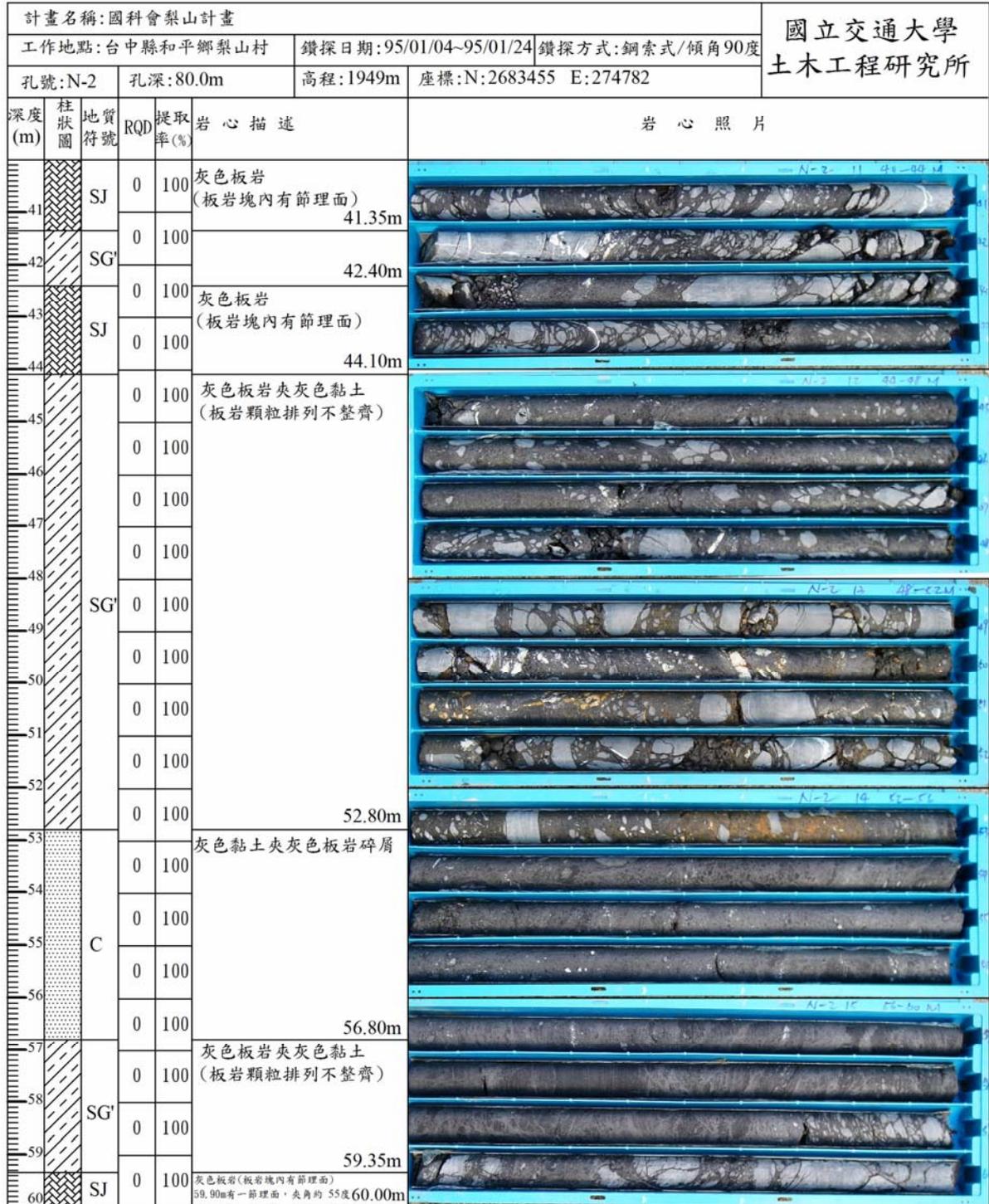


圖 A-5 N-2 孔 40~60m 地質鑽探柱狀圖

地質鑽探柱狀圖

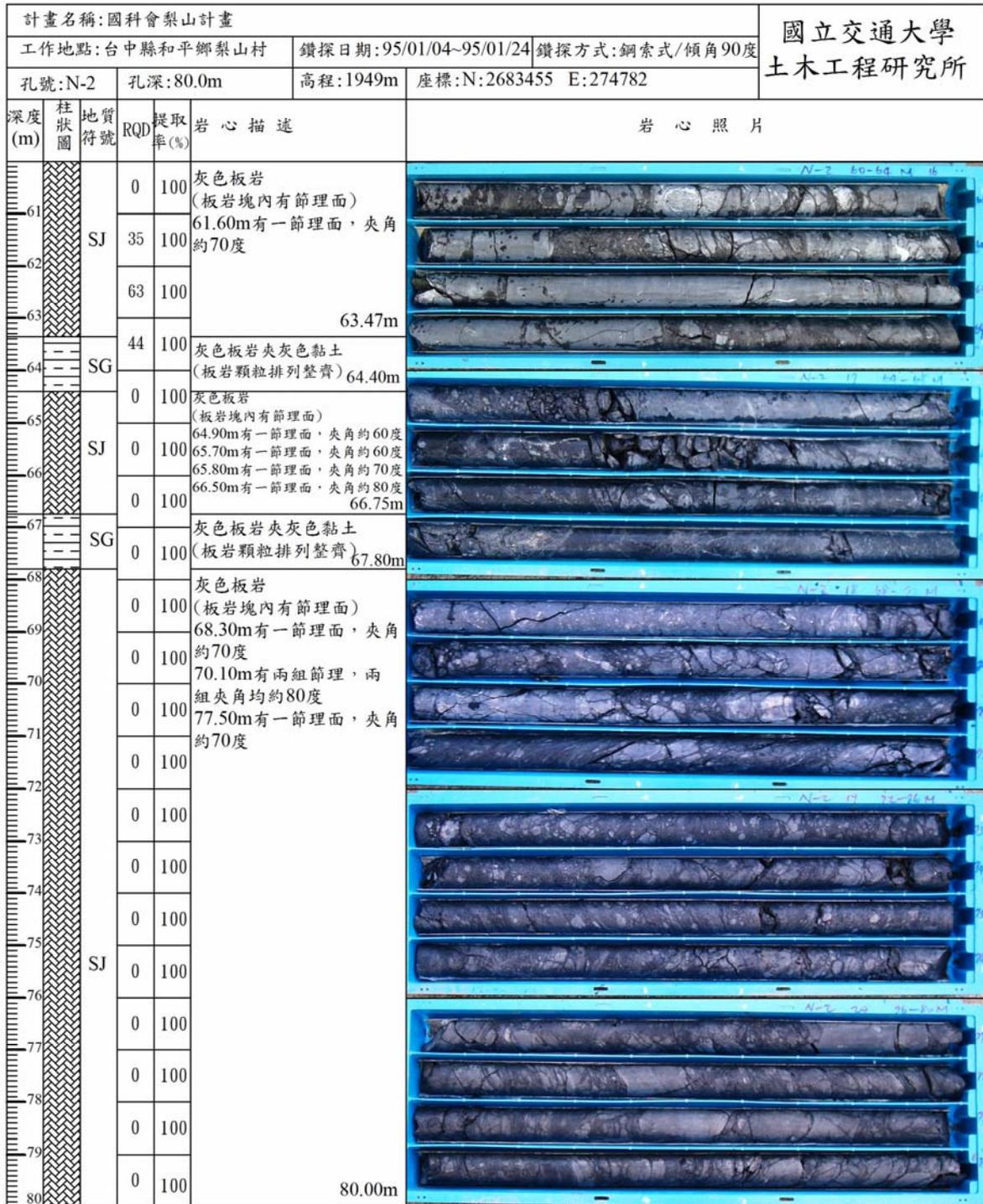


圖 A-6 N-2 孔 60~80m 地質鑽探柱狀圖

附錄 B

藤原明敏地質材料分類表



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	<ol style="list-style-type: none"> 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	<ol style="list-style-type: none"> 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	風化破碎岩	細片原岩色系	<ol style="list-style-type: none"> 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
W3	弱風化岩	圓板狀至塊狀原岩色系	<ol style="list-style-type: none"> 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			<ol style="list-style-type: none"> 1. W3 及 Rf 若位於 Dt、Dc1、Dr、W2 之上時，則應視為移動岩塊。 2. 一次 二次堆積物的區別參照另表。 	<ol style="list-style-type: none"> 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。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 地形較陡。 2. 形。 3. 地滑頭部狀構造有密切關

附錄 C

三軸壓密不排水試驗結果



試驗編號：C-N201	岩層性質：灰色黏土夾灰色板岩	岩塊含量:4.63%
鑽孔編號：N-2	試驗深度：55.65-55.85m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓， 剪力波速，微應變
控制儀器：交通大學土壤三軸試驗儀器	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：劉盛華

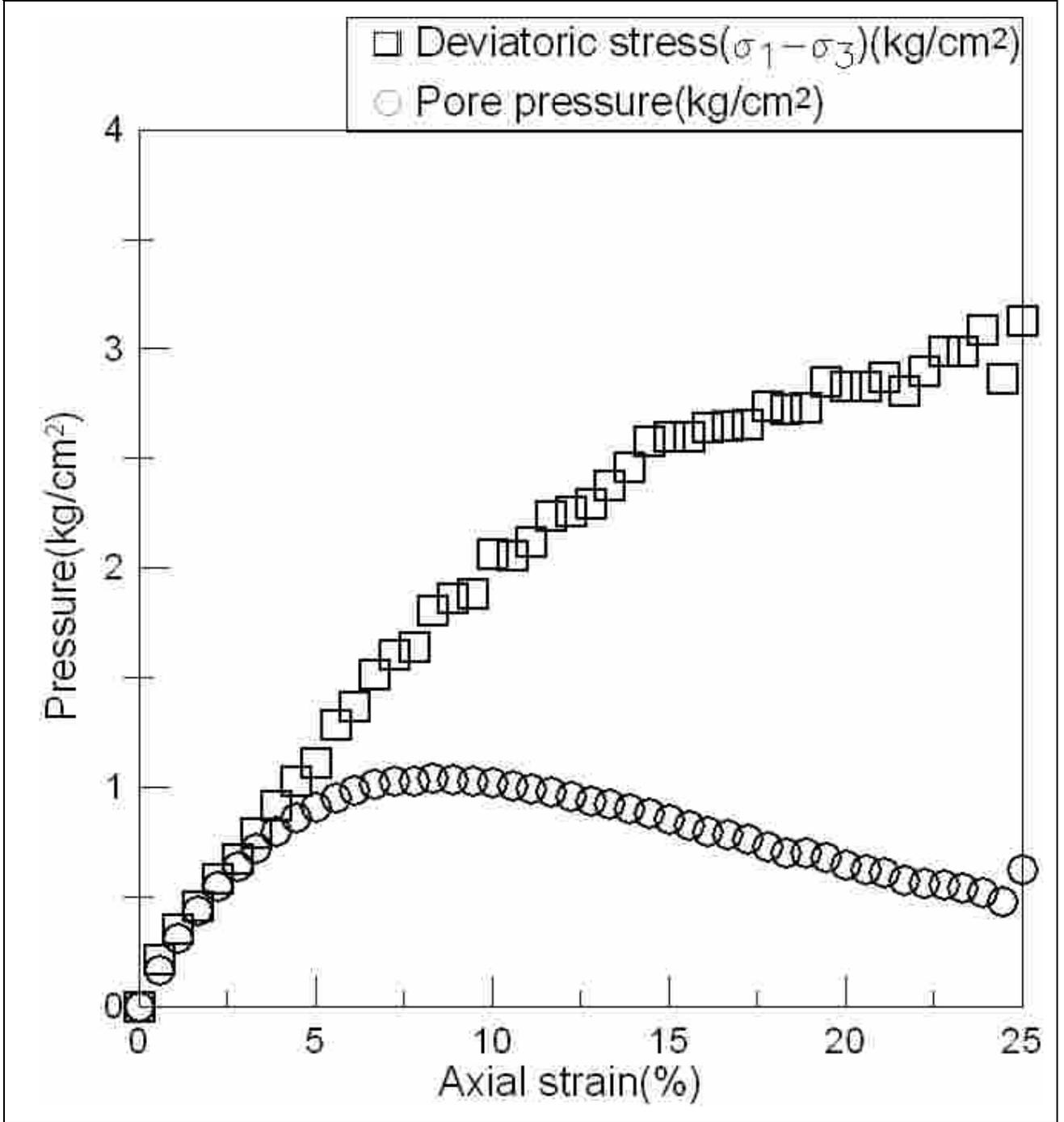


Figure No.	圖 C-1 C-N201 併構岩應力應變曲線，孔隙水壓變化曲線
Project.No	梨山崩積層中類併構岩(板岩夾黏土)之力學行為

試驗編號：C-N201	岩層性質：灰色黏土夾灰色板岩	岩塊含量：4.63%
鑽孔編號：N-201	試驗深度：55.65-55.85m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓，剪力波速，微應變
控制儀器：交通大學土壤三軸試驗儀器	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：劉盛華

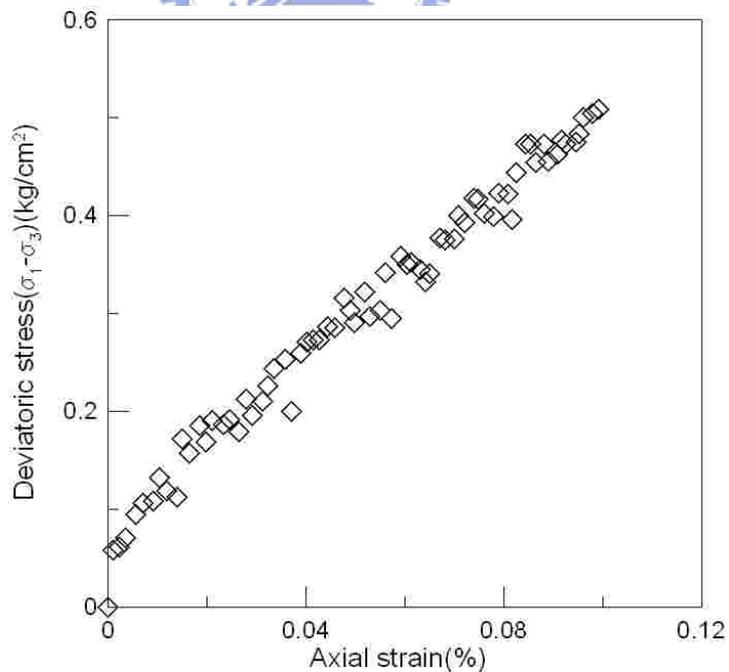
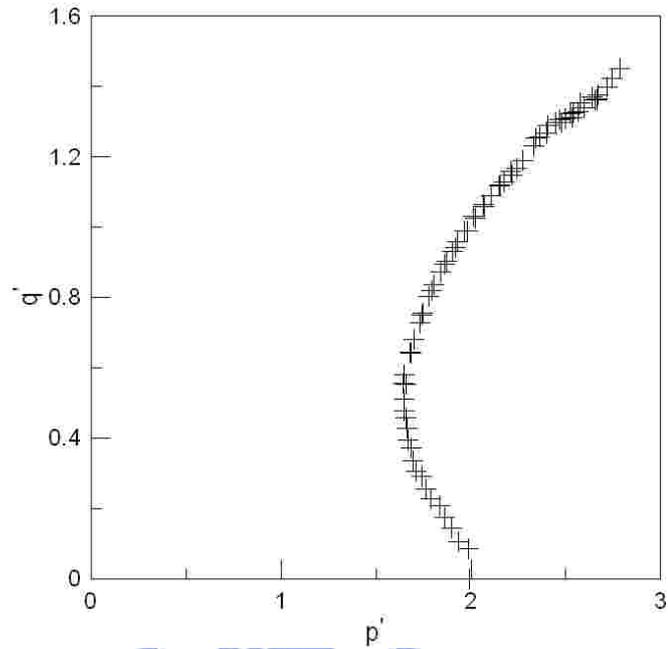
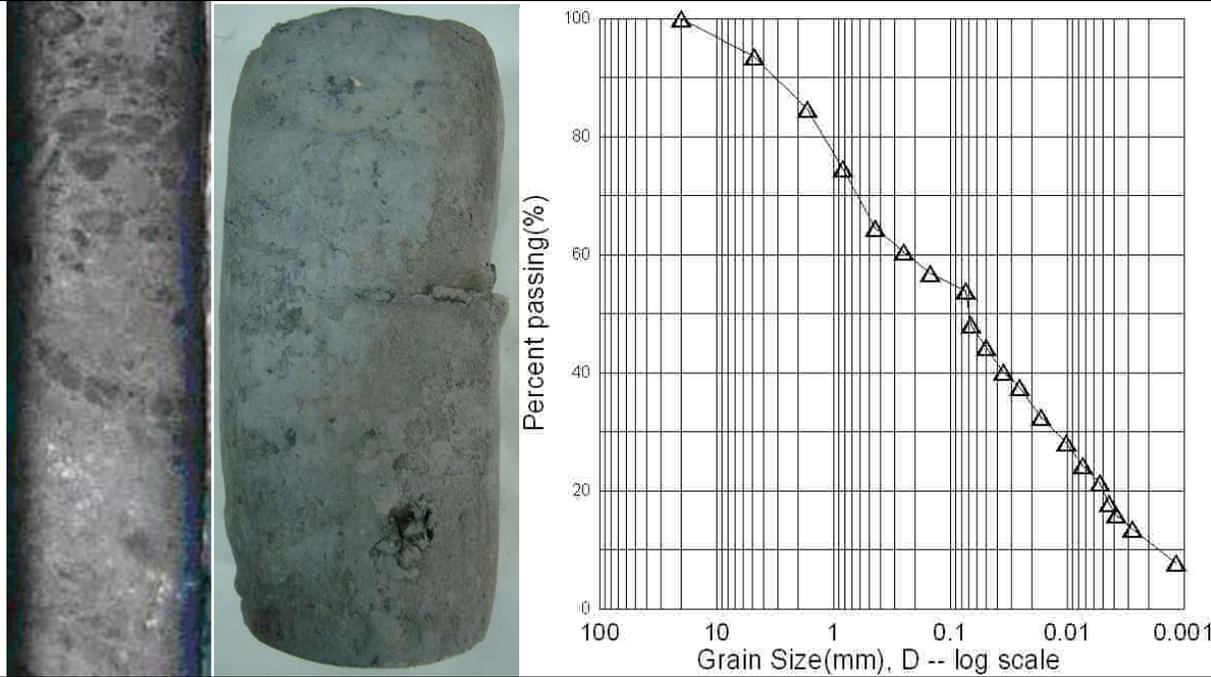


Figure No.	圖 C-2 C-N201 pq 圖，小應變下應力行為
Project.No	梨山崩積層中類併構岩(板岩夾黏土)之力學行為

試驗編號：C-N201	岩層性質：灰色黏土夾灰色板岩	岩塊含量: 4.63%
鑽孔編號：N-2	試驗深度：55.65-55.85m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓，剪力波速，微應變
控制儀器：交通大學土壤三軸試驗儀器	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：劉盛華



175

Figure No.	圖 C-3 C-N201 併構岩粒徑分佈曲線與破壞示意圖
Project.No	梨山崩積層中類併構岩(板岩夾黏土)之力學行為

試驗編號：C-N202	岩層性質：灰色黏土夾灰色板岩	岩塊含量:7.82%
鑽孔編號：N-2	試驗深度：56.00-56.20m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓，剪力波速，微應變
控制儀器：交通大學土壤三軸試驗儀器	加壓速率：0.003% /sec	試驗者：劉盛華

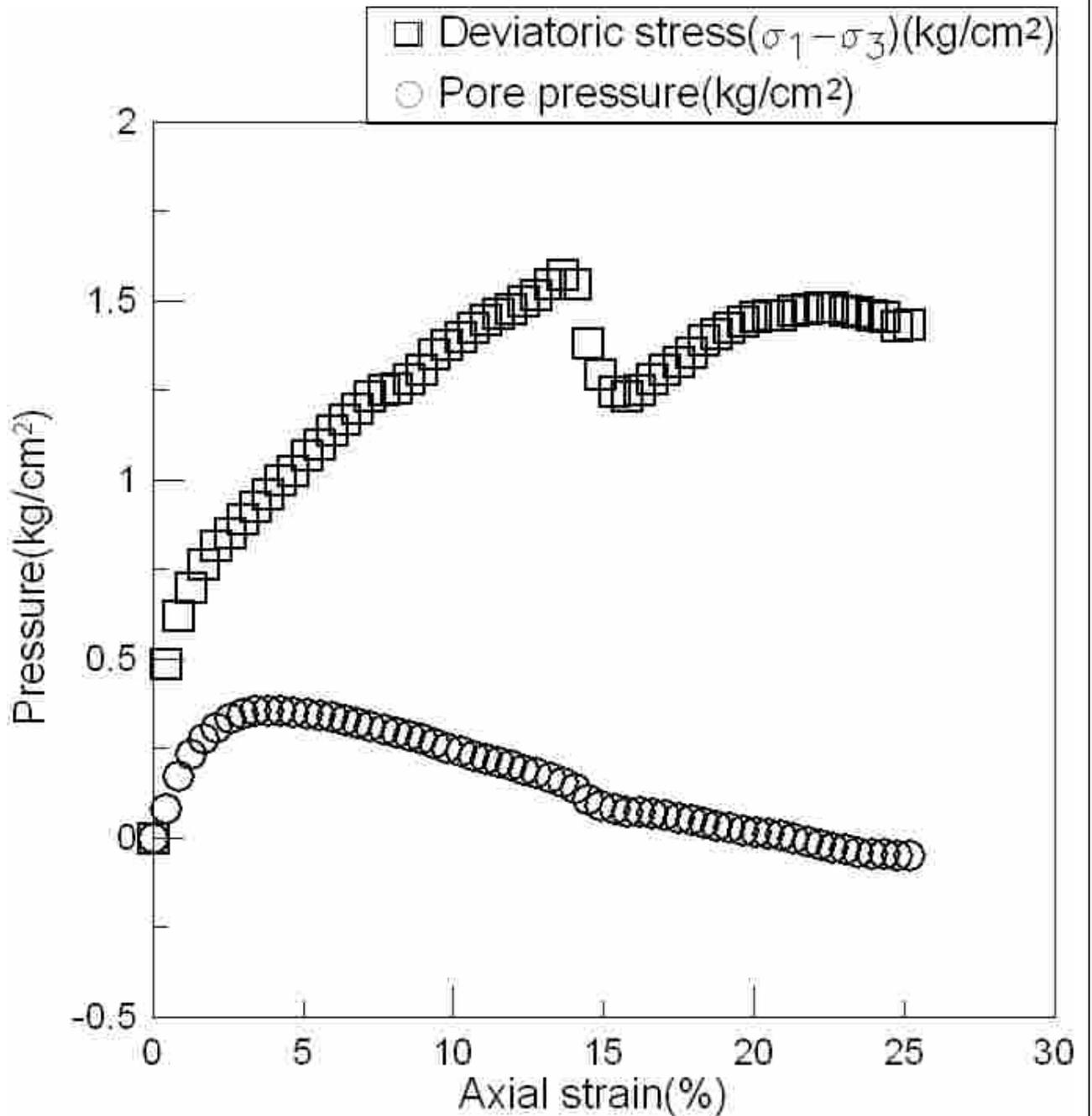


Figure No.	圖 C-4 C-N202 併構岩應力應變曲線，孔隙水壓變化曲線
Project.No	梨山崩積層中類併構岩(板岩夾黏土)之力學行為

試驗編號：C-N202	岩層性質：灰色黏土夾灰色板岩	岩塊含量: 7.82%
鑽孔編號：N-2	試驗深度：56.00-56.20m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓，剪力波速，微應變
控制儀器：交通大學土壤三軸試驗儀器	加壓速率：0.003% /sec	試驗者：劉盛華

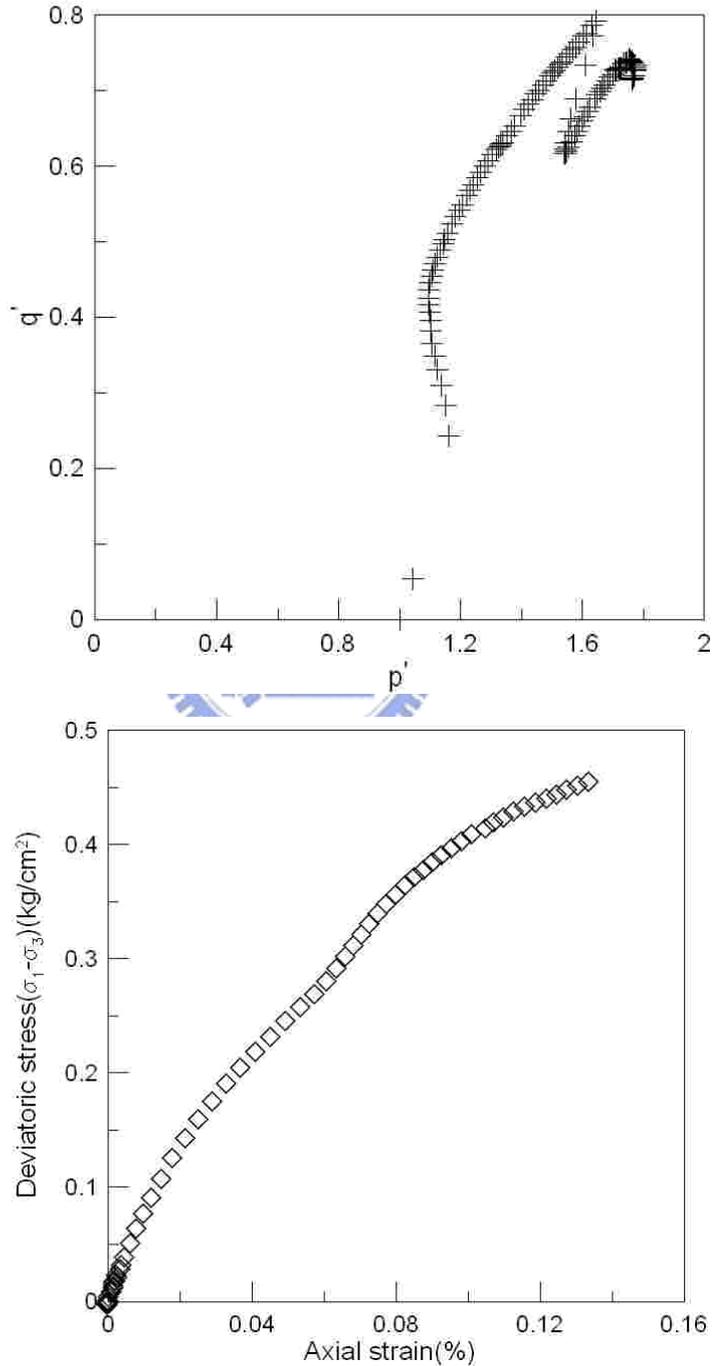
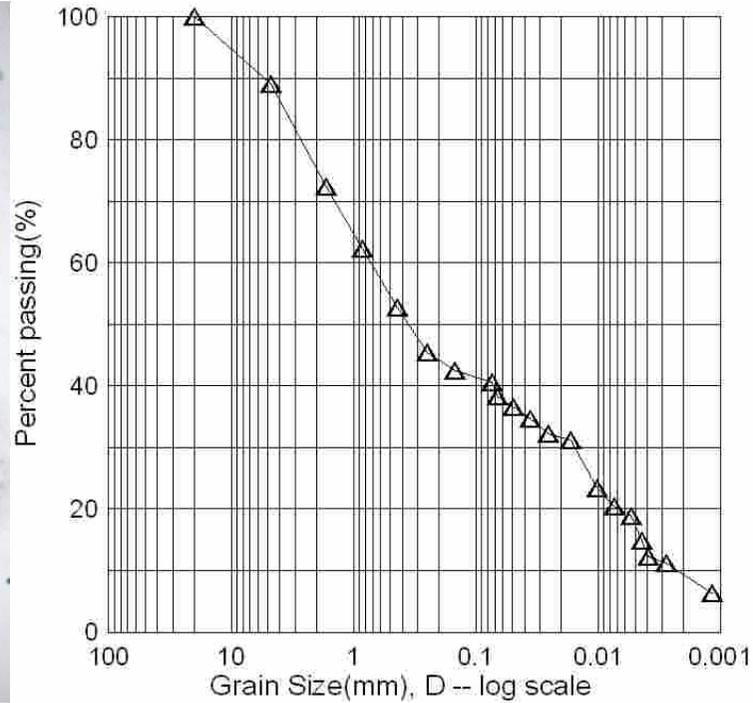


Figure No.	圖 C-5 C-N202 pq 圖，小應變下應力行為
Project.No	梨山崩積層中類併構岩(板岩夾黏土)之力學行為

試驗編號：C-N202	岩層性質：灰色黏土夾灰色板岩	岩塊含量: 7.82%
鑽孔編號：N-2	試驗深度：56.00-56.20m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓，剪力波速，微應變
控制儀器：交通大學土壤三軸試驗儀器	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：劉盛華



178

Figure No.	圖 C-6 C-N202 併構岩粒徑分佈曲線與破壞示意圖
Project.No	梨山崩積層中類併構岩(板岩夾黏土)之力學行為

試驗編號：C-N203	岩層性質：灰色黏土夾灰色板岩	岩塊含量：2.77%
鑽孔編號：N-2	試驗深度：56.17-56.35m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓，剪力波速，微應變
控制儀器：交通大學土壤三軸試驗儀器	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：劉盛華

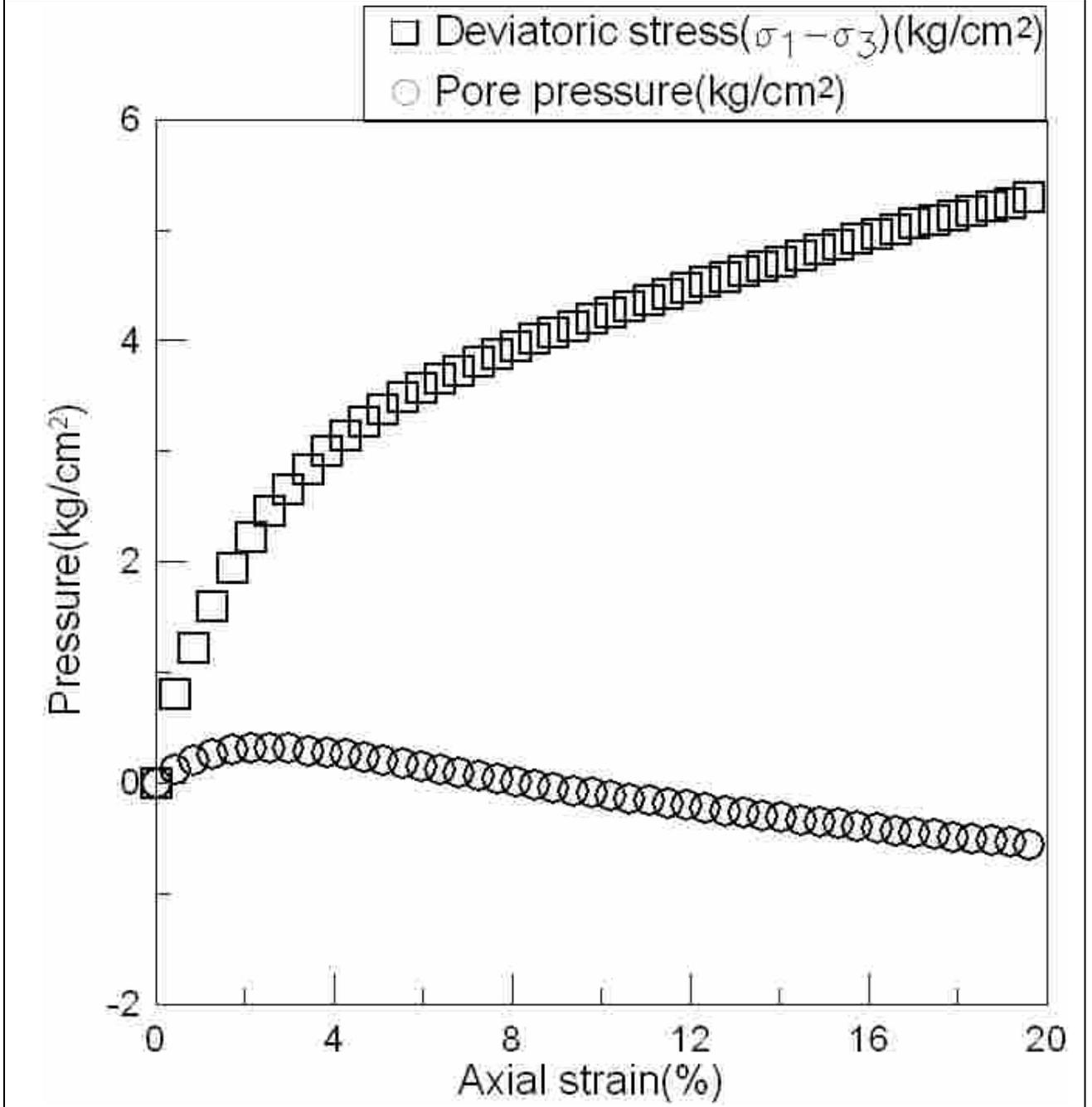


Figure No.	圖 C-7 C-N203 併構岩應力應變曲線，孔隙水壓變化曲線
Project.No	梨山崩積層中類併構岩(板岩夾黏土)之力學行為

試驗編號：C-N203	岩層性質：灰色黏土夾灰色板岩	岩塊含量: 2.77%
鑽孔編號：N-2	試驗深度：56.17-56.35m	量測： 軸向應力，應變，孔隙水壓，剪力波速，微應變
控制儀器：交通大學土壤三軸試驗儀器	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：劉盛華

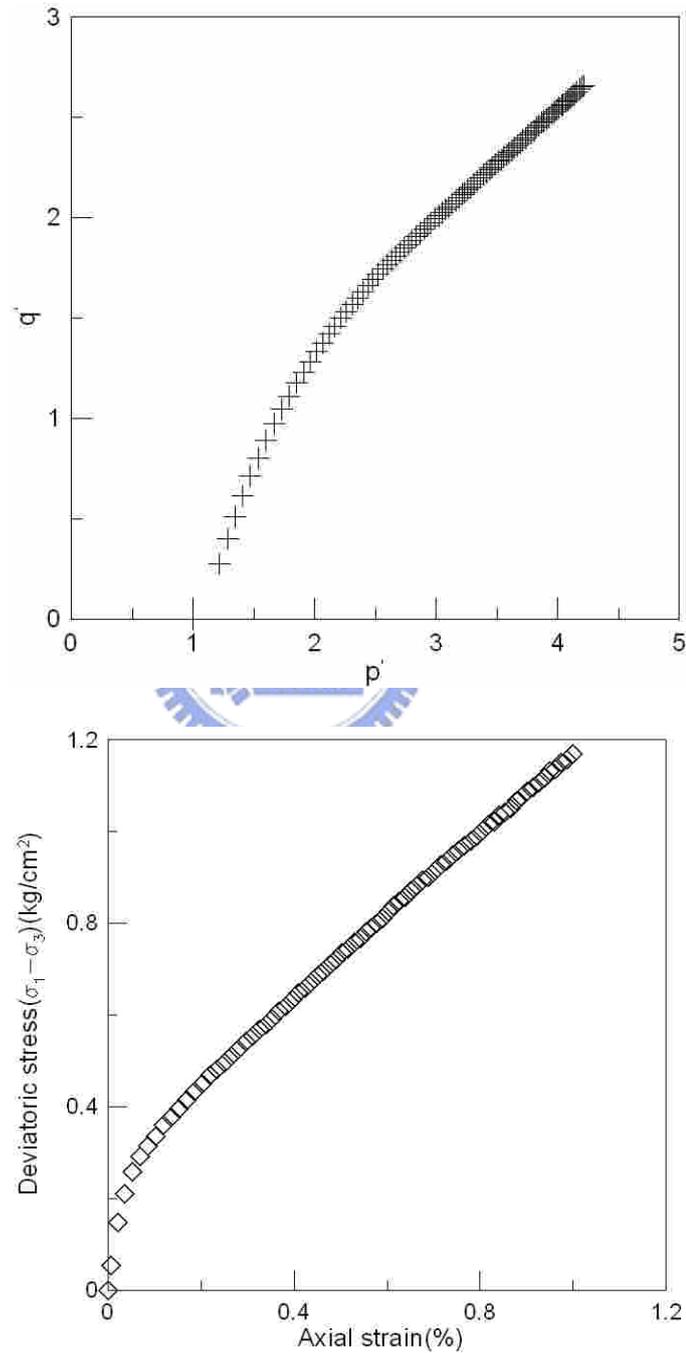


Figure No.	圖 C-8 C-N203 pq 圖，小應變下應力行為
Project.No	梨山崩積層中類併構岩(板岩夾黏土)之力學行為

試驗編號：C-N203	岩層性質：灰色黏土夾灰色板岩	岩塊含量: 2.77%
鑽孔編號：N-2	試驗深度：56.17-56.35m	量測： 軸向應力，應變，孔隙水壓，剪力波速，微應變
控制儀器：交通大學土壤三軸試驗儀器	加壓速率：0.003% /sec	試驗者：劉盛華

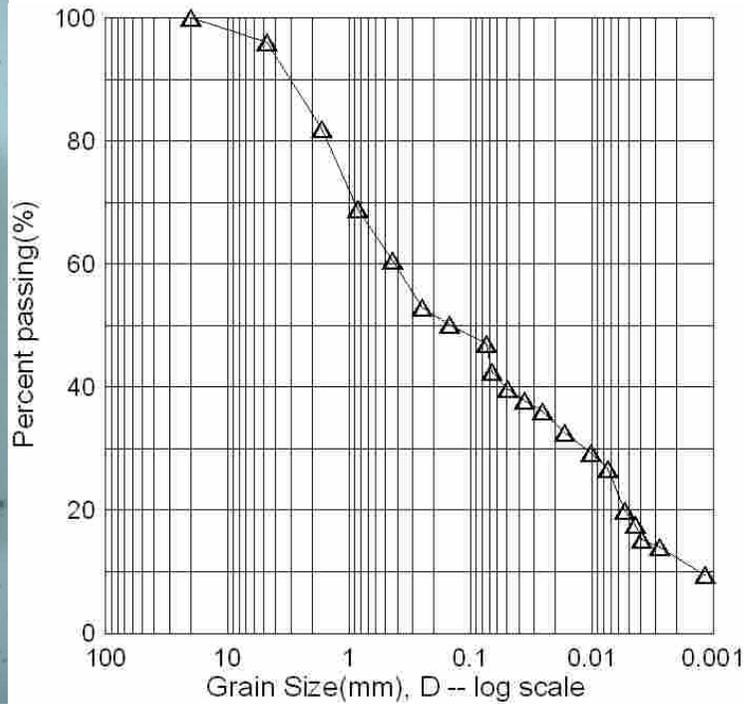


Figure No.	圖 C-9 C-N203 併構岩粒徑分佈曲線與破壞示意圖
Project.No	梨山崩積層中類併構岩(板岩夾黏土)之力學行為

試驗編號：C-N204	岩層性質：灰色黏土夾灰色板岩	岩塊含量:20.82%
鑽孔編號：N-2	試驗深度：57.15-57.35m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓，剪力波速，微應變
控制儀器：交通大學土壤三軸試驗儀器	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：劉盛華

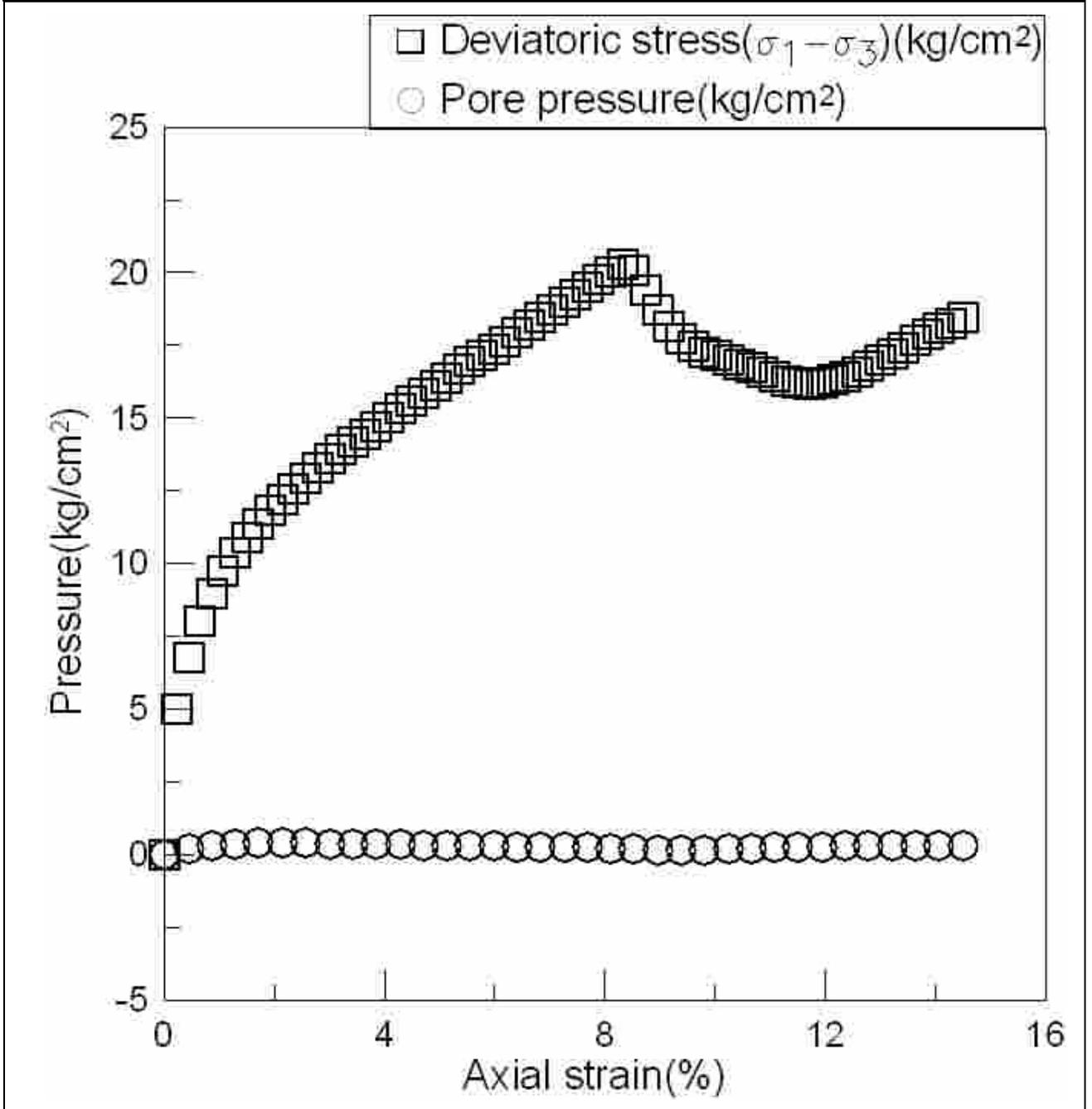


Figure No.	圖 C-10 C-N204 併構岩應力應變曲線，孔隙水壓變化曲線
Project.No	梨山崩積層中類併構岩(板岩夾黏土)之力學行為

試驗編號：C-N204	岩層性質：灰色黏土夾灰色板岩	岩塊含量: 20.82%
鑽孔編號：N-2	試驗深度：57.15-57.35m	量測： 軸向應力，應變，孔隙水壓，剪力波速，微應變
控制儀器：交通大學土壤三軸試驗儀器	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：劉盛華

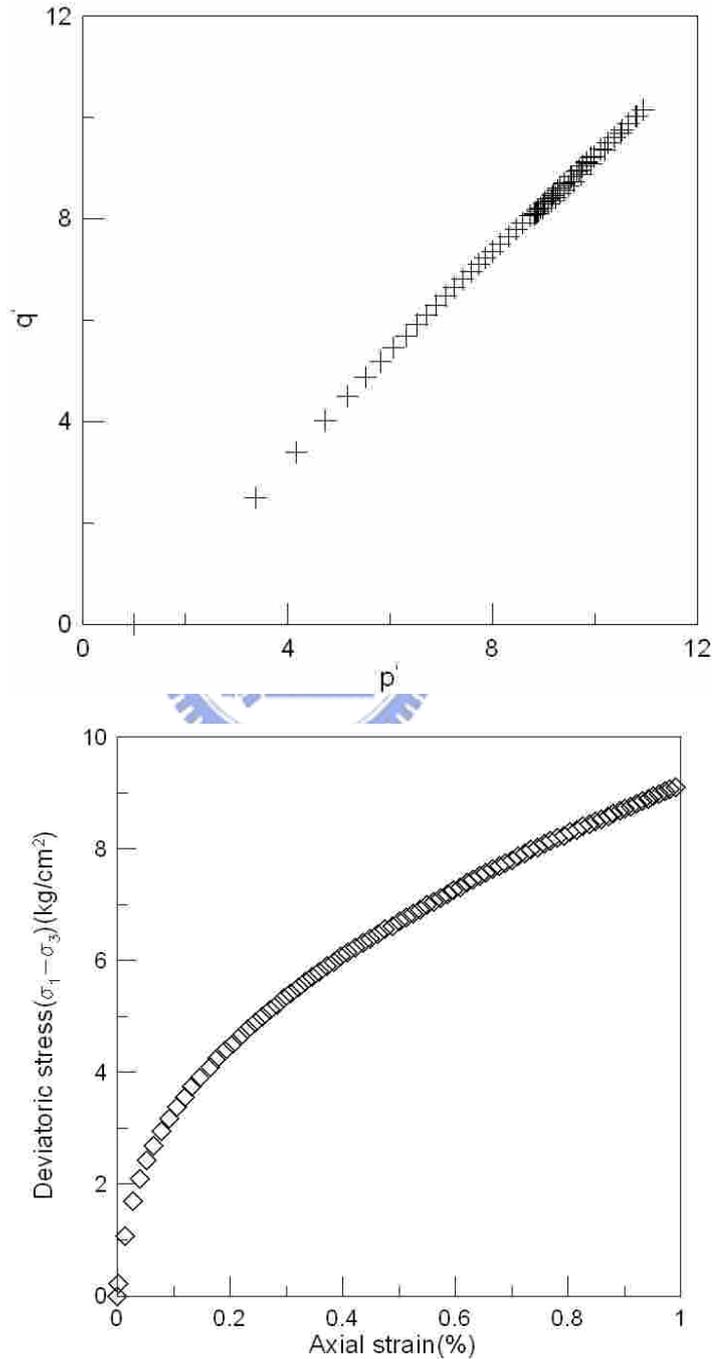


Figure No.	圖 C-11 C-N204 pq 圖，小應變下應力行為
Project.No	梨山崩積層中類併構岩(板岩夾黏土)之力學行為

試驗編號：C-N204	岩層性質：灰色黏土夾灰色板岩	岩塊含量: 20.82%
鑽孔編號：N-2	試驗深度：57.15-57.35m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓，剪力波速，微應變
控制儀器：交通大學土壤三軸試驗儀器	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：劉盛華

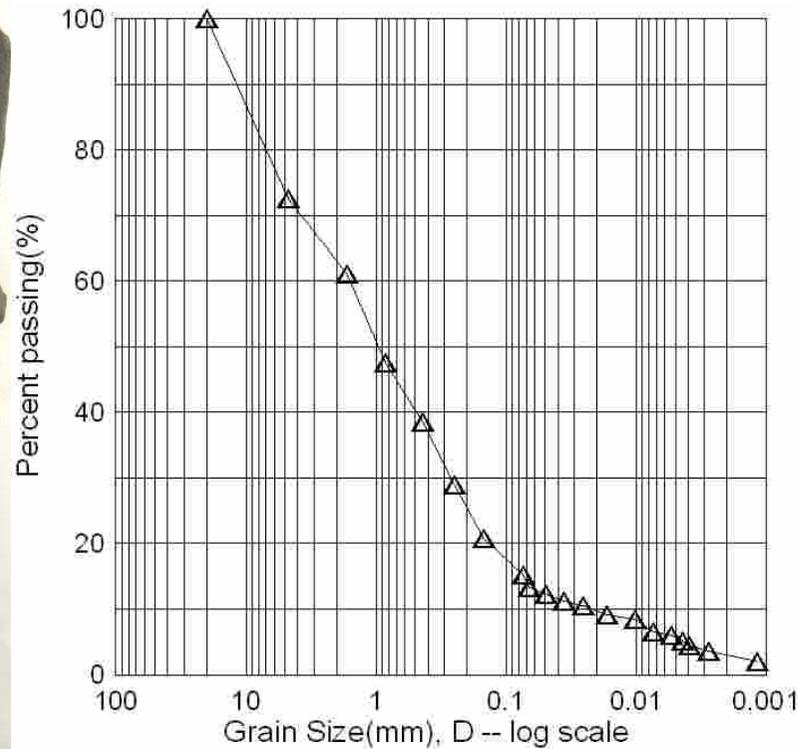


Figure No.	圖 C-12 C-N204 併構岩粒徑分佈曲線與破壞示意圖
Project.No	梨山崩積層中類併構岩(板岩夾黏土)之力學行為

試驗編號：C-N205	岩層性質：灰色黏土夾灰色板岩	岩塊含量：7.26%
鑽孔編號：N-2	試驗深度：58.30-58.50m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓，剪力波速，微應變
控制儀器：交通大學土壤三軸試驗儀器	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：劉盛華

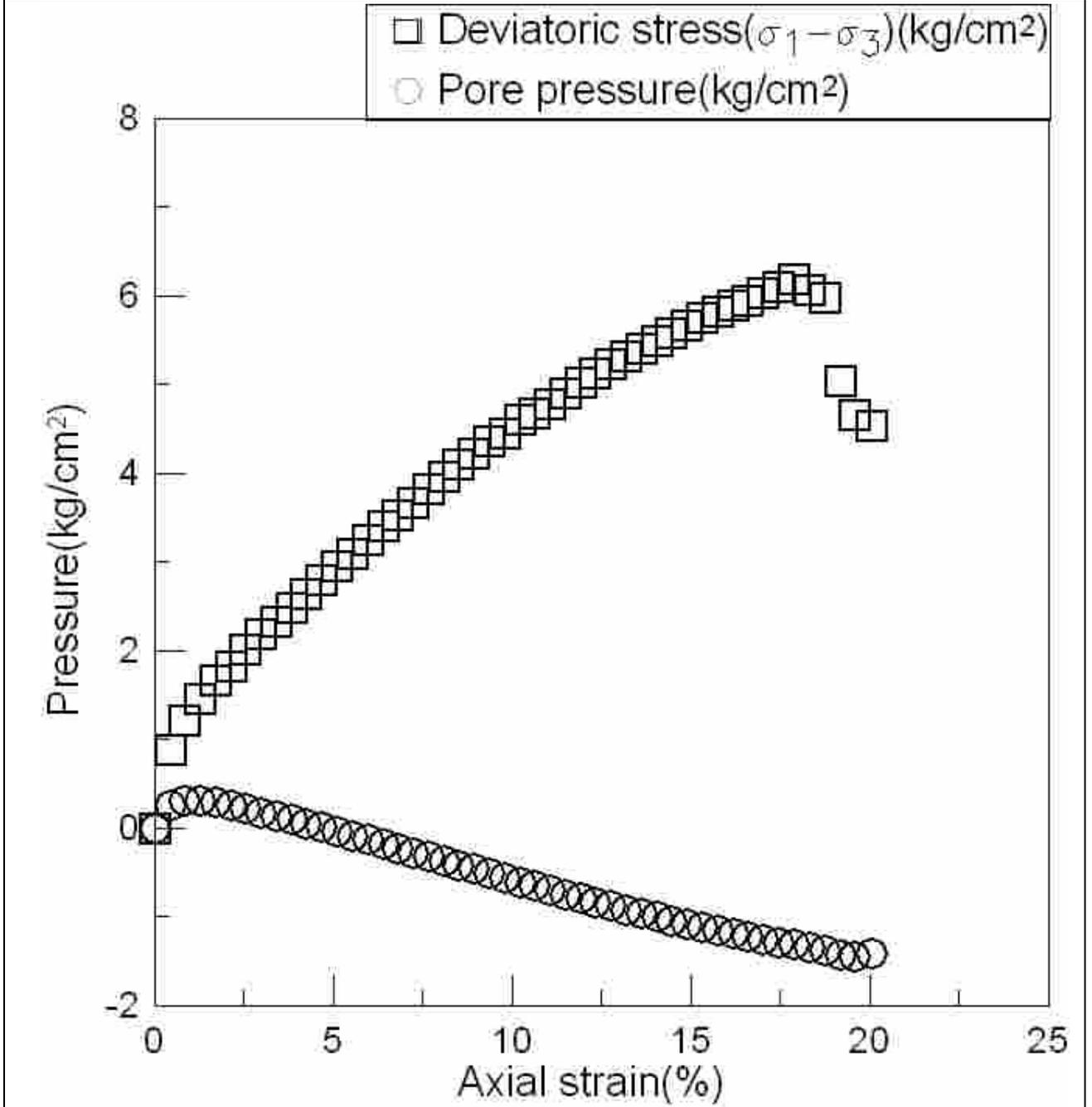


Figure No.	圖 C-13 C-N205 併構岩應力應變曲線，孔隙水壓變化曲線
Project.No	梨山崩積層中類併構岩(板岩夾黏土)之力學行為

試驗編號：C-N205	岩層性質：灰色黏土夾灰色板岩	岩塊含量：7.26%
鑽孔編號：N-2	試驗深度：58.30-58.50m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓，剪力波速，微應變
控制儀器：交通大學土壤三軸試驗儀器	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：劉盛華

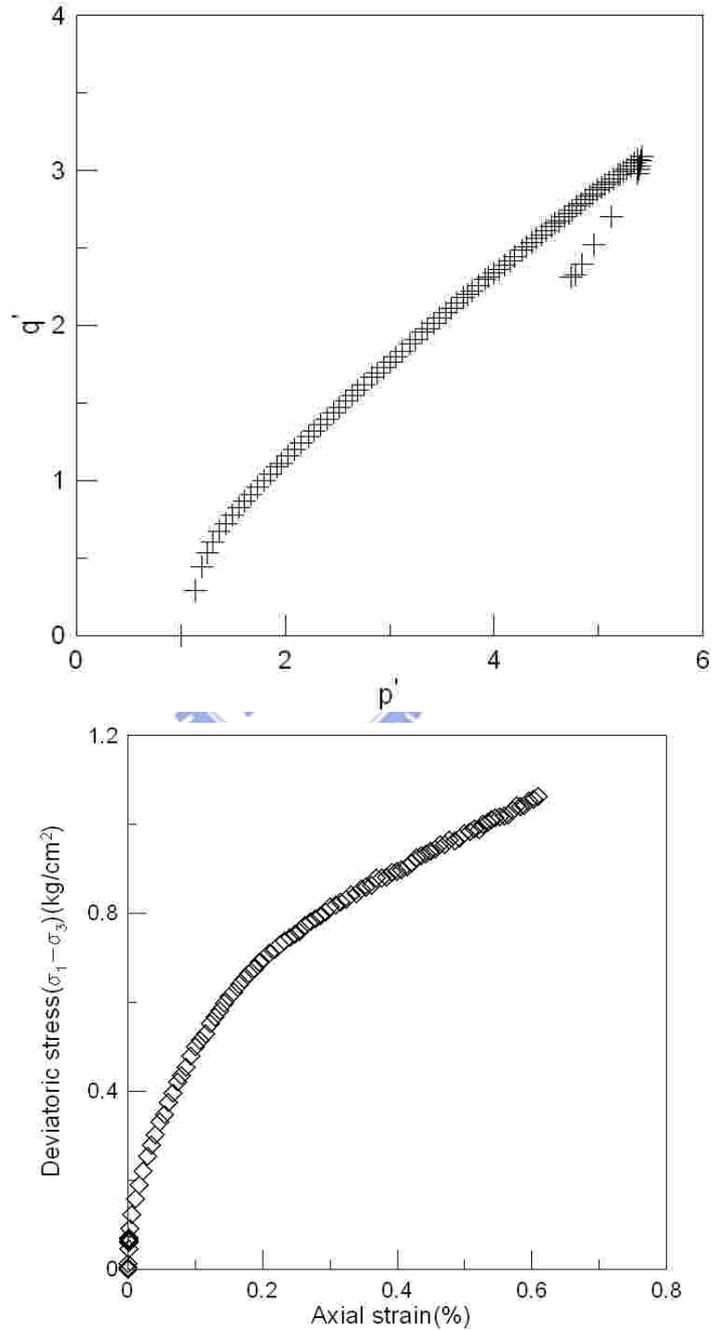
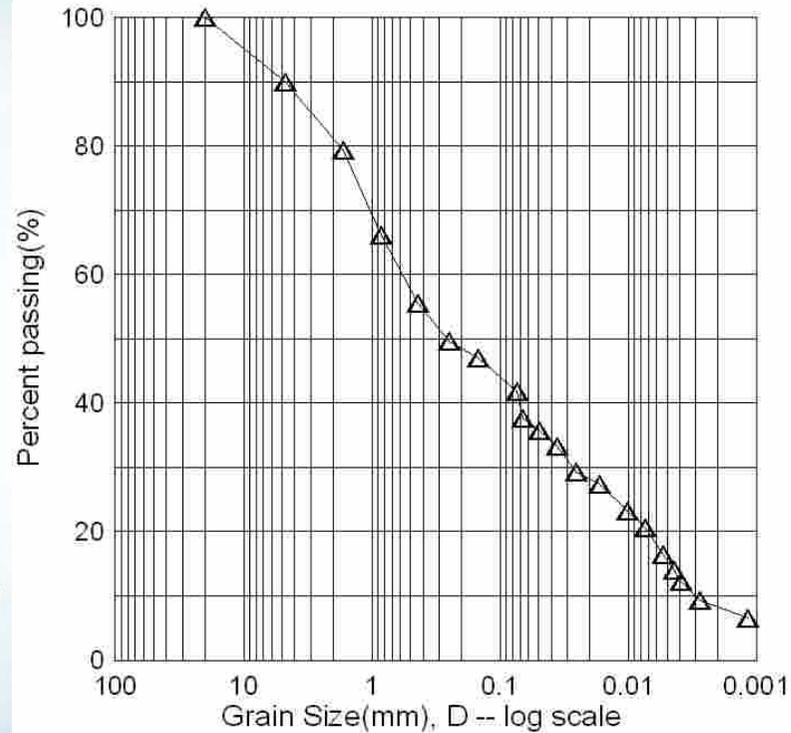


Figure No.	圖 C-14 C-N205 pq 圖，小應變下應力行為
Project.No	梨山崩積層中類併構岩(板岩夾黏土)之力學行為

試驗編號：C-N205	岩層性質：灰色黏土夾灰色板岩	岩塊含量: 7.26%
鑽孔編號：N-2	試驗深度：58.30-58.50m	量測： 軸向應力，應變，孔隙水壓，剪力波速，微應變
控制儀器：交通大學土壤三軸試驗儀器	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：劉盛華



187

Figure No.	圖 C-15 C-N205 併構岩粒徑分佈曲線與破壞示意圖
Project.No	梨山崩積層中類併構岩(板岩夾黏土)之力學行為

試驗編號：C-N206	岩層性質：灰色黏土夾灰色板岩	岩塊含量：6.40%
鑽孔編號：N-2	試驗深度：54.50-54.70m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓，剪力波速，微應變
控制儀器：交通大學土壤三軸試驗儀器	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：劉盛華

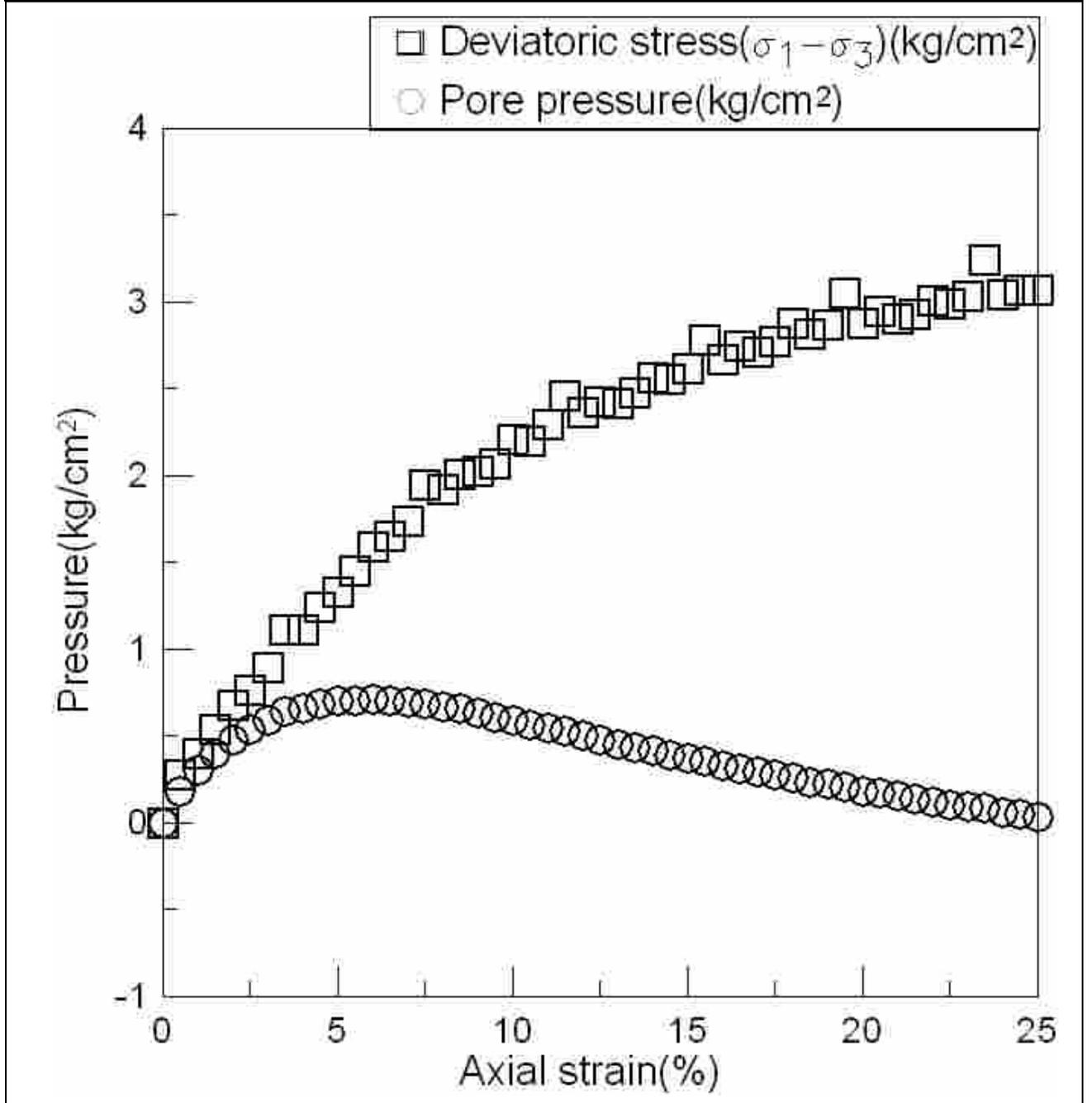


Figure No.	圖 C-16 C-N206 併構岩應力應變曲線，孔隙水壓變化曲線
Project.No	梨山崩積層中類併構岩(板岩夾黏土)之力學行為

試驗編號：C-N206	岩層性質：灰色黏土夾灰色板岩	岩塊含量：6.40%
鑽孔編號：N-2	試驗深度：54.50-54.70m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓，剪力波速，微應變
控制儀器：交通大學土壤三軸試驗儀器	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：劉盛華

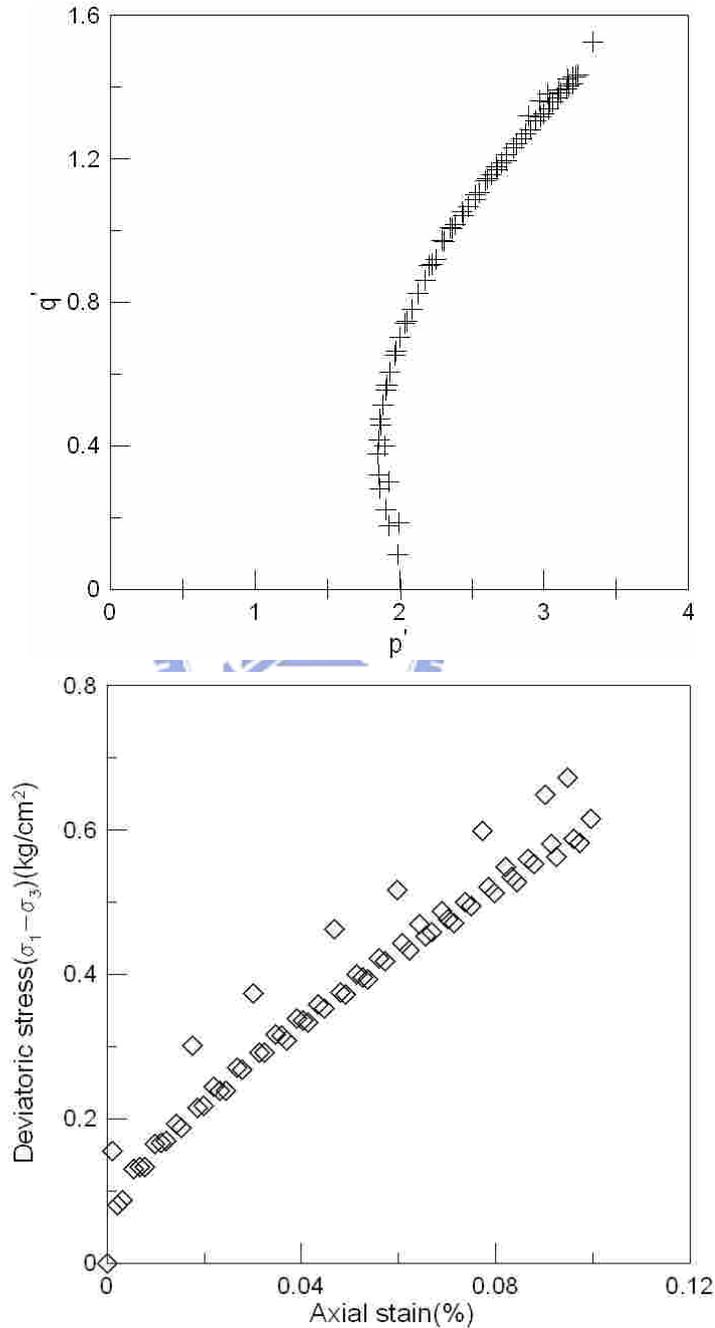
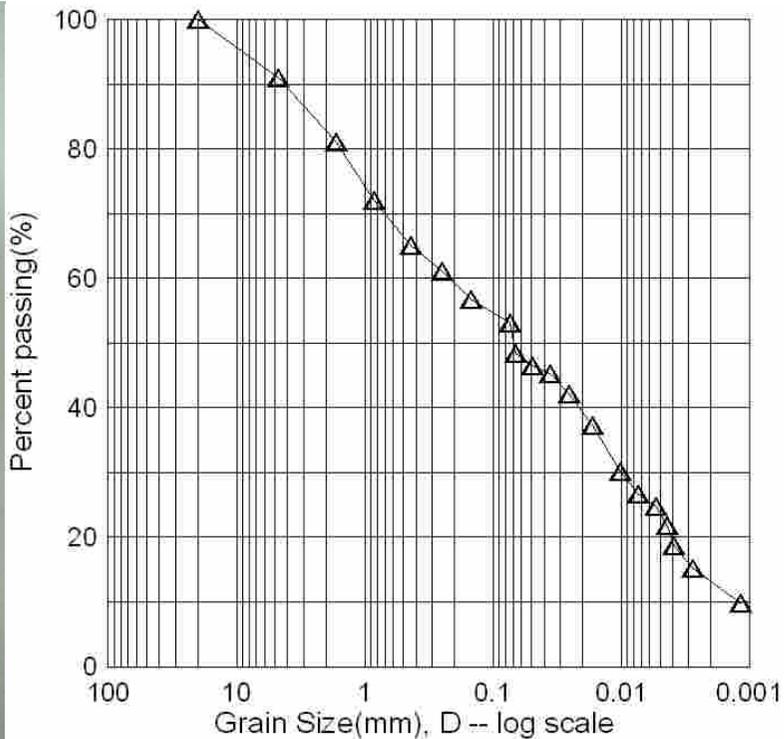


Figure No.	圖 C-17 C-N206 pq 圖，小應變下應力行為
Project.No	梨山崩積層中類併構岩(板岩夾黏土)之力學行為

試驗編號：C-N206	岩層性質：灰色黏土夾灰色板岩	岩塊含量 6.40%
鑽孔編號：N-2	試驗深度：54.50-54.70m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓，剪力波速，微應變
控制儀器：交通大學土壤三軸試驗儀器	加壓速率：0.003% /sec	試驗者：劉盛華



190

Figure No.	圖 C-18 C-N206 併構岩粒徑分佈曲線與破壞示意圖
Project.No	梨山崩積層中類併構岩(板岩夾黏土)之力學行為

試驗編號：C-N207	岩層性質：灰色黏土夾灰色板岩	岩塊含量：8.74%
鑽孔編號：N-2	試驗深度：54.70-54.90m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓，剪力波速，微應變
控制儀器：交通大學土壤三軸試驗儀器	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：劉盛華

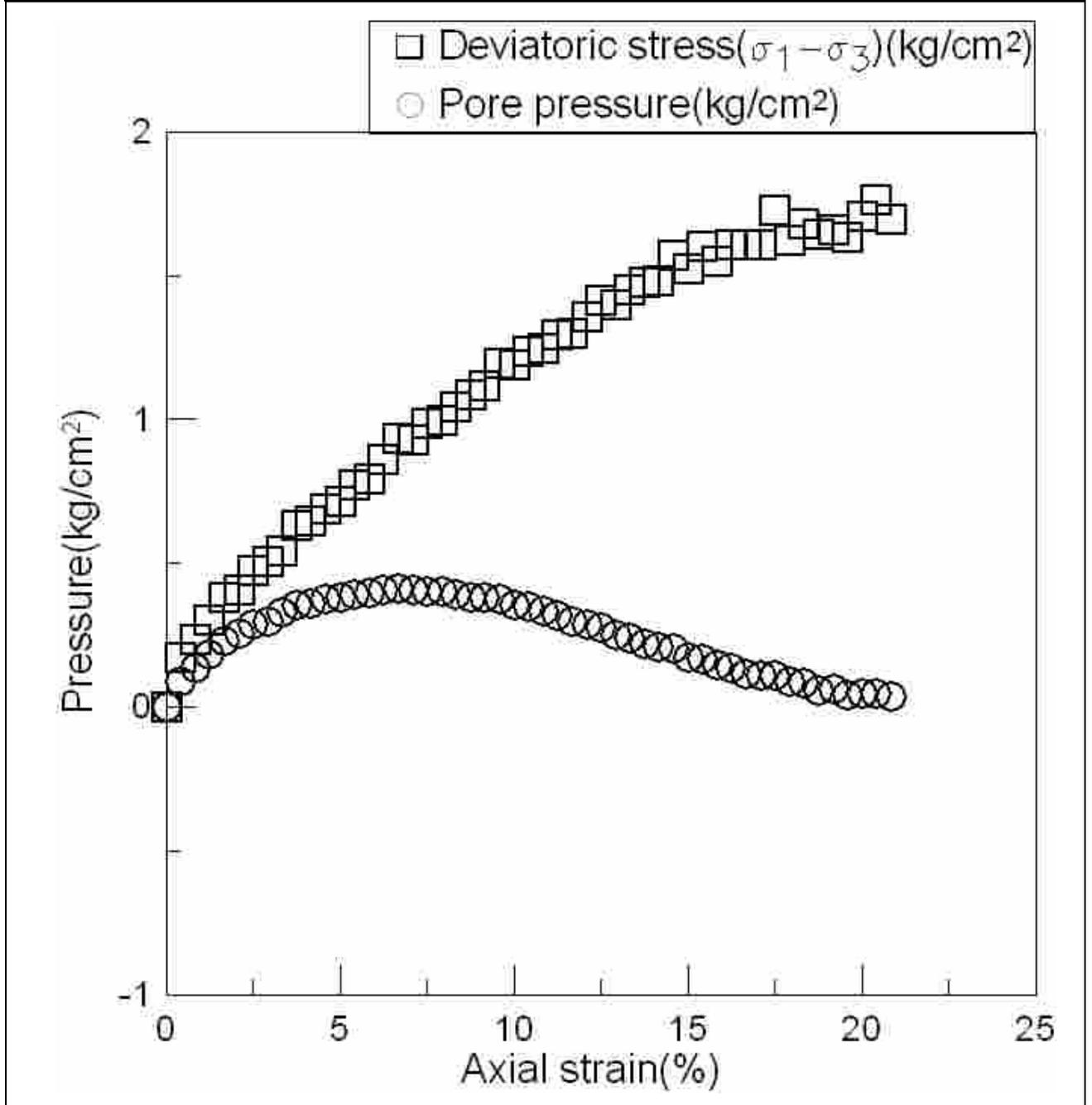


Figure No.	圖 C-19 C-N207 併構岩應力應變曲線，孔隙水壓變化曲線
Project.No	梨山崩積層中類併構岩(板岩夾黏土)之力學行為

試驗編號：C-N207	岩層性質：灰色黏土夾灰色板岩	岩塊含量: 8.74%
鑽孔編號：N-2	試驗深度：54.70-54.90m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓，剪力波速，微應變
控制儀器：交通大學土壤三軸試驗儀器	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：劉盛華

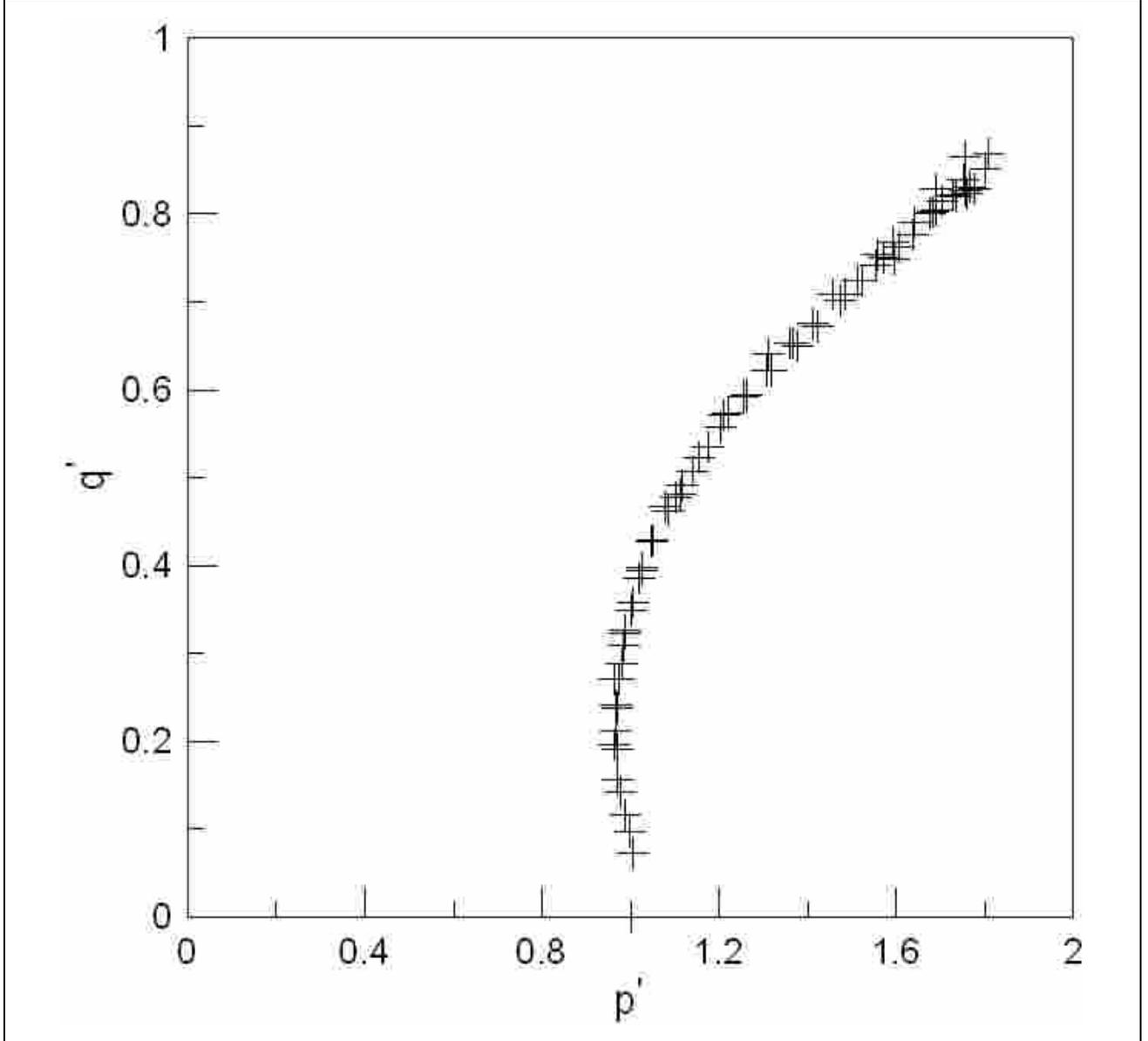
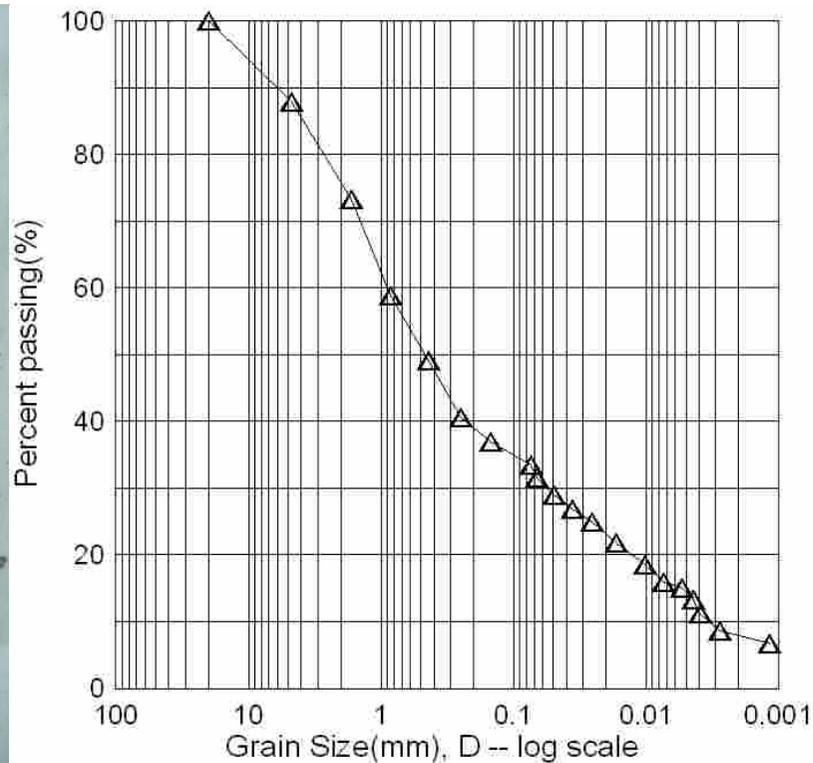


Figure No.	圖 C-20 C-N207 pq 圖
Project.No	梨山崩積層中類併構岩(板岩夾黏土)之力學行為

備註：在試驗過程中，由於量測微小應變量所需之感應鋼片脫落，因此量測失敗，無法得到數據。

試驗編號：C-N207	岩層性質：灰色黏土夾灰色板岩	岩塊含量: 8.74%
鑽孔編號：N-2	試驗深度：54.70-54.90m	量測： 軸向應力，應變，孔隙水壓，剪力波速，微應變
控制儀器：交通大學土壤三軸試驗儀器	加壓速率：0.003% /sec	試驗者：劉盛華



193

Figure No.	圖 C-21 C-N207 併構岩粒徑分佈曲線與破壞示意圖
Project.No	梨山崩積層中類併構岩(板岩夾黏土)之力學行為

試驗編號：C-N208	岩層性質：灰色黏土夾灰色板岩	岩塊含量：4.28%
鑽孔編號：N-2	試驗深度：55.05-55.25m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓，剪力波速，微應變
控制儀器：交通大學土壤三軸試驗儀器	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：劉盛華

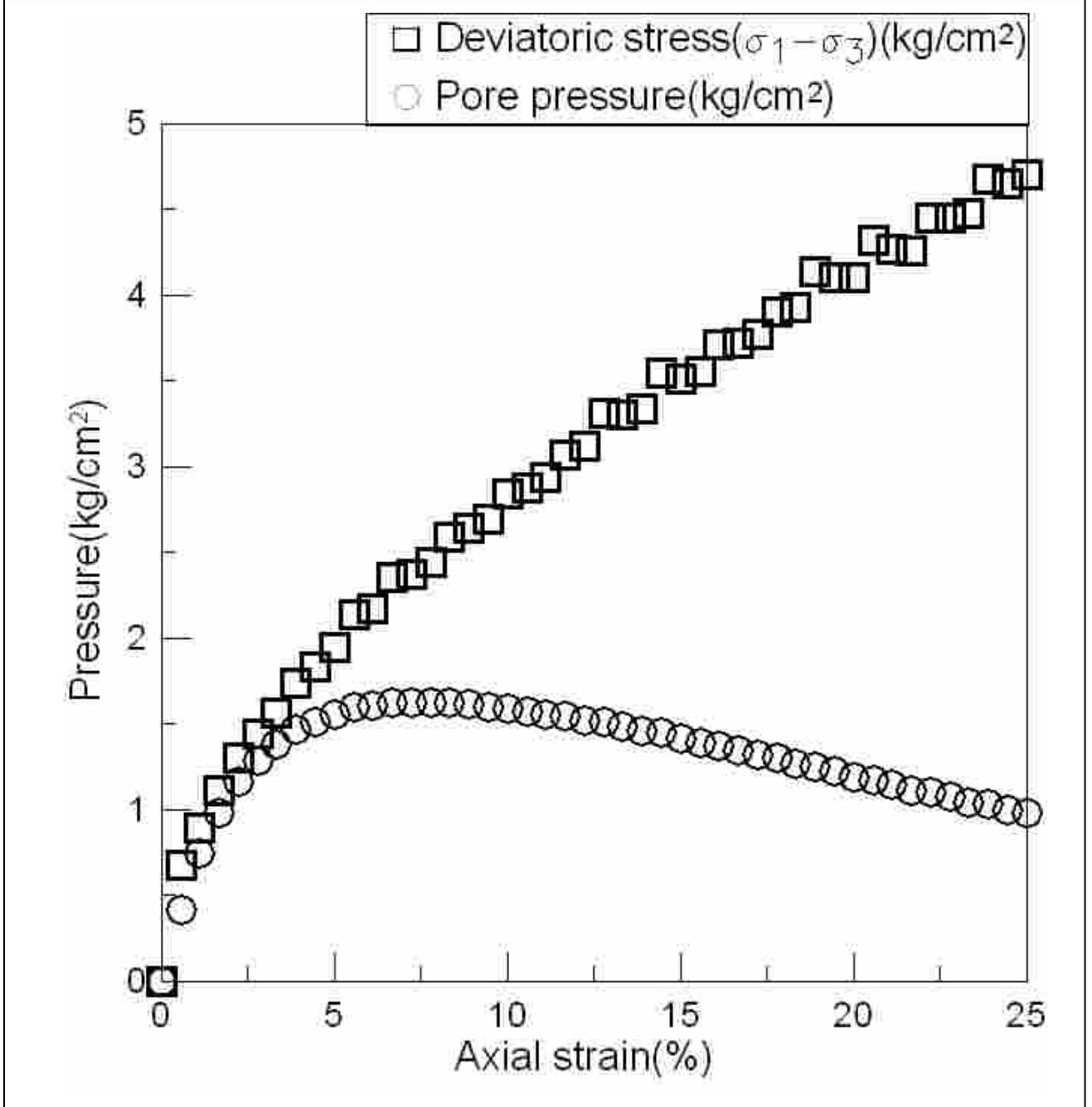


Figure No.	圖 C-22 C-N208 併構岩應力應變曲線，孔隙水壓變化曲線
Project.No	梨山崩積層中類併構岩(板岩夾黏土)之力學行為

試驗編號：C-N208	岩層性質：灰色黏土夾灰色板岩	岩塊含量: 4.28%
鑽孔編號：N-2	試驗深度：55.05-55.25m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓，剪力波速，微應變
控制儀器：交通大學土壤三軸試驗儀器	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：劉盛華

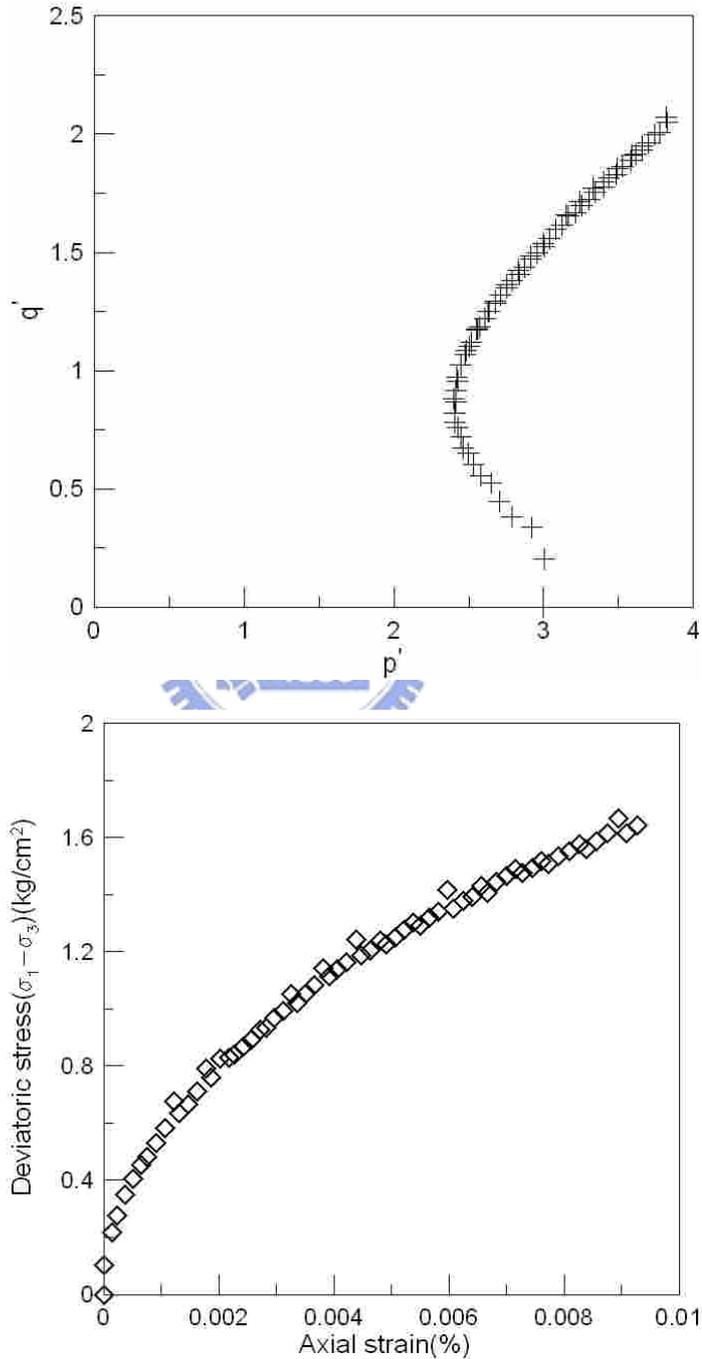


Figure No.	圖 C-23 C-N208 pq 圖，小應變下應力行為
Project.No	梨山崩積層中類併構岩(板岩夾黏土)之力學行為

試驗編號：C-N208	岩層性質：灰色黏土夾灰色板岩	岩塊含量: 4.28%
鑽孔編號：N-2	試驗深度：55.05-55.25m	量測： 軸向應力，應變，孔隙水壓，剪力波速，微應變
控制儀器：交通大學土壤三軸試驗儀器	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：劉盛華

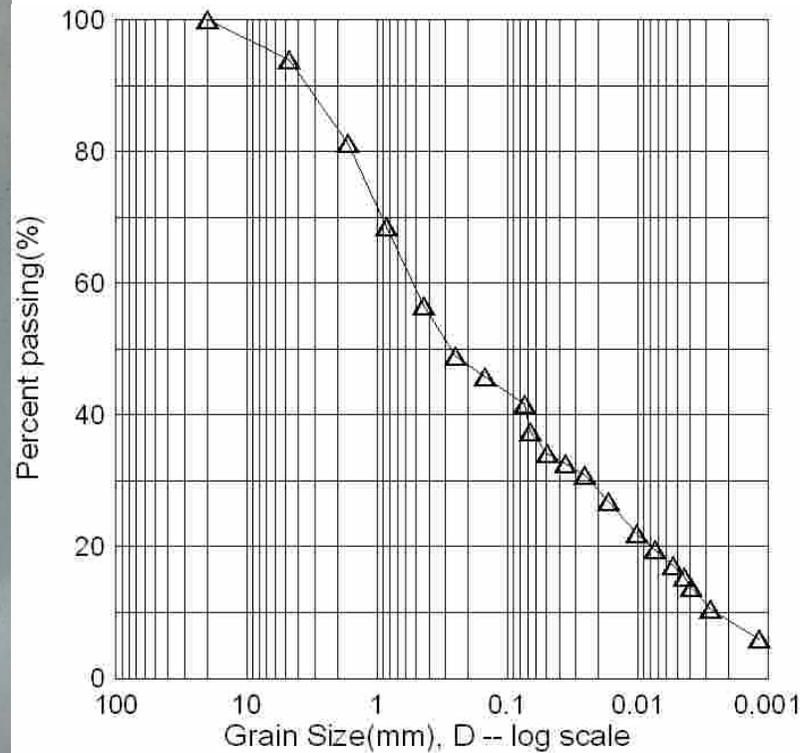


Figure No.	圖 C-24 C-N208 併構岩粒徑分佈曲線與破壞示意圖
Project.No	梨山崩積層中類併構岩(板岩夾黏土)之力學行為

試驗編號：C-N209	岩層性質：灰色黏土夾灰色板岩	岩塊含量: 2.55%
鑽孔編號：N-2	試驗深度：55.25-55.45m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓，剪力波速，微應變
控制儀器：交通大學土壤三軸試驗儀器	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：劉盛華

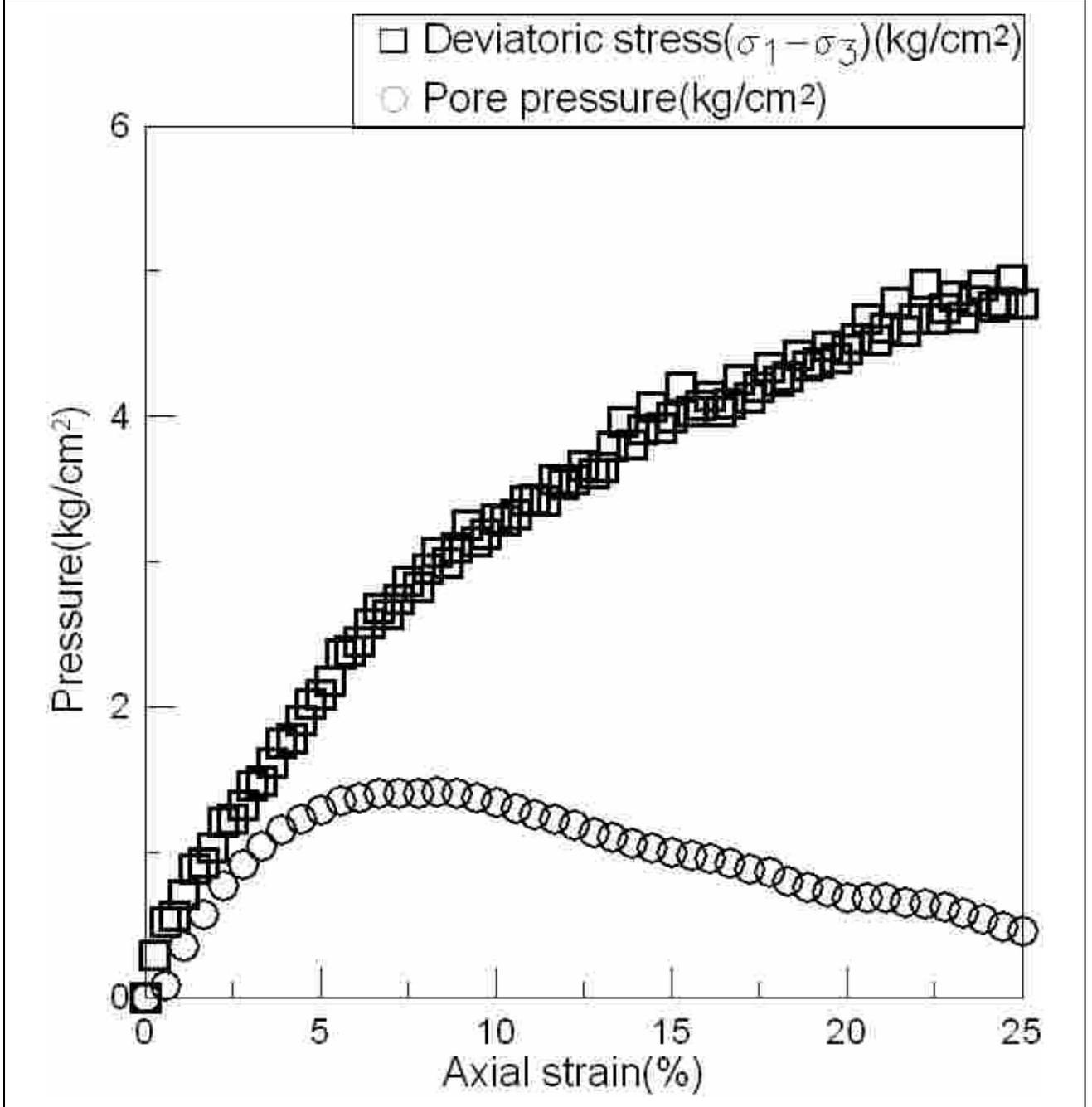


Figure No.	圖 C-25 C-N209 併構岩應力應變曲線，孔隙水壓變化曲線
Project.No	梨山崩積層中類併構岩(板岩夾黏土)之力學行為

試驗編號：C-N209	岩層性質：灰色黏土夾灰色板岩	岩塊含量: 2.55%
鑽孔編號：N-2	試驗深度：55.25-55.45m	量測： 軸向應力，應變，孔隙水壓，剪力波速，微應變
控制儀器：交通大學土壤三軸試驗儀器	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：劉盛華

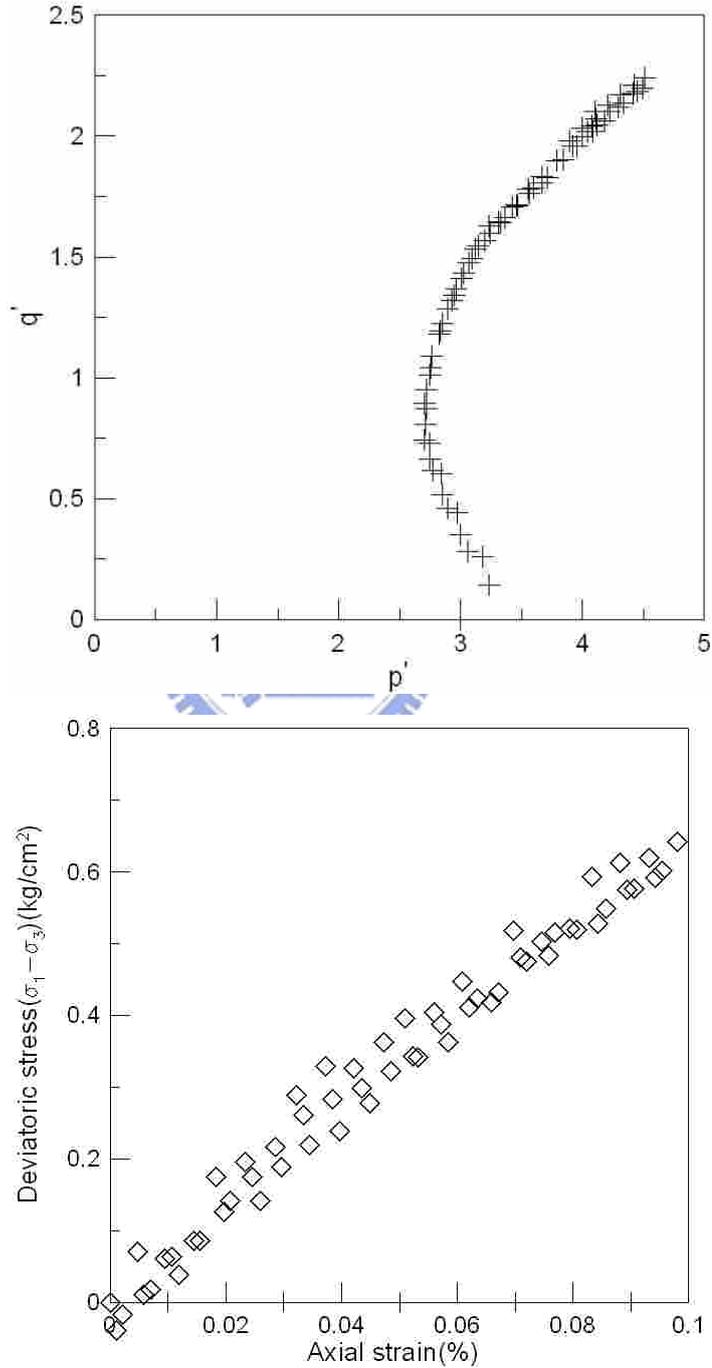
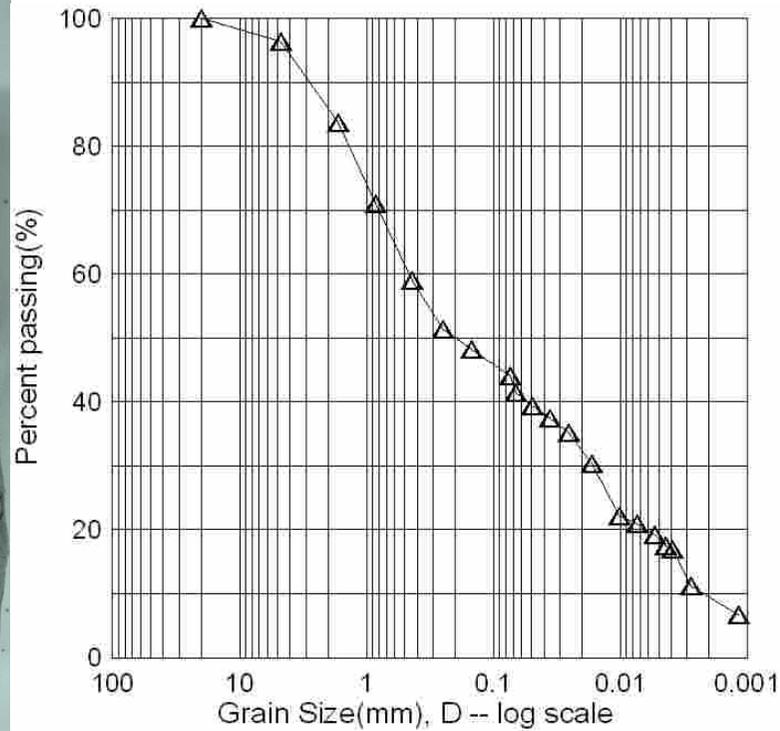


Figure No.	圖 C-26 C-N209 pq 圖，小應變下應力行為
Project.No	梨山崩積層中類併構岩(板岩夾黏土)之力學行為

試驗編號：C-N209	岩層性質：灰色黏土夾灰色板岩	岩塊含量 2.55%
鑽孔編號：N-2	試驗深度：55.25-55.45m	量測： 軸向應力，應變，孔隙水壓，剪力波速，微應變
控制儀器：交通大學土壤三軸試驗儀器	加壓速率：0.003% /sec	試驗者：劉盛華



199

Figure No.	圖 C-27 C-N209 併構岩粒徑分佈曲線與破壞示意圖
Project.No	梨山崩積層中類併構岩(板岩夾黏土)之力學行為

試驗編號：C-N210	岩層性質：灰色黏土夾灰色板岩	岩塊含量：5.03%
鑽孔編號：N-2	試驗深度：55.45-55.65m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓，剪力波速，微應變
控制儀器：交通大學土壤三軸試驗儀器	加壓速率：0.003%/sec	試驗者：劉盛華

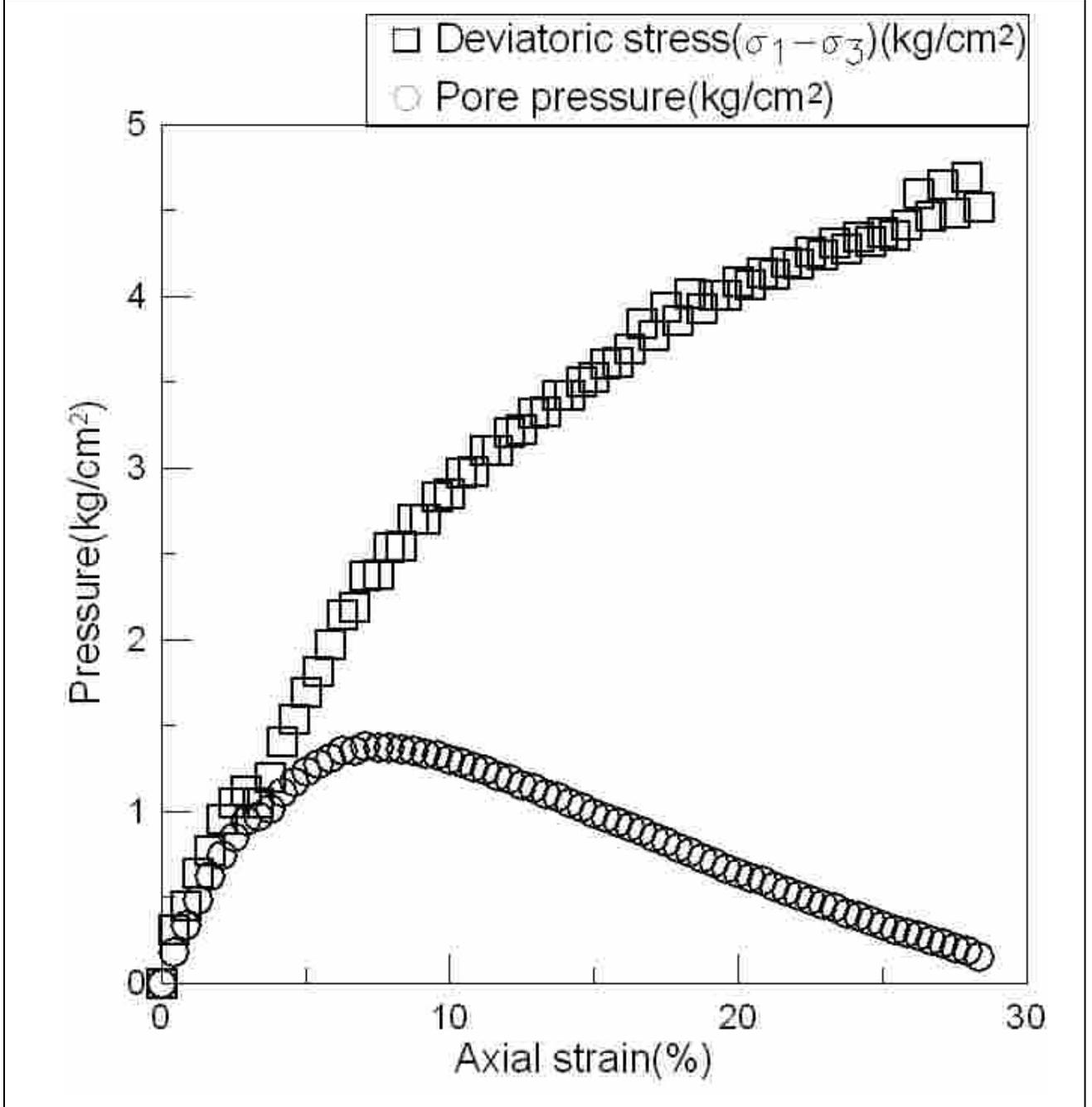


Figure No.	圖 C-28 C-N210 併構岩應力應變曲線，孔隙水壓變化曲線
Project.No	梨山崩積層中類併構岩(板岩夾黏土)之力學行為

試驗編號：C-N210	岩層性質：灰色黏土夾灰色板岩	岩塊含量: 5.03%
鑽孔編號：N-2	試驗深度：55.45-55.65m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓，剪力波速，微應變
控制儀器：交通大學土壤三軸試驗儀器	加壓速率：0.003% /sec	試驗者：劉盛華

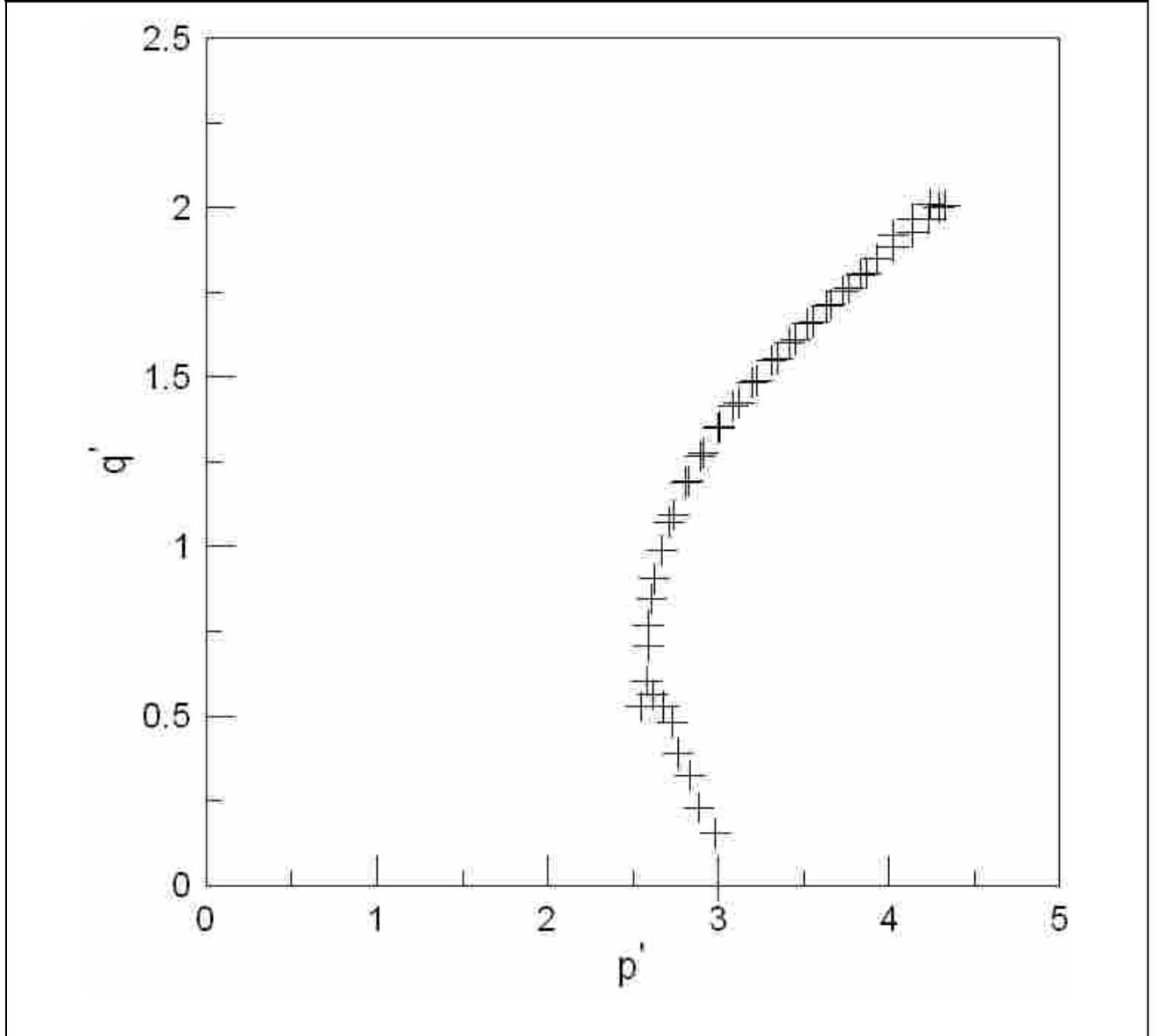
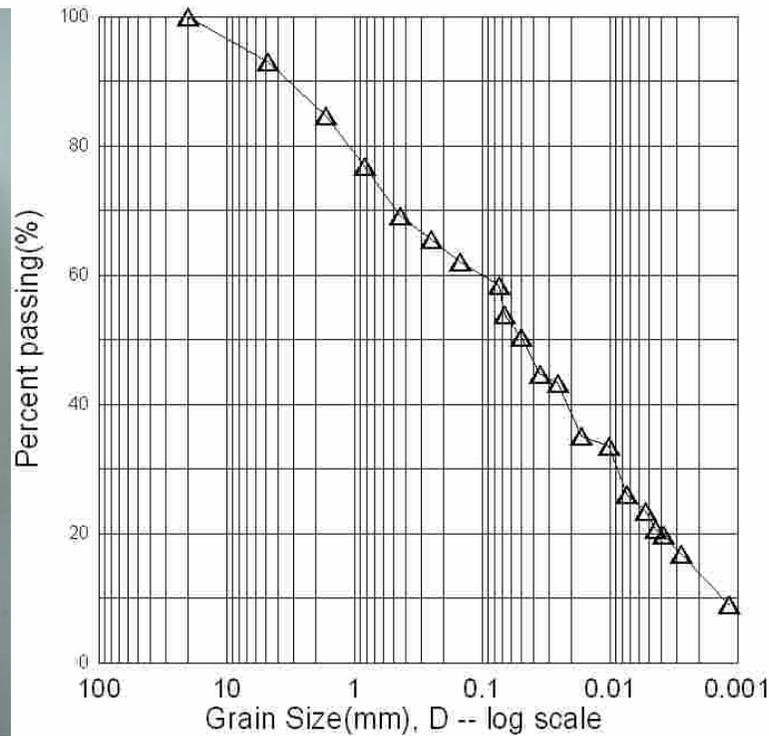


Figure No.	圖 C-29 C-N210 pq 圖
Project.No	梨山崩積層中類併構岩(板岩夾黏土)之力學行為

備註：在試驗過程中，由於量測微小應變量所需之感應鋼片脫落，因此量測失敗，無法得到數據。

試驗編號：C-N210	岩層性質：灰色黏土夾灰色板岩	岩塊含量: 5.03%
鑽孔編號：N-2	試驗深度：55.45-55.65m	量測：軸向應力，應變，孔隙水壓，剪力波速，微應變
控制儀器：交通大學土壤三軸試驗儀器	加壓速率：0.003% /sec	試驗者：劉盛華



202

Figure No.	圖 C-30 C-N210 併構岩岩塊分佈與破壞示意圖
Project.No	梨山崩積層中類併構岩(板岩夾黏土)之力學行為

附錄 D

一般物理性質試驗結果



表 D-1 板岩一般物理性質結果

試驗編號	孔號	取樣深度	含水量(%)	比重	孔隙比
1	N-2	60.0~60.5	0.24	2.75	0.00647
2	N-2	60.0~60.5	0.24	2.77	0.00693
3	N-2	60.0~60.5	0.25	2.76	0.00724
4	N-2	61.0~61.5	0.21	2.77	0.00623
5	N-2	61.0~61.5	0.23	2.76	0.00629
6	N-2	61.0~61.5	0.22	2.77	0.00656
7	N-2	62.0~62.5	0.27	2.75	0.00784
8	N-2	62.0~62.5	0.27	2.76	0.00766
9	N-2	62.0~62.5	0.29	2.74	0.00796

表 D-2 基質土壤一般物力性質試驗結果

試體編號	孔號	深度 (m)	塑性限度 plastic limit, PL (%)	液性限度 liquid limit, LL (%)	塑性指標 plasticity index, PI (%)	土壤分類
C-N201	N-2	55.65-55.85	29.40	40.10	10.70	ML
C-N202	N-2	56.00-56.20	28.03	41.67	13.63	ML
C-N203	N-2	56.17-56.35	28.47	33.80	5.33	ML
C-N204	N-2	57.15-57.35	29.07	43.70	14.63	ML
C-N205	N-2	58.30-58.50	29.90	36.42	6.52	ML
C-N206	N-2	54.5-54.70	28.37	39.60	11.23	ML
C-N207	N-2	54.70-54.90	27.67	37.30	9.63	ML
C-N208	N-2	55.05-55.2	35.27	42.10	6.83	ML
C-N209	N-2	55.25-55.45	29.13	39.60	10.47	ML
C-N210	N-2	55.45-55.65	30.33	44.53	14.20	ML

註：土壤分類方法使用 Casagrande(1948)的塑性圖，ML 為低塑性粉土

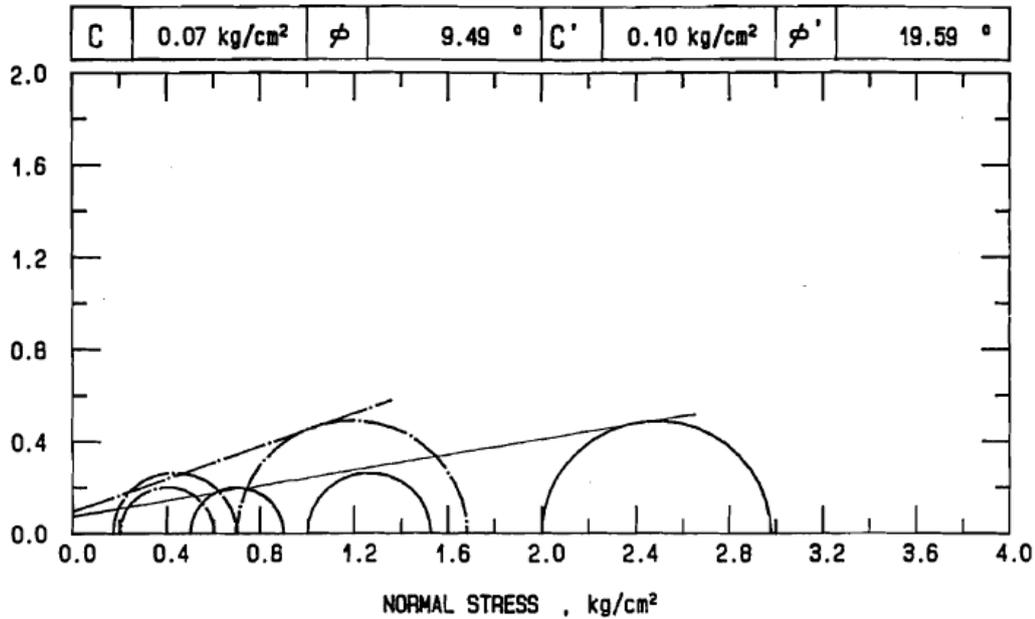
附錄 E

工業技術研究院能資與資源研究所(1993)剪力 試驗與三軸試驗結果曲線圖

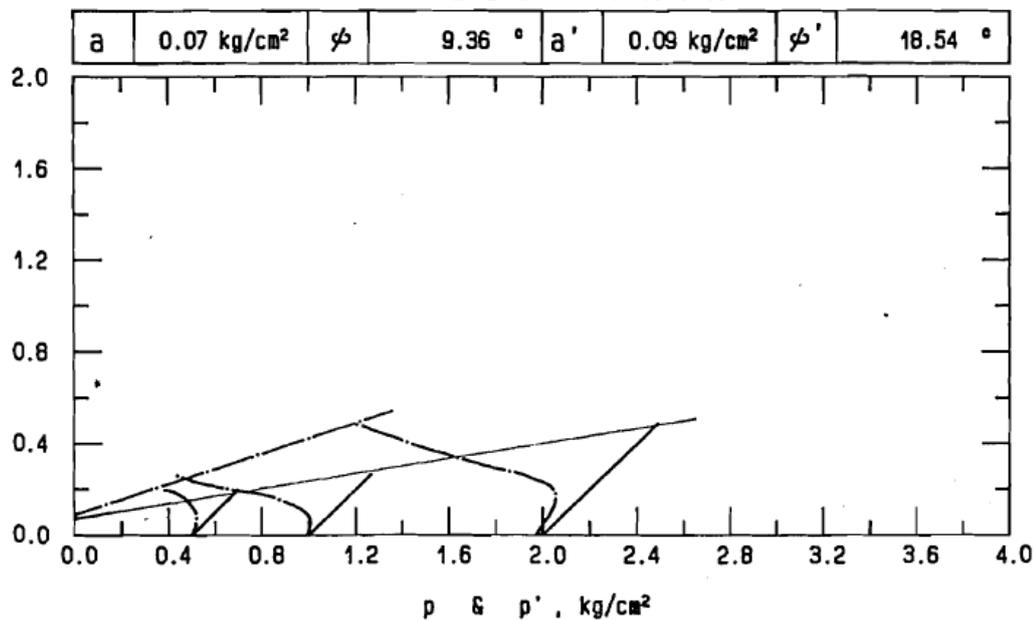


Project No.	4NM2102	Date	1992/1/14	Tested By	CHING-YUEN LEE		
Sampling No.	BH-2	Sample No.	U-1	Classification	SC	Spec. Gravity, G_s	2.64
Name of Soil	粘質砂	LL	30	PI	9	DEPTH	1.10-1.55 m

== MOHR CIRCLES AT FAILURE AND MOHR ENVELOPES ==



== STRESS PATH ==



————— IN TERMS OF TOTAL STRESS

----- IN TERMS OF EFFECTIVE STRESS

	工業技術研究院 能源與資源研究所 Industrial Technology Research Institute Energy & Resources Laboratories	計畫名稱 Project	梨山地區地層滑動調查與整治方案規畫計畫
		圖名 Fig.	

圖 E-1 BH-2(U-1)三軸試驗破壞包絡曲線與 pq 圖

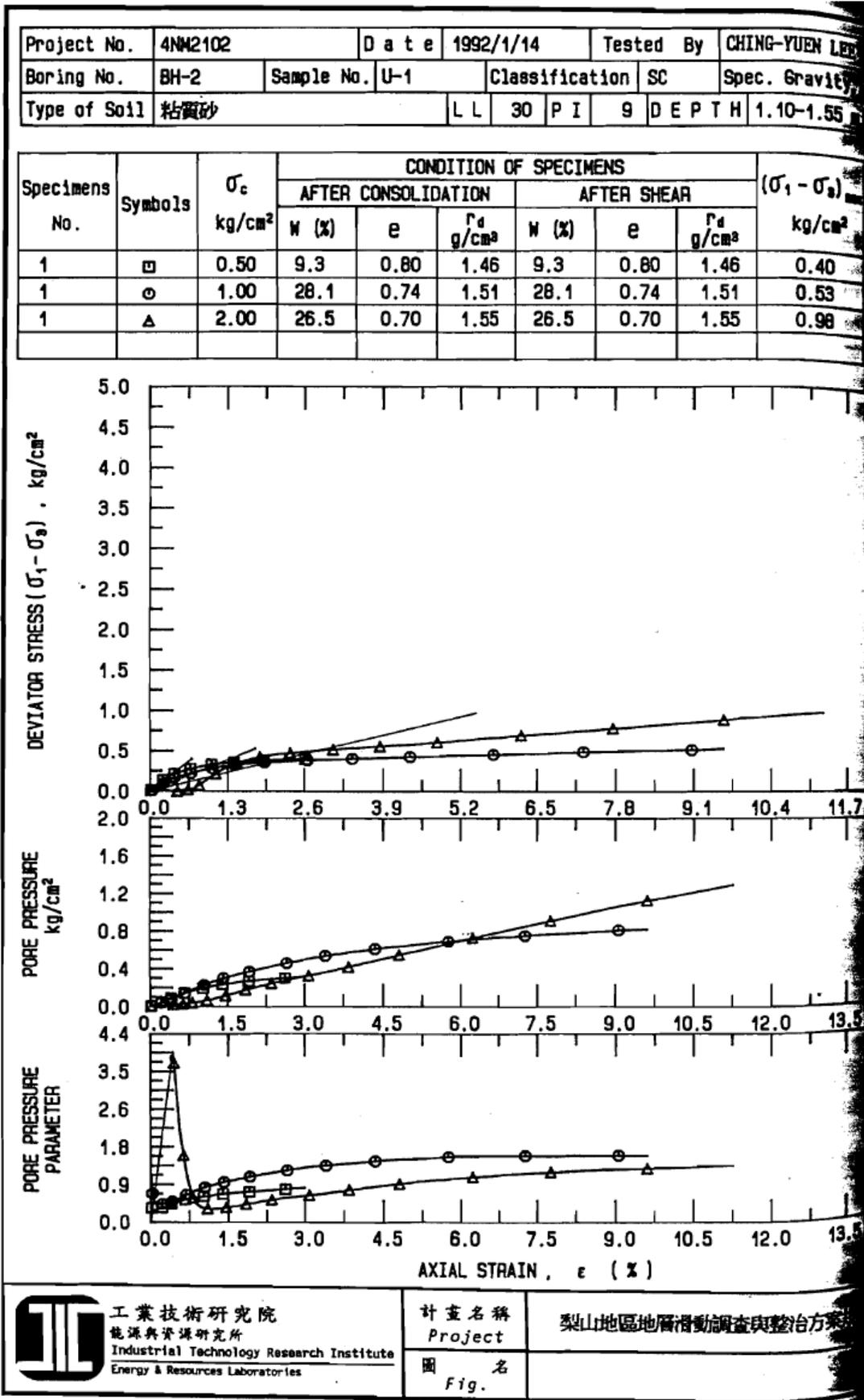
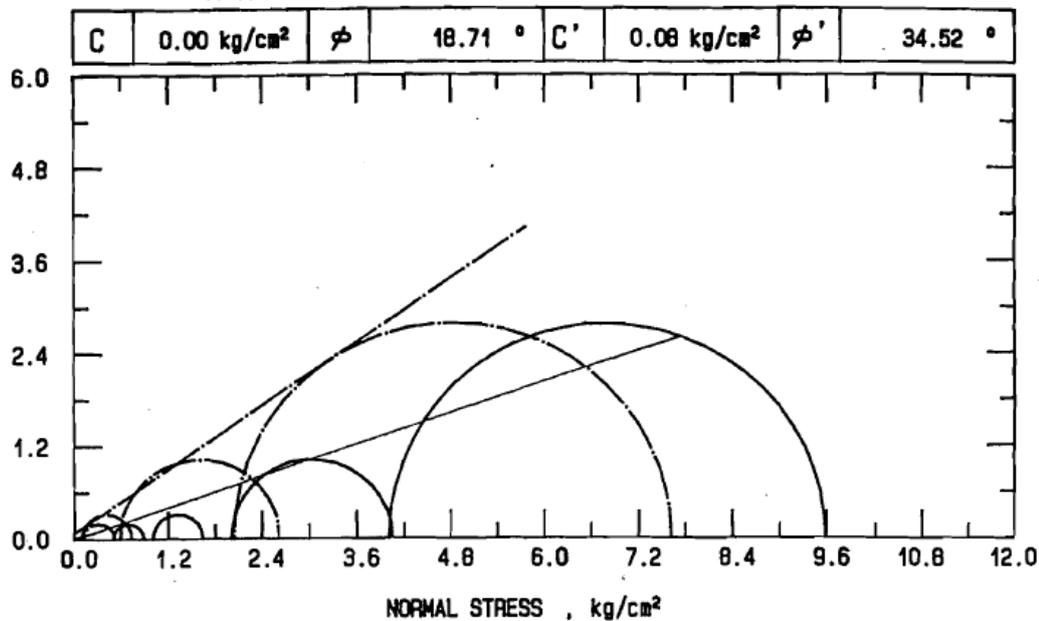


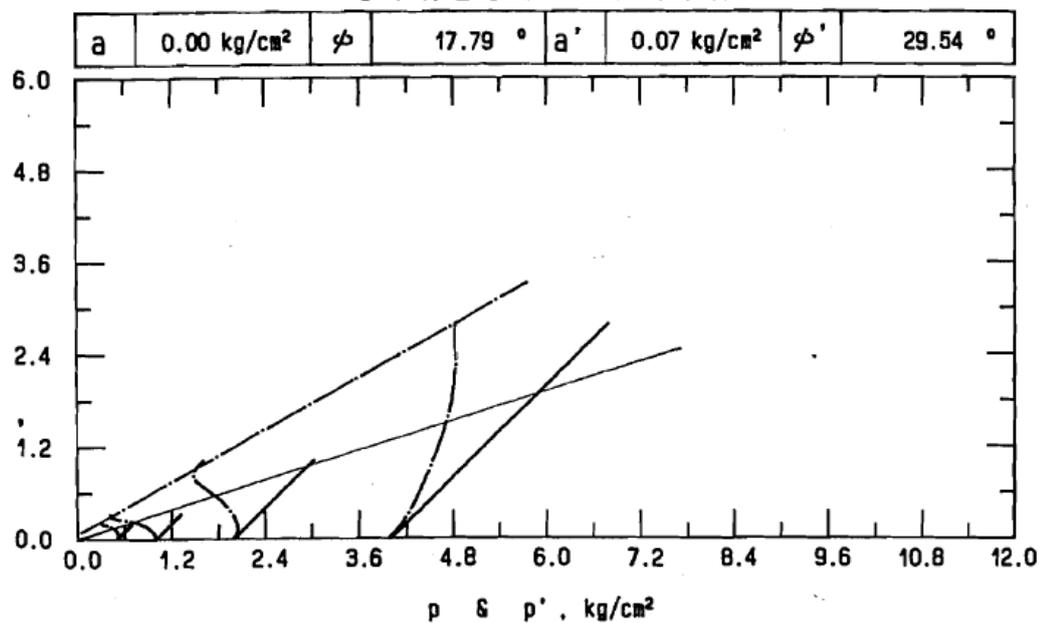
圖 E-2 BH-2(U-1)三軸試驗應力應變曲線與孔隙水壓化曲線

Project No.	4NM2102	Date	1992/1/6	Tested By	CHING-YUEN LEE
Sample No.	BH-3	Sample No.	U-1	Classification	SP-SC
Spec. Gravity	2.75	LL	23	PI	6
DEPTH	1.10-1.55 m				
Soil	不良級配砂含粘土				

== MOHR CIRCLES AT FAILURE AND MOHR ENVELOPES ==



== STRESS PATH ==



————— IN TERMS OF TOTAL STRESS

————— IN TERMS OF EFFECTIVE STRESS

	工業技術研究院 能源與資源研究所 Industrial Technology Research Institute Energy & Resources Laboratories	計畫名稱 Project	梨山地區地層滑動調查與整治方案規畫計畫
		圖名 Fig.	

圖 E-3 BH-3(U-1)三軸試驗破壞包絡曲線與 pq 圖

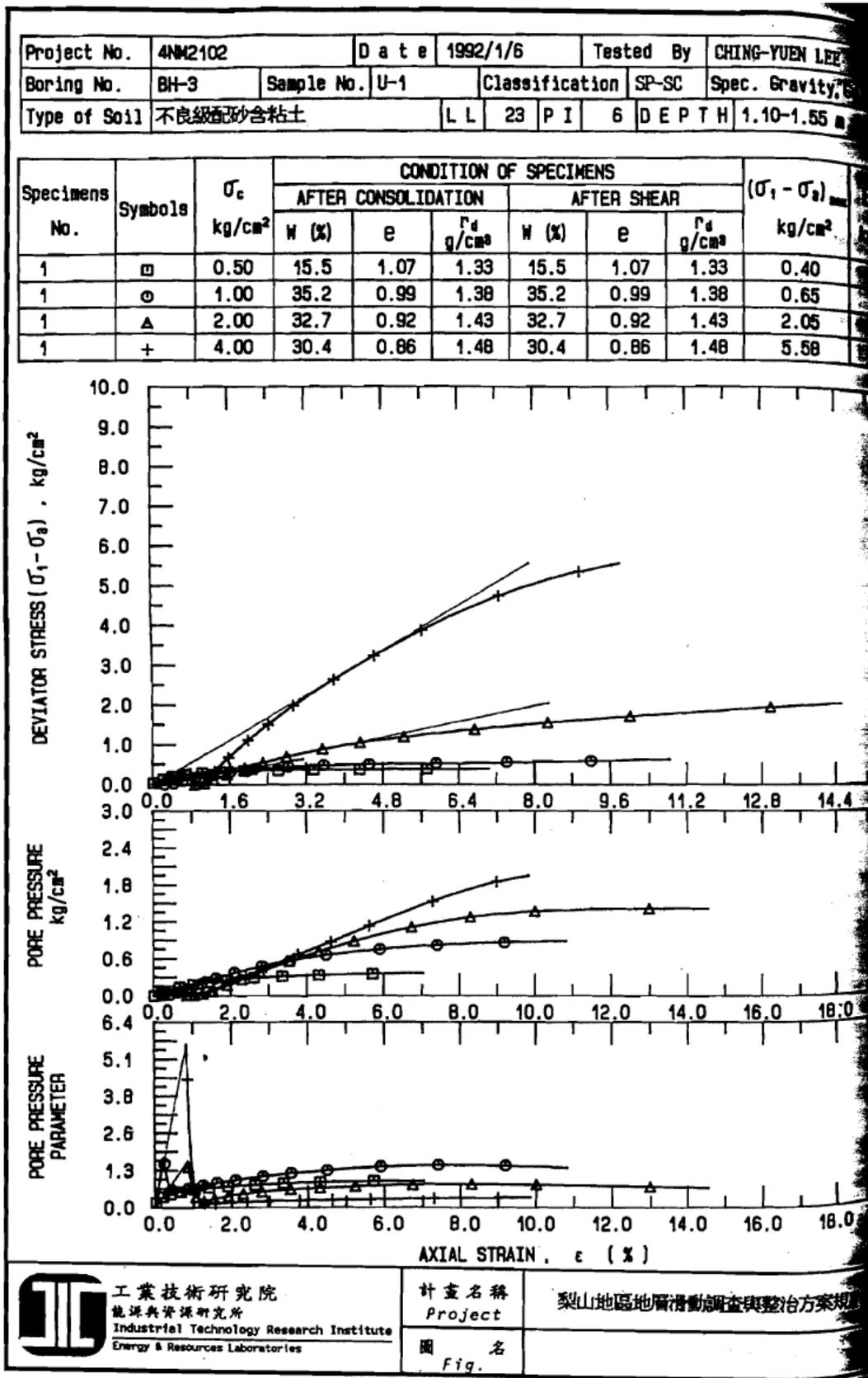
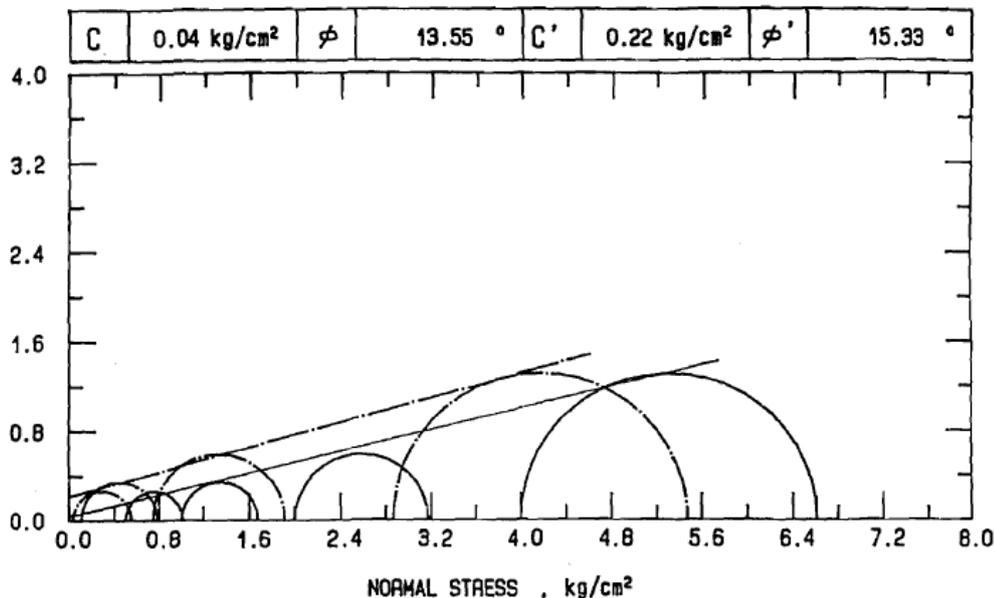


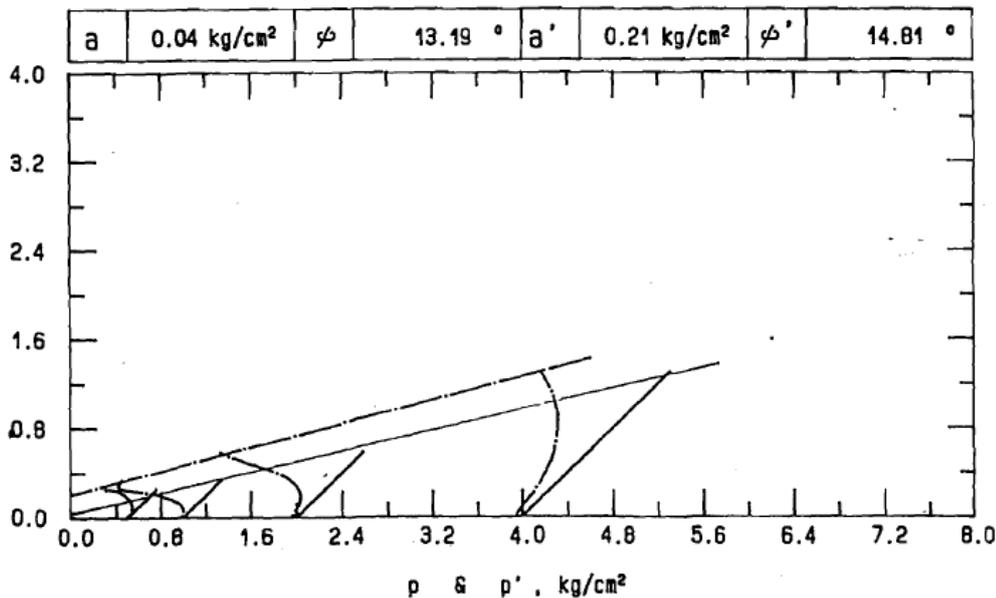
圖 E-4 BH-3(U-1)三軸試驗應力應變曲線與孔隙水壓化曲線

Project No.	4NM2102	Date	1992/1/20	Tested By	CHING-YUEN LEE
Sample No.	BH-3	Sample No.	U-1-1	Classification	SC
Spec. Gravity, Gs	2.74	LL	27	PI	9
Soil	粘質砂	DEPTH	1.10-1.55 m		

== MOHR CIRCLES AT FAILURE AND MOHR ENVELOPES ==



== STRESS PATH ==



————— IN TERMS OF TOTAL STRESS

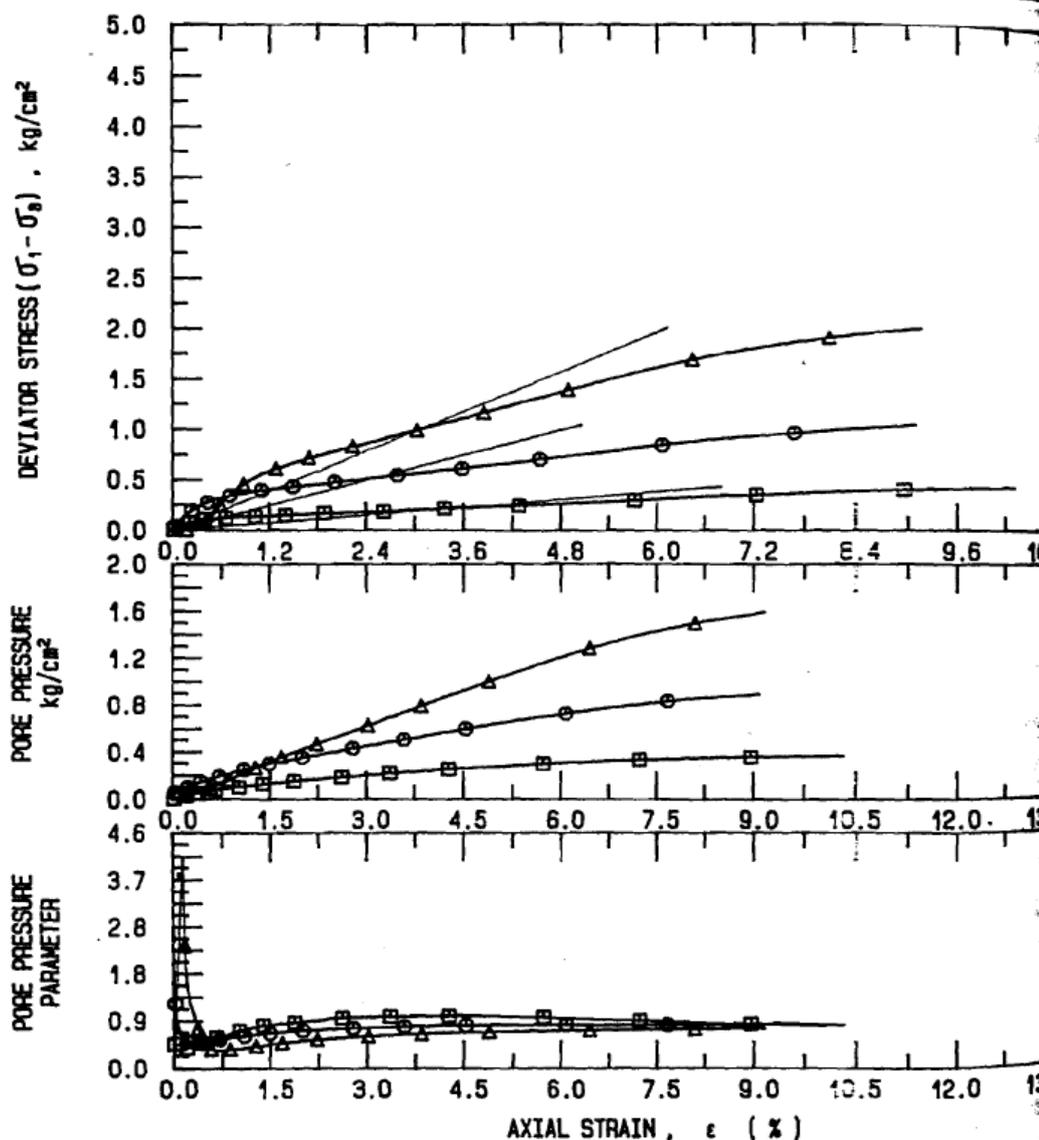
----- IN TERMS OF EFFECTIVE STRESS

 工業技術研究院 能源與資源研究所 Industrial Technology Research Institute Energy & Resources Laboratories	計畫名稱 Project	梨山地區地層滑動調查與整治方案規畫設計書
	圖名 Fig.	

圖 E-5 BH-3(U-1-1)三軸試驗破壞包絡曲線與 pq 圖

Project No.	4NM2102	Date	1992/1/9	Tested By	CHING-YUEN L.
Boring No.	BH-5	Sample No.	U-1	Classification	SP-SM
Type of Soil	不良級砂含粉土	LL	53	PI	17
		DEPTH	1.10-1.50		

Specimens No.	Symbols	σ_c kg/cm ²	CONDITION OF SPECIMENS						$(\sigma_1 - \sigma_3)$ kg/cm ²
			AFTER CONSOLIDATION			AFTER SHEAR			
			W (%)	e	γ_e g/cm ³	W (%)	e	γ_e g/cm ³	
1	□	0.50	13.5	0.99	1.34	13.5	0.99	1.34	0.44
1	○	1.00	34.7	0.92	1.38	34.7	0.92	1.38	1.05
1	△	2.00	33.0	0.88	1.42	33.0	0.88	1.42	2.01

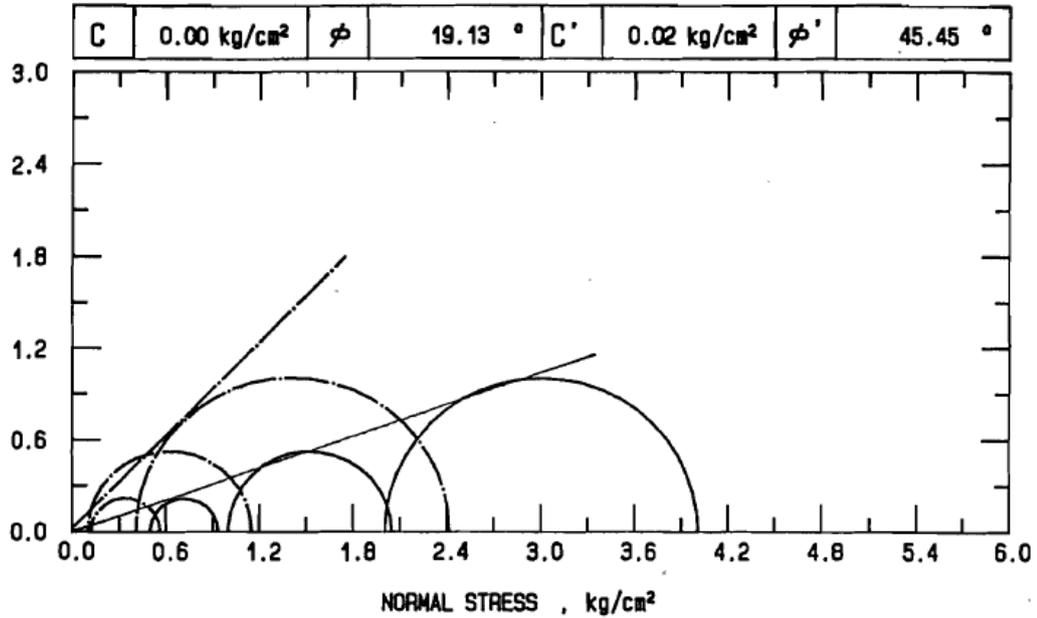


 工業技術研究院 能源與資源研究所 Industrial Technology Research Institute Energy & Resources Laboratories	計畫名稱 Project	梨山地區地震調查與整治方案
	圖名 Fig.	

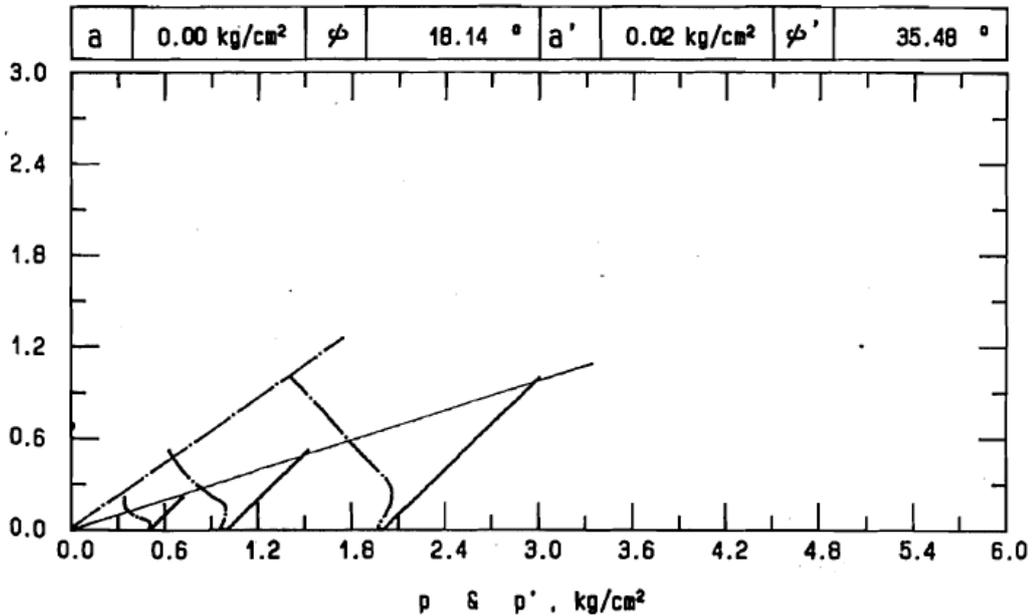
圖 E-6 BH-5(U-1)三軸試驗應力應變曲線與孔隙水壓化曲線

Project No.	4NM2102	Date	1992/1/9	Tested By	CHING-YUEN LEE
Sample No.	BH-5	Sample No.	U-1	Classification	SP-SM
Spec. Gravity, G _s	2.66	LL	53	PI	17
Depth of Soil	不良級砂含粉土	DEPTH	1.10-1.55 m		

== MOHR CIRCLES AT FAILURE AND MOHR ENVELOPES ==



== STRESS PATH ==



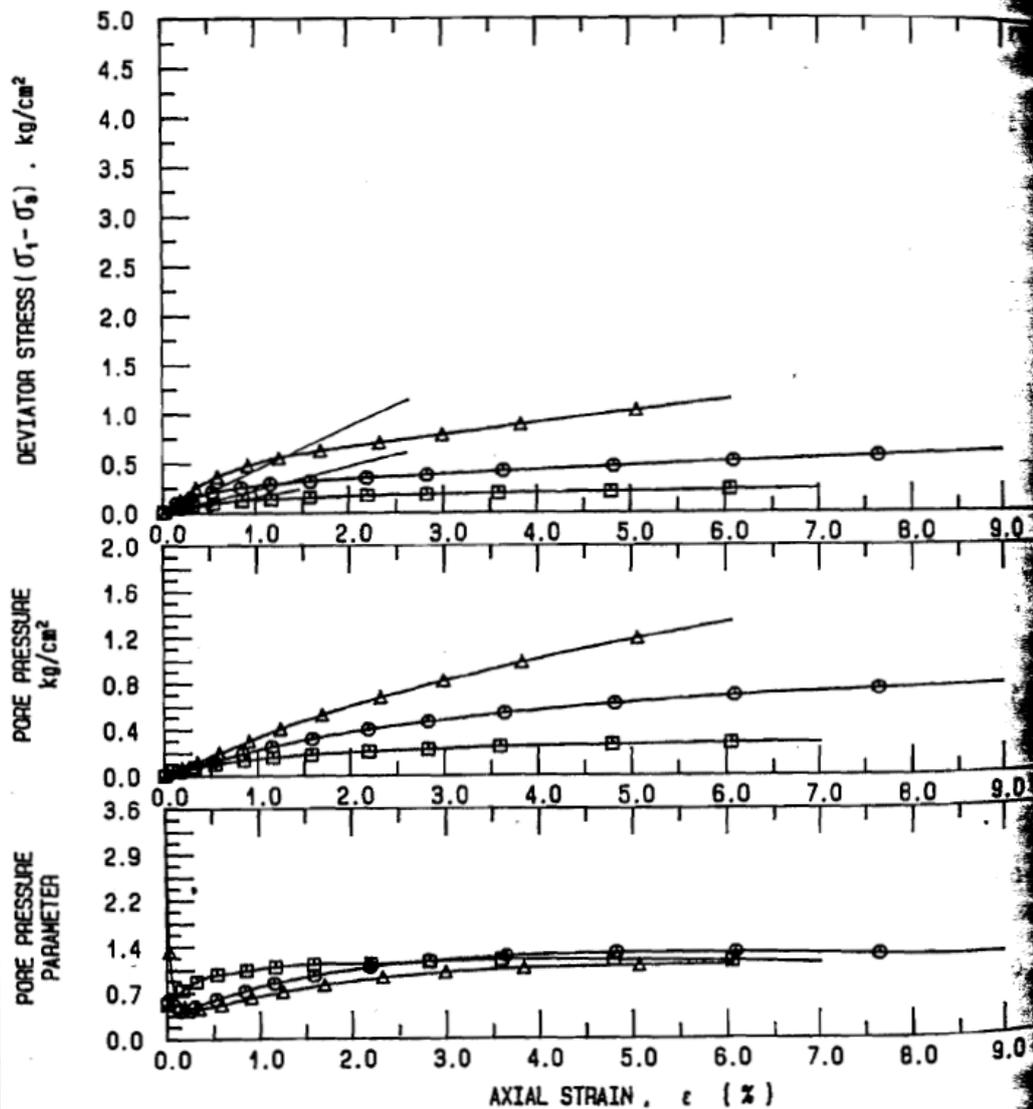
————— IN TERMS OF TOTAL STRESS
----- IN TERMS OF EFFECTIVE STRESS

工業技術研究院 能源與資源研究所 Industrial Technology Research Institute Energy & Resources Laboratories	計畫名稱 Project	梨山地區地層滑動調查與整治方案規畫計畫
	圖名 Fig.	

圖 E-7 BH-5(U-1)三軸試驗破壞包絡曲線與 pq 圖

Project No.	4NM2102	Date	1992/2/10	Tested By	CHING-YUEN LI
Boring No.	BH-5	Sample No.	U-1-1	Classification	SM
Type of Soil	粉質砂	LL	52	PI	19
		DEPTH	1.10-1.55		

Specimens No.	Symbols	σ_c kg/cm ²	CONDITION OF SPECIMENS						$(\sigma_1 - \sigma_3)$ kg/cm ²
			AFTER CONSOLIDATION			AFTER SHEAR			
			W (%)	e	ρ_d g/cm ³	W (%)	e	ρ_d g/cm ³	
1	□	0.50	9.3	0.89	1.42	9.3	0.89	1.42	0.25
1	○	1.00	30.5	0.81	1.47	30.5	0.81	1.47	0.62
1	△	2.00	28.2	0.75	1.52	28.2	0.75	1.52	1.15

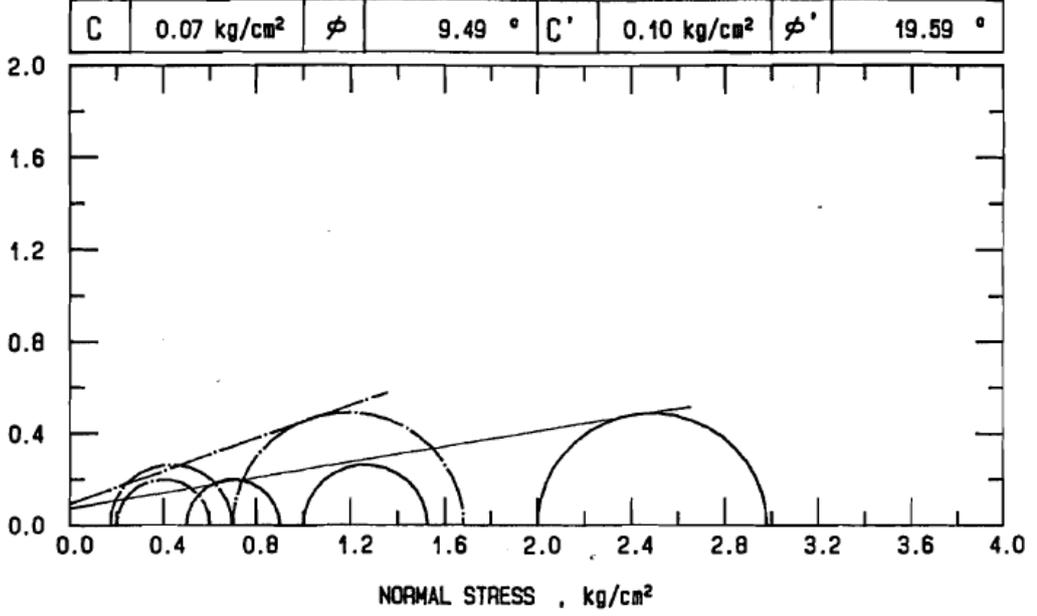


 工業技術研究院 能源與資源研究所 Industrial Technology Research Institute Energy & Resources Laboratories	計畫名稱 Project	梨山地區地層滑動調查與整治方案
	圖名 Fig.	

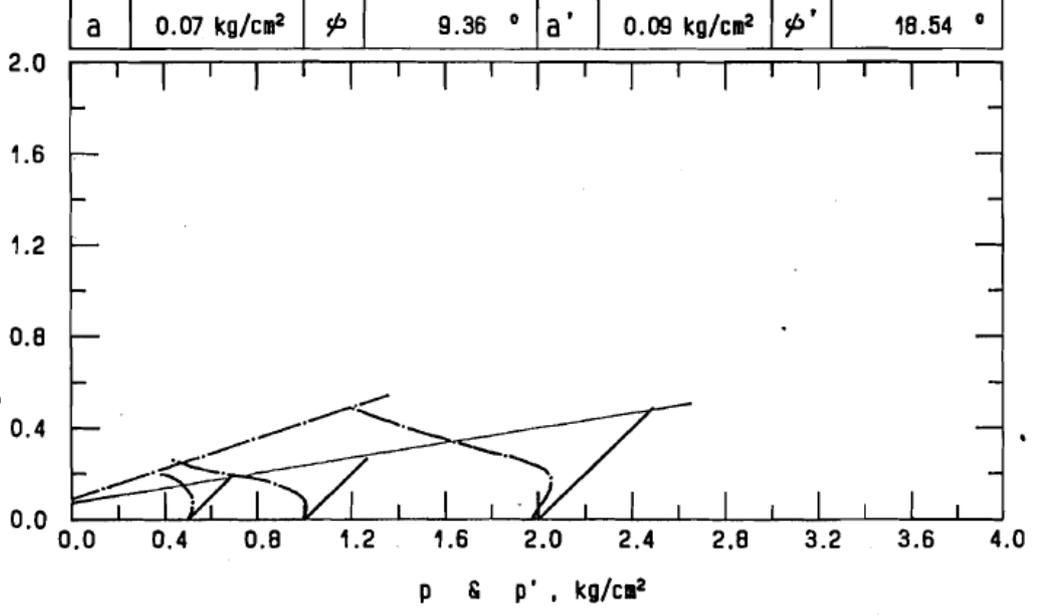
圖 E-8 BH-5(U-1-1)三軸試驗應力應變曲線與孔隙水壓化曲線

Project No.	4NM2102	Date	1992/1/14	Tested By	CHING-YUEN LEE
Sample No.	BH-2	Sample No.	U-1	Classification	SC
Soil	粘質砂	LL	30	PI	9
		DEPTH	1.10-1.55 m		

== MOHR CIRCLES AT FAILURE AND MOHR ENVELOPES ==



== STRESS PATH ==

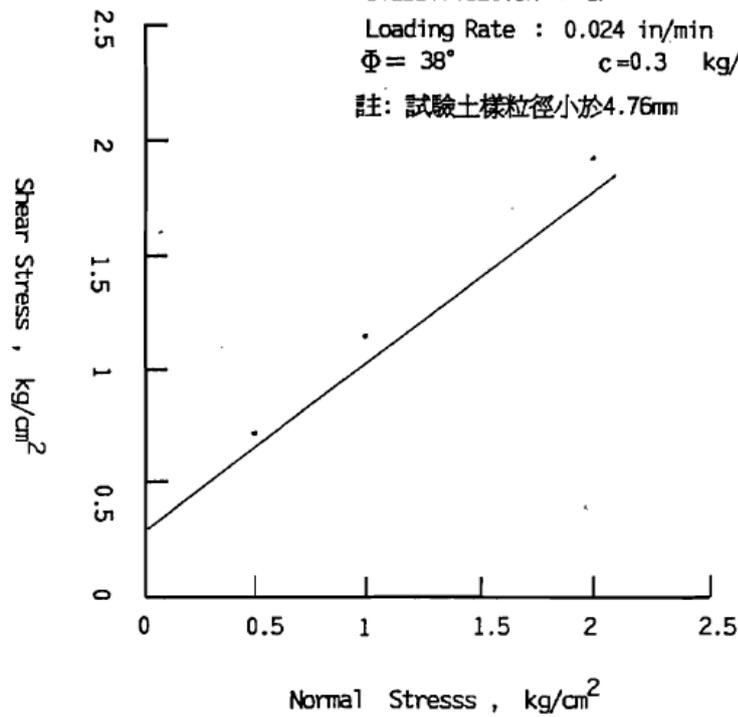


————— IN TERMS OF TOTAL STRESS
----- IN TERMS OF EFFECTIVE STRESS

工業技術研究院 能源與資源研究所 Industrial Technology Research Institute Energy & Resources Laboratories	計畫名稱 Project	梨山地區地層滑動調查與整治方案規劃計畫
	圖名 Fig.	

圖 E-9 BH-2(U-1)三軸試驗破壞包絡曲線與 pq 圖

Hole No. : BH-1
 Sample No. : 1
 Depth : 19.00~20.00 m
 Classification : SP
 Loading Rate : 0.024 in/min
 $\Phi = 38^\circ$ $c = 0.3 \text{ kg/cm}^2$
 註: 試驗土樣粒徑小於4.76mm



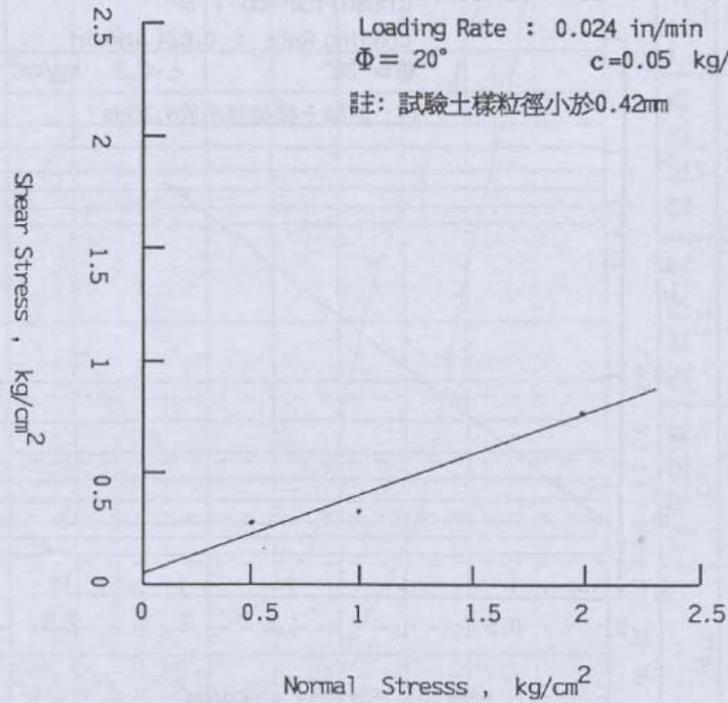
Soil Direct Shear Test , Shear Stress-Normal Stress Curve

試樣編號	正應力 (kg/cm ²)	剪應力 (kg/cm ²)	濕密度 (g/cm ³)	含水量 (%)
1	0.50	0.72	1.89	14.99
2	1.00	1.15	1.90	14.92
3	2.00	1.92	1.94	14.08

 工業技術研究院 能源與資源研究所 Industrial Technology Research Institute Energy & Resources Laboratories Organization	計畫名稱 Project	梨山地區地層滑動調查與整治方案規劃
	圖名 Fig.	土壤直剪試驗

圖 E-10 BH-1 直接剪力試驗破壞包絡曲線

Hole No. : BH-13
 Sample No. : 1
 Depth : 20.00~21.00 m
 Classification : SC
 Loading Rate : 0.024 in/min
 $\Phi = 20^\circ$ $c = 0.05 \text{ kg/cm}^2$
 註: 試驗土樣粒徑小於0.42mm



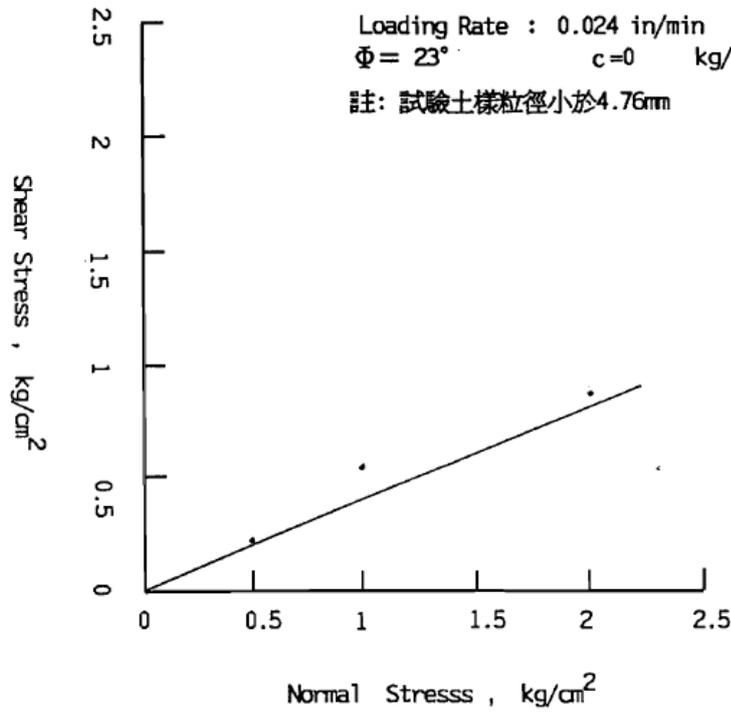
Soil Direct Shear Test , Shear Stress-Normal Stress Curve

試樣編號	正應力 (kg/cm ²)	剪應力 (kg/cm ²)	濕密度 (g/cm ³)	含水量 (%)
1	0.50	0.27	1.77	27.04
2	1.00	0.32	1.79	30.47
3	2.00	0.76	1.84	24.54

 工業技術研究院 能源與資源研究所 Industrial Technology Research Institute Energy & Resources Laboratories Organization	計畫名稱 Project	梨山地區地層滑動調查與整治工程
	圖名 Fig.	土壤直剪試驗

圖 E-11 BH-13 直接剪力試驗破壞包絡曲線

Hole No. : BH-12
 Sample No. : 1
 Depth : 47.00~49.00 m
 Classification : SC
 Loading Rate : 0.024 in/min
 $\phi = 23^\circ$ $c=0$ kg/cm^2
 註: 試驗土樣粒徑小於4.76mm



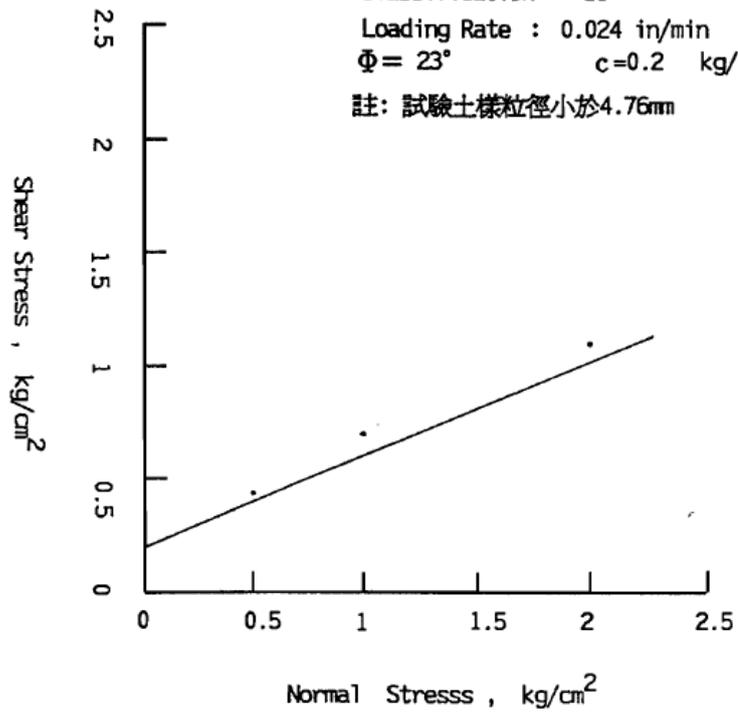
Soil Direct Shear Test , Shear Stress-Normal Stress Curve

試樣 編號	正應力 (kg/cm^2)	剪應力 (kg/cm^2)	濕密度 (g/cm^3)	含水量 (%)
1	0.50	0.22	1.58	18.89
2	1.00	0.55	1.62	16.70
3	2.00	0.87	1.63	16.32

工業技術研究院 能源與資源研究所 Industrial Technology Research Institute Energy & Resources Laboratories Organization	計畫名稱 Project	梨山地區地層滑動調查與整治方案規劃
	圖名 Fig.	土壤直剪試驗

圖 E-12 BH-12 直接剪力試驗破壞包絡曲線

Hole No. : BH-9
 Sample No. : 1
 Depth : 26.00~27.00 m
 Classification : SC
 Loading Rate : 0.024 in/min
 $\Phi = 23^\circ$ $c = 0.2 \text{ kg/cm}^2$
 註: 試驗土樣粒徑小於4.76mm



Soil Direct Shear Test , Shear Stress-Normal Stress Curve

試樣編號	正應力 (kg/cm ²)	剪應力 (kg/cm ²)	濕密度 (g/cm ³)	含水量 (%)
1	0.50	0.43	1.97	19.60
2	1.00	0.70	1.98	19.10
3	2.00	1.08	2.00	17.87



工業技術研究院
 能源與資源研究所
 Industrial Technology Research Institute
 Energy & Resources Laboratories Organization

計畫名稱
 Project

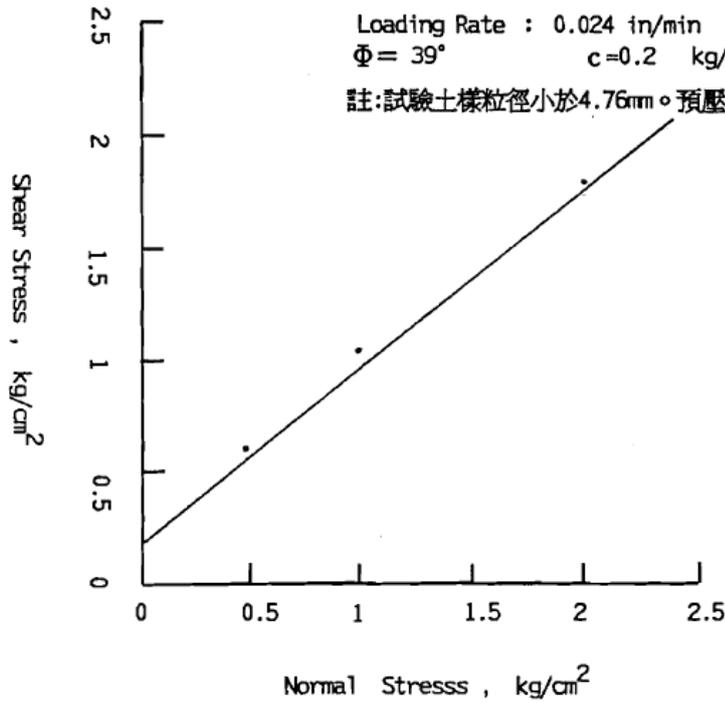
梨山地區地層滑動調查與整

圖名
 Fig.

土壤直剪試驗

圖 E-13 BH-9 直接剪力試驗破壞包絡曲線

Hole No. : BH-3
 Sample No. : 1
 Depth : 18.00~19.50 m
 Classification : SC
 Loading Rate : 0.024 in/min
 $\phi = 39^\circ$ $c = 0.2 \text{ kg/cm}^2$
 註: 試驗土樣粒徑小於4.76mm。預壓 3 kg/cm^2



Soil Direct Shear Test , Shear Stress-Normal Stress Curve

試樣編號	正應力 (kg/cm ²)	剪應力 (kg/cm ²)	濕密度 (g/cm ³)	含水量 (%)
1	0.50	0.62	2.27	12.84
2	1.00	1.09	2.28	13.37
3	2.00	1.80	2.31	12.52

 工業技術研究院 能源與資源研究所 Industrial Technology Research Institute Energy & Resources Laboratories Organization	計畫名稱 Project	梨山地區地層滑動調查與整治方案規劃
	圖名 Fig.	土壤直剪試驗

圖 E-14 BH-3 直接剪力試驗破壞包絡曲線

Hole No. : BH-2

Sample No. : 1

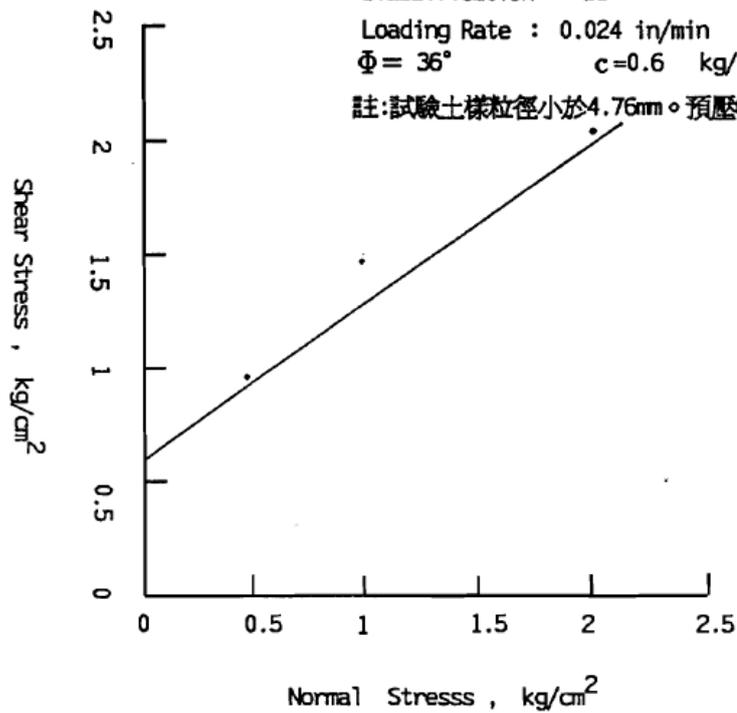
Depth : 38.00~39.00 m

Classification : SC

Loading Rate : 0.024 in/min

$\Phi = 36^\circ$ $c = 0.6 \text{ kg/cm}^2$

註: 試驗土樣粒徑小於4.76mm。預壓6kg/cm²



Soil Direct Shear Test , Shear Stress-Normal Stress Curve

試樣編號	正應力 (kg/cm ²)	剪應力 (kg/cm ²)	濕密度 (g/cm ³)	含水量 (%)
1	0.50	0.94	2.40	12.21
2	1.00	1.48	2.40	13.82
3	2.00	2.05	2.43	13.71



工業技術研究院
 能源與資源研究所
 Industrial Technology Research Institute
 Energy & Resources Laboratories Organization

計畫名稱
Project

梨山地區地層滑動調查與整治

圖名
Fig.

土壤直剪試驗

圖 E-15 BH-2 直接剪力試驗破壞包絡曲線