

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

子計畫：坡地災害中之地質環境特性探討(1/2)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC91-2625-Z-002-021-

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：國立臺灣大學地質科學系暨研究所

計畫主持人：陳宏宇

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 92 年 5 月 21 日

摘要

第二年的研究工作主要是了解金山地區兩湖坑及三和坑地區地質材料的各項工程特性。從調查中可以發現在金山地區兩湖坑岩石含水量的變化並不大，由實驗的結果顯示，熔岩流及凝灰角礫岩的岩體結構應本屬於較為緻密的情況，因受到風化作用的影響，使得其結構變得略為鬆散。由消散耐久試驗的結果顯示其抗風化能力都相當好，黏土礦物含量以依萊石佔絕大部分，其次為膨潤石。由於膨潤石與伊萊石之活性很高，遇水後會產生膨脹現象，因此對坡體之穩定性會有負面影響。兩輝安山岩之熔岩流節理面間夾泥的摩擦角為介於 26° 至 33° 之間，與其基本摩擦角的範圍相似，但又較尖峰摩擦角於飽和狀態時低於 10° 左右。三和坑地區發現有些岩層會被破裂面切割而形成獨立的岩塊，並且沿著破裂面滑動，各不連續面組成之潛在性破壞模式包括平面破壞、楔形破壞或翻倒破壞等三種。現地泥質砂岩在氣乾狀態之尖峰摩擦角介於 30° 至 37° 之間，在含水飽和狀態下這些弱面試體則完全崩壞無法進行試驗。

關鍵詞：熔岩流、凝灰角礫岩、摩擦角、不連續面

Abstract

The aims of the second year research are to comprehend the engineering characteristics in the Lienhuken and Shanherken of Chinshan area. The investigated results of Lienhuken show that the water contents have only little change in the study area. The lava flow and tuffaceous conglomerate have appeared loose state during the weathering process. The slaking test still demonstrates that both of the rock type has very high ability in the anti-weathering condition. The major composition of the clay minerals includes illite and smectite, which will occur the negative effect on the slope stability. The friction angle of the matrix in the lava flow ranges from 26° to 33° . These results are similar with basic frictional angle but less than 10° in comparing the peak frictional angle. The rock basements were cut to individual block by weathering process in Shanherken area. These discontinuities were also formed of potential geometry modes of plane failure, wedge failure and toppling failure. The peak frictional angle of muddy sandstone ranges from 30° to 37° , and the weak plane will totally failure in saturated condition.

Key words: lava flow、tuffaceous conglomerate、friction angle、discontinuities

前言

本研究計畫是以象神颱風於民國 89 年 10 月 31 日在台北縣金山地區三和國小上游之三和坑及兩湖坑等兩個地方發生重大山崩、土石流災害來進行其工程地質特性的探討。第二年的研究工作除了航照調查所顯示的現場的地貌表徵外，還包括了各項地質材料的物理性質及工程性質。

研究目的

本年的研究工作，則是配合第一年的現場調查，進行崩坍坡體之地質材料的自然物理及力學性質的試驗工作以及不連續面構成幾何模狀的穩定分析工作。依照地質材料的組成、地質構造的變化、地貌表徵的特性以及水文地質的條件等各不相同的因子作一通盤性的了解，由於地質環境條件相對整個地質災害的機制探討有著相當大的影響，因此，這些基本資料的調查結果便可提供給其他子計畫進行危險度分析、預警研究以及災害防治等參考。

文獻探討

本研究工作因為包括山崩及土石流的區域，因此在地貌表徵及現場調查的文獻參考上便涵蓋了歐菲莉颱風在銅門，以及賀伯颱風在和社造成土石流機制的資料（Chen et al., 1999；Chen, 2000；Chen and Su, 2001；Chen et al., 2001）。相對兩個區域的不連續面的調查則參考了 Leonards, G. A. (1982)，Sekula, J. (1982)，以及 Priest, S. D. (1992) 等學著們的方法。在岩石或土壤地質材料的分析中則包括了邊坡的分析方法 (Garham, 1984；Bromhead, 1986；Selby, 1987)。估算落石的文獻大抵是以 Hencher (1987) 以及 Chen et al. (1994) 為主。

研究方法

本研究使用桌上型立體鏡，將傳統航空照片及小型飛機的低空照相圖，以立體觀查的方式進行航照判釋。收集的資料包括民國 68 年、民國 75 年、民國 83 年（災害發生前）以及民國 90 年小型飛機在災後所拍攝之低空照相圖。本研究工作以三種不同的代號來註明發生變化的位置並配合文字說明。其中 G01、G02、G03... 等代號用來代表侵蝕溝 (Gully) 的發育情形。L01、L02、L03... 等代號用來代表崩塌地 (Landslide) 的位置。R01、R02、R03... 等代號用來標示河道 (River) 變化的情形，而農田和道路等人造設施 (Artificial feature) 的開發狀況則以 A01、A02、A03... 等代號來表示。本研究並利用土石流發生前農林航空測量所出版的航照基本圖來繪製災前及災後兩者之地形剖面圖，並予以重疊比對，也即利用災害前與災害後不同的地形剖面相互比較對照，來求得溝谷沿線侵蝕與堆積的變化情形，並作為土石方量計算之參考。而繪製剖面圖的方式是沿著本研究區之溝谷從高程 425 公尺到下游 50 公尺處，每隔 25 公尺為一間距，逐一繪製垂直河道之剖面資料。

另外針對地質材料進行自然物理性質及工程性質的試驗，這些試驗都依照 ASTM 的規範逐一來進行。

結果與討論

就民國 68 年、民國 75 年及民國 83 年等三個時期的航照判釋結果可以發現，本研究區除了道路的開發有較明顯的差異外，主要之崩塌地、侵蝕溝或河道等的變化並不大。上述結果表示自民國 68 年至民國 89 年土石流發生前的二十年間，研究區域的地貌表徵幾乎沒有任何的變化。

在金山地區兩湖坑之各項岩石自然物理性質試驗結果列於表一中。由上述的結果可知，雖然凝灰角礫岩含水量的平均值 2.76% 較熔岩流的含水量 1.96% 高，但總體而言，本研究區岩石含水量的變化並不大。在孔隙率方面，熔岩流孔隙率的平均值 7.20% 較凝灰角礫岩孔隙率的 5.46% 高。在單位重方面，熔岩流的平均值 2.71g/cm^3 雖然較凝灰角礫岩的 2.58g/cm^3 低，但由於兩者皆為火成岩體，其岩體結構應本屬於較為緻密的情況，但由實驗的結果顯示，兩者的岩材可能都已受到風化作用的影響，使得其結構變得略為鬆散。

另外，由消散耐久試驗的結果顯示（表二），兩者的消散耐久性在 Gamble (1971) 的分類標準中，皆屬於中高 (Medium high) 至高的範圍，表示其抗風化能力都相當好 (high)，其中以熔岩流的耐久性稍低，此意義顯示其抗風化能力可能未較凝灰角礫岩好，但也可能是由於樣品本身已受輕微之風化作用所致，使得原本屬於“非常高”的分類等級而驟降至“高”的範圍。兩輝安山岩之熔岩流的基本摩擦角為介於 25.69° 至 28.04° 之間，平均值為 27.08° 。在乾燥狀態下，其尖

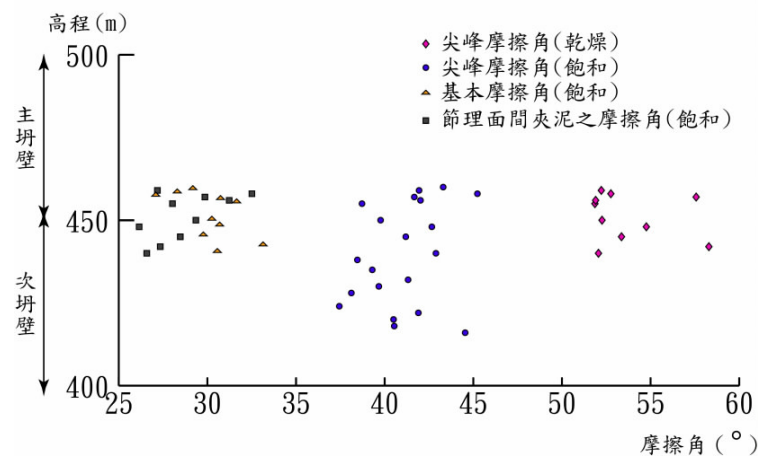
峰摩擦角為介於 50.17° 至 54.78° 之間，平均值為 52.92° 。在飽和狀態下，為介於 37.63° 至 44.31° 之間，平均值為 41.06° 。由上述結果可知，尖峰摩擦角在飽和狀態時較乾燥狀態時低 10° ，顯示岩體於有水的作用下更容易弱化其力學強度 (Mshana, 1993)。另外，兩輝安山岩之熔岩流節理面間夾泥的摩擦角為介於 26.15° 至 32.51° 之間，與其基本摩擦角的範圍相似，但又較尖峰摩擦角於飽和狀態時的結果更低，大約亦是低於 10° 左右，各相對關係如圖一所示。

表一 岩石自然物理試驗結果

地質材料	含水量(%)	孔隙率(%)	乾單位重 (g/cm^3)	飽和單位重 (g/cm^3)	消散耐久第一循環指數 Id_1 (%)
熔岩流	1.88-2.04 (1.96 ± 0.11)	5.79-9.12 (7.20 ± 1.40)	2.53-2.62 (2.58 ± 0.06)	2.66-2.68 (2.67 ± 0.01)	0.91-0.93 (0.92 ± 0.01)
凝灰角礫岩	2.09-3.46 (2.76 ± 0.55)	3.16-7.63 (5.46 ± 1.73)	2.49-3.02 (2.71 ± 0.16)	2.56-3.06 (2.78 ± 0.15)	0.93-0.98 (0.95 ± 0.02)

表二 消散耐久試驗分級表 (摘錄自 Gamble, 1971)

等級	非常低 Very Low	低 Low	中等 Medium	中等高 Medium High	高 High	非常高 Very High
第二循環指數 (Id_2)	0-30	30-60	60-85	85-95	95-98	98-100



圖一 各不同

直接剪力試驗結果


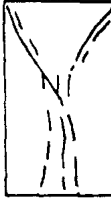

單軸壓力試驗結果顯示(表三),單壓強度大約介於 265.19MPa 至 311.31MPa 之間,為屬於極強岩的範圍,彈性模數為 7052.93MPa 至 7182.51MPa 之間,包松比約為 0.5 。而本試驗之單壓破壞模式與 Hawkes & Mellor (1970) 所列舉之垂直劈裂破壞模式相同(表四)。從黏土礦物的半定量分析結果顯示,本研究區主要的黏土礦物含量以依萊石 (Illite) 的含量佔絕大部分,其百分比介於 68.02% 至 98.35% 之間,其次則為膨潤石 (Smectite),含量介於 4.65% 至 31.98% 之間,而高嶺土 (Kaolinite) 與綠泥石 (Chlorite) 兩者並未於試驗中發現。由於膨潤石與伊萊石之活性很高,而且都大於 0.5 以上 (Mitchell, 1976),此意義顯示兩者遇水後會產生膨脹現象,因此其對坡體之穩定性會有負面影響。

表三 單壓試驗結果與各參數計算結果

單壓強度 (MPa)	彈性模數 (MPa)	包松比
------------	------------	-----

試驗結果	265.19-311.31 (292.76±24.34)	7052.93-7182.51 (7125.34±66.12)	0.49-0.5 (0.49±0.01)
------	---------------------------------	------------------------------------	-------------------------

表四 岩石單壓破壞模式 (Hawkes & Mellor, 1970)

破壞模式 破壞特性	垂直劈裂破壞 (axial failure)	剪裂破壞 (shear failure)	破裂破壞 (cataclasis failure)
單壓強度 (kg/cm ²)	500~1780	340~1780	小於 340
破壞 模 式			

在金山地區三和坑的源頭崩塌地是位於熔岩流與凝灰角礫岩的交接處，崩塌崖壁上段的岩質為兩輝安山岩之熔岩流，與下段岩質為兩輝安山岩之凝灰角礫岩成一不整合接觸。介於此兩種不同產狀間之不整合面的位態為 N70°E/15°S。熔岩流的岩質堅硬，受風化作用影響較小，但由於流紋狀岩理（位態為 N6°E/15°S）與兩組近乎垂直（位態分別為 N71°E/75°S 及 N75°E/82°N）的節理，形成潛在性的落石破裂模狀。

中游流動部溝谷沿線岩層露頭所佔的比例不到 15%，其餘則為大小不同之岩塊及泥、砂形成之堆積層分布其中。下游堆積部在環湖二號橋西側 100 公尺處有中新世南莊層的泥質砂岩出露其間，岩層的走向為北偏東 35°至 50°之間，向北傾斜約 52°，與兩組節理 N85°E/60°S 及 N10°E/63°N 形成潛在性平面破壞及楔形破壞的模狀。岩石露頭 R01 至 R06 為泥質砂岩出露，R07 至 R13 均為凝灰角礫岩產狀的岩石邊坡露頭，凝灰角礫岩為基質支撐的材料，雖然沒有節理面存在，但是現地觀察露頭的結果，可發現有些岩層會被破裂面切割而形成獨立的岩塊，並且沿著破裂面滑動。R14 及 R15 為分布於源頭崩塌地上段的兩輝安山岩質的熔岩流露頭。R04 至 R11 分布於河道兩岸位於中游流動部，R12 至 R15 則位於發生部的源頭崩塌地。

本研究將現場所量測之層面及節理面等弱面位態與坡面位態以投影圖表示，並藉由不連續面與坡面所構織成的幾何模狀，來判定坡體可能發生的破壞模式，本研究所考慮的潛在性破壞模式包括平面破壞、楔形破壞或翻倒破壞等三種。

本研究區之堆積材料組成以粒徑大於 2" (50.8mm) 的礫石為主。依據 USGS 統一土壤分類顯示，均屬於不良級配之含礫石粗粒土壤 (GP)。上游安山岩質的熔岩流之現地含水量約為 0.36%，單位重約為 2.75 t/m³，比重約為 2.74，空隙比約為 0.04，孔隙率為介於 3.67%至 3.94%之間，飽和度為介於 24.39%至 26.26%之間。

中游之安山岩質的凝灰角礫岩之現地含水量為介於 1.09%至 2.61%之間，單位重為介於 2.37 t/m³至 2.81 t/m³之間，比重為介於 2.32 至 2.74 之間，空隙比為介於 0.05 至 0.1 之間，孔隙率為介於 4.45%至 9.41%之間，飽和度為介於 39.75%至 76.25%之間。

下游泥質砂岩之現地含水量為介於 3.32%至 12.5%之間，單位重為介於 2.16 t/m³至 2.51 t/m³之間，比重為介於 1.90 至 2.41 之間，空隙比為介於 0.15 至 0.57

之間，孔隙率為介於 13.31% 至 36.44% 之間，飽和度為介於 31.50% 至 65.12% 之間。而力學試驗結果可發現，當最大粒徑 (Dmax) 為 0.5"，在氣乾與飽和狀態下的摩擦角分別為 37.3° 及 29.2°，其凝聚力均為 0。當最大粒徑為 3/8"，在氣乾與飽和狀態下的摩擦角分別為 36.2° 及 27.9°，凝聚力均為 0。若以下游區溝谷堆積物即明坑 Dp03 所採集之樣品為模擬之地質材料，其試驗結果顯示，最大粒徑 (Dmax) 為 0.5"，在氣乾狀態下的摩擦角為 39.4°，凝聚力為 0.01kg/cm²，飽和狀態下的摩擦角則為 28.9°，凝聚力為 0.04kg/cm²。當最大粒徑為 3/8"，在氣乾狀態下的摩擦角為 37.6°，凝聚力為 0.01kg/cm²，飽和狀態下的摩擦角則為 29.7°，凝聚力為 0.02kg/cm²。

上述試驗結果發現，在氣乾狀態的摩擦角高於飽和狀態下的摩擦角，差值介於 6° 至 10° 之間。若在相同的含水狀態下，選用不同的粒徑來加以比較，不論在氣乾狀態或飽和狀態時，粒徑的改變對本試驗結果的影響較小。

表五 堆積地質材料之直接剪力試驗結果

試體編號	最大粒徑 Dmax	含水狀況	凝聚力 c (kg/cm ²)	摩擦角 ø (°)
中游區 Mp02	0.5"	氣乾	0	37.3
		飽和	0	29.2
	3/8"	氣乾	0	36.2
		飽和	0	27.9
下游區 Dp03	0.5"	氣乾	0.013	39.4
		飽和	0.042	28.9
	3/8"	氣乾	0.014	37.6
		飽和	0.015	29.7

表五顯示，Dmax 為 0.5" 的摩擦角大致上比 Dmax 為 3/8" 的摩擦角稍大。試驗結果顯示，安山岩質之熔岩流在氣乾狀態下的尖峰摩擦角介於 34.17° 至 49.41° 之間，平均值為 42.22°，飽和狀態下介於 23.24° 至 38° 之間。另外一個實驗結果顯示，泥質砂岩在氣乾狀態之尖峰摩擦角介於 30.21° 至 36.54° 之間，平均值為 33.85°，在含水飽和狀態下這些弱面試體則完全崩壞無法進行試驗（如表六所示）。

表六 岩石邊坡材料之直接剪力試驗結果

岩石邊坡		氣乾狀態		飽和狀態		剪力強度 差異(°)
編號	岩層	c (kg/cm ²)	ø(°)	c (kg/cm ²)	ø(°)	
R01	泥質砂岩	0.13	34.17	×	×	-
R02	泥質砂岩	0.1	34.27	×	×	-
R03	泥質砂岩	0.07	35.25	×	×	-
R04	泥質砂岩	0.2	30.21	×	×	-
R05	泥質砂岩	0	32.63	×	×	-
R06	泥質砂岩	0	36.54	×	×	-
R07	凝灰角礫岩	-	-	0.7	31.5	-
R08	凝灰角礫岩	-	-	0.7	31.5	-
R09	凝灰角礫岩	-	-	0.7	31.5	-

R10	凝灰角礫岩	-	-	0.7	31.5	-
R11	凝灰角礫岩	-	-	0.7	31.5	-
R12	凝灰角礫岩	-	-	0.7	31.5	-
R13	凝灰角礫岩	-	-	0.7	31.5	-
R14-1	熔岩流	0	48.22	0.25	37.11	11.11
R14-2	熔岩流	0	49.41	0.36	38	11.41
R15-1	熔岩流	0	34.17	0.41	23.24	10.93
R15-2	熔岩流	0.21	37.08	0.16	32.5	4.58

×：代表浸水完全崩壞

(R07~R13 摘錄自徐國輝,1998)

計畫成果自評

第一年的現場調查結果與第二年的工程性質研究結果，提供了相當有幫助的分析資料，尤其在北部與過去在中部不同的岩性地區，似乎有相當不同的地貌特性以及地質材料的性質。目前由於整個研究進度配合相當適當，因此現場調查及試驗室試驗得到的成果都足以提供給這個階段工作或其他子計畫的參考。

可供推廣之研發成果資料表

依照目前順暢的進度而言，在本年度即將結束的各項調查結果都可提供參考。這些資料包括地貌圖，坡面圖，不連續面分布圖，地質材料自然物理性質，以及地質材料工程性質。