

第七屆旺宏科學獎

成果報告書

參賽編號：SA7-243

作品名稱：探究土石流

姓名：賴建安

關鍵字：土石流、坡度、含水量

壹、研究動機

民國九十六年八月十八日聖帕颱風侵襲台灣，帶來豪雨，在屏東縣泰武鄉平時為乾河谷的山區造成土石流，道路交通因而中斷；民國九十七年七月十七日卡玫基颱風侵襲台灣，也帶來豪雨，使高雄縣甲仙鄉發生嚴重土石流，造成生命財產損失，也使六龜鄉寶來村發生土石流，交通中斷。為什麼會有土石流產生？土石流為什麼常伴隨颱風產生？土石流產生時，其中的砂土與礫石的比例如何？又土石流動時，土石比與坡度及含水量的關係如何？於是想藉這個研究對土石流有更進一步的了解。

貳、研究目的

一、為什麼會發生土石流？

二、從上游到下游，土石流堆積物中的砂土與礫石的比例變化情形如何？

三、土石流動時，其中的砂土、礫石、含水量與坡度的關係如何？

參、研究過程

一、野外的部分

(一)到屏東縣泰武鄉土石流發生的山谷觀察，看土石流發生的原因；隔一段距離，在土石流堆積剖面上離地表約一公尺深處，採取大約 10 公升的土石樣品，並用傾斜儀測量

該地之河床坡度及用 GPS 定位。

(二)到高雄縣甲仙鄉土石流發生的油礦溪觀察，看土石流發生的原因；在土石流流過的路旁及河床(照片 1)，隔一段距離挖取大約 10 公升的土石樣品，並用傾斜儀測量該地之河床坡度及用 GPS 定位。

(三)到高雄縣六龜鄉寶來村土石流發生的小溪流觀察，看土石流發生的原因；隔一段距離，在土石流流過的河床或土石流堆積剖面(照片 2)，採取大約 10 公升的土石樣品，並用傾斜儀測量該地之河床坡度及用 GPS 定位。



照片 1 甲仙鄉油礦溪河床



照片 2 六龜鄉土石流堆積剖面

二、實驗室的部分

(一)泰武鄉樣品

1. 將泰武鄉採回來較潮濕的樣品置於攝氏 60 度的烘箱烘烤到乾，其餘樣品放置室外攤開曬太陽數天，並翻動樣品，以利曝曬，直到看起來很乾為止。
2. 用刷子將礫石上的砂土刷下來。

3. 用 2mm 的分析篩將砂土與礫石分開。
4. 用磅秤分別秤取砂土與礫石的重量，計算砂土與礫石的比例(土石比)。
5. 用三夾板釘製一個土石流實驗槽，內側漆油漆以防止三夾板在實驗過程吸水，縫隙塗砂膠，以防漏水；並製作一隔板，用以阻隔實驗槽內的土石與水。
6. 選取某一砂土與礫石的比例接近 1:6 的樣品，依其砂土與礫石的比例，取 5 公斤該樣品做實驗。為了擴大砂土與礫石的性質差異，所用礫石為用 10mm 篩網篩取粒徑 10mm 至約 5cm 之礫石。
7. 將前項 5 公斤樣品在水桶內加 0.5 公升的水，攪拌後放入實驗槽的一端，用刮刀修整土石，使呈長方體狀。
8. 用繩子繫住實驗槽放置土石的一端，穿過滑輪，將該端吊高至土石產生運動，用傾斜儀量取實驗槽傾斜角度。
9. 將前項樣品在實驗槽中加水 0.1 公升，在槽內攪拌之後，重複前項步驟；若實驗槽吊高時，泥漿水先流出，則用擋板阻隔(照片 3)，待吊高到會流動的角度時，抽起擋板，看土石流動情形(照片 4)。若會流動則調

低角度，重複前項步驟，找出該含水量的最低可流動坡度；也就是以降低角度的方式尋找最低可流動坡度。



照片 3 用擋板阻隔土石



照片 4 抽起擋板，土石向下流動

10. 加水 0.1 公升，在槽內攪拌之後，用刮刀修整土石，使呈長方體狀。重複第 8 項步驟，直到水的增加，與土石流動的坡度關係不大時為止。
11. 改變砂土與礫石的比例為 1:4，總重為 5 公斤的土石，重複 7 至 10 項實驗。
12. 改變砂土與礫石的比例為 1:2，總重為 5 公斤的土石，重複 7 至 10 項實驗。

(二) 甲仙鄉與六龜鄉樣品

1. 將甲仙鄉與六龜鄉採回來的樣品一個一個分別放入水桶中泡水，然後用刷子將礫石上的砂土刷下來，並用 2mm 篩網將礫石篩選出來(照片 5)用烈日曬乾；砂土在

水桶內沉澱後，用注射筒抽水，之後將水桶內的砂土置於烈日下曝曬，再用攝氏 60 度的烘箱烤乾(照片 6)。



照片 5 樣品泡水、刷洗、篩選



照片 6 樣品以攝氏 60 度烘烤

2. 用磅秤分別秤取曬乾的砂土與礫石的重量，計算砂土與礫石的比例(土石比)。
3. 用角鐵焊製腳架，將實驗槽像翹翹板的板子一樣，置於腳架上，使實驗槽可以在腳架上轉動(照片 7)；把腳架在地上的位置做上記號，實驗過程不讓腳架離開記號。
4. 取一竹竿置於地上某一定點，靠著實驗槽的一端，把傾斜儀放在實驗槽上量角度，每隔兩度在竹竿上做一記號(照片 8)，以便實驗過程快速找到需要的角度。



照片 7 實驗槽置於三角架上



照片 8 竹竿上刻畫角度

5. 取甲仙鄉砂土與礫石比例為 1:1 的樣品 4 公斤。為了擴大砂土與礫石的性質差異，所用礫石為用 10mm 篩網篩取粒徑 10mm 至約 5cm 之礫石。
6. 將前項樣品在水桶內加 0.6 公升的水，攪拌後放入實驗槽的一端，用刮刀修整土石，使呈長方體狀，並在上面放置三條互相平行且間隔約 5 公分的棉線(照片 9)。若土石運動時，三條棉線維持平直，則為滑動(照片 10)；若棉線明顯彎曲，則為流動(照片 11、12)。



照片 9 實驗前在土石上放置三條平行棉線



照片 10 土石運動後三條線仍維持平行則為滑動



照片 11 土石運動後三條線發生彎曲則為流動

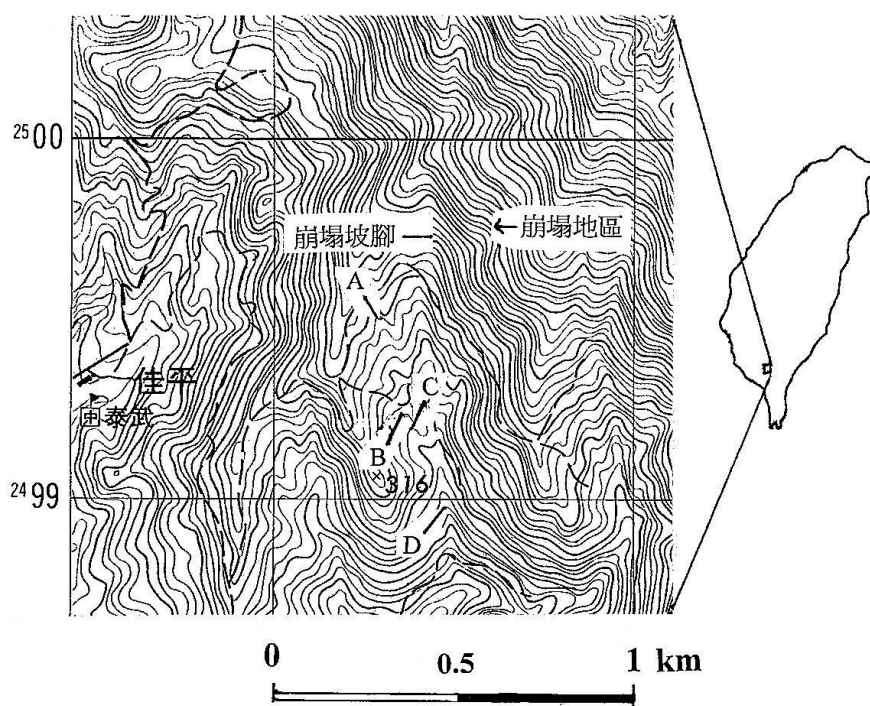


照片 12 土石運動後三條線發生彎曲則為流動

7. 從水平開始，調高實驗槽坡度，直到土石發生運動，
找出該含水量最低可流動坡度；也就是以升高角度的
方式，得到最低可流動坡度。
8. 若運動情形為滑動，則在實驗槽內加水 0.1 公升，攪
拌均勻後重複前項實驗；若運動情形為流動，則記下
坡度，再加水 0.1 公升，攪拌均勻後重複前項實驗，
直到加水數次，而流動坡度沒有明顯改變為止。
9. 取甲仙鄉樣品，改變砂土與礫石的比例為 1：2，總重
為 4 公斤，重複 6 至 8 項實驗。
10. 取甲仙鄉樣品，改變砂土與礫石的比例為 1：4，總重
為 4 公斤，重複 6 至 8 項實驗。

肆、研究結果與討論

一、泰武鄉土石流採樣點平面位置如圖一。



圖一 泰武鄉土石流採樣點平面位置圖

泰武鄉土石流發生的山谷兩旁是自然植被，喬木、灌木及草本植物生長茂盛，沒有人為墾植，平時為乾河谷(照片 13)。土石流源頭處有山崩發生，當地地形坡度 41 度，甚陡峭。山崩後新開挖的山徑旁露出的剖面上可看見土壤層厚數十公分至兩公尺(照片 14)，土壤層下方風化岩石層很破碎。山崩當天，附近的氣象觀測站測到該日聖帕颱風帶來之累積雨量超過一千毫米；山崩的發生純為自然因素所引起。先是豪雨讓地表表層含水量過高，造成山崩；山崩提供發生土石

流需要的大量疏鬆土石，加上雨水的滲入，於是形成土石流，
沿著坡度不算小的山谷向下坡處流動。

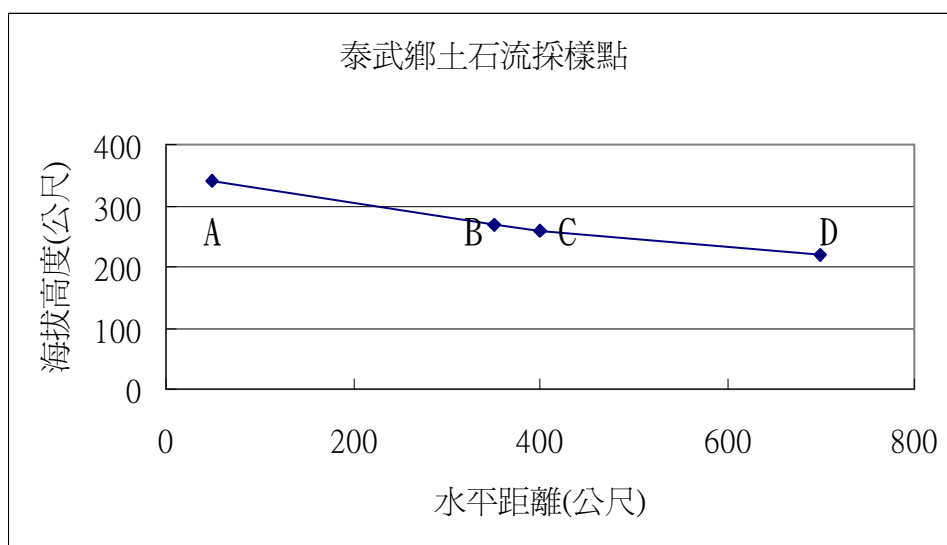


照片 13 泰武鄉發生土石流的乾河谷



照片 14 泰武鄉山崩附近新開挖的路旁剖面可見疏鬆土石

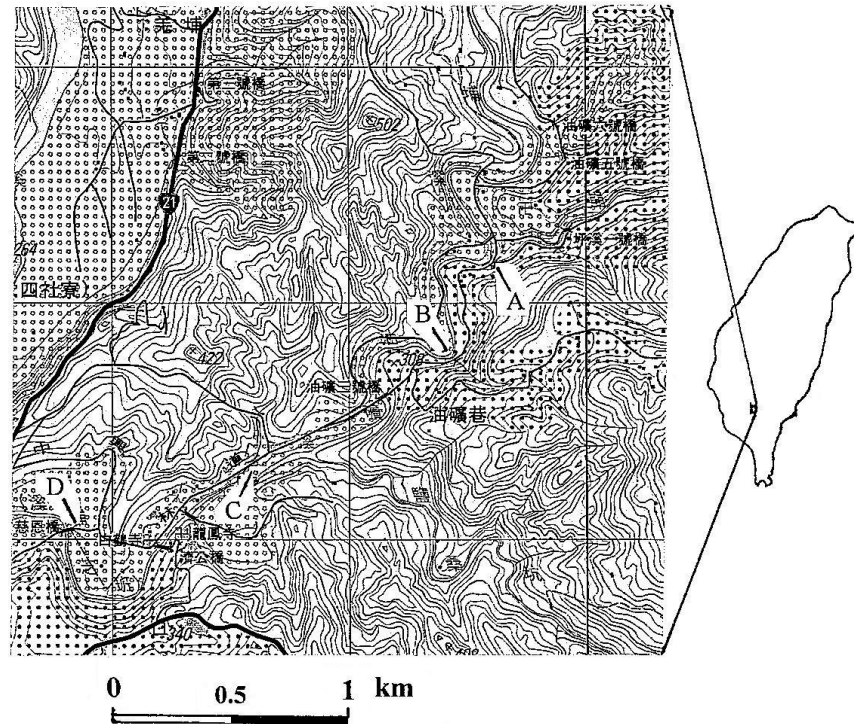
二、泰武鄉土石流採樣點剖面位置如圖二。



圖二 泰武鄉土石流採樣點剖面位置圖

泰武鄉土石流發生的河谷因為靠近山崩地點，平均坡度約
1:5，坡度較陡，約有 10 度。

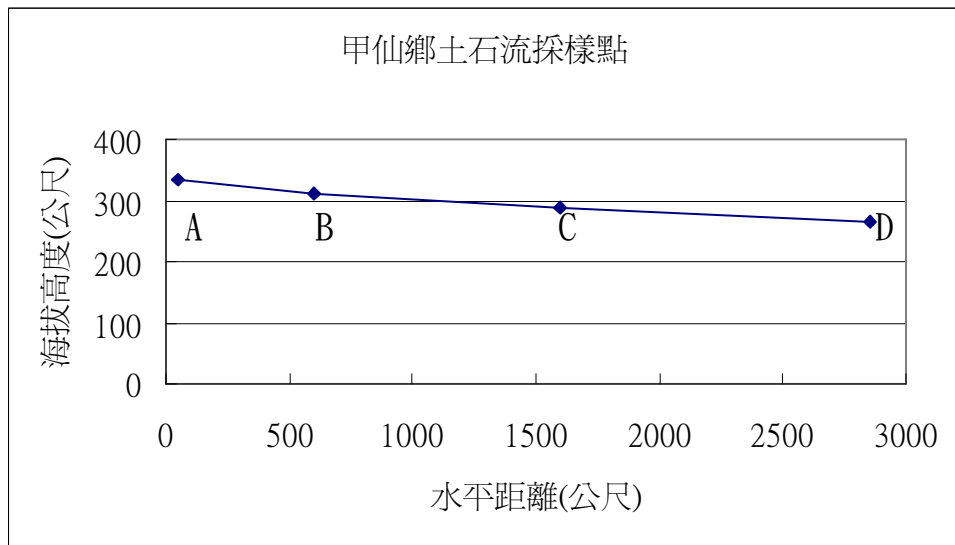
三、甲仙鄉土石流採樣點平面位置如圖三。



圖三 甲仙鄉土石流採樣點平面位置圖

甲仙鄉土石流發生區為油礦溪河道。河道兩旁除了天然植被之外，多為茂密竹林。卡玫基颱風帶來的豐沛雨量在夜晚引發山崩，形成土石流。土石流流過之處，侵蝕河岸，切割坡腳，沿途造成數十處坍塌。此處河道雖然平緩，但因土石材料充足，加上雨量大，使土石至少流了 4 公里長的距離。

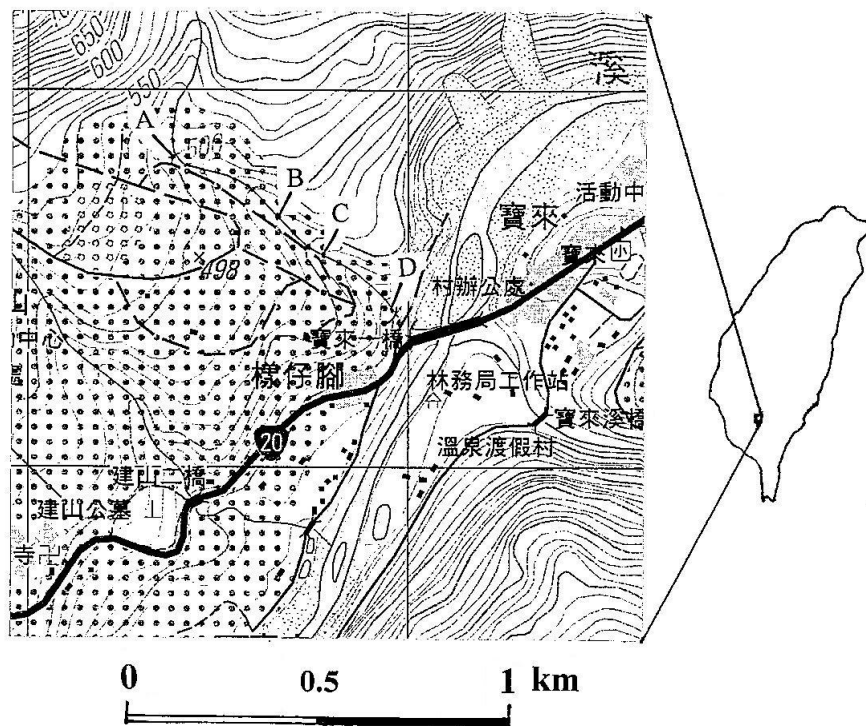
四、甲仙鄉土石流採樣點剖面位置如圖四。



圖四 甲仙鄉土石流採樣點剖面位置圖

甲仙鄉土石流沿著平緩河床流動，平均坡度約 1:47。

五、六龜鄉土石流採樣點平面位置如圖五。

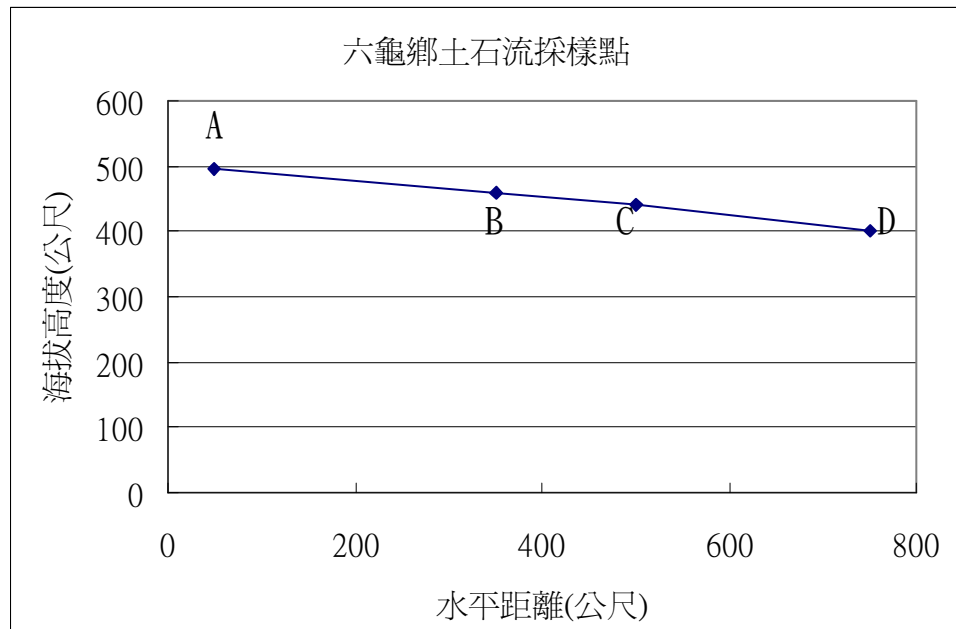


圖五 六龜鄉土石流採樣點平面位置圖

六龜鄉土石流發生地區為無名小溪流，河道坡度稍陡。

溪流兩旁除了天然植被之外，主要生長高大麻竹林。卡玫基颱風使當地降下豪雨，造成多處山崩，引發土石流。因為土石主要來自未開墾的山區，所以應該是自然因素產生的山崩造成的土石流。

六、六龜鄉土石流採樣點剖面位置如圖六。



圖六 六龜鄉土石流採樣點剖面位置圖

六龜鄉寶來村土石流發生的山谷平時水量不豐，河道平均坡度約 1:7，坡度稍陡，約 8 度。

七、泰武鄉採樣點坡度及砂土與礫石的比例變化如表一。

表一 泰武鄉採樣點坡度及砂土與礫石比例表

樣品	A	B	C	D
坡度	22	6	9	7
砂土重〈kg〉	2.5	2.1	2.6	2.5
礫石重〈kg〉	15.7	12.8	16.5	10.5
砂土 / 礫石	1/6.3	1/6.1	1/6.4	1/4.2

泰武鄉土石流的砂土與礫石的比(土石比)變化不大，且礫石含量高(超過百分之八十)。土石比變化不大應和土石主要來自單一地點的山崩有關，因為沿岸沒有其他明顯的坍塌；而礫石含量高可能和變質岩區風化土壤不多有關。但是山崩下來的土石，流動了 350 公尺(從 A 至 C)，土石比幾乎不變，太不尋常，是山崩當時混合均勻的，還是流動過程混合均勻的？

八、甲仙鄉採樣點坡度及砂土與礫石的比例變化如表二。

表二 甲仙鄉採樣點坡度及砂土與礫石比例表

樣品	A	B	C	D
坡度	3	2	2	2
砂土重〈kg〉	4.0	2.1	4.8	3.4
礫石重〈kg〉	4.8	7.5	6.3	6.7
砂土 / 礫石	1/1.2	1/3.6	1/1.3	1/2.0

甲仙鄉土石流的砂土與礫石的比值(土石比)偏大，且變化稍大。土石比偏大表示砂土含量較高，這和該地區主要為頁岩有關；頁岩在風化或是搬運過程都容易產生細小顆粒的砂土。土石比變化稍大和土石來源不只一處有關，因為沿途河岸有很多崩坍加入土石(照片 15)；沿岸新的崩坍推測是土石流動時所產生。



照片 15 甲仙鄉油礦溪沿岸新的崩坍



照片 16 六龜鄉土石流沿岸新的崩坍

九、六龜鄉採樣點坡度及砂土與礫石的比例變化如表三。

表三 六龜鄉採樣點坡度及砂土與礫石比例表

樣品	A	B	C	D
坡度	8	6	6	9
砂土重〈kg〉	1.6	2.7	3.0	2.8
礫石重〈kg〉	10.0	9.3	7.5	9.9
砂土 / 礫石	1/6.3	1/3.4	1/2.5	1/3.5

六龜鄉土石流的礫石比例稍高，且變化大。礫石比例稍高和土石主要來自上游一個大規模山崩有關；土石比例變化大，應該和沿途河岸有多處新的崩坍有關(照片 16)。沿岸新的崩坍應在土石流動時產生，因為土石流對坡腳的侵蝕很快速。

十、泰武鄉不同土石比的五公斤土石，其流動坡度與含水量關係

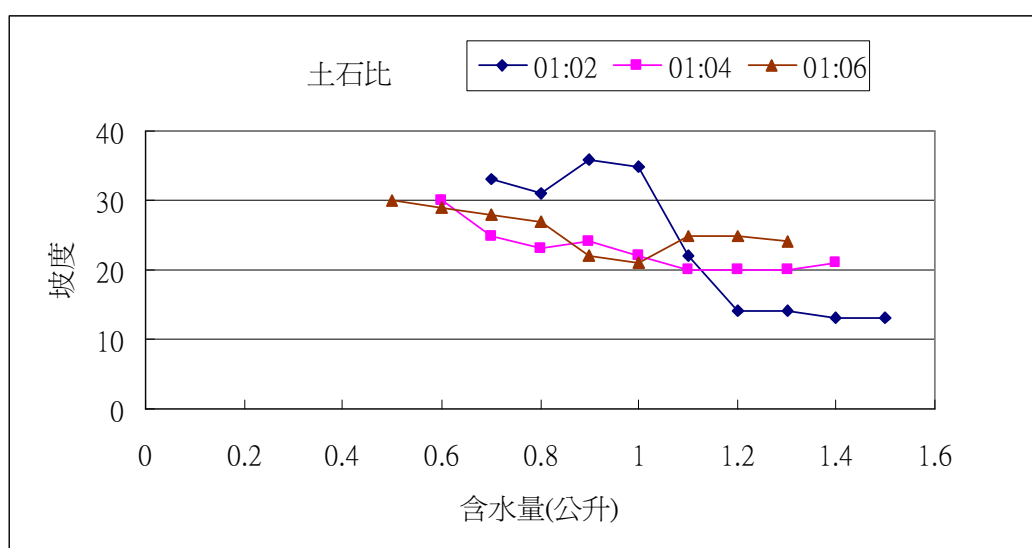
如表四。

表四 泰武鄉不同土石比的五公斤土石，其流動坡度與含水量關係表

流動坡度 土石比	含水量 0.5 公 升	0.6 公 升	0.7 公 升	0.8 公 升	0.9 公 升	1.0 公 升	1.1 公 升	1.2 公 升	1.3 公 升	1.4 公 升	1.5 公 升
1 / 2			33	31	36	35	22	14	14	13	13
1 / 4		30	25	23	24	22	20	20	20	21	
1 / 6.1	30	29	28	27	22	21	25	25	24		

十一、泰武鄉不同砂土與礫石比例的土石，其流動坡度與含水量關係

如圖七。



圖七 泰武鄉不同砂土與礫石比例的土石，其流動坡度與含水量關係圖

由上圖發現泰武鄉土石流樣品，在不同砂土與礫石比例下，其流動坡度與樣品含水量的關係是：礫石含量較少且含水量甚低時，例如低於 0.7 公升，需要較高的坡度才會流動；而礫石含量較多的樣品在此含水量，流動坡度較低。但含水量甚高時，如高於 1.2 公升，礫石含量較少的樣品在較低的坡度即可流動；而礫石含量較多的樣品在此含水量，流動坡度較高。

砂土含量愈多，流動坡度急劇降低點的含水量愈高，反之愈低；而且砂土含量愈多，流動坡度急劇降低的現象愈明顯。因此砂土含量較多的土石，容易在達到某一含水量時，突然產生土石流動。開始流動的坡度和砂土的黏稠度有關；若含水量太少，黏稠度太高，土石都被黏住，就只會滑動，不會流動。

土石流動時，礫石和泥漿看起來一起動，停止的礫石會阻擋泥漿流動，被阻擋的泥漿會在礫石後面堆高，堆高之後，礫石重量減輕，泥漿重量產生的側壓力會較容易推礫石移動；當含水量甚高，泥漿變稀，容易從礫石間隙流走，不易堆高產生推力，因此要較高的坡度才會流動。

十二、甲仙鄉不同土石比的四公斤土石，其流動坡度與含水量關係

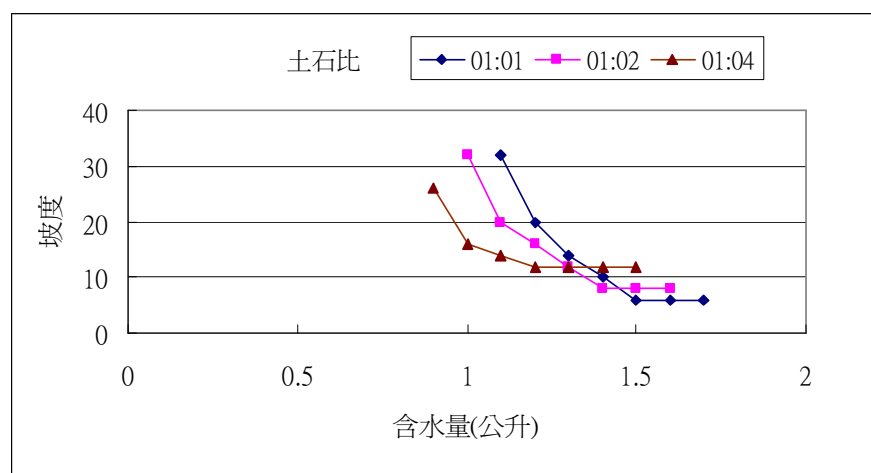
如表五。

表五 甲仙鄉不同土石比的四公斤土石，其流動坡度與含水量關係表

流動坡度 土石比 含水量	0.9 公 升	1.0 公 升	1.1 公 升	1.2 公 升	1.3 公 升	1.4 公 升	1.5 公 升	1.6 公 升	1.7 公 升
1 / 1			32	20	14	10	6	6	6
1 / 2		32	20	16	12	8	8	8	
1 / 4	26	16	14	12	12	12	12		

十三、甲仙鄉不同砂土與礫石比例的土石，其流動坡度與含水量

關係如圖八。



圖八 甲仙鄉不同砂土與礫石比例的土石，其流動坡度與含水量關係圖

由圖中可見甲仙鄉土石流樣品，在不同砂土與礫石比例下，其流動坡度與樣品含水量的關係是：礫石含量較少且含水量較低時，例如低於 1.1 公升，需要較高的坡度才會流動；而礫石含量較多的樣品在此含水量，流動坡度較低。但含水量甚高時，如高於 1.5 公升，礫石含量較少的樣品在較低的坡度即可流動；而礫石含量較多的樣品在此含水量，要較高的坡度才會流動。

土石比 1：4 與 1：2 的流動曲線在含水量為 1.3 公升時，出現交叉點；而土石比 1：4 與 1：1 的交叉點出現在含水量較高的 1.35 公升處，在這個含水量以上，只要土石比 1：4 的可以流動的坡度，其他土石比的也能流動。而在含水量在 1.3 公升以下，只要土石比 1：1 的可以流動的坡度，其他土石比的也能流動。

砂土含量愈多，開始流動時的含水量愈高，反之愈低。實驗過程觀察到，不管土石比如何，開始流動時的黏稠度都差不多。黏稠度太高，土把礫石都黏住，只會滑動，不會流動；而開始能流動時，含水量若再增加一些，流動的坡度即可降低很多，也就是原本還能維持安定的坡度，含水量增加到某一關鍵量，會突然產生流動。但含水量更高，使黏稠度偏低時，砂土含量較高的，在較低的坡度下仍可流動。反之，礫石含量較高的，若要在較低黏稠度的情況下流動，需要較陡的坡度。

甲仙鄉油礦溪坡度平緩，但因土石流的砂土含量高，土石의 供應量又大，所以仍然可以有長距離的土石流動。

實驗過程可以看到，若黏稠度尚高，則土石流動時，土和石幾乎一起動；但若黏稠度偏低，則泥漿會從礫石縫隙流走，把較大顆的礫石留在後面，那時前頭的土石流中的礫石比例會降低。

伍、結論

一、土石流的產生需要三個條件的配合：大量疏鬆的土石，充足的水及斜坡。本研究探討的泰武鄉、甲仙鄉及六龜鄉土石流都在颱風帶來的豪雨中產生；產生原因主要是自然因素成分較高的滑動式山崩提供了大量疏鬆的土石，豪雨提供了充足的水，加上山區의 斜坡，土石流因而產生。

二、不同地區의 土石流中砂土與礫石的比例各有特色。土石流的材料若來自單一地點的山崩所提供，則數百公尺距離內，土石流中的砂土與礫石的比例差異不大。若土石流流過的地方有多處崩塌加入土石，則沿途土石流中的砂土與礫石的比例差異會較大。

三、土石流中的砂土與礫石比例和土石來源有關。若土石來自土壤很少的堅硬地層崩塌處，則礫石的比例會較高；若來自頁岩、泥岩較多的地區，則砂土的比例會較高。

四、當含水量較低時，砂土含量較高的，需要較高的坡度才會流動，而礫石含量較高的，在此含水量，不需那麼高的坡度即可流動。但含水量甚高時，砂土含量較高的樣品在較低的坡度即可流動，而礫石含量較高的的樣品在此含水量，需要較高的坡度方能流動。

五、砂土含量較多，要流動的話含水量要較高，反之較低；也就是礫石含量較多的話，不需要那麼高的含水量即可流動。

六、土石流的產生和含水量關係密切。含水量不夠高，只能產生滑動式的山崩；要更高的含水量，才會在滑動式的山崩之後產生土石流。而滑動式的山崩產生的疏鬆土石有很高的滲透率，會導致土石有更高的含水量。

陸、應用

從地形資料得到各地坡度及地質調查得到各地岩石性質，還有土壤調查得到的各地土壤情況，加上滲透率或遙測含水量的資料，應可推測出各個地方發生土石流的可能性，可做為土石流預警用。

柒、參考文獻

一、陳宏宇。 土石流。 地球科學園地，1998 年 6 月，第六期。

二、詹錢登。土石流發生與降雨特性之關係。科學發展月刊，2004

年 2 月，374 期。

三、鄧晴安、鄭開元、林佳穎、洪琴惠。土石流的流動之謎。中

華民國第四十七屆中小學科學展覽。