

中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高中組 地球科學科

最佳(鄉土)教材獎

040508

土石流的探討

學校名稱：國立潮州高級中學

作者： 高二 陳冠達 高二 林佳萱 高一 方玉亭 高二 郭俊瑋	指導老師： 劉世增 蕭宏蘭
---	-----------------------------

關鍵詞：土石比、起動坡度、含水量

摘要

民國九十六年及九十七年颱風期間在高、屏地區產生多處土石流，成爲重大地方新聞，引起我們探討土石流的興趣。

本研究探討各地區土石流堆積物中砂土與礫石的重量比例(土石比)，及不同土石比的土石開始流動的坡度(起動坡度)與含水量的關係。分析出樣品土石比後，再依土石比範圍選定三種比例做起動坡度與含水量的關係實驗。

研究結果發現，土石比與該地區岩石性質及產生大量疏鬆土石的山崩情形有關。土石起動坡度與含水量的關係密切；各種土石比的土石起動坡度皆隨含水量的增加而遞減。但礫石含量較高的土石，在較低含水量時即可開始流動，而且起動坡度隨含水量遞減的程度較低，因此關係曲線的傾斜程度較低。

土石流的探討

壹、研究動機

去年學長們因為前年(民國九十六年)八月十八日聖帕颱風在屏東縣泰武鄉造成土石流而做了「泰武鄉土石流」的研究；去年七月十七日卡玫基颱風侵襲台灣，帶來豪雨，又在高雄縣甲仙鄉(照片 1)及六龜鄉(照片 2)造成嚴重土石流，引起我們進一步探討土石流的興趣，想看看不同地方土石流特性的異同。



照片 1 甲仙鄉油礦溪沿岸新的崩塌



照片 2 六龜鄉土石流沿岸新的崩塌

貳、研究目的

- 一、土石在何種情況下會開始流動？
- 二、不同地區的土石流堆積物中的土石比如何？
- 三、相同地區的土石起動坡度與含水量的關係如何？
- 四、不同地區的土石起動坡度與含水量的關係如何？

參、研究設備及器材

實驗槽、傾斜儀、人造衛星定位儀、篩網、二樑游標天平、磅秤、烘箱、量杯、皮尺。

肆、研究過程

一、野外的部分

- (一)在不同地點用兩種不同出水量的澆水器灑水，模擬降雨。水澆在水平擺放的半徑 0.38 公尺的呼拉圈內，繞圈圈澆水(照片 3)。記下地形坡度、澆水時間及用水量，並觀察澆水過程中地表的變化。
- (二)做完澆水實驗後，用鋤頭在斜坡傾斜方向的直徑線上挖一剖面，觀察澆水期間水滲入地下的情形(照片 4)。



照片 3 用澆水器灑水，模擬降雨



照片 4 從剖面上觀察水的滲透情形

- (三)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、測海拔高度。
- (四)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或河床下(照片 5)，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、測海拔高度。
- (五)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下或土石流堆積剖面(照片 6)，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、測海拔高度。



照片 5 甲仙鄉油礦溪河床



照片 6 六龜鄉土石流堆積剖面

二、實驗室的部分

- (一)將採回來的樣品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 7)用烈日曬乾；砂土在水桶內沉澱後，用注射筒抽出乾淨的水，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 8)。



照片 7 樣品泡水、刷洗、篩選



照片 8 樣品以攝氏 60 度烘烤

- (二)用磅秤分別秤取曬乾的砂土與礫石重量，計算砂土與礫石的重量比例(土石比)。
- (三)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 9)；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。
- (四)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 10)，以便實驗過程快速找到需要的角度。

(五)取泰武鄉砂土與礫石比例為 1：2 的樣品 4 公斤。爲了擴大砂土與礫石的性質差異，所用礫石爲用 1cm 篩網篩取粒徑 1cm 至約 5cm 之礫石。

(六)將前項樣品在水桶內加水 0.3 公升，攪拌均勻，看黏稠度會不會太高；若太高則再加水 0.1 公升，攪拌均勻，然後倒入實驗槽的一端，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 11)。若實驗槽傾斜到土石運動時，三條棉線維持平行，則爲滑動(照片 12)，不算土石流；若棉線明顯彎曲，則爲流動(照片 13、14)，算土石流。



照片 9 實驗槽置於三角架上



照片 10 在竹竿上刻畫角度



照片 11 實驗前在土石上放置三條平行棉線



照片 12 土石運動後三條線仍維持平行則爲滑動

(七)從高角度開始，降低實驗槽傾斜角度，直到土石不發生運動，找出該含水量最低可流動坡度；也就是以降低角度的方式，得到起始流動坡度(起動坡度)。

(八)若運動情形爲滑動，則在實驗槽內加水 0.1 公升，攪拌均勻後重複前項步驟；若運動情形爲流動，則記下起動坡度，再加水 0.1 公升，攪拌均勻後重複前項步驟，直到加水數次，而起動坡度沒有降低爲止。

(九)取泰武鄉砂土與礫石的比例爲 1：4 樣品，總重 4 公斤，重複(六)至(八)項步驟。

(十)取泰武鄉砂土與礫石的比例爲 1：7 樣品，總重 4 公斤，重複(六)至(八)項步驟。



照片 13 土石運動後三條線
明顯彎曲則為流動



照片 14 土石運動後三條線明
顯彎曲則為流動

- (十一)取甲仙鄉砂土與礫石的比例為 1:1 樣品，總重 4 公斤，重複(六)至(八)項步驟。
- (十二)取甲仙鄉砂土與礫石的比例為 1:2 樣品，總重 4 公斤，重複(六)至(八)項步驟。
- (十三)取甲仙鄉砂土與礫石的比例為 1:4 樣品，總重 4 公斤，重複(六)至(八)項步驟。
- (十四)取六龜鄉砂土與礫石的比例為 1:2 樣品，總重 4 公斤，重複(六)至(八)項步驟。
- (十五)取六龜鄉砂土與礫石的比例為 1:4 樣品，總重 4 公斤，重複(六)至(八)項步驟。
- (十六)取六龜鄉砂土與礫石的比例為 1:7 樣品，總重 4 公斤，重複(六)至(八)項步驟。
- (十七)取泰武鄉、甲仙鄉及六龜鄉礫石各約 250 公克，分別測礫石比重及浸泡一小時後之吸水量。
- (十八)取泰武鄉、甲仙鄉及六龜鄉卵石至中礫的礫石各 20 顆，分別量取長軸 a、中軸 b 及短軸 c 的長度，並計算礫石的形狀係數： c/\sqrt{ab} 。
- (十九)取甲仙鄉樣品之所有砂土，攪拌均勻，用二分法取約 250 公克，用一組篩網分析砂土的各級粒徑重量。
- (二十)取六龜鄉樣品之所有砂土，重複前項步驟。

伍、研究結果與討論

- 一、土石流的產生要有大量疏鬆的土石、大量的降雨及較陡的斜坡。爲了製造土石流，我們在河流護岸工程完工不久的河邊尋找合適地點進行模擬降雨的澆水實驗，結果如表一。

表一 澆水實驗結果表。

	澆水面積	澆水時間	澆水量	時雨量	地表現象	剖面現象
兩個月前 怪手挖填 的泥較少 的 18°斜坡	0.45 m ²	1 小時	80 公升	176mm	大部分的水滲 入地下，少部 分水成逕流， 侵蝕微弱	泥砂潮濕，挖 到較深處有積 水
兩個月前 怪手挖填 的泥較多 的 32°斜坡	0.45 m ²	1 小時	78 公升	172mm	大部分的水成 為逕流，有一 條細小的雨蝕 溝出現	泥砂比較沒那 麼潮濕
現場手工 挖填的泥 較多的 32° 斜坡	0.45 m ²	1 小時(第 30 分鐘及 第 55 分 鐘用三倍 出水量澆 水器各澆 5 分鐘)	110 公升	243mm	最初 20 分鐘 沒有逕流；澆 水量三倍大 時，多條小雨 蝕溝出現，逕 流混濁	泥砂十分潮濕 ，也很黏稠； 底下未挖鬆的 砂土仍很乾燥

在坡度 18°、地表植被少的地點澆水一小時；換算成時雨量($h=V/A$ ， V 為水的體積； A 為澆水面積)為 176mm，雨量很大，但只是表面泥砂被淋洗掉，沒有其他明顯變化(照片 3)。換到坡度 32°，泥含量較多的地方澆水，表面逕流雖有增加，但只有一條細小雨蝕溝出現，及下方緩慢流動的河水中出現一大片黃濁泥水，看起來是滲出水造成的，因為地表面逕流還算清澈。另在此斜坡旁邊一公尺處，把斜坡表層的土挖鬆(照片 15)，再填出一個 32°斜坡來澆水，澆水過程穿插使用三倍出水量的澆水器灑水，發現挖鬆後的砂土透水性良好，澆了將近 30 公升，沒有出現逕流；後來改用出水量三倍大的澆水器灑水(照片 16)，立刻出現混濁逕流及多條小雨蝕溝。澆水一小時後挖開剖面，看到新挖鬆的砂土十分潮濕，未挖鬆的砂土則較乾燥；表示大部分澆的水滲入疏鬆砂土，也經由疏鬆砂土滲透流走。澆水量那麼大，為什麼沒有產生土石流？是因為澆的水從地下滲透流走，還是澆水的範圍太小？為了控制變因及探討原因，我們去土石流發生處觀察、測量，並採樣回來做實驗。

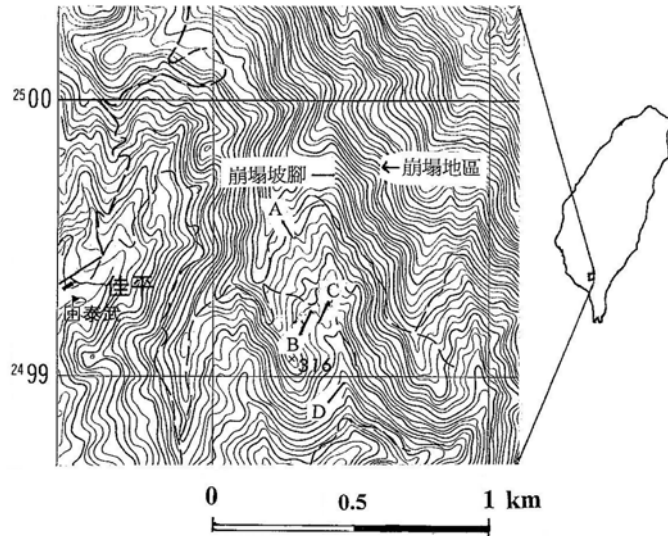


照片 15 手工挖鬆一個 32°斜坡



照片 16 用三倍出水量澆水器灑水

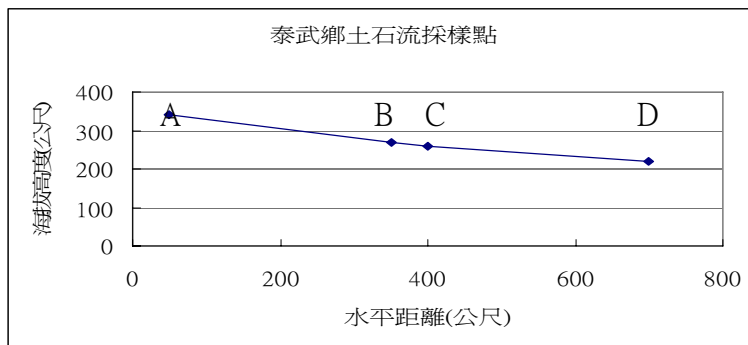
二、泰武鄉土石流採樣點(以 A、B、C、D 表示)平面位置如圖一。



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，沒有人為墾殖，平時為乾河谷。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，土壤層下方風化岩石層很破碎。山崩之後產生的土石至少流動了 650 公尺。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，與人工墾殖無關。

三、泰武鄉土石流採樣點剖面位置如圖二；水平距離由河道長度及坡度轉換而來。



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源頭為山崩地點，河道平均坡度約 10 度。

四、泰武鄉採樣點坡度及砂土與礫石的比例變化如表二。

表二 泰武鄉採樣點坡度及砂土與礫石比例表

採樣點	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。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地表風化土壤不多有關。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，推測土石流動過程有攪拌作用發生。

因為泰武鄉的土石比為 1：4.2 到 1：6.4，所以取土石比 1：2、1：4 及 1：7 的土石來做起動坡度與含水量關係的實驗。

五、泰武鄉不同土石比的四公斤土石，其流動起動坡度與含水量關係如表三。

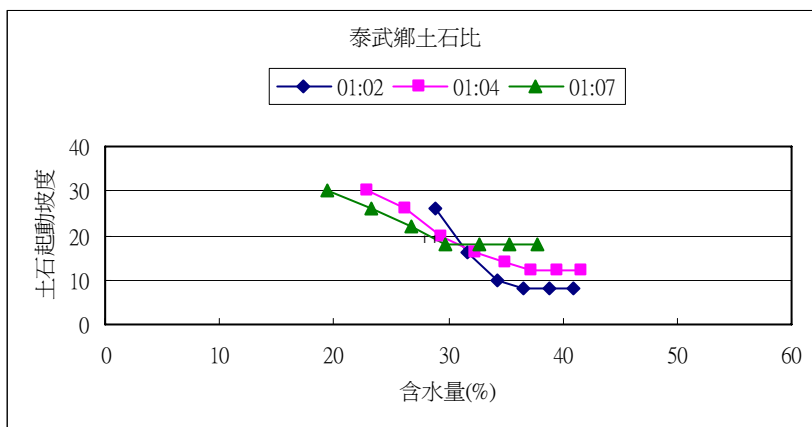
表三 泰武鄉不同土石比的四公斤土石，其流動起動坡度與含水量關係表

流動坡度 土石比	加水量 公升	0.4 公升	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
1/2					26	16	10	8	8	8
1/4			30	26	20	16	14	12	12	12
1/7	30	26	22	18	18	18	18			

六、泰武鄉不同砂土與礫石比例的土石，其起動坡度與含水量關係如圖三。含水量的計算

方式為：含水量(%)=〔水的體積/(水的體積+土的體積+石的體積)〕100%

其中，體積=質量/密度；而砂土的比重測定值約 2.0；礫石的比重約 2.5。



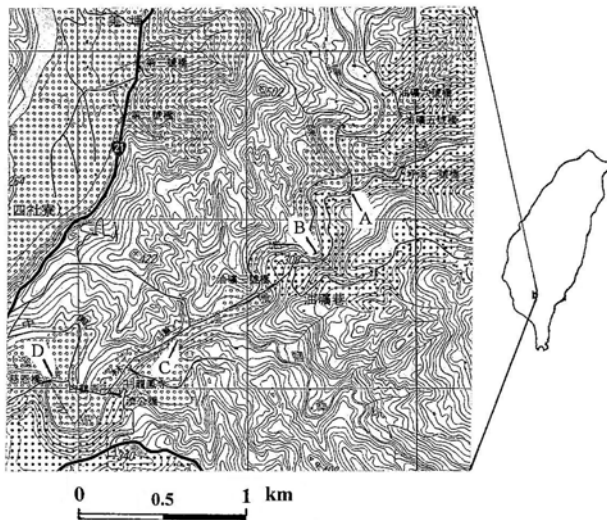
圖三 泰武鄉不同土石比的起動坡度與含水量關係圖

由圖三可以發現，不同土石比的起動坡度都隨含水量的增加而遞減；也就是含水量愈高，土石開始流動的坡度愈低。土石比 1：2 的起動坡度在 26 至 8 度和含水量有關；其含水量約在 29%~37%。土石比 1：4 的起動坡度在 30 至 12 度和含水量有關；其含水量約在 23%~37%。土石比 1：7 的起動坡度在 30 至 18 度和含水量有關；其含水量約在 20%~30%。礫石含量較多(土石比 1：7)的，土石起始流動的含水量較低。推測礫石含量較多時，只要含水量足以潤滑土石間的摩擦，便會產生土石流動。然而礫石含量較多的，在坡度 18 時，其起動坡度與含水量的增加無直接關係；18 度以下，則無土石流動發生。而礫石含量較少的，要在 8 度以下才不會有土石的流動。

推論是礫石含量較多的，砂土較少，礫石間的摩擦因而較大，需要較高的坡度才能流動。

在含水量較低的時候(低於 30%)，土石比 1：2 的曲線傾斜程度最大；1：7 的最小。這是因為土石比 1：2 的砂土含量最多；當含水量增加 0.1 公升，使土石較能流動時，有比較多且黏稠度比較高的砂土可以包裹、潤滑礫石，並且流動、推動礫石，所以起動坡度降得較多，傾斜程度因而較大。

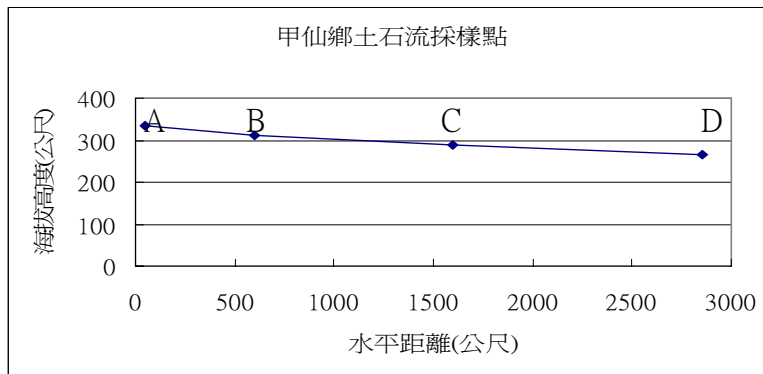
七、甲仙鄉土石流採樣點(以 A、B、C、D 表示)平面位置如圖四。



圖四 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，這在地形圖上被歸類為人工墾殖區。卡玫基颱風在甲仙帶來超過九百毫米的日累積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(照片 1)。

八、甲仙鄉土石流採樣點剖面位置如圖五；水平距離由河道長度及坡度轉換而來。



圖五 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，河道平均坡度約 2 度。此處河道雖然平緩，但因土石材料充足，加上雨量大，溪水流量大，使土石至少流了 4 公里長的距離。

九、甲仙鄉採樣點坡度及砂土與礫石的比例變化如表四。

表四 甲仙鄉採樣點坡度及砂土與礫石比例表

採樣點	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含量差距較小，砂土含量比泰武鄉的多，但土石比變化偏大。砂土含量較多和該地區主要為砂、頁岩有關；砂、頁岩在風化或搬運過程都容易產生細小顆粒的砂土。土石比變化較大和土石來源不只一處有關，因為沿途河岸有很多崩塌加入土石；沿岸新的崩塌推測是土石流動時切割坡腳所產生。

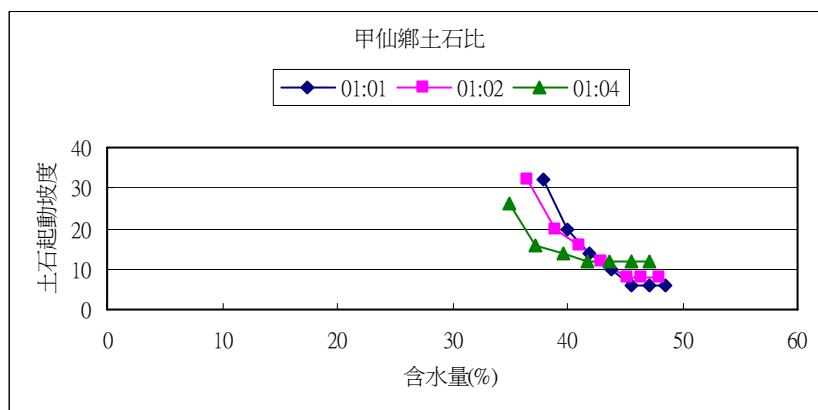
因為甲仙鄉的土石比為 1：1.2 到 1：3.6，所以取土石比 1：1、1：2 及 1：4 的土石來做起動坡度與含水量關係的實驗。

十、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	加水量 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		

十一、甲仙鄉不同砂土與礫石比例的土石，其起動坡度與含水量關係如圖六。



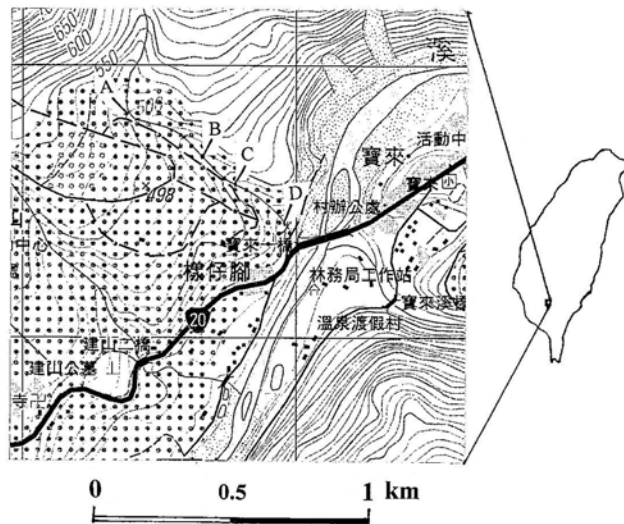
圖六 甲仙鄉不同土石比的起動坡度與含水量關係圖

由圖六可知，甲仙鄉不同土石比的起動坡度和泰武鄉的一樣，都隨含水量的增加而遞減。土石比 1：1 的起動坡度在 32 至 6 度和含水量有關；其含水量約在 38%~45%。土石比 1：2 的起動坡度在 32 至 8 度和含水量有關；其含水量約在 37%~45%。土石比 1：4 的起動坡度在 26 至 12 度和含水量有關；其含水量約在 35%~42%。礫石含量較多(土石比 1：4)的，土石起始流動的含水量較低；情況和泰

武鄉的類似。然而礫石含量較多的，在坡度 12 時，其起動坡度與含水量的增加無直接關係；12 度以下，則無土石流動發生。而礫石含量較少的，要在 6 度以下才不會有土石流動。

在含水量較低的時候(低於 42%)，土石比 1：1 的曲線傾斜程度最大；1：4 的最小。其原因和泰武鄉的相同。

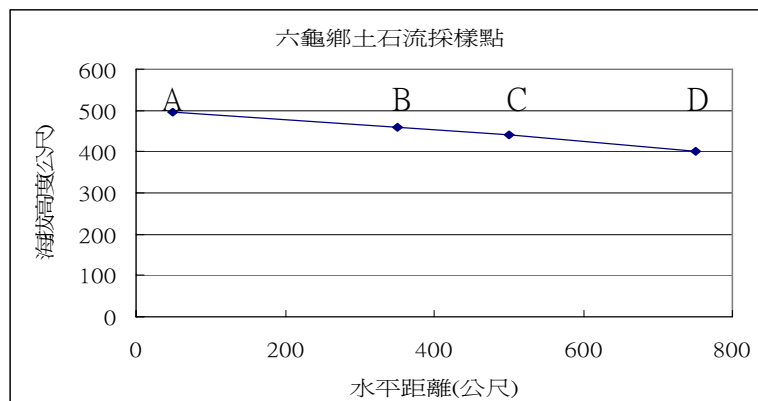
十二、六龜鄉土石流採樣點(以 A、B、C、D 表示)平面位置如圖七。



圖七 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，這在地形圖上為人工墾殖區，實際上竹林非人工種植，是自然生長。卡玫基颱風使當地降下日累積雨量超過九百毫米的超大豪雨，造成多處山崩，引發土石流。

十三、六龜鄉土石流採樣點剖面位置如圖八；水平距離由河道長度及坡度轉換而來。



圖八 六龜鄉土石流採樣點剖面位置圖

六龜鄉土石流發生的山谷平時水量不多，常為乾河谷；河道平均坡度約 8 度。

十四、六龜鄉採樣點坡度及砂土與礫石的比例變化如表六。

表六 六龜鄉採樣點坡度及砂土與礫石比例表

採樣點	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。礫石比例稍高和此地為變質岩區有關；土石比例變化大，應該和沿途河岸有多處新的崩塌有關(照片 2)。沿岸新的崩塌應在土石流動時產生，因為土石流對坡腳的侵蝕很快速。

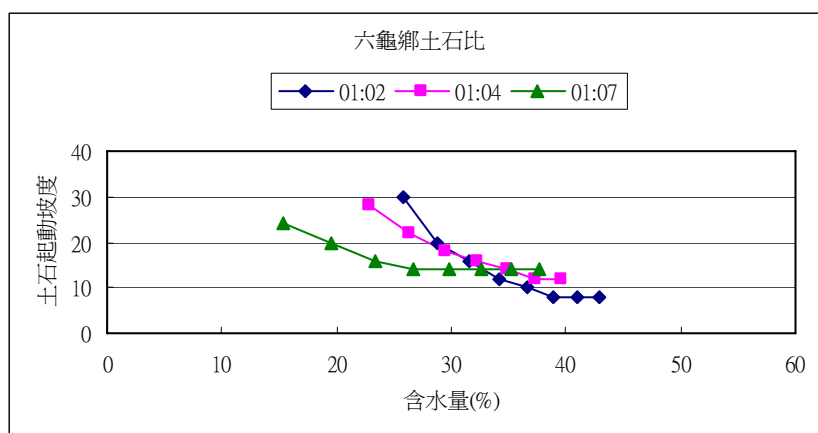
因為六龜鄉的土石比為 1：2.5 到 1：6.3，所以取土石比 1：2、1：4 及 1：7 的土石來做起動坡度與含水量關係的實驗。

十五、六龜鄉不同土石比的四公斤土石，其起動坡度與含水量關係如表七。

表七 六龜鄉不同土石比的四公斤土石，其起動坡度與含水量關係表

流動 坡度 土石比	加水量											
	0.3 公升	0.4 公升	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	
1/2				30	20	16	12	10	8	8	8	
1/4			28	22	18	16	14	12	12			
1/7	24	20	16	14	14	14	14	14				

十六、六龜鄉不同砂土與礫石比例的土石，其起動坡度與含水量關係如圖九。



圖九 六龜鄉不同土石比的起動坡度與含水量關係圖

由圖九可以發現，不同土石比的起動坡度都隨含水量的增加而遞減；也就是含水量愈高，土石開始流動的坡度愈低。土石比 1：2 的起動坡度在 30 至 8 度和含水量有關；其含水量約在 26%~39%。土石比 1：4 的起動坡度在 28 至 12 度和含水量有關；其含水量約在 23%~37%。土石比 1：7 的起動坡度在 24 至 14 度和含水量有關；

其含水量約在 15%~27%。礫石含量較多(土石比 1：7)的，土石起始流動的含水量較低；這和前面兩個地點一樣。然而礫石含量較多的，在坡度 14 時，其起動坡度與含水量的增加無直接關係；14 度以下，則無土石流動發生。而礫石含量較少的，要在 8 度以下才不會有土石的流動。

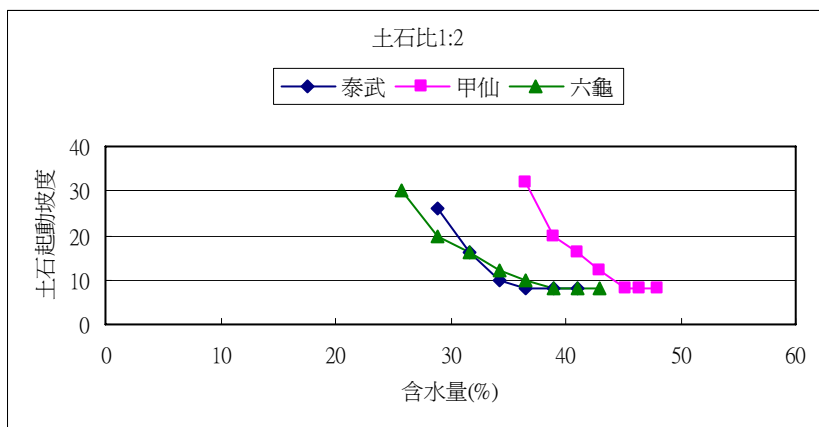
在含水量較低的時候(低於 32%)，土石比 1：2 的曲線傾斜程度最大；1：7 的最小。其情況和泰武鄉的相近似；原因也相同。

十七、泰武鄉、甲仙鄉及六龜鄉土石比 1：2 的土石，其起動坡度與含水量關係如表八。

表八 不同地區土石比 1：2 的四公斤土石的起動坡度與含水量關係表

流動坡度 土石比	加水量	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
	公升	公升	公升	公升	公升	公升	公升	公升	公升	公升	公升	公升
<u>泰武鄉</u>			26	16	10	8	8	8				
<u>六龜鄉</u>		30	20	16	12	10	8	8	8			
<u>甲仙鄉</u>						32	20	16	12	8	8	8

十八、泰武鄉、甲仙鄉及六龜鄉土石比 1：2 的起動坡度與含水量的關係比較如圖十。



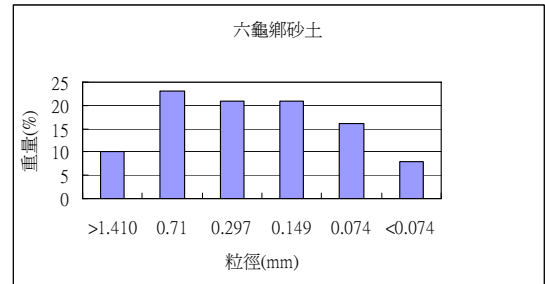
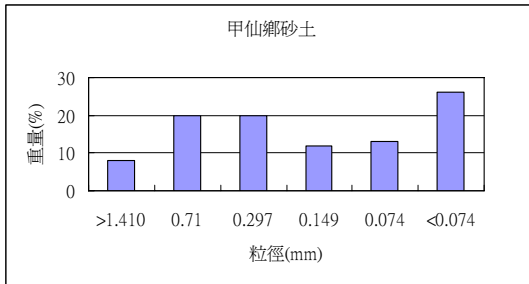
圖十 泰武鄉、甲仙鄉及六龜鄉土石比 1：2 的起動坡度與含水量關係圖

由圖十可知，土石比 1:2 時，三個地區的土石起動坡度在 32 至 8 度間會隨含水量的增加而遞減。在坡度 8 度時，起動坡度與含水量的增加無關；而在 8 度以下，不會發生土石流動。

泰武鄉和六龜鄉的曲線十分接近，和甲仙鄉的相差較多；顯示泰武鄉和六龜鄉的土石材料特性較為相近(兩地皆屬變質岩)，和甲仙鄉的差較遠(屬沉積岩)。甲仙鄉土石起始流動所需之含水量介於 37%~45%之間，六龜鄉的介於 26%~39%之間；顯示甲仙鄉的土石需要較高的含水量才能開始流動。甲仙鄉和六龜鄉的礫石形狀相似(表九)，而甲仙鄉的礫石較能吸水(表九)，且其砂土中的土(粒徑<0.074mm)較多(圖十一)，也吸水較多；但六龜鄉的礫石較不吸水，且其砂土中的土較少(圖十二)。這應該是甲仙鄉的土石需要較高含水量才能開始流動的原因。

表九 泰武鄉、甲仙鄉及六龜鄉的礫石特性表

採樣位置	泰武鄉	甲仙鄉	六龜鄉
礫石岩性	板岩	砂岩及頁岩	變質砂岩為主
礫石吸水性及比重	276.3g 礫石吸水 7.5g，比重 2.44	237.8g 礫石吸水 9.5g，比重 2.39	232.2g 礫石吸水 4.4g，比重 2.51
礫石形狀平均係數	0.35(較扁)	0.65(較圓)	0.62(較圓)



圖十一 甲仙鄉砂土粒徑分布圖

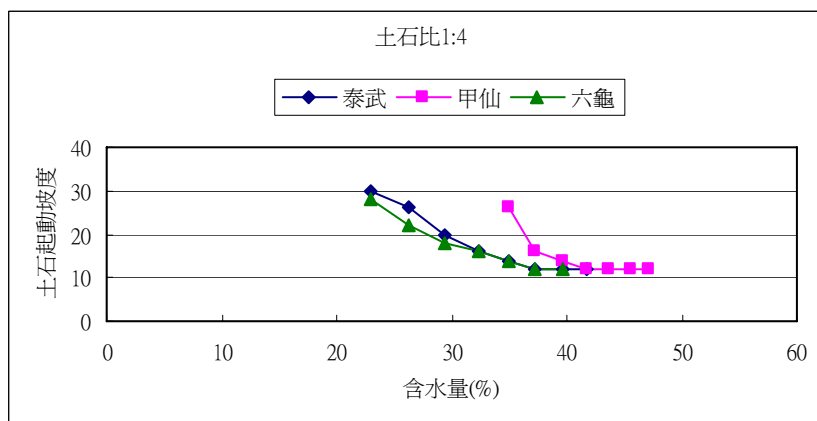
圖十二 六龜鄉砂土粒徑分布圖

十九、泰武鄉、甲仙鄉及六龜鄉土石比 1：4 的土石，其起動坡度與含水量關係如表十。

表十 不同地區土石比 1：4 的四公斤土石的起動坡度與含水量關係表

流動 坡度 土石 比	加水量											
	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	
泰武鄉	30	26	20	16	14	12	12	12				
六龜鄉	28	22	18	16	14	12	12					
甲仙鄉					26	16	14	12	12	12	12	

二十、泰武鄉、甲仙鄉及六龜鄉土石比 1：4 的起動坡度與含水量的關係比較如圖十三。



圖十三 泰武鄉、甲仙鄉及六龜鄉土石比 1：4 的起動坡度與含水量關係圖

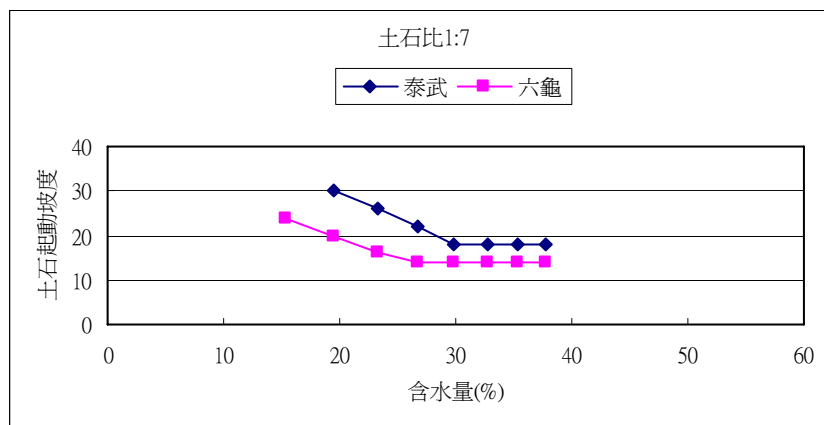
由圖十三可以發現，在土石比 1:4 條件下，三個地區的土石起動坡度在 30 度至 12 度之間會隨含水量的增加而遞減。在坡度 8 度時，起動坡度與含水量的增加無關；而在 12 度以下，不會發生土石流動。

泰武鄉與六龜鄉的曲線變化較相近，而與甲仙鄉的差較遠；曲線代表的意義和圖十的類似。不一樣的地方是泰武鄉與六龜鄉的起始流動所需之含水量約介於 23%~37%，較 1:2 的(28%~39%)低，且傾斜程度也較小。因為土石比 1:4 的礫石含量比較多，且礫石較不吸水，所以不需要那麼多的水就可以達到相同的黏稠度讓土石流動。傾斜程度較小，是因為加水量都是間隔 0.1 公升；砂土含量比較少的，增加 0.1 公升的水，黏稠度降低比較多，潤滑及推動礫石的情形也降低較多，所以要比較高的坡度才能流動。而相較於泰武鄉和六龜鄉，甲仙鄉的土石含水量要介於 35%~41%之間才會開始流動，也較其土石比 1:2 時所需之含水量低一些。

二十一、泰武鄉及六龜鄉土石比 1:7 的四公斤土石，其起動坡度與含水量關係如表十一。
表十一 不同地區土石比 1:7 的四公斤土石的起動坡度與含水量關係表

流動 坡度 土石 比	加 水 量	0.3 公 升	0.4 公 升	0.5 公 升	0.6 公 升	0.7 公 升	0.8 公 升	0.9 公 升	1.0 公 升
泰武鄉			30	26	22	18	18	18	18
六龜鄉		24	20	16	14	14	14	14	14

二十二、泰武鄉及六龜鄉土石比 1:7 的起動坡度與含水量的關係比較如圖十四。



圖十四 泰武鄉及六龜鄉土石比 1:7 的起動坡度與含水量關係圖

甲仙鄉沒有做土石比 1:7 的實驗，因為那裏沒有出現接近這個比值的土石樣品。由圖十四可看出，在土石比 1:7 的條件下，泰武鄉和六龜鄉的土石起動坡度一樣會隨含水量增加而遞減；只是泰武鄉的在約 18 度以上，其起動坡度與含水量才會有關係；而六龜鄉的則在約 14 度以上才會有關係。泰武鄉和六龜鄉在這個比值的曲線變化很一致，但分得很開。含水量相同時，泰武鄉的土石要較高的坡度才能流動。由表六可知，泰武鄉的礫石是板岩，較扁，重心較低；六龜鄉的主要是變質砂岩，

較圓，重心較高。而重心較低，較不容易滾動。

土石比 1:7 時，砂土含量較少，且大部分砂土包覆在礫石表面，可以用來流動並推動礫石的砂土不多，因此礫石形狀對起動坡度的影響變大。

陸、結論

- 一、人工小範圍澆水的方式很難造成土石流。土石流是流動式的山崩，經常在山區狂風暴雨時緊接在滑動式的山崩產生了大量疏鬆土石之後發生；本研究探討的土石流皆屬此類型。
- 二、土石流堆積物中的土石比和土石來源的岩性及山崩情形有關。沉積岩區的土石比為 1:1.2 至 1:3.6，砂土含量較高；變質岩區為 1:2.5 至 1:6.4，礫石含量較高。土石若來自一次大規模山崩，則土石比變化較小；若來自一次大規模山崩，外加多處沿途的小規模山崩，則土石比變化較大。
- 三、沉積岩區的土石除砂土的含量較變質岩區的高之外，其砂土中的土含量也較高。
- 四、土石起動坡度與其含水量密切相關；土石含水量愈高，起動坡度愈低。
- 五、土石起動坡度和含水量的關係還受到土石中的砂土和礫石重量比例(土石比)、礫石形狀、礫石岩性、砂土中的土含量多寡等因素所影響。
- 六、不同土石比的土石，其礫石含量較高的，含水量少時，在較低坡度便會產生流動；而含水量多時，則需較高坡度才能開始流動。推論其原因為土石在低含水量時，黏稠度較高，較能包覆、潤滑礫石，所以不需那麼高的坡度即可使土石流動；而在高含水量時，黏稠度下降，使土石潤滑礫石的效果變差，因此需要較高的坡度才能克服礫石間的摩擦而流動。
- 七、礫石含量較多的，土石起動坡度與含水量無關的坡度較高；而礫石含量較少的，其起動坡度與含水量無關的坡度較低。推論是礫石含量較多的，砂土較少，礫石間的摩擦因而較大，需要較高的坡度才會流動。
- 八、不同地區，而土石比同為 1:7 的，其砂土含量較少，砂土包覆礫石之後，剩餘能流動並推動礫石的砂土變少；因此礫石形狀較扁的，重心較低，較不易滾動，相同含水量時的起動坡度要較高。
- 九、礫石若為沉積岩，則較能吸水，土石開始流動的含水量要較高。本研究發現變質岩區的土石在含水量約 15%至 39%時，起動坡度隨含水量的增加而遞減；而沉積岩區的土石在含水量約 35%至 45%時，起動坡度隨含水量的增加而遞減。
- 十、土石比同是 1:2 或 1:4 的情況下，同屬變質岩區的土石起動坡度與含水量的變化曲線較相似，與沉積岩區的差較多；因為沉積岩的砂土中的土含量較多。也就是土石比相同，但砂土中的土的含量較多的較能吸水，起始流動的含水量要較高。
- 十一、土石比 1:4 的曲線傾斜程度比 1:2 的小，1:7 的又比 1:4 的小。因為加水量每次都是 0.1 公升；砂土含量比較少的，增加 0.1 公升的水，黏稠度降低較多，使礫石間的摩擦升高，要較高的坡度才能流動，所以起動坡度降得較少，因此傾斜程度較小。

柒、參考文獻

- 一、陳宏宇(1998)。土石流，地球科學園地，第六期。
- 二、詹錢登(2004)。土石流發生與降雨特性之關係，科學發展月刊，第 374 期。
- 三、詹錢登(2000)。土石流概論，科技圖書股份有限公司出版。
- 四、詹錢登(1998)。土石流的發生與運動，土木技術，第 1 卷，第 1 期。

【評語】 040508

土石流為台灣每年都會發生的地質災害，作者做此研究對當地有所貢獻，可供參考，主題及材料均取自當地鄉土，值得鼓勵。惟土石流發生的成因沒有交待清楚，因果關係有待詳細說明。基礎的學術性探討有待加強。