

# 中華民國第 64 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國小組 地球科學科

第三名

080503

來吉，來「急」—居安思危話來吉

學校名稱： 國立嘉義大學附設實驗國民小學

作者：	指導老師：
小六 林以捷	劉恬如
小六 羅健豪	陳思儒
小六 章允斌	
小六 黃渝真	
小五 黃品翔	
小五 張東紳	

關鍵詞： 來吉、土石流

# 來吉，來「急」－居安思危話來吉

## 摘要

本研究發現：

一、阿里山來吉附近溪流的野外地質調查發現，此地為沉積岩地層，有很多順向坡，容易造成滑落。坡面堆積和坡腳崖錐，到處可見。在調查中發現四個小斷層，證明此地變動劇烈，地質條件不佳。

二、所謂「來急」，是指本地在颱風或豪雨季節，因坡陡、岩層破碎、崩塌等特性，加上河水湍急，沖刷侵蝕劇烈，氾濫潰堤，無數邊坡堆積的砂石碎屑被帶出來，土石流穿過村子，釀成災難。也就是風大「雨急」、土石「告急」、岌岌可危令人「心急」的總稱。

三、為了「來吉」的安全，建議遷村，政府也於觸口建造「逐鹿社區」永久屋供村民居住。考量留在部落的村民，應該居安思危，平常要做好崩塌地的處理、砌駁坎擋土牆、建造防砂壩等水土保持的工作。

## 壹、研究動機

六上有一個單元是「變動的大地」，在「流水作用」的課程中有提到水流的強弱和河道的坡度，上課時我們做了一個這樣的實驗：用不同強弱的水對小土堆沖刷實驗。發現較弱的水流會帶走泥沙和少許的小碎石；而較強的水流則帶走了許多泥沙和碎石。從實驗中我們學到水流會侵蝕、搬運、堆積，下豪大雨時山區崩塌、被侵蝕的土石常常被雨水帶到海拔較低處釀成災難。因此我們想了解，如何減緩或避免豪大雨對砂石造成土石災難的問題，平時如何居安思危，以維護部落的安全。我們選擇阿里山鄉來吉部落，這個飽受多次土石災難的村子，作為研究的範例。本研究相關的課程：國民小學六上自然與生活科技課本，南一版第三單元變動的大地。

## 貳、研究目的

一、本研究區域的地質情形如何？

(一) 阿里山溪來吉附近溪流與部落周邊的野外地質調查

- (二) 為何居安思危要從部落附近的崩塌地著手？
- (三) 來吉橋下阿里山溪南岸的砂頁岩互層露頭是斷層嗎？

## 二、來吉，為什麼會「來急」？

- (一) 豪雨與沖蝕有甚麼關係？
- (二) 山溝與阿里山溪匯流會有甚麼影響？

## 三、怎樣做好「居安思危」避免土石流來急？

- (一) 怎樣才能讓防砂壩發揮功效？
- (二) 如何做好水土保持，減少土石災難的發生？

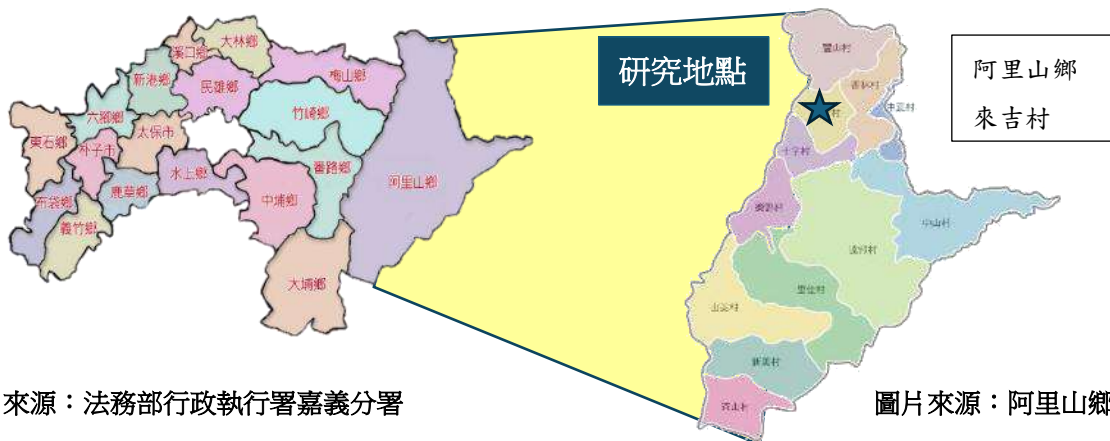
## 參、研究設備及器材

鏟子、木板、尺、量角器、地質錘、傾斜儀、塑膠水盆、鐵鎚、流水臺、模擬降雨器

## 肆、研究過程及方法

### 一、文獻探討

- (一) 來吉部落傍於阿里山溪，海拔高度約 800~900 公尺，北接太和村、南鄰十字村，主要聯外道路為嘉 155、162 甲及 169 縣道。來吉部落鄰近出露地層屬於中新世晚期以砂頁岩互層為主之南莊層。部落分為內來吉、外來吉，分別位於阿里山溪東側之河灘地及河階地，地勢大致由東向西降低。地層走向約為北偏西 10 度、向西傾斜 70 度，部落東側之邊坡屬順向坡，部落東側約 0.5 公里鄰近竹崎斷層。



圖一 研究地點：阿里山鄉來吉村位置圖

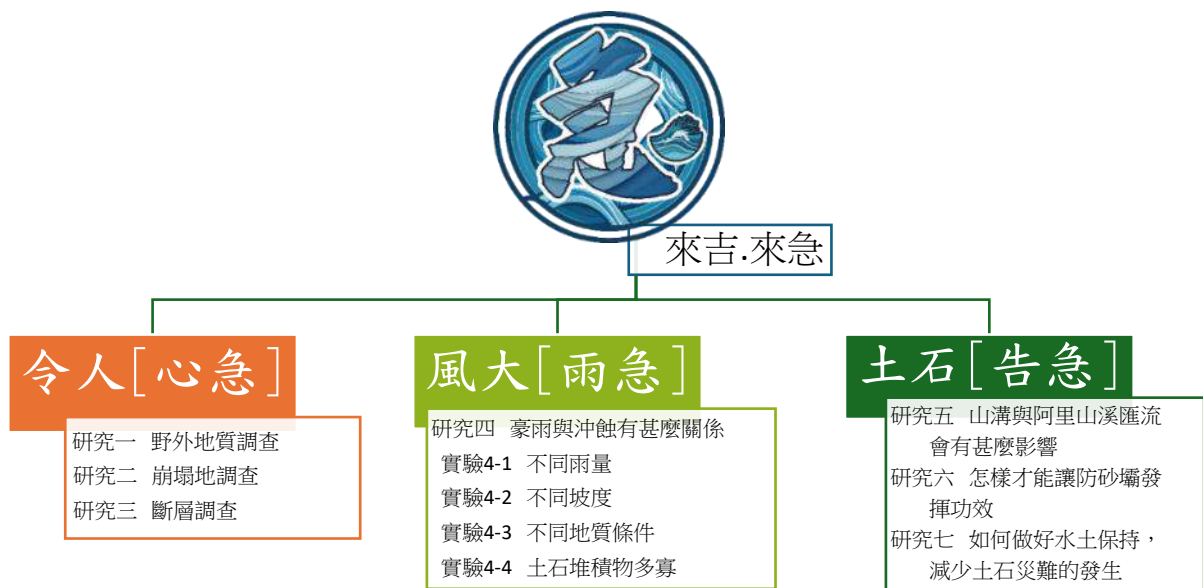
(二) 溪流（阿里山溪在本村）長度 1.15 公里，溪流坡度 30%，主要地質為桂竹林層（砂岩頁岩互層）、台地堆積（礫石、砂、黏土）。地質構造：無斷層帶通過。桂竹林層：形成時間為晚期中新世至早期上新世間，本層以淺海相的砂岩和頁岩為代表；本區出現桂竹層的地方佔了大部分。



圖二 嘉義縣阿里山鄉來吉村與阿里山溪地質圖 (資料來源：101 年 0610 豪雨來吉調查報告)

- (三) 台灣西北部地層的沉積環境，由大陸邊緣的南莊層陸相環境，進入早期前陸盆地時期。當桂竹林層開始向上加深至濱面環境，以及錦水頁岩的遠濱環境，在造山運動形成後，岩層陡峭、地質破碎，產生劇烈的變動。
- (四) 來吉部落主要受到阿里山溪上游大規模面積崩塌，挾帶大量的砂石堆積河道，以歷年河水侵蝕，以至於河床與階地無高差。造成內、外來吉的交通受阻，橋樑的衝毀致使來吉與其他部落的交通困難，以及上邊坡土石流的侵襲與階地被河流侵蝕的雙重打擊。




## 二、研究架構



圖三 研究架構圖

## 研究一、阿里山溪來吉附近溪流與部落周邊的野外地質調查

### 露頭一

	
<p>在來吉橋旁阿里山溪河床上，南邊的堤防，有一段駁坎的護堤，駁坎上方有茂密的樹林，水土保持做得很好。本照片由作者親自拍攝。</p>	<p>我們先找到地層的層面，接著押上一塊硬的板夾，練習使用地質傾斜儀，測量地層的傾斜角度和走向。本照片由作者親自拍攝。</p>
	
<p>左手邊為薄層砂岩與頁岩互層，右邊是塊狀砂岩，它的傾斜走向為北偏西 16 度，向東傾斜 89 度。本照片由作者親自拍攝。</p>	<p>這是來吉橋潛壩西邊的岩層，它的傾斜走向分別是北偏西 14 度，傾斜 76 度。從層面上看來有小斷層挫動。本照片由作者親自拍攝。</p>
	
<p>露頭的左邊是一個背斜構造，砂頁岩互層，右邊墜落下來的岩石沒有稜角是被河水沖蝕過的痕跡。本照片由作者親自拍攝。</p>	<p>這是砂頁岩互層，它的走向是北偏西 20 度，向東傾斜 81 度，地層的解理面是不規則的鋸齒狀。本照片由作者親自拍攝。</p>

### 我們發現：

這些岩層的傾斜角度都超過 70 度，接近垂直，岩石風化破碎很嚴重。沿著阿里山溪，這裡的岩層都是砂頁岩互層。因為這裡的岩層擾動很大，所以崩塌嚴重，可以看到有些駁坎

擋土牆，坡面上崩塌的土石才不至於掉落下來，它的崩塌才不會更嚴重。

在我們的調查中發現，阿里山溪南岸的岩層其中有一些疑似小斷層，也有出現向斜和背斜構造。

## 露頭二

	
<p>左邊的岩層破碎比較嚴重而且是薄層的砂頁岩互層，右邊岩層中的砂岩比較厚，岩層風化作用變得破碎。本照片由作者親自拍攝。</p>	<p>露頭中有一處岩層，從中間往右斜下來，這一條線就是疑似小斷層的位置。本照片由作者親自拍攝。</p>
	
<p>岩層的層面十分混亂，沒有朝同一個方向，雙紅線的上下岩層無法連接，看來這裡曾經有發生劇烈變動。本照片由作者親自拍攝。</p>	<p>這是左邊露頭圖片的另外一個角度，右方的岩層解理面呈半圓弧狀，是因為侵蝕的結果，從解理看來非常破碎。本照片由作者親自拍攝。</p>
	
<p>砂頁岩互層的上方已經有很多土壤，雜草長得很茂盛，可見岩層的風化已經很長一段時間了。本照片由作者親自拍攝。</p>	<p>岩層已經接近垂直，紅線的地方是一個小斷層，砂岩頁岩互層當中，頁岩較為破碎，砂岩層面有尖銳的破裂面。本照片由作者親自拍攝。</p>

## 我們發現：

以上六張圖都是砂頁岩互層，風化嚴重，且層面破碎，傾斜角度接近垂直，看起來層面是不連續，因此我們懷疑這幾處露頭是否是小斷層。

### 露頭三



岩石中有許多砂棒和豐富的氧化鐵，這些砂棒屬於生痕化石，其中靠近原子筆的較粗，和層面平行。本照片由作者親自拍攝。



砂岩的表面有許多砂棒，是過去生物活動痕跡，或是軟體動物的棲息地。砂棒總共有 17 個。本照片由作者親自拍攝。



砂岩上有長條狀凹痕，推測是某種生物緩慢爬過的痕跡，圓柱狀的砂棒風化脫落，形成一個小的凹槽。本照片由作者親自拍攝。



砂岩上有 3 個紅褐色的結核直徑約 5 公分，一旁也有生物活動的痕跡，在原子筆的斜上方有脫落掉的砂棒。本照片由作者親自拍攝。



砂岩上有約 30 公分的鹿角狀砂棒最特別，還有小的砂棒 14 個，可見這邊曾經有許多軟體生物在這附近。本照片由作者親自拍攝。



推論是鑄狀構造，是河流在堆積時，不同岩石或礦物造成的，凸出的部分是上面，其他層面也有鑄狀構造。本照片由作者親自拍攝。



河床上的一塊砂岩，岩石中央部分有一些小砂棒，表面斑駁顏色在灰跟深灰之間，層理不明顯，石塊周圍棱角不見了，可能已經搬運一段距離。本照片由作者親自拍攝。



這顆石頭長軸約 14 公分大，上方有許多風化產生的土紅色斑點，應該是砂岩上面有許多的氧化鐵。石頭表面的坑洞，是氧化鐵風化後掉落形成的。本照片由作者親自拍攝。

### 我們發現：

河床上的這一些石頭正好可以透露來吉部落附近或遠處的地層裡曾經是沉積環境，因此在地層中還留有砂棒化石。此外還有一些礦物和砂岩顆粒混在一起，形成地層。當這些岩層風化、龜裂，碎裂或崩落後，被流水帶到這裡來。但是不管如何，此地過去曾經是海底沉積環境已有最好的證明。

### 露頭四



這塊砂岩上有幾處砂棒和砂棒脫落的痕跡與氧化鐵，接近岩石中間處還有一處裂痕，可能被其它岩石推擠過。本照片由作者親自拍攝。



以 35 公分的地質鎚為比例尺旁邊的砂棒大約是 45 公分，表面斑駁，有稜有角，應該沒有被搬運過。本照片由作者親自拍攝。



我們爬到正在爬到高處，上方平緩，如同下游地形，下方岩石比較雜亂。本照片由作者親自拍攝。



在上游，但坡度平緩還有細小的岩石，所以這些石頭可能從較遠地方滾下來。本照片由作者親自拍攝。





這是我們要去上游要經過的路段，這裡十分的陡峭，一路上的石頭有稜有角，路十分的難走。本照片由作者親自拍攝。



地質錘下方的岩石不太平整，疑似貝殼裂，貝殼狀的裂痕大約 35 公分，左右兩邊有紅色的氧化痕跡。本照片由作者親自拍攝。



這塊岩石擁有許多凹痕大概約 60 公分然後這顆岩石凹凸不平的可能是有被侵蝕過。本照片由作者親自拍攝。



岩石高約 30 公分從解理面來看，能看到一層一層的不同顏色的堆積層，有些已經氧化成紅棕色。本照片由作者親自拍攝。



這邊的水量大，石頭也很大，而且大部分的岩石沒有稜角，應該是被水沖刷，或者是被搬運過一段距離。本照片由作者親自拍攝。



這是一塊砂岩頁岩的岩石，岩石中解理面的下方處的波浪紋厚度約 18 公分，上方黃色岩層厚度約 12 公分。本照片由作者親自拍攝。



這塊岩石含有豐富的氧化鐵，岩石中間與外面看起來不一樣應該是結核，結核的長軸約是 35 公分。本照片由作者親自拍攝。



這塊岩石的層面，有著許多的砂棒，看來以前的軟體動物並不是垂直鑽洞，而是接近水平的方式鑽洞。本照片由作者親自拍攝。



這塊砂岩有好幾處的氧化鐵，砂岩的外表也有稜有角應該沒被搬運過，岩石的層面有一處結核。本照片由作者親自拍攝。



這塊岩石的高度是 140 公分，岩石外觀接近圓形，可能被水搬運一段距離，稜角已被磨圓。本照片由作者親自拍攝。



此砂岩長約 30 公分，表面有一薄層破碎的頁岩，且原本灰色的砂岩已氧化成土黃色。本照片由作者親自拍攝。



此石高約 30 公分，上面有條線，是層面與層面之間的界線，可能由不同材料構成。本照片由作者親自拍攝。



此砂岩中有大量的氧化鐵，看起來紅紅的，岩石也有稜有角，所以應該沒有被搬運過。本照片由作者親自拍攝。



這顆岩石有稜有角，應沒有被搬運過，岩石被撞裂，裂開的地方，有貝殼紋。本照片由作者親自拍攝。



這顆岩石上有堆積的紋路其中還能看到兩條明顯的氧化痕跡，放地質鎚的部分像是結核脫落所留下來的痕跡。本照片由作者親自拍攝。



用 35 公分的地質鎚當做比例尺，這塊砂岩長軸 105 公分高度 40 公分，堆積在河灘地。本照片由作者親自拍攝。



這顆岩石是一個砂岩頁岩互層，以地質鎚為比例尺岩石的高度是 70 公分，表面的砂棒因為風化而脫落。本照片由作者親自拍攝。



我們面對著來吉橋，壩堤上能看到不少大於 50 公分的石頭，下方的石頭則大小不一，有些像是大石頭的碎屑。本照片由作者親自拍攝。

### 我們發現：

鄰近來吉的石濁溪，屬於來吉範圍的一條小溪，阿里山溪穿過來吉村，而石濁溪就在來吉附近匯入阿里山溪。不管八八風災或桃芝颱風等，每次颱風豪雨都從高地將坡地上的堆積物或一些崖錐帶出來，而這一些砂石把原來的河道作為堆積的場所，使得原來寬廣的河道，變成大小石頭密布，且河床表面都是大石頭的河道。我們沿著石濁溪走，在壩堤上可見大小不一的石頭，在在顯示出此地經歷過颱風豪雨最好的證據。

## 研究二 為何居安思危，要從部落附近的崩塌地著手？

「來急」，我們假設需要兩個條件：平時就有崩落的堆積物，另外必須是雨量集中而且雨量大。在野外地質調查中發現，崩塌地會有崖錐，堆積岩塊碎屑和砂土很多。我們把來吉觀察到的崩塌地，依其崩塌情形分成三類，第一種型態是順向坡的滑落。第二種型態是非層面上的碎屑沿著坡面滑落下而造成的崩塌。第三種型態是墜落。

1 本照片由作者親自拍攝。	2 本照片由作者親自拍攝。	3 本照片由作者親自拍攝。	4 本照片由作者親自拍攝。
			
5 本照片由作者親自拍攝。	6 本照片由作者親自拍攝。	7 本照片由作者親自拍攝。	8 本照片由作者親自拍攝。
			
9 本照片由作者親自拍攝。	10 本照片由作者親自拍攝。	11 本照片由作者親自拍攝。	12 本照片由作者親自拍攝。
			
13 本照片由作者親自拍攝。	14 本照片由作者親自拍攝。	15 本照片由作者親自拍攝。	16 本照片由作者親自拍攝。
			

上圖十六個野外觀察的點，所看到的崩塌地，分類整理如下表：

表一 來吉附近地區崩塌類型分類統計表


第一種型態—順向坡滑落	2、5、9
第二種型態—其他坡形滑落	1、3、4、7、8、12、13、14、15、16
第三種型態—墜落	6、10、11

### 實驗 2-1 順向坡崩塌滑落(摩擦力小)

1.實驗設計：使用三塊石塊，模擬龜裂的岩石，將石塊擺在木板上，用鐵鎚敲擊木板製造震動的情況，觀察坡度 15 度時，順向坡滑落情形。

2.實驗器材：鐵鎚、直尺、木製流水台、石塊

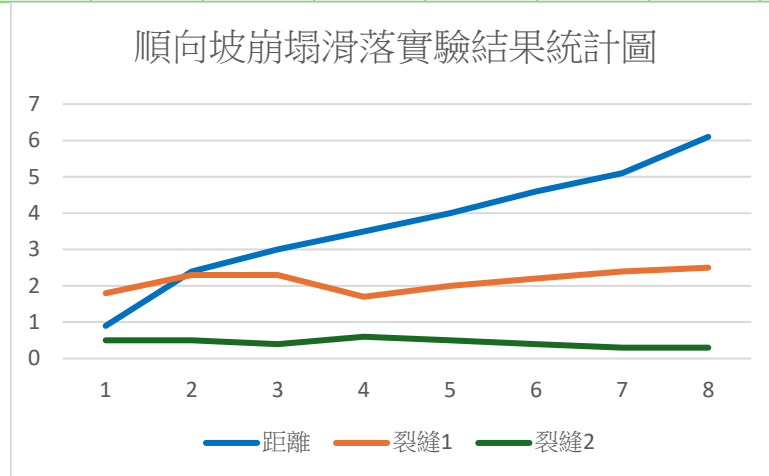
3.實驗記錄：

			
將三塊岩石放在木板上。本照片由作者親自拍攝。	用鐵鎚敲擊旁邊的木板製造震動。本照片由作者親自拍攝。	用尺量出滑落情形，並記錄下來。本照片由作者親自拍攝。	用尺量出裂縫間的距離。本照片由作者親自拍攝。

表二 順向坡崩塌滑落實驗紀錄表

單位：公分

項次	1	2	3	4	5	6	7	8	平均
滑落距離	0.9	2.4	3.0	3.5	4.0	4.6	5.1	6.1	3.7
裂縫1	1.8	2.3	2.3	1.7	2.0	2.2	2.4	2.5	2.2
裂縫2	0.5	0.5	0.4	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.4



圖四 順向坡崩塌滑落實驗 2-1 結果統計圖

### 實驗 2-2 順向坡崩塌滑落(摩擦力大)

1.實驗設計：將大塊的砂岩敲成兩塊，擺在木板上，用鐵鎚敲擊木板製造震動的情況，觀察坡度 15 度時，順向坡滑落情形。觀察在滑落過程，摩擦力的差異。

2.實驗器材：鐵鎚、直尺、木製流水台、砂岩

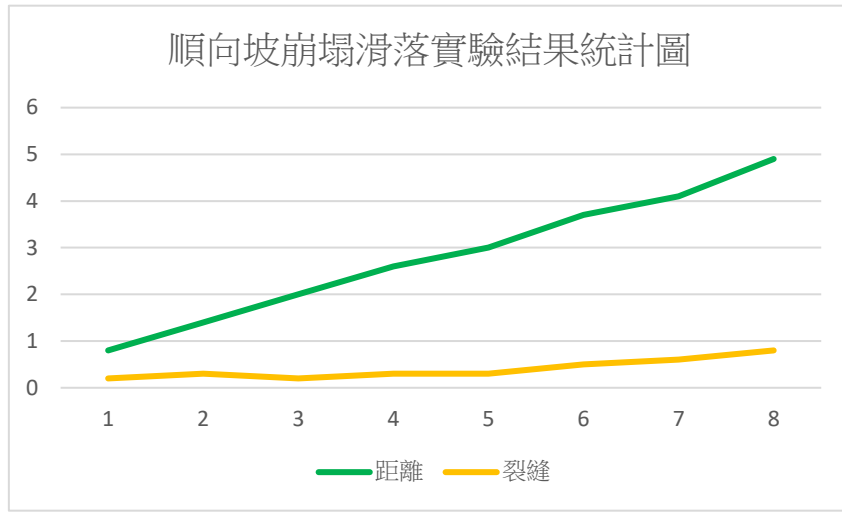
3.實驗記錄：

			
拿一大塊砂岩。本照片由作者親自拍攝。	用鐵鎚將砂岩敲成兩塊。本照片由作者親自拍攝。	擺在坡度 15 度的木板上。本照片由作者親自拍攝。	用鐵鎚敲擊木板，觀察滑落情形。本照片由作者親自拍攝。

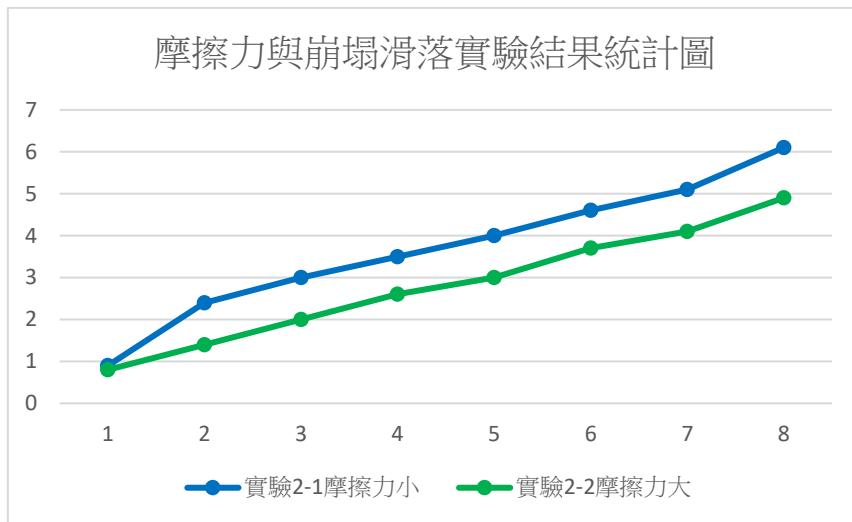
表三 摩擦力與崩塌滑落實驗紀錄表單位

單位：公分

項次	1	2	3	4	5	6	7	8	平均
距離	0.8	1.4	2	2.6	3.0	3.7	4.1	4.9	2.8
裂縫	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.5	0.6	0.8	0.4



圖五 順向坡崩塌滑落實驗 2-2 結果統計圖



圖六 摩擦力與崩塌滑落實驗結果統計圖

4. 實驗結果：

1. 崩塌地摩擦力大小與造成土石流材料的堆積有關係；崩塌下來的石塊、中小石子、砂粒，因摩擦力大，都會堆積在一起，停留在坡面上，少數會在坡腳形成崖錐。颶風或雨小的時候，會把砂子帶走。雨大一點也只能帶走小石子，而且搬運的距離不遠。但是豪大雨或連續下雨，原來堆積的大小石頭和這些被帶到低處、河邊的石頭會全部被搬走，有時也會變成泥流或土石流。

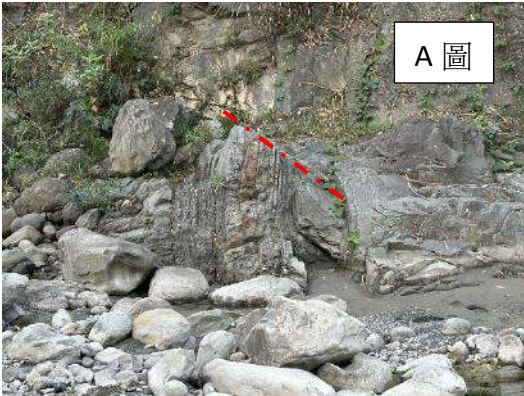
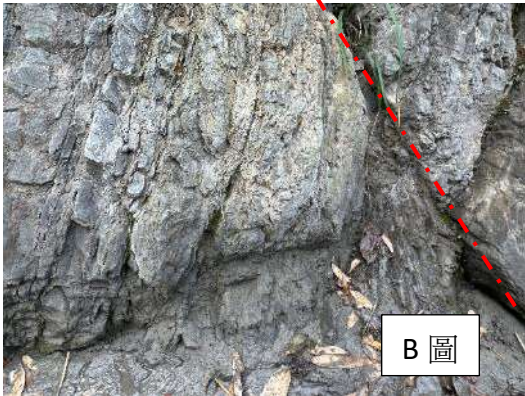
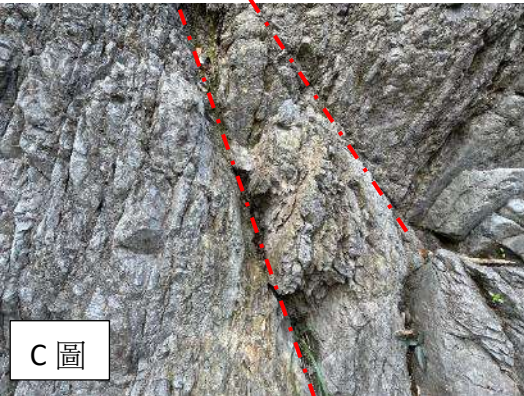
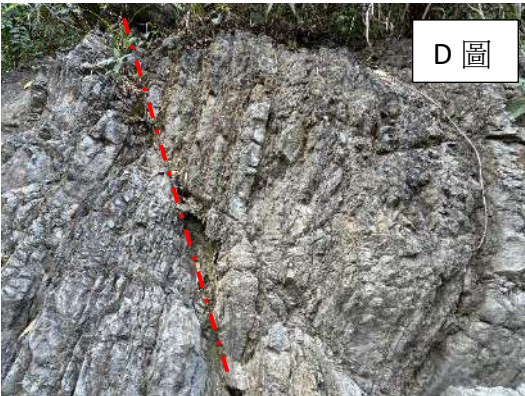
2. 來吉的崩塌類型是坡面上的碎屑沿著坡面滑落下而造成的崩塌居多，這些崩塌滑落的石

塊，屬於第二類。但是不管哪一類，他們的滑動會跟摩擦力有關係；當摩擦力大的時候，它們很可能在移動後只留在坡面上，暫時不會掉到坡腳的地方。不過當豪大雨來臨，水有可能變成一種潤滑作用，使摩擦力變低，這時候原有這些石塊，就會形成劇烈的移動。

3.坡面上碎屑的堆積和崖錐，都會在颱風豪大雨時，變成土石流的材料。像賀伯颱風和莫拉克颱風，在短短兩天，就下了約 2000ml 的雨量，幾乎是台灣平均的年雨量，這真的就是「來急」，難怪會釀成土石災難，對居民的生活影響很大。所以，若要居安思危，平常就要將崩塌地妥善處理。

### 研究三 來吉橋下阿里山溪南岸的砂頁岩互層露頭是斷層嗎？

我們在來吉橋，發現了好幾處斷層(如下圖 A-D)。

 <p>A 圖</p>	 <p>B 圖</p>
<p>這一處露頭擾動很厲害，圖中紅線右上方的塊狀砂岩，與左下的薄層砂頁岩互層，是不整合的地方。本照片由作者親自拍攝。</p>	<p>露頭中的一處岩層，畫紅線的地方疑似小斷層，從中間往右斜下來，這一條線就是疑似斷層的位置。本照片由作者親自拍攝。</p>
 <p>C 圖</p>	 <p>D 圖</p>
<p>岩層的層面十分混亂，沒有朝同一個方向，雙紅線的上下岩層無法連接，看來這裡曾經有發生劇烈變動。本照片由作者親自拍攝。</p>	<p>這是左邊露頭圖片的另外一個角度，右方的岩層解理面呈半圓弧狀，是因為侵蝕的結果，從解理看來非常破碎。本照片由作者親自拍攝。</p>

我們發現：

野外觀察露頭一和露頭二，我們在來吉橋東邊看到不整合面的岩層，是沉積擾動的現象。從它們不整合面的分界處，上下砂頁岩互層，無法完整連接，因此我們判斷是小斷層。以圖 A 來說，右上角是塊狀砂岩，左下角的砂頁岩較互層薄，有很明顯的不同。其他另外三個露頭的疑似現象，情形也是一樣。

有關斷層的定義，岩層如果受到不同方向的力量，就會像塑膠板一樣，先扭曲變形，然後在某一處先斷裂。隨後同一組其他的岩層也會連續斷裂，並且彈跳到新的位置。當整個岩層斷裂，並且都到達新位置後，整個的過程就結束，而新產生的破裂面就是斷層面，穿過地表的一條線，就稱斷層線（呂石明，1999）。

### 研究三小結：

我們在現地發現了，上下盤的岩層層面傾斜角度接近垂直，所以可見這裡曾經有過很劇烈的變動。在現場看到了本來應該要接連下去的岩層，但是卻錯開了，上下盤交錯的角度約 48 度，經過了斷層面之後，上盤向下往西錯動，整個面就以「正斷層」的型態錯開；而本來是塊狀砂岩，經過斷層錯動之後，砂岩卻無法和下盤的砂頁岩互層之地層連接。

因此經過討論後，我們認為，雖然從從文獻探討知道來吉附近的地質構造沒有斷層帶通過，但是此地的層面型態，應該就是一個「小斷層」，而且是屬於「正斷層」。

### 研究結果（一）的總結：來吉的地質如何？

針對本研究區域的地質調查，從研究一~三綜合起來得到以下三個結果：

1. 阿里山溪來吉附近溪流與部落周邊的野外地質調查結果發現，此地均為沉積岩地層，是砂頁岩互層，走向約為北偏西、向西傾斜約在 70 度，加上很多順向坡，容易造成滑落，坡面堆積和坡腳崖錐，到處可見。
2. 為了居安思危，我們必須要從部落附近的崩塌地著手，隨時監控，並做好水土保持、治山防洪的工程。
3. 經過深入探討，對於來吉橋下阿里山溪南岸露頭一和露頭二，其中四處露頭疑似斷層的問題；因為岩層不連續的層理，有很明顯地錯動，出現一些斷層，甚至上下岩性差異大，因此我們這四個露頭是小斷層。



## 研究四 豪雨與沖蝕有甚麼關係?

表 4 歷年來發生在阿里山雨量較多的前 6 名 (資料來源：中央氣象局)

年份	2009	1996	2008	2005	2004	2007
颱風名稱	莫拉克 MORAKOT	賀伯 HERB	辛樂克 SINLAKU	海棠 HAITANG	蒲公英 MINDULLE	羅莎 KROSA
降雨量	3059	1987	1470	1241	1181	1093

備註：阿里山每年平均的年降雨量為 3,940.6 公釐

以賀伯颱風和莫拉克颱風為例，我們從文獻上知道，這兩次颱風，具有相同的特性，也就是一次颱風來襲，所夾帶的雨量幾乎超過當地平均年雨量的二分之一。這是非常可怕的雨量，一次颱風來襲前後僅約 7 天左右，短短幾天就把數量這麼多的雨水都下下來，真的是來得很「急」。

根據上述特點，我們想藉實驗來驗證「豪雨會影響侵蝕」的原因中，是否與「降雨量」、「坡度」、「地質條件」、「土石堆積」有關係，因此設計了下列實驗來驗證。

### 實驗 4-1 不同的水量與坡地沖蝕關係為何?

#### 1. 實驗設計：

不同的水量，在模擬坡度 15 度的坡面上，觀察水量與崩塌的關係。



#### 2. 實驗觀察記錄

表 5 水量與坡地沖蝕關係實驗紀錄

沖蝕物的體積 (cm<sup>3</sup>)

水量	實驗記錄	沖蝕量
650 cc	坡面產生表面的侵蝕，模擬河道末端的前緣崩塌較為明顯，出現 5 條蝕溝。	127.17cm <sup>3</sup>
800 cc	流水依原來蝕溝繼續侵蝕蝕溝，右側第二條跟第一條蝕溝變併成一條，左側第五條的蝕溝變寬了。	298.85 cm <sup>3</sup>
950 cc	右側蝕溝越來越大，底部被帶走的土石部分越來越多，侵蝕部分有向源頭侵蝕的情形發生。	318.15 cm <sup>3</sup>
1100 cc	模擬河道上只剩一個小小的獨立土石在那裡，其他的土石都被帶走了，蝕溝侵蝕很嚴重。	521.40 cm <sup>3</sup>

3.實驗結果：

- (1) 沖蝕坡面的水量越多，沖蝕量愈多，這些土石會被流水往坡腳地方搬運、堆積。
- (2) 實驗結果發現，水量與坡地崩塌有關係；水量越大，崩塌會越嚴重。

實驗 4-2 不同的坡度與坡地沖蝕關係為何？

1.實驗設計：

不同的坡度（20、25、30、35 度），在模擬河道的坡面上，使用水 650 cc 沖蝕，觀察坡度與崩塌的關係。實驗裝置如右圖。



實驗設計。本照片由作者親自拍攝。

2.實驗記錄

表 6 坡度與沖蝕關係實驗紀錄

沖蝕物的體積 (cm<sup>3</sup>)

坡度	實驗觀察記錄	沖蝕量
20 度	水大量流出，所以土塊沖下，下方沖蝕很嚴重，水流位置都一樣，形成兩條蝕溝。有一些大石塊被沖下，上方也有沖蝕，水溝變寬。	158.96
25 度	有許多碎石掉落，侵蝕更嚴重，上方也有些侵蝕形成小水溝，水流變大，石頭裸露，右邊侵蝕嚴重。	222.55
30 度	右邊的蝕溝變深，右上角被侵蝕，上方土石被沖掉了，頂部土石被沖到下方，下方土石滑落。河流速度變快，河水沖刷底部，下方泥土被沖刷至底部，左邊有明顯侵蝕。	298.85
35 度	下方石頭一點滑落，上方有些小碎石被沖刷下來，一點泥沙滑落至右邊再滑下來。右邊的泥土因為底部被水淘空，造成上面的土石滑落。最高處有大塊石頭掉落，兩邊都有明顯的水流，整個右邊被淘空，左邊流水量增加，下方只剩中間有一些泥沙，其餘全被沖走。	349.72

- 3.實驗結果：沖蝕坡面的水量同，坡度越陡，土石被侵蝕的量愈多，崩塌也越嚴重。這些土石會被流水往坡腳地方搬運、堆積。

### 實驗 4-3 不同的地質條件與坡地沖蝕關係為何？

#### 1. 實驗設計：

不同的地質條件（河階堆積 A 型、坡地地層 B 型），在模擬的坡面上，A1、B1 型，坡度 10 度。A2、B2 型，坡度 20 度，使用模擬降雨的方法，觀察他們之間的關係。



#### 2. 實驗記錄

表 7 地質條件（A、B）與坡地沖蝕關係實驗紀錄 沖蝕物的體積（cm<sup>3</sup>）

類 型	實驗記錄										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
A1	23.6	29.8	29.2	27.8	28.6	32.6	29.6	26.6	26.9	28.1	<b>28.28</b>
A2	121.2	131.6	122.7	130.8	144.2	137.2	139.4	146.2	138.6	129.8	<b>134.17</b>
B1	2.1	2.5	3.2	3.1	2.5	2.3	2.6	2.5	3.2	2.1	<b>2.61</b>
B2	17.8	23.6	20.8	22.2	24.8	21.8	27.8	24.6	26.8	25.2	<b>23.54</b>


#### 3. 實驗結果：

- 我們以設計河階堆積的 A 型(表示一般堆積)和坡地地層的 B 型(夯實地層代表)，作為不同的地質條件，在模擬的坡面上，觀察不同的地質條件與沖蝕的關係。
- 實驗結果發現，雨水沖蝕和坡面的坡度與地質條件有關係；坡地地層與河階堆積的地質比較起來，它的沖蝕量較小、坡度越大的河階堆積的沖蝕越嚴重。

### 實驗 4-4 土石堆積物的多寡與土石沖蝕的關係為何？

#### 1. 實驗設計：

使用相同水量，沖蝕流水台檯面上的堆積物（C 組的堆積物：200cm<sup>3</sup>；D 組的堆積物：600cm<sup>3</sup>），模擬相同的沖蝕強度在對坡面上堆積物的影響，紀錄崩落的堆積物體積，觀察它們的關係。

		
C 組: 200cm <sup>3</sup> 堆積物。本照片由作者親自拍攝。	倒入 1000ml 的水量。本照片由作者親自拍攝。	觀察記錄堆積物的情形。本照片由作者親自拍攝。
		
D 組: 600cm <sup>3</sup> 堆積物。本照片由作者親自拍攝。	倒入 1000ml 的水量。本照片由作者親自拍攝。	觀察記錄堆積物的情形。本照片由作者親自拍攝。

## 2. 實驗記錄

表 8 坡面堆積物的多寡與坡地沖蝕關係實驗紀錄表

單位：cm<sup>3</sup>

類別	實驗記錄										平均
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
C	159.5	169.5	123.5	134.2	158.1	140.7	165.2	157.4	147.8	110.1	145.4
D	384.6	458.4	393.6	449.8	465.5	426.1	471.2	474.3	418.7	463.6	440.6

## 3. 實驗結果：

- (1) 沖蝕的水量和流水台的坡度相同，堆積物越多，堆積的土石被移動到坡腳低窪地方的體積越多。
- (2) 實驗結果發現，坡面上堆積物量的多寡與崩塌的嚴重與否有關係；摩擦力越小、坡度越大，崩塌會越嚴重。

## 研究四小結：

就像文獻探討中的說法，經過實驗驗證，「豪雨會造成來吉附近沖蝕」的原因，真的與「水量」、「坡度」、「地質條件」、「土石堆積」有關係；例如流水台的水量大，容易沖蝕。而坡度越陡，沖蝕會越嚴重。由於此地的地質為砂頁岩互層的沉積構造和台地堆積，因此在坡面上或層面容易產生風化及碎屑聚在上層；豪雨一來自然而然地會把它們帶下來；小則阻礙

交通，嚴重的時候造成財產損失、危及生命。

### 研究五 山溝與阿里山溪匯流會有甚麼影響？

針對野外調查蒐集的資料，我們發現阿里山溪兩側的山溝，有不少的裸露地，這些裸露地的坡度大都很陡，可以想像到或看到崩塌的情形。當這一些崩落的砂石隨著雨水流到河道，形成情形，如水滿起來變成氾濫成災，或形成河岸的掏空、侵蝕。下列照片是文獻中過去發生的情形；目前這些情形仍常發生，這種情形會有甚麼影響？我們應該如何因應，以下是我們的實驗設計。



### 進行模擬山溝與阿里山溪匯流的實驗

#### 1. 實驗設計：

先在塑膠流水台上做一個模擬河道，再從上游山溝坡面的土堆，用模擬降雨器灑水在上游的土堆，看看搬運下來的土石會造成甚麼影響。

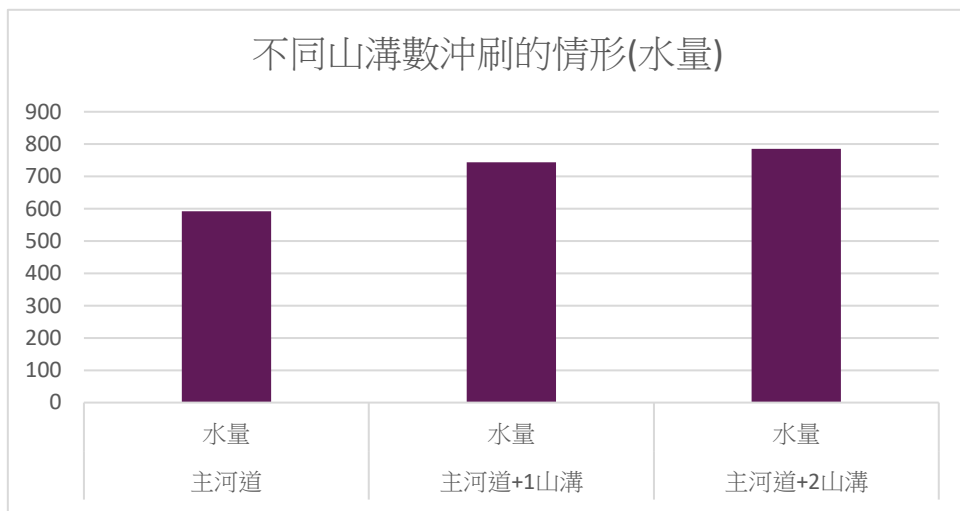


2.實驗器材：塑膠流水台、砂土、水盆、鏟子、模擬降雨器、燒杯、量筒。

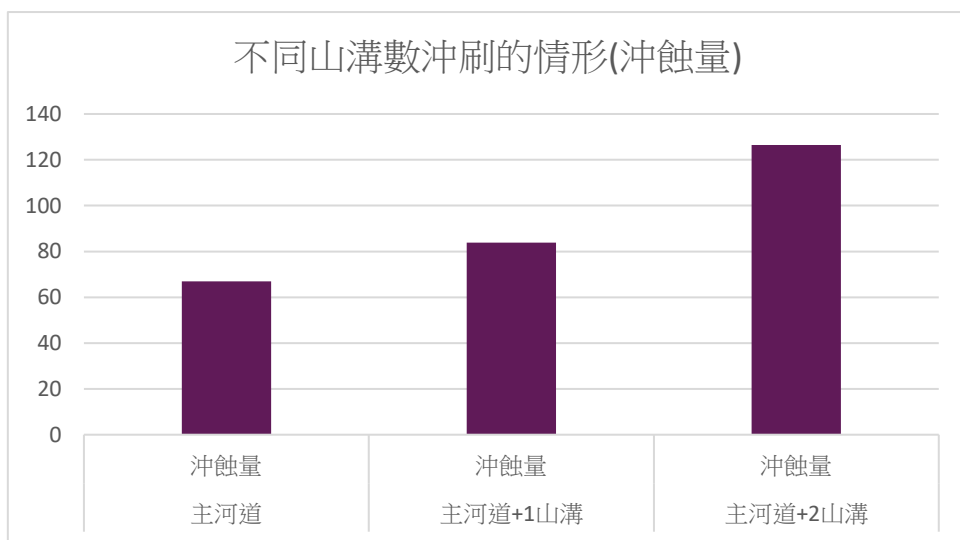
3.實驗記錄：

表9 模擬山溝壓迫主河道實驗紀錄表

項次		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
主河道	水量	632	432	662	643	546	610	600	644	535	615	591.9
	沖蝕量	72	71	73	58	54	56	95	85	45	61	67
主河道 +1 山溝	水量	646	768	716	704	774	804	700	688	843	798	744.1
	沖蝕量	87	80	66	100	68	101	99	78	84	76	83.9
主河道 +2 山溝	水量	718	806	718	732	794	808	824	854	818	780	785.2
	沖蝕量	164	142	178	110	83	105	132	154	81	116	126.5



圖七 模擬山溝壓迫主河道實驗統計圖(水量)



圖八 模擬山溝壓迫主河道實驗統計圖(沖蝕量)

4.實驗結果:

- (1) 從模擬實驗發現當河道的旁的山溝越多，所沖刷下來的水量及沖蝕量都越多。山溝上面的土沖下來後，因為被前方的主河道堤防擋住了，所以只能在附近堆積，

因此侵蝕加劇，河床變高，壓迫到主河道。

- (2) 對照空拍圖，可發現主河道被壓迫後，繼續侵蝕沖毀了河道兩側的堤防，使河階台上的民宅會接近河床高度，而造成危險。

### 研究結果(二)的總結：來吉，為什麼會「來急」？

針對本研究區域的地質調查研究四~五綜合起來得到以下兩個結果：

1. 阿里山溪來吉附近溪流與部落周邊的無數山溝，形成以阿里山溪為主的集水區。外來吉均在這個範圍，當山溝流下來的土石壓迫主河道時，真的使原來河道的空間縮減；水流的速度會變快侵蝕破壞的能量加大，因此形成另外的一些災難。
2. 解決的方法，就是在山溝適當位置建造防砂壩，減緩砂石流出，降低破壞力，減少壓迫主河道的情形發生。

	
<p>莫拉克颱風後來吉附近的空照照片。當山溝與主河道匯流後，豪大雨帶來的土石佈滿河道，使河床與階地高度接近。</p> <p>圖片來源:莫拉克 88news.org(村長:陳有福提供)</p>	<p>由上圖可見八八災後墊高的溪床，與來吉一、二鄰等高。若降雨水量再一直增加，真的就很危險。</p> <p>圖片來源:莫拉克 88news.org(村長:陳有福提供)</p>

### 研究六 怎樣才能讓防砂壩發揮功效？

在來吉部落經常發生的就是豪大雨來臨，就容易在此地形成土石崩塌、阻塞河道，危害沿岸住在河階台上的住民。這個問題，政府部門老早就知道，所以在阿里山溪流經這裡的一公里多的河道上就保持警戒，並且在有關的山溝或崩塌地上，建築防砂壩，避免山溝流出來的砂石造成傷害。不過我們在文獻探討與野外調查時發現，有些防砂壩為何會失去攔阻土石的功能，其原因為何，我們想設計實驗來找出答案。我們的實驗設計如下：

### 1.實驗設計：

在相同的坡度(25 度)，設下防砂壩(一個、兩個、三個)，使用  $500\text{cm}^3$  的土，再用 400cc 沖蝕，觀察防砂壩的多寡與崩塌的關係。

2.實驗器材：1 公尺長的簡易防砂壩流水台木板、水瓶、量角器、量杯和水。

### 沒有防砂壩的沖蝕試驗

		
泥土放到鋁製的流水台。本照片由作者親自拍攝。	開始進行沖蝕。本照片由作者親自拍攝。	土越來越多被沖蝕走。本照片由作者親自拍攝。

實驗觀察記錄：兩旁的土持續被沖蝕，上方也有些被沖蝕掉了。

### 一道、兩道、三道防砂壩的沖蝕試驗

		
一道防砂壩。本照片由作者親自拍攝。	二道防砂壩。本照片由作者親自拍攝。	三道防砂壩。本照片由作者親自拍攝。

實驗觀察記錄：從沖刷下來的土量可以明顯發現防砂壩的功用，越多的防砂壩可以擋住越多的土量。



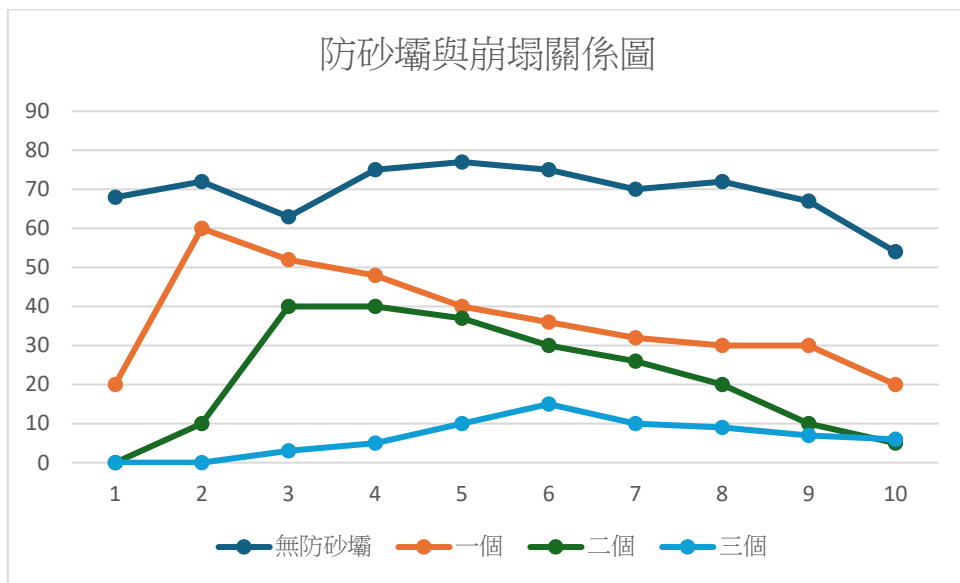
3.實驗記錄：

表 10 防砂壩與崩塌關係實驗記錄表

崩塌物體積(cm<sup>3</sup>)

項次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
無防砂壩	68	72	63	75	77	75	70	72	67	54	69.3
一個	20	60	52	48	40	36	32	30	30	20	36.8
二個	0	10	40	40	37	30	26	20	10	5	21.8
三個	0	0	3	5	10	15	10	9	7	6	6.5

說明：一個是指在 1 公尺長的簡易防砂壩流水台上只設一道防砂壩；二個是指設置兩道防砂壩；三個指三道防砂壩。



圖九 防砂壩與崩塌關係統計圖

4.實驗結果:

- (1) 沖蝕坡面的水量同，防砂壩越多，土石被沖蝕的量越少。
- (2) 實驗結果發現，防砂壩與坡面崩塌有關係；防砂壩越多，崩塌越不嚴重。
- (3) 由上圖八可以發現，越多的防砂壩可以阻擋越多的土石流下，第一次沖刷下，兩個和三個防砂壩都完全攔截土石落下。一道防砂壩在沖刷第 2 次達到最大量；兩道防砂壩在第 3.4 次達到最大量；三道防砂壩在第 6 次才達到最大量，由此可知，建築防砂壩能有效阻止土石流失。

研究六小結：

針對防砂壩為何會失去攔阻土石的功效的問題，我們從野外地質調查、與室內的流水台實驗發現，真的，有時候防砂壩會失去攔阻土石的功效，因為防砂壩攔阻崩落的土石有一定的量。當防砂壩前的溢水口水平線下，都已注滿砂石以後，若再有崩塌砂石沖下來的話，那

一道防砂壩就無法攔阻砂石；砂石直衝下來，造成下方河床潰堤、侵蝕河岸、阻塞河道，成為災難。

從實驗過程我們看到，防砂壩的多寡與沖蝕有關係，同一坡度和雨水量，防砂壩少，沖下來的土石就多；相反的，防砂壩越多，帶下來的土石就比較少。因為此地的崩塌情形受到地質與坡度的影響，在某一階段時間裡，或許所設置的防砂壩就足以發揮功能，但是再經歷一段時間後情況可能就不一樣，因此就必須再往上游構置另一道或兩道防砂壩。

## 研究七 如何做好水土保持，減少土石災難的發生？

### 1. 實驗設計：駁坎擋土牆如何維護聚落與坡地的安全

我們在一個塑膠盆上，製作駁坎擋土牆的模型，做好了以後，在坡面上灑水，觀察比較「沒有做駁坎的坡地」和「做好駁坎」坡地，水和土石的侵蝕的情形。

#### 實驗 7-1 駁坎的試驗



### 2. 實驗記錄：

表 11 駁坎擋土牆與崩塌關係實驗紀錄表

類型	實驗記錄
沒駁坎	我們用 1000cc 的水沖蝕泥土，才沖一下就流出很多泥土，最後砂土的高度比原本的一半還少。
有駁坎	一樣用 1000cc 的水沖蝕駁坎上的泥土，泥土和水從模擬駁坎的石子間慢慢的流出來，大部分流出的是水。

### 3. 實驗結果：

我們在實驗中發現，沒駁坎的坡地無法留住雨水和坡面的完整，水流會把坡面上的泥土沖下去，土石也會流失，也會缺乏支撐而坍下來。建造了駁坎的坡地，大石子後面、泥土層

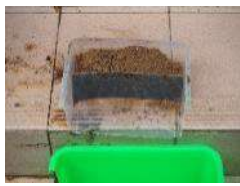



前面的小石子可作緩衝，由於他的顆粒較細，正好可以塞住大顆粒石頭的縫隙，且當作前面大石子的靠山，因為有這些比較小的碎石支撐，以後大石子就和小石子還有泥土成為一體。駁坎做好以後，泥土中的水滲透進去，多餘的水會從石頭與石頭的空隙中流出來，解除擋土牆的側壓力，避免擋土牆垮掉。用石頭砌成的駁坎擋土牆，不但可以達到水土保持的功能，也符合生態和環保的要求。由於這些石頭是從附近的河床或坡地中挖出來的礫石就地取材，可以降低成本，也可以減少搬運的碳足跡。

## 實驗 7-2 水泥擋土牆試驗





### 1. 實驗設計：模擬水泥擋土牆如何維護聚落與坡地的安全

我們在一個塑膠盆上，製作水泥擋土牆的模型，做好了以後，在坡面上灑水，觀察比較「水泥擋土牆」和「模擬雙層水泥擋土牆」坡地，水和土石的侵蝕的情形。

#### 模擬水泥擋土牆的試驗

			
設置一層擋土牆。 本照片由作者親自拍攝。	沖下 500cc 的水。本 照片由作者親自拍攝。	持續加水。本照片由作 者親自拍攝。	觀察土石流下情形。 本照片由作者親自拍攝。

#### 模擬雙層水泥擋土牆的試驗

			
設置雙層擋土牆。 本照片由作者親自拍攝。	沖下 500cc 的水。本 照片由作者親自拍攝。	持續加水。本照片由作 者親自拍攝。	觀察土石流下情形。本 照片由作者親自拍攝。

### 2. 實驗記錄：

表 12 水泥擋土牆與崩塌關係實驗紀錄表

類型	實驗記錄
擋土牆	我們用 500cc 的水沖蝕擋土牆上的泥土，泥土和水從模擬擋土牆的上面慢慢的流出來，大部分流出的是水。
模擬雙層擋土牆	一樣用 500cc 的水沖蝕擋土牆上的泥土，泥土和水從第一個模擬擋土牆的上面慢慢的流出來，有些水與土被第二個擋住了。

### 3.實驗結果：

建造了防砂壩的坡地，擋土牆後面，由於他的擋住了下面，所以砂石只能重上方流出去。建造了兩個防砂壩的坡地，可以把第一個防砂壩擋不住的砂石擋住一些，所以掉下來的泥土更少了。

### 研究結果（三）的總結：來吉，為什麼會「來急」？

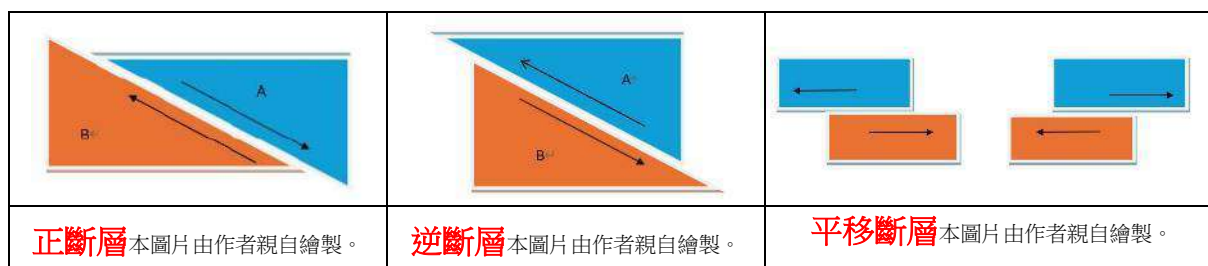
針對本研究區域的地質調查研究六~七綜合起來得到以下兩個結果：

- 1.怎樣才能讓防砂壩發揮功效？我們討論的結果是：目前已經建造好的防砂壩，應該要隨時監控，利用旱季實際勘查，檢討是否符合治山防洪、防止沖蝕的功能。假如沖蝕量仍有增加，表示砂石來源的地方還有崩塌，需要往上繼續再進行處理。對於有需要新建防砂壩的山溝，應該請專家立刻進行評估。
- 2.如何做好水土保持，減少土石災難的發生？我們的建議是在部落附近，接近生活區的地方，規劃擋土牆時，應該注意生態，能採用駁坎方式，融入社區並使擋土滲水與提供動植物棲息，比較合適。至於道路邊坡、堤岸等大型工程，除了安全之外，還得要考慮永續的做法，好讓以後的人也能和我們現在一樣，享受幸福的生活。

## 伍、討論

- 一、此地地質構造為南莊層，砂岩頁岩互層。由於岩層解理發達，岩層破裂面多且雜亂無一定形狀，加上風化的結果，容易崩塌；在河岸邊或邊坡處可以明顯看到崖錐堆積，這些都是流水沖蝕、搬運的材料。來吉部落大致上主要分為兩大群，為內來吉、外來吉，但是都是鄰近阿里山溪旁之河灘地及河階地，地勢大致由東向西降低。在莫拉克颱風之前，部落聚落所處的河階台地，與阿里山溪有一段高差，且距離不短，安全性高；但是莫拉克颱風過後，河水侵蝕、搬運與堆積作用後，部分聚落的河階只略高於河堤，且距離變近，令人擔憂。
- 二、從野外露頭的調查，我們發現一些特殊的岩層排列。我們第一個想到的就是它是不是斷層，回來後再討論。斷層有斷層面、斷層線和斷層盤三要素。斷層面是指岩層受力後發生相對位移的破裂面。呈面狀展布，具有一定的走向、傾向、傾角；斷層面有的光滑，

有的是擦痕，有的呈波狀起伏較粗糙。斷層線是指斷層面與地面的交線。可直可彎，甚至形成一條寬窄不等、成帶狀分布的破碎地帶，稱為斷層破碎帶。斷層盤是指斷層面兩側的斷塊稱為斷層盤。依照斷層兩側岩體相對位移的方式，可以將斷層分類為「正斷層」、「逆斷層」和「平移斷層」三種。



圖十 斷層構造示意圖

斷層形成的原因：地層受到擠壓會產生褶皺現象，當褶皺的現象持續不斷，最終達到岩層無法承受的狀態時，就會導致岩層斷裂並移動，而這種岩層斷裂並發生相對的移動稱為斷層，而地震就是形成斷層時產生的撞擊所造成的。

三、來吉村附近地層走向約為北偏西 10 度、向西傾斜 70 度，形成地層構造陡峭，可見在古老的地質年代裡，變動非常劇烈。此地露頭到處可見差異侵蝕，部分還有地下水滲出，容易加速岩層風化、崩落。部落東側之邊坡屬於順向坡，對岩層大規模崩落的可能性來說，機率很高。部落西南側約 0.5 公里處鄰近來吉大橋，雖然已建新橋，對當地居民的進出提供了很大的保障。但是野外調查時，發現有一根新橋墩基座附近被水沖擊裸露，是否會步舊來吉大橋被溪水淘空的後塵，目前仍無法預測。不過原來阿里山溪南側支流，已經完成防砂壩整治工程，對橋梁的安全而言，是一大喜訊。

四、不同的水量和河道砂石搬運量有關係嗎？經由實驗記錄看來，在模擬河道上，砂石搬運量體積的多寡與河道中流水的水量有關係，水量愈大，河水的搬運量就越多，水量少，搬動的砂石體積就變得比較小。經由實驗發現，不同河川的整治方法與砂石搬運量有關係；原來的河川若按照原來的型態不予處理，也就是任由河流自然侵蝕，那麼河流的下切、側蝕和向源侵蝕，就會自行演化。雖然自然的崩塌、河流侵蝕、搬運、堆積本來就會發生，但是這些改變若產生在山區聚落附近，甚至危害到生命、財產、道路、橋梁，影響交通，那就是令人擔心的。因此，本研究傾向在不影響生態環境的情況下，河川需要整治，其整治的方法就是在河川適當的地方建置防砂壩或梳子壩。

## 陸、結論

- 一、阿里山溪來吉附近溪流與部落周邊的野外地質調查結果發現，此地的地層走向約為北偏西 16 度、向西傾斜 58 度，砂頁岩互層之沉積岩；部落東側之邊坡為塊狀砂岩，屬順向坡。
- 二、阿里山溪來吉附近溪流與部落周邊的崩塌地，其崩塌類型大致可以分為兩類，靠東邊以鐵達尼岩為主的塊狀砂岩，順向坡滑落。其他地區為砂頁岩薄層碎屑崩落；兩者的坡面都很陡峭。
- 三、來吉橋下阿里山溪南岸的砂頁岩互層露頭是否為斷層的問題，經實地調查，深入比對與討論的結果認為，是一處小斷層，屬於正斷層。
- 四、有關豪雨造成來吉附近的土石崩塌的問題，我們認為與此地的地質特性有關，如海相砂頁岩互層的沉積環境與台地堆積，再加上坡度陡、河流沖刷侵蝕嚴重有關係。
- 五、防砂壩為何會失去攔阻土石的功效？其主要原因是阿里山溪在此一公里多的兩側山脊，山溝多，坡面露頭裸露，砂頁岩互層的坡面與層面解理發達、風化劇烈，因此產出較多的崩塌物，致使原設計的防砂壩無法超額負擔，以致失去攔阻的功能。未來則需要在適當的上游處另建防砂壩。
- 六、山溝與阿里山溪匯流處產生壓迫主河道的情形，會影響原來河水行水的速度，並產生多重變化影響安全，必須進行崩塌地的處理。
- 七、我們所謂「來急」，是指本地在颱風或豪雨季節，因坡陡、岩層破碎、崩塌等地質特性，加上河水湍急，沖刷侵蝕劇烈，氾濫潰堤，邊坡堆積的砂石碎屑，一下子都帶出來，形成土石流穿過村子，釀成災難。這種風大「雨急」、土石「告急」、岌岌可危令人「心急」的窘境。為了「來吉」的安全，專家建議遷村，政府也於觸口建造「逐鹿社區」永久屋供村民居住。考慮留在部落的村民，我們認為應該居安思危，平常就要做好崩塌地的處理、砌駁坎、擋土牆、建造防砂壩等水土保持的工作。

## 柒、參考資料

- 一、鄭竣益、林信輝、陳意昌（2006），水土保持學報 38(4)：329 -342 (2006)。

- 二、陳信雄（1995），崩場地調查與分析，國立編譯館部編大學用書。台北市：渤海堂書局。
- 三、林信輝（2007），崩場地坡面保育處理工法。台北市：經濟部水利署。
- 四、阿里山鄉公所網頁。 <https://www.alishan.gov.tw/about.asp?itemid=3>。
- 五、何春蓀（1985），普通地質學。台北：五南。
- 六、蔣東坤、蔡啟漳、王朝義、葉慶祥（1998），嘉義縣境內石棹經光華、大湖至番路間沿線地質、化石之探討暨戶外教學路頭之調查。嘉義市：嘉義市立蘭潭國民中學。
- 七、101年0610豪雨來吉調查報告，水土保持局。
- 八、來吉風災調查報告(2014)，嘉義縣政府。
- 九、岩石邊坡災害調查與整治規劃，中央地質調查所。
- 十、戴清河（2008）。構造地質學。科技圖書，台北市。
- 十一、呂石明（1999）。震出來的問題。大地地理出版，台北市。
- 十二、潘遵友、林殿順、紀文榮(1999)。臺灣西北部大溪地區上新世至更新世地層之沉積環境。台大地質系出版。
- 十三、柳琬玲(2011年9月20日)災後兩年，仍在自己的領域中飄流的鄒族人。莫拉克88news.org。 <https://www.88news.org/>。

## 【評語】 080503

研究主題與減災相關，具社會應用可能。除了施作詳細的野外調查工作，實驗過程也相當繁重。不過，室內實驗以及摩擦力的論述，可能需要加強，另外，建議未來可以說明與歷屆科展結果的差異。



## 作品簡報



來吉，來「急」

—居安思危話來吉

# 摘要

本研究發現：

- 一、阿里山來吉附近溪流的野外地質調查發現，此地為沉積岩地層，有很多順向坡，容易造成滑落。坡面堆積和坡腳崖錐，到處可見。在調查中發現四個小斷層，證明此地變動劇烈，地質條件不佳。
- 二、所謂「來急」，是指本地在颱風或豪雨季節，因坡陡、岩層破碎、崩塌等特性，加上河水湍急，冲刷侵蝕劇烈，汨濫潰堤，無數邊坡堆積的砂石碎屑被帶出來，土石流穿過村子，釀成災難。也就是風大「雨急」、土石「告急」、岌岌可危令人「心急」的總稱。
- 三、為了「來吉」的安全，建議遷村，政府也於觸口建造「逐鹿社區」永久屋供村民居住。考量留在部落的村民，應該居安思危，平常要做好崩塌地的處理、砌駁坎擋土牆、建造防砂壩等水土保持的工作。

## 壹 研究動機

六上有一個單元是「變動的大地」，在「流水作用」的課程中有提到水流的強弱和河道的坡度，上課時我們做了一個這樣的實驗：用不同強弱的水對小土堆沖刷實驗。發現較弱的水流會帶走泥沙和少許的小碎石；而較強的水流則帶走了許多泥沙和碎石。從實驗中我們學到水流會侵蝕、搬運、堆積，下豪大雨時山區崩塌、被侵蝕的土石常常被雨水帶到海拔較低處釀成災難。因此我們想了解，如何減緩或避免豪大雨對砂石造成土石災難的問題，平時如何居安思危，以維護部落的安全。我們選擇阿里山鄉來吉部落，這個飽受多次土石災難的村子，作為研究的範例。本研究相關的課程：國民小學六上自然與生活科技課本，南一版第三單元變動的大地。

## 貳 研究目的

### 一、本研究區域的地質情形如何？

- (一) 阿里山溪來吉附近溪流與部落周邊的野外地質調查。
- (二) 為何居安思危要從部落附近的崩塌地著手？
- (三) 來吉橋下阿里山溪南岸的砂頁岩互層露頭是斷層嗎？

### 二、來吉，為什麼會「來急」？

- (一) 豪雨與沖蝕有甚麼關係？
- (二) 山溝與阿里山溪匯流會有甚麼影響？

### 三、怎樣做好「居安思危」避免土石流來急？

- (一) 怎樣才能讓防砂壩發揮功效？
- (二) 如何做好水土保持，減少土石災難的發生？

## 參 研究設備及器材

鏟子、木板、尺、量角器、地質錘、傾斜儀、塑膠水盆、鐵鏈、流水臺、模擬降雨器

## 肆 研究過程及方法

- 一、文獻探討(請詳見說明書)
- 二、研究架構

### 來吉.來急

#### 令人[心急]

- 研究一 野外地質調查
- 研究二 崩塌地調查
- 研究三 斷層調查

#### 風大[雨急]

- 研究四 豪雨與沖蝕有甚麼關係
- 實驗4-1 不同雨量
- 實驗4-2 不同坡度
- 實驗4-3 不同地質條件
- 實驗4-4 土石堆積物多寡

#### 土石[告急]

- 研究五 山溝與阿里山溪匯流會有甚麼影響
- 研究六 怎樣才能讓防砂壩發揮功效
- 研究七 如何做好水土保持，減少土石災難的發生

## 研究一 阿里山溪來吉附近溪流與部落周邊的野外地質調查

### 露頭一



在來吉橋旁阿里山溪河床上，南邊的堤防，有一段較寬的護堤，堤上方有茂密的樹林，水土保持做得很好。



我們先找到地層的層面，接著押上一塊硬的板夾，練習使用地質傾斜儀，測量地層的傾斜角度和走向。



左手邊為薄層砂岩與頁岩互層，右邊是塊狀砂岩，它的傾斜走向為北偏西16度，向東傾斜89度。



這是來吉橋下游南岸的岩層，它的傾斜走向分別是北偏西14度，傾斜76度。從層面上看來看有小斷層錯動。



露頭的左邊是一個背斜構造，砂頁岩互層，右邊墜落下來，岩石沒有稜角是被河水沖蝕過的痕跡。



這是砂頁岩互層，它的走向是北偏西20度，向東傾斜81度，地層的層面是不規則的鋸齒狀。

### 我們發現：

這些岩層的傾斜角度都超過70度，接近垂直，岩石風化破碎很嚴重。沿著阿里山溪，這裡的岩層都是砂頁岩互層。因為這裡的岩層擾動很大，所以崩塌嚴重，可以看到有些駁坎擋土牆，坡面上崩塌的土石才不至於掉落下來，它的崩塌才會更嚴重。在我們的調查中發現，阿里山溪南岸的岩層其中有一些疑似小斷層，也有出現向斜和背斜構造。

### 露頭二



左邊的岩層破碎比較嚴重而且是薄層的砂頁岩互層，右邊岩層中的砂岩比較厚，岩層風化作用變得破碎。



露頭中有一處岩層，從中間往右斜下來，這一條線就是疑似小斷層的位置。



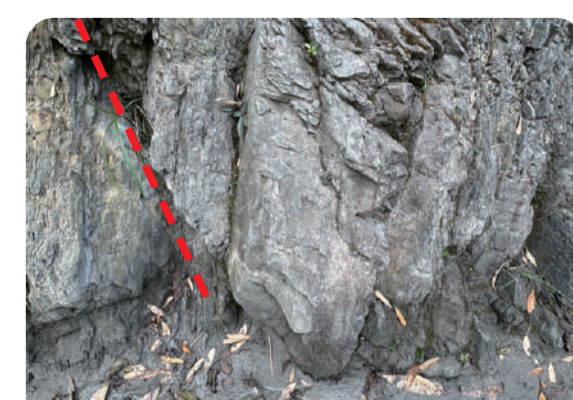
岩層的層面十分混亂，沒有朝同一個方向，雙紅線的上下岩層無法連接，看來這裡曾經有發生劇烈變動。



這是左邊露頭圖片的另外一個角度，右方的岩層層面呈半圓狀，是因為侵蝕的結果，從解理面來看非常破碎。



砂頁岩互層的上方已經有很多土壤，雜草長得很茂盛，可見岩層的風化已經很長一段時間了。



岩層已經接近垂直，紅線的地方是一個小斷層，砂頁岩互層當中，頁岩較為破碎，砂岩層面有尖銳的破裂面。

### 我們發現：

以上六張圖都是砂頁岩互層，風化嚴重，且層面破碎，傾斜角度接近垂直，看起來層面是不連續，因此我們懷疑這幾處露頭是否是小斷層。

### 露頭三



岩石中有許多砂棒和豐富的氧化鐵，這些砂棒屬於原生化石，其中靠近原子筆的較粗，和層面平行。



砂岩的表面有許多砂棒，是過去生物活動痕跡，或是軟體動物的棲息地。砂棒總共有17個。



砂岩上有長條狀凹痕，推測是某種生物緩慢爬過的痕跡，圓柱狀的砂棒風化脫落，形成一個小的凹槽。



砂岩上有3個紅紅色的結核直徑約5公分，一旁也有生物活動的痕跡，在原子筆的斜上方有脫落的砂棒。



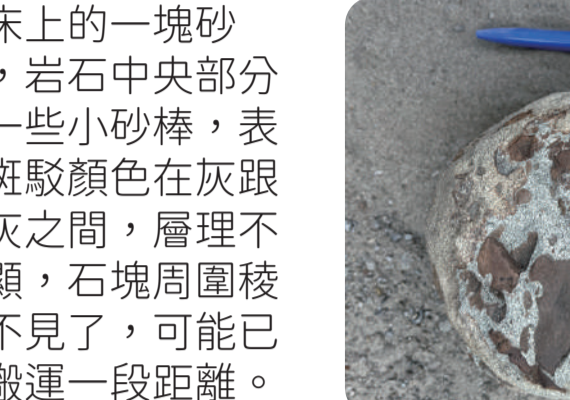
砂岩上有約30公分的鹿角狀砂棒特別，還有小的砂棒14個，可見這邊曾經有許多軟體生物在這附近。



推論是鑄鐵構造，是河流在堆積時，不同岩石或礦物造成的，凸出的部分是在上面，其他層面也有鑄鐵構造。



河床上一塊砂岩，岩石中央部分有一些小砂棒，表面斑駁顏色在灰跟深灰之間，層理不明顯，石塊周圍稜角不見了，可能已經搬運一段距離。



這顆石頭長軸約14公分大，上方有許多風化產生的土紅色斑點，應該是砂岩上面有許多的氧化鐵。石頭表面的坑洞，是氧化鐵風化後掉落形成的。

### 露頭四



這塊砂岩上有幾處砂棒和砂棒脫落的痕跡與氧化鐵，接近岩石中間處還有一處裂痕，可能被其它岩石推擠過。



以35公分的地質錘為比例尺旁邊的砂棒大約是45公分，表面斑駁，有稜有角，應該沒有被搬運過。



我們爬到正在爬到高處，上方平緩，如同下游地形，下方岩石比較雜亂。



在上游，但坡度平緩還有細小的岩石，所以這些石頭可能從較遠地方滾下來。



這是我們要去上游要經過的路，這裡十分的陡峭，一路上的石頭有稜有角，路十分的難走。



地質錘下方的岩石不太平整，疑似貝殼裂，貝殼狀的裂痕大約35公分，左右兩邊有紅色的氧化痕跡。



這塊岩石擁有許多凹痕大約60公分然後這類岩石凹凸不平的可能是有被侵蝕過。



岩石高約30公分從解理面來看，能到一層一層的不同顏色的堆積層，有些已經氧化成紅棕色。



這邊的水量大，石頭也很大，而且大部分的岩石沒有稜角，應該是被水沖刷，或者是被搬運過一段距離。



這是一塊砂岩頁岩的岩石，岩石中解理面的下方處波浪紋厚度約18公分，上方黃色岩層厚度約12公分。



這塊岩石含有豐富的氧化鐵，岩石中間與外面看起來不一樣應該是結核，結核的長軸約是35公分。



這塊岩石的層面，有著許多的砂棒，看來以前的軟體動物並不是垂直鑽洞，而是接近水平的方式鑽洞。



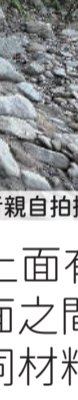
這塊砂岩有好幾處的氧化鐵，砂岩的外表也有稜有角，應該沒被搬運過，岩石的層面有一處結核。



這塊岩石的高度是140公分，岩石外觀接近圓形，可能被水搬運一段距離，稜角已被磨圓。



此砂岩長約30公分，表面有一層層破碎的頁岩，且原本灰色的砂岩已氧化成土黃色。



此石高約30公分，上面有條線，是層面與層面之間的界線，可能由不同材料構成。



此砂岩中有大量的氧化鐵，看起來紅紅的，岩石也有稜有角，所以應該沒有被搬運過。



這顆岩石有稜有角，應沒有被搬運過，岩石被撞裂，裂開的地方，有貝殼紋。



這顆岩石上有堆積的紋路其中還能看到兩條明顯的氧化痕跡，放地質錘的部分像是結核脫落所留下來的痕跡。



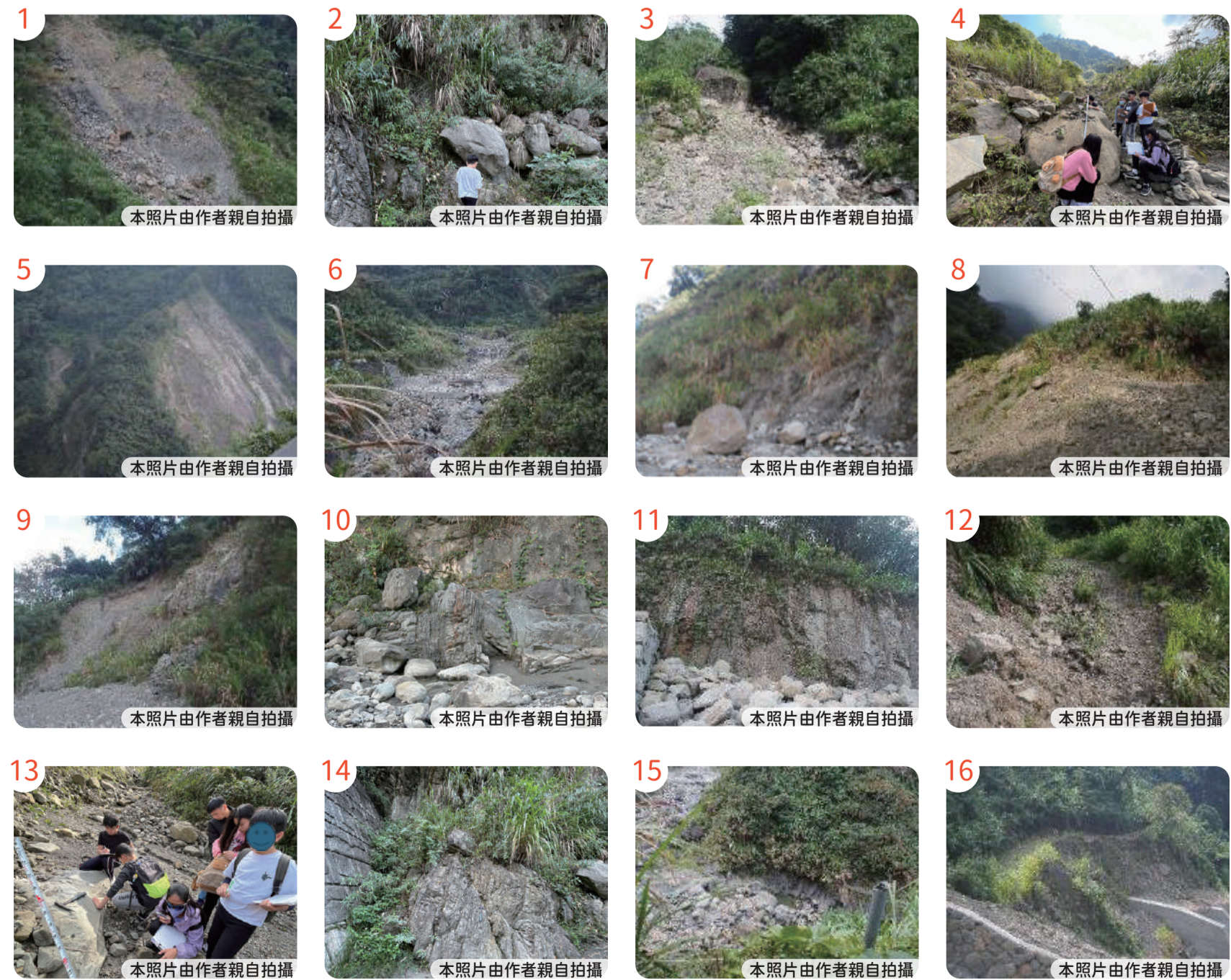
用35公分的地質錘當做比例尺，這塊砂岩長軸105公分高度40公分，堆積在河灘地。

### 我們發現：

鄰近來吉的石濁溪，屬於來吉範圍的一條小溪，阿里山溪穿過來吉村，而石濁溪就在來吉附近匯入阿里山溪。不管八八風災或桃芝颱風等，每次颱風豪雨都從高地將坡地上的堆積物或一些崖錐帶出來，而這些砂石把原來的河道作為堆積的場所，使得原來寬廣的河道，變成大小石頭密布，且河床表面都是大石頭的河道。我們沿著石濁溪走，在壩堤上可見大小不一的石頭，在在顯示出此地經歷過颱風豪雨最好的證據。

## 研究二 為何居安思危，要從部落附近的崩塌地著手？

「來急」，我們假設需要兩個條件：平時就有崩落的堆積物，另外必須是雨量集中而且雨量大。在野外地質調查中發現，崩塌地會有崖錐，堆積岩塊碎屑和砂土很多。我們把來吉觀察到的崩塌地，依其崩塌情形分成三類，第一種型態是順向坡的滑落。第二種型態是非層面上的碎屑沿著坡面滑落下而造成的崩塌。第三種型態是墜落。



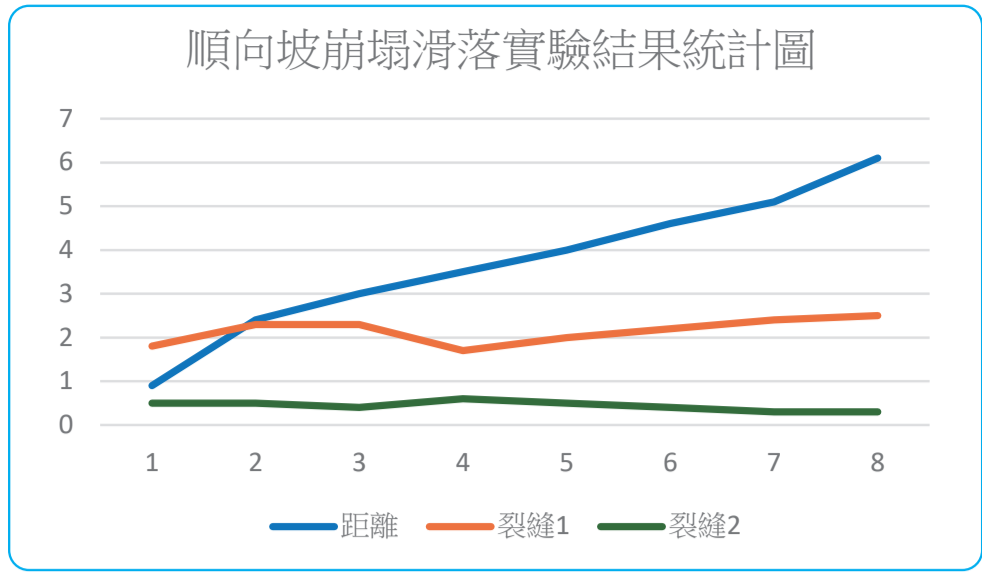
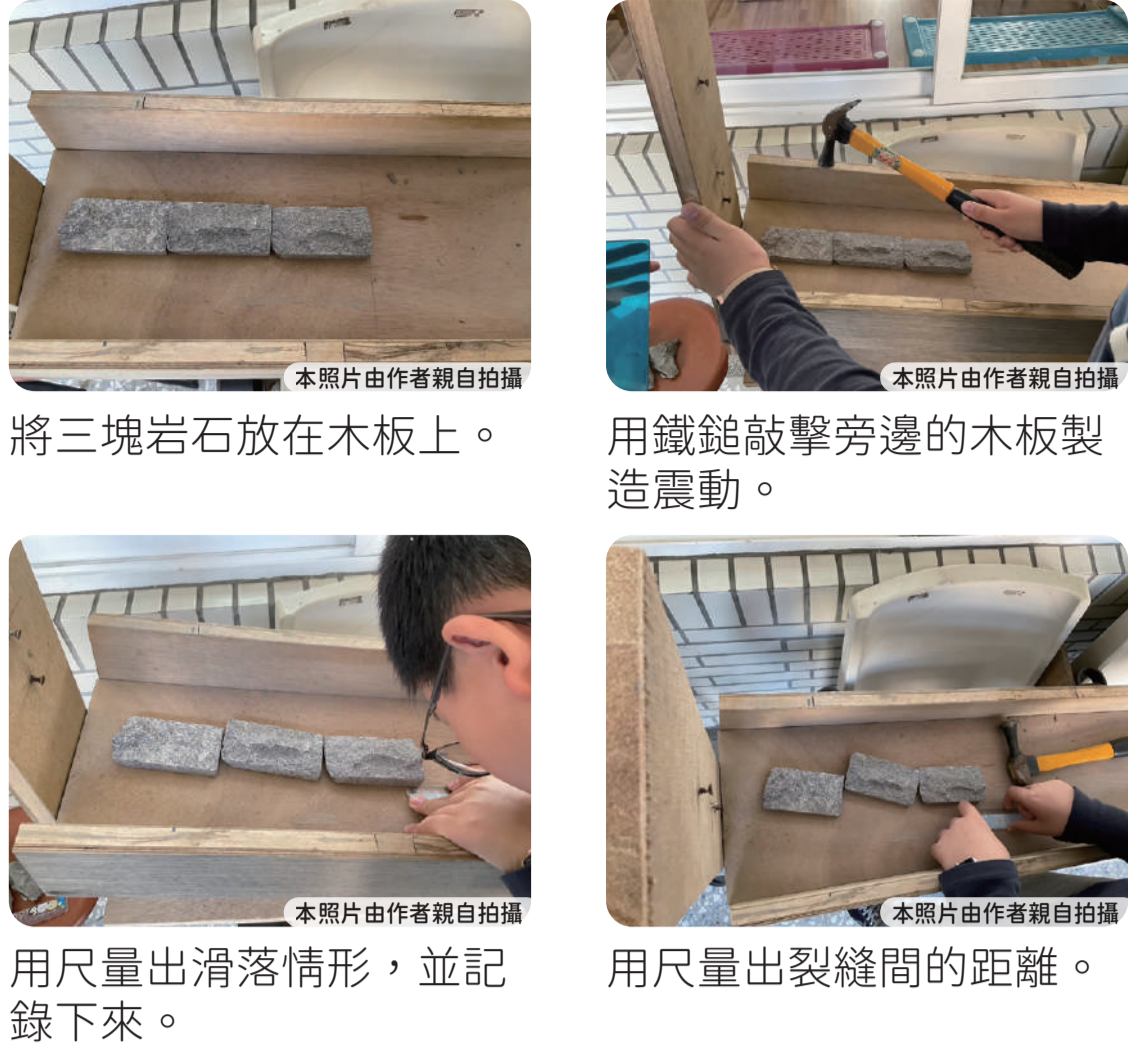
上圖十六個野外觀察的點，所看到的崩塌地，分類整理如下表：

表一 來吉附近地區崩塌類型分類統計表

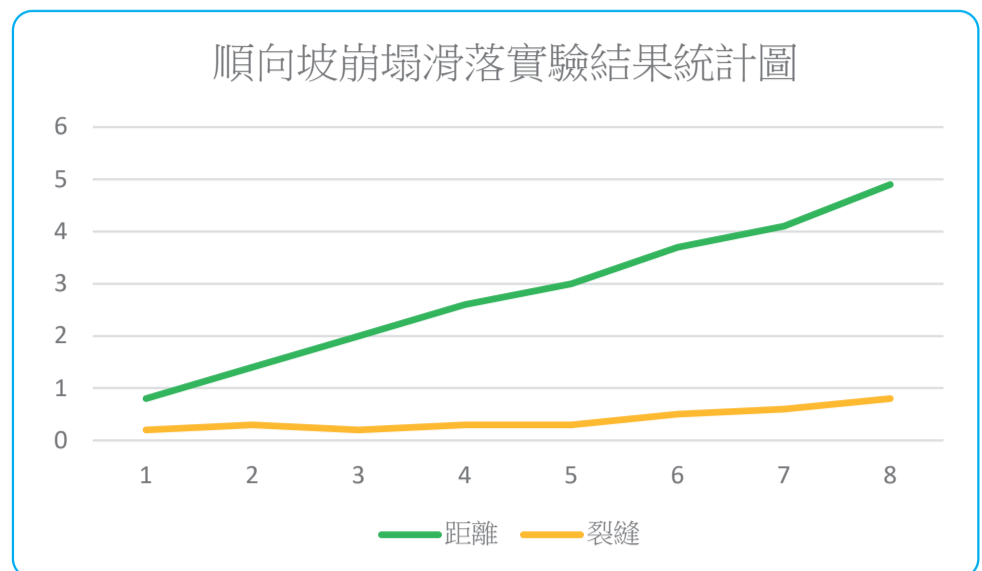
第一種型態—順向坡滑落	2、5、9
第二種型態—其他坡形滑落	1、3、4、7、8、12、13、14、15、16
第三種型態—墜落	6、10、11

## 實驗2-1 順向坡崩塌滑移(摩擦力小)

實驗記錄：



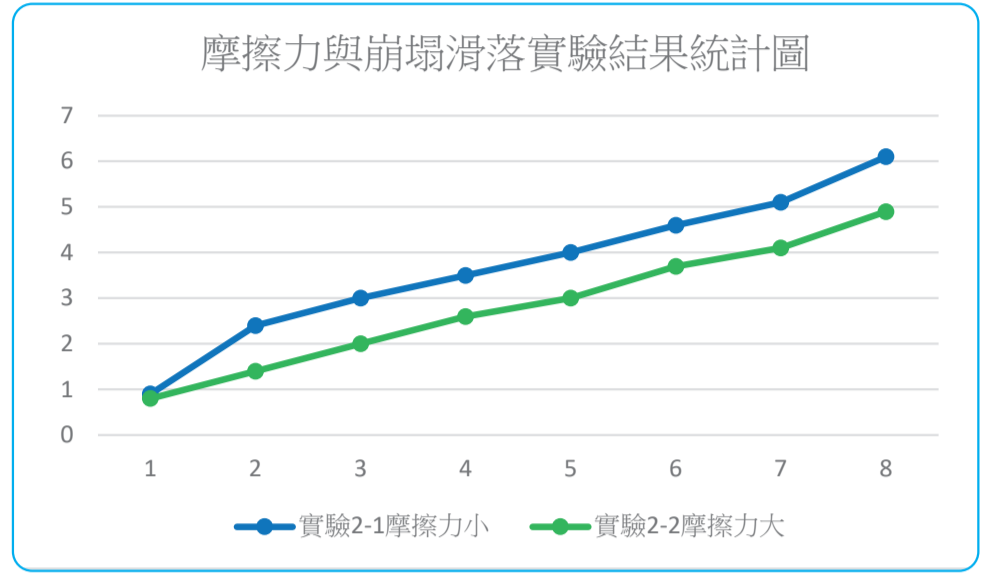
圖四 順向坡崩塌滑移實驗2-1結果統計圖



圖五 順向坡崩塌滑移實驗2-2結果統計圖

## 實驗2-2 順向坡崩塌滑移(摩擦力大)

實驗記錄：



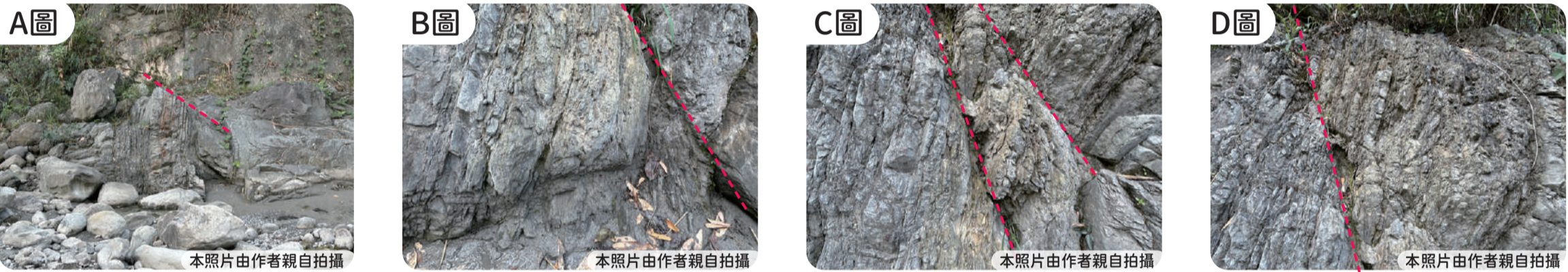
圖六 摩擦力與崩塌滑移實驗結果統計圖

實驗結果：

- 崩塌地摩擦力大小與造成土石流材料的堆積有關係；崩塌下來的石塊、中小石子、砂粒，因摩擦力大，都會堆積在一起，停留在坡面上，少數會在坡腳形成崖錐。颶風或雨小的時候，會把砂子帶走。雨大一點也只能帶走小石子，而且搬運的距離不遠。但是豪大雨或連續下雨，原來堆積的大小石頭和這些被帶到低處、右邊的石頭會全部被搬走，有時也會變成泥流或土石流。
- 來吉的崩塌類型是坡面上的碎屑沿著坡面滑下而造成的崩塌居多，這些崩塌滑落的石塊，屬於第二類。但是不管哪一類，他們的滑動會跟摩擦力有關係；當摩擦力大的時候，它們很可能在移動後只留在坡面上，暫時不會掉到坡腳的地方。不過當豪大雨來臨，水有可能變成一種潤滑作用，使摩擦力變低，這時候原有這些石塊，就會形成劇烈的移動。
- 坡面上碎屑的堆積和崖錐，都會在颶風豪大雨時，變成土石流的材料。像賀伯颶風和莫拉克颶風，在短短兩天，就下了約2000mm的雨量，幾乎是台灣平均的年雨量，這真的就是「來吉」，難怪會釀成土石災難，對居民的生活影響很大。所以，若要居安思危，平常就要將崩塌地妥善處理。

## 研究三 來吉橋下阿里山溪南岸的砂頁岩互層露頭是斷層嗎？

我們在來吉橋，發現了好幾處斷層(如下圖A-D)。



A圖 這一處露頭擾動很厲害，圖中紅線右上方的塊狀砂岩，與左下的薄層砂頁岩互層，是不整合的地方。

B圖 露頭中的一處岩層，畫紅線的地方疑似小斷層，從中間往右斜下來，這一條線就是疑似斷層的位置。

C圖 岩層的層面十分混亂，沒有朝同一個方向，雙紅線的上下岩層無法連接，看來這裡曾經有發生劇烈的變動。

D圖 這是左邊露頭圖片的另外一個角度，右方的岩層解理面呈半圓弧形，是因為侵蝕的結果，從解理面看非常破碎。

### 我們發現：

野外觀察露頭一和露頭二，我們在來吉橋東邊看到不整合面的岩層，是沉積擾動的現象。從它們不整合面的分界處，上下砂頁岩互層，無法完整連接，因此我們判斷是小斷層。以圖A來說，右上角是塊狀砂岩，左下角的砂頁岩較互層薄，有很明顯的不同。其他另外三個露頭的疑似現象，情形也是一樣。

### 研究三小結

我們在現地發現了，上下盤的岩層層面傾斜角度接近垂直，所以可見這裡曾經有過很劇烈的變動。在現場看到了本來應該要接連下去的岩層，但是卻錯開了，上下盤交錯的角度約48度，經過了斷層面之後，上盤向下往西錯動，整個面就以「正斷層」的型態錯開；而本來是塊狀砂岩，經過斷層錯動之後，砂岩卻無法和盤的砂頁岩互層之地層連接。

因此經過討論後，我們認為，雖然從文獻探討知道來吉附近的地質構造沒有斷層帶通過，但是此地的層面型態，應該就是一個「小斷層」，而且是屬於「正斷層」。

### 研究結果(一)的總結：來吉的地質如何？

針對本研究區域的地質調查，從研究一~三綜合起來得到以下三個結果：

- 阿里山溪來吉附近溪流與部落周邊的野外地質調查結果發現，此地均為沉積岩地層，是砂頁岩互層，走向約為北偏西、向西傾斜約在70度，加上很多順向坡，容易造成滑移，坡面堆積和坡腳崖錐，到處可見。
- 為了居安思危，我們必須要從部落附近的崩塌地著手，隨時監控，並做好水土保持、治山防洪的工程。
- 經過深入探討，對於來吉橋下阿里山溪南岸露頭一和露頭二，其中四處露頭疑似斷層的問題；因為岩層不連續的層理，有很明顯地錯動，出現一些斷層，甚至上下岩性差異大，因此我們這四個露頭是小斷層。

## 研究四 豪雨與沖蝕有甚麼關係？

表4 歷年來發生在阿里山雨量較多的前6名(資料來源：中央氣象局)

年份	2009	1996	2008	2005	2004	2007
颱風名稱	莫拉克 MORAKOT	賀伯 HERB	辛樂克 SINLAKU	海棠 HAITANG	蒲公英 MINDULLE	羅莎 KROSA
降雨量	3059	1987	1470	1241	1181	1093

備註：阿里山每年平均的年降雨量為3,940.6公釐

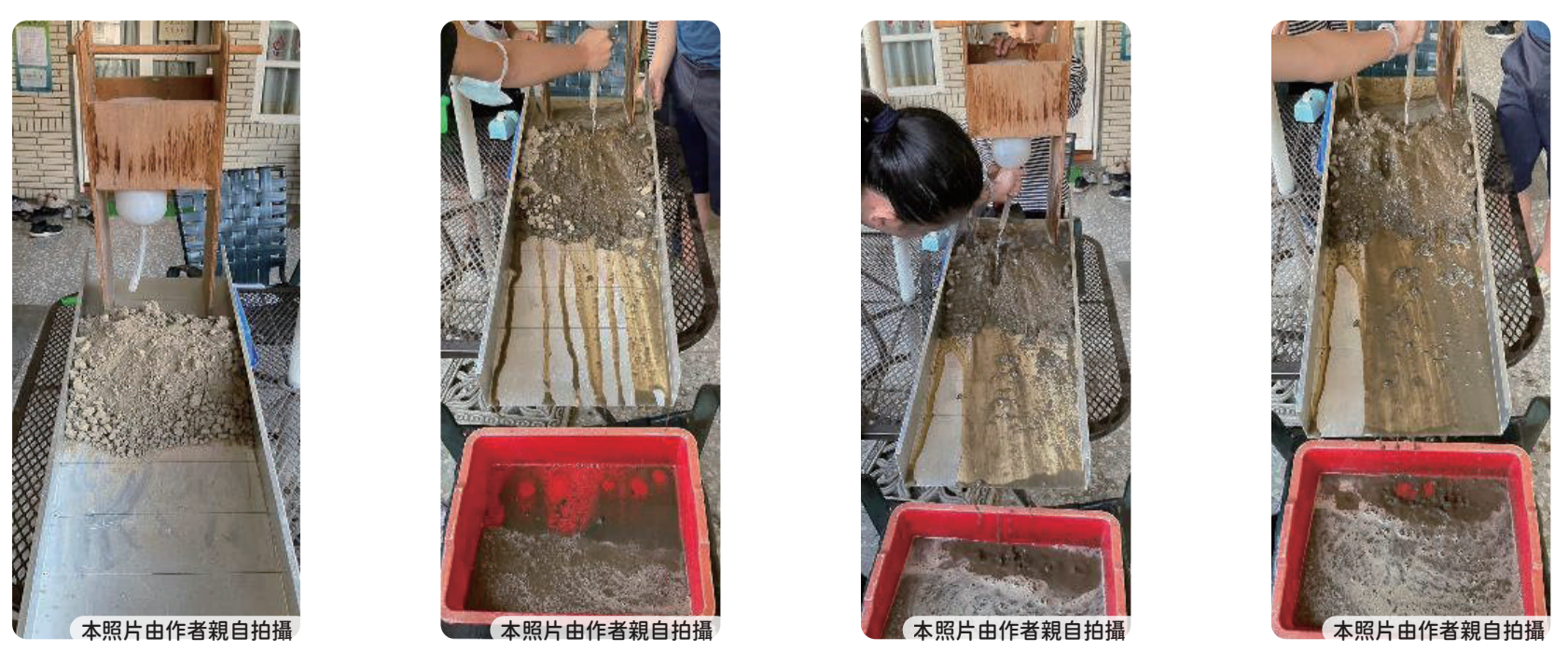
以賀伯颶風和莫拉克颶風為例，我們從文獻上知道，這兩次颶風，具有相同的特性，也就是一次颶風來襲，所夾帶的雨量幾乎超過當地平均年雨量的二分之一。這是非常可怕的雨量，一次颶風來襲前後僅約7天左右，短短幾天就把數量這麼多的雨水都下下來，真的是來得很「急」。

根據上述特點，我們想藉實驗來驗證「豪雨會影響侵蝕」的原因中，是否與「降雨量」、「坡度」、「地質條件」、「土石堆積」有關係，因此設計了下列實驗來驗證。

### 實驗4-1 不同的水量與坡地沖蝕關係為何？

1. 實驗記錄：

不同的水量，在模擬坡度15度的坡面上，觀察水量與崩塌的關係。



第一次沖水前，泥土是乾的，觀察沖蝕情形。

有些地方已被沖掉，但沖蝕面積不大。

有一個地方被沖蝕掉，被沖蝕掉一個小洞。

流水正在沖蝕坡面上的沙土，比較沖蝕量。

## 2. 實驗觀察記錄

表5 水量與坡地沖蝕關係實驗紀錄

水量	實驗記錄	沖蝕物的體積 (cm³)
650cc	坡面產生表面的侵蝕，模擬河道末端的前緣崩塌較為明顯，出現5條蝕溝。	127.17
800cc	流水依原來蝕溝繼續侵蝕，右側第二條跟第一條蝕溝變併成一條，左側第五條的蝕溝變寬了。	298.85
950cc	右側蝕溝越來越大，底部被帶走的土石部分越來越多，侵蝕部分有向源頭侵蝕的情形發生。	318.15
1100cc	模擬河道上只剩一個小小的獨立土石在那裡，其他的土石都被帶走了，沖蝕侵蝕很嚴重。	521.40

## 3. 實驗結果：

- 沖蝕坡面的水量越多，沖蝕量愈多，這些土石會被流水往坡腳地方搬運、堆積。
- 實驗結果發現，水量與坡地崩塌有關係；水量越大，崩塌會越嚴重。

## 實驗4-2 不同的坡度與坡地沖蝕關係為何？

1. 實驗設計：

不同的坡度(20、25、30、35度)，在模擬河道的坡面上，使用水650cc沖蝕，觀察坡度與崩塌的關係。實驗裝置如右圖。



2. 實驗記錄

表6 坡度與沖蝕關係實驗紀錄

坡度	實驗觀察記錄	沖蝕物的體積 (cm³)
20度	水大量流出，所以土塊沖下，下方沖蝕很嚴重，水流位置都一樣，形成兩條蝕溝。有一些大石塊被沖下，上方也有沖蝕，水溝變寬。	158.96
25度	有許多碎石掉落，侵蝕更嚴重，上方也有些侵蝕形成小水溝，水流變大，石頭裸露，右邊侵蝕嚴重。	222.55
30度	右邊的蝕溝變深，右上角被侵蝕，上方土石被沖掉了，頂部土石被沖到下方，下方土石滑落。河流速度變快，河水沖刷底部，下方泥土被沖刷至底部，左邊有明顯侵蝕。	298.85
35度	下方石頭一點不落，上方有些小碎石被沖刷下來，一點泥沙滑落至右邊再滑下來。右邊的泥土因為底部被水淘空，造成上面的土石滑落。最高處有大塊石頭掉落，兩邊都有明顯的水流，整個右邊被淘空，左邊水量增加，下方只剩中間有一些泥沙，其餘全被沖走。	349.72

3. 實驗結果：沖蝕坡面的水量同，坡度越陡，土石被侵蝕的量愈多，崩塌也越嚴重。這些土石會被流水往坡腳地方搬運、堆積。

## 實驗4-3 不同的地質條件與坡地沖蝕關係為何？

1. 實驗設計：

不同的地質條件(河階堆積A型、坡地地層B型)，在模擬的坡面上，A1、B1型，坡度10度。A2、B2型，坡度20度，使用模擬降雨的方法，觀察它們之間的關係。



2. 實驗記錄

表7 地質條件(A、B)與坡地沖蝕關係實驗紀錄

類型	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
A1	23.6	29.8	29.2	27.8	28.6	32.6	29.6	26.6	26.9	28.1	28.28
A2	121.2	131.6	122.7	130.8	144.2	137.2	139.4	146.2	138.6	129.8	134.17
B1	2.1	2.5	3.2	3.1	2.5	2.3	2.6	2.5	3.2	2.1	2.61
B2	17.8	23.6	20.8	22.2	24.8	21.8	27.8	24.6	26.8	25.2	23.54

3. 實驗結果：

- 我們以設計河階堆積的A型(表示一般堆積)和坡地地層的B型(夯實地層代表)，作為不同的地質條件，在模擬的坡面上，觀察不同的地質條件與沖蝕的關係。
- 實驗結果發現，雨水沖蝕和坡面的坡度與地質條件有關係；坡地地層與河階堆積的地質比較起來，它的沖蝕量較小、坡度越大的河階堆積的沖蝕越嚴重。

## 實驗4-4 土石堆積物的多寡與土石沖蝕的關係為何？

1. 實驗設計：



2. 實驗記錄

表8 坡面堆積物的多寡與坡地沖蝕關係實驗紀錄表

類型	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
C	159.5	169.5	123.5	134.2	158.1	140.7	165.2	157.4	147.8	110.1	145.4
D	384.6	458.4	393.6	449.8	465.5	426.1	471.2	474.3	418.7	463.6	440.6

3. 實驗結果：

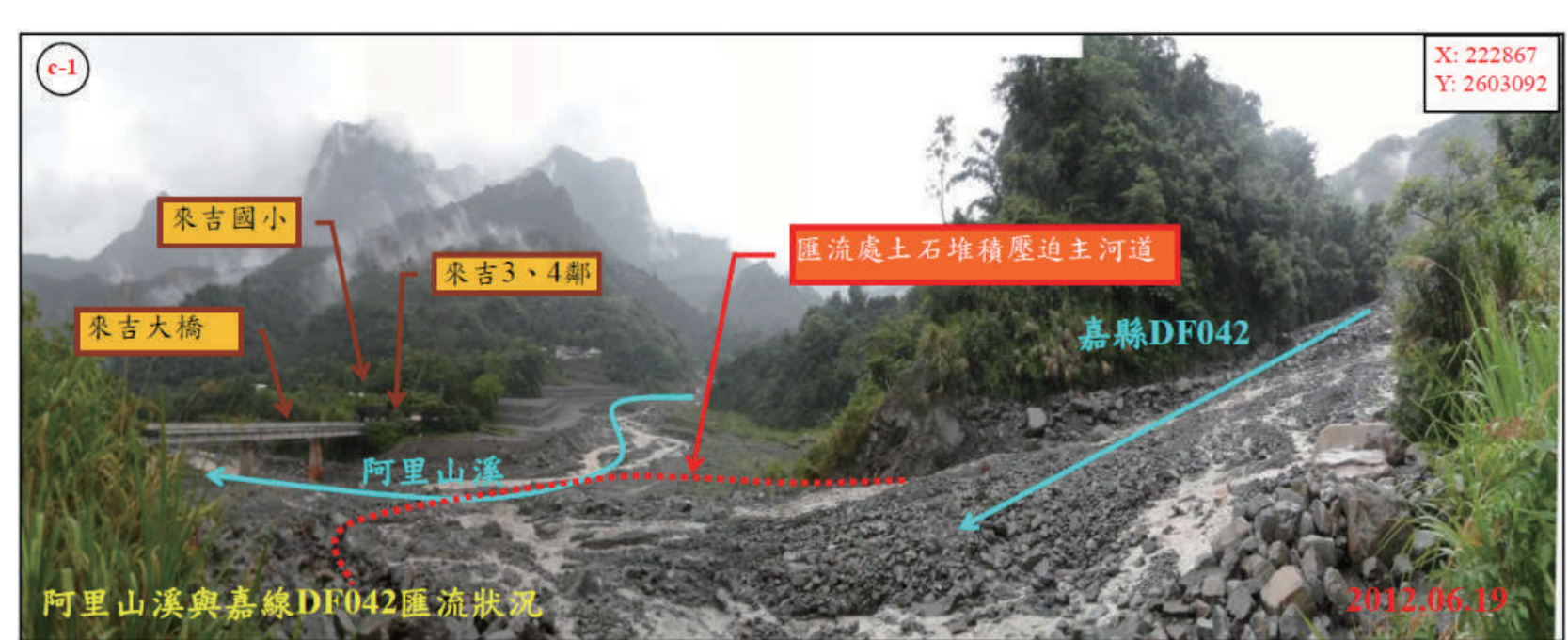
- 沖蝕的水量和流水台的坡度相同，堆積物越多，堆積的土石被移動到坡腳低窪地方的體積越多。
- 實驗結果發現，坡面上堆積物量的多寡與崩塌的嚴重與否有關係；摩擦力越小、坡度越大，崩塌會越嚴重。

## 研究四小結

就像文獻探討中的說法，經過實驗驗證，「豪雨會造成來吉附近沖蝕」的原因，真的與「水量」、「坡度」、「地質條件」、「土石堆積」有關係；例如流水台的水量大，容易沖蝕。而坡度越陡，沖蝕會越嚴重。由於此地的地質為砂頁岩互層的沉積構造和台地堆積，因此在坡面上或層面容易產生風化及碎屑聚在上層；豪雨一來自然而然地會把它們帶下來；小則阻礙交通，嚴重的時候造成財產損失、危及生命。

## 研究五 山溝與阿里山溪匯流會有甚麼影響？

針對野外調查蒐集的資料，我們發現阿里山溪兩側的山溝，有不少的裸露地，這些裸露地的坡度大都很大，可以想像到或看到崩塌的情形。當這些崩塌的砂石隨著雨水流到河道，形成情形，如水滿起來變成氾濫成災，或形成河岸的掏空、侵蝕。下列照片是文獻中過去發生的情形；目前這些情形仍常發生，這種情形會有甚麼影響？我們應該如何因應，以下是我們的實驗設計。



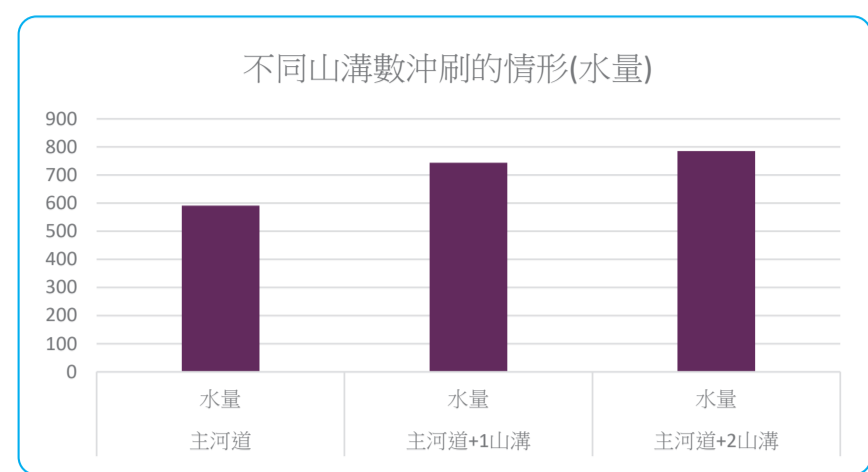
圖片來源：101年0610豪雨來吉調查報告

### 進行模擬山溝與阿里山溪匯流的實驗

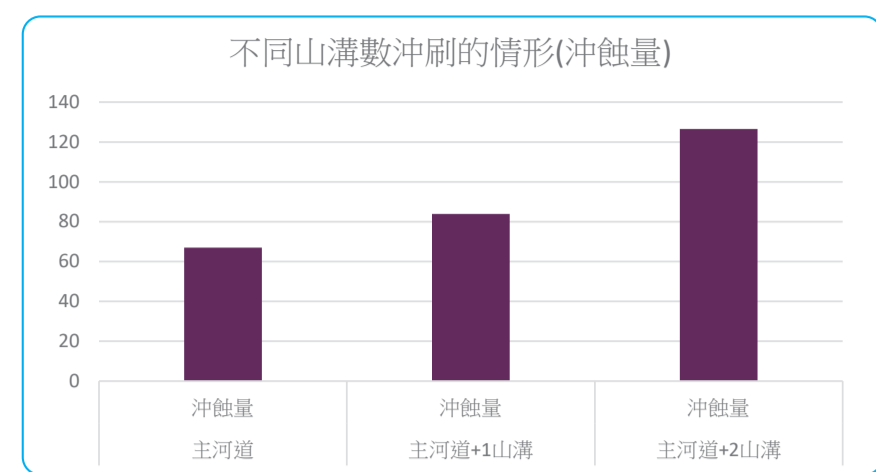
#### 1. 實驗設計：



#### 2. 實驗記錄：



圖七 模擬山溝壓迫主河道實驗統計圖(水量)



圖八 模擬山溝壓迫主河道實驗統計圖(沖蝕量)

#### 3. 實驗結果：

- 從模擬實驗發現當河道的旁的山溝越多，所沖刷下來的水量及沖蝕量都越多。山溝上面的土沖下來後，因為被前方的主河道堤防擋住了，所以只能在附近堆積，因此侵蝕加劇，河床變高，壓迫到主河道。
- 對照空拍圖，可發現主河道被壓迫後，繼續侵蝕沖毀了河道兩側的堤防，使河階地上的民宅會接近河床高度，而造成危險。



### 研究結果(二)的總結：來吉，為什麼會「來急」？

針對本研究區域的地質調查研究四~五綜合起來得到以下兩個結果：

- 阿里山溪來吉附近溪流與部落周邊的無數山溝，形成以阿里山溪為主的集水區。外來吉均在這個範圍，當山溝流下來的土石壓迫主河道時，真的使原來河道的空間縮減；水流的速度會變快侵蝕破壞的能量加大，因此形成另外的一些災難。
- 解決的方法，就是在山溝適當位置建造防砂壩，減緩砂石流出，降低破壞力，減少壓迫主河道的情形發生。



莫拉克颱風後來吉附近的空照照片。當山溝與主河道匯流後，豪大雨帶來的土石佈滿河道，使河床與階地高度接近。



由上圖可見八八災後墊高的溪床，與來吉一、二鄰等高。若降雨水量再一直增加，真的就很危險。

### 研究六 怎樣才能讓防砂壩發揮功效？

在來吉部落經常發生的就是豪大雨來臨，就容易在此地形成土石崩塌、阻塞河道，危害沿岸住在河階地上的住民。這個問題，政府部門老早就知道，所以在阿里山溪流經這裡的一公里多的河道上就保持警戒，並且在有關的山溝或崩塌地上，建築防砂壩，避免山溝流出來的砂石造成傷害。不過我們在文獻探討與野外調查時發現，有些防砂壩為何會失去攔阻土石的功能，其原因為何，我們想設計實驗來找出答案。我們的實驗設計如下：

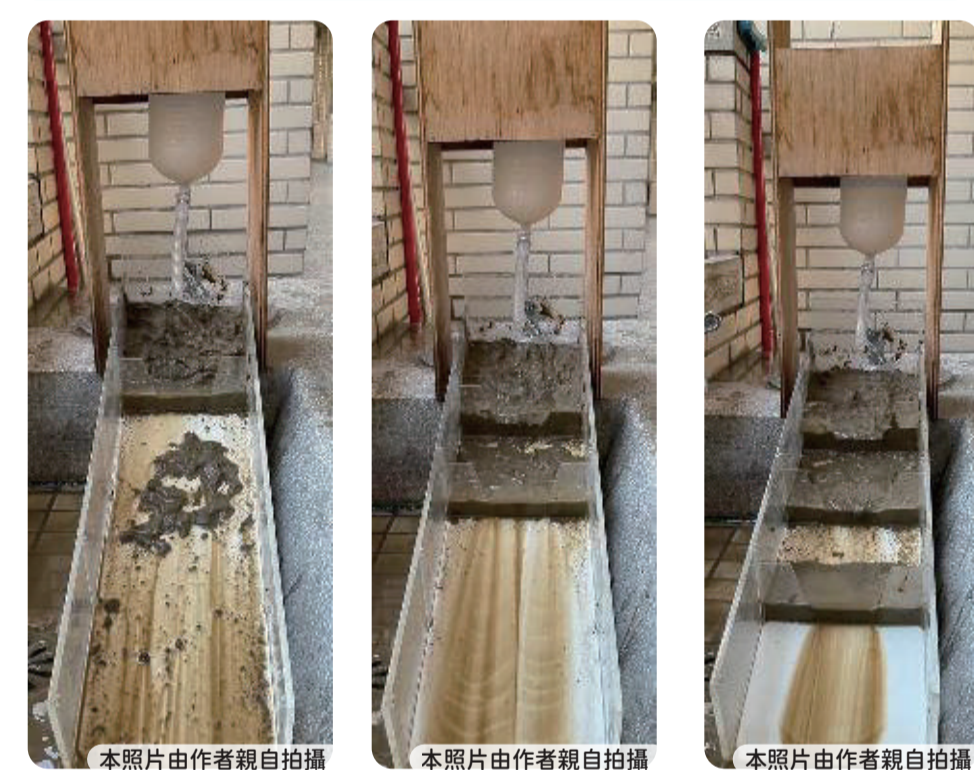
#### 1. 實驗設計：

##### 沒有防砂壩的沖蝕試驗



泥土放到鋁製的流水台  
開始進行沖蝕  
土越來越多被沖蝕走

##### 一道、兩道、三道防砂壩的沖蝕試驗



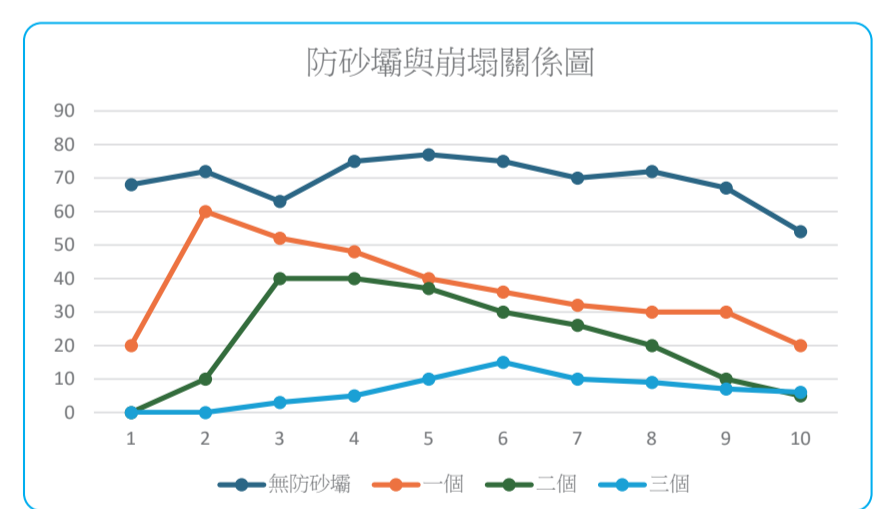
一道防砂壩  
二道防砂壩  
三道防砂壩

#### 2. 實驗觀察記錄：

兩旁的土持續被沖蝕，上方也有些被沖蝕掉了。

實驗觀察記錄：從沖刷下來土量可以明顯發現防砂壩的功用，越多的防砂壩可以擋住越多的土量。

#### 3. 實驗記錄：



圖九 防砂壩與崩塌關係統計圖

#### 4. 實驗結果：

- 沖蝕坡面的水量同，防砂壩越多，土石被沖蝕的量越少。
- 實驗結果發現，防砂壩與崩塌有關係；防砂壩越多，崩塌越不嚴重。
- 由上圖九可以發現，越多的防砂壩可以阻擋越多的土石流下，第一次沖刷下，兩個和三個防砂壩都完全攔截土石落下。一道防砂壩在沖刷第2次達到最大量；兩道防砂壩在第3、4次達到最大量；三道防砂壩在第6次才達到最大量，由此可知，建築防砂壩能有效阻止土石流失。

### 研究六小結

針對防砂壩為何會失去攔阻土石的功效的問題，我們從野外地質調查、與室內的流水台實驗發現，有時候防砂壩會失去攔阻土石的功效，因為防砂壩攔阻崩塌的土石有一定的量。當防砂壩前的溢水口水位線下，都已注滿砂石以後，若再有崩塌砂石沖下來的話，那一道防砂壩就無法攔阻砂石；砂石直衝下來，造成下方河床淤積、侵蝕河岸、阻塞河道，成為災難。

從實驗過程我們看到，防砂壩的多寡與沖蝕有關係，同一坡度和雨水量，防砂壩少，沖下來的土石就多；相反的，防砂壩越多，帶下來的土石就比較少。因為此地的崩塌情形受到地質與坡度的影響，在某一階段時間裡，或許所設置的防砂壩就足以發揮功能，但是再經歷一段時間後情況可能就不一樣，因此就必須再往上游構置另一道或兩道防砂壩。

### 研究七 如何做好水土保持，減少土石災難的發生？

#### 1. 實驗設計：駁坎擋土牆如何維護聚落與坡地的安全

我們在一個塑膠盆上，製作駁坎擋土牆的模型，做好了以後，在坡面上灑水，觀察比較「沒有做駁坎的坡地」和「做好駁坎」坡地，水和土石的侵蝕的情形。

#### 實驗7-1 駁坎的試驗



#### 2. 實驗記錄：

##### 類型

##### 實驗記錄

沒駁坎	水大量流出，所以土塊沖下，下方沖蝕很嚴重，水流位置都一樣，形成兩條蝕溝。有一些大石塊被沖下，上方也有沖蝕，水溝變寬。
有駁坎	有許多碎石掉落，侵蝕更嚴重，上方也有些侵蝕形成小水溝，水流變大，石頭裸露，右邊侵蝕嚴重。

#### 3. 實驗結果：

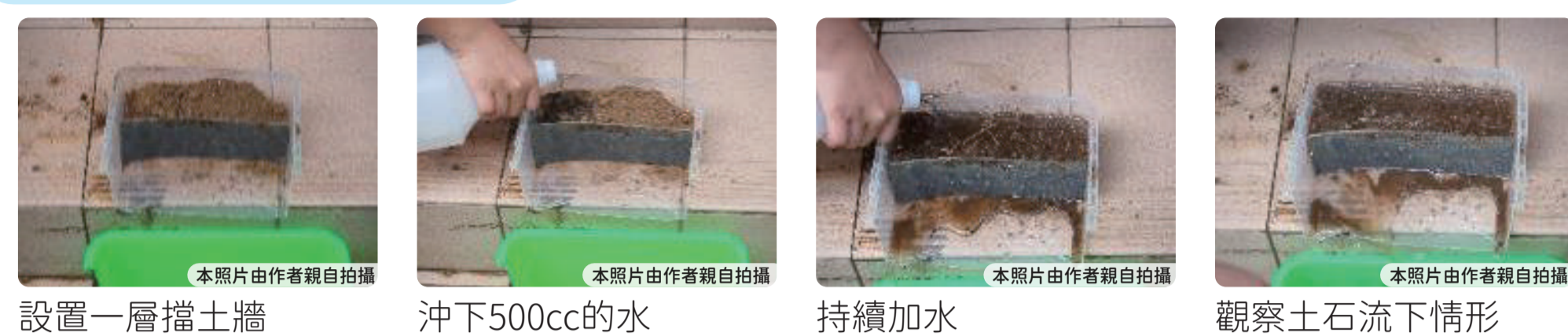
我們在實驗中發現，沒駁坎的坡地無法留住雨水和坡面的完整，水流會把坡面上的泥土沖下去，土石也會流失，也會缺乏支撐而塌下來。建造了駁坎的坡地，大石子後面、泥土層前面的小石子可作緩衝，由於他的顆粒較細，正好可以塞住大顆粒石頭的縫隙，且當作前面大石子的靠山，因為有這些比較小的碎石支撐，以後大石子就和小石子還有泥土成爲一體。駁坎做好以後，泥土中的水滲透進去，多餘的水會從石頭與石頭的縫隙中流出來，解除擋土牆的側壓力，避免擋土牆垮掉。用石頭砌成的駁坎擋土牆，不但可以達到水土保持的功能，也符合生態和環保的要求。由於這些石頭是從附近的河床或坡地中挖出來的礫石就地取材，可以降低成本，也可以減少搬運的碳足跡。

### 實驗7-2 水泥擋土牆試驗

#### 1. 實驗設計：模擬水泥擋土牆如何維護聚落與坡地的安全

我們在一個塑膠盆上，製作水泥擋土牆的模型，做好了以後，在坡面上灑水，觀察比較「水泥擋土牆」和「模擬雙層水泥擋土牆」坡地，水和土石的侵蝕的情形。

#### 模擬水泥擋土牆的試驗



#### 模擬雙層水泥擋土牆的試驗



#### 2. 實驗記錄：

表12 水泥擋土牆與崩塌關係實驗紀錄表

類型	實驗記錄
擋土牆	我們用500cc的水沖蝕擋土牆上的泥土，泥土和水從模擬擋土牆的上面慢慢的流出來，大部分流出的是水。
模擬雙層擋土牆	一樣用500cc的水沖蝕擋土牆上的泥土，泥土和水從第一個模擬擋土牆的上面慢慢的流出來，有些水與土被第二個擋住了。

#### 3. 實驗結果：

建造了防砂壩的坡地，擋土牆後面，由於他的擋住了下面，所以砂石只能重上方流出去。建造了兩個防砂壩的坡地，可以把第一個防砂壩擋不住的砂石擋住一些，所以掉下來的泥土更少了。



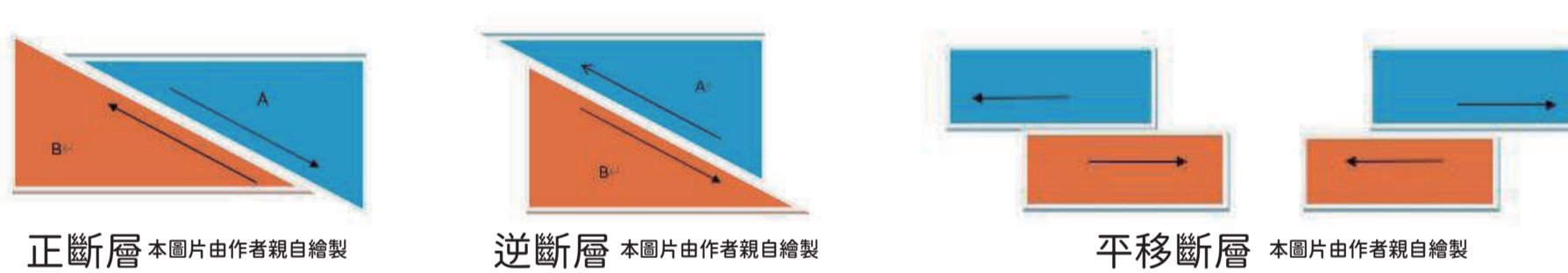
### 研究結果(三)的總結：來吉，為什麼會「來急」？

針對本研究區域的地質調查研究六~七綜合起來得到以下兩個結果：

- 怎樣才能讓防砂壩發揮功效？我們討論的結果是：目前已建造好的防砂壩，應該要隨時監控，利用旱季實際勘查，檢討是否符合治山防洪、防止沖蝕的功能。假如沖蝕量仍有增加，表示砂石來源的地方還有崩塌，需要往上繼續再進行處理。對於有需要新建防砂壩的山溝，應該請專家立刻進行評估。
- 如何做好水土保持，減少土石災難的發生？我們的建議是在部落附近，接近生活區的地方，規劃擋土牆時，應該注意生態，能採用駁坎方式，融入社區並使擋土滲水與提供動植物棲息，比較合適。至於道路邊坡、堤岸等大型工程，除了安全之外，還得要考慮永續的做法，好讓以後的人也能和我們現在一樣，享受幸福的生活。

## 伍 討論

- 此地地質構造為南莊層，砂岩頁岩互層。由於岩層解理發達，岩層破裂面多且雜亂無一定形狀，加上風化的結果，容易崩塌；在河岸邊或邊坡處可以明顯看到崖錐堆積，這些都是流水沖蝕、搬運的材料。
- 從野外露頭的調查，我們發現一些特殊的岩層排列。根據斷層的要素和分類發現阿里山溪南岸的砂頁岩互層為「小斷層」，並且是屬於「正斷層」。



- 來吉村附近地層走向約為北偏西10度、向西傾斜70度，形成地層構造陡峭，可見在古老的地質年代裡，變動非常劇烈。此地露頭到處可見差異侵蝕，部分還有地下水滲出，容易加速岩層風化、崩落。野外調查時，發現有一根新橋墩基礎附近被水沖擊裸露，是否會步來吉大橋被溪水淘空的後塵，目前仍無法預測。不過原來阿里山溪南側支流，已經完成防砂壩整治工程，對橋梁的安全而言，是一大喜訊。

- 經由研究四看來，在模擬河道上，砂石搬運量體積的多寡與河道中流水的水量有關係，水量愈大，河水的搬運量就越多，水量少，搬動的砂石體積就變得比較小。經由實驗發現，不同河川的整治方法與砂石搬運量有關係。因此，本研究傾向在不影響生態環境的情況下，河川需要整治，其整治的方法就是在河川適當的地方建置防砂壩或梳子壩。

## 陸 結論

- 阿里山溪來吉附近溪流與部落周邊的野外地質調查結果發現，此地的地層走向約為北偏西16度、向西傾斜58度，砂頁岩互層之沉積岩；部落東側之邊坡為塊狀砂岩，屬順向坡。
- 阿里山溪來吉附近溪流與部落周邊的崩塌地，其崩塌類型大致可以分爲兩類，靠東邊以鐵達尼岩爲主的塊狀砂岩，順向坡滑移。其他地區爲砂頁岩薄層碎屑崩落；兩者的坡面都很陡峭。
- 來吉橋下阿里山溪南岸的砂頁岩互層露頭是否爲斷層的問題，經實地調查，深入比對與討論的結果認爲，是一處小斷層，屬於正斷層。
- 有關豪雨造成來吉附近的土石崩塌的問題，我們認爲與此地的地質特性有關，如海相砂頁岩互層的沉積環境與台地堆積，再加上坡度陡、河流沖刷侵蝕嚴重有關係。
- 防砂壩為何會失去攔阻土石的功效？其主要原因是阿里山溪在此一公里多的兩側山脊，山溝多，坡面露頭裸露，砂頁岩互層的坡面與層面解理發達、風化劇烈，因此產出較多的崩塌物，致使原設計的防砂壩無法超額負擔，以致失去攔阻的功能。未來則需要在適當的上游處另建防砂壩。
- 山溝與阿里山溪匯流處產生壓迫主河道的情形，會影響原來河水行水的速度，並產生多重變化影響安全，必須進行崩塌地的處理。
- 我們所謂「來急」，是指本地在颱風或豪雨季節，因坡陡、岩層破碎、崩塌等地質特性，加上河水湍急，沖刷侵蝕劇烈，氾濫潰堤，邊坡堆積的砂石碎屑，一下子都帶出來，形成土石流穿過村子，釀成災難。這種風大「雨急」、土石「告急」、岌岌可危令人「心急」的窘境。爲了「來吉」的安全，專家建議遷村，政府也於觸口建造「逐鹿社區」永久屋供村民居住。考慮留在部落的村民，我們認爲應該居安思危，平常就要做好崩塌地的處理、砌駁坎、擋土牆、建造防砂壩等水土保持的工作。

## 柒 參考資料(詳見說明書)