

# 中華民國第 58 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國小組 地球科學科

080506

坡地土石災難成因的探討

—以特富野和觸口為例

學校名稱：國立嘉義大學附設實驗國民小學

作者：  小五 謝冠廷  小四 吳承樺  小四 曾柏鈺  小五 邱笠綸	指導老師：  劉恬如  何夢青
---	-----------------------------

關鍵詞：砂頁岩互層、崩塌、砂棒

## 摘要

為了瞭解土石災難與崩塌的關係，和影響崩塌的因素，並提出改善建議，使崩塌造成的土石災難降低，因此經由野外地質調查、土石災難因素的實驗得到以下的結果：

- 一、特富野村曾文溪兩側的岩層是砂頁岩互層，差異侵蝕很明顯，區內有兩處崩塌較嚴重的地方，豪大雨時要多留意。
- 二、觸口附近八掌溪和腦寮溪兩側的有很多處崩塌，阿里山公路 36K 處是崩塌最嚴重的地方。
- 三、坡度越陡，沖蝕量越多，可見坡度與崩塌量有關係。
- 四、下雨時降水量與坡地的崩塌有關係，水量越多，沖蝕量越多。
- 五、我們發現堆積物的體積越多，豪雨後沖蝕量越多。
- 六、從野外調查與實驗證明，擋土牆可以減少雨水沖蝕，還有在崩塌較嚴重河道建造防砂壩可減少造成土石災難。

## 壹、研究動機

根據水土保持局的災害中心的紀錄，去年 6 月 1 日下了一場豪雨，雨量約 550 mm~614 mm，結果使雲林古坑苦苓腳野溪上游及兩側坡面崩塌，土砂淤積河道，淹埋既有河道、既有構造物及橋涵。南投信義鄉和社溪上游暴漲，大量土石沖刷至下游，造成 8 戶民宅、隆華橋及路基被沖毀。新北市金山地區，發生大量土石形成夾砂水流，沖毀濱水路，造永興村聯外道路中斷。

崩塌到目前為止造成很多傷害，包括因石頭掉下來阻礙交通，造成生活不便，甚至石頭墜落時正好打到人，造成人員傷亡。因颱風帶來的豪雨，把崩塌地附近掉落、累積的砂石沖出來，掩埋房子，造成財產損失，所以我們想了解造成土石災難、影響崩塌的因素，並提出改善建議，使土石造成的傷害降到最低。

**本研究與課程的關係：**六年級上學期康軒自然課本第二單元大地的奧秘，內容有流水的侵蝕、搬運、堆積的作用，和岩石的風化與土壤的形成。

## 貳、研究目的

為了瞭解土石災難與崩塌的關係，和影響崩塌的因素，以及針對發現的問題提出改善建議，使崩塌造成的土石災難降低，因此針對野外地質調查、土石災難與地質的關係、防止土石災難的方法等三項進行研究。為了達到這個目的，列出下列幾個問題進行研究：

- 一、特富野附近的野外地質調查
- 二、觸口附近的野外地質調查
- 三、坡度會影響崩塌嗎?
- 四、下雨時降水量與坡地的崩塌有關係嗎?
- 五、堆積物與坡地的崩塌有關係嗎?
- 六、如何防止土石災難?

## 參、研究設備及器材

傾斜儀、地質錘、特富野和觸口的等高線地形圖、捲尺、流水台、珍珠板、南寶樹脂、保麗龍切割機、數位相機、電腦。

## 肆、研究過程

### (一) 文獻探討

1. 土石災難:「災害」是否發生必須「潛在危險」與「抗災盲點」兩者同時存在。  
例如:聯合國認為造成超過至少 10 個人死亡或至少 100 人受傷或生活受影響的事件才被稱為「災害」。土石災害,一般是指土石流或崩塌釀成生命傷亡和損失。
2. 崩塌:崩塌,崩壞運動(mass wasting),又名塊體運動、塊體崩壞,為風化物質受重力作用,產生向下移動的現象。崩壞的形式及速度差異很大,有些慢到難以察覺,如潛移;有些則幾乎是在瞬間產生,如山崩。一般而言,坡度陡、暴雨多、水土保持不良、風化物質豐富的地區,較易發生崩壞。快速崩壞的發生,常與岩石碎屑中的水分突然增加有關。
3. 特富野:特富野和達邦只隔著一條伊斯基安娜溪,從達邦分別各有一條公路和古道可抵達特富野。特富野平均海拔高度 800 至 1000 公尺,相較於達邦,它是一個安靜而淳樸的大村落。村內的庫巴為重要地標。特富野屬於達邦村的第 8 鄰至 12 鄰。特富野大部分適宜農地,分布於部落附近的曾文溪兩岸河谷、村落東部中坑溪上游,以及東南部海拔 1100 到 1500 公尺間的坡地,部落附近及對外聯絡的縣道曾經多次發生過土石災害。
4. 觸口:觸口隸屬於嘉義縣番路鄉,地形上為阿里山山脈與平地的交界,附近有觸口斷層經過,三面高山環繞,從頂埔公路俯瞰,可見八掌溪南流至此並轉而向西流去,造就曲流的風光。1982 年阿里山公路通車以後,旅行重心乃轉往阿里山,觸口變成為阿里山公路上的休憩景點,觸口海拔高度約 250 公尺,從天長橋以上道路兩側經常發

生崩塌災難，目前政府在這裡花了很多錢，做邊坡防治、野溪治理、水土保持和明隧道工程，來維護交通暢通，並保護人員安全。

## (二) 研究方法

### 1. 野外地質調查

從資料中知道，2012年8月4日蘇拉颱風造成觸口阿里山公路兩次崩坍，大量土石滑下來，不僅將明隧道全部掩蓋，阿里山公路交通中斷，並且對下方超商和一些民宅與濟公廟的安全造成威脅。另外，2016年6月169線達邦三號橋，爆發土石流，整座大山壁崩落，紅色拱型橋梁被沖到深谷，近500公尺路基被土石流沖毀，依賴達邦公路的達邦、特富野、里佳3大聚落交通中斷。由於這兩地土石災難經常發生，為了瞭解崩塌和土石災的關係，以及造成崩塌的原因，因此我們選定這兩個地方作為研究的對象。進行野外地質調查。



圖 A-1: 野外實際探查



圖 A-2: 野外地質測量

### 2. 室內科學實驗

#### (1) 製作實驗器具



圖 B-1、B-2、B-3: 把裁好、鋸好的木板，按設計圖製釘成一組可以調整坡度的流水台。



圖 B-4: 測試流水台實驗效果

圖 B-5、B-6 進行流水台沖蝕的實驗

## (2) 進行實驗

### A. 實驗設計：

- (a) 操縱變因：分別是坡度、水量、堆積物的體積、土石性質。
- (b) 保持不變的變因：每次實驗均控制讓實驗除操縱變因外，其餘都相同。
- (c) 應變變因：崩塌的情形

### B. 操作方法

- (a) 使用木板製作坡度流水台
- (b) 把模擬堆積物，如砂石、土壤等，放在流水台上
- (c) 在流水台上噴灑定量的水

### C. 觀察並記錄實驗結果

## 3. 資料整理

### (1) 製作等高線地形模型



### (2) 進行野外地質調查與沖蝕實驗，

- (3) 撰寫研究報告，並將資料打成電子檔，完成「坡地土石災難成因的探討—以特富野和觸口為例」作品說明書。

## 伍、研究結果

### 研究一 特富野附近的野外地質調查

#### 露頭一

這是曾文溪河床的一部分，枯水期的河水，水量不多。河床左邊的山是河岸，我們可以看到河水侵蝕後露出的地層構造；露頭左右岩層構造不一樣，崩塌凹進去的地方是層面。這些節理破裂面與坡面成垂直，而崩塌下來的石頭較細。右邊 50 公尺處，有崩塌的痕跡，形成一個崖錐。



		
圖 1-1: 靠河岸的薄層砂岩被侵蝕缺了一大塊。	圖 1-2: 頁岩層面風化碎裂成小塊沿坡面滑下。	圖 1-3: 堅硬的砂岩被河水侵蝕切開之一。
		
圖 1-4: 堅硬的砂岩被河水侵蝕切開之二。	圖 1-5: 河床底下的砂岩被河水侵蝕了。	圖 1-6: 河岸邊的擋土牆崩塌垮下來。

## 露頭二

露頭二是砂岩和頁岩互層，砂岩的厚度約 15~25 公分，砂岩雖然很厚，但也有碎裂的地方，前端破裂的不整齊，稜角也不見了。往西 30 公尺的地方是塊狀砂岩，我們在層面上發現圈圈和條狀構造物，這叫「砂棒」，上面的顏色大部分是黃灰色，少部分因氧化顏色較深，這層厚度大約 25 公分，下面的岩層也有少數的砂棒。

		
圖 1-7: 曾文溪的河床的轉彎處有崩塌。	圖 1-8: 好厚的塊狀砂岩有解理，龜裂隙縫大。	圖 1-9: 這個層面的砂岩上有許多砂棒。
		
圖 1-10: 砂岩頁岩互層，砂岩有氧化現象。	圖 1-11: 夾兩塊「塊狀砂岩」中的砂頁岩互層。	圖 1-12: 這兩層較厚的砂岩層面都有砂棒。



### 露頭三

這個露頭砂岩層面發現波紋，砂岩的顏色是淺黃、灰色的，後方看到的層面都是砂岩的解理面，最上面是泥土層，上面長滿植物。河床上有很多大顆的鵝卵石，比一個人還要高。露頭的上方有一叢竹子滑下來，河床上有一些石頭的角很圓滑，石頭非常的大。石頭的顏色都是深灰色。在右上方的石頭是一層一層的，有些地方是頁岩。基腳的地方有很多礫石、頁岩、砂粒…等。砂岩有些都氧化了。



圖 1-13:一叢竹子滑下來，竹子並沒有倒。



圖 1-14:觀察滑動的地區，立刻作筆記。



圖 1-15:曾文溪旁的山溝，滾落下來的石頭。



圖 1-16:曾文溪旁雄偉的塊狀砂岩約 8 公尺高。



圖 1-17:砂岩上的波紋是早期淺海的證據。

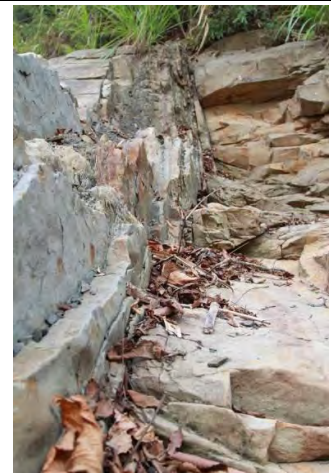







圖 1-18:砂岩頁岩互層，右側的塊狀砂岩崩落。

### 露頭四







砂岩和頁岩互層，砂岩厚度在 8~15 公分，砂岩層的稜角很清楚，解理都是同一個方向，可看到很明顯的差異侵蝕，右上方有土壤，上面有竹林，有些塌掉了，所以一大撮竹叢向下滑落，砂石覆蓋在層面上面。左邊的砂岩風化和氧化很嚴重，坡面岩石的顏色是深灰色，頁岩在這裡比較細，有些節理比較細而且不規則，岸邊有很多礫石，直徑最大超過 50 公分，大部分都沒稜角。頁岩龜裂，顏色是深灰色，還有一些頁岩氧化得很厲害，頁岩產生了很多層層，有些頁岩成結核狀，有些剝落成條狀，還有很多礫石堆積在此地。



		
圖 1-19: 薄層的砂岩和頁岩，都很破碎。	圖 1-20: 氧化很厲害的砂岩，深黃色像鐵生鏽。	圖 1-21: 頁岩的破碎面，碎裂很厲害。
		
圖 1-22: 曾文溪上河床的石頭，稜角都不見了。	圖 1-23: 曾文溪旁河岸的砂岩，底部受到侵蝕。	圖 1-24: 塊狀砂岩與薄層砂頁岩互層都是河岸。

### 露頭五

這一個露頭的塊狀的砂岩，層次很明顯，偏北的地方有一些砂石滑下來。岩層的底部基腳的地方，靠近河床，有很多鵝卵石，體積都不太大。往西邊走可見到砂頁岩互層的岩層，是河堤的一部分，山溝裡的石頭是碎屑沿著坡面滑下來，這裡石頭比較小，最大的直徑是 40 公分左右，數量不是很多，大部分是 15~25 公分中型、小型的礫石。此地進入河道的右手邊堆積一些石頭，看起來已經很長的時間。我們看到露頭碎裂的部分都是屬於頁岩，由於砂岩層很厚厚度都超過 1 公尺，所以是屬於塊砂岩。上面落下來的石塊，應該是屬於墜落的型態，看起崩來落時間很長了，所以岩壁上面沒有新的墜落的痕跡。

		
圖 1-25: 塊狀砂岩旁有一到山溝，崩落土石小。	圖 1-26: 曾文溪旁的礫石堆積成河岸的一部分。	圖 1-27: 曾文溪旁大山溝石頭大而且數量很多。
		
圖 1-28: 遠眺曾文溪西北側雄偉山壁也是河岸。	圖 1-29: 砂頁岩互層，各層面有小裂隙是頁岩。	圖 1-30: 厚層砂岩約 30 公分厚，層面有波紋。



## 露頭六

這個露頭砂岩、頁岩互層，成傾斜構造。砂岩的厚度約 35 公分~40 公分，比較薄的有 15 公分，中間夾了頁岩。層面露出的地方裂開，岩層和石塊的稜角很清楚。下方屬於厚的砂岩層，解理面光滑，有斷裂的痕跡，斷裂面有的平整、有的凸出、有的接近方形.....各不相同。凸出的砂岩的稜角已經不見，變圓滑了。露頭左邊的碎裂的痕跡比較清楚，碎裂在左上方，稜角很清晰。東邊我們會看到一座河床的防砂霸，防砂霸溢水口邊靠近翼牆的地方是砂岩、頁岩互層，也有一些鵝卵石堆積在河床上。



圖 1-31: 薄層砂頁岩的解理多，差異侵蝕很明顯。



圖 1-32: 凸出的是砂岩，凹進去的是頁岩。



圖 1-33: 凸出的砂岩很厚很結實，但稜角不見了。



圖 1-34: 特富野大橋橋墩附近砂岩和大型砌石牆。



圖 1-35: 特富野大橋橋下東邊河床的防砂潛壩。



圖 1-36: 塊狀砂岩的左側砂頁岩，被侵蝕一大片。

### 調查結果：

1. 特富野村曾文溪兩側的岩層是砂頁岩互層，有很多處塊狀砂岩，也有較脆弱的薄層砂頁岩，差異侵蝕很明顯，調查區內有兩處崩塌較嚴重的地方。
2. 河床邊堤岸上方是聚落的竹園、農田、住家和公路，散處在較平坦處，但是它們的安全卻會受崩塌影響，必須隨時注意。

## 研究二 觸口附近的野外地質調查

### 露頭七

這個露頭正好在觸口的天長橋下方，我們站在天長橋下看到砂岩、頁岩互層。這個層面傾斜約 80 度，很陡。在天長橋下砂岩、頁岩互層的傾斜面，下方有一些是用鐵絲編成的籠子（蛇籠）裡面放鵝卵石固定基腳，底部靠近河床邊，有一組的防砂壩。天長吊橋下方的坡面砂岩、頁岩風化得很嚴重上面長了不少的植物。這是腦寮溪的溪床，也是大防砂壩的基座建築處。我們可以很清楚看到砂岩、頁岩互層，砂岩凸出比較多。這個地層面的傾斜角度和對岸天長橋下地層層面的傾斜角度很接近。水沿著河道由東往西流下來，這裡建造了兩道的防砂壩。



圖 2-1: 薄層砂頁岩互層的露頭，坡型屬逆向坡。



圖 2-2: 天長吊橋的北端，坡面很陡的傾斜露頭。



圖 2-3: 天長吊橋南端的的層風化成土壤。



圖 2-4: 在表面土壤覆蓋下，露頭是砂頁岩互層。



圖 2-5: 腦寮溪來到天長吊橋下兩八掌溪匯合。





圖 2-6: 天長吊橋下是腦寮溪，有三段的潛壩。

### 露頭八

我們站在台 18 線的公路的北邊，屬於八掌溪上游的支流—腦寮溪。我們看到溪裡靠河岸邊有砂岩和頁岩的互層的地層都不是很厚，上方的泥土層有崩塌的痕跡。砂頁岩的差異侵蝕，在這裡很明顯。崩塌下來的土石和河流上游帶下來的一些鵝卵石，佈滿在河床，河水很混濁，頁岩顏色是深灰色，而砂岩是黃褐色。東面有砂岩龜裂落下的石塊，它的稜角還很明顯，它是墜落的方式崩塌，代表它現在仍然的持續崩塌。

這個露頭在阿里山台 18 號公路轉彎 36 公里處，是處口附近崩塌最嚴重的地方之一，整個崩塌面的高度約 50 公尺，由於崩塌持續發生所以崩塌面都沒長草。



		
圖 2-7:腦察溪北岸崩塌處,另一邊是 18 公路。	圖 2-8:較細的砂頁岩崩塌處就在河流轉彎處。	圖 2-9:台 18 號公路 36K 的大崩塌約 50 公尺高。
		
圖 2-10:砂頁岩互層的崩塌面一角,持續在崩塌。	圖 2-11:大崩塌面的逆向坡上,有墜落的痕跡。	圖 2-12:台 18 公路 36K 附近轉彎處的崩塌情形。

### 露頭九

離開阿里山公路往南進入腦察產業道路，我們可以看到腦察溪上方的崩塌面，下方有用蛇籠做成的堤岸和使用大型的鵝卵石做成的護堤。這些護堤都做成階梯狀，一階一階的，有好幾階；不過上面的砂石還是不斷的崩塌下來，甚至有一些護堤被石頭推倒。南邊的小溪河床有很多石頭，有五道防砂壩建在山溝上，防砂壩裡有很多石頭，而砂岩偏黃褐色，頁岩我們一碰就碎了。防砂壩前有一座橋跨在上面，是腦察產業道路上容易受河水侵蝕的地方。防砂壩被大石頭撞擊，水泥也有斷裂，也有被石頭撞擊成 V 字形。

		
圖 2-13:位於腦察溪大崩塌地河岸的蛇籠護岸。	圖 2-14:腦察產業道路邊的山溝,山頂崩塌嚴重。	圖 2-15:經由腦察溪土石往北轉西流入八掌溪。
		
圖 2-16:穿過腦察產業道路的山溝與溪流匯合。	圖 2-17:腦察溪河岸的侵蝕凹岸,砂岩凸頁岩凹。	圖 2-18:腦察溪上,被河水侵蝕沖垮的防砂壩。



## 露頭十

過了觸口地久橋，來到阿里山公路台 18 線牛埔仔的位置，海拔高度很快往下降，八掌溪來到這裡形成大轉彎，因為河流過去很長時間的堆積作用，而且河道向南侵蝕移動，因此在本研究中，他雖然是比較平坦，屬於觸口的台地之一，但是我們仍將這個露頭放在觸口崩塌地的末端，形成堆積的部分。

這裡正好是在觸口附近欣欣水泥公司的南邊。這裡是屬於河階台地，八掌溪現在正好是在這裡的最南邊，這裡看得到的砂岩頁岩互層，地層看起來砂岩不是很堅硬。在砂岩層上頭有一層的礫石層，在河流的南側堆積了一些鵝卵石，但鵝卵石的體積不是很大，河道當中的水很混濁，從這一個露頭往東看過去，是一大片接近垂直的露出來的砂岩互層地層，看起來有河流往下切之這些地層看起來都不是很硬，上頭有稍許剝落的痕跡。



圖 2-19: 八掌溪南岸是這一段的攻擊坡，有凹面。



圖 2-20: 河道南邊堤岸上，最上方有一層礫石層。



圖 2-21: 八掌溪南岸的仁愛吊橋附近都種檳榔。



圖 2-22: 河道南邊砂頁岩互層崩塌面接近垂直。



圖 2-23: 牛埔仔大草原河階台地上的排水設施。



圖 2-24: 滯洪池靠八掌溪一側紅色圈是排水管。

### 調查結果：

1. 觸口附近八掌溪和腦寮溪兩側的岩層是砂頁岩互層，有很多處崩塌，阿里山公路 36K 處的崩塌最嚴重的地方，這一處的崩塌面高度約 50 公尺。
2. 從支流腦寮溪到八掌溪都有崩塌，腦寮產業道路附近崩塌地有很多處，崩塌下來的土石很多，所以建造好幾道潛壩來防止崩塌造成災難。






## 研究三 坡度會影響崩塌嗎？

為了明白坡地對崩塌的影響，我們以山坡地露頭的「坡度」作為操縱變因，進行實驗，

實驗過程如下：

### 一、實驗過程

		
圖 3-1:使用模擬河道進行實驗	圖 3-2:在河道上高處噴水觀查	圖 3-3:水量固定，但坡度不同
		
圖 3-4:不同河道面的侵蝕不同	圖 3-5:河道末端侵蝕就像崩塌	圖 3-6:坡度不同侵蝕量也不同

### 二、實驗記錄

表 1 坡度 10 度的沖蝕實驗記錄表

單位：cm<sup>3</sup>

次數	觀察記錄	沖蝕量
1	在模擬河道上灑水，看有多少砂石被沖下來，灑的水 550cc，沖蝕量（水和泥土總和）150cc，沉澱物 0.2cm。	5.65
2	這次更多砂石留下來，沖蝕量 300cc，沉澱物 1.6cm。	45.22
3	這次一次比一次多水和砂石留下來，還沖出很多河道，沖蝕量 430cc，沉澱物 1.8cm。	50.87
4	開始有小石頭流下來了，砂石更濃稠了，河道上砂石被沖走了，所以上面凸出很多石頭，沖蝕量 380cc，沉澱物 2.1cm。	59.35
5	這次河道上的溝更深也更寬了，還有一大塊土快被沖下來，凸出了很多顆粒，有很多地方泥土像內下凹，沖蝕量 420cc，沉澱物 2.3cm。	65.00
6	河道上有很多積水，頭部沒有太大的變化，變化最大的地方是中部，沖蝕量 420cc，沉澱物 2.2cm。	62.17
7	有地方坍了一大塊(下凹)有一些河道有小漩渦，有些河道形成很多坑，頭的地方呈現凹下去了，(因那是灑水的地方，沖蝕量是 500cc，沉澱物 2.1cm。	59.35
8	坑更深了，本來下凹的地方塌下來了，塌下來的地方塌更多了，河道中凹下去的地方更多了也更大，沖蝕量是 510cc，沉澱物 2.7cm。	76.30

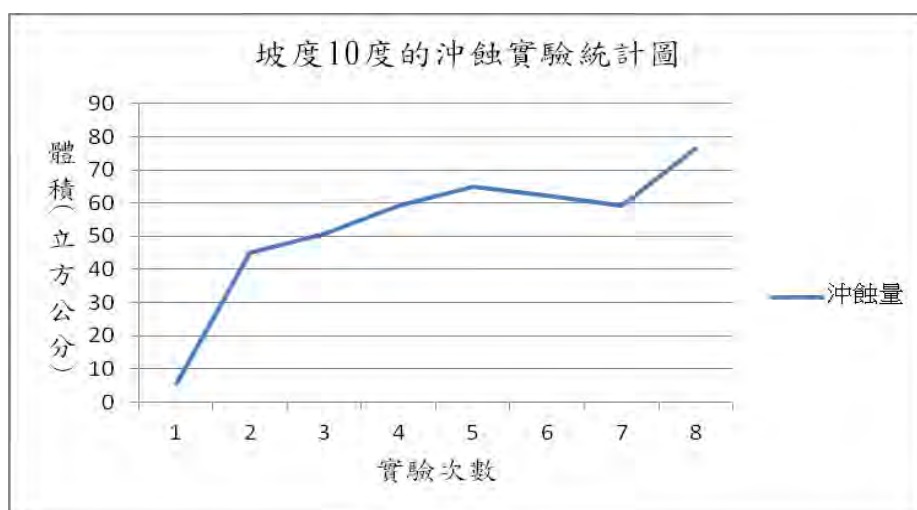


圖 3-7 坡度 (10 度) 與坡面沖蝕量統計圖

表 2 坡度 15 度的沖蝕實驗記錄記錄表

單位：cm<sup>3</sup>

次數	觀察記錄	沖蝕量
1	水流速度比坡度 10 度時快很多了，模擬河道面上出現細紋，水淹到河堤外面，被侵蝕的洞更深了，最後形成一些小細溝，沖蝕量 570cc，沉澱物 2.5cm。	37.12
2	河道中有些地方突起來了，因為水侵蝕後有一些砂石帶來堆積。有些地方凹下去，造成泥土的流失，中間變化比較大，全部連水加起來的沖蝕量是 575cc，沉澱物高度 2.5cm。	60.81
3	模擬河道上面，最大的小溝變寬了，但是水沒有滿出河道來，因為遊戲溝變成小溝時，被侵蝕的那裡凹下去，還出現很多坑，沖蝕量 555cc，沉澱物 1.9cm。	70.45
4	中間有一個地方因為堆積物比較多的關係，所以高度比旁邊比高，也比模擬河道的堤岸高，因此滿出堤岸，不過這一次次時就不同，它凹下去了。沖蝕量 555cc，沉澱物 2.1cm。	78.36
5	中間的地方有凹下去，所以沒有滿出來，下半部變大範圍河道，和大範圍凹下去，原本沒有溝的地方也有溝了，中間有凹很深的洞，沖蝕量 560cc，沉澱物 2.5cm。	85.11
6	中間兩道主要河道加深了，前半出現一些淺河道，尾部塌的更大塊了，沉積量 2.2cm，沖蝕量 565cc。	92.16
7	中半部靠近河堤的河道因為越刷越深，所以不會滿出來，中間沖蝕的地方加寬了，尾部崩塌的地方沒有改變，沉積量高度是 1.6cm，沖蝕量 580cc	89.64
8	中間凹下去的洞擴大了，下半部凹下去的洞有積水，中間河道凹下去的洞已經碰到底部，上半部的碎石凸出來了，沉積量 1.2cm，沖蝕量 580cc。	86.37



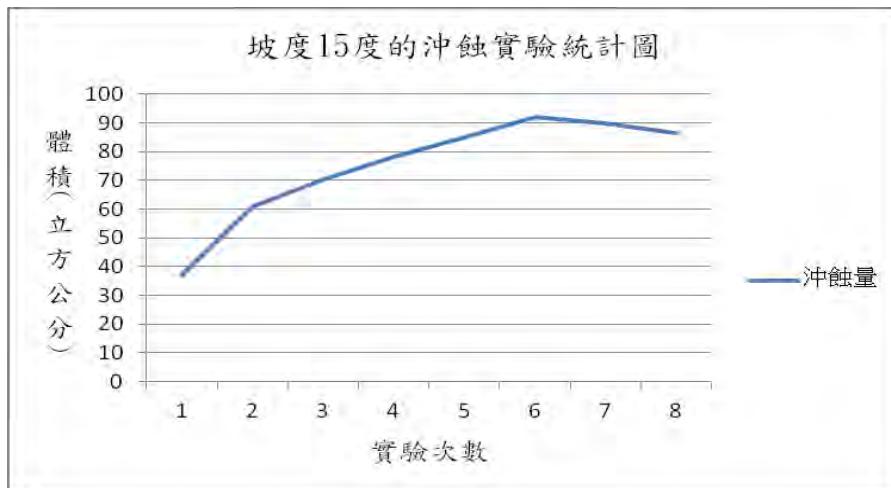


圖 3-8 坡度 (15 度) 與坡面沖蝕量統計圖

表 3 坡度 20 度的沖蝕實驗記錄表

單位：cm<sup>3</sup>

次數	觀察記錄	沖蝕量
1	水流沖蝕速度更快了，細紋很多加深了，有一些水淹到河堤外面，洞更深了，沖蝕量 690cc，沉澱物 3.8cm。	77.34
2	河道中的泥土稍稍有變化，有些地方堆積些土而高起來了，有些地方因為泥土流走所以凹下去，造成中間有很大的變化，沖蝕量 705cc，沉澱物 4.1cm。	79.17
3	最大的小溝水流比較大，但是沒有滿出來，因為那裡凹下去，還出現很多坑，旁邊的小細紋溝的深度加深了，沖蝕的泥土量和水加起來總共是 725cc，沉澱物 3.9cm。	80.28
4	中間有一條沖蝕溝比較深，所以泥土被往下面一點點的地方堆積。右邊的地方但經過多次沖蝕，也就形成河道中的一條小溝，沖蝕量 715cc，沉澱物 4.6cm。	88.51
5	中間的地方有凹下去，雖然吐沒有滿出來，但是卻變大範圍，河道和河道之間較高的地方也凹下去，原本沒有小溝的地方，現在也有溝了，沖蝕量 760cc，沉澱物 4.5cm。	95.18
6	中間的河道被水沖了一個大坑，河道加深了，另外又出現一些淺河道，底部塌得更大片，有一些河道上的土雖然沒被帶走，但是卻往下滑。沉積量 4.2cm，沖蝕量 765cc。	94.27
7	侵蝕的情形更嚴重，靠近河堤的河道因為越刷越深，所以土被沖走，中間沖蝕的地方加寬了，底部崩塌的地方變得很厲害，沉積量高度是 4.6cm，沖蝕量 780cc	99.88
8	中間凹成一個大洞了，凹下去的地方泥土一大片流失了，中間河道凹下去的洞已經碰到底部，碎石凸出來的都流走了，沉積量 5.2cm，沖蝕量 780cc。	104.39

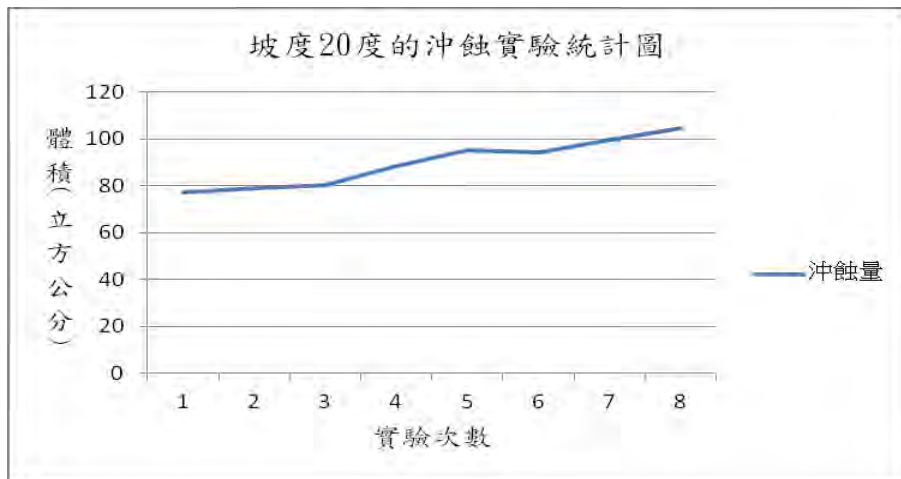


圖 3-9 坡度 (20 度) 與坡面沖蝕量統計圖

### 三、實驗結果

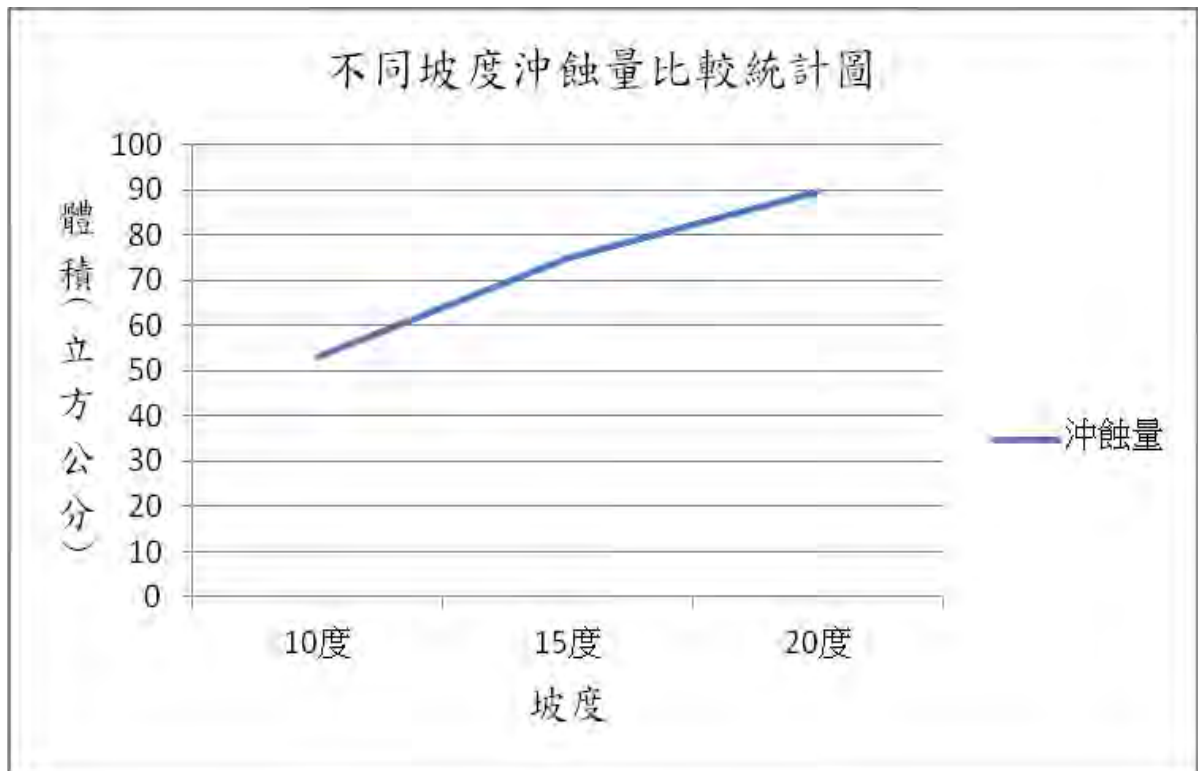


圖 3-10 不同坡度與坡面沖蝕量統計圖

### 四、實驗結果

(一)坡度為 10 度時，沖蝕量的體積平均  $52.99\text{cm}^3$ 、坡度為 15 度時，沖蝕量的體積平均  $75.00\text{cm}^3$ 、坡度為 20 度時，沖蝕量的體積平均  $89.88\text{cm}^3$ 。

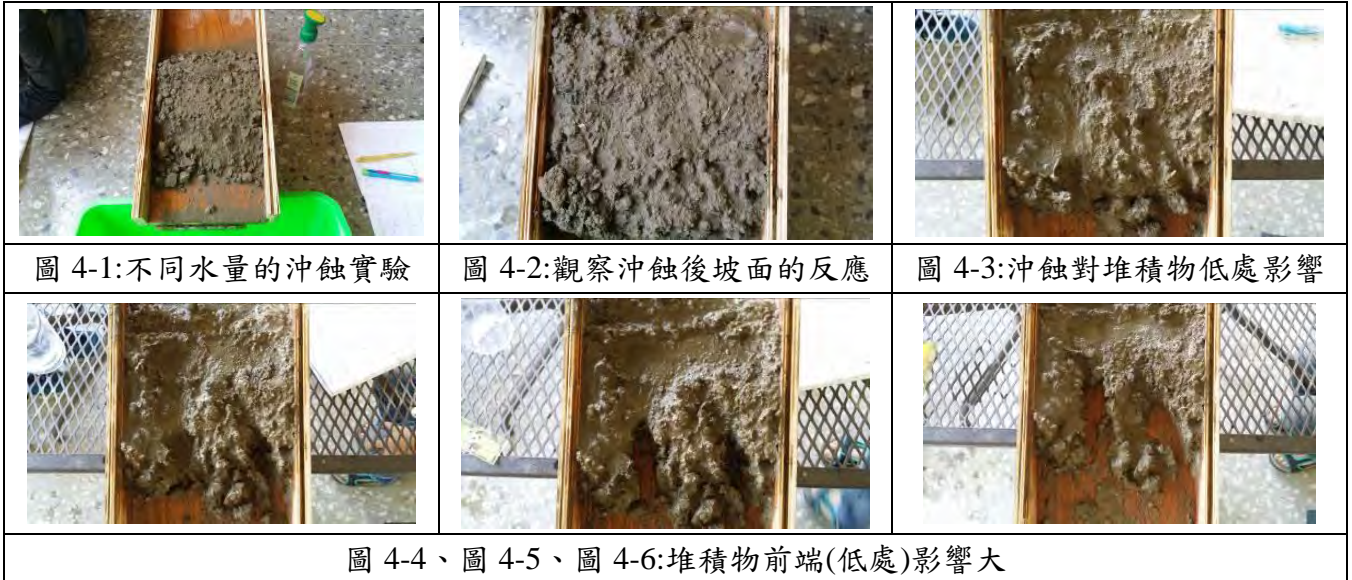
(二)坡度越陡，沖蝕量越多，可見崩塌地的坡度與崩塌量有關係。



## 研究四 水量與坡地的崩塌有關係嗎？

為了明白水量的多寡對崩塌的影響，我們以雨量的多寡做為操縱變因，使用澆水壺模擬降雨，進行實驗，實驗情形如下：

### 一、實驗過程



### 二、實驗記錄

表 4 不同水量的崩塌地沖蝕實驗記錄表

水量	觀察記錄表								
	1	2	3	4	5	6	7	8	平均
250cc	1.6	2.8	1.8	2.5	2.2	2.2	2.1	4.1	2.41
	220	290	260	310	305	325	315	305	301.25
300cc	2.6	2.9	3.8	3.5	2.9	3.2	4.1	3.1	3.26
	320	390	360	398	382	371	365	375	370.13
350cc	4.6	3.9	4.4	4.5	4.9	4.2	5.1	5.1	4.59
	390	423	460	418	398	411	405	402	413.36
400cc	6.6	4.9	5.4	5.5	5.9	5.2	6.1	7.1	5.84
	491	493	503	518	509	511	495	492	501.50

### 三、實驗結果

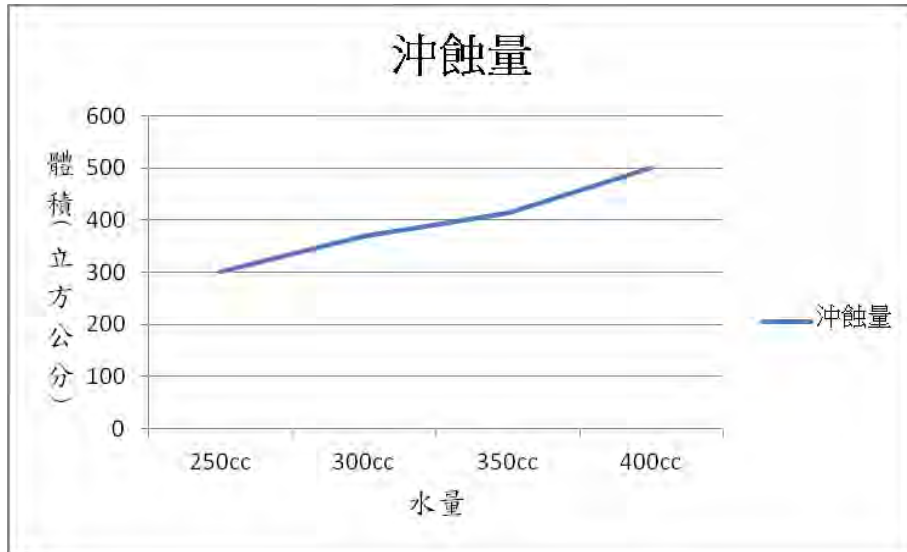


圖 4-7 不同水量與坡面沖蝕量統計圖

### 四、結果發現





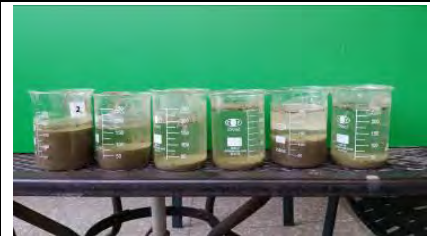
- (一)水量 250cc 時，沖蝕量的體積平均  $301.25\text{cm}^3$ 、水量 300cc 時，沖蝕量的體積平均  $370.13\text{cm}^3$ 、水量 350cc 時，沖蝕量的體積平均  $413.36\text{cm}^3$ 、水量 400cc 時，沖蝕量的體積平均  $501.50\text{cm}^3$ 。
- (二)水量越多，沖蝕量越多，可見崩塌地水量與崩塌沖蝕量的多少有關係。



## 研究五 堆積物與坡地的崩塌有關係嗎?

為了瞭解堆積物多寡對崩塌的影響，我們把堆積物的量做為操縱變因，水量與坡度做為保持不變的變因，水量是 700cc，進行實驗設計，整理如下：

### (一) 實驗過程

		
圖 5-1:250cm <sup>3</sup> 堆積物放在河道	圖 5-2:300cm <sup>3</sup> 堆積物放在河道	圖 5-3:觀察坡面沖蝕的情形
		
圖 5-4:每次沖蝕量都蒐集起來	圖 5-5:沖蝕後注意殘留的體積	圖 5-6:沖蝕水與土石蒐集測量

### 二、實驗記錄

表 5 不同體積的堆積物的崩塌實驗記錄表

單位：cm<sup>3</sup>

堆積物	1	2	3	4	5	6	7	8	平均
<b>250cm<sup>3</sup></b>	125.0	110.8	120.6	109.8	105.6	121.1	115.0	108.4	<b>114.5</b>
<b>300cm<sup>3</sup></b>	146.3	150.3	148.7	149.6	150.9	147.5	152.3	146.7	<b>149.0</b>
<b>350cm<sup>3</sup></b>	160.8	159.9	163.2	158.7	168.4	162.4	160.3	164.8	<b>162.3</b>
<b>400cm<sup>3</sup></b>	181.5	180.6	182.9	190.1	185.4	186.3	184.2	182.3	<b>184.2</b>

### 三、實驗結果

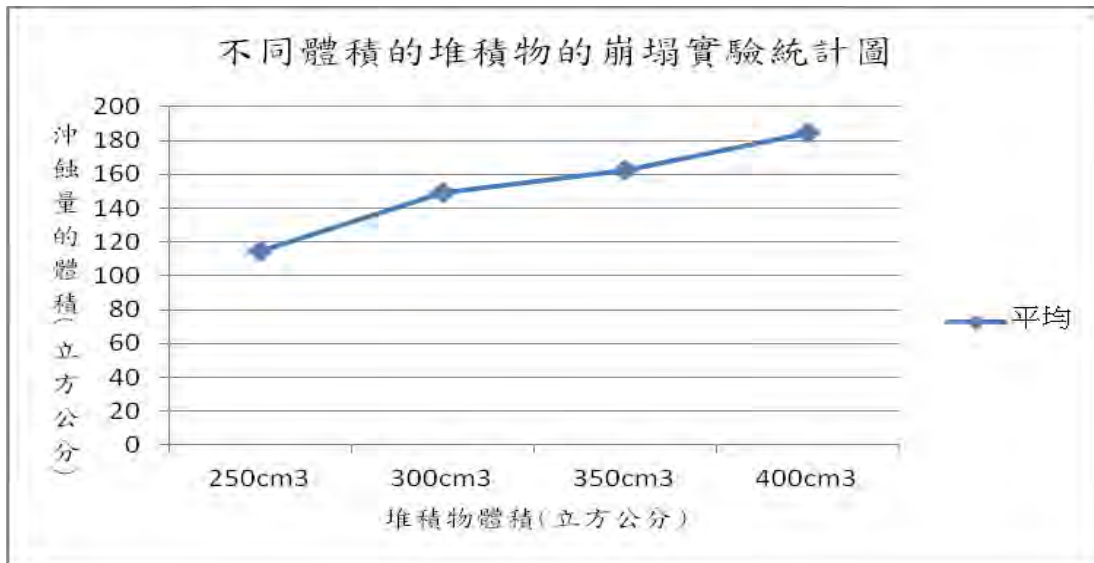


圖 6 不同體積的堆積物的崩塌實驗統計圖

### 四、結果發現

- (一)堆積物的體積  $250\text{cm}^3$  時，沖蝕量的體積平均  $114.5\text{cm}^3$ 、堆積物的體積  $300\text{cm}^3$  時，沖蝕量的體積平均  $149.0\text{cm}^3$ 、堆積物的體積  $350\text{cm}^3$  時，沖蝕量的體積平均  $162.3\text{cm}^3$ 、堆積物的體積  $400\text{cm}^3$  時，沖蝕量的體積平均  $184.2\text{cm}^3$ 。
- (二)堆積物越多，沖蝕量越多；堆積物少，沖蝕量就少，可見崩塌地的堆積物多寡與崩塌沖蝕量的多少有關係。
- (三)使用相同水量沖蝕，沖蝕的水會隨機流下來，不一定會將土都沖光。



## 研究六 如何防止土石災難？

### 一、野外調查：參觀防止土石災難的設施



圖 6-1、圖 6-2:腦寮溪和八掌溪防砂壩工程，圖中是潛壩工程，溢水口還加上了鐵片保護。



圖 6-3:台 18 線 36K 崩塌坡面用噴水泥漿覆蓋

圖 6-4:觸口牛埔仔河階草原建滯洪池防水災



圖 6-5:用鐵絲網編造裝鵝卵石的蛇籠擋土牆

圖 6-6:蘭潭附近用磚形水泥塊建造擋土牆



圖 6-7:蘭潭泛月園區附近用板岩砌成擋土牆

圖 6-8:漿砌卵石擋土牆與排水溝設施



## 二、設計實驗

為了瞭解與驗證「如何防止土石災難」的方法，除了參觀外，我們還設計實驗作為驗證，實驗設計和實驗過程如下：

### 1. 為什麼需要建造擋土牆？

#### (1) 試驗一



圖 6-9: 沒建擋土牆堆積物原來的堆積情形



圖 6-10: 沒建擋土牆堆積物沖蝕後堆積情形

我們的實驗設計

A：操縱變因：沖蝕前和沖蝕後

保持不變的變因：堆積物的體積、水量、堆積型態都相同

應變的變因：堆積物的改變

B：試驗方法：先觀察堆積物的堆情形後，使用 350cc 的水沖蝕堆積物。

C：試驗結果：沖蝕後，堆積物有一部分流失，堆積的高度降低 0.5 公分，堆積物表面有水流的痕跡與凹下的細紋。

#### (2) 試驗二

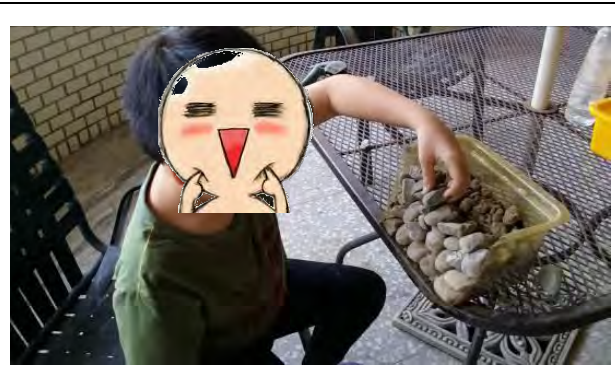
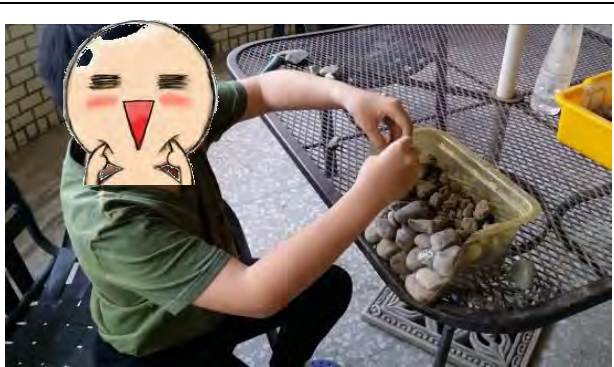






圖 6-11、圖 6-12、圖 6-13、圖 6-14:試驗大顆礫岩排列成擋土牆，測試其水沖蝕後情形。

我們的實驗設計

A：操縱變因：有無建造擋土牆

保持不變的變因：堆積物的體積、水量、堆積物的成分都相同

應變的變因：堆積物的改變情形

B：試驗方法：先觀察堆積物的堆情形後，使用鵝卵石模擬建造擋土牆，建好以後，同樣用 350cc 的水沖蝕堆積物。

C：試驗結果：沖蝕後，堆積物除了極少數細泥由石頭縫隙流出而流失外，堆積的高度沒有改變，堆積物表面水流的痕跡不明顯，水滲入堆積物沙土中。

2. 為什麼河道或山溝裡要建造防砂壩？

(3) 試驗三



圖 6-15、圖 6-16、圖 6-17、圖 6-18:利用土石堆積模擬建造攔砂壩的設計，測試其水沖蝕後情形。

我們的實驗設計：模擬防砂壩的設計

A：操縱變因：有、無建造防砂壩

保持不變的變因：堆積物的體積、水量、堆積型態都相同

應變的變因：防砂壩後方堆積物的改變情形

B：試驗方法：先將塑膠盆前剪一塊倒梯形的缺口，當作模擬防砂壩。塑膠盆沒有缺口的一端墊高，做成坡度為 10 度的模擬河道上的防砂壩。觀察堆積物在翼牆後面的堆積情形後，用 700cc 的水沖蝕河道裡的堆積物。

C：試驗結果：

(a) 沖蝕後，堆積物會被流水由後方往前搬動，當水滿過溢水口以後才會流走。

(b) 水的流動先是按模擬河道的斜面由高往低流動，但是到了溢水口前，水開始聚集成水平面。

(c) 當水平面超過溢水口的高度時，就會滿過去而往下流。

(d) 堆積物在溢水口後方，先把堆積物和防砂壩之間的凹洞填滿，然後再形成一個接近水平的沉積。

D：我們發現---

(a) 因為在模擬防砂壩前，河水成水平流過溢水口。

(b) 河道裡崩塌下來的堆積物，被水搬運到防砂壩前，慢慢沉積，填滿溢水口前的凹洞，最後是水平沉積。

(c) 在沉積物沉積成水平的這一段河道，水流的速度就變慢，沖蝕侵蝕的能量也變小了，達到防止河水造成水災的危險。

## 陸、討論

一、特富野的地質調查發現，特富野村曾文溪兩側的岩層是砂頁岩互層，有很多處塊狀砂岩，也有較脆弱的薄層砂頁岩，差異侵蝕很明顯，調查區內有兩處崩塌較嚴重的地方。河床邊堤岸上方是聚落的竹園、農田、住家和公路，散處在較平坦處，但是它們的安全卻會受崩塌影響，必須隨時注意。

二、觸口附近八掌溪和腦寮溪兩側的岩層是砂頁岩互層，有很多處崩塌，阿里山公路 36K 處



的崩塌最嚴重的地方，這一處的崩塌面高度約 50 公尺。從支流腦寮溪到八掌溪都有崩塌，腦寮產業道路附近崩塌地有很多處，崩塌下來的土石很多，所以建造好幾道潛壩來防止崩塌造成災難。另外滯洪池的規劃建造也對防止水災有幫助。

三、探討坡度與崩塌的關係時，我們發現坡度為 10 度時，沖蝕量的體積平均  $52.99\text{cm}^3$ 、坡度為 15 度時，沖蝕量的體積平均  $75.00\text{cm}^3$ 、坡度為 20 度時，沖蝕量的體積平均  $89.88\text{cm}^3$ 。坡度越陡，沖蝕量越多，可見崩塌地的坡度與崩塌量有關係。

四、下雨時降水量與坡地的崩塌有關係嗎？從實驗結果得到資料有水量 250cc 時，沖蝕量的體積平均  $301.25\text{cm}^3$ 、水量 3000cc 時，沖蝕量的體積平均  $370.13\text{cm}^3$ 、水量 350cc 時，沖蝕量的體積平均  $413.36\text{cm}^3$ 、水量 400cc 時，沖蝕量的體積平均  $501.50\text{cm}^3$ 。水量越多，沖蝕量越多，可見崩塌地水量與崩塌沖蝕量的多少有關係。

五、堆積物與坡地的崩塌的關係實驗時，我們發現堆積物的體積  $250\text{cm}^3$  時，沖蝕量的體積平均  $114.5\text{cm}^3$ 、堆積物的體積  $300\text{cm}^3$  時，沖蝕量的體積平均  $149.0\text{cm}^3$ 、堆積物的體積  $350\text{cm}^3$  時，沖蝕量的體積平均  $162.3\text{cm}^3$ 、堆積物的體積  $400\text{cm}^3$  時，沖蝕量的體積平均  $184.2\text{cm}^3$ 。堆積物越多，沖蝕量越多；堆積物少，沖蝕量就少，可見崩塌地的堆積物多寡與崩塌沖蝕量的多少有關係。不過使用相同水量沖蝕，沖蝕的水會不一定往哪裡流，會隨便流下來，也不一定會將土都沖光。

六、如何防止土石災難呢？我們發現假如沒有擋土牆，沖蝕後，堆積物有一部分流失，堆積的高度會降低，堆積物表面有水流的痕跡與凹下的細紋。有擋土牆以後，雨水沖蝕時，除了極少數細泥由石頭縫隙流出而流失外，堆積的高度沒有改變，堆積物表面水流的痕跡不明顯，水會滲入堆積物裡。還有在山溝或河流崩塌較嚴重的地方建造防砂壩真的有必要，河水會把沖蝕的堆積物，被流水由高的地方往前搬動，當水滿過溢水口以後，水才和一些土石才會流走。水的流動先是按模擬河道的斜面由高往低流動，但是到了溢水口前，水開始聚集成水平面。當水平面超過溢水口的高度時，就會滿過去而往下流。堆積物在溢水口後方，先把堆積物和防砂壩之間的凹洞填滿，然後再形成一個接近水平的沉積。在沉積物沉積成水平的這一段河道，水流的速度就變慢，沖蝕侵蝕的能量也變小了，達到防止河水造成水災的危險。

## 柒、結論

- 一、特富野村曾文溪兩側的岩層是砂頁岩互層，差異侵蝕很明顯，調查區內有兩處崩塌較嚴重的地方，崩塌對安全的影響不小，必須隨時注意。
- 二、觸口附近八掌溪和腦寮溪兩側的有很多處崩塌，阿里山公路 36K 處的崩塌最嚴重的地方。從支流腦寮溪到八掌溪都有崩塌，所以必需建造防砂壩來防止崩塌造成災難。
- 三、坡度越陡，沖蝕量越多，可見坡度與崩塌量有關係。
- 四、下雨時降水量與坡地的崩塌有關係，水量越多，沖蝕量越多。
- 五、我們發現堆積物的體積越多，豪雨後沖蝕量越多；堆積物少，沖蝕量就少。
- 六、從野外調查與實驗證明，擋土牆可以減少雨水沖蝕，保護山坡地。還有在山溝或河流崩塌較嚴重的地方建造防砂壩真的有必要，它可以使水流的速度變慢，河水侵蝕的力量變小，避免造成災難。

## 捌、學生心得

對於做科展，我又愛又恨。有時候覺得很辛苦要打很多的報告；有時候覺得很開心、又很喜歡，因為去野外調查、做實驗可以學到很多東西。

在目前現有擋土牆的類型有（1）水泥（2）石頭堆一排（3）用石板堆高（4）在水泥牆中有一個一個不規則狀的石頭等四種。而有些地方在沒有擋土牆的保護下，我們觀察到土都被沖下來，甚至可以看到樹根，整個坡地受損嚴重。

在特富野、腦寮、觸口的野外調查時，發現許多崩塌地，所以需要作擋土牆及其他的補救措施，把危險、傷害降到最低。人類若過度開發或繼續破壞，這些問題會更加嚴重，甚至危害大家生命財產的損失，所以這一點要需要大家去重視。我們做的主要研究目的是為了讓大家在山區或其他地方活動時，可以保障人身安全，把傷害降到最低。

## 玖、參考資料

- 一、中央地質調查所（1999）。太和地區等高線地形圖。台北市：經濟部。
- 二、中國時報 <http://www.chinatimes.com/newspapers/20160711000387-260107>



- 三、何春蓀 (1990)。普通地質學。台北：五南圖書出版有限公司。
- 四、林信輝 (2007)，崩塌地坡面保育處理工法。台北市：經濟部水利署。
- 五、陳信雄 (1995)，崩塌地調查與分析，國立編譯館部編大學用書。台北市：渤海堂書局。
- 六、陳建元、李勇鋒 (2010)。岩石邊坡災害調查與整治規劃-以縣道 169 線達邦三號橋崩塌地為例。臺灣公路工程第 36 卷第 8 期。
- 七、嘉義縣交通旅遊地圖(2016) [www.tripadvisor.com.tw/LocalMaps-g1433864-Chiayi\\_County](http://www.tripadvisor.com.tw/LocalMaps-g1433864-Chiayi_County)

## 【評語】 080506

1. 實驗過程係以雨水對表土的侵蝕狀況，然而會致災的山崩主要是邊坡滑動，大多沿著地層弱面的塊體滑動
2. 野外調查十個定點的露頭，描述地質及地層(砂頁岩互層)與崩塌情況，發現泥土層有崩塌痕跡，有砂頁岩的的差異性侵蝕，未明確說明實驗的結果與野外調查結果如何相互解釋。
3. 研究探討水量與沖蝕量之關係，但未考慮灑水速率是否會有影響？



# 壹、研究動機

每年夏季颱風來襲或豪雨特報期間在新聞上常報導有土石崩塌的新聞；崩塌到目前為止造成很多傷害，包括因石頭掉下來阻礙交通，造成生活不便，甚至石頭墜落時正好打到人，造成人員傷亡。因颱風帶來的豪雨，把崩塌地附近掉落、累積的砂石沖出來，掩埋房子，造成財產損失，所以我們想了解造成土石災難、影響崩塌的因素，並提出改善建議，使土石造成的傷害降到最低。

# 貳、研究目的

針對野外地質調查、土石災難與地質的關係、防止土石災難的方法等三項進行下列問題的研究：

- 一、特富野附近的野外地質調查
- 二、觸口附近的野外地質調查
- 三、坡度會影響崩塌嗎？
- 四、下雨時降水量與坡地的崩塌有關係嗎？
- 五、堆積物與坡地的崩塌有關係嗎？
- 六、如何防止土石災難？

# 參、研究設備及器材

傾斜儀、地質錘、特富野和觸口的等高線地形圖、捲尺、流水台、珍珠板、南寶樹脂、保麗龍切割機、數位相機、電腦。

# 肆、研究過程

## (一) 文獻探討

- 1. 土石災難:**「災害」是否發生必須「潛在危險」與「抗災盲點」兩者同時存在。土石災害，一般是指土石流或崩塌釀成生命傷亡和損失。
- 2. 崩塌:**崩壞運動 (mass wasting)，又名塊體運動、塊體崩壞，為風化物質受重力作用，產生向下移動的現象。崩壞形式及速度差異很大，有些慢到難以察覺；坡度陡、暴雨多、水土保持不良、風化物質豐富的地區，較易發生崩壞。快速崩壞的發生，常與岩石碎屑中的水分突然增加有關。
- 3. 特富野:**特富野和達邦只隔著一條伊斯基安娜溪，它是一個安靜而淳樸的大村落。大部分適宜農地，分布於部落附近的曾文溪兩岸河谷、村落東部中坑溪上游，以及東南部海拔1100到1500公尺間的坡地，部落附近及對外聯絡的縣道曾經多次發生過土石災害。
- 4. 觸口:**隸屬於嘉義縣番路鄉，地形上為阿里山山脈與平地的交界，附近有觸口斷層經過，三面高山環繞，從頂埔公路俯瞰，可見八掌溪南流至此並轉而向西流去，造就曲流的風光。觸口海拔高度約250公尺，從天長橋以上道路兩側經常發生崩塌災難，目前政府在這裡花了很多錢，做邊坡防治、野溪治理、水土保持和明隧道工程，來維護交通暢通，並保護人員安全。

## (二) 研究方法

**1. 野外地質調查:**2012/08/04日蘇拉颱風造成觸口阿里山公路兩次崩坍，大量土石滑落下，阿里山公路交通中斷，並對下方民眾生命財產的安全造成威脅。另外，2016/6月169線達邦三號橋，爆發土石流，路基被土石流沖毀，達邦、特富野、里佳3大聚落交通中斷。由於這兩地土石災難經常發生，為了瞭解崩塌和土石災的關係，以及造成崩塌的原因，因此我們選定這兩處作為研究的地點。



### 2. 室內科學實驗:

(1) 製作實驗器具



把裁鋸好的木板，按設計圖製釘成可調整坡度的流水台。

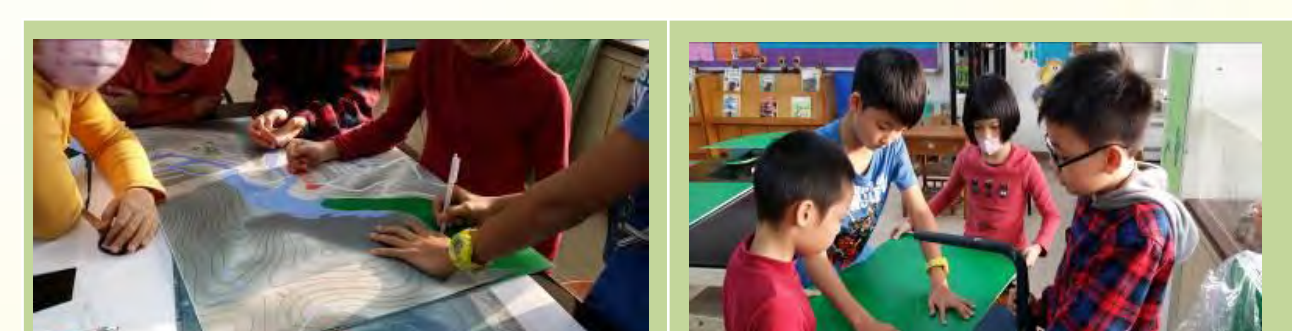


測試流水台效果

進行流水台沖蝕的實驗

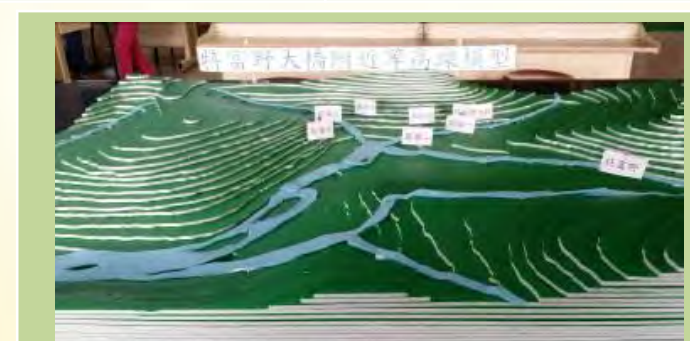
### 3. 資料整理:

(1) 製作等高線的模型



使用等高線地形圖

切割珍珠板



完成等高線地形模型

(2) 進行實驗設計與操作：

- \*操縱變因：坡度、水量、堆積物體積、土石性質。
- \*保持不變的變因：除操縱變因外，其餘都相同。
- \*應變變因：崩塌的情形
- \*操作方法：使用木板製作坡度流水台→把模擬堆積物，如砂石、土壤等，放在流水台上→在流水台上噴灑定量的水→觀察並記錄實驗結果。

- (2) 進行野外地質調查與沖蝕實驗，
- (3) 撰寫研究報告，並將資料打成電子檔，完成「坡地土石災難成因的探討—以特富野和觸口為例」作品說明書。

# 伍、研究結果

## 研究一 特富野附近的野外地質調查

### 露頭一

此為河水侵蝕後露出的地層構造；露頭左右岩層構造不一樣，崩塌凹進去的地方是層面。這些節理破裂面與坡面成垂直，而崩塌下來的石頭較細。右邊50公尺處，有崩塌的痕跡，形成崖錐。



靠河岸薄層砂岩被侵蝕缺一塊

頁岩層面風化碎裂成小塊滑下

河岸邊的擋土牆崩塌垮下來

### 露頭二

砂岩和頁岩互層，厚度約15~25公分，前端破裂的不整齊，稜角也不見了。往西30公尺的地方是塊狀砂岩，上頭發現圈圈和條狀「砂棒」構造，黃灰色，少部分因氧化顏色較深。



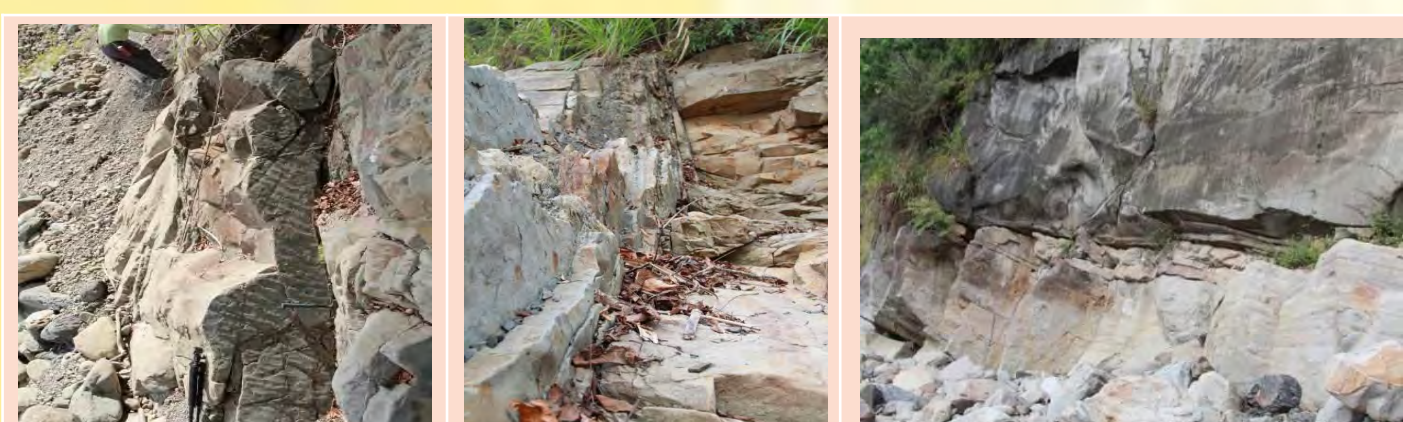
好厚的塊狀砂岩有解理，龜裂隙縫大

這個層面的砂岩上有許多砂棒

砂岩頁岩互層，砂岩有氧化現象

### 露頭三

砂岩層面發現波紋，為淺黃、灰色的，後方看到的層面都是砂岩的解理面，最上面是泥土層，上面長滿植物。河床上有很多大顆的鵝卵石，有些地方是頁岩。基腳的地方有很多礫石、頁岩、砂粒...等，砂岩有些都氧化。



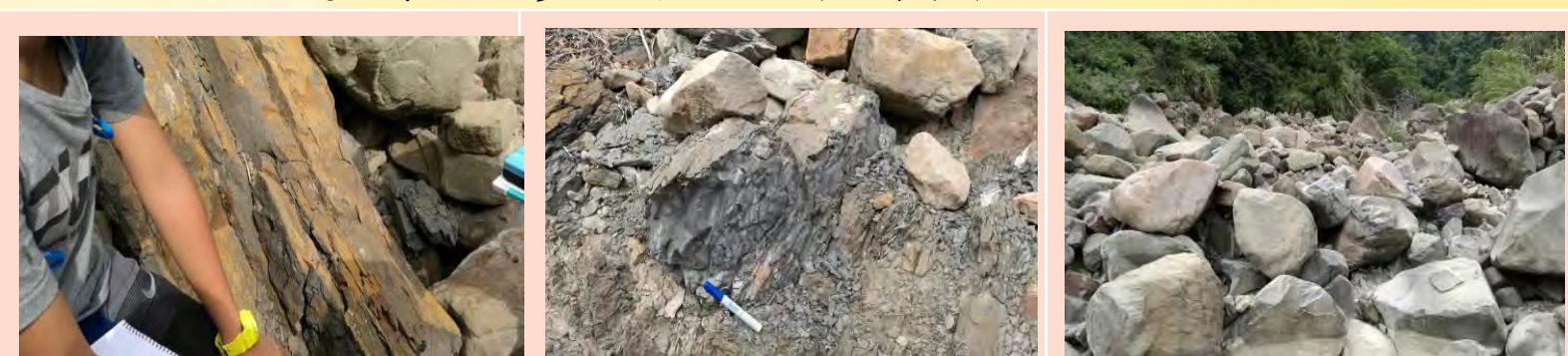
砂岩上的波紋是早期淺海的證據

砂岩頁岩互層，右側塊狀砂岩崩落

曾文溪旁雄偉塊狀砂岩約8公尺高

### 露頭四

砂、頁岩互層，厚度8~15公分，砂岩層稜角清晰，解理同一向，明顯差異侵蝕。左邊砂岩風化和氧化很嚴重，呈深灰色，頁岩較細，有些節理比較細而且不規則，直徑最大逾50公分，大多沒稜角。頁岩龜裂，深灰色，氧化很厲害，產生很多屑屑，有些成結核狀或剝落成條狀，還有很多礫石堆積在此地。



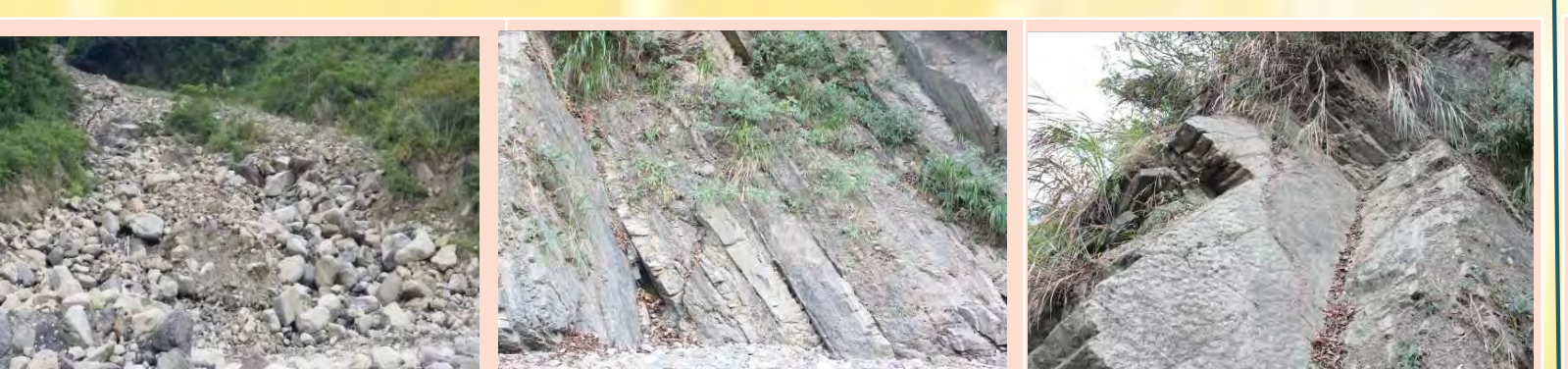
氧化嚴重的砂岩，深黃色像鐵生鏽

頁岩的破碎面，碎裂很厲害。

河床上的石頭，稜角都不見了

### 露頭五

塊狀砂岩，層次很明顯，偏北有滑落。岩層的底部基腳有很多較中、小型鵝卵石(15~25公分)，最大直徑是40公分左右，數量不是很多。砂岩層厚度超過1公尺屬塊砂岩。河道的右側長期堆積一些石頭，露頭碎裂的部分都是屬於頁岩，落下來的石塊屬於墜落的型態，崩來落較久，岩壁上面沒有新墜落的痕跡。



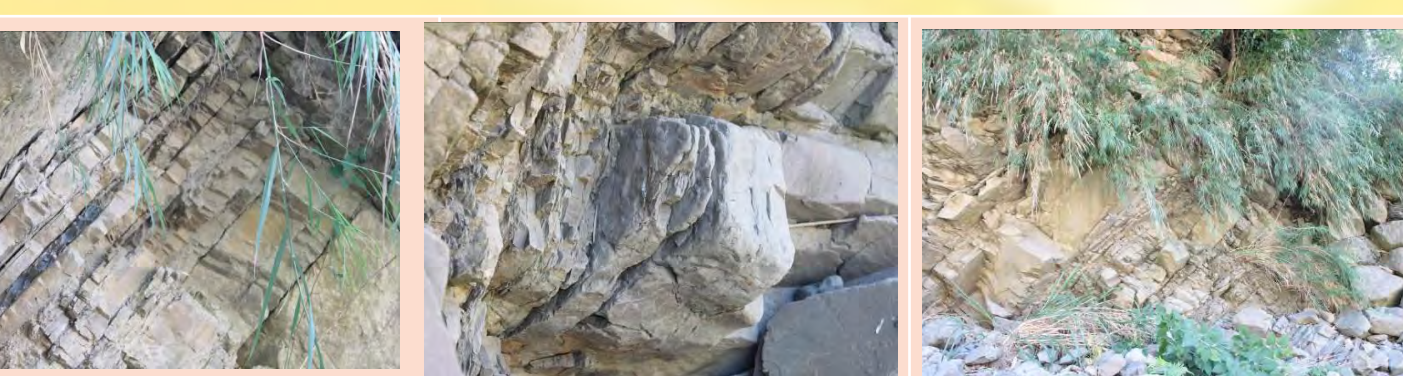
曾文溪旁山溝石頭大且數量很多

砂頁岩互層，各層有小裂隙頁岩

砂岩厚度約30公分，層面有波紋

### 露頭六

砂、頁岩互層，成傾斜構造，厚度約35公分~40公分，中間夾頁岩。層面露出的地方裂開，岩層和石塊的稜角很清楚。下方厚的砂岩層，解理面光滑，有斷裂的痕跡，斷裂面各不相同。東邊河床的防砂壩，溢水口邊靠近翼牆是砂岩、頁岩互層，也有一些鵝卵石堆積在河床上。



薄層砂頁岩解理多，差異侵蝕明顯

凸出的砂岩很厚很結實，但稜角不見了

特富野大橋橋墩附近砂岩和大型砌石牆

## 調查結果：

- 1. 特富野村曾文溪兩側的岩層是砂頁岩互層，有很多處塊狀砂岩，也有較脆弱的薄層砂頁岩，差異侵蝕很明顯，調查區內有兩處崩塌較嚴重的地方。
- 2. 河床邊堤岸上方是聚落的竹園、農田、住家和公路，散處在較平坦處，但是它們的安全卻會受崩塌影響，必須隨時注意。



## 研究二 觸口附近的野外地質調查

### 露頭七

位於觸口的天長橋下方，為砂岩、頁岩互層，砂岩凸出比較多。層面傾斜約80度，下方有一些是用鐵絲編成蛇籠裡面放鵝卵石固定基腳，底部靠近河床邊，有一組的防砂壩。頁岩風化得很嚴重。這屬於腦寮溪的溪床，也是大防砂壩的基座建築處。水沿著河道由東往西流下來，這裡建造了兩道的防砂壩。



薄層砂頁岩互層的露頭，坡型屬逆向坡  
天長吊橋的北端，坡面很陡的傾斜露頭  
天長吊橋下是腦寮溪，有三段的潛壩

### 露頭八

台18線公路轉彎36公里處(北邊的腦寮溪)，溪裡靠河岸邊砂、頁岩互層不很厚，差異侵蝕明顯。有崩塌痕跡，河床佈滿鵝卵石，河水很混濁，頁岩顏色是深灰色，而砂岩是黃褐色。東面有砂岩龜裂崩塌落下的石塊，稜角明顯，仍然的持續崩塌，整個崩塌面的高度約50公尺，由於崩塌持續發生所以崩塌面都沒長草。



台18號公路36K的大崩塌約50公尺高  
砂頁岩互層的崩塌面一角，持續崩塌  
大崩塌面的逆向坡上，有墜落的痕跡

### 露頭九

往南進入腦寮產業道路的腦寮溪上方崩塌面，下方有用蛇籠做成的堤岸和使用大型的鵝卵石做成的階梯狀護堤。上面砂石不斷有崩塌，甚至有些護堤被石頭推倒。南邊河床有很多石頭，有五道防砂壩建在山溝上，有很多偏黃褐色的砂岩，頁岩一碰就碎了。防砂壩前有一座橋，是最容易受河水侵蝕的地方水泥也有斷裂，也有被石頭撞擊成V字形。



位於腦寮溪大崩塌地河岸的蛇籠護岸  
腦寮溪河岸的侵蝕凹岸，砂岩凸頁岩凹  
腦寮溪上，被河水侵蝕沖垮的防砂壩

### 露頭十

位於阿里山公路台18線牛埔仔，海拔高度很快往下降，八掌溪形成大轉彎，河道向南侵蝕移動，屬於觸口的平坦台地之一，此露頭位在觸口崩塌地的末端，形成堆積的部分。正好是欣欣水泥公司的南邊。砂岩頁岩互層，地層看起來砂岩不是很堅硬。在砂岩層上頭有一層的礫石層，在河流的南側堆積體積不大的鵝卵石，河道溪水很混濁，從露頭往東看過去，有大片接近垂直的露出來的砂岩互層地層，上頭有稍許剝落的痕跡。



八掌溪南岸是這一段的攻擊坡，有凹面  
河道南邊堤岸上，最上方有一層礫石層  
河道南邊砂頁岩互層崩塌面接近垂直

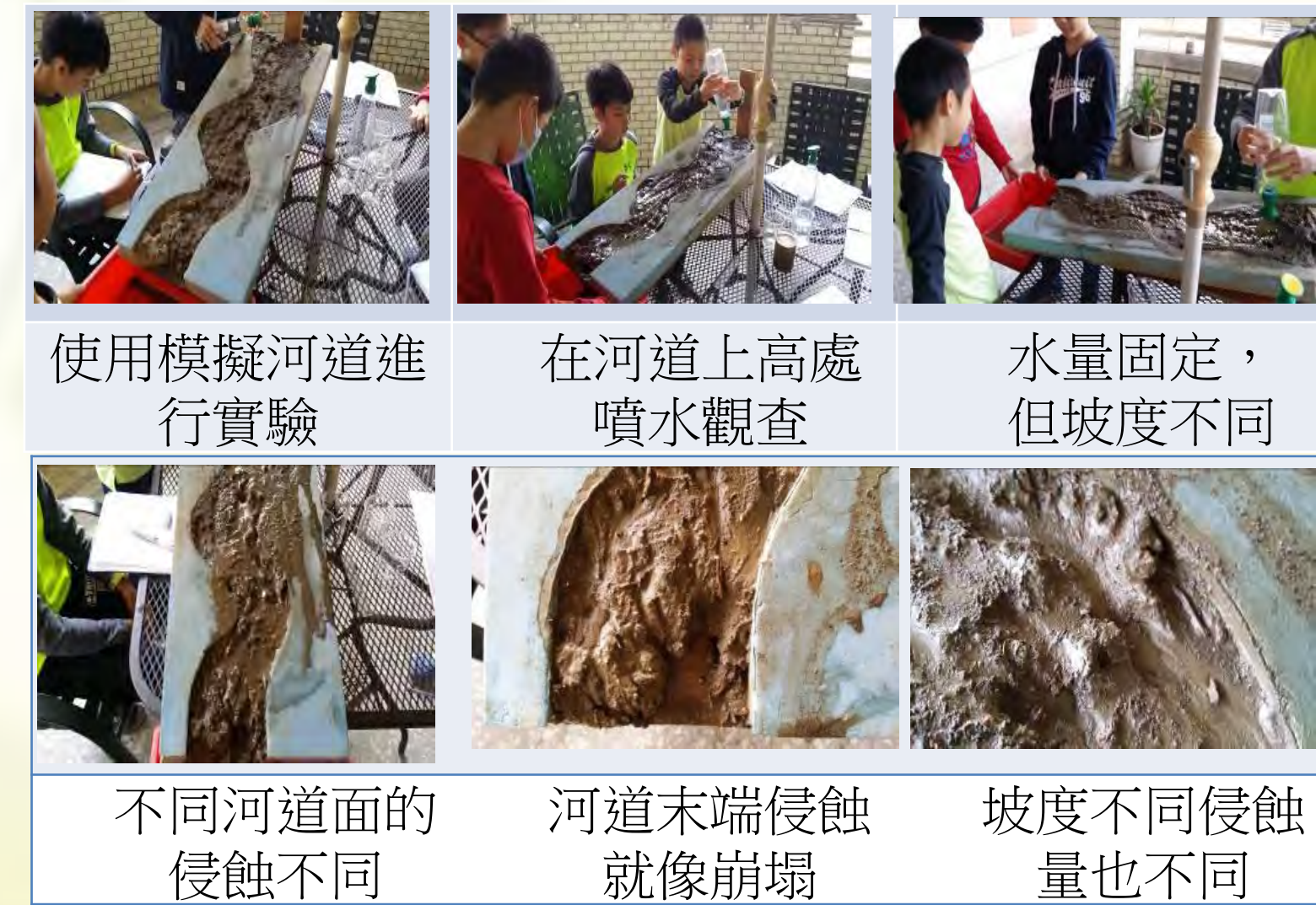
### 調查結果：

1. 觸口附近八掌溪和腦寮溪兩側的岩層是砂頁岩互層，有很多處崩塌，阿里山公路36K處的崩塌最嚴重的地方，這一處的崩塌面高度約50公尺。
2. 從支流腦寮溪到八掌溪都有崩塌，腦寮產業道路附近崩塌地有很多處，崩塌下來的土石很多，所以建造好幾道潛壩來防止崩塌造成災難。

## 研究三 坡度會影響崩塌嗎？

為了明白坡地對崩塌的影響，我們以山坡地露頭的「坡度」作為操縱變因，進行實驗，實驗過程如下：

### (一) 實驗過程



使用模擬河道進行實驗  
在河道上高處噴水觀察  
水量固定，但坡度不同  
不同河道面的侵蝕不同  
河道末端侵蝕就像崩塌  
坡度不同侵蝕量也不同

圖1-3 坡度(10、15、20度)與坡面沖蝕量統計圖

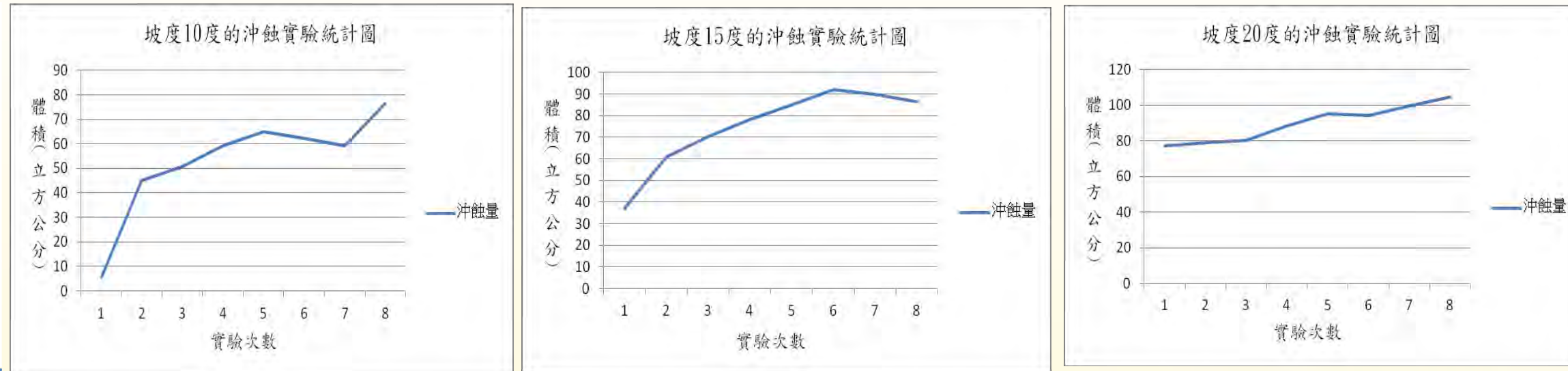
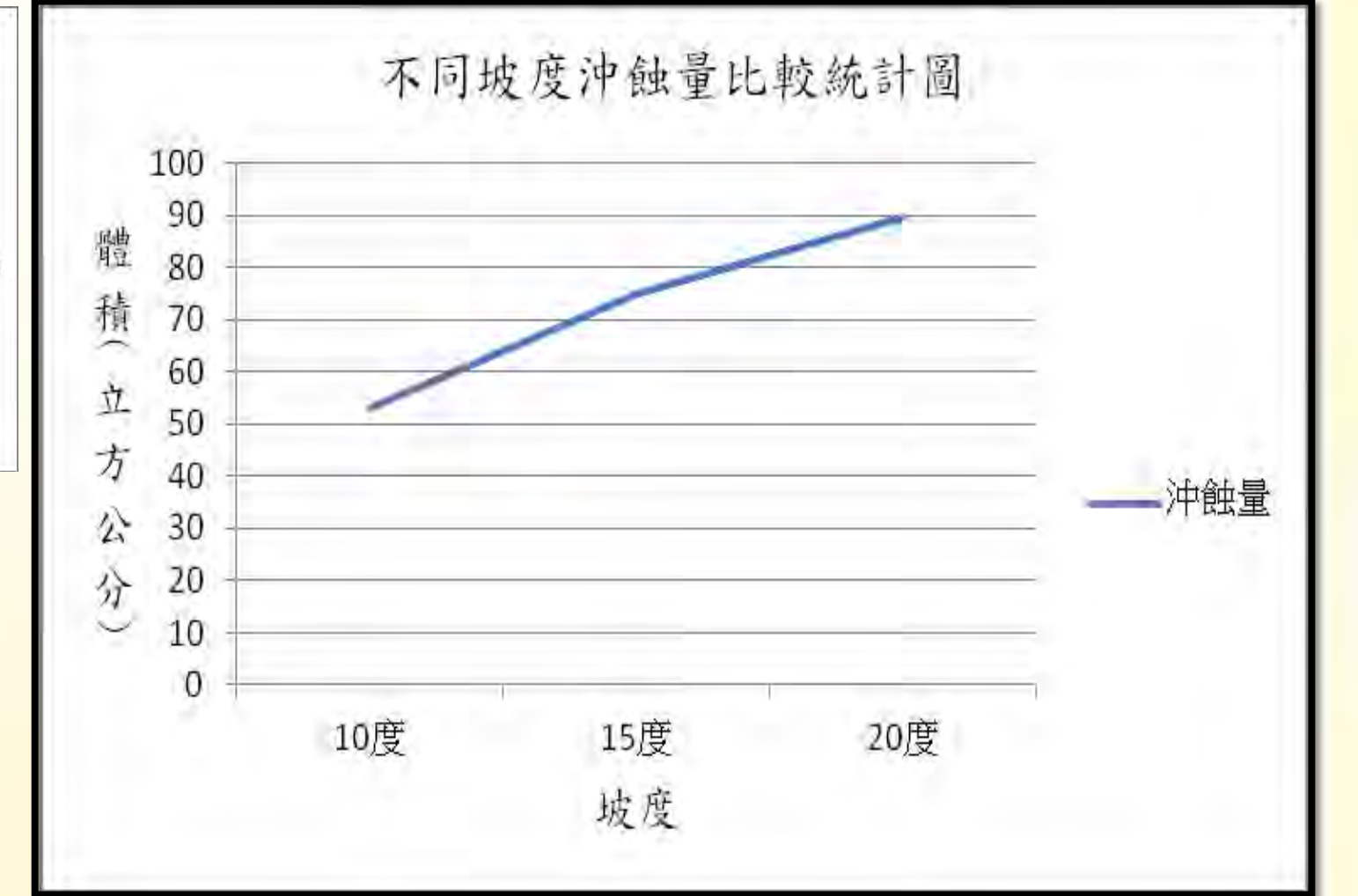


圖4 不同坡度與坡面沖蝕量統計圖



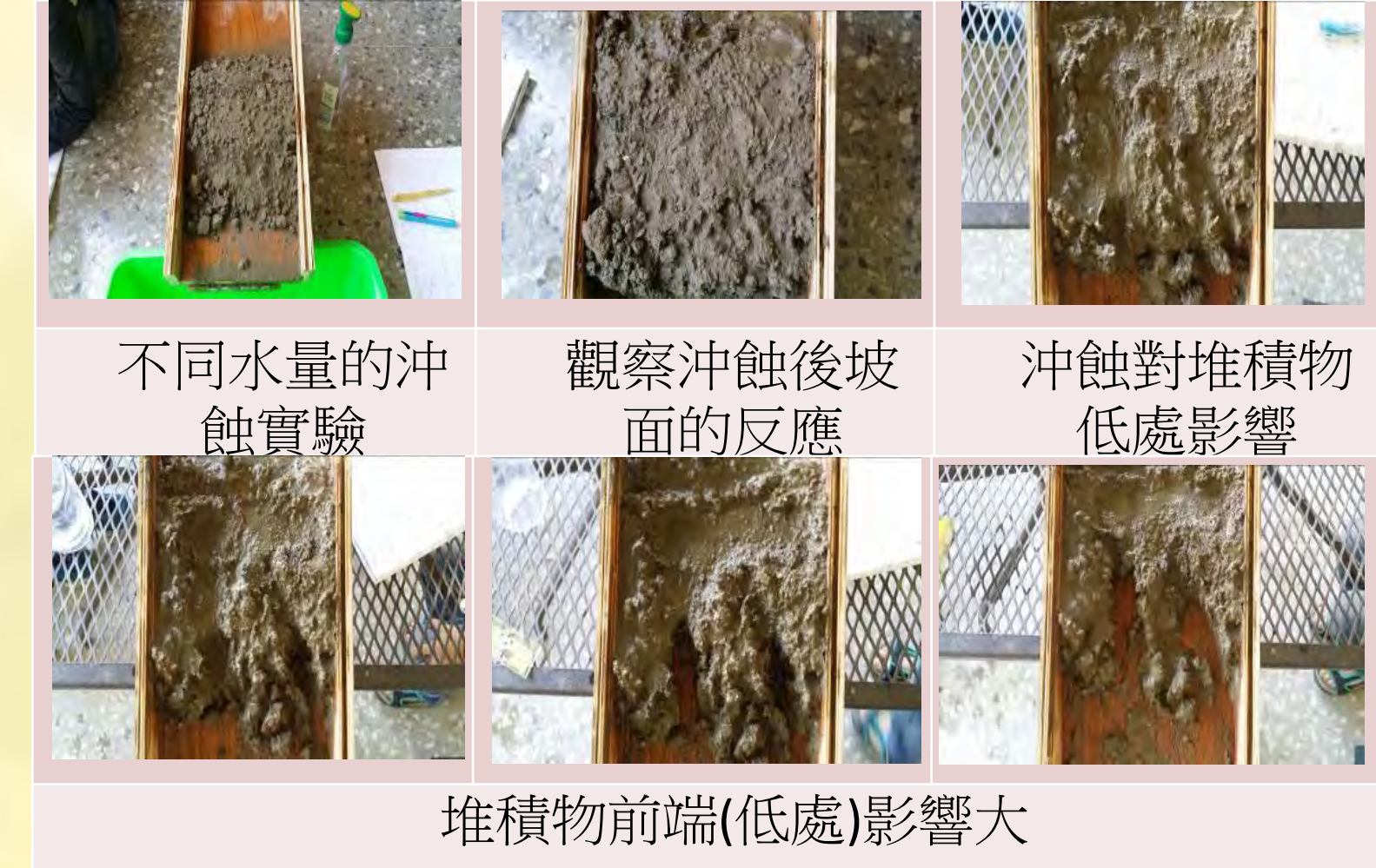
### 實驗結果：

1. 坡度為10度→沖蝕量的體積平均52.99cm<sup>3</sup>、  
坡度為15度→沖蝕量的體積平均75.00cm<sup>3</sup>、  
坡度為20度→沖蝕量的體積平均89.88cm<sup>3</sup>。
2. 坡度越陡，沖蝕量越多，可見崩塌地的坡度與崩塌量有關係。

## 研究四 水量與坡地的崩塌有關係嗎？

為了明白水量的多寡對崩塌的影響，我們以雨量的多寡做為操縱變因，使用澆水壺模擬降雨，進行實驗，實驗情形如下：

### (一) 實驗過程



不同水量的沖蝕實驗  
觀察沖蝕後坡面的反應  
沖蝕對堆積物低處影響  
堆積物前端(低處)影響大

### (二) 實驗記錄

水量	觀察記錄表								平均
	1	2	3	4	5	6	7	8	
250cc	1.6	2.8	1.8	2.5	2.2	2.2	2.1	4.1	2.41
	220	290	260	310	305	325	315	305	301.25
300cc	2.6	2.9	3.8	3.5	2.9	3.2	4.1	3.1	3.26
	320	390	360	398	382	371	365	375	370.13
350cc	4.6	3.9	4.4	4.5	4.9	4.2	5.1	5.1	4.59
	390	423	460	418	398	411	405	402	413.36
400cc	6.6	4.9	5.4	5.5	5.9	5.2	6.1	7.1	5.84
	491	493	503	518	509	511	495	492	501.50

表4 不同水量的崩塌地沖蝕實驗記錄表表 單位：cm<sup>3</sup>

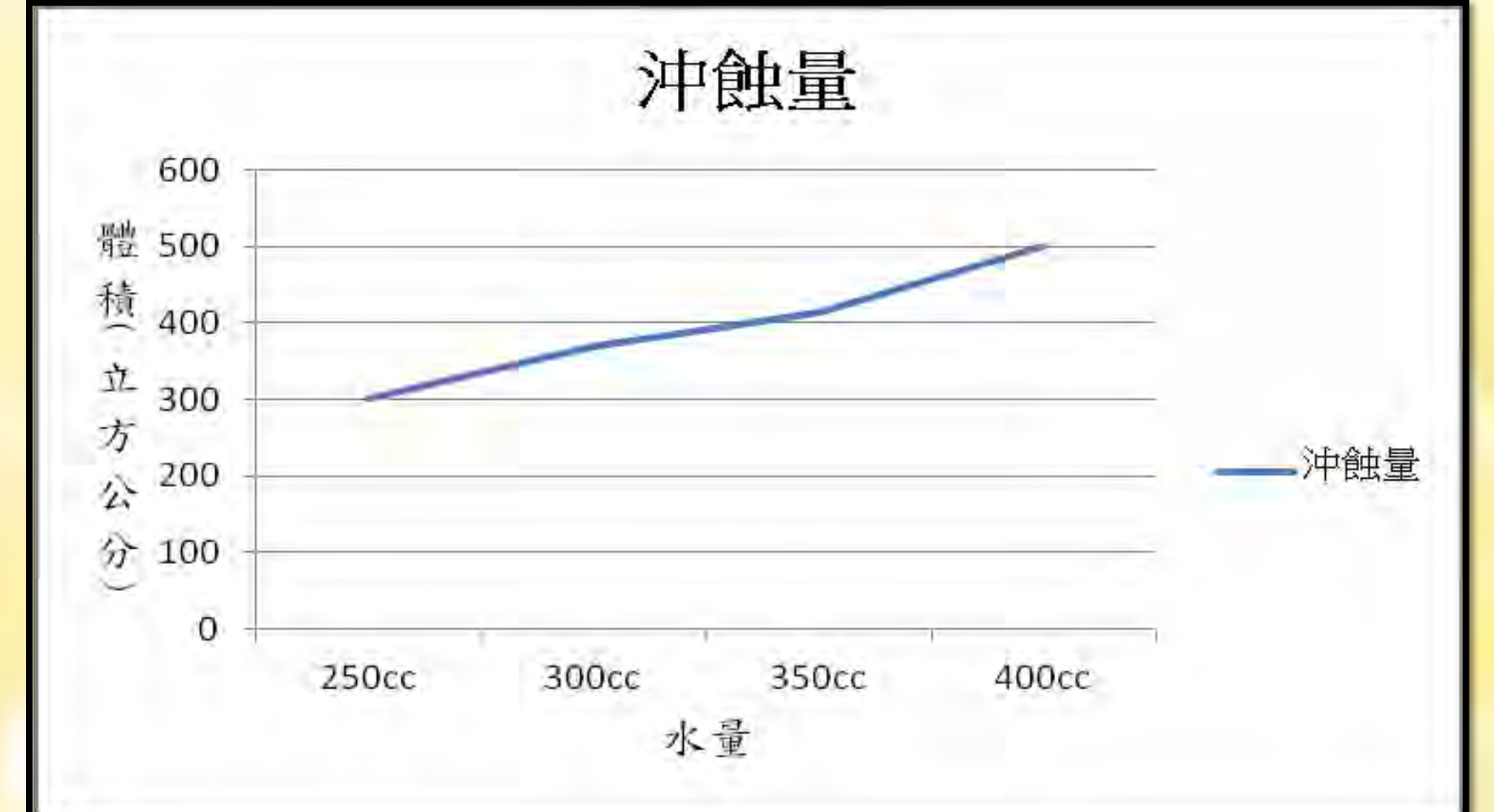


圖5 不同水量與坡面沖蝕量統計圖

### 實驗結果：

1. 水量250cc時→沖蝕量的體積平均301.25cm<sup>3</sup>，水量300cc時→沖蝕量的體積平均370.13cm<sup>3</sup>，  
水量350cc時→沖蝕量的體積平均413.36cm<sup>3</sup>，水量400cc時→沖蝕量的體積平均501.50cm<sup>3</sup>。
2. 水量越多，沖蝕量越多，可見崩塌地水量與崩塌沖蝕量的多少有關係。

## 研究五 堆積物與坡地的崩塌有關係嗎？

為了瞭解堆積物多寡對崩塌的影響，我們把堆積物的量做為操縱變因，水量與坡度做為保持不變的變因，水量是700cc，進行實驗設計，整理如下：

### (一) 實驗過程



250cm<sup>3</sup>堆積物放在河道  
300cm<sup>3</sup>堆積物放在河道  
觀察坡面沖蝕的情形  
每次沖蝕量都蒐集起來  
沖蝕後注意殘留的體積  
沖蝕水與土石蒐集測量

### (二) 實驗記錄

堆積物	觀察記錄表								平均
	1	2	3	4	5	6	7	8	
250cm <sup>3</sup>	125.0	110.8	120.6	109.8	105.6	121.1	115.0	108.4	114.5
300cm <sup>3</sup>	146.3	150.3	148.7	149.6	150.9	147.5	152.3	146.7	149.0
350cm <sup>3</sup>	160.8	159.9	163.2	158.7	168.4	162.4	160.3	164.8	162.3
400cm <sup>3</sup>	181.5	180.6	182.9	190.1	185.4	186.3	184.2	182.3	184.2

表5 同體積的堆積物的崩塌實驗記錄表 單位：cm<sup>3</sup>

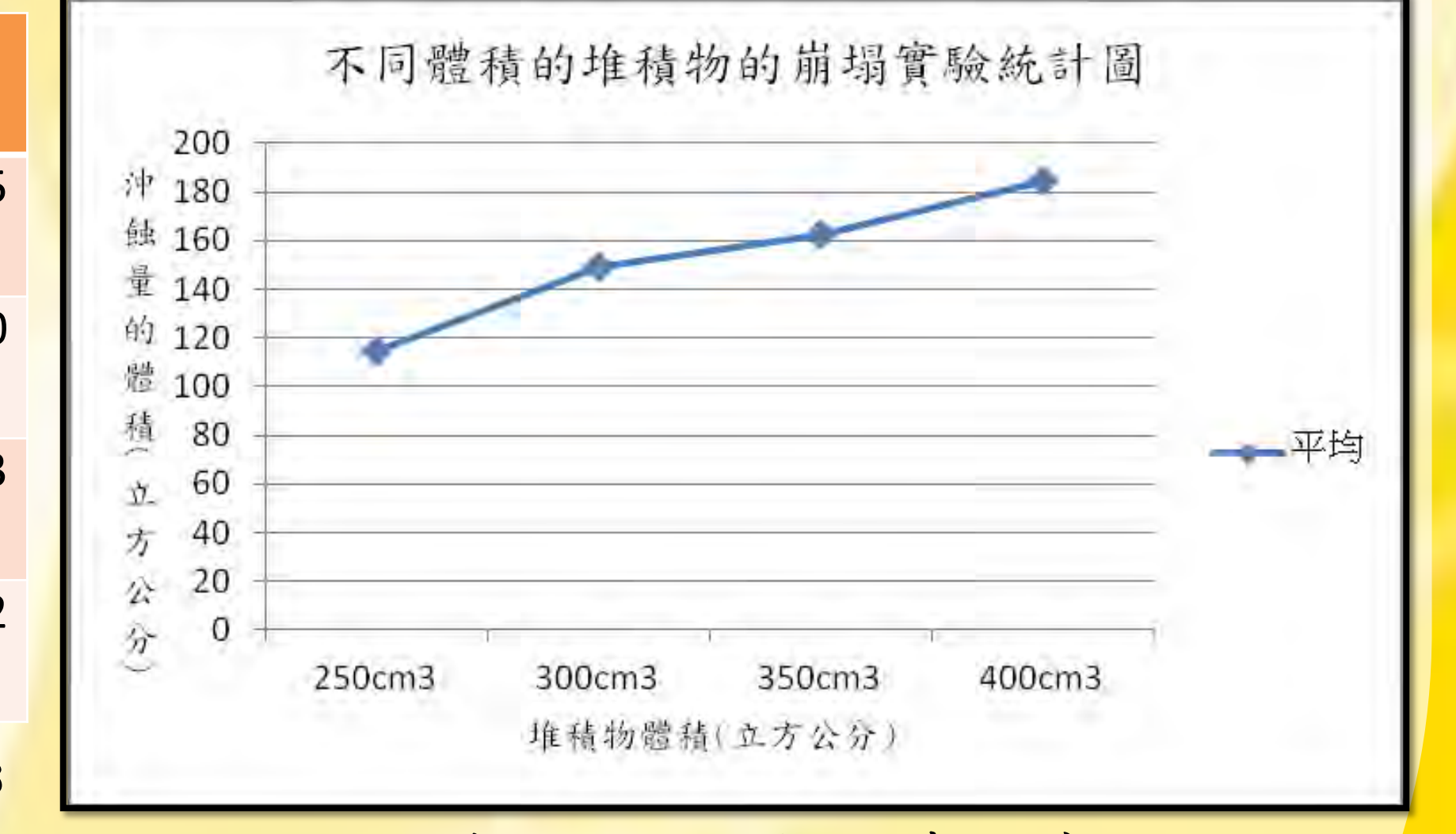


圖6 不同體積的堆積物的崩塌實驗統計圖

### 實驗結果：

1. 堆積物的體積250cm<sup>3</sup>時→沖蝕量的體積平均114.5cm<sup>3</sup>，堆積物的體積300cm<sup>3</sup>時→沖蝕量的體積平均149.0cm<sup>3</sup>，  
堆積物的體積350cm<sup>3</sup>時→沖蝕量的體積平均162.3cm<sup>3</sup>，堆積物的體積400cm<sup>3</sup>時→沖蝕量的體積平均184.2cm<sup>3</sup>。
2. 堆積物越多，沖蝕量越多；堆積物少，沖蝕量就少，可見崩塌地的堆積物多寡與崩塌沖蝕量的多少有關係。
3. 使用相同水量沖蝕，沖蝕的水會隨機流下來，不一定會將土都沖光。



## 研究六 如何防止土石災難？

### (一) 野外調查：參觀防止土石災難的設施



腦寮溪和八掌溪防砂壩工程，潛壩工程，溢水口還加上了鐵片保護。

台18線36K崩塌坡面用噴水泥漿覆蓋

觸口牛埔仔河階草原建滯洪池防水災

用鐵絲網編造裝鵝卵石的蛇籠擋土牆

蘭潭附近用磚形水泥塊建造擋土牆

蘭潭泛月園區附近用板岩砌成擋土牆

漿砌卵石擋土牆與排水溝設施

### (二) 設計實驗

為了瞭解與驗證「如何防止土石災難」的方法，除了參觀外，我們還設計實驗作為驗證，實驗設計和實驗過程如下：

#### 1. 為什麼需要建造擋土牆？

##### (1) 試驗一



沒建擋土牆堆積物  
原來的堆積情形

沒建擋土牆堆積物  
沖蝕後的堆積情形

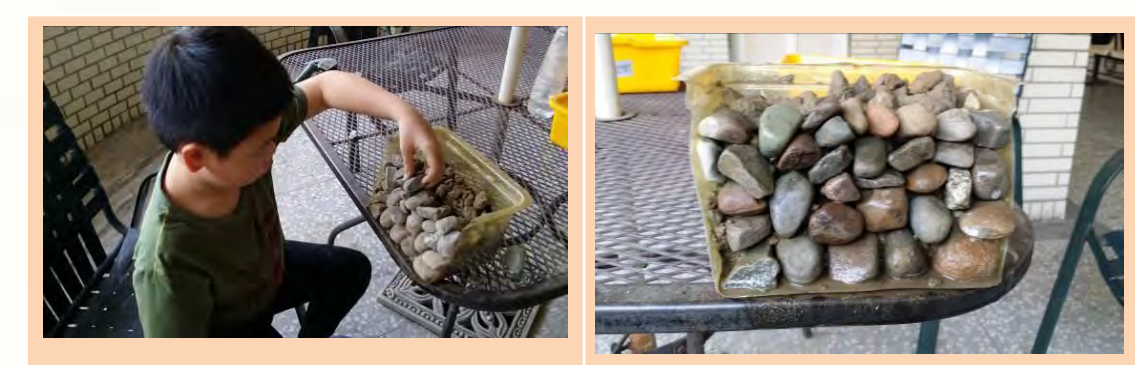
##### 實驗設計

甲：應變的變因：堆積物的改變

乙：試驗方法：先觀察堆積物的堆積情形後，使用350cc的水沖蝕堆積物。

丙：試驗結果，沖蝕後，堆積物有一部分流失，堆積的高度降低0.5公分，堆積物表面有水流的痕跡與凹下的細紋。

##### (2) 試驗二



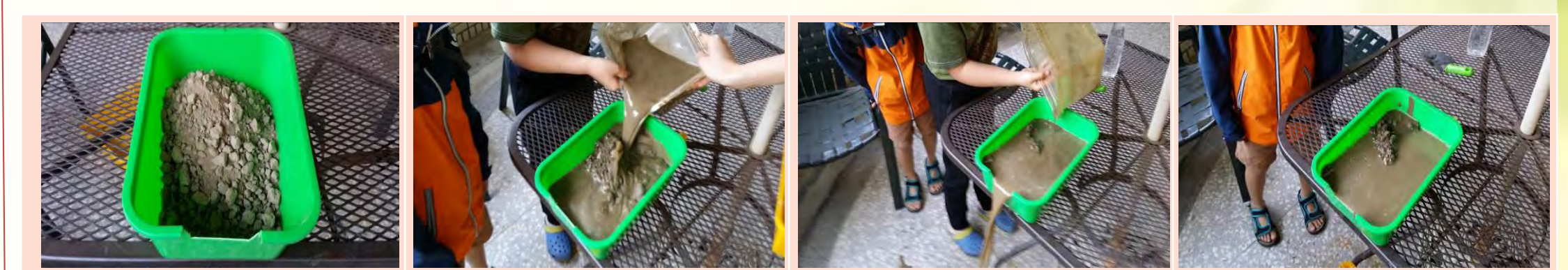
##### 實驗設計

甲：操縱變因：有無建造擋土牆

乙：試驗方法：先觀察堆積物的堆積情形後，使用鵝卵石模擬建造擋土牆，用350cc水沖蝕堆積物。

丙：試驗結果，沖蝕後，堆積物除了極少數細泥由石頭縫隙流出而流失外，堆積的高度沒有改變，堆積物表面水流的痕跡不明顯，水滲入堆積物沙土中。

#### 2. 為什麼河道或山溝裡要建造防砂壩？



##### 實驗設計(模擬防砂壩)

甲：操縱變因：有、無建造防砂壩

乙：試驗方法：塑膠盆前剪一塊倒梯形缺口模擬坡度為10度防砂壩。觀察堆積物在壩後的堆積情形後，用700cc水沖蝕河道裡的堆積物。

丙：試驗結果：堆積物會被流水由後往前搬動。水流動先是按模擬河道的斜面由高往低流動。當水平面超過溢水口的高度時就會滿過去而往下流。堆積物在溢水口後方，先把堆積物和防砂壩之間的凹洞填滿，然後再形成一個接近水平的沉積。

丁：我們發現：在模擬防砂壩前，河水成水平流過溢水口。河道裡崩塌下來的堆積物，被水搬運到防砂壩前，慢慢沉積，填滿溢水口前的凹洞，最後是水平沉積，水流的速度就變慢，沖蝕侵蝕能量變小，達到防止河水釀災的危險。

## 陸、討論

一、地質調查發現特富野村曾文溪兩側的岩層是砂頁岩互層，有很多處塊狀砂岩，也有較脆弱的薄層砂頁岩，差異侵蝕很明顯，調查區內有兩處崩塌較嚴重的地方。**河床邊堤岸上方的聚落，其安全卻會受崩塌影響須隨時注意。**

二、觸口附近八掌溪和腦寮溪兩側的岩層是砂頁岩互層，有很多處崩塌，阿里山公路36K處的崩塌最嚴重的地方，此處的崩塌面高度約50公尺。從支流腦寮溪到八掌溪都有崩塌，腦寮產業道路附近崩塌地有很多處，崩塌下來的土石很多，所以建造好幾道潛壩來防止崩塌造成災難。**滯洪池的規劃建造也對防止水災有幫助。**

三、探討坡度與崩塌的關係時，我們發現坡度為10度時，沖蝕量的體積平均52.99cm<sup>3</sup>、坡度為15度時，沖蝕量的體積平均75.00cm<sup>3</sup>、坡度為20度時，沖蝕量的體積平均89.88cm<sup>3</sup>→**坡度越陡，沖蝕量越多，可見崩塌地的坡度與崩塌量有關係。**

四、下雨時降水量與坡地的崩塌有關係嗎？從實驗結果得到資料有水量250cc時，沖蝕量的體積平均301.25cm<sup>3</sup>、水量3000cc時，沖蝕量的體積平均370.13cm<sup>3</sup>、水量350cc時，沖蝕量的體積平均413.36cm<sup>3</sup>、水量400cc時，沖蝕量的體積平均501.50cm<sup>3</sup>→**水量越多，沖蝕量越多，可見崩塌地的水量與崩塌沖蝕量的多少有關係。**

五、堆積物與坡地的崩塌的關係實驗時，我們發現堆積物的體積250cm<sup>3</sup>時，沖蝕量的體積平均114.5cm<sup>3</sup>、堆積物的體積300cm<sup>3</sup>時，沖蝕量的體積平均149.0cm<sup>3</sup>、堆積物的體積350cm<sup>3</sup>時，沖蝕量的體積平均162.3cm<sup>3</sup>、堆積物的體積400cm<sup>3</sup>時，沖蝕量的體積平均184.2cm<sup>3</sup>→**堆積物越多，沖蝕量越多；堆積物少，沖蝕量就少，崩塌地的堆積物多寡與崩塌沖蝕量的多少有關係。**

六、如何防止土石災難呢？我們發現假如沒有擋土牆，沖蝕後，堆積物有一部分流失，堆積的高度會降低，堆積物表面有水流的痕跡與凹下的細紋。有擋土牆以後，雨水沖蝕時，除了極少數細泥由石頭縫隙流出而流失外，堆積的高度沒有改變，堆積物表面水流的痕跡不明顯，水會滲入堆積物裡。還有在山溝或河流崩塌較嚴重的地方建造防砂壩真的有必要，河水會把沖蝕的堆積物，被流水由高的地方往前搬動，當水滿過溢水口以後，水才和一些土石才會流走。水的流動先是按模擬河道的斜面由高往低流動，但是到了溢水口前，水開始聚集成水平面。當水平面超過溢水口的高度時，就會滿過去而往下流。堆積物在溢水口後方，先把堆積物和防砂壩之間的凹洞填滿，然後再形成一個接近水平的沉積。在沉積物沉積成水平的這一段河道，水流的速度就變慢，沖蝕侵蝕的能量也變小了，達到防止河水造成水災的危險。

## 柒、結論

- 一、特富野村曾文溪兩側的岩層是砂頁岩互層，差異侵蝕很明顯，調查區內有兩處崩塌較嚴重的地方，崩塌對安全的影響不小，必須隨時注意。
- 二、觸口附近八掌溪和腦寮溪兩側的有很多處崩塌，阿里山公路36K處的崩塌最嚴重的地方。從支流腦寮溪到八掌溪都有崩塌，所以必需建造防砂壩來防止崩塌造成災難。
- 三、坡度越陡，沖蝕量越多，可見坡度與崩塌量有關係。
- 四、下雨時降水量與坡地的崩塌有關係，水量越多，沖蝕量越多。
- 五、我們發現堆積物的體積越多，豪雨後沖蝕量越多；堆積物少，沖蝕量就少。
- 六、從野外調查與實驗證明，擋土牆可以減少雨水沖蝕，保護山坡地。還有在山溝或河流崩塌較嚴重的地方建造防砂壩真的有必要，它可以使水流的速度變慢，河水侵蝕的力量變小，避免造成災難。

## 捌、參考資料

- 一、中央地質調查所（1999）。太和地區等高線地形圖。台北市：經濟部。
- 二、中國時報<http://www.chinatimes.com/newspapers/20160711000387-260107>
- 三、何春蓀（1990）。普通地質學。台北：五南圖書出版有限公司。
- 四、林信輝（2007）。崩塌地坡面保育處理工法。台北市：經濟部水利署。
- 五、陳信雄（1995）。崩塌地調查與分析，國立編譯館部編大學用書。台北市：渤海堂書局。
- 六、陳建元、李勇鋒（2010）。岩石邊坡災害調查與整治規劃-以縣道169線達邦三號橋崩塌地為例。臺灣公路工程第36卷第8期。
- 七、嘉義縣交通旅遊地圖（2016） [www.tripadvisor.com.tw/LocalMaps-g1433864-Chiayi\\_County](http://www.tripadvisor.com.tw/LocalMaps-g1433864-Chiayi_County)