

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國中組 生物及地球科學科

第一名、最佳團隊合作獎

031728

中橫松鶴部落土石流之探討

臺中市立四張犁國民中學

作者姓名：

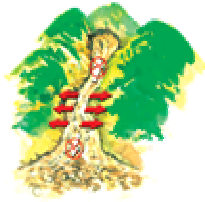
國二 曾智欽 國二 林雨蓉 國一 陳歆平

國一 呂達陽

指導老師：

李秀雯 林金直

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會  
作品說明書



科別：生物與地球科學 組別：國中組

作品名稱：中橫松鶴部落土石流之探討



關鍵詞：保水力、土石流、水土保持

編號：

## 摘 要

民國 93 年敏督利颱風引進強烈西南氣流，連日豐沛雨量，引起台灣多處山區發生土石流災害，谷關地區災情嚴重。資料顯示，7 月 2 日松鶴一、二溪爆發土石流，造成傷亡各 1 人，2 人失蹤。對外聯絡道路台 8 省道崩塌中斷【1】。此次土石流造成大甲溪河道淤積，艾莉颱風來襲，溪水暴漲，沖毀博愛國小及長青橋，民房 7 戶受損。

好友曾經在此地區活動，目睹災前災後的景像。邀約她參加我們的專題，除借重登山經歷協助我們實地調查外，期待帶給這個專題身歷其境的感受。

本文以土石流為對象，使用文獻探討及照片比對，結合現場調查，進行研究。結果顯示，土石流造成大甲溪河床上升 15 公尺。松鶴一、二溪，均屬於土石流高危險溪流。肇因是九二一地震產生許多崩場地，遇豪大雨，雨滴直接打擊地表，使逕流量增加，造成土壤嚴重流失。

## 壹、研究動機

前年(92 年)，老師帶全家去中橫松鶴部落附近的德芙蘭生態步道健行，去年(93 年)，老師又帶全家去登谷關七雄的唐麻丹山，看著老師登山時所拍的山中美景，羨慕極了。回憶前陣子七二水災期間，從媒體上得知，中橫公路發生土石流，讓谷關山區和松鶴部落的泰雅文化一夕之間全面崩塌。由於數理資優教育方案的課程，希望大家製作科學專題，於是邀約具有登山經歷的夥伴，由老師帶著我們再重回松鶴部落災區現場，親眼目睹 921 地震後的二次災害—土石流的威力。不禁令人驚覺土石流的防治工作，儼然已成了現今水土保持的重要課題，從自然與生活科技教科書第六冊，我們學習到天然災害的可怕。所以，決定深入了解松鶴部落土石流的來龍去脈。

## 貳、研究目的

臺灣山區地勢陡峭，地質破碎，加上山坡地利用不當，每經豪雨、颱風侵襲易發生土石流，嚴重威脅山坡地居民生命財產安全，本文以土石流為其探討對象，先以文獻探討及照片比對的方式，了解該地區之地質結構及地形特徵，分析土石流之成因與危險狀況；再結合現場調查，進行研究；現場調查包含土壤採樣測試、實景拍攝及居民訪問。希望引起大家關心山坡地開發和居住問題。

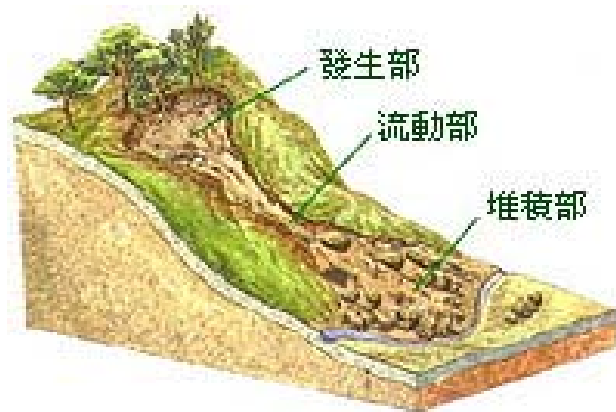
### 叁、研究設備與器材

- 一、現場調查：筆記本、照相機、安全帽、採岩石標本用的鎚子、塑膠盒。
- 二、土壤測試：顯微鏡、比重計、1000ml 燒杯、三角錐瓶、錶玻璃、離心管、離心機、篩網、電子天平、試劑（D.I.水、10ml 鹽酸、30%  $\text{H}_2\text{O}_2$ 、偏磷酸鈉）、採樣鎚、烘箱、乾燥器、分析天平、稱量秤、藥杓。

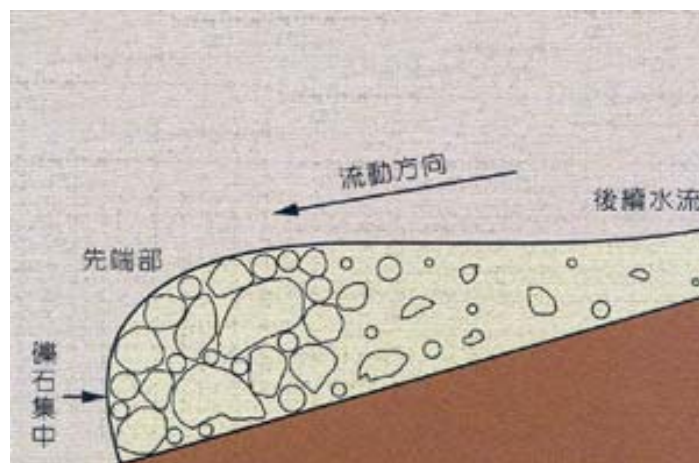
### 肆、研究過程及方法

#### 一、資料整理

(一)土石流的定義：泥、砂、礫及巨石等物質與水之混合物受重力作用後所產生之流動體【3】。依運動方式可分成發生區、流動區與堆積區，發生區的橫剖面形狀多呈 V 字形，流動區為 U 字形，堆積區則像一伸長的舌狀，如圖(一)【2】。



圖(一)



圖(二)

## (二)造成土石流的原因：【5】

- 1、充足的水源。
- 2、足夠的堆積物。
- 3、有效之溪床坡度。

## (三)土石流特徵：

- 1、前端隆起且巨礫集中、流量大，後續水流多為泥流或土石流，如圖(二)。
- 2、流速快、泥砂濃度高、沖蝕力強、衝擊力大。
- 3、土石流表面之流速明顯的高於其平均流速，顯示土石流具有表面快而底面慢之流速分佈特性。
- 4、土石流發生地點之坡度大約在  $15^{\circ}\sim 30^{\circ}$  間為最多，而堆積地點之坡度以在  $3^{\circ}\sim 6^{\circ}$  間為最多，如圖(三)。【2】



圖(三)

## (四)土石流災害之型態【2】

- 1、淤埋：大都發生在下游沖積扇地區，如圖(四)。
- 2、沖刷：包含河道兩側侵蝕及溪床向下切深等，如圖(五)。
- 3、堵塞：溪流過窄及橋涵過低均易造成泥沙堵塞，如圖(六)。
- 4、撞擊：土石流流經路線撞擊力強，如圖(七)。
- 5、溪流改道：原有河道受土石堆積或兩岸地質脆弱而產生漫流河道，如圖(八)。
- 6、磨蝕：堤防、固床工等混凝土結構物易受土石流摩擦損壞，如圖(九)。
- 7、擠壓主河道：河道兩側崩塌及支流帶入泥沙堆積會造成主河道擠壓，如圖(十)。

## (五)文獻資料【5】調查土石流危險等級判定方法簡述如下：

### 1、土石流發生度評估指標：

- a.有效集水面積，有效集水面積做為誘發土石流危險度之重要評估指標。基準

及得分如下： $A_{15} > 50$ （公頃）， $W=50$ ； $15 < A_{15} < 50$ （公頃）， $W=30$ ； $A_{15} < 15$ （公頃）， $W=15$ 。

b.集水區內岩體之岩性，地質岩性之危險度基準(如表 1)。

c.通過集水區內之斷層長度，通過集水區域的斷層長度改為通過集水區內之斷層長度與總面積之比值。其基準預定如下：比值 $> 1.5$   $W=10$ ， $0 < \text{比值} < 1.5$   $W=6$ ，比值 $= 0$   $W=3$ 。

d.溪流上游之崩塌面積，溪流上游之崩塌面積修改為溪流上游之崩塌面積與總面積之比值( $A_c$ )，預定其基準如下所示： $A_c \leq 0.016$   $W=30$ ， $0.016 > A_c \geq 0.0055$   $W=20$ ， $A_c < 0.0055$   $W=10$ 。



圖(四)



圖(五)



圖(六)



圖(七)



圖(八)



圖(九)



圖(十)



圖(十一)水災過後的松鶴地區(取自逢甲大學地理資訊中心)



2、保全對象危害度評估指標：如表 3。將有效集水面積、集水區內岩體之岩性、通過集水區內之斷層長度及溪流上游之崩塌面積等四個評估指標值加總後乘 100%即為土石流之發生度，再將發生度乘上保全對象危害度評估指標值加總後乘 100%即可得各土石流危險溪流之危險等級值。再依危險等級值 20%以下劃分為低危險度溪流、20%~50%劃分為中危險度溪流、50%以上劃分為高危險度溪流三個危險溪流等級。

表 1 集水區內地質岩性危險度基準之預定

溪流所在之地質環境	岩性分類	評分
片岩，板岩	廣域變質岩	W=10
古第三紀沈積岩(包括中新世岩層)	古第三紀亞變質岩	W=6
火山角礫岩及安山岩 更新世礫石層	古第三紀亞變質岩(硬頁岩及板岩)	W=222
新第三紀及更新世岩層 台地堆積層(全新世)	新第三紀沈積岩	W=3

表 2 (取自行政院農業委員會水土保持局土石流防災應變系統)

坡度	台中003	台中004
0-5%	1.28	1.12
5~15%	18.03	18.63
15~30%	20.90	16.86
30~55%	55.04	14.13
55~75%	109.13	25.53
75%以上	230.23	31.63
總計(ha)	434.61	107.91

表 3 保全對象的評估指標

保全對象		危險度(W)
住戶、學校、旅舍、 公共建築(有民眾居 住者)	15 戶以上	70
	5-10 戶	50
	5 戶以下	30
公路、橋樑、道路		20
農田、果園		10

(六)從行政院農業委員會水土保持局資料顯示，空照圖如圖(十一)，台中 003(松鶴一溪)及台中 004(松鶴二溪)土石流潛勢溪流下及大甲溪旁之松鶴部落土石流判斷指標資料如下：

- 1、土砂供給方式：源頭崩塌型土石流。
- 2、地質：地質以始新世至漸新世之石英岩、板岩與煤質頁岩為主。
- 3、集水區上游崩塌面積：台中 003 潛勢溪流為 20.316 公頃。台中 004 潛勢溪流為 3.9 公頃。
- 4、坡度：如表 2。
- 5、有效集水面積，松鶴一溪：434.61 公頃、松鶴二溪：107.91 公頃。
- 6、中央氣象局資料，取博愛村鄰近之白冷觀測站資料為參考，94 年 7 月 2 日降雨量為 309.5 公釐，94 年 7 月 3 日降雨量為 399.5 公釐，94 年 7 月 4 日降雨量為 418.5 公釐。
- 7、保全對象：400 戶及長青橋、博愛國小。

(七)土石流防治原則：

- 1、避開：對規模較大、較高、較陡造成災害較嚴重的山坡地最好能避開。
- 2、降低下滑力：滑動體的下滑力主要是由重力為主,理論上及減輕滑動體的重量；主要方法包括銷坡減重、台階式邊坡、減少開挖深度、避免地表堆積載



重、地表及地下排水與輕材質填充。

- 3、提高抗滑力：穩定邊坡提高抗滑力是從外部給予助力設置擋土結構，或增強內部抗減強度；例如抗滑樁、土釘工法、鋼製格框式擋土牆工法等【4】。

## 二、現場實地調查：

(一)實地照相取景：由七二水災前的登山照片及七二水災後的取景進行比對。

(二)現地土壤取樣：取土石流後地表下 30cm 之土壤及未被土石流侵襲地表下 30cm 之土壤各約 2kg。

(三)居民訪問。

## 三、土壤取樣分析：

### (一)土壤水分含量測定

#### 1、實驗步驟：

(1)使用電子天平量取(濕土+鋁盤)的重量。

(2)置於烘箱內，以  $105 \pm 5$  乾燥。

(3)每 4 小時量測一次，前後兩次之重量差須不超過 0.1% 為準。

(4)計算方式：含水率 = (水分含量/乾土重) × 100%

### (二)土壤粒徑分析：

#### 前處理：

1、碳酸鹽及可溶性鹽之去除：秤取 40g 的風乾土壤至於 250ml 的三角錐瓶中，加入約 100ml D.I.水，混合後再加入 10ml 的鹽酸水溶液。

2、有機質之去除：碳酸鹽去除後，加入 5ml 的  $H_2O_2$  到土壤懸浮液並攪拌，蓋上錶玻璃觀察 10 分鐘，如有激烈冒泡則將燒杯至於冷水中冷卻。當冒泡停止時，加熱至  $90^\circ C$ ，移開錶玻璃將多餘水份蒸發但勿蒸乾。重複添加  $H_2O_2$  與加熱，直到有機質完全去除。最後一次添加  $H_2O_2$  後，須將杯壁上的  $H_2O_2$  潤洗下來，加熱一小時以去除多餘的  $H_2O_2$ 。

#### 3、實驗步驟：

(1)取樣品研磨並標號。

(2)過 2mm 的篩網，並將 2mm 以下的土壤研磨（重複此動作三次）。

- (3)取 40g 的樣品於離心管，加入 D.I.水後，至於離心機中震盪 5 分鐘，移出並丟棄上層液（重複此動作三次）。
- (4)取出下層液，加入 30%  $\text{H}_2\text{O}_2$  5 ml 與 25 ml D.I.水於燒杯中，並蓋上錶玻璃，加熱至 90 （勿蒸乾），並重複此步驟至有機物完全去除。
- (5)確定去除後，加入 30%  $\text{H}_2\text{O}_2$  5 ml 與 25 ml D.I.水於燒杯中，並蓋上錶玻璃。
- (6)加熱至 1 小時，去除多餘的  $\text{H}_2\text{O}_2$ ，之後風乾。
- (7)取 40g 的樣品，加入 100ml 的偏磷酸鈉後，加入 D.I.水至 1 升。
- (8)分別於 0 秒、30 秒、60 秒、1.5 小時、24 小時讀取比重計數據。
- (9)利用 Stoke's Law 計算。

## 伍、結果

- 一、敏督利颱風使得台中 003(松鶴一溪)、004(松鶴二溪)土石流潛勢溪流七月二日爆發土石流，造成大甲溪河道淤積，河床上升 15 公尺。我們由松鶴附近之麗陽攀岩場在七二水災前後之照片估計得到，如圖(十二)~圖(十三)。



圖(十二)七二水災前



圖(十三)七二水災後

二、從土石流災害之型態來看，本文研究主題之松鶴一溪、松鶴二溪土石流的淤埋、沖刷堵塞、撞擊、溪流改道、磨蝕、擠壓主河道等災害，如圖(十四)~圖(二十)。

三、依文獻資料【5】調查方法，比對水土保持局資料顯示，土石流發生度指標，集水區特性松鶴一溪及松鶴二溪得分均在 50 分。岩性得分均為 6 分、集水區上游崩塌面積松鶴一溪： $20.316(\text{公頃}) \div 434.61(\text{公頃}) = 0.046 > 0.016$ ，松鶴二溪： $3.9(\text{公頃}) \div 107.91(\text{公頃}) = 0.036 > 0.016$  得分均為 30 分；土石流之發生度為 86。保全對象危害度  $70 + 20 = 90$ ；危險等級值  $0.86 \times 0.9 = 77.4\%$ 。



圖(十四)淤埋



圖(十五)冲刷



圖(十六)堵塞





圖(十七)撞擊



圖(十八)溪流改道



圖(十九)磨蝕

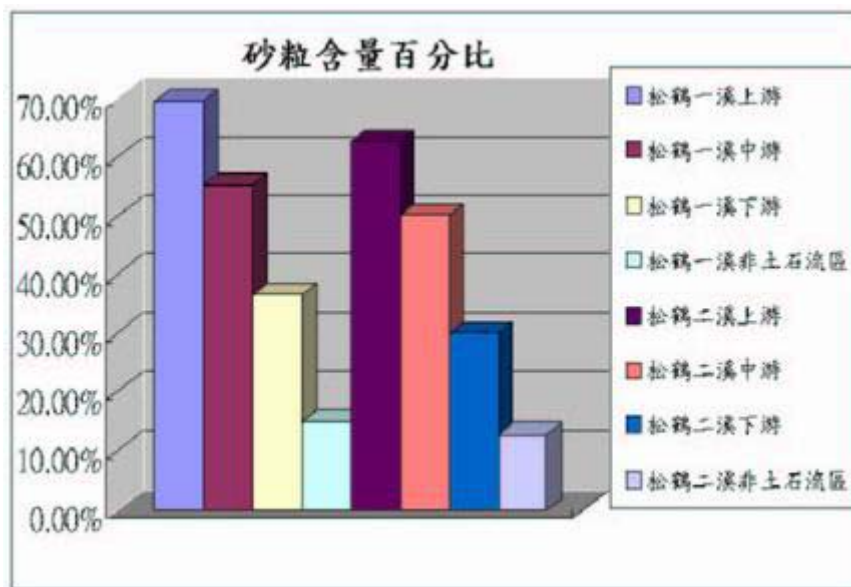


圖(二十)擠壓主河道

#### 四、實驗結果

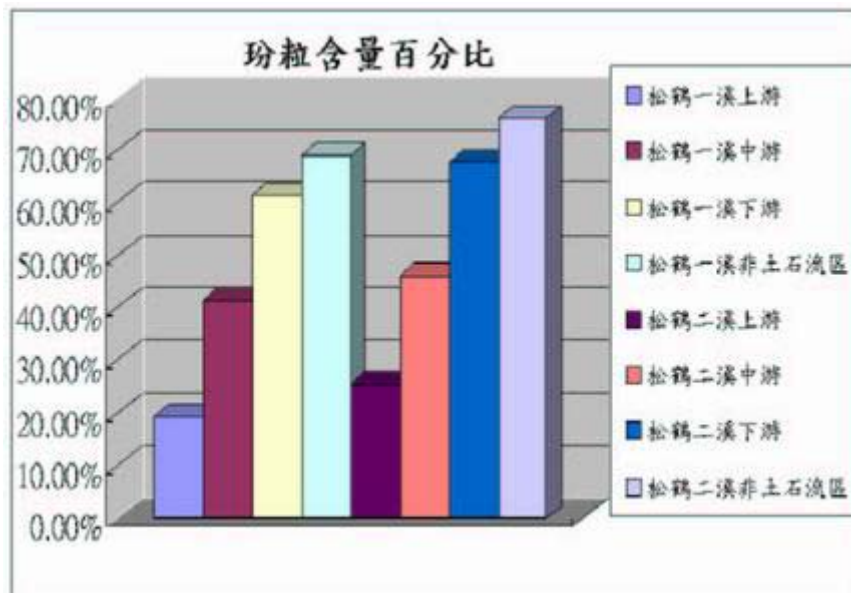
表 4、粒徑分析(質地分析)

土壤樣品名稱	砂粒	粉粒	黏粒
松鶴一溪上游	69.41 %	19.40 %	11.20 %
松鶴一溪中游	55.11 %	41.56 %	3.34 %
松鶴一溪下游	36.44 %	61.54 %	2.02 %
松鶴一溪非土石流區	14.98 %	69.11 %	15.91 %
松鶴二溪上游	62.41 %	25.46 %	12.13 %
松鶴二溪中游	50.12 %	46.17 %	3.71 %
松鶴二溪下游	30.09 %	67.70 %	2.22 %
松鶴二溪非土石流區	12.81 %	76.14 %	11.06 %

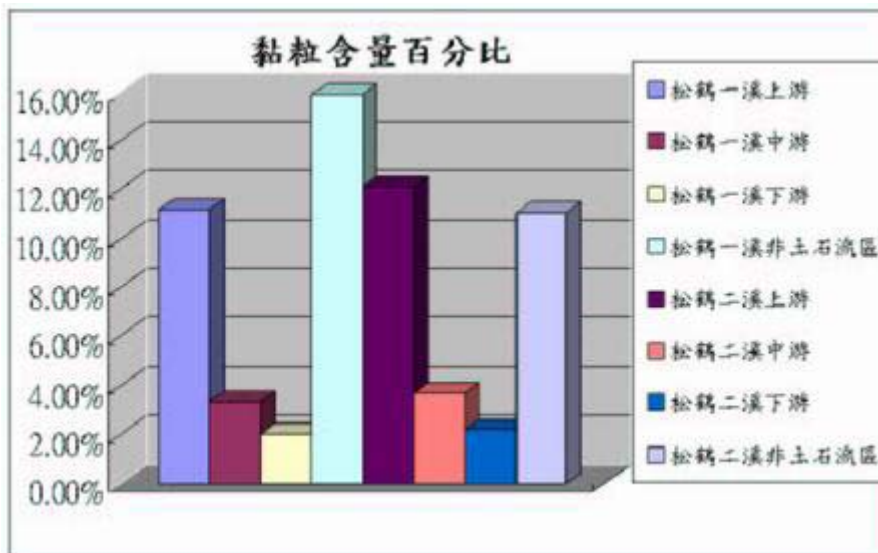


圖(二十一)砂粒含量百分比





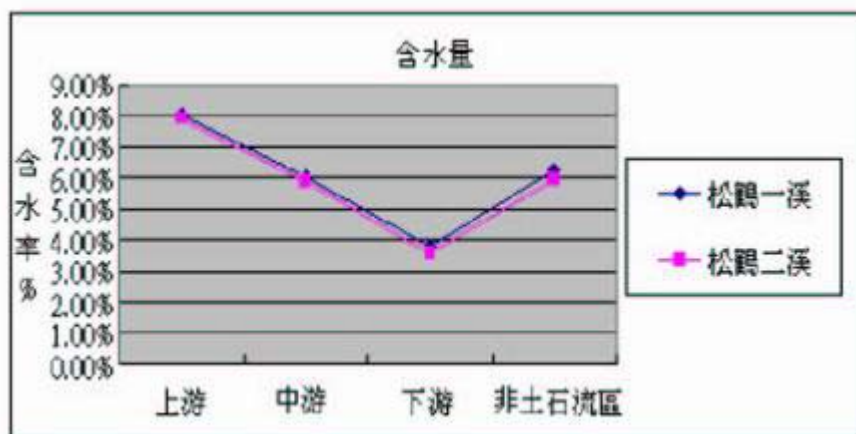
圖(二十二)粉粒含量百分比



圖(二十三)黏粒含量百分比

表 5 含水率

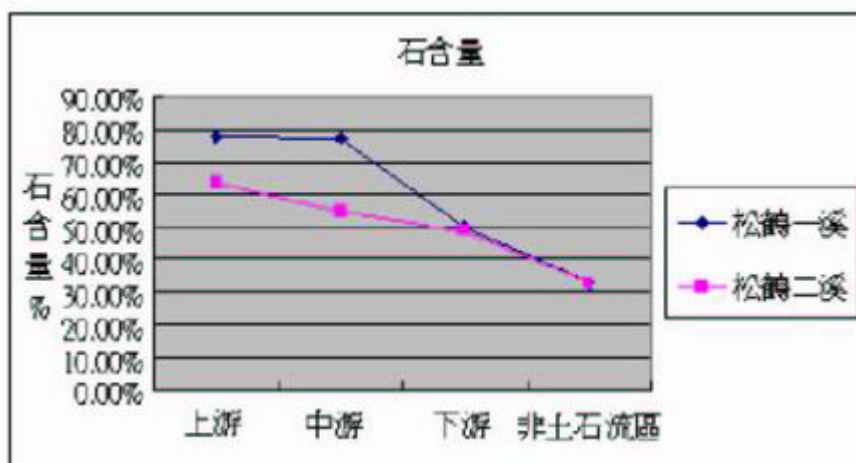
土壤樣品名稱	含水率	土壤樣品名稱	含水率
松鶴一溪上游	8.05 %	松鶴二溪上游	7.92 %
松鶴一溪中游	6.01 %	松鶴二溪中游	5.86 %
松鶴一溪下游	3.79 %	松鶴二溪下游	3.56 %
松鶴一溪非土石流區	6.23 %	松鶴二溪非土石流區	5.94 %



圖(二十四)含水率

表 6 石含量

土壤樣品名稱	石含量	土壤樣品名稱	石含量
松鶴一溪上游	77.7 %	松鶴二溪上游	63.4 %
松鶴一溪中游	77.2 %	松鶴二溪中游	54.6 %
松鶴一溪下游	50.3 %	松鶴二溪下游	48.7 %
松鶴一溪非土石流區	32.9 %	松鶴二溪非土石流區	33.1 %



圖(二十五)石含量 (%)

## 陸、討論

一、松鶴一溪、松鶴二溪七月二日爆發土石流，造成大甲溪河道淤積，河床上升 15 公尺。

我們到谷關溫泉區也看到同樣的災情，如圖(二十六)。



圖(二十六)谷關溫泉區，河床上升 15 公尺

二、由於我們現場以數位相機取景時，基於安全考量，只能以遠處取景為主。再者好友回憶 92 年德芙蘭步道健行時，該步道出口的金谷關農場，溪水清澈，且從中橫公路下切溪谷須 20 分鐘；93 年從裡冷林道登谷關七雄老么—唐麻丹山時，沿登山口上切，沿

途可以俯瞰金谷關農場，如今卻被土石流摧殘如圖(二十七)，不禁潸然淚下，感慨的說這是大自然的無情或是人爲的破壞。



圖(二十七)之一 沖毀的裡冷橋橋墩

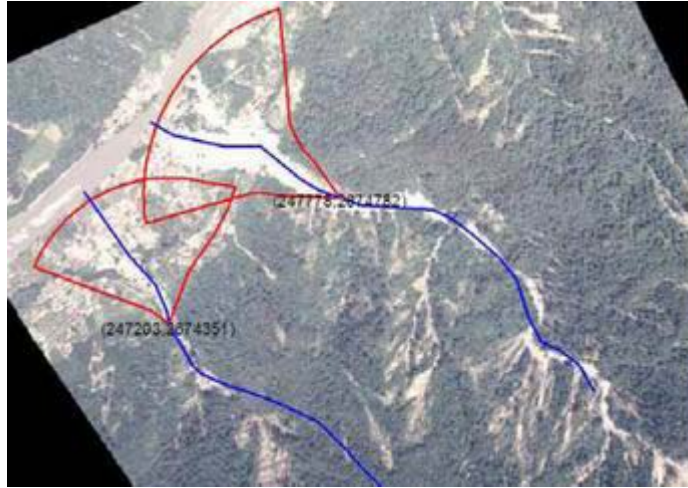


圖(二十七)之二 被土石流摧殘後的金谷關農場

三、依文獻資料【5】調查方法得知，危險等級值 50%以上，松鶴一溪、松鶴二溪均屬於土石流高危險度溪流，且其影響範圍，如圖(二十八)。其中因缺乏資料，我們捨去通過集水區內之斷層長度的指標不計，竟然已達土石流高危險度溪流。



- 四、由圖(二十一)得知，砂粒含量由高到低依序為上游、中游、下游、非土石流區，推估上游可能有崩塌，造成砂粒含量較高。由圖(二十二)知，粉粒含量由高到低依序為非土石流區、下游、中游、上游。由圖(二十三)知，黏粒含量由高到低依序為非土石流區、上游、中游、下游。
- 五、由圖(二十四)得知，含水率由高到低依序為上游、非土石流區、中游、下游。上游區域因為瀑布的水滲入地底，造成含水率最高，再經一場大雨，上游區域的土石已達到飽和，形成流體運動，造成土石流。
- 六、就土石流堆積部而言，土石流區土壤的含水量，約為非土石流區土壤的兩倍，推測原因黏土的吸水性（又稱保水力）、滲透性及黏滯性較砂粒的佳，而非土石流區的黏土成分較土石流區的成分高所致。土石流中物質主要由大量的砂所組成，粉粒加黏土的量小於砂粒的量。
- 七、由圖(二十五)知，石含量%由高到低依序為上游、中游、下游、非土石流區。上游因為崩塌的現象，石含量 %最高，上游區域大量的土石堆積，提供了土石流的材料來源。
- 八、由現場實地調查，我們發現過去土石流及崩落地整治工作，多在中下游地區興建防砂壩、沉沙池、整流工程、堤防或疏濬等消極攔截、圍堵、導流之防災工程，以消耗土石流潛能，或侷限土石流流徑，而且防災工程以混凝土構造物居多，其主要根據為資料整理第(七)點的土石流防治原則，這樣對自然生態環境影響或有所衝擊。
- 九、從居民訪問，我們了解到當地居民除了土石流發生時的恐懼記憶猶新外，對於其危險性與適合居住與否?並不全然了解。然而教育及災害防治機構人員確已啟動，並隨時提高警覺。



圖(二十八)松鶴一溪、松鶴二溪土石流的影響範圍【2】

十、有鑑於土石流及崩塌地源頭處理應由治本做起，以自然生態工法及就地取材為主，由集水區之上游或土石流區之源頭處理做起，因地制宜，採用考量就地取材、柔性材質、生物棲息、結合景觀之自然生態工法，並減少大量使用混凝土構造物，重建山坡地綠資源，才能獲得水土及生態資源永續發展。很慶幸的我們發現如圖(二十九)，這樣的整治工法【6】。





圖(二十九)箱籠護岸整治情形

## 柒、結論

中橫谷關地區，因九二一大地震而產生許多大型的崩塌地，累積了大量土石，敏督利颱風帶來西南氣流的影響，豪大雨不斷。加上山坡地大量種植果樹，根系很淺無法牢固地保護土壤，有機質分解加速，使得有機質含量變小，土壤孔隙變小，滲透率降低，導致雨滴直接打擊地表，使地表逕流量增加，土壤嚴重流失，造成了土石流災害。土石流災害整治應有以下觀念：(1)土石流不等於土石流災害。(2)土石流無法也無必要消滅至不存在。(3)發生土石流災害才需要治理。(4)土石流研究尚未到可以準確預報【2】。以前從新聞媒體獲得的知識，總是認為土石流災害無法預警，也難以防範。這次的專題，實地走訪土石流現場，並且了解政府是如何實施土石流防災應變措施。埋怨大自然的無情之餘，對於與天爭地的人們，我們認為減少大量使用混凝土構造物，重建山坡地綠資源，才能獲得水土及生態資源永續發展。

## 捌、登山的經歷

野外調查是件苦差事，還好有登山健行經驗豐富的夥伴帶領，我們很願意與她分享吃苦的精神，在此特別把她的經歷與大家分享，對一個十四歲的女孩子而言，尤其難得。高山健行：七彩湖與六順山（丹大林道）、奇萊南峰與南華山（能高越嶺古道西段）、合歡群峰（主北峰、石門）、合歡溪步道（華岡圓環至合歡西峰登山口）、玉山前



峰、單攻玉山主峰（單日來回）、八通關古道西前段。中級山健行：唐麻丹山、屋我尾林道、德芙蘭生態步道。

## 玖、本文承蒙

逢甲大學環境工程與科學學系協助實驗方法及設備，本校地球科學教師許老師、林老師提供寶貴之建議，使本作品得以順利完成。在此特別表示由衷之感謝。

## 拾、參考文獻

- 【1】重大土石流災例(民國 93 年 9 月 8 日)。南投縣：行政院農業委員會水土保持局。民國 94 年 5 月 8 日，取自：<http://debris.swcb.gov.tw/history/home.htm>。
- 【2】認識土石流(無日期)。南投縣：行政院農業委員會水土保持局土石流防災教育網站。民國 94 年 4 月 3 日，取自：<http://debris.swcb.gov.tw/home.php>。
- 【3】李毅宏(民 92 年)。土石流預警與降雨關係之研究。國立中興大學碩士論文，未出版。民國 94 年 4 月 13 日，取自：「全國博碩士論文資訊網」：<http://datas.ncl.edu.tw/theabs/1/> (編號：92NCHU0080013)。
- 【4】黃國忠(民 92 年)。斷層帶附近邊坡穩定及整治工程研究—以朝陽科技大學為例。朝陽科技大學碩士論文，未出版。民國 94 年 4 月 13 日，取自：「全國博碩士論文資訊網」：<http://datas.ncl.edu.tw/theabs/1/> (編號：92CYUT5582050)。
- 【5】謝正倫(民 91 年)。921 震後災區土石流二次災害防治之研究。歷史建築保存與再生研討會。行政院文化建設委員會。民國 94 年 4 月 13 日，取自：  
<http://email.ncku.edu.tw/~em50190/ncku/196/b/b1.htm>。
- 【6】吳輝龍(民 91 年)。自然生態工法與災害防治。內政部營建署「生態工法講習會手冊」。民國 94 年 4 月 13 日，取自：<http://www.swcb.gov.tw/Newpage/swcb13/>。
- 【7】土壤分析手冊第二版(民 93 年)。中華土壤肥料學會。
- 【8】陳尊賢、許正一(民 92 年)。台灣的土壤。遠足文化。
- 【9】連鋒宗等(民 93 年)。台灣高山全覽圖。上河文化股份有限公司。

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會  
評 語

---

國中組 生物及地球科學科

第一名、最佳團隊合作獎

031728

中橫松鶴部落土石流之探討

臺中市立四張犁國民中學

評語：

本作品探討中橫松鶴部落土石流發生之原因，並建議以生態工法作護坡，以防止土石流之角度產生。本作品在實地調查，並拍攝多張相片以及錄影 CD 作為探討之依據，本作品作者共有 4 人，能發揮團隊精神並能以鄉土題材作為探討之對象，作品內容充實，分析推論正確，本作品同時獲團隊獎。