

中華民國第 55 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 地球科學科

第三名

040506

居安思危

學校名稱：雲林縣立斗南高級中學

作者： 高一 劉宇娣 高一 張紡瑄 高一 王嚮蕾	指導老師： 黃文樹
-----------------------------------	--------------

關鍵詞：土石流、土石流潛勢溪、華山溪

摘要

因雲林縣古坑鄉華山地區為一熱門觀光景點，同時也發生過土石流災情，經整治後，近年雖未有災情傳出，但我們想要了解目前華山溪土石流風險程度。故我們透過 GIS 系統分析數值地形模型，了解華山溪的地形特徵，並實地考察河道整治、崩塌地規模、集水區植被覆蓋與災害保全對象等現況。結果顯示，集水區目前不屬於高度侵蝕狀態，但河道與兩側河谷的坡度偏高，而且區內岩層屬於疏鬆的砂、頁與礫石堆積層等，故仍有潛在崩塌之疑慮。又集水區植被覆蓋良好、崩塌地規模小、河道整治狀況佳，惟土石流災害影響範圍內的民宅、商店和設施很多，因此整體評估的結果，華山溪目前雖不是高度風險，但仍屬於中度風險等級，需要持續監控。

壹、研究動機與目的

古坑鄉華山地區是假日民眾前往爬山、踏青的好地方，近年因咖啡風潮與地方產業的推廣，華山地區也興建了許多庭園餐廳與民宿，成了另一種休閒遊憩的熱門地點。我們與親友們也常相約前往，後來在課堂上聽見老師的介紹，才發現原來華山地區曾經發生過土石流災害，曾經整治過，並且建立了土石流教學園區。於是，我們上網搜尋相關的資料，結果發現原來華山地區曾在民國 89 年 6 月初，因大雨而發生過一場嚴重的土石流災害，不但造成防砂壩與護岸毀損、橋樑斷垮，大量土石也衝入村莊和民宅，因此農委會水土保持局在災後重建的過程中，結合當地景觀、咖啡等地方產業，採用生態工法整治華山溪，並在民國 92 年 7 月成立華山土石流教學園區(引自網路資料：雲林古坑華山土石流教學園區 http://swcclassroom.swcb.gov.tw/swcb_10/，瀏覽日期 103 年 11 月 6 日)。

後來我們在課堂上學到土石流災害的成因、災害、調查、預警與防治等相關知識，其中有一項就是如何去評估土石流發生的潛勢等級，我們也上網搜尋資料，發現農委會水土保持局的確有一項評估土石流發生潛勢的方法(行政院農委會水土保持局，2013)，這給我們一個很好的靈感，那就是華山土石流教學園區經過整治後這麼多年，再度發生土石流的機會有多高？因此，我們蒐集了一些文獻資料，並和老師討論後，我們打算先了解目前華山溪的現況

與地形特徵，然後再根據水土保持局的土石流發生潛勢的評估方法，判斷華山溪的危險趨勢？此外，這一份科展的研究，我們也預期我們能親手實作，學習到野外地質調查與地理資訊系統的操作，並且了解土石流發生潛勢的評估方法。

因此，我們研究的具體目的如下：

1. 了解華山溪現地之地質與地形特徵。
2. 評估華山溪土石流潛勢溪發生災害之等級。

貳、研究設備及器材

一、室內分析

我們在室內分析方面，主要採用：

- (一)地理資訊系統：Q-GIS 2.6.1。這是一套免費的地理資訊系統，可以透過網路下載；而且這套系統中有 Grass 和 SAGA 等其他地理資訊系統功能元件嵌入功能，因此有不錯的地形分析功能。
- (二)數值地形模型：我們從網路上下載數值地形模型(DTM)，取自 Quantum GIS 資源網 @Sinica (<http://gis.rchss.sinica.edu.tw/qgis/?p=1619>，擷取日期 2014 年 11 月 7 日)。
- (三)衛星影像：Q-GIS 的內建元件中，可將 Google 最新的衛星影像套疊在 Q-GIS 的系統中，可以提供我們進行影像判釋與分析。
- (四)土石流潛勢溪的溪流向量檔：行政院農委會水土保持局有提供全台土石流潛勢溪流的.kml 檔，kml 檔案是 google 專門開發應用在 google earth 的一種紀錄座標位置的檔案格式，但是 Q-GIS 可以很輕易的讀取這種格式，無須經過任何轉檔，我們利用網路上下載來的全台土石流潛勢溪流的 kml 檔，便可簡單的和其他網格資料和向量資料進行疊圖，了解華山溪潛勢溪的分布位置。檔案下載位置：http://smap.swcb.gov.tw/KMLDownload.asp?keepThis=true&TB_iframe=true&... (擷取日期 2014 年 11 月 7 日)。
- (五)全台鄉鎮行政區界向量檔：由於我們的研究區位在雲林縣古坑鄉，因此我們也下載了全台鄉鎮行政區界向量檔，作為地圖呈現的範圍。檔案下載位置：交通部交通路網數值圖服務網 - 全台各鄉鎮區行政區界及範圍：<http://gist-map.motc.gov.tw/Complex/MapTopic> (擷取日期 2014 年 11 月 7 日)。
- (六)Microsoft Office Excel 和 Word：我們利用 Excel 進行簡單的計算，並繪製圖表，然後利用 Word 來撰寫報告。

二、野外考察

我們在 2015 年 1 月 23 日下午前往古坑鄉華山土石流教學園區，實地考察當地的地形與環境概況，並觀察現地是否有崩塌地？植被覆蓋狀況？以及現地整治工法和保存對象。準備的工具具有：GIS、地圖、捲尺、相機、GPS、筆記本。

參、研究過程與方法

一、室內分析

(一)GIS 操作與分析

Q-GIS 是套免費且開放的軟體，網路上可搜尋到使用教學的介紹，我們利用網站所教授的功能(Q gis training material: <http://qgis.org/en/site/forusers/trainingmaterial/index.html>，擷取日期 2014 年 11 月 7 日)，若有問題的地方，再請求老師的協助，因此我們可利用 QGIS 的多項功能，獲得研究區的地形特徵概況，並計算華山溪的地形特徵指標與河道坡度等資訊。分析項目有：

1. DTM 萃取：我們利用 QGIS 的裁剪功能取出研究區範圍的 DTM(圖 1)。然後利用 r to v 的功能將 DTM 高程資料轉為向量式的點資料，然後將研究區內的高程資料利用後續的 EXCEL 進行分析。
2. 華山溪集水區萃取：QGIS 內嵌了 GRASS GIS 和 SAGA GIS 的元件功能，我們利用 GRASS GIS 自動萃取集水區的功能，首先先大致估算華山溪流流域的面積，然後換算所需的網格數量，GRASS GIS 即可根據此一面積範圍來計算集水區範圍，如圖 2。所得的集水區圍網格資料，我們再利用 r to v 的功能轉換為向量資料，然後把華山溪以外的集水區刪去，便可得到研究範圍的集水區(圖 3)。
3. 地形剖面與高程萃取：QGIS 擴充元件 Profile Tool 可以快速地獲得地形剖面以及座標、高程資料(圖 4)，並可匯出資料至 Excel 中進行各種計算，因此我們利用此一功能獲得河道剖面、河谷剖面等資料，進行分析。
4. 衛星影像崩塌地面積估算：我們利用 QGIS 可連結 Goole earth 衛星影像的功能，然後分析研究區內的影像，並配合野外考察的結果，估算崩塌地的面積大小(圖 5)。

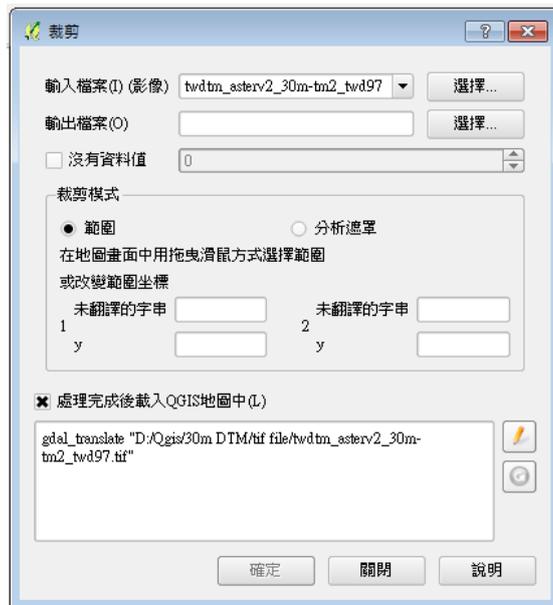


圖 1：QGIS 裁切 DTM 範圍

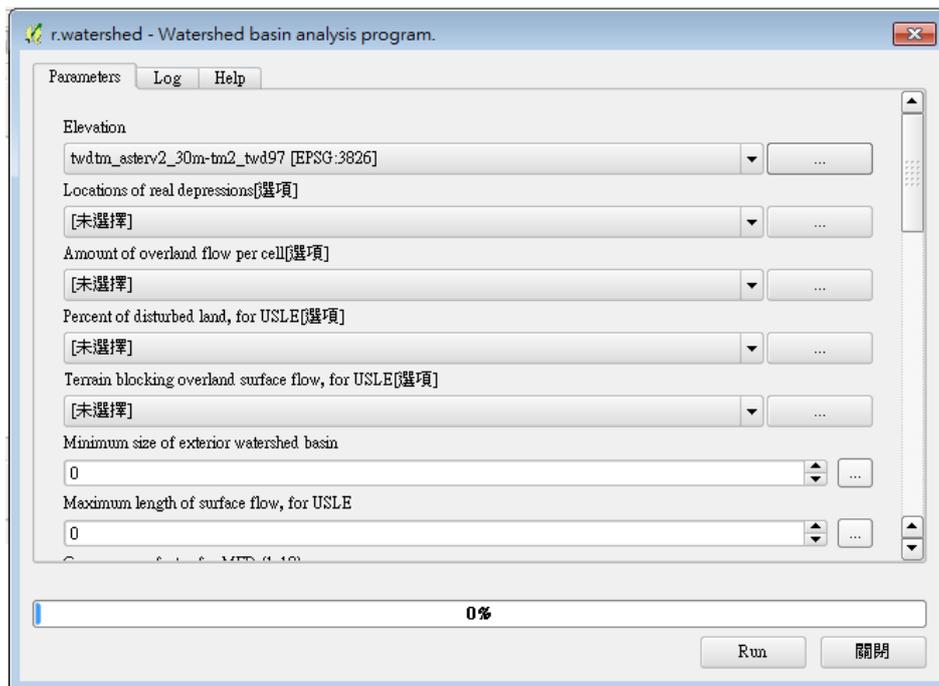


圖 2：Q-GIS 內嵌 GRASS GIS 元件的集水區自動萃取功能

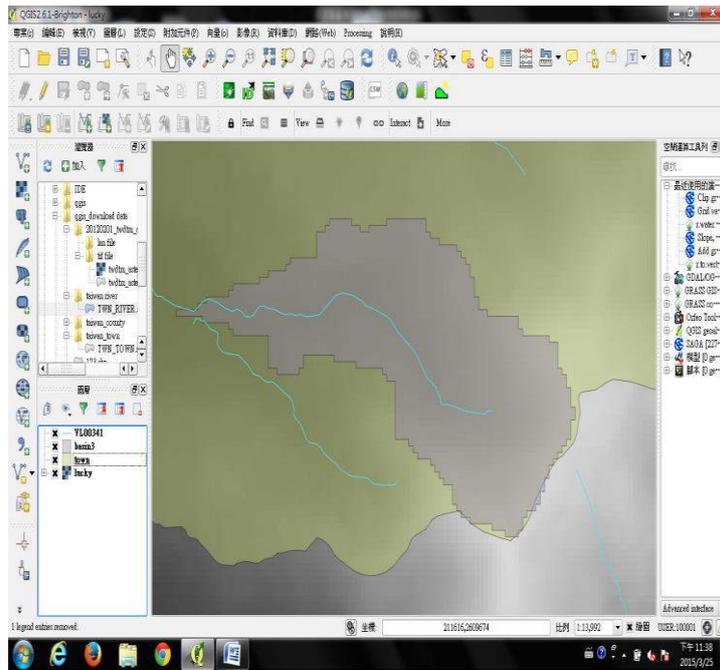


圖 3：華山溪土石流園區集水區範圍

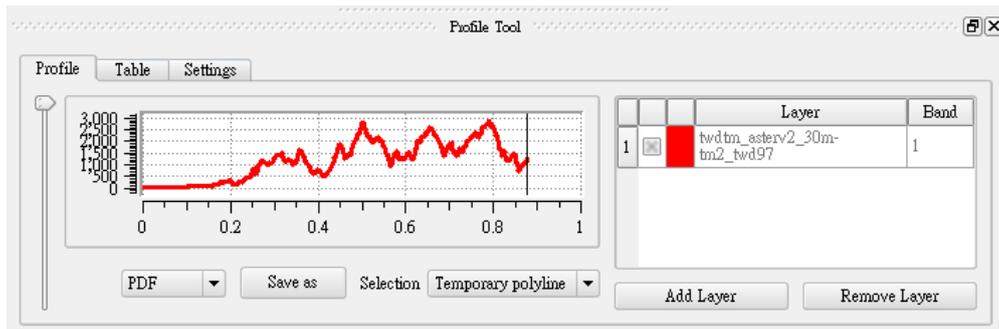


圖 4：Profile Tool 元件萃取地形高程

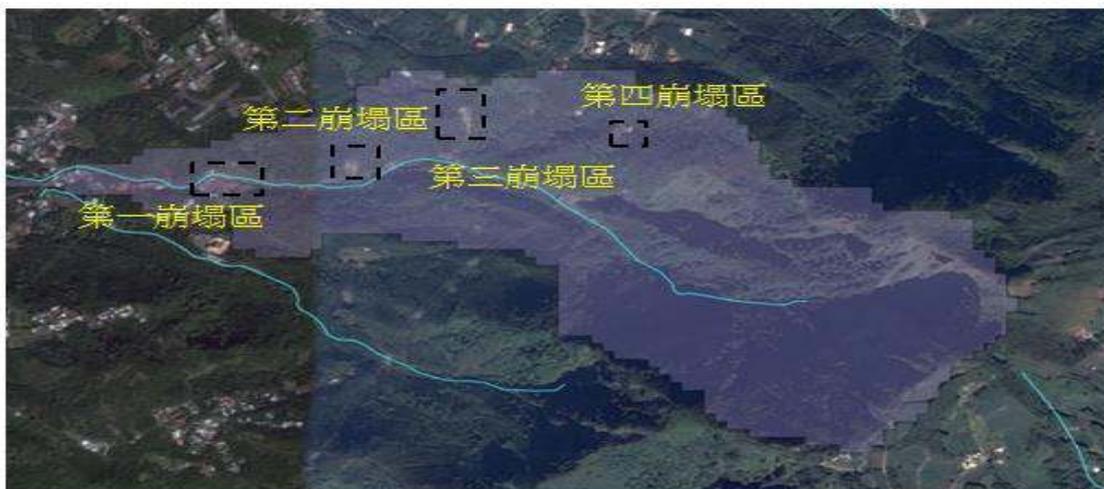


圖 5：集水區內崩塌地判釋

(二)Excel 分析

我們利用 Q GIS 中所萃取的地形高程資料，在 EXCEL 中繪製地形剖面，並計算河道的平均坡度、河谷兩岸坡度以及面積高度積分值等。其中面積高度積分為一種河流流域的地形量化指標，為 Strahler (1952)所提出，其指出面積高度曲線(hypsometric curves)和面積高度積分(hypsometric integral)方法，以計算河川流域內集水區的高度比與面積比的關係，進而描述河流演育的程度，一般而言積分值越大者，河川流域內的侵蝕行為越顯著，積分值越小者河川流域侵蝕能力越弱。

面積高度積分地概念與公式如圖 6 所示，其中 h 為集水區中某一高程與最低高程之差值、 H 為集水區內的最大高程差值、 a 為集水區內某一高程的截面積、 A 為集水區內最低高程的截面積，因此以集水盆地的相對高度比(h/H) 為縱軸、相對面積比(a/A)為橫軸，可繪製出集水區的面積高度曲線(hypsometric curve)(圖 6)，是以二維的曲線圖來描述地表三維的體積殘存率，而面積高度曲線下方的面積即為面積高度積分(Hypsometric integral, HI)，代表了該集水盆地的原始地形面在受到風化、侵蝕作用後的殘土率。由於積分的運算相當繁瑣，因此其後有相關學者提出簡易計算方程式：

$$HI = (H_{mean} - H_{min}) / (H_{max} - H_{min})$$

HI 為面積高度積分， H_{mean} 代表集水區的平均高程，而($H_{max} - H_{min}$)分別代表集水區內最大與最低高程差(Drop)，故又名為集水區高程起伏比(elevation-relief ratio)。此一方式降低了計算的複雜性，而且也被證實計算成果與積分值相符。從面積高度積分與曲線的形態，得以瞭解該集水區的地形演育情形，此概念主要以 Davis 的地形侵蝕循環為依據，認為地表抬升後，構造活動停止，地表將因河流侵蝕作用，而使集水區面積高度積分值隨著演育時間的增長而逐漸變低，因此幼年期的集水區，其面積高度曲線呈現凸形，面積高度積分值較高($HI > 0.6$)，老年期集水區的面積高度曲線，則會呈現凹形，面積高度積分值較低($HI < 0.4$)，而壯年期者約介於兩者($0.4 < HI < 0.6$)，其面積高度曲線呈現 S 形。雖然河流的地形演育不如 Davis 的理論如此理想化，不過我們可以透過這個簡易的指標，來判斷華山溪的集水區中是否還有較強的侵蝕能力。

(三)土石流潛勢溪風險等級判釋

我們結合野外考察資料，以及室內 GIS 分析結果，按照農委會水保局公告的土石流潛勢溪流劃設作業手冊中所記錄的方法(行政院農委會水土保持局，2013)，判斷華山溪目前的土石流潛在風險，各項風險因子的給分與判斷方式如表 1、2、3 所示。

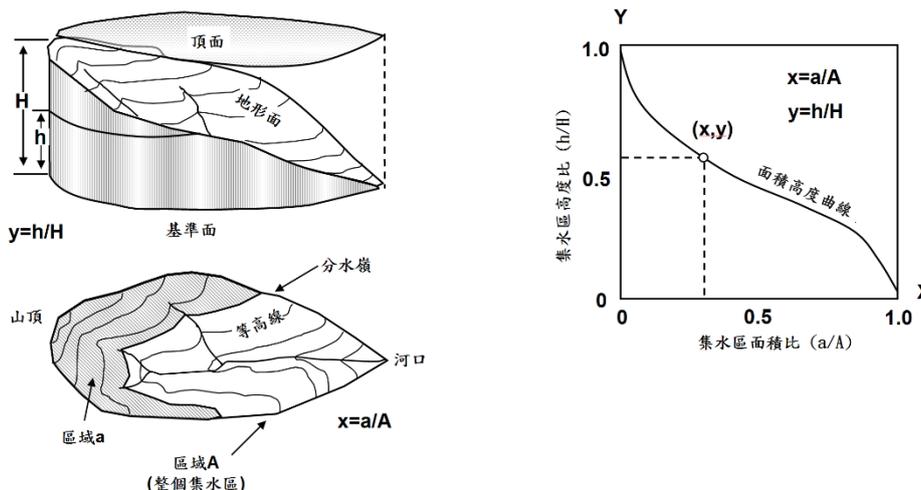


圖 6：面積高度曲線計算方式。修改自 Strahler (1952)和 Keller and Pinter (2002)。

表 1：土石流潛勢溪流發生潛勢因子配分表

因子	分類	評分
崩塌規模 (25)	明顯大面積崩塌 (崩塌率 $\geq 5\%$)	25
	小規模崩塌 (1% $<$ 崩塌率 $< 5\%$)	15
	無明顯崩塌 (崩塌率 $\leq 1\%$)	5
坡度因子 (25)	上游區坡度大於 50 度	25
	上游區坡度介於 30~50 度	15
	上游區坡度小於 30 度	5
堆積土石 (20)	平均粒徑大於 30cm	20
	平均粒徑介於 8~30cm	13
	平均粒徑小於 8cm	2
	無明顯堆積材料	
岩性因子 (15) *註 1	第一類 (A、D、F 地質區)	15
	第二類 (C、E 地質區)	15
	第三類 (B、G 地質區)	5
植生因子 (15)	裸岩、落石堆積	15
	植被稀疏	
	植被中等稀疏	6
	植被密集	3
最高評分合計		100

註 1：A 為台東縱谷、東部海岸山脈，B 為片岩、片麻岩，C 為變質砂岩，D 為沉積岩，E 為紅土地，F 為火成岩，G 為盆地與平原。

註 2：若發生潛勢得分於 46 分以下為低發生潛勢等級，46~62 分為中發生潛勢等級，62 分以上則為高發生潛

勢等級。

資料來源：行政院農委會水土保持局(2013)。

表 2：土石流潛勢溪流保全危害度因子配分表

因 子	分 類	評 分
建物 (65)	與防災措施相關之公共場所 (學校、醫療設施及避難公共場所 等)	65
	5 戶民宅以上	60
	1 戶至 4 戶間之民宅	30
	無住戶	0
交通設施 (35)	橋梁	35
	道路	20
	無	0
最高評分合計		100
權重		
現地整治成效	待改進或無整治設施	1.0
	尚可	0.8
	良好或不須整治	0.6
評分結果	評分結果=(建物+交通設施)×權重 (危害度：≥ 60 分為高；40 ~ 60 分為中；≤ 40 分 為低)	

資料來源：行政院農委會水土保持局(2013)。

表 3：風險潛勢等級一覽表

風險潛勢等級		發生潛勢因子等級		
		高	中	低
保全危害度 因子等級	高	高	高	中
	中	高	中	低
	低	中	低	低

備註：凡公開之土石流潛勢溪流影響範圍內無保全住戶，或僅有公共設施，且該設施權責單位有配套管制措施者，則將該土石流潛勢溪流改列為”持續觀

察”等級。

資料來源：行政院農委會水土保持局(2013)。

二、室外考察

我們在野外考察時，調查的項目如下：

- 1.崩塌地調查：走訪華山溪河道，觀察並目測崩塌地地點範圍且拍照存證。
- 2.河谷現況：透過實際到達華山，利用相機觀查和紀錄地質的概況、崩塌地的情況、植被的生長情形。
- 3.沉積物粒徑測量：我們為了瞭解華山溪目前河道中土石大小與數量，並作為我們在評估土石流潛勢災害的參考，我們以陳福勝等(2014)所提出來的表面調查法為基礎，並考量我們自己的能力與設備，修改此一方法，估算方式為：在河道中設立一 3m×3m 見方的研究區，實地估測石塊大小與計數各分級粒徑之數量（圖 7）。
- 4.現地保存對象調查：走訪華山溪集水區範圍內的聚落觀察並拍照記錄。
- 5.防治工法：實地觀察華山溪集水區範圍內的各種防治工法並拍照記錄。



圖 7：現地表面計數土石數量與大小。

肆、研究結果與討論

一、地質概況

我們透過經濟部 NGIS 國土資訊系統自然環境整合供應倉儲系統(網址：<http://ngis.moea.gov.tw/ngisfxweb/Default.aspx>，擷取日期 104 年 3 月 25 日)，查詢研究區的地質概況，結果如圖 7 所示。主要地層為頭嵙山層、桂竹林層、堆積層與階地堆積所組成，都屬於沉積岩層，而且膠結狀況欠佳，皆屬於易坍塌的類型(圖 8)。另外，從野外考察的狀況來看，河道兩側均有鬆散的土石堆積層出露，多數地區均生長茂密的植被(圖 8B)。



(A)



(B)

圖 8：(A)研究區地質概況圖。研究區內主要以桂竹林層和相當之地層、頭嵙山層以及沖積層和階地礫石層等地層為主，岩性多為砂岩、頁岩，以及膠結鬆散的礫岩等。(B)華山土石流教學園區中步道旁地層露頭，為鬆散的沖積層。

二、崩塌地與植被覆蓋狀況

透過野外考察，目前在華山溪集水區中，多數的坡地目前的植被覆蓋狀況良好(圖 9)，不過仍可發現到零星的崩塌地，經過實地觀察我們目測到四處較明顯崩塌地(圖 5 和表 4)；河道兩側坡地較少見到高大樹木，大部分為草本植被或檳榔，另外四處崩塌岩石裸露現象明顯(表 1)，不過這四處的崩塌地面積均不大，我們透過 QGIS 中面積估算的功能，測量衛星影像上的崩塌地(圖 5)，雖然可能崩塌地面積有低估的現象，但四處崩塌地的面積均在 1 公頃以下，佔整個集水區面積在 5%以下。



(A)華山溪源頭坡地植被狀態



(B)華山溪河谷兩側坡地植被狀況

圖 9：華山溪集水區山坡植被覆蓋狀態

表 4：華山溪土石流教學園區內崩塌地概況

編號	第一崩塌地	第二崩塌地	第三崩塌地	第四崩塌地
圖片				
野外概況	主要岩層：砂岩、礫。崩落型態為主。	坡地滑動、瀕臨河床、樹幹歪斜，有緩滑現象。檳榔為主要植被。	坡地滑動，樹幹歪斜，有緩滑現象。檳榔為主要植被。	蝕溝侵蝕，坡度大，目前有崩塌現象，可能會持續崩塌。

三、河道特徵

我們透過野外考察與地理資訊系統的分析，華山溪河谷的現況與基本地形特徵如表 5 所示。河道剖面如圖 10 所示。值得一提的是，華山溪集水區內的面積高度積分值為 0.34，若從地形輪迴理論的觀點來看，屬於老年期，亦即集水區內的侵蝕作用並不旺盛，不過華山溪集水區內的岩層均屬於較鬆散的砂、頁岩與礫石堆積層，中游以上的河谷坡度亦較大，所以在土石流發生的潛在風險上，仍有一定程度之威脅。

表 5：華山溪河谷現況與基本地形特徵

項目	特徵
集水區面積(平方公里)	4.15
集水區面積高度積分	0.34
溪流災害類型	土石流
河道平均坡度	11 度 (19%)
發生區段之河道坡度	19 度 (33%)
集水區內崩塌率	崩塌率 < 1%
集水區內崩塌規模	小規模，無明顯大型崩塌
堆積區土石粒徑情形	土石材料平均粒徑 ≥ 30 公分
集水區內主要植生種類	草地、灌木與喬木、檳榔等
集水區內主要植被生長狀況	植被密集：植被面積 $\geq 80\%$
保全對象可能受危害方式	淤埋、撞擊

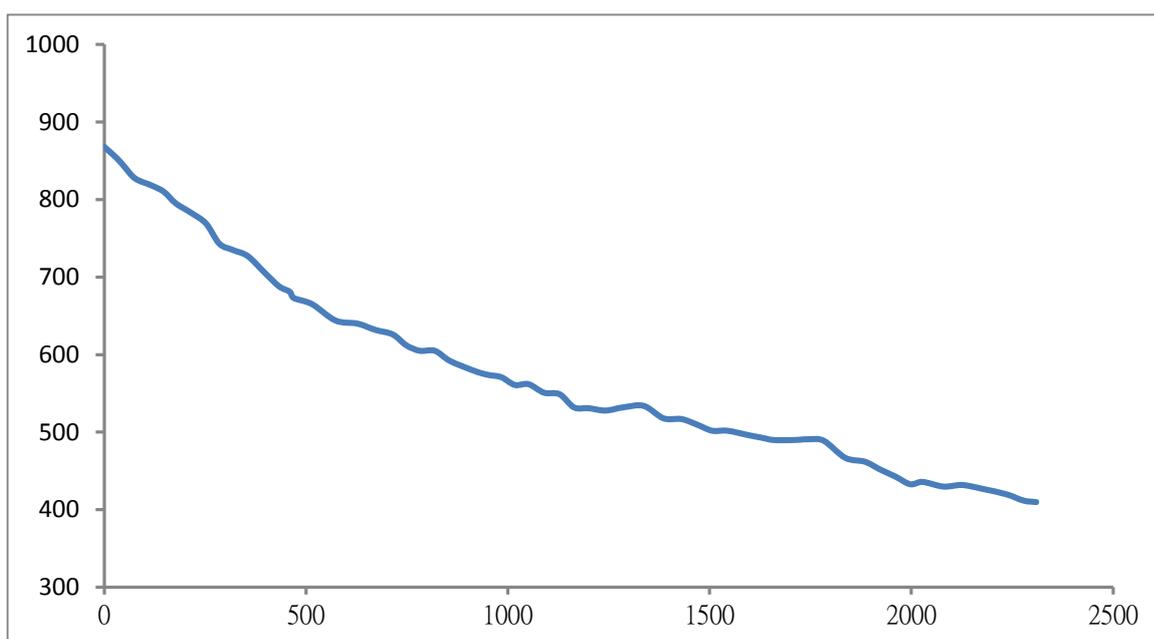


圖 10：華山溪河道剖面。橫坐標為距離(m)，縱座標為海拔高度(m)。

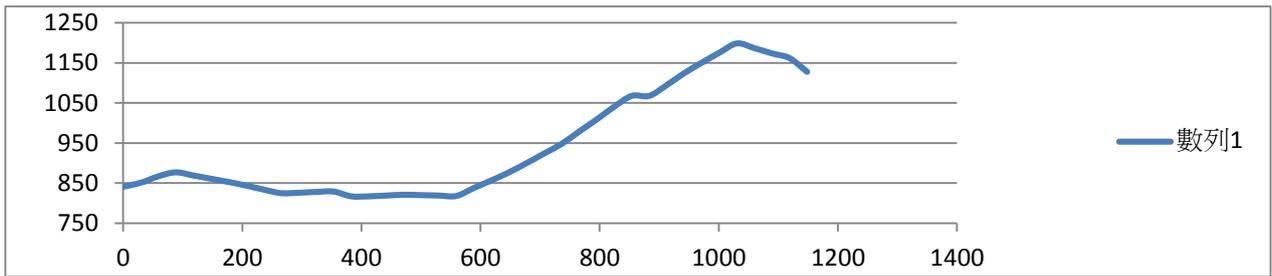
其次，我們在野外設立一 3M*3M 的樣區，計數河道中土石粒徑之大小與數量，粒徑超過 10 cm 以上者，我們均加以計算其數量，由於大部分的石塊均為砂岩，故我們以砂岩的平均密度為 2.2~2.3 g/cm³ 來估算各粒徑的重量，至於小於粒徑 10 cm 的部分，則於表面採一固定體積之樣本，回實驗室直接秤重，所得到的粒徑重量和含量百分比如表 6 所示。值得注意的是，我們的估算結果僅為初步的推估，與實際之狀況應有一定程度的誤差，但應可作為判斷河道土石粒徑大小與含量之參考。結果顯示，河道中含量最多的是土石粒徑介於 1 m~50 cm 的，大型粒徑土石(> 1m)數量其次，此一現象可能與河道經過整治有關，故大粒徑石塊已被清除，降低土石流發生時對土石流防治工法和護岸衝擊的程度。

表 6：3M*3M 樣區內沉積物粒徑數量百分比估算

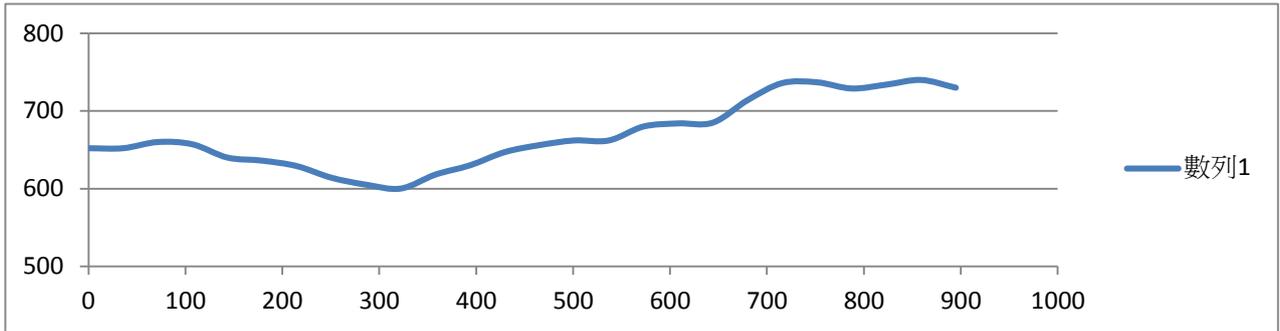
粒徑大小	(顆)數	重量(kg)	含量%數
大於 1M	6	32400	36
小於 1M 大於 50CM	20	45563	51
小於 50CM 大於 10CM	110	9281	10
小於 10CM	-	556	2

再來，我們把河道分為上、中和下游段，約略可以對應到土石流溪流的發生區、流動區和堆積區，我們利用 QGIS 的 profile tool 工具，萃取出河谷橫剖面，如圖 11 所示。在整個集水區中，山坡的坡向以西北方坡向所佔面積最大。上游部分河谷的左岸最高點的高度為 1199m，河谷最低點為 818m，右岸最高點為 877m，河谷寬度 322m，左岸平均坡度為 46 度(81%)、右岸平均坡度為 4 度(8%)。中游部分，河谷的左岸最高點的高度為 715m，河谷最低點為 600m，右岸最高點為 640m，河谷寬度約 644 m，左岸平均坡度為 20 度(34%)、右岸平均坡度為 15 度(26%)。下游部分，左岸最高點的高度為 560m，河谷最低點為 502m，右岸最高點為 545m，左岸平均坡度為 28 度(49%)、右岸平均坡度為 14 度(24%)(圖 11)。

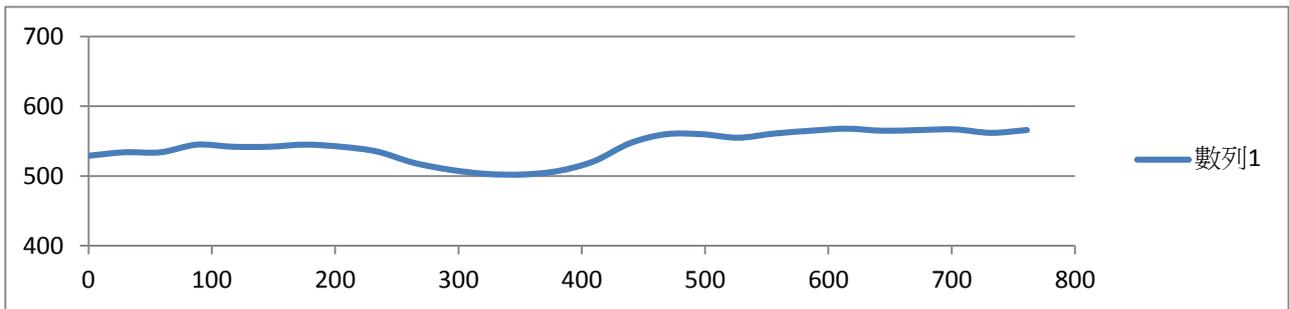
由此可顯示，河道左岸的高度與坡度均明顯高於右岸，但是上游到下游間，河道兩岸均有較大的坡度，顯示河道兩岸仍有較大的地滑或崩塌的能力。



(A)上游段河谷橫剖面



(B)中游段河谷橫剖面



(C)下游段河谷橫剖面

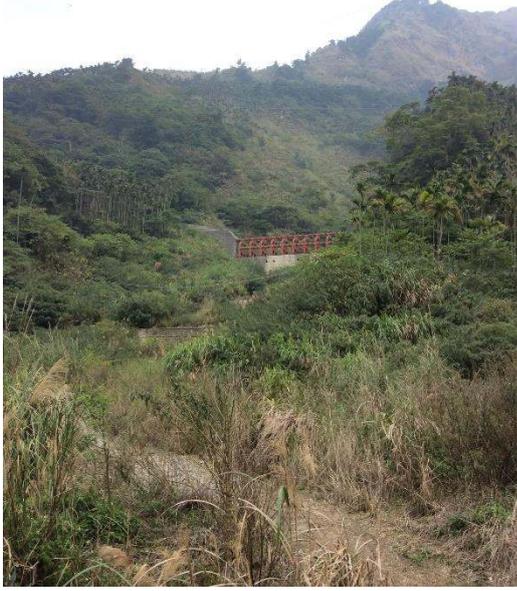
圖 11：華山溪上、中、下游河谷橫剖面；橫坐標為距離(m)、縱座標為海拔高度 (m)

四、河道整治現況

目前華山溪已經整治多年，現地考察目前的整治後的工法和結構物，均仍保持完善，可發揮一定功效，我們列出數個較為重要的整治工法現況，如表 7 所示。

表 7 華山溪整治工法現況

項目	現地照片	說明
梳子壩		具有較高的通透性，可有效攔阻巨石，減低對下游破壞力，將較小粒徑之土砂排放至下游，以利河道疏砂之平衡。平時動物亦可經由梳子間距空隙通行棲息。後方有堆積一排一排的車輪胎，功用在於減少落實對此壩的衝擊。
砌石壩		採用現地石材構築一道道「砌石壩」，以攔阻上游集水區沖刷下來的土沙，避免危害下游地區的安全，固定坡腳，安定溪道，防止溪流側蝕，減緩溪床坡度。
連續固床工		減緩坡度降低流速

攔砂壩		<p>可以讓土石流減速，再來當土石流流經水平格柵時，水分可以向下滲透，而使水和土砂分離，促使土石流停止。</p>
觀測站		<p>梳子壩旁的「資料接收中心」，經電腦整合、記錄後，透過架設在屋頂上的衛星天線，迅速將資料傳輸到水土保持局的災害應變中心，採取應變措施。</p>

四、現地保存對象

土石流發生後可能會對當地房舍、道路、橋梁及重要公共設施造成災害，因此對其進行防、減災工作。在實地探勘後，我們發現在華山溪影響範圍內坐落商業咖啡休閒農業區（圖 12），區域內有多戶民宅、庭園咖啡和商店等，另外還有廟宇、國小等建築。因此，一旦發生土石流，便有可能會造成嚴重災害。



(A)



(B)

圖 12：華山溪下游咖啡休閒農業區現況

五、災害潛勢評估

我們根據野外調查的資料，和利用地理資訊系統分析的結果，以水土保持局公布的土石流潛勢溪流風險評估方法，加以評估給分，如表 8、表 9 所示。結果顯示，華山溪土石流發生的潛勢因子配分總分為 48 分，屬於中等危害等級，而保全因子評估總分為 60 分，亦屬於中等危害等級。因此，按照表 3 的風險潛勢等級劃分，則華山溪目前屬於中等風險潛勢的土石流溪流，雖然無立即性高度風險潛勢，但未來仍有發生土石流災害的機會，應持續監控，並加強當地民眾防災意識。

表 8：華山溪發生潛勢因子配分表

因子	分類	評分
崩塌規模 (25)	無明顯崩塌 (崩塌率 \leq 1%)	5
坡度因子 (25)	上游區坡度小於 30 度	5
堆積土石	平均粒徑大於 30cm	20
岩性因子	第一類 (A、D、F 地質區)	15
植生因子	植被密集	3
最高評分合計		48

表 9：華山溪保全危害度因子評分表

因子	分類	評分
建物（65）	與防災措施相關之公共場所 （學校、醫療設施及避難公共場所等）	65
交通設施（35）	橋梁	35
最高評分合計		100
權重		
現地整治成效	良好或不需整治	0.6
評分結果	60（危害度：中）	

伍、結論

華山溪自發生土石流災情後，經過整治，近年來已無土石流災害傳出，但是隨著華山地區觀光活動的發展，對於華山溪土石流發生之風險，實有評估之必要。我們利用課程所學到的土石流概念，透過 GIS 分析河道特徵，並配合現地調查結果，實際進行華山溪土石流風險的評估。我們的結果顯示華山溪目前具有中度風險危害，雖然不是屬於高度風險，但是流域內仍有零星的崩塌地，河道坡度以及河谷坡度偏大，有助於土石崩落的發生，在加上雖然集水區內目前植被覆蓋良好，但仍有為數眾多的檳榔樹，在水土保持上並非良好的植生，而且部分山坡可觀察到緩滑的現象，河川下游有眾多的庭園咖啡餐廳和商店。所以華山溪仍需持續地監控，並且當地民眾應加強防救災預警與防護教育訓練，以減低災害之衝擊。

陸、參考資料

- 行政院農委會水土保持局（2013）。土石流潛勢溪流劃設作業手冊。台北市：農委會水土保持局。
- 陳福勝、吳文隆、周坤賢，土石流材料粒徑調查及試坑方法（2014年2月23日）。台北市：台灣省土木技師公會。取自 <http://www.twce.org.tw/info/%E6%8A%80%E5%B8%AB%E5%A0%B1/376-3-1.htm>。
- 行政院農委會水土保持局，雲林古坑華山土石流教學園區（2014年11月6日）。台北市：農委會水土保持局。取自 http://swcclassroom.swcb.gov.tw/swcb_10/。
- 行政院交通部，交通路網數值圖網全台各鄉鎮行政區界與範圍（2014年11月7日）。台北

市：行政院交通部。取自 <http://gist-map.motc.gov.tw/Complex/MapTopic>。

Quantum GIS 資源網@Sinica，臺灣 30 米數值地形模型資料(DEM)第二版 (2014 年 11 月 7 日)。台北市：中央研究院人社中心地理資訊科學研究專題中心。取自

<http://gis.rchss.sinica.edu.tw/qgis/?p=1619>。

行政院農委會水土保持局，KML 圖資下載 (2014 年 12 月 26 日)。台北市：農委會水土保持局。取自 http://smap.swcb.gov.tw/KMLDownload.asp?keepThis=true&TB_iframe=true&...。

行政院經濟部，NGIS 國土資訊系統自然環境整合供應倉儲系統 (2015 年 3 月 25 日)。台北市：行政院經濟部。取自 <http://ngis.moea.gov.tw/ngisfxweb/Default.aspx>。

Q gis training material (2014, November). America: Q-GIS.org, Retrieved November 7, 2014, from <http://qgis.org/en/site/forusers/trainingmaterial/index.html>.

Strahler, A. N. (1952) Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography, Bulletin of the Geological Society of America, 63: 1117-1142.

【評語】 040506

1. 本作品有地形數值分析，也有野外調查，結果實用合理。
2. 關於沉積物和地質圖，可再深入瞭解。