



2017年度農委會水土保持局創新研究計畫 成果報告



土石流潛勢溪流之地文因子綜整判定

Recognition of the susceptibility of debris-flow ravines through morphometric indicators and field reconnaissance



報告人 國立中央大學土木工程學系

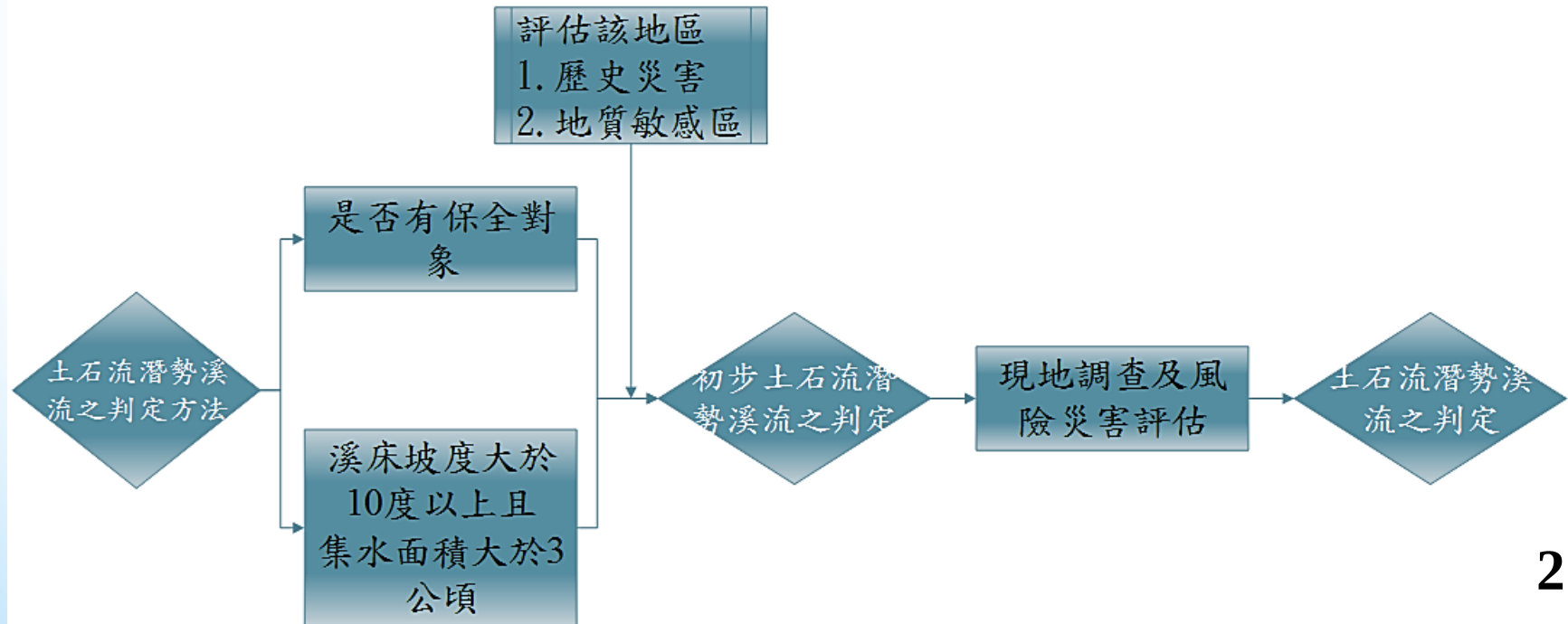
周憲德 教授

2018/06/19

簡報綱要

- 一、緒論
- 二、溪流起點及一二級河流長度分析
- 三、各區地貌因子分析
- 四、沖積扇特性分析
- 五、現勘判釋及綜整分析
- 六、結論與建議

- * 臺灣山區地形陡峭、水流湍急，地質脆弱，面臨颱風豪雨易誘發崩塌、土石流、洪水等土砂運移，而造成災害。
- * 行政院農業委員會水土保持局（以下簡稱水土保持局）於1990年起委託多項土石流研究計劃，判定全台土石流潛勢溪流，截至2017年6月為止共有1705條（水土保持局，2017）。



- * 2015年蘇迪勒颱風為近年來造成台灣北部土砂災情的重要降雨事件，其中新北市烏來區、三峽區及新店區皆造成廣泛區域性的土砂災害。
- * 本研究以數值地形模擬萃取重要地文因子進行土石流潛勢溪流之地貌判識，並進行土砂災害類型之驗證。



一、緒論

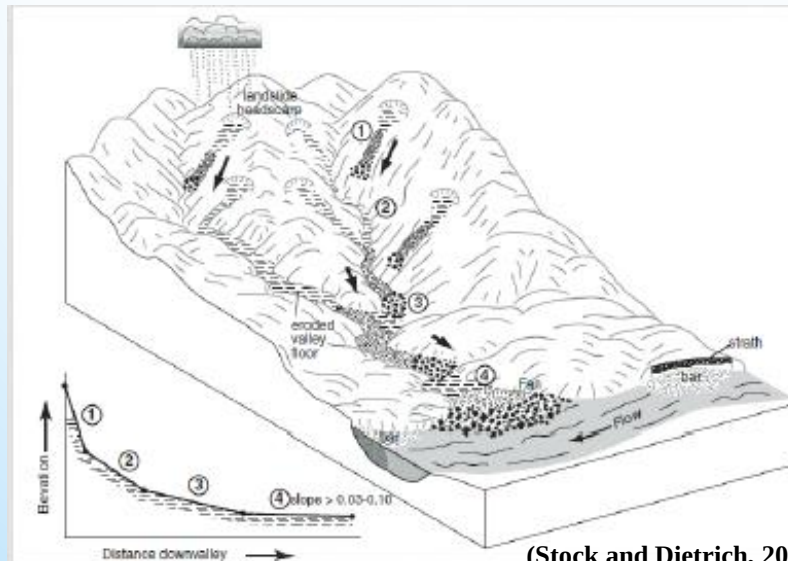
現行土石流潛勢溪流之集水區判定條件

(成大 2012; 中興社2015)

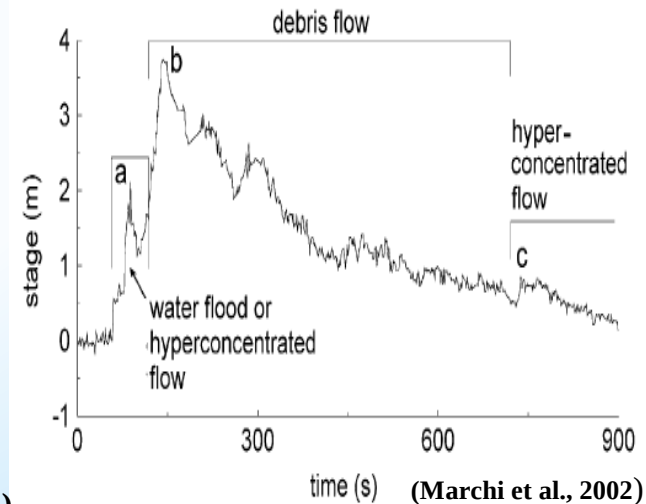
序次	年份	地形條件			地質災害潛勢/歷史災害	保全對象
		溪床坡度門檻(deg.)	有效集水面積下限(公頃)	有效集水面積上限(公頃)		
1	81-85	15	5			
2	90-91	12	3			V
3	95-97	12	3	300		V
		10	3	700		V
4	98-99	11	3	400		V
		10	3	1100		V
5	100	10	3		V	V

面積需
大於3ha

10度點



(Stock and Dietrich, 2006)



(Marchi et al., 2002)

土砂災害之定義

* 水土保持技術規範及水土保持手冊定義

野溪: 指河川中、上游集水區面積五千公頃(50 km²)以下自然溪谷。

坑溝: 子集水區溝寬在20 公尺以下且其集水面積在20 公頃以下之蝕溝。

* 根據土砂運動時之體積濃度(含砂量)作為區分(Pierson,1980; Costa,1984; O'Brien et al., 1993; Jan (2004); 水保局(2005): 比重1.4-2.3)

	體積濃度 Cs(%)				
土砂運移型態	Jan (2004)	Wilford et al. (2004)	Pierson (1980)	Obrien (1993)	水土保持 手冊(2005)
洪水(FL)	0-3	0-20	0-20	0-20	
高含砂(DFL)	3--27	20-47	20-47	20-45	
土石流(DF)	27--75	47-77	47-55	45-55	24-79
崩塌(LS)	75--100	77-100	>55	>55	

土砂災害之定義

* 根據土砂沉積作用為區分

洪水的土砂沉積常有明顯的水平分層現象及覆瓦結構。**土石流(基質支撐)**

高含砂水流的堆積分層及覆瓦結構較不明顯。

土石流的河道兩側因顆粒堆積形成側積堤(lateral levee)，且堆積前沿常見大顆粒排列形成的陡坡。



洪水



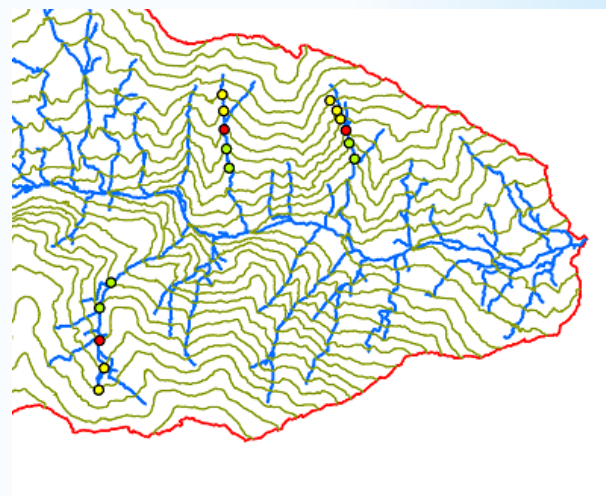
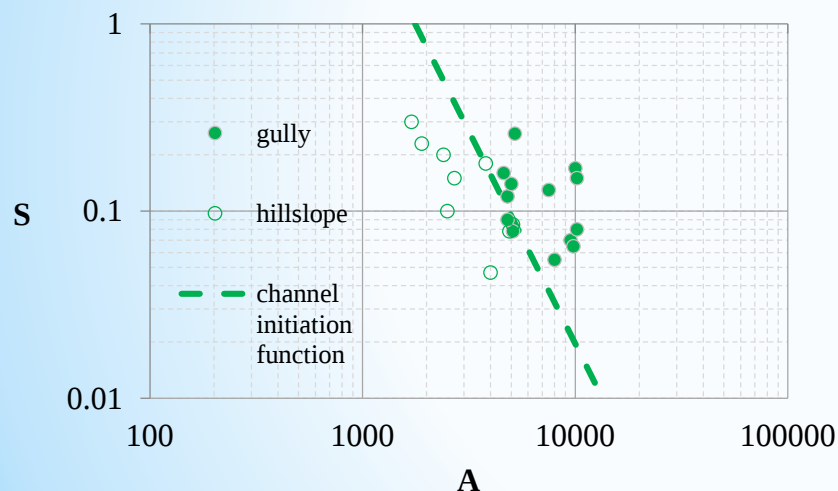
高含砂水流



土石流(側積堤)

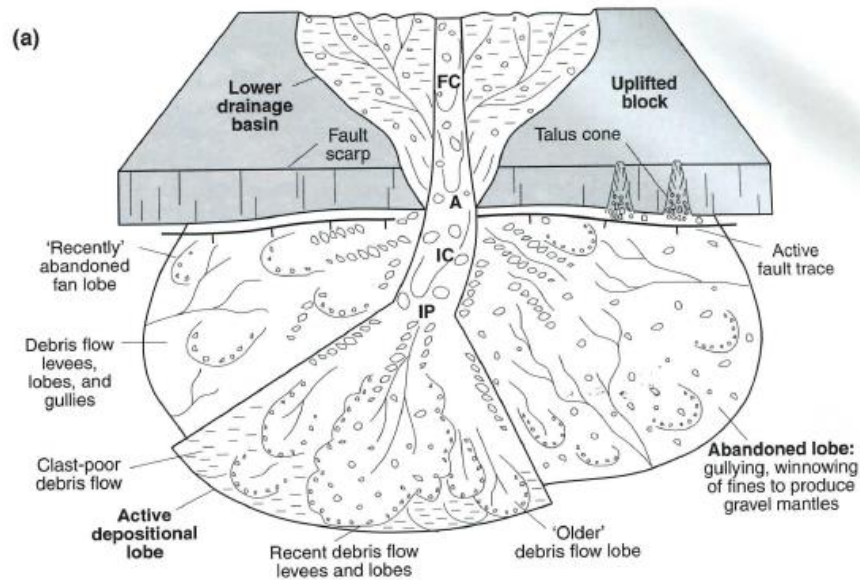
流域溪流線門檻值

- 集水區水系生成是以累積流量之概念。由DEM結合GIS於集水區自動劃分以及水系網生成河系。
- * 根據前人的研究經驗（詹仕堅等，2000），精度5x5 m DEM選取200作為水系門檻值(其面積為0.5公頃)。Williams et al.(1992)觀測現地山坡及蝕溝坡度與面積之關係，顯示面積約大於0.5公頃時大多為蝕溝。

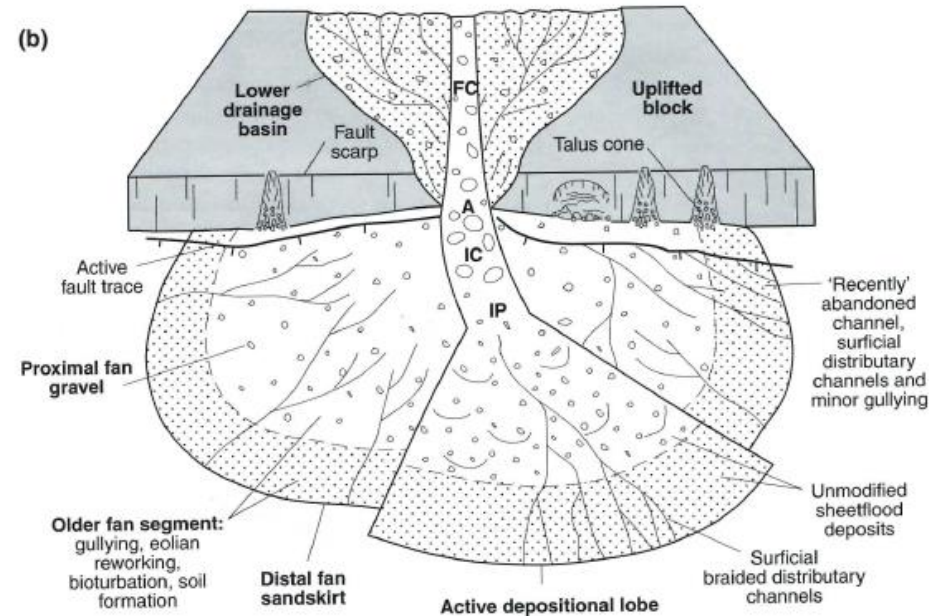


- * 等高線計曲線(25m等高線)連續三條以上，其轉折點兩側等高線之夾角小於九十度，且構成區域之自然排水系統者，視為溪溝(水土保持技術規範，2013)

土石流沖積扇與洪水沖積扇之比較



土石流沖積扇



洪水沖積扇

(Source: Blair and McPherson, 2009)

流域地文參數-流域險峻值

流域險峻值(Melton Ratio, MR)之定義

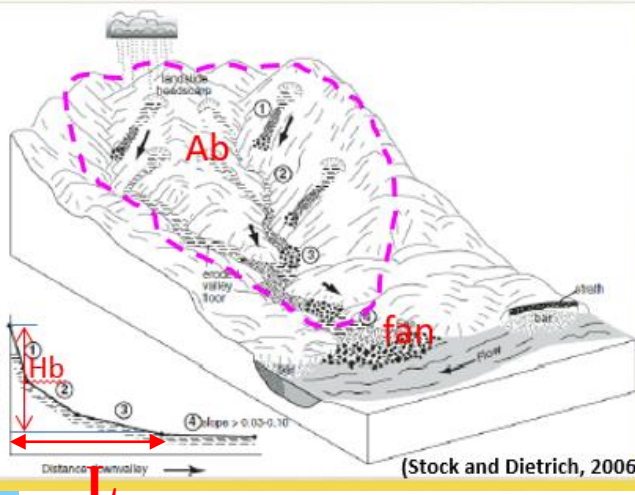
□ Melton's ratio (Melton, 1965)

Melton ratio = Relative Relief Ratio

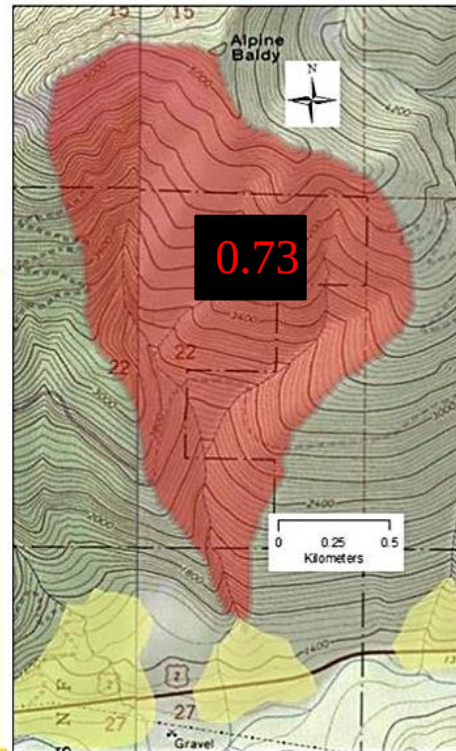
$$\text{Melton ratio (R)} = H_b A_b^{-0.5}$$

H_b : basin relief (difference between maximum and minimum elevations in the basin)

A_b : total area of the basin



(<http://www.kingcounty.gov>)



Example: Alpine Baldy,
South Fork Skykomish

Top Elev.: 1,584 m

Bottom Elev.: 464 m

Area: 2,351,050 m²

R = (1584 - 464) * (2,351,050)^{-0.5}
= 0.73

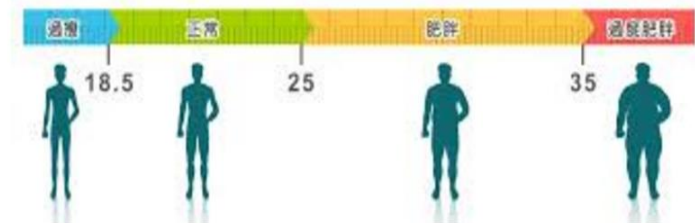
Basin Melton Index

vs.

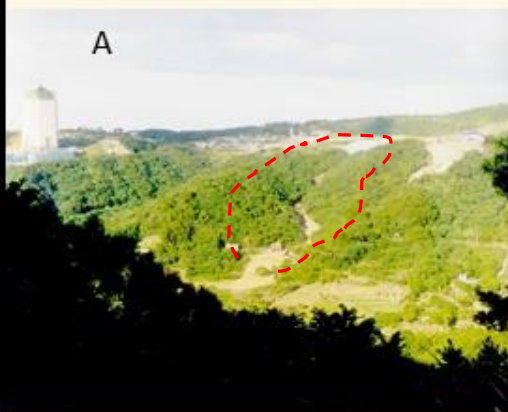
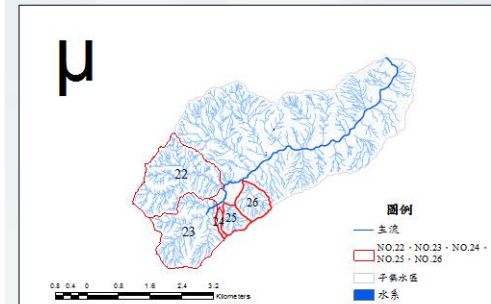
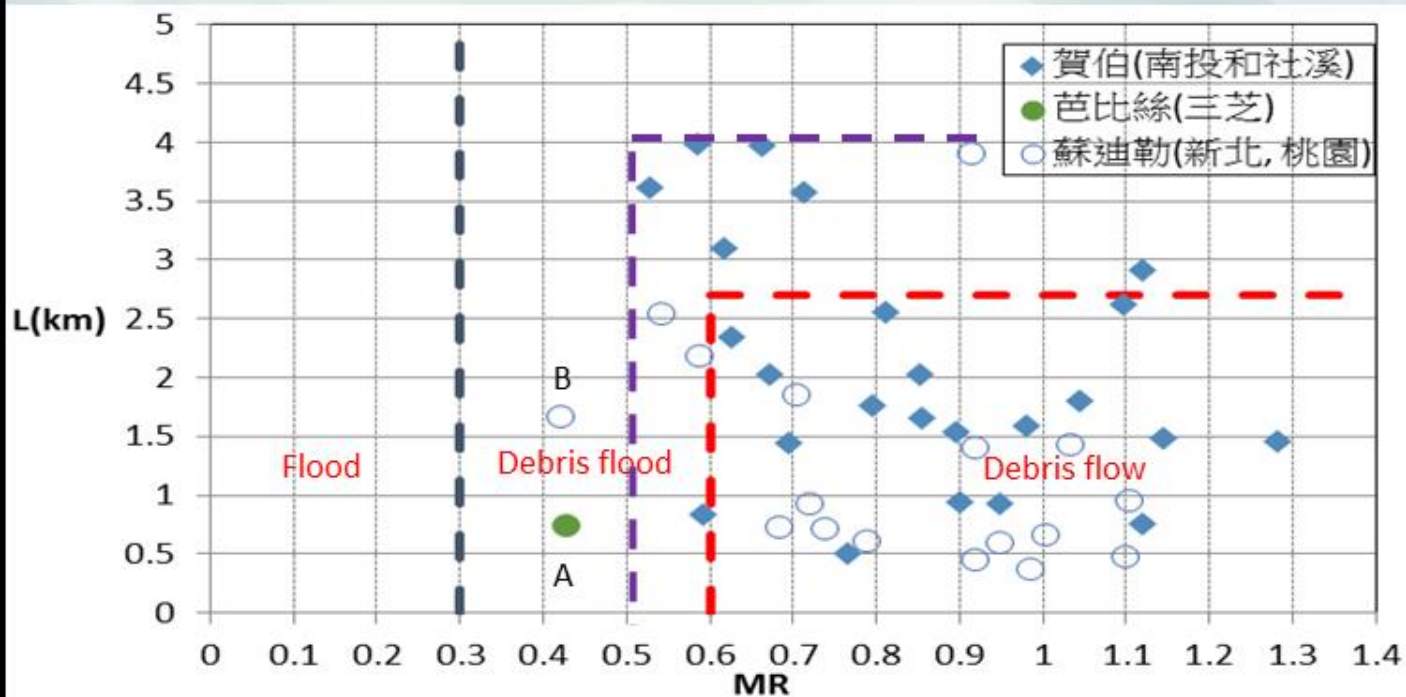
Body Mass Index

是否過度肥胖，可用身高和體重簡單判斷

BMI(身體質量指數)=體重(kg)÷身高(m)²



流域險峻值於台灣不同集水區41個土石流溪流案例之判釋



三芝員山村



DF 225
B
平廣溪幼癩地區



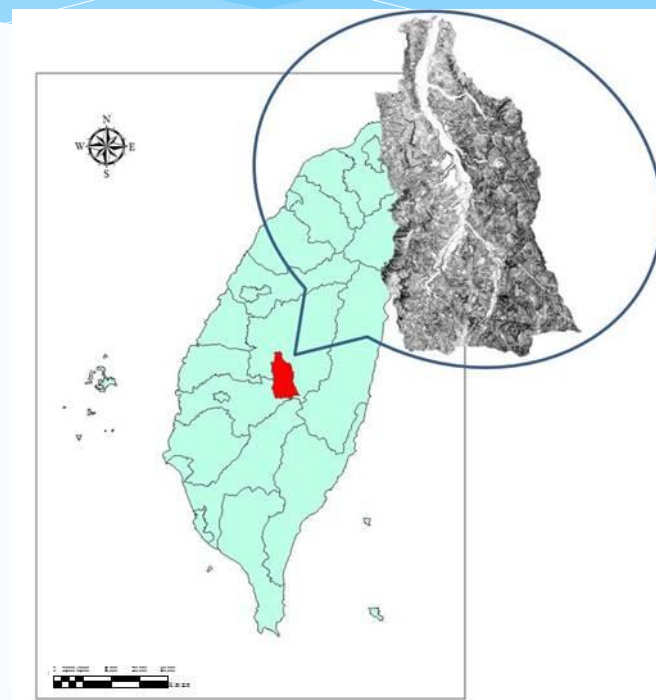
研究區域特性 - 平廣溪

- * 平廣溪流域位於台灣北部，隸屬淡水河水系為新店溪支流，河流全長約7.5 公里，集水面積約為19.4 平方公里。
- * 研究區屬於亞熱帶氣候，年平均雨量2,000 mm以上，年均溫約23度。主要降雨多集中於夏季(6-9月)。
- * 歷史上之重要致災颱風則以2001年納莉颱風、2012年蘇拉颱風及2015年蘇迪勒颱風為主。



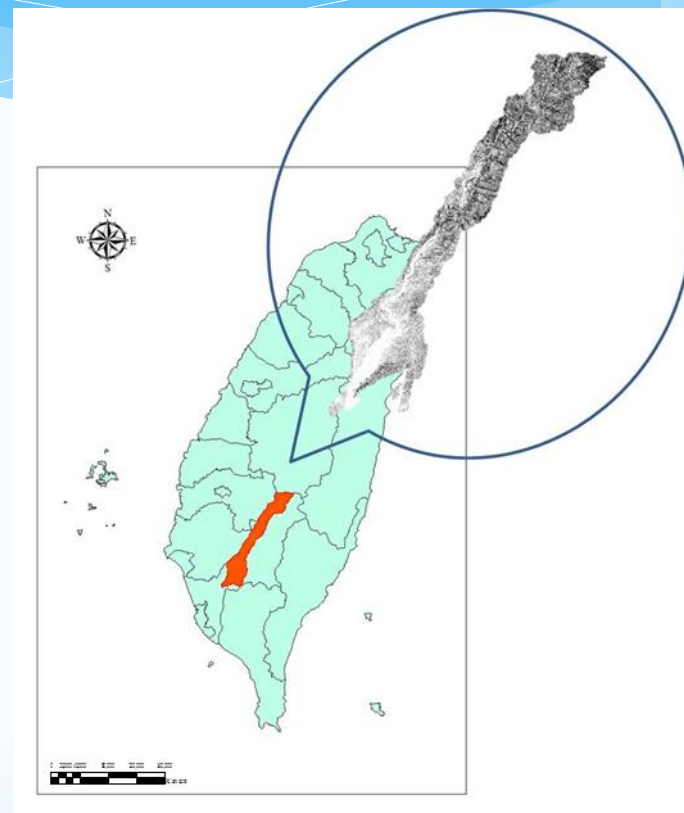
研究區域特性 - 陳有蘭溪

- * 陳有蘭溪位於南投縣，為濁水溪之重要支流之一。
- * 主流長約42.2公里，流域面積約447.3平方公里，平均高程為1,582公尺，主流平均坡降約6.75。
- * 歷史上之重要致災颱風則以1996年賀伯颱風、2001年桃芝颱風及2004年敏督利颱風為主。



研究區域特性 - 旗山溪

- * 旗山溪(又名楠梓仙溪)流域位於台灣高雄市，與荖濃溪匯流後稱作高屏溪。主要溪流長約105公里，流域面積約736.2平方公里。
- * 旗山溪流域屬於亞熱帶海洋季風氣候，年平均氣溫約 24.2°C 。集水區平均年雨量約2,211~3,080 mm。
- * 歷史上之重要致災颱風則以1996年賀伯颱風、2001年桃芝颱風及2004年敏督利颱風、2009年莫拉克颱風為主。

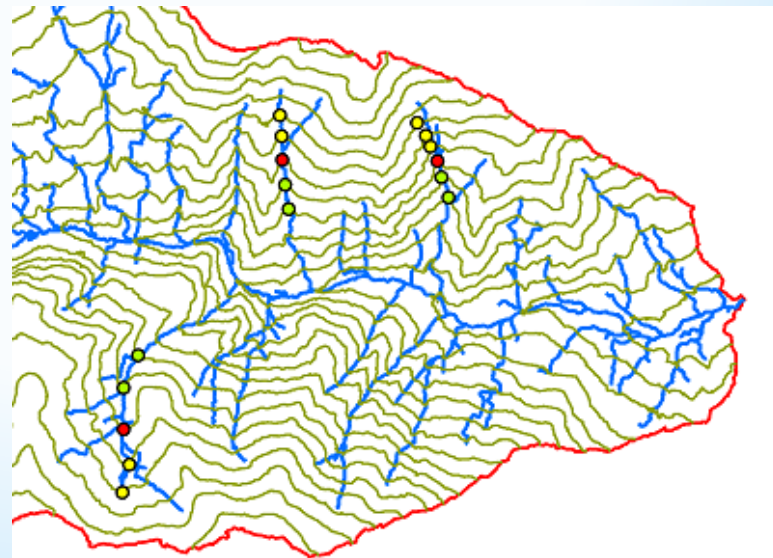
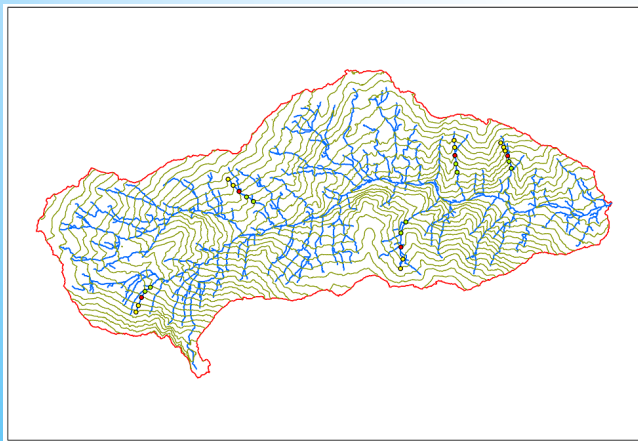


研究區域特性

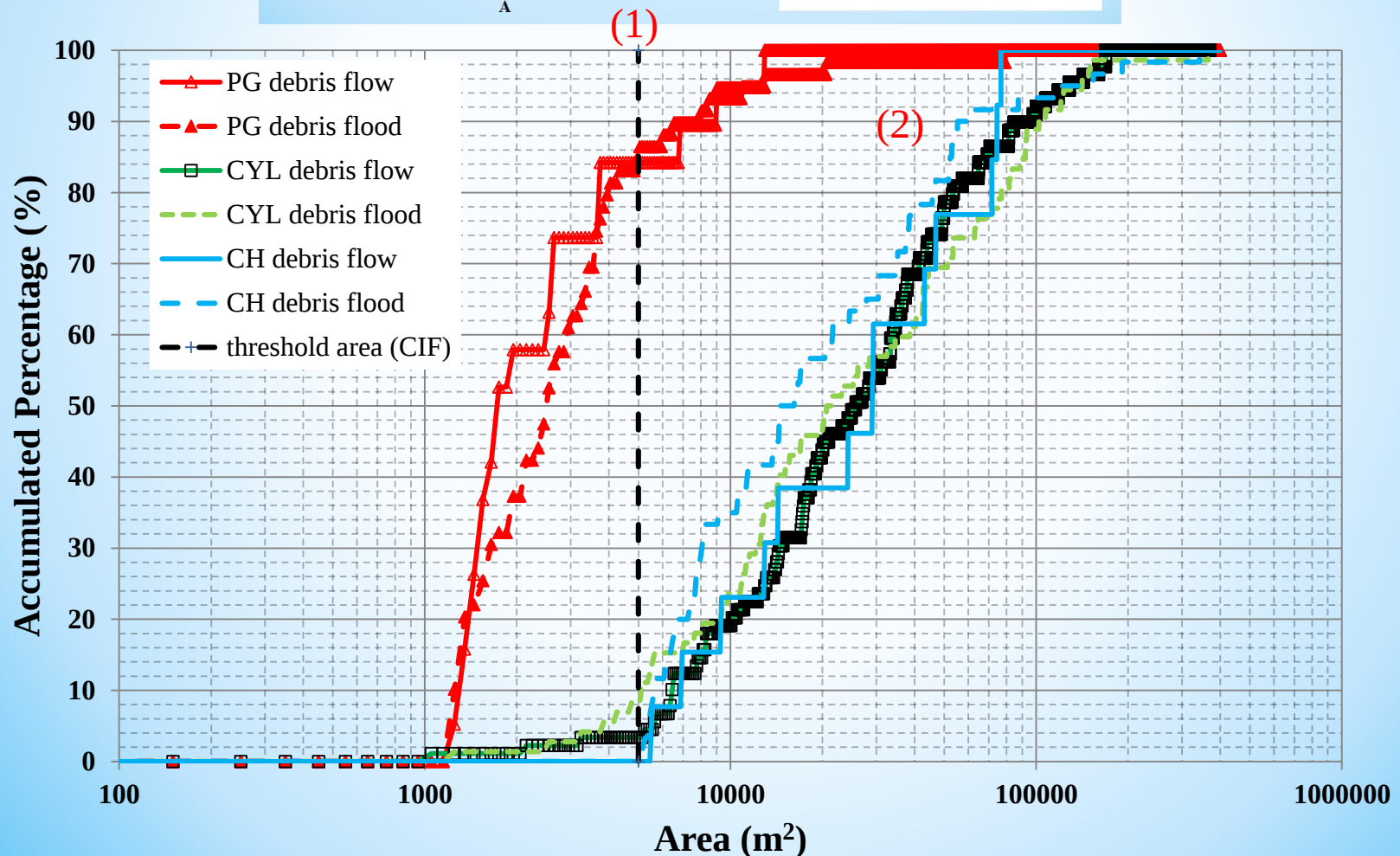
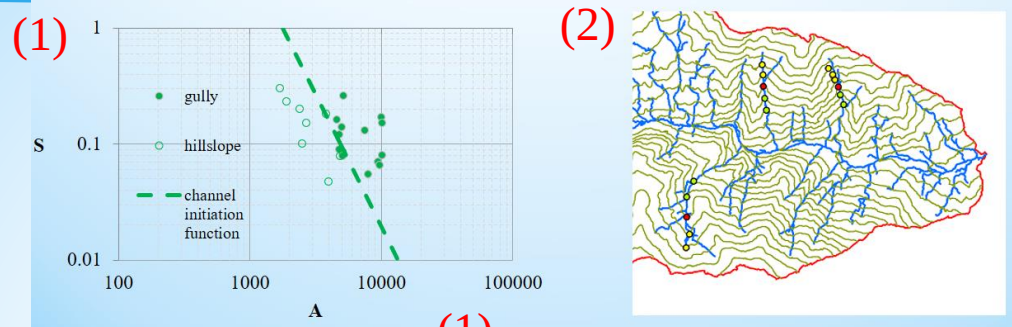
流域	流域面積 (km ²)	高程差 (km)	MR
平廣溪	19.4	0.93	0.21
陳有蘭溪	447.3	3.93	0.19
旗山溪	736.2	3.95	0.15

溪流起點之判定

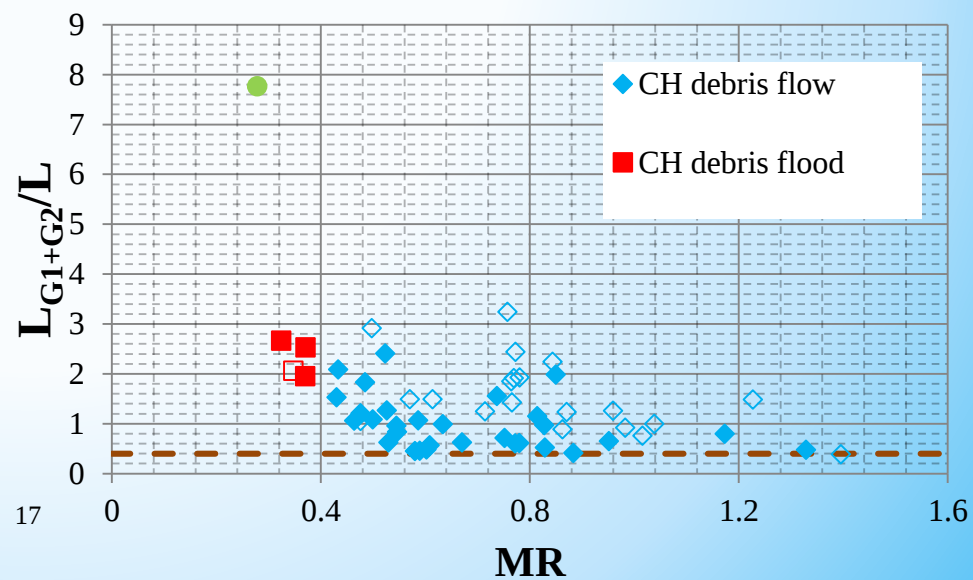
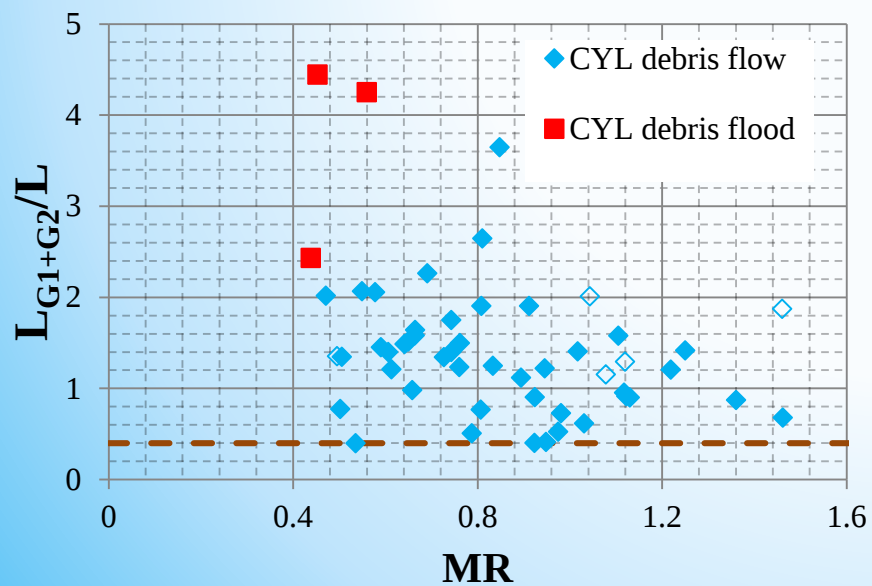
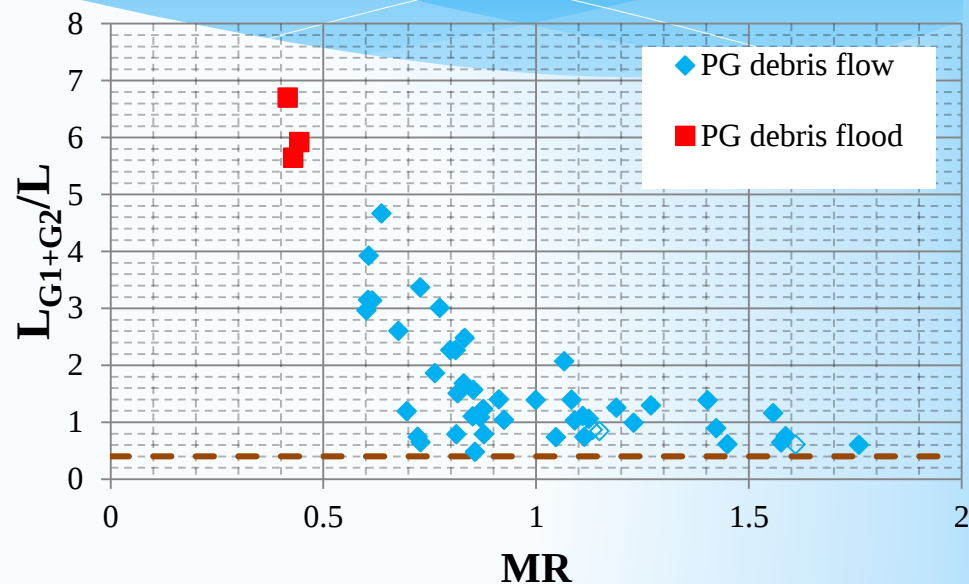
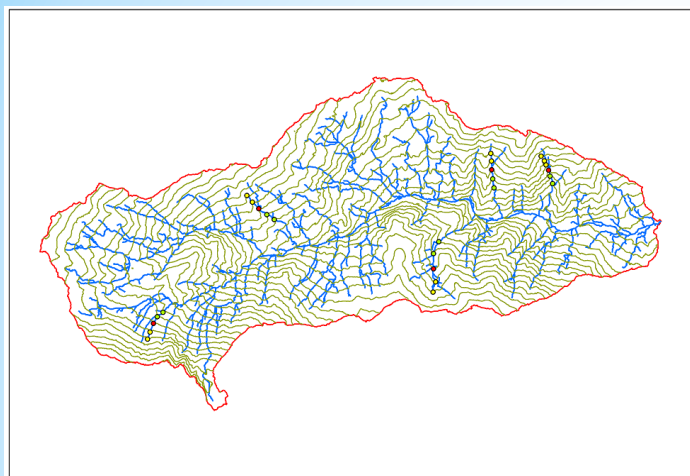
- * 水土保持局定義:溪流長度其上游以比例尺1/5000或1/10000像片基本圖或航照圖為基圖，圖上朝上坡彎曲之等高線計曲線(等高線25m)連續三條以上，其轉折點兩側等高線之夾角小於九十度，且構成區域之自然排水系統者，視為溪溝，乃水系之認定標準。下游則延續至匯入主流為止。
- * 累積匯流面積與坡度之關聯性，前人做了許多研究，該圖可以看出河道的侵蝕過程，從圖上找出河道遷急點 (inflection point)，表示該點為坡面與河流的轉折處(Tarboton et al., 1991,1992；Montgomery et al., 1993, 2001；Tucker et al., 1998；McNamara et al., 2006)



各流域溪流線起點面積門檻比例



各流域溪溝特性分析





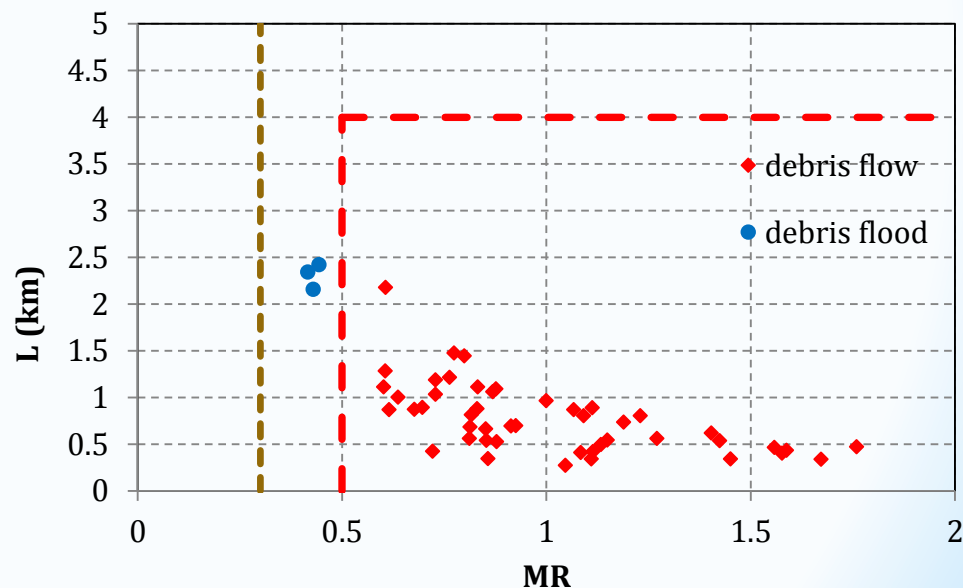
台灣北部土石流溪流地貌門檻值修正為

洪水: $MR < 0.3$

高含砂水流: $0.3 \leq MR \leq 0.5$; $MR > 0.5$ 且流域長度 ≥ 4 km

土石流: $MR > 0.5$ 且流域長度 < 4 km

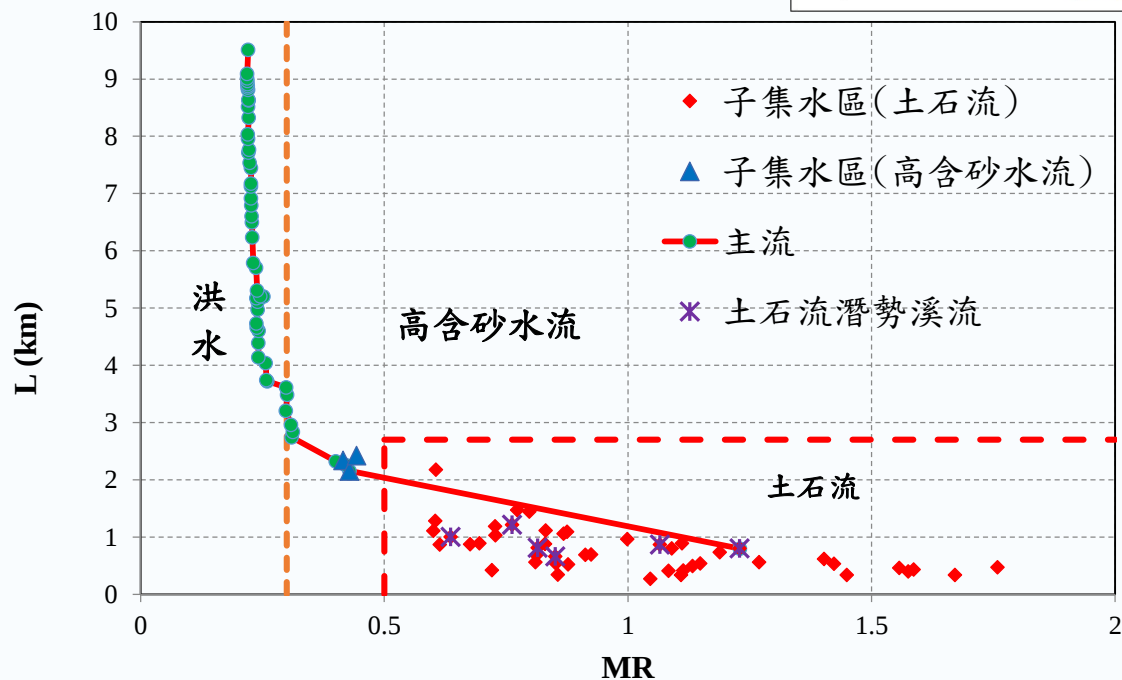
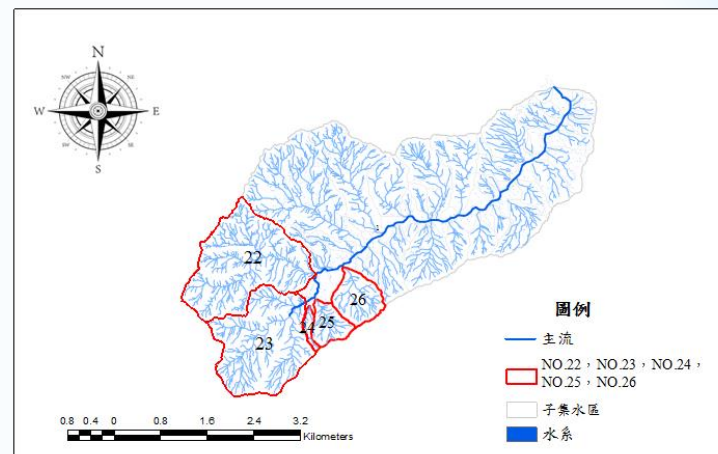
	流域長度 (L)	流域險峻 值(MR)
洪水	--	< 0.3
高含砂 水流	--	0.3-0.5
	≥ 4 公里	> 0.5
土石流	< 4 公里	> 0.5





* 平廣溪

本研究將主流長度(L_m)與主流流域險峻值(以匯入主流之上游總面積及總高程差計算 MR)之關係整理。





台灣中南部土石流溪流地貌門檻值修正為

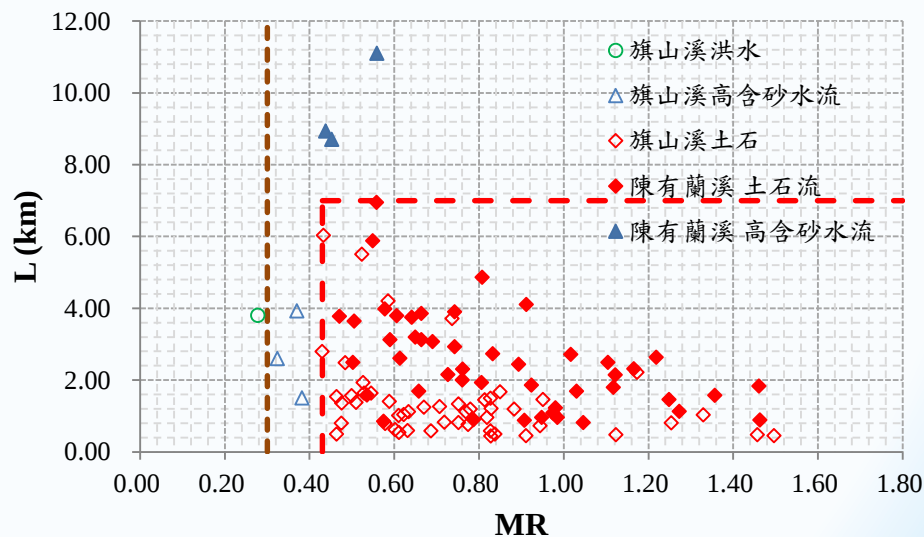
洪水: $MR < 0.3$

高含砂水流與土石流並存: $0.3 \leq MR \leq 0.43$; $MR > 0.43$ 且流域長度 ≥ 7 km

土石流: $MR > 0.43$ 且流域長度 < 7 km

旗山溪、陳有蘭溪

	流域長度 (L)	流域險峻 值(MR)
洪水	--	< 0.3
高含砂水流/ 土石流	--	$0.3 - 0.43$
	≥ 7 公里	> 0.43
土石流	< 7 公里	> 0.43

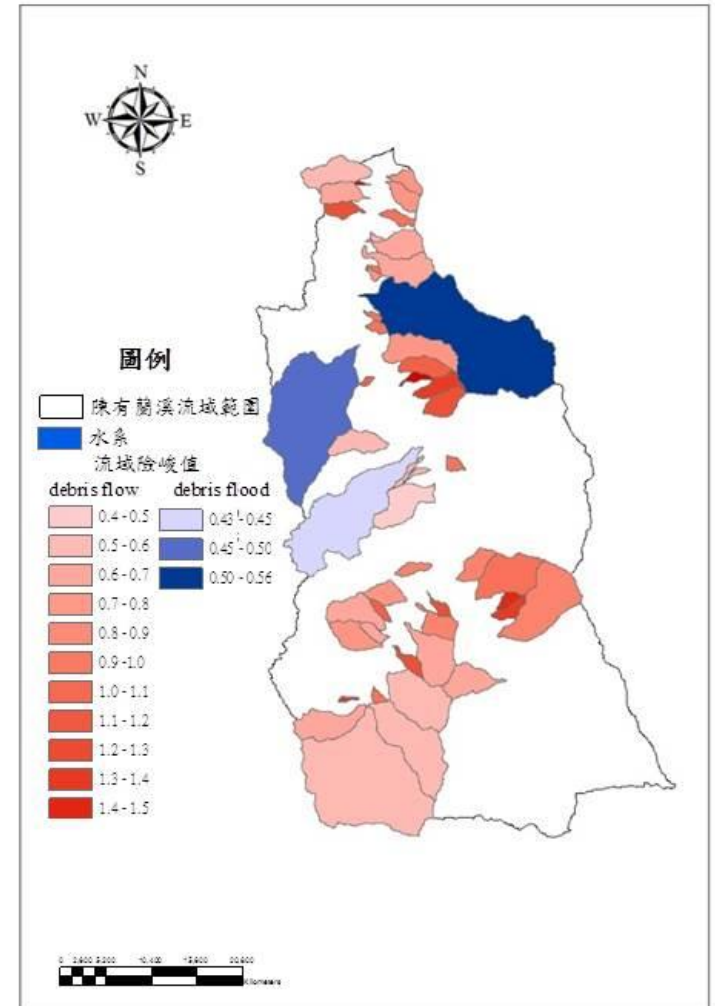
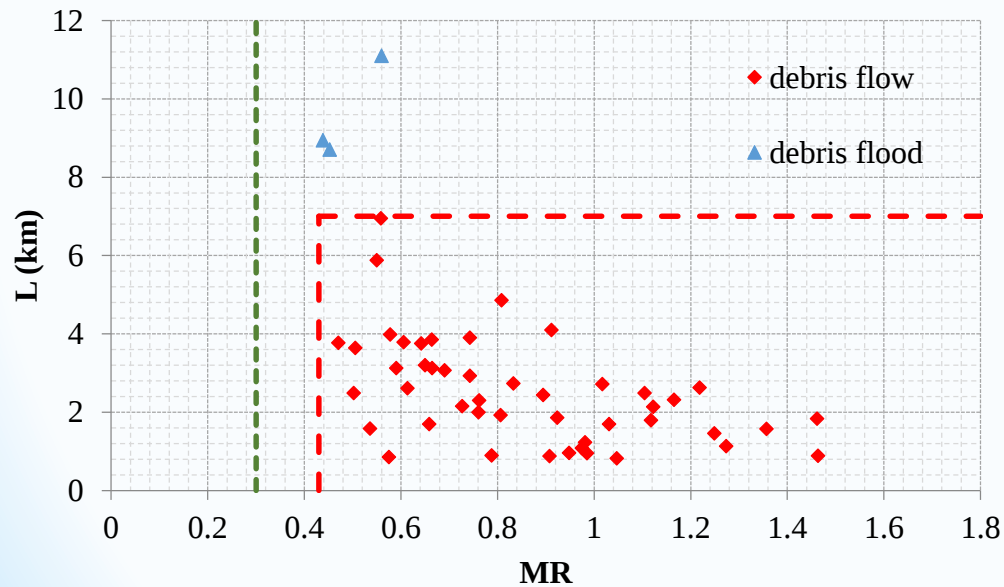


* 陳有蘭溪

洪水: 0 個

高含砂: 3 個

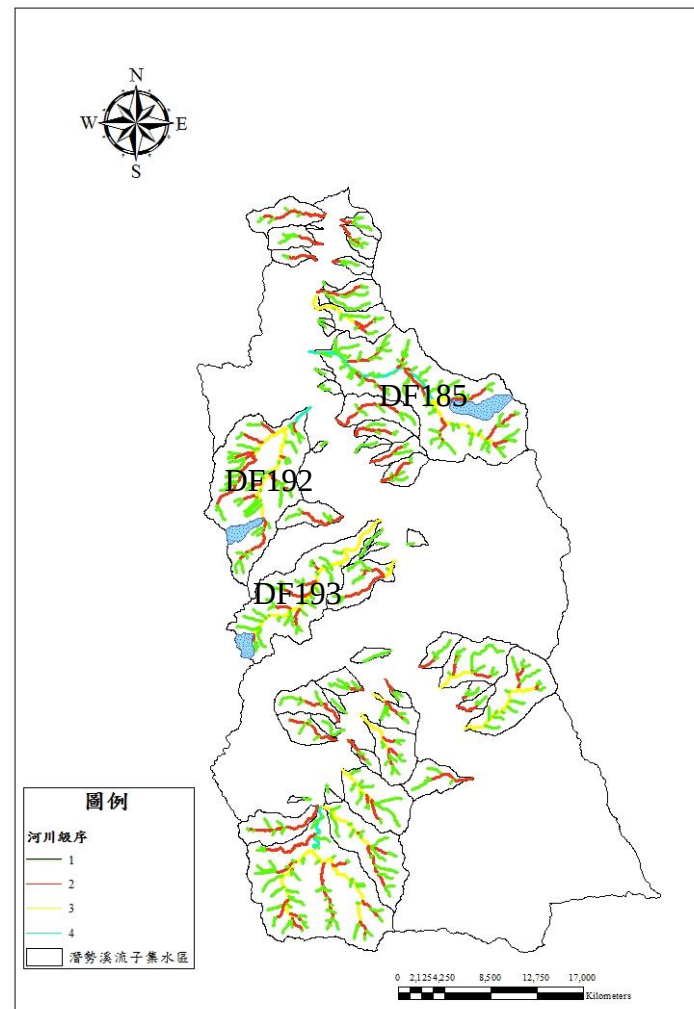
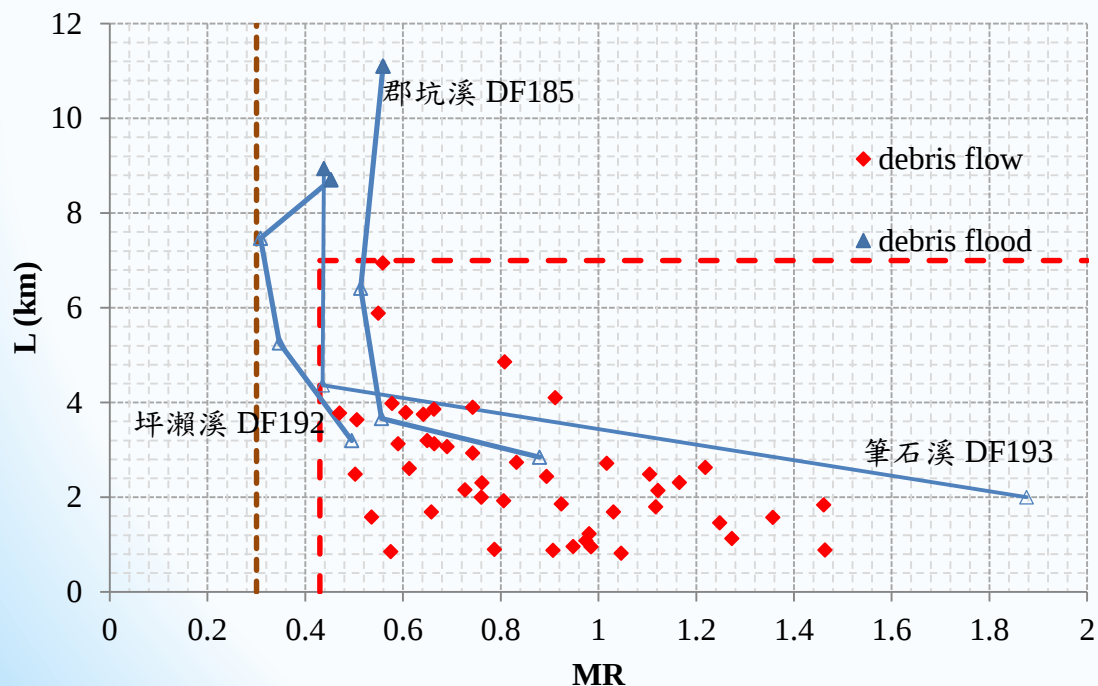
土石流: 47 個





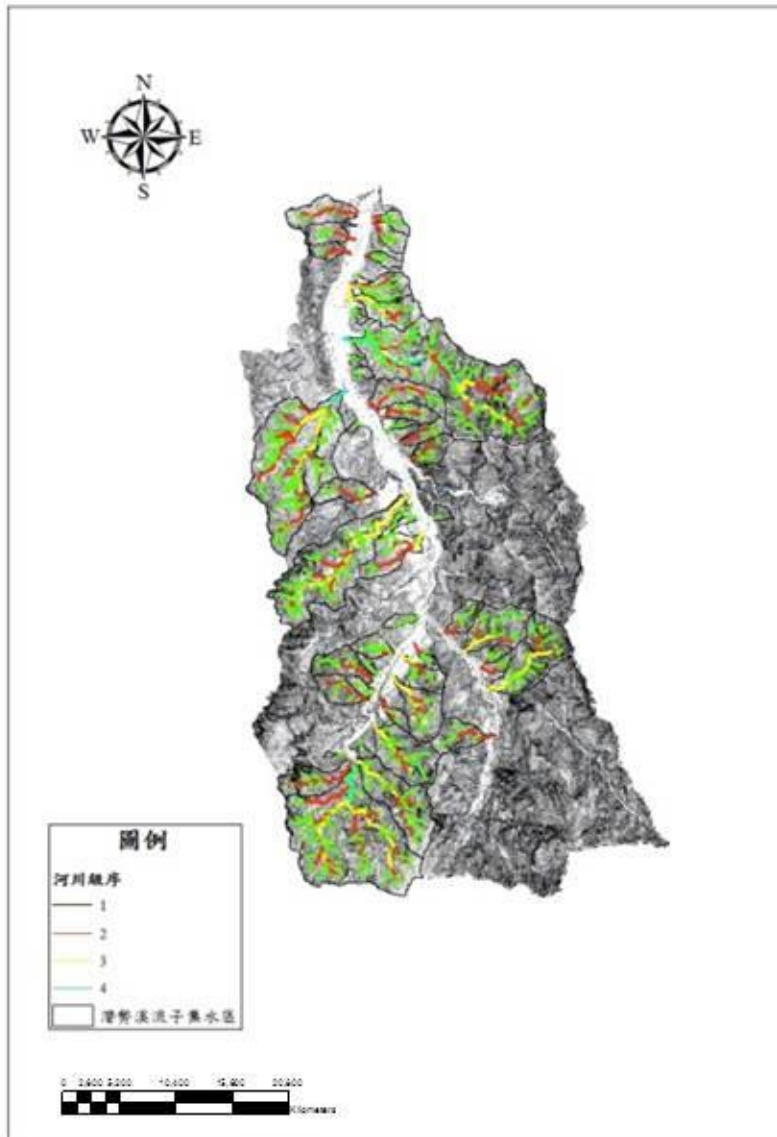
* 陳有蘭溪

土砂運移型態由土石流轉化為高含砂水流



各級河流數目與長度與其比例

河流級序	河流數	河流數佔總數比	河流長度(km)	河流長度佔總數比
一級河流	401	78.02%	185.34	51.20%
二級河流	92	17.90%	109.34	30.20%
三級河流	18	3.50%	54.27	14.99%
四級河流	3	0.58%	12.27	3.39%
河流總數	514	100%	362	100%

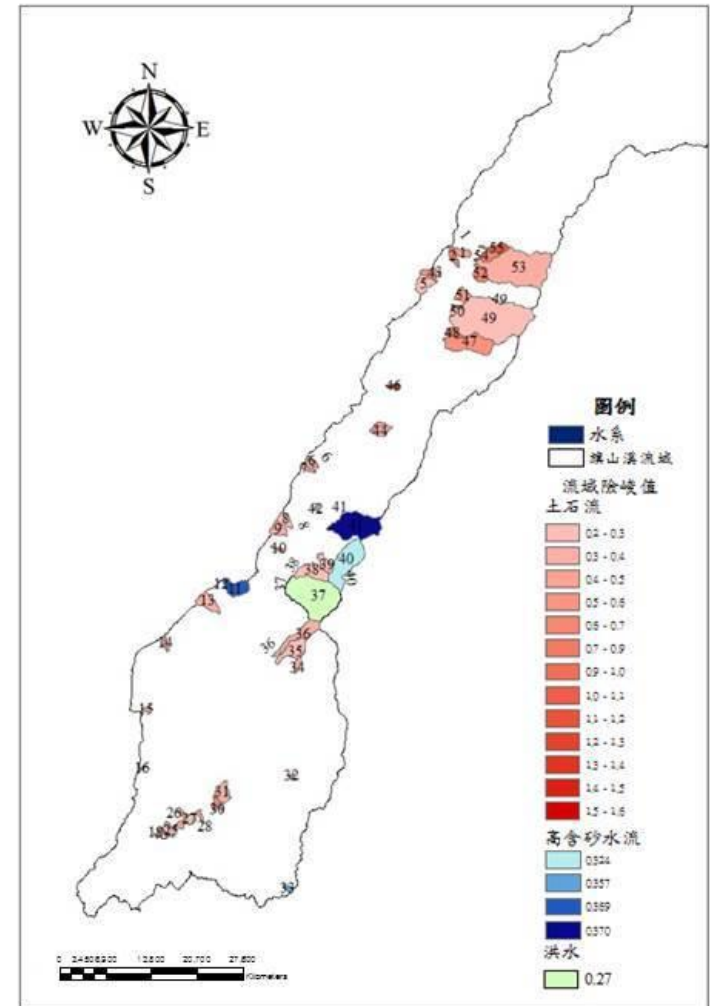
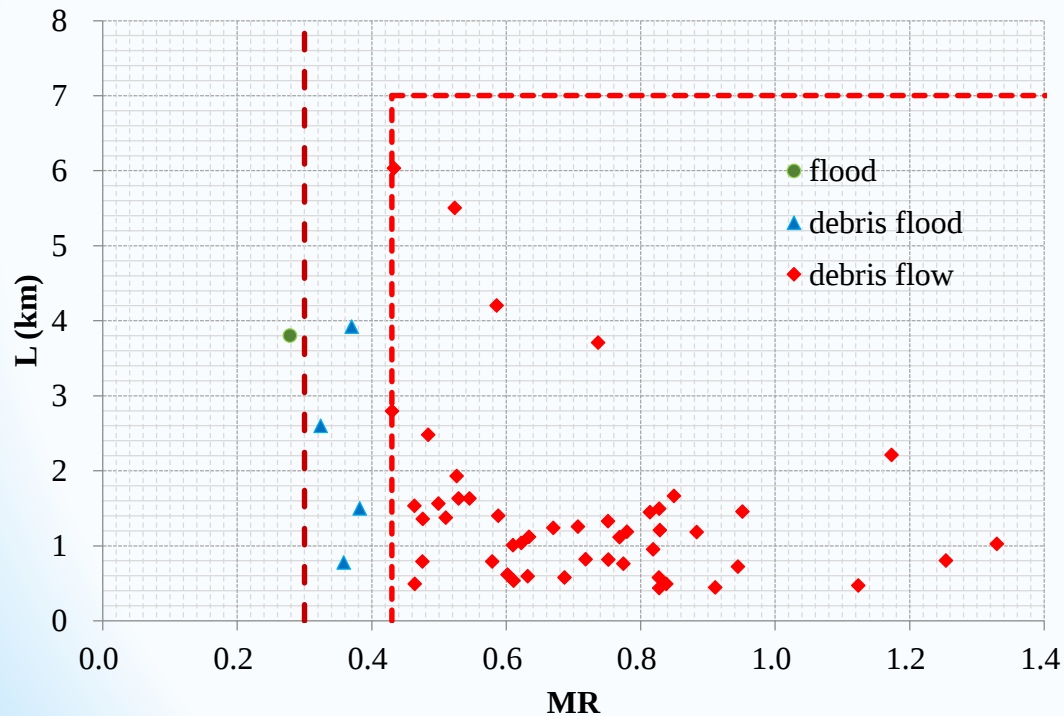


* 旗山溪

洪水: 1 個

高含砂: 4 個

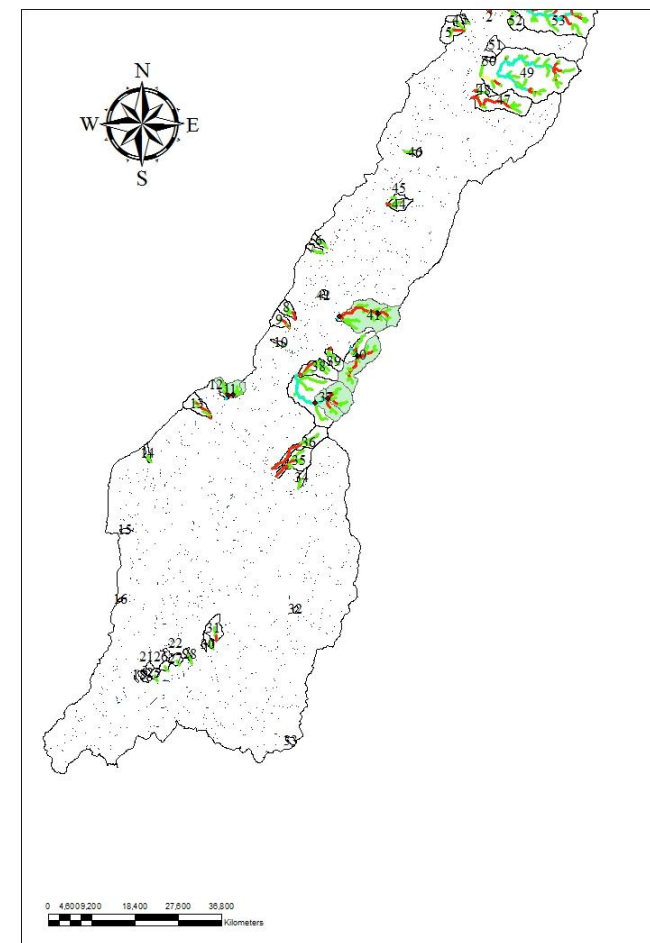
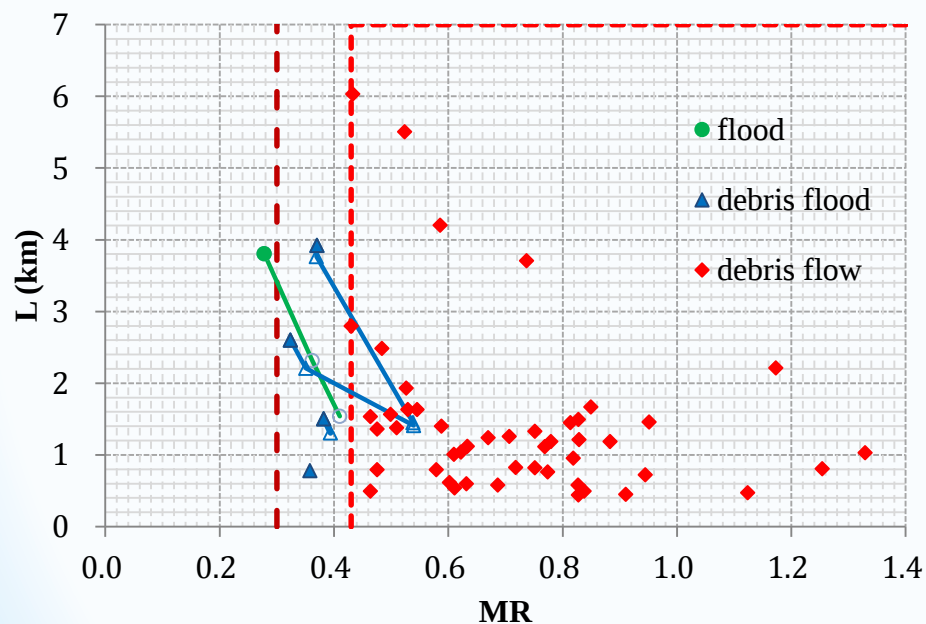
土石流: 50 個





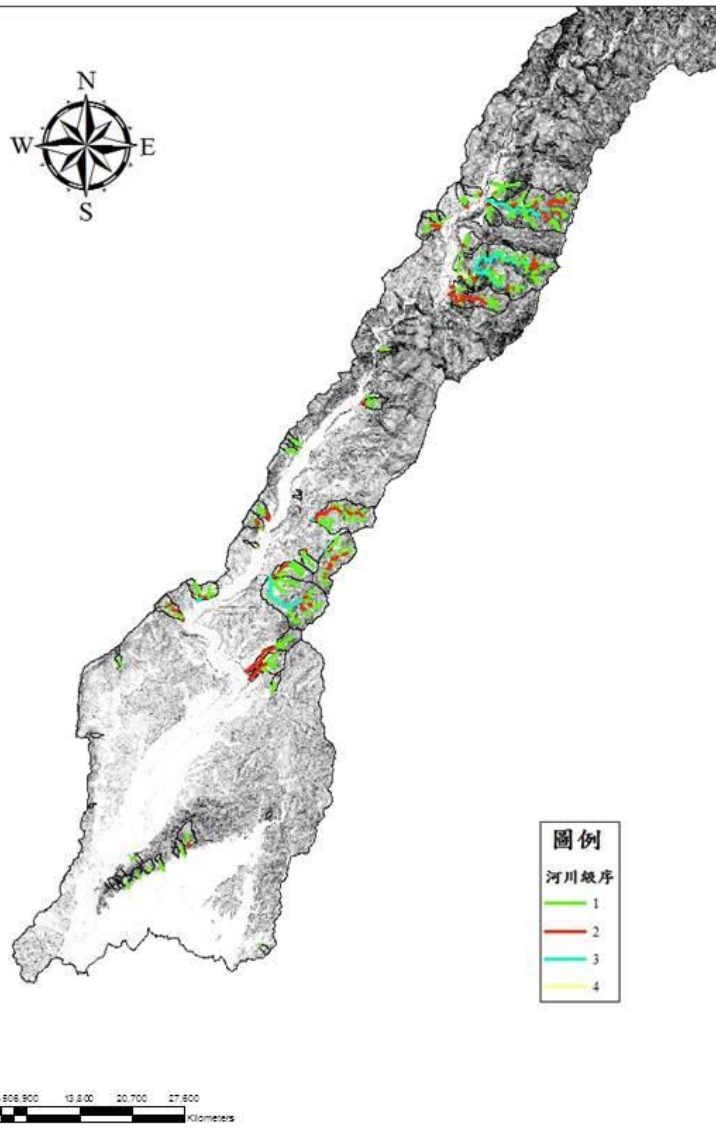
* 旗山溪

土砂災害型態之轉變

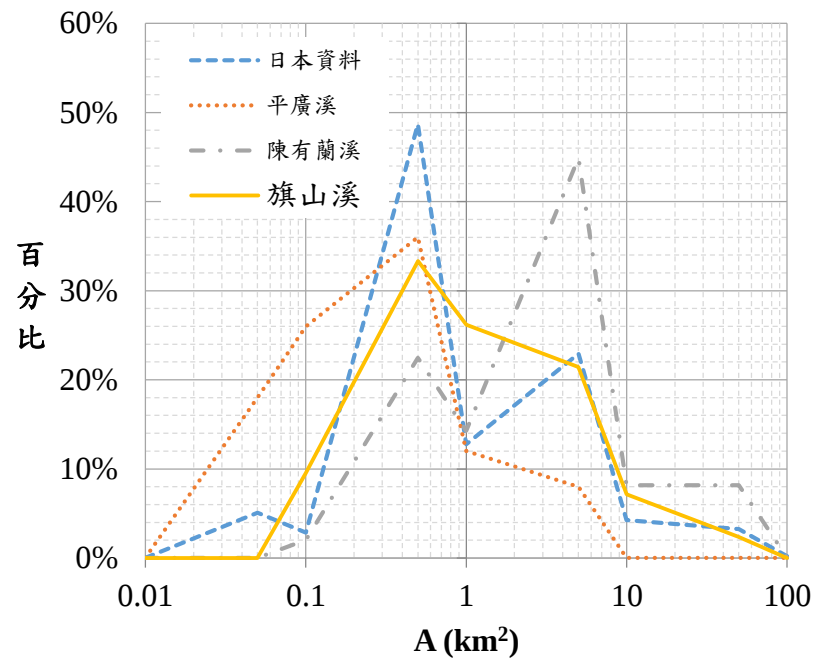
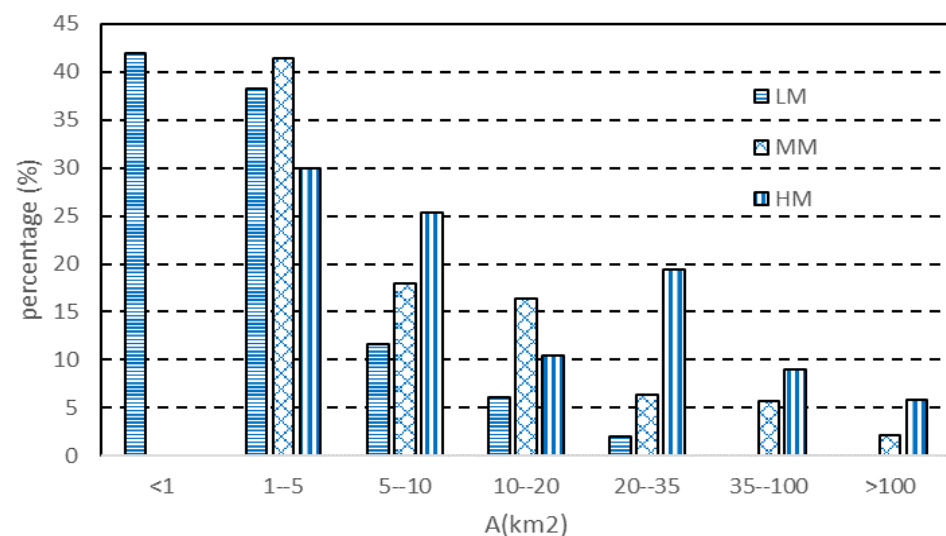
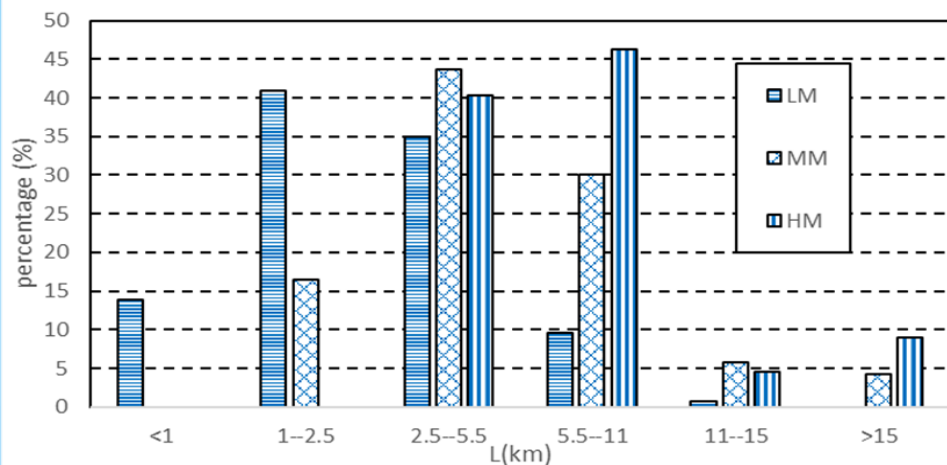


各級河流數目與長度與其比例

河流級序	河流數	河流數佔總數比	河流長度(km)	河流長度佔總數比
一級河流	157	75.12%	67.11	64.05%
二級河流	41	19.62%	24.09	22.99%
三級河流	7	3.45%	12.12	11.79%
四級河流	1	1.97%	1.47	1.43%
河流總數	203	100.00%	103	100.00%



土石流流域規模統計



中山 (LM200-800 m),
 中山 (MM300-2200 m),
 高山 (HM, >3200 m)

土石流堆積扇特徵分析

集水區 ^φ	平廣溪(PG) ^φ	陳有蘭溪(CYL) ^φ	旗山溪(CS) ^φ
堆積扇數量 ^φ	7 ^φ	37 ^φ	53 ^φ
面積 [公頃] ^φ	0.50-2.76 ^φ	0.05-25.47 ^φ	0.57-21.58 ^φ
平均坡度 [度] ^φ	5.5-13.7 ^φ	1.8-20.7 ^φ	2.9-27.6 ^φ

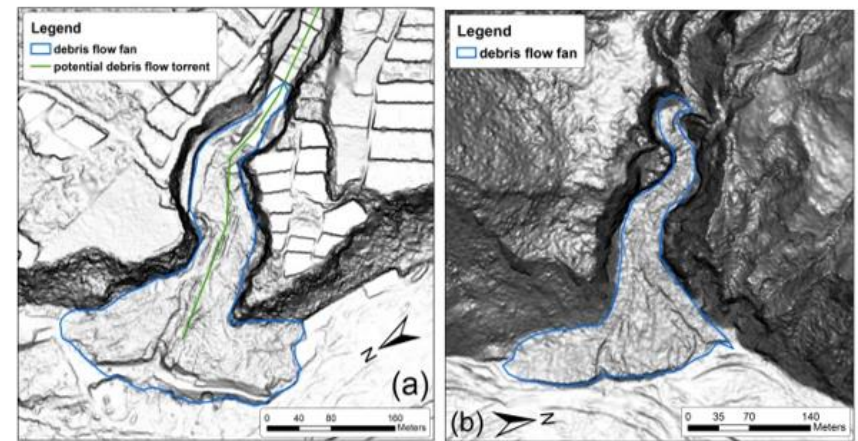
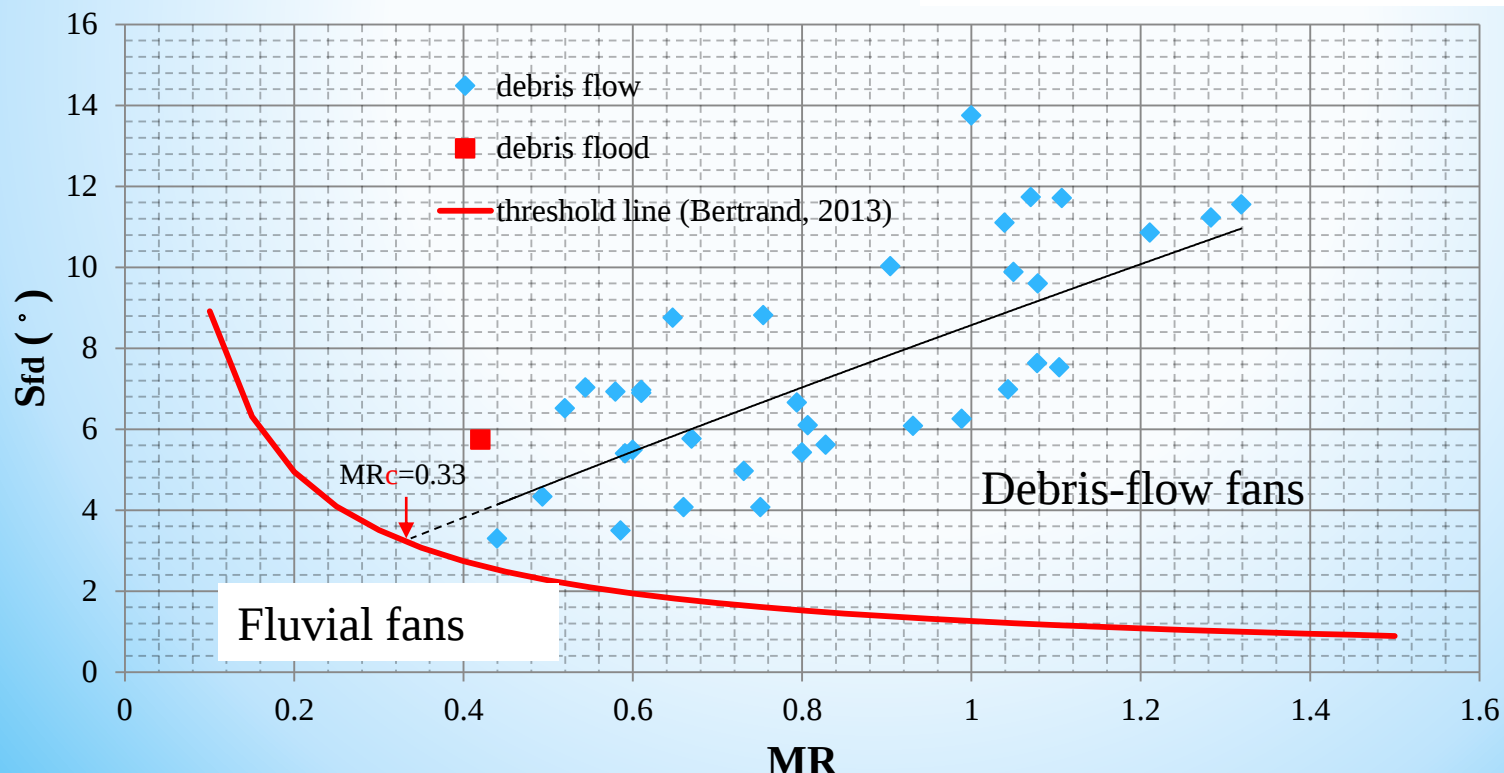


圖 4-52 土石流堆積扇圈繪：(a)陳有蘭溪集水區；(b)旗山溪集水區



陳有蘭溪現勘



郡坑溪 DF185 現勘

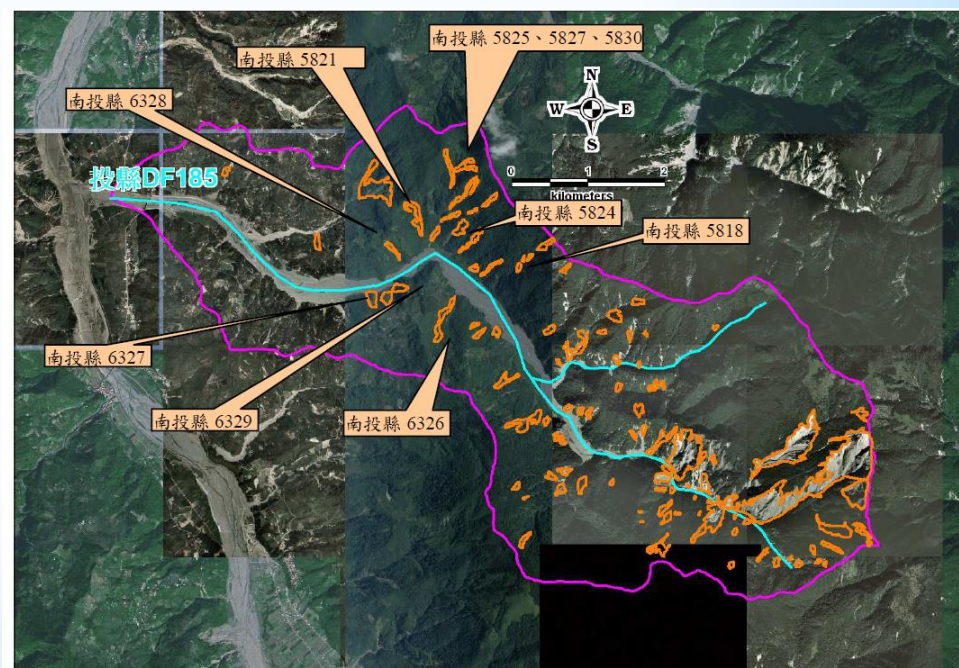
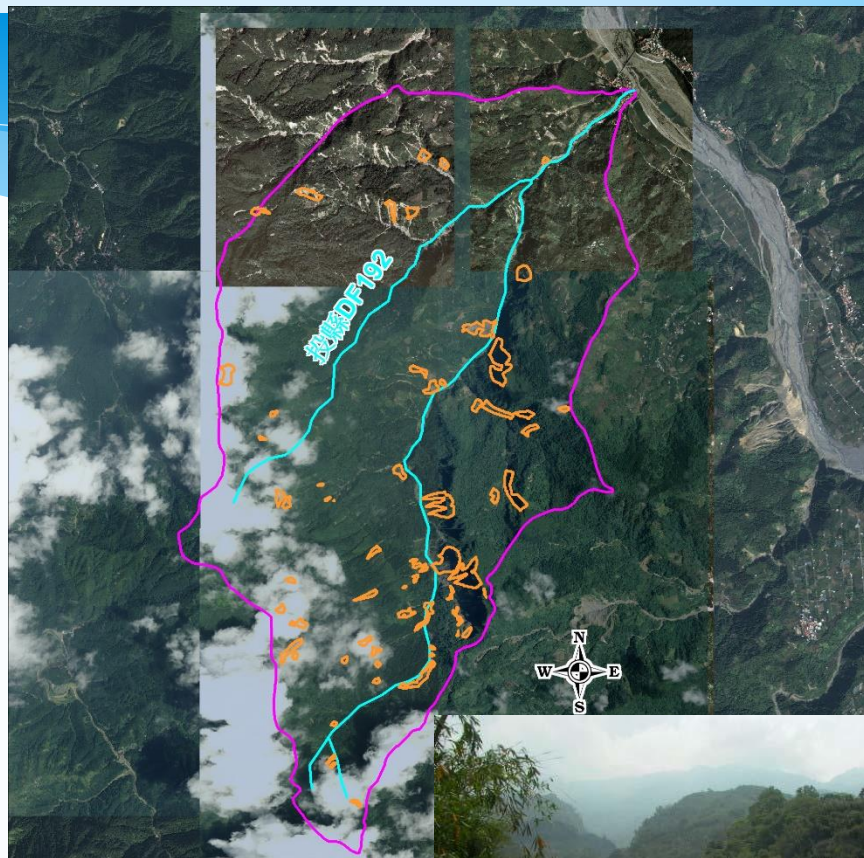


圖 2.1 投縣 DF185 土石流潛勢溪流集水區崩塌地分布圖

坪瀨溪 DF192現勘



筆石溪 DF193現勘



圖 2.2 投縣 DF193 土石流潛勢溪流易致災因子與保全對象現況圖

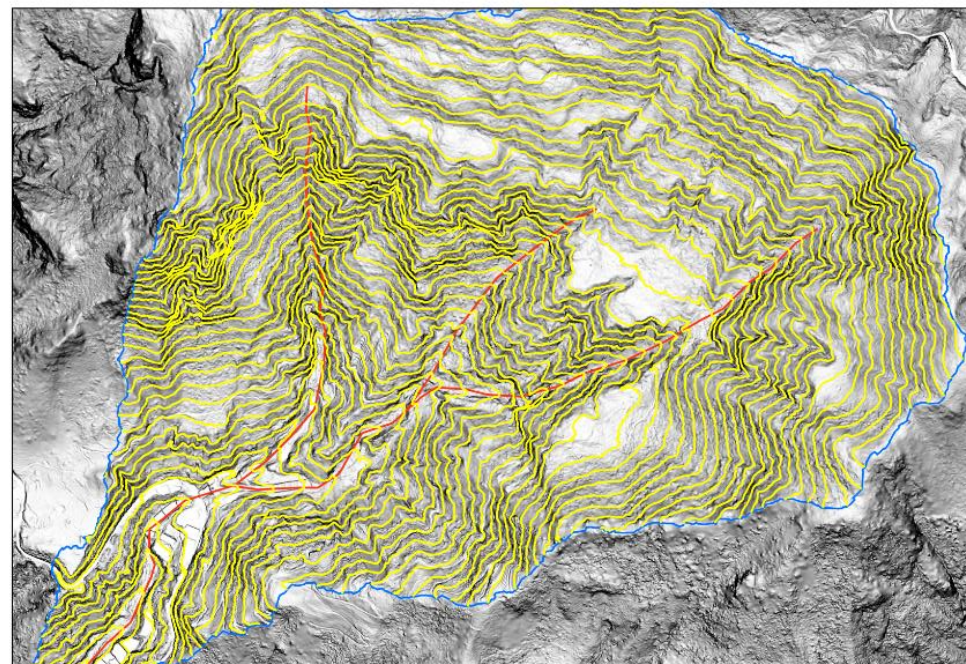
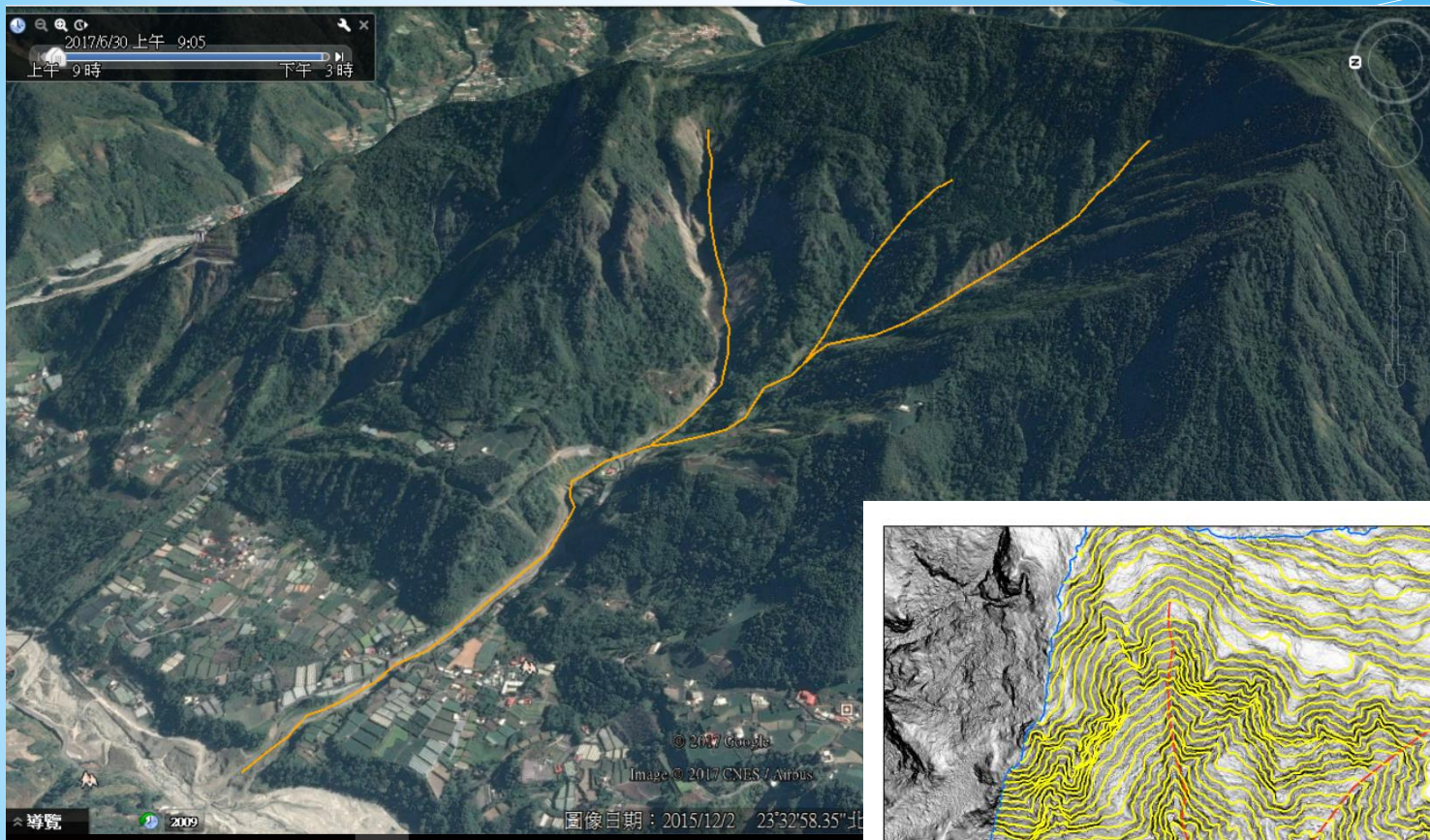


14. 羅納橋下游河床可見遭土





頭坑溪DF202



高市DF071土石流潛勢溪流現勘



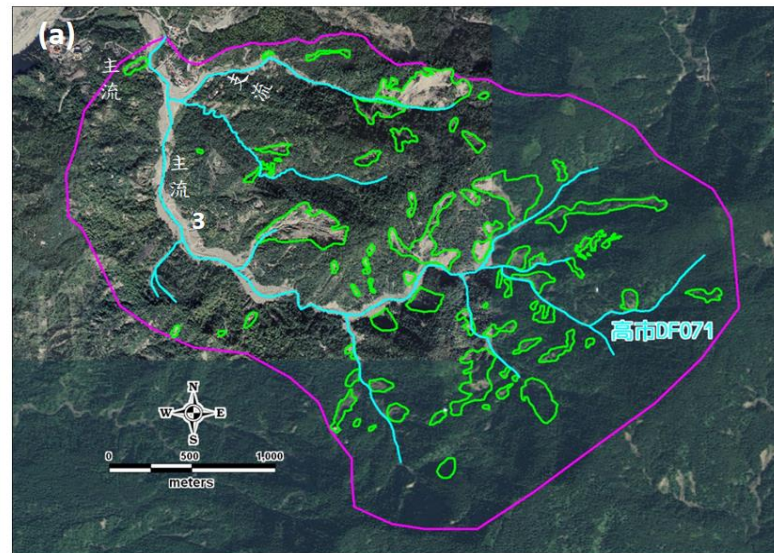
4. 右支流攔沙壩



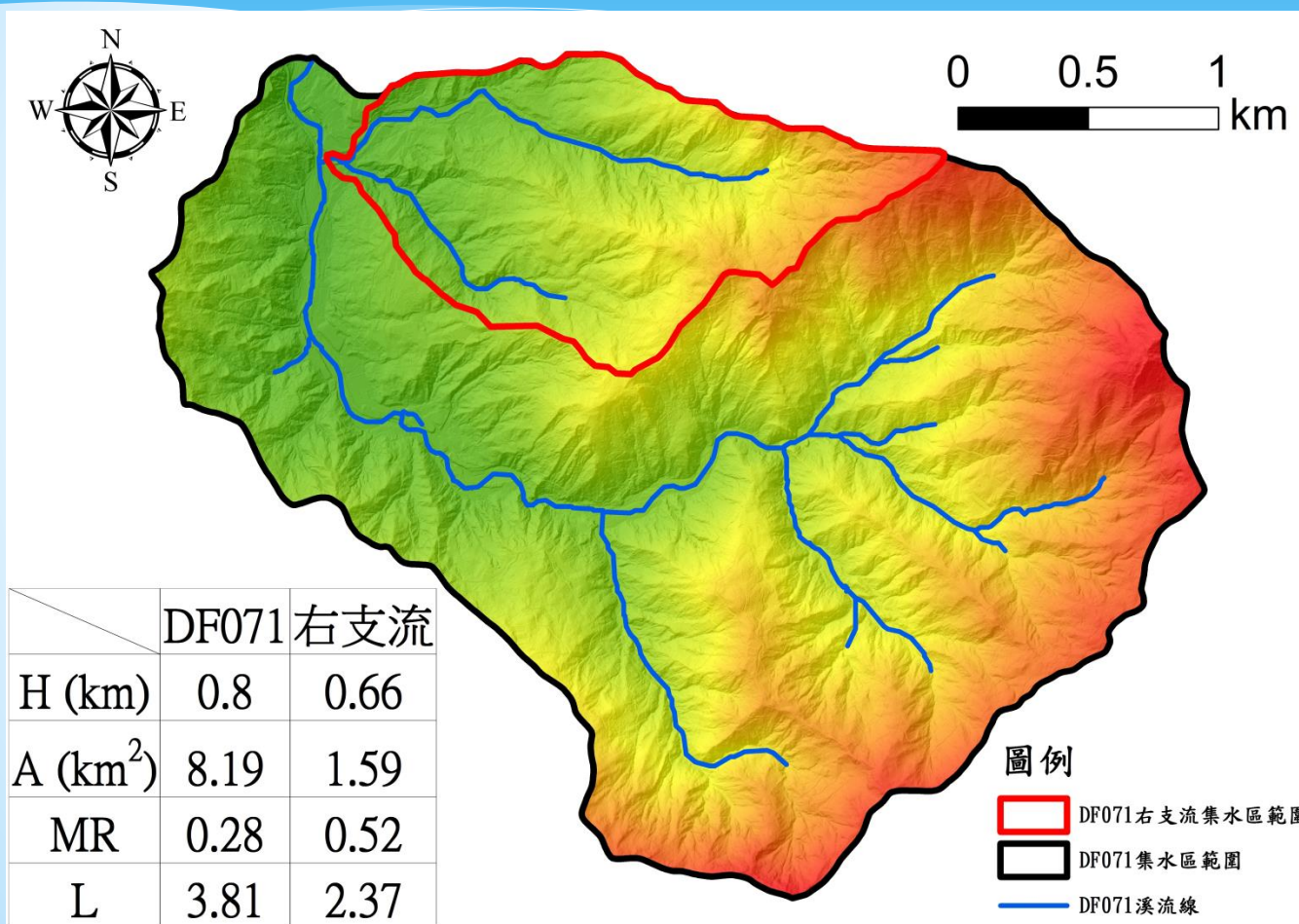
1. 滴水坎橋(主流)



2. 滴水橋(下游)



高市DF071土砂運移型態分析



高市DF018土石流潛勢溪流現勘



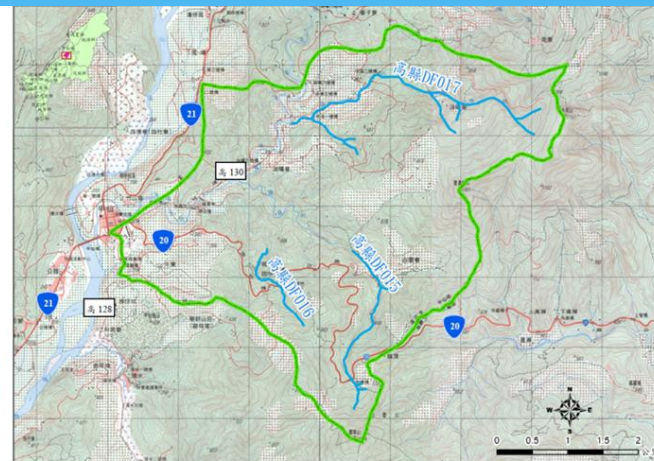
資料來源:2009 水保局重大土砂災害案例



(b) DF018與台20相交白雲寺災情



(c) DF018在台20上游之集水區空照



(a) 高市DF018(DF015)地形圖

位置 1:白雲寺, :台20 箱涵橋



泰利(2005)



2 1



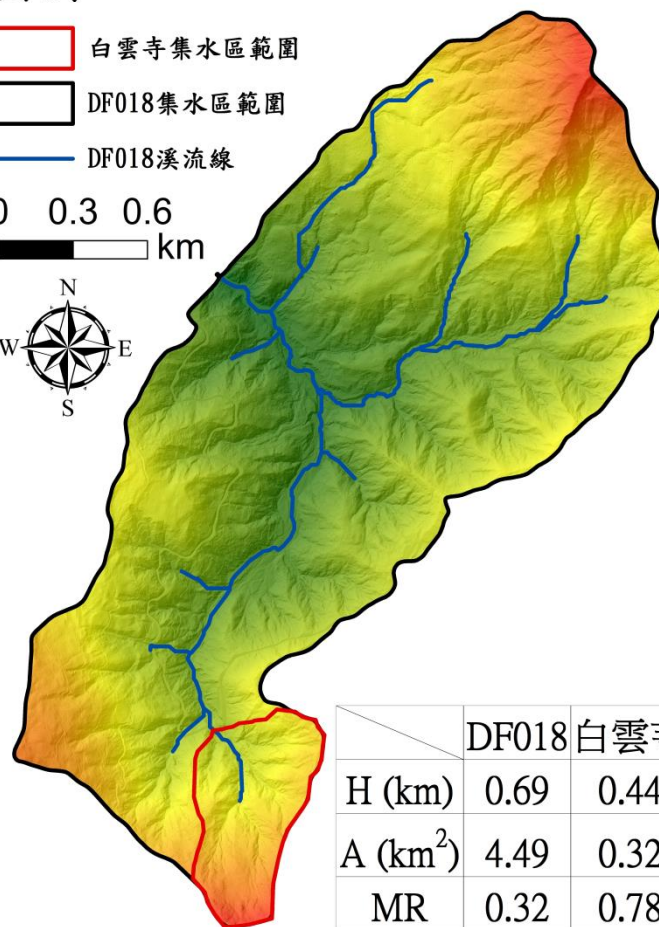
(d) DF018在台20三孔橋涵

高市DF018土砂運移型態分析

圖例

-  白雲寺集水區範圍
 DF018集水區範圍
 DF018溪流線

0 0.3 0.6
km



	DF018	白雲寺
H (km)	0.69	0.44
A (km ²)	4.49	0.32
MR	0.32	0.78
L	2.6	0.8

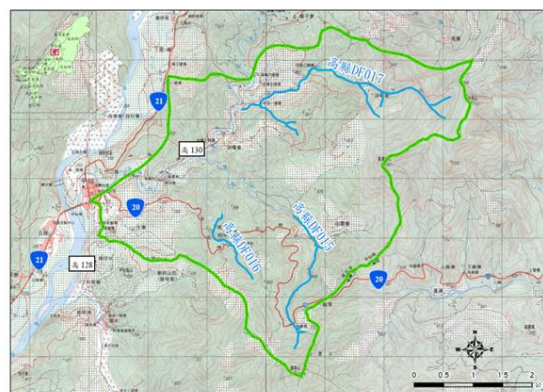
高市DF020土石流潛勢溪流現勘



(c) 崩坪溪上游崩塌



(d) 崩坪溪油礦四號橋上游



(a) 高市DF020(DF017)地形圖



(e) 簡堤橋上游油礦溪右岸崩塌



(f) 簡堤橋上游河床粒料較細



(b) 崩坪溪與油礦溪匯流後下游



(g) 匯流後下游民宅被埋

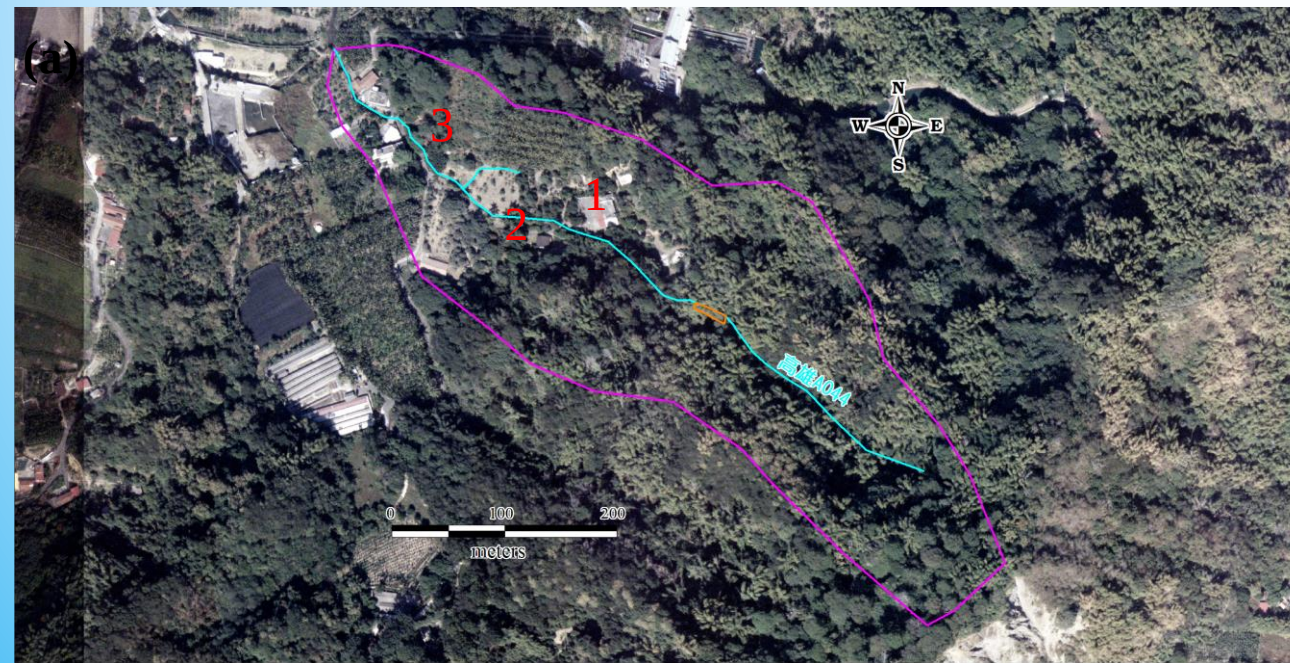


(h) 濟公橋下游河床



高市DF044 (美濃獅山里)

1. 渤海堂竹門路
30-1號
2. 竹門路30號
3. 無極開天宮





1. 高129上邊坡地滑

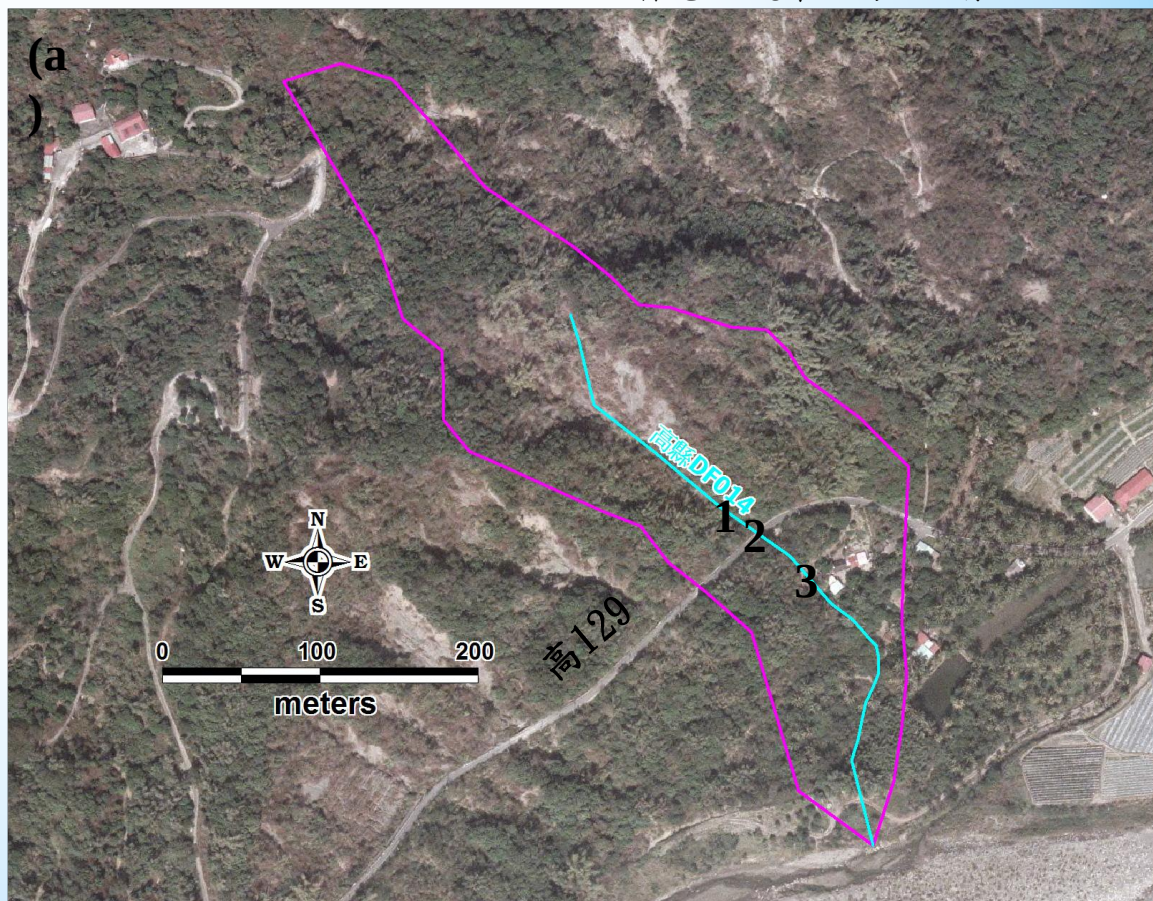
高市DF017



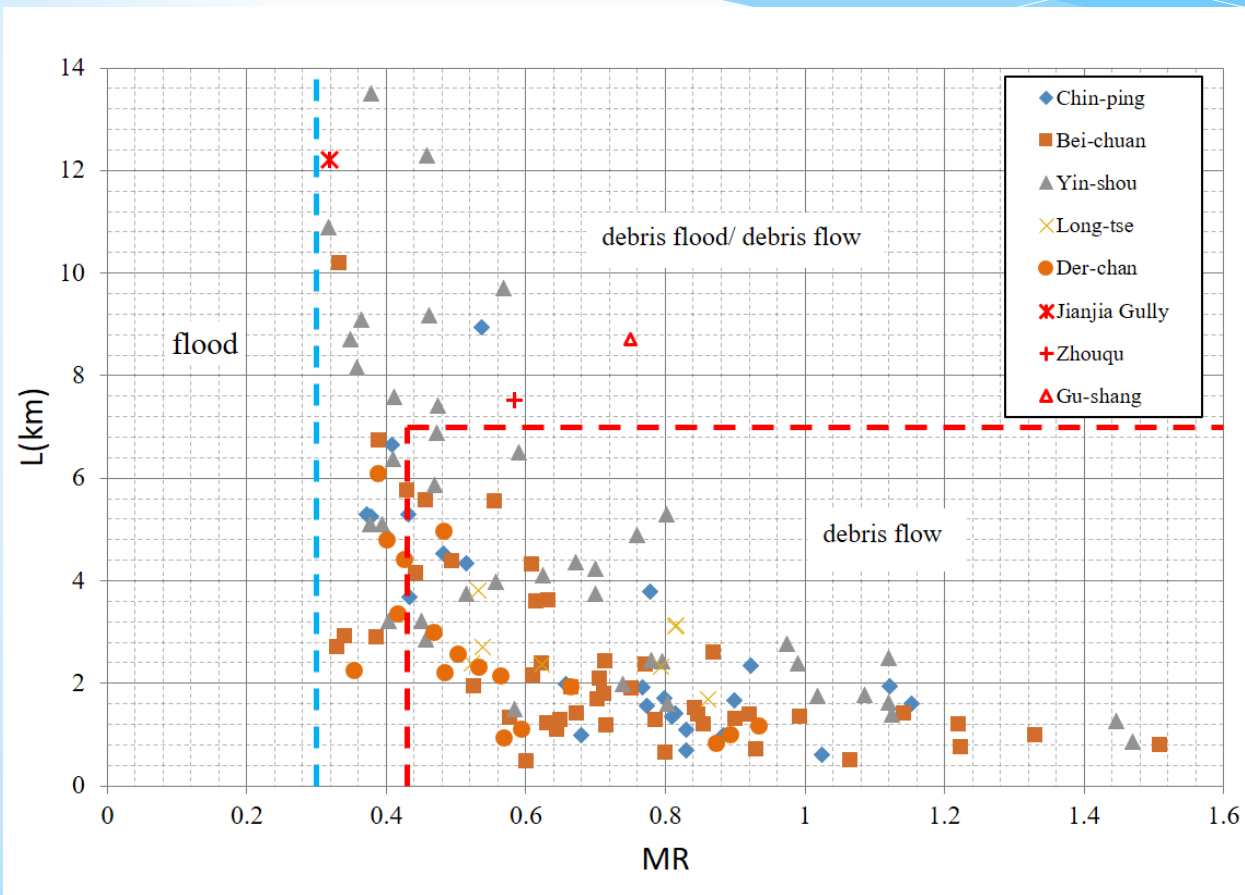
2. 高129 下邊坡管涵



3. 仙林巷七號東宅旁 蝕溝

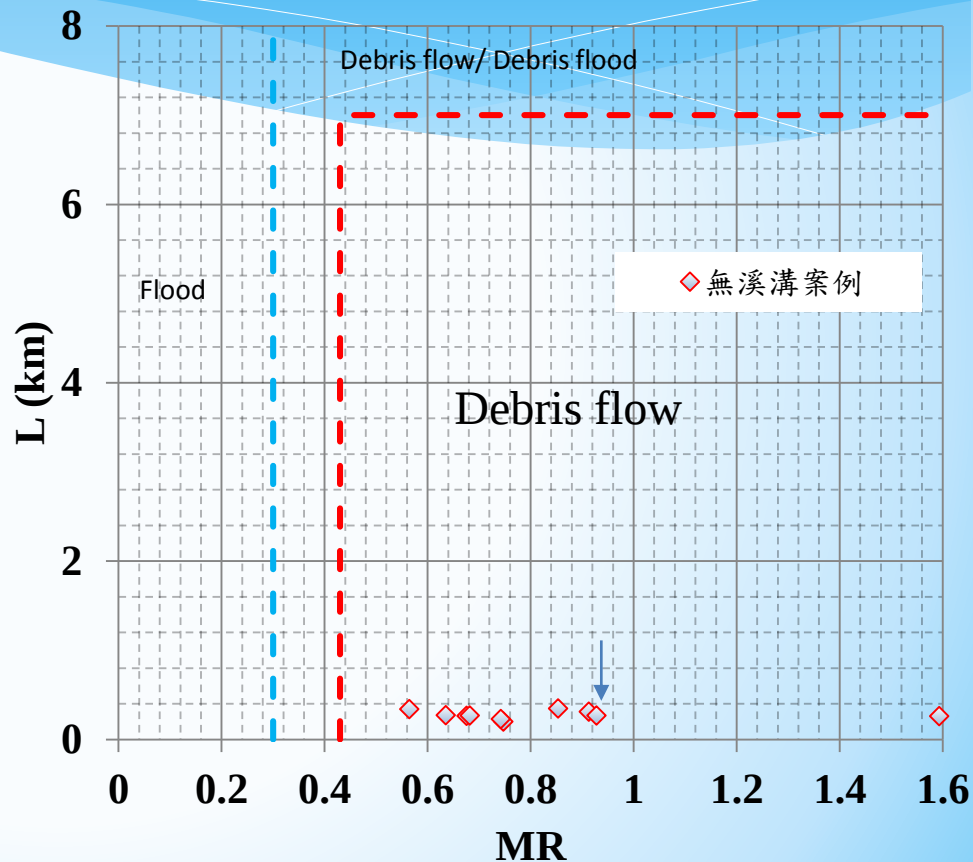


大陸西部土石流案例分析



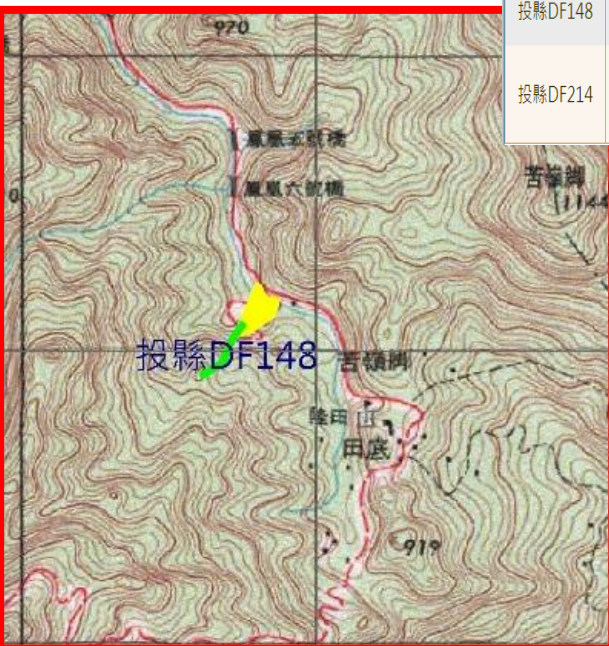
台灣無溪溝土石流案例分析

潛勢溪流	L_km	H_km	Area_km2	MR
竹縣 DF021	0.34	0.0924	0.0268	0.56
投縣 DF063	0.31	0.1558	0.0291	0.91
投縣 DF064	0.20	0.1184	0.0251	0.75
投縣 DF070	0.26	0.2248	0.0199	1.59
投縣 DF148	0.27	0.1188	0.0164	0.93
南市 DF003	0.35	0.1322	0.0240	0.85
南市 DF004	0.27	0.1022	0.0259	0.64
南市 DF005	0.27	0.0953	0.0199	0.68
南市 DF010	0.23	0.1133	0.0233	0.74
屏縣 DF041	0.27	0.1173	0.0296	0.68



土石流潛勢溪流統計

潛勢溪流	縣市	鄉鎮	村里	地標	鄰近道路	初估保全戶數	風險潛勢等級	災害歷史	公開年份	潛勢溪流位置圖	第一參考雨量站	第二參考雨量站	警戒值
投縣DF148	南投縣	鹿谷鄉	鳳凰村	龍順宮及文賓製茶所	投56鄉道	1~4戶	低	-	98		信義	鳳凰	300
投縣DF214	南投縣	鹿谷鄉	鳳凰村	田底	投56鄉道	5戶以上	中	85年賀伯颱風、90年桃芝颱風	99		信義	鳳凰	300

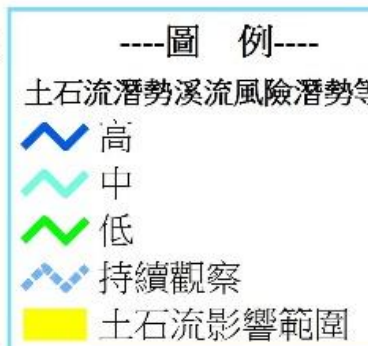


2625000

2624000

2623000

2622000



行政院農業委員會水土保持局 編
中華民國106年2月

0.5 0.25 0 0.5

公里

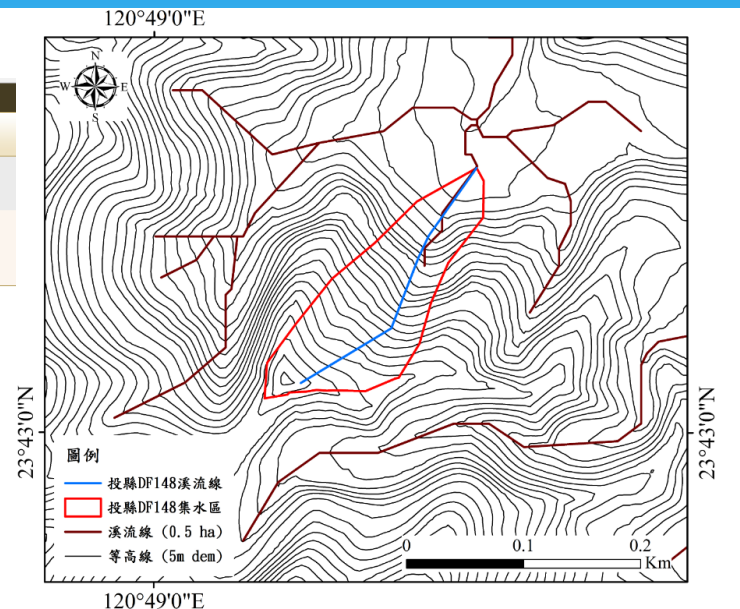
2623000

2622000

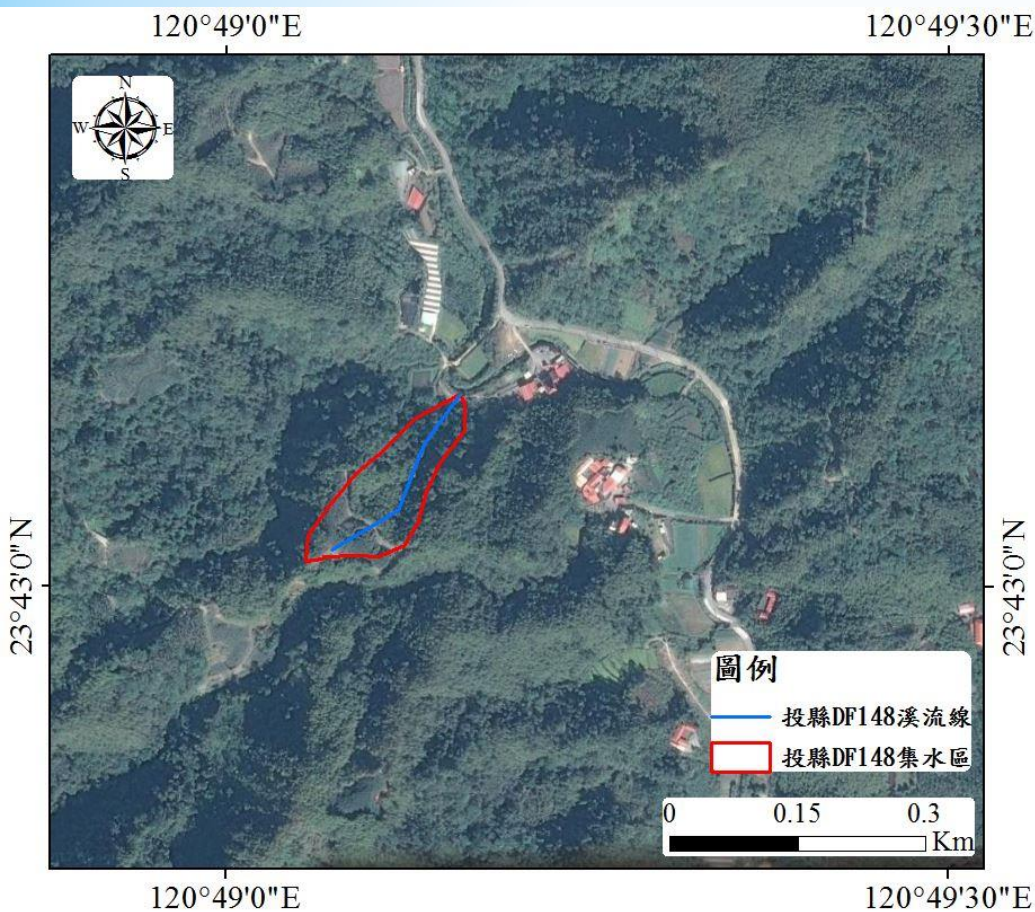
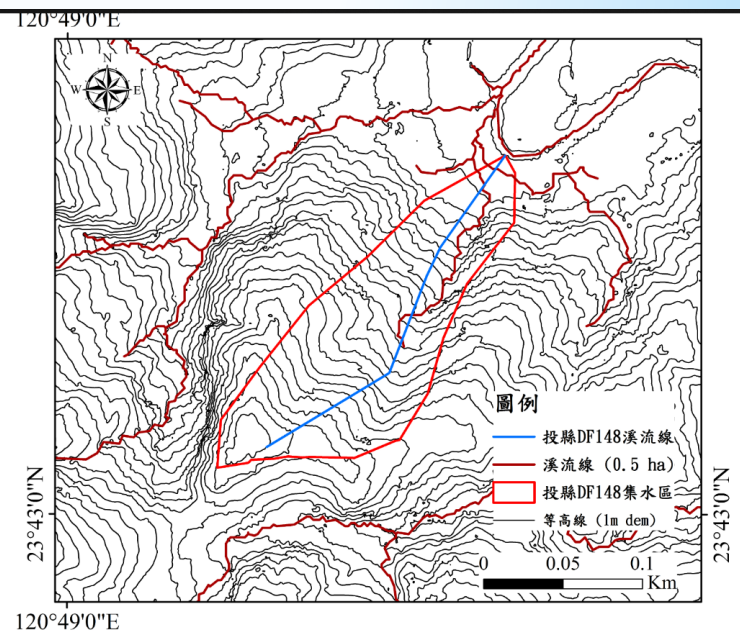
南投無溪溝土石流案例DF148分析

5m-dem

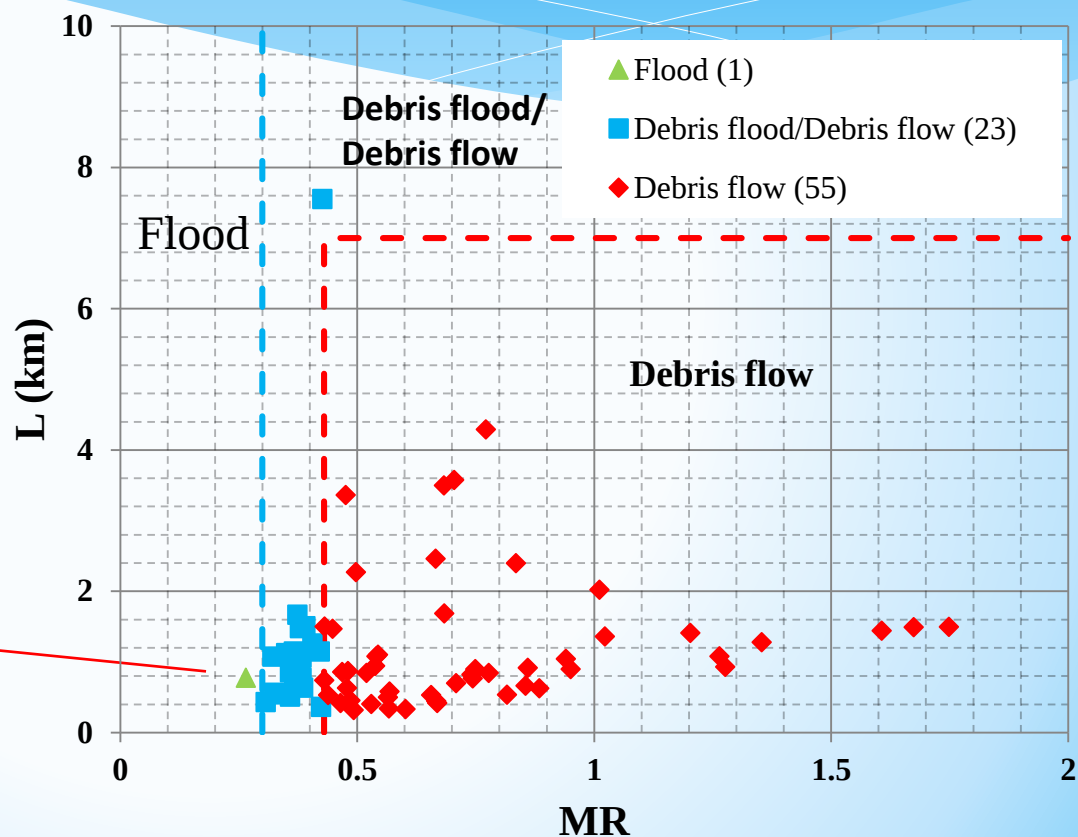
土石流潛勢溪流統計										
潛勢溪流	縣市	鄉鎮	村里	地標	鄰近道路	初估保全戶數	風險潛勢等級	災害歷史	公開年份	潛勢溪流位置圖
投縣DF148	南投縣	鹿谷鄉	鳳凰村	龍順宮及文寶製茶所	投56鄉道	1~4戶	低	-	98	
投縣DF214	南投縣	鹿谷鄉	鳳凰村	田底	投56鄉道	5戶以上	中	85年賓伯颱風、90年桃芝颱風	99	
									第一參考雨量站	第二參考雨量站
									信義	鳳凰
									警戒值	
									300	



1m-dem



74條無保全住戶及道路之持續觀察潛勢溪流的MR分析



結論

- * 目前台灣判釋土石流的濃度範圍包含歐美學者所提出土石流、高含砂水流及崩塌等土砂運移特性。
- * 經整理日本、台灣及大陸資料、土石流溪流之集水面積以介於0.01-100 km²(即1-10000公頃)為絕大部份。然而單以面積並無法代表集水區之地形險峻情形及產砂量，故其本身尚不足以作為土石流潛勢溪流之判釋門檻值。
- * 三個流域之河流級序大多以一級與二級河流級序為主，一級與二級河流級序河流長度占整個集水區總比例分別為：平廣溪流域(80.5%)、陳有蘭溪流域(81.4%)及旗山溪流域(86.8%)；一級與二級河流級序河流數目占整個集水區總比例分別為：平廣溪流域(94.5%)、陳有蘭溪流域(95.9%)及旗山溪流域(97.5%)。



結論

- * 以5m等高線進行分析時，土石流集水區的一、二級河流總長度與流域長度之比值應大於0.4，相較之下高含砂水流之比值則大於2。
- * 溪溝的發育以平廣溪最成熟，這也反映在其一、二級河川之總長度與流域長度之比值較高；反之，溪溝的發育則以旗山溪最年輕，溪流的起始集流面積最大，陳有蘭溪則居中。
- * 在較大面積($>0.2 \text{ km}^2$)的子集水區計曲線法或固定網格數(即集水面積門檻值)法皆可適用；但如集水面積小於 0.2 km^2 (坡面型土石流)則宜採用0.5公頃的臨界集水面積計算溪流起點較能反應溪溝的地形特性。

結論

- * 旗山溪與陳有蘭溪現有土石流潛勢溪流地貌分析及現場勘查結果，陳有蘭溪流域現有土石流潛勢溪流有50條，其中47條土石流溝，3條為高含砂水流與土石流並存；旗山溪流域現有土石流潛勢溪流有55條，分析結果52條為土石流、1條主流為洪水，支流為土石流、2條為高含砂水流。
- * 統合三個流域資料及大陸139條土石流溪溝之判釋分類，河道上土砂災害之地貌分類可一體適用：即 $MR > 0.43$ 且 $L < 7\text{km}$ 者為土石流； $0.3 \leq MR \leq 0.43$ ，且 $L \leq 14\text{ km}$ 及 $MR > 0.43$ ，且 $7\text{km} \leq L \leq 14\text{ km}$ 者為高含砂水流及土石流並存； $MR < 0.3$ 則為洪水。
- * 當溢流點下游有沖積扇時，堆積扇坡度與流域險峻值呈現良好之冪次關係，Bertrand et al. (2013) 的門檻關係可供具溢流點及扇狀堆積之集水區是否為土石流潛勢溪流之判釋參考條件。



前言

文獻回顧

研究及分
析方法

分析結果

現地勘查

結論

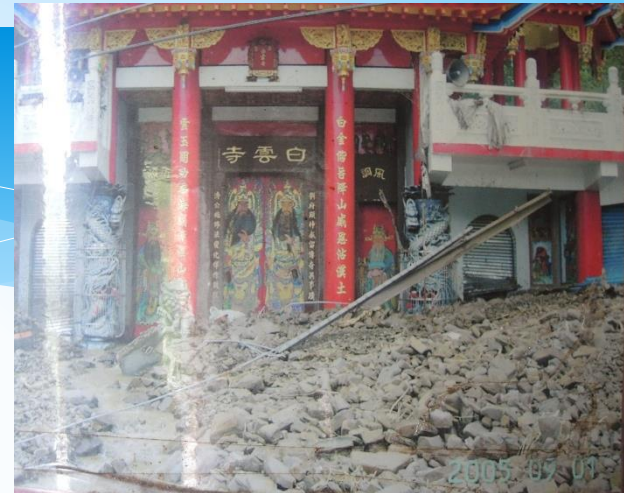
建議

- * 流域地貌因子是產生土石流運動之必要地形條件，亦即不具備土石流之地貌特性的集水區則不會發生土石流之災害型態，據此可做為劃設或移除土石流潛勢溪流之參考條件。
- * 土石流潛勢溪流在流動段及溢流點下游之災害規模主要取決於源頭區及溪床上的土砂料源量及雨量條件。流域地貌因子如流域險峻值高低或溪流長度與土石流之規模、發生頻率並無直接相關。
- * 對於具主支流交匯靠近下游溢流點的集水區，如南投郡坑溪(DF185)及高市DF071(滴水野溪)等。除全流域之險峻值外，亦應考慮支流集水區之險峻值，即支流產生土石流之條50件。



建議

- * 集水區中游之山區道路會造成集水區流路改變及地表逕流集中，且在道路排水溝渠處的下邊坡容易造成沖刷，進而加速坡面上溪溝之發育。橫跨溪流之道路橋涵容易被土石堵塞，而形成新的溢流點(如高市DF018)，應以此計算道路橋涵以上之流域險峻值來評估此橋涵的土砂運移型態。
- * 集水區主流長度(L_m)與相應之流域險峻值關係可提供土砂運移型態由土石流轉化為高含砂水流，或洪水災害之影響河段範圍之評估。



簡報完畢 敬請指教

