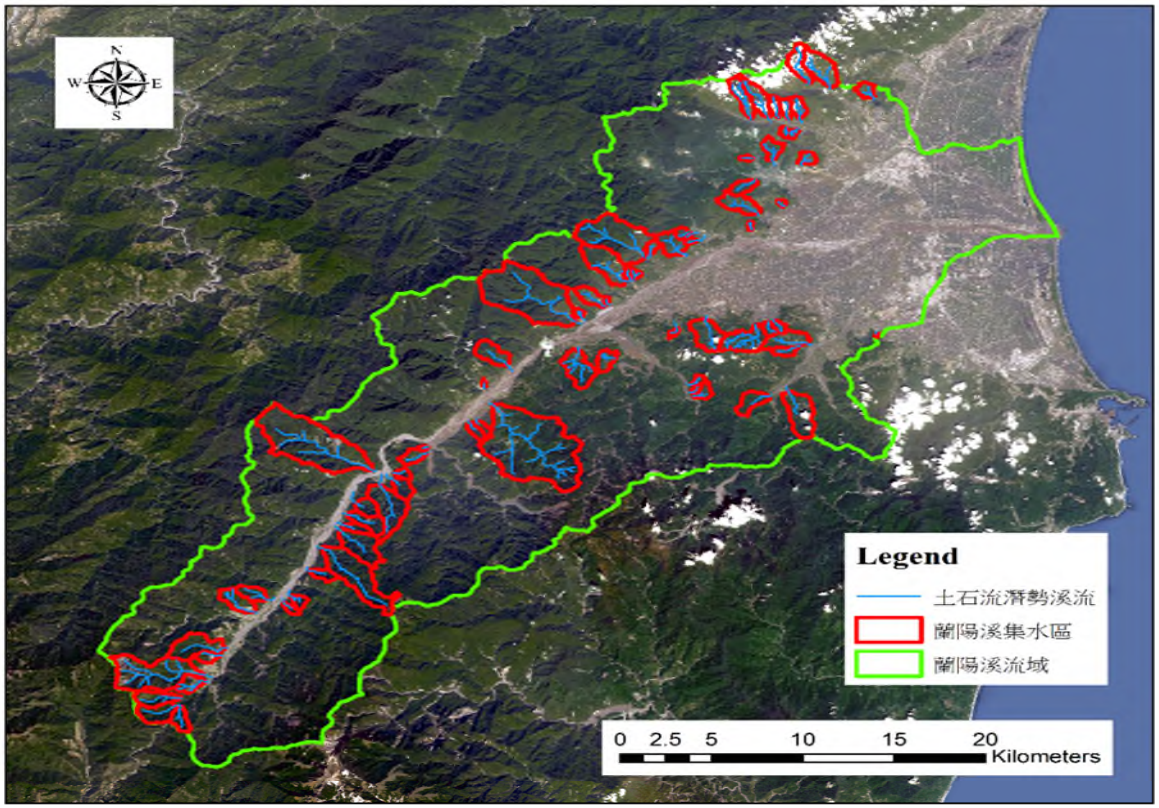
土石流潛勢溪流之集水區地文參數判釋及驗證- 以蘭陽溪流域為例



報告人 中央大學土木工程學系

周憲德 教授

2020/03/31

簡報綱要

一、緒論

二、溪流起點及及集水區地貌參數

三、各區地貌因子分析

四、主溝與沖積扇特性分析

五、現勘判釋及綜整分析

六、結論與建議



一、計畫背景與計畫目標

問題：

土砂災害發生區域及規模不易掌握，如何能預先判釋及區分山坡地可能發生崩塌、土石流及洪水災害之潛勢地區及其特性?

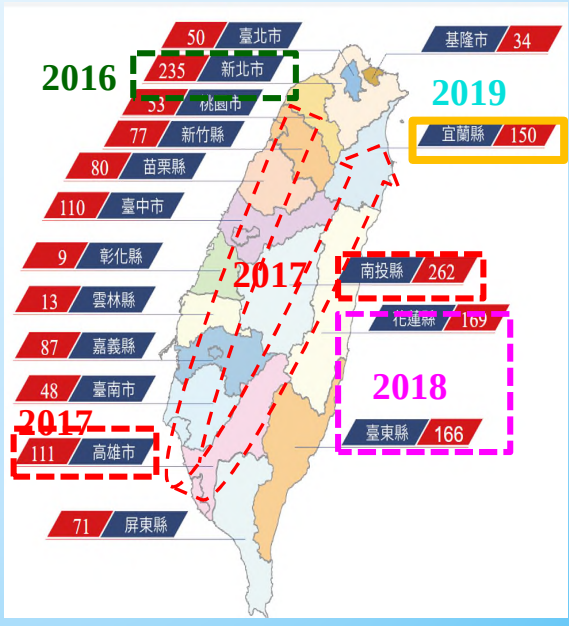
計畫目標:

精進坡地集水區發生土石流災害之地文因子綜整判定方法，承續前三年在平廣溪(2016)、陳有蘭溪及旗山溪(2017)，花蓮溪及卑南溪 (2018) 等流域之研究，今年(2019)針對蘭陽溪流域之土砂災害案例進行驗證。精進判定土石流潛勢溪流及其影響範圍的評估方式以提升坡地防災作為之成效

計畫內容:

整合高精度數值地形，萃取誘發崩塌及土石流的重要地文參數，與歷史災害、地形判釋及山崩目錄套疊，了解土石流潛勢溪流集水區內過去土砂災害(崩塌、土石流及洪水災害)發生之料源、型態、溢流點、致災條件及影響區位及範圍等關係。

2019 /01　1725 條
2017　1705 條



http://246/7wcb.gov.tw/debrisInfo/DebrisStatistics.aspx

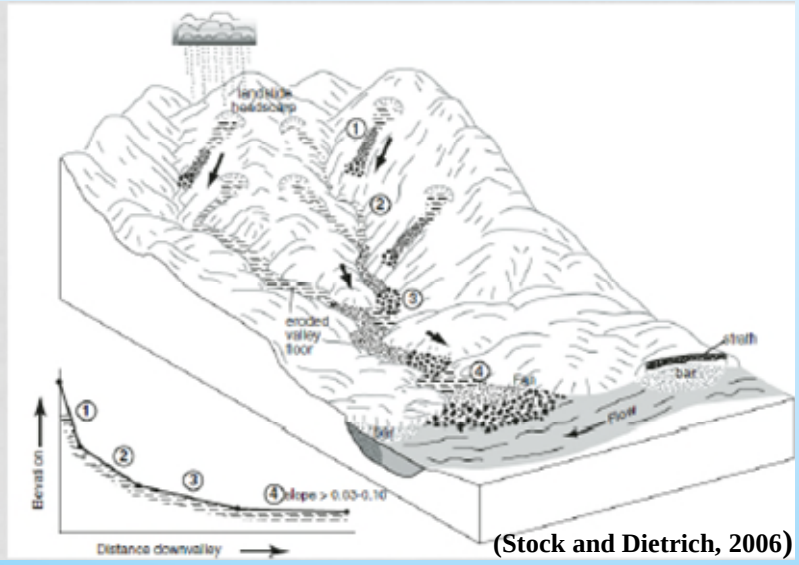
一、緒論

現行土石流潛勢溪流之集水區判定條件

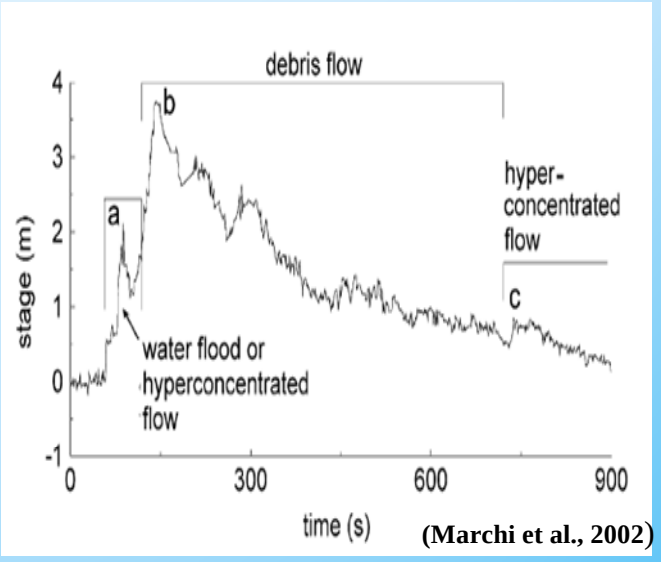
(成大 2012; 中興社2015)

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)		(住戶(>3),公共設施)
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





(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 km^2)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



土石流(基質支撐)

* 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。

  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)，顆粒堆積成基質支撐，且堆積前沿常見大顆粒排列形成的陡坡。



洪水

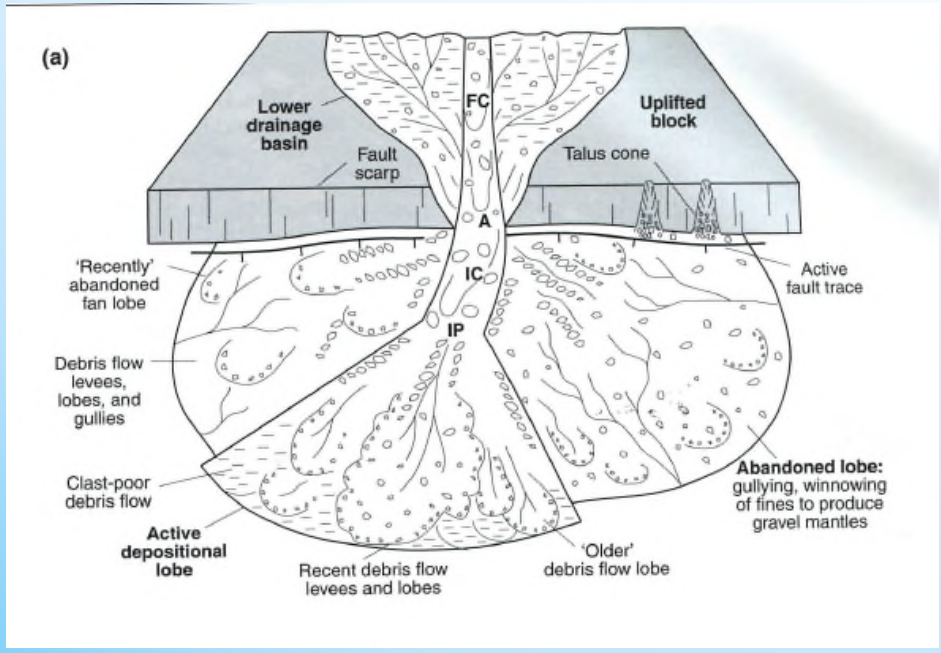


高含砂水流

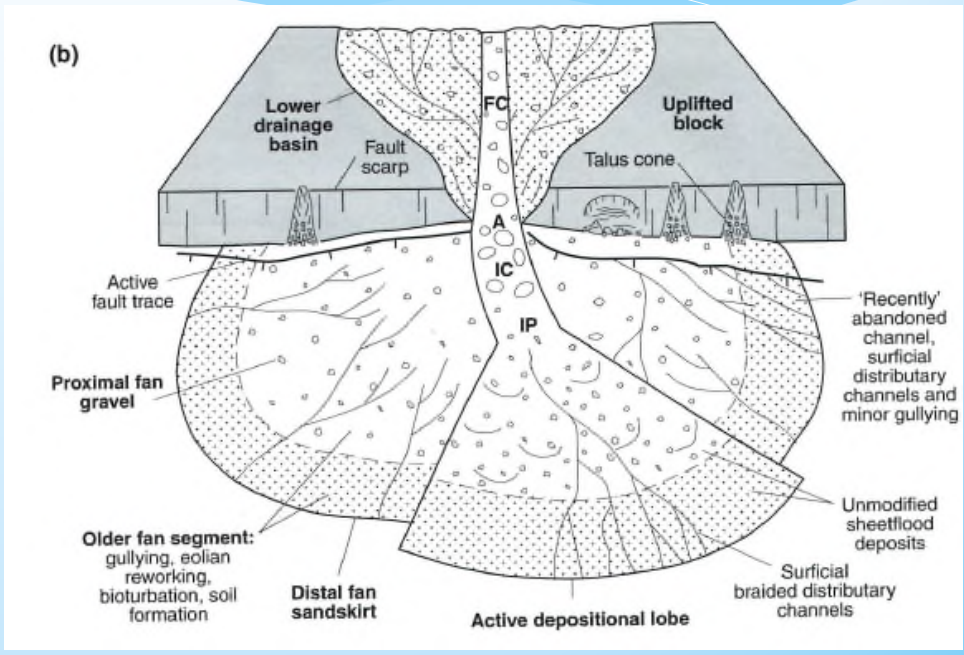


土石流(側積堤)

土石流沖積扇與洪水沖積扇之比較



土石流沖積扇

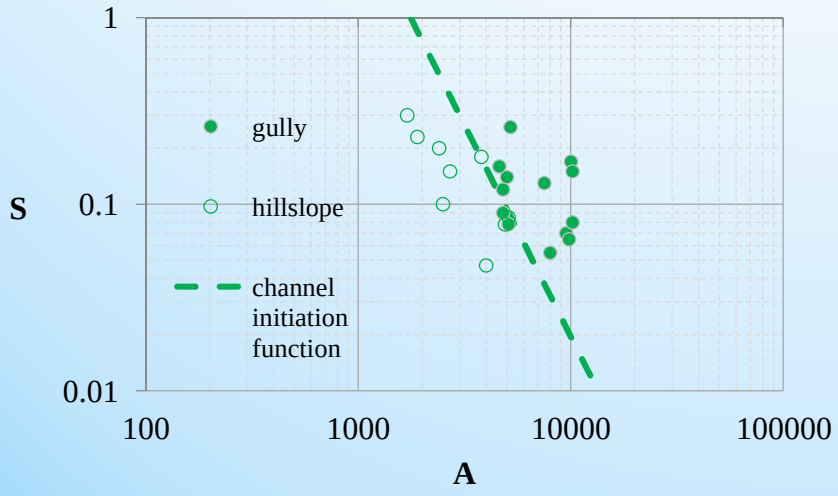


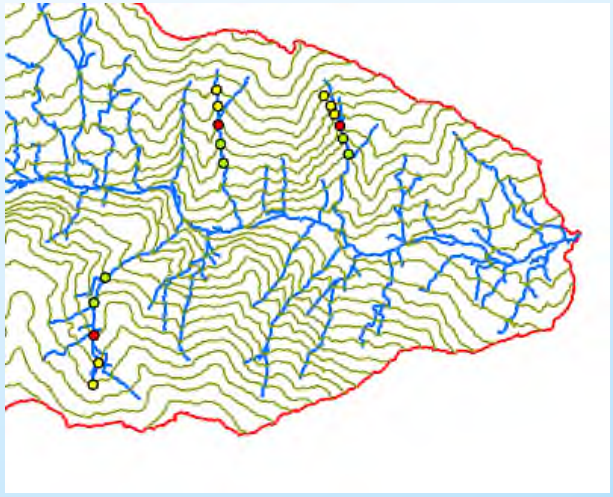
洪水沖積扇

(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。

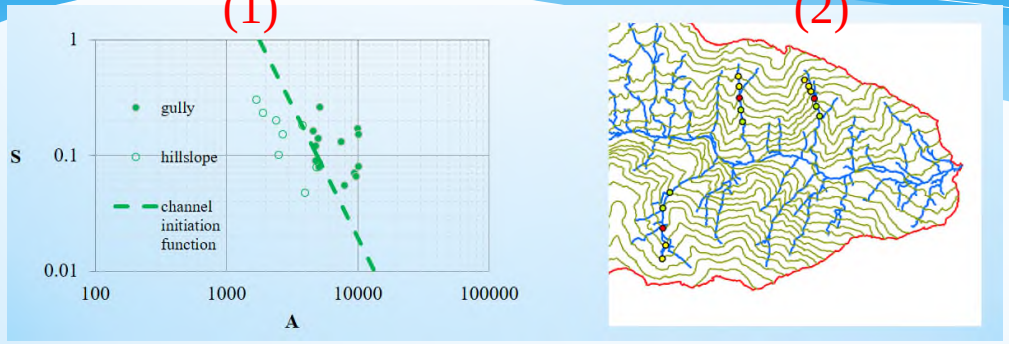




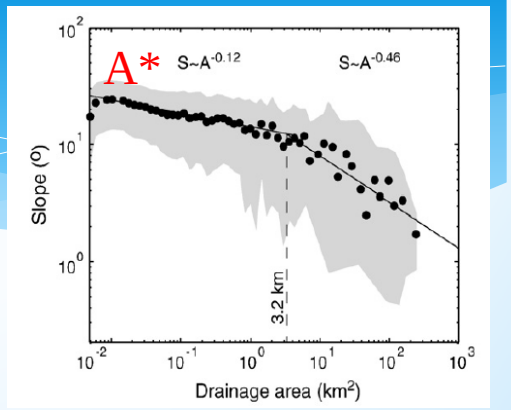
* 等高線計曲線(25m等高線)連續三條以上，其轉折點兩側等高線之夾角小於九十度，且構成區域之自然排水系統者，視為溪溝 (水土保持技術規範，2013)

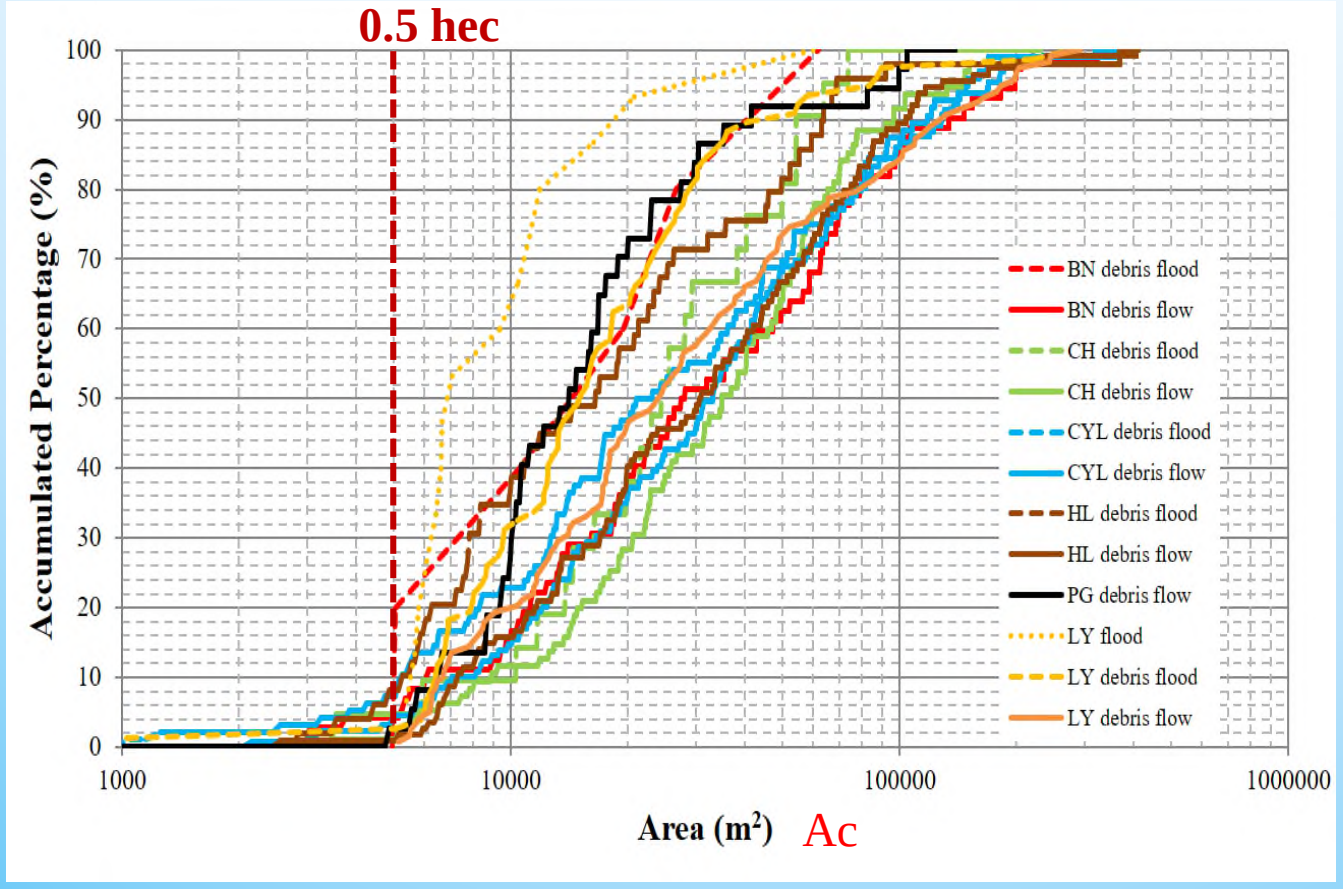
各流域溪流線起點面積(Ac)門檻比例

(1)



(2)

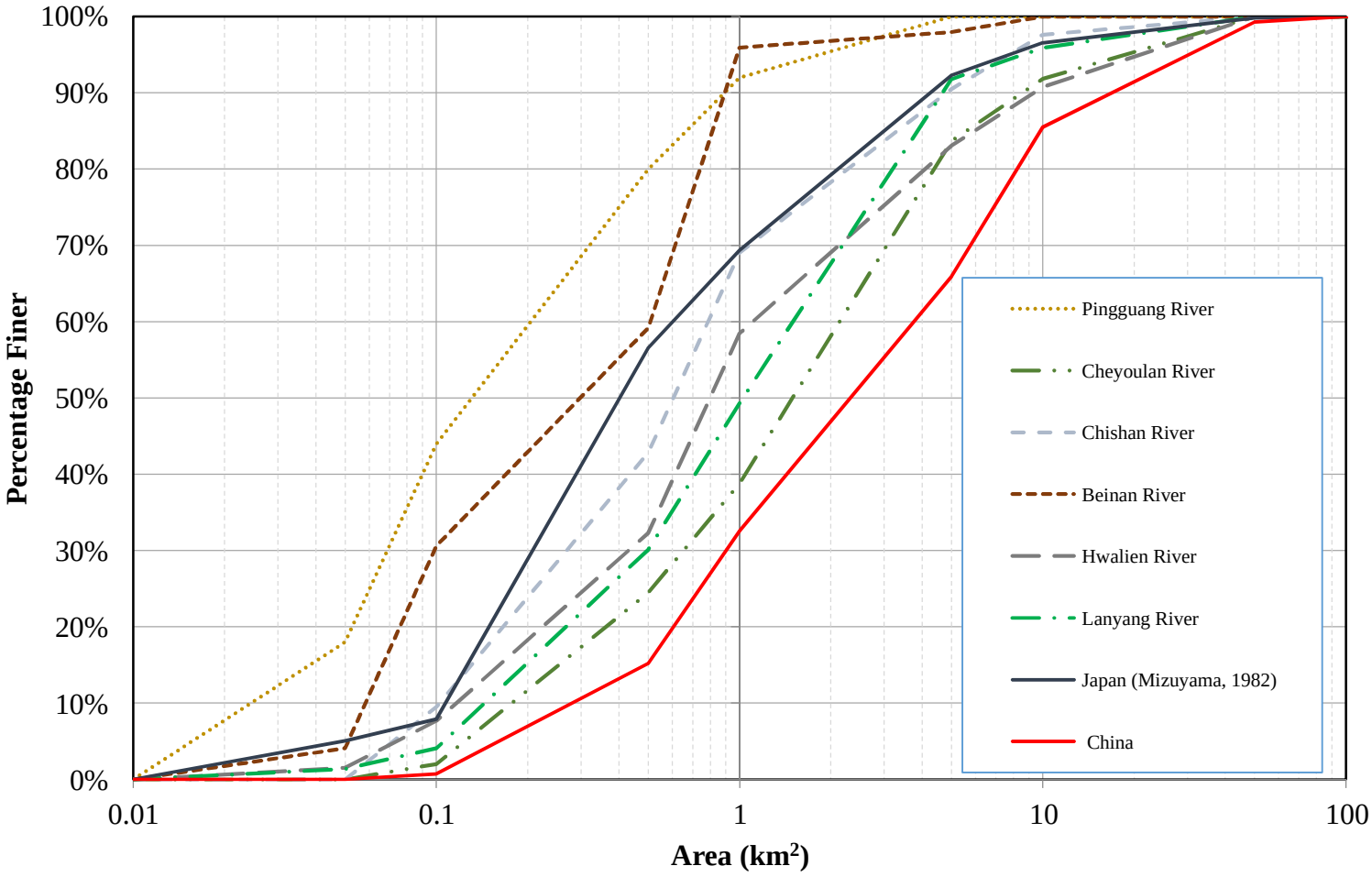




土石流溪溝平均起始集水面積大小排列為:

旗山溪 (3.3 公頃)
> 陳有蘭溪 (3.2 公頃)
> 花蓮溪 (3.0 公頃)
> 卑南溪 (2.7 公頃)
> 蘭陽溪 (2.3 公頃)
> 平廣溪 (1.5 公頃)

台灣各區域土石流集水區面積分布比較



流域地文參數-集水區險峻值

集水區險峻值(Melton Ratio, MR)之定義

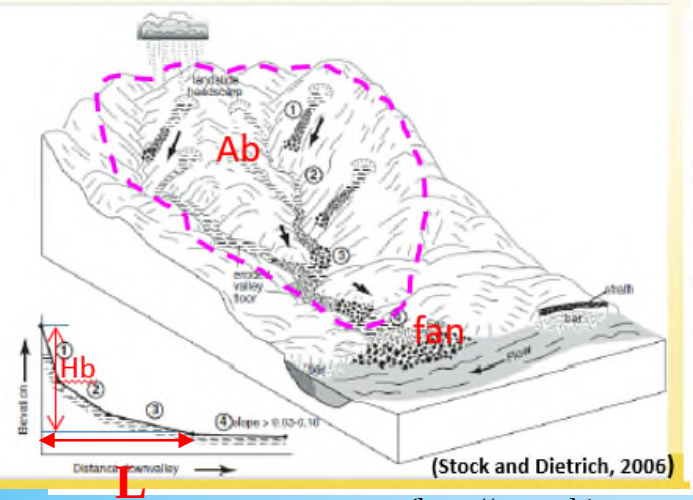
- **Melton's ratio** (Melton, 1965)

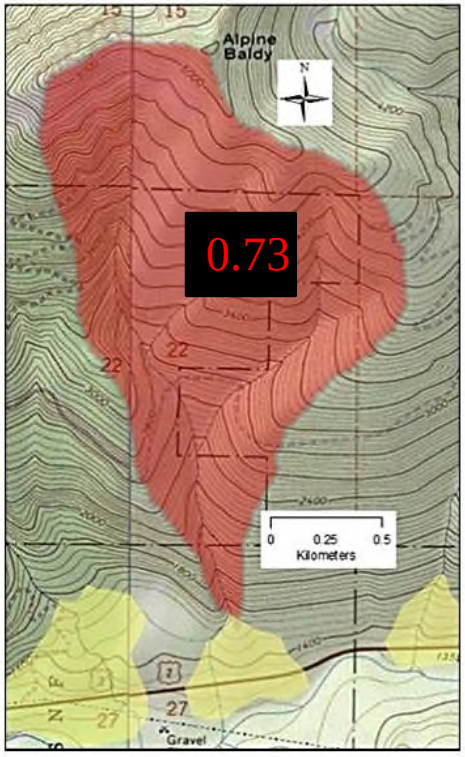
Melton ratio = Relative Relief Ratio

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)

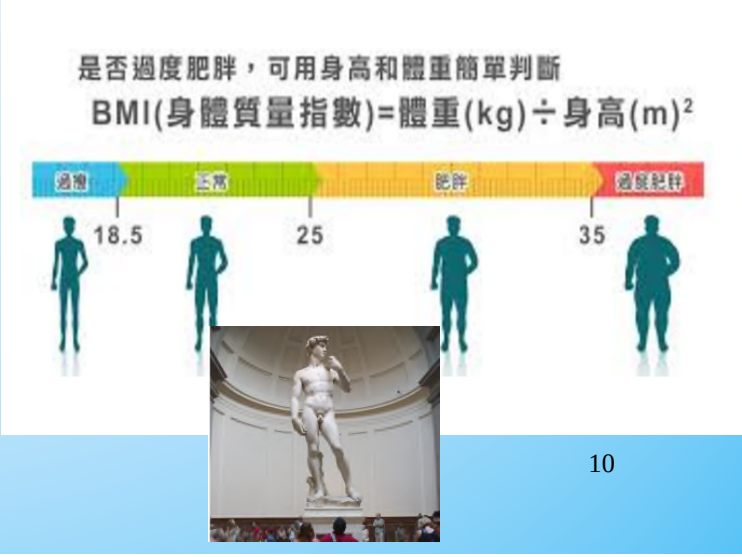
Example: Alpine Baldy, South Fork Skykomish

Top Elev.:	1,584 m
Bottom Elev.:	464 m
Area:	2,351,050 m^2
R	= (1584 – 464) * $(2,351,050)^{-0.5}$
	= 0.73

Basin Melton Index

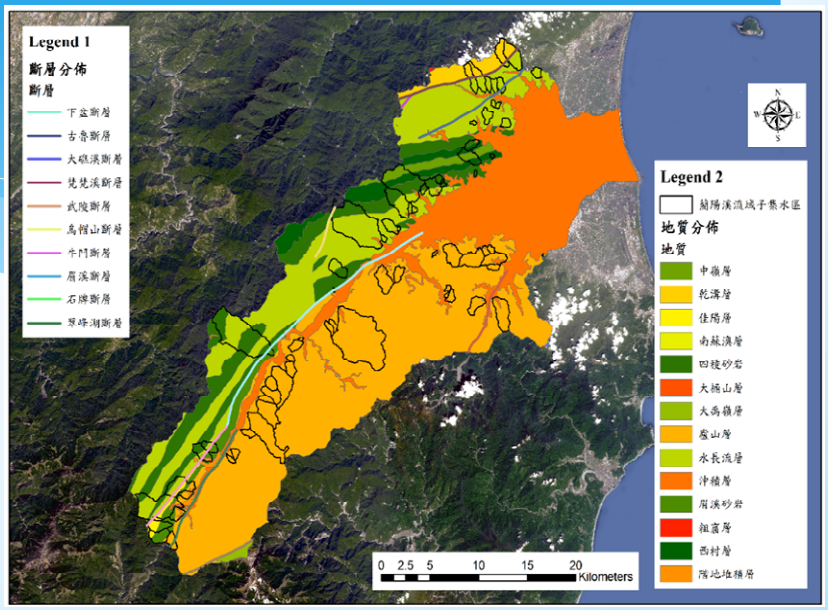
vs.

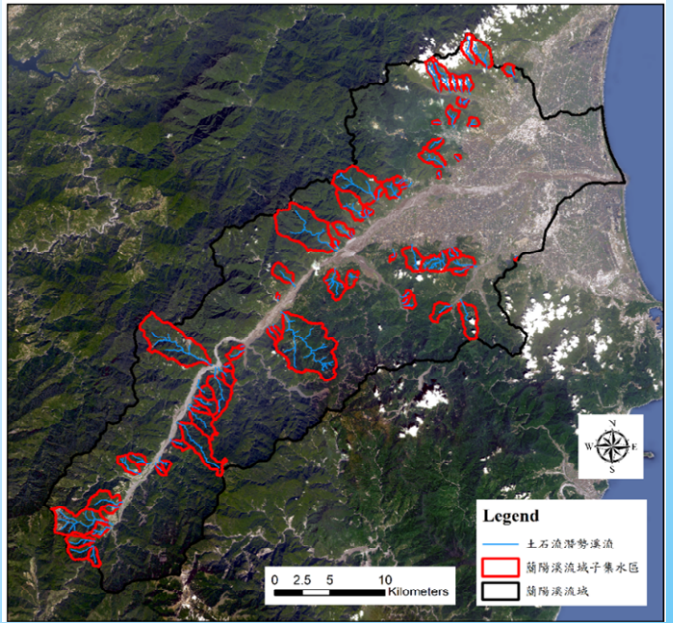
Body Mass Index



研究區域特性－蘭陽溪

* 主流全長73公里，流域面積1015平方公里，最高高程3536公尺。
* 以蘭陽溪谷為界，北側雪山山脈以變質程度較低的硬砂岩為主，南側中央山脈則為變質程度較高的各種變質岩分布區域。
* 蘭陽溪流域年平均降雨量為3,200毫米。
* 歷年颱風以2009年芭瑪颱風及莫拉克颱風、2012蘇拉颱風、2017卡努颱風對蘭陽溪流域帶來較嚴重土砂災害。
* 蘭陽溪流域內水保局劃定之土石流潛勢溪流共計73條。





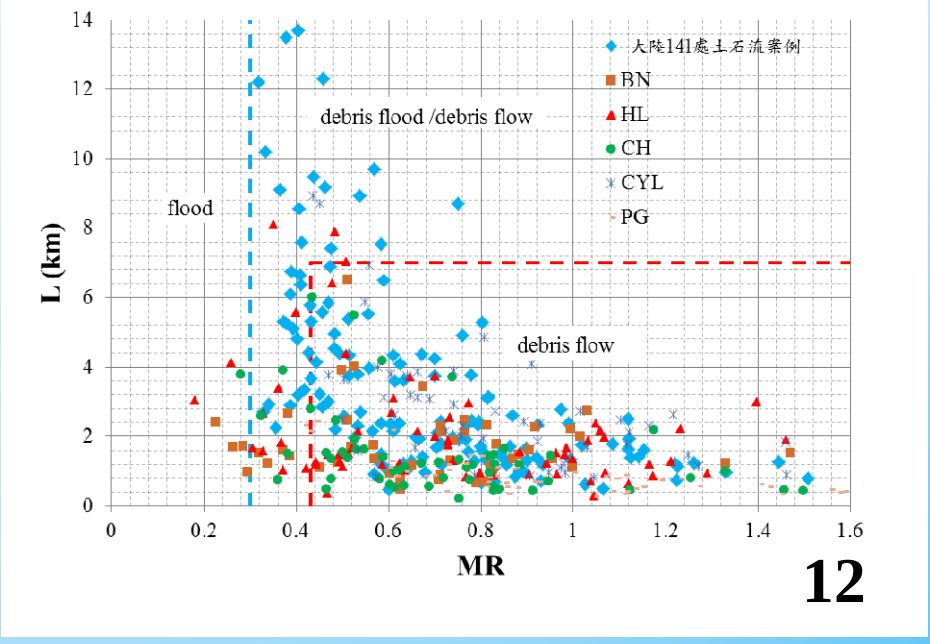
台灣土石流溪流地貌門檻值修正為

洪水: MR<0.3

高含砂水流與土石流並存: 0.3≤ MR ≤ 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

	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

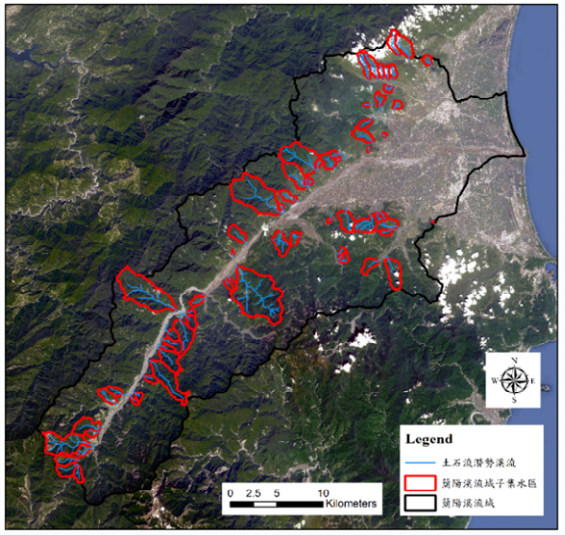


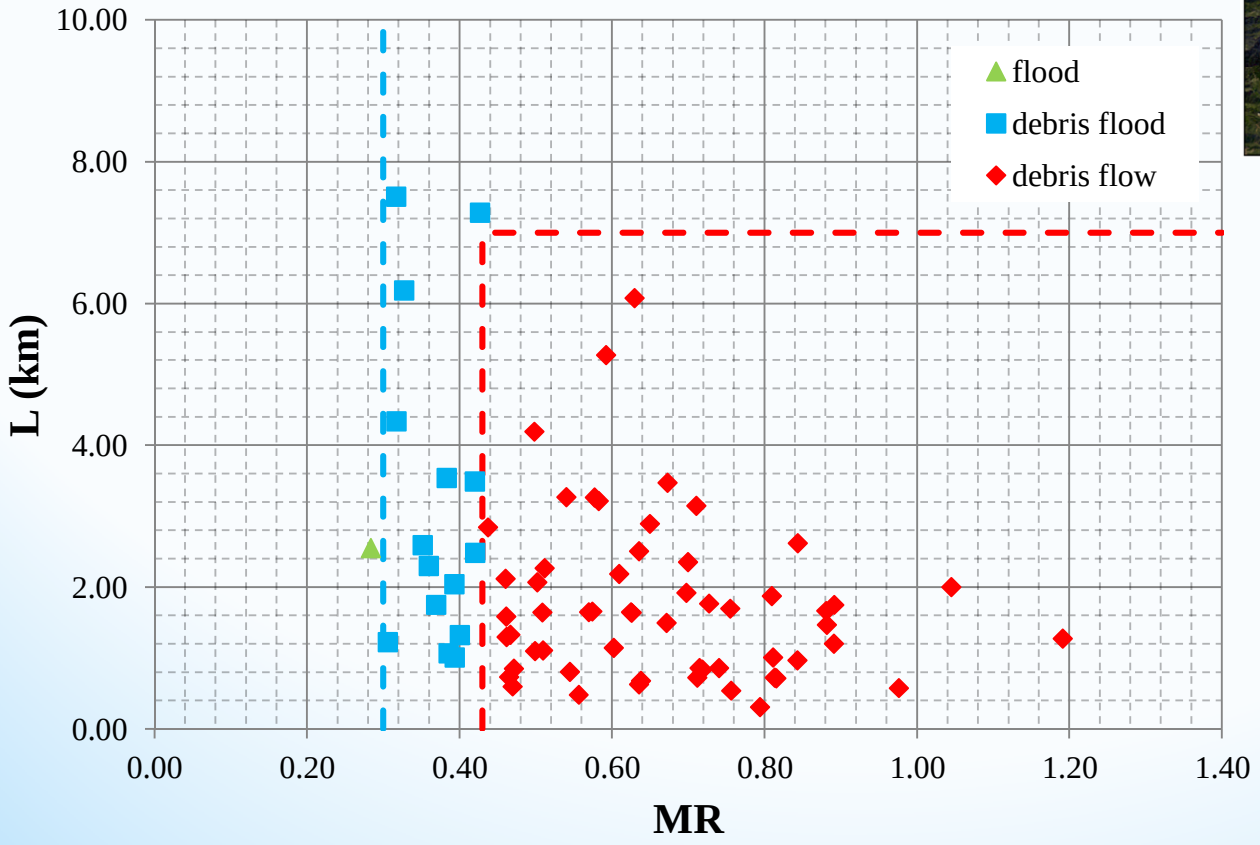
* 蘭陽溪流域

洪水: 1 個 (宜縣DF120)

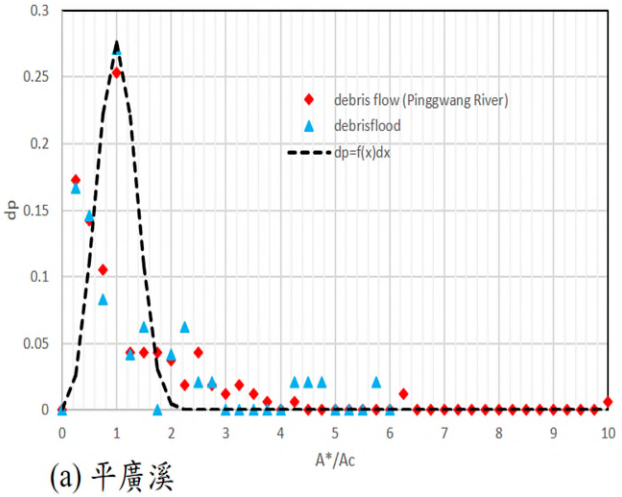
高含砂/土石流: 15 個

土石流: 57 個

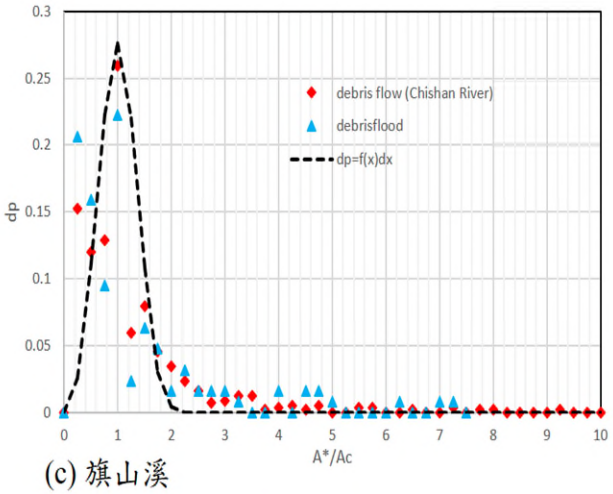




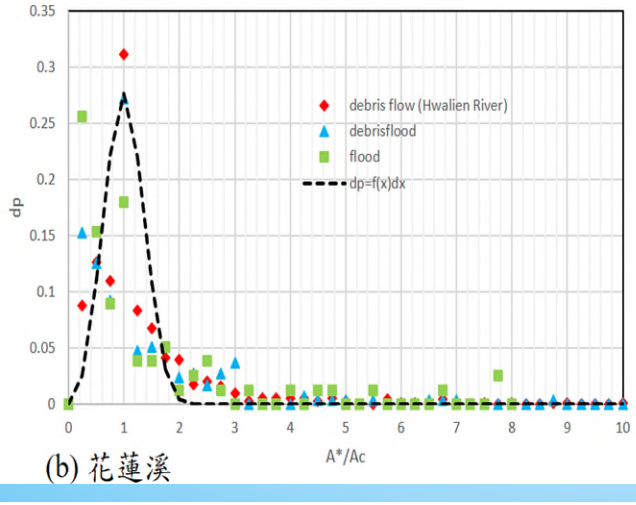
台灣各流域坡度最陡點與溪溝起點無因次化匯流面積比(A*/Ac)



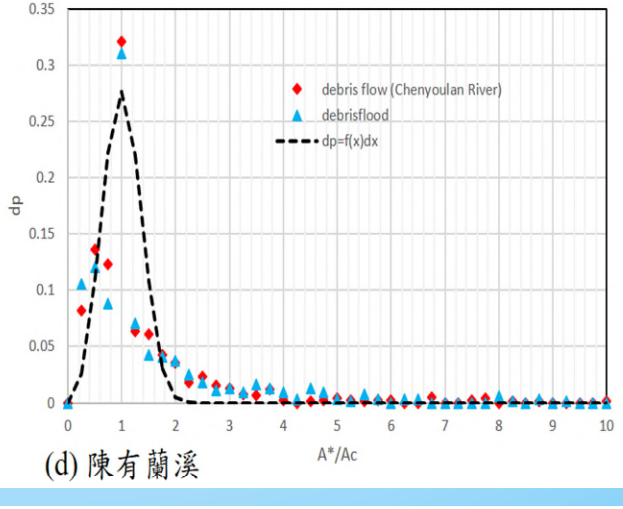
(a) 平廣溪



(c) 旗山溪



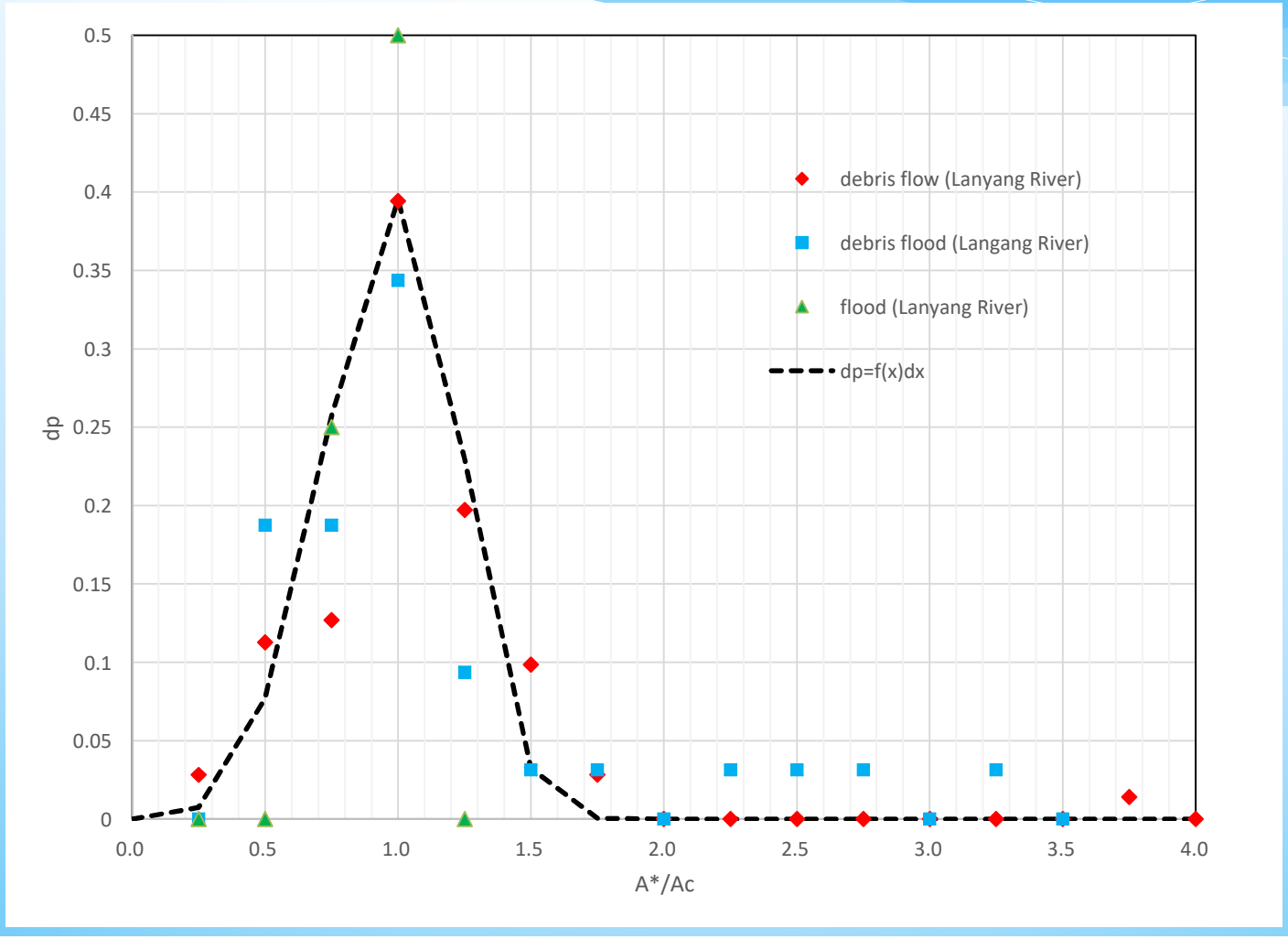
(b) 花蓮溪



(d) 陳有蘭溪

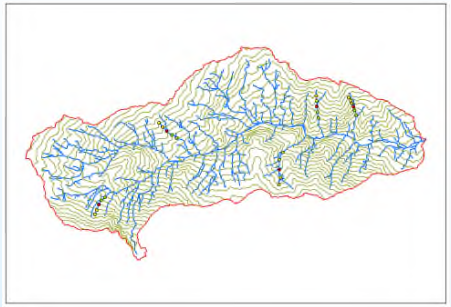
xp =1.0,
m = 3.2

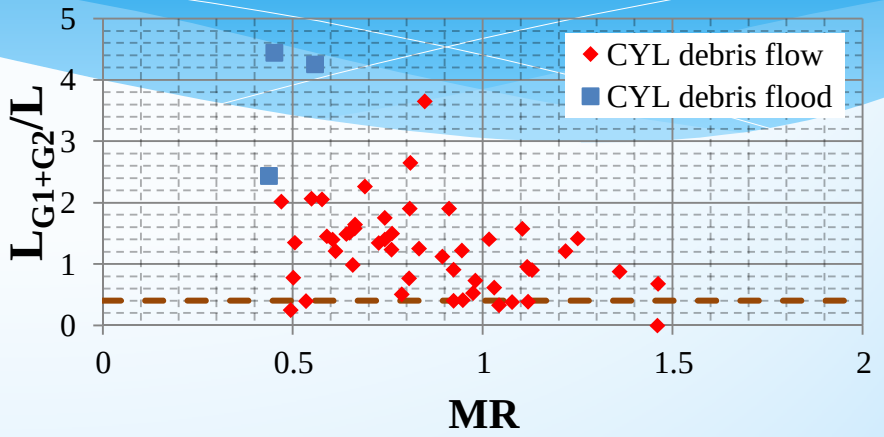
蘭陽溪流域坡度最陡點與溪溝起點無因次化匯流面積分佈

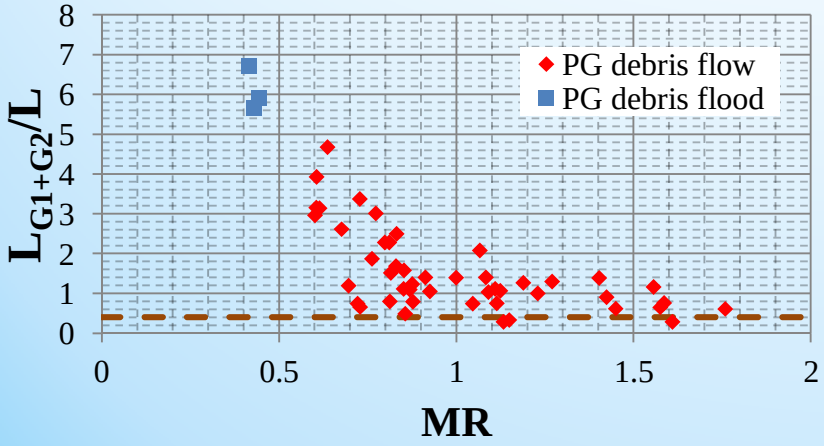


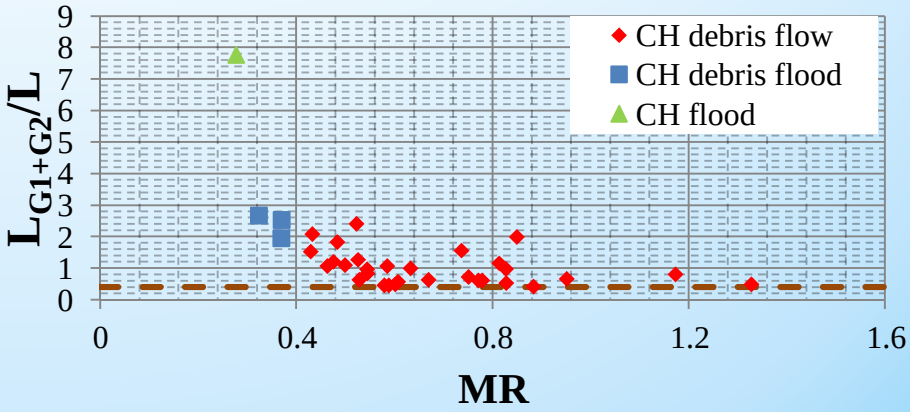
xp =1.0,
m = 4.4

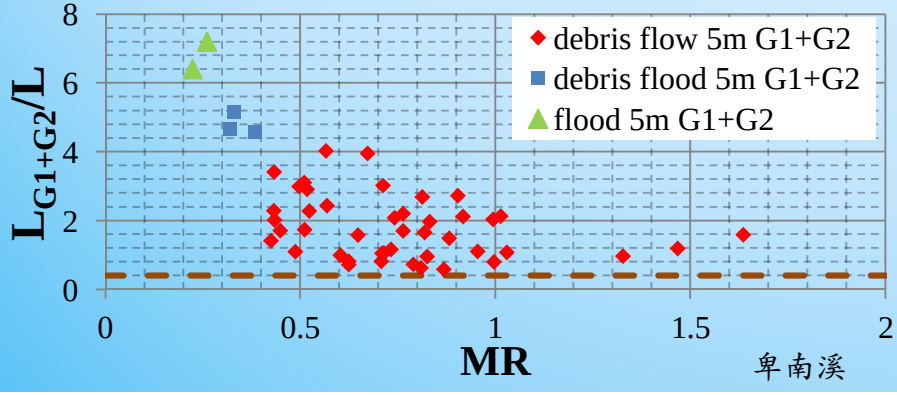
各流域溪溝特性分析

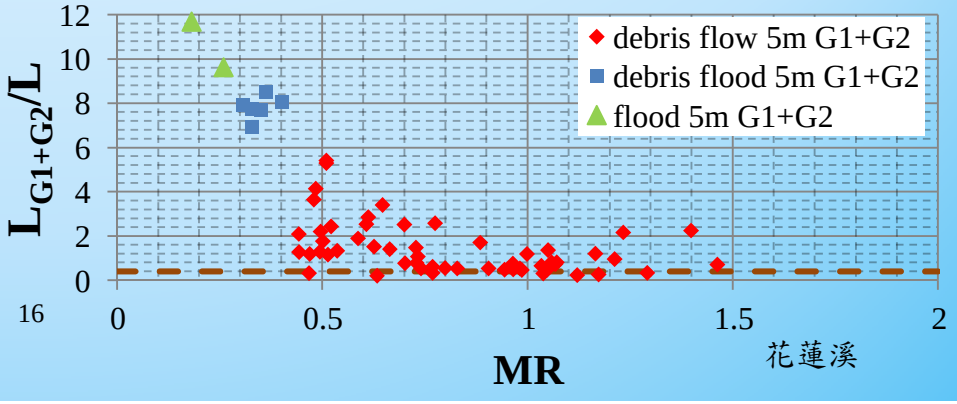



CYL debris flow
CYL debris flood
L_{G1+G2}/L
MR

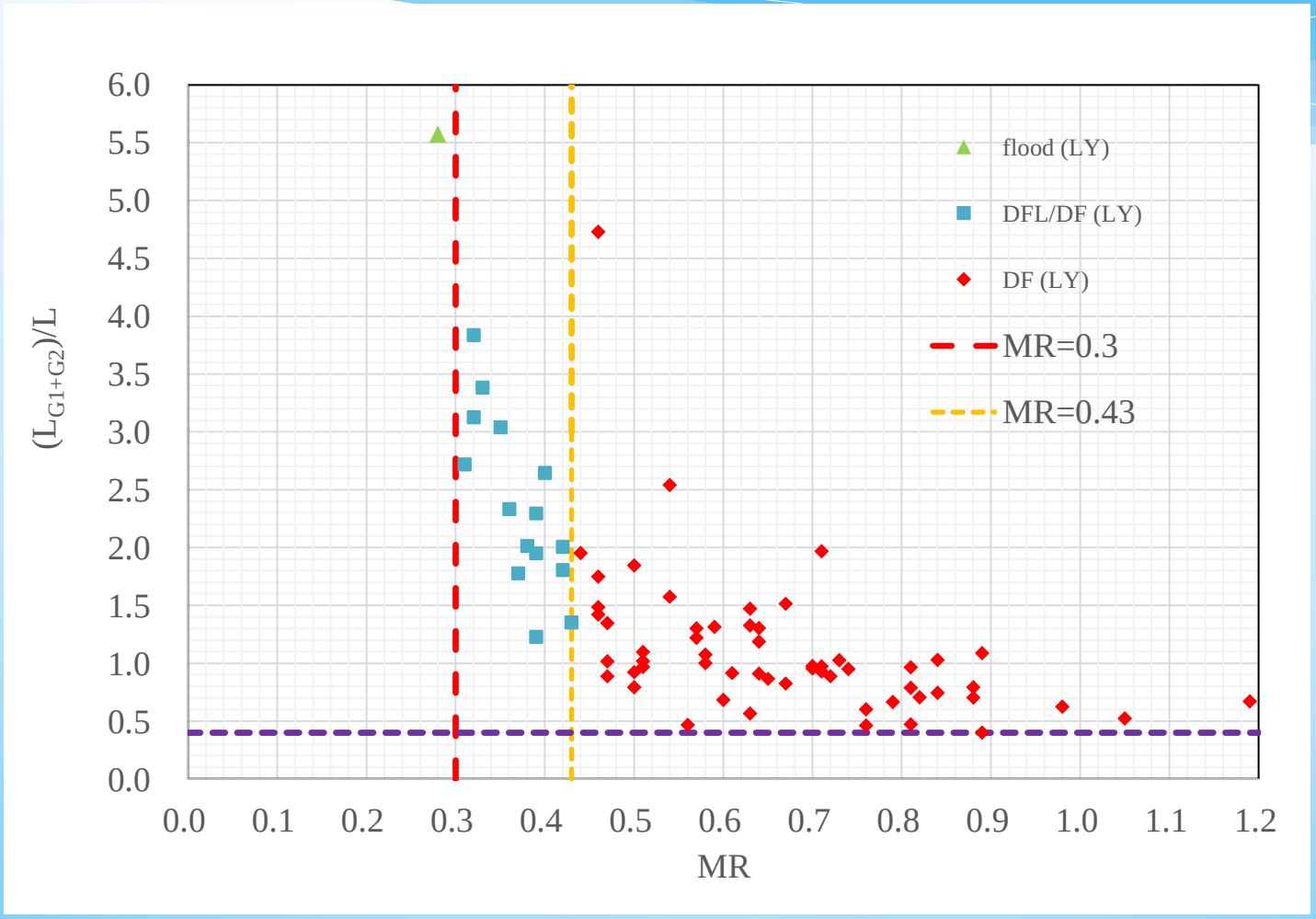

PG debris flow
PG debris flood
L_{G1+G2}/L
MR


CH debris flow
CH debris flood
CH flood
L_{G1+G2}/L
MR


debris flow 5m G1+G2
debris flood 5m G1+G2
flood 5m G1+G2
L_{G1+G2}/L
MR
卑南溪


debris flow 5m G1+G2
debris flood 5m G1+G2
flood 5m G1+G2
L_{G1+G2}/L
MR
花蓮溪

蘭陽溪一級和二級河川比與集水區險峻值關係



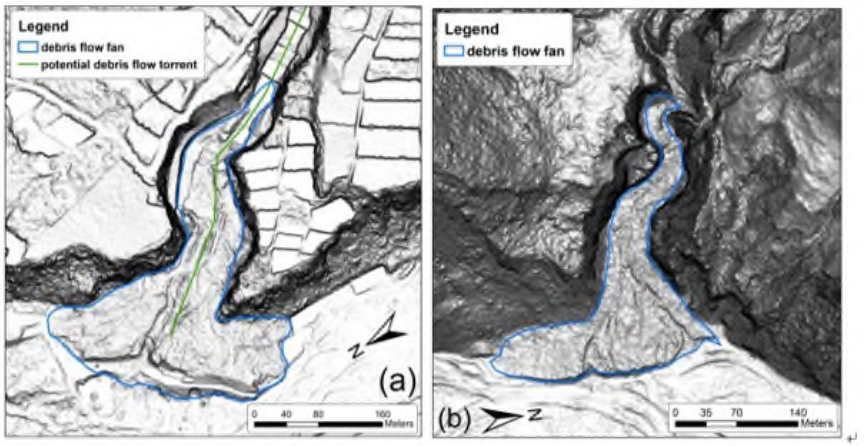
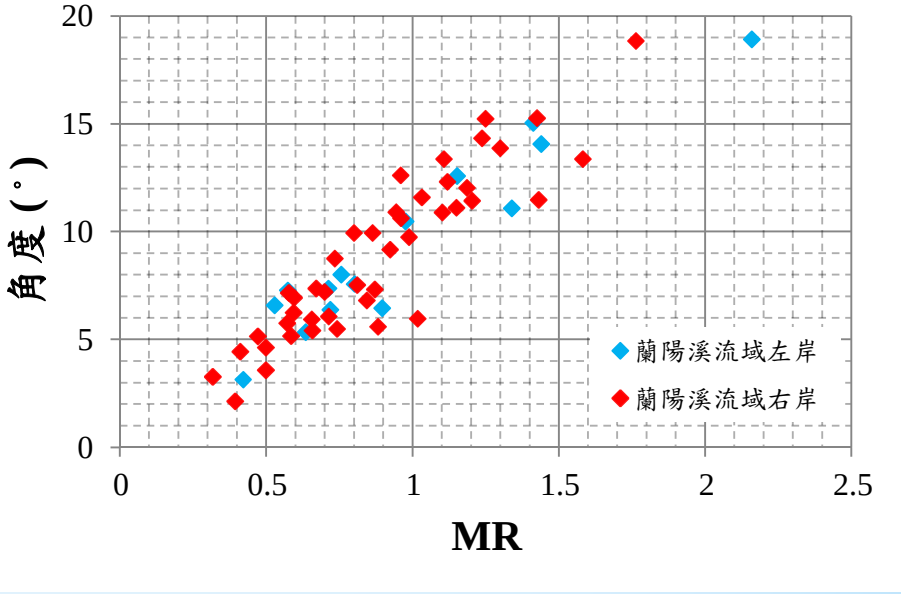
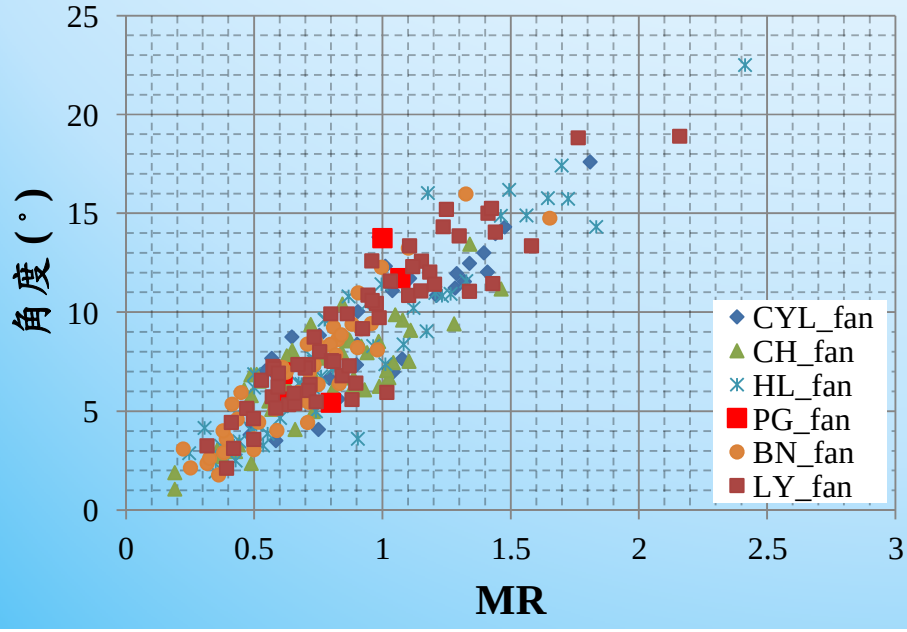
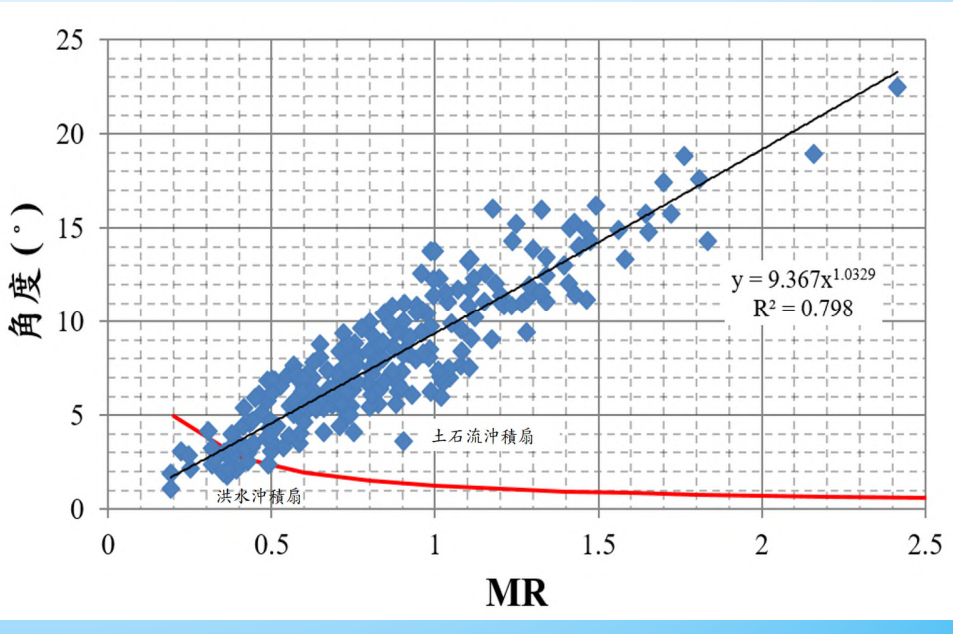


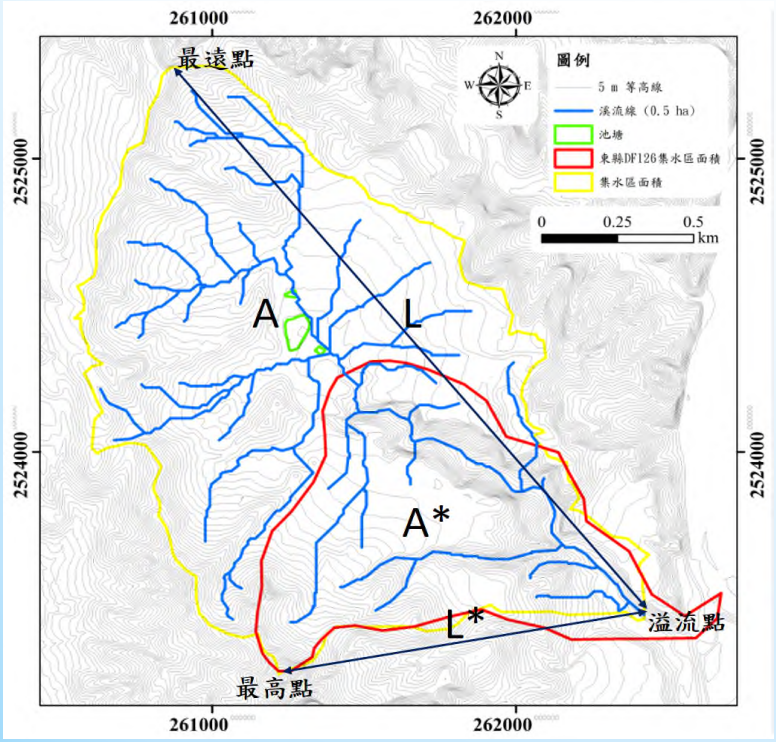
圖 4- 52 土石流堆積扇圈繪：(a)陳有蘭溪集水區；(b)旗山溪集水區



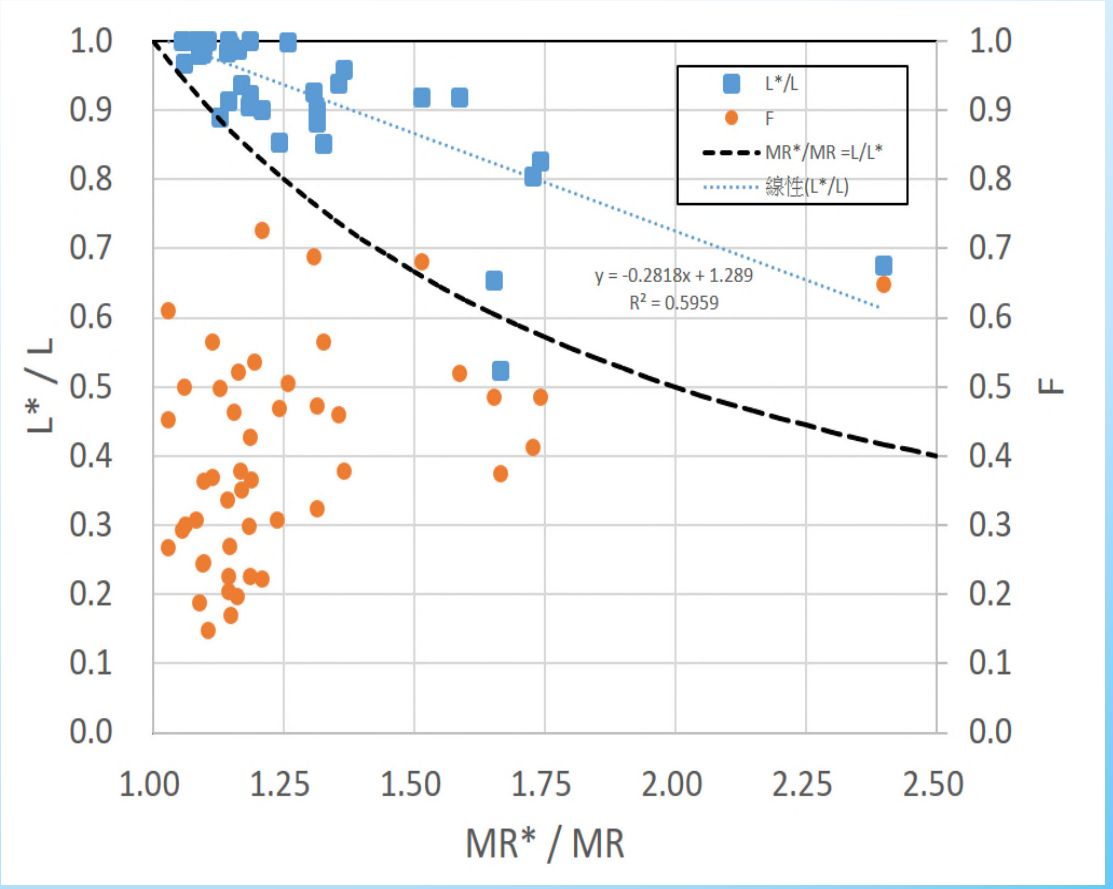




最高點偏離最遠點對應之集水區險峻值修正



東縣卑南鄉賓朗村DF126流域集水區範圍比較



蘭陽溪現勘

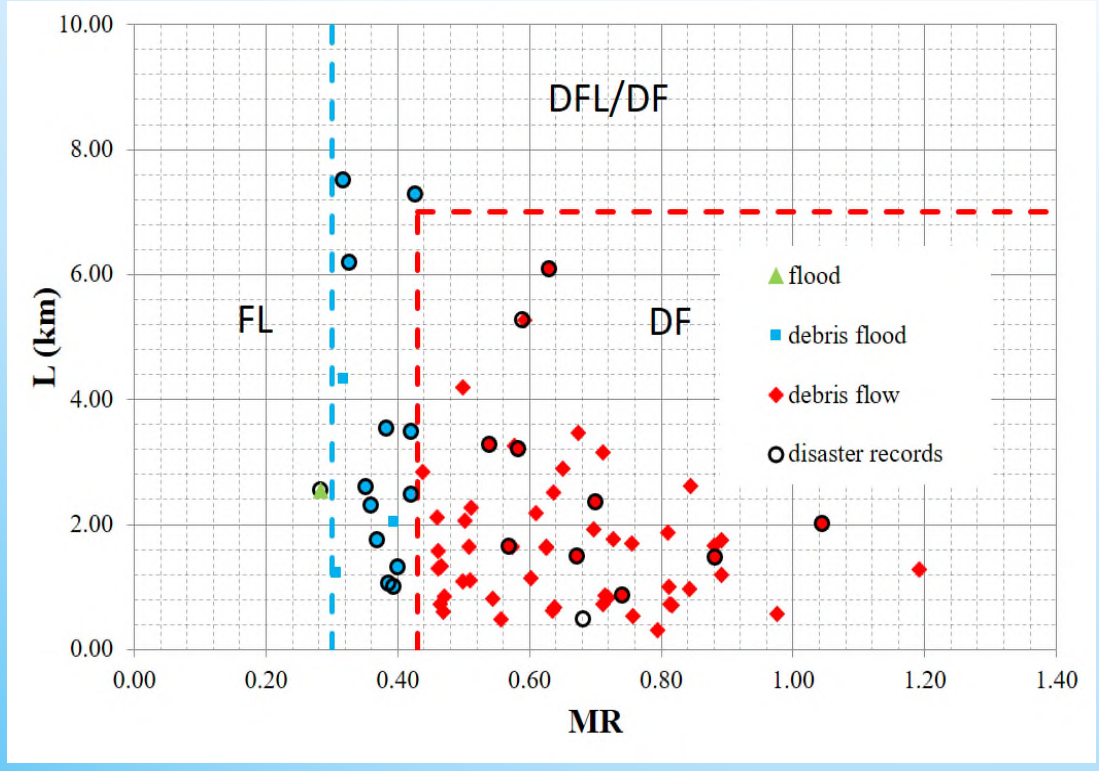


表 5-2 蘭陽溪現勘土石流集水區地貌參數資料

土石流潛勢溪流編號宜縣	集水區長度 (km)	集水區面積 (km^2)	MR	土砂類型	鄉鎮	土石流村里	現勘判釋/日期
DF060	7.5	22.0	0.32	DFL/FL	大同鄉	樂水村	DF/A
DF080	5.27	8.37	0.59	DF	大同鄉	南山村	DF/A
DF085	3.49	3.87	0.42	DFL/DF	大同鄉	寒溪村	DF/B
DF090	1.32	1.16	0.40	DFL/DF	大同鄉	復興村	DF/B/C
DF119	1.30	0.64	0.46	DF	冬山鄉	大進村	DF/B
DF120	2.55	3.11	0.28	FL	冬山鄉	大進村	FL(DFL)/B
DF144	2.35	1.87	0.70	DF	大同鄉	茂安村	DF/A
DF038	1.75	1.13	0.37	DFL/DF	員山鄉	湖西村	DF/C
DF041	2.48	2.21	0.42	DFL/DF	員山鄉	內城村	DF/C
DF050	1.06	0.69	0.39	DFL/DF	員山鄉	湖東村	DF/C
DF053	3.54	4.12	0.38	DFL/DF	大同鄉	崙埤村	DF/C
DF057	6.18	14.73	0.33	DFL/DF	大同鄉	松羅村	DF/C
DF066	7.28	15.24	0.43	DFL/DF	大同鄉	茂安村	DF/D
DF131	1.01	0.46	0.39	DFL/DF	三星鄉	拱照村	DF/C
DF133	2.59	3.23	0.35	DFL/DF	三星鄉	拱照村	DF/C
DF134	2.30	2.87	0.36	DFL/DF	三星鄉	集慶村	DF/C
DF030	3.27	3.15	0.54	DF	礁溪鄉	龜崙村	DF/C
DF061	1.47	0.57	0.88	DF	大同鄉	樂水村	DF/A
DF069	1.49	1.25	0.67	DF	大同鄉	茂安村	DF/D
DF070	2.00	0.80	1.05	DF	大同鄉	茂安村	DF/D
DF072	6.08	7.20	0.63	DF	大同鄉	四季村	DF/D
DF078	3.21	3.58	0.58	DF	大同鄉	南山村	DF/D
DF081	1.64	1.24	0.57	DF	大同鄉	南山村	DF/D
DF135	0.86	0.19	0.74	DF	三星鄉	天山村	DF/D

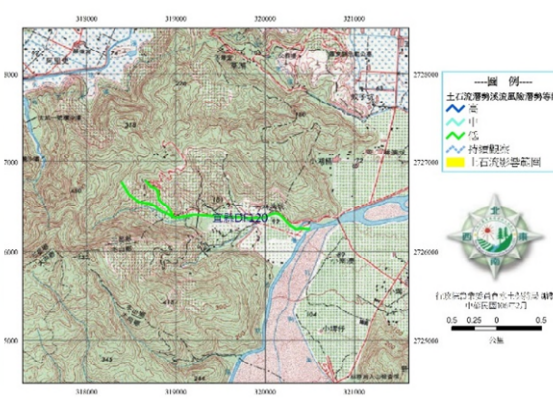
備註：FL：洪水，DFL：高含砂水流，DF：土石流，

現勘日期：A: 2019/06/11, B: 2019/06/12, C: 2019/10/22, D: 2019/10/23.

宜縣DF120

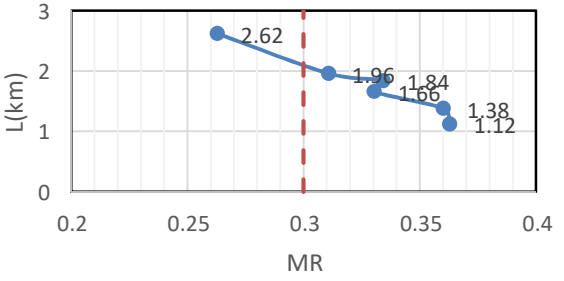


圖 2.6　宜蘭 A085 土石流潛勢溪流整治現況



冬山鄉大進村
DF120(原A085)





DF120 現勘 (FL)





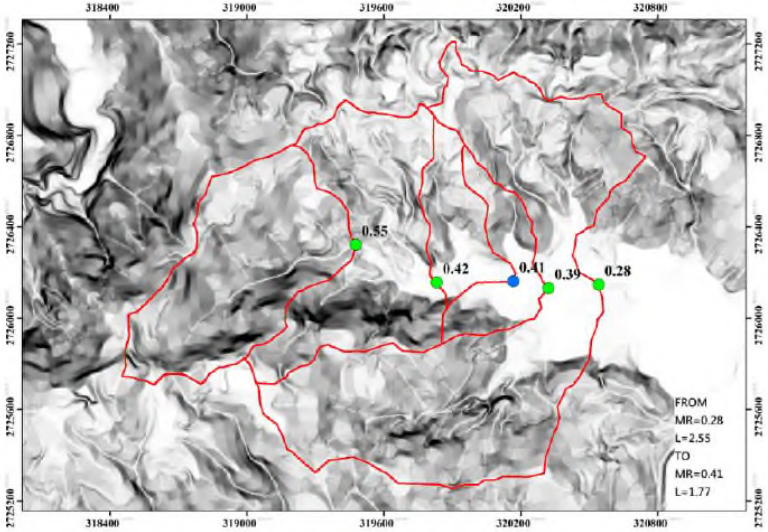


圖 5-14 宜縣 DF120 主溝 MR 沿程變化

宜縣DF135土石流潛勢溪流現勘 (DF)
芭瑪颱風(2009/10/05, 18:00)



圖 5-24 DF135 之集水區鳥瞰圖(a)及土石流災情範圍(b)

(a)2019/10/23, (b) 2009/10/09



圖 5-19 DF135 上游崩塌(2009/10/06) (水保局網站)



圖 5-23 DF13 中游受災房舍(下湖 53 號) 現況 2019/10/23



(a) DF135 房舍淤積全景(2009/10/06) (b) 房舍淤積近照(2009/10/09)

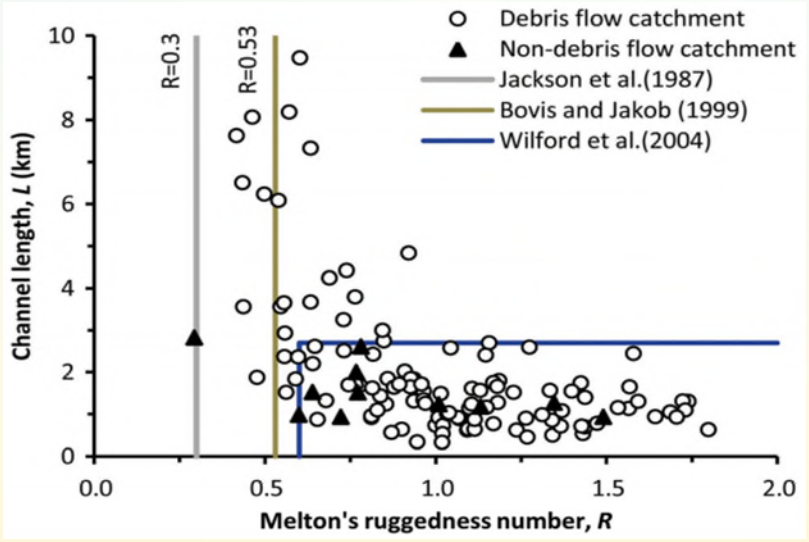
圖 5-21 DF135 下游房舍淤積受災情況(水保局網站)

宜縣DF135土石流潛勢溪流現勘 (DF)

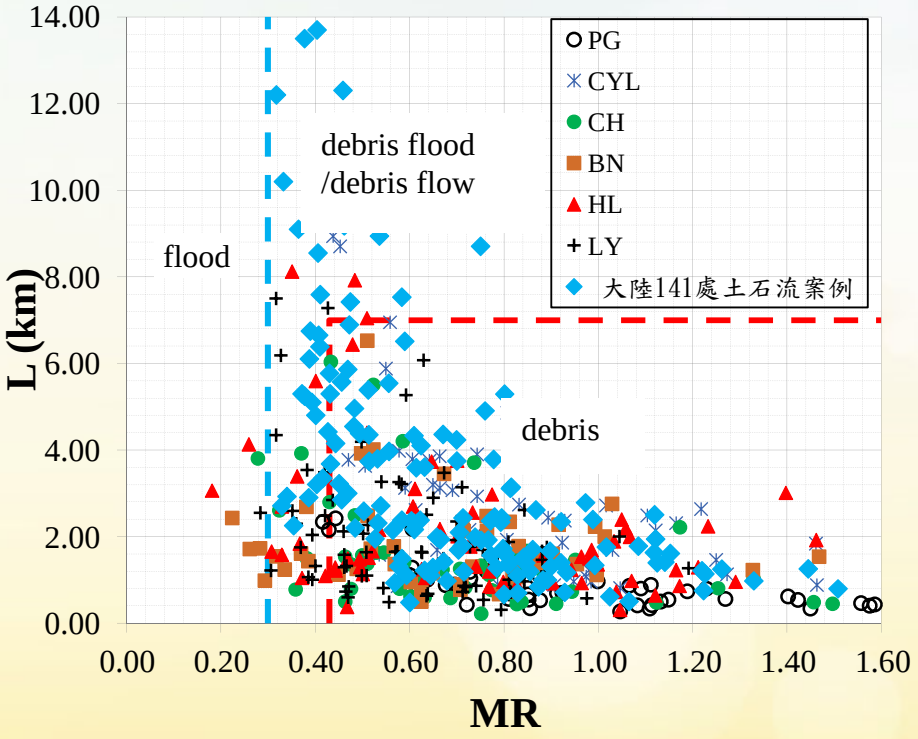


圖 5-25　DF135 源頭坡面正射地貌現況(2019/10/23)

以地文因子(集水區險峻值與集水區長度)判釋土砂運移類型



集水區險峻值與集水區長度關係圖(Zhou et al.,2016)



流域險峻值判釋台灣各流域之土石流潛勢溪流土砂運移類型

流域	土砂運移類型			土石流潛勢溪流總數
	洪水(FL)	高含砂(DFL) / 土石流(DF)	土石流(DF)	
平廣溪	0	3*(0**)	47*(50**)	50
陳有蘭溪	0	3	47	50
旗山溪	1	4	50	55
卑南溪	4(1+)	5	40	49
花蓮溪	2(1+)	10	54	66
蘭陽溪	1	15	57	73
合計	8(2+)	50*(47**)	245*(248**)	343

註: * ：依集水區險峻值(MR=0.50)為DFL 與DF 分界
** ：依集水區險峻值(MR=0.43)為DFL 與DF 分界
+ ：現勘溢流點及上游為洪水型態

在六個流域中歸類為洪水土砂運移型態的八條土石流潛勢溪流中，其溢流點處之土砂運移為洪水。其中二條(卑南溪東縣DF026，花蓮溪花縣DF124)之上游仍為洪水型態，另二條為支流發生土石流後匯入主流轉為洪水(卑南溪東縣DF070，旗山溪高縣DF071)，其他四條為主流上游發生土石流後在下游溢流點轉為洪水(卑南溪東縣DF068及DF126，花蓮溪花縣DF 130，蘭陽溪宜縣DF120)。故溢流點處之集水區險峻值MR < 0.3，仍應檢核其上游及支流之溢流點的地貌因子(MR)變化。

洪水型態集水區

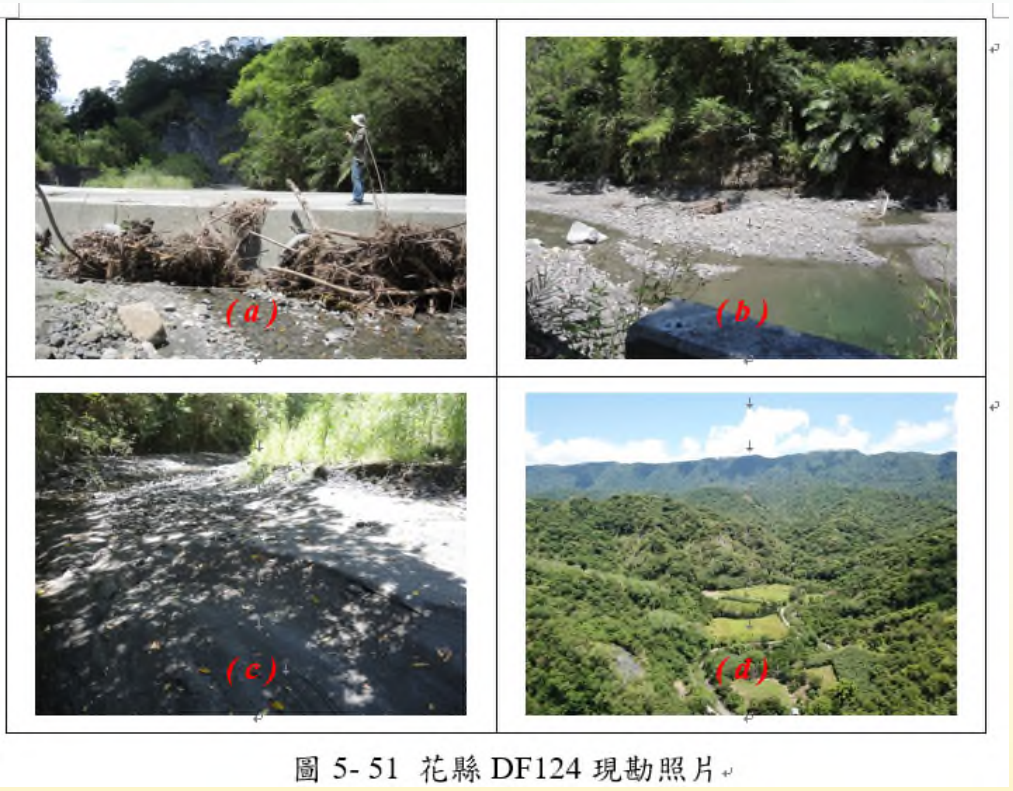
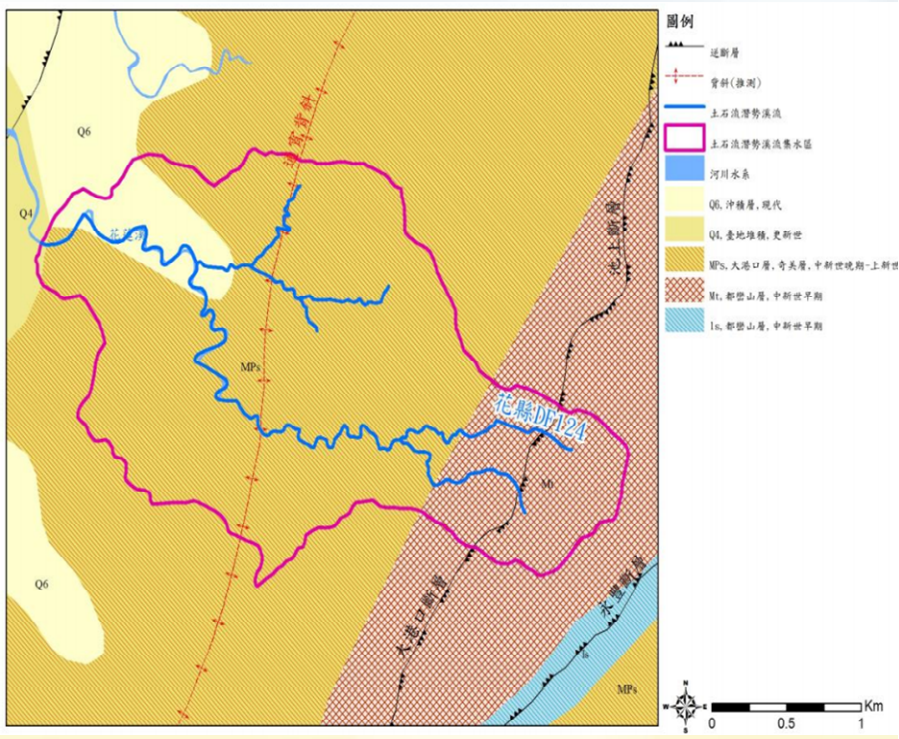


圖 5-51 花縣 DF124 現勘照片



花縣DF124集水區河道之型態多蜿蜒平緩、底床顆粒組成偏圓潤細料，顯示其運移型態為洪水沉積，應為洪水型態，而非土石流型態。

東縣 DF026現勘 (FL)











高市DF071土石流潛勢溪流現勘





4. 右支流攔沙壩

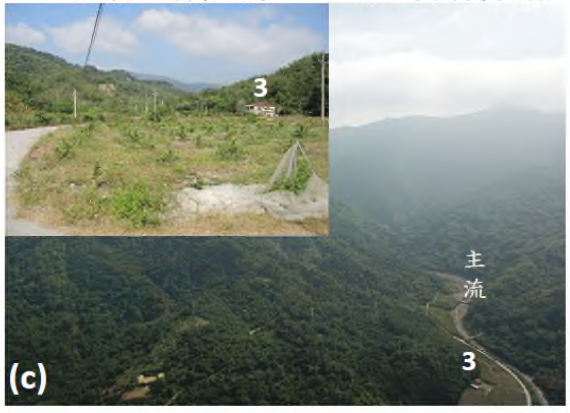


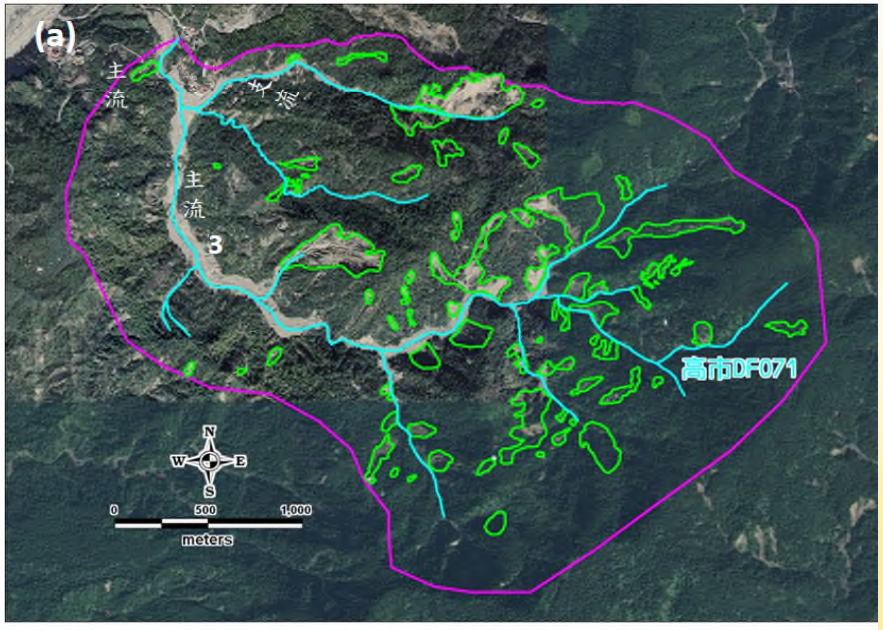


1. 滴水坎橋(主流)

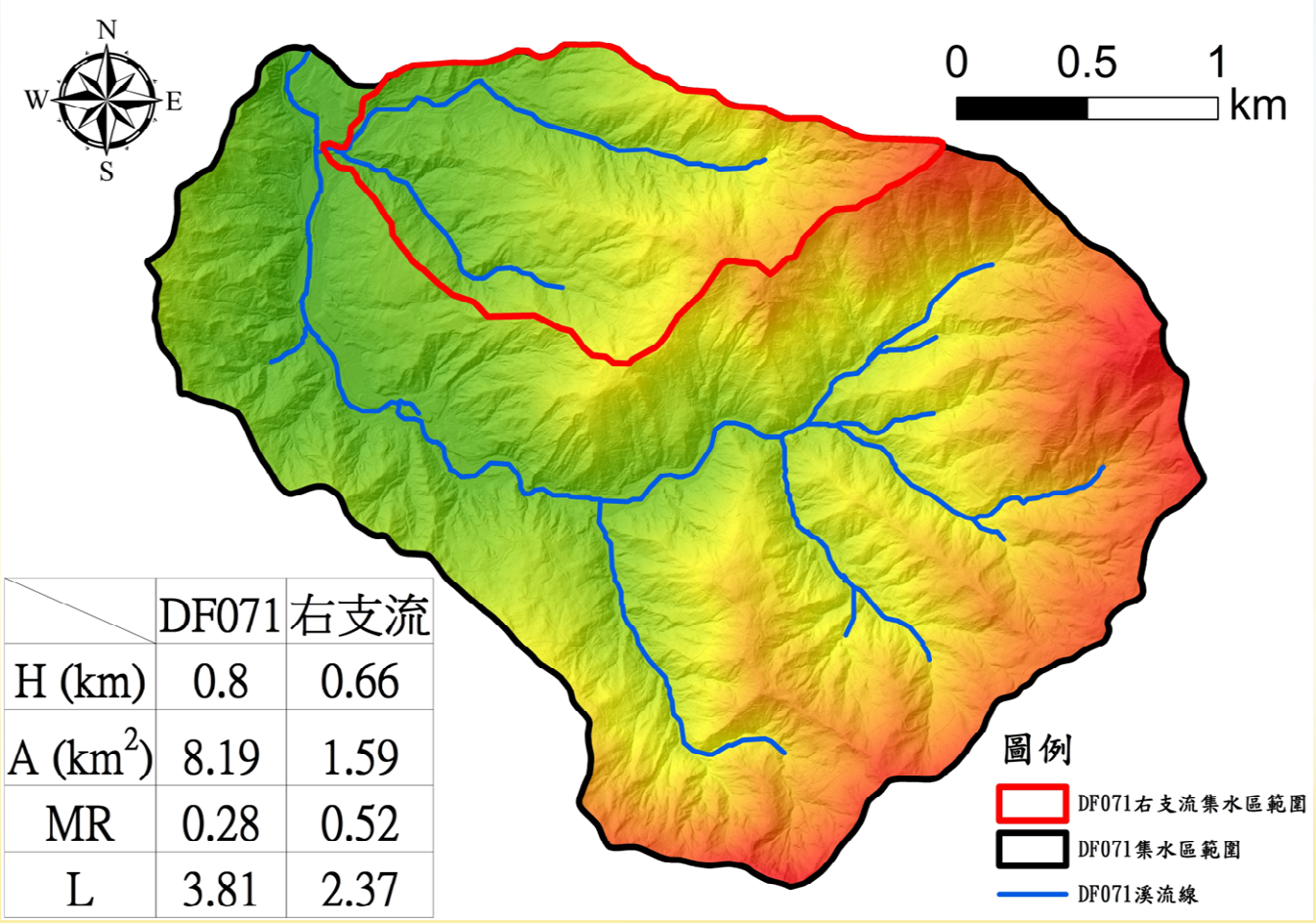


2. 滴水橋(下游)





高市DF071土砂運移型態分析

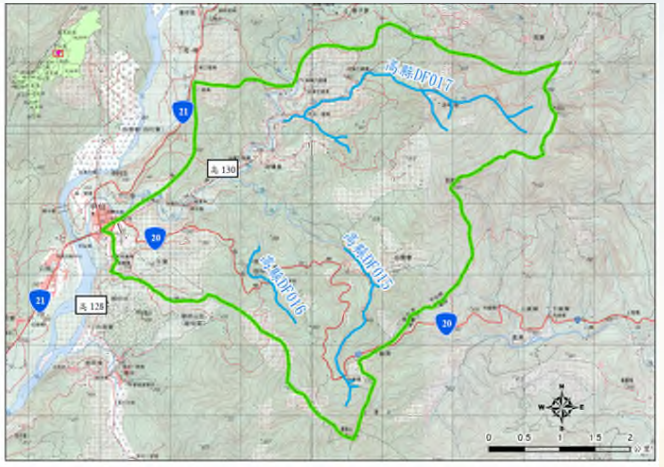


	DF071	右支流
H (km)	0.8	0.66
A (km^2)	8.19	1.59
MR	0.28	0.52
L	3.81	2.37

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



(a) 高市DF018(DF015) 地形圖





(b) DF018與台20相交白雲寺災情

位置 1:白雲寺, ：台20 箱涵橋

(c) DF018在台20上游之集水區空照

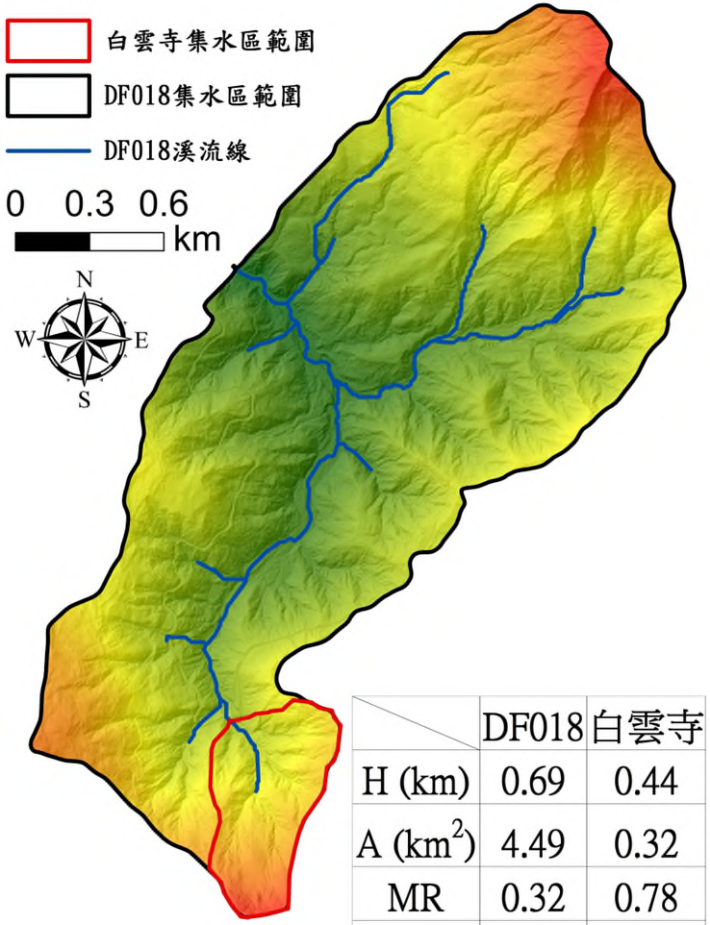
(d) DF018在台20三孔橋涵







高市DF018土砂運移型態分析



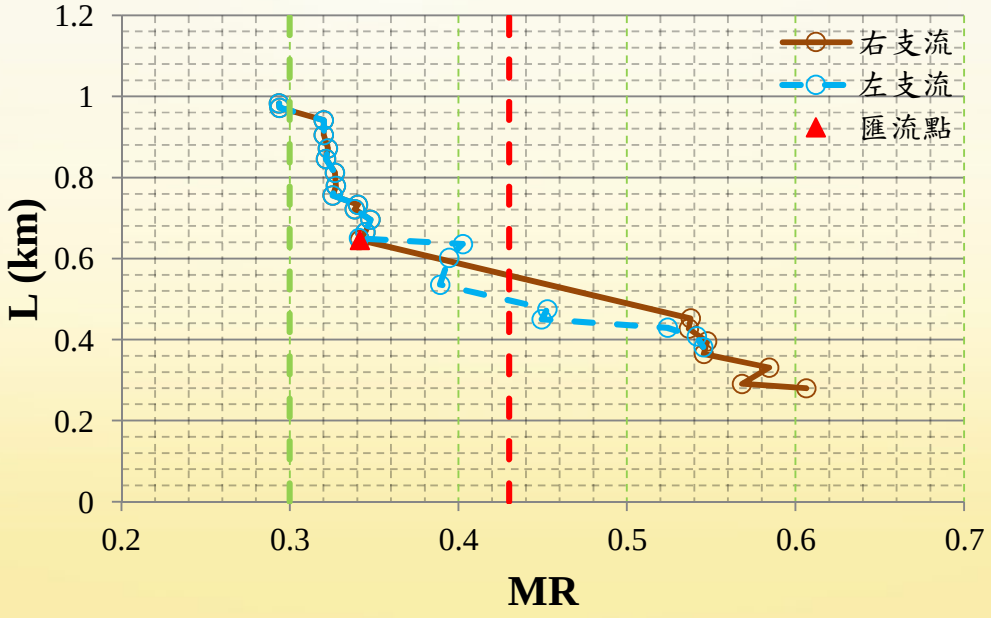
	DF018	白雲寺
H (km)	0.69	0.44
A (km^2)	4.49	0.32
MR	0.32	0.78
L	2.6	0.8

東縣 DF068現勘(DFL/DF)











花縣DF045土石流潛勢溪流現勘 (FL/DF)





2012天秤颱風清水檢查哨遭土石流掩埋（來源：網路照片）

2018/8/20 檢查哨後方支流地貌

2012八月時天秤颱風來襲，卓溪鄉清水溪 旁興建中的清水檢查哨，遭到清水溪 支流腦寮溪土石流侵襲，已完成結構的檢查哨遭淹沒至二樓高；有人上網PO照片，並質疑，為什麼明知清水溪 是土石流潛勢溪流，仍要在此蓋檢查哨？

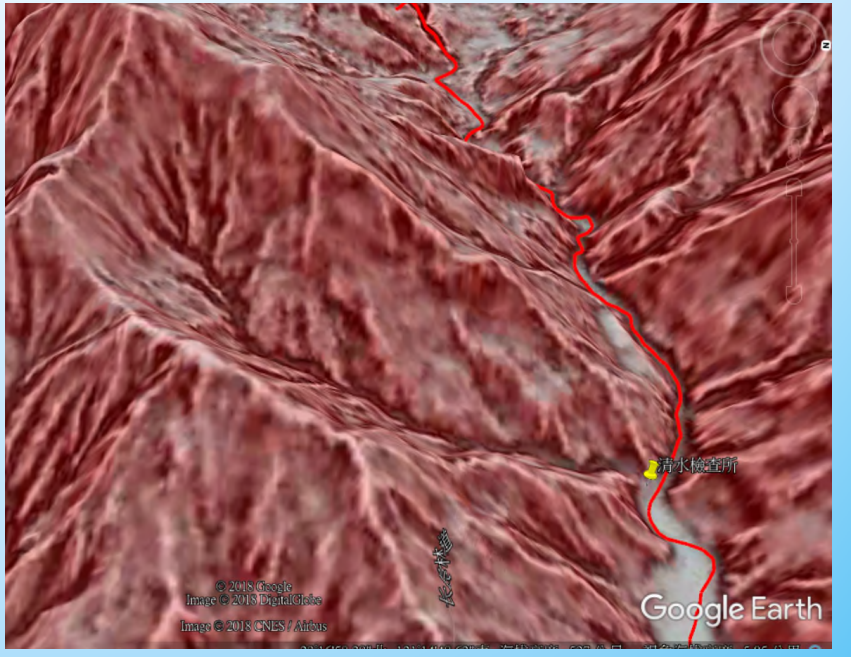
水土保持局第六分局解釋：清水溪 **支流 非公告區，公告的土石流潛勢溪流是**清水溪 **，支流腦寮溪不在公告範圍內**；

花蓮縣警局後勤課表示:興建清水檢查哨之前，不但仔細擬定水土保持計畫，也經過地質鑽探，並按程序申請建築執照，完成所有法定程序，**確認當地並不在土石流潛勢溪流範圍內**，「明知故犯」的網路指控當然不實。


清水溪(花蓮DF045)
腦寮溪
清水檢查所







清水溪右岸支流腦寮溪之集水區險峻值(MR)為1.2，屬於土石流集水區，當遇極端降雨事件時仍可能發生土石流；主流在清水國小下游則應歸屬為洪水型態。

結論

* 本計畫根據地貌門檻值(即集水區險峻值 MR 及集水區長度 L)於2016-2019四年期間進行台灣六個流域集水區溢流點土砂運移型態之判釋，其準則為: MR > 0.43 且L< 7km 者，為土石流；0.3 ≤ MR ≤0.43 且 L ≤ 14 km 或 MR > 0.43且 7 km ≤ L ≤ 14 km者，為高含砂水流及土石流並存，即土石流潛勢溪流之判釋可簡化為以集水區險峻值(MR) = 0.3 為門檻值； $MR < 0.3$，土砂運移型態為洪水。經現地勘查驗證現地土石流案例及列為洪水及高含砂之集水區，此判釋模式與現地土砂運移型態符合度良好。
* 各流域之土石流集水區面積以平廣溪及卑南溪較小，以介於5-100公頃為主；而陳有蘭溪、蘭陽溪、花蓮溪與旗山溪之集水區面積則較大，以10-1000公頃為主，且其分布介於日本與中國大陸之面積分布範圍內。土石流集水區之平均面積，依次為陳有蘭溪最大(1.5 km^2)，東北部蘭陽溪(1.0 km^2)次之，東部花蓮溪(0.8 km^2) ，南部旗山溪(0.6 km^2)，東部卑南溪(0.3 km^2)，最小為平廣溪(0.13 km^2)。惟單以面積並無法代表集水區之地形險峻及產砂量，故其本身尚不足以作為土石流潛勢溪流之判釋門檻值。

結論

* 以計曲線法求得台灣不同流域之溪溝起點，坡面最陡處(遷急點)與溪溝起點相合或在溪流溝起點上方之比例約佔60-75％。就蘭陽溪各子集水區此比例為: 洪水集水區約佔75%，高含砂集水區約佔72%，土石流集水區約為66%。

* 以計曲線法求得集水區溪流起點之中值(50%)匯流面積，其大小依序為旗山溪(3.3公頃) 、陳有蘭溪 (3.2公頃)、花蓮溪 (3.0公頃) 、卑南溪 (2.7公頃) 、蘭陽溪 (2.3公頃)及平廣溪 (1.5公頃)。故旗山溪、陳有蘭溪、花蓮溪等三個流域發生土石流機率較大，平廣溪之土石流機率發生較低。上述面積值皆大於以匯流面積達0.5公頃為溪流起點，故以後者求得之溪流長度會偏大。。

* 土石流及高含砂水流為土砂運移型態之一級及二級河川長度與集水區長度比值(L_{G1+G2}/L) 介於0.4 – 5.0 之間。洪水型態者其比值(L_{G1+G2}/L)大於5，一級及二級河川長度與集水區長度比值(L_{G1+G2}/L)小於0.4且集水區險峻值(MR)大於0.43者，可歸類為崩塌。

結論

* 集水區之最高點明顯偏離集水區之最遠點時， 應以流域最大高程點對應之集水面積求得之集水區險峻值所產生之土砂運移能力較合理，亦較符合溢流點之地貌特性。修正集水區險峻值(MR*)與整體集水區險峻值(MR)之比值大於1.25時，集水區之形狀係數(F)大於0.3。較細長型之集水區(F<0.3)，其集水區險峻值修正之可能性較低。

* 土石流或洪水(含高含砂水流)沖積扇的坡度會隨流域險峻值之增加而變陡，且其分類大致符合Bertrand et al. (2013)所提土石流或洪水沖積扇的門檻值曲線關係式。曲線下方為洪水沖積扇，曲線上方則為土石流沖積扇。

* 溢流點處之集水區險峻值$MR < 0.3$，仍應檢核其上游及支流之溢流點的地貌因子(MR)變化。如蘭陽溪宜縣DF120，在溢流點為洪水型態堆積，然其上游在匯入DF119前則為高含砂或土石流型態，即土石流影響範圍應往上游縮小。

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。

* 對於具明顯主支流之集水區(如台東卑南溪DF068，花縣清水溪DF045) 或具主支流交匯靠近下游溢流點的集水區，如南投郡坑溪(DF185)及高市滴水野溪 (DF071) 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件。

建議

* 坡面上如有U形道路且橫跨溪溝，其道路轉彎處在豪雨期間，會因匯集沿程上坡面之地表逕流及土砂，匯流並排入溪溝，易形成下邊坡侵蝕或橋涵堵塞，進而導致路基毀損，或上邊坡崩壞之情況。 極端情形下，如台20線公路上與甲仙區西安里高縣DF018交會處或三星鄉天山村之宜縣DF135與產業道路交會處，亦應視為堰塞壩潰決產生土石流之溢流點。



簡報完畢 敬請指教