



Investigation and Analysis of the Characteristics of Shallow Landslides in Mountainous Areas of Taiwan

台灣山區淺層崩塌地特性調查與分析

南投分局 規劃課 陳俞瑾 報告

2017年2月21日

中華水土保持學報, 46(1): 19-28 (2015) 19

Journal of Chinese Soil and Water Conservation, 46 (1): 19-28 (2015)

詹勳全[1] 張嘉琪[1]* 陳樹群[1] 魏郁軒[1] 王昭堡[2] 李桃生[2]



Outline

前言

樣區介紹

分析流程與方法

結果與討論

結論與建議



前言

- 有鑑於以往崩塌之研究多以區域性研究為主，較缺乏大範圍之山區崩塌地資料，且為降低地震引起之地質與環境弱化造成邊坡持續性改變之影響，本研究以1999 年921 地震5 年後，2004~2010 年間台灣林務管理單位所轄區域內，181 處因高強度長延時降雨、河岸淘刷、山區道路開發等誘發之崩塌地，及其崩塌深度小於0.1 倍崩塌長度之淺層崩塌區位為研究對象。

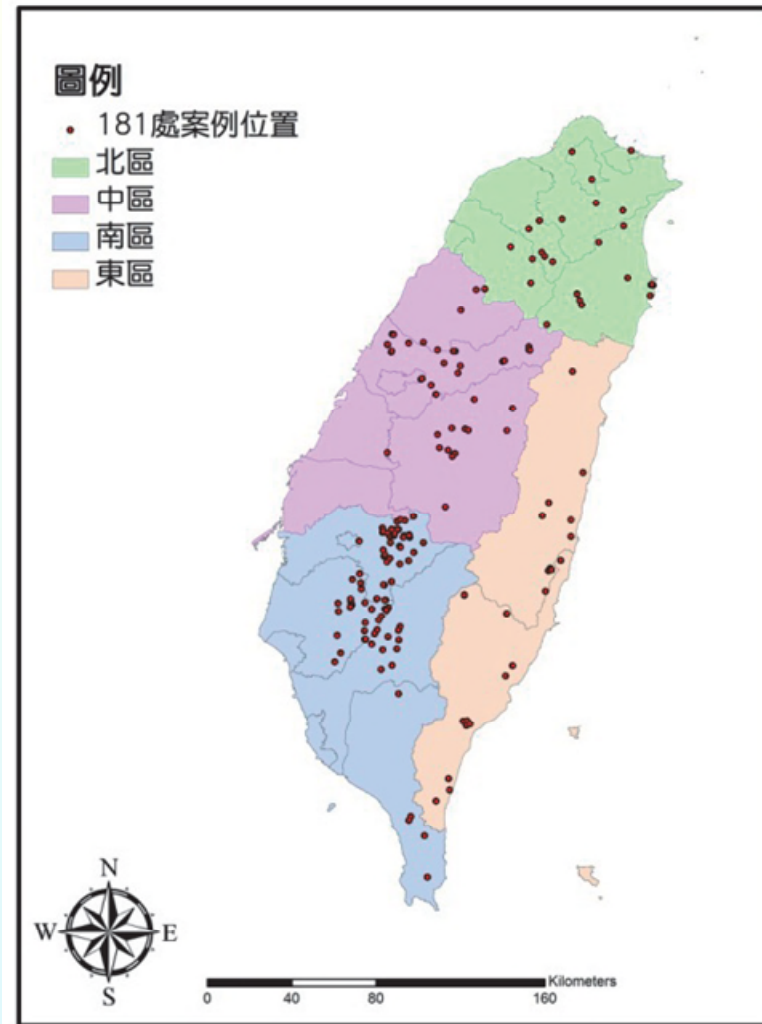


二、樣區介紹

- 研究蒐集之181 處崩塌區位均為颱風侵襲及強降雨事件所致，即181 處崩塌區位之崩塌誘發機制皆為降雨促崩。此外，崩塌地規模大小攸關崩塌地災害之減災規劃方式，本研究亦進一步推估181 處淺層崩塌區之崩塌面積與崩塌體積關係，期提供後續崩塌量體推估及坡地災害防治策略擬訂參考。



二、樣區介紹



南區	86
中區	40
北區	30
東區	25
合計	181

圖1 研究案例點位分佈圖



二、樣區介紹

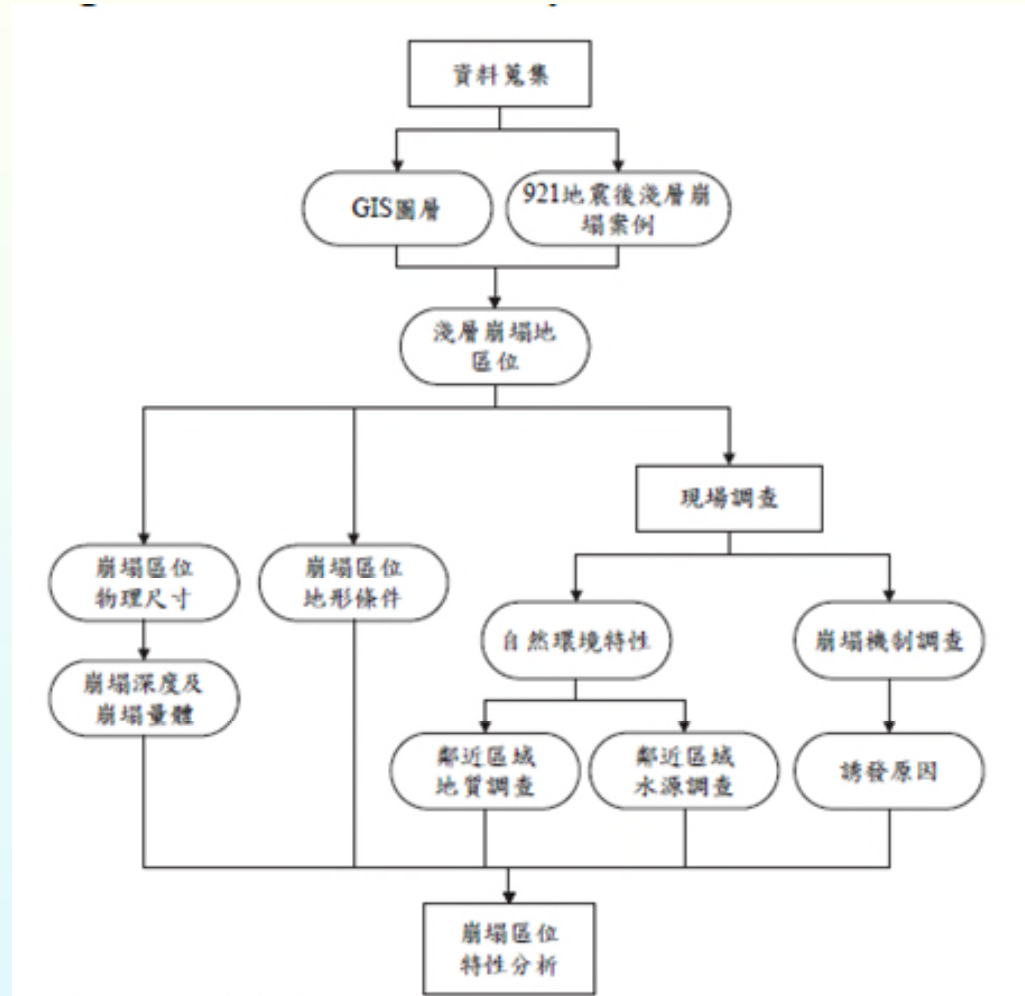


圖2 研究流程圖



三、分析流程與方法

■ 研究方法

- (1) 崩塌區位地形條件
- (2) 自然環境調查
- (3) 崩塌機制調查
- (4) 崩塌區位物理尺寸



三、分析流程與方法

■ (1)崩塌區位地形條件

因181 處淺層崩塌區位皆為2004 年後發生，因此崩塌地高程係以2004 年內政部製作之5m 解析度DEM 為基本資料，進行崩塌地崩前之坡度、坡向分析

- ① 坡度係指於崩塌地範圍內，經DEM 所估算後的平均坡度
- ② 而坡向則指於崩塌地範圍內，經DEM 所估算後的平均坡向值，分成北、東北、東、東南、南、西南、西及西北等8 個方位。
- ③ 地質分布則以經濟部中央地質調查所地質圖分析崩塌區位地質情形。



三、分析流程與方法

■ (2) 自然環境調查

調查項目包含：崩塌坡面或鄰近坡面之**地質露頭**出現情況及崩塌坡面或坡面鄰近排水溝之**流量**等。

- ① 調查地質露頭可初步判斷崩塌地鄰近區域之土壤深度及地質類別
- ② 調查崩塌坡面或鄰近之水源湧出情況，可視水源湧出量體多寡，**輔助評估崩塌誘發原因**，若水源湧出量多，則代表該崩塌坡面鄰近地下水位較高，於判斷崩塌誘發原因時，需考量地下水位影響問題；若水源湧出量少，代表該崩塌坡面鄰近地下水位較低，則可推測當地地下水對誘發崩塌之影響較不顯著。



三、分析流程與方法

■ (3)崩塌機制調查

引發崩塌之可能誘因有地震、暴雨、人為開發等因素，因此就可能引發崩塌之誘因進行現場調查時，須依崩塌地發生位置調查其是否位於道路上或下邊坡，判斷崩塌地是否有河川淘刷問題，確定崩塌地鄰近區域是否有人為開發行為，藉以釐清崩塌的發生原因為單純降雨促崩，亦或是受其他潛在環境影響所誘發之崩塌。



三、分析流程與方法

■ (4) 崩塌區位物理尺寸

崩塌區位物理尺寸包含：崩塌地長度、寬度、深度及崩塌量等資訊。崩塌地長度及寬度之估算，係以人工數化圈繪確認之崩塌地範圍，套繪DEM 圖層進行推估，崩塌地長度係指以邊坡下滑方向為長軸，在長軸方向上崩塌圖層最長的擴展範圍距離；崩塌地寬度則以垂直邊坡下滑方向為寬軸，在該寬軸上崩塌圖層最寬的擴展範圍距離。



三、分析流程與方法

■ (4) 崩塌區位物理尺寸

崩塌深度統計位置係以全斷面平均方式計算，崩塌體積則以崩塌深度與崩塌面積乘積得之，崩塌前之DEM 皆以2004 年內政部製作之5m 解析度DEM 進行分析，而崩塌後之DEM 則視崩塌地發生之時間而定，由於2009 年莫拉克颱風侵襲後，有部分地區有重新製作5m DEM，因此本研究若為2009年莫拉克颱風後所致之崩塌地，則採2011年內政部國土測繪中心公布之DEM 作為崩塌後DEM 資料，而所蒐集之林務管理單位崩塌治理資料除治理工程書面資料外，亦有現場照片可資佐證，應有相當之可信度。



四、結果與討論

1. 各區淺層崩塌地地形與地質條件

表1 各區淺層崩塌案例與崩塌高程分佈統計表

Table 1 Statistics for the elevation of landslides in different districts

高程 (公尺)	北區	中區	南區	東區	總計	百分比 (%)
0~400	16	10	35	13	74	40.9
400~800	3	18	25	9	55	30.4
800~1200	5	4	16	0	25	13.8
1200~1600	2	4	9	0	15	8.3
1600~2000	4	3	1	0	8	4.4
2000~2400	0	1	0	3	4	2.2
總計	30	40	86	25	181	100



四、結果與討論

1. 各區淺層崩塌地地形與地質條件

■ 各區淺層崩塌案例與崩塌高程分佈

整體而言，有85.1%之崩塌地發生於高程小於1200 公尺（低海拔地區）之邊坡，此區間亦為一般山坡地開發與聚落之所在，開發密度相對於中高或高海拔地區較高，顯示台灣山區淺層崩塌除受風化作用等自然因素影響外，亦可能受其他不同因子所影響。



四、結果與討論

1. 各區淺層崩塌地地形與地質條件

表2 各區淺層崩塌案例與崩塌坡度分佈統計表

Table 2 Statistics for the slope of landslides in different districts

坡度 (度)	北區	中區	南區	東區	總計	百分比 (%)
<20	3	5	11	4	23	12.7
20~30	2	10	32	9	53	29.3
30~40	14	7	32	5	58	32.0
40~50	2	9	8	5	24	13.3
>50	9	9	3	2	23	12.7
總計	30	40	86	25	181	100



四、結果與討論

1. 各區淺層崩塌地地形與地質條件

■ 各區淺層崩塌案例與崩塌坡度分佈

北區以30~40 度間為最，中區則平均分布於坡度20 度以上，南區以20~30、30~40 度間居多，東區則以20~30 度間為最，**整體而言，坡度50 度以下佔全部崩塌地之87.3%**，尤其30~40 度更高達32.0%，且20~30度間亦佔29.3%，此區間之山坡地即為山坡地可利用限度分類標準中可利用限度及保育處理之極限。



四、結果與討論

1. 各區淺層崩塌地地形與地質條件

表3 各區淺層崩塌案例與崩塌坡向分佈統計表

Table 3 Statistics for the aspect of landslides in different districts

坡向	北區	中區	南區	東區	總計	百分比 (%)
北	0	4	1	3	8	4.4
東北	2	5	1	2	10	5.5
東	4	4	9	3	20	11.0
東南	12	7	16	5	40	22.1
南	7	8	18	7	40	22.1
西南	3	2	17	2	24	13.3
西	1	5	19	1	26	14.4
西北	1	5	5	2	13	7.2
總計	30	40	86	25	181	100



四、結果與討論

1. 各區淺層崩塌地地形與地質條件

■ 各區淺層崩塌案例與崩塌坡向分佈

北區以東南坡向為主，中區以東南及南向居多，南區則以東南、南、西南、及西向為最，東區亦以南向區多，**整體而言，東南及南向坡佔全部崩塌地之44.2%**，而東南至西向坡間則高達71.9%，推估係因夏秋兩季盛行西南季風，且颱風季節易引進西南氣流，使特定坡向常受到暴雨之侵襲，造成其坡面之邊坡塊體容易有膠結不良或是高度風化的情況，因此容易引致崩塌，尤以南區更為明顯。



四、結果與討論

1. 各區淺層崩塌地地形與地質條件

表4 各區淺層崩塌案例與崩塌地地質分佈統計表

Table 4 Statistics for the lithology of landslides in different districts

崩塌地層之岩性	北區	中區	南區	東區	總計	百分比 (%)
三峽群及其相當地層	3	2	42	0	47	25.97
大南澳片岩	1	0	0	4	5	2.76
大桶山層	4	0	0	0	4	2.21
四稜砂岩	1	11	0	0	12	6.63
西村層，新高層	2	0	0	3	5	2.76
沖積層	2	5	0	1	8	4.42
乾溝層	2	3	0	0	5	2.76
野柳群及其相當地層	4	0	0	0	4	2.21
澳底層	2	0	0	0	2	1.11
廬山層	9	5	8	6	28	15.47
頭嵙山層及其相當地層	0	2	6	0	8	4.42
紅土臺地堆積	0	5	0	0	5	2.76
瑞芳群及其相當地層	0	6	0	0	6	3.32
臺地堆積	0	1	4	0	5	2.76
卓蘭層及其相當地層	0	0	16	0	16	8.84
錦水頁岩及其相當地層	0	0	9	0	9	4.97
瑞芳群及其相當地層	0	0	1	0	1	0.55
大港口層	0	0	0	6	6	3.32
都巒山層	0	0	0	5	5	2.76
總計	30	40	85	25	181	100



四、結果與討論

1. 各區淺層崩塌地地形與地質條件

■ 各區淺層崩塌案例與崩塌地地質分佈

整體而言，地質為三峽群及其相當地層者，佔整體崩塌地之25.97%，其次為廬山層之15.47%，由於三峽群及其相當地層主要為砂岩、頁岩及砂頁岩互層，且頁岩部份膠結情形較弱材料強度較低，易風化破碎，而廬山層主要為硬頁岩、板岩、千枚岩及硬砂岩互層，岩體強度受劈理控制，部份地區易破碎風化，顯示崩塌地之發生與地質特性有相當關連，位處相關地質區之邊坡為需注意崩塌發生之區域。



四、結果與討論

1. 各區淺層崩塌地地形與地質條件

各區淺層崩塌地地形與地質條件分析結果顯示，**高程小於1200 公尺、坡度小於50 度、坡向為東南至西向坡間及地質為三峽群及其相當地層及廬山層者，為台灣山區淺層崩塌主要發生區域，可視為淺層崩塌之高潛勢區**，若欲於此區域進行開發，建議應先調查其相關地文、水文條件等，審慎評估開發可行性，並做好因應措施，以降低崩塌發生機率。



四、結果與討論

2. 各區淺層崩塌地自然環境特性

依據現場調查結果，將崩塌坡面或鄰近坡面之地質露頭出現情形，分為未見地質露頭、已見地質露頭以及鄰近邊坡已見地質露頭三類，各區淺層崩塌案例與地質露頭分布分析結果整理如表5 所示，

表5 各區淺層崩塌案例與地質露頭分佈統計表

Table 5 Statistics for the exposures of landslides in different districts

地質露頭	北區	中區	南區	東區	總計	百分比 (%)
未見地質露頭	21	32	61	12	126	69.6
已見地質露頭	9	7	16	7	39	21.6
鄰近邊坡已見地質露頭	0	1	9	6	16	8.8
總計	30	40	86	25	181	100

未見地質露頭：顯示淺層崩塌之崩塌深度大多未及岩層



四、結果與討論

2. 各區淺層崩塌地自然環境特性

表6 各區淺層崩塌案例與水源湧出分佈統計表

Table 6 Statistics for the surface water and ground water of landslides in different districts

水源湧出	北區	中區	南區	東區	總計	百分比 (%)
無異狀	22	31	64	22	139	76.8
鄰近排水溝量大	6	5	19	1	31	17.1
邊坡有地下水滲出	2	4	3	2	11	6.1
總計	30	40	86	25	181	100

推估多數淺層發生區未受鄰近地下水位影響較少，應為降雨入滲導致坡地崩塌之產生



四、結果與討論

3.各區淺層崩塌地之誘發原因

表7 各區淺層崩塌案例與引發崩塌相關因素統計表

Table 7 Statistics for the external factors of landslides in different districts

引發崩塌相關因素	北區	中區	南區	東區	總計	百分比 (%)
單純降雨觸發	19	27	35	13	94	51.9
河川淘刷誘發	3	5	34	8	50	27.6
道路開發誘發	8	8	17	4	37	20.5
總計	30	40	86	25	181	100



四、結果與討論

4. 各區淺層崩塌地物理尺寸

表8 各區淺層崩塌案例與崩塌長度分佈統計表

Table 8 Statistics for the length of landslides in different districts

崩塌長度 (公尺)	北區	中區	南區	東區	總計	百分比 (%)
0~100	15	21	18	13	67	37.0
100~200	9	5	16	3	33	18.2
200~300	3	6	12	6	27	14.9
300~400	0	1	16	0	17	9.4
400~500	3	4	7	1	15	8.3
500~600	0	1	5	0	6	3.3
600~700	0	0	4	0	4	2.2
700~800	0	1	3	1	5	2.8
800~900	0	1	1	0	2	1.1
900~1000	0	0	2	1	3	1.7
>1000	0	0	2	0	2	1.1
總計	30	40	86	25	181	100



四、結果與討論

4. 各區淺層崩塌地物理尺寸

表9 各區淺層崩塌案例與崩塌寬度分佈統計表

Table 9 Statistics for the width of landslides in different districts

崩塌寬度 (公尺)	北區	中區	南區	東區	總計	百分比 (%)
0~100	20	27	44	12	103	56.9
100~200	7	6	28	8	49	27.1
200~300	3	5	5	1	14	7.7
300~400	0	0	5	2	7	3.9
>400	0	2	4	2	8	4.4
總計	30	40	86	25	181	100



四、結果與討論

4. 各區淺層崩塌地物理尺寸

表10 各區淺層崩塌案例與崩塌深度分佈統計表

Table 10 Statistics for the depth of landslides in different districts

崩塌深度 (公尺)	北區	中區	南區	東區	總計	百分比 (%)
0~1	5	6	16	6	33	18.2
1~2	15	18	18	8	59	32.6
2~3	5	6	7	5	23	12.7
3~4	1	2	11	5	19	10.5
4~5	0	2	9	0	11	6.1
5~6	1	3	9	0	13	7.2
6~7	1	1	3	0	5	2.7
7~8	1	1	4	0	6	3.3
8~9	0	1	3	0	4	2.2
9~10	0	0	1	0	1	0.6
>10	1	0	5	1	7	3.9
總計	30	40	86	25	181	100



四、結果與討論

4. 各區淺層崩塌地物理尺寸

表11 各區淺層崩塌案例與崩塌量分佈統計表

Table 11 Statistics for the volume of landslides in different districts

崩塌量 (立方公尺)	北區	中區	南區	東區	總計	百分比 (%)
$<10^3$	0	3	1	3	7	3.9
$10^3\sim10^4$	16	20	17	8	61	33.7
$10^4\sim10^5$	11	14	35	11	71	39.2
$10^5\sim10^6$	2	3	29	3	37	20.4
$>10^6$	1	0	4	0	5	2.8
總計	30	40	86	25	181	100



四、結果與討論

5.崩塌面積與崩塌體積之關係

表12 不同學者提出之以崩塌地面積推估體積之估算式

Table 12 The regression formula of landslide area and volume form related references

研究來源	研究區域	適用面積範圍	迴歸公式
陳樹群等 (2010)	石門水庫集水區	$10^2 < A < 10^5$	$V = 0.04 A^{1.368}$
陳樹群等 (2010)	大甲溪集水區	$10^2 < A < 2 \times 10^5$	$V = 1.92 A^{1.10}$
Guzzetti et al. (2008)	義大利	$1 < A < 10^9$	$V = 0.0844 A^{1.4324}$
Hovius et al. (1997)	紐西蘭	$10 < A < 10^6$	$V = 0.05 A^{1.50}$

註：A 為崩塌地面積 (平方公尺)；V 為崩塌體積 (立方公尺)



四、結果與討論

5.崩塌面積與崩塌體積之關係

表13 文獻中邊坡坡度與崩塌深度關係對照表

Table 13 The relationship between the slop and depth of shallow landslide form related references

坡面坡度 (度)	Khazai and Sitar (2000)	歐陽元淳 (2003)	國家災害科技研究中心 (2004)
<30	2.0	0.9	5.0
30~40	1.5	0.9	4.0
40~60	1.0	0.9	3.0
>60	0.5	0.9	2.0

四、結果與討論

5.崩塌面積與崩塌體積之關係

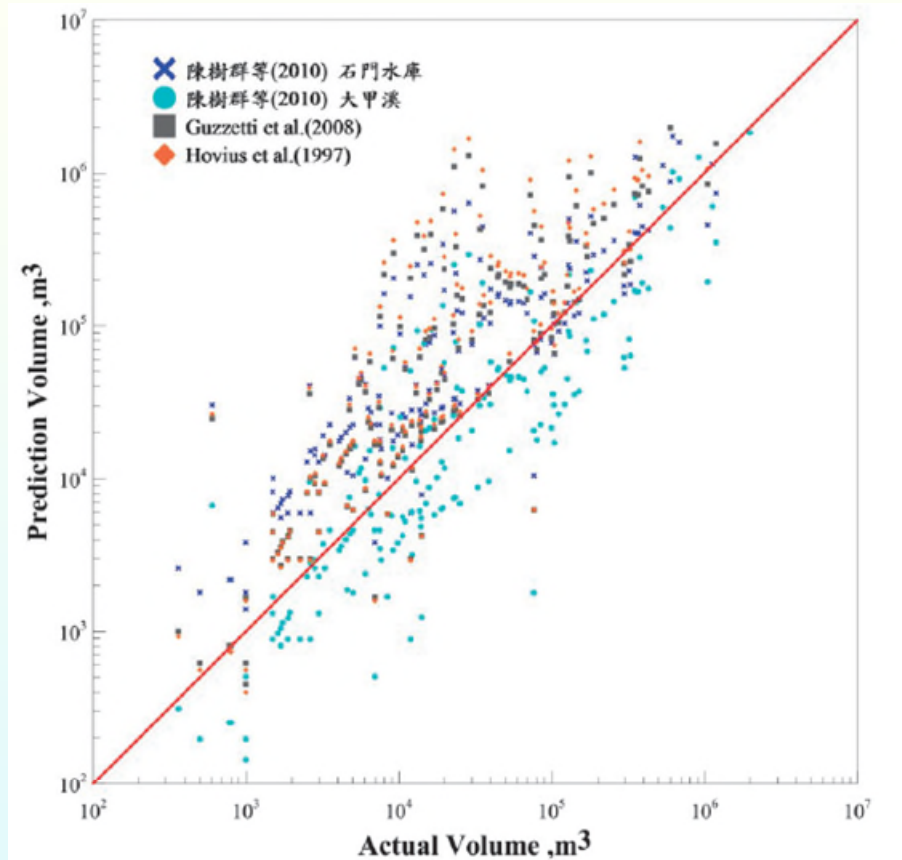


圖4 本研究之調查崩塌體積與以崩塌面積推估崩塌體積之結果比較

Fig.4 Comparison between the present landslide volume and the predicted landslide volume from the regression formula of landslide area and volume

四、結果與討論

5.崩塌面積與崩塌體積之關係

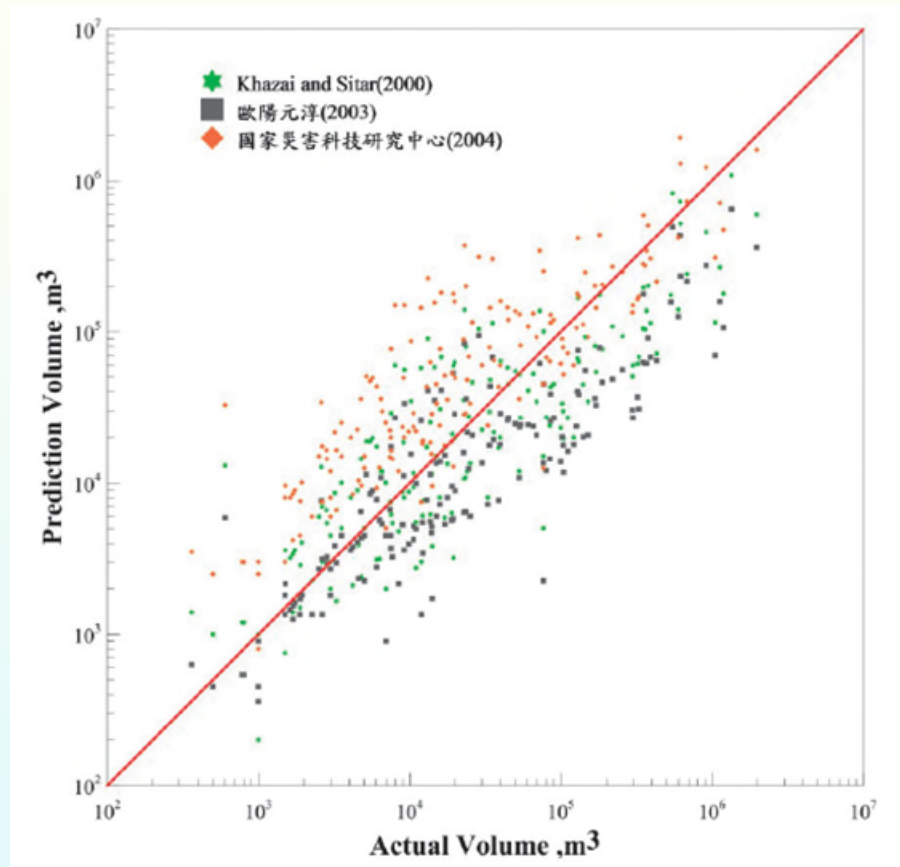


圖5 本研究之調查崩塌體積與以坡度對照崩塌深度法推估崩塌體積之結果比較

Fig.5 Comparison between the present landslide volume and the predicted landslide volume from the relationship b from the regression formula of landslide area and volume



四、結果與討論

5.崩塌面積與崩塌體積之關係

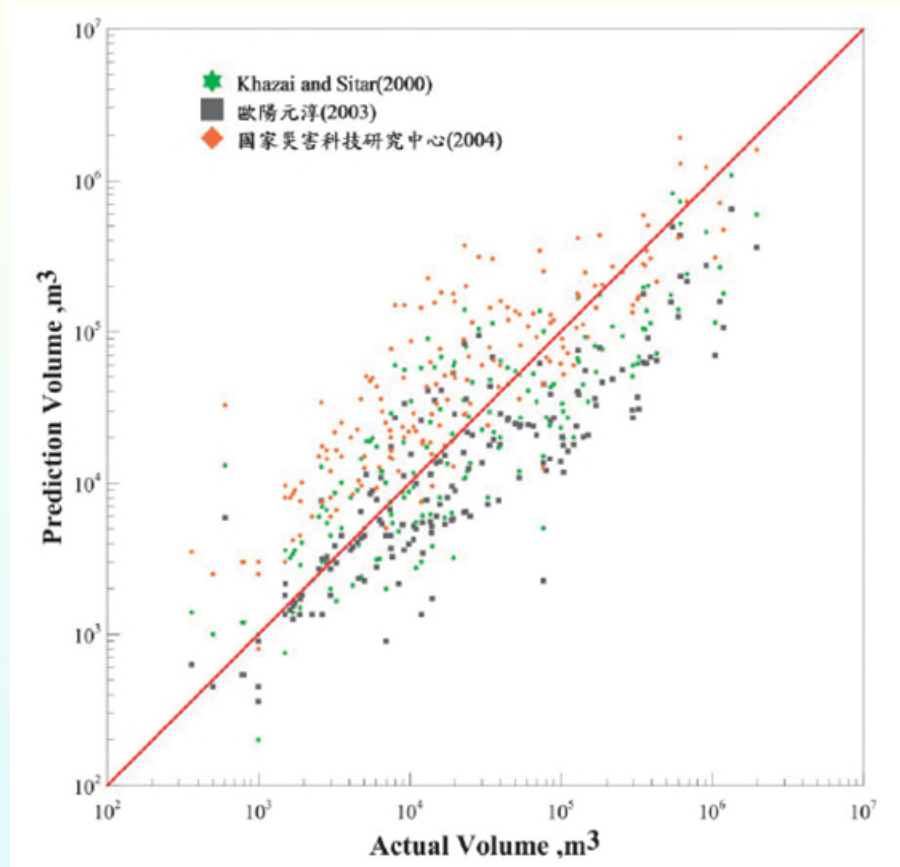


圖5 本研究之調查崩塌體積與以坡度對照崩塌深度法推估崩塌體積之結果比較

Fig.5 Comparison between the present landslide volume and the predicted landslide volume from the relationship b from the regression formula of landslide area and volume



四、結果與討論

5.崩塌面積與崩塌體積之關係

- 以往崩塌量體推估之經驗公式，其採用之研究樣本多屬單一集水區，所求得之經驗式易受集水區地形特性影響，造成各經驗公式用於推估本研究所調查之崩塌量體時出現誤差。
- 為使後續進行相關之崩塌地災害減災規劃，可短時間且低成本地估算崩塌之土方量體，本研究以所調查之181處淺層崩塌區位為分析樣本，依照各崩塌地之崩塌面積與崩塌體積資料，建立以崩塌面積推估崩塌體積之估算式，供後續淺層崩塌災害發生時，能於短時間內利用崩塌面積推估崩塌量體之參考



四、結果與討論

5.崩塌面積與崩塌體積之關係

- 本研究以對數線性迴歸模型建立崩塌面積與崩塌體積迴歸式，關係式如下所示：

$$\ln V = 0.687 \ln A + 2.326 \quad (1)$$

此外，由於崩塌面積與崩塌體積之迴歸式，係以崩塌面積介於500~ 547,000 平方公尺之淺層崩塌區位所建立，因此後續引用此迴歸式時，建議應考量崩塌面積之大小，以使所推估之崩塌量體較具有代表性。



五、結論與建議

- 研究結果顯示淺層崩塌主要觸發原因為降雨，而道路開發及河川淘刷為相關誘發因素，顯示人為開發有增加淺層崩塌發生之可能；而淺層崩塌多發生於東南至西向坡、坡度小於50 度、高程小於1200 公尺、且地質為三峽群及其相當地層及廬山層者。
- 因本研究係以淺層崩塌地為分析對象，崩塌地之長、寬多以100 公尺以下為主，崩塌深度多小於2 公尺、崩塌量體多為 $10^3 \sim 10^5$ 立方公尺，此外，藉由分析崩塌地之面積與其崩塌量體，可知崩塌面積與崩塌量體間呈一對數線性關係，可供後續研究與工程規劃應用於推估崩塌量體參考，



五、結論與建議

- 本研究目前僅以181 處淺層崩塌地為研究對象，建議未來可再蒐集更多調查樣本，以掌握台灣山區淺層崩塌地之地理特性。
- 本研究分析崩塌地相關資訊時並未考量崩塌地發生之時間點，建議後續可歸納崩塌地發生時之降雨條件，進一步區分不同降雨條件下崩塌特性之異同處。



優質、效率、團隊

報告完畢 敬請指教

行政院農業委員會
水土保持局

與您一起打拼