阿邦溪集水區地震誘發崩塌土砂災害推估之研究

李培文⁽¹⁾ 劉士榮⁽²⁾

摘要

台灣位處歐亞板塊與菲律賓海板塊交接處,因地震頻繁加上地形陡峭及地質破碎,近年 來在極端氣候影響下,常發生颱風挾帶豐沛雨量或季節性偶發之豪大雨,造成山區集水區嚴 重崩塌衍生土砂災害,繼而影響自然生態環境且更危害下游保全對象之安全。本研究以大甲 溪支流阿邦溪為樣區,採用數值高程模型(DEM)及多期 Landsat 衛星影像萃取常態化差異植 生指標(NDVI),以集集大地震前後崩塌區位進行植生復育率評估,採 K-means 群集分析將原 生災害區位劃分滑落區及堆積區,針對堆積區位進行土砂量體估算,利用地形濕度指標(TWI) 作為集水區崩塌脆弱度推估下游保全對象衍生災害之風險。研究結果顯示,集水區因地震誘 發崩塌之不穩定土砂多堆積在下邊坡及坡腳,堆積土砂隨著後續降雨往保全對象輸送淤積造 成衍生災害之潛勢值得探究,本研究藉由相關環境指標建置衍生災害風險評估方法,利用保 全對象與原生災害區位之位相關係,優選災害重點區位,供相關單位崩塌地衍生災害保育治 理及管理之參考。

(關鍵詞:阿邦溪、數值高程模型、衛星影像、常態化差異植生指標)

Estimation of Earthquake Induced Sediment Disasters in A-bang Creek Watershed

Pei-Wen Li⁽¹⁾ Shih-rong Liu⁽²⁾

Ph.D.Student (1) Graduate Student (2), Department of Soil and Water Conservation, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan, 402, R.O.C

ABSTRACT

Taiwan is located at the junction of the Eurasian Plate and the Philippine Sea Plate. Due to frequent earthquakes, steep mountain terrain, fragile geological formation and the influence of extreme weather, Taiwan has usually been suffering serious landslides in the mountainous watershed, and resulting in derived disasters, which in turn affected the ecological environment and further jeopardized

⁽¹⁾國立中興大學水土保持學系 博士生(通訊作者 e-mail: leepoa1000@gmail.com)

⁽²⁾國立中興大學水土保持學系 碩士

the safety of downstream protected objects.

Watershed of A-bang Creek, a tributary of the Dajia River, was selected as a research area. Digital elevation model and multi-phase Landsat satellite imageries of the pre- and/or post- Chi-chi earthquake were used for extracting the normalized differential vegetation index to derive location and vegetation recovery rate of the landslides. Sites of primary disasters could be classified into areas of collapse and deposition using K-means cluster analysis; and the amount of deposition volume could be as the factor of hazard and the topographic wetness index as vulnerability indicator to assess the risk of watershed landslide derived disaster.

Results show that the debris of earthquake induced landslide is initially deposited at the sites of lower and/or the toe of the slope land; and then will be transported downwardly to the protected objects depicting an obvious aftermath disaster through the following rainfall events. This study is focusing on establishing a method of assessing derived disaster using related environmental indicators. Topology relations of the protected objects and the primary disasters are discussed to determine the priority selection of the hotspots for the references of related authorities on conservation treatment and management of landslide derived disasters in the watershed.

(Keywords: A-bang Creek, Digital Elevation Model, Lindslide, Normalized Difference Vegetation Index)

前言

台灣位於環太平洋火山地震帶,板塊推 擠造山運動致地震頻繁,亦造成山區地形陡 峭;加上氣候變遷影響,豪大雨機率增高, 極易產生集水區嚴重崩塌。大甲溪流域歷經 了集集大地震後,自德基壩至馬鞍壩間河段 沿岸集水區造成規模不等之崩塌。崩塌土砂 易受地形影響,因流入而堆積於各主支流河 道產生衍生災害,嚴重影響交通重要通道。 形成河道土石淤積、水位暴漲等現象,衝擊 流域內之水利、交通、水力發電等重大設施。 阿邦溪集水區亦因集集大地震而產生嚴重崩 塌,後續歷經桃芝、敏督利及艾利颱風等帶 來強降雨,崩塌土砂往下運移,形成土石流 災害,進而危及台八線、麗陽營區及台電塔 基安全。如何量化分析集水區崩塌土砂運移 對保全對象之危害潛勢,有待研究分析及探 討。

台灣地區位於溫帶與熱帶型交接之 副熱帶季風區域,幾乎每年受到颱風、暴雨、 乾旱及地震等自然因素所影響。同時也遭受 不同規模程度的天然災害,其中主要原因是 位處太平洋板塊、菲律賓海板塊與歐亞大陸 板塊交會處,長期受到板塊間擠壓作用造成 影響,導致台灣地區大小地震頻繁。尤其是 以東部地區最為活躍,且因地質大多屬於幼 年不穩定之地質層。因此,較容易誘發山崩、 地滑、土石流等災害事件

集水區崩塌地所衍生災害的原因大致上 可分為外力及內力所造成影響,山區集水區 坡面因受九二一地震後造成地質破碎、土石 鬆動且加上密集連續強降雨及長延時情況下。 因崩塌堆積大量土石砂礫間孔隙受雨水大量 人滲及侵蝕,使局部淤積河道內之土砂受重 力作用影響下形成土石流。推究其土砂來源 主要成因為崩塌地源頭向源侵蝕、河道凹岸 處及順向坡,又因地質結構過於鬆散,於崩 塌後極易形成堆積土砂,經過長時間堆積河 道或殘留於坡面,受限於地形且無法於短時 間以工程手段辦理清除及治理工程。常常是 引發土石流災害之關鍵,隨即造成衍生災害。 因地震誘發崩塌之原生災害潛勢主要分為滑 落區及堆積區,滑落區主要因受到地形坡度 及地質鬆散破碎加上地震力作用所影響。早 期是以坡面崩塌之大量土砂堆積於河道内且 坡度較為平緩之區段,因表面土層深度較厚, 外部植生入侵較為容易,故在進行判釋評估 階段其植生復育率較為良好。而往往容易忽 略該區屬於堆積土砂且為不穩定區域,是衍 生土砂災害之主要提供料源區。

本研究以大甲溪支流阿邦溪為樣區,採 用多期 Landsat 衛星影像萃取常態化差異植 生指標(NDVI)。繪製崩塌地範圍並計算崩 塌區位各期之植生復育率(VRR),利用群 集分析區分原生災害之崩塌及堆積區位,估 算土砂產出量體,進而以保全對象與原生崩 塌之位相關係。提出集水區崩塌衍生災害之 評估模式,俾供崩塌地治理及管理相關單位 參考。

材料與方法

(一) 研究樣區

本樣區行政區域位於臺中市和平區博愛 里,以阿邦溪集水區為邊界,其涵蓋範圍約 佔和平區博愛里全里面積之 1.23%(全里面 積約 2,516 公頃),河道主流長度約 2.25 公 里,平均坡度約 1/69,屬大甲溪支流。其河 道寬度因受地形限制所影響形成上游平均寬 度約 65 公尺,中游平均寬度約 70 公尺,下 游平均寬度約 150 公尺,由於上游有多處崩 塌區,於災後所產生最大崩塌地面積約為 25.06 公頃。因坡度陡峭加上河道蜿蜒,於 麗陽營區下方台八線公路交接處匯流而進入 大甲溪河川區域內,為本集水區之出流口。

交通方面,沿台八線(中橫公路)行經 臺中市東勢區往谷關方向約 31 公里便可到 達麗陽阿邦溪集水區(圖 1、圖 2)位置, 依據文獻記載阿邦溪又名阿本溪,2004年敏 督利及艾莉颱風相繼來襲並挾帶豐沛雨量, 造成上游崩塌區位之大量土砂往下游推移。 使阿邦溪集水區造成崩塌及土石流災害,並 對沿岸台電高壓電塔、麗陽營區及台八線公 路造成嚴重災害,且大量土石往下推移流入 大甲溪河床,迫使河道流路改向而影響松鶴 部落之安全。



圖1阿邦溪交通位置圖



圖 2 阿邦溪集水區位置圖

(二) 研究材料

阿邦溪集水區所涵蓋的面積約為 309.5 公頃(表1),顯示高程分布最低約700m,最 高為 1779m,其中以 1200~1300m 所佔面積 約 44.66 公頃,佔全區面積約 14.43%(圖 3、 圖 4)。集水區坡度分佈狀況其中以六級坡 (55%~100%)分布最多,所佔面積約 204.3 公 頃,佔全區面積約 66.01%(表 2)。集水區 坡向分佈狀況(表 3),其中以東南向分佈 最多,約 86.64 公頃佔全區 27.99%,其次為 東向、南向,佔全區面積 18.60%、17.35%。 (圖 5)

表1阿邦溪集水區高程分布

級數	高程(公尺)	面積(公頃)	百分比(%)
1	<700	3.34	1.09
2	700-800	16.65	5.38
3	800-900	16.19	5.23
4	900-1000	24.67	7.97
5	1000-1100	33.30	10.76
6	1100-1200	36.83	11.90
7	1200-1300	44.66	14.43
8	1300-1400	42.28	13.66
9	1400-1500	39.86	12.88
10	1500-1600	32.84	10.61
11	1600-1700	16.34	5.28
12	1700 <	2.54	0.83
總和		309.5	100.00

(資料來源:行政院農業委員會林務局

東勢林區管理處,2005)

表2阿邦溪集水區坡度分布

分级	坡度(%)	面積(公頃)	百分比(%)
一級坡	0~5	0.32	0.10
二級坡	5~15	4.96	1.60
三級坡	15~30	16.02	5.17
四級坡	30~40	17.46	5.64
五級坡	40~55	40.82	13.19
六級坡	55~100	204.30	66.01
七級坡	> 100	25.62	8.28
合計		309.50	100.00

(資料來源:行政院農業委員會林務局

東勢林區管理處,2005)



表3阿邦溪集水區坡向分布

面積(公頃)

13.55

43.74

57.57

86.64 53.70

30.75

19.35

4.20

309.50

百分比(%)

4.38

14.13

18.60

27.99

17.35

9.93

6.25

1.36

100.00

坡向

北 東北

東

南西南

西 西北

合計

東南

(資料來源:行政院農業委員會

林務局東勢林區管理處,2005)



圖 3 阿邦溪集水區坡度分布(2005)

圖 4 阿邦溪集水區高程分布(2005)



圖 5 阿邦溪集水區坡向分布(2005) 地層分布經查詢中央地質調查所-地質

資料整合查詢系統「國姓圖幅 1/50000 地質

圖」結果顯示,集水區所出露的地層皆為漸 新世厚層、塊狀白色中至極粗粒石英岩及硬 頁岩,全區大致為四稜砂岩分布(表 4)。 四稜砂岩的特徵為厚層淺灰色至灰白色石英 岩質砂岩或石英岩為主,部分夾呈暗灰色硬 質岩或板岩,由阿邦溪集水區現場岩層露頭 發現,四稜砂岩硬頁岩和板岩發達且相當緻 密,通常形成自然陡坡峭壁並呈現清晰可見 的木片狀破裂之岩面。

表4地層分布

地質年代↩	<u>岩性</u> ←	地層⇔	面積(ha)⊬	百分比(%)
漸新世⇔	<u>厚層或</u> 塊狀白色中 <u>至極粗粒石英</u> 岩及 硬頁岩←	四稜砂岩↔	309.5↩	100년
	合計↔		309.5⇔	100∈⊐

(資料來源:行政院農業委員會林務局

東勢林區管理處,2005)

距離本樣區 30 公里內之活斷層,由近 而遠依序有大茅埔-雙冬斷層、水里坑斷層、 力行斷層、車籠埔斷層、梨山斷層、霧社斷 層、萬大斷層、曲冰斷層、三義斷層、屯子 腳斷層、武界斷層;獅潭斷層與環山斷層等 13 條(表5)。

表5活斷層分布

序號	斷層名稱	距離 (公里)	序號	斷層名稱	距離 (公里)
1	大茅埔-雙 冬斷層	12.406	8	曲冰斷層	25.872
2	水裡坑斷層	15.638	9	三義斷層	27.672
3	力行斷層	18.599	10	屯子腳斷層	28.540
4	车笼埔断层	19.072	11	武界斷層	30.251
5	梨山斷層	19.375	12	獅潭斷層	30.764
6	霧社斷層	19.765	13	環山斷層	31.797
7	萬大斷層	23.965			

(資料來源:行政院農業委員會林務局東勢 林區管理處,2005)

樣區附近之地層位態主要受西北側約 4 公里之鞍馬山背斜及東南側約 3 公里之裡冷 向斜所影響,大致呈東北-西南走向,向東 南傾斜 30~90 度不等的變化,而局部地層呈 西北-東南走向,向西南傾斜,地質構造分 佈(圖6)。本區地層主要因受 921 地震之影 響,岩層多處呈碎片狀且局部呈碎塊狀,所 以地質構造較為複雜,且現場節理相當發達, 顯示地質條件甚為脆弱鬆散,若考慮坡度與 降雨條件因子影響下,則易形成土石流往下 推移危害保全對象之安全。



圖 6 地質分布

(資料來源:中央地質調查所-地質資料整合 查詢系統,國姓圖幅 2010)

地質構造土壤分佈則參照行政院農業委員會林務局東勢林區管理處(2005)報告指出, 本樣區主要以崩積土與石質土為主,其中石 質土所佔面積約 44.61 公頃,佔全區面積 14.42%,崩積土所佔面積約 17.16 公頃,佔 全區面積 5.55%,其餘為未調查區為石質土, 土壤分布狀況(表 6),主要性質說明如下:

1.崩積土:

主要在石岡壩至馬鞍壩間丘陵地之河谷 或陡坡及沿著臺中市和平區南勢里至谷關兩 側溪谷間分布,因節理或劈理等弱面相當發 達,裸露風化或溝谷侵蝕而崩落於山谷中, 多呈角礫狀夾帶砂土,堆積疏鬆,透水性佳, 其穩定性差。崩積土依特性可分為砂頁岩淡 色崩積土及砂頁岩暗色崩積土,其特性分述 如下:

砂頁岩淡色崩積土係由台灣本島各式地 質岩層中所含之砂岩與頁岩等風化物夥同石 塊經崩積而堆成的,其主要性質有:土層深 淺不一,因成土之地形、地勢、位置、坡度、 崩積物之風化程度、以及沖蝕情形等因子而 異;排水良好或尚良好。

底土顏色常屬黃棕至稍暗黃棕色,或棕 至暗棕色等。底土多屬中質地,以壤土至砂 質粘壤土間之質地最為常見;但若成土母質 之頁岩風化物居明顯優勢時,則底土質地亦 會粘重如坋質粘土;一般而言,土壤剖面中 都含有或多或少量之石塊或半風化之母岩碎 片。土壤多屬鈍角塊狀或扇粒狀構造;結構 則有隨深度之遞增而漸趨緊密之勢。

(1)表土多屬極端強酸至強酸性反應,pH 值常在 3.8 至 5.0 間;底土則多呈強酸性反應,pH 值常屬 4.0 至 5.5 間者。

(2)砂頁岩暗色崩積土係由西部麓山帶 以迄中央山脈上之各式地質岩層中所含之砂、 頁岩的近世之風化物夥同其石塊經崩積而堆 成的;其發育程度幾與石質土不分軒輊,土 壤之基本性質或受有機物之影響,或仍深受 母質之左右,變異性相當大,但其主要的一 般性質仍可歸納成下列數端:

A.土層深淺不一,因成土之地形、地勢、 位置、坡度、崩積物之風化程度以及沖蝕情 形等等因子而異;排水良好或尚良好。

B.底土頻色都相當暗,通常色值(value) 與色度(chroma)都小於4。

C.底土質地以壤土或砂質壤土者最屬常

見,但如果母質之頁岩成分較多時,則底土 質地會轉趨細緻粘重;亦可發現土壤剖面常 含多量(逾50%)之石塊或半風化之母岩碎 片。

D.土壤或屬屑粒狀構造或為鈍角塊狀構造,有機物含量高的地方,偶亦有弱度之團 粒狀構造形成,結構鬆脆。

E.土壤多呈強至極強酸性反應, pH 值 在 5.5 至 4.2 間。

2.石質土

主要分布在馬鞍壩以上之丘陵及山地表 土覆蓋層之下,為岩盤經風化而成,尚保有 母岩特性,部分並含有母岩之塊石,因而滲 透性頗佳,由砂、頁岩之石塊、半風化碎片 以及細粒物質等經崩積雜摻而成,基本性質 如下:

(1)土壤有效深度(土鑽堪能鑽探的深度)屬浅;排水良好或尚良好。

(2)土壤多屬灰暗色或近似母岩顏色。

(3)土壤質地之變異範圍甚大,由砂質 壤土以迄坋質粘土間之各級質地都可發現, 此應與母質來源中之砂岩與頁岩相對比例之 消長有密切之關係;剖面中常含量 50%以上 之石礫。

(4)土壤或無構造或只弱度發育之屑粒 狀或鈍角塊狀構造;結構多鬆脆。

(5)土壤多呈中至強酸性反應,pH 值由 6.0至4.2。

表6地質分布

序號	土類	土壤性質	土壤厚度 (cm)	面積 (公頃)	百分比 (%)
1	崩積土	壤土	50~89	10.11	3.27
2	崩積土	壤土	20~49	7.06	2.28
3	石質土	壤土	20 以下	44.61	14.41
4		未調查		247.72	80.04
		總計		309.5	100

(資料來源:行政院農業委員會林務局東勢 林區管理處,2005)

水文資料採用鄰近樣區之交通部中央氣 象局上谷關雨量站作為水文資料分析,降雨 主要集中在每年4月至9月豐水期間,11月 至翌年1月較為乾旱,經統計顯示該測站歷 年平均降雨量為2,518公釐,顯示上谷關雨 量站歷年最大之降雨量主要受颱風影響所造 成,分別為85年賀伯颱風(單日最大降雨 量366公釐)、90年桃芝颱風(單日最大降 雨量362.5公釐)、93年敏督利颱風(單日 最大降雨量540公釐)、艾利颱風(單日最 大降雨量603公釐)。

本樣區採用之水文資料分析,因阿邦溪 集水區於集集大地震誘發產生崩塌後,歷經 90 年桃芝颱風造成土砂往下輸移,又以 93 年敏督利颱風所夾帶強降雨及降雨延時長因 素影響下,將上游滑落土砂沿河道往下推移 造成下游土石流災害影響最鉅。因此僅以該 場降雨事件作為本研究崩塌土砂災害推估之 探討分析。

蒐集行政院農業委員會林務局東勢林區 管理處(2005)規劃報告之 SPOT 衛星影像 及正射影像判釋地震發生前後崩塌區位(圖 8a.圖 8b.圖 8c),本研究採用之影像為國立中 央大學太空及遙測研究中心之 Lsandsat 多期 衛星影像(圖 7a.圖 7b.圖 7c)結合 DEM 進 行地形分析、集水區劃定以及地震事件前後 樣區 NDVI 之萃取,判釋地震誘發崩塌堆積 區位,估算集水區崩塌土砂衍生災害之風險 度(表7)。

表7研究材料

材料名稱↩	來源↩	用途⇔	年份↩	所
Landsat 衛星 影像←	美國地質調查中心↔ USGS⇔	NDVI← VRR←	1999~2000€	30n
DEM←	內政部↓ 地政司↓	估 算 土 方 量體⇔	2004∈⊐	20n
SPOT 衛星↩ 影像↩	國立中央大學太空 及遙測研究中心↩	<u>判釋崩塌</u> 區位↩	1999~2000↩	6n



圖 7b 地震後阿邦溪集水區衛星影像(2000)



圖 7c 桃芝颱風後阿邦溪集水區空拍正射影 像(2001)



圖 7a 地震前阿邦溪集水區衛星影像 (1999)



圖 8a 地震前阿邦溪集水區衛星影像 (1999.09)



圖 8b 地震後阿邦溪集水區衛星影像

(1999.10)



圖 8c 評估期阿邦溪集水區衛星影像 (2000.10)

(資料來源:內政部地政司,1999~2000)

(三)研究方法

利用蒐集行政院農業委員會林務局東勢 林區管理處治理規劃報告(2005)共三期之 影像(含1999年集集大地震前SPOT衛星影 像、1999年集集大地震後SPOT衛星影像及 2000年桃芝颱風後正射影像)如圖7a~c,比 對各期之影像後可明顯看出,集水區在集集 大地震後產生大規模崩塌地。且其崩塌土石 滑落並堆積於上游,中下游並無明顯土砂堆 積現象;由於桃芝颱風後集水區中下游已有 明顯河道型態產生,且已呈現大量土砂堆積, 敏督利及艾利颱風後更造成大規模土石輸移 流動,更形成河道土石堆積狀況。 1.崩塌地萃取

(1)影像相減法

崩塌災害前後影像之崩塌地變遷分析, 應用影像相減法(Image Subtraction)可迅速取 得新增加崩塌區位。影像相減的原理(圖 9) 是將前後期兩個衛星影像予相減後之結果, 沒有改變的區域,光譜差值會非常小或接近 於零。變遷較大地區,光譜值會呈現為正值 或負值。以8位元儲存格式為例,相減後之 值其分布值域介於-255 到+255 之間,在理 論上未發生變遷的光譜差值分布趨於0附近, 通常可加上一常數轉換至正值(Jensen, 1996),其計算式輸出值如下:

$$BV_{out} = (BV_{\overline{a}} - BV_{\overline{A}})/2 + C....(1)$$

式中,BV_out:改變的光譜值,即為 影像相減輸出值;BV_a:前期的光譜值,即 為前期原始影像值;BV_A:後期的光譜值, 即為後期原始影像值;C:常數



圖 9 影像相減法示意圖

(2) 滑落與堆積區劃定

K-means 群集分析(Cluster analysi 主要 採用物件自身的資料,與較為相似的樣本資 料群分析並歸類在同一個類別區域,再將關 係資訊做為基礎分成多個或數個群集,在分 析中進行評估物件與物件之間的相似性。然 後依照不同理論區分各類分群,如以形狀、 圖樣、密度等或共有屬性等分群方式進行 (施雅月、賴錦慧,2008)。

本樣區將原生災害產生之崩塌土砂區位, 採 K-means 群集分析依植生復育狀況不同區 分,植生復育狀況較佳為堆積區;植生復育 狀況較不佳為滑落區。

涂富鈞(2016)以多期 NDVI 依災後至 評估期之堆積區時間序列劃分,採用移動平 均法繪製變化趨勢圖,於災後約為 318 天 (圖 10、圖 11)變化最為明顯。崩塌發生 後,土砂滑落至堆積區,植生生長較為快速。 為儘速找出滑落及堆積區位俾利治理與保育 工作,利用移動平均(Moving Average)之概 念,將 K-means 劃分評估期植生復育面積繪 製趨勢圖,藉以判釋堆積區植物生長達到穩 定之時間點。由繪製斜率變化趨勢圖,可看 出崩塌地各時間點之植生復育良好區位,在 移動平均斜率變化最大的時間點以後並無大 幅度起伏變化,代表崩塌堆積區植生復育前、 後兩期變化漸趨穩定。



圖 10 崩塌地堆積區劃定

由分析結果發現,崩塌堆積區之植生復 育為期約一年,為防止土砂持續往下運移, 必要時得藉由工程手段採人工植生方式迫使 植生復育率略微提升,於進行土砂崩塌量體

計算時容易造成低估之情況,亦會影響檢討 分析之結果。

圖 11 集水區滑落與堆積區分



2.常態化差異植生指標

Rouse et al. 係首位於 1973 年提出 NDVI 概念的學者,基於集水區內植被分布較多的 區位具有較明顯且高的近紅外光波段(NIR) 反射及較為偏低的紅光波段(R)反射。因此 將 NDVI 定義為以近紅外光波段反射值與紅 光波段反射值兩者之差值再除以兩者相加數 值之和(Elvidge and Chen, 1995)。計算公式 如下:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$
 (2)

NIR: 近紅外光R: 紅光

經計算後 NDVI 之數值分佈其值域分布 介於-1 至 1 之間。當 R=0 時,有最大值 1; 反之,當 NIR=0 時,有最小值-1。值越大越 接近 1,植物表示植物生長愈好。當 NDVI 值域越低趨近於-1時,坡面植生覆蓋率較低, 則表示集水區內崩塌地裸露範圍面積涵蓋較 大。遇強降雨或降雨集中時所產生之地表逕 流量,相對隨雨量大小而增加,裸露之坡地 表面,經常容易因降雨遭受沖蝕形成蝕溝而 釀成向下滑落或產生崩落現象,顯示該坡地 崩塌區位經常受到降雨侵蝕所致。往往造成 植生自然入侵不易及恢復狀況相對較難,且 日後極為容易產生土砂崩塌衍生災害。

經過 NDVI 萃取後顯示集水區在集集大 地震發生前期(圖 13a),其平均值為 0.58(圖 12),表示當時植物生長茂盛並覆蓋 於坡面;在地震發生後因坡度位相關係,造 成大規模崩塌其平均值為 0.053(圖 13b), 大部分植生因地震誘發崩塌自坡面滑落於坡 腳形成土砂堆積區;經過一年後評估(圖 13c)因崩塌堆積土砂覆蓋表層,外部植物 自然入侵其平均值為 0.24,使得崩塌土砂堆 積區位植生復育漸漸恢復之狀況。







圖 13a 地震前阿邦溪集水區 NDVI(1999)



圖 13b 地震後阿邦溪集水區 NDVI(1999)



圖 13c 評估期阿邦溪集水區 NDVI(2000)

3.植生復育率

經式(3)VRR 求得植生覆蓋因子 C(圖 14a.圖14b.圖14c)後,計算集水區崩塌地範 圍內的植生復率(VRR),以崩塌初期之植 生覆蓋因子 C2 與崩塌評估期之植生覆蓋因 子 C3 兩者之差值除以崩塌初期之植生覆蓋 因子 C2與崩塌前之植生覆蓋因子 C1 兩者之 差值。

VRR $(\%) = (C2-C3) / (C2-C1) \cdots (3)$

林昭遠等(2001)則利用不同時期衛星 影像之 NDVI 差值,進行崩塌地植生監測與 評估,提出植生復育率,可量化檢測崩塌地 植生恢復情形。

王祥帆(2006)提到利用 921 地震災害

前後期 SPOT 衛星影像進行集水區崩塌區位 的判釋,再用同時期的衛星影像評估地震後 崩塌區位的植生復育狀況,且利用嵌塊體理 論進行分析,針對植生復育率之高程、坡度、 坡向、地質等多項可能影響因子,從中找出 具相關聯之影響因子進行迴歸分析,藉以評 估影響崩塌區位植生復育率最大之因子。



圖 14a 地震前阿邦溪集水區植生覆蓋因子 (1999)



圖 14b 地震後阿邦溪集水區植生覆蓋因子 (1999)



圖 14c 評估期阿邦溪集水區植生覆蓋因子 (2000)

4.崩塌深度

為了進一步了解集水區崩塌原生災害及 衍生災害風險評估之危害度與脆弱度、規模 及災害崩塌區位,應先針對地震所影響造成 崩塌土砂評估其崩塌深度。依 Khazai and Sitar (2000)經驗公式對集水區之崩塌地進 行評估階段,必須依集水區不同的坡面坡度 範圍內率定具有代表性的各種崩塌深度(表 8)。相關研究中提到除了以坡面坡度作為代 表值進行推估可能的崩塌深度外,中央地質 調查研究所根據統計調查過去所發生崩塌的 案例,針對崩塌面積與崩塌深度進行探討修 正(表9)。

表8坡度與崩塌代表性深度對照

坡面坡度(度)+	崩塌平均位	代表深度 (m) ↩
Ę	<u>Khazai</u> and Sitar (2000) ↩	國家災害防救科技中 研究報告(2004)
0~30	2.0↩□	5.0↩
30~40↩	1.5↩	4.0←
40~60⇔	1.0↩	3.0↩
$>\!60 \leftarrow$	0.5↩	2.0←

(資料來源:國家災害防救科技中心研究報告,2004)

表9崩塌面積與崩塌代表性深度修正對照表

崩塌面積(ha)	崩塌平均代表深度(m)	
0~0.1	1.0	
0.1~1	2.0	
1~10	5.0	
> 60	10.0	

(資料來源:中央地質調查研究所)

5.崩塌量估算

為估算集水區因地震誘發崩塌土砂量, 以 Khazai and Sitar 經驗式對集水區崩塌地進 行評估時,因其為現調方式,崩塌面係取斜 坡面積且崩塌深度係採斜坡之法線加以估算 崩塌量體;此有別於利用航遙測判釋之崩塌 地,主要是利用崩塌投影面積及崩塌地高程 變化所計算之量體。因此航遙測判釋之崩塌 區位其崩塌深度之計算不宜直接採用該經驗 式,宜加以修正。

林昭遠及莊智瑋(2009)提出針對 921 地震災後所造成之集水區崩塌地,則利用地 理資訊系統、衛星影像判釋等相關科技技術。 並配合蒐集地震發生前期與後期之數值高程 模型 DEM 進行崩塌地土方量推估計算,再 與 Khazai and Sitar 所提經驗公式推估計算後 進行比對探討。結果顯示 Khazai and Sitar 的 推估計算方法明顯低估了崩塌地土方量。其 崩塌深度與坡度兩者之間是屬於正相關,因 此,利用迴歸方程式加以調整修正,藉以推 估計算較能接近實際所發生之崩塌土方量 (圖 15)。因此,該經驗公式之主要成因架 構係屬於美國所適用,考量台灣地區之集水 區因地形與地質等多項條件不同情況下。工 程治理單位採用此方法運用於集水區崩塌土 方量推估時,建議可參考相關研究結果後進 行檢討修正後,方可使用於推估計算作業。



圖 15 DEM 修正土方量推估圖

(資料來源:林昭遠及莊智瑋,2009)

6.泥砂遞移率

Lin et al. (2002)所提出泥砂遞移量的 推估計算方式,主要考慮自集水區上游之泥 砂經雨水沖蝕作用下順沿河道之坡度推移作 用傳送至下游出流口處,稱為集水區泥砂產 量;此時與集水區面積飽受雨水沖蝕之總沖 蝕量大不相同。崩塌堆積區內土砂順延河道 隨降雨強度通過其中一個河道斷面或點位所 輸出產砂量與該河道斷面或點位以上的集水 區總土壤流失量之比值,稱為泥砂遞移率 (Sediment Delivery Ratio, SDR)。

林昭遠等(2006)提出集水區崩塌地對 下游保全對象流出之泥砂產量為源頭所崩塌 的土砂量,因降雨挾帶而順沿河道往下游遞 移至保全對象之泥砂輸送量,集水區流出之 泥砂遞移路徑計算公式以圖 16 說明表示; 假設在集水區上游源頭C點發生崩塌,必須 考慮土砂輸送運移到常流水之能力即加以遞 移率公式修正。另外由於集水區所崩塌之土 砂顆粒粒徑均為同時對於下游之保全對象搬 運能力亦不相同,顆粒粒徑較大之所需崩塌 搬運動能亦須較高,對下游產生影響較為不 易;反觀崩塌若為較小顆粒之土砂則較易於 搬運,所需崩塌搬運動能則較低。因此,爰 依崩塌類型以不同大小粒徑分別給與不同的 輸砂衰减係數進行修正,並配合事件雨量與 年平均雨量之比值;即為坡面泥砂遞移量。



圖 16 集水區泥砂遞移率示意圖

7.地形濕度指標

Beven et al. (1979)所提出地形濕度指 標(Topographic Wetness Index, TWI)主要 考慮地形造成影響地表逕流與入滲,往往在 集水區上游主要河道或坡面上其坡度因較為 陡峭之網格區位常因地表表面逕流流速過快, 較不易對地表土層產生入滲作用。而相較於 集水區下游河道或坡度較為平緩之網格區位, 因地表水流速較為緩和更容易產生地表面滯 留,而形成快速入滲作用。因此,地形濕度 指標必須考慮集水區所匯集之總逕流量,所 以計算指標係以該網格區位之集水面積作為 逕流匯入值大小,其公式如下:

TWI=ln (As/(tan θ))(4)

As 表示集水區網格之面積, θ 代表集 水區網格之坡度。 以集水區地形濕度指標(圖 17)作為 土砂衍生災害之脆弱度,崩塌土砂衍生災害 主要是地震誘發所影響。由於早期因崩塌形 成堆積,多數隨著沖蝕蝕溝與坡面沿逕流方 向流入河道。因此,該指標可代表上游集水 區面積之大小,藉以推估該區位網格將有多 少土砂量流入,相同可從集水區坡面之坡度 陡峭或平緩區位推估土砂流失量比例,計算 集水區下游保全對象之衍生脆弱度。



圖 17 集水區地形濕度指標示意圖

藉由相關環境指標建置衍生災害風險評 估方法,利用保全對象與原生災害區位之位 相關係,本研究流程圖,如圖 18 所示



圖 18 研究流程

結果與討論

本研究分析流程應用環境指標建置衍生 災害風險評估方法,經保全對象與原生災害 區位之位相關係切入,以下分別探討:

植生復育變遷分析<u>、</u>崩塌土砂量推估、 衍生災害風險度及治理對策討論。

(一)植生復育變遷分析

集水區因地震所造成大面積崩塌,往往 伴隨颱風強降雨事件,植生復育不佳區位, 無法自然入侵。容易受雨量強度影響導致地 表逕流量增加,易於坡面形成沖蝕溝,裸露 坡地表面經沖蝕後自然向下滑落或產生崩落 現象,則崩塌區位經常受到降雨侵蝕影響, 日後極為容易產生土砂崩塌衍生災害。

利用衛星影像將災前、災後以相減法萃 取崩塌區位,由K-means群集分析將原生災 害所產生之崩塌地劃分成滑落區及堆積區 (圖 19、圖 20)。分析結果顯示,集水區崩 塌地位於陡峭及順向坡區位,因岩盤裸露自 然入侵不易條 件下植生復育較差;堆積區 經航拍影像顯示崩塌發生後,因表土殘留且 有部分植生殘留,因此該區位自然入侵機率 較高且植生復育較佳。

由植生復育率劃分滑落區及堆積區位置, 分析顯示,滑落區發生位置多在陡坡及山脊 陵線,不利植生復育。經判釋於樣區西南向 以紅色圈選處為集水區劃設之邊緣區位,地 震發生時僅邊緣少量土砂滑落。目前植生狀 況良好,仍需持續觀察其變化;另東南向則 為較大面積堆積區,研判土砂量體較多,又 位於順向坡區位。由此推測,堆積區大量崩 塌土砂滯留,表示未來極有可能成為衍生災 害之主要料源。



圖 19 VRR 劃分滑落與堆積區位圖



圖 20 西南向殘留土砂區位圖

(圖片來源: https://www.google.com.tw/intl/zh-TW/earth/, 2023)

(二)崩塌土砂量推估

依據行政院農業委員會林務局東勢林區 管理處(2005)規劃報告,崩塌所造成之土 砂量推估採用日本在集水區治理規劃,對單 一場強降雨所造成崩塌土砂生產量,多採用 打荻式經驗公式(打荻,1971)進行估算, 其公式如下:

$$Y = \frac{C_a}{A} = K \times 10^{-6} (R - r)^2$$
... (5)

式中:Y:新增崩塌率;Ca:新增崩塌 面積(m²);A:集水區面積(m²);K:係數;R: 累積雨量(採用 50 年重現期距一日暴雨量 660mm);

r:發生崩塌之臨界雨量(mm)。

上式所示,K,r 係與現地地文條件相 關之特定值,需透過樣區之崩塌現地調查資 料加以擇定,若無相關資料參考,可透過實 測產砂或泥砂濃度資料,藉由模式參數率定 方式決定。因該計畫係依據現調所得資料, 採崩壞率 A/a 訂定參數如下:

A/a < 1%	, r=500mm , K=0.6
$1\% \le A/a < 5\%$, r=400mm , K=0.6
$5\% \le A/a < 10\%$, r=300mm , K=0.6
$10\% \leq A/a$, r=200mm , K=0.8

由上式中,A為集水區現況崩塌地面積, a為全集水區面積。崩塌土方量可由新增崩 塌面積 Ca乘以崩塌土層厚度求得,經由現 地估計平均崩塌深度 3.28m,崩塌土方量推 估約 840,000m³。

敏督利颱風造成土石流災害,依「桃芝 颱風災區土石流潛勢分析成果」報告調查結 果指出,採用最小二乘法推求計算平均值曲 線,再以該曲線之斜率推求計算出各種不被 超過之回歸方程式,在不超過 90%之回歸 方程式如下:

V=120,418 $A^{0.56}$ (6)

A: 坡度 30%以上河床所佔面積 (2.72Km2); V:土砂流出量

經計算結果,樣區之土砂流出量約 211,000 m³,

上游殘存量體約 629,000 m³。

以 20m x 20m 之 DEM 計算原生災害崩 場面積所佔網格數,利用 Khazai and Sitar 經 驗式修正後,經計算結果顯示,土方量推估 約 464,300 m³,採用敏督利颱風土砂流出量 約 211,000m³,上游殘存量體約 253,300m³ (表 10)。

土方量體推估差異因規劃報告以打获式 經驗公式推算集水區在強降雨影響下所造成 崩塌地泥砂流失量,而本文僅推估原生災害 崩塌產生土砂量,以回歸修正分析所檢算得 到土砂量與現況較為相符(圖 21a.圖 21b)。

	林務局規劃報告	本研究
原生崩塌面積 (公頃)	25.62	15.84
土方量 (立方公尺)	840,000	464,300
敏督利衍生災害流出量 (立方公尺)	211,000	211,000
上游殘存土砂量 (立方公尺)	629,000	253,300
推估方法	打获式,1971	KS 修正法,2009





圖 21a 崩塌推估土砂量體



圖 21b 崩塌推估土砂量體

(三)衍生災害風險度

樣區地震誘發崩塌主要位於阿邦溪集水 區上游,後續經颱風挾帶豐沛雨量,使得堆 積土砂漸往下游推移易形成衍生災害,由於 集水區所衍生之崩塌危害度越大時,對下游 保全對象造成之風險度則越高;因此,崩塌 地堆積區之泥砂遞移率越高之區位,對下游 保全對象之衝擊及致災風險則越高。

在原生崩塌區位下游處之保全對象極易 遭受土砂災害影響,需考量上游處不同的集 水分區泥砂輸送往下推移之土砂量體。集水 區因地震誘發崩塌衍生災害風險評估與泥砂 遞移率有關,當崩塌原生區位泥砂遞移率越 高,則對保全對象衝擊危害風險則越高。因 此,崩塌衍生災害之危害度(Hd)(圖22), 係以原生災害堆積之土砂量(圖23)及其泥砂 遞移率(SDR)(圖24)乘積加以計算。集水 區坡度越趨於平緩及集水區面積越大之區位, 因土砂易形成滯留堆積,故以地形濕度指標 (TWI)做為衍生災害風險之脆弱度(Vd)指 標(圖25)修正。集水區崩塌衍生災害風險 (Rd)之計算式如下式。

$Rd = Hd \times Vd$

= (堆積土砂量 x SDR) x TWI(7)



圖 22 衍生災害危害度

分析結果,因地震誘發崩塌所形成堆積 區,崩塌土砂位於下邊坡及坡腳處,前經行 政院農業委員會林務局東勢林區管理處採分 年分期方式辦理各項土砂抑制工程等設施。 主要目的為防止土砂向下推移並減少災害損 失,藉由一系列整治工程做為防砂、防止縱 橫向沖蝕及調整河道坡降,使原本坡度陡峭 河道區位逐漸趨於平緩,往往忽略集水區堆 積土砂後續仍會隨著降雨往下游推移輸送淤 積,造成衍生災害。利用分析計算所得之風 險度(圖 26),套繪衛星影像與原生災害區位 之位相關係(圖 27),優選出災害重點區位, 供後續保育與治理參考。 李培文、劉士榮: 阿邦溪集水區地震誘發崩塌土砂災害推估之研究



圖 25 地形濕度指標



圖 26 衍生風險度



圖 23 堆積深度推估



圖 24 泥砂遞移率



圖 27 保全對象位相關係

(圖片來源: https://www.google.com.tw/intl/zh-TW/earth/, 2023)

(四)治理對策討論

針對阿邦溪集水區崩塌地,於107年5 月2日現地勘查,囿於交通不便,輔以無人 飛行載具(UAV)進行空中拍攝協助勘查 作業,並擷取拍攝時影像。發現堆積區上游 河道土砂淤滿,左岸亦有山溝形成土石往下 運移現象。往中下游河道防砂壩、副壩及固 床工也因土石淤滿(圖28)。

從無人飛行載具(UAV)進行空中拍攝作 業俯瞰阿邦溪集水區及現況相片,可明顯看 出原堆積區下游防砂壩及梳子壩已明顯淤滿, 且有較大粒徑塊石出現。目前防砂保育仍以 集水區整體考量,針對下游交通可達之防砂 壩及梳子壩位置,優先辦理壩體土石清淤工 作。利用辦理土石清淤,將較大粒徑之塊石 篩選集中,可供作為河道沿岸砌排塊石加強 邊坡保護之用,另可將大粒徑塊石拋放於防 砂壩等壩體下游處作為壩體基礎保護及兼具 消能之功用。



圖 28 防砂設施相關設施位置圖

本研究推估仍存有土砂約 253,300m³, 未來在颱風季節或強降雨事件影響下,考量 可供後續足夠儲存空間,應重新檢算各壩體 之最大容積量。依水土保持工程手冊工程篇 (2017),防砂壩防砂量公式演算結果,顯 示0+170~0+560河段壩體可清淤約 302,780 m³ (表 11),可有效抑制土砂。經檢核各壩體 之淨空最大容積量(302,780 m3)大於上游土 砂堆積量(253,300m3)。

 $\mathbf{S}_{v1} = nH_e^2\overline{B}$ (8)

式中,Sv1=防砂壩貯砂量(m3);

n = 1 / S_o; S_o =原河床坡度; B =防砂壩 上游淤砂範圍之平均河寬(m); He =壩體有 效高度(m)。

若 0+170~0+560 間壩體未能及時清淤, 為防止後續降雨造成土砂災害,需增加防砂 儲存空間考量,可於 0+050~0+170 河段規劃 設置大型沉砂池增加防砂容量儲滯空間。

表 11 防砂量計算

樁號	有效壩高	平均河床宽	原河床坡度	防砂量	(m ³)
	(m)	(m)	(%)		
0+170	5	160	26.79	14,600	
0+220	5	193	15.46	275,570	
0+340	10	251	17.31	143,421	
0+560	10	150	12.71	11,7189	
合計				302,780	

結論與建議

(一)結論

1、行政院農業委員會林務局東勢林區 管理處(2005)規劃報告:阿邦溪集水區上 游仍殘存土砂量約 629,000m3,與本研究所 推估約 253,300m3,明顯差異,主要是原報 告將堆積區位視為崩塌地致崩塌面積較大, 重複計算崩落區位所致。

2、集水區崩塌地評估,利用航遙測判 釋崩塌區位,輔以 Khazai and Sitar 經驗公式 修正,進行土砂量推估作業,既快速又準確, 較能接近實際所發生之崩塌土方量。

3、地震誘發崩塌土砂災害,可由相關 環境指標建置模式配合衍生災害風險評估, 利用保全對象與衍生災害區位之位相關係, 重新檢討整治工法,提供保育及管理單位之 參考。

(二)建議

 1、針對阿邦溪集水區,發現中下游河 道已遭土砂淤滿,建議管理機關,以無人飛 行載具(UAV)進行空中拍攝及加強災害重點 區位即時監控觀測。

2、阿邦溪集水區避免衍生災害發生治
 理對策,上游段(1+440~堆積區)因坡面陡峭、
 土砂堆積較為鬆散,施工困難且危險性高,
 以自然植生復育為主;中游段(0+560~1+440)

則依維持現況保留既有設施功能穩定河床、 調整坡度及抑制縱橫向沖刷,惟仍需持續觀 察河道變化及沖刷程度。下游段 (0+170~0+560)壩體及河道已遭淤滿,為因應 強降雨所造成大量土砂遞移,建議每年應辦 理清淤工作併辦土石標售並於出流口 (0+050~0+170)增設大型沉砂池,以提高土砂 儲存空間,達到防災減災功效及增加經濟收 益。

参考文獻

- 中央地質調查所-地質資料整合查詢系 統 https://www.moeacgs.gov.tw/app/index.jsp
- 王祥帆(2006),「南港溪集水區崩塌地 植生復育與影響因素之探討」,碩士論 文。
- 行政院農委會林務局東勢林區管理處 (2005),「阿邦溪整體治理規劃工程」。
- 行政院農業委員會水土保持局(2017), 「水土保持手冊-工程篇、土石流篇」。
- 林于荃(2012)「集水區崩塌地植生復 育影響因子及治理區為優選之研究」, 碩士論文。
- 林昭遠、陳昱豪、林家榮等(2006), 「集水區泥砂產量推估之研究」,水土 保持學報 38(2): 207-218 (2006)。
- 林昭遠及莊智瑋(2009),「921 地震崩 塌地特性及變遷監測分析」,921 地震 對生態影響與回復研討會論文集 11-32。
- 8. 施雅月、賴錦慧(2008),「資料探勘」,

培生教育出版社。

- 涂富鈞(2016),「以植生指標劃定集水 區崩塌地土砂二次災害潛勢之研究」, 國立中興大學水土保持學系碩士學位 論文。
- 國家災害防救科技中心(災害潛勢地圖 網站)https://dmap.ncdr.nat.gov.tw/
- 莊智瑋(2010),「環境指標應用於崩塌
 地植生復育之研究」,中興大學水土保
 持系博士論文。
- 經濟部水利署水利規劃試驗所(2015), 「大甲溪流域因應氣候變遷防洪及土 砂研究計畫」。
- Beven, K. J. and M. J. Kirkby., 1979, A physically based variable contributing area model of basin hydrology, Hydrol Science. Bull 24(1): 43-69.
- Elvidge, C.D. and Z. Chen., 1995, Comparison of broad-band and narrowband red and near-infrared vegetation indices. Remote Sens. Environ. 54:38-48.
- Khazai, B. and N. Sitar., 2000, Assessment of Seismic Slope Stability Using GIS Modeling, Geographic Information Sciences, 6(2), 121-128.
- Lin, C. Y., W. Z. Lin and W. C. Chou., 2002, Soil erosion prediction and sediment yield estimation: the Taiwan experience, Soil and Tillage Research, 68 (2002):143-152.
- Lin, C.Y., W.T. Lin, W.C. Chou., 2002, Soil erosion prediction andsediment yield estimation, the Taiwan experience. Soil &

Tillage Research 68, 2, pp. 143-152.

 Rouse, J. W., Haas, R. H. Jr. Schell, J. A. and Deering, D. W., 1974, Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS, NASA SP-351, 3rd ERTS-1 Symposium, Washington, DC, 309-317.

> 112年09月04日收稿 112年09月21日修改 112年10月06日接受