

草嶺潭上游集水區危險聚落調查與防災對策之探討

蔡明波⁽¹⁾ 李錦浚⁽²⁾

摘要

本文針對草嶺潭堰塞湖上游集水區內之豐山村與來吉村聚落，提出安全評定方式，以評定聚落受到崩場地、土石流、野溪坑溝、道路水土保持等問題之影響程度，並據以提出危險聚落之分布區位。同時，分析集水區災害與土砂特性，提出保護危險聚落防災對策。

利用地理資訊系統(GIS)、數值地形模型(DEM)與遙測技術進行資料蒐集分析、危險聚落之區位調查、崩場地歷年變遷分析、河道歷年縱斷面沖淤變化分析，發現危險聚落主要分布於土石流與溪流沖淤影響範圍內，影響聚落安全主要肇因於集水區上游崩場地大量土砂生產，以及草嶺潭堰塞湖造成集水區河道輸砂特性之改變。依據問題分析，本文提出野溪處理對策、崩場地處理對策、道路水土保持對策、地區安全警戒系統，將可有效保護危險聚落之安全，降低自然災害所引發之規模。

(**關鍵字**：草嶺潭、集水區、土石流)

Governing Factors and Mitigation Strategies for Potentially Unsafe Settlements in the Upstream Watershed of Tsaoling Lake, Yun-Lin County

Ming-Po Tsai⁽¹⁾ C.C.Lee⁽²⁾

Graduate Students, Department of Soil and Water Conservation,

National Chung-Hsing University, Taichung 402, Taiwan. R.O.C

ABSTRACT

This study was to assess potentially unsafe settlements in the upstream watershed of Tsaoling lake in Fong Shan village and Lai Ji village. Methods are developed to evaluate the possibilities of settlements affected by landslides and debris flows as related to the locations.

Characteristics of watershed disasters related to soil and water and ways of disasters mitigation are discussed. The landslides at upstream watershed and along the Tsaoling lake is the key factor in causing debris flows and stream sedimentation and endangering the settlements downstream.

(**Keyword** : Tsaoling Lake , Watershed, Debris Flow)

(1) (2) 國立中興大學水土保持學系博士班研究生

前言

台灣地區之山坡地因為地勢陡峭、地質脆弱、河短流急，加以颱風暴雨頻仍，因此山崩、地滑、土石流之土砂災害時有所聞。而這些土砂災害所運移之土石，若阻塞河道將形成堰塞湖，經常造成當地居民之恐慌。堰塞湖形成後，除本身崩落土石極具威脅性外，堰塞湖可能引致下游洪水淹沒上游迴水與溯源等後續災害。

1999年9月21日集集大地震引發台灣地區之十餘座堰塞湖，多數堰塞湖已在短時間潰決(陳樹群，1999)，較為特殊案例為草嶺潭堰塞湖事件，根據水利署調查，草嶺潭堰塞湖自有紀錄以來，已發生過四次崩塌與潰決，集集大地震引發之堰塞湖已為草嶺潭第四次之崩塌(楊明德等，2001)，該次災害崩坍土石阻塞原有清水溪河道而在上游形成蓄水體積約4,200萬立方公尺(許盈松等，2005)，對於上下游地區形成強大之災害威脅。

有關草嶺潭堰塞湖治理之研究，多集中於探討下游洪水災害潛勢，以及堰塞湖本身安定檢討，對於堰塞湖上游集水區之聚落安全所受到之影響，則較為缺乏。事實上，以草嶺潭堰塞湖上游集水區為例，堰塞湖形成後造成上游河床坡度趨緩，使得土砂運移能力降低，上游河床高程逐漸抬昇；堰塞湖潰決後，產生溯源侵蝕，上游河床高程再次降低。由歷史災害來看，堰塞湖之形成與潰決，往復之間對上游集水區土砂運移造成重大影響，連帶對集水區內聚落安全亦受到重大之威脅。

本文擬針對草嶺潭堰塞湖上游集水區之聚落安全提出評定方式及研提防災對策，可作為堰塞湖上游集水區聚落安全維護與防災規劃工作之參考。

研究區位

一、研究範圍

研究範圍位於嘉義縣阿里山鄉境內，包含來吉村及豐山村兩個聚落，面積共13,114.28公頃。根據嘉義縣阿里山鄉戶政事務所至97年6月統計，人口共817人，其中豐山村共有381人，來吉村共436人，茲將行政區域和聚落人口統計詳圖1和表1所示。

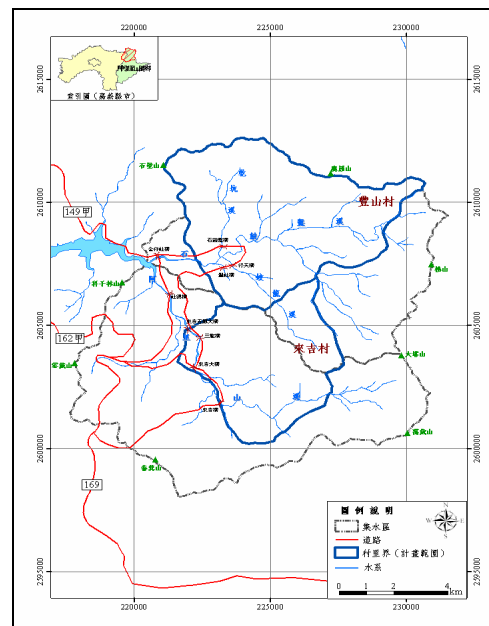


圖 1. 研究範圍圖

Figure 1. Location of study area

表 1. 氣候資料統計表

Table 1. The chart of climate data

村里別	鄰數	戶數	男	女	合計
豐山村	5	114	217	164	381
來吉村	5	119	224	212	436
合計	10	235	441	376	817

資料來源：嘉義縣阿里山鄉戶政事務所(至 97 年 5 月止)

層包括南莊層及桂竹林層，以南莊層分布最廣。

集水區附近主要有社後坪斷層、內磅斷層、社前湖斷層及布袋窟斷層。茲將區域地質分布如圖 3 所示。

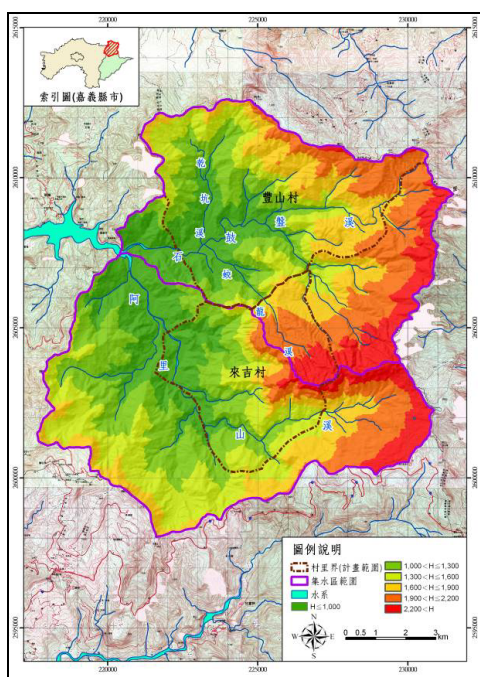


圖 2. 高程分布圖

Figure 2. Topography distribution of the study area

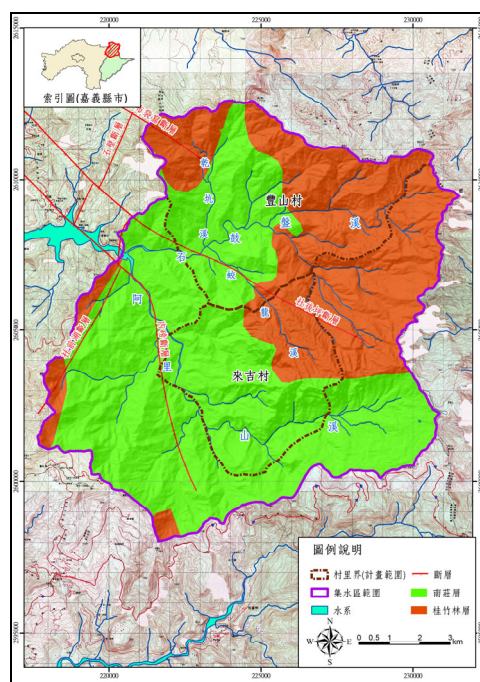


圖 3. 地質分布圖

Figure 3. Geology distribution of the study area

二、地形地質

集水區最低高程為 545.13 公尺，最高高程為 2,659.84 公尺，平均高程為 1,476.80 公尺，高程分布主要分布在 1,000 公尺~1,600 公尺。茲將高程之分析結果彙整如圖 2 所示。

依據經濟部中央地質調查所於民國 89 年出版之 50 萬分之一地層圖幅，集水區之地

三、土地利用概況

依據 96 年航拍影像判釋及現場調查，集水區土地利用現況，多屬林務局國有林班事業區範圍，土地利用以闊葉林及針葉林為主；部分土地為原住民保留地，由於平地少，可利用之土地面積稀少，多以種植竹林、茶園、水田、檳榔以及果園為主；位於道路沿

線為聚落聚集之處。茲將土地利用統計整理如圖 4 所示。

四、氣象水文

研究範圍四周高山環列，氣候涼爽，溫度變化不大，年平均溫度為 10.8°C，月平均溫度以 7 月 14.2°C 最高，以 1 月 5.7°C 最低，年平均高溫 15.5°C，年平均低溫 7.2°C，四季涼爽，氣溫較同緯度的嘉義地區低 14°C，冬夏之溫差不到 10°C；相對濕度方面以 8 月 93% 最大，以 12 月 80% 最小。茲將相關統計資料如表 2 所示。

各月份降雨量中，以 11 月為整年中最少，以及 8 月為整年中最多。11 月平均降雨量為 26.7 毫米，8 月平均降雨量為 579.2 毫

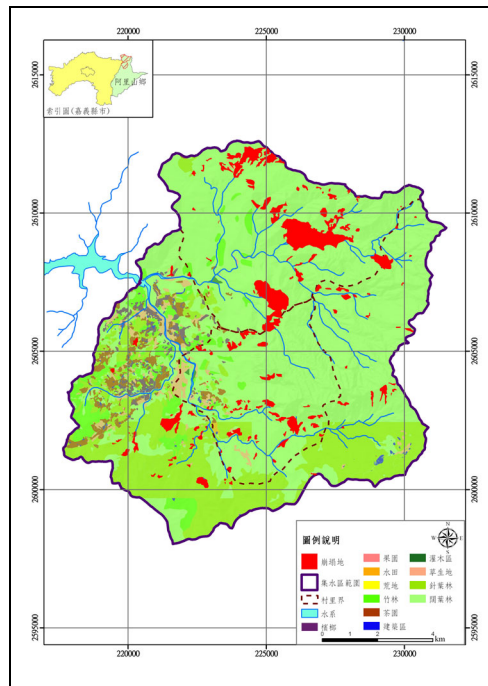


圖 4. 土地利用分布圖

Figure 4. Landuse distribution of the study area

米，月平均降雨量如圖 5 所示。

五、水系分布

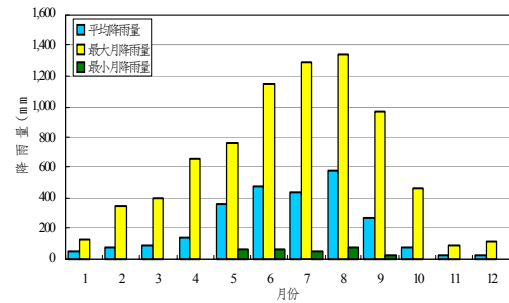


圖 5. 歷年月降雨量統計圖

Figure 5. Statistics of monthly rainfall

研究範圍主要位於清水溪水系上游，清水溪水系為濁水溪的第三大支流，發源於阿里山脈的西北麓。由上游石鼓盤溪、乾坑溪、蛟龍溪及阿里山溪四條溪匯集而成，茲將水系分布位置如圖 6 所示。

(1)石鼓盤溪：清水溪上游與阿里山溪合流口以上，經全仔社橋以上至匯流口間，主流長度 13.91 公里，平均坡降 13.36%。

表 2. 氣候資料統計表

Table 2. The chart of climate data

月份	平均雨量 (毫米)	平均氣溫 (°C)	相對濕度 (%)	最高氣溫 (°C)	最低氣溫 (°C)
1月	46.1	5.7	81	10.9	1.8
2月	73.2	6.7	85	11.3	3.0
3月	95.8	9.0	82	13.7	5.2
4月	141.8	11.1	85	15.6	7.5
5月	365.5	12.6	90	16.6	9.4
6月	484.2	14.0	90	18.0	10.9
7月	436.5	14.2	90	18.8	10.7
8月	579.2	14.0	93	18.3	10.8
9月	270.7	13.3	91	18.0	9.8
10月	74.5	12.0	88	17.4	8.2
11月	26.7	9.8	84	15.3	5.8
12月	32.1	7.1	80	12.5	3.0
合計	2,641.7	—	—	—	—
平均	—	10.8	86	15.5	7.2

資料來源：1.中央氣象局阿里山氣象站，民國 60 年～民國 97 年統計資料 2.經濟部水利署內茅埔(2)、草嶺(2)、望鄉、東埔、水山、新高口、樂野雨量站

(2)乾坑溪：於石鼓盤溪主流匯流口附近往北，發源於南投縣竹山鎮交界之獅頭山，主流長度 8.77 公里，平均坡降 16.46%。

(3)蛟龍溪：於石鼓盤溪主流匯流口附近往東南延伸，發源於阿里山山脈之塔山，主流長度 5.41 公里，平均坡降 36.72%。

(4)阿里山溪：阿里山溪發源自阿里山山脈綿月山，主流長度 14.5 公里，平均坡降 10.61%。

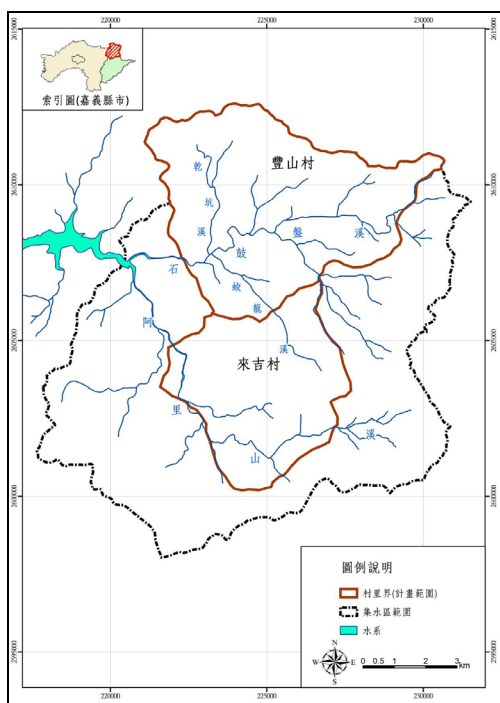


圖 6. 水系分布圖

Figure 6. Watership distribution of the study area

研究流程

一、研究流程

本研究選定「草嶺潭堰塞湖上游集水區內之豐山村與來吉村聚落」作為研究試區，

經收集文獻回顧和自然環境資料(如：地形、地質、土地利用、水系、氣象水文)，配合現場調查進行聚落調查評估、崩場地變遷、河道縱斷面變遷進行問題特性分析，檢視集水區內各項災害與土砂特性，提出保護危險聚落分布與防災對策。以下將研究流程說明如圖 7 所示。

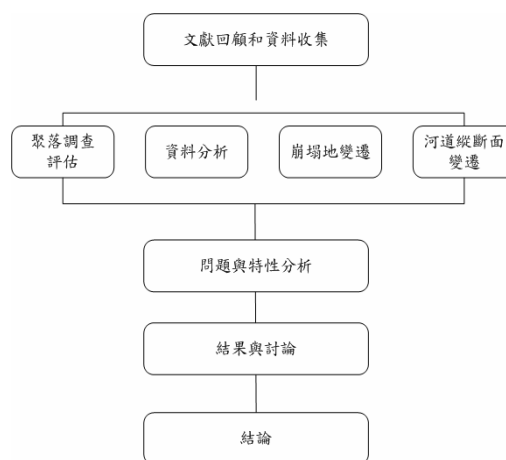


圖 7. 研究流程圖

Figure 7. The flow chart of study

二、聚落安全評估

本研究將整合蒐集、分析、現場調查與訪談之初步資料並配合各項圖資影像判釋之結果，綜合探討崩場地、土石流潛勢溪流、野溪、道路水土保持等現況災害問題對聚落之影響，進行水土保持問題探討分析，以作為後續探討整治需求性與進行整體規劃之依據。以下將依據表 3 針對災害對聚落造成之影響進行評估。

三、崩場地變遷分析

本研究蒐集 5 期崩場地資訊，分別為 921

大地震後、桃芝颱風後和七二水災後之崩塌地和 95、96 年調查之崩塌地，依據水土保持局於 921 大地震後、桃芝颱風後和七二水災後之崩塌地分布資料，於 921 大地震後調查之崩塌地有 33 處，面積 353.69 公頃，如圖 8 所示；桃芝颱風後調查之崩塌地有 150 處，面積 691.50 公頃，如圖 9 所示；72 水災後調查之崩塌地有 202 處，面積 763 公頃，如圖 10 所示；本研究於 95 年調查統計有 163 處崩塌地，面積共 696.37 公頃，如圖 11 所示；於 96 年以航拍影像判釋及調查統計，有 159 處崩塌地，面積共 653.96 公頃，如圖 12 所示。茲將歷年崩塌地變化如圖 13 所示。

表 3. 聚落調查之影響評估方式

Table 3. Evaluation principles for settlements safety.

編號	自然環境區位	防災區位評估原則	調查方法
1	崩塌地	(1) 危險等級A之極不安定崩塌地、危險等級B之較不安定崩塌地，有保護對象者，依照現地條件擬定適當工法。 (2) 交通無法到達或岩坡崩塌地、岩層裸露者，以自然演替。	崩塌地危險度評估以崩塌地和保護對象之距離進行A、B、C、D分級 (1)A級：聚落或道路距上邊坡<1H、下邊坡<2H，有立即災害者。 (2)B級：聚落或道路距上邊坡<1H、下邊坡<2H，無立即災害者。 (3)C級：一般建築距上邊坡<1H、下邊坡<2H，有立即災害者。 (4)D級：其他距上邊坡<1H、下邊坡<2H，無立即災害者。
2	土石流潛勢溪流	(1) 屬高潛勢土石流潛勢溪流者。 (2) 對下游保護對象（聚落、交通動線、公共設施）有造成危害之虞者。 (3) 溝谷土石淤積嚴重會隨著洪流輸往下游河道者。	現場調查發生段、流動段和淤積停止段對聚落所造成之影響。
3	野溪	(1) 有保護對象或鄰近土砂災害地點者。 (2) 位於河道輸砂條件變化之河段，容易有沖淤變化者。 (3) 道路橋樑底淨空不足阻礙排洪者。	(1)以位於歷年洪氾範圍所造成最大影響範圍內之保護對象即為危險區域。 (2)沿野溪進行現場逐一勘查。
4	道路	道路損壞地區嚴重影響附近居民通行者。	區內所有道路系統逐一清查道路水土保持現況，據以提出道路水土保持需求性。

註：H 表崩塌體的高，其上邊冠部起 H 以內，或下邊坡址部起 3H 以內。

- (1) 若有公共設施、聚落或社區，且可能會有立即危害者，則該崩塌體為 A 級。
- (2) 若有公共設施，但無立即危害者，則該崩塌體為 B 級。

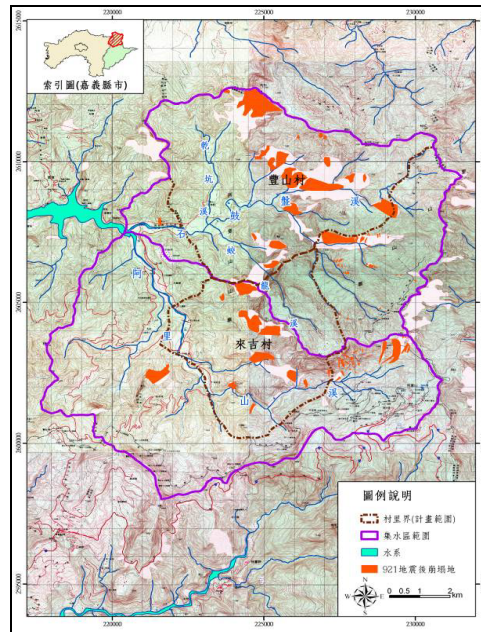


圖 8. 921 地震後崩塌地分布圖

Figure 8. The distribution of landslides after 921 earthquake

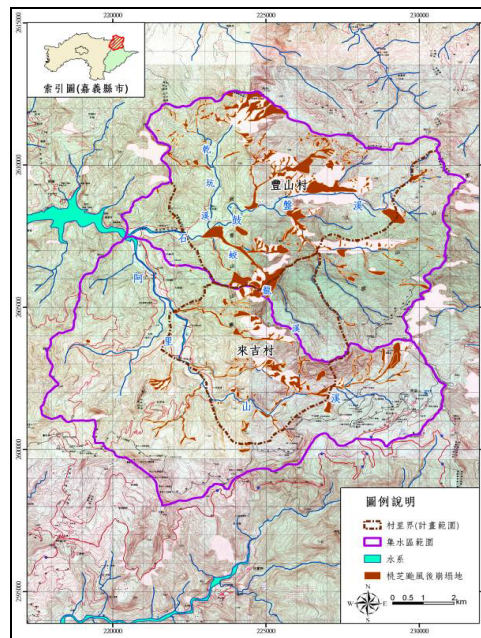


圖 9. 桃芝颱風後崩塌地分布圖

Figure 9. The distribution of landslides after Toraji typhoon

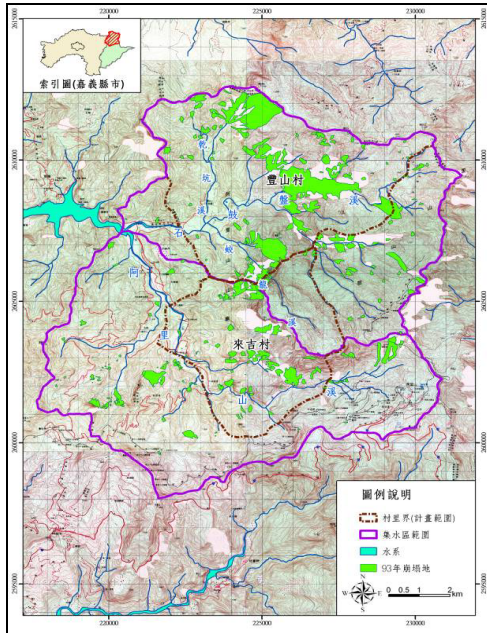


圖 10 . 七二水災後崩塌地分布圖
Figure 10 . The distribution of landslides after Mindulle typhoon

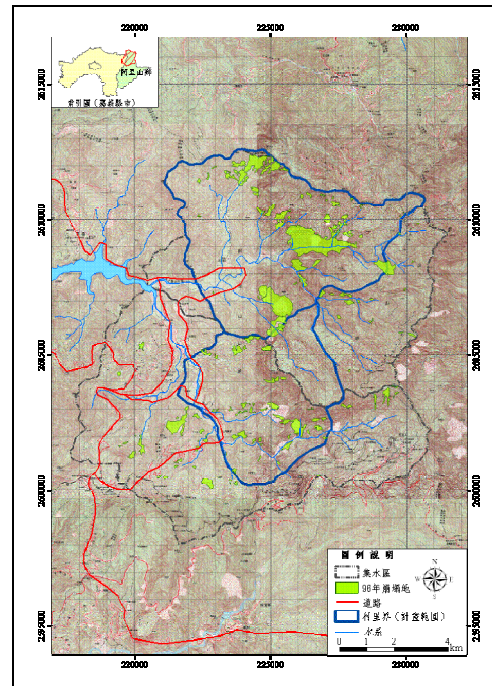


圖 12 . 96 年崩塌地分布圖
Figure 12 . The distribution of landslides in 2007

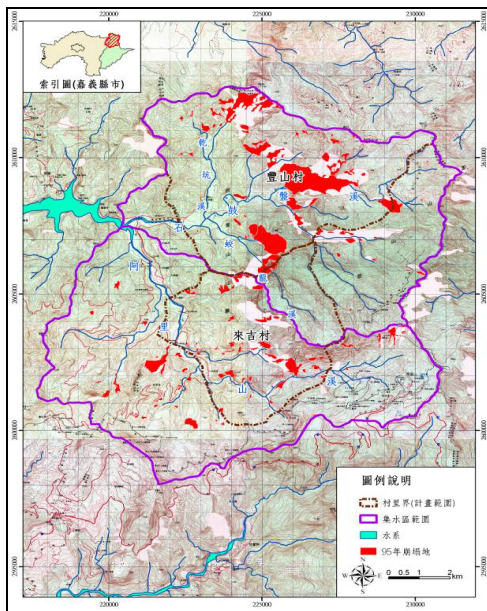


圖 11 . 95 年崩塌地分布圖
Figure 11 . The distribution of landslides in 2006

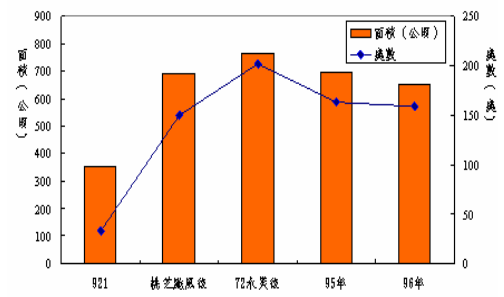


圖 13 . 崩塌地歷年變化統計圖
Figure 13 . The statistics of landslides

四、河道縱斷面變化探討

本研究針對阿里山溪與石鼓盤溪中上游範圍進行河道縱坡分析，以瞭解河道縱坡變

化和土砂輸送情形。以農林航空測量所之三期（87年、92年、96年）原始影像，經由數值影像工作站匹配作業後，產製之各期 2×2 公尺之 DEM 進行河道縱斷面分析，阿里山溪分析範圍至來吉橋上游、石鼓盤溪分析範圍至豐山村二、三鄰聚落上游。

分析之阿里山溪及石鼓盤溪 87年、92年及 96年河道縱斷面成果，分別整理如圖 14～圖 15 所示。

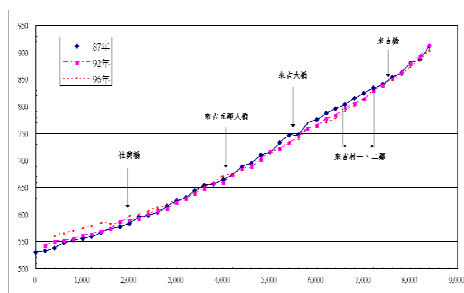


圖 14. 阿里山溪 87年、92年及 96年河道縱斷面圖

Figure 14. The differences of longitudinal profiles in the A Li Shan river

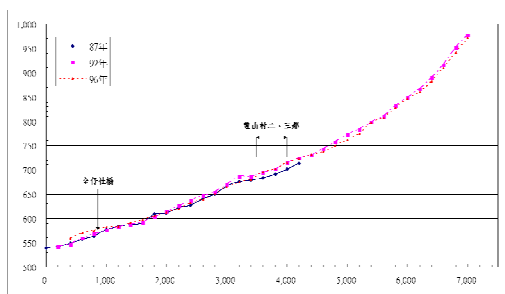


圖 15. 石鼓盤溪 87年、92年及 96年河道縱斷面圖

Figure 15. The difference of longitudinal profiles in the Shih Gu Pan river

結果與討論

一、防災區位調查成果

依據前述之分析結果，集水區因崩場地、土石流潛勢溪流、野溪及道路水土保持之影響，其需加以保護之聚落共 31 戶、道路共 5,355 公尺及耕地共 138 筆地號。茲彙整危險聚落分布如圖 16 所示。

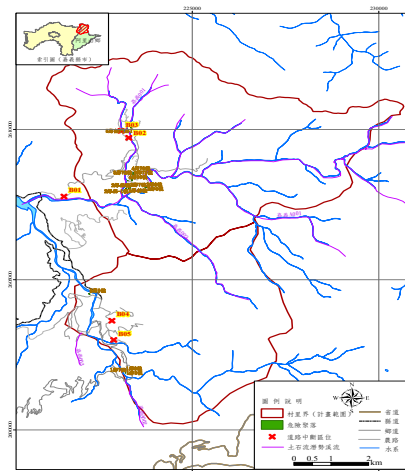


圖 16. 危險聚落分布圖

Figure 16. The distribution of potentially unsafe settlement.

二、野溪治理對策

經由歷年縱斷面分析與崩場地變遷分析，研究範圍由於草嶺潭堰塞湖引起之溪床坡度變化，目前雖呈現冲刷趨勢，然而由於上游土砂仍大量生產，加上堰塞湖上游溯源侵蝕仍未到聚落所在區位，故加速泥砂輸送能力，是必要措施。

由分析結果目前溪床堆積情形，已逐漸影響兩岸聚落與農地之安全，橋樑之通水斷面亦大幅降低。現階段應將溪床土砂清理，以保護橋梁安全。

同時，溪床土石堆積造成流心亂竄和兩岸崩塌加劇、土砂生產，使兩岸構造物基腳不斷受到淘刷，影響結構物之安全。對策上，應調整流心避免兩岸持續受到攻擊。

根據以上所述，平常低水位水流時，應以穩定流心為主要，加速回復穩定河道，降低災害風險。在洪水期高水位時，則以避免兩岸泛溢為優先考量。可採用複式断面，可減低災害，回復河川階地安全空間，營造穩定安全坡地環境。

在工法考量上，可配合現場既有資材，將粗顆粒石材做為平時水流整治材料以及高水位時基腳保護，特大粒徑則建議維持現狀，另一方面，細顆粒則可作為堤岸上邊坡保護措施，並配合緩衝帶之設置，可防止高水位溢堤，營造較安全高階河灘地。如圖17所示。

除前述針對主流進行河道整治外，對於支流大量土砂下移，採用連續性或透過性壩體進行攔阻，而對於有保全對象者可配合柔性護岸進行處理，以促進當地生態環境之維護保存。

在工法考量上，考量現場地形坡降，採用連續性或透過性壩體進行降坡，並可攔阻大量土砂下移；對於兩岸有保全對象者，採用柔性護岸進行保護，並於崩塌坡面加強坡面保護，以穩定邊坡。

三、崩塌地處理對策

研究範圍上游大規模之崩塌地，並無法完全抑制、抑止其崩塌之土砂下移，由於土砂運移原屬於自然現象，不需進行全面之整治，以免反而對生態環境造成過大之衝擊，

甚至破壞大自然應有的穩定，故以尊重自然為原則，對於無保全對象者，以自然復育為主；對保護對象有立即影響者，採基本控制處理。

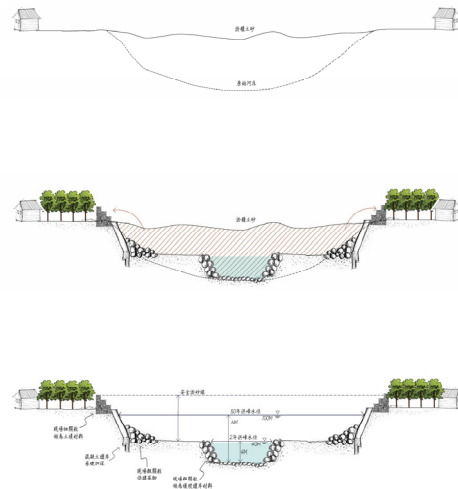


圖 17. 溪流防災對策断面模擬圖

Figure 17. Illustration of disaster prevention strategy

在工法考量上，採用間接處理方式，即在支流上設置防砂壩以攔阻大量下移之土砂，避免危及保護對象之安全。對於有立即影響保護對象安全者，進行基本控制；對於上游地區未危及保全對象者，以尊重自然方式處理，除需持續監控外，採自然復育方式進行。

四、道路水土保持處理對策

集水區之道路水土保持對策，將針對影響道路通行安全之地區進行處理。由現場調查結果，道路因排水不良造成路基淘刷崩

毀，邊坡崩塌，及沖蝕溝加大等現象，則應由道路上下邊坡排水系統加以處理，尤其野溪坑溝治理尤為首要。

在工法考量上，配合現地地形及整治需求，對於道路排水應排放至安全出口處，對於野溪坑溝治理可採用透過性鋼軌潛壩設計，符合基本災害控制與生態之需求。

五、地區安全性警戒系統

水土保持局於集水區雖有完備之整體防災體系，但每當颱風豪雨來臨時，當地居民隨即開始擔心上游之土砂是否對聚落造成危害。故為能使當地居民能免於土砂下移之恐懼及危害，除前述提出防災治理對策，進行土砂控制外，配合地區安全性警戒系統之施行將可更有效保護聚落安全。

建議除原有水土保持局已建立妥善之整體防災體系外，於颱風豪雨來臨時，地方民眾應提早進行疏散避難，同時土石流警戒基準值未來可建議應予以降低，可使災害規模大幅降低。

結論

從以上可知，地區防災治理規劃對策宜分段分區處理，阿里山溪及石鼓盤溪之主流問題，應考量平常水流流心擺盪問題，進行溪流流心控制；另外，於洪水期高水位流量時應避免泛濫發生。必須強調河道沖淤乃屬自然土砂運移行為，乃考量在其運移過程中，對保護對象有影響者，應進行處理。

支流問題，避免大量土砂下移對淤積之土砂造成過大負荷，同時也考慮土砂移動過程對聚落之影響，因此，支流治理首要工作

在於調節大量土砂下移；並針對聚落保全對象，採用橫向構造物如防砂壩進行保護，而兩岸有保護對象者，才採用縱向構造物如護岸進行保護。

崩場地問題方面，由崩塌趨勢來看，上游崩場地有趨向於逐漸復育之情形，應以尊重自然方式處理；對於有立即影響保全對象者，進行基本控制；在防災治理規劃上，直接處理以自然復育方式進行，間接處理以防砂壩進行控制。

對於道路水土保持問題，配合上述之主支流及崩場地處理對策，將解決大部分道路水土保持問題，故防災治理重點僅需進行道路水土保持問題災害控制，以維持道路暢通。

地區安全警戒配合水土保持局目前警戒系統搭配提早疏散與降低警戒值，應可大幅降低災害規模。

參考文獻

1. 鄭皆達 (2005) 「以災害消滅與永續發展為導向探討原住民族地區受災嚴重部落居住合適性及國土復育對策」。
2. 錢寧、萬兆惠 (1983) 泥沙運動力學. 科學出版社, 418。
3. 行政院農業委員會水土保持局 (2004) 「七二水災崩場地判釋與分析」。
4. 行政院農業委員會水土保持局 (2006) 「集水區整體治理調查規劃參考手冊」。
5. 經濟部中央地質調查所 (2002) 「數值地質圖資料規範」。

6. 行政院農業委員會林務局嘉義林區管理處(2002) 「豐山村集水區土石流整治規劃工程」。
7. 謝斌宏(2003) 從治山防災工程防治談集水區整體規劃設計及審查,集水區規劃及土石流防治研習營實務研習營。
8. 楊明德、王瑞德、王慶豐、楊曄芬(2001) 「桃芝颱風對草嶺堰塞湖影響之調查分析」,中華水土保持學報,32(4):303~313。
9. 許盈松、詹錢登(2005) 「草嶺崩塌區及堰塞湖對下游河川影響之風險評估與研究」,經濟部水利署第四河川局。
10. 陳樹群(2000) 堰塞湖潰決機制與減災工法研究,中華水土保持學報,30(4),299~311。
11. 鄭新興(2005) 「順向坡大型崩落地形演化分析之研究」,國立中興大學水土保持學研究所博士論文。
12. 行政院農委會水土保持局(2007) 「濁水溪上游集水區整體調查規劃圖表與解說」。
13. Ven Te Chow(1973) 「Open Channel Hydraulics」, McGraw-Hill。
14. Wilson, J.P. and Gallant, J.C. (ed.) (2000) Terrain Analysis — Principles and Applications, John Wiley & Sons, New York。

97年5月3日收稿

97年5月25日修改

97年6月2日接受