

集水區內道路闢建對坡地崩壞與溪流環境影響之探討

蔡秉諭⁽¹⁾ 李錦浚⁽²⁾ 鄭皆達⁽³⁾

摘 要

台中市大坑地區土地公坑集水區內道路為該集水區內居民對外聯繫之要道。位處山區，每逢颱風、豪雨侵襲即造成邊坡崩塌及土壤流失現象，嚴重危及道路安全。造成坡地災害發生的原因繁多且複雜：如山區雨量過大，使道路本身及沿線坡面不堪負荷所致；地質、地形、土壤等先天條件不佳；或因道路本身施工設計不良所致。本研究之目的在探討集水區內之道路於開闢後對邊坡穩定及河流的影響，並提出在進行人為的開發動作前，應擬訂避免因開發而導致坡地災害的防治措施，以確保道路通行安全。

（**關鍵字**：崩塌、土砂災害、沖蝕、永續發展）

A Study on Impact of Road Construction on Slope Failures and Stream Environment

Ping-Yu Tsai⁽¹⁾, Ching-Chun Lee⁽²⁾, J. D. Cheng⁽³⁾

Graduate Students, and Professor, Department of soil and water Conservation, National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan, R.O.C.

ABSTRACT

The main road across the Tu-Di-Kong Creek Watershed in Taichung, is the essential transportation route for local inhabitants. Located in the mountainous region with steep slopes, this road is often interrupted after heavy rainstorms during typhoon period or earthquake by problems associated with soil erosion, slope failures, thus endangering the road stability safety.

This study investigated the impacts of road construction on slope stability and stream channel environment of this watershed. This study also suggested methods for preventing disasters to safeguard the road stability for watershed sustainable development.

（**Keywords** : Slope Failures, Soil Calamities, Erosion, Sustainable Development）

(1)國立中興大學水土保持學系碩士班研究生

(2)國立中興大學水土保持學系博士班研究生

(3)國立中興大學水土保持學系教授

前言

社會經濟的發達，道路交通建設為重要工程項目之一，集水區內道路開闢未有完善水土保持措施保護，將導致坡地土壤沖蝕流失，對區域內生態環境產生了一定程度的衝擊。要如何讓人類對經濟發展、交通便利等需求與生態環境的維護、提升同時得到滿足，就應從生態環境維護與人類的相互影響開始。地震與颱風為台灣主要天然災害，每次均造成重大之損失甚至危及居民生命財產的安全。

遭受921大地震及數次颱風的侵襲，土地公坑集水區內多處土石崩塌，崩落下之土砂沖斷大坑一號登山步道、毀壞水土保持構造物和公共設施，河道嚴重淤積，再遇豪雨將對溪流下游居民的安全造成嚴重威脅。

人類活動與居住空間逐漸朝災害敏感度較高之山區發展，致使崩塌、土石流等災害發生頻率及災情有擴大蔓延之趨勢，民眾生命財產遭受重大損失，各項公共建設亦受嚴重破壞，影響國家經濟發展甚鉅。因此，記取慘痛教訓，防治坡地災害發生以及減輕災情，實乃當前刻不容緩之重要課題。

研究方法

一、研究流程與步驟

本研究以台中市大坑地區土地公坑集水區為研究區域，研究流程包括下列說明及流程圖。研究流程如圖1所示。

1. 蒐集資料分析：
道路開闢前、後坡地狀況(坡面崩壞、沖蝕狀況)及區域內相關研究文獻資料蒐集並加以彙整、分析。
2. 現場踏勘、居民訪談：
了解研究區域內道路、溪流現況及照片取圖。
3. 受災原因探討：
集水區受921地震、多次颱風侵襲，坡地崩壞、沖蝕等災害情況頻傳，本研究將對道路開闢前、後集水區之環境變化進行探討。

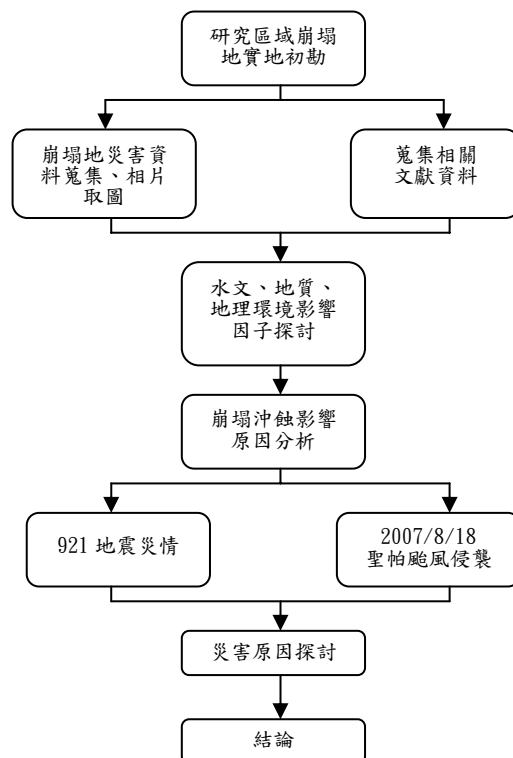


圖1. 集水區研究流程圖
Figure 1. The flow chart of this study.

二、研究區域概況

1. 緣起

台中市大坑地區土地公坑集水區內道路為當地居民對外聯繫之要道。集水區內道路係於民國84年由台中市政府鋪設，當時民眾向政府請願，但因評估建設道路後將對當地環境及生態帶來重大的衝擊且不符經濟效益，對於興建道路一案連遭兩次駁回，後因當時台中市長林柏榕先生，有鑑於該地區農業生產面積日益擴大，原有羊腸小徑實不足以滿足當地居民生活環境之需求，乃自民國八十四年起著手籌措規劃興建道路一事。現為台中市政府之養護道路，道路全長2.6 km，寬度3—4 m，屬連續彎路之山區道路。而在道路開闢前土地公坑集水區還保有羊腸小徑幽雅景象之原始山林風貌，後經開山填土、造橋破壞原有景致，以致每遇颱風豪雨即產生坡地崩壞、土壤沖蝕等現象。

2. 地理位置及人文狀況

本研究選定台中市大坑地區土地公坑溪集水區為研究區域，位於台中市北屯區民德里大坑山區境內，為大里溪的上游。民德里位於台中市東北角，與台中縣新社鄉毗鄰。土地公坑溪集水區可由台中市區經由縣道129(東山路)接長壽巷到達。集水區位置如圖2所示。

土地公坑溪隸屬烏溪水系，發源於頭料山，水系單純，由東南向西北流入大坑溪，溪流下游起點為雙連橋，全長2,411公尺；本研究範圍則以雙連橋上游距離約1,411公尺之無名橋(E：227545，N：2676570，TWD67)為起點，向上游畫設土地公坑溪集水區範圍，集水區內溪流全長1,000公尺，面積為36.1公頃。區內15戶人家，共40人，以務農為主，多種植溫帶果樹，年輕一代多在外工作。



圖2. 地理位置圖

Figure 2. Location map of study area.

3. 地形、地質

本研究地區之位於海拔300-550公尺左右，地形平緩坡度起伏不大，地勢由西向東逐漸升高（如圖3所示）。

根據經濟部中央地質調查所中部地區之影像地質圖，於本研究區附近出露之地層為頭嵙山層，此種岩層主要由砂岩及頁岩組成。茲將本研究區域之地質分布繪於圖4，頭嵙山層因岩性差異，區分為砂岩岩相與礫岩岩相。砂岩由塊狀淡青灰色至淡灰色、細粒或粉砂質之砂岩夾青灰色至灰色頁岩互層組成，部份具有交錯偽層。而巨厚塊狀的礫岩在頭嵙山層的上部較為發

達，常形成峻峭懸崖和鋸齒狀山嶺。礫岩厚度在數百公尺至一千公尺之間，礫岩以沈積岩為主，其中石英岩和堅硬砂岩所佔比例因地區而異，中部地區甚至可達50%。

表1. 研究地區坡級分布表
Table 1. Slope distribution of study watershed.

坡度級別	面積(ha)	百分比%
一級坡	2.1	5.8
二級坡	4.9	13.6
三級坡	6.8	18.8
四級坡	7.9	21.9
五級坡	5.7	15.8
六級坡	4.6	12.7
七級坡	4.1	11.4
合計	36.1	100.0

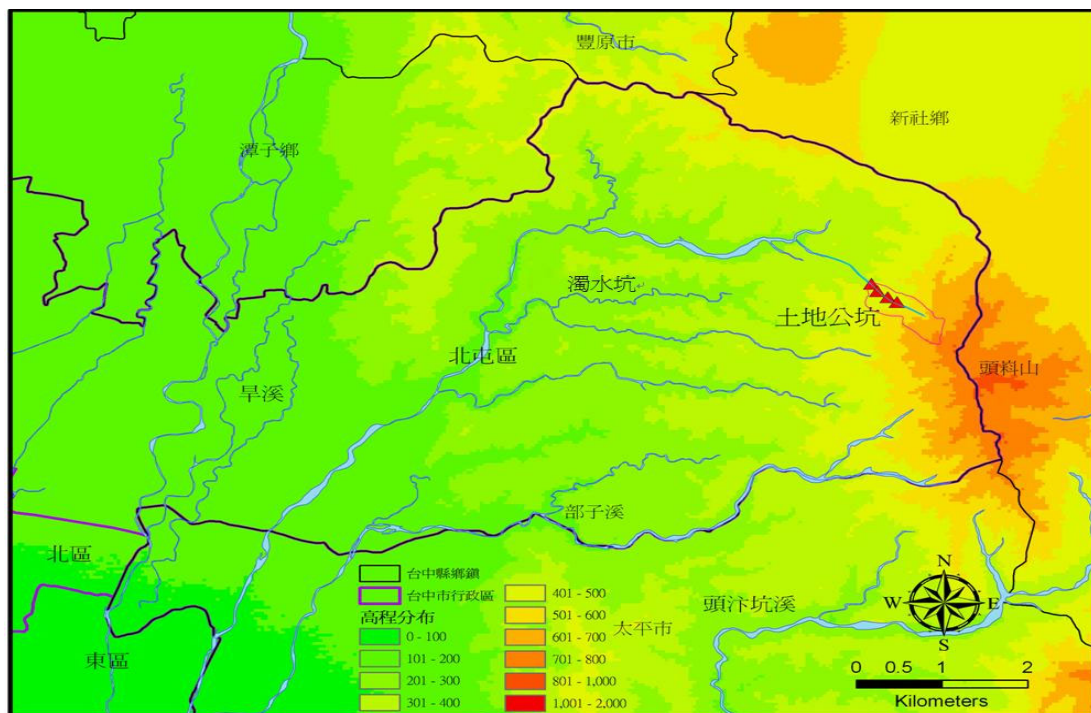


圖3. 集水區高程分布圖

Figure 3. Spatial distribution of elevation of study watershed.

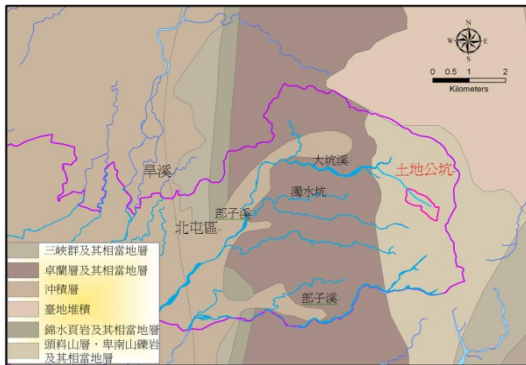


圖4. 地質圖

Figure 4. Geological formations of study area.

4. 土壤

本研究區之土壤包含石質土及少量的崩積土。石質土：土壤為年代最新，尚保有母岩特性，並含有母質碎屑及部份 C 層之崩積土壤，土色較暗，乃為成土之初的母岩和岩質的混合體，石質土一般都很淺，含礫石量超過 80%，利用上因石質土本質不安定，不適農、牧用途，只宜造林以保育國土資源。崩積土：本集水區之崩積土，位移過程中所夾雜者，多屬沿途地表的疏鬆表土及植體(有機物質含量豐沛，為山坡地各類土壤中生產力較好的土壤。

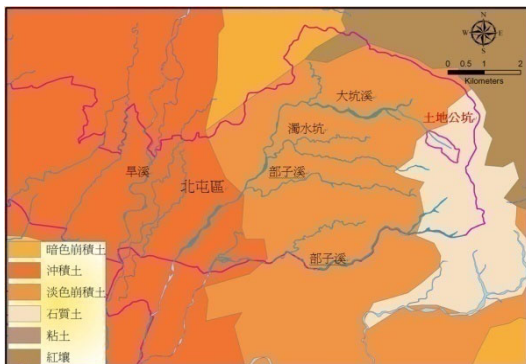


圖5. 土壤分布圖

Figure 5. Soil distribution of study area.

5. 水文氣象

本研究地區位於台中市，每年一月為氣溫最低的月份，平均溫度近 16°C ，平均最低溫在 10°C 左右。八月為最熱的月份，平均溫度在 28°C 左右，平均最高溫度在 32°C ，而雨季大都集中在五月至八月，其中六至八月的降雨量總和超過全年的一半，而十月至十二月是最乾旱的季節（如圖6）。平均年雨量約為1862公釐，台中地區平均相對濕度較低，約在74%~80%之間。

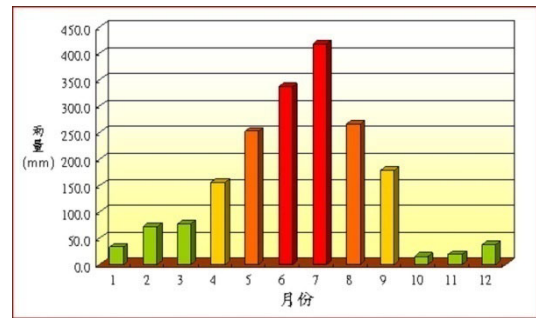


圖6. 台中市月平均雨量圖

Figure 6 . Distribution of monthly volume of rainfall in watershed.

6. 土地利用

依據水土保持局94年所建立之土地利用分類資料之土地利用圖、空中正射影像判釋及現場調查，分析本區土地利用現況，集水區多屬林務局保安林地，土地利用以闊葉林為主，佔集水區總面積59.33%；部分種植竹林、檳榔以及果園為主，合計佔集水區總面積29.33%；建築區分布面積有0.4公頃，佔本區總面積0.6%。茲將區內之土地利用統計整理如表2所示。

表2. 土地公坑溪集水區土地利用統計表

Table 2. Statistical of landuse in study watershed

土地利用	面積(ha)	土地利用	面積(ha)
闊葉林	35.6	崩塌地	1.3
竹林	3.2	河流	1.76
建築區	0.4	道路	1.64
墓地	1.3	草生地	0.4
檳榔椰子	1.5	果園	12.9
合計			60

7. 土地權屬

根據調查，土地公坑集水區土地權屬區分有林班地、保安林地，整個集水區均屬1402號保安林範圍內面積為36.1 ha，林班地其面積為20.4ha，如表3所示。

表3. 研究地區土地權屬統計表

Table 3. Statistical of landowning in study watershed.

類型	面積(ha)	涵蓋面積百分比(%)	管轄機關
林班地	20.4	56.51	林務局(東勢處)
區外保安林	15.7	43.49	林務局(南投處)

8. 土石流潛勢溪流

根據水保局91年1420 條土石流潛勢溪流調查結果，土地公坑溪為土石流潛勢溪流台中A040，其基本資料如表4所示。台中A040之土石流潛勢溪流影響範圍如圖7所示(摘自水土保持局土石流防災應變系統。

http://fema.swcb.gov.tw/main/index_01.asp

表4. 集水區土石流潛勢溪流基本資料

Table 4. The basic data for the potential debris flow torrent.

類型	編號	所屬溪流	位置分布	Y	X	危險等級	長度(m)
土石流	台中 A040	土地公坑溪	明德里	2677191	226702	中	2050.00

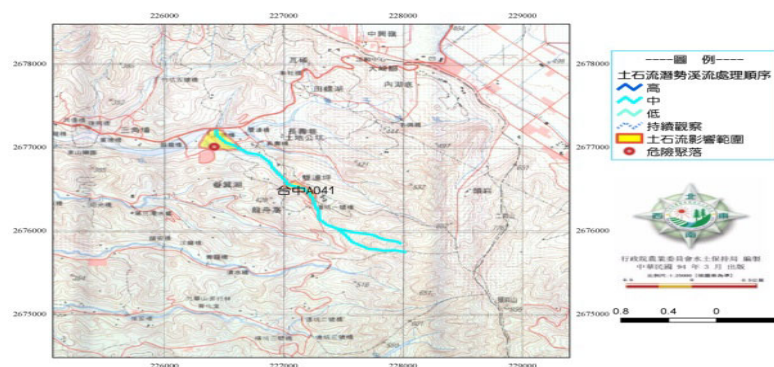


圖7. 台中A040土石流潛勢溪流

Figure 7. A040 potential debris flow torrent.

表5. 土地公坑集水區歷年來受災型態與受災原因分析

Table 5. Analyzes masterpieces of the past years disasters style and causality.

受災項目	受災原因	受災地點
地形改變	921 地震導致地形改變、土地公坑溪河道改變	土地公坑溪、長壽巷
道路	1. 921 地震導致路面破裂 2. 颱風帶來豪大雨導致路基受雨水淘刷變動	無名橋上游 200m 處路基遭雨水淘刷
房屋毀損	颱風侵襲導致老舊房屋及農舍毀損	長壽巷 204 號之房屋倒塌
設施損壞	土石流破壞河水土保持設施	土地公坑溪既有護岸、潛壩遭破壞
產業受損	颱風侵襲農作物受影響	土地公坑集水區內
公共設施	土石流掩埋電線桿	土地公坑溪沿岸

結果與討論

一、集水區調查

根據現場調查之結果，在本集水區內土石流所造成之危害主要以淤埋、沖刷、撞擊及漫流改道為主要之危害項目，因此將上述四種土石流危害方式對土地公坑集水區造成之影響分析如後。

在河道之安全性評估中，土石流流量分析為一項重要之分析指標。其分析原則為先利用合理化公式之方式，推估在暴雨狀況下河道之清水逕流量。當逕流量參數獲得後，再根據水土保持技術規範關於土石流相關之定量分析公式以推估土石流之逕流量。

$$C_D = \frac{\rho \tan \theta}{(\sigma - \rho)(\tan \phi - \tan \theta)}$$

$$Q_D = \frac{C^*}{C^* - C_D} Q_w \quad C^* = 1 - P_r$$

式中， C_D ：流動中土石流體積濃度；
 ρ ：水之密度(kg/m^3)；
 σ ：土石密度(kg/m^3)；
 θ ：溪谷之坡度；
 ϕ ：土石之內摩擦角；
 Q_D ：土石流之流量(cms)；
 Q_w ：溪谷上游之清水流量(cms)；
 C^* ：溪床上土石堆積物之體積濃度；
 P_r ：溪床上土石堆積之孔隙率。

藉由土石流流量之估算，配合曼寧公式及河道實際寬度，可推估土石流之逕流水深，並評估其影響性。本研究中之土石流評估擬採用50年之洪峰流量作為估算之標準，茲將相關之估算參數詳列於表6。

表6. 土地公坑溪土石流定量計算表

Table 6. Debris flow calculation of
Tu-Di-Kong Creek.

集水區	Q_w (cms)	河床 坡度 θ°	C^*	C_D	Q_D (cms)
土地公坑	12.04	15	0.8	0.57	41.9

本研究計算崩塌量體之方式係採用國家災害防救科技中心（National Science Technology Center for Disaster Reduction，以下簡稱NCDR）針對台灣崩塌案例及彙整歷史文獻資料，統計出之坡度與崩塌深度之關係（如表7所示）以計算崩塌地之崩塌量，以做為後續治理需求性之參考。

本區崩塌地面積 13000m^2 坡度為 75° ，依據表6推估其崩塌量為 $33,800\text{ m}^3$ ，如此大量之土砂，在豪雨期間，將由逕流往下游帶離，形成土石流潛勢溪流或野溪之重要土砂來源，可能使既有之構造物破壞或磨損，甚至危及聚落之安全，如目前無名橋上游河段溪床淤積嚴重，即係因上游大量崩塌土石所造成，故後續研擬處理對策時，應將本野溪中、上游所產生之大量土砂所帶來之影響納入考量。

而河道淤積量經由現場勘查與推估，本區總淤積長度約650公尺，河道寬度以平均30公尺計算，淤積深度為5公尺，因此河道淤積量為 $97,500\text{ m}^3$ ，且依據USLE 計算土壤流失量為 $208.88(\text{tons/ha/yr})$ ，由崩塌量與淤積量推估結果可知目前河床上所堆積之土石，係經多次崩塌流下至此停留淤積，因此主要土砂災害應為上游崩塌地

所致。

表7. NCDR統計不同坡度可能引
崩塌深度表

Table 7. Slope failures depths of study area.

坡度($^\circ$)	0~30	30~40	40~60	>60
崩塌深度(m)	5	4	3	2

二、道路開闢對坡地的影響

1. 道路開闢前概況

土地公坑集水區內道路，在未開闢前屬於一般山區農產品運輸之農路，原始林木茂盛、道路邊坡草類叢生，因此農路邊坡在自然環境保護下，少有土石崩落現象，一般除受颱風豪雨侵襲造成邊坡少許落石及紋溝沖蝕外，並無大型崩塌或土石流等災害發生。崩落下之土石一般由地方居民自行組隊清除。土方量不大不至於阻斷通行。

2. 道路開闢後

集水區內坡地土壤受到長期擾動又經 921 地震及敏督利、聖帕等颱風豪雨侵襲，將經年累月鬆動之土石往下游運移，造成集水區上游崩塌地滑面積達 1.3 ha ， $33,800\text{ m}^3$ 的土方量冲刷而下堆積於集水區中上游段，形成土砂災害。

土地公坑集水區鄰近地震斷層帶，經 921 地震後使原本已破碎之地質結構更加鬆散，集水區上游之崩塌面積顯著增加如圖 8.9.10 所示。

土地公坑集水區在道路闢建後，對坡地環境的影響大致如下：

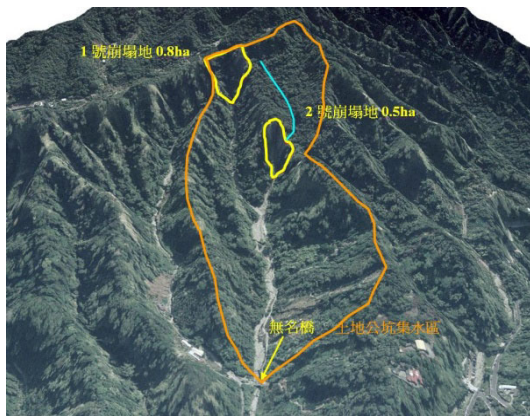


圖8. 集水區內崩塌示意圖

Figure 8. Distribution of landslides in study watershed.



圖9. 土地公坑溪上游崩塌地(1)

Figure 9. Landslide on upstream.



圖10. 土地公坑上游崩塌地(2)

Figure 10. Landslide on upstream.

1. 挖方因截斷地表下逕流導致：

- (1) 水分填滿土壤孔隙，使土壤表面張力及內聚力降低。
- (2) 邊坡被挖除將減低其支撐力，且挖方之邊坡角度較自然邊坡角度大。
- (3) 地下水位上升，孔隙水壓增加，造成土壤之剪應力降低。

以上三種機制均使挖方邊坡之穩定性下降，嚴重者造成坡面崩壞。

2. 造成地表下逕流蓄積和分流。水分蓄積在道路上邊坡，水分入滲將使孔隙水壓增加，進而引起道路填方處崩塌和形成短暫卻嚴重之泥流；分流則引起：

- (1) 水流入溝內，此種情形常使排水不易宣洩。
- (2) 水流橫越路面形成漫地流。
- (3) 刷深、切割路面，在道路下邊坡產生蝕溝。

以上均易造成邊坡沖蝕、路面破壞及水質汙染。經實地觀察，道路邊坡範圍內有1. 層蝕； 2. 紋溝沖蝕； 3. 溝蝕等土壤沖蝕現象。道路下邊坡產生溝蝕，如圖11所示。

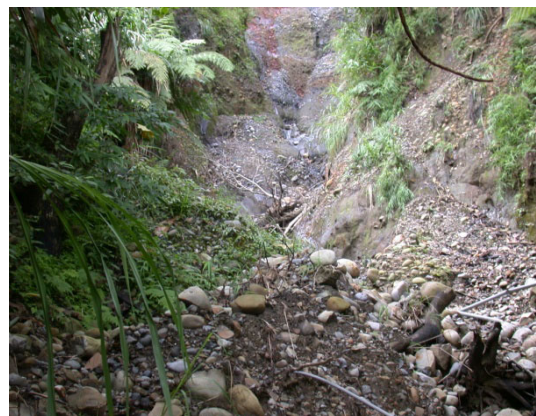


圖11. 道路下邊坡產生溝蝕

Figure 11. Erosion channel on down-slope.

3. 因移除地表有機質層，露出底層，同時因夯實作用，使土壤水分滲透能力減低，進而形成漫地流。又因土壤水分滲透能力降低，相對的使植物難以吸收水分，不易存活，導致道路沿線坡面亦因植物根系衰頹而增加崩塌的發生機率。
4. 挖、填方坡面因植生覆蓋被破壞，缺少保護，土壤團粒穩定受雨滴衝擊破壞，易形成漫地留及地表沖蝕。
5. 填方部分如果夯實不足，土方篩選不確實，或雜質混於其中，一旦腐爛將產生空隙，使水分容易入侵。

依據公路局，2000 年資料統計顯示，道路所造成之崩塌，以公路總局之統計資料來看，台灣在民國 40 年底公路總長度為 17,096 公里，迄民國 89 年底止為 19,767 公里，平均每 100 平方公里之密度為 55.6，成長幅度僅為 1.15 倍；但省道的路面坍方數量卻由民國 40 年的 145,815 立方，躍升為民國 80 年的 1,505,780 立方，其成長幅度為 10.32 倍。崩塌地所提供之土石為形成土石流的關鍵因素，道路的闢建首先對坡地產生災害，進而影響到溪流、生態環境。

由上述可知，興築道路容易改變區域原有之土壤及坡地水文特性，截斷固有流路，破壞天然排水系統，如集水區內闢建道路時未施作足夠的排水工程，則易引發邊坡災害。道路闢建剖面及坡地水文特性如圖 12 所示。

土地公坑集水區內道路系統編定完成，即由各級政府相關單位(台中市政府、東勢林管處)，編列預算辦理拓

寬、養護等工作，迄今已20餘年，人力進駐居留生活，造成道路沿線旁之山坡地開發，林木砍伐破壞森林區，興建農舍，開發種植農林作物，佔用河道等土地利用擴張之情形，隨處可見如圖13所示。由於山坡地任意開發，水土保持設施不足及政府管制措施失當等，形成土地利用不斷擴張之情形，致使坡地山林遭殃，每遇颱風豪雨即成災。

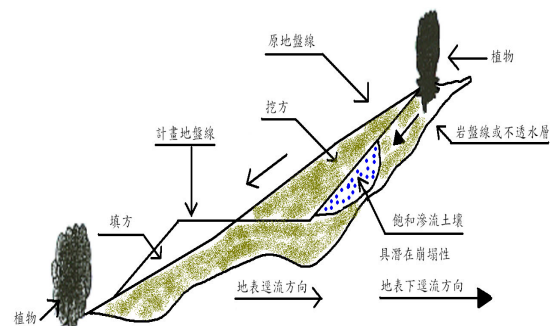


圖12. 道路闢建剖面及坡地水文特性圖
Figure 12 . Road construction profile chart and hydrology feature on slope.



圖13. 河道旁興建農舍
Figure 13. Farmhouse built parariver.

三、道路開闢對溪流環境的影響

土地公坑集水區內道路選線皆位在河岸附近，老百姓的住家則集中於道路的兩側，道路上方之山坡地及河岸兩側多半開發為檳榔園、菜園及果園等，農作物的生產必須使用大量的農藥，污染了河川、土壤及地下水，且農民為求運輸方便，在山坡地上私闢了許多農路。然而幾乎所有坡地開發後所剩餘的廢土都是直接傾倒到山溝水路，一遇豪大雨，雨水便與廢土、崩塌土砂形成土石流，排山倒海衝向下游。

因開闢道路所引起的土壤沖蝕，對溪流含砂量的增加有顯著的影響；道路常由於選線不妥、施工不良、排水系統不全或道路的上下側缺少護坡處理，導致泥砂搬移進入溪流，造成災害。

再者，道路仍有其面臨拆除（廢棄）的可能，如國內林道在政策停止砍伐天然林後，皆面臨到廢棄或轉型的命運。道路對於大自然，尤如一道傷口，傷口若小或淺，可待其回復；但若傷口太深或太大，不處理則可能會潰爛，因此道路失去功能時，不可逕將其封閉而不做處理。許多道路廢棄後，因欠缺管理排水系統而阻塞，水流至路面集中後在轉彎處直接衝擊下邊坡或路基，造成道路破壞，鋪面或鋼筋等營建材料隨土砂流入河道，亦對環境造成影響。

道路的闢建雖未直接對溪流造成傷害，但卻因墾殖、工程廢土、森林覆蓋減少等情況發生，而間接的衍生出河道淤積、河流流心改變、排洪斷面縮減、汙染等問題。

四、引發坡地崩壞的原因分析

台灣位於歐亞板塊和菲律賓海板塊之交界，板塊互相擠壓使得台灣地盤上升，地勢隆起加快了溪流下切之速度，加上台灣地區年雨量大且地震多，這些因素組合起來，造成了台灣先天條件的不良。山坡地上人為的開發行為自古即有之，以往以個人力量所從事之開山築路行為對坡地的穩定性並未造成太大的威脅。但隨著施工機具的自動化、重大型化，在短時間內便可在坡地上造成巨大的地形更動，其速度已遠遠超過坡地的自我療癒速度，因此人為的開發行為常引致坡地發生災害。先天條件不良加上人為不當調配，使得台灣地區幾乎年年都有大型山崩及土石流災害發生，也使得山崩及土石流成了台灣居民的夢魘。

發生道路邊坡崩塌的原因錯綜複雜，包括人為開發、地質、地形、降水、地震等等。例如降雨量會直接影響其地表伸縮量、土壤組織及地貌狀態、坡面排水及地下水位高低，進而影響地層之負荷量，濫墾與坡腳破壞亦是影響坡地崩壞的因素之一。以此探討土地公坑集水區內道路邊坡發生災害的原因，一般可依其特性將之分類如下：

- (1) 自然的原因與人為的原因。
- (2) 邊坡之先天的、內在的因素及後天的、外在的原因。
- (3) 促成邊坡破壞力增加的原因與減少抵抗破壞力的原因。

茲就上述所列原因詳細討論如下：

1. 地質構造

依據「工業技術研究院能與資源研

究所」民國七十八年七月調查資料，土地公坑集水區內之崩塌災害以順向坡平面型滑動與逆向坡節理切割所造成之墜落為主。

坡地崩壞主要岩層以砂岩、頁岩互層為主，其層厚度多在 1 公尺左右，且豚背嶺或單面山之地形發育良好，順向坡面甚為常見。道路開挖造成順向坡下方之地層失去支撐而下滑之情形甚為普遍，尤其任意挖掘道路對坡地破壞最為嚴重。雨季時雨水下滲軟化頁岩層，加上地下水水壓使得砂岩沿著地層交界面下滑。而在逆向坡或非順向坡之邊坡，受到人為或溪水之侵蝕作用下，坡度均十分陡峭，砂岩受風化與解壓之影響節理十分發達，當節理面在斜面上露出時即有可能發生崩落現象。此二類坡地崩壞情形如圖 14、15 所示。

2. 土壤

土地公坑集水區內道路邊坡發生崩塌處之主要的土壤為石質土。石質土土壤為年代最新，尚保有母岩特性，並含有母質碎屑及部份 C 層之崩積土壤，土色較暗，乃為成土之初的母岩和岩質的混合體，石質土一般都很淺，含礫石量超過 80%，利用上因石質土本質不安定，不適農、牧用途，只宜造林以保育國土資源。

因石質土中礫石含量豐富，容易因為水流入滲影響，破壞細粒填料的膠結能力與毛細張力，細粒料流失將導致礫石層強度大幅降低，遇降雨時易發生表面沖刷、內部破壞及坡面出現層狀剝蝕等現象。



圖14. 順向坡平面型滑動

Figure 14. Cataclinal slopes flatling slide.



圖15. 逆向坡節理切割

Figure 15. Anaclinal slope joint cutting.

3. 地形

因土地公坑集水區內地勢陡峭，加上溪水之下切作用，使得道路邊坡風化之表層容易受重力及外力影響而崩塌，增加邊坡之不穩定性。崩積層或表土層沿其基岩接觸面滑動或坡面排水不良之沖蝕溝易造成道路上邊坡崩塌。921 大地震致使道路邊坡之地表鬆動，加劇侵蝕作用，加上敏督利、聖帕等颱風豪雨所帶來豐沛的雨水量，使得不穩定的邊坡造成再次崩塌、土石大量

下移。



圖16. 溪流侵蝕坡腳

Figure 16. River wears slope bottom.

4. 水文氣象

颱風經常挾帶著豪雨，其降雨強度常高於每小時 50 公厘，多集中性暴雨或連續數日之長時間降雨，為造成災害之基本誘因。

坡面之集水性亦與坡面之破壞率有關。大規模之滑動與坡面較深處之地下水的集水性有關，其受地質構造的影響較大，然而表層崩壞則是受地表逕流或淺層地下水所誘發，因此具有谷型之坡面較易發生表層崩壞。

另探討暴雨量，洪峰流量等因素，歷次造成災害原因，由於部分路段未施設道路縱、橫向排水設施，故豪雨來時，上邊坡匯積之逕流水漫延至路面，造成路面破損，更沖蝕下邊坡，造成坡面滑動，另邊坡破壞機制及因素，除了暴雨集中，洪峰流量大外，依據附近台中氣象站於敏督利颱風期間最大二日暴雨量達 567.0 mm，略大於 50 年頻率之降雨量(桃芝颱風為 2—

5 年頻率降雨量)，故單就降雨量而言，已超過土地公坑溪流斷面之洪峰流量標準，因原有河道斷面不足以洩洪，造成逕流溢流至路面，且洪峰流量橫向沖刷邊坡基腳，使道路下邊坡坡面崩塌。

降雨強度與地表覆蓋條件之關係，覆蓋條件愈佳則阻力係數愈大，使得水流速度減緩，增加入滲能力。因比經過開發後的坡地因地表裸露而入滲量減少，即相對地增加逕流量。坡度愈陡或開發度愈大，所產生的逕流量及土壤流失量愈大，因而對坡地愈為不利，亦即愈容易發生洪水及泥砂災害。因此研究區容易產生崩塌原因與土壤特性、坡地的坡度、坡面之集水性、地表覆蓋條件有密切關係。



圖17. 土石流沖毀大坑一號步道

Figure 17. Debris flow assassinated No.1 climbing prom.

5. 土地利用日益擴張

土地公坑集水區內道路系統編定完成，即由各級政府相關單位(台中市政府、東勢林管處)，編列預算辦理拓寬、養護等工作，迄今已 20 餘年，人力進駐居留生活，造成道路沿線旁之山坡地開

發，林木砍伐破壞森林區，興建房舍，開發種植農林作物，佔用河道等土地利用擴張之情形，隨處可見，如圖 18 所示。由於山坡地任意開發，水土保持設施不足及政府管制失當等因素，形成土地利用不斷擴張之情形，土地的超限利用雖可為當地居民帶來較為豐沃的收入，但卻犧牲了寶貴的水土資源且增添坡地災害潛在的威脅。

依據土地利用資料，土地公坑集水區土地主要為農作用地，普遍為闊葉林木及果園，其中闊葉林面積達 35.6 公頃，佔總面積 59.33%，其次為果園面積 12.9 公頃，佔總面積 21.5 %。本地區道路旁之台地多為種植水果等經濟作物，土地新開發面積不斷擴大，開發後坡地處理不當，容易造成崩塌，尤其坡地開發利用種植檳榔，影響土壤保育與水土保持最為嚴重。



圖18. 河道旁土地開發種植檳榔
Figure 18. Crop betel nuts parariver.

6. 私闢農路

因道路闢建完成後，運輸效能提升，所得隨之遞增，但各種後遺症也漸浮現，亦即沿線坡面上居民為農耕及產銷需要，自行開闢道路，這些自行開闢之農路皆未經申請，鄉公所通常也不考慮對坡面之破壞程度，加上地方人情壓力，大多同意照准甚至小額補助。

目前土地公坑集水區內道路沿線所分出之其他支線農路，經初步調查，計 16 條，且尚不包括分岔而出之分線及再分

表8. 開闢道路產生之缺失情況

Table 8. Cracks of road construction amplify.

項目	開闢道路產生之缺失情況
1	道路沿線之地形、地質及土層結構不佳地段，開闢道路後造成邊坡裸露、沖蝕、崩塌及滑動
2	開挖坡面後所產生之棄土，任意就地向道路下邊坡傾倒，易導致下邊坡坡面崩壞，破壞原有植被，加速土壤沖蝕。
3	集水區內開闢道路容易破壞原有天然排水系統，導致逕流集中，若未妥善導引至安全地帶易造成蝕溝或崩塌。
4	填方坡面太陡或未充分夯實，擋土設施不足，遇豪雨易造成路基崩塌流失。
5	山區道路因用地取得不易或地形不良，而使用河川地，以致縮小河道斷面，使得河流流速增大，導致河床刷深，引起路基淘空造成沖蝕及崩塌。
6	道路欠缺防災措施，如落石護欄、擋土設施及臨時性排水等

線。其規模大小不一，規模小者係通往路旁原內之小徑，長不逾百公尺，寬 1.5—2 公尺，僅容搬運車進出；規模大者，長近一公里，寬約 2.5—4 公尺，惟數量不多，可供載運農作物之貨卡車進出，且沿線又有分線及再分線延伸至各園區內，形成路網。其中聯外道路多經政府輔建改善，且依規範設計施工；餘者，皆未詳細規劃，全視農墾區之所需闢建，未符合坡地利用標準外，也不符合道路最低之設計標準。茲因缺乏合理管制，也未加以輔導，此種之線農路排水及護坡等附屬工程設施皆闕如，遇雨即造成逕流集中，本身形成排水溝，產生嚴重坡地災害，針對此種農路，若事先不予限制，農民恐肆無忌憚大規模闢建，爾後遇道路毀損，再透過陳情或民意代表之協助，要求政府各權責單位予以改善處理。

政府權責單位如遇補助辦理，就預算面而言將是一大筆龐大支出；就技術面而言，為求達到符合最低設計標準，於山區難免造成大量挖填情形，又與治理政策不符，但如不加以改善，此種路又易成為坡地災害或因之一。

假若對民眾陳情置之不理，則促使農民更積極擴大此種低成本且輕率的道路網開闢，誠然農路開闢雖屬需要，惟農民在大多數投機心理下，只考慮成本及收益，但僅求擴大農墾區及闢建足數使用之粗糙農路即可，全然罔顧道路之維護工作，更遑論坡地之水土保持工作，惡性循環下，將使坡地災害危機日益惡化，形成管理上的隱憂。開闢道路所引發之缺失整理如表 8 所示

7. 挖方工程

挖方工程是造成邊坡崩壞的主因之一，包括在坡地開闢道路、建築用地以及開採骨材、填土材料等，皆會使坡地之穩定性受到擾動。特別是在順向坡腳、老地滑區末端部、風化岩坡及崩積岩坡之趾部進行不當開挖，必將引發嚴重之災害產生。加上所有的廢土幾乎都是直接傾倒到山溝水路，一旦遇豪大雨，廢土與坍方土變形成土石流沖向下游，造成邊坡的二次傷害。

8. 填方工程

在坡地上開發建築用地、闢建道路時，為爭取更多之平坦空間常採用填土方式解決。填土工程將使坡面承受更大的載重，若原土層強度不夠或擋土工程不足，則可能引發填土與表土之崩壞，若填土在老地滑區之頭部，則亦可能造成老地滑區重新活動。此外在坡面上亂倒工程棄土或堆積礦渣皆易引發坡地災害。

9. 水土保持開發保育治理措施不足等人為因素

本研究區域由於地形起伏變化大，故土石方之挖填量大，且因地形坡度因素之存在有其先天之不利條件，同時地質破碎，順向坡發達等自然環境背景，均使區內道路之開闢及維護甚為不易，而加速區內水土流失並引起或擴大土砂災害之發生；開發水土保持施工不理想，導致道路上邊坡土壤及崩塌情形。另道路拓寬開闢後，就道路沿線之地形、地質、棄土、排水、路基佔用河道等，多項水土保持施工

不完善之情況，造成邊坡裸露、沖蝕、崩塌及滑動。

五、開闢道路應檢討的各項防治措施

近二十年來人類活動及居住範圍逐漸由平地擴展到山區，山坡地的開發行為越是頻繁，越容易發生災害。地震、颱風及人為開發是引發坡地崩壞之主要因素，這些因素嚴重影響道路上、下邊坡路基土石之穩固，進而危及道路安全及當地居民的性命。因此進行人為的開發動作前應設想如何避免因開發而引致的坡地災害，並保護山林及野生動植物。因此道路於開闢時應檢討各項防治措施：

1. 避開危險區段：山區道路開闢與拓寬對坡地都應有避開危險區段的考量，避開重大崩積土坡、順向坡、活動坍方區。
2. 建立緩衝帶：道路邊坡與溪流間必須建立保護帶作為緩衝區。
3. 排水：山坡地之穩定首重排水，防治沖蝕為最首要的考量。
4. 植生：護坡的各種方法之中以其效果最佳，且有利於環境及景觀的要求。
5. 整坡：整坡易於植生綠化，易於維持穩定，坡面侵蝕也少。
6. 避免與河道爭地：河寬縮減，遇豪大雨將可能因排洪不及使水流改道而引發嚴重災害。
7. 避免大挖大填：在坡地大挖大填，常引起坍方及棄土問題。
8. 工址調查：道路開闢之前，必需有充分的「工址調查」就地形、地質、水文、大地力學試驗等資料蒐集分析。
9. 監測：較具影響性之重要路段，需定期

派人員監測其安定性，發現任何不穩定或小規模破壞，皆應及早予以改善，避免擴大或惡化成災，可效節省金費且維持交通安全與順暢。



圖19. 道路與河流爭地

Figure 19. Road compete river basin.

結論與建議

山區產業道路不當開挖，除引發沖蝕、崩塌、土石流外，也讓農業、觀光及住宅上山，重型機具及車輛長驅直入，濫墾、濫伐、濫建等行為將暢行無阻。許多地質不佳以及不適合開發利用的土地，都被農民砍除原有森林，種植經濟作物。這些農作物的生產不但須使用大量的農藥，污染了河川、土壤及地下水，更嚴重的是改變水文、地貌，讓水

土無法維持正常的平衡狀態，於是沖蝕、山崩及土石流事件不斷上演。

「道路闢建=地區發展」，這個錯誤對台灣許多偏遠地區造成了嚴重的傷害。因為這些偏遠地區的資源、條件與其它地區截然不同，企圖以道路闢建突破自然屏障，不僅達不到地區發展的目的，反而是把這些地區的独特資源破壞殆盡。

任何道路的闢建與否，應該都有許多值得我們深思的地方，因為終究我們不能強迫環境提高它對人工施予的承載能力，從一連串的自然變化中，我們看到也體驗到了，如果無法真誠的面對我們所生存的環境，那麼我們將永遠失去地方認同，進而失去永續發展的可能。

參考文獻

1. 行政院農業發展委員會 (2003) 水土保持技術規範。
2. 行政院農業發展委員會 (2005) 水土保持手冊。
3. 林信輝 (2001) 水土保持植生工程，高立圖書有限公司。
4. 林俐玲 (2004) 敏督利颱風災害水土保持，工程研討會圖冊。
5. 吳銘志 (2003) 道路建設對環境的影響，工程研討會圖冊。
6. 洪如江 (1994) 坡地災害防治(二)，行政院國家科學委員會，83(3) p32-38。
7. 高伯宗、鄭皆達 (1998) 南投縣力行產業道路及沿線坡地災害原因分析與復建措施之探討。
8. 乾坤技術顧問股份有限公司 (2007) 土地公坑規劃設計初期評估作業報告書。
9. 張徽正等 (1988) 中部山坡地地質特性災害分類分析，國科會防災專案計畫成果研討會論文集，第二冊 P 6-1~6-5。
10. 詹錢登 (1994) 土石流危險度之評估與預測，中華水土保持學報，25(2) 95-102。
11. 謝玉興 (2004) 公路邊坡崩壞與降雨關係研究，臺灣公路工程，30(11) pp26-45。
12. 謝宗修、鄭皆達 (2005) 水里溪上游合坑溪集水區水文特性與保育治理對策之研究。

97 年 02 月 27 日 收稿

97 年 03 月 16 日 修改

97 年 03 月 22 日 接受