

莫拉克後荖濃流域內台 20 線道路沿線山崩災害特性 探討

施尊穎*、楊樹榮*、黃春銘*、鄭錦桐*、黃文洲**、陳振宇**

*財團法人中興工程顧問社大地工程研究中心

**行政院農業委員會水土保持局土石流防災中心

摘要

莫拉克颱風後高雄縣內多處橋樑毀損及山區道路中斷，本研究將遙測影像、數值高程模型(DEM)及GIS向量圖層套疊在崩塌地圖層上，以觀察台20線道路沿線崩塌地分布情形，並以現地調查確認104處災害阻斷現況及致災原因。經現地調查與填表紀錄後，歸納與統計6種類型災害特性與地文、水文等條件關聯性，其中包括3種山崩型災害及3種非山崩型災害。

調查結果顯示，當路線經過構造發達地質以及崎嶇起伏地表地貌，最易引發各類型道路阻斷。此外，沿坡體兩側分布侵蝕溝，容易逐漸向源發展而最終形成完整滑動面致災。道路線型方面，凹向斜坡坡面，其地表逕流及地下水易集中流向中間，導致該坡段地面水匯集，進而可能引發孔隙水壓上升而致災。道路區位方面，道路上邊坡與下邊坡導致災害類型，亦有所不同。本研究現地調查所獲致之歸納成果，期能回饋至日後山崩模式預測研究作為參考。

關鍵字：莫拉克颱風，道路阻斷，遙測影像，山崩

一、序論

本研究區域以高雄縣荖濃流域為主，跨及一小部分旗山溪流域，兩者皆分屬高屏溪上游支流，調查路段則為研究區內省道台20線。其起訖點則分別為西起高雄縣甲仙鄉，東達台東縣海端鄉，路段西向東橫越荖濃溪盆地。地形方面，本路線自西南向東北進入中央山脈地區後地勢逐漸攀升，高低落差逾3000公尺，因此旗山溪及荖濃溪皆由東北往西南流，兩者匯流後為高屏溪。本研究以水保局山崩分類方法為準，並參考諸多國內外分類原則，作為野外判釋山崩類型準則(Hutchinson, 1968; Nemcok, 1972; Varnes, 1978; 張石角, 1992; 陳宏宇, 1999; 李彥良等, 2005)。詳地理位置見於下圖1。

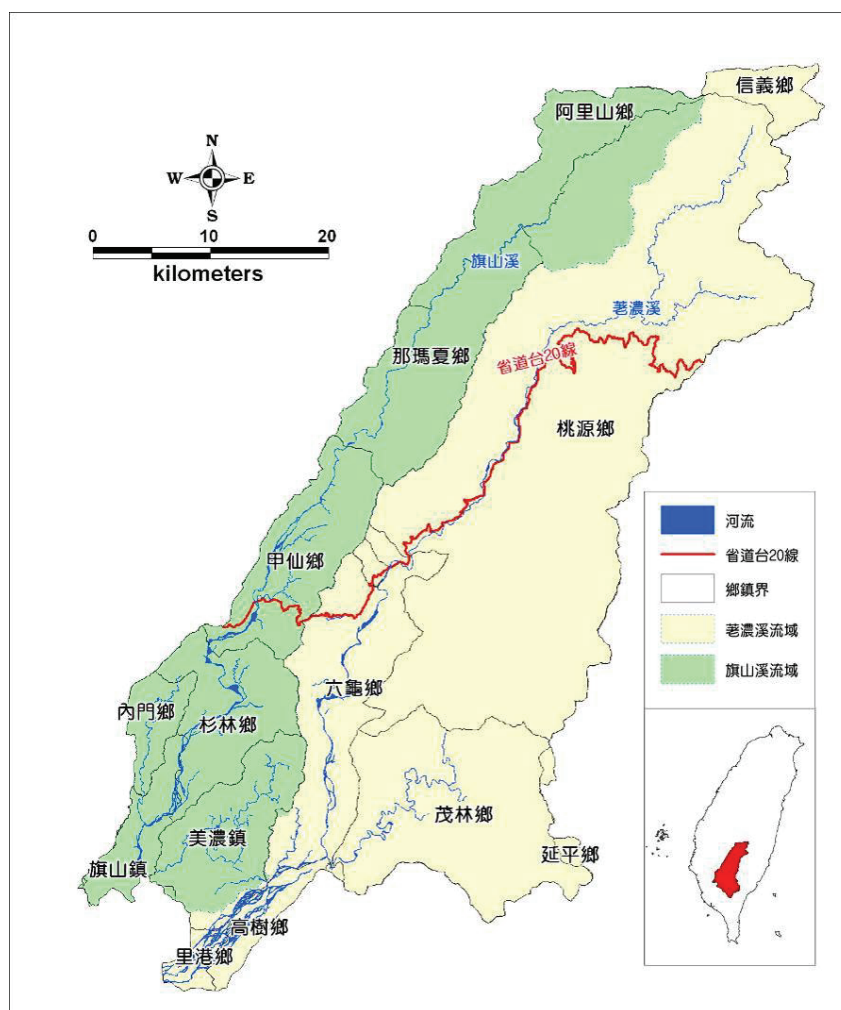


圖 1 研究區域地理位置圖

二、調查結果及討論

2.1 山崩地質因素

本研究區內道路阻斷調查點位分布包含了西半部西部麓山帶各沉積岩層及東半部脊梁山脈帶河谷兩側未固結堆積物、變質岩層。台20線道路沿線詳細災害統計狀況見於表1及表2，地質圖見於下圖2，本研究亦將各災害點位套疊於地質圖呈現，詳見於圖3（註：未固結堆積層意指圖中現代沖積層、沖積層以及階地堆積層三者，此外廬山層不在本研究調查區段內），經現地調查與填表紀錄後，歸納與統計6種類型災害類型（圖4），分述於下。

表 1 各地層災害分布

地層名稱	道路長度 (公里)	落石 (處)	岩屑崩滑 (處)	地滑 (處)	土石流 (處)	河道冲刷 (處)	路基淘空 (處)
隘寮腳層	3.38	0	0	0	1	0	2
未固結堆積	17.61	6	10	3	3	1	0
長枝坑層	8.93	11	15	1	11	0	6
潮州層	12.06	7	13	5	3	1	2
南港層	15.63	8	4	2	3	3	1

表 2 各地層中災害分布密度(災害數量/每公里)

地層名稱	落石	岩屑崩滑	地滑	土石流	河道沖刷	路基掏空
隘寮腳層	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	0.59
未固結堆積	0.34	0.57	0.17	0.17	0.06	0.00
長枝坑層	1.23	1.68	0.11	1.23	0.00	0.67
潮州層	0.58	1.08	0.41	0.25	0.08	0.17
南港層	0.51	0.26	0.13	0.19	0.19	0.06

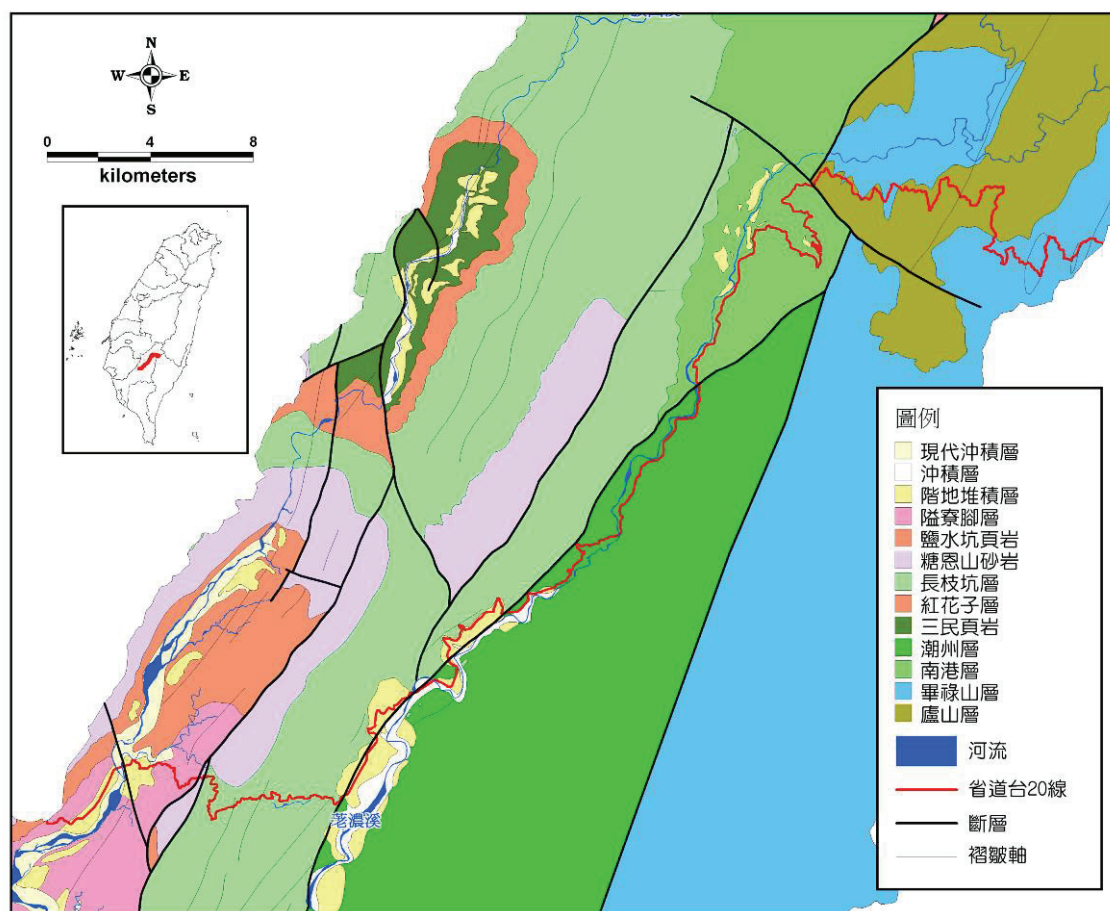


圖 2 研究區域地質圖

(1) 落石

落石災害主要集中於地表崎嶇、斷層褶皺構造出露發達而岩體破碎之長枝坑層當中，而在未固結堆積、潮州層以及南港層分佈則數量相當。本次現調亦對落石型災害進行不連續面位態量測工作，發現落石型災害點位多可見 2 組以上節理面。其中常可見近乎垂直向、平行坡面之節理組，此可能為河谷解壓所致，亦為岩塊墜落主要斷面。

(2) 岩屑崩滑

岩屑崩滑型災害亦集中於長枝坑層內。由前述可知，長枝坑層內落石災害多，因此岩屑崩滑可能為落石發生後，其崖錐堆積 2 次崩滑所導致災害(Schuster & Krizek, 1978)。進入脊梁山脈區後，則主要分布於表層覆碎屑物之潮州層及未固結堆積層。當地表風化、崩積碎屑或未固結材料出露廣泛，皆容易導致岩屑崩滑型災害發生。

(3)地滑

地滑型災害皆發生於脊梁山脈區，其原因可能為路途所經河谷兩岸地勢陡峭，岩石容易沿高角度不連續面直接滑落致災。由現地調查多可見岩層中發達節理、層面或劈理，這些原生、次生構造面易形成陡峭不連續面或楔型節理，皆可成為促崩因子。

(4)土石流

土石流型災害主要集中於長枝坑層境內。土石流型災害發生條件為適當的坡度、充足的材料及雨水。因此當豪雨來臨時，鄰近山區的長枝坑層，道路隨處可交會陡峭溝渠，而本層當中多岩屑及崖錐堆積物，其可能經由地表逕流搬運，於下游致災(Sterling & Slaymaker, 2007)。

(5)河道冲刷

河道冲刷型災害半數以上於南港層內，點位所在位置為荖濃溪河谷兩側岩壁或溪流與道路交會過水路面 2 類，受主水流長期冲刷致災。

(6)路基淘空

路基淘空型災害多發生於沉積岩層內，現地調查則發現其分布岩性以砂頁互層為主。砂頁互層內的含水層，可能因道路開挖而坡腳出露，含水層湧水長時間淘刷，導致路基淘空。

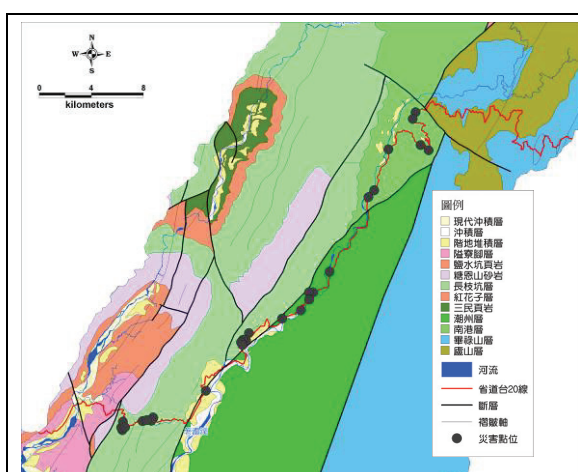


圖 3-1 落石災害分布狀況

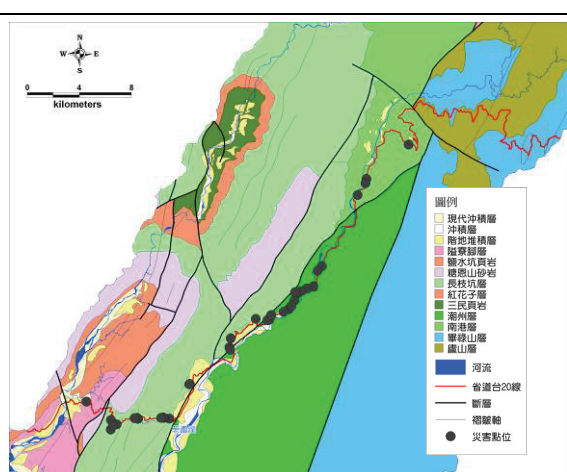


圖 3-2 岩屑崩滑災害分布狀況

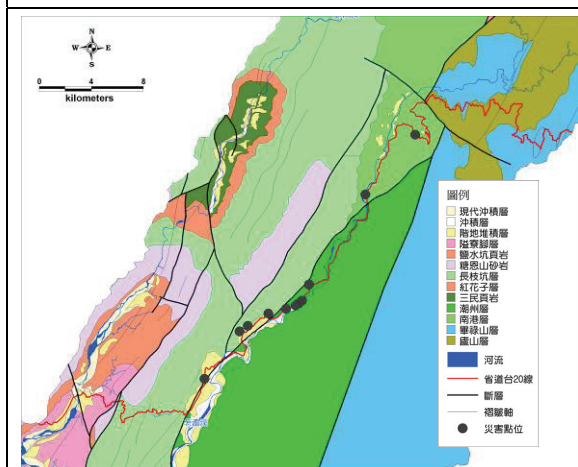


圖 3-3 地滑災害分布狀況

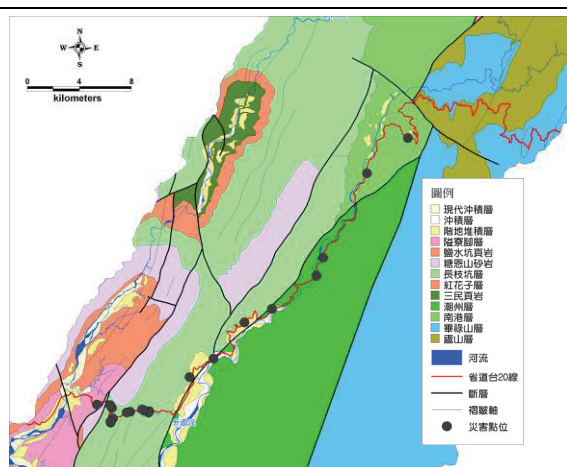


圖 3-4 土石流災害分布狀況

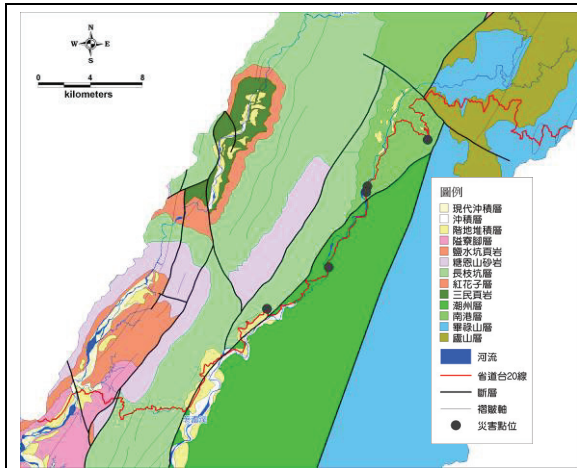


圖 3-5 河道沖刷災害分布狀況

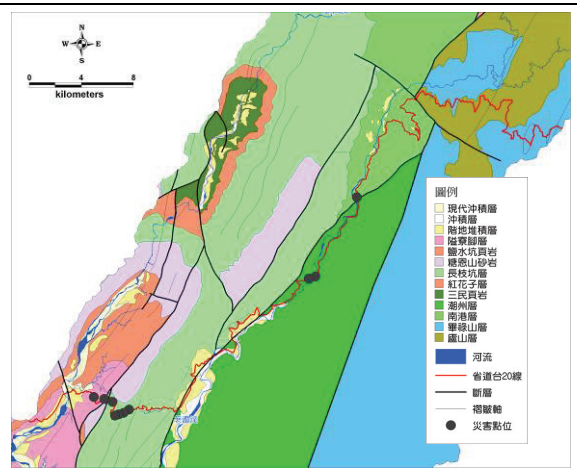


圖 3-6 路基淘空災害分布狀況



圖 4-1 落石型災害



圖 4-2 岩屑崩滑型災害



圖 4-3 地滑型災害



圖 4-4 土石流型災害



圖 4-5 河道沖刷型災害



圖 4-6 路基淘空型災害

2.2 山崩之地形因素

(1) 落石

本調查路線沿荖濃溪橫越貫穿脊梁山脈區，因此河谷兩側水深山高，岩壁垂直陡峭，岩塊易沿著解壓節理破壞墜落成災。經現地調查統計，調查路線 32 處落石災害發生坡度全數大於 45 度。

(2) 岩屑崩滑

岩屑崩滑型災害常發生於已崩塌過後之坡腹、坡角處崖錐堆積，或道路下邊坡河岸兩側鬆散堆積物，其分佈主要仍受控於坡面材料種類，因此坡度變化較不具影響性，一旦超過安息角變容易沿坡面滾動而下。據本調查統計，路線 42 處岩屑崩滑災害發生坡度，3 處位於 16 至 30 度，39 處位於 31 至 45 度。

(3) 地滑

野外所見地滑型災害分 3 類，第 1 類為光滑順向坡滑動，多分布於河道兩側，第 2 類為兩組不連續面構成之楔型破壞，此類滑動面多陡峭壁立，坡度較高，第 3 類則為弧形滑動。本調查統計結果顯示，調查路線 11 處地滑型災害發生坡度，4 處位於 31 至 45 度，7 處位於 46 至 60 度。

(4) 土石流

調查路線土石流型災害發生地形變化大，小至邊坡溝渠，大則可至寬數十公尺河道，其致災規模小至道路暫時性阻斷，大至道路橋樑沖毀。由此可見集水區規模差距大，則可供應河渠搬運材料、乃至致災規模差距亦甚多。本路線 21 處土石流發生地形中，其分布坡度從 15 度以下至 60 度皆可見，大多數小於 30 度。由此結果可知，土石流河道坡度相較於其他崩塌類型邊坡坡度顯得平緩許多，其坡度足以供搬運媒介攜帶材料流動便可致災。

(5) 河道冲刷

本調查將河道冲刷型災害依發生地形區分為 2 類，第 1 類型為路線經過河床段，直接遭受河水沖毀之道路或橋樑。第 2 類型為河岸兩側崖坡，長期受溪水攻擊淘刷，此類型邊坡坡度較為陡峭，坡度都介於 46 至 60 度。

(6) 路基淘空

路基淘空型災害絕大多數在 46 度以上，野外所見路基淘空多沿道路下邊坡陡峭崖坡坡頂逐漸毀損。

整合上述，若將調查點位套疊地形圖則可發現，位於旗山溪與荖濃溪分水嶺南端，該段地表等高線複雜、地勢高低起伏而不定多變，且位於長枝坑層出露帶，此意味地表岩盤破碎且地形崎嶇為致災重要因素。往上游行，點位集中於荖濃溪河道寬闊、水量大處以及主支流匯流處攻擊側。這可能是因為在水流量較大處或主支流匯流處其紊流力量較大，沖蝕作用加助了崩塌的產生所致。災害點位套疊地形圖詳見於圖 5。

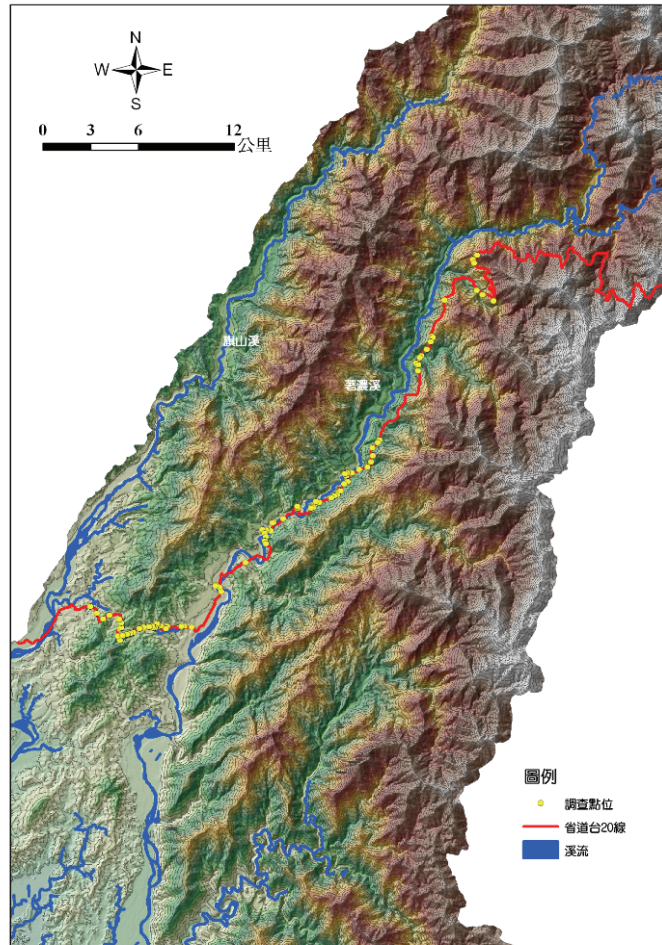


圖 5 調查點位分布地形

2.3 山崩之水文植生條件因素

(1) 落石、岩屑崩滑、地滑:

此 3 類災害發生坡段表面多無地面水匯集，水流多沿著斜坡兩側形成侵蝕溝，而植生則沿侵蝕溝零星生長。本研究區東半部位於中央山脈輕度變質岩區，硬泥岩、板岩等材料於變質過程中受壓易導致孔隙率及含水量較低，因此地下水易沿著破碎、滲透性高處流動，匯聚流動的結果遂形成隨處可見沖蝕溝。此外，若坡面傾斜角度較大，則不易殘留土體於坡面，無法蓄積足夠水份供植物生長，多見裸岩或落石堆積。若坡體兩側侵蝕溝逐漸向源發展，則最終可能導致完整滑動面形成而致災。本調查於地滑型災害點位多可見斜坡兩側有發達侵蝕溝。

(2) 土石流、河道沖刷、路基淘空

此 3 類災害發生則直接歸因於水文條件所引致，本文不另進一步討論。

2.4 山崩之邊坡區位因素

(1) 落石及岩屑崩滑

研究區域內落石型災害 2/3 以上發生於上邊坡，岩屑崩滑型災害則有一半以上位於下邊坡。下邊坡容易蓄積崩積物，崩塌型態易由落石轉變為沿崩積層表面滑落之岩屑崩滑；反之，上邊坡坡角的崩塌岩屑，容易因道路搶通工程而清除搬空，因此岩塊崩下致災過程未於坡腹接觸崖錐堆積面，缺乏剪力方向運動而墜落致災。

(2)地滑

研究區內 11 處地滑型災害多跨越上下邊坡致災。此意義顯示這些順向坡滑動破壞沿著地層層面發生，其破壞規模大，道路開闢時可能沿一處潛在順向地層面中間穿越而過，將其分成上下坡段，並分別由於上邊坡道路開挖坡角見光、下邊坡河岸沖刷導致坡角失去支撐等因素促崩。

(3)河道沖刷

河道沖刷型災害中，3 處致災類型屬於路線途經河床中央而遭受沖毀類型；另有 2 處位於下邊坡，致災皆因為位於河道攻擊側、長期受溪水衝擊。

(4)路基淘空

路基淘空皆發生於道路基礎部份，因此災害區位皆屬於下邊坡。歸納上述，上邊坡容易產生災害類型為落石，下邊坡則由於表面堆積鬆散堆積物或溪水動力等因子促崩，容易發生災害為岩屑崩滑、河道沖刷及路基淘空；地滑規模較大，因此容易橫跨上下邊坡，並且在坡腳支撐移除的情況下產生崩塌。

2.5 山崩之道路線型因素

本節將一併討論所有山崩類型與道路線型分布關係。經現地調查後可發現，若將道路線型初步分為直線段及曲線段，則各型災害分布路線以曲線段較多。若將曲線段進一步區分為凹線段(彎道凸出部分指向上邊坡方向)及凸線段(彎道突出部分指向下邊坡方向)結果則顯示，凹線段災害點位較凸線段災害點位多。位於道路凹線段斜坡，坡面地表逕流及地下水易集中流向中間，導致該坡段地面水匯集，進而可能引發孔隙水壓上升而致災；反之位於凸線段路段，坡面地表逕流及地下水傾向分散向兩側流動，因此較少見地面水匯集現象。現地調查結果則與此推測相符，全線 30 處地面水匯集災害中，24 處位於凹線段，6 處位於凸線段。此外，緊鄰河岸道路，若屬於凹線段，則亦為河流攻擊側，受水力淘刷沖蝕較為劇烈，因此也易導致岩體破碎或崩落致災。

三、結論

- 1.西部麓山帶中的阻斷點位多集中於旗山溪與荖濃溪分水嶺南端，此段路線地表等高線複雜、地勢高低起伏而不定多變，且地表出露岩層為構造發達的長枝坑層。往上游行，點位集中於荖濃溪河道寬闊、水量大處以及主支流匯流處攻擊側，其紊流力量大，沖蝕作用加助了崩塌的產生。
- 2.中央脊梁山脈硬泥岩、板岩等材料於輕度變質過程中受壓易導致孔隙率及含水量較低，並非良好含水層，因此地下水較易沿著破碎、滲透性高處流動，匯聚流動的結果遂形成隨處可見沖蝕溝。當坡體兩側侵蝕溝逐步向源侵蝕發展，最中可能導致深處一完整滑動面產生，進而滑落致災。
- 3.道路上邊坡容易產生害類型為落石、土石流，下邊坡則由於蓄積鬆散堆積物或溪水動力等因子促崩，容易發生災害為岩屑崩滑、河道沖刷；地滑規模較大，因此容易橫跨上下邊坡，並且在坡腳支撐移除情況下產生崩塌。
- 4.道路凹線段斜坡，坡面地表逕流及地下水易集中流向中間，導致該坡段地面水匯集，進而可能引發孔隙水壓上升而致災；反之位於凸線段路段，坡面地表逕流及地下水傾向分散向兩側流動，因此較少見地面水匯集現象。

參考文獻

1. Hutchinson, J. N. (1968), "Mass movement. in Fairbidge". Encyclopedia of Geomorphology, 688-695. Reinhold, New York.
2. Nemcok, A. (1972), "Gravitational slope deformation in high mountains". 24th International Congress, Montreal, 132-141.
3. Sterling, S., Slaymaker, O. (2007), "Lithologic control of debris torrent". Geomorphology, 86(3-4), 307-319.
4. Varnes, D. J. (1978), "Slope movement types and processes". Landslides, analysis and control. Transportation Research Board Sp. Rep., 176 Nat. Acad. of Sciences, 11-33.
5. 李彥良、李錦發、魏正岳、黃健政(2005)，幾個潛藏的危害性大規模山崩—以紅葉坪地滑為例談山崩監測，地質環境與資源研討會論文集，87-94。
6. 張石角(1992)，台灣各地值分區邊坡崩坍類型及其預測方法(一)-技術轉移講習班講義，台灣大學地理系，49-111。
7. 陳宏宇 (1998)，山崩，地球科學園地,第6期，12-21。
- 8.

ABSTRACT

The devastating Typhoon Morakot dumped heavy rainfall and destroyed hundreds of bridges and roads. This paper illustrates the research activities carried out in typhoon triggered hazard-blocked roads which played important roles as emergency escaping route. First, investigation of landslide distribution was performed in GIS software with remote sensing images and digital elevation models (DEM). Subsequently, detailed field surveys were applied. Finally, we classified these hazards into 8 categories and summarized the geological, geophysical and hydrological characteristics of each one.

The field survey results indicate that the distribution of hazards coincides with complex topography and geological-structures. Besides, gully head erosion may further extend the slope failure. The direction of surface runoff movement tends to join together in slopes which were located in concave road section. Therefore, the rise up of pore pressure could be induced and enhance the possibility to collapse. On the other hand, different hazard types could be aware between down-slope and up-slope. Finally, the survey made here may enhance the analysis of landslide susceptibility significantly.

Keyword: Typhoon Morakot, hazard-blocked road, remote sensing, landslide.