

地質敏感區災害潛勢評估與監測計畫

高山聚落地區地質災害基本調查 (1/4)

黃建忠¹、羅正彥²、張閔翔³、許景富¹、翁淑卿¹

1. 亞新工程顧問股份有限公司
2. 中興工程顧問股份有限公司
3. 經濟部中央地質調查所

摘要

經濟部中央地質調查所為加強環境地質防災應用，提供符合防災需求之資料與分析結果，自民國 91 年度開始執行「都會區及周緣坡地整合性環境地質資料庫建置計畫」五年期之整合性計畫，藉由該計畫的成果加強國人對地質災害的發生及敏感地區之認知，提升對國土保全與防災意識之重視。至民國 95 年為止，已完成 101 幅比例尺 1/25,000 地形圖範圍的調查分析工作。

為使防災資訊能遍及全台坡地人口聚集的地區，本年度(96 年)起預計四年內針對高山聚落地區進行全面性的調查。本年度為第一年的工作，計畫區域位於南投、嘉義、高雄、屏東等地區，涵蓋 12 幅經建版 1/25,000 比例尺地形圖範圍，內含高山聚落區共計 61 處。就地質分區而言，涵蓋西部麓山帶之沉積岩區以及脊梁山脈與雪山山脈之亞變質岩區，總調查面積約 2,124 平方公里。主要工作內容包括岩體工程特性調查、環境地質基本資料調查與山崩潛勢分析等，並完成岩性組合圖、岩體強度分級圖、環境地質基本圖與地質災害潛勢圖等成果圖。

坡地環境地質基本資料包括落石、岩屑崩滑、岩體滑動、順向坡、土石流、棄填土區、河岸侵蝕等內容。調查工作分為室內判釋及野外調查。室內判釋工作係使用近期所拍攝的彩色航照影像，利用航空測量技術進行航照影像處理，製成航照立體像對提供專業地質人員進行判釋與圈繪，並與最後完成比例尺 1/5,000 之正射化影像套疊，作為野外調查之工作底圖。而岩體工程特性則進行現地地質調查，調查內容包括地層種類、岩性組合、岩體結構類型以及特殊地質現象等，並於具代表性之岩性露頭進行岩石強度試驗。

將調查成果資料建置成資料庫是本計畫主要目的之一，計畫執行過程中所有的調查資料以及成果圖幅，均依規劃之資料庫屬性內容進行建置。本年度共計完成地質災害調查 22,829 筆，其中經野外調查計 3,490 筆；岩體工程特性共進行 1,677 個露頭調查點，現地強度試驗進行 1,264 組。

依據本年度調查資料統計結果顯示，西部麓山帶之沈積岩區地層有 21

層，其岩體強度分級有Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ等四級；雪山山脈帶與脊梁山脈帶之亞變質岩區地層有 7 層，岩體強度分級有Ⅲ、Ⅳ等二級；火成岩則僅為玄武岩，岩體強度分級為Ⅱ級。環境地質基本資料部份，落石之發生面積百分比以西部麓山帶最高，岩屑崩滑災害以雪山山脈帶分布面積百分比為最高，順向坡面積百分比亦以西部麓山帶最高。另外，統計結果顯示土石流上游集水區約 96%有崩塌地分布，顯示土石流與上游崩塌地關係密切。

在山崩潛勢分析統計結果顯示，各山崩類型之潛勢區以岩屑崩滑潛勢分布最廣，約佔調查範圍 50%，岩體滑動潛勢區次之，約佔調查範圍 10%，落石潛勢區較低，約佔調查範圍 5%。就各地質分區而言，各類型潛勢區之分布百分比以雪山山脈帶最高，約佔坡地範圍 89%；脊梁山脈帶次之，約佔坡地範圍 70%。西部麓山帶最低，約佔坡地範圍 61%。

本年度調查範圍共有 61 處高山聚落區，依據每聚落房屋區向外延伸 500 公尺範圍之統計成果顯示，各聚落主要之山崩潛勢仍以岩屑崩滑高潛勢為主。其中以巒安堂圖幅之巒安堂、阿里山圖幅之阿里山、梅山圖幅之梅山、民族圖幅之錫安山、小林等聚落及其周圍地區，各類之潛勢區面積百分比超過 70%，是山崩潛勢最為顯著之聚落。其次為同富圖幅之東埔、達邦圖幅之平園、龍頭、達德安、隙頂、龍美、特富野圖幅之特富野、新美圖幅之茶山、梅山圖幅之梅山口以及六龜圖幅之萬山等聚落及其周圍地區，各類潛勢區介於 50%~70%，亦為山崩潛勢較顯著之聚落。

一、前言

台灣處於地震頻繁、地質活動劇烈的地區。因地形陡峭、地質構造複雜、岩體破碎，再加上雨量豐沛且集中等自然條件，使得地表侵蝕作用盛行，地質災害事件頻傳。近年來由於氣候環境的逐漸惡化，暴雨或強烈降雨極為普遍，災害趨向於大規模化、高頻率化以及複雜化等現象。尤其在民國 88 年 921 大地震之後的數年，不斷發生崩塌、土石流及其他各種坡地災害，例如民國 93 年敏督利與艾利颱風引發大甲溪流域及新竹五峰地區嚴重的崩塌與土石流災害，造成數十人死亡的慘劇；民國 94 年海棠與馬莎颱風造成石門水庫上游集水區山坡地嚴重崩塌，導致水庫供水功能癱瘓，影響民生經濟至鉅。

經濟部中央地質調查所(以下簡稱地調所)鑒於環境地質資料的重要性，已於民國 91 年度起執行為期 5 年之「都會區及周緣坡地整合性環境地質資料庫建置計畫」，針對坡地人口密集地區進行環境地質與岩體工程特性之調查與分析工作，並完成了坡地岩性組合圖、坡地岩體強度分級圖、坡地環境地質基本圖及坡地地質災害潛勢圖等資訊及資料庫建置。

為持續建立全台灣完整的坡地地質防災資料庫，地調所規劃於民國 96 年至民國 99 年共 4 年內分區針對高山聚落地區，進行環境地質基本調查工作。本年度為整體四年計畫之第一年計畫，調查工作以「環境地質調查與山崩潛勢分析作業準則」為作業依據。本計畫主要目的係以建立一套以防災為著眼，並結合工程實務的環境地質資料庫，其成果可供未來整體性國土開發規劃及地質災害防治之參考，加強國人對地質災害的發生及潛勢地區之認知，提升對國土保全與防災意識之重視。計畫所建立之地質災害資料庫，可與其他災害資料庫結合，有效進行整體防災資訊數位整合與運用。

二、工作範圍

本年度調查範圍主要分布在台灣中南部的南投縣、嘉義縣、高雄縣及屏東縣等山地區，包括巒安堂、阿里山、同富、達邦、特富野、新美、梅山、民族、桃源、荖濃、六龜、口社等共計 12 幅經建版 1/25,000 地形圖區域，內含高山聚落區共計 61 處，調查面積約 2,124 平方公里，如圖 1 所示。

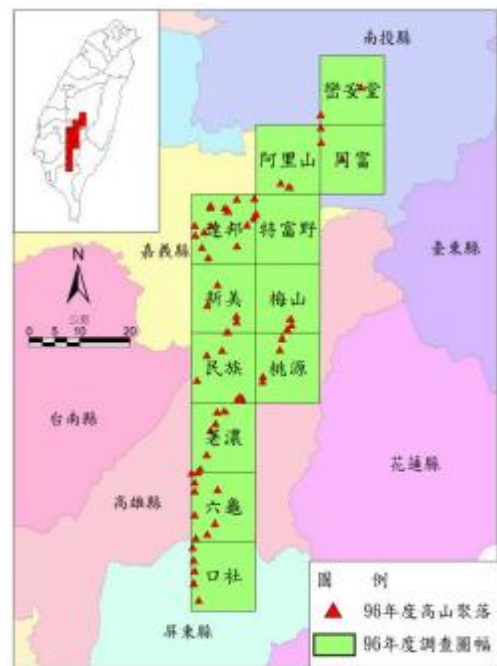


圖 1 工作調查範圍

三、工作項目與流程

本計畫針對工作範圍內之山坡地進行環境地質基本資料及各種岩體工程之調查工作，如山崩、地形、地貌、自然及人工堆積區、崩積體、侵蝕作用以及地層位態、岩性組合、岩石強度與岩體結構等資料。依據本計畫之工作項目，釐定整個計畫的工作流程，如圖 2 所示。

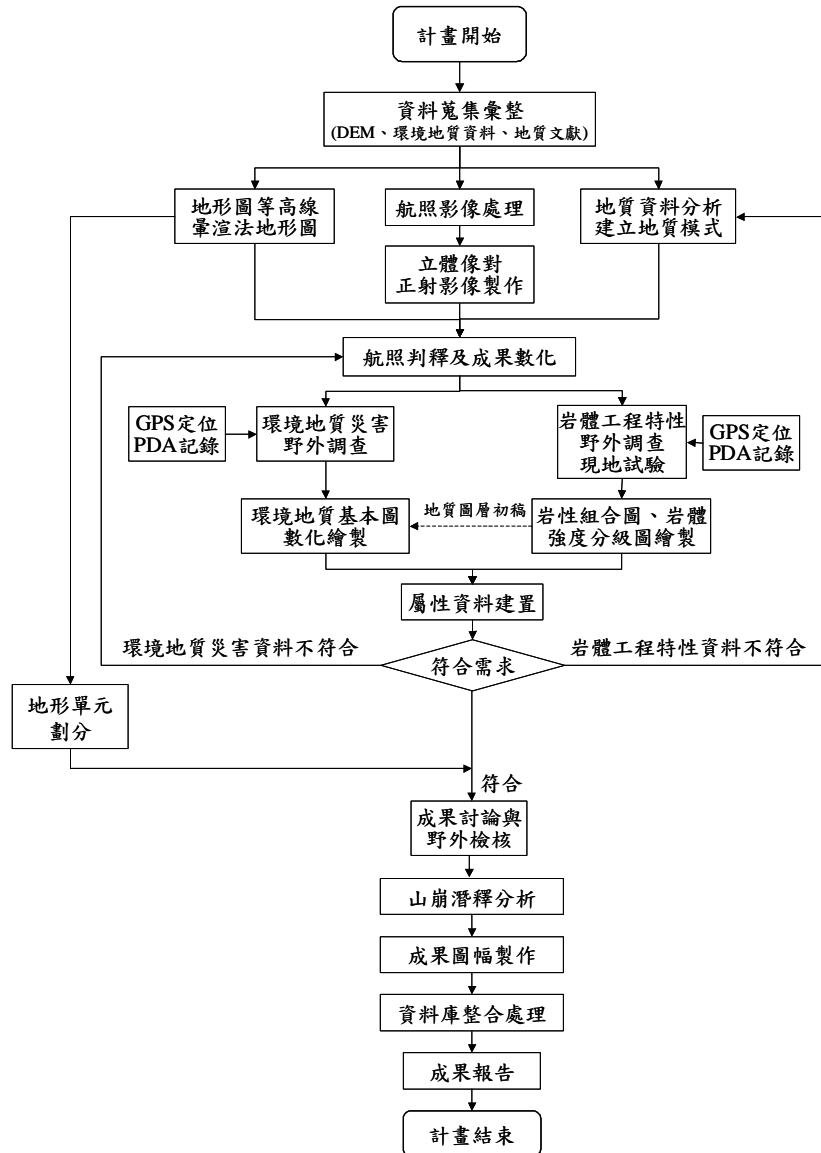


圖 2 計畫工作流程圖

四、室內判釋及野外調查工作

地質資料常顯現出特殊之環境型態，這些特徵可反映在地形上或地貌上，如線型、岩石露頭之界線和特徵、地表裸露、植生不協調、陡崖地形等。室內的判釋工作即依據這些特性進行航照判釋與分析。

室內判釋工作使用整合於地理資訊系統平台之影像處理模組，輔助進行

航照影像立體像對判釋。利用航空測量技術進行航照影像處理，製成航照立體像對後，於 Stereo Analyst 模組環境下開啟多重視窗功能配合立體眼鏡進行崩塌地之判釋與圈繪數化工作，且判釋成果可直接匯入環境地質資料庫中，並輸出野外調查工作底圖，進行野外調查。主要室內判釋工作如圖 3 所示。

另為輔助調查工作範圍內順向坡圈繪作業，本計畫採用地理系統工具開發順向坡分析程式，繪出可能之順向坡範圍，提供判釋作業時參考及圈繪成果檢核使用。其作業流程圖如圖 4 所示。



圖 3 室內航照判釋工作

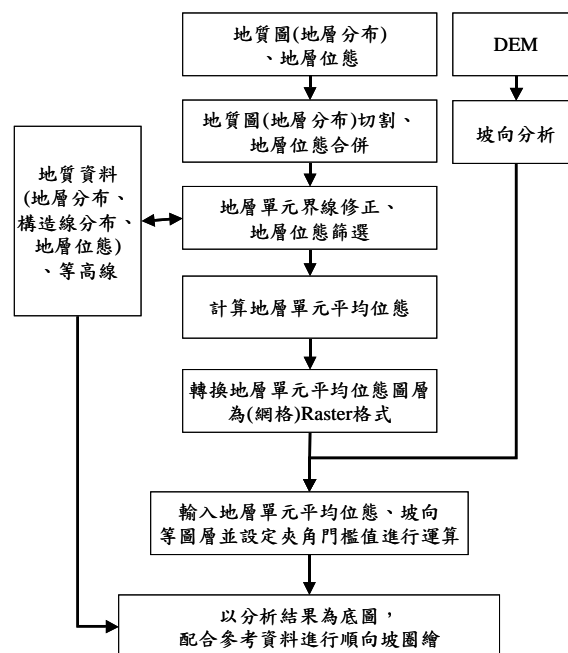


圖 4 順向坡分析程式輔助順向坡圈繪流程

現地調查之目的是確認室內判釋之地層、地質構造之分布與延展，以及環境地質災害之種類與分布，作為繪製成果圖之依據。有關環境基本資料調查，野外調查主要目的則是檢核室內判釋結果。由於各類型之地質災害特性差異甚大，野外調查之項目也不盡相同，因此針對每一種之地質災害種類與因子，分別設計不同的野外查核表格。野外調查工作時採用 PDA 協助進行登錄，且每一處經現場調查之災害並拍攝現場照片（如圖 5 所示）。本年度野外調查，環境地質基本資料調查部份共有 3,490 處，岩體工程特性共進行 1,677 個露頭調查點，並於適當露頭進行現地強度試驗，共計 1,264 組。岩石強度之統計，係以現地施密特錘反彈值及地質錘敲擊值為主，軟弱地層則按 ISRM 準則進行野外檢測。

由於航空照片有時受地形、植生、陰影等因素影響而遮蔽地質災害現象，在現場調查過程中若發現有航照判釋遺漏部分均予以補充。



圖 5 野外調查現場照片成果

五、成果資料庫建置

將調查成果資料建置成資料庫是本計畫主要目的之一。計畫執行過程中所有的調查資料以及成果圖幅，均依據所規劃之資料庫屬性內容辦理。本年度完成的調查屬性資料建置，岩體工程特性共有 1,677 個露頭點資料，現地強度有 1,264 組、斷層線 62 筆、褶皺線 69 筆、岩性組合面 338 筆；環境地質基本資料部份，共計 22,829 筆，其中經野外調查計 3,490 筆，其成果數量統計如表 1 所示。

另外，依據地調所之坡地岩體工程特性調查測繪作業準則以及環境地質與地質災害潛勢區測繪作業準則，完成 12 幅之岩性組合圖、岩體強度分級圖、環境地質基本圖與地質災害潛勢圖，如圖 6-7 所示。

表 1 環境地質基本資料屬性建置成果統計表

災害種類 圖幅名稱		落石		岩屑崩滑		岩體滑動		順向坡		棄填土區		土石流 (含古沖積扇)	侵蝕	野外調查
圖幅 名稱	1/5,000 圖幅數	資料 筆數	面積 (公頃)	資料 筆數	面積 (公頃)	資料 筆數	面積 (公頃)	資料 筆數	面積 (公頃)	資料 筆數	面積 (公頃)	資料 筆數	資料 筆數	資料 筆數
巒安堂	25	100	121.51	2470	2018.56	5	238.83	146	1243.52	0	0	68	10	251
同富	25	141	85.4	2810	855.1	4	38.14	82	496.3	0	0	19	23	373
阿里山	25	246	740.05	1246	1075.96	4	53.94	255	2442.23	0	0	40	31	127
達邦	25	219	275.38	1079	343.38	16	90.01	214	2566.41	2	4.9	31	16	659
特富野	25	72	73.9	1355	476.6	13	113.3	176	2679.4	0	0.0	12	51	137
新美	25	301	273.6	1308	321.4	3	31.6	233	1284.1	0	0.0	10	6	420
梅山	25	405	289.3	845	570.9	7	52.2	190	2471.5	0	0.0	16	29	189
民族	25	180	74.0	2194	403.1	8	65.5	260	2166.0	0	0.0	13	15	492
桃源	25	306	321.3	1317	657.3	7	27.9	49	383.7	1	0.5	14	12	217
荖濃	25	54	42.0	1273	480.0	1	6.1	64	941.0	1	0.4	28	29	196
六龜	25	114	88.5	989	536.0	1	5.6	46	1169.9	0	0.0	46	37	210
口社	25	145	95.1	1196	499.0	1	26.5	53	1333.2	1	0.1	36	29	219
合計	300	2283	2480.0	18082	8237.2	70	749.6	1768	19177.2	5	5.9	333	288	3490

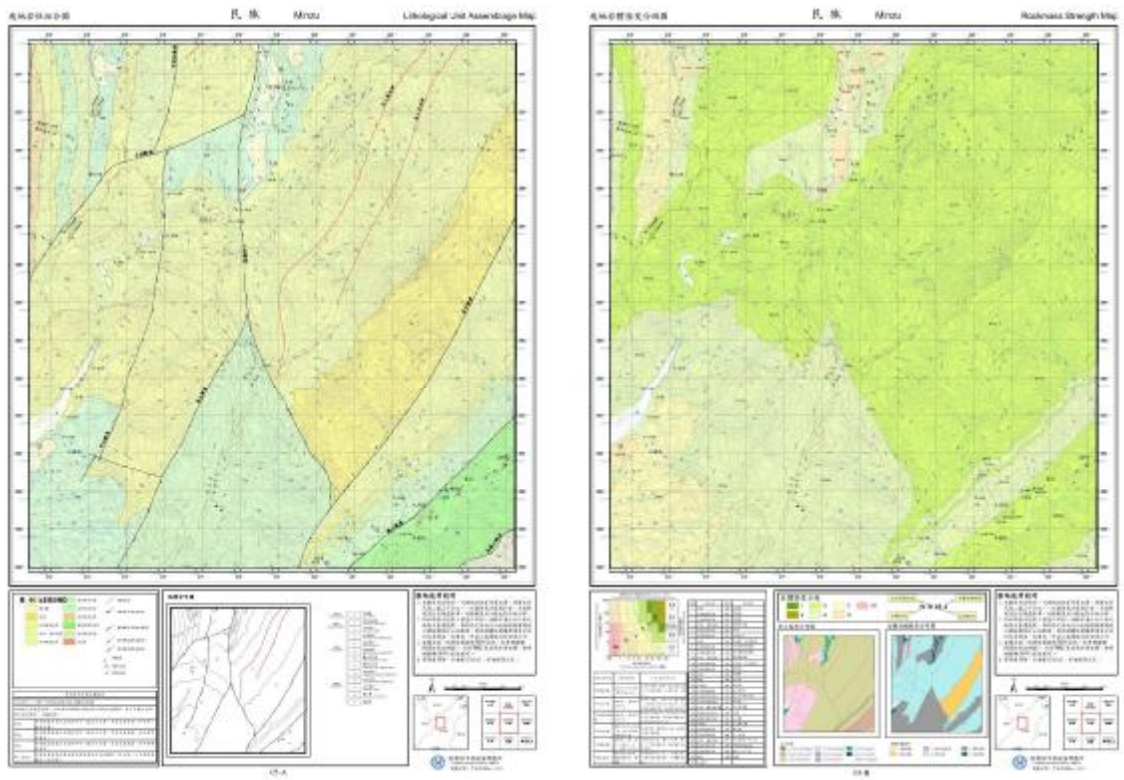


圖 6 岩性組合圖及岩體強度分級圖

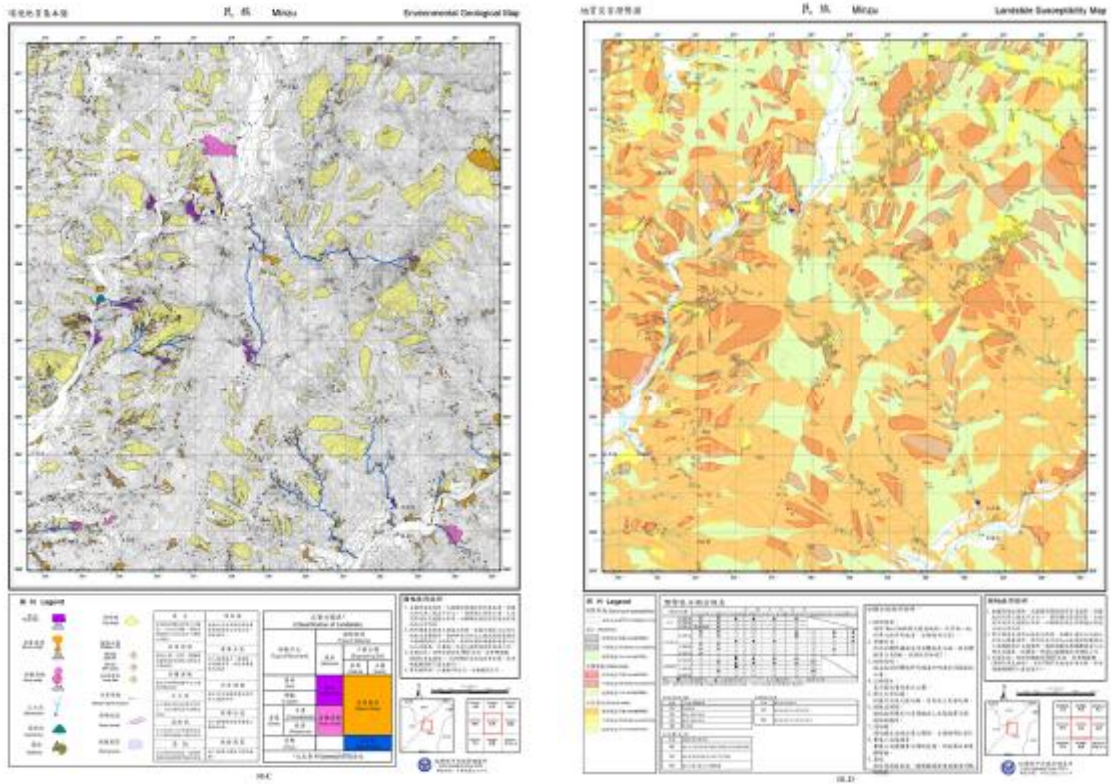


圖 7 環境地質基本圖及地質災害潛勢圖

六、資料統計

由於本年度計畫範圍跨越地質分區包含西部麓山帶之沉積岩、雪山山脈以及脊梁山脈之亞變質岩。各類型地質分區的地質組合性質不同，故本計畫主要針對不同地質分區進行統計，以了解坡地環境地質基本資料與其地質環境背景兩者之間的相關性。

基本圖統計的方式是在不同的地層中，將不同地質災害種類與因子分別計算其發生面積，以了解不同地質災害種類與因子在各種地層中分布情形。由於調查範圍內各種地層分布範圍大小不等，為了能在相同的基準下進行有統計意義的比較和分析，進行資料正規化處理。統計的項目包括落石、岩屑崩滑、順向坡、岩體滑動及土石流等，統計結果說明如下。

各類地質區落石面積百分比分布如圖 8 所示，顯示西部麓山帶落石發生面積百分比最高。各類地質區岩屑崩滑面積百分比分布如圖 9 所示，顯示雪山山脈發生之面積百分比最高。另外，為比較岩屑崩滑在各類地質區中坡度變化情形，其結果如圖 10 所示，顯示岩屑崩滑主要發生在 30-55 度最多，其中又以雪山山脈之岩屑崩滑其平均坡度略較其他地質區為高。至於各坡度之崩壞比如圖 11 所示，各地質區之崩壞比均由 30 度起大幅升高。

各類地質區順向坡面積百分比分布如圖 12 所示，顯示西部麓山帶之沉積岩區面積百分比高。另外，為比較順向坡在各類地質區中坡度變化情形，統計圈繪範圍其現在地形面平均坡度，其結果如圖 13 所示，整體而言，平均坡度多介於 20 度至 55 度之間，其中又以雪山山脈之順向坡平均坡度略較其他地質區為高。以調查成果進行各類地質區岩體滑動統計，其面積百分比分布如圖 14 所示，其中雪山山脈區之岩體滑動面積百分比高。

一般研究顯示，集水區源頭有無崩塌地與土石流發生有非常密切之關係。依據本計畫之土石流調查成果分布與崩塌地分布統計，其結果如圖 15 所示，各地質分區之土石流源頭集水區超過 93% 具有崩塌地。

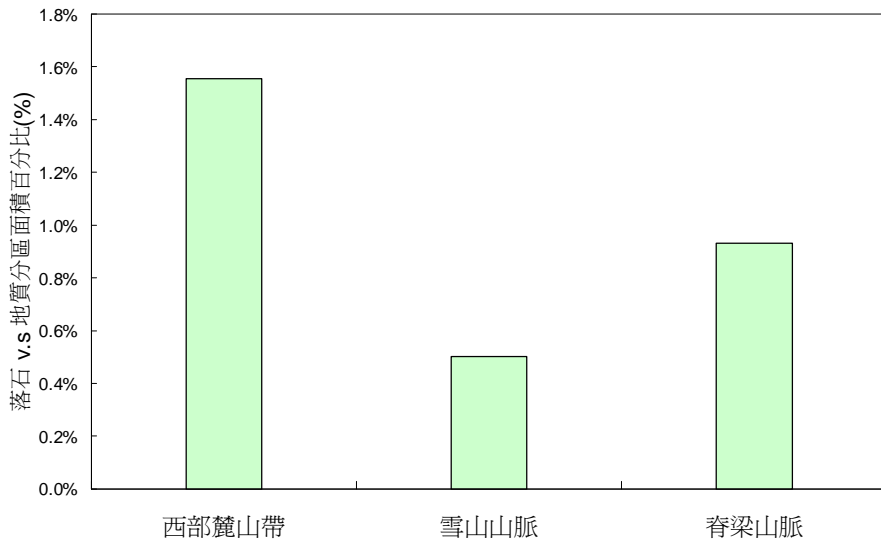


圖 8 各類地質區落石面積百分比

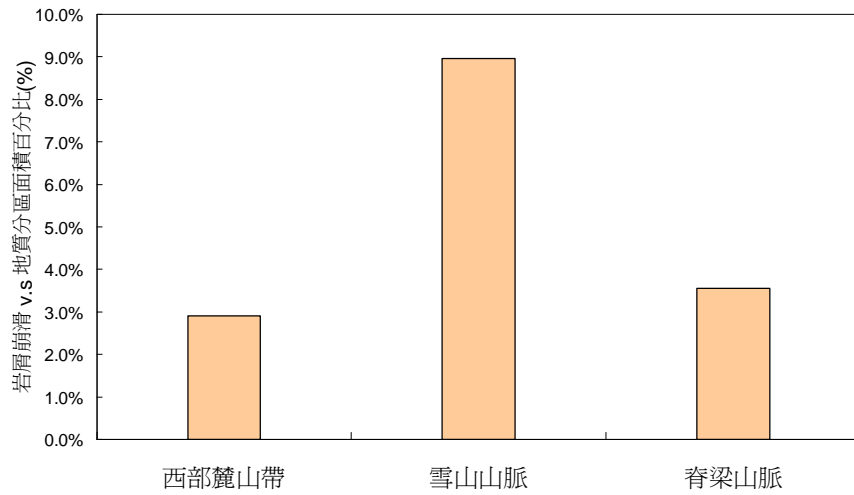


圖 9 各類地質區岩屑崩滑面積百分比

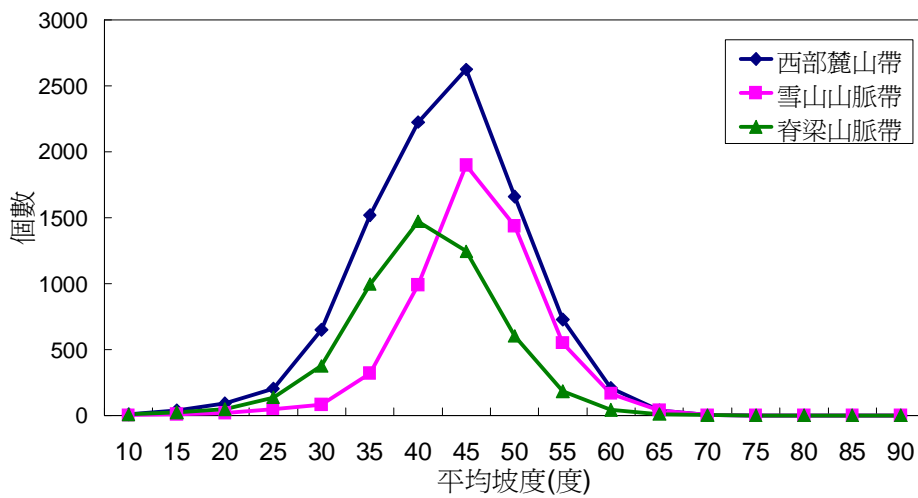


圖 10 各類地質區岩屑滑崩平均坡度分布

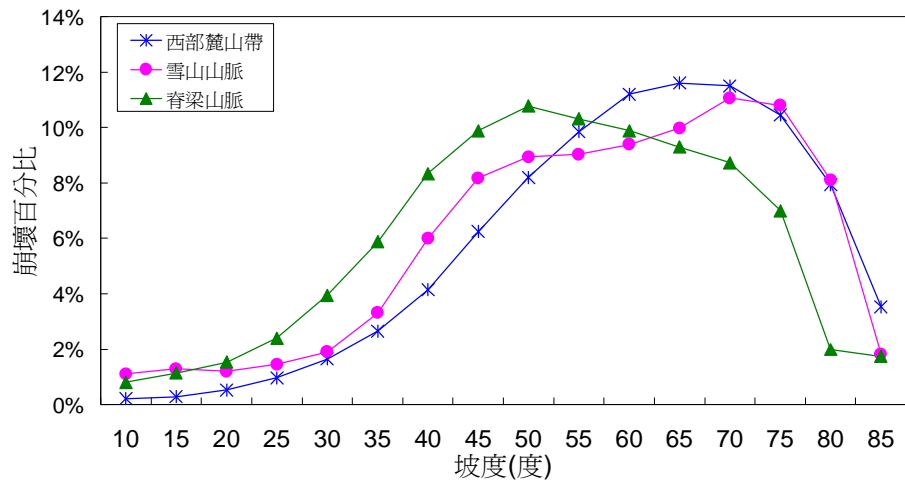


圖 11 岩屑滑崩各坡度等級崩壞比統計

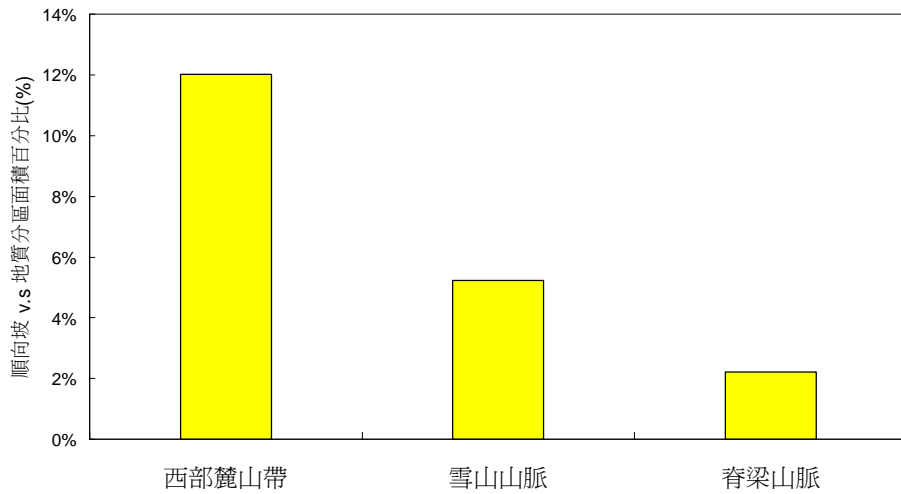


圖 12 各類地質區順向坡面積百分比

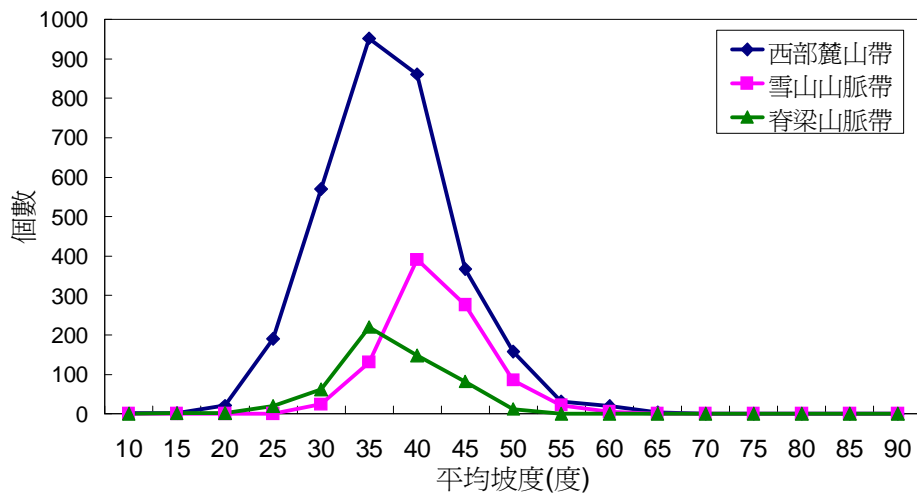


圖 13 順向坡坡度分布統計

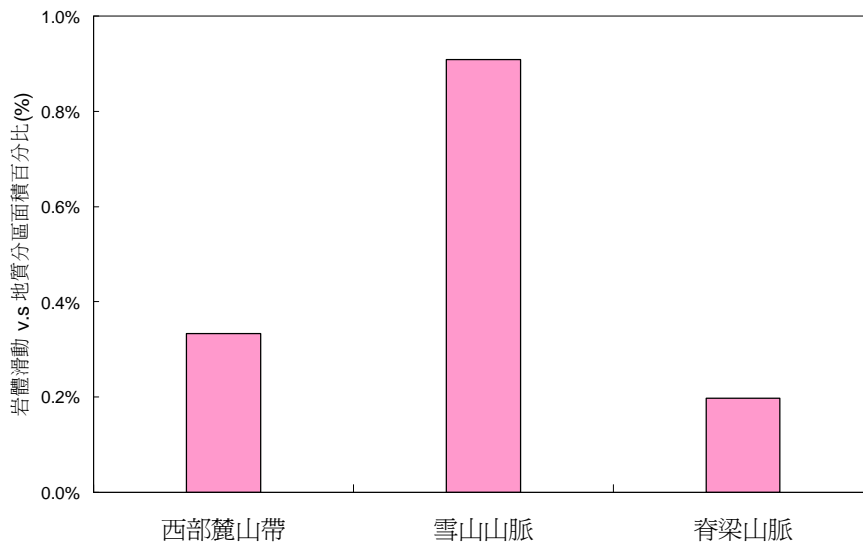


圖 14 各類地質區岩體滑動面積百分比

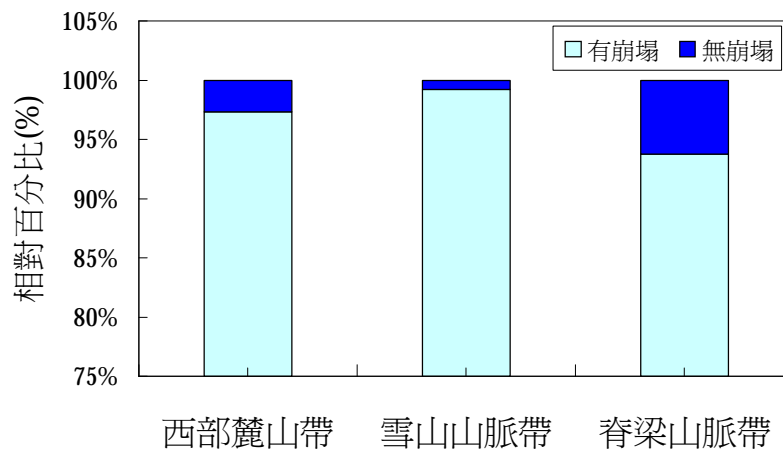


圖 15 各類地質區土石流源頭集水區崩塌發生率比較

為了解各類地質區中山崩潛勢分布情形，將坡地範圍內不同的地質分區，依各種山崩潛勢分別計算其佔坡地面積之百分比。本年度調查區域內之各類山崩潛勢統計結果如圖 17 所示，各類型高、中潛勢區以岩屑崩滑佔 50% 最高；其次為岩體滑動潛勢區，約為 10%。各地質分區之潛勢區統計結果如圖 18-20 所示，以雪山山脈帶之山崩潛勢最高，89%之坡地面積具有各類型之山崩潛勢，其中又以岩屑崩滑高潛勢分部最廣，達 71%之坡地面積。其次為脊梁山脈帶，各類型高、中潛勢區為 70%，亦以岩屑崩滑高潛勢分布較高，約佔坡地面積 50%。西部麓山帶之各類潛勢區分布最小，但其岩屑崩滑高潛勢區仍約佔坡地面積 45%。

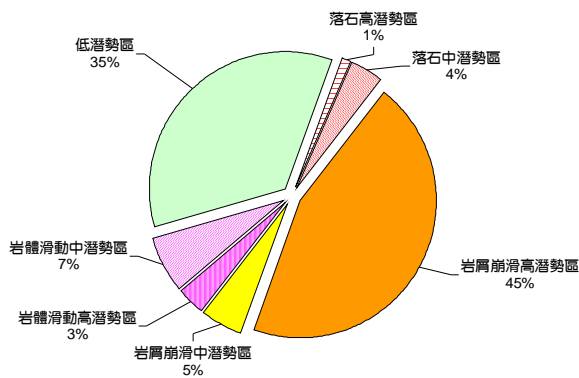


圖 16 本年度各類山崩潛勢百分比

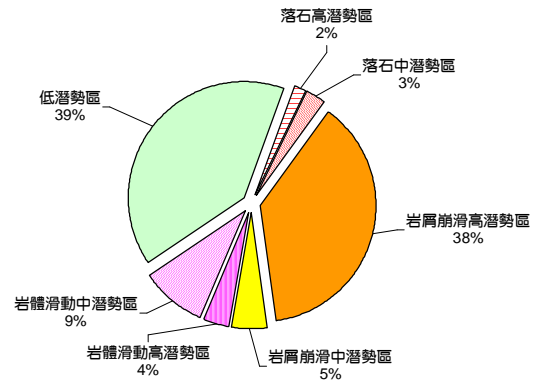


圖 17 西部麓山帶各類山崩潛勢百分比

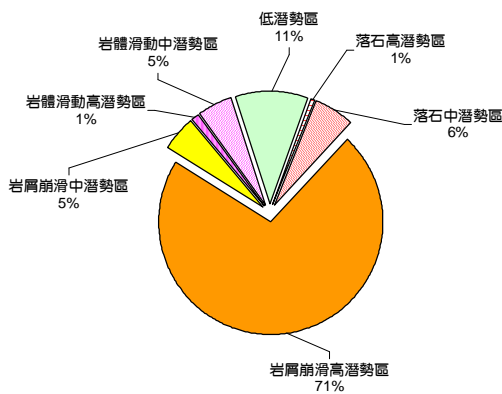


圖 18 雪山山脈各類山崩潛勢百分比

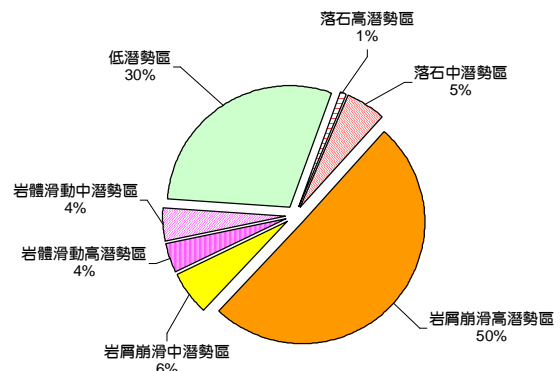


圖 19 脊梁山脈各類山崩潛勢百分比

為瞭解本計畫範圍內各高山聚落之環境地質狀況與山崩潛勢趨勢，本計畫依據岩體工程特性、環境地質基本資料與山崩潛勢之調查分析成果，就聚落房屋區向外延伸 500 公尺之可能影響聚落安全的範圍進行統計，統計結果如圖 20 所示。

計畫區大致可以達邦與特富野圖幅為界，達邦與特富野圖幅以北地區，聚落位於低緩的坡地或面積較小之河階地，地層組成主要為亞變質岩與沉積岩，強度分級多屬Ⅲ、Ⅳ級，礫石層與沖積層則強度分級屬Ⅵ級與無分級；達邦與特富野圖幅以南地區，聚落分布於主要溪流兩側之河階地上，地層組成主要為礫石層與沖積層，其強度分級屬Ⅵ級與無分級，而亞變質岩與沉積岩則出露於少數聚落或聚落之周緣或河岸邊坡，其強度分級多屬Ⅲ、Ⅳ級，偶有Ⅱ及Ⅴ級。

各落周圍地區之後地質災害主要分布於階地周緣邊坡、河岸與連外道路邊坡，以岩屑崩滑術量最多，共計 765 處，其次為順向坡，約 170 處，再次為落石，約 131 處，其餘災害數量則較少。山崩潛勢分析統計顯示，聚落所在階地地形較平緩，其潛勢較低，而各聚落山崩潛勢以岩屑崩滑高潛勢為主，其中以巒安堂圖幅之巒安堂、阿里山圖幅之阿里山、梅山圖幅之梅山、民族圖幅之錫安山、小林等聚落及其周圍地區，各類之潛勢區面積百分比超過

70%，是山崩潛勢最為顯著之聚落。其次為同富圖幅之東埔、達邦圖幅之平園、龍頭、達德安、隙頂、龍美、特富野圖幅之特富野、新美圖幅之茶山、梅山圖幅之梅山口以及六龜圖幅之萬山等聚落及其周圍地區，各類潛勢區介於 50%~70%，亦為山崩潛勢較顯著之聚落。這些山崩潛勢較顯著之聚落，應注意地質災害可能造成的危害。

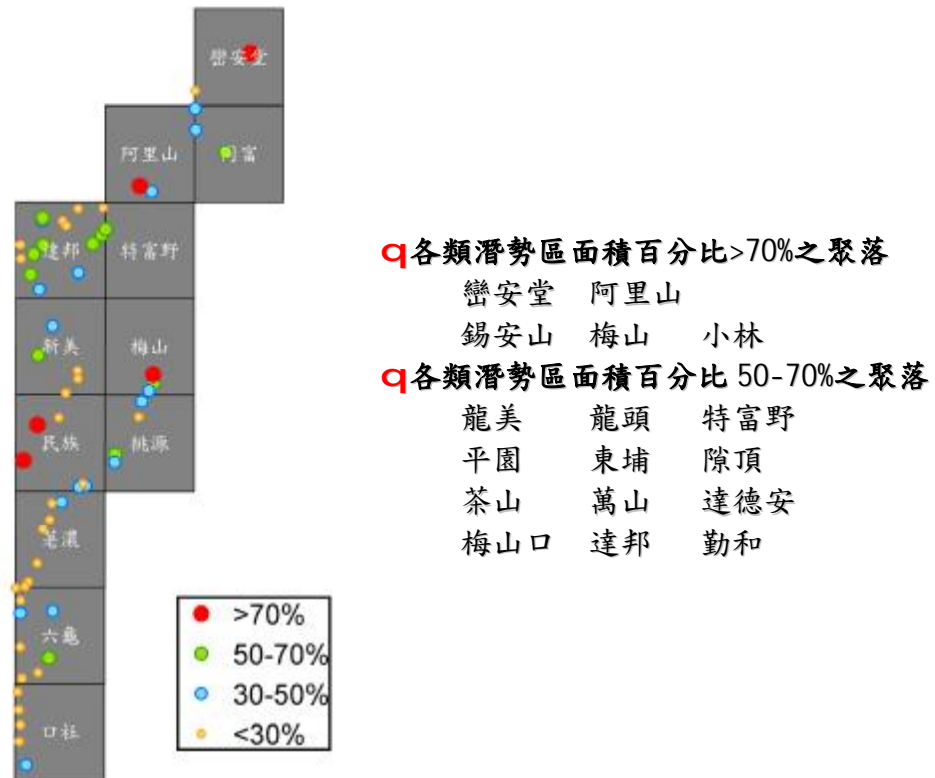


圖 20 高山聚落地區山崩潛勢分析統計

七、結論與建議

- (1) 本年度已完成巒安堂、阿里山、同富、達邦、特富野、新美、梅山、民族、桃源、荖濃、六龜、口社等共計12幅經建版1/25,000地形圖區域之地質災害基本調查，內含高山聚落區共計61處，調查面積約2,124平方公里。並完成岩性組合圖、岩體強度分布圖、環境地質基本圖與地質災害潛勢圖等成果圖，提供一GIS數化之中比例尺基本圖說，可提供區域規劃或土地利用者參考，以瞭解自然環境之地質現況及在山坡地開發利用可能產生之地質災害影響。
- (2) 本年度計畫總計完成地質災害調查22,829筆，其中經野外調查計3,490筆；岩體工程特性共進行1,677個露頭點調查，現地強度試驗進行1,264組、斷層線62筆、褶皺線69筆、岩性組合面338筆，並完成資料庫之建置。
- (3) 依據地質災害調查成果顯示，山崩災害類型以岩屑崩滑為主，計18,082處，總面積約8,237公頃；落石次之，計2,283處，總面積約2,480公頃，其它災害數量較少。
- (4) 本年度調查區之地層跨沈積岩區（西部麓山帶）及亞變質岩區（雪山山脈及脊梁山脈），間有火成岩之貫入。總計沈積岩區地層有21層，其岩體強度分級有III、IV、V、VI等四級；變質岩區地層有7層，岩體強度分級有III、IV等二級；火成岩則僅為玄武岩，岩體強度分級為II級。
- (5) 各類型災害之分布情形，落石發生面積百分比以西部麓山帶最高；岩屑崩滑災害以雪山山脈面積百分比為最高；順向坡面積百分比以西部麓山帶最高；岩體滑動雪山山脈發生面積百分比最高。此外，土石流上游集水區約96%有崩場地分布，顯示土石流與上游崩場地關係密切。
- (6) 山崩潛勢分析統計結果顯示，各山崩類型之中、高潛勢區中岩屑崩滑潛勢分布最廣，約佔調查範圍50%，岩體滑動潛勢區次之，約佔

調查範圍10%，落石潛勢區較低，約佔調查範圍5%。

- (7) 本年度調查範圍共有61處高山聚落區，依據每聚落房屋區向外延伸500公尺範圍之山崩潛勢統計結果，以南投縣之巒安堂，嘉義縣之阿里山以及高雄縣之梅山、錫安山及小林等聚落之山崩潛勢最高，均超過70%，其次為南投縣之東埔，嘉義縣之平園、龍頭、達德安、隙頂、龍美、特富野、茶山以及高雄縣之梅山口、萬山等聚落，各類潛勢區介於50%~70%。

八、參考文獻

- (1). Dearman, W.R.(1991) Engineering Geological Mapping, 1st. edit Butterworth Heinemann Ltd.
- (2). Marinos, P. and Hoek, E. (2000) GSI: A geologically friendly tool for rock mass strength estimation: Proceedings, GeoEng 2000, Melbourne, Australia, 2000.
- (3). Hoek,E. and Diederichs, M.S. (2006) Empirical estimation of rockmass modulus: International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 43(2006). 203–215 pp.
- (4). Franklin, J.A.(1970) Observations and tests for engineering description and mapping of rocks: Proc. 2nd. Congress, Int.Soc.Rock Mech., Belgrade, Vol. 1, Paper 1-3, 6 pp.
- (5). Franklin, J. A.(1975)Size-strength system for rock characterization: Franklin Geotechnical Ltd. Orangeville, Ontario and Research Professor Department of Earth Sciences University of Waterloo, Ontario, Canada.
- (6). Varnes, D. J.(1978)Slope Movement Types and Processes; Landslides Analysis and Control, Special Report 176
- (7). 中國石油公司臺灣油礦探勘總處(1986)嘉義圖幅(1/100,000)。中國石油公司出版。
- (8). 中國石油公司臺灣油礦探勘總處(1989)台南圖幅(1/100,000)。中國石油公司出版。
- (9). 中國石油公司臺灣油礦探勘總處(1992)高雄-屏東圖幅(1/100,000)。中國石油公司出版。

- (10). 中興工程顧問公司(1995)瑞峰水庫可行性規劃專題報告(一)地質及岩石力學特性研究計畫:水資會離島水源三期，經濟部水資源統一規劃委員會。
- (11). 中興工程顧問公司(2004)曾文越域引水工程計畫—隧道工程補充地質調查試驗及評估報告，經濟部水利署南區水資源局。
- (12). 內政部營建署(1998-2000)，區域國土開發保育防災基本資料建立與分析(第一、二、三年)研究計畫成果。
- (13). 台灣省政府建設廳(1985-2002)，臺灣省重要都會區環境地質資料庫。
- (14). 行政院農委會水土保持局(2002)，全省山崩、土石流分布圖。
- (15). 何春蓀(1986)臺灣地質概論—臺灣地質圖說明書，第二版，經濟部中央地質調查所，共164頁。
- (16). 宋國城、林慶偉、林偉雄、林文正(2000)甲仙圖幅及說明書，經濟部中央地質調查所，五萬分之一圖幅，第五十一號。
- (17). 李錫堤、王源(1985)臺灣南部橫貫公路禮觀一帶之地層及構造。地質，第6卷，第1期，第1-20頁。
- (18). 林偉雄(1999)荖濃溪斷層作為臺灣南部新、古第三系界限斷層的檢

討，經濟部中央地質調查所彙刊，第12號，第1-24頁。

- (19). 經濟部中央地質調查所(2001)，數值地質圖層資料規範(第三版)。
- (20). 經濟部中央地質調查所(2003)，坡地岩體工程特性調查測繪作業準則。
- (21). 經濟部中央地質調查所(2005)，環境地質與地質災害敏感區測繪作業準則。
- (22). 經濟部中央地質調查所(2007)，山崩敏感區評估之製圖地形單元製作研究。
- (23). 詹新甫(1971)雪山山脈南段地質構造圖(1：308,000)：臺灣雪山山脈南部地區之地質構造，中國地質學會會刊，第14號，第62~75頁。
- (24). 劉桓吉、方中權、莊德永(1989)台灣新中橫公路嘉義觸口至塔塔加鞍部沿線地質，經濟部中央地質調查所彙刊，第5號，第19-29頁。