

☒公開

☐密件、不公開

執行機關(計畫)識別碼：120101e100

行政院農業委員會林務局九十五年度科技計畫

研究報告

資訊庫編號：953068

計畫名稱：**運用航空攝影監測林地之變遷** (第2年/全程4年)
(英文名稱) The application of photogrammetry monitoring on the
land use chang of forestry

計畫編號：95農科-12.1.1-務-e1

全程計畫期間：94 年 1 月 1 日至 97 年 12 月 31 日

本年計畫期間：95 年 1 月 1 日至 95 年 12 月 31 日

計畫主持人：廖學禮

執行機關：農委會林務局農林航空測量所

合作機關：內政部空中勤務總隊、台灣大學

目 錄

一、前言及研究目的	6
二、實施方法	7
三、石門水庫研究區介紹	8
四、執行情形及結果分析：	24
五、石門水庫結果與討論	85
六、大甲溪資料收集	86
七、大甲溪結果與討論	97
八、結論	105
參考資料	106

圖目次

圖 1 石門水庫集水區高度與水系分布圖.....	9
圖 2 石門水庫集水區地質圖.....	13
圖 3 石門水庫-石門站歷年雨量直方圖	14
圖 4 石門站 2004 年逐月雨量分布圖.....	14
圖 5 石門水庫集水區霞雲水文站流量與含沙量之率定曲線.....	15
圖 6 石門水庫行政區界.....	17
圖 7 石門水庫道路圖.....	18
圖 8 石門水庫泥沙淤積與颱風事件.....	22
圖 9 大甲溪流域中上游地區、石門水庫集水區正射影像計 344 幅.....	24
圖 10 2004 年石門水庫集水區區域土地利用判釋.....	25
圖 11 2004 年石門水庫集水區竹林分布圖	28
圖 12 石門水庫集水區全圖	30
圖 13 1986 年石門水庫集水區崩塌地圖	31
圖 14 1998 年石門水庫集水區崩塌地圖	32
圖 15 2004 年石門水庫集水區崩塌地圖	33
圖 16 2005 年石門水庫集水區崩塌地圖	34
圖 17 海棠颱風期間時降雨分布圖	37
圖 18 馬莎颱風期間時降雨分布圖	37
圖 19 泰利颱風期間時降雨分布圖	38
圖 20 卡努颱風期間時降雨分布圖	38
圖 21 龍王颱風期間時降雨分布圖	39
圖 22 2004 年至 2005 年崩塌地變化圖	40
圖 23 巴稜至玉峰之間的三光村崩塌地變化圖	41
圖 24 蘇樂一帶崩塌地變化圖	42
圖 25 石門水庫庫區崩塌地變化圖	42
圖 26 白石溪上游白石大崩塌崩塌地變化圖	43
圖 27 2004 年崩塌地類型分類.....	44
圖 28 2005 年崩塌地類型分類.....	45
圖 29 石門水庫集水區行政區與崩塌地分布圖	47
圖 30 石門水庫集水區林班地、原住民保留地面積比例圖	48

圖 31 崩塌地發生區域崩塌地密度比較.....	49
圖 32 2004 年不同區域之崩塌地類型統計圖.....	50
圖 33 2005 年不同區域之崩塌地類型統計圖.....	50
圖 34 2004 年及 2005 年不同地區崩塌地密度.....	52
圖 35 1995 年石門水庫集水區天然林植生樹種分布面積.....	53
圖 36 2006 年石門水庫集水區天然林植生樹種分布面積.....	53
圖 37 石門水庫集水區崩塌地與林相關係.....	54
圖 38 石門水庫集水區其他類型崩塌地與林相關係.....	55
圖 39 2004 年林班界內闊葉林與崩塌地關係.....	56
圖 40 2005 年闊葉林與崩塌地關係.....	57
圖 41 2004 年竹林分布與崩塌地關係圖.....	58
圖 42 高義地區 3D 立體模型.....	59
圖 43 道路與崩塌地距離關係圖.....	60
圖 44 溪口台地 3D 模擬圖.....	61
圖 45 石門水庫原住民保留地鳥瞰圖.....	62
圖 46 巴陵地區原住民保留地範圍圖.....	62
圖 47 原住民保留地的範圍與果園開發的關係圖.....	63
圖 48 白石溪大崩塌地影像圖.....	64
圖 49 坡單元的坡度圖.....	67
圖 50 坡單元的坡向分級圖.....	68
圖 51 岩石性質圖.....	69
圖 52 位於玉峰附近之露頭，編號 C37.....	70
圖 53 位於三光附近之露頭，編號 C43.....	70
圖 54 野外實地勘查之岩層位態.....	72
圖 55 坡單元坡形分類圖.....	73
圖 56 坡單元蝕溝分類圖.....	74
圖 57 動態地形圖.....	75
圖 58 簡確法之潛在災害類型.....	77
圖 59 簡確法之潛在災害類型與 2005 崩塌地套疊圖.....	78
圖 60 不同時期航空照片之崩塌地比較.....	79
圖 61 崩塌地在不同時期航空照片之影像.....	80

圖 62 同一崩塌地以不同判釋標準之結果	81
圖 63 不同單位判釋結果之差異 (1)	82
圖 64 不同單位判釋結果之差異 (2)	82
圖 65 不同單位判釋結果之差異 (3)	83
圖 66 不同解像力判釋結果之差異 (4)	84
圖 67 大甲溪流域高度與水系分布圖	89
圖 68 大甲溪流域地質圖	90
圖 69 大甲溪流域行政區界圖	91
圖 70 大甲溪流域聚落分布圖	92
圖 71 大甲溪流域道路分布圖	93
圖 72 2002 年大甲溪流域崩塌地分布圖	94
圖 73 2004 年大甲溪流域崩塌地分布圖	95
圖 74 大甲溪流域上游林相分布圖	96
圖 75 1999 年 921 地震後谷關至德基地區崩塌地分布圖	98
圖 76 2002 年桃芝颱風後谷關至德基地區崩塌地分布圖	98
圖 77 2004 年敏督利颱風後谷關至德基地區崩塌地分布圖	99
圖 78 2005 年 9 月之大甲溪中游高解析度正射化影像	100
圖 79 崩塌地與稜線距離關係圖	101
圖 80 大甲溪崩塌地面積與稜線距離關係圖	101
圖 81 大甲溪主流與崩塌地個數百分比關係圖	102
圖 82 大甲溪崩塌地面積與主流距離關係圖	103
圖 83 大甲溪崩塌地面積與道路距離關係圖	104

表目次

表 1	1986 年與 1999 年間水庫集水區內人口變化統計表	16
表 2	石門水庫集水區土地利用分類表	19
表 3	石門水庫歷年淤沙表	21
表 4	2004 年石門水庫土地利用統計表	26
表 5	1996 年與 2004 年石門水庫土地利用統計表	27
表 6	石門水庫歷年崩塌地調查	29
表 7	正射化影像崩塌地面積	35
表 8	傾斜崩塌面積	35
表 9	2004 年 9 月到 2005 年 7 月主要颱風列表	36
表 10	2004 年到 2005 年各種類型崩塌變化	46
表 11	2004 年不同地區之崩塌地形型態表	51
表 12	2005 年不同地區之崩塌地形型態表	52
表 13	環境地質的內涵	65
表 14	岩層位態量測結果表	71
表 15	地表沖蝕現象分級表	74
表 16	山坡地潛在崩山災害之空間預測	76
表 17	德基到谷關段航照與崩塌地範圍列表	97
表 18	大甲溪歷年之高解析度數值高程模型 DEM 表	99

一、前言及研究目的

本研究以石門水庫集水區及大甲溪中、上游流域內林地為研究區，透過航照影像比對及蒐集歷年有關研究區內地形變遷的基本資料，以地質、地形條件與不同種類土地利用的影響角度分析，建立研究區內地形變遷的基本資料，並且監測災害發生的位置與範圍，以期當災害發生時，能及時提供相關的資訊以利政府防災救災及學術單位災害研究的分析。

石門水庫集水區位於台灣北部，地質岩性脆弱，且經歷九二一大地震影響，地表物質鬆動，外加入為開發活動頻繁，造成土地超限利用。在大甲溪流域多以種植高冷蔬菜與果樹為主，並因九二一地震極多次颱風豪雨造成崩塌、土石流以及河道淤積的情況。

石門水庫受到歷年颱風影響尤其近年的艾莉颱風、海棠颱風，造成許多嚴重崩塌及土石流問題，除了道路中斷之外，也造成石門水庫大量泥沙與漂流木淤積間接使得桃園地區受到缺水之苦。

根據經濟部水資局調查，遇有颱風豪雨，估計入流泥沙達 2,000 萬立方公尺；93 年艾利颱風後，經農航所以航測調查結果，集水區崩塌面積共 671.80 公頃，94 年馬莎颱風亦帶來可觀降雨，經調查集水區崩塌面積增加 26.16 公頃，並造成水庫水質渾濁。

二、 實施方法

1. 本研究由農林航空測量所與台大地理環境資源學系合作，運用航照（由農林航空測量所蒐集提供）及衛星影像的資料，對於林地的變遷及災害發生的特性進行全面性的瞭解，以判斷災害發生的位置及影響的範圍，當災害發生時，能及時提供相關的資訊，以利災害研究的分析。
2. 資料蒐集方面：包括石門水庫集水區、大甲溪流域中上游地區計有衛星影像、航空照片、經建版兩萬五千分之一地形圖、五千分之一像片基本圖、當地林地變遷、自然災害發生的文獻資料進行整理，並將以上蒐集資料編輯及轉換成 GIS 資料格式以方便查詢及分析。
3. 本年度將蒐集的影像資料進行石門水庫集水區研究樣區林地變遷分析與野地的核對等工作，討論土地利用、山坡地水土保持、山崩及土石流災害之間的關係，瞭解災害發生的原因及影響範圍，並且運用這些相關資料轉換成地理資訊系統應用之空間資訊。
4. 另進行大甲溪中上游流域相關資料蒐集及建置，本研究區兩岸山坡地多以種植高冷蔬菜與果樹為主，並因九二一大地震後造成的崩場地、河道淤積等情況，所以本計畫持續蒐集該研究區於震災前後的影像資料、土地利用、氣候、水土保持等相關資料，期以建置完整資料庫，以便資訊整合應用分析。

三、石門水庫研究區介紹

石門水庫集水區位於淡水河上游的大漢溪，全區面積763.4 平方公里，東鄰臺北、宜蘭兩縣，南與台中縣，西南與苗栗縣相連，西屬桃園、新竹兩縣管轄，大部分地區都隸屬於桃園縣復興鄉及新竹縣尖石鄉。

（一）地形

石門水庫集水區的地勢除羅浮西北端為較低緩之丘陵外，大都為山地，海拔自壩址的135 公尺到3,529 公尺之間，以南端的品田山為最高，全區自東南向西南傾斜，呈一南北向狹長型之集水區。主要山脈自品田山沿集水區邊境向東北蜿蜒延伸。

（二）水系

水系以大漢溪為主，其水系網包括了泰崗溪、白石溪、三光溪、卡拉溪、黑白庫溪、匹亞溪、色霧鬧溪、高坡溪、義盛溪、霞雲溪、奎輝溪、三民溪、高翹溪、南子溝溪等，共64條主支流構成（圖1）。流路呈現不規則的樹枝狀，總長達325.63 公里。泰崗溪發源自品田山北麓及大霸尖山之間，流向由東北轉向西北，經鎮西堡至秀巒，與源出大霸尖山北麓之白石溪匯合北流，經田埔、玉峰後復轉東北向，與發源於宜蘭梵梵山北麓及池端（明池）附近之三光溪會合於三光、蘇樂之間，再向北流，分別匯入納卡溪於蘇樂東方、黑白庫溪於高義、匹亞溪於榮華、色霧鬧溪於色霧鬧、高坡溪於高坡、義盛溪於羅浮對岸，此段河谷因穿透烏來群之堅硬砂岩層，對河蝕之抵抗力強大，遂形成兩岸峭崖壁立之狹長河谷；在羅浮附近，匯納霞雲溪之後，突轉向西，河谷漸寬，主流經此河曲部，注入廣大之砂頁岩緩斜坡，形成廣闊之河道，自角板山附近，又納匯奎輝溪、三民溪、高翹溪、南子溝溪等支流，形成石門水庫之廣大蓄水區域。

（三）地質土壤

石門水庫集水區內的岩層除了小部分火成岩外，大部分為沈積岩，依據岩層之年代可分為古第三紀、新第三紀及第四紀等。古第三紀岩層包括下部烏來群與上部烏來群，為輕度變質，分布於集水區內的山嶽地帶，佔集水區內的面積最廣。新第三紀則包括汐止群及三峽群，分布於集水區之西北部丘陵地帶。第四紀之岩層堆積、台地堆積、階地堆積及沖積層多分布於坡度較平緩之山麓、台地、溪谷三角洲、河道堆積坡部分及河床平緩地帶。茲將本區內主要地層簡介如下：

- （1） 瑞芳群：本群的岩石代表中新世中間的一個沉積循環，在臺灣北部它包括了一個含煤地層（石底層）和一個海相地層（南港層）。瑞芳群比較野柳群分布得更為廣泛，從北部海岸向南可以延展到西部麓山帶的南部。
- （2） 三峽群：三峽群代表臺灣西部中新世中最年幼的一個沉積循環。在臺灣北部，本群分為一個位在下麵的含煤地層（南莊層）和一個位在上面的海相地層（桂竹林層），這兩個地層大部分都由厚層砂岩組成，但是向南海相的泥質沉積物就大量的增加，地層厚度也同時加厚。在臺灣西部，三峽群是分布最廣的一個群，尤其在臺灣南部分布最廣，該地的西部麓山帶中，大部山地都是由三峽群所組成，少數是比它更新的上新世地層。
- （3） 澳底層：在雪山山脈帶的北部，澳底層位在大桶山層的上部，兩相整合。但是澳底層不以硬頁岩或板岩為主，而是一個以砂岩較多的含炭質或煤層的地層，和四稜砂岩的沉積相類似。它的變質度極輕，只有輕微的變硬作用。本層的主要分布是在雪山山脈帶的東北部，在臺灣的東北部有兩條主要露頭帶，都呈東北走向，形成兩長條的向斜構造。第一條從福隆海邊開始，南延經過坪林到阿玉山。第二條則在本區內的大漢溪上游，位在高崗、巴陵，和秀巒一帶，長約四十公里，但是中間為一條右移斷層切為兩段。

- (4) 廬山層：廬山層大部分由黑色到深灰色的硬頁岩、板岩及千枚岩和深灰色的硬砂岩互層組成，含有零星散佈的泥灰岩團塊，它的全部厚度估計當在數千公尺上下。本層北自宜蘭縣的蘭陽溪平原開始，向南延長，沿著中央山脈的嶺線經過合歡山、能高山、到秀姑巒山，大約有一百五十公里的長度，數公里到十餘公里的寬度。
- (5) 大桶山層：本層為被覆於乾溝層上之變質泥質沉積物，OM 2 層與OM 1 層之間，沒有很明顯的界線存在。本層的下部，由暗灰色到黑色硬頁岩、顏色相近的灰色細粒砂岩和泥砂岩互層構成。硬頁岩與砂岩或粉砂岩彼此漸變，兩者間難作明顯劃分。堅硬緻密的泥質粉砂岩抗蝕力強，常沿著河床形成陡壁，地形上和砂岩的豚背狀地貌很相似，這是大桶山層一個最明顯的特徵，分布在雪山山脈帶的主要皺曲構造中間。
- (6) 四稜砂岩：厚層石英岩質砂岩層，其標準地點在北部橫貫公路上的四稜，屬桃園縣。本層的特徵就是以厚層淺灰色到灰白色石英岩質砂岩或石英岩為主，夾有暗灰色硬頁岩或板岩，砂岩混有炭質頁岩時常呈現暗灰的色調。砂岩是中粒到粗粒，甚至可以達到礫石般大的粗粒石英岩。砂岩中常見交錯偽層和波痕。本層的標準地點四稜在構造上位於北部橫貫公路的一個東北走向的背斜層上。在這個背斜的東南翼，四稜砂岩厚約三百五十公尺，大部分由白色石英岩構成；但是到同一背斜的西北翼，四稜砂岩被一層厚約一百五十公尺的硬頁岩分為二部，其全部厚度可以增加到七百餘公尺。
- (7) 西村層：雪山山脈帶北部出露的最老地層。此層是由葉理發達的深灰色板岩和千枚岩質板岩所構成，夾有暗灰色、中粗粒，堅硬的石英砂岩互層，這種互層尤其常見於本層的較下部。西村層的主要露頭形成一條狹帶，構

成一個背斜構造的軸部，從它的標準地點北橫公路臺中縣和宜蘭縣交界附近的西村向東北延伸到靠近宜蘭平原的員山附近。在標準地點背斜中心部分出露的西村層，厚度可以達到六百公尺，但是下部並沒有完全出露。

至於土壤之化育，受到母岩、地形、時間、氣候及植生等因子之綜合作用的影響，因其作用的程度不同而化育成各種不同的土壤。本集水區因屬高溫多雨地區，乾濕季不明顯，加上地勢陡峭，表層沖蝕劇烈，故區內大部分山地土壤為石質土。僅烏嘴山、高坡、金面山、奎輝、長興等山嶽、丘陵交界區，化育成紅黃色準灰壤，各河岸段丘面及山谷緩坡，則多屬沖積土，至於黑色基性岩土，僅見於玄武岩所組成之陡坡。

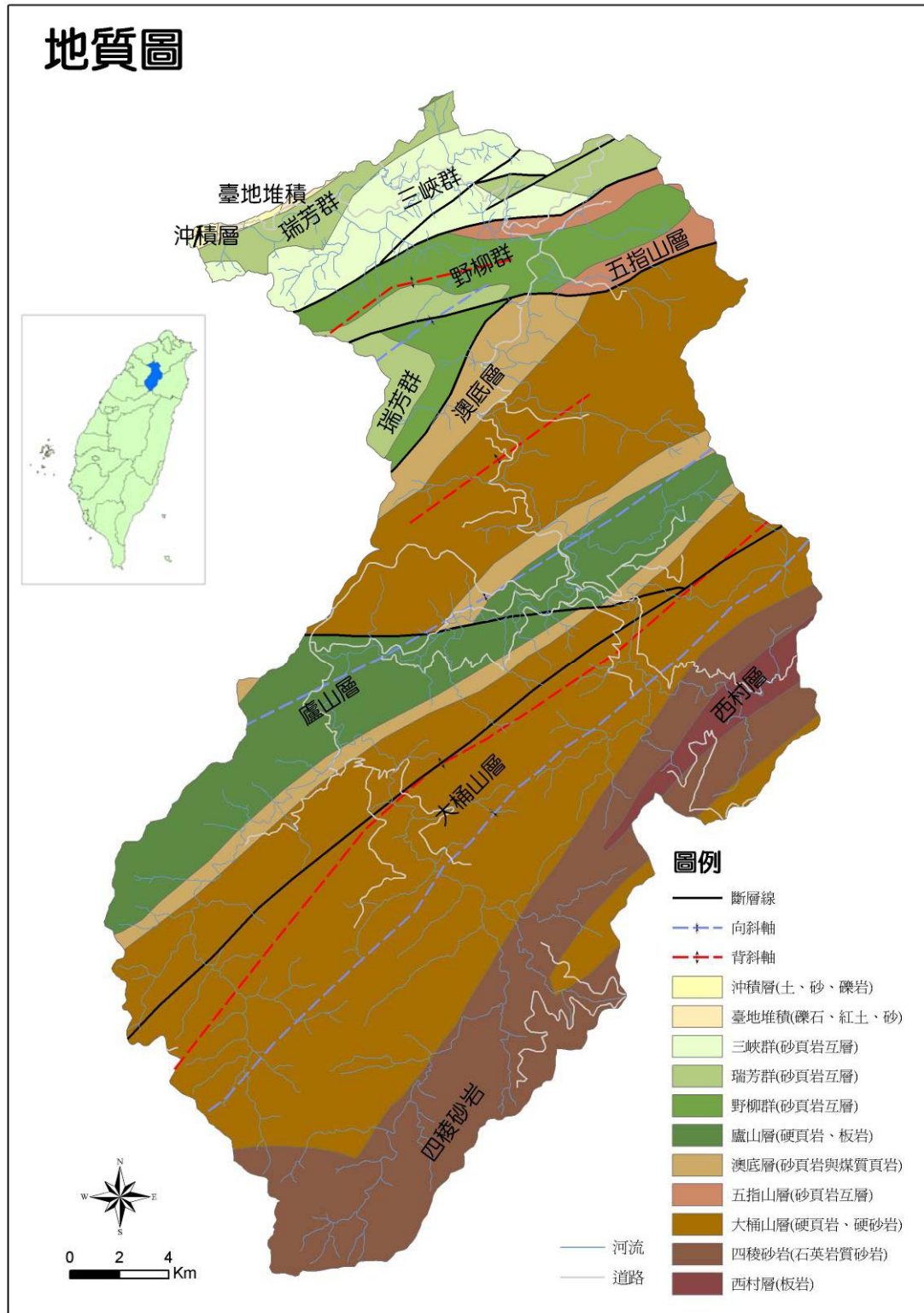


圖 2 石門水庫集水區地質圖（轉繪自地調所五十萬分之一地質圖）

(四) 氣候

石門水庫集水區內共有石門、霞雲、高義、巴稜、玉峰、嘎拉賀、池端、鎮西堡、白石、西丘斯山等十個雨量站。根據中央氣象局的資料，年平均降雨量約在2200~2800mm 之間。降雨雖多，但年間降雨量差異極大，且集中在七、八月颱風季節；集水區區域內降雨因地勢及風向的關係，雨量站之間雨量分布不均。

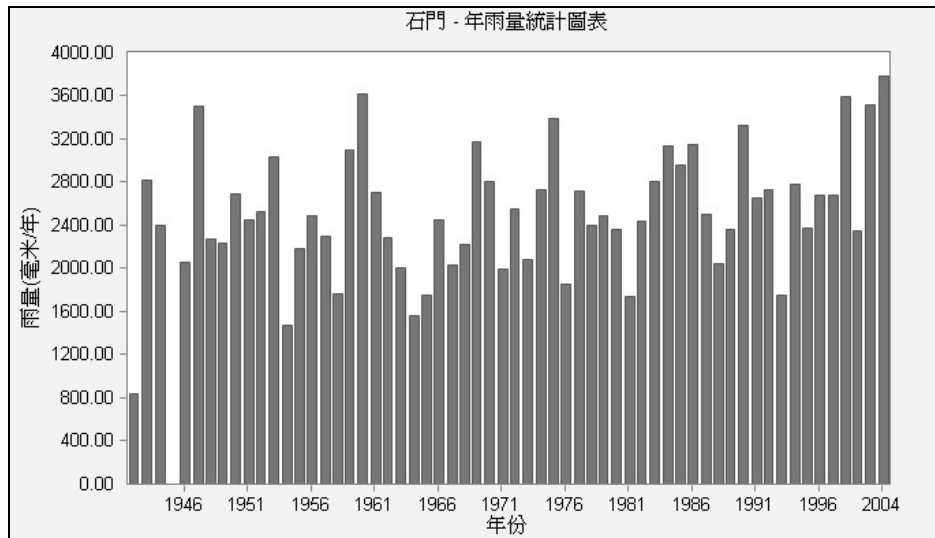


圖 3 石門水庫-石門站歷年雨量直方圖（水利署，2005）

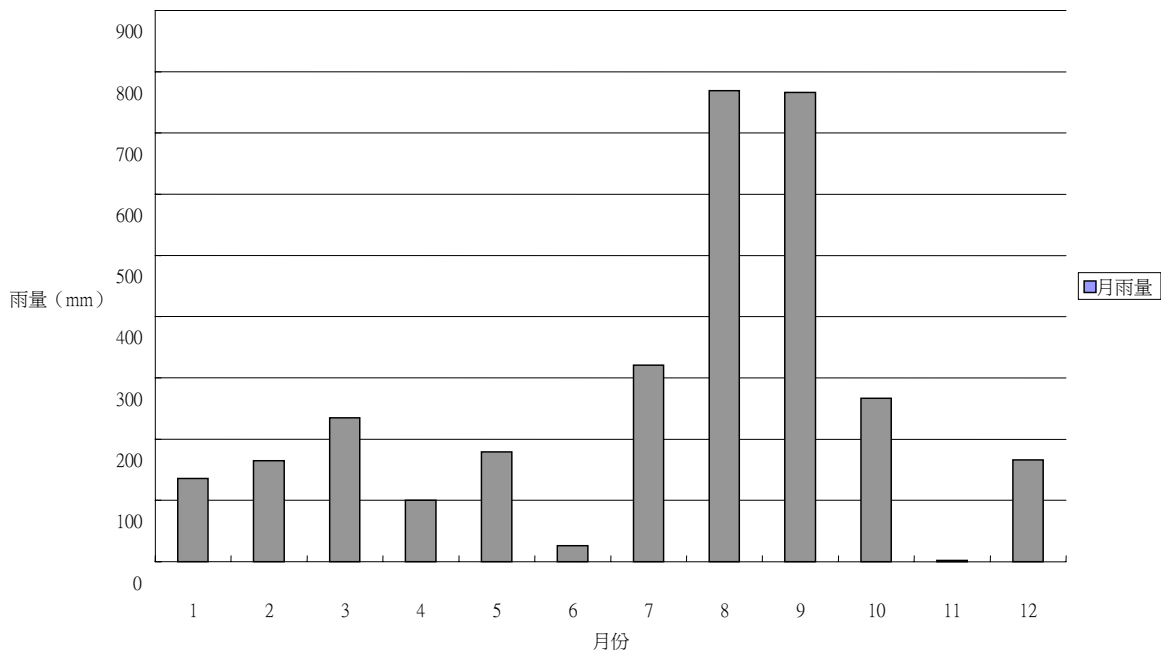


圖 4 石門站 2004 年逐月雨量分布圖

溫度上，石門氣象站歷年資料顯示，全年之平均溫度約為 21℃，另外各月份均溫以 7 月份 27.5℃ 為最高；1 月份受到東北季風影響，平均溫度為 14.2℃ 為最低。在相對溼度方面，全年之變化差異不大，根據區內氣象站資料平均最高為 3 月份，達到 87.1%，7 月份為最低達 81%。一般而言，以春季時延綿之春雨及梅雨季節相對溼度較高，冬季則較為乾冷濕度較低。蒸發散方面，各站之平均年蒸發散為 932.95 公釐，由統計資料可知月平均蒸發散以 2 月最小，7 月最大。

（五）水文

石門水庫集水區共有霞雲、高義、稜角、石門、長興、復興、關西、高義、巴陵三光、嘎拉賀共11個水文測站，記錄河川的水位、流量與含沙量，如圖5所示。

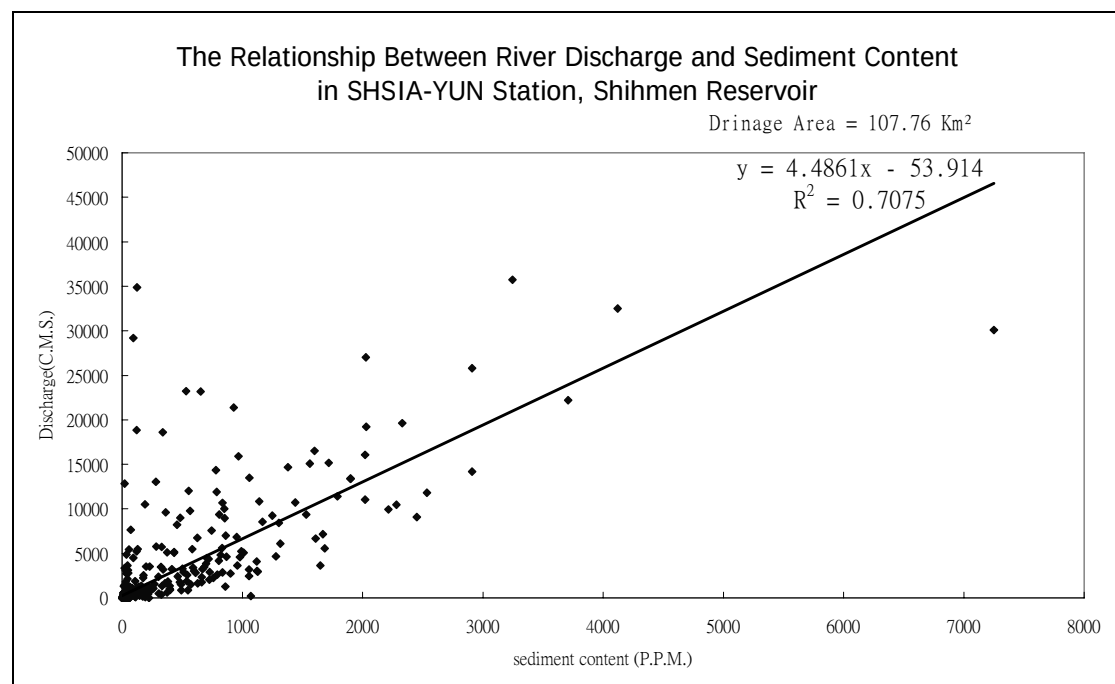


圖 5 石門水庫集水區霞雲水文站流量與含沙量之率定曲線

（六）石門水庫人文概況

石門水庫集水區一行政區劃分，分屬桃園縣復興鄉之全部，大溪鎮之新峰、復興、二裏，龍潭鄉大坪村之一部分；新竹縣尖石鄉玉峰、秀巒二村關西鎮仁和裏一部份，五峰鄉之東北角；宜蘭縣大同鄉西南之一部分。區內原住民都聚居於復興鄉、尖石鄉自成部落，大部分務農並栽種溫帶水果、高冷蔬菜、及飼養家禽、畜為副業；平地居民，多數聚居於水庫兩岸部分，亦以農業為主，少部分為經商。（北資局，1999）

表 1 1986 年與 1999 年間水庫集水區內人口變化統計表

	戶數	男（人）	女（人）	合計
1986 年	3,446 戶	9,450 人	7,876 人	17,326 人
1999 年	4,421 戶	10,591 人	8,200 人	18,719 人
變化百分比（%）	+28.9%	+12.1%	+4.11%	+8.46%

資料來源：水資局 1999

（七）道路與交通

石門水庫集水區主要道路為北部橫貫公路，於桃園縣大溪鎮進入集水區，經過三民、復興，跨大漢溪經羅浮、蘇樂至稜角，再沿三光溪右岸而上，經西村，至明池出境至宜蘭縣，全長 60 餘公里。集水區上游需經由玉峰道路或馬美道路，可抵達新竹五峰鄉，集水區內包括許多農業用的產業道路，以及林務用的林道，包括大鹿林道、一七〇林道、一三〇林道、一一〇林道，樹枝狀般的延伸到集水區內。

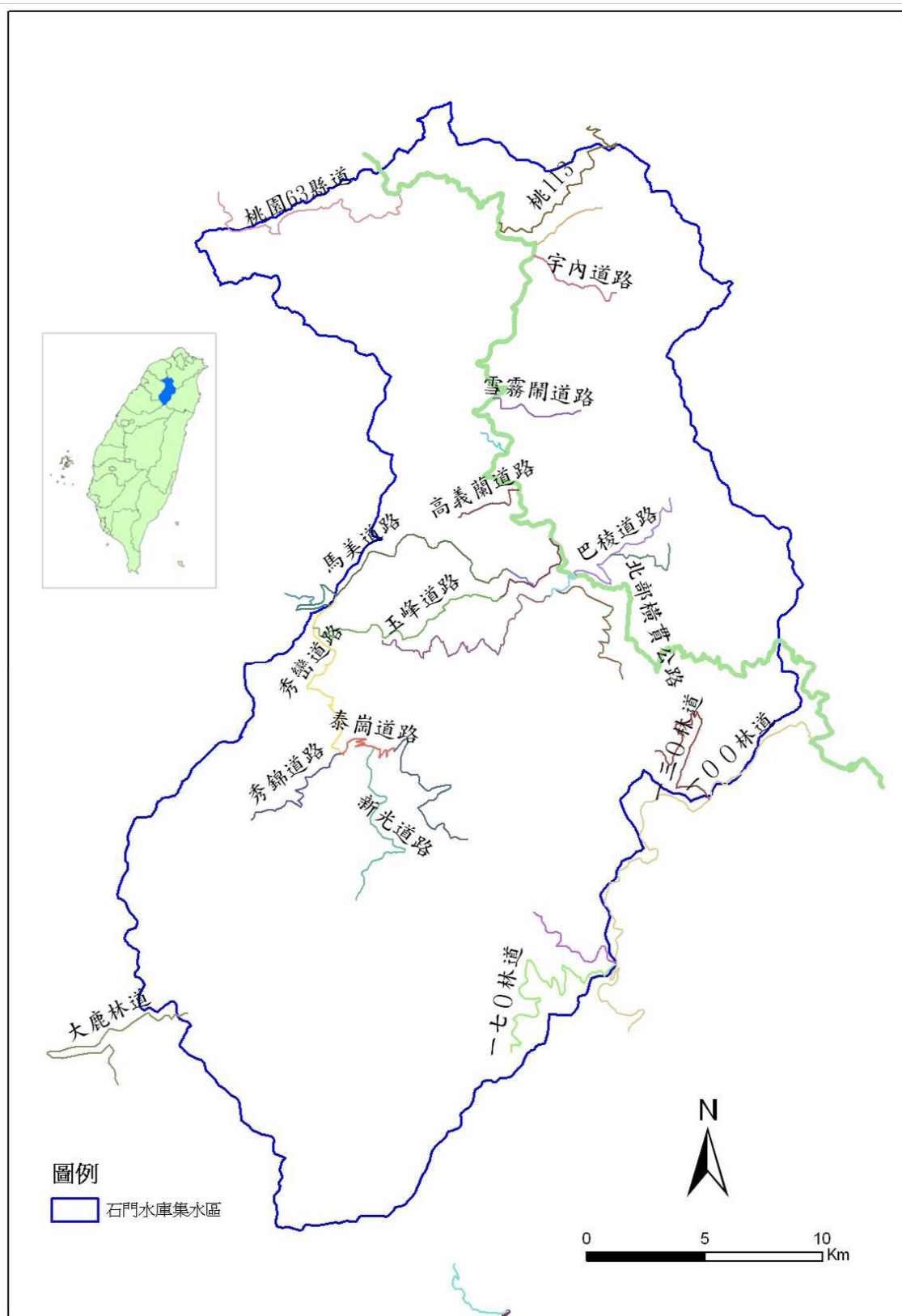


圖 7 石門水庫道路圖

（八）土地利用

石門水庫跨越多個行政區界，區內原住民多聚居於復興、尖石兩個山地鄉，大部分務農，並以栽培香菇、溫帶水果及養豬為其副業；平地籍的居民則多聚居於集水區北端的水庫兩岸各村落。

根據石門水庫管理局於 1996 年拍攝之航照所做的調查，對水庫使用壽命影響較小的林地約 71758.3 公頃，佔 94%；而其他崩塌地或開墾區等對水庫影響較大的重點區域約 4581.7 公頃，佔 6%，各項土地利用之面積與比例如表 2。

表 2 石門水庫集水區土地利用分類表

影響程度	分類	面積（ ha）	面積（%）
影響程度較小區域	林地	71758.3	94.0
影響程度較大區域	A 針葉林	495.77	0.6
	B 闊葉林	808.3	1.1
	C 雜木	586.52	0.8
	E 竹林	81.93	0.1
	F 草生地	65.01	0.1
	G 茶園	7.86	0.0
	H 旱作	433.56	0.6
	I 果園	1770.64	2.3
	J 其他墾地	88.18	0.1
	K 建地	133.65	0.2
	O 水庫	3.76	0.0
	P 裸地	106.52	0.1
	總計	76340	100

資料來源：石門水庫集水區崩塌地及土地利用航測調查計畫整體報告書， 1998。

（九）石門水庫泥沙淤積

石門水庫於民國五十二年五月開始蓄水以來，其間歷經多次颱風暴雨侵襲，以及其他自然人為因素之影響，造成水庫集水區內山坡地嚴重沖刷與崩塌，以致洪水夾帶大量泥沙流入水庫。根據水庫淤積測量資料顯示，已嚴重影響水庫蓄水功能及水庫正常營運。石門水庫在民國五十二年五月開始蓄水，於同年九月即遭受葛樂禮颱風之侵襲，造成水庫集水區內嚴重沖刷與大量坍方，對水庫帶來約一千九百四十七萬立方公尺之淤沙量。水資源局隨後即在集水區內辦理各項水土保持工作，包括興建義興壩、巴陵壩、榮華壩等防沙設施並曾利用永久河道放水口放水排沙，俾解決淤積對水庫正常運轉的威脅。惟因水庫集水區之無限制開發，泥沙來源無法控制，迄民國七十三年十一月之水庫淤積測量結果，累積淤沙量已達四千四百六十五萬立方公尺，淤積面高達標高一百七十四點五公尺，距發電進水口底檻僅差零點一六公尺，淤塞已威脅到發電進水口，於八十七年至九十三年辦理水庫中游段清淤作業。

根據九十年詮華工程顧問有限公司辦理地形測量及水深測量工作，並首次規劃以全球衛星定位系統導引方式，搭配 GPS 接收儀、測深機及電腦之接續，實施動態差分 GPS 定位測量水深，以求得水庫容量及庫底淤積之精確變化，經測量結果水庫累計淤積量為五千五百四十六萬立方公尺，年平均淤積量為一百四十四萬一千立方公尺，水庫剩餘總容量為二億五仟三佰六十五萬八仟立方公尺，其中水庫有效蓄容量尚有二億三仟八佰二十五萬一仟立方公尺（表 3）。

表 3 石門水庫歷年淤沙表

期別	起迄年月 (民國)	間隔 (年)	淤積量 (Km)	累計淤積 (Km)	平均淤積 (Km)
1	52.5~53.5	0.8	19470	19470	
2	53.3~54.4	1.1	770	20240	700
3	54.4~55.5	1.1	1990	22230	1810
4	55.5~56.5	1	2190	24420	2190
5	56.5~57.6	1.1	1180	25600	1070
6	57.6~58.5	0.9	1330	26930	1480
7	58.5~59.6	1.1	5030	31960	4570
8	59.6~60.6	1	1410	33370	1410
9	60.6~61.12	1.5	5230	38600	3490
10	61.12~63.8	1.7	235	38835	138
11	63.8~64.11	1.2	300	39135	250
12	64.11~65.11	1	2028	41163	2028
13	65.11~66.11	1	787	41950	787
14	66.11~67.11	1	506	42456	506
15	67.11~68.11	1	184	42640	184
16	68.11~69.11	1	827	43467	827
17	69.11~70.11	1	123	43590	123
18	70.11~71.11	1	892	44482	892
19	71.11~72.11	1	98	44580	98
20	72.11~73.11	1	69	44649	69
21	73.11~74.11	1	3695	48344	3695
22	74.11~75.11	1	125	48469	125
23	75.11~76.11	1	223	48692	223
24	76.11~77.11	1	-412	48280	-412
25	77.11~78.11	1	173	48453	173
26	78.11~79.11	1	693	49146	693
27	79.11~80.11	1	-1402	47744	-1402
28	80.11~81.11	1	-2	47742	-2

29	81.11~82.11	1	-981	46761	-981
30	82.11~83.11	1	533	47294	533
31	83.11~84.11	1	-101	47193	-101
32	84.11~85.11	1	8670	55863	8670
合計		35.5	55863		1091

淤積量單位：千立方公尺，資料來源：經濟部水利署北部水資源局，1998

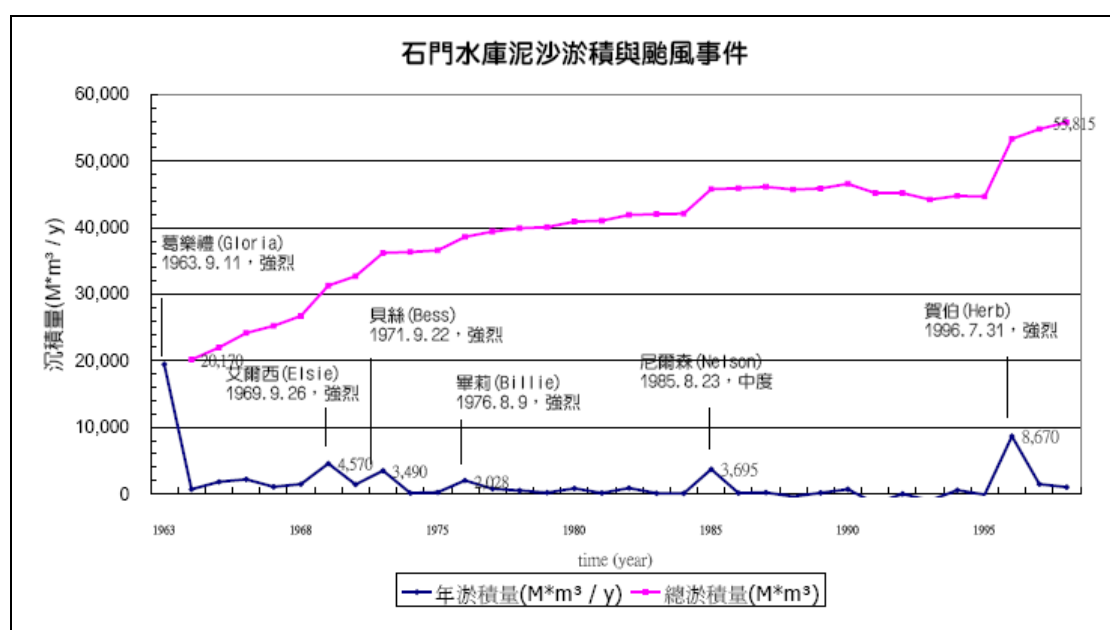


圖 8 石門水庫泥沙淤積與颱風事件

從歷年的淤沙資料來看，石門水庫淤沙狀態在早期較高，自民國63年後則趨於穩定，主要因為集水區內大量修建之攔沙壩等攔阻泥沙工程。平常之降雨事件所能搬運的泥沙有限，主要的淤沙來源應是在極端降雨事件時造成的結果。民國85年的年淤沙量高達8670千立方公尺，遠大於平常年數百千立方公尺左右的淤沙量。追究其原因在於，民國85年時賀伯颱風過境，在石門水庫集水區內一天內共下了873mm 的雨量。根據九十年詮華工程顧問有限公司辦理地形測量及水深測量工作，測量結果水庫累計淤積量為五千五百四十六萬立方公尺，年平均淤積量為一百四十四萬一千立方公尺，水庫剩餘總容量為二億五仟三佰六十五萬八仟立方公尺。

民國93年八月，艾利颱風帶來豪雨，石門水庫原水濁度驟升，淨水場無法處理，桃園全縣大停水，受影響的人數近兩百萬。如此巨量的降雨造成的泥沙搬運

相當可觀，目前泥沙受到豪雨侵蝕，常常直接沖刷到水庫內，造成水庫的濁度增加，又不易沈澱，因此甚至無法取水引用。這些泥沙主要的來源是由新竹縣尖石鄉的幾個大崩場地以及過去淤積於河床的泥沙所貢獻。對於石門水庫壽命與是否能夠持續正常供水，具有很大的衝擊。

四、執行情形及結果分析

（一）空中攝影

針對石門水庫集水區、大甲溪流域中上游流域地區執行航空攝影，全年航攝面積計 2900 平方公里，提供台大地理環境資源學系進行資料建置。

（二）正射影像製作

製作大甲溪流域中上游地區、石門水庫集水區正射影像計 344 幅，以提供台大地理環境資源學系進行資料建置。

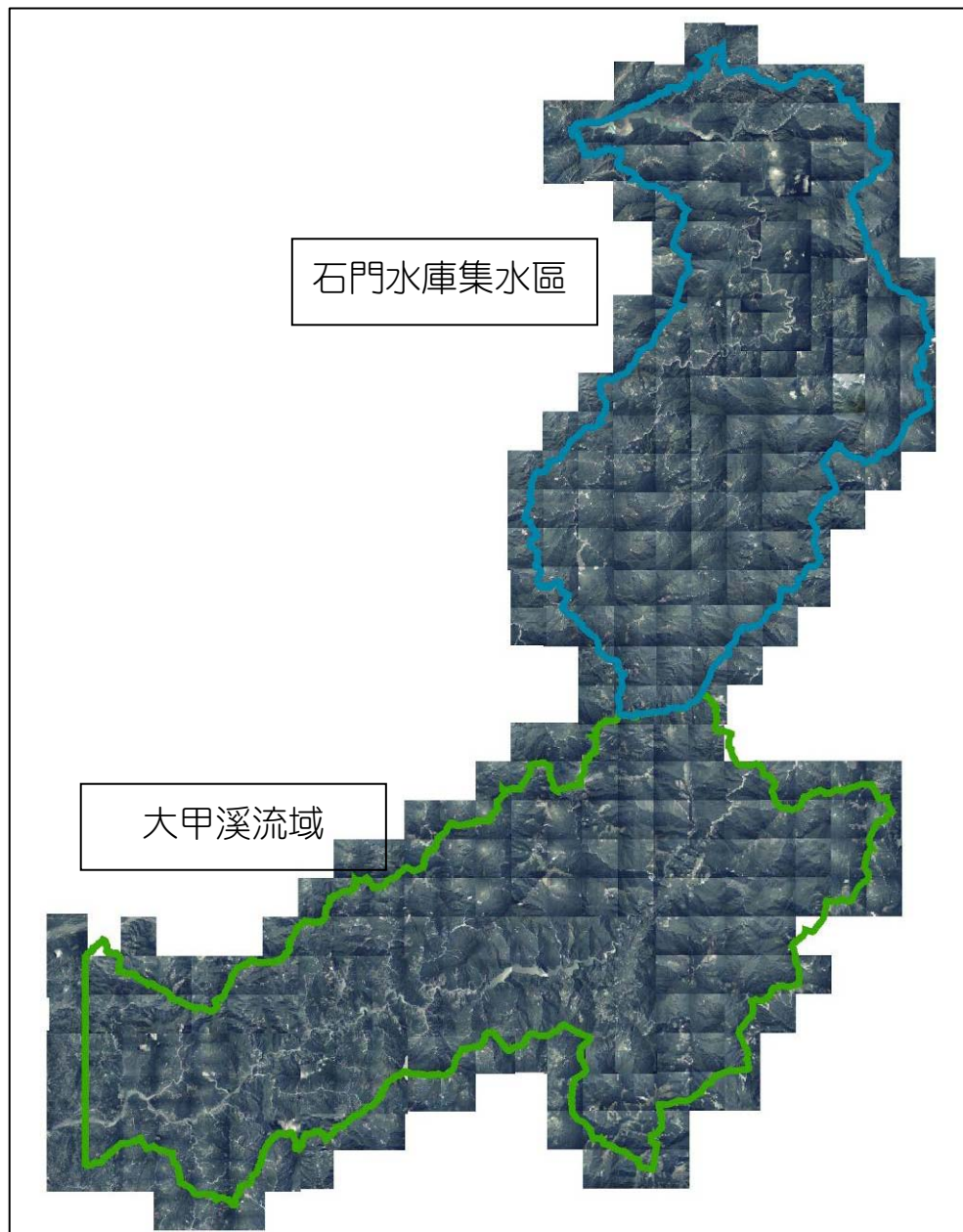


圖 9 大甲溪流域中上游地區、石門水庫集水區正射影像計 344 幅

(三) 研究區航測資料建立及分析

1. 土地利用判釋

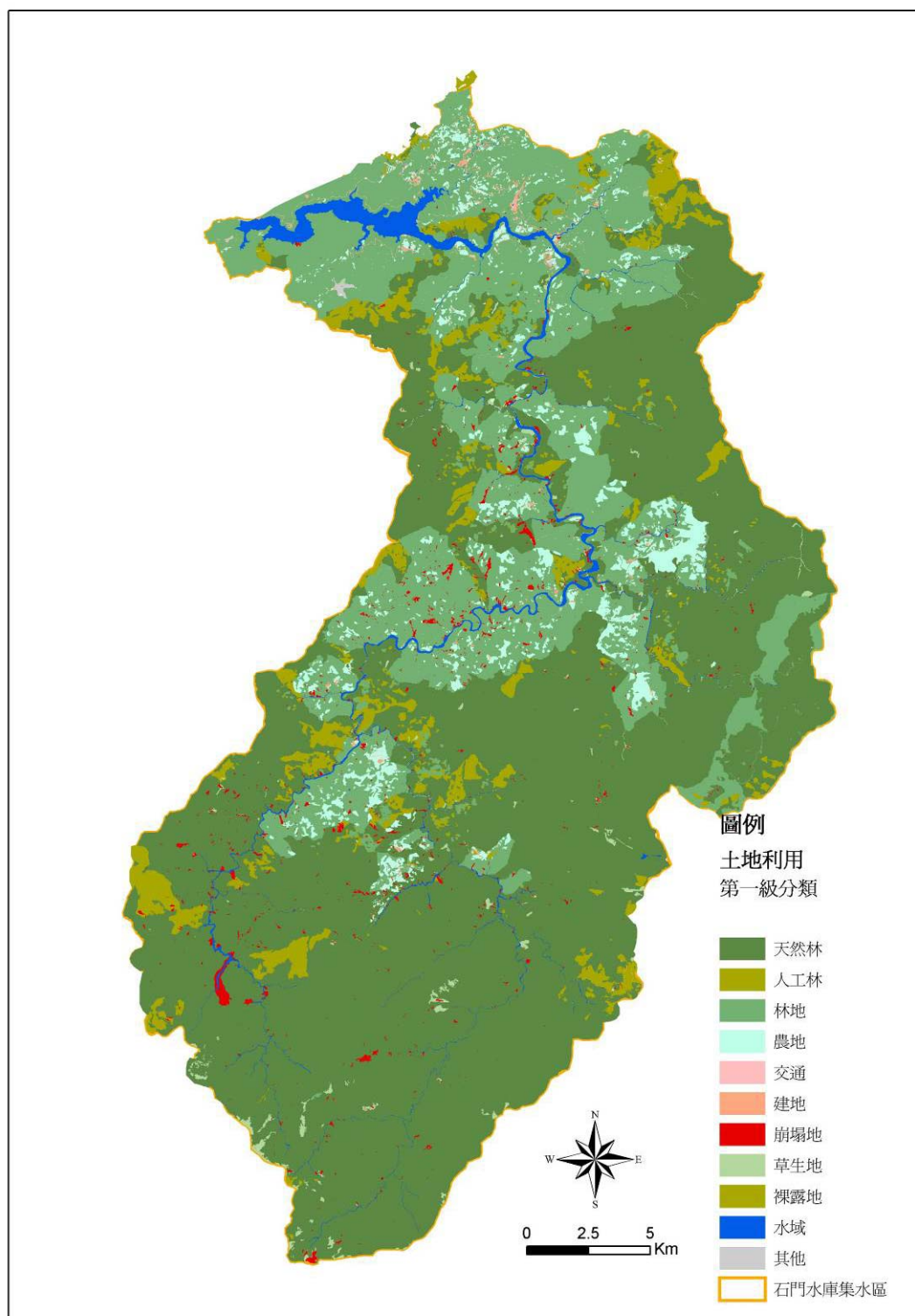


圖 10 2004 年石門水庫集水區區域土地利用判釋

表 4 2004 年石門水庫土地利用統計表

第一級分類	面積 (m ²)	百分比 (%)	第二級分類分	面積 (m ²)	百分比 (%)
天然林	469,657,152	61.80%	針葉樹純林	54,327,478	11.57%
			針葉樹混淆林	94,754,985	20.18%
			針闊混淆林	129,351,301	27.54%
			闊葉樹純林	308,631	0.066%
			闊葉樹混淆林	186,756,114	39.76%
			竹林	1,888,149	0.40%
			針竹混淆林	0	0.00%
			闊竹混淆林	778,183	0.17%
			針闊竹混淆林	0	0.00%
人工林	43,082,722	5.67%	針葉樹純林	9,705,620	22.52%
			針葉樹混淆林	629,471	1.46%
			針闊混淆林	11,929,175	27.69%
			闊葉樹純林	1,452,935	3.37%
			闊葉樹混淆林	14,877,129	34.53%
			竹林	3,163,295	7.34%
			針竹混淆林	2051	0.00%
			闊竹混淆林	233,224	0.54%
			針闊竹混淆林	0	0.00%
			其他	1,089,824	2.53%
林地	190,575,117	25.08%	竹林	57,143,796	29.98%
			其他	1,33,431,321	70.02%
農地	24,601,375	3.24%			
崩塌地	7,834,789	1.03%			
裸露地	562,281	0.07%			
草生地	4,943,883	0.65%			
交通	1,020,234	0.13%			
建地	2,129,052	0.28%			
水	14,944,407	1.97%	河道	7,387,897	0.97%
			水庫	7,556,510	0.99%

本研究參考林務局之1995年及2006年林相資料，並利用航空照片判釋，完成2004年石門水庫集水區土地利用圖，將土地利用資料數位化，以供後續研究分析，本研究將土地利用分類分做天然林與人工林，屬於林班地內的林相資料；林地為一般行政區與原住民保留區的林地分布；農地包含果樹、旱作、水田等；水包含河道、水庫、池塘與湖泊。

集水區內主要以林班界內之天然林為主，林地與人工林次之，森林覆蓋地總面積為92.55%，另外農業用地雖然僅佔3.24%的面積，其分布主要集中在原住民保留地，分布範圍相當廣闊。在一般行政區與原住民保留地林地中，竹林佔林地總面積的29.98%，其中這些竹林集中分布在復興到高義之間與大漢溪支流庫志溪最為密集。

表 5 1996 年與 2004 年石門水庫土地利用統計表

土地利用分類	1996 年		2004 年		增減變化	
	面積 (ha)	百分比 (%)	面積 (ha)	百分比 (%)	面積 (ha)	百分比 (%)
林地	73,649	96.47	64,112	85.26	-9,537	-11.22
竹林	82	0.11	6,220	8.27	6,138	8.16
農地	2,300	3.01	2,460	3.27	160	0.26
建地	134	0.18	315	0.42	181	0.24
裸露地	107	0.14	840	1.12	733	0.98
草生地	65	0.09	494	0.66	429	0.57
水庫	4	0.00	756	1.00	752	1.00

摘自：石門水庫集水區崩塌地及土地利用航測調查計畫整體報告書，1998。

由表 5 比較 1996 年到 2004 年石門水庫集水區內土地利用變化，由於分類標準不同，因此，將 2004 年土地利用類型整合進行比較，發現在林地面積有較明顯的變化，從 1996 年的 73,649 公頃減少為 2004 年的 64,112 公頃，減少 9,537 公頃，約為石門水庫集水區的 11.22%，變化範圍相當大，而竹林的面積有明顯的增加，從 82 公頃增加為 6,138 公頃，增加為集水區面積的 8.16%，而這些竹林面積應集中在原住民保留地與一般行政區，而這些竹林的增加是否會對於石門

水庫集水區內之崩塌地有影響，需再進一步探討。

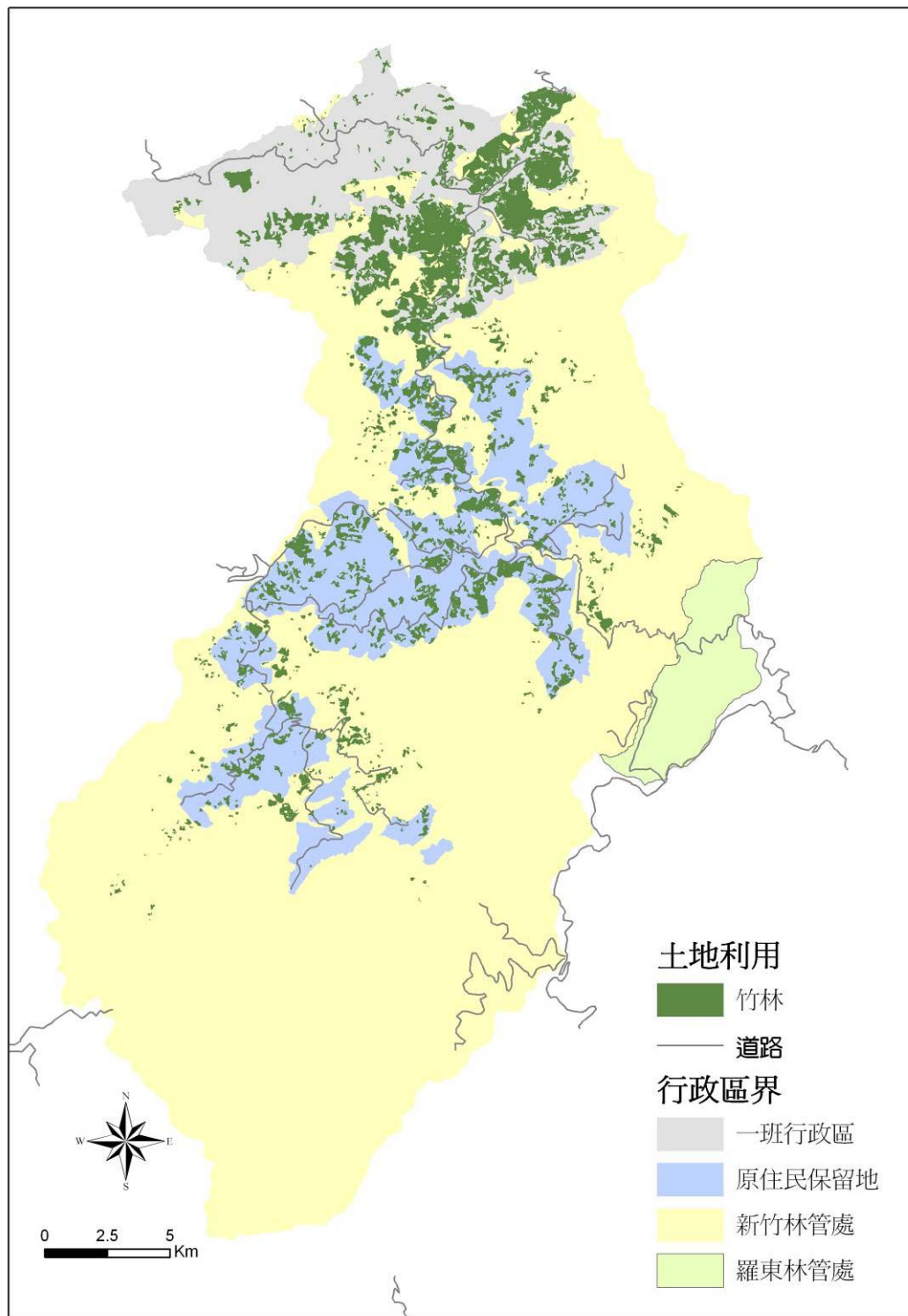


圖 11 2004 年石門水庫集水區竹林分布圖

2.歷年崩塌地分布與變化

本研究目前已取得由農林航空測量所拍攝之 2004 年與 2005 年石門水庫之航空攝影影像，配合經建一～三版地形圖完成初步之崩塌地判釋。本研究判釋的方法是以人工來判釋正射化的影像，並配合疊合 DTM 產生 3D 立體影像與地形圖的方式，增加判釋的正確度。在 2004 年的航空照片中，共有崩塌地 1815 處，最大面積 387,315m²。比較過去農航所調查的資料，崩塌地個數分別是 976 處（1986）及 592 處（1998），此一數量比 1998 年度的調查資料有所增加。

表 6 石門水庫歷年崩塌地調查

時間	個數	增減	判釋單位
1962	350		台灣省森林水利水土保持聯合工作小組
1972	888	+538	農林航空隊
1976	736	-152	農林航空隊
1986	976	+240	農林航空測量所
1998	592	-384	工業研究院
2004	1815	+1223	本研究
2005	2480	+665	本研究

修改自 康恬慎，2001

由疊圖的資料顯示，2004 年的崩塌地分布，集中的趨勢出現在集水區的西側與南側，屬海拔高度較高處。就是否為林班地的角度來看，2004 年崩塌地集中的區域，在集水區中央的部分以原住民保留區為多，但集水區南側的林班地，也有相同的崩塌地集中的情況。另外，2004 年在白石溪上游出現長約 2 公尺、面積 387,315m² 之大規模之崩塌地，稱為白石大崩塌。2005 年之崩塌地增加了 665 處崩塌地，相較 2004 年，崩塌地面積增加約 36.36%，崩塌地分布情況大致與 2004 年相同。

石門水庫集水區全圖



圖 12 石門水庫集水區全圖

崩塌地圖（1986）

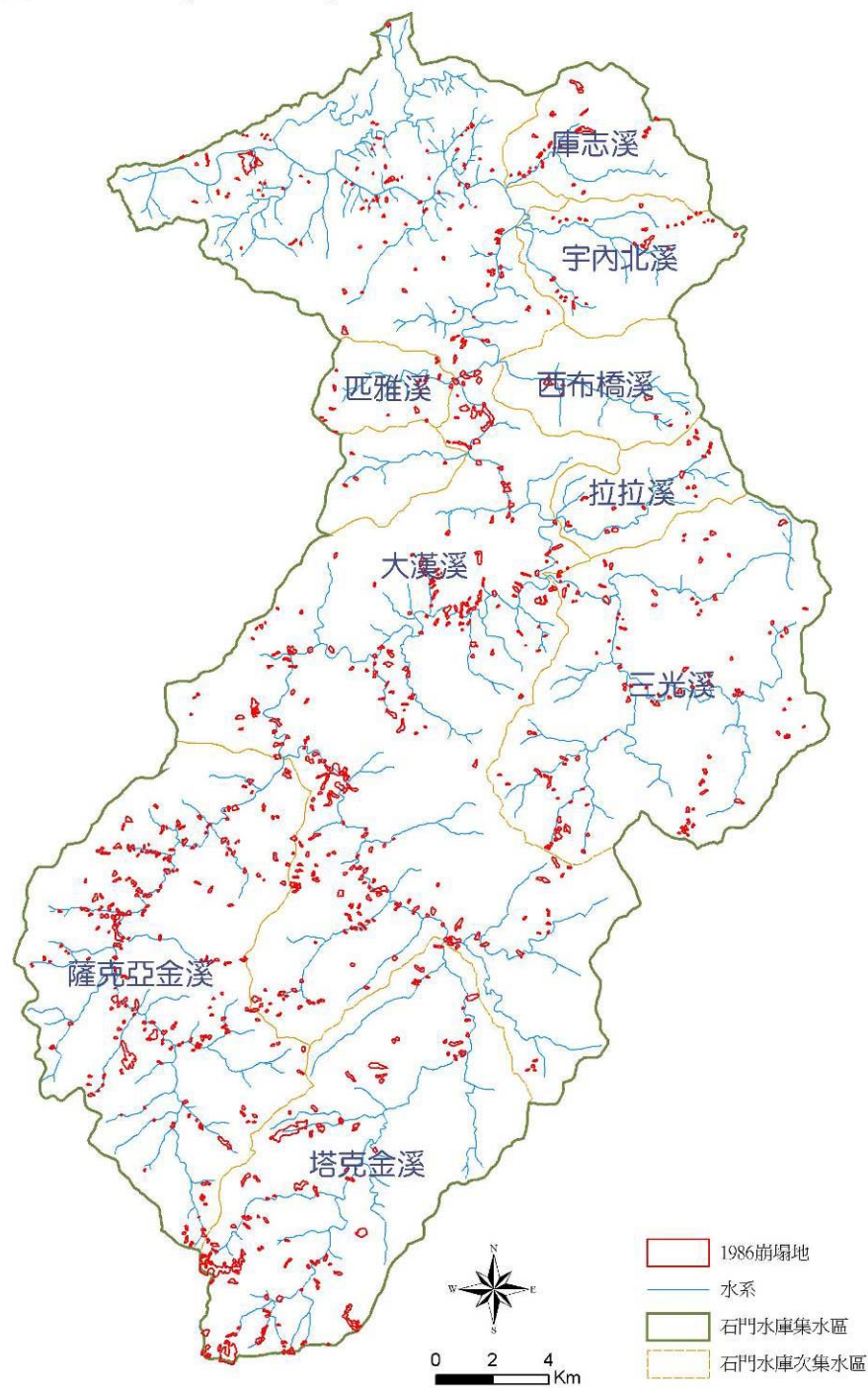


圖 13 1986 年石門水庫集水區崩塌地圖（資料來源：農林航空測量所）

崩塌地圖（1998）

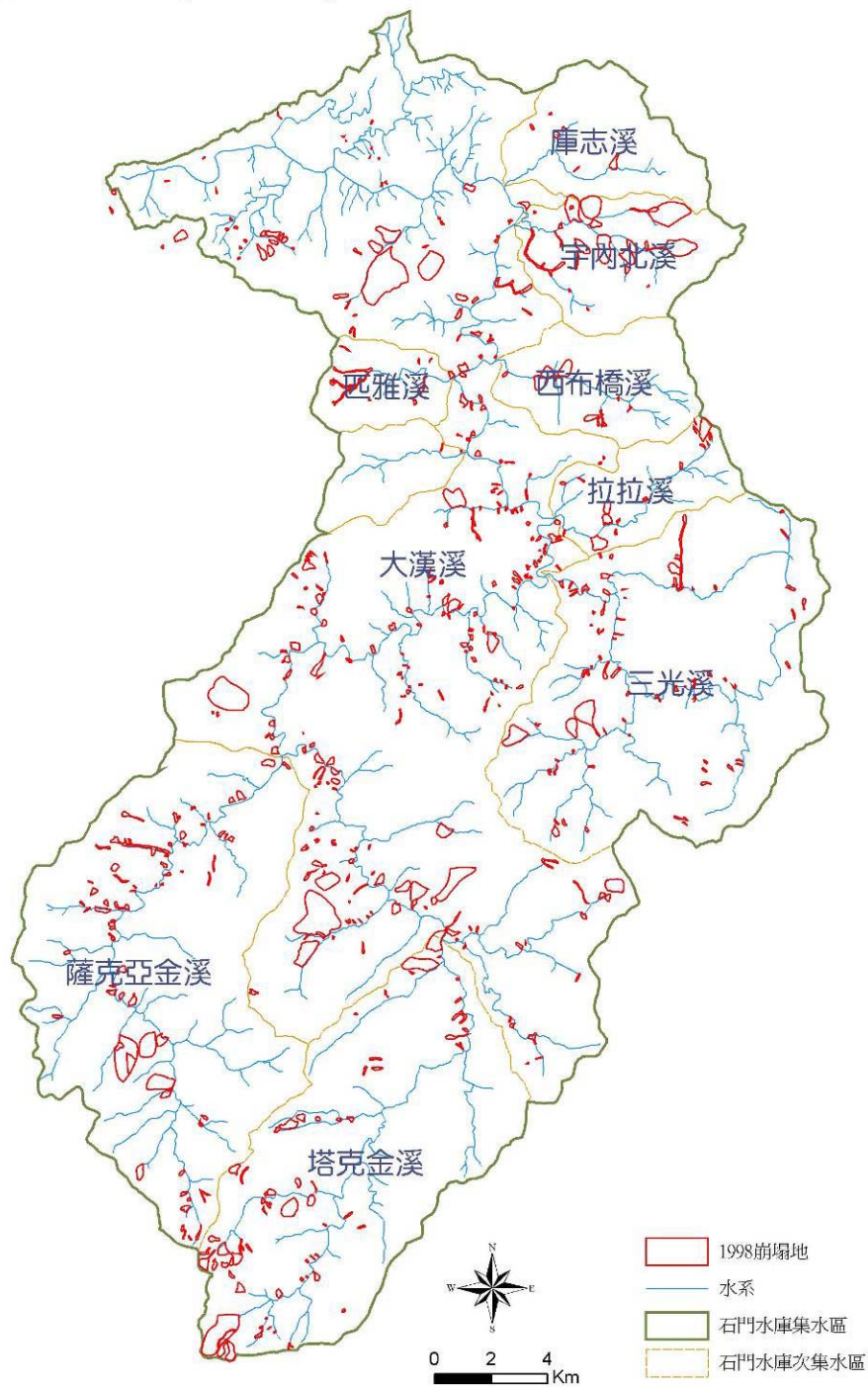


圖 14 1998 年石門水庫集水區崩塌地圖（資料來源：工業研究院）

崩塌地圖（2004）

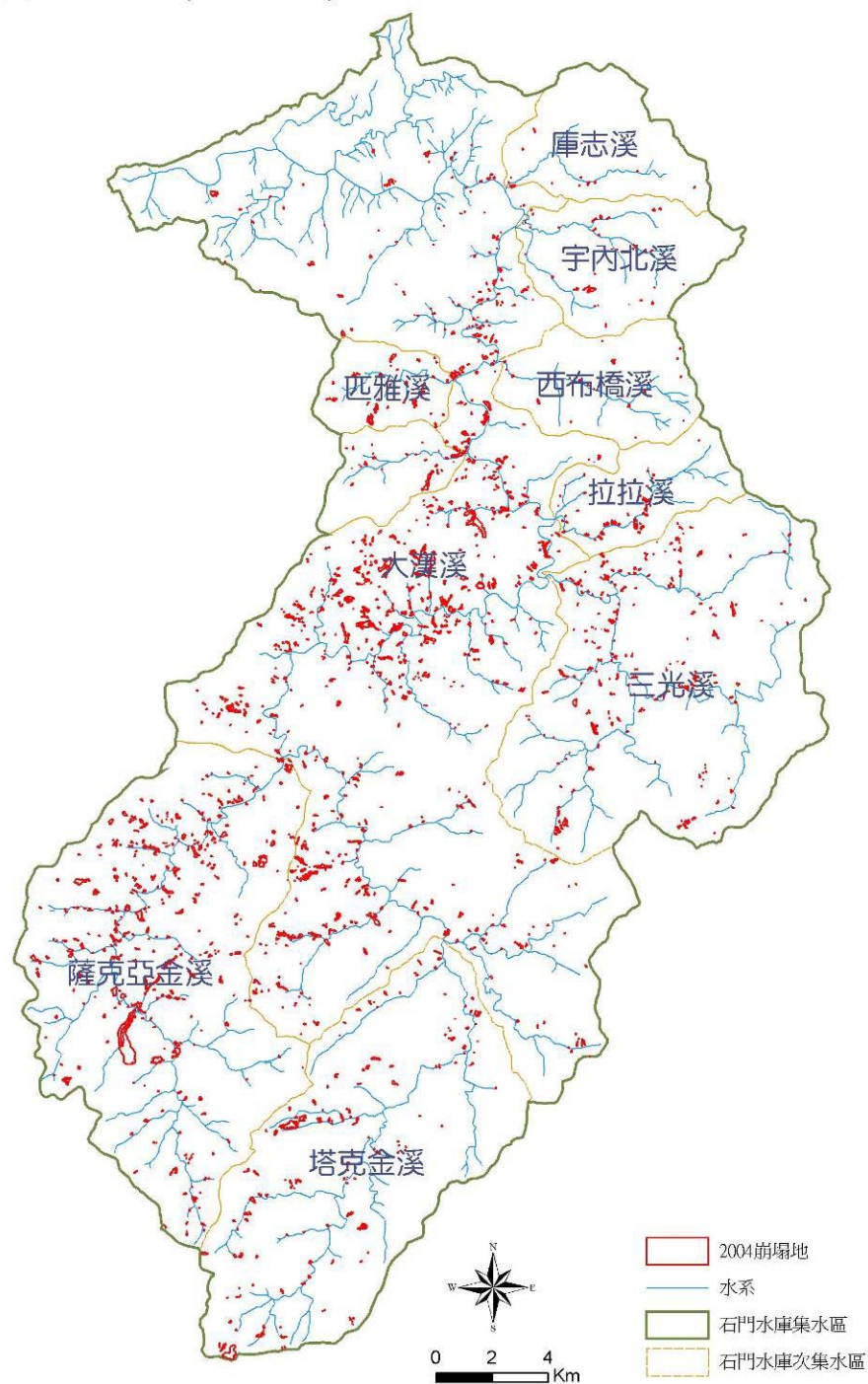


圖 15 2004 年石門水庫集水區崩塌地圖（資料來源：本研究）

崩塌地圖（2005）

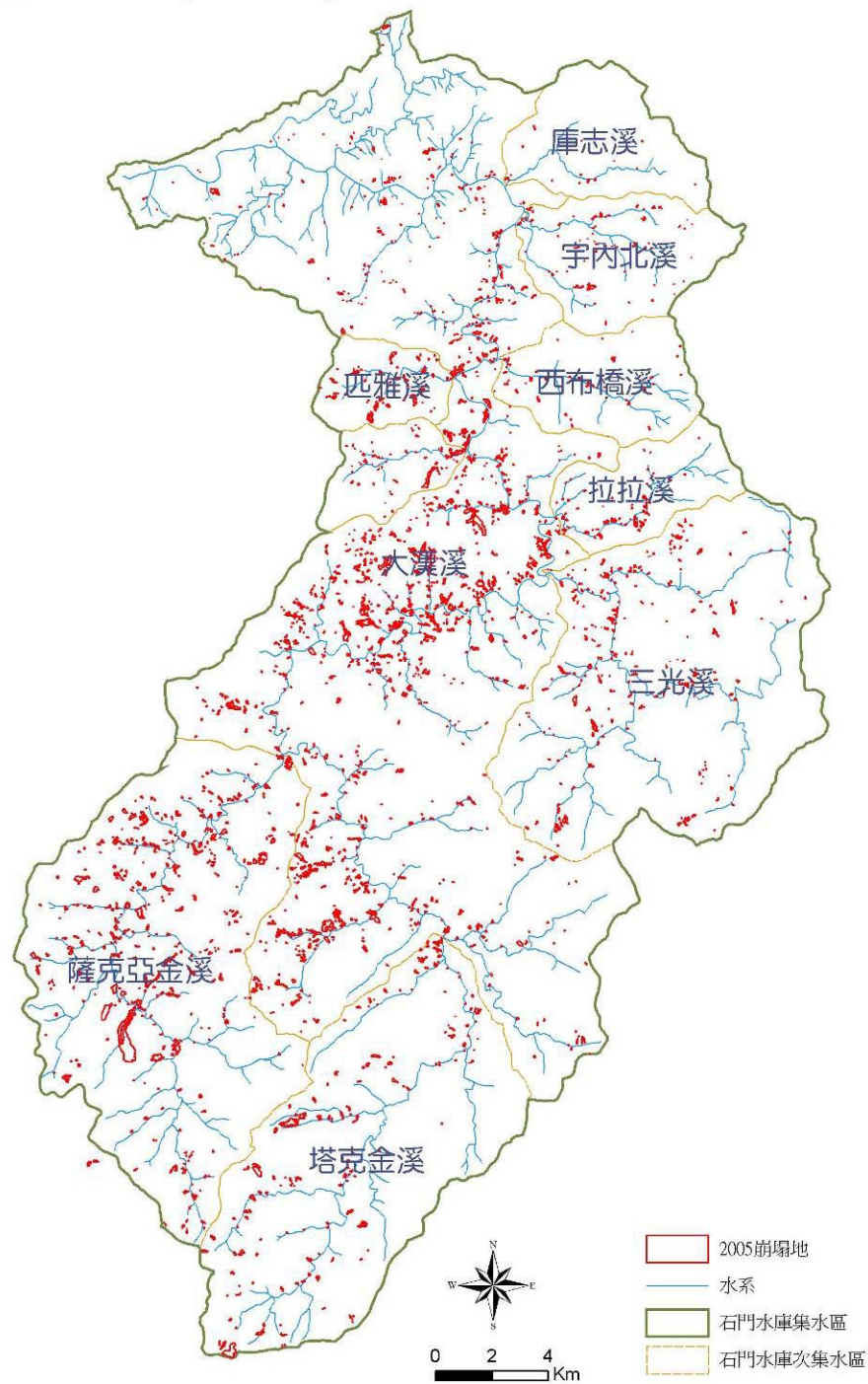


圖 16 2005 年石門水庫集水區崩塌地圖（資料來源：本研究）

3.2004 年到 2005 年崩塌變化分析

由表 6 石門水庫歷年崩塌地調查，除了 1998 年可能因判釋的資料來源不同，造成崩塌判釋結果不同，由 1986 年、2004 年與 2005 年崩塌地變遷加以比較，發現崩塌地之數量有增加的情形。

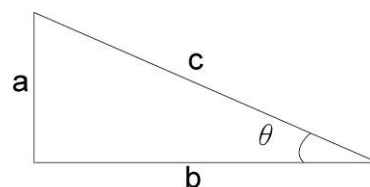
崩塌傾斜面積計算

利用 DTM 資料求坡度面之角度，公式如下：

$$\Theta = \text{ATAN}(a/b) / \pi \times 180$$

a：高點及最低點之海拔高差

b：崩塌地之長軸長（量取其崩塌主軸之水準距離）。



根據上述公式，配合 GIS 軟體與數值高程模型，推求崩塌傾斜面積，公式如下：

$$Ac = Ab / \cos \Theta$$

表 7 正射化影像崩塌地面積

年代	數量	總面積 (m ²)	最大面積 (m ²)	平均面積 (m ²)	平均崩壞比 (m ²)
1987	939	12,071,204	316,991	12,855	1.59%
1998	553	27,445,695	1,825,855	49,630	3.61%
2004	2,004	6,321,333	387,315	3,154	0.83%
2005	2,867	7,600,984	387,315	2,651	1.00%

表 8 傾斜崩塌面積

年代	數量	總面積 (m ²)	最大面積 (m ²)	平均面積 (m ²)	平均坡度
1987	939	14,774,359	389,116	15,734	32.87
1998	553	32,077,058	1,940,396	58,006	34.44°
2004	1,815	7,834,789	442,991	3,910	34.22°
2005	2,480	9,427,893	442,991	3,288	33.54°

經由正射化航照影像進行崩塌地判釋，經常會對於崩塌地在 3D 立體真實情況崩塌地面積有所低估，在進行崩塌地土方量推估上，採取傾斜的崩塌地面積會

比較準確，然而傾斜的崩塌地面積也未必能反映崩塌地特性，且過去研究大多以正射化影像面積呈現，資料較容易比較，在本研究之崩塌面積分析均採用正射化影像之崩塌地面積。

比較 2004 年 9 月到 2005 年 7 月之崩塌地資料，本研究蒐集與判釋 1986 年、1998 年、2004 年、2005 年石門水庫集水區崩塌地面積與分布，但由於不同單位與不同時期之崩塌地判釋資料皆有所出入，因此，本研究利用 2004 年與 2005 年之正射化航照影像，進行崩塌地資料的校對，得到準確度高且可對比的崩塌地資料，進行分析。

2004 年 9 月到 2005 年 7 月之間，石門水庫集水區受到海棠、馬莎、泰利、卡努和龍王颱風之降雨影響，降下的豪大雨造成河流流量增加、地表侵蝕、河川含沙濃度增加與崩塌地的發生，其中以海棠颱風與馬莎颱風在此區降下最多雨量，對於石門水庫集水區之影響最大。

表 9 2004 年 9 月到 2005 年 7 月主要颱風列表

中文名稱	英文名稱	警報期間	強度	侵台路徑	降雨量
龍王	LONGWANG	09/30~10/03	強度	2	178.5 mm
卡努	KHANUN	09/09~09/11	中度	--	173 mm
泰利	TALIM	08/30~09/01	強度	2	332 mm
馬莎	MATSA	08/03~08/06	中度	1	1,032 mm
海棠	HAITANG	07/16~07/20	強度	1	454.5 mm

海棠颱風期間時降雨圖 2005/07/16~07/20

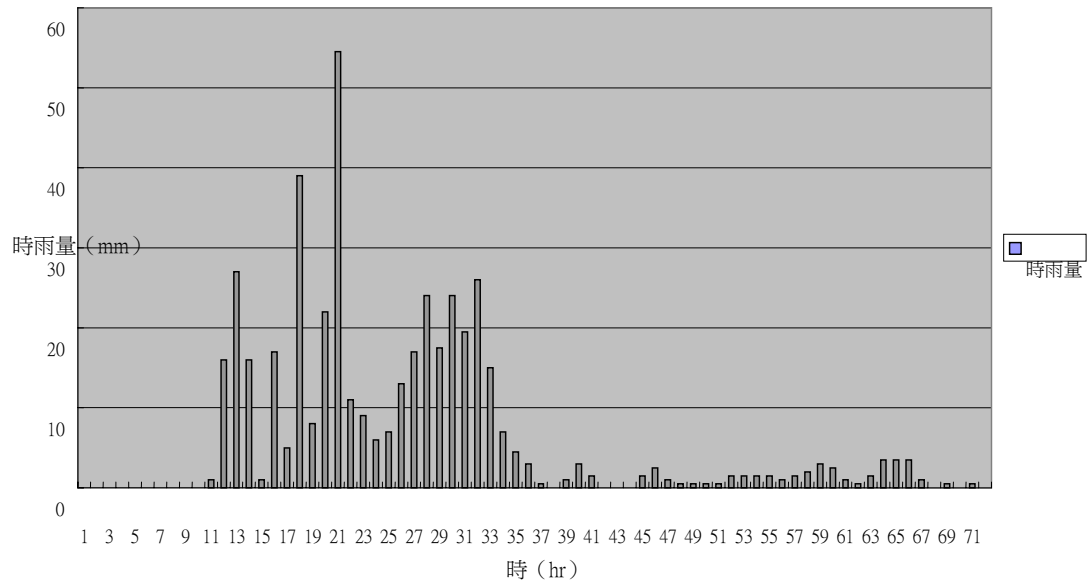


圖 17 海棠颱風期間時降雨分布圖

馬莎颱風期間時降雨圖 2005/08/30~09/01

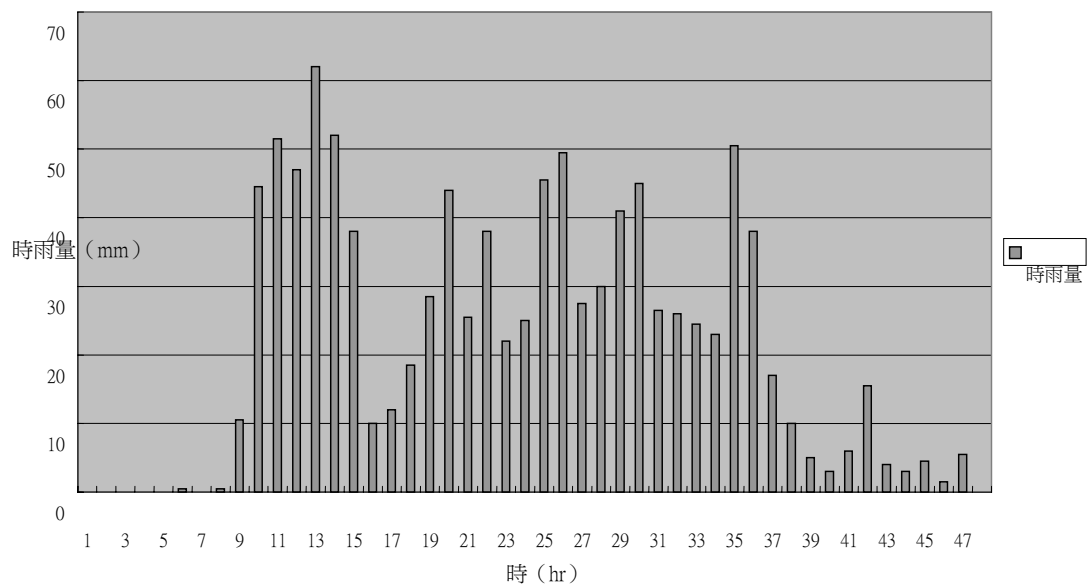


圖 18 馬莎颱風期間時降雨分布圖

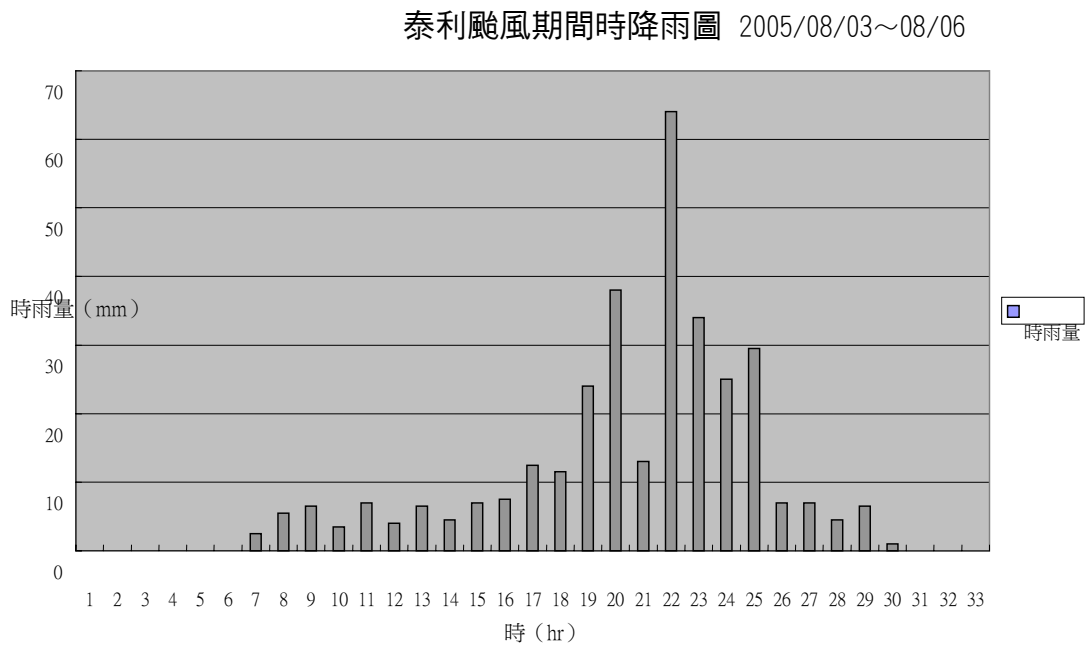


圖 19 泰利颱風期間時降雨分布圖

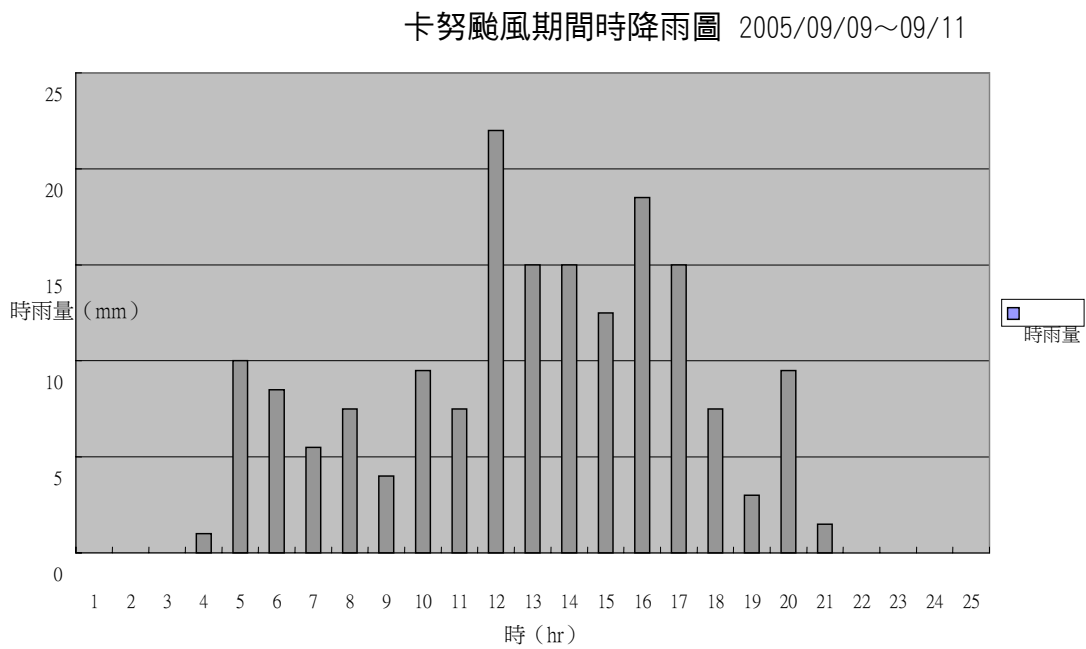


圖 20 卡努颱風期間時降雨分布圖

龍王颱風期間時降雨圖 2005/09/30~10/03

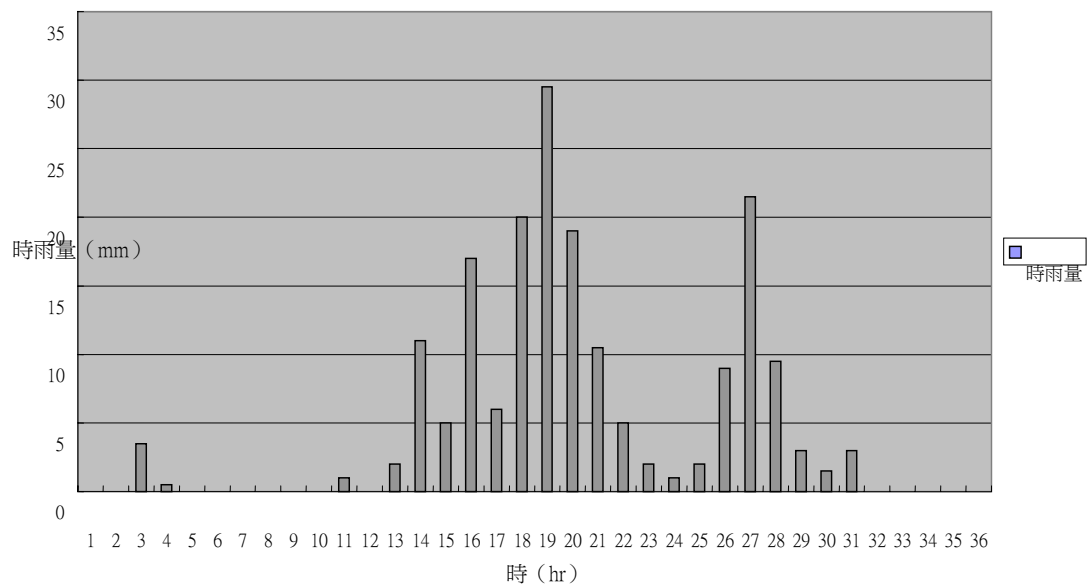


圖 21 龍王颱風期間時降雨分布圖

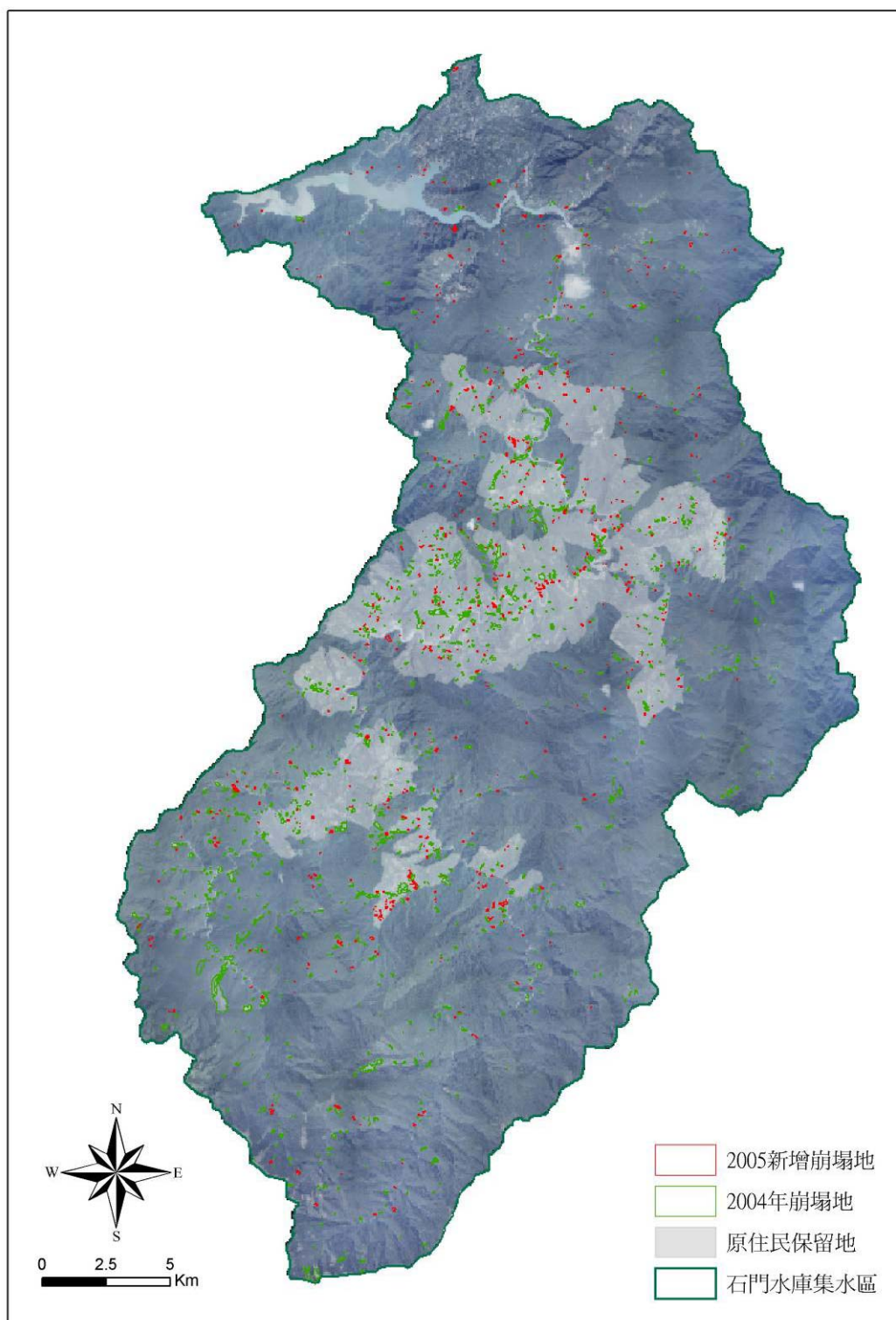


圖 22 2004 年至 2005 年崩塌地變化圖

由圖 22，2004 年 9 月至 2005 年 7 月，崩塌地個數增加了 665 個，許多新增崩塌地發生在大漢溪主流兩側，很可能是由於河岸侵蝕所造成的崩塌，尤其在巴稜到玉峰之間之產業道路和主流河道之間，在 2004 年，原本就已經存在許多崩塌地，至 2005 年時，已經新增許多崩塌地，由圖 23，2004 年的舊崩塌地許多分布在產業道路上下邊坡，到了 2005 年，河道左岸新增加了許多崩塌地，且大多崩塌地位在河道的攻擊坡上，使得邊坡坡腳受到侵蝕而滑落。

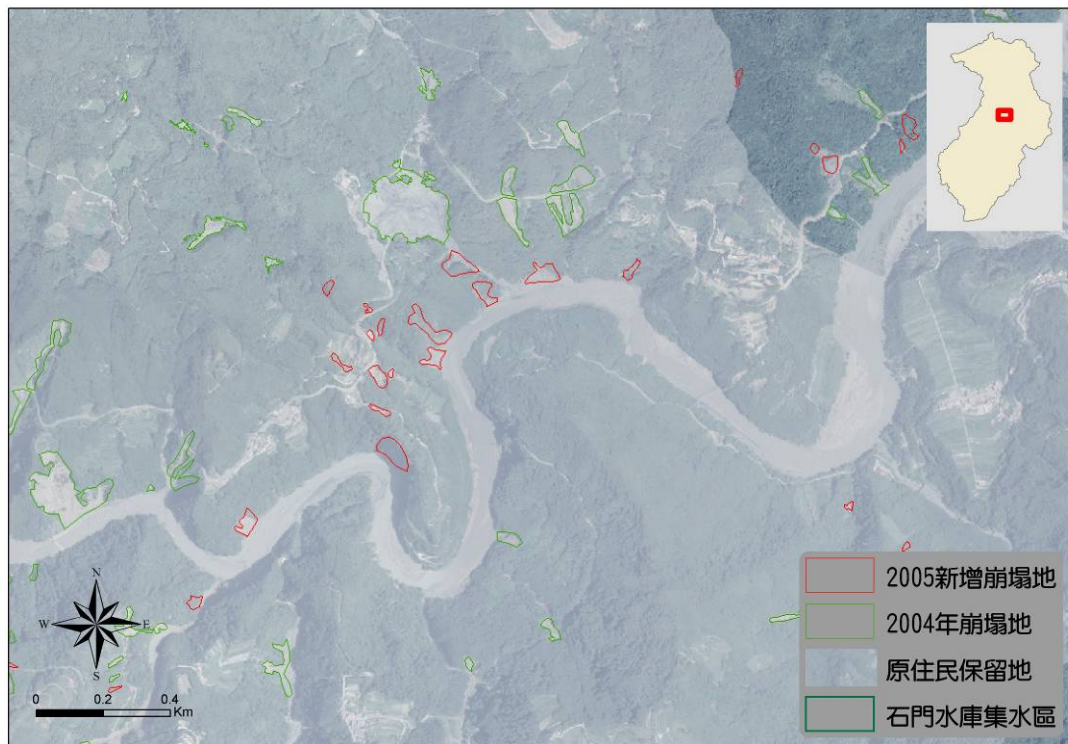


圖 23 巴稜至玉峰之間的三光村崩塌地變化圖

如圖 24，2004 年到 2005 年在蘇樂一帶增加許多崩塌地，支流河岸新增許多崩塌地，許多崩塌地發生在河道攻擊坡，雖然造成的崩塌面積不大，卻足以造成道路中斷、河道泥沙淤積等災害，此外，除了河岸侵蝕之外，在邊坡上也出現許多的崩塌地，這些崩塌地可能是道路開發有關。

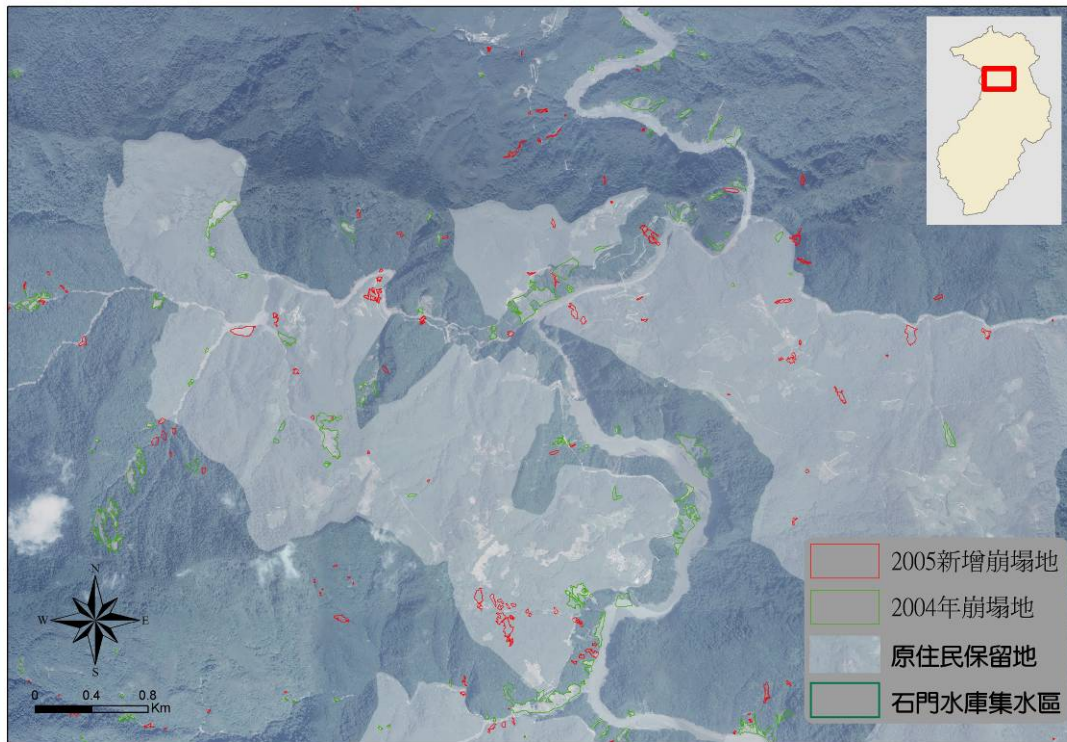


圖 24 蘇樂一帶崩塌地變化圖

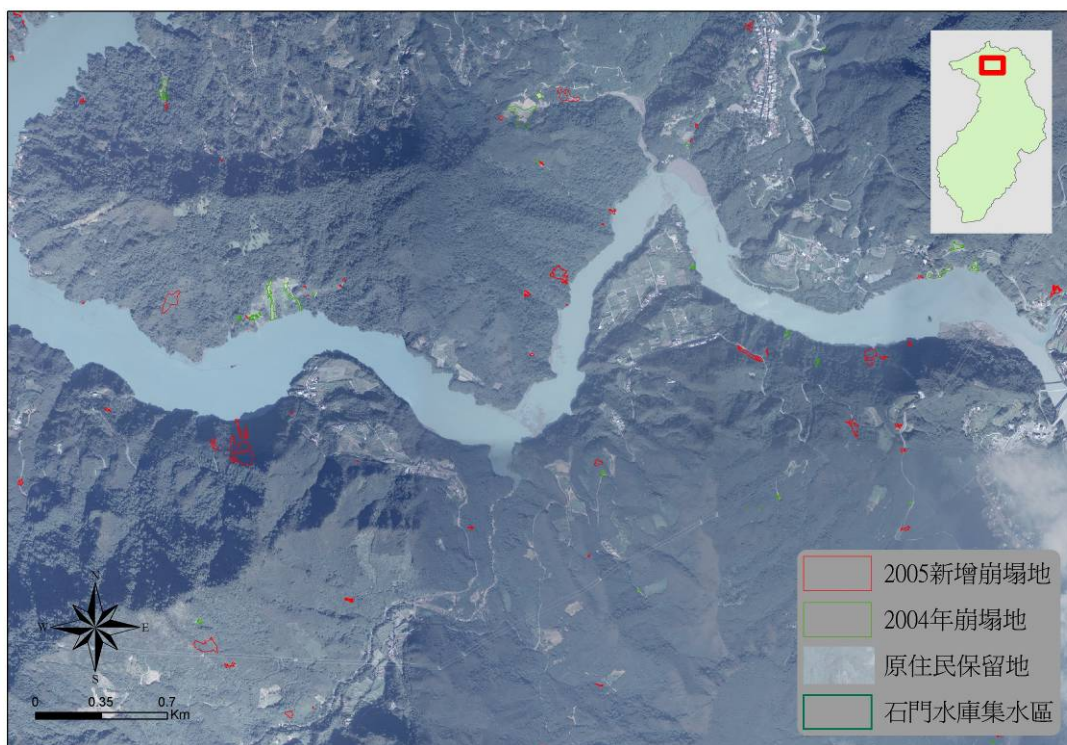


圖 25 石門水庫庫區崩塌地變化圖

由圖 25 中可以發現，2005 年在石門水庫的庫區周遭集水區明顯增加許多零星的崩場地，受到颱風事件影響時，豪雨沖刷地表舊崩場地之泥沙缺乏植被保護，泥沙很容易繼續被直接搬運到水庫庫區，而新增崩場地之泥沙也會為直接越過攔砂壩之保護，直接影響到水庫區，導致水庫淤積，水庫周遭的崩場地面積雖不大，卻是值得注意的。

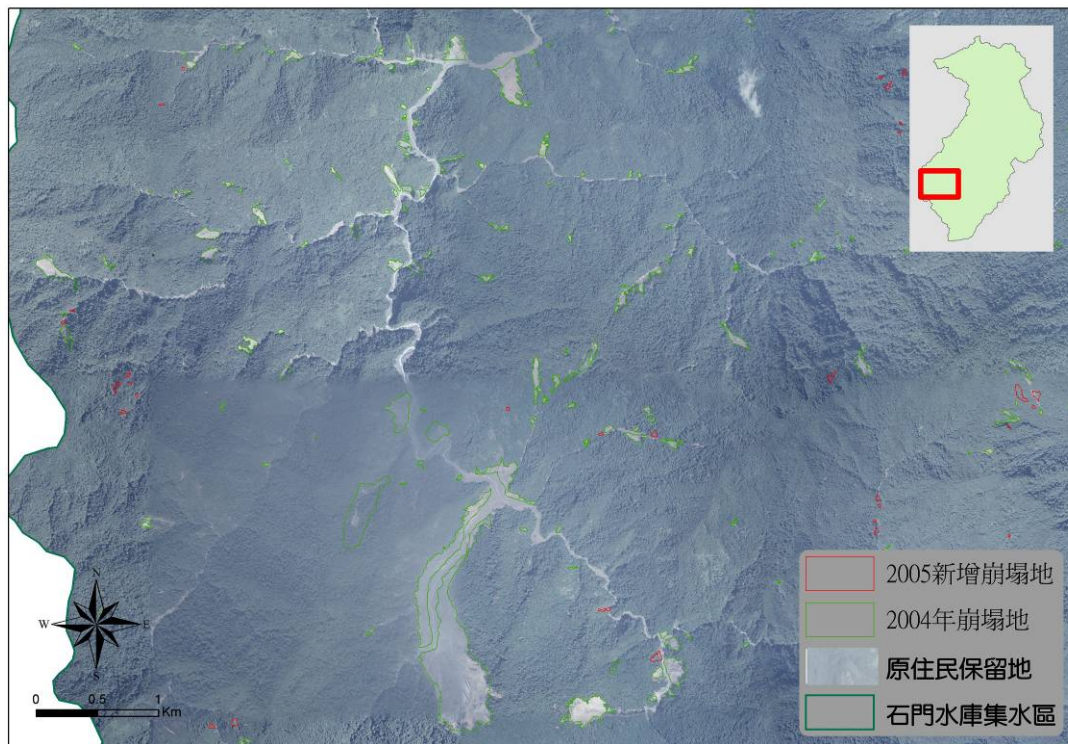


圖 26 白石溪上游白石大崩塌崩場地變化圖

在 2004 年，白石溪上游新增長約 2 公里之大規模崩場地，造成白石溪河道大規模淤積，也使得白石溪河水濃度上升，在 2005 年，白石溪集水區之崩場地面積變化卻相當有限，僅僅有零星小規模崩場地產生，崩場地之發生在不同區域與不同時間差異相當大，監測石門水庫崩場地之變化，必須持續利用航照圖進行廣泛範圍的判釋，才能掌握崩場地之變遷與分布。

為了瞭解不同類型林地與土地利用，與崩塌地發生的關係，首先，將主要造成崩塌地的重要因素，河道侵蝕與道路之因子分開進行討論，以其他因素的崩塌地進行空間分析，凸顯不同林地與土地利用對於崩塌地之關係。

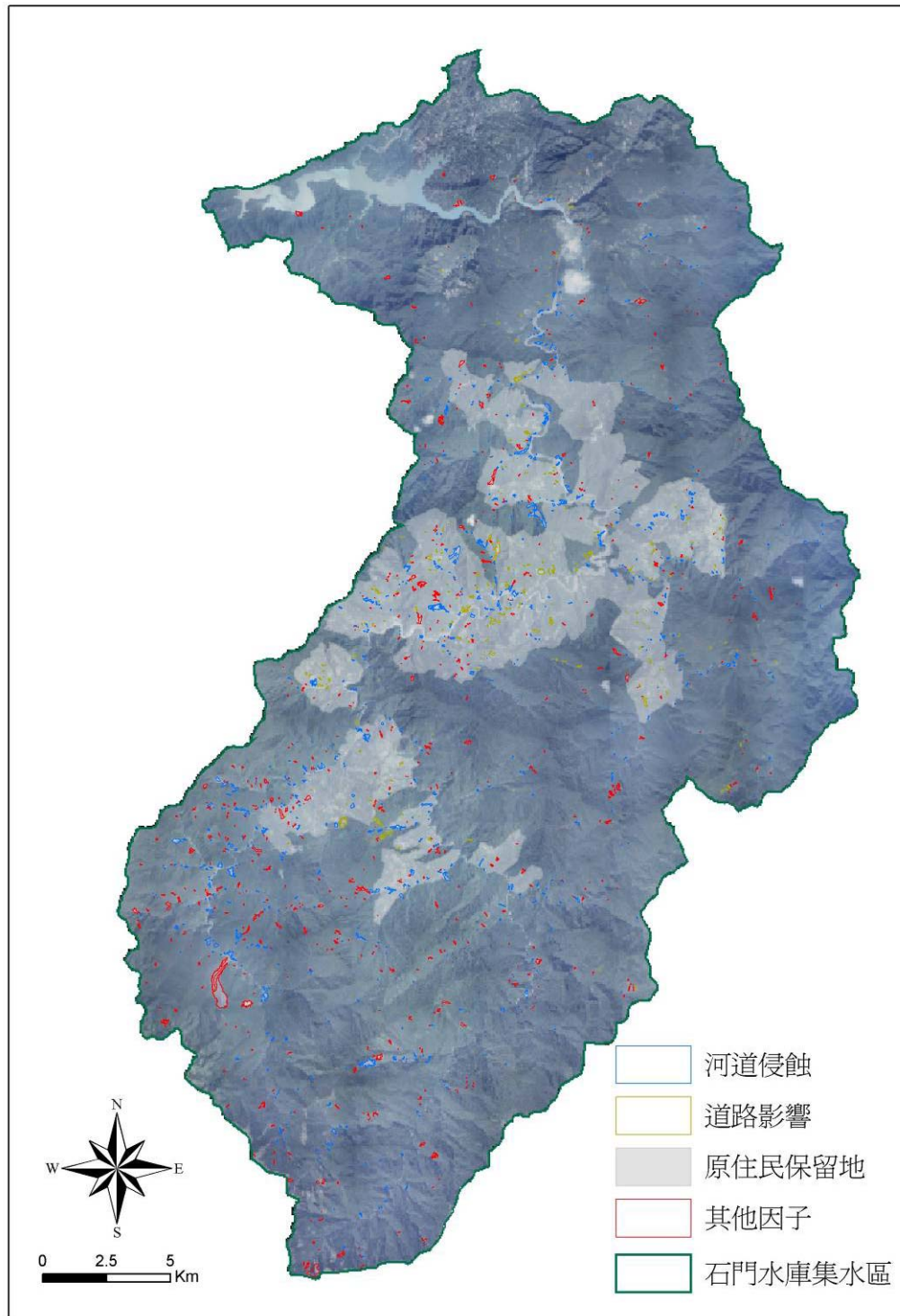


圖 27 2004 年崩塌地類型分類

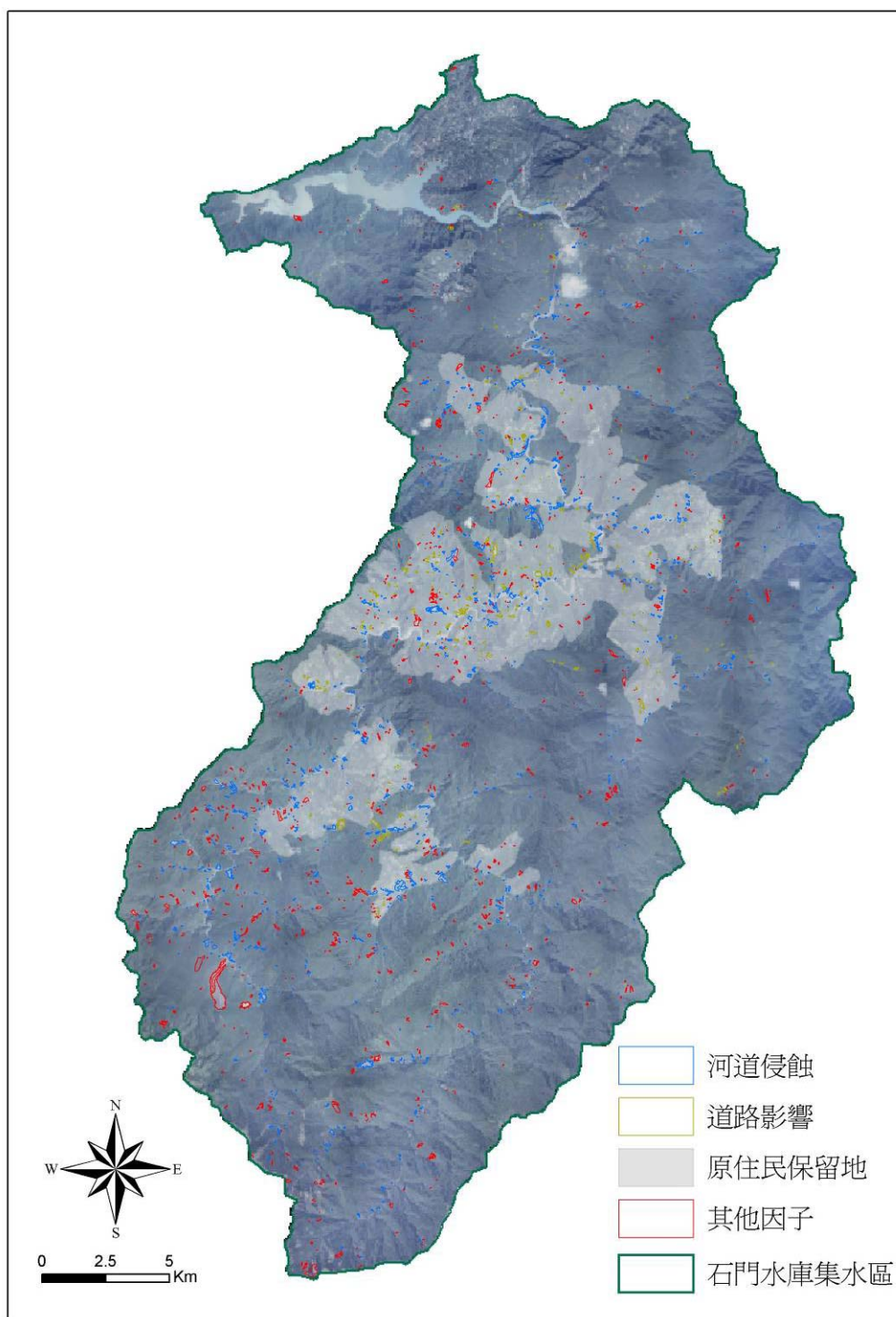


圖 28 2005 年崩塌地類型分類

表 10 2004 年到 2005 年各種類型崩塌變化

崩塌類型	2004 年		2005 年		變化	
	面積	百分比	面積	百分比	面積	百分比
河道侵蝕	3,086,646 m ²	48.83%	3,765,763 m ²	49.54%	679,117 m ²	0.71%
道路	1,013,625 m ²	16.03%	1,148,441 m ²	15.11%	134,817 m ²	-0.92%
其他	2,220,873 m ²	35.13%	2,686,521 m ²	35.35%	465,649 m ²	0.22%

由表 10，2004 年到 2005 年之間，主要崩場地類型為河道侵蝕所造成的崩塌，佔總崩塌面積的百分之 49.54%；次之為其他種類型之崩場地，佔 35.35%；道路相關之崩場地佔全部崩場地 15.11%，可見石門水庫集水區內之崩場地大多為自然作用造成的崩塌，其中最主要河道侵蝕所佔的比例最高，河道侵蝕作用包括河道側蝕、攻擊坡侵蝕與坡腳侵蝕，在颱風事件，河道流量增加，侵蝕力增大，將邊坡之坡腳移除，邊坡不穩定，導致崩塌的發生。

2004 年 9 月到 2005 年 7 月之間，崩場地總面積增加 1,279,582 平方公尺的崩場地，其中河道侵蝕的部分增加最多，總面積 679,117 平方公尺；道路型的崩場地增加的總面積較小；而受到其他因素增加 465,649 平方公尺，珍珠颱風與碧利斯之降雨，造成河道流量增加，而導致河岸侵蝕的崩場地為主要新增崩塌的來源，另外，其他類型之崩塌也有明顯的增加，雖然總量不如河岸侵蝕重要，但在新增加的崩場地也相當重要。

4.崩塌地與土地利用分析

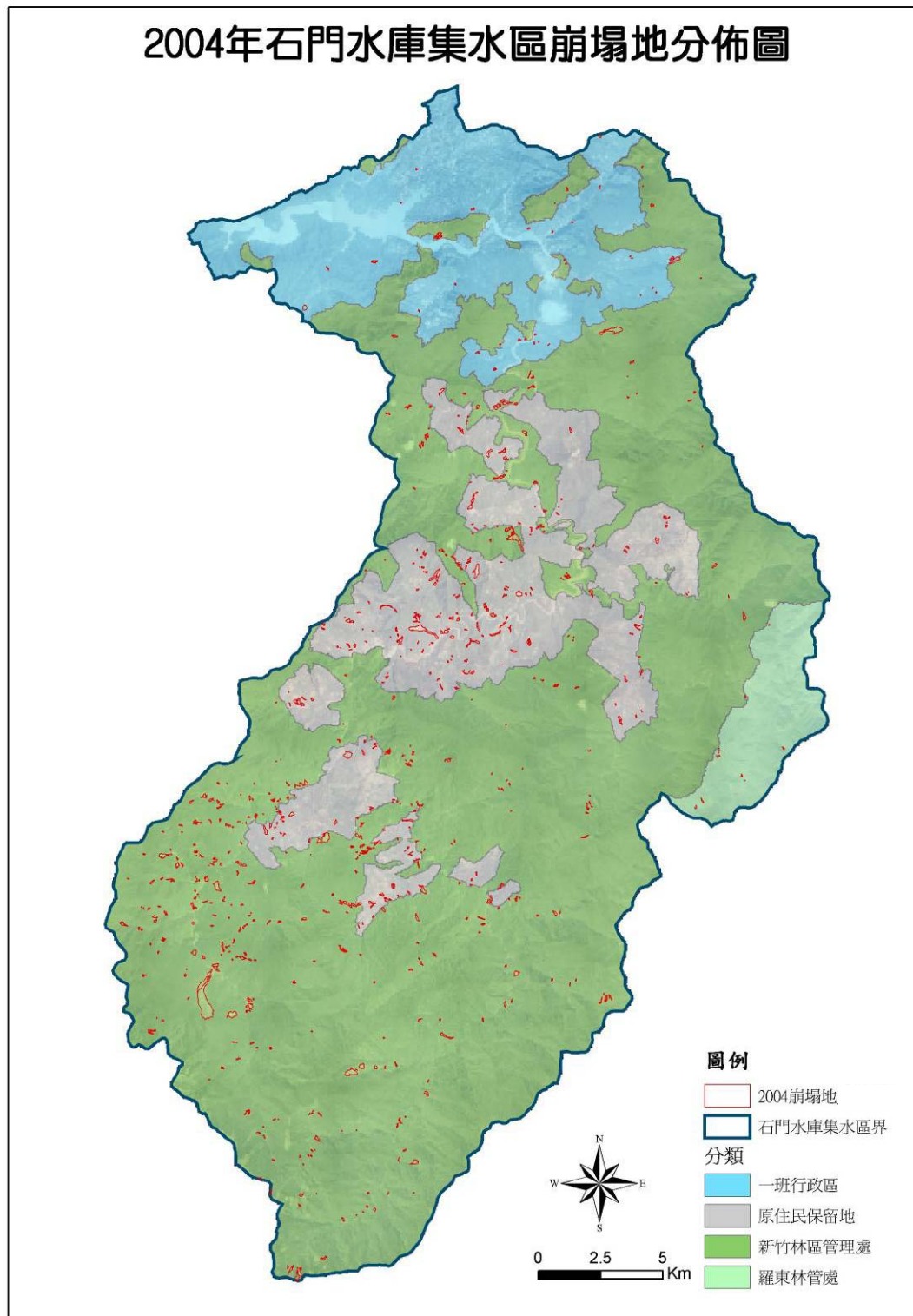


圖 29 石門水庫集水區行政區與崩塌地分布圖

從圖 29 中，2004 年的崩塌地分布圖，石門水庫集水區北側的公私有地區域，崩塌發生的次數非常的少，面積亦不大。全區崩塌地大多發生在集水區的中央開始直到南側。從集水區中部開始，崩塌地有很大的數量發生在原住民保留區中，並有集中的情況發生，而林班地發生崩塌的數量並不多。而在集水區南側的部分，因為已經沒有劃設原住民保留區，才使得所有的崩塌地都位於林班地的範圍。在發生的比率上，因原住民保留區與林班地的面積並不相同。林班地的面積佔整個集水區的 72% ，而原住民保留區的面積佔 15% ，兩者差距太大，直接比較崩塌地的個數意義並不大。因此本研究將比較的方式轉為崩塌地的發生密度，經計算結果如圖 31 。

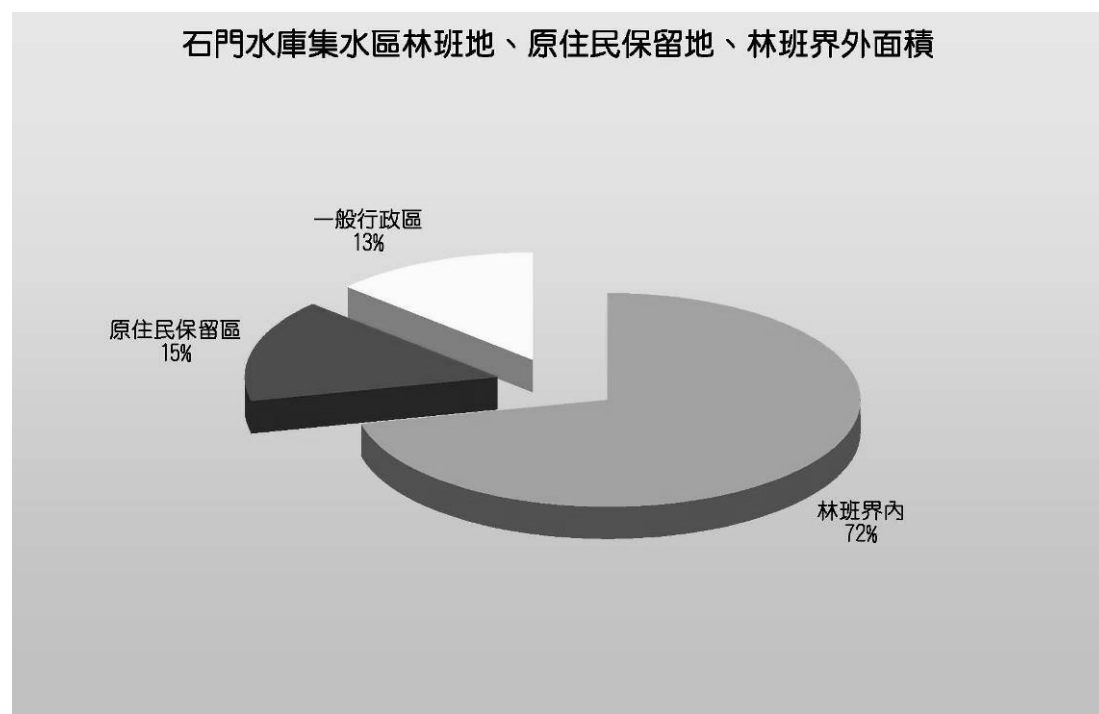


圖 30 石門水庫集水區林班地、原住民保留地面積比例圖

2004-2005各區域崩塌地密度比較

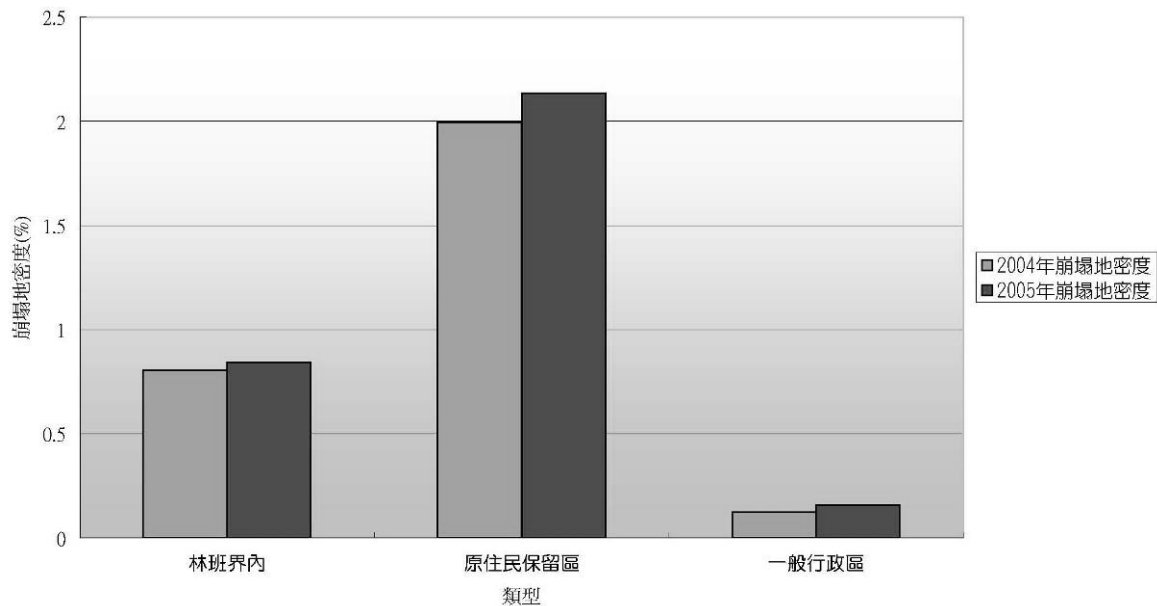


圖 31 崩塌地發生區域崩塌地密度比較

由圖 31 顯示，三個土地分區中，一般行政區地崩塌地所佔的百分比約不到 0.2%，原住民保留區為 2.0- 2.1%，林班地則為 0.8% -0.9%。總面積上，原住民保留區總面積與公私有地大約相等，為林班地的 1/4，但崩塌地發生的密度，遠高於林班地及一般行政區。從地形條件上來說，一般行政區海拔較低，地形起伏變化不大，崩塌地發生的條件較少，故發生的次數與密度都低於位於高海拔山區的原住民保留區與林班地應屬正常。而比較原住民保留區與林班地，兩者均位於集水區中上游的區域，地勢陡峭，河道沖刷力強。然而經過計算，原住民保留區崩塌地的發生密度，比林班地區域高了 3 倍以上。究其原因，影響兩者崩塌地發生密度的因子，需再深入探討。

原住民保留區的開發行為，大多以開墾及種植經濟作物為主。在開墾的過程中，砍伐原生樹林造成植被樣貌的改變，及種植作物其間的翻土、播種與灌溉的行為，都會改變邊坡的穩定條件，使原本穩定的邊坡變成相對的不穩定，趨向易於發生崩塌。相對於林班地，有著良好的人工或天然林的覆蓋，有效的阻擋降雨及地表水流的侵蝕作用，邊坡不穩定的因子相對被減少，發生崩塌地的比率也相對的較低。

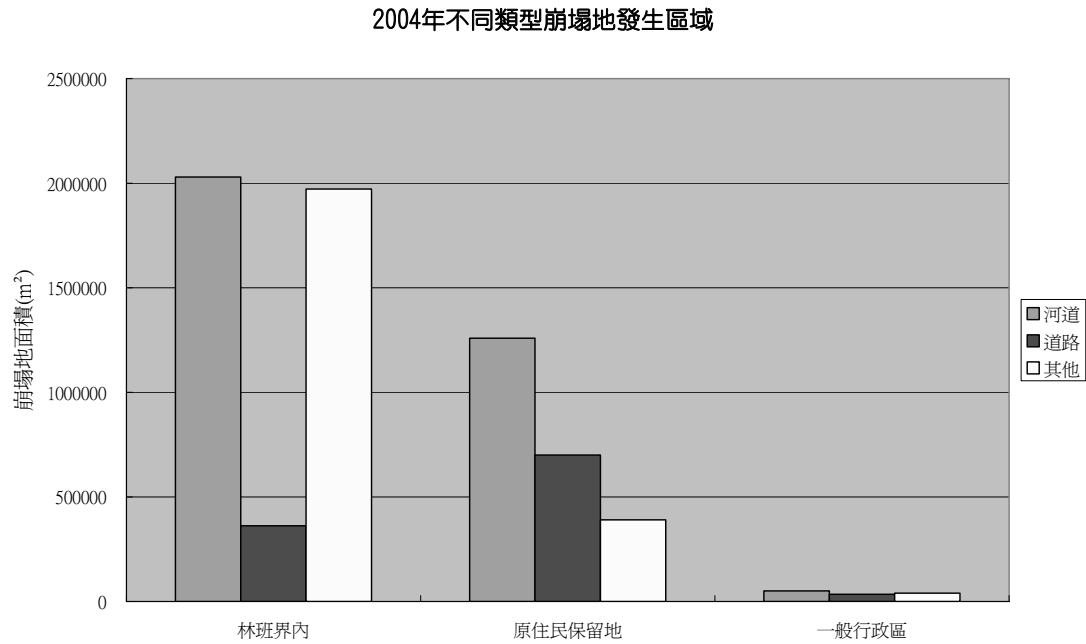


圖 32 2004 年不同區域之崩塌地類型統計圖

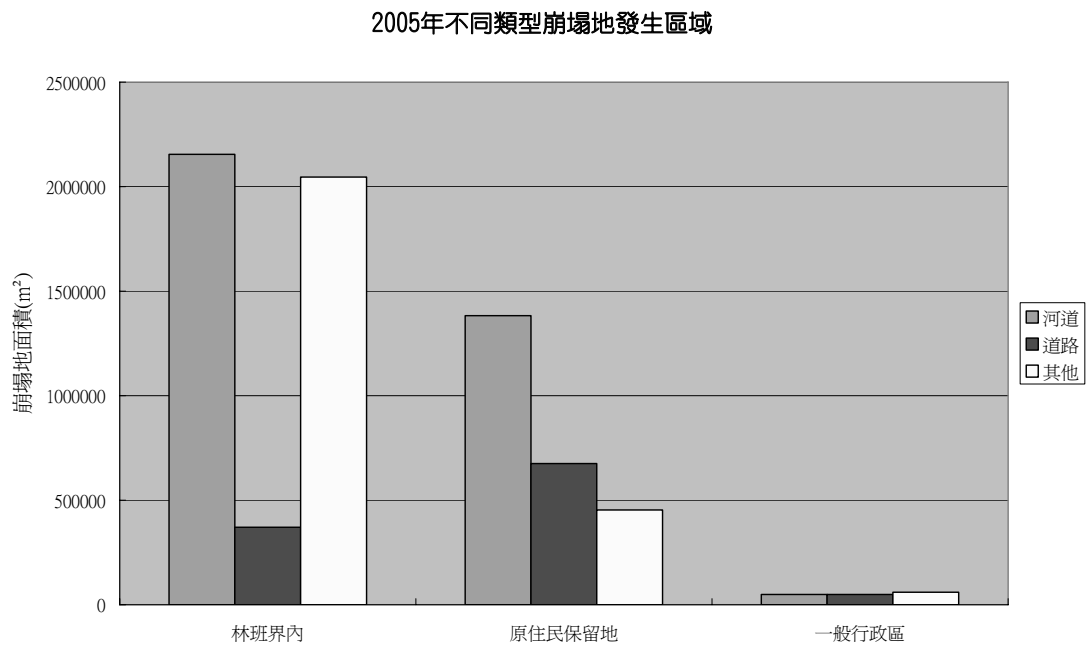


圖 33 2005 年不同區域之崩塌地類型統計圖

將不同崩塌類型分類，有助於釐清崩塌地發生的原因，由圖 32、33 得知，林班界內主要崩塌類型以河道侵蝕為主，道路相關的崩塌地相對來說比例相當少，其他類型崩塌則與河道侵蝕崩塌地相當，而原住民保留地內，也是以河道侵蝕為主，可見石門水庫集水區內之崩塌地類型以河道侵蝕的自然作用為主，在 2004 年到 2005 年之間分布的情況大致相同，僅部分之崩塌地分布略有增加。

由圖 32 與圖 33，2004 年到 2005 年之間，受到道路與河道影響之崩塌地面積明顯增加，顯示道路與河道對於崩塌地之影響之重要性，對照下表 11 與表 12，河道侵蝕的崩塌地由 3,086,646 平方公尺增加到 3,765,763 平方公尺最為明顯，面積增加 22%；道路崩塌由 1,013,625 m²增加到 1,148,441 m²，面積增加 13%；其他類型崩塌面積由 2,220,873 平方公尺增加到 2,686,521 平方公尺，面積增加 21%。

表 11 2004 年不同地區之崩塌地形型態表

2004 年 崩塌地	河道			道路			其他		
	面積 (m ²)	比例 (%)	密度 (%)	面積 (m ²)	比例 (%)	密度 (%)	面積 (m ²)	比例 (%)	密度 (%)
林班 界內	1875916	60.78	0.37	334593	33.01	0.07	1823298	82.10	0.36
原住民 保留地	1163825	37.71	1.07	647393	63.87	0.59	360793	16.25	0.33
一般 行政區	46905	1.52	0.05	31639	3.12	0.03	36781	1.66	0.04
面積 總和	3,086,646 m ²			1,013,625 m ²			2,220,873 m ²		

表 12 2005 年不同地區之崩塌地形型態表

2005 年 崩塌地	河道			道路			其他		
	面積 (m ²)	比例 (%)	密度 (%)	面積 (m ²)	比例 (%)	密度 (%)	面積 (m ²)	比例 (%)	密度 (%)
林班 界內	2262853	60.09	0.40	388914	33.86	0.07	2148026	79.96	0.38
原住民 保留地	1451920	38.56	1.17	708538	61.7	0.57	475510.4	17.7	0.38
一般 行政區	50990.1	1.35	0.05	50990.1	4.44	0.05	62985.3	2.34	0.06
面積 總和	3,765,763 m ²			1,148,441 m ²			2,686,521 m ²		

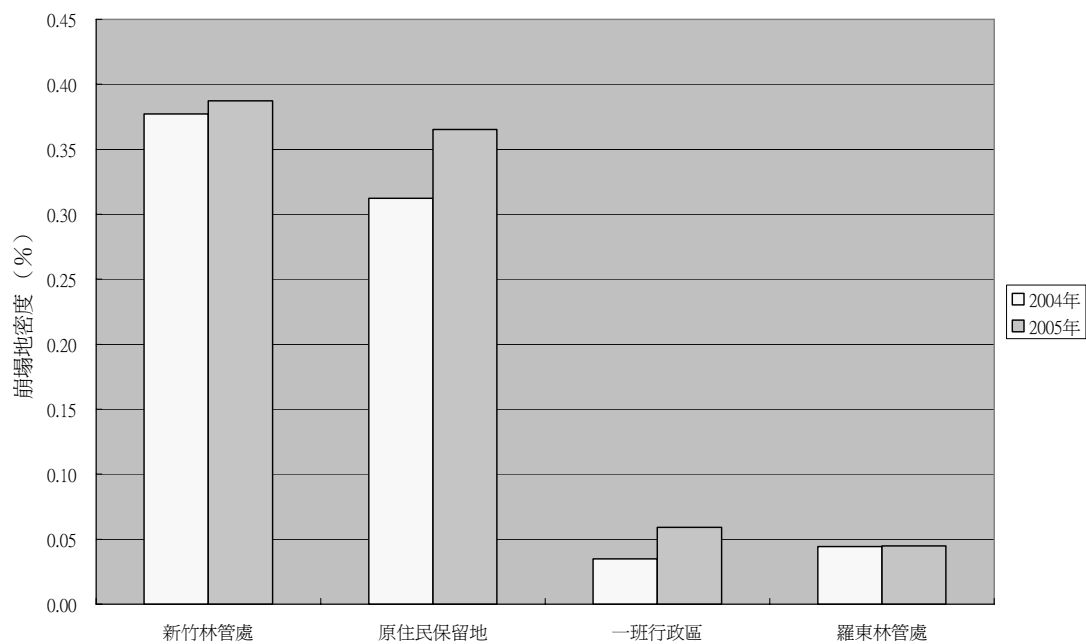


圖 34 2004 年及 2005 年不同地區崩塌地密度

5.不同地表植生種類與崩場地密度之關係

學理上，崩塌敏感度取決於坡面地質構造、岩石力學性質、水文狀況、地形條件、及植生影響。本節即從地表植生的角度，探討植生種類的不同與崩場地之間的關連。

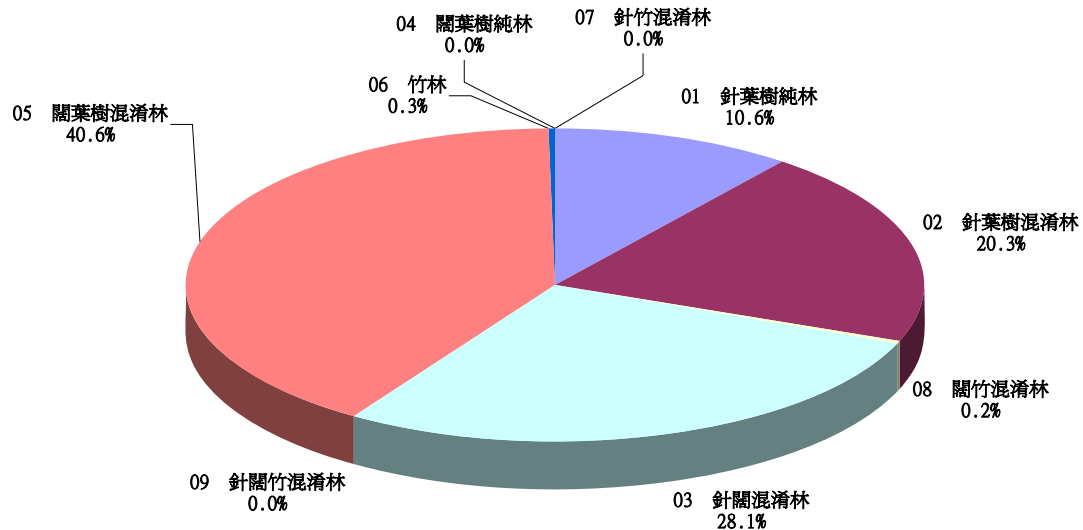


圖 35 1995 年石門水庫集水區天然林植生樹種分布面積

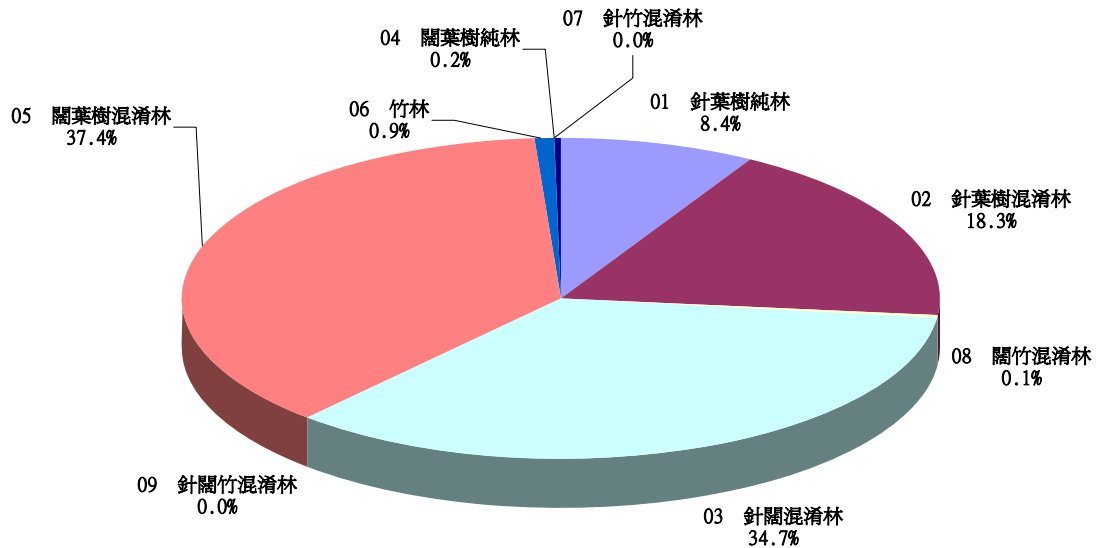


圖 36 2006 年石門水庫集水區天然林植生樹種分布面積

依林務局 1995 年與 2006 年之林地的調查資料，石門水庫集水區屬於林班地的範圍內，林班界內之天然林植生的分類共有針葉樹純林、針葉樹混淆林、針闊

混淆林、闊葉樹純林、闊葉樹混淆林、竹林、針竹混淆林、闊竹混淆林、針闊竹混淆林等共 9 種林相。在面積上，由大至小依序為闊葉樹混淆林、針闊混淆林、針葉樹混淆林、針葉樹純林、竹林、闊竹混淆林、闊葉樹純林、針竹混淆林及針闊竹混淆林。其中前四者的面積共占總植生面積的 98% 以上，其餘約只佔 2% 弱。

根據空間統計分析結果，圖 37 顯示，相較於針葉林與竹林來說，闊葉樹樹林中之崩塌地密度明顯較高，約在 0.8%-1.4% 之間，而針葉林之崩塌地密度在 0.3% 以下，竹林之崩塌地密度也在 0.2% 以下，若將河道與道路影響之崩塌地去除來看，各林相崩塌地密度之分布與圖 38 相似。

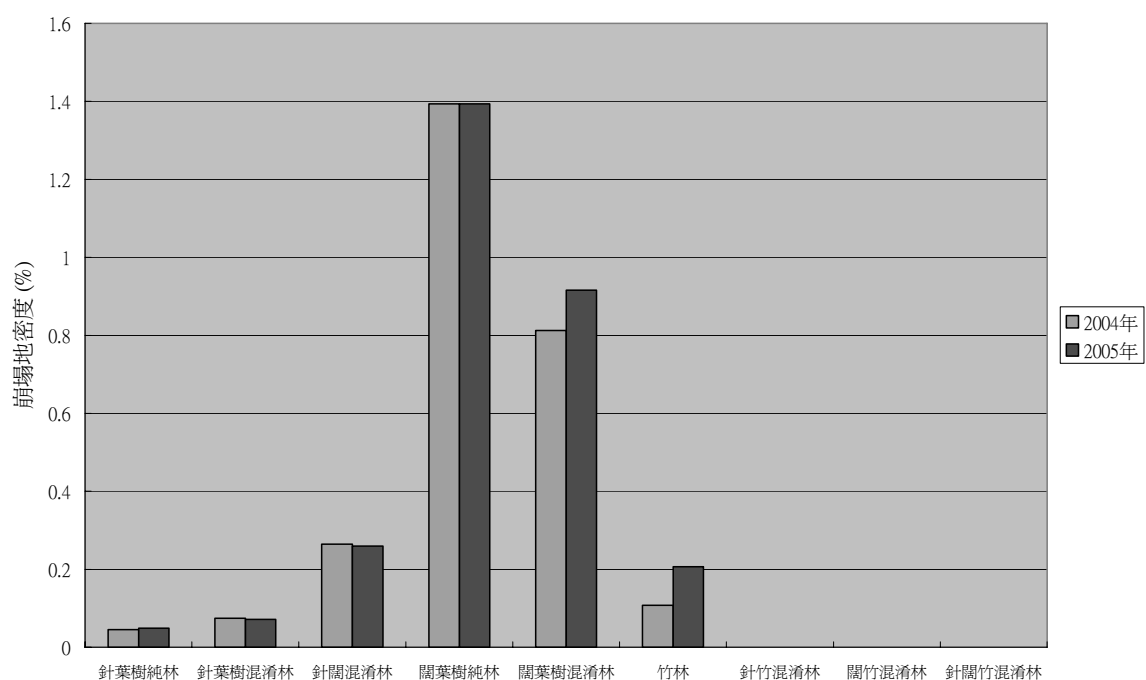


圖 37 石門水庫集水區崩塌地與林相關係

將 2004 年和 2005 年崩塌地與 1995 年林相進行空間統計分析結果，如圖 37 所示。在林班地中，各樹種崩塌地密度的百分比都很低，即便是密度最大的闊葉樹混淆林，也不過 1.4% 而已。顯示在植生良好的情況下，要發生崩塌地的相對機率較低。

參考圖 37，而在樹種的差異上，容易發生崩塌地的樹種，集中在闊葉樹純林、闊葉樹混淆林兩者上面，第三名的針闊混淆林已經小於 0.5%，針竹混淆林及針闊竹混淆林則因為面積太小，也沒有崩塌地發生而等於零。崩塌地密度前三者之間，共同的關係為「闊葉樹」出現。

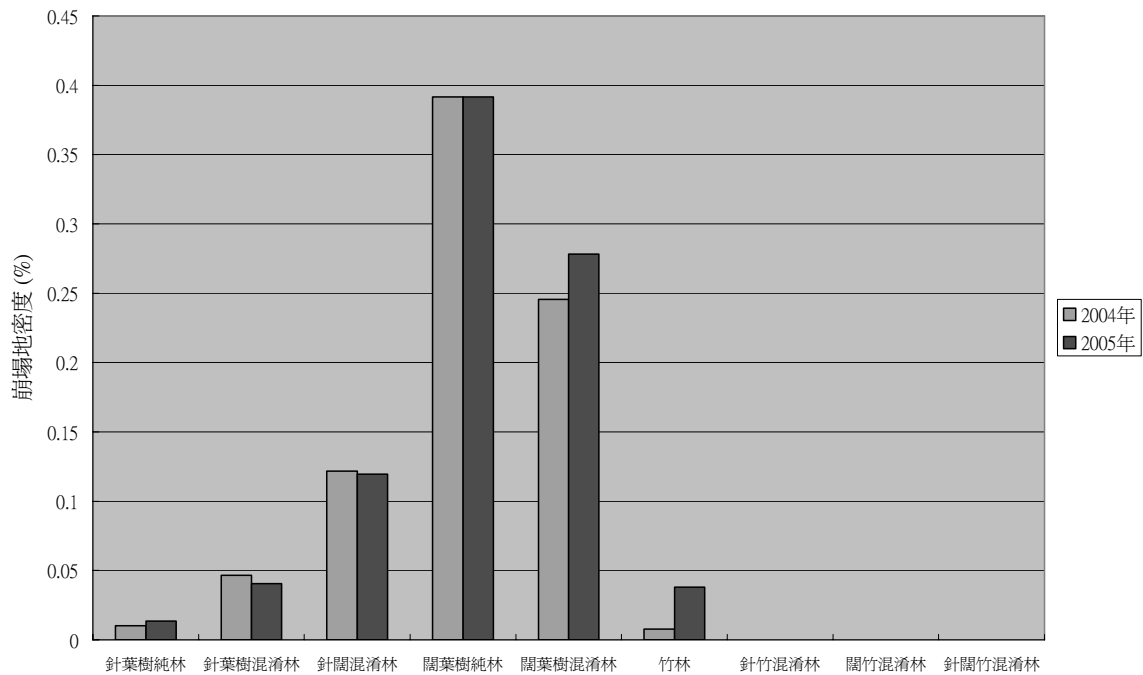


圖 38 石門水庫集水區其他類型崩塌地與林相關係

將河道侵蝕、道路與其他類型之不同類型崩塌地分開，進行分析，圖 38 顯示，各林相崩塌地密度之分布與圖 37 相似，發現闊葉樹純林內之崩塌地密度最大，其次是闊葉樹混淆林，也顯示闊葉樹與崩塌地之相關性，有闊葉樹的地區，其發生崩塌地的密度至少都在無闊葉樹地區的 2 倍，顯示出闊葉樹區域崩塌地發生的機會較高。此一結果可能與闊葉樹的生長習性有關。闊葉樹的生長條件較寬，即使在生長環境較為嚴苛的地點，也可以長大茁壯，分析的結果與崩塌地較為相關。

將闊葉林與崩塌地進行套疊成圖 39 與圖 40，發現闊葉林地之崩塌地密度相對其他地區較高，尤其在集水區西南邊之白石溪流域，許多崩塌地皆位在闊葉林地內，而 2005 年也呈現類似結果。

一般來說，竹林之根淺，對於地表土壤抓地性較弱，當颱風或豪雨時，容易造成地表沖蝕，進而導致崩塌的發生，從圖 39 中，相對來說，竹林之崩塌地密度均無明顯突出，顯示竹林對於崩塌地之關係並不明顯，而竹林的分布主要集中在道路兩側，兩者在空間分布上，沒有明顯聚集或相關情形，與前述統計分析結果相同，本研究結果並無發現竹林與崩塌地有明顯之相關性。

值得注意的是，由圖 37 顯示，2004 年至 2005 年崩塌地大多增加在闊葉樹混淆林與竹林之林相，闊葉樹混淆林由 2004 的 0.81% 增加為 0.93%；而竹林由

0.12%增加為 0.2%，雖然竹林之崩塌地密度仍然相對較低，但顯示闊葉樹混淆林與竹林之林相重要性增加，尤其是 2004 年到 2005 年之間，竹林對於未來崩塌地之影響是否有持續增加的趨勢，值得注意。

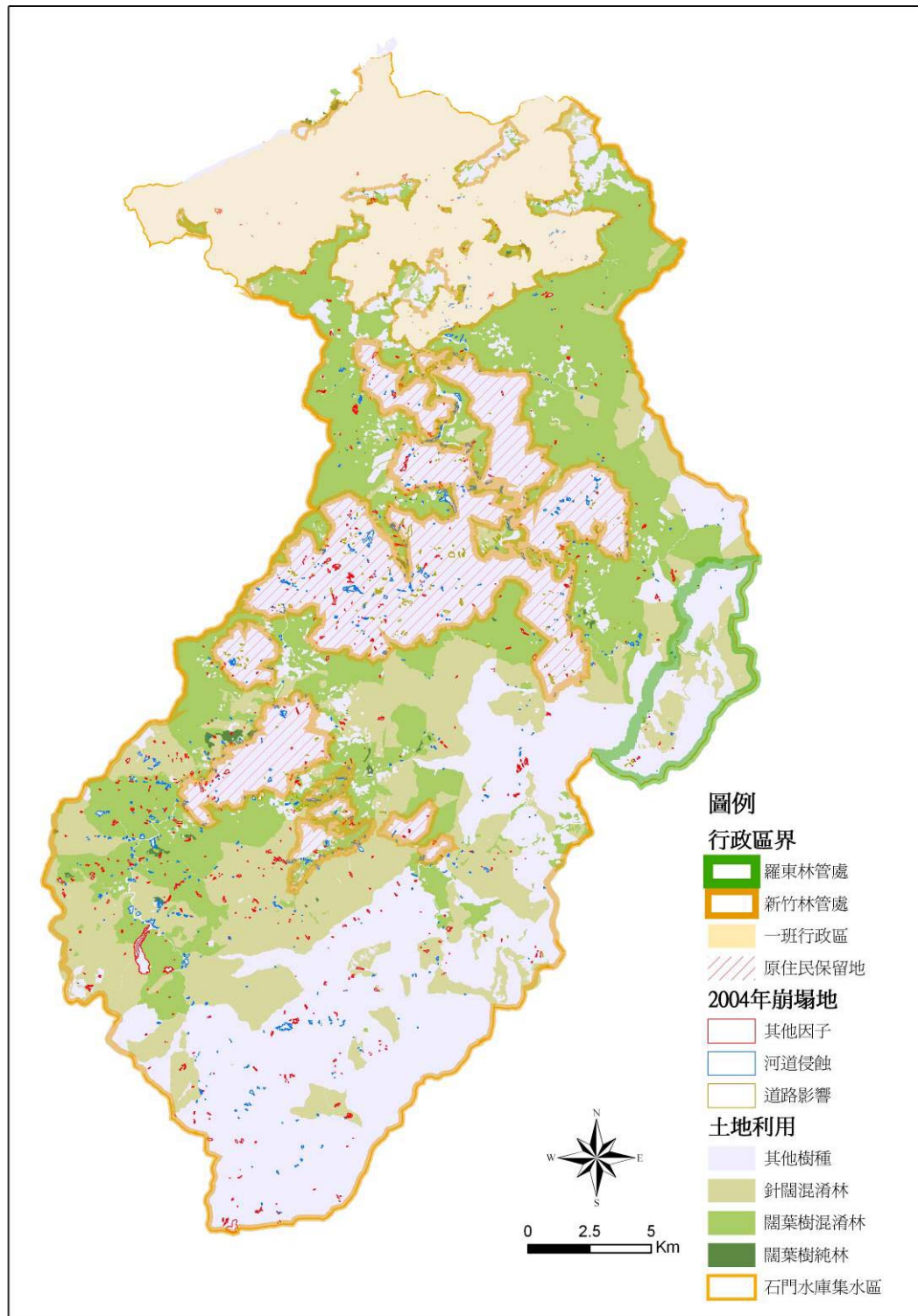


圖 39 2004 年林班界內闊葉林與崩塌地關係

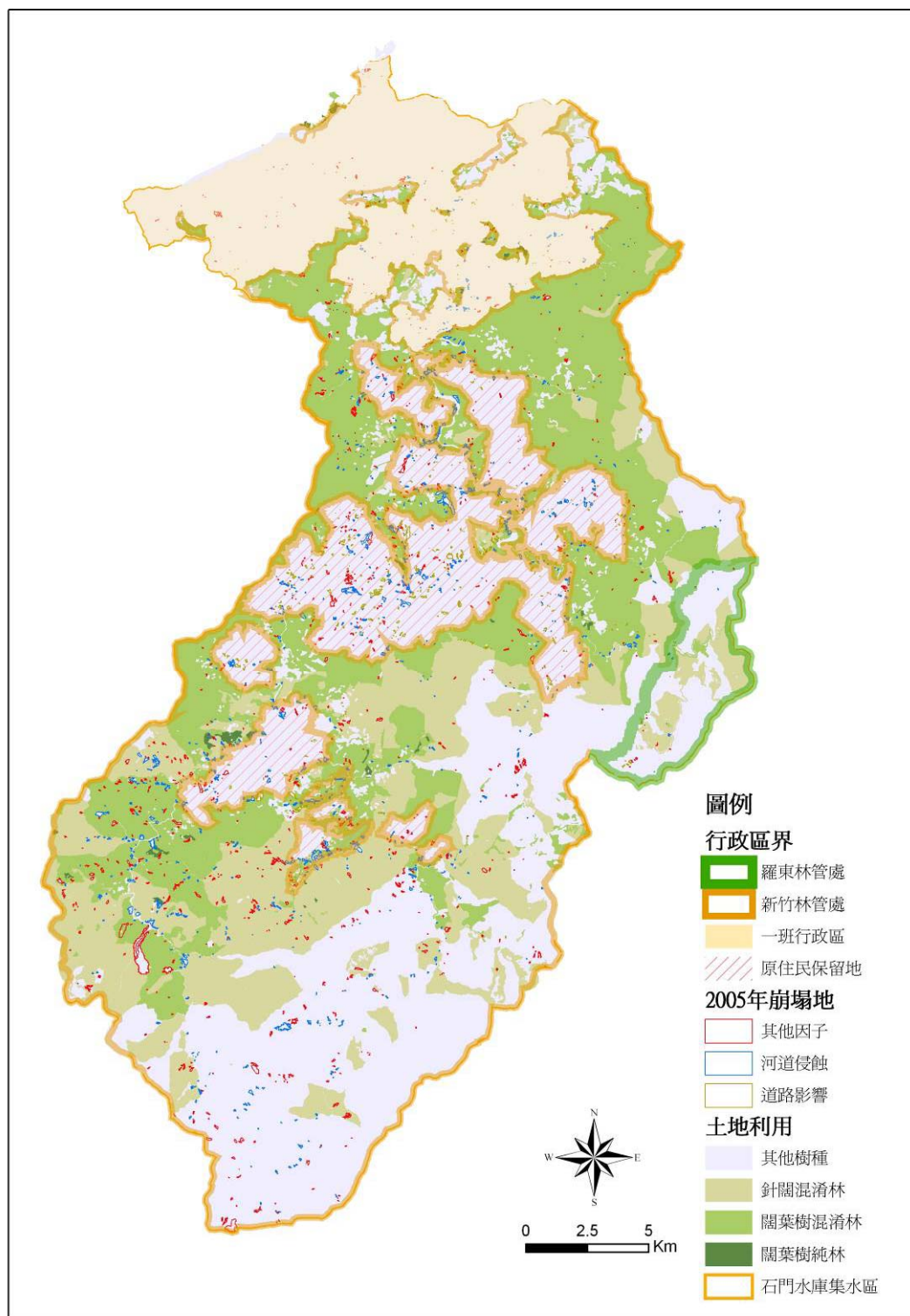


圖 40 2005 年闊葉林與崩塌地關係

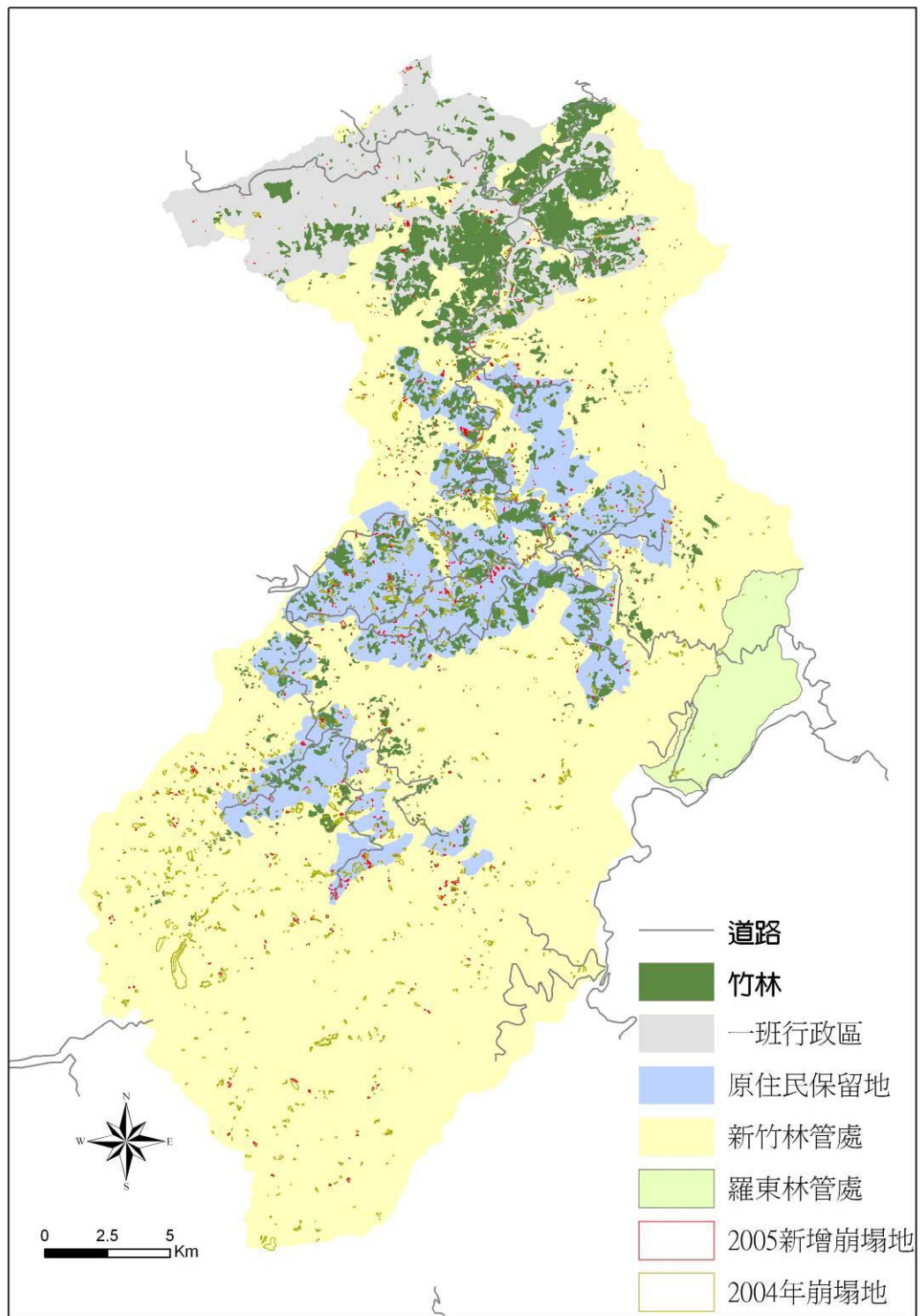


圖 41 2004 年竹林分布與崩塌地關係圖

6.道路與崩塌地的關係

道路在坡度陡峭的山區開發，經常是造成崩塌產生的重要原因，由於道路開發將邊坡坡腳切除，導致岩層自由端出露或上邊坡坡度增加，都會增加崩塌的機率，石門水庫集水區為北部橫貫公路西北東南穿過，且山區分布許多產業道路，很可能對於邊坡穩定有所影響。

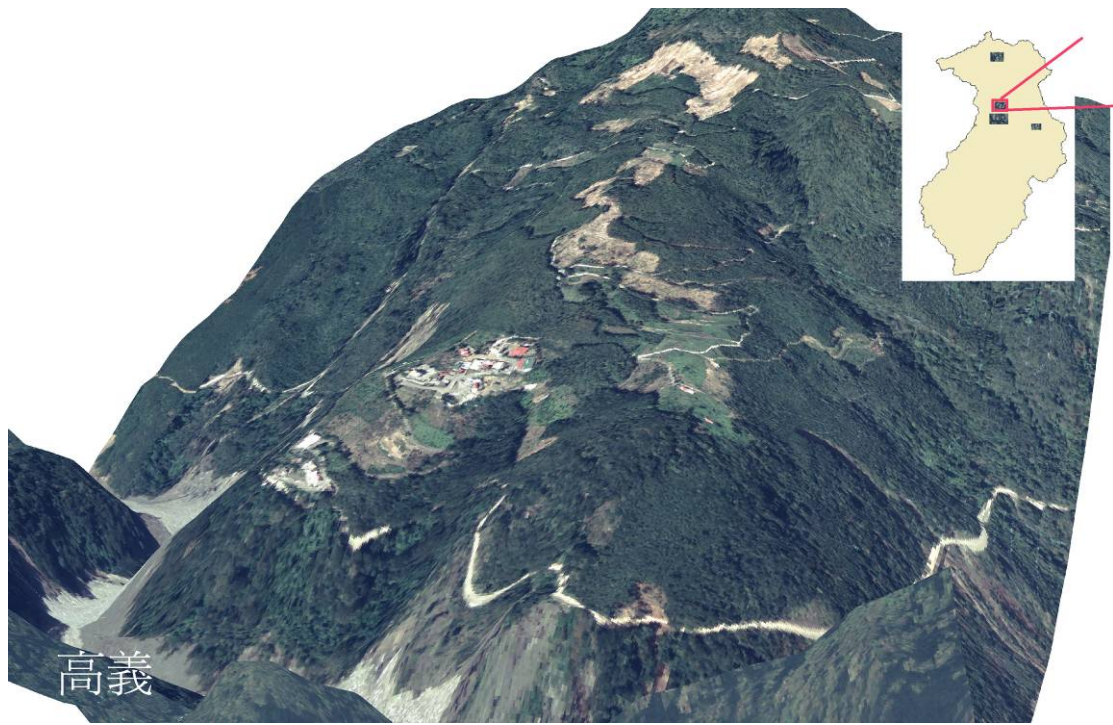


圖 42 高義地區 3D 立體模型

崩塌地面積與稜線距離的關係，本研究以 40 公尺、200 公尺、500 公尺及 500 公尺以上為間距，統計每段崩塌的面積的比例，本研究採崩塌地密度來進行分析，意即統計在距道路 40 公尺內所涵蓋面積與崩塌面積的比例，如圖 43，發現崩塌地在道路 40m 內之崩塌密度最高，而隨著道路距離增加，崩塌地密度也隨之下降，其中，距離道路 40 公尺之內之崩塌地密度為 1.4%與 1.8%，而 500 公尺以外之崩塌地密度為 0.7 左右，因此，40 公尺之內崩塌地密度約為 500 公尺之外的兩倍，顯示道路與崩塌地關係密切。

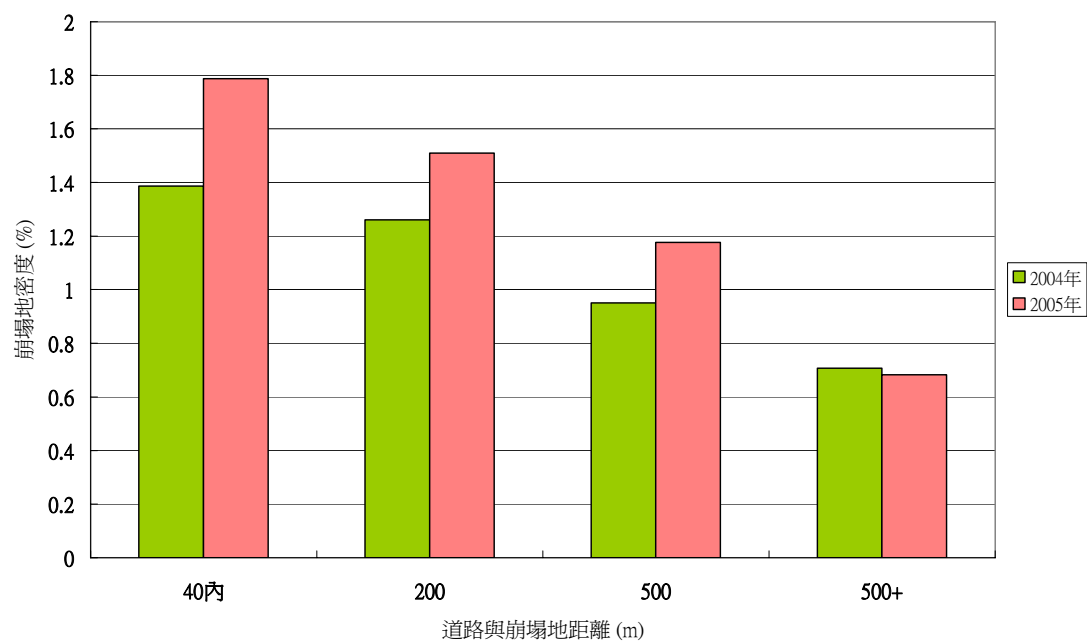


圖 43 道路與崩場地距離關係圖

7.崩塌地與河道淤沙

石門水庫上游有許多支流都埋積著許多沈積物，都是水庫主要的泥沙來源地。經調查瞭解，當航空照片在河道上呈現出白色的條紋時，都代表了河道的堆積現象。而白色線條出現於邊坡上時，也代表了崩塌地的位置與影響範圍。這些白色的色調，常常代表著泥沙的來源與堆積的地方。

以圖 44 為例，由空中鳥瞰溪口台地的航空照片疊合數值模型，可以發現溪口台地對面的復興鄉有許多泥沙堆積於河道中，可能是往後颱風期間，水庫泥沙主要來源。這些堆積的泥沙，如果要用防沙壩的工法攔截泥沙，只能攔截一部份，大部分的泥沙仍將往水庫堆積。



圖 44 溪口台地 3D 模擬圖

溪口台地位於石門水庫的高水位處，是上游泥沙主要的堆積處。本圖說明這一帶的河道經過泥沙堆積，已經慢慢變成埋積河床。河道旁的支流仍然繼續帶來許多泥沙，並形成許多的堆積現象。圖 44 下方的溪口台地，可以看出已經有許多的開發。

圖 45 利用石門水庫 3D 視覺模擬上游集水區的原住民聚落，說明陡坡地上的建物，與大自然的部落開發狀況。值得注意的是這些聚落與果園，除了在丘陵地的稜線上與頂部大量開發外，往往需要連外道路提供交通服務，因此照片中，凸顯出道路兩旁的泥沙沖刷與崩塌現象，應該跟交通工程（產業道路）有關。

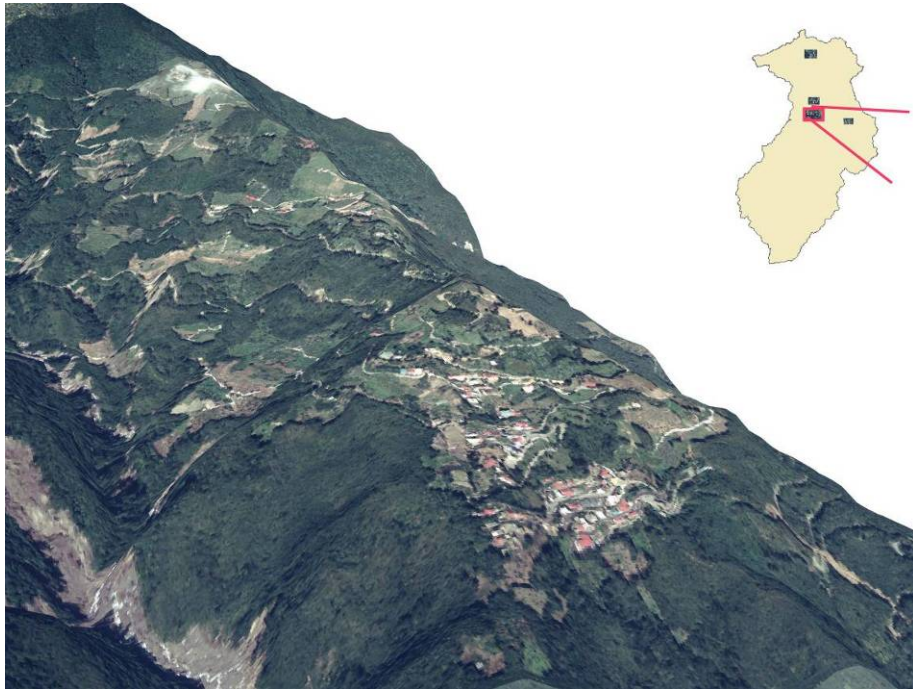


圖 45 石門水庫原住民保留地鳥瞰圖

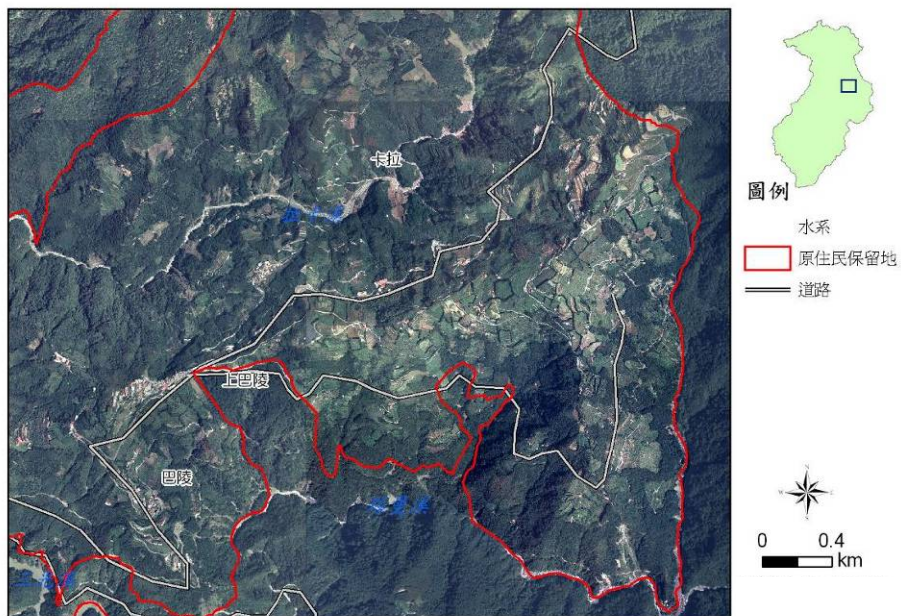


圖 46 巴陵地區原住民保留地範圍圖

圖 46 顯示，原住民保留地已經由森林被大量的開發成果園或農田。河流兩旁尤其是攻擊坡的位置和道路兩旁還有許多的崩塌地。規模雖然不大，但是也可以看出道路工程抵抗地表沖蝕的作用，常常是受到侷限的，也無法應付巨大的颱風豪雨等現象。

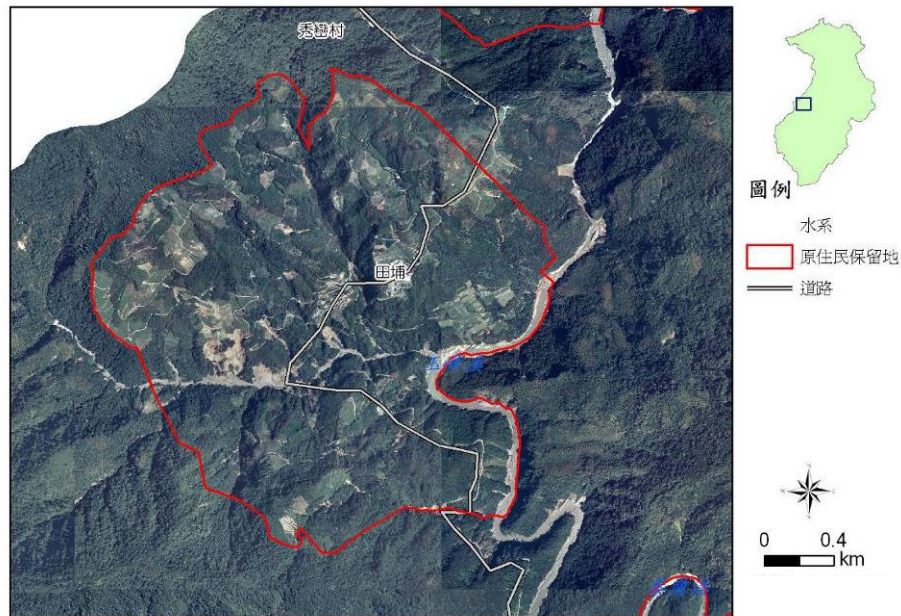


圖 47 原住民保留地的範圍與果園開發的關係圖

圖 47 說明原住民保留地的範圍與果園開發的關係。整個環狀區塊可看出道路、埋積河道與開發的範圍。區內有許多小規模的崩塌物質堆積於邊坡上。同時也有許多土沙來自過去的崩塌而堆積於河道上。相較於保留區界外面，外面雖然也有崩塌現象，但是沒有如此破碎的現象。

由圖 48 可以看出崩積物由冠部到趾部超過兩公里。主要的崩積物質順著河床向下游移動，造成埋積與下切作用同時發生。留下裸露的崩積物堆積於河床。準備被下次的颱風豪雨沖刷。當颱風時期，這些大型崩塌地常常成為石門水庫的主要泥沙來源。說明這些大型的崩塌地的分布，實際上不限於山地保留地的範圍與否。崩塌是自然的現象，但是保留地是否因為人為的開發，造成許多的崩塌，尤其是道路的開發，而引發出泥沙沖刷與堆積，則可以從圖 45-47 看出端倪。

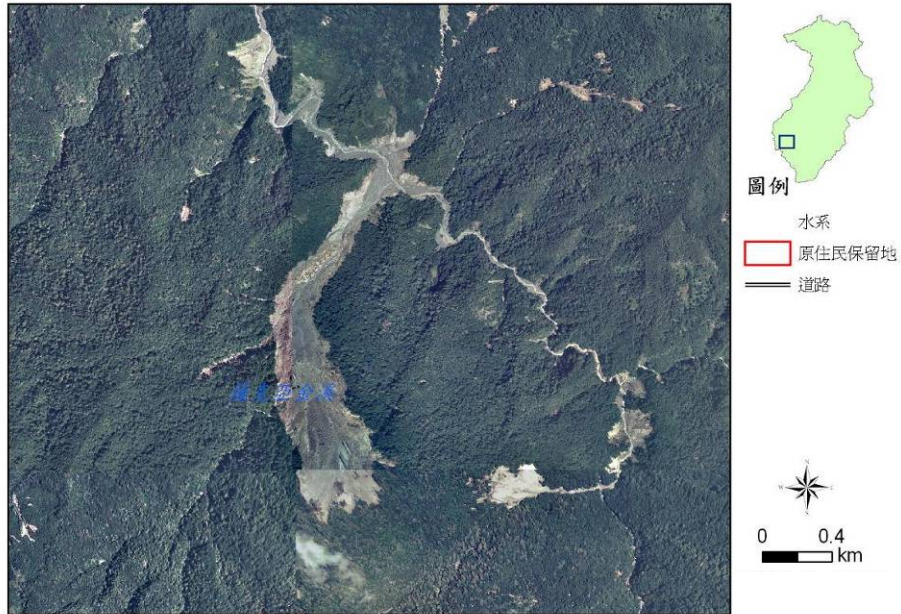


圖 48 白石溪大崩塌地影像圖

本崩塌地為區內最大的崩塌地，沿著河谷向下邊坡移動，屬於地滑兼有土石流的特性。崩積物由冠部到趾部超過兩公里。主要的崩積物質順著河床向下游移動，造成埋積與下切作用同時發生。河道埋積現象於支流入主流處特別明顯，豪雨後，也能把原來埋積的物質搬運到下游，留下裸露的崩積物堆積於河床，準備被下次的颱風豪雨沖刷。

8.崩塌地判釋與簡確法

本研究除了判釋土地利用與崩塌地的分布外，也將研究影響崩塌地發生的因子，找出潛在的崩塌地可能發生的區域。

在評價是否為潛在發生崩塌區域的方法上，本研究採用台灣大學張石角教授所提出之「簡確法」來進行評估。在災害的評估上，學界普遍已經接受災害通常具有「部分地形地質特徵」，但對於將這些地形特徵以量化的方式統計分析，則鮮少有實用的方法。張教授認為，地表環境是「地形」（外營力作用）與「地質」（內營力作用）互相影響之下的結果，既不能只討論地形，也不能光看地質構造，便將評估的對象定義為「環境地質」。

「環境地質」將邊坡穩定度分為七個主要的影響因子：坡度、高差、動態地形作用、地質構造與坡向之關係、岩質、不連續面之傾角及土壤厚度。而水雖然為影響崩塌地發生的重要因子，但並非為預測上必要之項目，故予以省略。以上七個因子中，坡度、高差、動態地質作用屬於地形作用的範疇；岩質、不連續面之密度、土壤厚度屬於地質因子；至於地質構造與坡向之關係則為地質與地形相對關係的研判。（張石角，1987）

表 13 環境地質的內涵

環境地質	地形因子	坡度（包含其在空間上之連續變化）
		高差
		動態地形作用（坡上之崩坍或蝕溝之發展程度）
	地質因子	地質構造與坡向之關係
		岩質（岩石種類及其工程強度）
		不連續面之傾角（包括層面、片理面、節理面等）
		土壤厚度（包括土壤生成種類）

改編自張石角，1987

簡確法的評分單元，也是簡確法最重要的核心，為「坡單元」坡面上坡向與坡度都相同的均質區域。因為均質，區域內的環境地質條件非常接近，在評估是否發生崩塌時可視為一個整體。在本研究的操作上，將以台灣 40m×40m 的 DTM 為高程資料，圖面資料則以 1/5000 的航空照片為準，進行集水區的坡單元劃分。

劃分完成後，將上述七個因子的評分項目帶入各個坡單元中，分別進行各項敘述的評分動作。敘述的評判上，愈具有危險性者，其得分愈高，反之為低。最後依據各項因子的評判結果，進行潛在崩塌地的判定工作。

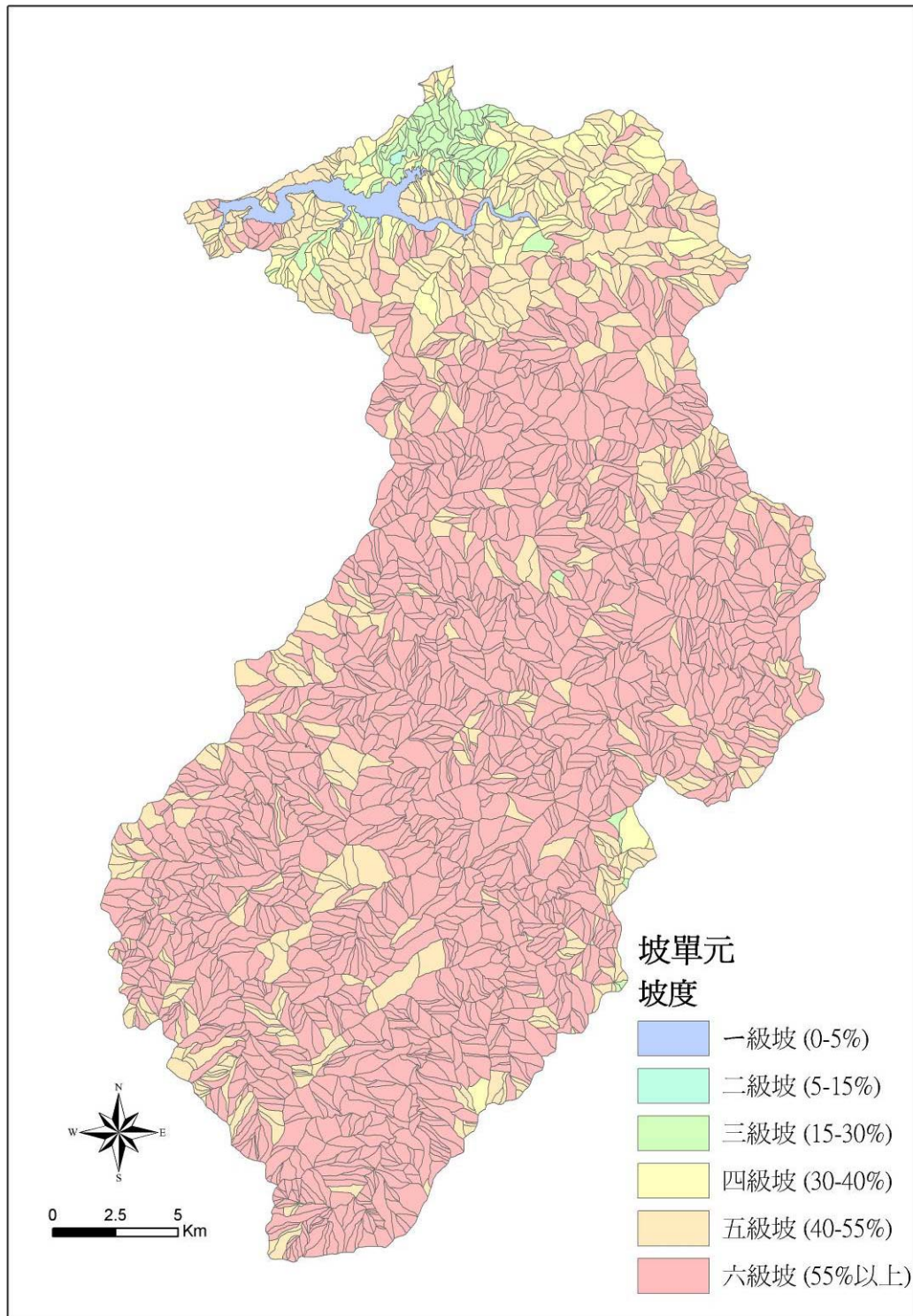


圖 49 坡單元的坡度圖

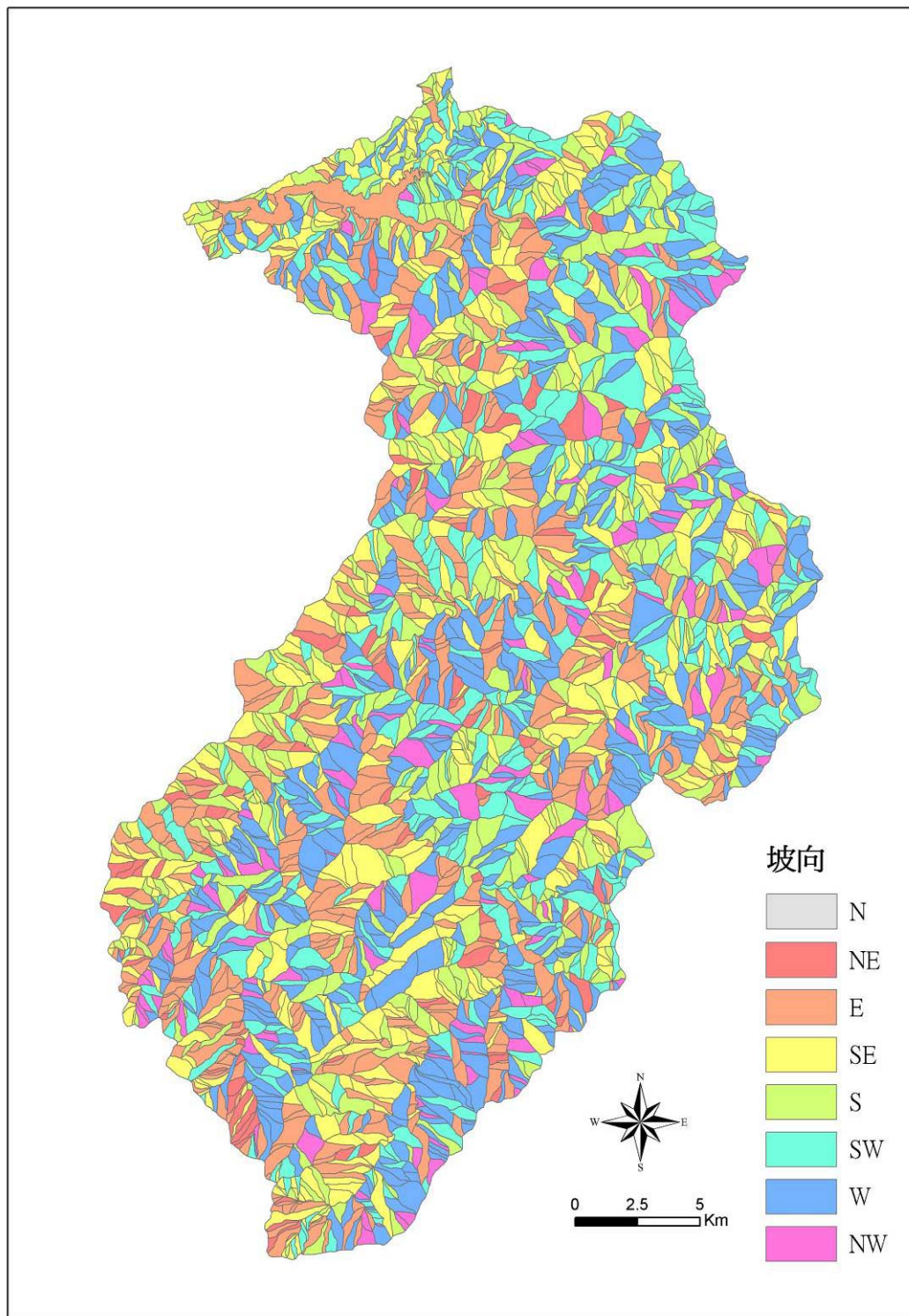


圖 50 坡單元的坡向分級圖

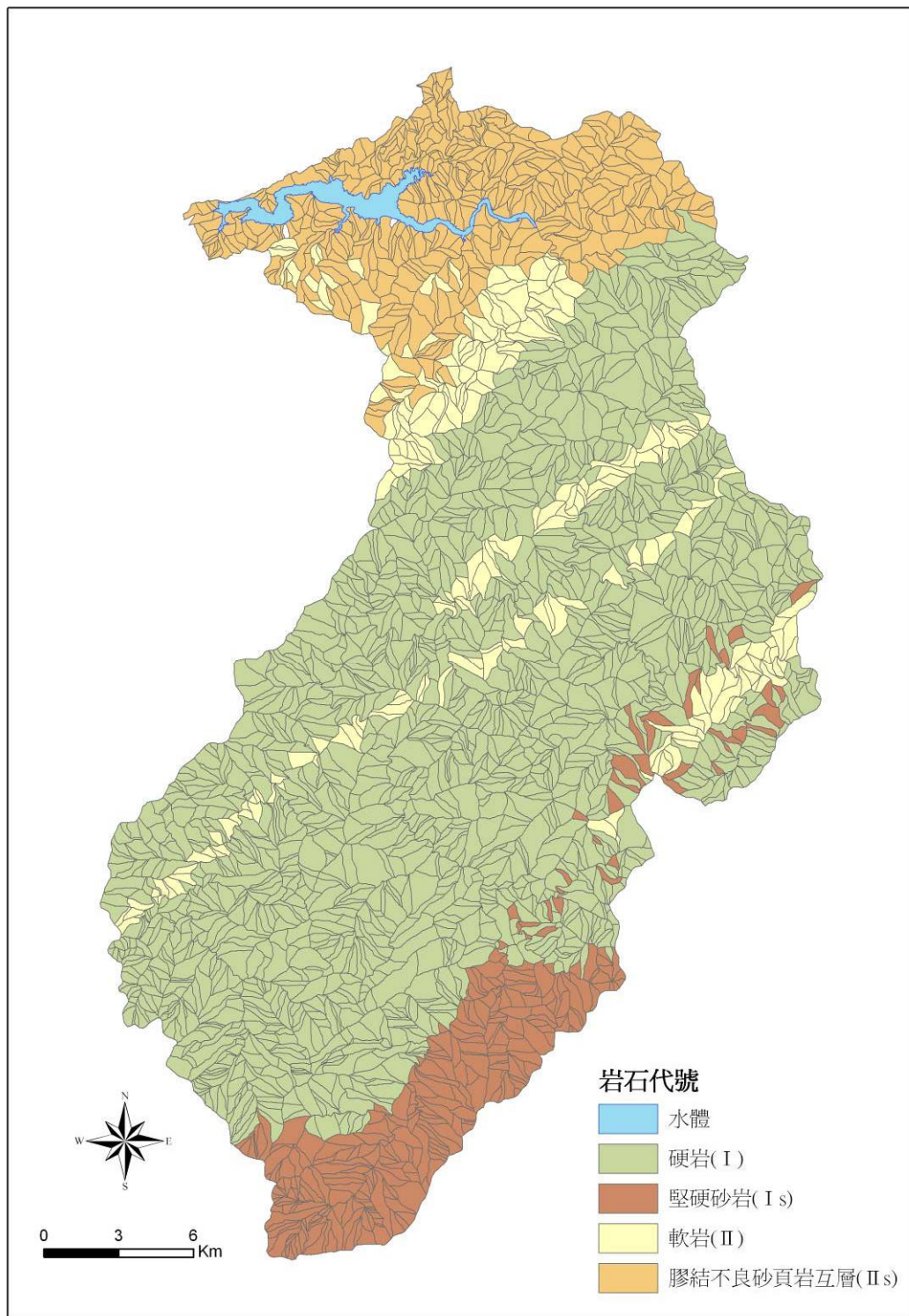


圖 51 岩石性質圖

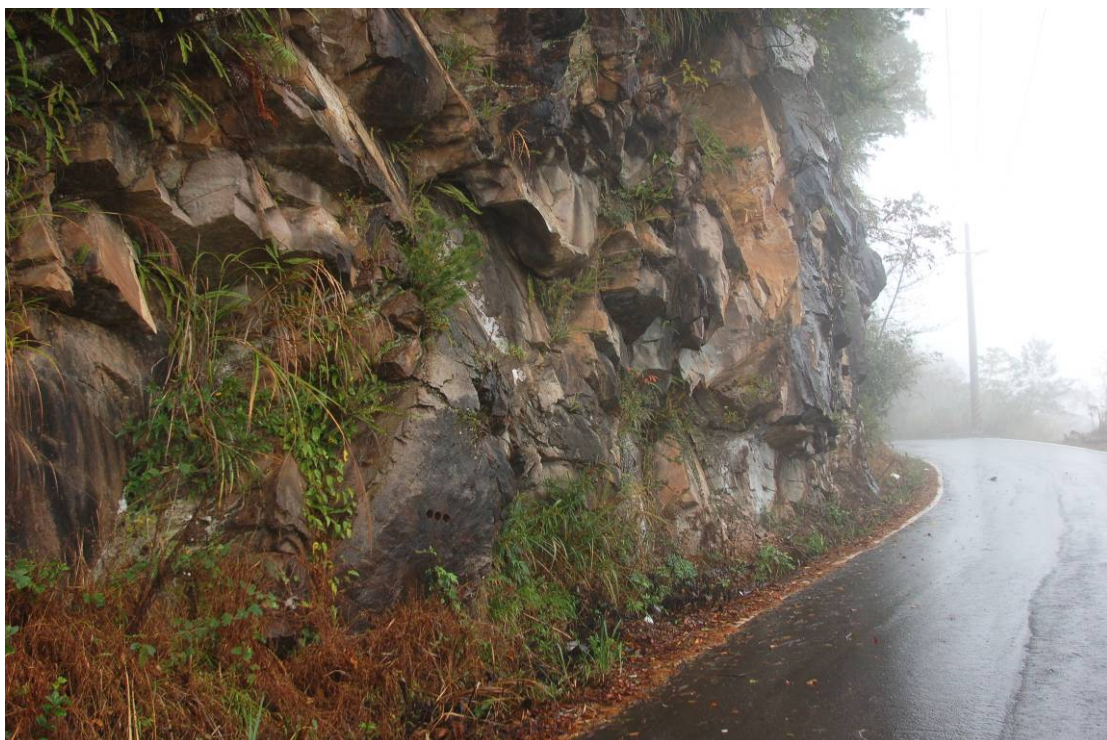


圖 52 位於玉峰附近之露頭，編號 C37



圖 53 位於三光附近之露頭，編號 C43

表 14 岩層位態量測結果表

編號	TWD67_X	TWD67_Y	走向	傾向	傾斜
C31	286,345	2734,500	N60° E	150°	80°
C32	283,845	2728,105	N50° E	140°	20°
C33	283,138	2727,828	N80° E	350°	80°
C34	282,651	2726,696	N60° E	150°	70°
C35	281,725	2726,899	N20° E	110°	45°
C36	279,036	2727,973	N0°	90°	45°
C37	277,635	2727,440	N37° E	127°	75°
C38	277,143	2726,232	N70° E	160°	90°
C39	276,881	2725,524	N0°	90°	25°
C40	277,865	2725,000	N40° E	310°	85°
C42	282,309	2728,666	N80° E	170°	45°
C43	282,828	2729,504	N80° E	170°	45°
C44	285,685	2730,140	N90° E	180°	45°
C45	287,022	2732,250	N50° E	140°	35°
C46	286,345	2732,602	N60° E	150°	35°
C48	284,418	2734,633	N45° E	135°	45°

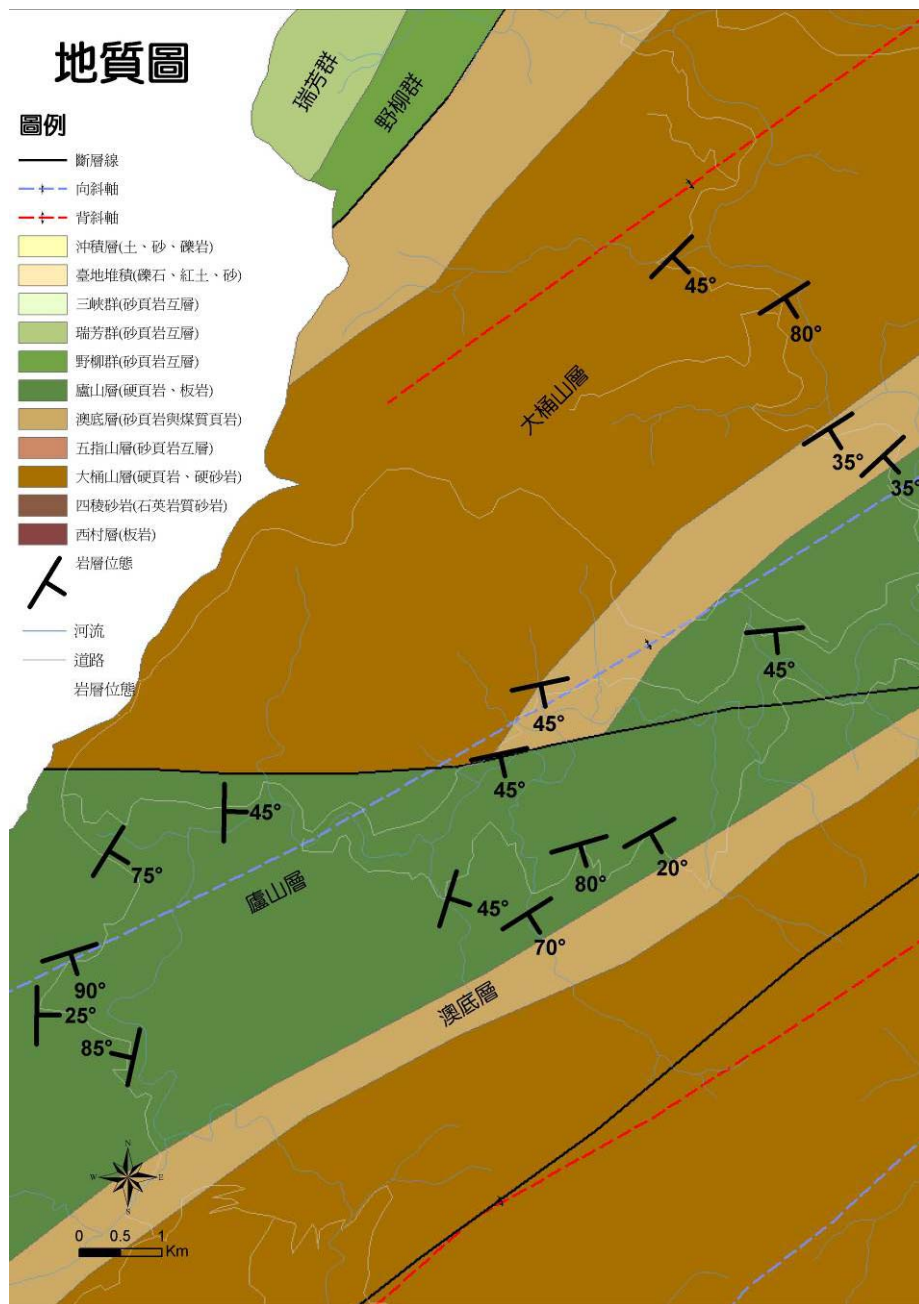


圖 54 野外實地勘查之岩層位態

Goodman (1989) 定義為岩層傾向角與坡面傾向角相差30度，定義為順向坡。但是在我國水土保持規範，第五十二條訂定坡面與岩層不連續面之位態關係為坡面傾向與構成該山坡岩體中不連續面之傾向一致，或兩者走向交角二十度以下。由此可知，各學術研究單位對於順向坡的確切差異角度並無一定的看法，但是可以認定的是其角度變化是連續的，本研究採用Goodman (1989) 之定義，來推算。

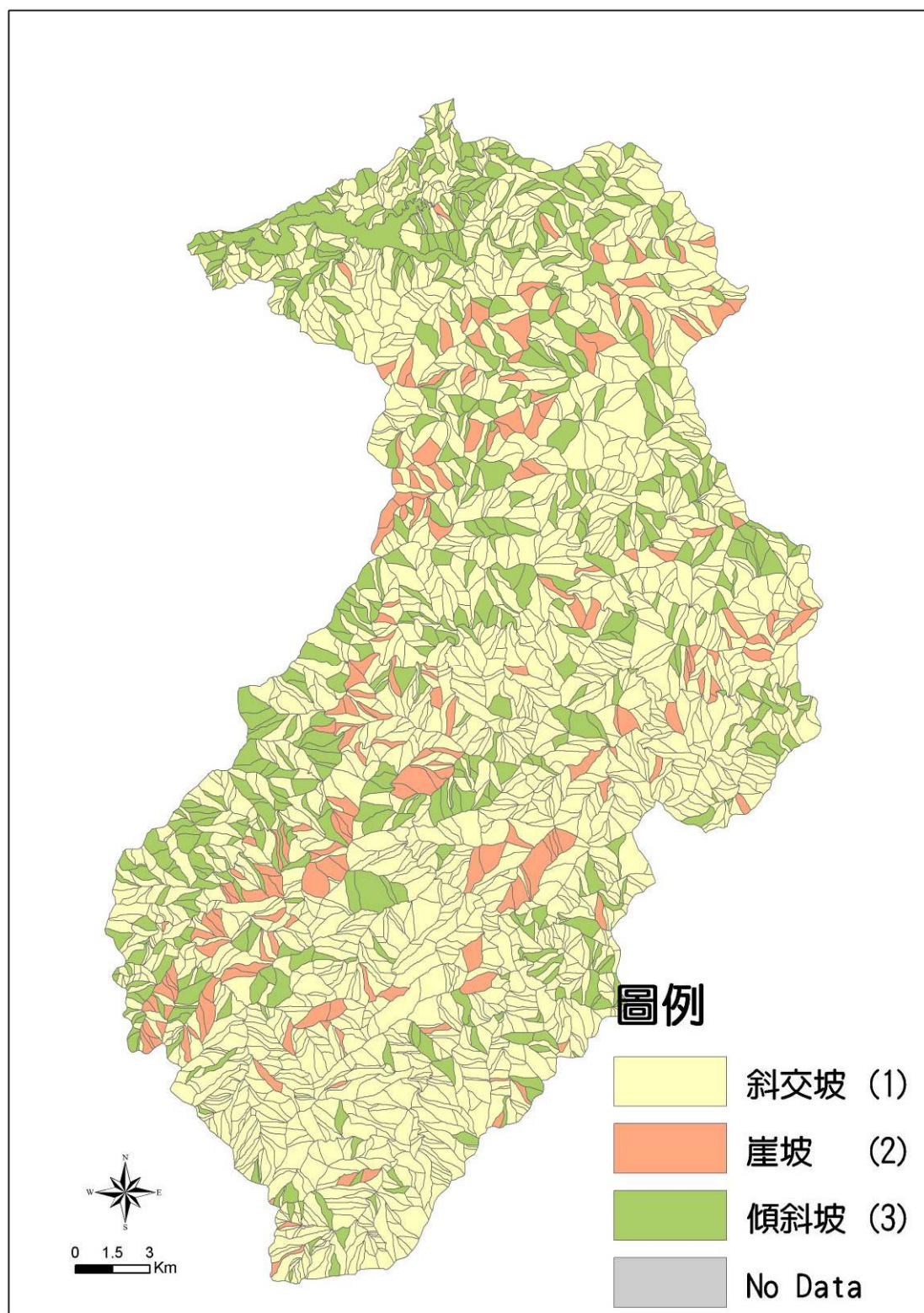


圖 55 坡單元坡形分類圖

表 15 地表沖蝕現象分級表（張石角, 1987）

等級	地表現象	現象描述
1	不顯著	坡面上無明顯之溝痕，逕流沒有匯集的現象
2	小沖蝕溝	同一等高線轉折兩段延長線之交角大於 90 度
3	中沖蝕溝	60~90 度
4	大沖蝕溝	小於 60 度
5	舊崩坍地、煤渣堆	
6	新崩坍地	
若坡度大於 45% 時，等級必須再加一級		

邊坡受到土壤沖蝕形成雨溝和溝蝕，將邊坡侵蝕許多大小不等的蝕溝，為了將大小蝕溝加以定量分級，本研究利用兩萬五千分之一經建版地形圖，分析等高線折曲的夾角，以作為劃分坡單元的沖蝕程度的依據。

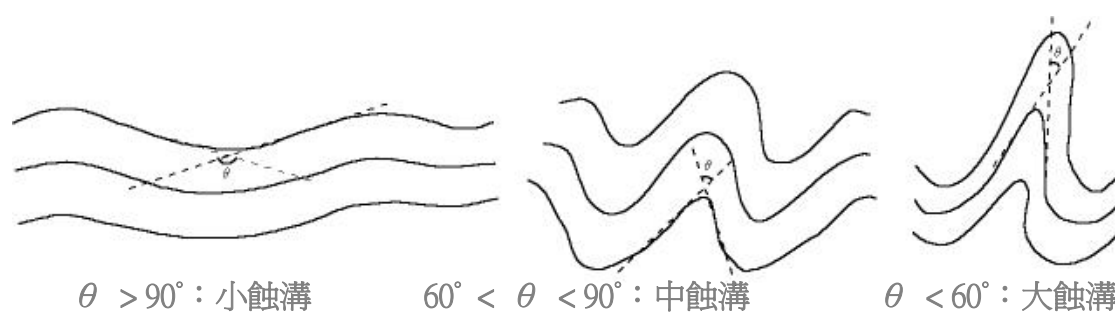


圖 56 坡單元蝕溝分類圖

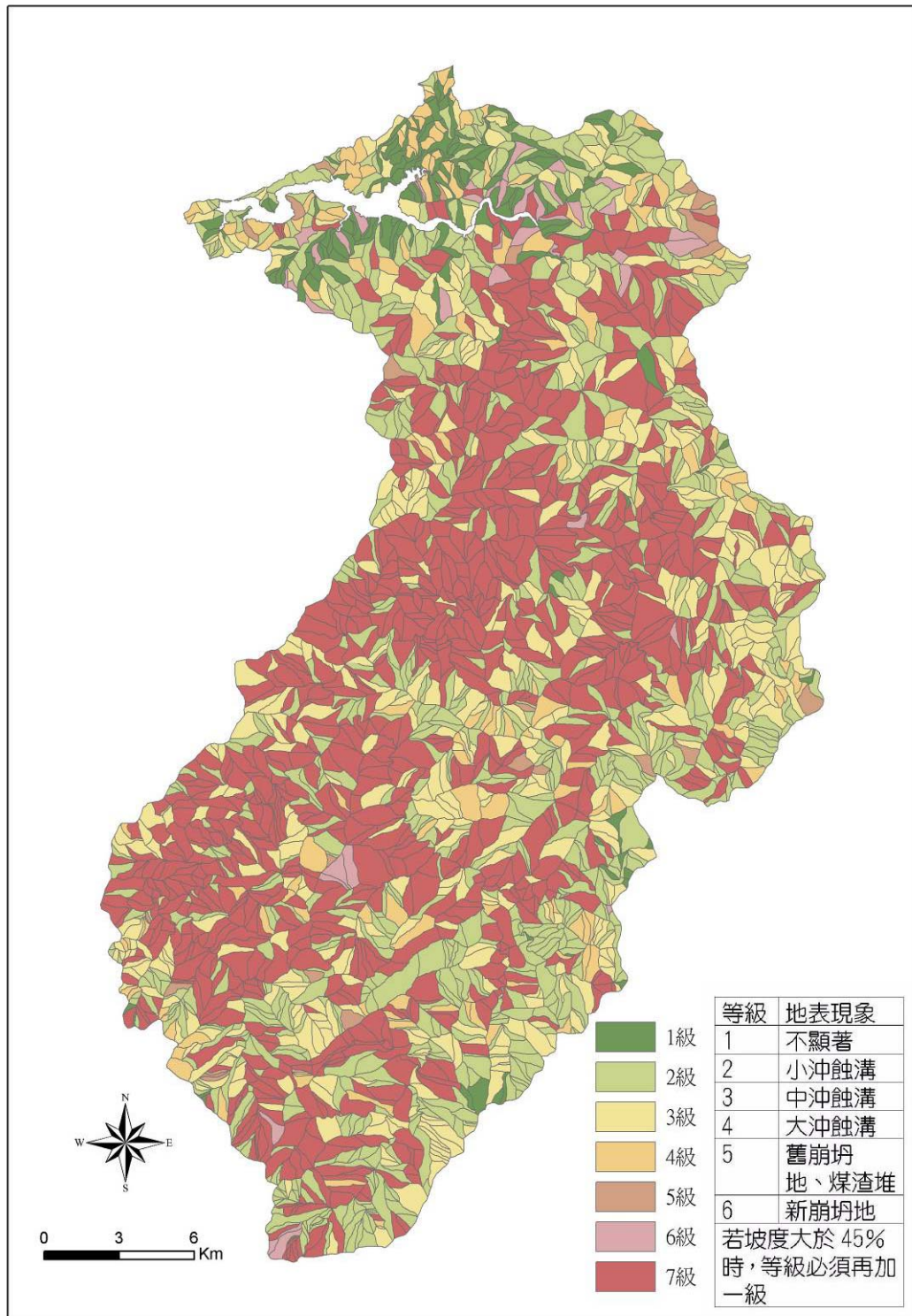


圖 57 動態地形圖

表 16 山坡地潛在崩山災害之空間預測

	辨識準則	土壤厚度	坡型	岩質	動態地形作用	坡度	備註
	崩山類別						
山崩	岩石滑移	A	-	I	-	>6	
	岩石滑落	A,B	3	II _s	-	>=2	
	岩屑滑落	A,B	1,2,3	II	-	>6	
	岩屑滑崩	C	-	-	>=2	>6	
地滑	平面型地滑	A,B	3	I _s	-	>=4	
			-	II _s	-	>=2	
	弧形地滑	C	-	-	-	<4	
		-	-	II _{b,k,n}	-	-	淺滑動面
	楔形地滑	A,B	兩組不連續面交線之順向坡	I _g	-		
	翻轉地滑	A,B	2,3	II	-	-	
潛移		C	-	-	-	>=2	
土石流		C	-	-	>2	>=2	一二級坡
沖蝕		C	-	-	>2	>=6	
		A,B	-	II	>2	>=6	

改編自張石角（1987）

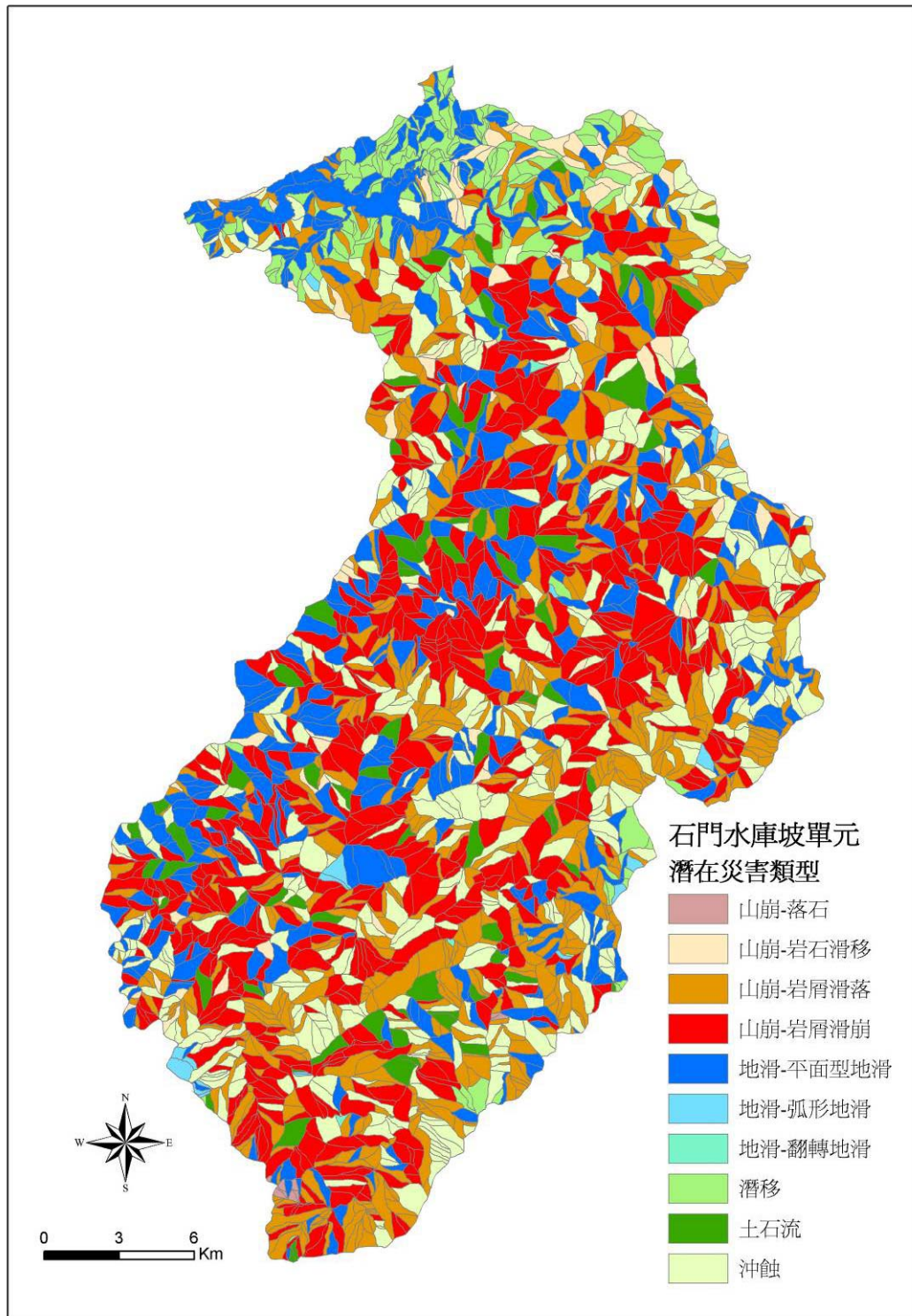


圖 58 簡確法之潛在災害類型

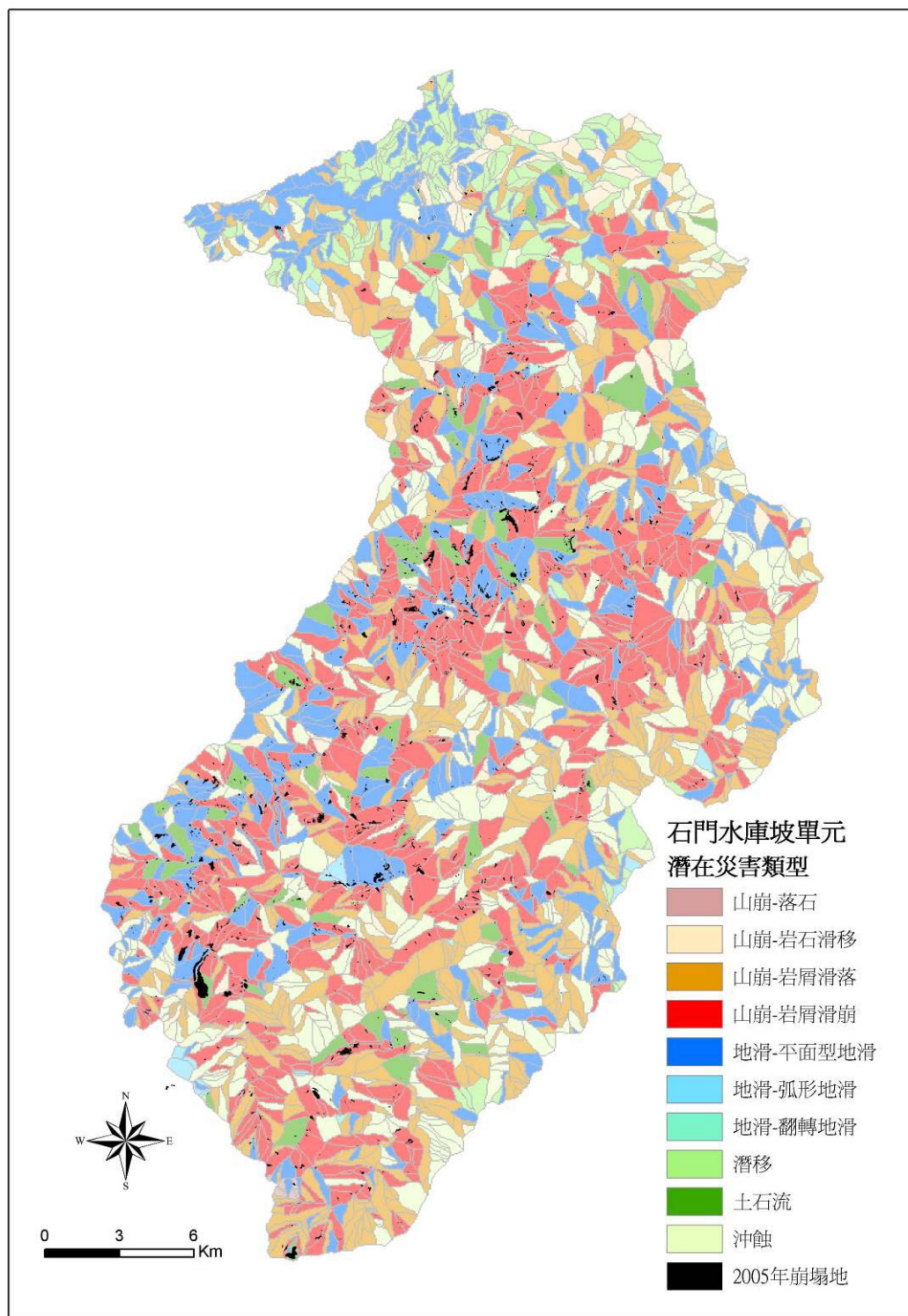


圖 59 簡確法之潛在災害類型與 2005 崩塌地套疊圖

本研究所以人工判釋出的崩塌地，與農林航空測量所於 2004 年所判釋出的崩塌地，在崩塌地個數與面積上，有著些許的差異（農林航空測量所 1732 個）。經過相互檢查比對，此一差異造成的原因，可以歸類為以下幾點。

1. 影像年代不同：

本研究所取得的石門水庫集水區航空照片，不是一次航拍就拍攝完成，有使用到不同航次的照片來補足影像品質不良的部分。不同時期航拍的照片，就可能因為跳過了颱風降雨事件，而沒有記載到新崩塌地的發生或就崩塌地擴大，導致判釋出的崩塌地數量與面積都較少。此一問題，可在取得較新的航空影像後，將未記載到的崩塌地補上，解決問題。

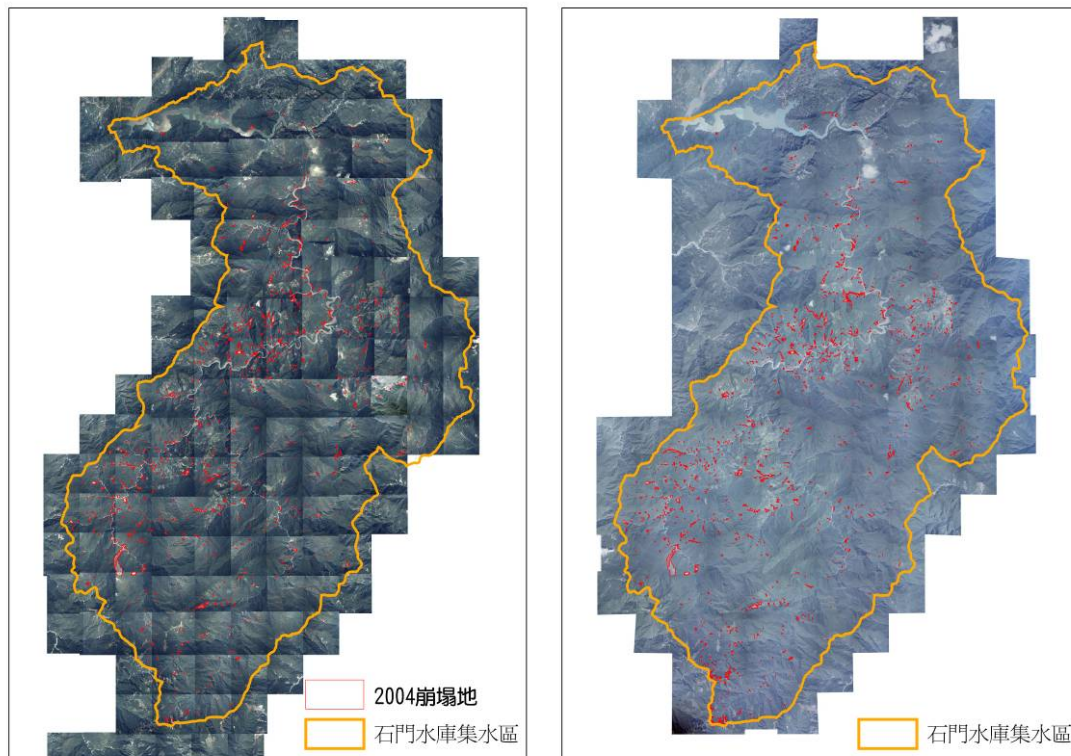


圖 60 不同時期航空照片之崩塌地比較（2004 年與 2004.9-2005.7 年）

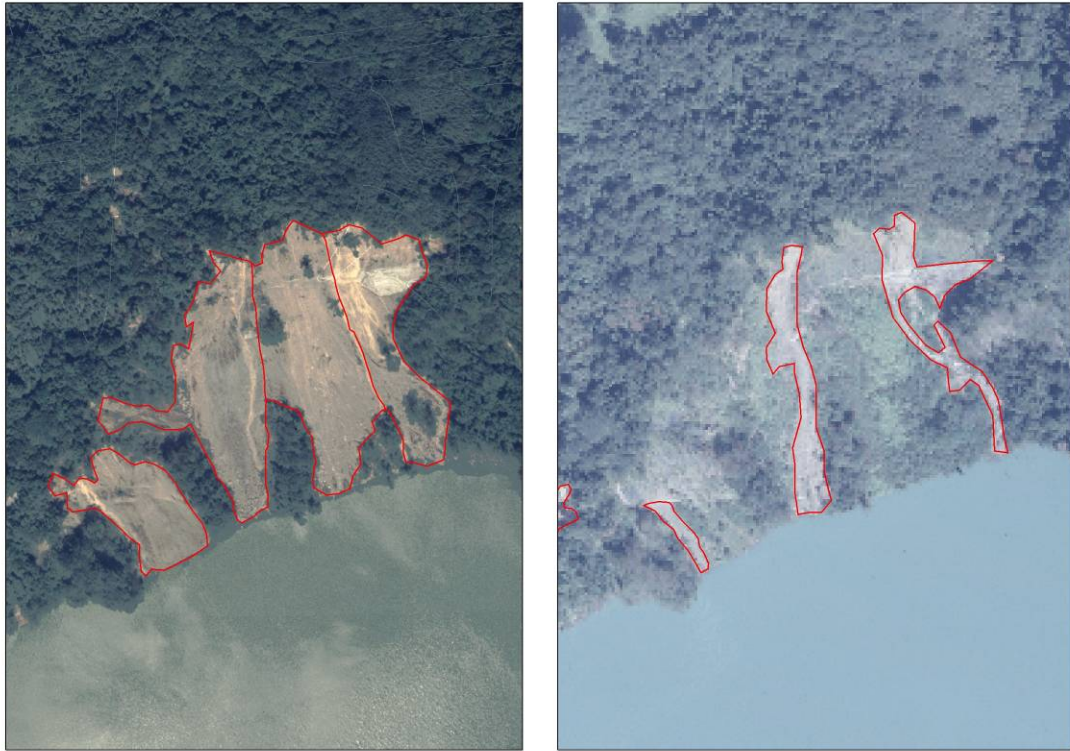


圖 61 崩塌地在不同時期航空照片之影像
(左圖為 2004 年，右圖為 2004.9-2005.7 年)

2.崩塌地判釋界線不同：

由於各判釋單位對於崩塌地劃定的定義不盡相同，可能發生判釋同一個崩塌時，出現不同個數與面積的情況。舉例來說，本研究對於發生土石流的崩塌地點，劃定崩塌地的範圍為土石供應區，不包含土石輸送區與堆積區。

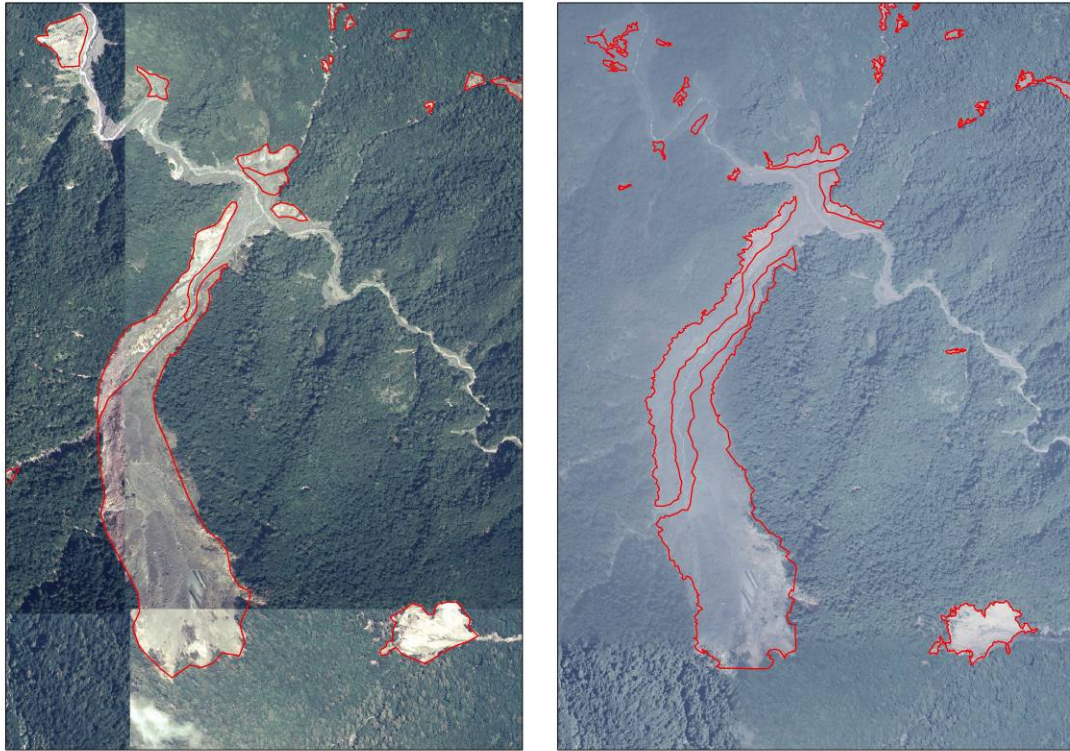


圖 62 同一崩塌地以不同判釋標準之結果

3.判釋的準確性：

本研究所判釋的崩塌地，最小的面積為 96 平方公尺，也就是說，崩塌地的大小至少要有一公畝的面積。此一作法雖然會造成小於一公畝的崩塌地無法被判釋出來，但也相對的能避免一些雜訊造成的誤判。例如山區的產業道路，其在航空影像上的外型，十分類似線狀的崩塌地。在崩塌地判釋結果的交互檢查時，就有發現誤判的情況。此外，對於影像判釋上的認定，如裸露地、岩質的部分是否要判成崩塌地，草生地是否為崩塌地的認定，都會形成判釋結果上的誤差。



圖 63 不同單位判釋結果之差異（1）（左：本研究；右：農航所）

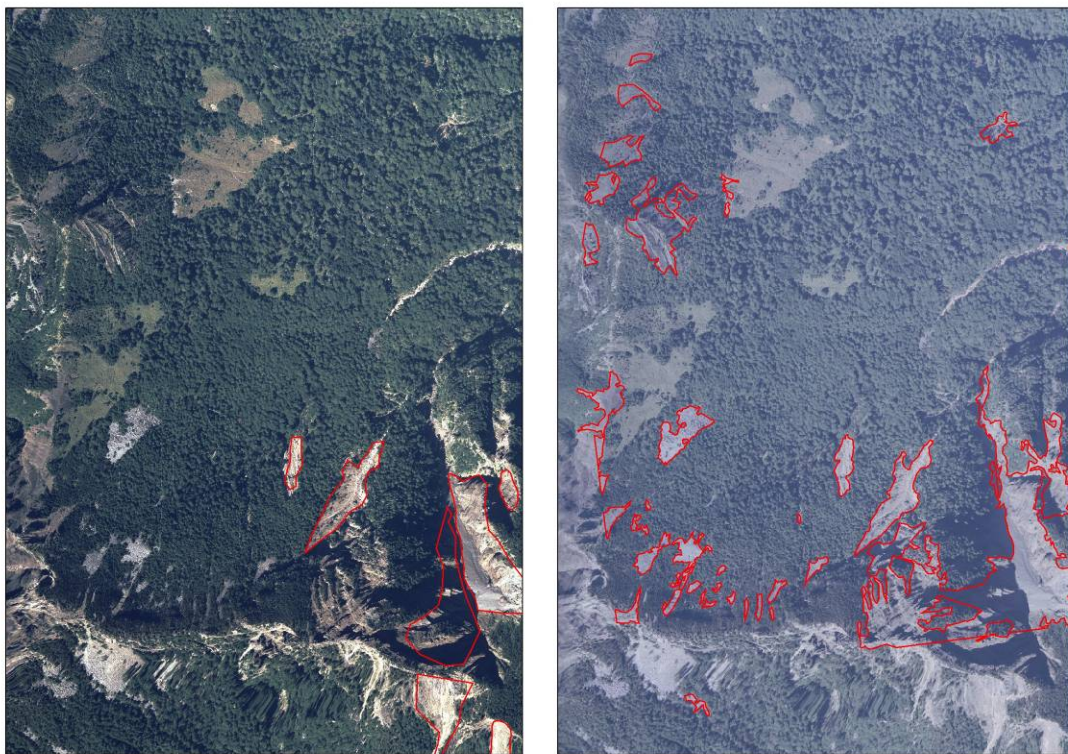


圖 64 不同單位判釋結果之差異（2）（左：本研究；右：農航所）

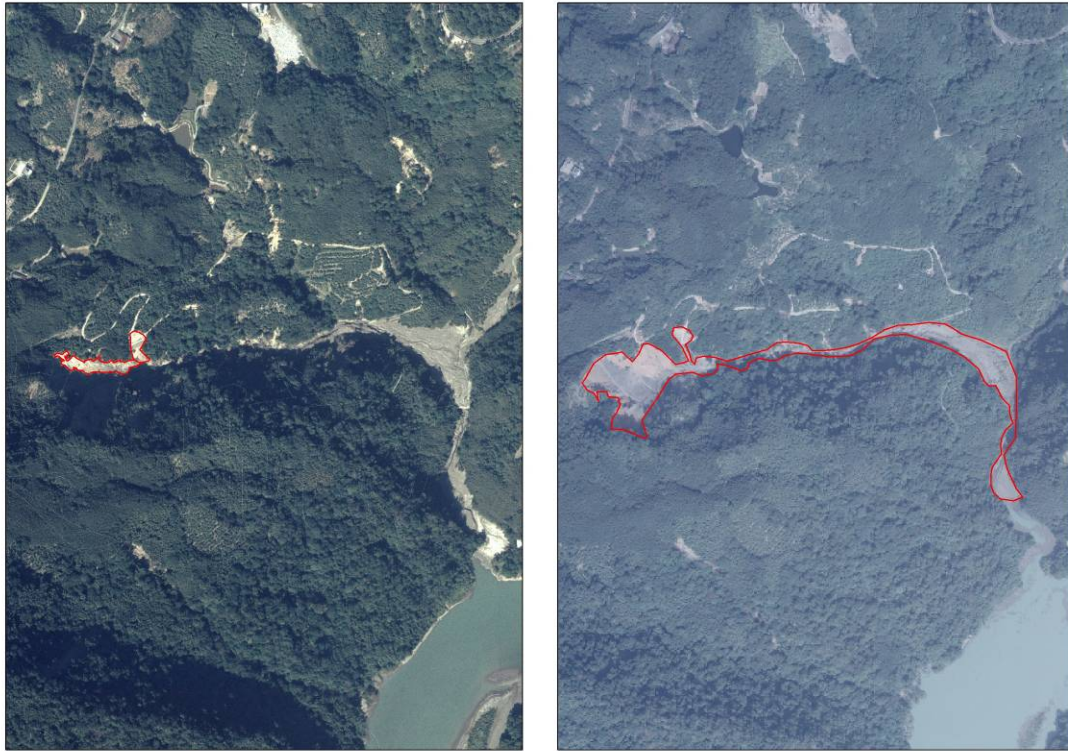


圖 65 不同單位判釋結果之差異（3）（左：本研究；右：農航所）

4.崩場地邊緣線數化：

航空影像在正射化時，會犧牲掉部分的空間資訊，此為將三度空間資訊轉換為二度空間資訊時必定的損失。此一損失，會影響到在斜面上崩塌地面積的統計情況。計算崩塌地面積時，是以崩塌地投影在平面的面積為準。但實際上，崩塌地為向下延伸的地貌單元，在投影時會造成表面積的損失，使得崩塌地的面積比實際來的小。

5.影像解像力不同

以不同解像力的影像去判釋崩塌地必然會有所誤差，包括從 SPOT 衛星影像與正射化航照圖得到的不同解析度，正射化影像也有不同解析度之數值影像，並且會影響崩塌地邊緣線的繪製、崩塌地的判釋準確度等。

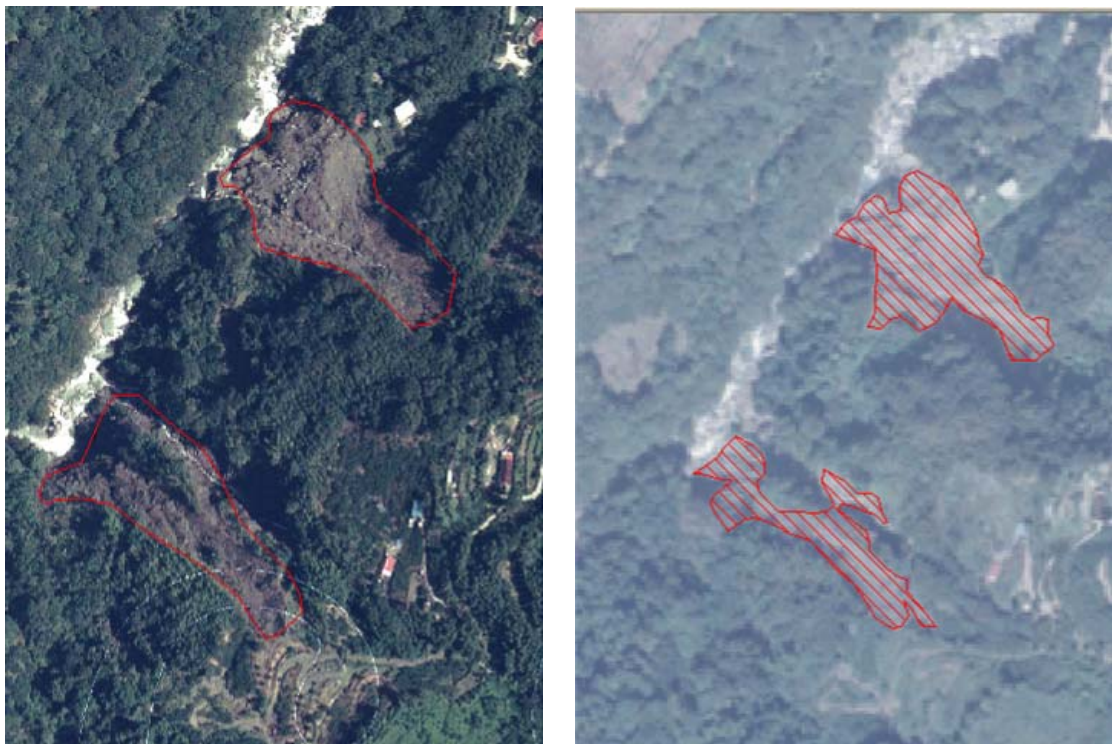


圖 66 不同解像力判釋結果之差異（4）

五、石門水庫結果與討論

1. 1996 年到 2004 年土地利用林地約減少 11%、竹林增加 8%，而竹林主要增加在靠近石門水庫庫區之復興到高義段。
2. 石門水庫集水區，從 1986 年到 2005 年之崩塌地持續增加的情形，其中 2004 年到 2005 年崩塌地數量由 1,815 處增加為 2,480 處，增加了 36%，崩塌地增加數量相當大，值得相關單位持續監測。
3. 原住民保留區的崩塌地密度比林班地的崩塌地密度高兩倍，達到 1.5%，而林班地的密度只有 0.55%，崩塌的來源與河道侵蝕與道路開發有關。
4. 集水區內之崩塌地主要是自然作用的河道侵蝕類型為主，尤其在攻擊坡的地方，特別容易發生，另外，道路對於崩塌地之發生也有一定影響。
5. 林班界內之崩塌地主要發生在闊葉林區，特別位在白石溪流域內，而竹林內崩塌地密度相對較低，而崩塌地之分布與道路相關，崩塌地密度隨著道路距離減少。但 2004 年到 2005 年之間，部分新增崩塌地皆發生在竹林與闊葉樹混淆林，崩塌面積雖不大，值得持續觀測竹林之崩塌地變化。
6. 本研究完成石門水庫集水區坡單元兩千餘個，並利用簡確法完成潛在災害類型圖，以利相關單位日後規劃之參考。

六、大甲溪資料收集

大甲溪流域位於台灣之中西部，北鄰大安溪，南界烏溪，主流全長 140.21 公里，流域面積 1,309.22 平方公里，流域內山地與台地約佔 90%，平地僅佔 10%。大甲溪發源於雪山山脈之雪山（海拔 3,886 公尺）及中央山脈之南湖大山（海拔 3,740 公尺），分水嶺高峰多在 3,000 公尺以上，為典型急流河川。最上游為南湖溪，至太保久附近與伊卡丸溪匯合後始名大甲溪，流經梨山、佳陽至德基達見，河幅較為寬廣；德基水庫以下則成帶狀，經谷關、白冷、馬鞍至東勢流入平原，過石岡後蜿蜒流向西北，於清水附近入海。

大甲溪流域位於北回歸線北方屬於亞熱帶氣候區。其位置介於東經 120° 31' 至 121° 31' 及北緯 24° 10' 至 24° 24' 40" 之間，流長 140.21 公里，總流域面積 1,309.22 平方公里，為台灣主要河川之一。

全流域南北緯度差 14' 40" 對於氣候之影響較小；但因流域東西狹長，上下游相距幾達 100 公里，地形複雜高低差約 2,000 公尺，且西濱台灣海峽，對流域內的氣候則有顯著影響。

（一）氣溫

流域氣溫受距海洋遠近差異及地形複雜高低差懸殊等因素，使得流域年氣溫差約 10°C 之間；區內月平均最低溫度在 17°C，月平均最高溫度達 27°C，年平均溫垂直遞減率每 100 公尺降低 0.45°C 至 0.5°C 間。

（二）蒸發量

本流域蒸發量分布趨勢與溫度分布相似。以梨山站為代表，12 月份平均蒸發量 76.3mm 最低，7 月份 165.9mm 最高，全年平均蒸發量 1,354.4mm。

（三）濕度

流域內年平均相對濕度大約在 70~85% 之間，流域內谷關、石岡皆超過 80%

以上。就月別而言，各地之相對濕度概以1月起至8月份為高濕期；9月至12月份為低濕期。

（四）雨量

流域降雨量南北差異不大，但東部因山嶽重疊，地勢高聳，故地形雨頗為豐富；相反的，西部沿海地帶，地勢低平，降雨量少，致東西端年降雨量差距可達2,500公釐以上。降雨在季節分布上，流域全年降雨集中於5月至6月的梅雨季節及7月至9月的颱風季，全年降雨日數約112 天。（張哲銘，2003）

（五）地質地形

依地形發育及地質特色，可將大甲溪流域依石岡、馬鞍與梨山三個分歧點，分成四個不同的河谷地形。石岡以西為沖積平原區，地形平坦，屬於大台中沖積平原的一部份。自石岡至馬鞍屬於溪谷的下游區，沿岸有許多台地，溪谷兩側多屬緩起伏的丘陵地，高度多在五十公尺到一百公尺之間，地質上多為台地堆積層，以及更新世形成之膠結不佳的地層，如卓蘭層與頭嵙山層馬鞍及梨山之間則屬於中上游區，溪谷完全穿流於崇山峻嶺中，河谷多半呈V字型，狹窄且坡度亦較陡。兩岸地形高度在兩百至兩千公尺之間。地質上多為中新世和漸新世的堅硬岩層，如白冷層、達見砂岩層等。

自梨山以上則屬於上游源頭區，河流兩岸山嶺的高度多在兩千公尺以上。台灣著名的山嶽如大霸尖山南湖大山合歡山等均在此區。地質上為中央山脈地質區的古第三紀地層，主要由輕度變質的板岩所構成。

（六）人文環境

大甲溪流域的行政區位大多位於台中縣和平鄉，並且涵蓋南投縣仁愛鄉與少數之宜蘭縣大同鄉，包括：台中縣和平鄉平等村、梨山村、博愛村、自由村、中坑村、天輪村、南勢村；南投縣仁愛鄉榮興村、大同村、力行村與宜蘭縣大同鄉南山村。且雪霸國家公園與太魯閣國家公園都涵蓋大甲溪流域。

大甲溪集水區的聚落主要集中在中部橫貫公路兩旁，包括：和平、松鶴、谷關、梨山、松茂、環山等，其中台中縣和平鄉人口約十萬人（台中縣政府全球資訊網）。

（七）道路

大甲溪集水區道路密度較低，由中部橫貫公路為主幹做為聯絡道路，貫穿大甲溪集水區，延伸出其他林道和產業道路，德基以上道路則零星分布於佳陽、梨山、松茂及環山等村落間。本流域農林產物豐富，尤以梨山附近地區之水果聞名全省。為了居民及農業品交通運輸需要，沿大甲溪兩岸構築了各級的道路設施，但也因過度開發、山坡地濫墾及超限利用，造成水土保持不良，土壤流失。（張哲銘，2003）

九二一大地震造成流域內多處道路崩塌，大致已修復舊貌，大甲溪集水區損壞最嚴重之中橫公路之谷關至德基路段，經過五年修復之後即將通車，卻於2004年敏督利颱風再度重創中橫，使得中部橫斷公路再度中斷。

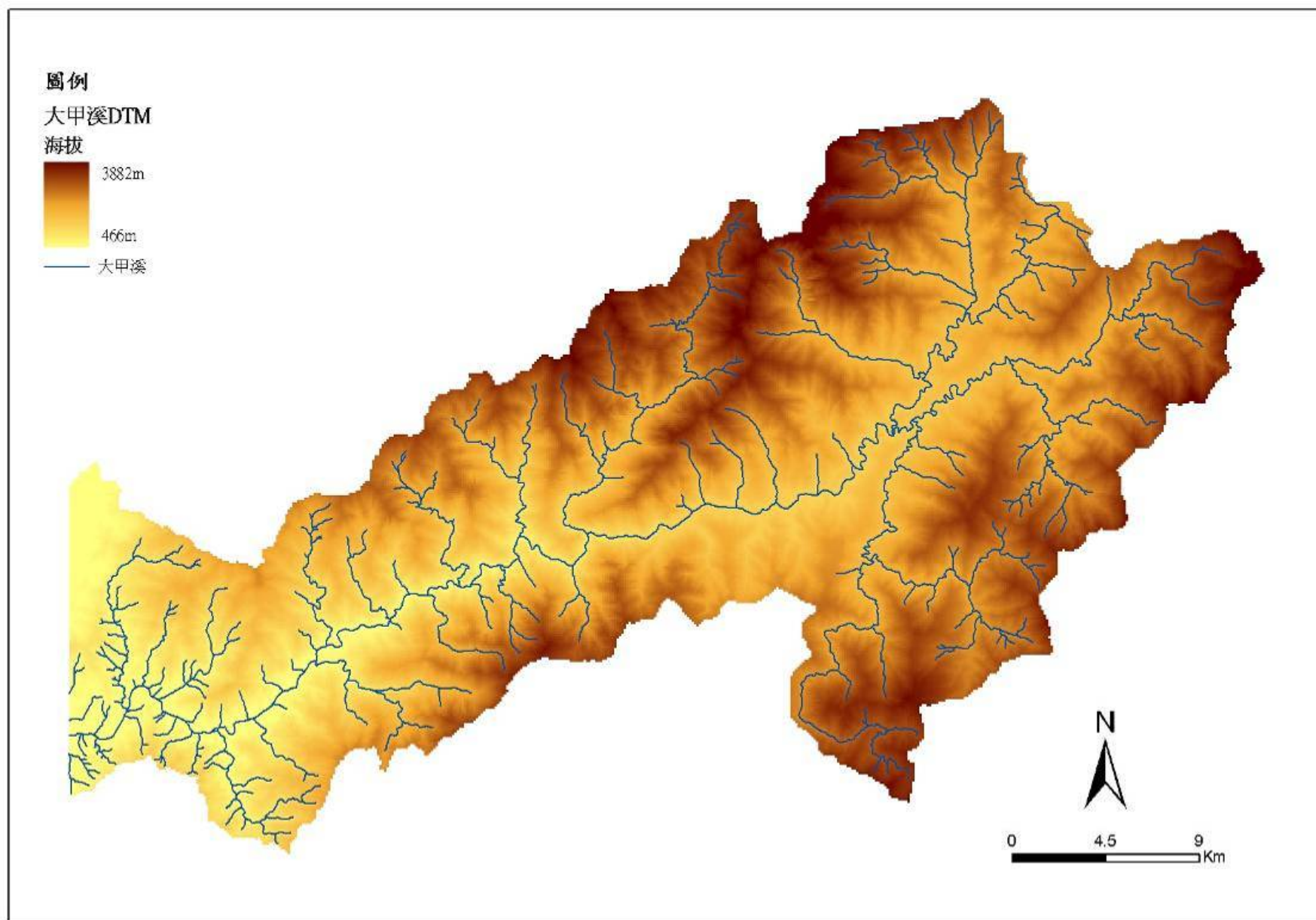


圖 67 大甲溪流域高度與水系分布圖

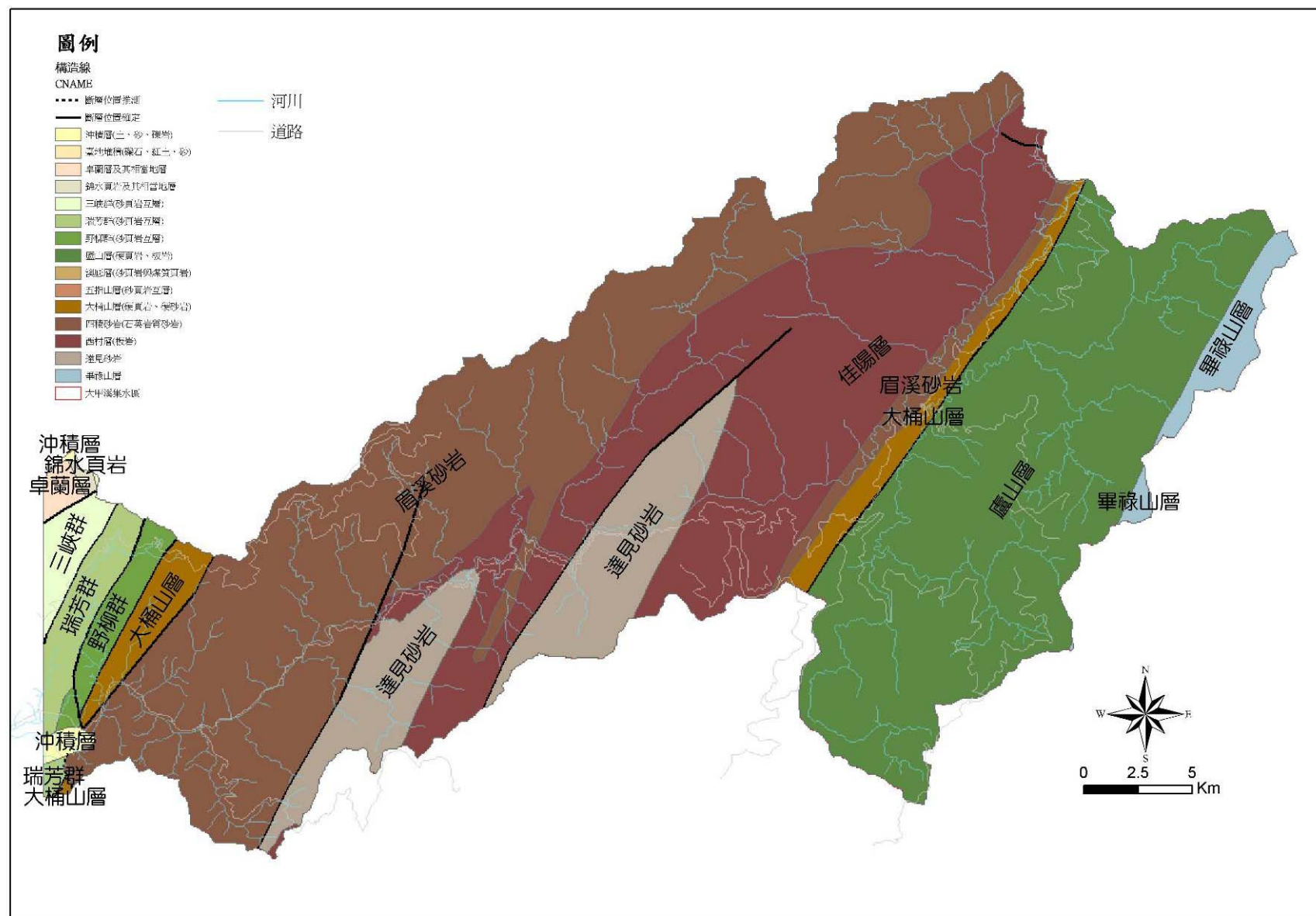


圖 68 大甲溪流域地質圖



圖 69 大甲溪流域行政區界圖

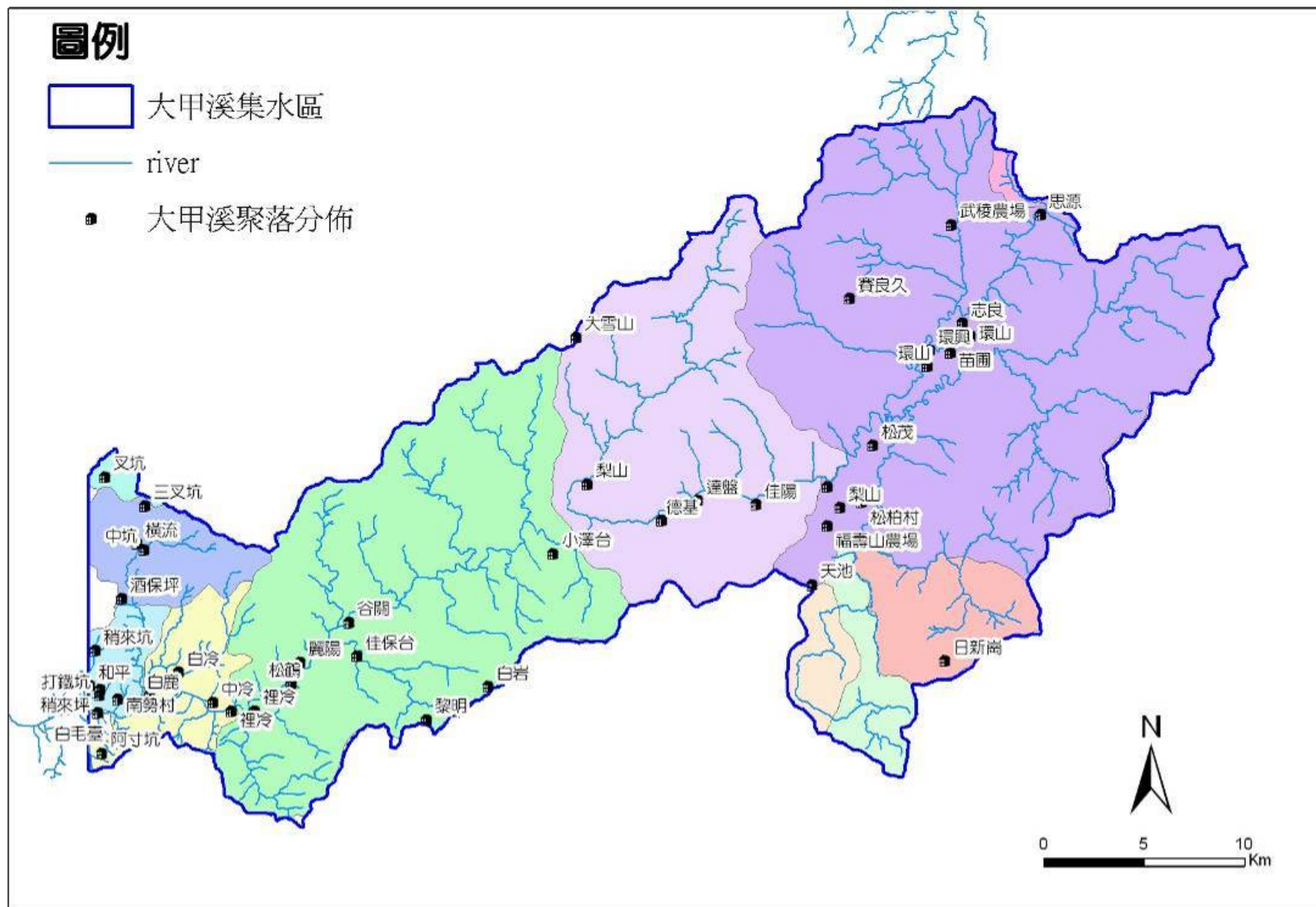


圖 70 大甲溪流域聚落分布圖



圖 71 大甲溪流域道路分布圖

圖例

— 河道

— 道路

2002崩塌地-能資所

大甲溪集水區



圖 72 2002 年大甲溪流域崩塌地分布圖（資料來源：能資所）

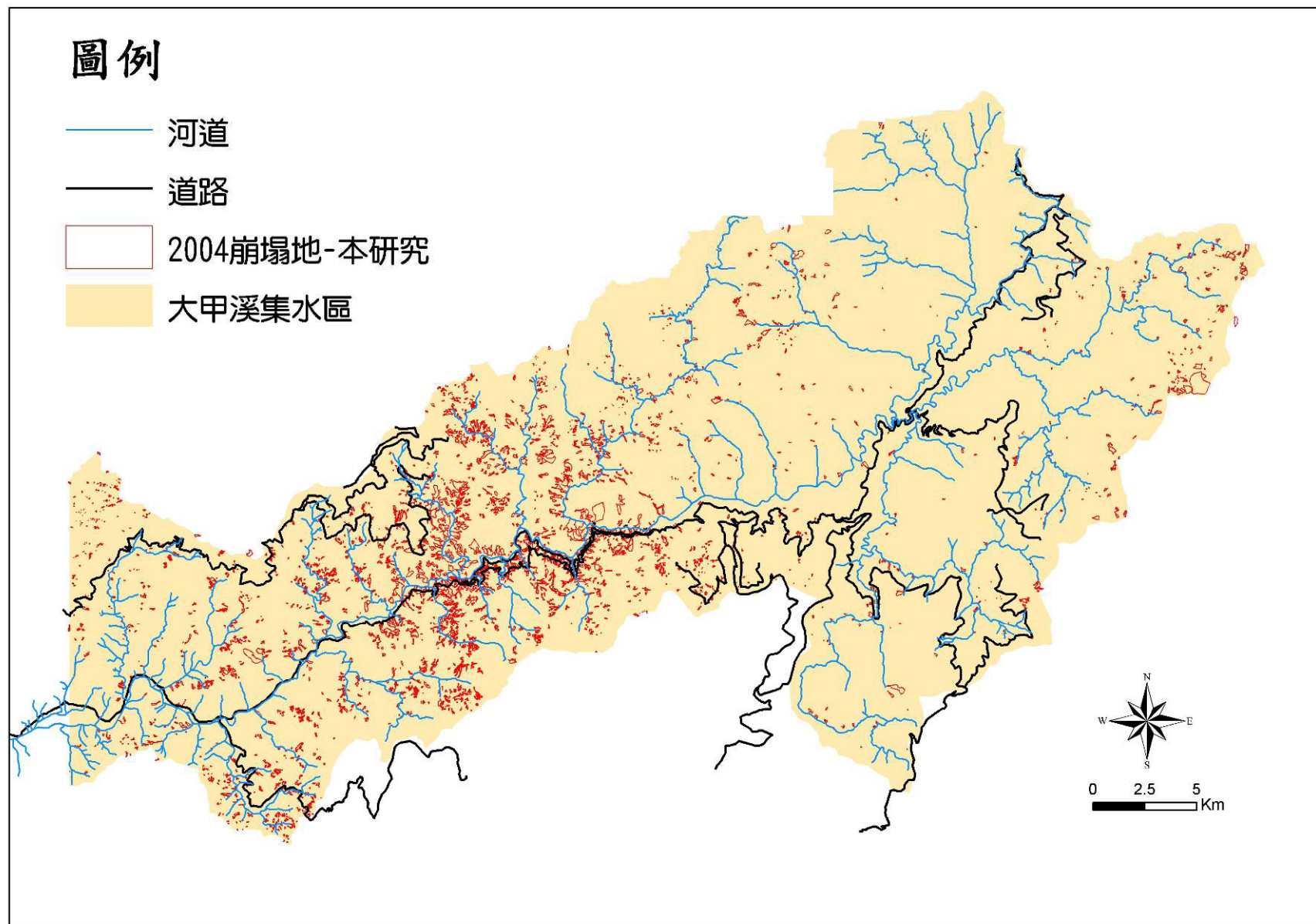
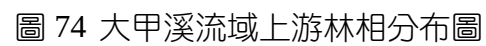


圖 73 2004 年大甲溪流域崩塌地分布圖（資料來源：本研究）



七、大甲溪結果與討論

1.大甲溪崩塌地資料蒐集

中部橫貫公路由谷關至德基水庫段，在九二一地震中遭受嚴重損害，2004年敏督利颱風後，造成大甲溪河床嚴重淤積，有些地區有超過10公尺以上的淤積，多數橋樑被土石給沖毀。大甲溪崩塌地的產生，與地形因子有密切關係，加上當地道路的開發，使得原始地貌產生改變，也是使得崩塌地災害擴大的原因之一。從航空影像的判釋，崩塌地發生的區域以中橫公路谷關至德基段最為嚴重，因此，先就大甲溪中游，德基到谷關段以921地震、桃芝颱風及敏督利颱風後的航空照片判釋之崩塌地資料，來探討崩塌地與稜線、河道及道路之間區位關係以及在地震及颱風作用下崩塌地區位的變化。本研究蒐集1999年、2002年崩塌地之料與完成2004年崩塌地向量資料數化，如表17。

表 17 德基到谷關段航照與崩塌地範圍列表

年代	地震災害與颱風事件	資料來源
1999	九二一大地震後	農林航空測量所航照
2002	桃芝颱風後	工研院能資所
2004	敏督利颱風後	本研究整理數化

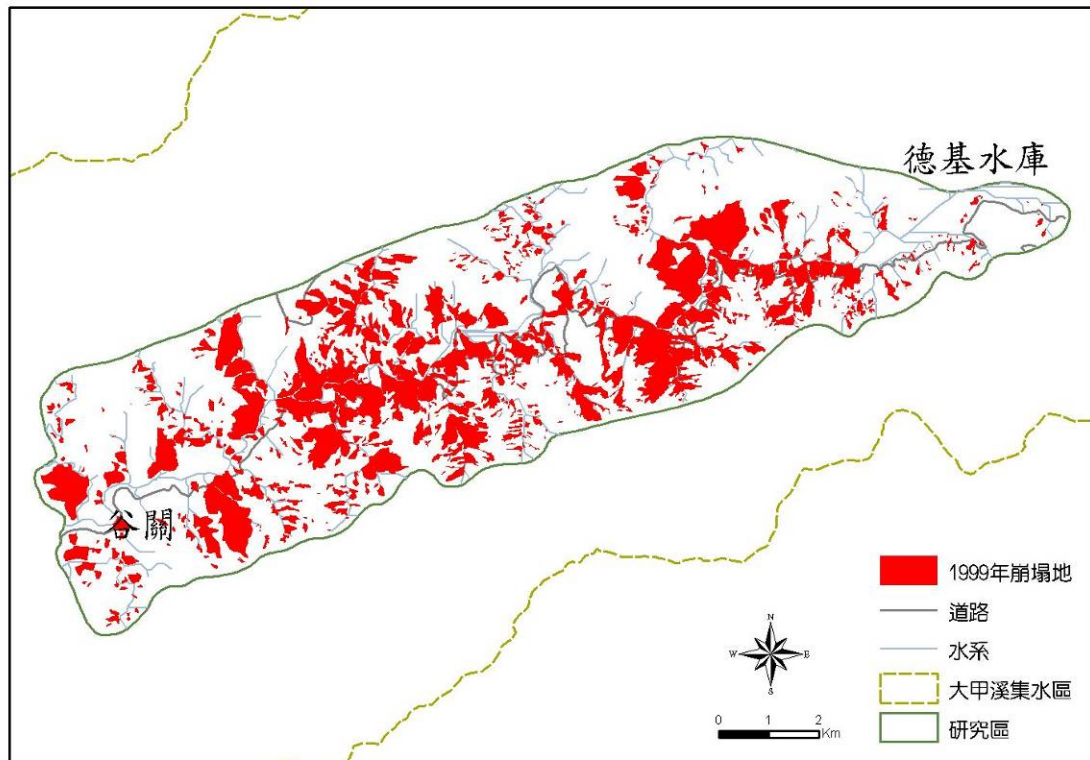


圖 75 1999 年 921 地震後谷關至德基地區崩塌地分布圖

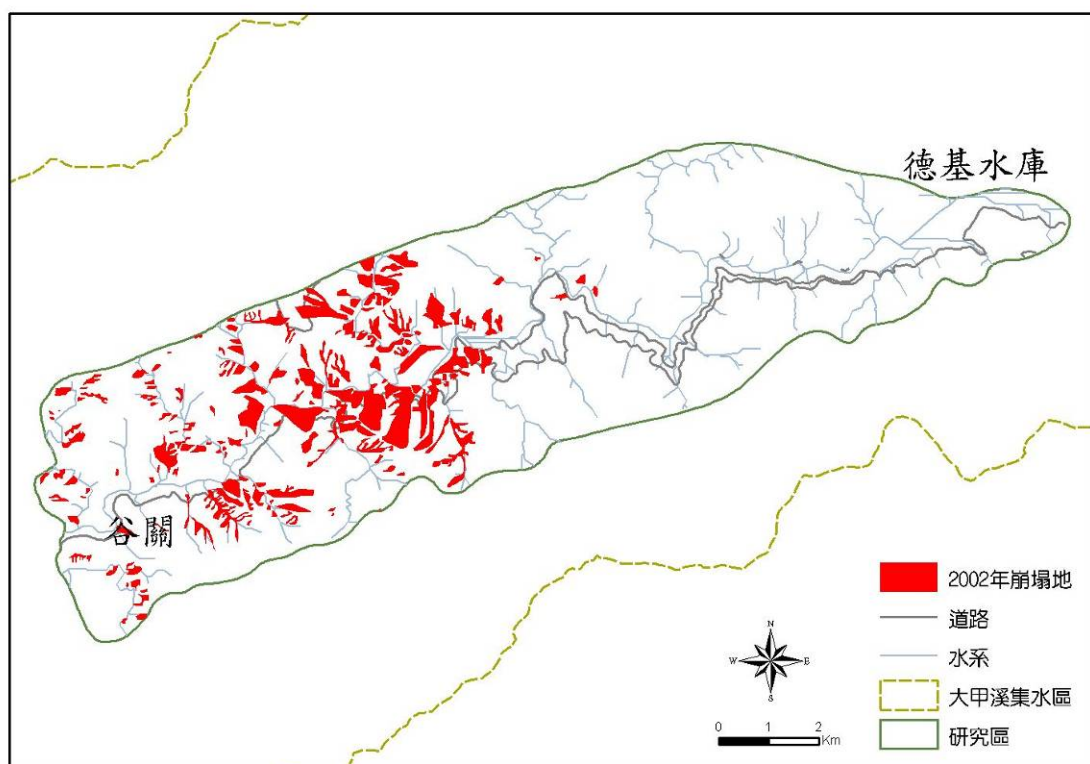


圖 76 2002 年桃芝颱風後谷關至德基地區崩塌地分布圖

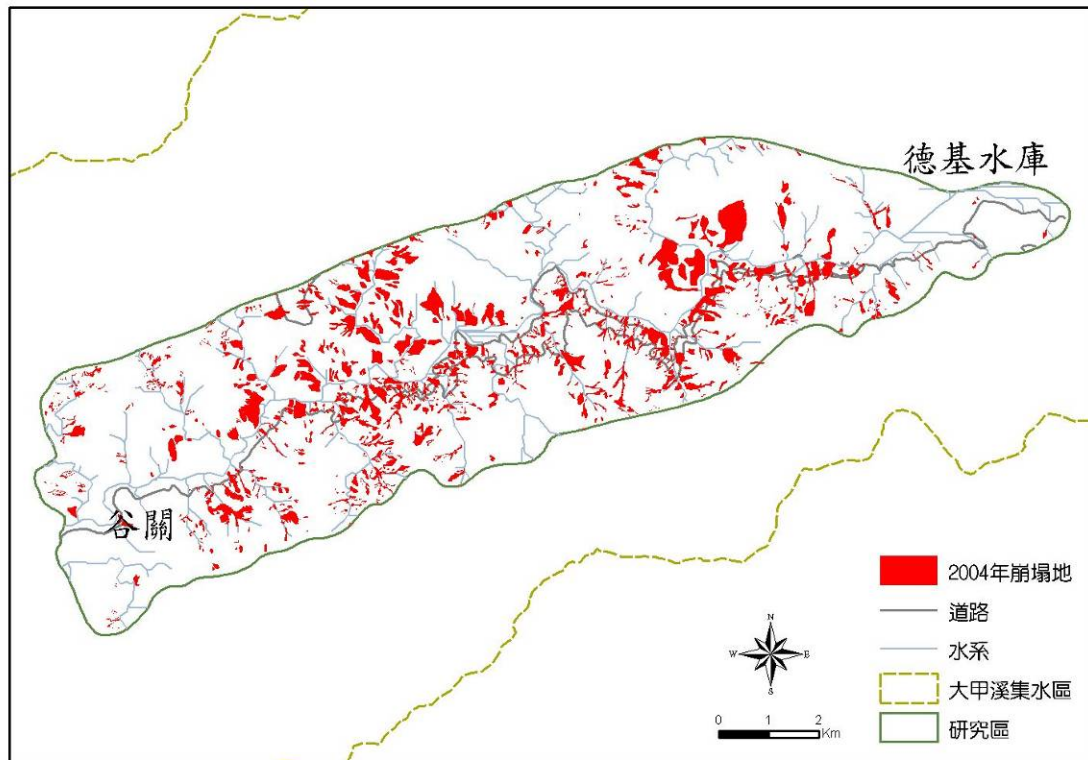


圖 77 2004 年敏督利颱風後谷關至德基地區崩塌地分布圖

本研究蒐集大甲溪流域數值高程模型（DEM）資料與高解析度航照圖，有助於崩塌地之辨識、地形分析、地形變遷與河道淤積變化之分析，如表 18 與圖 78。

表 18 大甲溪歷年之高解析度數值高程模型 DEM 表

時間	位置	範圍	解析度
1999 年 9 月	志樂溪到松鶴之大甲溪河道	39.71 km ²	5m × 5m
2002 年 9 月	志樂溪到松鶴之大甲溪右岸	182.47 km ²	5m × 5m
2004 年 4 月	麗陽到谷關河道	0.47 km ²	1m × 1m
2004 年 7 月	大甲溪中游全區	34.39 km	5m × 5m
2005 年 9 月	谷關發電廠至大甲溪出海口之河道	758.73 km	5m × 5m
2005 年 11 月	志樂溪到松鶴之大甲溪河道周圍	144.469 km	5m × 5m

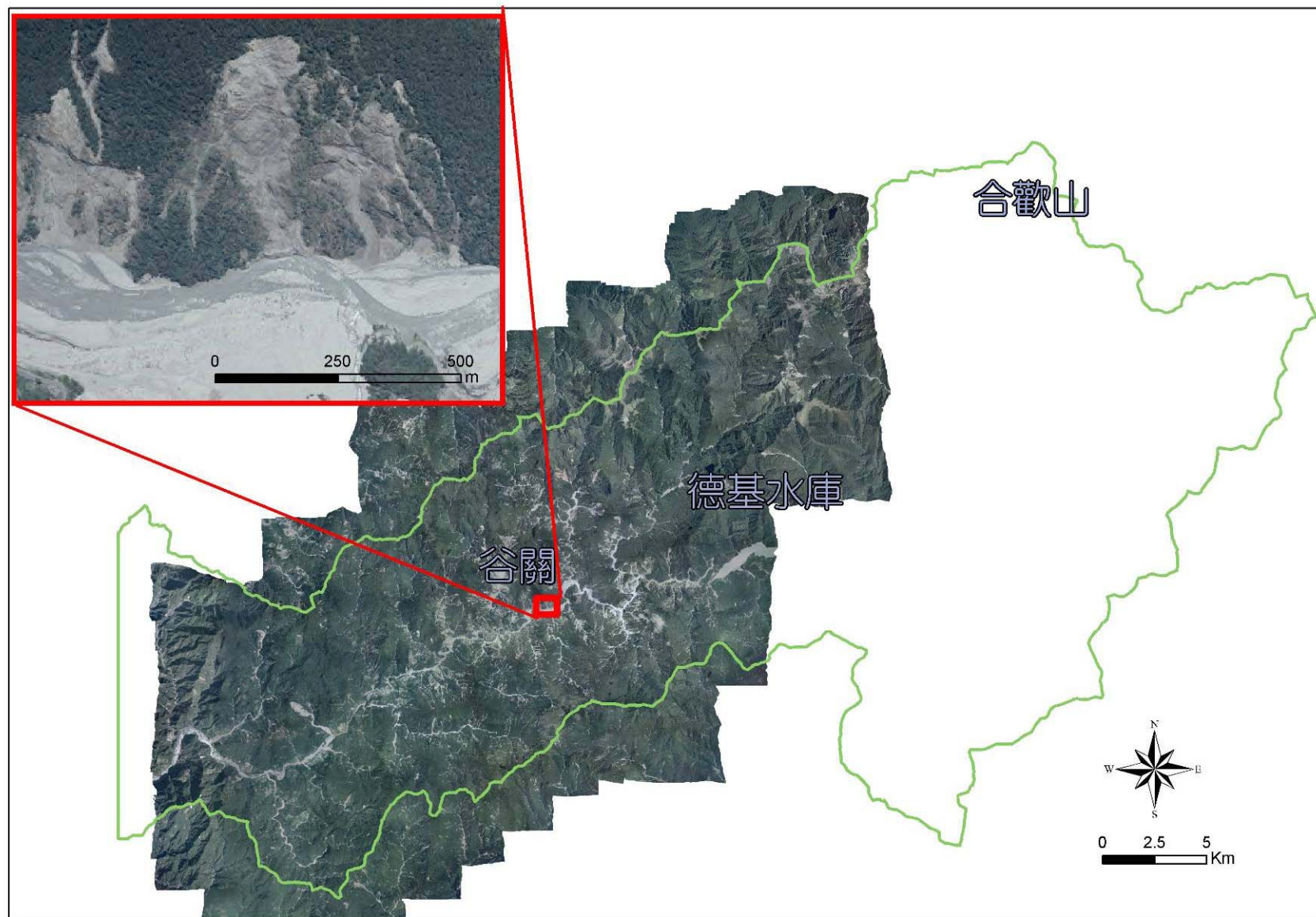


圖 78 2005 年 9 月之大甲溪中游高解析度正射化影像

2.崩塌地與稜線距離關係

本研究以崩塌體最高處代表崩塌地最初發生的位置，以40公尺範圍為間距，統計崩塌地個數與稜線距離的關係（圖79）。

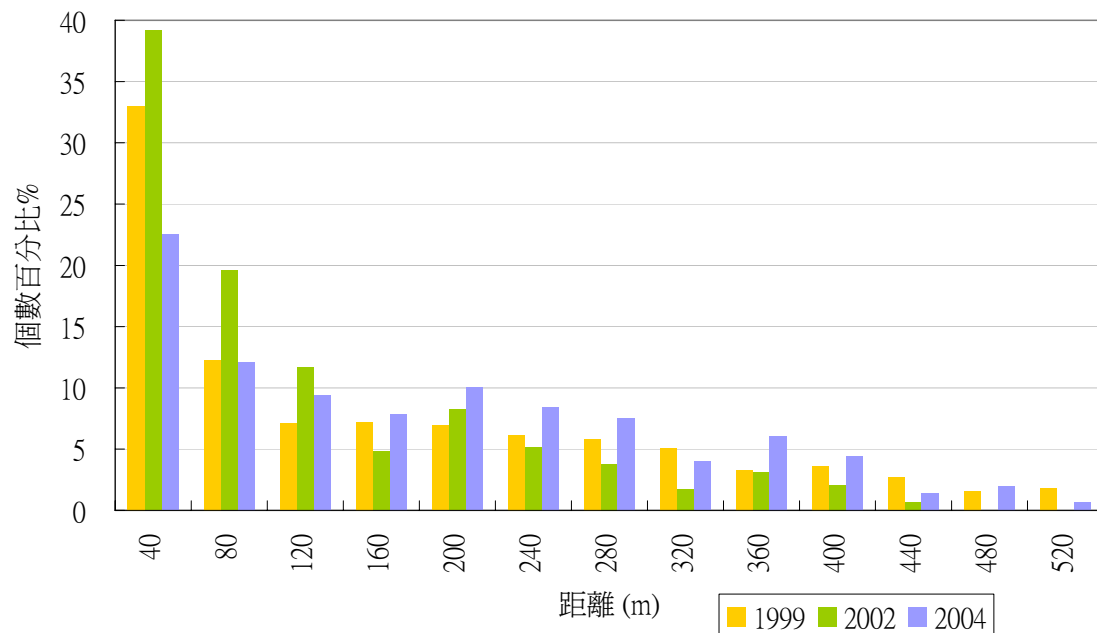


圖 79 崩塌地與稜線距離關係圖

就崩塌地面積與稜線距離的關係，本研究以40公尺、200公尺、500公尺及500公尺以上為間距，統計每段崩塌的面積的比例（圖80）。研究結果顯示崩塌面積以40-500公尺間面積涵蓋最多，表示崩塌面積大多位於坡腹上。

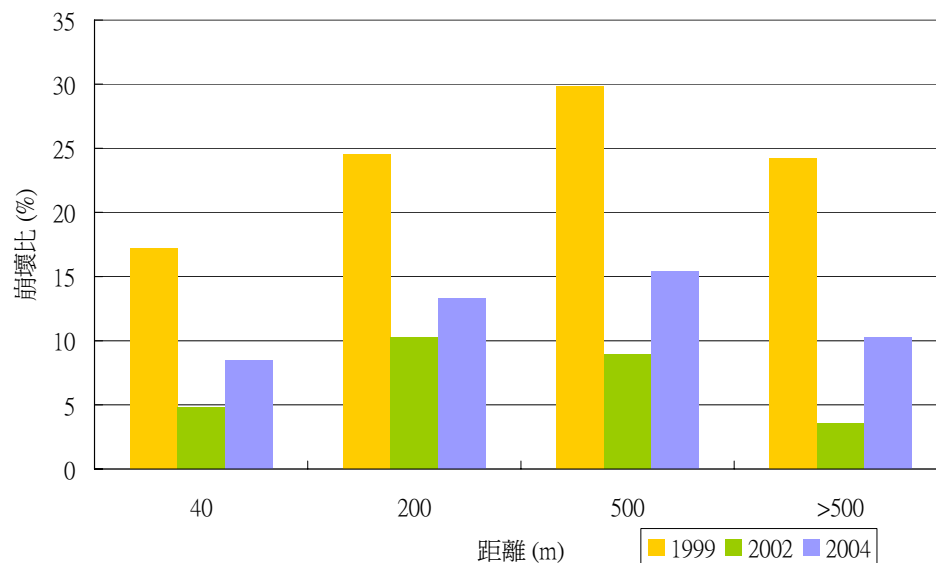


圖 80 大甲溪崩塌地面積與稜線距離關係圖

3.崩塌地與河道距離關係

崩塌地個數與河道距離的關係，本研究以大甲溪主流來分析，以40公尺為間距，統計每段崩塌地個數百分比（圖81）。

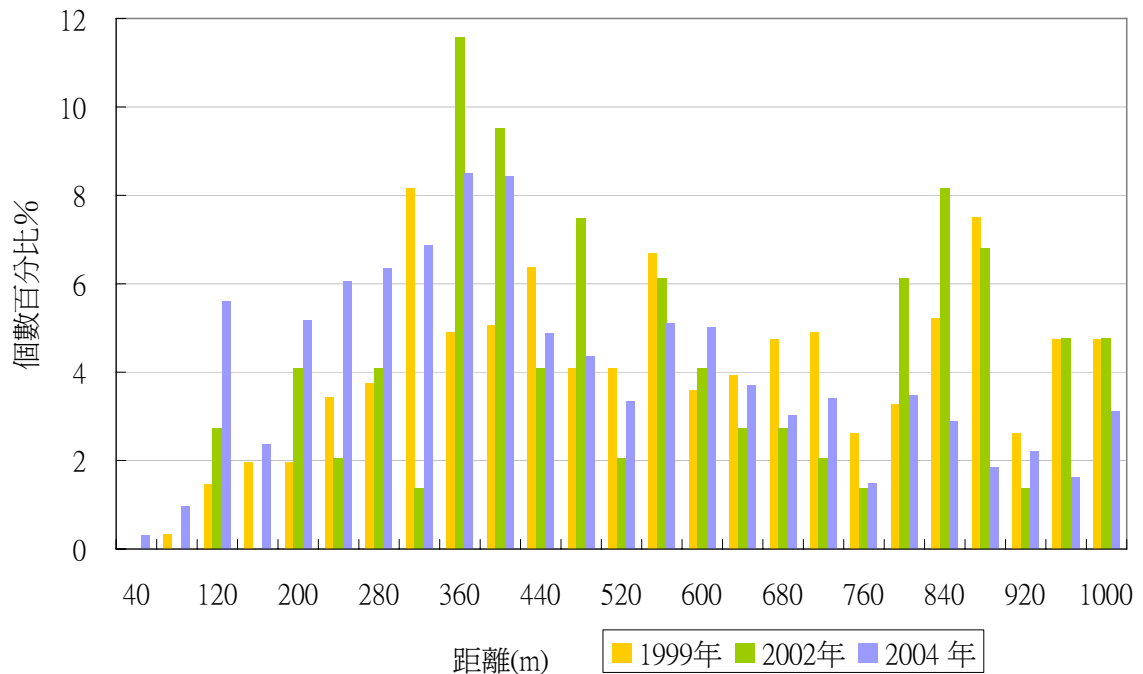


圖 81 大甲溪主流與崩塌地個數百分比關係圖

從圖81來看，崩塌地的分布主要集中在距河道200公尺至600公尺之間，並無法明確說明崩塌地與主河道的相關性，此種結果可能表示大部分的崩塌地是位在坡腹上。就不同年代的分布範圍來看，2004年靠近河道200公尺內的個數相較於其他年多8%。就崩塌地的面積來看（圖82），在距主流河道40公尺至500公尺的崩塌地面積最大，顯示崩塌地在坡腹處形成嚴重崩壞。

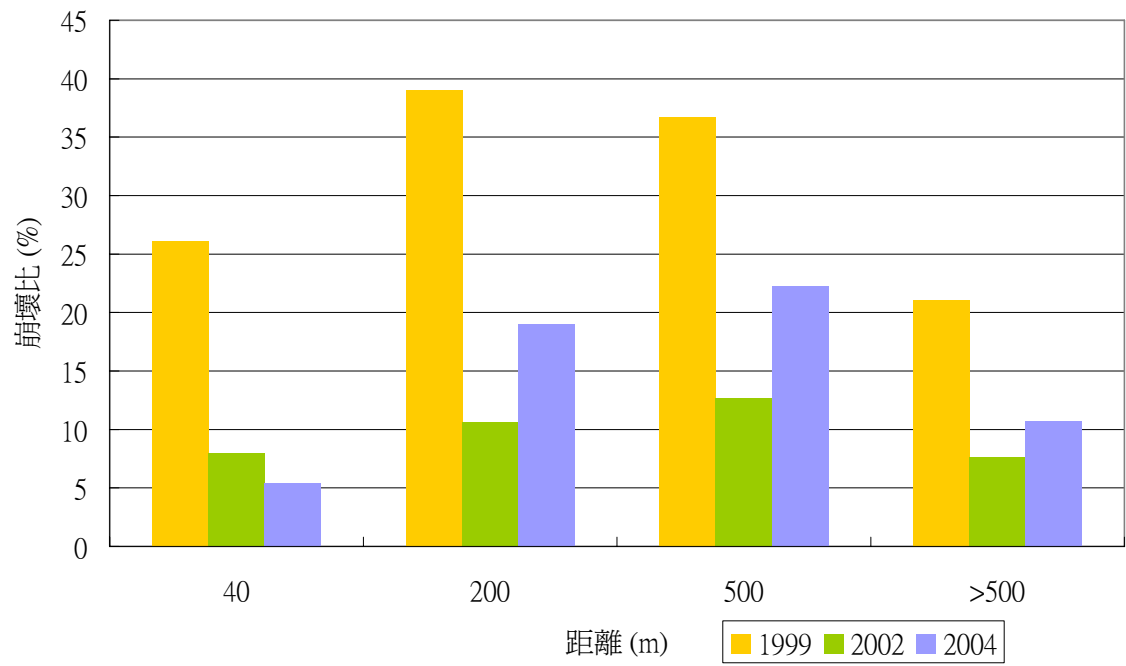


圖 82 大甲溪崩塌地面積與主流距離關係圖

4.崩塌地與道路位置關係

崩塌地與道路距離關係，本研究採崩壞比來進行分析，意即統計在距道路40公尺內所涵蓋面積與崩塌面積的比例（圖83）。

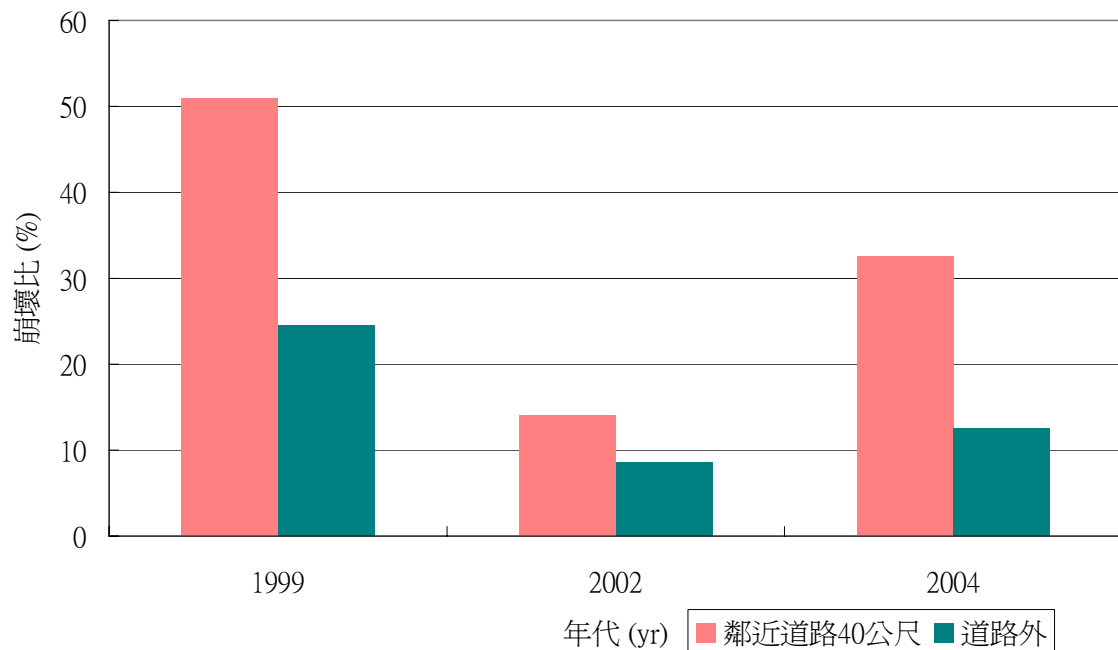


圖 83 大甲溪崩塌地面積與道路距離關係圖

研究結果顯示，在1999年地震後距道路40公尺內的崩塌地佔整個區域的50%，也就是說中橫公路在本研究區上有一半的區域都位在崩塌地上，到2001年雖然有桃芝颱風侵襲，但從2002年航照判釋公路上的崩塌面積只佔13%，顯示本區正逐漸復育中。2004年敏督利颱風後公路上的崩塌面積則增加至32%，造成當地嚴重災情。從地震後及颱風後所造成公路沿線的崩塌面積來看，地震後崩壞比佔50%，颱風後則分別為為13%及32%。

八、 結論

1. 大甲溪流域完成地質、地形資料與各種數值資料蒐集，包括崩塌地、林相資料與其他地文參數，以利後續資料彙整及套疊。
2. 本研究蒐集歷年大甲溪河道高解析度數值高程模型 DEM，以利後續進行河道淤積量的變化分析。

參考資料

工業技術研究院能源與資源研究所（1998）石門水庫集水區崩場地及土地利用航測調查計畫整體報告書，臺灣省北區水資源局，66-81。

中油公司「台中」及「苗栗」圖幅；中央地質調查所 25 萬之 1 地質圖。

中華水土保持學會（1980）石門水庫集水區第二階段治理規劃，臺灣省石門水庫管理局。

中興水土保持研究所（1996）土地利用對於水庫淤沙之影響，5-12。

水文水資源資料管理供應系統，<http://gweb.wra.gov.tw/wrweb/>，2005/11/29

水文水資源資料管理供應系統，<http://gweb.wra.gov.tw/wrweb/>，2005/11/29

台中縣政府全球資訊網，<http://taidb.taichung.gov.tw/>，2005/11/29

和新工程顧問公司（2000）石門水庫集水區第三階段治理規劃，經濟部水資源局。

周賢德（2001）利用 GIS 進行廣域山區順向坡至逆向坡之判別與潛勢評估－以北橫地區為例，中央大學應用地質所碩士論文，54-65。

林俊全（2006）石門水庫集水區的崩塌問題之研究，工程地質學會會刊。

林昭遠（2002）應用 SPOT 衛星影像評估 921 地震崩場地植生復育之研究，70-74。

康恬慎（2001）石門水庫集水區不同時期崩場地調查成果分析，國立臺灣大學森林學研究所碩士論文，89-95。

張哲銘（2003）921 地震後大甲溪流域全方位治理之研究，國立中興大學/水土保持學系碩士論文，23-30。

經濟部水利處（2001）大甲溪流域復育計畫（谷關壩下游至石岡壩）」綜合報告，127-152。

經濟部水資源局（1998）土地利用對水庫淤沙之影響（三）。

經濟部水資源局（1998）水庫集水區治理規劃與成效評估計畫。

農委會水土保持局（2000）九二一震災治山防災執行計畫-崩塌地調查治理規劃。

臺灣省林務局農林航空測量所（1976）石門水庫集水區崩坍地航測調查報告，臺灣省石門水庫管理局，32-50。

歐陽元淳（2002）水庫集水區土壤沖蝕之研究-以石門、翡翠水庫為例，國立臺灣大學地理環境資源學研究所碩士論文，55-61。