

公開  
密件、不公開

執行機關(計畫)識別碼：070301e100

# 行政院農業委員會林務局九十六年度科技計畫研究報告

計畫名稱：**運用航空攝影監測林地之變遷** (第3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：**96農科-7.3.1-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：**96年1月1日至96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、台灣大學地理環境資源學系(所)**



963258



# 摘要

大甲溪流域自九二一地震以來，造成中橫公路嚴重崩坍，近幾年又遭受颱風豪雨的侵襲，產生許多崩塌地及土石流的災情，對當地居民生命財產造成威脅。為了瞭解災害發生的原因，本研究利用過去收集的歷年航空照片、影像、地質、地形、土地利用、及崩塌地等資料，進行數值化的資料生產及影像判釋，希望將這些資料以 GIS 軟體進行分析，瞭解崩塌地區位於林相之間的關係，並以水土保持技術規範-簡確法分析環境敏感度，提供政府單位在經營管理及災害防治的參考。

本計畫收集包括九二一地震前後、桃芝颱風後、敏督利颱風後及 2005 年的航空影像及 2007 年的福衛二號影像資料進行航照判讀，選定 4 個樣區以經建版地形圖為底圖進行航照比對及觀察；以水土保持技術規範-簡確法分析大甲溪流谷關至德基水庫間的環境敏感度；並數化大甲溪流域上游原住民保留地與退輔會農場地土地利用資料，探討土地利用變遷與崩塌地災害發生的關係。

除此之外，本研究同時進行陳有蘭溪集水區地質、地形、土地利用及崩塌地等基本資料的收集與數值化資料的建置，以作為後續進行相關資料分析的準備。

研究結果顯示大甲溪流域在九二一地震後至今，從歷年崩塌地的變化及相關水文資料顯示，當地的地質地形條件仍呈現不穩定的情形。在林相與崩塌地的分析結果顯示稚樹發生地（大多為舊崩塌地）所佔的面積百分比比較高。從以上結果可以瞭解崩塌地的持續在舊崩塌地上產生，且有擴張的可能。

簡確法的分析結果顯示大甲溪流域谷關到德基水庫間，評估結果超過 30% 以上的坡單元為高敏感度，且極高敏感度佔 50% 以上，表示這些地區受到地質地形因子影響較高，此區坡地多數極易受到地震、豪雨等因素而誘發崩塌。

# 目 次

一、前言及研究目的.....	6
二、實施方法.....	7
三、大甲溪研究區介紹.....	8
(一) 地理位置 .....	8
(二) 氣候.....	8
(三) 水文特性 .....	10
(四) 地質與地形.....	16
(五) 大甲溪的地勢分析.....	19
(六) 人文環境 .....	24
(七) 道路.....	24
四、陳有蘭溪集水區研究區介紹.....	28
(一) 氣候.....	28
(二) 地質與地形.....	30
五、執行情形及結果分析.....	34
(一) 大甲溪資料蒐集 .....	34
(二) 大甲溪流域研究 .....	52
(三) 德基水庫上游土地利用分析 .....	73
(四) 大甲溪德基至谷關段之地勢分析與潛在災害評估 .....	94
(五) 陳有蘭溪資料蒐集.....	125
八、 結論 .....	132
九、參考資料.....	134
十、附錄：水土保持技術規範-簡確評估法.....	136

## 圖目次

圖 3.1	大甲河流域高程與水系分布圖	9
圖 3.2	年度輸沙量估算結果	13
圖 3.3	地震後及桃芝颱風後集水區沈積物濃度變化量	14
圖 3.4	白鹿橋水文站地震前後流量與懸移質沈積物的變化關係圖	15
圖 3.5	白鹿橋水文站歷年流量與懸移質沈積物變化	15
圖 3.6	大甲河流域地質分布圖	18
圖 3.7	大甲河流域行政區界圖	25
圖 3.8	大甲河流域聚落分布圖	26
圖 3.9	大甲河流域道路分布圖	27
圖 4.1	陳有蘭溪行政區圖	29
圖 4.2	陳有蘭河流域高程與水系圖	32
圖 4.3	陳有蘭河流域地質圖	33
圖 5.1	九二一地震前航空照片圖	35
圖 5.2	2004 年大甲溪正射化航照圖	36
圖 5.3	2005 年大甲溪正射化航照圖	37
圖 5.4	2007 年大甲溪福衛二號影像	38
圖 5.5	大甲溪研究樣區位置圖	39
圖 5.6	A 研究樣區歷年航照對照圖	40
圖 5.7	B 研究樣區歷年航照對照圖	41
圖 5.8	C 研究樣區歷年航照對照圖	42
圖 5.9	D 研究樣區歷年航照對照圖	43
圖 5.10	1999 年大甲溪崩場地分布圖	46
圖 5.11	2002 年大甲溪崩場地分布圖	47
圖 5.12	2004 年大甲溪崩場地分布圖	48
圖 5.13	2005 年大甲溪崩場地分布圖	49
圖 5.14	數值高程模型資料範圍圖	51
圖 5.15	九二一地震後德基水庫航照 3D 立體圖	52
圖 5.16	九二一地震後成五隧道附近航照 3D 立體圖	53
圖 5.17	九二一地震後成五隧道下游航照 3D 立體圖	53
圖 5.18	九二一地震後光明橋附近航照 3D 立體圖	54
圖 5.19	九二一地震後谷關壩航照 3D 立體圖	54
圖 5.20	九二一地震後谷關壩下游航照 3D 立體圖	55
圖 5.21	九二一地震後馬崙橋航照 3D 立體圖	55
圖 5.22	九二一地震後谷關發電廠航照 3D 立體圖	56
圖 5.23	九二一地震後天輪壩航照 3D 立體圖	56
圖 5.24	九二一地震後谷關地區航照 3D 立體圖	57
圖 5.25	大甲河流域土地利用分布圖	59
圖 5.26	大甲溪林相分布圖	60
圖 5.27	大甲河流域林相百分比	61
圖 5.28	2004 年崩場地與土地利用分布圖	62
圖 5.29	各類土地利用之崩場地密度圖	64
圖 5.30	林相分布與崩場地之分布圖	66

圖 5.31	1999 年九二一地震後谷關至德基地區崩塌地分布圖	67
圖 5.32	2002 年桃芝颱風後谷關至德基地區崩塌地分布圖	68
圖 5.33	2004 年敏督利颱風後谷關至德基地區崩塌地分布圖	68
圖 5.34	崩塌地與稜線距離關係圖	69
圖 5.35	大甲溪崩塌地面積與稜線距離關係圖	69
圖 5.36	大甲溪主流與崩塌地個數百分比關係圖	70
圖 5.37	大甲溪崩塌地面積與主流距離關係圖	71
圖 5.38	大甲溪崩塌地面積與道路距離關係統計圖	71
圖 5.39	果園與農地的航照特徵	76
圖 5.40	德基水庫上游範圍	74
圖 5.41	大甲溪上游土地權屬範圍圖	75
圖 5.42	事業區外地農地分布圖	78
圖 5.43	退輔會農場地分布圖	79
圖 5.44	德基水庫上游崩壞地分布位置	81
圖 5.45	德基水庫上游草生地分布位置	82
圖 5.46	草生地實例	83
圖 5.47	德基水庫上游果園分布位置	85
圖 5.48	德基水庫上游旱作地分布位置	86
圖 5.49	果園實例	87
圖 5.50	旱作地實例	88
圖 5.51	德基水庫上游航照與福衛二號影像（比例尺十六萬分之一）	90
圖 5.52	航照與福衛二號影像比較（比例尺五萬分之一）	91
圖 5.53	航照與福衛二號影像比較（比例尺五千分之一）	92
圖 5.54	航照與福衛二號影像比較（比例尺一千分之一）	93
圖 5.55	大甲溪流域德基至谷關段之坡單元	96
圖 5.56	大甲溪流域德基至谷關段之沖蝕等級圖	98
圖 5.57	大甲溪流域德基至谷關段之坡度圖	100
圖 5.58	大甲溪流域德基至谷關段之坡向圖	102
圖 5.59	大甲溪流域德基至谷關段之岩體性質分類圖	105
圖 5.60	大甲溪流域德基至谷關段之坡型分類圖	107
圖 5.61	大甲溪流域德基至谷關段之山坡地潛在災害類型圖	110
圖 5.62	坡單元環境敏感度分布圖	115
圖 5.63	2002 年崩塌地套疊坡單元環境敏感度分布圖	117
圖 5.64	2004 年崩塌地套疊坡單元環境敏感度分布圖	118
圖 5.65	2005 年崩塌地套疊坡單元環境敏感度分布圖	120
圖 5.66	2002-2005 年崩塌地個數與坡單元環境敏感度之關係	122
圖 5.67	2002-2005 年崩塌地面積與坡單元環境敏感度之關係	122
圖 5.68	2002-2005 年崩塌地個數百分比與坡單元環境敏感度之關係	123
圖 5.69	2002-2005 年崩塌地面積百分比與坡單元環境敏感度之關係	123
圖 5.70	2002 年至 2005 年崩塌地套疊坡單元環境敏感度分布圖	124
圖 5.71	陳有蘭溪流域航照圖（2001 年）	125
圖 5.72	陳有蘭溪流域 5 公尺 DEM 圖（2001 年）	126
圖 5.73	1999 年陳有蘭溪崩塌地分布圖（九二一地震後）	127
圖 5.74	2001 年陳有蘭溪崩塌地分布圖（桃芝颱風之後）	128

## 表目次

表 3.1	1994 年至 2002 年之間的月平均降雨量表	10
表 3.2	白鹿測站逕流量資料表	12
表 3.3	大甲溪各集水域高度表	19
表 3.4	大甲溪各集水域坡度統計表	19
表 3.5	大甲溪各集水域坡度統計表	20
表 3.6	大甲溪各集水域相對高度統計表	20
表 3.7	德基水庫集水域主支流河床比降表	21
表 4.1	水里鄉 1992 至 1997 年氣象資料表	30
表 5.1	歷年航空照片與衛星影像	34
表 5.2	德基到谷關段航照與崩塌地範圍列表	45
表 5.3	大甲溪歷年之高解析度數值高程模型 (DEM) 表	50
表 5.4	大甲溪流域土地利用面積與百分比	58
表 5.5	土地利用與崩塌地密度之關係	63
表 5.6	林相與崩塌地密度之關係	65
表 5.7	2004 年原住民保留地土地利用統計	76
表 5.8	2004 年退輔會農場地土地利用統計	77
表 5.9	各類型裸露地於 2001-2004 年之面積變化	80
表 5.10	德基水庫上游各土地利用與各類裸露地統計	84
表 5.11	環境地質的內涵	94
表 5.12	坡面沖蝕度分類表	97
表 5.13	坡度分級及序數表	99
表 5.14	坡向分級表	101
表 5.15	岩體之工程性質分類表	103
表 5.16	山坡岩層構造分類表	106
表 5.17	工程土壤深度分級表	108
表 5.18	山坡地潛在山崩災害之空間分布預測表	108
表 5.19	山崩分類表	111
表 5.20	地滑分類表	112
表 5.21	工程環境地形與地質序數表	113
表 5.22	環境敏感度分級表	113
表 5.23	各級環境敏感度之坡單元個數	114
表 5.24	2002 年各級環境敏感度之崩塌地個數及面積統計表	116
表 5.25	2004 年各級環境敏感度之崩塌地個數及面積統計表	118
表 5.26	2005 年各級環境敏感度之崩塌地個數及面積統計表	119

## 一、前言及研究目的

本研究以大甲溪中、上游流域與陳有蘭溪集水區內林地為研究區，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分析。

大甲河流域位於台灣中部，在流域內土地利用問題頻仍。近幾十年來，中部橫貫公路的開發，使得上游地區土地利用改變，許多被開發為果園、蔬菜等農業使用，德基水庫上游坡地之農耕使用（溫帶果樹、高冷蔬菜）有逐漸增加的趨勢（張哲銘，2004）。近幾年來，在政府單位積極推動土地利用管理下，期望有效改善超限利用的問題。

大甲河流域邊坡陡峭、地質岩性脆弱，經歷九二一大地震影響，造成邊坡岩層不穩定，使得尤其在中游兩岸，形成許多崩場地，導致中部橫貫公路因而中斷，其後又經歷許多颱風和豪雨的沖刷與河道侵蝕，導致崩場地擴大且河道累積大量泥沙，每每颱風或大雨之際，往往造成谷關發電設施的損壞與下游居民的重大威脅。



## 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，以利災害位置空間之分析。

2. 資料蒐集方面：包括大甲溪流域中上游、陳有蘭溪流域地區計有衛星影像、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. 本年度蒐集影像資料進行大甲溪流域中上游研究樣區林地變遷分析與野外的核對等工作。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，以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. 另進行陳有蘭溪流域相關資料之蒐集及建置。自 1986 年賀伯颱風之後，造成此研究樣區的崩塌地、河道淤積與土石流等災害頻傳，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、大甲溪研究區介紹

### (一) 地理位置

大甲溪流域位於台灣中西部，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（水系分布圖詳參圖 3.1）。

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。

### (二) 氣候

#### 1. 氣溫

大甲溪流域之氣溫因受距海洋遠近差異及地形複雜高低差懸殊等因素之影響，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。

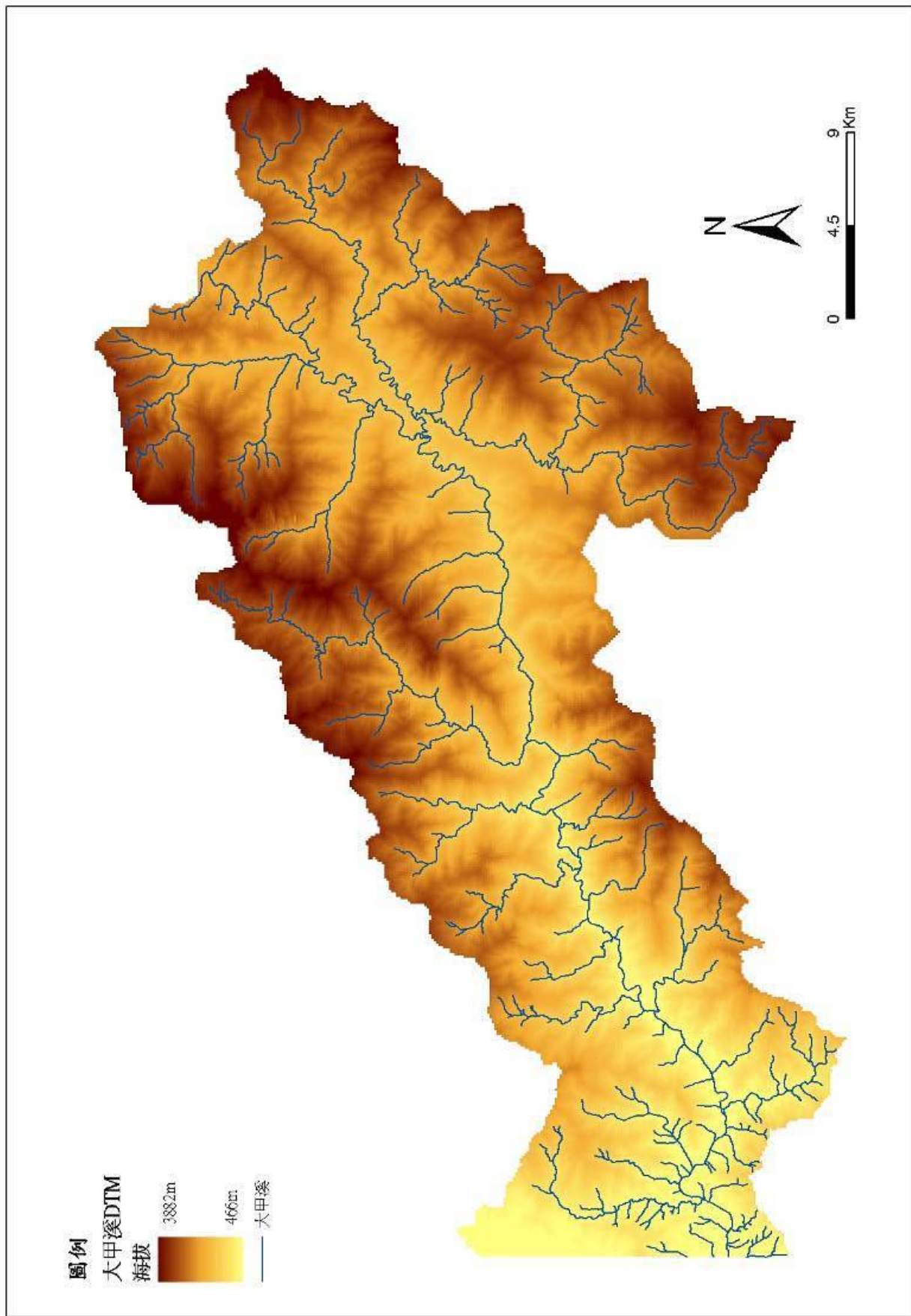


圖 3. 1 大甲溪流域高程與水系分布圖

## 2. 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。

## 3. 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。

## 4. 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）

莊善傑（2004）利用上谷關、天輪、白冷等3個雨量站（水利署，1994-2002），分析1994年至2002年之間的每日雨量資料，區域內年平均降雨量為2236mm，降雨集中在4月至8月之間，占全年降雨量的70%。其中9月至隔年1月之間為明顯乾季，月平均降雨量幾乎低於100mm，5月至8月之間為雨季，月平均降雨量都高於300mm（表3.1）。

表 3.1 1994 年至 2002 年之間的月平均降雨量表

月份 測站	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年降 雨量 (mm)
天輪	84	300	218	245	344	351	206	253	72	71	17	48	2210
上谷關	60	213	158	336	260	254	314	330	58	62	12	48	2103
白冷	54	145	123	174	311	467	403	468	143	69	4	32	2395
平均值	66	219	166	252	305	358	308	350	91	68	11	43	2236

### （三） 水文特性

#### 1. 水系

大甲溪為台灣中部主要河之一，北鄰大安溪，南界烏溪，主流長度約120km，

流域面積達 1200k m<sup>2</sup>。大甲溪上游分別由發源於大霸尖山的七家灣溪、南湖大山的南湖西峰以及合歡山的合歡溪於環山附近匯流而成，向東流經梨山、佳陽、德基、谷關、白冷至東勢流入平原，沿途納入二十餘條支流，過石岡後蜿蜒流向西北二十餘公里注入台灣海峽。

大甲溪流域的河流大多發育在均質的變質砂岩或硬頁岩及板岩地層上，且受地質構造的影響較少，主要形成樹枝狀水系。大甲溪的河蝕作用仍劇烈進行，主流及支流均呈顯著的掘鑿曲流，谷關上游馬陵附近的久良峽及小澤臺附近的登仙峽均為台灣標準的峽谷地形之一（林朝榮，1957）。

依地形發育特徵可將大甲溪流域之石岡、馬鞍寮與梨山等三個地點區分為 4 個不同的河谷地形，石岡以西為沖積平原區；石岡至馬鞍寮屬於溪谷下游區，沿岸台地分布，溪谷兩側多屬平緩起伏的丘陵；馬鞍寮至梨山屬中上游區，河谷多呈 V 字型，狹窄且陡峭，僅德基以東地區為較寬廣的河谷；自梨山以東則屬於上游源頭區（莊善傑，2004）。

在山嶺分布方面，大甲溪從和平至德基的中游河道，最高分水嶺分別為北側的大雪山至小雪山稜線，以及南側的白狗大山至八仙山稜線，大雪山與白狗大山海拔分別為 3,530m 和 3,342m。

在河谷剖面分布方面，大甲溪河床坡度，以源頭至思源埡口之間最陡，其次為德基至谷關之間的河段，其中在德基壩下游約 2km 處的登仙峽以及谷關壩址，為兩個河床坡度突然加劇的地方（王鑫等，1986）。一般而言，坡度較陡的河床，有較高的搬運能力，在九二一地震前，谷關至德基之間的河床堆積物較少，但是在歷經九二一地震、桃芝與敏督利颱風，主河道已經淤積十幾公尺以上（水利署第三河川局，2004），顯示此河段具有旺盛的侵蝕與搬運能力。

大甲溪流域降雨豐沛且穿流於崇山峻嶺之間，從梨山至石岡河流長度約 90km，但高程落差達 1,800m，水利資源相當豐富，上游至下游共興建六座蓄水壩體，依序為德基壩、青山壩、谷關壩、天輪壩、馬鞍壩，以及石岡壩，除了最下游的石岡壩之外，其餘均配備水力發電廠，發電量佔全台灣水力發電總量的 1/4（台灣電力公司，1986）。

## 2. 河流逕流量

從白鹿橋測站 1994 年至 2002 年之間的每月平均逕流量資料（表 3.2，水利署，1994-2002）可發現大甲溪流域年平均逕流量 1434 百萬立方公尺。5 月~9 月期間之豐水期佔全年度逕流量的 66%，其月平均逕流量約為 190 百萬立方公尺以上。10 月至隔年 3 月期間之枯水期，其月平均逕流量為 61 萬立方公尺，約為豐水期的 1/3，其中又以 12 月和 1 月最低，此兩個月之月平均逕流量為 32 百萬立方公尺。1999 年（九二一地震後）至 2002 年期間的各年度平均逕流量都比 1994 年至 2002 年期間之年平均逕流量還低，其中以 1999 年與 2002 年最低，分別為 295 與 206 百萬立方公尺，均不及 1994 年至 2002 年期間之年平均逕流量的 1/4（莊善傑，2004）。

表 3.2 白鹿測站逕流量資料表

月份 年度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年逕 流量
1994	13	28	59	94	200	217	253	1133	397	213	143	53	2804
1995	80	79	135	291	263	358	217	167	124	105	57	52	1929
1996	44	38	41	173	487	113	93	532	94	63	57	45	1779
1997	28	41	97	83	114	627	306	393	189	79	90	71	2119
1998	67	323	333	130	144	366	104	56	17	62	19	12	1633
1999	11	11	12	12	16	22	30	17	57	90	10	9	295
2000	9	120	53	179	293	44	11	204	97	9	45	13	1078
2001	13	10	12	42	51	61	117	221	277	218	24	14	1060
2002	44	15	20	22	10	29	23	17	8	7	7	5	206
平均值	34	74	85	114	175	204	128	304	140	94	50	30	1434

單位：百萬立方公尺

## 3. 年度輸沙量

根據莊善傑（2004）利用平均法中的年平均法與月權重平均法，以及率定曲線法中的一般率定曲線法與無參數率定曲線法等四種方法，進行年度輸沙量估算結果顯示（如圖 3.2），年平均法的年平均輸沙量為 698,254 噸/年。月權重平均法為 591,254 噸/年，一般率定曲線法為 188,521 噸/年，無參數率定曲線法為 327,982

噸/年，大抵上平均法的估算值比率定曲線法還高，其中年平均法最高，一般率定曲線法最低，相差 3.7 倍。

Dadson (2004) 認為月權重平均法最適合用來估算台灣地區的河流輸沙量，而 Kao et al. (2005) 則認為從率定曲線法來估算會較為精確，由此研究在月權重平均法與無參數率定曲線法的估算結果顯示 (圖 3.2)，兩種方法的估算結果具有一定的相關性，月權重平均法的估算結果，大致上是無參數率定曲線法的 2 倍，只有在 1986 年、1998 年與 1999 年比無參數率定曲線法稍低，而在 1982 年、1983 年、1990 年以及 1994 年，兩者的估算結果差異較大，介於 432, 156 至 2, 296, 325 噸/年之間。Cohn (1995) 指出在颱風事件中，高流量的輸沙量實測資料不足，將造成後續所建立的率定曲線關係式，在估算輸沙量會有低估的現象發生。從估算差異較大的 4 個年度之輸沙量實測資料與該年度的颱風事件進行比對發現，在颱風事件中最大日降雨量的高流量期間，並沒有輸沙量實測紀錄。

從上述的比較中可以發現，輸沙量實測的時機對於率定曲線法在估算輸沙量上會有很大的影響，而從大甲溪流域在高流量事件中之輸沙量實測資料明顯不足的情況下，如果運用率定曲線法來估算年度輸沙量，將可能造成實際的輸沙量被嚴重低估的現象。

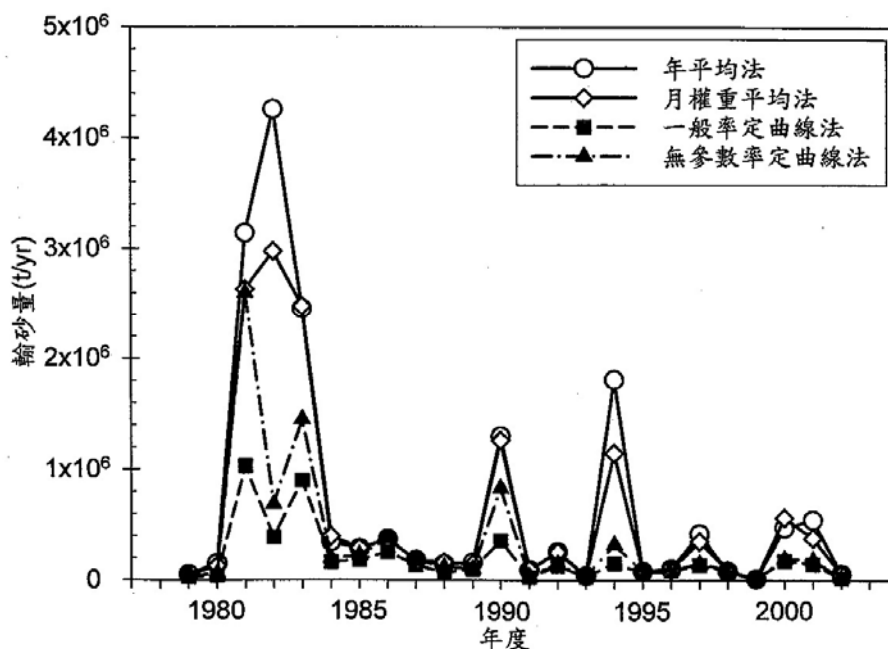


圖 3.2 年度輸沙量估算結果 (莊善傑, 2004)

根據林俊全（2005）研究大甲溪河谷沈積物的資料進行定量的分析，在研究區下游白鹿橋水文站，每 5 天記錄一筆懸移質沈積物的資料。利用懸移質沈積物資料可用來分析地震前後沈積物運送動態的變化。顯示地震前後河川沈積物濃度與流量圖，分析集水區內沈積物搬運特性之改變。圖 3.3 中上游松茂水文站在地震前後沈積物的量並沒有明顯的增加，下游白鹿橋水文站的資料確有明顯的增加，在流量為  $100 \text{ (m}^3/\text{s)}$  時河川懸移質濃度由地震前的每公升 75 公克大幅提昇至 750 公克。

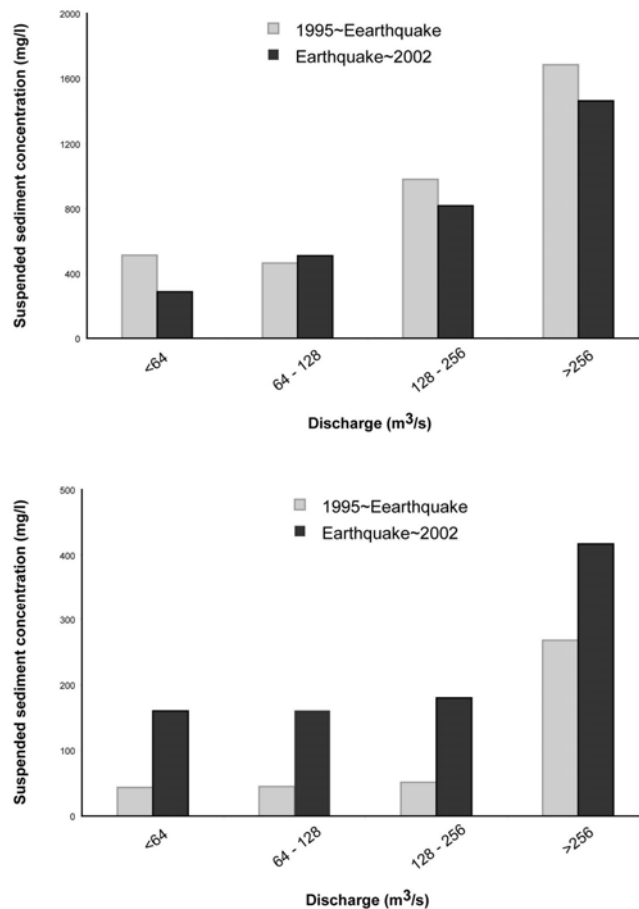


圖 3.3 地震後及桃芝颱風後集水區上游松茂水文站（上圖）及下游白鹿橋水文站（下圖）沈積物濃度變化量



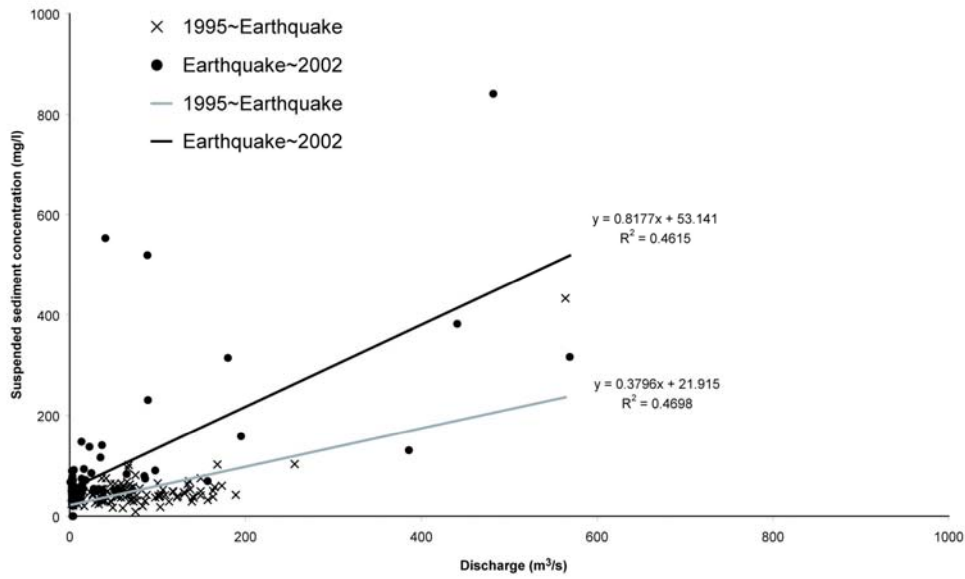


圖 3.4 白鹿橋水文站地震前後流量與懸移質沈積物的變化關係圖

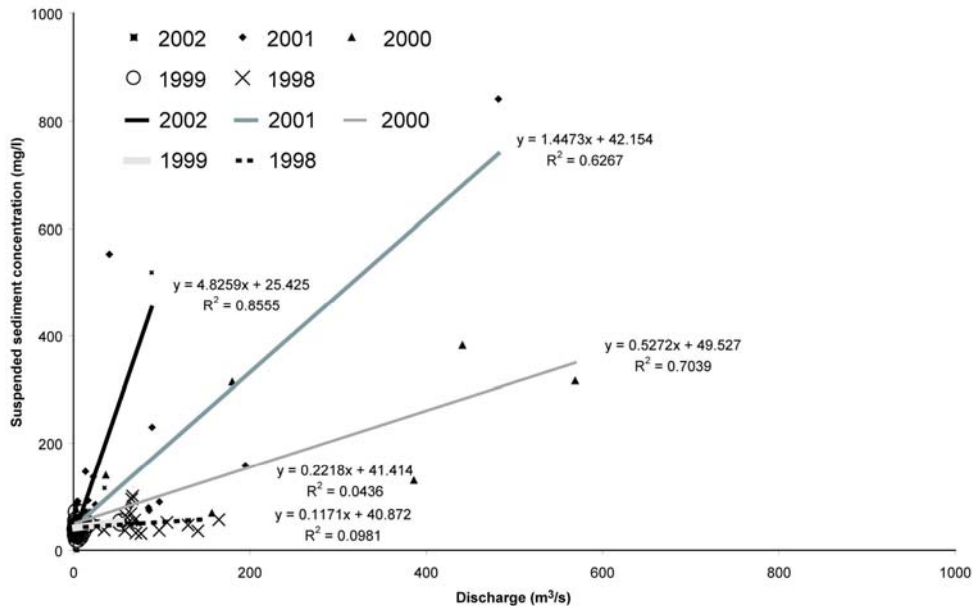


圖 3.5 白鹿橋水文站歷年流量與懸移質沈積物變化

研究發現在地震後河川搬運沈積物的效率有明顯提升，在九二一地震前原本大甲流域是屬於沈積物供應限制的狀況，九二一地震增加沈積物的供應量，也將原本的沈積物平衡改變，轉移為搬運限制。

地震引發崩山的程度受到當時地下水狀況而定 (Rodriguez et al. 1999)，發生九二一地震的 1999 年是相當乾燥的一年，因此地震引發崩山的程度受到相對地限制。此外，地震也不應視為單一事件，其後的餘震也會形成嚴重的衝擊。以九二一地震為例，之後又發生了多次規模 6.3 以上的餘震，這些餘震也大到足以引發許多

崩山。

而崩塌對於沈積物搬運的影響也可以透過集水區內不同測站之比較而獲得。在大甲溪較上游的松茂測站由於遠離地震影響，所以沒有明顯的崩塌產生，河川懸移質濃度因此也沒有明顯變化，而較下游的測站則顯示河川懸移質濃度有明顯的地震前後差異。這更顯示由地震所引發崩塌對於河川搬運的影響與衝擊。

地震所引發崩塌產生的碎屑物質在短期間內會遠超過河川搬運能量，在九二一地震後，崩塌碎屑物質堆積在邊坡與河道中，等待下一次颱風豪雨搬運。

Dadson et al. (2004) 曾對濁水溪進行研究，發現地震後六個月河川懸移質濃度產生明顯下降，這與本研究的結果有所差異，這可能是由於分析方法的不同與集水區崩塌特性的差異所導致，還需要進一步的研究方能有結論。

#### (四) 地質與地形

依地形發育及地質特色，可將大甲河流域依石岡、馬鞍與梨山三個分岐點，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，如眉溪砂岩（白冷層）、達見砂岩層等（詳參圖3.6）。

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。

斷層分布方面，本區主要有四條斷層，由西向東分別為水長流、橫流溪、青山與武陵斷層。水長流斷層為台灣雪山山脈古第三紀地層與西部麓山帶新第三紀地層之構造接觸的分界（何春蓀與譚立平，1960），羅偉等（1999）指出此斷層走向為 $N15^{\circ}-25^{\circ}E$ ，在本研究區出現於橫流溪東側至大甲溪和平地區，斷層線以西的下盤

為大坑層，以東之上盤為水長流層。橫流溪斷層位於橫流溪東側，東側上盤為眉溪砂岩（白冷層），西側下盤為水長流層。羅偉與楊昭男（2002）調查發現青山斷層出露於中部橫貫公路青山至德基上線的小澤臺與公路下線的青山電廠附近，斷層線為東北-西南走向，斷層西側下盤為佳陽層的板岩，東側上盤為達見砂岩的粗粒石英砂岩。武陵斷層為劉桓吉（1997）於武陵地區的桃山附近進行地質調查時所提出，斷層的西北側為達見砂岩，東南側分別有佳陽層與達見砂岩等地層。

在褶皺分布方面，羅偉與楊昭男（2002）指出根據過去調查資料顯示，本地區之雪山山脈地層因為受到強烈擠壓及褶曲，岩層動亂且受到不同程度的變質與變形作用。就整體而言，常呈反覆的背斜與向斜構造，並為走向斷層所分隔（何春燕，1975）。

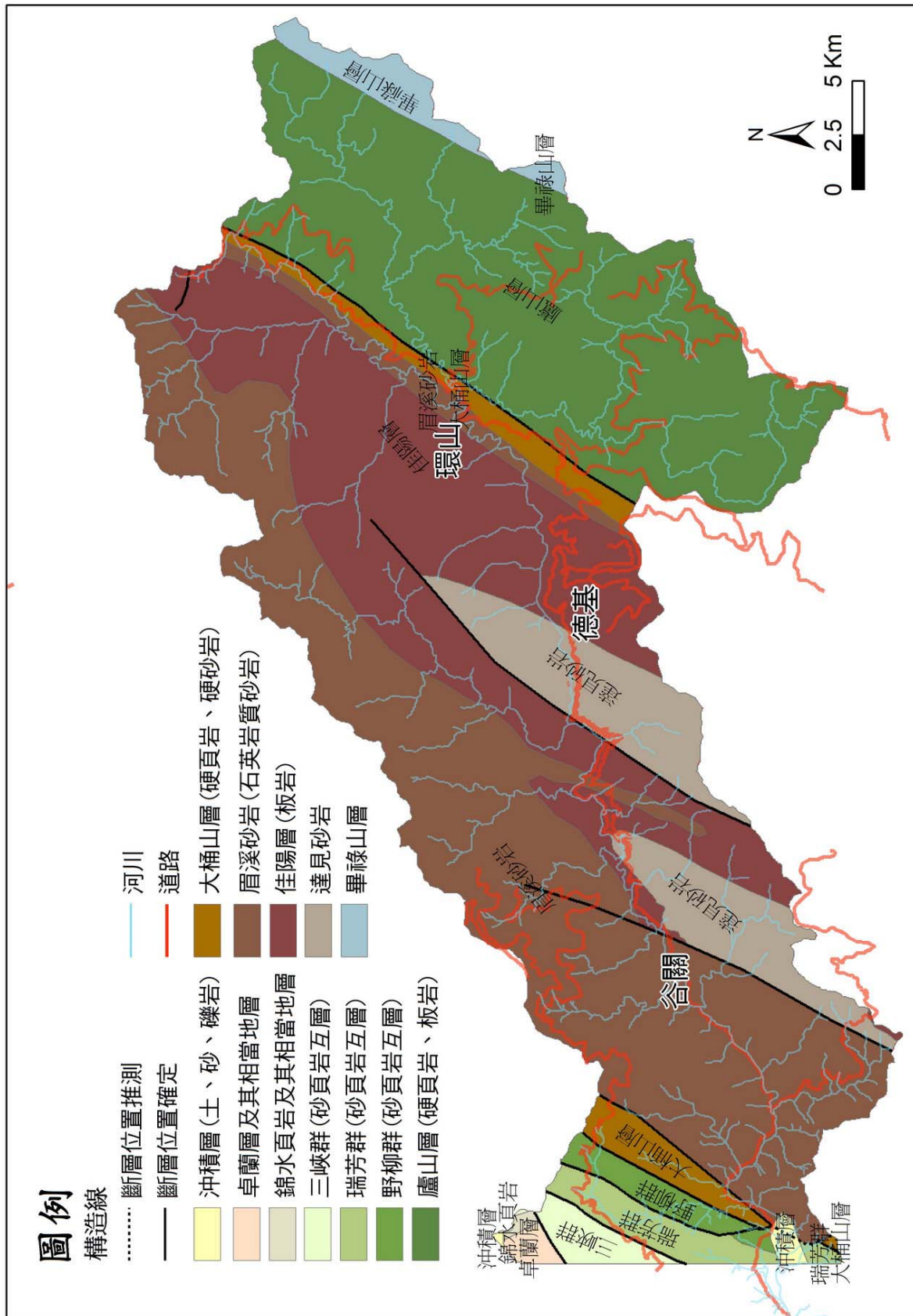


圖 3.6 大甲溪流流域地質分布圖

## (五) 大甲溪的地勢分析

依據王鑫研究將大甲溪中上游的集水區劃分成三大單元（王鑫，1986）。第一個單元是德基壩以上的集水區；第二個單元是德基壩與谷關壩之間的集水區；第三個單元是谷關壩以下至天輪壩之間的集水區。

### 1. 高度

根據各個集水區「高度面積統計圖」上的累積曲線（石再添等，1980）可以得知谷關域的高度中數最大。意即整體而言，平均高度大（表 3.3）。

表 3.3 大甲溪各集水域高度表

集水域	德基域	谷關域	天輪域
高度中數	2340	2390	1820
高度平均數	2340	2335	1825

單位：公尺

資料來源：王鑫，1986

### 2. 坡度

根據大甲溪三個集水域單元的坡度分析（石再添，1980）可以得到如下的結論：谷關集水域的平均坡度較大（表 3.4）。

表 3.4 大甲溪各集水域坡度統計表

集水域 \ 坡度間隔	德基	谷關	天輪
10° ~20°	9.0%	3.5%	4.5%
20° ~30°	34.0%	16.0%	20.0%
30° ~40°	44.5%	47.0%	45.5%
>40°	11.5%	33.0%	30.0%

資料來源：王鑫，1986；石再添等，1980。

根據表 3.5 可知，谷關集水域的平均坡度最大。德基集水域的坡度頻度集中在 20-40° 間；谷關集水域的坡度頻度集中在 35-45° 間；天輪集水域的的坡度頻度也集中在 35-45° 間。

表 3.5 大甲溪各集水域坡度統計表

集水域 \ 坡度	德基域	谷關域	天輪域
中數	31° 10'	36° 40'	36° 20'
平均數	31° 5'	36° 30'	35° 35'

資料來源：王鑫，1986；石再添等，1980。

### 3. 相對高度

比較三個集水域的相對高度中數與平均數，可以發現，仍以谷關的數值最高。也就是說，谷關域的相對高度在大甲溪流域中數值最大（表 3.6）。

表 3.6 大甲溪各集水域相對高度統計表

集水域 \ 相對高度	德基域	谷關域	天輪域
中數	530	670	650
平均數	540	680	650

資料來源：王鑫，1986；石再添等，1980。

### 4. 河谷剖面

大甲溪河床坡度比降，除了源頭至思源埡口之間的河段較陡外，思源埡口至環山，環山至德基間的河床坡度，都比德基至谷關之間的河段為緩。德基壩下游約 2 公里的地方（登仙峽附近，標高 1210 公尺）以及谷關壩址（標高 900 公尺），是兩個河床坡度突然加陡的地方。

坡度陡的河床，搬運沈積物的能力較高。比較大甲溪上下游的河況，也可以發現，在谷關到德基之間的河床最深狹，堆積的物質最少。指出這一段河床有著旺盛的侵蝕及搬運能力。換句話說，河水切割坡腳的能力最強。

表 3.7 德基水庫集水域主支流河床比降表

河距 (km)	落差 (m)	比降	
大甲溪主流 (源頭至天輪壩)	65.5	1770	1/36
源頭至思源埡口	3.6	600	1/6
思源埡口至環山	16.2	380	1/43
環山至德基	23.7	290	1/82
德基至青山	7.5	270	1/28
青山至天輪壩	14.5	230	1/63

資料來源：王鑫，1986；石再添等，1980。

根據王鑫（1986）的研究調查結果，說明中橫公路的邊坡有以下幾點特性：

- (1) 沿公路邊坡，因開挖所造成的陡峻坡度，比其上坡及原有自然邊坡都陡。邊坡作用持續進行，而且明顯可見的，也多在這些坡面上進行。
- (2) 部分邊坡已有風化土或堆積土堆積，植生情形良好。這些坡面的物質若在長時間的綿綿細雨下，吸水飽和後仍可能引發泥流和土石流等邊坡作用。
- (3) 沿線開挖出來的陡峻邊坡，應另行劃分邊坡單元，不納入原有基本坡單元之中。
- (4) 中橫公路德基到谷關段，在陡峻的邊坡（天然邊坡坡度平均值為 42.6 度）上開挖道路，造成路面上邊坡坡度更加大的情形，並使坡面物質更破碎。對外營力的抵抗力量減小，加速邊坡作用的進行。
- (5) 中橫公路開挖至今 50 年。許多坡面已在自然或人工經營下，調適形成平衡穩定的邊坡。已有風化層堆積的陡坡或長坡面，即應做預防性護坡處理，尤其應當考慮加設排水系統，藉以增加坡面穩定。

因此，根據王鑫（1986）認為控制本公路段邊坡崩塌的主要地質因子是：岩性、節理組及節理密度、斷層等；分述如後：

(1) 岩性：

- A. 中橫公路谷關至德基之間，沿線出露的地層屬於古第三紀的亞變質岩，岩層可分為白冷層及水長流層（陳肇夏，1979）。白冷層在谷關

以東，又可以區分為三個地層單位，由下而上分別為達見砂岩、佳陽層及四稜砂岩。各個岩層的岩性分別敘述如下（陳肇夏，1979）：

- B. 達見砂岩：在達見（德基）附近，總厚度近 2700 公尺。由於岩性的差異可分為上、中、下三部分。上部厚 750 公尺，主要由厚層中粒至粗粒石英質砂岩組成，間夾少許頁岩及煤質頁岩；中部厚約 1300 公尺，幾乎全由粗粒至礫石大小的塊狀石英砂岩組成；下部厚約 650 公尺，由細粒至粗粒石英砂岩、綠泥石質砂岩、粉砂岩及少量頁岩組成。本層的頁岩都經過變質而成板岩，砂岩則變質為石英岩。
- C. 佳陽層：本層主要由板岩組成，間夾少許細粒砂岩及粉砂岩，部分板岩為粉砂質，劈理較不發達。
- D. 四稜砂岩：總厚度約 600 公尺，主要由灰色至淡灰色厚層至塊狀、粗粒石英質及長石質砂岩組成，間夾頁岩及礫質頁岩。
- E. 水長流層：由暗灰色到黑色硬頁岩和板岩組成，間夾灰色細粒而堅緻的砂岩。除了有砂岩夾層的地方外，一般頁岩質岩層的層面很難辨認。

大致而言，公路邊坡崩塌與岩性兼有密切的關係。在岩質堅硬的岩層裡，如四稜砂岩、達見砂岩，及佳陽層中的含砂岩段，出現的邊坡大多地勢陡峻、公路邊坡的坡高大、坡度也較陡。在岩質軟弱的岩層裡，如水長流層及佳陽層頁岩段，出現的公路邊坡則坡高小且坡度較緩。前者的公路邊坡常有落石崩塌型災害，後者則是比較安定的路段。

## (2) 節理組及節理密度

沿公路線量得節理的走向與傾角。它們和公路邊坡坡向的關係，可分為：A. 順向節理：指節理的傾斜和公路坡向一致的邊坡。B. 反插節理：指節理的傾斜方向和坡向相反的邊坡。C. 斜交節理：指節理的傾斜方向和坡向呈斜交的公路邊坡。

如果節理組中含有順向節理存在，則公路的邊坡就比較容易發生崩塌。崩塌規模的大小有受地形（坡度、坡高）、岩性、節理密度、節理裂開程度（寬度）、節理填充物質等因子的控制。

## (3) 斷層：公路沿線出現的斷層可分為三類，分別是 A. 層面斷層、B. 小型斷層、C. 主要斷層。

- A. 層面斷層（或泥縫）：在板岩層理或板岩與石英閻的層面間常見。造



山運動期間，沿著這種弱面產生錯移現象而造成層面斷層。斷層面常形成泥縫。這種現象在公路沿線非常普遍。然而這種層面斷層（或泥縫）的走向大多與公路邊坡坡向呈斜交關係，因此對邊坡崩塌並沒有多大的影響。

- B. 小型斷層：即是伴隨主要斷層而生的小斷層。大多分布在主要斷層附近。公路沿線，主要斷層通過的地區附近，常可見到小型斷層的現象。在這些地方岩體多呈破碎狀，因此崩塌發生的主要地點，例如中橫公路上下線交界地方的崩場地，就是沿小型斷層面發生的崩塌。
- C. 主要斷層：層面斷層與小型斷層附近的公路邊坡崩場地，在規模上都遠不及主要斷層附近出現的崩場地規模大。例如谷關崩場地，就是因為主斷層通過附近的緣故而導致岩體極端破碎；又恰好位居河流的攻擊坡，邊坡長期受到河流的侵蝕，在這道路開挖又切除了坡腳，因此形成一個大型崩場地。

根據以上的討論，可明瞭：（1）中橫公路谷關至德基段的邊坡穩定性，主要受到節理和斷層等不連續面的控制，而非岩石本身的強度控制。（2）本公路段邊坡崩塌方式主要為落石，偶有平面型地滑出現。（3）崩場地規模的大小受地形、岩性、不連續面與公路邊坡坡向的關係、不連續面密度及填充物等多重因素影響。

## （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（圖3.7）。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（圖3.8）（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（圖3.9），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。為了居民及農業產品交通運輸需要，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。

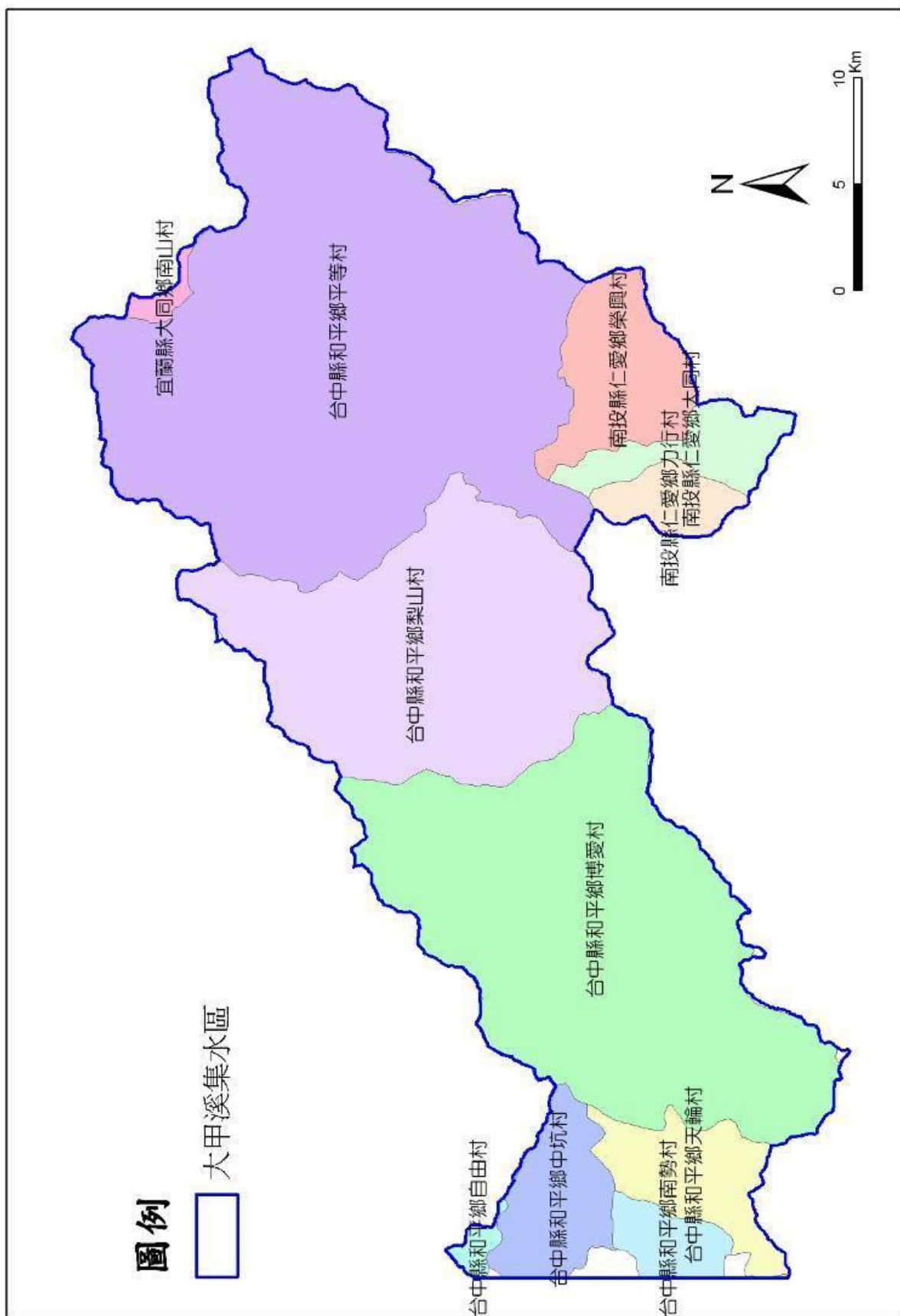


圖 3.7 大甲溪流域行政區界圖



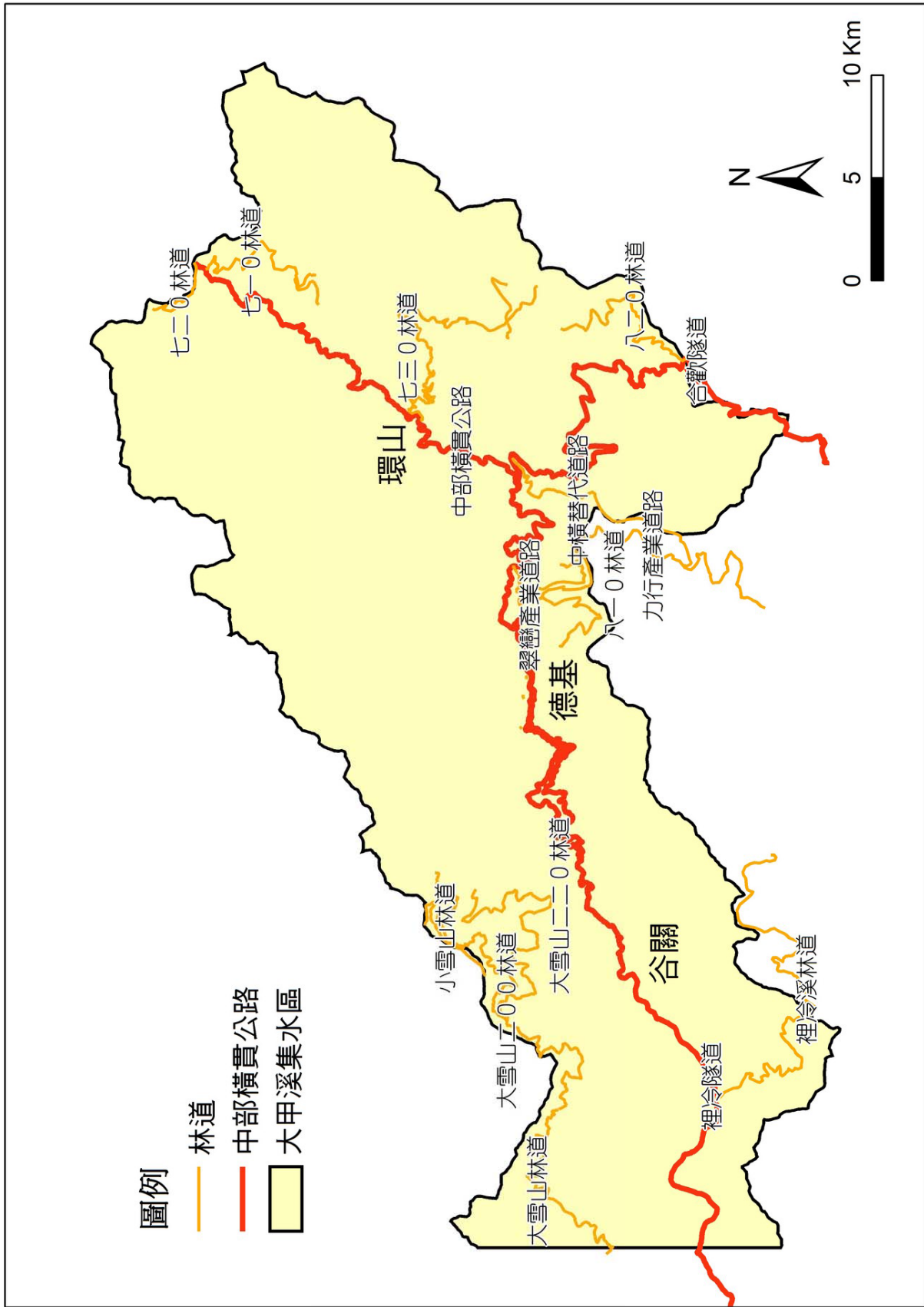


圖 3.9 大甲溪流流域道路分布圖

## 四、陳有蘭溪集水區研究區

陳有蘭溪為濁水溪主要支流之一，主流發源自玉山北峰之八通關，全長42.4公里，集水區面積約450平方公里，集水區主要位於南投縣之信義鄉、水里鄉及鹿谷鄉境內（圖4.1）。由於在夏季颱風來襲時，容易在此地區發生崩塌、土石流等坡地災害。從1996年7月底的強烈颱風賀伯造成陳有蘭溪集水區嚴重土石流災害，死亡人數與財物損失不計其數。之後再經過1999年9月的九二一大地震，造成地層土石鬆散，提供了危險溪流集水區內更多的土石材料堆積物來源。之後每當颱風或豪雨來臨時，這些地區即發生大小規模不等的土石流，使得陳有蘭溪流域因連續豪雨與鬆散土石多處重複發生土石流，其中以在2001年7月底的強烈桃芝颱風重創台灣過後，山坡上大量崩塌的鬆散的土石，在豪雨來臨時，非常容易發生土石流。

### （一） 氣候

#### （1） 氣溫

流域氣溫受地形複雜高低差懸殊等因素，水里鄉年均溫約為21.9℃，最高氣溫為七月33.6℃，最低平均氣溫為一月之9.8℃，並且隨著海拔高度上升1000公尺，下降6.5℃，相對溼度較平地高，其年平均相對溼度為84.45%，全年之相對溼度均高，季節上的變化之差異較不明顯（表4.1）。

#### （2） 雨量

屬於亞熱帶氣候，每11月至翌年4月盛東季風，因中央山脈阻隔，故雨量較少。然而每年5月至10月間盛行西南風、豪雨及颱風，雨量豐沛，尤其主要降雨集中在5至9月的颱風季節，在梅雨季節時，下雨天數約佔2/3，其下雨頻率較為頻繁，故屬於夏季多雨，冬季少雨之氣候型態。然一般而言，研究區域降雨以7、8月最為豐沛，且7、8、9月多颱風，常可導致大雨；10月至翌年1月為旱期，通常雨量僅及全年雨量的1/5至1/4（表4.1）（陳進興，2006）。

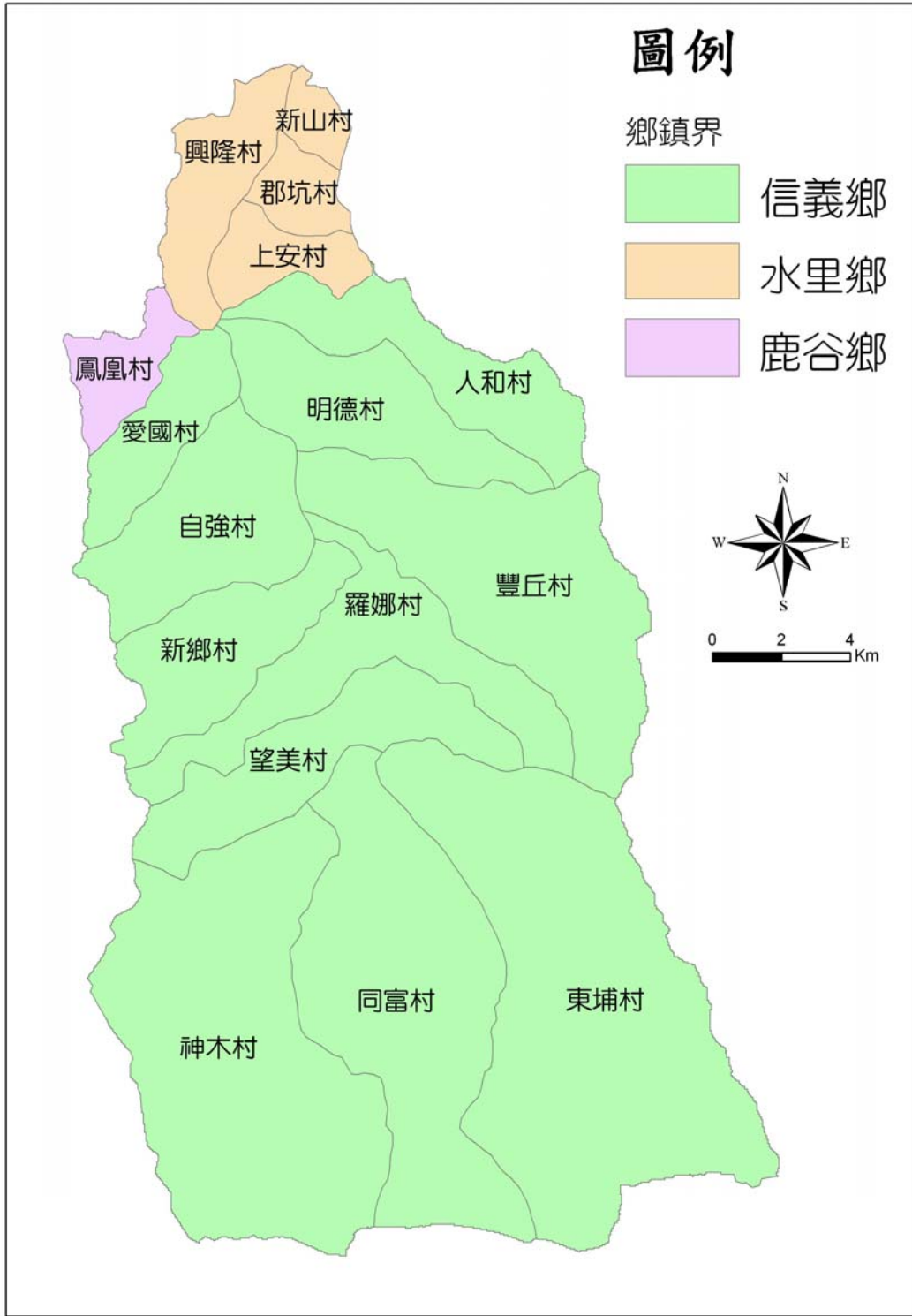


圖 4.1 陳有蘭溪行政區圖

表 4.1 水里鄉 1992 至 1997 年氣象資料表

月份	平均溫度 (°C)	最高平均 溫度(°C)	最低平均 溫度(°C)	平均相對 濕度%	雨量(mm)	平均風速 (m/s)	日照時數 (hr)
一月	15.99	23.13	9.80	81.00	34.47	0.90	220.35
二月	15.88	23.35	11.05	85.47	51.02	1.00	155.20
三月	19.28	26.05	13.28	85.05	108.60	1.05	253.20
四月	21.87	28.22	16.65	85.85	121.37	0.95	231.25
五月	24.00	30.13	20.08	85.58	332.90	0.80	228.80
六月	25.47	31.31	21.40	82.60	315.37	0.80	242.30
七月	26.37	33.60	20.24	84.32	303.83	0.85	258.35
八月	26.45	33.07	21.75	87.82	398.25	0.80	250.40
九月	25.92	32.36	21.74	85.67	47.97	0.75	249.00
十月	23.78	30.00	18.98	85.62	38.22	0.70	246.45
十一月	19.32	28.97	15.48	81.84	19.60	0.75	230.95
十二月	18.43	25.97	12.13	82.72	4.50	0.80	201.30
總計	—	—	—	—	1676.10	—	2627.55
平均值	21.89	28.85	16.88	84.46	139.68	0.85	218.96

資料來源：台大實驗森林管理處

## (二) 地質與地形

陳有蘭溪流域位於南投縣信義、水里、鹿谷鄉境內，地理位置介於北緯 $23^{\circ} 26'$ 至 $23^{\circ} 47'$ 及東經 $120^{\circ} 47'$ 至 $120^{\circ} 57'$ 之間，若以橫麥卡托投影表示，則其直角座標之範圍約在橫座標224,000至254,000公尺，縱座標2640,000至2595,000公尺之間，形狀近似長方形。

陳有蘭溪為濁水溪之重要支流之一，主流發源於玉山北峰之八通關（海拔3910公尺），自南向北流經山區，於東埔附近有沙里仙溪匯入，並於和社附近有和社溪匯入後，蜿蜒經信義鄉及鹿谷鄉境，其下游於水里鄉新山、永興村附近匯入濁水溪。主流全長42.40公里，流域面積約4萬5千公頃，主流平均坡降約6.75%，為濁水溪之



3.7 倍，在台灣地區已算是相當陡峻 (Lin et al., 2002)。

西岸共有20條支流，其中兩大支流為和社溪及沙里仙溪，其又分別擁有11條及7條支流。東岸共有23 條支流，其中以郡坑溪、十八重溪規模較大 (圖4. 2)。就平均坡降而言，除陳有蘭溪及和社溪坡降在10%以下外，較大的支流如內茅埔溪、郡坑溪、牛稠坑溪、筆石溪、十八重溪、阿里不動溪及沙里仙溪等均在10%-25%。但上游小支流的坡降甚至可高達40%-60%。至於流域面積，除幾條主要支流的流域面積較大外，85% 的支流流域面積在10 km<sup>2</sup>以下，其中50% 在2 km<sup>2</sup>以下。

陳有蘭溪為五級河，支流中除和社溪為四級，白不仔、內茅埔、筆石、阿里不動、松山、沙里仙、郡坑諸溪為三級外，85%的溪谷為一級或二級河。流域內各支流大多為坡陡流急的小集水區 (張瑞津，1997)。由於上游支流短、水流急，向源侵蝕旺盛，主、支流向下游供應大量土石。根據玉山國家公園管理處之監測，民國七十六年至八十一年間，金門峒一帶之崖坡後退速率達每年5.75- 8.89 公尺 (陳隆陞，1992)。

依據內政部「非都市土地開發審議規範」之標準，流域內之土地依坡度可分為六級。坡度小於40% 的土地面積僅有72.85 km<sup>2</sup> (含河川面積)。坡度大於40%之土地面積佔全區之83.73%。依「山坡地保育利用條例施行細則」明訂坡度大於55%之山坡地必須列為保育地，本區達到此項標準之土地佔全區之69.23%。陳有蘭溪谷略成直線狀，幾無曲流發育。

從濁水溪本流合流點往南15公里之下游段，河床寬廣。全段河谷之堆積作用發達，河床堆積物深厚。本流域在地形上之主要特徵為地形高差大 (3000 公尺以上)、坡降陡、主流河床寬 (1公里以上)、崩塌地多，而且河谷沖積扇發達。依據李錫堤 (1996) 之研究，陳有蘭溪為台灣本島河谷沖積扇發育最為發達的數條河川之一，這代表其沖刷量大，隱含了地質變動快速的意義。

以地形與地質的條件來看，陳有蘭溪集水區是屬於較為年輕的斷層線谷。陳有蘭溪斷層，沿著主流及主要支流沙里仙溪的右岸發育，斷層的西側為中新世的沈積岩地層，東側則為古第三紀之板岩層 (圖4. 3)。由於受到斷層構造的控制，主流溪谷筆直，直衝向濁水溪本流。斷層作用也造成了斷層鄰近地區的地層節理發達，加以地形陡峻及地震影響，使得近地表的岩盤多呈鬆弛狀態，是為山坡穩定極為不利的背景因素 (2001，劉雲漢)。

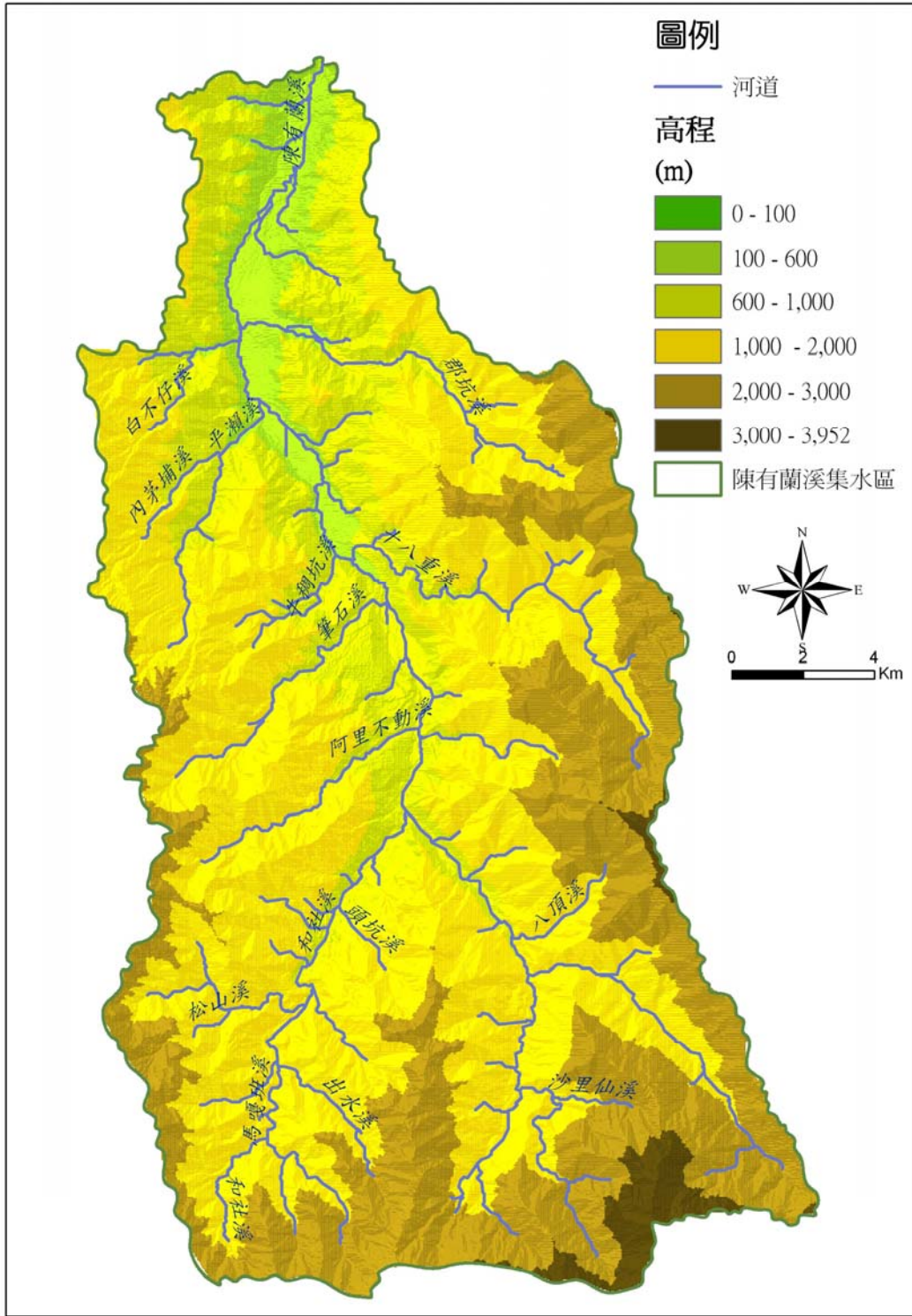


圖 4.2 陳有蘭溪流域高程與水系圖

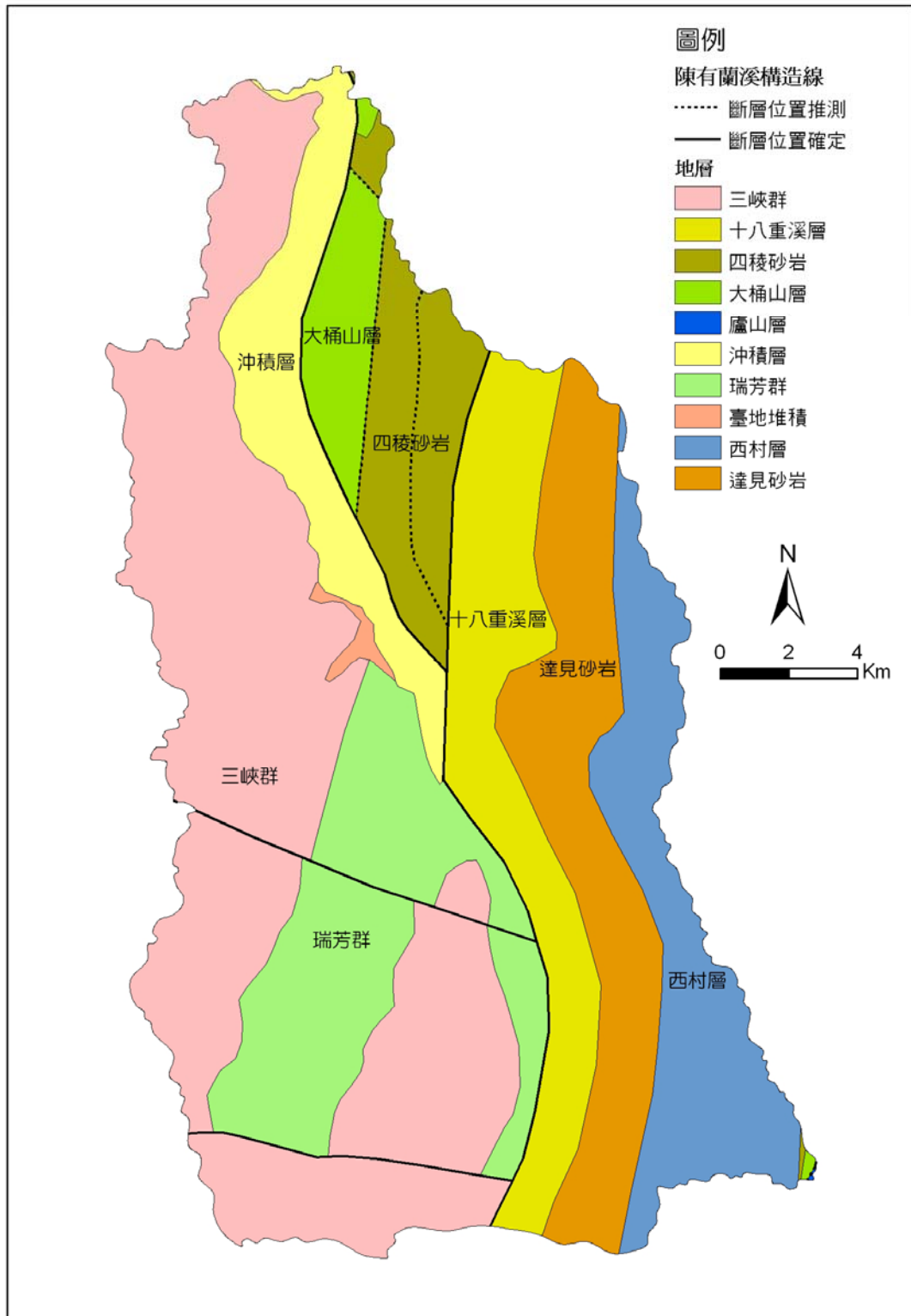


圖 4.3 陳有蘭河流域地質圖

## 五、執行情形及結果分析

### (一) 大甲溪資料蒐集

#### 1. 大甲溪航照與衛星影像判讀

本研究蒐集自1999年（九二一地震）至2007年之航空照片與衛星影像，進行大甲溪流域林地變遷之監測與分析，所蒐集的歷年影像如表5.1所示，影像範圍見圖5.1～圖5.4。1999年以前的影像紀錄九二一地震之前林地內之崩塌地與土地利用分布；而2000年代表九二一地震之後之崩塌地分布；2004年代之後，大甲溪經歷包括桃芝颱風、敏督利颱風等，大的颱風降雨事件，均造成大甲溪流域大量的崩塌與災害，而2005年為歷經另外一次較大的颱風事件之後，對於林地崩塌地與土地利用之影響；而2005年到2007年之間，由於研究區內較無受到重大颱風降雨事件影響，可監測林地內植生恢復之情形。

表 5.1 歷年航空照片與衛星影像

年代	影像種類	資料範圍	解析度 (m)	圖號
1999之前	正射化航照	大甲溪中上游	0.5	圖5.1
九二一地震				
2000年	SPOT影像	大甲溪上游	12.5	
桃芝颱風、敏督利颱風				
2004年	正射化航照	大甲溪中上游	0.5	圖5.2
海棠颱風				
2005年	正射化航照	大甲溪中游	0.5	圖5.3
無大事件				
2007年	福衛二號影像	大甲溪中上游	2	圖5.4

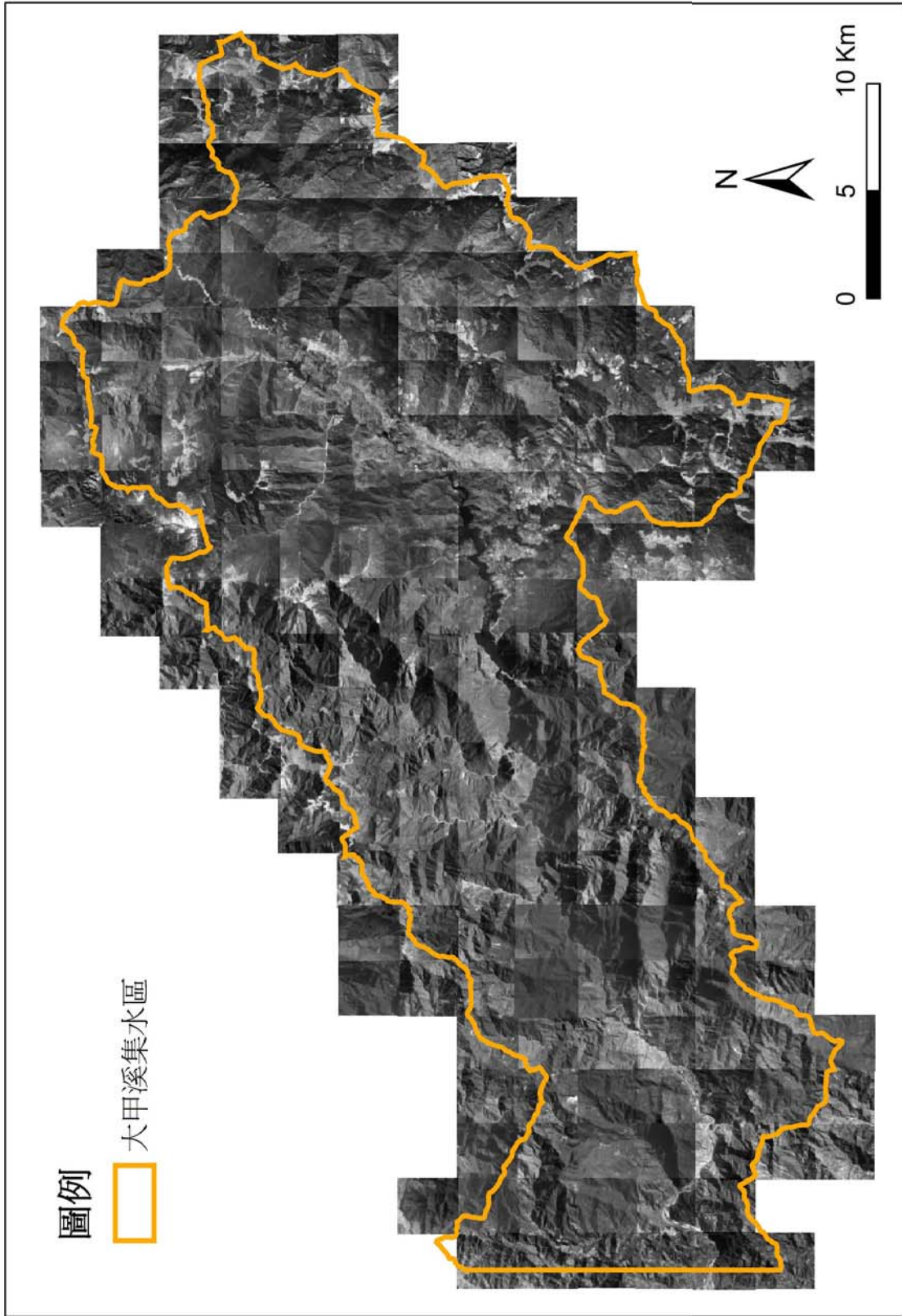


圖 5. 1 九二一地震前航空照片圖

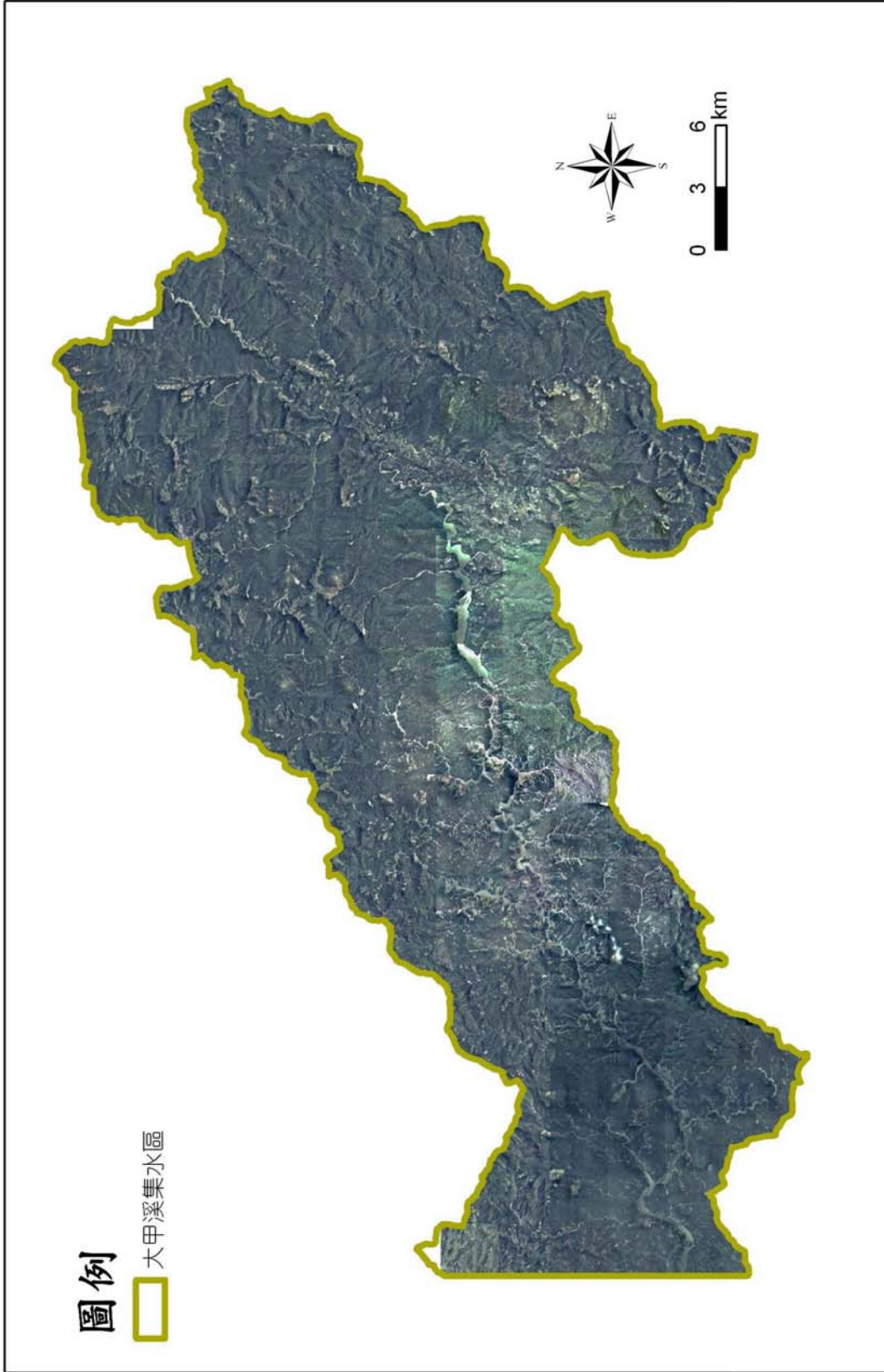


圖 5.2 2004 年大甲溪正射化航照圖

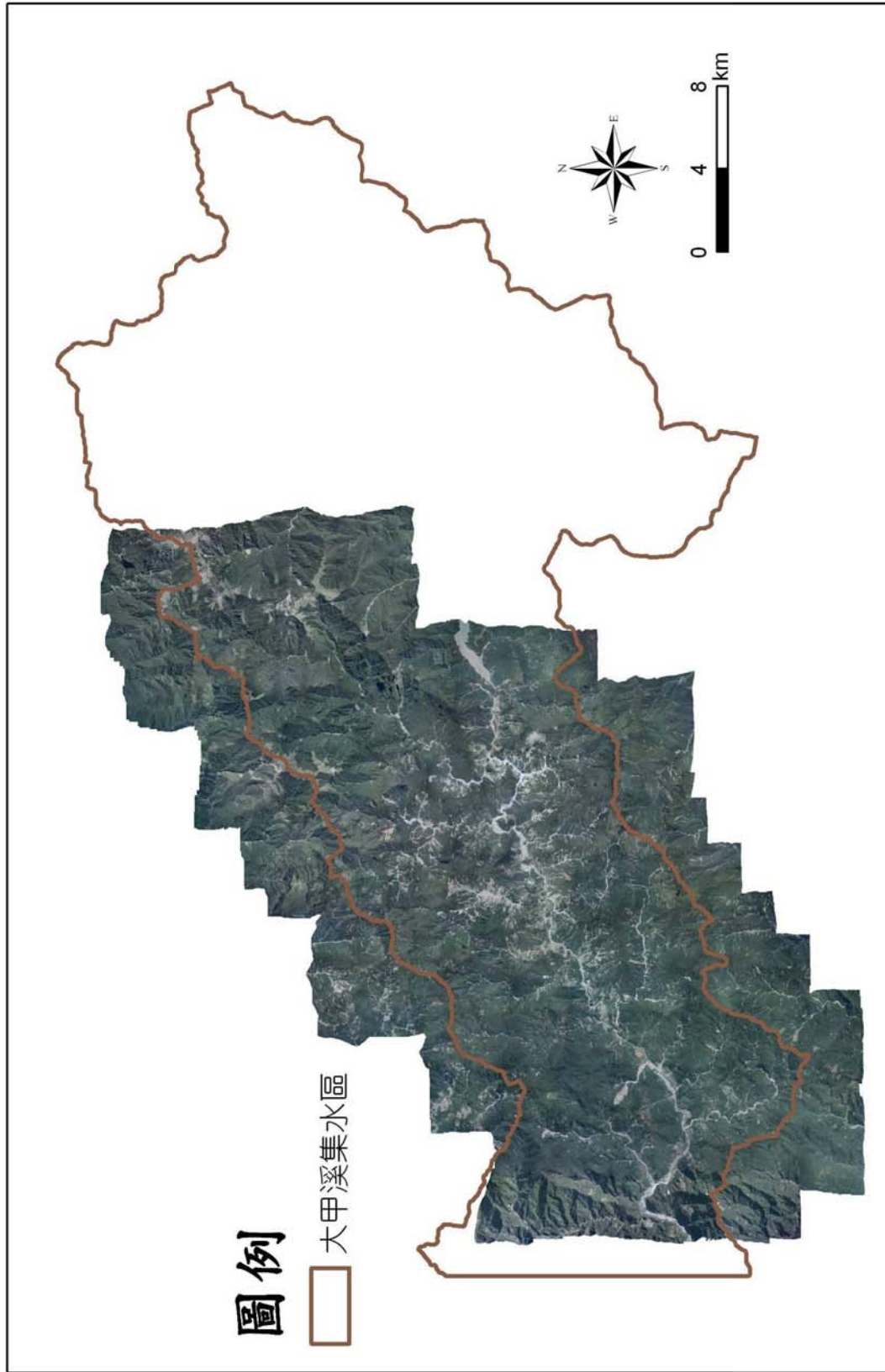


圖 5.3 2005 年大甲溪正射化航照圖

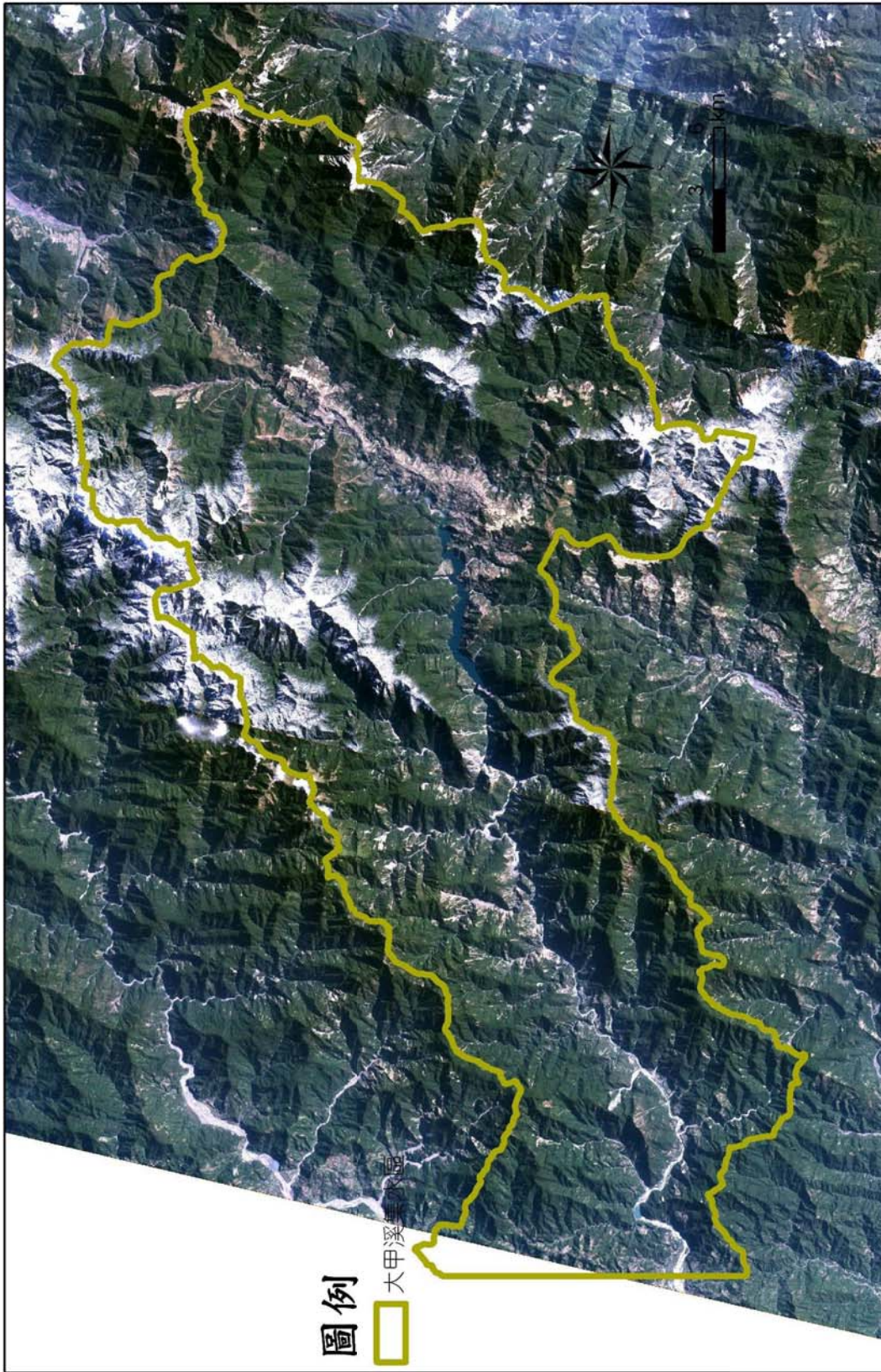


圖 5.4 2007 年大甲溪福衛二號影像



從過去的觀察研究發現，崩塌地的產生對整個大甲溪流域產生重大的影響，全區域的崩塌地統計雖然可以瞭解整個集水區的崩塌模式，然而局部地區的崩塌型態、發育模式及發生的機制可能略有不同。因此，本研究為了探討小區域間崩塌地發育的型態是否有差異，以谷關到德基地區間，選定四處主要具有代表性的崩塌地（圖5.5），將四處研究樣區，由左至右分成A、B、C、D四區（面積為4平方公里），追蹤探討崩塌地發育的過程。

本研究採用農航所歷年的正射影像，包括九二一地震前、2001年桃芝颱風後、2004年敏督利颱風後及2005年影像資料，以及陶林數值測量公司產出的九二一地震後谷關到德基間的正射影像，進行套疊比較，觀察崩塌地發育的變化，並以經建版第二版（1994年）二萬五千分之一地形圖為底圖，觀察這些崩塌地在九二一地震後是否為新生成的崩塌地或為舊崩塌地（圖5.6~5.9）。

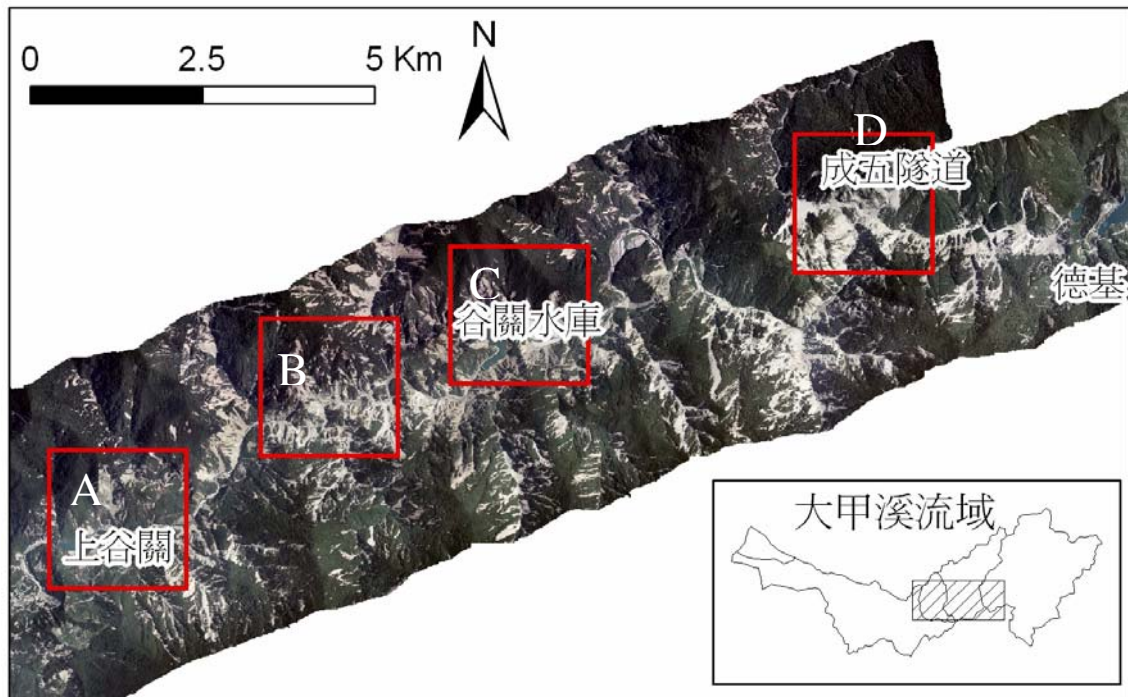


圖 5.5 大甲溪研究樣區位置圖

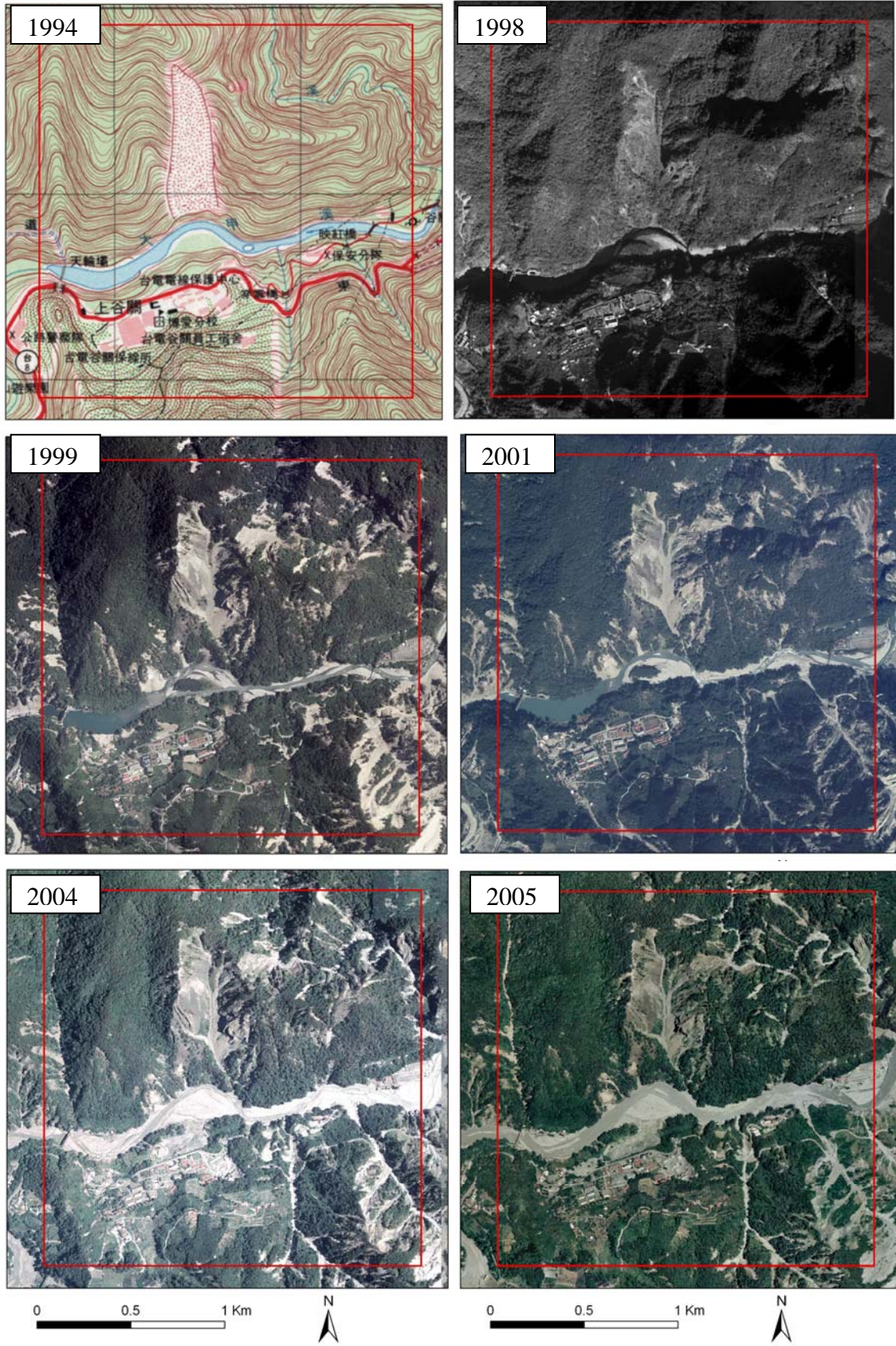


圖 5.6 A 研究樣區歷年航照對照圖

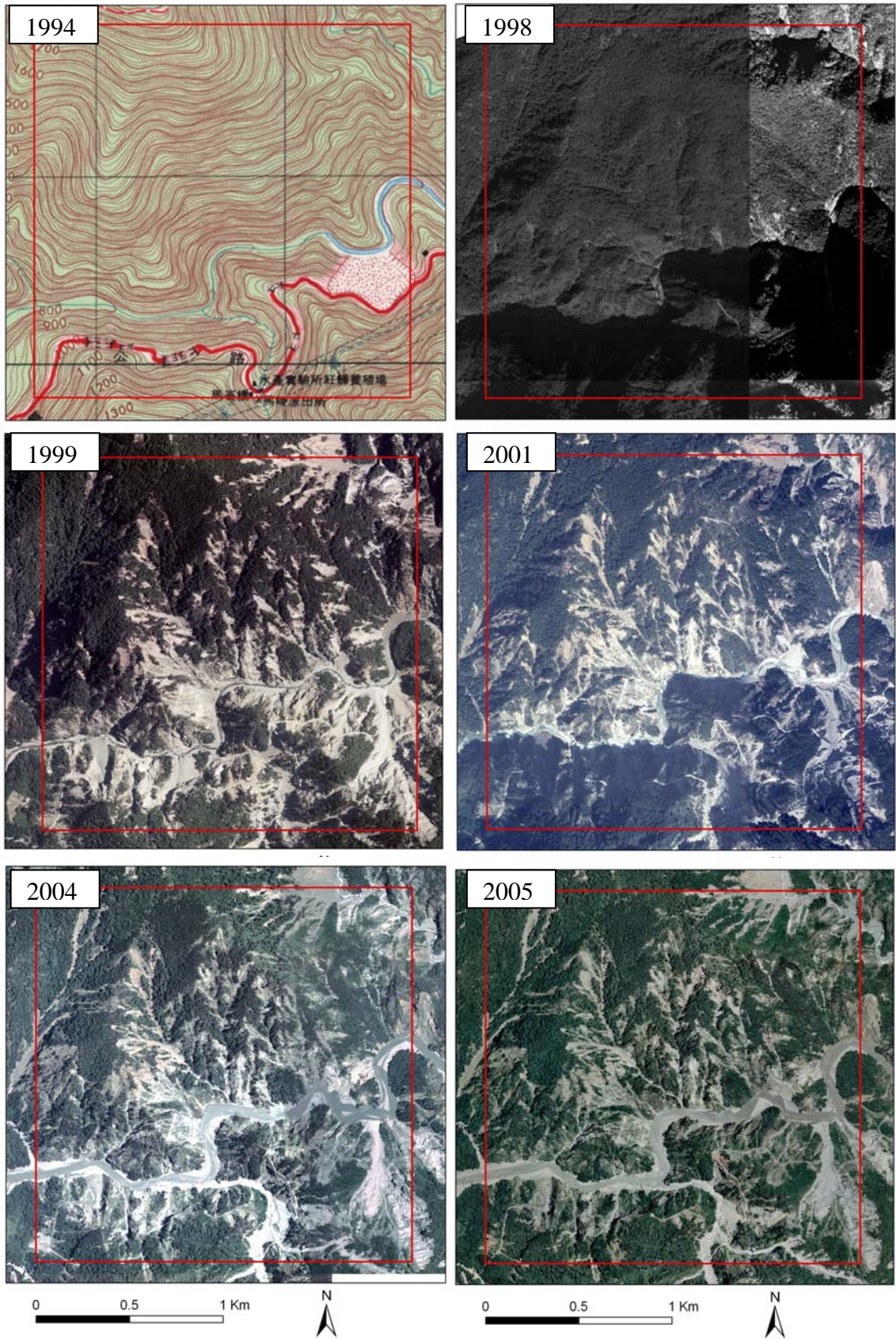


圖 5.7 B 研究樣區歷年航照對照圖

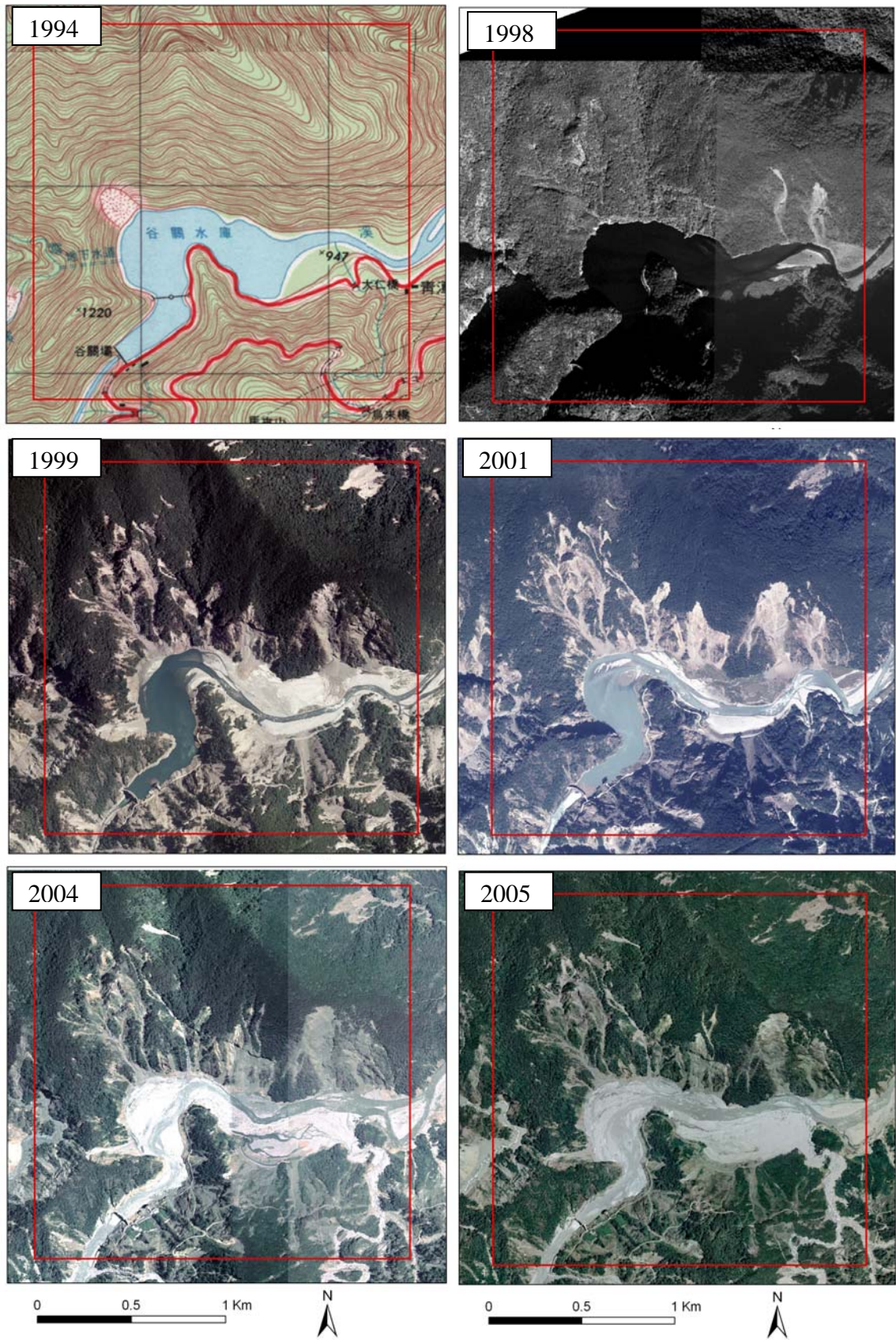


圖 5.8 C 研究樣區歷年航照對照圖

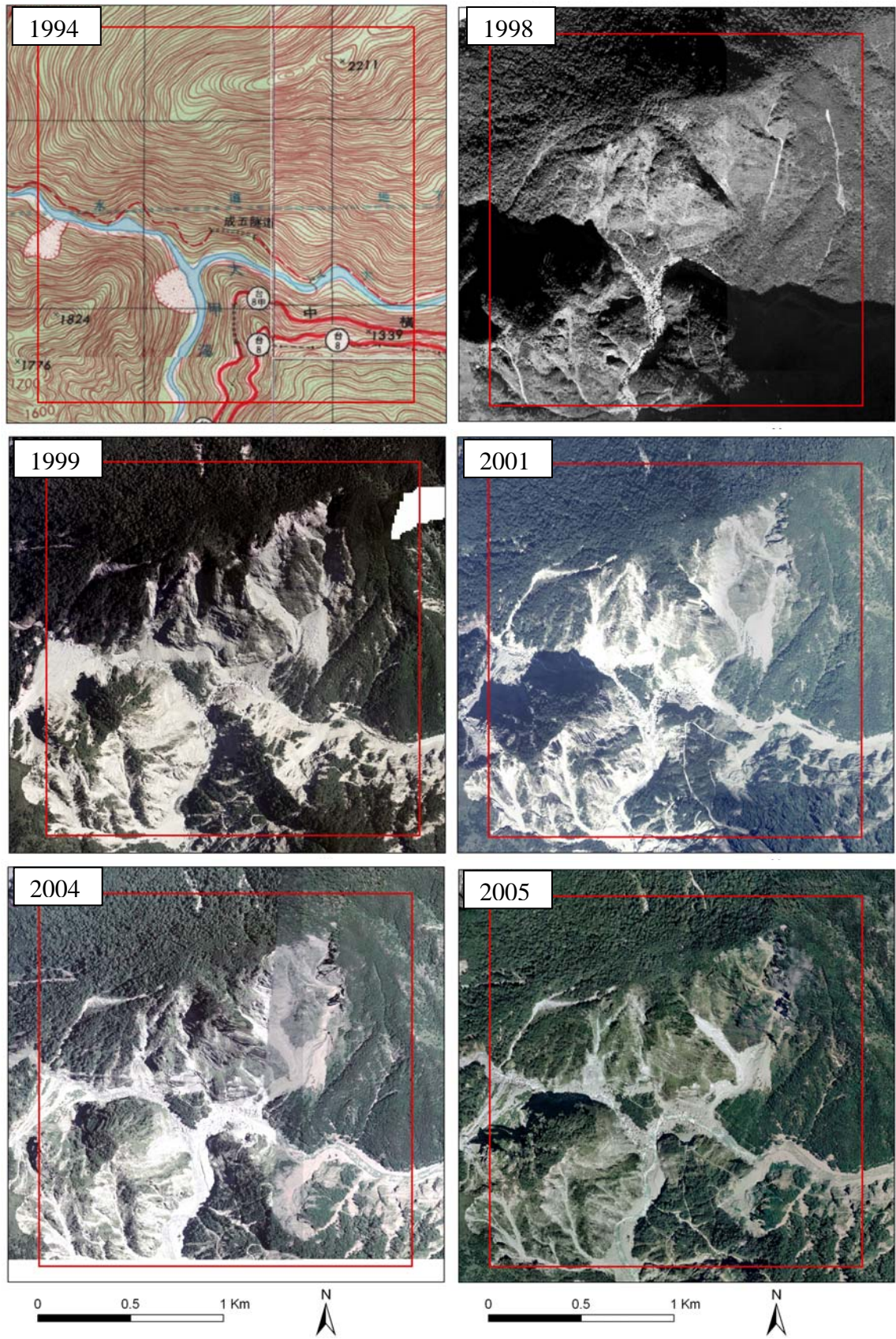


圖 5.9 D 研究樣區歷年航照對照圖

A 研究樣區（圖 5.6）中下游處為天輪壩，從經建版地形圖中，距天輪壩上游約 1 公里處北側邊坡有一處舊崩場地，在地震前的航照上也能夠判釋出來。在地震後舊崩場地持續產生崩塌，沿著河谷兩側則有新的崩場地生成。從 2001 年桃芝颱風後的影像，新生成的崩場並不多，但在河谷上游有泥沙淤積的現象產生。2004 年敏督利颱風後至 2005 年，航照上可看見河谷上已被泥沙淤滿。

B 研究區（圖 5.7）在西側有一處崩場地，在地震前僅能判釋出幾處小崩場地，然而在地震後，本區則造成大規模山崩，從地形圖來看，這些地方均位於地形較陡的地區。在桃芝颱風及敏督利颱風後，崩場地大部分沿著原本崩場所產的沖蝕溝持續發育，在 2005 年的影像中河道堆積更為明顯。

C 研究區（圖 5.8）位於谷關水庫上，地形圖上在水庫北岸有一處舊崩場地，在地震前影像上可明顯判釋出幾處舊崩場地。在九二一地震後這些舊崩場地持續崩塌，水庫兩側則有新的崩場地產生。比較 2001 年及 2004 年的航照，2004 年敏督利颱風造成的崩塌現象比 2001 年桃芝颱風嚴重，尤其在河道上的淤積現象更為明顯。至 2005 年谷關水庫上游已被泥沙所淤滿。

D 研究區（圖 5.9）在地形圖上可看到兩處舊崩場地，在 1998 年的航照上顏色較淺處應該都屬舊崩場地，在九二一地震後，本區大部分被崩場地所涵蓋，從地形圖來看這些崩場區大部分都位於坡度較陡的區域。在地震後的崩場地變化並不明顯，表示地震已經誘發了大部分可能產生的崩塌。

整體而言，從 1994 年賀伯颱風前的地形圖及觀察 1998 年至 2005 年的航照資料資料，顯示中橫地區自九二一地震後至今，八年來幾乎每隔一兩年就受到颱風的沖蝕，而颱風使得在邊坡上鬆散的土石帶入河床中，造成河道嚴重淤積的現象，造成本區一直無法穩定。但是由面積分布看來，也沒有更大規模的擴張。因此往後是否能慢慢穩定下來，有待更長期的觀測。就以上四個研究樣區觀察的結果說明如下：

- （1）由 1994 年的地形圖上的崩場地而言，經過地震、颱風的衝擊，都會繼續發生崩塌，甚至有擴大的趨勢。老崩場地的位置與範圍，應該繼續整理，作為日後判釋的參考。
- （2）由現有航照判釋，可以看出如果颱風豪雨持續對本區沖蝕，崩場地並還沒有穩定的趨勢。
- （3）崩場地的範圍，雖未呈現穩定，但是崩塌的面積與數量，並沒有大幅增加。而且從沖積物的供應源而言，應有一個限制量，不應該無限制的供應。因此，

日後如何瞭解供應量的來源，或許是下個階段應該關注的焦點。

## 2. 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。本研究蒐集1999年、2002年、2005年崩塌地資料與完成2004年崩塌地向量資料數化，詳如表5.2及圖5.10~圖5.13。

表 5.2 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	資料範圍
1999	九二一大地震後	農林航空測量所航照	谷關一帶
2002	桃芝颱風後	工研院能資所	大甲溪中上游
2004	敏督利颱風後	本研究整理數化	大甲溪中上游
2005	海棠颱風後	本研究整理數化	大甲溪中游

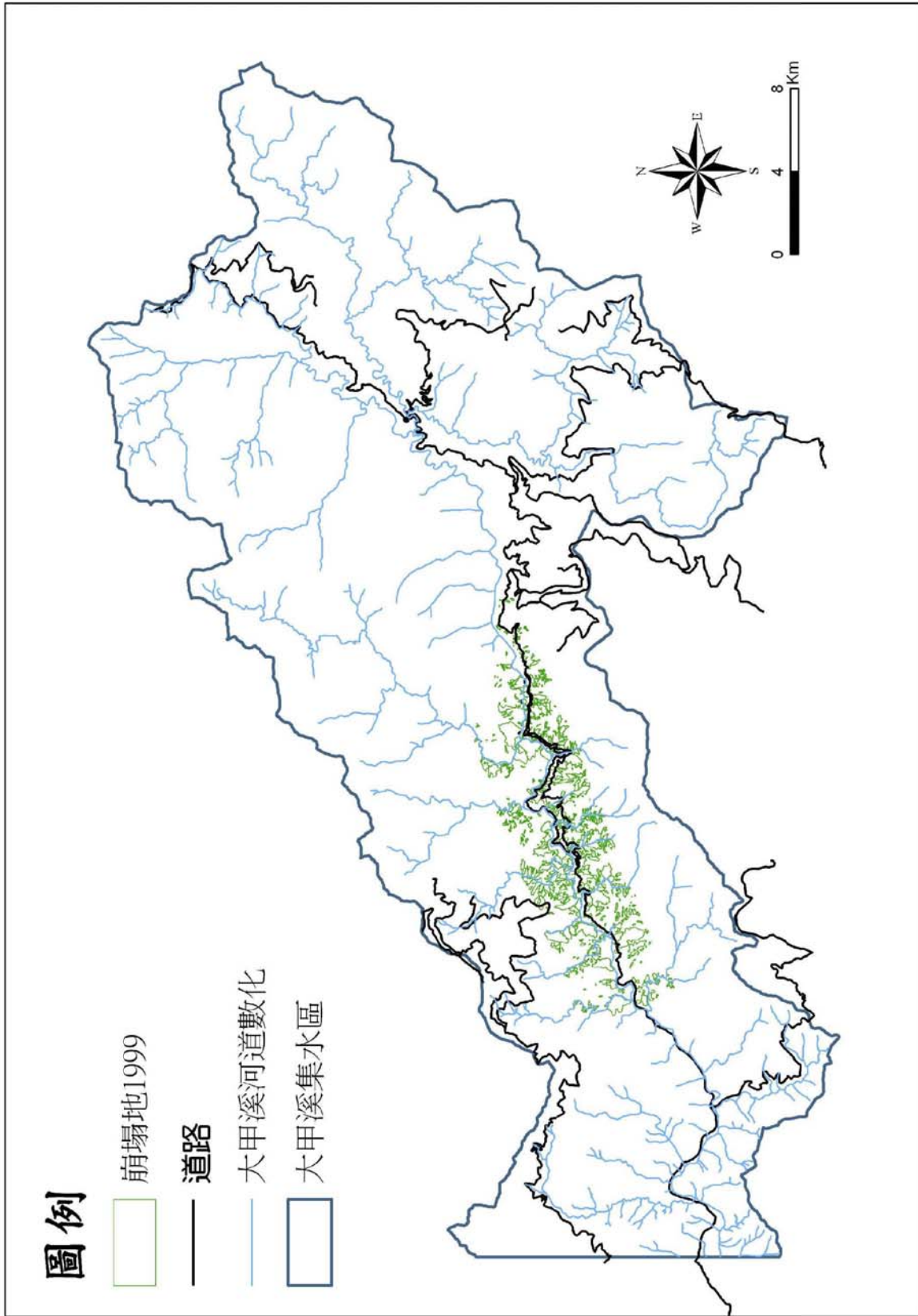


圖 5. 10 1999 年大甲溪崩塌地分布圖  
 (資料來源：農林航空測量所航照)



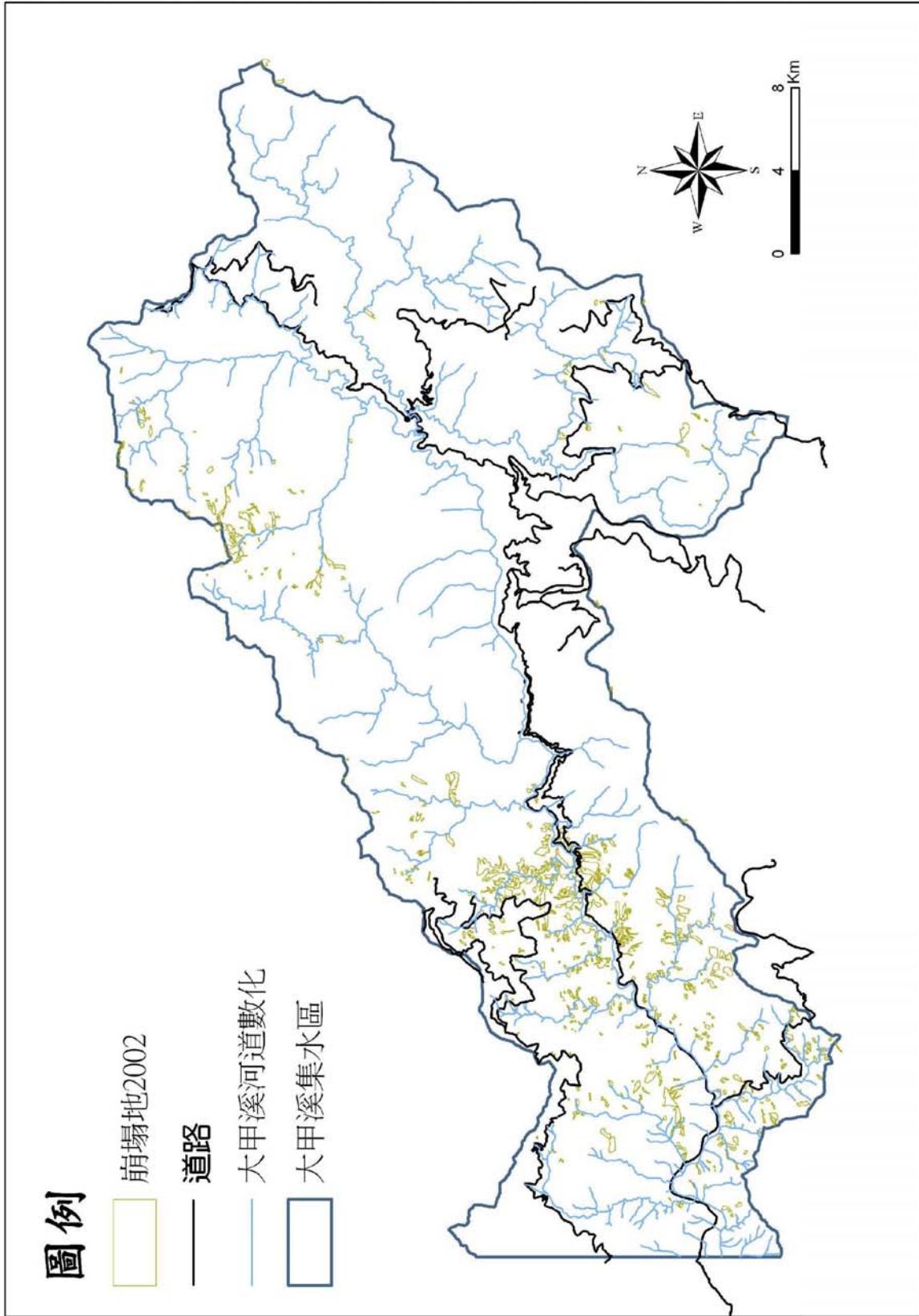


圖 5.11 2002 年大甲溪崩塌地分布圖  
 (資料來源：工研院能資所)

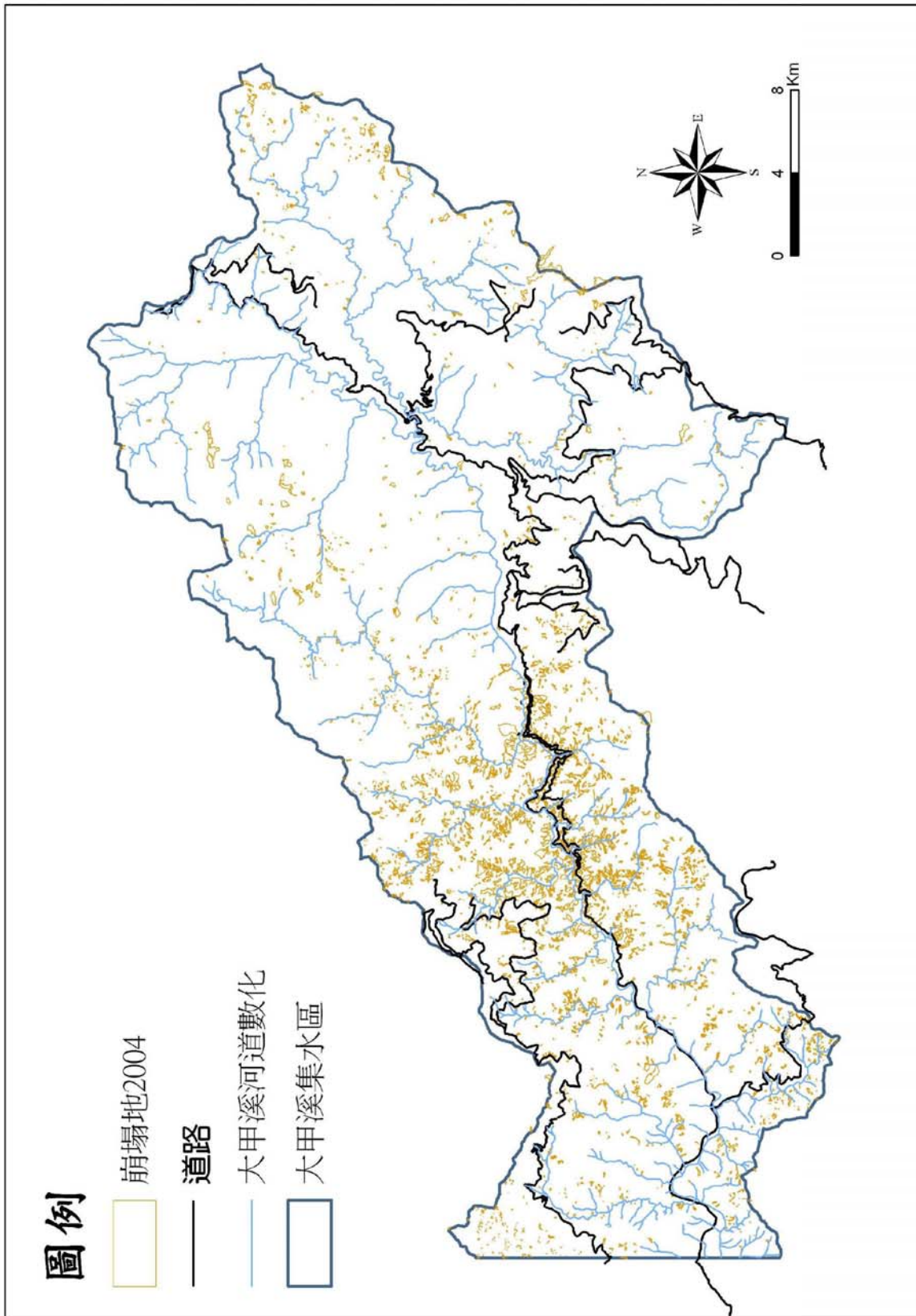


圖 5.12 2004 年大甲溪崩塌地分布圖  
 (資料來源：本研究數化整理)

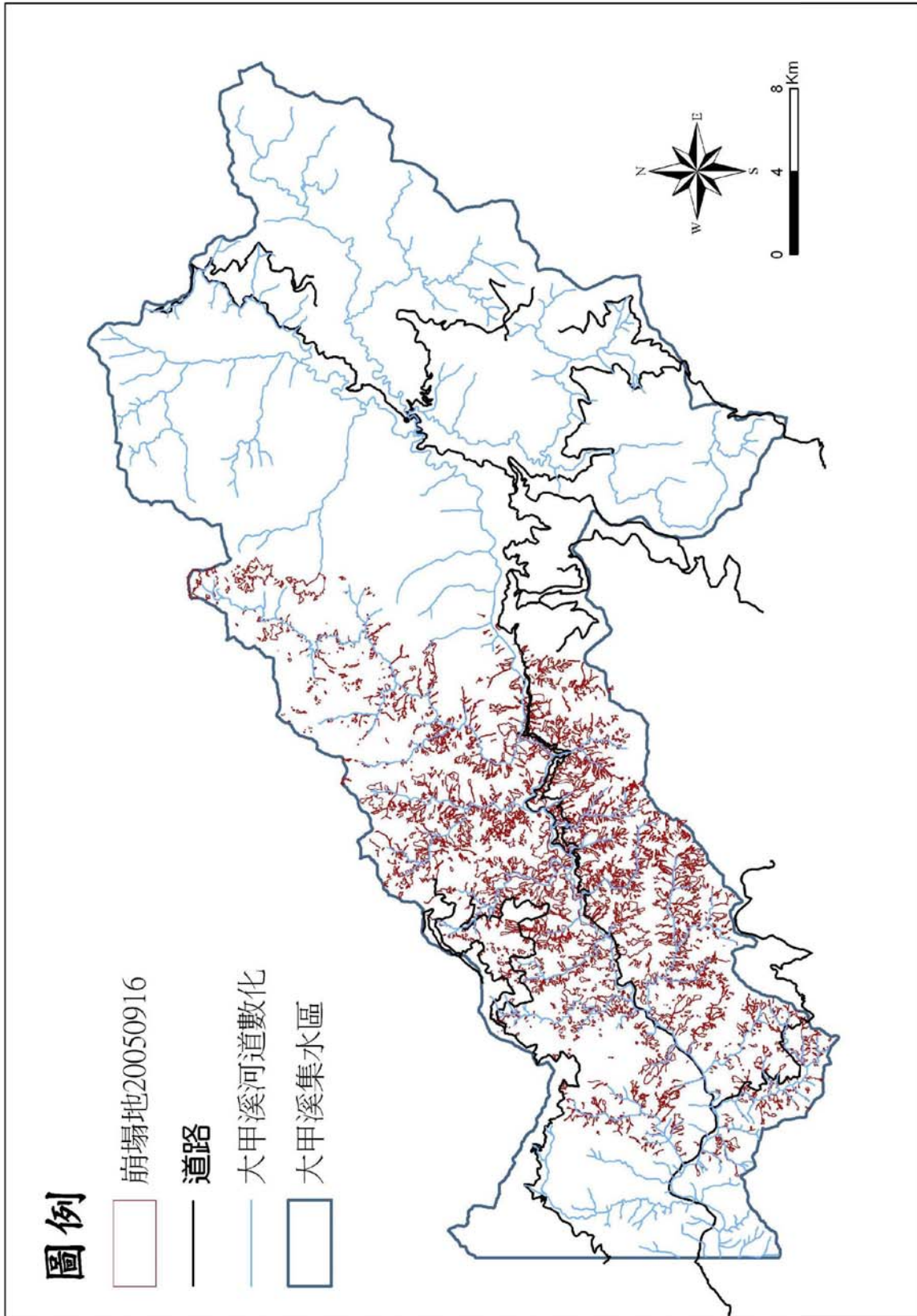


圖 5. 13 2005 年大甲溪崩塌地分布圖  
 (資料來源：本研究數化整理)

### 3. 大甲溪數值高程模型蒐集

本研究蒐集大甲河流域數值高程模型（DEM）資料，數值高程模型主要是由歷次航空攝影，進行正射化而產生之高程資料，將數值高程模型與航空照片配合，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5.3、圖5.14。

表 5.3 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	5m × 5m
2002 年 9 月	志樂溪到松鶴之大甲溪右岸	182.47 km	5m × 5m
2004 年 4 月	麗陽到谷關河道	0.47 km	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

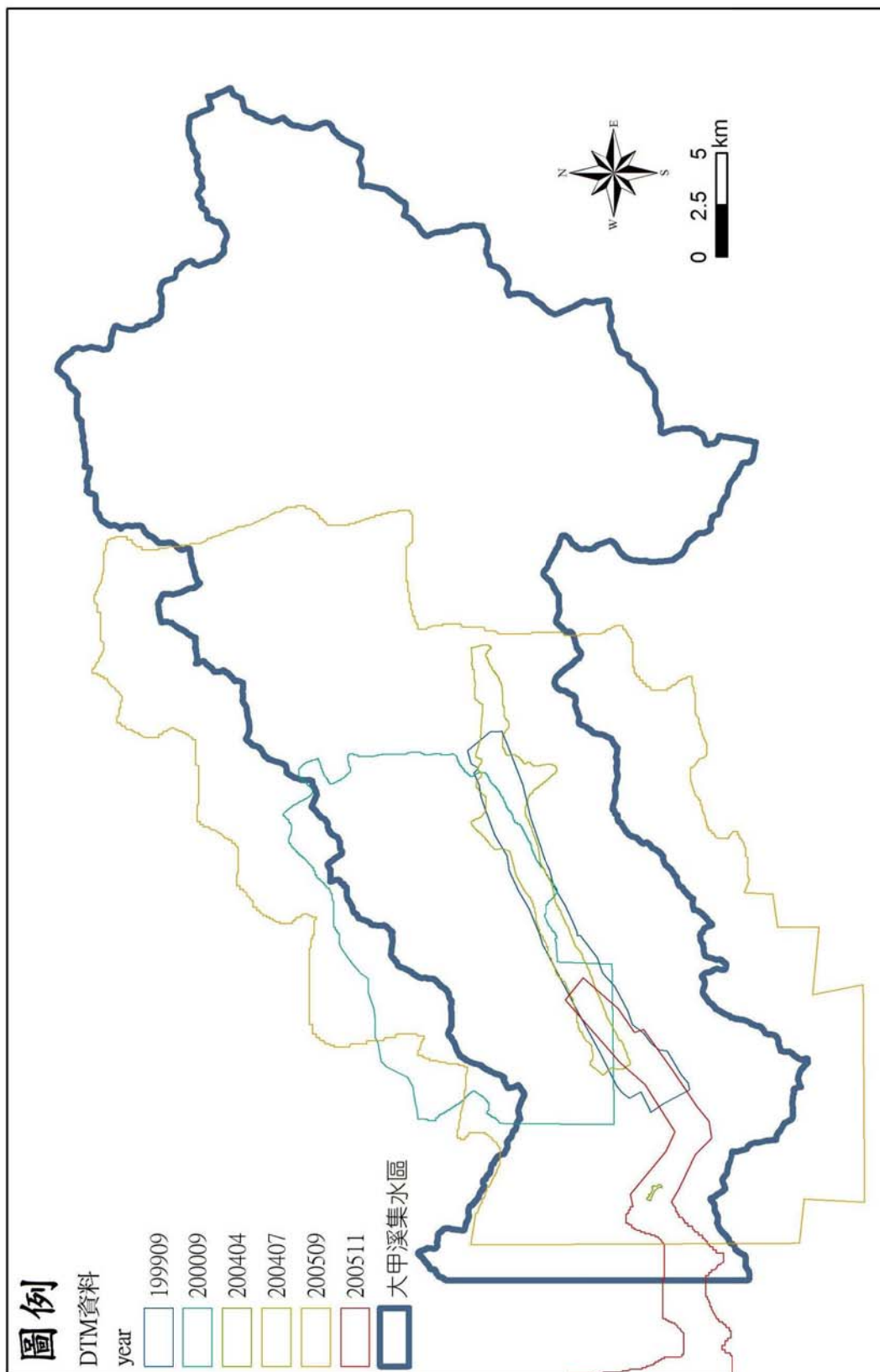


圖 5. 14 數值高程模型資料範圍圖

## (二) 大甲溪流域研究

### 1. 大甲溪流域地震後的影響

1999 年九二一地震在大甲溪流域中橫公路德基至谷關段造成嚴重的崩塌災情，本研究利用航照正射化影像以及數值地形資料，選定 10 個崩塌較嚴重的地區，製作 3D 立體模型來觀察地震後的崩塌災害（圖 5.15～圖 5.24）。

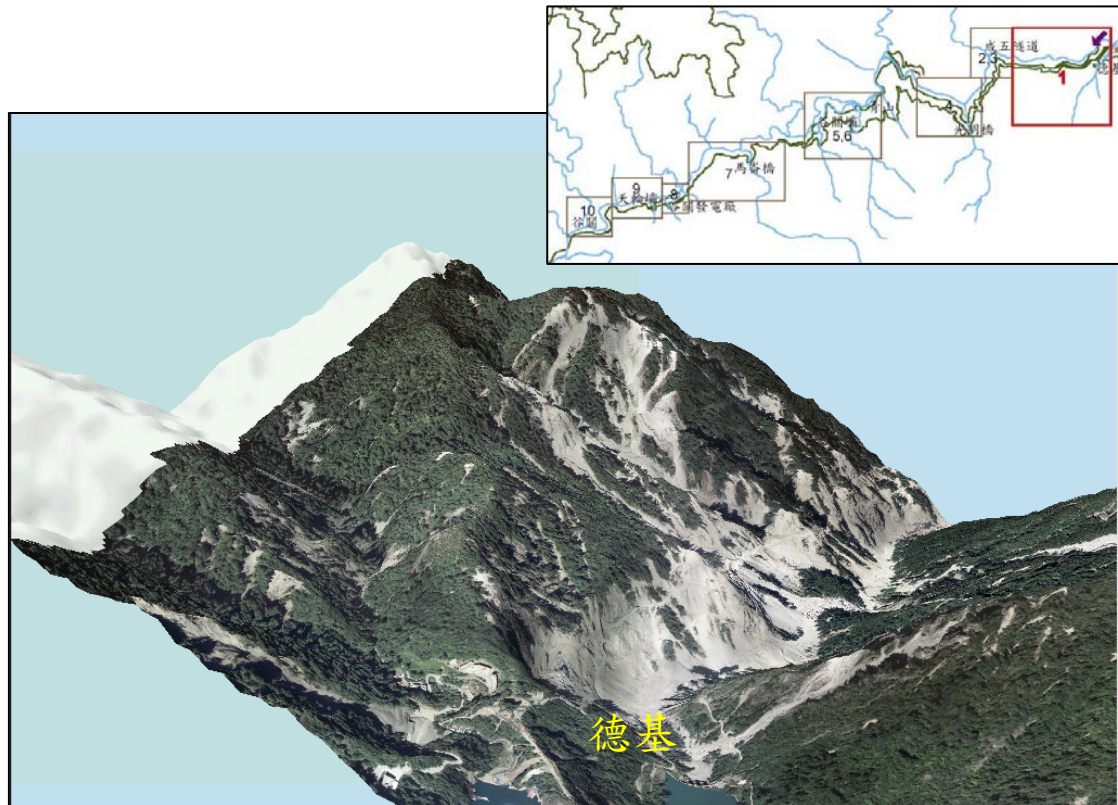


圖 5.15 九二一地震後德基水庫航照 3D 立體圖

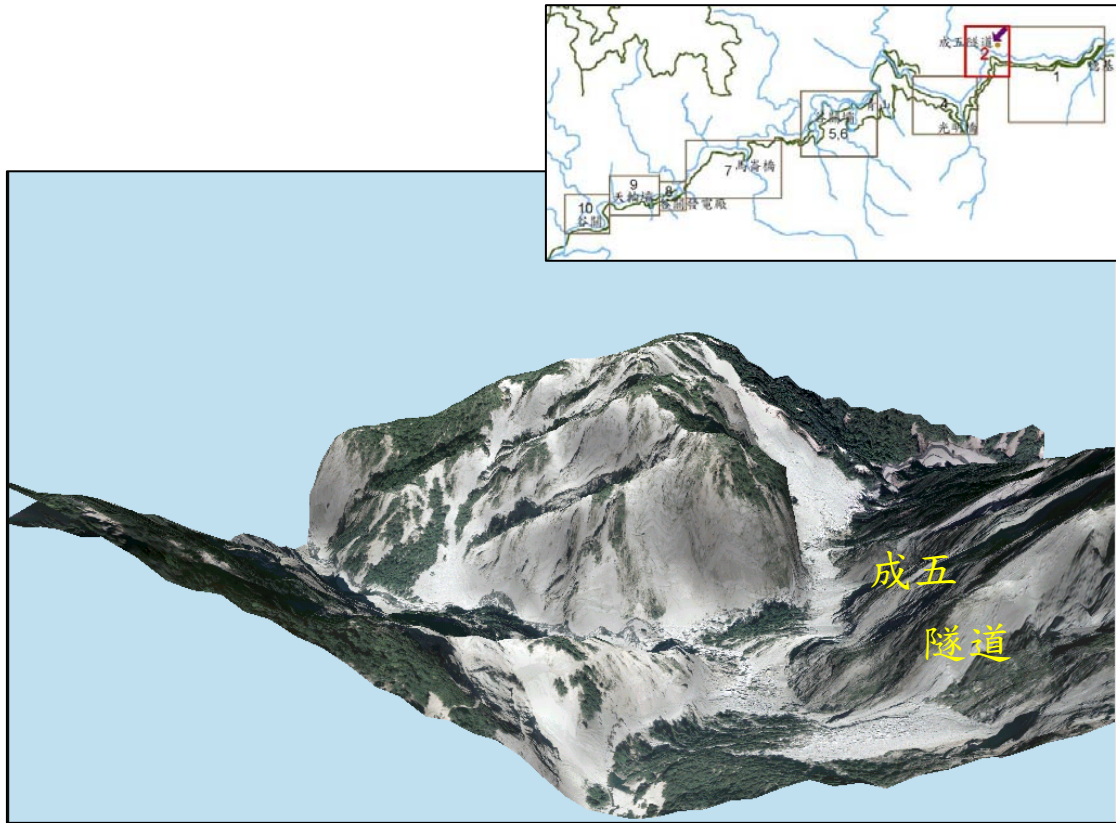


圖 5.16 九二一地震後成五隧道附近航照 3D 立體圖

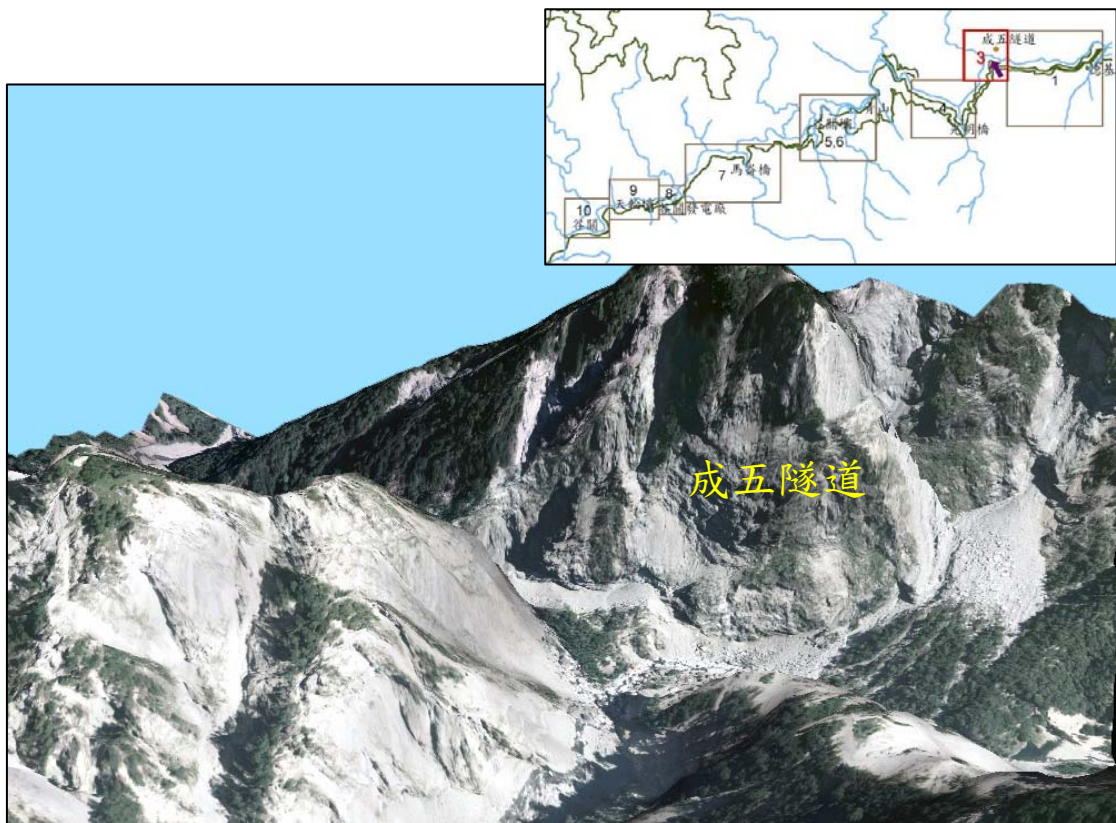


圖 5.17 九二一地震後成五隧道下游航照 3D 立體圖

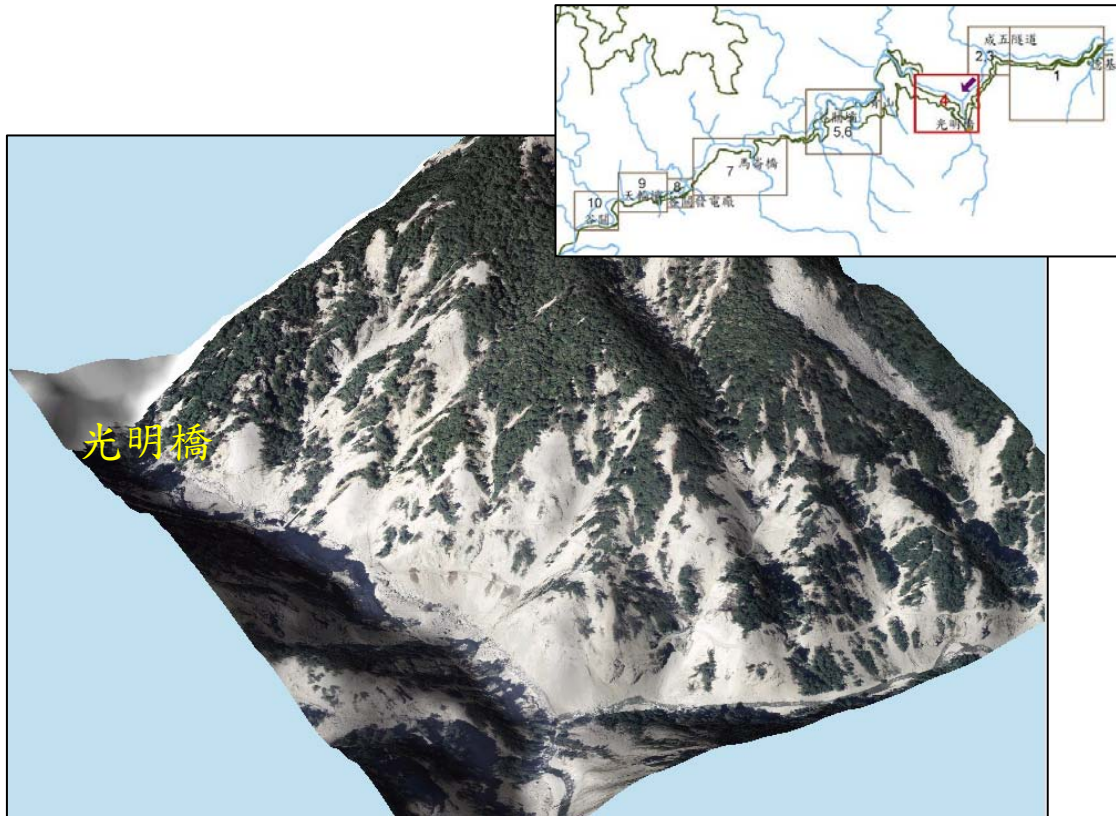


圖 5.18 九二一地震後光明橋附近航照 3D 立體圖

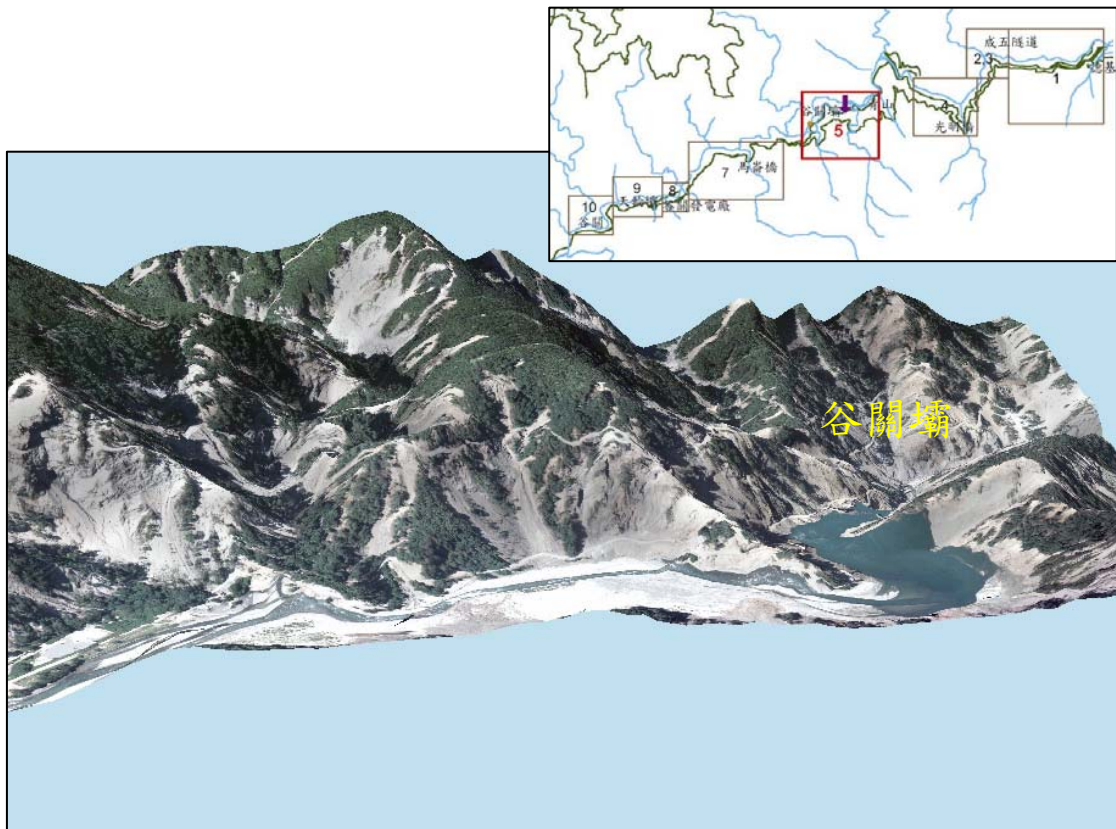


圖 5.19 九二一地震後谷關壩航照 3D 立體圖



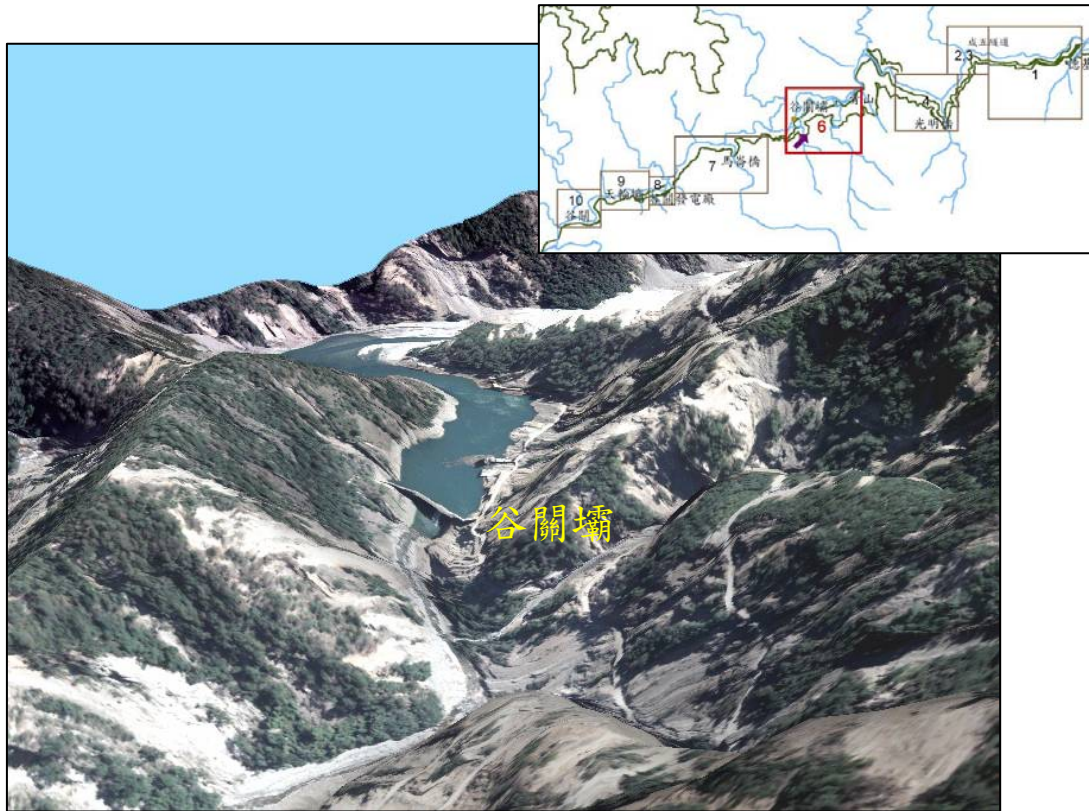


圖 5.20 九二一地震後谷關壩下游航照 3D 立體圖



圖 5.21 九二一地震後馬崙橋航照 3D 立體圖

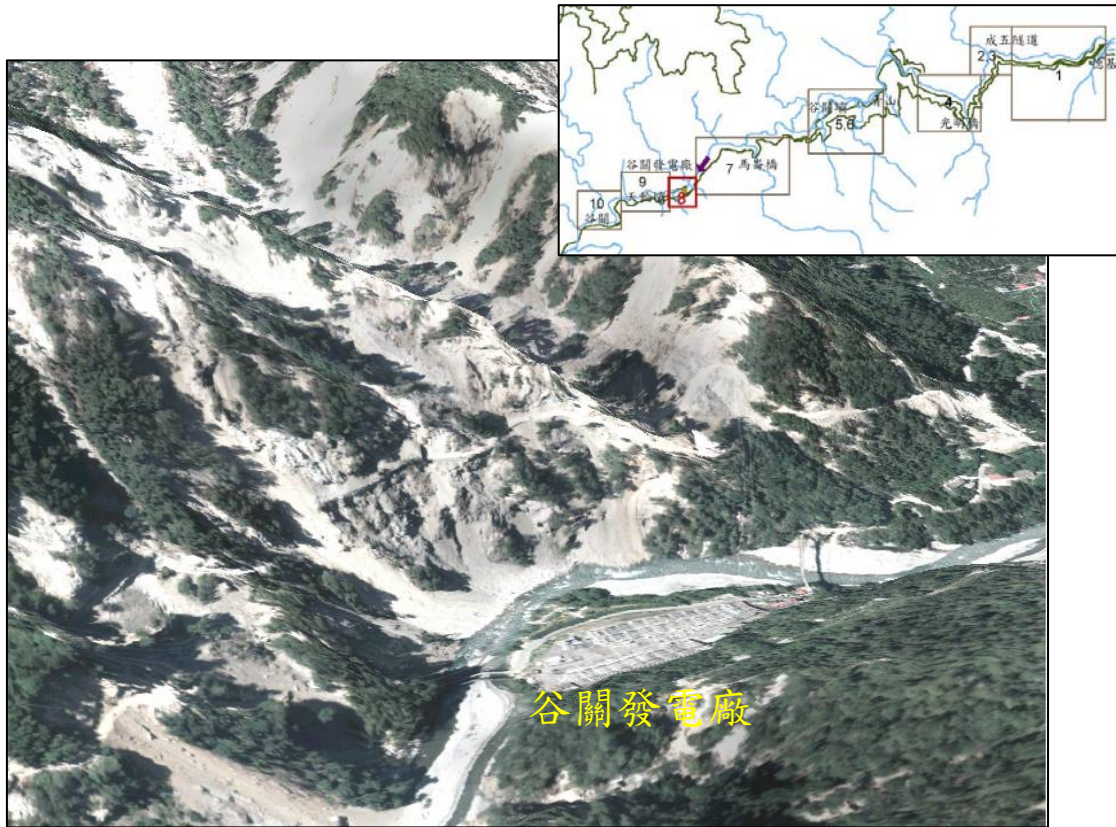


圖 5.22 九二一地震後谷關發電廠航照 3D 立體圖

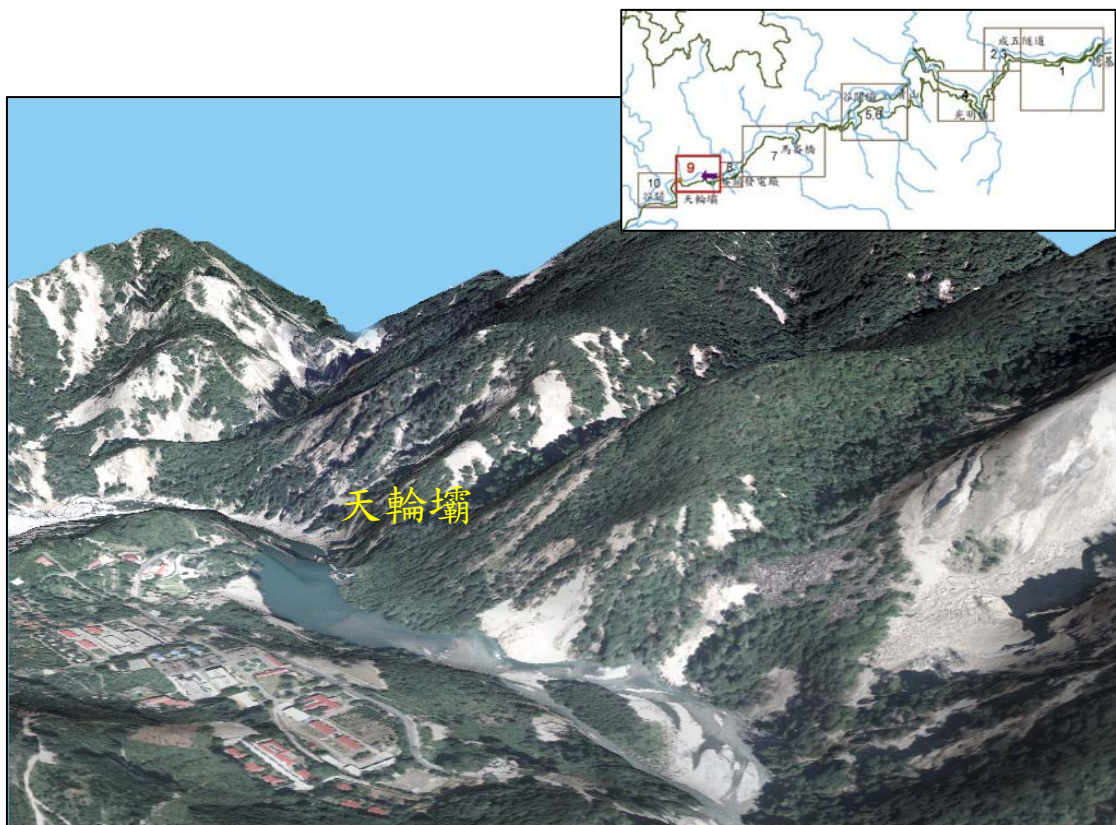


圖 5.23 九二一地震後天輪壩航照 3D 立體圖

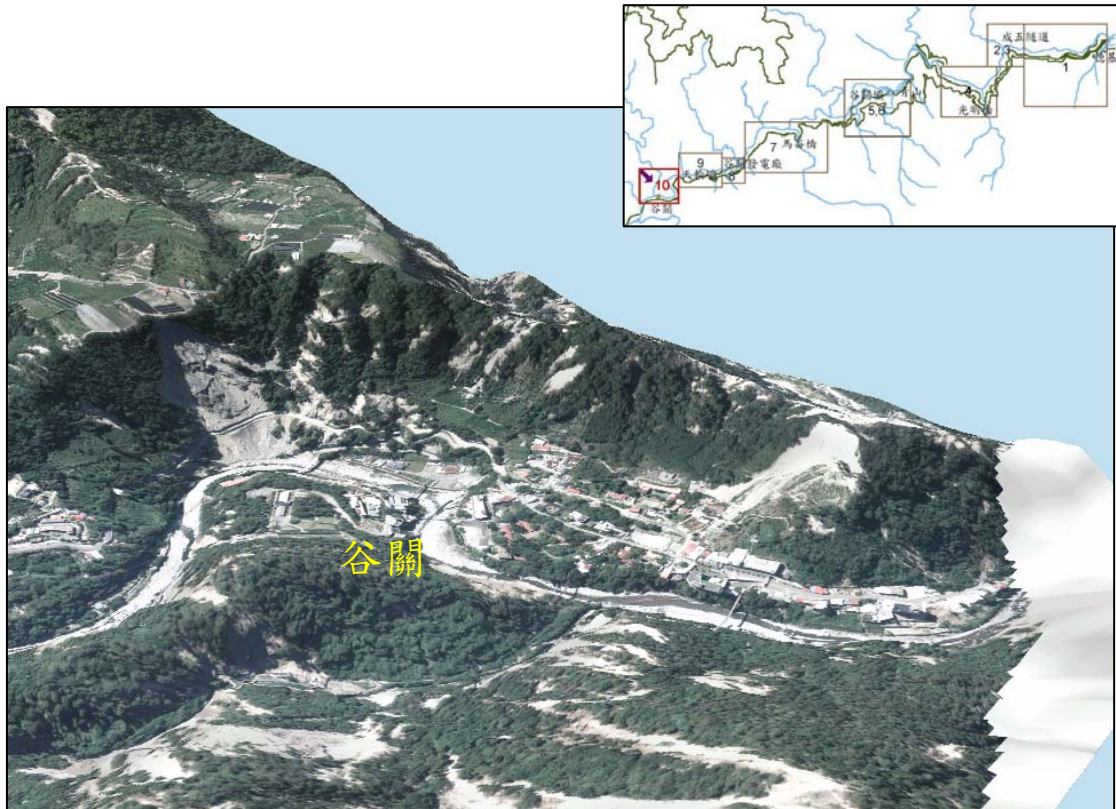


圖 5.24 九二一地震後谷關地區航照 3D 立體圖

在崩塌地的研究方面，莊善傑（2004）從崩塌判釋的結果發現，九二一地震誘發的山崩新生率為 88 %，桃芝與敏督利颱風後的山崩新生率分別為 47 %與 49 %，表示 921 地震後地層的完整性受到了破壞，而加大了山崩的延伸範圍。另外，九二一地震的山崩重現率為 51 %，桃芝與敏督利颱風後之山崩重現率分別為 59 %與 66 %，此意義顯示本研究區域之地層因受到地震破壞的影響，在後續豪雨事件中，發生再崩塌的機率相當高。

本研究過去觀察九二一地震後河川搬運沈積物的效率有明顯提升，流量為 100 ( $m^3/s$ ) 時河川懸移質濃度由地震前的每公升 75 公克大幅提昇至 750 公克。在地震前原本大甲河流域是屬於沈積物供應限制的狀況，集集大地震增加沈積物的供應量，也將原本的沈積物平衡改變，轉移為搬運限制。莊善傑（2004）研究大甲溪輸沙量的估算資料中發現，賀伯颱風之降雨量與總逕流量為桃芝颱風的 1.8 倍，但是輸沙量卻遠不及桃芝颱風的一半。此結果顯示九二一地震後單位輸沙量大於地震前。

九二一地震後大甲溪河道在德基水庫以下發生明顯的埋積現象，有些河段甚至埋積超過 30 公尺以上，這是由於大量崩塌碎屑物質進入河道所產生的結果，大規模的崩塌對下游數十公里的河道產生影響，也使得由颱風與豪雨所形成的洪水被限縮

在較小的河道中流動，即使在河川流量沒有明顯增加的情形下也會造成嚴重的災害。

## 2. 土地利用變遷

大甲溪之土地利用包括行政院農業委員會林務局轄管之國有林班地、水庫滿水位兩側水平距離30公尺為範圍之水庫保護帶、水庫淹沒區、以及事業區外土地（包括行政院原住民族委員會之原住民保留地、退輔會之農場地及一般行政區），本研究根據林務局2001年林班林相資料進行整理（表5.4），大甲溪集水區主要仍然以天然林為主，其面積超過研究區總面積的67.42%，其次為人工林，佔15.86%，其中，事業區外土地佔研究區9.95%，包括思源、環山、松茂、梨山、福壽山、佳陽、谷關、南勢、白毛與博愛，當地土地利用主要以種植高山蔬菜與果樹為主，為此區最重要之產業開發與聚集之區域（圖5.25）。

表 5.4 大甲河流域土地利用面積與百分比

編號	第一級分類	面積 (公頃)	百分比 (%)
1月9日	天然林	64221	66.36
11月19日	人工林	15105	15.61
41-43	散生地	1135	1.17
50	稚樹發生地	257	0.27
61-65	未立木地	3584	3.7
70-80	施業除地	126	0.13
90-94	經營除地	1411	1.46
940	道路	156	0.16
950	河流	505	0.52
955	河床	59	0.06
890	水庫淹沒區	490	0.51
891	水庫保護帶	91	0.09
930	事業區外土地	9637	9.95
	加總	96777	100

資料來源：林務局2001年林相資料

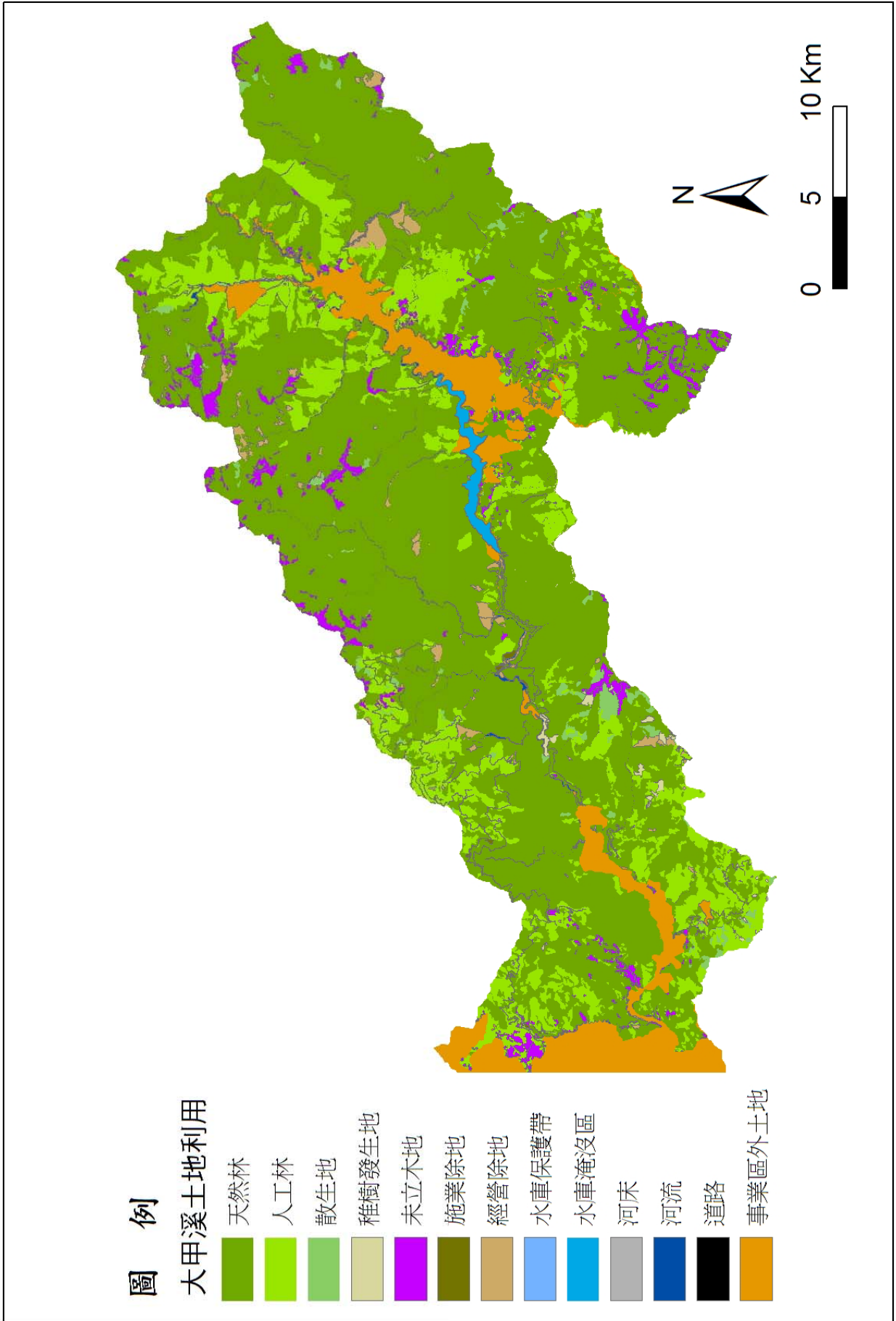


圖 5.25 大甲溪流流域土地利用分布圖

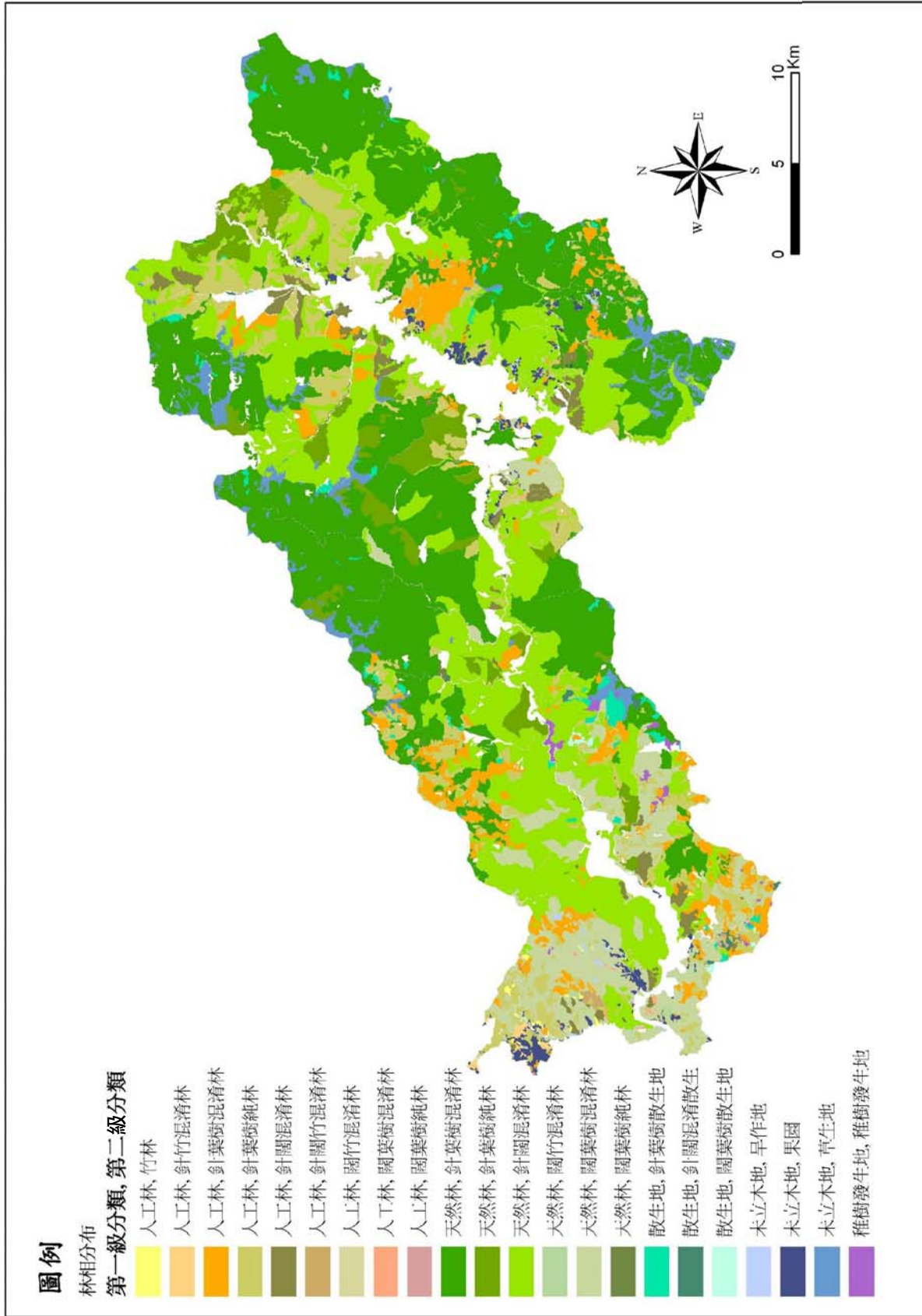


圖 5.26 大甲溪林相分布圖

根據林務局2001年林相資料，林邊界內之林相分布如圖5. 26，研究區內中游兩岸主要以天然林-針闊混淆林為主，而闊葉樹混淆林也分布在較下游地區與零星分布在中游兩岸；而研究區上游主要以天然林-針葉樹混淆林，主要集中在高海拔地區，而在較低海拔地區與大甲溪兩岸主要以闊葉樹混淆林為主。而人工林則零星分布谷關與梨山附近，其中以針葉樹混淆林面積最廣。

### 3. 崩塌地與土地利用之關係

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、植生與土地利用之影響。以下將從土地利用與地表植生的角度，探討土地利用與植生種類的不同與崩塌地之間的關連。

本研究將土地利用資料中的各種林相分布與崩塌地套疊進行分析，探討各種林相與崩塌地之關連，圖5. 27為大甲河流域各種林相面積百分比，顯示各種林相在集水區內的比重，其中，以針葉樹混淆林所佔的面積最大達44. 78%，其次為針闊混淆林，本研究區之竹林所佔比例甚低，僅佔總面積的0. 12%。

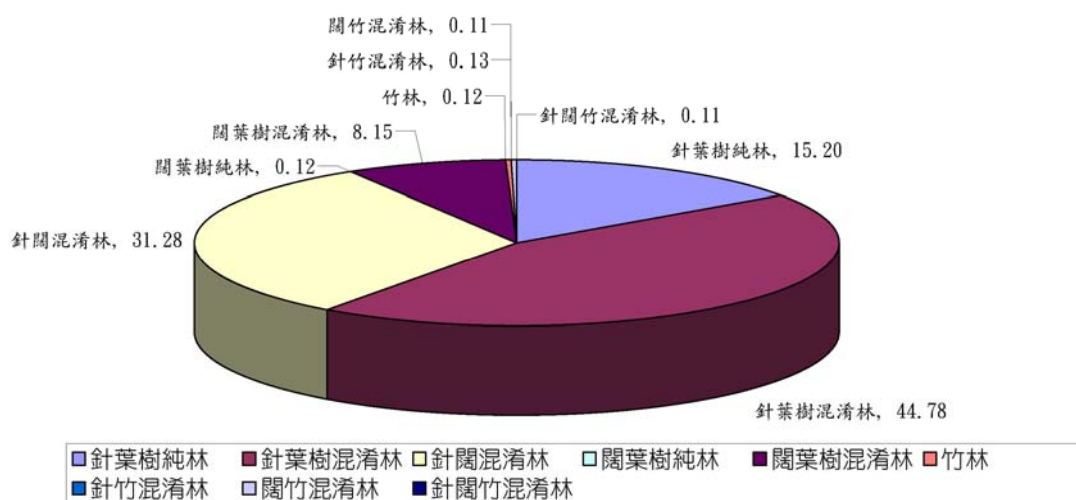


圖 5. 27 大甲河流域林相百分比

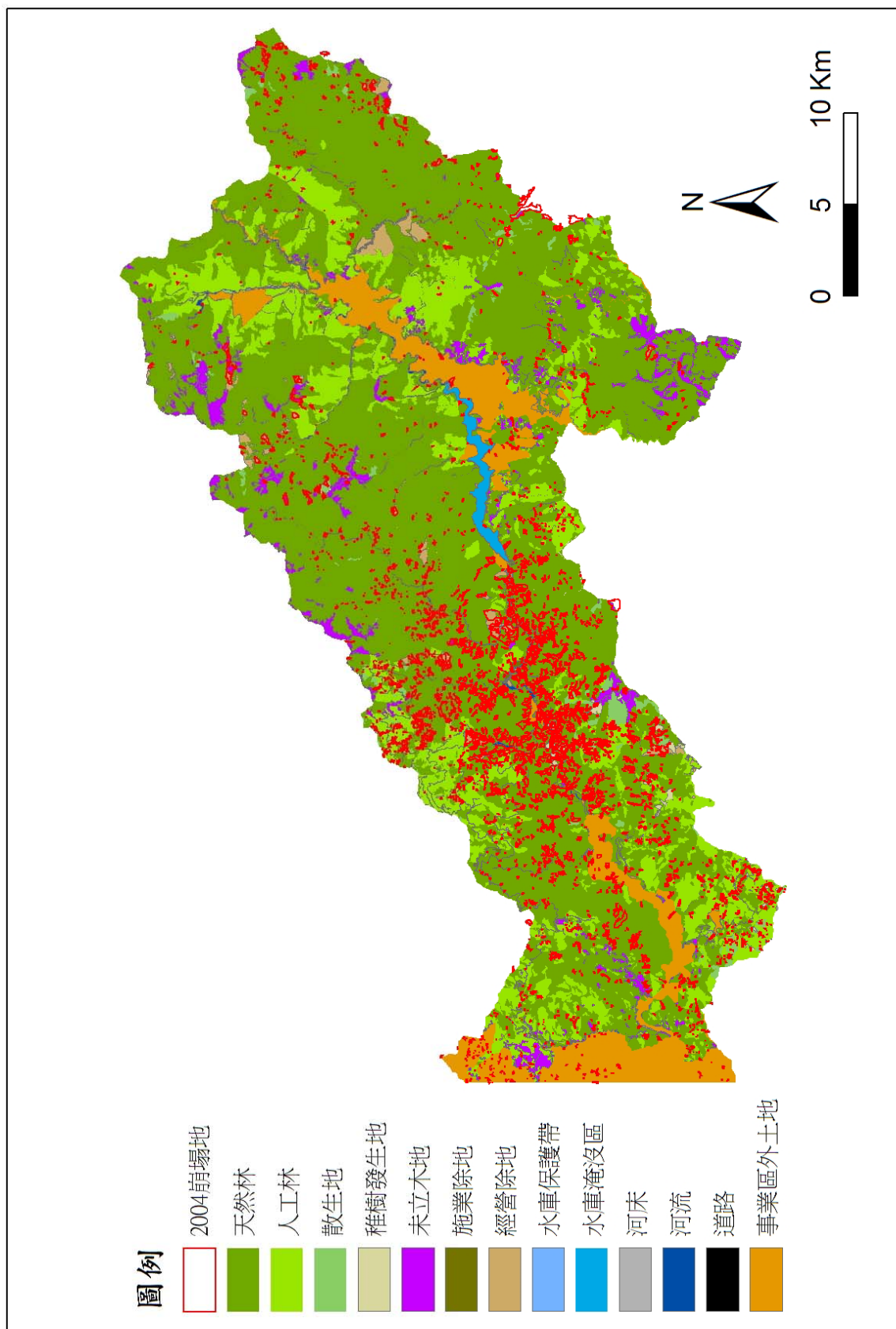


圖 5. 28 2004 年崩塌地與土地利用分布圖



由圖5. 28所示，2004年大甲溪崩塌地與土地利用進行套疊，崩塌地最主要集中在谷關到德基水庫靠近主河道之區域，而大甲溪上游之崩塌地主要分布在集水區邊界之稜線上，而在較低海拔之原住民保留地與人工林區域之崩塌地密度相對較低。

由表5. 5，將各種土地利用類型之崩塌地密度進行統計分析，可以發現崩塌地密度最高的為經營除地，其次依序為幼樹發生地、道路、散生地與未立木地，而其他土地利用類型之崩塌地密度相對較低。一般可藉由邊坡上樹木生長的年齡來瞭解山坡地穩定的年齡，如台灣赤楊、茅草為經常生長在剛發生崩塌地上之次生植物，幼樹發生地代表在數年之內，地表曾經發生火災或崩塌等災害。

表 5. 5 土地利用與崩塌地密度之關係

第一級分類	崩塌面積 (公頃)	百分比 (%)	土地利用面積 (公頃)	崩塌地密度 (%)
天然林	1949	71. 16	64221	3. 04
人工林	141	5. 16	15105	0. 94
散生地	70	2. 56	1135	6. 18
稚樹發生地	50	1. 84	257	19. 62
未立木地	129	4. 72	3584	3. 61
施業除地	3	0. 11	126	2. 34
經營除地	298	10. 90	1411	21. 16
道路	13	0. 46	156	8. 03
河流	10	0. 35	505	1. 90
河床	0. 1	0. 01	59	0. 19
水庫淹沒區	0. 8	0. 03	490	0. 16
水庫保護帶	1. 4	0. 05	91	1. 53
事業區以外土地	73	2. 67	9637	0. 76
總計	2739	100. 00	96777	

因此，過去曾經發生崩塌之地區之崩塌密度較高，顯示此區之崩塌地經常發生在過去的老崩塌地區，曾經發生崩塌的地區，相當容易再次發生崩塌，必須對於這些敏感地區加強監測與分析。

另外值得注意的是道路之崩塌密度較高，崩塌地密度達8.03，較其他土地利用類型之崩塌地高上許多，顯示道路對於大甲溪邊坡穩定具有一定的影響，可能是由於道路邊坡開挖所造成的岩層自由端出露或增加坡度，造成邊坡不穩定而導致崩塌，將在後續章節進行討論。

大甲溪中上游流域主要開發集中在事業區以外土地，主要以種植高山蔬菜與水果為主，而由圖5.28顯示，事業區以外土地之崩塌地密度並無高出其他土地利用類型，反而比起其他地區崩塌地低許多，表示本區崩塌地的發生，並不單純受到土地開發的影響，可能與地質地形條件有關。

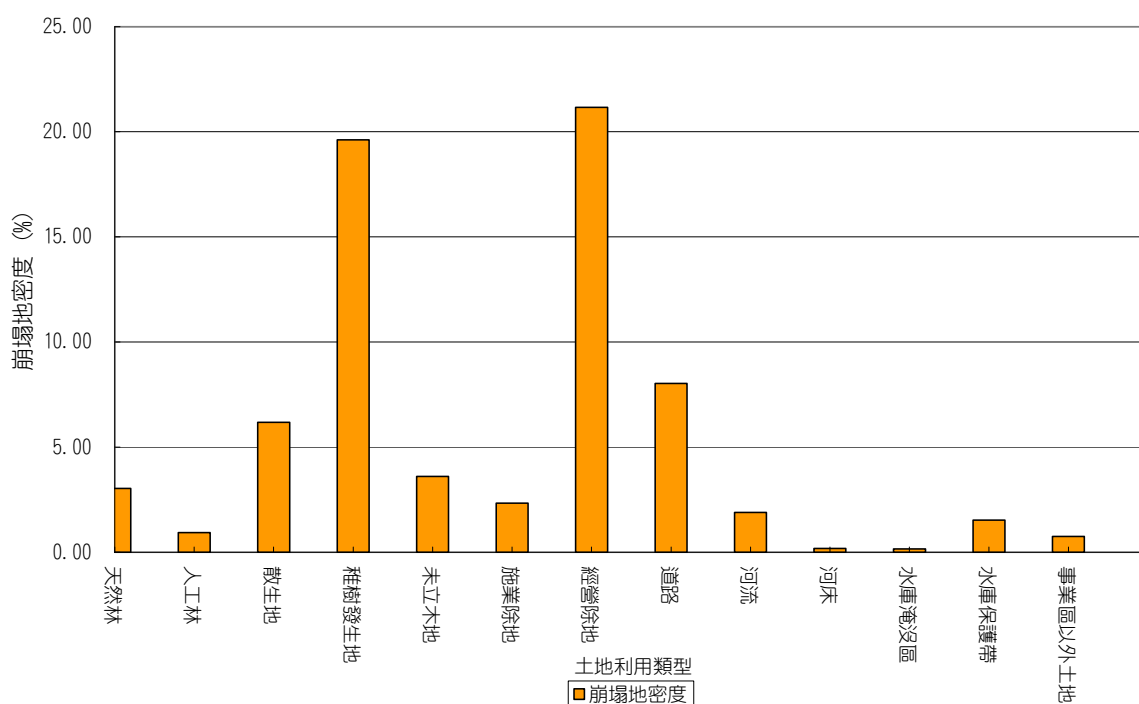


圖 5.29 各類土地利用之崩塌地密度圖

#### 4. 崩塌地與林相之關係

本節將對各種林相與崩塌地之關係進行分析，由表5.6可以得知各種林相所佔的崩塌地密度，包括針葉樹純林、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、闊竹混淆林與針闊竹混淆林進行分析，顯示崩塌地在闊葉樹純林密度最高，崩塌地密度達6.07%；其次為針闊混淆林，崩塌地密度達4.49%；與闊葉樹混淆林，崩塌地密度為3.47%，而其他類型之林相崩塌密度接相對較低，尤其竹林之崩塌地密度最低。顯示闊葉林之崩塌地密度較高、其次為針葉林、最少為竹林。

表 5.6 林相與崩塌地密度之關係

林相	崩塌面積 (公頃)	林相面積(公頃)	崩塌地密度 (%)
針葉樹純林	157	12459	1.26
針葉樹混淆林	568	35676	1.59
針闊混淆林	1135	25266	4.49
闊葉樹純林	6	96	6.07
闊葉樹混淆林	232	6698	3.47
竹林	0.2	102	0.19
針竹混淆林	0.3	105	0.21
闊竹混淆林	1	92	0.68
針闊竹混淆林	0.2	86	0.23

由圖5.30將崩塌地與各種林相進行套疊，也發現崩塌地在闊葉樹混淆林與針闊混淆林較多，然而由於闊葉樹純林面積較少，崩塌密度雖高，但影響範圍小，比較無法說明與崩塌地的關係，研究結果與過去石門水庫集水區之分析結果相似。

本研究將崩塌地與林相資料進行分析的結果，並無法明確說明崩塌地的發生與林相種類的關係，以竹林為例，在本研究區所佔的面積比例相當的少，因此整體比較下來無法看出差異性。另外造成崩塌地發生的原因包括地質、地形及氣候等相關條件也需要加以考慮。從地形圖及歷年的航照資料判讀可以知道，大部分崩塌地都位於坡地較陡的地區，是否與地形條件有關，本研究後續將以水土保持技術規範-簡確法進行探討。

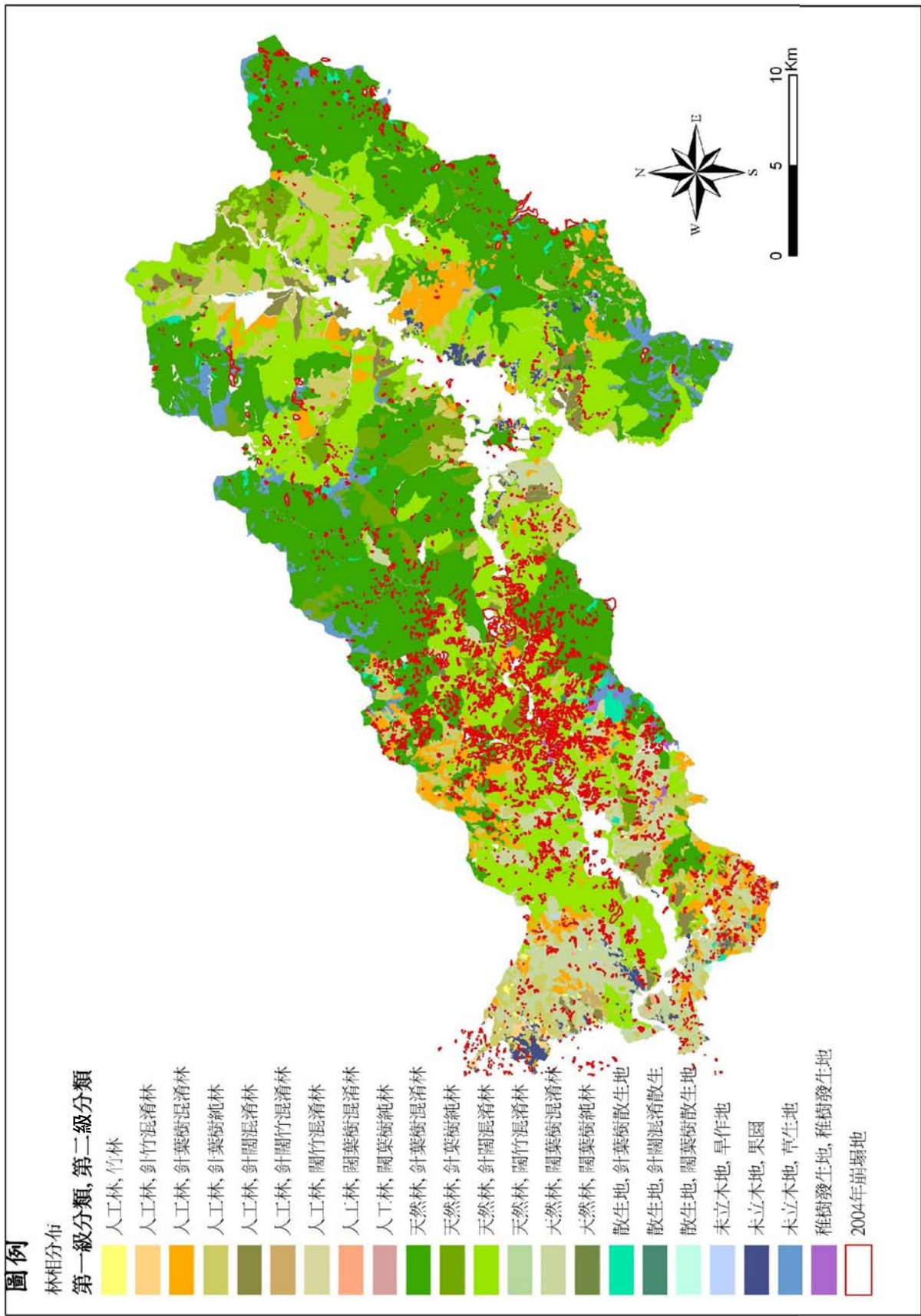


圖 5. 30 林相分布與崩塌地之分布圖

## 5. 崩塌地與稜線距離之關係

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，德基到谷關段以九二一地震、桃芝颱風及敏督利颱風後的航空照片判釋之崩塌地資料（圖5.31～圖5.33），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。

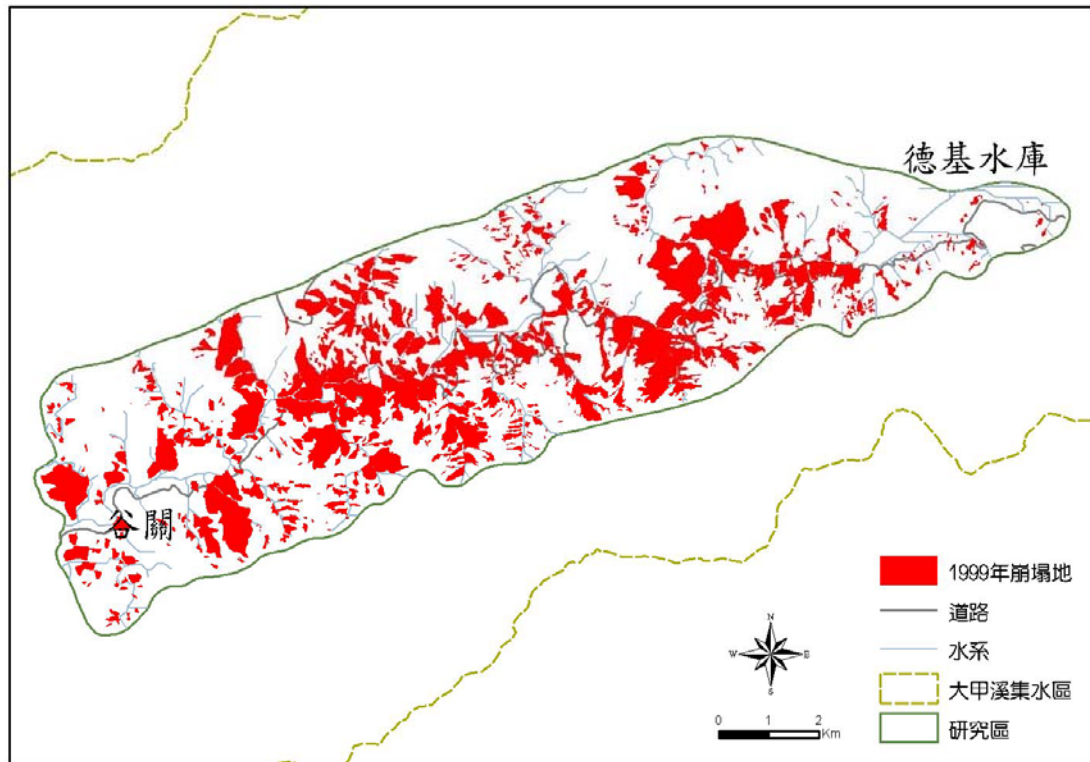


圖 5.31 1999 年九二一地震後谷關至德基地區崩塌地分布圖

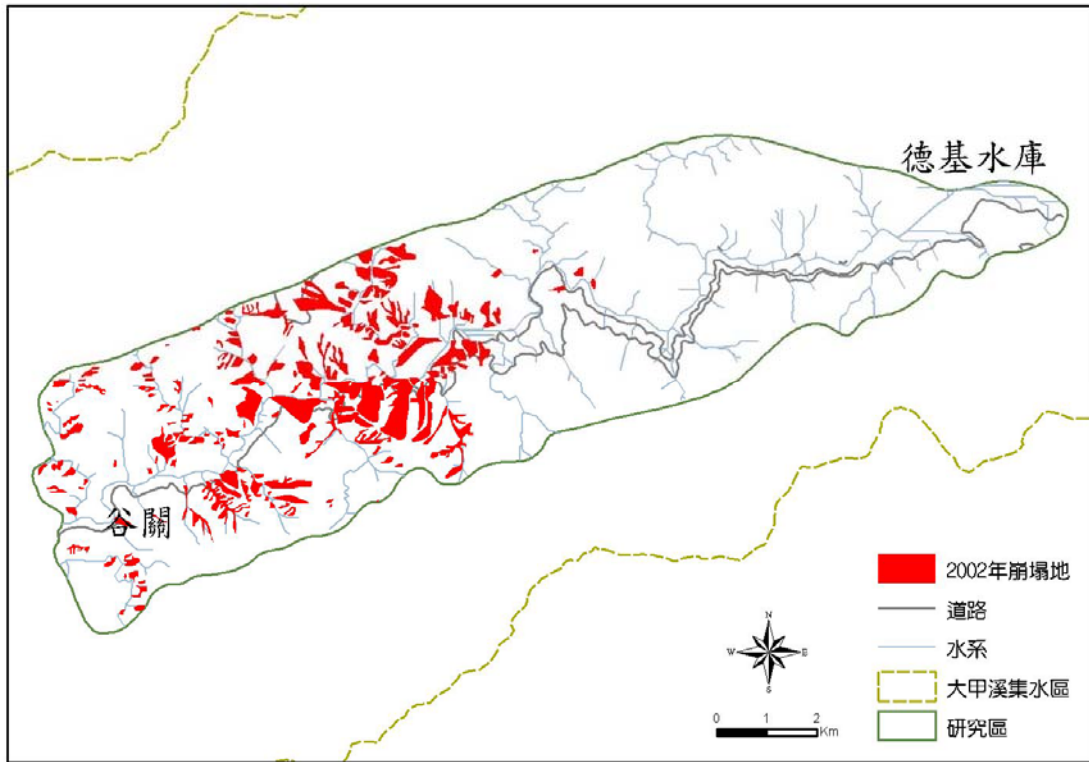


圖 5.32 2002 年桃芝颱風後谷關至德基地區崩塌地分布圖

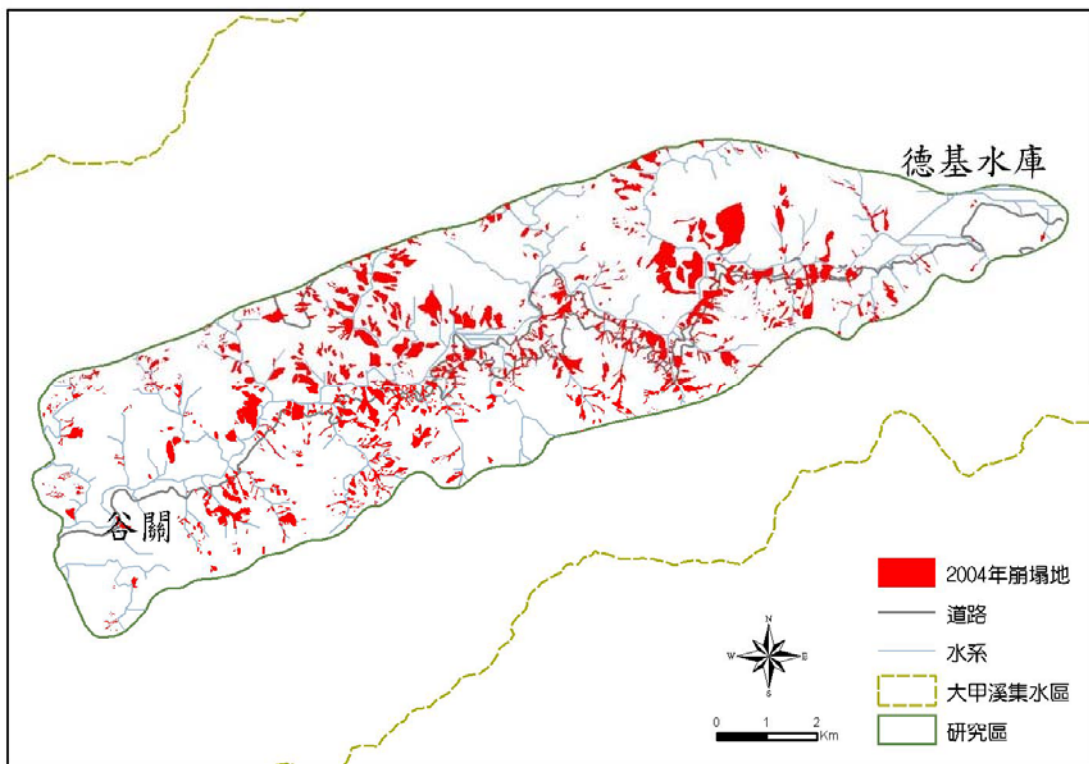


圖 5.33 2004 年敏督利颱風後谷關至德基地區崩塌地分布圖

本研究以崩塌體最高處代表崩場地最初發生的位置，以40公尺範圍為間距，統計崩場地個數與稜線距離的關係（圖5.34）。

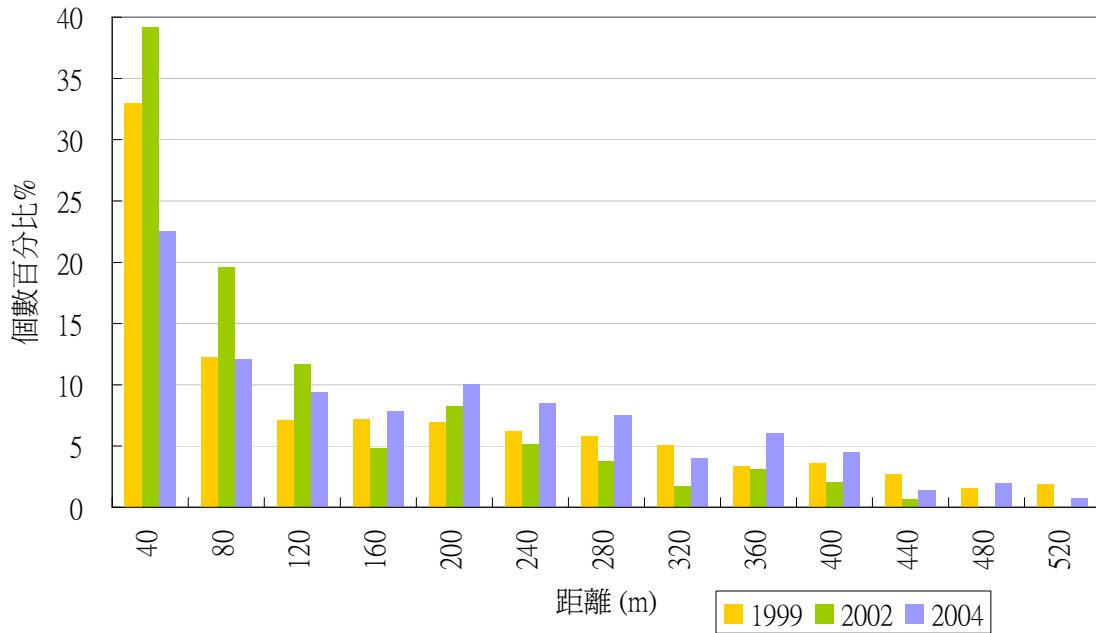


圖 5.34 崩場地與稜線距離關係圖

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5.35）。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。

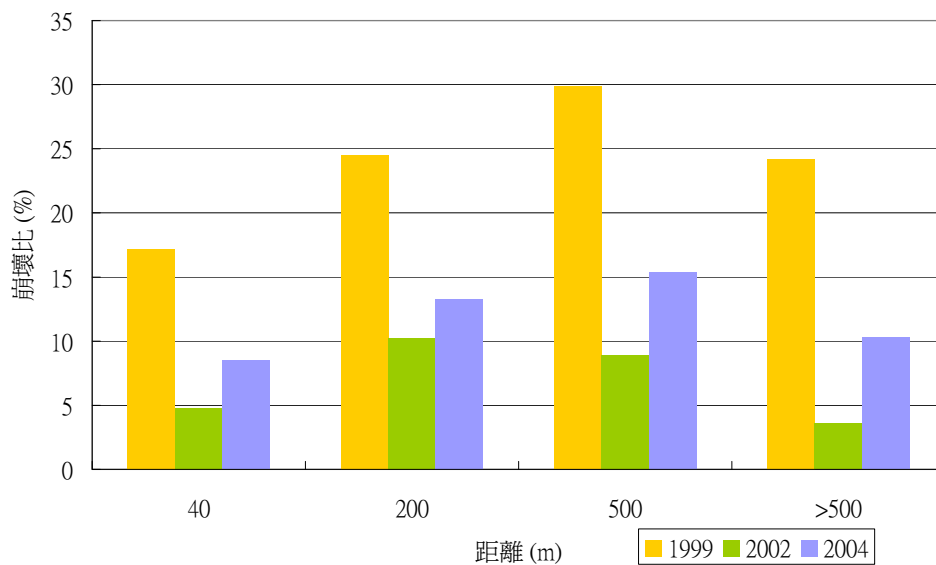


圖 5.35 大甲溪崩塌地面積與稜線距離關係圖

## 6. 崩塌地與河道距離之關係

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5.36）。

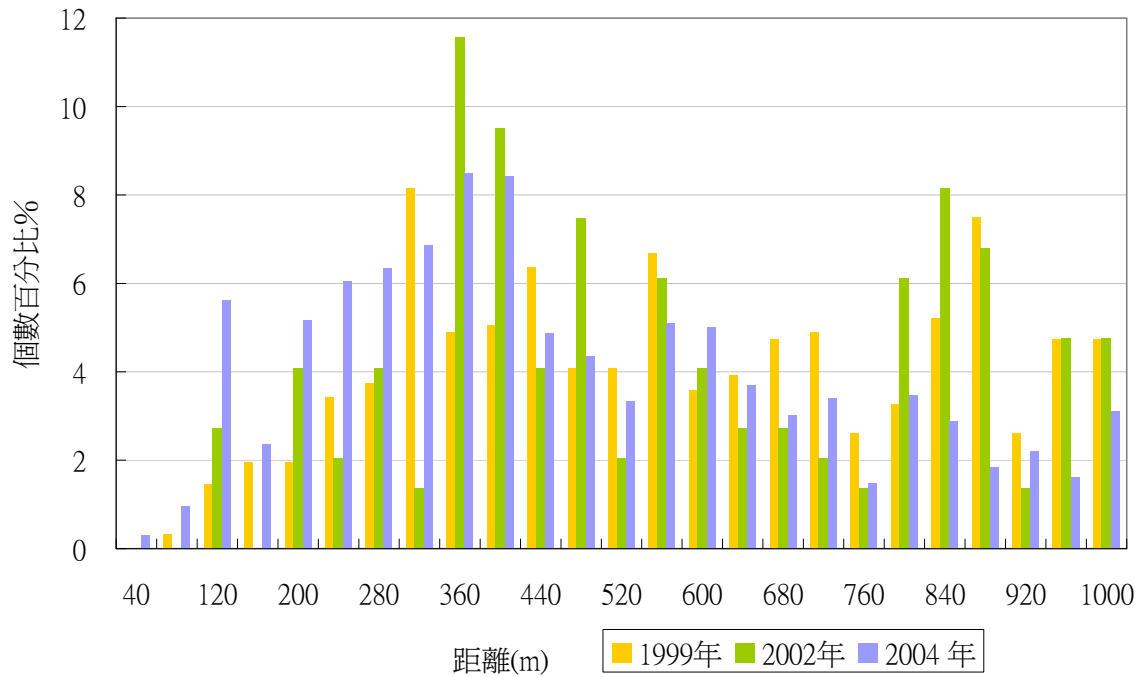


圖 5.36 大甲溪主流與崩塌地個數百分比關係圖

從圖5.36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5.37），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。



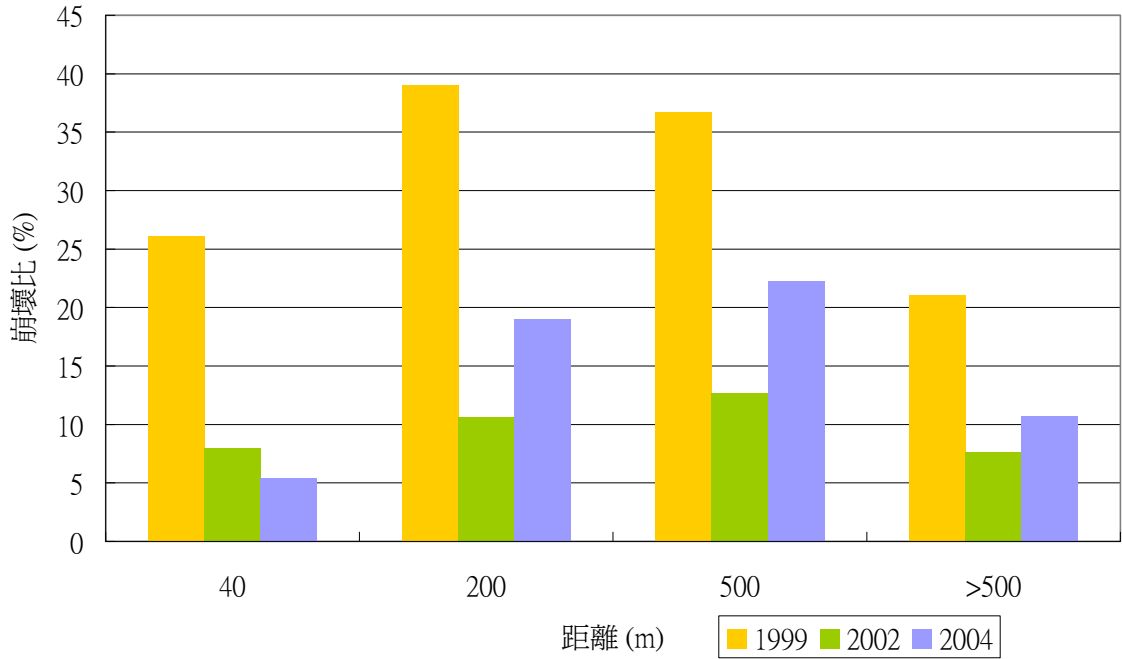


圖 5.37 大甲溪崩塌地面積與主流距離關係圖

### 7. 崩塌地與道路位置之關係

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5.38）。

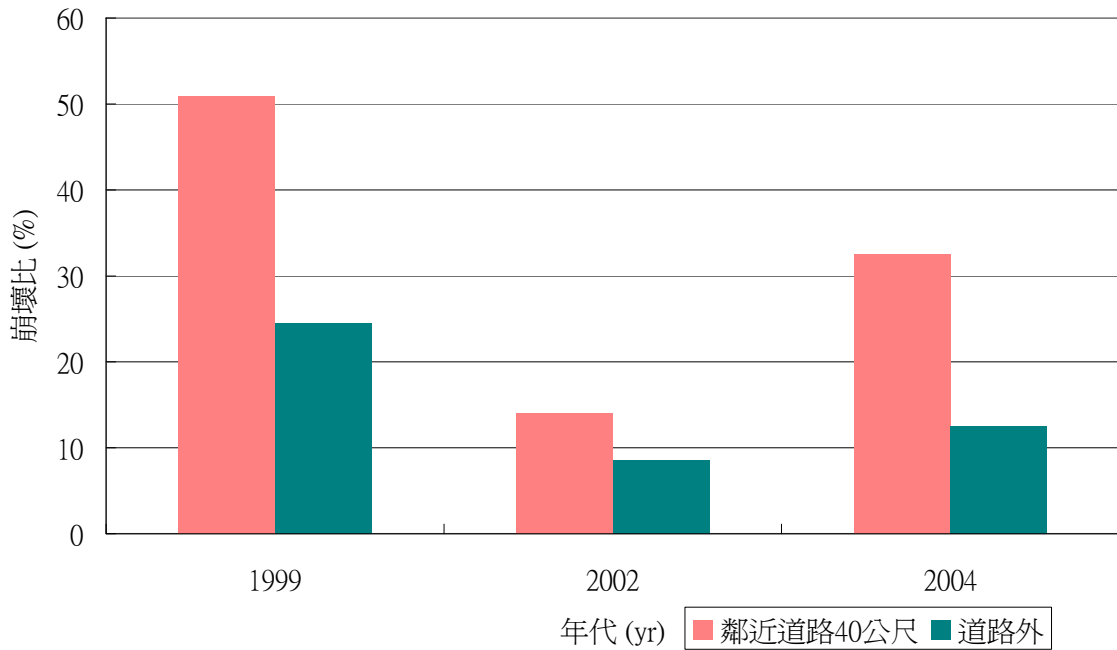


圖 5.38 大甲溪崩塌地面積與道路距離關係統計圖

研究結果顯示，在1999年地震後距道路40公尺內的崩場地佔整個區域的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場地上，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場面積只佔13%，顯示本區正逐漸復育中。2004年敏督利颱風後公路上的崩場面積則增加至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場面積來看，地震後崩壞比佔50%，颱風後則分別為為13%及32%。

### (三) 德基水庫上游土地利用分析

德基水庫建於大甲溪上游，主要為大台中地區的飲用水供應來源。德基水庫上游範圍如圖 5.39 所示，總面積約 52000 公頃，範圍內涵蓋台灣著名的高山農業區「梨山」，區域內以種植大量的高山水果及蔬菜聞名。

#### 1. 原住民保留地之土地利用

依據民國 96 年 4 月 25 日修正之「原住民保留地開發管理辦法」第三條所規定所稱原住民保留地，指為保障原住民生計，推行原住民行政所保留之原有山地保留地及經依規定劃編，增編供原住民使用之保留地。依據經濟部德基水庫集水區管理委員會提供之大甲溪上游土地權屬分佈圖，原住民保留地約 2386 公頃，分布位置約恰好在德基水庫上游範圍內的中間，如圖 5.40，方向大致是東北西南向，由最北邊的河谷往西南方的水庫方向延伸。而 2001 年的土地利用資料並未針對範圍內的土地利用做數化，因此本研究以 2004 年農林航空測量所拍攝之航空照片，以及後製解析度達 0.5 公尺的正射化影像作為數化資料來源。

本研究針對原住民保留地範圍的土地利用分類，分為果園、農地、建地等三類。果園為種植果樹的土地，於航空照片上的特徵為可見到果樹樹冠一圈圈的形貌，且分布較無規律性；而農地則為種植蔬菜或茶樹的土地，與果園在照片上的特徵差異為，農地上的作物分布呈線性狀排列，且作物個體較小無法單獨分辨，如圖 5.41 所示。建地主要是聚落的所在，以建築物為主體的土地利用型態，而剩餘未分類的土地則多為有植被覆蓋，在分類上歸類為植被，為未有人為開發活動的土地。依據數化資料統計，如表 5.7。果園為區域範圍內所佔比例最大的土地利用型態，總面積達 1639 公頃，佔總面積的 68.7%，其次為無人為開發的土地，佔總面積的 27.9%，農地與建地分別只佔 2%與 1.4%左右。

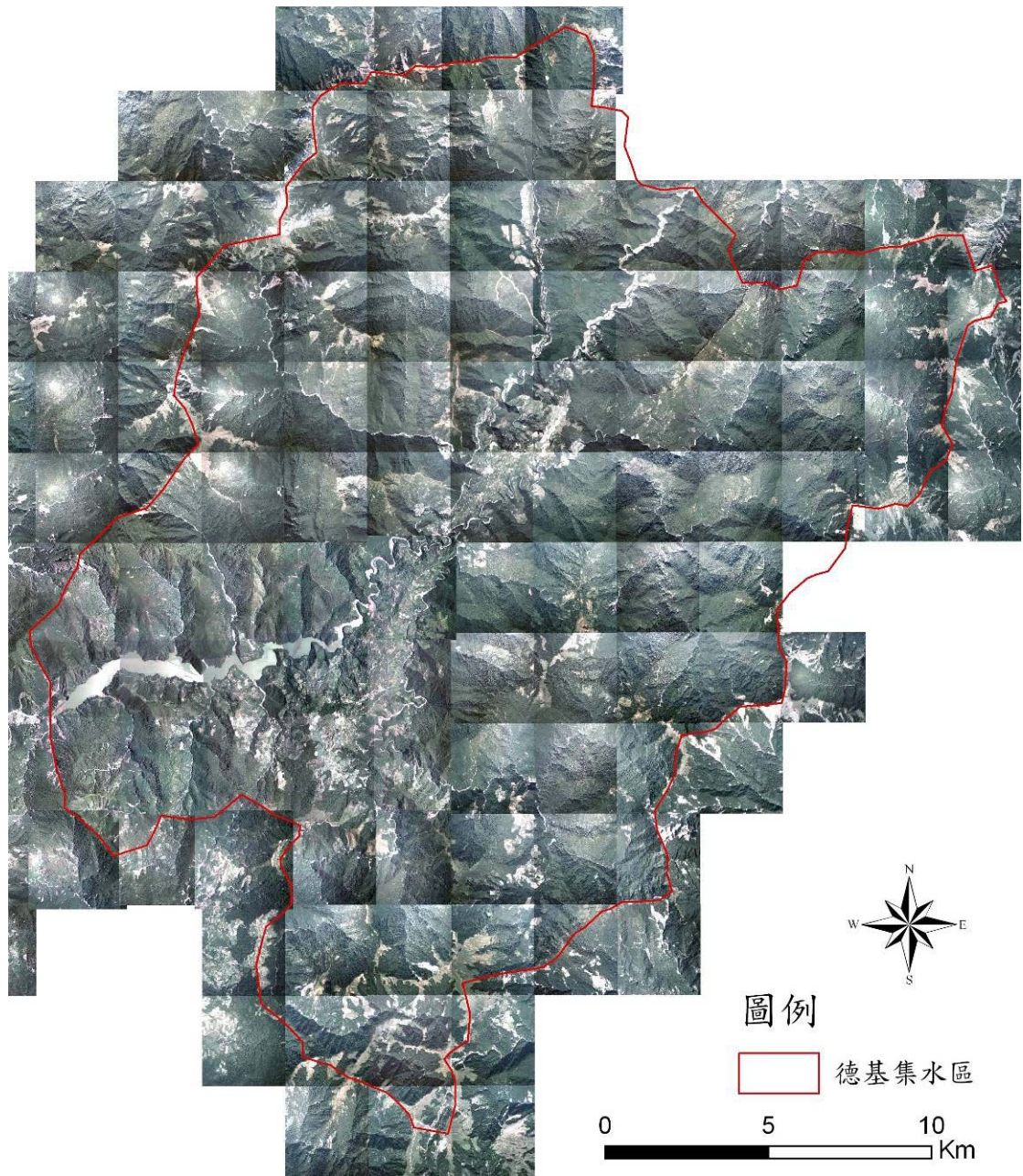


圖 5.39 德基水庫上游範圍

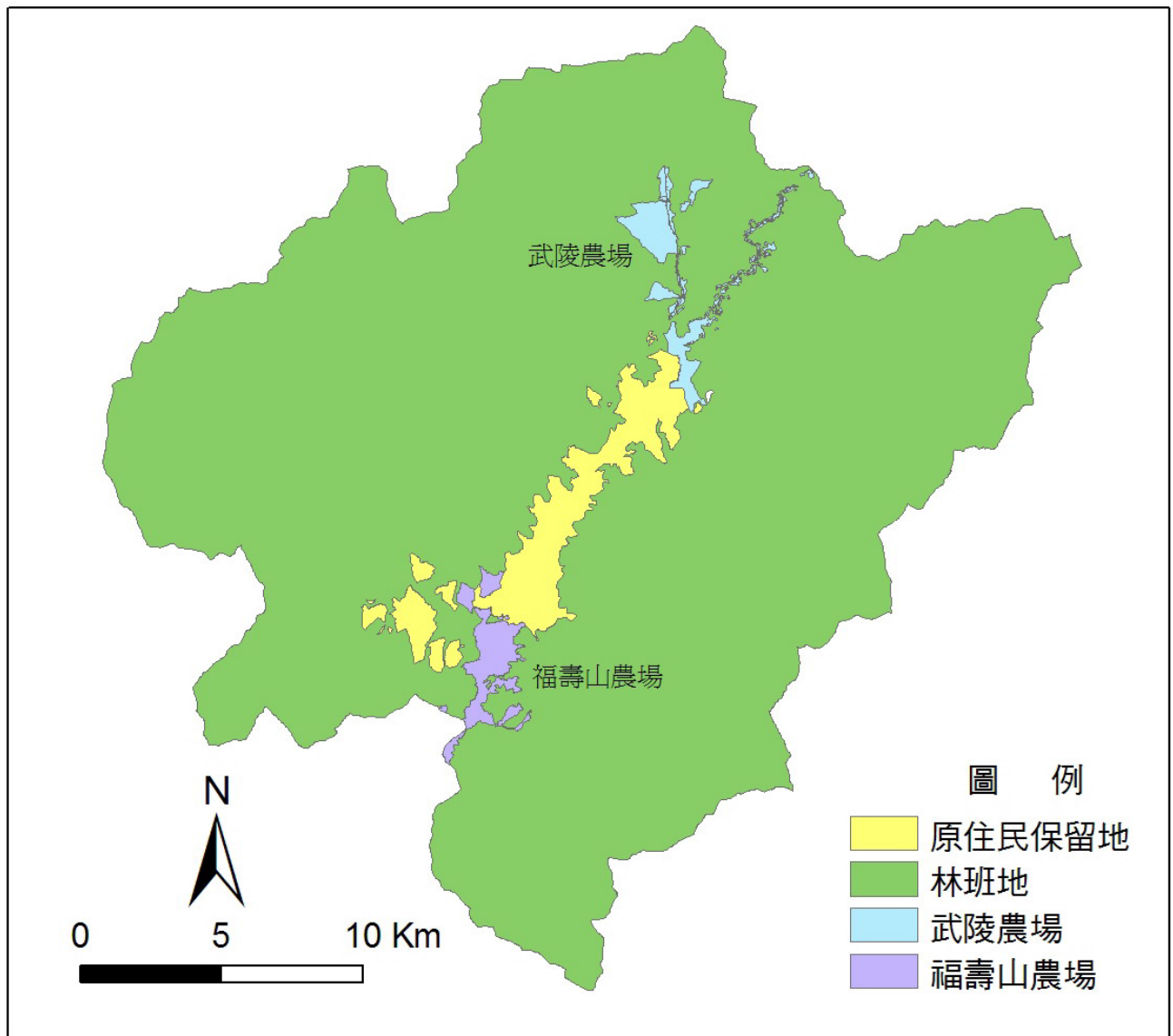


圖 5.40 大甲溪上游土地權屬範圍圖

表 5.7 2004 年原住民保留地土地利用統計

	面積（公頃）	百分比（%）
果園	1639.05	68.7
農地	47.72	2
建地	33.40	1.4
植被	665.64	27.9
總面積	2385.81	

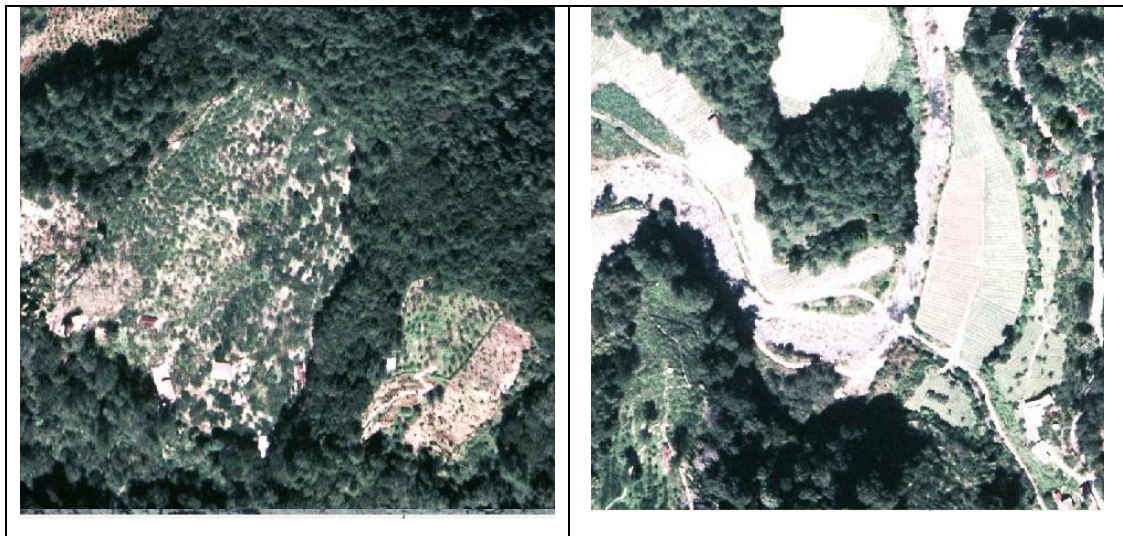


圖 5.41 果園與農地的航照特徵（左邊為果園，右邊為農地）

## 2. 退輔會土地利用

德基水庫上游包含有武陵農場及福壽山農場兩處退輔會農場地，其分布如圖 5.40。

以 2004 年的航空照片疊合 2001 年土地利用資料，針對退輔會農場地內的土地利用分析，主要分為四類，分別為果園、農地、林地與建地。果園和農地的數化標準如同退輔會用地的說明，建地為聚落所在，而林地在退輔會農場地中只有一處，但面積極大，達 403 公頃，佔退輔會農場地總面積的 30.3%，為次多的土地利用類型。最多的則是農地，佔總面積的 48.5%，而果園只佔 18.8%，此趨勢與原住民保

留地相反，農地的使用面積比果園要多，而建地的所佔比例僅有 1.6%。退輔會農場地內的土地利用類型與面積如表 5.8 所示。

此外，對照 2001 年退輔會農場地邊界與 2004 年照片的開發範圍，發現於 2004 年的部分退輔會農場地，有沿著其邊界往二旁增加開發面積的情形，而新增加的開發地於 2001 年的圖資屬性為林地或是河谷，是不屬於開發的土地利用類型。故統計 2001 與 2004 的退輔會農場地面積變化，2001 年的面積為 618 公頃，而 2004 年則為 645 公頃，增加 27 公頃左右，所增加的部分多為果樹或農地。

表 5.8 2004 年退輔會農場地土地利用統計

	面積（公頃）	百分比
果園	250.35	18.8
林地	403.49	30.3
建地	44.88	1.6
農地	645.85	48.5
總面積	1331.64	

從 2004 年數化的土地利用分佈圖來看，林務局事業區外地的農地，主要分佈在武陵農場區域（圖 5.42 藍色框部分），此外地區大部分以果園為主，建地除了大聚落外，其餘分佈在果園或農地旁，較難數化統計。

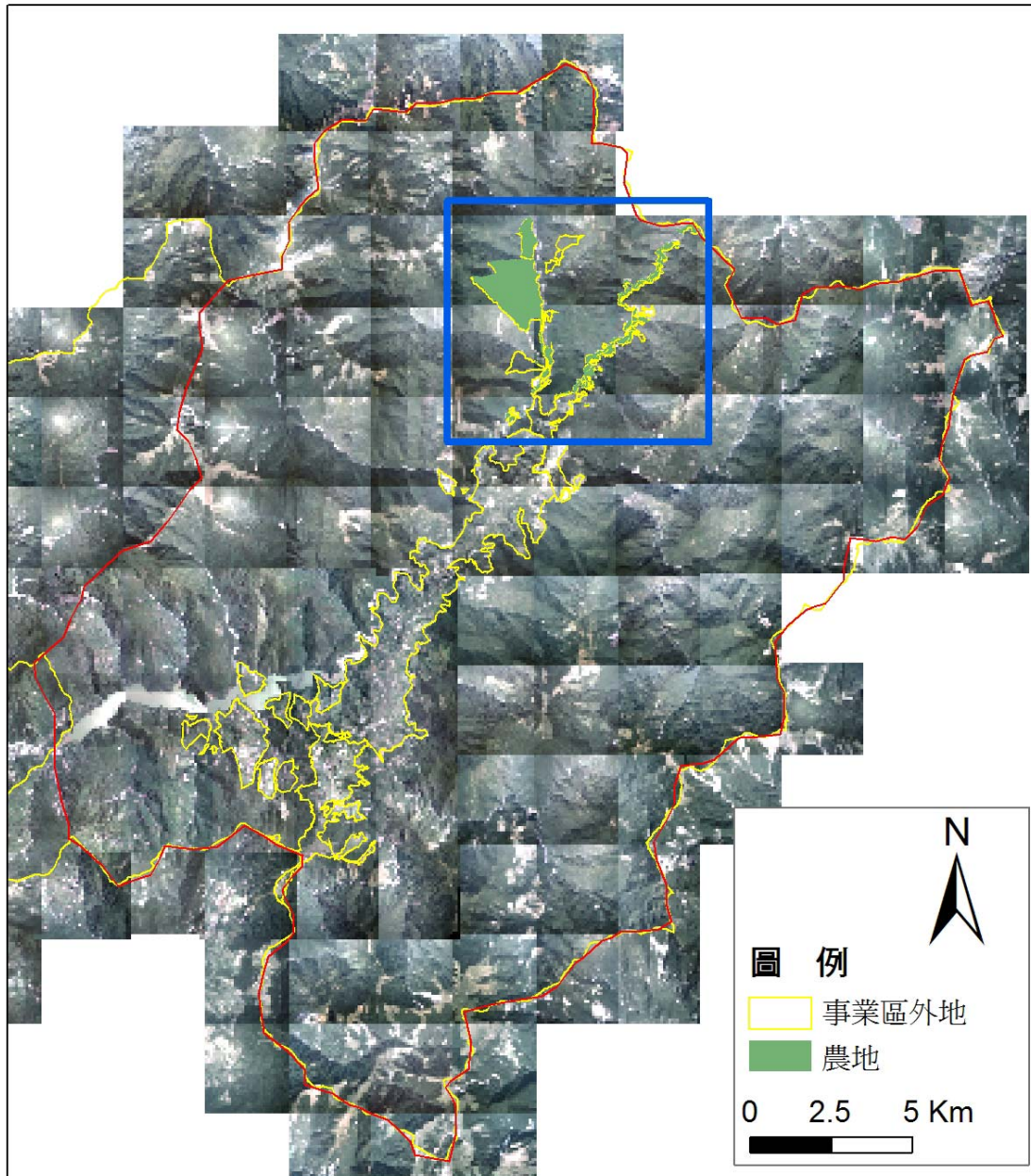


圖 5.42 事業區外地農地分布圖



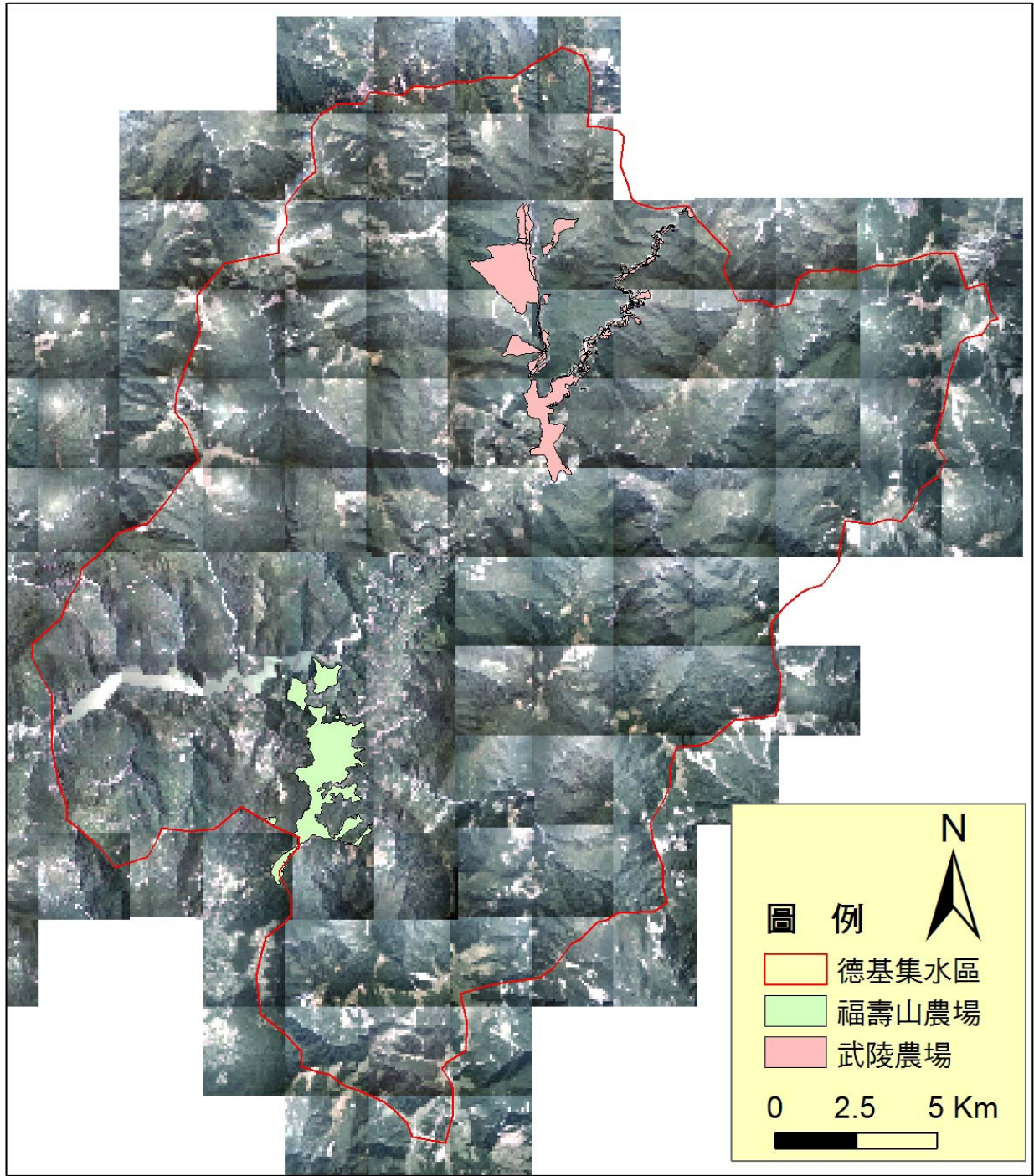


圖 5.43 退輔會農場地分布圖

### 3. 裸露地土地利用分析

以 2001 年林務局數化之大甲溪土地利用資料，對照 2004 年的航空照片，除退輔會用地與原住民保留地之外，發現德基水庫上游的裸露地以未立木地的果園、草生地、旱作地，以及經營除地的崩壞地等四類為主。裸露地土地利用的分析，可以瞭解德基水庫中直接可能的沈積物供應來源。

各類型的裸露地於 2001 至 2004 年的面積變化如表 5.9 所示。各類的裸露地面積，以草生地最多，約在 3400 至 3600 公頃；次多的類型，在 2001 年為果園，面積約 560 公頃，2004 年則為崩壞地，面積有 650 公頃。二年度之間，四類的裸露地中以崩壞地增加最多，接近 350 公頃。而崩壞地的分布位置如圖 5.44 所示，紅色表示 2001 年的崩壞地，黃色則為 2004 年的崩壞地，分布區域多接近在集水區邊界的地區。草生地增加幅度雖然沒有崩壞地來的多，但其總面積皆為最多，且即使於 2004 年崩壞地有大面積的增加，其比起崩壞地仍然要多上 3000 公頃左右的面積。然而由航空照片上觀察，2001 年土地利用屬性中，草生地所屬範圍，許多類似於老崩塌地，僅見少數的稀疏植被覆蓋，而其外觀上與崩壞地十分相似。

草生地的分布如圖 5.45，分布的空間與崩壞地相同，皆位於集水區邊界的附近。圖 5.46 則為二處草生地的實例，其位置如圖 5.45 的藍框圈選範圍。由圖觀察發現草生地的裸露情形接近崩壞地，且附近亦有崩壞地的分布，二者的分布空間十分接近。

表 5.9 各類型裸露地於 2001-2004 年之面積變化

年度 類型	2001	2004	增加面積
崩壞地	299.75	647.09	347.34
果園	560.56	634.92	74.36
草生地	3469.58	3627.98	15.84
旱作地	90.01	111.10	21.09

(單位：公頃)

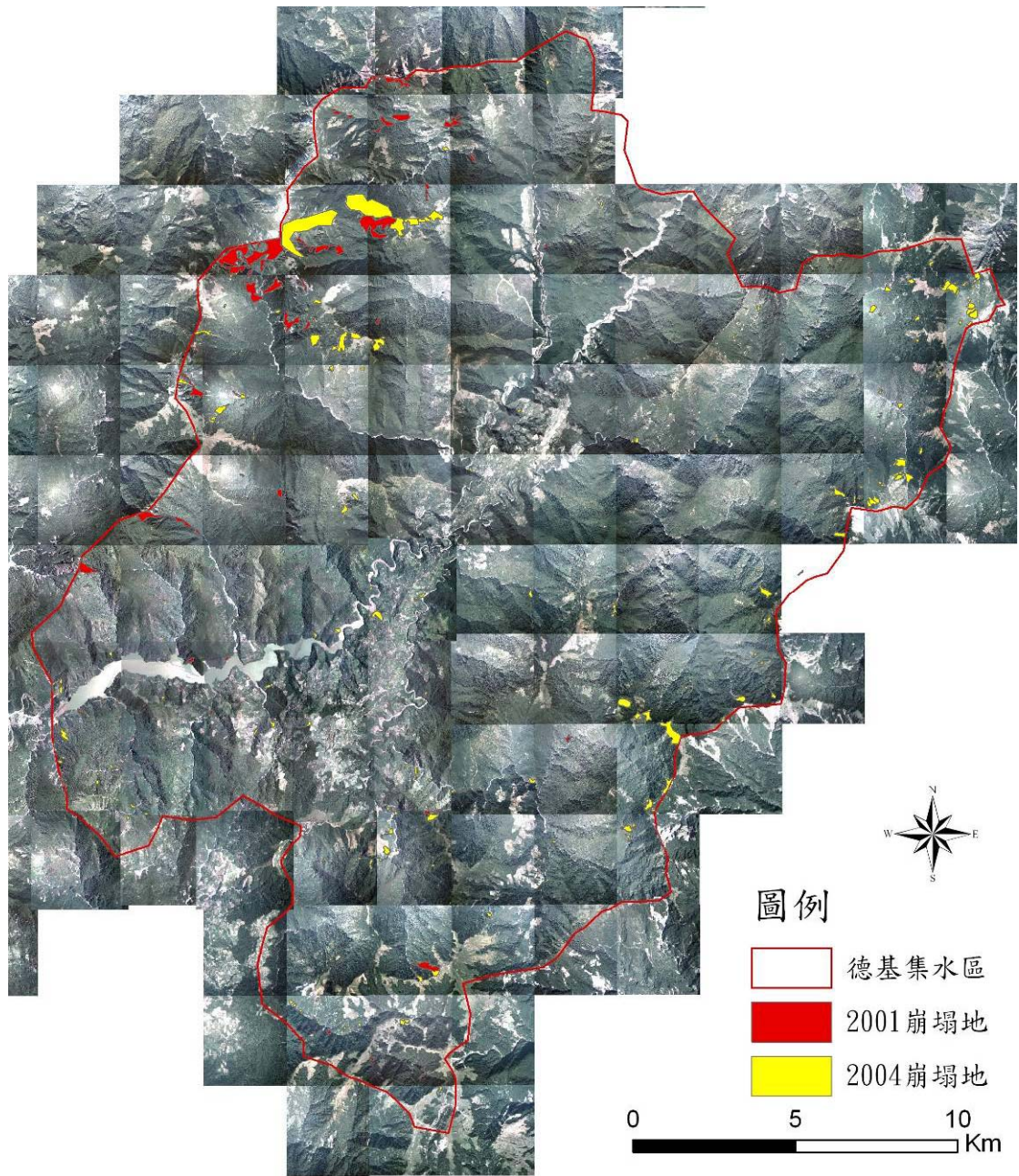


圖 5.44 德基水庫上游崩壞地分布位置

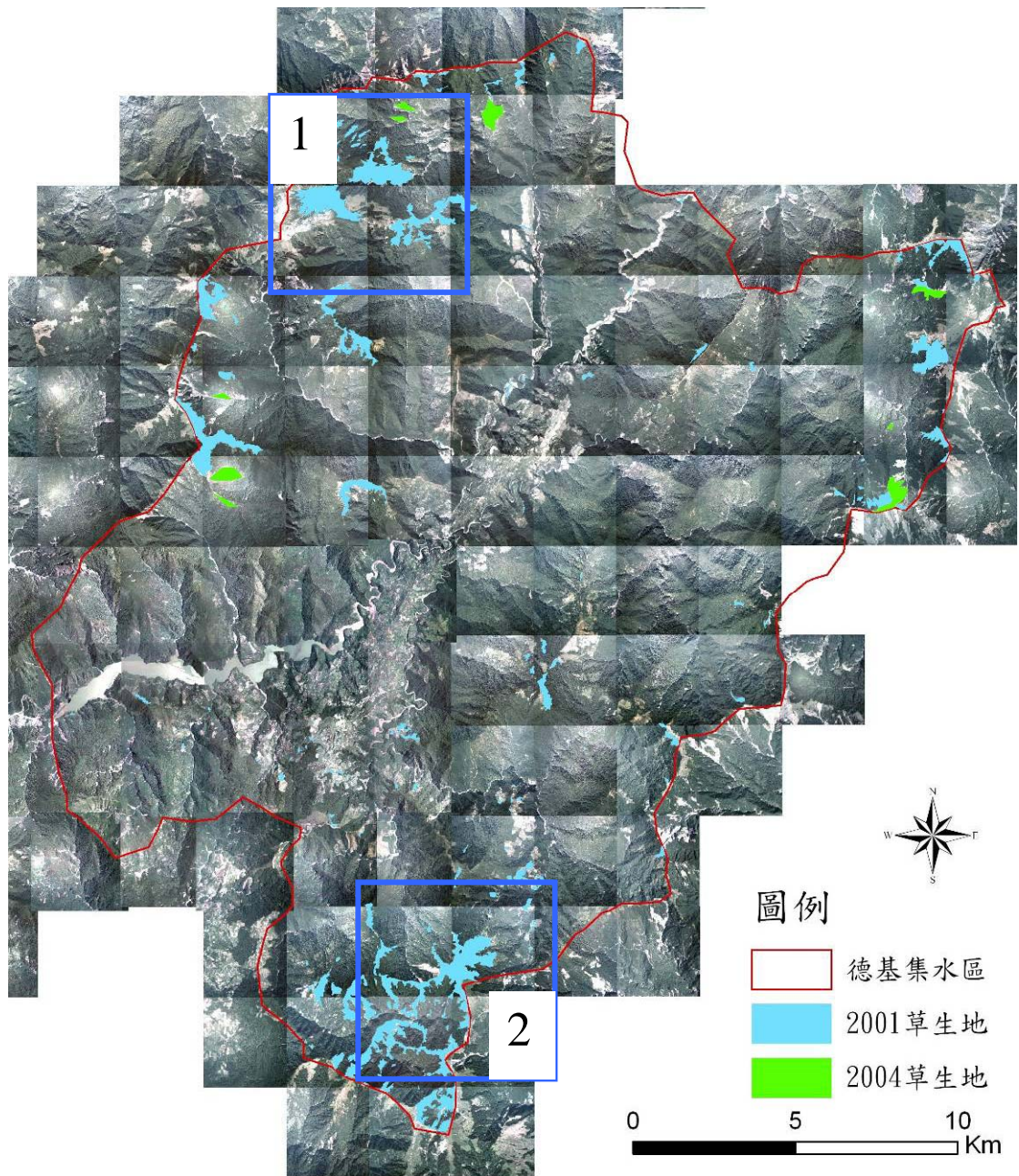


圖 5. 45 德基水庫上游草地分布位置

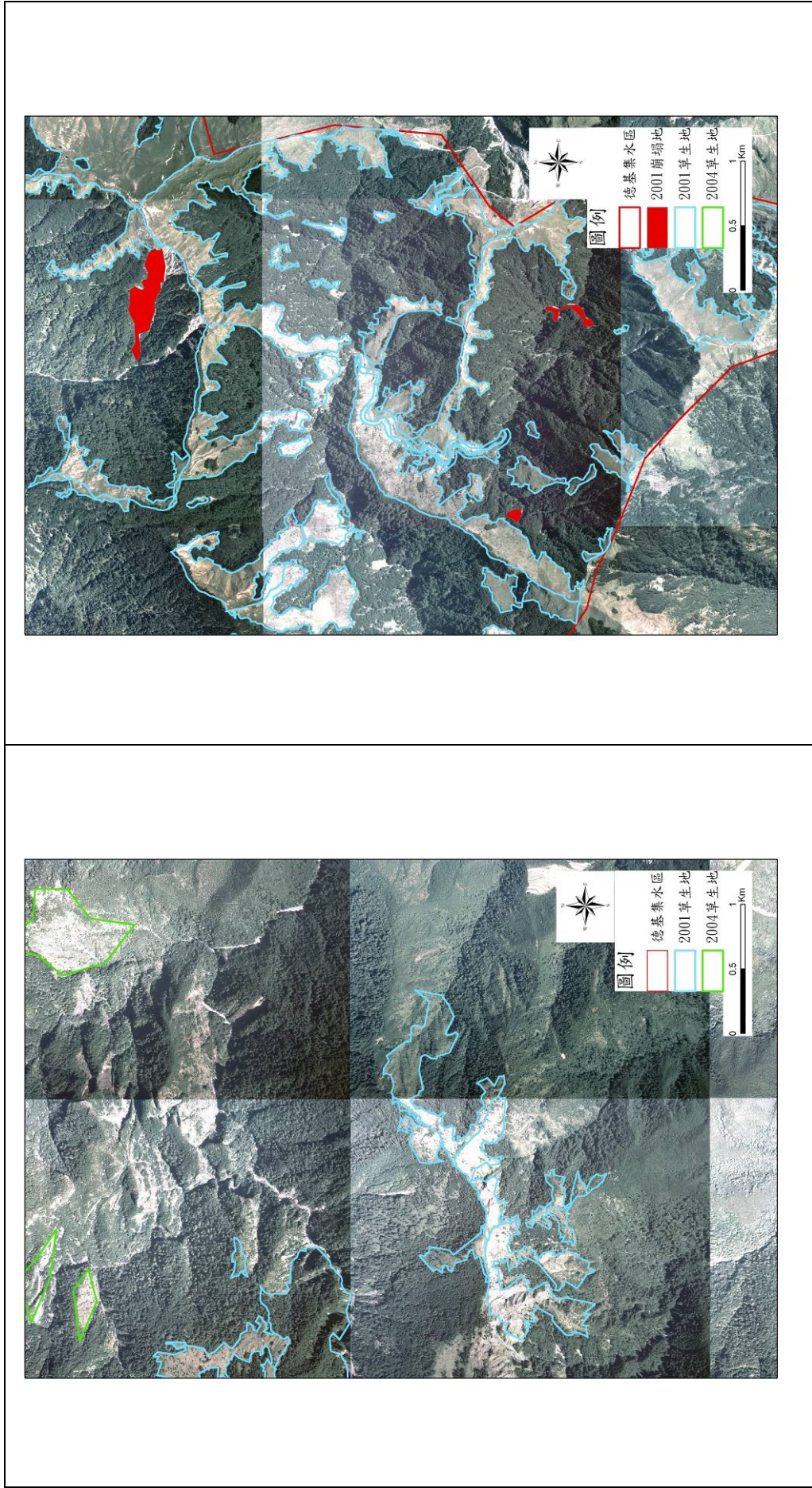


圖 5.46 草生地實例 (左為圖 5.45 點 1，右為圖 5.45 點 2)

果園與旱作地二類，為人為開發的土地利用類型。此二類的空間分布特性，在於多數的果園與旱作地皆鄰近退輔會用地或原住民保留地，甚至邊界與其範圍界線相接，若無配合大甲溪上游土地權屬的分佈資料，會容易誤判視之為退輔會用地或原住民保留地一部份。圖 5. 47 與圖 5. 48 為果園與旱作地於德基水庫上游的分布位置。果園與旱作地於 2001 年至 2004 年之間雖有面積上的增加，但前者增加 74 公頃，後者增加 21 公頃，就增加的程度皆不如崩壞地與草生地。但分布空間與退輔會用地、原住民保留地極為接近，特別是原住民保留地往東南延伸的部分，二旁的果園與旱作地是分布最多、密集的地方，如圖 5. 49 及圖 5. 50。

若對上游的開發地與裸露地比較，包含退輔會用地與原住民保留地內的用地面積，草生地為上游範圍內所佔比例最大的土地類型，達 7%，第二高的為果園，比例達 5.8%，其餘的土地類型則相對較低，除崩壞地達 1.2% 之外，其餘皆在 1% 以下。

表 5. 10 2004 年德基水庫上游各土地利用與各類裸露地統計

	面積 (公頃)	百分比 (%)
果園	3014.89	5.8
農地	308.86	0.6
旱作地	111.10	0.2
草生地	3627.98	7.0
崩壞地	647.09	1.2
建地	56.31	0.1
總面積	52002.97	100

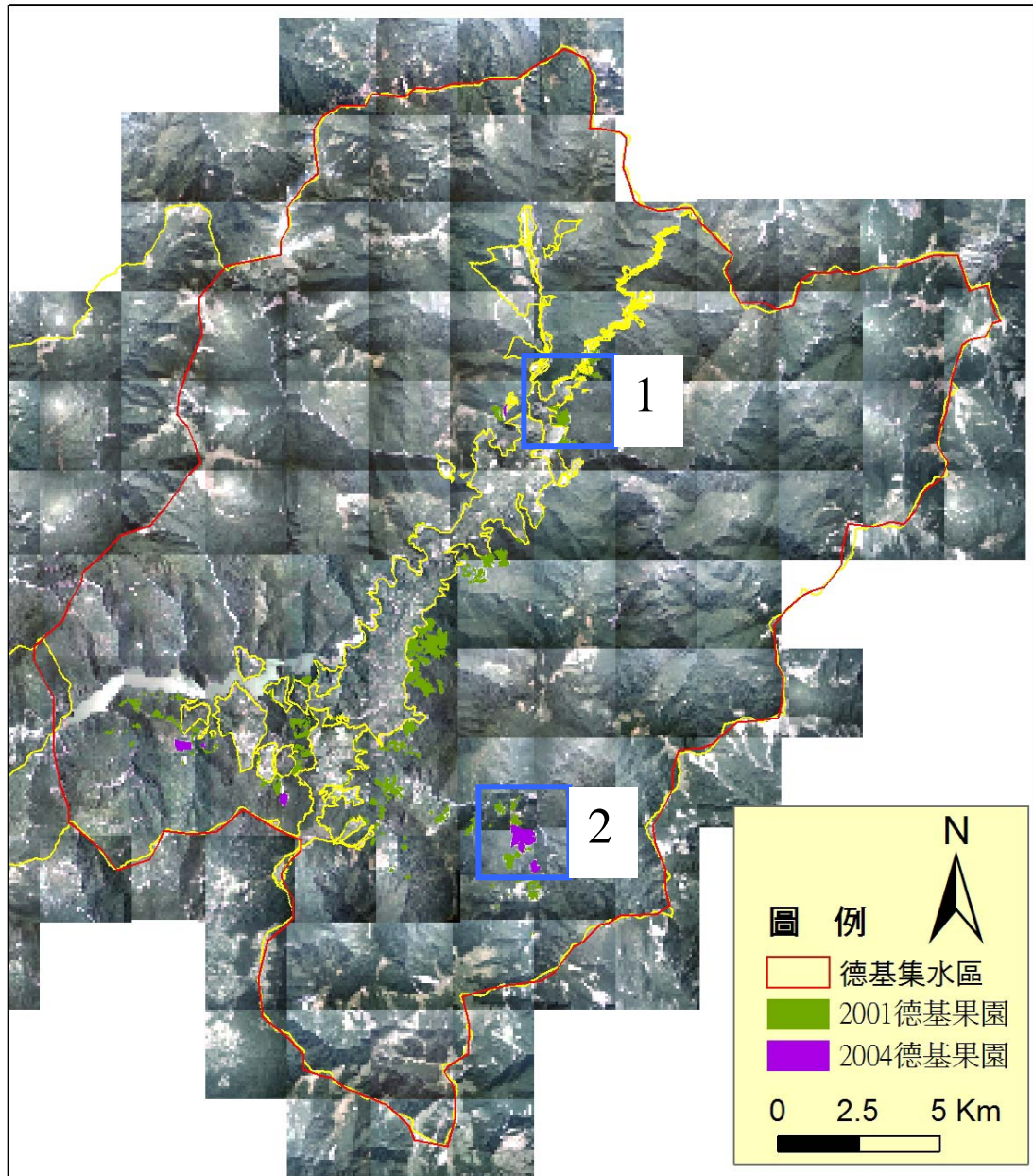


圖 5.47 德基水庫上游果園分布位置

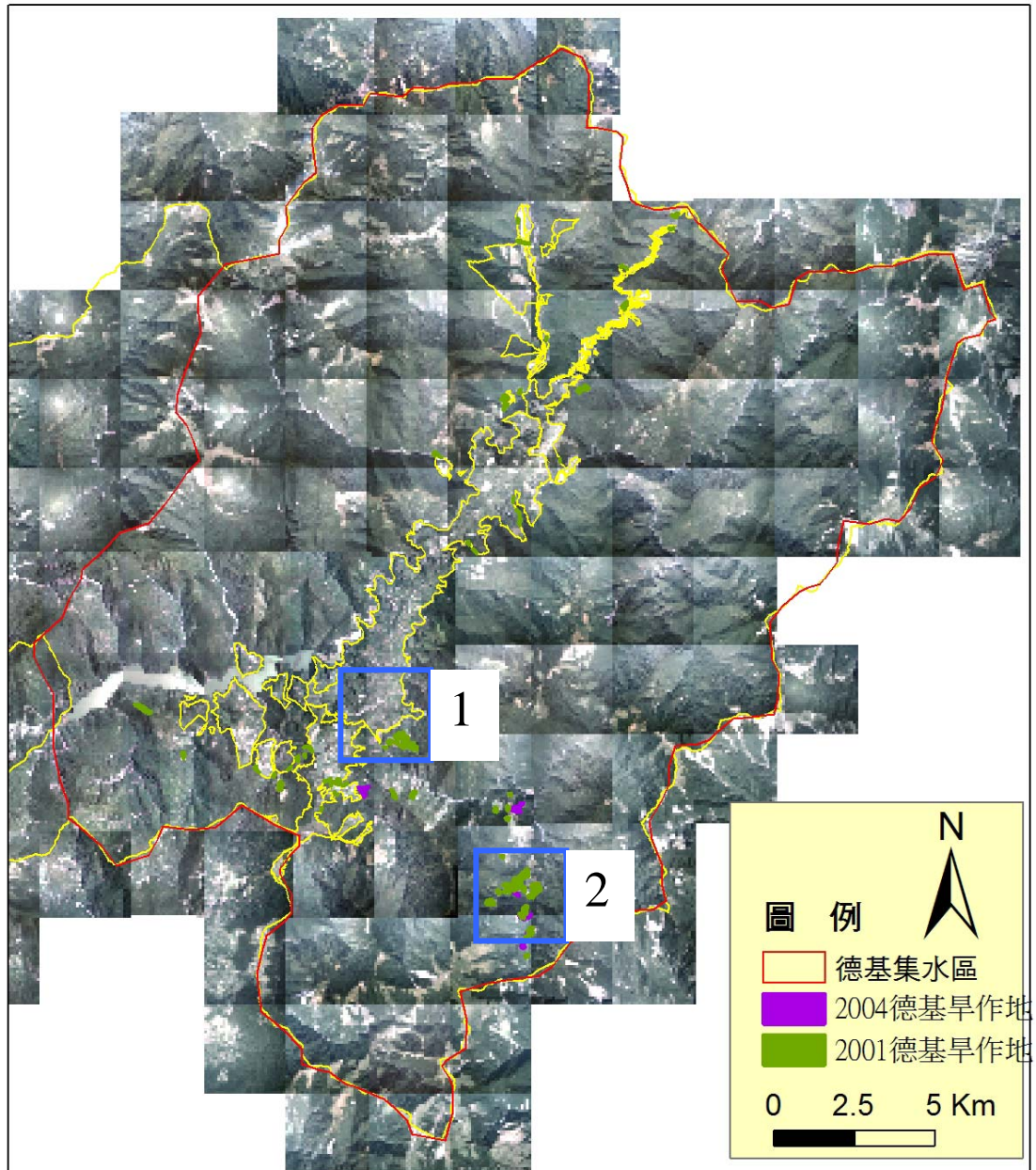


圖 5.48 德基水庫上游旱作地分布位置



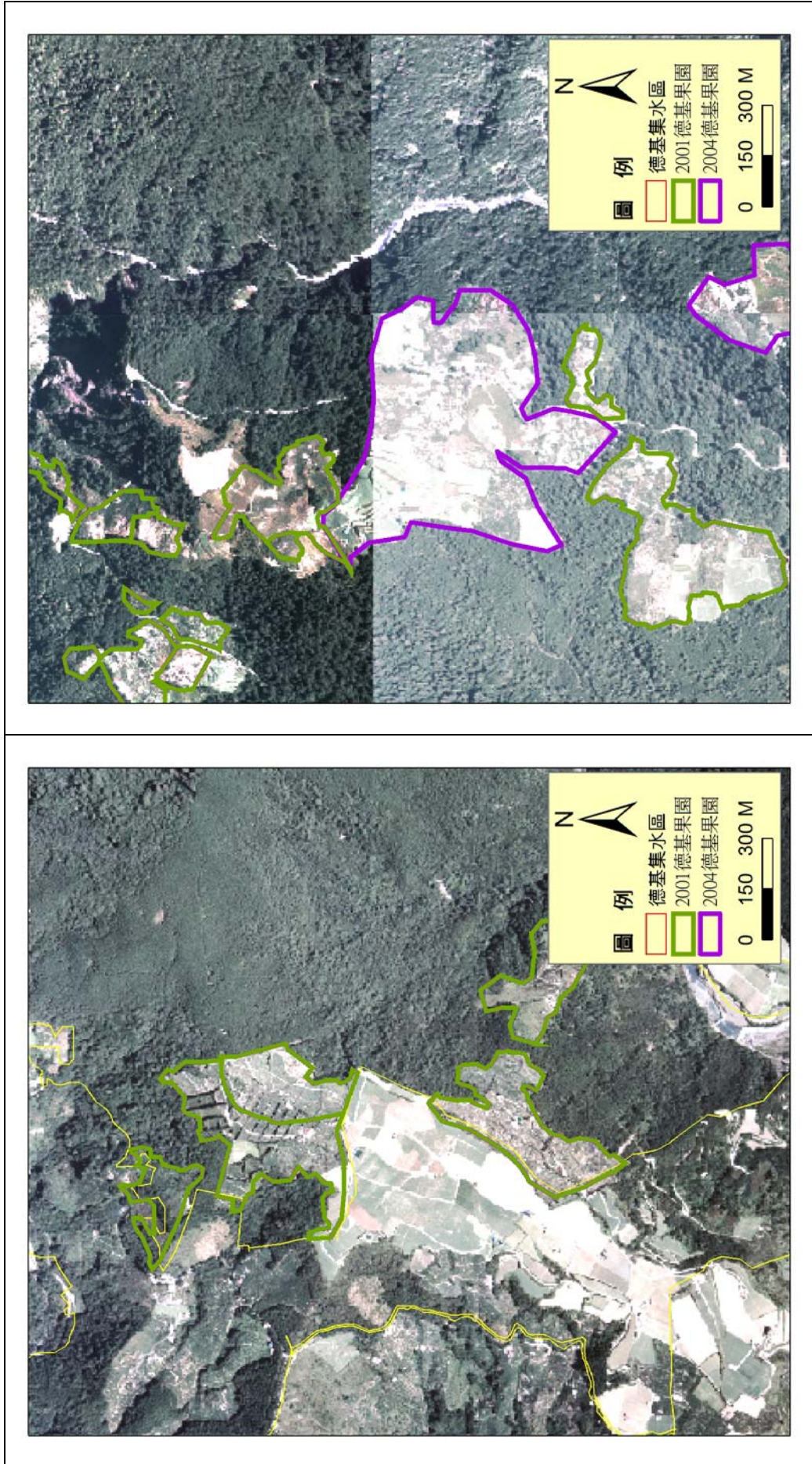


圖 5.49 果園實例 (左為圖 5.47 點 1, 右為圖 5.47 點 2)

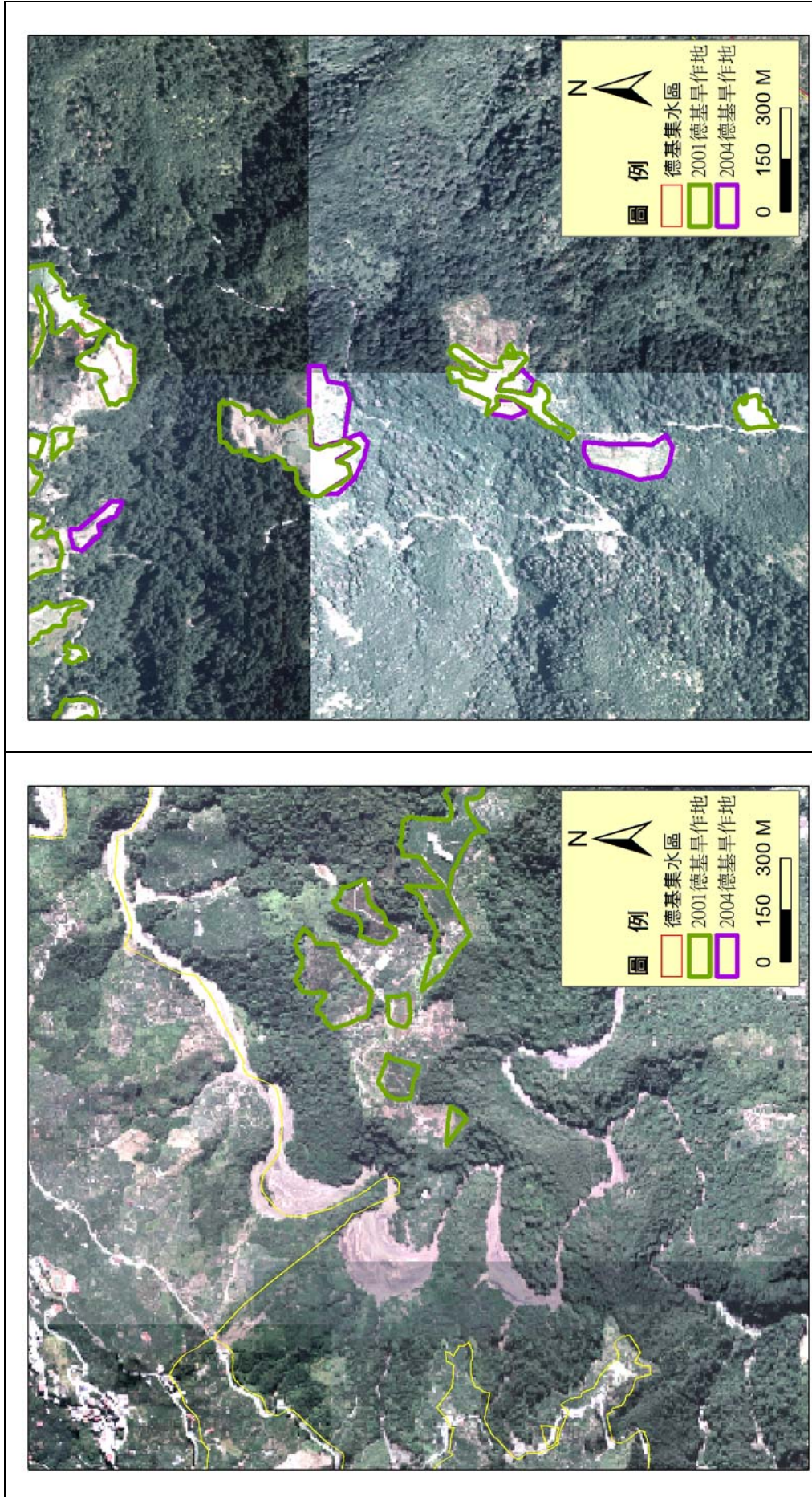


圖 5.50 旱作地實例 (左為圖 5.48 點 1，右為圖 5.48 點 2)

#### 4. 航空照片與衛星影像圖資適用性比較

本研究蒐集分析圖資來源，蒐集各年度農航所拍攝之航空照片以及福衛二號的衛星影像，目前較為完整的大甲溪全區圖資有 2004 年航空照片與 2006 年的福衛二號影像。2004 年航空照片配合高精度的正射化影像處理，可製作解析度達 0.5 公尺的影像，而福衛二號的彩色影像解析度則為 8 公尺，二者相較有差距。為比較二種圖資於土地利用判釋的適用性，特別以大甲溪上游，德基水庫以上的區域為範例，以十六萬、五萬、五千及一千分之一的比例尺，比較在地物辨識上的可行性。

圖 5.51 為德基水庫上游全區的二種圖資比較，比例尺為十六萬分之一，在此比例尺度之下，對於稜線、水系的辨認程度相差不遠，因此對於集水區範圍的劃分，二者皆適用。若將比例尺放大至五萬分之一（圖 5.52），以原住民保留地的範圍作為辨認對象，效果與十六萬分之一的地表特徵呈現效果差不多，也僅能在大尺度的稜線、水系做辨識。進一步將比例尺放至五千分之一（圖 5.53），二者的差異變為明顯，航空照片對於地物的呈現清晰，地物的邊緣與外貌皆非常清楚，但福衛影像只能勉強辨識建物與旁邊土地的差別，但對於更細微的土地利用類型，幾乎以無法辨識。再將比例尺放大至一千分之一（圖 5.54），航照能夠清楚呈現地物的特徵，圖 5.54 所呈現為果園的地表特徵，但相同位置的福衛影像，已完全模糊無法辨識任何地物。

比較航空照片與衛星影像的圖資在地物判釋上的特性，航照的解析度比衛星影像要高。比例尺在五萬以上時，對於稜線水系等地形特徵的辨識都很清楚，二者無差別，但當比例尺大於五千分之一以上時，衛星影像的地物模糊程度高，而航照即使在比例尺一千分之一時，地物的辨識仍然清晰。

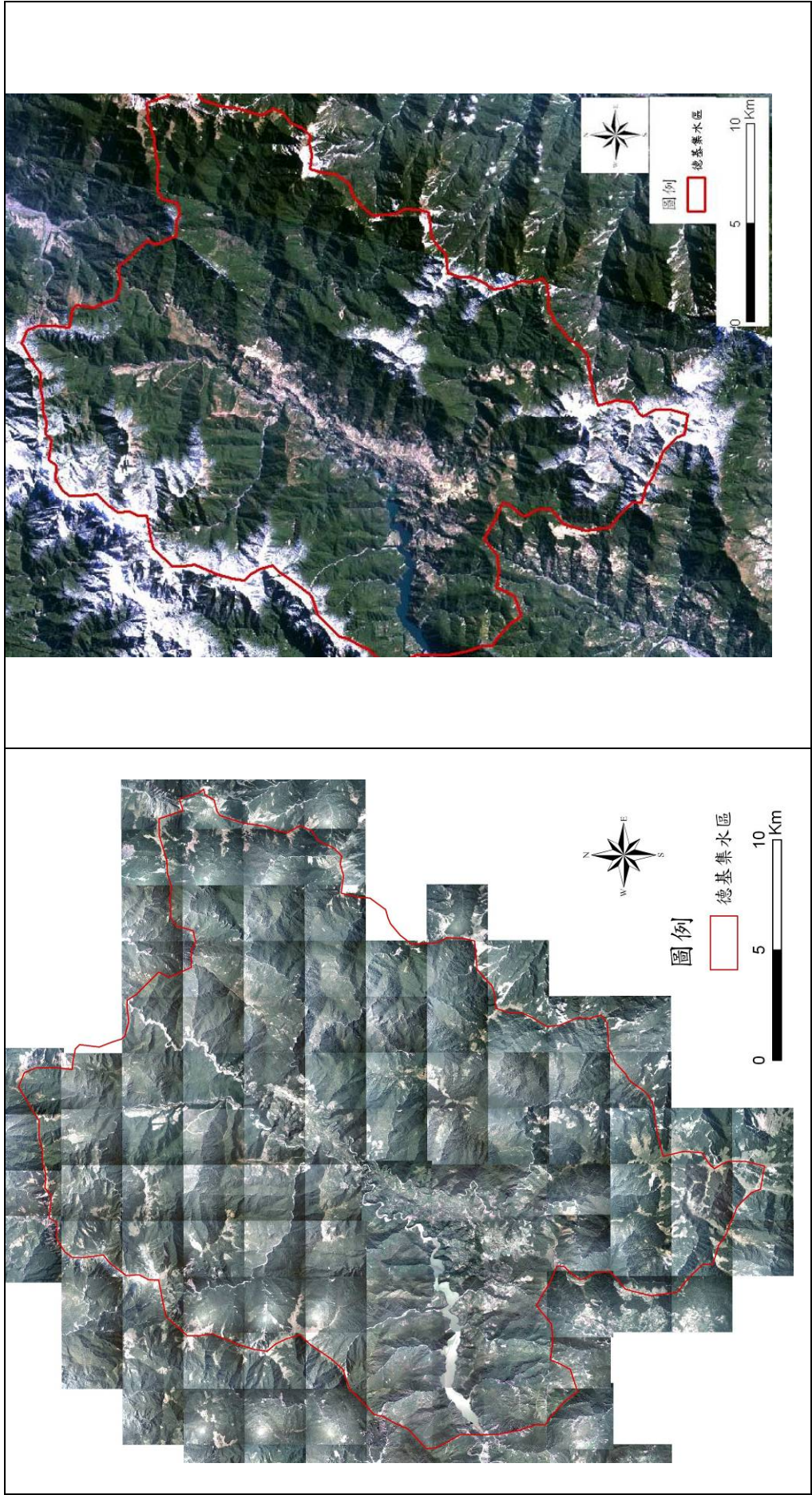


圖 5.51 德基水庫上游航照與福衛二號影像（比例尺十六萬分之一）。對於稜線、水系的辨識，航照與衛星影像皆適用。

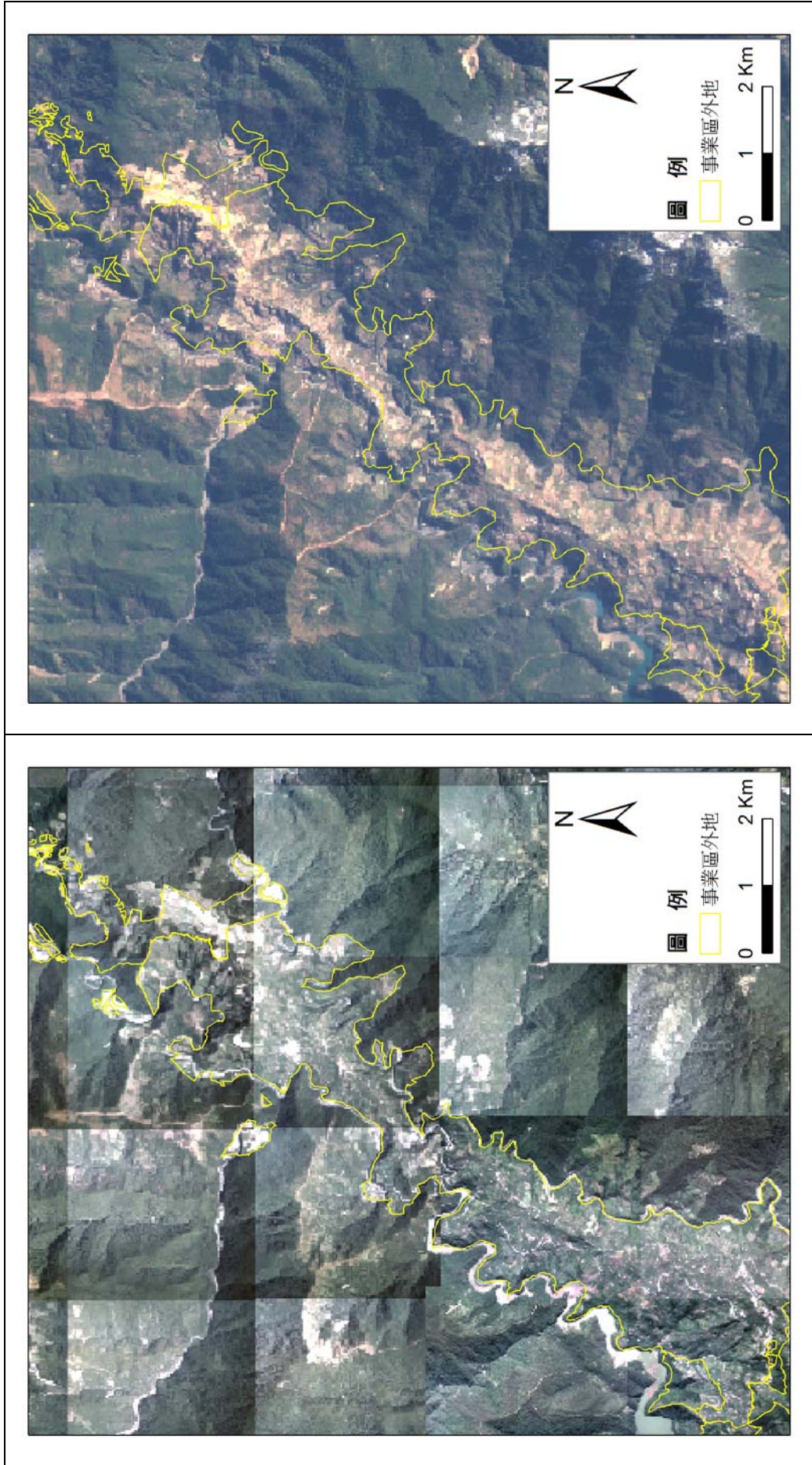


圖 5. 52 航照與福衛二號影像比較（比例尺五萬分之一）。在此比例尺之下只能辨識大的地形特徵，細部地物二者接無法辨識。

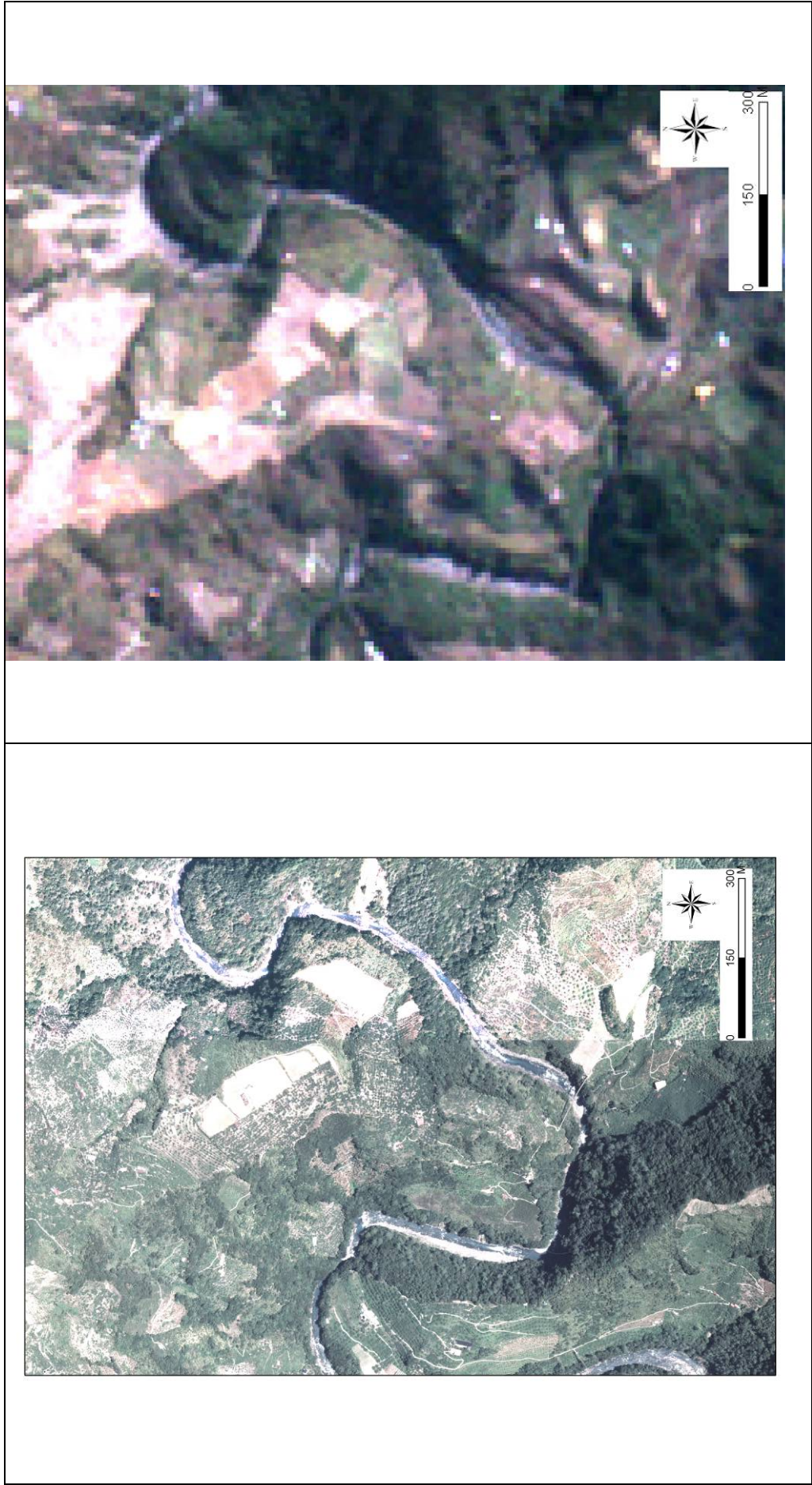


圖 5.53 航照與福衛二號影像比較（比例尺五千分之一）。衛星影像的地物已模糊難以判釋，而航照仍然清晰。



圖 5.54 航照與福衛二號影像比較（比例尺一千分之一）。航照的地物特徵清晰，但衛星影像已完全模糊無法辨識。

#### (四) 大甲溪德基至谷關段之地勢分析與潛在災害評估

在評價一個區域是否為潛在發生崩塌區域的方法上，本研究採用張石角教授所提出之「簡確法」的概念來進行評估。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（表 5.11）。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。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 5.11 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）
	-----	地質構造與坡向之關係
	地質 因子	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

本研究在實際操作上，以《水土保持技術規範》明訂之「簡確評估法」（見附錄一）之步驟，進行本區的地勢分析，結果如下：

##### 1. 劃分地形單元（坡單元）

將研究範圍的五公尺解析度 DEM 資料，利用 ARCGIS 內建功能生產出間距 10m 的等高線（與二萬五千分之一地形圖相同）。以等高線配合 DEM 製作表現出地勢起伏的暈渲效果，然後依據坡度、坡向等條件，將研究區劃分成各個均質的地形單元（坡單元）。單元內的環境、地質條件較為接近，在評估災害潛勢時，可視為一個整體。故以「坡單元」作為後續分析的最小單位。



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。

研究範圍為大甲溪的德基水庫大壩壩址至谷關之河段，包含兩岸的支流集水區。研究範圍之面積約 372 平方公里，共劃分出 1097 個坡單元。坡單元平均面積為 0.34 平方公里，劃分結果如圖 5.55。部分坡單元因等高線特性相當一致，難以再區分為更小單元，故得到最大的坡單元面積可達 1.58 平方公里。而部分區域則可區分至一個坡單元 0.03 平方公里。

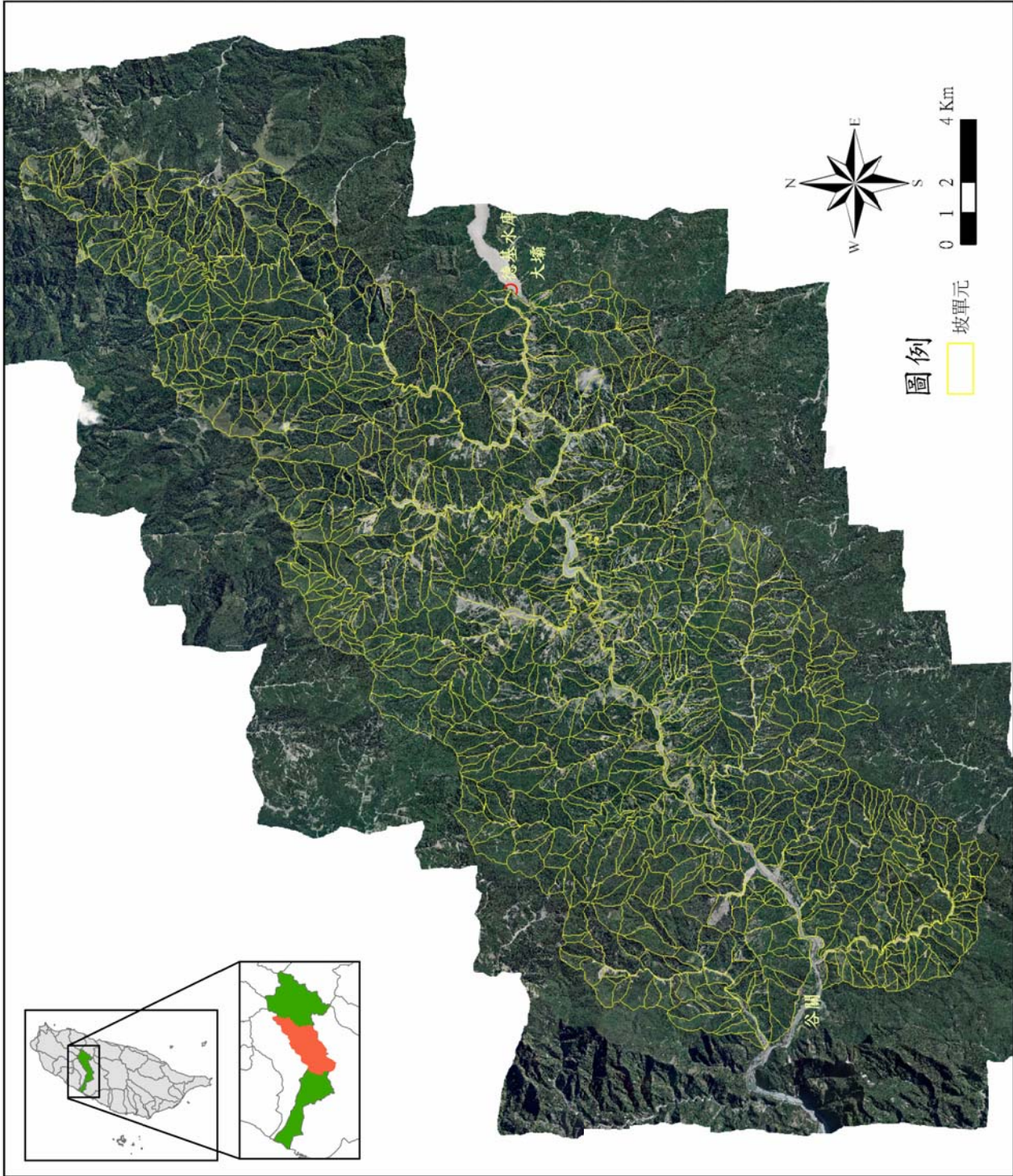


圖 5. 55 大甲溪流域德基至谷關段之坡單元。底圖為 2005 年航空照片正射影像。

## 2. 判釋沖蝕等級

坡面沖蝕度是指每一坡單元之坡面都因受到不同程度的風化、沖蝕或崩塌等外力作用之影響，而呈顯不同程度之凹凸，而以其侵蝕的程度評斷沖蝕等級。此部分無法由電腦自動產出，需人工判斷。依谷線、稜線及等高線波折點的彎曲程度，以《水土保持技術規範》的分級，判斷其坡面沖蝕度，並給予坡面沖蝕度序數（表 5.12）。

表 5.12 坡面沖蝕度分類表

序數	坡面沖蝕度	等高線彎曲度
1	平整	其等高線彎曲角度大於一百六十度以上
2	蝕痕	其等高線彎曲角度大於一百三十度至一百六十度
3	淺溝	其等高線彎曲角度大於九十度至一百三十度
4	深槽	其等高線彎曲角度為九十度以下
5	舊崩塌地、煤渣堆	
6	新崩塌地	

判釋之結果如圖 5.56，共有 165 個坡單元屬於坡面平整（序數 1）、364 個坡單元屬於坡面具有蝕痕（序數 2）、335 個坡單元屬於坡面具有淺溝（序數 3）、233 個坡單元屬於坡面具有深槽（序數 4）。

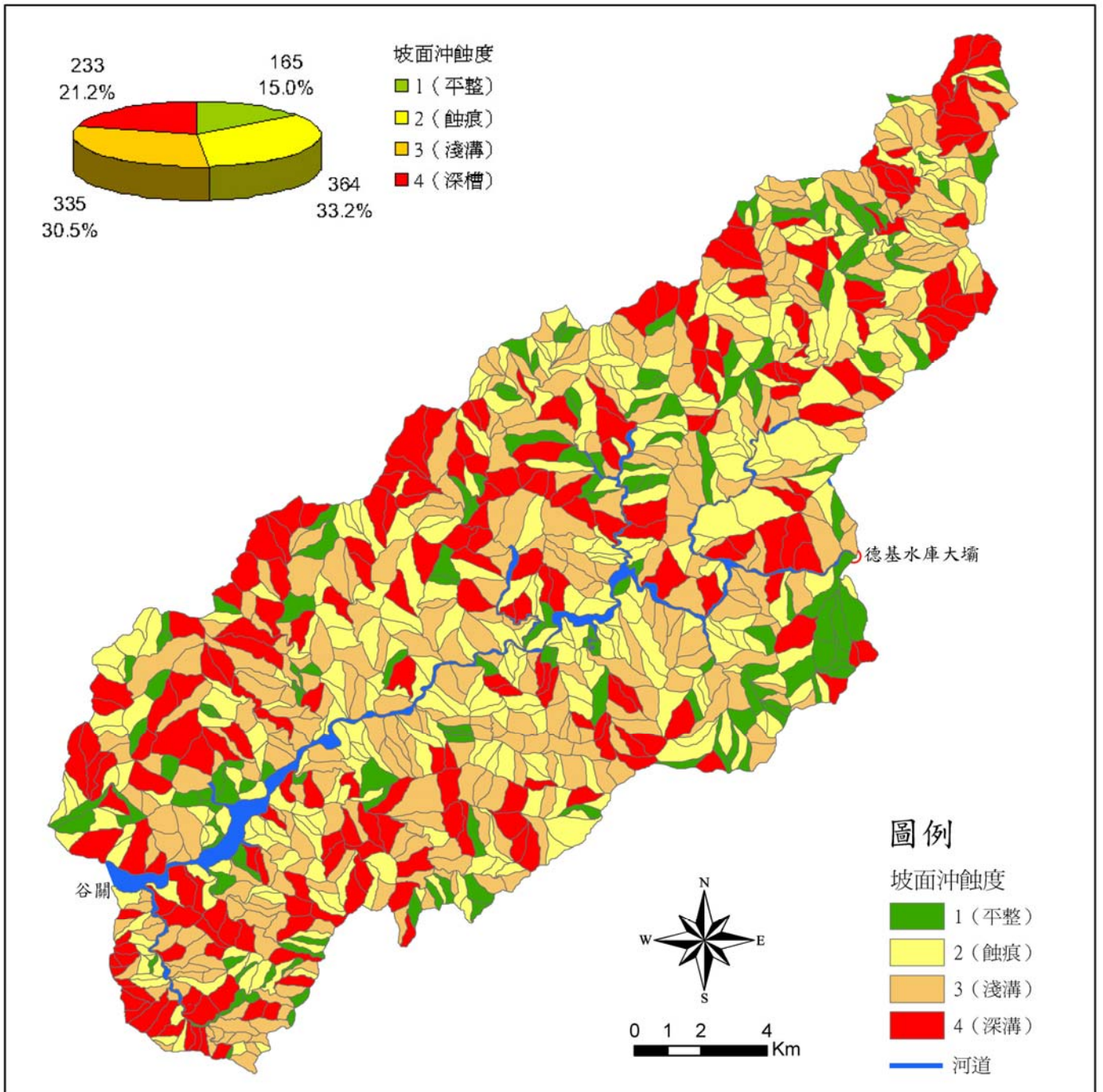


圖 5.56 大甲溪流域德基至谷關段之沖蝕等級圖

### 3. 生產坡度、坡向

利用 ARCGIS 內建功能，以 DEM 圖生產出每一坡單元之坡度及坡向資料。有了坡度、坡向的分級，才能進行以下的地形分析。

#### (1) 坡度

將 ARCGIS 生產出的坡度資料，以《水土保持技術規範》將之分級。「坡度級別」依《山坡地土地可利用限度分類標準》辦理，但坡度大於 100% (45 度) 者，另列一級為七級坡。而「坡度序數」則為「簡確評估法」計算土地單元之參數值。各坡度分級及其序數如表 5. 13。

表 5. 13 坡度分級及序數表

坡度序數	坡度級別	土地單元之坡度變域 (分級範圍)
0	一級坡	坡度百分之五以下。
1	二級坡	坡度超過百分之五至百分之十五。
2	三級坡	坡度超過百分之十五至百分之三十。
4	四級坡	坡度超過百分之三十至百分之四十。
	五級坡	坡度超過百分之四十至百分之五十五。
6	六級坡	坡度超過百分之五十五至百分之一百。
8	七級坡	坡度超過百分之一百。

計算之結果如圖 5. 57，大部分坡單元的平均坡度屬於六級坡，佔坡單元個數的 86. 1%；五級坡僅有 3 處，四級坡僅有 1 處，比例極小；而平緩的一、二、三級坡則無。坡度在 100% 以上的七級坡則達 147 個，佔 13. 4%，顯示此研究範圍多為陡峭坡地。

大甲溪主流河道及部分支流較寬廣的河道未列入計算，所以緩坡的數量顯得極少。

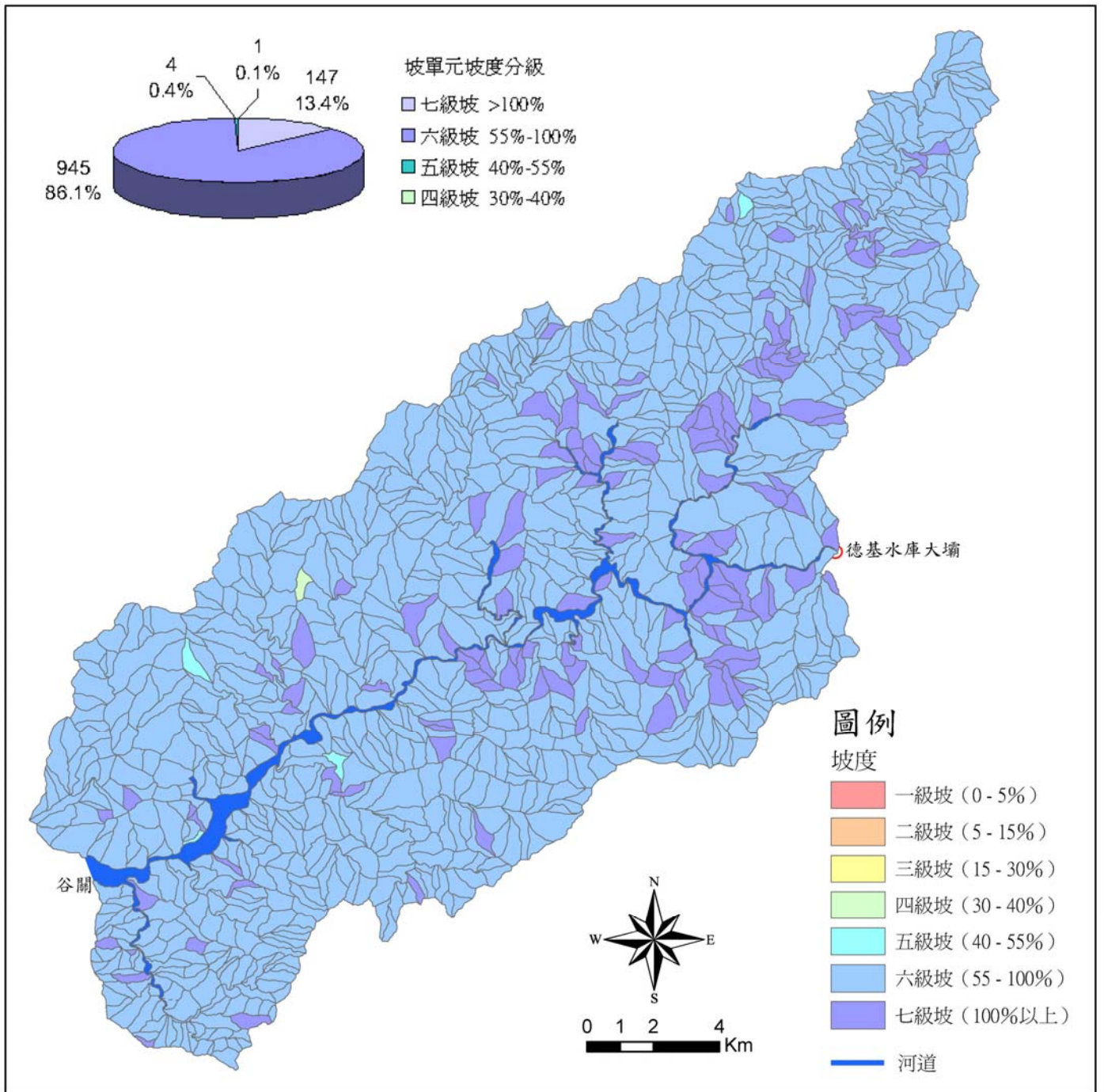


圖 5.57 大甲溪流域德基至谷關段之坡度圖

(2) 坡向

坡向分級採八方位法，將坡單元依其坡向分為北、東北、東南、南、西南、西、西北。並依《水土保持技術規範》劃分等級，如表 5. 14。劃分結果如圖 5. 58。

表 5. 14 坡向分級表

坡向分級	坡向	坡向(360° 劃分)	坡向分級	坡向	坡向(360° 劃分)
1	北	337.5° -22.5°	5	南	157.5° -202.5°
2	東北	22.5° -67.5°	6	西南	202.5° -247.5°
3	東	67.5° -112.5°	7	西	247.5° -292.5°
4	東南	112.5° -157.5°	8	西北	292.5° -337.5°

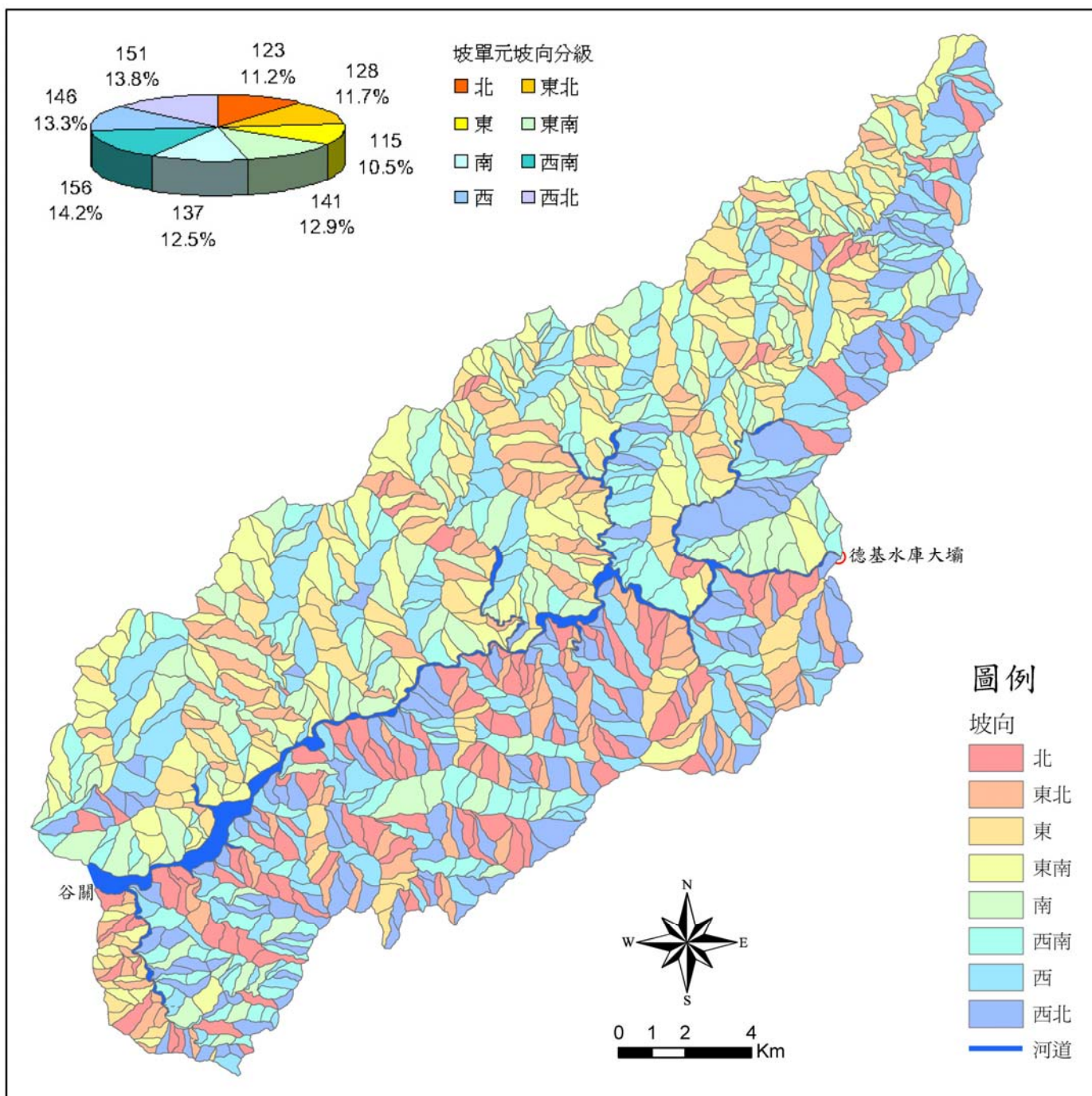


圖 5.58 大甲溪流域德基至谷關段之坡向圖



#### 4. 建立其他屬性資料—地質因子

##### (1) 岩性

岩體工程性質分類：構成山坡之岩層分為硬岩(I)和軟岩(II)兩類，略以岩體的承載力和其組成物質與組織易受風化改變之程度為分類之依據。因此被分為「硬岩」者，以岩體厚實並少層理(Bedding)、劈理(Cleavage)、或其他裂縫(Fissure)等不連續面為特徵；被分為「軟岩」者，以岩體軟、鬆或岩體內各不連續面發達(密度大)為特徵，如表 5. 15。

表 5. 15 岩體之工程性質分類表

岩類	工程性質等級	岩石名稱及其代號	備註
沉積岩	I	堅硬砂岩(R>2) (s)；緻密石灰岩(1)；膠結良好之礫岩(r>2) (c)	R = $\frac{\text{塊狀岩石}}{\text{層狀岩石}}$
	II	膠結不佳之砂岩、砂頁岩互層(R<2) (s)、頁岩(b)、泥岩(m)；多孔狀石灰岩(1)；凝灰岩(t)；高位台地礫石層或膠結不佳之礫岩(c) (r<2)；硬岩之破碎者(f)	
火成岩	I	熔岩、侵入岩體(v)、固結良好之火山碎屑岩( $\mu$ )	r = $\frac{\text{卵石}}{\text{砂土}}$
	II	固結不良之火山碎屑岩( $\mu$ )，熱液換質(h)	
變質岩	I	片麻岩(g)；大理岩(m)；石英片岩(q)；板岩、千枚岩(k)、綠色片岩(n)	I：硬岩 II：軟岩
	II	構造擾亂帶、破碎帶、劈理發達之板岩、千枚岩(k)、黑色片岩、綠色片岩(n)	

備註：I<sub>s</sub>：堅硬砂岩，需用炸藥開挖。

X<sub>t</sub>：凝灰岩，可用機械開挖。

X<sub>kt</sub>：破碎板岩或千枚岩，可用機械開挖。

本研究區範圍包含四張五萬分之一地質圖，圖幅名稱(圖號)分別為東勢(18)、梨山(19)、國姓(25)、霧社(26)四圖幅，然梨山圖幅尚未出版，因此在岩層分布上參考其他比例尺的地質圖。

以研究區範圍套疊台灣五十萬分之一的地質圖，得到研究區大致的岩層分布，以白冷層(四稜砂岩及眉溪砂岩)、佳陽層以及達見砂岩為主(如圖 5. 59)。並依照表 5. 15 所示，將各種岩層依照岩性區分為硬岩及軟岩兩大類。

- A. 眉溪砂岩(白冷層)：依五萬分之一地質圖說明書—東勢圖幅所述，「本層以白色或灰白色、細粒至粗粒的石英質砂岩為主。白砂岩多由粗粒至中粒的石英組成，層厚自 20 公分至 2 公尺。通常以 1 公尺以下較常見。白砂岩甚堅硬，局部已石英化，常具明顯之交錯層構造。有時白砂岩呈礫岩狀，其所含

石英粒自豆狀至直徑 2 公分以上，膠結甚佳。（李錦發，2000）」推斷其為堅硬砂岩，工程性質等級屬於 Is（硬岩）。

- B. 佳陽層：佳陽層主要由厚層板岩組成，夾有少量細粒砂岩或粉砂岩，板岩劈理發達。其為劈理發達之板岩，工程性質等級屬於 IIk（軟岩）。
- C. 達見砂岩：參考五萬分之一地質圖說明書一埔里圖幅所述「達見砂岩以厚層或塊狀，白色，中至粗粒甚至部分粒狀變質砂岩為主，間夾板岩及偶夾薄層炭質板岩。（黃鑑水 等，2000）」其為堅硬砂岩，工程性質等級屬於 Is（硬岩）。

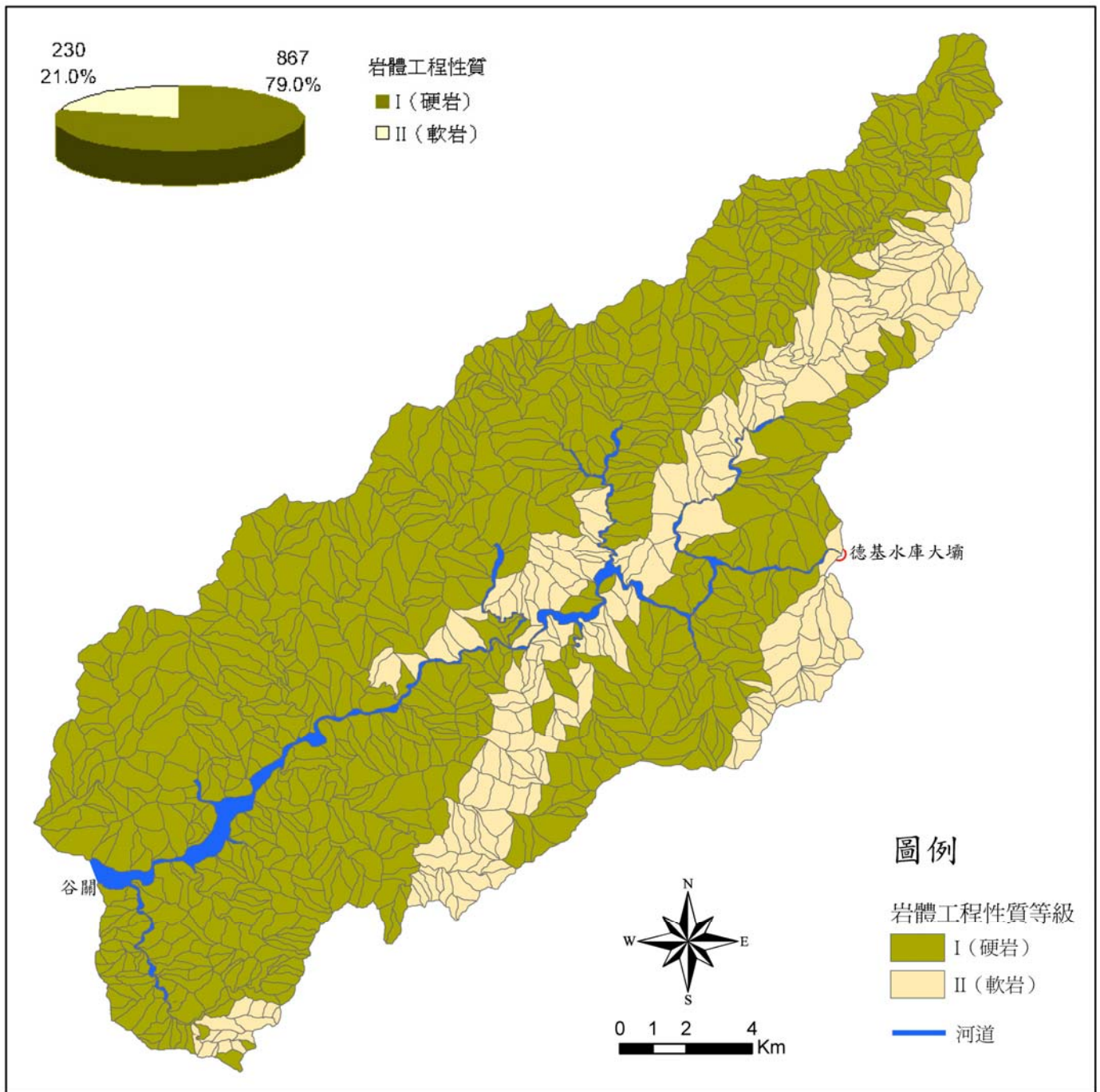


圖 5.59 大甲溪流域德基至谷關段之岩體性質分類圖

(2)坡型：

根據《水土保持技術規範》，將岩層構造之分類（岩層構造分類及其代號如表 5.16）：

- A. 岩層構造係指山坡岩層面或規則性節理面之走向、傾向和傾角與山坡面相對關係位置，蓋其影響該山坡之穩定度以及崩塌類型。
- B. 火成岩體或變質岩體之不具層理、劈理或其他規則性之不連續面者，其坡面構造稱為「非斜坡」；坡面之發育明顯地受到層面等之控制者，稱為「順向坡」；與層面傾向相反之坡面稱為「斜交坡」；坡面之構成岩體受岩層之褶皺或破碎，致層面等規則性不連續面對坡面之發育不具影響者，則稱為「破碎帶」。
- C. 順向坡岩體之潛在滑動面在下坡透空者，稱為「自由端」，已具邊坡滑動的所有靜態條件。惟一土地單元有否自由端，須於精查時或整地規劃時查明，而於核計工程地質序數時計入；普查時一律以具自由端之「順向坡」核計。

表 5.16 山坡岩層構造分類表

代號	坡面類型(山坡岩層構造)
0	非斜坡(無層理岩體)
1	斜交坡
2	反向坡(崖坡)
3	順向坡(傾斜坡)(岩層傾角超過十度)
4	破碎帶(不連續面極發達，使地質構造因子不彰顯者)

本研究以 ARCGIS 軟體分析所生產之坡向，結合五萬分之一地質圖上的地層傾角、傾向資料，將坡單元之坡型分成斜交坡、反向坡及順向坡等三級。由於五萬分之一地質圖圖幅範圍，梨山圖幅尚未出版，因此此圖幅範圍內的地層傾向是依其他圖幅推測（如圖 5.60）。

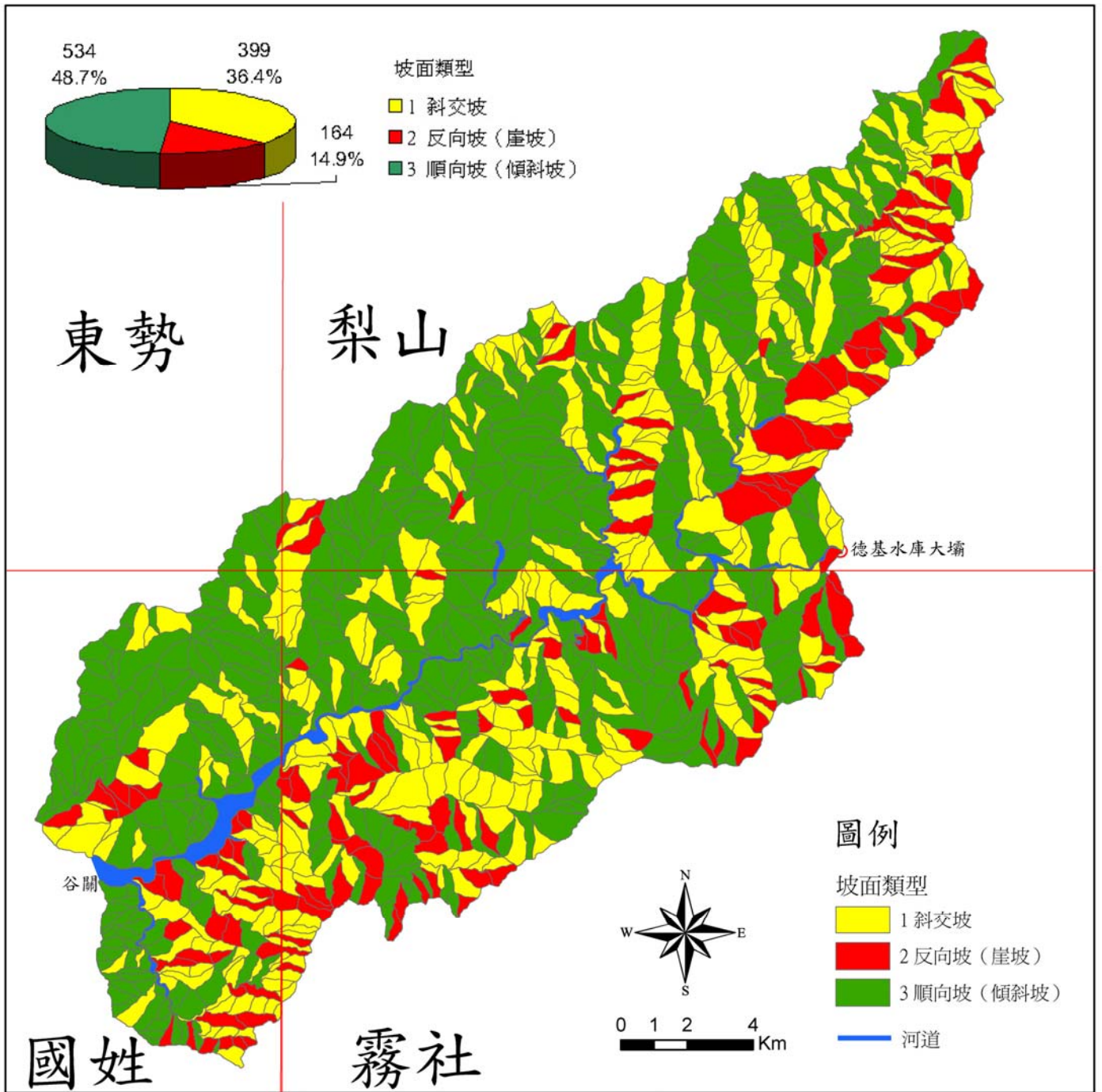


圖 5.60 大甲溪流域德基至谷關段之坡型分類圖  
(紅色格線為圖幅邊界)

### (3) 土壤厚度

土壤深度分級：凡在工程處理上可視為土壤之未固結物質，包括風化土、崩積土、沖積土及填土等皆視為土壤。其分級與代號如表 5. 17。

表 5. 17 工程土壤深度分級表

代號	土壤厚度
A	一公尺以下
B	超過一公尺至四公尺
C	超過四公尺

研究區內除河道外，其土壤皆因坡度過大，厚度甚薄。因此所有坡單元接劃為 1 公尺以下之級別（代號 A）。

### 5. 坡地災害潛勢評估

根據張石角（1987）的山坡地潛在山崩災害之空間分布預測表，將各坡單元的土壤厚度、坡型、岩質、坡度等屬性資料，加以判定、劃分潛在災害之類型。山坡地潛在山崩災害之空間分布預測表，如表 5. 18。

表 5. 18 山坡地潛在山崩災害之空間分布預測表

	辨識準則	土壤厚度	坡型	岩質	坡度	備註
	崩山類別					
山崩	落石	A	-	I	>6	
	岩石滑移	A, B	3	II s	>=2	
	岩屑滑落	A, B	1, 2, 3	II	>6	
	岩屑滑崩	C	-	-	>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	-
	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	一二級谷
沖蝕		C	-	-	>=6	
		A, B	-	II	>=6	

預測結果如圖 5.61，研究區內大部分坡單元因坡度甚大（序數大於 6，即坡度大於 55%），且其岩質為堅硬砂岩（I），因此潛在山崩災害以落石為主。若堅硬砂岩中坡型屬於順向坡（3）且坡度序數大於等於 4 者，則另分為平面型地滑。

而佳陽層因屬劈理發達之板岩，因此在岩質分類上屬於軟岩（IIk），不論其坡型、坡度，皆屬於淺滑動面的弧形地滑。

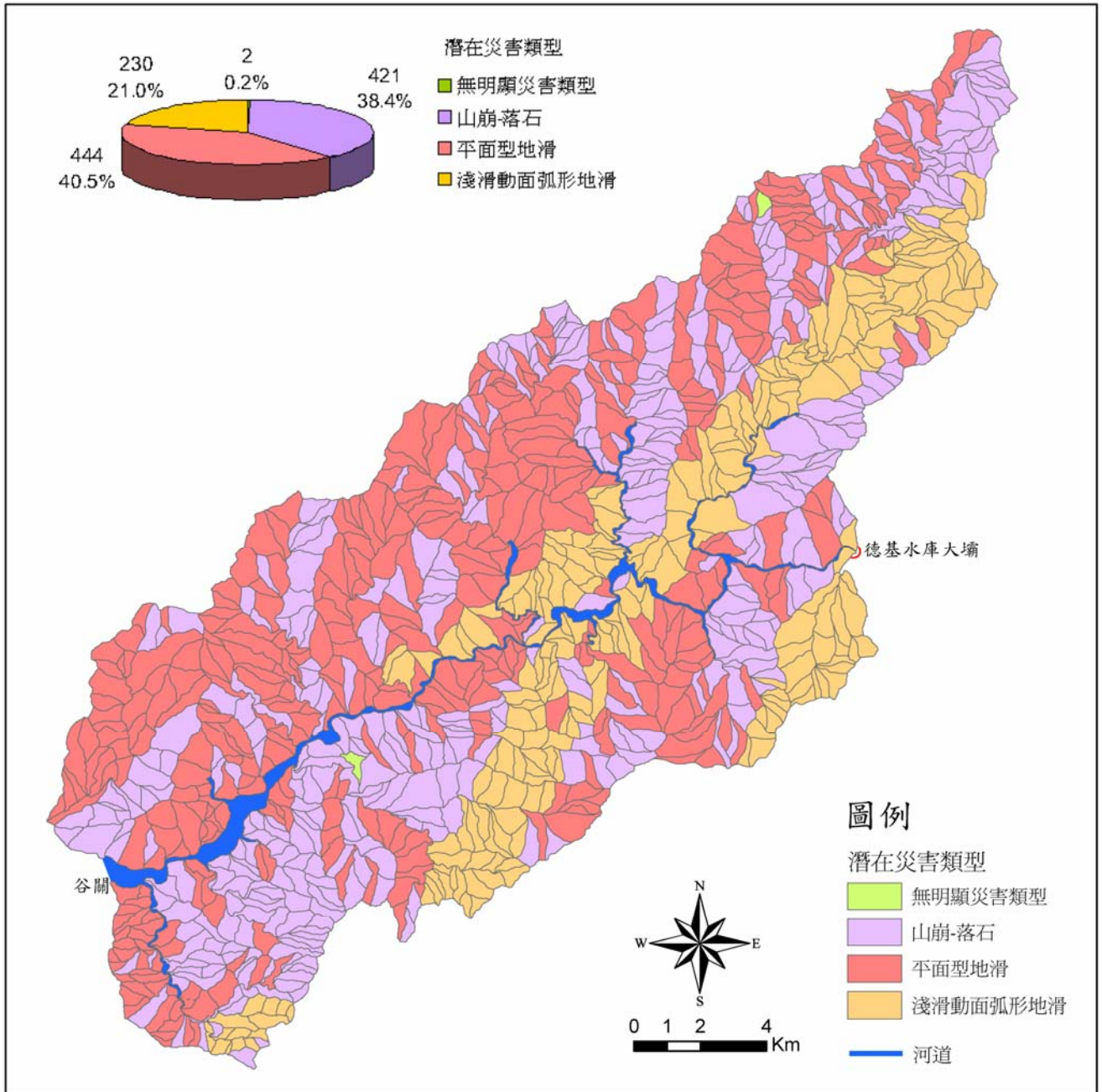

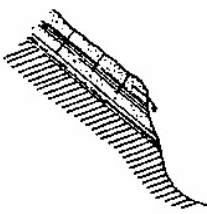




圖 5.61 大甲溪流域德基至谷關段之山坡地潛在災害類型圖



表 5. 19 山崩分類表

類別	發生條件	涉及因子	對比
<p>落石</p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 堅硬岩石</li> <li>2. 坡度極陡</li> <li>3. 高差大</li> </ol>	<p>岩質</p> <p>坡度</p> <p>高差</p>	Rockfall
<p>岩石滑移</p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 砂頁岩薄互層或節理間隔小於 50cm 者。</li> <li>2. 不連續面之順向坡。</li> <li>3. 傾角大於滑動面之濕內摩擦角。</li> <li>4. 具自由端。</li> <li>5. 滑動面淺。</li> </ol>	<p>岩質</p> <p>地質構造與坡向之關係。</p> <p>坡度</p>	Rockslide
<p>岩屑滑落</p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 滑動體之組成塊體小，岩石多為頁岩、硬頁岩、板岩、片岩等。</li> <li>2. 風化深度淺。</li> <li>3. 坡度大。</li> <li>4. 滑動量小於岩屑滑崩。</li> </ol>	<p>岩質</p> <p>坡度</p>	Debris slide
<p>岩屑滑崩</p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 滑動體之固結不良。</li> <li>2. 坡度大，甚或懸空。</li> <li>3. 滑動面較岩屑滑落者為深。</li> <li>4. 滑動時，滑動體迅即崩解。</li> </ol>	<p>岩質或土壤</p> <p>坡度</p>	Debris avalanche

資料來源：張石角，1987

表 5.20 地滑分類表

類別	發生條件	涉及因子	對比
<p>平面型地滑</p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 整齊之地質構造且軟、硬岩相間。</li> <li>2. 傾角大於潛在滑動面上物質之濕摩擦角。</li> <li>3. 層面或不連續之順向坡。</li> <li>4. 具自由端。</li> </ol>	<p>岩質</p> <p>不連續面傾角</p> <p>高差</p>	Rock fall
<p>弧形地滑</p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 滑動體由經粒均勻之厚層物質或嚴重破碎之岩體所組成。</li> <li>2. 地形上緩下陡。</li> </ol>	<p>岩質或土壤深度</p> <p>坡度</p>	<p>Slump</p> <p>Rotational Slide</p>
<p>楔型地滑</p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 堅硬、均質岩石。</li> <li>2. 岩體中有二組相交約呈 60 度之節理面，其交線向下坡傾斜。</li> <li>3. 具自由端。</li> </ol>	<p>岩質</p> <p>不連續面與坡向之關係</p>	Wedge
<p>翻轉型地滑</p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 不連續面發達且近垂直。</li> <li>2. 邊坡與不連續面之走向一致。</li> <li>3. 掉落後呈山崩型態。</li> <li>4. 初期移動類似岩石潛移。</li> </ol>	<p>地質構造與坡向關係</p>	Toppling

資料來源：張石角，1987

## 6. 評估坡地敏感度

坡地敏感度為評判坡地受到雨水或地震誘發崩塌的敏感程度。在《水土保持技術規範》中稱為「環境敏感度」。依照前文所建立的屬性資料，將坡度序數、沖蝕序數（兩者之和為地形序數），以及地質因子序數（表 5. 21）三者相加，其總和稱為坡地的「環境風險率」。「環境敏感度」是以環境風險率為指標值，值越大者，環境敏感度越高（計算流程請見附錄）。環境敏感度之分級，如表 5. 22。

表 5. 21 工程環境地形與地質序數表

坡度序數	坡度 (%)	沖蝕序數	沖蝕度	地質因子序數	地質因子
0	≤5	1	坡面平整	1	I0A, I1A, I2A【I3A（無自由端者）】*
1	5~15	2	蝕痕	2	I0B, I1B, I2B【I3B（無自由端者）】* I10A, I11A, I12A【I13A（無自由端者）】*
2	15~30	3	淺溝	3	I0C, I1C, I2C【I3C（無自由端者）】* I10B, I11B, I12B【I13B（無自由端者）】*
4	30~40 40~55	4	深槽	4	I3A, I4A, I10C, I11C, I12C【I13C（無自由端者）】*
6	55~100	5	舊崩場地、煤渣堆	5	I13A, I14A, I3B, I4B
8	>100	6	新崩場地	6	I3C, I4C, I13B, I14B, I13C, I14C

表 5. 22 環境敏感度分級表

環境風險率	環境敏感度	
5 以下	1	極低
6 至 7	2	低
8 至 9	3	中
10 至 11	4	高
12 以上	5	極高

經過計算結果，研究區內的坡單元環境風險率其值從 7 至 17，但是屬於環境敏感度低的坡單元只有 2 個，而有超過 50% 的坡單元為敏感度極高（表 5. 23、圖 5. 62），顯示此區屬於非常容易崩塌的區域。由於研究區內的坡單元，坡度大於 55%，即坡度序數為 6 或 8 者佔多數，使得環境風險率的得分迅速提高。

表 5.23 各級環境敏感度之坡單元個數

環境風險率	坡單元個數	環境敏感度	坡單元個數	坡單元個數百分比
7	2	2 (低)	2	0.2%
8	65	3 (中)	201	18.3%
9	136			
10	174	4 (高)	338	30.8%
11	164			
12	187	5 (極高)	556	50.7%
13	169			
14	147			
15	29			
16	19			
17	5			

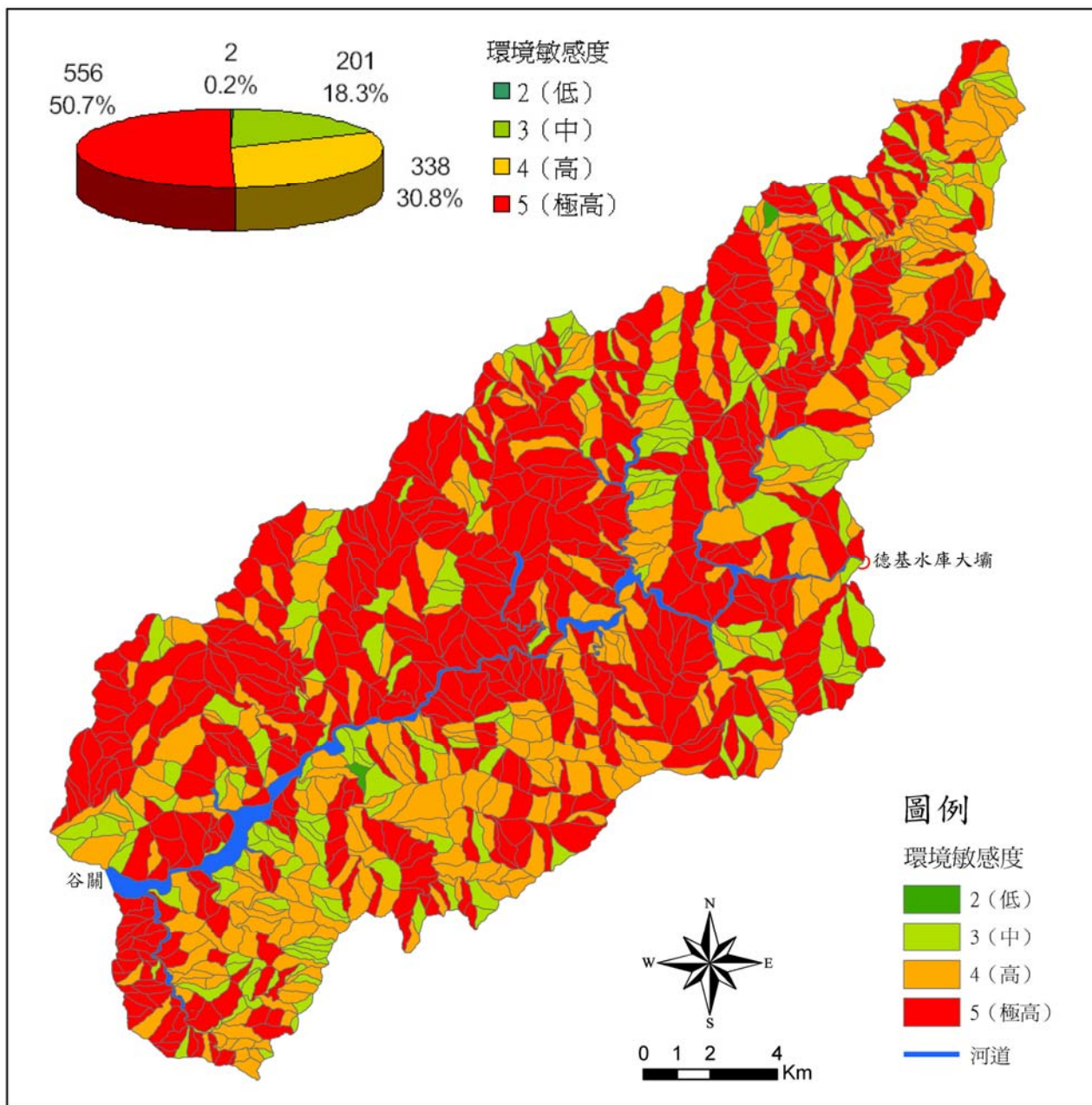


圖 5. 62 坡單元環境敏感度分布圖

## 7. 環境敏感度套疊崩塌地資料

研究區範圍內較完整的崩塌地資料，包含能資所 2002 年及本研究自行數化 2004 年及 2005 年之崩塌地資料。利用 ARCGIS 之屬性選取功能，找出各崩塌地所在的坡單元其環境敏感度之高低。結果如下：

### (1) 2002 年環境敏感度分析

本年度為桃芝颱風後的調查結果，崩塌地的個數有隨著敏感度等級增加而增多的趨勢，敏感度 5 的坡單元裡頭，共有 252 個崩塌地分布，佔研究區內崩塌地總數的 56%，面積 110.67 平方公里；敏感度 2 的坡單元則無崩塌發生（表 5.24）。

崩塌地的空間分布，集中於小雪溪沿岸坡地，以及小雪溪匯入大甲溪主流之河流點附近的河岸，此兩區之崩塌地規模較大，位置也相對較集中，而此區的坡單元多屬敏感度極高。其他支流集水區，崩塌地則呈現零星分布（圖 5.63）。

表 5.24 2002 年各級環境敏感度之崩塌地個數及面積統計表

環境敏感度	崩塌地個數	個數百分比	面積 (Km <sup>2</sup> )	面積百分比
2 (低)	0	0%	0	0%
3 (中)	56	13%	1.51	9%
4 (高)	139	31%	4.21	26%
5 (極高)	252	56%	10.67	65%
總和	447	100%	16.39	100%

資料來源：本研究統計

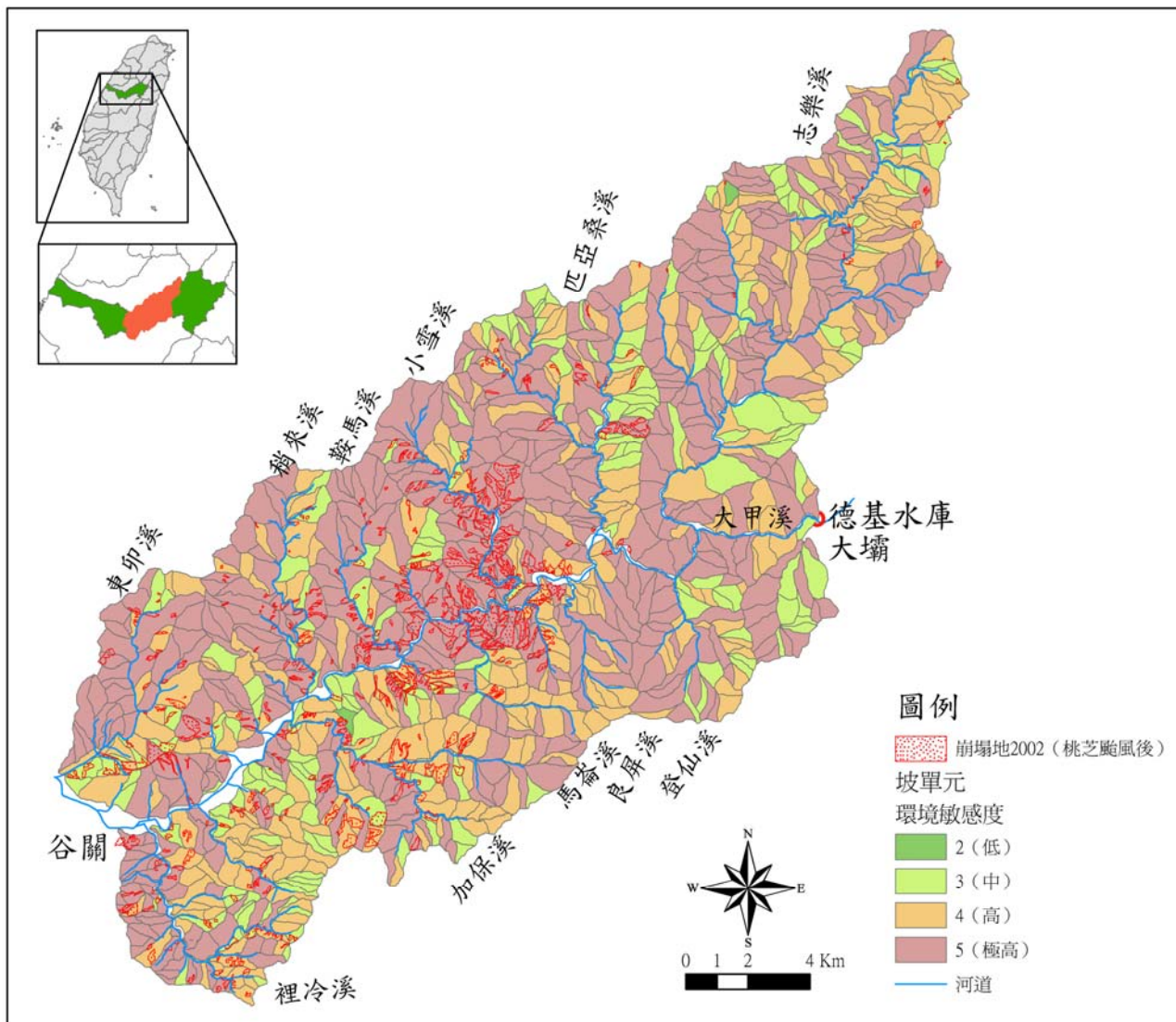


圖 5.63 2002 年崩塌地套疊坡單元環境敏感度分布圖

## (2) 2004 年環境敏感度分析

本年度對研究區影響較大的颱風為敏督利颱風，崩塌地分布為本研究由航空影像自行數化而得。崩塌地的個數亦有隨著敏感度等級增加而增多的趨勢。在崩塌地個數上，與 2002 年相較，總數增加約 8 倍，但總面積則只增加約 1.3 倍（表 5.25）。

崩塌地在空間分布上，與 2002 年相較，有擴大的趨勢，包括右岸的小雪溪及匹亞桑溪集水區，左岸的馬崙溪、良屏溪、登仙溪集水區，以及大甲溪溪主流河岸，崩塌地之數量上增加許多（圖 5.64）。

表 5.25 2004 年各級環境敏感度之崩塌地個數及面積統計表

環境敏感度	崩塌地個數	個數百分比	面積 (Km <sup>2</sup> )	面積百分比
2 (低)	0	0%	0	0%
3 (中)	386	10%	1.73	8%
4 (高)	1111	30%	5.83	27%
5 (極高)	2209	60%	14.1	65%
總和	3706	100%	21.66	100%

資料來源：本研究統計

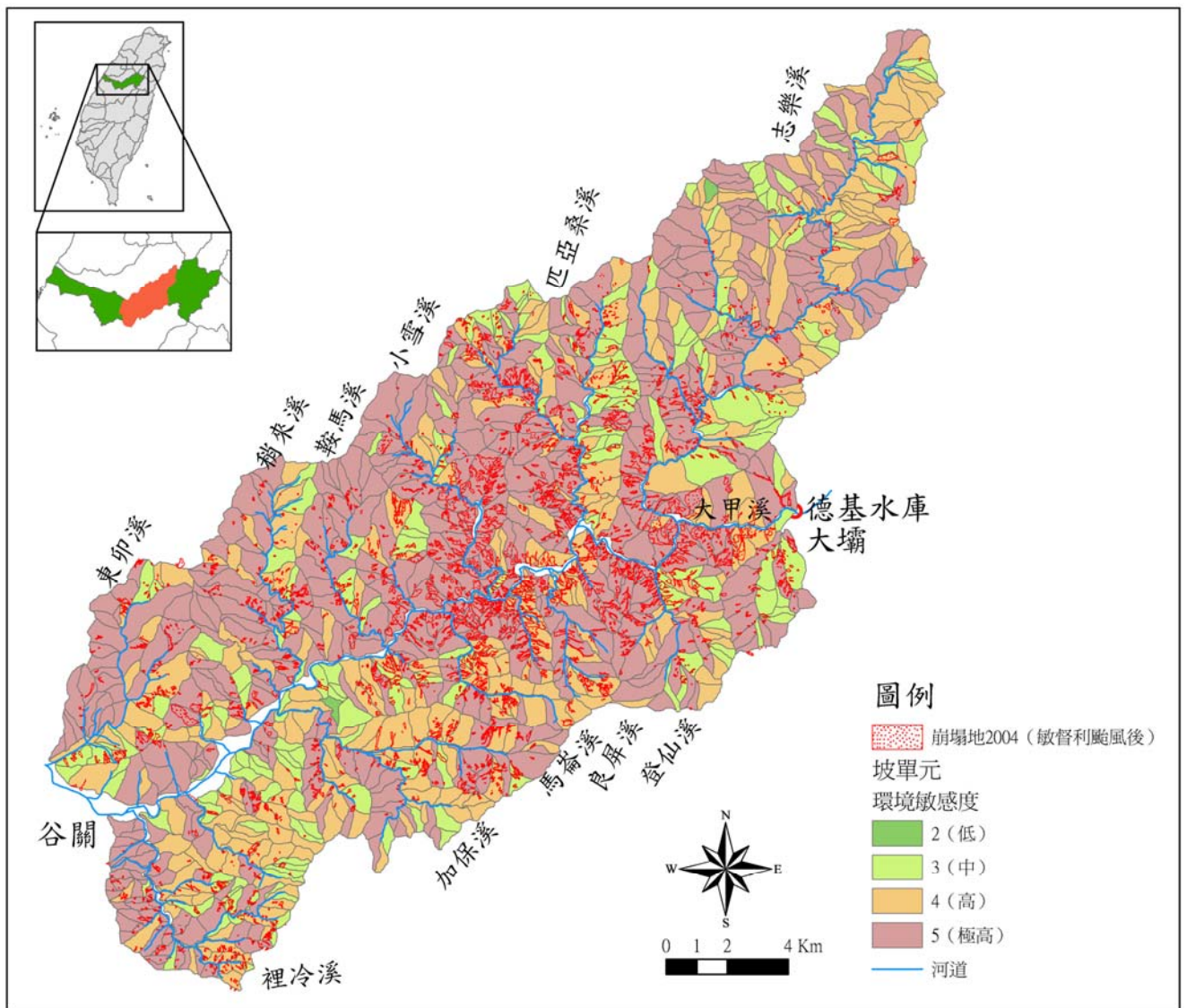


圖 5.64 2004 年崩塌地套疊坡單元環境敏感度分布圖



### (3) 2005 年環境敏感度分析

本年度影響較大的颱風為艾利颱風，崩塌地分布為本研究由航空影像自行數化而得。崩塌地的個數亦有隨著敏感度等級增加而增多的趨勢，敏感度 5 的坡單元裡頭，共有 1436 個崩塌地分布，佔研究區內崩塌地總數的 63%，面積 36.91 平方公里。各級敏感度的崩塌地個數百分比與 2002、2004 年差異不大，敏感度 2 的坡單元亦無崩塌地分布（表 5.26）。

與 2004 年相較，在崩塌地個數上總數減少了 1420 個，但總面積卻增加了約 2.6 倍。個數上減少的原因，在於原來有許多崩塌地，在今年範圍擴大，而與鄰近的崩塌地合而為一。因此面積雖為增加，數量顯示卻是減少的。

崩塌地在空間分布上，較 2004 年增加許多新崩塌地，例如志樂溪、東卯溪集水區的上游地帶。而從 2002 年就有崩塌地集中分布的小雪溪沿岸坡地，以及小雪溪匯入大甲溪主流之河流點附近的河岸，崩塌地規模持續擴大，情況愈趨嚴重（圖 5.65）。

表 5.26 2005 年各級環境敏感度之崩塌地個數及面積統計表

環境敏感度	崩塌地個數	個數百分比	面積(Km <sup>2</sup> )	面積百分比
2 (低)	0	0%	0	0%
3 (中)	245	11%	4.5	8%
4 (高)	605	26%	14.71	26%
5 (極高)	1436	63%	36.91	66%
總和	2286	100%	56.12	100%

資料來源：本研究統計

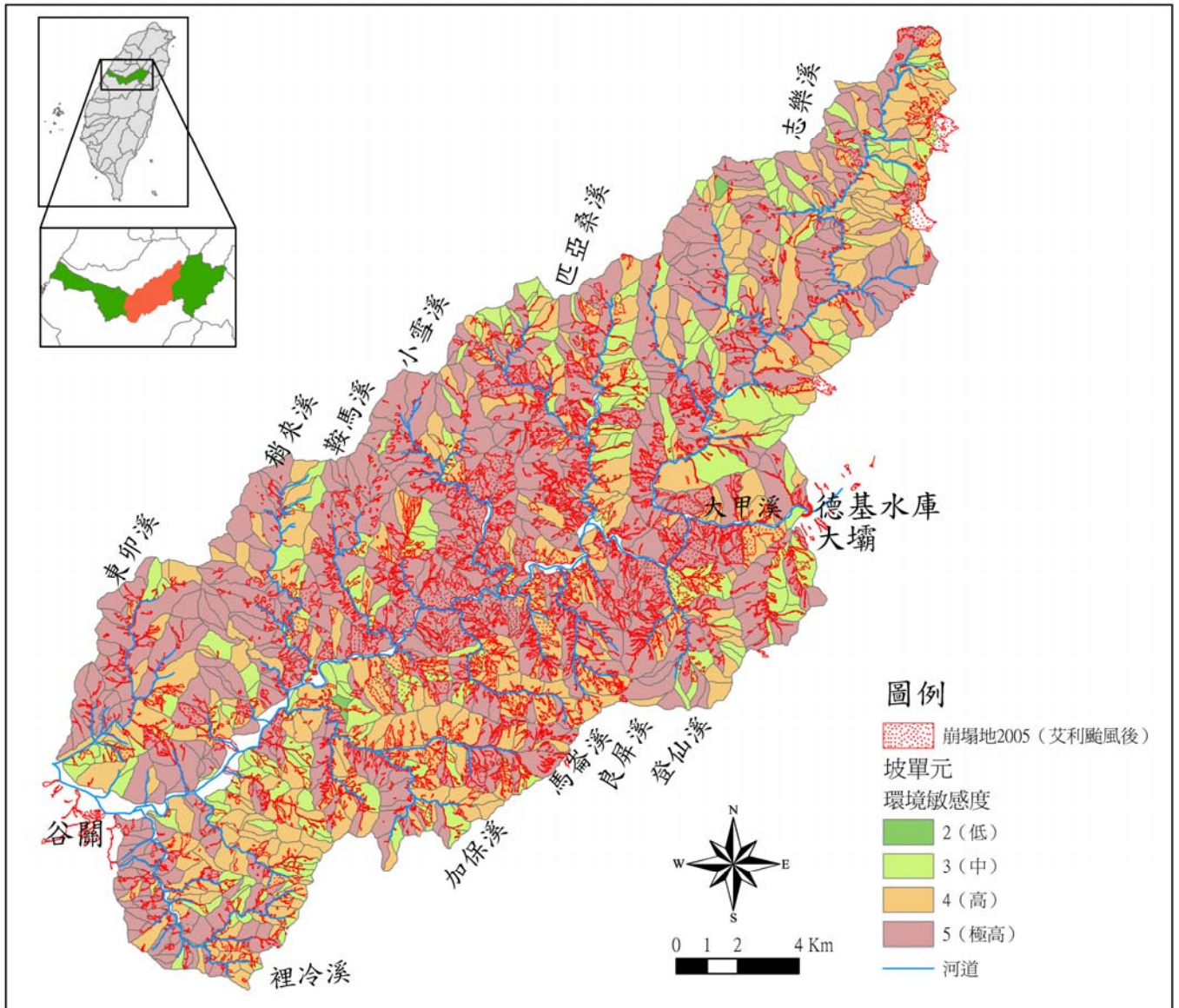


圖 5.65 2005 年崩塌地套疊坡單元環境敏感度分布圖

#### (4) 綜合分析

- A. 比較各年度的崩塌地個數與面積，當環境敏感度越高，崩塌地個數就越多，面積也越大（圖 5. 66、圖 5. 67），顯示實際發生崩塌的地點是以敏感度較高的地區為主。然而崩塌發生在敏感度較低的坡單元，可能顯示在預測時有部分因子尚未考慮到。
- B. 以崩塌地個數百分比來看，各年度敏感度 3 者約 10%、敏感度 4 者約 30%、敏感度 5 者約 60%（圖 5. 68），變化較小。
- C. 以崩塌地面積百分比來看，各年度敏感度 3 者約 8%、敏感度 4 者約 26%、敏感度 5 者約 66%（圖 5. 69），變化也不大。
- D. 崩塌地總面積在 2002 年至 2004 年有增加，但幅度不大。而 2005 年遽增至 2004 年的 2 倍、2002 年的 3 倍以上（圖 5. 67）。
- E. 崩塌地空間分布上，由集中於小雪溪附近擴大至整個河段的主支流皆廣泛分布，顯示其崩塌現象之嚴重（圖 5. 70）。

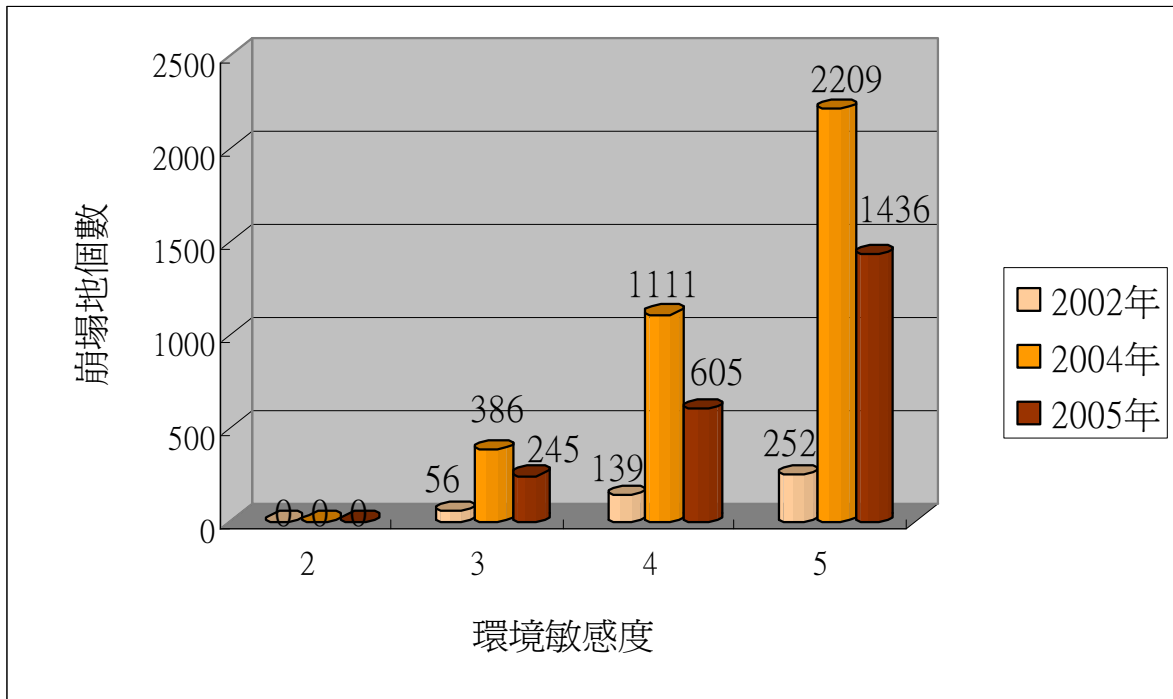


圖 5.66 2002-2005 年崩塌地個數與坡單元環境敏感度之關係  
(資料來源：本研究統計)

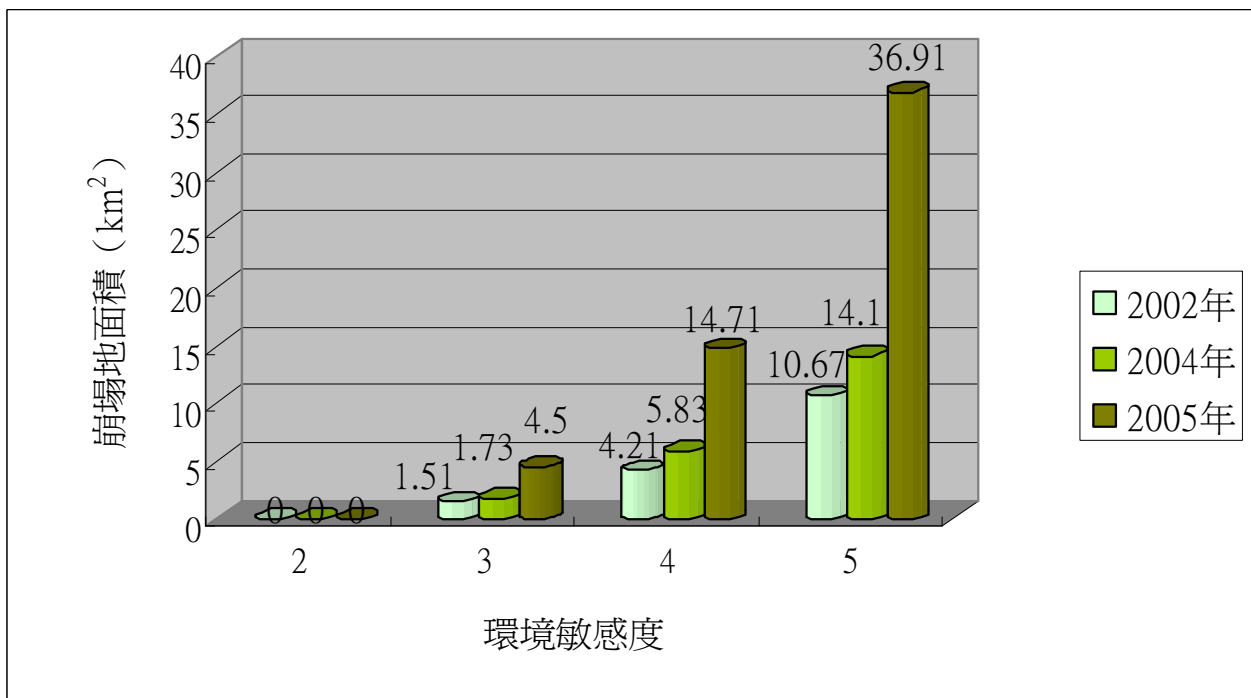


圖 5.67 2002-2005 年崩塌地面積與坡單元環境敏感度之關係  
(資料來源：本研究統計)

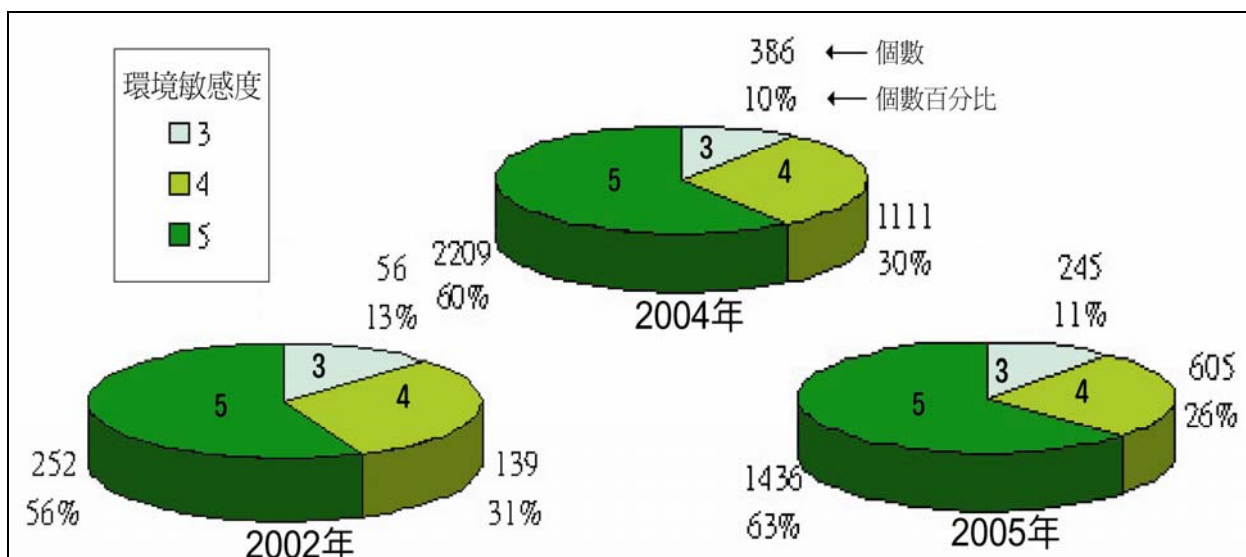


圖 5. 68 2002-2005 年崩塌地個數百分比與坡單元環境敏感度之關係

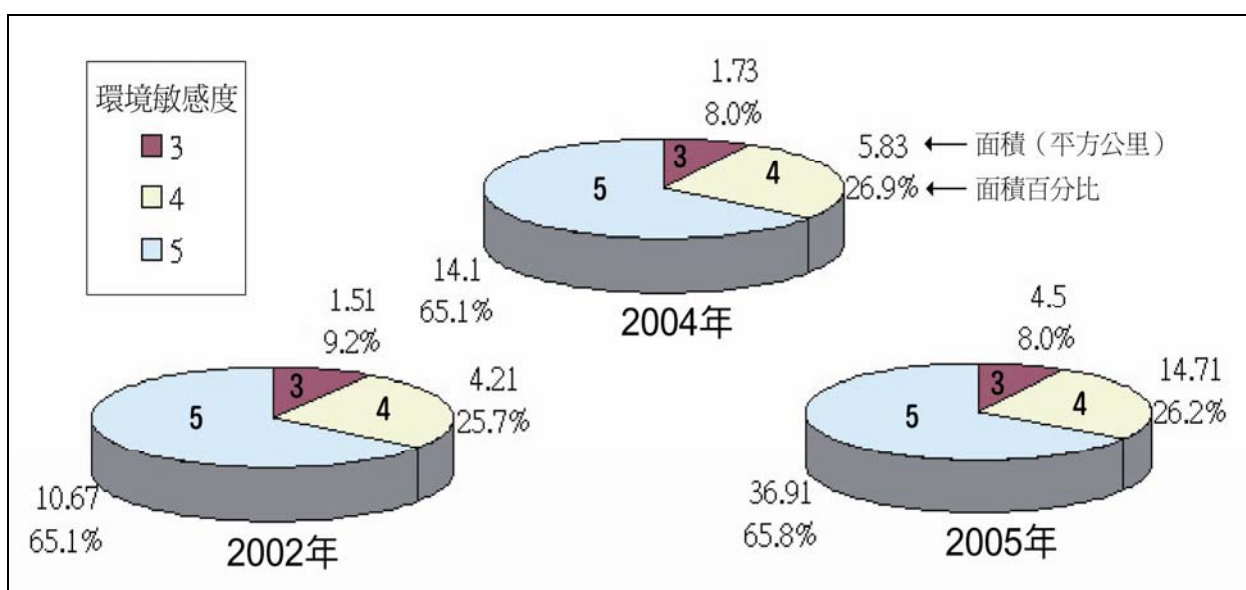


圖 5. 69 2002-2005 年崩塌地面積百分比與坡單元環境敏感度之關係

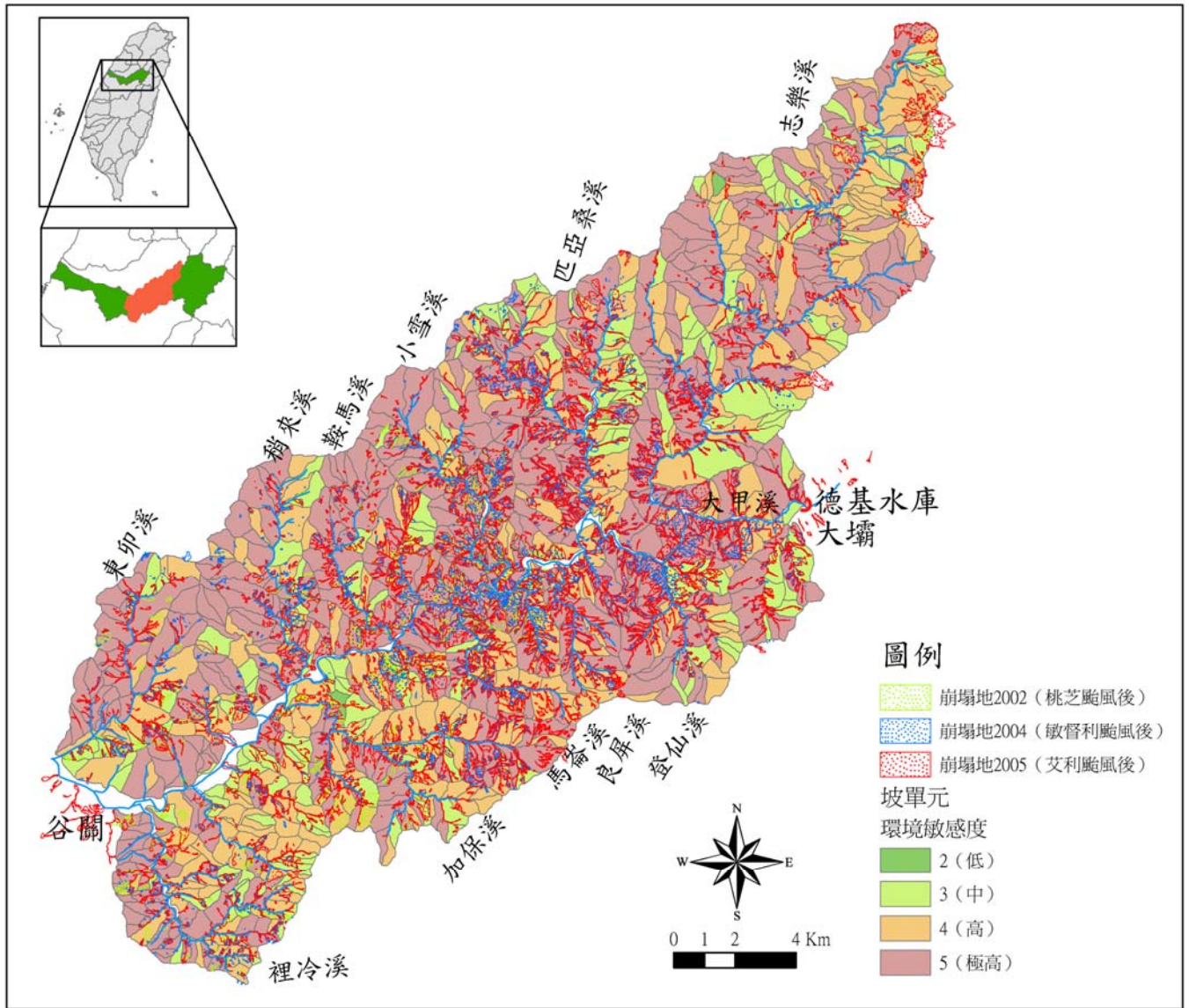


圖 5.70 2002 年至 2005 年崩塌地套疊坡單元環境敏感度分布圖

## (五) 陳有蘭溪資料蒐集

### 1. 陳有蘭溪航照與 DEM

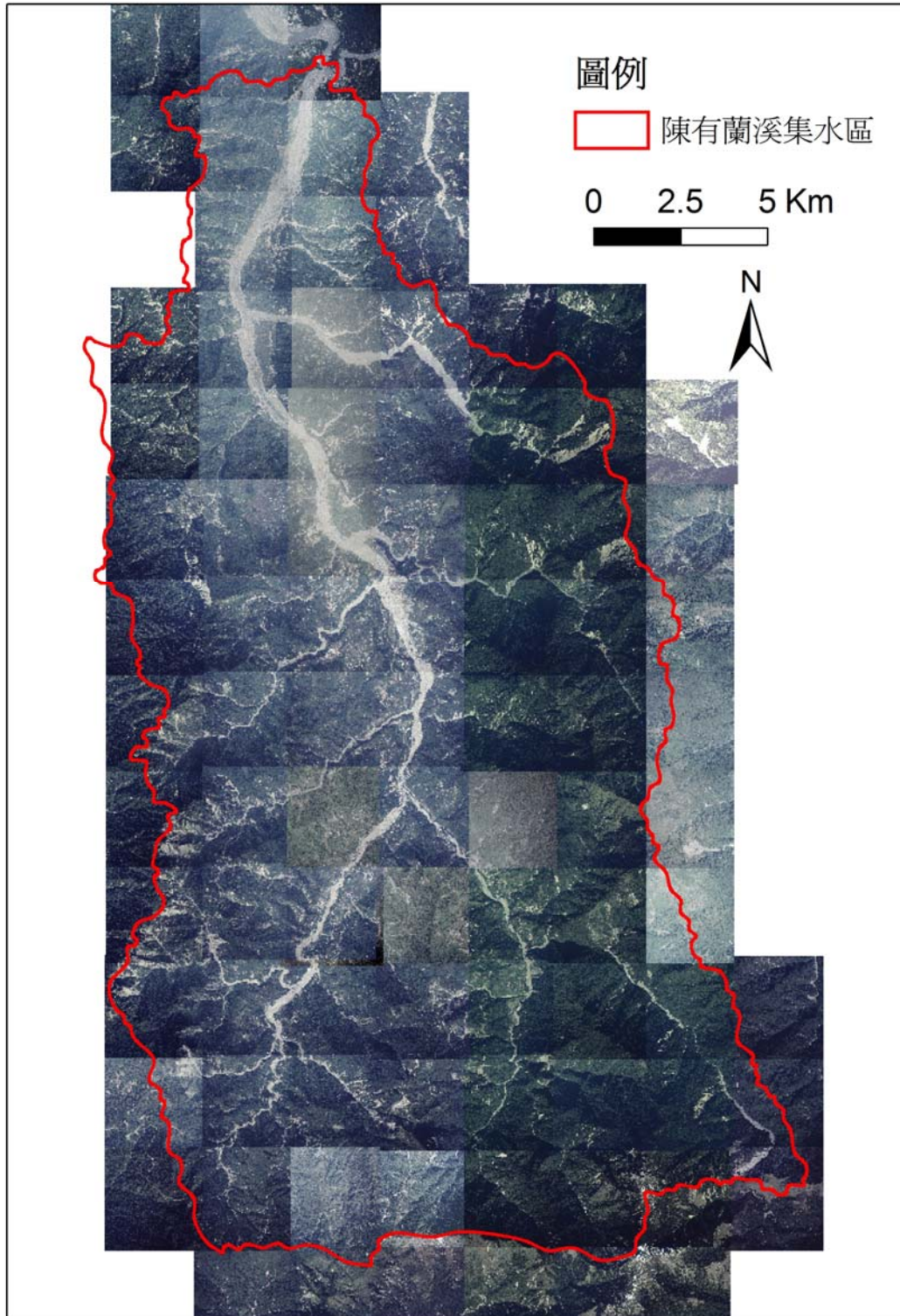


圖 5.71 陳有蘭河流域航照圖 (2001 年)

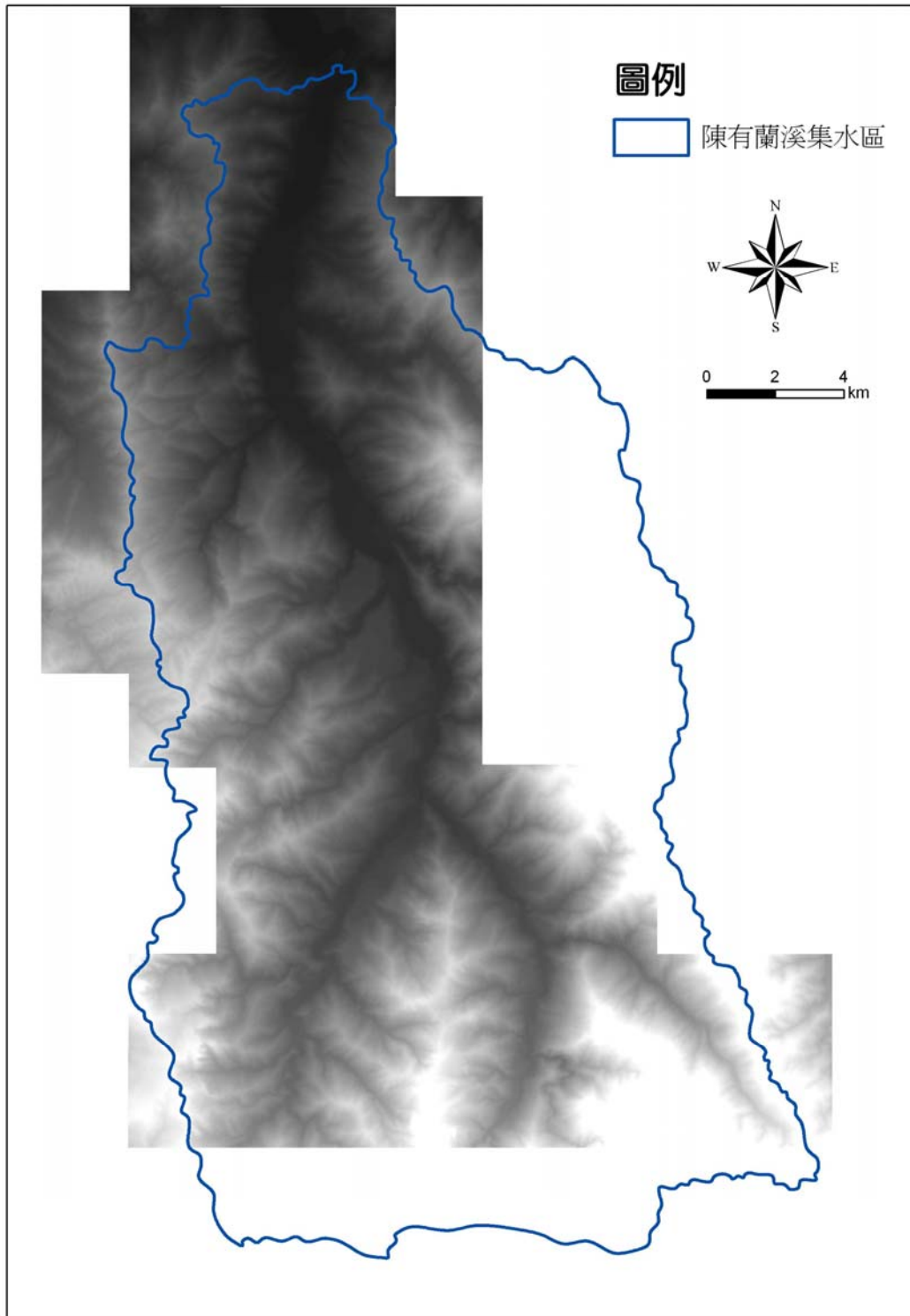


圖 5.72 陳有蘭溪流域 5 公尺 DEM 圖 (2001 年)



2. 陳有蘭溪崩塌地分布

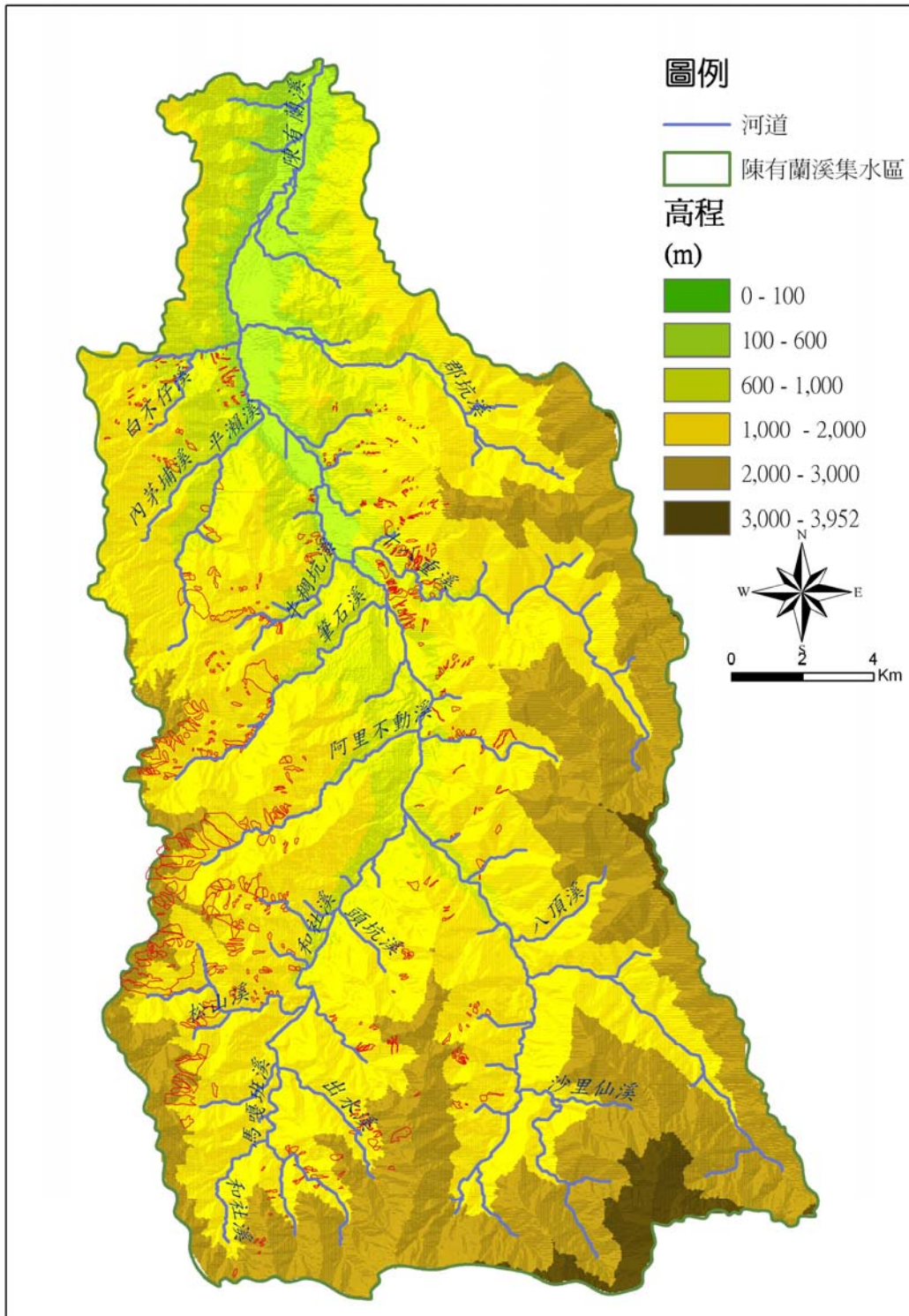


圖 5.73 1999 年陳有蘭溪崩塌地分布圖 (九二一地震後)

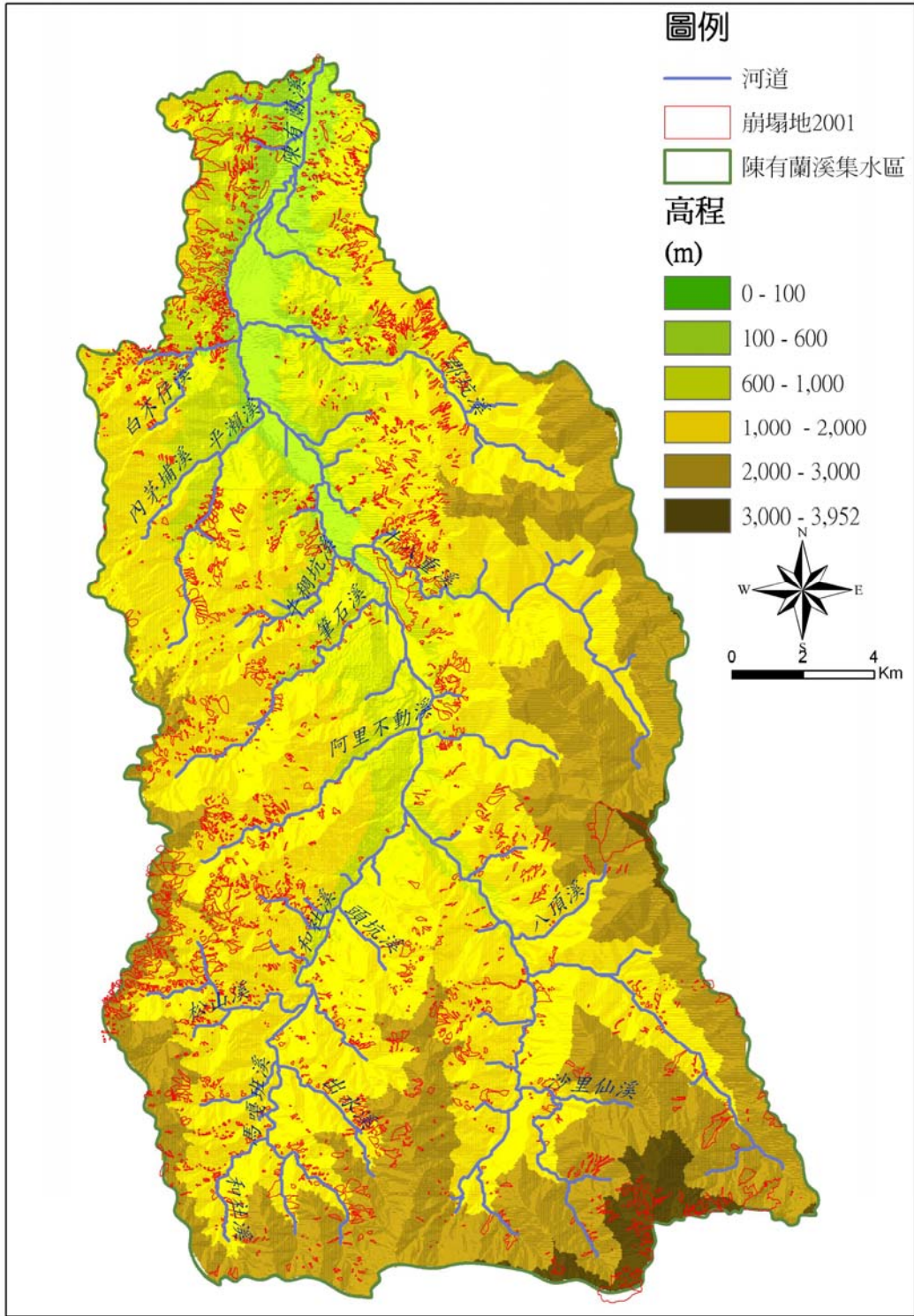


圖 5.74 2001 年陳有蘭溪崩塌地分布圖 (桃芝颱風之後)

### 3. 陳有蘭溪土石流災害

陳有蘭溪流域從民國74年起就有土石流的紀錄，85年的賀伯颱風、九二一地震、桃芝颱風，都在此地傳出災情，可說是臺灣主要的崩塌與土石流災害分布區之一，其中尤以豐丘村與神木村地區災情更為重視。

豐丘村位於陳有蘭溪與十八重溪的交會口，旁邊有兩條山溝野溪一起匯入陳有蘭溪。該地區從民國七十餘年起，就有土石流發生的紀錄。而在賀伯颱風之後，嚴重的土石流問題開始浮上檯面。九二一地震，震鬆了聚落上方原本就脆弱的變質岩層，更多的崩場地與土石產生，成為新的土石流威脅來源。

張東炯（1997）認為豐丘地區大部分屬於變質之板岩，地質破碎，節理甚為發達，故雨水易滲入其中，致岩塊易沿節理滑落。且該區地表為破碎之砂、礫堆積物，孔隙率平均為0.39，甚至最大者達0.47，因此孔隙發達、組織結構鬆散，每逢豪雨土石即崩落，成為土砂量之來源。

張瑞津（2001）透過航空照片上的紀錄，證實了此溪在流域較低度開發之時就已經是容易發生土石流的體質（1951、1963年均發生）。豐丘溪的邊坡崩塌物質可以快速進入河道，而河道又能有效的向下游搬運這些崩積物。由於豐丘溪土石流發生頻率高，其沖積扇面積又比同等及但流域面積稍大的集水區（竹仔腳坑）之沖積扇大，可能反映了豐丘溪較為頻繁的沈積物「土石流式」的傳輸型態。

豐丘的土石流形成災害的區域，主要是在野溪下游的堆積區。這兩條野溪在豐丘聚落的附近匯入陳有蘭溪以及十八重溪，在匯入的地點成為一出谷口的現象，讓土石流展開堆積，形成現在豐丘聚落所位在的沖積扇。而由於河道堆積物的擠壓，豐丘溪下游出口的位置已有了偏移的情況。

本區的土石流分布主要參考（林基源，2002）所提及在賀伯颱風中陳有蘭溪潛勢溪流中發生災害之溪流；及（林銘郎等，1996）統計賀伯颱風在農委會公布之危險溪流；及由行政院農委會水土保持局委託國立成功大學防災中心於桃芝颱風時期陳有蘭溪流域發生及未發生土石流之潛勢溪流共34條。

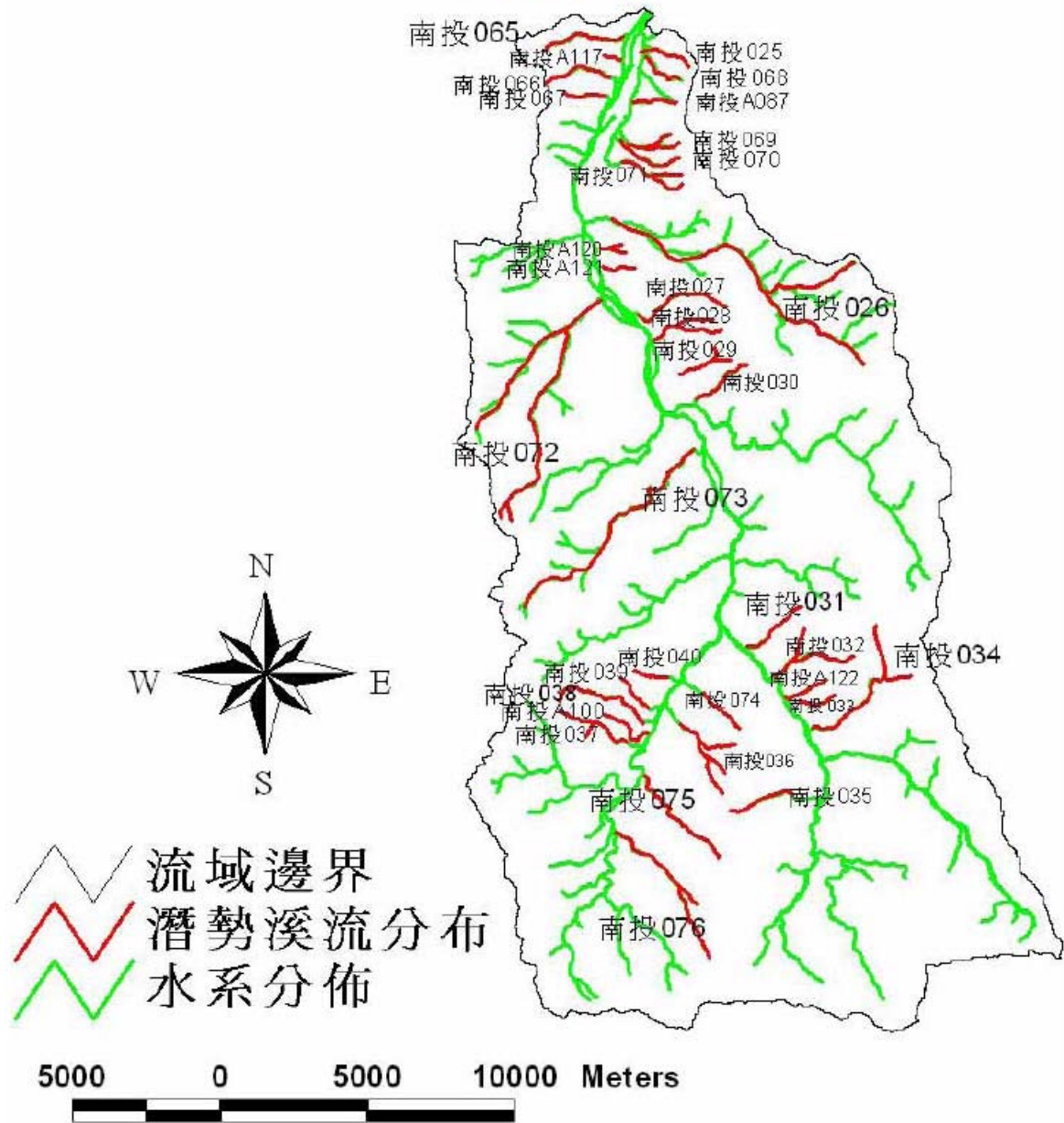


圖 5.75 陳有蘭溪土石流潛勢溪流分布圖 (資料來源：曾聖權，2005)



圖 5.76 遭土石掩埋的房舍



圖 5.77 巨石衝入住家二樓

## 八、 結論

- (一) 本研究將數化的 2004 年崩場地與林務局提供的 2001 年林相資料進行套疊分析，初步分析瞭解土地利用以與稚樹發生地道路之崩場地密度較高，而這些稚樹發生地大部分屬於舊崩場地的位置，表示舊崩場地仍持續發生崩塌的現象，這些崩場地的發生可能與當地地質地形條件有關。
- (二) 根據九二一地震後、2002 年及 2004 年崩場地位置與稜線、河谷及道路之間的關係，顯示谷關一帶之崩場地主要分布在坡腹處，且與道路關係相當密切。
- (三) 梨山地區的土地利用變遷分析中，發現梨山地區在九二一地震後，雖然中橫公路中斷，但仍有果園（開墾地）面積擴張的現象。是否非法開墾，值得重視。
- (四) 由九二一地震後的系列航照判讀以及野外調查，可以發現中橫公路在地震後八年，仍然呈現不穩定。
- (五) 陳有蘭溪流域完成地質、地形資料與各種數值資料蒐集，包括崩場地其他地文參數，以利後續資料彙整及套疊。
- (六) 大甲溪德基至谷關河段及支流集水區，運用「簡確評估法」所做之地勢分析與潛在災害評估，可得出以下結果：
  1. 此區由於坡度甚為陡峻，在環境敏感度評估中坡度序數扮演重要角色。評估結果超過 30% 以上的坡單元為高敏感度，且極高敏感度佔全部 50% 以上，表示此區坡地多數極易受到地震、豪雨等因素而誘發崩塌。
  2. 比對三個年度（2002、2004、2005 年）的崩場地分布，亦發現三個年度皆有接近 60% 的崩場地發生在環境敏感度極高的坡單元內，有 30% 在敏感度高的坡單元內。
  3. 崩場地的個數與面積，2002 至 2005 年歷經桃芝、敏督利、艾利等風災，皆有顯著增加。崩場地總面積由 2002 年 16.39 平方公里增至 2005 年 56.12 平方公里，成長約 3.5 倍。崩場地個數則由 2002 年的 447 個，增至 2004 年 3706 個，又減至 2005 年 2286 個。數量上的減少應屬於判釋標準上的差異，以及崩場地規模擴大時有多個合一的情形，導致面積增加數量卻減少的

現象。

4. 崩塌地的空間分布上，於支流小雪溪附近，地質上較軟弱的河段，崩塌地的規模較大、分布也較為集中。2004 年及 2005 年則有往其他支流持續擴張的現象。例如匹亞桑溪、志樂溪及登仙溪，原先幾無崩塌，2005 年卻滿目瘡痍。

- (七) 本研究成果顯示大甲溪上游區多為地質敏感區，也是土沙產生區。這些土沙產生後，多沖刷入德基水庫內，造成水庫淤積現象明顯。由於不同時期的航照判讀說明這些地區不宜過度開發，以免誘發許多崩塌現象及土沙流失。
- (八) 本研究顯示高山地區的崩塌地與植生種類相關性較少，主要原因仍為地質的脆弱性。亦即高山地區之崩塌地分佈，受到地質因子的影響遠高於植生的種類。其中崩塌地中竹林面積較少，亦與高山地帶竹林面積少有關。
- (九) 本研究亦顯示梨山地區的農業土地利用與崩塌地關係不明顯。此現象應用與該等利用土地對地表的擾動較小，且多位於較平坦地或經過整坡，該區的崩塌現象仍受地質敏感度的影響相對較明顯。然而值得注意的是被繼續濫墾的區域，仍有擴大的趨勢，值得繼續追蹤。
- (十) 就谷關至德基一段而言，地質敏感度仍為本區未來能否繼續修復中橫公路的關鍵，建議未來要更進一步檢討修復的可能性，務必將地質敏感度列入施工、規劃考量。

## 九、參考資料

- 王文能、尹承遠、陳志清、李木青（2000）九二一地震崩場地現況與災害防治，九二一震後中日土砂災害調查及治 研討會，9-90。
- 王鑫（1986）中橫公路道路邊坡的地貌分析，行政院國家科學委員會，共 69 頁。
- 沖村孝（1996）六甲山地における面的崩壊，兵庫縣南部地震と地形災害，古今書院，110-126。
- 李三畏（1984）臺灣崩坍問題研討，地工技術雜誌，7：43-49。
- 李錦發（2000）五萬分之一臺灣地質圖說明書—東勢圖幅，經濟部中央地質調查所，10-12。
- 李錦發、蘇泰維等（2004）敏督利颱風山崩、土石流災害—大甲溪流域，地質，23（3）：1-6。
- 林銘郎、鄭富書、吳俊傑（1996）「新中橫沿線天然災害及成因分析」，地工技術，第 57 期，P. 31-44。
- 林基源（2003）「陳有蘭溪流域土石流發生潛勢判定模式之研究」，中興大學博士論文。
- 林美聆、游繁結、林炳森、范正成、王國隆（2000）集集震後土石流二次災害危險性之評估，地工技術，81：97 - 104。
- 林美聆、陳榮河（2000）坡地破壞探討，九二一集集大地震大地工程震災調查報告，國家地震工程研究中心，1-33。
- 林俊全（2001）溪頭地區桃芝颱風水土災害特徵之探討，中華水土保持學報，32（4）：261-270。
- 林俊全（2005）中橫公路崩山研究 II，行政院國家科學委員會。
- 莊善傑（2004）大甲溪流的山崩在颱風與地震事件中與地質環境之對應關係，台灣大學地質系碩士論文，共 124 頁。
- 張石角（1987）山坡地潛在危險之預測及其在環境影響評估之應用，中華水土保持學報，18（2）：41-62。
- 張政亮、張瑞津、紀宗吉（2005）遙測與地理資訊系統應用於坡地災害調查分析—以大甲溪中上游為例，師大地理研究報告，43：101-121。
- 張瑞津、沈淑敏、劉盈劭（2001）陳有蘭溪四個小流域崩塌與土石流發生頻率之研



- 究，台灣師大地理研究報告，34：63-83。
- 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。
- 張政亮、張瑞津、紀宗吉（2006）遙測與地理資訊系統應用於大甲溪流域之崩塌災害的調查與分析，國立臺灣師範大學地理研究報告，43：101-121。
- 國立成功大學防災研究中心（2000）九二一震災系列調查（二）-土石流危險溪流調查計畫，行政院農業委員會水土保持局委託計畫。
- 陳進興（2006）陳有蘭溪及清水溪集水區颱風降雨特性之研究，國立嘉義大學土木工程與水資源工程學系碩士論文。
- 曾聖權（2005）SPOT 衛星影像應用於陳有蘭溪流域崩塌調查之研究，朝陽科技大學營建工程系碩士論文，共 176 頁。
- 農委會、中華水土保持學會（1998）賀伯颱風土砂災害及復建紀實。
- 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。
- 游繁結（1998）陳有蘭溪集水區之土石流災害，土木技術—水利工程專輯（創刊號），1：145-151。
- 游繁結、陳重光（1987）豐丘土石流災害之探討，中華水土保持學報，18（1）：76-92。
- 黃鑑水、謝凱旋、陳勉銘（2000）五萬分之一臺灣地質圖說明書—埔里圖幅，經濟部中央地質調查所，10-11。
- 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。
- 謝正倫、陳禮仁（1993）土石流潛在溪流之危險度的評估方法，中華水土保持學報（土石流專輯），24（1）：13-19。

## 十、附錄：水土保持技術規範-簡確評估法

(環境風險率)

第一百四十七條 特定水土保持區劃定與廢止準則第三條第二項之環境風險率之計算方法如下：

- 一、環境風險率係以簡確評估法調查區內地形均質區為基礎，區劃成若干土地單元，再將各該土地單元之坡度、坡面沖蝕度、岩體工程性質、岩層構造、土壤深度等五項因子之調查所得參數值，填記於該單元內，並計算其環境風險率。
- 二、土地單元之區劃：地形均質區為土地特性之基本單元稱為「土地單元」。土地單元係以比例尺五千分之一或二萬五千分之一之地形圖為基圖，以「坡向」、「坡度」、「等高線彎曲度」等三項因子區劃而得之地形均質區。換言之，每一土地單元，其坡向、坡度和等高線彎曲度之變域皆在一定範圍內。「等高線彎曲度」係該土地單元地表沖蝕作用程度之指標。
- 三、土地單元之區劃步驟如下：
  - (一)先區劃調查區內坡度小於百分之五之平坦地，成為獨立單位。
  - (二)選擇調查區內最大的河川集水區。
  - (三)劃該集水區之山坡、山凹、山谷等單元。
  - (四)山谷單元大者，為其支流，劃其集水區內之山坡、山凹、山谷等單元。
  - (五)依前款繼續進行至無可再區劃之山谷單元為止；再以溪床為界，劃分兩岸為兩區。
  - (六)上列各款步驟所得單元即為以「坡向」決定之單元。
  - (七)在「坡向」單元上依蝕溝(等高線之彎曲程度)之發達程度，再予區劃成「坡面沖蝕度」單元(次於「坡向」之土地單元)。
  - (八)在上列各款步驟所得單元中，再依「坡度」區劃成「坡度」單元，此為最小之土地單元。如此所得之單元，其坡向、坡度和坡面沖蝕度皆屬「均質」。

四、各項參數分級如下：

- (一)坡度分級：坡度分級之級別依「山坡地土地可利用限度分類標準」辦理。但坡度大於百分之一百(四十五度)者，另列一級為七級坡，各坡度分級及其序數如下表：

坡度序數	坡度級別	土地單元之坡度變域(分級範圍)
0	一級坡	坡度百分之五以下。
1	二級坡	坡度超過百分之五至百分之十五。
2	三級坡	坡度超過百分之十五至百分之三十。
4	四級坡 五級坡	坡度超過百分之三十至百分之四十。 坡度超過百分之四十至百分之五十五。
6	六級坡	坡度超過百分之五十五至百分之一百。
8	七級坡	坡度超過百分之一百。

說明：

1. 「坡度序數」係用於「簡確評估法」計算土地單元之參數值之坡度分級系統。
2. 坡度序數 4，係合併四級坡和五級坡，亦即坡度超過百分之三十至百分之五十五。

- (二)坡面沖蝕度分級：每一土地單元之坡面都因受到不同程度的風化、沖蝕或崩塌等外力作用之影響，而呈顯不同程度之凹凸，其等高線則平直到不同振幅之波動狀，對邊坡穩定和土地利用有所影響。坡面沖蝕度分級及序數如下表：

坡面沖蝕度分級及序數分級表

序數	坡面沖蝕度	等高線彎曲度
1	平整	其等高線彎曲角度大於一百六十度以上
2	蝕痕	其等高線彎曲角度大於一百三十度至一百六十度
3	淺溝	其等高線彎曲角度大於九十度至一百三十度
4	深槽	其等高線彎曲角度為九十度以下
5	舊崩塌地、煤渣堆	
6	新崩塌地	

說明：坡面蝕溝發育的程度是坡面沖蝕度之指標。而「蝕溝」是指地表受流水刻蝕程度還未達到「溪溝」的地表溝紋，依其程度分為下列四級：

1. 平整：坡面上沒有明顯的溝痕；等高線平直或稍有彎曲，其彎曲角度大於一百六十度以上。

2. 蝕痕：坡面呈初期逕流沖蝕之現象；等高線略呈長波而小振幅之波動狀曲線，其彎曲角角度大於一百三十度至一百六十度。
3. 淺溝：坡面上之蝕溝形狀已具雛型；等高線波動狀曲線之振幅加大，其彎曲角角度大於一百九十度至一百三十度。
4. 深槽：坡面上蝕溝發育成形；等高線波動狀曲線之振幅加深到幾近波長之半，其彎曲角角度為九十度以下。

(三) 岩體工程性質分類：構成山坡之岩層分為硬岩(I)和軟岩(II)兩類，略以岩體的承載力和其組成物質與組織易受風化改變之程度為分類之依據。因此被分為「硬岩」者，以岩體厚實並少層理(Bedding)、劈理(Cleavage)、或其他裂縫(Fissure)等不連續面為特徵；被分為「軟岩」者，以岩體軟、鬆或岩體內各不連續面發達(密度大)為特徵，如下表所示：

岩體之工程性質分類表

岩類	工程性質等級	岩石名稱及其代號	備註
沉積岩	I	堅硬砂岩(R>2) (s)；緻密石灰岩(1)；膠結良好之礫岩(r>2) (c)	$R = \frac{\text{塊狀岩石}}{\text{層狀岩石}}$ $r = \frac{\text{卵石}}{\text{砂土}}$
	II	膠結不佳之砂岩、砂頁岩互層(R<2) (s)、頁岩(b)、泥岩(m)；多孔狀石灰岩(1)；凝灰岩(t)；高位台地礫石層或膠結不佳之礫岩(c) (r<2)；硬岩之破碎者(f)	
火成岩	I	熔岩、侵入岩體(v)、固結良好之火山碎屑岩(μ)	I: 硬岩
	II	固結不良之火山碎屑岩(μ)，熱液換質(h)	
變質岩	I	片麻岩(g)；大理岩(m)；石英片岩(q)；板岩、千枚岩(k)、綠色片岩(n)	II: 軟岩
	II	構造擾亂帶、破碎帶、劈理發達之板岩、千枚岩(k)、黑色片岩、綠色片岩(n)	

備註：I<sub>s</sub>：堅硬砂岩，需用炸藥開挖。

X<sub>t</sub>：凝灰岩，可用機械開挖。

X<sub>kt</sub>：破碎板岩或千枚岩，可用機械開挖。

(四) 岩層構造之分類：

1. 岩層構造係指山坡岩層面或規則性節理面之走向、傾向和傾角與山坡面相對關係位置，蓋其影響該山坡之穩定度以及崩塌類型。
2. 火成岩體或變質岩體之不具層理、劈理或其他規則性之不連續面者，其坡面構造稱為「非斜坡」；坡面之發育明顯地受到層面等之控制者，稱為

「順向坡」；與層面傾向相反之坡面稱為「斜交坡」；坡面之構成岩體受岩層之褶皺或破碎，致層面等規則性不連續面對坡面之發育不具影響者，則稱為「破碎帶」。

3. 順向坡岩體之潛在滑動面在下坡透空者，稱為「自由端」，已具邊坡滑動的所有靜態條件。惟一土地單元有否自由端，須於精查時或整地規劃時查明，而於核計工程地質序數時計入；普查時一律以具自由端之「順向坡」核計。

4. 岩層構造分類及其代號如下表：

山坡岩層構造分類表

代號	坡面類型(山坡岩層構造)
0	非斜坡(無層理岩體)
1	斜交坡
2	反向坡(崖坡)
3	順向坡(傾斜坡)(岩層傾角超過十度)
4	破碎帶(不連續面及發達，使地質構造因子不彰顯者)

(五) 土壤深度分級：凡在工程處理上可視為土壤之未固結物質，包括風化土、崩積土、沖積土及填土等、皆視為土壤。其分級與代號如下表：

工程土壤深度分級表

代號	土壤厚度
A	一公尺以下
B	超過一公尺至四公尺
C	超過四公尺

(六) 地形序數：

1. 「地形序數」係指土地單元之「坡度序數」與「坡面沖蝕度序數」之和。
2. 地形序數一般可為土地單元可利用潛力之指標，蓋坡度雖為決定土地利用潛力之要素，但坡面沖蝕度係代表該坡面正在接受之能量的大小；能量大則現狀受沖蝕動力之改變機率大，否則即小，因此形成土地利用的一項自然的限制因子。

(七) 地質序數：

1. 「地質序數」係指土地單元之岩體工程性質、岩層構造和土壤深度等之參數之組合關係。蓋此三地質因子決定該土地單元之基礎承载力、邊坡

運動型態、和地形現狀改變之難易度等。一般而言，岩質軟弱、順向坡(尤其已有自由端者)、構造擾亂、破碎帶、土壤深度、地下水等六項因子，為工程環境地質之不利因子，故凡土地單元之地質參數組合中，出現上述不利因子(「地下水」一項於精查時方予考慮)時，其地質序數就須酌予增加，使其合理反應該土地單元之工程環境地質特性，而成為有效的指標。工程環境地質參數組合類型，如下表：

工程環境地質參數組合類型表

I (0, 1, 2, )A	II (0, 1, 2, )A
I (0, 1, 2, )B	II (0, 1, 2, )B
I (0, 1, 2, )C	II (0, 1, 2, )C
I (3, 4, )A	II (3, 4, )A
I (3, 4, )B	II (3, 4, )B
I (3, 4, )C	II (3, 4, )C

備註：本表之參數代號係參照本款各目所列之表格之序數或等級。

2. 「順向坡」之有自由端者、破碎帶、土壤深度、地下水等，對工程地質之負面效應程度不一，其工程環境地質不利因子加權值與指標值，如下表：

工程環境地質不利因子加權值與指標值表

地質不利因子	加權	不利因子指標值
軟岩	乘以一	1
順向坡(有自由端者)*	乘以三	3
構造擾亂、破碎帶	乘以三	3
土壤深度 B	乘以一	1
土壤深度 C	乘以二	2
(地下水) 普查時不予計入	乘以一	1

\* 普查時概視為有自由端；迨精查時再視實際情況分別之。

3. 工程環境地質參數組合之序數(即「地質序數」)的計算，係以其地質不利因子指標值和為準，即指標值和越大者，該地質因子組合之「地質序數」就越大，如下表：

工程環境地質序數計算準則表

地質組合之不利因子指標值和	地質序數值
0	1

1	2
2	3
3	4
4	5
5 以上	6

4. 各地質參數組合之地質序數，如下表：

序數	參 數 組 合
1	I0A, I1A, I2A 【I3A (無自由端者)】 *
2	I0B, I1B, I2B 【I3B (無自由端者)】 * I10A, I11A, I12A 【I13A (無自由端者)】 *
3	I0C, I1C, I2C 【I3C (無自由端者)】 * I10B, I11B, I12B 【I13B (無自由端者)】 *
4	I3A, I4A, I10C, I11C, I12C 【I13C (無自由端者)】 *
5	I13A, I14A, I3B, I4B
6	I3C, I4C, I13B, I14B, I13C, I14C

\*：表示精查時方予考慮者。

5. 為檢視方便，茲將地形序數和地質序數分級表，綜合如下表：

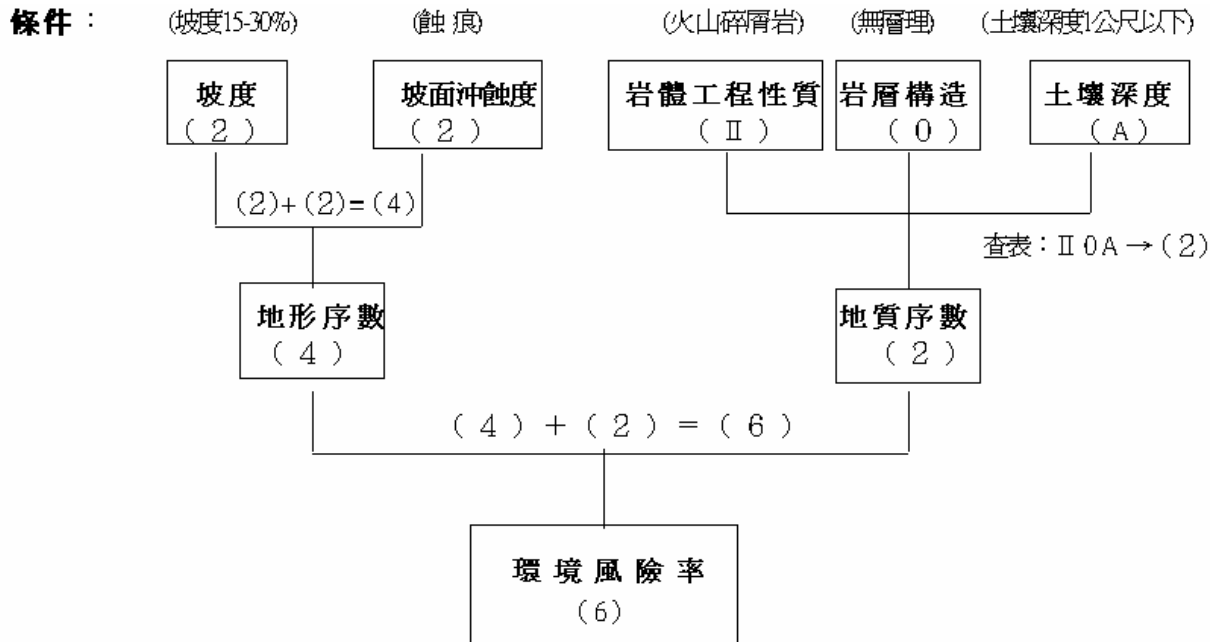
工程環境地形與地質序數表

序數	坡度(%)	序數	沖蝕度	序數	地 質 因 子
0	≤5	1	坡面平整	1	I0A, I1A, I2A 【I3A (無自由端者)】 *
1	5~15	2	蝕痕	2	I0B, I1B, I2B 【I3B (無自由端者)】 * I10A, I11A, I12A 【I13A (無自由端者)】 *
2	15~30	3	淺溝	3	I0C, I1C, I2C 【I3C (無自由端者)】 * I10B, I11B, I12B 【I13B (無自由端者)】 *
4	30~40 40~55	4	深槽	4	I3A, I4A, I10C, I11C, I12C 【I13C (無自由端者)】 *
6	55~100	5	舊崩場地 、煤渣堆	5	I13A, I14A, I3B, I4B
8	>100	6	新崩場地	6	I3C, I4C, I13B, I14B, I13C, I14C

(八) 環境風險率：環境風險率係指地形序數與地質序數之和，其計算方法舉例如下：

假設有一土地單元，其坡度為百分之十五至三十，地表作用之坡面沖蝕

度屬蝕痕，其岩體工程性質屬火山碎屑岩，岩層構造為無層理，土壤深度一公尺以下等條件。依下列表格計算，求得其環境風險率為 6：



(環境敏感度)

第一百四十八條 「環境敏感度」係以環境風險率為其指標值，其「地形序數」與「地質序數」之和，為其指標值，稱為環境風險率；其值越大者，其環境敏感度越高。環境敏感度之分級，如下表：

環境敏感度分級表

環境風險率	環境敏感度	
5 以下	1	極低
6 至 7	2	低
8 至 9	3	中
10 至 11	4	高
12 以上	5	極高

(地形序數)

第一百四十九條 特定水土保持區劃定與廢止準則第五條所稱地形序數之計算方法，依環境風險率之相關規定辦理。