

應用福衛二號衛星遙測影像於崩塌 災害的調查與分析 ～以大甲溪和高屏溪上游流域為例～

張政亮**

摘 要

本研究之主要目的是結合福衛二號衛星遙測影像與地理資訊系統（GIS）等技術，分析 90 年桃芝颱風與 93 年敏督利颱風肆虐所造成 72 水災後，對大甲溪與高屏溪上游流域內坡地崩塌災害的分佈與變化情形。由於利用衛星影像具有即時、廣域與快捷等特性，對於面積廣大或交通不便之地區的災害分析與監督具有便利性。因此本文首先利用福衛二號遙測影像之監督性分類與常態化差異植生指標（NDVI）分析敏督利颱風之研究區崩塌情形，並和農委會水土保持局（SWCB）坡地災害資訊系統的桃芝風災資料進行對比，探究此二次風災對大甲溪與高屏溪流流域坡地崩塌的範圍與衝擊，其次結合 GIS 系統，建置相關環境資料數據庫，並以敘述統計、相關分析等方法探究本區的坡度、坡向、高度、雨量與地質等因子對崩塌地的影響與相關。依據研究發現並非高度越高、坡度越陡、雨量越多就越容易產生，而是在一定的範圍值內才會有正相關的存在，此外坡地崩壞與地質的岩性、構造和人為開發等也有一定程度的關連。最後此研究成果可成為評估坡地崩塌潛勢之依據，提供作為災害防治決策系統的參考。

關鍵字：遙測、地理資訊系統、崩塌

* 本文之部分初稿曾發表於第三屆土地研究「國土規劃與永續經營研討會」（2005.05.20，逢甲大學，台中）及第三屆數位地球「深耕空間資訊科技配合國土資訊發展國際研討會」（2005.06.01，文化大學，台北），承蒙與會者與兩位審稿學者提供寶貴之意見，僅此致謝。

** 臺北市立教育大學社會科教育學系副教授

應用福衛二號衛星遙測影像於崩塌 災害的調查與分析 ～以大甲溪和高屏溪上游流域為例～

張政亮

壹、研究緣起與目的

崩塌（山崩）災害（landslide hazard）是環境災害的一種，係指坡地發生崩塌（包括土石流、沖蝕溝等）而危及到人類生命與經濟活動的災害。台灣因是一個具有地槽與和島弧雙重構造的島嶼，地殼活動(地震)十分頻繁，地槽環境數經改造，構造極為複雜，隆昇、斷層與褶曲顯著；這樣的破碎地質與險峭地形的條件，加上多雨多颱風的氣候因素影響，使山崩與土石流成為台灣坡地最常見的地質災害；尤其近年來因人口增加、建地急劇擴張，超限與不當的坡地開墾不僅造成生態環境屢遭破壞，連帶也引起一連串傷亡慘重的災害。根據農委會水土保持局（2002）的調查，本島易發生土石流的潛勢溪流多達 1,420 條，崩場地則共有 29,814 處，面積廣達 50,753 公頃，範圍之大實令人怵目驚心！

多年來，政府與學術單位均積極投入環境災害的防治與研究，期降低或減少災害損壞的程度；由於科技的進步促使研究的方法與技術也不斷地發展與更新，如今運用衛星遙測（Remote Sensing, RS）影像、全球定位（Global Position System, GPS）與地理資訊系統（Geographic Information System, GIS）等所謂 3S 科技的協助，對於坡地崩塌災害的監測與分析、管制與預警都發揮極大的功效，因此如何有效運用資訊科技來存取和展示各項空間資料，以利對各種造成環境災害的因子加以監控、評估和預測，都值得我們多加探究。尤其坡地土石結構疏鬆、地質構造不穩，屬脆弱的敏感系統，在受外力干擾下，極易發生變化，此種過渡形態（Transient form）的高敏感地區，往往只需一個小的事件就可能致使系統發生大的變化或災害(Schumm,1979；Trustum,1999)，例如九二一地震後，全台坡地立刻新生了 25,000 餘處的崩場地，雖然植被生長可緩慢復原、坡面可回穩，但一遇颱風

風豪雨之衝擊，其仍將持續為台灣帶來慘烈的災情；民國 91 年接踵而至的桃芝與納莉風災便對全台帶來許多坡地災害，民國 93 年 7 月 2 日敏督利颱風席捲台灣，狂風暴雨造成高達 97 億元的災情損失，其中南部的高屏溪與中部的大甲溪上游之連續降雨量，在許多降雨觀測站的每小時降雨量，都已超過兩百年的重現降雨紀錄（如大甲溪上游的稍來為 113mm、新伯公 115 mm、東勢 115mm，高屏溪上游的高中為 134mm、溪南 127 mm、御油山 111mm、復興 103 mm；林美聆、陳正興等，2004），致使這些高降雨的河川主支流地區產生大量的崩塌與土石流，災情可謂十分嚴重！

依據中央氣象局的雨量資料分析（圖 1），桃芝與敏督利颱風在大甲溪與高屏溪上游地區均形成相對降雨量的高度集中區，而這些地區又因地形陡峭、地質脆弱（何春蓀，1975、王鑫，1980），故每逢在此種短延時的暴雨侵襲下，對坡地崩塌會造成多大的破壞規模？是否具有位置重複性？或地域之差異性？實值得分析比較與對照探討；此外台灣首顆自主的遙測衛星「福爾摩沙衛星二號」已於 2004 年發射升空，其較高的解析度有利於各項環境監測與災害調查，所以如何運用此衛星遙測影像並整合地理資訊系統為工具，來針對這些環境敏感的坡地崩塌災害區進行調查與分析，進而監控與預測，不僅具有基礎研究與應用的價值，也是刻不容緩的迫切課題。

貳、相關文獻的回顧

一般針對崩場地與土石流等坡地災害的分析研究而言，大多數的研究方法均是採取某些可能引發環境災害的因子進行計算模擬或和統計分析，來作為危險度評估與防治參考，這些因子包括地質、地形、水文、土壤、植被、氣候、地震與人為關係等(Tsakamoto & Noguchi,1982；Gao & Lo,1991；黃怡仁、江永哲，1991；鄭元振，1992；劉秀鳳，2005)。這些因子可大致將其分為兩類：一為內在的潛因（Inherent causes），如地質、地形及土壤特性等，二為外在誘因（Initiating causes），以氣候、地震及人為開發為主（李三畏，1984、劉盈劭，2001）。關於內在潛因方面，張石角(1993)、陳宏宇（2000）都提到地質構造、岩性強度、土壤厚度等對崩塌及土石流的發生成有一定程度之影響，謝有忠等（1999）在調查陳有蘭溪、林慶偉（1999）在分析和社溪等的土石流發生機制，也都強調岩性會控制著崩落

岩塊的型態與大小，而斷層、節理等構造若通過岩體，則岩層穩定度便會降低而增加崩塌的機率。而在地形的坡度與坡形的探討方面，許多學者皆認為崩塌易發生在坡度較陡的邊坡上，吳久雄等(1989)等進一步對崩塌地的調查發現臺灣的崩塌多發生在 30~60 度之間，劉盈劭(2001)也指出濁水溪支流陳有蘭溪地區之崩塌多發生在 20~50 度之間，張政亮(2004)則分析蘭陽地區之崩塌多發生在 30~50 度之間，而許琦、蕭達鴻(2000)統計集集大地震引致大型崩塌地，約有 3/4 發生在舊有崩塌區，其中又以平面及圓弧形滑動者最多，約佔全部發生於舊崩塌區的 90%以上。

而外在誘因方面，李三畏(1984)根據 1964 至 1977 年對臺灣集水區上游的崩塌地調查，認為多量的降雨及集中性豪雨是崩塌的主因，簡碧梧(1995)根據「臺灣過去二十年重大崩山災害」的資料統計出崩塌與每年的颱風次數成正比，認為暴雨會增加山坡地的崩塌，林孟龍與林俊全(1998)則以蘭陽溪的崩塌輸沙為例，說明淺層崩塌主要係受單場暴雨所影響，謝玉興(2004)研究邊坡崩塌與降雨關係乃呈曲線相關，在一定暴雨強度(20~30mm/hr)與累積雨量(50~80mm)下會有較高的崩塌次數；至於在人為開發的影響部分，一般學者則認為耕墾與道路修築會破壞邊坡的穩定而誘發崩塌及土石流，例如陳榮河等(1999)對新中橫邊坡破壞的調查中提到，在該區土石流中，與人為土地利用有關的佔了 88%，又產業道路的比例增高，亦會增加該區地層的擾動程度。簡碧梧(1995)亦提到修建產業道路會改變了坡腳地形，同時也改變了邊坡的排水，因而造成邊坡的不穩定而易引發崩塌或土石流。張瑞津等(2001)也認為除了地震引發的崩塌規模與頻率外，人為因素與降雨規模等外部因素對不同坡地敏感區的地貌變動也很重要，例如陳有蘭溪之局部支流，只要颱風降雨達 200mm 以上，就會引發崩塌或土石流災情。

隨著知識與科技的進步，坡地崩塌災害的研究除了需具備專業知能外，對科技技術的依賴也逐漸增加，例如藉助專門處理空間資訊的地理資訊系統與其他包括數值地形模型(Digital Terrain Model, DTM)、衛星影像、全球定位系統等科技之結合與應用，除可作為災害前的模擬及防範外，對於災害發生後的應變和重建，也能提供決策支援的參考，因此近年來這些相關的研究成果，頗為豐碩。例如簡李濱(1992)應用地理資訊系統建立各項山崩地影響因子的資料，並建立坡地安定評估之計量方法；張俊民(1994)以區域的衛星影像判釋遙測技術偵測不同時段的土地利用變遷與崩塌地分佈狀況以瞭解土地利用變遷與崩塌地關係；王玲津

(1995)以遙測技術取得土地覆蓋狀況並建立區域環境資料庫並進行地質災害之潛在敏感度分析；李麗玲(1995)曾用GIS軟體的地形分析的功能，自動化畫出坡度與坡向均質的土地單元，並應用張石角簡確評估法做出枋腳河流域的岩石滑移，岩屑滑落、翻轉型地滑、岩石潛移與沖蝕等潛在災害分佈圖；王弘祐與蔡光榮等(1997)對南台灣地區山坡地工程土壤特性進行調查分析後，完成坡地工程土壤之適用性參考統計表，並利用GIS建立各層級圖層與完成南台灣坡地工程土壤資料庫系統；陳進揚(1999)將高雄地區坡地地工環境災害分佈以GIS資料庫建檔，並應用於調查和分析；蘇明道等(1999)應用GIS與DTM分析推求河川分佈特性並判定溪流發生土石流之危險程度，文中以陳有蘭溪為對象，求其集水面積河川長度、河川坡度，除判斷土石流危險溪流外，並由空間分析畫出土石流潛勢分佈圖；朱子豪等(2001)應用地理資訊系統來輔助山坡地潛在崩山評估模式之建立；黃麗津(2003)應地理資訊系統與不規則三角網(Triangulated Irregular Network, TIN)之地形模型規劃花蓮清水溪的坡地敏感區，並提出相關改善辨識的方法。蕭國鑫、游明芳(2004)則應用高解析衛星影像於南投、新竹等地區的崩場地判釋，並認為SPOT-5及Formosat-II融合影像對於新崩塌裸露地具有高的辨識潛力。

近期相關的研究則由個案的調查分析逐漸趨向全島的普查應用，並朝向與其他技術進行多元的整合研究發展，例如中央地調所計畫以五年內(1999~2003)進行全臺山崩調查與山崩危險度評估，並將資料進行數化，以利地理資訊整合；農委會水土保持局也與逢甲大學合作，建立全臺山坡地網際網路查詢的GIS系統，提供外界查詢崩地與土石流的地點與相關資料；林信亨、林美聆(2002)則結合地理資訊系統與類神經網路，應用於土石流危險溪流，並據此判定河川的危險程度。歸納上述這些研究的共同特點：便是一套資料庫管理系統為主的地理資訊軟體(如ARCGIS、SUPERGIS等GIS軟體)，透過航照、衛星影像與其各項地理空間資料的存取、搜尋、統計、分析和展示，來探討各種崩塌災害的規模範圍、影響因素和變化趨勢；此種漸趨成熟的知能與方法，不僅有利於系統化地進行環境災害地區的判釋與調查，更能提供作為追蹤比較、分析診斷與決策規劃的參考。

參、研究的設計與方法

循依文獻的探究模式，本研究主要目的即是結合遙測影像與 GIS 為分析工具，針對二次颱風事件（桃芝與敏督利颱風）造成大甲溪中上游與高屏溪上游崩塌災害的衝擊規模和影響因素作比較與探討，進而作為環境災害的潛勢分析與防治規劃之基礎。研究方法可以分為崩場地之遙測影像分析、各項基礎環境資料收集、GIS 的資料庫建置與統計比較等，研究流程如圖 2 所示，並說明如下：

一、崩場地之遙測影像分析：

衛星遙測影像購自國家太空中心的福爾摩沙衛星二號（簡稱福衛二號或華衛二號，FORMOSAT-2）於 2004 年 7 月 11 日所攝得之敏督利風災後大甲溪中上游災害較嚴重的白冷至德基段影像，研究區影像範圍之 TM 二度分帶座標為 LL240149,2669069UR 263177,2685553，約為 16.6*23 平方公里；而高屏溪之範圍則為上游之荖濃溪，南從關山北至玉山間的高雄縣境，南橫公路從梅山往東進入本區，其座標為 LL233921,2569905，UR245337,2596729，面積約 20.5*27 平方公里（參見圖 3）¹。福衛二號屬太陽同步衛星，軌道高度為 891 公里，軌道傾角 99.1 度，衛星視角為 1.5 度，地面解析力分別為全色態影像 2 公尺（黑白色，Panchromatic）及多光譜影像 8 公尺（彩色，Multispectral），影像掃描寬度為 24 公里（吳豐敏，2004）；本研究所使用的衛星影像處理軟體為 PG-STEAMER，主要處理項目為影像融合（image sharpening，使其具 2*2 平方公尺空間解像力之彩色合成影像）、常態化差異植生指數(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)、監督性分類（Supervised classification）與群集分析(Cluster analysis)等分析工作來求取崩場地的空間分佈並與輔以航空照片與 DTM 資料做參照²。

二、基礎資料收集：

研究區域之地形、坡度、坡向、高度與水系等資料的搜集，主要以農委會航測所生產（中央大學太空及遙測中心供應）的數值地形模型（DTM）資料經轉化

¹ 福衛二號於 2004 年 5 月才升空，較完整清晰的影像接收為 7 月起，因此敏督利颱風先前的相關影像以 SPOT 衛星影像作為對比，並藉由災後收集之福衛影像與航照做崩場地之分析驗證。

² 因應排版需求，本文所有圖表均移至文末；另為行文與解釋之方便，相關分析方法（如 NDVI、監督性分類）的操作與說明，則挪於成果與討論章節中一併呈現，以利對照。

及處理而得；而颱風之即時等雨量線資料，是來自中央氣象局大甲溪與高屏溪流區域的鄰近測站之雨量資料(敏督利為 2004 年 7 月 2 日至 4 日，桃芝颱風為 2001 年 7 月 29 日至 31 日)，再利用 Surfer 軟體以數值模擬而得³；至於地質與構造等資料，則參考中央地調所繪製之本區地質圖加以數化轉製；另有關桃芝颱風的研究區崩塌數據、座標位置與範圍面積等資料，則由農委會水土保持局的臺灣坡地網際網路地理資訊系統(網址 <http://gis.swcb.gov.tw/>)所提供，其他相關與引用資料則見參考文獻。

三、GIS 與資料處理：

研究所採用之地理資訊系統，主要係以 ESRI 的 ARCVIEW 系統為主，先藉由衛星影像處理後的 NDVI 與監督性分類資料，過濾與萃取出崩場地，並對比農航所之航照加以修飾，接著依次進行崩場地數化與其屬性建檔的工作，並與基礎資料進行圖檔疊置與數據合併，彙整成研究地區坡地災害的 GIS 資料庫，最後透過數據、圖表統計、幾何工具分析(Geoprocessing wizard)及搭配套疊之圖層的形式，提供作為判釋與探究之依據；另為了便於空間資料展示與統計分析，本研究儘量將資料數據轉為可數量化的的等級分類和定距量度。

四、野外實察與統計分析：

限於時間與空間之限制，上述坡地崩塌災害之地點，僅選取少數道路可達之地點，利用 GARMIN GPSmap 60CS 儀器進行實地 GPS 定位調查與野外檢核外，並未進行詳細篩選，故全選研究區範圍內所有崩場地點，配合水土保持局的臺灣坡地網際網路地理資訊系統資料，分別製作成桃芝颱風與敏督利風災後的崩場地主題圖，並將其疊置在研究區域經 DTM 轉換之數位高程、坡度、坡向及等雨量線與地質構造等基本自然環境圖層中，整合成有系統的地理資料庫。在統計與分析上則以 SPSS 進行敘述統計與相關分析來比較崩場地的數目、面積與坡度、坡向、雨量、地質等各因子之相關程度與分佈特徵，進而評估本區坡地崩塌災害的潛勢狀態。

³ 依中央氣象局敏督利颱風及七二水災期間連續 48 小時最大降雨量之資料，大甲溪地區前五大測站分別為：稍來(1179.5mm)、雪嶺(1168.5mm)、上谷關(975mm)、合歡山(881mm)、白毛台(840mm)、高屏溪地區為溪南(1514mm)、御油山(1504mm)、南天池(1424mm)、小關山(1372mm)、梅山(1272mm)。由於範圍不大，依 Surfer 軟體進行內差之方法與中央氣象局所公布之等雨量線差異很小，屬可接受之範圍。

五、建置 3S 之整合資料庫：

結合 3S 之研究方法，除了是將地表各種空間資料進行蒐集、定位、儲存、尋取、轉換與展示成爲具研究技術的結合功能導向外；進一步則是將 3S 定義爲應用具有空間分析功能可解決地理環境問題之系統資料庫，使其能發揮等對空間資料與屬性資料之交叉處理與整合分析，並冀能藉由崩塌災害分析圖表之製作與呈現，使環境相關領域學門的研究工作都朝系統整合之技術發展，以期達到對環境災害潛勢區做更有效的管理、監測與評估，來降低災害之損失爲目標。

肆、成果與討論

一、遙測影像之崩場地判釋：

1. 遙測影像之解析程度：農航所攝製之航空照片圖有黑白與彩色二種，雖然航照具高解析像度，但因其非經常性、高頻率之拍攝，取得的時間較不確定，又因影像覆蓋範圍較窄且光譜資訊有限，資料成本便相對地提高，故具即時性與廣域性之高解析度衛星影像便成爲監測地表變化的代替方式之一。根據劉進金等(1994)及蕭國鑫等人(2003)的研究，航照判釋在小型崩場地的辨識率能力上，其判釋崩場地數量會遠高於衛星影像，如 SPOT4 系列的正射影像資料，其空間解像力分別爲 20 及 10 公尺時，若崩場面積小於 0.12 與 0.03 公頃，則難以確定崩場範圍；一般在單一平行地表方向達兩個像元，而垂直地表方向需不小於 3 個像元時，則最小需有 2*2 個像元方具判釋意義，且又因數化的差異，所以數化的最小崩場面積常要大於 3*3 個像元，才可被辨識與擷取。

隨著衛星資料在空間解像力提昇後，較小的崩場範圍也漸可被解析與辨別出來，以研究區的華衛二號爲例，因影像融合具 2*2 平方公尺空間解像力，符合最低像元(pixel)之辨識標準，若以波譜角度製圖演算法 (spectral angle mapper) 對比傳統航照的解析度可發現已達 93.3% 以上的崩場之地物特徵詳實度均能被判別出，所以在一萬分一的比例尺地圖中，應具有運用與分析之價值⁴。惟值得注意的

⁴ 地圖調繪乃與位置精度和所能判釋地物之詳實度有關，而空間解析力則會影響地物判釋的詳實度；空間解析力因地圖比例尺而有別，以農航所的航空像片而言，標準底片爲 23cm×23cm，涵蓋面積爲 1150m×1150m，其地圖比例尺(SP)約爲 1/15000，依公式： $P=1/2(SP/1000LP)m$ ，因其數值化所使用之掃瞄解析力(LP)爲 21 μ m，故空間解析力(P)約爲 0.3m；又據製圖比例因數公式， $S_p =$

是研究發現華衛二號初期影像的紅藍波段位移 (band shift) 嚴重, 會干擾地貌之辨識率 (張政亮等, 2005), 另部分植生覆蓋與地形遮罩區, 仍需藉助於航照、結合 DTM 之 3D 模擬影像及五千分之一的基本地形圖等之輔助判釋, 才有更顯著的成效 (參見圖 4)。

2. NDVI 指數與監督性分類之辨識成效: 常態化差異植生指標 (NDVI) 的分析, 是因綠色植物有吸收藍光、紅光及強烈反射紅外光之特性, 故遙測上之運用可作為評估綠色植物之光合作用、植物之覆蓋率、崩壞裸地之判釋及植生復育之情況指標。其計算公式為: $NDVI = (IR - R) / (IR + R)$, 其中 IR = 近紅外光輻射值, R = 紅外光(即可見光) 輻射值, NDVI 之值域介於-1 至+1 間, 指數愈大, 代表綠色生物量愈多。圖 5 為以大甲溪研究區為例, 經 NDVI 辨識之成果圖, 大體而言 NDVI 值在-0.40~-0.60 約為河川水體範圍, -0.10~-0.20 可視為崩塌裸地, 坡地植被指數一般向陽區在 0.40~0.50, 背陽之陰影植區則降至 0.30 以下⁵。

而所謂監督性分類有許多方式, 本研究採用類神經網路分類模組 (Neural Network Classification) 的理由是因傳統的影像分類係將每一像元視為一獨立的運算值, 作為其統計分佈或分類架構 (光譜特徵) 的依據, 但在真實的世界中, 每一像元的灰度值與周圍近像元經常存在著相關性, 且一般常用之統計值或統計分佈型態亦不盡然可以完整的詮釋區域中的光譜反射特性 (RITI, 2001), 故分類成效較差; 而類神經網路是利用電腦來模擬生物神經元運作的計算模式, 特點為學習準確度高、回想速度快、理論與計算簡明, 並有較佳的分類成果。依據邵泰璋 (1998), 林文賜、周天穎等 (2001) 的研究顯示, 類神經網路的演算模式可以有效分析出衛星影像的特徵值 (feature), 進而達到地表不同地物之分類目的, 其準確度有近九成以上之水準。而 PG-STEAMER 所採用類神經網路法為倒傳遞網路 (Back-Propagation Network, BPN), 係透過訓練取得輸入變數與輸出變數的內在對應規則, 調整各神經元的連接權重後, 再經回溯設計將學習後所得的權重運用於下一個新階層的運算, 如此不斷進行重複的訓練、學習及調整, 直到輸出與預期學習值相當才收斂而停止; 圖 6 即為大甲溪研究區藉由光譜類型, 選取訓練樣本區 (Training area) 後, 利用神經網路分類法所取得之成果。

$K\sqrt{S_m}$, $S_p = 1/15000$, K 為常數, 因此農航所引用為 1/5000 之製圖比例尺 (S_m)。而根據張志立、蕭國鑫 (2004) 研究因華衛二號解析度為 2m, 結合 DEM 資料亦可產生符合比例尺 1/10000 精度的正射影像。

⁵ 依 Lyon et al. (1998) 與陳添水 (2005) 等人認為 NDVI 較不受地形因子影響, 適合做為為植被與裸露地之區別研究, 一般律定乃以 NDVI 之值在 0.2 以下為無植被之裸地。

3. 崩塌地之綜合研判：依上述之分類成果圖得知，類神經網路的監督性分類，雖能提高自動化判釋之正確性，然受限於取樣區分類之精緻程度、不同之崩塌類型（如岩層滑崩、沖蝕溝與土石流）、淺層植被附著、河床堆積物與陰影障遮區等所呈現之差異色態，而易有之不同分類，故崩塌數與範圍常與實際有別；而 NDVI 指數對於道路、河道、開發裸露地、崩塌地、建物及農業裸露地等波譜反射近似者，則無法有效分離，只作為辨識崩塌地的輔助資料。因此本研究對敏督利風災之崩塌地辨識與範圍數化，除參考此兩種衛星遙測工具之分類成果外，並以人工方法分別與農航所之航照圖、敏督利風災相關照片與五千分之一的地形圖作校對與查驗，剔除不合理之歸類或增加被忽略之區域。此外為解決模糊地帶影像之判釋問題，本坡地崩塌之判定係指裸露的崩塌地，包含山崩、地滑、沖蝕溝與岩屑堆埋之河谷（反射較強成淺白色），並將最大誤差容忍值（tolerance）定為 3 個解析像元來處理。

經衛星影像分析配合前述步驟處理後的判釋結果（圖 7 至圖 8），在大甲溪研究區敏督利水災之崩塌數計有 770 處，總崩塌面積達 2645.66 公頃，主要的崩塌地分佈在志樂溪、登仙溪、匹亞溪、小雪溪、久良溪、石山溪與大甲溪主流之交匯處及其周遭地區，對照由水土保持局所擷取的桃芝颱風來襲時之崩塌數 406 處及崩塌面積 1596.77 公頃相比，則崩塌數增加一倍以上，崩塌面積擴大 60.3%，重複崩塌區域達 86.7%；最顯著之差異在於谷關水庫以上之大甲溪主流流域，在 94 年敏督利颱風後，崩塌數量與面積急遽增加，其中崩塌數占總數 23.3%，面積則達 35.1%，如此之大規模的土石崩移與沖刷正是造成此區電廠毀損、水庫淤積等慘烈災害的主要原因。而在高屏溪上游方面，敏督利颱風之崩塌規模較大甲溪小，計有崩塌數 508 處，總崩塌面積為 1100.82 公頃，主要的崩塌地分佈在荖濃溪與拉庫音溪的主支流地區，又若以水土保持局的桃芝颱風來襲時本區之崩塌數為 717 處及崩塌面積 1028.57 公頃相比，約僅有半數之崩塌數發生在同樣的位置，占總面積也僅有 20% 左右，故可知敏督利颱風對高屏溪上游產生新的刷蝕十分劇烈；此外敏督利颱風雖比桃芝颱風減少了約 30% 崩塌數量，但崩塌面積卻多出近 70 公頃，亦彰顯出敏督利颱風之破壞威力（圖 9 至圖 10）！

二、環境因子與崩塌地的關係：

1. 高度、坡度與崩塌地的關係：利用 GIS 本研究將福衛二號衛星影像處理後的敏督利颱風坡地崩塌與水保局所調查的桃芝颱風崩塌區等資料，分別濾取與轉

製成爲 GIS 的 shp 數值圖與屬性檔案，並與其他基礎資料進行彙整，最後經由幾何工具分析及搭配套疊之圖表形式，完成研究地區崩塌災害的 GIS 資料庫。例如從圖 11~12 及圖 18~21 的統計數據⁶可以得知敏督利與桃芝風災中，研究區內的崩塌數目、崩塌面積和地形之高度、坡度關係。在大甲溪方面：以敏督利而言，高度 1000 公尺以下的崩塌數極少，分佈機率不及總數的 10%，高達 74% 以上的崩塌地乃落於 1000 至 1800 公尺的四個等級間，尤以 1400~1600 公尺，所佔比率高達 20%。至於分佈高於 2000 公尺以上所產生的崩塌數則隨高度明顯降低，2400 公尺以上更萎縮至 3% 以下。桃芝颱風的崩塌數分佈亦大致依此拋物曲線，惟峰度較呈負偏態，分佈在 1000 到 1800 公尺間的佔總數的 76%，其中高度 1600~1800 公尺占 20%；以崩塌面積觀之，敏督利較屬常態分配，近半數（48%）之面積均分佈於 1400~1800 公尺的範圍內，峰度甚爲集中，其中 20% 的面積是集中在高度 1400~1600 公尺。至於桃芝颱風的崩塌面積最多之高度則和其崩塌數一樣，近半數以上之面積（49%）均分佈於 1200~1800 公尺，有 19% 密集在 1600~1800 公尺間。值得一提的是桃芝在高度 2000~2200 公尺的崩塌數雖僅有 9%，但所佔崩塌總面積卻高達 15%，超過達 60%，顯示在此高度的崩塌規模較大。而在地形的坡度方面，敏督利與桃芝崩塌數的分布趨勢十分相似，發生最多的位置在 35~45°，約佔總比率的三成，若再含括上一個等級（45~55°），則近六成的崩塌數集中在此範圍，超過 55° 後隨坡度漸陡可發現的崩塌數卻漸少，80° 以上之坡度，則幾乎未見崩塌地發育；但在崩塌面積的規模分佈方面，雖然崩塌數發生最多的位置在 35~45°，而崩塌面積最廣的卻是分佈於 45~55°，以敏督利為例，坡度在 35~45° 的崩塌數雖佔總數的 29%，但崩塌面積僅佔 20%，卻遠不及於 45~55° 的 32% 與 20~35° 的 24%。

至於在高屏溪方面，由於高屏溪上游的荖濃溪已深入玉山山系，所以平均地形高度比大甲溪地區高，桃芝颱風在此崩塌地的高度分佈亦略呈曲線分佈，高達 50% 以上的崩塌地乃落於 1800 至 2100 公尺的 3 個等級間，然後往兩側漸減，到了 1200 公尺以下與 3600 公尺以上的崩塌數則已均不及總數的 5%，分佈較屬正偏態分配。而在敏督利颱風的分佈上除 1200 公尺以下與 3600 公尺以上的崩塌數一樣明顯偏少外，其餘等級都達 10% 以上，分配則較爲均質，變異數較小，其中 1500~2400 公尺所佔比率高達 43%，而高度 3200~3600 公尺處的崩塌數突然略

⁶ 因兩次颱風之崩塌數量與面積均不同，爲便於比較分析，先將兩者資料進行正規化(Normalization)調整；若函數呈現曲線分佈，則求曲線迴歸、相關係數與檢定值。

微增加達總數的 13.9%，使整體分佈稍成雙峰曲線分佈；這種雙峰型態尤以崩塌面積之分佈更為明顯，例如桃芝颱風以 1500~1800 公尺的 17.5% 和 2400~2800 公尺的 14.7% 最為突出，而在敏督利則以 1500~1800 公尺的 17.4% 和 3200~3600 公尺的 16.5% 崩塌面積最廣；這些異於常態分配且高度較高的地方容易產生較大規模的崩塌處，經由 GIS 圖層套疊分析可知是與坡度陡與雨量高有密切關連。另外在坡度方面則不論崩塌數或崩塌面積均與大甲溪流域類似，60% 以上均分佈在 35~55 度之間，而往兩側遞減成常態曲線分佈。

2. 坡向、地質與崩塌地的關係：由於坡向與地質非屬等距或比率變數，因此只就其分類項的比率進行分析。以坡向而言，從圖 15、16 與圖 22 中可以得知，在桃芝與敏督利颱風的大甲溪崩塌數與崩塌面積在八方位的坡向分類中乃成均質分佈，並未有特別之偏頗（各象限約 10~14%），可能的解釋原因是大甲溪成東西向橫切地形，主要南北支流與其子支流變成似網格狀型態分佈，而此次颱風均為由東向西的行進路線，故引進之環流雲雨帶可貫穿全區；相較而言，高屏溪之上游荖濃溪因地層傾斜坡向多為西南向與西北向，且地形谷口向西南開敞，故颱風過後的西南氣流便長驅直入，所以此區迎風坡面的南向與西南向，在二次颱風後不論是崩塌數與崩塌面積均可高達三成以上（其中桃芝之崩塌面積更達總數的 44%），顯見地勢位置對坡地崩壞有著重要之影響。

以地質觀之（見圖 15~16 與圖 23 至 26），大甲溪屬雪山山脈板岩系，在地質圖上，主要地層為始新世的達見砂岩（E2）與始新世至漸新世的佳陽層（EO1）、白冷層（EO2）及水長流層（OS）為主，其中達見砂岩與佳陽層分佈在東側中上游區，白冷層及水長流層則分佈在西側的中下游區，達見砂岩是以灰白色粗礫至中粒的石英質砂岩為主，石英成份可達在 82%，岩石強度很高，岩層中常夾有少量的碳質頁岩、板岩和粉砂岩；佳陽層由厚層板岩所組成，劈理甚為發達，而白冷層則與達見砂岩相似，主要以灰白色的石英質砂岩為主，夾有硬頁岩與板岩互層，一般膠結性甚佳，至於水長流層則以黑色硬頁岩和輕度變質的頁岩為主，在研究區所包括的範圍較窄小。在敏督利颱風期間，本區崩塌數以白冷層（EO2）地質區最多達 45%，其次為達見砂岩（E2）的 29% 與佳陽層（EO1）的 25%，水長流層（Os）僅佔 1%，拋開岩性軟硬不談，因為白冷層地質區是本區分佈最廣的地層，故崩塌數出現的機率最多，反之水長流層的面積最小，故統計上的崩塌數也少，解釋可以成立；但就崩塌面積而言，僅佔四分之一崩塌數的佳陽層地質區所涵蓋的崩塌面積卻達總數的 31%，顯見劈理甚為發達的佳陽層板岩區，抗

蝕力較差，易在風化過程中裂解，而形成較大規模之崩塌。對照桃芝颱風所造成之崩塌分佈，因當時其雨勢集中在谷關水庫以下的區域，所以造成近六成（56%）的崩塌數集中在白冷層，但同樣地我們也可發現佳陽層地質區僅佔 9 %崩塌數，但所涵蓋的崩塌面積卻高達總數的 18 %。圖 30 與 31 是以崩塌數和崩塌面積分別除以不同地質區分佈之面積所得之頻度與密度分佈圖，此數據可進一步說明，若計算單位地質面積的崩塌數量則桃芝颱風是以達見砂岩（E2）和白冷層（EO2）地質區所發生的頻度較高（約 0.02），但敏督利豪雨來襲則造成上游達見砂岩與佳陽層地區的崩塌數量頻度遽增一倍達 0.05 以上，而佳陽層地區的崩塌面積密度（0.171）更甚而高於達見砂岩地質區（0.168）的單位崩塌面積，顯見砂岩的岩性雖然堅硬，但因大甲溪切割形成河谷地形的過程中，地層水平方向的壓力解除後，易形成解壓節理裂隙，加上砂岩的透水性較佳與地震、風化及人為等因素，會使得節理組的開口逐漸變大，終致岩體崩移滑脫，然若相比於劈理發達的板岩，其屬性仍較堅硬緻密、抗蝕性強的岩性，故雖常發生小規模崩塌，但崩塌面積均不會擴散太大。

同樣地高屏溪主流荖濃溪的上游地質區，主要由始新世之畢祿山層（EP）所組成，面積約佔研究區的 51.7%，其次則為佳陽層（EO1）和中新世廬山層（M），其餘少部分為南港層（M2）、達見砂岩（E2）和十八重溪層（E1）等；在桃芝颱風期間亦是由厚層板岩所組成的佳陽層（EO1）之崩塌數所佔比率最高，達 39%，崩塌面積也最廣，達 46%，而同樣地以板岩、千枚岩等泥質沈積物為主的畢祿山層和廬山層，因片理、節理也十分發達，故也常易發生崩塌，分別占居二、三位。而敏督利颱風期間，雖然畢祿山地層發生的崩塌數最多（36.5%），但崩塌面積仍是以佳陽層地質區的規模較大，佔了全數崩塌面積的 44%；綜合而言可看出本區因地勢高、坡面長、坡度陡，崩塌頻度與密度均十分高，尤其在局部結構較為脆弱或膠結不良的地質區往往容易成為重複崩塌的地點。

至於褶曲與斷層等地質構造運動，是否易使地層鬆動，進而對周圍的崩場地與土石流造成影響呢？本研究也嘗試利用 GIS 模組工具中的環域分析功能，以大甲溪研究區為例，針對此區斷層線範圍設定三環各一公里級距，進行崩場地數量之分析，其成果如圖 17 所示，上述數據經初步由迴歸統計可以看出斷層線對崩場地面積有一定程度的影響（R 平方為 0.82），又幾條褶曲構造線如太木山背斜、基隆山向斜、馬崙山向斜與佳保臺向斜等也都顯示與崩場地發育具相關水準，但有關構造對崩塌影響的確實程度仍有待進行現場細部履勘並配合其他方法進行驗

證。至於研究區內人爲開發對崩塌地的影響程度爲何呢？本研究亦曾利用環域分析方式，針對崩塌地分佈規模較大地點，如谷關水庫至登仙溪小澤台地區的中橫路段、南橫公路的復興到天池等道路進行相關分析，雖其都呈現具相關性，但因其他影響要素複雜，如鄰近水系、地形特徵、環域範圍選擇等無法有效區隔，故不做過度之推論，待日後研究。

3. 降雨量與崩塌地的關係：從圖 13~14 及圖 27~30 的資料可以得知崩塌數、崩塌面積與雨量等值線之關係也是呈現此種上凸的函數圖形。以大甲溪地區而言，本區最大之不同乃在於敏督利颱風過境時之降雨量爲桃芝颱風的兩倍以上，桃芝颱風之總降雨量並不大，且本區豪雨約僅數小時，但卻造成多處崩塌與土石流災情，在大甲溪上游的梨山等地因雨量未超過 250mm，故未見任何重大災情，而等雨量 350mm 的區域便出現 50% 以上的崩塌數量，崩塌面積更涵蓋 60% 以上，推測此種現象主要原因爲颱風內圈環流之輻合雨，在地形阻擋下瞬間暴雨影響所致，又因 921 地震後造成多處的地層變位與土石鬆動，此種臨界狀態在一個雖不算大的降雨事件就會誘發系統的大變化；當然地下水的物理機制也有一定程度之影響。而 2004 年敏督利颱風過後所伴隨的強烈西南氣流則造成大甲溪流域高達 1000mm 以上的降雨，區域內如稍來、新伯公、東勢、梨山、白冷等地區在 7 月 3 日在一小時內之降雨達 100 mm 以上，強度均超過 200 年的重現期，48 小時之降雨如合歡山、梨山也超過 200 年的重現期，如此強烈之雨量自然造成本區大規模的崩塌與土石流，尤其是上游梨山地區的坡地崩塌更是空前。細觀此雨量對崩塌數與面積之影響，由於已達降雨對崩塌作用之極值，所以集中趨勢並不明顯，而是廣佈於 750~1000mm 間，超過此值的雨量越多，崩塌數與面積並未持續擴增，此乃因此刻對崩塌數與面積之掌控，已轉爲地形與地質等因素。若進一步考量研究區各等雨量之範圍大小並不相同，無法完全解釋一地崩塌之特性，故若以崩塌數和崩塌面積分別除以等雨量分佈之面積，則可求得敏督利與桃芝颱風之單位面積的崩塌頻度與崩塌密度，從圖 28 來看，桃芝颱風之較大的崩塌頻度集中 300mm 至 400mm 間，而最大崩塌密度則分佈於 350mm 範圍，顯見研究區在短時間降雨達 350mm 以上時，坡地敏感區即會有較大規模的崩塌地形產生；而敏督利颱風則是因高降雨量的影響，崩塌頻度在各雨量區差別並不大但多高於桃芝颱風，又雖然崩塌面積百分比以 900mm 的雨量區最高（27%），然若以崩塌密度而言，則反以 700mm 雨量區最高，平均每一公頃即發生 0.2 公頃的崩塌地。

在高屏溪流域方面，桃芝颱風來襲時也以 300mm 至 400mm 之間的崩塌規模

最大（崩塌數與崩塌面積均占 4 成以上）往上及往下則漸減，而在 300mm 以下雖然崩塌數隨雨量增加而增多，但崩塌面積則以 400mm~500mm 的 15.7% 及 400mm~500mm 的 11.1% 較廣；換言之，崩塌數為負偏態分佈而崩塌面積則呈正偏態之分佈。而敏督利颱風所帶來的強烈西南氣流也一樣造成高屏溪上游流域的空前降雨，區域內 48 小時之降雨如溪南（1514mm）、御油山（1504mm）、南天池（1424mm）、小關山(1372mm)、梅山(1272mm) 等地之雨量強度均超過 200 年的重現期，降雨量之大更甚於大甲溪流域。所以此時許多的崩塌便由點的分布轉匯合成面的帶狀分佈，所以崩塌數雖然減少，但崩塌面積卻增加很多。同樣地，因降雨量已達對崩塌作用之極值，所以集中趨勢並不明顯，而是廣佈於 1000~1700mm 間。故綜合而言，其實發生崩塌的地點並非高度越高、坡度越陡、雨量越多就越容易產生，而是在一定的範圍值下才會有正相關的存在，一旦超過極限值，例如海拔超過一定高度（大甲溪為 1600 公尺，高屏溪為 2800 公尺）、坡度大於一定程度（55 度），可能因非降雨集中區（例如超過一定高度，雨量反而減少）沖刷不易或受長期侵蝕風化殘餘硬岩的峭壁反而形成安定角，不易產生風化崩塌的現象。再者颱風之破壞主要是瞬間暴雨侵襲或雨量沖蝕強度，而一旦暴雨量達一定程度，崩塌數量及規模的增長幅度則需配合地質構造、地下水機制與地形特徵等之交互作用，才具較完整之呈現。

伍、結 論

一、崩塌地之遙測與 GIS 分析：

遙測與 GIS 的科技應用在國內已趨於成熟，本文藉由 PG-STEAMER 處理華衛二號影像，發現華衛二號影像已具 2 公尺之判釋能力，故對崩塌災害具分析能力，另利用監督性分類與常態化差異植生指數(NDVI)雖有利於辨識崩塌地，但會受限於取樣區分類之精緻程度、不同之崩塌類型、淺層植被附著、河床堆積物與陰影障遮區等所呈現之差異色態而易生誤差，故可搭配航照及五千分之一的基本地形圖等之輔助，會更顯著的成效。另由於 GIS 能發揮對空間資料與屬性資料之交叉處理與整合分析，也能完成各類不同環境地質災害分析圖之製作與呈現，故有助於了解各種環境地質災害的範圍、成因和變化趨勢；因此研究中結合農委會水

保局 GIS 數據、中央地質調查所地質圖、農航所 DTM 資料與衛星影像分析，發現敏督利颱風後崩塌數量與面積急遽增加，與桃芝颱風相較，大甲溪的重複崩塌區域達 86.7%，但崩塌數增加 40% 以上，崩塌面積擴大 60.3%，其中谷關水庫以上之大甲溪主流域崩塌增加最多，而高屏溪在敏督利颱風雖比桃芝颱風減少了約 30% 崩塌數量，但崩塌面積卻多出近 70 公頃，可能的原因是許多崩塌點匯合成面的帶狀分佈，所以崩塌數減少而崩塌面積卻增加，亦可彰顯出敏督利颱風之破壞威力。

二、影響崩塌地的環境因子分析：

經過套疊與統計分析得知，發生崩塌的地點並非高度越高、坡度越陡、雨量越多就越容易產生，而是在一定的範圍值下才會有正相關的存在，例如坡度介於 35~55°，高度在 1600 公尺（高屏溪為 2800 公尺），颱風雨量 750~1000mm（高屏溪為 1000~1700mm，桃芝則均為 300~400mm），所發生的崩塌機率最高，若超過一定高度，可能因雨量減少，或陡立裸岩與缺乏風化物反而不亦產生崩塌，再者颱風之破壞主要是瞬間暴雨侵襲或雨量沖蝕強度，故需配合地質構造與地形特徵的交互作用，才能有較完整之詮釋。此外在地質構造上，因為大甲溪白冷層地質區的石英砂岩層是本區分佈最廣的地層，故崩塌數出現的機率最多，但劈理甚為發達的佳陽層板岩區，因抗蝕力較差，易在風化過程中裂解，故反會形成較大規模之崩塌面積，而高屏溪方面也以佳陽層板岩區發生崩塌的規模最多且最廣；另研究中利用 GIS 環域分析結果，初步認為大甲溪褶曲與斷層等地質構造，也易使地層鬆動，進而對周圍的崩塌地與土石流造成影響，故推論大甲溪的崩塌規模較高屏溪為大，可能與中部的 921 地震作用有關。

三、後續研究：

綜合 GIS 資料庫所建置的環境因子，能進一步以計量方式配合不安定指數法繪製為坡地潛勢災害分析圖，來描述坡地之穩定程度，作為評估坡地可能發生崩塌災害的機率。然本文受限於資料與時間，無法針對以同一衛星影像系統針對相同地區做不同災害之前後期做對比（因華衛二號於 2004 年才升空，所以桃芝颱風災害資料取之於水保局），故分析數據可能有所誤差；另對於影響崩塌地與土石流的其他諸多因子，如各因子間的權重關係、DTM 精度提高後之差異、植被種類、土壤厚度、細部的地質構造（如層態、褶曲與節理）、暴雨強度、逕流沖刷、地下

水之影響機制和災害歷史等，也無法一一詳查並加以納入統計或考慮，故僅能就現有收集的資料進行分析，並提供模式做參考，當然隨著對變數掌握的情況提高，所得的解釋程度也應會有較佳的效果。

參考文獻

- 中央地質調查所（2000）**臺灣山崩調查與山崩危險度評估(II)**。臺北市：作者。
- 王一琮（1992）**應用地理資訊系統探討土石流與地形特性之相關性**。中興大學水土保持碩士論文，未出版，臺中市。
- 王弘祐、蔡光榮（1997）。**高雄地區坡地土壤力學特性資料庫之建立研究**。第七屆大地工程學術研討會論文集，155-162。
- 王玲津（1995）。**玉山國家公園潛在地質災害敏感區劃設之研究**。逢甲大學土地管理研究所碩士論文，未出版，臺中市。
- 王鑫（1980）。**台灣的地形景觀**。渡假出版社有限公司，193-194。
- 朱子豪等（2001）。**應用地裡資訊系統輔助山坡地潛在崩山評估模式之建立**。第三屆海峽兩岸三地環境災害研討會論文集，49-59。
- 何春蓀（1975）。**台灣地質概論**。經濟部中央地調所，53-57。
- 吳久雄、蔡銖華、胡錦地（1989）。**台灣省山坡地崩坍調查報告**。台灣省水土保持局，139。
- 吳豐敏、吳岸明（2004）。**中華衛星二號影像及應用**。2004 台灣地理資訊學會年會暨學術研討會。
- 李三畏（1984）。**臺灣崩坍問題研討**。**地工技術雜誌**，7，43-49。
- 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。
- 李麗玲（1995）。**土地資源資料庫之建立與應用—以評估山坡地潛在災害為例**。台灣大學地理研究所碩士論文，未出版，臺北市。
- 林文賜、周天穎、林昭遠（2001）。**應用監督性類神經網路於衛星影像分類技術之探討**。**航測及遙測學刊**，6(1)，41-58。
- 林宗儀（1997）。**土石流發生的地質地形誘因—以賀伯颱風災害為例**。第一屆土石流研討會論文集，1-6。
- 林信亨、林美聆（2002）。**地理資訊系統及類神經網路應用於土石流危險溪流危險度判定**

頁。**地工技術**，**90**，73-84

林孟龍、林俊全（1998）。**蘭陽溪上游集水區(家源橋以上) 崩山之規模與頻率分布關係**。台灣之第四紀第七次研討會論文集，34-38。

林俊全、李麗玲（1997）。山坡地潛在災害評估方法之研討。**工程環境會刊**，**16**，17-26。

林美聆、陳正興等（2004）。大甲河流域之初步勘災結果與建議。**土木水利**，**31**（4），19-25。

林慶偉（1996）。南投縣和社地區崩塌發育之地質影響因子。**地工技術**，**57**，5-16。

邵泰璋、史天元（2000）類神經網路於多光譜影像分類之應用。**航測及遙測學刊**，**5**（1），1-14。

施邦築、鄭光炎（1997）。地理資訊系統在土石流防災上之應用。**台北技術學院學報**，**30**（2），75-92

洪如江（1979）。**地工技術在台灣山崩之應用**。中國工程師學會邊坡穩定暨坍方研討會。

紀宗吉、林永祥、鄧宏仁等（2004）華衛二號影像判釋大甲河流域山崩與土石流。**地質**，**23**（3），7-12。

張石角（1993）。**山坡地調查規劃、評估及其崩坍預測與治理**。國立臺灣大學地理學系。

張東炯（1998）。臺灣北部地區潛勢土石流現場調查與分析。**農業工程學報**，**44**（3），51-63。

張政亮（2004）。地理資訊系統應用於蘭陽地區環境地質災害分佈之調查分析，蘭陽溪生命史－「宜蘭研究」第五屆學術研討會論文集。**宜蘭文獻叢刊**，**22**，73-108。

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。

許琦、蕭達鴻、徐豐裕（2000）。**921 集集大地震崩塌地崩塌前之地形特徵**。921 集集大地震週年紀念學術研討會論文集。

陳宏宇（1995）。花蓮銅門村土石流初始機制之地質特性。**國立臺灣大學地理學報**，**19**，33-49。

陳宏宇（2000）。山崩地裂與地質環境。**土木技術**，**25**，46-52。

陳進揚（1999）。**GIS 應用於高雄地區坡地地工環境災害分佈之調查分析**。屏東科技大學土木所碩士論文，未出版，屏東縣。

陳榮河（1999）。土石流之發生機制。**地工技術**，**74**，21-28。

游中榮（1996）。**應用地理資訊系統於北橫地區山崩潛感之研究**。中央大學應用地質所碩士論文，未出版，桃園縣。

- 黃怡仁、江永哲(1991)。土石流災害調查方法之簡介。**水土保持學報**，**23**，79-93。
- 農委會水土保持局(2002)。整合型網際網路地理資訊系統網站：<http://gis.swcb.gov.tw/>
- 劉秀鳳(2005)。應用類神經網路評估台 14 線公路邊坡崩塌潛能之研究。朝陽科技大學營建工程系碩士論文，未出版，臺中縣。
- 劉盈劭(2001)。地形敏感性的比較研究—以陳有蘭溪北段小支流為例。師大地理所碩士論文，未出版，臺北市。
- 鄭元振(1992)。地理資訊系統在區域邊坡穩定分析之應用—中橫公路天祥至太魯閣段。國立成功大學礦冶及材料科學研究所碩士論文，未出版，臺南市。
- 蕭國鑫、尹承遠(2003)。SPOT 影像與航照資料應用於崩場地辨識之探討。**航空測量及遙感探測會刊**，**8**(4)，29-42。
- 蕭國鑫、游明芳(2004)。高解析影像應用於崩場地辨識。2004 台灣地理資訊學會年會暨學術研討會。
- 謝玉興(2004)。南橫公路邊坡崩塌與降雨關係研究。**臺灣公路工程**，**30**(11)，26-45。
- 謝有忠(1999)。陳有蘭溪流域土石流之發育地質控制。國立成功大學地球科學系碩士論文，未出版，臺南市。
- 簡李濱(1992)。應用地理資訊系統建立坡地安定評估之計量方法。**中興大學土木所碩士論文**，未出版，臺中市。
- 簡碧梧(1995)。臺灣的崩場地災害。**工程環境會刊**，**6**，23-47。
- 蘇明道(1999)。空間分析在土石流發生潛勢研討之應用—以陳有蘭溪為例，**農業工程學報**，**45**(2)，52-62。
- Brunsdn, D. (1993). Barriers to geomorphological change, In Thomas, D.S.G. & Allison, R.J.(eds.). *Landscape sensitivity*, Wiley, England 7-12.
- Gao, J. and Lo, C. P. (1991). GIS modeling of influence of topography and morphology on landslide occurrence in Nelson County. *Virginia : GIS/LIS '91 Proceedings*, 1, 954-963.
- Schumm, S.A.(1979). Geomorphic threshold: the concept and its application. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 20, 113-134.
- Trustrum, N.A., Gomez, B., Page, M.J., Reid, L.M., Hicks, M. (1999). Sediment production, storage and output: the relative role of large magnitude events in steepland catchments. *Zeitschrift fur Geomorphologie*, 115, 71-86.

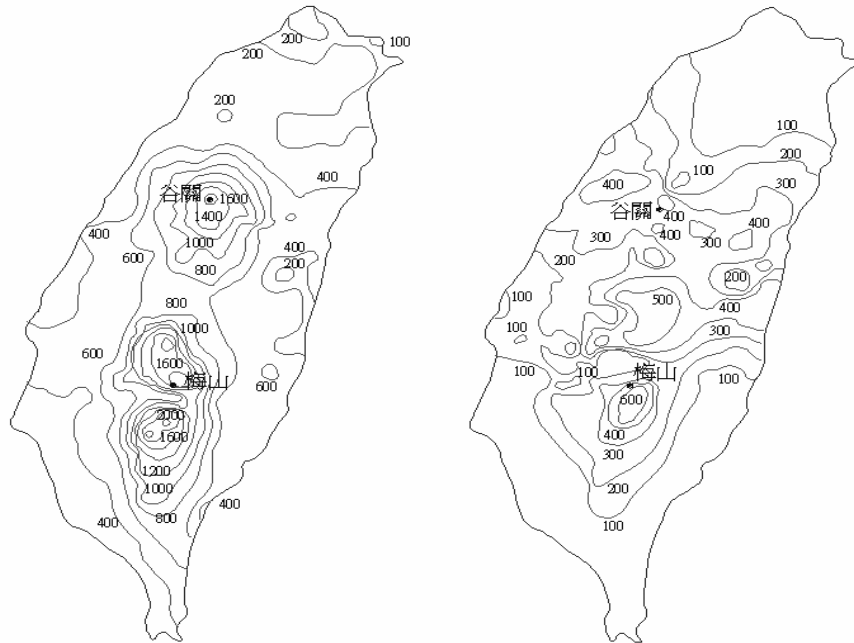


圖 1 敏督利颱風（左）與桃芝颱風（右）侵台之累積總雨量

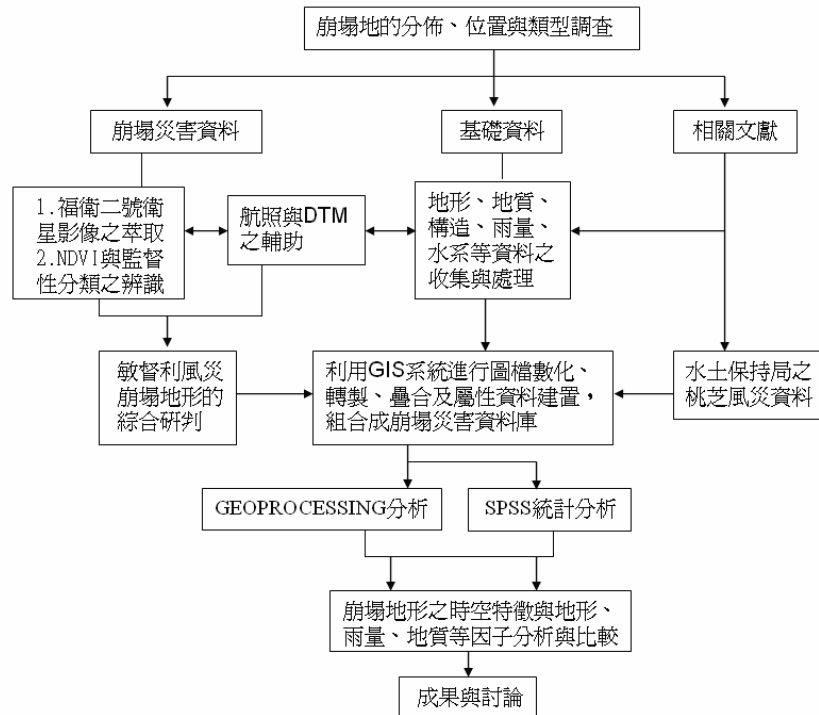


圖 2 研究架構與分析流程圖

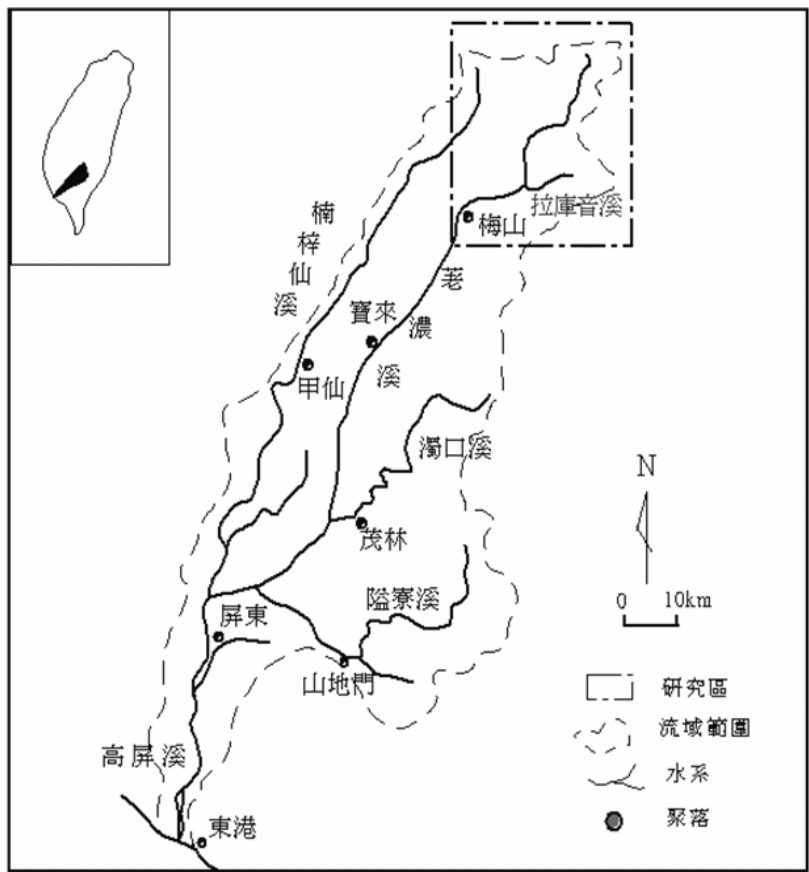
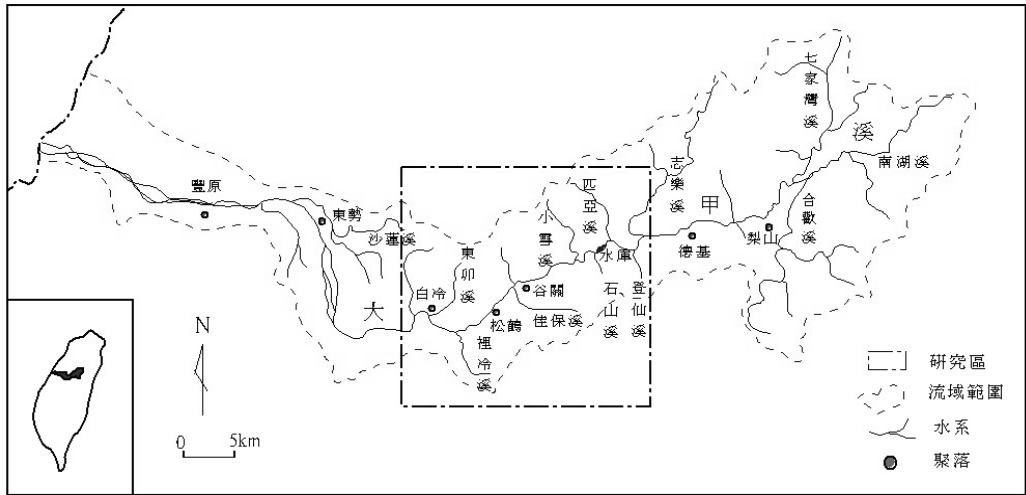


圖 3 大甲溪流域(上)與高屏溪流域(下)之研究區略圖

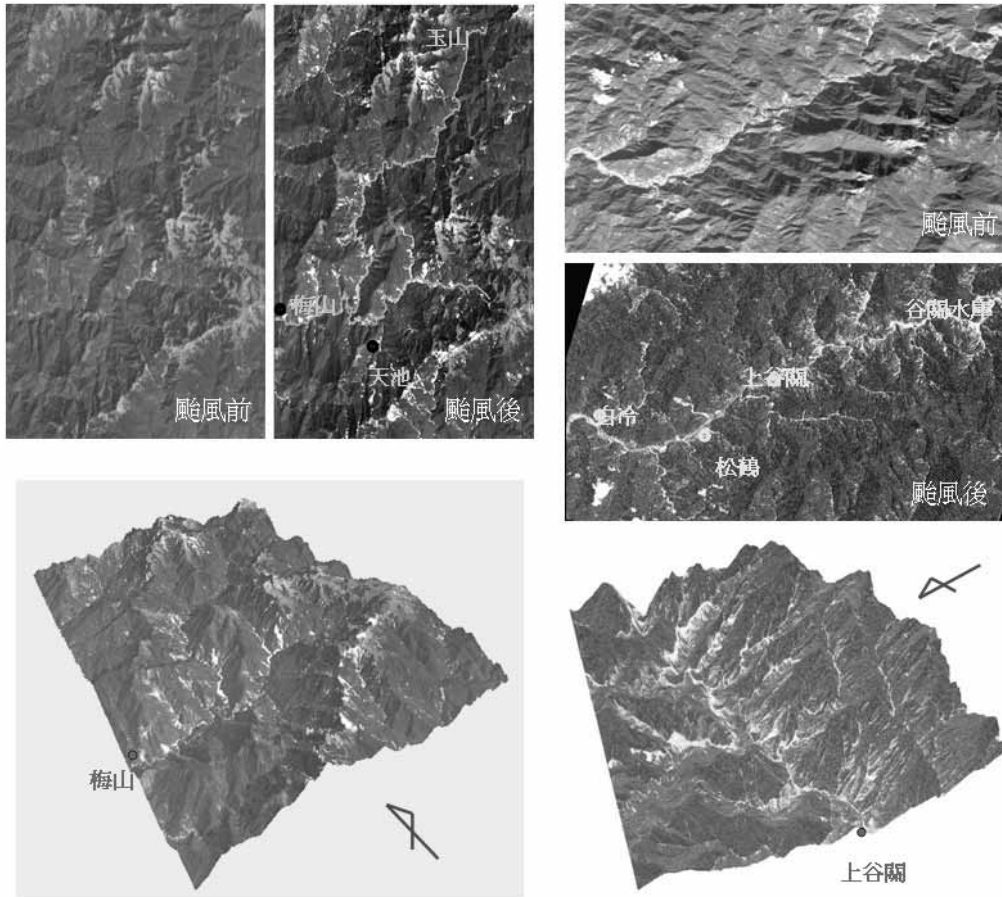


圖 4 高屏溪(左上)與大甲溪(右上)之敏督利風災前後衛星影像與結合 DTM 之福衛 3D 影像圖(下)



圖 5 研究區之 NDVI 值
(深色顯示為裸露地與河道)

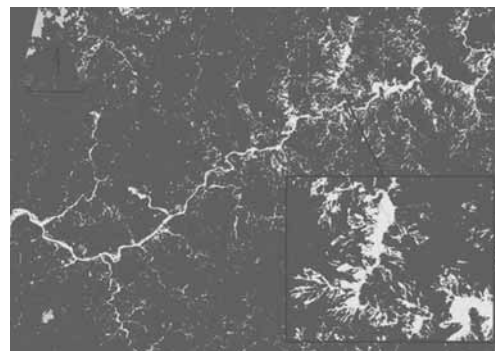


圖 6 利用類神經網路分類法求出之崩塌區
(黃色區塊)

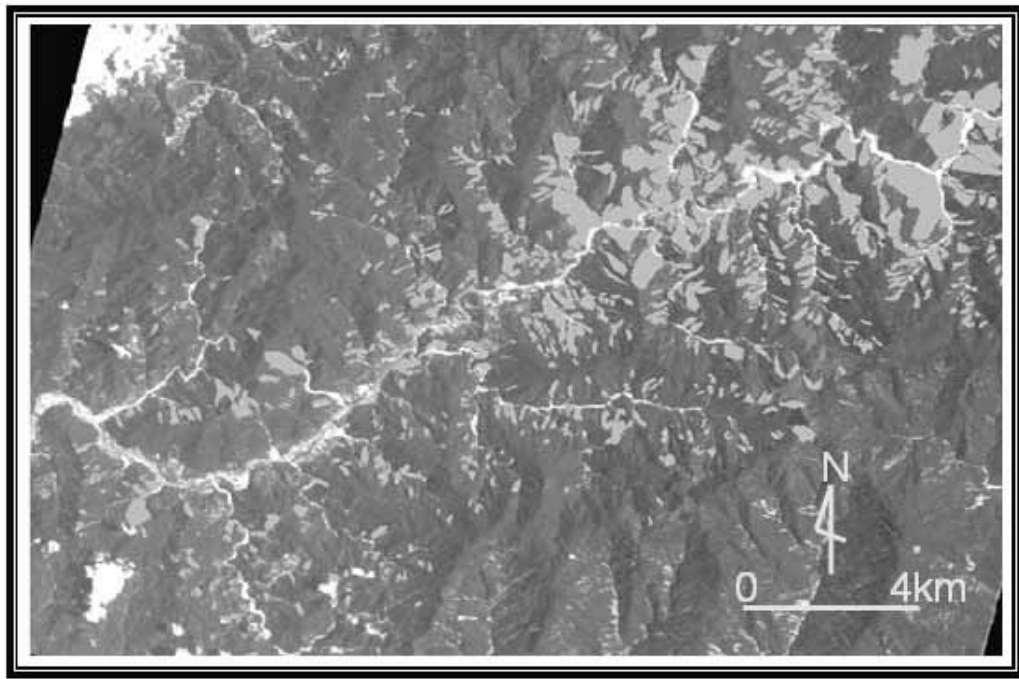


圖 7 敏督利颱風時期大甲溪上游流域之崩塌地分佈圖

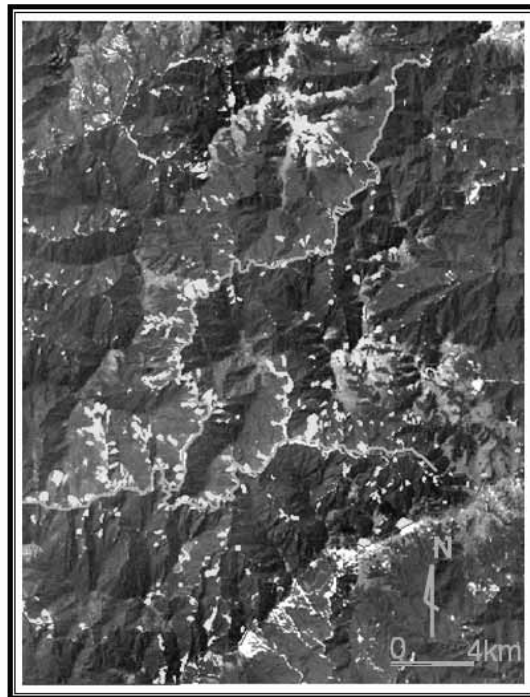


圖 8 敏督利颱風時期高屏溪上游流域之崩塌地分佈圖

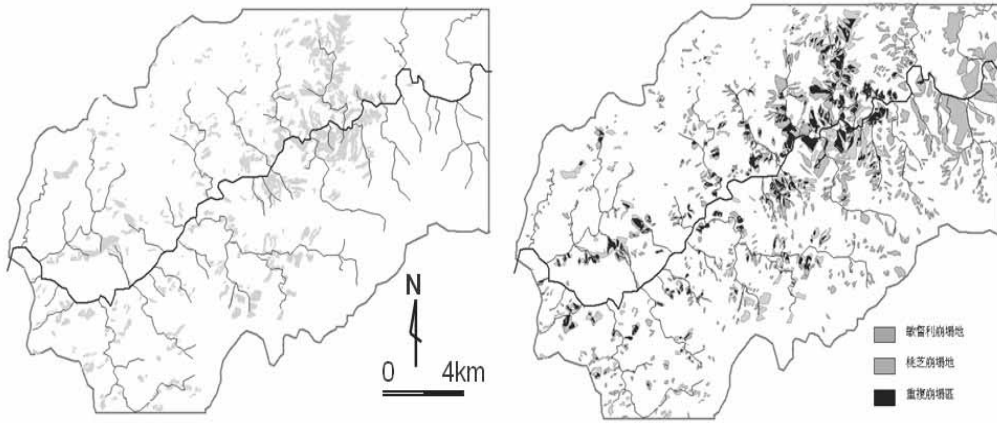


圖 9 大甲溪流域之桃芝颱風崩塌區（左）與兩次颱風重複崩塌區分佈圖

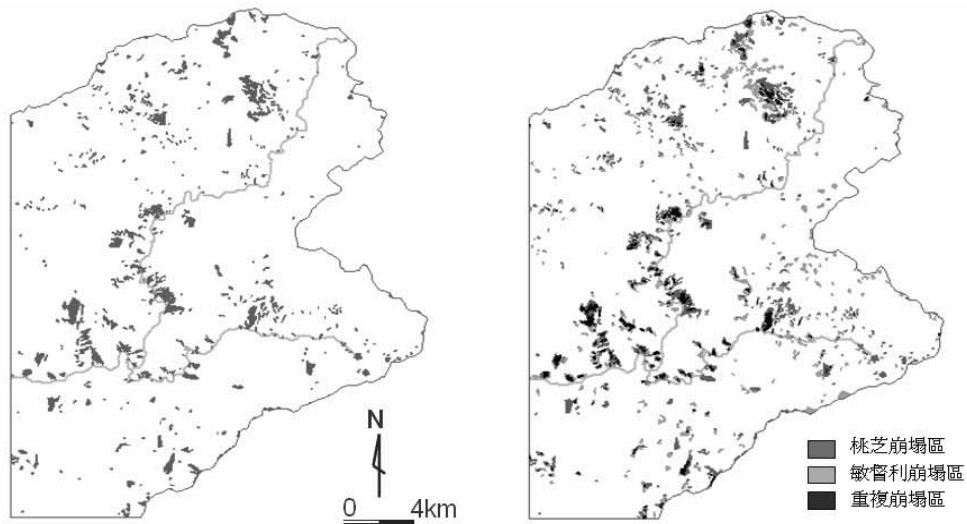


圖 10 高屏溪流域之桃芝颱風崩塌區（左）與兩次颱風重複崩塌區分佈圖

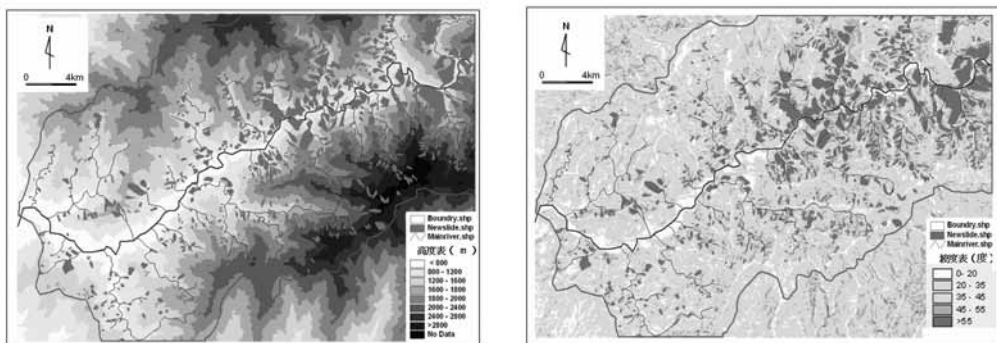


圖 11 大甲溪地形高度、坡度與崩塌地分佈圖

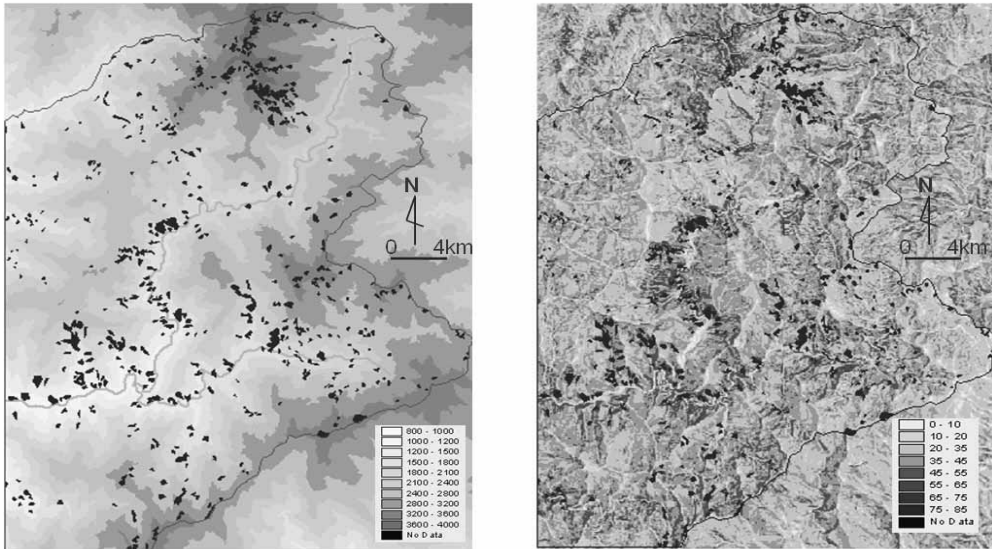


圖 12 高屏溪地形高度、坡度與崩塌地分佈圖

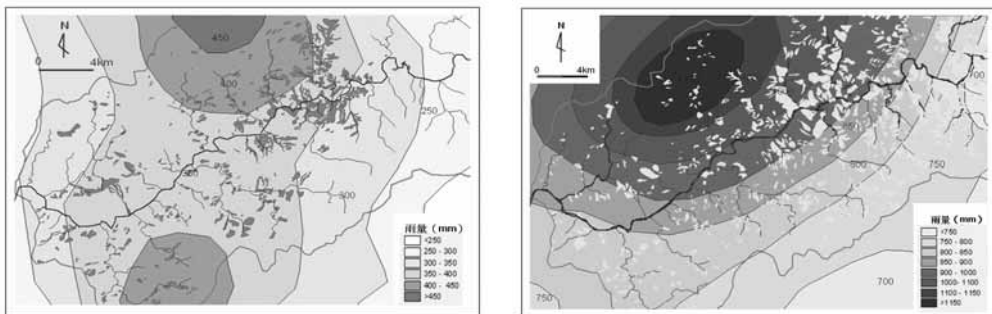


圖 13 大甲溪桃芝(左)、敏督利颱風(右)雨量與崩塌地分佈圖

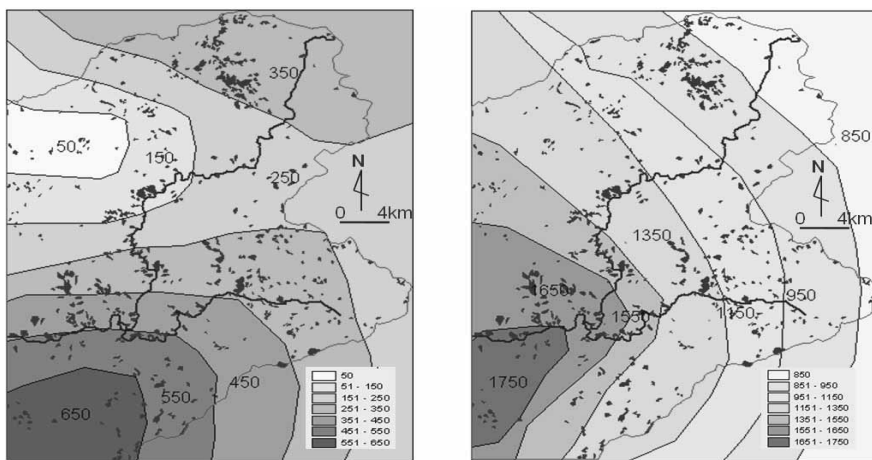


圖 14 高屏溪桃芝(左)、敏督利颱風(右)雨量與崩塌地分佈圖

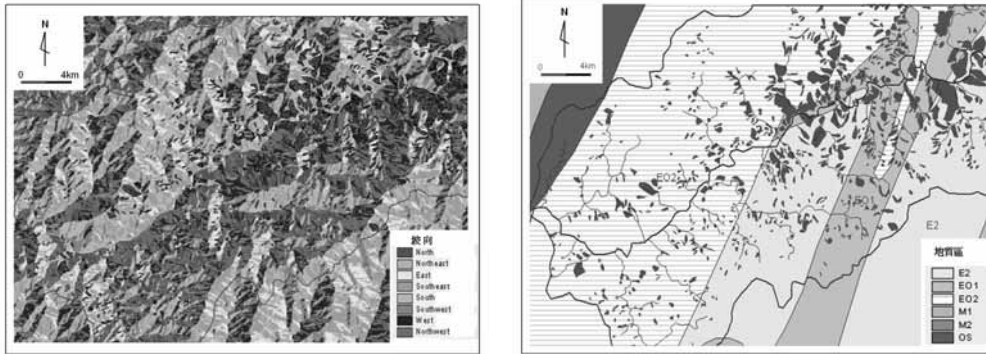


圖 15 大甲溪敏督利颱風時期坡向（左）與地質區（右）之崩塌地分佈圖

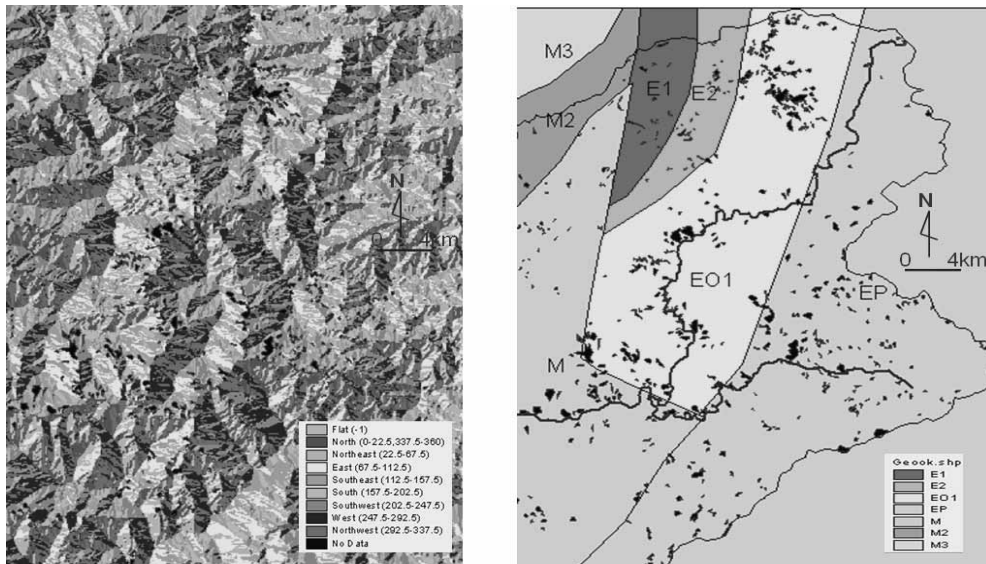


圖 16 高屏溪敏督利颱風時期坡向（左）與地質區（右）之崩塌地分佈圖

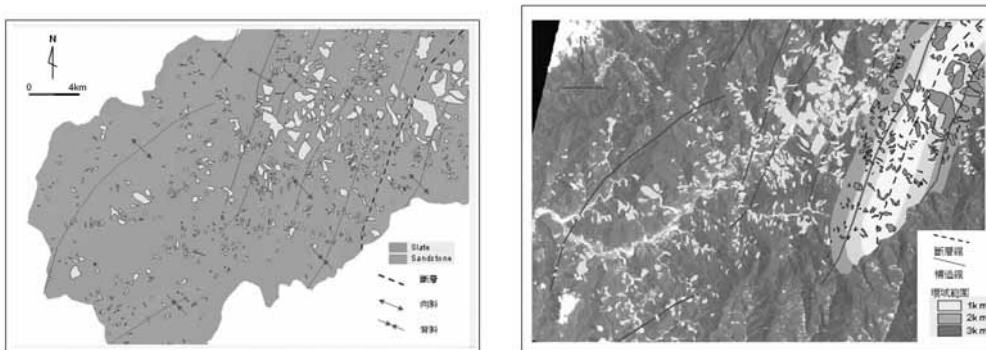


圖 17 大甲溪地質構造線、斷層線與崩塌地之環域分析圖

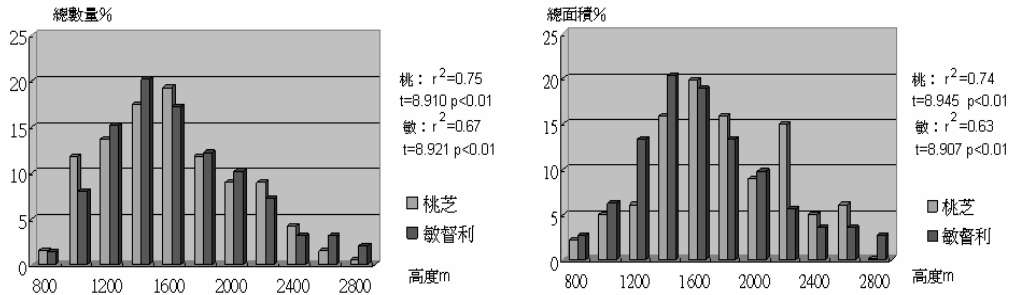


圖 18 大甲溪各級高度的崩塌個數 (左) 與崩塌面積 (右) 統計圖

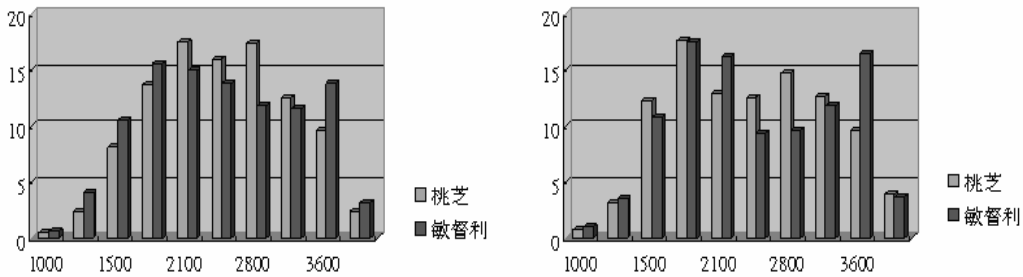


圖 19 高屏溪各級高度的崩塌個數 (左) 與崩塌面積 (右) 統計圖

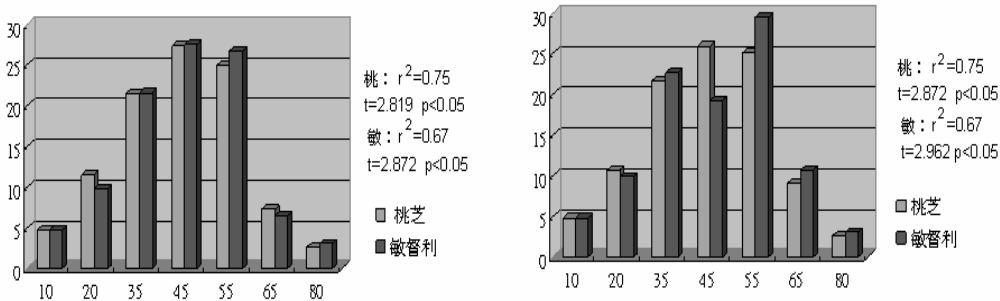


圖 20 大甲溪各級坡度的崩塌個數 (左) 與崩塌面積 (右) 統計圖

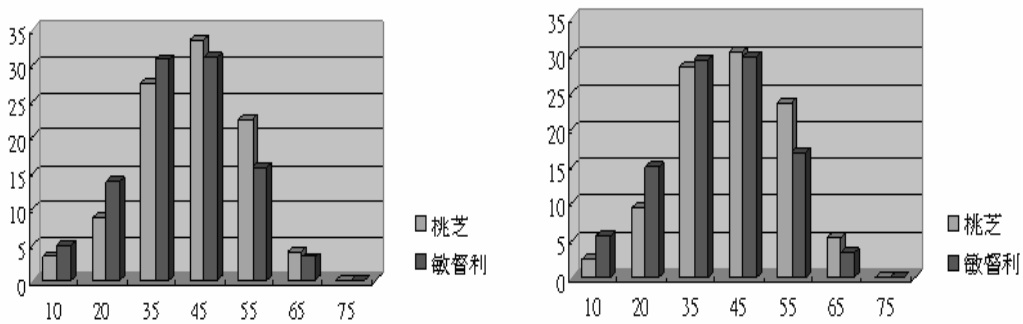


圖 21 高屏溪各級坡度的崩塌個數 (左) 與崩塌面積 (右) 統計圖

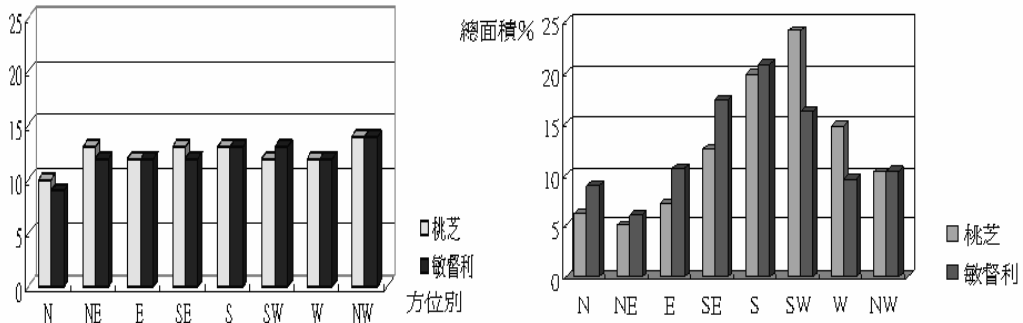


圖 22 大甲溪(左)與高屏溪(右)各級坡向的崩塌面積統計圖

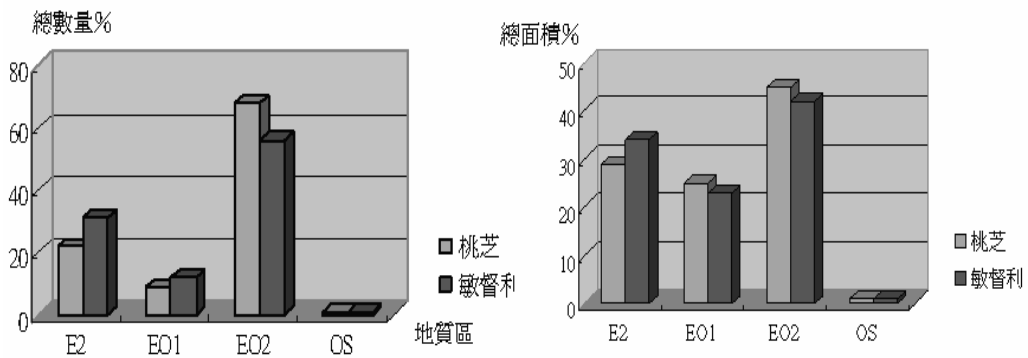


圖 23 大甲溪各地質區之崩塌數(左)及崩塌面積(右)統計圖

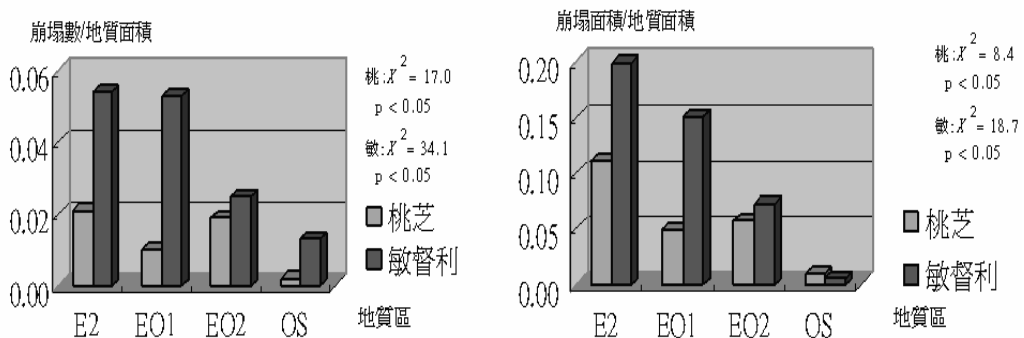


圖 24 大甲溪各地質區之崩塌頻(左)及崩塌密度(右)統計圖

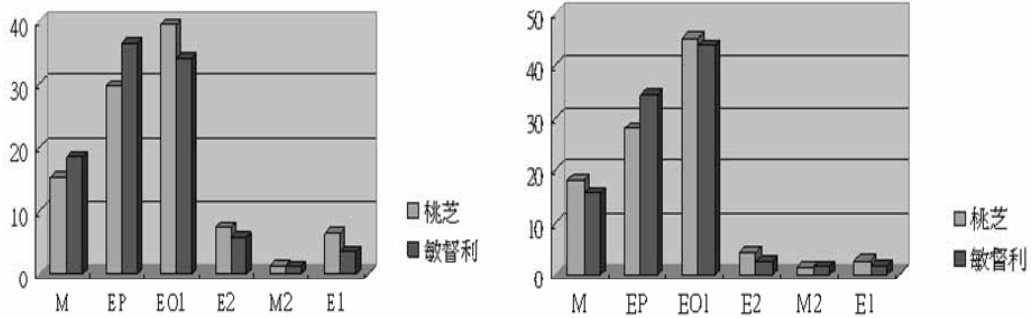


圖 25 高屏溪各地質區之崩塌數 (左) 及崩塌面積 (右) 統計圖

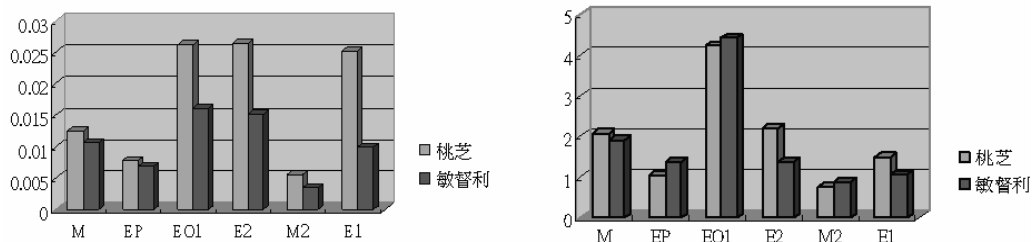


圖 26 高屏溪各地質區之崩塌頻 (左) 及崩塌密度 (右) 統計圖

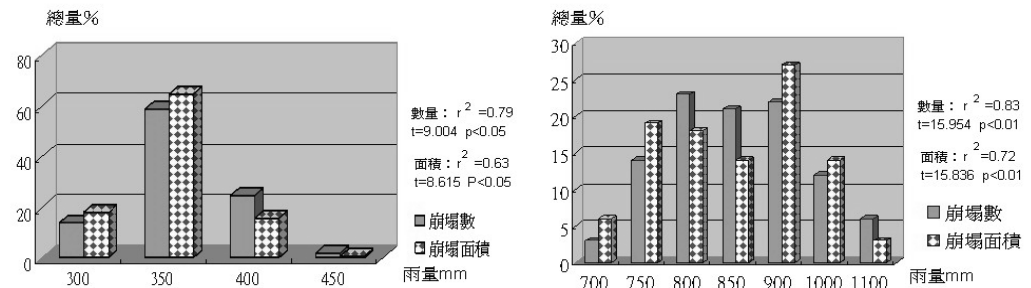


圖 27 大甲溪桃芝 (左) 與敏督利 (右) 各級等雨量區之崩塌數及崩塌面積統計圖

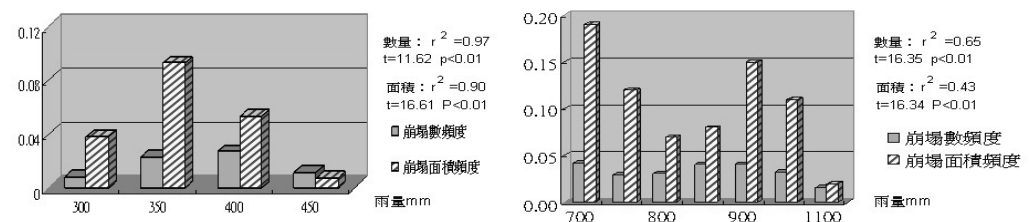


圖 28 大甲溪桃芝 (左) 與敏督利 (右) 各級等雨量區之崩塌數頻度及崩塌面積密度統計圖

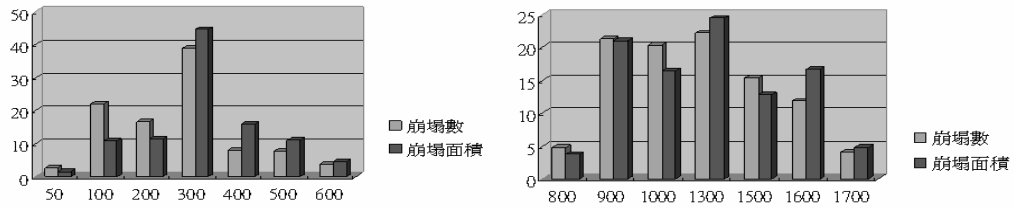


圖 29 高屏溪桃芝（左）與敏督利（右）各級等雨量區之崩塌數及崩塌面積統計圖

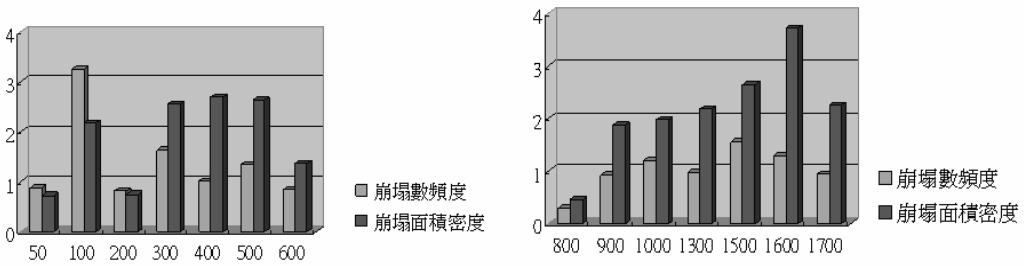


圖 30 高屏溪桃芝（左）與敏督利（右）各級等雨量區之崩塌數頻度及崩塌面積密度統計圖

Application of Formosat-II Satellite Image to Analyze the Landslide Hazard: A compared Case Study of Tachia and Kaoping Upriver Basins

Cheng-Liang Chang*

ABSTRACT

The purpose of this study is to analyze the landslide hazard after the Toraji and Mindulle Typhoon events in Tachia and Kaoping upriver basin by using remote sensing and GIS techniques. On the basis of the satellite images saving lots of time and efficient in field measurements, this paper begins at using the landslide data of SWCB, supervised classification and NDVI index of remote sensing program from FORMOSAT-2 satellite images to interpret the impact of this sensitive area from these two typhoon events. It comes with combining the GIS technology and statistic processing to examine not only the distribution of landslides but also their relationships between terrain characters, precipitation, geology and human development factors. The result shows that it has positive correlation under some threshold range with these factors. Finally, the result of this research may support to landslide hazards risk analysis as well.

Keywords: Remote sensing, GIS, landslides

* Associate Professor, Department of Social Studies Education, Taipei Municipal University of Education

