



GIS與RS於崩塌地空間分布之應用

文、圖 ■ 黃漢淨 ■ 林務局東勢林區管理處技士

一、前言

台灣為一多高山且平地少之島嶼，地質較為脆弱而不穩定，地震、颱風及暴雨之肆虐，以及丘陵、山坡地濫墾等人為活動，容易導致水土保持不良，甚至造成山區大規模之土石災害；近年來由於衛星遙測資訊科技之進步，在影像資料之時空解析力提高，使得遙感探測技術應用於崩塌地之空間分布調查，其資料之應用已深具時效性、可行性與實用性，而地理資訊因具備空間資料之存取、更新、分析及展示能力，已受到相當程度之肯定。

隨著航測技術之日新月異，航空照片及其影像檔的品質不斷提升，近年來已從黑白發展成彩色航空照片，判釋閱讀趨易，亦可普遍取得，故在各個學術或行動機關及公私部門使用愈來愈廣，其用途亦趨多元，林務局農林航空測量所將航空測量技術應用在1999年集集大地震所引發崩塌地範圍之判釋，並將判釋結果建立GIS，供政府對該災害發生後之應變、決策使用，適時的提供了災區的航空照片，使得社會各界對於航空照片需求日殷。遙感探測技術（Remote Sensing，RS）能快速獲取大面積地表資料，可節省大量人力、物力、時間與

經費，因而廣泛應用於災害調查評估、環境監測與土地利用變遷等，而在崩塌地判釋方面，遙感探測相關技術為一經濟且有效率的崩塌地判釋調查方法。

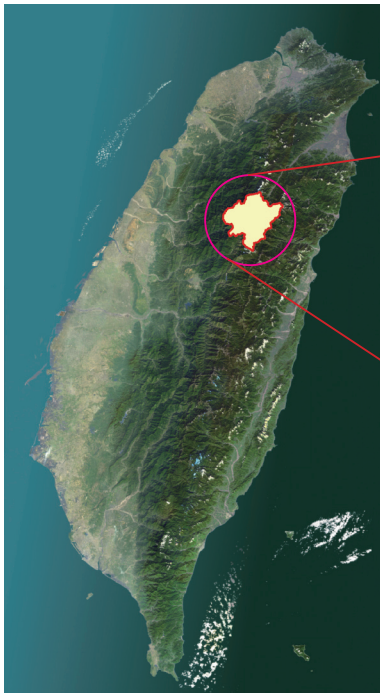
今日，整個德基水庫集水區背負著林業經營、水資源利用、原住民與果農生計的照顧、觀光遊憩、生態保育等多目標利用的任務，期間所形成的利益衝突不斷發生，亟待一合理的解決方案。為因應政府政策與期望，本研究以德基水庫集水區為分析單元，針對崩塌地發生之地區與其自然環境的關係前提下提出探討，利用林務局農林航空測量所2002年之航照正射影像進行崩塌地位置數化，並以數值地形模型（Digital Terrain Model，DTM）所推導之坡度、坡向、海拔高等地形因子及河流、道路、植生、地質等地文資料，運用地理資訊系統（Geographical Information System，GIS），針對研究區內崩塌地的空間分布進行分析，並取得崩塌地之地文、地形因子，探討崩塌之影響機制及運用Logistic二元迴歸的多因子統計方法推導分析崩塌地潛感分布，期能有助於掌握崩塌發生之詮釋空間資訊，進而建置完整之崩塌地

空間分布資料庫，以作為後續相關研究之基礎及往後相關單位施政參考。

二、研究區域概述

(一) 地理環境位置

德基水庫位於大甲溪上游，集水區面積約60,167 ha，位置約在台灣中部台中市東偏北約100 km的中央山脈中，為國內第四大水庫。轄域內行政區分屬台中縣和平鄉、宜蘭縣大同鄉、南投縣仁愛鄉及花蓮縣秀安鄉（如圖1），其中以和平鄉所佔面積最為廣闊，有40,356 ha，佔總面積83%，其次為南投縣仁愛鄉，佔總面積16%，最後為宜蘭縣大同鄉和花蓮縣秀安鄉，佔總面積1%。其中國有林班地為57,547 ha，除山地保留地與農場地較為平坦外，一般大多為陡坡地。



(二) 氣象水文

本區之氣候因受海拔高之影響相差懸殊變異甚，山地丘陵多南北走向，由平地海拔至3,855 m之雪山，氣溫隨著高度上升而遞減，形成熱、暖、溫、寒四種氣候型，本區年平均氣溫15.83°C，早晚溫差大，年平均降雨量為2,132.9 mm，但是在空間上分布並不一致，在合歡山附近有一降雨中心，其年雨量超過3,000 mm，較其他地區為高。

雨量在時間上分布亦不均：夏季半年（4~9月）降雨量為1,454 mm，佔年雨量68.2%，自11月至翌年的2月為乾季，雨量僅及年雨量之18.15%（如圖2）。降雨量多寡與地勢也有一定的相關性，主要受台灣地區梅雨與颱風季節及本區地形所影響，使得本地區春夏季之雨量豐沛，秋冬季則雨量甚少。

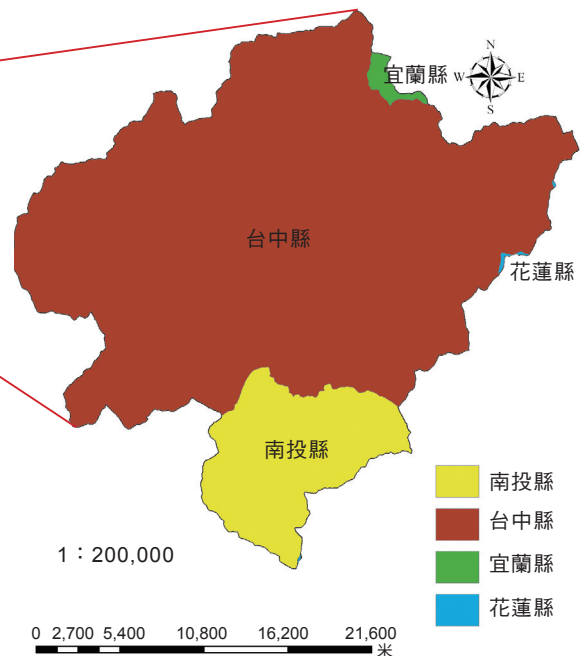


圖1 德基水庫集水區地理位置及行政區域圖。

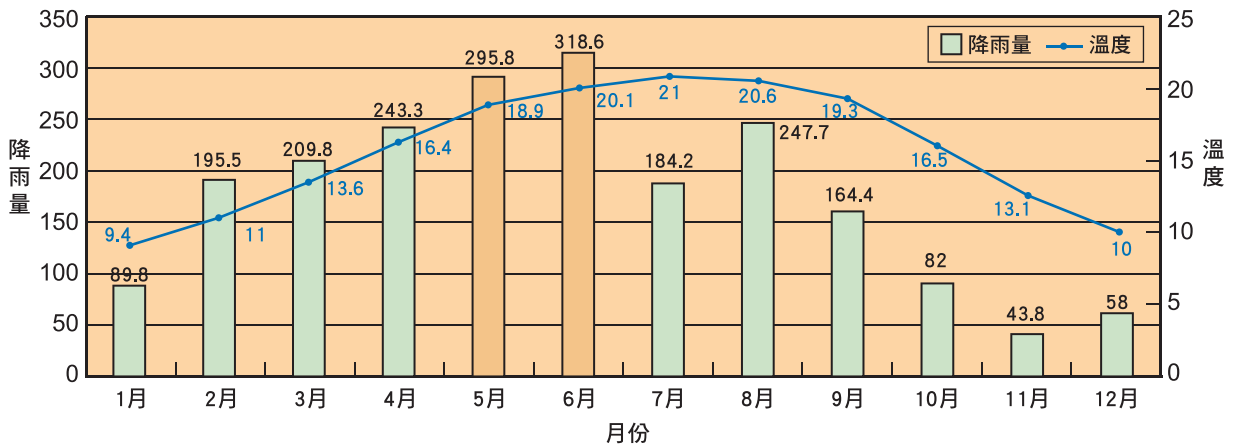


圖2 松茂站平均溫度與降雨量統計圖（1971~2004年）。

（三）地形、地質

本集水區一般地勢由南向北遞降，終沒入德基水庫，沿大甲溪兩岸有呈東北—西南走向，本區位於中央山脈及支脈合抱屬雪山支系西南二個分岐中之南岐，起自雪山（興隆山）向東經品田山、池有山、桃山、喀拉業山，止於蘭陽溪、東側部分屬中央山脈，由南湖大山向西南延伸經南湖南山，中央尖山、無明山、鈴鳴山、畢祿山至合歡山東峰，構成大甲溪與立霧溪事業區之分水嶺。

集水區內之地質屬於第三紀早期之始新世與漸新世之岩層，岩層主要係由硬頁岩、板岩、石英岩、砂岩、頁岩及混質粉砂岩所組成，本區域之地質構造約與台灣之地質構造線一致，成東北至西南走向，岩層分布雖較單純，但易受斷層及褶皺之影響。中央山脈地質區內大部分的沈積物是深灰或黑灰色紋理良好的硬頁岩、板岩以及千枚岩，土壤母質來源為千枚岩物質或千枚岩的風化物質，土類則大都為灰化土或板岩暗色崩積土。由於區域性劈理、節理構造極為發達，岩層易風化破碎，

加上地層傾斜與源於此區域之溪流也多屬陡急的坡降，故造成本區內劇烈的河川侵蝕以及頻繁的崩塌現象。

（四）海拔

地勢為林地各項施業的重要因子，海拔高度更是影響不同物種生存的要件。綜觀本區各海拔高度所佔的面積位於海拔1,000 m~2,000 m範圍內約有25%的面積，約有38%的面積是位於海拔2,000 m~3,000 m範圍內，3,000 m以上約有37%的面積。

（五）溪流、道路、交通

大甲溪發源於中央山脈的第三高山南湖大山，主要溪流有七家灣溪、南湖溪、合歡溪、志樂溪等，將本集水區概分為東、西兩區域，為台灣地區水量最豐沛之主要河川之一（如圖3）。下游地區開發較早人口密集，但上游地區地勢陡峻、山高谷深。本區交通網路系統主要是由台八線及台七甲線公路橫貫其內，配合林道系統、產業道路、農場道路等（如圖4）。921大地震雖未對本區造成大規模的崩塌，但對於主要聯外道路台八線

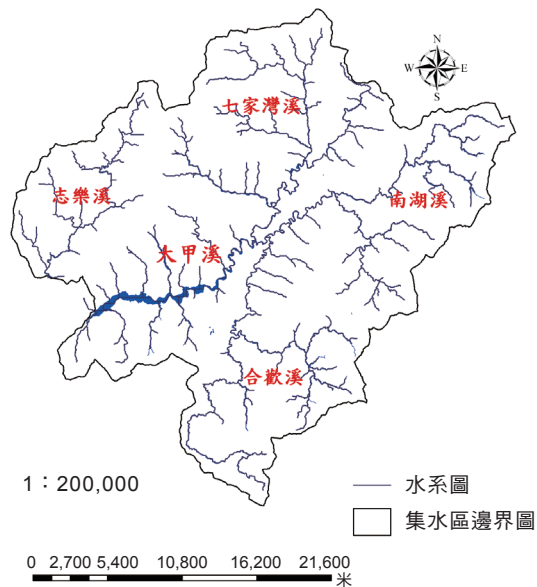


圖3 德基水庫集水區水系分布圖。

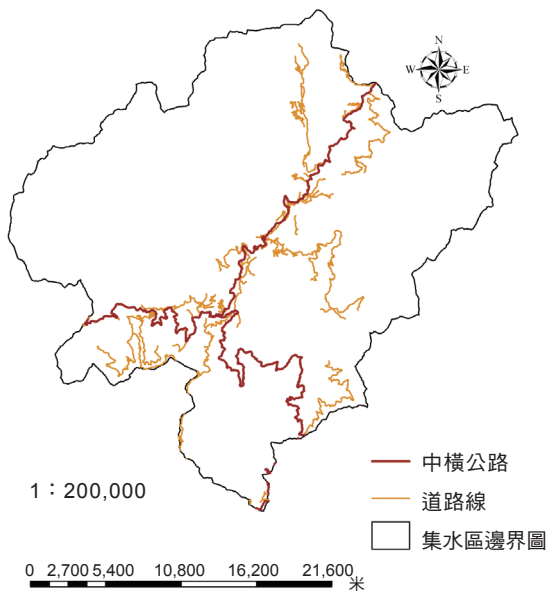


圖4 德基水庫集水區道路分布圖。

(中橫公路)，谷關到德基路段嚴重受損，尤其敏督利颱風後，對於區內的農產及觀光等產業更造成相當大之衝擊。

三、材料與方法

台灣地區對於崩塌之研究已有30餘年歷史，對於崩塌現況的調查，農牧局（現為水土保持局）及農林航空測量所，完成了全台崩塌地的調查（李三畏，1985），其基本資料在集水區崩山治理上已有相當成績。本研究對象主要是探討如何從數位航測資料中抽取出崩塌地的空間分布、空間關連性及隱含的空間知識，因此本研究以數位航照正射影像為資料來源，從其中抽取崩塌地的空間資料，並從空間面向進行剖析。

(一) 崩塌地判釋

將具有座標系統之航照正射影像匯入ArcGIS軟體後，利用ArcGIS軟體所提供之繪圖功能數化正射影像之崩塌地分布，其影像解析度介於傳統立體鏡判釋與數值航測立體判釋之間，判釋準確度在中大型崩塌地部分較佳，小型崩塌地易與人造物混淆，整體而言以該方法進行崩塌判釋之速度較快，尤其近年來農林航空測量所航拍影像已由彩色代替黑白，利用彩色航照正射影像對崩塌地的判釋效果更優於黑白航照正射影像。本研究配合ArcGIS軟體而取得崩塌地所在位置及面積，以了解其崩塌地之環境特性，進而分析崩塌潛勢區域。

(二) 崩塌分析因子之選擇

利用ERDAS Imagine影像處理軟體，裁切截取集水區範圍之DTM（如圖5），影響崩塌之因子眾多，必須從眾多的地理因子找出具代表性之主要地理因子進行比較分析，本研究根據歷史文獻中經常被採用之因子，

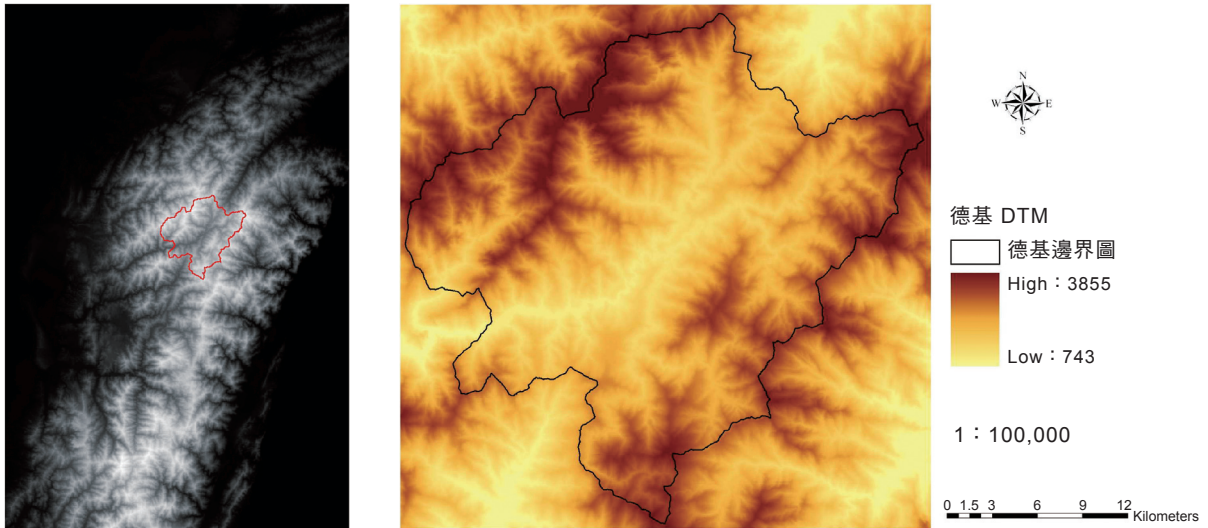


圖5 數值地形模型圖。

即選擇以自然環境因子中坡度、坡向、植被、地質、高程、道路遠近、河流等7項因子，做為崩塌潛感分布之分析因子。由於各地區之地形環境不同，前人研究之選擇因子亦有差別，為了解所選擇之因子是否適用於研究地區之崩塌潛勢分析，事先需進行差異性檢定，以了解此7項因子對崩塌是否有明顯的差異性。

(三) Logistic迴歸

研究崩塌潛感的方法通常取決於可獲得的相關資料品質得好壞及量的多寡，一般可分為質性法 (qualitative method) 及定量法 (quantitative method) (Lulseged and Hiromitsu, 2005)。常見應用於建立崩塌機率的統計方法包含多變量統計之判別分析法及 Logistic迴歸模型；利用 Logistic迴歸統計方法建立崩塌發生比與獨立因子間之最佳配適方程式，如 Grogory and John (2003) 及 Lulseged and Hiromitsu (2005) 等。分析流域空間是否發生崩塌，若是，則反應變數定義為「1」，

否則為「0」，因此分析之反應變數屬於二元之分類變數。而在分析分類變數時，通常採用的統計方法是對數線性模型，本研究即採對數線性模型的一種特殊形式 Logistic二元迴歸的多因子統計方法，分析德基水庫集水區之崩塌潛在危險度。

一般而言，Logistic迴歸模型公式為 (Grogory and John, 2003)：

$$P(Y_i=1) = [1 + \exp(\alpha + X_i\beta)]^{-1} \dots (1)$$

(1) 式中， $P(Y_i=1)$ 表崩塌事件發生之條件機率， X_i 自變數列向量， α 及 β 分別為迴歸截距及迴歸係數之行向量，若 $p = P(Y_i=1)$ ，則上式可改寫成：

$$\ln(p/(1-p)) = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n \dots (2)$$

式中， $p/(1-p)$ 為事件發生與不發生之機率比，稱為事件發生比 (odds)， α 為截距， $\beta_1, \beta_2 \dots \beta_n$ 為迴歸係數。Logistic

迴歸模型係建立崩塌事件對數發生比 $\ln(p/(1-p))$ 與各項因子間之關係，因此可由各項影響因子推估流域空間任一位置之崩塌發生機率 P 。此一模型推估之發生機率被限制於 0 與 1 之間，機率數愈接近 1，表示預測崩塌發生之可能性愈大。

四、結果與討論

各影響因子經由 ArcGIS 軟體處理建立所需圖層資料庫，處理後的各項因子資料為向量式，並套疊崩塌地分布圖（如圖 6），以計算出各影響因子中每類單元的崩塌比，崩塌比係計算各影響因子每類單元內之崩塌所佔面積百分比，接著再將每類因子單元之崩塌面積百分比除以加總所有類別因子單元崩塌面積百分比，即得每類因子單元之崩塌比。並依崩塌比之大小重新分類，製作建立各影響因子分類後之圖層資料庫。

（一）崩塌地數化

本區之崩塌地分布係利用林務局農林航空測量所，2002 年拍攝之彩色航照正射影像判釋，共取得 112 幅，經利用 ArcGIS 軟體進行數化，本區域內之崩塌地計有 1,149 處，面積 1,506.64 ha，約佔集水區面積 2.5%，崩塌地分布如圖 6 所示。

（二）各項因子崩塌分布特性

本研究選定之 7 項影響崩塌之因子，其在流域空間內均有不同的分布特性，而其原始數值資料為向量式圖層。為了圖層套疊及分析計算之便，將原始的向量式資料（vector form data）轉化成網格化資料（rasterized form

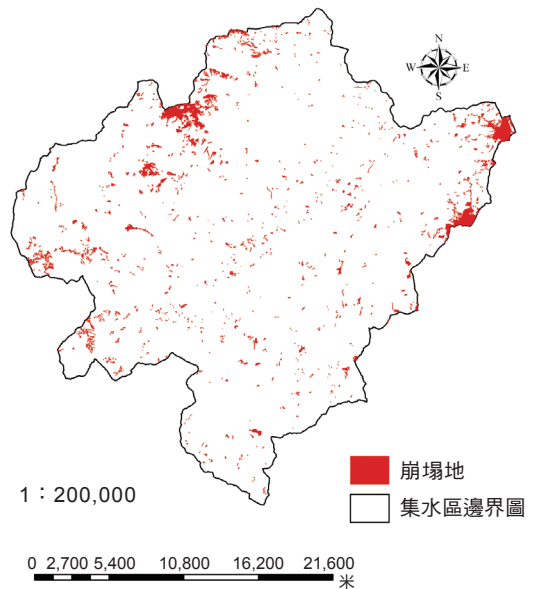


圖 6 崩塌地分布位置圖。

data），網格大小以本研究所採用數值地形模型 DTM 之解析度 $40\text{ m} \times 40\text{ m}$ 為標準。各因子之屬性類別及處理情形分述如下：

1. 坡度因子崩塌分布特性

坡度資料的取得係由 $40\text{ m} \times 40\text{ m}$ 數值地形模型 DTM，經 ArcGIS 軟體之坡度計算程式處理，處理後的坡度為向量式資料，並套疊崩塌地分布圖，以計算出各類坡度單元的崩塌比。本區坡度介於 $0^\circ \sim 80^\circ$ 間，本研究依山坡地土地可利用限度分類標準，將其坡度分布區分為 6 類，各類別之崩塌面積及崩塌比（如表 1），研究明顯發現崩塌地主要分布在坡度五級坡及六級坡，有最大值的崩塌比及筆數面積。二級坡亦佔有頗高的崩塌比，顯示該區域可能還存在有不同的直接因子而非單一坡度因子。

2. 地質因子崩塌分布特性

根據經濟部中央地質調查所測繪比例尺



表1 德基水庫集水區坡度分類及其崩塌比

| 類別 | 坡度 (%) | 分類面積 (ha) | 崩塌面積 (ha) | 崩塌百分比 (%) | 崩塌比 (%) | 筆數 |
|----|--------------|-----------|-----------|-----------|---------|-------|
| 1 | 一級坡 (0~5%) | 524.80 | 5.86 | 1.12 | 6.73 | 14 |
| 2 | 二級坡 (5~15%) | 2,038.75 | 60.71 | 2.98 | 17.94 | 53 |
| 3 | 三級坡 (15~30%) | 3,536.67 | 72.23 | 2.04 | 12.31 | 108 |
| 4 | 四級坡 (30~40%) | 5,499.33 | 29.25 | 0.53 | 3.20 | 42 |
| 5 | 五級坡 (40~55%) | 4,681.14 | 360.39 | 7.70 | 46.39 | 139 |
| 6 | 六級坡 (55% 以上) | 43,886.25 | 978.20 | 2.23 | 13.43 | 793 |
| 合計 | | 60,166.94 | 1,506.64 | 16.60 | | 1,149 |

表2 德基水庫集水區地質分類及其崩塌比

| 類別 | 地質 | 分類面積 (ha) | 崩塌面積 (ha) | 崩塌百分比 (%) | 崩塌比 (%) | 筆數 |
|----|------------------|-----------|-----------|-----------|---------|-------|
| 1 | 硬頁岩、板岩、千枚岩、夾砂岩 | 26,668.40 | 335.62 | 1.26 | 3.96 | 405 |
| 2 | 板岩、千枚岩、夾砂岩 | 18,038.80 | 328.36 | 1.82 | 5.73 | 327 |
| 3 | 石英岩、質砂岩、板岩、石墨質頁岩 | 9,536.37 | 324.31 | 3.40 | 10.71 | 210 |
| 4 | 硬頁岩、硬砂岩、板岩 | 1,672.51 | 73.18 | 4.38 | 13.78 | 58 |
| 5 | 板岩、千枚岩、夾石英岩、質砂岩 | 2,090.94 | 187.35 | 8.96 | 28.22 | 100 |
| 6 | 硬砂岩、夾炭質、板岩 | 2,159.92 | 257.82 | 11.94 | 37.59 | 49 |
| 合計 | | 60,166.94 | 1,506.64 | 31.75 | 100 | 1,149 |

1:250,000的地質圖，利用GIS工具套疊崩塌地分布圖將研究區域分為6類地質單元，並計算出各類地質單元的崩塌比（如表2），大部分的崩塌地主要分布在硬砂岩、夾炭質、板岩及千枚岩、夾石英岩、質砂岩的地質中，較大的崩塌面積及崩塌比。由於本區之地層主要由黑色至深灰色板岩、千枚岩及硬頁岩和深灰色砂岩互層所組成，砂岩的孔隙率高，滲透力大較具透水性，而硬砂岩的透水性甚差，為不透

水層，因此由於二者的透水性差異，易形成崩塌或滑動的界面，進而造成邊坡的不穩定。

3 · 高程因子崩塌分布特性

高程資料由40m×40m數值地形模型（DTM）獲得，研究區內高程範圍介於743m~3,855m之間，本研究依其崩塌區位與高程分布，區分為6個類別（如表3），由表3發現崩塌地的高程分布，大部分位於高程

表3 德基水庫集水區高程分類及其崩塌比

| 類別 | 高程 | 分類面積 (ha) | 崩塌面積 (ha) | 崩塌百分比 (%) | 崩塌比 (%) | 筆數 |
|----|-------------|-----------|-----------|-----------|---------|-------|
| 1 | <1,500 | 4,950.44 | 28.22 | 0.57 | 3.96 | 30 |
| 2 | 1,500~2,000 | 9,900.89 | 661.17 | 6.68 | 46.33 | 262 |
| 3 | 2,000~2,500 | 9,900.89 | 323.47 | 3.27 | 22.67 | 344 |
| 4 | 2,500~3,000 | 12,947.32 | 206.52 | 1.60 | 11.07 | 293 |
| 5 | 3,000~3,500 | 12,947.31 | 257.13 | 1.99 | 13.78 | 181 |
| 6 | >3,500 | 9,520.09 | 30.13 | 0.32 | 2.20 | 39 |
| 合計 | | 60,166.94 | 1,506.64 | 14.41 | 100 | 1,149 |

2,000 m以上，此為高海拔地區，人跡罕至，崩塌比較大應可歸咎於自然因素（如溫差、風速等條件而有較大的風化作用），而高程範圍介於1,500~2,000 m，屬中海拔地區，相較於高海拔地區有較高的開發密度。高程因子對於崩塌的影響，表現在中海拔可能受其他不同的因子所影響，而非高程因子本身。

4 · 植生因子崩塌分布特性

植生資料來源係由林務局農林航空測量所製作，工研院數化而來，經套疊崩塌地後，將研究區域分為7個類別（如表4）。經研究發現崩塌地、岩盤、可種植裸露地分類中有高崩塌比，與許多崩塌的案例統計結果類似，

舊有崩塌地再度發生崩塌的可能性較從未發生過崩塌的邊坡為高。陳信雄、李錦育（1986）研究野外滲透試驗結果發現，在不同植生覆蓋下，土壤滲透仍以森林地最高，裸露地最差，從研究結果顯示森林覆蓋良好之地區對土壤之保護仍有一定之功效。而表4中在農業使用地（果園、蔬菜、茶園）亦佔有7.33%之比例，顯示農業使用對崩塌仍有所影響。

5 · 坡向因子崩塌分布特性

坡向資料係由40 m×40 m數值地形模型（DTM）獲得，經ArcGIS之坡向計算程式處理而將全區共分為9個類別，研究地區之崩塌地與坡向之關係（如表5），分析結果發現崩塌比在坡向的分布大部分位於西北、東南坡向。顯示崩塌地受坡向之影響，與台灣山脈地形為西南—東北走向居多，有不謀而合趨勢，而本研究地區之地形走向亦屬西南—東北走向，受到地形上物理環境之影響，使屬順向坡的西北、東南坡向遭受天災侵襲時，

（圖片／高遠文化 攝影／游忠霖）



表4 德基水庫集水區植生分類及其崩塌比

| 類別 | 植生 | 分類面積 (ha) | 崩塌面積 (ha) | 崩塌百分比 (%) | 崩塌比 (%) | 筆數 |
|----|---------|-----------|-----------|-----------|---------|-------|
| 1 | 蔬菜、茶園 | 361.77 | 2.13 | 0.59 | 1.86 | 5 |
| 2 | 草生地 | 3,343.21 | 26.28 | 0.79 | 2.49 | 32 |
| 3 | 造林地 | 10,806.63 | 124.83 | 1.16 | 3.66 | 96 |
| 4 | 果園 | 3,453.98 | 59.69 | 1.73 | 5.47 | 73 |
| 5 | 天然林 | 39,734.58 | 911.53 | 2.29 | 7.27 | 785 |
| 6 | 河流 | 857.31 | 23.39 | 2.73 | 8.64 | 38 |
| 7 | 崩塌地、裸露地 | 1,609.47 | 358.79 | 22.29 | 70.61 | 120 |
| 合計 | | 60,166.94 | 1,506.64 | 31.57 | 100.00 | 1,149 |

表5 德基水庫集水區坡向分類及其崩塌比

| 類別 | 坡向 | 分類面積 (ha) | 崩塌面積 (ha) | 崩塌百分比 (%) | 崩塌比 (%) | 筆數 |
|----|----|-----------|-----------|-----------|---------|-------|
| 1 | 平地 | 1,508.42 | 8.58 | 0.57 | 2.72 | 13 |
| 2 | 東 | 7,157.98 | 96.29 | 1.35 | 6.42 | 91 |
| 3 | 西南 | 7,164.29 | 127.58 | 1.78 | 8.50 | 157 |
| 4 | 東北 | 6,886.01 | 153.27 | 2.23 | 10.63 | 29 |
| 5 | 南 | 7,155.07 | 163.68 | 2.29 | 10.92 | 181 |
| 6 | 北 | 7,369.19 | 176.51 | 2.40 | 11.43 | 215 |
| 7 | 西 | 7,805.98 | 188.73 | 2.42 | 11.54 | 189 |
| 8 | 東南 | 7,905.86 | 231.20 | 2.92 | 13.96 | 146 |
| 9 | 西北 | 7,214.14 | 360.80 | 5.00 | 23.88 | 128 |
| 合計 | | 60,166.94 | 1,506.64 | 20.95 | 100.00 | 1,149 |

則比其他坡向較易造成崩塌。

6. 溪流因子崩塌分布特性

本研究取水系之線性向量式資料圖層，以左右間格100 m畫分3個環域為分析單元，套疊崩場地後，其崩場地與水系之關係（如

表6）。研究發現愈近溪流則有崩塌增加之趨勢，顯示水系因子對崩塌之影響除了水流掏刷坡址效應外，尚有河谷解壓弱化兩岸邊坡岩體強度之影響。

表6 德基水庫集水區水系環域分類

| 類別 | 崩塌面積 (ha) | 水系環域 (m) | 筆數 |
|----|-----------|----------|-----|
| 1 | 99.20 | 300 | 90 |
| 2 | 272.62 | 200 | 134 |
| 3 | 604.89 | 100 | 438 |

表7 德基水庫集水區道路環域分類

| 類別 | 崩塌面積 (ha) | 道路環域 (m) | 筆數 |
|----|-----------|----------|-----|
| 1 | 36.16 | 300 | 56 |
| 2 | 64.59 | 200 | 70 |
| 3 | 377.35 | 100 | 222 |

7. 道路因子崩塌分布特性

本研究取道路之線性向量式資料圖層，以間格100 m區分3個環域為分析單元，經套疊崩塌地後，其崩塌地與道路之關係（如表7）。研究表示愈近道路則發生崩塌之情形愈高，顯示道路因子受人為開發影響，修建

產業道路會改變坡腳地形，同時亦改變邊坡的排水，而造成邊坡的不穩定。

（三）崩塌因子的分析

各因子圖層依上述方法處理後，利用ArcGIS軟體將所由圖層套疊在一起，將流域空間每一區域就各因子之不同類別分門別類，並利用崩塌分布圖層，流域空間任一區域發生崩塌者，標示為「1」，否則標示為「0」，以作為Logistic迴歸分析之樣本。

本研究既已將影響崩塌之各因子依崩塌比大小區分為若干類別，因此，可直接利用這些獨立變項以建立Logistic迴歸模型，藉SPSS（10.1版）之迴歸統計，崩塌地為依變項，坡度、高程、地質、坡向、植生、河流、道路等因子為共變量，分析各因子之發生比（如表8）所示，其中以河流4.813之影響最大，道路1.42次之，高度0.719影響最小。顯著性統計檢驗結果發現此7項因子對

表8 Logistic 迴歸模型中各因子之迴歸係數

| | 係數 (B) | 標準差 (S.E) | 統計量 (Wald) | 自由度 | 顯著性* (p) | 發生比Exp (B) |
|----|--------|-----------|------------|-----|----------|------------|
| 坡向 | -0.013 | 0.005 | 6.105 | 1 | .013* | 0.988 |
| 地質 | 0.242 | 0.008 | 852.75 | 1 | .000* | 1.273 |
| 高度 | -0.329 | 0.009 | 1402.6 | 1 | .000* | 0.719 |
| 坡度 | 0.092 | 0.01 | 83.921 | 1 | .000* | 1.096 |
| 植生 | 0.198 | 0.009 | 537.691 | 1 | .000* | 1.22 |
| 道路 | 0.351 | 0.021 | 291.989 | 1 | .000* | 1.42 |
| 河流 | 1.571 | 0.017 | 8,360.831 | 1 | .000* | 4.813 |
| 常數 | -2.722 | 0.076 | 1,288.398 | 1 | .000* | 0.066 |



表9 德基水庫集水區農耕地分類及其崩塌比

| 類別 | 農耕地 | 分類面積 (ha) | 崩塌面積 (ha) | 崩塌百分比 (%) | 整體崩塌百分比 (%) |
|----|-------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| 1 | 林班承租地 | 642.36 | 12.47 | 1.94 | |
| 2 | 農場地 | 1,388.3 | 32.67 | 2.35 | 17.98 |
| 3 | 保留地 | 2,497.23 | 225.71 | 9.04 | |
| 4 | 其他 | 5,5639.05 | 1235.79 | 2.22 | 82.02 |
| 合計 | | 60,166.94 | 1,506.64 | 2.50 | 100 |

崩塌均有顯著性 ($P < 0.05$) 的影響，因此本研究以此7項因子進行分析。

(四) 崩塌潛感分布

Logistic迴歸模型係建立崩塌事件對數發生比 $\ln(p/(1-p))$ 與各項因子間之關係，因此可由各項影響因子推估流域空間任一位置之崩塌發生機率 P ，此一模型推估之發生機率被限制於0與1之間，機率數愈接近1，表示預測崩塌發生之可能性愈大。利用ArcGIS將7幅圖層進行比較套疊取得各網格之分級圖後，運用空間分析計算公式得出崩塌機率圖。

$$\ln(p/(1-p)) = -2.722 + 1.571X_1 \text{ (河流)} + 0.351X_2 \text{ (道路)} + 0.198X_3 \text{ (植生)} + 0.092X_4 \text{ (坡度)} - 0.329X_5 \text{ (高度)} + 0.242X_6 \text{ (地質)} - 0.013X_7 \text{ (坡度)}$$

經換算後得知全區的崩塌機率值介於0.0138~0.9967之間。此外，崩塌機率圖以等間格法將崩塌機率分為4個類別(分別標記為低潛感區、中潛感區、高潛感區及極高潛感區)，則繪製崩塌潛感分布圖(如圖7)所示。經研究發現高、極高潛感地區幾乎沿著水系發展或位於水系源頭處，佔全區面積約

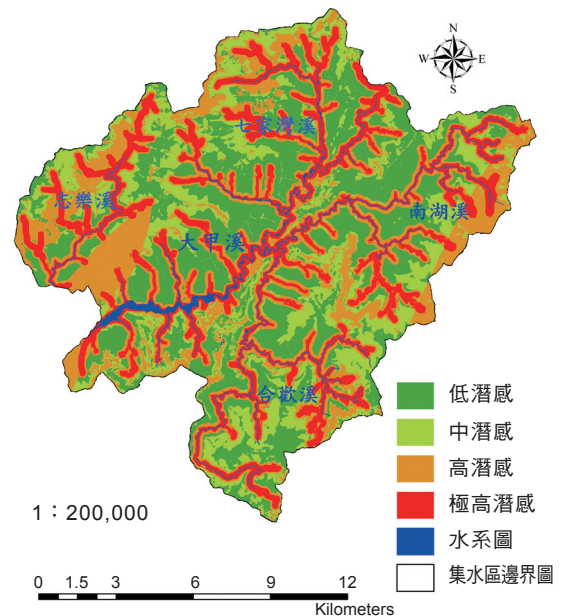


圖7 研究區之潛感分布圖。

50%，顯見本研究區域之崩塌似乎為水系所控制。再經套疊農業使用地圖後發現，雖農耕地發生崩塌僅佔全區崩場地18% (如表9)，但其大都位於高、極高潛感地區內，佔有56.83%之高(如表10、圖8)，顯示發生崩塌之主因雖不能完全歸責於墾農之墾植行為，惟其潛在的崩塌危險相當高，若經外力干擾，則可能導致嚴重之災害。

表10 德基水庫集水區農耕地分類及其崩塌比

| 潛感分類 | 分類面積 (ha) | 分類比 (%) | 農耕地所佔面積 (ha) | 所佔面積比 (%) |
|------|-----------|---------|--------------|-----------|
| 低 | 18,589.84 | 30.90 | 1,182.98 | 26.13 |
| 中 | 11,627.51 | 19.33 | 771.95 | 17.05 |
| 高 | 16,280.87 | 27.06 | 1,193.83 | 26.37 |
| 極高 | 13,668.72 | 22.72 | 1,379.13 | 30.46 |
| | 60,166.94 | 100 | 4,527.89 | 100 |

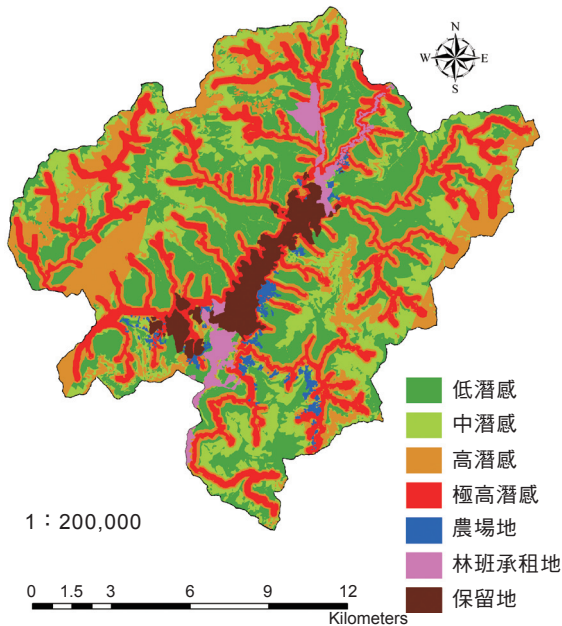


圖8 農耕地於潛感分布圖之位置圖。

五、結論

台灣地區水資源的供應有80%是由蓄留於山區之地表水及水庫蓄水來共同供應，崩塌會破壞地表覆蓋並減低集水區涵養水源之功能，而崩塌所造成之土石會淤塞河道、淤埋水庫、減短水庫使用的壽命。本研究係利用GIS豐富的地圖資源及優越的空間分析能力，結合各類地文圖層及Logistic迴歸技術，可建立崩塌影響因子（地質、高程、坡度、坡向、

植生、道路、水系）與崩塌發生比之關係，進而推算集水區空間之崩塌機率及繪製崩塌潛感圖。

1·地理資訊系統配合航攝影像技術進行集水區崩場地潛感分析評估是確實可行，且已獲得具體之成果。本研究透過Logistic迴歸對崩場地之潛感分布，可以有效客觀量化各因子間之關連性進而取得崩場地之潛感值，並統計檢定水系、道路、坡向、植生、高程、坡度、地質，發現此7項因子對於崩塌有顯著性的影響，以河流4.813之影響最大，道路1.42次之，高度0.719影響最小。

2·研究結果顯示，崩場地有1,149處，面積有1,506.94 ha，經套疊各圖層分析將集水區分為低潛感區、中潛感區、高潛感區及極高潛感區等4個分布區域，其崩塌機制主要受溪流所左右，研究中發現並非高度越高、坡度越陡，就越容易發生崩塌災害，而是受存在因子以外之因素所控制，與人為開發、地質之岩性和植生覆蓋度也有一定程度之關聯。在中、高潛勢區多位於研究地區內2,500 m以上之高山處，地質多屬板岩、



千枚岩、夾砂岩，且坡度陡峭，原極易發生崩塌，不適用於利用開發。而大甲溪流域兩側由於河流的沖刷堆積，道路開通使用，係屬高、極高潛勢區域，亦由於此區地勢平坦而使農耕及開發利用密集，雖然近年來土石流問題讓政府重新思考國土保育政策，災害發生之主因不能完全歸責於墾植行為，惟因林地之超限利用，使該區域其原本脆弱、潛在的崩塌危險相對提高，若一但經外力衝擊，則可能導致之災害將無法衡量。

3. 本研究所建立之崩塌潛感圖，可提供集水區經營者作為施政、管理之參考，惟須適時評估崩場地潛圖之有效度，隨時予以更新、評估。亦由於921地震、敏督利颱風對本研究地區的衝擊，地震造成土石鬆動、龐大的雨量同時造成不少道路邊坡的崩塌，而本研究大尺度的分析研究地區之崩塌危險度並未將崩塌之引發條件納入分析因子，今後之研究將針對降雨量資料，對研究地區進行分析，以增加模式的準確性。⚠



(圖片／高遠文化 攝影／游忠霖)