

## 研究報告

# 惠蓀林場 921 地震崩塌地分布分析與復育探討

馮豐隆<sup>1</sup> 林鴻鵬<sup>2</sup>

**【摘要】** 921 集集大地震於惠蓀林場造成多處崩塌，崩塌的發生嚴重地干擾森林生態系功能，本研究利用遙航測技術與地理資訊系統建構之資料庫的資料，探討崩塌地的空間特性及林地分級，以研擬崩塌地復育措施。本研究結果顯示：(1) 以數位航空照片判釋惠蓀林場崩塌地，經計算結果，數位航空照片判釋崩塌面積有 549.16 ha，佔惠蓀林場總面積 7.35%，崩塌嵌塊體有 2,618 處且 1 ha 以下者有 2,057 處。(2) 研究分析河流、道路與崩塌地的關係，發現崩塌發生區域，面積大小明顯地與河流與道路有關，愈接近河流及道路，崩塌面積愈大，但與坡向無關。(3) 針對河流、道路、人為活動區、崩塌地面積區分崩塌地優先治理順序，依林務局（1995）林地分級辦法將坡度級分成六級、土壤級分成五級，交叉運算得到五級的林地地位分級。並以地位級作為崩塌植群復育措施的依據。

**【關鍵字】** 惠蓀林場、921 集集大地震、地理資訊系統、林地分級、崩塌地分析、崩塌地復育

## Research paper

# Analysis and Restoration of Landslide in HuiSun Forest Experimental Station after 921 Chi-Chi Earthquake

Fong-Long Feng<sup>1</sup> Horng-Perng Lin<sup>2</sup>

**【Abstract】** The 921 Chi-Chi earthquake caused a large area of slide in Huisun Forest Experimental Station, and the slide disturbed the function of original forest ecosystem. Multi-scale forest ecosystem management database were developed by geographic information system (GIS) and Remote Sensing (RS). Slide area were interpreted with orthogonal colored aerial photos, and then we explore the spatial characteristics of slide area and land classification and draw up the recovery step in slide. The research results showed as follows: (1) To interpret the slide areas of digital colored aerial photos of Huisun Experimental Forest Station. The results showed that the slide area of digital aerial photo is 549.16 ha, which is 7.35% area of Huisun Experimental Forest Station, the number of slide area are 2,618, but there are 2057 which area are under 1ha. (2) Analysing the relationship between the river, road and slide, we found that the relationship between the slide areas, road and river are obviously. The closer to the river and

---

1. 國立中興大學森林學系教授  
Professor, Department of Forestry, NCHU.  
2. 國立中興大學森林學系碩士  
Master, Department of Forestry, NCHU.

road, the larger the slide areas are. (3) For developing methods of recording the slide area, we classify the slope into six classes and the soil types into five classes, then intersection calculation were used to group into five forest classes. The suggestions of community restoration were presented, also.

**【Key words】** Huisun Experimental Forest Station, the Chi-Chi earthquake of 921, geographic information system (GIS), land classification, slide area analysis, slide area restoration.

## 一、前言

利用 5S 科技建立林木、林分、生態系、地景的森林生態系多尺度地理資料庫系統，配合更新調查的地景、生態系、林分、林木時間變遷資料，尤其是彩色數位航空照片影像的地景分佈圖（土地利用型圖、林型圖、植生圖等）、崩塌地分佈圖、生育地分佈圖之製作、應用，以建立具時間性的地理資訊管理系統。並由資料庫中擷取資料進行不同層級現況、功能與變遷模式的整合、發展，並將模擬推估的資訊，應用於森林生態系經營的假設情境監測、評估、規劃、決策、執行。

### （一）5S 資源技術

5S，即長期調查監測具代表性的永久樣區（Permanent Sampling Plot, PSP），在載台上裝設感應器，遠距離地收集資料、資訊的遙感探測（Remote Sensing, RS），靠衛星定位系統（Global Position System, GPS）配合太空 24 顆衛星及地面接收器，以決定某地點的大地座標。將經營保育範圍之調查資料與地理位置資料結合，以具空間之圖層與屬性表來表示的地理資訊系統（Geographical Information System, GIS），及利用這些時空地理資料庫，進行生物生態、社會經濟、知識、技術的現況、功能與變遷的推估、驗證、評估、規劃、監測與管理的模式系統（Simulation Modeling System, SMS）建立。其中 RS+GPS+GIS 即一般稱之 3S 科技；3S+PSP 即為 4S；4S+SMS 即為 5S。

以 5S 進行地形圖、地覆圖、土地利用型圖、植生圖的更新製作，過去觀察、調查、研究、記錄的報告及有關土地利用型圖、植生圖

與土壤圖、土相圖、氣象圖等圖籍與屬性的建檔、數化，以獲得過去時間歷程之土地利用圖製作、林型圖、林相圖（如樹冠投影圖、材積分佈圖）、潛在植生圖，探討地景生態學及推估、分析單株林木、林分（樣區、種群）、生態系（群叢）及地景層級各層級、尺度的現況、功能與變遷，俾方便提供以生態系、地景為基礎考量的森林生態系經營決策支援系統。

Feng（2002a）曾指出，5S 可以應用於建立生態系經營的多尺度地理資料庫與永續經營管理的準則與指標。利用地景生態學原理與生長演替理論，研擬地景生態學分類系統，將該系統實際應用於全台灣事業區等範疇之策略規劃的土地利用區劃，再針對各範疇內之各分區進行生態系經營管理之戰略規劃、森林的經營與保育措施之計畫研擬與實作。由於篇幅有限，所以本研究僅針對中興大學實驗林惠蓀林場 921 地震後崩塌地之分布及復育，加以分析、探討。

### （二）崩塌地成因分析

干擾是一個重要的演替機制，肖篤寧等（1997）以生態交錯帶的概念，指出干擾造成地景結構不同時間的的演替形式，將從直線格局、鉅齒格局、碎片化格局而回歸至穩定的直線格局。地景單元越趨於均質時，受干擾程度會越顯著，所呈現出來的地景格局也越顯複雜；地景生態單元的穩定性取決於空間結構的多樣性、總生物量或潛在能量、恢復與再生能力及抗干擾能力，因此干擾對於地景演變具決定性的意義。黃志成、馮豐隆（1998）指出不同嵌塊體與干擾的成因機制、物種動態和周轉

過程間的關係。

崩塌對地景干擾影響尤為顯著，崩塌地的形成常由內在因子（潛在、靜態）如地質、地形，及外在因子（誘因、動態）如降水、地下水、地震、人為因素等（劉進金等，1982；李錦育，1986）所構成。陳信雄等（2000）針對傳統調查崩塌地因子加以整理，以單因子如自然的河流侵蝕或人為的開闢道路分析崩塌地成因並探討石門水庫集水區崩塌地特性，期能更加瞭解該集水區內崩塌的特性及機制。

### （三）崩塌地植生復育探討

監測（monitoring）為一種獲知自然資源性態值變化之方法，提供生態系統重要資訊，作為調整自然資源經營之依據（馮豐隆，1995）。藉由各種資源性態值的監測、整合，可避免蒐集不必要的資料，並由團隊力量達成整合性的資源調查。

921集集大地震後，針對崩塌地植生復育的監測研究繁多，如呂金誠等（2002）針對崩塌地植生現況調查，顏江河（2002）針對崩塌地與復育地微氣候之監測，黃崑源、劉瓊霖（2002）針對崩塌地與復育造林地土壤性質與化育之監測等。除以樣區取樣作為研究對象外，亦有以地景為背景，針對崩塌地整體進行分析，如黃凱易（2002）針對崩塌地特性及植生復育之遙測分析與監測。藉由各種監測的研究計畫進行整合分析，則將可提供崩塌地植生復育有效的訊息。

921集集大地震，對於台灣地區生態環境造成很大影響，本研究針對國立中興大學實驗林場—惠蓀林場—地震前後所蒐集的相關資料，以圖籍、表格彙整歷年資料，利用各資料的層級關係，研擬多尺度森林生態系經營資料庫的架構，有關多尺度森林生態系資料庫建立將另文介紹說明。本研究則以惠蓀林場區內崩塌地為例，利用資料庫提供之資訊，進行崩塌地現況及變遷分析，提供惠蓀

林場全區崩塌地經營保育之參考。

本研究目的如下：

1. 製作 2001 年拍攝之惠蓀林場數位影像及地覆圖，供地景生態分類與分析之用。
2. 以 1987 年與 2001 年惠蓀林場數值影像，應用地理資訊系統對崩塌地進行分析與探討，由地景生態學觀點探討惠蓀林場經 921 集集大地震後所造成之地景變遷。
3. 利用 2001 年數位航測影像資料及判釋技術，對惠蓀林場 921 地震後崩塌地判釋製圖，並分析其生育地空間狀況—地景結構變遷與坡度、坡向、植生、河流、道路的關係。
4. 以林務局（1995）土壤級及坡度級之分類，探討惠蓀林場地位級狀況，並由潛在植生的分布，探討崩塌地未來植生復育狀況及經營管理之方向。
5. 建議恢復植生之方法措施，進行崩塌地植生經營保育之探討，由林地分等分級、崩塌地治理，更而植生導入、復育措施。

本研究流程如下（圖 1）。

## 二、材料與方法

### （一）研究地區概況

惠蓀林場位於台灣中部山區，北緯 24° 2' 至 24° 6'，東經 120° 59' 至 121° 59' 之間，行政區劃屬於南投縣仁愛鄉（如圖 2），面積 7,400 餘公頃，境內區劃有 19 個林班。依 1997 年航空測量所製 DTM 資料，林場海拔高分佈在 450 m 至 2400 m 間，森林群系依柳榕教授之台灣植物群落分類標準可分為冷溫帶山地針葉樹群系、暖溫帶山地針葉樹林群系、暖溫帶雨林群系及熱帶雨林群系，最高點位於林場南方的守城大山，海拔高 2,420 m；區內水系有北港溪沿林場邊境，支流關刀溪、東峰溪及合水溪等溪流則分別貫穿林場內部。境內共分 19 個林班，林場西北部的第 1、2、3、4、8、12 林班，較有開

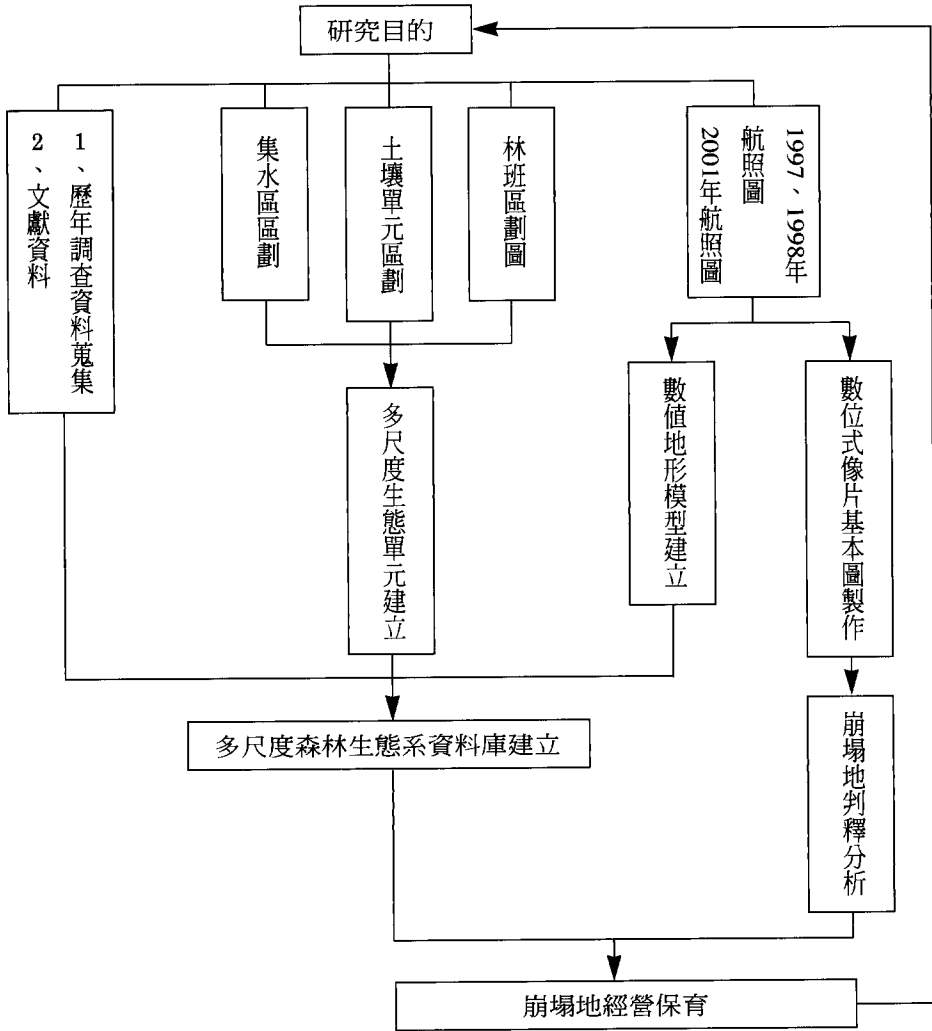


圖 1. 多尺度森林生態系經營資料庫建立與崩塌地經營保育流程圖

Fig. 1. The flow chart is developing multi-scale database for forest ecosystem management and landslide restoration planning.

發為遊樂區、教學、研究、實驗地，且較為集中區域。

(二) 研究材料與方法

1. 研究材料

本研究蒐集之資料包含有(1)惠蓀林場歷年調查、研究報告資料；(2)1964 年能高林場（即現今的惠蓀林場）森林資源報告；

(3)1966、1976、1987 年土地利用型圖（林型圖）、樹冠投影圖、材積分布圖（馮，2001）；(4)1997、2000 年惠蓀林場航空照片、航線圖、數位航照圖；(5)新建 2000、2001 年惠蓀林場土壤調查資料；(6)導出資料：如 40 m×40 m 之 DTM 資料、土壤圖等。放置於地理資訊系統軟體：ArcView

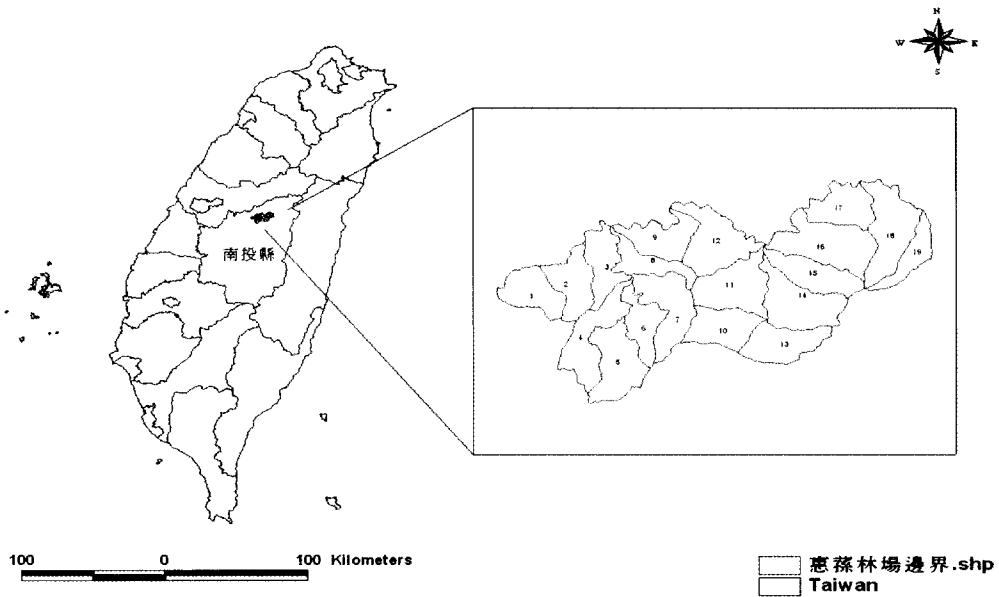


圖 2. 惠蓀林場及其林班位置圖

Fig. 2. The location map of HuiSun Forest Experimental Station and compartments in Taiwan.

3.2a、ArcGIS 8.01，進行空間處理分析。

2. 研究方法

- (1) 數化、建檔惠蓀林場 1966、1976、1987 年土地利用型圖、樹冠投影圖、材積分布圖。
- (2) 利用 2001 年惠蓀林場航空照片、航線圖、數位航照圖製作 921 地震後惠蓀林場數位影像及地覆圖籍製作，供地景生態分類與分析之用。
- (3) 利用 2001 年數位航測影像資料及判釋技術，對惠蓀林場 921 地震後崩塌地判釋製圖，並分析其生育地空間狀況—地景結構變遷與植生、河流、道路的關係。
- (4) 由崩塌地分布圖、坡度圖、土壤圖進行林地分等分級、崩塌地治理，天然人工植生導入等問題來探討並建議各崩塌地恢復植生之方法措施，即進行崩塌地植生經營保育之探討。

3. 崩塌地圖籍製作

本研究以農委會補助，農林航空測量所提供之 1997、1998 年惠蓀林場黑白航空照片及像片基本圖數值檔，配合惠蓀林場 1987 年土地利用型圖，探討 921 集集大地震前崩塌地狀況；另以 2001 年惠蓀林場航空照片正射影像及中興大學森林調查測計研究室委託陶林測量公司所作的彩色相片基本圖數值檔，以地理資訊系統軟體於電腦螢幕直接進行惠蓀林場崩塌地數化工作（圖 3），期能簡化數化的流程，減少經數位板數化、清繪等流程所累積的誤差，提高判釋精度；藉由崩塌地判釋及圖籍製作，獲取惠蓀林場地震前及地震後的崩塌情形。

三、結果與討論

- (一) 921 地震後，彩色航測正射投影製作  
以 2001 年農航所拍攝的彩色航空照片，

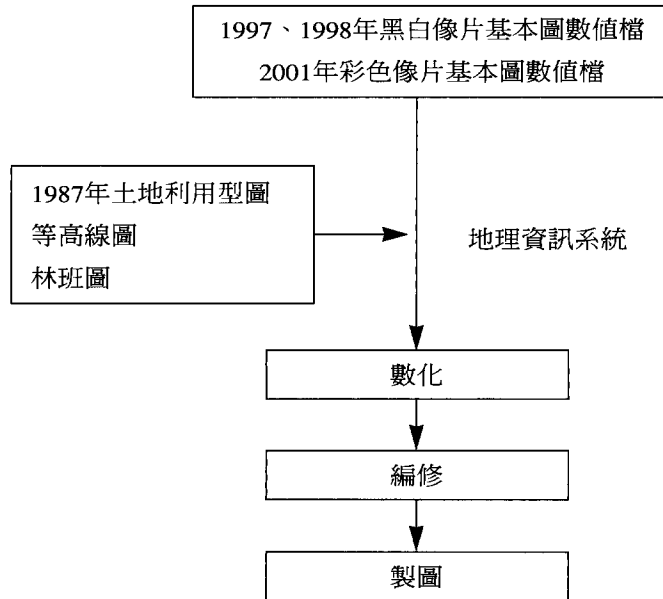


圖 3. 惠蓀林場崩塌地判釋流程圖

Fig. 3. The flow chart of aerial photo interpreting in the landslide area of HuiSun Forest Experimental Station.

掃描成  $21\mu$  影像檔，進行空中三角點 1/5000 鑲嵌影像圖製作，而惠蓀林場彩色像片基本圖所用航空照片像主點及控制三角點之分布如圖 4。惠蓀林場彩色像片鑲嵌影像圖如圖 5。詳細製圖過程可參考 Feng (2002a) Collection, Processing and Application of Digital Colored Aerial Photos 一文。

## (二) 崩塌地變遷分析探討

### 1. 崩塌地資料

九二一集集大地震後，由惠蓀林場所蒐集的調查資料，掃描成  $21\mu$  數位影像，利用此  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$  像元解析度的航測資料，進行崩塌地之判釋結果為：崩塌地個數為 2,618 個，面積為 549.16 ha (如圖 6)，崩塌地、嵌塊體 (patch) 面積及個數分布圖 (如圖 7)。由圖 6、圖 7 可知，1.0 ha 以下的崩塌地有 2,057 個數，佔 78.57%；0.5 ha 以下之崩塌地嵌塊

體有 1,928 個數，佔 73.64%；0.1 ha 以下者，全部崩塌個數共 1,220 個，佔 46.60%。

為便於進行崩塌地所在地形因子分析，本研究利用 1987 年土地利用型邊框及惠蓀林場  $20\text{ m} \times 20\text{ m}$  數值高程模型，分別切割及轉換兩崩塌地，亦即由  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$  像元判釋之向量圖轉成  $20\text{ m} \times 20\text{ m}$  之網格，則其所得崩塌地如表 1。

向量資料轉換成網格資料，會因採用的網格大小，造成資料轉換時增加或忽略向量資料，導致運算上的誤差。此情形目前尚無較佳方式解決，但以現今技術而言，採用解析度越高之網格作為資料分析單元，雖會增加資料量，卻可提高轉換精度，減少誤差。本研究為方便研究所需，將向量轉換為  $20\text{ m} \times 20\text{ m}$  網格後之資料進行探討分析，誤差率尚屬微小，僅 0.3% 而已。

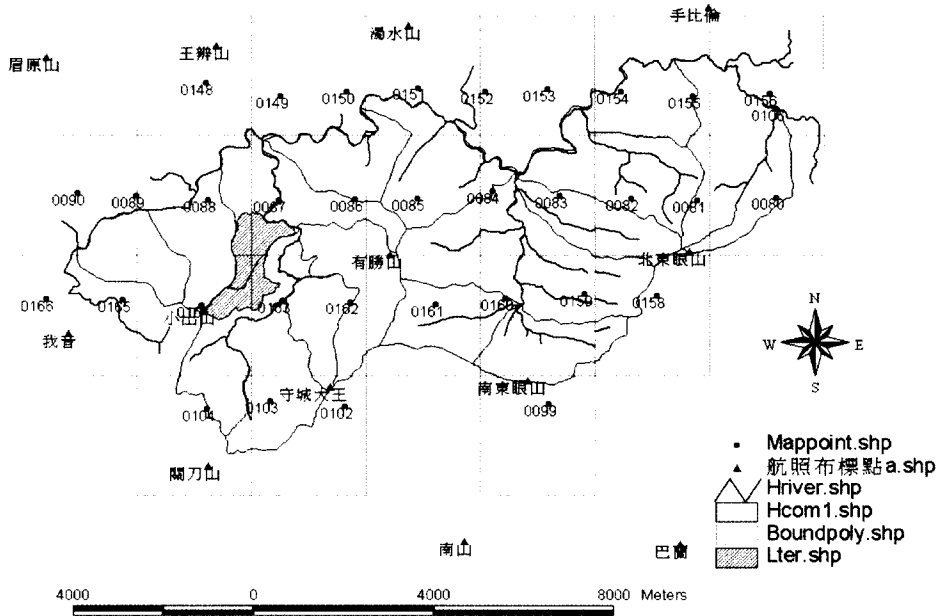


圖 4. 惠蓀林場彩色像片基本圖、鑲嵌圖所用航空照片像主點(•)及控制三角點(▲)之分布，上面覆蓋河流(∩)及林班圖(-)

Fig. 4. The distribution of nadirs (•), control points (▲), rivers (∩) and compartment boundaries in mosaic colored base map in HuiSun Forest Experimental Station.

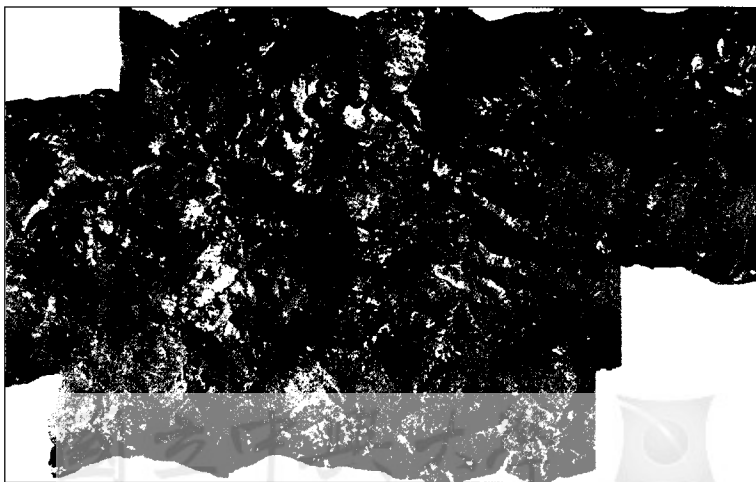


圖 5. 以惠蓀林場 2001 年農航所拍攝的彩色航空照片，掃描成 21 μ 影像檔，進行空中三角點 1/5000 鑲嵌影像圖製作

Fig. 5. 1/5000 mosaic base maps of HuiSun Forest Experimental Station with aerial photos taken by ASASI and image scanned in 21 μ.

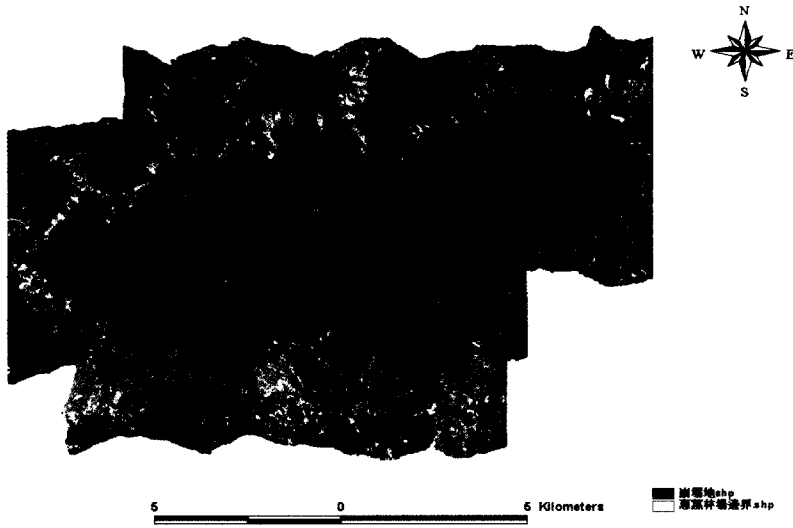


圖 6. 由彩色航空照片資料判釋惠蓀林場九二一集集大地震後航測判釋崩塌地區位圖

Fig. 6. The landslide location of 921 Chi-Chi Earthquake in HuiSun Forest Experimental Station with interpreted colored aerial photos.

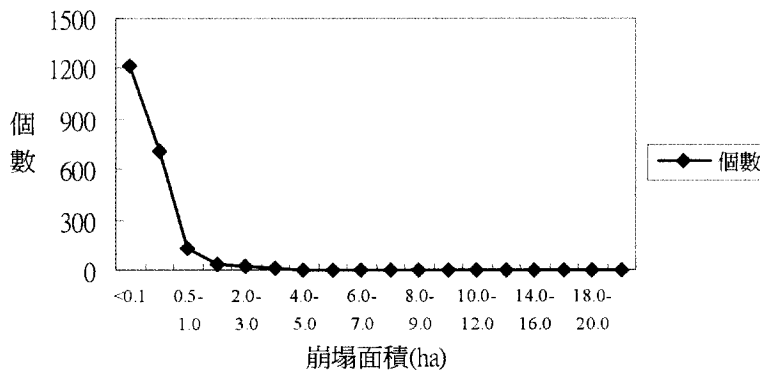


圖 7. 崩塌地面積及個數分布圖表

Fig. 7. The number and area of landslides distributed in HuiSun Forest Experimental Station.

表 1. 崩塌地向量資料轉換網格資料一覽表

Table 1. The information transformed from vector data to raster data in HuiSun Forest Experimental Station.

資料型態	向量面積 (ha)	網格面積 (ha)	差異 (ha) / 誤差率
航空影像	549.16	547.6	-1.56 / 0.3%



本研究利用數值高程模型，導出惠蓀林場坡度及坡向分級，其分類方式採林務局（1995）第三次全省資源調查所作分類，將坡度分成六級、坡向八級，由崩塌地與坡度、坡向分別進行空間計算分析，結果如圖 8、圖 9。

就崩塌地於坡度分布情形可以得知，而航空測量則是以數位彩色基本圖作為判釋資料，因此在判釋時是直接由肉眼判釋，區域坡度越陡造成崩塌面積越大。

由圖 9 可知，崩地坡向與全惠蓀崩地無差異，坡向部分，較無分布關聯性。崩塌地都集中分布於關刀溪旁之第 3、4 林班。

2.崩塌地對惠蓀林場地景結構變遷之探討

(1)崩塌地於地景結構變遷之探討

惠蓀林場經過九二一集集大地震後，地景結構有極大變化，本研究以惠蓀林場崩塌發生前期（1987年）及後期（2001）之航測影像判釋結果，由惠蓀林場整體之地景參數的變化，探討惠蓀林場地景結構的變遷（表 2）。

地景種類個數經判釋結果，增加了針葉林、日本扁柏林型、香杉林型及空地等四種林型，減少果園土地利用型，由於該林場近十年來並無大面積之人工作業紀錄，且增加之林型種類亦非新栽植之林木，應是判釋人員對於相片基本圖認知差異所致，因此 Shannon's 歧異度及 Simpson's 歧異度皆有增加趨勢。

崩塌地的增加，使地景個數急遽增加，造成地景破碎化，整體地景之累積周長大幅增

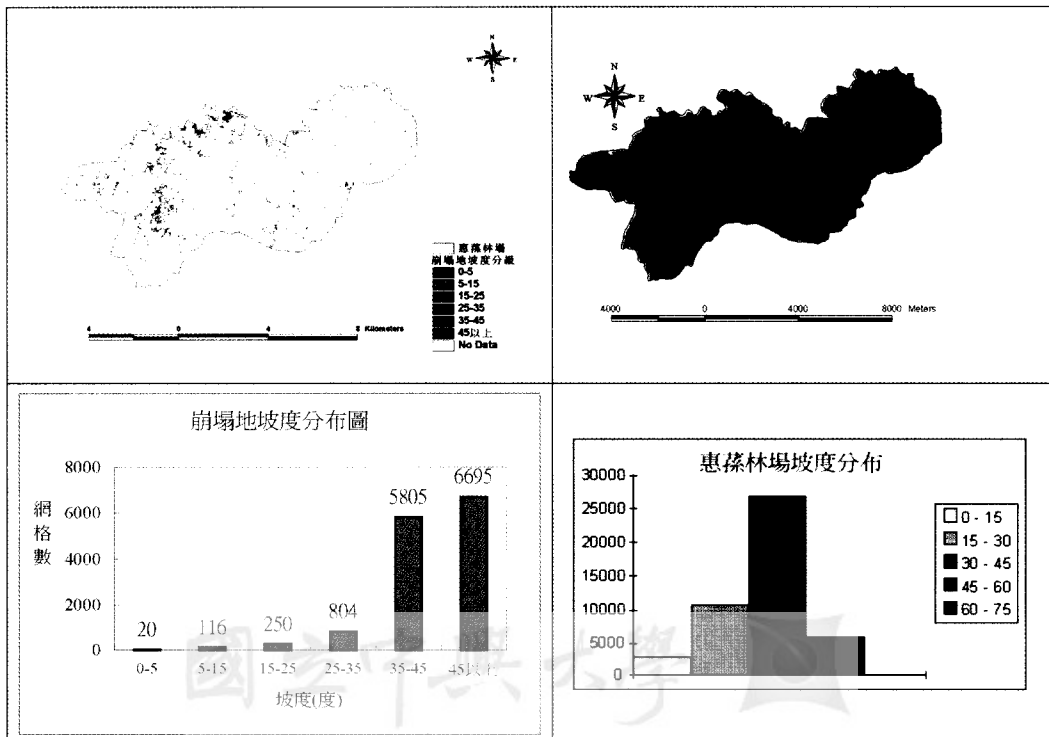


圖 8. 航測判釋崩塌地坡度分布圖

Fig. 8. The number of landslides distributed in different slope classes in HuiSun Forest Experimental Station.

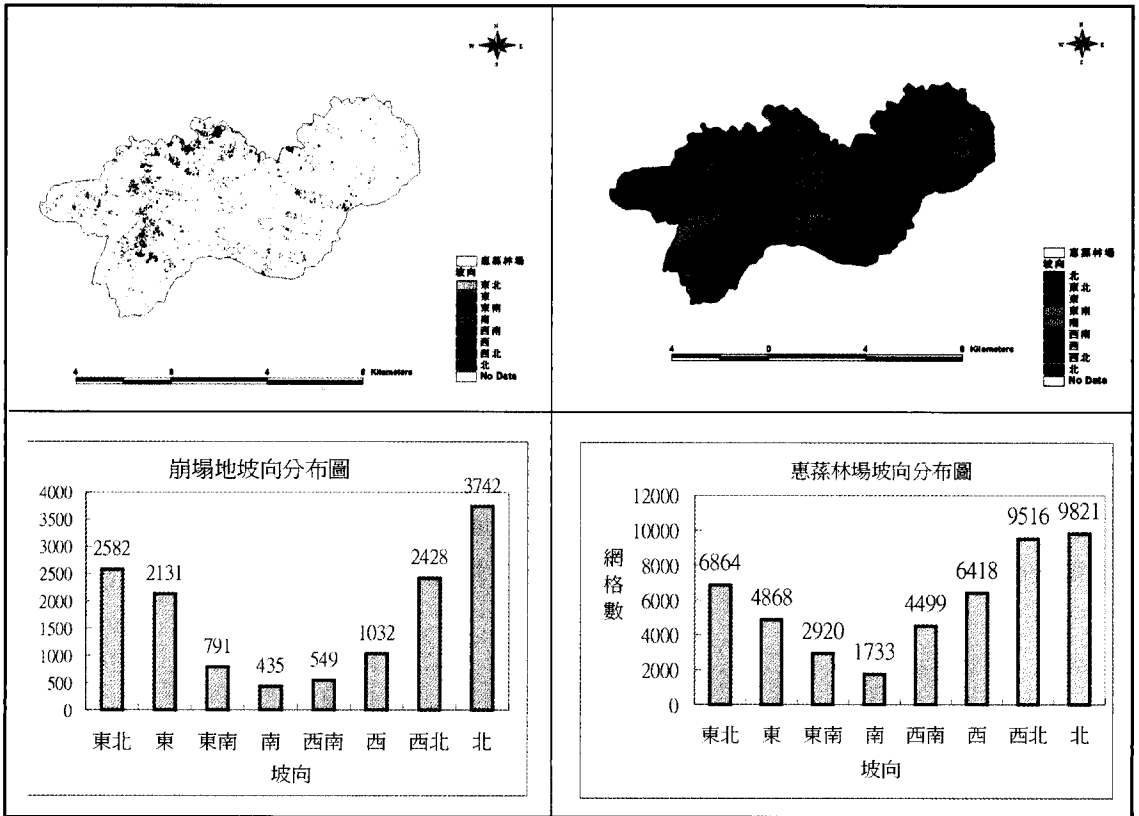


圖 9. 航測判釋崩塌地坡向與全惠蓀坡向類別分布圖

Fig 9. The area and grid number distribution of landslides in 8 different aspects in HuiSun Forest Experimental Station.

表 2. 惠蓀林場地景結構指數在 921 集集地震前後的變遷

Table 2. The changes of landscape structure index in HuiSun Forest Experimental Station before (1987) and after (2000) 921 Chi-Chi Earthquake.

年度	1987	2000
種數	23	26
個數	308	2618
平均周長(m)	2332.94	590.83
夏儂歧異度指數	1.38	1.47
辛普森歧異度指數	0.53	0.59
夏儂均勻度指數	0.44	0.45
辛普森均勻度指數	0.56	0.62
面積權重之形狀指標平均值	5.33	9.25

加，而且面積權重之形狀指標平均值的變化則可以看出整體地景結構將具更大的邊緣效應，地景間能量的流動及移轉現象也將更為劇烈。

(2)植生與崩塌地相關性之探討

利用惠蓀林場 921 地震前的地景單元與航測所測得 921 地震後所造成的崩塌地進行分析比較，透過地理資訊系統，得到崩塌地位置及分布情形如表 3。崩塌地與地景種類間的轉移情形很明顯（如表 3），經崩塌地頻度分布發現嵌塊體的破碎程度明顯增強、數量明顯增加，尤以在闊葉樹的頻度增加最多，破碎程度最大，而其他如松樹、杉木造林及針闊混淆林等土地利用型，則因地景單元因破碎而使個數變多。由各地景面積的轉移，可明顯發現整體上崩塌地發生的面積及頻度以闊葉林（H）、針闊混淆林（M）及裸露地（LU）等具較大面積的地景單元為主；但就個別地景種類間的轉移比率而言，則地景單元內的轉移率以松樹造林地面積（PP）為最高，其次為裸露地及可植裸露地。由數值地形模型資料分析結果，可看出此三種地景之崩塌地皆發生於坡度較陡的地區。

九二一大地震後，由航空測量資料所判釋出惠蓀林場崩塌地面積，為 549.16 ha。利用 1987 年的土地利用型（1987 年與 1999 年 9 月 21 日以前土地利用無大變化）與 2000 年拍攝製圖之土地利用型之嵌塊體種類、面積，加以比較如表 3。

由表3可知，惠蓀林場地震崩塌地有64.10%原來是松樹造林地；天然松林者，有 6.33%，共計 70.43% 的崩塌地；原來的土地利用型為松樹林（包括台灣二葉松、五葉松等松類）。

(3)河流與崩塌地位置相關性之探討

崩塌地發生之誘因除主要為地震的影響外，判釋後發現，崩塌地發生的位置多位於河流及道路附近地區。因此本研究利用地理資訊系統空間分析功能，針對河流、道路與崩塌地的相關性進行分析探討。

由崩塌地於惠蓀林場的位置分布來看，可明顯發現崩塌地分布位置和河流距離間具有密切的關聯，而藉由地理資訊系統的分析，則可以發現崩塌地發生的頻度與河流分布結果如圖 10。

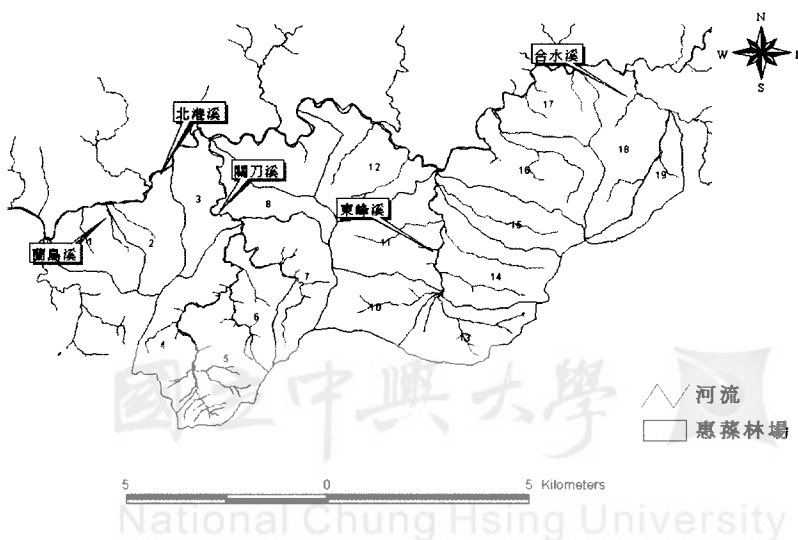


圖 10. 崩塌地距河流距離分布圖

Fig. 10. The river systems distributed in HuiSun Forest Experimental Station.

表 3. 惠蓀林場內 921 崩塌地於 921 地震前後之土地利用型比較一覽表

Table 3. The comparison of landslide area distribution before (1987) and after (2000) 921 Chi-Chi Earthquake.

土地利用型	代號	1987年地景型態		2001航測地景型態		
		地景面積	面積比	崩塌地面積	崩塌地個數	崩塌地佔原土地利用型面積
竹類	B	449551.917	0.60	4731.03	12	1.05
檜木類	C	1931686.300	2.59	86935.07	36	4.50
杉木造林	CF	5181549.270	6.94	161499.07	150	3.12
檜木造林	CYP	223470.746	0.30	9578.76	6	4.29
草生地	G	716324.003	0.96	44583.41	40	6.22
闊葉林	H	50048857.400	67.06	3371944.53	1,767	6.74
相思造林	HA	141223.664	0.19	3684.52	10	2.61
柳杉造林	JF	623112.470	0.83	7308.16	15	1.17
不可植裸	LP	1055288.920	1.41	253468.12	87	24.02
可植裸	LU	852531.709	1.14	487240.56	77	57.15
針闊混淆林	M	6271588.810	8.40	621714.22	351	9.91
針闊混造林	MP	868172.655	1.16	34448.63	52	3.97
苗圃	N	9321.651	0.01	—	0	—
果園	O	16186.072	0.02	—	0	—
其他針造林	OCP	651167.483	0.87	21625.64	17	3.32
其他闊造林	OHP	547604.003	0.73	51383.98	35	9.38
天然松林	P	3825464.970	5.13	242201.78	215	6.33
松樹造林	PP	50616.047	0.07	32445.32	5	64.10
道路	ROAD	101920.740	0.14	5177.06	9	5.08
台灣杉造林	TCP	946117.850	1.27	51391.56	51	5.43
建地	U	69622.849	0.09	30.36	1	0.04
農地	V	34710.188	0.05	267.94	1	0.77
水體	W	12513.410	0.02		0	
	總計	74628603.100		5491659.72	2,618	

惠蓀林場溪流眾多，主要河流有蘭島溪、關刀溪、東峰溪、合水溪、北港溪等，分布林場全境。崩塌地與水系距離之關係，距離河流 20 m 內，崩塌地雖僅有 428 個，佔總數 20.04%，但面積卻累積有 275.11 ha，佔

總面積 49.92%；全部崩塌地面積大於 10 ha 以上者僅有六個，而距離河流 20 m 內即包含這六大塊 10 ha 以上的崩塌地，因此崩塌地發生與河流有密切關係。

#### (4) 道路與崩塌地相關性之探討

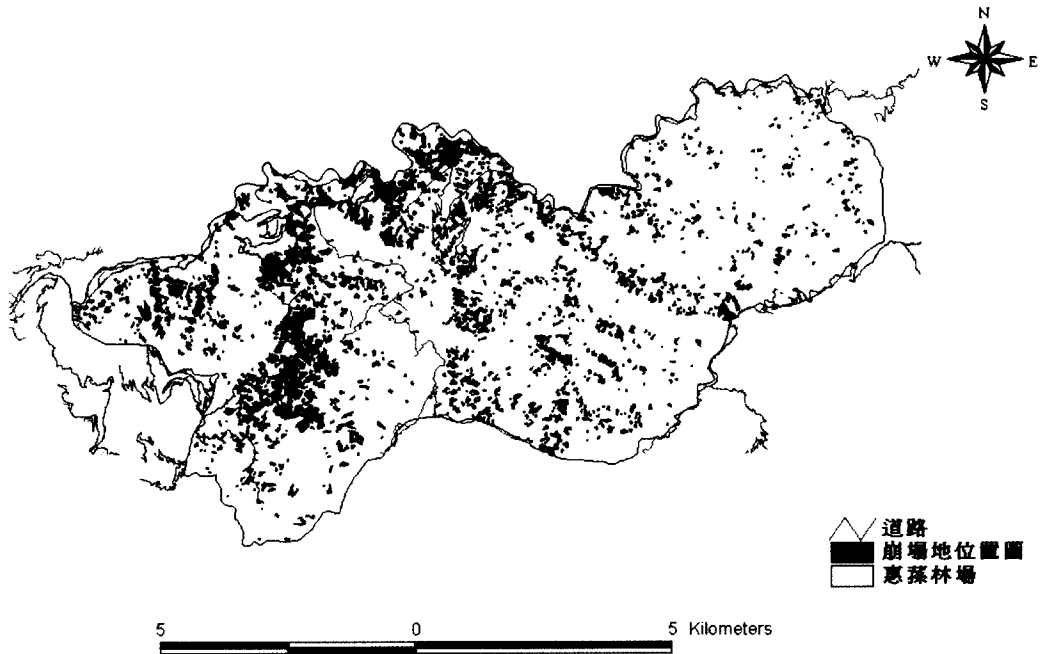


圖 11. 崩塌地距道路距離個數及面積分析及分布圖

Fig. 11. The number and area of landslides chitance to roads, which distributed after 921 Chi-Chi Earthquake in HuiSun Forest Experimental Station.

由圖 11 可以看出，惠蓀林場道路及林道分布情形集中於第 3、4 林班，惠蓀林場崩塌地的位置經分析比較，可明顯發現崩塌地分布的位置和道路距離間具有密切的關聯。藉地理資訊系統的分析，發現崩塌地發生的頻度與道路分布結果如圖 11。

由崩塌地與水系距離結果得知，距離道路 20 m 內之崩塌地有 132 個，佔總數 6.18%，但面積累積有 119.80 ha，佔總面積 21.74%，平均每塊崩塌地面積幾可達到 1 ha。因道路在地景環境中屬人為干擾部分，故本研究縮小範圍，針對第 3、4 林班崩塌地分布與道路間的關係做進一步分析（如圖 12），結果發現崩塌地全部位於距離道路 20 m 範圍內，因此人為的道路開發的確與崩塌地之形成有關。

綜合崩塌地於道路及河流分布情形則可以

得知，面積大於 10 ha 以上有四塊位於第 3、4 林班，其崩塌發生原因為道路及河流雙重干擾所致，因此在未來人為經營上，除需對林道可能造成崩塌情形加以考量外，更需注意其周圍環境，以維護地景的穩定性。

(三) 崩塌地植生經營保育之探討

本研究針對崩塌地的經營保育，首先以地理資訊系統針對崩塌地的特性及所在區位進行分析，並由崩塌地的特性決定是否需人為的經營保育，再分別針對需經營保育及天然更新之崩塌地探討其復育及恢復方向。崩塌地經營保育架構如圖 13。

1. 崩塌地與惠蓀林場林地分等及林地分級探討  
(1) 林地分等

本研究利用林務局（1976）以土壤型及土壤亞型作為林地分等標準，將土壤圖分為 I-V

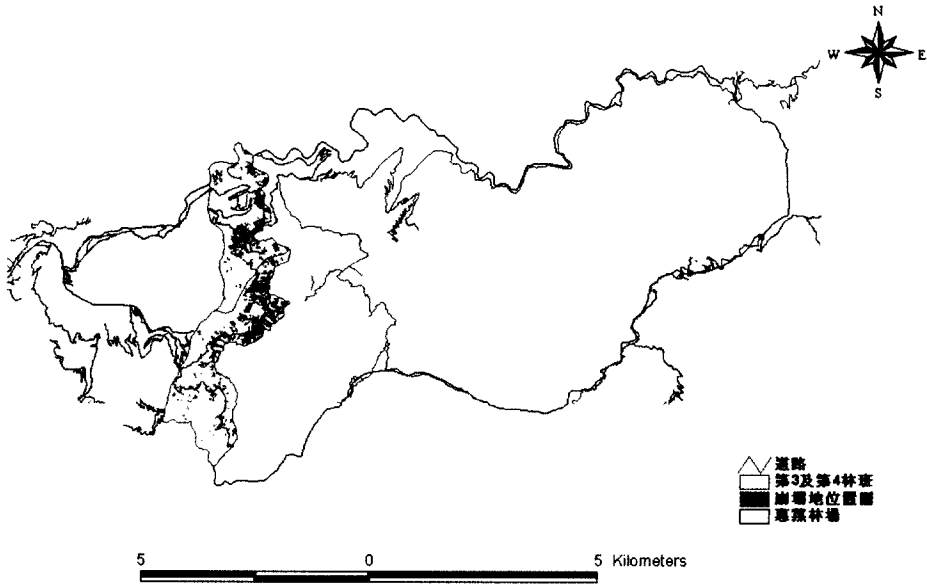


圖 12. 惠蓀林場第 3、4 林班道路及崩塌地位置圖

Fig 12. The serious landslide areas distribution in department 3 and 4 of HuiSun Forest Experimental Station with interpreted colored aerial photos.

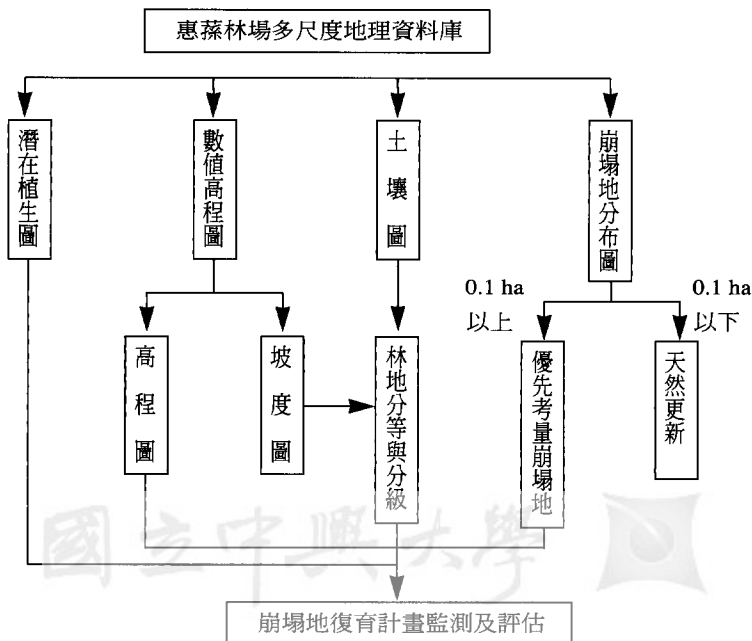


圖 13. 惠蓀林場崩塌地經營保育流程圖

Fig. 13. The procedure of landslide area restoration and management were used in Huisun Forest Experimental Station.



圖 14. 惠蓀以林務局方法劃分之林地等級區劃圖及面積一覽表

Fig. 14. The area of land classification (grades) distributed in HuiSun Forest Experimental Station by TFB methods.

等五種等級（如圖 14）。惠蓀林場土壤分類主要為棕色森林土及未熟土，因此分類上多屬 I、II 及 V 等級。由下圖可以看出惠蓀林場林地土壤多屬於 I、II 等級，顯示惠蓀林場立地良好。第 V 等級屬表土流失及受沖蝕地，多沿河流分布。

(2)林地分級

第三次台灣森林資源與土地利用調查（林務局，1995）以土壤級與坡度級為區劃單元，將全省林業用地依據可利用性進行林地分級。本研究將林地分級標準，套用於惠蓀林場，發現屬地位級 IV 級林地多沿河流分布，該區土壤條件不良且坡度陡峻，因此造林、整地等工作進行困難；地位級 V 級的林地亦沿河岸分布，此地位級所佔面積甚廣，但坡度甚陡，土壤條件亦不適合植物生長，因此在作業上以撫育作業或放任天然更新為主。而地位級 III 級尚能實行復舊造林，但因坡度較陡，林地一但遭受破壞，恢復即很困難。而地位級 II 級則多位於闊葉林林型內，此地位級一般植物生長情形良好；而地位級 I 級林地則小面積零星散佈

於林場各處，因位置平坦、土壤水分、養分豐富，造林效率較高。

利用地理資訊系統針對崩塌地與林地分級間的關係可以看出崩塌地之林地地位多屬於第五級，而崩塌地內並沒有地位級 I 之分布。屬 II 級地位級與 III 級地位之崩塌地則零星分布於林場各處。

2.崩塌地治理之探討

惠蓀林場之崩塌地約有 2,618 處，其中面積小於 0.1 ha 者有 1,220 處，佔了 46.60% 以上，且分散於林場四處，在有限的人力及物力的考量下，要做到全部的整治實有困難，因此本研究擬將研究目標限於面積 0.1 ha 以上之崩塌地。

惠蓀林場為國立中興大學所屬之實驗林場，研究區域甚廣，且設有惠蓀森林遊樂區對外經營，基於種種因素之考量，本研究將下列崩塌地區列為首要經營保育對象。

- (1)惠蓀林場第 3、4 林班：該區內因有惠蓀森林遊樂區、關刀溪長期生態研究區及造林地、研究區散佈，為便於研究及遊憩安全，

應列為治理規劃對象。

(2)道路及林道周邊：本研究發現惠蓀林場林道通過之區域，周圍崩塌情形皆很嚴重，因此為維護生命安全及林道暢通，應列為治理重點區域。

(3)河流：崩塌地發生後極易因雨水、河流沖蝕作用，造成崩塌地土壤流失、地力衰退。

台灣省保安林施業方法：土砂捍止保安林、墜石防止保安林於溪流兩岸及受其保護之鐵路、公路等兩側之森林，保留 50 m 以上寬度之林帶。依此規定，本研究選取距離道路及溪流兩旁 50 m 之崩塌地作為治理規劃對象。

因此，本研究考量崩塌地面積大小、遊

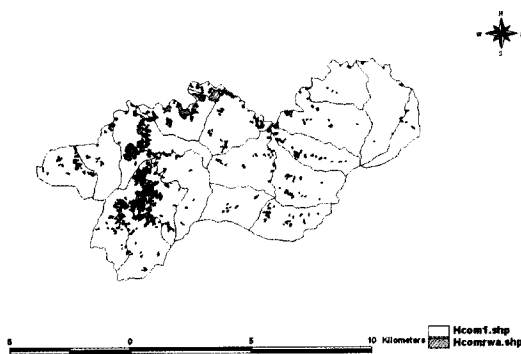
樂區與研究區相關性、河流、道路距離等因子進行崩塌地萃取（如圖15），以作為優先治理的目標。

### 3.惠蓀林場崩塌地復育之探討

#### (1)崩塌地植生導入之區劃

林信輝（2002）指出林班崩塌地之植生治理工作，必須依照崩塌地立地條件之優劣，適度調整植物種類與工法之配合，於崩塌地立地條件狀況不同之情況下，植生導入之作業亦應隨之調整。一般來說，立地條件愈差，愈應該考量植物導入之順序，本研究參考日本村井 宏（1984）對於崩塌地不同立地條件導入植物種類之分級分次理念，繪製如圖 16 所示。

惠蓀林場崩塌地之立地條件可以區劃為



規劃崩塌地圖

面積	個數	個數百分比
0.1-0.5	267	69.71
0.5-1	59	15.40
1-1.5	20	5.22
1.5-2.0	9	2.35
2.0-3.0	11	2.87
3.0-4.0	6	1.57
4.0-5.0	1	0.26
5.0-6.0	2	0.52
6.0-7.0	1	0.26
7.0-8.0	1	0.26
10.0-11.0	1	0.26
13.0-14.0	1	0.26
14.0-15.0	1	0.26
15.0-20.0	2	0.52
20.0-25.0	1	0.26

規劃崩塌地分布表

圖15.惠蓀林場規劃復育之崩塌地分布圖及面積分配表

Fig. 15. The area distribution of landslide in HuiSun Forest Experimental Station with interpreted colored aerial photos.



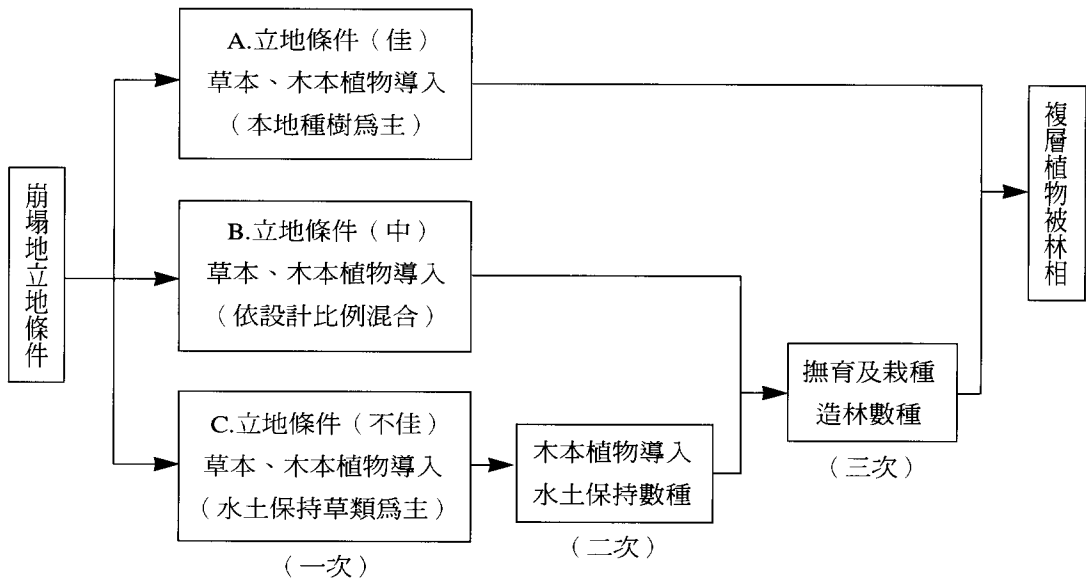


圖 16. 崩塌地立地條件與植生導入作業之關係圖 (村井宏, 1984)

Fig. 16. The restoration operation flow chart by site conditions and vegetation. (村井宏, 1984)

三大部分，以地位級 1 及地位級 2 者屬較佳之林地，而地位級 3 則屬中等立地。地位級 4 及地位級 5 則屬地位不佳。藉由立地條件劃分，可以作為崩塌地植生導入之標準。

(2)崩塌地植生復育探討分析

本研究選取惠蓀林場面積最大之崩塌地進行分析。經地位分析，可知此崩塌地整體屬於地位級 5 之區域內，即立地條件不佳之處，因此在植生復育過程中可藉由草本植物之引進後再導入木本植物，待整個崩塌地穩定後，陸續再施以撫育，導入造林樹種。

崩塌地之植生復育應以原生樹種作為復育樹種，本研究利用過去惠蓀林場植群樣區調查之資料，分析不同崩塌地適合引進之植生種類，作為崩塌地未來復育之參考。

依所選崩塌地與惠蓀林場潛在植生進行分析比對，可以得知崩塌地潛在適宜樹種包含下列植群：松類—松類、松類—松類槲櫟類、針闊葉樹混淆林—其他闊葉樹、針闊葉樹混淆林

—松、針闊葉樹混淆林—松楠木類、針闊葉樹混淆林—松槲櫟類、闊葉樹—其他闊葉樹、闊葉樹—木荷、闊葉樹—楠木類及闊葉樹—樟類等。由上述群叢種類可以發現該崩塌地適宜栽植樹種包含松類、混淆林、闊葉樹等林型，而進一步的細分則可以藉由各植群間之樹種種類進行適宜樹種之選取考量，以作為崩塌地不同復育時期的選擇。

四、結論與建議

森林生態系經營的過程裡，常因經營目標的不同，而需要萃取、過濾不同尺度的資訊。本研究為求生態系經營能於不同尺度的生態單元下進行分析與研究，使不同研究目標資料亦能藉由模式推估或取樣的過程，達成資料共享的目的，透過惠蓀林場森林及生育地等資料，納入多尺度的生態單元的區劃，以建構惠蓀林場多尺度森林生態系資料庫，期能符合生態系對於不同尺度的資訊要求，並提供各種森林生

態系經營之準則與指標。本研究之結論及建議如下：

#### (一) 結論

1. 本研究利用惠蓀林場 1 m x 1 m 像元數位式航空照片影像進行崩塌地判釋分析，結果發現 921 地震後崩塌地為 549.16 ha。2,618 個崩塌地嵌塊體且有 2,057 個面積 1 ha 以下的崩塌地；有 1,220 個佔惠蓀林場所有崩塌地 73.64% 的 0.1 ha 以下崩塌地嵌塊體；而佔所有崩塌地塊數 46.60% 的崩塌地，嵌塊體面積為 0.1 ha 以下。
2. 由 1 m x 1 m 像元判釋之向量圖轉成 20 m x 20 m 網格，其資料的誤差量在 0.3% (549 ha 崩塌地誤差 1.56 ha)。
3. 道路及河流對於惠蓀林場崩塌地的發生，確實有顯著的影響。愈近道路、河流之林地，崩塌發生之處數愈多，且崩塌的面積也愈大。
4. 崩塌地之原來林型以生於較陡坡的松林 (PP) 為主。
5. 建議由道路、河流、人類活動範圍及崩塌地面積四種因素考量崩塌地優先治理順序。在植生復育的考量上，研究針對林地地位作爲崩塌地不同整治方法的考量：地位級 I 及地位級 II 之崩塌地選擇以直接導入木本及草本植生；而地位級 III 之崩塌地宜視現況調整木本及草本植生栽植比例；地位級 IV 及地位級 V 則依序導入草本植生、具水土保持之木本植生，待崩塌地穩定後，再栽植適當造林樹種。依惠蓀林場植群分布狀況選擇適宜植群導入崩塌地復育，藉由植群內不同組成之樹種的特性，可因應不同地位級之崩塌地治理。

#### (二) 建議

1. 多尺度生態單元應以自動區劃爲目標，本研究雖建有惠蓀林場的土壤圖，但因土壤圖仍須經過數位化程序，且邊界不易與其他圖籍相符。因此對未來土壤單元區劃研

究，期望能夠比照集水區自動區劃流程，以地形、植生、氣候等因子，進行土壤單元自動化區劃流程，自動導出適當的土壤單元，作爲經營參考之依據。

2. 本研究利用數位航空照片之數位影像進行崩塌地判釋區劃、分級及經營管理措施的擬定。有別於傳統類比式之相片基本圖，數位航空照片可直接於電腦進行編修、數位化等工作，並可依不同比例尺進行檢視，節省判釋、轉繪、編修等手續。因此，推薦使用數位彩色航空照片影像所製作的數位基本圖。
3. 本研究過程中，發現向量式雖然可以清楚表達主題圖的邊界，但不容易進行運算分析；而網格式資料因資料格式以數值表示，較容易運算分析。尤其地理資訊系統之空間分析，已逐漸以網格式資料格式進行分析。雖然 GIS 提供資料格式轉換的功能，但免不了會使資料失真。但由於航遙測影像所提供分析之網格式資料之空間解析度愈來愈佳，故未來分析之精度會愈來愈高。

## 五、引用文獻

呂金誠、劉思謙、江政人 (2002) 崩塌地植生復育調查與監測。崩塌地育林研討會論文集。國立中興大學森林學系、行政院農委會林務局印行。

李錦育 (1986) 集水區經營。睿煜出版社。

肖篤寧 (1993) 地景空間結構的指標體系和研究方法。地景生態學理論、方法及應用。

肖篤寧、布仁施、李秀珍 (1997) 生態空間理論與景觀異質性。生態學報。17(5):454-461。

林務局 (1995) 第三次台灣森林資源及土地利用調查。

陳信雄、邱祈榮、康恬慎 (2000) 地理資訊

- 統於石門水庫集水區崩場地特性分析之研究。中華地理資訊協會 2000 年年會暨學術研討會論文集。1-25頁。
- 馮豐隆 (1995) 整合林業林學資料庫的建立。台灣林業 21(10) : 12-19。
- 馮豐隆 (2001) 惠蓀林場關刀溪森林生態系—第一章地理環境。國立中興大學實驗林管理處出版。12-21頁。
- 馮豐隆、黃志成 (1997) 惠蓀林場土地利用之地景排列和變遷。中華林學季刊 30(4) : 387-400。
- 黃志成、馮豐隆 (1998) 淺論地景生態學。台灣林業 24(4) : 37-50。
- 黃凱易 (2002) 崩場地特性及植生復育之遙測分析與監測。崩場地育林研討會論文集。國立中興大學森林學系、行政院農委會林務局印行頁。
- 劉進金、張寶堂、蕭國鑫、賴明仁、李元炎、黃金鴻、李惠容 (1982) 雪壩地區地質環境之遙測研究。遙感探測 17 : 1-28頁。
- 鄭祈全、詹進發、許立達 (1999) 應用碎形維度監測森林地景結構與變遷之研究。台灣林業科學 14(4) : 397-407頁。
- 顏江河 (2002) 崩場地與復育地環境微氣候之監測。崩場地育林研討會論文集。國立中興大學森林學系、行政院農委會林務局印行頁。
- Allen, T.F.H. and T.W., Hoekstra (1992) *Toward a Unified Ecology*. Columbia Univ. Press, New York, 384.
- Bailey, R.G. (1996) *Ecosystem Geography*. Springer-Verlag New York 1-26.
- Baskent, E. Z. and G.A. Jordan (1995) Designing forest management to control spatial structure of landscapes. *Landscape and Urban Planning* 34, 55-74.
- Bissonette, J.A. (1997) *Wildlife and Landscape Ecology -Effect of Pattern and Scale*. Springer-Verlag Berlag Heidelberg 1-26.
- Burrough, P.A. and R.A. McDonnell (1998) *Principles of Geographical Information System*. Oxford: University Press.
- Childress, W.M., M. Trey, and L.P., David (1999) *A Multi-scale Ecological Model for Allocation of Training Activities on U.S. Army Installations Landscape Ecological Analysis* P80-108.
- Cousins, S. H. (1988) Fundamental components in ecology and evolution, in Wolff, W. F., Soeder, C. J. and Drepper, D. R. (Eds), *Urban Ecology*, pp99-109 Oxford: Blackwell Scientific.
- Cousins S. H. (1993) Hierarchy in ecology: its relevance to landscape ecology and geographic information systems. *Landscape ecology and geographic information systems*.
- Feng, F. L. 2002a. Collection, Processing and Application of Digital Colored Aerial Photos. In "Geoinformatics 2002", Nanjing University, China. June 1-3, 2002.
- Feng, F.L. 2002b. Application GIS in forest ecosystem management in Taiwan. 2002 ESRI User Conference. 7.7-13, 2002 in San Diego, USA.
- Grene, M. (1987) Hierarchies in biology, *American Scientist*, 75, 504-510.
- Lang, R., A. Muller, R. Lenz, S. Thomas, and E.M. Forster (1997) Landscape modeling and GIS applications in the Munich Research Association for Agricultural Ecosystems (FAM) *Landscape and Urban Planning* 37, 11-18.
- Cousins S. (1993) Hierarchy in ecology: its relevance to landscape ecology and geographic information systems. *Landscape ecology and geographic information systems*.

- Rowe, J.S. (1961) The level-of-integration concept in ecology, *Ecology*, 42, 420-427.
- Sexton, W.T., C.W. Dull and R.C. Szaro (1998) Implementing ecosystem management: a framework for remotely sensed information at multiple scales *Landscape and Urban Planning* 40, 173-184.
- Simon, H. A. (1973) The organization of complex systems, in Pettee, H. H. (ed.), *Hierarchy Theory*, p.1-27, New York: Braziller.
- Stow, D. A. (1993) The role of geographic information systems for landscape ecological studies. *Landscape Ecology and geography information systems* p.11-21.