

## 以不同地形資訊探討草嶺地區地形之變遷

### A Study on Landform changes of the Tsaoling Landslide Area by a 60-year Map Comparison from 1930s to 1990s

鄭新興\*

陳文福\*\*

蔡喬文\*\*\*

Hsin-Hsing Cheng

Wen-Fu Chen

Chiao-Wen Tsai

#### 摘 要

草嶺曾發生過四次大規模之崩塌，尤其 1999 年 9 月 21 日之集集大地震，所引發第四次崩山之規模最大，其大量崩落土石阻斷了清水溪之水流，再次形成堰塞湖（新草嶺潭）。由於堰塞湖常因潰壩而造成下游地區嚴重災害，故也曾造成一陣恐慌。倘能對其早期至今之地形變化進行了解，並對早期紙圖與現有數值地形圖之不同地形資訊加以比較，必能有益於對其現況之處理及未來再崩塌時處理決策訂定之參考。

本研究以臺灣地形圖（1930 年）、1998 年及 1999 年航空像片，分別製作成數值高程模型（DEM），進行自 1930 年至 1998 年共 68 年間的地形變遷分析，以有助於對崩塌區更原始地形之了解。由早期紙圖經過平面校正後發現未變化區域之地形走向大致符合 1998 年之正射影像，且 1998 年比 1930 年的崩塌區多增三處，係為 1941 年與 1979 年兩次崩場所造成；且河道由左岸向右岸偏移約 360m，河道明顯向右岸順向坡之基腳持續侵蝕，岩層下端受到掘鑿作用失去支撐而形成自由端，岩層邊坡經雨水之浸潤與地震持續之搖撼而失去平衡，造成堀山持續崩至倒交山。由於早期紙圖之製圖過程與現代航測製圖方式不同，所產生誤差之原因甚多，必須經過誤差檢定與校正，方可做更精確的量化分析。

**關鍵字：**草嶺、臺灣地形圖、堀山、地形變遷、數值高程模型

---

\* 南投縣政府流域管理局局長

Director-General, River Basin Bureau, Nantou County Government.

\*\* 國立中興大學水土保持學系教授

Professor of Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University.

\*\*\* 國立中興大學水土保持學系博士生，通訊作者 (e-mail: g9042205@mail.nchu.edu.tw)

Doctoral Graduate Student, Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University, Corresponding Author.

## Abstract

The Tsaoling Landslide Area has had four serious collapses in history. Above all, the scale of the Chi-Chi Earthquake that occurred on September 21-th of 1999 caused the fourth collapse to be the biggest down cover earth mass and stone blocking the Ching-Shui Stream and forming the New Tsaoling Lake. Since the barrier level of the lake may breach due to breaking down calamity and panic may occur down stream. If we compare the Maps from 1930 to 1990 and investigate the landform change, it will help us create a better policy to treat mass collapses.

This study has gathered maps for a period of over 60 years between 1930 and 1998 to build a DEM dataset that will allow an analysis of the Tsaoling Landslide Area landform change and a better understanding of the present-day and earlier landform characteristics. After plane-proof reading the area, we discovered that the unchanged area of the former map is similar to the landform of 1998. The three sites of newly collapsed of 1988 after 1930 was inferred from the collapsed at 1941 and 1979. The location of the river moved approximately by 360m from the left bank to the right bank, and the bottom of the consequent slope of the rock stratum in the right bank was eroded. It has formed a free end of rock stratum in Kuh-Lum Mountain and after the water eroded the rock stratum was unbalanced and then caused a landslide triggered by rains and quakes. Due to some errors on two different occasions, plane and elevation check and adjustment must be introduced to perform a precise analysis.

**Keywords: Tsaoling, Taiwan terrain map, Kuh-Lum Mountain, landform changes, digital elevation modeling.**

## 前 言

1999年9月21日集集大地震時，中部山區發生多處極嚴重崩塌。尤其雲林縣古坑鄉草嶺村附近之堀山所發生的崩山規模最大，因大量崩落土石阻塞清水溪之水流，並在崩落區之上游形成堰塞湖（新草嶺潭）。歷史記載草嶺地區曾發生過四次大規模崩山，為瞭解該地區之地形演變，實有必要對其自早期至今之地形變化進行了解，同時以早期紙圖與現有數值地形資料之不同地形資訊加以比較，必能有益於對其現況之處理及未來再崩塌時處理決策之訂定。

由於近代遙測科技之進步，在土地資訊之獲取上已較無問題。為充分了解本區早期之地形變化資訊，必須蒐集最早期的資料，由蒐集之資料顯示日據時代（1930年）之臺灣地形圖應為最早且最具有價值者，若能將之數化並加入最近之數值資料進行比較分析，必可獲得甚有價值之相關地形資訊。

近年來，由於地形測量之結果已多為數位化或多能

轉為數位化，並經分析即可獲得各種有用之空間資訊，故歐美多已將測量學（Surveying）與空間資訊學（Geomatics）互用。無論是以傳統方法測得或以航空測量方式測繪所得之最基本而重要的『地形圖』，經數位化後即可轉成可用以進行各種空間分析之數值高程模型（Digital Elevation Model, DEM）（陳文福，2004）。

以GIS而言，網格式結構發展較早，因為網格式簡化了空間的複雜性，並且易學、易懂、易於展示（CLARKE, 1997），並且較易於分析使用，關於數值模型於地形分析之應用的研究，如陳文福（1997）指出數值地形模型對於以集水區為對象之地理資訊系統資料庫之建立頗有幫助；陳文福（1997）認為DTM是由一連串(X, Y, Z)座標的點所組合而成，是用來表示連續地表狀況的一種展現方式，隱含地形、地表上的景觀屬性資料及地表高度等資訊；林昭遠等（1999）以數值地形模型，利用排水流向的觀念，萃取集水區之稜線與水系，並以提供動態查詢規劃區域內任何位置之集水區範圍及屬性資料，成功萃取集水區地文資訊以供土石流規劃整

治之參考；Hsin-Hsing Cheng (1998; 1999; 2000) 提出結合航空像片、衛星影像及傳統地形紙圖，運用 GIS 程式進行資料處理、地形分析及套疊比較，可迅速且準確地獲得不同地形資訊及不同時期地形變遷；並由九二一地震前後兩期航空像片製作成 10m×10mDEM，兩期影像套疊分析後得到崩塌土石量為 12,600 萬 m<sup>3</sup>。

本研究將草嶺地區 1930 年之臺灣地形圖經數化轉檔與 1998 年及 1999 年航空像片所製作成之數值高程模型 (DEM) 相互套疊比較，探討早期及最近之主要地形變遷。並由臺灣地形圖 (1930 年) 至九二一地震後 (1999 年) 的地形在這 69 年間之主要變化進行比較分析，以探討臺灣早期製作之地形圖之價值性及其使用時之要領與須注意之事項，亦可為日後使用者重要之參考。

## 研究材料與方法

### (一) 日據時期臺灣地圖概述 (部份整理自施添福, 1996)

日據時期是臺灣地圖史上的重要里程碑，日本人引進大地座標系統，並建立精準的測量三角基準點網路，為科學化地圖測繪工作打下基礎。在統治臺灣期間，日本官方一共繪製了六套地形圖，其調製或測圖時間及目

前館藏如表 1 所示，茲分述如下：

#### 1. 臺灣地形圖 (1895 年至 1896 年)

明治 28 年 (1895 年)，4 月 17 日中日簽訂馬關條約割讓臺灣、澎湖列島後，隸屬日本參謀本部的陸軍測量部即成立臨時測圖部，並派遣大批測量人員隨近衛師團來臺，從事地形繪圖工作。大致在明治 29 年 (1896 年) 年底，於完成全臺番界以外的平原和丘陵，以及東部自縱谷到海岸的五萬分之一地形測圖後即結束作業，此為臺灣地圖使第一套較為完整的中比例尺地形原圖。此一原圖自明治 30 年 (1897 年) 起陸續製版和印刷，但並未對外公開發行，以致世間對此一地形圖的存在少有所聞。

#### 2. 臺灣堡圖 (1904 年)

1898 年 8 月臺灣總督府設立「臨時臺灣土地調查局」，同年 9 月正式展開實測性的土地調查 (臨時臺灣土地調查局, 1905)。臨時土地調查包含地籍調查、三角測量、地形調查三項 (蘇碩斌, 2002)；歷經 6 年餘的作業，於明治 37 年 (1904 年) 完成地形測量，並調製 466 張 (含一覽圖一張) 通稱「臺灣堡圖」的二萬分之一地形原圖或稱堡圖原圖。這一套原圖是臺灣有史以來第一套，也是惟一一套，恐怕也是全世界唯一一套能夠同時結合土地測量、地籍測量和地形測量而製成的地形圖：

表 1 日據時代地形圖比較表

圖名	比例尺	調製張數	調製或測圖時間	測圖機關	館藏地
臺灣地形圖	1/50,000	85 以上	1895~1896	陸地測量部 臨時測圖部	日本國立國會圖書館 國立臺灣師範大學地理系
臺灣堡圖	1/20,000	466 (含一覽圖)	1904	臨時臺灣 土地調查局	國立中央圖書館臺灣分館 國立臺灣大學地質系
臺灣地圖	1/100,000	36 (含一覽圖)	1905	臨時臺灣 土地調查局	不詳
臺灣番地地圖	1/50,000	68	1907~1916	臺灣總督府 警察本署 臺灣總督 藩務本署	國立中央圖書館臺灣分館 國立臺灣大學農經系
臺灣地形圖	1/25,000	177	1921~1928	陸地測量部	國立中央圖書館臺灣分館 國立臺灣大學地質系 國立臺灣師範大學地理系
臺灣地形圖	1/50,000	117	1924~1938	陸地測量部	國立中央圖書館臺灣分館 國立臺灣大學地質系 國立臺灣師範大學地理系

資料來源：施添福 (1996)。

### 3. 臺灣地圖 (1905 年)

於明治 38 年 (1905 年) 將「臺灣堡圖」調製 36 張 (含一覽圖一張) 十萬分之一地形原圖, 稱為「臺灣地圖」。這套地形原圖包括的範圍大致類似前述臺灣地形圖, 皆以普通行政區為主要區域, 且兩者皆交由臺灣日日新報社於明治 39 年 (1906 年) 8 月 5 日出版, 公開對外發行。

### 4. 臺灣番地地圖 (1907 年至 1916 年)

明治 39 年 (1906 年) 佐久間左馬太就任臺灣第五任總督後, 以理番作為殖民政府主要施政方針之一, 而積極規劃番地的測圖事業。自明治 41 年 (1908 年) 起, 先後由總督府警察本署的蕃務課或調查課負責番地測圖作業。自大正 4 年 (1915 年) 佐久間卸任時, 總共完成番地地形測量面積一千餘方里, 並陸續調製 68 張五萬分之一番地地形原圖, 這是臺灣有史以來第一套, 也是唯一一套以理番為目的而調製的地形原圖。此一原圖經製版、印刷後, 亦由臺灣日日新報社於大正年間正式出版和對外公開發行。

### 5. 臺灣地形圖 (1921 年至 1928 年)

陸地測量部臨時測圖部於明治 28、29 年所完成的五萬分之一臺灣地形圖, 係在全臺抗日運動情況下, 而匆促製成的地形圖, 該實測圖並未依照陸地測量部地形圖製作的正常順序作業, 對地貌和地物的描繪精確度皆感不足。陸軍測量部乃決定自明治 42 年 (1909 年) 起正式實施三角測量, 作為重新調製跟日本本土相同的二萬五千分之一。到大正 10 年 (1921 年) 時, 大致完成一千五百方里的一等三角測量及部分地區的二等三角測量後, 即於同年及大正 12 年 (1923 年) 展開二萬五千分之一地形測量。區域以臺灣東北部和西部的平原、臺地和丘陵地帶為主, 地形較為單純, 至昭和 3 年 (1928 年) 時, 前後費時 8 年, 共調製 177 張地形原圖。

三角測量法是在地面上選定一系列的點, 並構成相互連接的三角形, 由已知的點觀察各方向的水平角, 再測定起始邊長, 以此邊長為基線, 即可推算各點的經緯度座標 (盧良志, 1982)。日據時代地形測量相關規定, 如表 2 所示。

表 2 日本地形測量精度及圖幅大小表

比例尺	主等高線間距	圖幅大小	
1/2,500	2m	80cm×60cm=2000m×1500m=3km <sup>2</sup>	
1/5,000	5m	80cm×60cm=4000m×3000m=12km <sup>2</sup>	
1/10,000	5m	經度差 3'	緯度差 2'
1/25,000	10m	經度差 7'30"	緯度差 5'
1/50,000	20m	經度差 15'	緯度差 10'

資料來源：嘉藤種一 (1966)

### 6. 臺灣地形圖 (1924 年至 1938 年)

大正 12 年 (1923 年) 除了二萬五千分之一, 亦進行五萬分之一地形測量; 五萬分之一地形圖除將前者縮小成原圖外, 測圖的主要地區為臺灣東部和廣大的高山地帶。因此, 作業進度緩慢, 到昭和 13 年 (1938 年) 時, 前後費時 16 年, 始完成 117 張地形原圖。這兩套地形原圖接直接由「大日本帝國陸軍測量部」陸續假製版、印

刷、出版和對外公開發行, 在臺灣自昭和 2 年 (1927 年) 起由臺灣日日新報社負責對外行銷。

上述六套實測臺灣地形圖, 由於其調製背景、測圖年代、使用比例尺、涵蓋區域、甚至製作程序皆有所不同, 在時間或地域上具有互補作用。因此, 若能彼此連絡解讀, 應能呈現日本治臺 50 年, 臺灣地貌和地物變遷主要軌跡, 亦是研究臺灣地形變遷的珍貴史料; 綜上所

述，為選擇是否包括草嶺地區，本研究採用 1924 至 1938 年的臺灣地形圖。

## (二) 草嶺地區崩塌歷史

根據相關歷史資料顯示，草嶺地區至今共四次崩塌，且每次崩塌均於上游面形成天然水潭（堰塞湖），經整理如下：

### 1. 1862 年（同治元年）

清同治元年 5 月 11 日晚上 7 時至 9 時之間（即 1862 年 6 月 7 日），草嶺堀山於大地震（規模估計約在 6.5-7.0 之間）（鄭世楠，1989）中發生歷史記載第一次崩塌，坍塌岩屑堵塞河道，形成天然壩，壩高則無記載。

### 2. 1941 年 12 月 16 日

本次草嶺潭實際上由兩次崩塌所造成。1941 年 12 月 16 日晚間 7 時 19 分 42 秒，嘉義東南方中埔庄龍山腳附近（深度 10km）發生規模 7.1 級（徐明同，1980；鄭世楠，1989）之強震，引起第一次崩塌（1941 年），第二次（1942 年）則由暴雨引發。崩塌經過經由以日人川田三郎（1943）在 1942 年 9 月 26 日進行為期一個半月之現地調查，崩塌發生在草嶺東嶺之西南面（約在草嶺村西方 2km），大致沿著高程 800m 處，由東向西蔓延約 1km，面積約 570ha，岩層直接滑落至高程約 400m 之清水溪，並由東向西散佈約 3km 長，導致河谷相對堆高約 100m，行成天然壩。川田三郎估算第一次崩落土石方約

為 1 億 5,000 萬  $m^3$ 。1942 年 8 月 10 日因颱風侵襲（阿里山 2 站 8 月 9 日至 11 日總雨量惟 770 公厘），堀山東嶺西南面再度發生更大規模之崩塌，將原天然高壩堆高至 200m。根據川田山郎估算，第二次崩塌土石方約為 2 億  $m^3$ ，因此第一、二次崩落之土石方量總和高達 3 億 5,000 萬  $m^3$ 。至 1942 年 10 月 23 日，天然水庫蓄滿，容量達 12,000 萬  $m^3$ （臺灣省水利局，1979），此即草嶺潭，潭面高程約 580m。

### 3. 1979 年 8 月 14 日

1979 年 8 月 14 日右岸岩層大量崩落在河道中，再次形成天然壩。壩體約為 500 萬  $m^3$ ，高約 90m，阻斷河道長約 1km，蓄水量為 4,000 萬  $m^3$ 。崩塌面長約 600m，寬約 1,500m，面積約 100ha。8 月 23 日潰決，本次草嶺潭僅存在 9 天。（廖翊鈞，2001）

### 4. 九二一集集大地震（1999 年）

本次崩塌土石沿著順向坡滑動，最後落在倒交山上，滑行水平距離約 2,400m，垂直距離約 800m，面積約 620ha，堆積上游高度約 50m（標高約 540m）；崩塌點上游集水區面積約 162 $km^2$ ；崩塌長度（沿河上下游）約 5km，崩塌土方量約 12,600 萬  $m^3$ ；蓄水容量約 4,600 萬  $m^3$ 。（Hsin-Hsing Cheng, 2000）

整理相關資料後得表 3。

表 3 草嶺地區崩塌統計表

次數	崩塌時間	潰決時間	歷時	崩塌土砂量	堰塞湖容量
第一次	1861 年	1898 年	37 年	—	—
第二次	1941 年 10 月 23 日	1951 年 5 月 18 日	8 年	35,000 萬 $m^3$	12,000 萬 $m^3$
第三次	1979 年 8 月 14 日	1979 年 8 月 23 日	9 天	500 萬 $m^3$	4,000 萬 $m^3$
第四次	1999 年 9 月 21 日	2004 年 7 月 2 日	4 年 9 個月	12,600 萬 $m^3$	4,600 萬 $m^3$

## (三) 九二一地震前後數值地形製作

九二一地震草嶺大崩山後，為迅速瞭解崩山狀況，並掌握崩塌淤塞對上下游河道之影響，其崩山位置、崩

場面積、土石方量、淹沒範圍、溢流高度及可蓄水量等即是急迫知道的答案。藉由整合航拍、GIS 及影像處理軟體 imagine vitial GIS 模擬立體影像、劃定淹沒區範圍、計算溢流水位高度及估計蓄水量等數值資料取得之

防災處理前置作業，並由掃描數化舊有之像片基本圖之等高線，經轉檔後，製做崩塌前之 10m 解析度之數值地形，而後應用地理資訊系統軟體 ARCVIEW GIS 之 3D 模組，套疊崩塌前後之數值地形可精確求得土石方量。(鄭新興，2000)。

#### (四) 研究流程

本研究以日據時代 (1930 年) 繪製之臺灣地形圖建立其 DEM 並與民國 87 年及 88 年航空像片製成的 DEM 比較，本研究之流程如圖 1 所示：

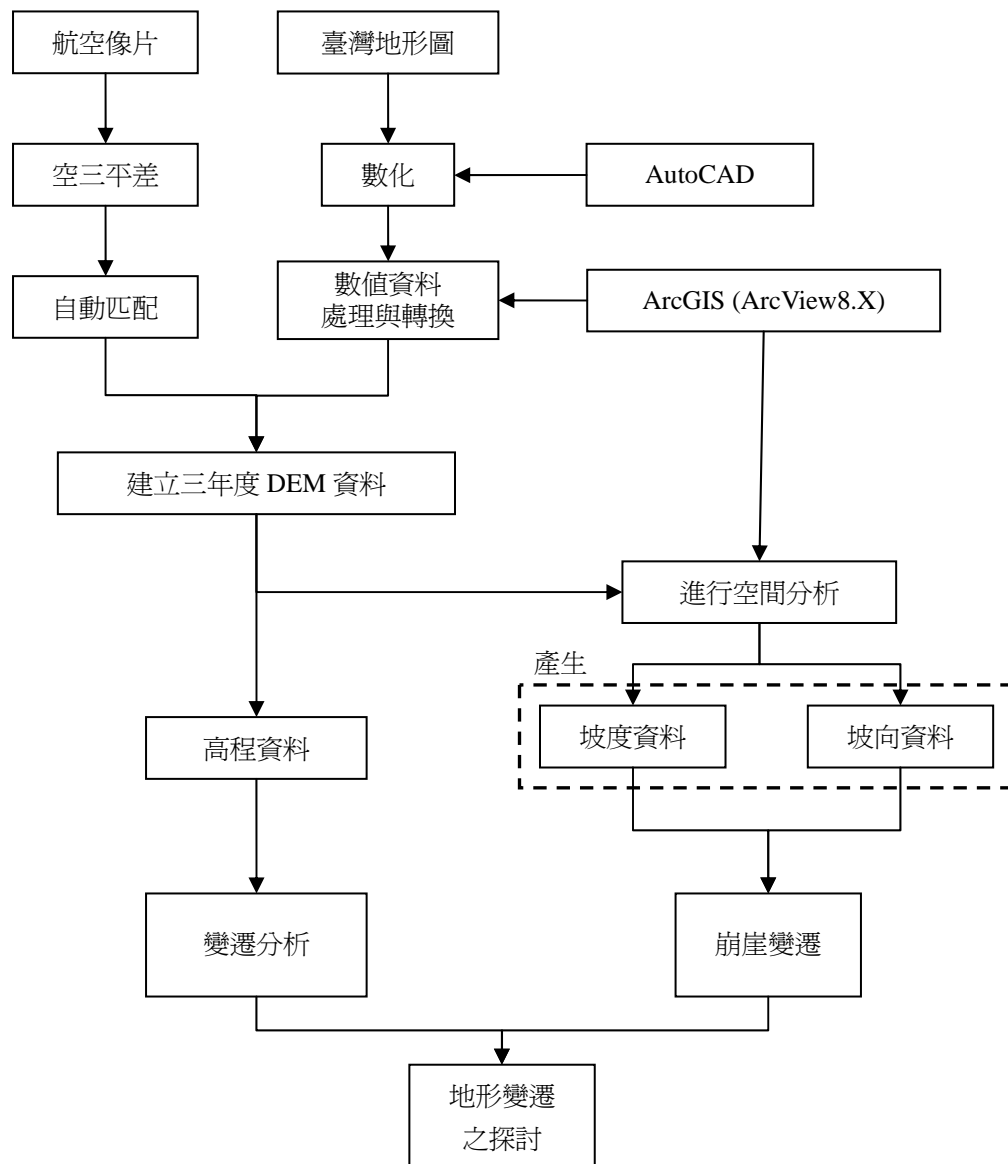


圖 1 研究流程圖

## 1. 由航空像片製作 DEM

航空像片製作 DEM 及正射影像等基本圖資之流程，其主要步驟為下列五點：

### (1) 選點及佈標

計算所需要之控制點之個數，並尋找控制點之地點，預備先行佈標工作及 GPS 控制測量。

### (2) 空中三角點整體平差作業

空中三角測量之量測是以精密立體測圖儀或影像工作站於每一像片 9 個標準點位上量測影像座標，稱為連接點。每一個標準位置量測二個連接點，即每一像片 18 點，是則前後兩張重疊 60% 的每一立體像對可有 12 個連接點為原則。

### A. 數值影像自動匹配

製作間距 5m 之 1/5,000 基本圖圖幅估算，每一圖幅包含至少 250,000 點以上之高程點資料，若以完全人工之方式測量，效率將大幅降低，連帶影響整體計畫之進展。一般採用數值影像工作站之『影像自動匹配』技術，

快速獲取大量之高程點資料，再輔以詳細之『人工編修』，並配合『地形資料』(例如：斷線、山脊線、山谷線等地形特徵線、獨立標高點) 合併重新計算數值地形模型成果。

### B. DSM 編修及多模全區 DSM 拼接

於數值影像工作站中，利用影像自動匹配成果可獲得 DSM，其精度易受地表之地物遮蔽影響，所有匹配點皆以地面最上層覆蓋物之表面為基準，而非真正之地形面，針對匹配失敗或錯誤之地區，則需以人工方式加以編修，使得 DSM 成果真實的表現地形覆蓋之情形。

### C. DEM 編修及多模全區 DEM 拼接

將上一步驟完成之 DSM 資料去除地形面之覆蓋物高度，覆蓋物包含兩大類：A.人工建物(如橋樑等建物)；B.植被(如樹林、農作物等)；去除覆蓋物高度即可獲得 DEM，主要用以表現地形面起伏之真實狀況。

## 2. 由數化等高線製作

經由 CAD 數化及 MAP 轉換座標後，得到圖 2：

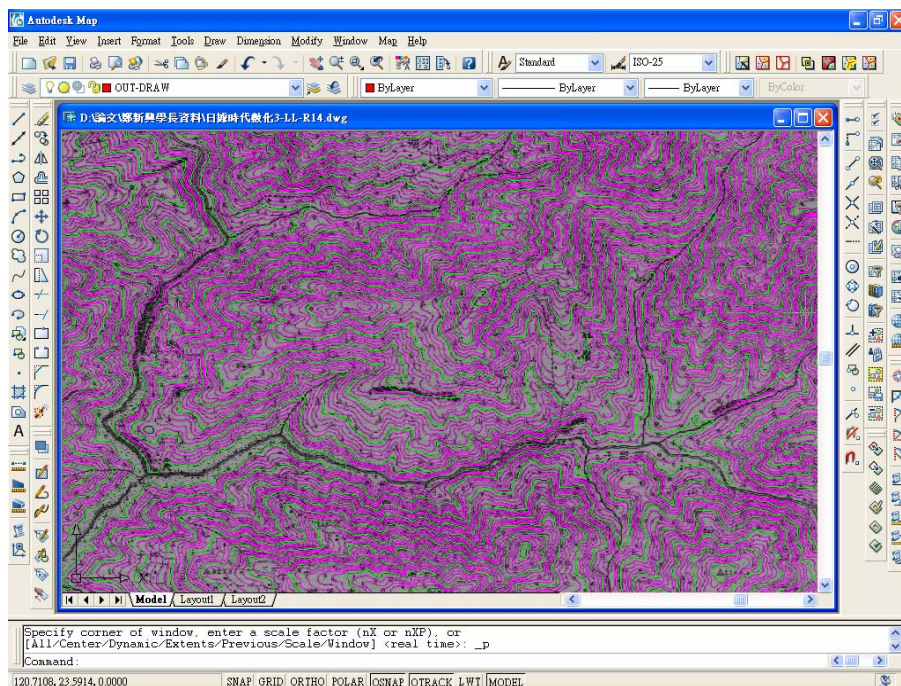


圖 2 數化等高線圖



### 3. 以數值等高線圖製作 TIN

因 1998 年及 1999 年為 5mDEM，為達到相同條件下進行比較，故將日據時代之 DEM 亦製作成 5mDEM，但由於日據時代等高線圖高程之間距為 20m，等高線的密度較疏，無法達到 ArcGIS 製作 5mDTM 的要求，甚至部份區域無法達到製作 40mDTM 的要求；因此等高線必先做內差處理的工作，方可達到每 5m 至少一條等高線的要求，高程間距縮小到 5m 甚至於 1m，是原先數化工作的 4 倍甚至是 20 倍的工作量；TIN 是依據地形的複雜度做為樣本點的取捨，以實際取樣值，製成不規則三角網；此法是以實際取樣值，未經數學方式處理，故最真實 (Peucker, 1975)。因此本研究採用先將等高線經數化後轉換成不規則三角網格 (TIN)。

### 4. TIN 轉換成 DEM

由於 TIN 是連續卻不重疊的三角網，每一點位置皆可內差方式求得高程值，最後僅需使用 ArcGIS 的 3D 分析模組，將所得 TIN 檔轉換成 DEM 檔。

### (五) 平面改正

為修正兩時期地圖上平面誤差，所以選擇堀山之最高點當作參考點，如圖 3 所示，最後將參考點套疊到日據時代等高線圖，得圖 4 及圖 5：

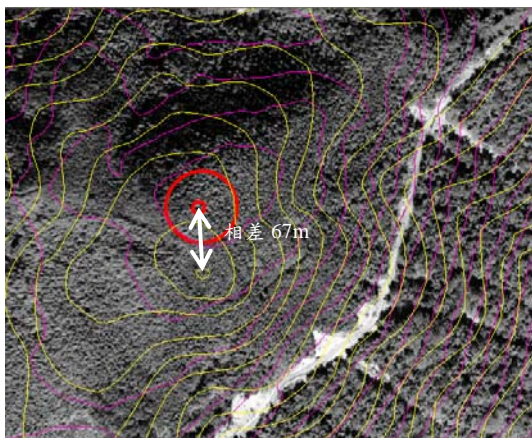


圖 3 堀山參考點 1 (217839.69, 2609821.14) 相差 67m

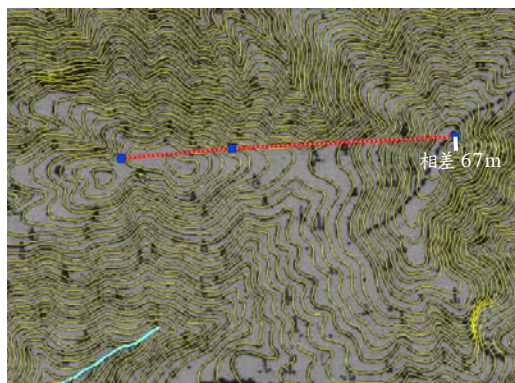


圖 4 日據時代 (1930) 等高線加入 87 年參考點

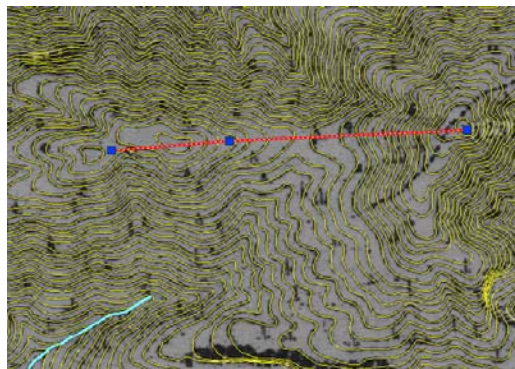


圖 5 日據時代等高線向北平移 67m

由於 1930 年測量精度及經歷 68 年造山運動影響，使兩期地形圖的最高點產生些許誤差；為方便比較兩期地形變遷，故以將 1930 年地形圖向北平移 67m，使兩期最高點重疊。

### (六) 地形分析

所得 DEM 直接使用 ArcMAP 的空間分析模組求得坡度、坡向等網格式資料，加上 DEM 本身即是高程資料，即可進行地形變化之比較與分析。

#### 1. 高程變化

DEM 代表地表真實高度，由不同時期之 DEM 資料即可以使用 ArcGIS 的空間模組中網格式計算功能直接計算，即可獲得該區高程變化的資訊。

#### 2. 崩崖變化



崩崖在數值地形圖上，是代表相鄰兩點急遽之變化，亦即高差極大，但在高程圖上是難辨別出來的。由於崖面的坡度較原始坡面陡，除崩崖外，山嶺線之坡度與河谷線之坡度亦極具變化，但崩崖面與原始坡度之坡向變異較小；因此利用坡度圖，即可清楚地辨識崩崖區位。

## 結果分析與討論

### (一) 數值地形模型之成果

#### 1. 日據時代 (昭和五年，1930 年)

數化完成後，經由 ArcGIS 的 3D 分析模組，將等高線數值檔轉換成 TIN 檔，圖 6 為日據時代 (1930) 之 TIN 檔套疊日據時代水系圖；最後將 TIN 檔以 3D 分析模組的 TIN 網格轉換功能，將 TIN 轉換成 GRID 格式，如圖 7 所示。

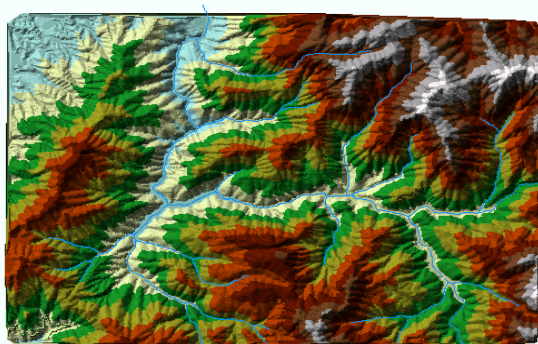


圖 6 日據時代 (1930) 草嶺 TIN 套疊水系圖

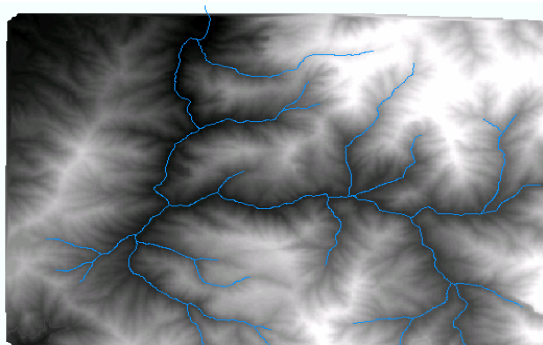


圖 7 日據時代 (1930) 草嶺之數值高程模型 (DEM) 套疊水系圖

#### 2. 民國 87 年 (地震前一年，1998 年)

圖 8 為九二一集集大地震前的航空像片，以及進行航空像片製作 DEM 及正射影像等圖資之流程得到圖 9。

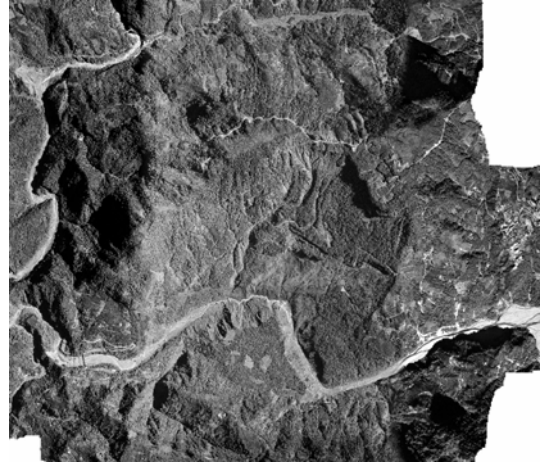


圖 8 1998 年草嶺地區之正射影像圖

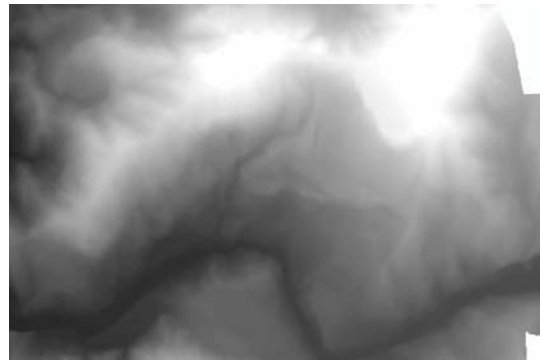


圖 9 1998 年草嶺數值高程模型 (DEM) 圖

#### 3. 民國 88 年

九二一集集大地震後，航空隊即開始為中部災區進行航拍作業，圖 10 即是 9 月 27 日所拍攝下的航空像片，進行航空像片製作 DEM 得到圖 11。



圖 10 1999 年草嶺地區之正射影像圖

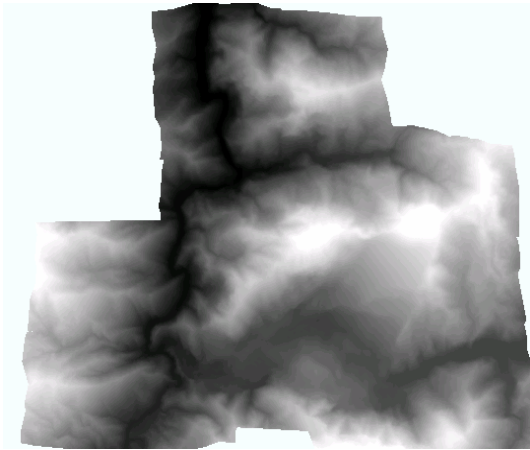


圖 11 1999 年草嶺之數值高程模型 (DEM) 圖

(二) 地形分析

經過 ArcGIS 空間分析模組，可分析 DEM 製作圖 12、圖 13 及圖 14 的各期坡度圖，並由平緩坡面出現坡度較陡處 (紅色)，研判為崩崖，再由陡峭坡面出現坡度較平緩處 (綠色)，研判為堆積處；由圖 13、圖 14 可明顯看出倒交山的位置，亦可以明顯看出堀山的崩崖上北延伸，倒交山範圍向北擴大；圖 15 為九二一地震前後草嶺地區坡度比較值，正值代表其坡度變陡。

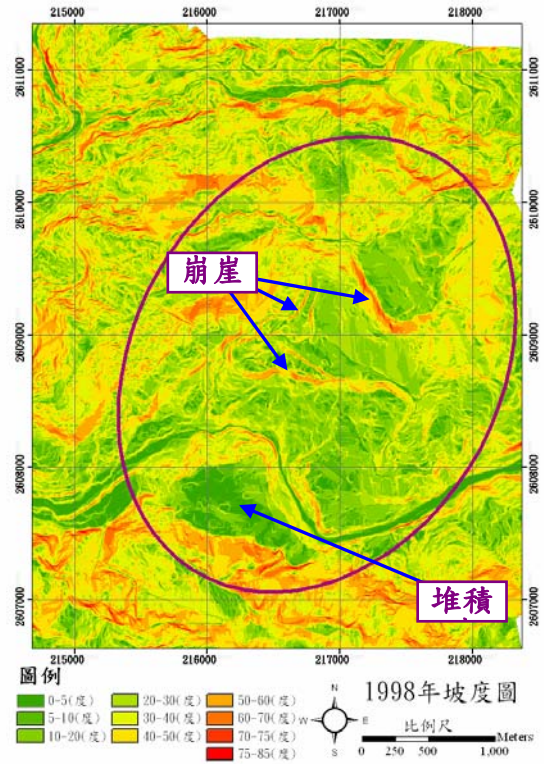


圖 12 日據時代 (1930 年) 草嶺地區之坡度圖

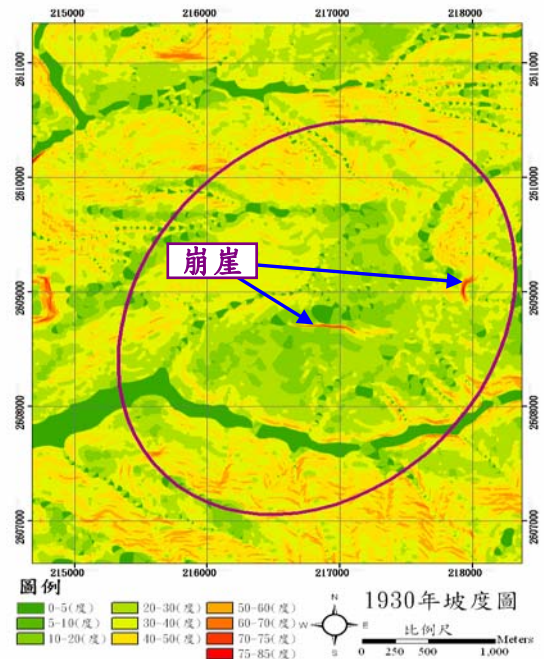


圖 13 1998 年草嶺地區之坡度圖



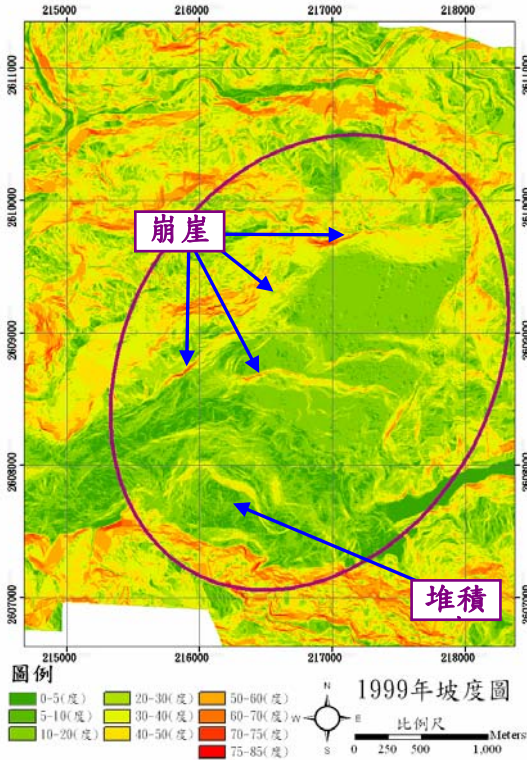


圖 14 1999 年草嶺地區之坡度圖

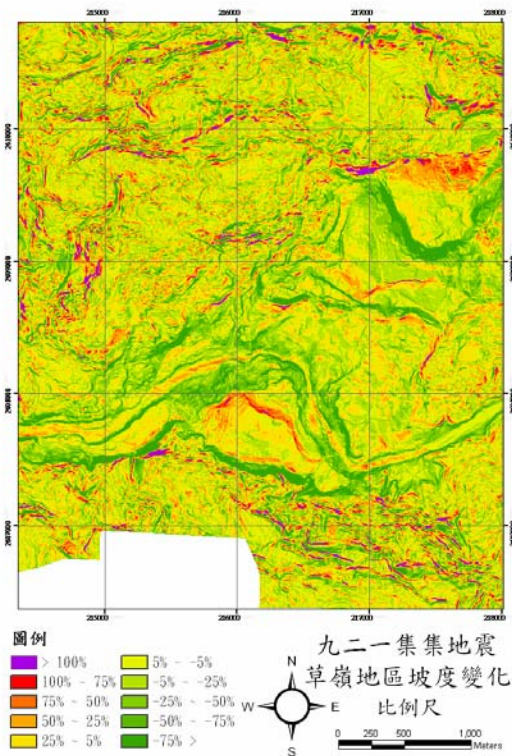


圖 15 1999 年草嶺地區坡度變化圖

(三) 變遷探討

利用 ArcGIS 3D 分析模組，製作成圖 16 (1930 年)、圖 17 (1998 年) 及圖 18 (1999 年) 各期 TIN 圖，可明顯看出草嶺地區之崩塌區及堆積區範圍之地形變化：1930 年右岸堀山邊坡未有大規模崩塌。由圖 17 之 1998 年之 TIN 圖可明顯看出，在 1930 年至 1998 年間右岸堀山邊坡可發現多處斷崖，且大量土石堆積於海鼠山旁形成倒交山。造成此變遷之原因為分別於 1941 年及 1979 年發生崩塌，圖 18 為 1999 年九二一集集大地震時造成堀山大量土石崩落，形成堆積於倒交山，使倒交山高程增加 70m，並可看出堀山邊坡之破壞面，圖 19 為地震前後兩期高程變化量，計算後可得到崩塌土石量為 12,600 萬 m<sup>3</sup>。

圖 20 為以校正前之日據時代河道圖套疊 87 年之 TIN 圖，可以明顯看出北部地形變化較少區域的河道偏移 60m 左右。

圖 21 為以校正後之日據時代的河道套疊 87 年之 TIN 圖，可以明顯看出北邊之地形變化較少區域的河道與現況較相符。

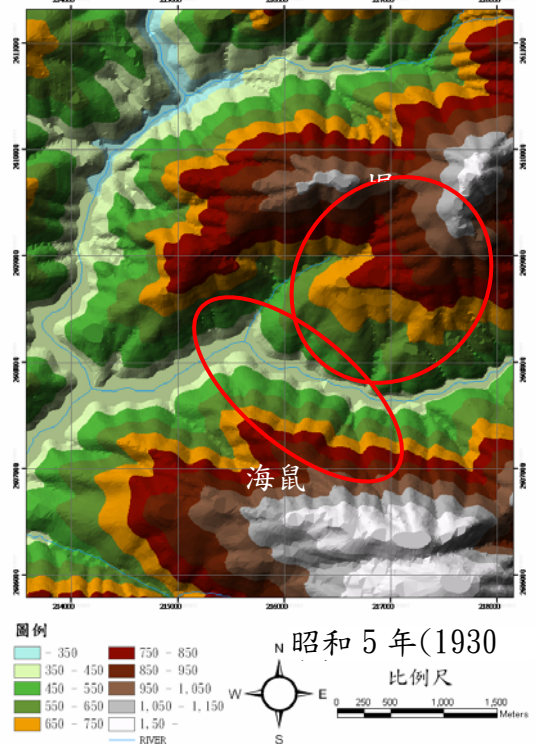


圖 16 日據時代 (1930 年) 之草嶺地區 TIN 圖

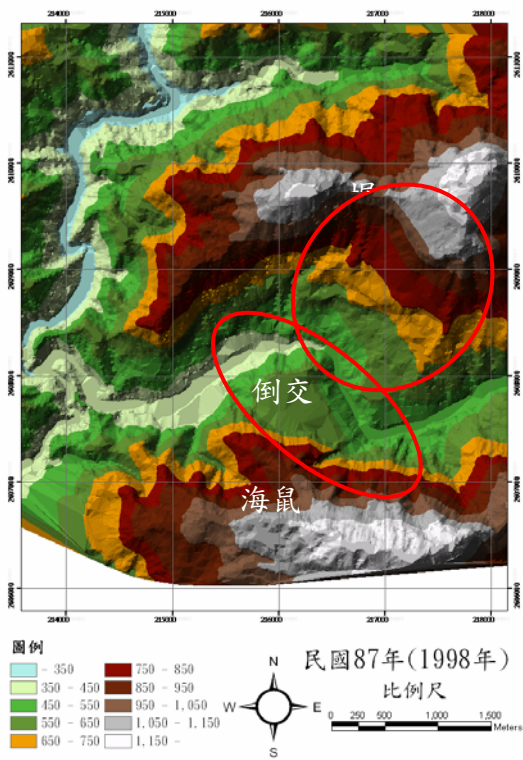


圖 17 1998 年之草嶺地區 TIN 圖

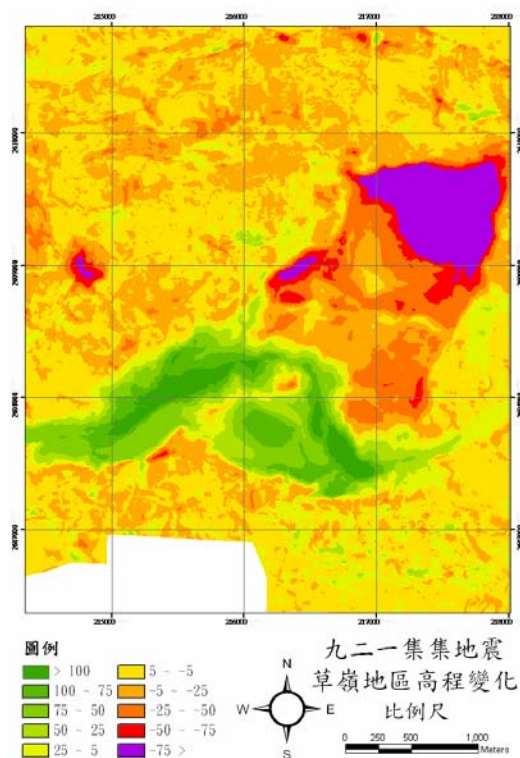


圖 19 1999 年之草嶺地區高程變化圖

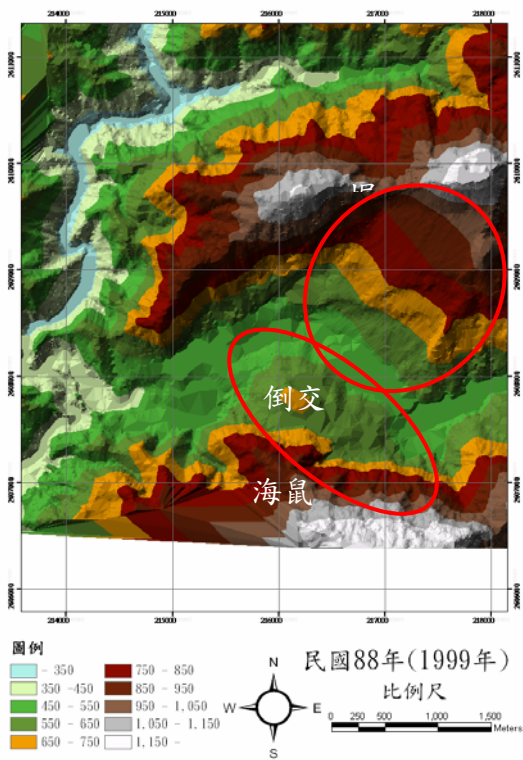


圖 18 1999 年之草嶺地區 TIN 圖

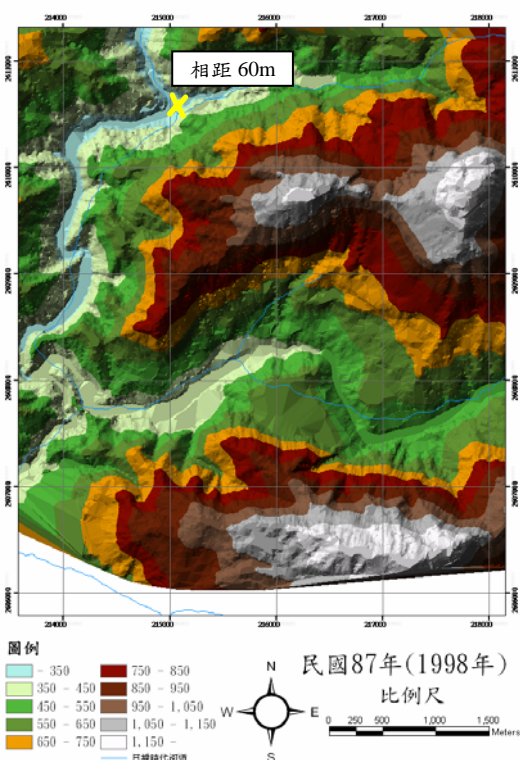


圖 20 1998 年之草嶺地區 TIN 套疊  
日據時代河道圖



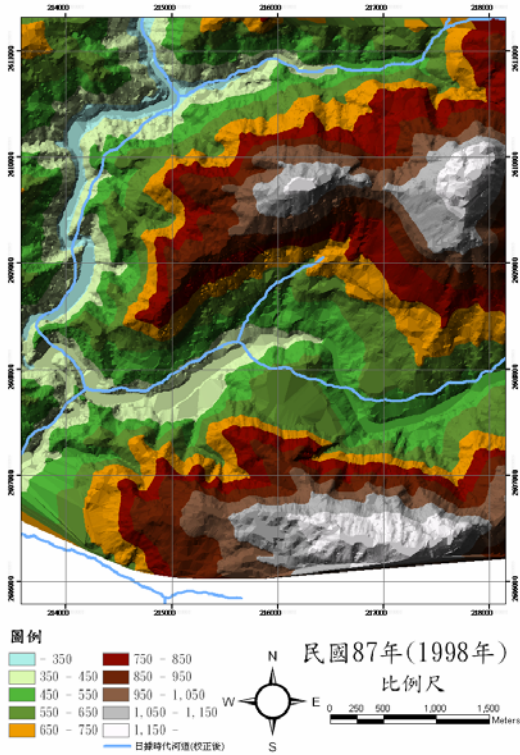


圖 21 1998 年之草嶺地區 TIN 套疊修正後日據時代河道圖

圖 22 為套疊修正後 1930 年之等高線數值圖及 1998 年之正射影像，可以比較草嶺地區 68 年之間的地形變化：

1. 比較兩期的等高線，最高點向南偏移 67m，造成偏移的主要原因可能為：日據時代測量之誤差、日據時代採用的座標系統及座標系統轉換所導致。

2. 修正後 1930 年等高線與 1998 年的正射影像相比較，在未發生崩塌區的嶺線位置及地形走向大致相符。

3. 比較 1930 年與 1998 年的崩塌，共增加三處，而造成崩塌原因應為 1941 年與 1979 年兩次崩場所造成。

4. 河道在崩崖部分的變化為：由左岸向右岸偏移，且偏移距離約 360m。

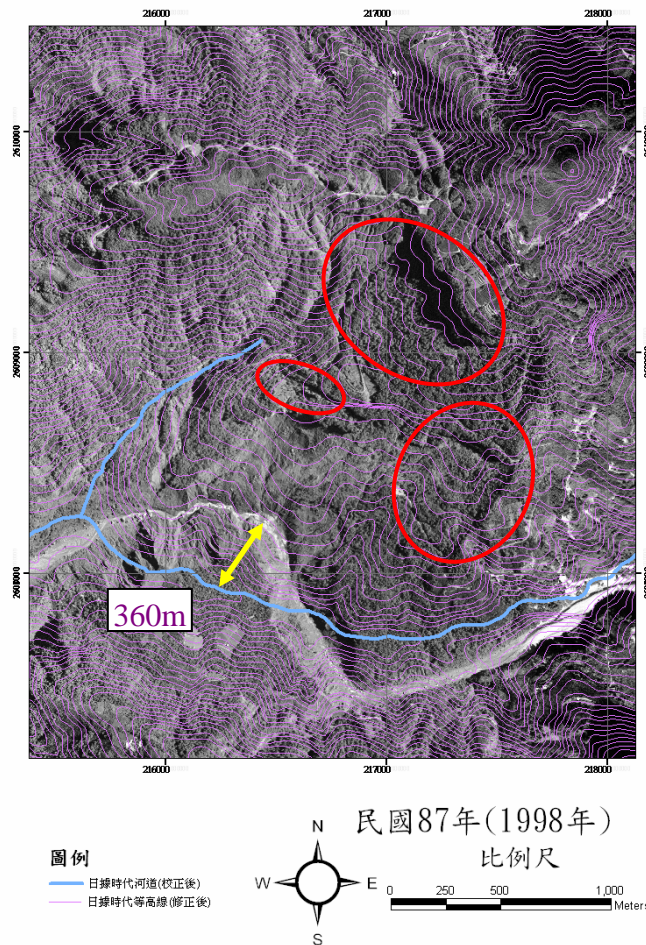


圖 22 日據時代 (1930 年) 之等高線與 1998 年正射影像比較



#### (四) 草嶺潭七二水災後現況概述

2004 年 7 月 1 日，敏督利颱風引進西南氣流帶來豐沛雨量，於中部河川造成嚴重災情，由圖 23 得知，草嶺地區 7 月 2 日至 7 月 6 日累積雨量達 1,000mm，於 7 月

3 日大量降雨使幾近淤滿之新草嶺潭再次潰決並恢復成原始河川型態，由圖 24 及圖 25 所示，新草嶺潭於七二水災後已恢復為河川型態。

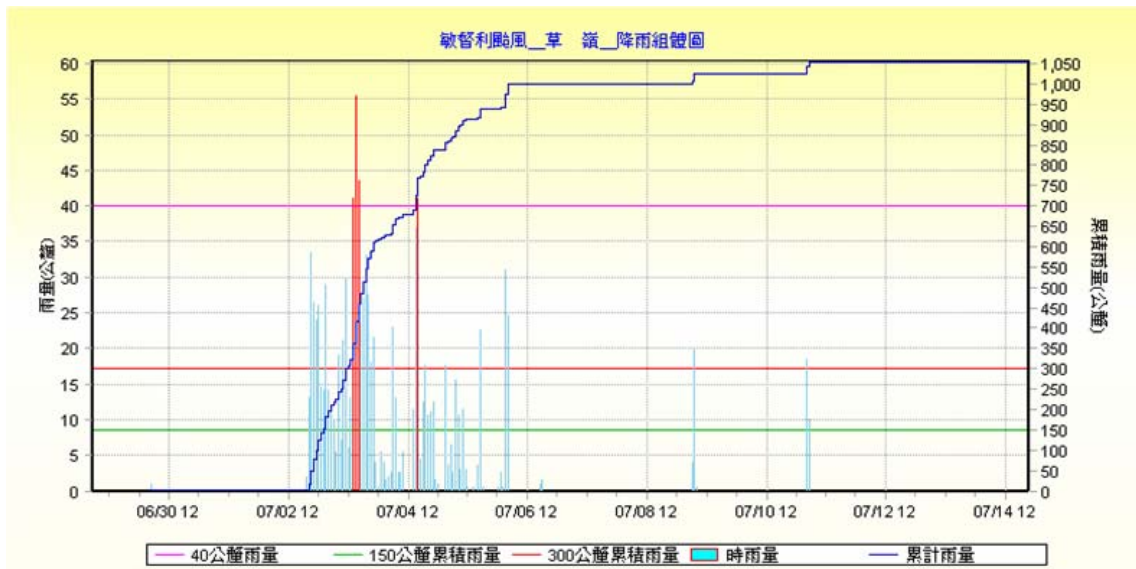


圖 23 草嶺氣象站敏督利颱風期間降雨組體圖 (水利署水災防救作業支援系統)



圖 24 新草嶺潭碼頭 2004 年 7 月 13 日現況



圖 25 新草嶺潭決口 2004 年 7 月 13 日現況

## 結論與建議

### (一) 結論：

1. 由於日據時代 (1930) 之地形圖為五萬分之一，等高距為 20m，其誤差範圍為 10m，較適合定性描述。
2. 由 1998 年與 1999 年兩套疊分析後，可得到崩塌土石量為 12,600 萬  $m^3$ ；若能對 1930 年經過的誤差檢定及校正，必能精準分析出 1941 年與 1979 年兩年之崩塌土石量及堰塞湖容量。
3. 現有農航所成立於 1967 年，距今才 37 年，若能將日據時代臺灣地形圖 (1904 年測量，1930 年出版) 的影像數值化並校正其座標，可將時間差距延伸到百年，這對於了解臺灣各區及各類地形變遷有極大的幫助，臺灣地形圖將不再只是展示過去歷史的裝飾品而已。

### (二) 建議：

1. 若要進行日據時代與現代的 DEM 做更精確的量化分析，必須經過的平面及高程測量誤差檢定及校正。
2. 日據時代平面及高程測量之誤差檢定及高程校正，因自 1930 年至 1998 年之 68 年間曾發生過地震與造山運動，對此地的高程有相當的影響，也需考量。

3. 航空測量的立測誤差為 50cm 內，尤其是林地內，此方面誤差對於整體量化也有影響。

4. TIN 圖雖較能表現真實地表，但 GRID 可做空間分析並製作坡度與坡向圖以個別圖層表現真實地表，且因 GRID 為規則方格，較方便於研究與分析。

## 引用文獻

- 臺灣省水利局 (1979) 草嶺山崩記。
- 林昭遠、林文賜、張力仁 (1999) 數值地形模型應用於集水區規劃與整治之研究，中華水土保持學報，30 (2) :149-155。
- 施添福 (1996) 臺灣堡圖—日本治臺的基本圖，臺灣堡圖—1904 (明治三十七) 年調製，遠流。
- 徐明同 (1980) 臺灣地震目錄 (自公元 1644 至 1979 年)，臺大地震工程研究中心。
- 陳文福 (2004) 現代測量在水土保持工作之應用，水土保持專業訓練成長班講義。
- 陳文福、洪文傑 (1997) 以 DTM 自動劃定集水區結果之評估，水土保持學報，28 (4) :1-14。
- 鄭新興、陳文福，(2000) 草嶺崩山航測數值資料之處

- 理，第十一屆水利工程研討會論文集，A51-56。
- 陳文福 (1997) 陳有蘭溪集水區之地形特性與土地利用之關係，*水土保持學報*，29 (2) :137-155。
- 廖翊鈞 (2001) 草嶺崩坍歷史之初步研究，*中興工程*，73: 1-26。
- 鄭世楠、葉永田 (1989) 西元 1604 年至 1988 年臺灣地區地震目錄，中央研究院地震科學研究所。
- 盧良志 (1982) 中國地圖學史，測繪出版社。
- 蘇碩斌 (2002) 臺北近代都市空間之出現：清代至日治時期權力運作模式的變遷。
- 川田三郎 (1943) 臺南斗六郡草嶺の震生湖，東京帝國大學地震研究所彙報第 21 號，317-325 頁。
- 嘉藤種一 (1966) 地形測量學，山水堂株式會社。
- Clarke, K. C. (1997) *Getting started with GIS*, Prentice-Hall, Inc.
- Cheng, H.-H. (2000) *Photogrammetric Digital Data Processing of Tsau-Lin Big Landslide*, The 21st Asian Conference on Remote Sensing.
- Cheng, H.-H. (1999) *Study of Monitoring on Giant Hill Slope Land Development*.
- Cheng, H.-H. (1998) *Updating and application of DTM on Violent Hill-Slope Land Development*", The 19th Asian Conference on Remote Sensing.
- Peucker, T. K. and D. Douglas. (1975) *Detection of Surface-Specific Points by Parallel Processing of Discrete Terrain Elevation Data*, *Computer Graphics and Image Processing*, 4 (4) :375-387.

93 年 8 月 27 收稿

93 年 9 月 22 修正

93 年 9 月 27 接受