

火炎山自然保留區地形變遷監測

第二年度計畫

期末報告

委託單位：新竹林區管理處

執行單位：台灣大學地理環境資源學系

中華民國九十三年十二月

一、摘要

火炎山自然保留區為現有的 19 個自然保留區之一，其特徵為蝕溝發達、地表沖刷作用強烈，邊坡垂直聳立礫石惡地地形，加上一系列的聯合沖積扇，遠觀具有地景的形色之美。依據前人調查，造成惡地地形的原因，地質地形條件以及豪大雨事件，都會影響到地形發育的狀況。本計畫藉著長期監測，蒐集的氣象與地形變遷資料，探討火炎山自然保留區的地形變遷情況。

本計畫除了架設自計式氣候測站，並導入即時監控模組，在野外測站中裝置 GSM 數據機，使野外的現場資料能即時地傳回，進行即時狀況的瞭解。

在地形資料的取得上，除了第一年度完成的目標外，本計畫運用航空測量的方法，採不同時期的航空照片，經過正射化產生立體相對後，抽取出精細不同年份地形起伏資料，計算地形的變化量與後退速率，並利用所收集的氣象資料，分析地形變遷與降雨之間的關係，希望能提供管理處進行保留區管理的經營參考。

本計畫在第一年已經完成的進度有野外自計式氣候測站的架設，並持續的累積氣象資料，在第二年度六月份完成相關的儀器與技術轉移工作。此外，運用航空攝影測量技術，建立過去的數值地形模型，將分別就五個集水區的源頭、河道、沖積扇三個區域的邊坡後退、集水區變遷、河道侵淤及沖積扇變遷的情況進行觀察。在研究方法上，沖積扇地形變遷以地貌分析法及 DTM 資料相減產生之侵淤量觀察變化；其他部分則以 80、87 及 91 年度之 DTM 資料，繪製剖線並疊合，展現其變動的趨勢。

研究結果顯示，火炎山邊坡後退的形式有兩種，一種為平行後退，多出現在搬運能力強的地方；另一種為減坡後退，多發生在順向坡的邊坡。民國 80 年～91 年的資料顯示，10 年間平均的後退速率分別為平行後退邊坡每年 2.5 公尺（以 3 號集水區的邊坡計算）、減坡後退邊坡每年 1.5 公尺（以 4 號集水區的邊坡計算）。

在集水區源頭，侵蝕地貌的範圍不斷擴大，裸露地的後退速率以 3 號集水區最快，達每年 3 公尺，此結果比兩種邊坡後退的速率稍快。由剖面顯示河道高程變動中，河道的堆積及侵蝕都發生在接近源頭的區域，河道中段的高度沒有發生太多變動。顯示在降雨事件發生時，堆積在源頭的土石會被沖出河谷進入沖積扇。各集水區沖積扇中，以 3 號集水區的沖積扇變動最為頻繁，堆積量與影響面積也最大，有時甚至會影響到隔壁沖積扇的發育。其原因可能是上游土方量供應最多，集水區面積也最大，上游河道較不易堆積土石，使河道可以完全把源頭侵蝕的土石全部帶出谷口，在谷口後方造成堆積，成為新的沖積扇。民國 75 年～91 年間，以民國 91 年的變遷幅度最大，主要的原因是受到民國 90 年的桃芝颱風及納莉颱風影響。

二、 前言

苗栗三義火炎山自然保留區主要為厚層礫石層惡地的侵蝕地形。整個火炎山是由頭嵙山層礫石層所組成，其特色是岩層中含有大量礫石以及少量細粒物質所組成的礫石層，由於礫石的膠結物是鬆散的沙、泥與粉沙，因此常常會由於地表的侵蝕作用，產生劇烈的邊坡沖蝕現象。由於地表沖蝕過度激烈，形成裸露的礫石邊坡，以及沖蝕作用所產生的大規模礫石沖積扇「惡地地形」。「惡地地形」是指由於沖蝕作用強烈，使地表成為無植被或植被稀少，裸露情形嚴重的一種地形（王鑫，1987）。

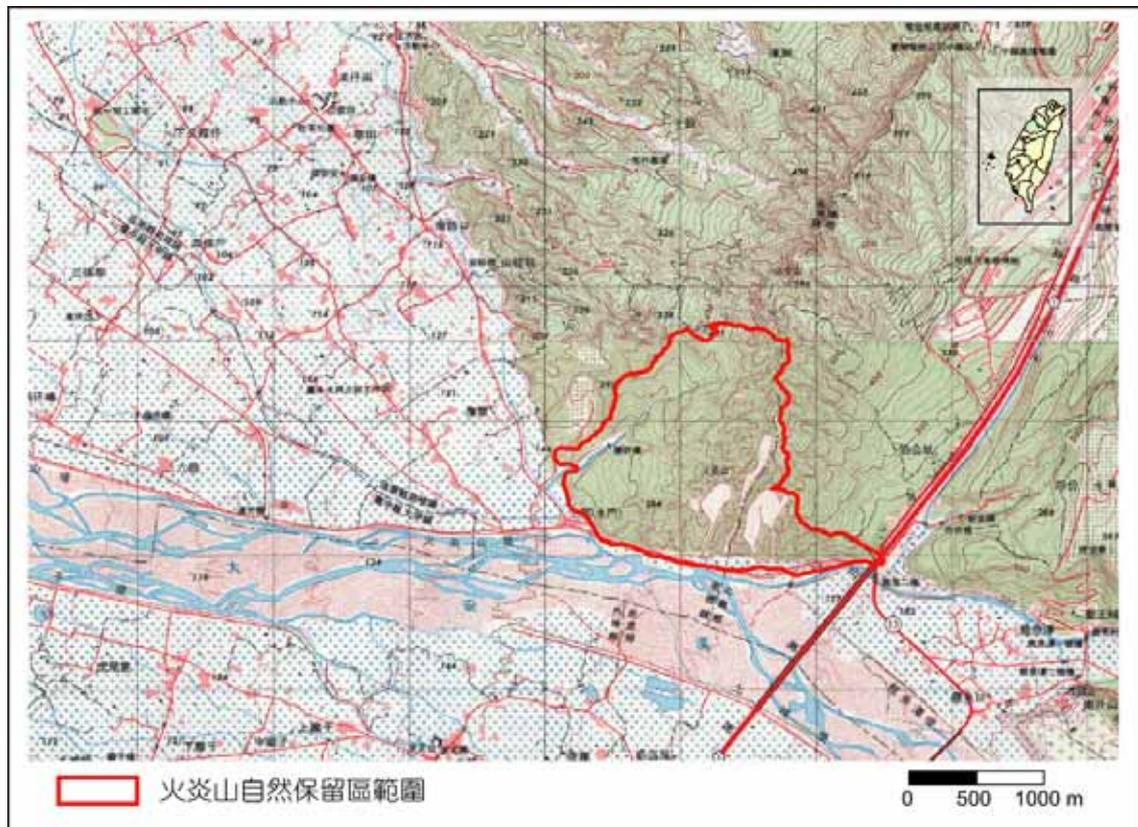


圖 2-1 火炎山自然保留區位置圖

由於火炎山自然保留區的礫石惡地地形變動非常大，當降雨量達到一定程度以上，就會產生邊坡沖蝕的現象，蝕溝發育，進而有許多礫石與細粒物質進入河道，並向下邊坡移動，在進入大安溪河岸前形成大規模的沖積扇。火炎山地區，有三個地區變動非常劇烈。第一區是最上方的礫石層邊坡，由於受到地表侵蝕作用，表面的礫石以落石的方式後退，形成非常高角度的裸露邊坡。這些邊坡由於經常發生邊坡後退作用，因此植物無法生長，長年保持光禿狀態。這種邊坡演育的方式，是上方邊坡以高角度的方式後退，在下方產生由崩落物質堆積的崖錐。

本計畫在第一年度已經完成野外自計式氣象測站的建立，利用遠端遙控的技術，在室內進行觀測現場的溫度、溼度及風向等。儀器今年持續在運作中，並且由收集到的資料瞭解研究區的氣候現象。

經由所得資料判斷，降雨出現明顯的乾濕季節，情況與台灣大範圍的降雨分佈季節相同，以夏季的降雨為主。風向上則受制於火炎山溝谷出口方向的限制，多以偏南方的開口方向為主。

對照過去雨量資料的分析，三十年來的資料累積顯示，火炎山過去的降雨型態與自計式氣候測站的資料分析結果，有高度的相似性：以夏季的降雨為主。另外，將資料大致以十年為一期，分為三個時期來看，月份別的降雨變率會有很大的變化情形。在特殊的情況下，會發生夏季乾旱的情形。

地形的變遷中，常常因為颱風造成地形大規模發生改變。本年度進行數值地形資料(DTM)的生產，產出網格精度為 5 公尺的 DTM，作為地形變遷之分析。

三、 研究目的

本研究地形監測可以概分為兩大部分，第一部份是有關於地形變化的監測，第二部份是有關於氣象資料之收集。

本研究今年完成的目標有：

- 一、持續進行氣象資料的收集及分析
- 二、數值地形資料所需之控制點的佈標及測量
- 三、數值地形資料的生產及地形變遷分析
- 四、氣象觀測站設置、維護及資料處理等相關之技術轉移

四、研究材料及方法

本研究在監測地形變化之部分，是以火炎山變化量較大的區域為目標，在集水區源頭、中段河道、下方集水區出口各有不同的主題，源頭區是地貌變遷與邊坡後退的觀察、中段為河道的侵淤變遷、下游為沖積扇的地貌變化。針對不同的主題，提出相對應的研究方法。

(一) 剖面分析：對很多變遷的研究而言，如果能夠選定固定位置，每年都測量出一條剖面線，則各時期的位移量可被量測出來。再由其間的時間長短，就可以估算出平均的變化量，以及被觀察對象發育的趨勢。集水區源頭的邊坡發育模式，即可運用此一原理，針對邊坡採取固定位置的剖面資料。加以疊合之後，不但可以計算出邊坡後退的速率，亦可以從不同時期剖面外型的變化，瞭解邊坡發育的形式。在中段河道的變遷上，本研究運用剖面資料，擷取河道中不同地點在時間序列的縱剖面，以瞭解河道是否有發生刷深或加積現象。

(二) 航空攝影測量：要能得到剖面線資料，就必須對於邊坡或河道進行測量的工作。航空攝影測量方面，主要是運用航空攝影所拍攝的地面影像，進行空中三角測量與影像正射化等作業，製作具有大地座標的正射化影像與數值地形模型。其中正射化影像與衛星影像相類似，可以用來判識地形與地物，對於瞭解二維的地形變化非常有幫助。而地形的數值地形模型可以用來計算地形的變化量，以及整體地形侵蝕與堆積的情形，將原本的二維資訊轉換成為立體資訊。過去農林航空測量所曾經製作臺灣地區的數值地形模型，其空間解析度為 40 公尺。以

這樣空間解析度的資料運用於火炎山地區的地形變化監測的資料經度是有所不足。為了達到完全掌握火炎山地區的地形變化資料，本研究嘗試進行該區域的正射化影像與數值地形模型製作。在數值地形模型的空間解析度上，希望可以達到 5000 分之一相片基本圖的製圖精度，也就是平面誤差控制在 2 公尺以內，高程誤差控制在 20 公分以內的水準，空間解析度為 5 公尺的數值地形模型，希望對於整體的地形變化掌握度會提高許多。

目前的技術而言，運用航空攝影測量就可以精確地掌握整個沖積扇地形的數值地形模型。如果將連續兩次數值地形模型加以對照，就可以獲得地形變化的分佈情形，也就是在地形上沖蝕與堆積的位置及堆積與侵蝕的量，進而瞭解每一段時間內地形變化情形。

(三) 地貌分析：針對研究區的區域變遷差異的觀察。本研究利用涵蓋度 60% 的航空相片對，進行地貌變遷的判釋。經過事件之後的地貌，必定會與事件發生之前有所差異，利用立體像對與地面實際資料相互配合而產生判釋的圖面結果，運用不同時期的地貌圖加以疊合，就能夠顯現出研究區地形變化的情況與趨勢，達成變遷監測的目的。

(四) 氣象資料分析：由於引發地形變化的因子主要是地表外營力，尤其是颱風豪雨等因素。對火炎山地區而言，主要的外營力因子為降雨，因此在本計畫之中，降雨和其他基本氣象資料的收集也顯得更為重要。目前計畫在火炎山自然保留區內設置自計式的氣象觀測站，以便連續收集當地的氣象資料，瞭解外營力

作用的情形。

第一節 氣象資料的接收

目前所採用的自計式氣象觀測站是由 CAMPBELL 公司所生產的資料收集處理器 (DATALOGGER) 與相關感測器 (SENSOR)。由感測器將氣象資料轉換成電子訊號，再由資料收集處理器負責量測、轉換訊號與記錄，最後以量化的方式呈現。本計畫預計收集的基本氣象資料包括：降雨量、風速、風向、溫度與相對溼度等五項。其中各項氣象資料每 10 秒鐘收集一次，然後計算每三十分鐘數值而產生一筆資料。降雨量的最小觀測單位為 0.2 公釐、溫度則為 0.1 度、相對溼度則為 0.1%、風速最小單位為每秒 0.1 公尺、風向為 0.1 度 (Armstrong et. al. , 1985)。

在目前的構想下，這套系統希望可以傳遞資料處理器所收集、記錄的資料之外，還可以傳遞現場的即時影像。除了學術研究的用途外，還可以將這套系統運用於天然災害防救與決策支援系統。以行政院農委會水土保持局為例，為了有效監測土石流災害，水土保持局於陳有蘭溪的豐丘與神木村兩處地點設置遠端監測系統，一方面收集基本的氣象資料，另一方面進行影像監測。當氣候條件超越原本設定的閾值 (Threshold)，有可能發生土石流災害時，位於遠端的監控中心就可以透過設定的聯絡網，通知當地的居民進行緊急疏散，以便減少居民生命財產的損失。

本計畫前半段在火炎山自然保留區的第 5 號集水區上游部分設置一套氣象觀測系統 (包含遠端監測系統)。然而，仍然有被落石擊中，導致損毀的可能。在此考量之下，將測站的位置向右邊搬移到第 4 號集水區的邊坡上 (圖 4-1)，同時也較為開闊。發生地形劇烈改變或是落石等狀況而危害到觀測儀器的機會相對的較小。

基本氣象資料收集的項目包括：降雨量、風速、風向、氣溫、大氣相對溼度等，由資料記錄處理器處理，然後記錄在記憶體中，等待研究人員讀取。在資料傳輸系統方面，可選擇衛星傳輸與無線傳輸兩種主要方式。在衛星傳輸方面，以中新二號衛星為中繼裝置，將資料轉換成衛星訊號上鏈，由衛星傳遞到地面的遠端監控。

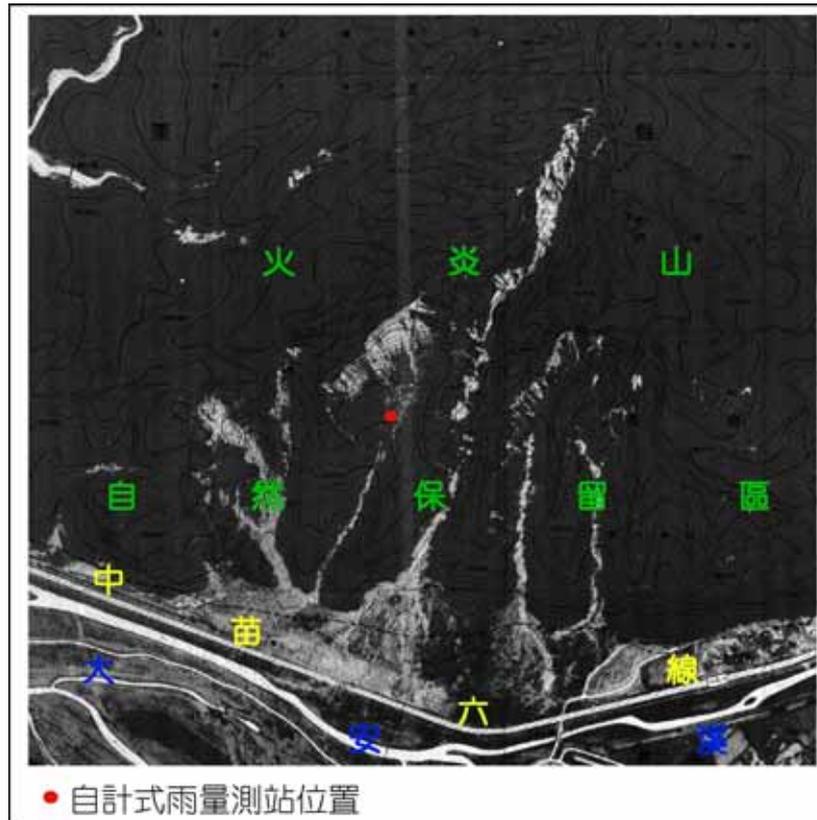


圖 4-1 自計式雨量測站位置示意圖

無線傳遞又可以分成 GSM 系統、PHS 系統或是無線電系統三種方式來傳輸。GSM 系統及 PHS 系統是較為簡便與低成本的方式，但是會受限於基地台的服務範圍與傳輸速率。無線電系統則是比較可靠，但是其建製成本會比較昂貴。在火炎山的氣象監測系統，由於有 GSM 系統的涵蓋，所以可以選擇較低成本的方式。另外，由於 GSM 無線傳輸系統需要較大功率的電源，本研究採用以鉛電池作為觀測站主要的電力來源，這種電池大約只可供應一個半月左右。

目前裝設的無線資料傳輸系統是以德國 SIEMENS 公司所生產的 GSM 傳輸套件（無線數據機 TC35T）為主。其原理是透過 RS232 接頭，將資料記錄處理

器中的資料轉換為電子訊號，透過這個 GSM 套件，運用無線數據機的原理將訊號傳出，遠端就可以獲取即時資料。雖然以這樣的方式進行資料傳送，在速度上會有很大的限制，最高速只能達到 9k/bps，但是由於資料記錄處理器所呈現的資料都是體積很小的數值，所以運用這樣的無線傳輸系統具有可行性。在本系統的優點方面，無線傳輸代表可以遠端連線，GSM 系統代表可以運用電信系統連結，所以只要遠端的電腦透過電信網路，無論在世界各地都可以監控這個測站的狀況，可以在第一時間內獲得火炎山即時的氣象資料。

在資料處理器與無線數據機之間有一個資料處理介面，負責將兩方面的訊號加以轉換，是 CAMPBELL 公司所生產的 SC932A。這個介面主要的功能在於轉換資料處理器與無線數據機的訊號，讓兩者可以進行溝通。在進行遠端數據連線時，所有的控制訊號是由無線數據機經由 SC932A 介面傳入資料處理器中。在資料傳輸時，則是由資料處理器經過 SC932A 介面傳至無線數據機。

本計畫所預計要採用的氣象觀測站，可以分為三個主要的部分。第一是收集、轉換氣象狀況的感測器，包括：雨量計、風速風向計與溫度相對溼度計等(圖 4-3)。

(1) 風速風向計

風速風向計為 YOUNG 公司所生產(照片一)，其中風向計是以可變電阻將風的來向轉換成電阻的阻抗數值，由資料記錄處理器讀取並且轉換成 0 至 360

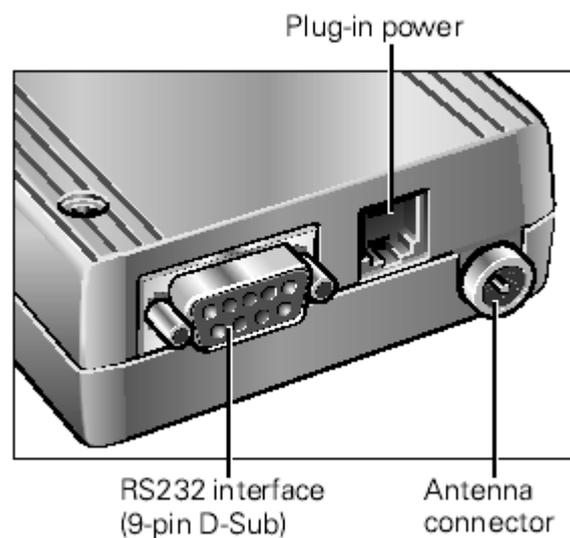
度；風速資料是由連接在螺旋槳上的脈衝訊號產生器所轉換，風速愈高則同一時間內所送出的脈衝愈多，由資料記錄處理器轉換成每秒的風速資料。

(2) 溫度與濕度計

大氣溫度與相對溼度則由一組線路處理，將其轉換成高低不同的電壓大小輸出，然後由資料記錄處理器量測、轉換。

(3) 雨量計

雨量計為傾斗式，雨量收集筒口徑為 6 英吋，將降雨收集到傾斗中，每 0.2 公釐降雨會啟動傾斗動作一次，並且將脈衝訊號傳送至資料記錄處理器中。降雨量以雨量計量測，在照片七左方之黑色雨量筒。資料處理器接收脈衝訊號，並且轉換成降雨量資料。



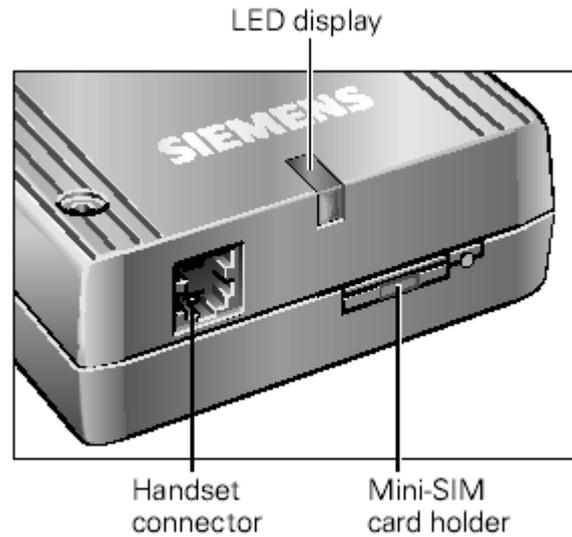


圖 4-2 GSM 無線數據機外觀

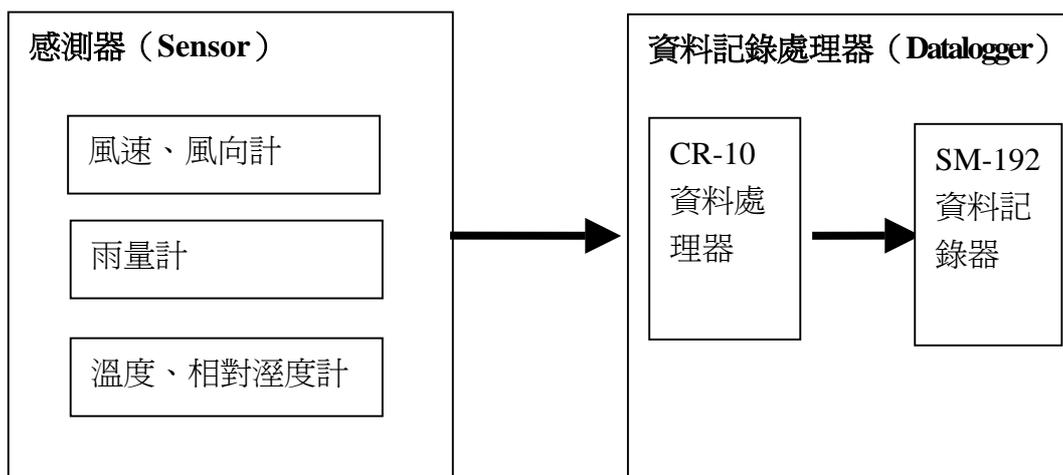


圖 4-3 自計式氣象觀測站系統架構圖

本計畫所採用的資料記錄處理器是由美國 CAMPBELL 公司所出品的 CR-10 與 SM-192，主要由兩個部分所組成(照片二)，分別是量測與處理資料的 CR-10 與記錄資料的 SM-192。CR-10 主要的功能就是量測連接在其上的感測器所傳回的電子訊號，並且可以設定許多不同量測範圍、不同量測時間間距，還可以依據

不同需要進行程式設定，以配合不同計畫的需求。簡而言之，CR-10 就是一個可以程式設定的複雜電表，專門量測電壓、電流與脈衝等電子訊號，轉換成數值，並且進行簡單的計算或統計。



照片一 風速風向計、溫溼度計與雨量計等感測器外觀



照片二 資料記錄處理器外觀

SM-192 的主要功能是將來自 CR-10 的數值儲存在記憶體中，以便研究人員

以電腦讀取。由於野外環境惡劣，往往會使儀器失靈，因此 CR-10 所量測的數值需要有一個穩固的地方儲存，而 SM192 就扮演這樣的角色。一旦資料進入 SM-192 後，除非經過電腦指令消除，否則資料將可以在其中至少保留三年以上，不會受到 CR-10 失效或是其他外界干擾的影響。所以由 CR-10 與 SM-192 所組成的資料記錄處理器可以有效執行自動化量測與記錄氣象的功能。

過去的資料收集方式需要研究人員到儀器所設置的地區進行，由於本計畫設置 GSM 無線數據機與相關轉換介面，所以將來可以透過電腦與數據機，以遠端連線的方式來進行資料讀取。透過這種方式，將來研究人員或系統維護人員可以不需要到現場，只要有電話連線的位置都可以進行連線，除了可以及時得知觀測站目前的情形，也可以下載存在記憶體中的資料。

自計式氣象觀測站(照片三)收集由感測器所傳來的訊號，將其轉換成數值並且進行計算與統計。一般而言，脈衝訊號(降雨量與風速)以加總的方式處理，其他訊號以平均的方式處理。讀取資料處理器中記憶體的資料需要以 CAMPBELL 公司所提供的軟體。



照片三 自計式氣象觀測站

本計畫所使用的自計式氣象觀測站使用 12 伏特直流電為電源。由於測站裝置在無交流電源的野外，所以主要以 12 伏特的電池為電源。照片七中儀器箱內黑色的部分就是電池，提供儀器運轉所需電力。由於資料處理器所需的電源最小需要 9.5 伏特以上，所以每隔一個半月需要更換一次電池，以免整套儀器停擺。

除了硬體設施之外，要與資料處理器進行無線通訊必須透過相關軟體。CAMPBELL 公司發展出 PC-208W 軟體，可以進行直接與有線、無線數據連線，可以隨時隨地利用各種方式與資料處理器連線，掌握最新的動態。連線軟體與狀況請參閱圖 4-4。

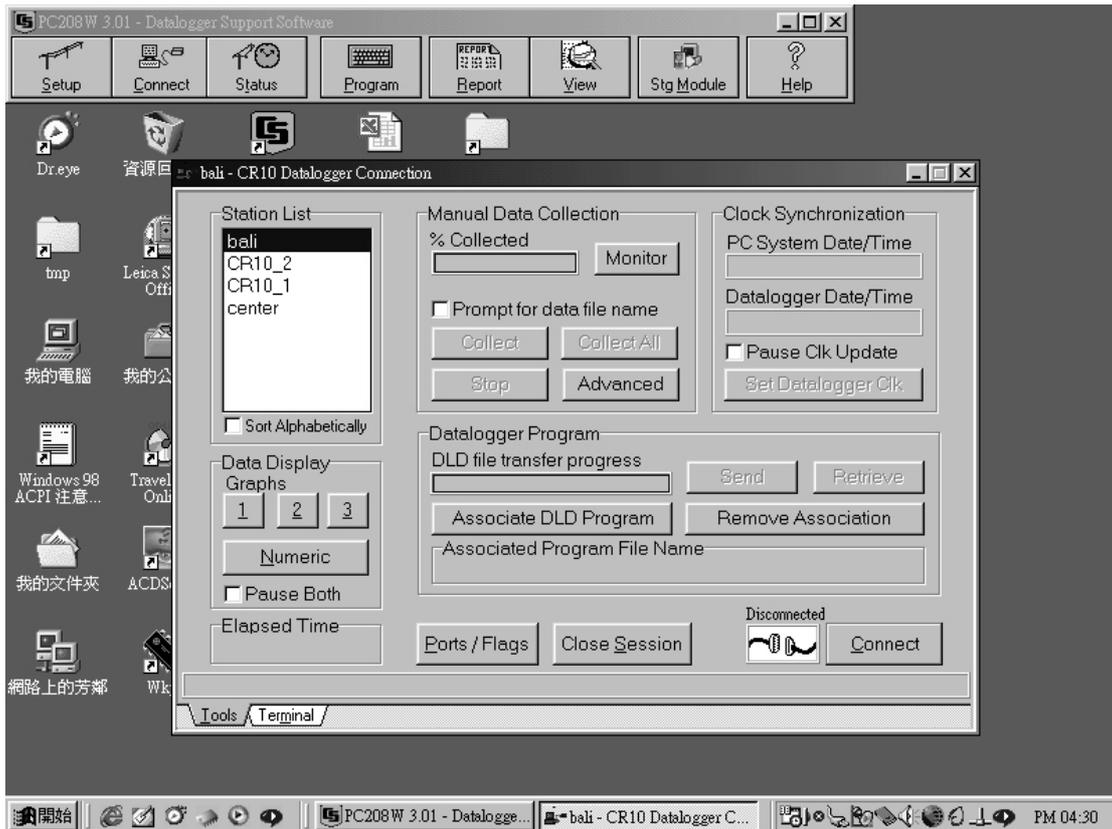


圖 4-4 通訊軟體 PC-208

火炎山自計式氣象觀測站資料範例 (表 4-1)，資料的第一欄為測站的編號、第二欄為日期、第三欄為時間 (二十四小時制)、第四欄為氣溫、第五欄為相對溼度、第六欄為降雨量、第七欄為風速、第八欄為風向 (0 至 360 度)、第九欄為內部機器溫度、第十欄為電池電壓。

表 4-1 火炎山自計式氣象觀測站資料

站名	日期	時間 (1/2hr)	溫度 (°C)	溼度 (%)	降雨量 (mm)	風速 (m/sec)	風向 (°)	內部溫度 (°C)	電壓 (V)
108	1	0	20.14	70.9	0	1.117	46.64	21.46	12.12
108	1	30	19.78	74.6	0	0.556	32.83	21.12	12.12
108	1	100	19.57	76.1	0	0.369	102.9	20.82	12.12

108	1	130	19.45	77.2	0	0.503	123.5	20.55	12.11
108	1	200	19.27	78.2	0	0.826	170.2	20.34	12.11
108	1	230	19.2	77.8	0	1.257	134	20.14	12.11
108	1	300	19.35	76.8	0	1.154	125.2	19.97	12.11
108	1	330	19.53	76.1	0	0.833	116.3	19.88	12.11
108	1	400	19.62	77	0	0.414	162.8	19.83	12.11
108	1	430	18.76	86.7	0.6	0.146	68.38	19.72	12.11
108	1	500	18.15	92.2	0	0	0	19.34	12.11
108	1	530	18.18	92	0	0.312	114.8	18.98	12.1
108	1	600	18.24	91.2	0	0.08	252.8	18.73	12.1
108	1	630	18.33	91.2	0	0.288	11.05	18.61	12.1
108	1	700	18.44	90.4	0	0.343	101.6	18.56	12.1
108	1	730	18.91	90.4	0	0.263	212.3	18.68	12.1
108	1	800	19.23	89	0	0.369	106.5	18.99	12.1
108	1	830	19.32	88.3	0	0.364	176.1	19.32	12.1
108	1	900	19.36	89.9	0	0.433	103.4	19.56	12.1
108	1	930	19.76	87.7	0	0.318	175.4	19.77	12.1
108	1	1000	20.66	86.1	0	0.186	125.9	20.21	12.1

在這些資料中，氣溫、相對溼度、風速、風向與降雨量等資料是感測儀器所收集的氣象資料，前面三項為時間資訊，最後的內部機器溫度與電池電壓是檢查儀器運作狀況的資料。若是儀器運轉有問題，很容易可以由最後兩項資料看出。

自計式氣象觀測站的儀器每十秒鐘會收集一筆資料，然後每半個小時進行計算，產生一筆資料，所以最後呈現的格式為每半個小時有一組資料。

以往對於環境監測，只能進行事後收集資料方式來進行，即使是資料收集器可以提供即時資料，但是受限於沒有適當的連結網絡，只能在事後以人為方式擷取資料，在時效上往往已經錯失先機。研究人員藉著這套系統，可隨時進入即時監測系統，觀察測站的狀況。在將來遠距監測系統建置完成之後，就可以在監控

實驗室中，直接擷取即時的資料與影像，立即可進行即時分析，瞭解現場狀況。

第二節 數值地形模型的建立

本年度進行的另一個重點是火炎山自然保留區的礫石層惡地地形影像正射化與數值地形模型建立的工作。本計畫採用由林務局農林航空測量所拍攝的航空相片來進行。目前可以運用新的數位影像和地理資訊系統技術，將航空相片加以掃描成為電子檔，配合相關的大地座標與高程資訊，由相片對中抽取數值地形模型，並且依照所生產的數值地形模型將地表影像正射化。在整個作業中，需要地面控制點的資料（包括該點的平面座標與高程）與相關的航空照片。地面控制點的資料可以運用大地測量或 GPS 衛星定位系統進行測量，航空照片相片對需要涵蓋度 60%。

在良好狀況下，航空攝影測量可以產出十分精準的地面高程資料。其先決條件是需要有準確的地面座標量測，當作地面的絕對控制點。地面控制點的作用有兩個，一是給予立體相對固定點座標，來進行精準空中三角點的計算；二是給予立體模型在大地座標上的絕對位置，有如圖釘一般，把經由程式計算出來的立體模型，放在正確的大地座標上。

在田野間進行過控制點的測量之後，即可運程式將航空照片進行正射化作業，以產生正射化影像與 DTM 資料。目前 DTM 製作的技術已趨於成熟，市面上與業界有許多的軟體或工作站都可以進行處理。本研究所使用的軟體為中國適

普軟體公司 (Supersoft Inc.) 所開發之 VirtuOzo 影像處理軟體。此軟體的電腦的硬體配備需求並不高。

主要會影響產出正射化影像品質的因素有兩個：控制點品質與相片品質。控制點的作用在於連接航空照片中相同的地點，並將模型如圖釘般的釘在大地座標上。因為要計算空間誤差，系統要求至少要有四點以上的控制點均勻分佈在目標區域四周。如果控制點能大量的分佈在目標區域外圍，則產出之 DTM 資料正確性即能提升。本研究使用 Lieca TPS 1100 雷射電子全測儀測量，經過現場驗算結果，水平距離測量誤差符合一般平面測量規範，水準測量結果符合一般水準測量規範，具有一定的精準度。

相片品質方面，由於不管是正射影像或立體相片對，都需要品質十分良好的航空照片來幫助產出。一組相片對 (兩張以上照片) 要稱為良好，需要下面幾個條件：最好不要有雲、航高儘量要低、兩張照片之間的重疊涵蓋度需介於 60% ~ 75%、加上適當的拍攝時間。照片上如果有雲覆蓋，非但被雲遮住的地面資訊會消失，在匹配影像時也會有不利的影響；航高愈低，則在相同的照片尺幅之下，地面的解析度會愈高；涵蓋度如果沒能達到標準，則只能作單一相片對重疊區立體影像，不容易將整個研究區涵蓋；照片拍攝的時間最好能跨過大的季節變化或是發生的事件，以便觀察到想要研究的目標變化。本研究所使用的照片來源為農林航空測量所所拍攝，航高約 7000 ~ 8500 呎，與 1/5000 相片基本圖為相同的尺幅。在前述條件的要求下，進行 DTM 的製作過程。

為配合航空攝影測量，在火災山地區需要進行高精度定位作業。本計畫中精度的要求，至少需要三個以上的地面控制點才能夠達到基本的要求。由於研究中會使用到過去的歷史資料，但火災山地區在 15 年內附近的開發行為不少，地貌變化大，要尋找 15 年間都沒有變化的地點十分不易。因此在研究中，先建立近期的 DTM 模型後，以建立的 DTM 模型成果為之前年度的檢測依據（過去的變動量必定小於或等於現在的變動量），回推建立不同時間點上的 DTM 模型。而詳細的操作流程與使用的航照，請參見附錄，內有詳細的說明。

第三節 高程資料變動分析

一、地形剖面製作：在 DTM 資料產出及航空照片正射完成後，針對前述之研究目的，對歷年的火災山資料開始進行分析、整理與運算。

對變遷的研究而言，如利用歷年的 DTM 資料下，測量各年度變遷與位移量最快的方法，為定點剖線測量。選定固定位置，每年都測量出一條剖線並加以疊合，各時期的位移情況即能顯現。再由其間的時間長短，就可以估算出平均的變化量，以及觀察對象發育的趨勢。對集水區源頭的邊坡發育模式，即可運用此一原理，計算出邊坡後退的速率，亦可以從不同時期剖面外型的變化，瞭解上邊坡發育的形式。本研究先利用 Arc GIS 8.1 中 Arc Scene 模組內 3D Analysis 的功能，計算出地形模型的等高線。再依據等高線的排列情況，選擇適合的剖線取樣位置（避開蝕溝與植生生長區），再由 ERDAS Imagine 8.5 中的 Profile Tools，繪製出各年度相同點位之間的剖面。

在河道變遷的觀察上，亦需讀取出河道的剖面資料，擷取河道中不同地點在時間序列的縱剖面，以瞭解河道是否有發生刷深或加積。為了還原各時期河道變動導致剖面改變的真實影響，繪製河道縱剖面時，必須先從等高線中確定各時期河道的確切位置後，才能決定剖面的起迄點。本研究中將剖面的起點定義為河道出溪谷的谷口，終點為航空影像中能判釋出河源頭蝕溝匯集、出現碗狀構造並開始有明顯河道可供辨識者，沿著等高線疊合航空影像所顯現的溪谷拉出河道剖面。由於 DTM 高程資料誤差值為 2.5 公尺 (5 公尺網格的一半)，為了避免兩個比較年度之間的差異量小於誤差值，導致計算出的數值不能反映出真實的變動情況，進行高程資料變動比對時，選擇三個相距較久的年份：民國 80 年、87 年與 91 年的 DTM 資料。在此時間間距下，高程的變動應累積超過了 DTM 誤差，比對後再將數值回除以時間間隔，則可以得到平均的年度變動量。

二、高程變動計算：除了剖面，在瞭解地表的高程變動狀況的方式上，也可以將兩個年度的 DTM 高程資料，運用 ERDAS Imagine 8.5 的運算功能相減，得到一年之間的高度差異。由於集水區範圍在時間軸上會發生變化，但沒有一定的趨勢。為了避免不同時期集水區邊界變異，造成比對範圍的不一致，在集水區高程變遷的測定中，集水區界的範圍是以最後一個年度 (民國 91 年) 的集水區範圍為準，去切割出各集水區在三個年份中的 DTM 資料，之後才進行不同年代高程模型的比對。

在沖積扇的部分，大部分每年的變動量都超過了 2.5 公尺，在比較時可以直

接拿相鄰兩個年份的資料作比對，不需要如同剖線般需累積到一定的變動量之後才能計算。

在集水區變動的觀察上，則以製作集水區變動圖的方式進行。集水區變動圖則是配合高程變動比對，將民國 80 年、87 年及 91 年三個年份的集水區邊界與裸露地（不穩定區）相疊，用以顯現出時間序列上地形變動的關連性，還可以表示出距離上變動量的大小。

第四節 技術人員訓練

有關所有的火災山地地形變遷監測的技術移轉，整個技術移轉的工作包括儀器架設的原理、自計式氣象觀測站的資料讀取與基本維護等。

在自計式氣象觀測站資料讀取與基本維護方面，後續的工作人員需要瞭解氣象觀測站的基本運作原理，並且學習如何讀取資料，在每一次讀取資料之同時檢查測站與感測器是否運作正常，並且瞭解基本的故障排除以便在現地進行臨場維護。

五、研究調查資料分析

火炎山屬苗栗丘陵南部，大安溪的北側，地勢北高南低，東高西低；最高點為火炎山頂的 596 公尺。旁邊分別為鐵砧山台地、后里台地。就地層而言，幾乎都屬沈積岩體系（砂岩、頁岩、礫岩、紅土台地堆積層與現代沖積層），沈積的年代從中新世到全新世之間。

火炎山附近有三條構造線（圖 5-1），分別為鐵砧山背斜、三義斷層與關刀山斷層。此三條構造線中，關刀山斷層對於本區的影響並不大。影響較大者為三義斷層與鐵砧山背斜，其中由於背斜通過火炎山西邊附近地區造成隆起，使火炎山的地層呈東北西南走向，並往東南東方向傾斜，傾角為 $8^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 不等。

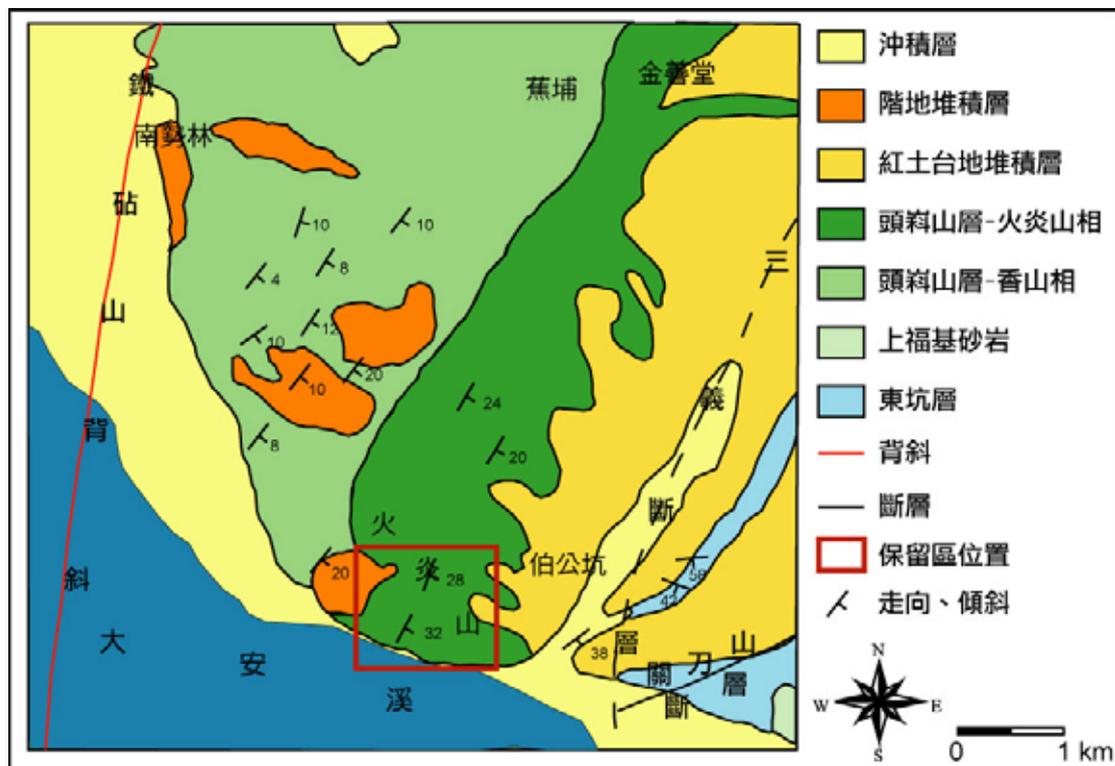


圖 5-1 火炎山地區地質圖（改繪自經濟部中央地質調查所，1994）

據張憲卿（1994）調查，本區的地層分界主要以火炎山東側的三義斷層為

界，以西為更新世到現代沖積層，屬較年輕的地層；以東為中新世到上新世、相對較老的地層。火炎山位在三義斷層西方，由於鐵砧山背斜軸東翼出露，將原本水平的沈積岩層抬升出露。出露的地層從老到年輕分別為：最老的砂岩、粉砂岩與頁岩之互層位在最下面，中間為礫岩間夾薄層泥岩地層，紅土台地堆積層則是最年輕、也是位在最上面的一層。

表 5-1 火炎山地層表 (修改自張憲卿，1994)

地層	岩性	厚度 (公尺)	化石
階地堆積層 (t)	礫石、砂、粉砂及黏土	1-25	—
紅土台地堆積層 (l)	砂、泥及礫石，上覆一至六公尺紅土	30-80	—
頭嵙山層	礫岩 TK2 砂、頁岩 TK1	TK2：礫岩間夾薄層粉砂岩 TK1：砂岩、粉砂岩、頁岩之互層	180- 貝類、有孔虫、 蘇虫、哺乳類及 珊瑚等

火炎山的地層主要為頭嵙山層，頭嵙山層的整個地層內混合著海相、半鹹水相和淡水相各種化石群。這是本層的一個特徵，表示它的沈積環境可以因地而異。大部分化石的時代是更新世早期，但是有一部份可能是上新世的晚期。由厚的礫岩層、不明顯的層理、變化顯著的層厚和岩相，以及各種混合化石群等現象來研究，都可以證明頭嵙山層是在海退時的濱海相環境中造成。從不同露頭情形

可以推測本層沈積時的環境可以有河相、濱海相及淺海相。

一般可分為兩個岩相，彼此間是漸變的。一為礫岩相，一為砂岩和頁岩相。他們代表同一地層中的兩個不同岩相，但沒有一定上下層為的關係，後來張麗旭分別定名為頭嵗山層中的火炎山相（礫岩）和香山相（砂岩和頁岩），通常前者覆在後者的上面。

頭嵗山層上部的火炎山相主要由礫石組成，其間夾二至三層二公尺左右之薄層砂、頁岩互層，礫岩礫徑約四公分至一公尺，其中以 10~30 公分者最多。礫岩大多淘選不佳，膠結很鬆，膠結物多為粗砂或細粒，時常成起伏大而複雜的惡地地形，巨厚塊狀的礫岩發達，常形成峻峭懸崖和鋸齒狀的山嶺，大小柱狀尖峰簇立，狀似火焰，故常以火炎山謂之。礫石種類以第三紀砂岩為主。此外，火炎山礫岩由於夾有數層薄層砂、頁岩互層，呈現 17~25 度向東南傾斜之產狀，又由於受到後期造山運動之影響，礫岩多見有一些不同組方向之規律裂隙，且岩質易破碎，此為火炎山礫岩之一大特性（林俊全，1992a）。

頭嵗山層下部的香山相，主要的岩性是塊狀、但青灰色至淡灰色、細粒、或粉砂質的砂岩。砂岩的膠結疏鬆，一般層理不顯著，交錯層及漣痕發達，並時含炭化漂木和海棲化石，較厚層之砂岩及粉砂岩多分佈於香山砂頁岩之中下部位，頁岩、泥質砂岩和粉砂言語頁岩互層則多分佈於香山砂頁岩之中上部位，富含貝類、海膽、單體珊瑚、有孔蟲等海棲化石，偶含哺乳類化石碎片，化石密集帶有三、四層之多。香山相由於地層位置在火炎山相的下方，出露的部分並不多，4、

5 號集水區以及保護區西側外圍部分才比較多見。由於本層主要以細粒的砂岩、粉砂岩為主，膠結更為疏鬆，一遇雨水即可用手剝落。在野外探查時常可在 4、5 號集水區中見到正在發育（崩落）中的香山相邊坡，而河道中亦可見到由岩層中沖刷出的炭化漂木。

紅土台地堆積層：主要為古河道的河口堆積物，因地殼隆起後受到河川下切作用而形成台地，時間約為更新世中期。本層中所夾礫石厚度約 30~80 公尺以上，亦有再細分為紅土台地堆積、礫石台地堆積與現代堆積層者（林俊全，1992a）。本層礫石淘選度差，粒徑從 10~100 公分者皆有，且膠結不如下方的火炎山相地層，主要覆蓋於頭崙山層之上，為火炎山另一主要的地層，也是下方沖積扇物質的來源之一。

階地堆積層：張憲卿（1994）認為，階地堆積層曾主要出露於南勢溪、五北里溪、大安溪及大甲溪主支流兩岸，為晚更新世至現代早期之礫石堆積。主要組成物質為礫石、黏土、粉砂，在本研究區的分佈範圍並不廣。

在野外實地調查的結果上，受到地層傾斜的影響，研究區內最常見到的地層露頭，以頭崙山層火炎山相為主，香山相少部分出露於 4、5 號兩個集水區，紅土台地堆積層見於 1 號集水區的右側，階地堆積層則難以辨識其所在。

第一節 火炎山的沖蝕特性

火炎山自然保留區雖然因為惡地地形聞名而受到保護，但其實除了南側的沖積扇及大蝕溝區，因常常遭受擾動而草木不生外，其餘地區覆蓋十分良好，少見

裸露地及崩塌。而本研究即選擇南側的沖積扇及 5 個主要集水區，作為研究區域。

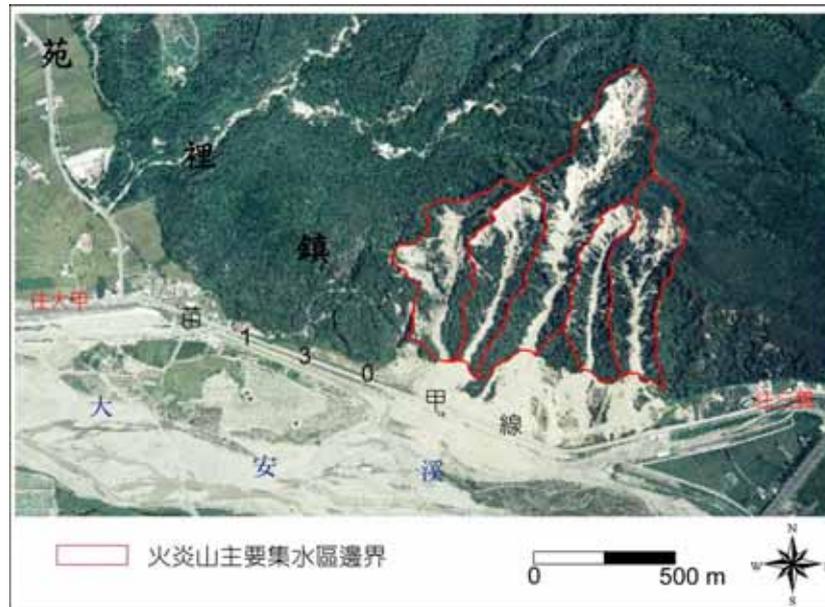


圖 5-2 研究區範圍 (資料來源：林務局農林航空測量所)

侵蝕特性上，侵蝕作用是伴隨降雨事件而發生。由於主要的地層都有膠結不良的情況，使得火炎山地區的邊坡十分容易發生侵蝕的現象。其原因為如果把礫石層視為一完整的岩層，則其中相連的膠結物(亦稱基質)則可視為岩層的節理。平日，礫石層的內大顆粒的礫石，彼此之間互相鑲嵌，使得節理的粗糙度變大，平面剪力強度亦大，使坡面有足夠的支撐力能避免崩落，形成峭壁景觀。但降雨時，顆粒之間的膠結空隙充滿著水分潤滑，使得粗糙度降低，平面剪力強度小於發生破壞時的剪應力，在沒有足夠支撐之下，邊坡就發生崩落的現象(陳榮河，1990；王瑞斌，2001)。



照片四 4 號集水區源頭之崖壁，由礫石顆粒之間互相緊壓所支撐

在集水區源頭地區，明顯可以觀察到邊坡後退的情況。火炎山地區最出名的就是靠近稜線區的裸露峭壁。若是近一點觀察，在上游隨處可見聳立的邊坡與蝕溝。造就這個景觀的原因除了本身地質的條件外（礫石邊坡的壁立性），就屬地形的發育過程-侵蝕作用與搬運作用。主流河道因為向源侵蝕作用，形成蝕溝不斷的向上、向後發展。而被侵蝕下來的岩屑，暫時的堆積在坡腳，待大雨一來，就隨著逕流進入河道。

由於礫石層膠結不佳，上述的地形發育現象變動非常劇烈。本區數年內累積的降雨事件可以累積達到數公尺的邊坡後退（部分邊坡年平均後退 1.7 公尺，詳見第五章第三節）。相對於其他地區，這樣的後退速率是非常快的。

集水區中段，河道兩側可見約 3 公尺高的河道側壁，河道中亦堆滿了大小不一的石塊。這些石塊部分來自於上游的坡腳搬運，一部份來自於對於河道兩側的侵蝕作用（林俊全，1992）。這些礫石堆積於河道之中，由於孔隙大，下滲速度

極快，平時地面上是處於無水的乾涸狀態。一到大雨，從上游與邊坡匯入的雨水，開始對於河道兩側進行侵蝕作用。除了雨水直接侵蝕，河道中充足的水量亦使得堆積在河道中的物質達到飽和狀態，形成土石流往下游移動。在土石流運動的過程中，造成了河道地形的變化。

除了邊坡之外，火炎山由礫石組成的特性也影響到了河道的搬運。在未降雨前，由於礫石之間的孔隙率大，利於地表水下滲，使火炎山的河道只見有水通過的痕跡卻看不到水在河道上流動。至降雨事件發生，河道中才能見到水的流動。當河道中的水量足夠時，水分子充滿於礫石間的縫隙，將河道中的礫石用浮力或是礫石之間的碰撞而開始滾動，形成土石流。

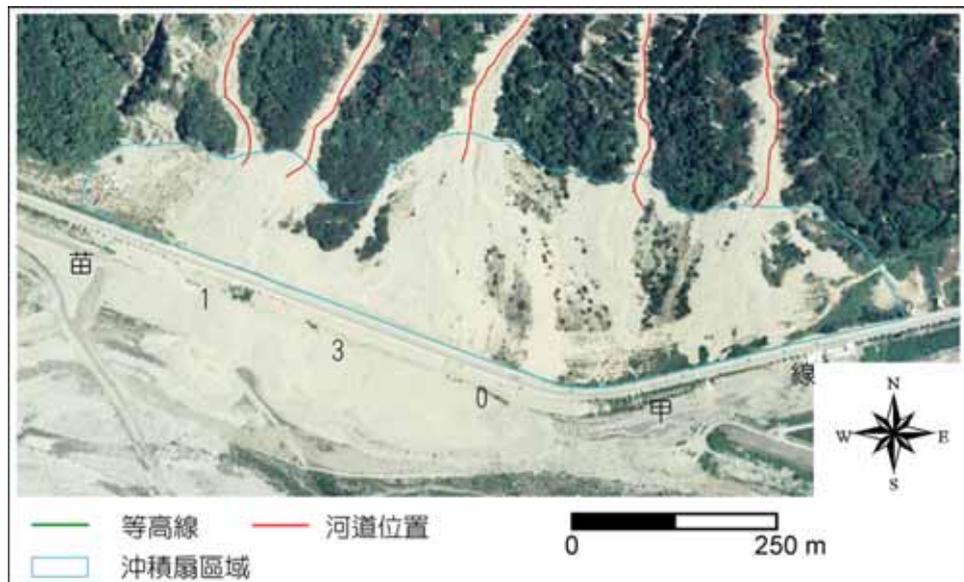


圖 5-3 火炎山沖積扇區域示意圖

(資料來源：林務局農林航空測量所，拍攝日期民國 91 年六月)

站在下方的苗 130 甲線公路上，可以看到下游谷地出口有巨大的火炎山沖積

扇。沖積扇的形成，主要是因為降雨使地表逕流匯聚，產生巨大的搬運力，將河道中原本堆積的礫石與細粒物質重新移動。這些物質的移動方式與土石流類似，也就是夾帶礫石的泥流（褚炳麟，1982），在沖出谷口後，因為流路加寬使搬運力大幅降低，土石流便呈錐狀攤開，不斷的堆積加高而成為沖積扇。火炎山沖積扇因為上方供應的土石量充足（葉堃生，1999），每次颱風或大雨都能夠造成變化。

由上述的說明，火炎山自然保留區的礫石層惡地地形是非常動態而多變化的（黃朝恩，1990）。整體而言，火炎山惡地的地形發育可以分為最上方的裸露邊坡、中央的谷地，以及最下方的沖積扇等三大部分。這三個部分都受到地表外營力的影響，呈現非常不穩定的狀態，當降雨達到某一個程度時，這三個部分會受到作用力的衝擊，產生相當大的變化，進而形成新的地貌。

火炎山地區的土壤分佈，主要受到崩塌與氣候因素所控制。根據苗栗縣山坡地土壤調查報告（1983）指出，火炎山地區主要的土壤有高溫多雨氣候區常見的黃棕色紅壤，及由邊坡上崩落之灰黃色崩積土。黃棕色紅壤區，土壤厚度極薄，礫石佔 80% 以上，排水良好。原因在於火炎山邊坡陡峭，無法留住風化後產生的土壤。由於土壤層太薄，植物無法順利生長產生穩定土石的效果，這應該也是讓火炎山區的邊坡崩塌現象持續進行著的原因之一。

第二節 航照購買及掃瞄

為製作數值地形模型與影像正射化，需要涵蓋度超過 60% 以上的航空相片對。由於製作正射化影像對於相片材質的要求較高，所以本計畫以選購翻陽的航空照片為主，可降低因為照片伸縮所產生的誤差。同時掃描的品質需要達到 21 μ 的解析度，所做出來的成果才能符合本研究所要求的精度，成像後的地面解析度約為 40 公分左右。

表 5-2 火炎山航照統計表

航線	編號	數量
88p72	1667	1 張
82p83	6429 ~ 6433	5 張
80p91	362 ~ 367	6 張
77p41	7306 ~ 7307	2 張
合計	14 張	



照片五 本計畫所使用的航照翻陽片

第三節 大地測量

由於程式在操作的過程中，需要地面的控制點來校正大地座標，所選用引測的點位，平面座標部分為內政部衛星測量局所設立之衛星三角點 K195、L021 兩點（現由苗栗縣政府測量隊維護），水準為內政部二等水準點鯉魚潭 B026，均為官方設立及定期檢確的點位，資料品質較有保障。除此三點之外，本研究另有測定其他的控制點，本研究在野外測量了 12 點為控制點（表 5-3）。測量過程皆符合普通導線測量與普通水準測量的規範，茲將結果列表如下：

表 5-3 野外控制點一覽表（單位：公尺）

編號	E	N	Ev	備註

10001	223330.349	2694516.578	179.640	
10002	223628.557	2695030.733	210.845	
10003	220890.411	2694155.476	154.834	
10004	220819.879	2694170.818	153.832	
10005	220796.880	2695316.933	151.187	
10006	220798.414	2694781.489	157.484	直接點位
10012	220677.929	2695441.022	146.451	
10013	223342.469	2694523.758	179.948	
10014	223287.823	2694554.701	182.035	
10015	223183.689	2694701.646	182.685	
10016	222648.394	2694409.733	178.402	
10017	220410.945	2694950.454	151.311	直接點位

註：上述座標為 TM97 二度分帶座標系統



照片六 控制點的佈標



照片七 進行地面控制點的佈標及測量

第四節 氣象觀測站資料分析成果

火炎山位處苗栗台地的南端，隔著大安溪與后里台地相望。由於三義是台灣北部地區與中部地區的氣候分界，火炎山位於台地南端，在氣候上比較接近台灣中部地區的氣候型態。但由於附近平地上沒有接近的測候站，因此在資料的收集上退而求其次，選擇火炎山主峰北方約 2 公里的大坪頂雨量測站(圖 5-4)，收集與分析歷年降雨資料。大坪頂雨量測站的觀測時間到目前為止超過 30 年以上(1968~2001)，中間沒有中斷或是測站搬移，有足夠的長期觀測資料可供分析。



圖 5-4 大坪頂雨量測站位置示意圖

(資料來源：經濟部水利署水文資料網路查詢系統)

表 5-4 大坪頂歷年月份別雨量統計表 (單位：mm)

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	總計
歷年 平均	42.8	104.2	128.4	153.0	249.1	314.4	183.9	243.7	126.7	20.3	20.1	28.6	1615.2
百分 比%	2.65	6.45	7.95	9.47	15.42	19.46	11.38	15.09	7.85	1.26	1.24	1.77	100

(資料來源：經濟部水利署水文資料網路查詢系統)

由表 5-4 可知，火炎山地區的年平均降雨約 1600 公釐，比全台灣的平均

值略少。降雨特性上，有著很強的季節分佈情況，也就是乾濕季分明。主要降雨集中於 5~8 月，換算成季節則為從梅雨季開始到 8 月颱風季節結束，會降下超過全年 60% 以上的雨量。依據過去的觀測資料 (圖 5-5)，火炎山地形發生大變化的時期，也多集中在 5~9 月，與降雨量的分佈情況相吻合。

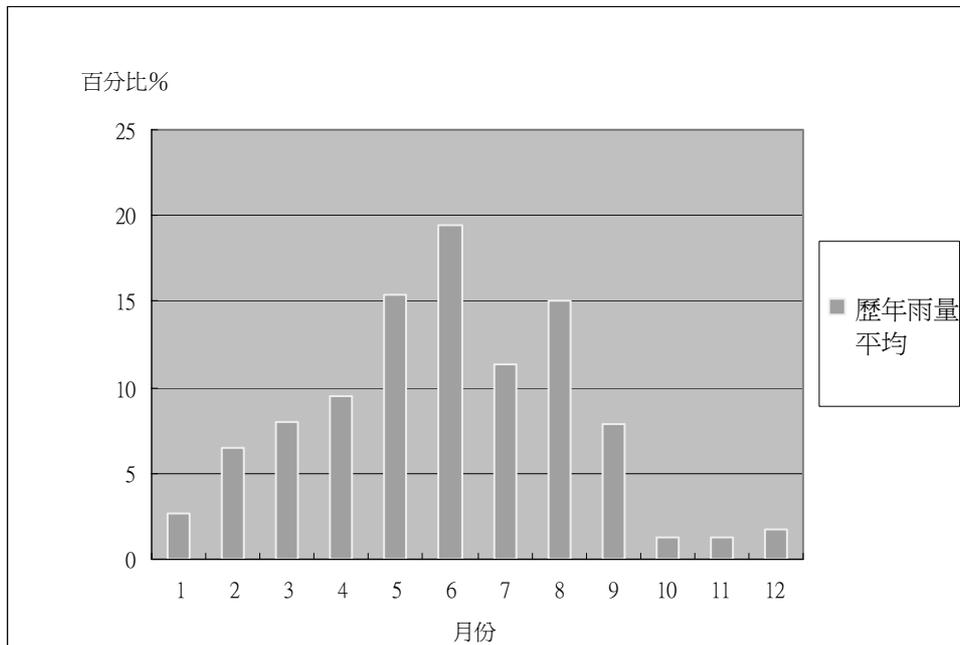


圖 5-5 1968 ~ 2001 歷年月份別降雨量分佈百分比

由於資料的時距超過 30 年，因此以 10 年為一個時距，繪出下面製成的圖

5-6、圖 5-7 與圖 5-8，表達 30 多年來各月份的雨量變化情況。

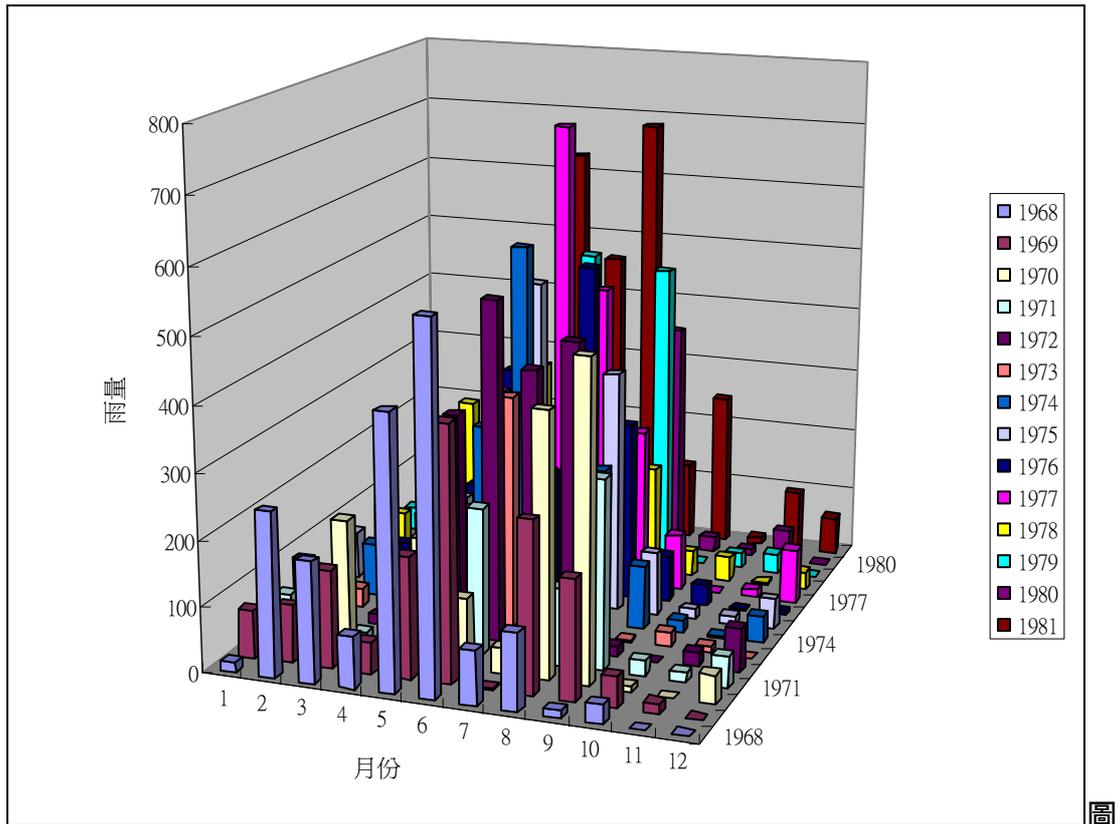


圖 5-6 大坪頂測站歷年雨量立體分布直條圖 (1968 ~ 1981)

圖 5-6 顯示由 1968 至 1981 的十三年中，大部分的雨量集中在 5 ~ 8 月，這 4 個月份的雨量都比其他月份高超過 100 公釐以上，夏季降雨的特性十分明顯。特別的是，有許多年的 7 月份降雨量非常的低，甚至少於 4 月的春雨。此現象應與夏季降雨的特性有關。台灣西半部夏季降雨的來源有兩種，一為午後的對流雨(雷陣雨)，另一為颱風。對流雨的頻率雖高，但雨量並不會很多。颱風帶來的雨量較大，然而來襲時間並不固定，讓即使在雨季期間，各年度的雨量變異依舊存在。

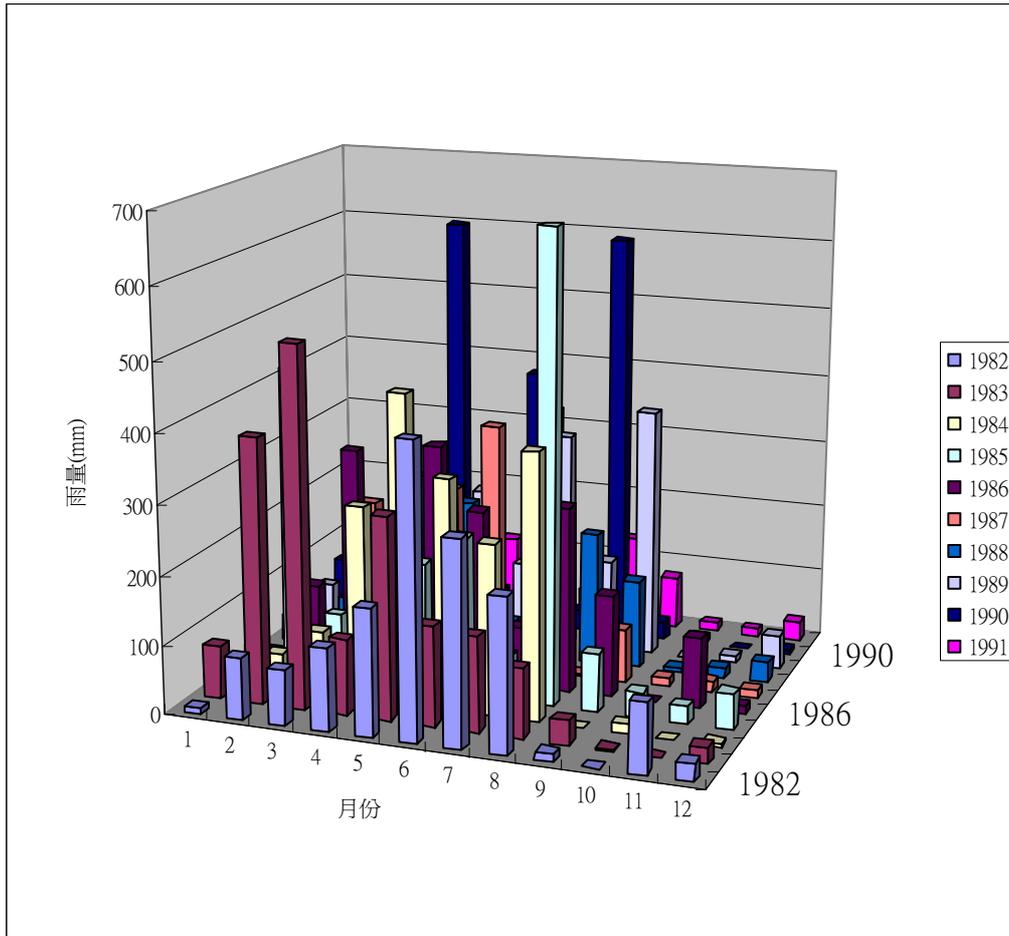


圖 5-7 大坪頂測站歷年雨量立體分布直條圖 (1982 ~ 1991)

表 5-5 1982 ~ 1991 火炎山地區重要暴雨事件

年代	颱風名	日期	天數	累積雨量 (mm)
1983		3/24	1	140
		6/3	1	90
	韋恩	7/24-25	2	106
1984		4/18	1	60
		5/17	1	102
		6/19	1	132
	亞力士	7/2-4	3	173
		8/2	1	121

		8/5-8	4	173
		8/17-19	3	179
1985		2/6-9	4	208.5
		5/27-29	3	176
		6/26/27	2	96
	尼爾森	8/21-24	4	577
1986		3/18-19	2	113
		5/14	1	60
		5/20-22	3	158
	韋恩	8/21-25	5	213
	艾貝	9/16-20	5	120
1987		6/25	1	172
1988		4/20	1	134
		5/22	1	158
1989		7/26-27	2	250
		8/25	1	81
	莎拉	9/10-13	4	305
1990		4/18-23	6	304
		6/09-10	2	162
	歐菲莉	6/22-24	3	133
1991		6/23-24	2	172
	愛麗	8/16-19	4	93

資料來源：經濟部水利署水文資料服務網

圖 5-7 的曲線與圖 5-6 相比，其間的變化很大。在 1982~1991 的十年裡，夏季反倒不是降雨最集中的季節。除了冬季（12~1 月）之外，每個月份都有降雨，而且降雨集中的時間也往前提早到 3 月。當夏季的降雨比例下降時，該年的降雨量會比較少。圖中除了 1985 與 1990 的降雨分佈出現雙高峰之外，都呈現出

了缺水的態勢，各年份的總雨量都比平均值要低。而從表 5-6 之中，可知這段期間內來襲的颱風數量較少，主要的降雨為 4 月的春雨及 5、6 月份的梅雨。6~9 月間，颱風提供的降雨量下降，僅靠對流雨補充，雨季佔全年降雨的比重呈現下降趨勢。

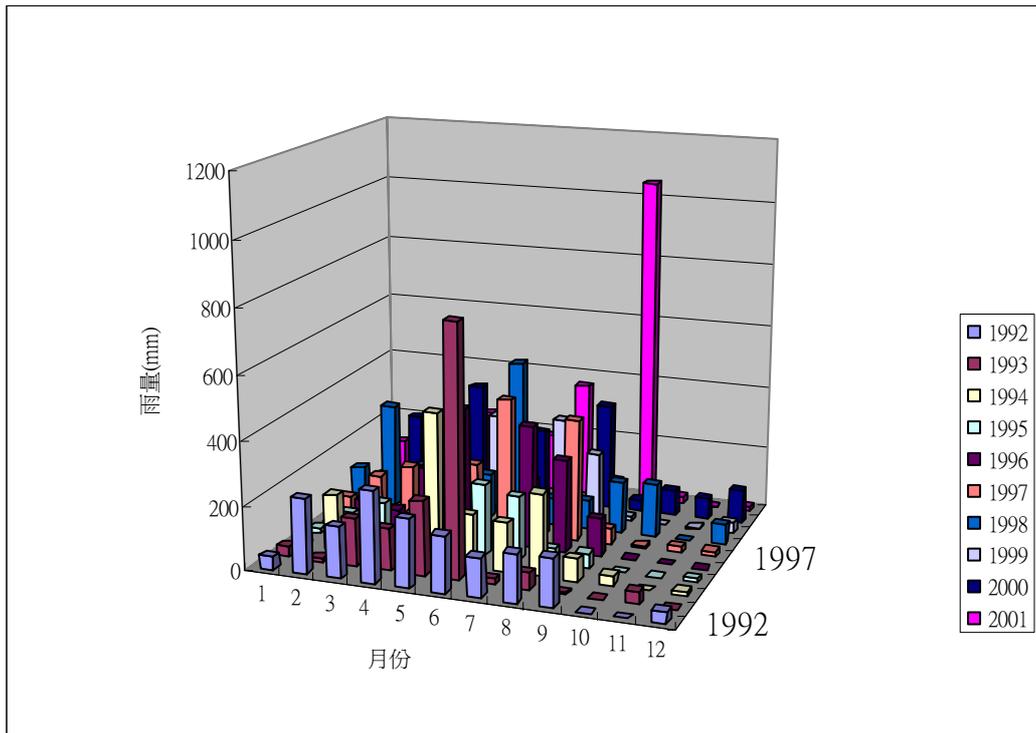


圖 5-8 大坪頂測站歷年雨量立體分佈直條圖 (1992 ~ 2001)

表 5-6 1992 ~ 2001 火炎山地區重要暴雨事件

年代	颱風名	日期	天數	累積雨量 (mm)
1992		7/07-08	2	100
	寶莉	8/26-31	6	128
	泰德	9/21-23	3	103
1993		5/26-27	2	154
		6/01-02	2	476

		6/05-08	4	247
1994		5/02-04	3	363
		5/11	1	62
		5/18	1	86
	道格	8/06-08	3	146
	葛拉絲	8/30-9/2	4	65
1995		5/16-18	3	135
	荻安娜	6/05-09	5	173
		7/11	1	60
	蓋瑞	7/29-31	3	58
1996		5/05	1	63
		5/07	1	119
		5/28	1	51
	賀伯	7/28-8/01	5	550
	薩恩	9/26-29	4	96
1997		3/21-22	2	129
		5/17	1	106
		6/23	1	54
	溫妮	8/16-18	3	100
	安珀	8/27-29	3	129
1998		1/14-15	2	83
		2/17-24	8	242
		3/10-11	2	100
		4/13	1	80
		6/04	1	94
		6/07	1	71
		6/25	1	166
	奧托	8/03-05	3	52

	瑞伯	10/14-16	3	123
1999		5/27	1	142
		7/25	1	56
2000		2/21	1	65
		2/23	1	56
		4/28	1	89
		6/12-13	2	143
	啟德	7/06-10	5	54
		8/03	1	54
	碧利斯	8/21-23	3	48
	巴比侖	8/27-30	4	130
2001		4/20	1	72
		6/14	1	66
		9/02	1	60
	納莉	9/06-19	14	880

資料來源：經濟部水利署水文資料服務網

觀察最近十年 (1992 ~ 2001) 年的降雨分佈直條圖 (圖 5-8)，可以看出春雨所佔比重下降，而回到夏季降雨為主的情況，5 ~ 8 月的降雨總和都超過 1000 公釐以上，佔全年度雨量約 2/3。而表 5-7 也顯示發生在 2 ~ 4 月份的暴雨次數比前期要少。2001 年 9 月份雨量的不正常增加，則是受到納莉颱風所帶來暴雨所影響 (單一事件降雨達 550 公釐)。

從長期的紀錄來看，降雨季節雖然大多集中春夏季，冬季幾乎不下雨，但歷年之間的差變化情況十分大。夏季降雨的變異決定在於颱風的來襲與否，而且直接的影響到全年雨量的總和。春季的降雨變數大，從記錄上來看也有一日降下超

過百公釐的機會。由於礫石層的膠結不良，當降雨達到一定規模，就有可能發生較具規模的變化。以此來看，火炎山地形可能發生地形變化的時期，依據降雨時間的分佈，依序是夏季與春季，秋季再次之（端看颱風的侵襲時間）；冬季則因為雨量稀少，不太有機會造成地形上的改變。

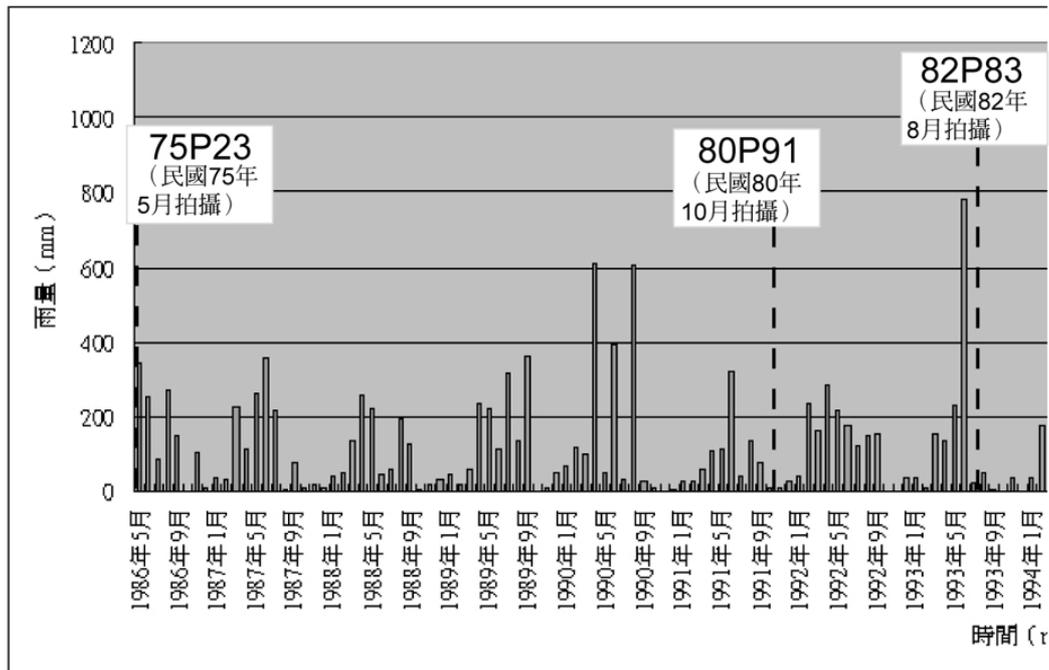


圖 5-9 航空照片與歷年月份別降雨量關係示意圖 (上)

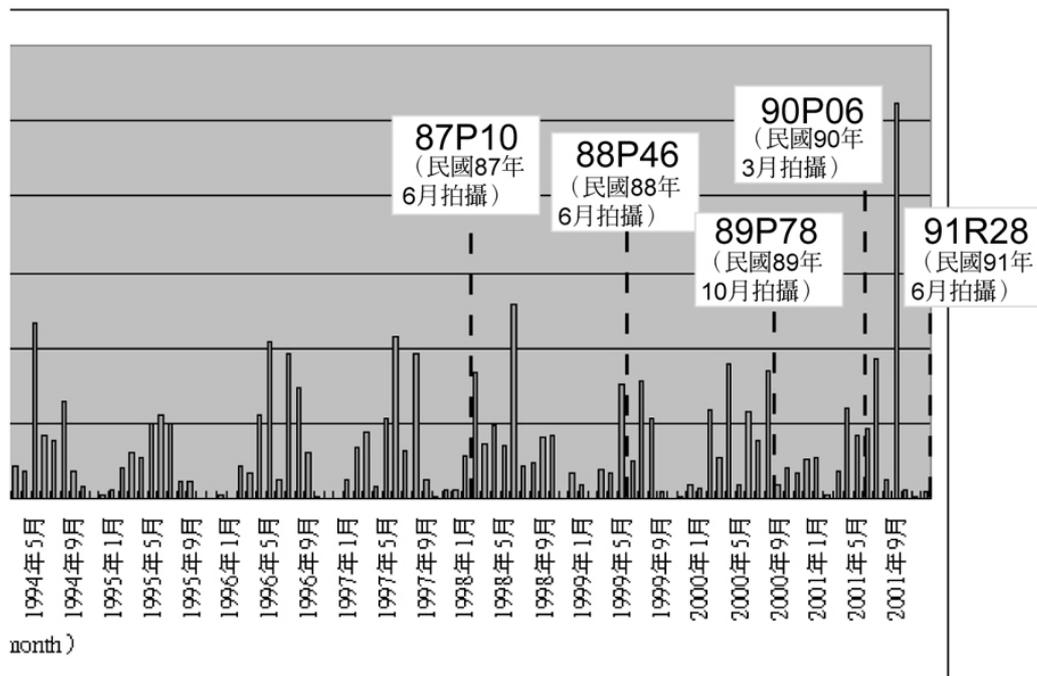


圖 5-10 航空照片與歷年月份別降雨量關係示意圖 (下)

由圖 5-9 與圖 5-10，表示航空照片間隔與包含期間內降雨量的規模。除了 1999 年到 2001 年之間的照片，因拍攝的間隔日期較為接近，所包含降雨事件的次數與規模較低外，其餘在拍攝間隔內都包含著大型降雨事件的發生。尤其是民國 91 年份的照片，包含著 2001 年 9 月納莉颱風帶來的大型降雨事件，這個事件所造成的地形變遷，可以較清楚表現出來。

1. 溫溼度及雨量統計：

目前在火炎山地區所架設的自計式氣象觀測站已經開始運作，第一年收集了 5 月到 11 月份的氣象資料，但八月初因電池故障至部分資料中斷，其他都正常運作。今年度有 2003 年 12 月到 2004 年 11 月的資料，3 月底至 5 月初因電池損毀造成資料接收中斷，電池的問題是將來資料接收要克服的重點。以下的各圖由

每一個月的氣象資料所統計與轉繪而成。

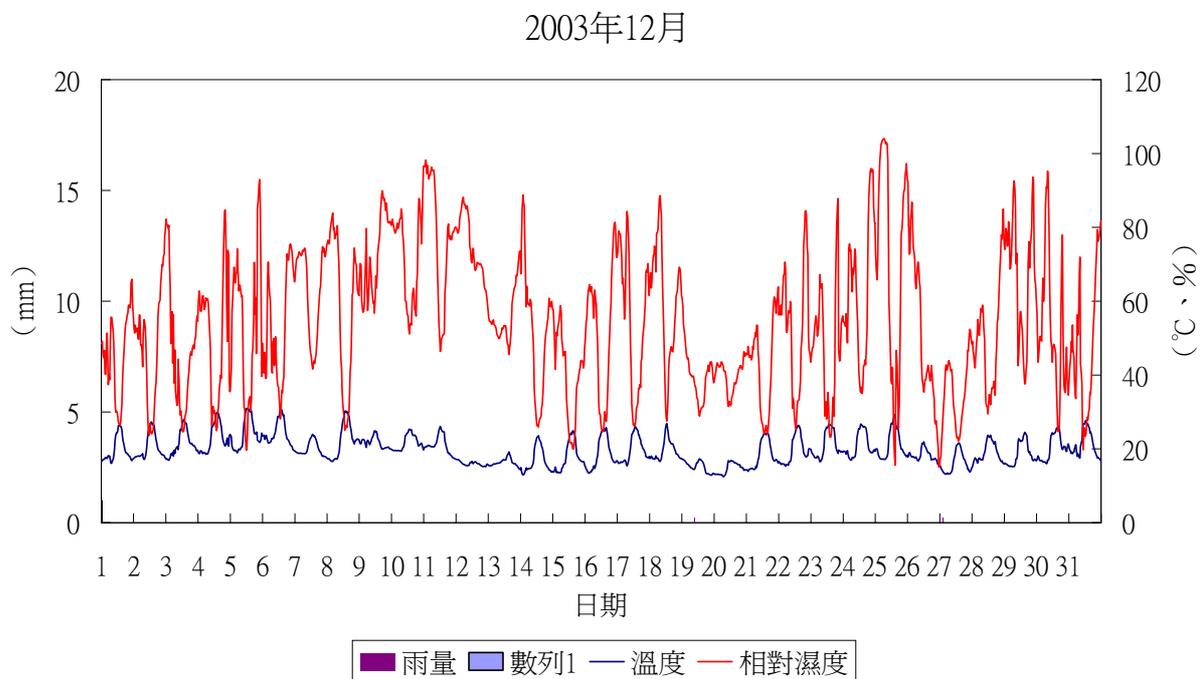


圖 5-11 火炎山地區 2003 年 12 月份溫、溼度及雨量統計圖

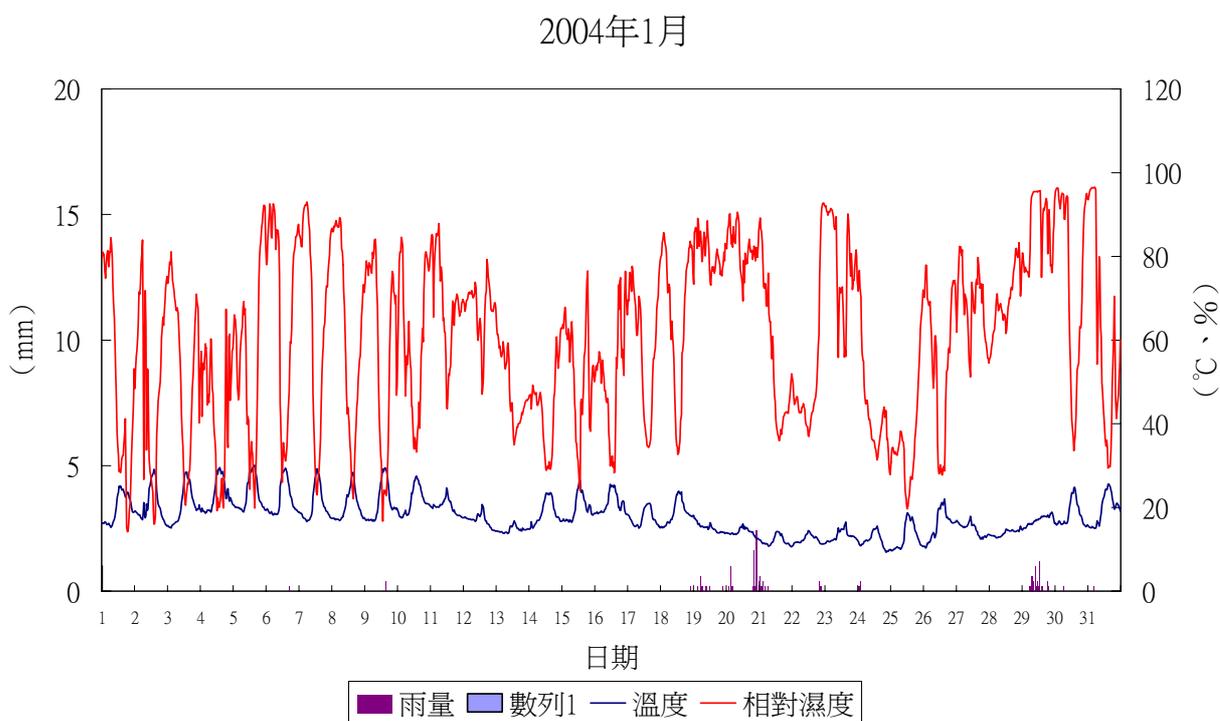


圖 5-12 火炎山地區 2004 年 1 月溫、溼度及雨量統計圖

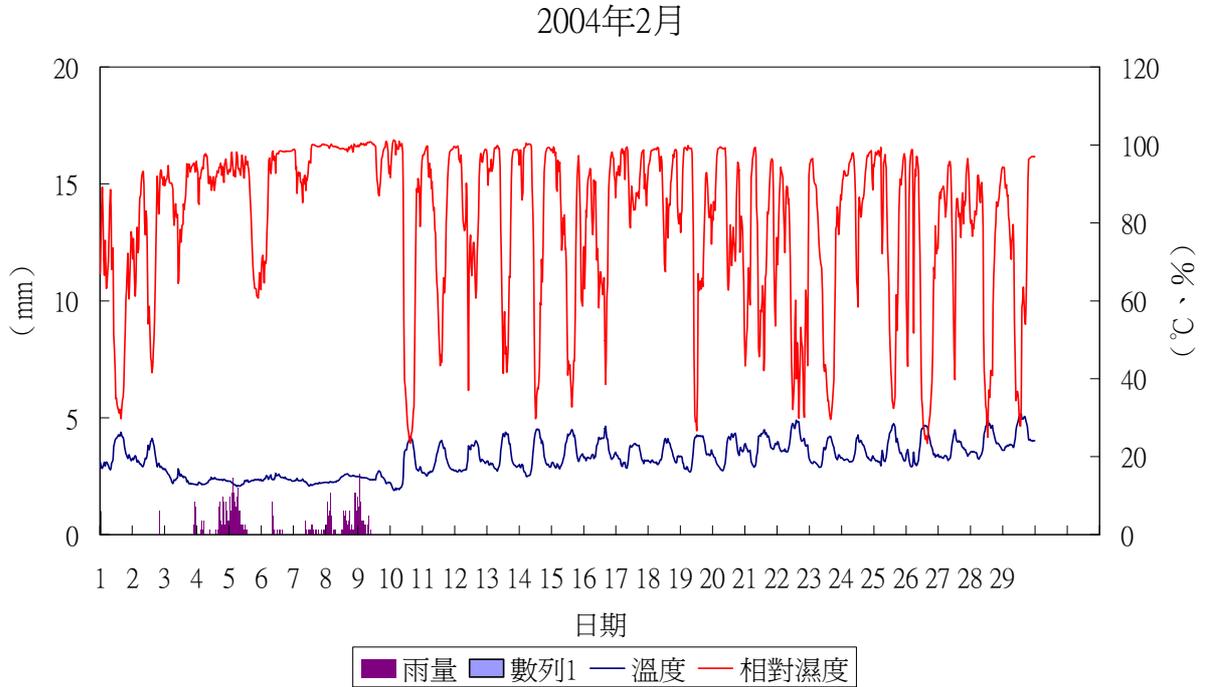


圖 5-13 火炎山地區 2004 年 2 月溫、溼度及雨量統計圖

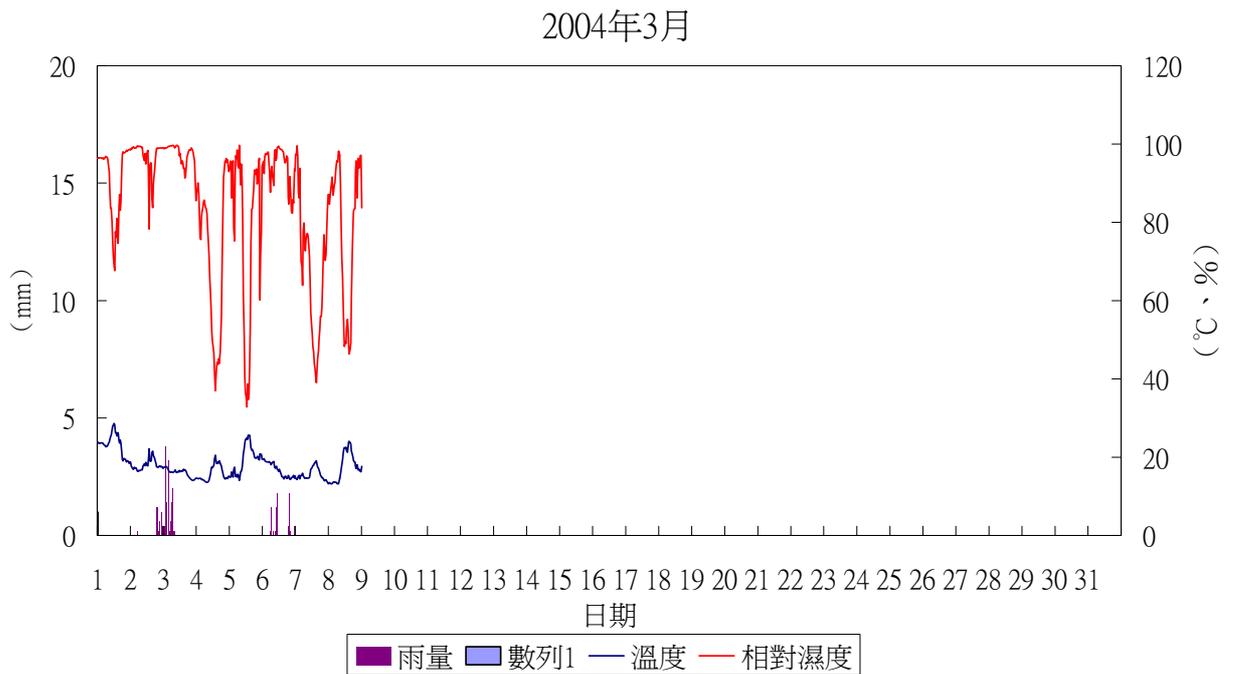


圖 5-14 火炎山地區 2004 年 3 月溫、溼度及雨量統計圖

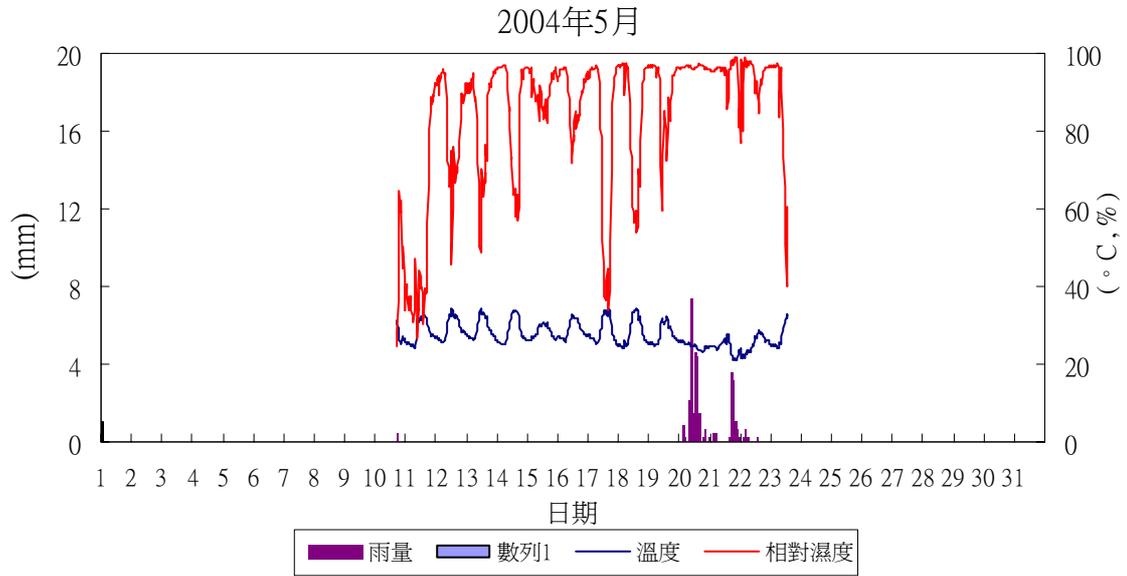


圖 5-15 火炎山地區 2004 年 5 月溫、溼度及雨量統計圖

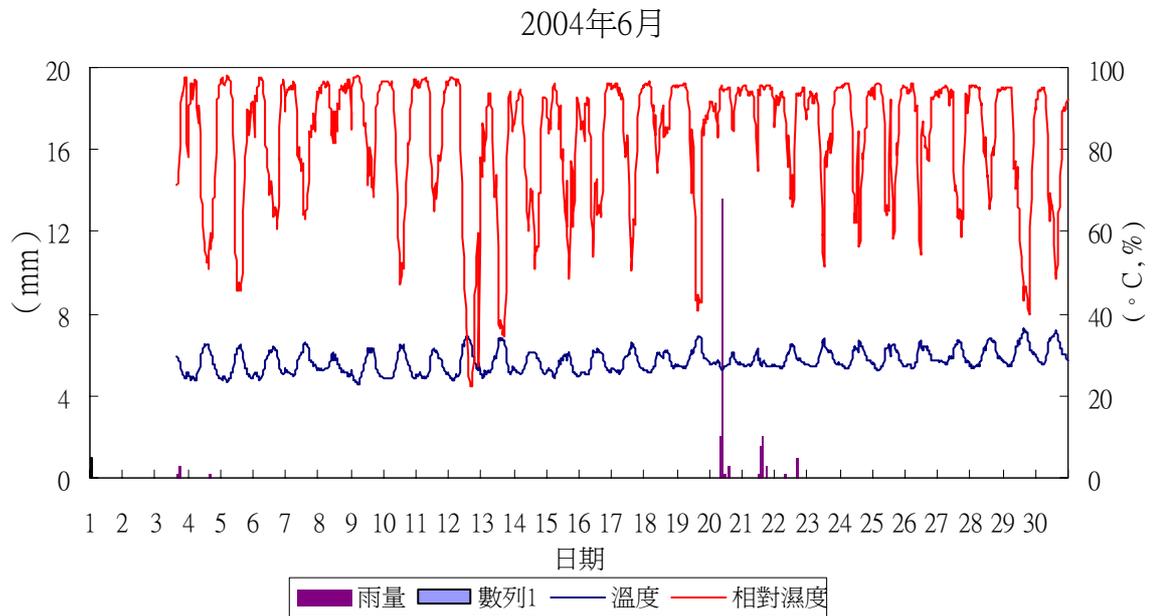


圖 5-16 火炎山地區 2004 年 6 月溫、溼度及雨量統計圖

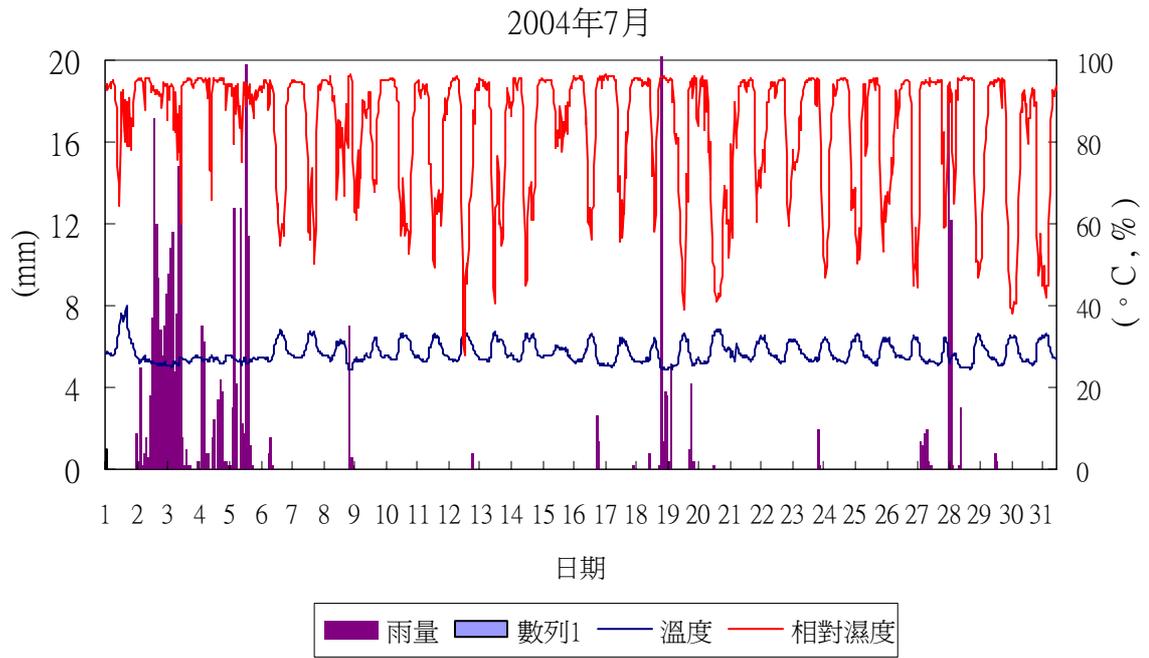


圖 5-17 火炎山地區 2004 年 7 月溫、溼度及雨量統計圖

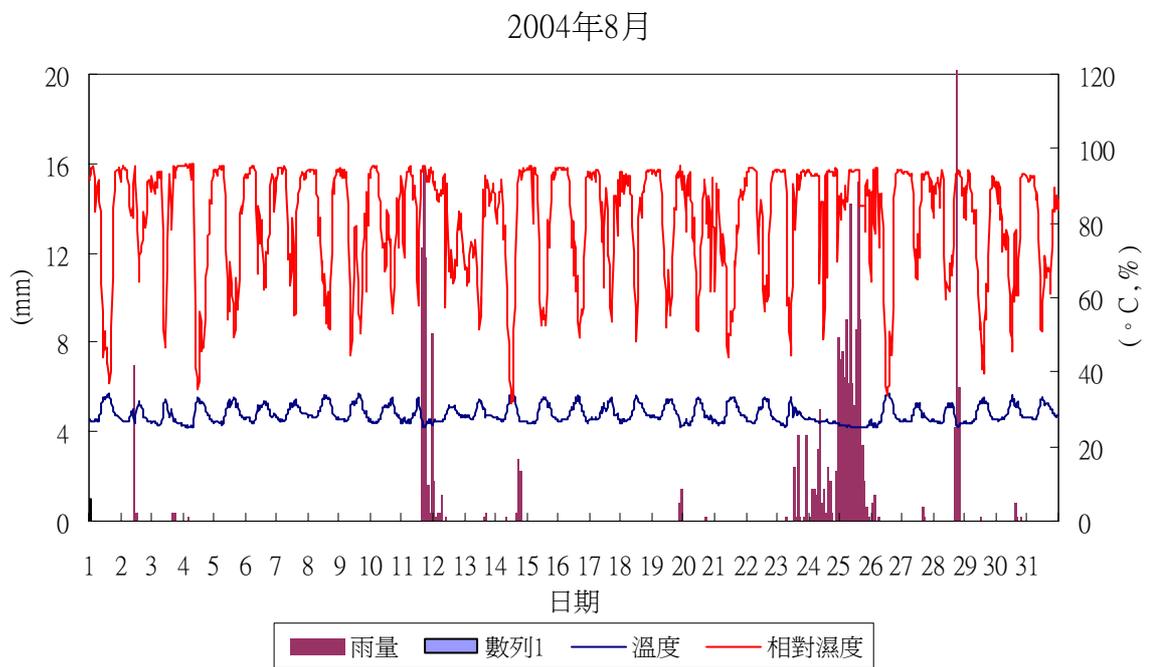


圖 5-18 火炎山地區 2004 年 8 月溫、溼度及雨量統計圖

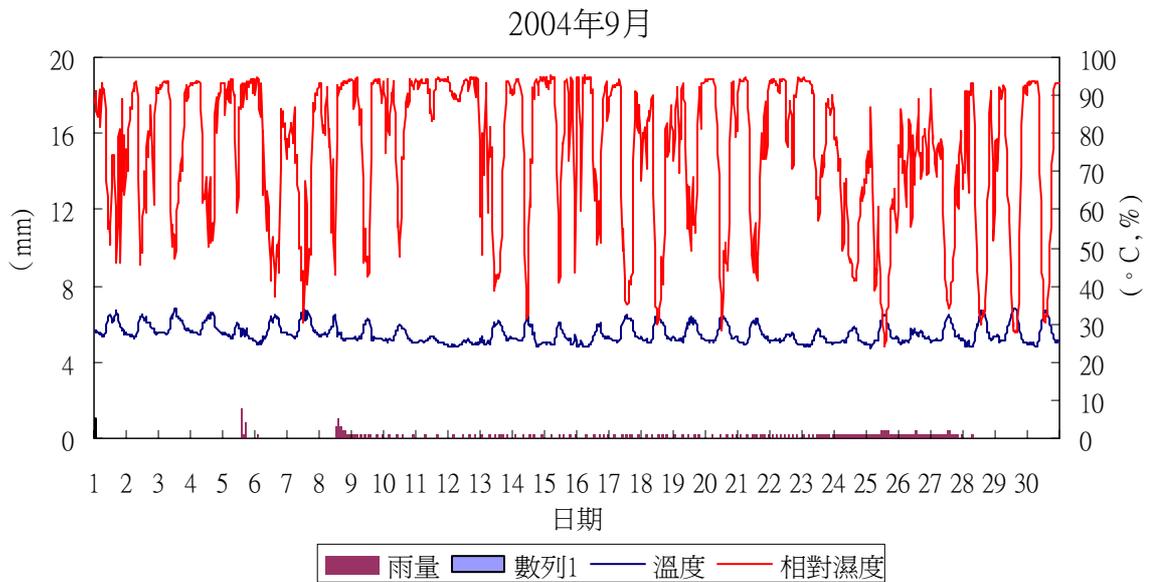


圖 5-19 火炎山地區 2004 年 9 月溫、溼度及雨量統計圖

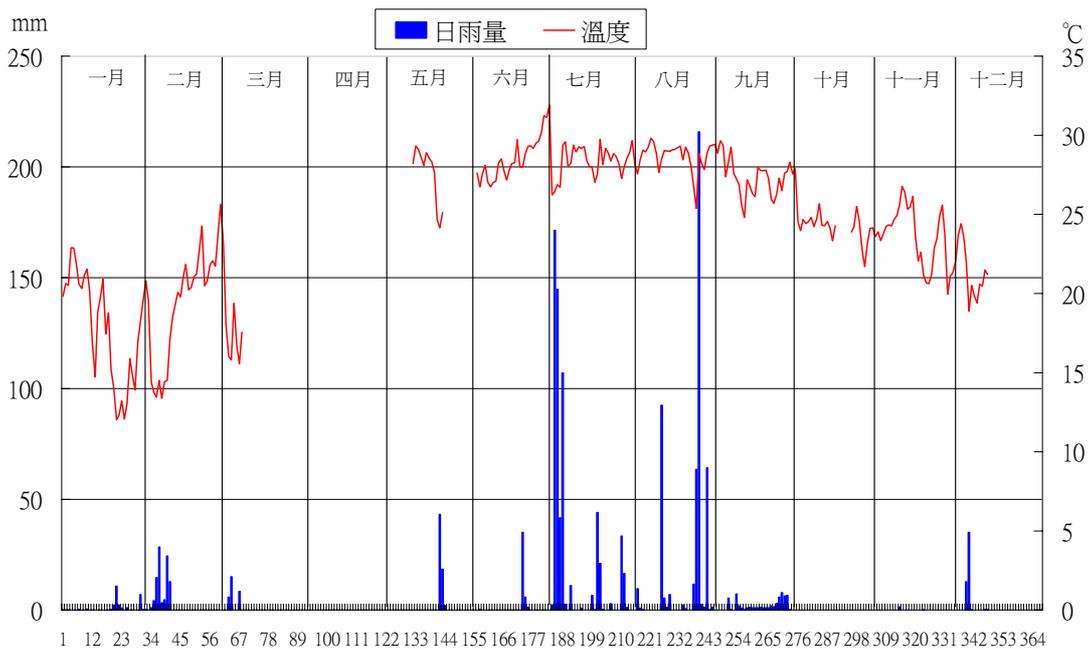


圖 5-20 2004 年自計式氣象站日降雨量及溫度統計圖

從圖 5-20 統計 2004 年火炎山自計式測站日降雨量記錄，今年度的雨量比較集中於 7-8 月份，與歷年的資料相符，而 6 月份雨量較以前少許多。

氣象觀測站的紀錄中很清楚地顯示，火炎山地區的降雨和大氣溫度、溼度關

連性方面，有降雨時明顯地溫度下降、溼度上升的現象。此外，每一天的大氣相對溼度也隨氣溫產生變化。

2.風速風向統計

去年度所累積的風向資料中，從5月份到9月份，因夏天東南季風的關係，南風是主要的盛行風向，包括西南、南與東南風出現的機率較高。而本年度所收集包括2003年12月到2004年11月份的資料(圖5-21~5-31)，12月至3月份因當地在冬天盛行東北季風，因此這四個月的資料呈現風向偏北的情形；5月至9月份的風向資料與去年有大致相同的結果，呈現東北向及東南向兩種風向，偏南的風向較冬季來的多，同時又受到地形屏障效應的影響，故東西向的風向很少。

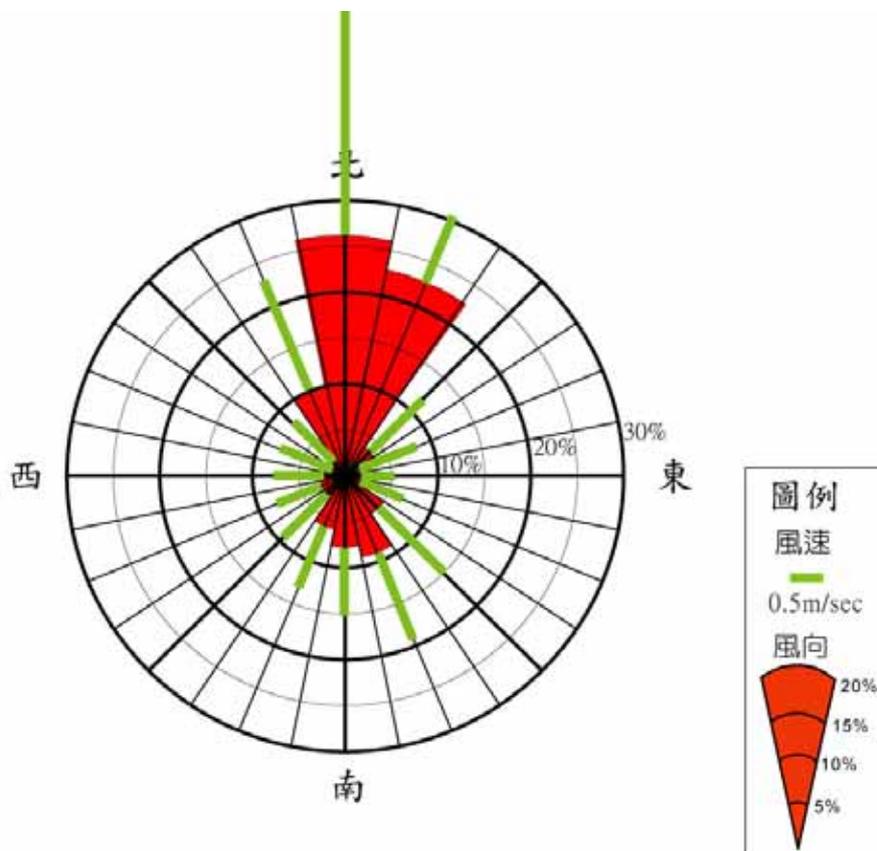


圖 5-21 火炎山測站 2003 年 12 月份風速風向圖

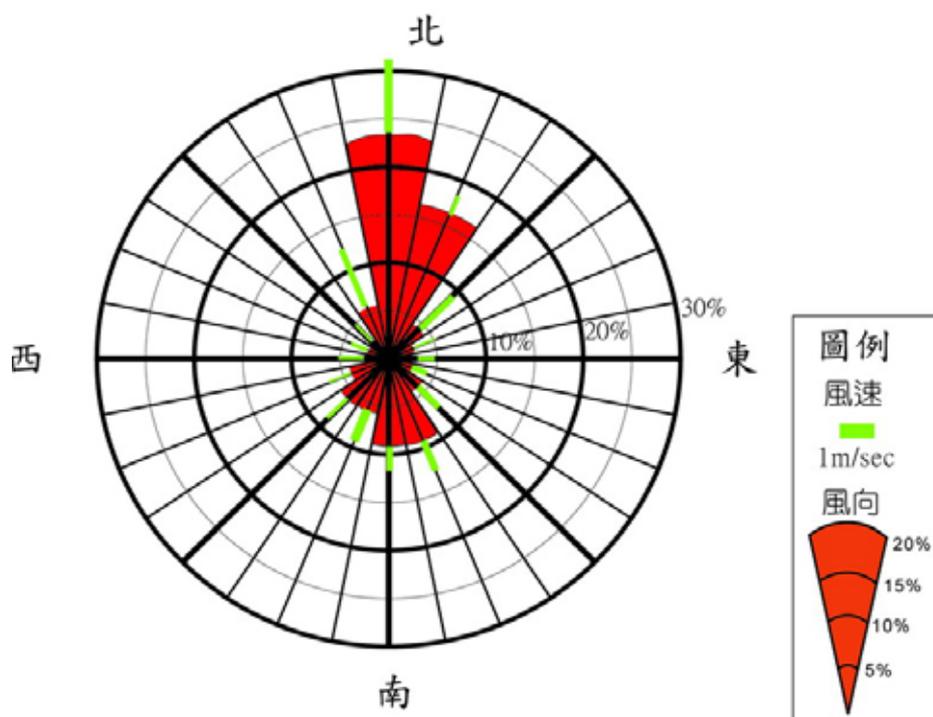


圖 5-22 火炎山測站 2004 年 1 月份風速風向圖

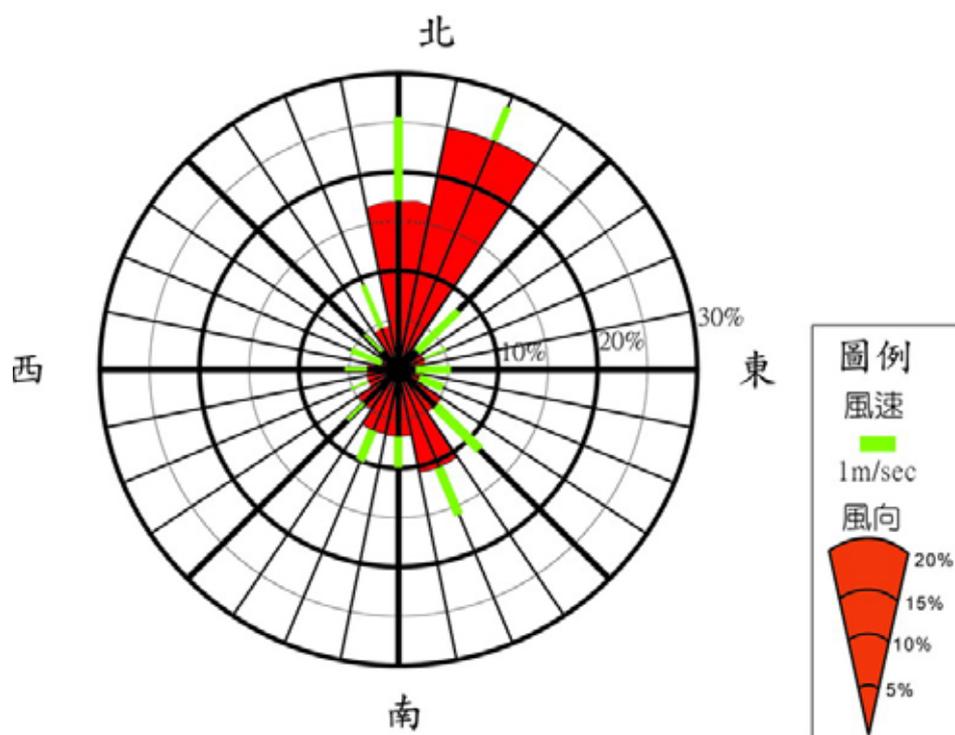


圖 5-23 火炎山測站 2004 年 2 月份風速風向圖

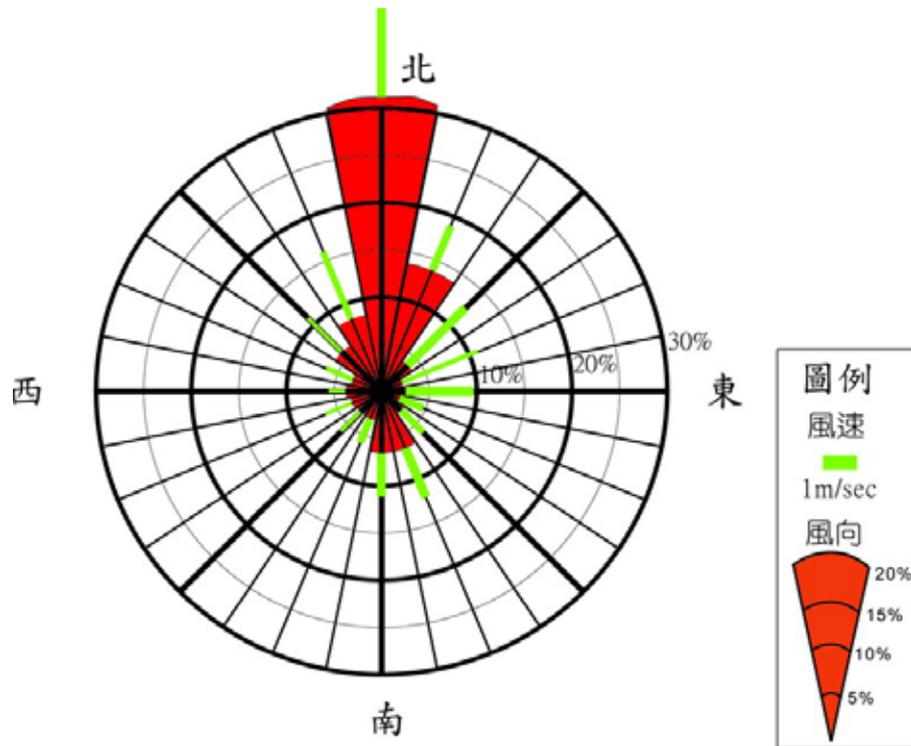


圖 5-24 火炎山測站 2004 年 3 月份風速風向圖

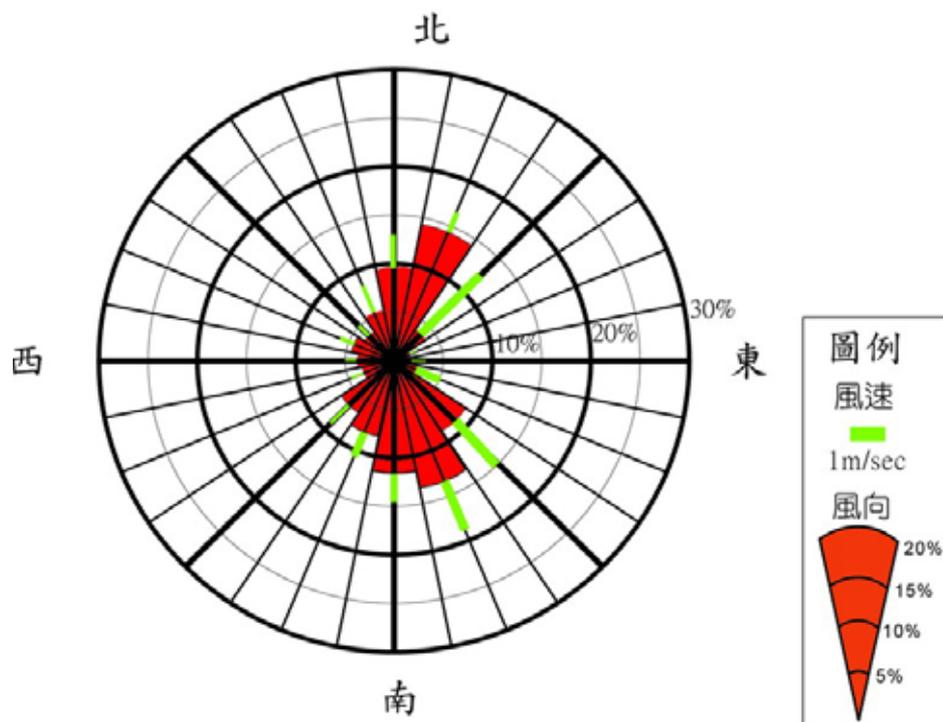


圖 5-25 火炎山測站 2004 年 5 月份風速風向圖

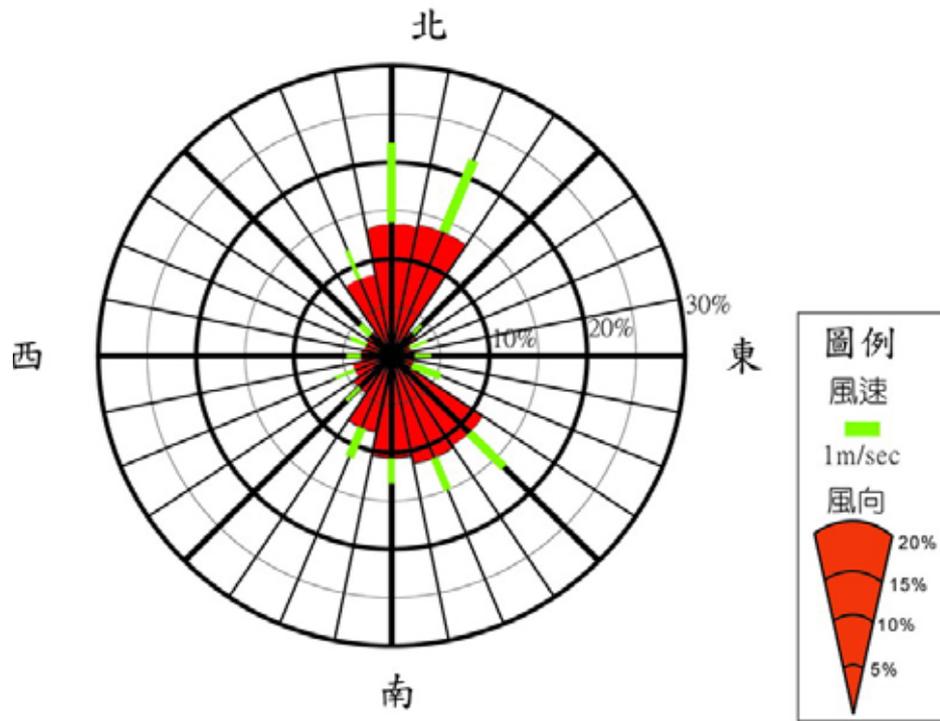


圖 5-26 火炎山測站 2004 年 6 月份風速風向圖

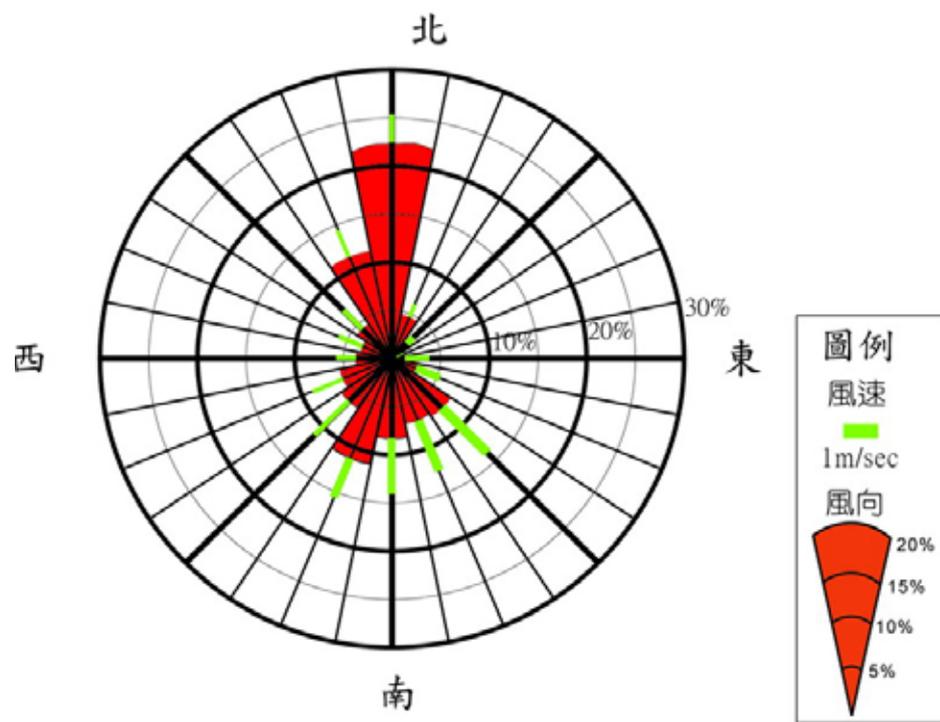


圖 5-27 火炎山測站 2004 年 7 月份風速風向圖

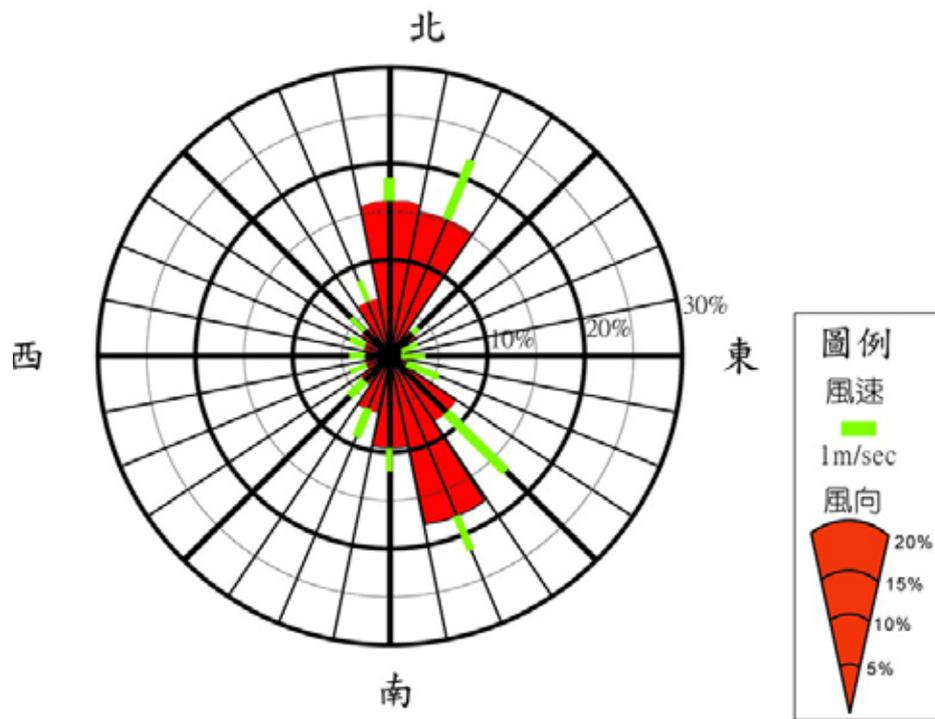


圖 5-28 火炎山測站 2004 年 8 月份風速風向圖

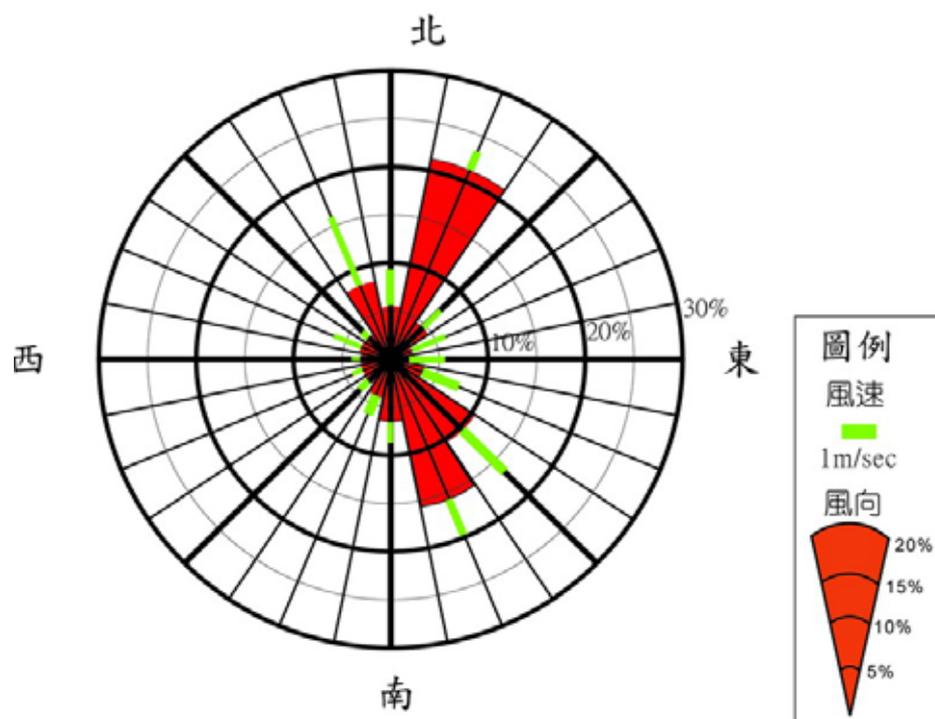


圖 5-29 火炎山測站 2004 年 9 月份風速風向圖

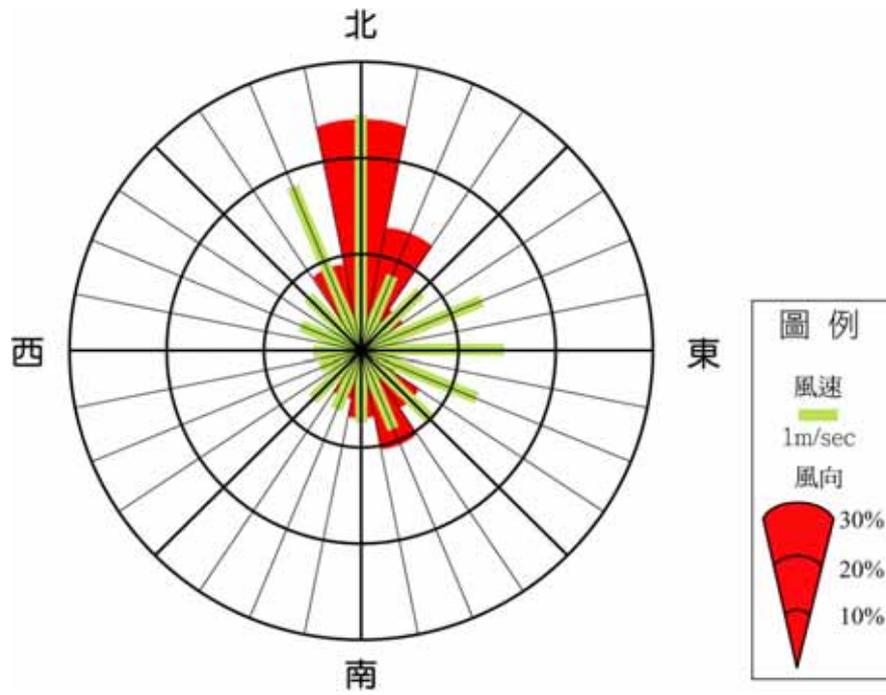


圖 5-30 火炎山測站 2004 年 10 月份風速風向圖

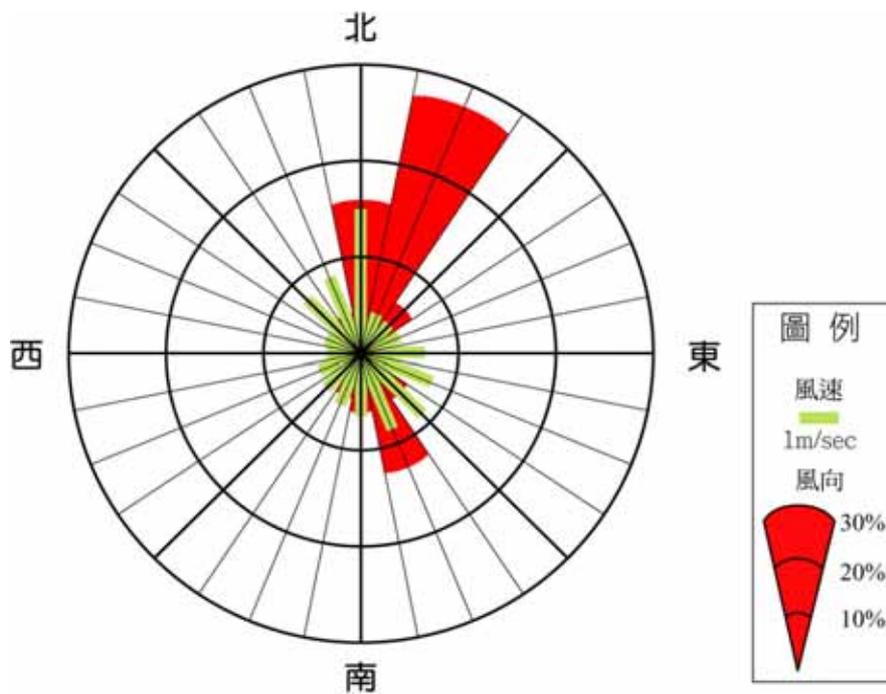


圖 5-31 火炎山測站 2004 年 11 月份風速風向圖

第五節 地形變遷分析

本計畫即利用由航空攝影測量，作為地形變遷研究的重點，對於邊坡與集水區的變動，進行測量。製作產出之 DTM 資料及正射影像，選取民國 80 年、87 年及 91 年度的資料，進行五個集水區邊坡與集水區上游的變遷觀察。完成各年代航照的 DTM 資料及正射化影像，並進行觀察地貌圖、集水區變動、侵淤量變遷及邊坡剖面共 3 個不同時期的變化。

集水區變動圖則是將三個年份的集水區邊界與裸露地（不穩定區）相疊，用以顯現出時間序列上地形變動的關連性，還可以表示出距離上變動量的大小；侵淤量變遷則是利用不同年份的 DTM 資料加以相減，突顯出兩個時距內高程變化量的大小及分佈的情況。剖面的功用則顯示出橫剖面上地表的變遷型態與歷程，另一方面可以輔助說明集水區變動的情況。

由於集水區範圍在時間軸上會發生變化，且通常是趨向變大的方向為多。因此在此在侵淤量變遷的量測中，集水區界的範圍是以最後一個年度（民國 91 年）的集水區範圍為準，就集水區在三個年份中的 DTM 資料，最後才進行高程相減計算。

由於不同集水區在長時間內發生的變化情況不盡相同，因此在探討邊坡與集水區變遷的變化時，是以各個集水區分開討論為主，以突顯各集水區本身特性。

在資料品質上，數值地形模型的建置均經過了空中三角平差軟體的計算，下

表為 3 個年份資料的空中三角檢測成果：

表 5-7 各年份地形模型空中三角檢測成果

年 份	SIGMA NAUGHT	系統內控制點	
		平均偏差 (單位：公尺)	最大偏差 (單位：公尺)
80	5.37	X = 0.151 , Y = 0.120 , Z = 0.343	X = 0.283 , Y = 0.211 , Z = 0.483
87	5.71	X = 0.160 , Y = 0.124 , Z = 0.340	X = 0.288 , Y = 0.261 , Z = 0.587
91	5.08	X = 0.108 , Y = 0.076 , Z = 0.204	X = 0.216 , Y = 0.141 , Z = 0.359

關於地形模型的精度上，電腦運算的結果達到水平 2.5 公尺，高程誤差 1 公尺以內的水準。但由於照片精度及資料網格的關係 (本研究所產出的 DTM 模型是 5m X 5m X 5 m 網格的方式儲存)，水平與高程的誤差成為各 2.5m (DTM 資料網格的一半)，符合原照片當初製作時要求的精度標準 (與 1/5000 相片基本圖相同)，藉由製作出的地形模型資料，分別計算數化出各集水區的基本地形參數。

Row	Use	X	Y	Z
1	X	220310.000	2696715.000	122.000
2	X	220315.000	2696715.000	122.000
3	X	220320.000	2696715.000	122.000
4	X	220325.000	2696715.000	122.000
5	X	220330.000	2696715.000	122.000
6	X	220335.000	2696715.000	122.000
7	X	220340.000	2696715.000	122.000
8	X	220345.000	2696715.000	122.000
9	X	220350.000	2696715.000	122.000
10	X	220355.000	2696715.000	122.000
11	X	220360.000	2696715.000	121.000
12	X	220365.000	2696715.000	122.000

圖 5-32 DTM 網格資料展示

表 5-8 火炎山主要集水區參數 (以民國 91 航照製作之 DTM 計算結果)

集水區編號	1	2	3	4	5
面積 (m ²)	98780	64545	188767	83834	96820
最高點 (m)	460	440	530	417	418
最低點 (m)	190	193	188	186	185
平均坡度	21°	22°	16°	19°	20°
河道長度 (m)	497	521	917	364	451
平均河道坡降	15°	11°	11°	11°	10°

由表 5-8 可知，3 號集水區的面積最大，河道長度也最長。集水區平均坡度除 3 號為 16° 之外，其餘為 20° 左右。河道的平均坡度差異較小，除 1 號集水區外都在 10° ~ 11° 之間。

表 5-9 上游集水區裸露地面積統計表 (單位：m²)

年度 (民國)	1	2	3	4	5
80	13041	15847	30287	24967	17170
87	16840	15617	32487	28674	20484
80-87 增減	+ 29%	- 1%	+ 7%	+ 14%	+ 19%
91	15970	16230	35836	28746	25925
87-91 增減	- 5%	+ 4	+ 10%	+ 0.2%	+ 27%

(註：此面積僅計算「上游集水區源頭」部分，河道兩側的崩塌地因為分佈零散、數化不易，因此未予以計入。)

在源頭集水區裸露地的增加幅度上，5 號集水區增加的速度最快 (表 5-9)，連著兩個時期都有接近 20% 的增幅。4 號集水區在第民國 80~87 年增加了 14%，而在民國 87~91 年間則穩定的下來。3 號集水區呈穩定的增加，2 號集水區的變動幅度不大。1 號集水區在前期快速的增加了 29%，後期則穩定下來，裸露地面積小幅的減少。

本研究利用由航空攝影測量製作產出之 DTM 資料及正射影像，進行五個集水區邊坡與集水區上游的變遷觀察。選取的觀察項目有地貌圖、集水區變動、侵淤量變遷及邊坡剖面共 4 種。由於不同集水區在長時間內發生的變化情況不盡相同，因此關於集水區大小及地貌變遷的分析，將各個集水區分開討論為主，以顯現出各集水區本身特性。

(一) 上游集水區變動

民國 91 年影像 (圖 5-33) 中，一號集水區在上游分岔為兩個河道。在兩個

河道的源頭，各有因為侵蝕作用產生的裸露地。觀察 3 個年份的疊合情況，就裸露地的變化而言，民國 80 ~ 87 年變化趨勢為漸漸向四周擴張。往東的速度較快，往北的速度較慢。而剖面顯示，除了面積的擴張外，向下挖深的情況亦十分劇烈，河道也有擴大的現象。

但裸露地往外擴張的情況，卻不完全的能反映在集水區邊界的變動上。左右擴張的部分，可以對應到變動圖中裸露地的變化情況。左右兩側的稜線，因為稜線是貼著裸露地的邊界在移動，因此向外擴張移動的幅度大致上相等或成比例（往西的部分相等；往東的部分位移 17 公尺，年平均 2.5 公尺東移）。但在往北的部分卻沒有發生如同裸露地擴張的移動行為，民國 80 ~ 87 年集水區北界沒有變化發生。

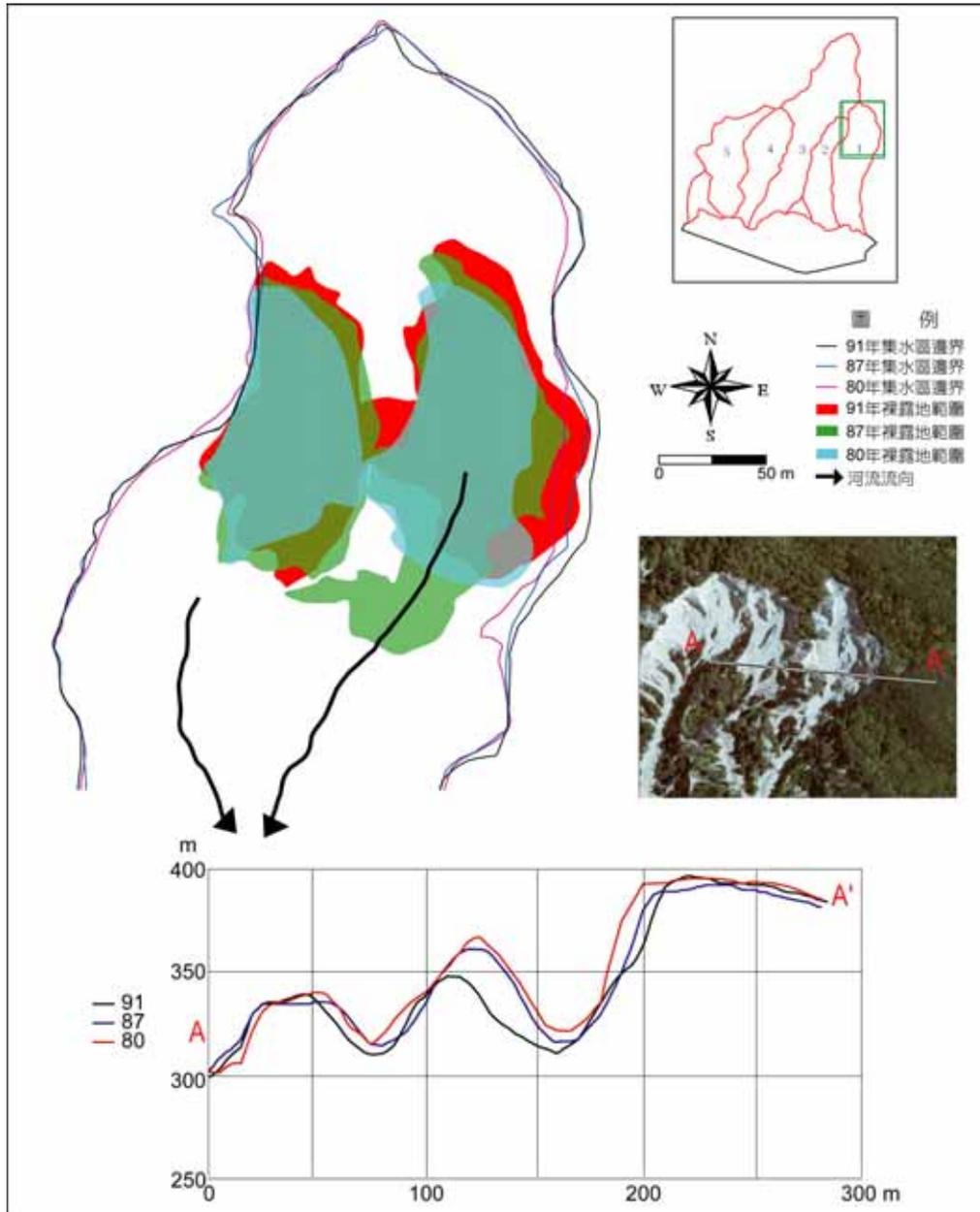


圖 5-33 1 號集水區上游變動圖

民國 87~91 年間，裸露地擴張的趨勢有些變化。與上一期相比，這一期的裸露地有往東北方向增加，但在南側的部分也有區域安定下來。這 4 年間向東向北擴大了 8 公尺(年平均 2 公尺)，深度也大致增加達 5 公尺(年平均約 1 公尺)，集水區邊界的東側反映了加大的趨勢持續後退，但北側不但沒有往後移動，比上

一期退縮 7 公尺。在南側的部分，則有零星的裸露地消失，因此導致這一期的裸露地面積減小。

地形作用的分佈上，一號集水區的主流在上游一分為二，都形成了向源侵蝕的區域。這兩個源頭區，右側的區域有完整的碗型：向中央聚集的蝕溝、包圍在外圈的崩塌地及其上方的陡崖。左側的蝕溝雖然也有碗型，但最外圈的陡崖沒有完整的包圍住，而是往左側的 2 號集水區延伸過去。這兩個區域是集水區上游主要的地形作用發生區。從兩個源頭往下伸展出乾溝，在乾溝溪床及河道旁邊堆積著不少土石。

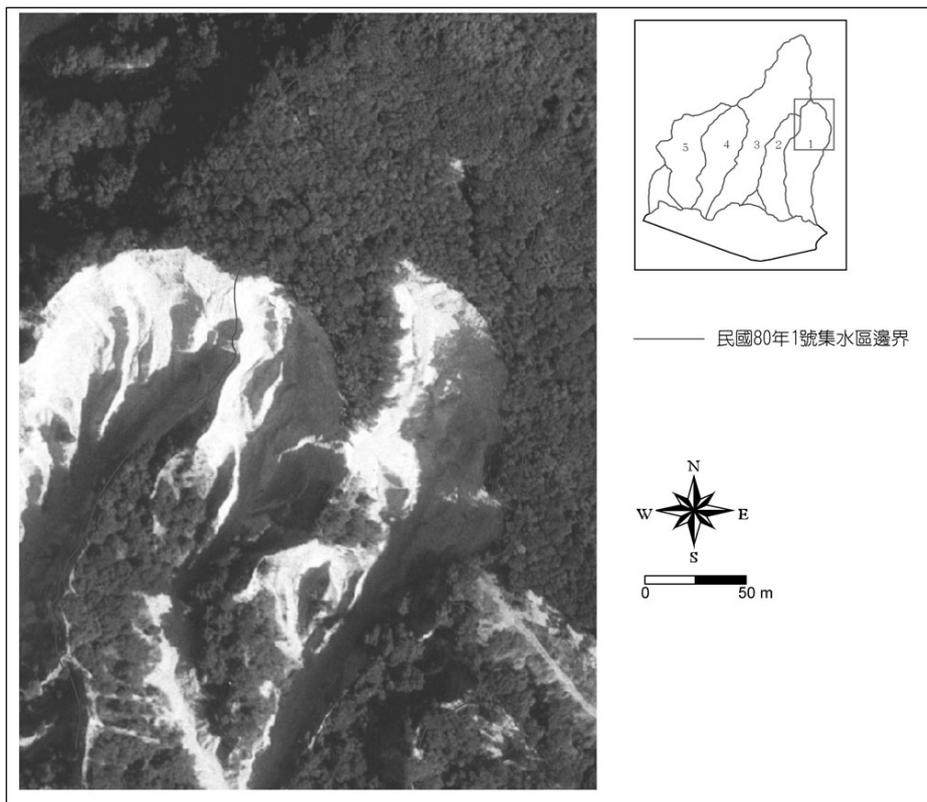


圖 5-34 民國 80 年 1 號集水區上游航空影像 (資料來源：農林航空測量所)

(拍攝日期：民國 80 年 9 月)

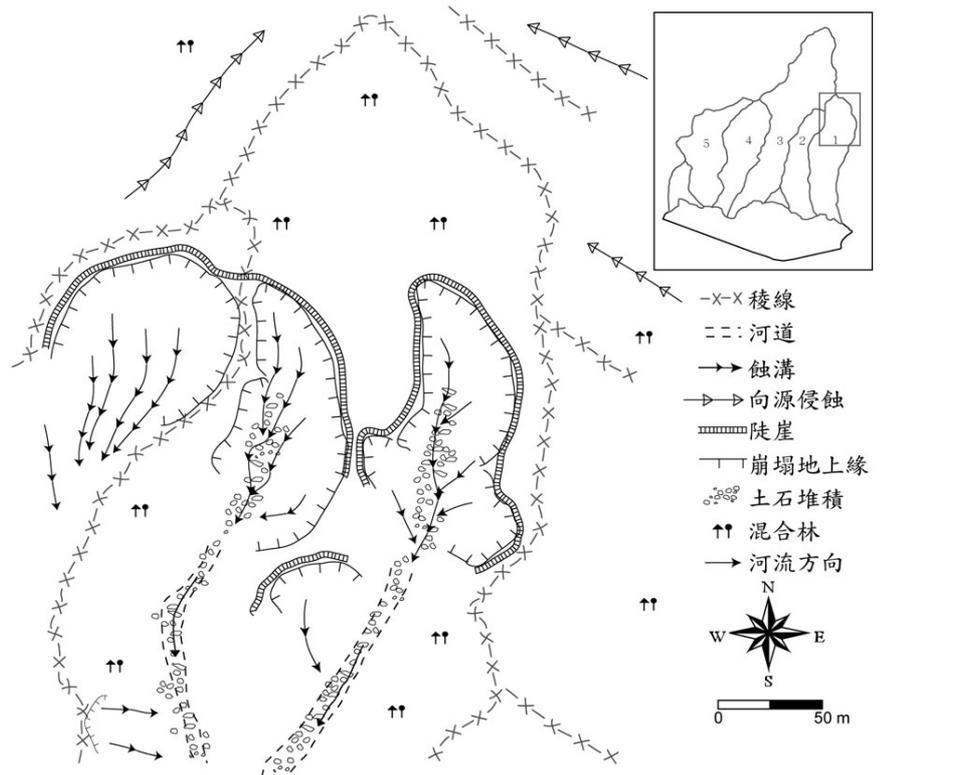


圖 5-35 民國 80 年 1 號集水區上游地貌圖

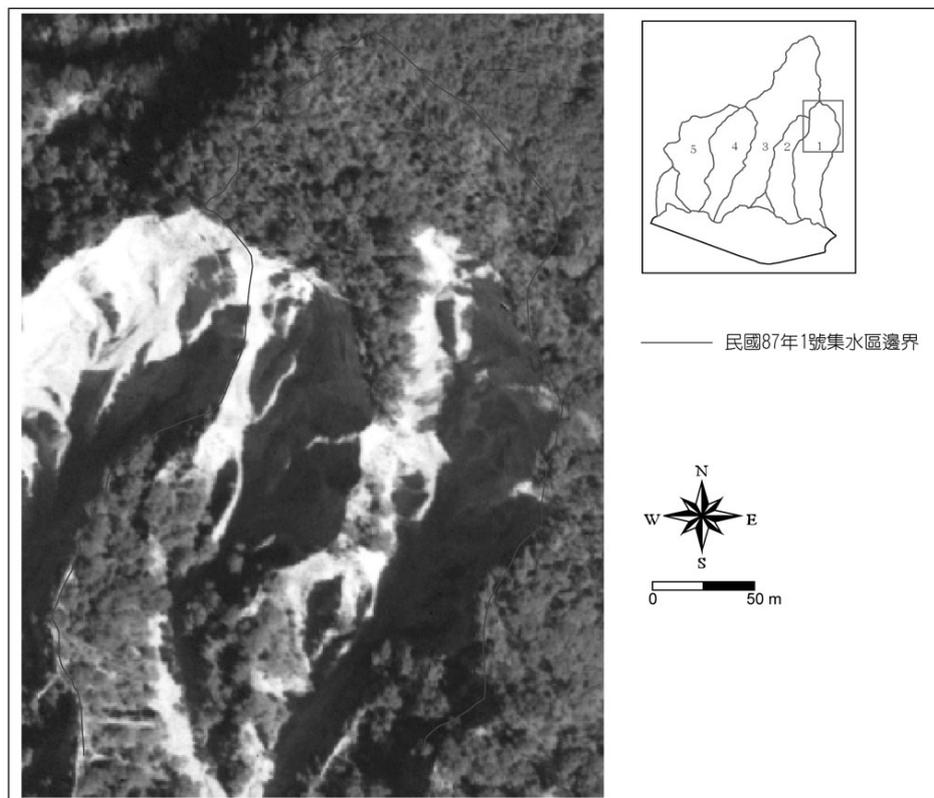


圖 5-36 民國 87 年 1 號集水區上游航空影像 (資料來源：農林航空測量所)

(拍攝日期：民國 87 年 2 月)

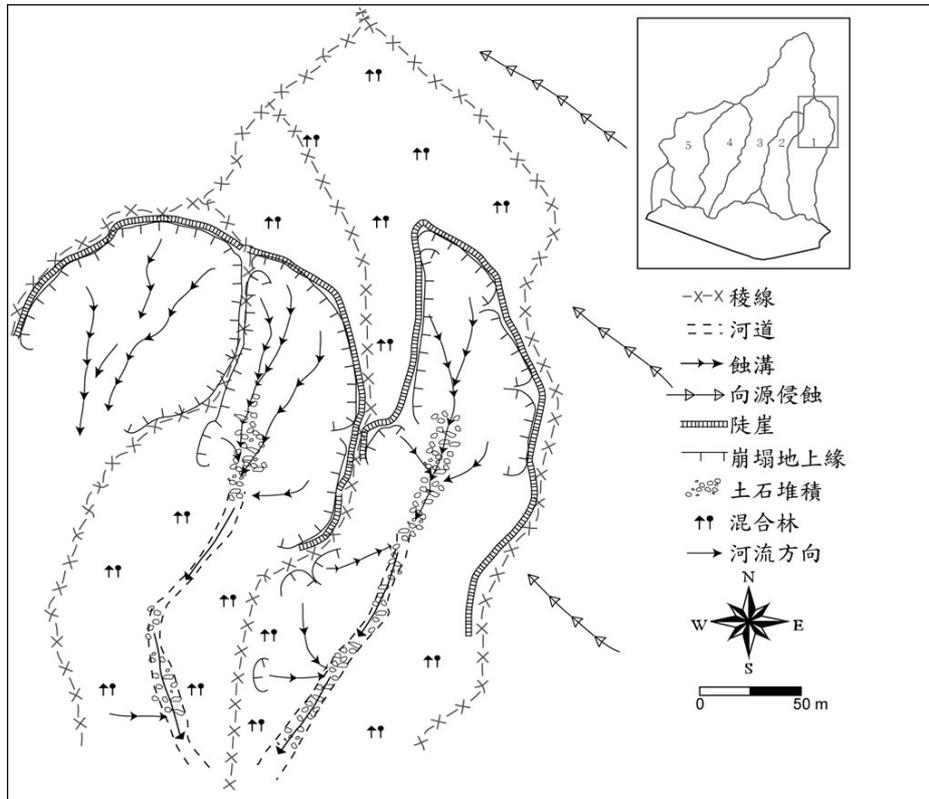


圖 5-37 民國 87 年 1 號集水區上游地貌圖

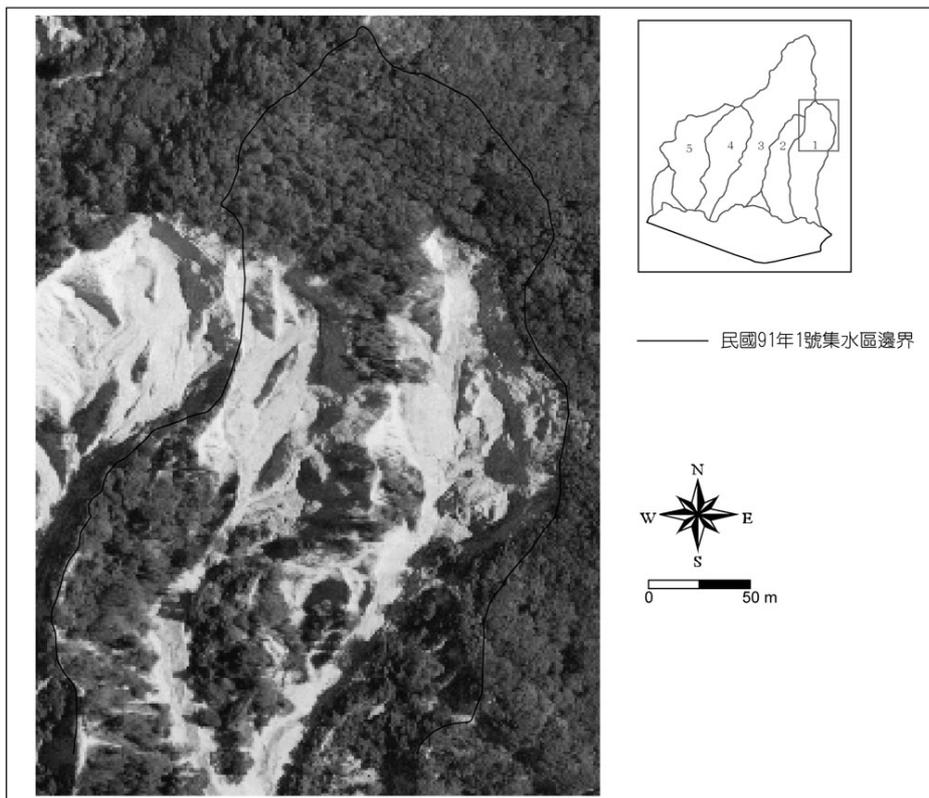


圖 5-38 民國 91 年 1 號集水區上游航空影像 (資料來源：農林航空測量所)

(拍攝日期：民國 91 年 6 月)

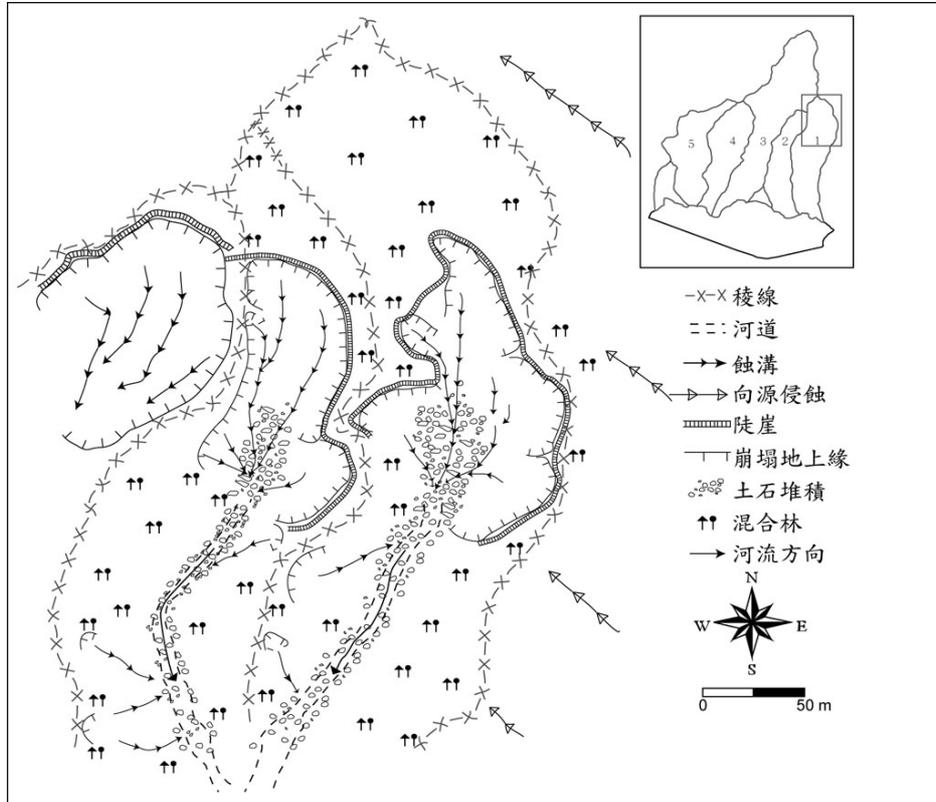


圖 5-39 民國 91 年 1 號集水區上游地貌圖

在地貌的變遷上，比較民國 80 年 (圖 5-35)、民國 87 年 (圖 5-37) 與民國 91 年的地貌圖 (圖 5-39)，民國 80 年到民國 87 年間主要的變化是集水區邊界的後退，而侵蝕地貌的蝕溝並沒有顯著的增加發生。但在民國 91 年地貌圖中，蝕溝的比例增加，崖面位置與崩塌地的範圍比民國 87 年張開的更大，其中東側擴大的範圍剛好也與集水區邊界擴張的範圍一致。因此集水區擴張的原因，可解釋為由崩塌地不斷的向後退縮，導致集水區邊界也跟著往後退。

另一個地貌的變化，是河道中堆積的物質在民國 91 年比民國 87 年度增加許

多，而這可能與集水區源頭邊坡後退的行為有關。就圖 5-33 下方的剖面圖，邊坡發生變動後退時，不論是平行後退或是減坡後退，在邊坡下方都會發生堆積的現象。這些堆積物的來源就是從邊坡上方掉落下來的物質，直接的堆積在邊坡的低處形成崖錐，等待著被流水搬運，導致地貌圖中土石堆積的部分大量增加。

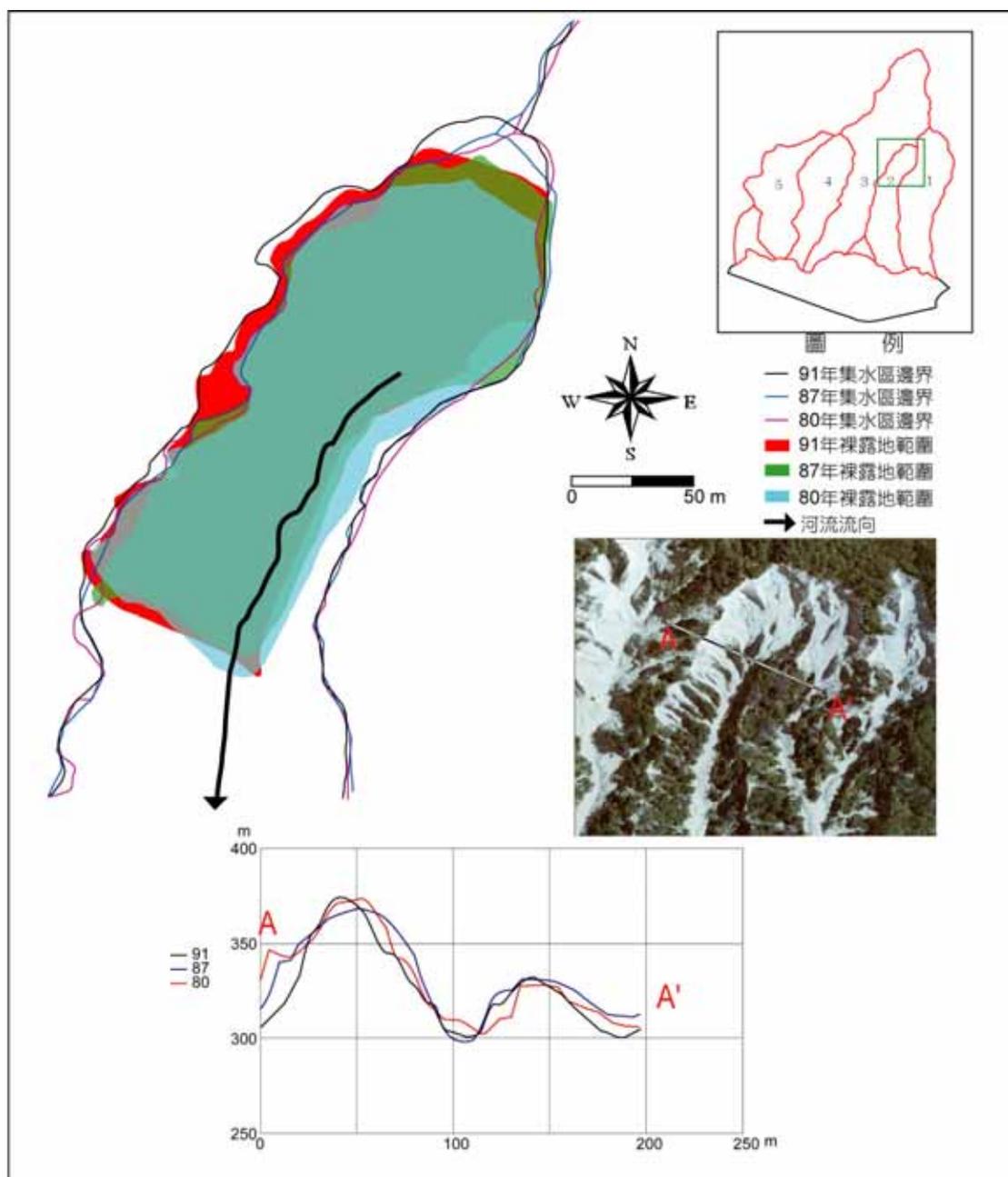


圖 5-40 2 號集水區上游變動圖

相較於 1 號集水區，2 號集水區的變動情況就稍小些。變動圖 (圖 5-40) 顯示，民國 80~87 年的裸露地變動主要是往北擴張 (17 公尺，年平均 2.5 公尺)，往東的部分擴張不大。87~91 年的變動則不相同，主要是往西，即為往 3 號集水區的方向擴張 (8 公尺，年平均 2 公尺)。

在集水區的邊界變動上，在北側的變動也如同 1 號集水區一樣，沒有辦法反映出裸露地擴張所帶來的影響。但在西側的變動上，因為十分的貼近於裸露地的旁邊，因此集水區邊界的移動量也幾乎與裸露地擴張的速度相等。

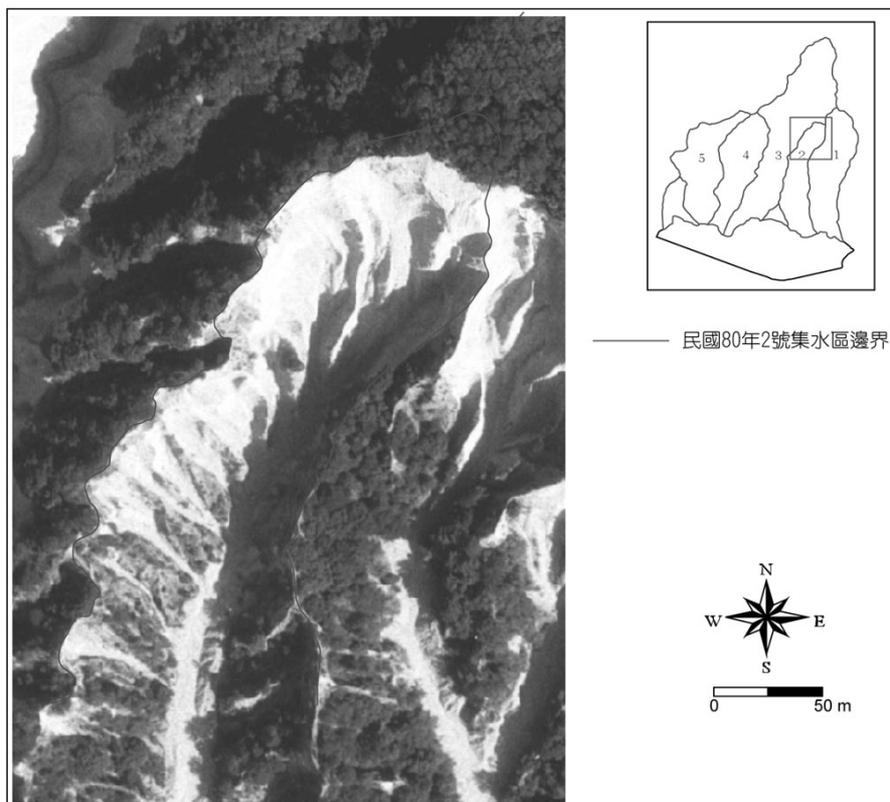


圖 5-41 民國 80 年 2 號集水區上游航空影像 (資料來源：農林航空測量所)

(拍攝日期：民國 80 年 9 月)

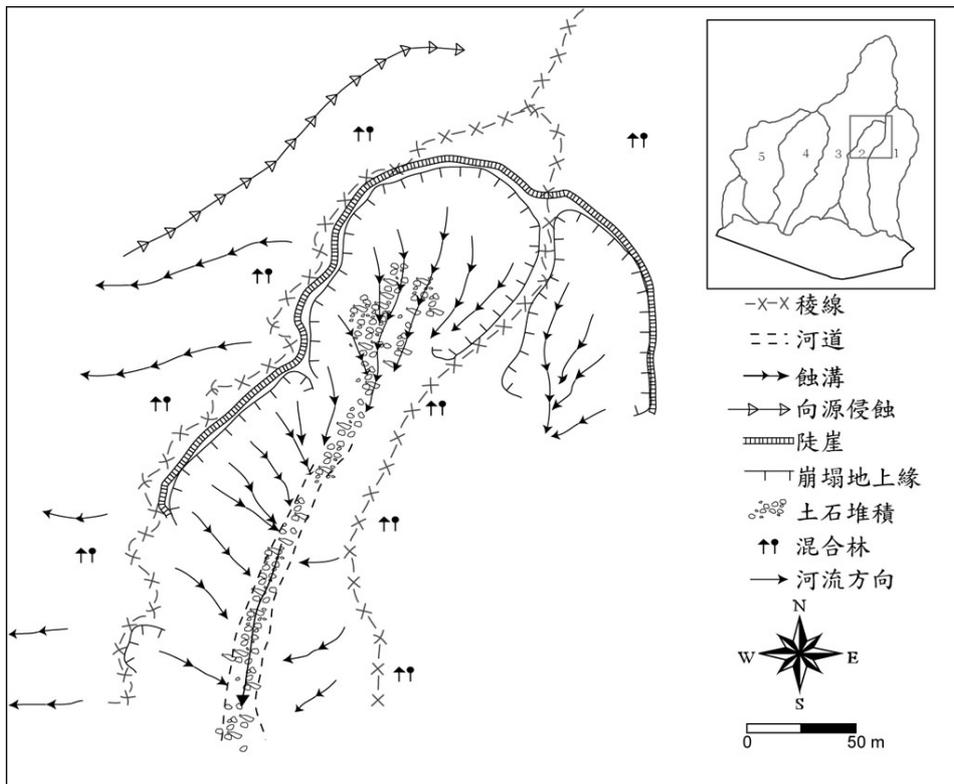


圖 5-42 民國 80 年 2 號集水區上游地貌圖

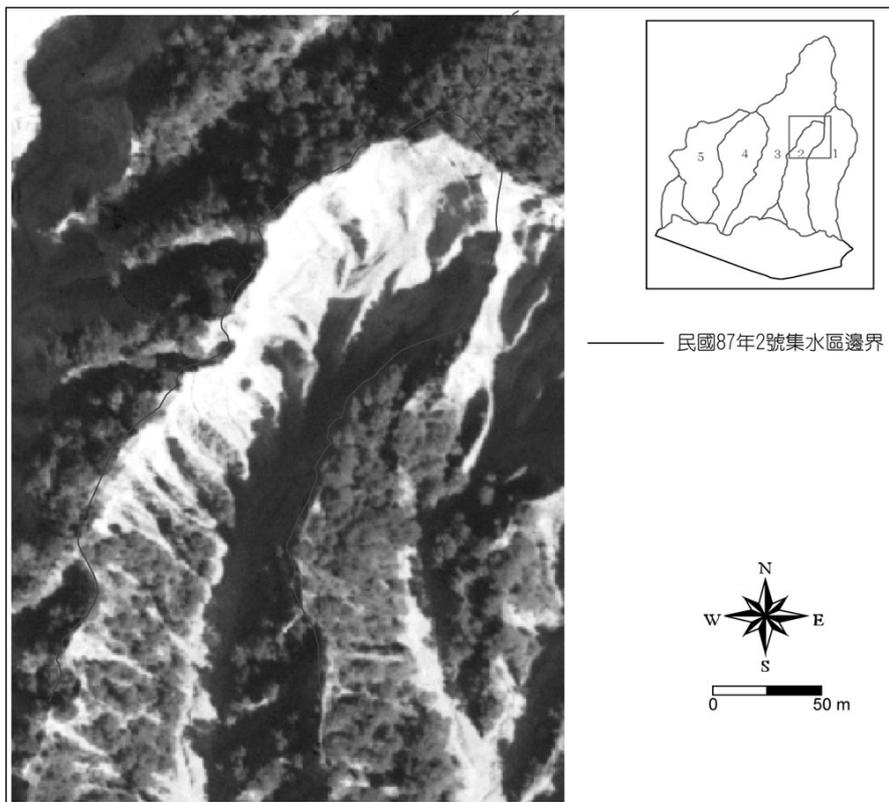


圖 5-43 民國 87 年 2 號集水區上游航空影像 (資料來源：農林航空測量所)

(拍攝日期：民國 87 年 2 月)

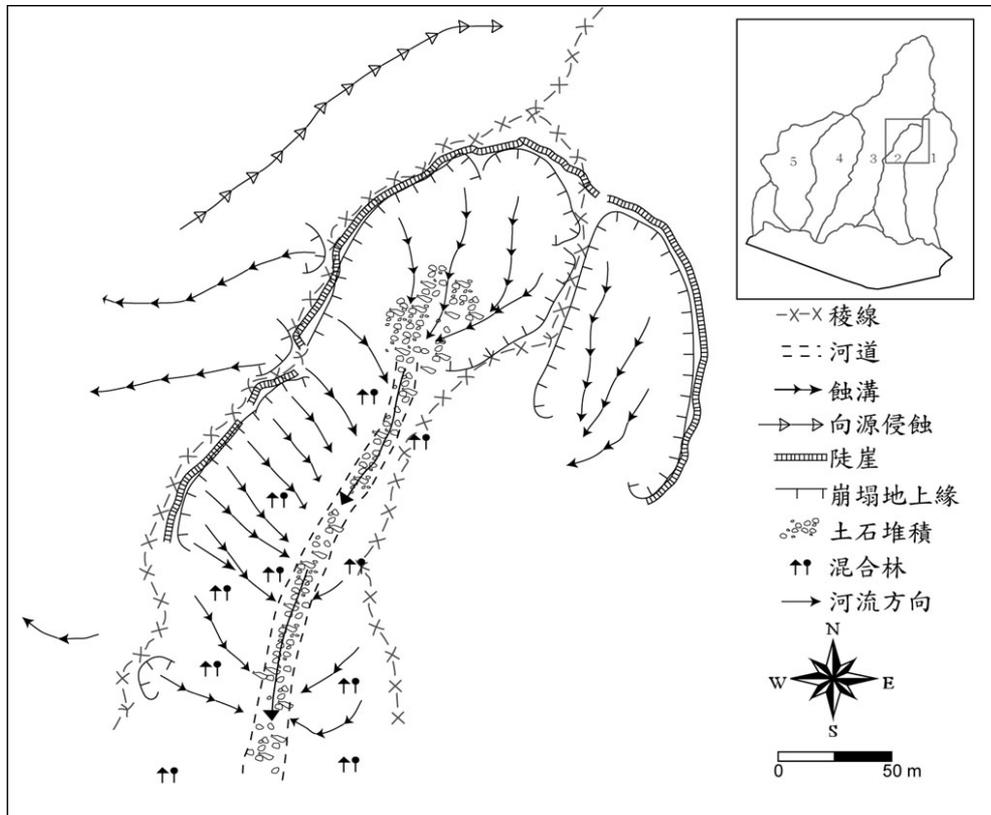


圖 5-44 民國 87 年 2 號集水區上游地貌圖

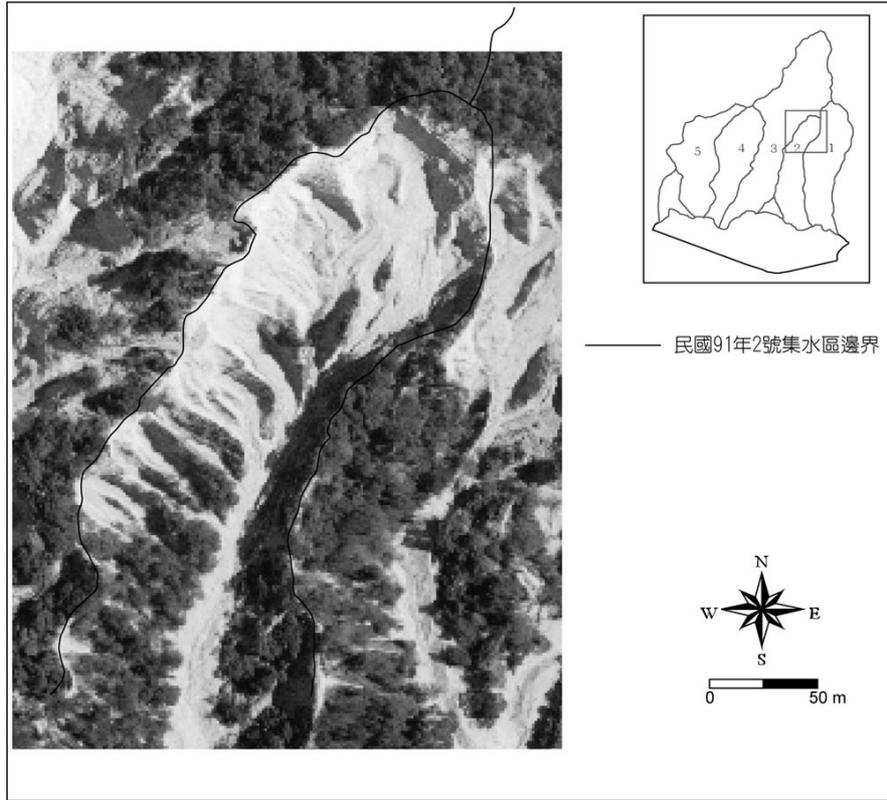


圖 5-45 民國 91 年 2 號集水區上游航空影像 (資料來源：農林航空測量所)

(拍攝日期：民國 80 年 9 月)

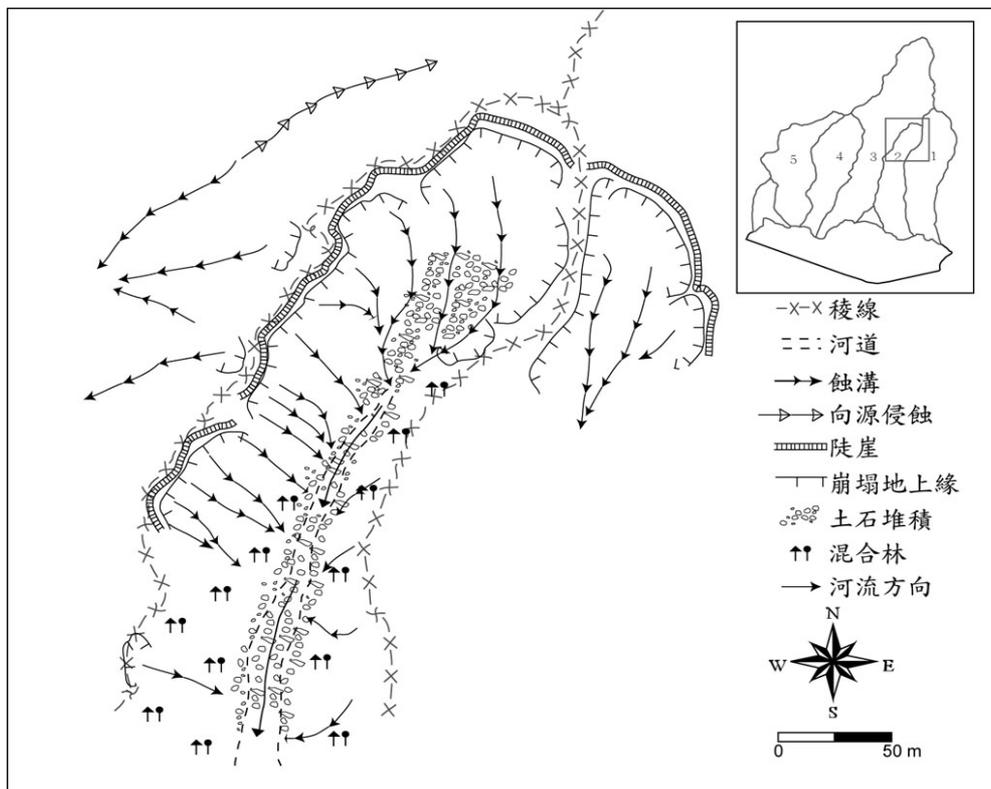


圖 5-46 民國 91 年 2 號集水區上游地貌圖

2 號集水區的地貌圖中，主要的地形作用區就不光侷限在源頭區的碗型區域內。除了源頭區外，還有大量的蝕溝都分佈在西側的崖面上。而集水區的東側，則沒有地形作用分佈，為良好的植生分佈。這樣分佈不均勻的地形作用，則能夠解釋裸露地的擴張與集水區邊界移動的原因。地貌圖中蝕溝的分佈情況，表示分佈在崖面上的蝕溝將集水區邊界邊坡上的土石帶走，造成邊坡的後退。

在地貌的變遷上，比較 3 個年份的地貌圖，主要的變遷發生在集水區源頭的後退。在這 10 年中，集水區源頭的裸露地與稜線的距離不斷的縮小，從民國 80 年的約 40 公尺，減少到民國 91 年的約 10 公尺左右。也就是蝕溝一直往源頭侵蝕。

另外，在民國 91 年的地貌圖中，北側源頭的蝕溝較民國 87 年減少了一條，西側邊坡上的蝕溝數目則增加了，且蝕溝下方土石堆積的範圍，比民國 87 年的地貌圖大一點點。穩定而持續的邊坡蝕溝發育，造成西側邊坡的後退，與變動圖中的現況吻合。

3 號集水區下游的沖積扇是最容易變動的沖積扇，表示上游一定有大量的崩塌地來產生土方。由變動圖顯示，3 號集水區上游的裸露地面積果然比 1、2 號集水區的裸露地來的大，並且還再擴張中。民國 80~87 年度的擴張主要往東西兩邊擴張，其距離分別為往東 7 公尺（年平均 1 公尺），往西 20 公尺（年平均約

3 公尺)。民國 91 年的變動則以源頭往北延伸出一大片裸露地為主，但這塊崩塌地卻不是由於 3 號集水區本身的向源侵蝕所造成，而是向源侵蝕搶過了別人的集水區源頭而來。

3 號集水區邊界的移動，與 1、2 號集水區情況不同，屬於能夠反應出向源侵蝕導致集水區邊界後退的情況。在 80~87 年期間的變動，速度上與裸露擴張的速度一致，往東 7 公尺（年平均 1 公尺），往西 23 公尺（年平均 3 公尺）。但在 87~91 年間，西側集水區邊界持續變動擴張，與裸露地顯示的情況並不相符。

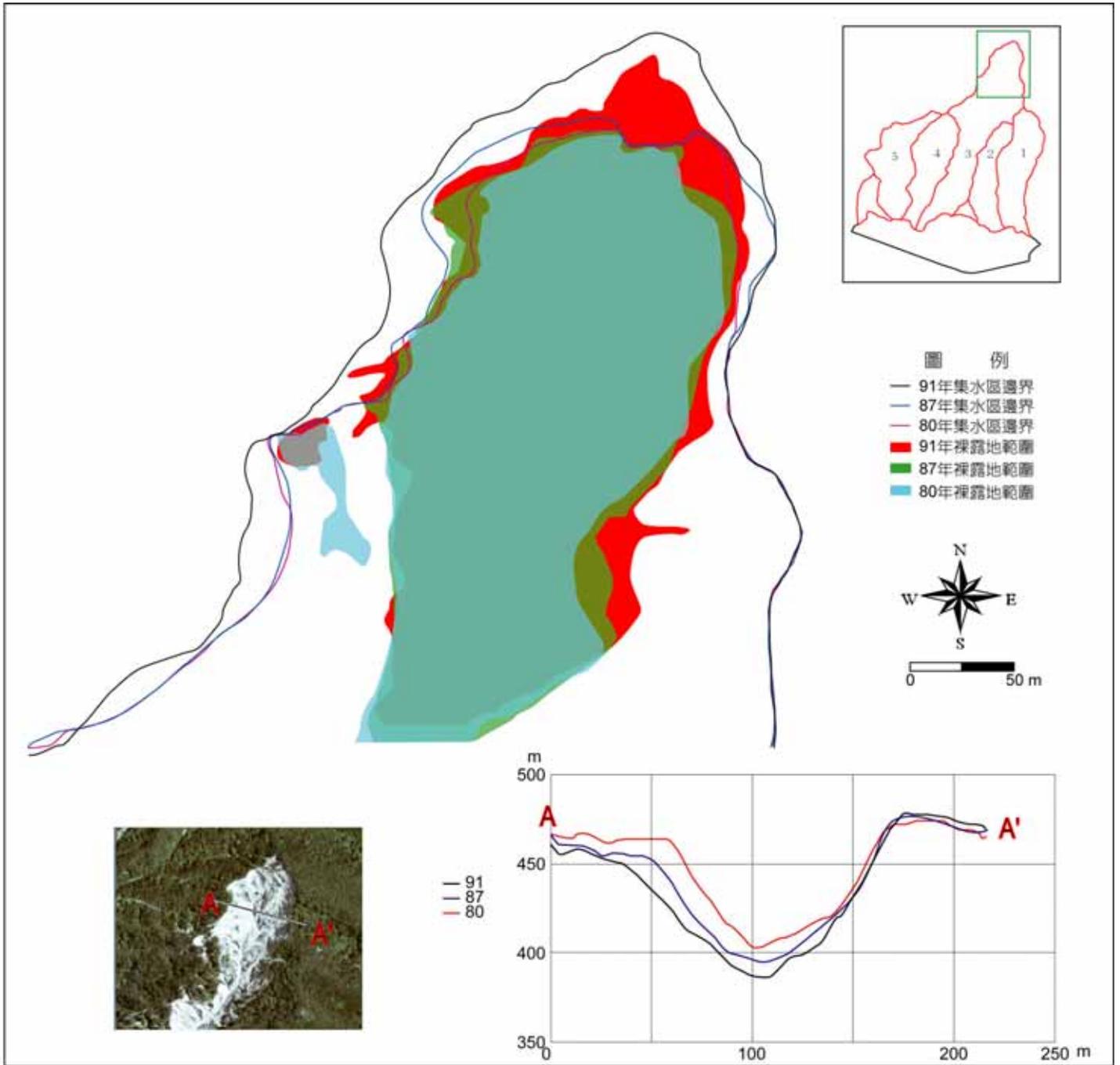


圖 5-47 3 號集水區上游變動圖

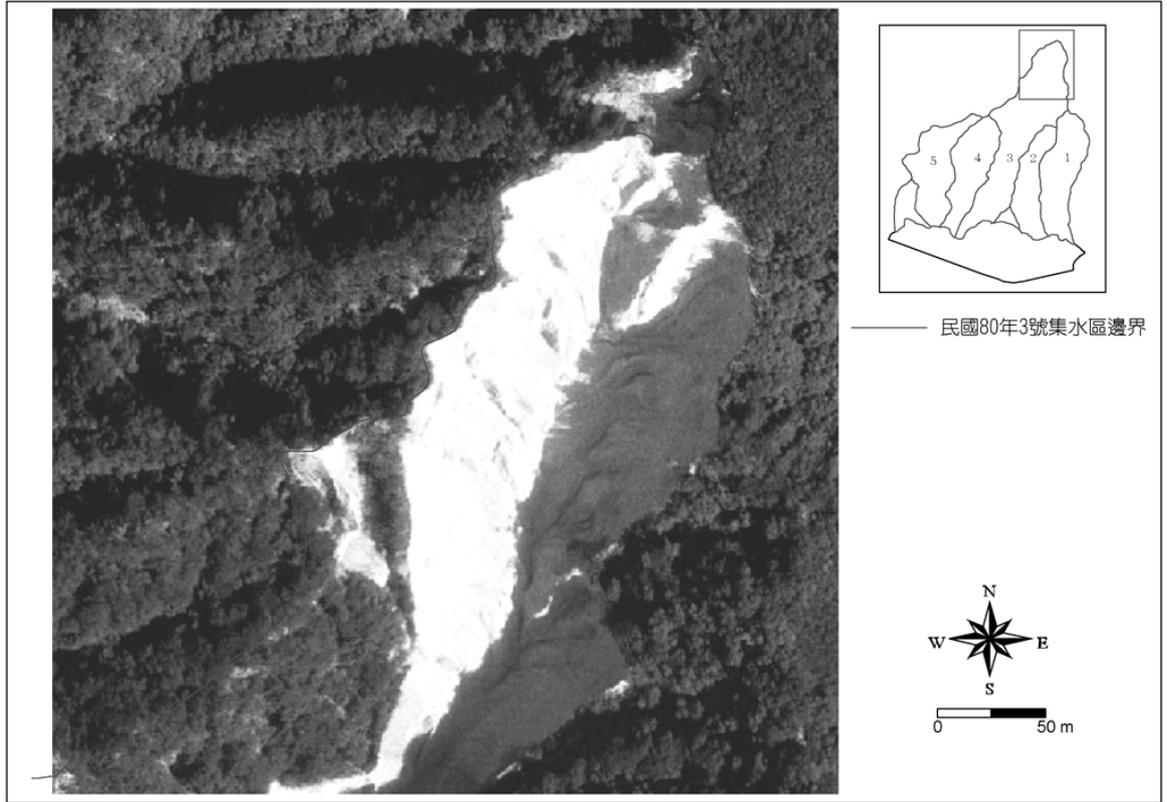


圖 5-48 民國 80 年 3 號集水區上游航空影像 (資料來源：農林航空測量所)

(拍攝日期：民國 80 年 9 月)

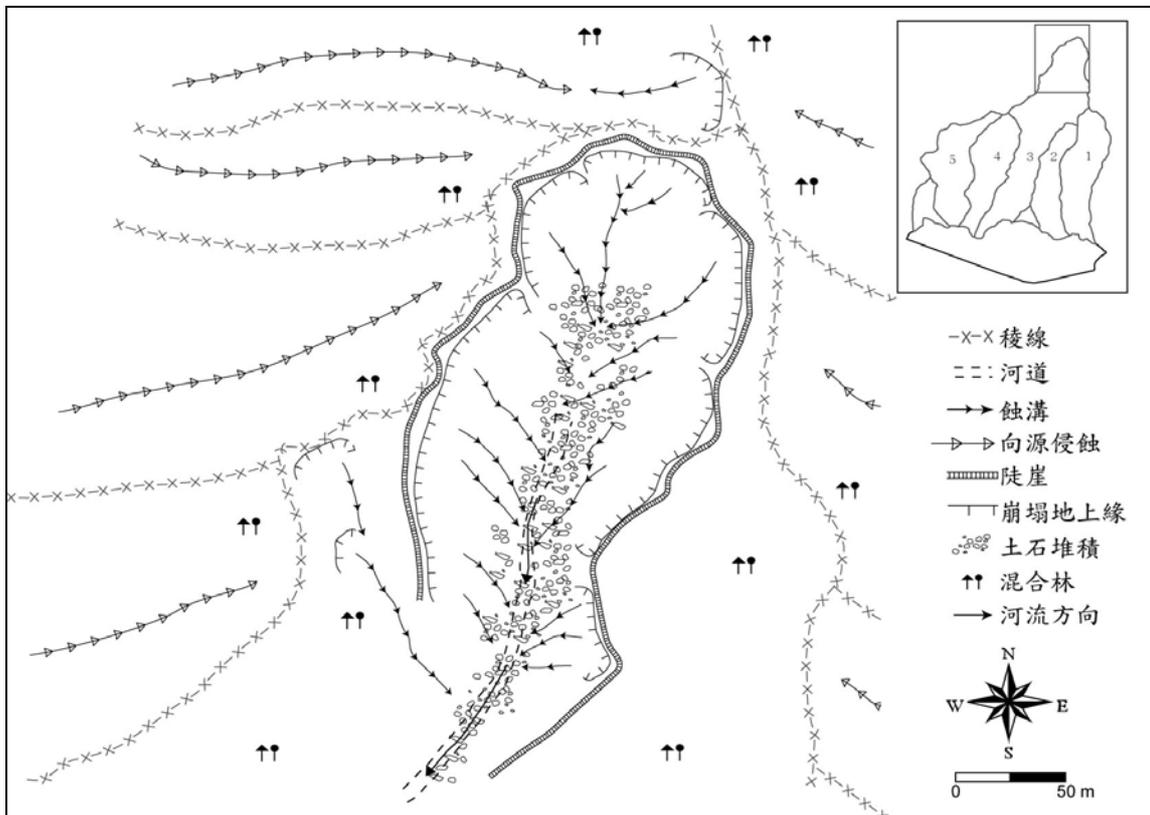


圖 5-49 民國 80 年 3 號集水區上游地貌圖

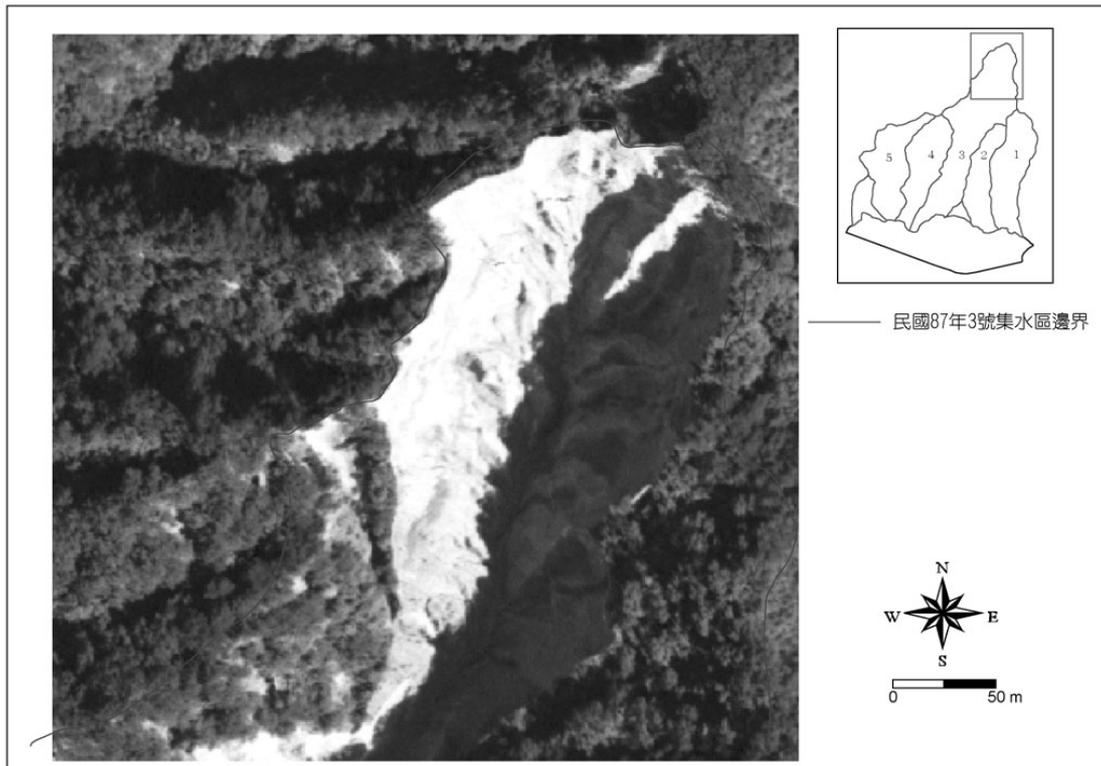


圖 5-50 民國 87 年 3 號集水區上游航空影像 (資料來源：農林航空測量所)

(拍攝日期：民國 87 年 2 月)

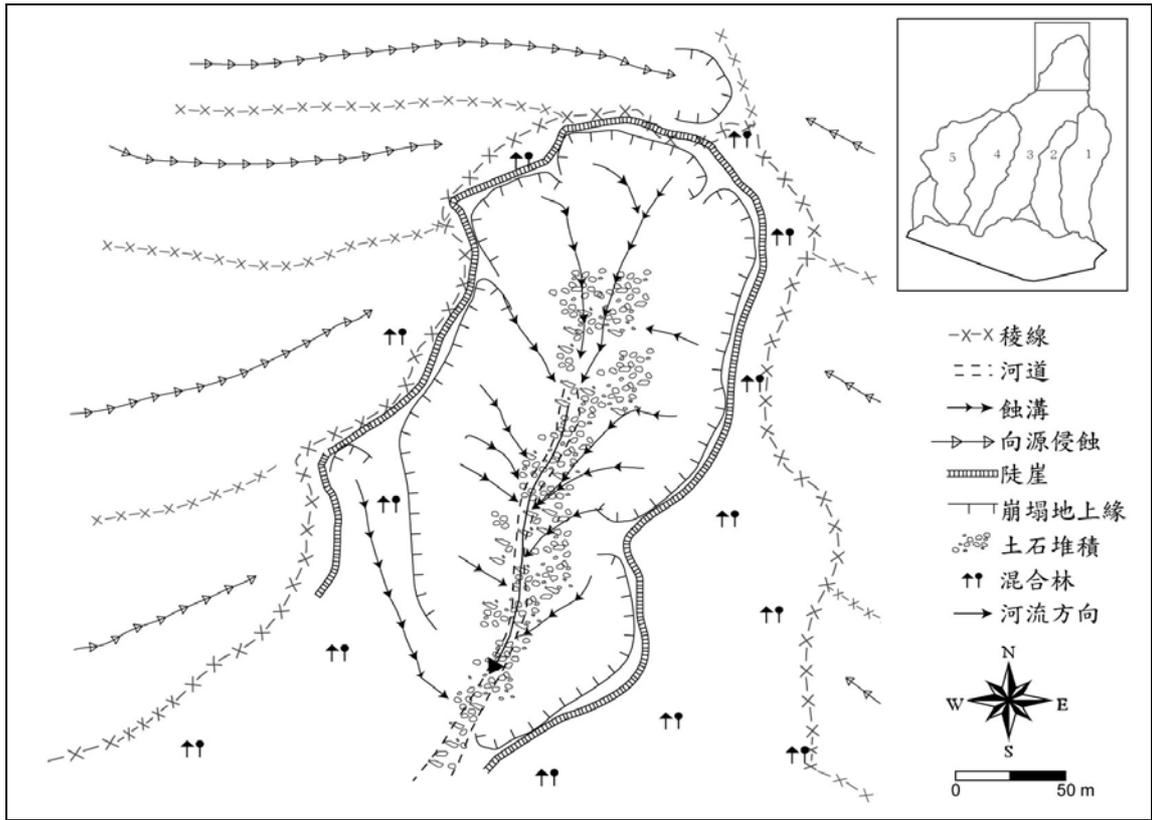


圖 5-51 民國 87 年 3 號集水區上游地貌圖

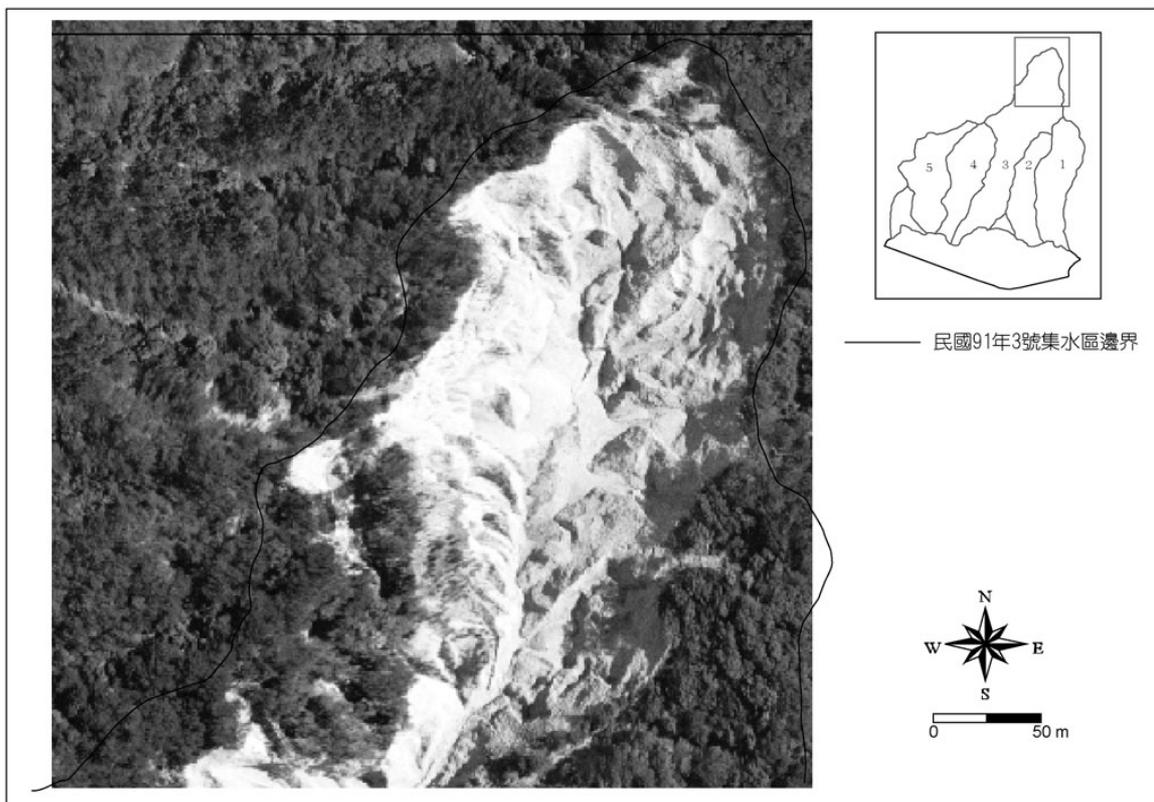


圖 5-52 民國 91 年 3 號集水區上游航空影像 (資料來源：農林航空測量所)

(拍攝日期：民國 80 年 9 月)

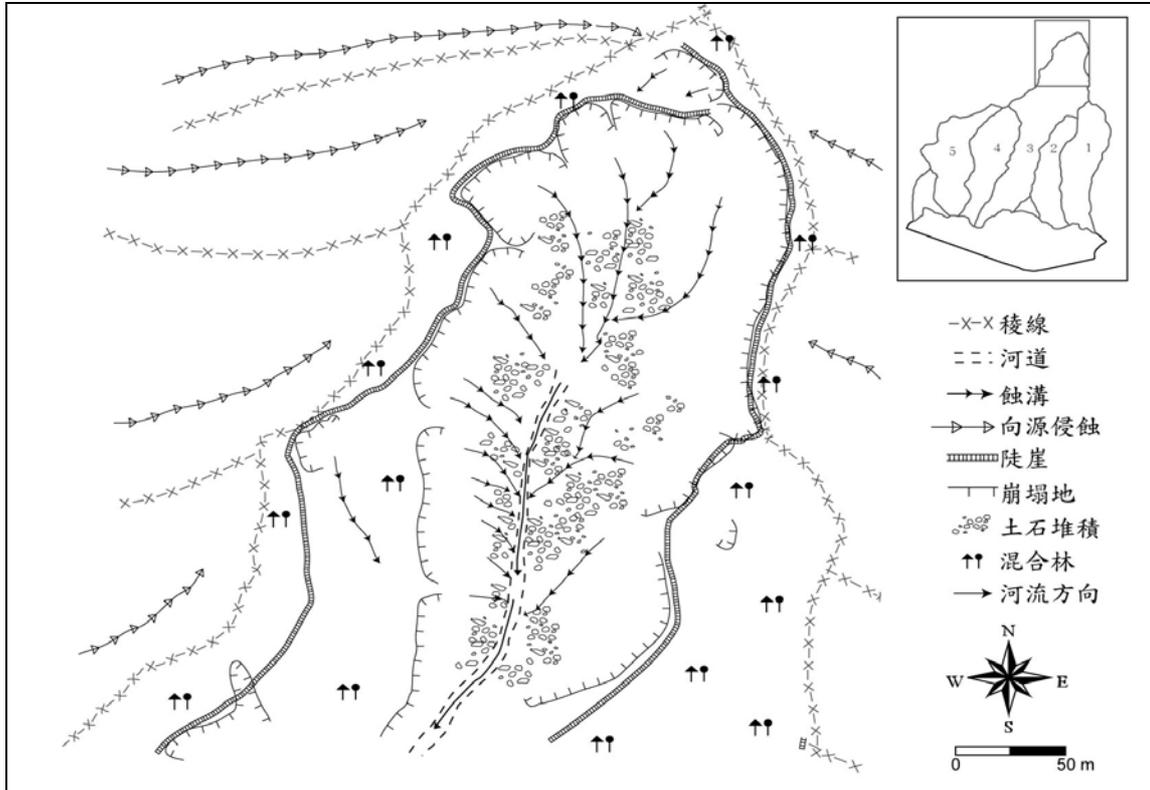


圖 5-53 民國 91 年 3 號集水區上游地貌圖

從以上各圖可以看出，研究範圍內幾乎都有崩塌地與蝕溝的分佈，侵蝕作用不光只在河道源頭的碗型區域內。主要的侵蝕區域是在陡崖下方的崩塌地，在陡崖與稜線之間還有一小塊區域，坡度較緩而有植生生長。

地貌圖的變遷上，可明顯見到集水區擴張的情況。比較 3 個年份的地貌圖，在民國 80 年的地貌圖中，源頭頂端的崩塌地與崖壁原本是連續的。民國 87 年時，崖壁退到了集水區邊界的位置上。到民國 91 年的圖中，崖壁被切穿，形成一個缺口。在原先集水區邊緣的位置，出現了一個崩塌方向不是順著河道方向的崩塌地。崩塌的方向與主流方向不一致，加上在左側可以清楚的辨識出一個向源侵蝕

的溝道，極有可能這個崩場地原本是隔壁集水區的源頭。但 3 號集水區向源侵蝕的速度太快，崩場地越過分隔集水區的稜線，把隔壁集水區的源頭改變方向。此外，在集水區中央蝕溝數量及土石堆面積的增加，代表著這裡正進行著劇烈的侵蝕以及搬運的作用。

4 號集水區上游的變動情況與 1、2 兩個集水區類似，都發生了裸露地的擴張不能反應到集水區變遷的情況。變動圖顯示，在民國 80~87 年間，崩塌地面積有著明顯的增加，主要的方向是往東與往北。在民國 87~91 年，則是小幅度的往兩旁擴張一點點。相對於集水區邊界，在民國 80~87 年間，在擴張的方向上只反應出往北的擴張變動，而東邊的退縮可能是因為東側 3 號集水區發生擴張，對 4 號集水區產生集水面積競爭的結果。民國 87~91 年的變動則有相反的趨勢。北側的集水區界線因為蝕溝被 3 號集水區競爭過去，導致集水區邊界內縮；西側則可能是隔壁集水區發生變動，使集水區界線移動。但因為變動的量不大，上面的植生沒有受到影響，在稜線上沒有見到裸露地出現。

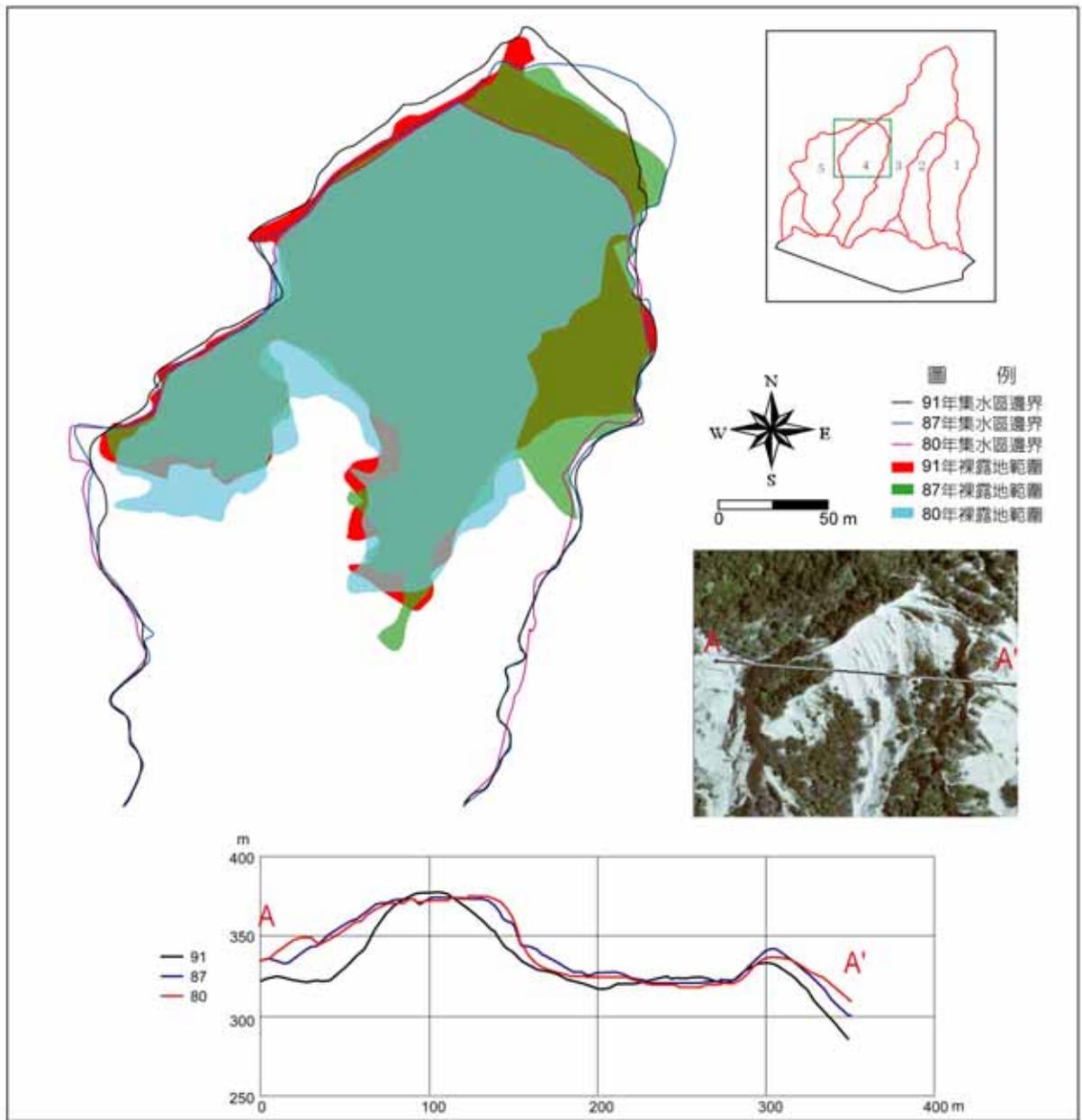


圖 5-54 4 號集水區上游變動圖

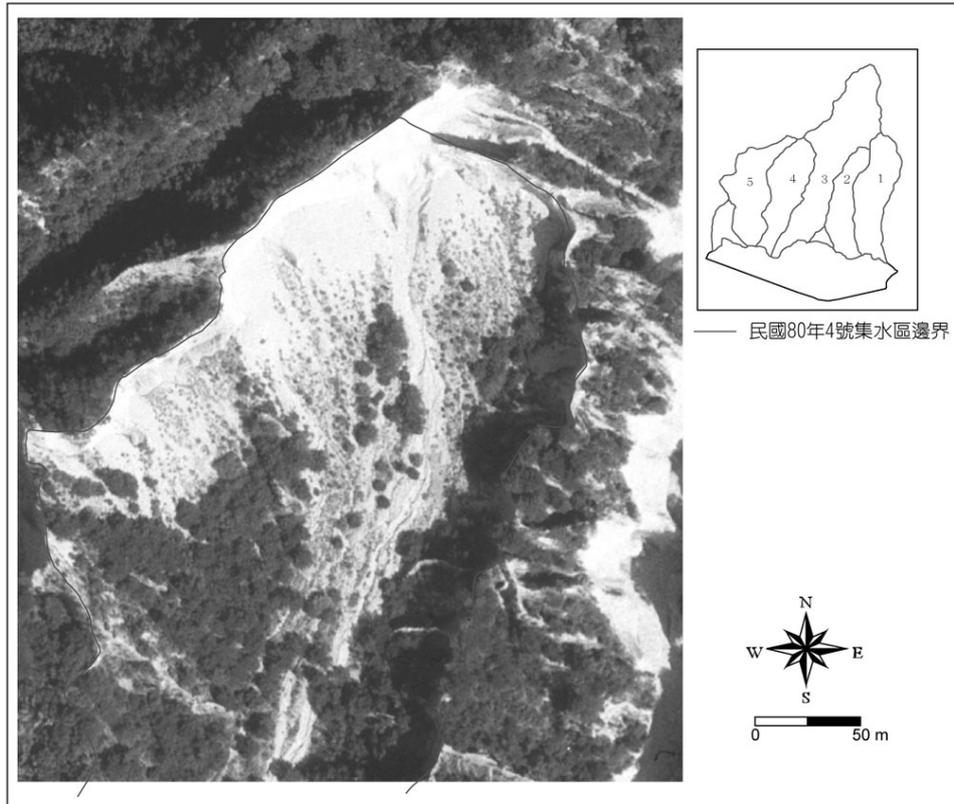


圖 5-55 民國 80 年 4 號集水區上游航空影像 (資料來源：農林航空測量所)

(拍攝日期：民國 80 年 9 月)

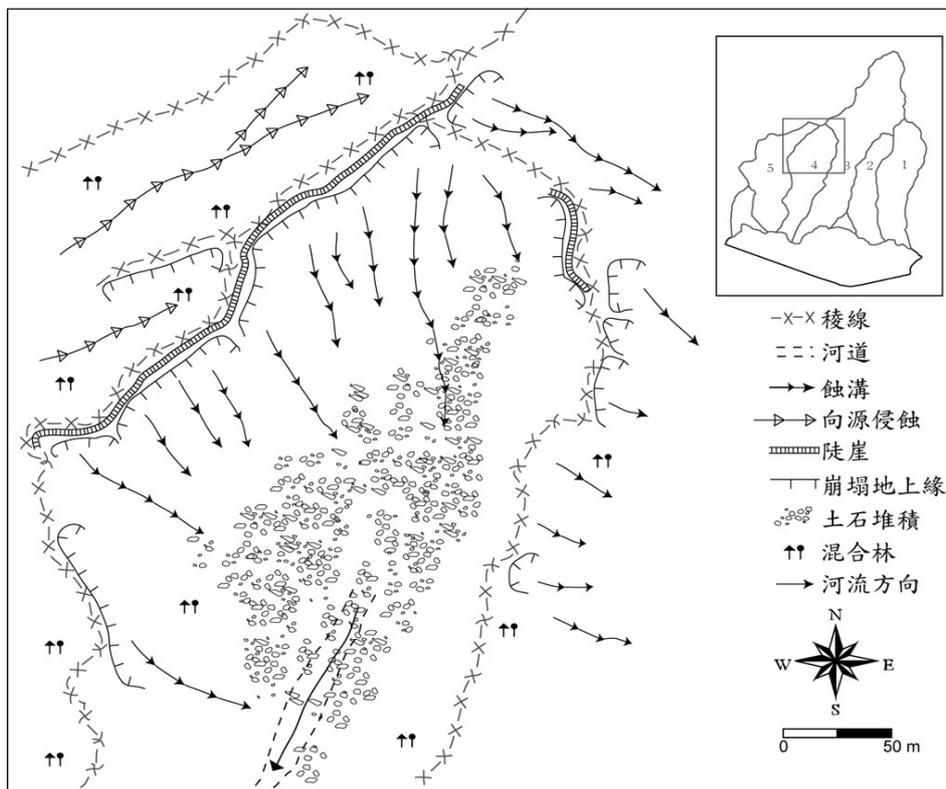


圖 5-56 民國 80 年 4 號集水區上游地貌圖

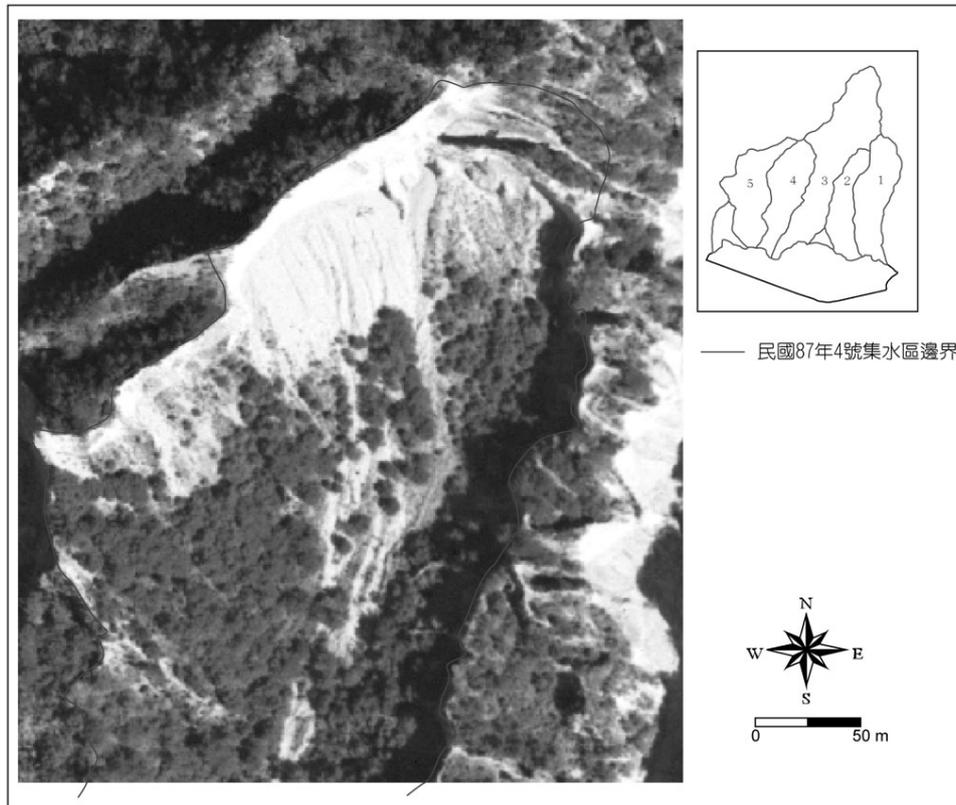


圖 5-57 民國 87 年 4 號集水區上游航空影像 (資料來源：農林航空測量所)

(拍攝日期：民國 87 年 2 月)

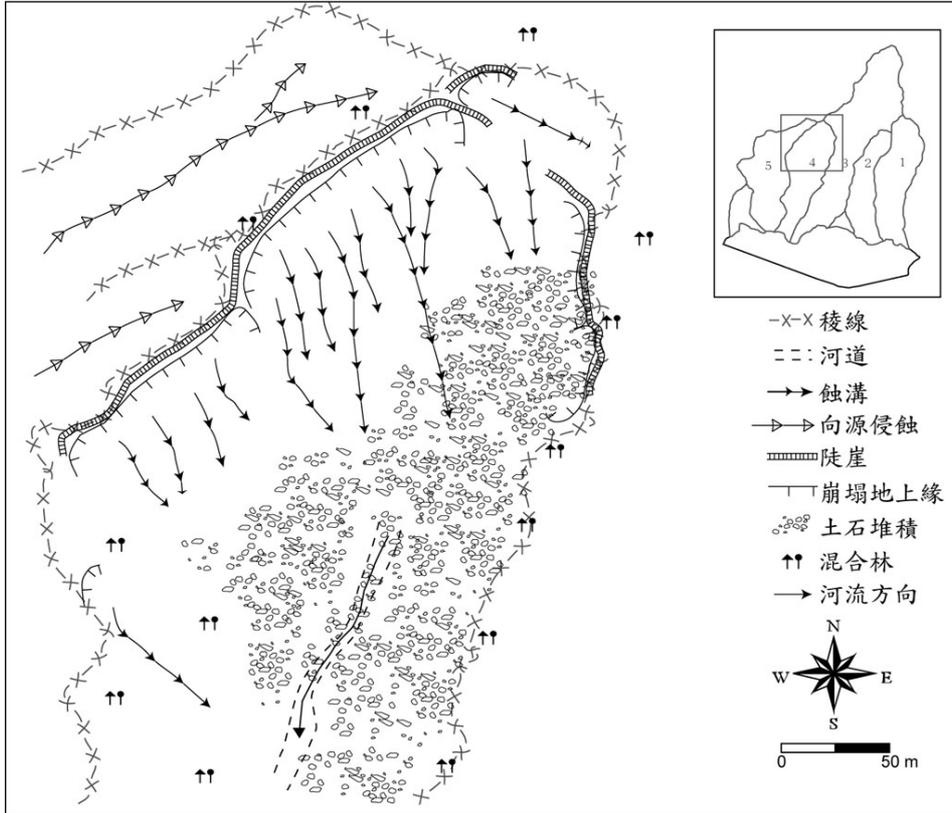


圖 5-58 民國 87 年 4 號集水區上游地貌圖

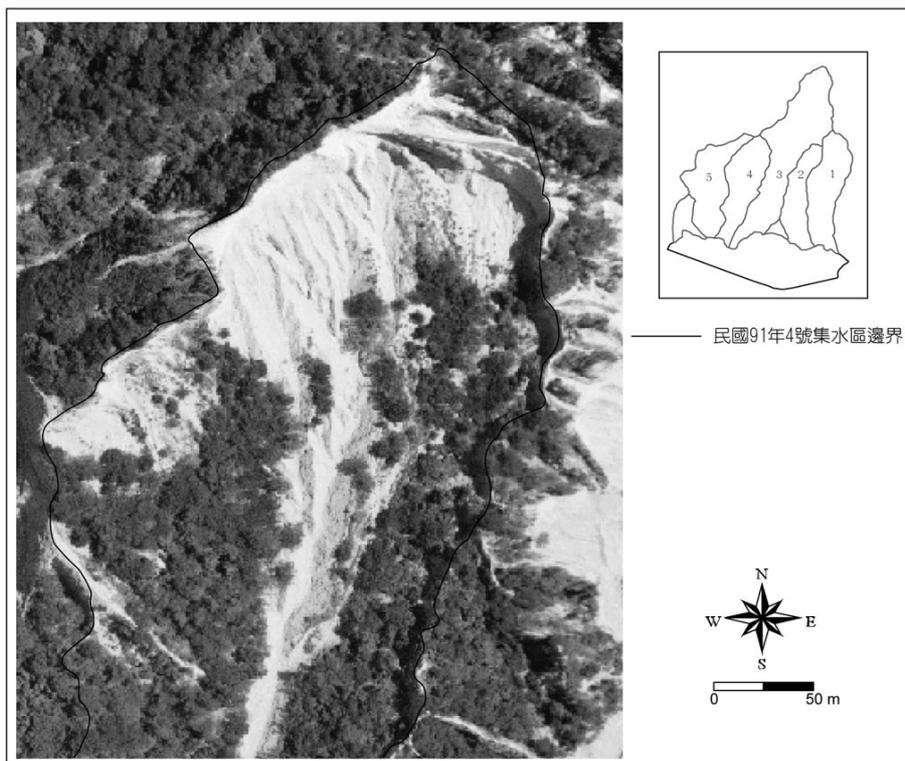


圖 5-59 民國 91 年 4 號集水區上游航空影像 (資料來源：農林航空測量所)

(拍攝日期：民國 80 年 9 月)

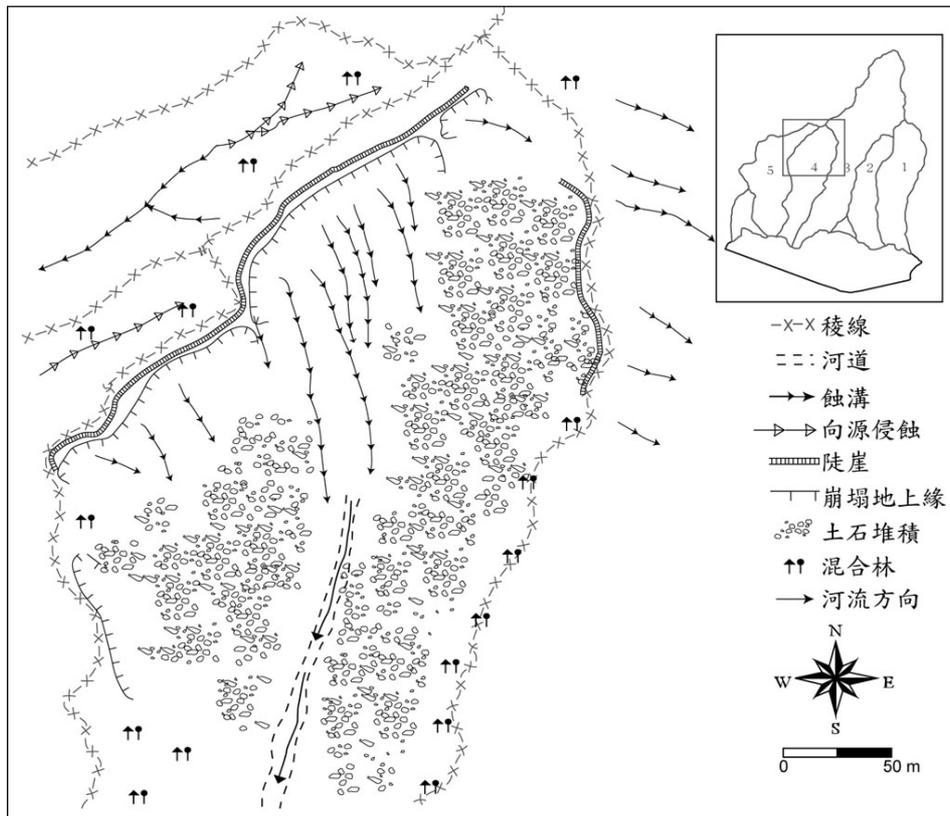


圖 5-60 民國 91 年 4 號集水區上游地貌圖

第四號集水區地貌圖集水區情況，則與前面 3 個集水區不相同。4 號集水區沒有碗型區域的出現。沒有碗型區域，卻不代表沒有向源侵蝕發生。地貌圖顯示，圖中整個區域內除了西側的邊坡外，幾乎都是土石的堆積區。這些土石的來源，為聳立崖壁土石崩落所產生。崩落土石堆積出的大型崖錐的土石鬆軟，易被擾動，地面上不容易有固定的水流流路，要在崖錐上移動一段距離後才能形成比較固定的渠道。圖中許多的植生，就生長在崖錐上，使得地貌圖中土石堆積的範圍比直接從影像中所得的面積要大。

在地貌的變遷上，最主要的侵蝕作用發生區——西側的崖面沒有變動發生。其

他的變動在於集水區最北端的區域。在民國 87 年的地貌圖中，最北端的區域內，蝕溝的發展方向是往 3 號集水區的主流方向發展。但因為尚未切穿集水區邊界，加上旁邊有小蝕溝向其發展過去，讓該地區被涵蓋在 4 號集水區之內。在民國 91 年的地貌圖中，蝕溝已經向下切深，且與集水區的聯繫蝕溝已經消失，取而代之的是一個崖面。當這個蝕溝切穿集水區界，集水區的範圍會往下方退後。

5 號集水區上游因右上方有向源侵蝕的地貌出現，集水區往這個方向延伸出去，使其外型與另外 4 個集水區迥異。變遷情況主要還是出現於集水區的中央部分。因為蝕溝及裸露地的擴張，集水區邊界在中央及偏左側的部分都發生向後退縮。不過與其他集水區相比，裸露地往外側擴張的情況不是很嚴重，扣除往 4 號集水區方向，大部分的擴張都往集水區的內部而非向外。在右側部分，則與 4 號集水區相鄰，裸露地明顯的向東側增加，但集水區變動的情況卻不明顯。而向東側上方延伸的溪谷，則受到 4 號集水區的競爭，導致稜線有向內退縮的情況發生。

就地貌的分佈來看，5 號集水區地形作用最旺盛的區域是在集水區的中央及左側的支流部分。由於旺盛的侵蝕作用，導致河道中堆積了大量的土石，主河道還因此出現了類似瀑布的陡崖。根據現地的實際觀察，在這個區域河道突然束縮變小，導致上游河道中的土石不能順暢的通過此地而不斷加高堆積，形成今日所見的崖面。右上方延伸出去的溪谷，因為覆蓋良好，沒有崩塌地的發生，但右側稜線則因為另一端的 4 號集水區不斷崩塌侵蝕，有往後退的跡象。

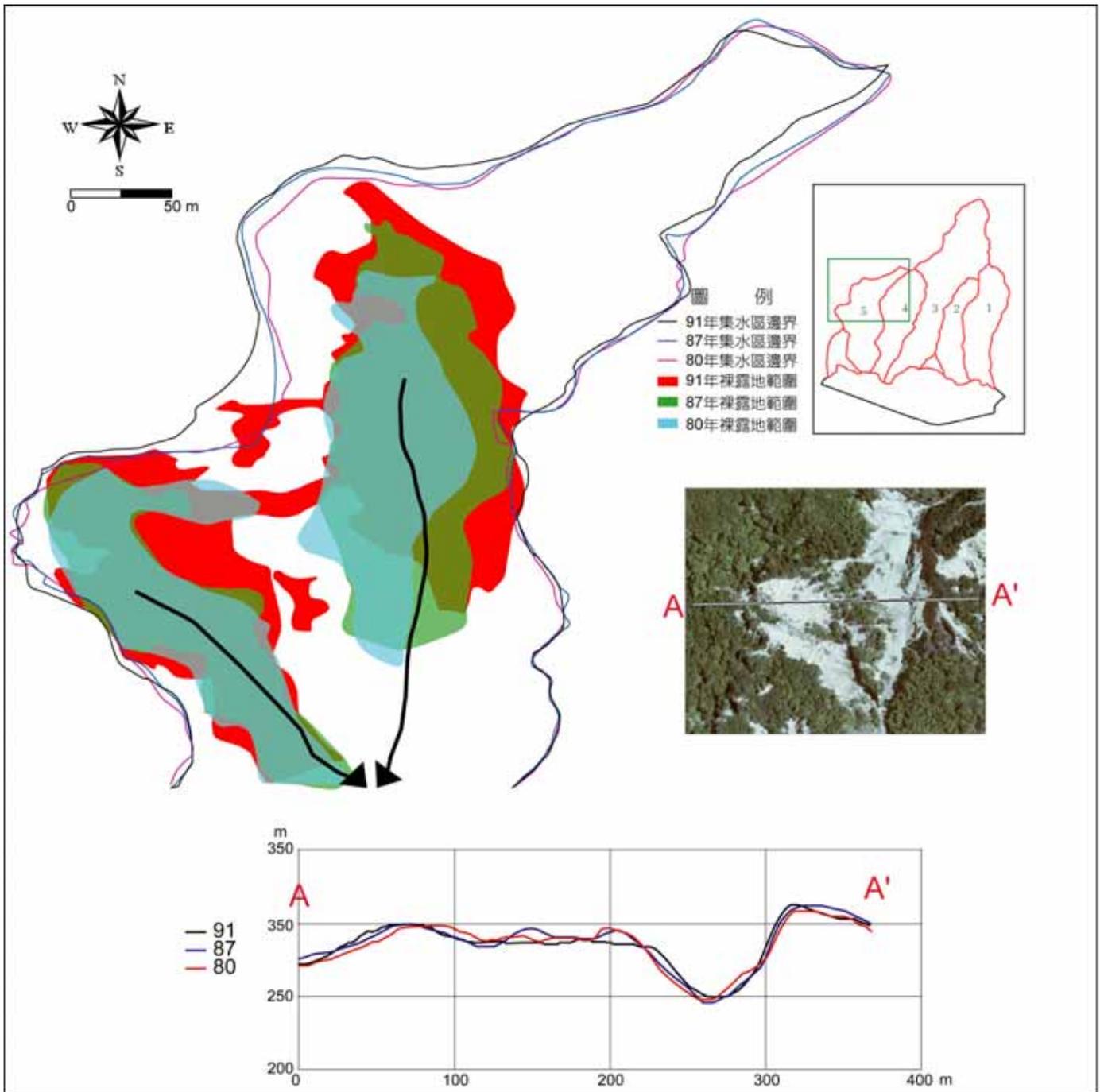


圖 5-61 5 號集水區上游變動圖

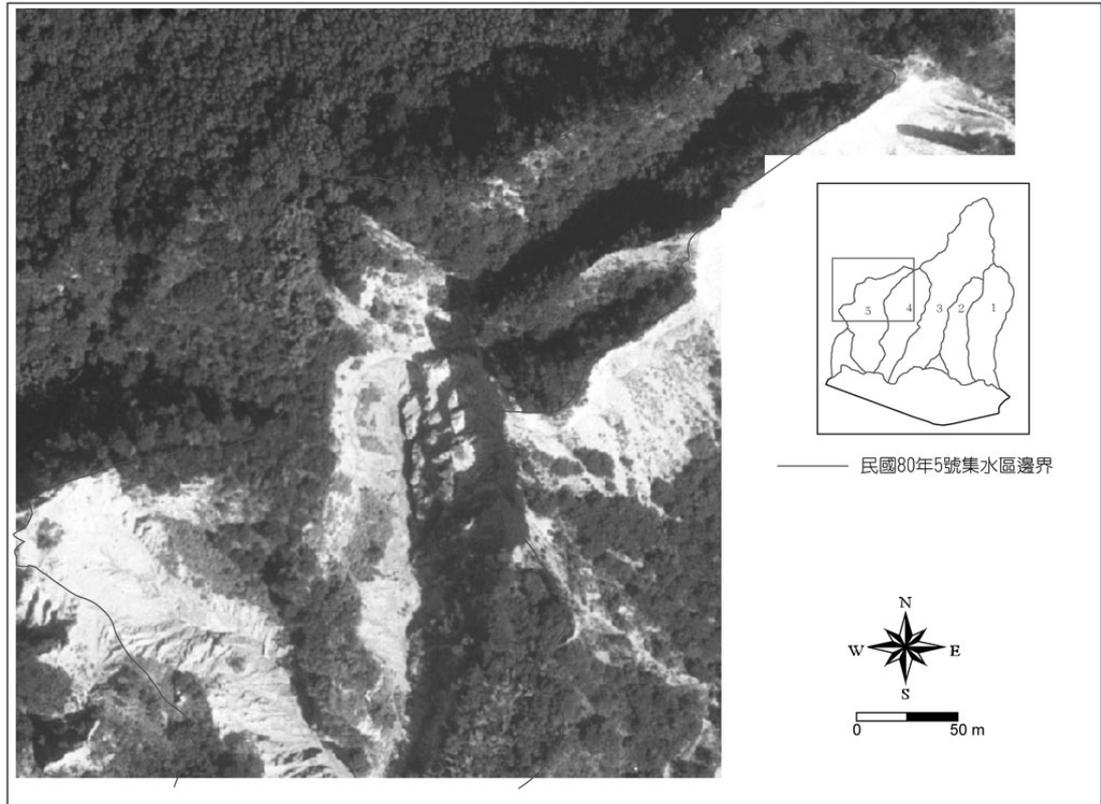


圖 5-62 民國 80 年 5 號集水區上游航空影像 (資料來源：農林航空測量所)

(拍攝日期：民國 80 年 9 月)

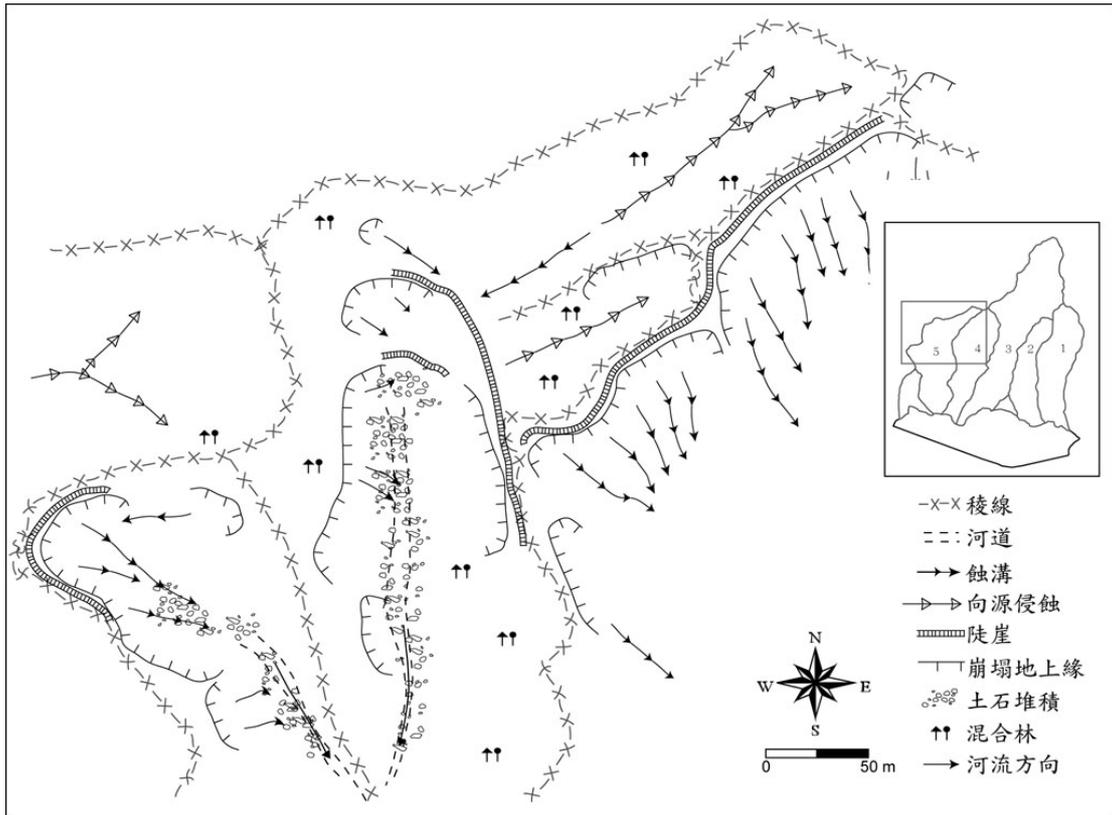


圖 5-63 民國 80 年 5 號集水區上游地貌圖

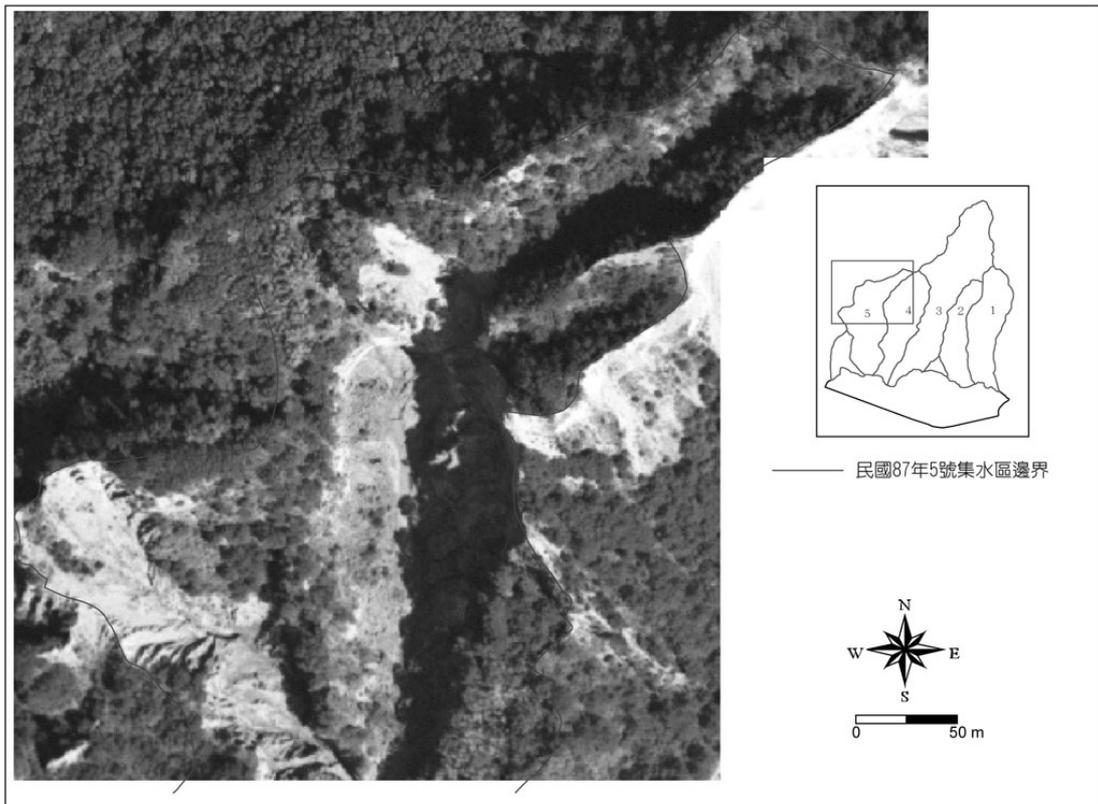


圖 5-64 民國 87 年 5 號集水區上游航空影像 (資料來源：農林航空測量所)

(拍攝日期：民國 87 年 2 月)

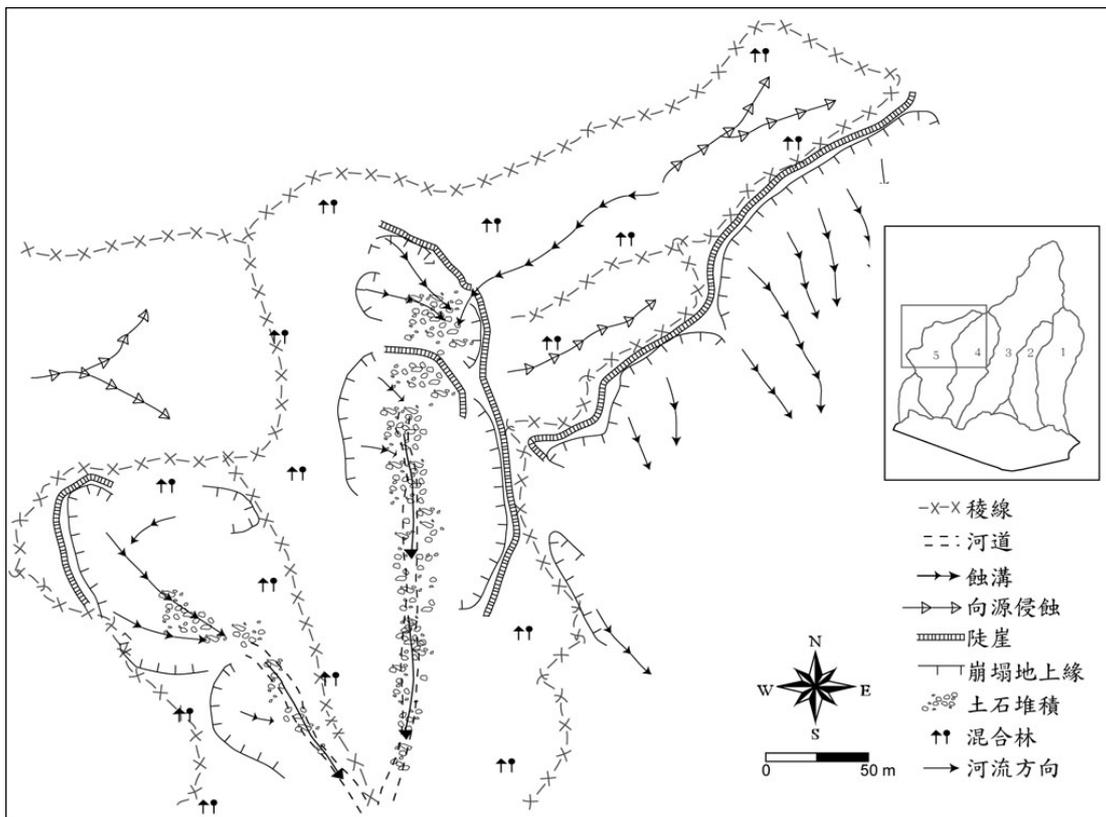


圖 5-65 民國 87 年 5 號集水區上游地貌圖

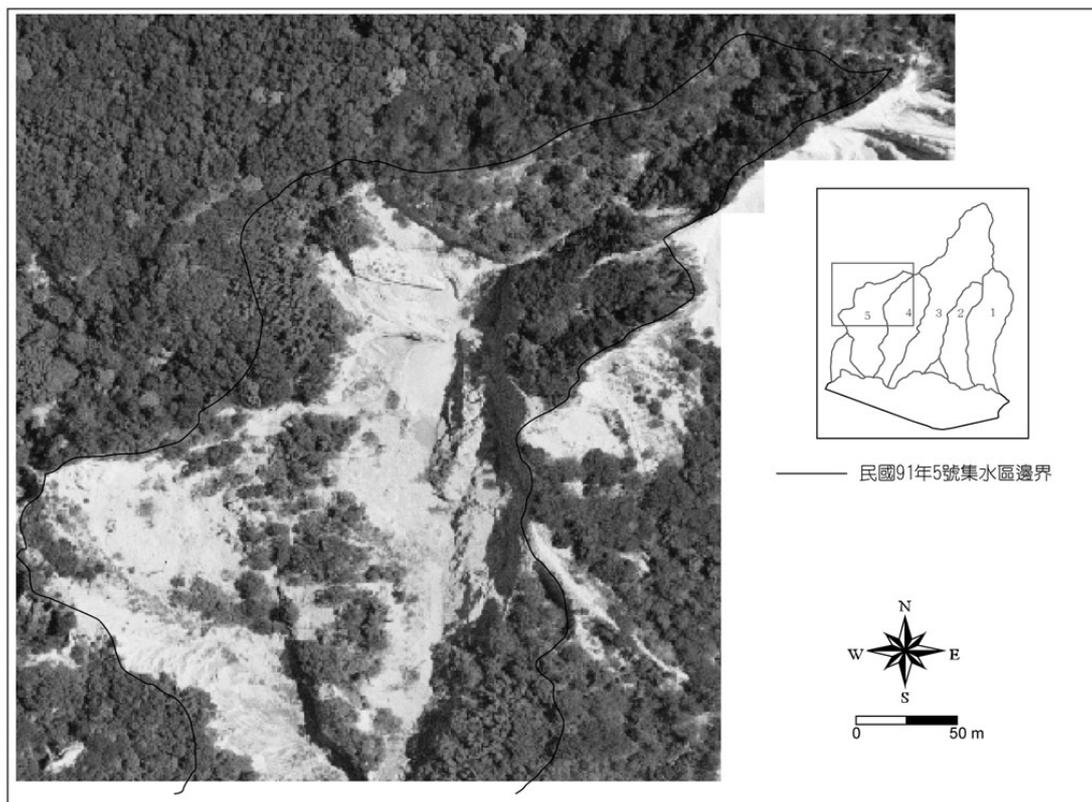


圖 5-66 民國 91 年 5 號集水區上游航空影像 (資料來源：農林航空測量所)

(拍攝日期：民國 91 年 6 月)

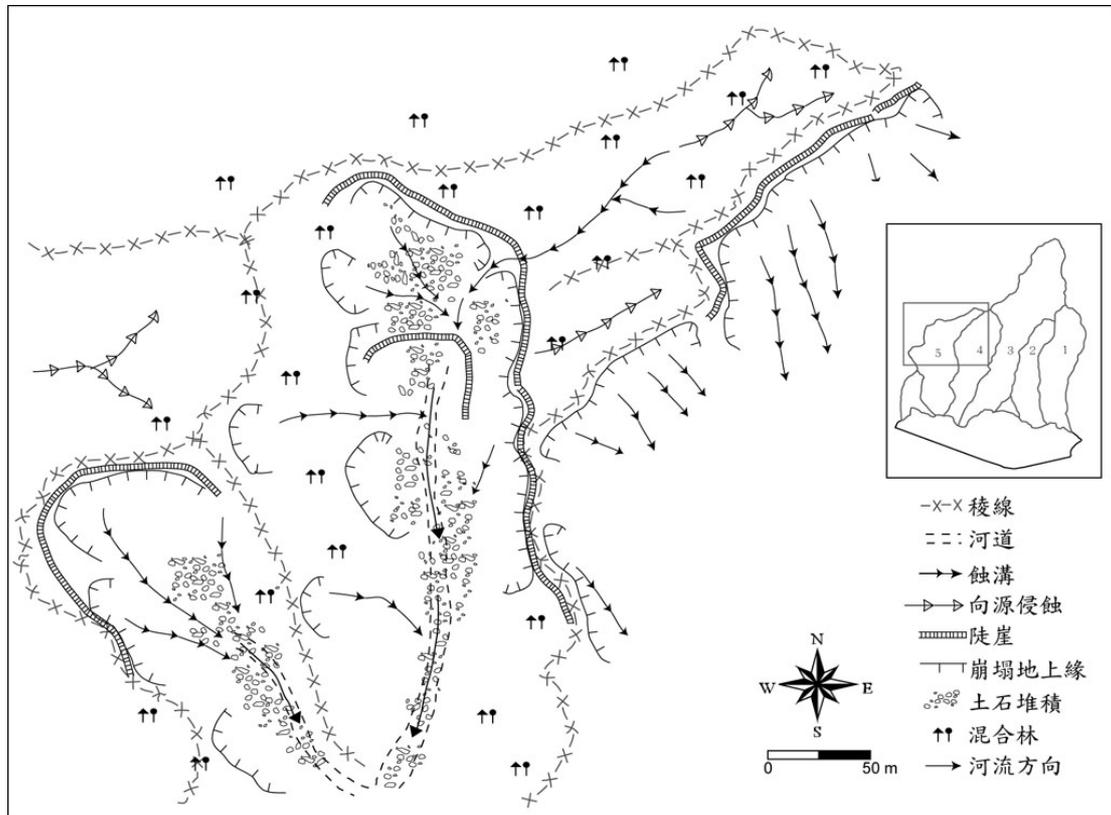


圖 5-67 民國 91 年 5 號集水區地貌圖



照片八 河道中土石堆積形成陡崖，高約 5 公尺（攝於 5 號集水區）

比較 3 個時期的地貌圖，從民國 80~91 年之間，5 號集水區與相鄰集水區之間的地貌變化並不顯著，保持著相互平衡，主要的地貌變動發生在集水區河道的位置。觀察中央的主河道與左側的支流，從民國 81 年、民國 87 年到民國 91 年，河道旁邊的崖壁與崩場地都有退後與面積增加的現象。而崩塌發生所造成的土石，可能直接堆積，或間接的被搬運到河道兩側，造成土石堆積的面積大量增加。至於右上角與 4 號集水區接壤的部分，雖然 4 號集水區不斷的往這邊崩塌及侵蝕，但在稜線頂端及 5 號集水區的部分，植披覆蓋良好，相對的不容易發生變動，稜線並沒有明顯的變化。

（二）邊坡後退類型

本研究選取沒有被蝕溝發育干擾的平直坡面，擷取出完整的邊坡剖面資料。觀察各個集水區邊坡後退的型態。本研究分類的標準，是利用 Young(1970)所提出的 6 種邊坡發育型態。在其理論中，對於邊坡的定義，類似於 Ruhe (1975) 對於 9 種坡體型態中所指稱的 SS (平直坡)、VS (凸直坡) 與 CS (凹直坡) 三種基本型態 (圖 5-68)。

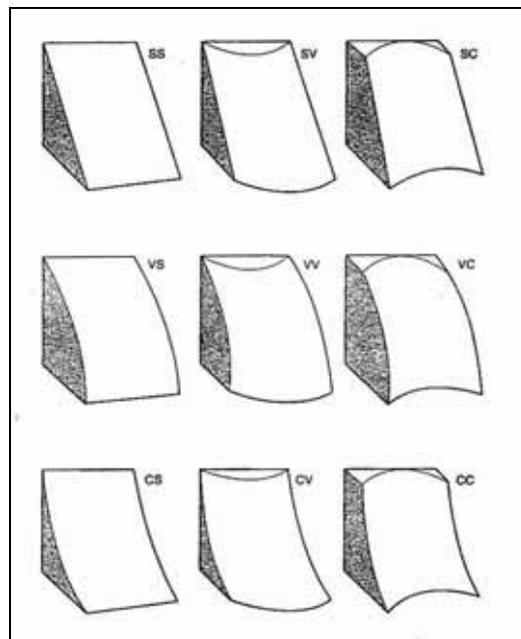


圖 5-68 9 種坡體型態示意圖 (Ruhe , 1976 ; Howell , 1995)

在測定剖面的方式上，對 5 個集水區分別取邊坡的剖線數條，再予以疊合比較。剖面線的位置如下圖所示：依剖線位置取得民國 80、87 及 91 年剖線疊合，即可比較 3 個年代之間的差異及變化。因剖線數量繁多，各個集水區中取一條具代表性剖面成果展示如下：

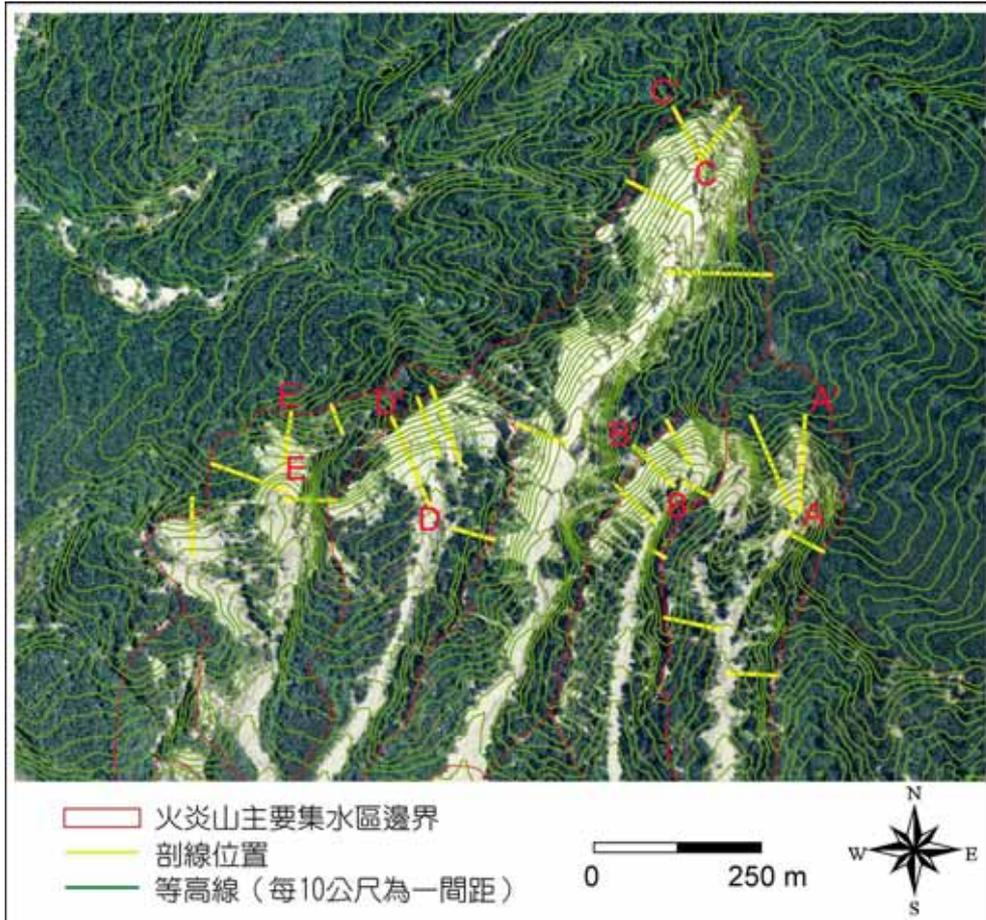


圖 5-69 邊坡剖線位置

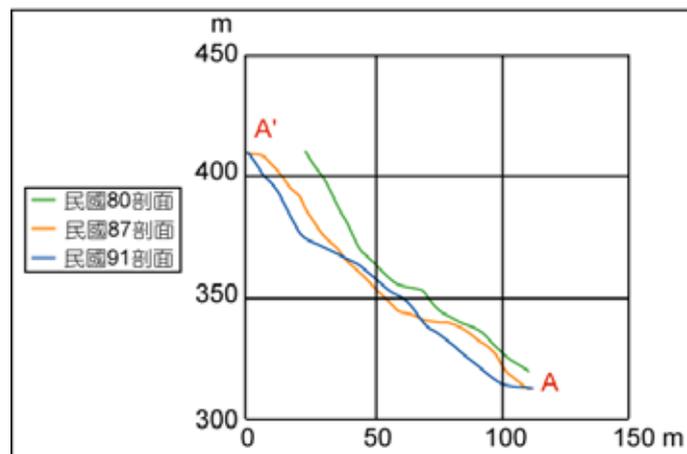


圖 5-70 1 號集水區邊坡剖線變化

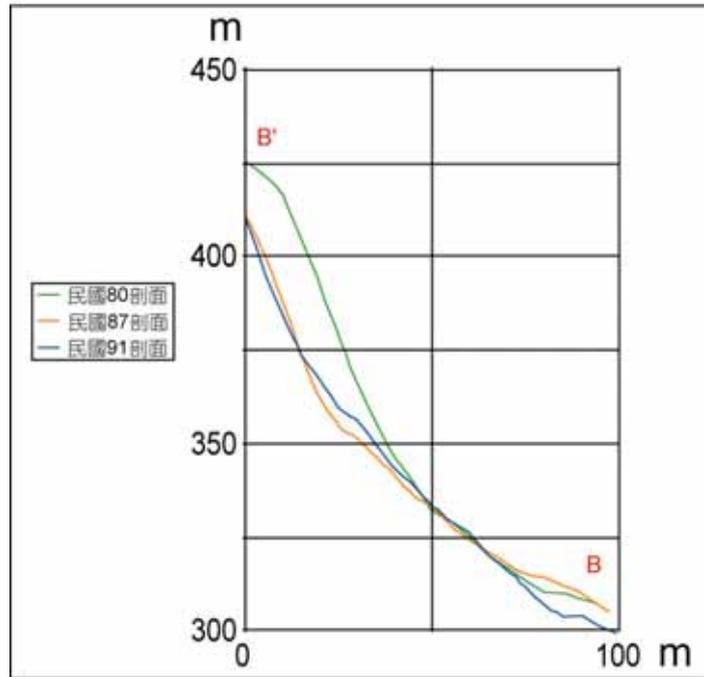


圖 5-71 2 號集水區邊坡剖線變化

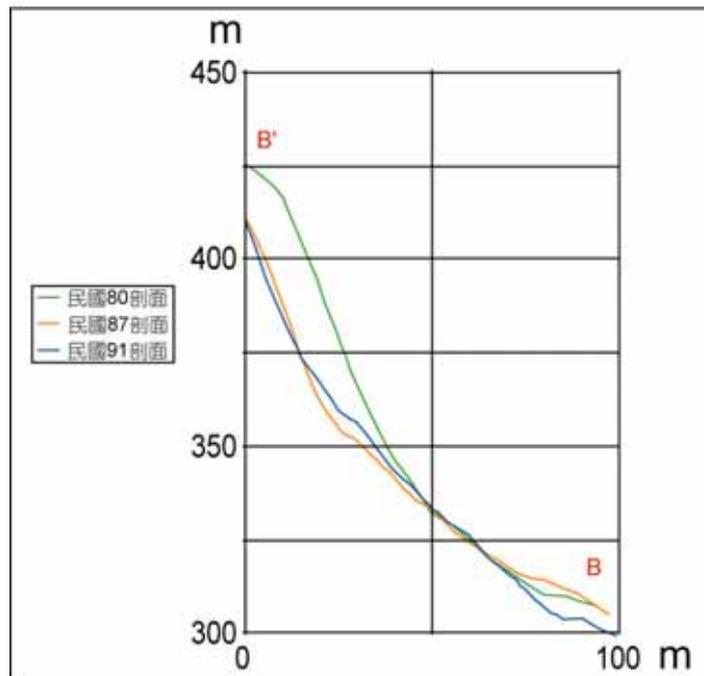


圖 5-72 3 號集水區邊坡剖線變化

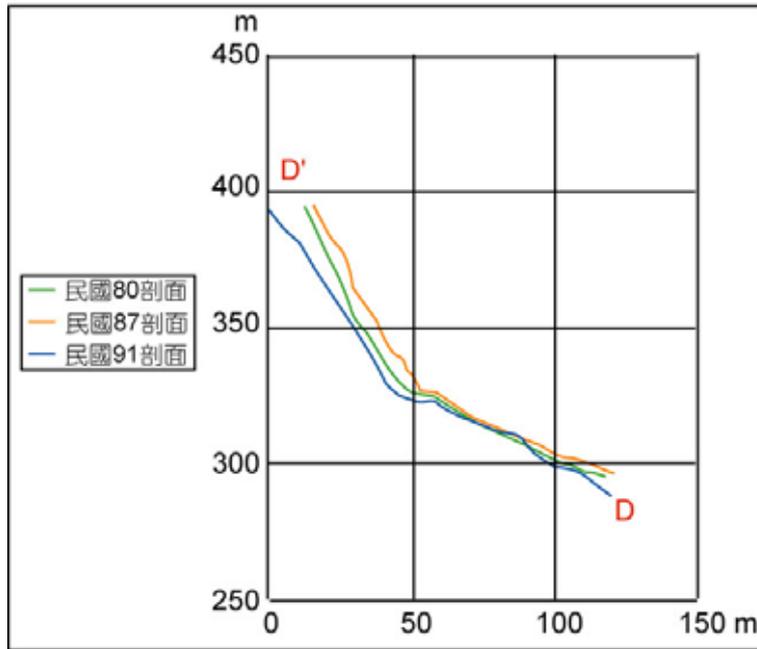


圖 5-73 4 號集水區邊坡剖線變化

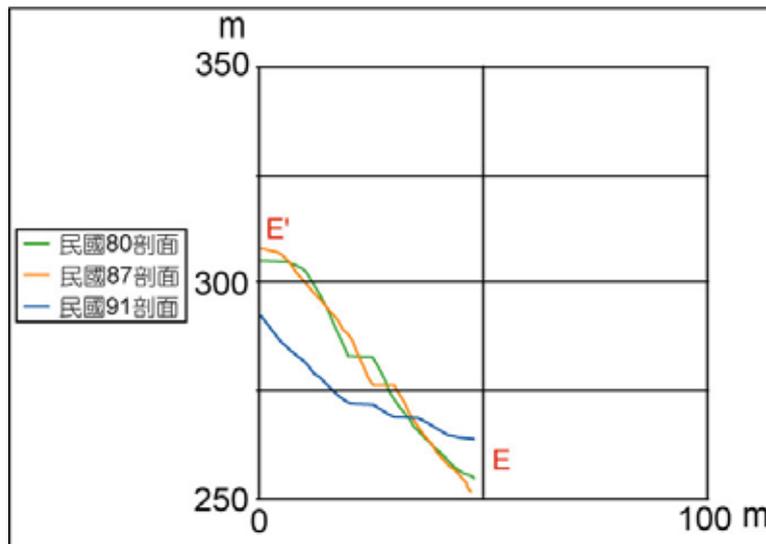


圖 5-74 5 號集水區邊坡剖線變化

根據所擷取出的成果，在剖線圖的變動型態上，1、2、4、5 號集水區的剖面線變動型態相似，3 號則自成一格，明顯存在著兩種型態。將這兩組就其變化的型態，以 Young 所提出的 6 種邊坡發育型態剖面圖來進行比對。

1、第一組：1、2、4、5 號集水區邊坡剖面。

從上面 1、2、4、5 號 4 個集水區取樣的邊坡剖面，很明顯的可以觀察到他們的共通點：1.上邊坡有著極大的角度，到了下邊坡則出現坡度減緩的情況。2.上邊坡後退的速率，要明顯的比下邊坡後退的速度要快。

第 1 個相同點透露一個訊息：這些剖面的邊坡包含了坡腳堆積的部分，而非一個平直坡。依據許明仁 (2000) 的研究中提到，火炎山礫石堆積層的的邊坡穩定角度大約在 $60 \sim 75^\circ$ 之間， $50 \sim 60^\circ$ 之間的邊坡會呈現出不穩定的型態。因此，這些邊坡剖面曲線就可以拆成兩個部分，大於 60° 的部分為裸露的礫岩層邊坡，坡度發生轉折的地方則為崖錐開始堆積的地點。依此而分，1、2 號集水區的剖線中比較沒有崖錐出現，或是僅出現一小部分的崖錐。5 號集水區的邊坡剖線則出現了大量的崖錐堆積。

第 2 個相同點，則明顯的說明了邊坡後退的趨勢。上邊坡後退的速率大，而且外型呈現近乎平行後退；下邊坡後退的情況不明顯，甚至有出現堆積的情況。根據剖面圖的外型判斷，其原因可能是上邊坡在後退的過程中，上方因崩塌而減少的土方量，在邊坡下方堆積形成崖錐，使下邊坡的剖線後退距離變小，甚至有高度增加的情況。但比對上邊坡減少的土方量與崖錐堆積的土方量，崖錐堆積的土方量比上方減少的要土方量來的少。如果以邊坡發育時，當地的降雨及地層情況推測，發生邊坡發育的情況多為降雨事件所導致。在降雨事件中，上邊坡因為

膠結遭到破壞導致崩落，土石往崖錐處移動堆積。但崖錐也同時受到地表逕流影響，部分堆積的土方量會被帶走而減少，導致此一剖面外型的發生。在林俊全 (1994) 的研究中，就曾提到火炎山的邊坡後退情況是以崩落為主，而崩落下來的土石就直接的堆積在坡腳等著被搬運。

根據外型的比對結果，這種邊坡的後退型態，屬於 Young (1970) 分類中的第 5 型邊坡後退。這種後退型態的發生有 4 個條件：1.不被妨礙的坡腳 (basal) 移除 (非坡腳侵蝕)、2.邊坡的後退由移除作用所控制，3.岩屑 (regolith) 移除完全由表面搬運所造成，4.表面搬運速率對邊坡的向下搬運能量及岩屑厚度成一定的比例，5.風化速率 (由母岩變成岩屑) 對邊坡的向下搬運能量成正比，對岩屑的厚度成反比，6.岩屑厚度與上邊坡的風或速率成正比，與下邊坡的搬運速率成反比。而這組邊坡的後退速率，變動的時間並不相同，但在長時間的平均上卻極為相似。將民國 80 年與民國 91 年剖線的位置相減後，得到年平均後退速率約為 1.5 公尺 (稜線的後退量)。

2、第二組：3 號集水區邊坡取樣剖面

3 號集水區邊坡剖線與前述的剖面有著極大的不同，剖線的角度沒有轉折、上下邊坡的後退速率幾乎一致。依據前述許明仁 (2000) 的研究成果分析，可以知道這個邊坡基本上一直保持著平直坡面的外型，下面沒有任何的崖錐堆積殘留。而民國 80 年至民國 91 年這段期間內平均的後退速率，約在年平均 2.5~3 公

尺之間 (稜線的後退量)。

依據 Young 的分類標準, 3 號集水區取樣邊坡的邊坡發育類型屬於第 3 型的平行後退, 其特性如下: 1. 不被妨礙的坡腳移除、2. 邊坡的後退由移除作用所控制, 3. 岩屑因為直接移除作用而全部被帶走, 4. 直接移除的速率與邊坡向下搬運能量值成比例。

根據上面兩種邊坡型態的比較, 可以發現這兩種邊坡的差異仍在下邊坡的部分有無堆積的崖錐出現。第一組的 1、2、4、5 號的取樣邊坡有崖錐堆積, 3 號集水區的沒有發生。就條件上來說, 崖錐的出現與搬運的速率有關。在第 5 型的邊坡發育中, 表面搬運的能力與邊坡的向下搬運能量成比例。當上邊坡與下邊坡的角度不相同時, 上邊坡由於角度大、風化速率高、表面搬運力強, 被帶走的速度當然快。下邊坡因為有崖錐導致角度變小, 表面搬運能力下降, 在此循環之下, 自然會愈堆愈高。而 3 號集水區取樣的邊坡因為掉落下來的土石直接被帶走, 沒有機會在下邊坡堆積, 使得上下邊坡都能夠保持新鮮的坡面外露, 以相等的速率向後退縮。由此可知, 在原始的母岩條件 (高角度礫石邊坡) 與氣候條件 (同一氣候區) 都極為相似的情況下, 還能夠發展出不一樣的邊坡發育情況, 最有可能的原因就是不同河道之間搬運能力的差異。

1、2、4、5 號集水區取樣的邊坡, 其下方河道 (或蝕溝) 的搬運能力可能比 3 號邊坡來的差, 導致崖錐堆積的發生。如果三號集水區邊坡搬運能力發生了變化, 河道 (或蝕溝) 的搬運能力減小到不能完全帶走下方的崖錐堆積時, 邊坡

型態會轉換成與 1、2、4、5 號集水區邊坡相同的類型。

(三) 沖積扇地貌變遷與侵蝕變化

利用歷年航空照片立體像對，界定出各年度沖積扇區域的大小、沖積扇上植生分佈的區域、以及新舊河道的區別。由於沖積扇容易因降雨事件發生而產生變動，造成沖積扇規模的改變，因此本研究除了利用數值地形資料及正射影像來比對外，同時比較特殊降雨事件的影響。

民國 80 年沖積扇的情況，整個沖積扇面上發生了變化，而變化最大的就是第 3 集水區沖積扇。從地貌圖來看，原本植生的位置被新沖積扇所取代，造成植生的面積大幅減少，分佈地點也從 3 號集水區沖積扇的左下方跑到了右下方，而這個區域在民國 75 年的航照圖上應為當時新沖積扇的位置。依據前人研究 (林俊全, 1992)，火炎山沖積扇扇面如果沒有遭到新的堆積物掩蓋，約五年後可以被植生覆蓋，而不容易辨識。

此植生區的茂密程度不遜於集水區上游。高程變遷圖顯示，在對應區域的高度與民國 75 年相比，並沒有顯著的改變，代表此一區域已經有長時間的穩定，甚至可能在民國 75 年之後 2、3 號集水區的主河道便改道不再往此區堆積。

從植生區域減少的趨勢上，在 4、5 號兩個集水區原本茂密的植生區全部消失，取而代之的是許多可辨識的舊河道，顯示這裡曾經被沖積扇主流經過。依據地貌圖流路的觀察，此區的大型變化原因不光是這兩個集水區，3 號集水區的主

流也曾經轉彎往這個方向流過來，一起堆積這塊新的區域。此點可從地貌圖上第 4 集水區主流流路的轉向，及侵蝕堆積資料中大幅度增高的位置在 3 號集水區的左側，右側卻沒有增高的趨向得到證明。不過，3 號集水區的主流在沖積完新區域後，又回轉到右側，而非留在大量沖積所產生的河道上。從圖中的侵蝕與堆積資料觀察，此一區域的高度值大幅度的增加。經計算結果，約比民國 75 年高了 10 公尺以上平均一年堆高達到 2 公尺。

相同的情況也發生在 1、2 號集水區的下游。從地貌圖與堆積侵蝕資料觀察，這兩個集水區也一起向外沖出了新集水區，2 號集水區主流並向右轉與第 1 集水區主流互擠，使集水區的扇面形狀成為長條型。就變化規模而言，剖面線變動高度不若 3、4、5 號集水區，新沖積扇也沒有直接擴張到馬路邊緣，沖出的土石量並沒有很大。

從民國 80 年的地貌圖上來看，大量產生的新沖積扇都安定了下來，植物開始生長。五個集水區中，四個主流流路沒有改變。唯一改變的 3 號集水區，主流在舊河道堆積出一個小沖積扇後，改道至民國 80 年度的舊河道。但即便如此，河道旁邊的植生面積又開始大量的增加，甚至河道旁邊就已經有植生生長，顯示這個環境十分的穩定。觀察沖積扇的侵蝕堆積資料，卻指出了變動的區域為何。在 3 號~5 號集水區沖積扇的外側，沖積扇的高度減少了 5 公尺以上。另外在 1 號集水區沖積扇的右側，新產生人為堆積的砂石堆。除此之外，其他區域幾乎沒有發生堆積或侵蝕的情況。

地貌圖上可以輕易的看出，開採砂石對於沖積扇地貌的改變。在民國 80 年 3 號集水區沖積出一大片的區域，但根據民國 87 年的地貌圖顯示，3 號集水區沖積扇的主流，至少曾經發生過兩次大的沖積事件，沖積物往前推進到了馬路旁邊。而在 3、4、5 號集水區，又可以觀察到新的沖積扇發育，堆疊在舊的沖積扇上，為第 2 次事件發生所產生的變化。

根據地貌圖中，舊沖積扇的變動情況顯示，在較早的事件中第一集水區沖積扇向外擴張到了至目前最遠的位置。這個擴張的結果也影響到了 2 號集水區沖積扇的發育情形。1 號集水區沖積扇向左側擠過來，使得原本就被 3 號集水區沖積扇壓縮的 2 號集水區沖積扇面積變的更小，主流再往 3 號集水區偏過去，連帶的迫使沖出的土石在有限的空間內愈堆愈高，讓 2 號集水區沖積扇的堆積高度劇增。

3、4、5 號集水區都發生至少兩次的變動。就 3 號集水區來看，民國 87 年地貌圖顯示舊的沖積扇已經往前發育到了馬路旁邊，使得原本扇端前的陡崖消失，只剩下 3、4 號集水區中間沒有被沖積扇影響到的區域，還留著過去的地貌。新的沖積扇堆積在舊沖積扇右側，將相對比較低窪的區域，填高大約 5 公尺。而這次的大變動，也在扇面上留下清晰可見的瓣狀水系。

4、5 號集水區沖積扇的主流，在民國 87 年的地貌圖中，從合併變成分離是比較大的改變。兩個集水區的主流分離開來，各自往不同的方向流出。雖然新堆積的扇面並不大，但在高程變動中，兩個集水區沖積扇分別發展出自己的新沖積

扇面，證實這樣的情況確實發生。

由於納莉颱風帶來的充沛雨量 (880 公釐)，造成民國 91 年沖積扇面上的大變化，而且是全面性的。從 1 號到 5 號集水區，都沖出了相當多的土石。1 號集水區照著舊沖積扇的扇面持續加高；2 號集水區可能是沖出的土方量較小，無力突破過去被束縮的範圍，只堆積出一長條型的新扇面。3 號集水區原本發生變動的機率就高，在發生大規模的降雨事件下，再度帶出大量的土石形成新扇。比對上一年度的地貌圖，民國 91 年 3 號集水區沖積扇的新扇面除了沖出馬路進入大安溪床的區域外，新扇面也是沿著舊扇面堆積，並沒有再往左或往右去壓迫 2、4 號集水區沖積扇。從剖面上來看，因為改道堆積，1、2 號集水區堆高了約 5 公尺，3 號集水區沖積出的高度變化較小。

4、5 號兩個沖積扇帶出不少土石堆積，4 號沖積扇的大變動，除了將 5 號集水區的主流擠回左邊，甚至將原本堆積在出口達十年以上的穩定土石堆沖破，其能量可見一斑。整個沖積扇扇面的高度，亦達到了最高點。

綜合以上的結果，可以發現每個集水區下游沖積扇在不同的情況發生時，發生的反應不盡相同。倘若降雨事件的規模不大，通常只有 3 號集水區會發生反應。如果暴雨規模極大 (如民國 91 年納莉颱風)，則所有的集水區都會有反應發生。而其中 3 號集水區可能因為集水區面積大、土方供應量較足，河道主流與下方沖積扇發生的變化次數最多。1、2 號沖積扇在前期比較活躍而容易發生變化，但在後期變化的次數就減少了。反觀 4、5 號兩個集水區則與 1、2 號相反，前期

多屬於流路的改變，近幾年來較容易將土石沖出改變高度，並在民國 91 年的時候達到最高點。

第六節 技術之轉移

本計畫技術轉移的主要內容可概分為三部分，第一是關於自計式氣象觀測站的維護與資料讀取。

在自計式氣象觀測站的維護與資料讀取方面，主要的介紹內容為資料處理器運轉原理與實務；感測器的原理與運用介紹；無線數據機原理與運用。熟悉這些基本事項對於維持將來整個氣象觀測站運轉有直接助益。

今年度的技術轉移已經在六月四日舉辦，主要內容包括以下四個部分：

- 一、火炎山的地質與地形特性與觀測
- 二、儀器觀測原理
- 三、火炎山現場操作說明
- 四、觀測儀器操作說明及實習

第七節 敏督利颱風後之地形變遷

敏督利颱風於 6 月 23 日於關島西北方海面生成，以偏西方向移動，28 日移速減慢，30 日移向轉北朝台灣東部移動，其中心於 7 月 1 日 22 時 40 分左右在花蓮市南方約 20 公里處登陸，次日上午由淡水附近進入台灣海峽，隨後以北北

西的方向進入東海，4日變性為溫帶氣旋。此颱風北上期間於2日至4日間引進強烈西南氣流，累積雨量有多處超過1000公釐以上，造成台灣地區嚴重的豪雨災情（氣象局網站，2004）。之後又在8月24-26日受到艾利颱風的侵襲。

根據本研究火炎山地區測站降雨量的資料（圖5-75、5-76），敏督利颱風時最大時雨量30.8mm，累積雨量316.2mm（7/2~3），艾利颱風時最大時雨量25.2mm，累積雨量281.8mm（8/24~26）。

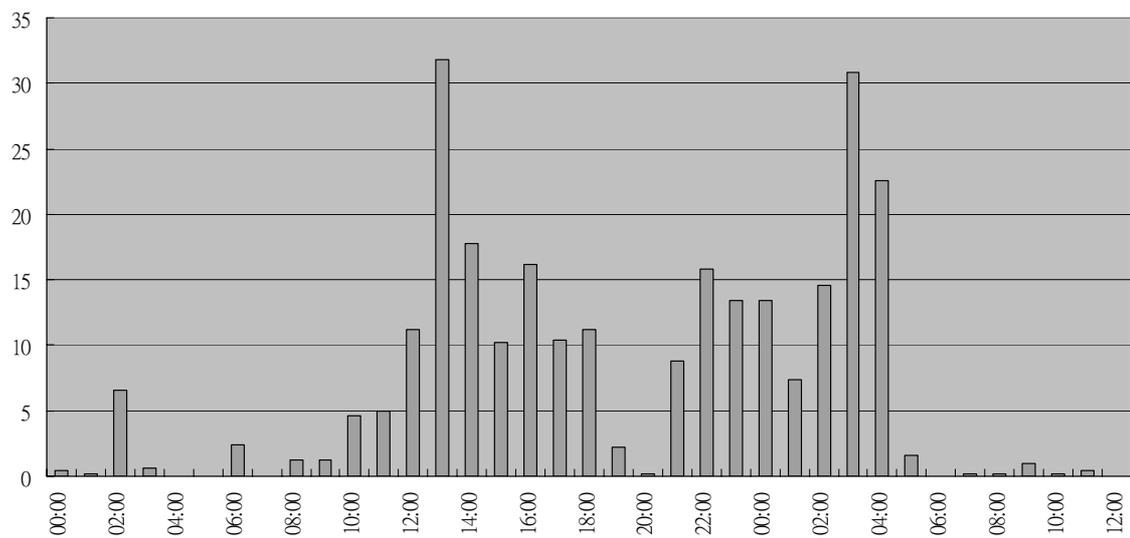


圖 5-75 火炎山測站敏督利颱風時雨量統計圖（2004/7/2 日 0 時 ~ 3 日 12 時）

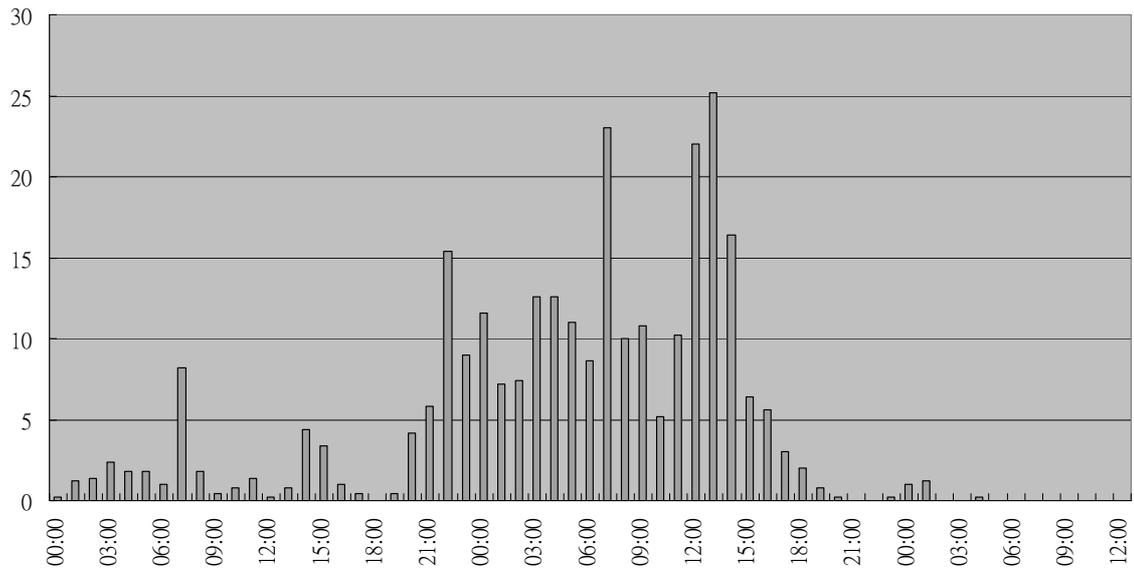


圖 5-76 火炎山測站艾利颱風時雨量統計圖 (2004/8/24 日 0 時 ~ 26 日 12 時)

在敏督利颱風的豪雨作用下，使得火炎山的土石沖積到下方的道路上，從本研究製作的 91 年正射影像(圖 5-77)及 93 年敏督利颱風後的正射影像(圖 5-78)可以觀察到以下結果：

- 一、沖積扇恢復不少植被，尤以三號沖積扇最為明顯。91 年沖積扇多互相覆蓋，每一區幾乎連接在一起，不容易辨別。93 年資料分辨較為容易。
- 二、從裸露地的變化來看，火炎山集水區在颱風過後發育許多小蝕溝，表示當地地形受到豪雨的影響，首先會產生沖蝕溝，然後再慢慢擴大為大型的崩塌。
- 三、從裸露地的邊緣來看，最右邊的集水區 (一號集水區) 在上游大約產生 1-3 公尺的邊坡後退現象，其所夾帶的土石造成下游沖積扇擴大及堆積的現象。二號集水區受到一號集水區的影響，上游邊界有些許的變動，另外可以看到集水區左邊界有蝕溝擴大的現象，但對於下游堆積區並沒有任何影

響。三號集水區在中上游約產生 1~3 公尺的邊坡後退，所崩落及搬運的土石從航照上來看可以看到明顯往下游沖積扇的左側來移動，在右側的影響不大。四號及五號集水區是在這次颱風受到影響最小的區域，除了少許地方有些微崩落外，對沖積扇的影響不大。



圖 5-77 火炎山 91 年正射化影像

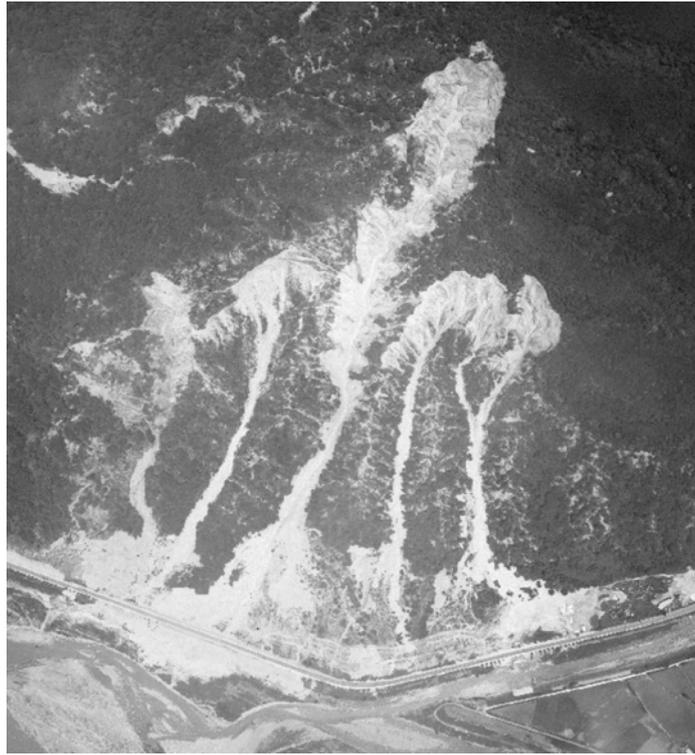


圖 5-78 火炎山 93 年敏督利颱風後正射化影像

六、 後續工作說明

- 一、 自計式氣象觀測站設置完成後，接下來最重要的是資料的持續收集，明年度工作的重點除了持續進行氣象資料的接收外，並將三年的資料進一步的分析及比較，來推斷氣候對地形變化的影響。
- 二、 氣象站所接收的資料除了提供研究外，本研究希望明年度能夠進一步提供展示之用，使讓當地民眾及參觀者能及時瞭解當地的氣候狀況。
- 三、 本研究希望明年能夠持續進行當年度航照的正射化，來與過去的資料來進行比對，以便觀察集水區的變化。所生產的數值地形資料，可持續進行量化的分析。
- 四、 除了利用航照來進行地形變遷的監測外，本研究將持續進行野外的觀測及調查。
- 五、 關於技術轉移的部分，今年在六月已經舉辦研習營，讓相關人員學習到基本的原理及操作方法。由於研究計畫還在進行中，一些相關的設定及操作方式會有所變動，因此將在下一年度計畫完成後完成儀器的操作手冊，以便給將來相關人員技術上操作熟練。

七、結果與討論

- 一、本研究持續第一年進行火炎山地區氣象資料的收集及分析，觀測近年來氣象的變化及特徵，待數值地形資料生產後，可分析氣象資料與地形變遷的關係。
- 二、目前已經完成地面控制點的佈標及測量的工作，接下來將利用掃描的航空照片，採用計算空中三角的軟體來進行數值地形資料的生產及航照正射化，目前已經完成 80、87 及 91 年的數值地形資料。
- 三、本研究所採用的航照資料及控制點座標的精度，所生產五公尺網格的數值地形資料，就長期的地形觀測變化資料而言，這個資料已經相當足夠。
- 四、火炎山地形變遷的研究，目的在瞭解火炎山歷年礫石的沖蝕及堆積情形，並利用氣象資料的觀測及分析，推估造成地形變化的原因。這些資料將來可提供火炎山保護區設計規劃上的參考，希望能對未來可能造成的沖蝕災害加以預防及危機處理。
- 五、本年度計畫已經完成六月四日辦理技術轉移及相關的訓練課程，將來人員在儀器設置維護及資料處理上能持續進行運作，以便建立往後氣象及地形變遷資料庫。
- 六、由地貌圖侵蝕與堆積資料圖疊合觀之，源頭區域與左側邊坡都有侵蝕的地貌發生。造成圖面上集水區邊界變動的原因，除了集水區本身的地形作用外，與旁邊相鄰集水區的交互作用也有很大的關連。1 號集水區的

擴張方向是以向兩側擴張，源頭的部分則是向下游退縮了一些。就地形模型觀察，1 號集水區的上方與右側另有 3 個集水區，加上相鄰的 2 號集水區，都對 1 號集水區的發育方向造成影響。

七、 本研究中，根據剖面資料比對 Young 的邊坡類型，將火災山的邊坡後退分為兩種型態。一個是平行後退，另一個是平行後退與坡腳堆積的複合型。根據計算結果，這兩種類型邊坡後退的速率不一樣，平行後退的後退速率較快，在 3 號集水區約達到每年 2.5 公尺，非平行後退邊坡的後退速率較慢，約只有一半，在 4 號集水區約每年 1.5 公尺。

八、 若比較集水區之間的差異，變動最大的集水區為 3 號集水區。3 號集水區由於向源侵蝕導使稜線偏移至相鄰集水區的源頭崩塌，導致後退的速率暴增，達到平均 1 年 5 公尺的後退速率。若不考慮這個情況，則每個集水區的後退速率大致相等。而在集水區邊界的移動上，由於不光受到邊坡後退的影響，還要考慮到相鄰集水區的變動情況，故不能完全反應出邊坡後退帶給集水區邊界變動的影響。離開河道源頭區，地貌變遷的情況就緩和許多，改變者多為零星崩塌地的發生為主。

九、 藉由剖面線的觀察河道內的侵蝕與堆積情況，河道中確實會發生侵蝕與堆積的現象，會發生變動的地點分布在河道的上段與下段。在上段河道容易發生堆積的現象，但這些堆積地點也是搬運行為轉換的地點。下段在出谷口的附近，多發生堆積現象，沖刷情況較少發生。中段的河道幾

乎沒有變動發生，顯示其並不會堆積土石。因此土石在河道中的搬運方式，是在上段河道搬運，在大型降雨事件後就直接被搬運出河道，並沒有太多留在中段的河道內。

- 十、經過歷年地貌圖的描繪與判讀，沖積扇持續堆積時，由於舊河道被堵塞，新的河道會往低的地方前進，堆積出新的沖積扇面。而在舊的沖積扇面上，會因為表面的沖刷作用、或是河道的刷深，造成地形高程下降。而降雨事件發生時，並非每個集水區都會向下游沖積新扇面。3 號集水區因為面積大，裸露地也大，為研究區內最活躍的集水區。
- 十一、火炎山是惡地地形，地表十分的崎嶇，相對的地表的落差也大。在山頭與蝕溝的部分，由於航照拍攝角度的限制，部分地點會發生變形過大的現象，造成在判釋地貌時發生誤判的現象。另外，部分航照的太陽角度稍低，造成河道內有陰影出現。這些原因是將來在生產 DTM 時會產生誤差來源。

八、建議

- 一、在技術轉移部分，由於儀器的設置、維護及資料處理具有相當的專業，應要求技術人員應有地形及氣象相關背景。
- 二、本研究所使用的航空影像為農林航空測量所進行拍攝。由於任務性質，航高為 7000 呎以上，使得地面的解析度受到限制。而目前可進行航空攝影的單位已不限於農林航空測量所，若要繼續進行變遷觀測空拍時，

可考慮另外編定飛行任務，降低航高以拍攝解析度更佳的航空影像。

三、除了降雨事件造成事件前後地貌的變遷外，地貌的變遷過程也是地貌變遷監測中相當關心的一環。如果能夠克服技術條件，在適當的地點架設攝影器材對火炎山地區進行影像監控，可得到第一手的地貌變遷過程，對於地貌變遷結果的解釋也能更加的完整。

四、民國 80 年沖積扇扇端開通的苗 130 甲線（舊稱中苗六線）道路，時常因為沖積扇發育時掩埋道路而告中斷，在清理路面的同時，造成沖積扇的退縮。而公路局未來想將此一路段以地下隧道的方式通過，目前大規模的整地，已經破壞了整體的景觀，施工中及完工後會對火炎山地區造成什麼樣的影響，值得後續研究與觀察。

九、參考文獻

1. 王鑫，1982 火炎山自然保留區生態之研究報告，行政院農業委員會 76 年生態研究第 003 號，69-117 頁。
2. 李錦南，1957，火炎山、大甲附近地質，國立台灣大學地質學系碩士論文。
3. 林朝榮，1957，台灣地形，269 頁，台灣省文獻委員會。
4. 林朝榮，1974，台灣地質，89 頁，台灣省文獻委員會。
5. 林俊全，1992a，台灣第四紀地形區邊坡沖蝕觀測，國家科學委員會專題研究計畫報告，9-12 頁。
6. 林俊全，1992b，台灣苗栗火炎山地區邊坡沖蝕之研究，國立台灣大學地理學報，第十五期，63-79 頁。
7. 林俊錄，1990，航測遙測技術應用於生態資源保育之研究火炎山自然保留區植群變遷之研究，國立臺灣大學森林研究所碩士論文。
8. 許明仁 2003 台灣西部卵礫石地層之坡度影響因子及其地質材料特性，國立台灣大學地質學科系研究所碩士論文。
9. 張憲卿，1994，五萬分之一台灣地質圖 (17): 大甲，經濟部中央地質調查所。
10. 黃朝恩，1990，台灣中部火炎山沖積錐群的地形學研究，師範大學地理所研究報告，第十六期，139-166 頁。
11. 褚炳麟，1982，台灣地區麓山帶與台地礫石材料特質之初步研究，工程

環境，第五十五卷第九期，21-39 頁。

12. 齊士崢 2002 台灣山地地區的主要沖積扇階地與地形災害，國立臺灣大學地理學報，32：75~87。
13. 詹錢登 2000 土石流概論—土木防災系列 1，台北：科技圖書股份有限公司。
14. 詹錢登、陳晉琪 2000 土石流發生臨界條件之理論分析，力學系列 B，16(2)：119 – 129。
15. 蔡光榮、陳旺志、林金炳 1986 中橫公路土石堆之穩定分析研究(二)，行政院國家科學委員會防災科技研究報告 74 - 57 號。
16. 鄭村益，1993，三義火炎山自然保留區崩場地變遷之研究，國立中興大學水土保持學研究所碩士論文。
17. 謝豪榮、吳建興 1985 林口紅土台地邊坡穩定及其土壤特性之研究，行政院國家科學委員會防災科技研究報告 74 - 28 號。
18. Amstrong, A. C. and Whalley, W. B., 1985, An introduction to data logging, British Geomorphological Research Group, Technical Bulletin, No. 34.
19. Anderson, M. G. and Richards, K. S., 1987, Slope stability, John Wiley & Sons, 648p.
20. Blair, T.C. 1999. Alluvial fan and catchment initiation by rock avalanching, Owens Valley, California, *Geomorphology*, 28:201-221.
21. Bovis, M.J. and Jakob, M 1999. The role of debris supply conditions in predicting debris flow activity, *Earth Surface Processes and Landforms*, 24(11):1039-1054.
22. De Ploey, J., Kirkby, M. and Ahnert, F., 1991, Hillslope erosion by rainstorm- A magnitude- frequency analysis, *Earth surface processes and landforms*, 16, 399-409. Baily, B., Collier, P., Farres, P., Inkpen, R. and

- Pearson, A. 2003. Comparative assessment of analytical and digital photogrammetric methods in the construction of DEMs of geomorphological forms , *Earth Surface Processes and Landforms*, 28:307-320.
23. Field, J. 2001. Channel avulsion on alluvial fans in south Arizona, *Geomorphology*, 37:93-104.
24. Gomez-Villar, A. and Garcia-Ruiz, J.M. 2000. Surface sediment characteristics and present dynamics in alluvial fans of the central Spanish Pyrenees, *Geomorphology*, 34:127-144.
25. Harvey, A.M. 2002. The role of base-level change in the dissection of alluvial fans: case studies from southeast Spain and Nevada, *Geomorphology*, 45:67-87.
26. Huang, C., Gascuel-Oudoux, C. and Cros-Cayot, S. 2001. Hillslope topographic and hydrologic effects on overland flow and erosion, *Catena*, 46:177-188.
27. Martinez-Casasnovas, J.A. 2003. A spatial information technology approach for the mapping and quantification of gully erosion, *Catena*, 50:293-308.
28. Selby, M. J., 1993, Hillslope materials and processes 2th edit, 219-246.
29. Schumm, S. A. and Mosley, M. P. 1973, Slope Morphology, 238-327.
30. Young, A., 1972, Geomorphology Text 3 : Slope, 103-108.

十、報告問題與答覆

期中

提問人	問題	回覆
國立成功大學地球科學系鍾教授廣吉	<ol style="list-style-type: none"> 1. 地形之起伏度，可用地形模型求出起伏度與變化情況。 2. 地層安定，可分別以安定點、中安定點、最差安定點來監測其變化情況。 3. 其座標點，目前是否有遭 921 地震影響變化，因該地區有三義斷層關係。 4. 對監測資料自動監測仍應有現場監測之進行，以免自動監測儀器遭受某種因素而受損，將影響監測資料的正確性，因此期望能雙管齊下為宜。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究利用數值資料已求出不同時期地形起伏的變化。 2. 地層的安定點可利用數值資料的變化來進行觀察。 3. 本研究採用的控制點為地震後重測的資料來引測，因此無法確知受到地震的影響。 4. 自動監測系統在設置完成後，本研究隔一段時間會進行測試，以避免影響監測的品質。
經濟部中央	<ol style="list-style-type: none"> 1. 火炎山地區礫岩及其中夾的沙泥層， 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究將持續觀察。

<p>地質調查所 區域地質組 邵技正屏華</p>	<p>在侵蝕發生時，該礫及砂泥的分布將會影響侵蝕崖壁的外形與侵蝕型態及量（及岩性控制侵蝕狀態）。</p> <p>2. 該地區外為地層構造較地表表現之地貌更為複雜，部分地質特性及構造將影響火炎山侵蝕溝的發育與擴張方式，如該地區因鐵崧山背斜，使該地層層面概約向東南向傾斜，在火炎山東南隅之崩崖，為該地層順向之方向。再整個區域崩坍及追蹤預測擴張方式應考慮地質構造的影響。</p> <p>3. 報告中 P33~P34 頁之資料，濕度超過 100% 及敏值跳動幅度極大，建議與檢視該系統取得資料的正確性。</p> <p>4. 期中報告內容及工作進度符合年度預定工作目標，另目前已執行之資料演算量龐大，在半年中以建立，實屬難能可貴。</p>	<p>2. 以短期的時間尺度來看，並無法說明受到構造活動的影響如何。</p> <p>3. 溼度的資料，根據儀器檢測的結果，是由於資料在記錄時造成的誤差，本文已經修正。</p> <p>4. 謝謝指教。</p>
<p>水利署第三</p>	<p>首先感謝邀請我們參與，但對火炎山保留</p>	<p>謝謝指教</p>

河川局;林岳葆先生	區地形變遷監測,與我們河川保護較沒關係,大安溪的河床保護我們有進行並且進行測量,到時候我們可以互相確認。	
農林航空測量所,王技士韻皓小姐	<ol style="list-style-type: none"> 1. 基礎資料的建立是辛苦的,看了老師的研究,看到了許多的苦功,建議將控制點等相關的資料詳細保存及記錄。 2. 華衛二點的影像,已接收下來,影像很清晰,建議可與自計式氣象觀測站搭配使用,做即時性的影像監測。 	謝謝指教

提問人	問題	回覆
國立成功大學地球科學系鍾教授廣吉	<ol style="list-style-type: none"> 1. 目的與合約要求配合否?如技術轉儀式否以能由管理處或工作站人員深入承受,該技術非一般技術因此建議受委託單位於下次計畫再次辦理,使管理處或工作站人員能熟練。另地形監測相關氣象與地形變化、地質資料均有不同背景。 2. 航測影像,加入華衛二號影像。 3. 氣候資料比較暴風雨、非暴風雨之差異及其地形發育的影響。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 遵照辦理 2. 本研究已取得高解像的航空照片資料,如有需要以後將配合華衛二號資料來進行分析。 3. 研究中所採用的航照資料為農林航空測量所的資料,地形分析是根據當時拍

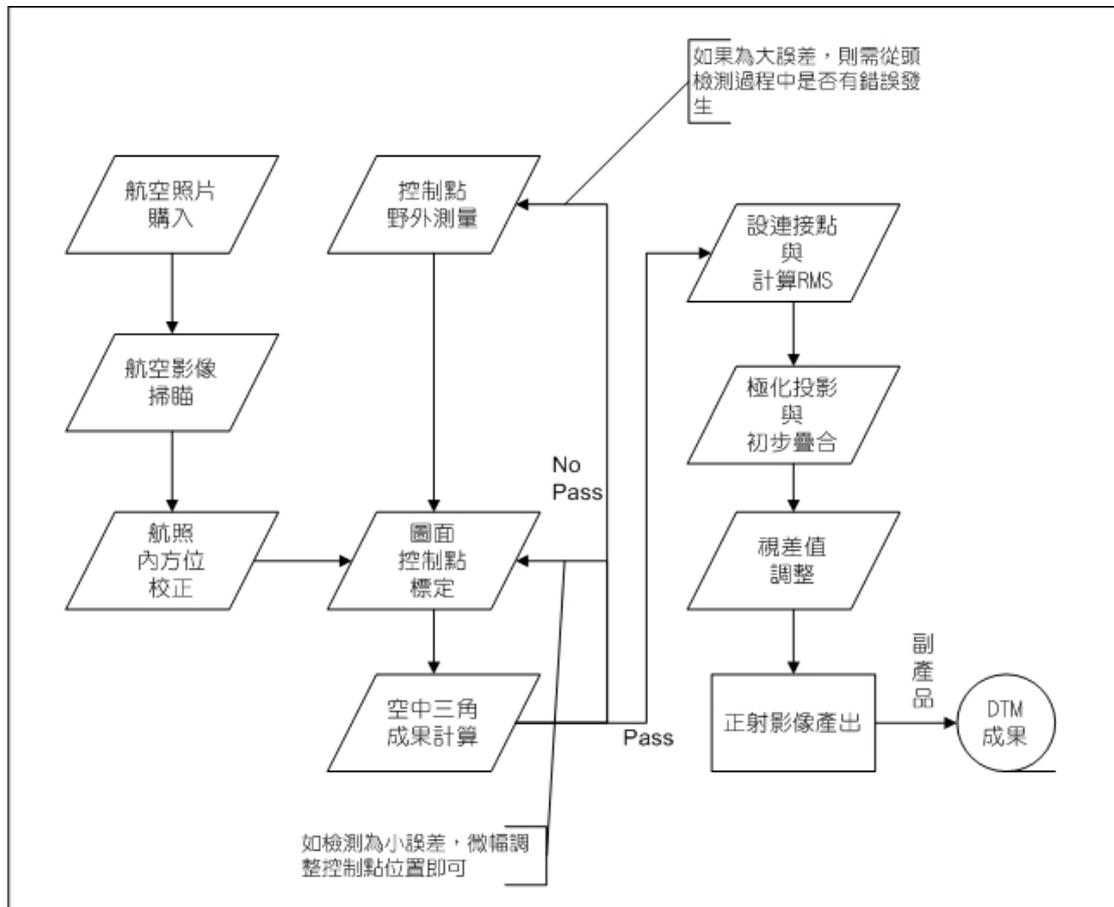
	<p>4. 報告中 P8 中心衛星二號處理為單獨或合作傳輸。</p> <p>5. 溫度變化除對雨量影響外，對風化侵蝕可有影響。</p> <p>6. 報告內表 4-1 其時間單位是否為日或時</p> <p>7. 田野測量與航測如何相互補正，航空照片如何量圖，distasim 圖如何克服。</p> <p>8. 火炎山地形變化自然性，人為開發是否先分開，p.21 破壞勢力與滲透性，岩性差異與地形變化方式 (p.22、p.23)</p> <p>9. 圖 5-10 ~ 5-18，5-19 ~ 5-27 等功能價值，地質現象 ↔ 地質作用。</p> <p>10. 斜坡變化突出下凹，崩坍區 (混和、順向、逆向) 稜線—分水嶺是否因而降低。華衛二號的精度如何。</p>	<p>攝時間的地形變化來觀察，除非有暴雨後一個月內的航照資料，否則無法明確比較暴風雨後對地形的影響。</p> <p>4. 合作傳輸</p> <p>5. 溫度變化對風化侵蝕是在長期作用下才有明顯的改變。</p> <p>6. 已在表中註明</p> <p>7. 運用野外量測之控制點資料，給予航空照片地面座標。</p> <p>8. 本研究位於火炎山自然保留區內，受到人為開發的影響較少，岩層裸露區為大部分為火炎山相之</p>
--	--	---

		<p>地層，是地形變化較大的區域。</p> <p>9. 瞭解當地的氣候特性，並觀察其變化。</p> <p>主要地形變化區，發生在火炎山相的地層中。</p> <p>10. 稜線邊緣崩場地擴大，在空間上位置及高程都會發生改變。華衛二號的精度黑白解析度 2 公尺、彩色解析度 8 公尺。</p>
<p>經濟部中央地質調查所區域地質組邵技正屏華</p>	<p>1. 報告資料內容詳實，工作內容及成果符合本案需求，另去年度曾建議應進行觀測資料分析本年度觀測之資料也進行瞭解相當程度的分析。</p> <p>2. 溫、溼度及雨量統計圖中，溼度資料能有許多是大於 100% 之資料，應在</p>	<p>1. 謝謝指教</p> <p>2. 報告中已經修正</p> <p>3. 本研究使用之 VirtuOzo 影像處理軟體，可利用立體成像的方式在電腦上測</p>

	<p>檢核資料或儀器之正確資料。</p> <p>3. 航照圖形資料的圈繪為影響成果或結論的過程，應補充測繪崩塌範圍，集水區範圍之方式。</p> <p>4. 資料圖形內的圖例色彩使用（不同年度範圍位置）應統一。</p>	<p>繪，誤差在 2.5 米以內。</p> <p>4. 已修正</p>
<p>林務局 鄭技士 伊娟小姐</p>	<p>1. 依航照判識分析後保留區範圍是否有改變，與七十五年成立保留區後的範圍是否有改變。目前林務局在今明二年要重新對保留區的範圍界定。</p>	<p>當時制訂的標準並不明確，然而從本研究的觀察在這近二十年地形變化很大，可考慮再重新界定。</p>

附錄 DTM 製作

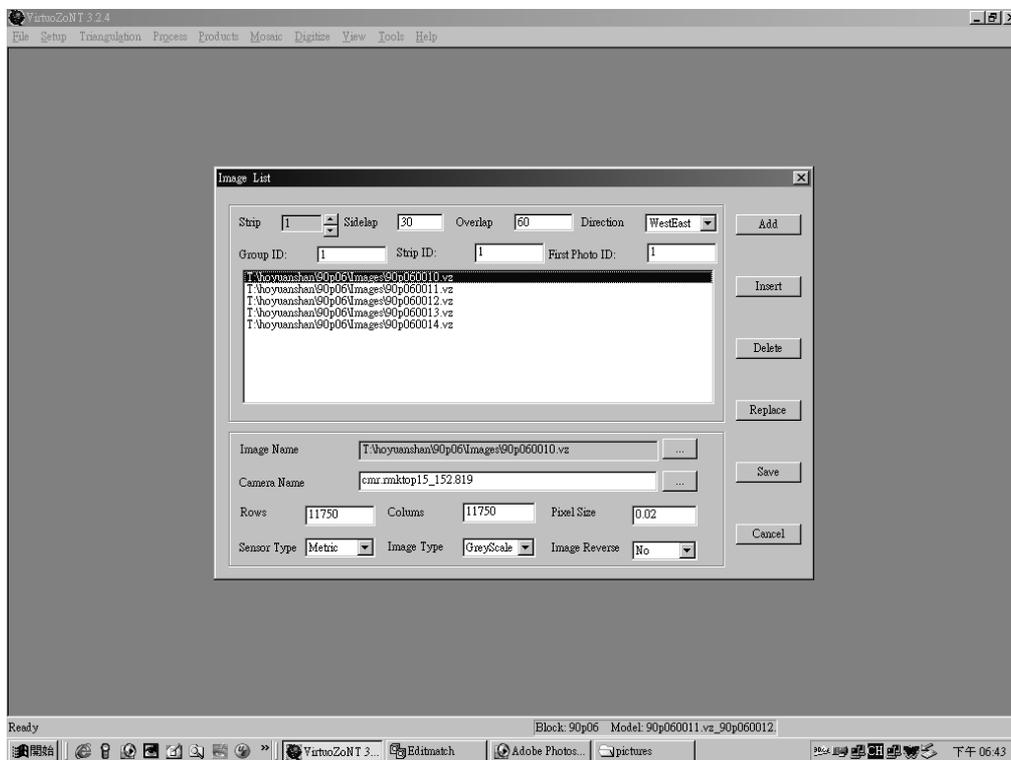
DTM 製作的過程如下圖所示：



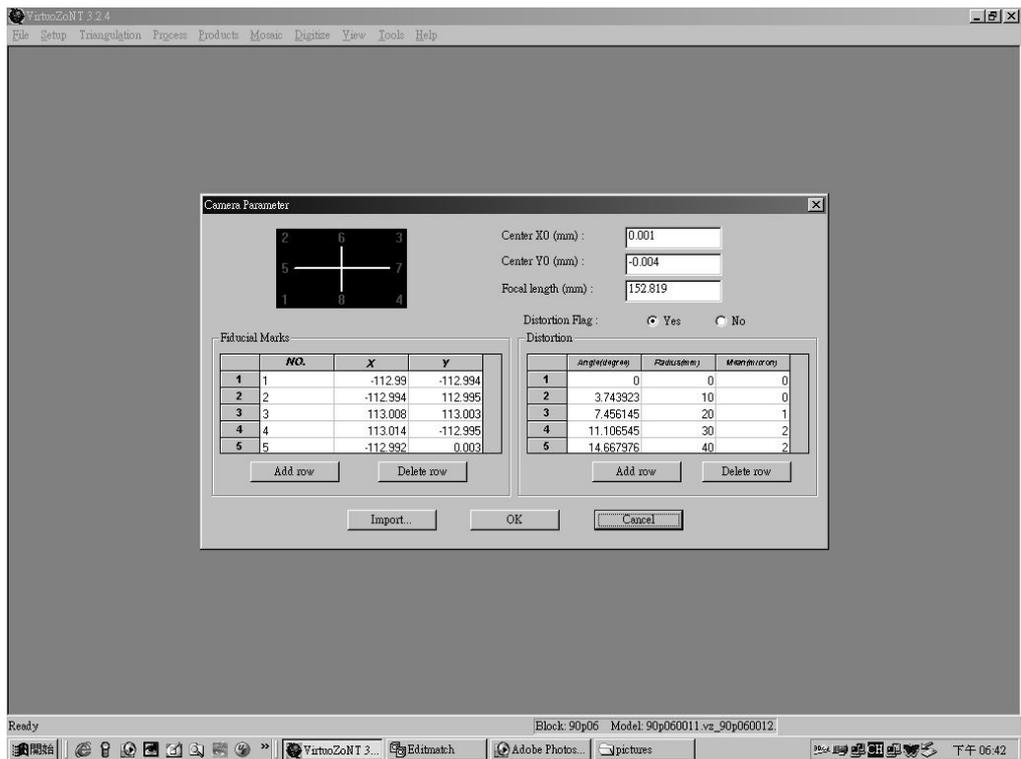
附圖 1 火炎山歷年 DTM 製作流程

控制點測量上，在野外先尋找到兩個衛星三角點：K195 (下點 10017) 與 L021 (下點 10006)(苗栗縣政府測量隊維護)，這樣就有空間上已知的邊長。但衛星三角點雖有準確的地面位置，其高度資訊卻是橢球高而非正高，不是確實的地表高度。為了能夠節省測量成本，能在測量時一起建立被測定點的空間座標，需要由旁邊的水準點引測水準高層到這兩個衛星點上。測量時先由水準控制點鯉魚潭 B026 (水準高層：182.342m) 引測高層值到兩個衛星點，再由此兩點決定

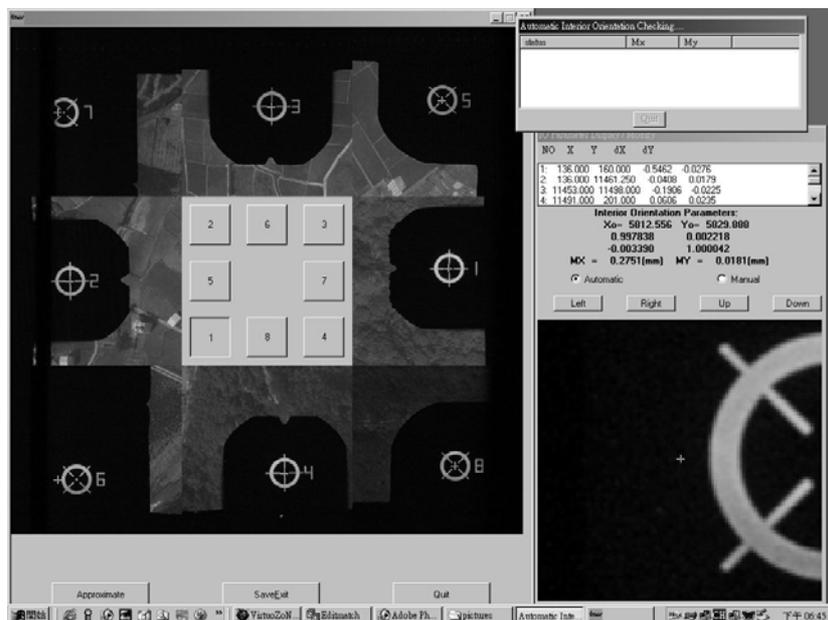
位置，由這些框標中心連線的交點，就是相片的投影中心。確定了投影中心，加入相機鏡頭的變形參數，程式即可算出相片的內方位情況。內方位為影像的位置矩陣，建立內方位就是建立影像內每一點的相互關係，附帶的還可以瞭解影像的變形情況。而農林航空測量所這幾年航拍所使用的鏡頭，主要是 RMAK85、RMAK1523、RC10-152、RMKTOP15-152 四支鏡頭所拍攝，且目前都已有相機鏡頭的參數可供校正使用，非常方便。



附圖 3 航線與照片設定



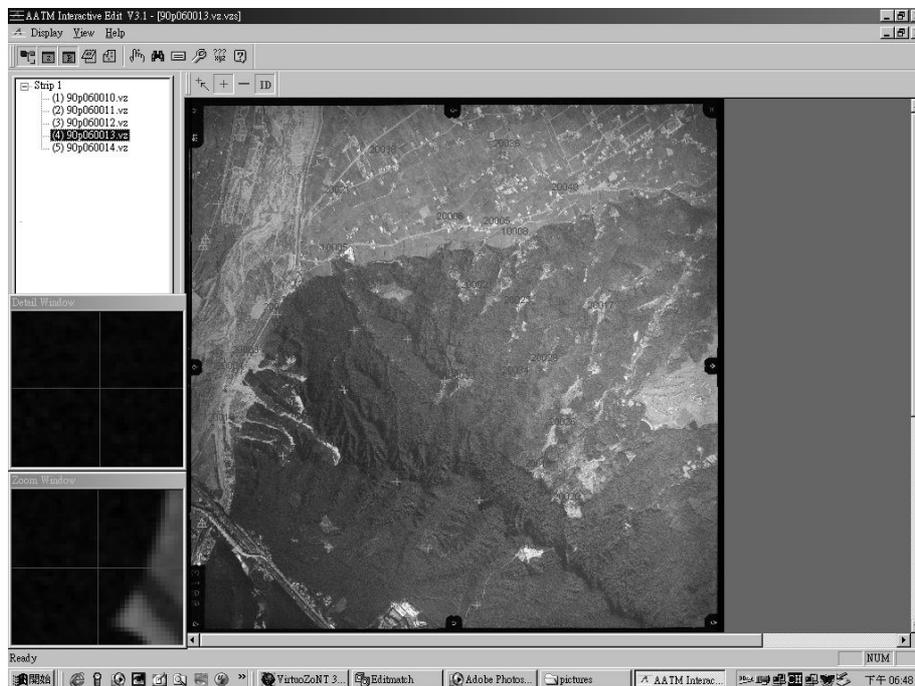
附圖 4 鏡頭校正參數設定



附圖 5 內方位建立

內方位建立完畢後，進入整個過程中最關鍵的部分——控制點標定與空中三角計算。在野外求得控制點座標後，回到室內的圖面上辨認出與野外相同的位置，

給予正確的空間座標。由於使用的航空照片中沒有適當可用的空標，必須依地面特徵來辨認出控制點實際的位置。因此操作者需要對研究區附近的地形地物有相當的熟悉度，才容易找到正確的控制點位置。再加上這個步驟需要將所有同一航帶，共用這些控制點的航照全部輸入一起判釋。這項作業需要大量的時間來進行微調。



附圖 6 圖面控制點標定

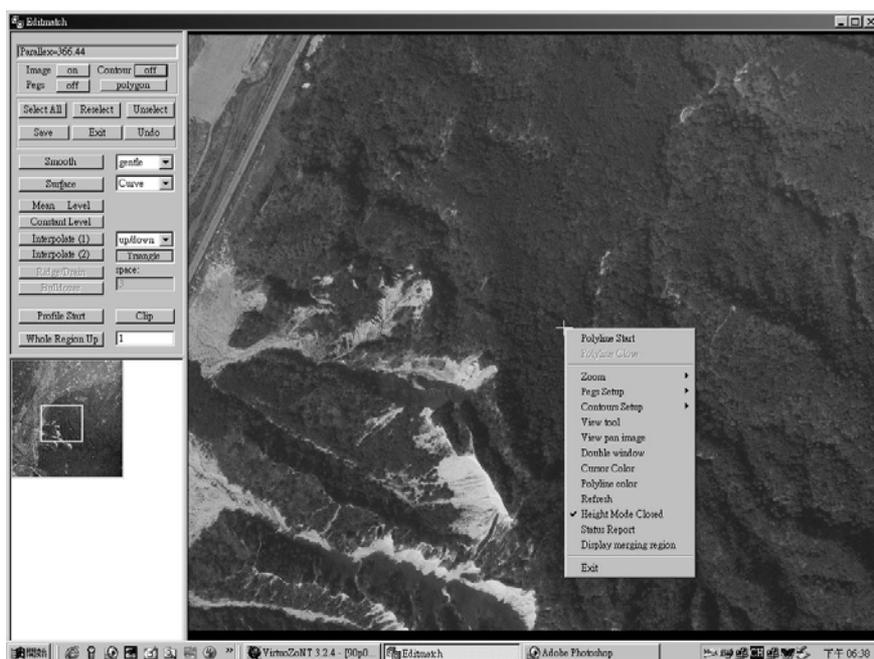
控制點標定完成後，將這些控制點的大地座標與圖面矩陣座標轉出，由空中三角軟體進行計算。空中三角計算的意義有兩點，一為重建控制點的大地座標體系（稱為外方位），二為計算出內方位與外方位能不能建立起正確的投影對應關係，將圖面上的點與正確的大地座標串連起來。空中三角計算使用的是德國

Stuttgart 大學所研發之 PART—B 空中三角光束法區域平差程式，此程式為目前學界與業界公認可靠的計算軟體。此軟體計算出誤差有兩種，一為平面測量誤差 (SIGMA NAUGHT)，用來檢測控制點的平差觀測結果；另一為控制點網格的最大偏差量，用來檢測圖面點取的控制點是否真的落在所建立的外方位網格座標上。一般規範中，平面測量誤差以不超過 8 為基準 (程式計算的標準)，控制點誤差量則能夠愈小愈好。如果沒有通過這兩個檢測標準，如果誤差程度不大，則回頭檢查是否標錯控制點的位置；如果誤差過大，則可能在野外的控制點測量成果有誤，或是前面的步驟沒做好，需要回頭詳細檢查。

空中三角檢測通過後，整條航線的控制點調整工作初步完成。接著選擇要操作的立體相片對，則進行追加連接點 (tie point) 的動作。連接點的作用與控制點十分類似，不同處在於連接點只負責連接相片對中“相同的地點”而不附有絕對地面座標。就此軟體要求，如果能把連接點大量且平均的散佈在相片對上，影像匹配的效果會愈好。此外，這個步驟中一起進行 R.M.S 誤差的計算。就工程業界的標準，R.M.S 值小於 0.008 者為優。本研究由於於影像品質限制，維持在 0.012 ~ 0.008 之間，尚屬可接受之範圍。

處理完連接點加密，經過極化投影，進入關鍵的視差值修整工作。在影像匹配時，程式雖然可以匹配成功大部分的地表高程，但仍有部分影像的視差匹配錯誤，需要人工修正，降回正確的地表高程；或者有特殊需要，必須清除樹高與修正橋樑高程者，也是在此一過程進行。本研究所使用的軟體提供立體顯像的方

式，操作人員戴上立體眼鏡後，即可看到匹配影像的視差值等值線（類似等高線），找到錯誤的匹配區域加以改正。本研究需要消除樹高對 DTM 模型產生的影響，在此步驟中先圈定同類型的植生樹冠區域（研究區範圍內絕大多數為相思樹成林），再一起把樹高降回地表高度（相思樹成林約 4 米左右）。



附圖 7 視差值修正

視差值修正完成後，即可進行最後的影像正射化，產出具有大地座標的糾正影像。除此之外，正射化的副產品為 DTM，亦為本研究中所需要的極重要資料。在作完八個年份的正射影像與取得 DTM 資料後，即可進行更進一步的地形變遷分析。至於檢核的方法，則是另外以立體測量的方法，取出 DTM 網格上相同位置點的高層資料進行比對，若發生錯誤則需回到視差修正步驟，以人工方式修正錯誤。



附圖 8 正射化影像產出