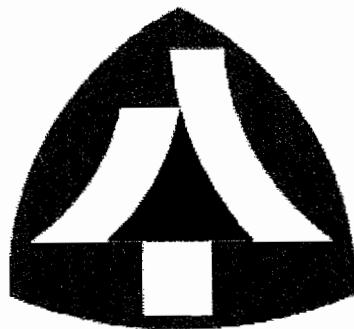


行政院農業委員會林務局保育研究系列 95-09 號

行政院農業委員會林務局委託研究系列 95-02-8-03 號

## 公路工程對火炎山自然保留區的影響



委託機關：行政院農業委員會林務局新竹林區管理處

執行機關：國立台灣大學地理環境資源學系

中華民國 95 年 12 月

## 目錄

一、摘要-----	1
二、前言-----	2
三、研究區簡介-----	3
四、研究目的-----	16
五、研究方法-----	17
六、研究成果與分析-----	26
七、結果與討論-----	65
八、建議-----	67
九、參考文獻-----	68
十、期中報告回覆說明-----	71
十一、期末報告回覆說明-----	72

## 圖目錄

圖 3.1 火炎山自然保留區範圍	3
圖 3.2 火炎山地區地質圖	4
圖 3.3 火炎山隧道與保留區之位置分佈圖	6
圖 3.4 隧道設施分佈位置	7
圖 3.5 火炎山隧道興建工程圖一	7
圖 3.6 火炎山隧道興建工程圖二	8
圖 3.7 施工中的火炎山隧道口	9
圖 3.8 完工的火炎山隧道	9
圖 3.9 施工中的隧道頂部	10
圖 3.10 施工中的火炎山隧道頂部	10
圖 3.11 火炎山隧道旁邊的蛇籠	11
圖 3.12 清理後的火炎山沖積扇一	11
圖 3.13 清理後的火炎山沖積扇二	12
圖 3.14 沖積扇工程	12
圖 3.15 完工的火炎山隧道與側邊蛇籠	13
圖 3.16 隧道西側出口	13
圖 3.17 火炎山隧道西側出口上方扇	14
圖 3.18 隧道下方處形成之小沖積扇	14
圖 3.19 隧道下方處的土石堆積	15
圖 3.20 隧道主體與下方的土石堆積	15
圖 5.1 四號集水區之氣象測站	17
圖 5.2 氣象測站位置示意圖	18
圖 5.3 監視系統架構圖	20
圖 5.4 影像監測設施	21
圖 5.5 監測影像儲存系統	21
圖 5.6 影像監測隧道範圍	22
圖 5.7 正射化影像	23
圖 6.1 民國 75~80 年沖積扇地貌變遷圖	28

圖 6.2 民國 91~94 年沖積扇地貌變遷圖	30
圖 6.3 民國 94~95 年沖積扇地貌變遷圖	32
圖 6.4 91-94 沖積扇面高程變動與隧道設施位置圖	35
圖 6.5 94-95 沖積扇面高程變動與隧道設施位置圖	35
圖 6.6 河道縱剖面位置	37
圖 6.7 河道第 1 條剖面	38
圖 6.8 河道第 2 條剖面	38
圖 6.9 河道第 3 條剖面	39
圖 6.10 河道第 4 條剖面	39
圖 6.11 河道第 5 條剖面	40
圖 6.12 沖積扇剖面位置	42
圖 6.13 沖積扇 1 號剖面	43
圖 6.14 沖積扇 2 號剖面	43
圖 6.15 沖積扇 3 號剖面	44
圖 6.16 沖積扇 4 號剖面	44
圖 6.17 沖積扇 5 號剖面	45
圖 6.18 沖積扇 6 號剖面	45
圖 6.19 沖積扇 7 號剖面	46
圖 6.20 沖積扇 8 號剖面	46
圖 6.21 沖積扇 9 號剖面	47
圖 6.22 沖積扇 10 號剖面	47
圖 6.23-24 民國 59 年火炎山航照	50
圖 6.25-26 民國 75 年火炎山立體影像	51
圖 6.27-28 民國 80 年火炎山立體影像	52
圖 6.29-30 民國 87 年火炎山立體影像	53
圖 6.31-32 民國 91 年火炎山立體影像	54
圖 6.33-34 民國 91 年火炎山立體影像	56
圖 6.35-37 民國 94 年火炎山立體影像	58
圖 6.38-39 民國 95 年火炎山立體影像	60

## 表目錄

表 3.1 大坪頂雨量測站民國 79-92 歷年月份別雨量統計表 -----	5
表 6.1 75-91 年火炎山豪大雨事件 -----	62
表 6.1 (續) 75-94 年火炎山豪大雨事件-----	63
表 6.2 94 年 11 月至 95 年 10 月降雨統計 -----	64

## 一、摘要

為了瞭解隧道對火炎山自然保留區的影響，本研究利用航空攝影測量的方法，進行數值地形資料的生產，同時在隧道出口處架設影像監視系統，觀察監測礫石堆積及侵蝕的變化。除此之外，本研究持續進行氣候資料的監測與蒐集，並將過去所累積的資料進行彙整，探討氣候變化對興建隧道後的火炎山自然保留區變動情形，提供管理單位參考。

目前已經完成在隧道入口處影像監視系統的架設，持續監測隧道口上方土石堆積的變化，以及在隧道口處監測落石坍塌的現象。另外建議未來在隧道西側出口也架設影像監視系統，以完備隧道出入口監視硬體設施。

在地形監測方面，完成 94 年及 95 年數值地形資料的產出，本研究所取得的 94 年的航照影像，為隧道正在施工時所拍攝，而 95 年的航照影像為隧道已經施工完成並通車後近八個月後所拍攝，利用此二幅航空照片進行地形變遷的高程與面積分析。

研究 94-95 年沖積扇的侵淤情形，在這其間並無颱風事件侵襲，但因整體火炎山集水區的侵蝕基準面已向上提高至隧道頂，侵蝕基準面的變動以及隧道建築體的穿越，沖積扇面以及上游之沖蝕溝產生侵蝕與堆積營力消長的變化反應。由侵淤圖及剖面觀察發現，沖積扇主要之堆積區域皆集中在隧道上方處，侵蝕現象僅產生在少部分扇面上。但 94 年航照拍攝時隧道主體上方尚未完全回填土體，因此此堆積作用有多少是自然營力所產生，須待後續觀察研究。

由立體影像觀察火炎山地貌變化特徵，發現沖積扇變動程度為區域內最大，特別是三號沖積扇面逕流流路與沈積物搬運路徑變動劇烈。此外區域內植被生長速度快，近一年時間便能新生出大面積的植被。

隧道興建對保留區內的影響於今年度之研究中僅能查知短時間的變化，後續需持續作密切的觀察，特別是當豪大雨事件侵襲時，始能得知隧道興建對保留區地形變動影響有明確的答案。

建議管理單位對於隧道體上方扇面之堆積土石定期進行侵淤工程，以維護隧道主體結構，以及延長隧道長度各 300 與 200 公尺，以保障隧道口免受土石流之威脅，及行經此路段之人車安全。

## 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」。

火炎山地區每當大雨發生，持續崩塌的土石，由沖蝕溝的向下搬運與堆積所造成的土石流，時常造成下方沖積扇發生變動。且土石流發生時，亦經常掩蓋住保留區外、下方的苗栗 140 縣道（原苗 130 甲線、中苗六線），造成交通的中斷與生命財產的損失。為了一勞永逸的解決土石流對道路的侵擾，公路工程單位決定以興建隧道的方式，讓土石流從公路上方通過，避免道路被掩蓋的危險。此一決定並獲得苗栗縣政府與新竹林區管理處的支持，於 93 年年中開始施工，並於 95 年元旦完工通車，希望避免土石流對用路人造成危險。

在興建隧道之前，當土石流發生後，公路工程單位是以工程車清除堆積於道路上的土石。在公路單位於下方興建隧道供用路人通過後，土石流的堆積從隧道上方經過。這個情況，會對保留區的未來發生何種的影響，是本研究的目的。

本研究希望透過地形變遷的分析，對於隧道興建前後保留區，特別是沖積扇面高程的變遷情況是否發生改變作調查，利用航空照片資料與現場調查，進行研判。除了持續觀察沖積扇發育的情形、觀測公路工程對沖積扇帶來的影響，並探討火炎山自然保留區的泥沙侵蝕與堆積問題，以及隧道興建長度與扇面堆積之空間關係，依此建議隧道興建長度是否應該延長。

### 三、研究區簡介

本區屬於苗栗丘陵的最南側，隔著大安溪與后里臺地相望，東側為東勢丘陵的前緣，西側為大安溪的沖積區。交通位置上，火炎山自然保留區的左側有國道一號與 13 號省道經過，下方有苗 140（原 130 甲）縣道可通往國道三號三義/苑裡交流道。由於主要岩層均為礫石層，邊坡易崩落形成草木不生的惡地景觀，已於民國 75 年公告劃定成為台灣十九個自然保留區之一。劃定的範圍除了陡崖區、部分丘陵區，及由蝕溝堆積出來的大型沖積扇。依新竹林管處所訂定之保留區範圍，疊合於第三版二萬五千分之一地形圖上，其範圍與位置如圖 3.1 所示。

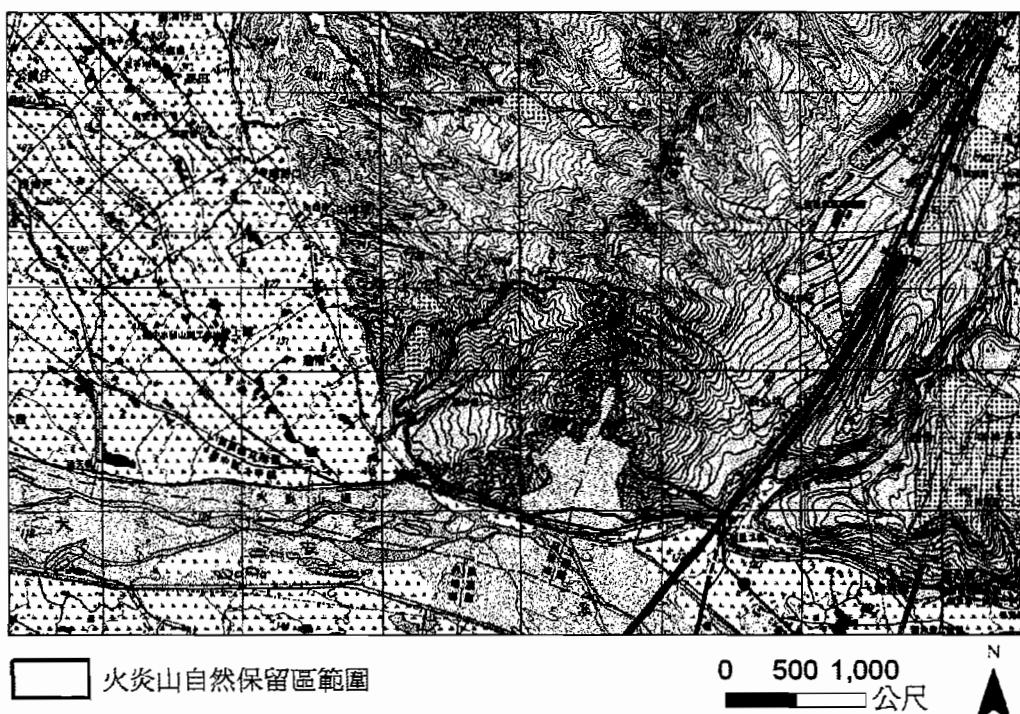


圖 3.1 火炎山自然保留區範圍

#### (一) 地形地質概況

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。旁邊分別為鐵砧山臺地、后里臺地。就地層而言，幾乎

都屬沈積岩體系（砂岩、頁岩、礫岩、紅土臺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，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。

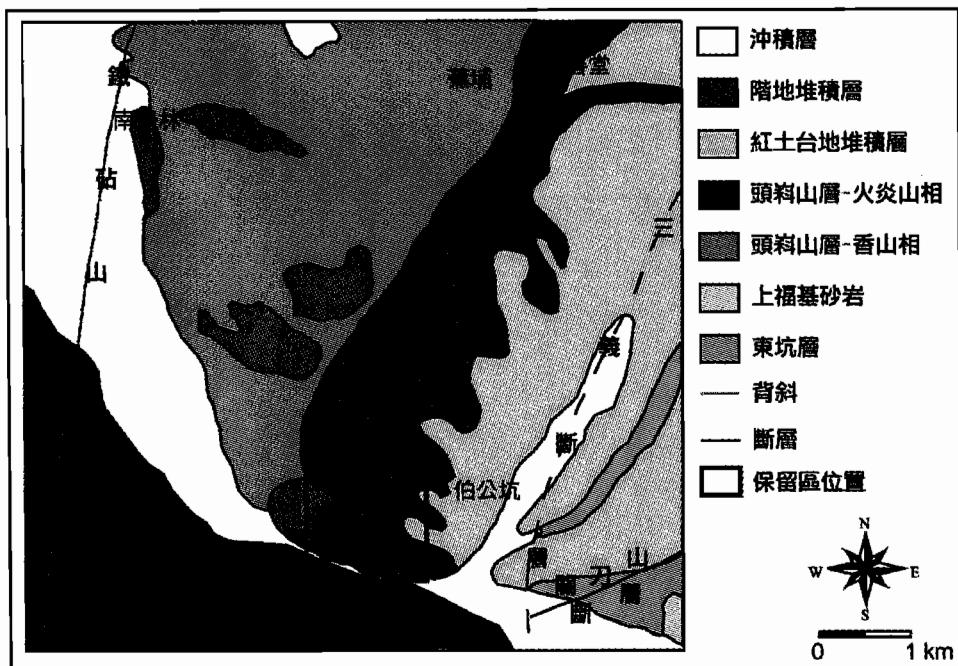


圖 3.2 火炎山地區地質圖

## (二) 氣候資料

由於三義是台灣北部地區與中部地區的氣候分界，火炎山位於臺地南端，在氣候上比較接近台灣中部地區的氣候型態。依火炎山主峰北方約 2 公里的大坪頂雨量測站，收集與分析長期的降雨資料。火炎山地區的年平均降雨約 1600 公釐，且有著很強的季節分佈情況，乾濕季分明。主要降雨集中於 5~8 月，以季節表示，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。依據過去的研究資料，火炎山地形容易發生變化的時期，也多集中在 6~9 月，與降雨量的分佈情況相吻合。

表 3.1 大坪頂雨量測站民國 79-92 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）

### （三）火炎山隧道

過去每當颱風豪雨發生，火炎山沖積扇總是會發生土石流，滾滾泥漿與巨礫漫過其下的苗 140 縣道，造成交通中斷與人員的傷亡。在公路局、新竹林區管理處與苗栗縣政府三方討論之下，決定興建公路隧道，避開上方火炎山沖積扇土石流的侵擾。

工程由執掌中部地區省道養護的公路總局第二區養護工程處，進行發包施工，從 93 年年中起開始，迄 94 年年底完工，工期約一年半，其間並發生土石流掩蓋隧道口的意外。但經過工程單位的努力，已於 94 年底驗收完成，95 年元旦正式對外開放通車。

火炎山隧道興建工程經費 3 億 5000 餘萬元，全長 780 公尺之單孔箱涵隧道（非屬長隧道），平面引道長 380 公尺，規劃為雙向四車道加兩側路肩，淨寬為 15 公尺。隧道覆土以坡度修坡方式以利土石流洩流，隧道上方設置四道南北向土石堤形成護堤，疏導土石流自隧道上方洩流至大安溪，並於隧道二側洞口北側設置石籠護堤保護洞口安全。

完工後，火炎山隧道屬於苗栗縣政府工務局的管轄，目前則交由施工單位公路總局第二區養護工程處進行維護與管理作業。根據報載，在 95 年 4 月 10 日發生的土石流中毫髮未損。根據現場觀察，養護單位除了隧道主體的養護行為外，並不定期派出工程車清除隧道上方堆積的土石，除了避免隧道體受壓過重外，亦有助於土石流的宣洩。

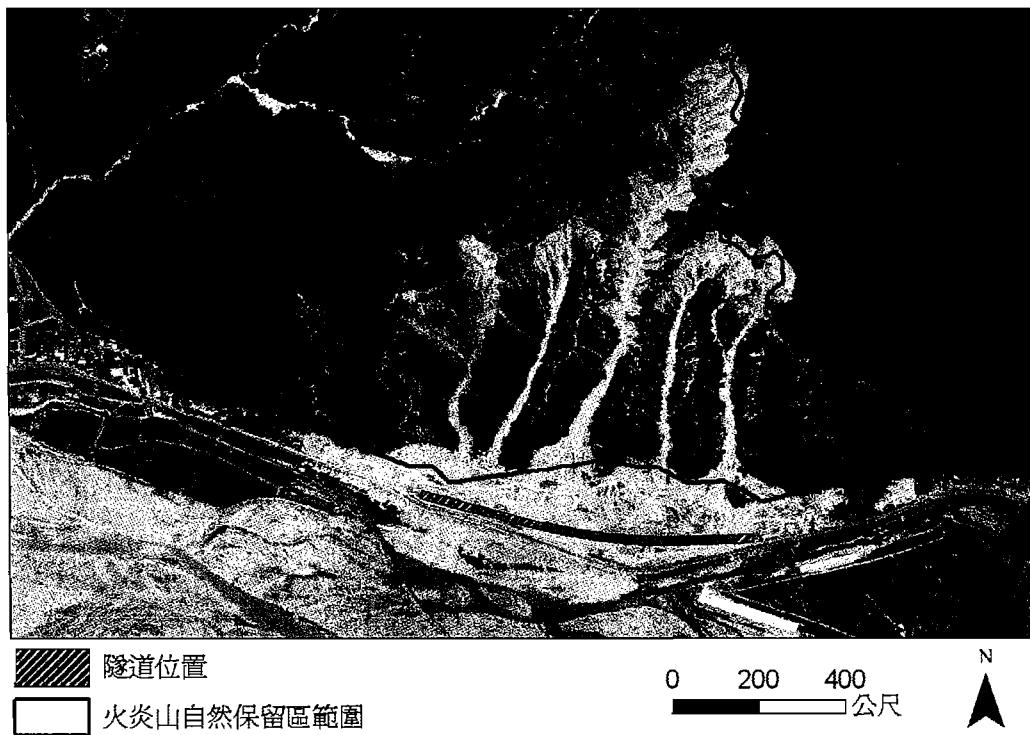


圖 3.3 火炎山隧道與保留區之位置分佈圖

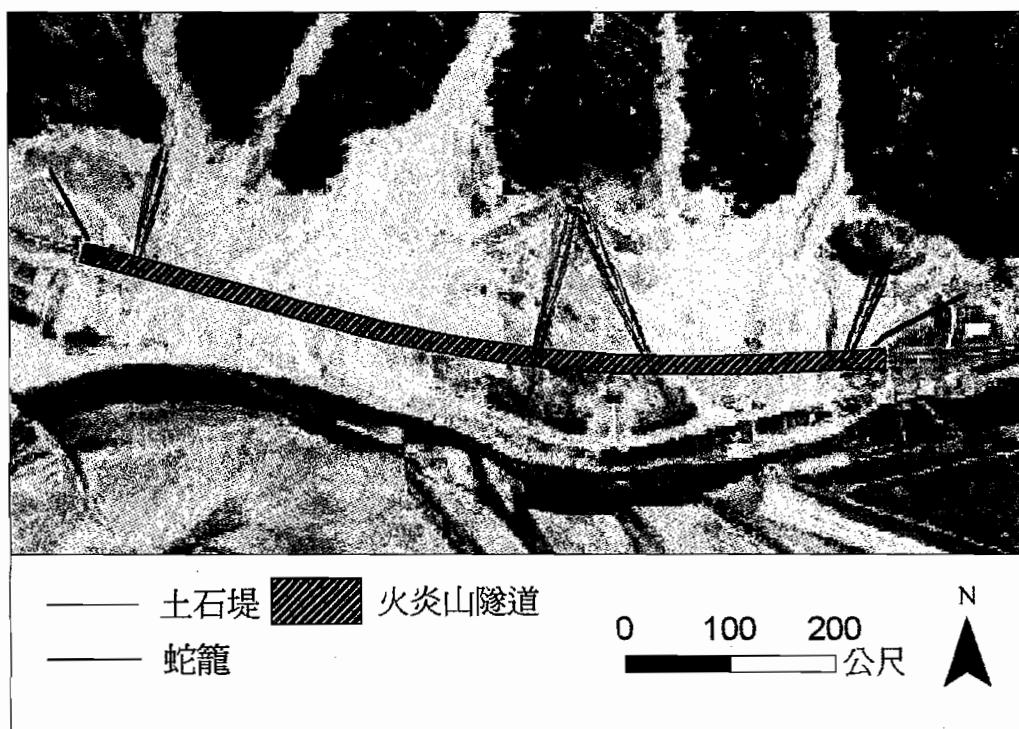


圖 3.4 隧道設施分佈位置

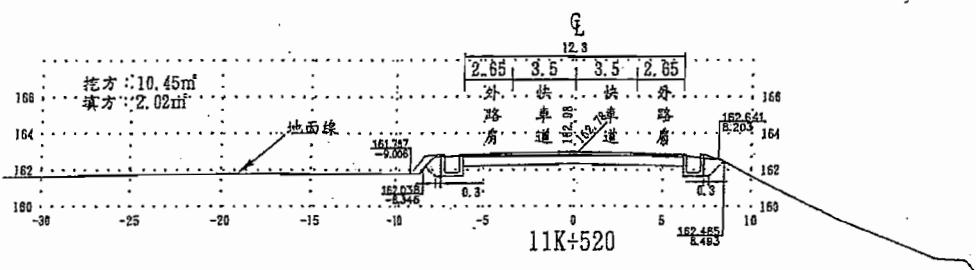
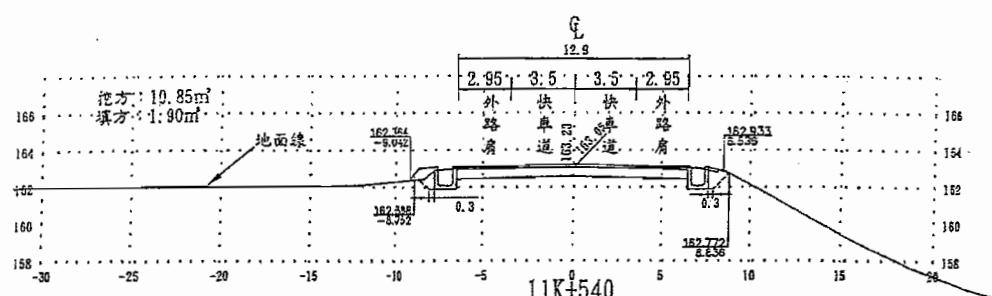


圖 3.5 火炎山隧道興建工程圖一（資料來源：元裕工程技術顧問有限公司）

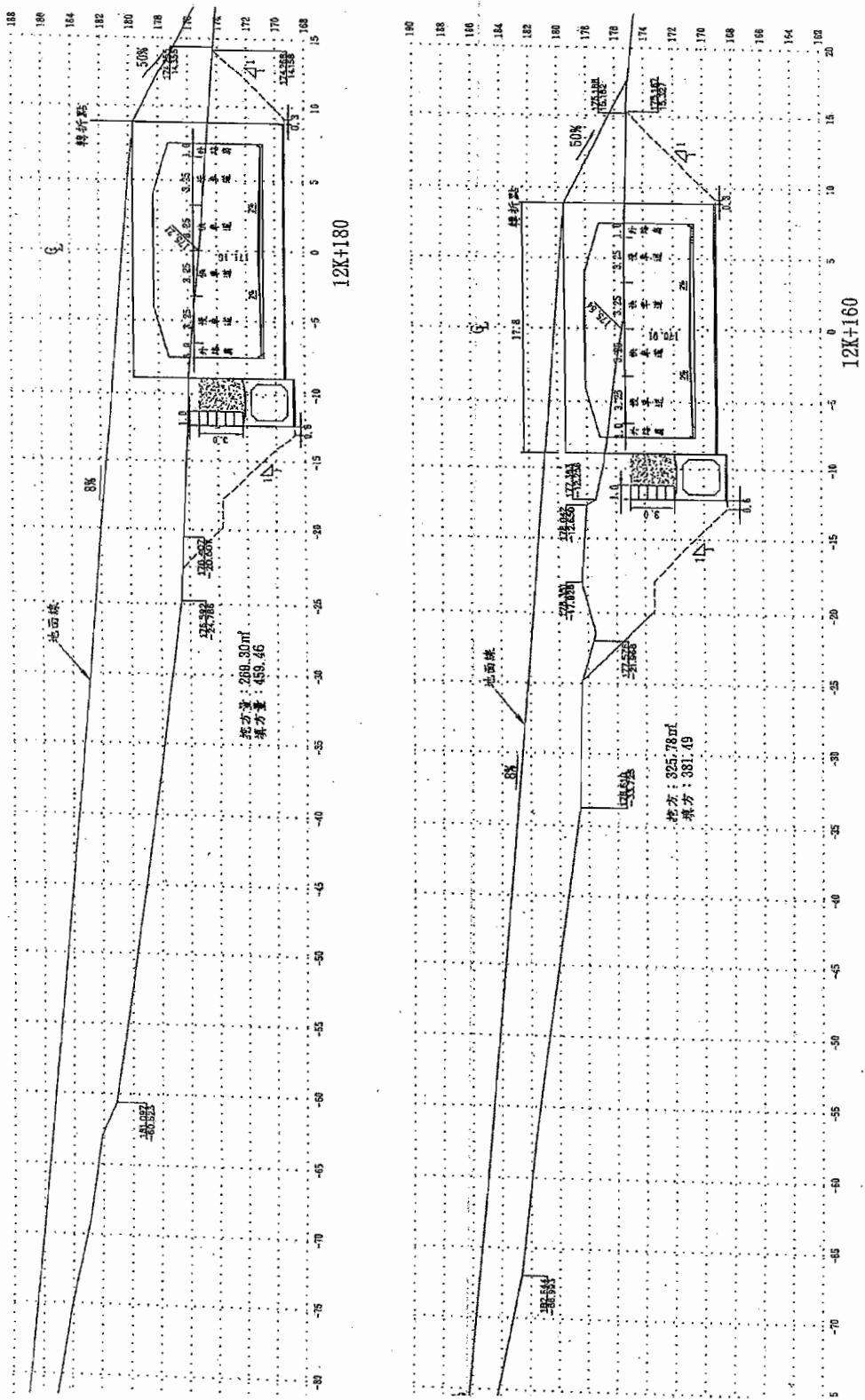


圖 3.6 火炎山隧道興建工程圖二（資料來源：元裕工程技術顧問有限公司）

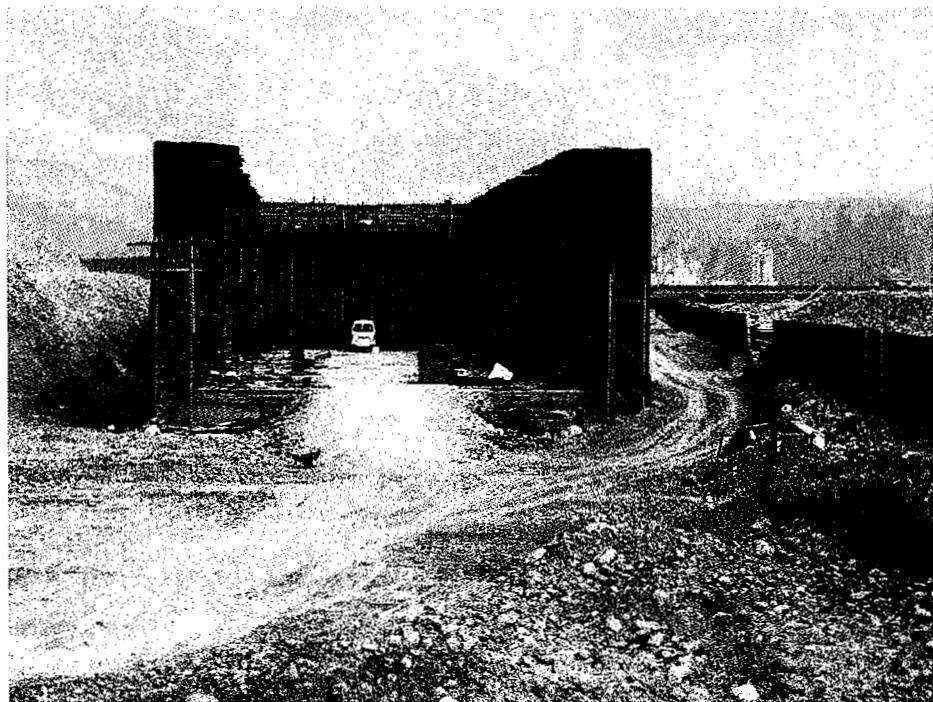


圖 3.7 施工中的火炎山隧道口（拍攝日期：94/4/5）



圖 3.8 完工的火炎山隧道（拍攝日期：95/2/28）



圖 3.9 施工中的隧道頂部（拍攝日期：94/4/5）



圖 3.10 施工中的火炎山隧道頂部（拍攝日期：94/4/5）



圖 3.11 火炎山隧道旁邊的蛇籠（拍攝日期：95/6/20）



圖 3.12 清理後的火炎山沖積扇一（拍攝日期：95/2/28）

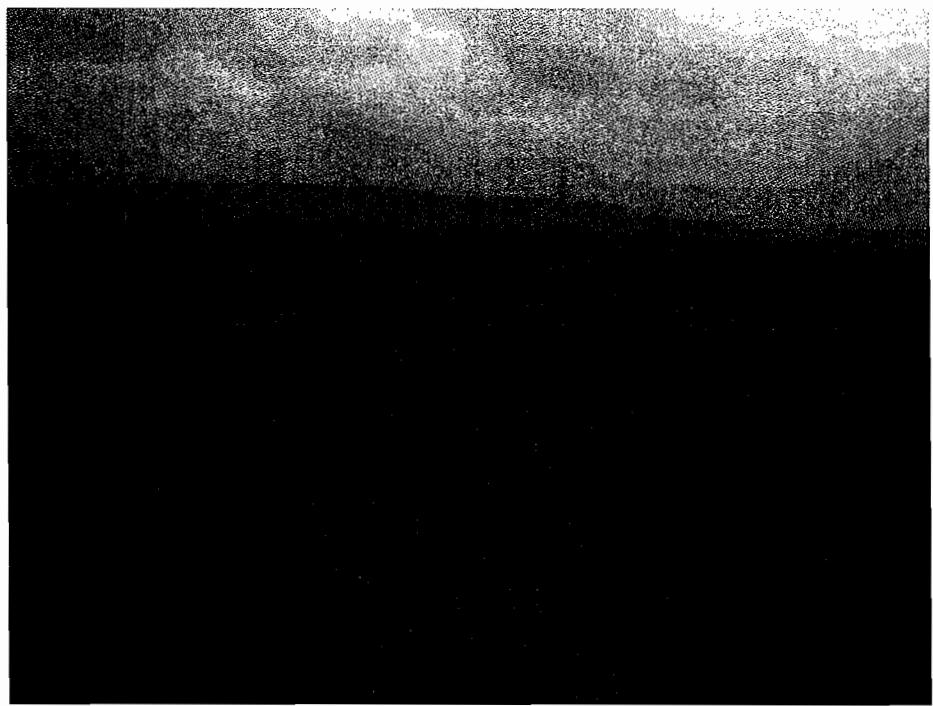


圖 3.13 清理後的火炎山沖積扇二（拍攝日期：95/2/28）

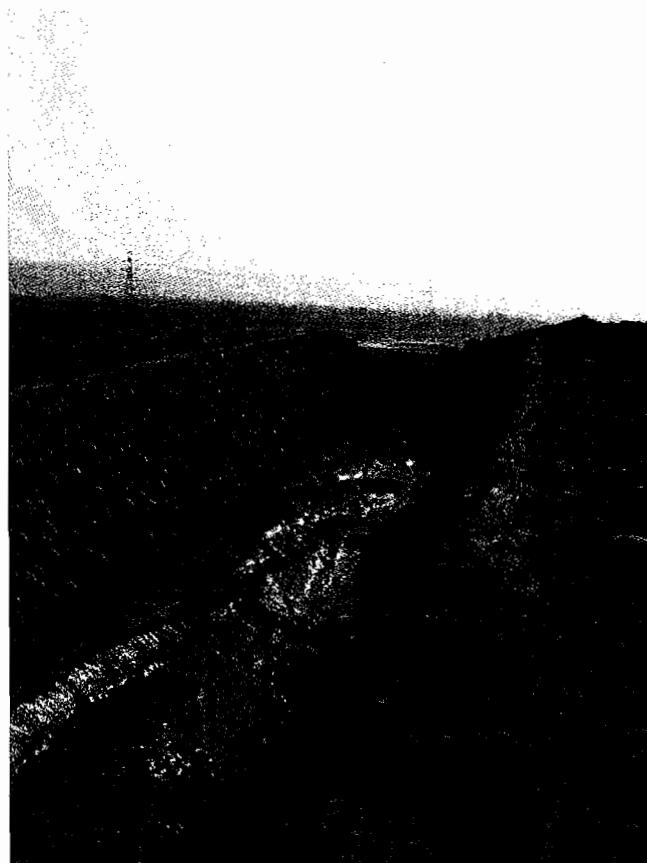


圖 3.14 沖積扇工程（拍攝日期：95/2/28）



圖 3.15 完工的火炎山隧道與側邊蛇籠（拍攝日期：95/9/6）



圖 3.16 隧道西側出口（拍攝日期：95/9/6）



圖 3.17 火炎山隧道西側出口上方扇（拍攝日期：95/7/24）



圖 3.18 隧道下方處形成之小沖積扇（拍攝日期：95/9/6）



圖 3.19 隧道下方處的土石堆積（拍攝日期：95/9/6）



圖 3.20 隧道主體與下方的土石堆積（拍攝日期：95/9/6）

## 四、研究目的

本研究地形監測可以概分為兩大部分，第一部份是有關於氣象資料之收集，第二部份是有關於隧道興建後對地形變化的影響與監測。

本研究過去在氣候資料的收集及微地形的分析上有了初步的成果，希望藉由今年的計畫來建立更完整的資料，在資料分析上也能有明確的成果展現。因此本年度預計要完成的項目有：

- (一) 自計式氣象觀測站的維護及資料收集。持續進行氣象資料的接收，並將過去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) 本年度航照的正射化影像，與過去的資料來進行比對，觀察集水區的變化。
- (三) 瞭解火炎山隧道興建後，對於沖積扇地形侵蝕、堆積的變動是否有明顯的影響，隧道是否能夠完全避免受沖積扇變動的衝擊。
- (四) 將過去所收集的資料整理成完整的資料庫格式，協助後續氣象資料的接收以及資料庫的建立。

## 五、研究方法

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) 氣象資料的接收

目前所採用的自計式氣象觀測站（圖 5.1）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 15 分鐘數值產生一筆資料。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）。

本計畫採用的氣象觀測站，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；第二是儲存系統，包括儲存記憶體；第三是無線傳輸系統，為 GSM 系統。

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，以無線傳遞之 GSM 系統作為主要傳輸方式。



圖 5.1 四號集水區之氣象測站

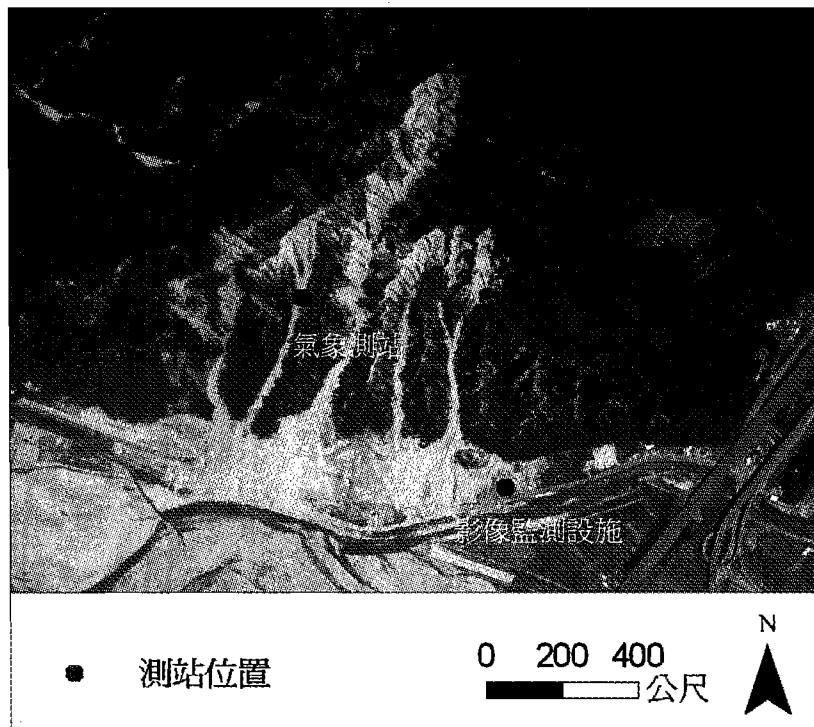


圖 5.2 氣象測站位置示意圖

由於 GSM 無線傳輸系統需要較大功率的電源，本研究採用以鉛酸電池作為觀測站主要的電力來源，且另外以太陽能板產生電能持續供電，只要太陽能板發揮功效測站便可持續運作，因此可延長測站收集資料時效。

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，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。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，只要遠端的電腦透過電信網路，就可以監控這個測站的狀況，獲得火炎山即時的氣象資料。

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 15 分鐘進行計

算，產生一筆資料，所以最後呈現的格式為每 15 分鐘有一組資料。

以往對環境監測，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。

## (二)監視系統的架設

本研究目前採用嵩剛股份有限公司所發展的監視系統，此系統搭載 MPEG-4 影像壓縮引擎技術，具高畫質與高壓縮比特性，可用於長時間錄影及遠距監控，錄影即為 AVI 檔案，同時可存成 640x480 錄影解析度畫質，系統架構圖如下圖所示：

本研究在影像監控站中架設一電腦主機，並 24 小時監控火炎山保留區隧道口附近的影像，並同時架設自計式氣象站，記錄當時的氣候狀況，本監測站除了能記錄即時的影像，若當地發生土石流災害時，可與氣候資料比對，找出災害發生與氣候條件間的關係，未來可以分析出在達到某種氣候條件下，能即時提供警訊，以避免災情的擴大。

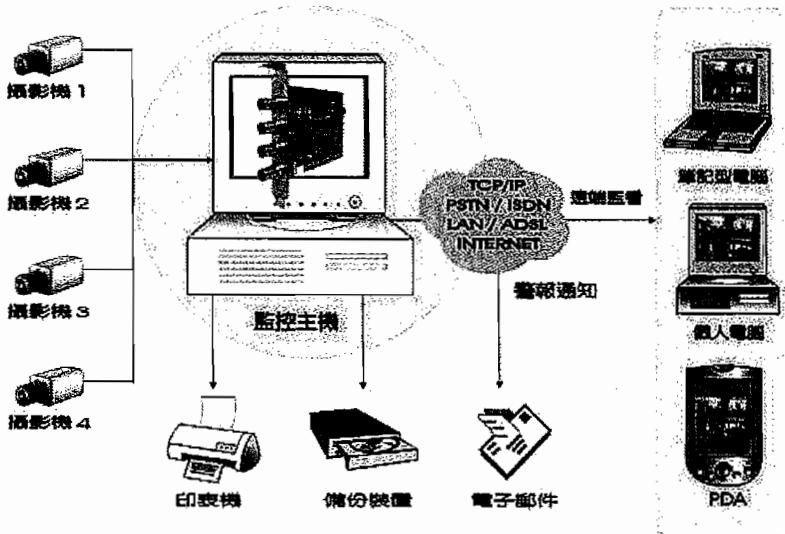


圖 5.3 監視系統架構圖（嵩剛股份有限公司）

但目前因受限於供電來源的原因，將此影像監視設施設置於隧道東側出口附近之控制所頂樓，監看隧道東側出口頂部與上部沖積扇邊緣的土石堆積與變動情形。

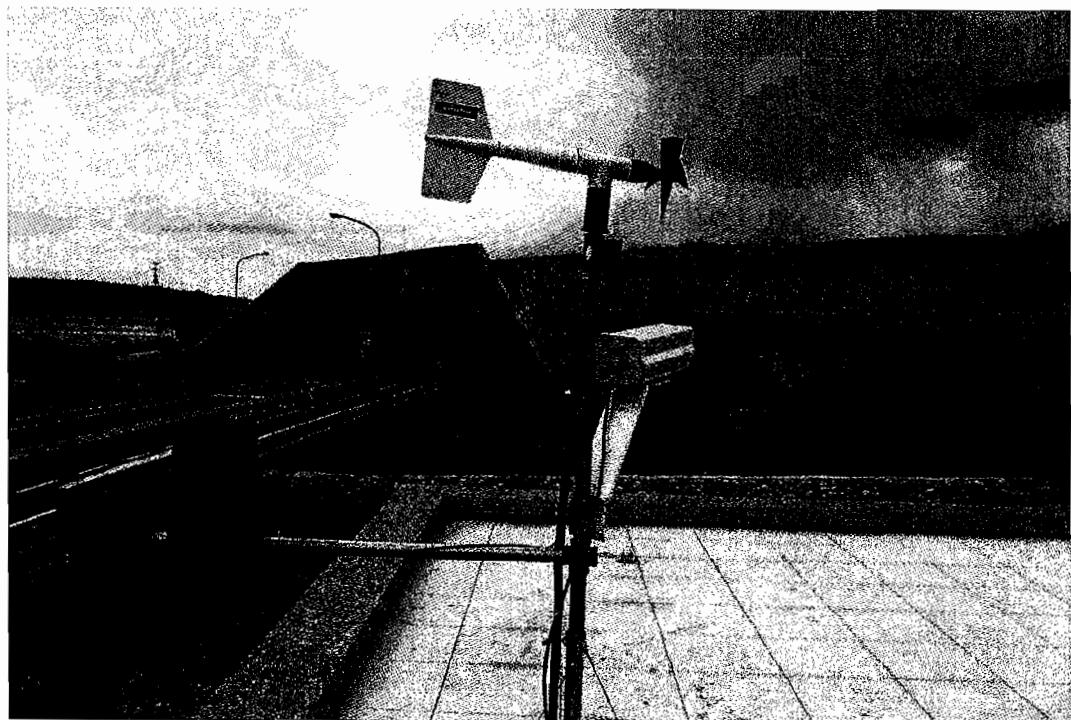


圖 5.4 影像監測設施

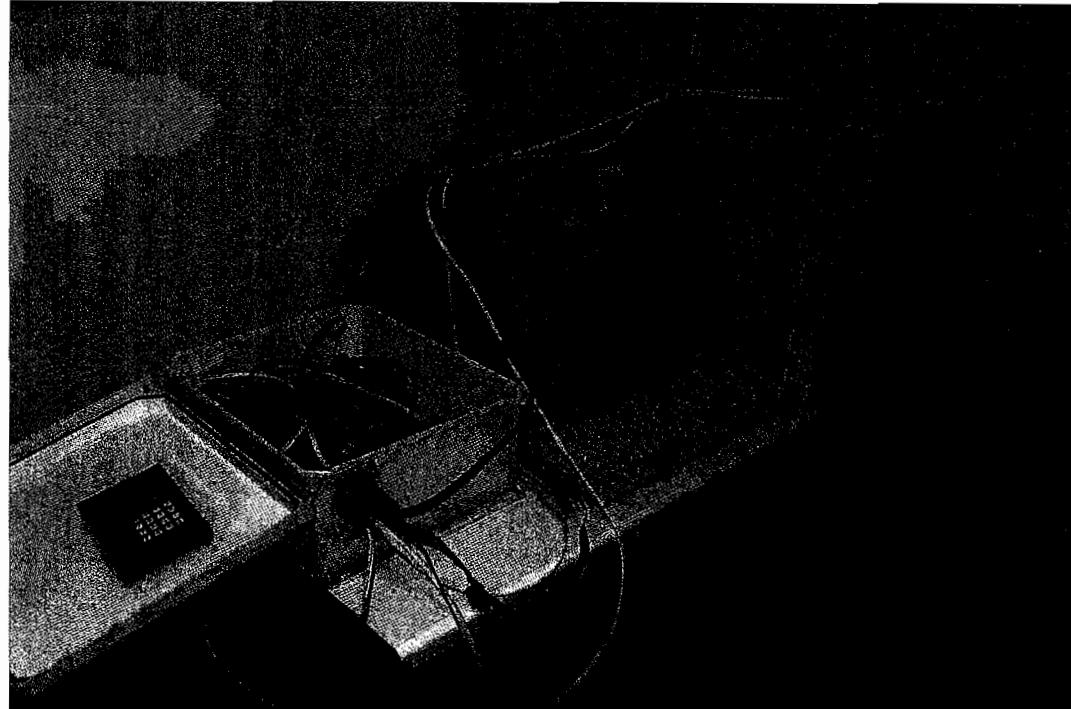


圖 5.5 監測影像儲存系統



圖 5.6 影像監測隧道範圍

### (三) 數值地形模型的建立

首先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。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。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。

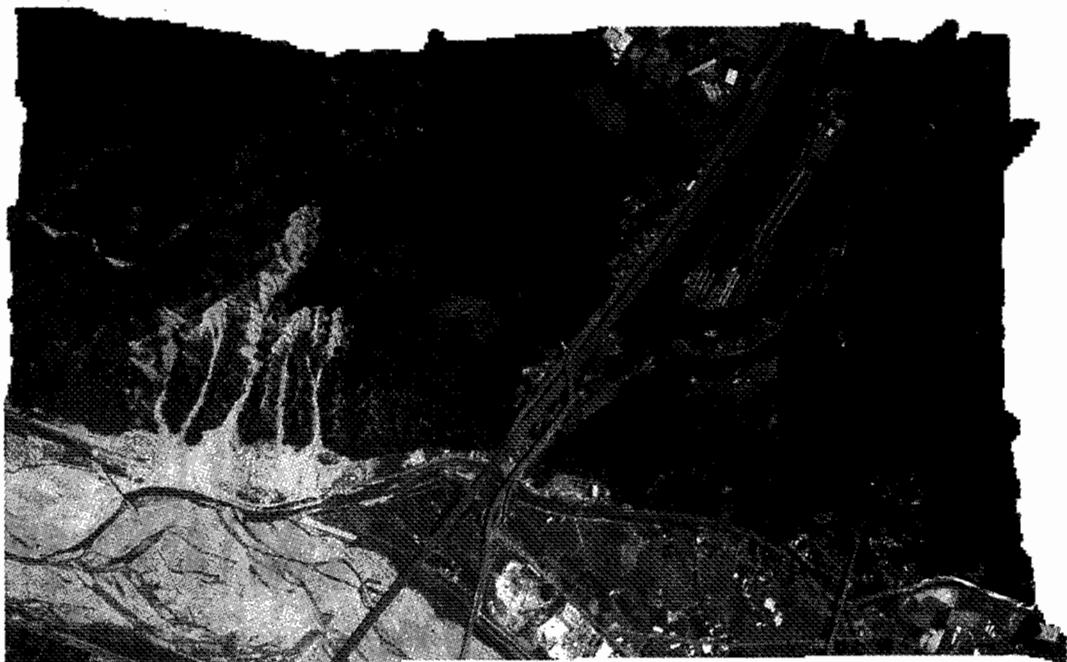


圖 5.7 正射化影像

#### (四) 高程資料變動分析

1、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，對歷年的火炎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線。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。

2、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民國 91 年年度的集水區範圍為準，去切割出各集水區的 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。

#### （五）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，比較長時間縱剖面及橫段面之變化，以變化量配合時間計算侵蝕堆積速率，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。

#### （六）野外資料蒐集

本研究進行期間，為補足數值地形高程計算及航照影像所無法觀察到之細微地形變化，會不定期至火炎山觀察並拍攝河道及沖積扇之侵蝕堆積變化，並透過不同時間點的照片比對，試圖發現地形改變類型及空間分佈特性。也同時對氣象測站進行維護工作，以確保氣象收集資料的正確性。

## 六、研究成果與分析

### (一) 沖積扇變遷與侵淤變化

本節主要是討論以年度為觀察時距下，沖積扇的變化情況。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、沖積扇上高程變化的區別。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，造成比較上的困擾。恰巧最早期民國 77 年的立體像對中，沖積扇分佈的面積比其他年度都大（民國 91 年例外），因此以該年度可辨識者認定為原始之沖積扇大小。在能確定早期大面積的分佈區域下，後期沖積扇上的植生覆蓋比較能夠判釋得出來為原本屬於山坡上的原生林，還是沖積扇穩定後重新生長的植被。

火炎山沖積扇的形成，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 生，1999），每次颱風或大雨後都能夠造成變化。

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。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。

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。造成畫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

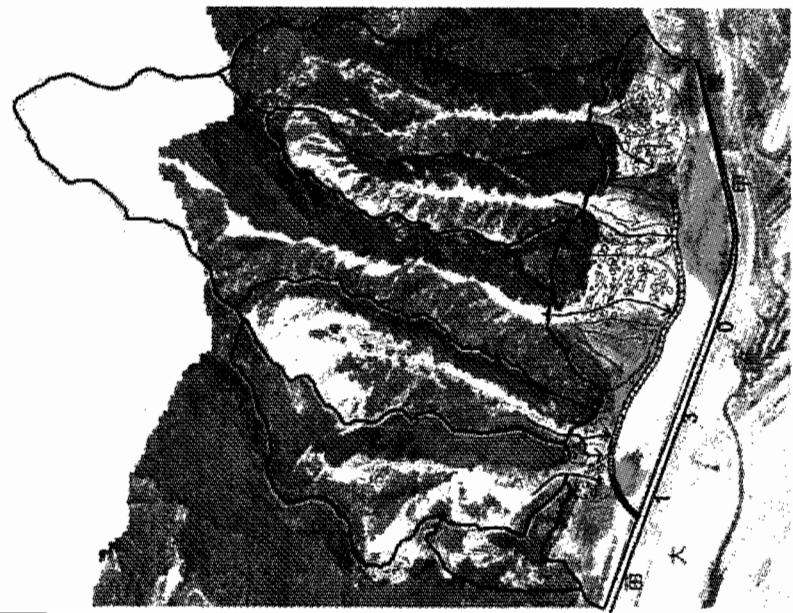
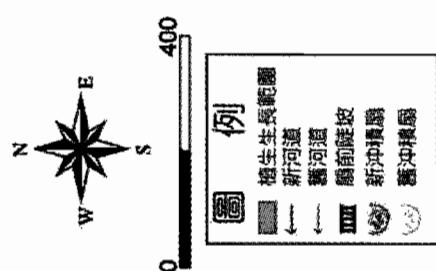
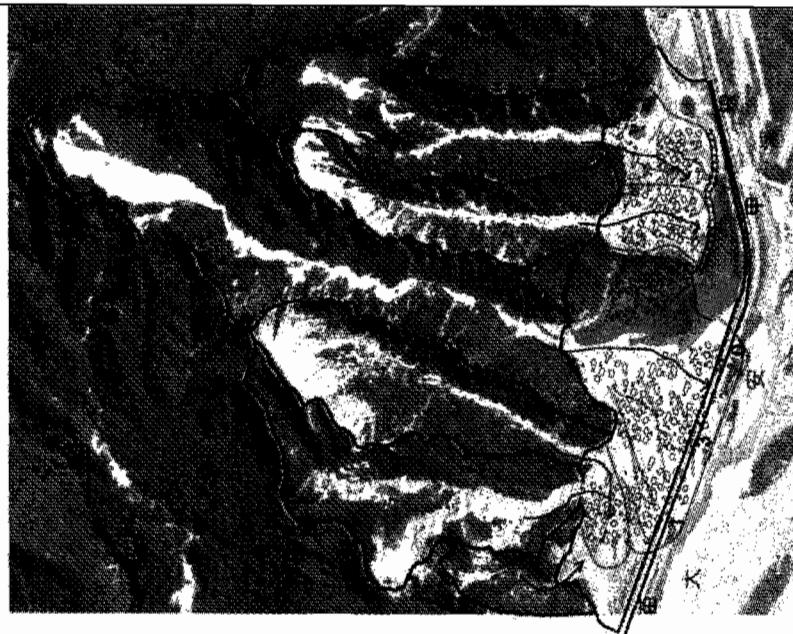
影響。

根據本研究過去分析民國 75 年～91 年間火炎山自然保留區地形的變遷，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。

從歷年的變遷資料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 90 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。

75

80



80-75

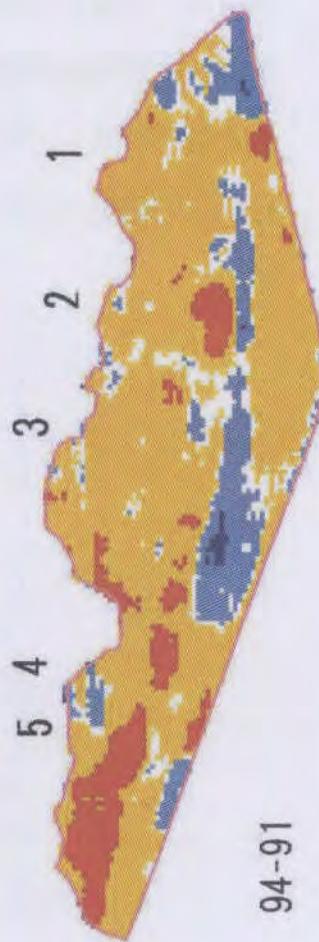
圖 6.1 民國 75~80 年沖積扇地貌變遷圖 (1986/05/04~1991/10/07)

91 至 94 年的沖積扇變化之間有颱風杜鵑、敏督利等強颱侵襲（圖 6.2），理論上沖積扇應有明顯的侵淤變化，但因火炎山隧道於 93 年開始施工，於 1-5 號集水區沖積扇扇面上進行整地工程之因素，故自然條件所造成的原始地形已遭破壞，扇面之高程變化及沖積扇範圍並不能代表實際變動之情形。特別是在隧道主體施工之處，因為進行下挖工程所以沖積扇高度是下降，但在沖積扇扇頂及五號集水區沖積扇之西側部分，受到工程施工影響較小，故其變動可視為受自然營力產生，而觀察其高程變動主要以堆積作用為主，特別是 4、5 號集水區之沖積扇有大規模超過 5 公尺的堆積。就整體沖積扇變動而言，除隧道施工鄰近扇面因工程施工受擾動不以討論外，其餘扇面主要還是以持續的堆積作用為主要變動特徵。

91



94



94-91

圖 6.2 民國 91~94 年沖積扇地貌變遷圖 (2002/06/19~2005/11/19)

火炎山隧道於 94 年年底完工，95 年元月一號正式通車，完工至今將近一年。95 年夏季期間無往年颱風所帶來的豪大雨事件，對研究區內的沖蝕作用不如過去幾年強烈，而在此期間之中，台灣地區僅有六月份的梅雨帶來的豪大雨造成土石流災害，而比較 94 年至 95 年的沖積扇扇面高程變動，發現扇面上各有侵蝕與堆積的情形出現分佈，其中堆積現象呈現長條狀，可以發現大致是沿著隧道主體分佈，另外在各子沖積扇扇頂部份出口，亦有少部分小面積的堆積出現；另外可觀察到於接近隧道東西二側出口，堆積程度比隧道體中段上方明顯，過去研究堆積作用最為強烈的三號集水區之沖積扇，在此二年度的高程變化反而變為最小。產生此相反現象的可能原因，是工程施工單位在隧道設計時有特別針對三號集水區之沖積扇堆積作用作預防，因此一方面在扇面二側建土石堤，另一方面在沖積扇面上作修坡工程，以降低土石堆積對隧道產生的壓力。其次可能的原因，為隧道二側出口距離沖積扇扇頂較近，因此土石堆積作用相較於面積大距隧道較遠的三號集水區之沖積扇強烈。

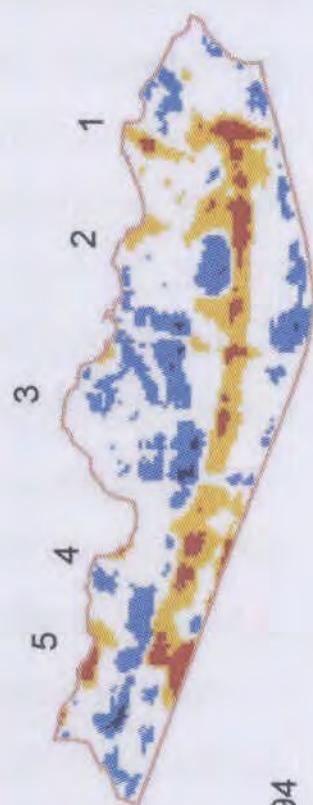
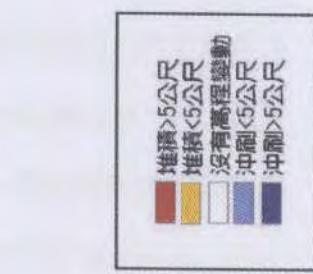
侵蝕現象零散分佈於扇面上，並無明顯空間集中的現象。在沖積扇下方邊緣處為過去苗栗 140 縣道位置，並有部分侵蝕出現，此區域苗栗縣政府會有定期清淤工作進行，無法斷定是否由自然營力所作用造成。

94 年航照拍攝時，隧道工程尚未完全施工完成，由航照尚可查知有部分隧道主體出露，表示有土體未回填，而在隧道完成並整地修坡之後，二年度之間的堆積作用有多少是在回填之後所產生，堆積的強烈程度有多少，因人為因素的介入而不容易分析。同樣地，侵蝕現象亦是。火炎山地區的土石大多需藉由達一定量的地表逕流始能搬運或移動，進而對下游產生堆積作用，而由於 95 年度火炎山地區之暴雨及土石流相較於過去並不明顯，加上扇面上的土石堤與蛇龍設施會阻擋或改變土石流路，因此此段時間內的沖積扇面變動受到工程施工的影響可能較自然因素作用為大。

94



95



95-94

圖 6.3 民國 94~95 年沖積扇地貌變遷圖 (2005/11/19~2006/08/02)

## (二) 隧道位置與沖積扇侵淤變化空間

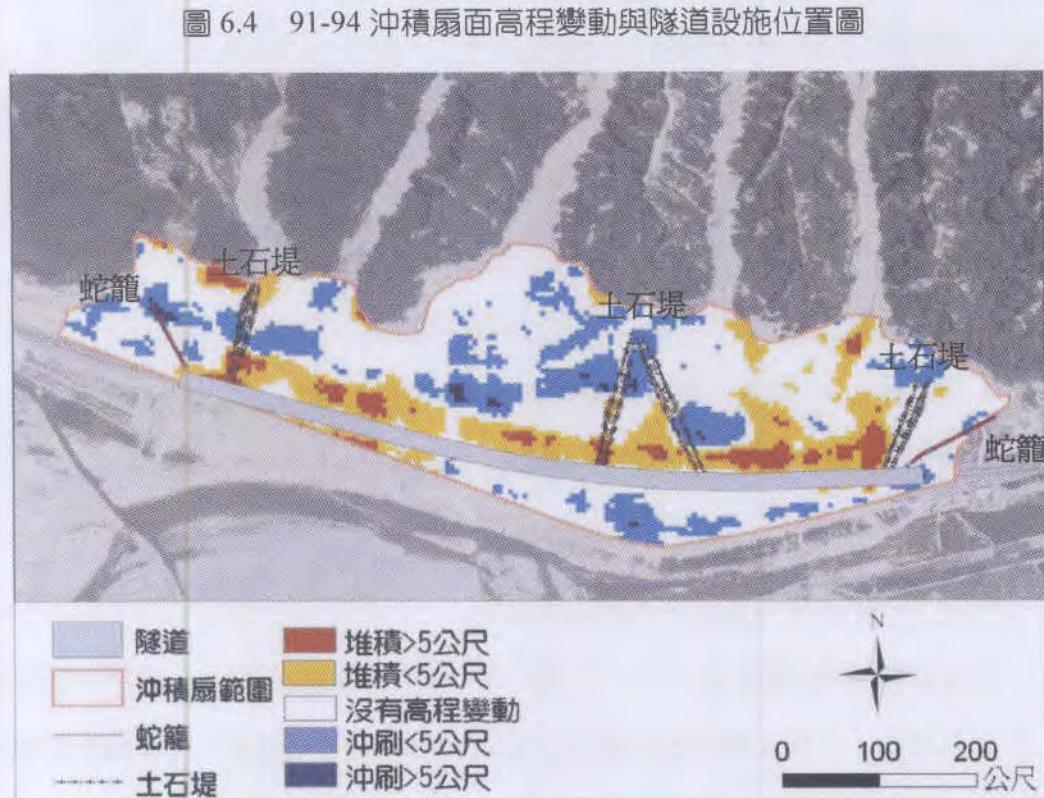
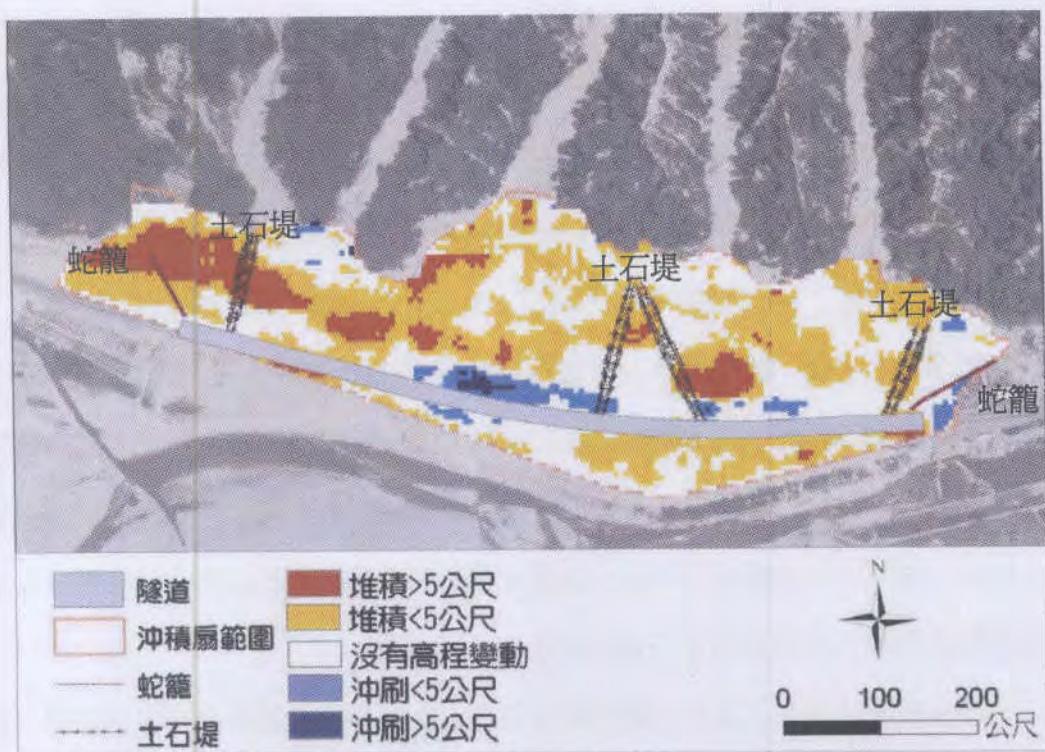
火炎山隧道總長 780 公尺，大約穿過 1-5 號集水區之沖積扇，唯東西二側之出口距離沖積扇經常性變動的範圍之邊緣尚有一段距離。若隧道位置再疊合 91-94 年的沖積扇侵淤變化空間分佈（圖 6.2），可發現位於隧道西側出口至沖積扇邊緣的地形是呈現堆積的狀態，但此段道路已不屬於隧道涵蓋範圍。此外隧道東側出口至沖積扇範圍邊緣，雖然在 91-94 年的高程變化為下降趨勢，但極有可能是反應工程施工挖方之現象，由過去沖積扇侵淤研究發現，此路段仍屬於明顯地形變動空間，因此在東西二側出口之路段，仍有機會因沖積扇上之堆積物移動而受到影響。

因 91-94 年之沖積扇侵淤變化受到隧道工程施工的影響，可能無法反應沖積扇受自然營力影響的改變。因此本研究將隧道位置疊合 91-94 年之沖積扇侵淤變化圖，觀察隧道與沖積扇扇面高程變動空間分佈的關係。隧道工程除興建隧道主體外，為避免扇面上的土石堆積造成隧道承受過大壓力而損壞，因此在扇面上進行修坡工程，此外為防止土石流影響公路及隧道出口，施工單位亦在扇面上修築土石堤與蛇籠，但 94 年土石堤與蛇籠尚未完工，故與扇面高程變動關係較小。從圖 6.3 來看，在 1 號集水區上呈現較多的堆積現象，且 4 號集水區也相同的情況產生，顯示在隧道施工前在靠近隧道出入口處是呈現堆積現象。因此從隧道口的位置來看，正好位於沖積扇影響區的前緣，特別是隧道西側出口之處，在 91 至 94 年期間此區扇面變動幅度為整體最大，因此當土石累積到一定量時，有可能造成隧道口封閉而影響行車安全的問題。

由 94 至 95 年扇面高程變動與隧道設施位置空間分佈位置關係來看，可發現堆積空間主要沿著隧道主體分佈，非常接近隧道主體。然而，因 94 年影像拍攝時間隧道工程尚未完工，二年間的高程變動有多少量為回填土體所造成，實無法估計。但土石堆積是否對累積過大的壓力而超過隧道所能承受的應力，由圖 6.5 來看此現象卻實有可能會產生，需要管理單位多加留意，是否要對扇面進行定期的清淤工作。

此外，再進一步細部探究淤積空間，最外側二道土石堤的淤積幅度皆大於五公尺，此現象對於隧道安全是否會造成影響。由侵淤圖所顯示的高程變動情形，如土石堤附近的堆積趨勢不變，堆積物可能會持續堆積使高度高於土石堤而漫流過，而此區域恰好位於二側之隧道口，對於行車安全無非是一項潛在的威脅。

隧道西側出口部分，因四、五號沖積扇之區域與之十分接近，與東側出口相較，只需較少的堆積物量便可威脅到出口的行車安全，且加上距離短，當有土石移動的情形只消短時間便可留置隧道附近。此區域未來的變動情形，需持續密切觀察，始能有較為明確的瞭解以及針對隧道安全提出防範措施。



### (三) 河道及沖積扇縱剖面分析

本計畫利用由航空攝影測量，作為地形變遷研究的重點，對於集水區河道與沖積扇面的變動，進行測量。製作產出之 DTM 資料及正射影像，選取民國 94 年、95 年的資料，進行五個子集水區河道與沖積扇面的變遷觀察，並進行 2 個不同時期剖面的變化，以比較隧道完工之後，火炎山集水區內的地形變動情形。

褚秉麟（1982）對臺灣麓山帶礫石材料特性的研究中提到，在大型降雨事件之後，地表逕流匯集，將堆積在河道中的物質重新搬運移動，而移動方式非常類似土石流。詹錢登（2000）認為，土石流所攜帶的巨大能量，會對流經的河道產生刷深、埋積與河道擴張的現象。依據這些研究結果，土石流為河道在事件中主要的發生現象，河道中應留下變動的痕跡。

河道剖面的選取，是由立體影像判釋河道並以中心位置為準，由河道最上游畫製剖面線至沖積扇外緣。並疊合 94 及 95 年 DTM 資料，用以顯現出時間序列上地形的變動，以及表示出距離上變動量的大小。剖面的功用為顯示出縱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內變動的情況。由於不同子集水區在時間內發生的變化情況不盡相同，因此在探討集水區的變化時，是以各個子集水區分開討論為主，以突顯各子集水區本身特性。

沖積扇剖面的選取，主要以平行河道流路為主，於扇面上共取十一條剖面，其中一號及十一號剖面位處於扇面最外緣，並沒有通過隧道主體，以此與有經過隧道主體之剖面比較，希望能藉此觀察隧道對扇面高程變動的影響。

#### 1、河道剖面分析

觀察 94 至 95 年五個子集水區之河道變化，堆積或侵蝕最明顯的區域皆在上游河道與隧道主體附近。一、二號子集水區之河道侵淤變化主要集中於河道上源部分，一號子集水區河道上源部分有明顯的侵蝕現象，河道高程整體呈現降低趨勢，至沖積扇面部分才有堆積出現，而在隧道主體附近堆積作用較為強烈。二號子集水區河道則是以堆積作用為主，特別是在河道上半部的部分，而扇面之侵淤現象則沒有太明顯的改變，即使隧道主體附近變動也不大。

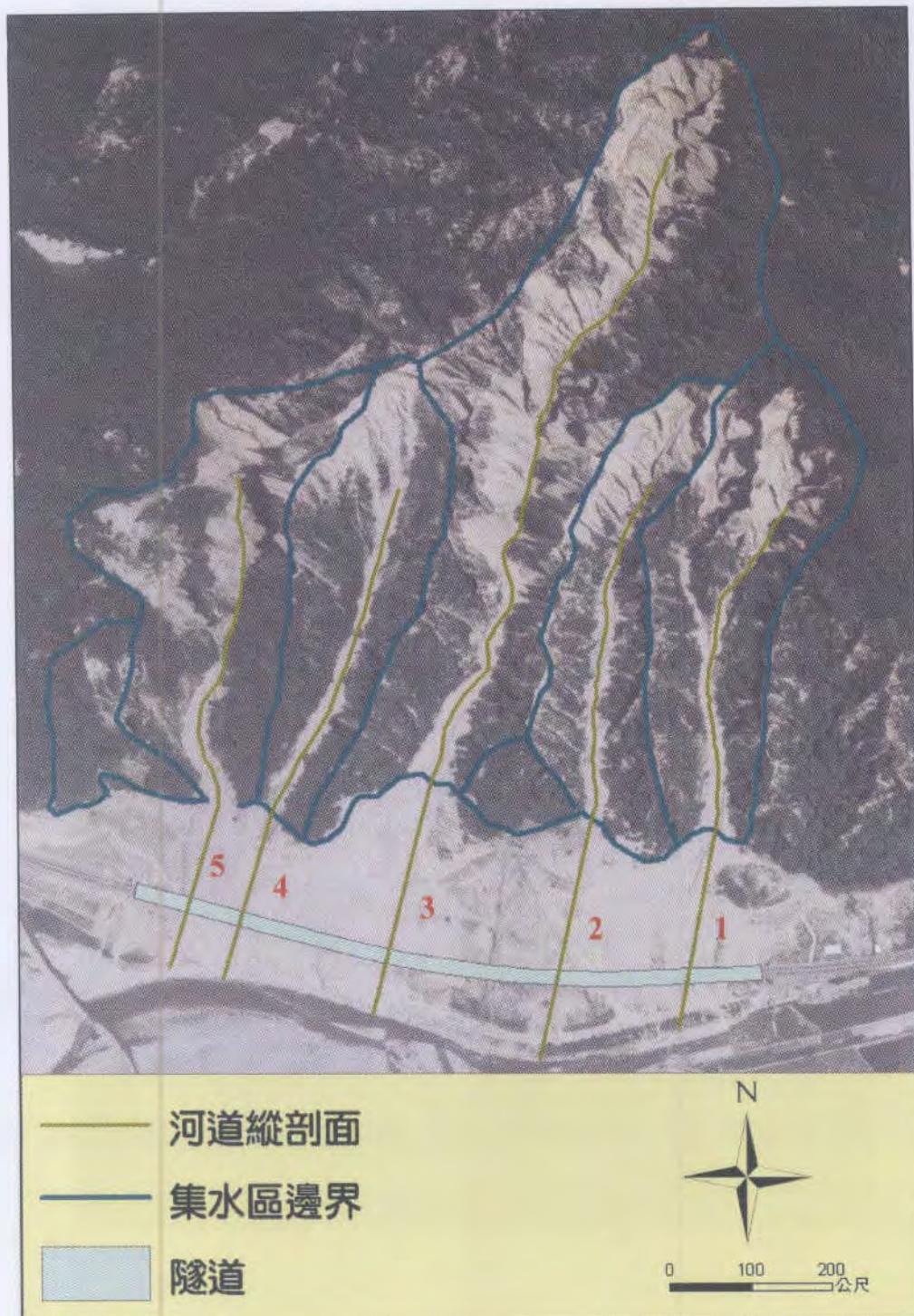


圖 6.6 河道縱剖面位置

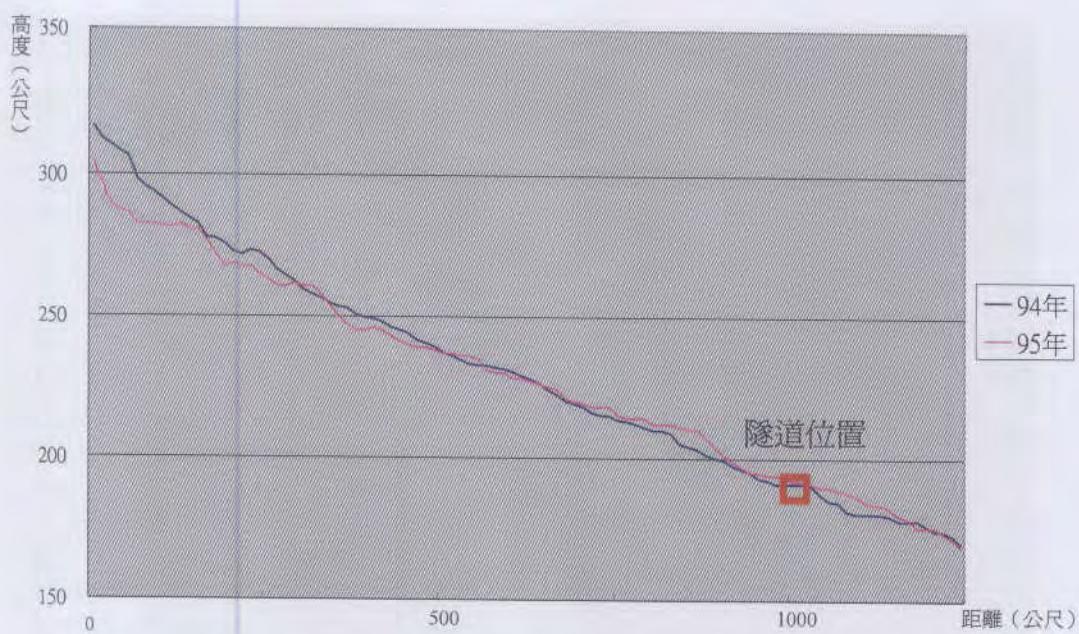


圖 6.7 河道第一條剖面

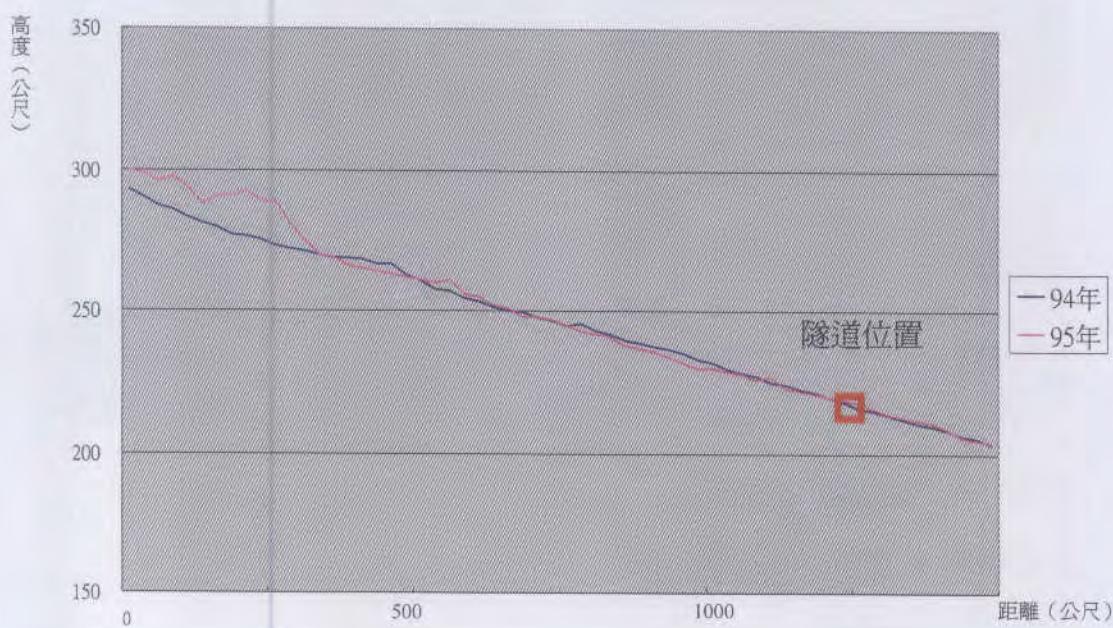


圖 6.8 河道第 2 條剖面

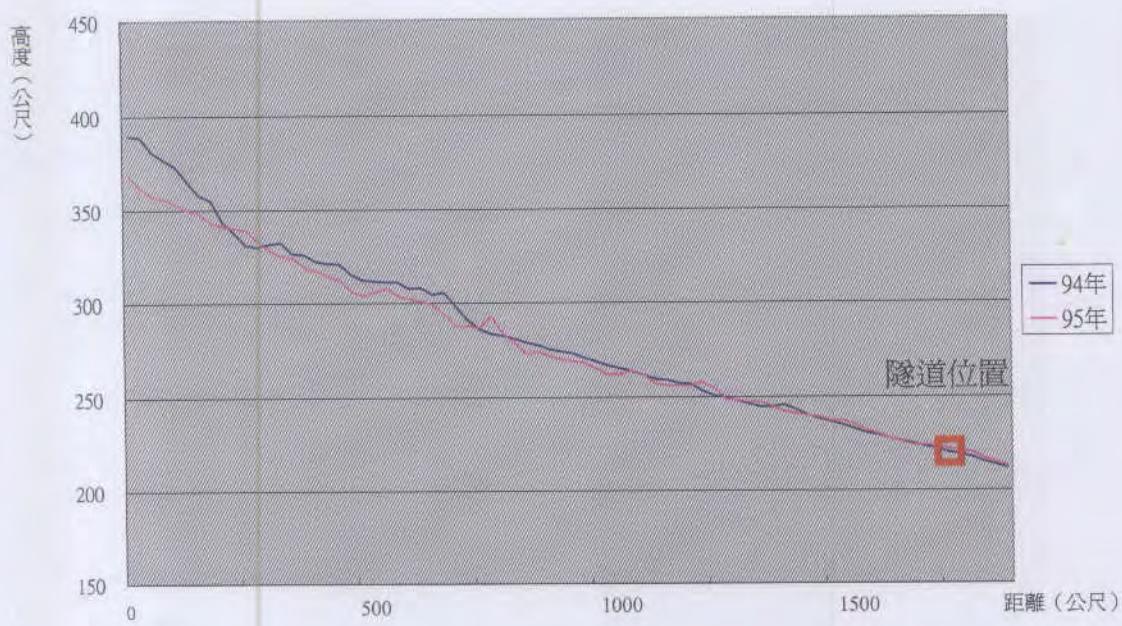


圖 6.9 河道第 3 條剖面

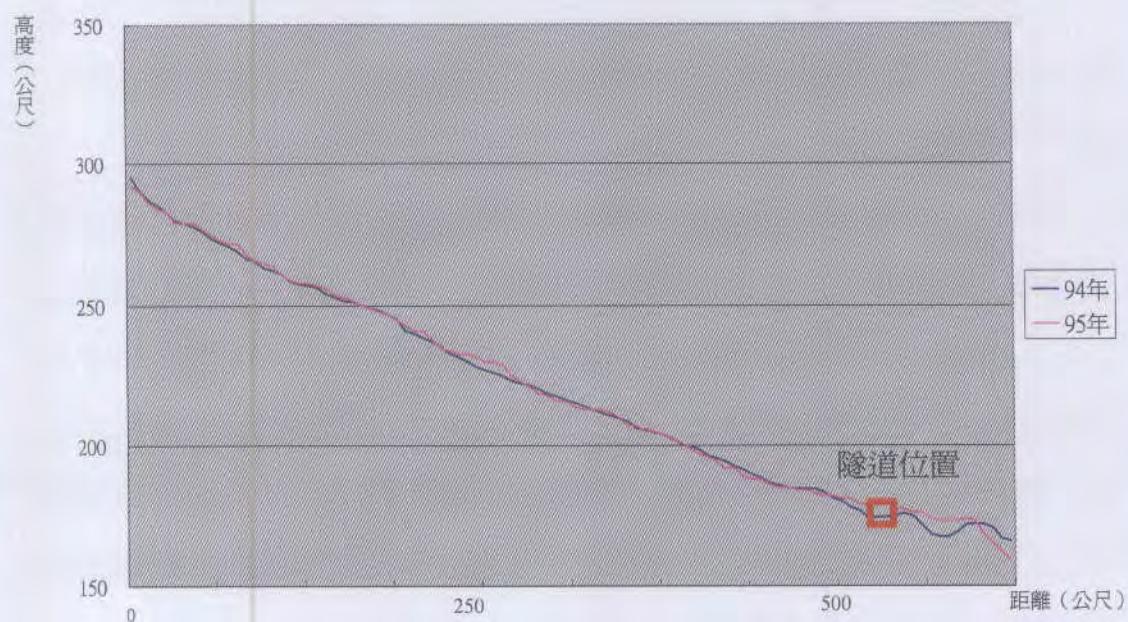


圖 6.10 河道第 4 條剖面

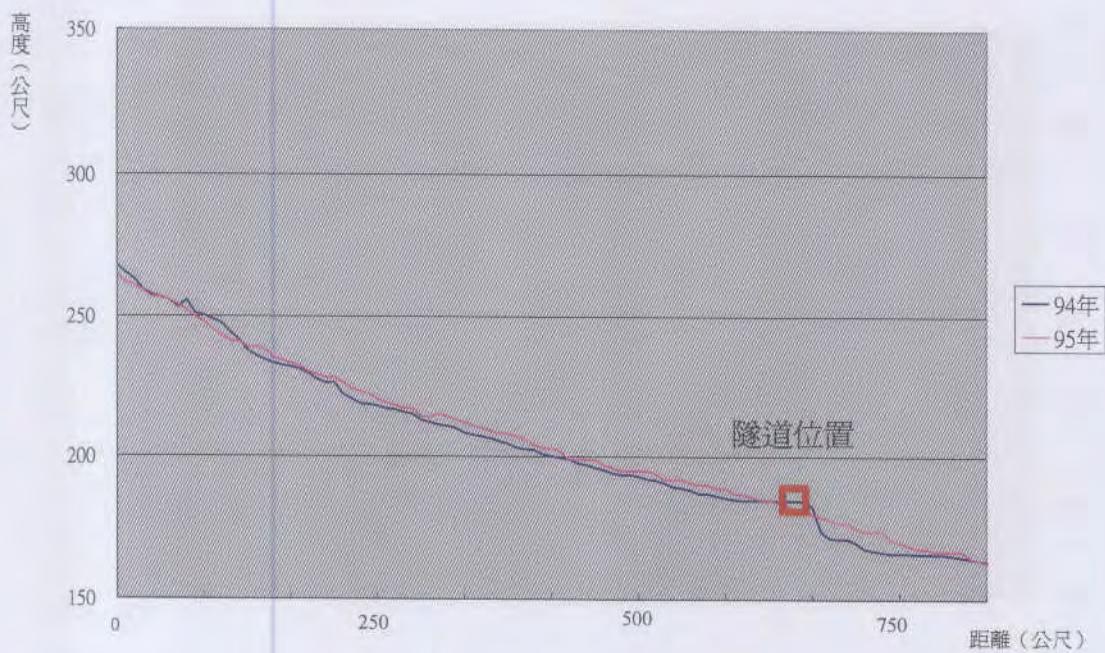


圖 6.11 河道第 5 條剖面

三號子集水區之河道，前後變化以侵蝕作用為主，越往上游侵蝕作用越趨強烈，但上游之侵蝕與沈積物並沒有反應於下游沖積扇面上，沖積扇面有堆積現象，但高程變化並不大。

四、五號子集水區之河道則無明顯侵淤變化，河道之高程幾無變動，為五號之河道有少幅堆積，但於五號扇面隧道主體附近，堆積作用卻明顯提高，此部分如無人為干擾介入，除了反應四、五集水區之沈積物搬運堆積外，是否有可能為三號子集水區之沈積物堆積於此，而使高程增高。因觀察過去三號沖積扇之變動，發現其逕流流路並無固定方向，特定時期內會集中於扇面東側或西側，當逕流與沈積物搬運通道以集中於西側為主時，沈積物會流經四、五號沖積扇或是堆積於其上，此現象之實際變動是否如推論一般，需持續觀察變化。

## 2、沖積扇剖面分析

本研究於沖積扇扇面上共畫取十條剖面，剖面選取主要以通過隧道主體為原則，但其中第 1 條及第 10 條剖線位於扇面外緣，未通過隧道主體，欲藉此觀察隧道對扇面侵淤變化的影響。

由第 2 到第 9 條剖面，可發現於隧道主體附近有明顯的堆積現象，如第 3 條、第 5 條號剖面；而高程變動的區域在隧道體上下 30 公尺內有明顯的變化，堆積程度多在 5 到 10 公尺之間，而再以隧道體上下游區分觀察，上游側的堆積作用強烈程度大於下游側，配合圖 6.3 沖積扇面高程變化的空間分佈，也發現沿隧道體上游側的堆積現象明顯，藉由剖線的變化能夠更清楚表達此現象；而第 9 條剖面的高程變化可達七至八公尺左右，如此可觀的堆積量對於隧道是否會有影響值得密切注意。隧道體以下，由剖線變化得知以沖刷作用為主，此區由苗栗縣政府所管轄，縣政府管理單位會定期派人進行侵淤工程，此工程進行可能是造成此區域高程明顯下降之原因。

第 1 條剖面及第 10 條未經過隧道體，但仍有經過道路部分，而其高程變動相較於第 2 條到第 9 條剖面，則相對不明顯，僅有少許的堆積變化。由沖積扇剖面的分析，發現扇面變動仍主要集中於隧道體兩側。

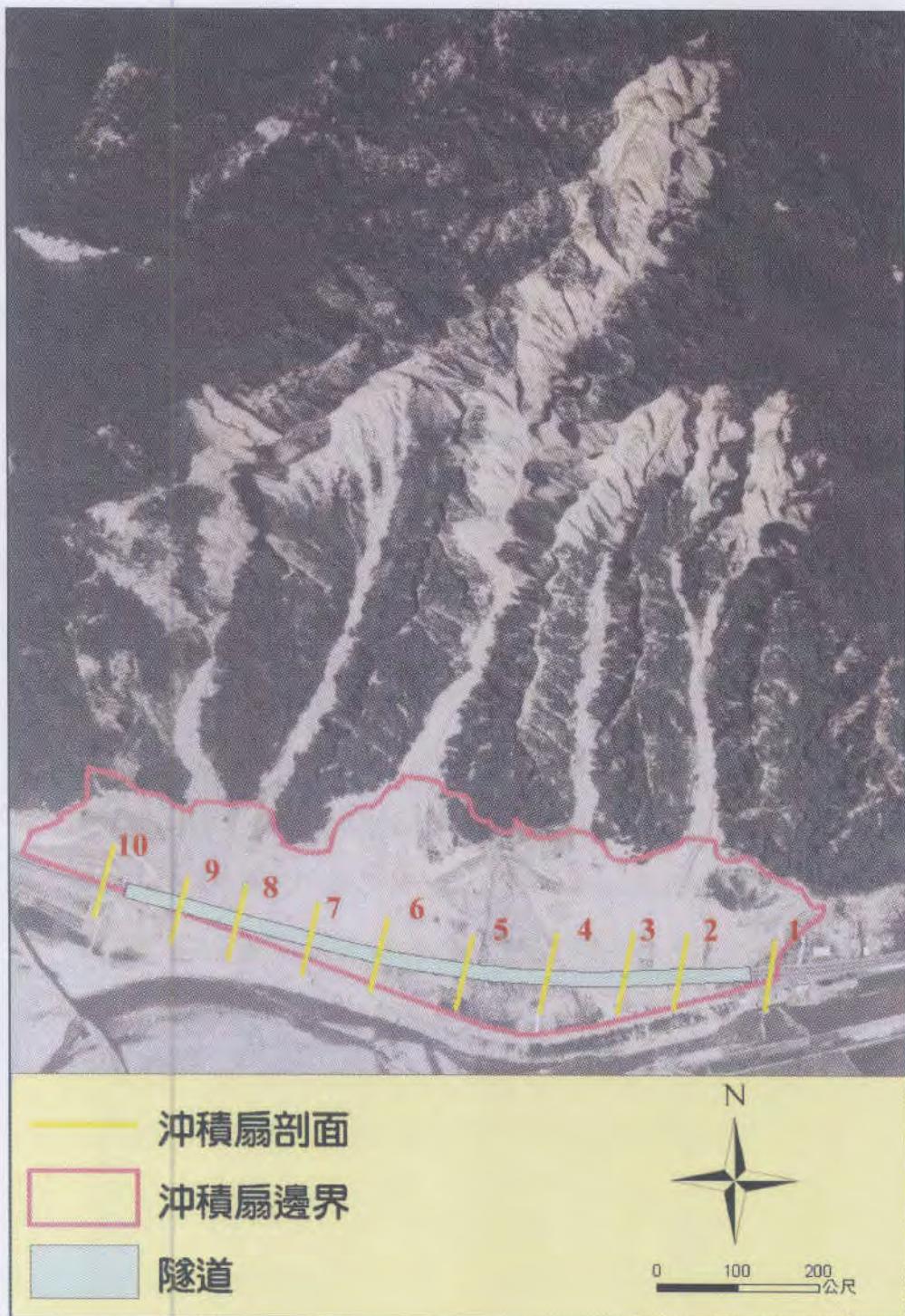


圖 6.12 沖積扇剖面位置

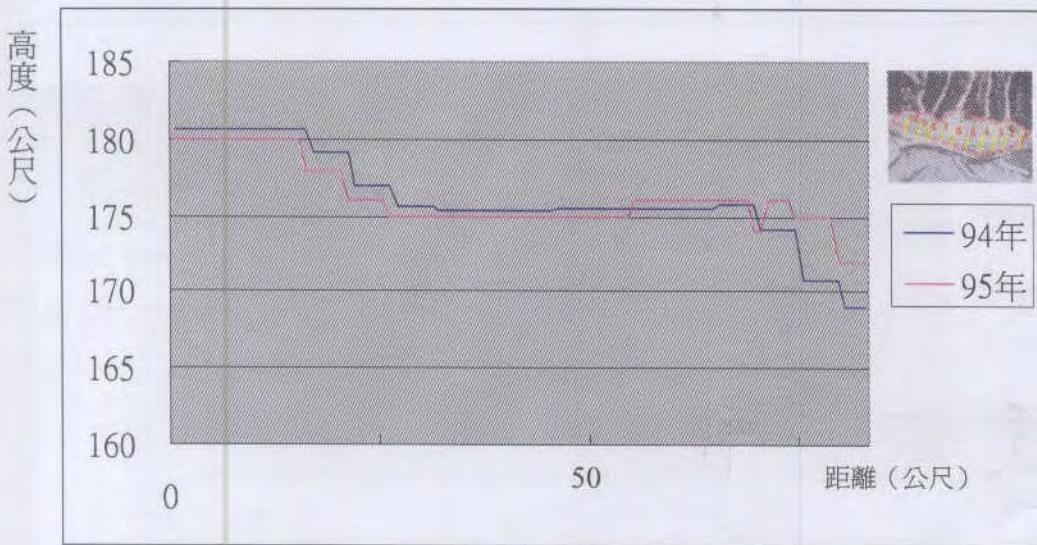


圖 6.13 沖積扇 1 號剖面

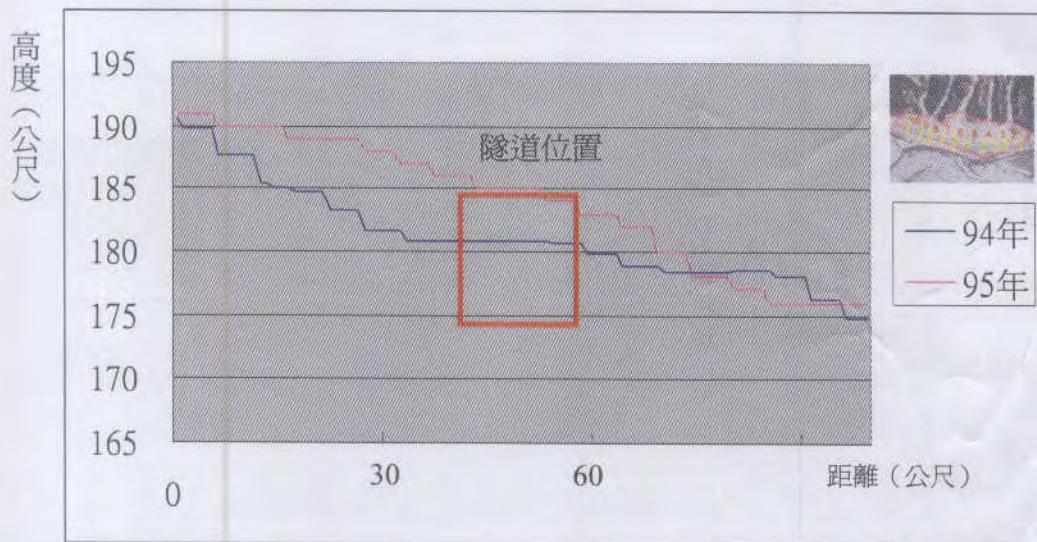


圖 6.14 沖積扇 2 號剖面

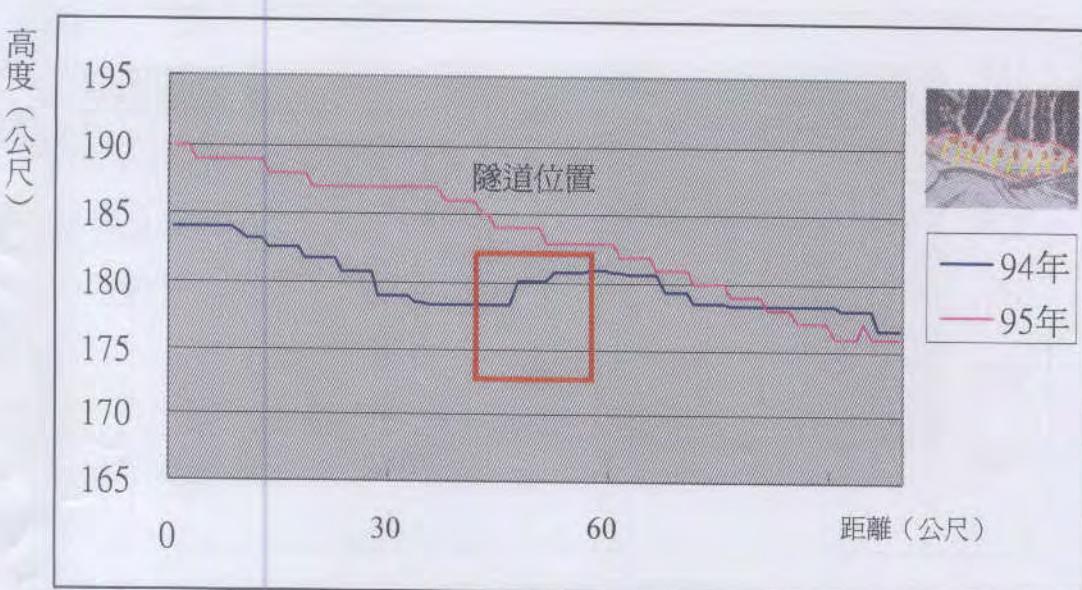


圖 6.15 沖積扇 3 號剖面

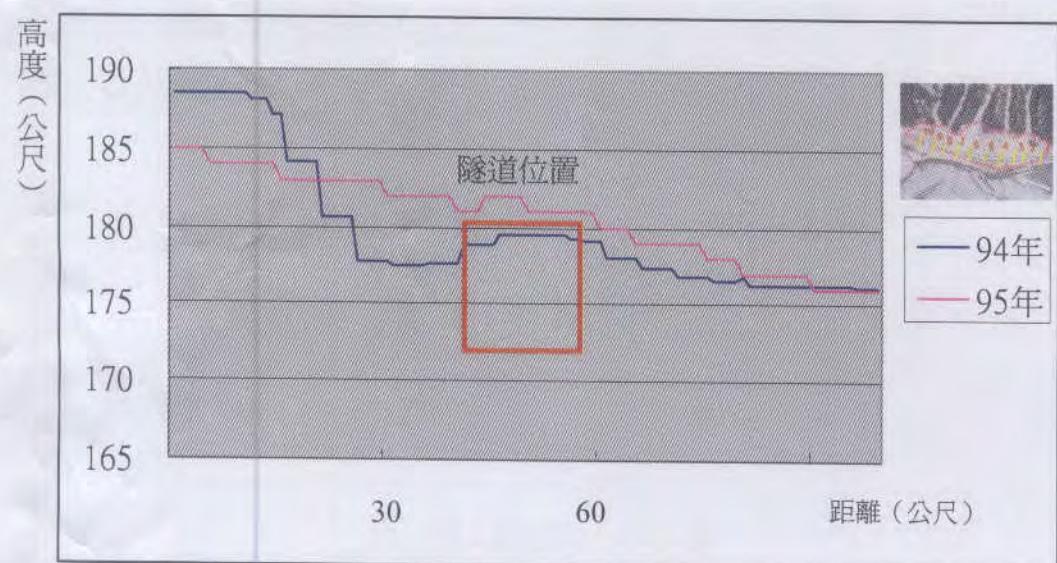


圖 6.16 沖積扇 4 號剖面



圖 6.17 沖積扇 5 號剖面

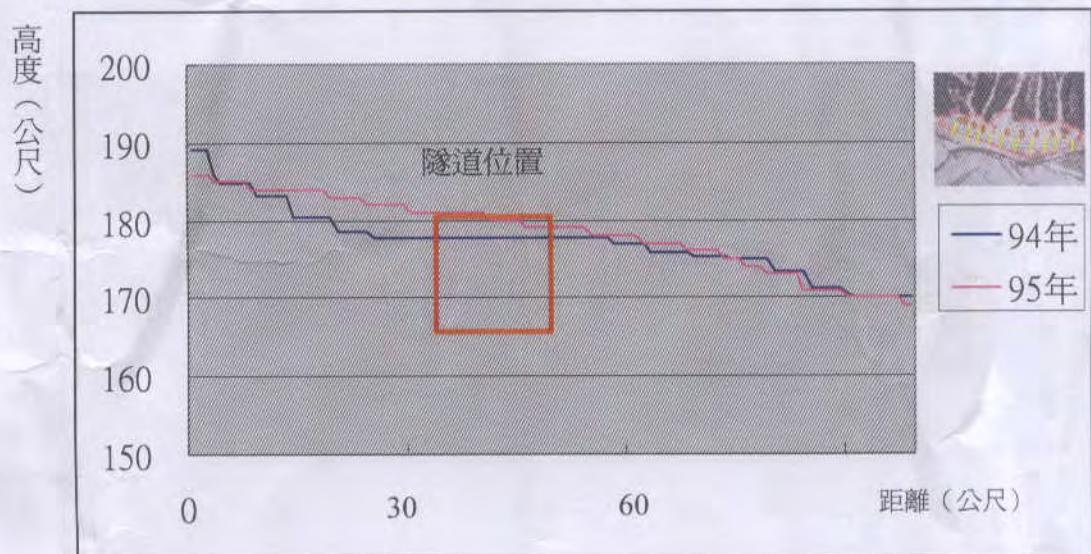


圖 6.18 沖積扇 6 號剖面

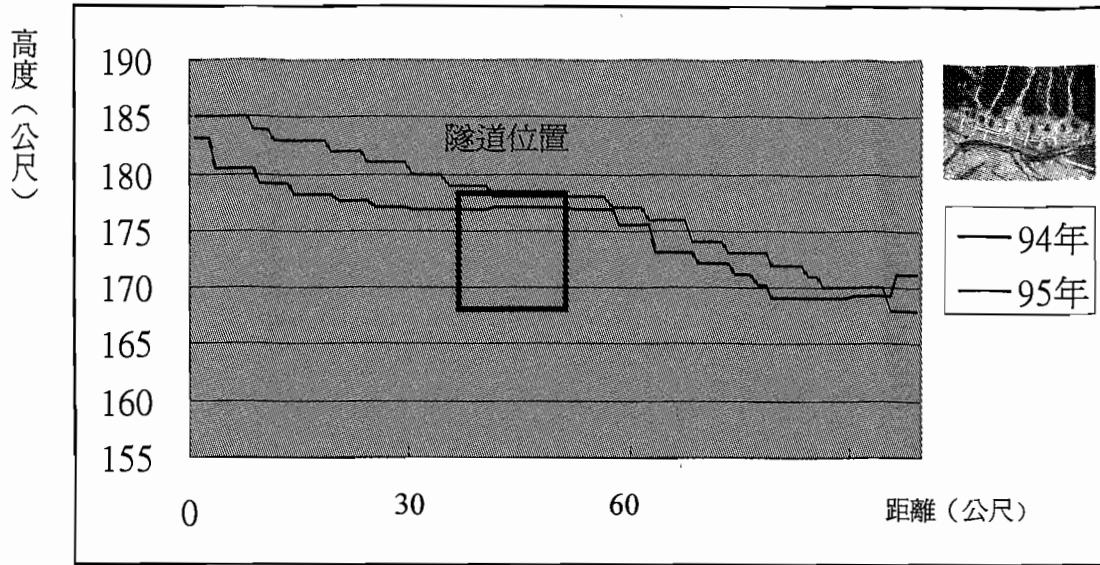


圖 6.19 沖積扇 7 號剖面

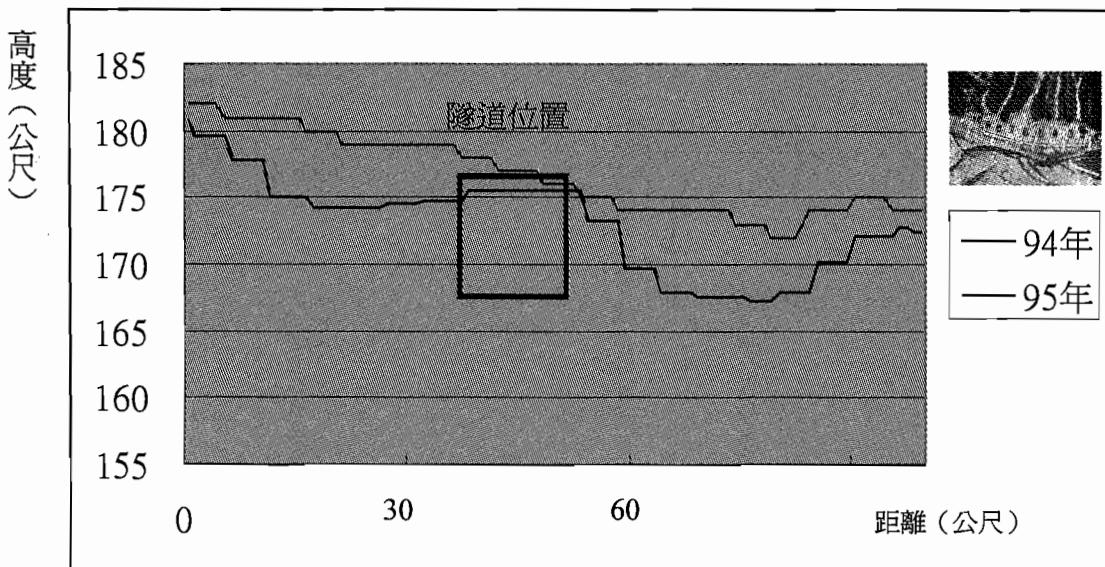


圖 6.20 沖積扇 8 號剖面

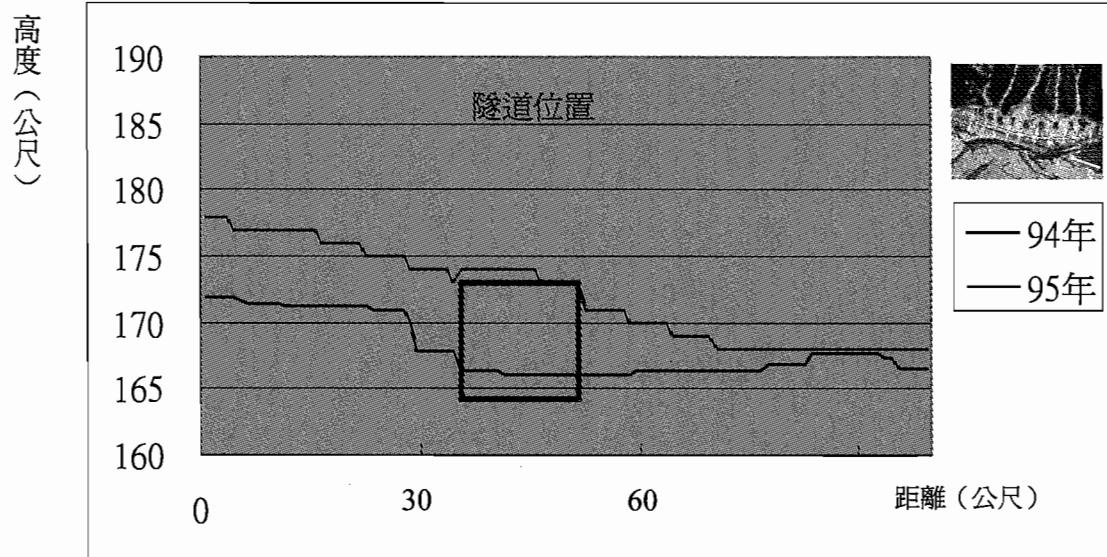


圖 6.21 沖積扇 9 號剖面

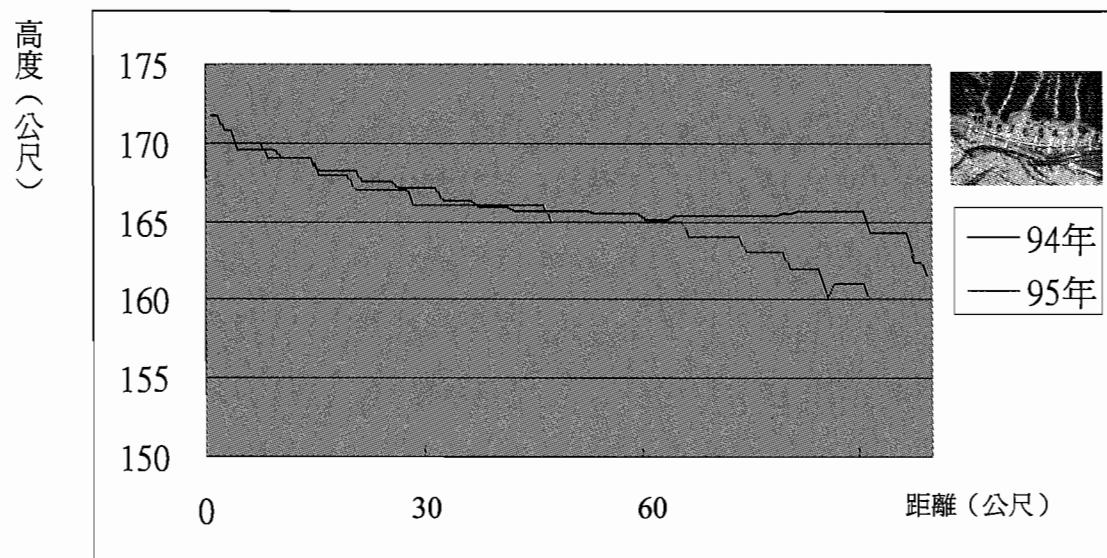


圖 6.22 沖積扇 10 號剖面

#### (四) 火炎山地貌特徵變化分析

地形受自然營力作用而產生侵蝕或堆積的現象，會直接反應於地表特徵如河道埋積、裸露地及崩塌地顯現、地面植被或覆蓋物變化，而地表面的變化，由立體影像可較為清楚得知。藉由 GIS 程式 ARC SCENE 叠合正射化影像與 DEM 高程資料，即可得到立體影像，此外還可由不同角度的轉動，猶如由空中觀看一般探知地表面特徵的變化。

本研究分別以中央研究院之民國 59 航照，及農航所與本研究過去製作的民國 75 年、80 年、87 年、91 年、94 年及 95 年度等六幅立體影像判釋火炎山地區二十年間地表面變化的特性，欲歸納出變動頻率與程度最為高之分佈空間位置，特別是 94 年火炎山隧道設施完工之後，火炎山集水區內的變動情形。87 年之前的影像為黑白影像，且受限於陰影的關係部分邊坡的顯示會被覆蓋，但仍可清楚觀察沖積扇與河道上之地物變化，而 91 年之後的影像為彩色影像更能清楚表達地表變化之特徵。

火炎山集水區內可再細分為五個子集水區，各子集水區河道兩旁邊坡陡峭，極易受到雨水沖刷或重力作用而掉落並堆積於河道上，因此可於各年影像中發現河道上埋積的現象十分明顯。此外，各子集水區河道與沖積扇距離相近，即使河道最長的三號子集水區，河道最上游頂點至沖積扇扇頂的距離，也不超過二公里，因此當地表逕流流量足以使河道上之沈積物產生移動時，沖積扇面就成為沈積物堆積最直接也是最重要的空間，因此由立體影像上可發現沖積扇扇面覆蓋物狀態是火炎山集水區內改變程度最大之處。

火炎山因地質特性，地層中的卵礫石膠結情形不佳，受大雨沖刷便極易產生掉落使崩塌、裸露地產生或是擴大。由立體影像上，河道後壁及二側邊坡上的裸露地變化，也是觀察區域內地形變化及沖蝕營力強弱的最好證據，若邊坡植被覆蓋良好，顯示近期內無大雨事件沖蝕火炎山之邊坡，為地形變化相對穩定的時期。

民國 59 年之航空照片為火炎山地區最早之航照圖，當時苗 140 縣道尚未興建，因此當時的火炎山是處於自然未受人為破壞及影響的狀態下。由此航照圖觀

察，發現當時火炎山的沖積扇扇面範圍不如 75 年以後來得大，尤其是一、二、三號沖積扇，受到大安溪侵蝕的影響，面積明顯與近期所觀察到的現象不同，三號沖積扇的面積與現在狀態比更是相去甚遠，四、五號沖積扇與現況相比較，差異程度則不如前三號沖積扇來得大。在邊坡裸露地方面，由航照圖可查知當時的火炎山地區沖蝕的情形已非常旺盛，除三號子集水區之外，其餘四個子集水區的後方邊坡均已有大片的裸露地分佈。較為不同之處是三號子集水區的裸露地，由近期觀察來看是火炎山地區面積最大的，但在 59 年的航照中卻發現三號子集水區上游邊坡的裸露地面積遠比今日所見為小。

由公路興建前後比較沖積扇範圍的變化比較，可得知由於公路路線選於較外圍，工程設施避免大安溪河床的侵蝕作用，因此使得沖積扇的堆積空間變大也同時增加其範圍。

75 年度之影像因圖幅不完整之關係，三號子集水區後方裸露地無法顯示，而比較 75 及 80 年度間的地表變化，發現沖積扇面上植被為變化最大的部分。在 75 年的影像上，一、二號扇面間及三號扇面西側有大片植被生長於其上，至 80 年度之影像，扇面植被分佈位置有極大之改變，原來於 75 年度影像上之植被分佈空間已完全消失，轉為分佈於二、三號子集水區扇面之中間，且一、二、三號之扇面上有明顯的逕流流路，其中三號扇面上的逕流流路更橫跨至四號扇面上，顯示在 80 年度影像拍攝前，集水區內有大雨事件發生，並產生侵蝕搬運作用，將原有的植被重刷殆盡，並由扇面上新生之逕流流路廣布推測，降雨規模應達一定程度以上，才能沖刷出這些流路。

此外，由植被分佈位置也可發現，此年度之間扇面變動程度之空間變化，原本相對安定的一、二號扇面間及三號扇面西側，轉為受侵蝕、堆積強烈的區域，而二、三扇面中間則為較穩定的空間。



圖 6.23 民國 59 年火炎山航照（資料來源：中央研究院）



圖 6.24 民國 59 年火炎山航照（資料來源：中央研究院）



圖 6.25 民國 75 年火炎山立體影像



圖 6.26 民國 75 年火炎山立體影像

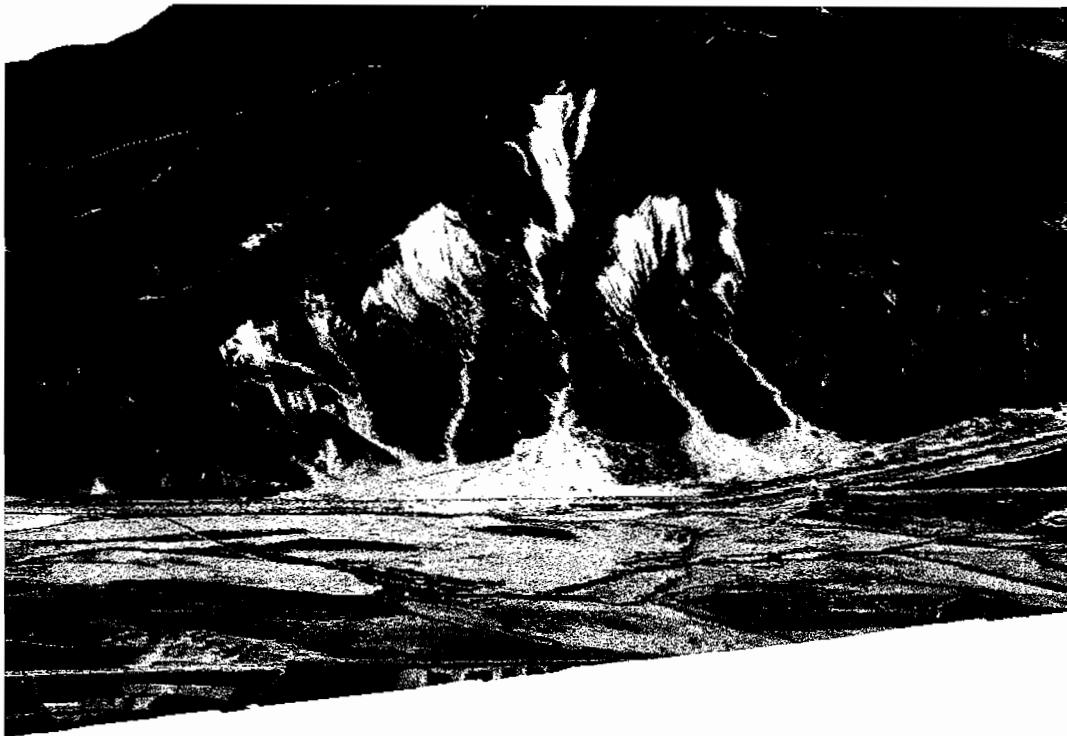


圖 6.27 民國 80 年火炎山立體影像

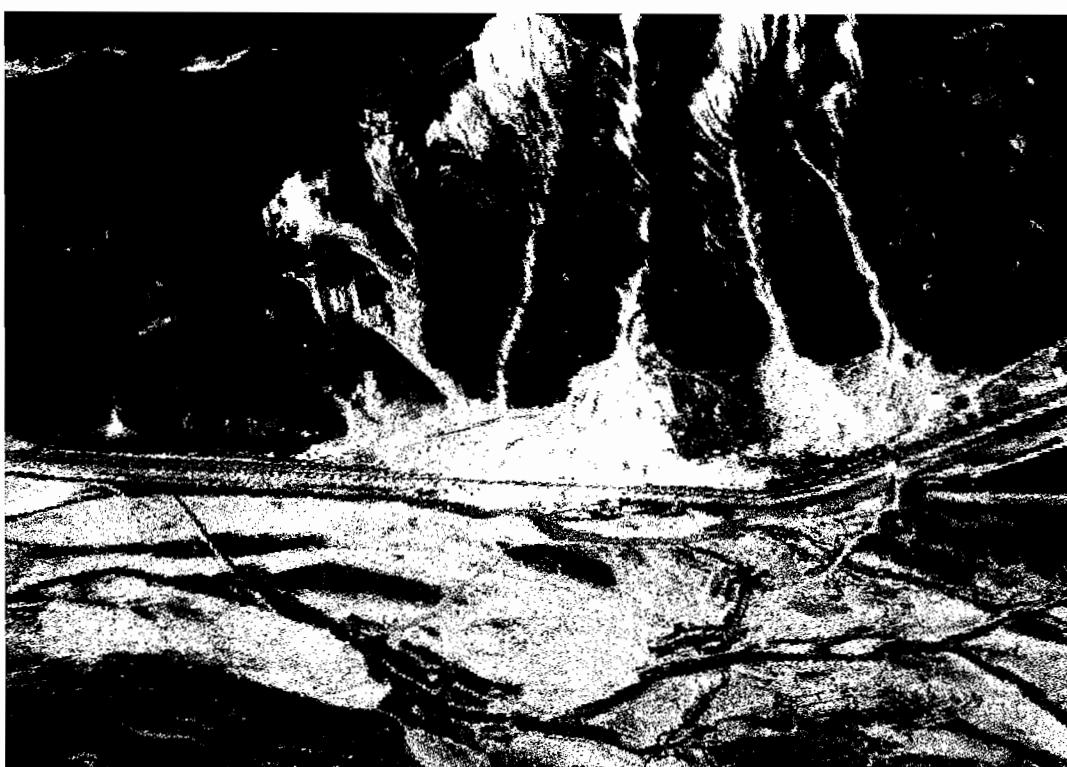


圖 6.28 民國 80 年火炎山立體影像

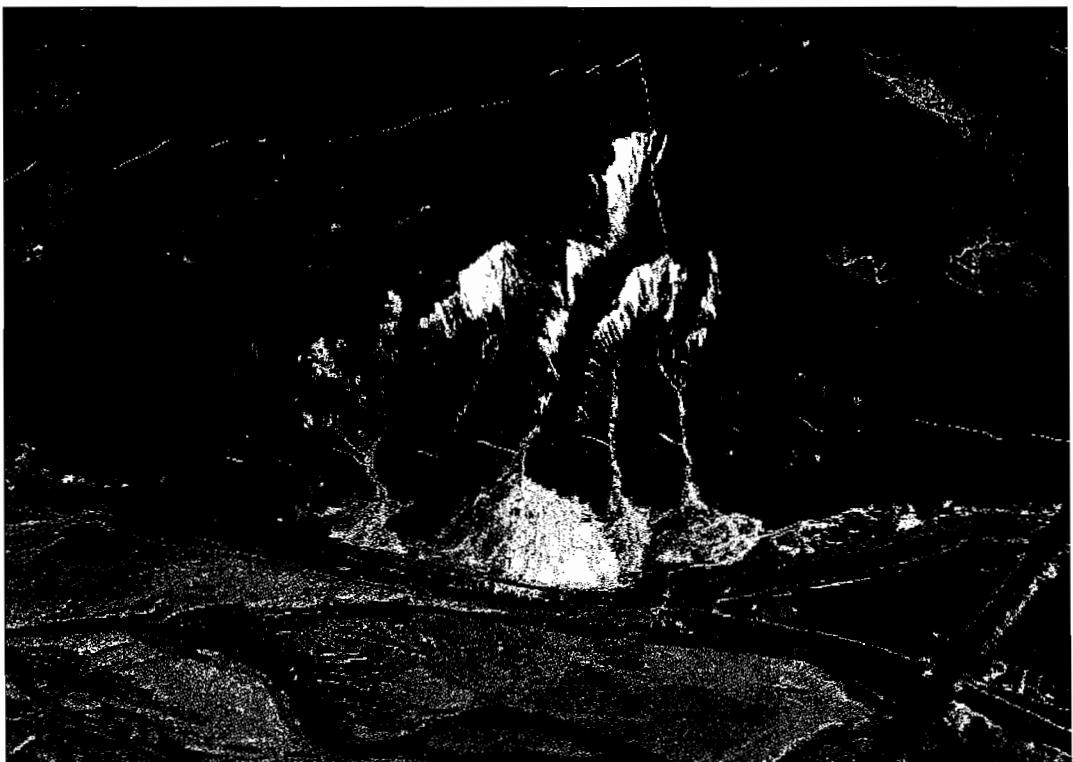


圖 6.29 民國 87 年火炎山立體影像

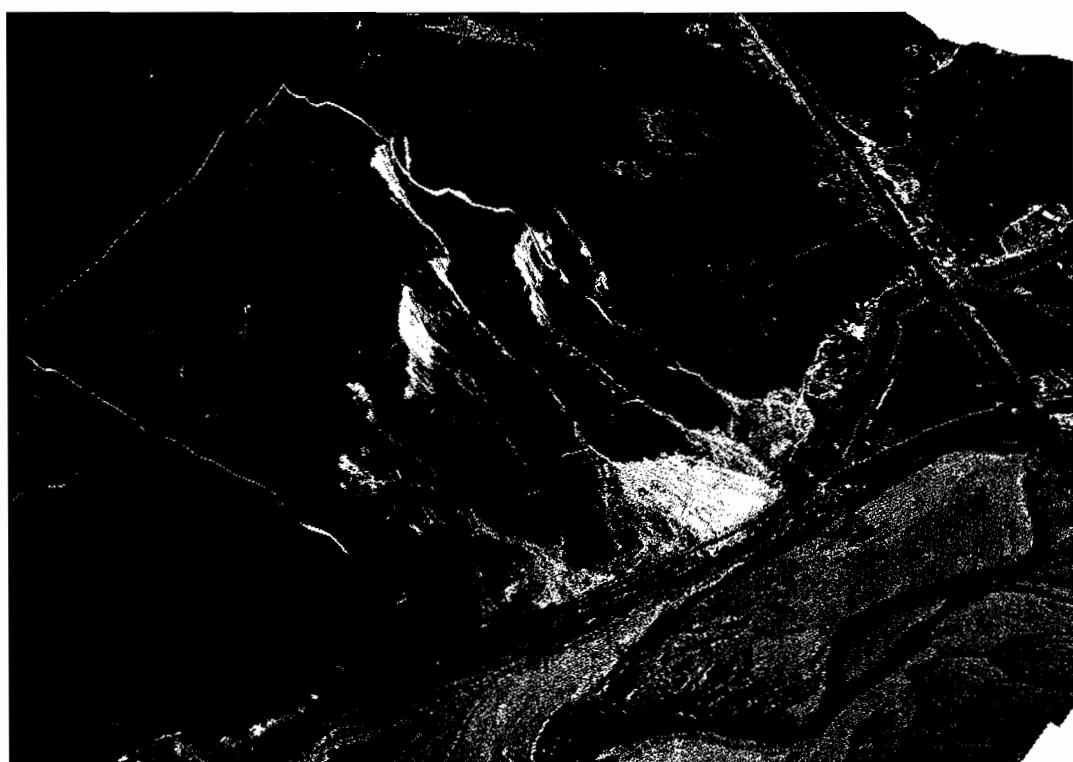


圖 6.30 民國 87 年火炎山立體影像

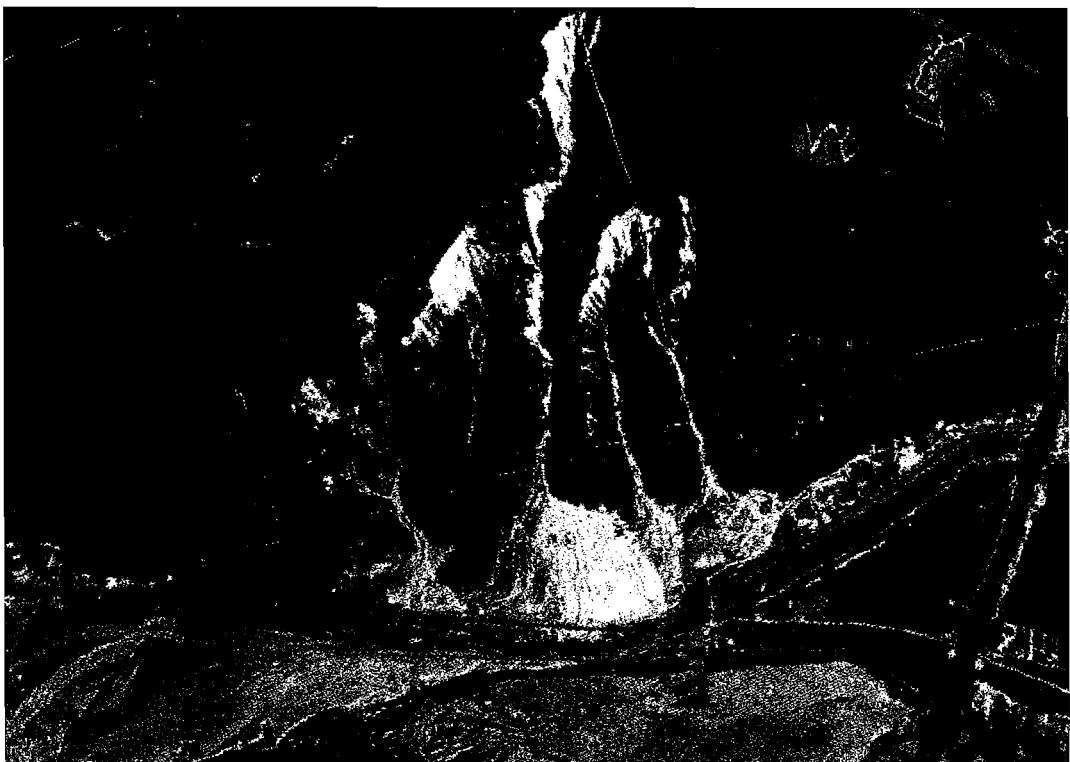


圖 6.31 民國 87 年火炎山立體影像

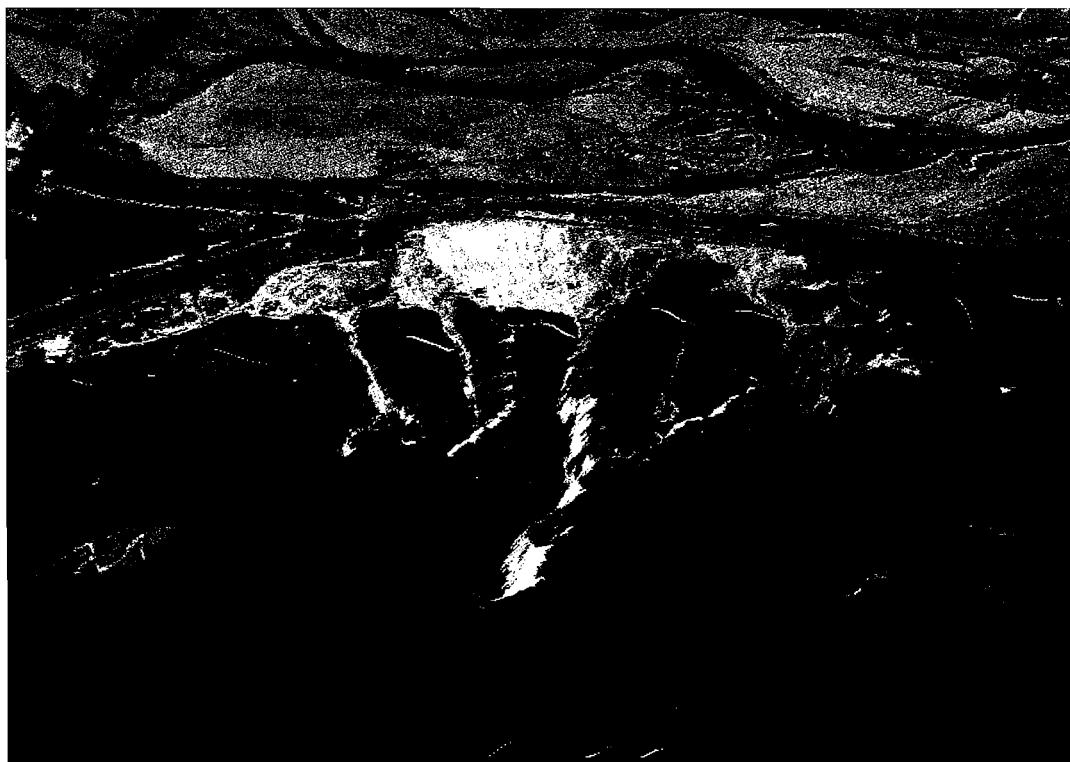


圖 6.32 民國 87 年火炎山立體影像

至 87 年度之影像，又可發現扇面上的覆蓋狀態有明顯變化，於 80 年度影像上有大面積植被覆蓋的二、三號扇面中間，在 87 年度的影像中已被堆積砂石與逕流流路取代，此區域也是此二年度間地形營力作用最強烈的空間，因扇面上其餘空間皆有部分植被生長，且逕流流路分佈也不如二、三號扇面中間此區域，其中四號扇面東側更有灌木分佈，顯示此區域長期沒有受到侵蝕或堆積作用影響，始能有灌木分佈。由扇面上植被分佈變化，顯示此十餘年間扇面空間變動幅度極大，唯四、五號扇面是相對安定的區域，變動程度不大。

至 91 年度之立體影像，在各子集水區後壁之裸露地與沖蝕溝有少部分的增加，但因 87 年度之影像為黑白色彩及受陰影影響故不容易觀察比較差異。而扇面上的變化程度依然極大，各扇面植被分佈明顯減少，三號扇面依然為變化最劇烈的空間，侵蝕堆積的區域與 87 年度影像中相反，三號扇面東側又轉為受影響小的區域，一、二號扇面為整體扇面穩定之區域，在 75 至 87 年之間變化程度小的四、五號扇面轉為侵蝕堆積劇烈的空間，原來於四號扇面東側灌木林生長的面積縮小，四、五號扇面上之逕流流路與堆積現象也明顯增加。

由 91 年度影像的分析與比較，發現扇面變動劇烈的空間有轉移的現象，由東側即一、二號沖積扇轉為四、五號沖積扇，而三號沖積扇則一直為變動劇烈的區域。

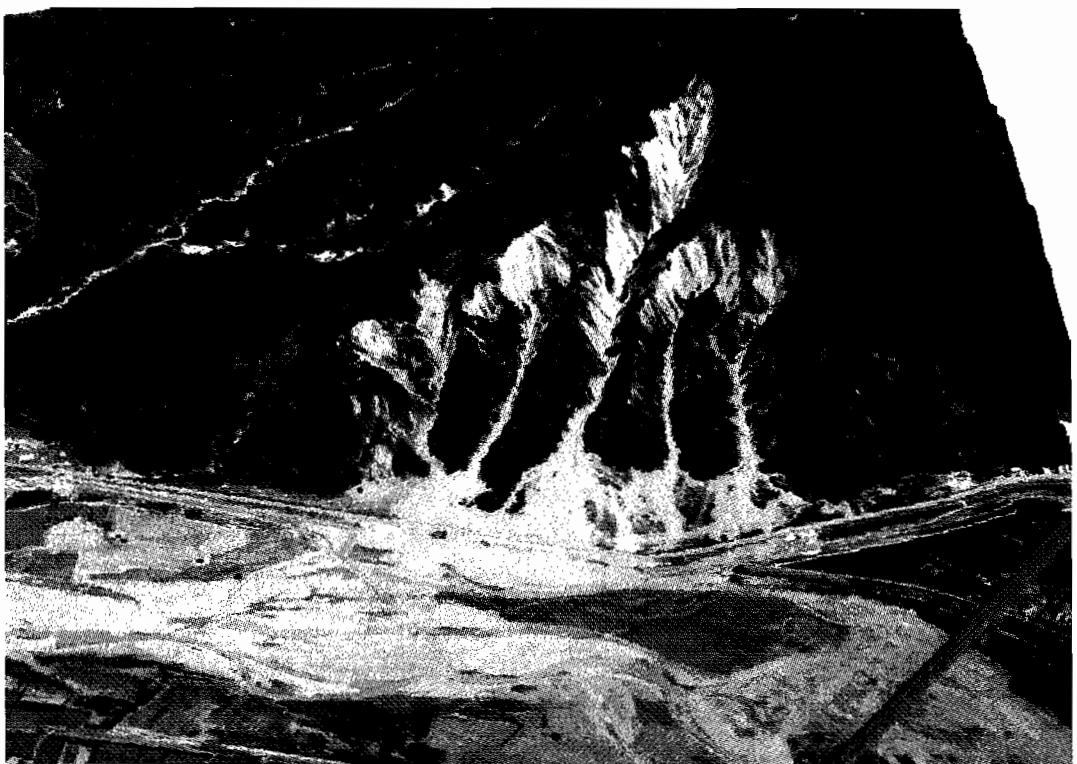


圖 6.33 民國 91 年火炎山立體影像

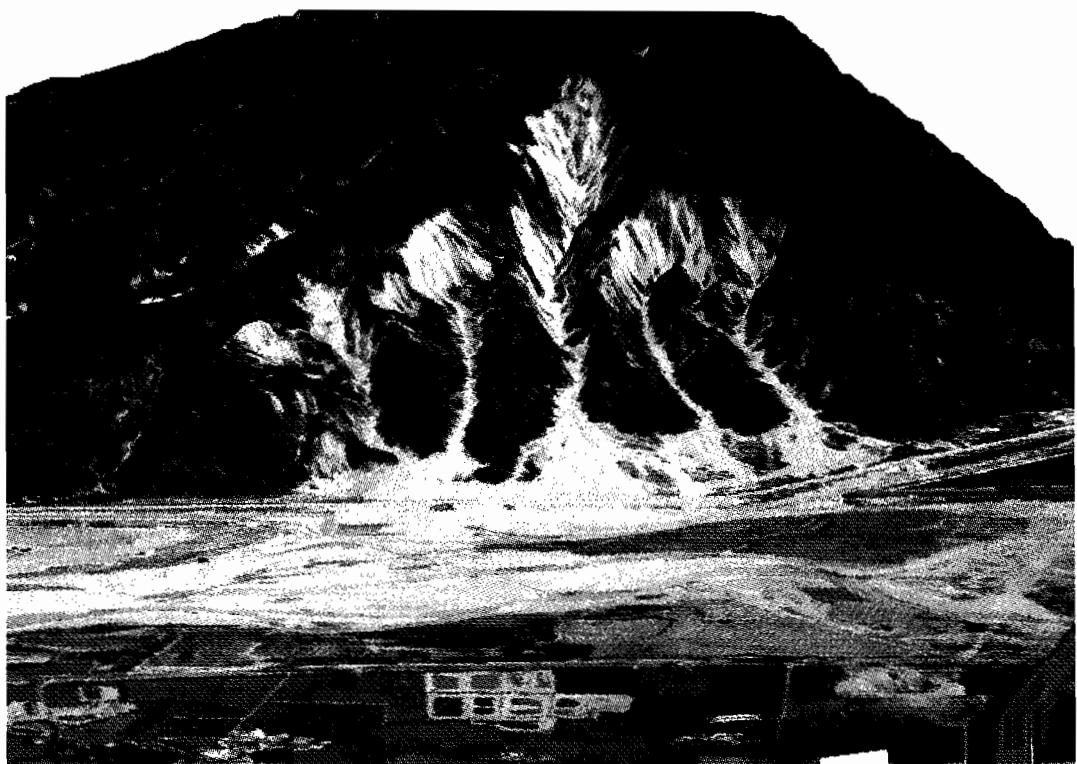


圖 6.34 民國 91 年火炎山立體影像

火炎山隧道於 93 年動工，在 94 年影像上可發現隧道主體分佈的位置，且因工程施工之故，扇面上大規模的整地修坡，而使扇面上受到破壞，植被分佈受工程影響主要施工區域幾無植被，且亦無法觀察逕流流路，因此無法判斷自然營力作用的程度及影響。但於各子集水區上游邊坡，與 91 年度之影像比較，卻可察覺裸露地的面積明顯增加。91 至 94 年度之間，有數個颱風侵襲（杜鵑、敏督利等），颱風所帶來的豪雨沖刷火炎山之邊坡，使原本膠結不佳的礫石崩落，也因此使得裸露地與沖蝕溝數量及面積增加。

這些裸露地上崩落的堆積物會反應於河道及沖積扇扇面的變化上，但由於隧道工程施工的進行，使扇面變化受到干擾而無法判斷上游崩塌物對區域內侵蝕、堆積作用的影響。

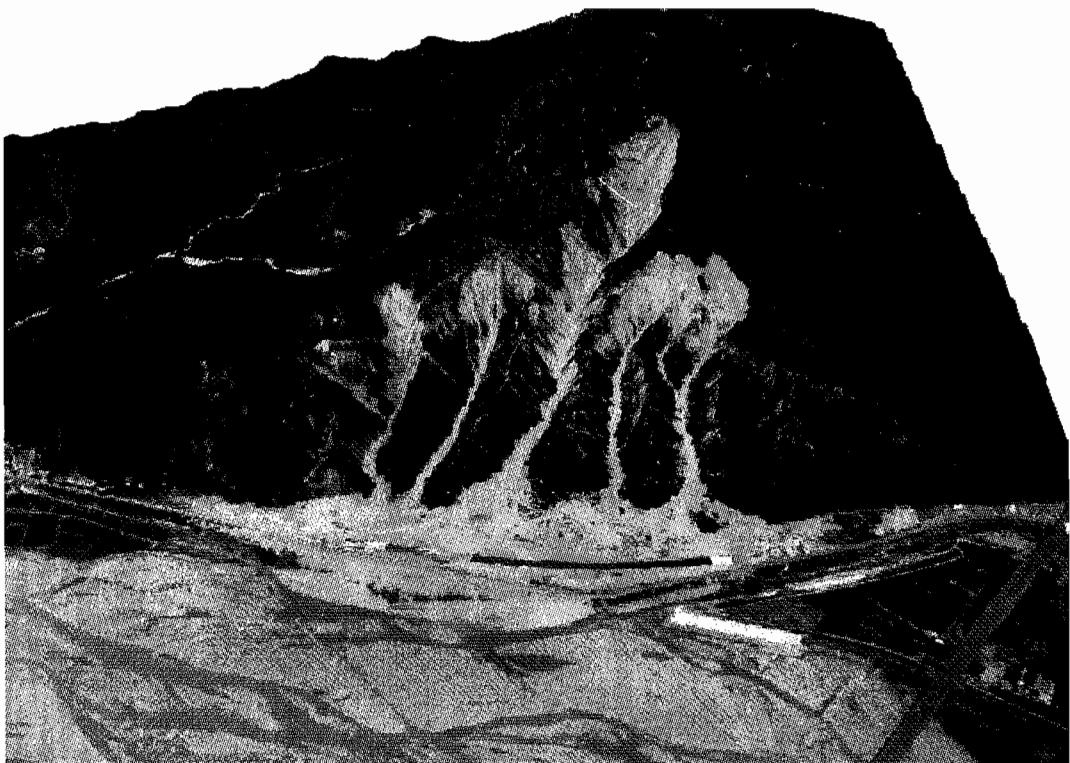


圖 6.35 民國 94 年火炎山立體影像

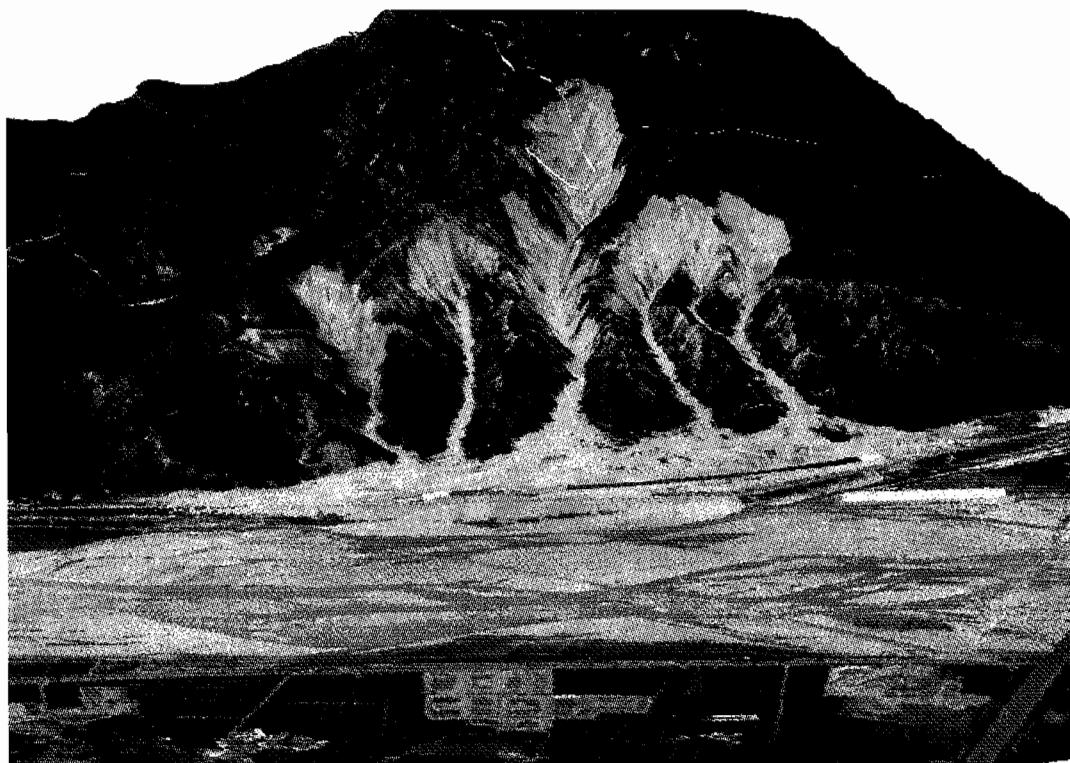


圖 6.36 民國 94 年火炎山立體影像

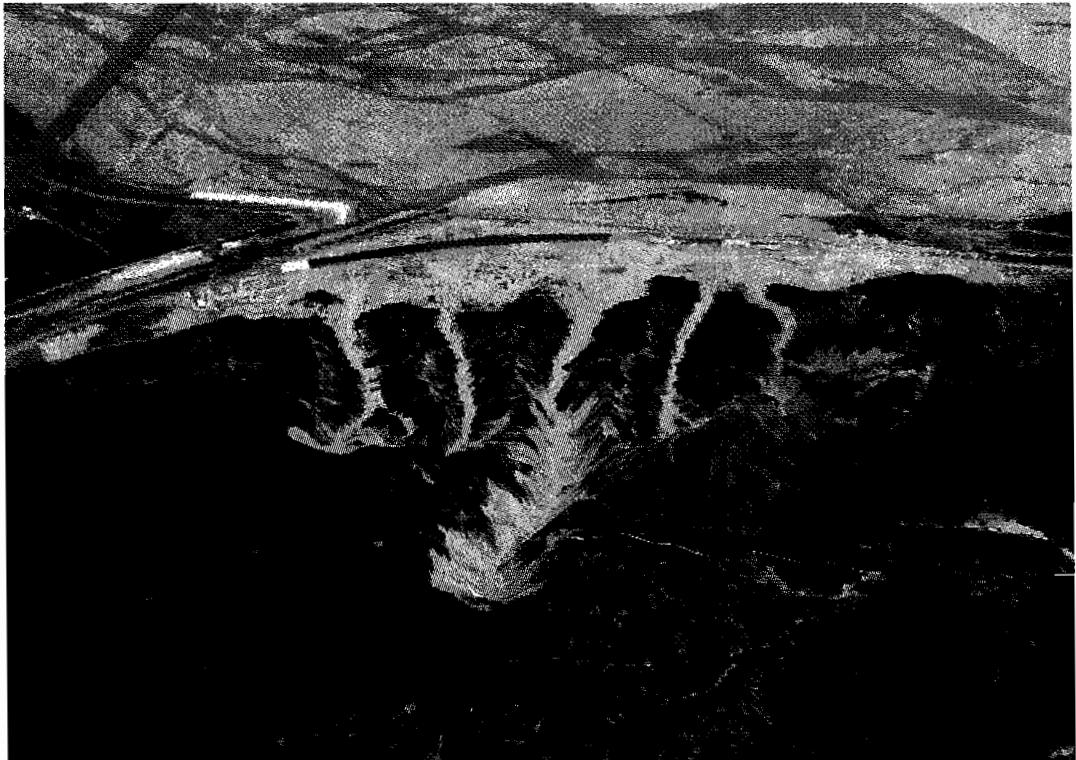


圖 6.37 民國 94 年火炎山立體影像

94 至 95 年度期間並無如往常一般的豪大雨事件侵襲火炎山地區，因此邊坡及河道侵蝕現象並不明顯，邊坡上的植被生長最直接反應侵蝕程度的減小。95 年影像（圖 6.39）中，各子集水區後壁邊坡上的植被覆蓋面積，均比 94 年影像（圖 6.37）中為多，植被面積增加最多的空間為一、二號子集水區上游邊坡與三號子集水區東側邊坡上。由此也發覺，火炎山地區植被受破壞後的復原程度，在八、九個月內無強烈侵蝕事件，便可有相當程度的回復。

在沖積扇扇面上，隧道主體已被土石所覆蓋，也可觀察到土石堤的位置。而過去苗 140 線道的位置，在隧道通車之後便無使用，線道東段也已有部分植被生長於其上。

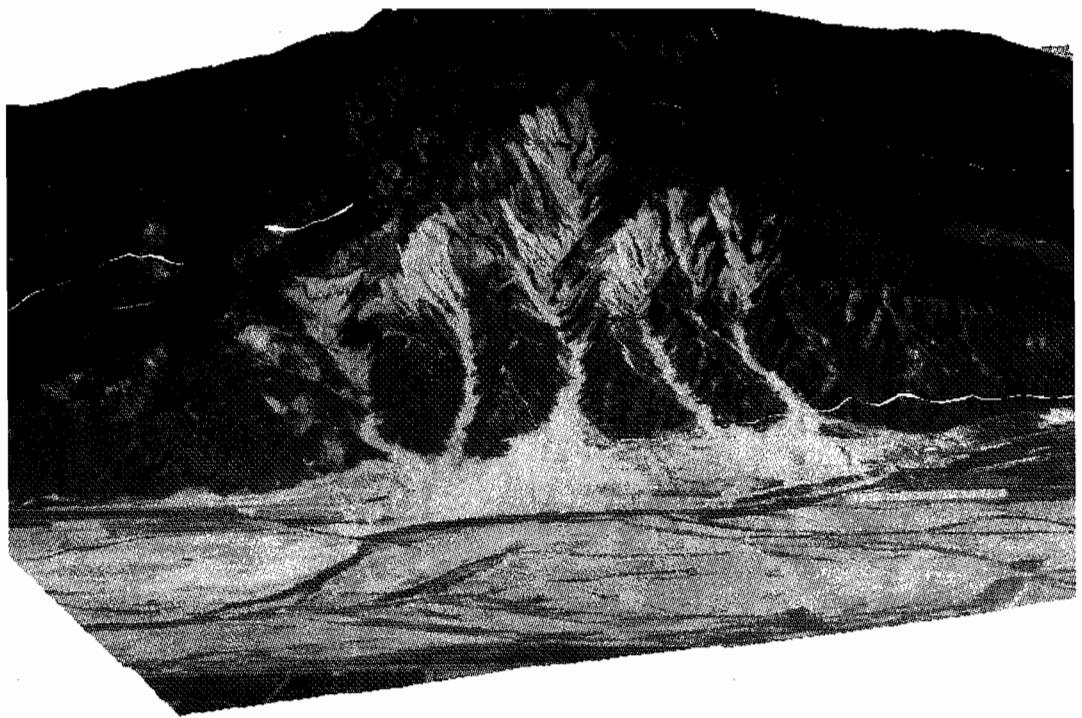


圖 6.38 民國 95 年火炎山立體影像



圖 6.39 民國 95 年火炎山立體影像

## (五) 降雨事件與降雨特性分析

### 1、75-91年豪大雨事件分析

火炎山集水區內的侵蝕與堆積物搬運移動，主要皆透過大量的降水以及所形成的逕流作用，在平時無降雨狀態，區域內呈現安定無變動的情形。因此本研究由經濟部水資源局所提供之資料，統計自民國 75 年至 91 年之豪大雨事件，並配合航照觀察，以有航照的年度作劃分，欲歸納出火炎山地區的降雨特性，提供地形變遷分析的輔助資料。依過去觀察經驗，當累積降雨量超過 100 公釐時，區域內之堆積物便會發生搬運作用，因此將超過 100 公釐的事件定義為豪大雨。

由表 6.1 所示，自民國 75 年至 91 年間，每年會產生一至六場豪大雨不等，每年發生豪大雨事件的平均值約在三場左右。其中民國 75 年至 80 年間，除 80 年之外，每年皆有三場以上的豪大雨，此段時間內豪大雨事件的總降雨量 3475.8 公釐。共 19 場的豪大雨事件中，包含五次颱風事件，颱風事件所產生之雨量平均比一般豪大雨事件為高，平均降雨量為 275.4 公釐，比一般豪大雨事件之平均值 149.9 公釐多出 125.5 公釐。

民國 81 年及 82 年，雖僅有二次颱風事件，且降雨量並不突出，但豪大雨事件比起往年為多，因此將這二年單獨區分分析。81 年共有六場豪大雨事件，包含二次颱風，總降雨量達 712 公釐，平均每場豪大雨降下 188.7 公釐；82 年則有四場豪大雨，總降雨量達 868 公釐，平均每場豪大雨降下 217 公釐。此二年之單場豪大雨降雨平均值皆大於 75 至 80 年中降雨量最多的 79 年，79 年平均單場降雨事件為 179 公釐。民國 83 至 87 年度中，86 及 87 年分別有五場及六場降雨超過 100 公釐的豪大雨事件，但單場降雨值不高，均在 100-160 之間。而 85 年的賀伯颱風所產生的降雨量就達 610 公釐，甚至高過 86 年所有豪大雨事件的總降雨量。民國 88 至 91 年度的豪大事件，以 90 年的二個颱風為主，桃芝及娜莉二次颱風事件分別降下 330 及 880 公釐的雨量，娜莉的總降雨量更超過賀伯所創下的單場事件最多總降雨之紀錄，而二次颱風為 90 年帶來 1210 公釐的降雨，比過去記錄中每一年皆高出許多。

回顧 75 至 91 年來火炎山地區的降雨事件，豪大雨之降雨平均值約在 100 多公釐，而颱風事件是降雨尖峰值產生主要的原因，最明顯的例子如賀伯及娜莉二次颱風事件。且分析降雨延時長短，除颱風事件之降雨時間會達四天之外，其餘之豪大雨事件在二至三日內即結束。

表 6.1 75-91 年火炎山豪大雨事件

颱風 名稱	日期	總降雨量* (公釐)	颱風及豪大雨 之總降雨量 (公釐)	固定時間內之 總降雨量 (公釐)
H ***	20-21 May 1986	174.5	3475.8	8209 ( 1 May 1986 ~ 30 Sep. 1991 )
H	6-7 Jun. 1986	134.5		
Wayen	21-25 Aug. 1986	213		
H	18-19 Sep. 1986	139.5		
Abby	16-20 Sep. 1986	120		
H	23-25 Mar. 1987	111.7		
H	24-25 Jun. 1987	187.6		
H	20-27 Jul. 1987	109		
H	20 Apr. 1988	137.1		
H	3-5 Apr. 1989	150.6		
H	25-27 July 1989	258		
H	22-24 Aug 1989	131.3		
Sarah	10-13 Sep. 1989	305		
H	19 Apr. 1990	102		
H	21-22 Apr. 1990	168		
H	9-10 Jun. 1990	162		
Ofelia	22-24 Jun. 1990	133		
H	3-4 Aug. 1990	133		
Yancy	16-20 Aug. 1990	376		
H	22-24 Jun. 1991	230		
H	9-11 Apr. 1992	142	1580	2978 ( 1 Oct. 1991 ~ 31 Jul. 1993 )
H	20-21 May 1992	105		
H	7-8 Jun. 1992	134		
H	7-8 Jul. 1992	100		
Polly	26-31 Aug. 1992	128		
Ted	21-23 Sep. 1992	103		
H	26-27 May 1993	154		
H	1-2 Jun. 1993	476		
H	5 Jun. 1993	120		
H	7-8 Jun. 1993	118		

表 6.1 (續) 75-94 年火炎山豪大雨事件

颱風 名稱	日期	總降雨量* (公釐)	颱風及豪大雨 之總降雨量 (公釐)	固定時間內之 總降雨量 (公釐)
H	2-4 May 1994	365		
Doug	6-8 Aug. 1994	146		
H	16-18 May 1995	135		
Deanna	5-9 Jun. 1995	173		
H	4-7 May 1996	219		
Herb	29-31 Jul. 1996	651		
H	21-22 May 1997	129		
H	17 Jul. 1997	106		
H	14-15 Aug. 1997	149		
Winnie	16-18 Aug. 1997	100		
Amber	27-29 Aug. 1997	126		
H	14-15 Jan. 1998	131		
H	18-20 Feb. 1998	131		
H	3-5 Jun. 1998	162		
H	7-9 Jun 1998	121		
H	25 Jun. 1998	166		
Zeb	14-16 Oct. 1998	123	265	969 ( 1 June 1998 ~ 31 May 1999 )
H	27-May-1999	142		
H	12-13 Jun. 2000	143	273	2189 ( 1 June 1999 ~ 31 Oct. 2000 )
Prapiroon	27-30 Aug. 2000	130		
H	20-21 Apr. 2001	110	1320	2776 ( 1 Nor. 2000 ~ 31 Mar. 2002 )
Toraji	28-31 Jul. 2001	330		
Nari	16-19 Sep. 2001	880		
H	6 Jul. 2002	100	678	2718 ( 1 Apr. 2002 ~ 31 Dec. 2004 )

\* 資料來源：經濟部水資源局 (<http://gweb.wra.gov.tw/wrweb>)

\*\* H：豪大雨事件（降雨量超過 100 公釐）

## 2、94 年 11 月至 95 年 10 月降雨分析

本研究設置之自計式測站，於 95 年 1、2 月因測站部分儀器損毀及電池沒電之關係，而 95 年 5、6 月則因資料損毀，故無氣象數據。

與過去降雨統計比較，近一年來火炎山地區降雨變化，在於 7、8 月份的降雨量明顯減少，特別是 8 月份只降下 10 公釐。表 3.1 的數據告知 7、8 月的雨量約佔全年的 26%，此外，由表 6.1 的統計得知 7、8 月份的颱風及其所帶來的豪大雨每每為火炎山地區帶來上百公釐的雨量，同時伴隨產生的大量逕流也是研究區內產生侵蝕與堆積的主要營力。但此年度之中 7、8 月份的降雨總和只有 198 公釐，與過去相較要少許多。而 4 月份的 219.6 公釐與 79-92 年的平均值 153 多出 66 公釐。

配合過去氣候統計資料，也發現火炎山地區的降雨雖然主要集中於夏季，但其降雨變率亦有很大的變動性，特別是月份別的降雨變率，在特殊情況下過去也曾發生夏季乾旱的情形。

表 6.2 94 年 11 月至 95 年 10 月降雨統計

時間	降雨(公釐)
94/11	3.6
94/12	0.6
95/3	101.8
95/4	219.6
95/7	188
95/8	10
95/9	83.4
95/10	0

## 七、結果與討論

- (一)目前已完成監視系統的架設，以監測隧道口土石堆積及土石流發生的問題。
- (二)持續進行氣候資料的收集以及儀器的更新維護。目前在集水區上方的測站增設太陽能板，在正常狀況下可持續提供測站的電力供應，避免過去電池電力耗盡測站便無法運作，而需經常更換電池的情形。
- (三)收集 94 年及 95 年航照，並完成數值地形資料的生產，進行沖積扇變遷分析。沖積扇高程變動侵蝕與堆積皆有，堆積作用主要集中於隧道主體及其上游兩側，其餘沖刷現象則零散分佈於扇面。但隧道完工至今未滿一年，且 94 年航照拍攝時隧道尚未完全完工，後期的工程填土或修坡在扇面上造成多少波動無法推估，因此扇面上的侵淤與高程變化無法完全歸於自然作用所影響；加上民國 95 年未有如過去幾年一般有多場的豪大雨事件侵襲火炎山地區，自然營力的侵淤作用在本年度研究中不甚明顯，工程施工對扇面的影響可能仍大過於自然營力之作用。
- (四)隧道設施與扇面變動之關係，由隧道體、土石堤及蛇籠的分佈位置顯示，堆積空間主要沿著隧道主體分佈，因此需考慮土石堆積是否對累積過大的壓力而超過隧道所能承受的應力，雖然此年度之間隧道上方土石堆積可能是因回填工程而產生，但未來此區域持續土石堆積的現象，確實有發生的可能，需要多加留意，並考慮是否要對扇面進行定期的清淤工作。而外側二道土石堤附近之堆積作用明顯，且位置又極為接近隧道二側出口，當土石持續堆積使高度高過於土石堤時，漫流過的土石對隧道口之安全具有相當程度的威脅，使隧道口有遭土石淹沒之慮，此空間應加強監控堆積情形的變化。
- (五)由河道及沖積扇剖面觀察火炎山集水區內地形高程的變動，在河道高程上互有侵蝕與堆積作用影響，一號子集水區河道上游部分有明顯的侵蝕現象，河道高程整體呈現降低趨勢，沖積扇面有部分堆積。二號子集水區河道則是以堆積作用為主，而扇面之侵淤現象則沒有太明顯的改變。三號子集水區之河道以侵蝕作用較為強烈，越往上游侵蝕作用越明顯，但沖積扇

面有堆積現象並無反應出上游劇烈侵蝕的結果。四、五號子集水區之河道則無明顯侵淤變化，河道之高程幾無變動，唯五號之河道有少幅堆積，但於五號扇面隧道主體附近，堆積作用卻明顯提高。五號沖積扇與三號扇面距離不遠，其堆積是否為三號子集水區所帶來，值得後續多加注意觀察。

(六) 觀察民國 59 年之航照影像，發現未經公路等人造設施影響的火炎山地區，沖積扇面受到大安溪溪水及河道的侵蝕、搬運，扇面面積遠小於今日所見的範圍。而在裸露地的分佈上，於此幅航照中已可查知各子集水區二側及後方邊坡部分已有裸露地廣布，但其中三號子集水區後方邊坡部分裸露面積少於現況，在當時多數表面還為植被所覆蓋。而公路興建後使得河水作用減小沖積扇的侵蝕，也因此讓沖積扇有較大的堆積空間並增加扇面範圍。

(七) 由立體影像觀察 20 年來火炎山地表地貌變化，沖積扇面變動為整體區域內最為明顯之處。植被覆蓋與否反應環境的穩定性，需有相對穩定無變動的區域始能有植被生長，而整體扇面的植被覆蓋空間變化極大，特別是三號沖積扇扇面，其面積為五個扇面中最大，而逕流流路與沈積物搬運堆積空間常呈現相反狀態而會有東西遷移的變化，當沈積物量過多時三號扇面會橫跨至其他四個沖積扇上，以四、五號沖積扇被侵佔的情形較為明顯。此外，94 至 95 年無特別強烈的豪大雨事件侵蝕火炎山地區，於 95 年影像上可發覺各子集水區後壁邊坡部分相較與 94 年影像已有大面積的植被出現，顯示此區域內之植被生長復原速度快，約一年時間便可有大面積的植被新生。

(八) 火炎山地區的降雨特性，由過去研究經驗發現當降雨量超過 100 公釐時便會使沈積物產生移動，因此定義豪大雨事件為 100 公釐以上之降雨。由統計得知火炎山地區每年約會產生一到六場不等的豪大雨事件，其中包含颱風事件。一般非颱風的豪大雨事件降雨量約在 100 至 150 公釐之間，而由颱風所產生之降雨量則高出此數值許多，如賀伯及娜莉二次颱風事件，單次降雨總量便可達 600 至 880 公釐，約是四到五場一般豪大雨事件的總量。此極端降雨事件的出現，對於區域內侵蝕作用應有明顯的影響，所受到的影響程度值得後續研究持續觀察。

## 八、建議

- (一) 94 至 95 年度豪大雨事件不如過去強烈，因此自然營力作用可能受到工程施工的影響而無法有明確的推估，而隧道興建之後對於火炎山自然保留區內所造成的反應，需有持續且長期的計畫作觀察，始能有明確的答案。
- (二) 隧道主體上方的土石堆積情形，值得管理單位密切注意，當土石堆積持續增加，隧道主體是否能夠承受而不會有結構上的破壞。當土石堆積達一定程度時是否要進行清淤工程，需多加考量。
- (三) 隧道兩側出口上方由高程變動發現有明顯的堆積現象，當土石累積高度超過土石堤時，勢必會對出口造成安全上的威脅，因此建議相關單位應考慮隧道延長的可能性，延長之範圍至少需達沖積扇之邊界。
- (四) 本研究已於東側出口處設置一影像監測系統，監看隧道東側出口頂部與上部沖積扇邊緣的土石堆積與變動情形。建議管理單位未來考慮於西側出口也架設另一影像監測系統，以瞭解西側出口土石堆積與流動的情形。
- (五) 本年度無強烈豪大雨事件，未來當豪雨發生時對於隧道的影響為何，值得後續密切觀察注意。
- (六) 隧道口可能受到掩埋，長度必須延伸。西口部分應延伸 300 公尺，東口則應延伸 200 公尺。如此才能避開未來土石掩埋困擾。
- (七) 隧道興建後對火炎山自然保留區負面的影響為若隧道上方持續堆積，會造成災害。正面的影響即提高道路行駛的安全性，同時也減少清除道路上堆積土石的困擾。

## 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. 林朝棨，1957，台灣地形，269 頁，台灣省文獻委員會。
4. 林朝棨，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. 林俊全，2003，火炎山地形變遷監測計畫(1)，行政院農委會林務局新竹林區管理處。
8. 林俊全，2004，火炎山地形變遷監測計畫(2)，行政院農委會林務局新竹林區管理處。
9. 林俊全，2005，火炎山地形變遷監測計畫(3)，行政院農委會林務局新竹林區管理處。
10. 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被群變遷之研究，國立臺灣大學森林研究所碩士論文。
11. 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。
12. 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。
13. 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。
14. 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。

15. 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。
16. 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。
17. 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。
18. 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。
19. 鄭村益，1993，三義火炎山自然保留區崩塌地變遷之研究，國立中興大學水土保持學研究所碩士論文。
20. 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。
21. Armstrong, A. C. and Whalley, W. B., 1985, An introduction to data logging, British Geomorphological Research Group, Technical Bulletin, No. 34.
22. Anderson, M. G. and Richards, K. S., 1987, Slope stability, John Wiley & Sons, 648p.
23. Blair, T.C. 1999. Alluvial fan and catchment initiation by rock avalaching, Owens Valley, California, *Geomorphology*, 28:201-221.
24. 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.
25. 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.
26. Field, J. 2001. Channel avulsion on alluvial fans in south Arizona, *Geomorphology*, 37:93-104.
27. 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.
28. 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.
29. Huang, C., Gascuel-Odoux, C. and Cros-Cayot, S. 2001. Hillslope topographic and hydrologic effects on overland flow and erosion, *Catena*, 46:177-188.
30. Martinez-Casasnovas, J.A. 2003. A spatial information technology approach for the mapping and quantification of gully erosion, *Catena*, 50:293-308.
31. Selby, M. J., 1993, Hillslope materials and processes 2th edit, 219-246.
32. Schumm, S. A. and Mosley, M. P. 1973, Slope Morphology, 238-327.
33. Young, A., 1972, Geomorphology Text 3 : Slope, 103-108.

## 十、期中報告意見回覆說明

	意見與建議	回覆說明
1	建議於隧道西口增設土石監看系統，如經費許可亦可增加土石監看系統數量。	本年度計畫無此預算，建議於下年度計畫執行。
2	監視器可使其旋轉以增加視角。	已設置完成。
3	相關監測技術未來應轉移林管處。	遵照辦理。
4	建議增加土石監測系統於被觸發警告訊號後，現場監測系統將資料傳回控管中心的頻度。	本年度計畫無此預算，建議於下年度計畫執行。
5	建議於計畫中購置監測系統與公路單位橫向聯繫的方式，並考慮於計畫中研究是否應延長隧道長度、觸發警告訊號後封閉或降低公路速限等可行性方案。	本年度計畫無此預算，建議於下年度計畫執行。
6	建議於計畫中加強討論因公路隧道的設置造成坡面基角改變，對於保留區動植物相、分佈的變化，滲透水變化，並預測未來景觀、地質、生物相之可能變化。	公路隧道設置的影響於報告中已有討論。
7	請將過去三年之成果及相關文獻加入。	遵照辦理。
8	報告中相關圖面應加註林班界。	已標於圖 3.1 之保留區範圍。
9	監測方式、沖積扇、集水區等應加以定義或使用合適之名詞。	遵照辦理。

## 十一、期末報告意見回覆說明

	意見與建議	回覆說明
1	根據本報告沖蝕溝剖面資料，在8、9、10條剖面中似乎有堆積高度增加的現象，與以往主要堆積在3~5條剖面中有所不同，此是否代表沖積扇堆積轉移現象？故建議如同期中報告建議，於隧道西口增設土石監看系統，俾便後續監測。	就剖面資料來看，由於今年度並沒有受到颱風的影響，整體而言堆積現象並不明顯，8、9、10條剖面堆積增加，是否受到興建隧道產生轉移，值得後續持續監測觀察，在將來颱風發生時，即可得到驗證。
2	攝影機的解析度是否確實足以提供分析？特別是雨霧等不佳天候時，是否會影響影像？在經費許可下，建議另參考不同光波的感測、與各式空中監測之資料來補強。	感謝委員提供建議。目前用此攝影監測方式是能紀錄災害發生狀況較經濟實用的方法。
3	有關100mm/hr引發土石流的觀測，建議再搭配地質狀況來佐證此一假說。	100mm/hr引發土石流的觀測資料是根據過去的雨量記錄及災害發生的時間資料歸納所得的結果。未來仍因密切注意相關資訊之比對。
4	建議在報告中說明公路隧道工程對火炎山自然保留區有正負面影響，與經營管理單位對前述工程相對因應之道。	遵照辦理於結論中說明。
5	部分名詞用語請洽委辦單位修正。	遵照辦理。
6	本計畫成果未來應由經營管理單位轉化充實「火炎山森林生態教育館」解說資料。	遵照辦理。