

目 錄

一、前言	5
二、研究背景	6
(一) 地形地質概況.....	6
(二) 氣候資料.....	7
(三) 火炎山隧道.....	8
三、研究目的	13
四、過去相關研究	14
(一) 保留區地形變遷.....	14
(二) 氣象資料與土石流災害分析.....	21
(三) 土石流影像監測.....	25
五、研究成果	30
(一) 氣象觀測.....	30
(二) 降雨警戒發報系統.....	38
(三) 監視器影像錄影成果.....	38
(四) 颱風即時影像監測.....	42
(五) 颱風降雨資料分析.....	47
(六) 現場調查.....	49
(七) 航照判釋.....	54
六、結語及建議	58
參考文獻	60
附錄一 期中審查意見及回覆	63
附錄二 期末審查意見及回覆	64
附錄二 歷年正射影像及航照	67

圖目錄

圖 1	火炎山自然保留區範圍.....	6
圖 2	火炎山地區地質圖.....	7
圖 3	火炎山隧道與保留區之位置分佈圖.....	9
圖 4	隧道設施分佈位置.....	10
圖 5	火炎山隧道興建工程圖.....	10
圖 6	火炎山隧道興建工程圖.....	11
圖 7	施工中的火炎山隧道口（拍攝日期：2005/4/5）.....	12
圖 8	完工的火炎山隧道（拍攝日期：2006/2/28）.....	12
圖 9	影像監測設施圖.....	16
圖 10	監測影像儲存系統.....	17
圖 11	2000-2005 年沖積扇面高程變動與隧道設施位置圖.....	17
圖 12	2005-2006 年沖積扇面高程變動與隧道設施位置圖.....	18
圖 13	火炎山隧道東口監視器架設位置（2007/9/12）.....	19
圖 14	火炎山隧道西口監視器架設位置（2007/9/12）.....	19
圖 15	西口影像監視器新架設位置（2008/10/15）.....	20
圖 16	火炎山隧道東口監視系統介面（2007/9/12）.....	20
圖 17	西口監視器新架設位置影像畫面（2008.10.27）.....	21
圖 18	火炎山自計式氣象測站 2007 年 6 月份日降雨量圖.....	22
圖 19	火炎山自計式氣象測站 2007 年 8 月份日降雨量圖.....	23
圖 20	火炎山自計式氣象測站 2007 年 10 月份日降雨量圖.....	23
圖 21	隧道西口前風雨交加（5：37 分）.....	25
圖 22	隧道前方開始有泥流產生（5：39 分）.....	26
圖 23	泥流溢流至路面（5：40 分）.....	26
圖 24	風雨逐漸減緩（6：00 分）.....	26
圖 25	泥沙堆積在隧道口，汽車無法通行（6:10 分）.....	27
圖 26	警車到隧道前方觀察狀況（6:50 分）.....	27
圖 27	風雨逐漸變小，可清楚看到隧道口堆積沙石（8：00 分）.....	27
圖 28	挖土機正在清理堆積的沙石（9：50 分）.....	28
圖 29	卡車正在搬運隧道口堆積的沙石（10：56 分）.....	28
圖 30	挖土機持續在進行清理泥沙（11:34 分）.....	28
圖 31	持續清理，已開放一線道通行（16：49 分）.....	29
圖 32	火炎山氣象測站 2008 年 1 月溫溼度及降雨統計圖.....	31
圖 33	火炎山氣象測站 2008 年 2 月溫溼度及降雨統計圖.....	31
圖 34	火炎山氣象測站 2008 年 3 月溫溼度及降雨統計圖.....	32
圖 35	火炎山氣象測站 2008 年 4 月溫溼度及降雨統計圖.....	32
圖 36	火炎山氣象測站 2008 年 5 月溫溼度及降雨統計圖.....	33

圖 37	火炎山氣象測站 2008 年 6 月溫溼度及降雨統計圖.....	33
圖 38	火炎山氣象測站 2008 年 7 月溫溼度及降雨統計圖.....	34
圖 39	火炎山氣象測站 2008 年 8 月溫溼度及降雨統計圖.....	34
圖 40	火炎山氣象測站 2008 年 9 月降雨統計圖.....	35
圖 41	火炎山氣象測站 2008 年 10 月降雨統計圖.....	35
圖 42	火炎山氣象測站 2008 年月雨量統計圖.....	36
圖 43	2008 年 7 月 18 日卡玫基颱風火炎山測站降雨量比較圖.....	37
圖 44	2008 年 9 月 14 日辛樂克颱風火炎山測站降雨量比較圖.....	37
圖 45	隧道西側外沖積扇尚未開挖的景觀（2007/12/9）.....	39
圖 46	隧道西側外沖積扇工程進行情形（2007/12/17）.....	39
圖 47	隧道西側外沖積扇工程進行情形（2007/12/23）.....	39
圖 48	隧道西側外沖積扇工程完成（2008/1/11）.....	40
圖 49	隧道西側外沖積扇挖掘工程進行（2008/1/17）.....	40
圖 50	隧道西側出口處堤防興建前後照片比較圖.....	41
圖 51	卡玫基颱風前後隧道東、西口處影像監測.....	43
圖 52	2008 年 9 月 14 日 16 時辛樂克颱風前影像.....	44
圖 53	2008 年 9 月 14 日 19 時辛樂克颱風影像.....	45
圖 54	2008 年 9 月 14 日 19 時 30 分辛樂克颱風時影像.....	45
圖 55	2008 年 9 月 15 日 0 時辛樂克颱風時影像.....	45
圖 56	2008 年 9 月 15 日 5 時辛樂克颱風時影像.....	46
圖 57	2008 年 9 月 16 日 14 時辛樂克颱風後影像.....	46
圖 58	卡玫基颱風降雨量統計圖.....	47
圖 59	辛樂克颱風降雨量統計圖.....	48
圖 60	隧道西側外的砂石車便道與土石堤（2008/4/22）.....	50
圖 61	隧道西側外的砂石車便道和隧道口（2008/4/22）.....	50
圖 62	三號子集水區沖積扇面，土石挖掘工程所在位置（2008/4/22）.....	51
圖 63	三號子集水區沖積扇面，土石挖掘工程正在進行（2008/4/22）.....	51
圖 64	五號子集水區河道流路與遠方的辦公所（2008/4/22）.....	52
圖 65	辛樂克颱風後隧道東口土石堆積情況（2008.9.19）.....	52
圖 66	2007 年隧道東口處照片（2007.9.19）.....	53
圖 67	2008 年辛樂客颱風後隧道東口處照片（2008.10.09）.....	53
圖 68	隧道西口航照影像對照圖.....	55
圖 69	隧道上方航照影像對照圖.....	56
圖 70	隧道東口航照影像對照圖.....	57
圖 71	1986 年正射化影像.....	67
圖 72	1991 年正射化影像.....	68
圖 73	1998 年正射化影像.....	69
圖 74	1999 年正射化影像.....	70

圖 75	2000 年正射化影像.....	71
圖 76	2001 年正射化影像.....	72
圖 77	2002 年正射化影像.....	73
圖 78	2004 年正射化影像.....	74
圖 79	2005 年正射化影像.....	75
圖 80	2006 年正射化影像.....	76
圖 81	2008 年 6 月 10 日航照.....	77
圖 82	2008 年 9 月 17 日航照.....	78

表目錄

表 1	大坪頂雨量測站 1990-2003 歷年月份別雨量統計表	8
表 2	火炎山隧道 2007 年 3 次泥石流災害降雨比較表.....	25
表 3	颱風降雨量比較表	48

一、前言

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。

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。火炎山地區由於受到地表侵蝕作用，往往在颱風豪雨後，會在沖積扇外緣的道路淤積大量土石，因此公路單位於 2005 年在沖積扇下方興建一隧道。由於這個隧道正位於火炎山的坡腳下，將來礫石在堆積時，除了從隧道上方通過外，是否會側向延伸至隧道口？這個隧道將來保留區所沖刷下來的泥沙堆積的模式，是否造成隧道口的封閉及不可預期的生命財產損失，值得進行觀察監測。

本計畫運用航空測量的方法，以農林航空測量所提供的航空照片，經過正射化產生立體相對後，計算地形的變化量與下游沖積扇堆積的情況，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，以此來推測礫石堆積對下方公路與隧道工程的影響，希望由監測所得資料，以窺探保留區內土石流之變化，並藉由所得資料，擬訂適當防災機制，以提高苗 140 線公路上之人車安全。同時本計畫所收集的相關資料，將來也可做環境教育的參考資料。

過去本研究在隧道東、西口設置即時觀測攝影系統，並於 2007 年 10 月 7 日觀察到土石流事件，並記錄下從事件發生至土石清淤完畢的經過。本年度計畫除了持續收集氣象資料與即時影像測錄之外，將設置具有訊號回傳功能的氣象觀測站，藉由降雨量的值達一定量時發送訊號至研究室，告知可能發生土石流事件。此外，苗栗縣政府於 2007 年年底開始於保留區外的沖積扇面進行土石開挖，本研究亦將針對土石開挖是否影響保留區內的地形變化作評估。

二、研究背景

本區研究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）線可通往國道三號的通霄/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 1986 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 1 所示。

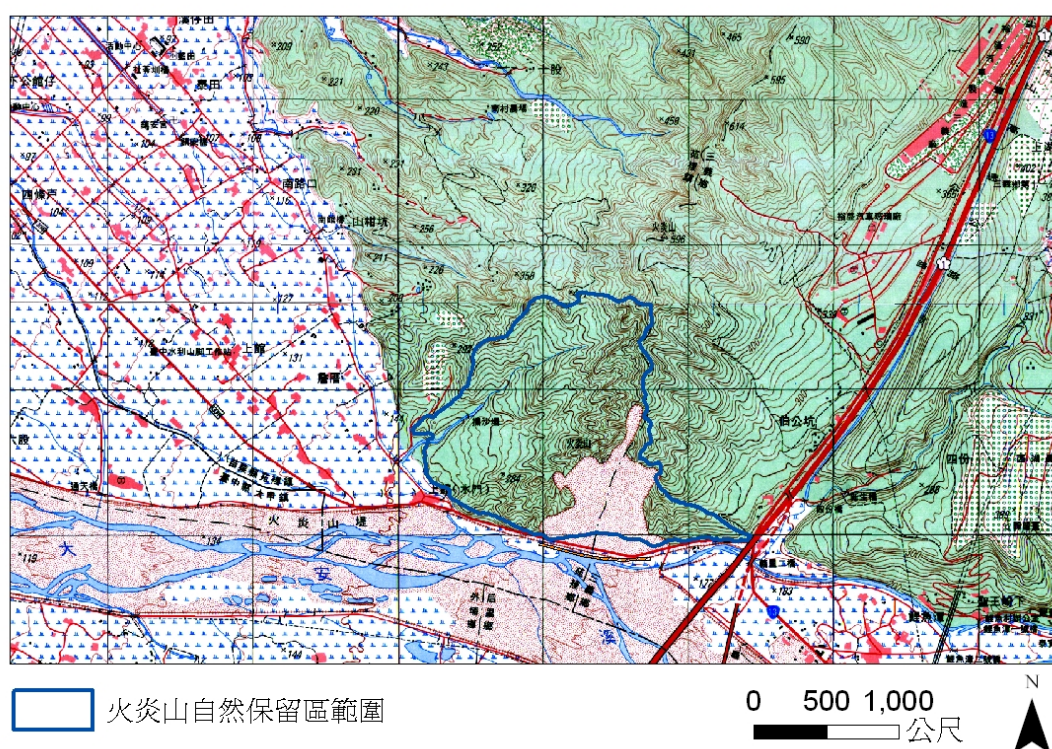


圖 1 火炎山自然保留區範圍

（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 2）。

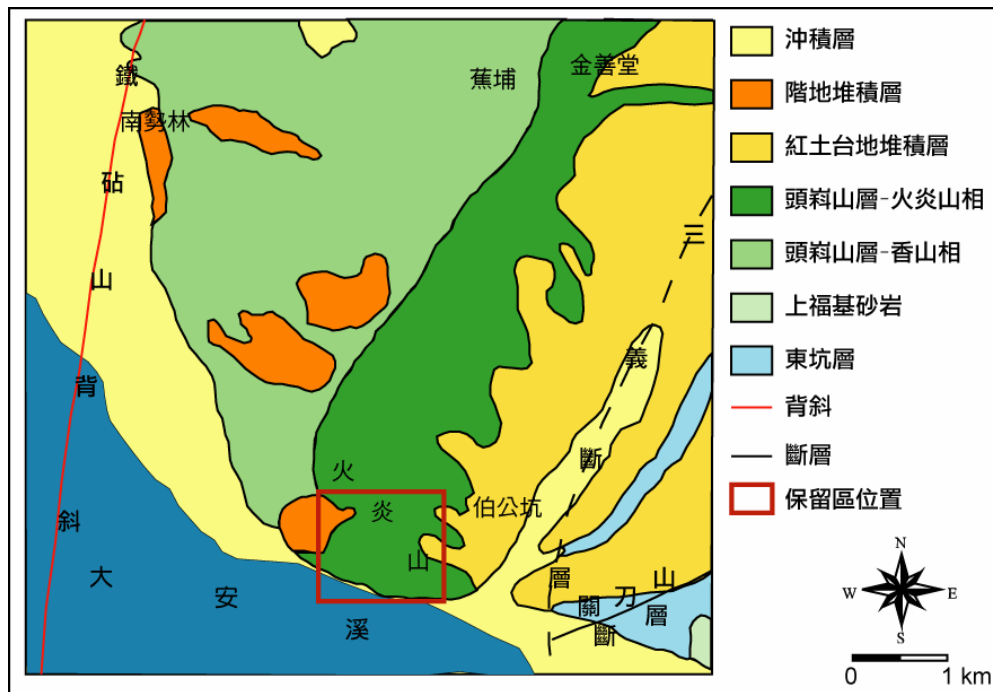


圖 2 火炎山地區地質圖

（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 1）。

表 1 大坪頂雨量測站 1990-2003 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 線道，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 2004 年年中起開始，迄 2005 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。目前已於 2005 年底驗收完成，2006 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（圖 3～圖 8）。

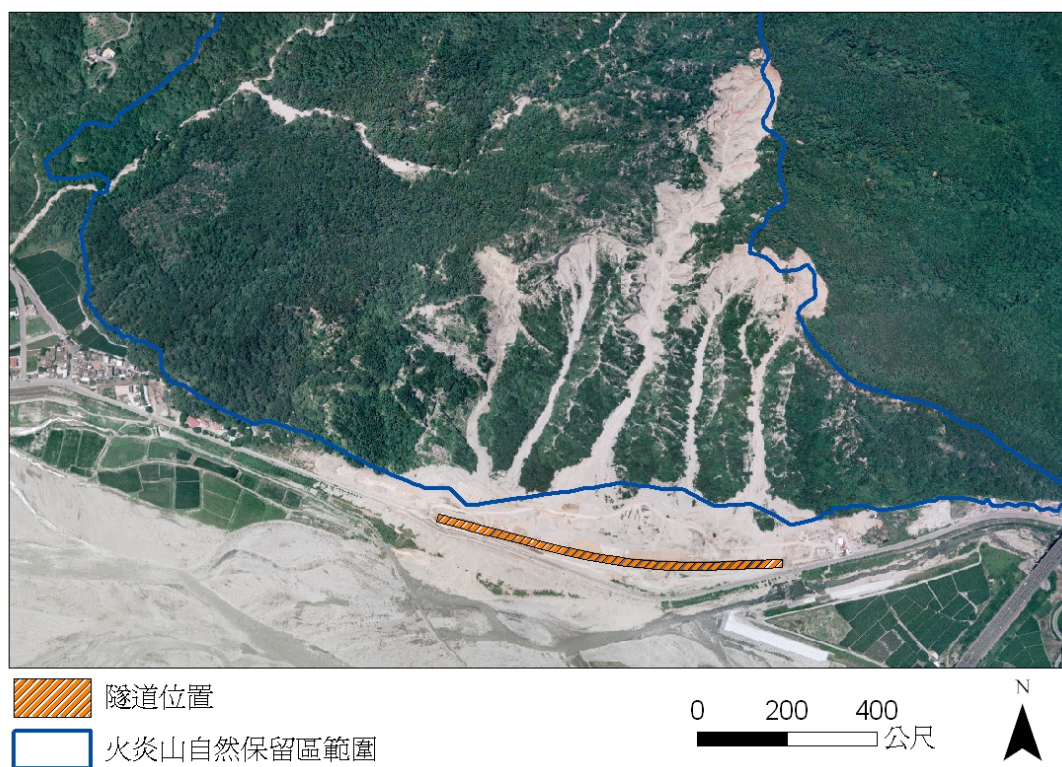


圖 3 火炎山隧道與保留區之位置分佈圖

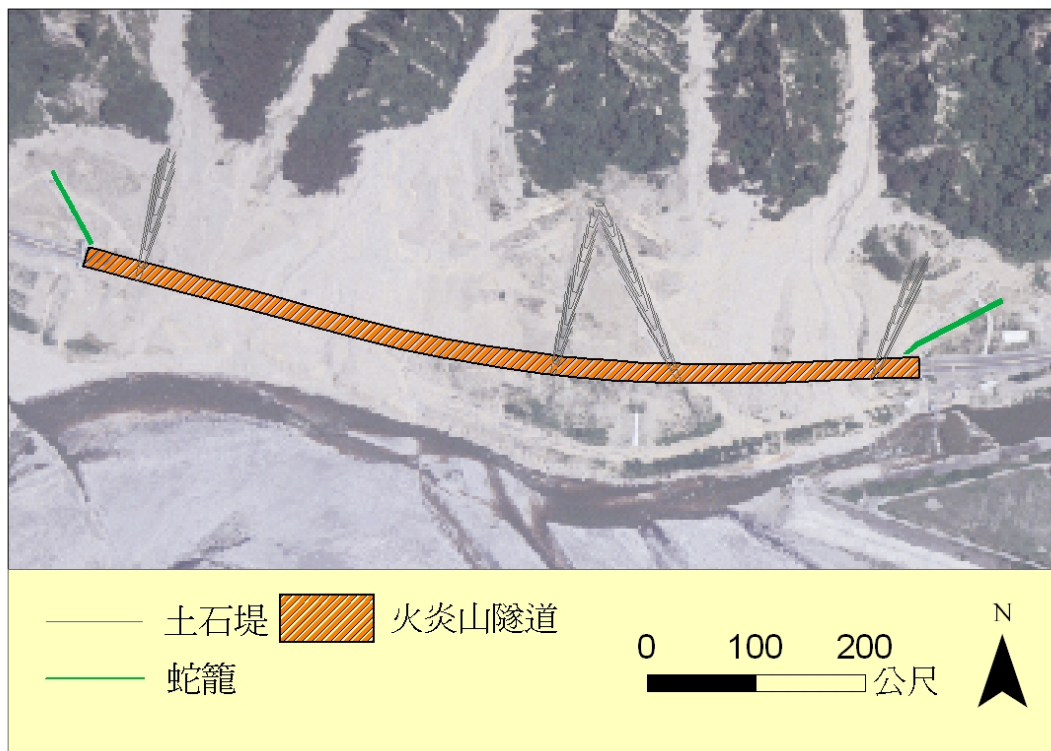


圖 4 隧道設施分佈位置

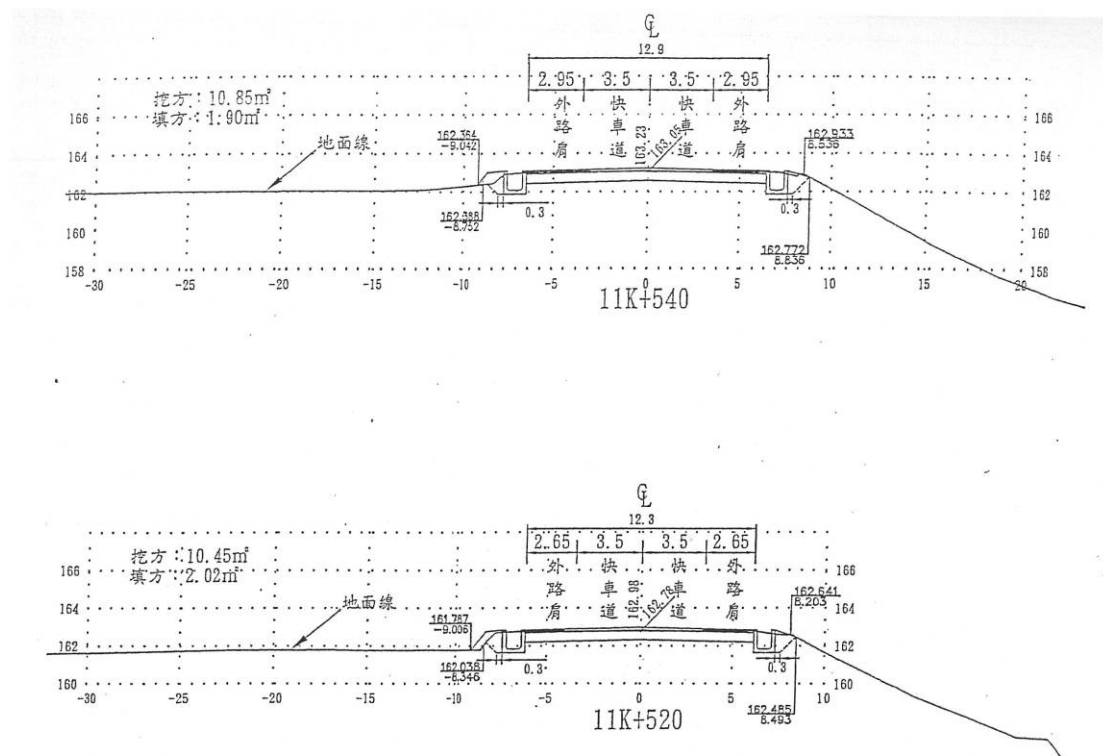


圖 5 火炎山隧道興建工程圖（資料來源：元裕工程技術顧問有限公司）

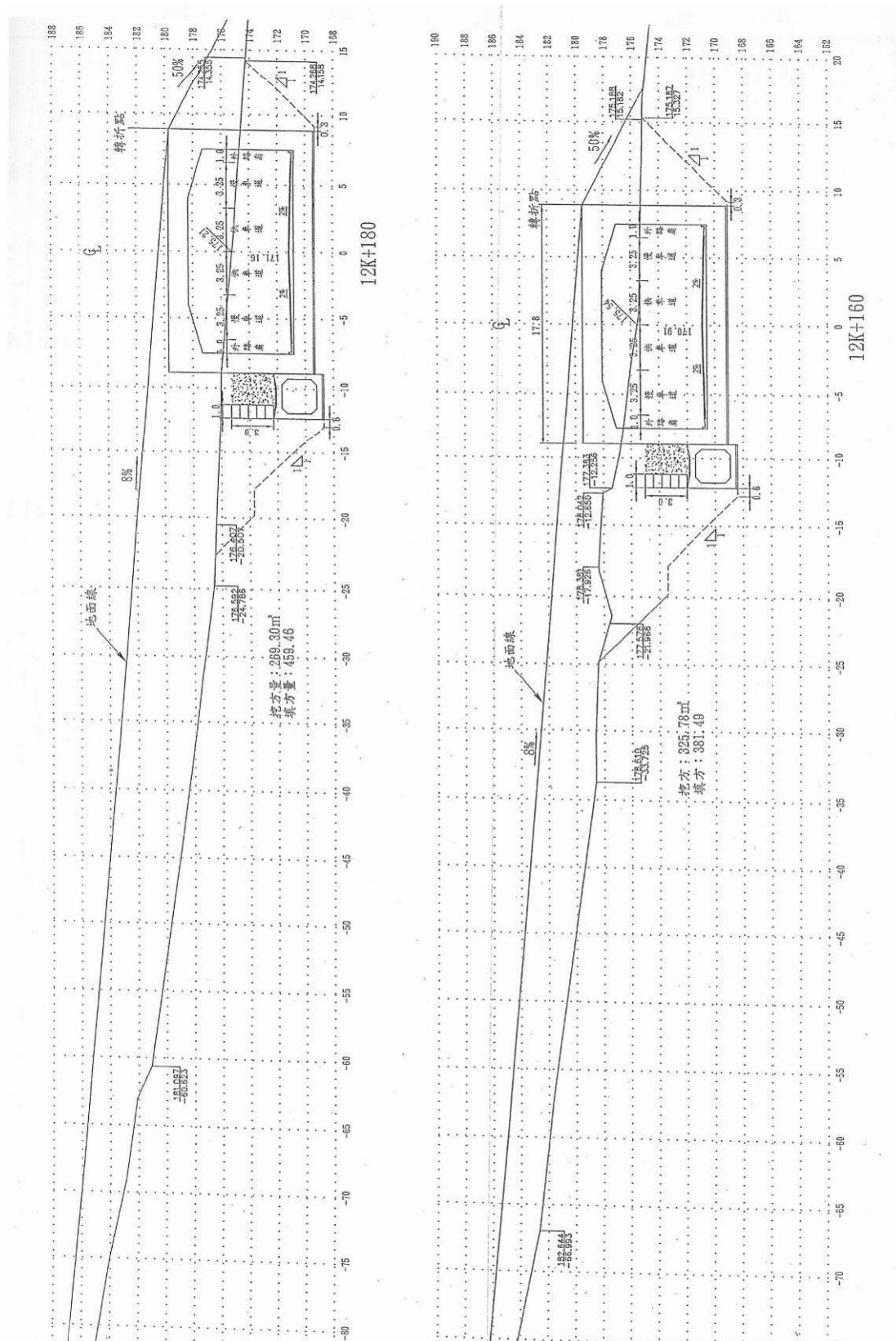


圖 6 火炎山隧道興建工程圖（資料來源：元裕工程技術顧問有限公司）



圖 7 施工中的火炎山隧道口（拍攝日期：2005/4/5）



圖 8 完工的火炎山隧道（拍攝日期：2006/2/28）

三、研究目的

利用航照資料及現場調查資料來進行研判，觀察礫石堆積的模式是否發生改變，並同時監測颱風豪雨對自然保留區的影響。

因此預計要完成的項目有：

本年度計畫執行項目

- (一) 利用航空照片並進行觀察土石堆積的情形
- (二) 觀測沖積扇面挖掘工程對保留區地形變化的影響
- (三) 設置雨量發報系統，並討論降雨閾值與土石流發生的關係
- (四) 持續收集氣象與即時影像監測資料

四、過去相關研究

（一）保留區地形變遷

農委會林務局新竹林區管理處 2003 年至 2005 年委託林俊全教授進行「火炎山自然保留區地形變遷監測」三年的研究計畫，以農航所航空照片來建立數值地形模型（DTM），產出網格精度為 5 公尺的 DTM，作為地形變遷之分析。從研究中發現，在地形的變遷中，火炎山自然保留區常常因為颱風造成地形大規模發生改變。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。1991 年～2002 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。1986 年～2002 年間，以 2002 年的變遷幅度最大，主要的原因是受到 2001 年的桃芝颱風及納莉颱風影響。

在沖積扇地貌變遷，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 2001 年納莉颱風），則所有的集水區都會有反應發生。以下為歷年數值地形資料分析的結果：

1. 1991 年:3 號集水區左側沖積扇經計算結果，約比 1986 年高了 10 公尺以上，平均一年堆高達到 2 公尺。
2. 1992~1993 年，在 3 號~5 號集水區沖積扇的最外側，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。
3. 1999 年: 3 號集水區出沖積扇往左側改道，在下游堆出新的沖積扇。這次的變化情況較小，主流河道移動的距離不若前幾次這麼大，也沒有造成其他的新河道。5 號集水區沖積扇發生的情況也很類似，影響範圍小、沒有大型氾濫的痕跡。
4. 2002 年: 由於納莉颱風帶來的充沛雨量（880 公釐）1、2 號集水區堆高了約 5 公尺，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，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（1986 年時開始堆積）的穩定土石堆沖破。

2005 年年底隧道興建完成後，為了瞭解隧道對火炎山自然保留區的影響，林俊全（2006）利用航空攝影測量的方法，進行數值地形資料的生產，同時在隧道東側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；並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。

2006 年度則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。在地形監測方面，完成民國 2005 年及 2006 年數值地形資料的產出，本研究所取得的 2005 年的航照影像，為隧道正在施工時所拍攝，而 2006 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變化分析。

研究 2005-2006 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 2005 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，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清淤工程，以維護隧道主體結構，保障隧道口免受土石流之威脅，及行經此路段之人車安全。隧道口長度必須延伸。西口部分至少應延伸 350 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。



圖 9 影像監測設施圖

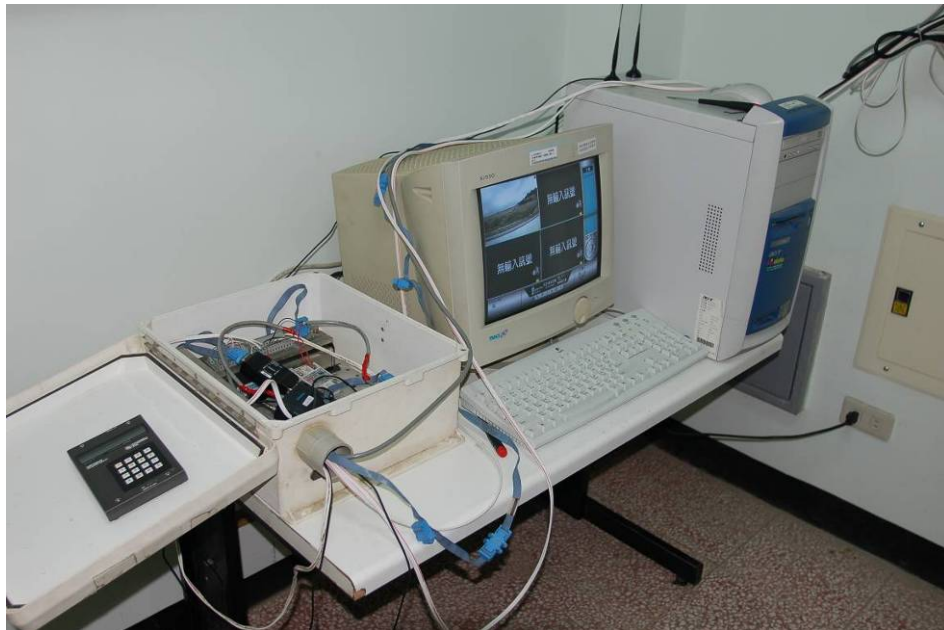


圖 10 監測影像儲存系統

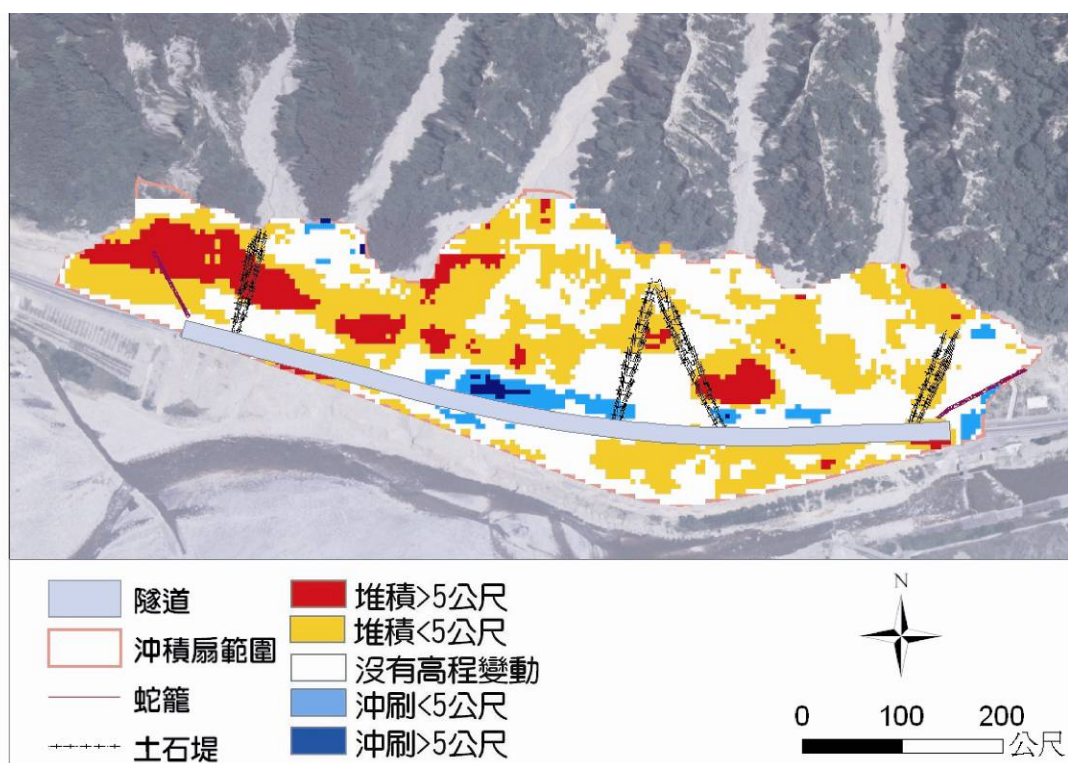


圖 11 2000-2005 年沖積扇面高程變動與隧道設施位置圖

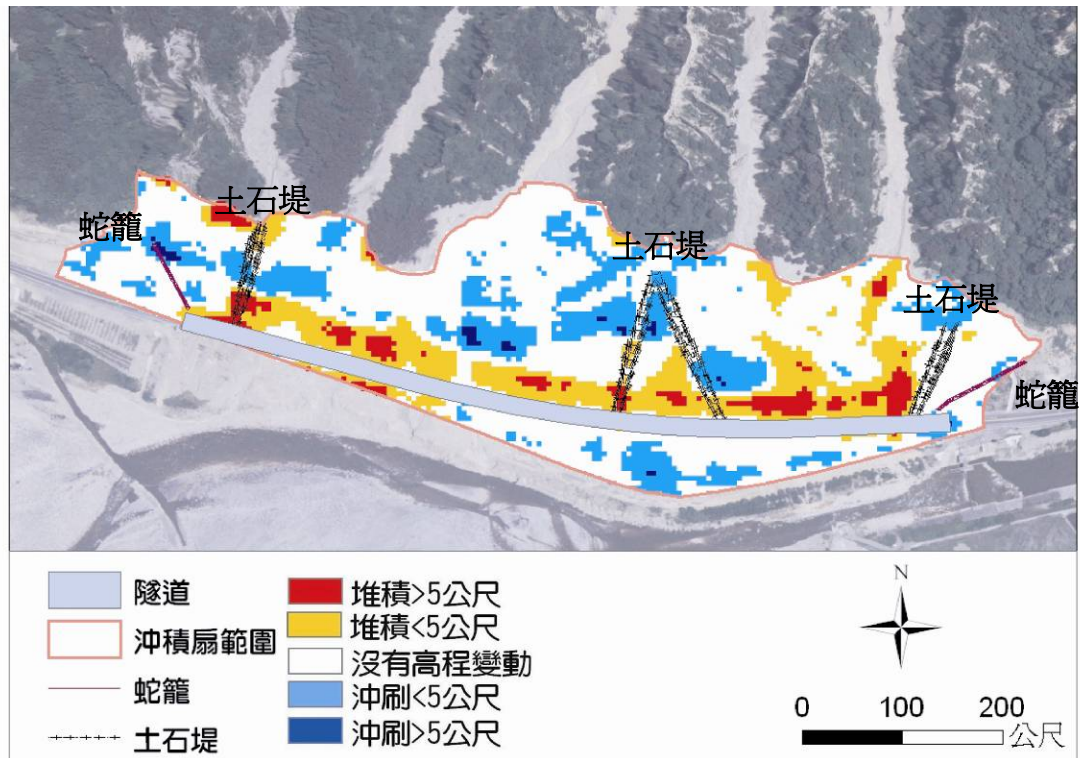


圖 12 2005-2006 年沖積扇面高程變動與隧道設施位置圖

本計畫第一年度的研究成果，在火炎山隧道東、西口處各架設一台影像監視器，來監測隧道上方土石堆積的情形。過去曾經在隧道東口架設監視攝影機，但資料僅能記錄在遠端電腦上，無法達到即時監測的功能，因此本年度在東口處申請專線，以撥接的方式進行連線，東口正式開始紀錄影像時間為 2007 年 8 月，西口正式紀錄時間為 2007 年 9 月。

已經完成之隧道東口遠端監視系統的建置（圖 13），可透過一般電腦進行遠端的監視，本區由於地點較偏僻，目前採用 256K/64K 的寬頻連線，因此在連線時速度較慢，連線方式只要在電腦網址輸入連線的 IP 位址（目前暫時設定 IP 位址為 <http://219.87.249.240/>），即可進行遠端監測，介面如圖。

隧道西口處監視系統設備已初步架設完成（圖 14），影像已在錄製當中。在遠端連線方面，本計畫採用 3.5G 的傳輸方式進行監測，以 2100 的 3G 寬頻路由器，配合 4140 去傳送一攝影機訊號，此監視器曾於 2007 年 10 月 7 日觀察到土石流事件。

在 2007 年 10 月 7 日土石流事件發生後，苗栗縣政府在隧道西口處興建堤防，原本西口監視器的觀察沖積扇堆積的狀況，已被土堤遮擋住，因此必須移動監視器架設的位置，以持續觀察沖積扇的堆積狀況。目前已將監視器的位置改架設在隧道西口的上方，架設時間為 2008 年 10 月 15 日，持續監測西口處土石堆積的狀況。



圖 13 火炎山隧道東口監視器架設位置（2007/9/12）



圖 14 火炎山隧道西口監視器架設位置（2007/9/12）



圖 15 西口影像監視器新架設位置（2008/10/15）

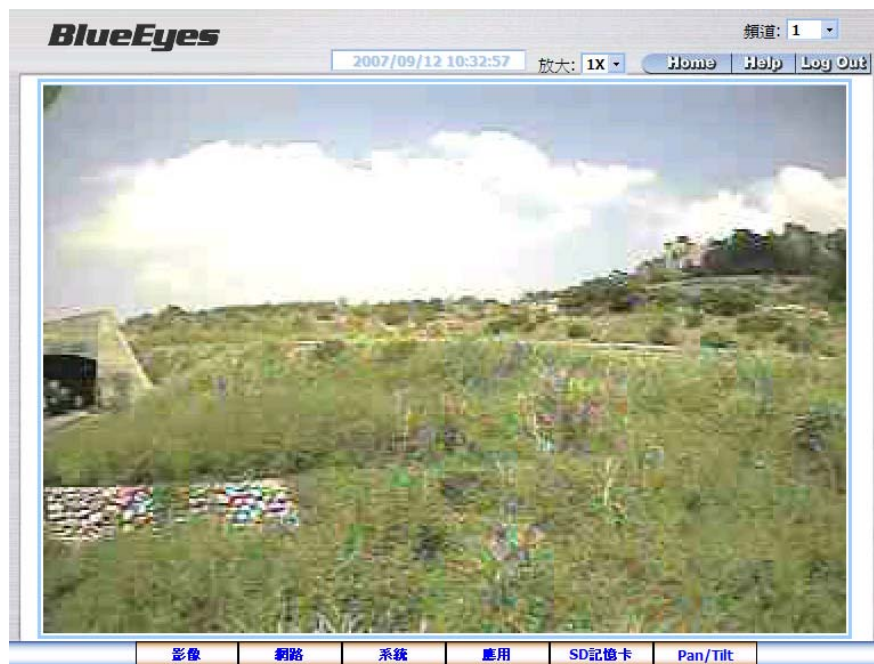


圖 16 火炎山隧道東口監視系統介面（2007/9/12）



圖 17 西口監視器新架設位置影像畫面（2008.10.27）

（二）氣象資料與土石流災害分析

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。林俊全(2004)分析經濟部水資源局所提供之資料，統計自民國 1986 年至 2002 年之豪大雨事件，並配合航照觀察，以有航照的年度作劃分，歸納出火炎山地區的降雨特性。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。

2007 年 6 月 3 日至 10 日之間，受到鋒面影響，連續性的降下大雨，於 10 日傍晚 6 點多，中苗六線火炎山隧道口發生土石坍方，長約 70 公尺的路段被土石淹沒，土石泥流覆蓋在隧道口馬路上，造成雙向交通中斷。

由 2007 年 6 月 3 日至 10 日之間降雨量初步分析，四號集水區的降雨量較東側出口測站略高，顯示火炎山地區降雨量在空間分布的不均勻，而集水區內的降雨略高於平地之降雨。

在 6 月 10 日的一場降雨事件(日降雨量 29.2mm、時降雨強度 19.6mm)，造

成火炎山土石滑落，此降雨雖然為驅動此次災害的事件，然而必須考慮此事件之前的前期降雨與土壤含水量。在 6 月 3 日至 10 日的累積雨量為 417.2 mm，其中 6 月 8 日雨量最大，日降雨量達 114.6 mm，最大時雨量達 28.4 mm，但是仍然沒有造成集水區下游造成立即的災害，但此時可能已造成造成礫石之間的縫隙含水量達到飽和，而在 6 月 10 日的一場降雨事件，雖沒有 6 月 8 日降雨事件大，卻造成災害的發生。由此事件顯示，災害發生前累積降雨所造成礫石之間的縫隙含水量達到飽和，火炎山地區累積降雨量達 114.6 mm 以上之後，再經過一次較強的降雨事件，極可能造成火炎山地區之災害。

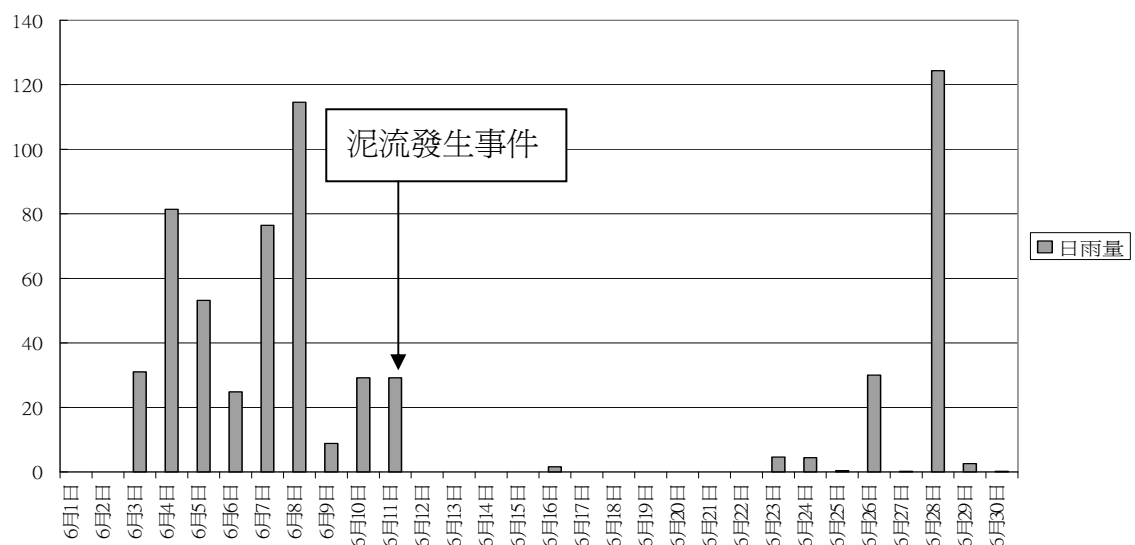


圖 18 火炎山自計式氣象測站 2007 年 6 月份日降雨量圖

苗栗縣於 2007 年 8 月 18 日晚上大雨不斷，通往台中的苗 140 線火炎山明隧道 19 日清晨 5 時許因土石泥流滾滾而下，封阻隧道，公路總局緊急派員搶修，5 小時後排除，但隧道口的泥漿很滑，車輛都減速慢行。

從雨量記錄來看，18 日當天日降雨量僅 11.6mm，計算 17 日 0 時開始降雨至 19 日 5 時泥流發生前的累積降雨量為 19mm，最大時雨量在 18 日 18 時，降雨強度 9.2mm。此次的降雨事件雨量並不多，但卻造成泥流的災害，本研究認為主要原因為前幾天 8 月 10 日至 14 日的降雨，5 天內共累積 255.6mm 的雨量，最大日雨量為 12 日達 107.6mm，超過 100mm 的假設閥值，當時並沒有明顯災害

產生，但那幾天的降雨使得礫石層間的含水量達到飽和。因此 18 日與 19 日的短暫的降雨，就造成泥流溢流的現象產生。

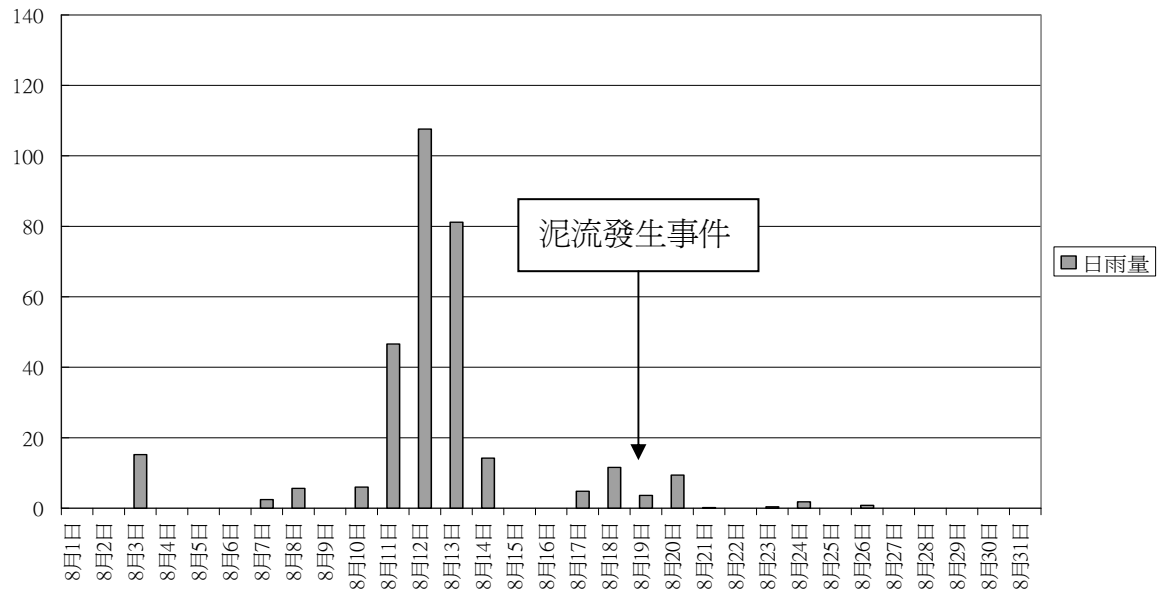


圖 19 火炎山自計式氣象測站 2007 年 8 月份日降雨量圖

2007 年度降雨時數最長發生在 10 月 6 日至 7 日，連續兩天的降雨，最大時雨量發生在 10 月 6 日下午 4 時，降雨強度 32mm。這兩天的降雨將近降雨量將近 300mm，造成本區隧道西口處發生土石崩落堆積的災害。

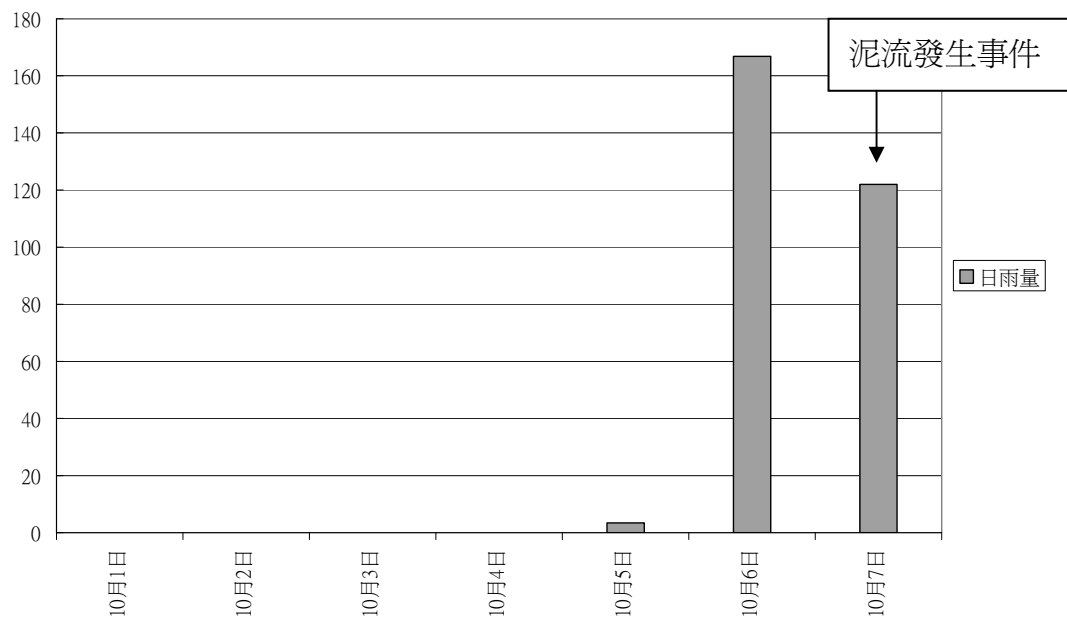


圖 20 火炎山自計式氣象測站 2007 年 10 月份日降雨量圖

從 2007 年 6 月及 8 月所發生的土石流災害事件來看，發生的情況相當類似，都是經過兩次降雨事件，且第一次降雨事件中最大日雨量均超過 100mm，在間隔 10 天內後第二次的降雨事件才發生災害，泥流產生時的降雨量並不是很多。10 月 7 日所發生的災害事件，則與前兩次不同，本次降雨在兩天內累積降雨量就將近 300mm，使得土石流宣洩不及，越過隧道旁的蛇籠，造成西側隧道口土石淤積的現象。目前就這 3 次泥沙發生事件與氣候資料比較如表，並將觀察說明如下：

1. 本次單場降雨量超過 100 公釐，造成土石流動，與過去四年的觀測結論仍然吻合。然而此次的土石流動受到降雨強度以及降雨延時的影響，應該值得繼續觀察。
2. 本次的泥沙沖刷，主要在第三個子集水區（由高速公路往西算去），河道沖刷約 1-2 公尺深。以及第五子集水區，沖刷河道約六公尺，刷深約 3-5 公尺。沖刷至隧道西口的泥沙顆粒以泥沙為主，影響公路長度約 70-100 公尺。第五子集水區的泥沙在將來有可能繼續沖刷，也勢必繼續造成隧道口的威脅。建議隧道口向西擴建延伸 350 公尺。同樣的，隧道東口也應該向東延伸 200 公尺，以預為防範。
3. 第三子集水區的泥沙可以越過隧道上方，並沒有造成災害。
4. 在可見的未來，建議除了繼續土石流動觀測外，如果隧道沒有能立即延伸，應在保留區範圍外，也就是隧道口附近增設蛇籠，導引礫石往西流動，避免對隧道口立刻造成淹沒的威脅，以避免不必要的行車危害。

表 2 火炎山隧道 2007 年 3 次泥流災害降雨比較表

災害發生時間	2007 年 6 月 10 日 6 時	2007 年 8 月 19 日 5 時	2007 年 10 月 7 日 5 時
最大日降雨時間	6 月 8 日	8 月 12 日	10 月 6 日
最大日降雨量	114.6mm	107.6mm	166.8
最大降雨強度	28.4mm	56mm	32mm
災害發生前累積 雨量	417.2 mm	274.6mm	192mm
災害發生前 10 小時內 最大時雨量	24mm	9.2mm	23mm

（三）土石流影像監測

本研究於隧道西口的土石流影像監測，記錄到於 2007 年 10 月 7 日柯羅莎颱風發生的土石流事件，以下將本次發生的過程說明如下：



圖 21 隧道西口前風雨交加（5：37 分）



圖 22 隧道前方開始有泥流產生（5：39 分）



圖 23 泥流溢流至路面（5：40 分）



圖 24 風雨逐漸減緩（6：00 分）



圖 25 泥沙堆積在隧道口，汽車無法通行（6:10 分）



圖 26 警車到隧道前方觀察狀況（6:50 分）



圖 27 風雨逐漸變小，可清楚看到隧道口堆積沙石（8：00 分）



圖 28 挖土機正在清理堆積的沙石（9：50 分）



圖 29 卡車正在搬運隧道口堆積的沙石（10：56 分）



圖 30 挖土機持續在進行清理泥沙（11:34 分）



圖 31 持續清理，已開放一線道通行（16：49 分）

五、研究成果

（一）氣象觀測

本研究持續收集火炎山自計式氣象測站資料，目前資料累積 2008 年 1 月到 10 月，如圖 30 至 35。1 月 24 日至 4 月 22 日由於溫濕度計損壞，故無溫濕度資料，雨量計維持正常運作，上半年降雨資料收集完整。

1 月份的總降雨量為 8.4 mm，分佈零星不集中，每半小時的降雨量皆小於 1mm，在 1 月 26-29 日有明顯的降雨。溫度在 1-7 日平均溫度在 20°C 左右，最低溫出現在 3 日的午夜 12:30，為 7.46°C。每日的濕度變化範圍大，從 40-100%。

2 月份的總降雨量為 26.8 mm，集中在 3-7 日，另外在 22-23 日有零星的降雨。3 月份的總降雨量為 36.6 mm，7 日和 16 日單日有明顯的降雨，24-26 日的每半小時降雨強度可達 3 mm，在這 3 天之內共有 11.8 mm 的降雨。

4 月份的總降雨量達 28.4 mm，集中於 1-4 日及 28 日。溫濕度計於 22 日修復後開始記錄溫濕度值，單日濕度起伏大，從 30-90%之間。25 日最低溫僅有 13.26°C，出現在清晨的 4:30，但最高溫已突破 30°C，在 26 日的中午 1:00，日夜溫差變化大。

5 月份的降雨量明顯增加，總共降下 108.8 mm。5 日和 29-30 日有降大的降雨出現。單在 5 日的降雨 59.8 mm 便佔 5 月份總降雨量的一半，在 5 日早上的 9:30-10:00 和 10:00-10:30 此二時段之內，降雨量分別為 11.4 mm 和 12.8mm，即在這一小時之內總產生 24.2 mm 的雨。29、30 日共有 26.4 mm 的降雨，每半小時的降雨量介於 0.2-7.4 mm 之間。5 月份的溫度多數時間皆高於 20°C，最低溫 16.12°C 出現於 12 日的午夜 12:00；在日間的高溫達 31.5°C，最高、低溫比 1 月和 4 月高。

6 月份的氣象資料 2-4 日之間的降雨量為 19.2 mm，每半小時最大降雨量為 2.6 mm。溫度值皆高於 20°C，最高溫 35.03°C 出現於 11 日的中午 1:00。6 月的溫度為上半年（1-6 月）最高。

上半年的降雨量略低，分佈時間分散。7 月之後開始進入颱風季節，7 月及 9 月月雨量分別達 406 公釐及 798 公釐，主要是受到颱風影響使得降雨量增加。其中在 9 月 14 日的辛樂克颱風造成本區隧道東口處造成土石堆積災害，本計畫將分析降雨與土石流災害之間的關係。

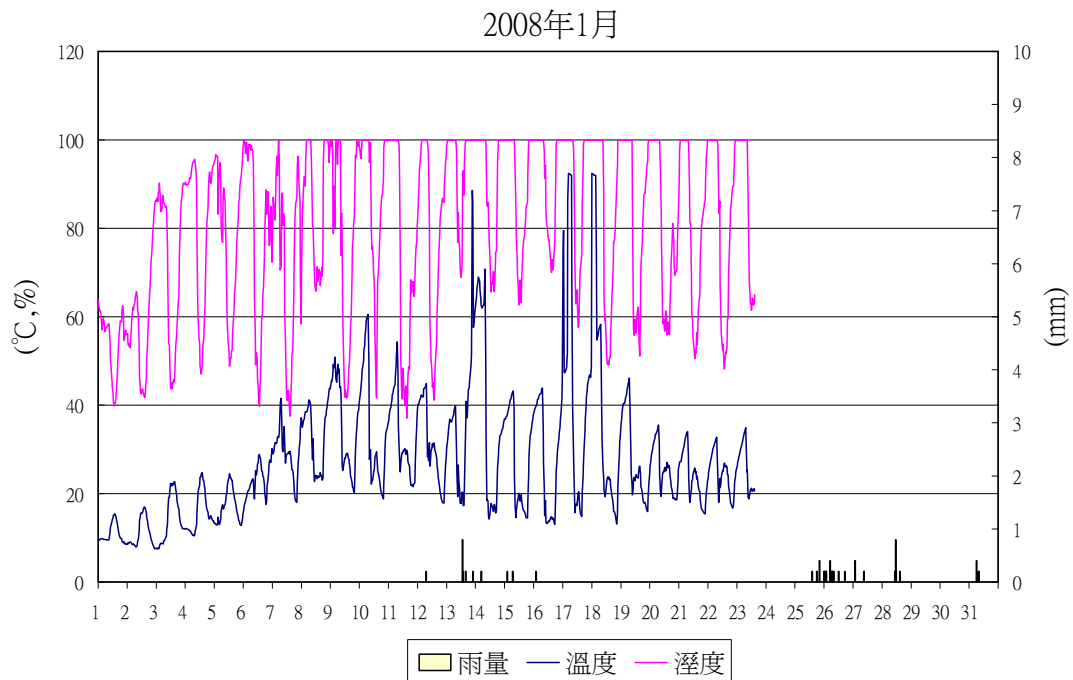


圖 32 火炎山氣象測站 2008 年 1 月溫溼度及降雨統計圖

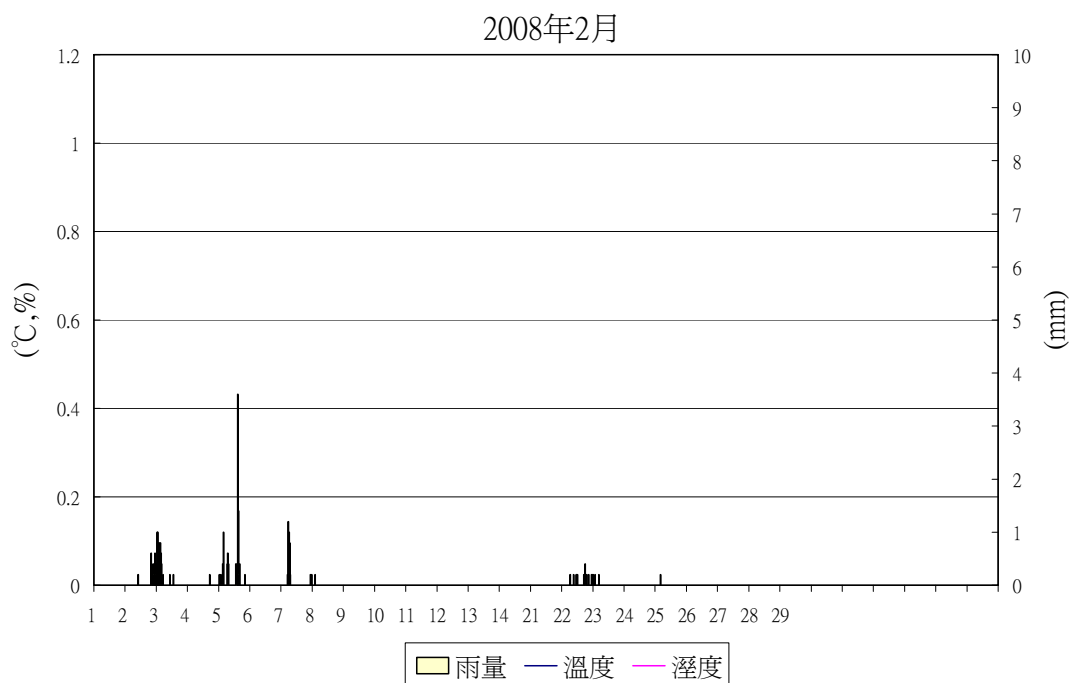


圖 33 火炎山氣象測站 2008 年 2 月溫溼度及降雨統計圖

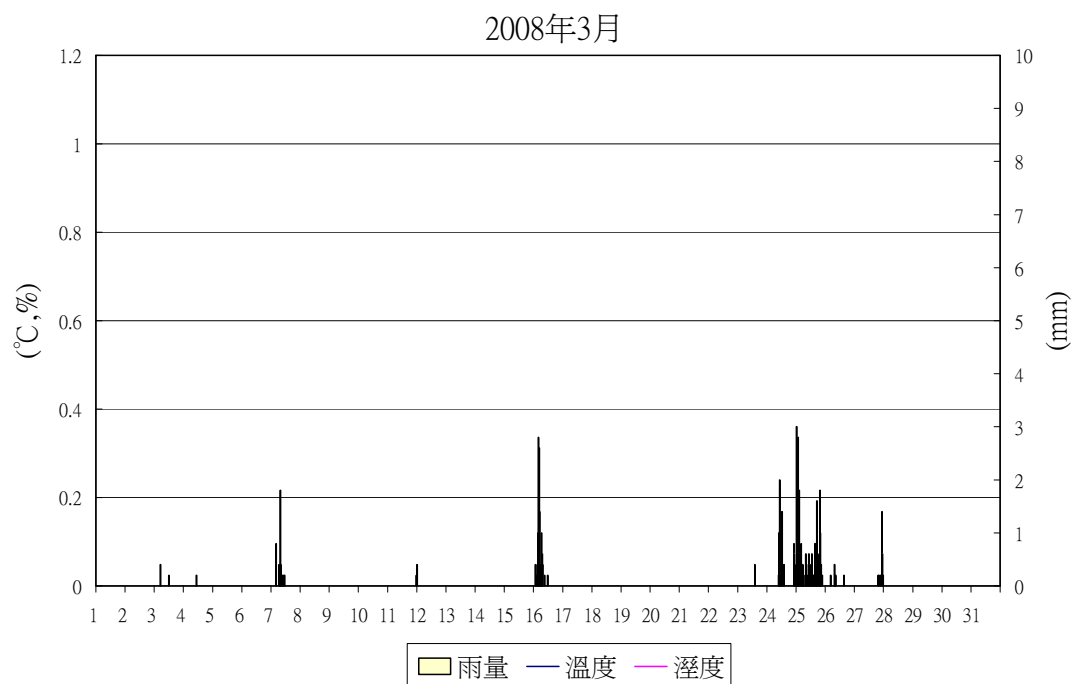


圖 34 火炎山氣象測站 2008 年 3 月溫溼度及降雨統計圖

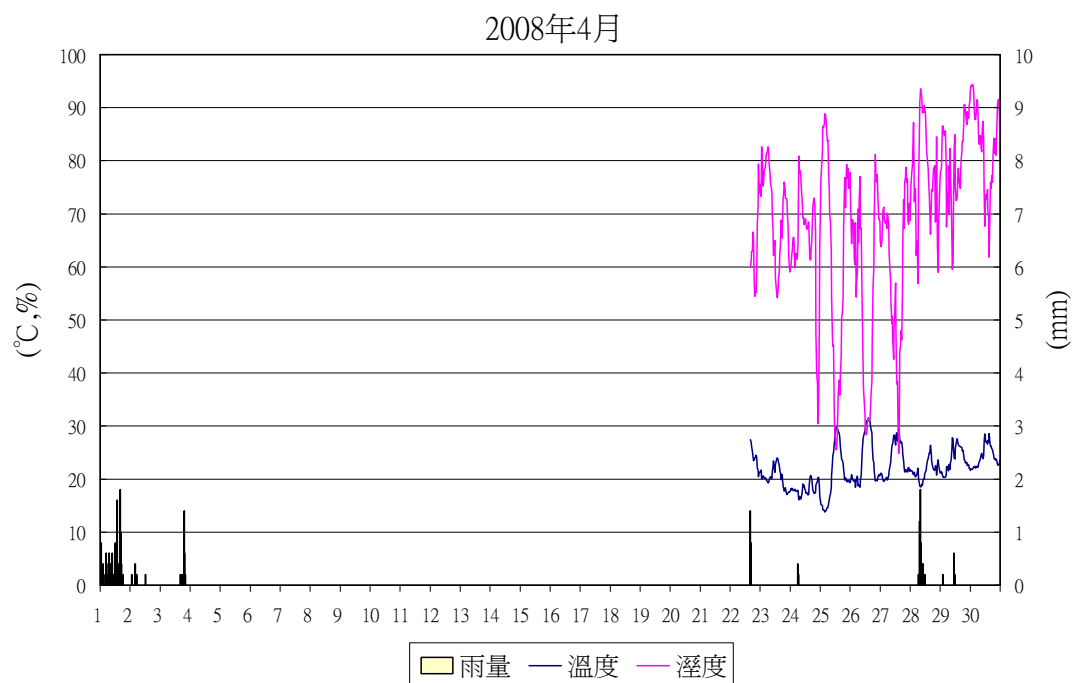


圖 35 火炎山氣象測站 2008 年 4 月溫溼度及降雨統計圖

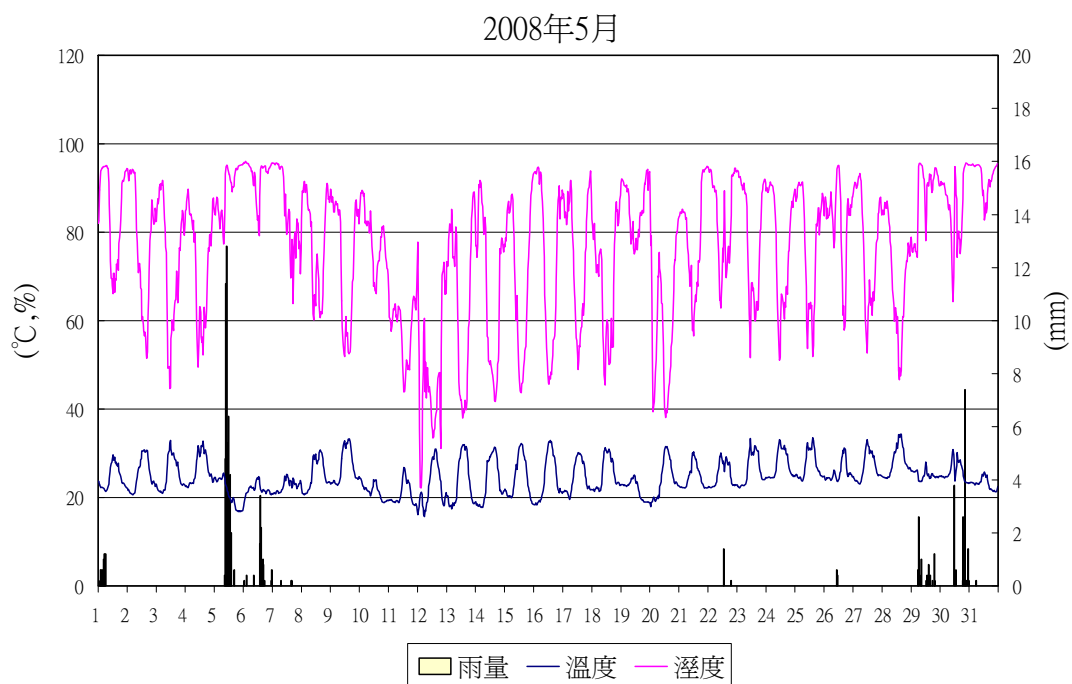


圖 36 火炎山氣象測站 2008 年 5 月溫溼度及降雨統計圖

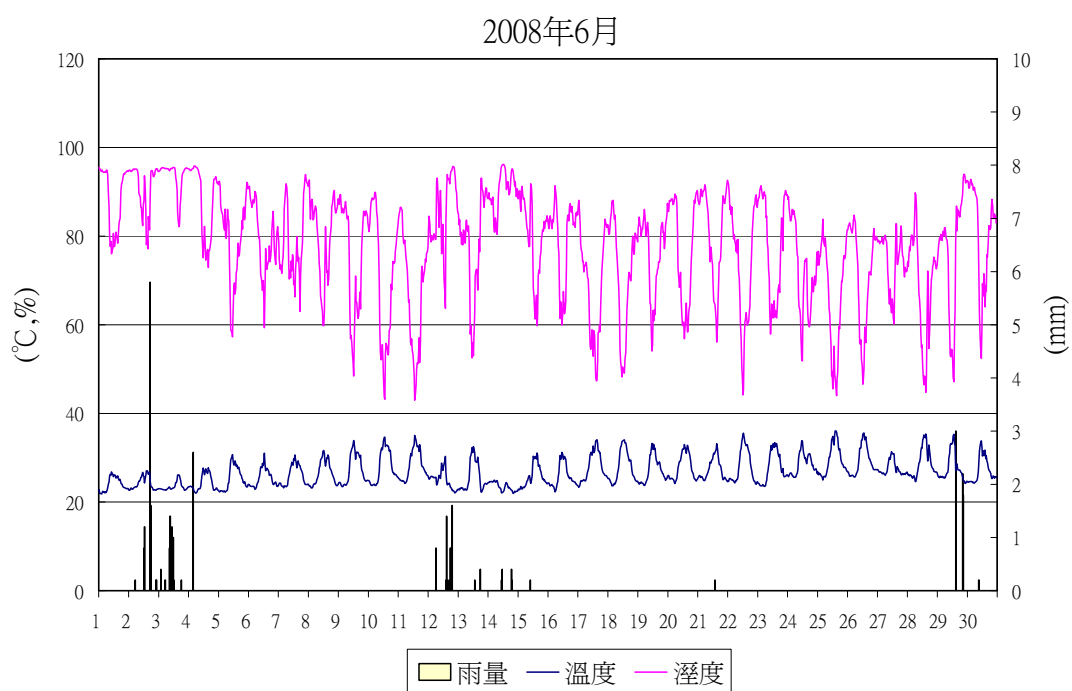


圖 37 火炎山氣象測站 2008 年 6 月溫溼度及降雨統計圖

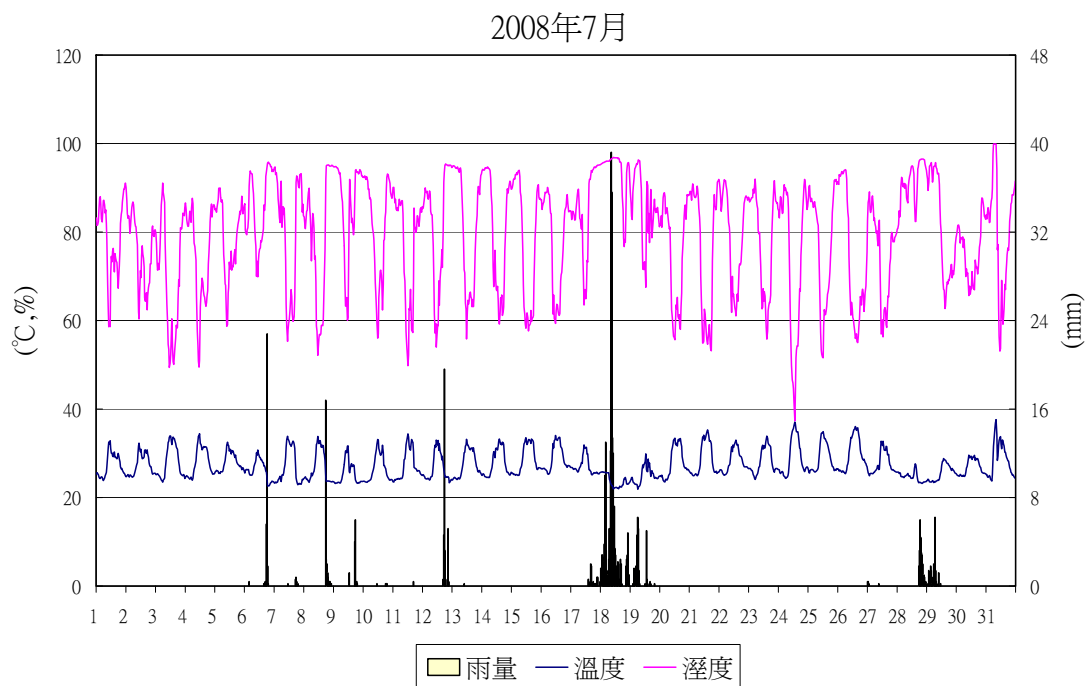


圖 38 火炎山氣象測站 2008 年 7 月溫溼度及降雨統計圖

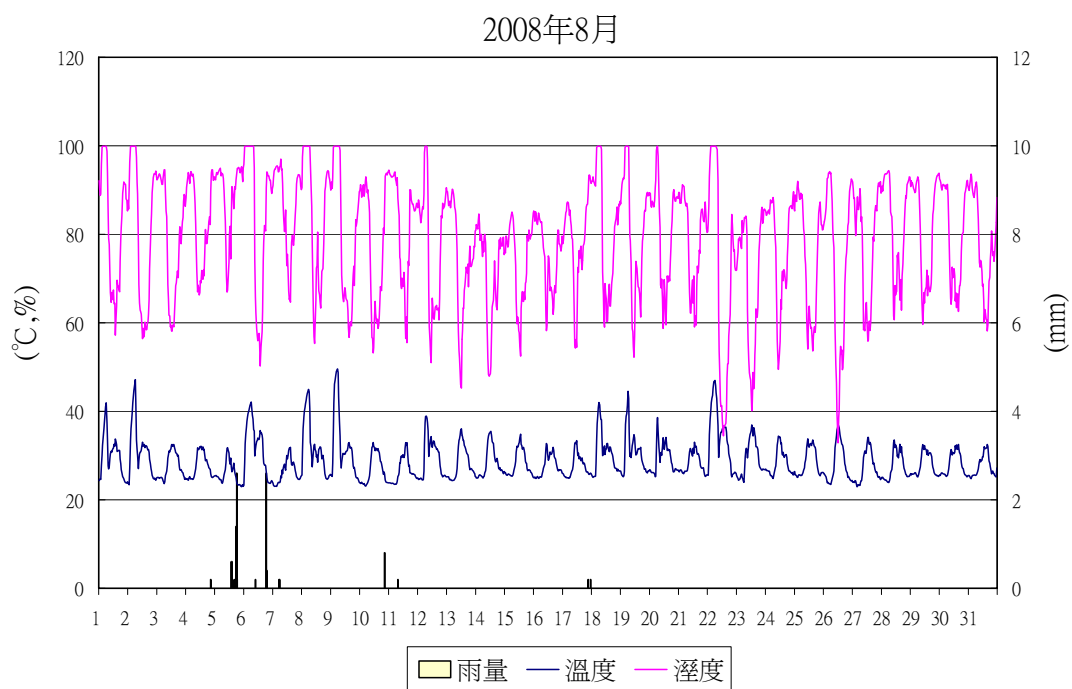


圖 39 火炎山氣象測站 2008 年 8 月溫溼度及降雨統計圖

2008年9月

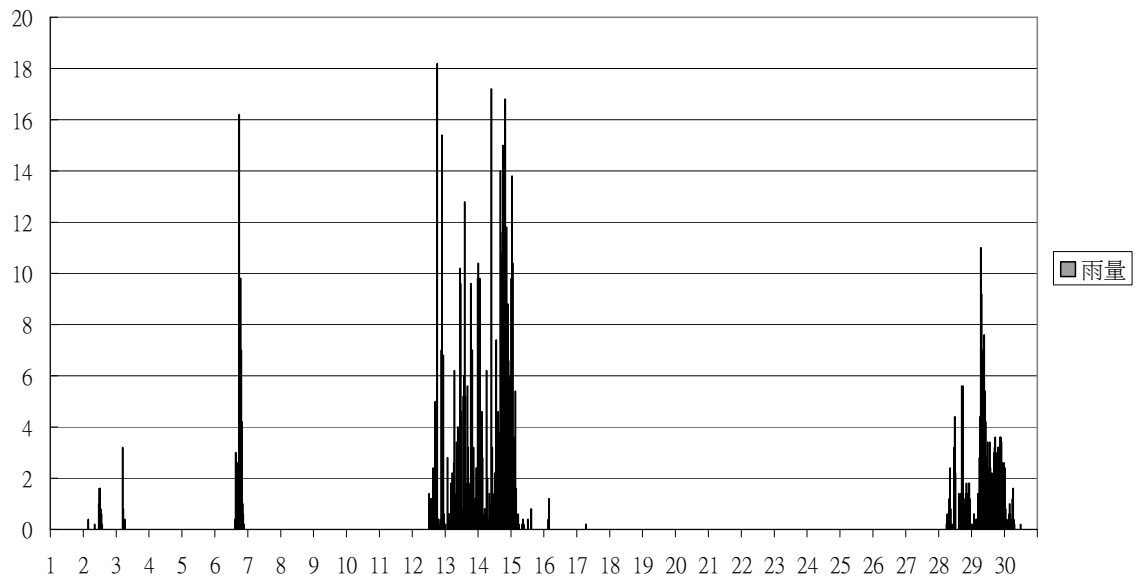


圖 40 火炎山氣象測站 2008 年 9 月降雨統計圖

2008年10月

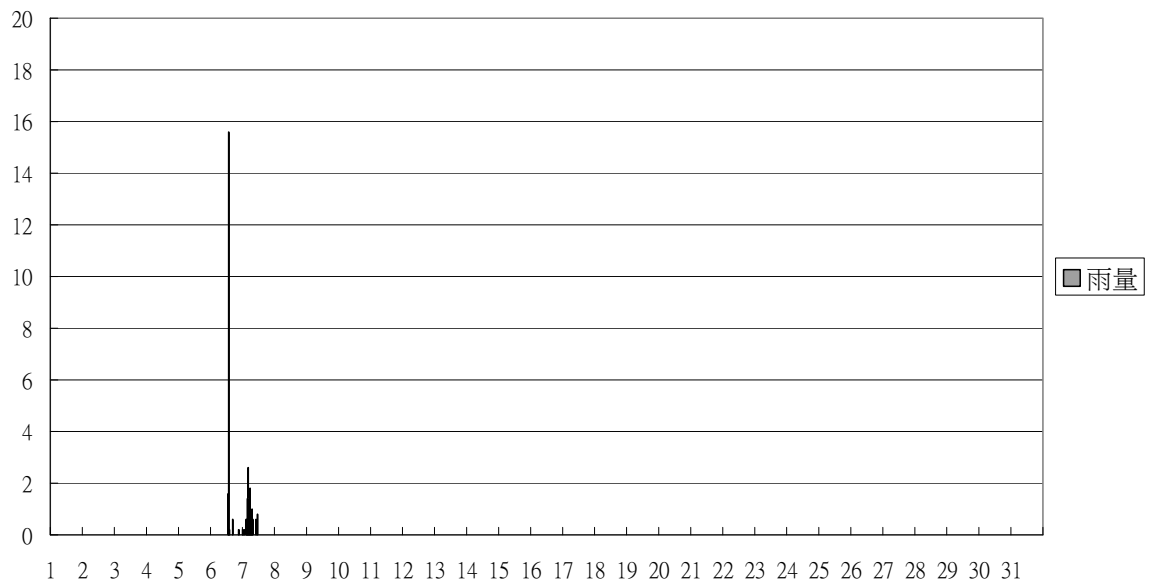


圖 41 火炎山氣象測站 2008 年 10 月降雨統計圖

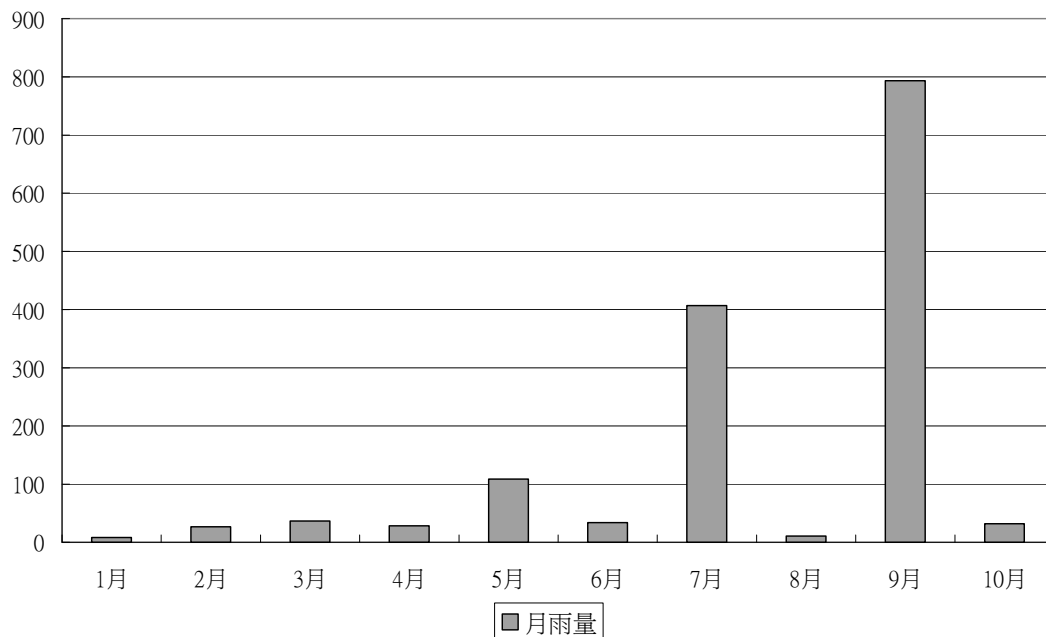


圖 42 火炎山氣象測站 2008 年月雨量統計圖

本計畫在火炎山上及下方各架設一氣象站，將所收集的資料，分別比較降雨量的差異性，以瞭解區域降雨的差異，如圖 43 及圖 44。圖 43 為 7 月 18 日卡玫基颱風時兩測站所測得的降雨資料，原始資料為每半小時計算一筆，比較火炎山上及下方的降雨量，在此次颱風所得的資料差異不大，最大差異為半小時 3 公釐，日降雨量上方及下方分別為 215.2 公釐及 216.8 公釐，僅差 1.6 公釐。

圖 44 為 9 月 14 日辛樂克颱風降雨比較，最大差異為半小時 3.6 公釐，日降雨量上方及下方分別為 298.6 公釐及 255.6 公釐，相差 43 公釐，表示辛樂克颱風在火炎山集水區上方所帶來的降雨量較下方來得多。

從兩個氣象測站降雨量比較結果，在兩測站相距並不很遠的情況下，仍可以看到些許的差異，因此越接近火炎山地區的測站也更能反映當時的氣候狀況。

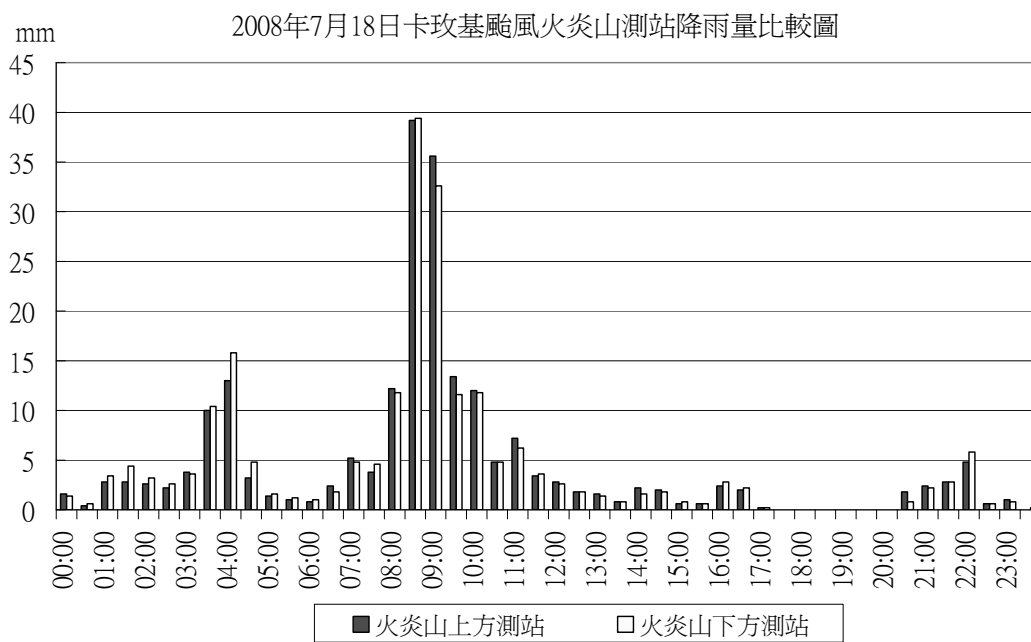


圖 43 2008 年 7 月 18 日卡玫基颱風火炎山測站降雨量比較圖

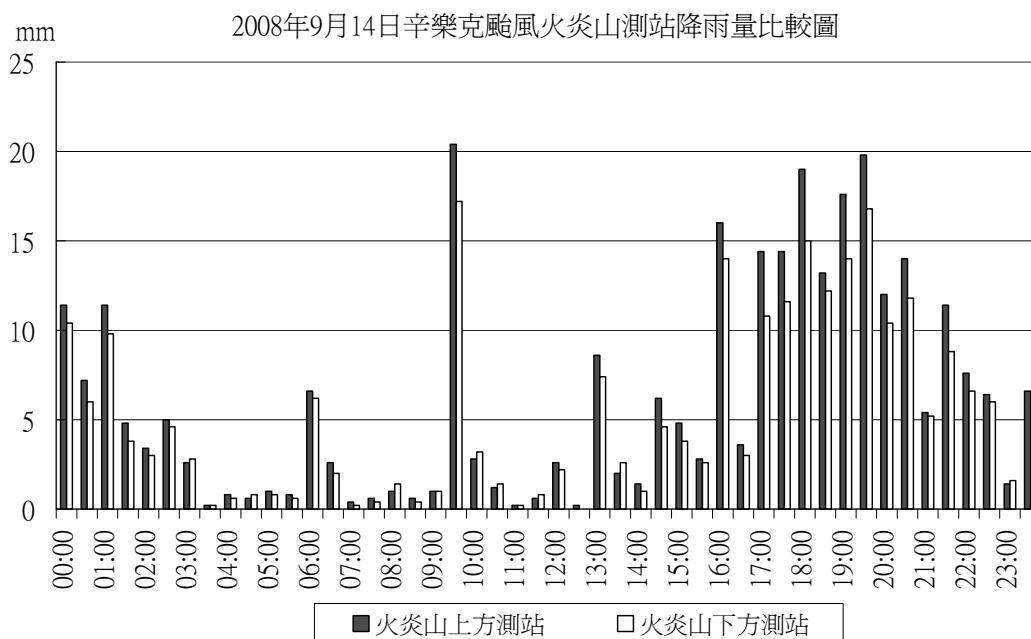


圖 44 2008 年 9 月 14 日辛樂克颱風火炎山測站降雨量比較圖

（二）降雨警戒發報系統

土石流發生的原因處要有三種，降雨多、土石堆積多及陡坡多，其中任一項一旦達到條件，土石流即可能形成。因此，可藉由上述條件的成立與否來判斷土石流事件是否會發生。以水土保持局目前在進行土石流觀測系統為例，主要可分為非接觸性及接觸性兩種觀測方式，非接觸型監測系統是以與土石流可能發生有密切相關之因子，做為預警指標，即時將相關資料回傳土石流防災應變中心進行研判，一般均採用降雨量及降雨強度做為警戒指標。

接觸型監測系統是以土石流發生後之各種徵兆及其流動時產生的特性進行觀測與比較，常用者如利用鋼索檢知器架設於防砂壩溢洪口或橫跨河道兩岸，當土石流流過時會扯斷鋼索因而發出警訊。

本研究為了瞭解即時降雨的狀況，當達到降雨臨界值時能夠及時發佈災害的警訊，將本計畫測站的降雨資料透過程式的撰寫，設計當 12 小時內累積雨量達到 100 公釐時，立即發佈簡訊通知相關人員，目前已經完成簡訊設定，將發佈給本計畫主持人及大湖工作站相關人員，在卡玫基與辛樂克颱風分別成功收到簡訊，達到即時通報的效果。

（三）監視器影像錄影成果

本研究於第一年度計畫於火炎山隧道東、西二側設置即時影像監測系統，並記錄到於 2007 年 10 月 7 日颱風期間發生於隧道西側的土石流事件。目前監視器持續進行 24 小時的影像紀錄，監測隧道兩側地形的變化。

苗栗縣政府於火炎山隧道西側出口北側，屬於沖積扇範圍的區域，進行土石挖掘的道路鋪設等相關工程建設。設置於隧道西側的監視器於 2007 年 12 月 17 日首次錄到工程的進行（圖 45），施工單位於五號子集水區的沖積扇上進行土方開挖及道路鋪設（圖 46、47），工程至 2008 年 1 月 11 日大致完成（圖 48）。11 日之後的影像便可觀察到砂石車與怪手進出隧道西側北方沖積扇面（圖 49）。



圖 45 隧道西側外沖積扇尚未開挖的景觀（2007/12/9）



圖 46 隧道西側外沖積扇工程進行情形（2007/12/17）



圖 47 隧道西側外沖積扇工程進行情形（2007/12/23）



圖 48 隧道西側外沖積扇工程完成（2008/1/11）



圖 49 隧道西側外沖積扇挖掘工程進行（2008/1/17）



(2007.9.19)



(2008.10.9)

圖 50 隧道西側出口處堤防興建前後照片比較圖

（四）颱風即時影像監測

即時影像監視的目的，是希望瞭解在颱風侵襲的期間，可能產生災害發生的時間點，以及災害的變化的情形。本年度從監視影像中記錄卡玫基颱風與辛樂克颱風兩次颱風對本區造成的影響，說明如下：

1. 卡玫基颱風

卡玫基颱風在 2008 年 7 月 17 日晚上 6 點風雨並不明顯（圖 51），18 日早上 9 點風雨較大，但在西口隧道仍然可以看到許多車輛經過，在這之前本區並未產生任何土石災害；在 18 日 6 時颱風過後，在地面上並未有土石堆積與泥流出現，顯示本次颱風並未在此造成災害。

雖然本次颱風並沒有對隧道交通造成影響，但現場觀察土石堆積的情形，在颱風過後仍有相當多的土石被帶到隧道上方堆積，估計堆積淤 3 公尺高度，顯示火炎山依舊與過去一樣，每次颱風過後都會有大量土石被沖出，在小規模的土石流事件中，隧道降低了土石流對道路安全的影響。

	
西口監視器 2008.07.17 晚上 6 點	東口監視器 2008.07.17 晚上 6 點
	
西口監視器 2008.07.18 早上 9 點	東口監視器 2008.07.18 早上 9 點
	
西口監視器 2008.07.18 晚上 6 點	東口監視器 2008.07.18 晚上 6 點

圖 51 卡玫基颱風前後隧道東、西口處影像監測（2008.7.17-18）

2. 辛樂克颱風

辛樂克颱風侵襲時間為 9 月 14-16 日，14 日 16 時隧道東口邊坡還是植生茂密的情況（圖 52），14 日 19 時由於是晚上的影像（圖 53），因此無法明確觀察是否有土石沖出，但在 19 時 30 分，從隧道的燈光亮度，感覺似乎有部分被遮蔽（圖 54），之後燈光逐漸變小，至 15 日 0 時隧道口僅可看到微弱的燈光（圖 55），推測可能是土石堆積所造成。至 15 日 5 時白天的景象，則可以清楚看到隧道出口處上邊坡已被土石被掩蓋（圖 56），原本監視器的影像可以看到一半隧道口的位置，目前僅可以看到隧道口的上緣。至 9 月 16 日可清楚看到挖土機在清運土石（圖 57）。

由於發生土石堆積的時間在晚上，從影像上無法實際看到土石沖出的狀況以及發生的時間，因此假設造成隧道燈光逐漸被遮蔽的結果是因為土石堆積所造成，則可以推估土石開始沖出的時間大約在 9 月 14 日晚上 7：00 至 7：30 分這段期間，至 15 日 0 時堆積逐漸趨緩，到 5 點以後已看不到土石沖出的現象。



圖 52 2008 年 9 月 14 日 16 時辛樂克颱風前影像



圖 53 2008 年 9 月 14 日 19 時辛樂克颱風影像



圖 54 2008 年 9 月 14 日 19 時 30 分辛樂克颱風時影像



圖 55 2008 年 9 月 15 日 0 時辛樂克颱風時影像



圖 56 2008 年 9 月 15 日 5 時辛樂克颱風時影像



圖 57 2008 年 9 月 16 日 14 時辛樂克颱風後影像

（五）颱風降雨資料分析

1. 卡玫基颱風

本計畫統計颱風其間時雨量及累積雨量，觀察其降雨的特性。此颱風最大時雨量為 51.4 公釐，發生時間在在 7 月 18 日 9 時，最大日降雨量為 7 月 18 日達 215.2 公釐（圖 58）。本次降雨累積雨量為 223.8 公釐，但從監視影像及現場調查的結果，並沒有發現明顯的災害產生。由於本次累積降雨量已達本計畫監測的閥值（12 小時累積雨量達 100 公釐），但實際上並沒有對道路造成危險災害，初步推測可能因為西口堤防的興建以及在苗栗縣政府在隧道上方進行土石採取，使得土石堆積在堤防內，並沒有發生溢出現象，顯示堤防已發揮其阻擋土石的功用。

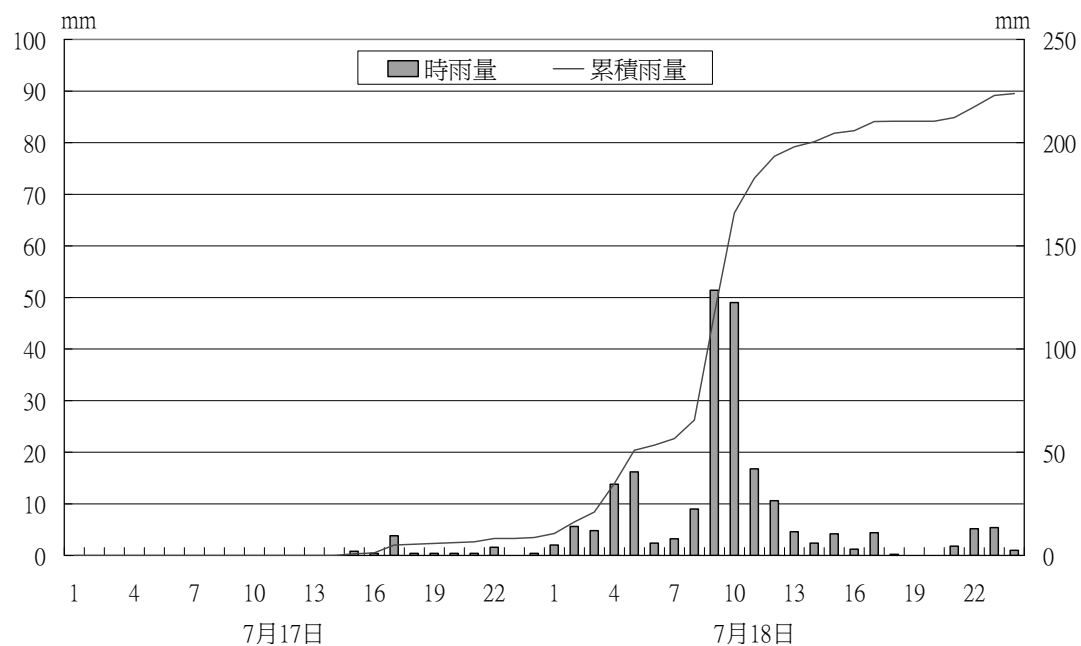


圖 58 卡玫基颱風降雨量統計圖

2. 辛樂克颱風

本次颱風最大時雨量為 30.8 公釐，發生在 9 月 14 日 20 時，日降雨量 9 月 13 日為 150.2 公釐，14 日為 255.6 公釐，15 日為 52.4 公釐，三天累積降雨量為 458.2 公釐（圖 59）。由於本次颱風在隧道東口處造成嚴重的土石流及崩塌，這也是隧道興建以來首次在東口處產生的災害。

從監視影像的紀錄來推估土石流發生的時間大約在 14 日晚上 19 時，災害發生前的累積降雨量達 318.8 公釐，14 日日降雨量為 255.6 公釐，此降雨量為在隧道興建後為最大的日降雨量，大量的降雨是造成本次災害的重要原因。

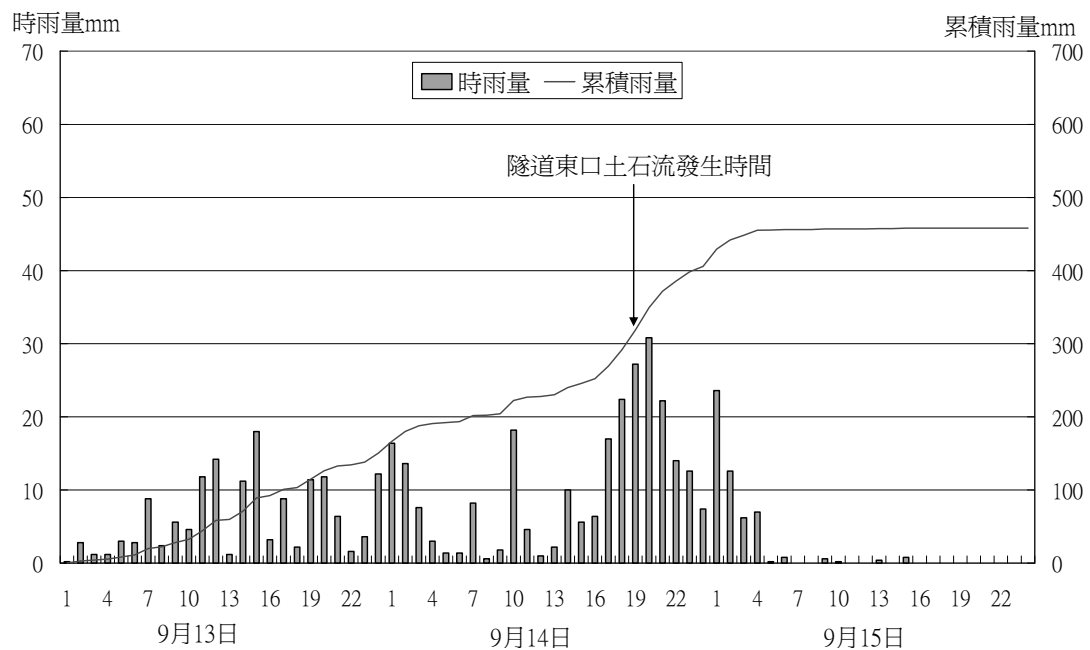


圖 59 辛樂克颱風降雨量統計圖

比較兩次颱風災害的降雨情況（表 3），辛樂克颱風最大時雨量降雨並沒有比卡玫基來得大，而最大日降雨量 255.6 公釐比卡玫基颱風多 40.4 公釐，且為隧道興建後日降雨量最高值，其中差異最大的為累積降雨量相差 234.4 公釐，因此在隧道東口發生土石流的原因，推測主要是持續性的降雨，累積降雨達 318.8 公釐，極有可能造成災害。

表 3 颱風降雨量比較表

	卡玫基颱風	辛樂克颱風
最大日降雨時間	2008 年 7 月 18 日	2008 年 9 月 14 日
最大日雨量（公釐）	215.2	255.6
最大降雨強度	51.4	30.8
累積雨量（公釐）	223.8	458.2
災害發生時累積降雨量（公釐）	無明顯災害	318.8

（六）現場調查

苗栗縣政府於火炎山地區進行土石挖掘工程，在隧道西側出口建造便道以方便砂石車進出（圖 60、61），主要的挖掘工程在第三子集水區的沖積扇扇面進行（圖 62、63）。土石挖掘工程的進行，能夠藉由清除隧道上方土石而減少隧道體承受的壓力，達到保護隧道的作用。但沖積扇扇面上的土石被移除之後，有類似於河川地形學中的侵蝕基準面下降的概念，會加強上游區域的侵蝕作用，造成邊坡的快速後退與大量土石搬運。唯挖掘工程使於 2008 年 1 月至今，在此段期間內火炎山區域無充足的降雨進行地表侵蝕，同時由於時距不長，難以觀察出上游區域的變化，但此為值得後續觀察的重點。

雖然沖積扇面的土石清淤能夠減少隧道體承受的壓力，且隧道西側出口附近的砂石車便道比原來蛇籠設施的位置更往西側延伸，有保護西側道路受土石流影響的作用，但隧道西側出口仍存有潛在的土石災害危機。原因在於五號子集水區的河道流路，如圖 64 所示，便道所在的土石堤範圍並未涵蓋到整個沖積扇面最西側的範圍，同時照片左方的堆積土石限制住五號子集水區的沈積物流動，當沈積物被搬運時只能往辦公所的位置移動。加上人造工程的影響，大量的土石堆積於五號扇面上，使得未來從上游搬運而下的土石僅有少部分的空間可堆積，因此會更快溢流往下方道路方向移動，容易造成土石流災害的發生。此區域的災害潛在危機需要多加關注。

由於辛樂克颱風在隧道東口處造成嚴重的土石堆積情形，從現場隧道口處觀察土石堆積的痕跡（圖 65），估計在隧道口處土石堆積約 1 公尺左右。比對東口處邊坡災害發生前後土石堆積的情形（圖 66、67），在沒發生土石災害前可看到東口處植生相當茂密，在辛樂克颱風後，原本植生的區域大部分被土石所掩蓋，範圍已達東側的機房處，表示此次颱風將大量土石帶出，這些土石主要來自一號集水區的上游。



圖 60 隧道西側外的砂石車便道與土石堤（2008/4/22）



圖 61 隧道西側外的砂石車便道和隧道口（2008/4/22）



圖 62 三號子集水區沖積扇面，土石挖掘工程所在位置（2008/4/22）



圖 63 三號子集水區沖積扇面，土石挖掘工程正在進行（2008/4/22）



圖 64 五號子集水區河道流路與遠方的辦公所（2008/4/22）



圖 65 辛樂克颱風後隧道東口土石堆積情況（2008.9.19）



圖 66 2007 年隧道東口處照片（2007.9.19）



圖 67 2008 年辛樂客颱風後隧道東口處照片（2008.10.09）

（七）航照判釋

本計畫於 2008 年度收集火炎山自然保留區兩個時間的航空照片，拍攝日期分別為 2008 年 6 月 10 日（資料來源：農林航空測量所）及 2008 年 9 月 11 日（資料來源：陶林數值測量有限公司），這兩個影像拍攝期間主要有卡玫基颱風侵襲，可從航照來判釋颱風對本區造成的影響。

本計畫將影像分成隧道東口處及西口處來觀察地形的變化，在西口處兩個時期的變化並不大，在五號集水區的下游處，有部分植生被土石掩蓋（圖 68 紅色圈圈區域），但僅可以看到微小的變化；另外在四號集水區並沒有看到明顯的土石被帶到沖積扇中，這表示卡玫基颱風並沒有在隧道西口處造成影響。

在隧道上方的影像，在卡玫基颱風前隧道上方（三號集水區沖積扇），可清楚看到土石被採取而形成平整的空地（圖 69 上圖），在卡玫基颱風過後，除了部分地區可看到植生被掩蓋或侵蝕（圖中紅色圈圈區域）；另外在沖積扇上，從沖蝕溝的陰影在颱風後較不明顯來推斷，本區在颱風當時在沖積扇上造成堆積現象，但由於規模不大，從航照上無法判斷實際堆積的範圍。

在隧道東口處則可以看到在一號集水區及二號集水區下游沖積扇有土石堆積現象（圖 70），原本已長出植生的地方再次被土石給掩蓋（圖 68 紅色圈圈區域），土石堆積的區域相較於隧道西口處範圍更大。

由於 9 月 11 日的航照拍攝時間為卡玫基颱風後（7 月 18）間隔將近 2 個月的時間，因此所觀察的地形變化並不單純由颱風所造成，這段期間苗栗縣政府在隧道上方進行土石的採取，也影響到航照觀察的結果。



航拍日期：2008.6.10



航拍日期：2008.9.11

圖 68 隧道西口航照影像對照圖



航拍日期：2008.6.10



航拍日期：2008.9.11

圖 69 隧道上方航照影像對照圖



航拍日期：2008.6.10



航拍日期：2008.9.11

圖 70 隧道東口航照影像對照圖

六、結語及建議

- (一) 火炎山自計式氣候站設置有兩處，一處位於火炎山四號集水區上游，一處位於隧道東口處，由於自計式測站設置在野外中，儀器較易受損，因此本年度也持續進行儀器的維護。氣象資料的收集，目前整理的資料為本年度 1 月至 10 月底。
- (二) 本年度已在火炎山下方自計式氣象測站設置主動發報式監測系統，當降雨量在 12 小時內達 100 公釐時會發送簡訊傳送給大湖工作站及相關人員，達到土石流事件警戒的作用。本年度卡玫基颱風及辛樂克颱風均成功收到系統所發出的警示簡訊。
- (三) 從降雨資料來看，民國 97 年 1 月到 6 月間並無強烈的降雨事件發生，單月最大降雨出現在 5 月為 108.8 mm；7 月之後開始進入颱風季節，7 月及 9 月月雨量分別達 406 公釐及 798 公釐，主要是受到颱風影響使得降雨量增加。
- (四) 比較兩次颱風災害的降雨情況，辛樂克颱風最大時雨量降雨並沒有比卡玫基來得大，而最大日降雨量 255.6 公釐比卡玫基颱風多 40.4 公釐，且為隧道興建後日降雨量最高值，其中差異最大的為累積降雨量相差 234.4 公釐，但仍在隧道東口發生土石流的原因，推測主要是持續性的降雨，累積降雨達 318.8 公釐，極有可能造成災害。
- (五) 去年度（2007 年）設置完成的即時監測影像系統，除了在颱風豪雨來臨時可以即時監測隧道東、西出口的狀況，同時影像資料也存在電腦當中，當有災害發生時，能清楚瞭解災害發生的原因。上半年度原西口的監視器架設在電線桿上，由於西口路堤的興建，已於 10 月移至隧道西口的正上方，持續監測土石堆積的狀況。
- (六) 從本年度的影像資料記錄，記錄了 96 年 12 月到 97 年 1 月隧道西口興建路堤的情形，另外有關颱風災害情形記錄了 97 年 9 月 14 日隧

道東口處土石流堆積的情形，由於發生時間在晚上，推估發生時間在 19 時左右。

- (七) 從辛樂克颱風後現場調查來看，可看到在隧道東口處造成約 1 公尺的土石堆積，隧道東口處上方的邊坡因土石大量堆積，使得原本植生的區域完全被土石演蓋，本次災害為隧道興建以來首次在隧道東口處發生的災害，未來應持續觀察後續地形的變化。
- (八) 從 2007 年的豪雨至今年的辛樂克颱風，火炎山隧道兩側持續有災害的產生，這樣的結果突顯出隧道長度不足的問題，因此建議未來隧道長度應向西擴建延伸 350 公尺。同樣的，隧道東口也應該向東延伸 200 公尺，以預為防範。
- (九) 苗栗縣政府於 97 年 1 月開始於火炎山沖積扇面上進行土石挖掘工程，並於隧道西口處興建路堤，從監視影像中觀察本年度卡玫基與辛樂克颱風後並沒有在隧道西口處造成嚴重災情。
- (十) 從航照判釋觀察卡玫基颱風前後的地形變化，顯示颱風後對本區有局部性的影響，但對隧道及公路並沒造成災情；另外，由於 9 月 11 日的航照拍攝時間為卡玫基颱風後（7 月 18）間隔將近 2 個月的時間，因此所觀察的地形變化並不單純由颱風所造成，這段期間苗栗縣政府在隧道上方進行土石的採取，也影響到航照觀察的結果。
- (十一) 土石的採取雖然可以減輕隧道上方的承受的壓力，但若過度採取會影響地形上的侵蝕基準面，可能會導致保留區上方更多土石的崩落。建議在土石採取時應維持沖積扇地形坡度，同時挖掘深度不可低於隧道之高度，以避免土石對隧道側向的衝擊。
- (十二) 由於颱風後的航照為民間單位提供，影像尚未進行處理。未來將利用航空攝影測量技術，生產數值地形資料，分析土石堆積及侵蝕的分佈狀況，瞭解颱風對保留區下方隧道地形變化的影響。

參考文獻

1. 王鑫，1987，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. 林俊全，2006，公路工程對火炎山自然保留區的影響，行政院農委會林務局新竹林區管理處。
11. 林俊全，2007，火炎山自然保留區土石流演變監測(1)，行政院農委會林務局新竹林區管理處。
12. 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。
13. 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系研究所碩士論文。
14. 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。

15. 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。
16. 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。
17. 齊士曄，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。
18. 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。
19. 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。
20. 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。
21. 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。
22. 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 avalanching, 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.

26. 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.
27. Field, J., 2001, Channel avulsion on alluvial fans in South Arizona, *Geomorphology*, 37:93-104.
28. 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.
29. 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.
30. Huang, C., Gascuel-Oudoux, C. and Cros-Cayot, S., 2001. Hillslope topographic and hydrologic effects on overland flow and erosion, *Catena*, 46:177-188.
31. Martinez-Casasnovas, J.A., 2003. A spatial information technology approach for the mapping and quantification of gully erosion, *Catena*, 50:293-308.
32. Selby, M. J., 1993, Hillslope materials and processes 2nd ed., 219-246.
33. Schumm, S. A. and Mosley, M. P., 1973, Slope Morphology, 238-327.
34. Young, A., 1972, Geomorphology Text 3 : Slope, 103-108.

附錄一 期中審查意見及回覆

林耀源委員	
1. 本案「監測」報告章節(或格式)宜作考量，在進入第二年以後，如何精確扼要的呈現，將現在與過去的對比一目瞭然。 2. 氣象測站與氣象站或測候站，已有區隔。報告中的用詞，宜斟酌。 3. 即將進入雨季，是否應提醒該「(臨時)辦公所」採取適當的防範措施。 4. 參考文獻中有些微筆誤。 5. 如果環境教育或社區溝通之需要，可考慮監測報告書放在生態館公開閱覽。	1. 謝謝指教 2. 以統一修正為氣象測站 3. 感謝提醒，該辦公室已遷走 4. 已修正，謝謝指教。 5. 謝謝指教
魏展斌委員（陳裕美代理）	
1. 本年度設置”主動發報式監測系統”測試期間期盼能資源共享。 2. 環境教育推廣用資料提供（錄影資料用截取相關畫面提供森林生態教育館使用）。 3. 協助即時影像讀取、網址維護工作及提供現場人員使用。	1. 遵照辦理 2. 遵照辦理 3. 遵照辦理
吳學平委員	
1. 請增加探討苗栗縣政府施作土石疏濬及堤設施後，對 140 線公路安全之優缺點分析。	1. 遵照辦理
育樂課	
1. 苗栗縣政府將 140 線北側土堤興建後，原設置西測之影像監測點已無法觀察到土石溢出口，建議將影像監測點測移至合適地點繼續監測。 2. 中央大學於本處火炎山自然保留區進行「礫石型溪溝崩塌及土石流之發生機制分析與現地監測」，盼能作資料分享。	1. 已將監視器位置改設置於隧道西口上方。 2. 遵照辦理

附錄二 期末審查意見及回覆

羅德和委員	
1. 由林教授歷年蒐集的航照圖判釋分析，可以見到土石挖掘對整體的影響，今年的重點工作在於：預警系統雨量預估值的通報及持續性監測工作。 2. 隧道未興建前只要有豪雨便有災害發生，公路局花 3 億 5 千萬元興建隧後，災害是減少，但因設計未臻完善，仍有部份災情發生於隧道兩側，完善的設計應依林老師建議東側延長 200 公尺、西側 350 公尺較佳。	1. 謝謝指教。 2. 謝謝指教。
林耀源委員	
1. 封面上緣之兩行標籤，可合併為「行政院農業委員會林務局保育研究委託計畫」。封面下緣之「執行機關」修正為「執行機構」或「執行單位」。 2. 本案既係延續(監測)計畫，成果報告書之內文是否可能自行檢核？例如參考文獻「1.」文獻之年份稱「1982」及「76 年度」，有明顯的筆誤，上年度已提醒修正；「32. …2th edit. …」也是明顯再次誤植，建請修正為「…2nd ed. …」。 3. 「五、研究成果」之「(一)氣候觀測」，宜考慮改為「(一)氣象觀測」。「六、結語與建議」既無建議事項，宜修正為「六、結語」。本年度之「結語」共十點，其行文敘述似乎比較零散，宜予調整(例如 1-3-7-8，2-5，4-9-10，6。)，俾得順暢清晰呈現之。依據招標時之企劃書提列，「(十)…以航照正射影像及數值地形資料分析地形的變遷…」係屬今(2008)年起持續辦理之預定工作項目。 4. 參考文獻略有筆誤：(內文筆誤幾個字，已於紙本中指出，並請參酌。) 「1.」文獻之年份稱「1982」及「76 年度」，有明顯的差距，請予修正。「12. …保育之研究火炎山…」修正為「…保育之研究：火炎山…」。「13. …地質學科系研究所…」刪除「科系」兩字。「23. …avalaching…」修正為「…	1. 謝謝指正，已修改。 2. 謝謝指正，已修改。 3. 謝謝指教，已修改相關說明。結論與建議以加入說明。 4. 謝謝指正，已修改。

avalanching…」。「27. …in south Arizona…」是否應作「…in South Arizona…」。「32. …2th edit. …」修正為「…2nd ed. …」。 5. 新竹處大湖工作站提及有關「地方政府清理土石，造成坡腳不安定，並影響該坡面之平衡基準」乙節，宜請研究單位酌予評析，俾為因應妥適處置。	5. 謝謝指教。在不影響隧道安全下，應避免影響侵蝕基準面。
周委員憲德	
1. 研究報告內容豐富，資料寶貴，謹予高度肯定並繼續支持。 2. 以火炎山之地形及降雨特性發生土石流之條件除降雨量外，災前之降雨強度應為一重要參數，建議補充說明。 3. 卡玫基颱風造成 1 號坑中上游淤超過 3 公尺，但大部份積在隧口上方。 4. 辛樂克颱風在 9 月 13 日降雨量超過 150mm，據當地居民表示下午 3:00 左右，隧道交通已受土石阻塞，是否與影像相符，請查核。 5. P47，第二行，日期應為 7 月 18 日而非 9 月 18 日。 6. 監視影像是否有加紅外線以提高夜間判識能力。	1. 謝謝指教。 2. 遵照辦理，將補充說明。 3. 謝謝指教。 4. 經影像確認 13 日 15:00 至 14 日 15:00 影像中車輛皆正常通行。 5. 謝謝指正，已修正。 6. 目前監視器尚無此功能。
魏展斌委員	
1. 苗栗縣政府土石疏浚工作對整個景觀及火炎山自然保留區與隧道安全未能充份了解。	1. 本計畫書可作為苗栗縣政府疏浚工作之參考。

2. 提供現地居民訪談對象：東側有加油站及礦泉水業者，西側有廟宇附近居民，另有三義義消等。	2. 未來將加入訪談對象，做為現場資料之參考。
3. 請規劃協調分工處理機制，包括縣府、林務局、公路局等各單位。	3. 將納入明年工作項目。
吳學平委員	
1. 大湖站天然更新復育松樹小曲監測工作有無距長變化，可為本監測案之參考。	1. 謝謝指教。
2. 苗栗縣政府之西口清淤工程是否有助於降低土石流發生？檢討東口之土石流防範措施，地方政府土石之清淤必要性進行檢視。	2. 將說明於建議中。
3. 雨量與土石流誘發發生之關聯，必要時加入訪談確認發生時間確切性。	3. 謝謝指教。
4. 持續監測成果為生態教育館進行環教與防災教育之基材。	4. 謝謝指教。
大湖工作站	
1. 請協助提供歷年來航照圖之電子檔供工作站業務需要使用。	1. 遵照辦理
育樂課	
1. 所有觀察監測資料於日後計畫執行時設計成可推動及執行之教案或教具資料，以提供火炎山生態教育館環教推廣使用。	1. 遵照辦理

附錄二 歷年正射影像及航照



圖 71 1986 年正射化影像



圖 72 1991 年正射化影像



圖 73 1998 年正射化影像



圖 74 1999 年正射化影像

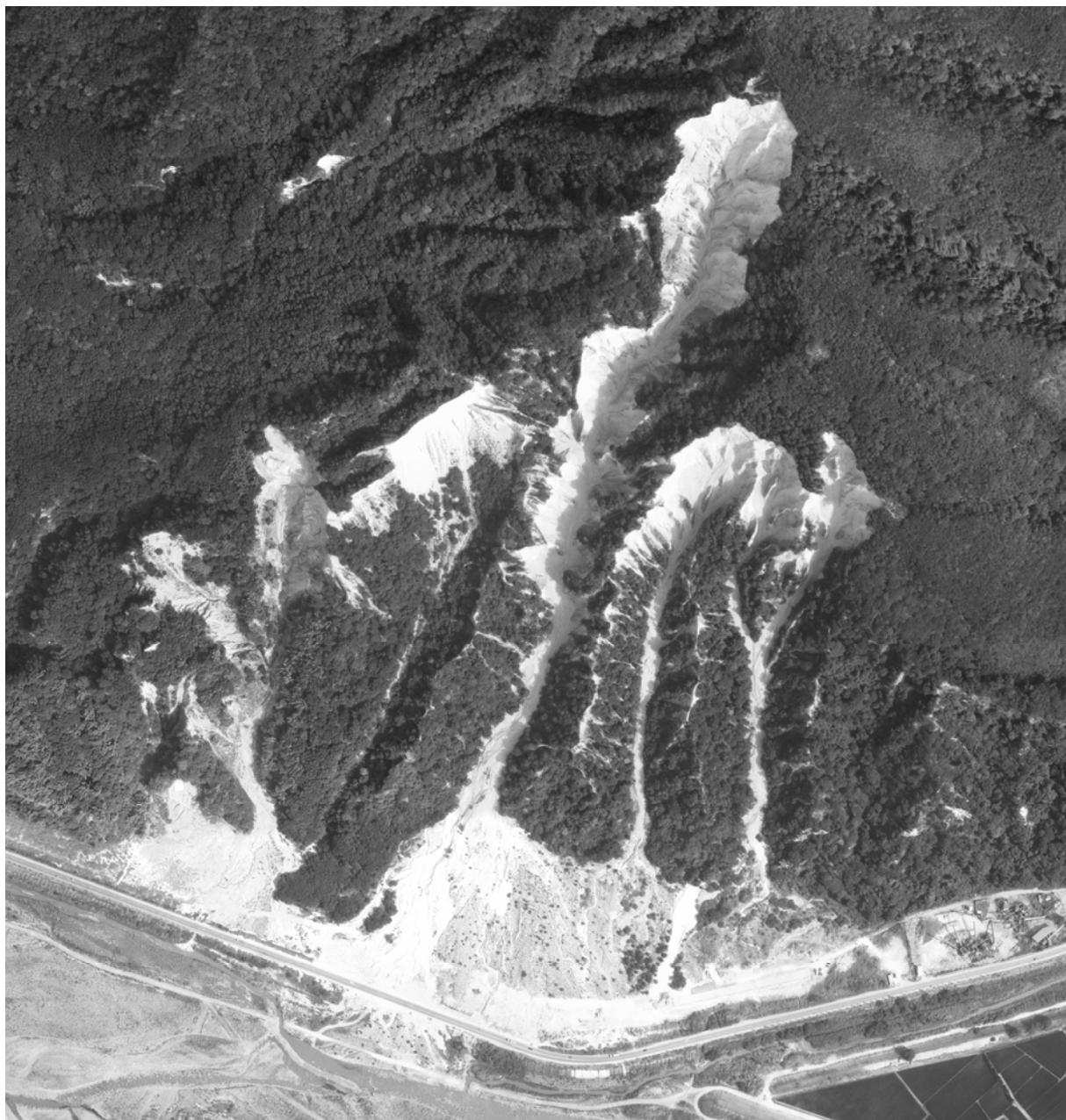


圖 75 2000 年正射化影像



圖 76 2001 年正射化影像



圖 77 2002 年正射化影像



圖 78 2004 年正射化影像



圖 79 2005 年正射化影像



圖 80 2006 年正射化影像



圖 81 2008 年 6 月 10 日航照

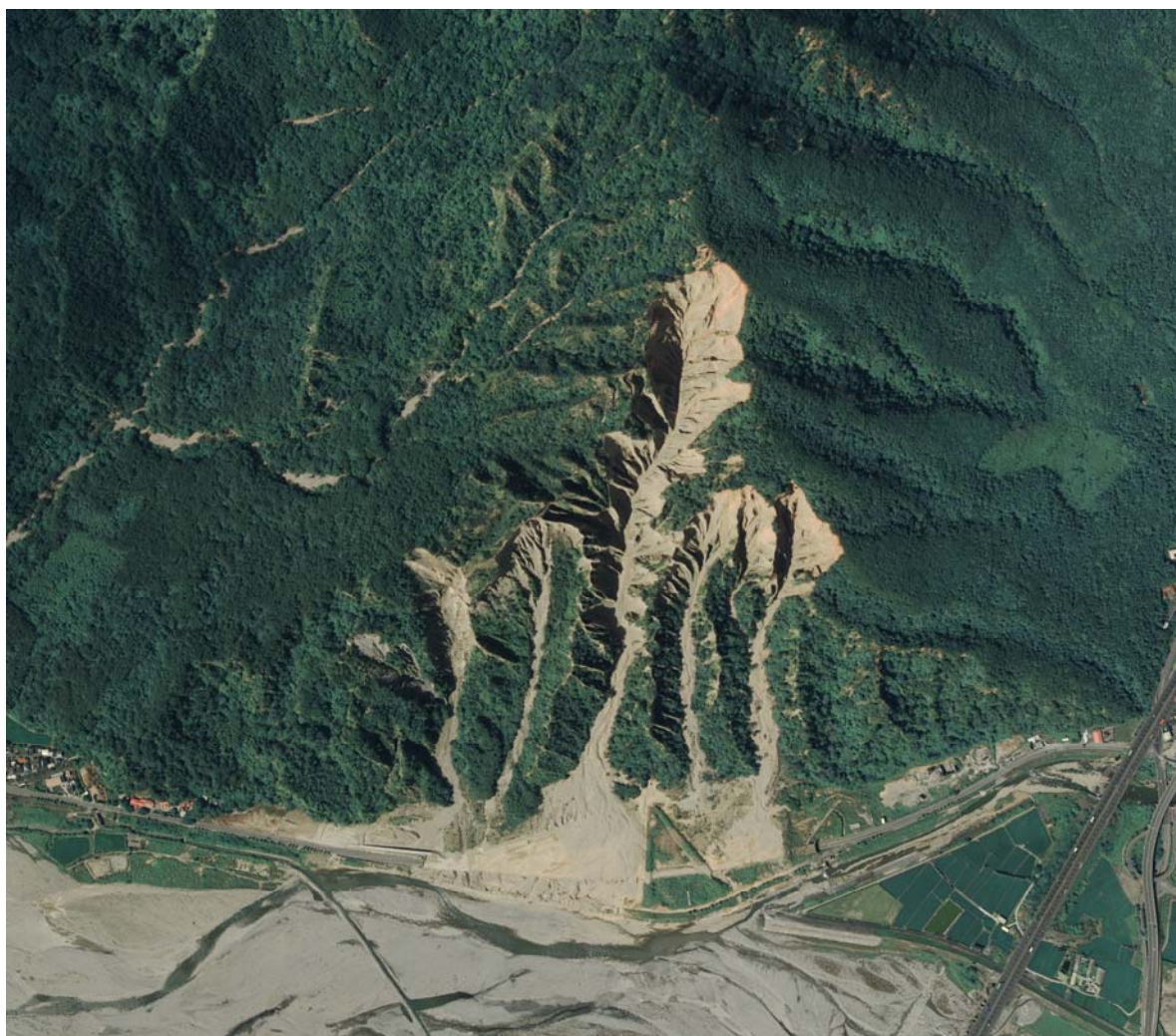


圖 82 2008 年 9 月 17 日航照