

火炎山自然保留區土石流演變監測(4/4)

委託單位：新竹林區管理處

執行單位：中國地理學會

研究主持人：林俊全常務監事

中華民國 99 年 12 月 日



中文摘要

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，觀察下游沖積扇堆積的情況，並利用本研究架設的自計式氣象站的氣象資料，分析土石流發生事件與降雨之間的關係。另外，在隧道東、西口部分架設影像監視系統，瞭解保留區內土石流之變化。並利用氣象與影像監測資料，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。

2010 年在溫度方面 1 至 4 月日夜的溫差較大，6 月以後氣溫逐漸上升，至 8 月均溫約 30 度左右。從本年度雨量統計圖來看，月降雨最大發生在 6 月為 530 公釐，其次為 7 月的 463.5 公釐，主要都是豪雨造成的降雨。今年 9 月的凡那比颱風在火炎山地區雨量並不多。從本年度的降雨資料統計來看，並沒有發生 12 小時超過 100 公釐的雨量。

在影像的監測上，火炎山隧道東、西口今年呈現穩定的情況，植生生長相當茂密。本年度 6 月與 7 月有幾場較大的降雨，從影像中觀察並沒有明顯的土石崩落現象。

本年度採用高精度 3D 掃瞄儀器，目前共掃瞄 3 次，第 1、2 次主要在 3 號集水區沖積扇上，第 3 次在 1 號及 2 號集水區沖積扇上。分析 3 號集水區沖積扇 1 月及 9 月 3D 掃瞄資料結果顯示，本區大部分還是呈現堆積的現象，最大堆積量為 2-3 公尺。

本年度分析 2009 年 10 月與 2008 年 9 月的數值地形高程資料進行分析比較。3 號集水區沖積扇大部分呈現堆積現象，西側堆積高度超過 5 公尺，部分土石也有跨過 2 號及 3 號沖積扇中間土堤。侵蝕的區域主要分布於 2 號集水區沖積扇。

現場觀察部分，在 3 號集水區東側有土石被挖取，在沖積扇的邊緣形成 3~5 公尺高的陡坡；另外在沖積扇上可看到一條溝渠，主要為引導土石往下游堆積，但溝渠上方都堆積鬆散的土石，在豪雨來時溝渠可能很快被淤滿，效果可能有限，應持續觀察颱風豪雨後的土石堆積方式。

本年度彙整資料收集與監測的成果，編輯一本火炎山地質地形手冊，提供管理處進行解說教育之用。

目錄

一、前言	8
二、研究背景	9
(一) 地形地質概況	9
(二) 氣候資料	10
(三) 火炎山隧道	11
三、研究目的	16
四、研究方法	17
(一) 氣象資料的接收	17
(二) 遠端監視系統之建置	20
(三) 數值地形模型的建立	25
五、過去研究成果	26
(一) 氣候觀測	26
(二) 影像監測	31
(三) 降雨資料整理與分析	36
(四) 颱風降雨分析	40
(五) 地形變遷分析	44
(六) 現場調查	51
(七) 莫拉克颱風後現場調查	58
(八) 宣傳海報設計	68
(九) 航照判釋	77
六、研究成果	81
(一) 氣象資料收集	81
(二) 影像監測	90
(三) 三維儀器掃瞄監測	93
(四) 地形變遷分析	100
(五) 現場調查	104
(六) 火炎山地質地形解說手冊	108
七、結論及建議	109
參考文獻	111

圖目錄

圖 2.1	火炎山自然保留區範圍.....	9
圖 2.2	火炎山地區地質圖.....	10
圖 2.3	火炎山隧道與保留區之位置分佈圖.....	12
圖 2.4	隧道設施分佈位置.....	12
圖 2.5	火炎山隧道興建工程圖.....	13
圖 2.6	火炎山隧道興建工程圖.....	14
圖 2.7	施工中的火炎山隧道口.....	15
圖 2.8	完工後的火炎山隧道口.....	15
圖 4.1	本研究在 4 號集水區架設之自計式氣象站.....	18
圖 4.2	氣象測站位置示意圖.....	18
圖 4.3	火炎山隧道東口監視器架設位置.....	21
圖 4.4	火炎山隧道東口監視系統介面.....	21
圖 4.5	西口影像監視器新架設位置.....	22
圖 4.6	西口監視器新架設位置影像畫面.....	22
圖 4.7	PDR228 D/N 監視攝影機.....	23
圖 4.8	影像伺服器 BlueEyes BE-4110.....	23
圖 4.9	寬頻路由器 AES-M2100R 3G Router.....	24
圖 4.10	影像傳輸架構圖.....	24
圖 4.11	正射化影像.....	25
圖 5.1	經濟部水利署大坪頂雨量站 1968 年至 2009 年的平均月雨量資料.....	26
圖 5.2	2006 年火炎山地區每月降雨量統計圖.....	29
圖 5.3	2007 年火炎山地區每月降雨量統計圖.....	29
圖 5.4	2008 年火炎山地區每月降雨量統計圖.....	30
圖 5.5	2009 年火炎山地區每月降雨量統計圖.....	30
圖 5.6	卡玫基颱風前後隧道東、西口處影像監測.....	32
圖 5.7	2008 年 9 月辛樂克颱風其間隧道東口監視影像.....	34
圖 5.8	2009 年 8 月 6 日~9 日莫拉克颱風期間火炎山隧道西口（左側）及東口（右側）影像監測圖.....	35
圖 5.9	2006、2007 與 2008 年三次降雨事件累積降雨比較.....	39
圖 5.10	莫拉克颱風期間（8/6~8/10）累積降雨量比較.....	39
圖 5.11	卡玫基颱風降雨量統計圖.....	41
圖 5.12	辛樂克颱風降雨量統計圖.....	42
圖 5.13	2005 年至 2006 年火炎山沖積扇面高程變動.....	47
圖 5.14	2006 年至 2008 年火炎山沖積扇面高程變動.....	47
圖 5.15	2005 年至 2008 年火炎山沖積扇面高程變動.....	48
圖 5.16	火炎山隧道在 3D 立體影像上的位置.....	49

圖 5.17	火炎山 1 號集水區剖面圖.....	49
圖 5.18	火炎山 2 號集水區剖面圖.....	50
圖 5.19	火炎山 3 號集水區剖面圖.....	50
圖 5.20	2007 年隧道東口處照片.....	52
圖 5.21	2008 年辛樂克颱風後隧道東口處照片.....	52
圖 5.22	隧道西口土堤內側土石堆積情況.....	54
圖 5.23	從土堤往下看，土泥內側有一小土堤.....	54
圖 5.24	本計畫在隧道西口設立的影像監視器.....	55
圖 5.25	沖積扇出口處的土石，已被向下挖深約 2 公尺.....	55
圖 5.26	從 5 號至 3 號集水區，沖積扇約被挖深 2 公尺.....	56
圖 5.27	下雨時細粒的泥沙被帶出，堆積在隧道上方.....	56
圖 5.28	沖積扇的邊緣形成土堤，豪雨來時會加速土石的崩落.....	57
圖 5.29	檢視土石採取的範圍規劃圖.....	57
圖 5.30	莫拉克颱風後火炎山隧道東口邊坡情況.....	58
圖 5.31	莫拉克颱風後火炎山隧道東口上方情況.....	59
圖 5.32	莫拉克颱風後火炎山隧道東口旁土石流痕跡.....	59
圖 5.33	莫拉克颱風後火炎山 1 號集水區情況.....	60
圖 5.34	莫拉克颱風後火炎山 2 號集水區情況.....	60
圖 5.35	莫拉克颱風後火炎山 3 號集水區情況.....	61
圖 5.36	3 號集水區扇面的堆積 1.....	62
圖 5.37	3 號集水區扇面的堆積 2.....	62
圖 5.38	3 號集水區扇面上的刷深情況.....	63
圖 5.39	3 號集水區從隧道上方往大安溪的土石堆積情形.....	63
圖 5.40	4 號集水區與 5 號集水區的下游景象.....	64
圖 5.41	莫拉克颱風後的 4 號集水區.....	65
圖 5.42	清理後的隧道西口上方景象.....	65
圖 5.43	莫拉克颱風後的 5 號集水區.....	66
圖 5.44	5 號集水區側邊的堆積情況，下方接近隧道西口.....	66
圖 5.45	隧道西口旁的滯洪池.....	67
圖 5.46	火炎山 1991 年正射影像圖海報.....	69
圖 5.47	火炎山 1999 年正射影像圖海報.....	70
圖 5.48	火炎山 2002 年正射影像圖海報.....	71
圖 5.49	火炎山 2005 年正射影像圖海報.....	72
圖 5.50	火炎山 2008 年正射影像圖海報.....	73
圖 5.51	火炎山自然保留區全圖海報.....	74
圖 5.52	火炎山礫岩特性海報.....	75
圖 5.53	火炎山監測說明海報.....	76
圖 5.54	隧道西口航照影像對照圖.....	78

圖 5.55	隧道上方航照影像對照圖.....	79
圖 5.56	隧道東口航照影像對照圖.....	80
圖 6.1	2010 年 1 月氣候資料.....	82
圖 6.2	2010 年 2 月氣候資料.....	82
圖 6.3	2010 年 3 月氣候資料.....	83
圖 6.4	2010 年 4 月氣候資料.....	83
圖 6.5	2010 年 5 月氣候資料.....	84
圖 6.6	2010 年 6 月氣候資料.....	84
圖 6.7	2010 年 7 月氣候資料.....	85
圖 6.8	2010 年 8 月氣候資料.....	85
圖 6.9	2010 年 9 月氣候資料.....	86
圖 6.10	2010 年 10 月氣候資料.....	86
圖 6.11	2010 年 1~4 月風速風向圖.....	87
圖 6.12	2010 年 5~10 月風速風向圖.....	88
圖 6.13	2010 年氣象資料統計表.....	89
圖 6.14	火炎山隧道西口影像監測圖.....	91
圖 6.15	火炎山隧道東口影像監測圖.....	92
圖 6.16	民宅前的控制點佈標.....	94
圖 6.17	堤防上的控制點佈標.....	94
圖 6.18	道路旁控制點佈標.....	95
圖 6.19	空標控制點測量.....	95
圖 6.20	Lacia Scanstation 2 掃瞄儀器.....	96
圖 6.21	掃瞄資料拼合的結果.....	97
圖 6.22	掃瞄資料分析成果圖.....	99
圖 6.23	2009 年 10 月火炎山正射影像.....	100
圖 6.24	2008 年至 2009 年火炎山沖積扇面高程變動.....	102
圖 6.25	2009 年 10 月至 2010 年 1 月地形變遷分析成果.....	102
圖 6.26	1 號集水區及 2 號集水區沖積扇地形變遷分析結果。.....	103
圖 6.27	3 號集水區上所挖掘的溝渠.....	104
圖 6.28	6 月 4 日現地調查 3 號沖積扇被挖平的範圍.....	105
圖 6.29	在沖積扇邊緣被挖掘成陡坡.....	105
圖 6.30	土石沿著小蝕溝沖出在下方形成土石扇.....	106
圖 6.31	3 號沖積扇中間部分，紅色區域為分析結果呈現侵蝕的區域.....	106
圖 6.32	1 號集水區沖積扇.....	107
圖 6.33	2 號集水區沖積扇.....	107
圖 6.34	火炎山地質地形手冊封面.....	108

表目錄

表 2.1	大坪頂雨量測站 1968-2009 歷年月份別雨量統計表	11
表 5.1	2006 年至 2009 年火炎山自計式氣象站月雨量資料表.....	27
表 5.2	火炎山豪雨事件 24 小時降雨及降雨強度比較表.....	37
表 5.3	颱風降雨量比較表.....	42

一、前言

火炎山自然保留區為現有的 20 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側錄之外，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 縣道（原 130 甲）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 20 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 2.1 所示。

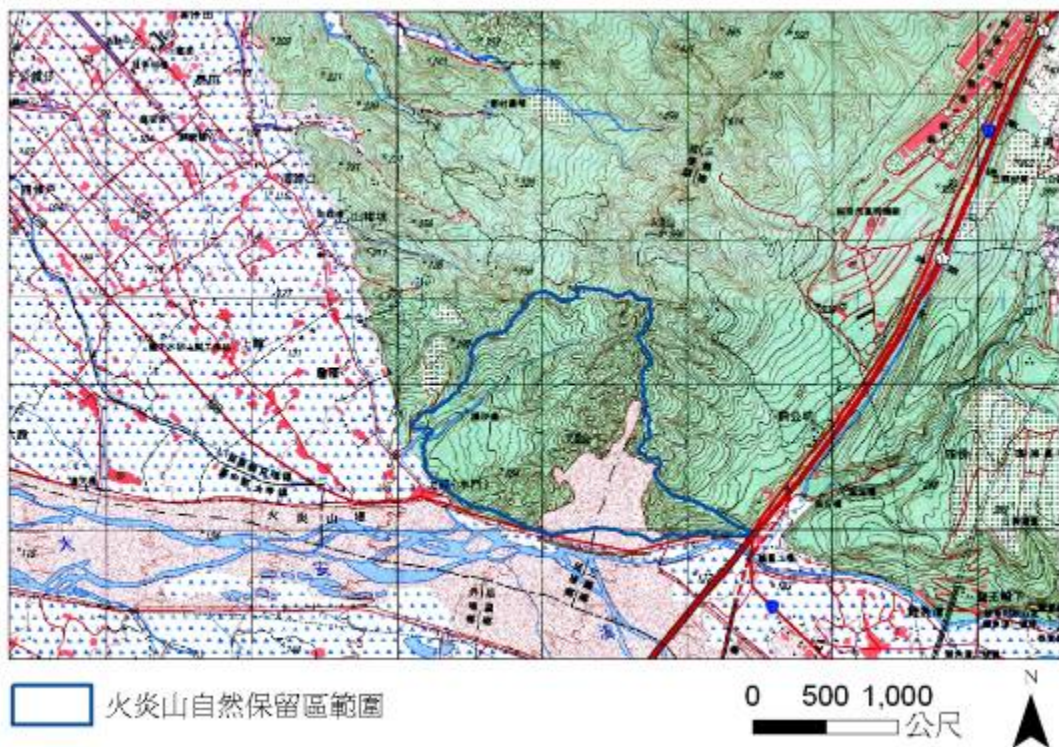


圖 2.1 火炎山自然保留區範圍

(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 2.2）。

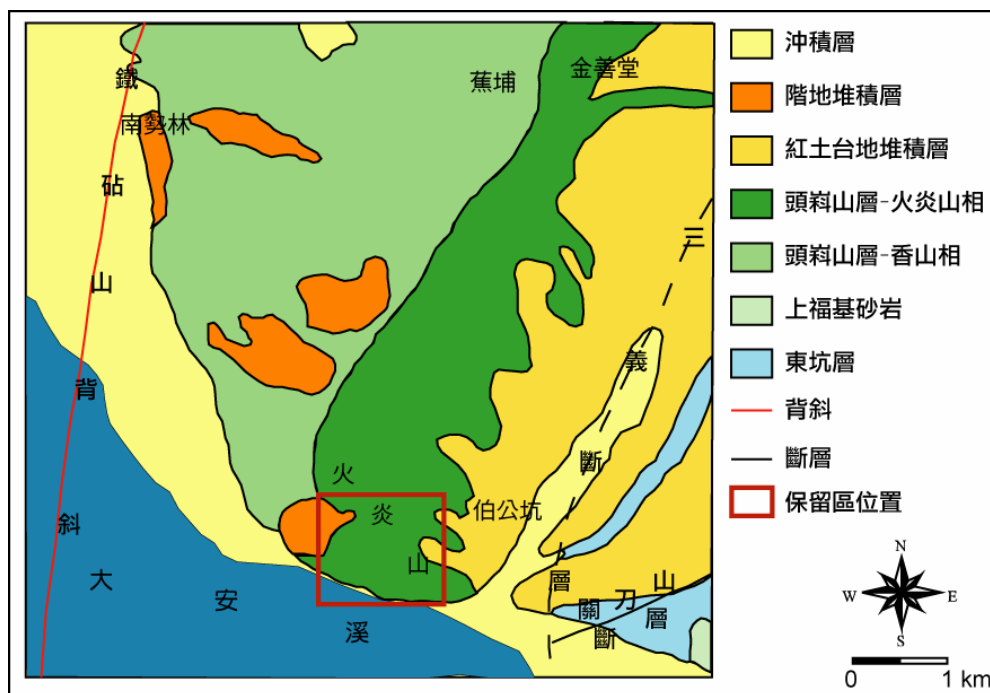


圖 2.2 火炎山地區地質圖

(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約 9 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 2.1）。

表 2.1 大坪頂雨量測站 1968-2009 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	40.6	94.5	125.4	154.4	235.4	307.4	187.6	241.0	137.1	20.7	21.7	28.5	1594.3
百分比%	2.55	5.93	7.87	9.68	14.77	19.28	11.77	15.12	8.60	1.30	1.36	1.79	100
最大月雨量	113 (1998)	450 (1985)	518.5 (1983)	609 (1990)	627.4 (1981)	781.1 (1993)	683.6 (1981)	675 (1985)	1050 (2008)	170 (1998)	136 (2006)	104 (2000)	

資料來源：經濟部水利署水文水資源資料管理供應系統（2010）

（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 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 2.3~圖 2.8）。

在原始設計中，火炎山隧道頂可以承受高達 7 公尺的土石堆積量，並且可以通行重機具，方便工程單位進行土石清除工作。而隧道下方即為大安溪河床，土石在越過隧道後會掉入河床中堆積，落差約有 10 公尺，依據目前的養護狀況，不大可能發生隧道上方土石淤滿，阻擋後方土石前進的情況。



圖 2.3 火炎山隧道與保留區之位置分佈圖

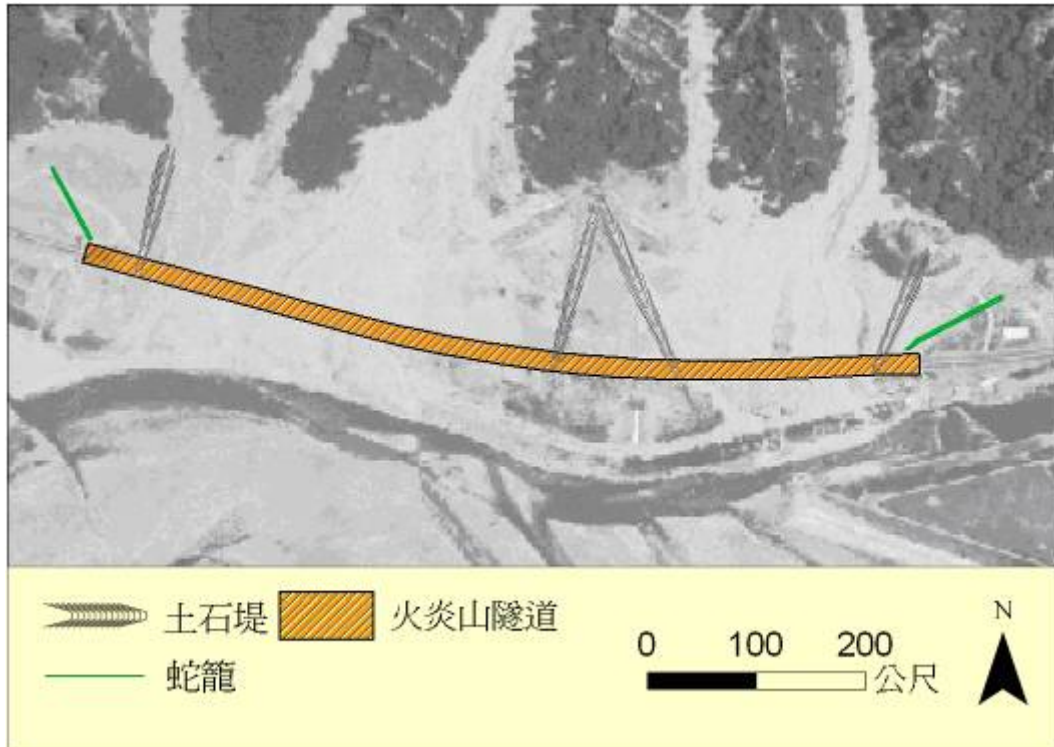


圖 2.4 隧道設施分佈位置

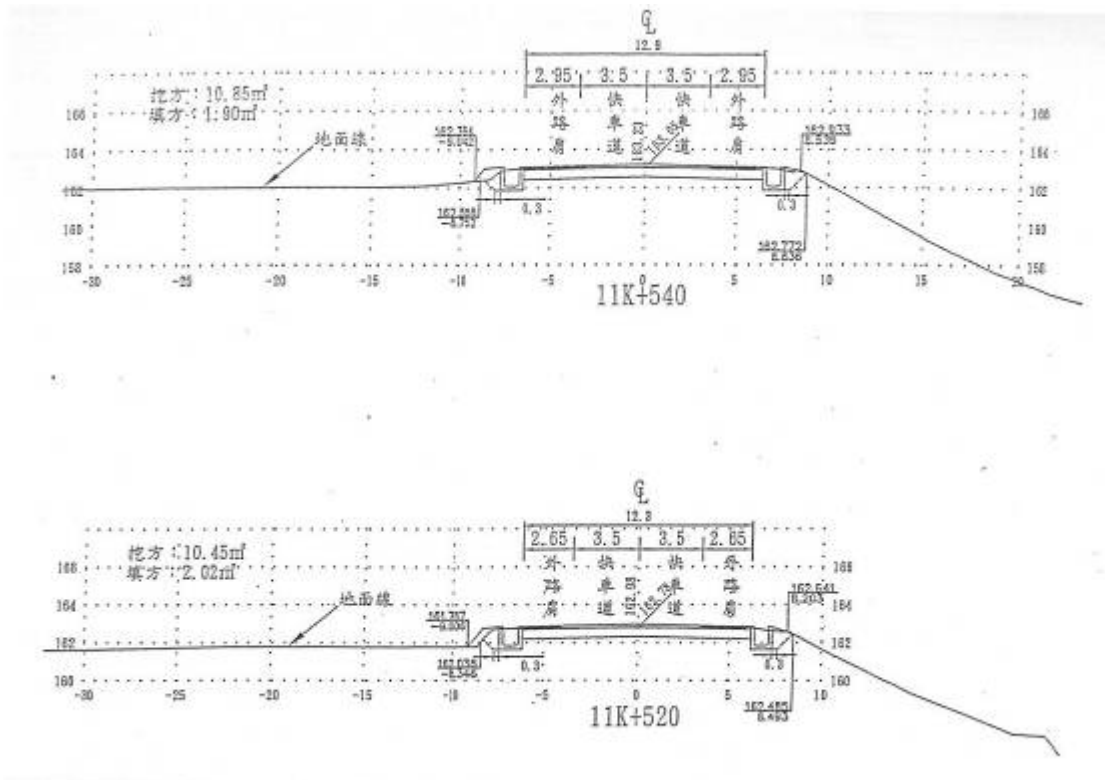


圖 2.5 火炎山隧道興建工程圖 (資料來源：元裕工程技術顧問有限公司)

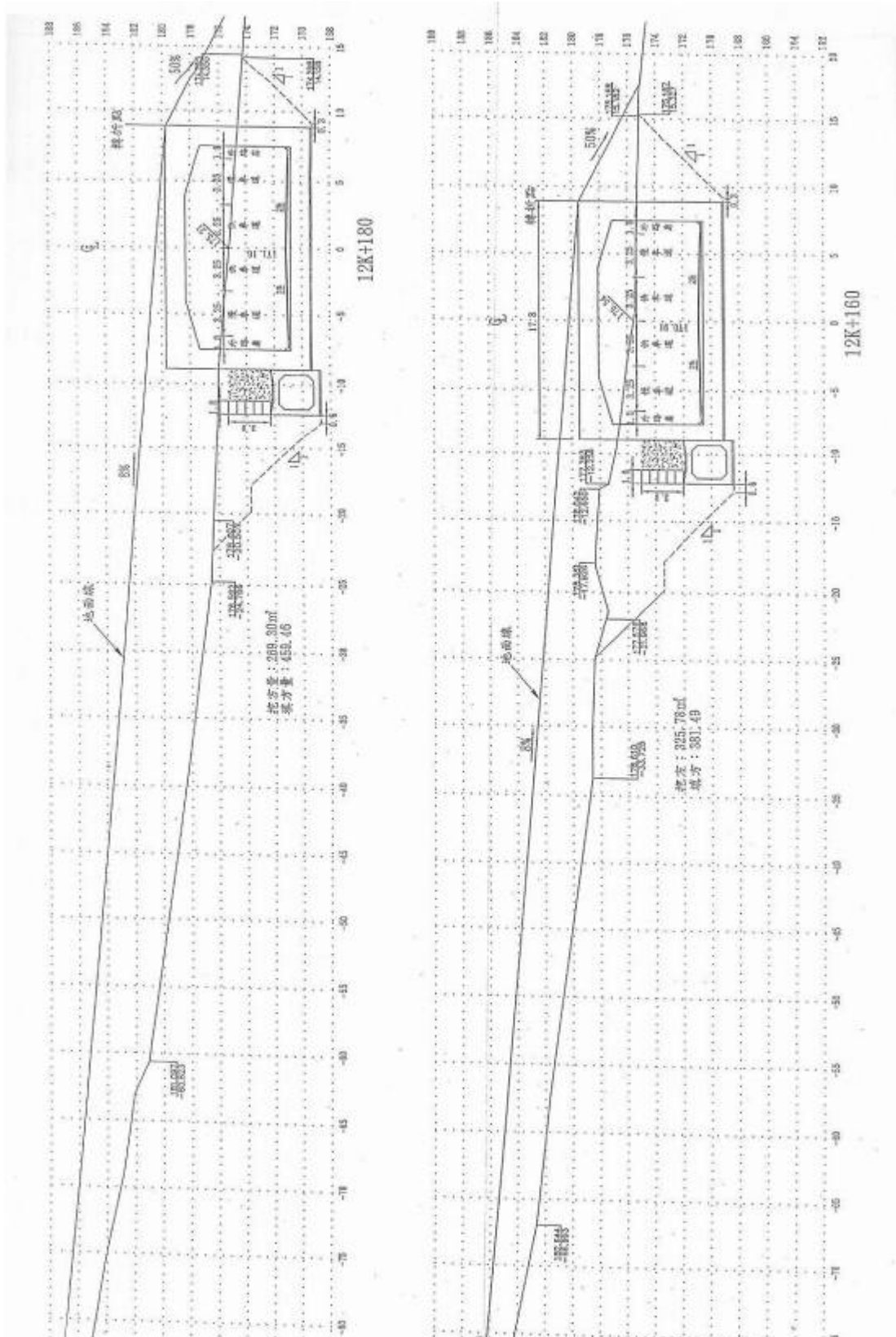


圖 2.6 火炎山隧道興建工程圖 (資料來源：元裕工程技術顧問有限公司)



圖 2.7 施工中的火炎山隧道口（拍攝日期：2005/4/5）



圖 2.8 完工後的火炎山隧道口（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) 持續收集氣象與即時影像監測資料
- (二) 利用航空照片並進行觀察土石堆積的情形
- (三) 觀測沖積扇面挖掘工程對保留區地形變化的影響
- (四) 編輯火災山地質地地形手冊

四、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 4.1)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。

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。



圖 4.1 本研究在 4 號集水區架設之自計式氣象站

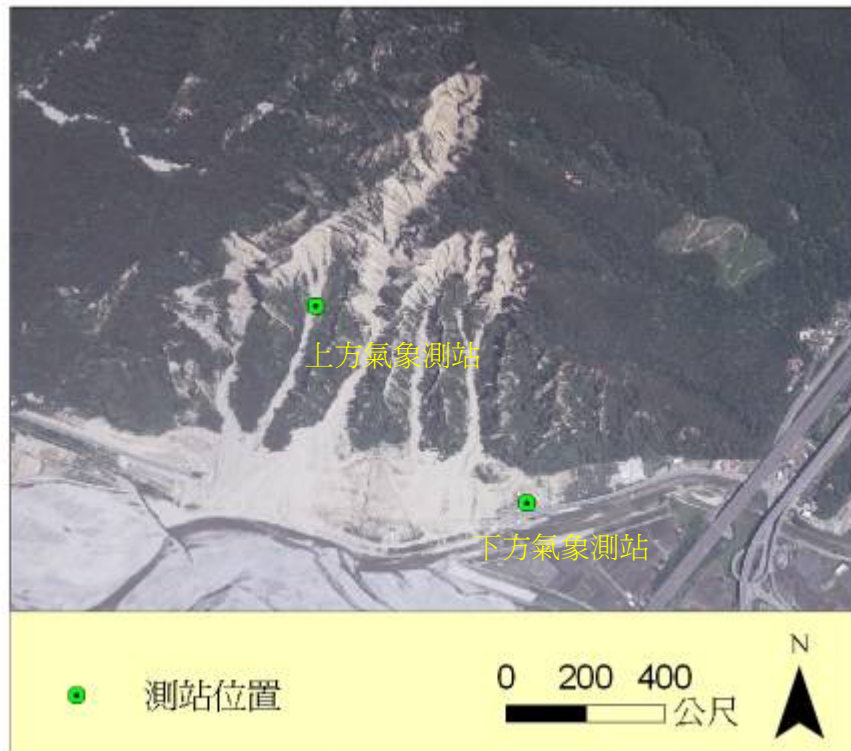


圖 4.2 氣象測站位置示意圖

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 30 分鐘進行計算，產生一筆資料，所以最後呈現的格式為每 30 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。目前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) 遠端監視系統之建置

本計畫在火炎山隧道東、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 2007 年在東口處申請專線，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。

本研究隧道東口遠端監視系統(圖 4.3)，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 位址為 <http://219.87.249.240/>，即可進行遠端監測，介面如圖 4.4。

隧道西口處監視系統設備(圖 4.5)，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，連線網址為 <http://ronny0131.dlinkddns.com/>。

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，才能觀察沖積扇的堆積狀況。在 2008 年 10 月 5 日已將監視器的位置改架設在隧道西口的上方，監視影像如圖 4.6。



圖 4.3 火炎山隧道東口監視器架設位置 (2007/9/12)



圖 4.4 火炎山隧道東口監視系統介面 (2007/9/12)



圖 4.5 西口影像監視器新架設位置 (2008/10/15)

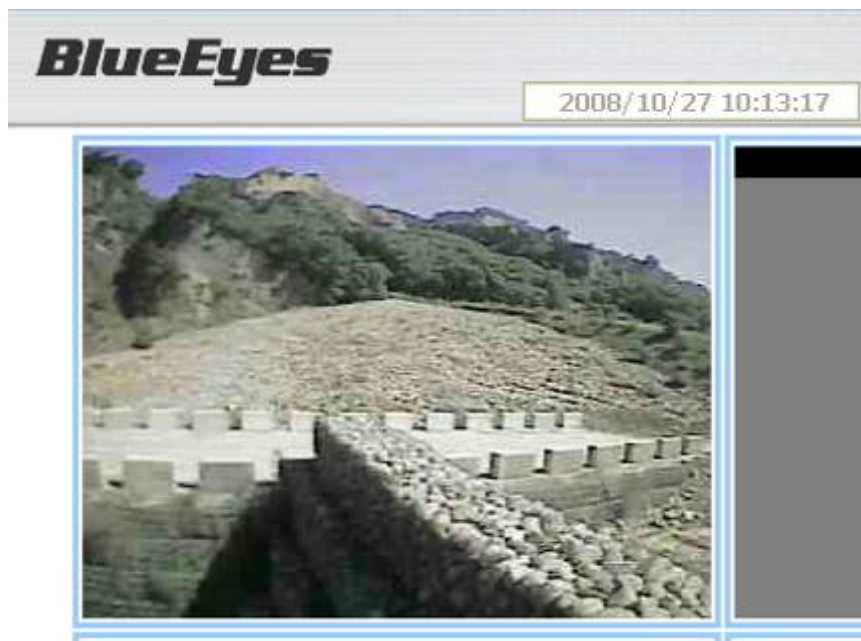


圖 4.6 西口監視器新架設位置影像畫面 (2008.10.27)

以下將本計畫所採用的監視設備說明如下：

1. 監視攝影機

本計畫採用 SUPER SENTRY SPECIALLY CAMERA SERIES 監視攝影機，水平解析度達 27 萬點 430 條 TV Lines，影像總畫素 NTSC: 510(H) x 492(V), PAL: 500(H) x 582(V)，最低照度 0.01 Lux/F1.2, 0.1 Lux/F2.0, 0 LUX When IR ON。



圖 4.7 PDR228 D/N 監視攝影機

2. 影像伺服器

影像伺服器為將監視攝影機所記錄的影像進行存取，並可透過內建網頁系統，將影像資料傳輸出去，本計畫採用 BlueEyes BE-4110 Network Video Server，最大解析度 704x480 像素(單一畫面)；352x240 像素(四分割畫面)，可儲存每秒 30 張畫面。



圖 4.8 影像伺服器 BlueEyes BE-4110

3. 寬頻路由器

本計畫採用 AES-M2100R 寬頻路由器(圖 4.9),此設備符合 3GPP 與 3GPP2 標準的多媒體技術,可將影像透過無限網路、GPRS、2.5G 或 3G 的方式將資料傳輸,並透過網路進行影像的監視(圖 5.7)。



圖 4.9 寬頻路由器 AES-M2100R 3G Router

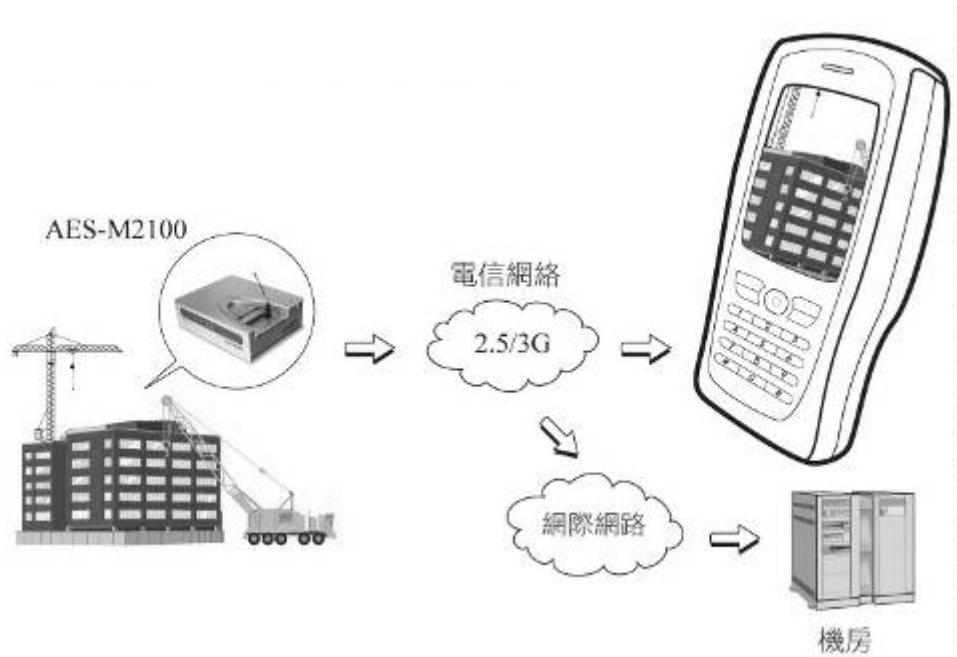


圖 4.10 影像傳輸架構圖

（三）數值地形模型的建立

航空攝影所拍攝的地面影像，可利用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災山地區的地形變化資料，本研究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，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，空間解析度為 5 公尺的數值地形模型，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 4.11 正射化影像

五、過去研究成果

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。

（一）氣候觀測

本研究整理 1968 年至 2009 年經濟部水利署大坪頂雨量站的平均月雨量資料，其中 6 月份降雨量最高，平均月降雨超過 300 公釐，其次為 5 月及 8 月，從這些 40 年來的統計資料顯示 10 月至 12 月的降雨明顯最少，降雨主要還是集中於夏季，大部分是受到颱風的影響所致。

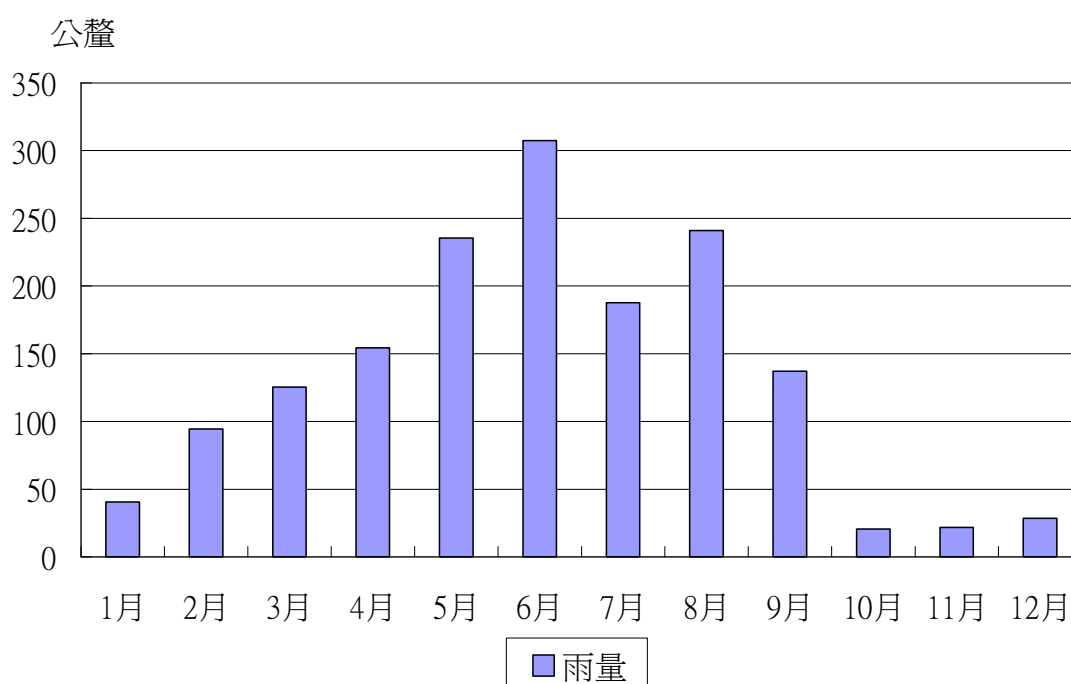


圖 5.1 經濟部水利署大坪頂雨量站 1968 年至 2009 年的平均月雨量資料

本研究維護及整理自計式氣象站資料，觀察 2006 年至 2009 年月降雨資料，由於測站部分有損失，損失的月份則以經濟部水利署大坪頂雨量站或中央氣象局台中氣象站的資料來替代。最大降雨量發生的月份大部分集中在夏季，這與經濟部水利署大坪頂雨量站歷年的降雨的資料有一致的結果，月降雨量最大發生在 2008 年 9 月將近 800 公釐，主要是是當月份有兩次較大的颱風（辛樂克及薔蜜颱風）所致。

表 5.1 2006 年至 2009 年火炎山自計式氣象站月雨量資料表

時間	月雨量	備註	時間	月雨量	備註
Jan-06	30	*	Jan-08	18	*
Feb-06	70	*	Feb-08	52	*
Mar-06	101.8		Mar-08	67	*
Apr-06	219.6		Apr-08	61	*
May-06	363	*	May-08	262	*
Jun-06	442	*	Jun-08	182.8	
Jul-06	188		Jul-08	354.4	
Aug-06	10		Aug-08	19.8	
Sep-06	83.4		Sep-08	797.6	
Oct-06	0		Oct-08	32	
Nov-06	136	*	Nov-08	24.2	
Dec-06	77	*	Dec-08	12.8	
Jan-07	0		Jan-09	0	
Feb-07	28.2		Feb-09	0	
Mar-07	121.6		Mar-09	139.8	
Apr-07	157	*	Apr-09	178.2	
May-07	182	*	May-09	11.4	
Jun-07	587.8		Jun-09	236.4	
Jul-07	53		Jul-09	47.8	
Aug-07	311.4		Aug-09	569	
Sep-07	94.6		Sep-09	5.2	
Oct-07	289.8	**	Oct-09	0	
Nov-07	21	*	Nov-09	0	
Dec-07	18	*	Dec-09	17.6	*

註：備註欄中*表示資料來自經濟部水利署大坪頂雨量站

**表示資料來自中央氣象局台中氣象站

2006 年火炎山在 7、8 月份的降雨量明顯減少（圖 5.2），8 月份只降下 10 公釐。7、8 月的雨量約佔全年的 26%，降雨總和只有 198 公釐，與過去相較要少許多。

2007 年最大降雨的月份在 6 月（圖 5.3），主要也是受到颱風的影響所致。6 月、8 月及 10 月因受到豪雨及颱風的影響，造成當月降雨量較高的現象，由於這 3 個月的降雨都較集中，在火炎山隧道造成土石流災情。

2008 年 1 月到 6 月間並無強烈的降雨事件發生（圖 5.4），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 7 月 18 日卡玫基颱風與 9 月 14 日辛樂克颱風影響使得降雨量增加。

2009 年單月降雨量最多發生在 6 月、8 月（圖 5.5），但降雨量較過去平均降雨量來得高，主要降雨量分佈還是受到颱風的來臨與季節有關，當有 1~2 次颱風，就會造成當月降雨量增加的現象。2009 年 8 月 6 日至 10 日在莫拉克颱風期間共降下 400 多公釐的雨量，為當年度最多的單月雨量。其次則以 4 月及 6 月的降雨量較多。若以降雨強度觀察，降雨事件中，也只有莫拉克颱風期間有發生超過 100 公釐的高強度降雨事件，其他月份則無。

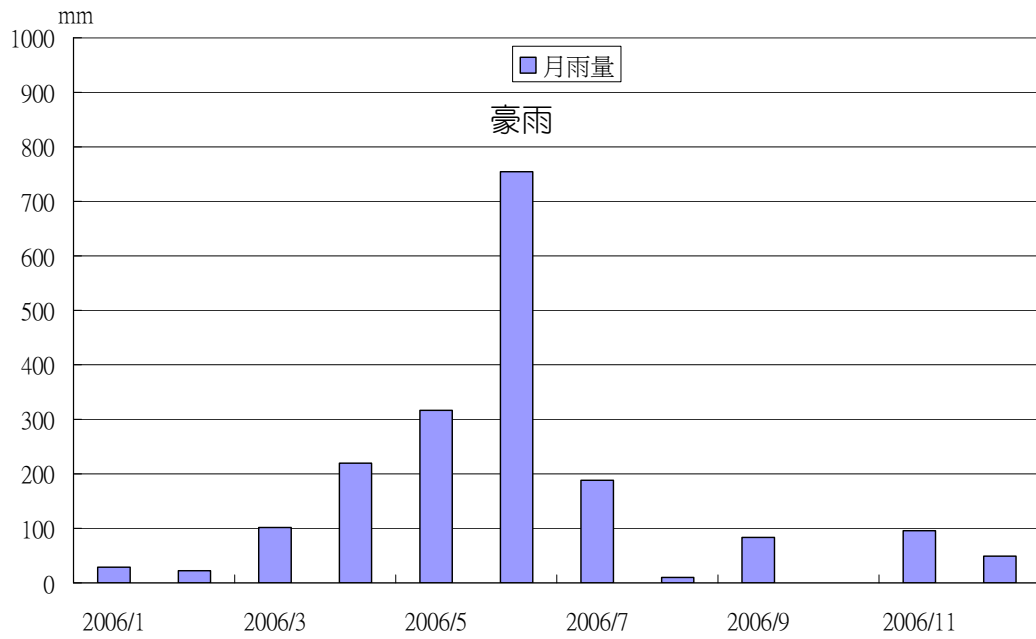


圖 5.2 2006 年火炎山地區每月降雨量統計圖

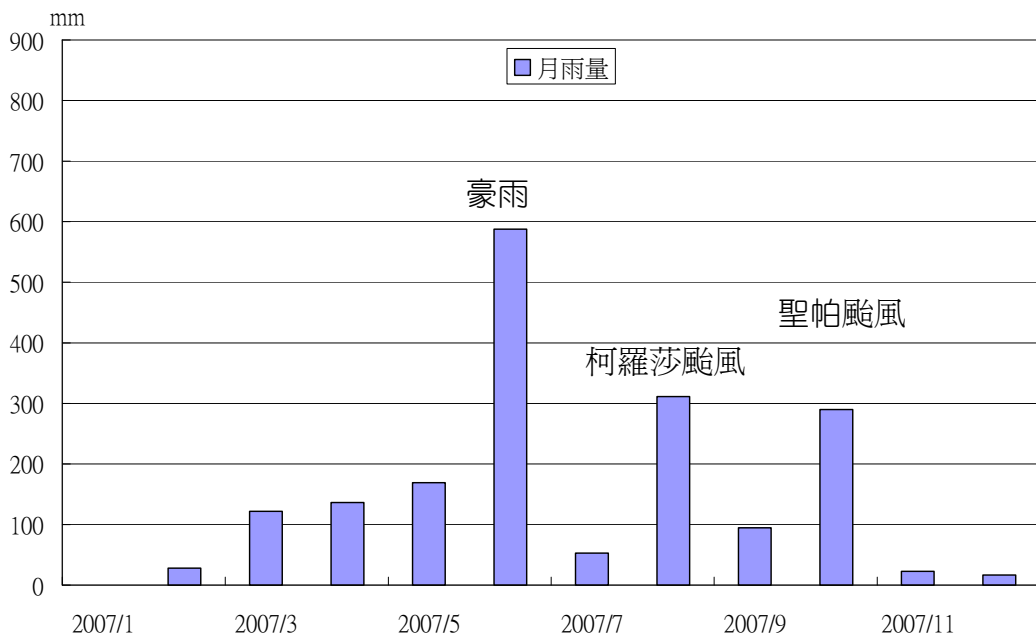


圖 5.3 2007 年火炎山地區每月降雨量統計圖

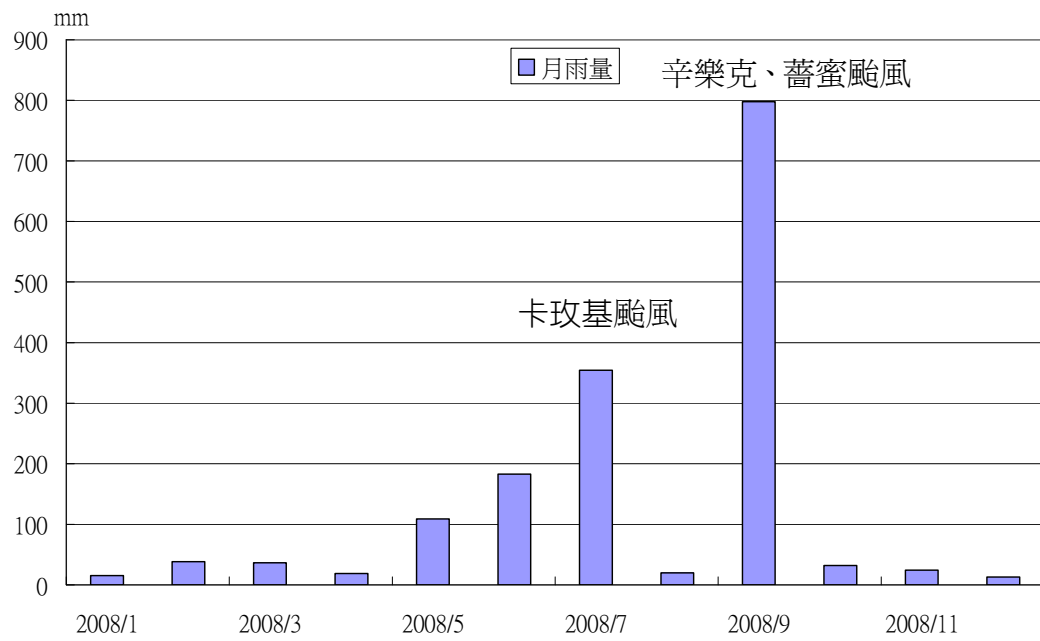


圖 5.4 2008 年火災山地區每月降雨量統計圖

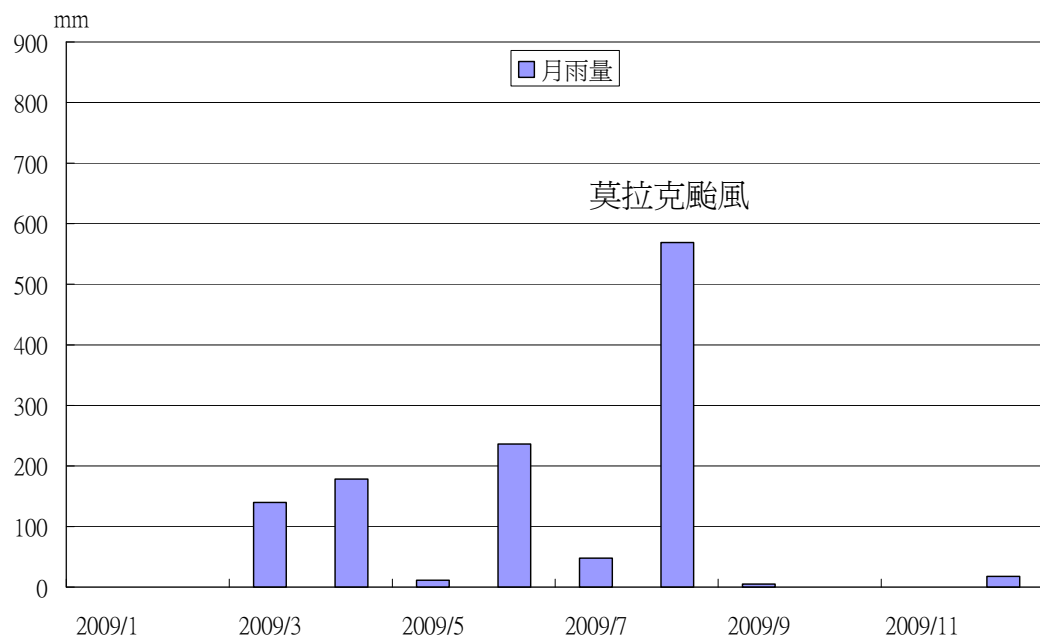


圖 5.5 2009 年火災山地區每月降雨量統計圖

（二）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。2008 年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 5.6），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 日晚 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。

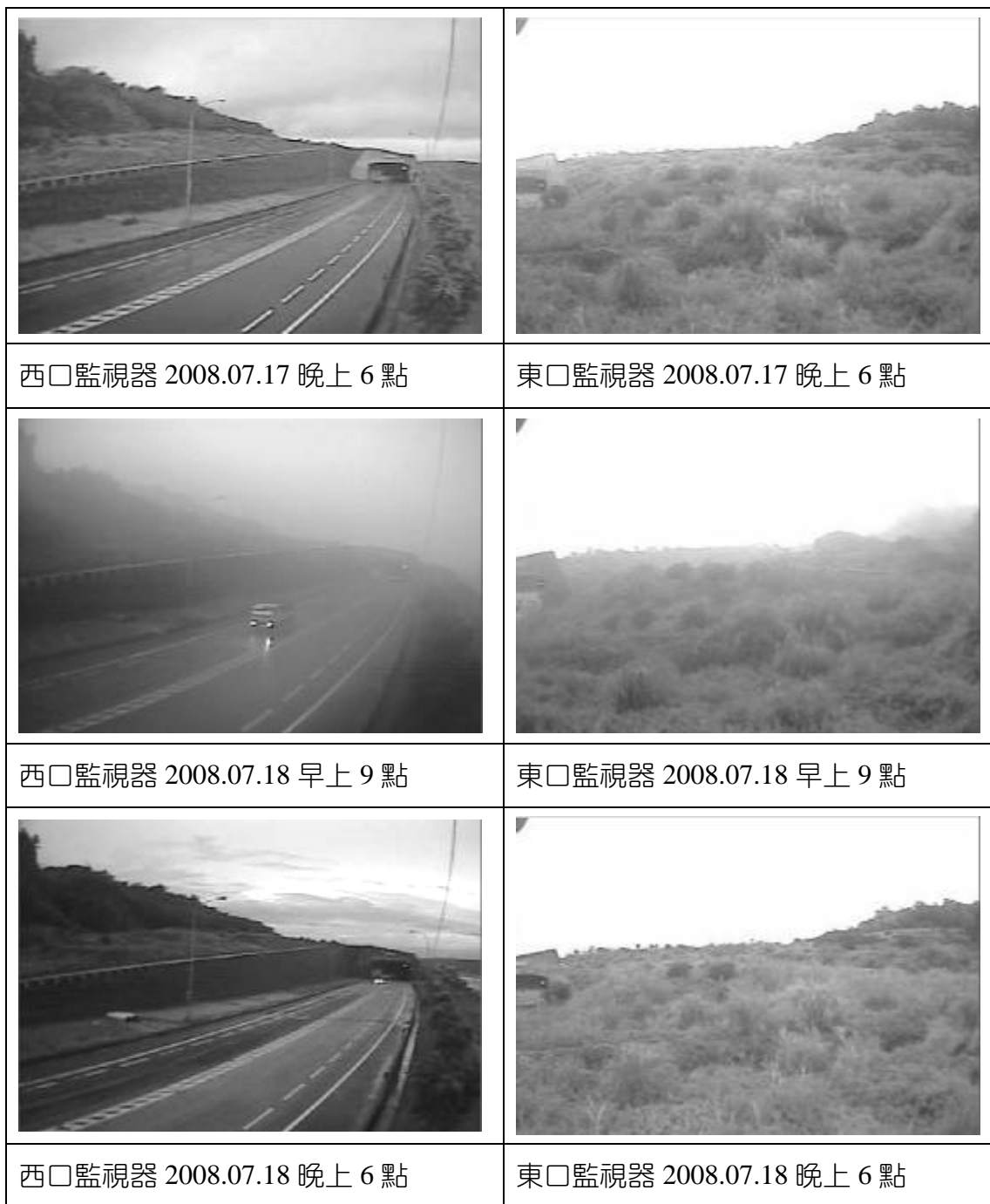


圖 5.6 卡玫基颱風前後隧道東、西口處影像監測 (2008.7.17-18)

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 5.7a），14 日 19 時由於是晚上的影像（圖 5.7b），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 5.7c），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 5.7d），推測可能是土石堆積所造成。至 15 日 5 時白天的影像，則可以清楚看到隧道出口處上邊坡已被土石被掩蓋（圖 5.7e），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 5.7f）。

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。







	
(a) 2008年9月14日16時	(b) 2008年9月14日19時
	
(c) 2008年9月14日19時30分	(d) 2008年9月15日0時
	
(e) 2008年9月15日5時	(f) 2008年9月16日14時

圖 5.7 2008 年 9 月辛樂克颱風其間隧道東口監視影像

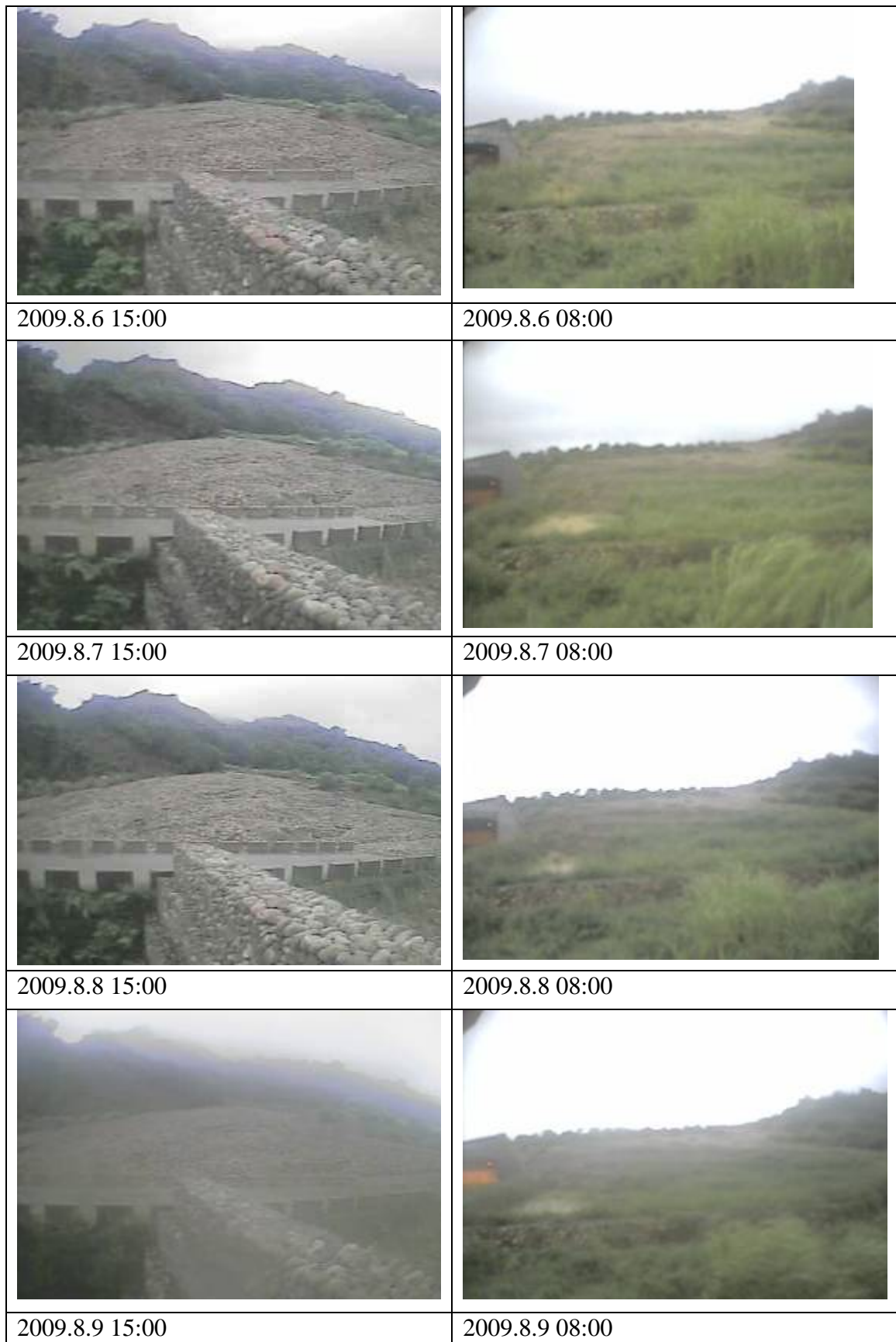


圖 5.8 2009 年 8 月 6 日~9 日莫拉克颱風期間火炎山隧道西口（左側）及東口（右側）影像監測圖

（三）降雨資料整理與分析

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)分析經濟部水利署大坪頂雨量站資料，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 公釐的事件定義為本區的豪大雨。

1. 降雨強度分析

過去在研究土石流事件中，降雨強度是引發土石流事件的重要指標，本研究為了瞭解近年來引發土石流與降雨之間的關係，統計 2006 年至 2009 年之間日降雨量超過 100 公釐的降雨事件，觀察降雨對火炎山地形的影響。

2005 年底火炎山隧道已經完工，2006 年至 2009 年的降雨主要是討論隧道興建後降雨對火炎山自然保留區地形的影響。隧道興建完成後至 2007 年間，發生了多起泥流的災害，都發生在隧道的西口處，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。

苗栗縣政府在於 2008 年在西口處興建一土堤，以預防泥流再次發生。2008 年辛樂克颱風時造成隧道東口處土石崩落的現象，隧道西口則沒受到影響。在 2009 年的莫拉克颱風事件中，還是有少量的泥流漫過土堤，輕微的影響道路的通暢。

從表 5.2 來看，降雨強度在 28.4 公釐即可能發生泥流的災害，但在西側土堤興建完成後，2008 年 7 月的卡玫基颱風降雨強度達 51.4 公釐卻沒有發生明顯災

害，表示西側土堤有預防災害發生的功用。在今年 8 月的莫拉克颱風中，最大降雨強度為 48.8 公釐，造成土壤中的含水量接近飽和，進而發生土石流的情況。不過由於土堤發揮作用，溢出的土石流規模並不大，工程單位也在發生的當天立即排除。

因此，就目前的經驗來看，降雨強度指標通常能夠反應出土壤水分是否有快速增加的情況，尤其是在火炎山地區，礫石的特性會加速水分的下滲，容易形成半固體的土石流往下滑動。不過，由於高降雨強度的時間與土石流發生的時間仍有差距，因此還是需要加入總雨量的指標來幫助研判是否會發生土石流。

表 5.2 火炎山豪雨事件 24 小時降雨及降雨強度比較表

時間	24 小時雨量 (公釐/hr)	降雨強度 (公釐/hr)	說明
2005/12			火炎山隧道完工
2006/7/9	112.4	44.8	隧道東口泥流
2006/7/18	185.4	32.4	無明顯災害
2007/6/8	114.6	28.4	隧道西口泥流
2007/8/12	107.6	56	隧道西口泥流
2007/10/7	166.8	32	隧道西口泥流
2008/1			隧道西口土堤興建完成
2008/7/18	215.2	51.4	卡玫基颱風，無明顯災害
2008/9/14	255.6	30.8	辛樂克颱風，隧道東口土石流
2009/8/6	414	48.8	莫拉克颱風，7 日晚間隧道西口輕微土石流

2. 累積降雨分析

降雨對於礫石的影響除了降雨強度外，持續性的降雨也影響礫石層搬運的作用。本研究比較幾場豪雨的事件，比較累積降雨的差異性，希望能更瞭解降雨的特性對於火炎山自然保留區土石搬運的影響。

本研究選定 4 個發生災害的降雨事件來觀察之間降雨的差異，時間分別為 2006 年 7 月 9 日-10 日、2007 年 6 月 8 日-9 日、2008 年 7 月 18-19 日以及 2009 年莫拉克颱風侵台期間（8 月 6 日-8 月 10 日），這 4 場降雨 12 小時累積降雨量均超過 100 公釐，觀察及降雨特性分別說明。

2006 年 7 月 9 日累積降雨量 4 個小時即達到 100 公釐以上，與本研究設定的災害發生臨界值高許多，因此可見快速集中的降雨是一般造成土石流最主要的致災原因。

2007 年 6 月 8 日 0 時至 9 日 10 時，累積雨量才達到 100 公釐的臨界值，本次災害主要是造成隧道西口處泥流的溢流及小規模的崩塌，因此持續性的降雨也會造成本區的災害產生。目前已於隧道西口處興建土堤，目前暫時可解決泥流的問題，但後續在更多的降雨時是否可避免災害的發生，還要持續進行觀察。

2008 年 7 月 18 日的降雨事件，為前兩次災害的綜合結果，不但在短時間累積很多的降雨量，同時降雨時間也相當長，累積降雨量已經達到 200 公釐以上，這種降雨通常會在颱風時才會產生。

在 2009 的莫拉克颱風期間，最大的降雨強度出現在 6 日晚間，而在隔日（7 日）也發生了土石流的現象。由圖 5.10 可以看出，這次颱風降雨的另一特色為降雨時間長，兩個降雨的高峰從 8 月 6 日開始，7 日中午起雨勢稍歇，8 日晚間又開始新的降雨高峰。沖積扇上的土石從 7 日起已經富含水份，在沒有足夠時間排除水份下，當 8 日降雨再開始時，發生土石流的機率就偏高。而警報系統在 8 月 7 日雨量超過 100 公釐時就已經先發出簡訊，7 日晚間至 8 日該地凌晨傳出小規模土石流的災情，證明警報系統有達到預先警告的設立目標。

從累積降雨來看，過去研究顯示大部分 12 小時的降雨超過 100 公釐，本區

會有災害發生而這些大部分是屬於降雨強度較高的型態。除此之外在降雨強度不高但是持續性的降雨也是會造成災害的產生。

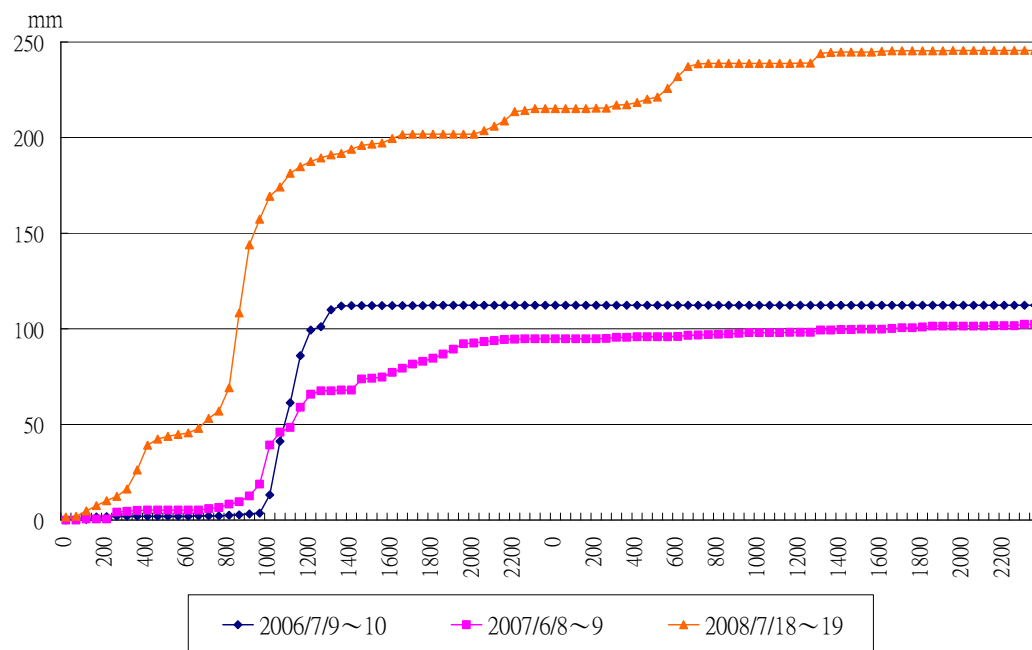


圖 5.9 2006、2007 與 2008 年三次降雨事件累積降雨比較

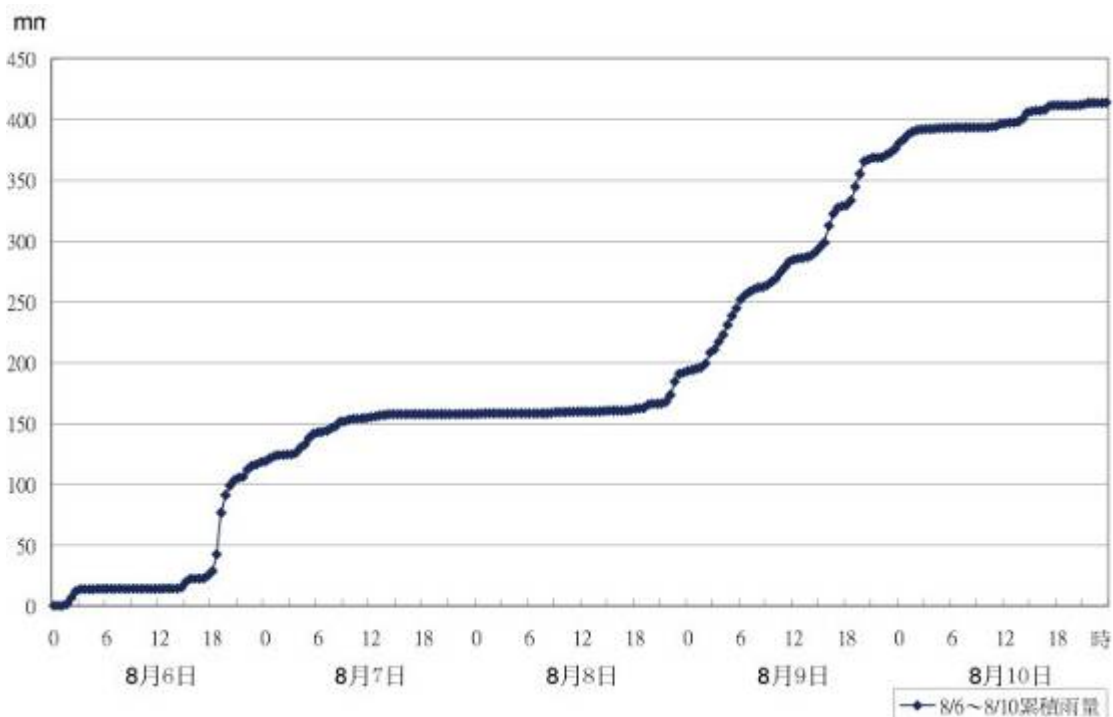


圖 5.10 莫拉克颱風期間 (8/6~8/10) 累積降雨量比較

3.降雨警戒發報系統

土石流發生的原因主要有三種，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，在 2008 年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。

(四) 颱風降雨分析

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 5.11）。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閾值（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的採取，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。

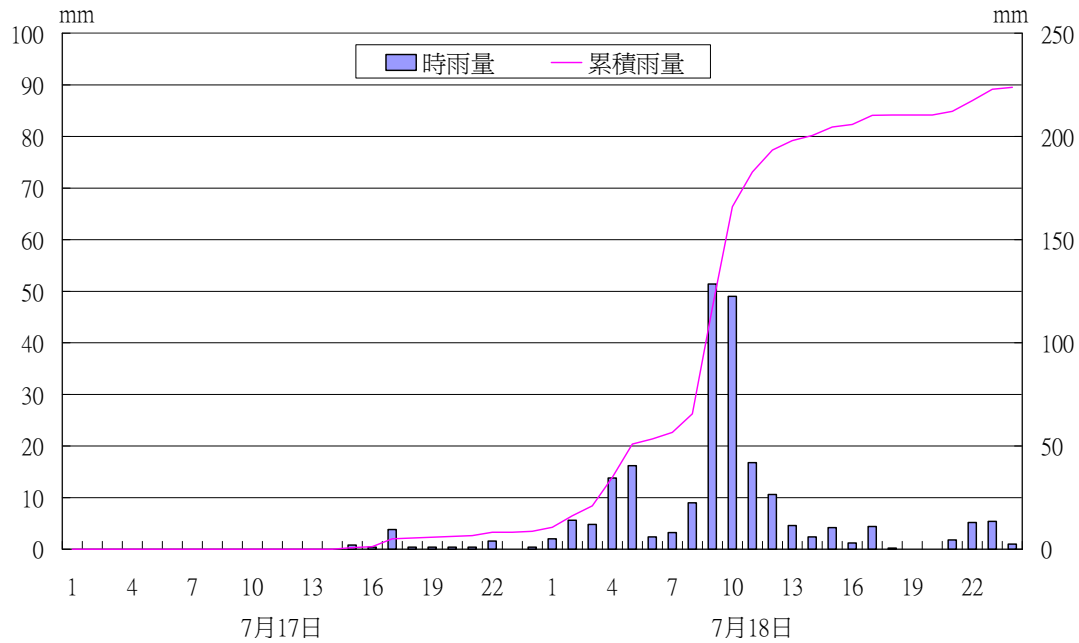


圖 5.11 卡玫基颱風降雨量統計圖

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 5.12）。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。

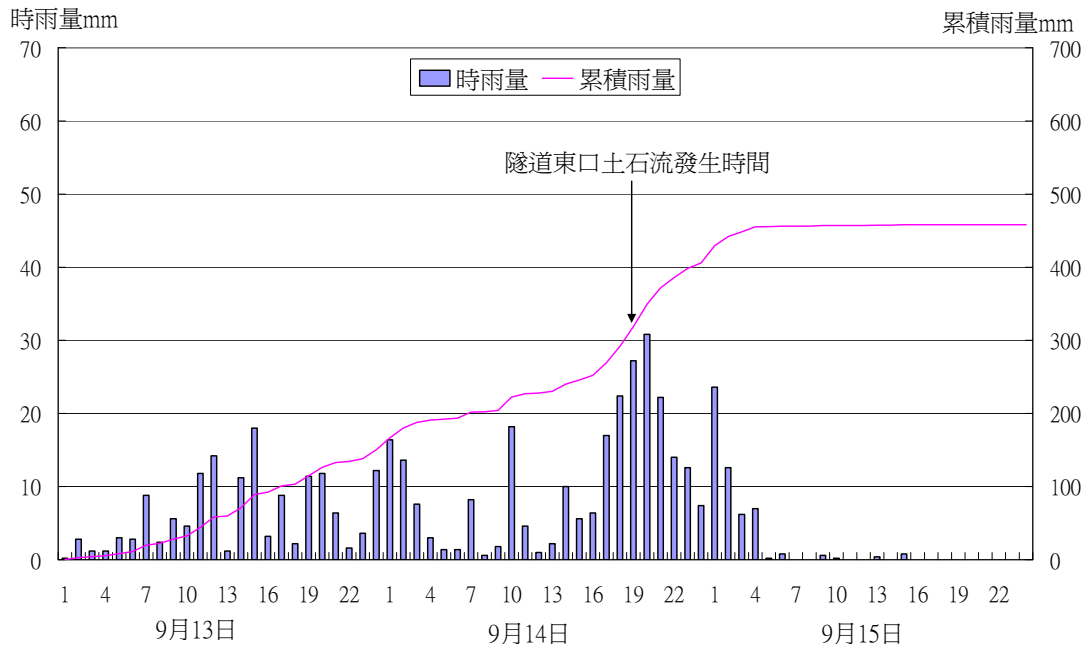


圖 5.12 辛樂克颱風降雨量統計圖

比較兩次颱風災害的降雨情況（表 5.3），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 5.3 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

本計畫在火炎山上方氣象站由於電力供應時常中斷，加上位於集水區上方，維修較不容易，因此本研究在隧道東口處另架設一個雨量站，由機房的電力直接供電，較不易受電池衰退影響到資料收集的品質，可替補火炎山上方測站損毀時的降雨資料。火炎山下方測站位於公路旁，較易進行維修，且電力穩定，因此此站作為本研究即時警報系統的觀測站。

將本研究將上方及下方兩測站所收集的資料，分別比較降雨量的差異性，以瞭解區域降雨的差異，2008年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，比較火炎山上方及下方的降雨量，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。

2008年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。

（五）地形變遷分析

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。

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。

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。

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。

本計畫利用 2006 年與 2008 年航空照片的影像，生產 5 公尺網格的 DTM 資料，分析 2005 年、2006 年及 2008 年 9 月三個年代地形變遷的情況。目前初步分析沖積扇地形的變化，結果如圖 5.13~15。

2005 年為隧道正在施工的期間，2006 年為隧道通車後 8 個月，從兩年的數值地形資料來比較（圖 5.13），在隧道上方呈現明顯的堆積，主要原因可能為施工期間挖填所造成的高程變化差異，而自然地形的變化，因為受到人為工程的影響，因此無法明確說明因降雨所造成的地形變化。

2007 年隧道西口因颱風及豪雨造成 3 次泥石流及土石堆積在隧道口的狀況，因此在 2008 年在隧道西口處興建一土堤，從 2006 年至 2008 年的數值地形資料可以看到隧道西口處有一堆積，這就是土堤的位置（圖 5.14）。2006 年至 2008 年航照拍攝的期間，發生了幾場較大的降雨事件，如 2007 年 6 月 10 日、2007 年 8 月 19 日、2007 年 10 月 7 日及 2008 年 7 月 17 日的卡玫基颱風，比較這段期間數值地形資料分析的結果，除了在 4 號、5 號集水區（靠近隧道西口）有些許的堆積，3 號集水區沖積扇的部分呈現是大量侵蝕的現象。

過去利用歷年航照及數值地形資料研究火炎山地形變遷的結果，沖積扇發生侵蝕的現象主要是人為土石的清淤及砂石的採取所造成的，由於本區已經開放苗栗縣政府進行土石的採取，從數值地形資料看，推估 2008 年 9 月時土石的採石量已經大於隧道完成後土石的堆積量，造成沖積扇地形呈現大量侵蝕的現象。

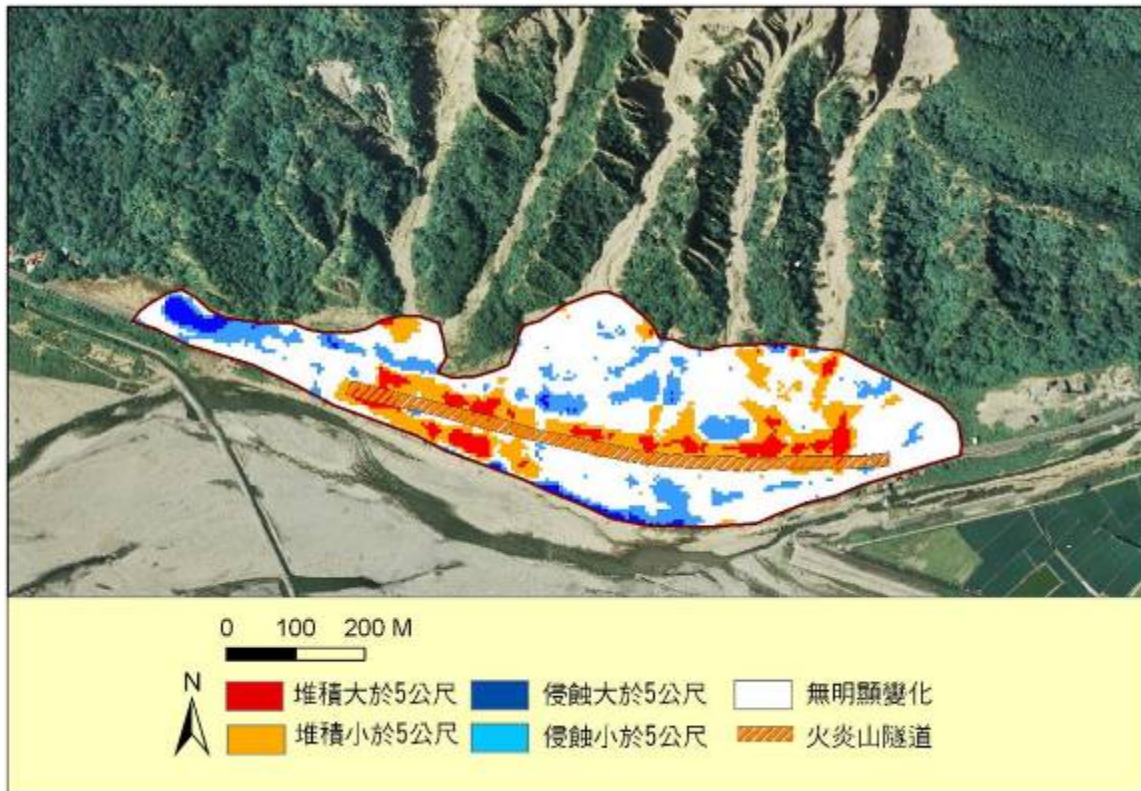


圖 5.13 2005 年至 2006 年火炎山沖積扇面高程變動

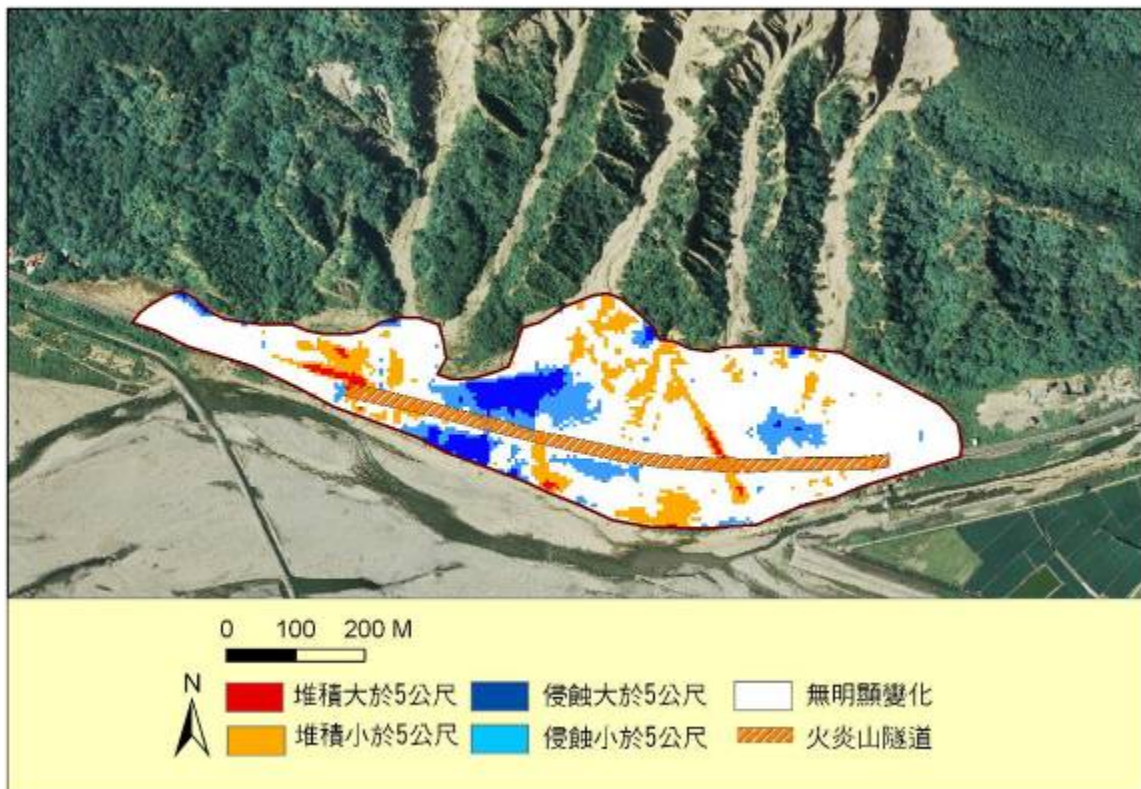


圖 5.14 2006 年至 2008 年火炎山沖積扇面高程變動

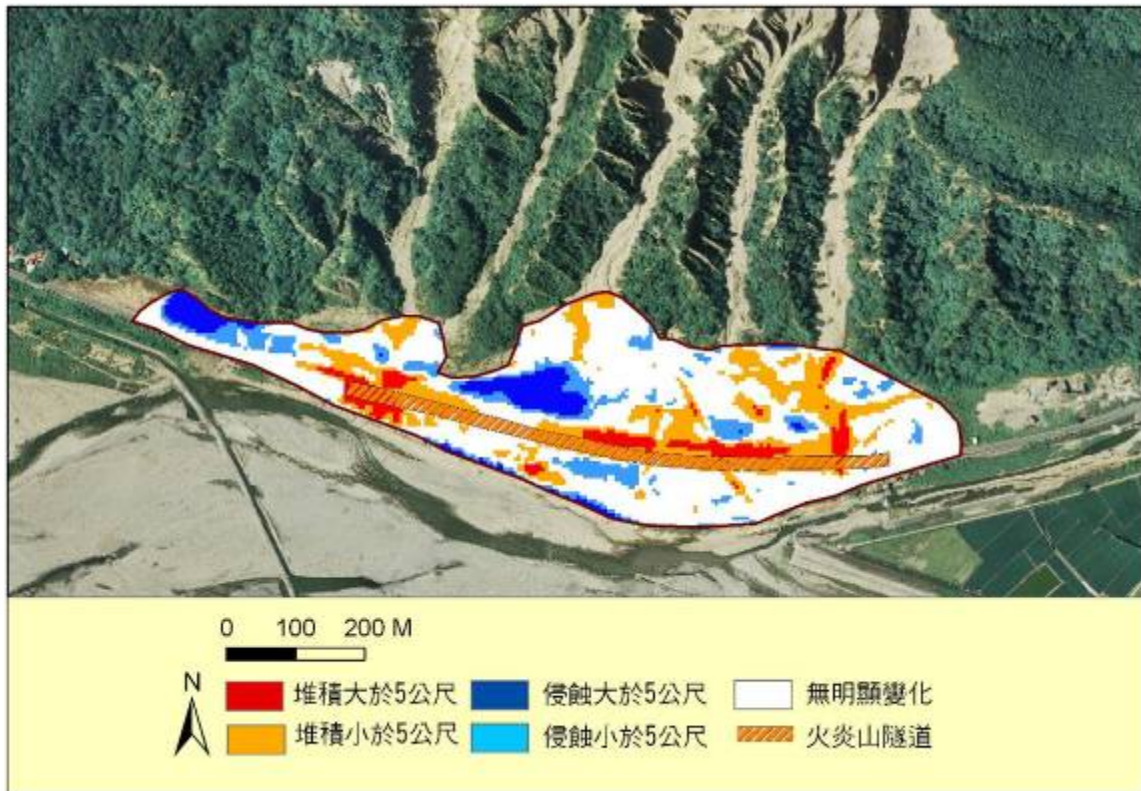


圖 5.15 2005 年至 2008 年火炎山沖積扇面高程變動

而就隧道上方的土石量而言，火炎山隧道原始設計可以承受隧道上方 7 公尺高的土石堆積量，若是超過 7 公尺則需要進行清除土石的動作。本研究找出 2006 年隧道完工後，隧道上方的土石堆積高度（圖 5.17~5.19）。隧道頂部的高度在完工的當時（2005）為 180 公尺，而在 2006 年的 DTM 上顯示，隧道上方的土石在當年度的高度並沒有累積超過 7 公尺，還可以繼續的承受土石堆積。而未來是否需要進行土石的清除動作？就目前的觀察，隧道前方還有很大的空間可以累積土石，當土石流發生時，土石流應僅通過隧道上方，而並非停在隧道上方增加土石高度。就此點推斷，隧道上方的土石高度，在短期間內應該不至於累積超過 7 公尺的高度。



圖 5.16 火炎山隧道在 3D 立體影像上的位置

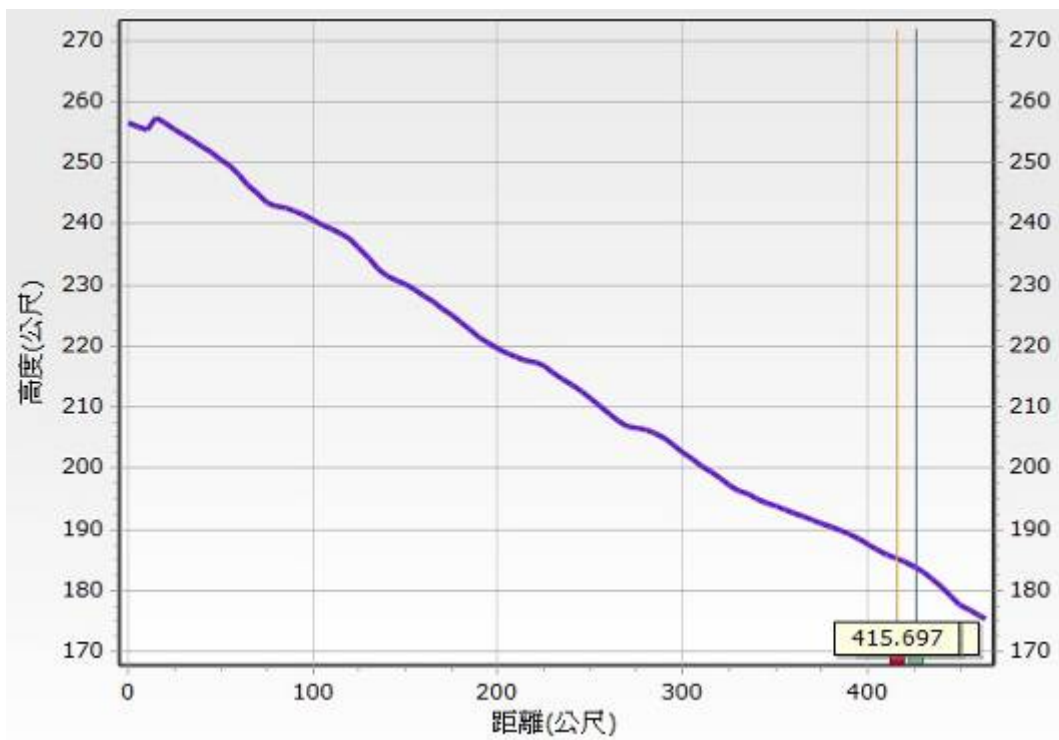


圖 5.17 火炎山 1 號集水區剖面圖（橘線與藍線所夾處為隧道位置）

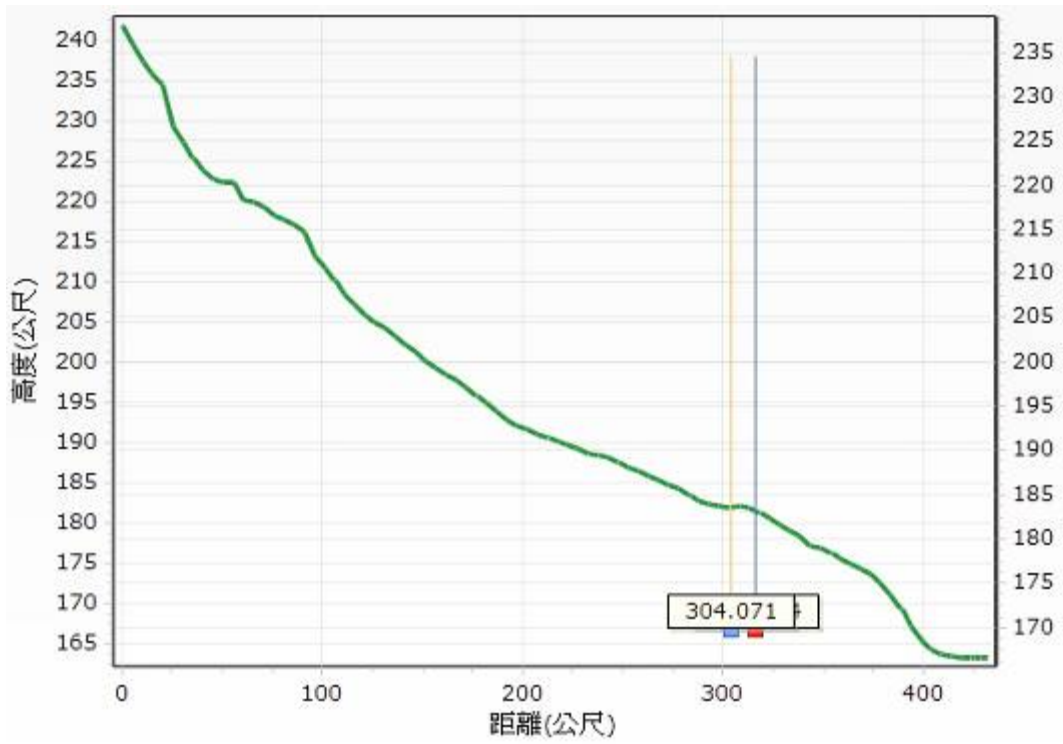


圖 5.18 火炎山 2 號集水區剖面圖（橘線與藍線所夾處為隧道位置）

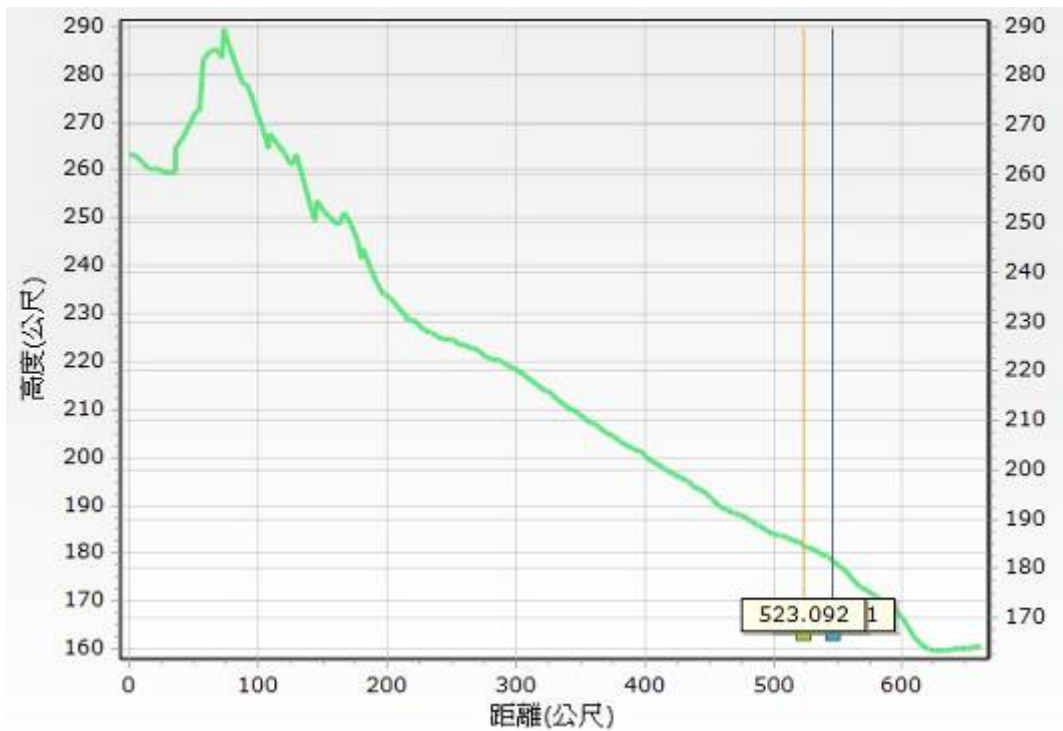


圖 5.19 火炎山 3 號集水區剖面圖（橘線與藍線所夾處為隧道位置）

（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，主要的挖掘工程在第三子集水區的沖積扇扇面進行。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。唯挖掘工程始於 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 5 號子集水區的河道流路，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 5 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 5 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，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，在沒發生土石災害前可看到東口處植生相當茂密（圖 5.20），在辛樂克颱風後，原本植生的區域大部分被土石所掩蓋（圖 5.21），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 1 號集水區的上游。



圖 5.20 2007 年隧道東口處照片 (2007.9.19)



圖 5.21 2008 年辛樂克颱風後隧道東口處照片 (2008.10.09)

2008 年 6 月 2 日進行現場會勘，觀察目前土石堆積的狀況及當地土石採取對地形變化的影響（圖 5.22）。

從隧道西口的土堤往隧道上方，土堤內側堆積許多土石，土石的堆積面已經接近土堤的高度，在土堤內側的溝道上中段再設置一小土堤，以減緩土石向下衝擊的力量（圖 5.23）。本研究已經於 2008 年將西口的監視影像改設立於隧道上方，監測 4 號及 5 號集水區沖積扇土石崩落的情形（圖 5.24）。

由於 2008 年苗栗縣政府已經開放在隧道上方自然保留區範圍外進行土石的採取，實際上範圍雖然在保留區外，但已經相當靠近保留區的範圍。從現場觀察，原本為土石堆積的沖積扇，已被向下挖深，使得原本沖積扇的上緣形成土堤，而沿著沖蝕溝所攜帶的土石，則在土堤下方形成新的沖積扇（圖 5.25）。

從 5 號集水區至 3 號集水區原沖積扇的位置，由於大部分的土石已被向下挖深約 2 公尺，靠近保留區的邊界上形成一高低落差的土堤；由於這樣挖深的結果，使得原本地形上所形成的侵蝕基準面發生改變；另外沖積扇上方的土石都是膠結不良的礫石，當豪雨來臨時這些土石會直接向下堆積，除了沖蝕溝中的土石會因為沖積扇被挖深而加速向下侵蝕的作用力，沖積扇上方的土堤因失去原本沖積扇的支撐，更容易加速侵蝕作用的產生。

當降雨量較少時，礫石並不會產生明顯的搬運，主要是礫石間的細粒物質沿著空隙被雨水沖刷出來，形成成泥流。由於火炎山上方沖積扇的土石已移走，下方因隧道的阻隔所以無法繼續向下流動，因此當降雨發生時，泥流會先被帶出堆積在隧道上方。



圖 5.22 隧道西口土堤內側土石堆積情況



圖 5.23 從土堤往下看，土堤內側有一小土堤



圖 5.24 本計畫在隧道西口設立的影像監視器



圖 5.25 沖積扇出口處的土石，已被向下挖深約 2 公尺



圖 5.26 從 5 號至 3 號集水區，沖積扇約被挖深 2 公尺



圖 5.27 下雨時細粒的泥沙被帶出，堆積在隧道上方



圖 5.28 沖積扇的邊緣形成土堤，豪雨來時會加速土石崩落

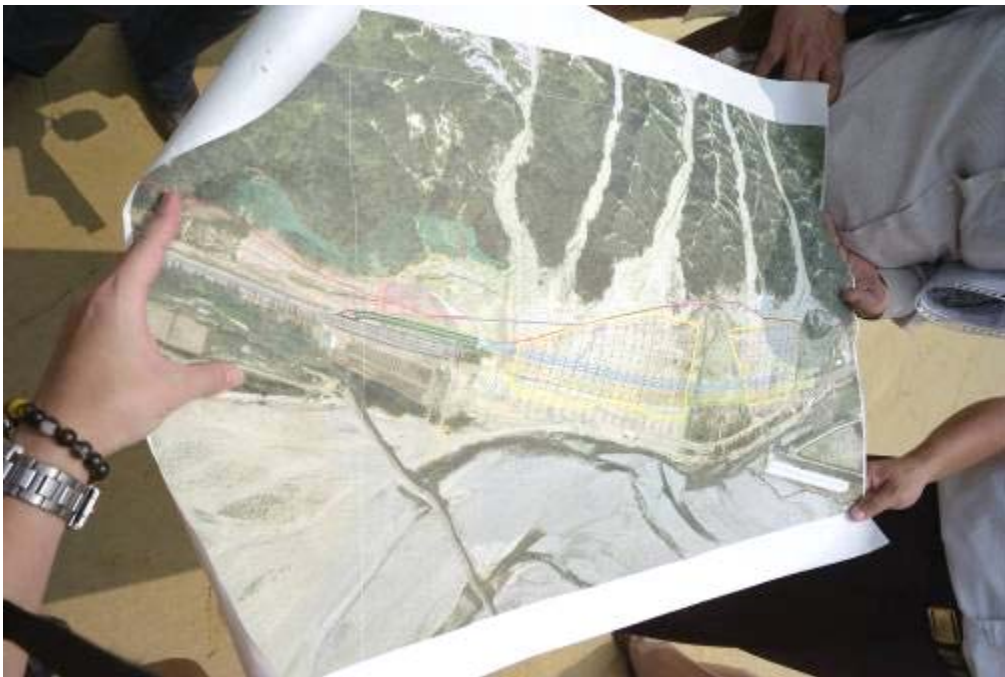


圖 5.29 檢視土石採取的範圍規劃圖

（七）莫拉克颱風後現場調查

莫拉克颱風為 2009 年度火炎山地區最大降雨事件之一，為了瞭解此次颱風侵襲對於隧道上方集水區的影響，特地前往現場觀察。由於颱風造成輸水管路破裂，工程單位在搶修時就先將隧道上方的土石進行清理，使得照片中堆積在隧道上方的土石會少於颱風過後的堆積情況。

就隧道東口以及第 1、2 號集水區觀察，這 3 個地點在這次颱風中並沒有發生災害，而在沖積扇兩旁的土堤上，也已經佈滿草叢，環境相當穩定。1 號與 2 號集水區下方的沖積扇，工程單位也已經加以清理，目前相當空曠。而往集水區上游觀察，目前河道中已經有大量的土石堆積，但坡度與沖積扇上未被清理的部分相當，顯示沖積扇上的堆積已經向上累積到了河道中，達成某種程度的平衡。河道中也有看到重新刷深的現象，代表這次颱風也有造成土石搬運，但規模不至於造成土石災害。



圖 5.30 莫拉克颱風後火炎山隧道東口邊坡情況



圖 5.31 莫拉克颱風後火炎山隧道東口上方情況



圖 5.32 莫拉克颱風後火炎山隧道東口旁土石流痕跡



圖 5.33 莫拉克颱風後火炎山 1 號集水區情況



圖 5.34 莫拉克颱風後火炎山 2 號集水區情況

3 號集水區為火炎山最大也最活躍的集水區。由現場觀察，3 號集水區在這次颱風中也有發生土石搬運的情況，但因沖積扇面積廣大，這次的土石流並沒有改變整個沖積扇面的情況，而只有刷深部分水流經過的河道。工程單位這次也有清除堆積在隧道上方的土石，也給了觀察土石堆積的良好基準。目前 3 號集水區沖積扇在隧道上的堆積高度約有 1.5 公尺，往扇頂也相當厚。扇面上的河道中有新的刷深痕跡，刷深的程度依據目測，應達 2 公尺以上（圖 5.35~5.38）。

由於 3 號集水區土石搬運能力強，除了造成大量的堆積外，扇面上也有很多不同時期的河道痕跡。目前工程單位在 3 號集水區的左右兩側都有堆起至少 2 公尺的土堤，避免改大量的土石在改道後阻礙其他集水區的流路。



圖 5.35 莫拉克颱風後火炎山 3 號集水區情況，遠處可見河道的刷深高度



圖 5.36 3 號集水區扇面的堆積 1



圖 5.37 3 號集水區扇面的堆積 2



圖 5.38 3 號集水區扇面上的刷深情況



圖 5.39 3 號集水區從隧道上方往大安溪的土石堆積情形

4 號與 5 號集水區的面積比 3 號集水區小，但因其會影響到隧道西口的交通情況，使得這兩個集水區的情況相對變得重要。由於工程單位會視情況清理這兩個集水區的沖積扇，使得扇面的堆積高度沒有三號集水區來得高。以四號集水區來看，照片內河道中的樹林生長情況良好（圖 5.40~5.41），表示這幾次颱風對於 4 號集水區的影響很小，沒有對河道造成大擾動。但從谷口觀察，谷口後方河道的堆積高度相當驚人，甚至比原來兩側的自然堤還要高，河道中應該累積了相當多的土石。

5 號集水區經過颱風之後，目前處於相對穩定的情況。從扇面到河道的角度相當一致，但也代表 5 號集水區的搬運能量強大，已經將之前扇面土堤旁的低平處填滿，未來新搬運出的土石可能會在扇面上任意流動（5.43~5.44）。目前工程單位在隧道西口旁清出一滯洪池（圖 5.45），希望達到留置土石的效果，但對比於 5 號集水區的土石搬運量，滯洪池的效果可能相當有限。



圖 5.40 4 號集水區與 5 號集水區的下流景象



圖 5.41 莫拉克颱風後的 4 號集水區



圖 5.42 清理後的隧道西口上方景象



圖 5.43 莫拉克颱風後的 5 號集水區



圖 5.44 5 號集水區側邊的堆積情況，下方接近隧道西口



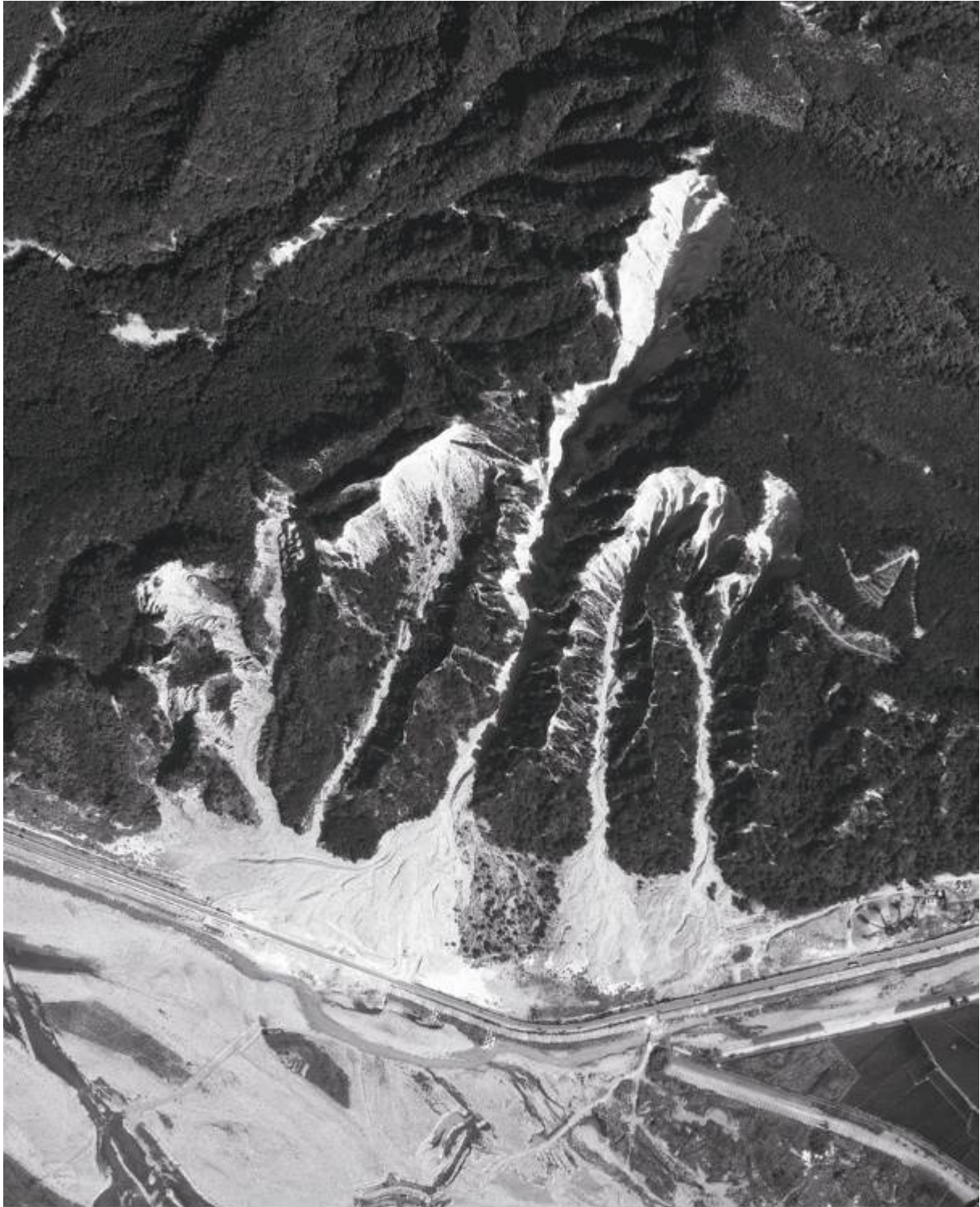
圖 5.45 隧道西口旁的滯洪池

(八) 宣傳海報設計

2009 年度設計及編輯 8 張海報，提供管理處進行教育宣導，主題分別為：

1. 歷年航空照片影像共 5 張
2. 火炎山的自然保留區全圖
3. 火炎山礫石的特性
4. 火炎山的監測

相關成果見圖 5.46~5.51。



火炎山1991年正射影像圖

火炎山上的土石受到高強度的雨水沖刷，大量的泥沙順著山谷往下游流出，並在每個集水區末端產生沖積扇。沖積扇所延伸的區域正好是縣道140(時為縣道130甲線)所經過的路徑，這條道路為往來三義及苑裡之要道。

0 125 250 公尺



資料來源：行政院農業委員會林務局農林航空測量所
拍攝日期：1991年10月1日
行政院農業委員會林務局新竹林區管理處 製作
國立台灣大學地理環境資源學系台灣地形研究室 編印

圖 5.46 火炎山 1991 年正射影像圖海報



火炎山1999年正射影像圖

九二一地震後的火炎山，尚季尚未來臨，尚未將鬆動的土石沖刷前的航照，但山上的土石依舊威脅著往來的人車。與1991年的影像比較下，最明顯的不同在於第三沖積扇由原本向東沖積因為逐漸淤高而改往西邊沖積。而東邊這塊較高的堆積區由於淤積穩定而開始有植被覆蓋，在圖上可以很清楚看到東邊的植被往下游延伸的現象。

0 125 250 公尺



資料來源：行政院農業委員會林務局森林航空測量所
 拍攝日期：1999年10月4日
 行政院農業委員會林務局新竹林區管理處 製作
 國立台灣大學地理環境資源學系台灣地形研究室 編印

圖 5.47 火炎山 1999 年正射影像圖海報



火炎山2002年正射影像圖

九二一地震後至2002年間台灣遭受了許多強降雨的颱風，如2000年象神颱風、2001年的桃芝及納莉颱風，這些颱風對於台灣地區帶來大量的雨量，也造成了許多災情。火炎山在這樣的衝擊之下，在影像上可以清楚的看見每個沖蝕溝都有向源侵蝕的現象，裸露的河道也有加寬，甚至更北面的坡地上也出現了明顯的土石沖刷痕跡。

0 125 250 公尺



資料來源：行政院農委會林務局森林航空測量所
拍攝日期：2002年6月12日
行政院農業委員會林務局新竹林區管理處 製作
國立台灣大學地環境資源學系台灣地影研究室 編印

圖 5.48 火炎山 2002 年正射影像圖海報



火炎山2005年正射影像圖

2005年的影像可以很明顯發現到2004年歐普利颶風後，所有的河道裸露的部分都加寬，三號沖積扇也往東邊堆積，覆蓋其上的植被。而每個沖蝕溝源頭裸露面積也變大，特別是中央的沖蝕溝源頭已經明顯越過枝線繼續加長。為了避免火炎山土石持續對道路帶來影響，照片中為施工中的火炎山隧道。



資料來源：行政院農業委員會林務局農林航空測量所
 拍攝日期：2005年8月14日
 行政院農業委員會林務局新竹林區管理處 製作
 國立台灣大學地理環境資源學系台灣地形研究室 編印

圖 5.49 火炎山 2005 年正射影像圖海報



火炎山2008年正射影像圖

隧道完工後，原本車輛由較靠河岸的一般道路改為直接穿過沖積扇區域。沖積出來的土石大多直接越過隧道頂部往大安溪流去。值得注意的是，隧道的總長度比聯合沖積扇的東西向寬度還要略為短少，造成土石向東西兩側出入口淤積時，形成另一種災害。這張影像正好拍攝於同年9月17日樂克颱風之前，因此隧道東口尚未被土石掩埋。

0 125 250 公尺

N

資料來源：陶林數位測量有限公司
 拍攝日期：2008年9月11日
 行政院農業委員會林務局新竹林區管理處 製作
 國立台灣大學地理環境資源學系台灣地形研究室 編印

圖 5.50 火炎山 2008 年正射影像圖海報

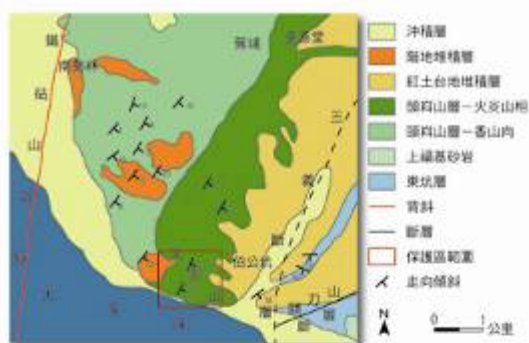


圖 5.51 火炎山自然保留區全圖海報

火炎山的礫岩特性

火炎山位於苗栗丘陵南部，大安溪的北側，就地層而言，幾乎都屬沈積岩體系，沈積的年代從中新世到全新世之間。火炎山自然保留區的特色主要為厚層礫石層瑟地的侵蝕地形。

受到地層傾斜的影響，火炎山最常見到的地層露頭為頭嵛山層火炎山相。火炎山相主要由礫石組成，其間亦夾雜厚度較薄之砂、頁岩互層。但其膠結物質多為粗沙或細礫，膠結程度較差，很容易被雨水或地表逕流冲刷而崩落，造成火炎山特殊的裸露礫石邊坡，以及在集水區下游地區形成大規模礫石沖積扇。由於這樣容易被侵蝕，不易開墾及種植的特性，在地形學上被稱為「瑟地地形」。



地層	厚度	年代	主要組成岩性
現代堆積層		現代-幾年	礫石堆積：以石英砂岩、石英岩及石英礫岩為主。泥沙堆積。
礫石台地堆積層	10m-20m	更新世末期	由圓礫、次圓礫及稜角礫之石英砂及沙土組成。
紅土台地堆積層	10m-20m	更新世中期至末期	紅土。礫石層：以石英砂岩、石英礫岩為主。由表層數十分公分至兩公尺之紅褐色與數十公尺之礫石夾紅砂土組成。層理不明顯。
頭嵛山層火炎山相	約30m	更新世早期至中期	礫石層以石英砂岩及粗礫石英砂岩為主。部分粗礫石英砂岩礫含較高之長石及黏土礦物，經風化後孔隙較大、強度降低，易以齒錄擊破。層理不明顯。
頭嵛山層香山相		上新世至更新世	以砂頁岩互層為主，間雜有礫石層、礫化木，並含有褐鐵礦之成分。間夾之礫石層。層理較明顯。



◀ 受到雨水侵蝕的深切峽谷，深約十公尺。



▶ 頭嵛山層露頭及礫石沖積扇的一角。



◀ 四號集水區源頭之崖壁，由礫石顆粒互相緊壓所支撐。

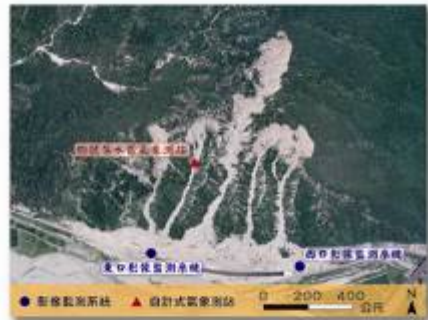
行政院農業委員會林業局編印
國立交通大學地理環境城鄉學系台灣地形學組 編印

圖 5.52 火炎山礫岩特性海報

火炎山的監測

2005年年底隧道興建完成後，台大地理系台灣地形研究室在隧道東口架設影像監視系統，並進行氣候資料的監測與蒐集；2006年則完成隧道西口的影像監視系統的架設。

架設監視系統的目的在於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，源頭區市地貌變遷與邊坡後退的觀察；中段為河道的侵蝕變遷；下游為沖積扇地形的變化。



監測設施位置示意圖

(一) 氣象監測

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(Data logger)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，最後以數值化的方式呈現。

火炎山四號集水區氣象測站以每10秒一次的頻率收集基本氣象資料，包含：雨量、風速、風向、溫度與相對濕度等五項。資料處理器會將每15分鐘內收集的氣象整理計算出一筆數值資料並儲存。當量測到每12小時超過100公厘的累積降雨量時，便會藉由GSM無線傳輸系統發送警告簡訊，來達到災害預警的效果。

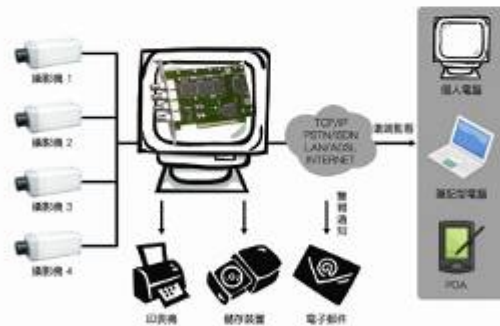
本測站除了採用鉛酸電池做為主要的電力供應來源，並且另外以太陽能板產生電能持續供電，因此可減少測站維護頻率及延長收集資料時效。

以往對環境監測只能以事後收集資料方式來進行，未來研究人員可藉著這套監測系統，隨時進入及時的監測資料，來觀察這一地區的狀況。

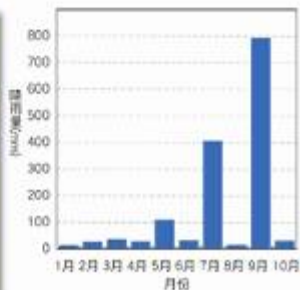
(二) 影像監測

本系統採用高剛股份有限公司所發展的影像監測系統，並在影像監控站中架設一電腦主機，將隧道兩側監視系統所取得的影像錄製下來。並且採用3.5G無線傳輸的方式運行遠端監控，再以3G寬頻路由器傳送攝影機訊號，使客戶端可以隨時利用網路取得監測系統之即時影像。

隧道西口影像監測設備曾於2007年10月7日觀察到土石流事件，同時配合自計式氣象站，可與氣象資料比對，找出災害發生與氣象條件間之關係。



四號集水區氣象測站



2008年1至10月累積雨量圖



隧道西口影像監視器



隧道東口監視系統介面

行政院農業委員會林務局新竹林區管理處 製作
國立台灣大學地理環境資源學系台灣地形研究室 編印

圖 5.33 火炎山監測說明海報

(九) 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 5 號集水區的下游處(圖 5.54)，有部分植生被土石掩蓋(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 3 號集水區沖積扇隧道上方(圖 5.55)，可清楚看到土石被採取而形成平整的空地(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 1 號集水區及 2 號集水區下游沖積扇有土石堆積現象(圖 5.56)，原本已長出植生的地方再次被土石給掩蓋(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。

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，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 5.54 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 5.55 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 5.56 隧道東口航照影像對照圖

六、研究成果

(一) 氣象資料收集

本研究收集 2010 年自計式測站的氣象資料，部分資料因沒電或儀器損壞造成損失，以經濟部水利署大坪頂雨量站的資料補充。在溫度方面 1 月-4 月可以看出日夜的溫差相當的大，相差約 6 度左右，在 2 月 12 日日夜溫差約 8 度。每個月的最高溫 14 度及最低溫 4 度相差 10 度，顯示 1-4 月的氣溫變化相當劇烈。5-8 月的氣溫變化不大，5 月大致維持在 20-30 度之間，6 月以後氣溫逐漸上升，至 8 月均溫約 30 度左右。在溼度方面除了日夜有較大的變化外，主要還是受到降雨的影響有較明顯的改變。

在降雨量方面，1 月份的降雨並不多，且降雨時間相當短暫，最大時雨量僅 4 公釐。2 月份的降雨明顯比 1 月來得多，主要有 4 場的降雨，降雨時間約 1 天。3 月份的降雨也不多，在 3 月 13 日有時雨量為 10 公釐的降雨。4 月份的降雨主要集中在 4 月 9 日，最大時雨量為 7 公釐，其他的降雨時間很分散，且降雨量並不多。5 月份的降雨在 22 日有較大的降雨事件，月降雨量 129.2 公釐較 1-4 月來得多。6 月份的降雨相較於其他的月份多，月降雨量超過 400 公釐以上，與歷年的平均月降雨量以 6 月為最多的結果一致。7 月份的降雨主要集中在 7 月 27 日至 29 日，最大時雨量約 50 公釐。8 月份的則發生一場時雨量為 45 公釐的降雨，其餘並沒有較大的降雨事件。

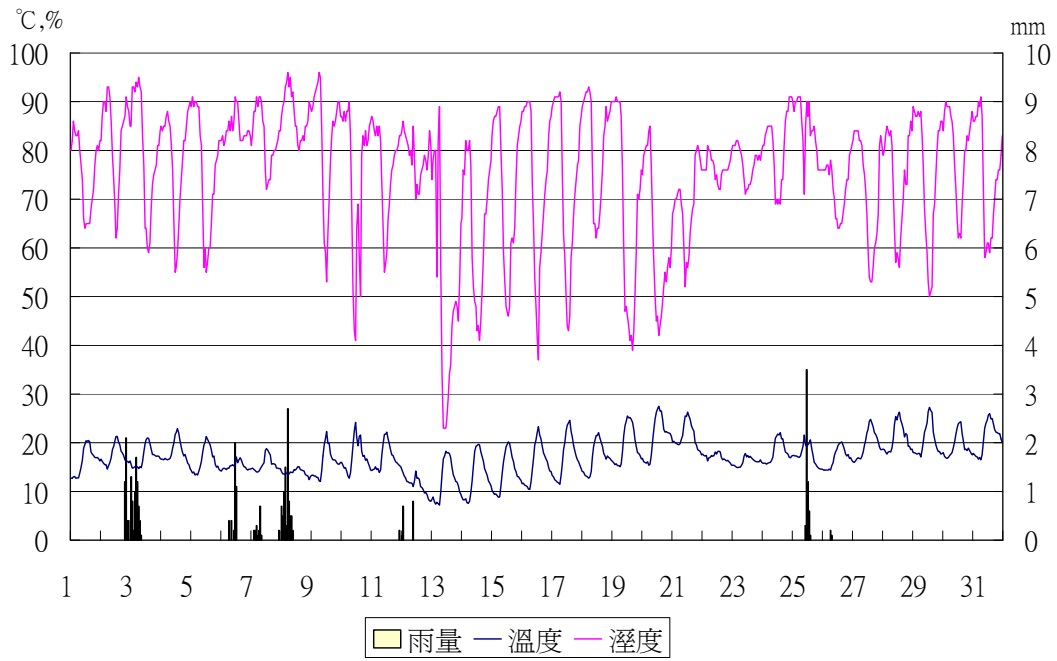


圖 6.1 2010 年 1 月氣候資料

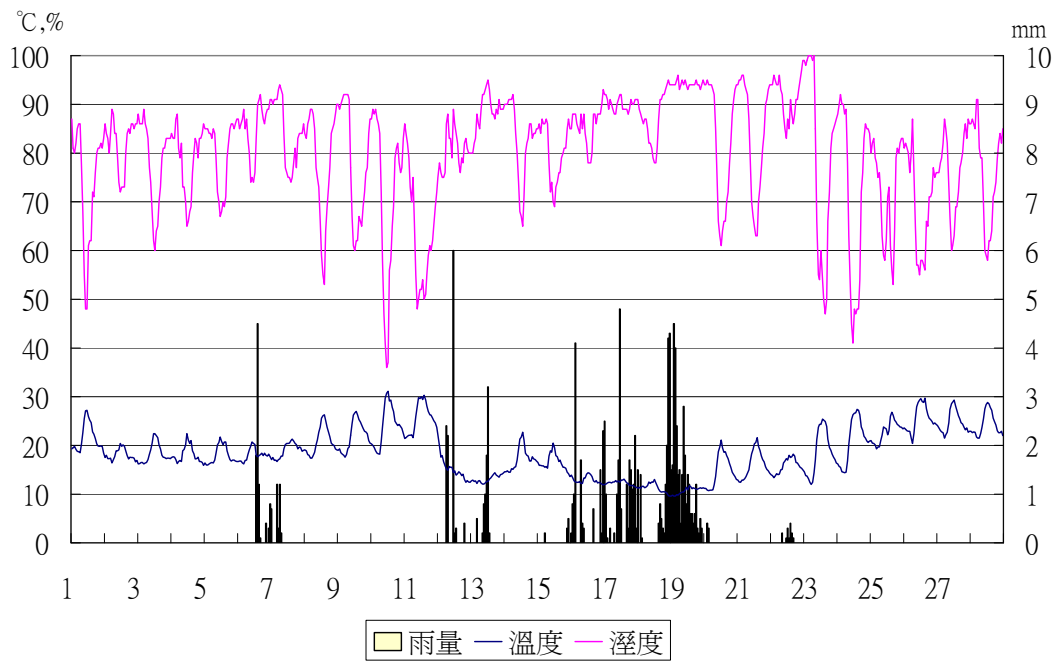


圖 6.2 2010 年 2 月氣候資料

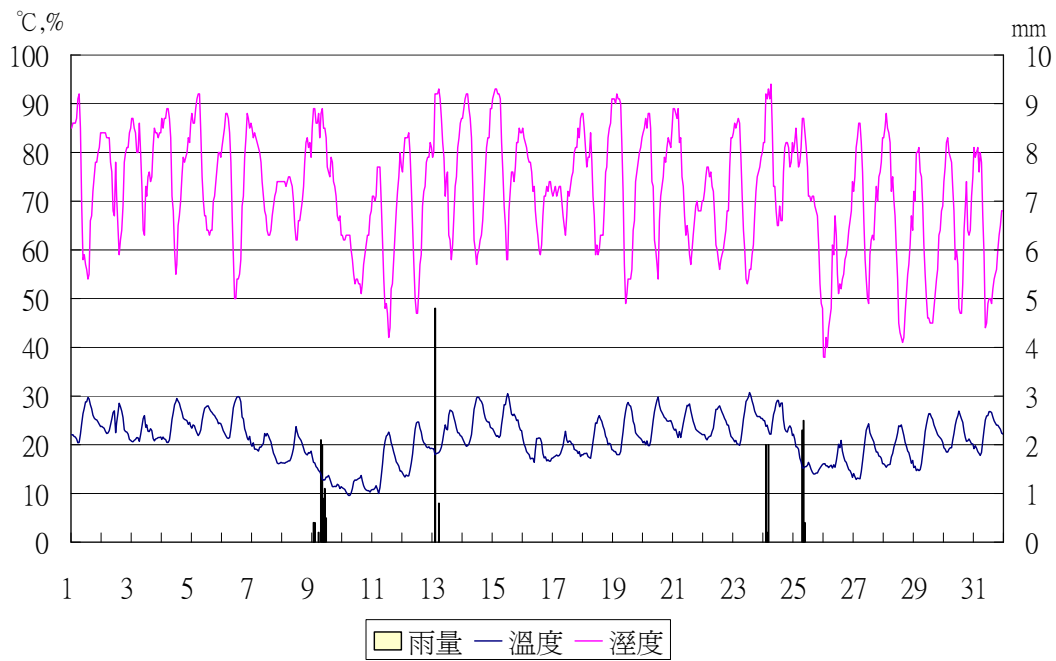


圖 6.3 2010 年 3 月氣候資料

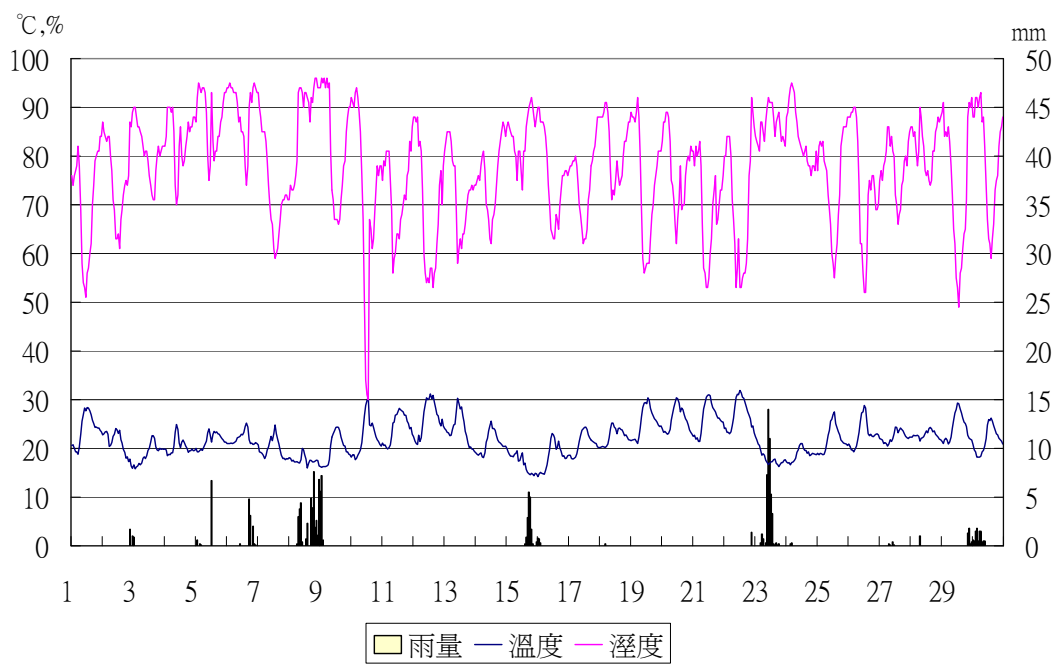


圖 6.4 2010 年 4 月氣候資料

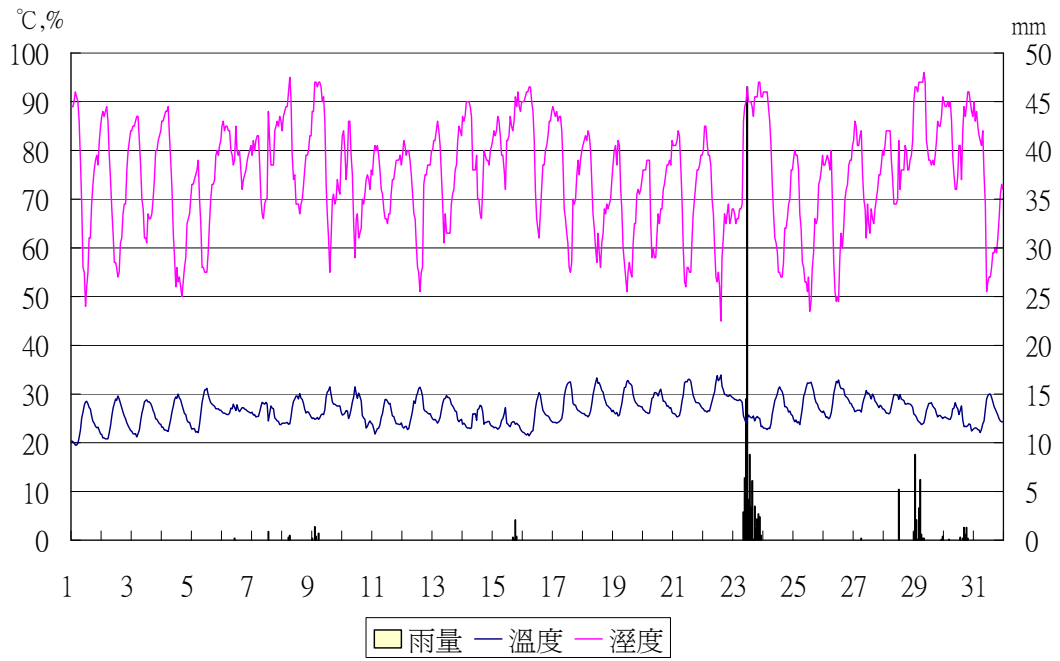


圖 6.5 2010 年 5 月氣候資料

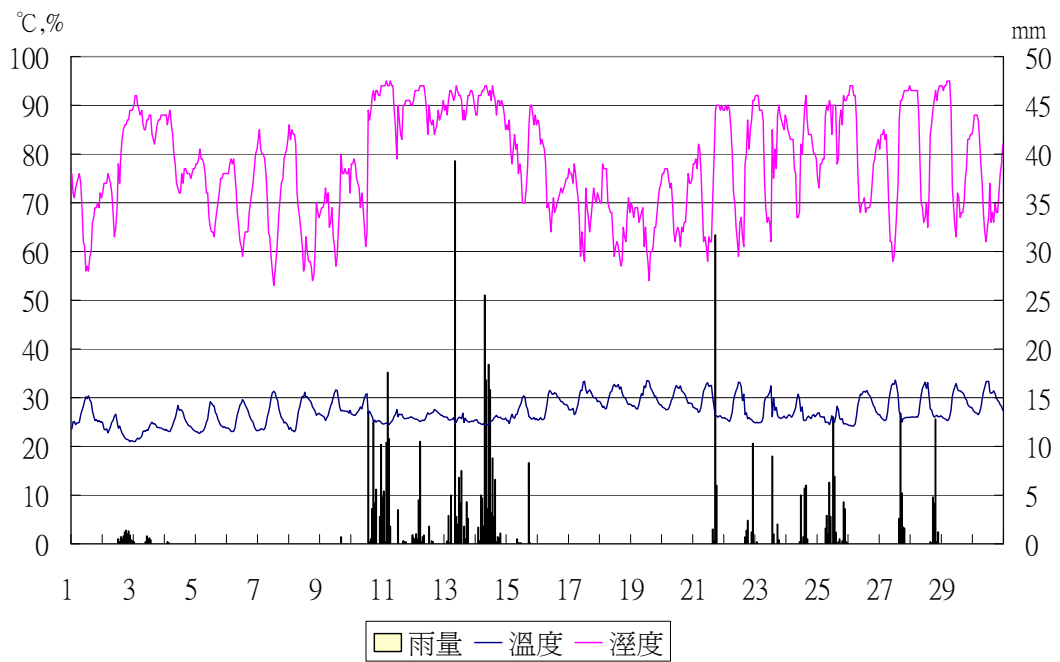


圖 6.6 2010 年 6 月氣候資料

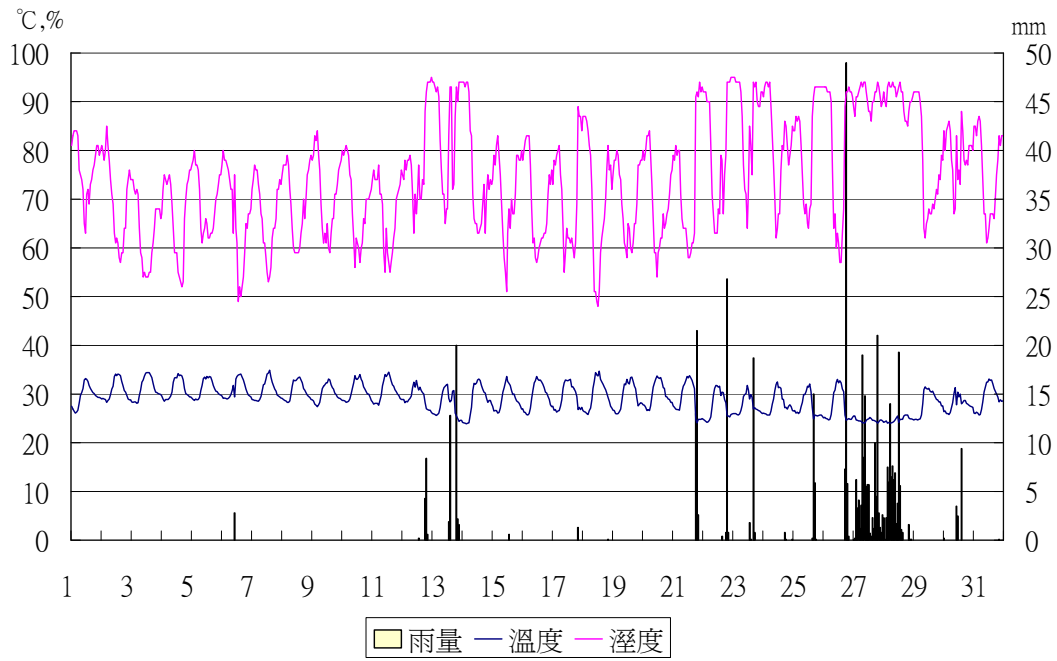


圖 6.7 2010 年 7 月氣候資料

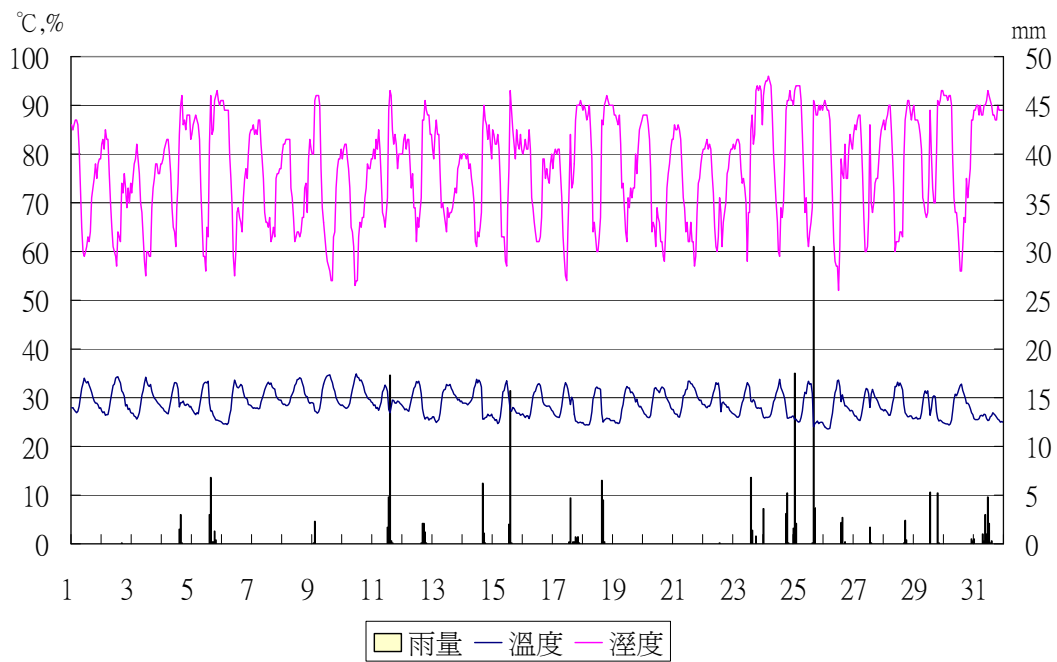


圖 6.8 2010 年 8 月氣候資料

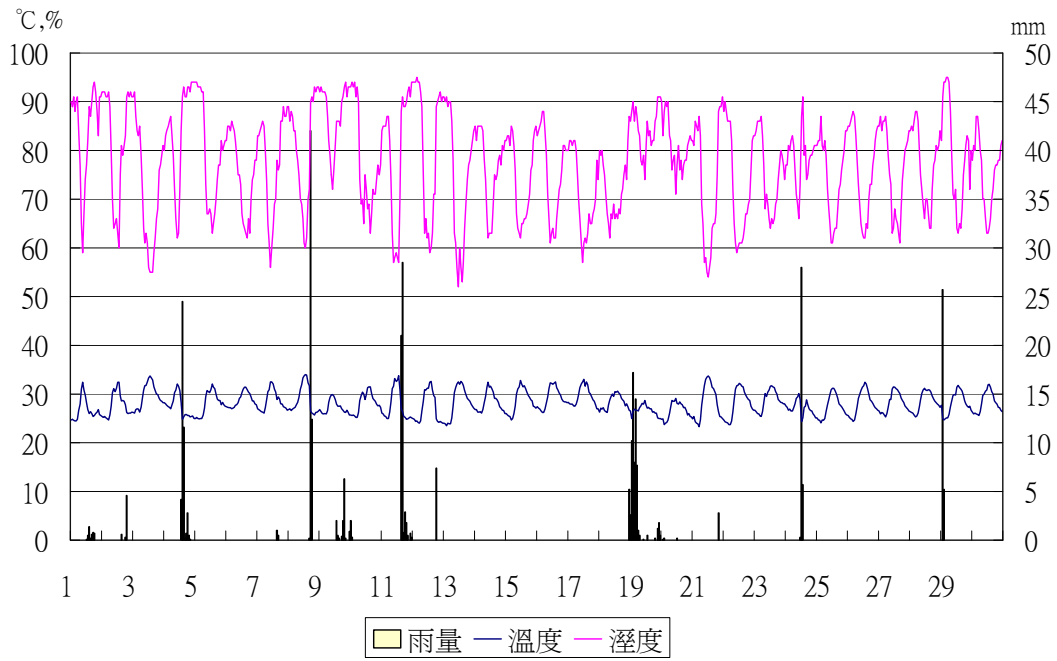


圖 6.9 2010 年 9 月氣候資料

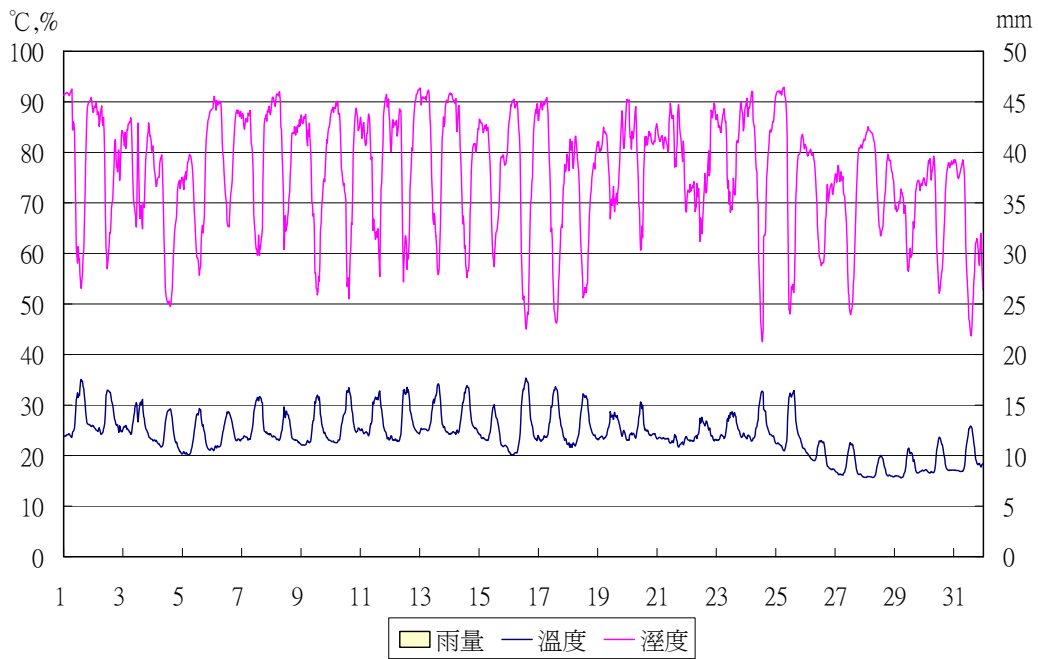


圖 6.10 2010 年 10 月氣候資料

在風速風向部分，2010年1月至4月期間，風向大部分為北向，平均風速為1公尺/秒左右，其中3月有達到2公尺/秒以上的風速。5月至6月風向則以南北向為主，7月分以北向為最多，8月分則又呈南北向的風向為主，9月及10月的風向則以偏北的風向為主。

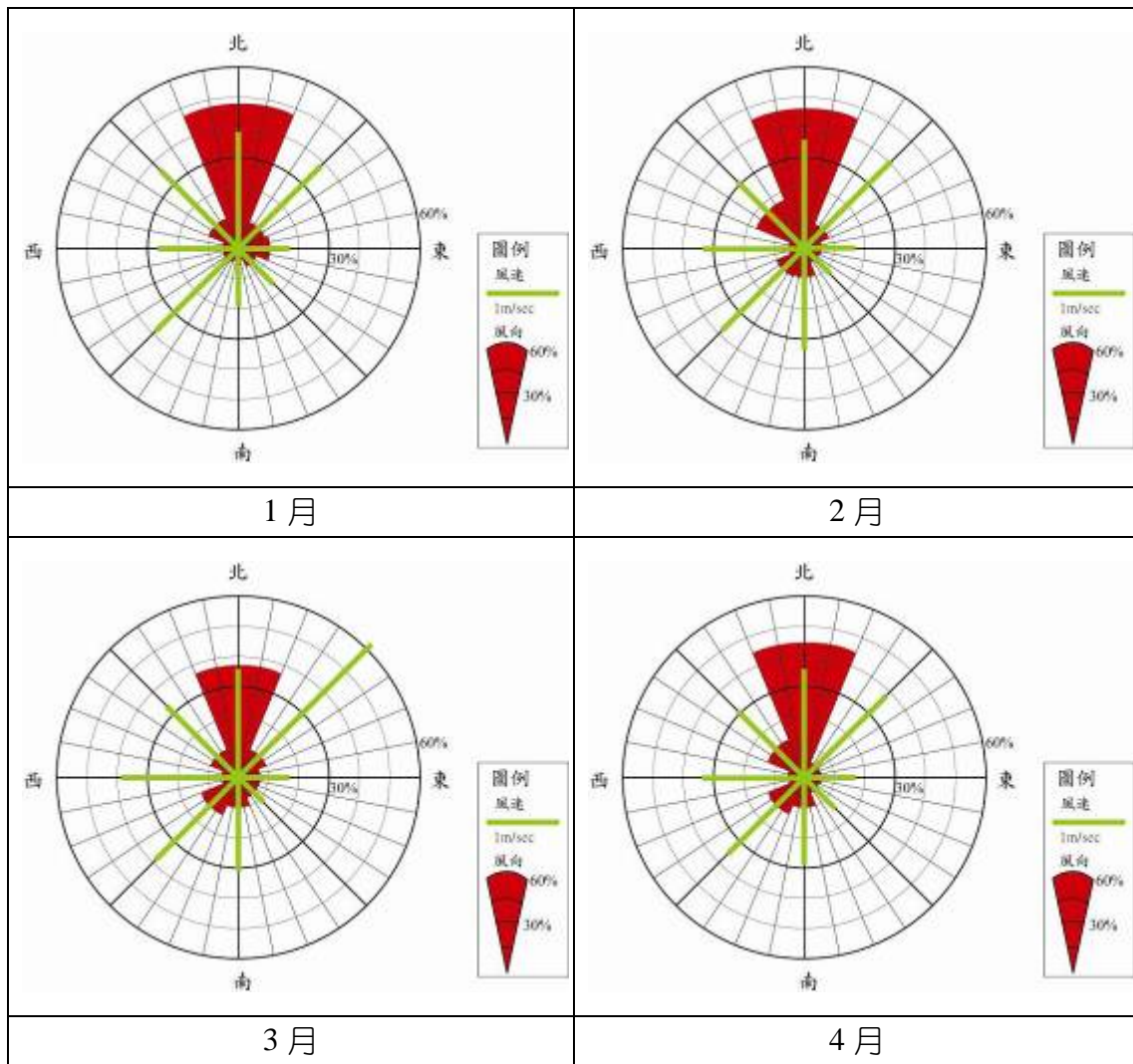


圖 6.11 2010年1~4月風速風向圖

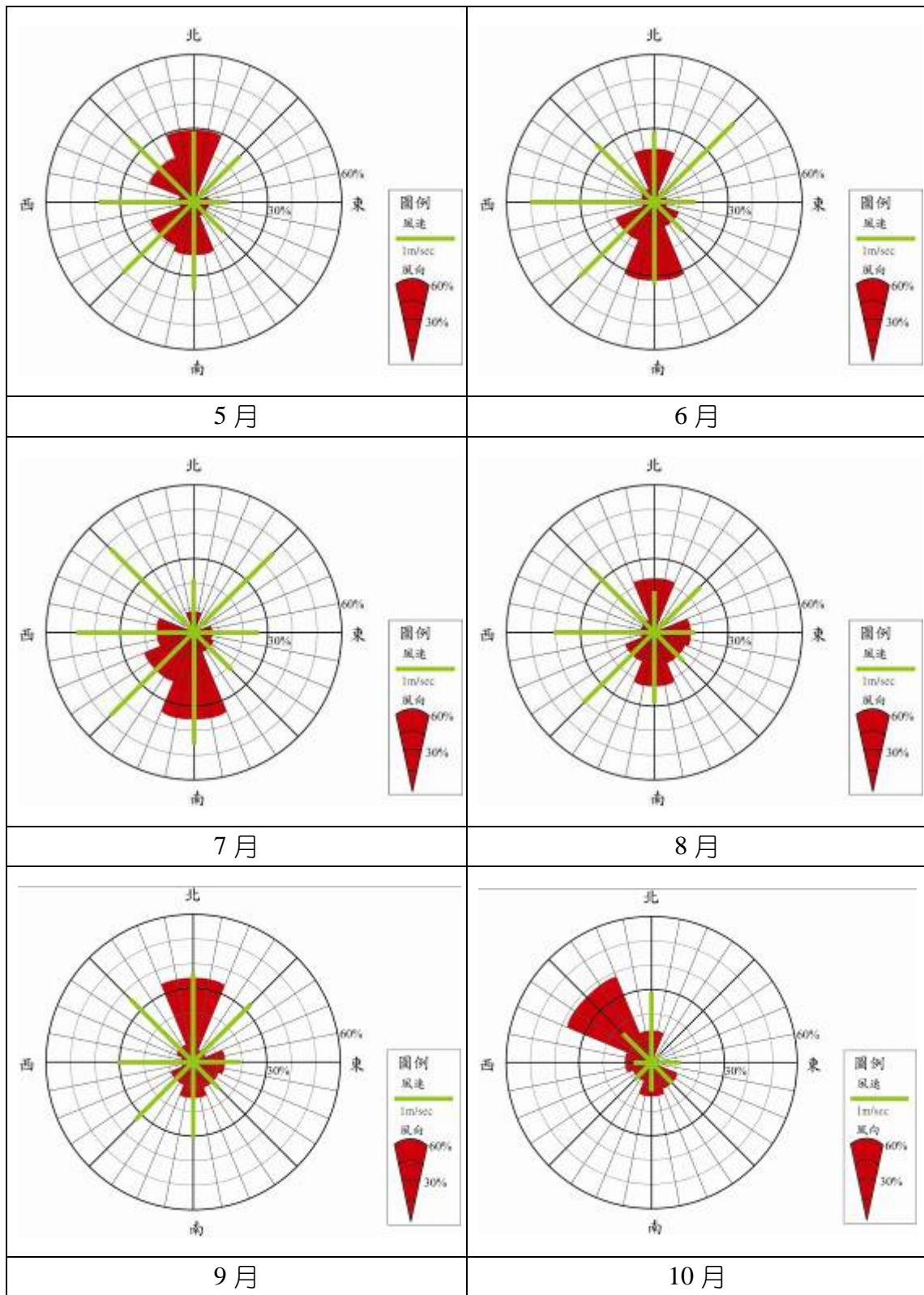


圖 6.12 2010 年 5~10 月風速風向圖

從 2010 年度月資料統計圖中顯示，月降雨最大發生在 6 月為 530 公釐，其次為 7 月的 463.5 公釐，主要都是豪雨造成的降雨。今年 8 月底前並沒有颱風登陸臺灣，9 月 17-20 日凡那比颱風，在台灣南部帶來大量的降雨，但在火炎山地區雨量並不多，在 10 月及 11 月降雨少於 5 公釐以下。從 2010 年度的降雨資料統計來看，本年度並沒有發生豪大雨事件，即 12 小時超過 100 公釐的雨量。從野外觀測，整體而言地形變化並不大。

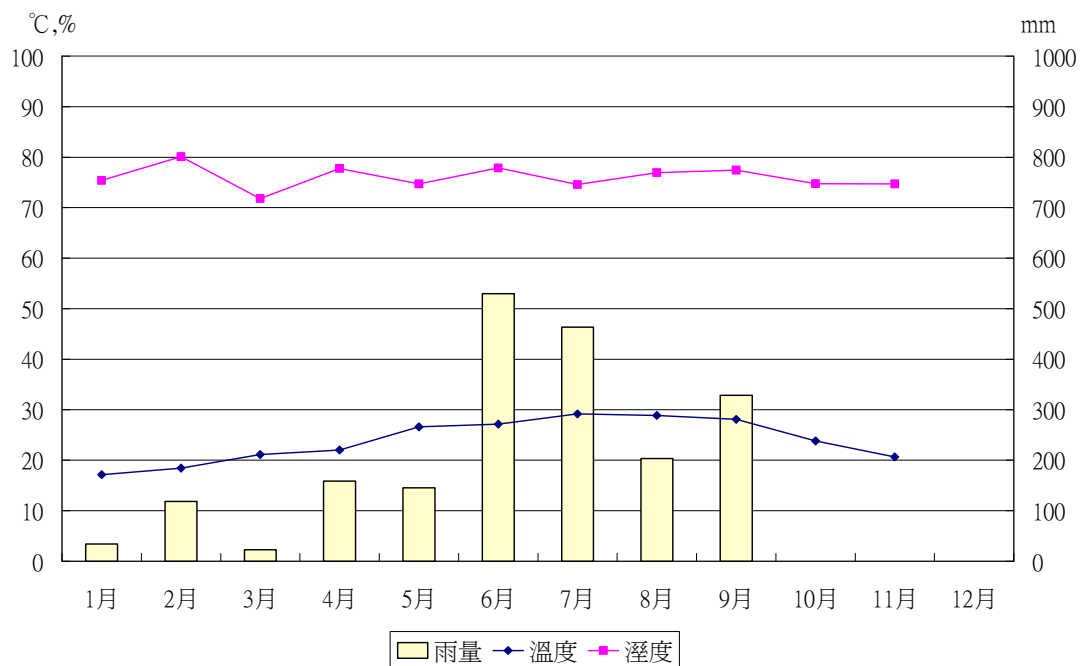


圖 6.13 2010 年氣象資料統計表

（二）影像監測

2010 年度計畫持續進行監測影像儀器的維護及監測東側、西側隧道口鄰近的土石堆積情形，從上半年的影像來看，土石堆積的情況並不明顯，過去在研究本區土石流發生的情形，推估當累積降雨量超過 100 公釐時，會有土石沖出，本年度單場的降雨並未超過警戒值。

東口的土石情況相當穩定，邊坡上的植生逐漸長高，顯示本年度的幾場降雨事件對於隧道東口的部分沒有造成任何影響，且由於植生越長越高，在影像中植生有一部份擋住觀察隧道口的視線。在火炎山西口處的監視影像，比較去年 6 月與今年 6 月的影像資料，5 號集水區的沖積扇區域可以看到變化並不明顯，沖積扇上有部分植生長出，顯示目前是呈現穩定的狀態。

目前隧道東西兩側的影像系統錄影系統持續正常運作。

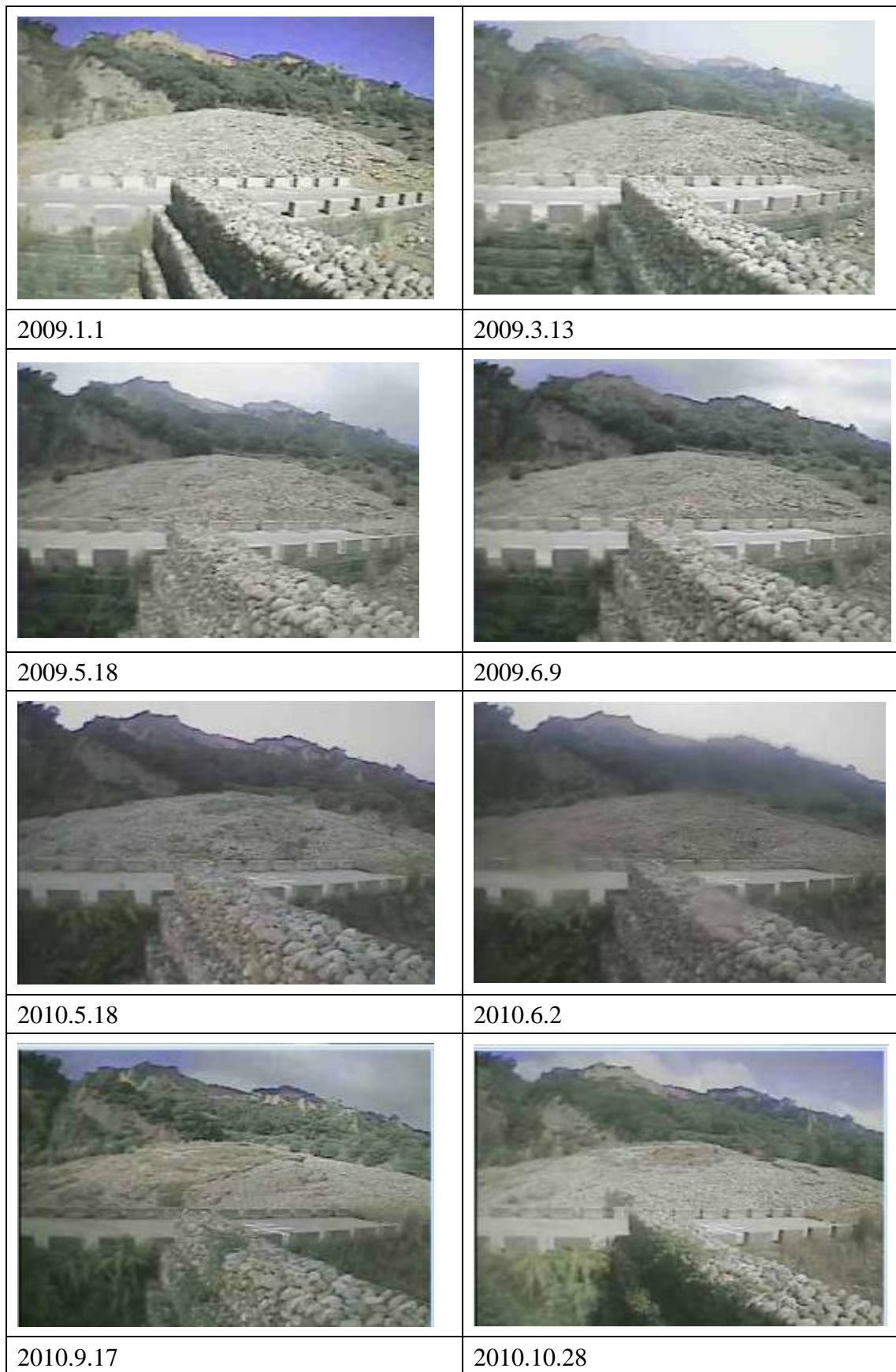


圖 6.14 火炎山隧道西口影像監測圖

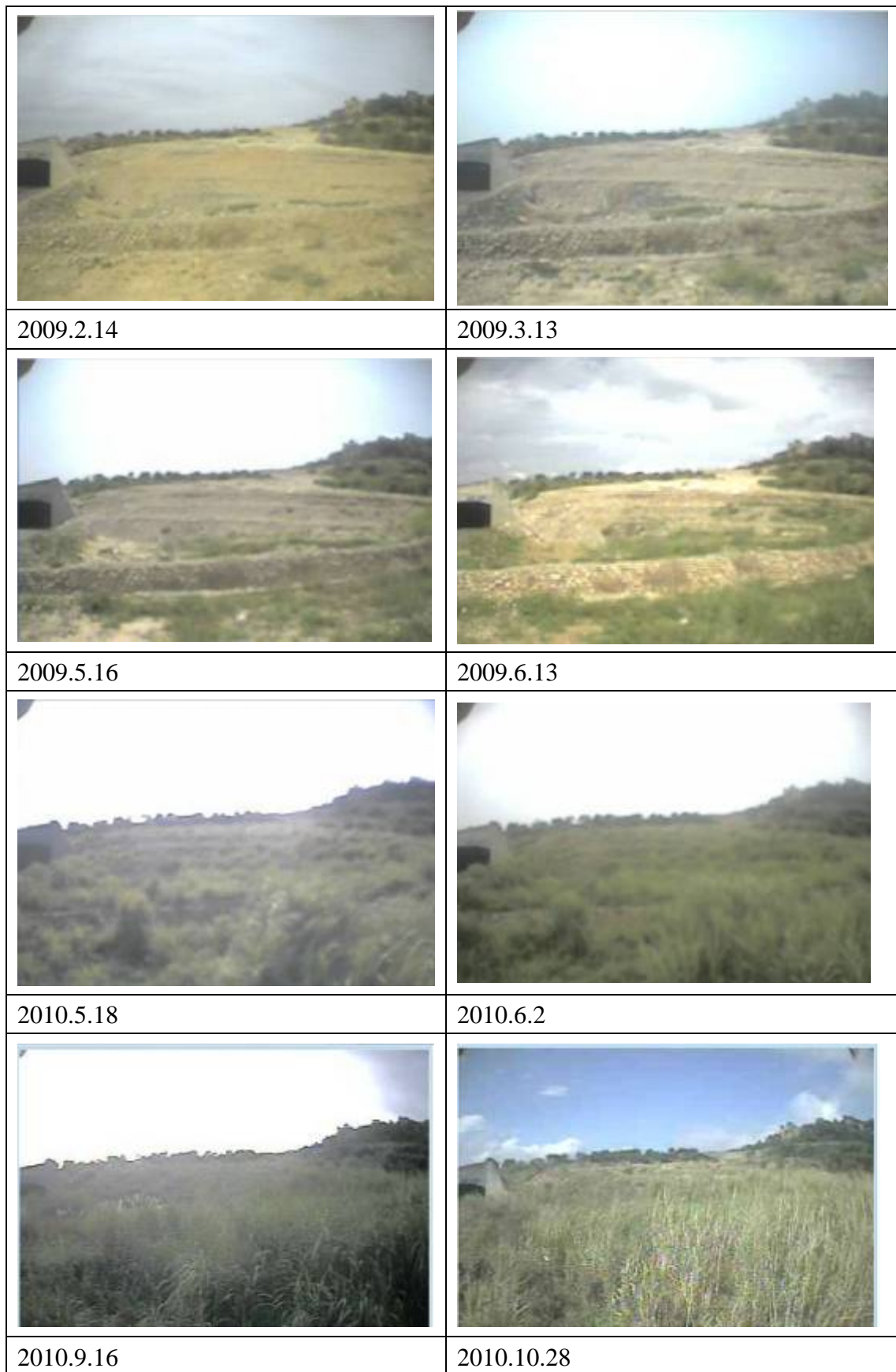


圖 6.15 火炎山隧道東口影像監測圖

(三) 三維儀器掃瞄監測

以一般的平面掃描器來說，掃瞄即是將原本紙本上面的影像，透過儀器紀錄影像的相關位置，最後以數位方式將這些資料依照原本的位像關係重新展現。基本上 3D 掃描器也是相同的概念，將空間中物體的位相關係轉換成為數位資料，最後重新展現在電腦螢幕上。不過，由於立體世界要比平面複雜的多，需要考慮到其他的使用需求，如接邊、絕對座標的定位等，使得 3D 掃描器實際上比較接近一個測量儀器。

目前常見的測量儀器，已經從早期的經緯儀、水準儀進步到了 GPS 以及全測站 (Total Station)，而其中全測站使用的是雷射光，利用測量雷射光反彈的時間以及角度，計算出測量目標與儀器的空間關係。3D 掃描器跟全測站十分類似，也是利用計算雷射的往返時間與角度，得到空間中物體的座標，測量的原理是相同的。不過，相對於全測站一次只能測量一點，3D 掃瞄器一次可以測量成千上萬個點，再加上儀器可以自動做 360 度的旋轉，效果就跟掃瞄一樣。

本計畫在 2010 年 1 月進行第一次的掃瞄，採用的機器型號為 Lacia Scanstation 2，每次掃瞄的範圍約 150~200 公尺，若掃瞄的範圍超過 200 公尺，就必須移動儀器進行掃瞄，每次移動測站的距離約 100 公尺。要將兩次移動掃瞄的資料準確的銜接起來，就需要有精準的控制點資料，因此本年度也進行的空標的設置與測量的工作。本次共設置的 8 個空標，並完成空標控制點測量的工作。

表 6.1 控制點測量成果表

站號	X 座標	Y 座標	高
HO302	222132.5	2694707	194.406
HO303	222150.2	2694738	201.302
HO304	222078.4	2694725	191.338
HO305	222110.4	2694683	190.71
HO401	221798.4	2694762	179.1042
HO402	221832.6	2694782	183.09
HO403	221846.8	2694739	179.6557
HO404	221819.6	2694711	177.343



圖 6.16 民宅前的控制點佈標



圖 6.17 堤防上的控制點佈標



圖 6.18 道路旁控制點佈標



圖 6.19 空標控制點測量

掃瞄區域主要在 3 號、5 號集水區，將掃瞄儀器架設在隧道上平坦的區域，進行 360 度空間的掃瞄（圖 6.20）。掃瞄資料庫中會記錄三維的 XYZ 資料及每一個點的 RGB 值，資料組合的結果如圖 6.21 所示，上方為在掃瞄過程中儀器同時進行拍照的紀錄結果，下方為記錄的網格資料套疊在掃瞄區域的結果，不同的顏色表示儀器所記錄的 RGB 資料。

利用掃瞄儀器的所記錄的三維空間資料，可生產高解析的數值地形資料，甚至可以觀察到公分級的地形變化，比較不同時間的掃瞄的結果，可以更清楚瞭解地形變遷的情形。



圖 6.20 Lacia Scanstation 2 掃瞄儀器

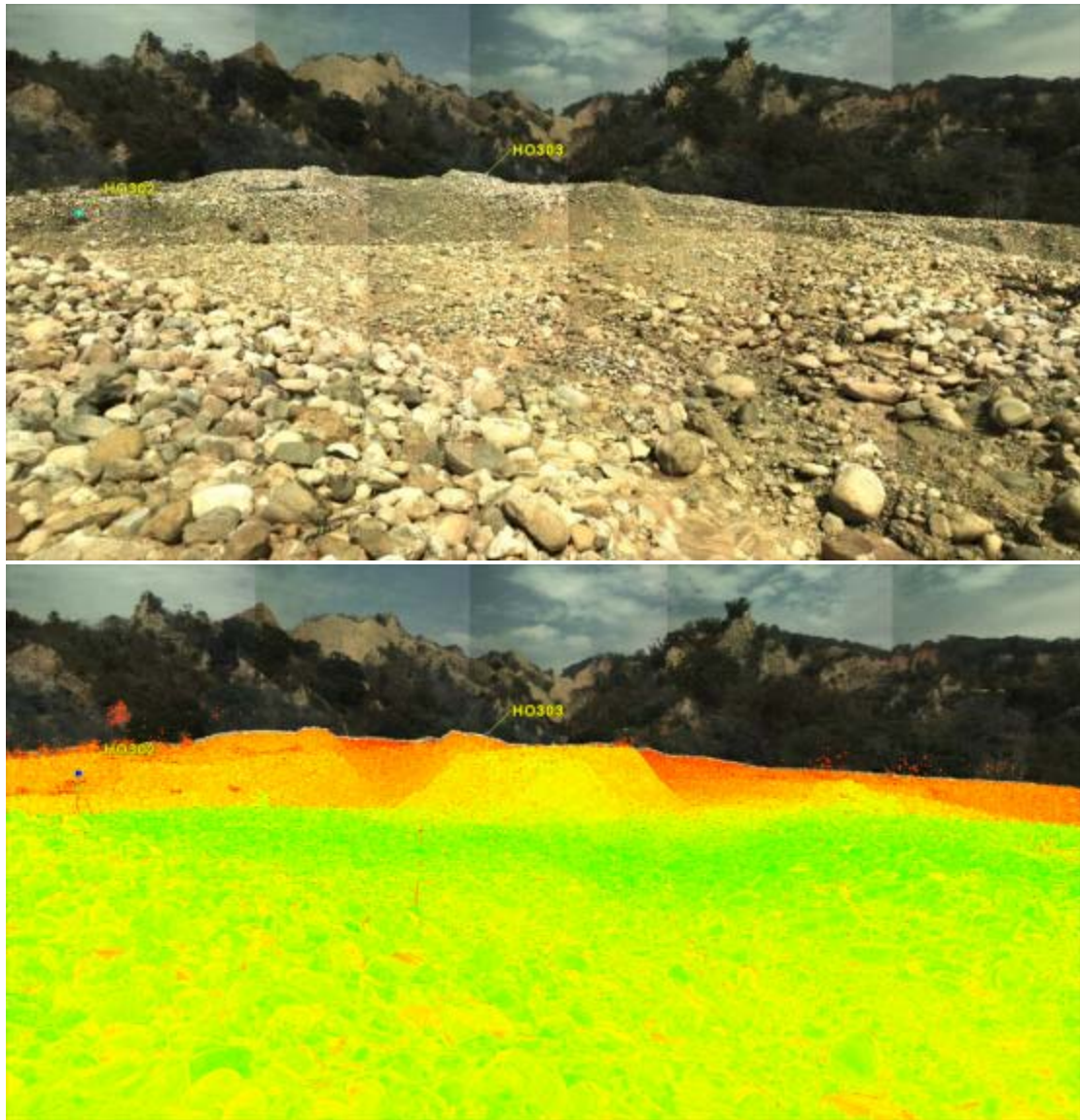


圖 6.21 掃瞄資料拼合的結果

第二次掃瞄時間為 2010 年 9 月，由於本年度在火炎山地區並無嚴重的豪雨災害，整體而言地形變化不大，因此第二次掃瞄範圍在 3 號集水區沖積扇接近隧道中間的上方。本研究將 1 月與 9 月掃瞄的成果進行分析比較，利用 3D 掃瞄的原始資料進行內差為 50 公分的網格，並將兩個時期的高程值相減，得到高程的變化值，結果如圖 6.20 所示。研究結果顯示，在 1 月至 9 月期間本區大部分還是呈現堆積的現象，最大堆積量為 2-3 公尺。在圖中左側區域有呈現侵蝕的現象，最大侵蝕量為 3-4 公尺。

從本區地形變遷的模式來看，從最上方沖蝕出來的土石，沿著蝕溝的兩側進行堆積，除了崖坡的下方有較多的堆積（圖右上方），以及蝕溝中有較明顯的堆積外，越往集水區的下方有堆積越多的趨勢，表示在 1 月至 9 月間的降雨，將沖出的土石持續往下游攜帶，坡度越緩的區域，堆積土石的量越多。

另外造成本區域局部侵蝕現象的產生，本研究推測由於侵蝕區位於兩個土堆所包圍的區域，由於今年度沒有較大的豪雨事件，在沒有足夠的營力將土石推過土堆上方，土石大多沿著土堆的兩側進行搬運及堆積，所包圍的區域因沒有土堤的供給，受到侵蝕及雨水沖刷均呈現侵蝕的現象，最大的侵蝕區位於土堆的上方，以及坡地較陡的區域。另外侵蝕區靠近土石採取的位置，是否部分受到人為干擾，無法得知。

根據現場調查發現，在研究區右下方的堆積區，在 1 至 9 月的掃瞄期間，有工程單位在此區進行土石採取的行為，估計約有 2 公尺的挖掘深度，因此實際堆積應該比計算出來的 1 公尺來的高，估計堆積高度約 3 公尺。

第三次掃瞄時間為 9 月 24 日，主要掃瞄區域為 1 號及 2 號集水區的沖積扇部分，靠近隧道東口的上方。由於本區為第一次進行 3D 掃瞄，因此沒有兩期的分析結果，若將來有發生颱風時，可作為颱風前的資料比對依據。

過去在進行航空攝影測量所得到的資料在高程誤差約 2 公尺，因此分析的成果很難觀察到 2 公尺以下的地形變化；而航空測影測量也受限於航拍時間，通常 1 年 2 次，往往颱風後要立即取得資料相當困難。從 3D 掃瞄的成果可以得到 0.5 公尺以下的高程精度，對於微地形變化能更正確去測量及觀察；同時測量的時間為機動式，在經費許可下，可對每次颱風前後來進行測量及分析，並在短時間內得到資料分析的結果。然而進行 3D 掃瞄相對於航空攝影測量較多的人力及物力來進行，同時受限於地形的影響，一些無法抵達的區域，或是地形變化較大的區域，進行 3D 掃瞄有較大的困難。因此若這兩種資料能相互配合，對於地形變遷能有更進一步的瞭解。

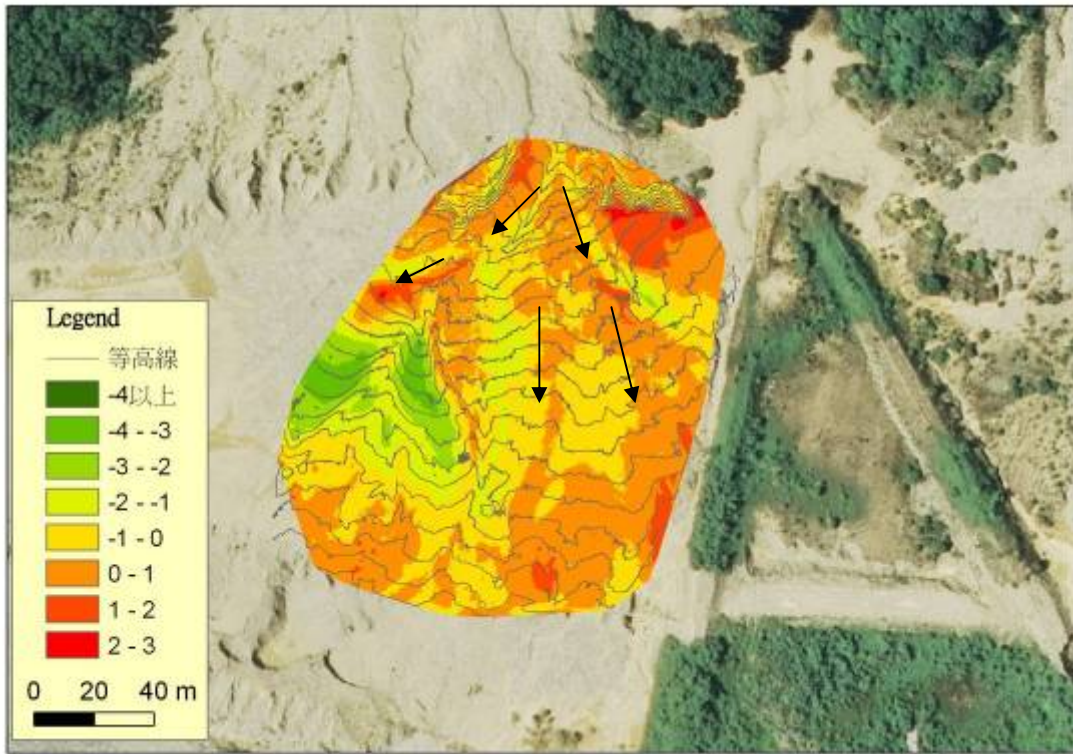


圖 6.22 掃瞄資料分析成果圖

(四) 地形變遷分析

本研究收集農林航空測量所 2009 年 10 月 18 日拍攝的火炎山地區航空照片，進行數值地形資料生產及正射影像的製作（圖 6.23）。



圖 6.23 2009 年 10 月火炎山正射影像

將 2009 年 10 月數值地形高程資料與 2008 年 9 月的資料相減，所得的高程差為地形變遷的結果（圖 6.24）。圖中堆積較多的地方分布於 3 號集水區沖積扇的右側，堆積的地方位於陡坡的下方，堆積高度超過 5 公尺。另外 3 號沖積扇扇頂的部分邊坡下方，也有明顯的堆積，而且部分土石也有跨過 2 號及 3 號沖積扇中間土堤的現象。

最大侵蝕量位於南側的河岸邊，從航空照片來看，原本在河岸的道路以及隧道的逃生口，因河岸侵蝕崩落而損毀，由於過去本區大部分是堆積大於侵蝕的現象，造成河岸發生侵蝕的作用，是否因為土石過度採取，或是因為侵蝕區正位於 2 號及 3 號集水區兩土堤包圍區的下方，土石大部分會朝兩側去堆積，相對中間的部分堆積量較少，因而加速侵蝕作用的產生，應持續觀察地形的變化。

另外較明顯堆積的區域位於 2 號集水區的下方，表示 2 號集水區在這段期間並沒有明顯的土石被帶出；而 1 號集水區的下方則呈現較多堆積的現象，表示 1 號集水區的上游的土石持續被帶往下方沖積扇堆積。這可以說明 1 號集水區較 2 號集水區來得不穩定。

在東側隧道口的部分呈現堆積的現象，主要原因是 2008 年辛樂克颱風後此區曾經被土石沖毀，由於人為的重新整建，在重建之後土堤的高度比之前來得高，使得資料呈現堆積的現象。因此在分析地形變遷資料時，若有過多人為的干擾，如土石採取、工程施工等，對於分析的成果將會有所影響。除了會造成資料的誤判外，所得到的分析資料是人為作用下的地形變化，對於自然地形的變遷只能局部進行瞭解。

由於農林航空測量所改採數位航拍的方式，且定價未定無法出售，本年度無法取得今年的航空照片資料來進行分析，且由於今年並沒有重大的颱風事件，推測地形變化不大。本研究利用 2010 年 1 月 3D 掃瞄的資料與 2009 年 10 月的數值地形資料進行比較（圖 6.25），分析結果顯示在這段期間地形變化量均小於 2 公尺，因為在誤差範圍內，無法說明實際地形變化的結果。因此，在沒有豪雨及颱風事件下，用 3D 掃瞄反而能看出微地形的變化。

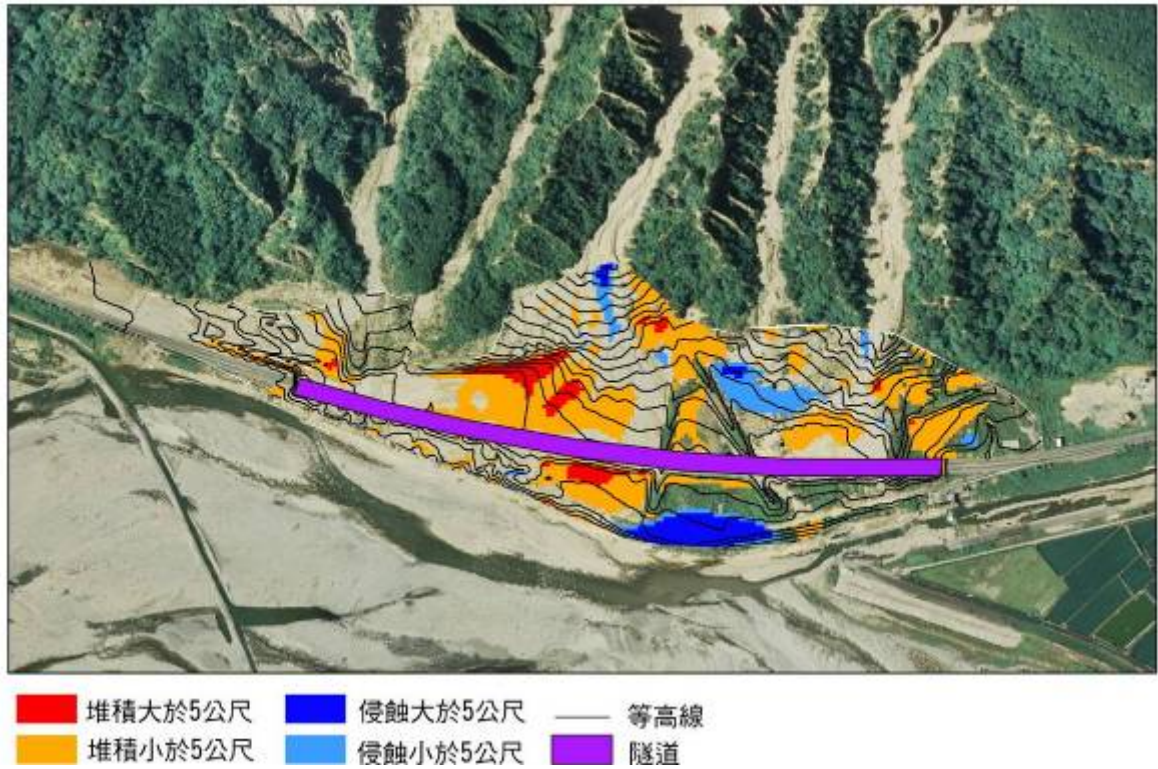


圖 6.24 2008 年至 2009 年火炎山沖積扇面高程變動

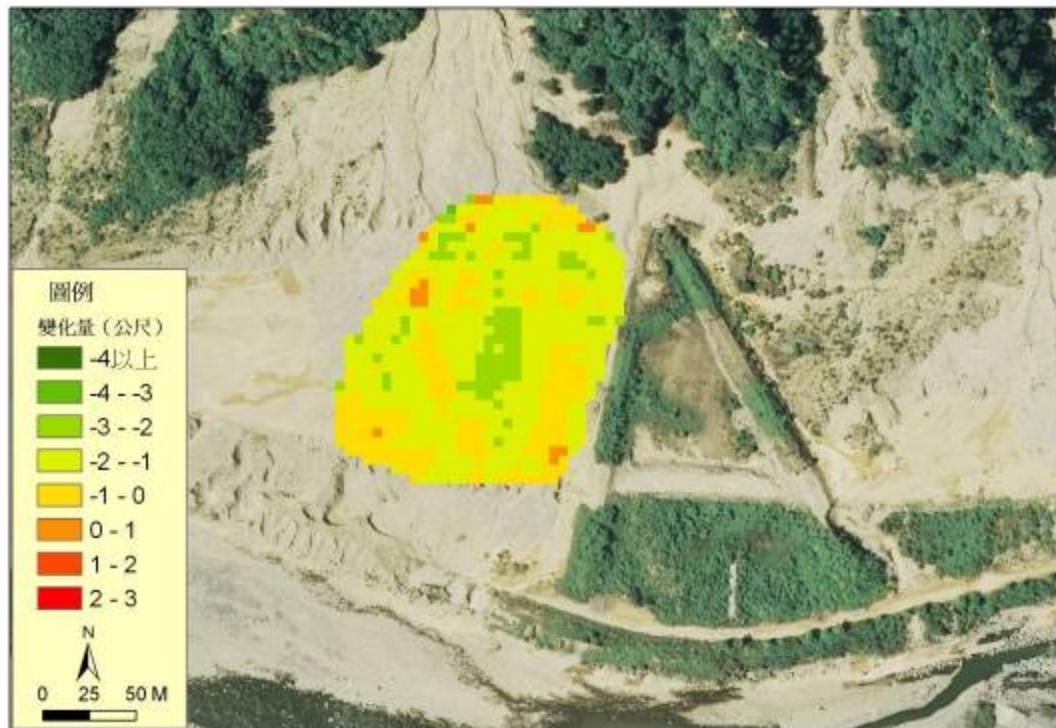


圖 6.25 2009 年 10 月至 2010 年 1 月地形變遷分析成果
 (航照日期：2008 年 9 月)

本研究利用 2009 年 10 月的數值地形資料與 2010 年 9 月的 3D 掃瞄資料進行分析，觀察 1 號及 2 號集水區地形變遷（圖 6.26）。圖中紅色區域為沖積扇的位置，左側為 2 號集水區沖積扇，右側為 1 號集水區沖積扇。掃瞄結果顯示，在資料的北側由於遇到較高的土堤，造成更北側的資料空缺，分析時會產生直線型的等高線，這是誤差較大造成所致，不予討論。在資料西側及南側，有大量的小圓圈，這些資料主要是受到植生的干擾所產生，目前技術上無法克服，這些細微的變化，本研究也不予討論。

就 3D 掃瞄區域的地形變遷結果，可以看到在隧道上方有較明顯堆積物，整體而言變化量均小於 2 公尺以下，由於在誤差範圍內，因此無法進一步分析地形變遷的結果。

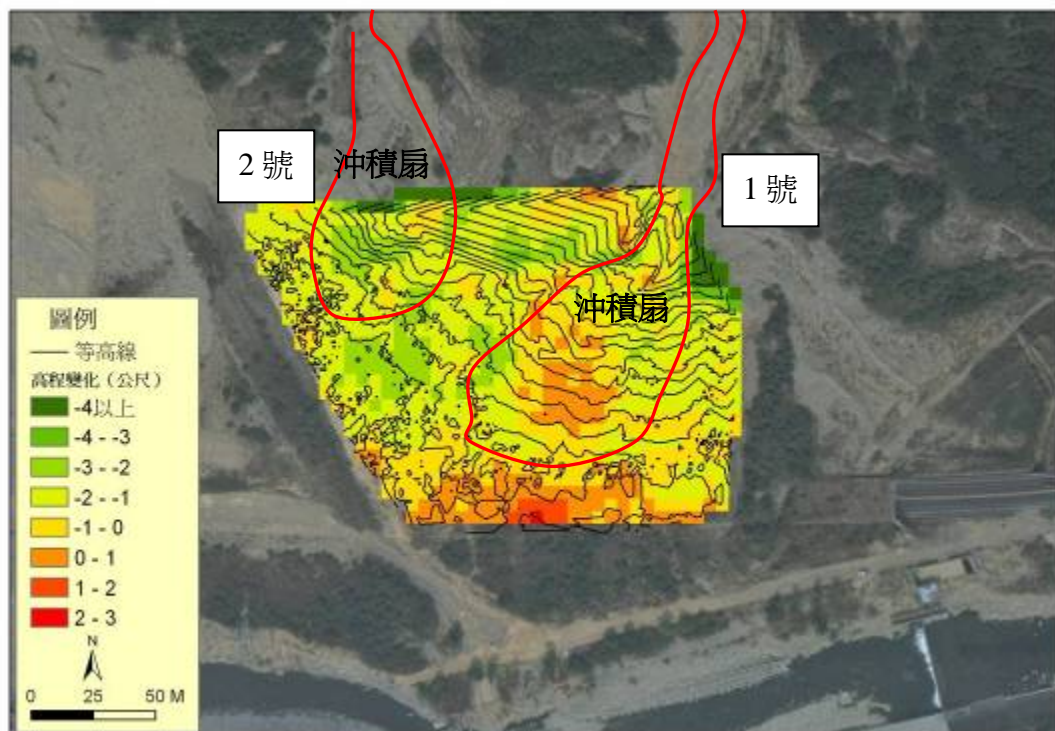


圖 6.26 1 號集水區及 2 號集水區沖積扇地形變遷分析結果。

(航照日期 2009 年 10 月)

（五）現場調查

本計畫於 6 月 4 日進行現場調查，初步觀察結果可以看到在 3 號沖積扇的部分有被挖掘成溝狀的渠道，深度約 3 公尺左右，此溝渠可以引導部分土石在豪雨來時往溝渠下方堆積，然而溝渠兩側的土石都相當鬆散，當豪雨來臨時，渠道可能先被兩側的土石淤滿，實際上效果可能有限。



圖 6.27 3 號集水區上所挖掘的溝渠

在 3 號集水區的東側，有大面積的土石被挖取，估計距隧道上方往火炎山沖積扇頂約 70 公尺的距離。由於是從沖積扇向下挖掘，因此在邊緣形成陡坡，這整種坡面是呈現不穩定的狀態，土石很容易持續向下崩落。因此豪雨後很容易沿著蝕溝形成土石扇。



圖 6.28 6 月 4 日現地調查 3 號沖積扇被挖平的範圍（紅色區塊）



圖 6.29 在沖積扇邊緣被挖掘成陡坡



圖 6.30 土石沿著小蝕溝沖出在下方形成土石扇



圖 6.31 3 號沖積扇中間部分，紅色區域為分析結果呈現侵蝕的區域

觀察 1 號集水區的沖積扇的現況，照片下方為細粒泥流堆積的位置，由於此區的變化不大，可看到植生較為茂密，許多植物已經長到 1 公尺以上的高度。照片中間的位置為土石沖積扇堆積的位置，在扇頂的部分有堆積較多的土石。2 號集水區沖積扇規模比 1 號集水區來得小，從沖積扇上的植生來看，今年的變化不大。



圖 6.32 1 號集水區沖積扇



圖 6.33 2 號集水區沖積扇

(六) 火炎山地質地地形解說手冊

本年度已經完成火炎山地質地地形手冊編輯，可提供管理處進行解說教育之用。

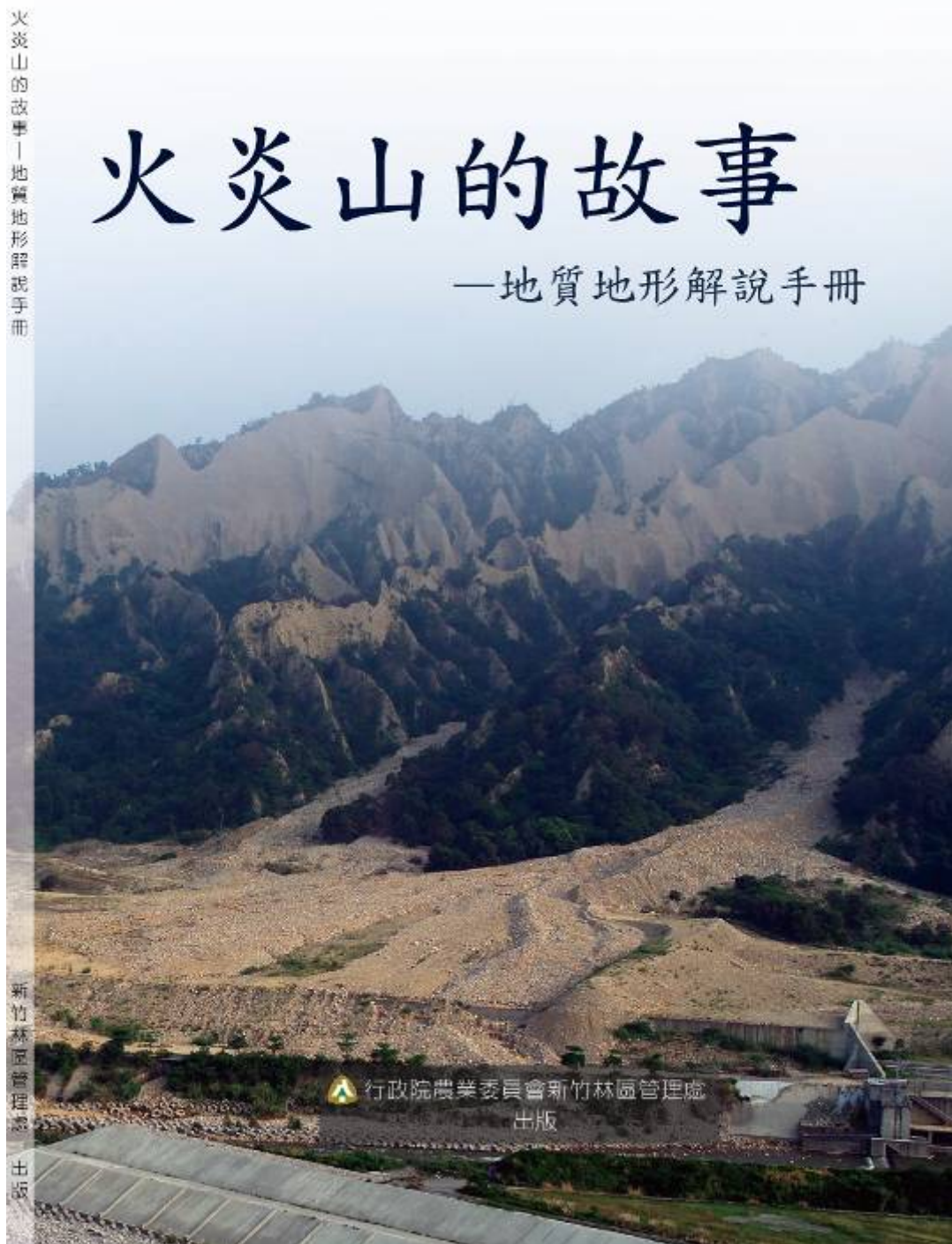


圖 6.34 火炎山地質地地形手冊封面

七、結論及建議

- (一) 本報告彙整四年來的研究成果，對於火炎山土石流與地形變遷監測，更清楚瞭解各時期土石流事件的變化過程。
- (二) 本研究持續維護及收集自計式測站的氣象資料，部分資料因沒電或儀器損壞造成損失，以經濟部水利署大坪頂雨量站的資料補充。
- (三) 從本年度月資料統計圖中顯示，月降雨最大發生在 6 月為 530 公釐，其次為 7 月的 463.5 公釐，主要都是豪雨造成的降雨。今年 9 月的凡那比颱風在火炎山地區雨量並不多。從本年度的降雨資料統計來看，並沒有發生 12 小時超過 100 公釐的雨量。
- (四) 在風速風向部分，2010 年 1 月至 4 月期間，風向大部分為北向，平均風速為 1 公尺/秒左右，其中 3 月有達到 2 公尺/秒以上的風速。5 月至 6 月風向則以南北向為主，7 月分以北向為最多，8 月分則又呈南北向的風向為主。
- (五) 在隧道東口及西口的及時影像監測儀器，本年度儀器正常運作，由於本年度並沒有較大的豪雨事件，因此沒有土石被搬運，影像中可觀察到植生有越來越多的情形。
- (六) 本年度嘗試採用高精度 3D 掃瞄儀器，可觀察公分級的地形變化，目前共掃瞄 3 次，第 1、2 次主要為 3 號集水區沖積扇上，第 3 次在 1 號及 2 號集水區沖積扇上。
- (七) 分析 3 號集水區沖積扇 1 月及 9 月 3D 掃瞄資料結果顯示，本區大部分還是呈現堆積的現象，最大堆積量為 2-3 公尺。在 1 至 9 月的掃瞄期間，有工程單位在此區進行土石採取的行為，估計約有 2 公尺的挖掘深度，因此實際堆積應該比計算出來的 1 公尺來的高，估計堆積高度約 3 公尺。西側區域有呈現侵蝕的現象，最大侵蝕量為 3-4 公尺。
- (八) 本年度分析 2009 年 10 月與 2008 年 9 月的數值地形高程資料進行分析比

較。3 號集水區沖積扇的大部分呈現堆積現象，西側堆積高度超過 5 公尺，部分土石也有跨過 2 號及 3 號沖積扇中間土堤。侵蝕的區域主要分布於 2 號集水區沖積扇。

- (九) 根據現場調查，在 3 號沖積扇的東側，可看到一部份範圍土石被挖取，因此在沖積扇的邊緣形成陡坡；另外在沖積扇上可看到一條被挖掘的溝渠，這兩種人為作用所造成地形上的改變，對於上方土石的堆積與搬運方式的影響，將在颱風豪雨後進行觀察。
- (十) 本年度已經完成火炎山地質地地形手冊編輯，可提供管理處進行解說教育之用。
- (十一) 在隧道旁的河岸逃生口處在，在 2009 年影像中河岸有明顯的侵蝕加劇現象，建議若火炎山河岸持續發生侵蝕現象，應停止在沖積扇土石的採取，讓土石沿著地形坡面帶入河川中，這些堆積在河岸上的土石，局部可發揮保護河岸，減緩河水對河岸的侵蝕作用。
- (十二) 本研究認為火炎山土石流仍會對隧道口造成威脅，未來建議朝隧道加長來規劃，在隧道擴建興建前應評估對地形影響。對於可能影響當地居民權益之問題，應辦理公聽會邀請苗栗縣政府、當地居民及相關單位進行溝通討論。
- (十三) 未來在颱風豪雨期間，除了利用東、西隧道口處即時影像進行觀察，當降雨量達到 12 小時累積 100 公釐降雨時，預警系統一啟動，建議政府單位需研擬相關災害防救的機制，並對當地居民進行教育宣導及演練，以發揮防災救災的最大功效。

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.
 - 35.

期末意見回覆

期末建議	回覆
<p>周委員憲德：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 諸多的資料對於保育隧道改進都有很大的幫助，若無人為干預砂石開採，盡量使隧道壽命延長，以保護景觀及安全。 2. 一些數據資料應可更新到最近期以求資料完整。 3. 今年九月的凡那比颱風有造成土石流，但並沒有流下來因此下面觀測不到，此部分應可多觀察雨量大約多少時土石會沖刷下來。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝指教。 2. 已加入最新氣象資料，P.89 圖 6.13。 3. 感謝提供資料，會再確認雨量大於多少時土石會沖刷下來，做為未來設定降雨警戒值之參考。
<p>朱主任劍鳴：</p> <p>結論與建議第 11 項，經過研究結果是建議停止土石採集，解決方案希望東西向隧道拉長，任由土石由上方往河川堆積。期初與期中老師也提到土石堆積在隧道口幾公尺以上是容許量，希望能提供報告給縣市政府。</p>	<p>隧道拉長的部分上次有與苗栗縣政府討論，隧道上七公尺的坡度穩定，若穩定堆積則不會危害隧道安全。</p>
<p>葉課長宗賦：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 有關 3D 掃描繪製等高線以判定推移情形很具效益，但使用頻度及時機請再予說明，另未來 3D 掃描圖的應用也請一併提建議。 2. 第 103 頁圖 6.26 等高線圖請再確認，應與沖積扇範圍線配合。 3. 對於河川不斷的沖蝕河岸，造成逃生口外露掏空，此部分的改善措施，請研究單位協助提出改善建議。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 3D 掃描部份若經費及設備儀器都沒問題，大型降雨(如颱風、豪雨)過後掃瞄較具意義，比較能看的出變化。 2. 已補充說明於 103 頁。

	3. 目前可設置消波塊暫時減緩河岸的侵蝕，未來仍持續觀察。
<p>黃秘書麗萍：</p> <p>本案的調查時間長達二十年之久，未來的工程設計上如何兼顧到沖蝕的穩定、景觀考慮及路人的安全以達到最適當的安全設計，建議未來的工程人員不要違反期望的效益，讓關心火炎山的人們參與，保育工作才會更為完善。</p>	<p>未來隧道興建可參考本研究計畫分析成果，評估可能造成的環境與景觀影響，以符合保存與維護自然景觀的目的。</p>
<p>新竹縣政府教育處體健科吳娟芳小姐：</p> <p>報告嚴謹且完整，但落實執行面—保護沖積扇，避免被挖掘，形成土石沖刷影響安全。積極運用學術結果，與苗栗縣政府或善用「環境教育法」達成目標，將讓此辛苦成果發揮最大成效。</p>	<p>謝謝指教。</p>
<p>竹東工作站魏展斌主任：</p> <p>二號與三號河溝人為介入與自然發展的差異為何？隧道承載量的問題，溪床一直在掏空，應讓地方政府與河川局了解。希望加強隧道長度的部分，保留區是否可適當介入？一號與五號缺口是否應做改善？林務局目前大力推廣環境教育，火炎山的沖積扇為最美的部分，是否符合地質公園發展的條件？若能發展為地質公園一些問題或許在解決上會較為容易。</p>	<p>隧道上面沖刷下來是自然的狀態，不要去干擾，隧道是很好的界線，若使用導流體效果不會太好，將來若隧道能夠延伸是比較實際。地質公園的目的是讓地方永續發展藉由景觀吸引觀光客並發展產業，有的部分希望景點被利用，觀光發展條例有相關法規有此概念，</p>

