



火炎山沖積扇的侵蝕與堆積變遷特性

文、圖 ■ 林俊全 ■ 國立台灣大學地理環境資源學系教授

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，表面的礫石以落石的方式後退，形成非常高角度的裸露邊坡。這些邊坡由於經常發生邊坡後退作用，因此植物無法生長，長年保持光禿狀態。這種邊坡演育的方式，是上方邊坡以高角度的方式後退，在下方產生由崩落物質堆積的崖錐。

火炎山自然保留區往往在颱風豪雨後，會在沖積扇外緣的道路淤積大量土石，因此公路單位於94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？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。經過3年來的觀測，瞭解由於隧道的長度不夠，反而造成隧道兩邊的入口，都曾遭土石淹埋，甚至造成死亡事件。

二、火炎山自然保留區的自然特性

火炎山屬於苗栗丘陵的最南側，隔著大安溪與后里台地相望，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1號與13號省道經過，下方有苗140（原130甲）線可通往國道3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75年公告指定為台灣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。依林務局新竹林管處所指定之保留區範圍，疊合於第3版1/25,000地形圖上，其範圍與位置如圖1所示。

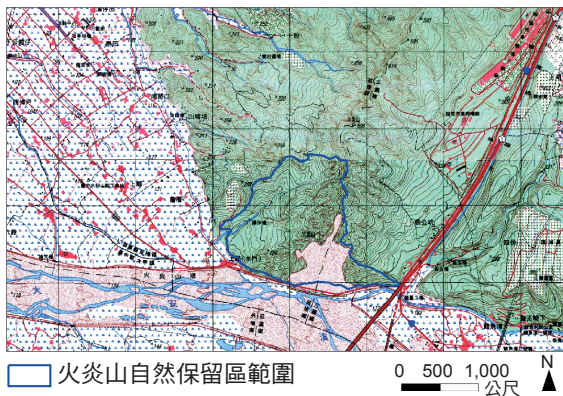


圖1 火火山自然保留區範圍。

(一) 地形地質概況

火火山屬苗栗丘陵南部，大安溪的北側，地勢北高南低，東高西低；最高點為火火山頂的596公尺。旁邊分別為鐵砧山台地、后里台地。就地層而言，幾乎都屬沈積岩體系（砂岩、頁岩、礫岩、紅土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。

火火山附近有3條構造線，分別為鐵砧山背斜、三義斷層與關刀山斷層。此3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火山西邊附近地區造成隆起，使火火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）。

(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，火火山位於台地南端，在氣候上比較接近台灣中部地區的氣候型態。依火火山主峰北方約2公里的大坪頂雨量測站，收集與分析長期的降雨資料。火火山地區的年平均

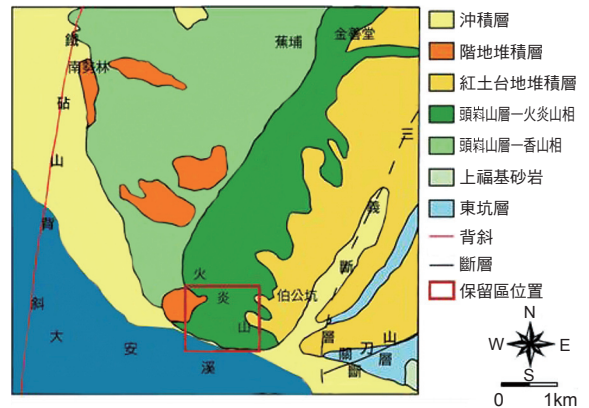


圖2 火火山地區地質圖。

降雨約1,600公釐，且有著很強的季節分布情況，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，火火山地形容易發生變化的時期，也多集中在6~9月，與降雨量的分布情況相吻合（表1）。

(三) 火火山隧道

過去每當颱風豪雨發生，火火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、林務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，避開上方火火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1年半，其間並發生土石流掩蓋隧道口的意外。於94年底驗收完成，95年元旦正式對外開放通車。



表1 作品應用初步測試

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

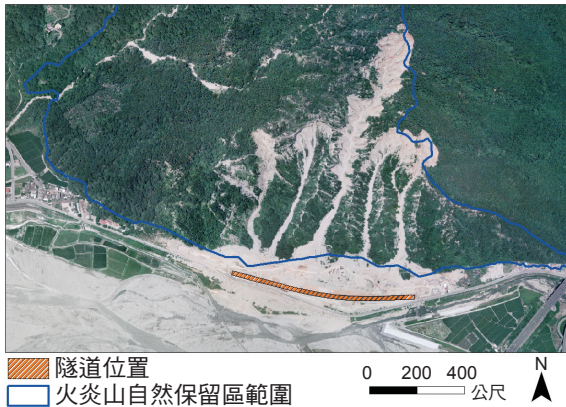


圖3 火炎山隧道與保留區之位置分布圖。

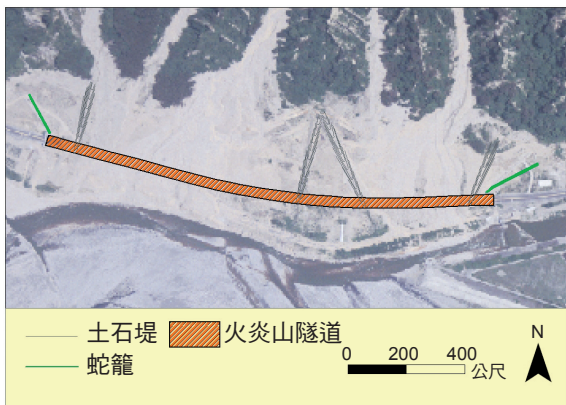


圖4 隧道設施分布位置。

火炎山隧道興建工程經費3億5,000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



▲照片1 施工中的火炎山隧道口（拍攝日期：94年4月5日）。



▲照片2 完工的火炎山隧道（拍攝日期：95年2月28日）。

設置石籠護堤保護洞口安全（圖3~6，照片1、2）。

三、火炎山的沖蝕觀測

火炎山歷年礫石層的侵蝕、沖積的觀測，主要是利用氣候測站，以及利用航空攝影測量方法，比較礫石沖刷量。希望瞭解

火炎山自然保留區的侵蝕、搬運與堆積的特性。利用歷年航空照片立體模型像對，以及數位航測方法，將沖積扇因降雨事件發生而產生變動，造成沖積扇規模的改變，加以紀錄比較，發現火炎山地區有許多動態變化。

以75年為基準，經過5年後，整個沖積扇面上發生了變化，而變化最大的就是第3集水區沖積扇。原本植生的位置被新沖積扇所取代，造成植生的面積大幅減少，分布地點也從3號集水區沖積扇的左下方跑到了右下方，而這個區域在75年的圖上應為當時新沖積扇的位置。依據觀察，火炎山沖積扇扇面如果沒有遭到新的堆積物掩蓋，約5年後可以發展成茂密的林相。

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

從植生區域減少的趨勢上，在4、5號2個集水區下方發生了大事件，原本茂密的植生區全部消失，取而代之的是許多可辨識的舊河道，顯示這裡曾經被沖積扇主流經過。從圖中的侵蝕與堆積資料觀察，此一區域的高度值大幅度的增加。經計算結果，約比75年高了10公尺以上，平均1年堆高達到2公尺（圖5）。

相同的情況也發生在1、2號集水區的下游。從地貌圖與堆積侵蝕資料觀察，這兩個集水區也一起向外沖出了新集水區，2號集水區

主流並向右轉與第1集水區主流互擠，使集水區的扇面形狀成為長條型。就變化規模而言，剖面線變動高度不若3、4、5號集水區，新沖積扇也沒有直接擴張到馬路邊緣，沖出的土石量並沒有很大。

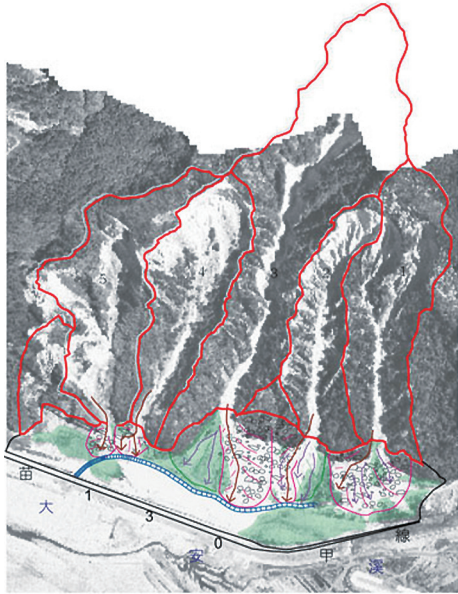
經過80年的大變動，81~82年相對的變化較小。在80年3號集水區沖積扇聯合堆積出一大片的區域，甚至跨過馬路進入大安溪河床。但在82年的圖中，沖積扇發生了退縮的現象，並在前端出現了崖面。依常理判斷，火炎山沖積扇面沒有什麼變化時，代表沒有大的降雨事件發生。也就是說，大安溪溪水不會漫過路面（高差約8公尺），對沖積扇的扇端進行侵蝕作用，帶走這些物質。最有可能造成這個情況的，推測可能是人為活動才有能力搬運那麼大量的土石。

82~87年間，沖積扇又發生了變化。根據87年的圖顯示，3號集水區沖積扇的主流，至少曾經發生過兩次大的沖積事件。原因在於87年地貌圖中，不論是那個集水區，不管是新的沖積扇，還是舊的沖積扇區域，都往前推進到了馬路旁邊，與82年離馬路還有一段距離的位置不同，據此推斷至少曾經有一次大規模的事件發生，使得所有的集水區都發生了變化。而在3、4、5號集水區，又可以觀察到新的沖積扇發育，堆疊在舊的沖積扇上。

88年的兩次颱風，顯然對火炎山沖積扇造成一些影響。相對於88年6月之前的穩定，89年有2個集水區沖積扇發生了變動。1、2號集水區還是維持著舊的沖積扇型態，侵蝕與



75



80

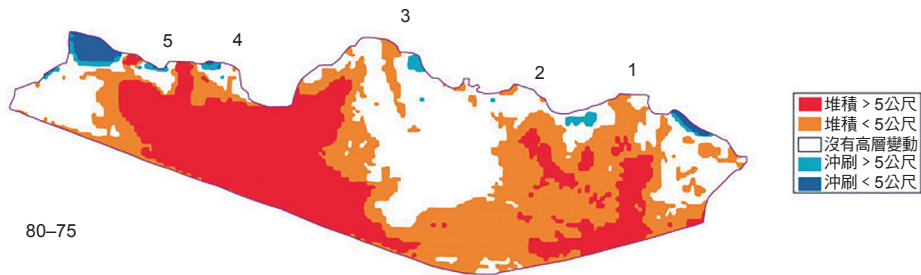
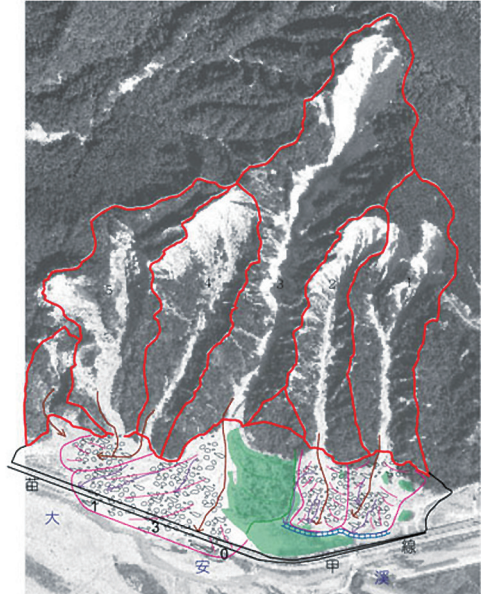


圖5 75~80年沖積扇地貌變遷圖 (1986 / 05 / 04~1991 / 10 / 07)。

堆積資料上的高度也沒有大改變。主河道有些變化，1號集水區主流更往左偏，利用兩個扇面邊緣連接的凹地，沖蝕出新的大河道。2號集水區則產生了斷流的現象，河道在出谷口後消失，只留下前期的舊河道。推測可能是因為沖積扇土石堆積過高，加上礫石的孔隙率大，水一進入沖積扇就快速下滲，無法補充地表河道成為乾溝。至於下方的帶狀裸露地，可能是人為活動所留下的痕跡。

3號集水區沖積扇又成為變動最大的沖積

扇。扇端因為新沖積扇的產生，向外跨過道路流進大安溪河床。跟前幾次情況比較不同的是，新沖積扇發生時，原本在沖積扇左側的主流流路沒有改道，到了扇央的中下段開始向兩邊分岔。新的土石堆積也沿著主河道，在快要接進馬路的地方才展開扇面。不過，比對侵蝕與堆積資料，在3號集水區沖積扇附近沒有高度變化，幾乎維持著與上個年度相同的高度。這可能意味著，原本在扇頂、扇央的物質被帶到下方堆積成新的沖積

扇，而從上游集水區帶來的土方量剛好補充了向下流失的土方量，達成了變動的平衡，地表的高度沒有改變。

4、5號集水區在89年的地貌圖中，沖積扇區域也發生了變動。在集水區的下方沖出新的沖積扇，由於量不大，侵淤圖的高度並沒有明顯增加。根據航空照片的判釋，這個沖積扇主要還是由第5集水區沖積扇的物質來造成的。從立體像對中發現，地貌圖中5號集水區的主流往右轉彎，與4號集水區的主流方向堆積新沖積扇，只留下沖積扇旁邊一小片凹地給4號集水區的主流當流路，使得4號集水區的出口累積的土石無法帶出，形成少量的堆積現象。

由於沒有颱風的侵襲，89~90年的變化不大。1、2、3號集水區下方沒有任何新的沖積扇發生，植生的面積也比去年增加。主河道除了2號集水區重新貫通上一年之前的舊河道，沿著舊沖積扇的邊緣往扇端流去，其餘都穩定的留在原來的位置。在4、5號兩個集水區，去年微幅堆積的沖積扇，在這個年度卻有消退的現象。就地貌來看，上一年沖積出的新沖積扇外型上有稍稍往外擴大一點，但非由新的事件所造成。不過，代表扇面穩定的植生，並沒有大量的覆蓋在沖積扇上。一個原因為當地仍然在發生小規模的變化，造成扇面的變動使植物無法生長。

由於納莉颱風帶來的充沛雨量（880公釐），造成91年沖積扇面上的大變化，而且是全面性的。從1號到5號集水區，都沖出了相當多的土石。1號集水區照著舊沖積扇的

扇面持續加高；2號集水區可能是沖出的土方量較小，無力突破過去被束縮的範圍，只堆積出一長條型的新扇面。3號集水區原本發生變動的機率就高，在發生大規模的降雨事件下，再度帶出大量的土石形成新扇。91年3號集水區沖積扇的新扇面除了沖出馬路進入大安溪床的區域外，新扇面也是沿著舊扇面堆積，並沒有再往左或往右去侵蝕。因為改道堆積，1、2號集水區堆高了約5公尺，3號集水區沖積出的高度變化較小。

4、5號兩個沖積扇帶出不少土石堆積，其堆積的高度與範圍甚至超過了89年沖積出來的土方量。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10年以上（75年時開始堆積）的穩定土石堆沖破，其能量可見一斑。整個沖積扇扇面的高度，亦達到了75年以來的最高點（圖6）。

綜合以上的結果，可以發現每個集水區下游沖積扇在不同的情況發生時，發生的反應不盡相同。倘若降雨事件的規模不大，通常只有3號集水區會發生反應。如果暴雨規模極大（如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91年的時候達到最高點。

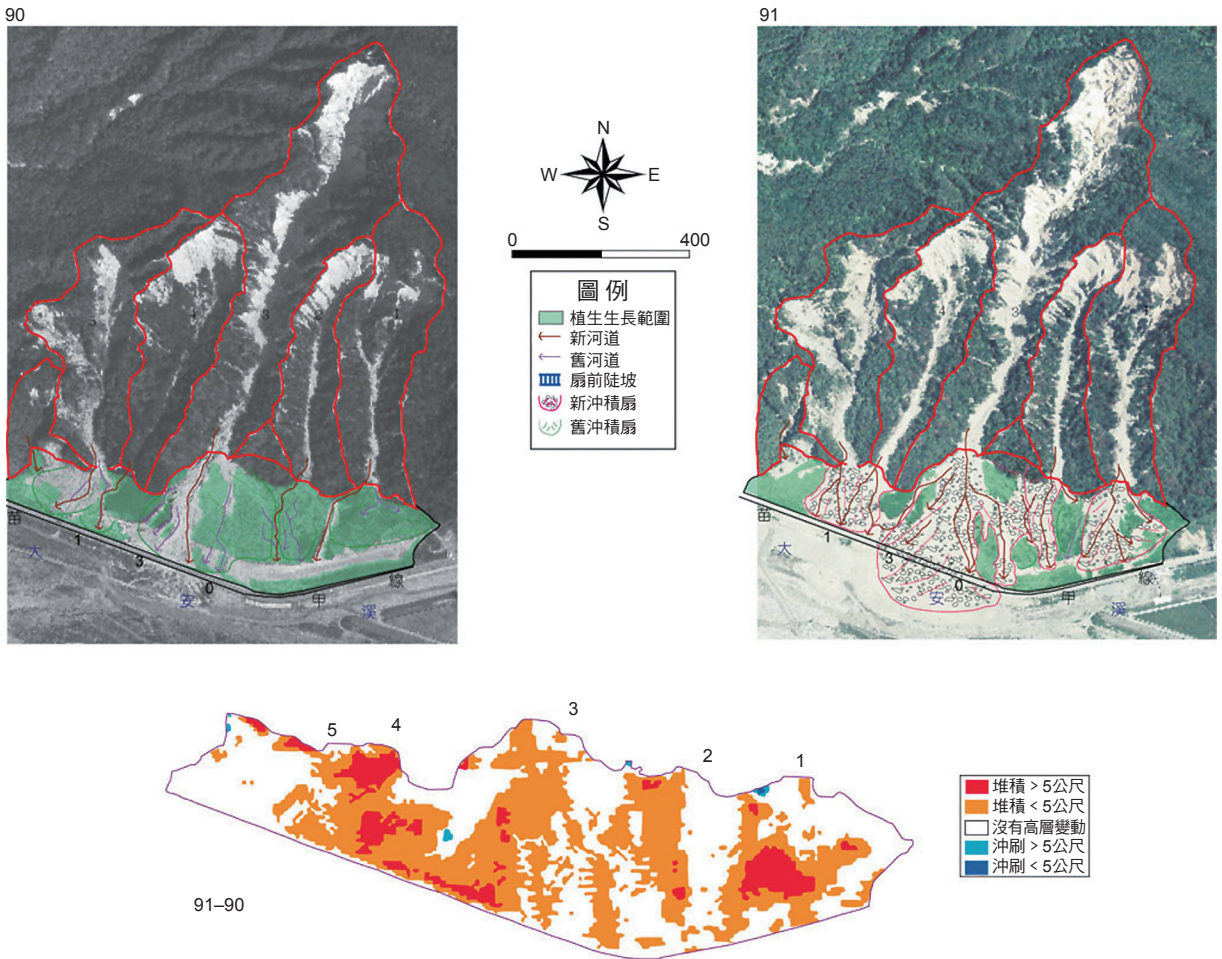


圖6 90~91年沖積扇地貌變遷圖 (2001 / 03 / 05~2002 / 06 / 19)。

四、結論

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90年納莉颱風），則所有的集水區都會有反應發生。而其間若降雨在12小時內超過100公釐，則常常會產生礫石流動的現象。

以下為歷年數值地形資料分析的結果：

（一）80年：3號集水區左側沖積扇經

計算結果，約比75年高了10公尺以上，平均1年堆高達到2公尺。

（二）81~82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。

（三）88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。

(四) 91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10年以上（75年時開始堆積）的穩定土石堆沖破。

(五) 80年～91年的資料顯示，10年間平均的後退速率分別為平行後退邊坡每年2.5公尺（以3號集水區的邊坡計算）、減坡後退邊坡每年1.5公尺（以4號集水區的邊坡計算）。

(六) 94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，筆者（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，將過去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。

(七) 研究94～95年沖積扇的侵淤情形時發現，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。

(八) 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3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1年時間便能新生出大面積的植被。🌱

* 誌謝：本研究能順利完成，要特別謝謝國科會與林務局新竹林區管理處長年來的支持。



（圖片／高遠文化，攝影／曾珊琴）