國立東華大學自然資源管理研究所

碩士論文

指導教授:夏禹九博士

合歡山步道土壤沖蝕之研究

(Soil Erosion of Mountain Trails at the Mt. Hohuan Area)

研究生:蘇敬智(69131009)

中華民國九十四年十一月

謝致

氣象報導，鵝鑾鼻東南方 1100 公里處有個熱帶低氣壓形成，預計後天將可能影響台灣東半部，請民眾先做好防颱準備……

老劉:「小蘇，颱風好像快要來了，明天還要上合歡山做調查嗎? 」

小蘇:「怕什麼，大不了在觀雲山莊先住個幾天，等天氣好再去調查。況且，氣象局的預報跟台鐵的時刻表一樣，都要七折八扣一下的。我先去實驗室準備明天要上山的東西，你找一下手套，別像上次一樣把手都凍壞了。」

老劉:「上山就上山，你以為我害怕阿，說到出野外我現在可是也算是箇中高手。上山就像郊遊一樣，沒在怕的…」。

記得有好幾次都是在天氣不好的情況下上山，然而不管天氣的好壞，老劉總是義無反顧的拋下手上的工作陪著我上山收資料。野外工作雖然辛苦，但因為多了個調皮搗蛋的老劉，使得野外工作多了非常多的歡樂與有趣的故事。專門破壞合歡山步道的地鼠精、月彎彎上的月出、武嶺停車場的 Tiffany、紅包的心聲等都是一段段值得再三回味的故事。

當然，集毅力、智慧、幽默、冷靜、帥氣於一身的夏老師也給了非常多的幫助。在撰寫論文的過程中幾度瀕臨被我中文表達能力逼瘋的狀態下還能細心的指導，光這一點就值得在此大謝特謝一番。另外，所上的陳老師、吳老師與張老師皆在課業上給予許多的啟發，讓學生也獲益無窮。最後，被我尊稱「步道大王」的劉儒淵老師，對本論文的意見讓學生有恍然大悟的痛快感，在此也特別謝謝劉老師。

在花蓮這段不算短的日子裡，在課業與生活上幫助我的人實在太多。自資所、觀光所與環政所的同學、學長姐與學弟妹，總是在有形無形中給予許多幫助。在台灣西部的「泛遠東組」朋友，也給予許多友情上的支援。這些生活上的點滴都促成了我精采的花蓮生活。

非常感謝太魯閣國家公園所提供的研究經費，以及太管處人員在論文上的幫助。

最後，也是最重要的，就是我的爸媽。謝謝你們讓我走自己想走的路，也謝謝你們的栽培，讓我無憂無慮的求學，謝謝。

Abstract

Trails especially unattended trails in alpine area could cause serious soil erosion problem along the route. Recently, recreation activities at Mt. Hohuan recreation area in the Taroko National Park are escalating alarmingly.

Soil erosion along seven trails with a total length of 14.55 km at Mt. Hohuan was surveyed. Each trail path was divided into 30-meter sections and maximum soil erosion depth, path width, and section slope were measured. Impact of visitors on those trails was also estimated based on questionnaire conducted during the night at the Hohuan and Kuanyun lodge. Soil erosion impact caused by seven trail paths around the Hohuan area were assessed based on soil erosion depth, path width, and amount of soil erosion. Sideslope and aspect were calculated by digital terrain model. Relationship of soil erosion, path width, path slope, slopeside, aspect and number of visitors were investigated mainly based on correlation analysis.

Survey result indicated that the critical factor that influence trail erosion depth is trail slope. Erosion depth at 4 trails were significantly correlated with trail slope except Mt. North-Major Trail and Mt. Shihmen Trail. There are better vegetation coverage and soil condition along the trail such that the soil erosion problem is somewhat eased at Mt. North-Major Trail. At Mt. Shihmen Trail, however, the erosion depths at flat slope were deeper than expectation possibly due to some past engineering works along the trail. Slope length is another factor that influence trail erosion depth. There are four trails which show traces of engineering works. Among them, soil erosion depth at sections which had traces of past engineering works along 3 trails, except Mt. Major- Wuling, shows deeper soil erosion than those sections without engineering works.

Trampling caused by visitors, however, is the primary agent of trail widening. Survey result also indicated that the width of minor trail sections are narrower than that at major sections of trails.

Finally, in order to remedy the soil erosion problem at those high mountain trails, it is suggested that Mt. North-Minor Trail and Mt. East- Sunghsueh Lodge Trail could be closed at least temporarily because there are alternative trails available. For trail sections that erosion depth deeper than 30 cm and longer slope length remedial works such as water bars could be installed.

Keywords：soil erosion, trails, Mt.Hohuan Area.

摘要

近年來位於太魯閣國家公園內的合歡山遊憩區所面臨的遊憩壓力越來越大，遊憩活動則會對土壤、植被、野生動物與水質造成衝擊。本研究針對太魯閣國家公園內合歡山群峰 7 條步道，總計 14.55 公里進行步道土壤沖蝕深度的普查。除了每隔 30 公尺紀錄步道沖蝕最深深度、坡度與寬度，並針對合歡山地區步道遊客人數做夜間問卷與日間實際遊客人數監測的調查。夜間問卷調查地點在合歡與觀雲兩山莊，日間遊客數監測則是選擇東峰與北峰兩條步道。並且利用 20m×20m 的數值化地面模型(DTM)來計算步道所經過的邊坡坡度與坡向。

結果顯示，影響沖蝕深度的因素有坡度、坡長與施工遺痕。步道坡度與沖蝕深度的相關係數除了北峰主線與石門山步道沒有相關外，其餘四條步道皆呈現坡度與沖蝕深度的高度相關。北峰主線步道下段是因為植被與土壤的保護所以沖蝕深度與坡度沒有呈現出相關;石門山則是因為有施工遺痕所以在坡度緩的地方有較深的沖蝕深度。坡長方面，經由東峰合歡山莊線單元長度的取樣方式得知，在相同坡長的下段沖蝕情況會比上段更嚴重。合歡群峰有施工遺痕情況的四條步道中，除了主峰武嶺線施工遺痕路線與無施工遺痕路線沖蝕深度沒顯著差異外，其餘三條步道皆顯示施工遺痕路線對沖蝕深度有顯著影響。

步道遊客人數使用的差異會反映在步道寬度上。經比較三條步道的主線與支線寬度，結果顯示三條主線步道寬度皆顯著寬於支線寬度。

根據本研究調查結果，建議對沖蝕嚴重但遊客人數較少的北峰支線與東峰松雪樓線步道暫時封閉，並且對其它步道沖蝕深度超過 30cm 的路線與坡長太長的路段進行水土保持方面的工作。

關鍵字:土壤沖蝕，步道，合歡山區

目錄

1. 前言.....1
1.1 研究目的.....1
1.2 研究範圍.....2
1.3 研究流程.....3
2. 文獻回顧.....4
2.1 遊憩活動的衝擊.....4
2.2 遊憩衝擊的空間與時間配置.....5
2.3 土壤沖蝕介紹.....8
2.4 影響土壤沖蝕的因子.....9
2.5 步道監測方法.....13
2.6 國內外相關研究.....14
3. 樣區與研究方法.....18
3.1 研究樣區簡介.....18
3.2 沖蝕深度取樣依據與沖蝕量估算方式.....28
3.3 步道普查取樣方式.....30
3.4 坡長因素對土壤沖蝕的影響取樣方式.....30
3.5 邊坡坡度與坡向判別方式.....31
3.6 步道遊客人數調查.....32
3.7 統計分析方法.....32
3.8 主成份分析.....33
4. 結果與討論.....34
4.1 主線步道沖蝕深度、寬度與沖蝕量.....34
4.2 步道主線坡度.....38
4.3 步道遊客人數.....40
4.4 影響沖蝕深度的可能因素.....42
4.5 主支線步道沖蝕量、坡度、寬度與長度之比較.....59
4.6 主成份分析.....63

4.7 沖蝕深度分布.....64
5. 結論與建議.....70
5.1 結論.....70
5.2 建議.....70
6. 引用文獻.....72

圖目錄

圖 1　研究範圍圖.....2
圖 2　研究流程圖.....3
圖 3　露營地不同使用強度與衝擊總改變量之關係.....6
圖 4　使用的年數與衝擊量之關係.....6
圖 5　遊客人數與步道寬度的關係.....7
圖 6　坡度與沖蝕之關係.....12
圖 7　三種遊憩活動類型對步道深度的影響.....12
圖 8　步道截面重複測量法.....13
圖 9　步道兩側取樣方法.....15
圖 10　兩種區域沖蝕情況之比較.....16
圖 11 合歡山步道全圖.....19
圖 12　合歡北峰主線與支線圖.....20
圖 13　合歡群峰圖.....21
圖 14　北峰主線與支線現場圖.....22
圖 15　東峰兩條步道圖.....24
圖 16　東峰松雪樓線施工遺痕情形.....25
圖 17　主峰武嶺線步道圖.....26
圖 18　主峰施工遺痕情況.....26
圖 19　主峰昆陽線步道圖.....27
圖 20　石門山步道圖.....28
圖 21　東峰前測取樣方式.....29
圖 22　東峰兩線沖蝕截面積與最深深度相關係數.....29
圖 23　等距取樣方式示意圖.....30
圖 24　單元長度取樣示意圖.....31
圖 25　合歡山步道主線沖蝕深度分布.....35
圖 26　合歡山步道主線寬度分布.....37
圖 27　合歡群峰步道每公尺沖蝕量.....38
圖 28　合歡山步道主線坡度分布.....39

圖 29　問卷於四個週末各步道遊客人數分布情況.....41
圖 30　邊坡坡度與沖蝕深度分布情況.....44
圖 31　坡向與沖蝕深度分布情況.....44
圖 32　單元長度內上、中和下段深度分布情況.....45
圖 33　合歡山步道上下段深度分布情況.....47
圖 34　合歡山步道上下段寬度分布情況.....48
圖 35　三條步道上下段沖蝕量.....49
圖 36　合歡山步道上下段坡度分布情況.....50
圖 37　四條步道坡度分布情況.....52
圖 38　四條步道沖蝕深度分布情況.....53
圖 39　四條步道有無施工遺痕路線深度比較.....55
圖 40　合歡群峰早期曾經有人為施工的步道沖蝕深度分布圖.....56
圖 41　合歡群峰早期曾經有人為施工的步道坡度分布圖.....57
圖 42　有無施工遺痕路線每公尺沖蝕量之比較.....58
圖 43　合歡山步道主支線沖蝕量情況.....60
圖 44　合歡山步道主支線坡度分布情況.....61
圖 45　合歡山步道主支線寬度分布情況.....62
圖 46　合歡群峰各步道沖蝕深度分類所占點數.....65
圖 47　合歡北峰主線與支線步道沖蝕深度分布情況.....65
圖 48　合歡東峰合歡山莊與松雪樓線步道沖蝕深度分布情況.....66
圖 49　主峰武嶺線步道沖蝕深度分布情況.....67
圖 50　主峰昆陽線步道沖蝕深度分布情況.....68
圖 51　石門山步道沖蝕深度分布情況.....69

表目錄

表 1 不同覆蓋物之水土流失量調查.....9
表 2 合歡群峰步道所經過的邊坡坡度分布情況.....31
表 3 合歡群峰步道所經過的坡向分布情況.....31
表 4 夜間於山莊所做的調查.....32
表 5 合歡山步道取樣間距、點數與長度分布.....34
表 6 沖蝕深度 Mann-Whitney U 檢定 P 值統計檢定表.....36
表 7 步道寬度 Mann-Whitney U 檢定 P 值統計檢定表.....37
表 8 步道坡度 Mann-Whitney U 檢定 P 值統計檢定表.....39
表 9 合歡山步道問卷與實測的時間與人數.....40
表 10 東峰跟北峰問卷跟實測人數在比值上的數值.....41
表 11 不同研究解釋合歡群峰步道遊客人數比值結果.....42
表 12 步道沖蝕深度與坡度的相關係數.....43
表 13 四條步道施工遺痕調查點數所占該步道總調查點數的百分比58
表 14 主線與支線步道長度與沖蝕量分布情形.....63
表 15 環境資料 PCA 分析結果.....64

1. 前言

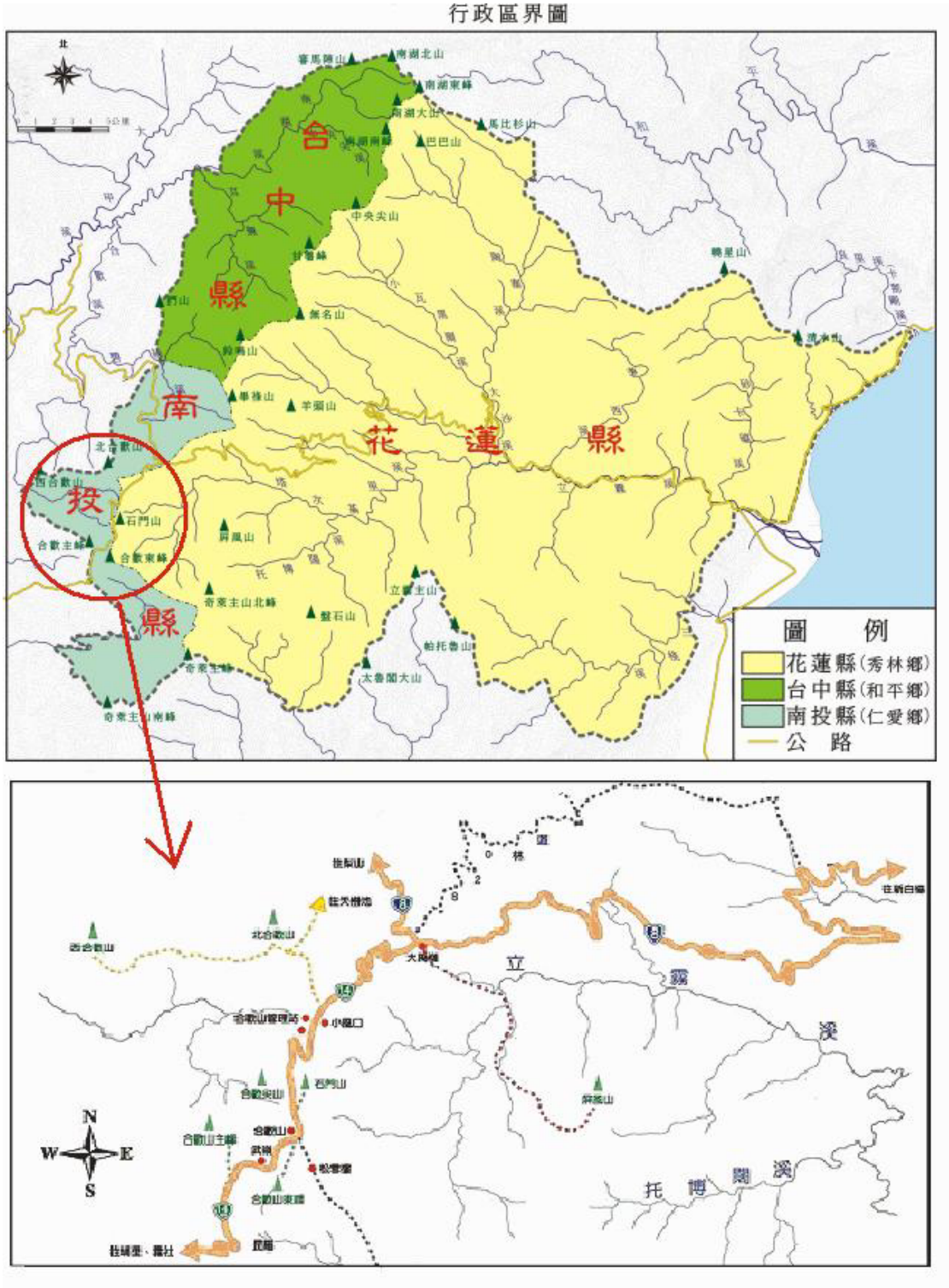
太魯閣國家公園內合歡群峰是國內高山健行活動相當受歡迎的景點之一，早在 60 多年前此地區的登山活動就已經非常盛行。在 1935 年 7 月時，已經有台北高校等 12 個團體共 109 人辦理合歡山地區的入山申請(李瑞宗，1999)。且在 1940 年時，合歡山地區已有能提供 100 人住宿的設備。光復初期，這條「合歡越古道」遭到颱風破壞。1956 年有鑒於國防軍事及交通便利的需要，政府在原有的古道上開闢公路，至民國 1960 年完成通車。此後，合歡山地區就更容易到達了。現今以合歡山莊的住宿人數來看，2000 年的人數為 4842 人，到 2004 年人數為 17945 人，成長了 3.7 倍(交通部觀光局，2000~2004)。顏家芝(2004)研究曾推估合歡山遊憩區 2004 年總遊客量為 31 萬 2 千 5 百人左右，所以合歡山區面臨遊客的遊憩活動所帶來的壓力是不可忽視的。

1.1 研究目的

目前合歡群峰主要步道有主峰、東峰、北峰、西峰和石門山共五條。經過長期且逐漸增加的遊客踐踏，使得步道沿途土壤沖蝕現象相當嚴重。高山地區土壤化育緩慢，植被一旦遭受破壞，復育困難。再加上沖蝕溝亦影響視覺景觀與危及遊客的安全，沖蝕嚴重的步道應該加強維護或暫時封閉以利復育。本研究針對合歡山步道做沖蝕深度的普查，藉此了解造成合歡群峰步道土壤沖蝕深度差異的因素。探討步道環境(坡度、坡向、邊坡坡度等)的差異與遊客人數使用程度的不同對步道土壤沖蝕的影響為何。最後針對普查的結果與原因探討並期望對合歡山群峰步道土壤沖蝕的問題提出建議。

1.2 研究範圍

本研究研究範圍是位於太魯閣國家公園合歡山遊憩區的主要登山步道，包括合歡北峰、東峰、主峰與石門山等步道(圖 1)。


行政區界圖
合中縣
南投縣
花蓮縣
圖例
花蓮縣(秀林鄉)
台中縣(和平鄉)
南投縣(仁愛鄉)
公路
合歡北峰
合歡東峰
合歡主峰
石門山
奇萊主山
奇萊主山北峰
奇萊主山南峰
北合歡山
西合歡山
中央尖山
南湖大山
南湖北山
南湖東峰
南湖南峰
巴巴山
馬比杉山
審馬陣山
能高山
能高東峰
能高南峰
能高北峰
能高安東軍
能高越
能高縱走
能高縱走
能高縱走

1.3 研究流程

研究流程先說明本研究的研究目的，然後收集國內外相關文獻，再介紹本研究的樣區與研究方法。結果則呈現合歡山步道土壤沖蝕的情況與各影響土壤沖蝕的因子對沖蝕結果的影響。最後將討論本研究的結果，並且針對本研究所得到的結果對合歡山步道在土壤沖蝕的防範上給予建議。

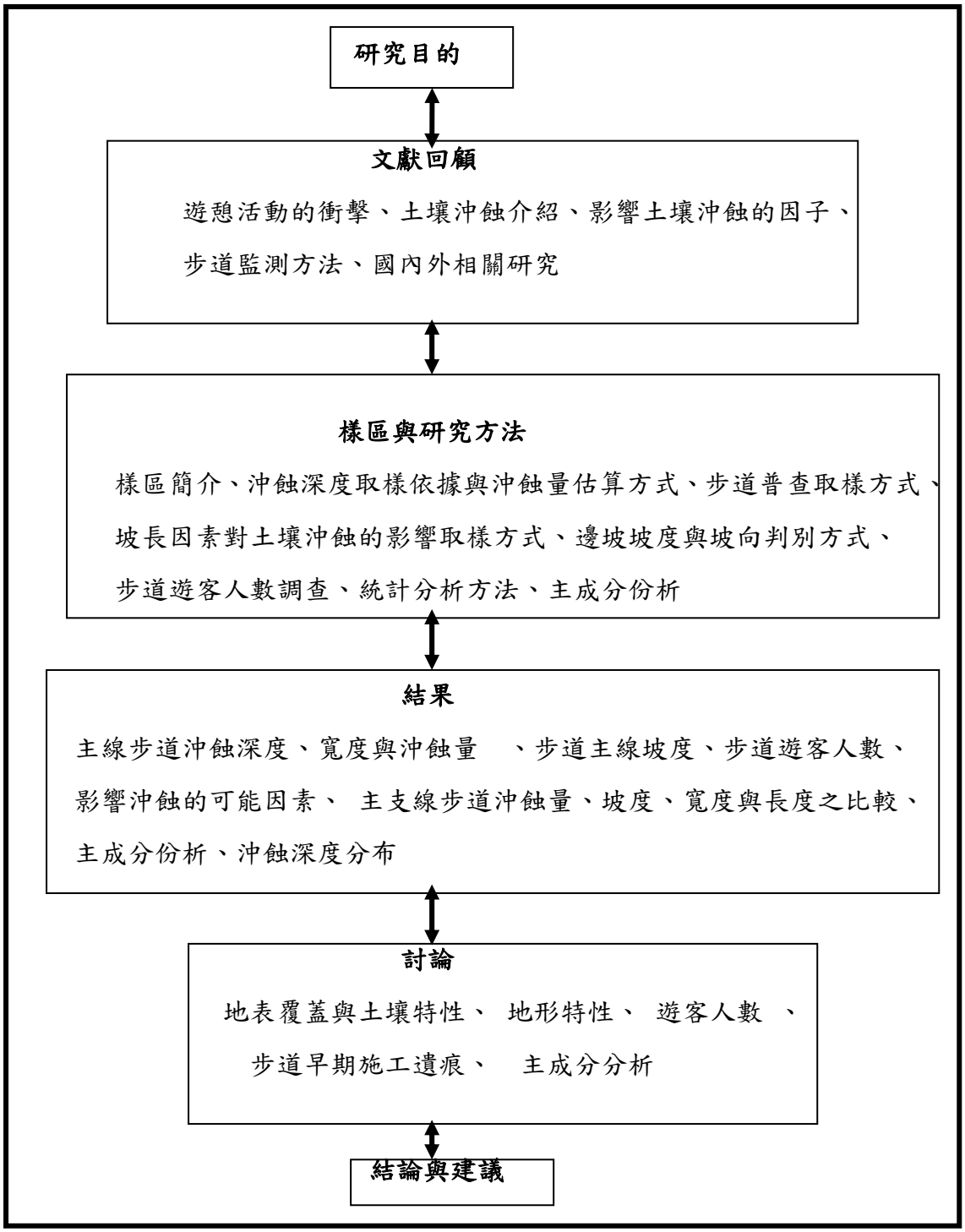


圖 2 研究流程圖

2. 文獻回顧

首先介紹遊憩活動所帶來的衝擊，並對衝擊的空間與時間型態相關理論做探討。再來是介紹土壤沖蝕的原理，且探討影響土壤沖蝕的因素。最後則是介紹步道衝擊的監測方式與國內外對步道衝擊的相關研究。

2.1 遊憩活動的衝擊

遊憩活動的定義是指:與工作不相關的，並且能提供人們建設性、復原性與愉悅的活動(Hammitt & Cole, 1998)。在野外，遊憩活動可能對土壤、植被、野生動物和水造成衝擊，衝擊不可能只侷限在單一項目。也就是說，單一的遊憩活動會造成多個衝擊項目，且一個被衝擊項目可能會使得另一個項目遭受更嚴重或者較輕微的衝擊效果(Hammitt & Cole, 1998)。

對土壤的衝擊方面，遊憩活動首先會移除土壤表面的有機物質，並且使得土壤被壓實的情況越來越嚴重。這些情況均會改變土壤的溫度、溼度、養分以及土壤裡的生物，並對日後提供植物生長的條件有負面的影響。

大多數土壤條件的改變除了對原本的植物生長有影響外，也不利於植物幼苗的成長。在遊憩活動過程中，不管是遊客使用步行、騎馬或是開車，都會直接傷害原生的植物，所以植被覆蓋率、生長速率和拓殖能力皆會受到衝擊。在許多露營地，植物的群落普遍缺少幼苗;一些較老的樹木則會受到斧頭之類的砍傷(Hammitt & Cole, 1998) 。

當土壤和植被皆因遊憩活動而改變時，表示這棲地已經有所改變。在這裡生存的野生動物也就會遭受棲地改變所帶來的衝擊。對大型野生動物來說，遊憩活動所帶來最大的衝擊就是殺害或者無意的干擾。干擾會降低繁殖力，例如當鳥被干擾時會離開牠的巢，搬到不被干擾的地方去;或者造成野生動物行為改變後的適應現象，例如熊開始以人類的垃圾為食物來源。小型野生動物則較容易受棲地改變而受到影響。例如土壤表層有機物被移除後，也就一併連昆蟲的棲地和食物來源一起移除;砍除植物則會影響一些需要樹穴為巢的鳥類(Hammitt & Cole, 1998)。

水質方面，因為遊憩活動輸入太多養分、污染物、土壤沖蝕所帶來的泥沙等，導致水質降低。遊憩活動所帶來的垃圾若進入水體會對水體造成影響，進而影響水中溶氧量和改變水生動植物。

遊憩活動對步道土壤主要的衝擊項目有土壤壓實(compaction) 和沖蝕(erosion)兩項。土壤壓實指的是土壤不論經由遊客踐踏、車輛行駛、或施加其它壓力的行為，造成土壤顆粒更緊密的聚在一起，減少空隙所占據的空間，所以土壤壓蝕的現象會增加土壤密度，以及降低土壤滲透性(Hammitt & Cole, 1998)。減小土壤壓實的因素可能為冰凍作用(frost action)、減少遊憩活動利用和風撼動樹木對土壤所造成的影響，通常需要幾十年就能恢復(Hammitt & Cole, 1998)。

沖蝕是最嚴重且永久的土壤衝擊。造成土壤沖蝕的主因為水與風，遊客踐踏並不會直接造成步道的土壤沖蝕現象(Hammitt & Cole, 1998)。但是踐踏會造成土壤踏實，破壞植被、擾動土壤、減少入滲率、增加逕流率，間接增強沖蝕現象的發生。

沖蝕不像土壤壓實現象會隨著步道停止使用而回復。一旦沖蝕現象已經發生，即使步道停止使用，沖蝕現象仍會持續，要回復到以往的情況至少需要上百年的時間，時間明顯比其它衝擊所要回復的時間長得多(Hammitt & Cole, 1998)。

2.2 遊憩衝擊的空間與時間配置

遊憩使用造成衝擊的最大特點之一是:遊憩衝擊會集中在某些特定的點或者路線上(Hammitt & Cole, 1998)。例如在歐洲一個面積為 170km^2 的公園，經由限制遊客使用範圍可以將遊客的衝擊範圍控制在公園總面積的 0.1%以下(Wagar, 1975，引自 Hammitt & Cole, 1998)。而在美國的 Eagle Cap Wilderness 地區，在沒有限制遊客的情況下，遭受遊客衝擊的面積亦沒有超過總面積的 0.5%(Cole, 1981，引自 Hammitt & Cole, 1998)。由此可見，縱使沒有限制遊客，遊憩行為還是會有集中使用的情況。這樣的現象主要是由一些景點特性因素所導致的，例如一些美麗或獨特的景點如湖泊或瀑布會一再的吸引遊客前來觀賞。此外，遊客喜歡走在一些已經走出來的路線上，這會令遊客感覺舒適和安全感。

衝擊發生的速率和是什麼樣的衝擊類型是有關的，草本植物喪失通常比土壤有機層喪失來得快(Hammitt & Cole ,1998)。另外，使用程度的差異也是另一個跟衝擊速率有關的因素。使用程度越強，在很短的時間內就會造成很大的衝擊。對露營遊憩活動而言，即使是中度使用程度（一年有 10~30 次的露營活動），對土壤和植被的衝擊(包括:植被喪失和組成、幼苗與有機層喪失、土壤裸露和壓實)就會很強(Leung & Marion, 1995，引自 Hammitt & Cole, 1998) (圖 3)。

就衝擊的時間變化上，研究也指出衝擊(包括:植被消失和土壤壓實等)在一開始的前幾年會增加的非常快，但之後增加的速率會慢慢降低(Cole & Marion, 1986，引自 Hammitt & Cole ,1998)(圖 4)。

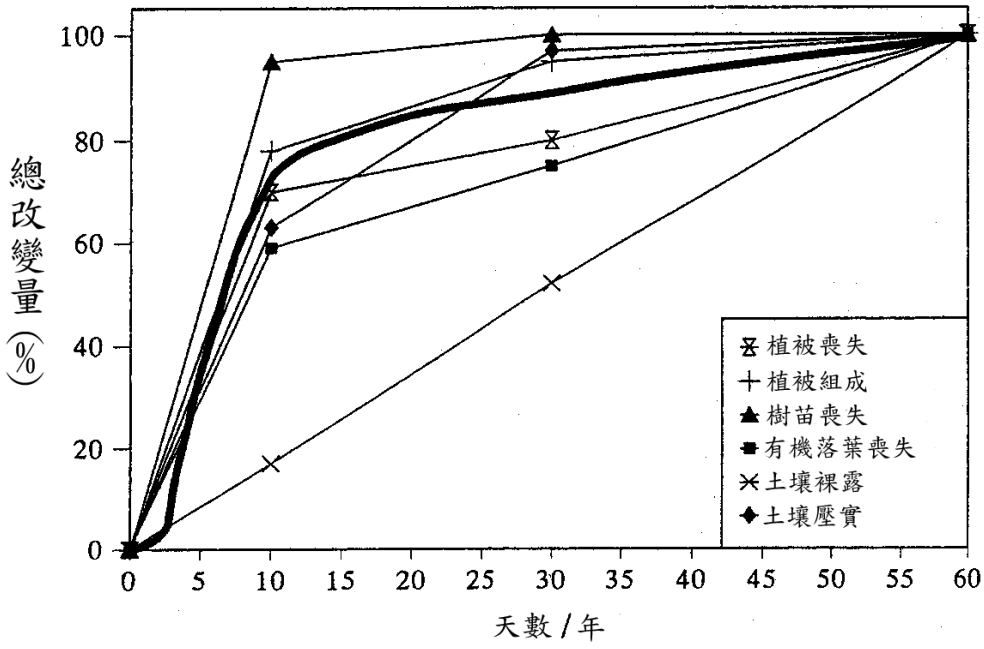


圖 3　露營地不同使用強度與衝擊總改變量之關係。其中衝擊量包括植被喪失和組成、幼苗與有機落葉層喪失、土壤裸露和壓實。可發現在一年只用 10 天的使用強度下，已有 70%受到改變。　(修改自 Leung & Marion, 1995)

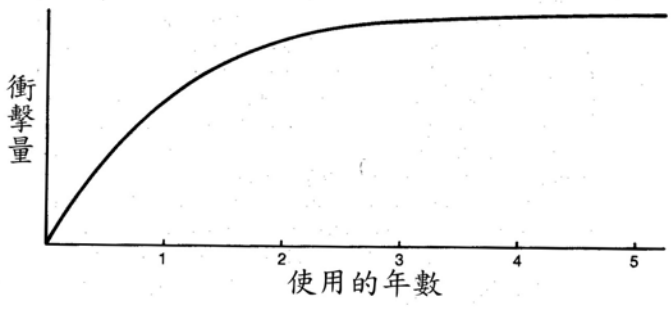


圖 4　使用的年數與衝擊量之關係。大多數的衝擊量(土壤壓實和植被喪失等)皆在遊憩地區使用的前一兩年快速成長，之後在慢慢呈現較穩定的狀態。　(修改自 Cole & Marion,1986)

在步道方面的衝擊，值得注意的是「步道寬度變寬」和「步道土壤沖蝕」，這兩項與其它的衝擊項目有所不同，並不會一開始就受到很大的衝擊然後慢慢的減緩。相反的，這兩項的衝擊程度會隨著時間逐漸增加(Cole,1991；Marion, 1984，引自 Hammitt & Cole ,1998)。步道變寬通常發生在當步道不易遊客行走時，也就是步道變成泥濘或積水時遊客便會繞道，步道便會逐漸變寬或者成多條的穗狀。土壤沖蝕的狀況亦相似，一旦發生了，縱使遊客不再使用，沖蝕仍會繼續發生，直到設置排水控制設施將水導離步道，土壤沖蝕現象才可能停止或減緩。

研究指出步道寬度會隨著遊客使用程度的增加而變得更寬(Dale& Weaver, 1974 ; Weaver & Dale, 1978)(圖 5)；另外，坡度越陡、越泥濘的步道環境也會使得步道寬度變寬(Bayfield, 1973; Weaver & Dale, 1978)。在美國 Gallatin Valley, Teton 或 Yellowstone 國家公園的步道研究中顯示，當使用量高達一定程度時(超過 1000 次/年)，步道位置處於草地上的寬度會比在森林環境中寬 (圖 5)，推測是因為在森林中遊客不易並肩行走的關係(Dale& Weaver, 1974；Bayfield, 1971)。

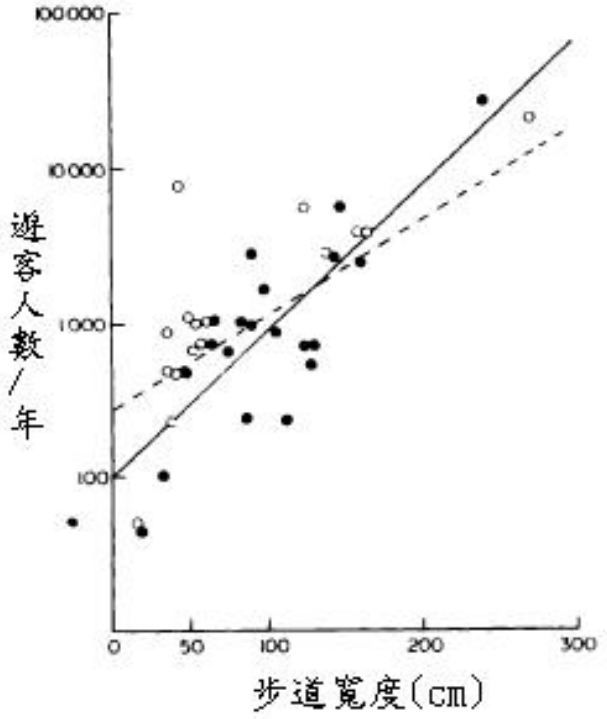


圖 5　遊客人數與步道寬度的關係。●和—代表森林，○和---代表草地。當遊客人數逐漸增加時，步道寬度也跟著增加;當遊客人數每年超過 1000 人時，草地的步道寬度會比森林來得寬。　(修改自 Dale& Weaver, 1974)

2.3 土壤沖蝕介紹

岩石風化現象，因岩石受外力作用後，組織發生變化，開始鬆散、破碎，到最後喪失原有的特性變成土壤。這是一種基本沖蝕，所以地質學家稱此為靜蝕(static alteration);將土壤或岩石流失的現象稱為動蝕(dynamic alteration)。

當土壤流失的量小於由母質層育化成的土壤量，此現象稱為正常沖蝕(normal erosion)、自然沖蝕(natural erosion) 或者地質沖蝕(geological erosion)。相反的，當土壤流失的量大於由母質層育化成的土壤量，稱此現象稱為異常沖蝕(abnormal erosion)或者加速沖蝕(accelerated erosion)。

沖蝕種類根據土體流失後的遺跡可分成三類:1)層蝕(sheet erosion)，當外力作用於裸露的地表時，土壤遭受破壞且很均勻的流失一層細微的土粒與肥份，使地面露出許多堅硬的土塊、石礫或植物的殘體等現象稱為層蝕。2)細溝沖蝕(rill erosion)，當逕流發生後，水流匯集成細流，對土壤的破壞力隨著流量的增加而增強。細流作用於地面後，引起大量土石體流失，當逕流枯竭之後地面上出現了一些分歧似樹枝狀的細溝。此種土壤流失現象稱為細溝沖蝕或者指蝕(finger erosion)。細溝沖蝕大多發生於降雨強度大、坡度陡、表土疏鬆的地區。細溝沖蝕的大小並無一定的標準，但總的來，說細溝沖蝕並不會影響田間農具的操作。3)溝蝕(gully erosion)，當地表逕流匯成洪流時，破壞力會更強，土石體受作用後流失量比細溝沖蝕的還多。當逕流枯竭時，地面上出現許多寬而深的蝕溝(gully)，此種土壤流失的現象稱為溝蝕。溝蝕發生後，產生比細溝還寬且深的深溝，常常影響田間農具的操作，此點則是細溝跟蝕溝最大的差異(蔡如藩，1994)。溝蝕依照深度進一步細分成:深度小於 1 公尺稱為小型溝蝕;深度介於 1~5 公尺稱為中型溝蝕;深度大於 5 公尺稱為大型溝蝕(張仲民，1988)。

2.4 影響土壤沖蝕的因子

有許多因素皆會影響土壤沖蝕的量和空間配置。在自然環境方面，氣候、地表覆蓋、土壤特性和地形特性等在會不同的地方會呈現不同的影響程度。遊客人數使用量在某些情況則會影響步道土壤沖蝕的程度。

2.4.1 氣候

氣候影響沖蝕的兩個主要因素為降水(precipitation)與風。降水經由空中降落之固體與液體水分之總稱，其中降雨與降水則是與沖蝕最有密切關係。當雨滴落下時，其位能轉變成動能(kinetic energy)，成為衝擊地面之力量，對土壤作功，使土壤破碎、分離、飛濺和流失等現象稱為雨蝕(raindrop erosion)。另一現象，當雨水降落地面或積雪融解後，沿地面漫流之水稱為地面逕流(surface runoff)。由地面逕流所造成的土壤破壞、流失過程則稱為逕流沖蝕(runoff erosion)。風則包括季風與暴風，土壤遭受風之吹襲(deflation)、磨削(corrosion)與推壓(impulsion)等作用後，即發生破碎、分離、運動和堆積等現象稱為風蝕(wind erosion) (蔡如藩，1994)。

2.4.2 地表覆蓋物

地面上的覆蓋物對蓄水保土有極優良之功效，覆蓋物種類不同，防止沖蝕之功效也會有所不同(表 1)。

表 1 不同覆蓋物之水土流失量調查　　(修改自蔡如藩，1994)

類別	水分流失量降雨量之百分比(%)	每公頃年泥砂沙失量(噸)
林地	1	0.40
草地	16	5.00
耕地	25	99.00
裸露地	49	514.00

2.4.3 土壤特性

土壤特性包括土壤質地、含石率和有機物質等。沙質壤土(sandy loam)排水性好、不易受沖蝕、有利植物生長，但土壤顆粒大小分布廣，受踐踏後易壓實。粗質地土壤(coarse soil)因土壤顆粒大所以不易受風及水搬動而進一步造成沖蝕。因為土壤結構的不穩定容易形成小崩塌而造成步道變寬，且它們的低涵水能力也不利於植物生長。泥和細沙(silt and fine sands)因土壤顆粒小，且已分離所以易受沖蝕。當黏土(clays)土壤被壓實後，便會明顯的降低土壤滲透性，進而增加逕流造成沖蝕。當此種土壤潮濕時會變得很黏稠，不適合行走，又乾的很慢。少量的石粒(stones)有助於降低土壤壓實。石粒也可以增加土壤顆粒被水帶走的抵抗性，進而減少沖蝕。不過，一旦步道上的石粒量太多會造成遊客行走不易。當土石鬆動時發生大雨，這些土石可能會夾雜在雨水中傾洩而下，對步道本身造成嚴重的沖蝕現象(Hammitt & Cole ,1998)。

土壤有機物質在高緯度與高海拔地區因為分解速率慢所以較為常見。厚的有機層可以對下方的土層提供類似盾牌的功能，可以降低壓實的效果、減少逕流與沖蝕現象。此外還可以增加土壤保水能力與養分的獲得，這兩項功能都有助於植物生長(Hammitt & Cole ,1998)。

土壤溼度充足有利於植物的生長，但太濕的土壤則容易因為遊憩活動而粘著在遊客的腳上(Stewart & Cameron，1992，引自 Hammitt & Cole ,1998)。

2.4.4 地形特性

地形特性指的是步道坡度、位置、高度與坡向。一般來說，沖蝕的潛力會隨著坡度增加而變大。在英格蘭的研究中指出，步道坡度在 0-9 度時，不會發生沖蝕；介於 9-18 度會有沖蝕的問題出現，但大部分還是不會有沖蝕發生；一旦步道坡度大於 18 度，大部分則會有沖蝕現象發生(圖 6) (Coleman, 1981，引自 Hammitt & Cole ,1998)。研究者也發現當坡度增加時，步道的寬度和沖蝕深度也會隨之增加，這可能是因為坡度陡，水流速度較快，會造成較大的沖蝕力(Coleman, 1981，引自 Hammitt & Cole ,1998)。但坡度並不能完全解釋沖蝕的產生，在阿拉斯加的研究指出，坡度梯度與植被和步道沖蝕間有正相關，但是坡度與植被只能解釋 34%的變異，還有其它未量測的因素影響著土壤沖蝕(Jubenville & O'Sullivan, 1987)。

步道所在坡面的位置也是影響沖蝕發生與否的因素之一。步道位置為於整條步道較上端的地方因為擁有比下端步道較小的集水面積，所以上端步道會有較低的沖蝕的潛力(Hammitt & Cole ,1998)。

就海拔高度而言，在美國 Great Smoky Mountains National Park 的研究中指出步道和露營地的劣化隨著海拔高度的增加而增加(Bratton *et al.*, 1979)。而這現象日後被 Marion 證實是因為高海拔地區土壤層薄且降水大，所以會有較明顯的沖蝕現象發生(Marion, 1994，引自 Hammitt & Cole ,1998)。

較長的坡長往往增加外力對土壤的破壞作用，使得土壤更容易遭受沖蝕。所以有時候為控制沖蝕，常將長坡變成許多短坡。至於坡向，普通分為向陽坡與背陽坡兩種。向陽坡因受陽光直射，土壤水蒸發量大，所以較為乾燥，比較容易發生風蝕;背陽坡較潮濕，降雨後易產生逕流，發生沖蝕(蔡如藩，1994)。

2.4.5 遊客人數的影響

遊客人數方面，研究樣點皆選在坡度低於 5%的研究結果顯示，步道沖蝕深度與遊客使用的程度之間沒有關係(Dale& Weaver, 1974)。另一模擬研究結果顯示，遊客健行、騎機車和騎馬等遊憩行為量增加時，皆會增加步道深度(圖 7) (Weaver& Dale, 1978)。

總的來說，影響步道深度的主要因素和步道所處的環境(坡度和土壤特性等)有較大的關係，遊客使用程度多寡則沒那麼關鍵。但在步道寬度方面，遊客人數多寡則是影響步道擴張的主要因素(Cole, 1991)。

在步道寬度方面，若研究樣區是在一個原野的地方，也就是沒有路的草地或森林上，越多遊客人數踐踏後步道寬度則會越寬。但如果在一條已使用年久或規劃管理單位所闢建不同鋪面寬度的步道，此時步道寬度則無法正確反應出遊客人數的多寡，所以要改成步道寬度的相對增加率才夠客觀。

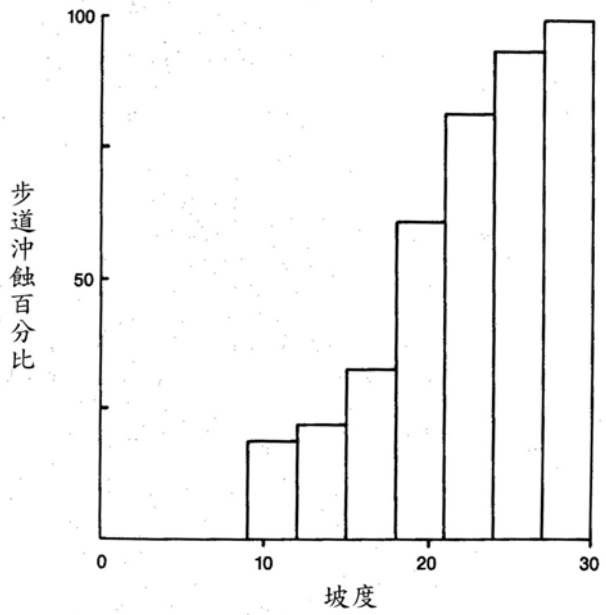


圖 6　坡度與沖蝕之關係。坡度在 0-9 度時步道不會有沖蝕發生。介於 9-18 度時會有少許沖蝕現象發生。大於 18 度，沖蝕現象會變得明顯許多。

(修改自 Coleman, 1981)

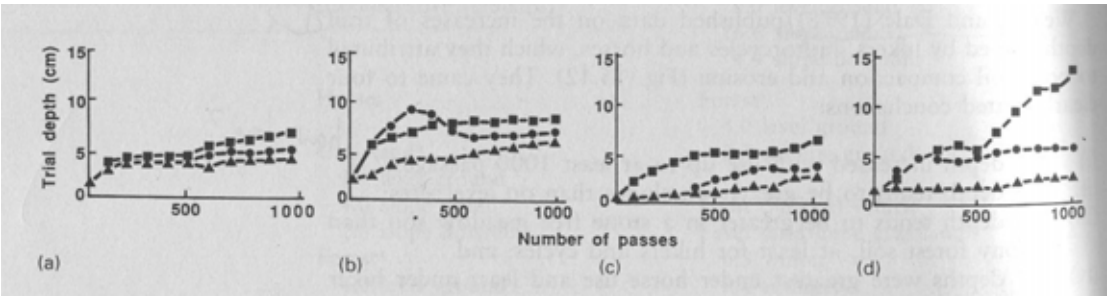
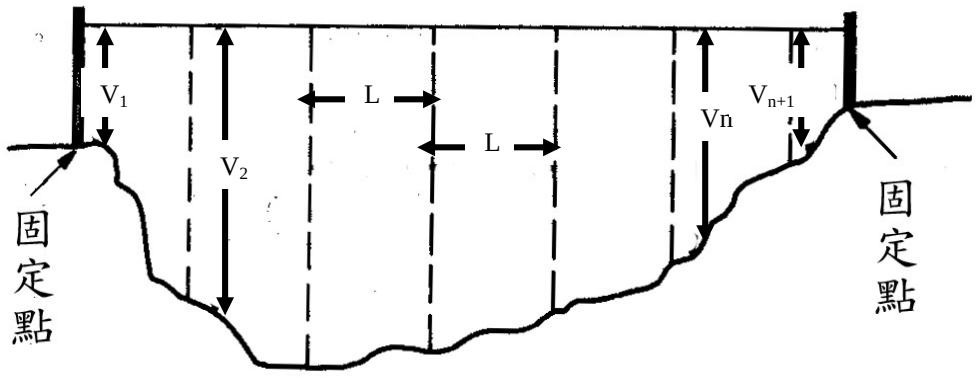


圖 7　三種遊憩活動類型對步道深度的影響。▲:健行者，●:摩托車，■:馬匹。a:平坦草地 b:陡坡草地 c:平坦森林 d:陡坡森林。當通行超過 1000(次/年)的時候，健行者與馬匹對土壤深度的影響就會有顯著差異。(修改自 Weaver& Dale, 1978)

2.5 步道監測方法

對步道進行監測可得知步道維持的情況或者在某些設施設置後其成效如何。首先，須定義什麼樣的情況是被認定為有問題，例如步道沖蝕深度超過 30cm 則為嚴重的情況(Leung& Marion, 1999)。然後再針對這些情況做監測。對步道土壤沖蝕現象的監測方法有下列三種:重複測量、快速調查取樣法(Rapid Survey Samples)和普查法(Census Techniques) (Hammitt & Cole , 1998)。

重複測量法:此法是要偵測步道剖面細微的變化。此過程要耗費較多的時間且不一定可以測出變化。此法適合用在較易受沖蝕且明顯的步道上，可以求得此步道的沖蝕速率。主要是在步道兩旁設置固定點(圖 8)，這兩點除了要大於步道寬度外，還要預留一段步道可能變寬的距離。然後在大於兩旁植物高度處拉一條直線，再把此線的長度分成 20 或者更多等份，算每小等份到步道底部的距離，進而算出此截面的沖蝕量，單位為「平方單位」。此法沖蝕量的算法為 $A=1/2(V_1+2V_2+\ldots+2V_n+V_{n+1})\times L$。其中 A 代表橫斷面之面積;$V_1$~$V_{+1}$ 代表水平線與地表各垂直線之距離;L 則代表垂直線之水平間距。



步道剖面

圖 8 步道截面重複測量法。此方法可以得知步道剖面的變化速率。

(修改自 Hammitt & Cole , 1998)

快速調查取樣法:適用於有數公里長的步道。做法是在步道的固定距離點上取樣，例如每 50 或 100m 設一樣點。針對要監測的項目(如寬度、深度或植被覆蓋度等)進行調查。

普查法:以步道沖蝕為例，先把沖蝕做一分類。例如深度小於 2cm，寬度小於 25cm 算「極小」影響;深度介於 2-6cm，寬度介於 25-50cm 屬於「低度」影響;深度介於 6-8cm，寬度介於 50-100cm 屬於「中度」影響;深度大於 8cm，寬度大於 100cm 則屬於「高度」影響。之後再進行步道分段，把每段的分類等級標示出來，就可以得知整條步道的沖蝕情況。

2.6 國內外相關研究

遊憩活動對步道造成最直接的影響主要會反映在植被與土壤上。在台灣，主要的研究也是把這兩項列入衝擊程度嚴重與否的監測項目。以下把步道衝擊分為「植被與土壤硬度」和「土壤沖蝕」這兩大方向介紹相關的研究。

2.6.1 植被與土壤硬度

多位研究者在溪頭森林遊樂區、塔塔加地區、玉山步道、八通關地區及合歡山地區的研究當中，方式主要在步道兩旁設置數個連續方形樣區(圖 9)，然後調查 1) 植群覆蓋度減少率(Cover Reduction, CR) 、植相變異度(Floristic Dissimilarity, FD) 及指標植物高度降低率(High Reduction, HR)，把這三項相加除以 3 則稱為植群衝擊指數(Index of Vegetation Impact, IVI) 以及 2) 土壤硬度增加率(Soil Hardness Increase, SHI)。主要分析項目為是否離步道中心越遠，這些兩項值(IVI 和 SHI)會越低，也就是呈現一梯度關係(劉儒淵，1992;劉儒淵，1993a;劉儒淵，1993b;劉儒淵、曾家琳，2003)。再來就 IVI 和 SHI 跟其它環境因子諸如步道坡度、邊坡坡度和步道寬度做一分析(洪怡萍，2003)。

林晏州等人在陽明山國家公園與玉山國家公園的步道研究中，方法是調查出每條步道的遊客量，並與植被覆蓋度做相關分析。之後再用可接受改變程度(Limits of acceptable change, LAC)方法算出在遊客可接受的植被破壞範圍內，每條步道可容納多少人，用這方法來算每條步道的遊憩容許量(吳孟娟，2002;吳孟娟、林晏州，2002 ;林晏州，2003)。

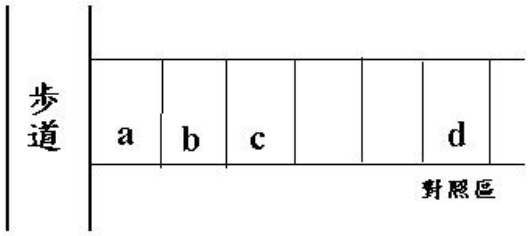


圖 9　步道兩側取樣方法。步道兩旁設立連續多個 1×2 公尺樣帶，最右邊的格子當對照區。　(修改自洪怡萍，2003)

2.6.2　土壤沖蝕

劉儒淵在玉山國家公園的塔塔加地區，分別對塔塔加、玉山與沙里仙三條步道土壤沖蝕做過監測之研究。研究方法採用步道截面重複測量法來進行步道表面土壤沖蝕程度之調查與監測。在三條步道中，每隔 200m 設一樣區，間隔 3~4 個月重複測量一次，為期約 3 年(劉儒淵，1995)。

合歡山研究與在塔塔加地區的方法相同。研究者選擇合歡東峰、北峰和石門山三條步道，長度每隔 100m 設一土壤沖蝕剖面取樣點，每半年測量一次，為期一年。研究中得出沖蝕最嚴重的步道是合歡東峰，每年有 2.14cm 的凹陷深度(劉儒淵，2004)。

北大武山登山步道為期三年的土壤沖蝕監測方面，調查路段為位於稜線 4.2km 的步道，每隔 100m 設土壤沖蝕剖面取樣點。用自行設計的「紋溝測定板」進行每年六次(乾季、濕季和轉換季各兩次)的步道截面深度測量。除此之外，還用自行設計的「光電式遊客計數儀器」對遊客數量進行調查，並紀錄雨量和坡度。再來針對步道截面深度變化跟雨量、坡度和遊客量做相關係數分析或者變方分析。得出截面深度變化與步道坡度的相關係數三年的數值分別為 0.634、0.569 和 0.518，呈現高度相關；截面深度變化與雨量的變方分析也有顯著作用；至於遊客量則與截面深度變化沒有顯著作用(劉吉川，2004)。

日本北海道的大雪山國家公園(Daisetsuzan National Park)的研究針對園內的步道土壤沖蝕進行長達七年的監測。在兩條各不到 1000m 的步道選出 19 個點

做監測，這些監測主要依兩種不同地景元素分兩大類:多雪植被區(snowy vegetated areas)，這 10 個點主要為灌木所覆蓋;另一分類則為易受風擊的裸地(wind-beaten bare ground)，這類地則有 9 個點。經過 7 年監測所發現的結果顯示，多雪植被區步道所受的沖蝕明顯大於裸地區。若把每個點所受的沖蝕情況畫出剖面圖(圖 10)，再把每個沖蝕形狀的深度除以寬度，由這些值來作量化的標準也可發現，多雪植被區的值為 0.39(範圍從 0.06 到 1.00)，而裸地區則為 0.18(範圍從 0.05 到 0.50)，前者比後者大了 1.9 倍。研究者把兩地區明顯不同沖蝕量的原因推測為步道位置和坡度兩個因素。多雪植被區主要的點分布在坡面的中間或下方，所以會接受較多的表面逕流量。而坡度方面，多雪植被區 10 點的坡度範圍為 0.5 到 14.0 之間，比起另一區的 0.5 到 7.5 明顯較陡(Yoda & Teiji, 2000)。

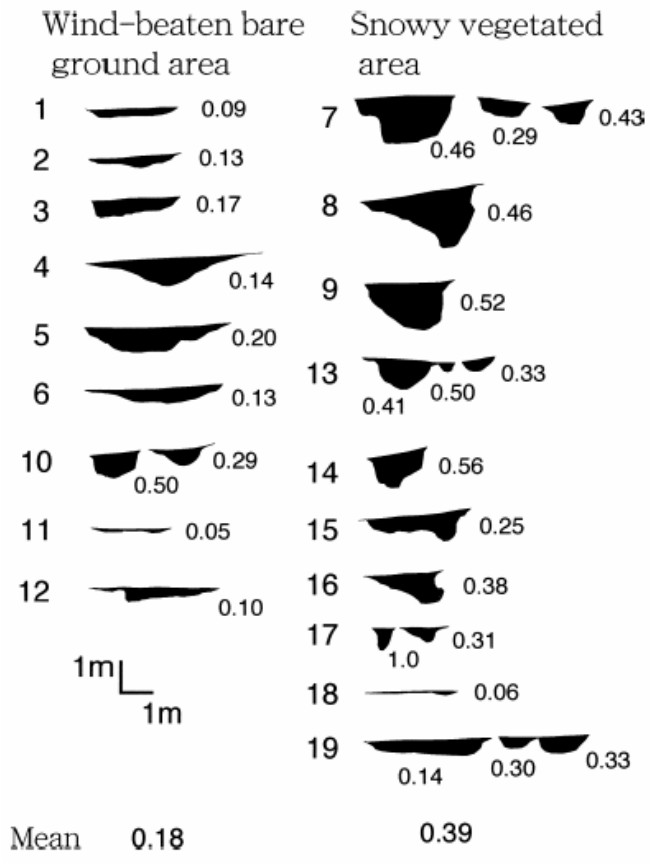


圖 10　兩種區域沖蝕情況之比較。風侵蝕裸露地跟多雪植被區其步道沖蝕量的差異，黑色剖面乃每條步道的截面沖蝕量。可發現後者的沖蝕深度明顯大於前者。且把步道的深度除以寬度得出的值兩個做比較，後者平均值為 0.39，為前者 0.18 的 2.17 倍，可知後者的沖蝕情況比前者嚴重。(Yoda & Teiji, 2000)

2.6.3 步道遊客人數

洪怡萍在2002年11月15~17日針對合歡山莊停車場與合歡山管理站停車場的遊客進行預定攀爬山岳的問卷調查，有效問卷為371份。結果顯示，合歡主峰97人;合歡東峰92人;合歡北峰63人;合歡西峰23人;石門山84人;石門山北峰8人;合歡尖山40人(洪怡萍，2003)。

顏家芝也針對遊客停留據點分全年跟雪季兩部分做遊客人數資料收集。以下做方法及結果簡述。

全年調查地點分別為合歡山莊、武嶺、小風口以及碧綠神木四個地方。一天的調查時間則由早上8點到下午3點，共訪問1110份問卷，其中北峰步道研究者以天鑾池選項代替。結果得出，在合歡群峰步道中，主峰的遊客量最多(19.4%)，接下來則為東峰(14.2%)跟石門山(13.0%)，最少的則是天鑾池(1.4%)步道(顏家芝，2004)。

雪季調查地點包括碧綠神木、大禹嶺與小風口三處，調查時間為早上九點至下午三點，調查有效問卷 150 份，雪季與全年停留據點的選項有所不同。例如天鑾池跟選項已被刪除，增加北合歡山等選項。雪季結果顯示，合歡群峰步道中，主峰遊客量最多(10%)，接下來則是東峰(8%)。石門跟北峰(4.7%)的遊客人數則一樣(顏家芝，2004)。

3. 樣區與研究方法

本研究對在合歡山群峰步道土壤沖蝕進行普查。為簡化普查的調查項目與取樣，本研究首先於合歡東峰步道進行前測。合歡群峰步道的普查取樣方式為以 15 或 30 m 步道單元長度，於中段量測步道沖蝕最深深度與寬度、單元步道坡度。步道所在之邊坡坡度與坡向則由 20m×20m 的數值化地面模型(Digital terrain model, DTM)估算。步道坡長對土壤沖蝕的影響則選取部分坡度相同的步道，更詳細的調查單元步道之上、中、下步道沖蝕截面積進行比較。此外，過去雖然已有詳細的合歡山地區的遊客衝擊調查（洪怡萍，2003、顏家芝，2004），本研究亦進行了 4 個週末的遊客人數調查進一步確定合歡山地區各步道的遊客衝擊差異。步道沖蝕之差異主要以無母數檢定方法來判定，各項因子之影響則以主成分分析來分析。

3.1 研究樣區簡介

合歡山地區處於台灣中部，位在海拔高度約 3000m 到 3500m 的區域。本區域氣候潮濕且寒冷，冬寒則會有積雪。平均溫度 1 月約為 2℃，7 月約為 10℃。年降水量約 3,500mm，年平均降水日數為 145 天，主要集中在 5、6 兩個月，12 與 1 月最少。平均相對溼度約 80%，霜期達 6 個月(2004，劉儒淵)。

本地區的植被主要以台灣冷杉林(*Abies kawakamii*)、鐵杉(*Tsuga chinensis var. formosana*)林、台灣二葉松(*Pinus taiwanensis*)林、紅毛杜鵑(*Rhododendron rubropilosum*)、玉山杜鵑(*R. pseudo-chrysanthum*)、香青(*Juniperus squamata var. morrisonicola*)、刺柏(*J. formosana*)與玉山箭竹(*Yushania niitakayamensis*)為主。步道沿線的地被植群則以玉山箭竹最優勢。土壤母質來源為千枚岩或其風化物質，土壤則大都為灰化土或板岩暗色崩積土。草生地土壤經暗化、鬆化、棕化及初期的灰化土作用等成土作用，發育為暗色表層及轉化 B 層(2004，劉儒淵)。地質方面則大部分以硬頁岩、板岩與千枚岩為主。

合歡山地區登山步道有北合歡山、東峰、主峰、石門山、西合歡山與尖山。其中北峰可分為北峰主線與主線東側的北峰支線兩條;東峰可分為合歡山莊線與松雪樓線兩條;主峰可再分為武嶺線與昆陽線兩條。因西合歡山過於遙遠、遊客量少，且有部分步道有樹冠遮蔽;合歡尖山登山步道長度太短，不到 400m，所以此兩條步道均不列入研究範圍內。

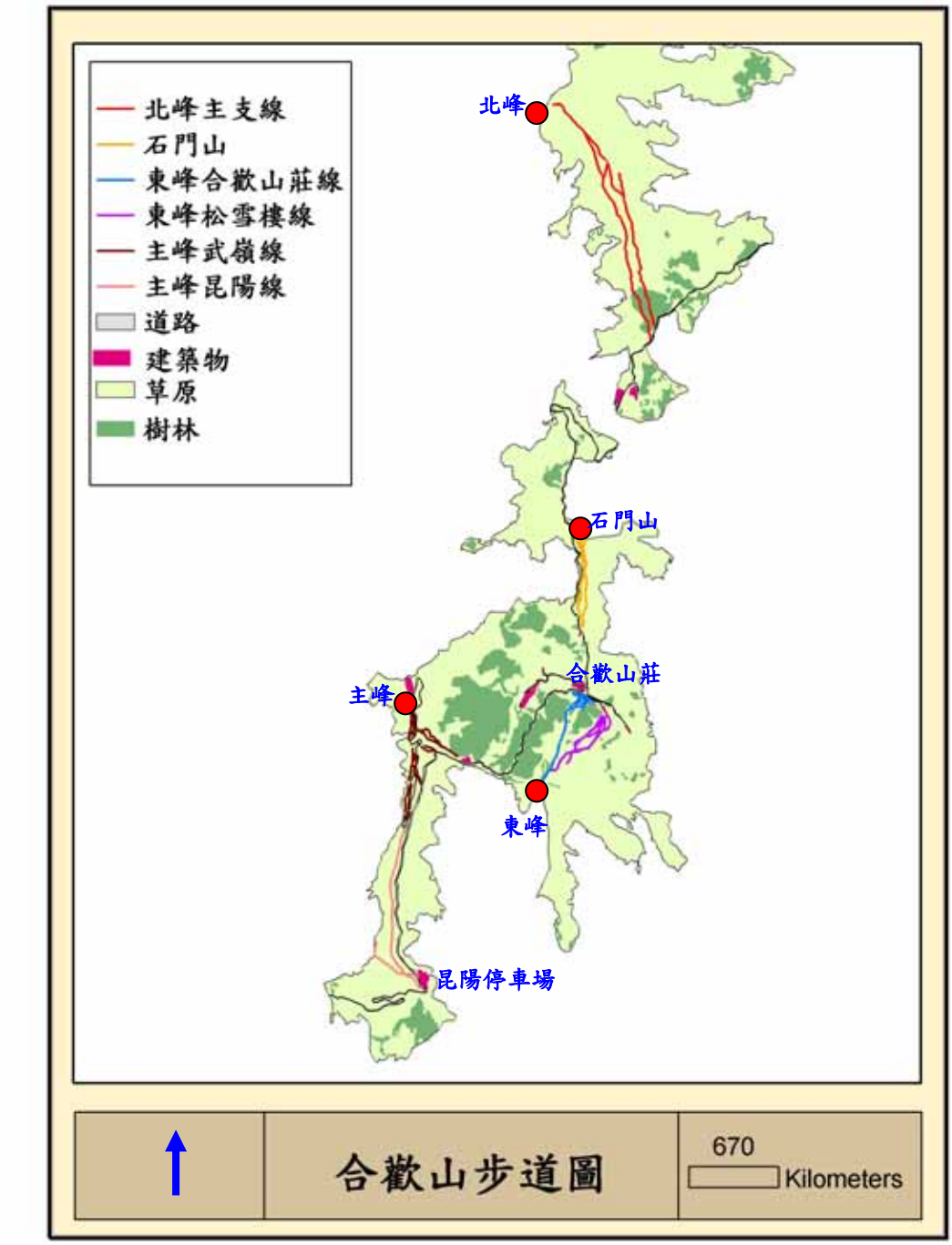


圖 11 合歡山步道全圖

因此本研究的合歡群峰步道分為七條(圖 11)，分別是北合歡山主線、北合歡山支線(圖 12)、東峰合歡山莊線、東峰松雪樓線、主峰武嶺線、主峰昆陽線與石門山共七條步道(圖 13)。以下介紹這七條步道。

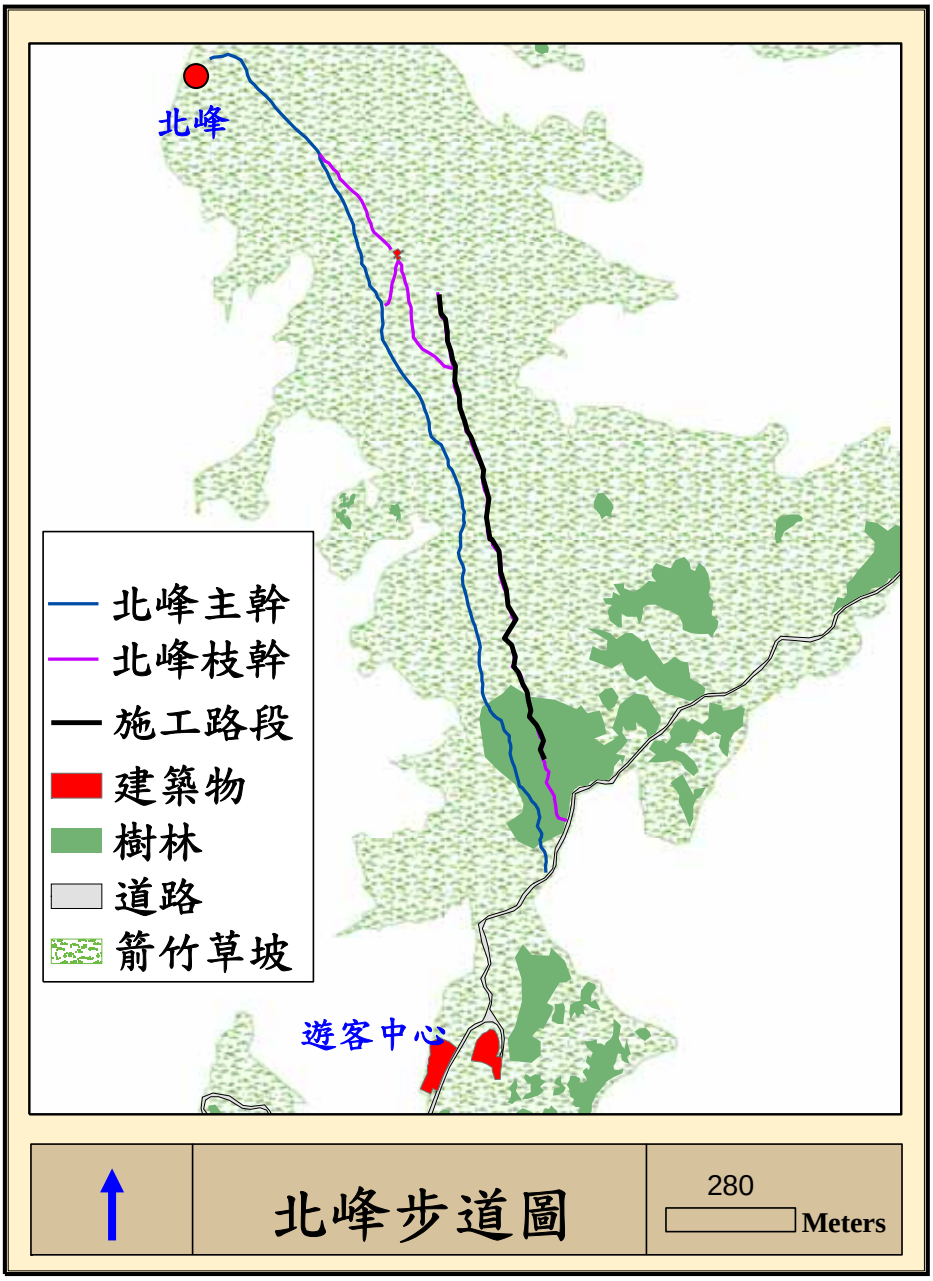


圖 12　合歡北峰主線與支線圖

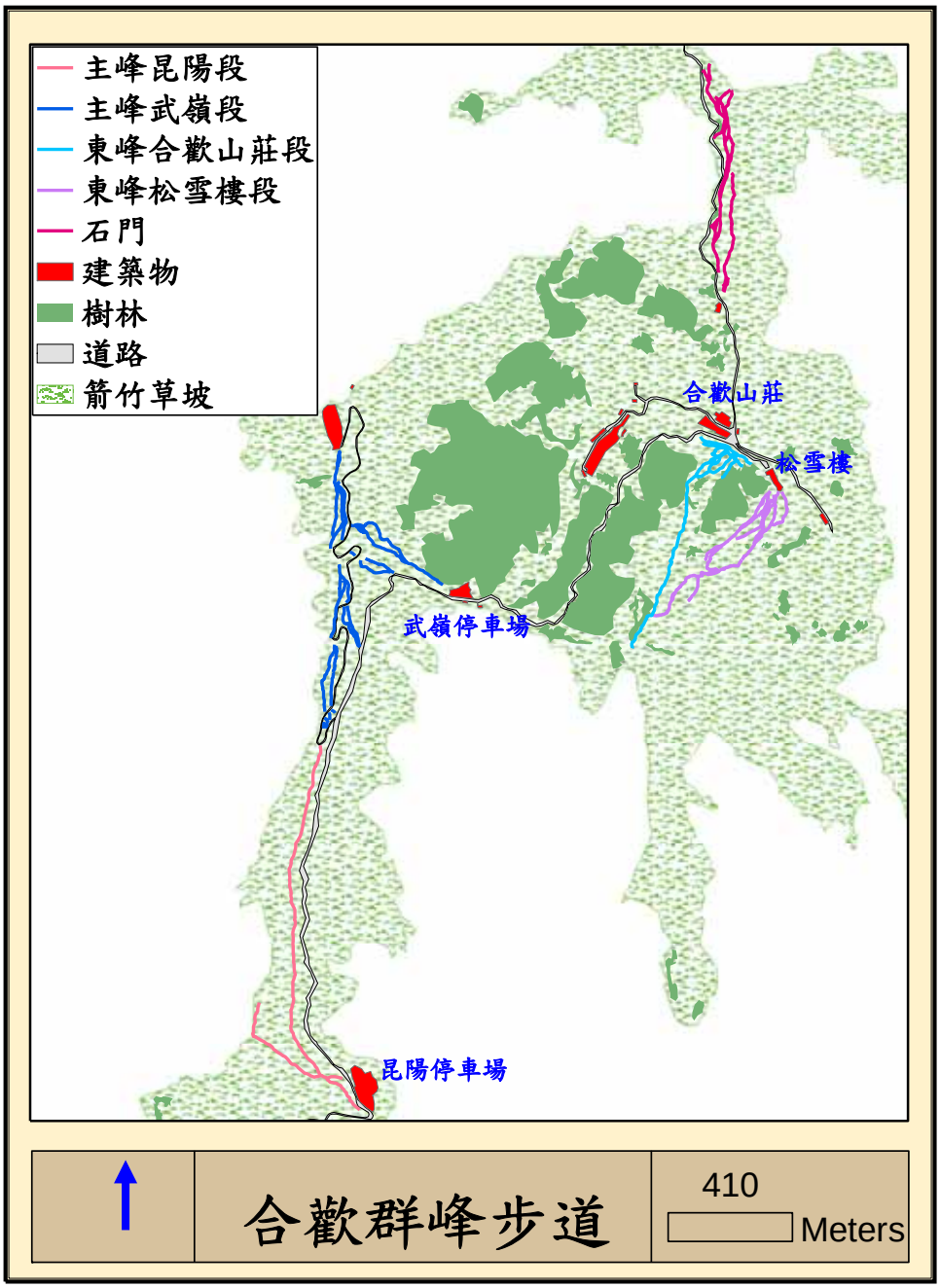

主峰昆陽段
主峰武嶺段
東峰合歡山莊段
東峰松雪樓段
石門
建築物
樹林
道路
箭竹草坡
合歡山莊
松雪樓
武嶺停車場
昆陽停車場
合歡群峰步道
410
Meters

圖 13　合歡群峰圖

3.1.1 北峰主支線步道

北峰高度為 3422m，主要有兩個登山口，位置高度皆在 2850m 處，爬升高度為 572m。一個是較明顯的北峰主線登山口，是登北峰的主要線道;另一則位於主線東側的支線登山口，遊客人數少。在接近北峰頂的路旁有軍方設置一大型反射版，成為北峰明顯的地標。

北峰主線步道全長約 2160m，下段(近登山口)的坡度較上段(近峰頂)陡，兩旁植被除了玉山箭竹外，還有一些杜鵑樹種，有許多岩石裸露的情況。上段則位於平坦的箭竹草坡上，大部分路段中間因雨水沖蝕所以形成明顯的沖蝕溝，遊客於是行走在沖蝕溝的兩旁(劉儒淵，2004)(圖 14)。

北峰支線步道因接近主線步道，所以步道環境並沒多大差異。但在太魯閣國家公園成立(1986)前，北峰頂設置反射板的關係所以支線大部分路線有明顯人為施工遺痕的情形(圖 14)，使得支線步道的深度明顯深於較多人攀爬的主線步道。

圖 14 北峰主線與支線現場圖。左圖為北峰主線上段情況，右圖則是支線步道人為施工遺痕的情況，還有些鐵條遺留在步道旁。

3.1.2 東峰合歡山莊與松雪樓線步道

東峰高度為 3421m，主要的登山口有兩個。一條是位於合歡山莊前，另一條則位於松雪樓附近。兩登山口的海拔都約 3150m，所以到峰頂的爬升高度為 271m。

東峰合歡山莊線步道位於合歡山莊前，因有個平坦的停車場，是平時遊客聚集最多的地方。步道一開始是由多條路徑所形成的穗狀步道，後來則只有一條步道直達東峰頂，整條步道均位在坡面上(圖 15)。單一步道全長約 800m，步道沖蝕情況是合歡群峰中最嚴重的(劉儒淵，2004)。

東峰松雪樓線步道位於松雪樓附近，因大多攀爬東峰的遊客都由合歡山莊線上下東峰，所以此條步道遊客量少。但步道呈現穗狀的情況比合歡山莊線還要明顯，快到峰頂時步道才連成為單一線(圖 15)。此線步道因為早期有一些滑雪的設施，所以部分步道有挖掘過的施工遺痕(圖 16)，使得深度深於此步道的其它路線。此外，在 2005 年 4 月期間，此步道部分路線已有木棧道的設置。因此步道兩旁有人為開拓已利施工的情況，所以此線的步道寬度會比木棧道鋪設前還寬些。

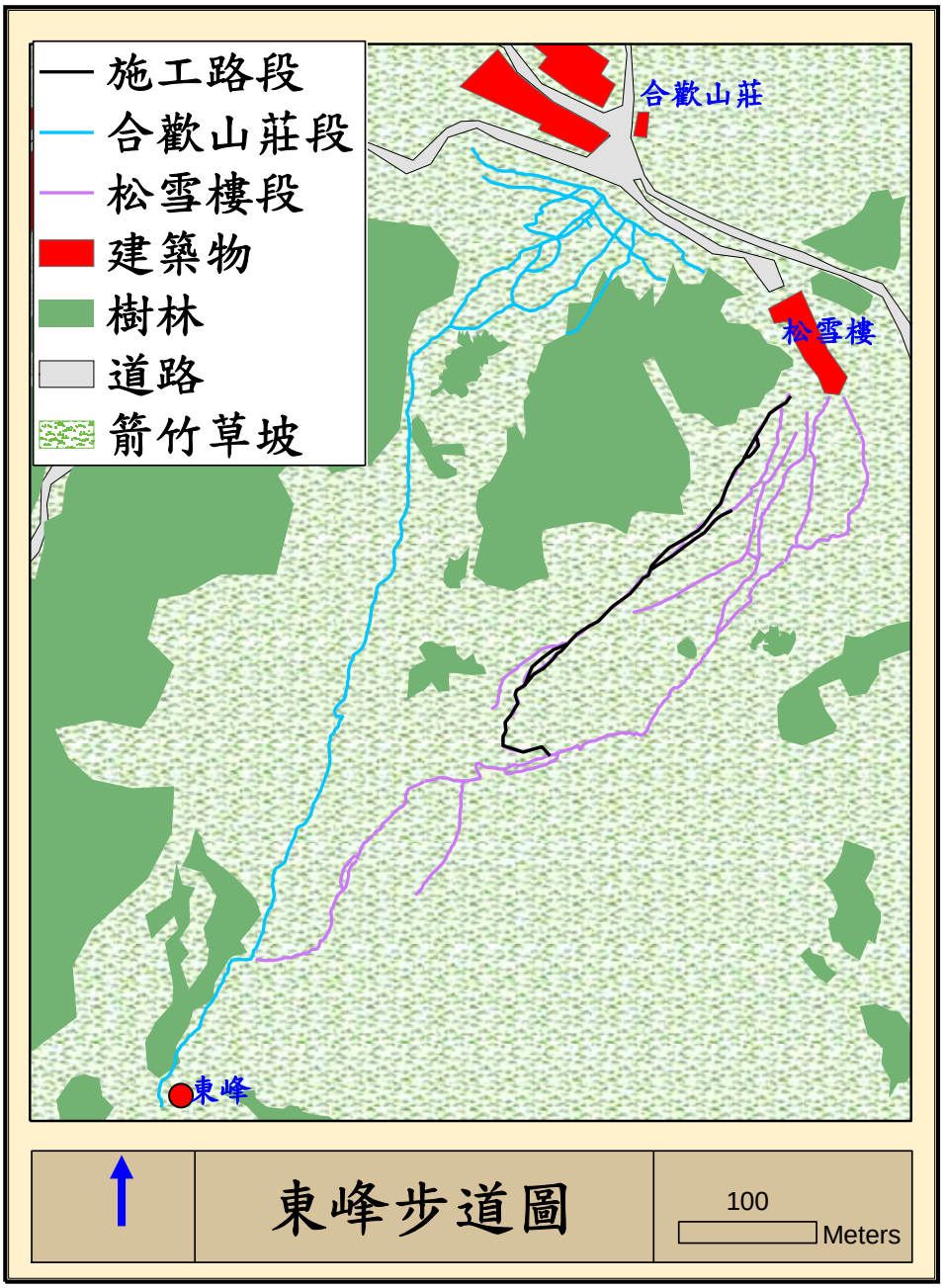


圖 15　東峰兩條步道圖

圖 16　東峰松雪樓線施工遺痕情形

3.1.3　主峰武嶺與昆陽線步道

整體來說，上主峰的步道並沒有一個明確的起點，但大致上可把上主峰的步道分兩段，主峰武嶺線跟主峰昆陽線兩條。

主峰登山口至少有兩處，其一位於武嶺停車場附近，太管處爲了保護植被與遊客安全，此登山口已經禁止遊客進入。另一處為公路台 14 甲線 29.5km 處進入，此處也是水泥路上主峰的起點。主峰武嶺線因主峰頂軍事區的關係，所以有水泥路蜿蜒其上，也就是說遊客可以踏著步道或水泥路交替著上主峰(圖 17)，所以在判斷主線與支線步道上並不容易。另外此部分也有步道施工遺痕的情況發生(圖 18)。這些施工遺痕有部分是軍用道路，較明顯可見的路段是武嶺與昆陽間與公路平行的小徑。興建日期是 1914 年日軍發動太魯閣之役，為了軍隊運送槍械、彈藥、大砲等軍需用品所開鑿出來的道路(林茂耀，2005)。

主峰昆陽線步道指的是昆陽停車場到公路台 14 甲線 29.5km 處主峰登山口這段步道(圖 19)。此線步道鮮少人走，坡度平緩，是合歡群峰步道中破壞最輕微的步道。

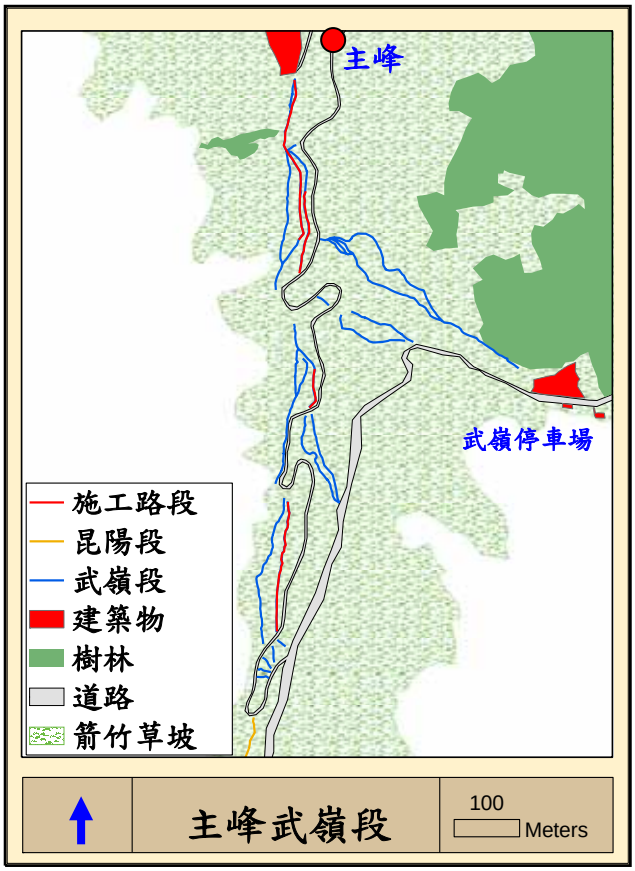


圖 17　主峰武嶺線步道圖

圖 18　主峰施工遺痕情況。圖中步道有埋設電纜線，且深度與寬度皆大於左邊的步道。

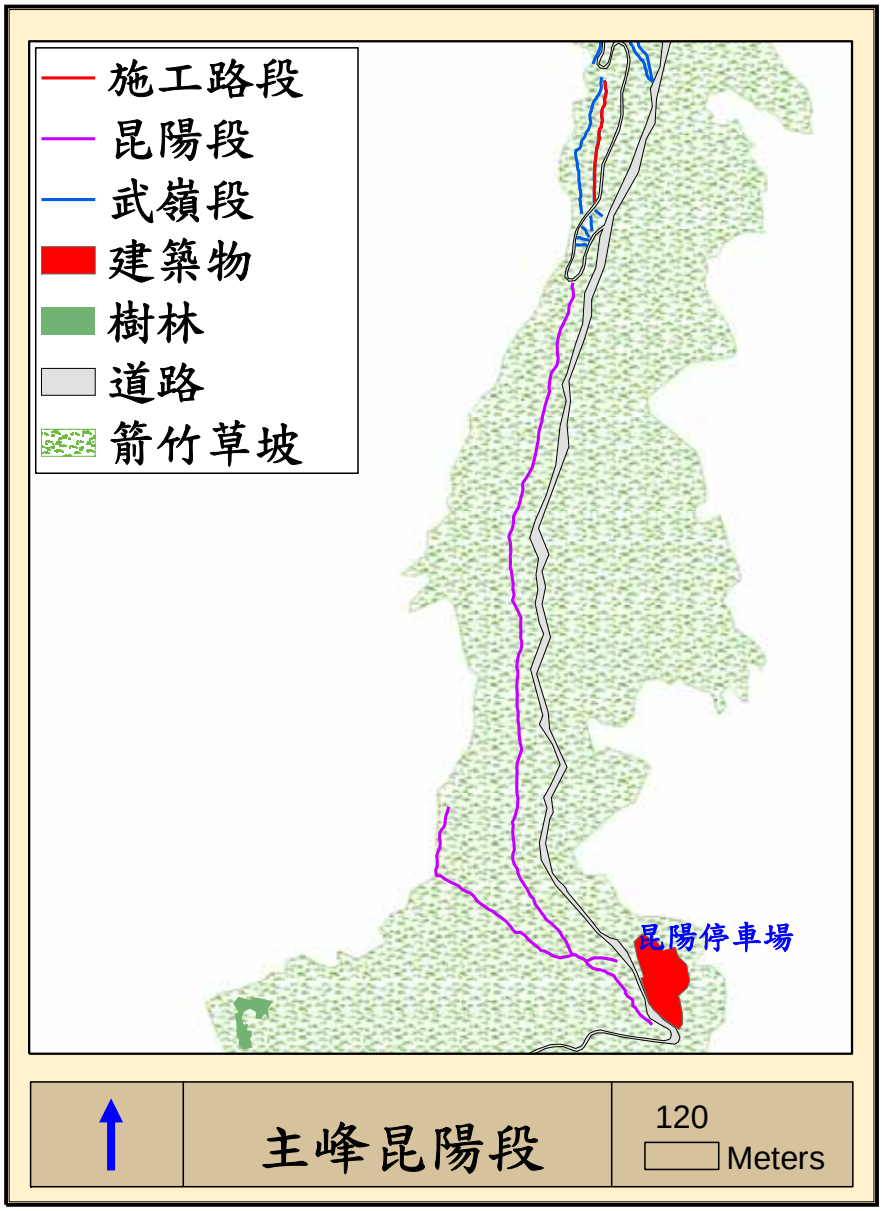


圖 19　主峰昆陽線步道圖

3.1.4　石門山步道

石門山步道(圖 20)登山口位於省道 8 號 33.5K 附近，是台灣最容易攀登的百岳，遊客人數眾多。此步道主要線道因沖蝕嚴重，在坡度較陡的部分已鋪設合歡山地區唯一的木棧道步道，所以步道沖蝕的情況已難測出。在本步道的某些路線也可見台電施工的痕跡。此外，主線道旁的眾多次要步道已因復育箭竹而禁止遊客進入。

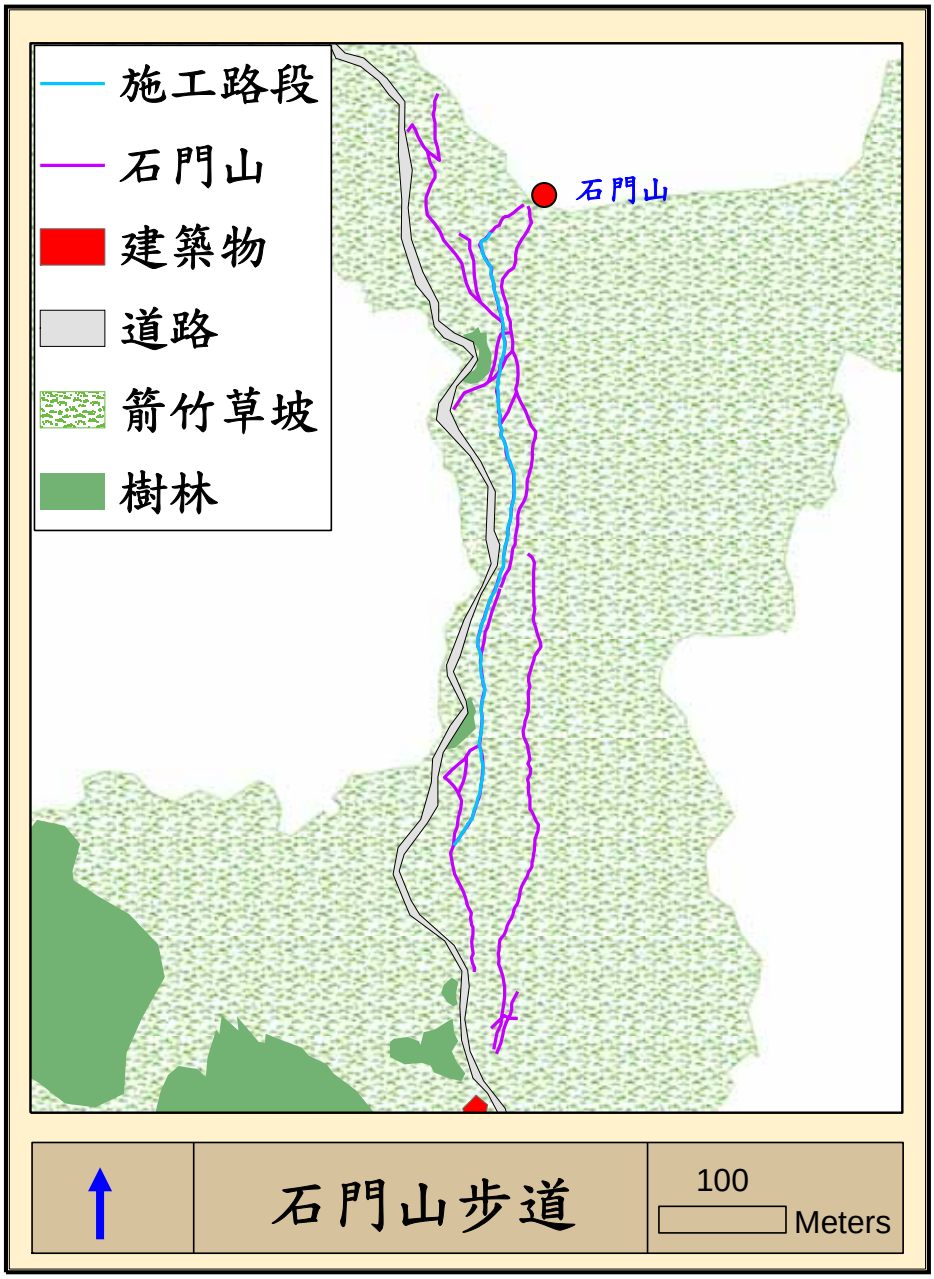


圖 20　石門山步道圖

3.2　沖蝕深度取樣依據與沖蝕量估算方式

本研究是假設步道截面積沖蝕量可以反應步道沖蝕的程度。而步道的土壤沖蝕量(m^3)則可由截面積沖蝕量與步道之取樣單元長度之乘積來計算。東峰步道前期測量的目的是藉由前期測量來簡化日後步道取樣的工作量。東峰合歡山莊線步道每隔 15m 測量截面積深度，截面積每隔寬距 10cm 測一深度(圖 21)，量了

55 個截面積。東峰松雪樓線步道每隔 30m 測量截面積深度，量了 25 個截面積。東峰兩線共量了 80 個截面積。

單個沖蝕截面積算法為: Σ 沖蝕深度×測量寬距。接著將每個沖蝕截面積取與每個最深深度取對數的值，求出截面積與最深深度的 R^2 值。結果東峰兩線沖蝕截面積與最深深度的 R^2 為 0.70(圖 22)。因此本研究在測量其它步道沖蝕截面積時，僅測量沖蝕最深深度以簡化調查工作。

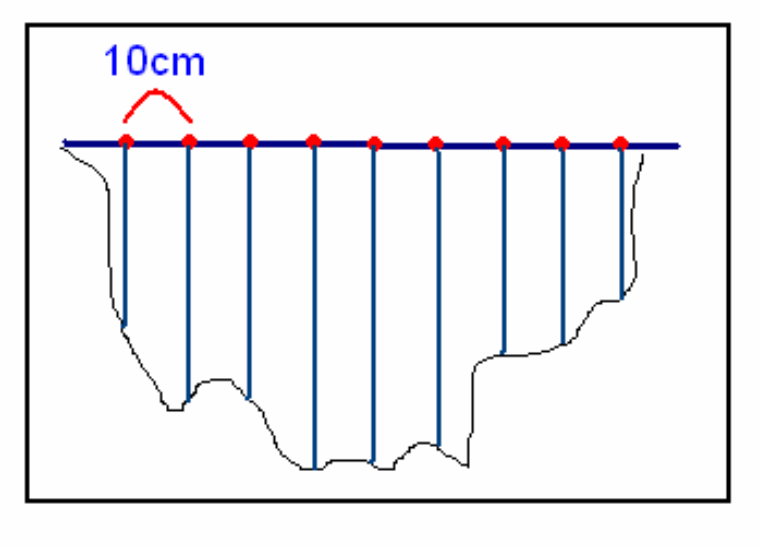


圖 21　東峰前測取樣方式

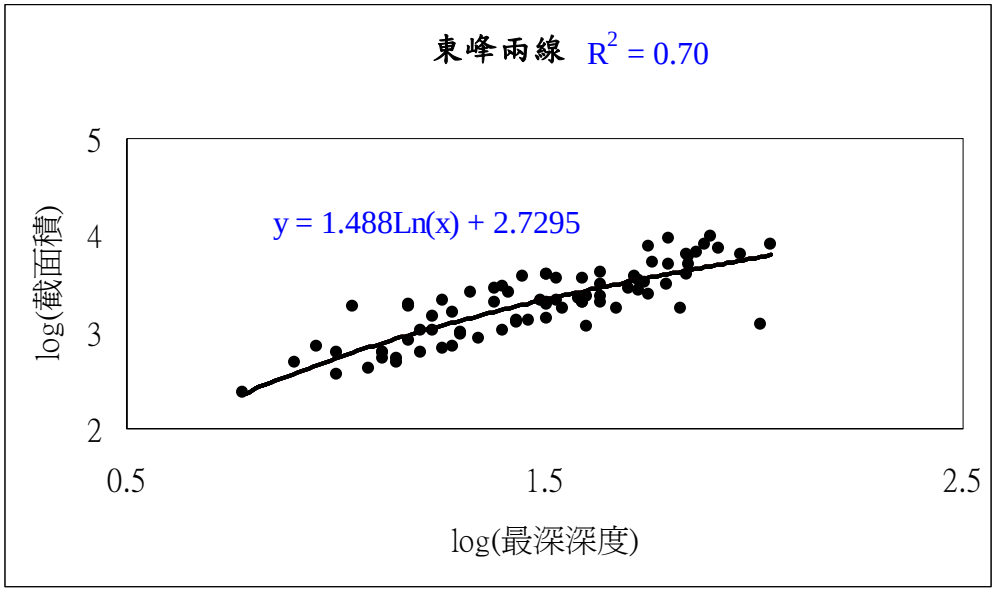


圖 22　東峰兩線沖蝕截面積與最深深度相關係數

經由東峰合歡山莊線與松雪樓線步道前測結果的最深深度與截面積所組成的趨勢線得知，截面積沖蝕量$=10^{1.488\ln[\log(\text{最深深度})]+2.7295}$。本研究依此公式來估算合歡山步道截面積沖蝕量($m^2$)。

3.3 步道普查取樣方式

研究者對合歡山七條步道進行沖蝕最深深度、坡度與寬度普查，取樣方式除了東峰合歡山莊線跟石門山外，其餘五條步道(北峰主線、北峰支線、東峰松雪樓線、主峰武嶺線、主峰昆陽線步道)皆是每 30m 設一取樣點。東峰合歡山莊線因為沖蝕深度差異大，所以每隔 15m 取樣。石門山則因步道支線眾多，所以也每隔 15m 設一取樣點。樣點則是設置在取樣長度的中段位置，利用魯班尺紀錄步道沖蝕最深深度與寬度，坡度則是利用傾斜儀紀錄等距長度的坡度(圖 23)。

3.4 坡長因素對土壤沖蝕的影響取樣方式

為了解坡長因素對土壤沖蝕的影響，本研究選取東峰合歡山莊線步道坡度相同的長度作為一個單元長度(圖 24)，測量步道坡度、單元長度及上、中與下段位置之沖蝕截面積，以分析同一單元步道中步道之上，下段步道的沖蝕情況是否有差異。沖蝕截面積測量方式以步道寬每 20cm 寬距測量步道深度來估算。東峰合歡山莊線步道共量了 78 個截面積，也就是量取了 26 個單元長度。

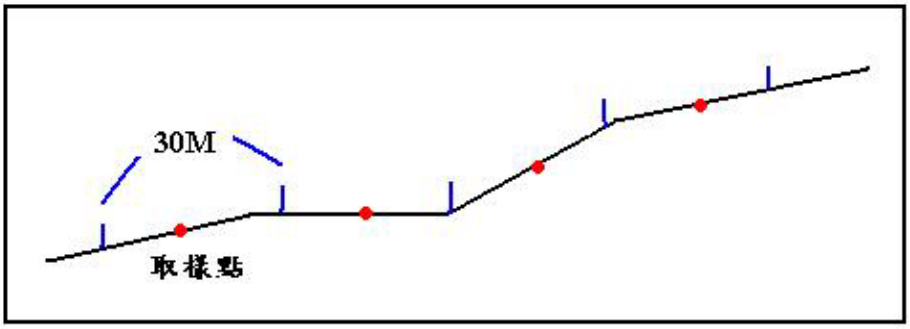


圖 23 等距取樣方式示意圖

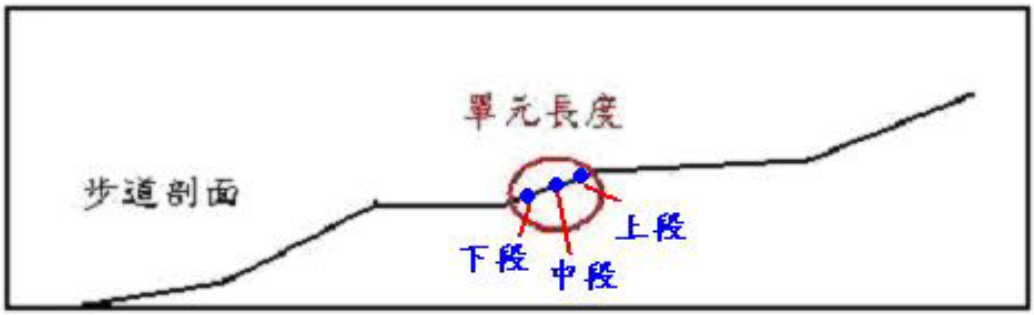


圖 24　單元長度取樣示意圖

3.5　邊坡坡度與坡向判別方式

將 20m×20m 的數值化地面模型(Digital terrain model, DTM)利用 ArcGIS9.0 版軟體來判斷合歡群峰步道所經過的邊坡坡度與坡向，目的是想了解邊坡坡度與坡向對沖蝕情況會不會有所影響。邊坡坡度分為四的類別，依序為介於 0~10、11~20、21~30 與大於 30。坡向分為八個類別，分別是北、東北、東、東南、南、西南、西與西北。邊坡坡度介於 0~10 的有 53 個、介於 11~20 有 179 個、介於 21~30 有 312 個、大於 31 的則有 51 個(表 2)。坡向部分，向北的有 56 個、向東北的有 87 個、向東的有 184 個、向東南的有 45 個、向南的有 79 個、向西南的有 49 個、向西的有 44 個、向西北的有 51 個(表 3)。

表 2 合歡群峰步道所經過的邊坡坡度分布情況。

邊坡坡度	0~10	11~20	21~30	大於 31
個數	53	179	312	51

表 3　合歡群峰步道所經過的坡向分布情況。

坡向	北	東北	東	東南	南	西南	西	西北
個數	56	87	184	45	79	49	44	51

3.6 步道遊客人數調查

為了要了解遊客對步道土壤沖蝕會不會有所影響，要先知道不同步道上遊客使用的比例。所以針對不同步道上遊客使用比例此問題，研究的方法主要分為兩方面:其一在夜間挑合歡與觀雲兩山莊做調查(表 4)，試圖藉著夜間調查預測各步道遊客使用的比例。方式是以團體或個人為單位，一個單位詢一至兩個人。其二利用日間於步道上記錄遊客人數，除了可以精確知道遊客數量外，也可與夜間調查結果做一比例上的比較。因為假日的遊客量最多，所以紀錄遊客人數的時間也都選擇在假日的時段。監測記錄人數因人力與環境的限制，僅挑選東峰合歡山莊段跟北峰主線兩條最主要的步道進行遊客量的監測。北峰支線與東峰松雪樓段因地理位置接近於兩條監測的步道，所以遊客人數量雖沒有精確的數據，但還能粗略的估計記錄。監測的時間均選擇星期六、日兩天的早上 8:00~15:00 之間。

3.7 統計分析方法

利用統計軟體 Statistica 6.0 進行數據統計上的分析，將合歡山步道沖蝕深度、坡度與寬度依統計檢定結果各分為三個程度。將檢定結果沒有顯著差異的歸為同程度，有顯著差異的則分屬不同程度。也就是沖蝕深度分為嚴重、中等與輕微;步道坡度分為陡坡、中坡與緩坡;步道寬度分為寬、中等與窄。但單條步道土壤沖蝕深度的分類則是依照沖蝕深度來區分:沖蝕深度 0~15 公分屬於輕微、16~30 公分屬於中等、大於 30 公分屬於沖蝕嚴重。換言之，比較合歡山七條步道沖蝕深度、坡度與寬度是依照統計檢定結果區分出相對的嚴重與輕微，但是在單一條步道的沖蝕深度分類則是依照絕對的數值。

表 4 夜間於山莊所做的調查

1.與幾個人同行_____
2.住幾晚□一晚 □兩晚 □三晚
3.今天你有去爬山嗎 □沒有 □有 爬哪一座□石門 □尖山 □東峰 □北峰 □主峰
4.明天有打算爬山嗎 □沒有 □不確定 □有 爬哪一座□石門 □尖山 □東峰 □北峰 □主峰

檢定兩條取樣點數不一樣的步道沖蝕深度時，將採用無母數檢定方法中的 Mann-Whitney U。檢定兩條以上取樣點數不一樣的步道時，則採用無母數檢定方法中的 Kruskal-Wallis，但此法只能檢定所選取的步道有無顯著差異，並不能進一步判定哪幾條是有顯著差異，哪幾條步道沒有。例如以 Kruskal-Wallis 檢定 A、B 和 C 條步道的沖蝕深度，檢定結果只能顯示三條步道沖蝕深度有無顯著差異，但並不能進一步顯示 A 與 B 步道的沖蝕深度或者 A 與 C 步道的沖蝕深度有無顯著差異。T-test 檢定方法則適用在檢定兩個取樣數相同的數據上(唐麗英、王春和，2002)。因此在檢定合歡山七條步道沖蝕深度、坡度與寬度有無顯著差異時，主要用 Mann-Whitney U 與 Kruskal-Wallis 兩種無母數的統計檢定方法。

3.8 主成份分析

主成份分析(Principal Component Analysis)是研究多個定量變數間相關性的一種多變量統計分析(Multivariate Statistical Analysis)方法。它是藉由縮減多個因素，找出幾個比較重要的主成份來解釋多變數的變異數—共變數結構。也就說，經由主成份分析導出少數幾個主分量，使它們盡可能的完整保留原始變數的資訊，且彼此間不相關(林傑斌等，2002)。

在調查的 600 個樣點中，石門山步道有 5 點因為已鋪設木棧道，所以無法取得沖蝕深度資料，東峰合歡山莊線步道坡度有 1 點沒被紀錄到。所以將完整的環境資料 594 點進行主成份分析，包含因素有:最深深度、坡度、邊坡坡度、坡向與有無施工遺痕共五個因素。其中，最深深度與坡度皆為連續變項;邊坡坡度為類別變項，分為四個類別，邊坡坡度介於 0~10 代號為 1;11~20 代號為 2;21~30 代號為 3;31 以上代號為 4。坡向為類別變項，分為 8 個類別，北方代號為 1;東北方代號為 2;東方代號為 3;東南方代號為 4;南方代號為 5;西南方代號為 6;西方代號為 7;西北方代號為 8。步道有無施工遺痕為類別變項分為 2 個類別，無施工遺痕代號為 1，有施工遺痕代號為 2。

4. 結果與討論

七條步道除了東峰合歡山莊線跟石門山是每 15m 設一取樣點外，其餘五條步道皆是每 30m 設一取樣點。步道的取樣點數與長度分別是北峰主線步道取 72 點，步道長度為 2.16km;北峰支線步道取 64 點，步道長度為 1.92km;東峰合歡山莊線步道取 114 點，步道長度為 1.71km;東峰松雪樓線步道取 75 點，步道長度為 2.25km;主峰武嶺線步道取 104 點，步道長度為 3.12km;主峰昆陽線步道取 55 點，步道長度為 1.65km;石門山步道取 116 點，步道長度為 1.74km。總步道共取點數為 600 點，總步道長度為 14.55km(表 5)。

4.1 主線步道沖蝕深度、寬度與沖蝕量

七條步道中，除了主峰武嶺線步道無法分辨出主線與支線外，其餘六條步道皆可以區分出主線與支線。因此在主線步道的沖蝕深度、坡度與寬度的比較上只呈現六條步道(已扣除主峰武嶺線步道)。以下先呈現六條步道主線道的沖蝕深度、寬度與沖蝕截面積，並沒有包含主線週遭的支線步道。

表 5 合歡山步道取樣間距、點數與長度分布

	取樣間距(m)	取樣點數(個)	長度(km)
北峰主線	30	72	2.16
北峰支線	30	64	1.92
東峰合歡山莊線	15	114	1.71
東峰松雪樓線	30	75	2.25
主峰武嶺線	30	104	3.12
主峰昆陽線	30	55	1.65
石門山	15	116	1.74
總計	X	600	14.55

4.1.1 主線沖蝕深度

北峰主線步道沖蝕深度 25%~75%的值介於 7.5~20.0cm 之間;北峰支線步道介於 8.0~29.5cm 之間;東峰合歡山莊線步道介於 9.0~60cm 之間;東峰松雪樓步道介於 20.0~36.0cm 之間;主峰昆陽線步道介於 0.0~8.0cm 之間;石門山步道介於 13.0~23.0cm 之間(圖 25)。

以 Mann-Whitney U 檢定每兩條步道沖蝕深度，結果顯示沖蝕最嚴重的是東峰合歡山莊線與東峰松雪樓線步道;以 Kruskal-Wallis 檢定北峰主線、北峰支線與石門山步道沖蝕深度，P 值為 0.16，所以這三條步道皆屬沖蝕中等;沖蝕情況最輕微的是主峰昆陽線步道(表 6)。

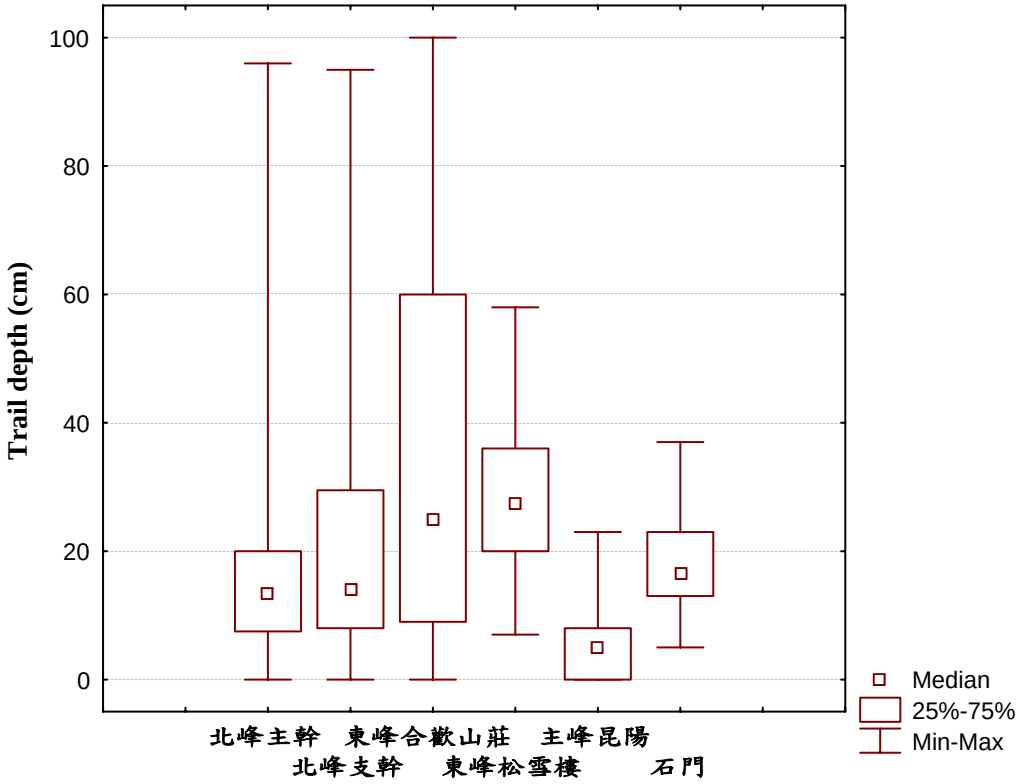


圖 25 合歡山步道主線沖蝕深度分布

表 6　沖蝕深度 Mann-Whitney U 檢定 P 值統計檢定表

	北峰 主線	北峰 支線	東峰 合歡山莊	東峰 松雪樓	主峰 昆陽	石門山
北峰主線	×	0.16	0.00	0.00	0.00	0.08
北峰支線	0.16	×	0.06	0.00	0.00	0.65
東峰合歡山莊	0.00	0.06	×	0.62	0.00	0.25
東峰松雪樓	0.00	0.00	0.62	×	0.00	0.00
主峰昆陽	0.00	0.00	0.00	0.00	×	0.00
石門山	0.08	0.65	0.25	0.00	0.00	×

4.1.2　步道主線寬度

北峰主線步道寬度 25%~75%的值介於 75~170cm 之間;北峰支線步道介於 50~125cm 之間;東峰合歡山莊線步道介於 80~190cm 之間;東峰松雪樓步道介於 110~160cm 之間;主峰昆陽線步道介於 30~45cm 之間;石門山步道介於 85~160cm 之間(圖 26)。

以 Mann-Whitney U 檢定每兩條步道寬度，結果顯示北峰主線、東峰合歡山莊線、東峰松雪樓線與石門山步道寬度最寬;北峰支線步道寬中等;主峰昆陽線步道寬度最窄(表 7)。

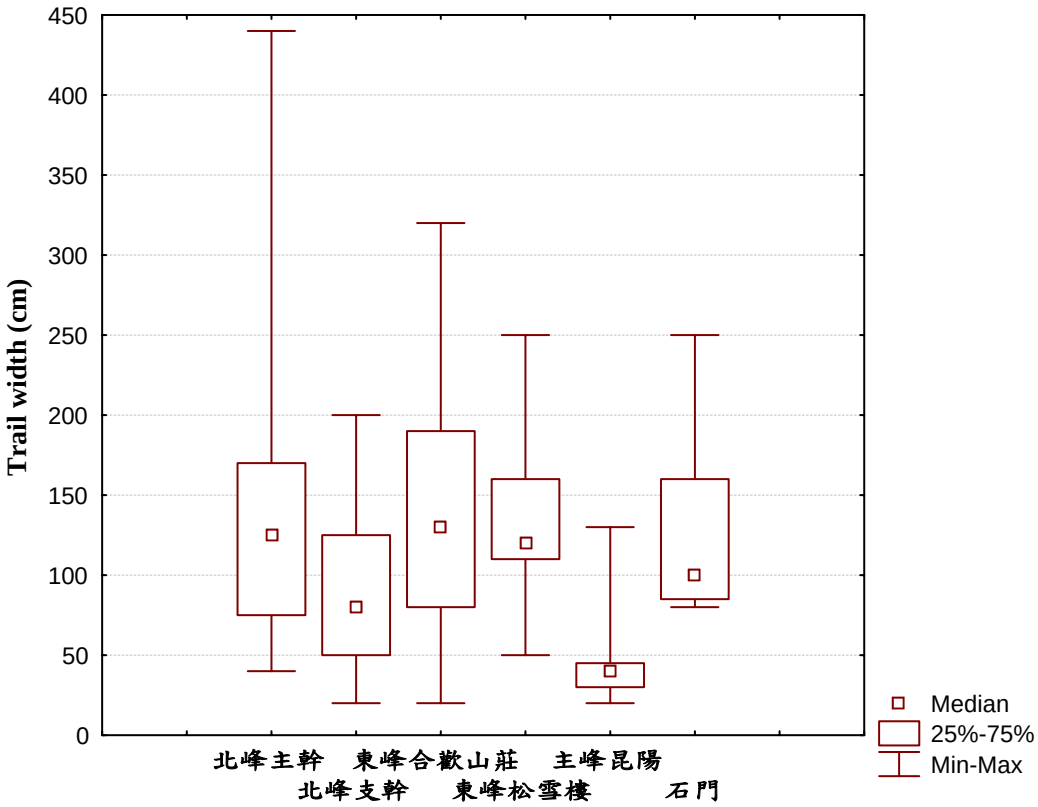


圖 26　合歡山步道主線寬度分布

表 7　步道寬度 Mann-Whitney U 檢定 P 值統計檢定表

	北峰主線	北峰支線	東峰合歡山莊	東峰松雪樓	主峰昆陽	石門山
北峰主線	×	0.00	0.27	0.55	0.00	0.98
北峰支線	0.00	×	0.00	0.00	0.00	0.00
東峰合歡山莊	0.27	0.00	×	0.77	0.00	0.28
東峰松雪樓	0.55	0.00	0.77	×	0.00	0.17
主峰昆陽	0.00	0.00	0.00	0.00	×	
石門山	0.98	0.00	0.28	0.17	0.00	×

4.1.3 步道主線沖蝕量

北峰主線步道每公尺沖蝕量為 0.098m^3; 北峰支線步道每公尺沖蝕量為 0.139 m^3; 東峰合歡山莊線主線步道每公尺沖蝕量為 0.217 m^3; 東峰松雪樓線主線步道每公尺沖蝕量為 0.193 m^3; 主峰昆陽線主線步道每公尺沖蝕量為 0.026 m^3; 石門山主線步道每公尺沖蝕量為 0.118 m^3(圖 27)。

4.2 步道主線坡度

以下呈現的是六條步道的主線坡度，並沒有把支線坡度包含進去。北峰主線步道坡度 25%~75%的值介於 9.0~20.5 之間; 北峰支線介於 9.0~20.0 之間; 東峰合歡山莊線主線步道坡度介於 16.0~26 之間; 東峰松雪樓線主線步道坡度介於 17.0~25.0 之間; 主峰昆陽線步道坡度介於 5.0~13.0 之間; 石門山主線步道坡度介於 0.0~8.0 之間(圖 28)。

以 Mann-Whitney U 檢定每兩條步道坡度，結果顯示東峰合歡山莊線與東峰松雪樓線步道坡度最陡; 北峰主線與北峰支線步道坡度中等; 主峰昆陽線與石門山兩條步道坡度雖有統計上的差異，但是因為兩條步道坡度皆很緩，所以皆歸類在坡度最緩的步道類別(表 8)。

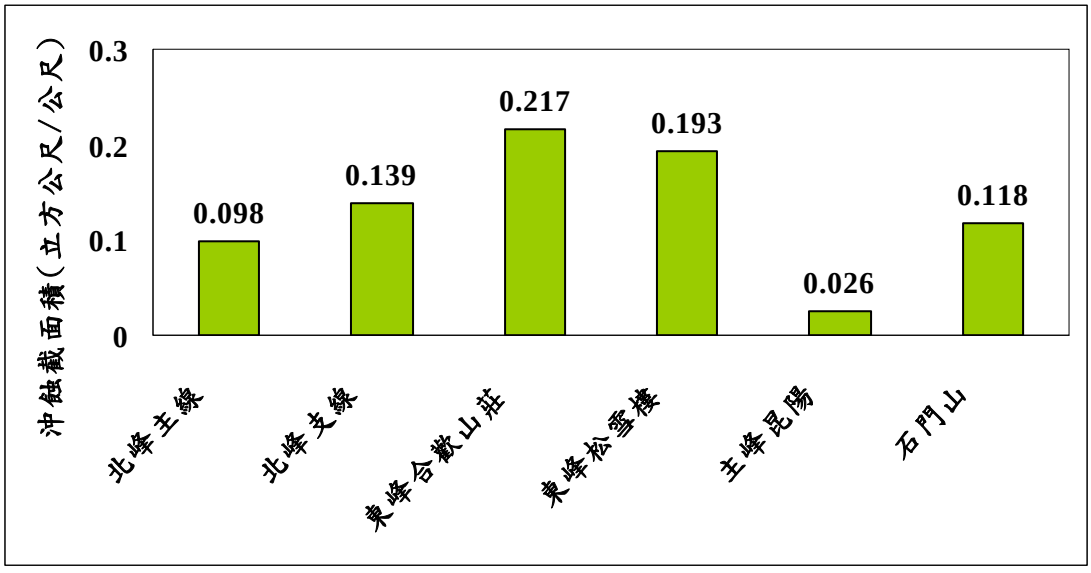


圖 27 合歡群峰步道每公尺沖蝕量

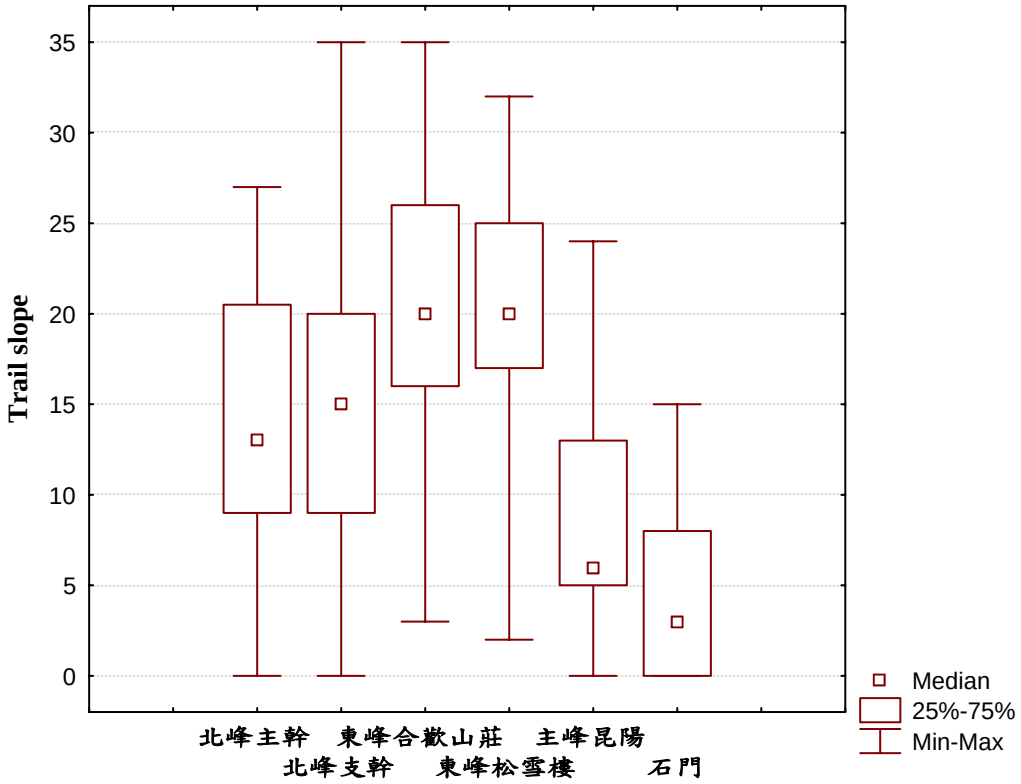


圖 28　合歡山步道主線坡度分布

表 8　步道坡度 Mann-Whitney U 檢定 P 值統計檢定表

	北峰主線	北峰支線	東峰合歡山莊	東峰松雪樓	主峰昆陽	石門山
北峰主線	×	0.52	0.00	0.00	0.00	0.00
北峰支線	0.52	×	0.00	0.00	0.00	0.00
東峰合歡山莊	0.00	0.00	×	0.74	0.00	0.00
東峰松雪樓	0.00	0.00	0.74	×	0.00	0.00
主峰昆陽	0.00	0.00	0.00	0.00	×	0.00
石門山	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	×

4.3 步道遊客人數

經由四個週末的調查，在每個週末問卷遊客人數方面，石門山步道每個周末問卷遊客人數介於 59~96 人之間、尖山步道介於 12~43 人之間、東峰合歡山莊段步道介於 54~162 人之間、北峰主線步道介於 45~125 人之間、主峰步道介於 34~131 人之間; 每個週末實際人數方面，東峰步道每個周末實際遊客人數介於 162~536 人之間，北峰步道介於 118~492 人之間。四個週末問卷的遊客加總起來，人數最多的是東峰步道的 33%，其次則是北峰步道的 22%;最少的是尖山步道的 6%，次少的則是石門山步道的 19%;主峰步道的 20%則介於中間。東峰步道跟北峰步道四個周末實際總遊客人數部分，東峰以 54%略高於北峰 46%。(表 9)。

四個週末問卷人數做比較，人數最多的是東峰合歡山莊步道，每個周末 25%~75%的遊客人數介於 90~152 人之間;其次是北峰步道介於 53~103 人之間、主峰步道介於 47~100 人之間;人數最少則是尖山步道介於 12~28 人之間(圖 29)。

由每個週末問卷與實際人數做個數值的計算，在問卷方面，東峰合歡山莊段步道的遊客人數是北峰步道的 1.20~1.76 倍之間;實際人數上則為 1.29~1.41 倍之間(表 10)。經由 Student T-test 來分析兩組數值，結果顯示 P 值為 0.74，兩者在比例上並沒有顯著的差異(P>0.05)。所以東峰跟北峰步道實際遊客人數的比例是可以藉由問卷測出。

表 9 合歡山步道問卷與實測的時間與人數

問卷日期	石門	尖山	東峰	北峰	主峰		實測日期	東峰	北峰
08/17~20	59	12	125	61	68		X	X	X
09/03~05	60	12	54	45	34		09/04~05	162	118
10/01~03	64	43	141	80	60		10/02~03	291	226
10/15~17	96	13	162	125	131		10/16~17	536	380
X	X	X	X	X	X		11/13~14	431	492
Total	279	80	482	311	293		Total	1420	1216
百分比	19%	6%	33%	22%	20%		百分比	54%	46%

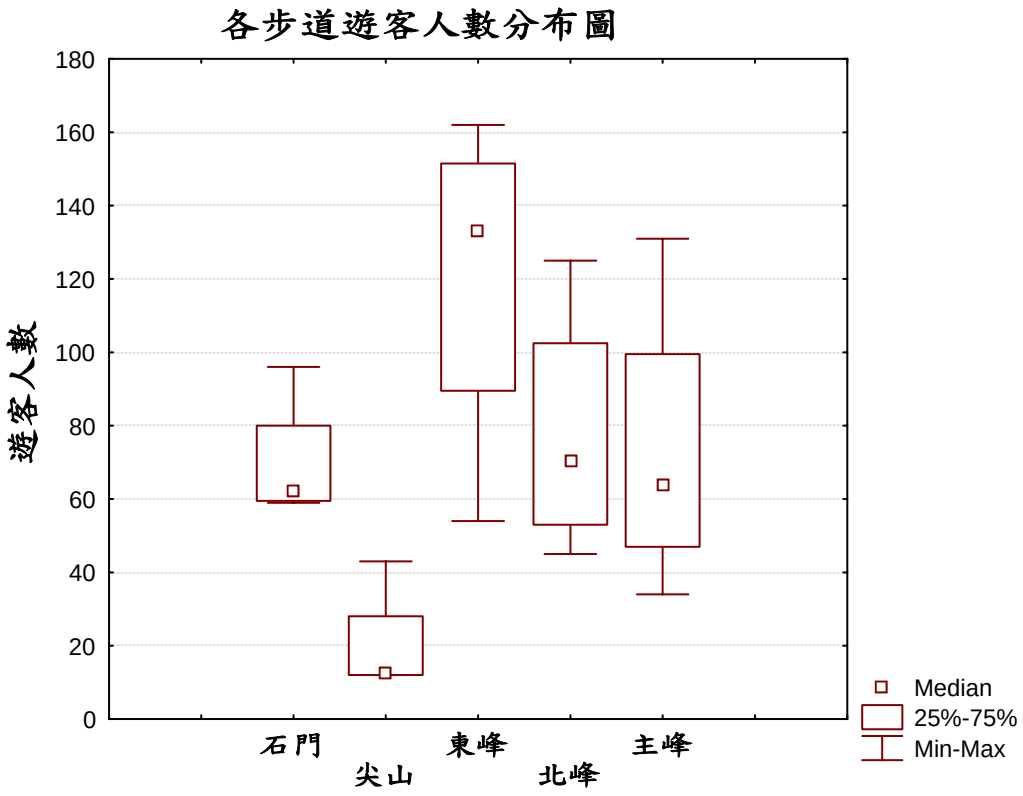


圖 29　問卷於四個週末各步道遊客人數分布情況。東峰步道遊客量最多;其次是北峰、主峰跟石門山這三條差異不大的步道;最低的是尖山步道，每個週末最多不超過 50 人次。

表 10　東峰跟北峰問卷跟實測人數在比值上的數值

日期	東峰問卷	北峰問卷	比值		東峰實測	北峰實測	比值
09/04~05	54	45	1.20		162	118	1.37
10/02~03	141	80	1.76		291	226	1.29
10/16~17	162	125	1.30		536	380	1.41

洪怡萍(2003)的研究中，石門北峰步道遊客人數最低，數值為 1，其次依序則為西峰 2.8、尖山 4.9、北峰 7.7、石門 10.3、東峰 11.3 和主峰 11.9;顏家芝(2004)結果是北峰步道遊客人數最低，數值為 1，其次依序則為、石門北 6.4、尖山 8.8、石門 9.3、東峰 10.1 和主峰 13.9;本研究結果尖山步道遊客人數最低，數值為 1，其次依序則為石門 3.2、主峰 3.3、北峰 3.7 和東峰 5.5。再依這些數值對合歡群

表 11　不同研究解釋合歡群峰步道遊客人數比值結果

	主峰	東峰	石門	北峰	尖山	西峰	石門北
洪怡萍	11.9	11.3	10.3	7.7	4.9	2.8	1.0
顏家芝	13.9	10.1	9.3	1.0	8.8	**X**	6.4
本研究	3.3	5.5	3.2	3.7	1.0	**X**	**X**

峰步道遊客使用程度進行分類:洪怡萍(2003)結果顯示，主峰、東峰與石門山步道皆屬遊客人數最多的步道，最少的則是石門北峰步道;顏家芝(2004)結果顯示，最多遊客的是主峰跟東峰步道，最少的是北峰步道;本研究結果顯示，最多遊客人數是東峰步道，最少的則是尖山步道(表 11)

三者結果皆呈現出東峰步道的遊客量最多。但在最低遊客量的部分，三者的結果卻都不相同。依筆者在合歡山對登山步道遊客人數的觀察，本研究的問卷方式在預測東峰和北峰步道等難度較高(指的是登頂需要較長的時間，且因坡度陡需要較佳的體力)山岳比較接近事實，因為要攀爬難度較高山岳的遊客大多會選擇住在合歡或觀雲山莊。但在預測尖山或石門山步道這容易攀爬的山岳則有明顯低估的現象，因當日來回合歡山遊憩區的遊客會選擇攀爬較短程的山岳步道，所以本研究的夜間問卷會漏掉這部份的遊客。

4.4　影響沖蝕深度的可能因素

文獻回顧部分提到影響沖蝕的因素有氣候(降雨與風)、地表覆蓋、土壤特性、地形特性(坡度、坡向、坡長與步道所在坡面位置)和遊客使用程度有關。因為合歡群峰步道皆位在合歡山區，各個條步道間的距離皆不遠，所以群峰步道所處的氣候條件與土壤特性差異並不會很大。地表覆蓋除了北峰前段的植被是灌木叢之外，其餘步道所處的植被環境皆是由玉山箭竹所組成的草坡地。因此以下將針對影響合歡群峰步道沖蝕深度差異的因素(坡度、邊坡坡度、坡向、坡長、步道所在坡面位置、遊客人數)進行分析，最後再整理早期在合歡山施工的情事對合歡群峰步道沖蝕深度造成的影響為何。

4.4.1 步道坡度對沖蝕深度的影響

在分析沖蝕深度與坡度做 Pearson 相關係數時，北峰支線、東峰合歡山莊線、東峰松雪樓線與主峰昆陽線步道皆呈現出有高度相關。唯獨北峰主線與石門山步道呈現沖蝕深度與坡度沒有相關的結果(表 12)。北峰主線的沖蝕深度與坡度沒呈現出高度相關是因為地表覆蓋與土壤特性的影響;至於石門山步道主線坡度緩，但卻有較深的沖蝕深度，原因是石門山主線步道有部份人為施工遺痕的情況發生。

4.4.2 邊坡坡度與坡向對沖蝕深度的影響

利用 Kruskal-Wallis 方法檢定邊坡坡度與沖蝕深度的關係，結果 P 值為 0.15，顯示邊坡坡度與沖蝕深度並無顯著相關(圖 30)。用相同的方法檢定坡向與沖蝕深度，P 值為 0.01，顯示坡向與沖蝕深度也無顯著相關(圖 31)。

表 12 步道沖蝕深度與坡度的相關係數

	北峰主線	北峰支線	東峰合歡山莊	東峰松雪樓	主峰昆陽	石門山
坡度	0.14	**0.65**	**0.42**	**0.60**	**0.63**	0.19

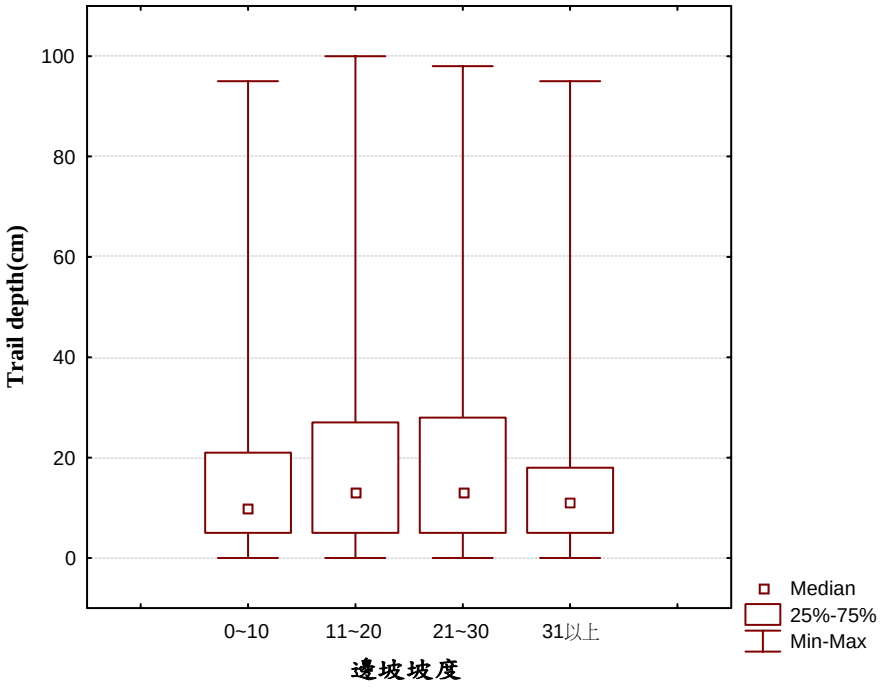


圖 30　邊坡坡度與沖蝕深度分布情況

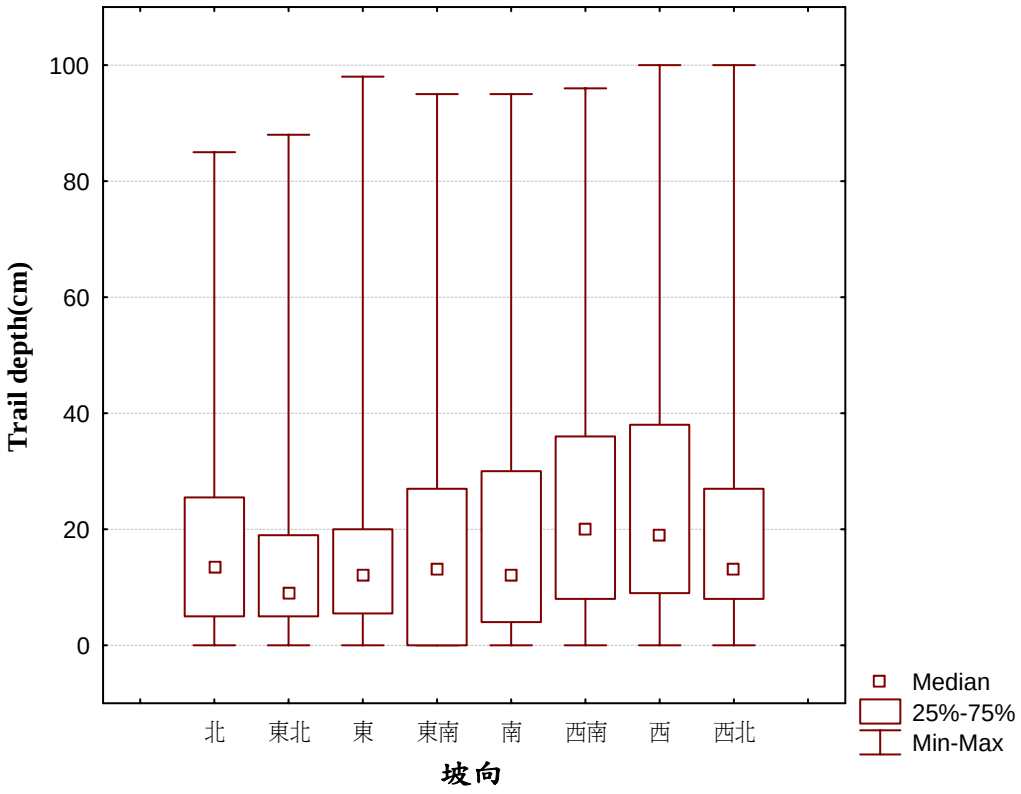


圖 31　坡向與沖蝕深度分布情況

4.4.3 坡長因素對沖蝕深度的影響

東峰合歡山莊線步道 26 個單元長度中，將每個單元長度內的上、中和下段的最深深度取出，再進行比較。單元長度上段 25%~75%深度的值介於 14~41 公分之間；單元長度中段介於25~70 公分之間；單元長度下段介於29~78 公分之間(圖 32)。以 Student T-test 對單元長度上、中和下段深度檢定結果顯示，單元長度上段深度跟中段與下段皆有顯著差異，P 值分別為 0.006 和 0.003;單元長度中段深度與下段沒顯著差異，P 值為 0.782。坡長因素的結果也呈現出，在一段坡度相同的單元長度中，位於坡長較下端的步道所受的沖蝕情況會比較嚴重。所以說坡長因素也是影響土壤沖蝕的原因之一。

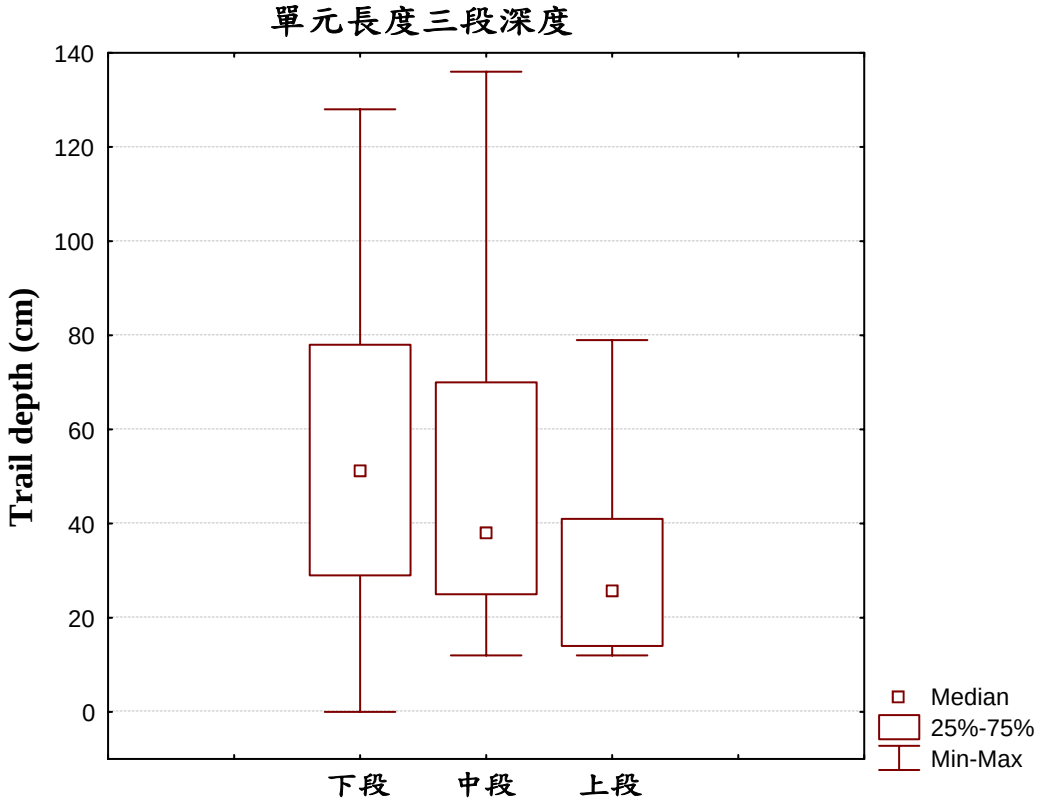


圖 32 單元長度內上、中和下段深度分布情況。上段深度明顯低於中段與下段，中段跟下段則沒有顯著差異。

4.4.4 步道所在坡面的位置

文獻回顧中提到，步道所在坡面的位置也是影響沖蝕發生與否的因素之一。步道位置為於整條步道較上端的地方因為擁有比下端步道較小的集水面積，所以上端步道會有較低的沖蝕的潛力(Hammitt & Cole ,1998)。因此，選取三條能分辨出位在邊坡坡面上段跟下段的步道，再分析是否步道位置處在坡面較下端的部分有較嚴重的沖蝕情況發生。此部份則針對北峰主線、東峰合歡山莊線(此線主線有 63 個剖面，扣除其中 7 個與主線平行的剖面，所以此線在這部份分析只用 58 剖面)跟松雪樓線(扣掉施工路線)步道的主線道，依步道主線道中點為中心分上下兩段看它的深度、坡度與寬度的差異。

沖蝕深度

北峰下段步道深度 25%~75%的值介於 6.0~20.0cm 之間，上段步道深度介於 8.0~19.0cm 之間；東峰合歡山莊線下段步道深度 25%~75%的值介於 13.5~57.5cm 之間，上段步道深度介於 2.5~47.0cm 之間； 東峰松雪樓線下段步道深度 25%~75%的值介於 18.0~31.0cm 之間，上段步道深度介於 23.0~45.0cm 之間(圖 33)。

以 Student T-test 分別對三條步道的上下兩段深度做檢定。結果除了東峰松雪樓線上下段步道深度有顯著差異外(P=0.033)，其餘兩條步道深度皆無顯著差異(P 值分別為 0.361 和 0.189)。所以除了東峰松雪樓上段步道深度明顯深於下段步道深度外，其餘兩條步道上下段深度並無顯著差異。

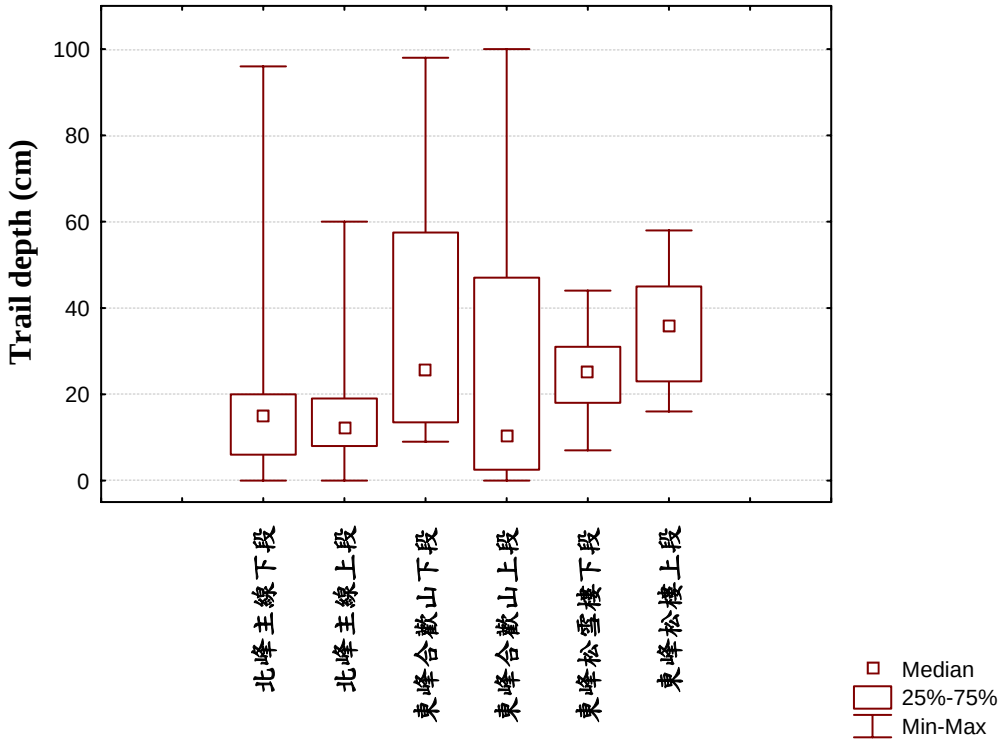


圖 33　合歡山步道上下段深度分布情況。除了東峰松雪樓上段步道深度明顯深於下段外，其餘兩條步道上下段深度並無顯著差異。

步道寬度

北峰下段步道寬度 25%~75%的值介於 52.5~145.0cm 之間，上段步道寬度介於 115.0~180.0cm 之間；東峰合歡山莊線下段步道寬度 25%~75%的值介於 80.0~185.0cm 之間，上段步道寬度介於 105.0~190.0cm 之間；東峰松雪樓線下段步道寬度 25%~75%的值介於 110.0~140.0cm 之間，上段步道寬度介於 110.0~180.0cm 之間(圖 34)。

以 Student T-test 個別對三條步道的上下段坡度做一檢定。除了北峰上段步道寬度明顯寬於下段(P=0.047)之外，其餘兩條步道上下段寬度皆無顯著差異(P 值分別為 0.483 與 0.095)。

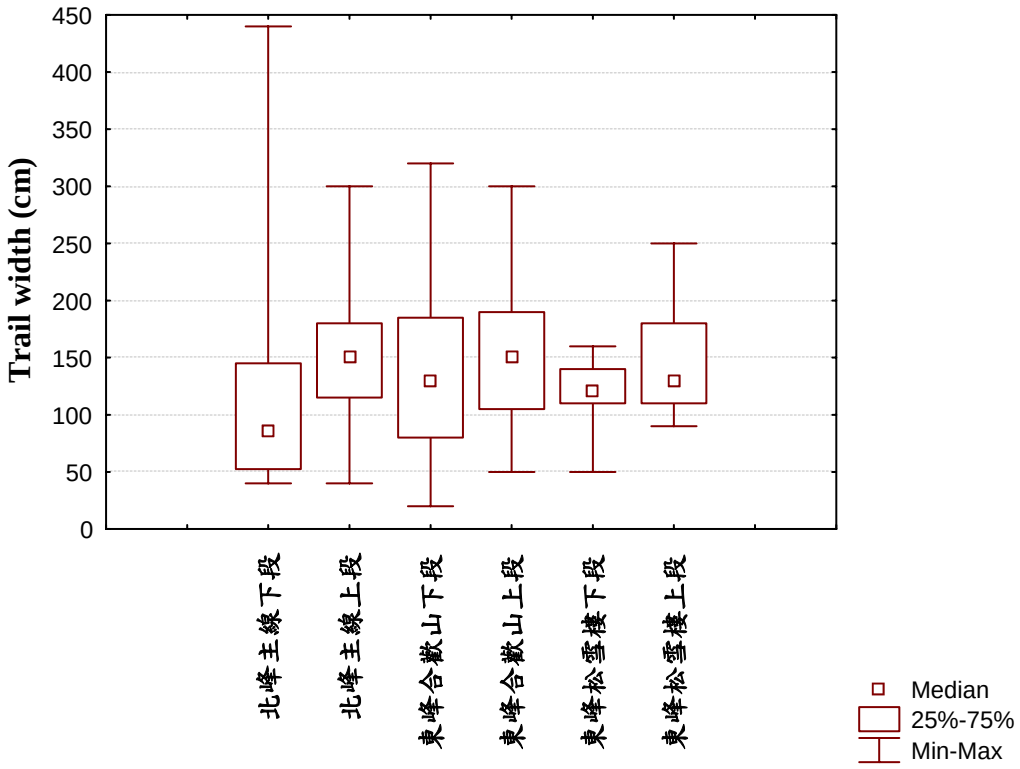


圖 34　合歡山步道上下段寬度分布情況。除了北峰上段的寬度明顯寬於下段(P=0.047)之外，其餘兩條上下段寬度皆無顯著差異(P 分別為 0.483 與 0.095)。

沖蝕量

北峰主線步道上段與下段每公尺沖蝕量分別為 0.087 與 0.108 m^3; 東峰合歡山莊線步道上段與下段每公尺沖蝕量分別為 0.169 與 0.241 m^3; 東峰松雪樓步道上段與下段每公尺沖蝕量分別為 0.229 與 0.157 m^3(圖 35)。

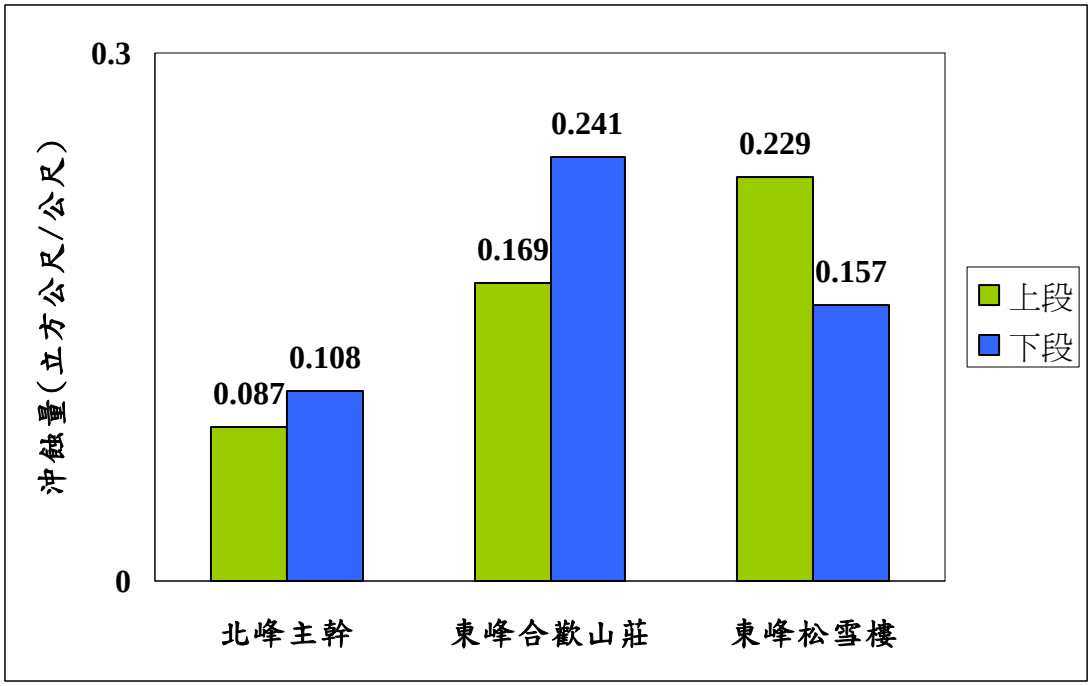


圖 35　三條步道上下段沖蝕量

步道坡度

北峰下段步道坡度 25%~75%的值介於 14.0~23.0 之間，上段步道坡度介於 5.5~12.0 之間；東峰合歡山莊線下段步道坡度 25%~75%的值介於 16.0~23.0 之間，上段步道坡度介於 11.0~26.0 之間；東峰松雪樓線下段步道坡度 25%~75%的值介於 14.0~20.0 之間，上段步道坡度介於 19.0~28.0 之間(圖 36)。

以 Student T-test 針對三條步道的上下兩段坡度做檢定。結果東峰合歡山莊線上下段坡度無顯著差異(P=0.531)；東峰松雪樓線上段步道坡度陡於下段，北峰則是下段步道坡度明顯陡於上段，此兩條步道坡度皆有顯著差異(P 值分別為 0.038 與 0.000)。

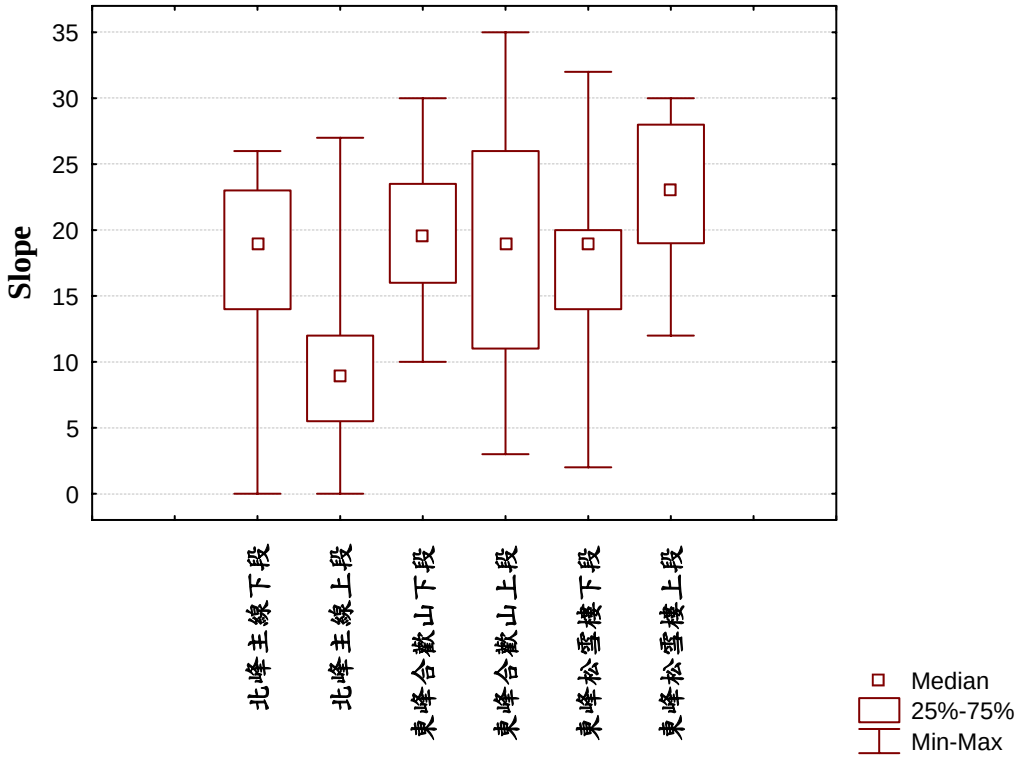


圖 36　合歡山步道上下段坡度分布情況。東峰合歡山莊線上下段坡度並無顯著差異;東峰松雪樓線上段步道坡度陡於下段，北峰則是下段步道坡度明顯陡於上段，此兩條步道坡度皆有顯著差異。

步道所在坡面的位置所做出來的分析中，三條所選取的步道(北峰主線、東峰松雪樓線與東峰合歡山莊線)只有東峰合歡山莊線可以拿來探討步道所在坡面的位置對土壤沖蝕的影響(因為其它兩條步道主線上下段的坡度皆不相同)。結果顯示東峰合歡山莊段位於坡面較下端的步道沖蝕情況並沒有顯著嚴重逾位於坡面較上段的步道。推測原因為東峰合歡山莊段主線步道只有約 810m，上端與下端步道所處的集水區面積大小差異並不足以顯示出它(步道所在坡面位置)所帶來的影響力。

在地表覆蓋與土壤特性的影響部分，北峰主線步道下段坡度顯著陡於上段坡度，但是上下兩段步道的沖蝕深度卻無顯著影響。再比較北峰主線步道下段與東峰合歡山莊線的坡度，兩者坡度雖然一樣，但沖蝕深度北峰主線下段步道卻明顯低於東峰合歡山莊線步道。所以北峰主線下段的環境必定存在著某些減緩土壤沖蝕的條件。原因推測為北峰主線步道下段所經過的地區植被大多為灌木叢，且

有較多裸露的岩磐基質。所以對於雨水所造成的沖蝕現象來說，北峰主線步道下段因為有較佳的地表覆蓋與較堅硬的岩磐保護，所以土壤遭受沖蝕的現象會受到抑制。

4.4.5 遊客人數對沖蝕深度的影響

東峰合歡山莊段主線與松雪樓段主線(因松雪樓段主線有兩條，其中一條有明顯施工遺痕，所以將有施工因素干擾的路段扣除)兩條步道坡度相似，兩條步道最大差別就是遊客人數使用程度上的差異。東峰合歡山莊線步道遊客人數明顯多於東峰松雪樓線步道。另外北峰主線步道上段跟主峰昆陽線也有相似的情況，北峰主線步道上段遊客人數遠多於主峰昆陽線步道，但兩條步道的坡度相同都屬平緩的步道。所以以下就這四條步道來探討遊客人數對沖蝕深度有何影響。

步道坡度方面，東峰合歡山莊線步道坡度 25%~75%的值介於 16~26 之間；東峰松雪樓線步道坡度介於 17~25 之間；北峰步道上段坡度介於 5~12 之間；主峰昆陽線步道坡度介於 5~13 之間(圖 37)。以 Mann-Whitney U 對步道坡度做檢定，東峰合歡山莊線與松雪樓線步道坡度沒有顯著差異，P 值為 0.742。北峰主線上段與主峰昆陽線的坡度也無顯著差異，P 值為 0.467。

步道沖蝕深度方面，東峰合歡山莊線步道沖蝕深度 25%~75%的值介於 9~60 公分之間；東峰松雪樓線步道沖蝕深度介於 20~36 公分之間；北峰上段步道沖蝕深度介於 8~19 公分之間；主峰昆陽線步道沖蝕深度則介於 0~8 公分之間(圖 38)。以 Mann-Whitney U 對步道沖蝕深度做檢定，東峰合歡山莊線與松雪樓線步道沖蝕深度沒有顯著差異，P 值為 0.620，但北峰主線上段與主峰昆陽線步道沖蝕深度則有差異，P 值為 0.000。

結果顯示，東峰合歡山莊線與松雪樓線步道的沖蝕深度並沒有因為遊客人數的懸殊差異而有所差別。這結果符合前面所提：步道沖蝕深度與坡度等因子比較有關係，跟遊客使用程度多寡則無多大差異(Cole, 1991)。

北峰主線上段與主峰昆陽線深度上的差異並非全由遊客數量上的差異所導致。北峰主線上段現場圖可發現在步道中間有著因雨水沖蝕造成較兩旁深的沖蝕溝(圖 14)，所以北峰主線步道上段深度深於主峰昆陽線有可能是由這些沖蝕溝的深度所造成，但也有可能是遊客人數差異所導致。

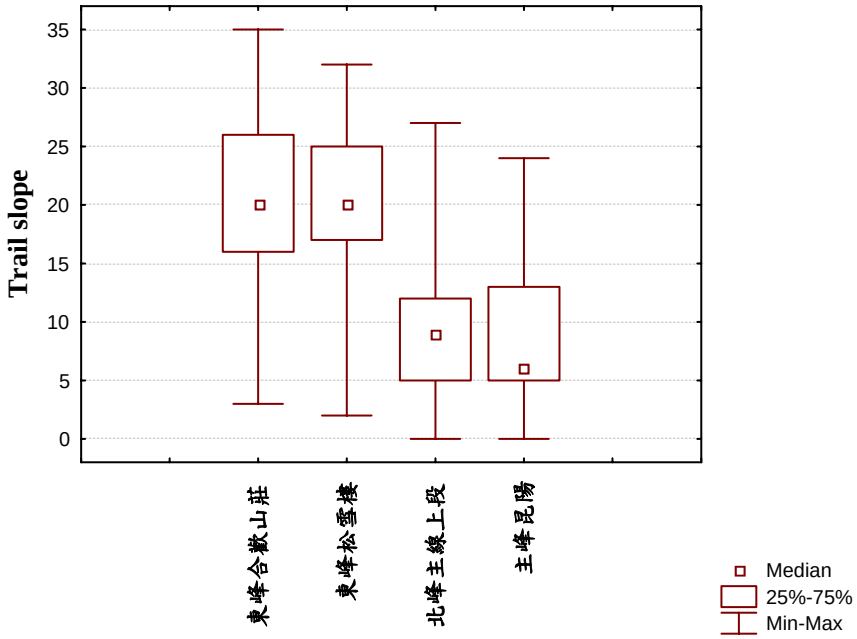


圖 37　四條步道坡度分布情況。東峰合歡山莊線與松雪樓線步道坡度沒有顯著差異。相同的，北峰主線上段與主峰昆陽線步道坡度也無顯著差異。

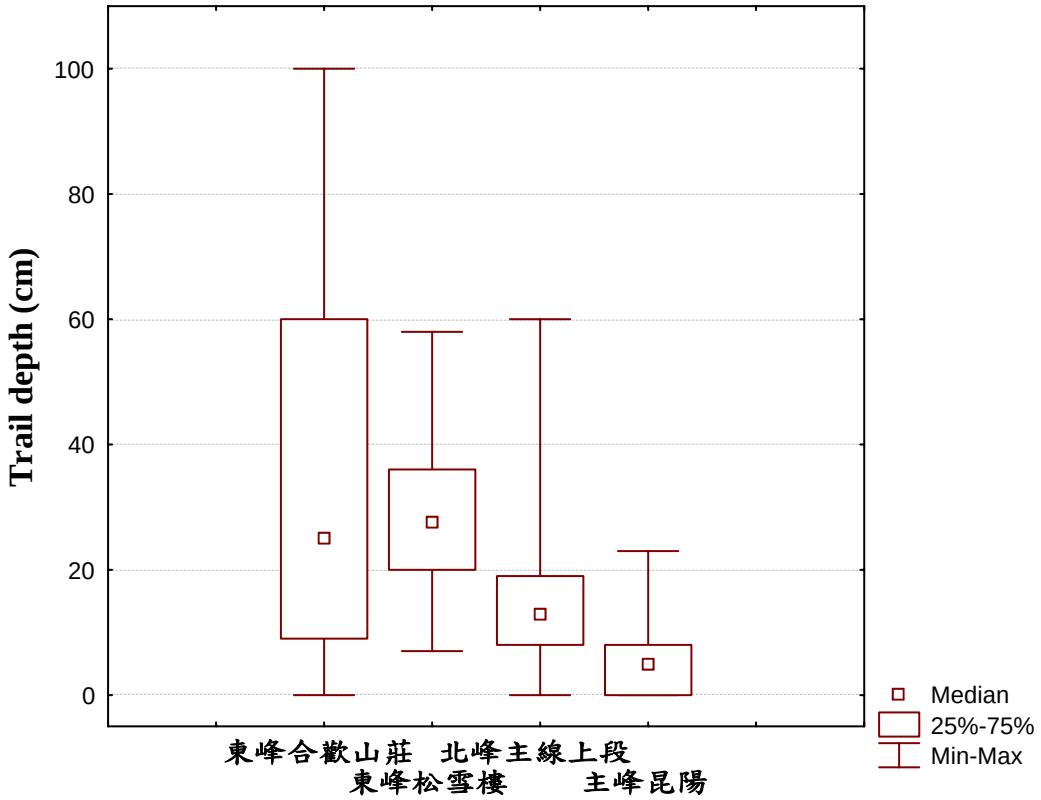


圖 38　四條步道沖蝕深度分布情況。東峰合歡山莊線與松雪樓線步道沖蝕深度沒有顯著差異。相反的，北峰主線上線步道沖蝕深度明顯深於主峰昆陽線。

然而在分析遊客人數是否影響步道土壤沖蝕時，分析的步道只有兩組(四條)步道，分別是東峰合歡山莊線(坡度陡，遊客人數多)與東峰松雪樓線(坡度陡，遊客人數少)做比較，還有主峰昆陽線(坡度緩，遊客人數少)與北峰主線上段(坡度緩，遊客人數多)做比較。所使用的遊客人數資料並不是量化而是根據筆者所觀察質性資料。之所以會捨棄前人與筆者自行調查所得的量化資料的原因在於，筆者所調查的步道土壤沖蝕資料(例如，沖蝕深度)有許多皆是步道支線的資料，但步道遊客人數的資料卻只是主線的資料。並且就主峰武嶺線步道來說，此線步道錯綜複雜，並沒有一條主線步道可言，所以主峰步道的遊客人數並不能確切的反映出該條步道的遊客人數。因此在分析遊客人數對步道土壤沖蝕的影響時只能挑選兩組步道坡度相同但遊客人數有極大差異的步道來做分析。

4.4.6 早期施工痕跡對沖蝕深度的影響

合歡群峰步道中，北峰支線、東峰松雪樓線、主峰武嶺線與石門山步道根據筆者觀察與訪談，皆有人為施工遺痕留下的情形。以下就探討這四條步道有施工遺痕的部分對步道深度的影響程度。

北峰支線步道無施工遺痕路線深度 25%~75%的值介於 5.0~10.0cm 之間;北峰支線步道有施工遺痕路線介於 13.0~41cm 之間。東峰松雪樓線步道無施工遺痕路線深度 25%~75%的值介於 9.0~30.0cm 之間;東峰松雪樓線步道有施工遺痕路線介於 21.0~51cm 之間。主峰武嶺線步道無施工遺痕路線深度 25%~75%的值介於 7.0~17.0cm 之間;主峰武嶺線步道有施工遺痕路線介於 5.0~23cm 之間。石門山步道無施工遺痕路線深度 25%~75%的值介於 4.0~19.0cm 之間;石門山步道有施工遺痕路線則介於 9.0~35.0cm 之間(圖 39)。

以 Mann-Whitney U 檢定這四條步道有施工遺痕與無施工遺痕路線在深度上是否有顯著差異。結果北峰支線、東峰松雪樓線與石門山三條步道 P 值分別為 0.000、0.004 與 0.000，皆有顯著差異。主峰武嶺線則呈現出無顯著差異，P 值為 0.296。也就是施工遺痕對北峰支線、東峰松雪樓線與石門山在步道深度上有顯著影響，在主峰武嶺線則沒有多大差別。

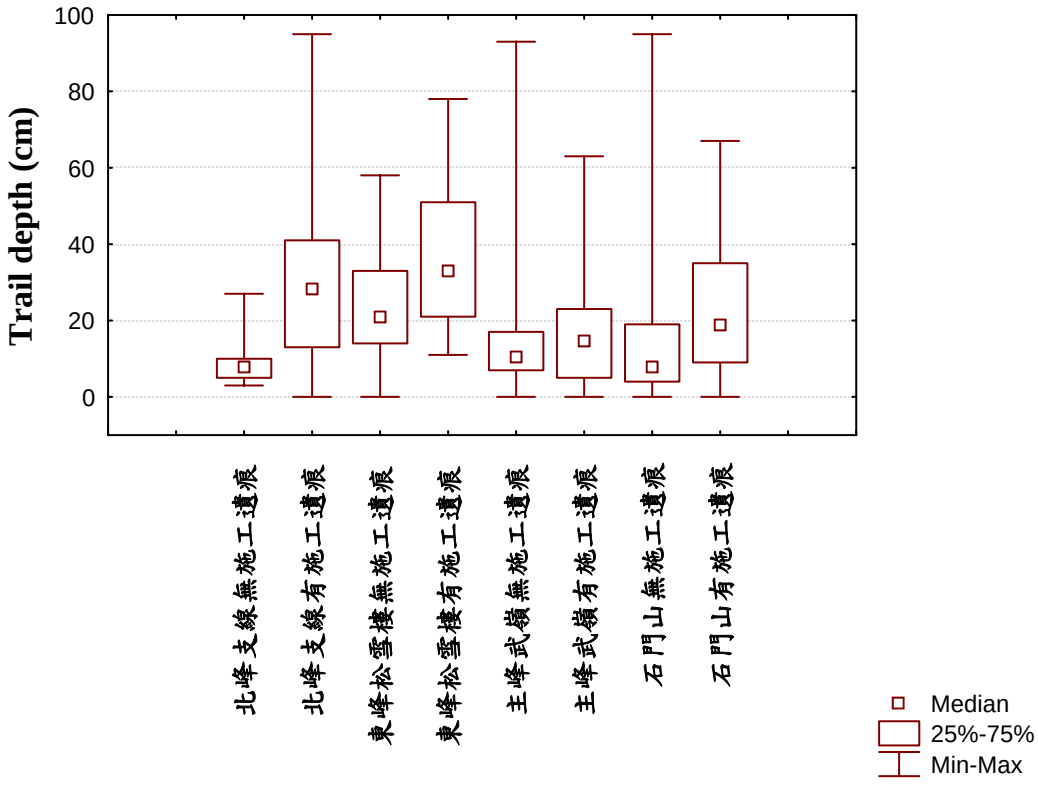


圖 39　四條步道有無施工遺痕路線深度比較。有無施工遺痕對北峰支線、東峰松雪樓線與石門山的步道深度有顯著影響，但對主峰武嶺線步道則沒差異。

北峰支線施工路段是因設置北峰頂的反射板的工程;東峰松雪樓線施工路段是因為早期滑雪場的設施建設所造成;主峰武嶺線施工路段則是因早期日軍的軍用道路以及現在國軍在這些步道上有些建設所導致;石門山步道的施工路線則是太魯閣國家公園管理處以及台電在步道上的建設所導致。四條曾經受過人為施工影響的步道中，現今沖蝕深度最深的是東峰松雪樓線與北峰支線兩條(圖 40)。而這四條曾受過人為施工的步道中，坡度最陡的也是東峰松雪樓線與北峰支線這兩條(圖 41)。

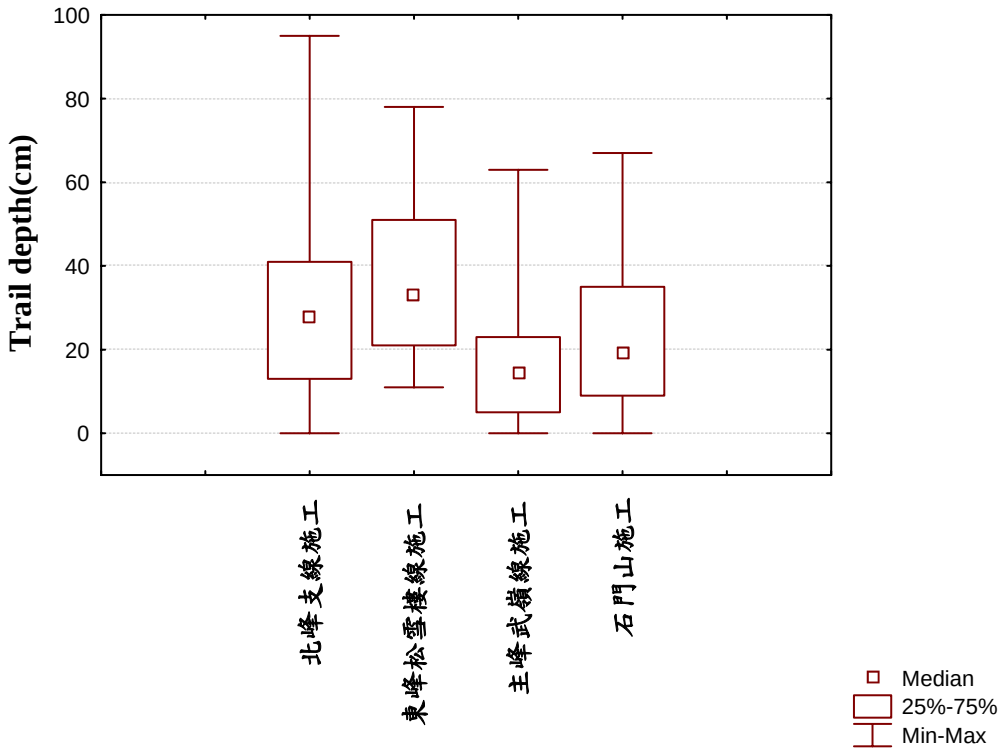


圖 40　合歡群峰早期曾經有人為施工的步道沖蝕深度分布圖。沖蝕深度最深的是東峰松雪樓線與北峰支線。

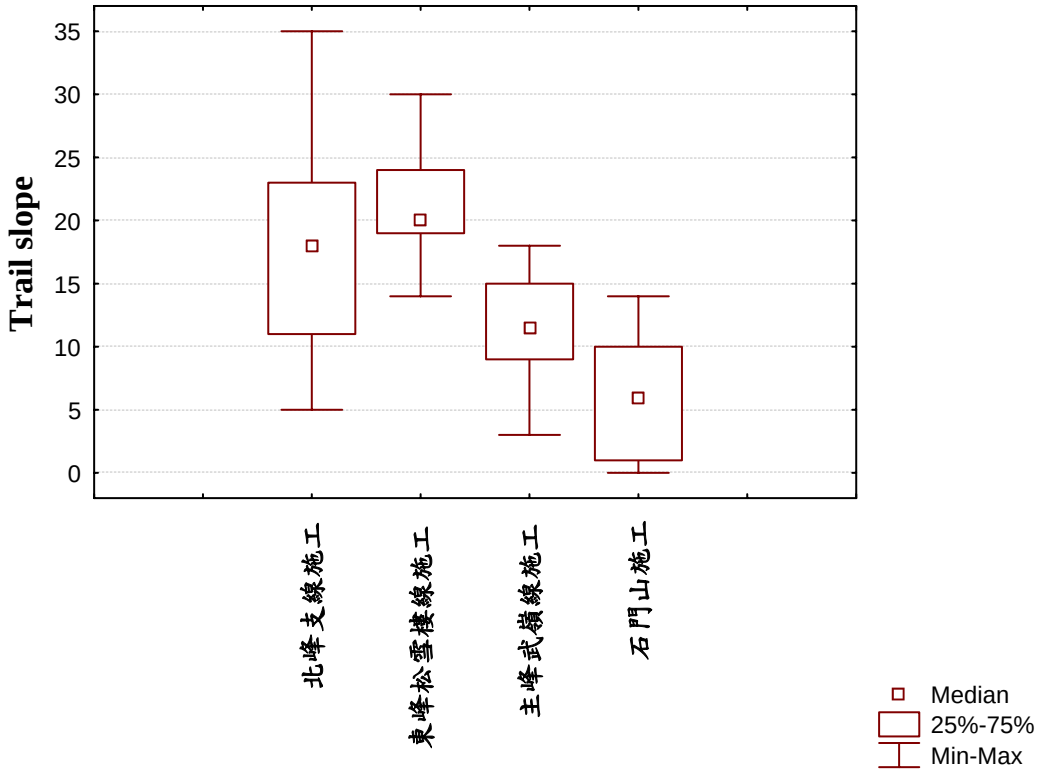


圖 41　合歡群峰早期曾經有人為施工的步道坡度分布圖。步道坡度最陡的是東峰松雪樓線與北峰支線。

北峰支線步道有施工遺痕路線每公尺沖蝕量為 0.197 m^3，無施工遺痕路線為 0.048 m^3; 東峰松雪樓步道有施工遺痕路線每公尺沖蝕量為 0.231 m^3，無施工遺痕路線為 0.132 m^3; 主峰武嶺線步道有施工遺痕路線每公尺沖蝕量為 0.121 m^3，無施工遺痕路線為 0.096 m^3; 石門山步道有施工遺痕路線每公尺沖蝕量為 0.156 m^3，無施工遺痕路線為 0.076 m^3(圖 42)。

四條有施工遺痕的步道中，北峰支線施工遺痕長度占此條步道總長度 61%，施工遺痕的沖蝕量占該條步道的總沖蝕量的 84%為最多。主峰武嶺線的施工遺痕長度占此條步道總長度 21%，施工遺痕的沖蝕量占該條步道的總沖蝕量的 25%為最少(表 13)。所以，在有施工遺痕的路段，沖蝕量在該條步道所占的百分比會比長度所占的百分比還多。

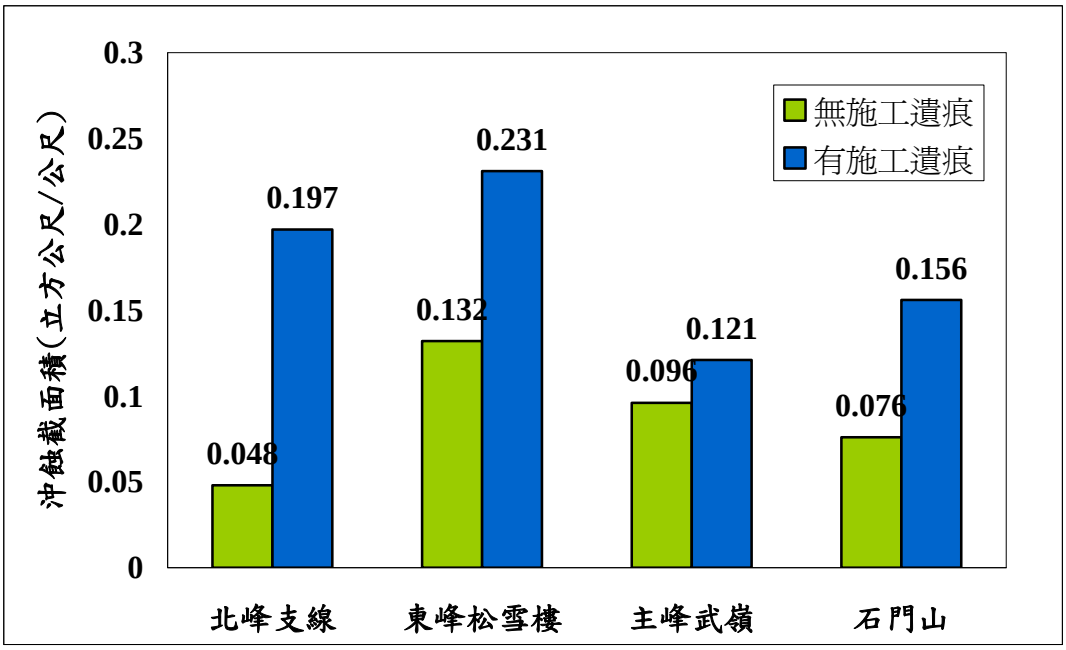


圖 42　有無施工遺痕路線每公尺沖蝕量之比較

表 13　四條步道施工遺痕調查點數所占該步道總調查點數的百分比

	總取樣長度(m)	施工遺痕總長度(m)	施工遺痕長度所占%	總沖蝕量(m^3)	施工遺痕沖蝕量(m^3)	施工遺痕占總沖蝕量%
北峰支線	1920	1170	61%	266.5	230.5	84%
東峰松雪樓	2250	510	23%	347.5	117.8	34%
主峰武嶺	3120	660	21%	316.0	79.9	25%
石門	1740	495	28%	171.8	77.2	45%

分析結果顯示，四條早期有人為施工的痕跡的步道中，除了主峰武嶺線有施工路段的沖蝕深度沒有明顯深於無施工路段外，其餘三條步道(北峰支線、東峰松雪樓線與石門山)則顯示出有施工路段的沖蝕深度會深於無施工路段。所以分析結果顯示有施工的路段會有較嚴重的步道深度，而這可能是人為施工挖掘的結果。再進一步比較四條步道的施工路段沖蝕深度差異時發現，北峰支線與東峰松雪樓線的沖蝕深度較主峰武嶺線與石門山步道深。有趣的是，當再比較這四條有施工路段的步道坡度時發現，沖蝕較深的兩條步道也是坡度最陡的那兩條。也就是說，或許是因為當初施工時，不同的施工方式所導致北峰支線與東峰松雪樓線一開始就有較深的步道深度，但也有可能是因為北峰支線與東峰松雪樓線施工路段位在坡度較陡的位置，所以四條步道施工過後，坡度較陡的路段因為與水沖蝕所以才會有較深的深度。若可以知道此四條步道施工路段一開始時的施工深度，那麼對此問題則可能會有進一步的了解。

4.5 主支線步道沖蝕量、坡度、寬度與長度之比較

合歡群峰步道除了北峰主線、北峰支線與主峰昆陽線步道之外，其餘的步道皆有支支節節的小步道散佈在主線道週遭。但主峰武嶺線因為沿線不時有水泥道路穿插其中，且並沒有較為明顯的主要線道。所以在分析主要跟支節步道的差異時，選擇了東峰合歡山莊線、松雪樓線與石門山這三條步道做探討。除了比較個別步道主線與支線單位沖蝕量與坡度的差異之外，還計算單條步道內支線所占整條步道長度與沖蝕量百分比分別為何。

4.5.1 沖蝕量

東峰合歡山莊線步道主線與支線每公尺沖蝕量(支線扣除異常深的四樣點數)分別為 0.217 與 0.096 m^3; 東峰松雪樓線步道主線與支線每公尺沖蝕量分別為 0.202 與 0.100 m^3; 石門山步道主線與支線每公尺沖蝕量分別為 0.112 與 0.096 m^3(圖 43)。雖然三條步道主線的沖蝕量有差異，但三條步道支線的沖蝕量並沒有多大的差異。

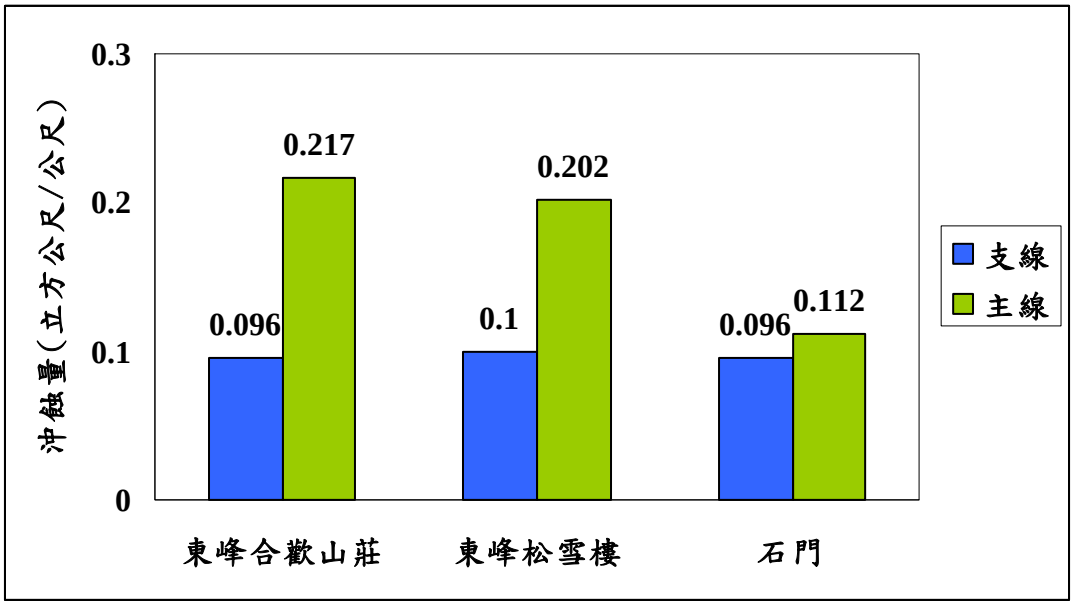


圖 43　合歡山步道主支線沖蝕量情況。三條步道的主線沖蝕量皆明顯多於支線。

4.5.2　步道坡度

東峰合歡山莊線步道主線坡度 25%~75%的值介於 16.0~26.0 之間，東峰合歡山莊線支線步道坡度介於 3.0~25.0 之間；東峰松雪樓線步道主線坡度 25%~75%的值介於 17.0~24.0 之間，東峰松雪樓線支線步道坡度介於 13.0~23.0 之間；石門山步道主線坡度 25%~75%的值介於 2.0~10.0 之間，石門山支線步道坡度介於 4.0~13.0 之間(圖 44)。

以 Mann-Whitney U 方法個別檢定三條步道主線與支線的步道坡度，結果除了石門山的 P 值為 0.103 為不顯著外，東峰兩條步道皆呈現顯著的差異。顯示東峰兩條步道的主線坡度皆顯著大於支線坡度，但石門山主線坡度則沒有明顯陡於支線坡度。

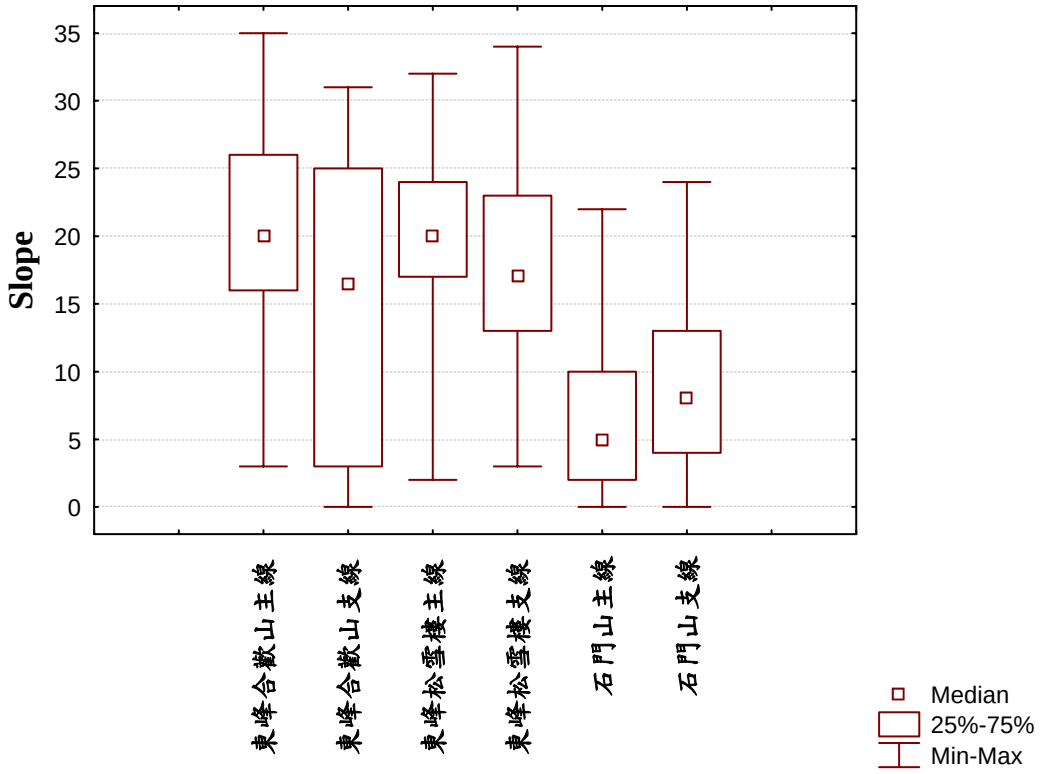


圖 44　合歡山步道主支線坡度分布情況。東峰兩條步道的主線坡度皆顯著陡於支線坡度，但石門山主線步道坡度與支線並沒顯著差異。

4.5.3　步道寬度

東峰合歡山莊線主線步道寬度 25%~75%的值介於 80.0~190.0cm 之間，東峰合歡山莊線支線步道寬度介於 40.0~130.0cm 之間;東峰松雪樓線主線步道寬度 25%~75%的值介於 60.0~155.0cm 之間，東峰松雪樓線支線步道寬度介於 30.0~60.0cm 之間;石門山主線步道寬度 25%~75%的值介於 85.0~160.0cm 之間，石門山支線步道寬度介於 40.0~80.0cm 之間(圖 45)。

以 Mann-Whitney U 方法個別檢定三條步道主線與支線的步道寬度，結果顯示三條主線步道寬度皆明顯寬於支線步道寬度。所以主線步道遊客人數多的步道寬度會大於支線步道。

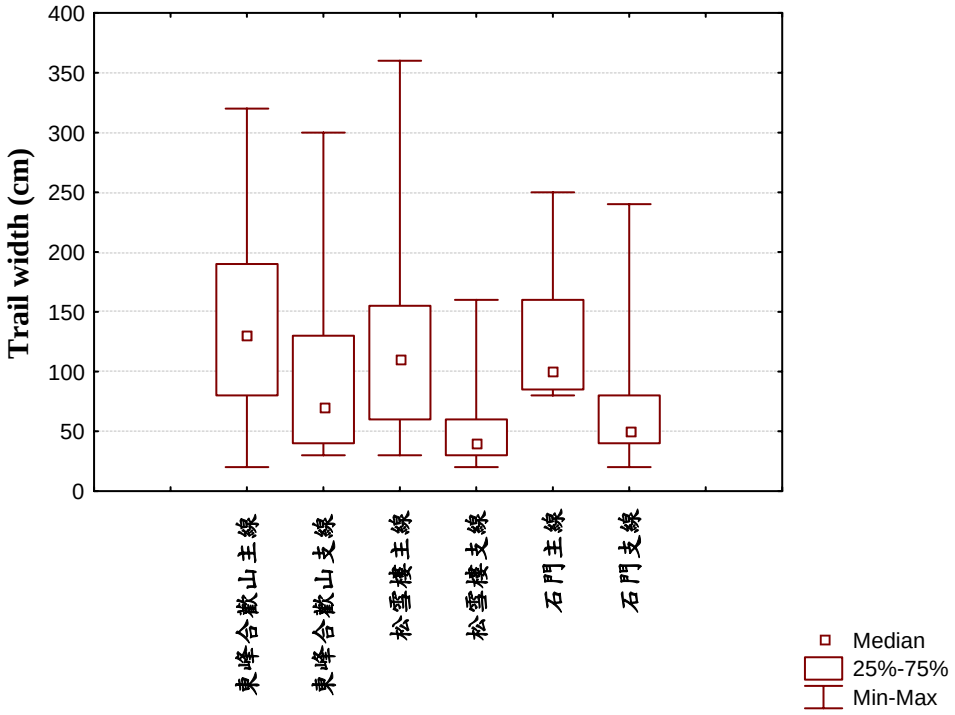


圖 45　合歡山步道主支線寬度分布情況。三條步道主線寬度皆明顯寬於支線寬度。

4.5.4　步道長度與總沖蝕量

東峰合歡山莊線步道主線長度為 945m，步道支線長度為 765m，支線長度占總長度的 45%; 東峰合歡山莊線步道主線步道沖蝕量為 205.1 m^3，支線沖蝕量為 73.4 m^3，支線沖蝕量占總沖蝕量的 26%。

東峰松雪樓線步道主線長度為 1200m，步道支線長度為 1050m，支線長度占總長度的 47%; 東峰松雪樓線步道主線步道沖蝕量為 242.4 m^3，支線沖蝕量為 105.0 m^3，支線沖蝕量占總沖蝕量的 30%。

石門山步道主線長度為 390m，步道支線長度為 1350m，支線長度占總長度的 78% 。石門山步道主線步道沖蝕量為 43.7 m^3，支線沖蝕量為 129.6 m^3，支線沖蝕量占總沖蝕量的 75%(表 14)。

由此可見，三條步道中，支線所占整條步道的總長度有蠻多的比例(45%~78%)，但因支線通常位於坡度緩且遊客人數少的地方，所以支線的沖蝕情況比主線輕微，因此支線占整條步道的總沖蝕量則沒長度所占的比例那麼多(26%~75%)。

表 14　主線與支線步道長度與沖蝕量分布情形

	東峰合歡山莊線	東峰松雪樓線	石門山
主線長度(m)	945	1200	390
支線長度(m)	765	1050	1350
總長(m)	1710	2250	1740
支線占總長度百分比(%)	45	47	78
主線沖蝕量(m^3)	205.1	242.4	43.7
支線沖蝕量(m^3)	73.4	105.0	129.6
總沖蝕量(m^3)	278.5	347.4	173.3
支線占總沖蝕量百分比(%)	26	30	75

4.6　主成份分析

594 個點的環境資料(最深深度、坡度、坡向、邊坡坡度與有無施工遺痕)進行主成份分析後，共取 2 個 eigenvalue≧1.0 的主成份(PC)，可以解釋原始資料 56.0%的變異。第一個主成份(PC1)和坡度的相關性很高，因為坡度的因素負荷的絕對值大於 0.7(｜factor loading｜>0.7); 第二個主成份和有無施工遺痕有較高的相關(表 15)。

在進行主成份分析時，分析項目中的「有無施工遺痕」分類過於簡單，只分為兩個項目。根據筆者在合歡山觀察有施工遺痕的路線時也發現，有些施工遺痕所造成的深度很深，可達 80~90cm 深;也有些施工遺痕所留下來的深度只有 30~40cm 深。但因這些施工遺痕都是太魯閣國家公園成立(1986)以前就遺留下來的(林茂耀，私人通訊)，因此要進一步探究哪些施工遺痕是由哪些施工器具所造成的或者這些施工遺痕間有何不同則變得有些困難。

步道遊客人數使用量並沒能放進主成份分析的項目中，因為不論是前人的問卷調查(洪怡萍，2003; 顏家芝，2004)或是筆者的遊客人數調查方面，皆只針對步道的主線進行調查，步道支線的遊客人數則無從得知。再針對主線的遊客人數來說，主峰武嶺線步道錯綜複雜，遊客在攀登主峰時並無主要線道可以依循，

所以就算有主峰的遊客人數量,在主峰武嶺線所調查的 104 個樣點中也無法配對正確的遊客人數量。所以在「沒有支線遊客人數量」與「主峰武嶺段路線複雜遊客人數量無法精確得知」的情況下，才沒把遊客人數這項目放進主成份分析裡。

4.7 沖蝕深度分布

將步道土壤沖蝕深度超過 30cm 的路段稱為沖蝕嚴重路段;16~30cm 稱為步道土壤沖蝕中等路段;低於 15cm 以下稱為步道土壤沖蝕輕微路段。將每條步道所調查的樣點，依照此分類標準，再計算出該條步道沖蝕嚴重、中等與輕微的樣點各占該條步道的多少百分比。

就各條步道的沖蝕情況來看，東峰合歡山莊線(圖 48)沖蝕嚴重的路段占該條步道 38%為最多，其次是東峰松雪樓線(圖 48)的 20%、石門山(圖 51)的 19%、主峰武嶺線(圖 49)的 18%、北峰支線(圖 47)的 14%與北峰主線(圖 47)的 6%，主峰昆陽線(圖 50)則沒有沖蝕深度超過 30cm 的路段(圖 46)。

表 15 環境資料 PCA 分析結果。共取 2 個 eigenvalue≧1.0 的主成份(PC)，可解釋原始資料 56.0%的變異。各環境資料所呈現出的數值則是因素負荷(factor loading)，其絕對值大於 0.7 表示和主成份有較強的相關性。

	PC1	PC2
Egienvalue	**1.58**	**1.22**
變異累積百分比%	**31.6%**	**56.0%**
最深深度	0.6769	-0.5040
坡度	**0.7960**	0.0296
坡向	0.5751	0.2728
邊坡坡度	0.3881	0.5892
有無施工遺痕	0.0925	**-0.7349**

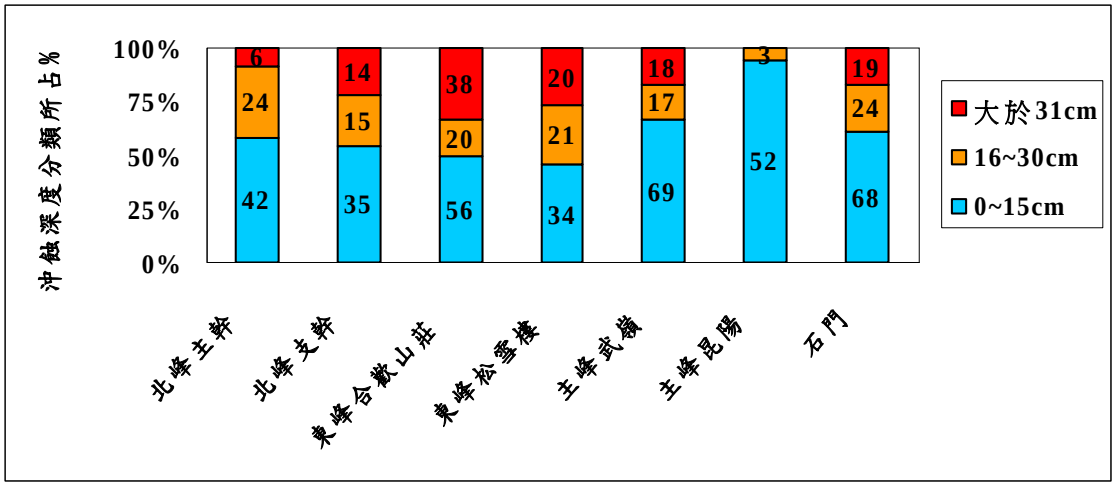


圖 46　合歡群峰各步道沖蝕深度分類所占點數

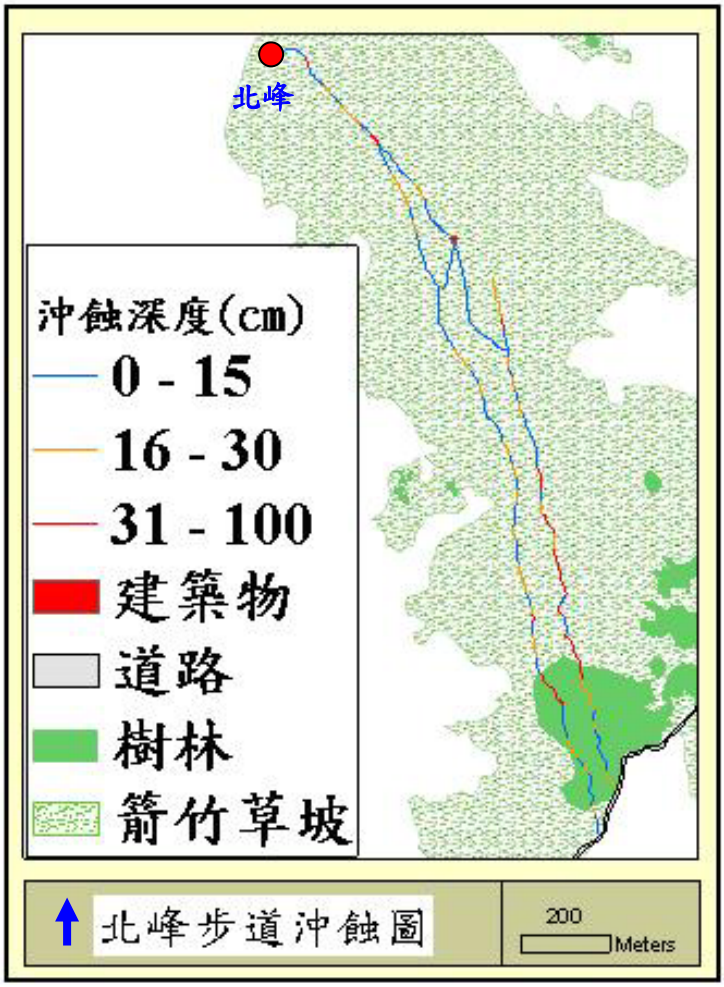


圖 47　合歡北峰主線與支線步道沖蝕深度分布情況。西側主線步道沖蝕情況中等，東側支線步道沖蝕嚴重。

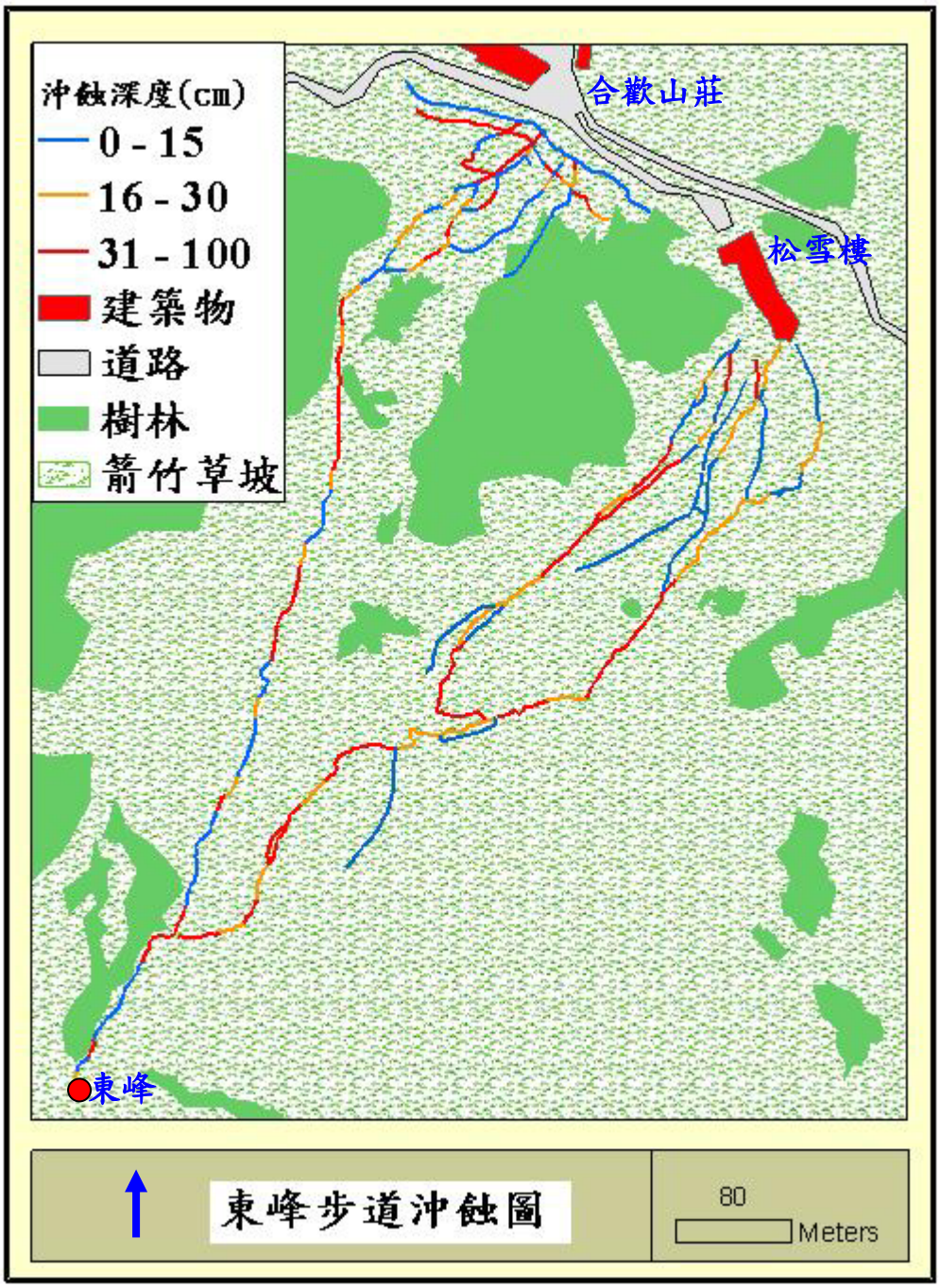


圖 48　合歡東峰合歡山莊與松雪樓線步道沖蝕深度分布情況。西側合歡山莊線與東側松雪樓線沖蝕現象嚴重。

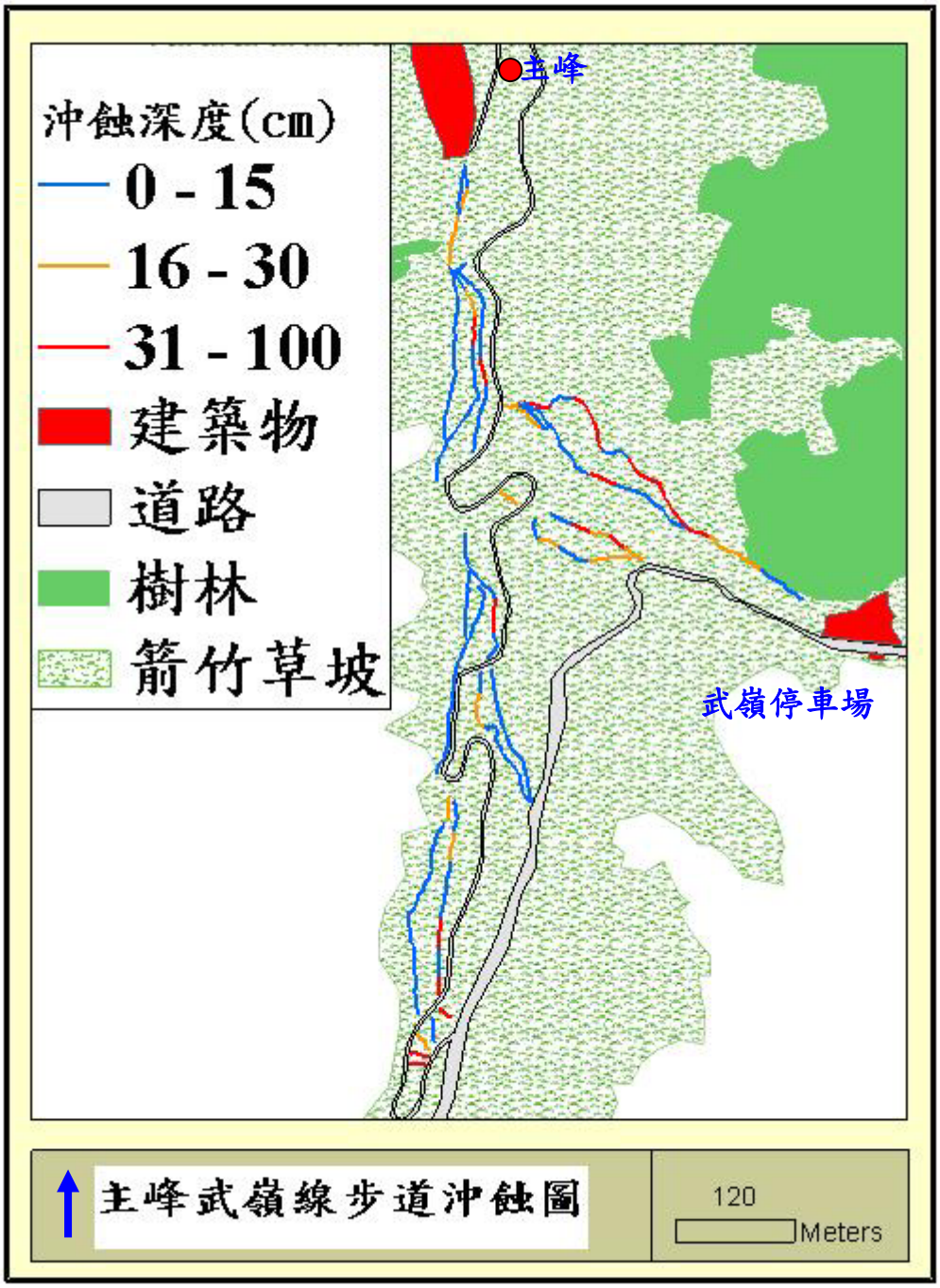


圖 49　主峰武嶺線步道沖蝕深度分布情況。主峰武嶺線步道在合歡群峰中屬沖蝕中等的步道。

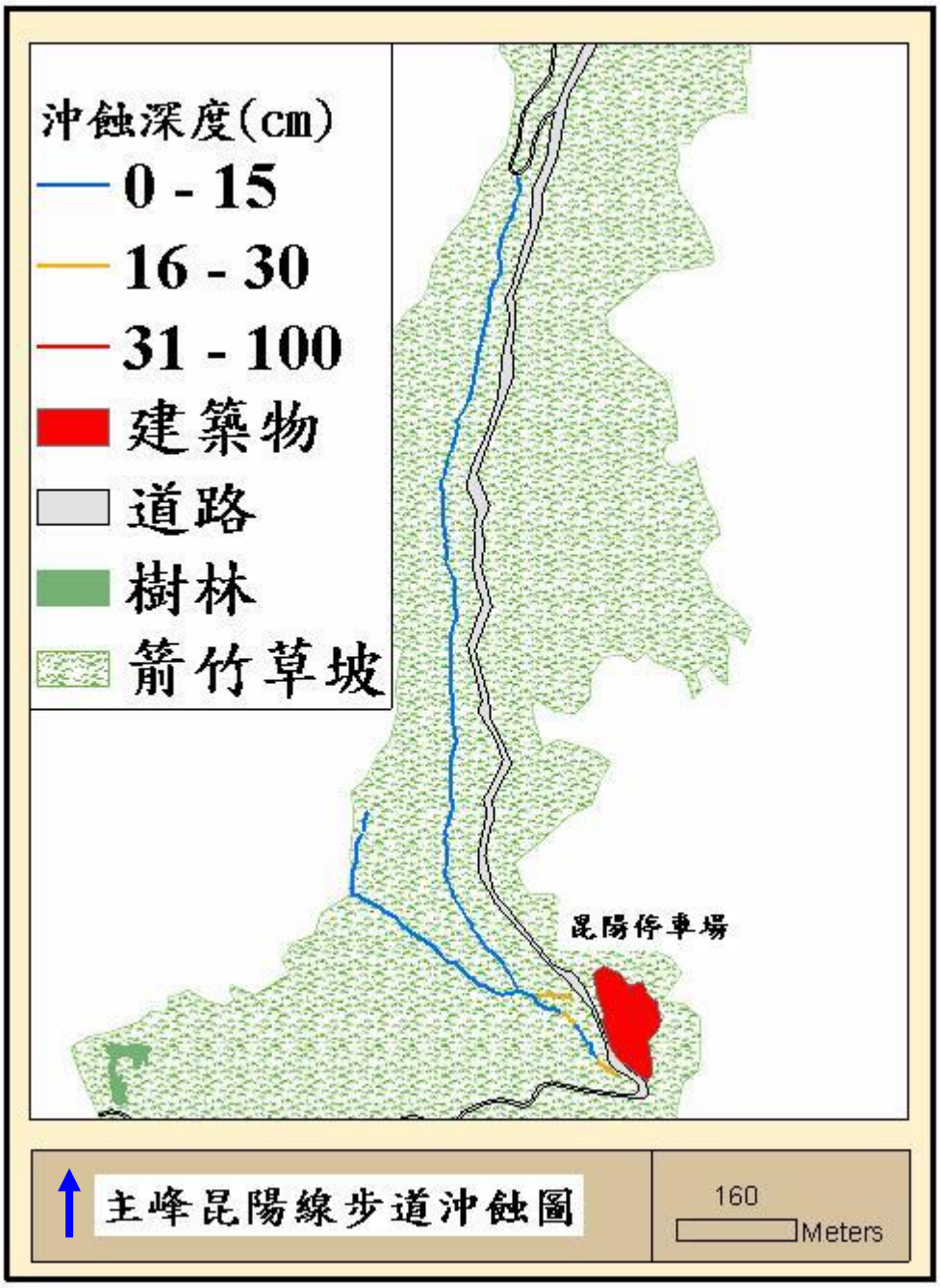


圖 50　主峰崑陽線步道沖蝕深度分布情況。主峰崑陽線步道在合歡群峰中屬沖蝕輕微的步道。

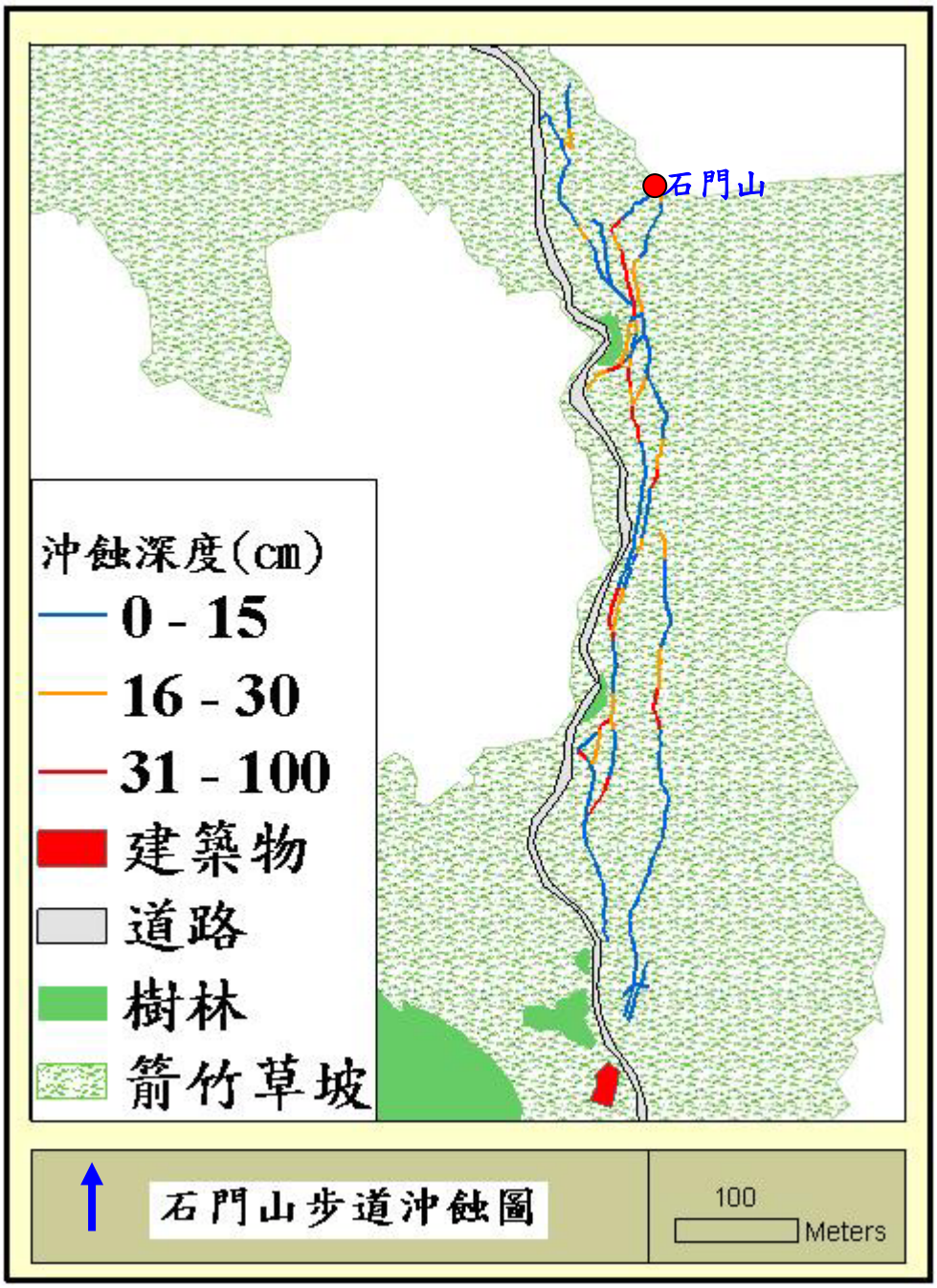


圖 51　石門山步道沖蝕深度分布情況。石門山步道在合歡群峰中屬沖蝕中等的步道。

5. 結論與建議

本研究所得出的結論包括合歡山步道土壤沖蝕的情況、主要影響因素以及支線的沖蝕情況等。之後對防治合歡山步道土壤沖蝕提出建議。

5.1 結論

5.1.1 合歡群峰步道的沖蝕情況

合歡群峰主線步道中，沖蝕深度最嚴重的是東峰合歡山莊線與東峰松雪樓線這兩條步道。沖蝕深度中等的是北峰主線、北峰支線、主峰武嶺線與石門山這三條步道。沖蝕深度最輕微的則是主峰昆陽線步道。

5.1.2 影響步道土壤沖蝕的因素

影響沖蝕深度的因素為步道坡度、坡長與施工遺痕，邊坡坡度與坡向對沖蝕深度並沒有顯著的影響。

5.1.3 支線步道的沖蝕情況

東峰合歡山莊線、東峰松雪樓線與石門山支線步道沖蝕深度皆顯著淺於主線步道。在坡度方面，除了石門山步道主線與支線沒有顯著差異之外，其餘兩條步道的支線坡度皆比主線還緩。寬度方面，三條步道的主線步道皆寬於支線步道。

5.1.4 主成份分析的結果

將最深深度、坡度、坡向、邊坡坡度與有無施工遺痕五個項目進行主成份分析後，主成份一「坡度」可以解釋原始資料 31.6%的變異，主成份二「有無施工遺痕」則可以解釋 24.3%的變異。

5.2 建議

5.2.1 加強水土保持措施

影響合歡山步道土壤沖蝕的地形特性主要是步道坡度與坡長。因此合歡群峰步道沖蝕嚴重(沖蝕深度超過 30cm)的路段，坡度均相當大，適當的水土保持的措施(總長度約為 2600m)可以避免沖蝕進一步的劣化。步道路面的改善，可以降低遊客因沖蝕嚴重而自行以繞道、減少支線步道的增加與減緩步道寬度的擴張。

5.2.2 暫時封閉部分步道

北峰支線與東峰松雪樓線兩條步道雖屬沖蝕情況嚴重的路線，但兩條步道遊客量均不多。遊客經由東峰合歡山莊線與北峰主線步道也可以登上東峰跟北峰。所以暫時封閉東峰松雪樓線與北峰支線這兩條步道並不會對遊客攀爬東峰與北峰造成影響。在遊客量不多的這兩條步道在沖蝕嚴重的地方或可考慮暫時封閉這兩條步道並以水土保持工作進行復舊。

5.2.3 設置排水設施

坡長因素也是影響沖蝕深度的因素，所以在坡長較長的步道上設置排水或分水設施等裝置，應可降低因步道坡長太長所導致較下段步道土壤沖蝕嚴重的情況發生。

6. 引用文獻

交通部觀光局，(2000~2004)，中華民國觀光年報，台北。

李瑞宗(1999)，太魯閣國家公園合歡聯絡古道歷史沿革與景觀資源之研究，內政部營建署太魯閣國家公園管理處合作研究計畫成果報告，花蓮。

林茂耀編著(2005)，走進太魯閣—合歡山步道篇，內政部營建署太魯閣國家公園管理處，花蓮。

林晏州(2003)，玉山國家公園步道遊憩承載量及經營管理策略之研究，國家公園學報，13(2):27-48。

林傑斌、陳湘、劉明德(2002)，SPSS11統計分析實務設計寶典，博碩文化股份有限公司，台北。

吳孟娟(2002)，步道衝擊預測模式與其遊憩容許量評定之研究，國立台灣大學園藝學研究所碩士論文。

吳孟娟、林晏州(2002)，健行步道遊憩容許量之研究，國家公園學報，12(2):125-140。

洪怡萍(2003)，合歡山地區步道衝擊及其影響因子之研究，東海大學景觀研究所碩士論文。

唐麗英、王春和(2002)，Statistica 與基礎統計分析，滄海書局，台中。

陳章波(2002)，合歡山區生態旅遊資源、活動模式及區域之系統規劃，內政部營建署太魯閣國家公園管理處委託研究計畫成果報告，花蓮。

楊南郡(1989)，太魯閣國家公園合歡古道西線調查與步道規劃，內政部營建署太魯閣國家公園管理處委託研究計畫成果報告，花蓮。

張仲民編著(1988)，普通土壤學，茂昌圖書有限公司，台北。

蔡如藩編著(1994)，水土保持學，中央圖書出版社，台北。

劉吉川(2004)，北大武山國家步道之土壤踐踏監測，生態旅遊學術論文發表會，台北。

劉儒淵、黃英塗(1989)，遊樂活動對溪頭森林遊樂區環境衝擊之研究，台大實驗林研究報告，3(2):33-51。

劉儒淵、曾家琳(2003)，合歡山區步道衝擊之研究，台大實驗林研究報告，17(3)：141-151。

劉儒淵(1992)，遊客踐踏對塔塔加地區植群衝擊之研究，台大實驗林研究報告，

6(4):33-78。

劉儒淵(1993a)，遊憩活動對八通關地區植群衝擊之研究，台大實驗林研究報告，7(1):1-32。

劉儒淵(1993b)，踐踏對玉山步道沿線高山植群衝擊之研究，台大實驗林研究報告，7(3):53-72。

劉儒淵(1995)，塔塔加地區步道土壤沖蝕及其監測之研究，台大實驗林研究報告，9(3):1-19。

劉儒淵(2004)，合歡山區登山步道土壤沖蝕之研究，國家公園學報 14(1)：55-73。

顏家芝(2004)，太魯閣國家公園合歡山地區生態遊憩環境衝擊之研究與遊客調查分析，內政部營建署太魯閣國家公園管理處合作研究計畫成果報告，花蓮。

Bayfield, N. (1971) A simple method for detecting variations in walker pressure laterally across paths. Journal of Applied Ecology, **8**, 533-536.

Bayfield, N. (1973) Use and deterioration of some Scottish hill paths. Journal of Applied Ecology, **10**, 635-644.

Bratton, S.P., M.G. Hicker, and J.H. Graves. (1979) Trail erosion patterns in Great Smoky Mountains National Park. Environmental Management, **3**, 431-445.

Coleman, R. (1981) Footpath erosion in the English Lake District. Applied Geography, **1**,121-131.

Cole, D. N. (1981) Vegetational changes associated with recreational use and fire supression in the Eagle Cap Wilderness, Oregon: Some management implications. Biological Conservation, **20**,247-270.

Cole, D. N. (1991) Changes on trails in the Selway-Bitterroot Wilderness, Montana,1978-89. USDA Forest Service, Montana.

Cole, D. N. and J. L. Marion (1986) Wilderness campsite impacts: change over time. Proceedings-National Wilderness Research Conference: Current Research, Utah.

Dale, D. and T. Weaver (1974) Trampling effects on vegetation of the trail corridors of north Rocky Mountain forests. Journal of Applied Ecology ,**11**, 767-772.

Hammitt, W. E. and D. N. Cole (1998) Wildland recreation:Ecology and management. John Wiley& Sons, Inc.N.Y.

Jubenville, A. and K. O'Sullivan (1987) Relationship of vegetation type and slope gradient to trail erosion in Interior Alaska. Journal of Soil and Water Conservation ,**42**, 450-452.

Leung, Y. F. and J. L. Marion (1995) A survey of campsite conditions in eleven

wilderness areas of the Jefferson National Forest. USDI National Biological Service Report, Virginia Tech Cooperative Park Studies Unit, Virginia Tech University, Blacksburg, VA.

Leung, Y. L. and J. L Marion (1999) The influence of trampling interval on the accuracy of trail impact assessment. Landscape and Urban Planning, **43**, 167-179.

Liddle, M. J. (1997) Soil erosion. *Recreation ecology: the ecological impact of outdoor recreation and ecotourism* ,pp305-339.Chapman & Hall.

Marion, J. L. (1984) Ecological changes resulting from recreational use: A study of backcountry campsites in the boundary water canoe area wilderness, Minnesota. (doctoral dissertation, University of Minnesota).

Stewart, D. P. C. and K. C. Cameron (1992) Effect of trampling on the soils of the St. James Walkway, New Zealand. Soil Use and Management ,**8**,30-36.

Summer, R. M. (1986) Geomorphic impacts of horse traffic on montane landforms. Journal of Soil and Water Conservation, **41**, 126-128.

Tinsley, B. E. and E. B. Fish(1985). Evaluation of trail erosion in Guadalupe Mountains National Park, Texas. Landscape Planning , **12**, 29-47.

Wagar, J. A. (1975) Recreation insights from Europe. Journal of Forestry ,**73**, 353-357.

Weave, T. and D. Dale. (1978) Trampling effects of hiker, motorcycles and horses in meadows and forests. The Journal of Applied Ecology, **15**,451-457.

Yoda, A. and T. Watanabe (2000) Erosion of mountain hiking trail over a seven-year period in Daisetsuzan National Park, Central Hokkaido, Japan. *Wilderness Ecosystems, Threats, and Management.* Wilderness Science in a Time of Change Conference, Montana.

附錄一步道遊客人數調查

9 月 4、5 號兩日遊客人數之問卷與實測值。

	石門	尖山	東峰	北峰	主峰
9/4(六)問卷	10	8	15	45	0
9/4(六)實測			80	97	
誤差倍數			5.3 倍	2.2 倍	
9/5(日)問卷	50	0	39	0	31
9/5(日)實測			82	21	
誤差倍數			2.1 倍	無法計算	
總問卷人數	60	8	54	45	31
總實際人數			162	118	
總誤差倍數			3.0 倍	2.6 倍	

10 月 2、3 號兩日遊客人數之問卷與實測值。

	石門	尖山	東峰	北峰	主峰
10/2(六)問卷	0	8	69	26	59
10/2(六)實測			133	152	
誤差倍數			1.9 倍	5.8 倍	
10/3(日)問卷	60	15	72	54	1
10/3(日)實測			158	74	
誤差倍數			2.2 倍	1.4 倍	
總問卷人數	60	23	141	80	60
總實際人數			291	226	
總誤差倍數			2.1 倍	2.8 倍	

10 月 16、17 號兩日遊客人數之問卷與實測值。

	石門	尖山	東峰	北峰	主峰
10/16(六)問卷	14	0	80	89	64
10/16(六)實測			236	246	
誤差倍數			3.0 倍	2.8 倍	
10/17(日)問卷	67	0	67	36	67
10/17(日)實測			300	134	
誤差倍數			4.5 倍	3.7 倍	
總問卷人數	81	0	147	125	131
總實際人數			536	380	
總誤差倍數			3.6 倍	3.0 倍	