

9614

雪霸國家公園步道之土壤侵蝕監測
—以雪山東線、四秀線及大霸線為例

受委託者：中華民國國家公園學會

研究主持人：曾碩文

協同主持人：李彥樑

內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告

中華民國九十七年十二月

目錄

圖目錄	.....	II
表目錄	.....	III
摘要	.....	IV
第一章 緒論	.....	1
第一節 計畫緣起與研究目的	.....	1
第二節 研究範圍與內容	.....	2
壹、研究範圍	.....	2
貳、研究內容	.....	7
第二章 調查方法與調查流程	.....	8
第一節 相關調查方法	.....	9
壹、步道衝擊之研究方法	.....	9
貳、步道衝擊監測技術	.....	9
第二節 本計畫調查方法	.....	9
壹、田野調查工作	.....	9
第三章 成果展現-雪山線	.....	20
第一節 環境概況	.....	20
第二節 土壤侵蝕量之調查結果	.....	20
第四章 成果展現-四秀線	.....	29
第一節 現況描述	.....	29
第二節 土壤侵蝕量之調查結果	.....	29
第五章 成果展現-大霸線	.....	35
第一節 現況描述	.....	35
第二節 土壤侵蝕量之調查結果	.....	35
第六章 建議事項	.....	40
參考書目	.....	42

圖目錄

圖 1	調查範圍圖—雪山東線	4
圖 2	調查範圍圖—武陵四秀線	5
圖 3	調查範圍圖—大霸尖山線	6
圖 4	Cole 的步道斷面積測量方式	10
圖 5	數位攝影解析流程圖	11
圖 6	攝影取樣方式 A	13
圖 7	攝影取樣方式 B	13
圖 8	初期基準點的製作	14
圖 9	基準點的製作	14
圖 10	三角網的製作與調整	15
圖 11	DTM 的製作與調整	16
圖 12	基準點的選擇	17
圖 13	座標系的統一	18
圖 14	侵蝕量計算程序	19
圖 15	登山客眾多的雪山步道	20
圖 16	雪東線(0K~2K)步道現況 A	21
圖 17	雪東線(0K~2K)步道現況 B	21
圖 18	雪東線侵蝕量現況圖(0K~2K)	22
圖 19	雪東線步道侵蝕現況(2K~4K)	23
圖 20	雪東線侵蝕量現況圖(2K~4K)	24
圖 21	雪東線步道侵蝕現況(4K~7.1K)	25
圖 22	雪東線侵蝕量現況圖(4K~7.1K)	26
圖 23	雪東線現況圖(7.1K~10.9K)	27
圖 24	雪東線侵蝕量現況圖(7.1K~10.9K)	28
圖 25	桃山步道現況	29
圖 26	四秀桃山線侵蝕量現況圖	30
圖 27	四秀池有山線侵蝕量現況圖	31
圖 28	新達山屋後方草坡侵蝕現況	32
圖 29	品田山-桃山土壤侵蝕現況圖	33
圖 30	桃山-喀拉葉山土壤侵蝕現況圖	34

圖 31	大霸線(0K~4K)步道現況 A	.....	36
圖 32	大霸線(0K~4K)步道現況 B	.....	36
圖 33	大霸線侵蝕量現況圖(0K~4K)	.....	36
圖 34	大霸線步道侵蝕量現況圖(4K~8.2K)	.....	37
圖 35	大霸線現況圖(8.2K~10.8K)	.....	38
圖 36	大霸線步道侵蝕現況圖(8.2K~10.8K)	.....	39
圖 37	日本大雪山登山步道分級參考資料	.....	42
圖 38	日本大雪山登山步道分級圖	.....	43
圖 39	網站上的登山步道維護建議宣導	.....	44
圖 40	日本的登山步道侵蝕宣導海報	.....	44

表目錄

表 1	建議優先處理路段	41
-----	----------	-------	----

摘要

關鍵詞：土壤侵蝕、步道截面、Kuraves

一、研究緣起

隨著周休二日政策的實施，國人對於戶外活動需求日益增加，尤其又以景色優美且自然景觀豐富的山區為主，前往山區進行戶外休閒活動已經越來越普遍。

而戶外活動盛行的國外，登山步道的土壤侵蝕幾乎是每個山岳型的國立公園管理上都會面對的問題。登山步道的侵蝕這一類遊憩生態學領域在國內外已累積相當多成果，但雪霸國家公園境內尚未有相關的調查。

雪霸國家公園管理處在多處步道設立排水設施、木棧道來減少侵蝕，然而卻一直缺乏土壤侵蝕的基礎資料來供作施工參考及施工後的成效檢定。因此希望透過步道土壤侵蝕的監測，將有助於步道的經營與管理，提升國家公園內的遊憩品質。

本調查計畫之目的在於建立步道沿線所設立樣點的土壤侵蝕基礎資料，並建立土壤侵蝕斷面積之 3D 影像，供作後續研究參考。亦可供作推展生態旅遊，及從事高山生態系基礎研究與保育上極為重要的參考。

二、研究方法及過程

本調查將長期在同樣的樣點上蒐集資料，以第一次蒐集的土壤侵蝕斷面資料為控制組資料，在野外資料收集作業方面，將在步道選定固定間隔設立一樣點，透過攝影的方式紀錄步道侵蝕狀況，室內作業則是利用 Kuraves-K 軟體來合成模擬步道侵蝕 3D 影像，完整呈現及清楚顯示土壤侵蝕狀況。

三、調查結果

本調查主要為計算步道土壤侵蝕量，利用攝影的方式來測量樣點的截面積。本調查區域為雪霸國家公園武陵地區的雪山東線及武陵四秀線。調查時間為2007年及2008年。

雪山東線步道海拔位於2000m~3866m，全長為10.9km，平均坡度為14，寬度在1.11m~3.78m之間，平均每單位（五公分）寬度侵蝕為0.35cm。

武陵四秀步道海拔高度位於1700m~3500m之間，主線從品田山至喀拉葉山共8.9km，聯絡線A池有山登山口至三叉營地為3.5km，聯絡線B桃山登山口至桃山為4.5km，平均坡度分別為，11，15，15，寬度大約在0.8m~2.2m，平均每單位寬度侵蝕為（五公分）0.25cm。

大霸尖山線從登山口起至大霸尖山步道高度分布約1250m至3400m。每隔200公尺設置一個樣點，步道全段共設置54個樣點。平均坡度為11，步道寬度在1.84m~2.94m之間，平均每單位寬度侵蝕為0.40cm。

四、主要建議事項

目前調查僅建立侵蝕的基礎資料，為了能更了解長期的影響與衝擊，建議可利用目前固定觀測樣點，繼續進行長期且定期的調查分析，來掌握步道環境的變化，並能實施適當的防治對策。

四秀主線步道0.7K至新達山屋1.6K為目前土壤侵蝕最為嚴重的地區，建議可優先設置排水設施，減緩土石流失。

ABSTRACT

Erosion of Mountain Hiking Trail in Shei-pa National Park, Taiwan

This survey was at the three main trails of Shei-pa National park, aiming to explore the impact an erosion of two hiking trails-SheyShan course, Shisho course and Daba course. Morning was carried out from 2007 to 2008. This survey was carried out by digital photogrammetry to measure the amount of soil erosion.

Some rudimentary conclusions are as follows:

According to data , results indicate that the average difference of trail transect for 1cm width is 0.35cm in Sheyshan course, 0.25cm in Shisho course and 0.40cm in Daba course.

The most impartment serious is at 0.7K to 1.6K in Shisho course and 5K to 6K in Daba course.

Some suggestions were offered to the authorities concerned to minimize the impact of trail erosion in the management.

Keywords: mountain trail, soil erosion, digital photogrammetry

第一章 緒論

第一節 計畫緣起與研究目的

近年來國人對於戶外活動需求日益增加，尤其又以景色優美且自然景觀豐富的山區為主，因此前往鄰近山區進行戶外休閒活動已經越來越普遍。

國家公園、國家風景遊樂區與森林遊樂區因此常成民眾的首選。其中步道是民眾遊憩活動中最常被使用的設施，透過步道的連結才能使得民眾親近大自然，進行多樣化的活動與體驗，例如賞鳥、環境教育等等。

然而線形的步道引領遊客深入原野地區，雖然遊客實際活動範圍大都侷限在步道及重要的節點上，但步道的長度及其維護遠超出經營單位所能負擔。另外，步道本體之惡化在初期階段是相當細微不易發覺，加上降雨及各種環境因子之作用，日積月累逐漸加劇。若經營管理單位未能及時加以處置，一直到視覺上明顯呈現惡化時，通常已造成難以恢復的傷害。定期步道衝擊監測即是提供經營者一個工具偵測廣大範圍內之步道長時的變化，而能及時掌握惡化的類型與嚴重性，及其時空上的分佈。（劉吉川，2007）

所有的戶外遊憩經營者致力於兩個主要功能：資源保護與遊憩機會之提供。遊客及其作為所造成生態資源與社會性的衝擊，愈來愈受到重視。步道衝擊之層面至少應涵蓋植被、土壤、野生動植物之干擾、外來種的引入、社會心理層面的衝擊。雖然遊客在步道上行進所造成的衝擊，如地表植被喪失、土壤流失、步道變寬、根系受損等，只限定於在步道上或兩側一定之範圍，但是這種資源衝擊的密集化（intensification）和擴展（proliferation）會對景觀和生態系產生嚴重的威脅（Cole & Landres, 1996）。

然而遊客行進於步道時，不免對自然環境造成某種程度的改變，甚至破壞。因此如何提供有品質的休閒活動與兼顧自然資源的保護一直是步道經營管理的重點。所以在自然資源永續發展與遊憩發展共存的前提之下，我們有必要去了解遊客在步道上的行為對自然環境生態造成何種程度與何種型態的衝擊。

在野外登山活動盛行的國外，登山步道的土壤侵蝕幾乎是每個山岳型的國立公園管理上都會面對的問題。也因此遊憩生態學領域在國外已行之有年，其中步道土壤與步道兩側植被衝擊的研究已累積相當多的經驗，國內在這方面亦已累積不少相關研究，但雪霸國家公園境內尚未有相關的調查。這一類遊憩生態學主要著眼於過度且密集的遊憩使用，步道與營地是常被關注的焦點。登山步道的土壤侵蝕可說是很清楚的反應人類在大自然中的行為所造成的影響，本調查希望能夠透過長期監測，來發現日益增多的登山人口是否對登山步道造成衝擊，而衝擊是否隨之擴大。

登山步道的侵蝕只是人類對大自然造成的傷害之一，但是卻也是顯而易見，除了運用良好的排水設施、木棧道來減少侵蝕之外，在登山活動越來越興盛的台灣，依據國外相關的研究指出，土壤侵蝕只會越來越加劇。

雪霸國家公園管理處已在多處步道已設立排水設施、木棧道來減少侵蝕，然而卻一直缺乏土壤侵蝕的基礎資料來供作施工參考及施工後的成效檢定。因此透過步道土壤侵蝕的監測，將有助於步道的經營與管理，提升國家公園內的遊憩品質。

本調查計畫之目的在於建立步道沿線所設立樣點之土壤侵蝕基礎資料，並建立土壤侵蝕斷面積之 3D 影像，供作後續研究參考。亦可供作推展生態旅遊，及從事高山生態系基礎研究與保育上極為重要的參考。

第二節 研究範圍與內容

壹、研究範圍

本研究調查範圍選定雪霸國家公園內的主要登山步道，雪山東線，四秀線及大霸尖山線。

雪山為五岳之一，也是台灣第二高峰，是許多山友必登之名山，因此長久以來都是台灣山區很受注目的明星山區。上雪山的最大眾化路線為雪山東峰線，它也是台灣登山愛好者的熱門登山路線，所以攀登的山友絡繹不絕。在入山證開放免高山嚮導陪同之政策後，與週休二日政策的推動下，攀登的遊客數量有增無減，無形之中對環境造成相當大的負荷，因此有必要對步道進行步道踐踏後土壤侵蝕的長期監測。

雪山東線調查範圍由雪山登山口至雪山山頂，共 10.9 公里。調查範圍的海拔為 1700~3886 公尺。沿線包含二葉松林、次生林和原始針闊葉林等生態系。

武陵四秀線由於與平地距離甚短，四秀均名列百岳，故吸引許多山友前往攀登，腳程較快者均採取單攻，或是兩天往返之行程。也使得四秀線也面臨許多壓力。武陵四秀線調查範圍包含自池有山登山口至三叉營地 3.5 公里、桃山登山口至桃山山頂 4.5 公里，以及品田山至喀拉葉山山頂之 8.9 公里。

大霸尖山線亦為近年來國人甚愛攀登之熱門路線。由於目前大霸尖山地區仍為管制地區，尚未對外開放，因此對此地區進行監測，可以蒐集到精準的土壤自然侵蝕資料，對將來本區域開放後，可以做更有效的管理。大霸尖山線調查範圍自大霸尖山登山口至大霸尖山霸基為止。

圖 2 調查範圍圖—武陵四秀線

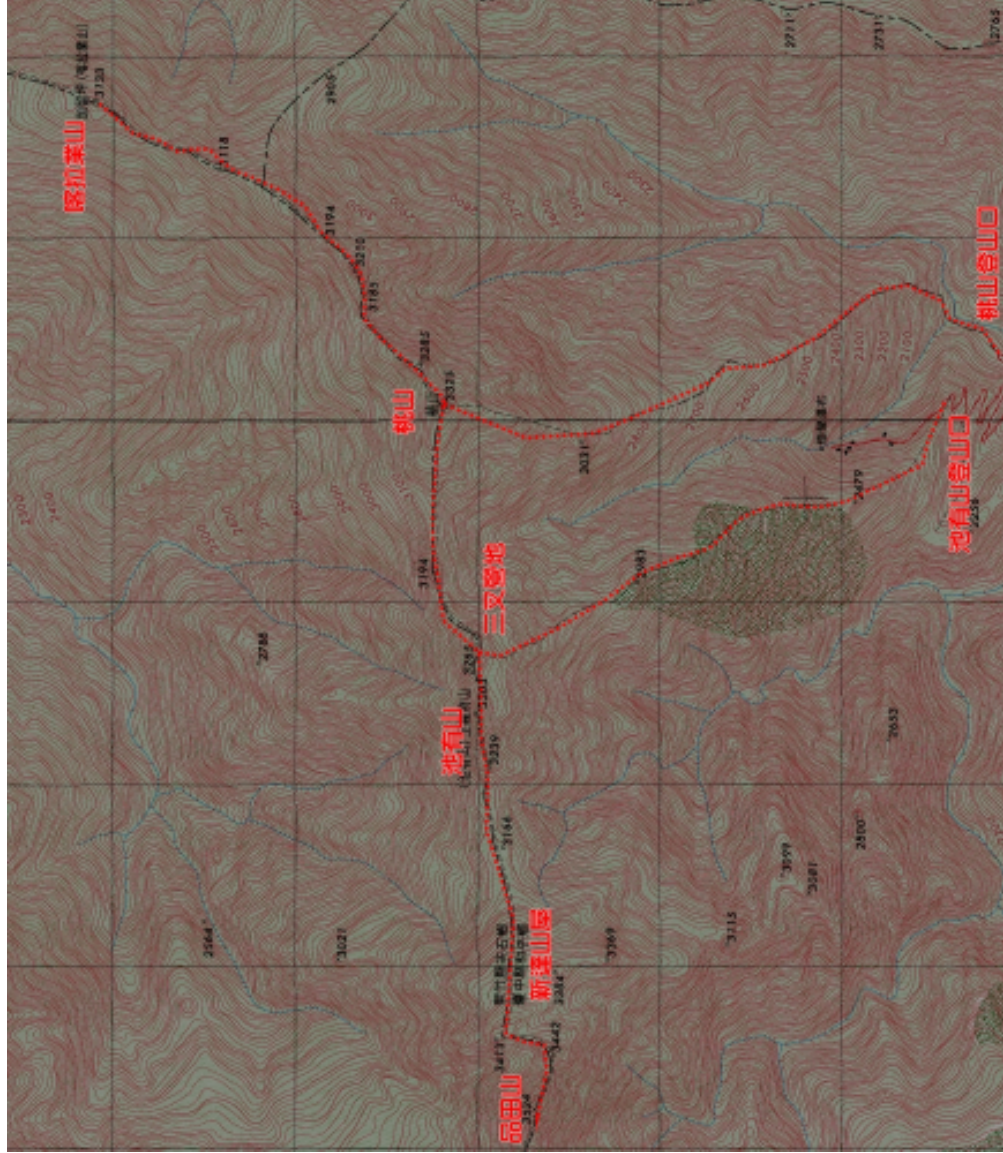
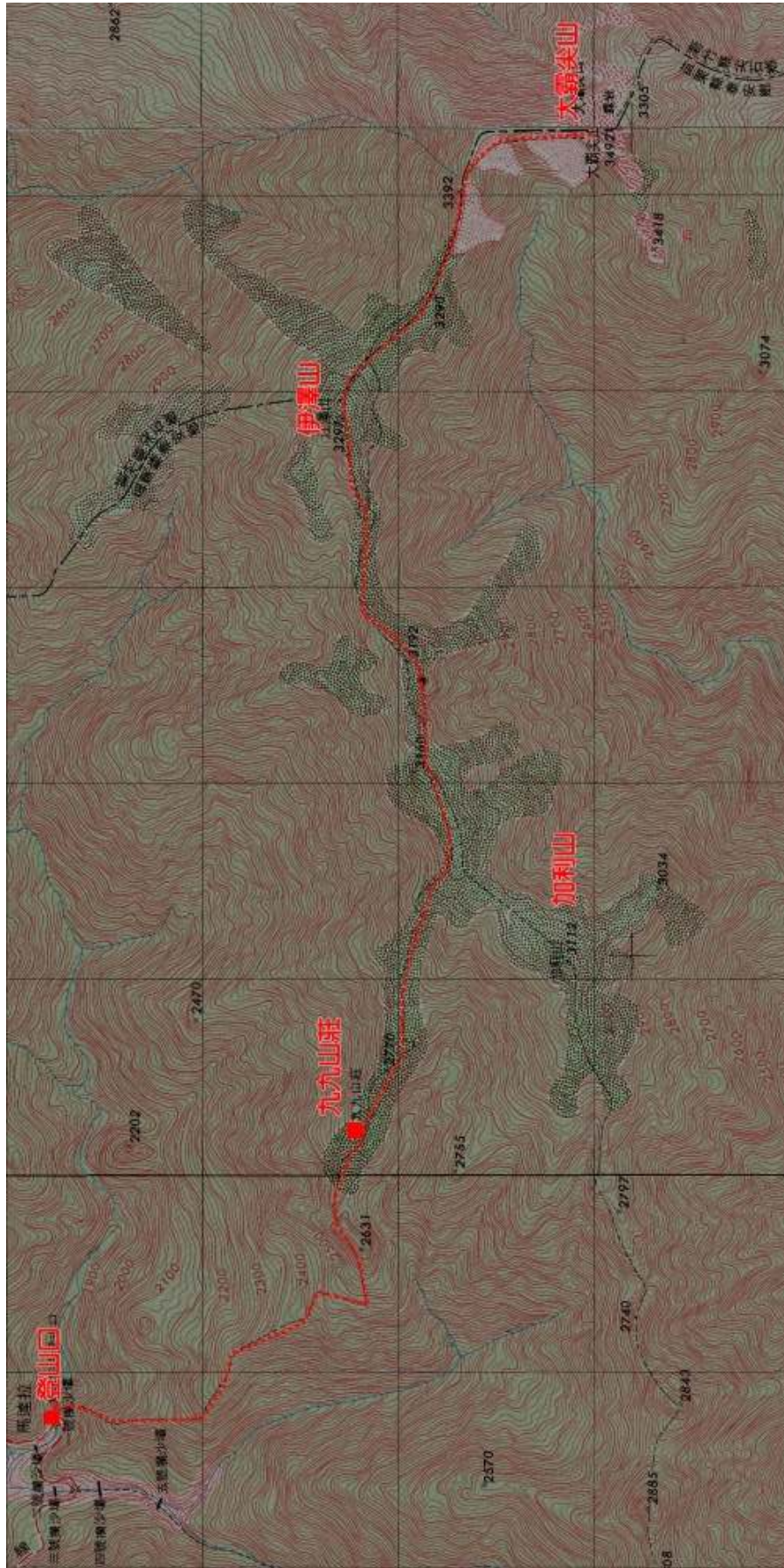


圖 3 調查範圍圖—大霸尖山山線



貳、研究內容

本調查計劃將重心放在步道土壤侵蝕的監測，因此不討論其它遊憩衝擊現象。本調查計畫主要內容為：

- 一、調查步道土壤侵蝕之現況。
- 二、建立步道土壤侵蝕現況之基礎資料。
- 三、進行與前兩年度資料之交叉比對。

本調查將持續性定期紀錄步道上所設立之樣點，土壤流失及踐踏的狀況，以作為步道經營管理措施擬定之參考。

第二章 調查方法與調查流程

本年度之調查主要在於雪霸國家公園主要的三條登山步道土壤侵蝕之基礎資料收集及分析，希望透過長期監測來了解登山步道上土壤衝擊的範圍是否隨使用者的增加而擴大，是否受到地形與氣候的影響。調查結果可成為經營管理上重要參考之一，用以制定管理策略。而依據監測衝擊程度，則可作為管理策略的參考。

第一節 相關調查方法

壹、步道衝擊之研究方法

國內外有關遊憩活動對步道沿線生態衝擊之研究，常以下列三種方式進行 1. 既成事實之分析(after-the-fact analysis)；2. 對改變現象作長期監測(monitoring of change through time)及 3. 模擬試驗(simulation experiment)(劉儒淵 1989)。以上三種遊憩衝擊研究法，均以實體為調查對象，包括天然植群、土壤、野生動物、空氣及水資源等，觀察樣區遭受衝擊的程度，加以對照比較。在國內已開放之戶外遊憩區，如欲在短期內對各步道之遊憩衝擊效有所瞭解，並施行各項防治措施，可採用「既成事實之分析」方法進行調查研究。但為能達到環境品質與遊憩品質兼顧，有效掌控遊憩衝擊程度，則儘可能在人力及經費許可下，進行定期之衝擊監測作業。

貳、步道衝擊監測技術

戶外遊憩區的衝擊經營實務上，常被用來作為評估步道環境改變的監測技術可概略的區分為三種類型，包括步道分段小樣本的重複測量(replicable measurements)、大尺度取樣的快速調查(rapid survey samples)，以及完整地審視步道狀況之普查技術(census techniques)等(Hammitt & Cole 1998)：

(一)重複測量：以系統或隨機抽樣設置若干永久樣點，定期且精確地觀測

步道變化之定量監測法，例如設立固定樁，連續觀測步道橫斷面積之改變，可探知土壤沖蝕或沈積情形等細微的變化(Cole 1983)。本調查即採用立體攝影來量測步道橫斷面積的技術，定期定點拍攝步道，作為研判步道沖蝕的依據。

(二)快速調查：步道沿線每間隔若干距離，選取數個樣區作快速調查的測量法。調查的介量包括步道寬度、路面凹陷深度、植被覆蓋度，或其他足以反應遊憩衝擊的步道狀況，由研究者或經營者視實際需要選擇 1~2 項進行調查，由於不設固定觀測樣點，調查工作較為簡便。

(三)普查技術：另一種步道監測技術則是針對整個步道系統進行普查。先設計一份清單，列出各種步道狀況之調查項目，如土壤沖蝕、凹陷、積水、泥潭、植被消失、樹根裸露、岩石露出、車輛輪溝等等，各項並分別訂有不同程度之分級。接著將所有步道加以分段(例如以 0.5 公里為一單元)，比照快速測量法之方式實地調查描述單元內各項步道情況之數目與等級，最後統計顯示全區步道各單項因子遭受衝擊之百分比(Cole 1983)。

前述幾種步道之調查監測方法各有其優缺點，經營者可視其經營目標、精密度的需求、人力與經費上之考量等不同，選擇適用之方法施行之(劉儒淵 1995)。此外在某些情況下，航空攝影(aerial photography)不失為有效而經濟的衝擊監測方式，只要沒有樹冠遮蔽，航空照片是監測遊憩用地劣化面積、數目與過程的良好方法。

第二節 本計畫調查方法

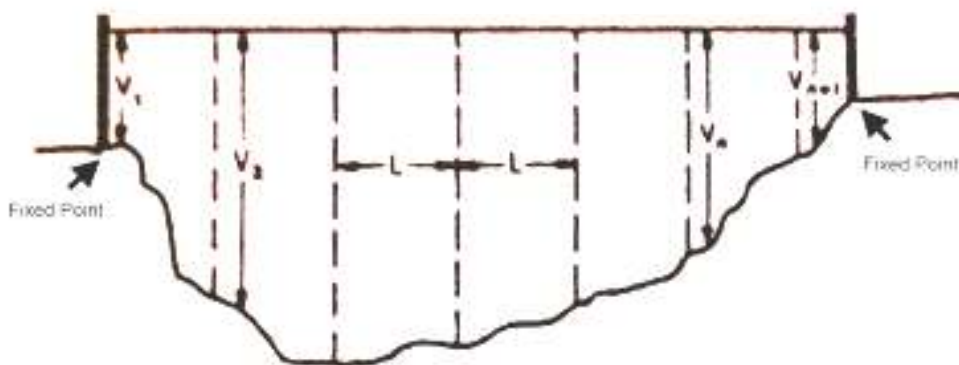
依前述相關調查方法之介紹，本調查將長期在同樣的樣點上蒐集資料，以第一次蒐集的土壤侵蝕斷面資料為控制組資料。在野外資料收集作業方面，將在步道選定調查範圍約每隔一百~兩百公尺設立一樣點，透過攝影的方式紀錄步道侵蝕狀況，室內作業則是利用 Kuraves 軟體來合成模擬步道侵蝕 3D 影像，以完整而清楚地呈現土壤侵蝕之狀況。

壹、田野調查工作

步道侵蝕量過去多以線與鉛錘來進行斷面積測量(圖 4)，以此推知土壤侵蝕量(Cole, 1983)，雖然這種方式作業簡便，卻無法測量侵蝕量體積。除此之外，為求測量上的精確，往往必須長時間在野外作業。Warner(1995)與 Warner

Kvaerner(1998)以照相測量的方式來縮短野外作業的時間。

圖 4 Cole 的步道斷面積測量方式



所謂的攝影測量，最為人所知的莫過於解析空中或地面拍得的照片，重現其實體模型並取得空間資料，以此來繪製地形圖。進行照相測量攝影時大多使用測量專用的高價相機，而在解析時也需要特殊技術的機器。不過若是採用市面販售的數位相機，就可以用較低的成本來進行資料解析。數位攝影測量目前在日本所使用的軟體，有 Kuraves-K（倉敷紡績株式會社），3D-MODE（株式會社三次元 Media），3DiVision（東京電機大學近津研究室）等。本研究以使用 Kuraves-K 來提來進行計測的作業。

（一）應用數位照相測量登山步道的三次元計測流程

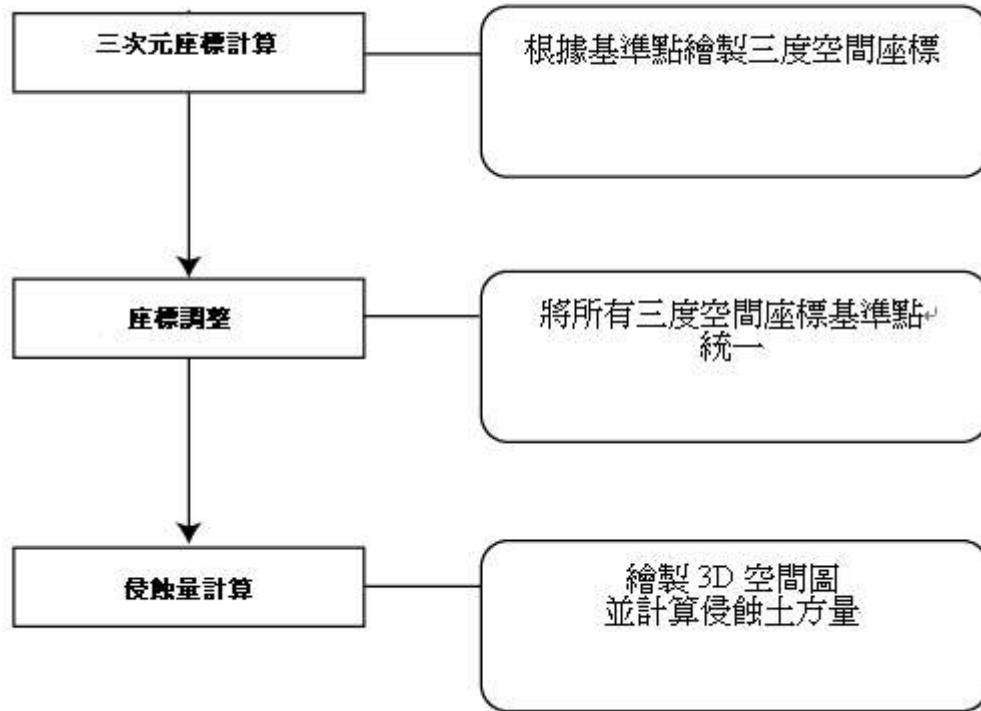
登山步道計測作業可分為圖像取得與圖像解析兩大部分。

在圖像取得的部分，首先選定所使用的機材，包括相機與鏡頭，並使用相機校正用紙，取得鏡頭的焦距與歪斜度的系數。接下來設定田野的樣點，決定拍照位置與照相枚數、基準尺、以及平面基準（根據 DTM¹的座標來決定），然後拍下登山步道變化前與變化後的情況。

¹ DTM: Digital Terrain Model

至於圖像解析的部分如圖 5 所示。

圖 5 數位攝影解析流程圖



將照相傳入電腦後，利用 Kuraves-K 進行三次元座標的計算，製作出 DTM，其概要程序如下：找出兩張照片同一位置的基準點，計算出拍照位置。應用 Kuraves-K 時，只要找出八個以上的基準點，即可算出拍照位置。計算完拍照位置後，藉由增加基準點來取得三次元的座標。依使用目的取得足夠的基準點後，輸入距離基準與平面基準，以調整座標系。不同日期（例如一年後）所拍得的照片也以同樣的方式作出 DTM。完成變化前後的 DTM 後，以變化前的 DTM 座標系為基準，據以統一變化後的 DTM 座標系。最後利用軟體的圖面化工具，將變化前後的 DTM 疊在一起，拉出斷面切線，計算侵蝕量。

(二) 各作業程序

1. 機材選定

首先準備好數位相機、鏡頭、三腳架、麥克筆。數位相機以 CCD 大（畫素數值高）的為佳，雖然倉敷紡績株式會社建議使用一百五十萬畫素，不過在考慮到有效畫素會降低的情況下，五百萬以上的畫素是必要的。鏡頭以 28mm 以上的廣角鏡頭為佳。由於歪斜度愈大精度愈低，因此須選擇歪斜度小的鏡頭，從這點來考量的話，單眼數位相機是較佳的選擇。本調查案所採用的單眼數位相機為

CANON 350D，約八百萬畫素。三腳架選高一點的為佳。麥克筆是用來點在樁的尖端上，便於日後在照片上尋找基準點。

2. 調查地點設定

先選定要調查的地點，在登山步道的兩側各打一個樁。樁條使用 L 型的鋁條。一張照片所收納的範圍約 2—3 公尺。兩次觀測期間隔超過一年時，樁位可能會因冬天冰雪積壓或其他因素產生變動，所以樁條要儘量打得深一點。

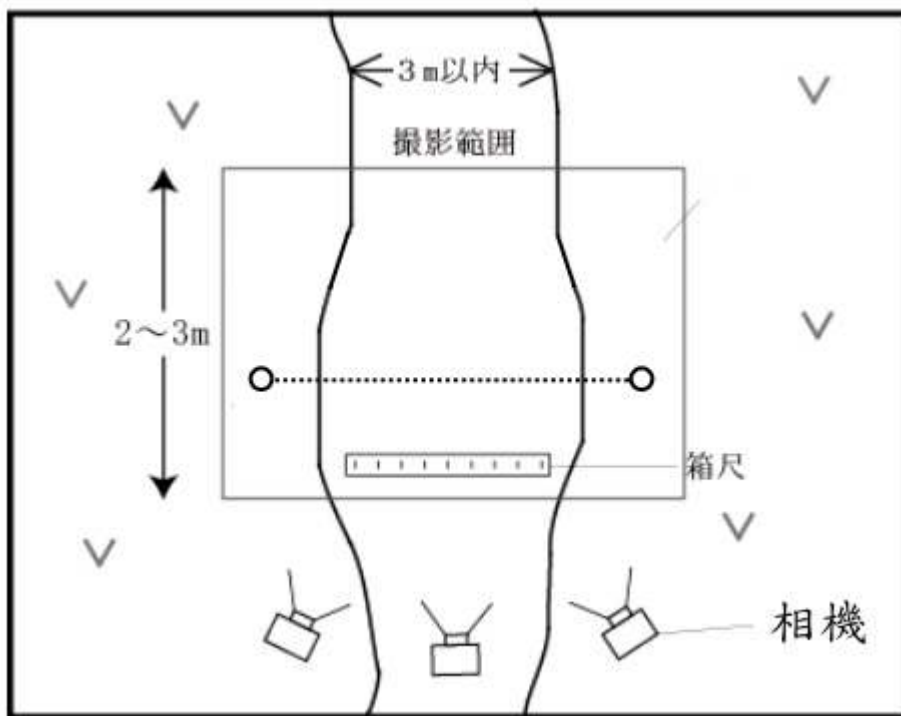
為求距離與平面基準，先將箱尺放在登山步道中央，利用水準器將之調整至水平狀態。拍照時必須小心不要讓箱尺影響到侵蝕量。為了解析時便於找點起見，將麥克筆放置四周。

3. 登山步道拍照

(1) 拍照程序

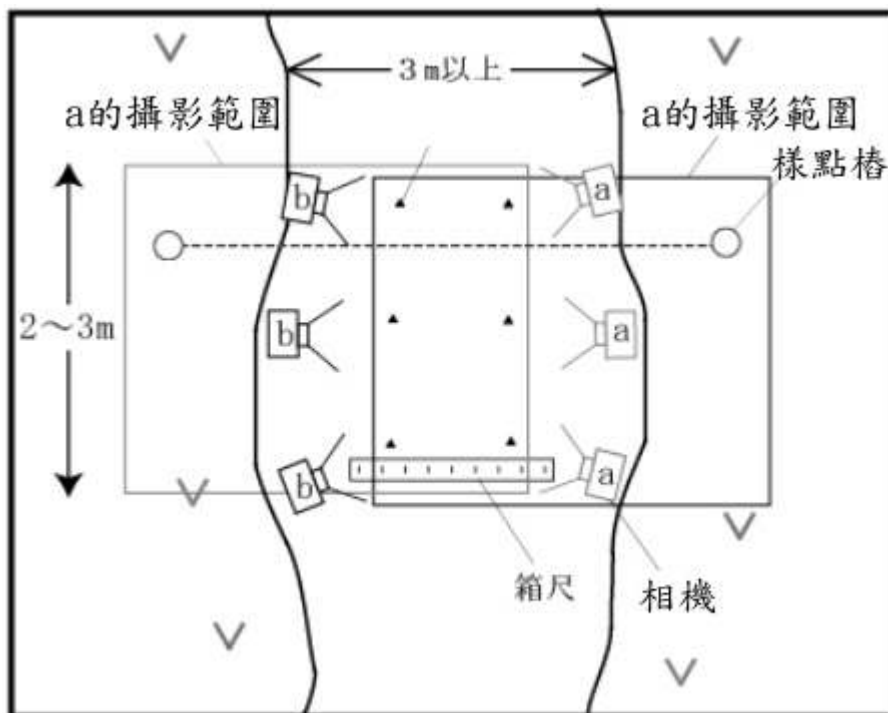
拍照依登山步道的規模與狀況大致分為三類。在寬度三公尺以下的登山步道，由於可從近距離拍攝樣點全貌(圖 6)，因此可直接面向登山步道行進方向拍照。而寬度三公尺以上的登山步道，由於無法將之放入一張照片內，因此採分割的方式拍照，例如圖 7 分為左側相片(相機位置 a1, a2, a3)與右側相片(相機位置 b1, b2, b3)。若是登山步道中央有島狀的土塊，則將登山步道分割為二拍攝。被分割的圖像須各別製作其 DTM，之後再將兩個 DTM 結合在一起。無論用任何方法拍照，為求保險起見，同一個方向最好照兩到三張。

圖 6 攝影取樣方式 A



(2)拍照時的注意事項

圖 7 攝影取樣方式 B



照相的基線長太長的話，會造成圖像解析的基準點作業上的困難，但是若是基線太短，三次元座標計算的誤差也會變大。在測量侵蝕量時，以拍照距離二

公尺，基線長 50—100 公分為基準較佳。

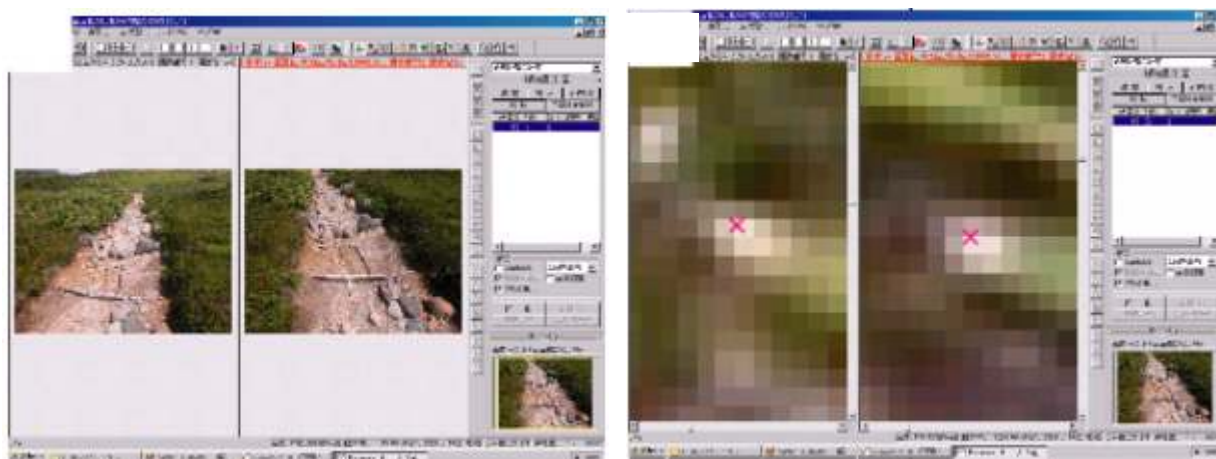
在拍照時也須避免畫質粗劣、搖晃、圖像過暗或過亮等問題。為減少失敗的可能性，最好微幅移動相機的位置，每個點取得十張以上的照片。

4. 三次元座標計算

(1) 初期基準點的製作與拍照位置的計算

三次元座標計算的程序如圖 8 所示。首先將兩張變化前的照片輸入電腦，利用 Kuraves-K 找出兩張照片對應的點（初期基準點），初期基準點可選定麥克筆的記號或是石頭的角度，初期基準點選得不正確或是空間配置偏移的話，就會降低拍照位置計算的精度。初期基準點應選八個以上以便計算拍照位置。

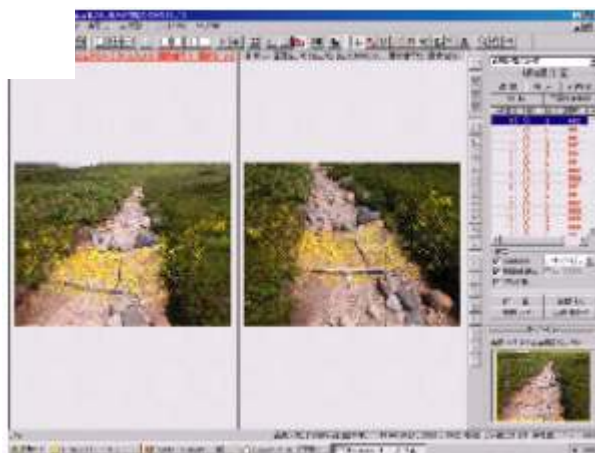
圖 8 初期基準點的製作



(2) 基準點的製作

接著增加基準點（圖 9），為了正確表現出登山步道的形狀，起伏小的登山步道約 300 個點，起伏大的登山步道則約需 500 個左右的點。

圖 9 基準點的製作



(3) 基準設定、面設定

基準設定分為距離設定與平面設定。距離設定乃是選定箱尺刻度上的兩個點，利用「點間基準長設定」來進行。平面設定則是在箱尺上選定三個點，利用「平面鉛直基準座標設定」進行。

至於面的設定，按了「三角網作成」之後就可以自動製作出三角網。若是作出的三角網無法正確展現出登山步道的形狀，則以刪除或追加三角網的方式來修正。完成了三角網的調整後，就可以得到 DTM (圖 10)。

圖 10 三角網的製作與調整

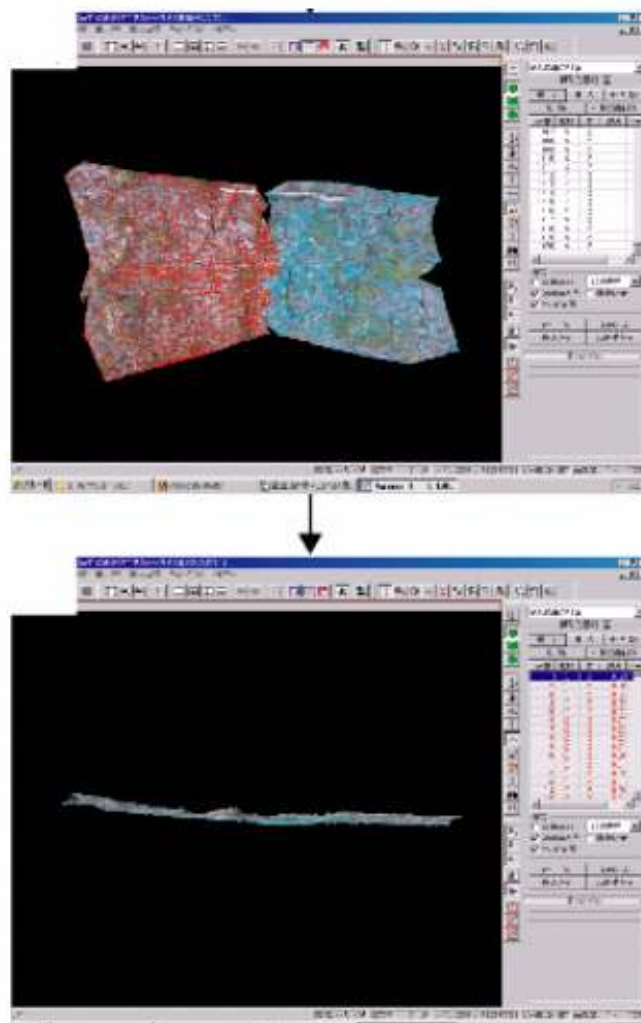


(4) DTM 的接合

無法在一個 DTM 內顯示的情況，就必須作 DTM 的接合。接合的方法乃是先找出兩個 DTM 中都存在的點，以其中一個 DTM 為基準，與另一個 DTM 組合在一起。

首先在 Kuraves-K 上同時開啟待接合的 DTM 檔案。在此的例子是指左側的 DTM 與右側的 DTM。找出兩個 DTM 共通點並作基準點，在此我們稱其為接合點，接合點必須要三個以上。麥克筆與箱尺的角等易於辨識的點是不錯的選擇。作完接合點後，從檔案選單中進行接合資料的輸入作業。如此一來，圖像的外側就會顯示出接合作業所作出的基準點。在這個階段只完成了 DTM 的接合，三角網仍是未接合狀態的。在此，必須削除重疊的三角網，並重新製作三角網。經由三次元鳥瞰圖確認三角網的接合作業後，就完成了新的 DTM (圖 11)。

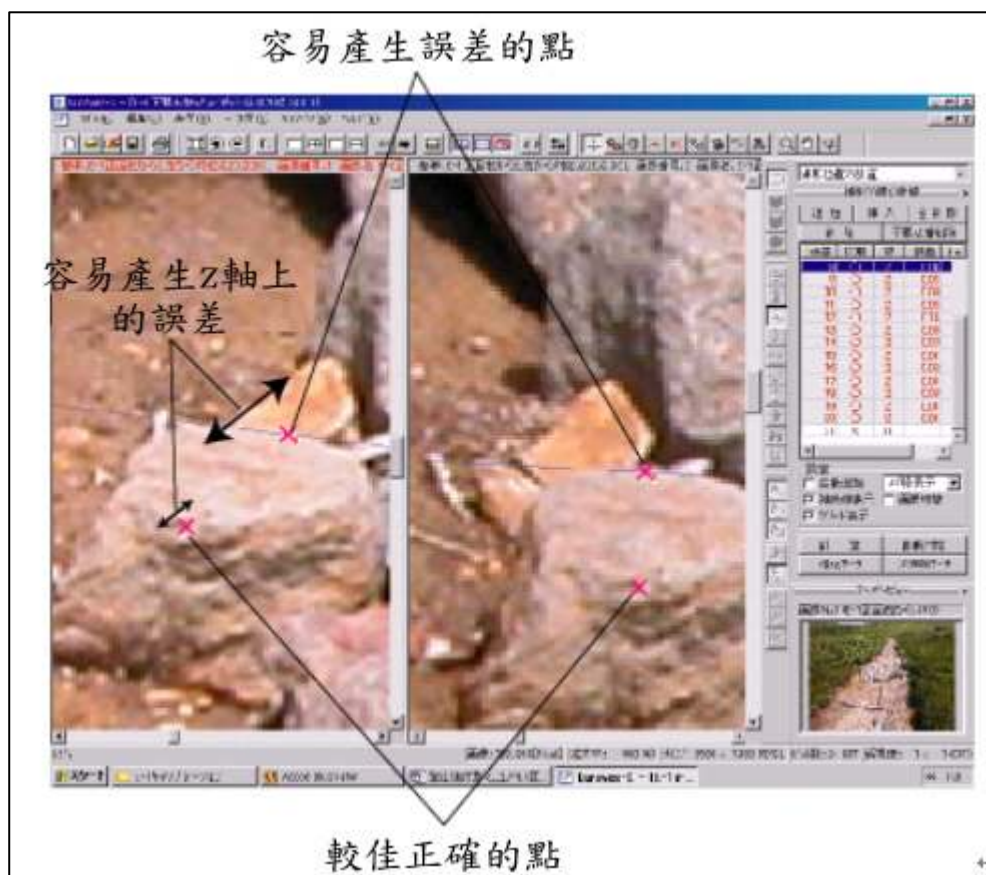
圖 11 DTM 的製作與調整



(5) 三次元座標計算時的注意事項

三次元座標計算時最重要的事莫過於找到八個以上的基準點，以提高拍照位置計算的精度。而為求基準點的正確性，在一開始基準點位置的選擇是很重要的。基準點的選擇必須涵蓋圖像的上下左右與遠近（從 3D 來看的話，必須涵蓋 x , y , z 軸三個不同向度）。拍攝時只要稍稍改變拍照角度，圖像就會有很大的不同。在圖像上看起來為同一點，實際上往往是有點距離的。因此最好倚賴麥克筆的記號之類明顯的點。基準點製作時還須注意儘量不要選擇圖像上過遠的點，以免產生的誤差。（圖 12）

圖 12 基準點的選擇



5. 三次元座標的統一

製作完變化前與變化後的DTM，將變化前後登山步道檔案並列於Kuraves-K上，在兩個DTM上選出四個基準點為不動點。所謂的不動點指的是就算經過時間的變化依舊不會變動的點。本調查選定的不動點為當初所打的樁以及通常不太會移動的大岩石。製作完不動點後，以變化前的DTM為基準，將其三次元座標情報輸出成CSV檔案。打開變化後的DTM檔案，並利用基準設定模式打開剛剛的CSV檔案，經由不動點的指定，將變化前與變化後的登山步道調整成同一個座標系(圖13)。

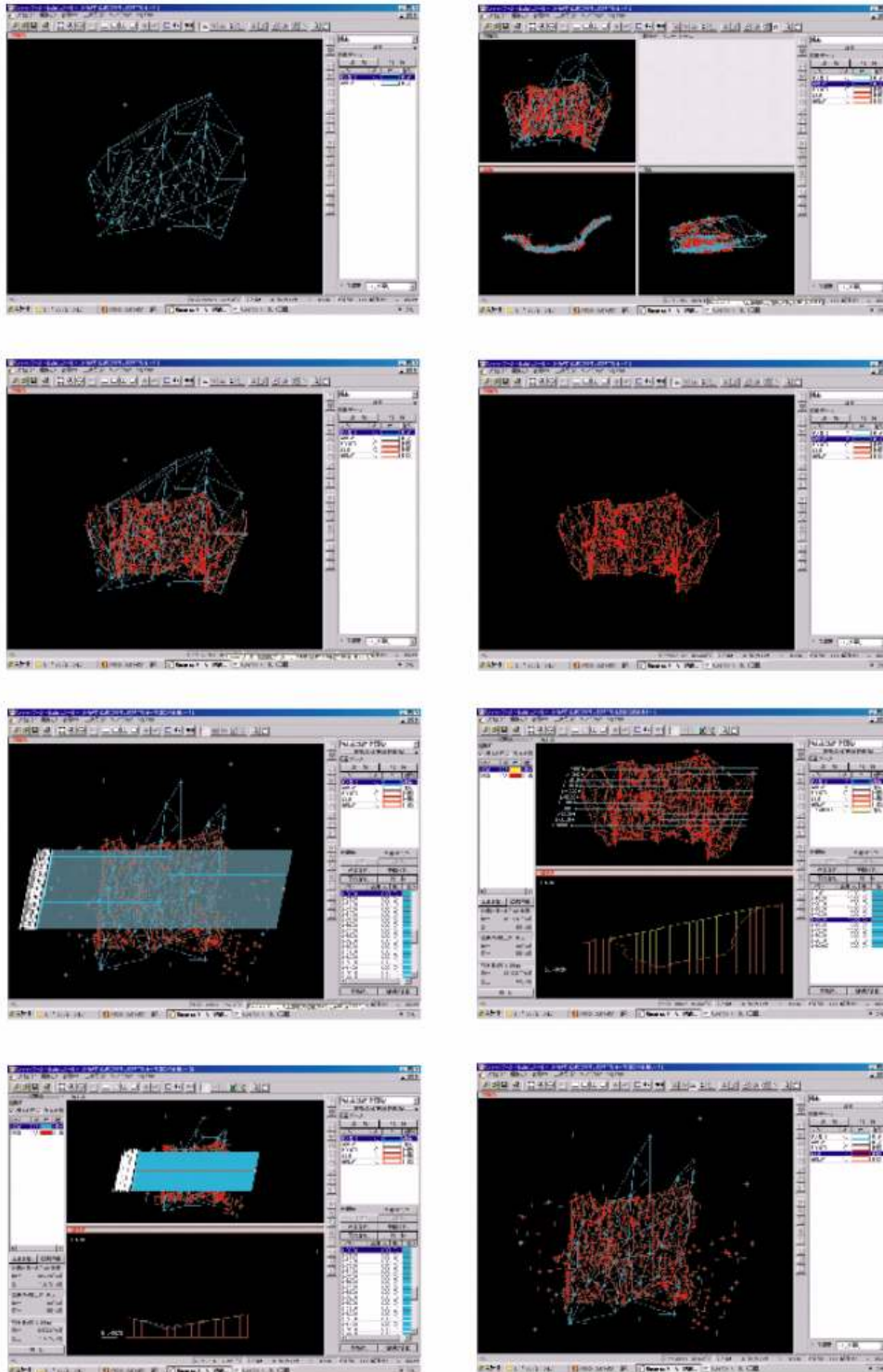
圖 13 座標系的統一



6. 侵蝕量的計算

侵蝕量的計算程序如圖 14 所示。在計算侵蝕量時須使用到 Kuraves-K 的附屬應用軟體（圖面化工具）。在此之前，先將變化前後的登山步道檔案存成 KVL 檔案。在圖面化工具中打開變化前的登山步道檔案，接著將存成 KVL 檔的變化後登山步道檔案輸入成計畫圖層，然後把兩個 DTM 疊在畫面上。將兩個 DTM 上植被部分的三角網刪除，這部分的作業也可先於 Kuraves-K 下完成。以登山步道兩端的樁為端點拉出水平線，水平線上每 5 公分再拉出垂直線。根據土量計算得到侵蝕量或者是再堆積量。

圖 14 侵蝕量計算程序



第三章 成果展現-雪山線

第一節 環境概況

雪山主峰線為目前登雪山最大眾化的路線，也是雪霸國家公園內的熱門登山路線。由大水池登山口經兩公里可抵七卡山莊（可住宿 160 人），四公里處可抵觀景台及「哭坡」。「哭坡」之後路途則較緩。雪山東峰位於五公里處。三六九山莊（可住宿 100 人）設立於七公里處，步行至 10.9K 則可抵雪山主峰。



圖 15 登山客眾多的雪山步道

從登山口起至雪山主峰步道高度分布約為 2200m 至 3886m。三六九山莊前沿途每隔 100 公尺設置一個樣點，三六九山莊之後每隔 150 公尺設置一個樣點，步道全段共設置 100 個樣點。二零零五年九月曾經作過事前調查建立基礎資料，二零零七年及二零零八年七月及十一月各測量一次。由於樣點鋁樁遭到破壞，因此實際有效的量測點僅為七十一個。平均坡度為 14，步道寬度在 1.11m~3.78m 之間，平均每單位寬度侵蝕為 0.35cm。

第二節 土壤侵蝕量之調查結果

壹、登山口至七卡山莊

登山口至七卡山莊距離為兩公里，有效樣點有十三個。平均坡度為 9，步道寬度在 1.11m~2.59m 之間，平均每五公分的寬度侵蝕為 0.13cm。相較於前兩年的資料，寬度增加 0.02m，平均每五公分的寬度侵蝕為 0.02cm

本路段大多數路段已鋪設石階，未鋪設石階路段排水設施亦較完善，因此主要的土壤侵蝕多發生石階兩側。靠近登山口處路段則因排水設施完善，侵蝕極少，且此路段林相較密，因此地面落葉層較厚，土壤侵蝕情形並不嚴重（圖 18）。部分路段有堆積情形，多發生於 0~1K 的之字坡間。

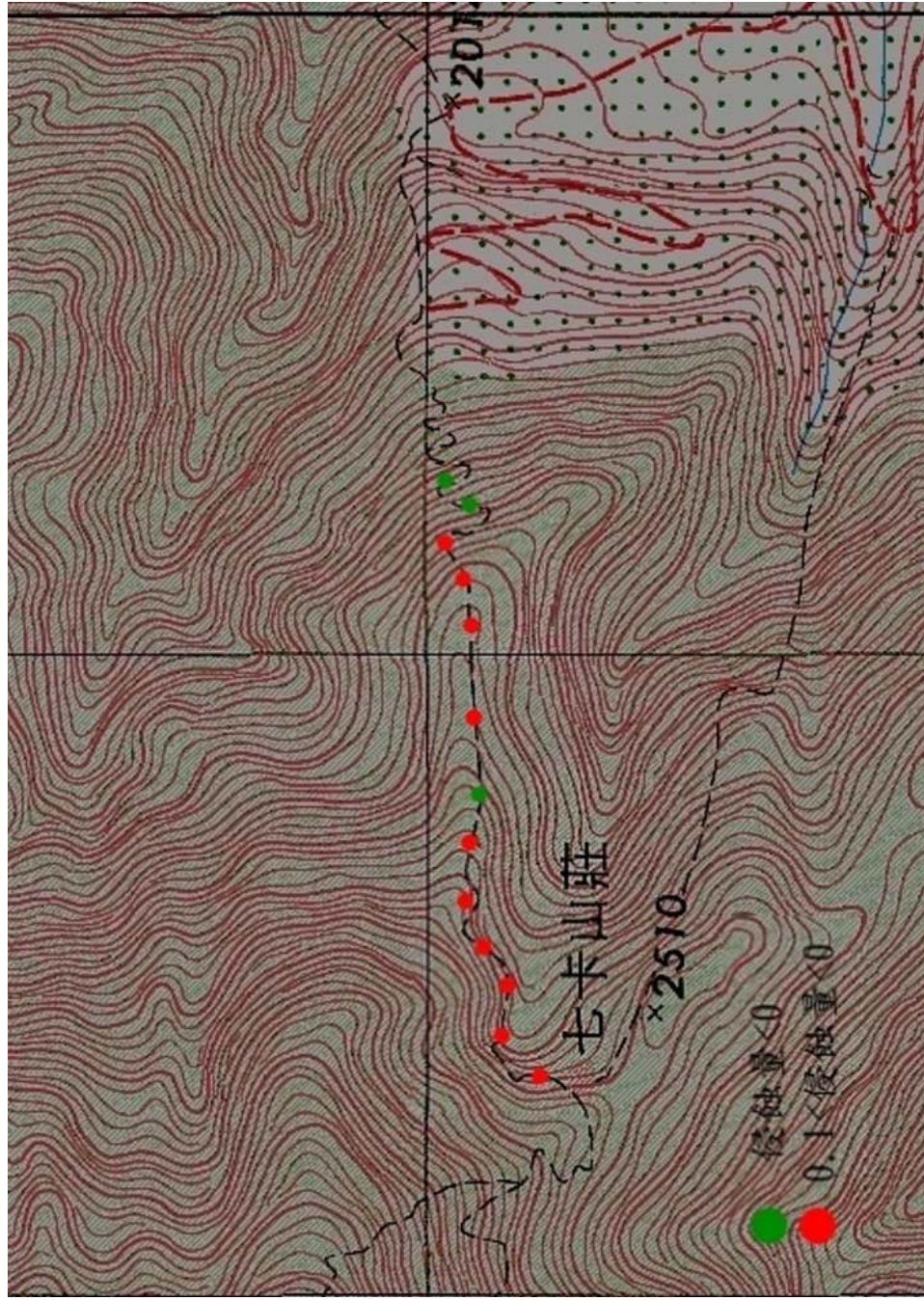
圖 16 雪東線(0K~2K)步道現況 A



圖 17 雪東線(0K~2K)步道現況 B



圖 18 雪東線侵蝕量現況圖(0K~2K)



貳、七卡山莊至 4K 觀景平台

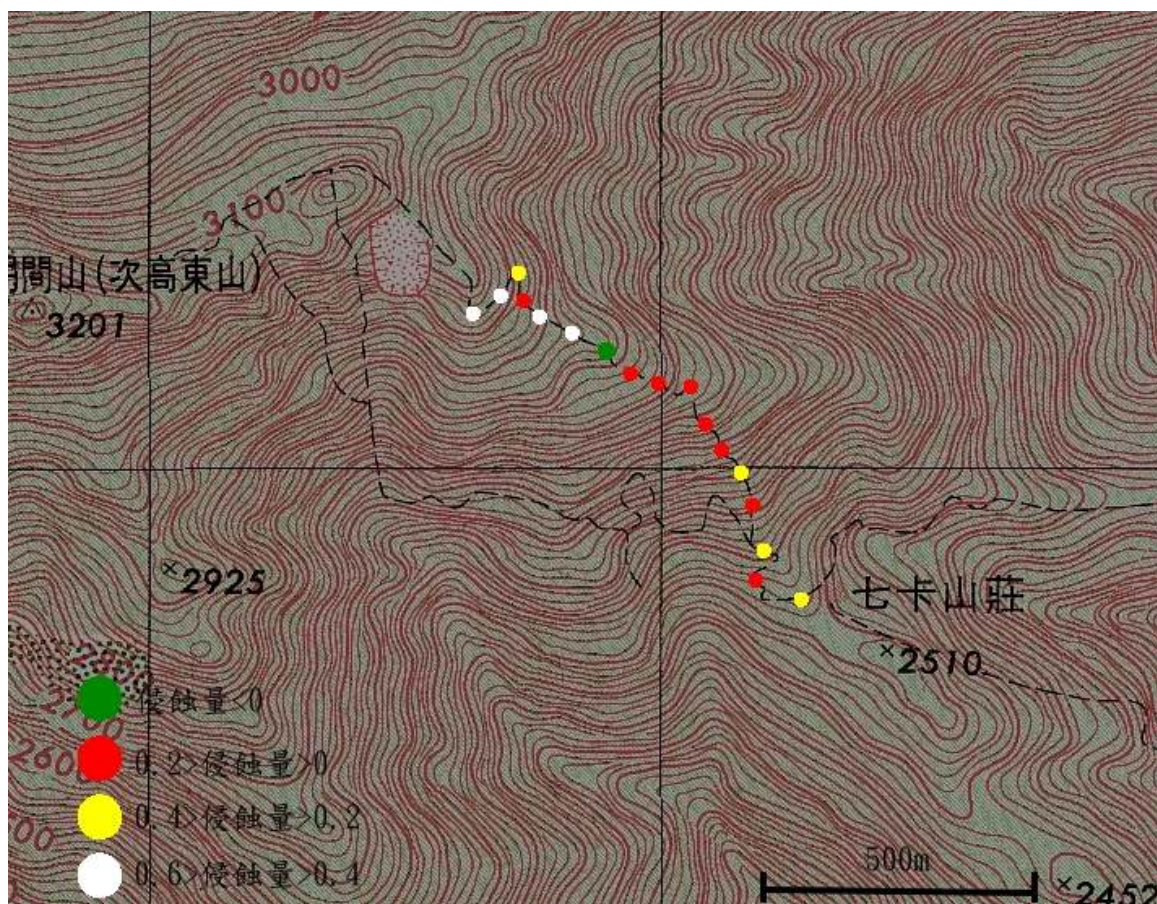
七卡山莊至 4K 觀景平台距離為兩公里，有效樣點 17 個，平均坡度為 17°，步道寬度在 1.2m~2.38m 之間，平均每單位寬度侵蝕為 0.5cm。較前年資料加劇 0.04cm

此路段自 3.5K 至 4K 間的土壤侵蝕相當嚴重，本路段已設立排水設施，但是由於 3.5K 以上均以玉山箭竹為主，因此土壤被雨水直接沖刷情形相當嚴重，排水設施已經開始崩壞，部分路段已出現複線化情形（圖 19）。

圖 19 雪東線步道侵蝕現況(2K~4K)



圖 20 雪東線侵蝕量現況圖(2K~4K)



參、4K 觀景平台至 7.1K 三六九山莊

此路段效樣點為 18 個，平均坡度為 10，步道寬度在 1.32m~3.76m 之間，平均每單位寬度侵蝕為 0.35cm。

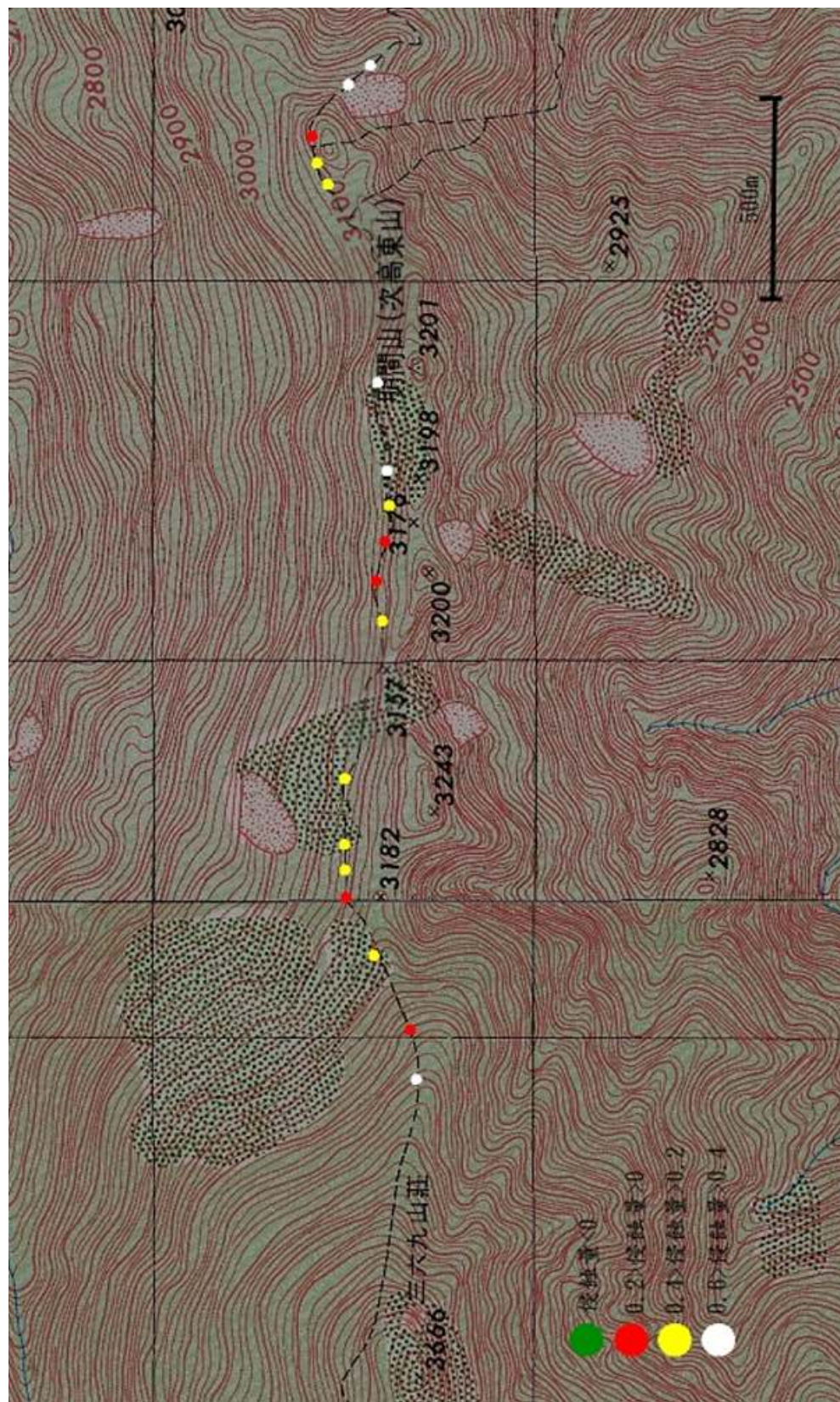
此路段在 4.3K 哭坡之後整體坡度較平緩。土壤侵蝕最嚴重的部分發生於 4K~4.3K 間，石礫均已裸露的相當嚴重。

5K 至 7.1K 三六九山莊間步道雖平緩，但是由於高度較高，在勘查期間有發現土壤凍拔作用，此路段林相亦以箭竹為主，因此土壤侵蝕亦嚴重，主要集中於東峰前後路段。

圖 21 雪東線步道侵蝕現況(4K~7.1K)



圖 22 雪東線侵蝕量現況圖(4K~7.1K)



肆、7.1K 三六九山莊~10.9K 雪山主峰

7.1K 三六九山莊~10.9K 雪山主峰間包含了三六九山莊後的之字坡、黑森林及圈谷三個區域，此路段效樣點為 23 個，平均坡度為 19，步道寬度在 1.24m~3.16m 之間，平均每單位寬度侵蝕為 0.36cm。較嚴重的路段集中於三六九山莊後方的之字坡。黑森林路段則由於路跡較不明顯，部分平坦路段，複線化情形相當嚴重。

圈谷至主峰路段有兩處剛好是捷徑接上主要步道的地方，路基流失的相當嚴重。

圖 23 雪東線現況圖(7.1K~10.9K)

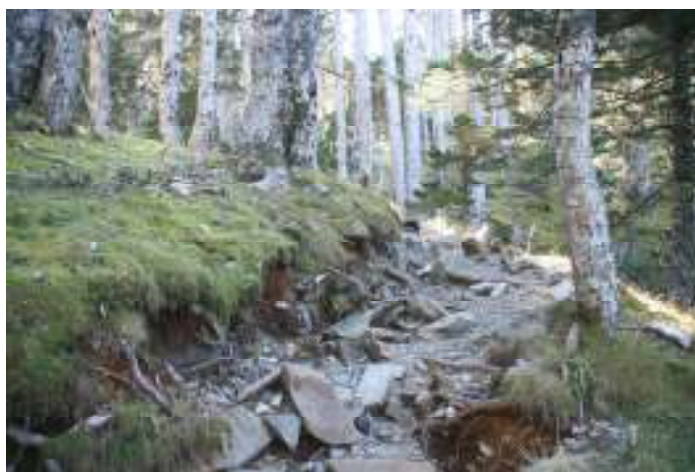
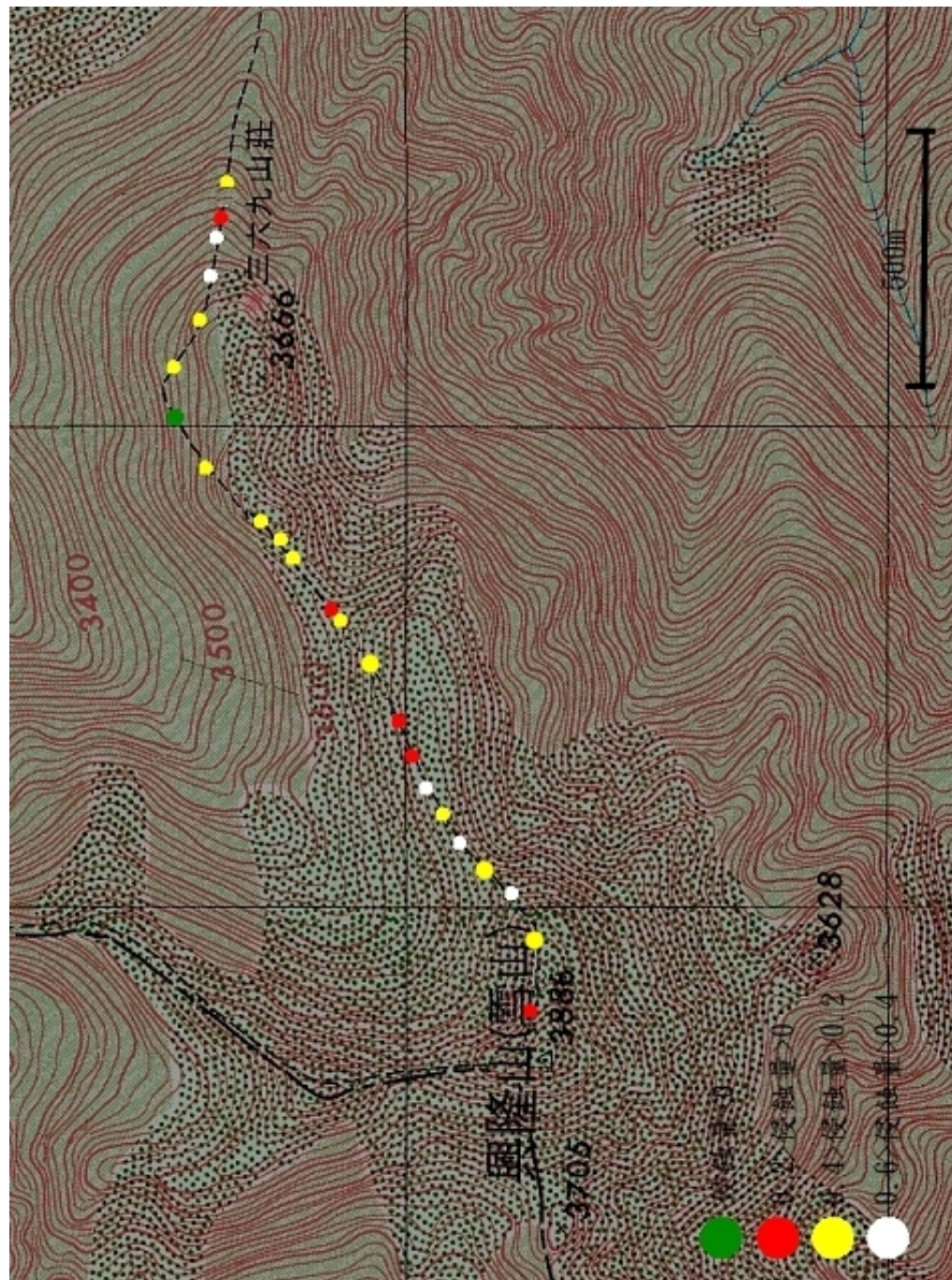


圖 24 雪東線侵蝕量現況圖(7.1K~10.9K)



第四章 成果展現-四秀線

第一節 現況描述

四秀線主線從品田山至喀拉葉山共 8.9km，聯絡線 A 池有山登山口至三叉營地為 3.5km，聯絡線 B 桃山登山口至桃山為 4.5km，平均坡度分別為，11，15，15，寬度大約在 0.8m~2.2m，平均每單位寬度侵蝕為 0.25cm。

第二節 土壤侵蝕量之調查結果

壹、聯絡線 A(桃山登山口-桃山山頂)

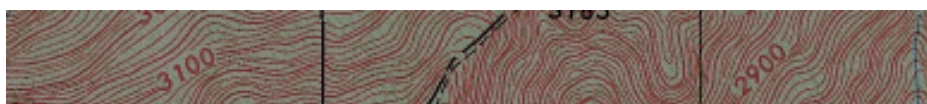
此路段長 4.5 公里，高度自 1930m~3332m，步道主要沿防火道陡升，平均坡度為 15，平均每單位寬度侵蝕為 0.39cm。設置了 22 個樣點，有效樣點為 21 個。

主要土壤侵蝕區域集中於接近桃山主峰一帶，該處林相以箭竹為主，再加上坡度相當陡峭，因此土壤沖刷情形相當嚴重（圖 25）。

圖 25 桃山步道現況



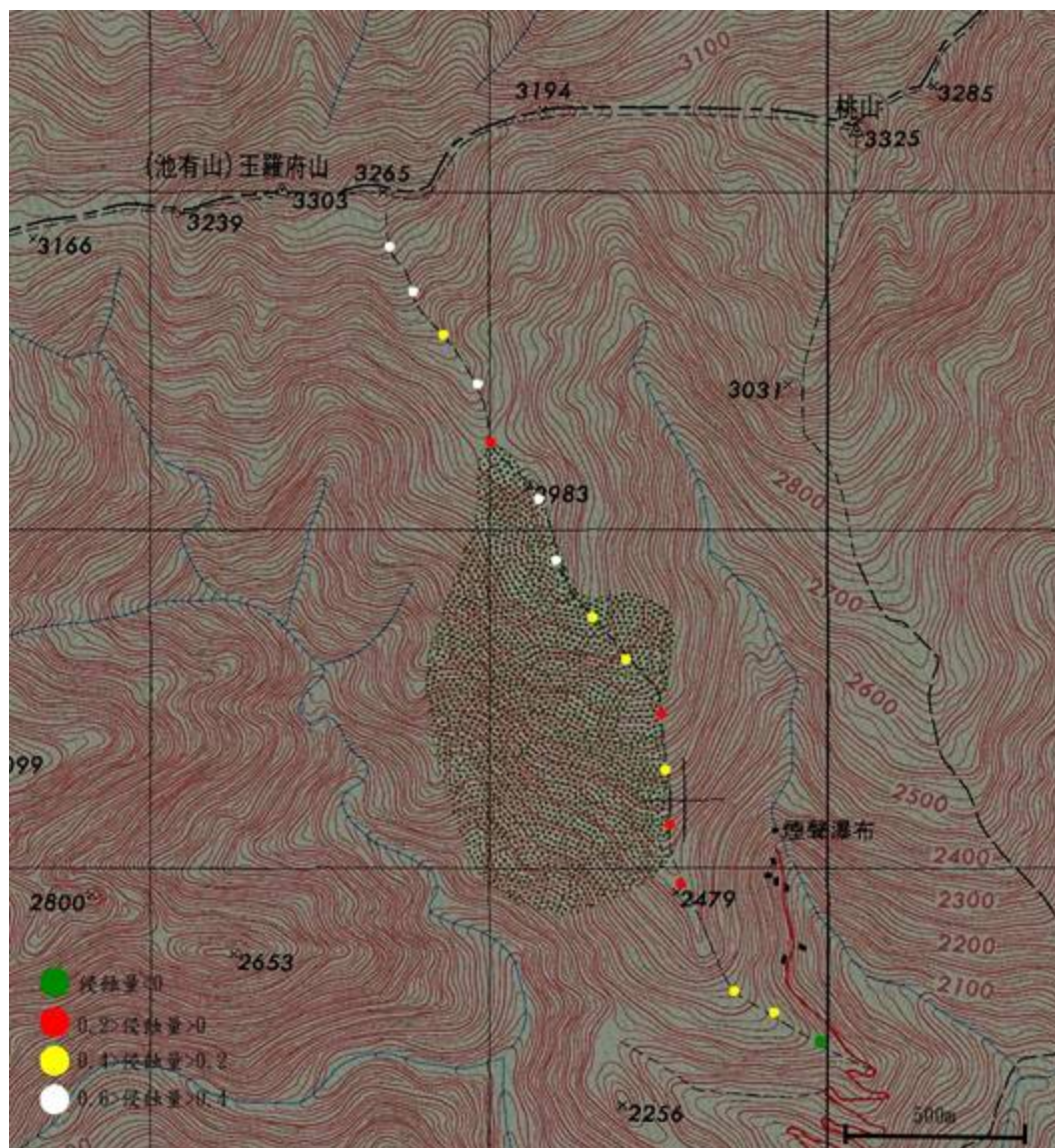
圖 26 四秀桃山線侵蝕量現況圖



貳、聯絡線 B(池有登山口-池有山山頂)

此路段長 3.5 公里，高度自 2210m~3215m，步道沿稜線陡昇，平均坡度為 15，平均每單位（五公分）寬度侵蝕為 0.28cm。本線設置了 17 個樣點，有效樣點為 16 個。主要侵蝕路段為 2K 之後，石礫裸露的情形亦相當嚴重。

圖 27 四秀池有山線侵蝕量現況圖



參、主線品田山-桃山山頂

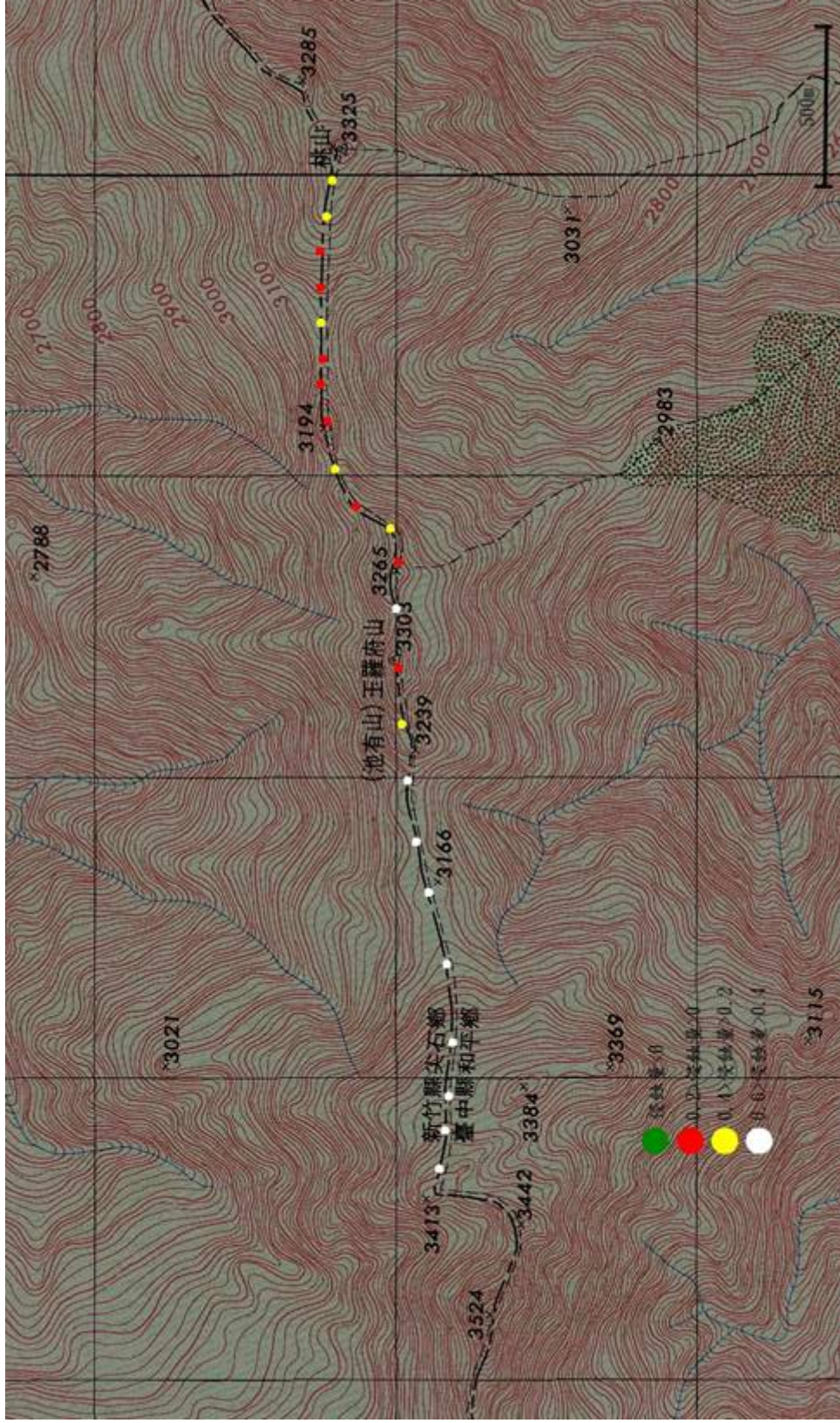
此路段長 5.4 公里，由於樣點設置受限於地形之緣故，故僅從 0.7K 開始設置，自 0.7K~5.4K 共設置 23 個樣點，高度自 3196m~3325m，平均坡度為 10，平均每單位寬度侵蝕為 0.52cm。

主要侵蝕路段為新達山屋（1.6K）至 0.7K 間箭竹草坡之後，土壤沖刷及複線化相當嚴重，甚至有路段已向下沖刷達 2 公尺。

圖 28 新達山屋後方草坡侵蝕現況



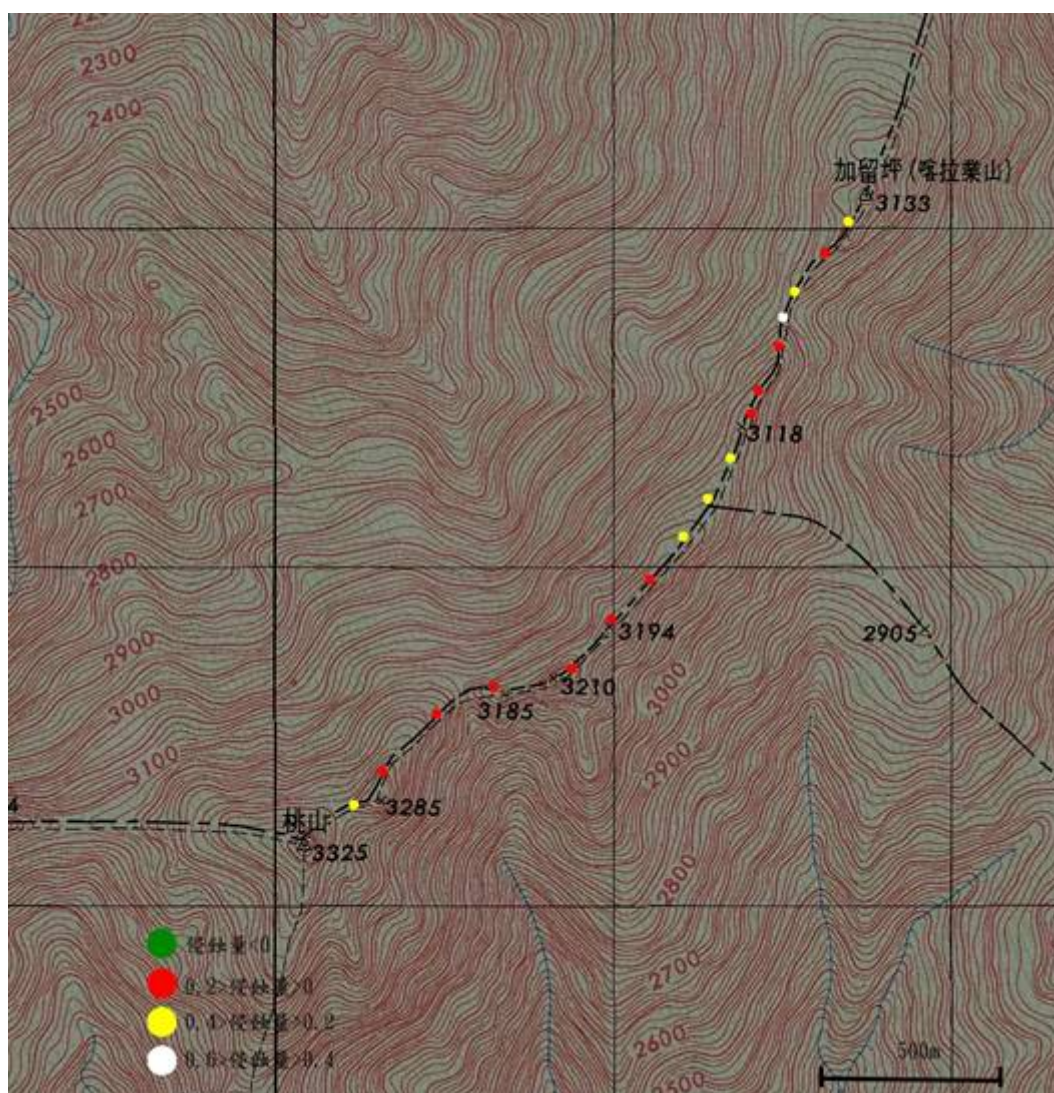
圖 29 品田山-桃山土壤侵蝕現況圖



肆、主線桃山山頂-喀拉葉山

此路段長 3.5 公里，里程碑為 5.4K~8.9，共設置 17 個樣點，高度自 3105m~3313m，平均坡度為 10，平均每單位寬度侵蝕為 0.26cm。土壤沖刷並無特別集中於某個區域。

圖 30 桃山-喀拉葉山土壤侵蝕現況圖



第五章 成果展現-大霸線

第一節 環境概況

大霸尖山線過去為相當熱門之登山路線，目前因聯外道路中斷，無法入山，此登山路線目前封閉。

從登山口起至大霸尖山步道高度分布約 1250m 至 3400m。每隔 200 公尺設置一個樣點，步道全段共設置 54 個樣點。平均坡度為 11，步道寬度在 1.84m ~2.94m 之間，平均每單位寬度侵蝕為 0.40cm。

第二節 土壤侵蝕量之調查結果

壹、登山口至九九山莊

登山口至九九山莊距離為四公里，有效樣點有二十個。平均坡度為 10，步道寬度在 1.84m~2.59m 之間，平均每五公分的寬度侵蝕為 0.13cm。

此路段林相較密，因此侵蝕狀況並不嚴重。靠近登山口部分路段有堆積情形。

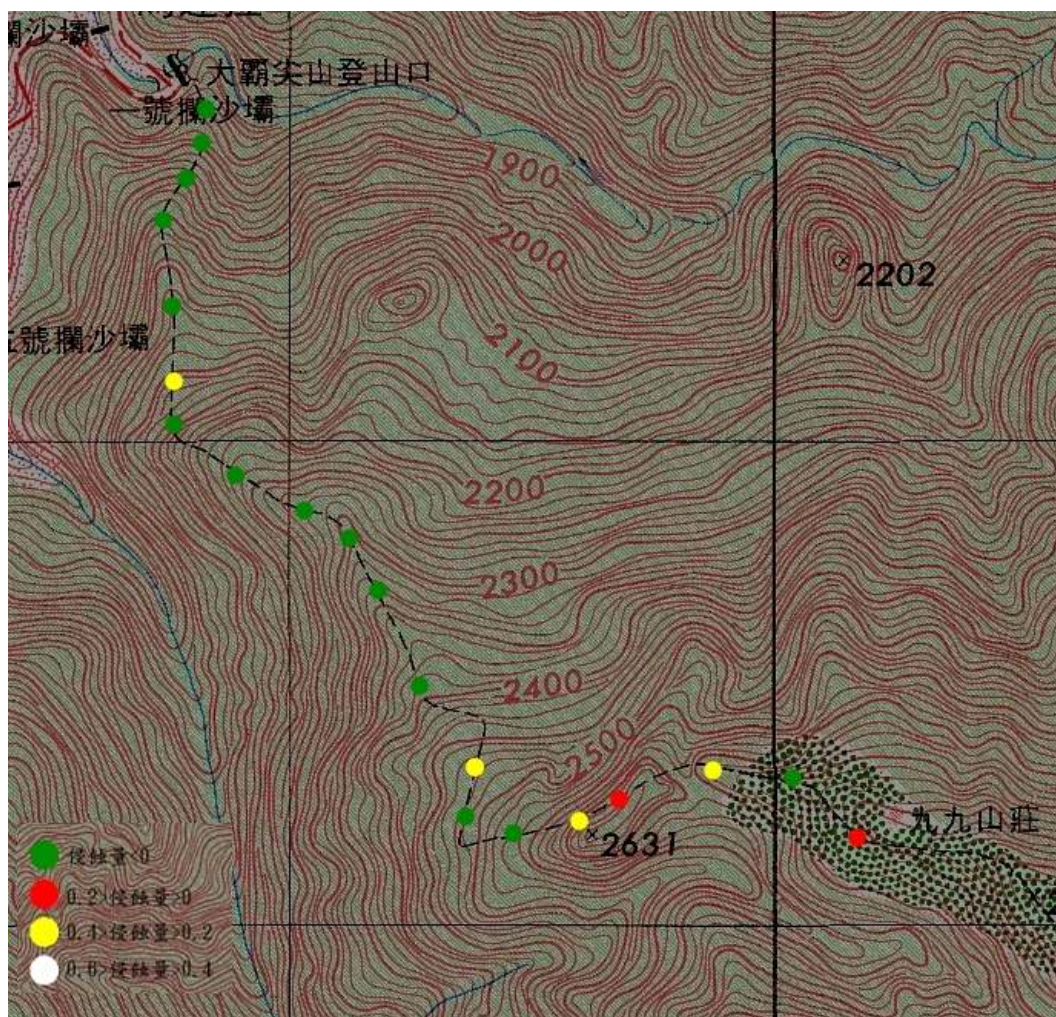
圖 31 大霸線(0K~4K)步道現況 A



圖 32 大霸線(0K~4K)步道現況 B



圖 33 大霸線步道侵蝕現況圖(0K~4K)

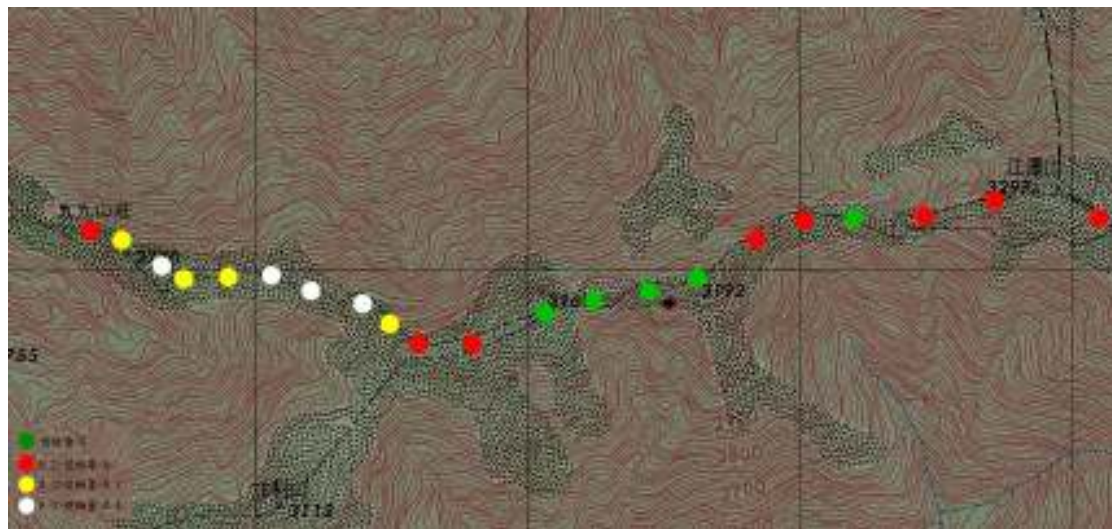


貳、九九山莊至伊澤山登山口

九九山莊至伊澤山登山口之公里標為 4 公里處至八點二公里，有效樣點有二十一個。平均坡度為 15，步道寬度在 1.64m~2.94m 之間，平均每五公分的寬度侵蝕為 0.54cm。

四公里至三零五零高地（六公里處）為侵蝕最明顯之路段，因箭竹草坡且位於背陽面，沖刷及凍拔作用明顯，因此侵蝕狀況相當明顯。六公里至八點二公里處則較為輕微。

圖 34 大霸線步道侵蝕現況圖(4K~8.2K)



叁、伊澤山登山口至大霸霸基

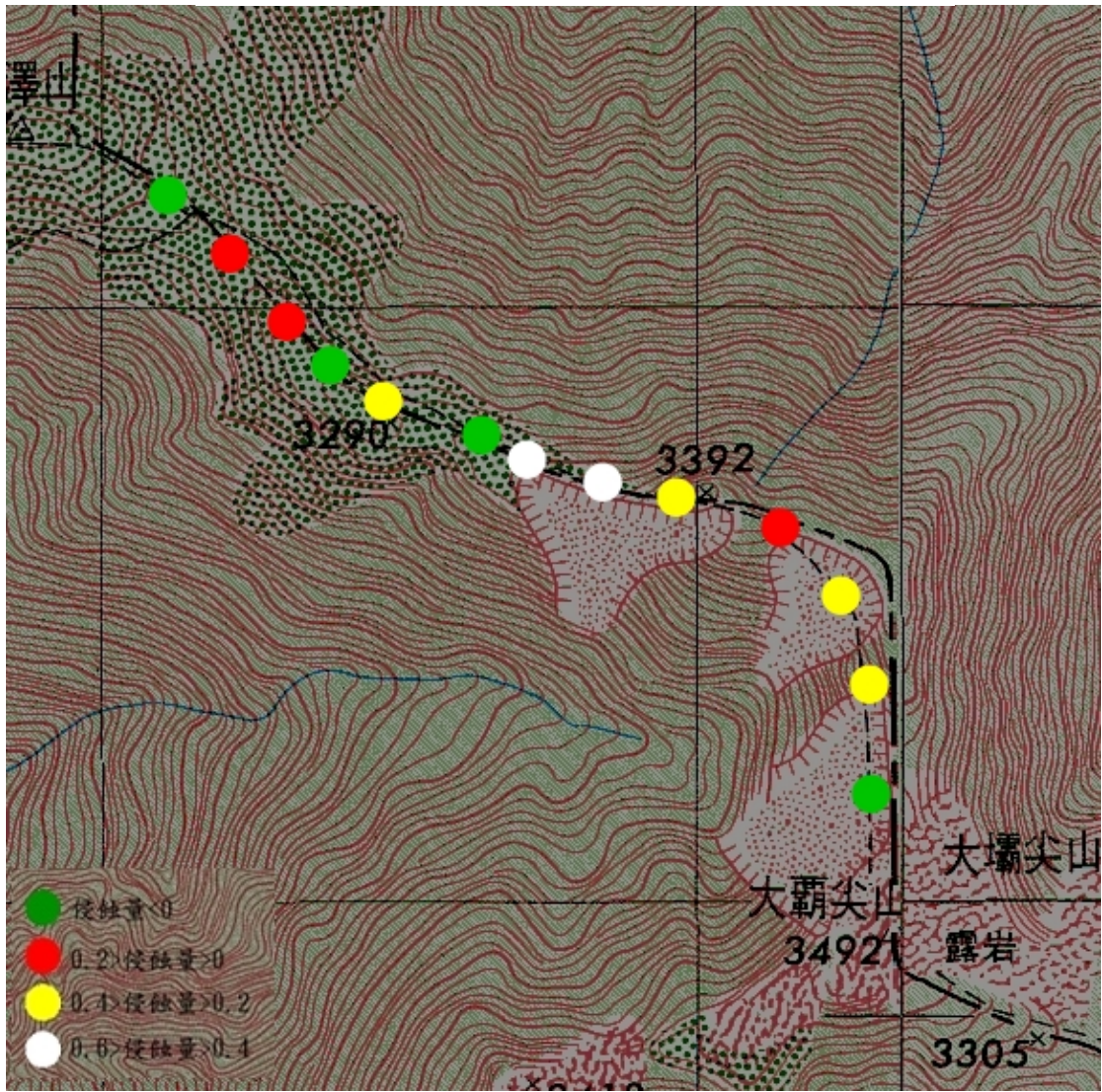
伊澤山登山口至大霸霸基之公里標為八點二公里處至十點八公里，有效樣點有十三個。平均坡度為 12，步道寬度在 1.75m~2.25m 之間，平均每五公分的寬度侵蝕為 0.30cm。

此路段多數位於箭竹草坡，沖刷及凍拔作用亦相當顯著，因此部份路段侵蝕狀況相當明顯。

圖 35 大霸線現況圖(8.2K~10.8K)



圖 36 大霸線步道侵蝕現況圖(8.2K~10.8K)



第六章 建議事項

第一節 步道管理與維護

壹、建議優先處理路段

國家公園的成立係為保護國家特有之自然風景、野生物及史蹟，並供國民之育樂及研究，而步道正串起人與大自然的介面，然而當步道的整修維護過當時，反而會導致自然景緻上的破壞。另一方面，當步道失去引導人群行走的功能，或是步道的整理維護不當時，卻又容易造成植生與地表土壤的破壞，因此步道工程如何調和自然景觀與兼顧自然生態保護實屬難題。

目前調查範圍的三條步道均已有簡易的步道工程，均以排水設施為主，少數為階梯設施。然而長年在雨水沖刷及遊客行走之下，部份設施因土壤沖刷情形嚴重已有崩壞現象產生，建議優先處理。建議優先路段請參考下表：

表 1 建議優先處理路段

路線別	里程數	主要林相	概述
雪山東線	3.5K 至 3.9K	箭竹草坡	本路段部分排水設施已崩壞，且已有複線化情況。
	4K 至 4.3K	箭竹草坡	本路段因坡度較陡，侵蝕狀況較大。
	7.1K 至 7.8K	箭竹草坡	本路段為之字坡，因排水設施較少，因此逕流沖刷較嚴重。
四秀線	新達山屋後方草坡	箭竹草坡	本路段為箭竹草坡，且坡度較大，侵蝕程度較大。
	桃山線 3.7K~4K	箭竹草坡	本路段為箭竹草坡，且坡度較大，侵蝕程度較大。
大霸線	5K~6K	箭竹草坡	本路段為箭竹草坡，且坡度較大，侵蝕程度較大。

短期內可針對上述路段（脆落且侵蝕大）實施登山道修復作業。可利用沙包作為暫時性設施，減緩侵蝕及沖刷。長期則宜由管理處針對上述路段整理整頓，一方面可減緩步道沖蝕現象，另一方面也可有效保障登山者的安全。

另在大霸尖山線在尚未決定開放前，武陵地區的雪山東線及四秀線登山步道仍將是目前雪霸國家公園內相當受歡迎的登山步道。這兩條步道位於生態保護區內，理應將遊客或登山客的衝擊降至最低。目前調查僅建立侵蝕的基礎資料，為了能更了解長期的影響與衝擊，建議可利用目前固定觀測樣點，繼續進行長期且定期的調查分析，來掌握步道環境的變化，並能實施適當的防治對策。

而大霸尖山地區因目前未開放區域，可持續收集監測侵蝕資料，將來帶開放後，可有效比對登山行為對登山步道的影響。

貳、日本管理維護事例參考

日本因登山歷史悠久，故管理與維護可供管理處做為借鏡參考。日本由於多數地區未實施承載量管制，入山人數不受限制，因此高山步道侵蝕狀況在人為影響與高山脆弱的環境下顯得相當嚴重。

以日本大雪山國立公園為例，該處多次與相關單位，當地嚮導組織聯合舉辦登山步道維護管理協議會，透過學術調查及匯整登山遊客的意見，將大雪山地區的步道依環境的狀態以及登山遊客使用的方式來將步道分級，以利管理。

圖 37 日本大雪山登山步道分級參考資料

		保護・利用体験ランク			
		A (原始的・縦走登山・人為的改變無)	B (日帰り登山・施設數少)	C (利便性高・半日登山・施設充實)	
保全対策ランク	必要性高	I (脆弱高・侵食大・潜在侵食性大)	A・I	B・I	C・I
	必要性中	II (脆弱高・侵食小・潜在侵食性大)	A・II	B・II	C・II
	必要性低	III (脆弱低・侵食小・潜在侵食性小)	A・III	B・III	C・III

第二節 環境教育與宣導

目前在國外的研究指出登山者的行為會加劇登山步道的侵蝕與擴大，目前雪霸國家公園均已在三條步道設立解說牌告知登山客應行走於步道，勿離開步道以免踐踏植生造成植物死亡，且勿行走於捷徑，以免造成侵蝕加劇。

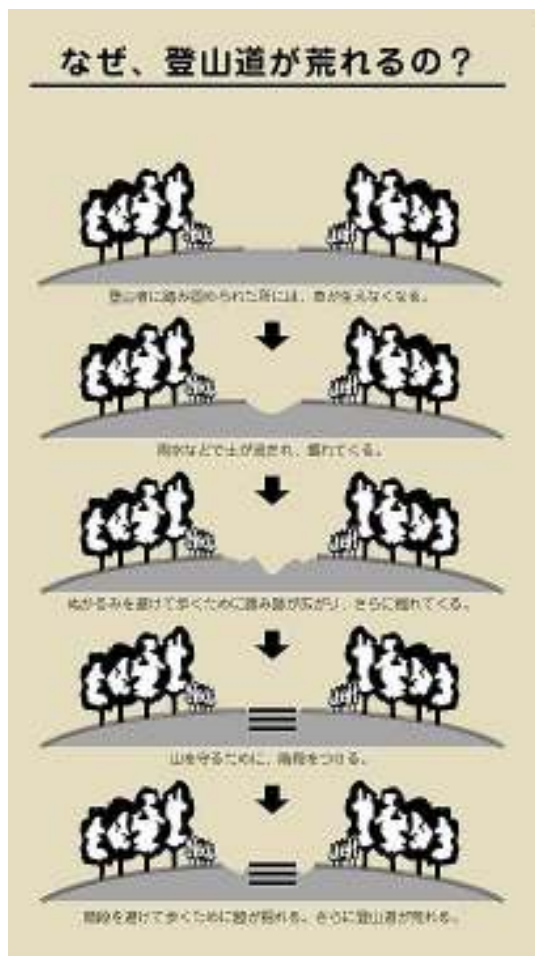
然而目前仍有登山客圖方便而使用捷徑，影響水土保持。

此外，隨著戶外運動的發達，登山器材普及及登山安全及健康照護觀念的提昇，目前使用登山杖人口越來越多。在日本的研究指出，登山杖的尖端易破壞土壤表層，挖蝕容易造成土壤鬆動，因此目前日本登山界普遍推動登山杖尖端加蓋的觀念，以減緩人為影響層面所造成的步道沖刷。

因此建議管理處可透過登山宣導影片、國家公園網站、海報、宣導手冊以及透過高山志工駐站值勤時加強宣導上述觀念，亦可順便推行 LNT 概念，輕減山林的負擔，創造人與自然共和共生的環境。

圖 40 日本的登山步道侵蝕宣導海報

圖 39 網站上的登山步道維護建議宣導



參考書目

中文部分

- 彭育琦，1997，塔塔加地區步道衝擊及其影響因子之研究，東海大學景觀所碩士論文
- 楊南郡，1991，雪山、大霸尖山國家公園登山步道系統調查研究報告，內政部營建署
- 劉吉川，2003，北大武登山步道之土壤踐踏監測，行政院農委會林務局委託研究計畫系列 91-00-6-01
- 劉吉川，2002，登山步道概述，台灣林業 28(1)，77-81
- 劉儒淵，1989，戶外遊憩對環境之衝擊及其管理維護戶外遊憩研究，2(1):3-18
- 劉儒淵，1990，遊憩資源衝擊之監測與控制，台大實驗林研究報告，4(2):161-172
- 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季刊，6(4):1-40 39.
- 劉儒淵，1993，踐踏對玉山國家公園高山植群衝擊之研究，台大森林所博士論文
- 劉儒淵，1995 塔塔加地區步道土壤沖蝕及其監測之研究台灣大學研究報告季刊 9(3):1-19 42
- 劉儒淵，1996，戶外遊憩對天然植群之衝擊中華林學季刊，29(2):35.58
- 劉儒淵、陳嘉男、賴明洲. 2002. 奧萬大森林遊樂區步道衝擊之研究. 國立台灣大學農學院實驗林研究報告 15(4)：249-271.
- 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季刊，3(2):33-51
- 賴明洲、薛怡珍，2002，雪霸國家公園雪山主峰線之承載量研究，生態學雜誌，22(1)：94-96

日文部分

- 秋本圭一、服部進、岡本厚 1998，CCD カメラを用いた大型構造物の3次元精密計測，計測制御學會學術演講會論文集，P177-178
- 秋本圭一、服部進、井本治孝 2002，ECDS との比較による画像の精度確認，日本寫真測量學會平成 14 年度年次學術演講會發表論文

集，P291-296

沖慶子，2001，大雪山國立公園、黒岳石室周邊における登山道の保全のための研究，北海道大學大学院環境科學研究科修士論文

奥村武信、小松原悦夫、田中一夫 1986，大山夏山登山道の侵蝕狀況に関する考察，鳥取大學農學部演習林研究報告，16：97-104

後藤忠志，1993，大雪山、北八甲田山における登山道の侵蝕，北海道大學大学院環境科學研究科修士論文

環境省自然保護局 2002・平成 13 年度国立・国定公園における登山道のあり方検討調査報告書・財団法人自然環境研究センター・234pp・

愛甲哲也、中島 康子、浅川 昭一郎，〈キャンプ利用が植生及び土壤へ及ぼす影響について〉，《環境情報科学論文集》，11，環境情報科学センター，1997，P201-206

小野有五、依田明実、後藤忠志，〈登山道の侵食について〉，《森林航測》，161，1990，P15-19

浅川昭一郎，〈大雪山国立公園における歩道調査について〉，《大雪山国立公園における登山道調査報告書》，国立公園協會，1996，P13-22

渡邊悌二、深澤京子，〈大雪山国立公園,黒岳七合目から山頂区間における過去七年間の登山道の荒廃とその軽減のための対策〉，《地理学評論》，71A:10，日本地理學會，1988，P753-764

英文部分

Bayfield, N. G. (1971) Some effects of walking and skiing on vegetation at Cairngorm. In: Duffey, E. and Watt, A.S. (eds) The Scientific Management of Plant and Animal Communities for Conservation. Blackwell, Oxford, UK, pp. 469-485.

Bayfield, N.G. (1973) Use and deterioration of some Scottish hill paths. Journal of Applied Ecology, 10, 639-648.

Brattom, S. P., Hickler, M. C. and Graves, J. H. (1979) Trail erosion patterns in Great Smoky Mountains National Park. Environmental Management, 3, 431-445.

Cole, D. (1987) Research on soil and vegetation in wilderness: A state-of-knowledge review. In Proceedings-National Wilderness Research Conference: Issues, State of Knowledge, Future Directions. (pp.135-177) INT-220.

Cole D. N. (1991). Changes on trails in the Selway-Bitterroot

- Wilderness, Montana, 1978-1989. Research Paper INT-212. Ogden, UT:USDA Forest Service, Intermountain Research Station. 5p.
- Cole, D. N. (2004). Impacts of hiking and camping on soils and vegetation: A review. In R. Buckley (eds) Environmental impacts of ecotourism (pp, 41-59). CAB International.
- Crawford, A.K & Liddle, M.J. (1977). The effect of trampling on neutral grassland. *Biological Conservation*. 12: 135-142.
- Doucette, J. E. & Kimball, K. D. (1990) Passive trail management in northeastern alpine zones: A case study. In: More, T. A.; Donnelly, M. P.; Grafe, A. R.; Vaske. J. J. (eds), *Proceedings of the 1990 Northeastern Recreation Research Symposium* (pp,195-201), Saratoga Springs, NY.
- General Technical Report NE-145. Radnor, PA: USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station
- Gerald, G.. G.. (1990) Technique for assessing erosion risk from mountain footpaths. *Environmental Management* Vol. 14(6):793-798.
- Hall, C. N. & Kuss, F. R. (1989) Vegetation alteration along trails in Shenandoah National Park, Virginia, *Biological Conservation*, 48, 211-227.
- Jewell, M. C. & Hammit, W. E. (2000) Assessing soil erosion on trails: A comparison of techniques. In Cole, D. N., McCool, S. F., Borrie, W. T., O'Loughlin, J. (eds). *Wilderness science in a time of change conference- Vol.5: Wilderness ecosystems, threats, and management* (pp.133-140); 1999 May23-27: Missoula, MT. *Proceedings RMRS-P-15-VOL-5*. Ogden, UT: USDA, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Leung, Yu-Fai. & Marion, J. L. (1996). Trail degradation as influenced by environmental factors: A state-of-the knowledge review. *Journal of Soil and Water Conservation* Vol. 51(2): 130-136
- Leung Yu-Fai & Marion J. L. (1998) Evaluating spatial qualities of visitor impacts on recreation resources: An index Approach. *Journal of Applied Recreation Research*, 23(4):367-389.
- Leung, Yu-Fai & Marion, J. L. (1999). Assessing trail conditions in protected areas: Application of a problem-assessment method in Great Smoky Mountain National Park, USA. *Environmental Conservation*, 26(4), 270-279.
- Leung, Yu-Fai & Marion, J. L.(2000). Recreation impacts and management in wilderness: A state-of-knowledge review. In Cole, D. N.,

- McCool, S. F., Borrie, W. T., O'Loughlin, J. (comps.) 2000. Wilderness science in a time of change conference- Vol.5: Wilderness ecosystems, threats, and management (pp.23-48); 1999 May23-27: Missoula, MT. Proceedings RMRS-P-15-VOL-5. Ogden, UT: USDA, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Liddle, M.J. (1975a) A selective review of the ecological effects of human trampling on natural ecosystems. *Biological Conservation*, 7, 17-36.
- Liddle, M.J. (1975b) A theoretical relations between the primary productivity of vegetation and its ability to tolerate trampling. *Biological Conservation*, 8, 251-255. Liddle, M.J. & Greig-Smith, P. J. (1975) A survey tracks and paths in a sand dune ecosystem. *Journal of Applied Ecology*, 12, 893-930.
- Liddle, M.J. and Thyer, N. (1986) Trampling and fire in a subtropical dry sclerophyll forest. *Environmental Conservation* 13, 33-39
- Marion, J. M. & Cole, D. N. (1989) Evaluating recreation impacts: A multi-faced research design. *Park Science* Vol. 9(2):23-24.
- Marion, J. L. & Leung, Yu-Fai (2001). Trail resource impacts and an examination of alternative assessment techniques. *Journal of Park and Recreation Administration*, 19(3), 17-37.
- Sun, D. & Walsh, D. (1998) Review of studies on environmental impacts of recreation and tourism in Australia. *Journal of Environmental Management* Vol. 53:323-338.
- Weaver, T. & Dale, D. (1978). Trampling effects of hikers, motorcycles and horses in meadows and forests. *Journal of Applied Ecology*, 15,451-457.