

PG9811-0109

峽谷自然災害的治理防災規劃與試驗計畫

第一期

受委託者：中華民國工程環境學會

研究主持人：張石角

研究助理：吳素慧

內政部營建署太魯閣國家公園管理處委託研究報告

中華民國九十八年十二月

目 次

表次	IV
圖次	V
摘要	VII
第一章 計畫緣起與計畫目標	1
第二章 計畫範圍與計畫內容	3
第一節 計畫範圍	3
第二節 計畫內容	4
第三章 計畫區步道及其自然災害環境背景分析	5
第一節 太魯閣峽谷區步道之特色	5
第二節 太魯閣峽谷之地形作用	8
第三節 峽谷落石發生時機	10
第四章 太魯閣峽谷區災害史及其評析	11
第一節 過去本區重大落石災害	11
第二節 近年太魯閣峽谷區災害紀錄	13
第三節 太魯閣峽谷落石災害事件之評析	16
第五章 計畫區田野調查	17
第一節 步道落石地形之類型	17
第二節 岩壁破裂情狀之崩落風險度	21
第三節 峽谷區步道樣區落石地形調查	24
第四節 太魯閣峽谷區步道災害特性分析	38
第六章 日本自然公園峽谷區步道防災對策	39
第一節 日本自然公園步道整備及管理水準	39
第二節 日本自然公園峽谷區步道情況	41
第三節 日本國立公園峽谷區步道遊憩安全處理現況	42
第四節 日本峽谷步道之處理策略之評析	44
第七章 太魯閣峽谷區步道防災對策	45
第一節 步道防災對策	45
第二節 工程防災	48
第三節 太魯閣峽谷區步道之治理對策	49

第八章 步道凌空墜石防護傘創新工法之規劃與設計	55
第一節 步道凌空墜石防護傘之設計目的	55
第二節 「簡確蝶形凌空墜石防護傘」之設計理念	55
第三節 創新步道落石防護工法研發原則	56
第四節 落石防護傘之結構設計構想	57
第五節 落石防護傘保護範圍	64
第六節 設置地點之評選方法	66
第七節 落石防護傘之可行性試驗	67
第八節 行動式防護傘及其試驗	67
第九章 蝶形凌空墜石防護傘試驗及觀測	71
第一節 現場試驗	71
第二節 蝶型防護傘及行動防護傘強度之臨場試驗	78
第三節 試驗結果評述	81
第四節 觀測期間之異常自然現象	81
第五節 觀測結果	83
第六節 防護傘增進峽谷步道遊憩安全功能分析	92
第十章 峽谷馬拉松活動前減輕災害之因應規劃	93
第一節 峽谷馬拉松活動路線	93
第二節 峽谷馬拉松活動路線之落石風險	94
第三節 馬拉松活動前減輕災害之因應規劃	97
第四節 馬拉松活動前減輕災害之因應規劃結論	102
第十一章 結論建議	103

表 次

表 4.1 太魯閣國家峽谷區步道落石事件記錄一覽表.....	13
表 4.2 公路總局洛韶工務段提供之資料在計畫區內者之落石災害統計	15
表 5.1 太魯閣峽谷區 OO 步道落石地形測量記錄表.....	25
表 5.2 燕子口步道各段特性一覽表.....	27
表 5.3 九曲洞步道各段特性一覽表.....	32
表 6.1 日本自然公園步道分類表.....	39
表 6.2 日本自然公園步道表整備及管理內容一覽表.....	40
表 9.1 試驗岩塊撞擊地面之數據一覽表.....	79
表 9.2 計畫區試驗時期颱風、豪雨紀錄表.....	81
表 9.3 計畫區試驗時期地震紀錄表.....	82
表 10.1 燕子口步道各段特性一覽表.....	95
表 10.2 九曲洞步道各段特性一覽表.....	95
表 11.1 本計畫立即可行建議與中長期建議之內容與目的一覽表...	105

圖 次

圖 2.1 計畫範圍地理分布圖.....	3
圖 2.2 燕子口步道圖.....	3
圖 2.3 九曲洞步道圖.....	4
圖 5.1 斜坡型落石示意圖.....	17
圖 5.2 絕壁落石示意圖.....	18
圖 5.3 峭壁落石示意圖.....	18
圖 5.4 內縮峭壁落石示意圖.....	19
圖 5.5 懸壁落石示意圖.....	19
圖 5.6 半隧道落石示意圖.....	20
圖 5.7 洞口懸壁落石示意圖.....	20
圖 5.8 隧道內落盤情況示意圖.....	21
圖 5.9 各類落石地形示意圖.....	24
圖 5.10 燕子口步道各路段特性地理位置圖	26
圖 5.11 九十八年燕子口步道福衛影像圖	27
圖 5.12 九曲洞步道各路段特性地理位置圖	32
圖 5.13 九十八年九曲洞步道福位影像圖	33
圖 6.1 登山步道管理水準圖.....	41
圖 7.1 輕巧型明隧道處理示意圖.....	52
圖 7.2 蝶形凌空墜石防護傘之構想.....	54
圖 8.1 防護傘單體示意圖.....	57
圖 8.2 防護傘固定套架側視圖 (1/20)	57
圖 8.3 固定套架與防護槽俯視圖 (左半部)	57
圖 8.4 防護槽透視圖 (1/20)	58
圖 8.5 基座側視圖.....	59
圖 8.6 運用全型防護傘.....	60
圖 8.7 運用全型防護傘.....	61
圖 8.8 運用外斜半型防護傘.....	61
圖 8.9 運用外斜半型防護傘.....	61

圖 8.10 運用內斜半型防護傘.....	62
圖 8.11 運用內斜半型防護傘.....	62
圖 8.12 運用連續防護傘可作為安全避難所示意圖.....	63
圖 8.13 承柱四公尺高之防護傘之縱深安全範圍.....	65
圖 8.14 承柱三公尺高之防護傘之縱深安全範圍.....	65
圖 8.15 落石來自步道上邊坡者，防護傘設置位置示意圖.....	66
圖 8.16 落石來自對岸者，防護傘設置位置示意圖.....	66
圖 8.17 24 支傘骨之防護傘結構示意圖.....	69
圖 10.1 峽谷馬拉松全程路線.....	95
圖 10.2 峽谷半馬拉松路線.....	95
圖 10.3 連續防護傘構成安全廊道立面圖.....	98
圖 10.4 連續防護傘構成安全廊道俯視圖.....	99

摘 要

- (一) 峽谷自然災害以大理岩峽谷區之燕子口步道和九曲洞步道為最。災害型式為突來落石傷人。落石來源有三：
- (1) 隧道頂拱細碎落石；
 - (2) 半隧道外緣巨石落盤；
 - (3) 峭壁不明高處凌空落石。
- (二) 本計畫研究結果顯示：欲有效改善峽谷步道安全，須工程治理、工程防護、與非工程管理策略因地制宜並施。如此應可大幅提昇步道安全。
- (三) 峽谷步道本為公路段。過去公路隧道、半隧道與峭壁低處者之傳統工法之處理頗見成效，對峽谷自然景緻與遊憩環境亦無損傷，故建議作為步道此等路段持續改善計畫之工法。
- (四) 來自峭壁高處不明地點之風化落石傷人，為峽谷步道主要安全課題。明隧道為最佳之防落石工程對策，其缺點為須改變自然環境並影響觀景視野，故不被採用。
- (五) 為解決此一難題，本計畫以「不改變自然環境、不影響觀景視野」為維護自然景觀之底線，研發可提升遊客安全之輕巧、環保、經濟「蝶形凌空墜石防護傘」，並設置四座試驗用蝶形凌空墜石防護傘於常落石地點，經兩次公開現場以大於步道一般落石粒徑兩倍以上之石塊從約十公尺高處以自由落體方式撞擊傘面，以檢驗其耐撞力，結果構造物均無明顯損傷，顯示其最大耐撞力應遠大於此。
- (六) 「蝶形凌空墜石防護傘」設置四個月，其間經歷多次地震與颱

風和落石事件，證明其結構與減災功能完美無缺。

科學以實驗結果為依歸。本設計試驗結果符合科學驗證法則。

- (七) 防護傘設置四個月蒐集之實驗統計資料顯示：若於賞景拍照區設置防護傘，可使落石災害減半，則遊客傷亡機率可從百萬分之 1.20 降至百萬分之 0.60；而每年遊客可能傷亡人數則可從 0.95 人降至 0.48 人。

故設置防護傘等於減少遊客暴露於危險懸峭壁時間，從而達到減少傷亡之機率至一半或更低。

- (八) 經高空落石現地實物試驗顯示：24 支傘骨之一般雨傘可承受直徑 5 公分以上之天然石塊撞擊而不傷及持傘人，於發生細碎落石群時有其防災實用價值，可供參擇。

- (九) 任何天然災害防護措施都只能作到減少災損，而不能完全免災。因此步道安全設施如能多免一人之災難，就能多免一個家庭之災難，這不僅僅是積德，也是管理績效。每年有 80 萬遊客之峽谷步道採取積極性之防災措施有其客觀上之需要性。

- (十) 儘管防護傘設計與設置之三大基本原則為：無損於自然環境及無礙於賞景活動，而且已經以實物和實驗證實已經達到此目的，惟迄今為止的懸疑問題是：當防護傘作規模性之設置時，其景觀衝擊之規模效應如何？

對此問題唯一可能的回答還是計畫性與規模性的實驗。例如以連續防護傘構成安全廊道於遊客集散處及最愛賞景點，以檢驗其景觀適宜性。

- (十一) 峽谷步道最急迫的防災課題是：當地震突然發生時，九曲洞

東、西洞口遊客集散地和開闊長峭壁步道區的遊客，如何可適時獲得適當的庇護，以儘量降低傷亡。

(十二) 為同時解決(十)和(十一)兩項的問題，本計畫做如下之建議：

建議事項	建議內容	目的	主辦機關
立即 可行建議	1.峽谷步道落石區調查與區劃 2.峽谷步道落石區防災策略與工法規劃 3.遊客集散區、主要賞景區、地震避難區實驗性防護廊道之架設 4.防護廊道之防護功能與環境和景觀衝擊承載量觀測	1.區劃步道危險區 2.在遊憩災害敏感區進行規模性防災試驗 3.解決防災構造物之景觀衝擊懸疑	太管處
中長期 建議	1.依前期試驗觀測結果確立峽谷步道防災策略 2.研擬峽谷步道遊憩安全改善執行計畫	1.確立峽谷步道防災政策 2.研擬執行方案與執行計畫	太管處

(十三) 峽谷馬拉松活動前減輕災害之因應規劃：在現狀路況下，建議上、中、下三策，須從行政面作其適宜性評估。

- 上策：將馬拉松活動路線侷限於相對安全之公路。
- 中策：將馬拉松活動路線侷限於相對安全之步道路面，人員依規定戴安全帽。
- 下策：開放全步道區，人員依規定戴安全帽。

關鍵字：峽谷步道、步道安全、蝶形凌空墜石防護傘、試驗性設置

第一章 計畫緣起與計畫目標

太魯閣國家公園峽谷地形景觀舉世聞名，每年吸引數以萬計之國內外遊客來此探訪。

惟峽谷區步道之不同於開闊地形區步道者，在於其恆瀕臨峭壁懸崖，遊客安全深受高聳岩壁落石之威脅，卻又因受地質和地形作用等自然環境之限制，使落石等自然災害不易根除，因此使有效提升峽谷區步道之遊憩環境安全，成為管理處長久以來想努力解決之課題。

	
<p>臺北市士林區石頭厝開闊區步道，無落石之虞。</p>	<p>太魯閣峽谷區步道瀕臨峭壁，處於不時落石之威脅下。</p>

峽谷步道安全之加強設施，以須無損於自然風景與賞景為前提，兩者必須兼顧，使目的之達成有相當高之難度。因此，欲使安全改善計畫有具體之成效，則非有開創性之想法與作為不可。此為已有之共識。

本計畫在此共識之基礎上，先調查分析計畫區自然災害發生之現象與機制，從而以創新之防災構想，設計防災工法，而以能滿足下列要求為本計畫之預期目標：

本計畫成果之預期目標有五：

- (一) 確實達到峽谷區遊憩安全之防護效果。
- (二) 防護工程須與環境相容，以符合遊憩景觀美學，避免因防護工程而破壞地景、賞景及影響保育。
- (三) 防護工程應能活用各種工法因地制宜，適應各種環境災害情境。
- (四) 防護工程之施設作業力求靈活、機動及便利。
- (五) 防護工程之材質以能重複使用或資源回收為原則，以配合環保及省能減碳之政策。

同時，本計畫係以步道安全為標的，故為確實維護步道區之遊憩安全，遊客須要保持在步道內活動，才能使本計畫之步道安全防護設施發揮其功能。因此，步道區遊客安全宣導與遊客行為適當之輔導等軟體或非工程防災措施，實與工程防災同等重要，而不宜忽視。惟有兩者兼顧，安全才會有確實的保障。

第二章 計畫範圍與計畫內容

第一節 計畫範圍

太魯閣峽谷區係指砂卡礑溪至天祥間，峽谷內之「景觀型步道」(Scenic trail)，自東而西為「07 燕子口步道」、「08 九曲洞步道」等二條，其地理分布如下圖。



圖 2.1 計畫範圍地理分布圖

1. 燕子口步道：本步道全長約 1,405 公尺。



圖 2.2 燕子口步道圖

2.九曲洞步道：本步道全長約 1,132 公尺。



圖 2.3 九曲洞步道圖

第二節 計畫內容

本計畫之主要內容包括以下八項：

- (一) 計畫區自然災害環境背景分析；
- (二) 太魯閣峽谷區內步道之落石型態及自然災害史；
- (三) 道路邊坡崩塌災害處理方法之檢討；
- (四) 自然遊憩區防災文獻評析；
- (五) 田野調查與分析；
 1. 峽谷區步道落石災害潛勢區之地質與地形環境特性及災害情況之調查與分類。
 2. 檢討本計畫區既有各類道路崩塌邊坡傳統處理工法於國家公園步道之適用條件。
- (六) 計畫區防災創新工法之規劃設計；
- (七) 創新工法有效性與實用性之測試；
- (八) 結論與建議。

第三章 計畫區步道及其自然災害環境背景分析

第一節 太魯閣峽谷區步道之特色

峽谷乃交通之天然障礙。太魯閣蘊藏豐富之水力，而立霧溪河谷更為台灣東西向橫貫公路之理想路廊，因此，太魯閣峽谷區內之神秘谷、長春祠、燕子口、九曲洞、新白楊等之步道，皆為早期供應水力發電之需要或開發中部橫貫公路而產生。此種建設開山鑿路方使人們可得以親近和親睹峽谷區壯麗雄偉之天然景致。假設無此等攸關經濟或國防之建設，太魯閣峽谷之美恐因無賞景點而將永遠僅為探險家之傳說而已。

太魯閣國家公園成立後，這些產業性道路才逐漸轉型為遊憩性步道，並成為本國家公園最富人氣之自然景觀主題區。

	
X303745, Y2674012 九曲洞步道東端，原為橫貫公路。	X303934, Y2673975 九曲洞步道今為太魯閣峽谷壯麗全景之最佳賞景點。

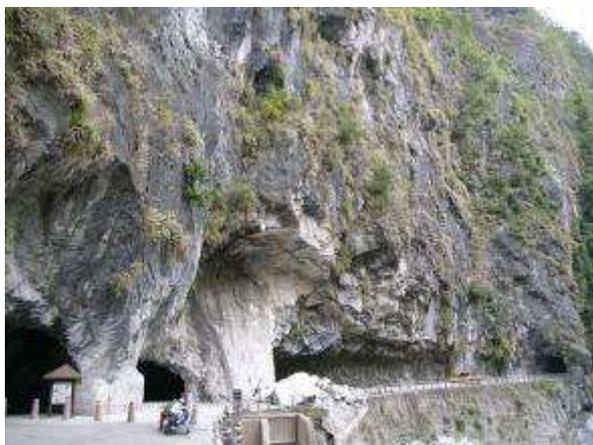
	
<p>X306584,Y2674561 燕子口半隧道步道區，原為橫貫公路之外側。</p>	<p>X306348,Y2674550 燕子口步道今為太魯閣峽谷山澗曲流與洞穴水聲之最佳觀賞點。</p>

所以太魯閣國家公園峽谷乃天工所開，而區內步道則為人力所鑿，與國外自然公園之步道大多由探險尋芳客踩踏而成者（Trail）迥異。

	
<p>加拿大 Pacific Rim National Park 之自然步道。</p>	<p>日本十和田八幡平國立公園自然步道。</p>

一般而言，開挖工程越大，自然地形之改變越大，發生災害之風險也越大。故燕子口和九曲洞步道之落石風險要大於砂卡礑步道。

太魯閣峽谷岸壁多為峭壁懸崖，經鑿穿成中橫公路後，則增加半隧道與隧道等之人工地形，彌增落石之機率。如今遊客穿梭於峭壁懸崖與半隧道及隧道間，難免不時要暴露於落石風險中。



X303099,2674311

九曲洞步道西端穿梭於自然峭壁懸崖與人工開鑿之半隧道及隧道間，有極大之落石風險。



X303635,Y2674014

九曲洞步道中段為中橫公路開挖之懸壁，如今為高落石風險步道。

第二節 太魯閣峽谷之地形作用

太魯閣峽谷的地形作用力有二：

一是立霧溪床快速的下切作用造成溪岸高大之峭壁，形成險峻而壯麗之 V-型峽谷景觀。



一是峭壁岩層持續性破碎剝落作用，在悠長的歲月裡逐漸削減峭壁坡度。



峽谷岩壁之破碎剝落之原因，一是峽谷壁之解壓節理作用，一是自然風化作用使然。

岩體內因地殼之板塊擠壓後之「殘餘應力」(Residual stress)，而在河流之沖蝕作用形成峽谷而產生解壓現象。其結果是岸壁解體，表層生成「解壓節理」(Pressure relief joint)，其兩組垂直之岩體不連續面形成峭壁岩塊墜落之條件。此種「解壓節理」依同理也發生於隧道頂拱與側壁，而造成隧道內之落盤現象。

解壓節理方便雨水與植物之著生，促進風化作用，使岩石即使於無地震與風雨之情況下，仍然會自然崩落。

所以落石現象乃峽谷發育過程之主要地形作用，屬不可避免之自然現象。

	
<p>X303078,2674327 九曲洞步道西端。解壓節理乃峭壁石塊墜落之必要之因子。</p>	<p>X297382,Y2675278 白楊步道。發生於隧道頂拱之解壓節理。</p>

第三節 峽谷落石發生時機

峽谷落石發生之時機概有三種：

- (一) 強烈地震時之大規模普遍性落石。
- (二) 降雨時局部性落石。
- (三) 風化作用無預警偶發性落石。

以上落石發生時機以突發性之地震與風化作用等無預警偶發性落石最為恐怖與難防。



X302915, Y7609611

75年11月15日地震九曲洞西側公路上落石砸毀路面及護欄情況。

X303747, Y2674012

九曲洞東端隧道區落石段。



同右上地點，於98年4月30日下午2時發生風化落石傷人事件。(自由時報)

第四章 太魯閣峽谷區災害史及其評析

第一節 過去本區重大落石災害

(一) 地震落石災害

民國 75 年 5 月 20 日和 11 月 15 日兩次規模 6.5 以上之地震，使太魯閣與綠水間之橫貫公路上邊坡發生普遍性落石事件，護欄、路基和路面接受到嚴重損壞。所幸地震發生時，本段公路遊客稀少，除 11 月 15 日清晨地震，在 185K+120 處，長春祠與寧安橋間，巨石砸進路旁工寮造成一人重傷之慘劇外，並無其他傷亡，可謂大幸。



X303153,Y2674208

75 年 5 月 20 日地震，九曲洞西端護欄和路面遭到大量落石砸損情況。



X310719,Y2673468

11 月 15 日清晨地震，在 185K+120 處，長春祠與寧安橋間，巨石砸進路旁工寮造成一人重傷之慘劇。



X306298,Y2674473

75 年 5 月 20 日地震，燕子口靳珩橋前方峭壁區步道護欄和路面遭到大量落石砸損情況。



X305113,Y2674407

75 年 5 月 20 日地震，燕子口靳珩橋西端錐麓隧道區護欄和路面遭到大量落石砸損情況。

(二) 風化落石災害

民國 76 年 7 月 6 日長春祠前方峭壁，突於無地震與風雨之情況下，發生落石災變，部分崩落岩屑落石順著斜向長春祠之岩面衝向長春祠所在地，造成三死七傷事件。

	
<p>X310325,Y2673381 76年7月6日長春祠前方峭壁突於無地震與風雨之情況下，發生落石災變，部分岩屑形成塵霧衝向長春祠之情況。</p>	<p>崩落之峭壁與堆積在坡腳之岩屑。</p>

當時風化崩落雖屬多為局部性零星事件，卻常造成傷亡。長春祠事件屬之。其他零星突發事件尚曾引起若干遊客傷亡悲劇。

近年之風化崩落之災變有 94 年 4 月 3 日文山溫泉之落石造成一死七傷和 98 年 4 月 30 日九曲洞步道落石二人受傷事件。

	
<p>X299273,Y2677253 文山溫泉風化落石傷人。</p>	<p>X303747, Y2674012 九曲洞步道東端隧道區落石段於 98 年 4 月 30 日下午 2 時發生風化落石傷人事件。(自由時報)</p>

第二節 近年太魯閣峽谷區災害記錄

(一) 太魯閣國家峽谷區步道落石事件記錄

根據太魯閣國家公園管理處布洛灣管理站提供與本計畫自行整理之資料，近年太魯閣峽谷區災害記錄如下表所示。

表 4.1 太魯閣國家峽谷區步道落石事件記錄一覽表

時間	步道名稱	落石原因	傷亡人數	備註
46.10	燕子口	地震	1 人	靳珩工程師墜谷，靳珩橋發生落石
59	長春祠	山崩		
75.5.20	太魯閣與綠水間	地震	1 傷	
75.11.15	太魯閣與綠水間	7 級地震		
76.7.6	長春祠	自然風化山崩	3 死,7 傷	
90.6.17	九曲洞西口	近日發生地震	1 傷	西口以西約 500m,約 300kg 巨石
91.3.31	燕子口	自然風化	5 傷	
91.7.10	九曲洞	大雨過後	1 傷	
93.5.1	九曲洞	7 級地震	2 死	增建明隧道、打釘卯、掛網噴漿
93.5.4	九曲洞、綠水、合流	敏督利颱風		步道欄杆遭落石壓損、流芳橋平台遭砸損
94.4.3	文山溫泉	自然風化	1 死,7 傷	
96.1.15	九曲洞西口	自然風化		步道欄杆、駁坎、電信線路遭落石壓損
96.2.22	九曲洞東口	自然風化	1 傷	
96.6.4	九曲洞	自然風化	2 傷	

表 4.1 太魯閣國家峽谷區步道落石事件記錄一覽表 (續)

時間	步道名稱	落石原因	傷亡人數	備註
96.8.20	燕子口、九曲洞	聖帕颱風		步道欄杆遭落石壓損、流芳橋平台遭砸損
96.8.25	燕子口	豪雨		步道欄杆遭落石壓損
96.9.23	燕子口、九曲洞	自然風化		
96.11.26	燕子口、九曲洞	米塔颱風		米塔颱風外圍環流山區超大豪雨影響步道多處設施遭落石砸損，步道封閉。
97.1.2	燕子口、九曲洞	自然風化		燕子口步道隧道口處欄杆遭落石砸損。九曲洞東通風坑附近及西端欄杆遭落石砸損。
97.3.27	燕子口、九曲洞	自然風化		燕子口步道東通風坑一組遭落石砸損。九曲洞西端禁止進入車阻 2 組落石砸損。
97.4.13	燕子口	自然風化		步道東段仿木地板落石砸損 14 片。
97.5.24	燕子口、九曲洞	大雨		九曲洞步道東口落石砸損欄杆設施及車阻各一處。燕子口步道東口仿木鋪面一處及中段扶手木板欄杆 4 處落石砸損。
97.6.6	九曲洞	自然風化		步道東口岩壁水泥漿塊老化掉落。
97.7.25	九曲洞西口	自然風化	1 傷	
97.7.27	九曲洞、燕子口、不動明王流芳橋、錐麓古道	大雨	1 傷	園區步道嚴重落石砸損設施，步道封閉。
97.8.3-4	九曲洞西口	鳳凰颱風	3 傷	約 200m
97.9.24	白楊、燕子口、九曲洞	哈格比颱風		因巨石壓毀固路上之明隧道，白楊步道入口受波及、燕子口、九曲洞有零星落石、砂卡礫步道整修工程受阻
97.9.28	九曲洞、燕子口、不動明王流芳橋、錐麓古道	薔蜜颱風	1 傷	園區步道嚴重落石砸損設施，步道封閉。
97.10.28	燕子口、九曲洞	自然風化		九曲洞全段多處落石砸損欄杆及路面坑洞。燕子口步道東口仿木地板遭落石砸損 3 片。
97.11.17	九曲洞	自然風化		九曲洞步道東口落石砸損一台遊客車輛及欄杆設施。
97.11.19	燕子口	自然風化		步道東口、中段分別零星落石。
97.11.28	九曲洞	自然風化		步道中段及東口嚴重落石砸損 3 台遊客車輛、欄杆設施及解說亭，步道封閉。
98.1.2	九曲洞	自然風化	1 傷	
98.1.9	燕子口	自然風化		步道東段落石砸損欄杆。
98.3.7	九曲洞	大雨		東段通風口附近嚴重落石。

表 4.1 太魯閣國家峽谷區步道落石事件記錄一覽表（續）

時間	步道名稱	落石原因	傷亡人數	備註
98.3.9	九曲洞	大雨		西段零星落石散落地面，二組欄杆損壞。
98.3.24	九曲洞	大雨	4 傷	步道西口落石砸損一台小客車及 4 名遊客受傷緊急送醫，步道封閉。
98.4.30	九曲洞	自然風化	2 傷	
98.5.29	九曲洞	自然風化	1 傷	
98.5.31	九曲洞東口	自然風化	1 傷	
98.6.29	九曲洞	地震		秀林地區地震達芮氏規模 5.6，最大震度達 5 級，自 28 起達 56 次有感地震。落下約半噸落石。
98.7.13-14	九曲洞	大雨		零星落石、護欄遭落石砸損

資料來源：太管處及本計畫自行整理

(二) 公路總局洛韶工務段峽谷區災害事件記錄

根據公路總局洛韶工務段提供之資料，近年太魯閣峽谷區台八線災害記錄如下表所示。

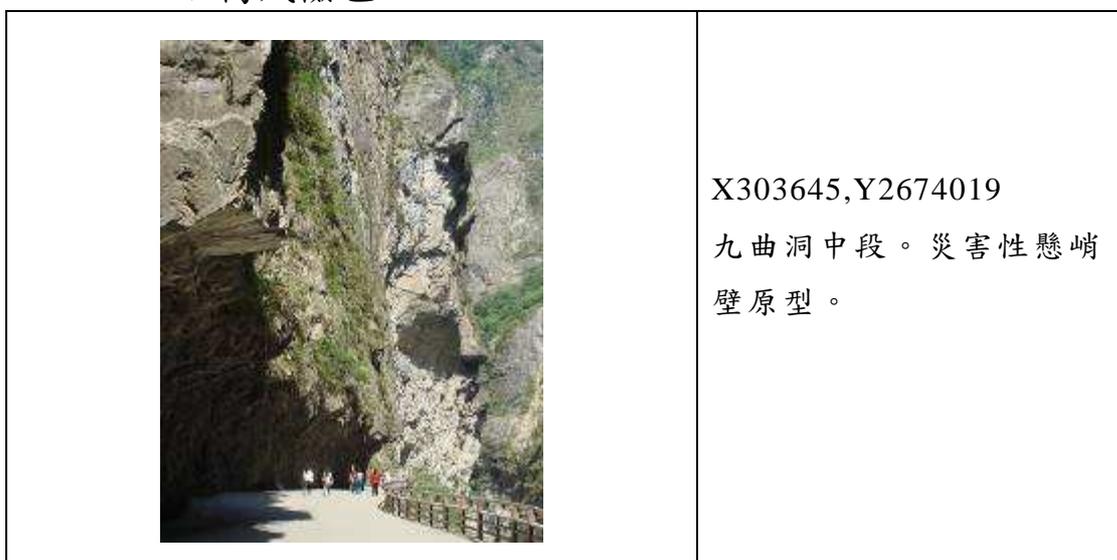
表 4.2 公路總局洛韶工務段提供之資料在計畫區內者之落石災害統計

災害名稱	路線別	地點	阻斷時間	搶通時間 (次)	單線阻斷 (次)	全線阻斷 (次)	單線通車 (天)	道路封閉 (天)	死亡人數 (人)	受傷人數 (人)
龍王颱風	台 8 線	187k+500 長春祠東方	94.10.02 14:30	94.10.14 16:00		坍方阻斷地點數量多	18	12	1	0
	台 8 線	185K+000 長春橋西 700m	95.07.24 16:40	95.07.24 16:40	1	0		0	0	4
	台 8 線	180K+000 燕子口	95.07.25 08:10	95.07.26 17:00		1		1	0	0
	台 8 線	176K+850 九曲洞	95.09.11 13:30	95.09.11 20:00		1		0.5	0	0
	台 8 線	184K+850 長春祠西 1km	97.07.28 12:40	97.07.28 16:00		1		0.5	0	0

第三節 太魯閣峽谷落石災害事件之評析

以上之災害事件顯示：

- (一) 地震和風化作用引起之落石事件之殺傷力甚大，因其事起突然，且不分晴雨，故對遊憩安全之威脅最大。風雨亦常引起落石，尤其是颱風之際為然，惟因斯時少有遊客，因而較少災情。
- (二) 落石災區以懸崖和峭壁下之路面或半隧道外側之路面為主；隧道區次之。
- (三) 本區災害歷史顯示：凡懸崖和峭壁下方之步道皆屬落石高風險區。



4.根據峭壁裂隙與路面落石砸痕估計，落石大小以直徑約 10 公分者為主。



第五章 計畫區田野調查

本計畫以燕子口和九曲洞等兩條景觀步道為調查樣區，進行步道地質災害敏感區特性與分類之調查。

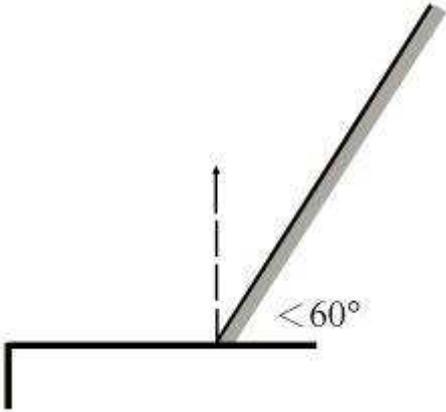
調查對象有二：

- (一) 步道之落石地形類型及分段。
- (二) 步道落石高風險區之課題。

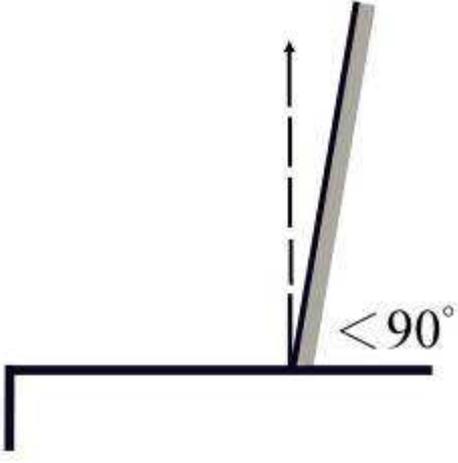
第一節 步道落石地形之類型

本項以崩落於步道上之石塊之來源、方向，及落石地點等特性，區分步道落石之地形。

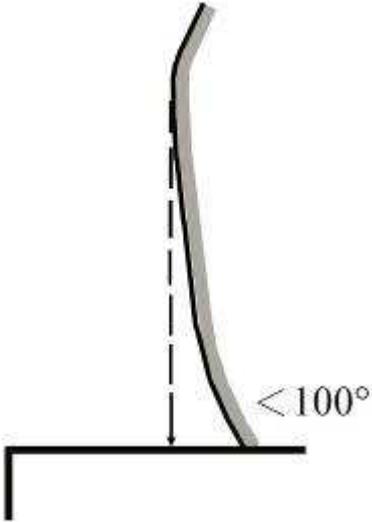
- 1. 斜坡型—山坡坡度 $<60^\circ$ ，路內緣垂線完全透空；落石沿斜坡面側向滾落至路面內側。

	
<p>圖 5.1 斜坡型落石示意圖</p>	<p>X299784,Y2675106 天祥前舊道斜坡型落石區。</p>

- 2. 絕壁型—山坡坡度 $<90^\circ$ ，路內緣垂線完全透空；落石沿斜坡面或凌空快速滾落或彈跳至路面內側。

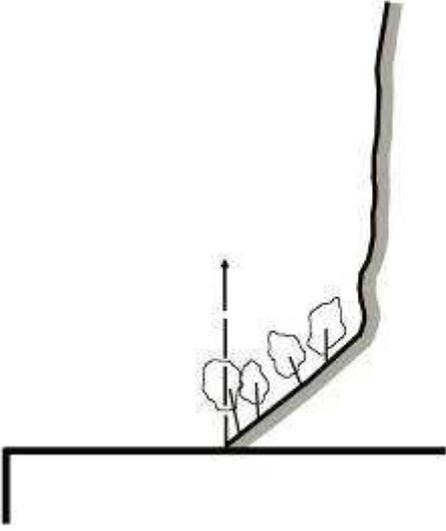
	
<p>圖 5.2 絕壁落石示意圖</p>	<p>X306340,Y2674484 燕子口步道靳珩橋東側絕壁落石區。</p>

3. 峭壁型—山坡坡度 $<100^\circ$ ，懸壁外緣投影點在路內側三分之一寬度內；落石凌空墜落於路央及內側。

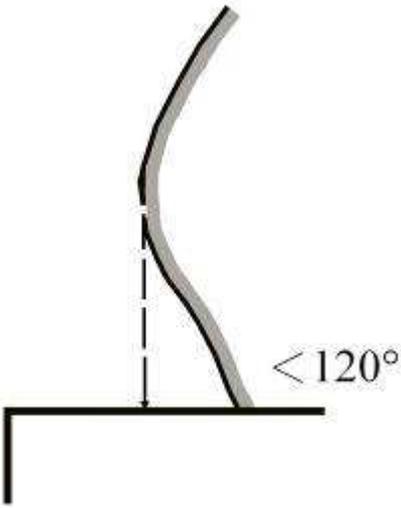
	
<p>圖 5.3 峭壁落石示意圖</p>	<p>X304007,Y2674049 九曲洞步道東入口峭壁區。</p>

4. 內縮峭壁型—峭壁坡腳有崩積土石緩坡，生長雜木；路內

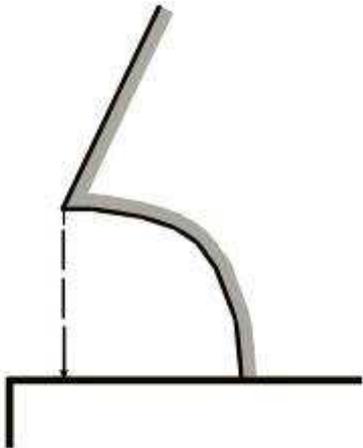
緣垂線完全透空；落石先墜落崩基坡再沿斜坡面滾落路面。

	
<p>圖 5.4 內縮峭壁落石示意圖</p>	<p>X305494,Y2674312 燕子口步道靳珩橋內縮峭壁落石區。</p>

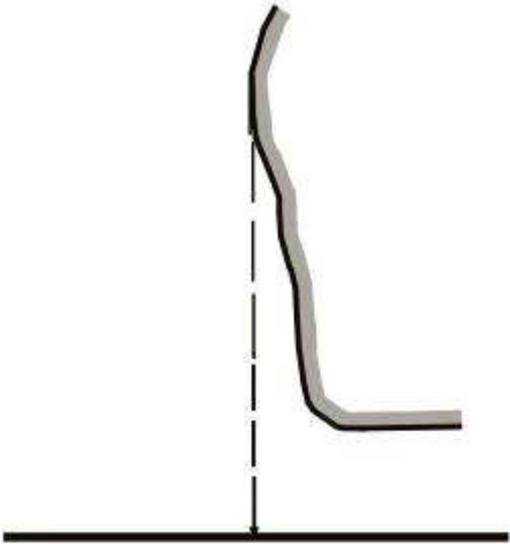
5. 懸壁型—山坡坡度 $< 120^\circ$ ，懸壁外緣投影點在路內側三分之一寬度外；落石凌空墜落路央及外側。

	
<p>圖 5.5 懸壁落石示意圖</p>	<p>X303136,Y2674250 九曲洞步道西端懸壁區。</p>

6. 半隧道型—半隧道外緣投影點在路內側三分之二寬度外；落石墜落路面外側。

	
<p>圖 5.6 半隧道落石示意圖</p>	<p>X303790,Y2673988 九曲洞步道半隧道懸壁外緣。</p>

7. 洞口懸壁型—隧道洞口上方峭絕壁；落石凌空落墜落於洞口路面。

	
<p>圖 5.7 洞口懸壁落石示意圖</p>	<p>X303089,Y2674329 九曲洞步道西洞口上方峭壁。</p>

8.隧道內型—隧道側牆與頂拱岩壁；落石於隧道洞內墜落路面。



第二節 岩壁破裂情狀之崩落風險度

(一) 岩壁崩落之要件

在現場辨識岩壁崩落難易度之指標有三，即：

- 1.岩壁裂隙組數；
- 2.岩壁裂隙面風化度；
- 3.岩壁岩塊鬆動度。

茲分述於次。

(二) 岩壁裂隙組數

岩壁裂隙組數即為岩體之破碎度。除坡面外，岩體有兩組以上之破裂面（物理不連續面）貫穿者，已具崩落之基本條件。破裂面有三組者，形成滑動面透空之懸壁滑動自由面之機率增加，而增加崩落之機率。破裂面之間隔越大者，崩落石塊之體積越大，其殺傷力及波及範圍也越大。

	
<p>X306930,Y2674423 布洛灣西端絕壁，片麻岩，無節理面之發育。極穩定。</p>	<p>X303478,Y2673922 九曲洞對岸大理岩峭壁，一組垂直節理，中央無懸空順向節理面。極穩定。</p>
	
<p>X303167,Y2674254 九曲洞西端大理岩懸壁，有三組節理面，其中兩組為相互垂直之垂直節理面，已具崩落之充分條件。</p>	<p>X302241,Y2675220 慈母橋東端大理岩峭壁，具多組節理面和滑動自由面，形成懸掛岩面，崩落機率大。</p>

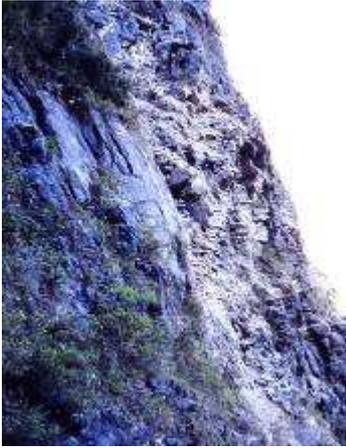
(三) 節理面風化度

節理面風化度係指節理面之變色與變質之程度，乃節理面兩側岩石相互脫離之程度之指標。節理面風化度大者，節理面兩側岩石相互間已無結合力存在，而處於可隨時脫落之狀態。變質與變色乃兩水流通之結果。

	
<p>大理岩峭壁，褐色節理面深入岩體內；其有植物生長者，除表示岩面已變質成土壤外，其根部之生長與分泌酸性物質更有撐裂作用。</p>	<p>大理岩峭壁，多組節理及變色節理面。其垂直破裂面有向上發展之趨勢，乃極易崩落之危險峭壁。</p>

(四) 節理鬆動度

節理鬆動度係指節理面已有移位變形之現象，乃即將脫落之徵兆。

	
<p>大理岩峭壁，極度破碎岩壁已有蠕動變形情況，勢極危殆。</p>	<p>大理岩懸壁，開口節理其崩落似在旦夕。</p>

(五) 田野調查研判

臨場之判斷以岩體之鬆動度為首要著眼點，其次是破碎度；節理之風化度則為輔助性參數，具加值之功能。

第三節 峽谷區步道樣區落石地形調查

(一) 田野調查方法

田野步道樣區地形測量以下列步驟進行：

1. 現地辨識其代表性地形斷面類型（圖 5.9），並確認其連續路段起迄點。

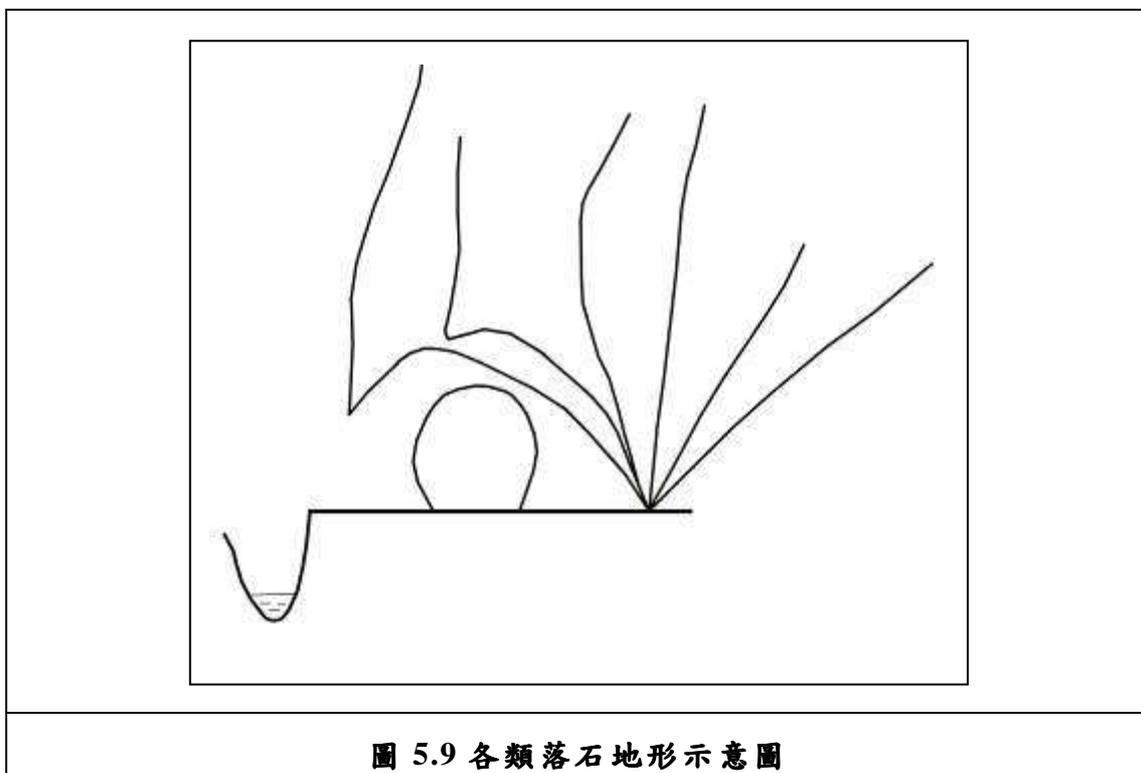


圖 5.9 各類落石地形示意圖

2. 以「步道落石地形測量記錄表」（表 5.1）記錄各該地形路段各項目之數據。

表 5.1 太魯閣峽谷區 OO 步道落石地形測量記錄表 年 月 日

路段序碼： 1 2 3 4 5 6 7 8		自基線方位： NS EW		距基線距離： (m)		座標： X Y		照片號碼：	
坡形： 1 緩坡 2 陡坡 3 絕壁 4 峭壁 5 懸壁 6 半隧道 7 隧道內					岩性： <input type="checkbox"/> 變質石灰岩 <input type="checkbox"/> 片麻岩 <input type="checkbox"/> 片岩 <input type="checkbox"/> 互層				
① 步道寬度	② 路面岩壁 最高點高度	③ 最高點之路面 投影點距坡腳	④ 懸壁緣高度	⑤ 懸壁緣路面 投影點距 坡腳	⑥ 可能落石 點距坡腳				
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)				
可能落石來處： <input type="checkbox"/> 緩坡 <input type="checkbox"/> 陡坡 <input type="checkbox"/> 峭壁 <input type="checkbox"/> 懸壁緣 <input type="checkbox"/> 半隧道緣 <input type="checkbox"/> 隧道頂拱		落石高度： (m)		落石著地點：步道 <input type="checkbox"/> 內側 <input type="checkbox"/> 中間 <input type="checkbox"/> 外側		節理面間 (cm)： 節理面狀態： <input type="checkbox"/> 密接 <input type="checkbox"/> 開口 <input type="checkbox"/> 鬆動		推測落石直徑 (cm)：	
防護對策： <input type="checkbox"/> 防護工程 1. 防護傘類型： <input type="checkbox"/> V 型全型傘 <input type="checkbox"/> A 型全型傘 <input type="checkbox"/> 外斜半型傘 <input type="checkbox"/> 內斜半型傘 <input type="checkbox"/> 複合型傘 2. 設置地點：步道 <input type="checkbox"/> 內側 <input type="checkbox"/> 中間 <input type="checkbox"/> 外側 <input type="checkbox"/> 崩塌處治理工程：									
照片					照片				

表 5.2 燕子口步道各段特性一覽表

路段	長度 (公尺)	步道特性
1.隧道東洞口東段	81	懸壁頂及峭壁破碎、鬆動。
2.隧道段	603	已治理，懸峭壁破碎。
3.隧道西洞口西段已治理峭壁	100	低處已治理；高處岩體破碎。
4.未治理峭壁	80	節理密度大。
5.退縮峭壁段	132	節理密度大、裂隙長草。
6.靳珩橋、明隧道	110	靳珩橋、明隧道。
7.半隧道段	268	頂拱及峭壁節理發達。
8.步道終點前	363	安定。

2008 年福衛垂直影像無法顯示路況，惟魯丹溪集水區有大面積崩塌地，其崩積物與高溪床，影響溪口靳珩橋，而靳珩橋兩側有裸岩區，顯示其山壁有不穩定之情況。

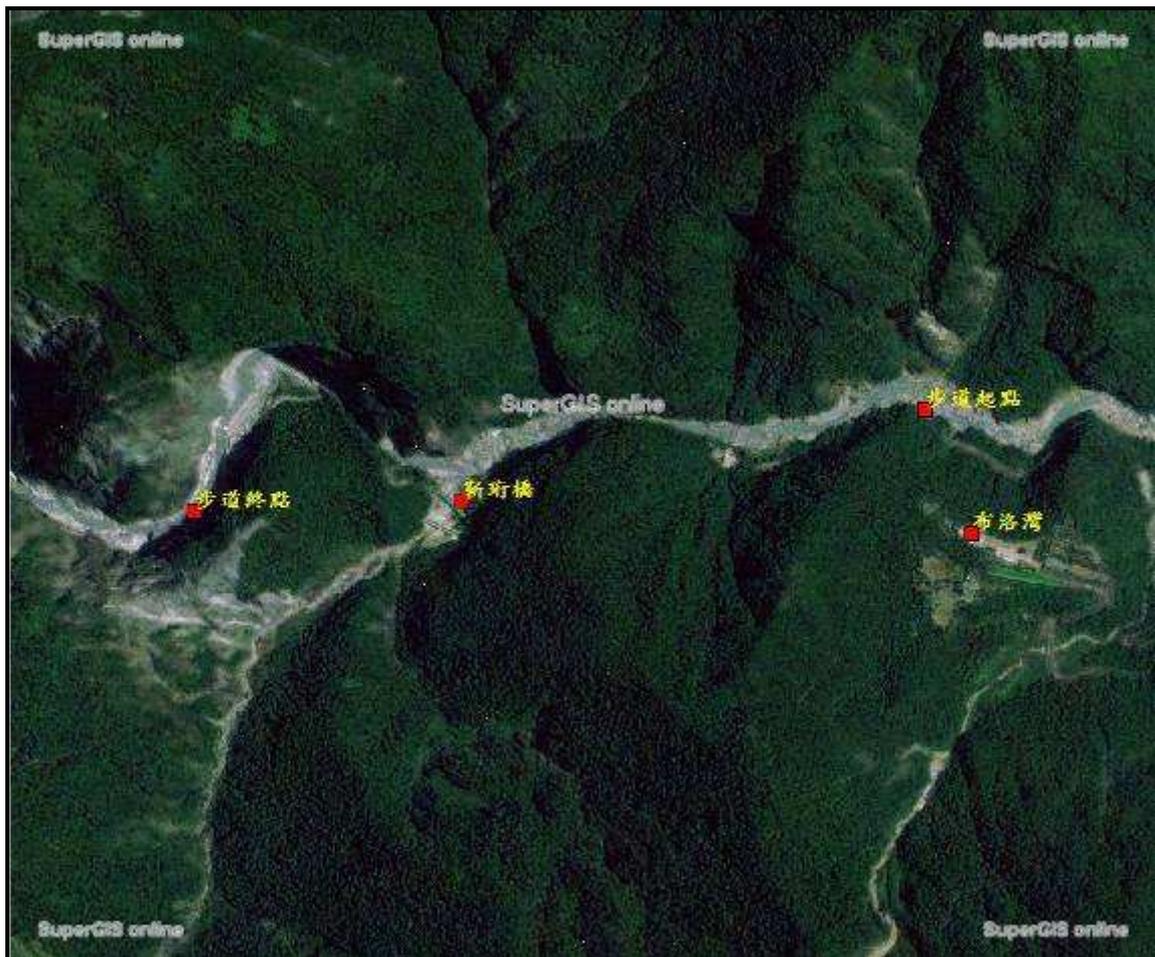


圖 5.11 九十八年燕子口步道福衛影像圖

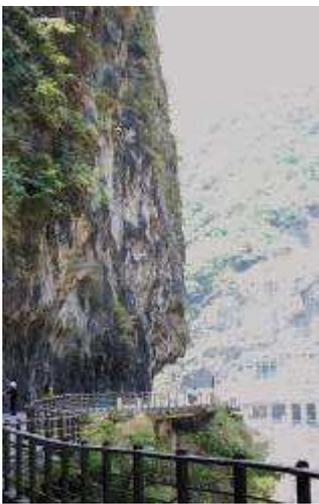
1.東洞口前

路段	長度	地形類型	治理情形	岩壁情況	落點
1.東洞口前	60 (m)	懸壁型	部分掛網	懸壁頂及峭壁 破碎、鬆動	落石凌空墜落路 央及外側。
					
X307036,Y2674529 懸壁，內壁已經治理。			X307041,Y2674529 懸壁頂拱及峭壁破碎岩體。		
處理建議：懸壁掛網噴漿加岩栓；步道防護來自峭壁落石。					

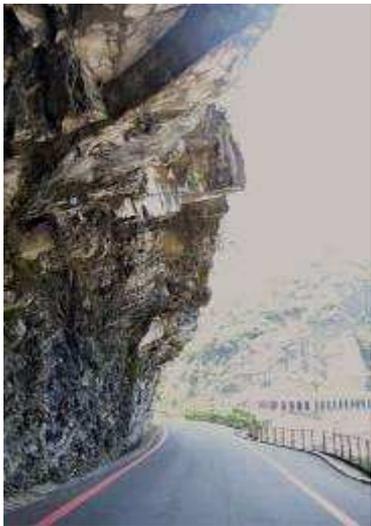
2.隧道段

路段	長度	地形類型	治理情形	岩壁情況	落點
2.隧道段	610 (m)	隧道、半隧道懸 峭壁	隧道已掛網噴 漿加岩栓	懸峭壁破 碎	落石凌空墜落 路央及外側。
					
X306650,Y2674545 隧道內壁已掛網噴漿加岩栓。			X306481,Y2674534 步道上懸峭壁高處有破碎岩體。		
處理建議：步道防護來自峭壁落石。					

3.峭壁前段

路段	長度	地形類型	治理情形	岩壁情況	落點
3.峭壁前段	130 (m)	懸峭壁	低處岩壁已處理	高處岩體破碎	路央
					
X306380,Y2674476 低處內壁已掛網噴漿加岩栓。			X306322,Y2674471 步道上高處峭壁有落石之虞。		
處理建議：步道防護來自峭壁落石。					

4.峭壁末段

路段	長度	地形類型	治理情形	岩壁情況	落點
4.峭壁末段	70 (m)	懸峭壁	未處理	節理密度大	路央
					
X306284,Y2674442 道路上方高大峭壁節理密度大，有崩落之虞。			X306284,Y2674442 道路上方高大峭壁節理密度大，懸空自由面，有崩落之虞。		
處理建議：懸壁掛網噴漿加岩栓；步道防護來自峭壁落石。					

5.退縮峭壁段

路段	長度	地形類型	治理情形	岩壁情況	落點
5.退縮峭壁段	150 (m)	退縮峭壁	未治理	節理密度大、 裂隙長草	滾落內側
					
X306219,Y2674354 靳珩橋峭壁下植生緩坡腳。			X306219,Y2674354 靳珩橋峭壁裂隙生長草木情況。		
處理建議：步道內側防護來自峭壁落石。					

6.明隧道段

路段	長度	地形類型	治理情形	岩壁情況	落點
6.明隧道段	20 (m)	峭壁	明隧道	—	—
					
X306121,Y2674397 靳珩橋西端明隧道防崩壁落石。			X306121,Y2674397 靳珩橋西端明隧道防護道路安全。		

7.半隧道段

路段	長度	地形類型	治理情形	岩壁情況	落點
7.半隧道段	310 (m)	半隧道、懸峭壁	未治理	頂拱及峭壁節理發達	步道
					
處理建議：頂拱掛網噴漿加岩栓；步道防護來自峭壁落石。					

8.步道西端

路段	長度	地形類型	治理情形	岩壁情況	落點
8.步道西端	230 (m)	緩坡	無	安定	無
					
X305787,Y2674614。 步道西端緩坡區，植被茂密。		X305655,Y2674553。 步道西端緩坡區，植被茂密。			

(三) 九曲洞步道之調查與分析

1. 步道分段及其落石來源區

九曲洞步道全長約 1,200 公尺，共分八個路段，如下圖：

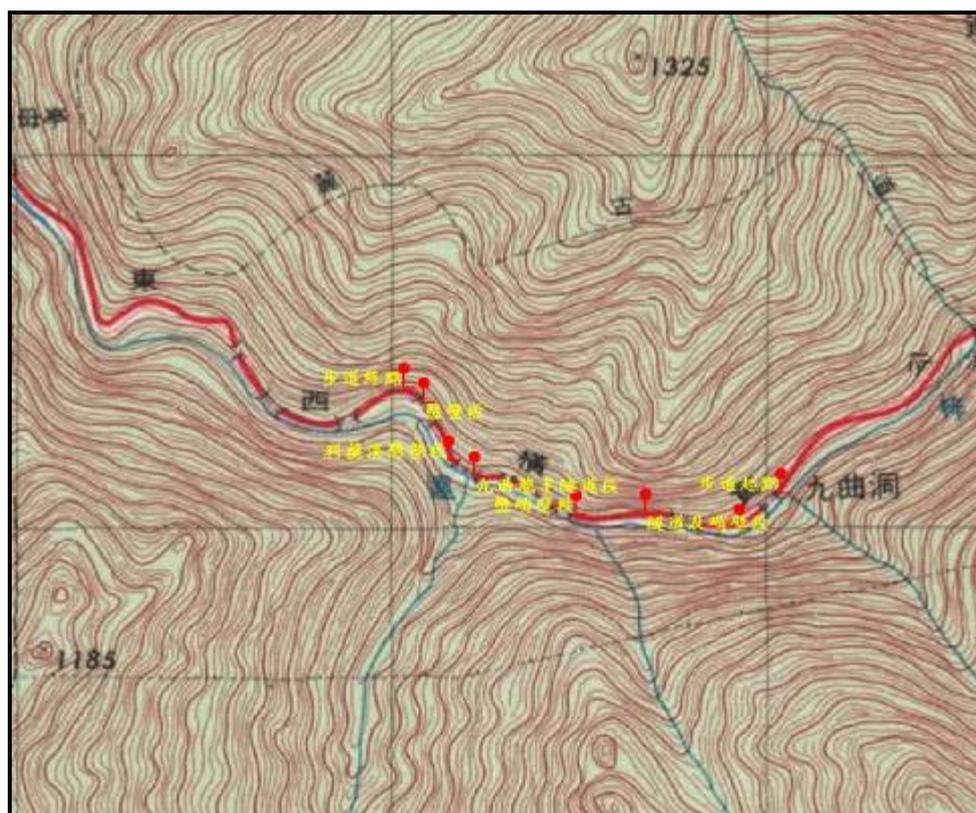


圖 5.12 九曲洞步道各路段特性地理位置圖

表 5.3 九曲洞步道各段特性一覽表

路段	長度（公尺）	步道特性
1.東洞口前段	170	峭壁高處節理發達
2.隧道、懸峭壁段	218	隧道、懸峭壁節理發達
3.懸峭壁段	230	懸峭壁落石嚴重區
4.九曲蟠龍半隧道段	260	半隧道、懸峭壁落石嚴重區
5.科蘭溪口段	70	懸峭壁落石嚴重區
6.西懸峭壁段	200	懸峭壁落石嚴重區
7.步道終點停車場段	75	半隧道、峭壁落石嚴重區

九曲洞步道之懸峭壁和半隧道之長度之比例大，因此全線落石危險性特高。2008年福衛影像顯示本步道上山坡崩塌裸露地之範圍頗大，包括東洞口對岸崩落之石塊亦可能掉落在步道上，而且都屬峭壁凌空墜落型，迄無妥善之對策。

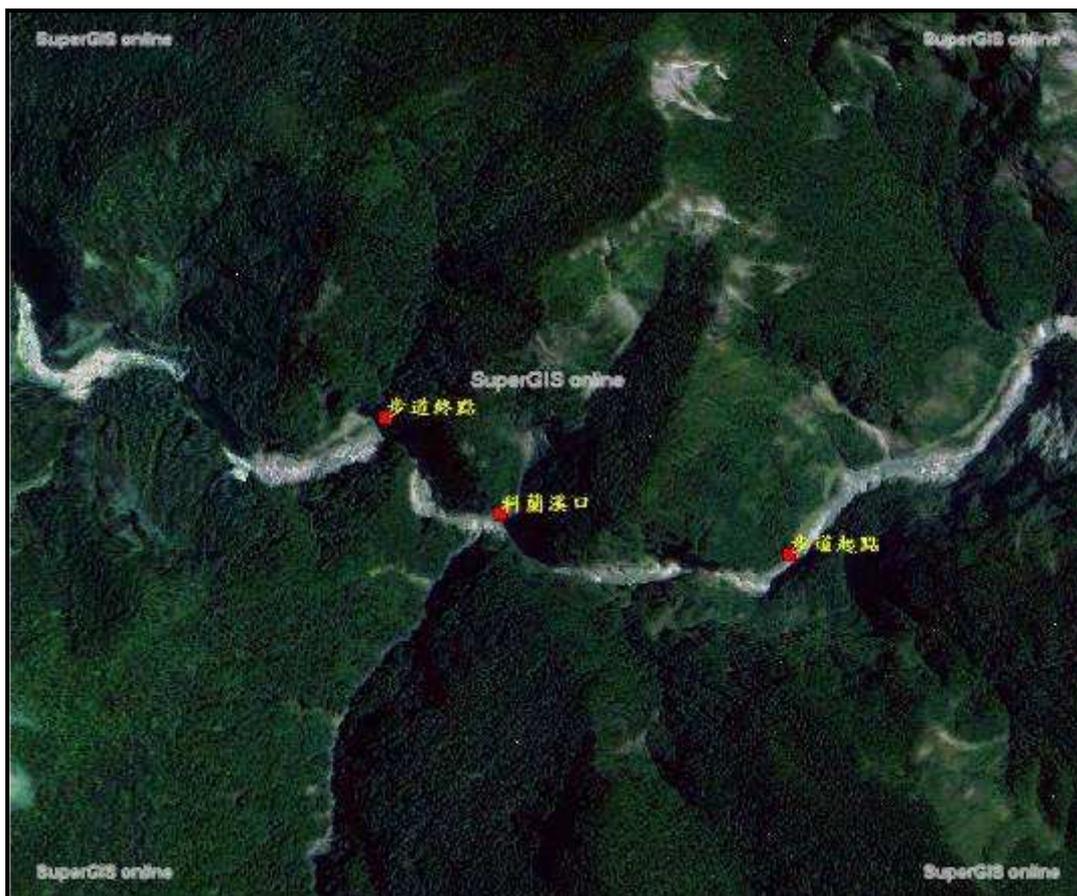
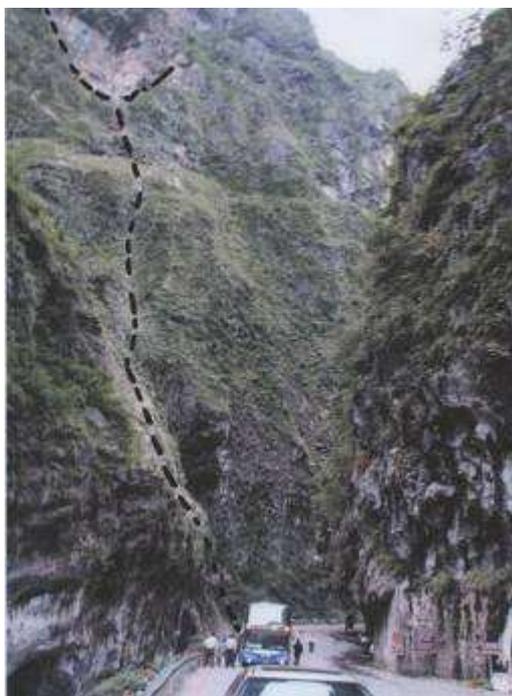


圖 5.13 九十八年九曲洞步道福衛影像圖



X304106,Y2673890
九曲洞東洞口對岸落石
區滑落斜面指向步道區
。

茲將各路段落石狀況分述於次：

1. 東洞口前

路段	長度	地形類型	治理情形	岩壁情況	落點
1. 東洞口前	70 (m)	懸峭壁	低處已噴漿處理	峭壁高處節理發達	中、外側
					
X304086, Y2674147 東洞口前高大懸峭壁，路面有落石坑洞。			X304054, Y2674104 東洞口懸壁節理發達破碎易崩。		
處理建議：步道防護來自峭壁落石。					

2. 隧道、懸峭壁段

路段	長度	地形類型	治理情形	岩壁情況	落點
2 隧道、懸峭壁段	310 (m)	隧道、懸峭壁	未治理	節理發達	中、外側
					
X303930, Y2673991 懸壁頂拱節理發達，易崩落。			X303747, Y2674012 九曲洞東端隧道峭壁區 落石段於 98 年 4 月 30 日下午 2 時發生風化落石傷人事件。		
處理建議：清理危石、頂拱掛網噴漿加岩栓；步道防護來自峭壁落石。					

3.懸峭壁段

路段	長度	地形類型	治理情形	岩壁情況	落點
3.懸峭壁段	270 (m)	懸峭壁	洞口局部噴漿處理	落石嚴重區	全路面
					
X303620,Y2674022 高大懸峭壁區，落石高風險區。 處理建議：步道防護來自峭壁落石。			本區路面佈滿落石砸成之坑洞。		

4.九曲蟠龍半隧道段

路段	長度	地形類型	治理情形	岩壁情況	落點
4.九曲蟠龍半 隧道段	260 (m)	半隧道、懸峭壁	未治理	落石嚴重區	全路面
					
X303332,Y2674126 隧道頂拱岩石節理面發達，易崩。			X303353,Y2674115 峭壁下之觀景點地面上密布落石砸成之坑洞。		
處理建議：步道防護來自峭壁落石。					

5. 科蘭溪口段

路段	長度	地形類型	治理情形	岩壁情況	落點
5.科蘭溪口段	70 (m)	懸峭壁	未治理	落石嚴重區	全路面
					
X303213,Y2674149 懸峭壁岩石破碎、易崩。			X303186,Y2674144 峭壁下之觀景點地面上密布落石砸成之坑洞。		
處理建議：步道防護來自峭壁落石。					

6. 西懸峭壁段

路段	長度	地形類型	治理情形	岩壁情況	落點
6.西懸峭壁段	100 (m)	懸峭壁	未治理	落石嚴重區	中、外側
					
X303131,Y2674263 高大峭壁，落石高風險區			X303139,Y2627210 道路中、外側密布落石砸成之坑洞。		
處理建議：步道防護來自峭壁落石。					

7. 步道終點停車場段

路段	長度	地形類型	治理情形	岩壁情況	落點
7. 步道終點 停車場段	75 (m)	半隧道、峭壁	未治理	落石嚴重區	全路面
					
<p>處理建議：步道防護來自峭壁落石。</p>					

整體而言，九曲洞之隧道與峭壁之岩體多破碎情況，且其遊客眾多，其遊憩安全問題亟需解決。

第四節 太魯閣峽谷區步道災害特性分析

- (一) 根據燕子口和九曲洞步道之調查，落石災害以懸崖峭壁下之步道最為嚴重，隧道次之。九曲洞之懸崖峭壁下之步道最長，情勢最為嚴峻。
- (二) 隧道及低處岩壁皆可以傳統工法以掛網、噴漿、岩栓等作有效之處理。
- (三) 懸峭壁高處落石區，除公路以明隧道處理外，迄無對策，乃本計畫之課題。

第六章 日本自然公園峽谷區步道防災對策

第一節 日本自然公園步道整備及管理水準

本計畫從日本國環境省自然環境局國立公園課取得其自然公園步道整備及管理水準之相關文件。

自然公園步道分為三類，與太魯閣國家公園相當，如表 6.1～6.2、圖 6.1：

表 6.1 日本自然公園步道分類表

步道タイプ		利用目的	立地環境	想定利用者層		整備レベル
				裝備		
登山道	パリエーションルート	登山、探検・探索、トレッキング等(大自然の、中で過ごし、より深く、密接な自然體驗を目的とする。)	高山帯、岩稜部等	上級登山家(登山家、探検家)	登山用の裝備が必要	無整備
	山稜・高山帯ルート		高山帯、山稜(ガレ場、岩場)	中級以上の登山者(登山歴があり、必要な技術等を判断できる者)	登山用の裝備が必要	無整備 補修・修復
	草原・濕原ルート		樹林帯、山麓、低山地	初級以上の登山者、団体登山者(基礎的な登山技術を備えた者)	登山靴	無整備 補修・修復 自然同化型
			草原、濕原、希少生物生息地等の保全対象地、原生的自然域(傾斜の使まる登山口から山岳部に至る歩道も含む)	上記利用者層全て	登山靴	無整備 補修・修復 自然同化型
探勝路	自然風景觀賞、動植物觀察、ハイキング、クロスカントリースキー(豊かな自然の中で自然に親しむ等のふれあいを目的に利用する。)	山地、丘陵、里地、海浜地等(起終点はバス停や駐車場等の交通機関と接している)	ハイカー、自然愛好家、ファミリー、グループ、学校等	運動靴、トレッキングシューズ等	保全修復型 自然融合型	
園路	散策、リゾート、觀光(自然景観地を訪れ、雄大な風景や名勝にふれ豊かな自然に接する目的で利用する)	自然景観地、集団施設地区、利用拠点等、施設地区内聯絡路等	ファミリー、グループ、学校、団体等、全ての公園利用者。一部高齢者や障害者等の利用が可能。	タウンシューズ等	自然調和型	

出典：平成 13 年度自然景観地における歩道計画・整備高度化技術の検討調査委託報告書(平成 14 年 3 月(財)国立公園協會)、自然公園等事業技術指針(試行版)(平成 13 年 3 月環境省自然環境局自然環境整備課作成)を元に一部修正

表 6.2 日本自然公園歩道表整備及管理内容一覽表

歩道タイプ	整備のイメージ	整備内容	維持管理内容	備考
登山道	無整備	険しい山岳地帯と異なる、穏やかですぐれ自然を「自然のまま」に楽しむたあ、基本的に安定している状況では無整備。	山小屋や登山者からの等通報による危険情報の伝達。自然災害等の破損の復旧だけで管理作業も行わない。	自然災害等による破損の場合のみ、復旧作業を行う。
	補修・修復	既存施設の破損箇所等の修復を行う。浸食等の発生、拡大を防ぐ修復整備を行う(排水処理、充填処理、表面被覆等)。飛び石や踏み板を設置する(踏み固めに伴う水たまりを避けてはみ出したとによる植生の破壊対策)。	登山シーズン前や繁忙期に巡視を行い、点検する。ササ刈り、倒木の除去、標識の設置等の安全確保を主眼に保守管理を行う。	既存施設、路面浸食、植生破壊、浸食進食箇所等の必要な箇所のみ補修等を行う。
	自然同化型	現況の自然に同化するよう周囲の自然石や倒木等を用い、浸食の拡大を防止する。最少限の資材で浸食の拡大やはみ出し等を防止する。	浮き石の処理や腐食した木材の取り替え等を点検により行う。破損した施設は早急に撤去し取り替える。	条件が厳しい(集水地点や地形の変化点等)箇所、多数の利用者の影響箇所。
探勝路	保全修復型	既存の踏み分け道や通路、ハイキングコース等の環境保全(ササ・下草刈り、水の処理等)、斜面地での土留め等の修復により歩道を整備する。	定期的な巡視と速やかな補修を行う。ササ・草刈りや安心して歩けるよう路面の修復等、比較的密度の高い管理を行う。	ハイカー等、安心して気軽に歩けるよう、標識や案内・解説板等も整備する。
	自然融合型	既存の路面修補を基本としながらも、安定処理や、景観にとけこむ資材(土、砂利・碎石、石材、木材等)を用い整備する。	定期的な巡視等を行い、浸食が進む前に補修や補足充填等を行う、拡大の防止を図る。	極周辺で採取できる資材等を用い、他からの持ちこたえを最少限にする。
園路	自然調和型	自然性や文化性等の環境特性に調和する資材を用い、利用状況に合わせ機能的で快適性に留意した整備を行う。ゆっくりと過ごせるようにベンチ等休憩施設を取り入れて整備することも効果的である。	清掃等を含めて、定期的な点検・補修等により充実した管理を行う。	多数の利用者や、高齢者や障害者等を含む多様な利用者への対応を考慮する。地域で産出する素材を極力用いる。

出典：平成 13 年度自然景観地における歩道計画・整備高度化技術の検討調査委託報告書(平成 14 年 3 月(財)国立公園協會)に基づいて作成

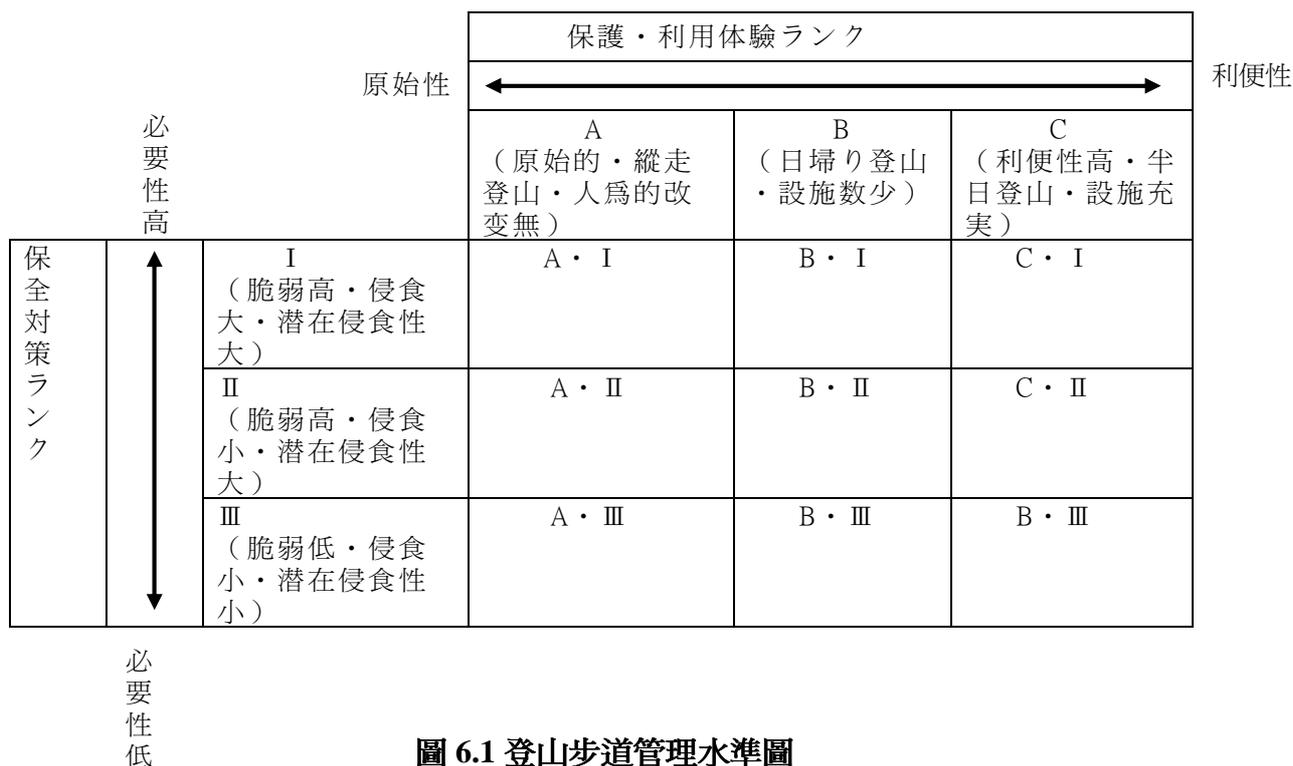


圖 6.1 登山步道管理水準圖

第二節 日本自然公園峽谷區步道情況

日本山岳地域之自然公園大多有峽谷步道，如下列者，其對步道之管理與自然災害之處理情況應有可借鏡之處，而值得太魯閣國公園管理處作現地之觀摩與研討。

(一) 國立公園

1. 大雪山國立公園 (北海道)
2. 上信越高原國立公園 (群馬縣、新潟縣、長野縣)
3. 中部山岳國立公園 (新潟縣、長野縣、富山縣、岐阜縣)
4. 南阿爾卑斯國立公園 (靜岡縣大井川)
5. 十和田八幡平國立公園 (青森縣奧入瀨)

(二) 國定公園

1. 藏王國定公園 (宮城縣白石市)
2. 越後三山只見國定公園 (福島縣、新潟縣)
3. 祖母傾國定公園 (大分、宮崎)
4. 八之岳中信高原國定公園 (山梨縣、長野縣)

第三節 日本國立公園峽谷區步道遊憩安全處理現況

本節係根據蒐集所得之峽谷區步道照片實況所作之推論。

(一) 日本國立公園峽谷步道及其處理情況

1. 大雪山國立公園 (北海道)

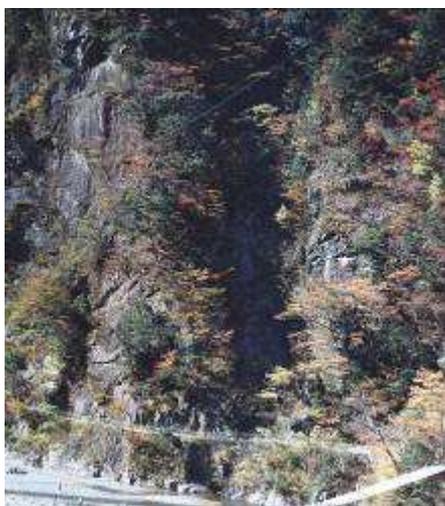
	<p>北海道上川郡大雪山國立公園。其有落石之虞之峭壁下通路，係採取以擋土牆和防石柵隔離之直接保護通路安全策略，以維護柱狀玄武岩壁之自然狀態。</p>
---	--

2. 上信越高原國立公園 (群馬縣、新潟縣、長野縣)

	
<p>群馬縣利根郡水上町上新越高原國立公園。瀑布內側峭壁下步道上岩石有崩落之高潛勢危險。並無治理崩壁或保護保全步道安全之措施。</p>	<p>群馬縣利根郡水上町上新越高原國立公園。安全度較高之棧道和遊憩區。無治理或保護措施。</p>

3. 中部山岳國立公園（新潟縣、長野縣、富山縣、岐阜縣）

4. 南阿爾卑斯國立公園（靜岡縣大井川）

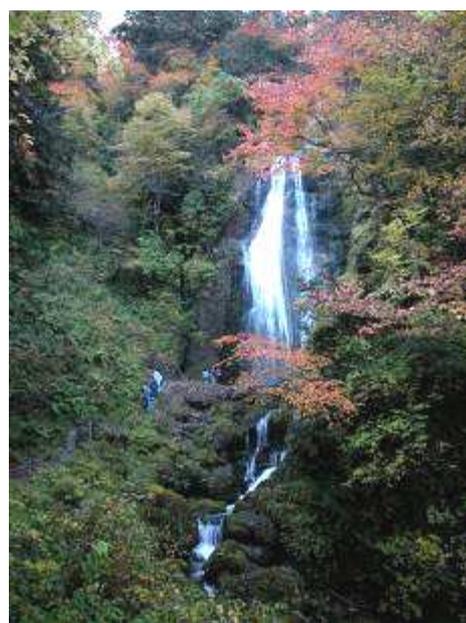


南阿爾卑斯國立公園。靜岡縣大井川寸又峽峭壁下步道，有落石之虞。無治理或保護措施。

5. 十和田八幡平國立公園（青森縣奧入瀨）



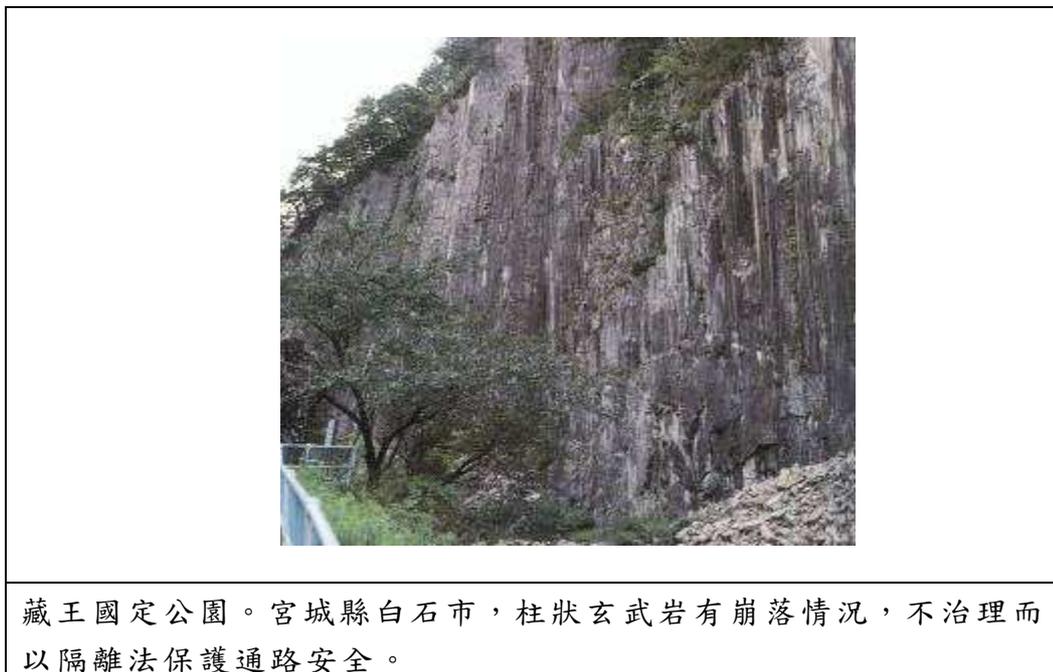
十和田八幡平國立公園。青森縣奧入瀨安全度較高之道路，無治理或保護措施。



十和田八幡平國立公園。青森縣抱返溪谷，有落石之虞。無治理或保護措施。

(二) 日本有峽谷步道之國定公園及其處理情況

1. 藏王國定公園 (宮城縣白石市)



第四節 日本峽谷步道之處理策略之評析

茲就以上之資料，試對日本峽谷步道之處理策略作如下之初探：

- (一) 日本自然公園峭壁區步道或通路雖有不同程度之岩壁崩落之風險，其共同之點為：為保持自然景觀之完整性，而不作岩壁之直接治理。
- (二) 以上步道有落石之虞之峭壁概為未經人工改造之自然岩壁，在強調自然環保安全的自然公園區內，自不宜對其現狀的自然顏面有所損傷。
- (三) 運用防落石柵等之防護設施，以阻隔落石於步道之外的直接保護遊憩安全，似乎為其兼顧環境與安全之策略。

第七章 太魯閣峽谷區步道防災對策

第一節 步道防災對策

太魯閣峽谷區之燕子口和九曲洞兩條步道具有落石之高風險，尤其是九曲洞步道之懸峭壁之長度大，發生落石災變之機率特高。

步道危險路段之安全使用管理有以下六策，其中 1、2 兩項為工程硬體防災；3、4、5、6 四項為非工程管理防災。

1. 治理危石發生區；
2. 保護保全對象之防護設施；
3. 危險區警示標誌；
4. 隔離危險區；
5. 遊憩環境教育宣導；
6. 遊客之環境識覺。

(一) 工程硬體防災

1. 治理危石發生區：災源區之直接治理，即所謂之「源頭治理」，乃釜底抽薪之根本解決之方。惟峽谷區落石主要源頭之懸峭壁規模高大，其低處者可行，高處者仍難企及。
2. 保護保全對象之防護設施：步道之保全對象為遊客，故於危石發生區設置落石隔離設施，藉以直接保護遊憩安全，乃懸峭壁規模高大之處之唯一辦法。

(二) 非工程管理防災

非工程防災係指經由道路使用管理與道路使用者之危機意識與遊憩行為自我管理之方法，達到遊憩安全之目的策略。

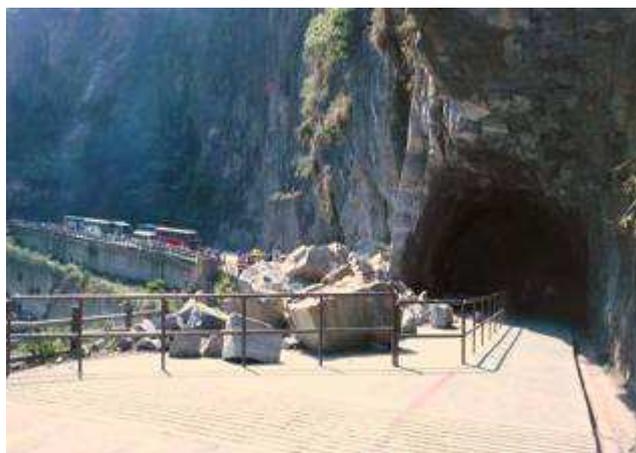
1.道路使用管理

- (1) 危險區警示標誌：曾發生生命財產損傷地點及高風險地區設立文字、圖畫、電子走馬燈等警示標誌，或劃定禁止遊客進入之紅線區，以加強其警告性。



九曲洞步道隧道區 98 年 4 月 30 日落石傷人區，宜以紅線劃其落石危險區。

2.隔離危險區：極度危險區域以圍籬禁止遊客進入。



九曲洞西洞口落盤極度危險區，以欄杆隔離，以禁止遊客進入。



九曲洞西洞口落盤極度危險區欄杆範圍應包含整個落盤危險區。

3.遊憩環境教育宣導：編製並公告步道自然落石風險特性與

遊客自我保護須知，並責成旅遊嚮導人員隨機宣知。



旅遊嚮導應經常講習，熟習遊憩環境之特色，隨機向遊客宣導。

4.遊客之環境識覺：自然步道使用者須有自然風景區的危機意識，用心配合和遵守基本事項，否則再安全之防護工程也難達到安全遊憩之目的。



自然步道使用者須有自然風景區的危機意識，不可在高落石風險區逗留。

第二節 工程防災

(一) 工程防災之可行性

自然公園內任何足以減損環境與生態品質之工程幾乎皆不被容許。因此工程防災之想法概不被認同。

惟太魯閣峽谷之燕子口和九曲洞步道，乃由人力鑿成之公路轉型而成，不同於一般自然步道，故其本身不屬自然景觀，其安全改善工程，在不破壞自然環境與妨礙觀賞自然風景的前提下，遵照相關法令施作，應屬可行。

(二) 我國國家公園法災害治理工程之許可

根據我國「國家公園法」第十四條（一般管制區及遊憩區內應經許可之行為）

一般管制區或遊憩區內，經國家公園管理處之許可，得為左列之行為：

一、公私建物或道路、橋樑之建設或拆除。

（下略）

前項各款之許可，其屬範圍廣大或性質特別重要者，國家公園管理處應報請內政部核准，並經內政部會同各該事業主管機關審議辦理之。

峽谷區步道區為防制自然災害而興建之防災構造物，應屬「公私建築物之建築」之類，故其興建須「經國家公園管理處之許可，或經報請內政部核准」即可。

換言之，峽谷區步道為防制自然災害所設計之防災構造物，以通過「國家公園管理處之許可，或經報請內政部核准」為要件。而防災構造物之造形與設色是否能與環境相容，應為其能否獲得核准之要件，而無任何特殊工法之規範。

第三節 太魯閣峽谷步道之治理對策

1. 治理工法—直接治理崩落岩壁：限於人力可及和經濟可行情之處。整坡、掛網、噴漿、岩栓、岩錨等屬之。
2. 防護工法—直接保護保全對象：應用於人力不可及和經濟不可行情之處。防落石柵欄、明隧道、遮棚等屬之。

(一) 太魯閣峽谷區公路邊坡處理情況

太魯閣峽谷區台八線公路之邊坡問題分為峭壁崩塌與隧道洞頂崩塌等二種，公路單位採區域治理工法處理。其工法以掛網噴漿或加岩栓為主。

1. 峭壁處理情況

	
<p>燕子口步道(原台八線公路)峭壁以岩栓和掛網噴漿處理。</p>	<p>九曲洞東洞口前步道(原台八線公路)峭壁以掛網噴漿處理。</p>

2. 隧道頂拱處理情況

	
<p>燕子口步道東口隧道頂拱(原台八線公路)以岩栓和掛網噴漿處理。</p>	<p>九曲洞隧道頂拱(原台八線公路)以掛網噴漿處理。</p>

經處理之岩壁無復崩落之現象，故成效良好，且其造型與顏色與當地變質石灰岩者頗相一致，故無予人與環境不相容之

感。

太管處在處理步道區低處之危險邊坡與隧道時，可以此等傳統工法為借鏡，以增強其安全性。

(二) 峽谷步道傳統邊坡處理工法之運用

1. 低處邊坡與隧道頂拱破碎岩壁之治理：本峽谷步道之低處邊坡與隧道之鬆動岩壁經公路單位以清除危石、掛網、噴漿、岩栓等工法處理後，已有效提升其安全性，而且其造型與設色均與工程環境之大理岩相埒而無突兀之處，因此可用於改善步道低處邊坡與隧道頂拱安全。



燕子口步道隧道區以清除危石、掛網、噴漿、岩栓等工法處理後，已有效提升其安全性。



九曲洞步道隧道區半隧道頂拱節理發達破碎，建議以清除危石、掛網、噴漿、岩栓等工法處理，以提升其安全性。

2. 落盤型懸壁與峭壁危石之處理：

落盤型懸壁與峭壁，由於可能崩落之危石體積較大

，不容易以掛網、岩栓、噴漿之法固定。為防止其突然發生落盤傷人，須以拱型大理岩原石之造型構造物頂住，用以消除其透空之崩落自由面。

	
<p>九曲洞步道隧道區半隧道懸壁落盤型破裂懸壁，須以拱型構造物頂住，以消除其崩落自由面。</p>	<p>九曲洞步道西洞口半隧道落盤型破裂懸壁，有逐步向上發展之趨勢，須以拱型構造物頂住，以消除其崩落自由面。</p>

3.半隧道懸峭壁危險缺口之治理

隧道與半隧道路段有懸峭壁危險缺口者恆有落石情況，無法直接治理，建議採用防護設施以保護遊憩安全。

	
<p>九曲洞步道九曲蟠龍半隧道路段有懸峭壁危險缺口，地面落石砸痕斑斑。該類危險區為峽谷風景賞景點，建議可以輕巧型之遮棚或其他適宜工法處理。</p>	

	<p>圖 7.1 輕巧型明隧道處理示意圖</p> <p>小型半隧道路段有懸峭壁危險缺口，建議以輕巧型明隧道處理。</p>
--	---

4. 高大峭壁之斜向滾落石之治理

高大峭壁之斜向滾落石影響即於全路面，無法直接治理，建議以防落石柵欄隔離落石，以保護步道之安全。

	
<p>燕子口步道靳珩橋服務站側，高大峭壁之斜向滾落石影響遊憩安全。</p>	<p>九曲洞步道西峭壁區高大峭壁之斜向滾落石影響遊憩安全。</p>



防落石柵欄之一類型，用以阻隔山側落石。在步道區可設計與環境相容之樣式與材質。

(三) 凌空墜石之防護工法

高大峭壁，人工處理勢不能及於高處自然落石地點，因此落石現象並不因其低處之處理而根絕，而對遊憩活動持續具有潛在威脅。職此之故，步道上高大之峭壁乃促進遊憩安全最為嚴峻之課題。

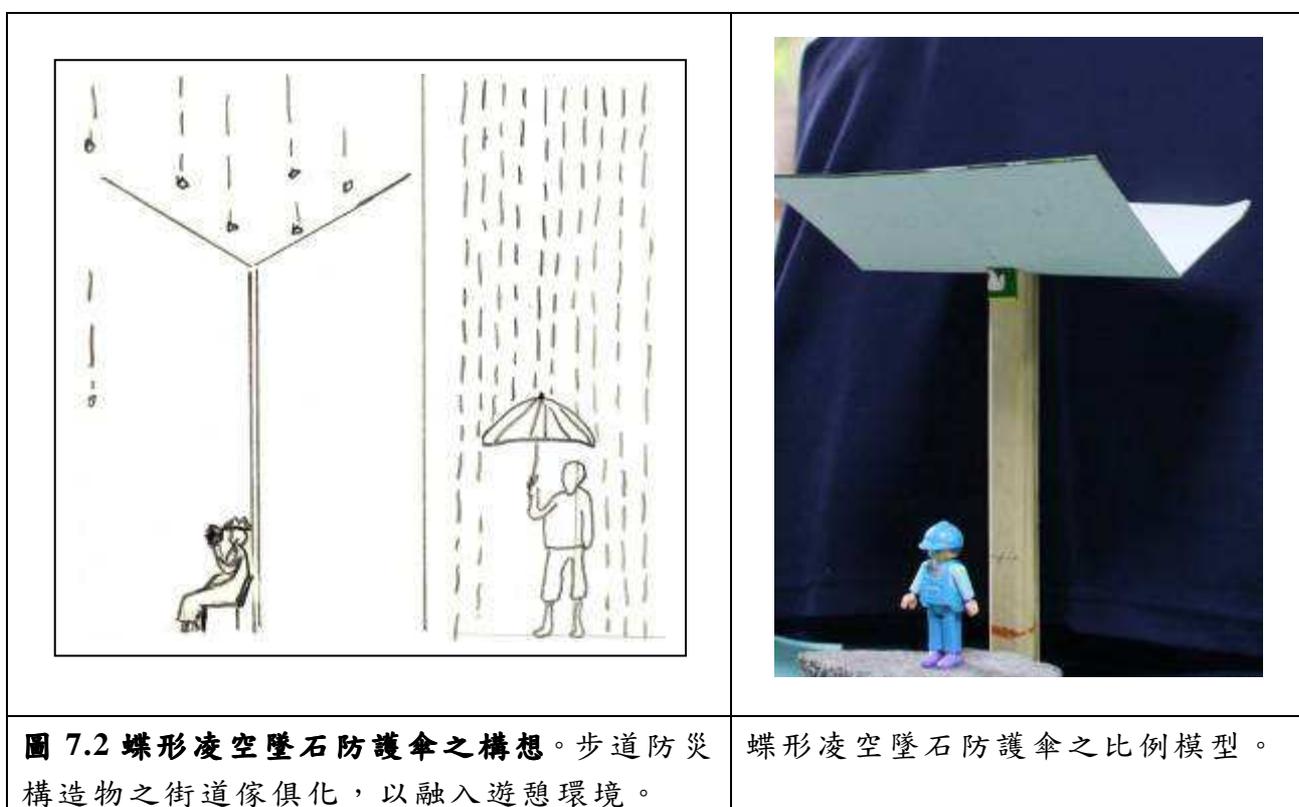


九曲洞步道高大峭壁之凌空落石非傳統工法所能為力。

峭壁和半隧道區的凌空墜石是步道意外事件之主要

元兇，其來處多不明，又多非源頭治理可及，因此安全措施，除予人一把活動防護罩之外，似乎無計可施。

本計畫為解決此難題，特研發以凌空墜石為對象之防護工法，稱之為「簡確蝶形凌空墜石防護傘」，設置於落石高風險地點或地區，以阻擋墜落該範圍之落石，保護來到傘下之遊客。為使落石防護傘之構造物融入步道環境，其造型設色賦予街道傢俱化，傘下設歇椅以提供遊客在傘下座椅上歇息與賞景。



蝶形凌空墜石防護傘之構想、保護範圍、設置地點之評選原則，設計以及細部設計等將於第八章專章詳論。

第八章 步道凌空墜石防護傘創新工法之規劃與設計

第一節 步道凌空墜石防護傘之設計目的

步道落石防護傘以防制步道之凌空墜石為設計目的。

「凌空墜石」係指來自可處理範圍以外之岩壁之落石，落石大致以 60—90 度之角度墜落地面者，故人體受傷以頭、肩部等要害為主。

本計畫創新設計之步道凌空墜石防護傘，以安全而無損於自然環境現狀和無有妨礙賞景視野為設計之基本理念。茲將落石防護傘之構想、保護範圍、設置地點之評選原則，以及細部設計等分述於次。

第二節 「簡確蝶形凌空墜石防護傘」之設計理念

太魯閣峽谷區凌空墜石不能以治理工法治理其落石源頭，故本計畫採取防護工法。

防護傘乃一防護構造物，用以保護人身安全。其形類傘而上翻，用以承接凌空墜石，並防落石至傘面石塊彈跳傷及鄰人。

防護傘之設計以凌空墜石為對象。凌空墜石多經岩面多次彈跳而碎裂，其粒徑多在 10 公分上下。

若防護傘遭到設計外巨石之擊毀而致人受到傷害，則加害者仍為墜石而非防護傘。蓋防護傘雖然不可能阻擋任何大小之落石，但其仍能削減部分墜石之衝力無疑，對人身有一定之保護作用。設若無防護傘之設置，則墜石必直接襲擊人身。所以基本上有傘勝無傘。

凌空墜石防護傘以其似傘而蝶形，且專用於對付凌空墜石，故稱之為蝶形凌空墜石防護傘；又因其為本計畫人所研創，以設計簡單而功能確實（Simple and precise）為念，故稱之為「簡確蝶形凌空墜石防護傘」，亦藉以別於其他工

法。

本工法為本計畫新創研發之工法，故其著作權歸委辦機關所有。大型固定型蕈狀凌空墜石防護傘亦同。

第三節 創新步道落石防護工法研發原則

(一) 創新步道落石防護系統規劃設計原則

- 1.災變事件發生第一時間設施地區之遊客安全大致獲得保障。
- 2.步道進出口處及中途適當地點設置高安全防護設施，以供遊客於第二時間躲避，以等待救援。

(二) 創新步道落石防護工法設計基本構想

防護設施規劃設計基本構想以達到防護設施規劃設計基本原則為目的。

- 1.防護設施之強度以足夠阻抗當地岩壁破碎度所產生之岩塊之自由落體壓力為度。
- 2.防護設施以各部預製及現場組合為原則。
- 3.防護設施以增減部品方式達到因地制宜之目的。
- 4.防護設施之材質以可易地使用及資源回收為原則，以符合節能減碳政策。
- 5.防護設施以獨立結構為單體，配合環境及美學需要，可多單體作高低、前後之配置，形成聯合防護結構有機體。
- 6.結構單元之色彩可依環境美學規劃，藉以將防護設施轉化成步道傢俱裝飾。
- 7.所設計之防護設施以可一體適用於各處步道為原則；其高度與傘面積則可隨設置環境與需要調適。
- 8.步道進出口處及中途適當地點所設置高安全防護設施得為固定結構物以求其安全。

第四節 落石防護傘之結構設計構想

(一) 防護傘結構單體構想

防護傘單體由「防護傘」、「承柱」和「基座」三大部分組成。

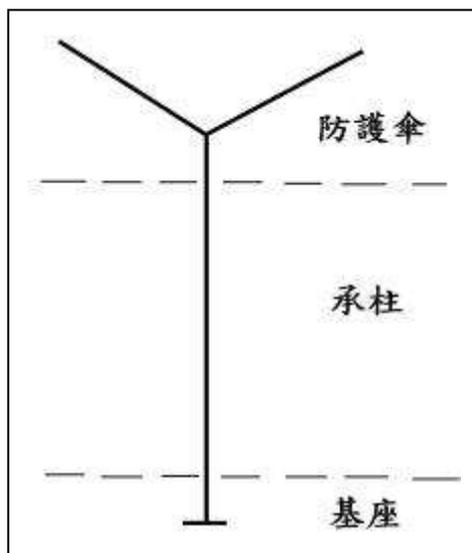
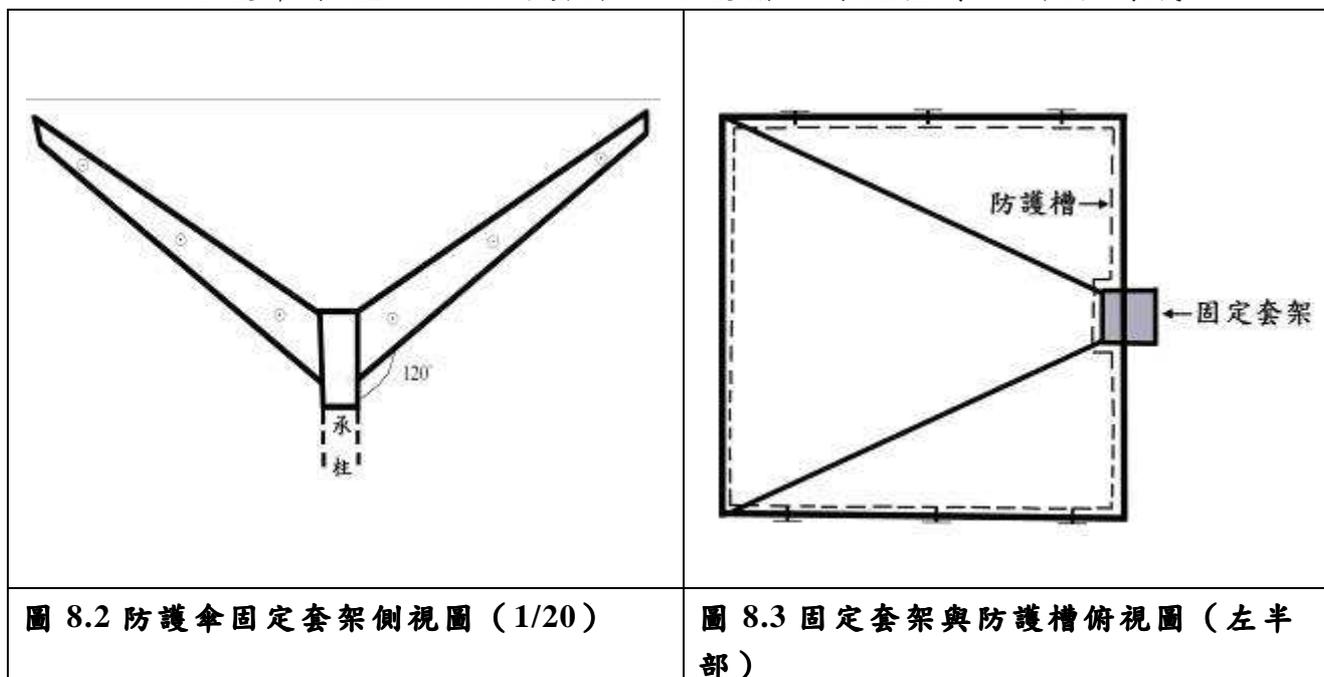


圖 8.1 防護傘單體示意圖

1. 防護傘本體：由固定套架、防護槽、消能墊等三部分構成。



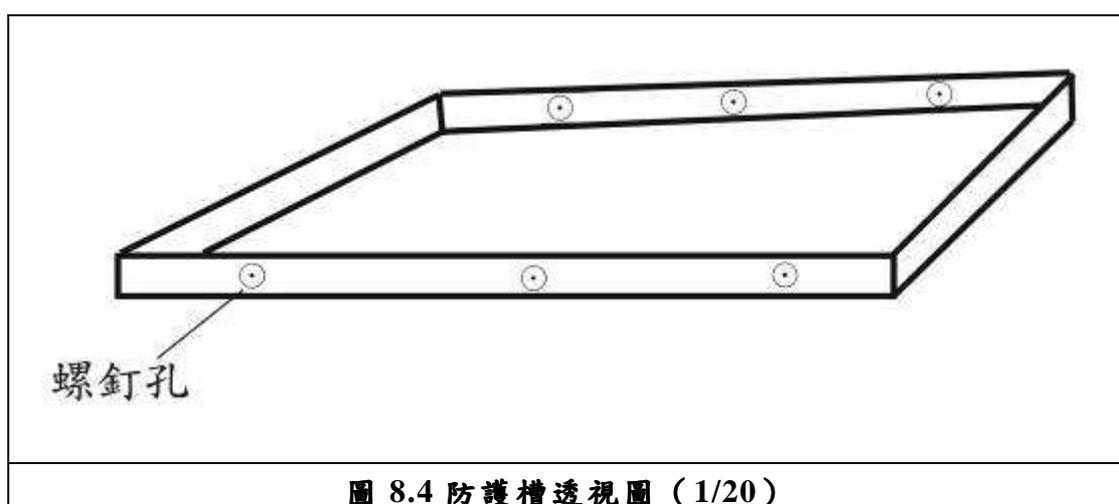


圖 8.4 防護槽透視圖 (1/20)

- (1) 功能：承接落石，防其墜落地面造成傷害。隔離落石與遊客之作用。
- (2) 固定套架之構成與材質：
 - 固定套架用於固定防護槽和將防護槽固定在承柱之上。
 - ①由防護槽與其固定套等二部分構成，皆鋼製品。
 - ②防護槽之規格可隨需要機動調整以配合現場環境，如 2m×2m、2m×4m；正方形、長方型。深度 10 公分；透水。
 - ③防護槽以 105—120 度交角固定於固定套上，其交角視需要決定。
 - ④固定套長 50cm，方形中空，實內 25cm (10 吋) 見方，有螺釘孔固定於承柱。
- (3) 防護槽
 - ①鋼板槽狀製品，邊高 10 公分，底板留透水孔。
 - ②兩側以螺釘固定在固定套上，可傾斜打開以清除堆積之落石塊或換消能墊保麗龍板。
- (4) 消能墊
 - ①消能墊可用厚度 8 公分之保麗龍板或其他消能材質。
 - ②消能墊大小與防護槽內徑同，黏在防護槽內，可置換。

2. 承柱

- (1) 功能：支撐防護傘。
- (2) 構成與材質：鋼管或其他材質，截面 25cm×25cm，總長 4m，或隨需求增減。

3. 基座

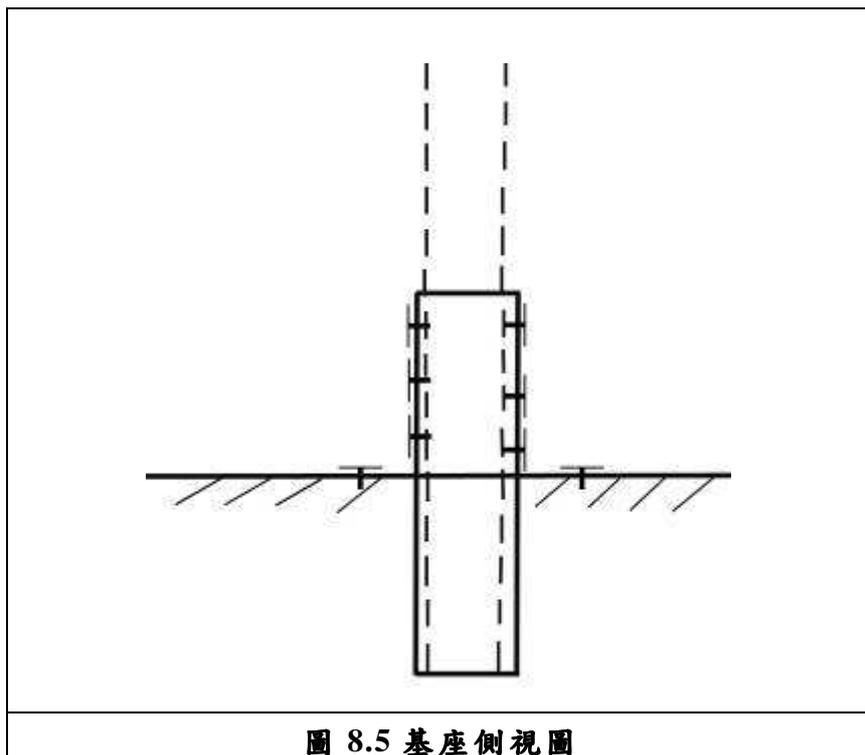


圖 8.5 基座側視圖

- (1) 功能：將防護傘固定於地面。
- (2) 構成與材質：
 - ①由承柱固定套基座及地面下基座等二部品構成，各 50 公分長，皆鋼製，以螺釘固定住地面。
 - ②承柱固定套長共 100cm，方形中空，實內 25cm（10 吋）見方，有螺釘孔以固定承柱。

(二) 防護傘結構單體類型

1. 全形防護傘：防護傘由二防護網片對稱構成者。用於全面防護落石。每一全型防護傘防護面積為 4 至 8 平方公尺。落石點在步道中線附近者用之，承柱置於落石點上，以防護承柱兩側各 2—4 公尺之空間。

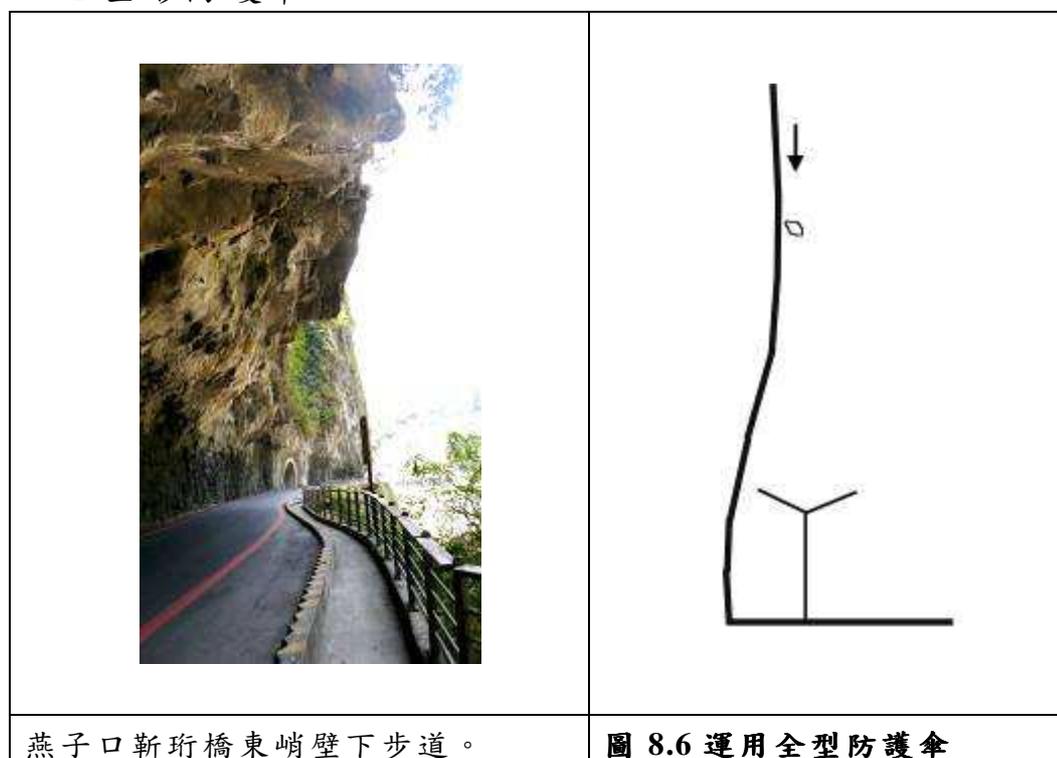
運用聯合防護結構體則可形成防護走廊。

2. 外斜半形防護傘：防護傘由單一防護片構成者，防護片在承柱內側而斜向外側。用於落石點在步道或活動區外緣者。

3. 內斜半形防護傘：防護傘由單一防護網片構成者，防護網片在承柱外側而斜向內側。用於落石點在步道內緣者。

(三) 落石防護傘使用場合示意圖

1. 全形防護傘





九曲洞懸峭壁下步道。

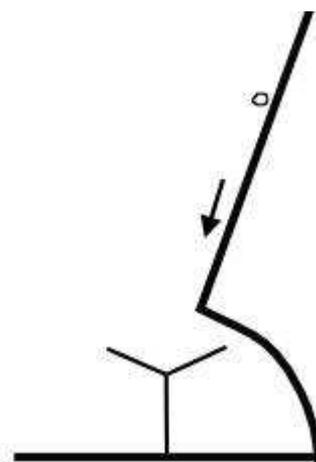


圖 8.7 運用全型防護傘

2. 外斜半型防護傘



文山溫泉懸壁下浴池。

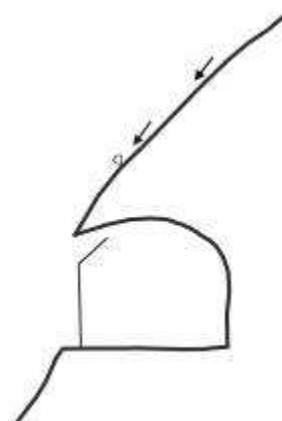


圖 8.8 運用外斜半型防護傘



九曲洞九曲蟠龍懸壁下之賞景點。

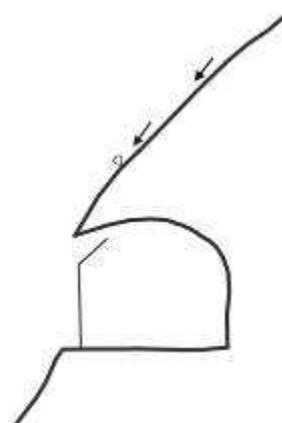
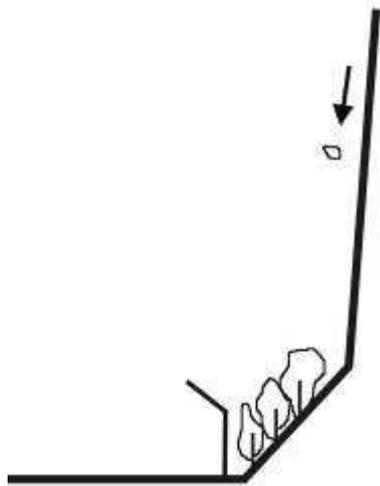
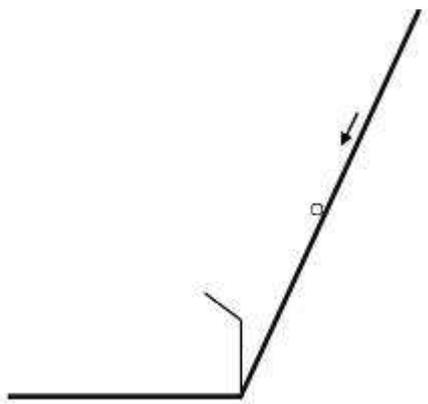
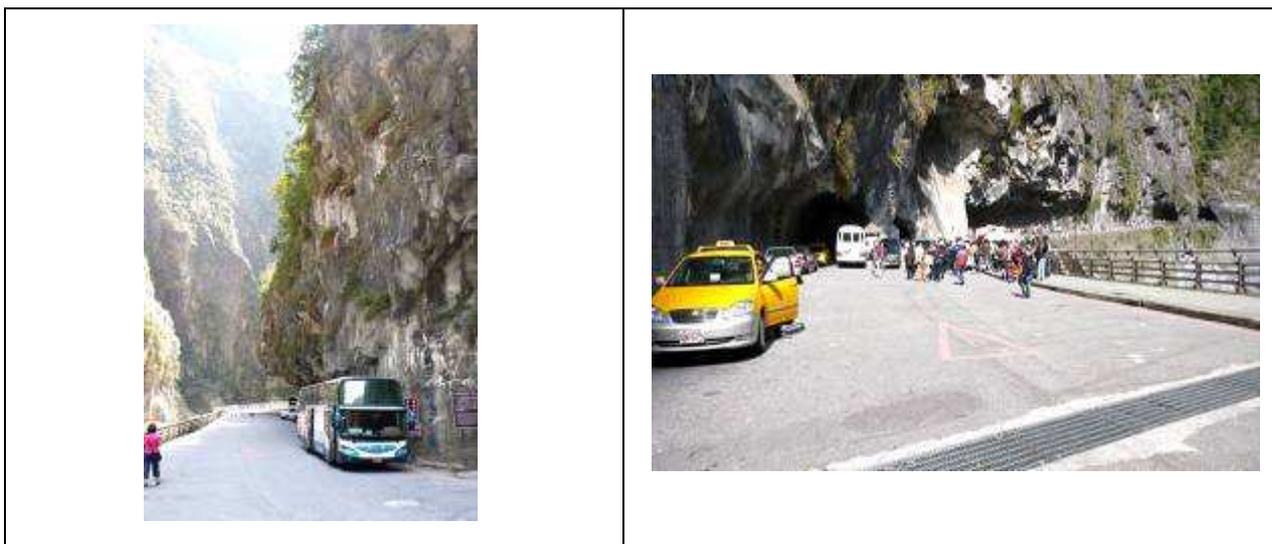


圖 8.9 運用外斜半型防護傘

3.內斜半形防護傘

	
<p>燕子口靳珩橋服務區退縮峭壁下道路。</p>	<p>圖 8.10 運用內斜半形防護傘</p>
	
<p>九曲洞西峭壁下步道。</p>	<p>圖 8.11 運用內斜半形防護傘</p>

4.在落石頻繁之高危險地點，高大峭壁下，非以堅固之鋼筋水泥構造物不能達到遊憩安全之目的者，則設計造型優雅且能融入設置地點之環境之蕈狀防護傘以保護較大之危險範圍。



九曲洞東洞口懸峭壁下停車場。

九曲洞西洞口懸峭壁下停車場。

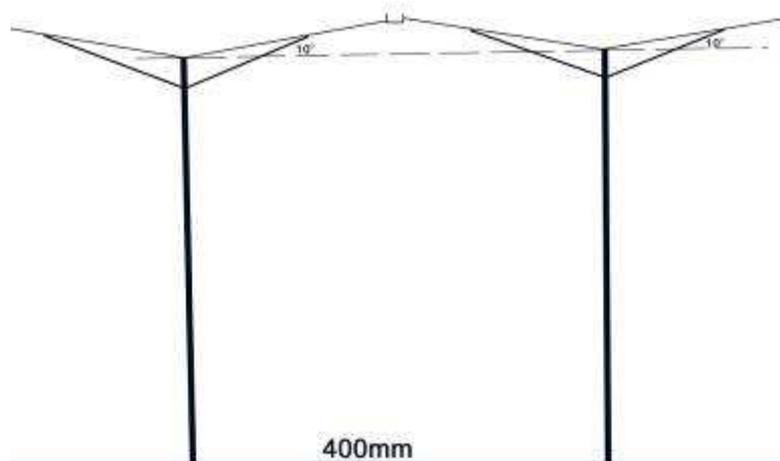
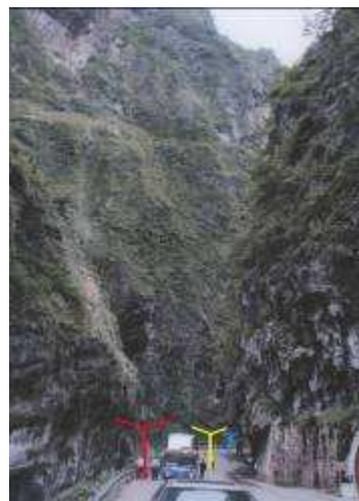
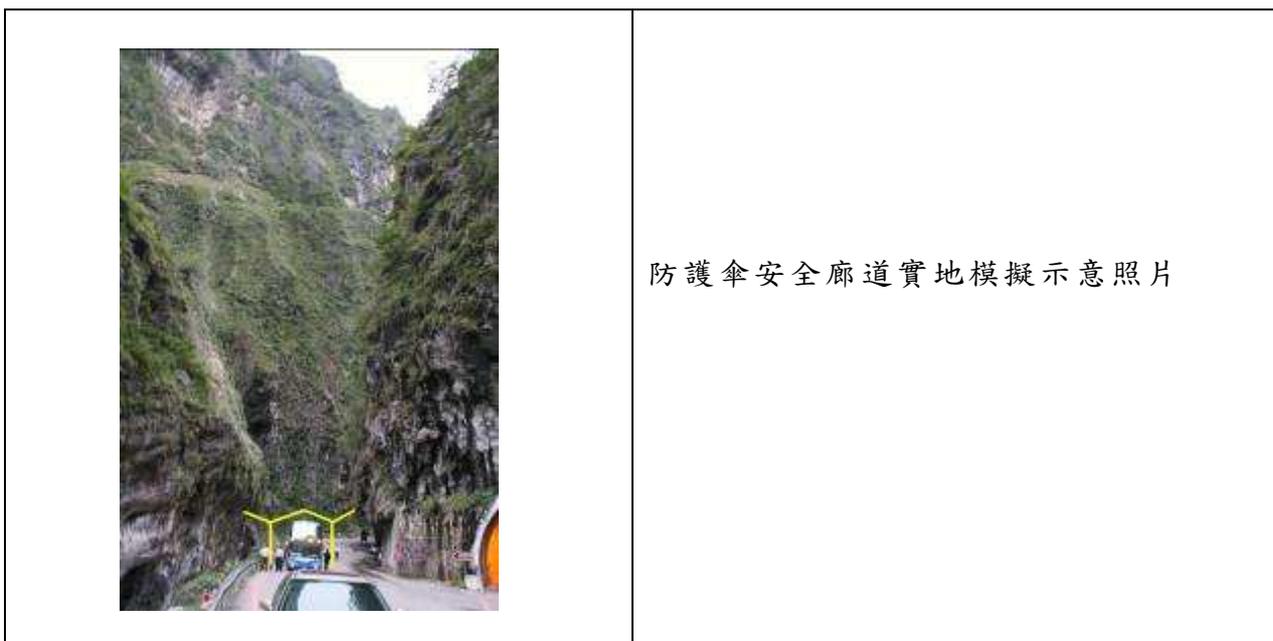


圖 8.12 運用連續防護傘可作為安全避難所示意圖



防護傘實地模擬示意照片



第五節 落石防護傘保護範圍

(一) 落石防護傘保護地面範圍

落石防護傘保護範圍係以其高度、傘面之面積以及落石方向等三項因子決定之。下圖為垂直扇面水平軸方向之三角學計算之標準型全傘保護地面之投影。水平軸之長度為四公尺，防護傘高四公尺，傘面縱深之投影寬度為 3.46 平方公尺。其所保護之地面面積如下：

1. 垂直落石：

懸壁垂直落石之保護範圍為 $3.46 \times 4 = 13.84$ 平方公尺。

2. 七十度斜角之落石：

峭壁斜向墜石之保護範圍約為 $3.55 \times 4 = 14.2$ 平方公尺。

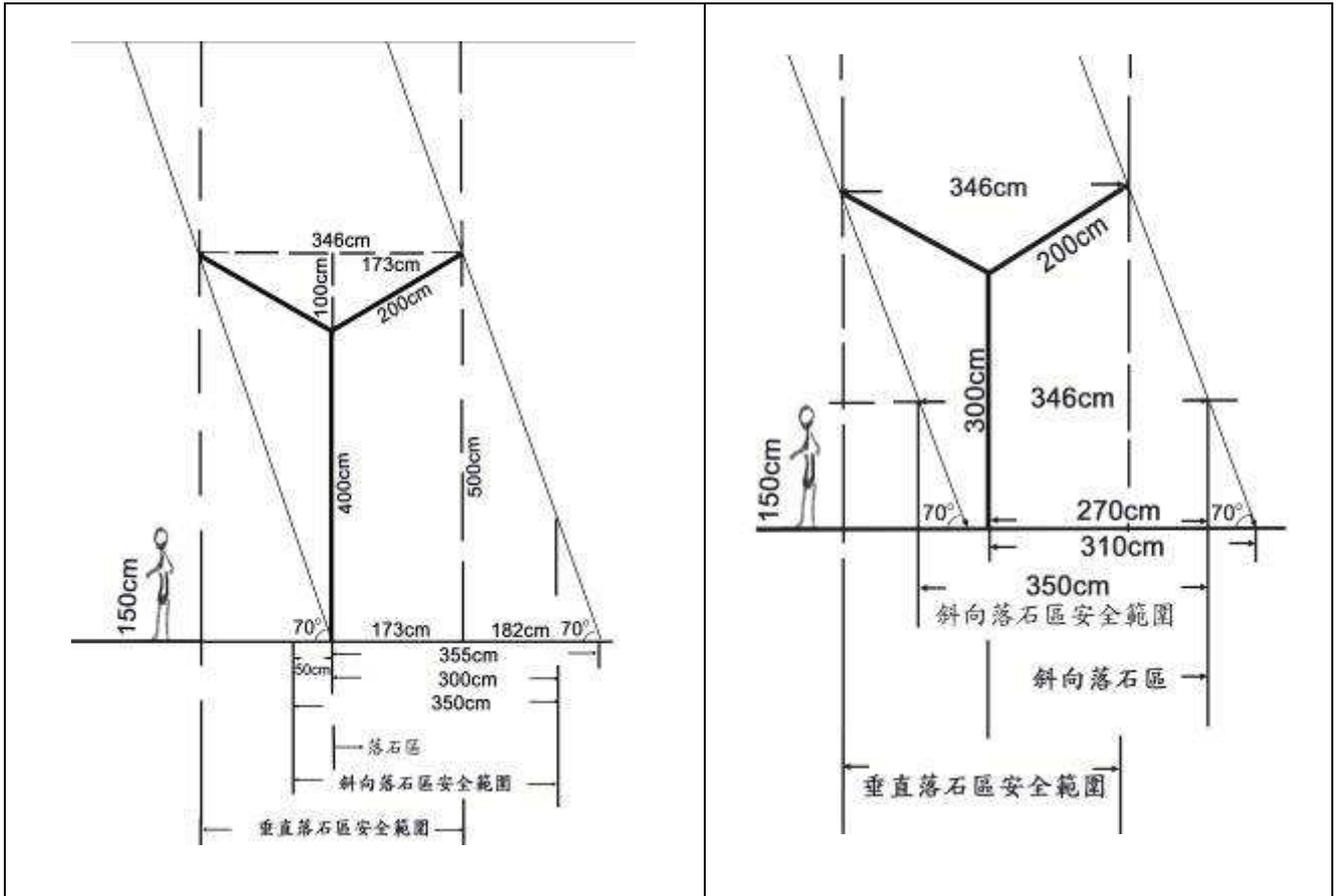


圖 8.13 承柱四公尺高之防護傘之縱深安全範圍。人員身高以 150 公分計，其縱深為 3.5 公尺。

圖 8.14 承柱三公尺高之防護傘之縱深安全範圍。人員身高以 150 公分計，其縱深為 3.5 公尺。

(二) 防護傘之縱深安全範圍

防護傘之安全以保護人員之頭肩部為度。防護傘之防護縱深受石塊墜落時之斜角大小之控制。本計畫設定之墜石斜角為 70 度—90 度，據以測算防護傘之縱深安全範圍。

1. 半隧道垂直落石之防護傘之縱深安全範圍如圖 8.13 所示，不論防護傘之高度，人員凡在防護傘之垂直投影區內者，皆受到防護傘之保護。標準防護傘之縱深投影寬度為 3.46 公尺，長 4 公尺；面積為 13.84 平方公尺。
2. 露天步道斜向落石區之防護傘縱深安全範圍如圖 8.14 所示，斜向落石區之縱深安全範圍與人員之身高有關。設定人員身高為 150 公分，則不論防護傘之承柱之高度，其縱深安全範圍皆為 3.5 公尺。

第六節 設置地點與位置之評選方法

防護傘宜設置於任何高風險落石區，而以高風險遊客逗留區之設置為必要。

(一) 半隧道垂直落石區之防護傘設置位置

人員凡在防護傘之垂直投影區內者，皆受到防護傘之保護。因此半隧道垂直落石區之防護傘應設置於落石區之中央，且以傘面涵蓋整片落石區為目標，否則應以多傘配置因應。

(二) 露天步道斜向落石區之防護傘設置位置

露天步道斜向落石區之防護傘應設置於落石來方之落石區之內側界線之上。換言之，落石來自步道上邊坡者，設於步道落石彈著點區之內側界線上（圖 8.15）；落石來自對岸者，則設於護欄處（圖 8.16）。如此則防護傘承柱外側 2.9 公尺（圖 8.16 人立處）以內地區為安全區。如落石彈著區延至 2.9 公尺之外之步道上時，則應以多傘配置因應之。

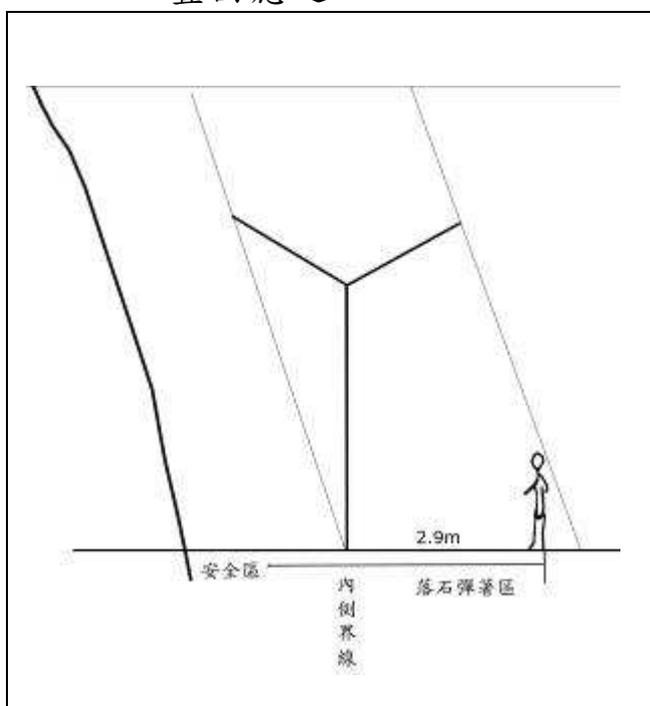


圖 8.15 落石來自步道上邊坡者，防護傘位置示意圖(設於步道落石彈著點區之內側界線上)

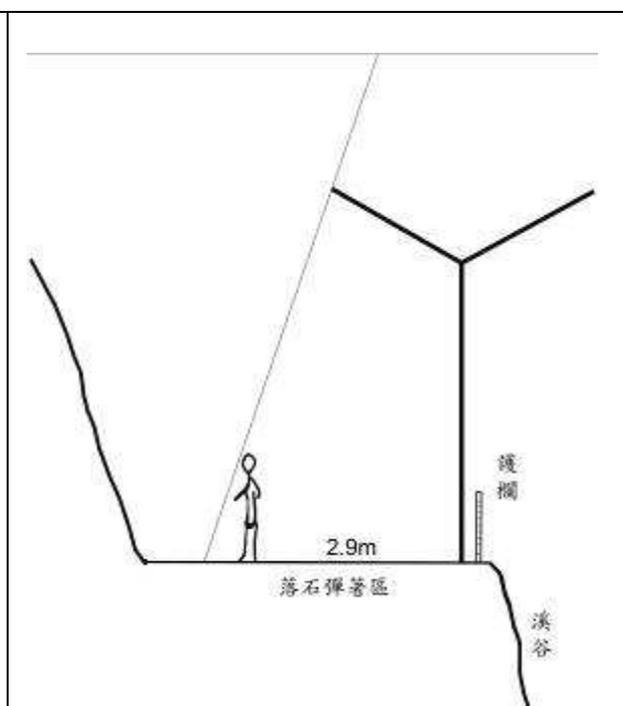


圖 8.16 落石來自對岸者，防護傘位置示意圖(設於護欄處)

第七節 落石防護傘可行性試驗

落石防護傘之規劃構想圖經結構技師進行測算與設計後，建議在九曲洞最近發生意外事件及過去常有落石現象之處，評選設置地點，進行現地試驗與觀測，藉以進行落石防護傘功能之分析，包括：

- (一) 安全性分析。
- (二) 環境相容性分析。
- (三) 施工便利性分析。

第八節 行動式防護傘及其試驗

行動式防護傘係指可由遊客自行撐用之有一定程度之防護功能之洋傘。

本計畫以 24 支傘骨之市售一般洋傘（中興洋傘公司產品，售價 90 元）為試驗品，經多次以短距離強力投擲約 5 公分之有稜角之自然石塊，其投擲力道應可嚴重傷人頭部，對傘面之損害卻屬輕微，僅有受撞擊部位之傘骨略有變形或傘布略有破損而已。

洋傘之所以有如此大之抗撞力，其理應是該等洋傘之傘骨和傘布材質具有相當之彈性，可有效吸收石塊之撞擊力所致。



24 支傘骨（兩支間之夾角為 15 度）之市售洋傘外觀。傘骨之分布以中央為最密。



以直徑約 5 公分之堅硬自然石塊於約四公尺距離猛擲傘面情況。



兩次撞擊同一傘區之傘面變形情況。



四次撞擊右半側支傘面後變形情況。



受四次撞擊之支撐傘骨變形情況，但未折斷。

初步試驗認定此行動式防護傘應可於露天步道和半隧道外側，具一定程度保護持用者之安全。

製造商表示傘骨尚可以玻璃纖維強化，傘布亦有改進之空間。如此則更可增強其抗落石之能力。

使用行動式防護傘計有下列優點：

1. 一如平時持用洋傘，行動式防護傘美觀大方且輕巧方便，利於拍照而不妨礙持用者之容貌，容易被遊客接受使用。
2. 行動式防護傘保護範圍涵蓋頭、肩等要害處，而且 24 支傘骨之密度以接近頭部者為最大，保護功能最強。

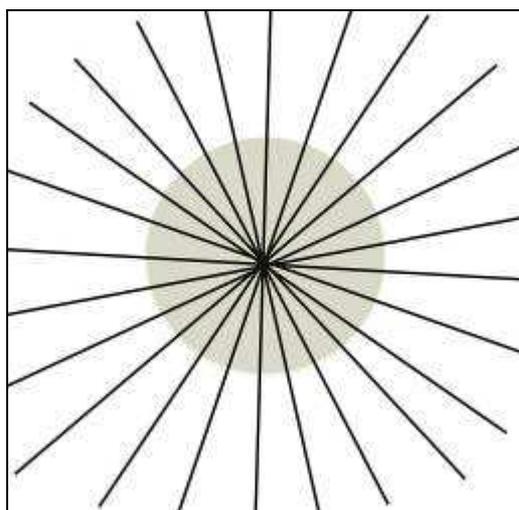


圖 8.17 24 支傘骨之防護傘結構示意圖(夾角 15 度，以靠近頭肩部之傘中央密度最大，保護力最強)

3. 行動式防護傘與持用者之身體不直接接觸，安全度與舒適增高。
4. 經行動式防護傘彈跳之落石殺傷力已大為降低。
5. 行動式防護傘之顏色與造型太魯閣化，可增益步道人文景觀之繽紛美觀。
6. 澳洲 Uluru 國家公園部分步道有小蒼蠅擾人之眼、鼻為害，遊客每人必須花 10 至 15 澳元買一頂「蠅帳帽」(Fly net hat) 為防護之用。使用雖有不便之處，不使用則難以忍受蟲害。



澳洲 Uluru 國家公園部分步道有小蒼蠅擾人之眼、鼻為害，遊客每人必須花 10 至 15 澳元買一頂「蠅帳帽」(Fly net hat)。

太魯閣國家公園峽谷步道遊客之須使用行動式防護傘，同樣也是基於防制自然災害之需。



太魯閣造型之防護傘在自然環境中可增益繽紛與優雅。

第九章 蝶形凌空墜石防護傘試驗及觀測

第一節 現場試驗

(一) 現場試驗與設置地點勘查

蝶形凌空墜石防護傘之構想經土木技師設計及結構計算認為可行。今年4月30日發生九曲洞步道遊客遭凌空墜石擊傷事件後，經管理處開會研討決定，將蝶形凌空墜石防護傘試驗實體直接設置於高落石風險之露天步道和半隧道進行現場試驗與觀測，並於5月20日由呂副處長帶領相關人員至九曲洞步道沿線勘查適當之設置地點。

	
<p>蝶形凌空墜石防護傘設置地點之勘查。以落石高風險之半隧道為試驗點。</p>	<p>蝶形凌空墜石防護傘實體尺寸之模擬器具。</p>
	
<p>蝶形凌空墜石防護傘實體尺寸之模擬器之現場設置點之模擬情況。</p>	<p>蝶形凌空墜石防護傘實體尺寸之模擬器之現場設置點之模擬情況。</p>

(二) 蝶形凌空墜石防護傘之組裝與設置

蝶形凌空墜石防護傘分由「防護傘」、「承柱」和「基座」等三大部分組成。各部分分別在工廠和現場製造與施工，然後在現場以螺釘將各部分組成一體而完成設置之作業。製造、搬運、組裝、設置等過程簡便、機動、迅速，符合原規劃與設計構想。

1. 蝶形凌空墜石防護傘之結構



蝶形凌空墜石防護傘是由兩片 2×2 公尺之扇面對稱組成，扇面之仰角 20 度，以利賞景。框架由 50×50mm 之角鋼構成。



每面防護傘與焊在鋼管之三支 6mm 鋼板支撐架以螺釘結合。



兩面防護傘栓在 80×200mm 之槽鋼上。



槽鋼栓在 10 吋鋼管頭部之鋼板上，完成防護傘與承柱之結合。

2. 攔石網



傘面鋪有兩層鋼網用以攔截凌空墜石。攔石網用以降低防護傘承受之風壓。



底層為 16 號 (10×10mm) 不銹鋼網；上層為 8 號 (50×50mm) PVC 菱形鋼網。



上層菱形鋼網鋪設情形。



兩層攔石網完成後之關係位置。

3. 承柱



承柱為 10 吋 (25cm) 鋼管。鋼管長度 3.5 公尺，承接防護傘。



傘面三支撐架與承柱三支接頭結合。

	
<p>支撐架以螺釘接傘面情況。</p>	<p>支撐架以螺釘與承柱上三支接頭結合情況。</p>

4. 基座

	
<p>基座深入地面 60 公分以上至穩固地盤為止。</p>	<p>基座以鋼筋混凝土打造，上覆鋼板，並預留螺釘以便與承柱接合。</p>
	
<p>承柱基部焊接鋼板與基座結合。</p>	<p>基座完工情況。</p>

5.蝶形凌空墜石防護傘設置過程



蝶形凌空墜石防護傘主體組裝完成後，以吊車吊起。

蝶形凌空墜石防護傘主體以吊車移至設置點。



蝶形凌空墜石防護傘主體與基座接合情形。

蝶形凌空墜石防護傘設置完成情形。

(三) 試驗用蝶形凌空墜石防護傘

試驗用蝶形凌空墜石防護傘設置工程於 98 年 6 月 9 日完成兩座位於九曲洞東洞口之蝶型防護傘，防護對象為來自對岸之凌空墜石；並於 98 年 6 月 16 日完成一座蝶形凌空墜石防護傘，將其設於 98 年 4 月 30 日落石傷人地點；另一座則設於靠近西洞口之露天步道上，共計四座蝶形凌空墜石防護傘，進行試驗性觀測，以符合合約書之規定。

試驗性觀測將持續進行至 98 年 11 月本計畫期末報告提出前，觀測期間會有颱風、雨季、地震等外力影響，藉此觀察蝶形凌空墜石防護傘之抗颱風強度、耐落石撞擊強度，以及設置攔落石位置之效率。

	
<p>九曲洞步道東洞口兩座蝶形凌空墜石防護傘。</p>	<p>以來自對岸之凌空墜石為對象之蝶形凌空墜石防護傘設於落石來側之內界，即路欄邊。</p>

	
<p>4月30日落石傷人地點設置蝶形防半隧道凌空墜石一座。</p>	<p>靠近西洞口設置防露天步道蝶形凌空墜石防護傘一座。</p>
	
<p>試驗用蝶形凌空墜石防護傘設置後，張貼標誌以標明此構造物之用途及提醒仍須注意安全。</p>	<p>張貼標誌之文字內容。</p>

第二節蝶形凌空墜石防護傘及行動防護傘強度之臨場試驗

(一) 試驗情境設定

設置於九曲洞步道東口之蝶形凌空墜石防護傘完工後，以東側二具為擋落石強度之試驗樣品。試驗先於 98 年 6 月 9 日舉行，由太管處五位課長與主任及相關人員蒞臨監督與見證；在於 6 月 12 日由太管處邀請學者、專家、相關公會、環保團體及媒體參加。

兩次試驗之過程相同，即由吊車將人員及石塊升至約 12 公尺高度，然後由人員將石塊以自由落體方式墜下撞擊蝶形凌空墜石防護傘。

試驗用石塊為附近崩落之變質石灰岩，其大小自本區所見一般凌空墜落石塊，即直徑 10 公分以下，至直徑大於 20 公分之石塊，如照片所示。



九曲洞步道凌空墜石直徑大多在 10 公分以內。



直徑 10 公分為蝶形凌空墜石防護傘之設計防護對象。



現場試驗用之大理石岩塊，右側最大之長軸長度為 28 公分，重量約 11 公斤；左側三堆石塊為附近路面之凌空墜石。

試驗岩塊撞擊地面之數據如下表：

表 9.1 試驗岩塊撞擊地面之數據一覽表

岩類	礦物組成	礦物比重	試驗最大岩塊	重量約
太魯閣產變質石灰岩	方解石為主夾少量白雲石	2.7~2.9	22×28×9 = 5544 立方公分	5544×2.8 = 15.52 公斤
自由落體高度	墜地時間	墜落數度	撞擊時間	撞擊力
12 公尺	約 1.5 秒	約 55Km/h	約 0.1 秒	約 220 公斤

(二) 試驗情形

1. 試驗日期：98 年 6 月 9 日；參與人員：太管處官員。



蝶形凌空墜石防護傘試驗場景；落石高度約 12 公尺。

太管處官員蒞臨監督試驗過程及見證結果。



墜落石塊皆被蝶形凌空墜石防護傘完全攔截，其首當其衝之上層 PVC 菱形網位曾受損，表示本防護傘至少可承擔來自高空直徑 30 公分以上石塊之撞擊。

行動防護傘經直徑 15 公分石塊多次撞擊（地面石塊），其傘骨只有變形、傘布破裂，石塊卻未貫穿，表示其有相當強韌之防護功能。

2.試驗日期：98年6月12日；參與人員：學者、專家、相關公會、環保團體及媒體。



試驗人員與石塊乘吊車上升之測試高度情形

媒體與參與者觀看試驗過程和錄影。



蝶形凌空墜石防護傘試驗成功，證明防護傘之功能後，媒體記者勇敢的聚集在蝶形凌空墜石防護傘下體驗墜石重擊頭上傘面之緊張氣氛。

行動防護傘試驗成功後，女記者撐傘親身體驗防護傘抵擋落石之功能，以見證其防護功能。

第三節 試驗結果評述

- (一) 蝶形凌空墜石防護傘經 15 公斤重之岩塊自 12 公尺高處自由落體式撞擊後，連最上層直接承受撞擊之 PVC 鋼網都未受到損壞，表示本傘之結構應可耐遠較此為重之石塊之撞擊無疑。
- (二) 蝶形凌空墜石防護傘之設計係以計畫區最常見之直徑約 10 公分之岩塊，其重量約 3 公斤為對象。試驗結果顯示其可耐受 15 公斤以上石塊之撞擊而無恙，已證明其防護能力達到原設計構想水準。
- (三) 行動防護傘經臨場試驗亦證明其可耐直徑約 10 公分之岩塊之撞擊而未被石塊穿透，表示其有相當優異之防護功能，應可提供遊客選擇使用。

第四節 觀測期間之異常自然現象

觀測期間自試驗用蝶形凌空墜石防護傘於 6 月 10 日竣工至 11 月提出期末報告止，共有六個月之時間。觀測項目為蝶形凌空墜石防護傘之防護能力與設置位置之妥適性等兩項。觀測期間之落石發生機會，除經常性之風化性落石外，為地震與颱風、豪雨等之異常自然現象。

- (一) 觀測其間之颱風事件

表 9.2 計畫區試驗時期颱風、豪雨紀錄表

順序	颱風、豪雨發生時間	颱風名稱	強度	太魯閣累積雨量
1	98.10.3-10.6	芭瑪	中度	513.6mm(花蓮測站)
2	98.8.5-8.10	莫拉克	中度	505.5mm (大禹嶺測站)
3	98.7.13-7.14	豪雨		95mm(花蓮測站)

(二) 觀測其間之地震事件

表 9.3 計畫區試驗時期地震紀錄表

順序	地震發生時間	震央	地震規模	太魯閣震度
1	98.10.4	西林地區	芮氏規模 6.3	4 級
2	98.7.14	花蓮地區	芮氏規模 6.0	4 級
3	98.6.28	秀林地區	芮氏規模 4.7	4 級
4	98.7.2	秀林地區	芮氏規模 3.9	4 級
5	98.10.19	南澳地區	芮氏規模 4.5	3 級
6	98.7.7	秀林地區	芮氏規模 3.8	3 級
7	98.7.1	秀林地區	芮氏規模 3.4	3 級
8	98.10.2	秀林地區	芮氏規模 3.9	2 級
9	98.10.7	秀林地區	芮氏規模 3.8	2 級
9	98.10.17	秀林地區	芮氏規模 3.8	2 級
9	98.9.8	秀林地區	芮氏規模 3.8	2 級
10	98.10.9	秀林地區	芮氏規模 3.7	2 級
11	98.7.11	秀林地區	芮氏規模 3.1	2 級
12	98.7.6	秀林地區	芮氏規模 2.8	2 級
13	98.9.1	秀林地區	芮氏規模 4.0	1 級
14	98.8.3	秀林地區	芮氏規模 2.7	1 級

第五節 觀測結果

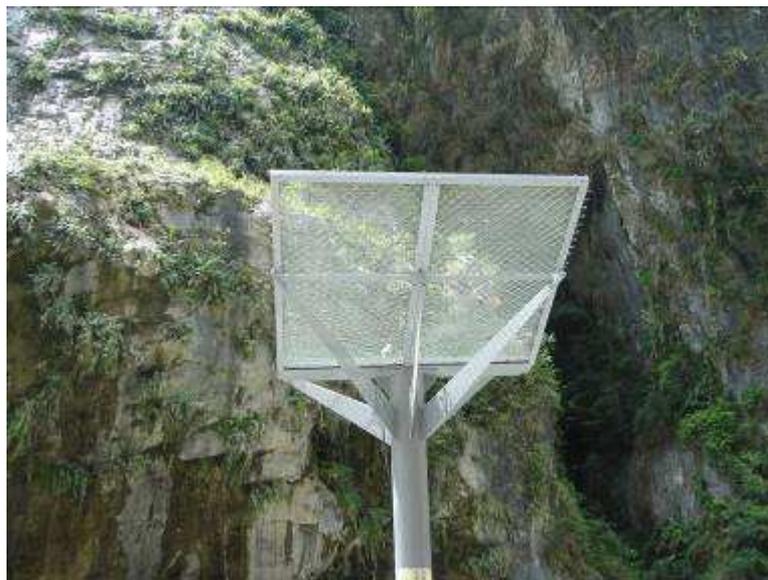
(一) 蝶形凌空墜石防護傘耐災性觀測

觀測期間經歷 16 次地震和 2 次颱風後，四座蝶形凌空墜石防護傘各部分都沒有任何損壞或變形情況，顯示本設施之材質與結構之安全性，無因構造物意外之倒塌損壞造成人員傷害之虞。

(二) 蝶形凌空墜石防護傘攔截凌空落石觀測結果

1. 落石多發生於地震豪雨之時活其後；落石地點則不確定。本試驗每傘面積八平方公尺，設置於路面落石窟窿密集處。
2. 本計畫於地震與颱風過後，作蝶形凌空墜石防護傘攔截凌空落石觀察共四次，攔截落石數目迭有增加，所攔截之石塊皆在 15 公分以內，且攔截網未受到明顯之損壞或變形，皆與預期者一致，如照片所示。
3. 每一防護傘在約四個月之觀察期間所攔截之石塊分別為 5、8、10、20 顆，共計約 43 顆。
4. 四個試驗性蝶形凌空墜石防護傘供 32 平方公尺之傘面於四個月中減少 43 顆落石衝擊路面，其減少遊客受落石擊傷之功能應無可置疑。

(1) 一號蝶形凌空墜石防護傘攔截凌空落石觀測照片



六月二十三日觀測照片



八月六日觀測照片



八月二十五日觀測照片



十月二十日觀測照片(共約 5 顆落石)

(2) 二號蝶形凌空墜石防護傘攔截凌空落石觀測



六月二十三日觀測照片



八月六日觀測照片



八月二十五日觀測照片



十月二十日觀測照片(共約 20 顆落石)

(3) 三號蝶形凌空墜石防護傘攔截凌空落石觀測



六月二十三日觀測照片



八月六日觀測照片



八月二十五日觀測照片



十月二十日觀測照片(共約 8 顆落石)

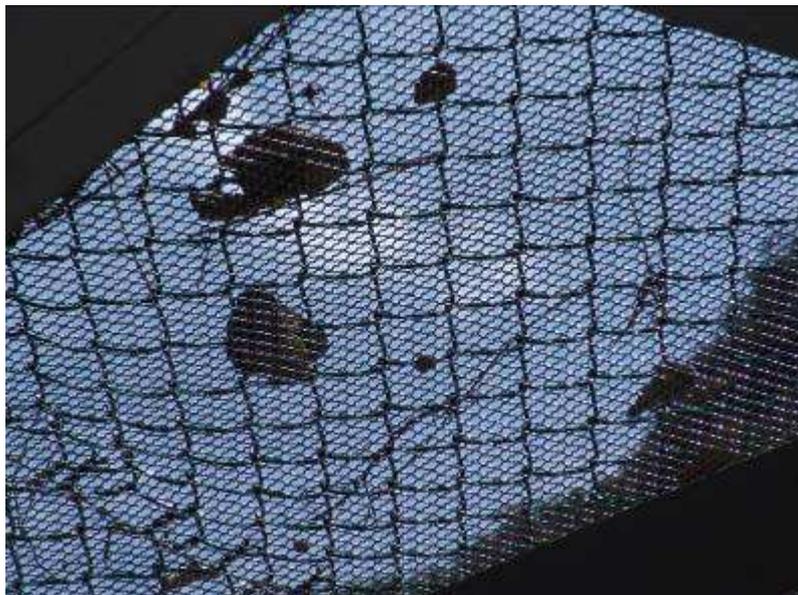
(4) 四號蝶形凌空墜石防護傘攔截凌空落石觀測



六月二十三日觀測照片



八月六日觀測照片



八月二十五日觀測照片



十月二十日觀測照片(共約 10 顆落石)

第六節 防護傘增進峽谷步道遊憩安全功能分析

- (一) 試驗性四座蝶形凌空墜石防護傘每座傘面 8 平方公尺，共計 32 平方公尺。觀測期四個月共攔截 43 顆凌空墜石，平均每平方公尺傘面攔截 1.35 顆落石。
- (二) 觀測期間四個月，共 172,800 分鐘，平均每平方公尺傘面攔截 1.35 顆落石。
- 換算每分鐘每平方公尺攔截到 1 顆落石之機率：
 $1/128,000=0.0000078$ ，即：百萬分之八。
- (三) 換言之，在步道上每設一平方公尺傘面之防護傘，每分鐘即可減少百萬分之八被落石打到之機會。
- (四) 九曲洞步道共有七段有落石風險之懸峭壁步道，共約 430m 長。遊客賞景漫步需時平均約 15 分鐘，被落石打到之機率為百萬分之 120。
- (五) 就賞景活動言，步道可分為通過區和賞景區；賞景拍照時間約佔通過時間二分之一，即約 8 分鐘。若於賞景拍照區設置防護傘，則可使遊客減少八分鐘之風險，使九曲洞遊客之落石風險機率減半而降為百萬分之 64。
- (六) 根據本區落石災害史（第四章），75 年 11 月太魯閣國家公園成立，至 98 年 10 月止 22 年間，九曲洞步道落石死亡 2 人，受傷 19 人，傷亡合計 21 人。
- (七) 九曲洞步道每年遊客初估約 80 萬人次，則 22 年間共有遊客 17,600,000 人次，而傷亡 21 人，故遊客傷亡機率為百萬分之 1.20；每年遊客可能傷亡人數則為 0.95 人。
- (八) 今若於賞景拍照區設置防護傘，使落石災害減半，則遊客傷亡機率可從百萬分之 1.20 降至百萬分之 0.60；而每年遊客可能傷亡人數則可從 0.95 人降至 0.48 人。
- (九) 因有步道安全設施，而於一次落石事件中能多免一人之災難，就能免一個家庭之災難。這不僅是管理績效，也是積德，善莫大焉。

第十章 峽谷馬拉松活動前減輕災害之因應規劃

第一節 峽谷馬拉松活動路線

太管處舉辦峽谷馬拉松活動已歷有年所，參與此盛會者動輒萬人，已蔚成太魯閣之優質傳統活動。

峽谷馬拉松全程者自太魯閣起跑，以文山為折返點；半程者則以錐麓隧道為折返點，如圖 10.1、10.2 所示。

馬拉松組（全程）路線原則上經過燕子口步道和九曲洞步道；半馬拉松組（半程）則只經過燕子口步道。

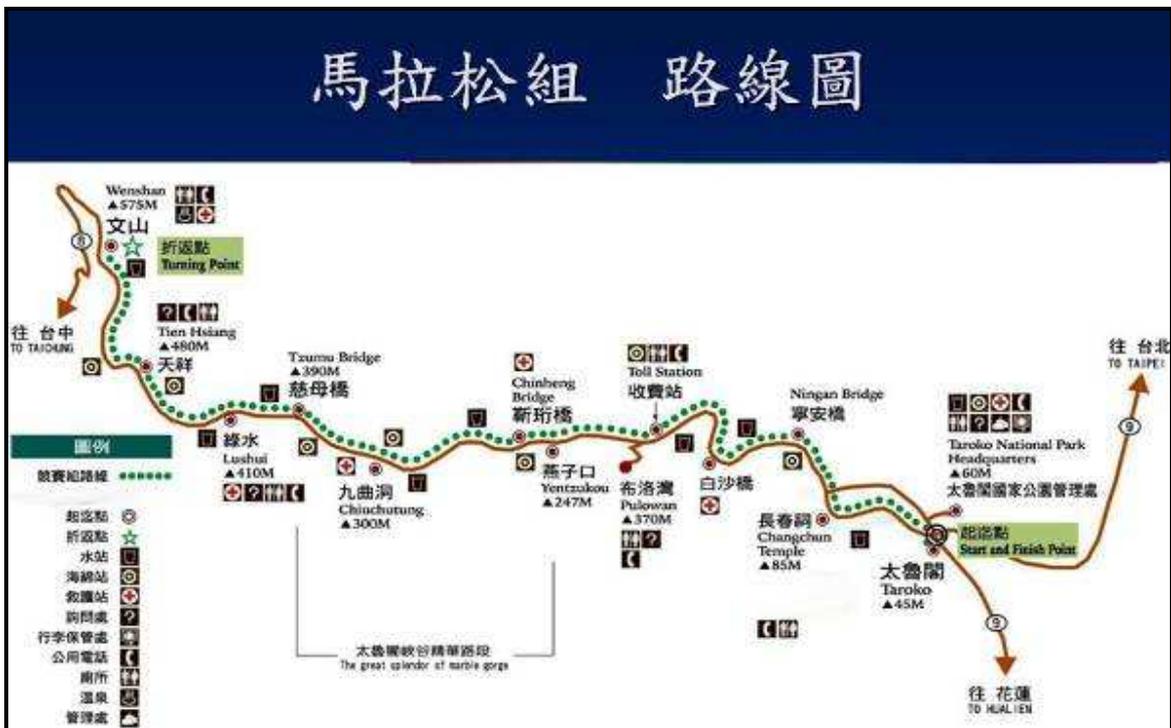


圖 10.1 峽谷馬拉松全程路線：自太魯閣起跑，以文山為折返點。(太管處資料)



圖 10.2 峽谷半馬拉松路線：自太魯閣起跑，以錐麓隧道為折返點。(太管處資料)

第二節 峽谷馬拉松活動路線之落石風險

任何地點之重大自然災害都屬意外。蓋天有尚不能預測之風雲變化，而人尚不能料也。

太魯閣國家公園內峽谷燕子口和九曲洞步道最常發生之峭壁區不確定性凌空落石風險屬之。

根據本計畫之步道落石風險地段田野調查，燕子口步道計有三段有凌空落石之虞之峭壁段（表 10.1）；而九曲洞步道則除隧道內路段外，全路段峭壁凌空落石都相當嚴重（表 10.2）。

表 10.1 燕子口步道各段特性一覽表

路段	長度 (公尺)	步道特性
1.東洞口前段	81	懸壁頂及峭壁破碎、鬆動。
2.隧道段	603	已治理，懸峭壁破碎。
3.西洞口已治理峭壁	100	低處已治理；高處岩體破碎。
4.未治理峭壁	80	節理密度大。
5.退縮峭壁段	132	節理密度大、裂隙長草。
6.靳珩橋、明隧道	110	靳珩橋、明隧道。
7.半隧道段	268	頂拱及峭壁節理發達。
8.步道終點前	363	安定。

	
燕子口步道東口半隧道峭壁段落石風險區。	燕子口步道東端靳珩橋前峭壁段落石風險區。

表 10.2 九曲洞步道各段特性一覽表

路段	長度 (公尺)	步道特性
1 東洞口前段	170	峭壁高處節理發達。
2 隧道、懸峭壁段	218	隧道、懸峭壁節理發達。
3 懸峭壁段	230	懸峭壁落石嚴重區。
4、5 九曲蟠龍半隧道段	260	半隧道、懸峭壁落石嚴重區。
6 科蘭溪口段	70	懸峭壁落石嚴重區。
7 西懸峭壁段	200	懸峭壁落石嚴重區。
8 步道終點停車場段	75	半隧道、峭壁落石嚴重區。



九曲洞步道東口峭壁段落石風險區。



九曲洞步道東段峭壁段落石風險區。



科蘭溪口峭壁段落石風險區。



西段峭壁段落石風險區。



九曲洞步道西洞口峭壁段落石風險區。



九曲洞步道西洞口停車處峭壁段落石風險區。

因此，馬拉松活動路線若須經過此等落石高風險路段時，如何減少或根本消除風險，勢須有周全之思維與規劃，以使活動劃下完美句點。

第三節 馬拉松活動前減輕災害之因應規劃

- (一) 本計畫研究結果顯示：峽谷步道最難以防範之落石風險為峭壁區之凌空落石。因此，馬拉松活動前減輕災害之因應規劃，係以避免或減少活動受凌空落石風險影響為主要目的。
- (二) 峭壁落石之誘因為峭壁岩石鬆動；而岩石鬆動之誘因則為地震、降雨、風化等不可抗拒之大自然作用，乃自然災害之初始誘因。初始誘因無法治理，因此不是因應規劃之對象。
- (三) 大自然初始誘因之下一個使峭壁落石之誘因是岩石鬆動。岩石鬆動在工程技術上可以處理。惟飛落石塊來自不明高處，遂使鬆動岩石之直接處理技術無用武之地，而使此一誘因亦成為無法治理之對象，因此處理高處鬆動岩石不是因應規劃之標的。
- (四) 職此之故，馬拉松活動前減輕災害之因應規劃只能以墜落中之石塊為處理對象。其對策不外活動路段落石之空中攔阻與活動路段之管理等兩策，亦即擋落石與躲落石。

1. 活動路段落石之空中攔阻：

活動路段落石以峭壁區之凌空落石最難以預期。鬆動岩石既然無法治理使其不掉落，則落石防治唯有以防護傘、明隧道等構造物等於空中阻擋落石於活動路面之外，以達到減少人員暴露於凌空落石之空間(左下照片)之目的。

<p>馬拉松活動路線以本計畫研創之蝶形凌空墜石防護傘設置於落石頻繁之路面，以阻擋飛石落於活動路面。</p>	<p>馬拉松活動路線以明隧道等高大構造物阻擋飛石落於活動路面。</p>

惟馬拉松活動時程訂於 11 月 7 日舉辦，已經迫在眉睫，以明隧道等工程防治已屬緩不濟急；蝶形凌空墜石防護傘以其輕巧和結構簡便則尚有可為之餘裕，如於落石頻繁路段以連續防護傘構成安全廊道即為一途。或許明年度可試作。

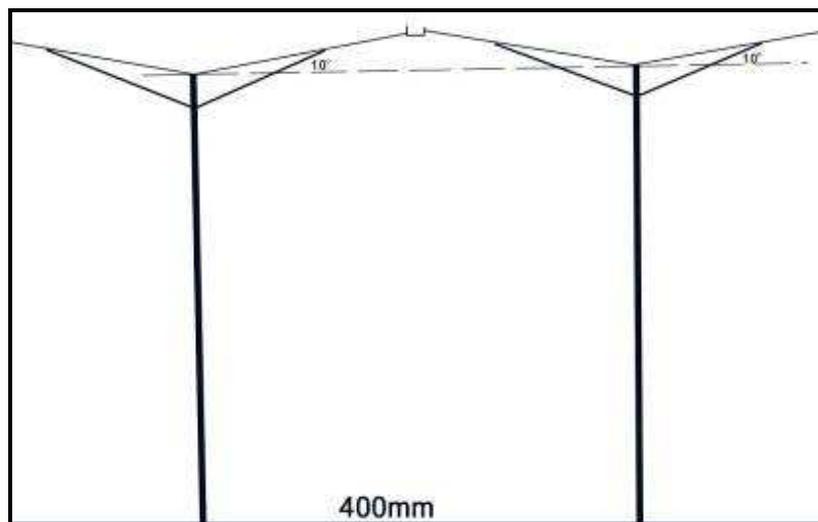


圖 10.3 連續防護傘構成安全廊道立面圖

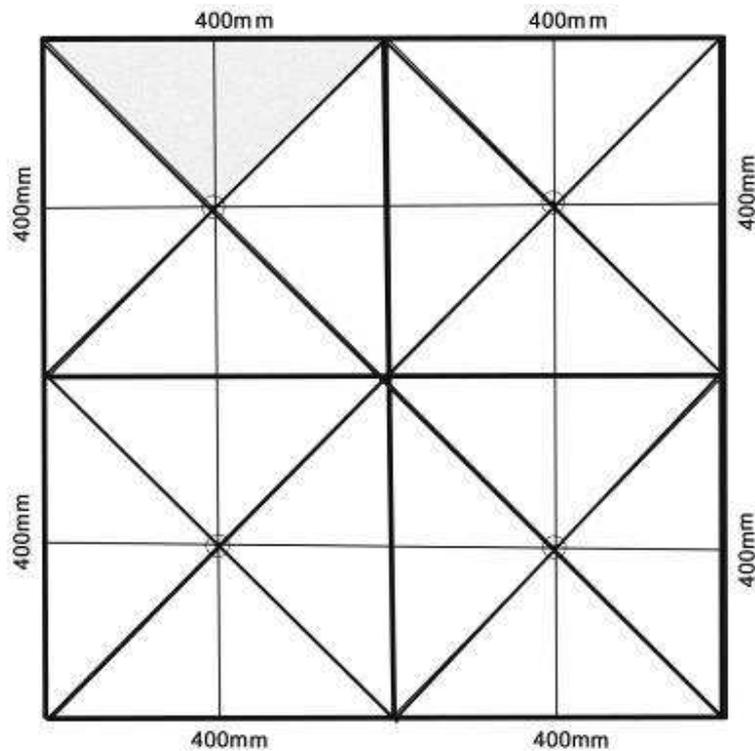


圖 10.4 連續防護傘構成安全廊道俯視圖(本圖作二方或三方連續可構成廊道)

2.活動路段管理：

當馬拉松活動步道之落石無適當之工程防範措施時，活動路段管理則屬必要之措施。

活動路段管理係將馬拉松活動路線侷限於相對安全之路面或路線，以減少或避免落石災害事件之非工程方法。

(1) 將馬拉松活動路線侷限於步道相對安全之路面：

一般而言，步道內側峭壁段凌空落石著地點有偏於步道外側路面之現象。因此，在此型步道將馬拉松活動路線侷限於相對安全之內側路面，自有助於活動安全性之提昇。



峭壁段凌空落石著地點有偏於步道外側路面之現象。



將馬拉松活動路線侷限於相對安全之內側路面。

惟目前太管處規定遊客進入峽谷步道須戴安全帽，此對馬拉松活動參與者之身心是否構成負擔，或有折衷變通辦法，則為行政上須斟酌之事。



馬拉松活動參與者是否須戴安全帽是行政上須斟酌之課題。

(2) 將馬拉松活動路線侷限於相對安全之路線：

颱風、地震等異常天候之後，步道落石風險迅即提高時，自以太管處「開放性遊七設施或環境風避管制作業準則」或其精神，封閉步道而使用公路為馬拉松活動路線為上策。

但當步道路線安全有疑慮時，仍以避開步道而走公路為得計。



危險步道封閉，而將馬拉松活動路線侷限於相對安全之路線。

第四節 馬拉松活動前減輕災害之因應規劃結論

峽谷馬拉松活動前減輕災害之因應規劃：在現狀路況下，建議上、中、下三策，須從行政面作其適宜性評估。

- ◎上策：將馬拉松活動路線侷限於相對安全之公路。
- ◎中策：將馬拉松活動路線侷限於相對安全之步道路面，人員依規定戴安全帽。
- ◎下策：開放全步道區，人員依規定戴安全帽。

第十一章 結論與建議

(一) 峽谷自然災害以大理岩峽谷區之燕子口步道和九曲洞步道為最。

災害型式為突來落石傷人。落石來源有三：

- (1) 隧道頂拱細碎落石；
- (2) 半隧道外緣巨石落盤；
- (3) 峭壁不明高處凌空落石。

(二) 本計畫研究結果顯示：欲有效改善峽谷步道安全，須工程治理、工程防護、與非工程管理策略因地制宜並施。如此應可大幅提昇步道安全。

(三) 峽谷步道本為公路段。過去公路隧道、半隧道與峭壁低處者之傳統工法之處理頗見成效，對峽谷自然景緻與遊憩環境亦無損傷，故建議作為步道此等路段持續改善計畫之工法。

(四) 來自峭壁高處不明地點之風化落石傷人，為峽谷步道主要安全課題。明隧道為最佳之防落石工程對策，其缺點為須改變自然環境並影響觀景視野，故不被採用。

(五) 為解決此一難題，本計畫以「不改變自然環境、不影響觀景視野」為維護自然景觀之底線，研發可提升遊客安全之輕巧、環保、經濟「蝶形凌空墜石防護傘」，並設置四座試驗用蝶形凌空墜石防護傘於常落石地點，經兩次公開現場以大於步道一般落石粒徑兩倍以上之石塊從約十公尺高處以自由落體方式撞擊傘面，以檢驗其耐撞力，結果構造物均無明顯損傷，顯示其最大耐撞力應遠大於此。

- (六) 「蝶形凌空墜石防護傘」設置四個月，其間經歷多次地震與颱風和落石事件，證明其結構與減災功能完美無缺。

科學以實驗結果為依歸。本設計試驗結果符合科學驗證法則。

- (七) 蝶形凌空墜石防護傘設置四個月蒐集之實驗統計資料顯示：若於賞景拍照區設置防護傘，可使落石災害減半，則遊客傷亡機率可從百萬分之 1.20 降至百萬分之 0.60；而每年遊客可能傷亡人數則可從 0.95 人降至 0.48 人。

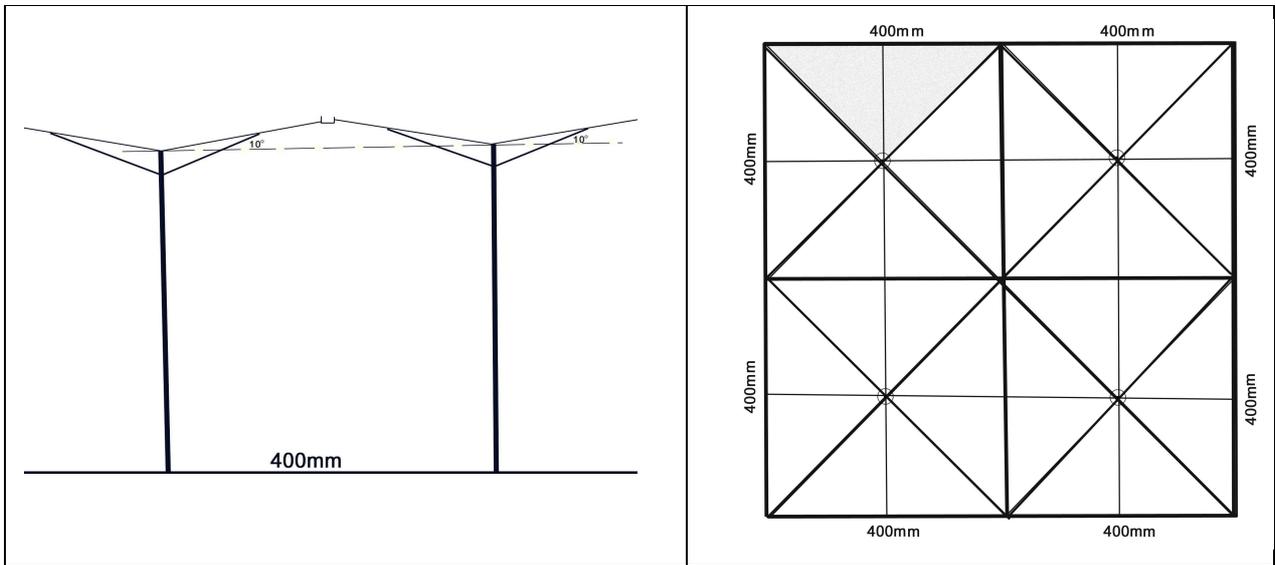
故設置防護傘等於減少遊客暴露於危險懸峭壁時間，從而達到減少傷亡之機率至一半或更低。

- (八) 經高空落石現地實物試驗顯示：24 支傘骨之一般雨傘可承受直徑 5 公分以上之天然石塊撞擊而不傷及持傘人，於發生細碎落石群時有其防災實用價值，可供參擇。

- (九) 任何天然災害防護措施都只能作到減少災損，而不能完全免災。因此步道安全設施如能多免一人之災難，就能多免一個家庭之災難，這不僅僅是積德，也是管理績效。每年有 80 萬遊客之峽谷步道採取積極性之防災措施有其客觀上之需要性。

- (十) 儘管蝶形凌空墜石防護傘設計與設置之三大基本原則為：無損於自然環境及無礙於賞景活動，而且已經以實物和實驗證實已經達到此目的，惟迄今為止的懸疑問題是：當防護傘作規模性之設置時，其景觀衝擊之規模效應如何？

對此問題唯一可能的回答還是計畫性與規模性的實驗。例如以連續防護傘構成安全廊道於遊客集散處及最愛賞景點，以檢驗其景觀適宜性。



(十一) 峽谷步道最急迫的防災課題是：當地震突然發生時，九曲洞東、西洞口遊客集散地和開闊長峭壁步道區的遊客，如何可適時獲得適當的庇護，以儘量降低傷亡。

(十二) 為同時解決(十)和(十一)兩項的問題，本計畫做如下之建議：

表 11.1 本計畫立即可行建議與中長期建議之內容與目的一覽表

建議事項	建議內容	目的	主辦機關
立即可行建議	1.峽谷步道落石區調查與區劃 2.峽谷步道落石區防災策略與工法規劃 3.遊客集散區、主要賞景區、地震避難區實驗性防護廊道之架設 4.防護廊道之防護功能與環境和景觀衝擊承載量觀測	1.區劃步道危險區 2.在遊憩災害敏感區進行規模性防災試驗 3.解決防災構造物之景觀衝擊懸疑	太管處
中長期建議	1.依前期試驗觀測結果確立峽谷步道防災策略 2.研擬峽谷步道遊憩安全改善執行計畫	1.確立峽谷步道防災政策 2.研擬執行方案與執行計畫	太管處

(十三) 峽谷馬拉松活動前減輕災害之因應規劃：在現狀路況下，建議上、中、下三策，須從行政面作其適宜性評估。

- 上策：將馬拉松活動路線侷限於相對安全之公路。
- 中策：將馬拉松活動路線侷限於相對安全之步道路面，人員依規定戴安全帽。
- 下策：開放全步道區，人員依規定戴安全帽。