

石頭來襲！笑著跑還是尖叫？突發型落石閃躲策略之研究

投稿類別：自然科技

篇名：石頭來襲！笑著跑還是尖叫？突發型落石閃躲策略之研究

作者：

吳雨芄 花蓮縣秀林國民中學 八年一班

葉名倫 花蓮縣秀林國民中學 九年二班

張翊慈 花蓮縣秀林國民中學 九年三班

指導老師：

駱昌宏 老師

李政軒 老師

水落石出隊

壹、前言

一、研究動機

臺灣本島有超過七成的土地為山區，地形陡峭破碎，潛藏落石風險。根據統計，落石型山難案件的致命率高達 **67%**，是所有山難中死亡率最高的類型（鄭安晞，2005）。這顯示出落石事件對人類生命安全的嚴重威脅，不僅讓登山者或山區旅人面臨無可迴避的風險，也凸顯山地環境安全管理的重要性。

本研究之所以選擇「落石」作為探討重點，源自於秀林國中師生對奇萊山落石事件的深刻省思。奇萊山以險峻聞名，其落石造成登山受傷的案例，曾在社區與校園引起強烈迴響。這起事件讓我們不僅體認到自然環境的無常，也意識到教育場域更應培養學生對山地安全的知識與警覺心。透過科學探究與案例反思，我們希望提升師生與社區對落石災害的理解，進而推動更有效的防範措施與安全教育。

	
秀林尋根隊登奇萊北峰 驚傳落石砸學生 3 人傷(資料來源：EBC 東森新聞)	登得卡倫步道 3 人慘遭落石砸中亡 (資料來源：今日新聞 Nownews)
	
苗 62 線山壁施工 1 工人遭落石砸中身亡 (資料來源：創新聞)	女山友遭落石砸中滾落邊坡死亡 檢警相 驗嚴重創傷致命(資料來源：自由時報)

圖 1、落石型山難案件的致命率高達 67%，是所有山難中死亡率最高的類型。

二、研究目的

(一)彙整落石災害的相關文獻

1. 彙整現有文獻，探討落石災害的地形因素。
2. 彙整現有文獻，探討用路人的落石災害避難策略。

(二)探究突發型落石的地形效應

1. 探究落石的地形坡角、坡高與掩體類別之間的交互作用。
2. 以奇萊北峰為落石模擬場域，探究地形類別對落石運動軌跡的影響力。

(三)探究突發型落石災害的逃生機率，擬定用路人最佳逃生策略

1. 比對不同地形條件下的落石傷害結果，推估用路人在不同位置的逃生機率。
2. 整合研究成果，擬定山區落石發生時，用路人的落石災害求生策略。

三、研究流程與研究方法

為了模擬落石災害現場並提出更有效的閃躲策略，本研究將架構分為五個階段。首先，透過查閱相關文獻，了解學界與實務對落石災害的認識與處理方式，並整理現有地形對落石的影響，作為後續實驗依據。第二階段，歸納目前已有的閃躲策略，接著設計實驗依據不同坡角與位置，設計多種落石模擬情境。第三階段，我們運用雷射雕刻技術切割木板，然後組裝可調坡角的地形模型。第四階段，分析突發性落石掉落後的密度數據，並整理出一套表格。最後，綜合實驗與文獻結果，評估並提出可能更有效的閃躲策略，並檢視其可行性與應用價值。




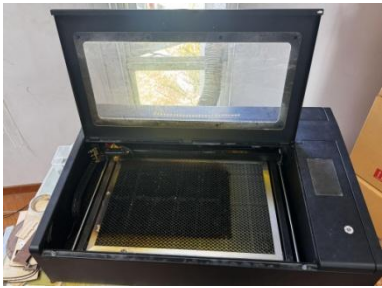

圖 2. 突發型落石閃躲策略研究流程圖

四、研究設備及器材


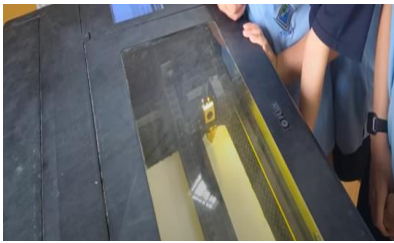



為了模擬落石災害現場，本研究製作落石地形模擬裝置所使用的相關下材料如下：

(一) 落石地形模擬裝置

		
電子磅秤(秤量落石質量用)	方形不規則狀落石(0.7g)	鑷子
		

保麗龍板(製作地形模型用)	電焊筆(製作地形模型用)	貼紙(標記落石條件、撞擊點)
		
木板	雷射雕刻機	長尺

(二) 落石地形模擬裝置製作過程

		
切割保麗龍	雷射雕刻木板	組裝模型 1
		
組裝模型 2	測試模型的落石效果 1	測試模型的落石效果 2

貳、正文

「原住民部落」通常是以血緣、地緣、文化、語言、習俗等社會聯繫為基礎，通常是一個由特定群體組成的社會單位，這些人之間有著共同的生活方式、信仰和利益 (詹日昇·吉宏，2011)。本研究彙整有關原住民部落選址的相關研究，發現原住民在進行部落選址時會考量自然環境、文化背景、族群結構以及防禦功能。以下是相關文獻的歸納整理：

一、文獻回顧

(一) 影響落石運動的相關因素

1. 落石本身的特性

岩塊的形狀、大小與物理性質都會影響其運動過程。張建仁 (2014) 的研究發現，圓滑

狀的岩塊更容易滾動或彈跳，因此通常能移動到更遠的地方；而質量較大的岩石則因具有較強的慣性，不容易被坡面上的細小凹凸阻擋，往往能維持運動更長時間。林景霽 (2001) 也補充指出，落石的硬度與彈性會改變撞擊時的能量損耗，從而影響落石的回彈與後續行為。

2. 坡面特性

坡面的條件會直接影響落石的加速度與運動距離。呂政安 (2021) 的研究指出，坡角愈大，落石的速度與最終移動範圍就會增加。此外，坡面粗糙程度、植被分布狀況，以及是否存在鬆散的碎石或土壤，都會對落石的軌跡產生不同程度的影響。張建仁 (2014) 認為，粗糙的地表可能使落石能量快速消耗，而茂密的植被能起到部分阻擋作用；相對的，碎石坡或鬆散土層則可能加劇落石的滾動與二次彈跳。

3. 落距與彈跳高度

落石運動常以彈跳方式進行，而其初始落距則會直接影響動能大小。林景霽 (2001) 指出，當岩石自較高處釋放時，會獲得更大的衝擊速度與能量，進而影響後續的運動軌跡與彈跳高度。落距愈大，落石可能滾動得更快，並擴大其影響範圍。

(二) 落石災害避難策略相關文獻

1. 提早警覺與預警

行經「注意落石」標誌區域時，用路人應放慢速度並保持高度觀察。于璧嘉 (2024) 指出，落石往往會有前兆，例如零星小石塊掉落、坡面植被發出斷裂聲響等，這些皆可作為提早警覺的依據。若無發現異常狀況，則應快速而安靜地通過該區，以縮短停留時間。

2. 尋找掩護並保持低姿態

Straybirds (2022) 認為，當聽到落石聲響或親眼見到岩石滾落時，最佳反應是立即靠近山壁一側，因該處通常較不容易受到正面衝擊。避難過程中，應縮小身體面積並蹲下，以降低被擊中的風險。同時利用隨身物品如背包或手臂遮擋頭部，能有效減少因直接撞擊所造成的傷害。

3. 評估逃生方向與掩護物

若現場能見度良好，用路人應先觀察落石的滾動方向，並往相反方向快速逃離。途中可尋找大型樹木或堅固岩塊作為臨時掩護，以降低遭受撞擊的可能性。對於駕駛者而言，一旦遭遇落石威脅，最安全的做法是立即棄車，因為即使是小型岩石也可能輕易擊碎車窗，而大型落石更可能造成致命危險(于璧嘉，2024)。

二、設計實驗

(一) 實驗概念

1. 坡角與投放點對落石運動行為之影響

本實驗旨在探討不同高度、位置，落石的撞擊位置及滾動後停止位置。我們以 3 種坡角 (40°、60°、80°) 來模擬山區的落石模式，觀察落石會在怎樣的地勢，產生停止或彈飛的運動，進一步分析落石災害的閃躲策略。

2. 地形變因對落石運動與避難策略之影響

依據文獻回顧內容，除了地形坡角之外，我們還設定了 9 處投放點來產生不同的坡長條

件，再加上 2 種不同掩體高度作為實驗的操作變因，透過模擬落石投放的砸落情形，統計不同條件下的落石撞擊位置及滾動後停止位置，記錄落石分布的密度，最終目的是為山區震災時提出更科學化的落石避難策略建議。

(二) 變因設計

表 4-1、本實驗各項變因一覽表

類別	內容說明
控制變因	<ol style="list-style-type: none"> 1. 實驗地形模型表面材質一致，無植被與摩擦力的差異。 2. 投放時，落石初速皆為 0，落距為 0.5 公分。 3. 投放時，落石的頂腳及朝向都以同一姿態固定於坡面上。 4. 落石形狀為方塊狀，重量為 0.7 公克。
操作變因	<ol style="list-style-type: none"> 1. 地形坡角（坡角分為 40°、60°、80°） 2. 坡長（距坡腳 35 公分、距坡腳 20 公分、距坡腳 5 公分）。 3. 山壁/掩體高度（4 公分、8 公分）
應變變因	<ol style="list-style-type: none"> 1. 落石撞擊點位置，及滾動後停止位置。 2. 受害區段的落石撞擊密度。

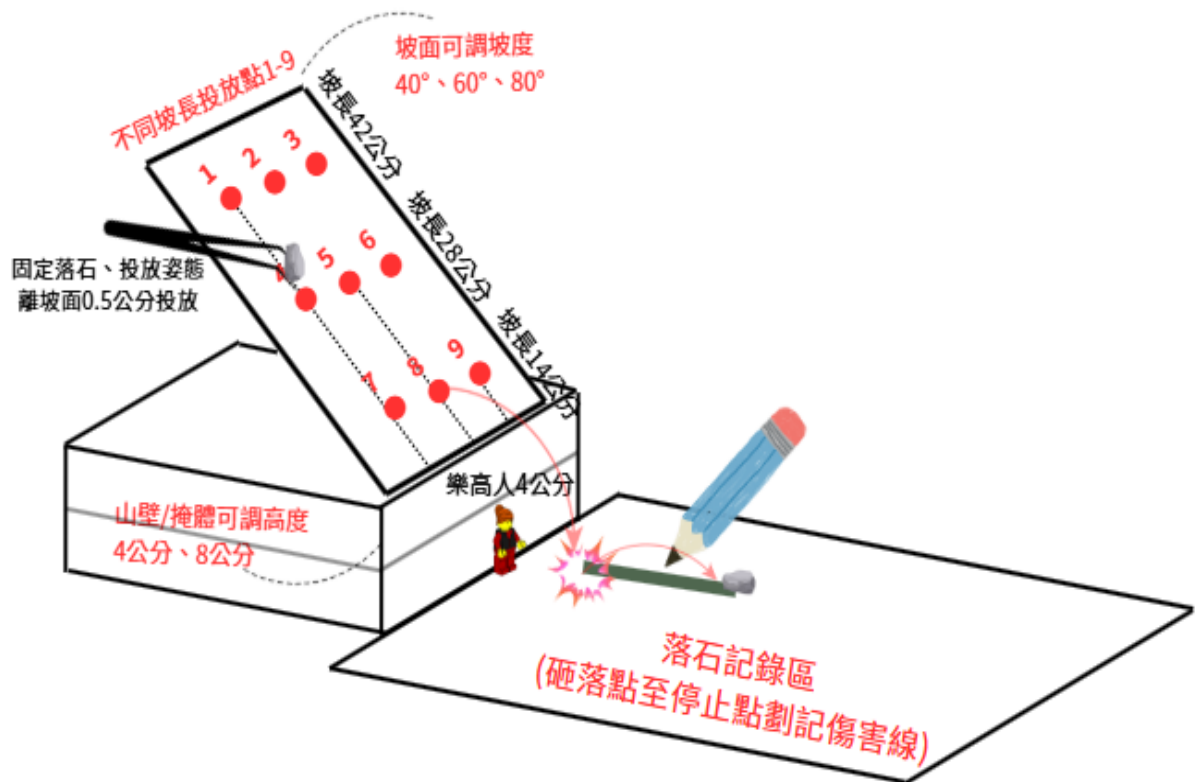


圖 3、本研究自製落石地形模擬裝置示意圖

三、實驗操作流程

(一) 建立模型

先以雷射雕刻機裁切木板並組裝成可調坡角的落石地形模擬裝置，在坡面貼上保麗龍，然後用電焊筆隨機橫向隨機燒灼保麗龍坡面，使模擬的山坡具不規則凹陷及摩擦力，更貼近真實地形。

(二) 製作三種地形坡角

在木板下方黏貼木卡榫，利用卡榫使坡面可固定成幾乎垂直的 80°坡角地形、明顯傾斜的 60°坡角地形、些微傾斜的 40°坡角地形。

(三) 製作不同坡長的九處投放點

將 41x18 的保麗龍分劃成九宮格，上下每隔 14 公分、左右間距 3.5 公分，形成三種坡長的九處落石投放點。

(四) 製作兩種高度的山壁/掩體

1. 高山壁/高掩體投放

抬高山壁/掩體至 8 公分高，用不同顏色圓點貼記錄投放高山壁/高掩體結果，坡角 80 度，以橘色 1-9 表示；坡角 60 度，以綠色 1-9 表示；坡角 40 度，用黃色 1-9 表示。

2. 矮山壁/矮掩體投放

降低山壁/掩體至 4 公分高(與樂高人等高)，用不同顏色圓點貼記錄投放高山壁/高掩體結果，坡角 80 度，以紫色 1-9 表示；坡角 60 度，以淺藍色 1-9 表示；坡角 40 度，用深藍色 1-9 表示。

(五) 落石模擬實驗操作

由坡角低至高，投放點 1 至 9，依序投放。用鑷子投放一顆落石，初速為 0，自 0.5 公分高度自由落下。九處投放點各投放落石 1 次，不同坡角、不同掩體高度條件變換之下，重複上述操作以確保統計。

(六) 觀察與記錄

為每次落石掉落至實驗區後，由兩位同學同步目視確認最終撞擊點及滾動後停止位置，以圓點貼紙記錄並依投放位置寫上數字，將撞擊點至停止點之間以對應色筆連線，視為傷害線，並用 Excel 統計地表每公分區段內的傷害密度。

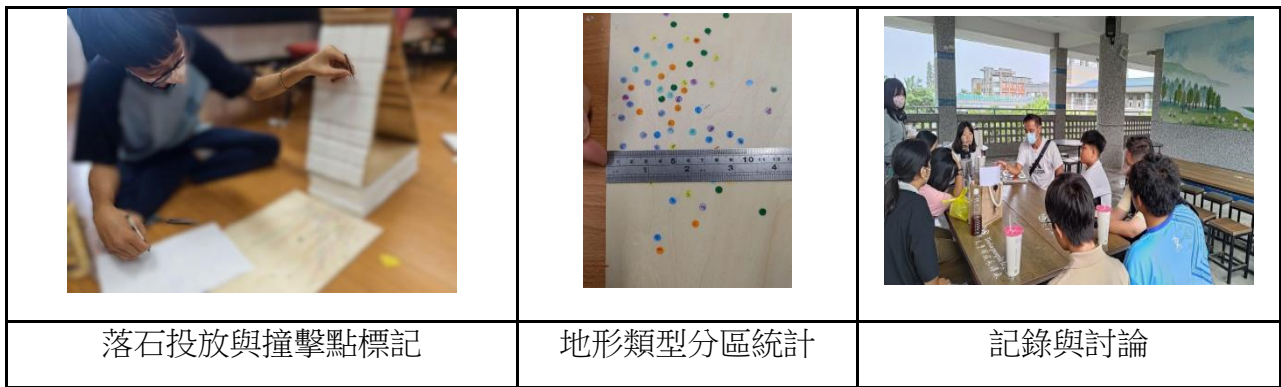


圖 4、變換不同條件組合成 9(坡長)*3(坡角)*2(山壁/掩體高度)共 54 次落石投放事件。

四、分析結果

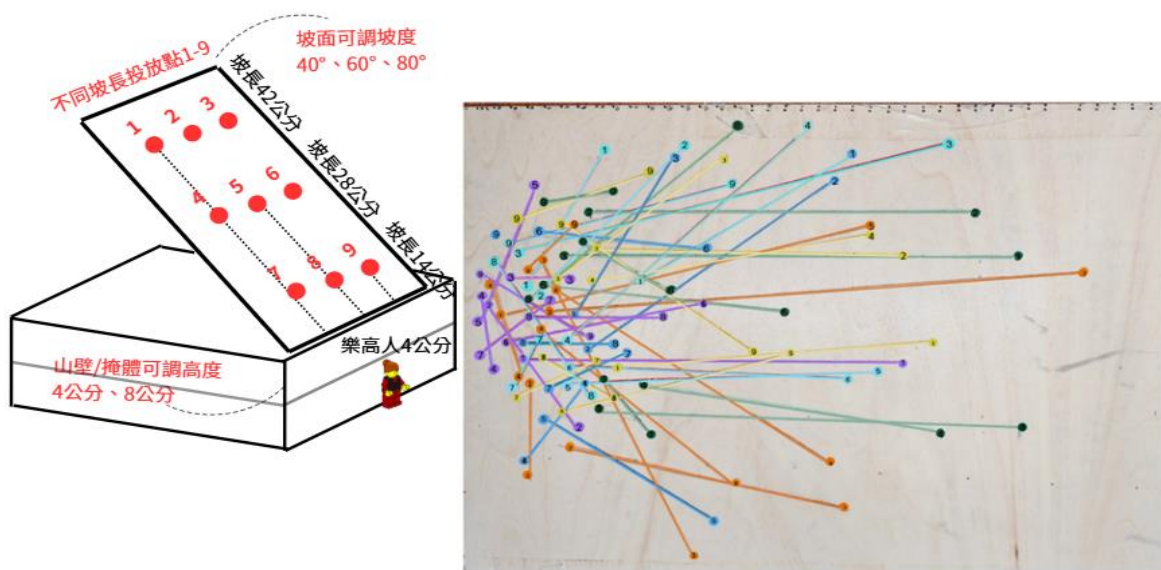


圖 5、落石模擬投放後的 52 條傷害線分布情形

(一) 山壁/掩體高度對落石砸落結果的影響

研究發現山壁/掩體 8 公分高時，落石砸落的位置離山壁較遠，可形成將近 1 公分的求生空隙，若把樂高人當成 160 公分的比例換算，真實狀況約在掩體旁產生 40 公分寬的逃生空隙；當山壁/掩體剩下 4 公分高時，落石砸落的位置離山壁較近，只形成將近 0.5 公分的求生空隙，若把樂高人當成 160 公分的比例換算，真實狀況約在掩體旁剩下 20 公分寬的逃生空隙。

(二) 地形坡角對落石砸落結果的影響

研究發現坡角越大時，落石砸落的位置離山壁較近，形成將近 0.5 公分的求生空隙，若把樂高人當成 160 公分的比例換算，真實狀況約在掩體旁剩下 20 公分寬的求生空隙。但是當坡角小至 40 度時，落石砸落的位置離山壁較遠，可形成將近 2 公分的求生空隙，若把樂高人當成 160 公分的比例換算，真實狀況約在掩體旁產生 80 公分寬的求生空隙。

(三) 不同坡長對落石砸落結果的影響

不同坡長對於求生空隙沒有明顯影響，但是坡長越長(越高的投放點)累積的動能大，落石撞擊地面會彈跳到較遠的位置才停止，導致拉出很長的傷害線(從撞擊到停止之間的跳動、滾動、滑動皆視為傷害範圍)；坡長越短(越低的投放點)累積的動能小，落石撞擊地面彈跳到較近的位置就會停止，拉出的傷害線較短。

由於上述三種因素交錯影響，整體的落石傷害密度在距離山壁/掩體 3 到 12 公分間的範圍內最為嚴重，我們將這段區域是為落石熱區，考慮到突發型落石的應變時間極短，若取落石熱區中線，也就是距離山壁/掩體 7.5 公分處作為逃生動線分界線，將能取得最大生存機會。

若把樂高人當成 160 公分的比例換算，真實狀況約在掩體往外 3 公尺作為逃生分界線，距離山壁 3 公尺以外的遇難者應該往遠離山壁方向逃生，並儘可能就近尋求掩體趴下；距離山壁 3 公尺以內的遇難者應該儘速以立姿貼近山壁，並儘可能掩護頭部，運用求生空隙增加生存機率。

五、奇萊北峰 2024 年落石事故現場比對

(一) 2024 年秀林國中奇萊北峰尋根活動遭遇落石事故概況

2024 年 3 月 15 日上午，秀林國中師生 24 人輕裝登頂奇萊北峰，中午完成太魯閣族尋根儀式後返程下山，12 點 45 分隊伍分流管制通過北峰下方第一處岩溝時（離峰頂約 50 公尺），北峰旁一顆約 4 噸重的巨石崩落，大小石塊砸傷岩溝下方的隊員，造成 5 人輕重傷，其中 3 名傷患因脊椎骨折、腿部開放性骨折等傷勢而嚴重需緊急後送。

		
2024 年 3 月 15 日，秀林國中於奇萊北峰完成太魯閣族尋根儀式。	離開北峰約 50 公尺，峰頂旁一顆約 4 噸重的巨石崩落，造成隊伍 5 人輕重傷。	團隊在緊急應變分組下撤，現場嚮導檢傷分類將重傷患者後送待援。

圖 6、秀林國中 2024 年奇萊北峰尋根活動遭遇落石事故照片

(二) 落石事故現場比對研究成果

奇萊北峰頂約 100 米處(座標 24.11803, 121.33449)處巨石突然崩落(甲處)，押後人員發現後隨即大喊落石，此時隊員正在分流下攀岩溝地形(乙處)，4 噸重的巨石順著岩坡滑移，崩落裂成 3 顆冰箱大小的石塊，2 顆巨石停在斜坡，1 顆落至隊伍丙處，落石帶動大小土石塊黃塵滾滾傾瀉。

落石撞擊造成一名學員的安全帽應力破裂，導致後枕部血腫及腿部骨折，但安全帽有效吸收了落石的勢能，顯著降低了頭部創傷的風險，成功挽救其生命。而嚮導在落石第一時間掩護學員靠近山壁，成功將人員掩護在 4 米高的山壁旁，利用其求生空隙避開了致命傷害。所有重傷傷患在山屋待援一夜後，空勤直升機隔日順利完成吊掛，傷者平安下山救治。



圖 7.事故現場空拍圖



圖 8、一噸重的落石從照片右側山壁上方滑落，由於山壁/掩體高度達 4 公尺高、上方山坡坡角小(小於 40 度)，落石撞擊地面時與山壁之間形成 2 公尺寬的求生空隙，貼近山壁的隊員因此避開了致命傷害。隊員的傷勢都是被零星小落石砸落造成。

參、研究結論與討論

一、研究結論

本研究以奇萊山落石事件作為省思背景，透過縮尺模型實驗模擬落石災害情境，探討山壁/掩體高度、坡角與坡長等地形條件對落石運動軌跡及求生空隙的影響，進一步推估用路人的逃生策略。經由實驗觀察與數據換算，獲得以下結論。

(一) 山壁/掩體高度對落石的影響

實驗顯示，當掩體高度為 8 公分時，落石與掩體之間可形成近 1 公分的安全空隙，換算為真實比例約為 40 公分，足以讓人員有一定的閃避空間。然而，當掩體高度降低至 4 公分時，安全空隙僅剩約 0.5 公分，換算為真實比例僅約 20 公分，已接近人類實際可移動的最小範圍。由此可知，掩體或山壁的高度設計，對於提升人員的求生機率具有顯著影響，顯示工程防護設施的高度必須納入更嚴謹的安全評估。

(二) 地形坡角對落石的影響

研究發現坡角對落石滾動後的撞擊位置有直接影響。坡角越大（接近垂直），落石越容易緊貼山壁砸落，安全空隙縮小至約 0.5 公分（換算約 20 公分）。然而，當坡角降至約 40 度時，落石軌跡明顯偏離山壁，安全空隙可達 2 公分（換算約 80 公分）。這意味著在自然地形中，坡度平緩的區域能提供較佳的逃生機率。此結果也提醒登山者與用路人，在行經陡峭邊坡時應提高警覺，並於地形允許時儘量選擇相對平緩的邊坡區域停留或通行。

(三) 坡長對落石的影響

實驗顯示，坡長對於「求生空隙」影響不大，但會明顯改變落石的動能累積。坡長越長（投放點越高），落石累積的能量越大，撞擊後會產生連續彈跳與滾動，造成更長的「傷害線」。反之，坡長越短（投放點低），落石能量小，停止距離短，傷害線範圍相對縮小。由此可見，坡長影響的是「落石影響範圍」而非「逃生空隙」，提醒相關單位在道路或步道規劃時，應將高落差邊坡列為重點防護區域，以減少落石災害波及範圍。

二、討論

過去的山域安全宣導，多以「一旦發現落石，立即大喊提醒，所有人儘速往山壁貼近」作為標準應變口訣。然而，本研究透過模型實驗與數據換算發現，突發型落石的危害分布並非單一方向一致，而是受到 掩體/山壁高度、坡角與坡長 共同影響，落石最危險的「傷害密度」集中在距離山壁約 3 至 12 公分的區域。我們將這段區域定義為「落石熱區」。

若取熱區的中線約 7.5 公分（換算真實比例為 3 公尺）作為判斷分界線，可以推導出更精準的逃生策略：

1. 距離山壁 3 公尺以內

應採取「立姿貼壁」策略。儘速貼近山壁，並用手或背包掩護頭部，利用山壁與落石間殘留的求生空隙增加生存機率。

2. 距離山壁 3 公尺以外

應採取「遠離翻身」策略。往遠離山壁的方向快速撤離，並尋找就近掩體，採趴姿降低受擊面積，以減少落石彈跳或滾動的衝擊傷害。

此一分界策略的意義在於：突發落石事件往往無預警、應變時間極短，若僅以「一律往山壁貼近」的方式應對，反而可能進入「落石熱區」的致命範圍。本研究提供的動線分界觀點，能幫助登山者或用路人根據自身位置快速做出判斷，提升生存機會。

為使大眾更易記憶並快速應用，我們設計出簡短口訣：「三公尺內靠山壁，三公尺外快逃離」此口訣能清楚提示遇險者依自身與山壁的距離，選擇最有利的避難方式，進而提高在突發落石狀況下的存活率。

肆、引註資料

Straybirds (2022)。【登山安全】地震應變與安全確保。取自:<https://reurl.cc/MjDNpv>
于璧嘉(2024)。遭遇山體落石該如何自救呢?記住這些要點。取自:<https://reurl.cc/E6DXjv>
史任捷(2019)。台灣原住民族聚落多樣化的選址指南。取自:<https://reurl.cc/LIDNZK>
江冠榮(2012)。原住民的日常生活。取自:<https://reurl.cc/nvX7en>
江冠榮 (2010)。布農族傳統建築家屋選址之智慧。取自:<https://reurl.cc/adzVvl>
林景雲(2001)。落石運動之模型試驗研究。國立中央大學應用地質研究所碩士論文。
陳宏宇(1998)。地球科學園地。取自:<https://reurl.cc/rvXD4N>
張政亮; 鄧國雄; 吳健蘭(2004)。漢人聚落拓墾與地形之相關研究。取自:<https://reurl.cc/vvXkaa>
劉志學(1989)。立霧溪河階之沉積學研究與對比。國立臺灣大學,臺北市。取自:<https://reurl.cc/OrDVmR>

伍、附錄 落石密度統計表

	高壁		矮壁	
	落石傷害線總數	密度	落石傷害線總數	密度
1	0	0	0	0
2	0	0	11	0.3666
3	3	0.1	10	0.3333
4.	11	0.3666	25	0.8333
5	11	0.3666	18	0.6
6	23	0.7666	20	0.6666
7	18	0.6	26	0.8666

石頭來襲！笑著跑還是尖叫？突發型落石閃躲策略之研究

8	22	0.7333	25	0.8333
9	26	0.8666	17	0.5666
10	23	0.7666	15	0.5
11	21	0.7	16	0.5333
12	19	0.6333	14	0.4666
13	17	0.5666	14	0.4666
14	16	0.5333	12	0.4
15	15	0.5	13	0.4333
16	16	0.5333	9	0.3
17	14	0.4666	7	0.2333
18	12	0.4	7	0.2333
19	13	0.4333	7	0.2333
20	11	0.3666	8	0.2666
21	12	0.4	6	0.2
22	10	0.3333	7	0.2333
23	8	0.2666	8	0.2666
24	9	0.3	2	0.0666
25	7	0.2333	3	0.1
26	8	0.2666	1	0.0333
27	6	0.2	1	0.0333
28	8	0.2666	1	0.0333
29	4	0.1333	2	0.0666
30	5	0.1666	0	0
31	3	0.1	0	0
32	3	0.1	0	0
33	5	0.1666	0	0
34	1	0.0333	0	0
35	1	0.0333	0	0
36	1	0.0333	0	0
37	1	0.0333	0	0