











大安溪峽谷野外

- 12/28 (六)
07:30 惠蓀堂前集合，
07:40 準時出發
- 車程約1小時
- 注意防曬
- 著雨鞋或防水鞋子
- 野外後2週繳交作業



108.01

工程地質

Engineering Geology

第十六週

地質災害

授課教師：邱雅筑

2019/12/23



大綱

- 地質災害的相關定義
- 落石
- 崩塌與滑動
- 土石流
- 地質災害的分析

災害的定義

- **Hazard**：指破壞機率，發生某一事件的可能性。是該事件萬一發生時的一種風險度或危害度。正確翻譯應為潛在災害。
- **Disaster**：災變(或稱catastrophe, mishap, accident)，即真正發生的災害。
- **風險(Risk)**：一種期望損失，某一特定災害如果發生時所造成的期望損失值，包括人命傷亡、財物損失、社經活動的中斷等。是選擇最適合防災方法的一個依據。
- **潛感性(Susceptibility)**：某一個時段及在某一個區帶內發生某一規模的災害之可能性。
- **受災性/脆弱度(Vulnerability)**：評估人或物遭受某一種潛在災害的破壞、損壞或喪命的程度。

$$\begin{array}{ccc} \text{風險} & \text{潛感性} & \text{脆弱度} \\ \text{Risk} = & \text{Susceptibility} \times & \text{Degree of Vulnerability} \end{array}$$

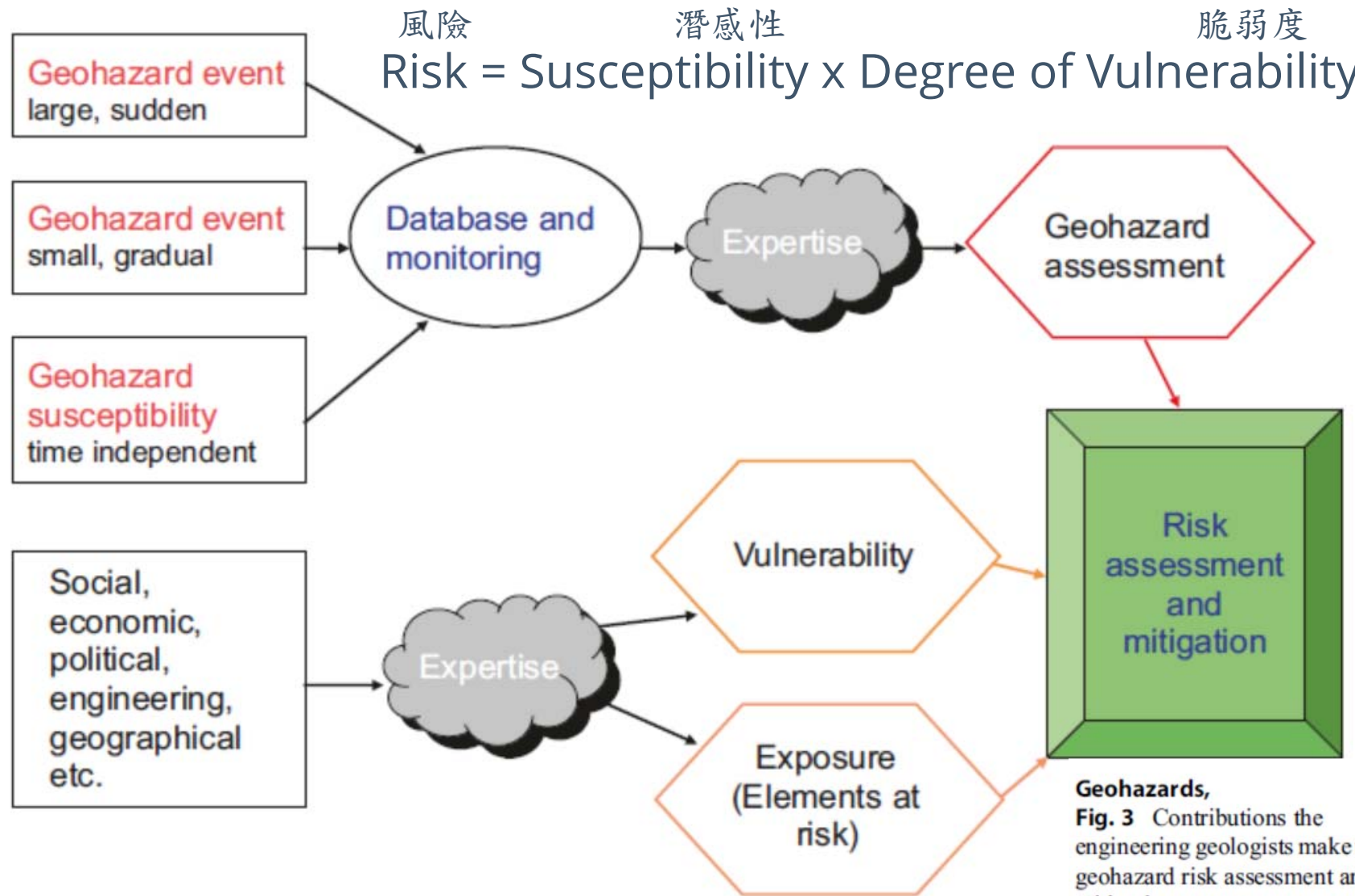
地質災害 Geological Hazard/Geohazard

- 天然災害的一種。
- 由地質營力引起的天然災害，如地震、火山爆發、山崩、土石流、地盤下陷、海水入侵等。

表 14.1 地質營力的來源

地質作用屬性	地質作用	地質營力	
地球 內部	內動力 地質作用	構造運動	水平運動、垂直運動
		岩漿作用（含火山作用）	侵入作用、噴發作用
		地震作用	地震力、活動斷層
		變質作用	區域變質、接觸變質、動力變質
地表	外動力 地質作用	風化作用	物理風化、化學風化、生物風化
		侵蝕作用	地表流水、地下水、湖水（含水庫水）、海洋、風，冰川
		搬運作用	地表流水、地下水、湖水（含水庫水）、海洋、風，冰川
		沉積作用	地表流水、地下水、湖水（含水庫水）、海洋、風，冰川
		膠結成岩作用	膠結、壓密、重結晶
		重力作用（即塊體運動）	落石、崩塌、地滑、土石流、潛移（蠕動）、地盤下陷

工程地質在地質災害風險評估與減災之貢獻



Geohazards,
Fig. 3 Contributions the engineering geologists make to the geohazard risk assessment and mitigation process

落石 Rockfall

- 在邊坡的坡緣處，當岩土體被陡傾的不連續面分割，或懸空的塊體脫離了母體，並以墜落(自由落體)、跳躍或滾動的方式，向坡腳掉落的現象，稱為落石(Rockfall)。

中橫近千噸落石砸車 老婦當場慘死

2015-11-27 12:07:12



台7線落石坍方交通中斷 養工處緊急搶修

最新更新：2019/04/22 11:16

落石坍方！北橫榮華段6/28~6/30夜間預警性封閉

2019-06-28 19:07:00

落石的成因

- 主要發生在坡度超過 60° 、坡高大於30 m的高陡邊坡之前緣部位。
 - 堅硬岩層被陡立的張力裂縫所切割，形成開口的分離塊體
 - 礫石與砂土組成的土層，因為雨水沖刷或風化的結果，造成礫石鬆脫
 - 硬岩與軟岩相間的岩層，因為差異侵蝕的關係，形成凹凸坡，使得突出而且具有垂直節理的硬岩懸空
 - 以上條件加上雨水入滲、樹根楔入張力裂縫、外力振動即產生落石

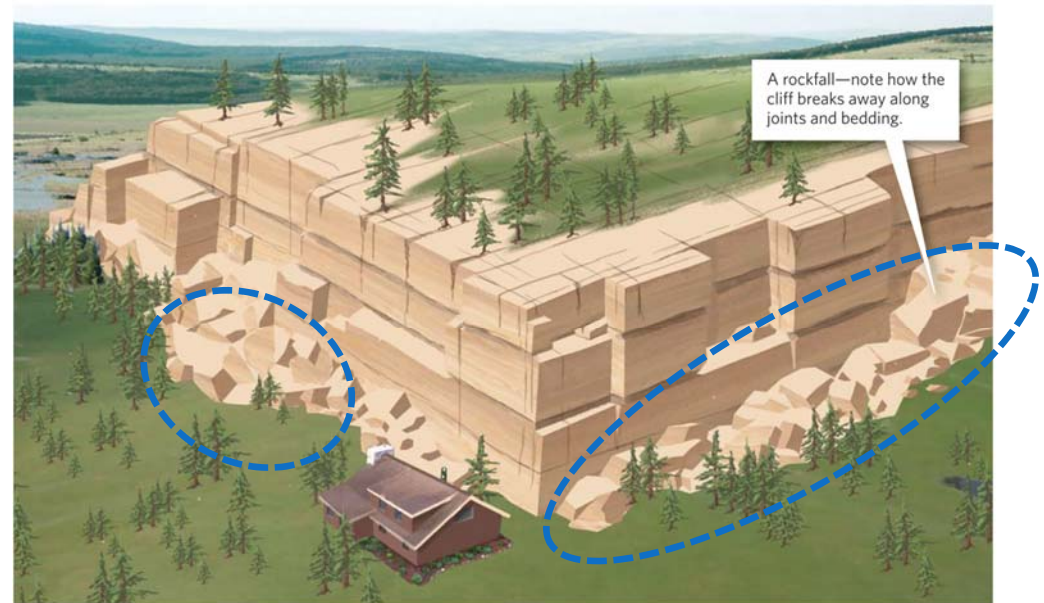
表 14.2 不同的誘發因素造成某區域性落石的個數之百分比

誘發因素	落石個數 百分率，%	誘發因素	落石個數 百分率，%
降雨	30	鑿穴動物	2
裂縫水的凍融作用	21	差異侵蝕	1
密集切割的破碎岩體	12	樹根的楔入	0.6
風力的搖撼	12	地下水滲出	0.6
融雪	8	野獸活動	0.3
沖蝕溝的沖刷	7	汽車振動	0.3
平面型滑動	5	風化作用	0.3

與水相關的佔85%

落石的成因

- 不連續面破壞岩體整體性和連續性，使岩體強度降低，並且提供雨水及地下水通道→坡體進一步鬆弛→裂縫逐漸擴大，落石持續不斷地發生。
- 掉落的岩塊堆積於坡腳觸，堆積物稱為落石堆或崖錐堆積，坡度常超過 30° ，因為孔隙率大、壓縮性強，而且仍未穩定，土地利用價值不高。



(c) The orientation of joints controls the stability of cliff faces. In this example, there are two sets of joints. These joints, together with horizontal beds, cause the outcrop to separate into rectangular blocks.

Layers of sedimentary rock, once buried deeply underground, now lie exposed on a cliff in Utah due to erosion. We can see evidence of erosion continuing today. Blocks of tan sandstone tumbled downslope onto gray shale during rockfalls. Water, dropped during heavy rains—a manifestation of the hydrologic cycle—has carved a network of channels into the shale.



落石&傾覆(toppling)

- 傾覆：陡傾或直立的**板狀岩體**，或**柱狀的塊體**組成的邊坡，在**自重**長期作用下，從坡體的前緣向臨空的方向首先產生傾斜、彎曲，然後折斷、翻倒，最後以滾落的方式，堆積在坡腳處。
 - 張開的不連續面兩側，岩板或岩柱會產生錯動。
 - 通常要經過長時間演變，變形速度極慢
 - 有一組平行或次平行於坡面的陡傾不連續面，且要向坡內傾斜(逆向)

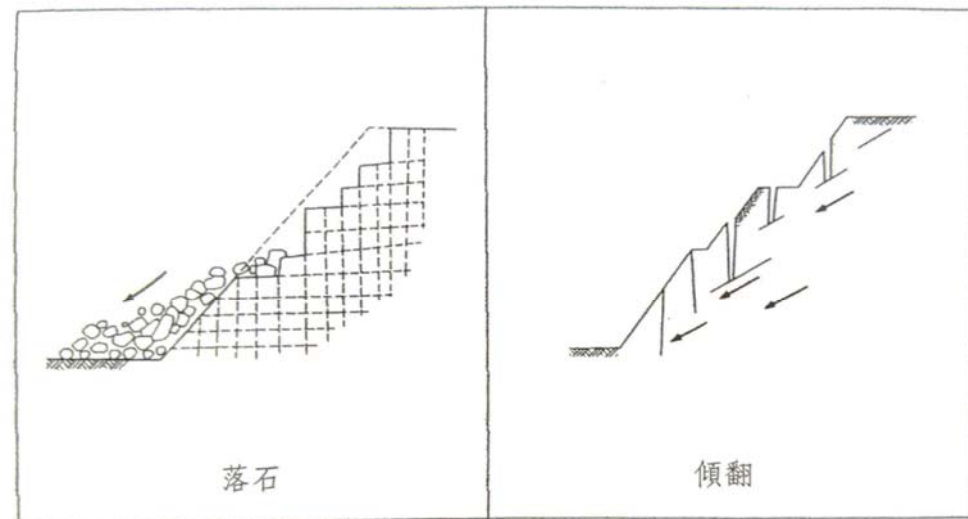


圖 14.1 落石與傾翻的區別示意圖

落石的調查

- 落石多發生在1).高陡邊坡，岩性堅硬，且被節理密集切割的岩層；或者發生在2).縱剖面呈凹凸型的邊坡；或者是3).疏鬆的礫石層或崩積層的邊坡。
- 調查重點：
 - 落石堆的分布範圍及坡面斜度
 - 落石堆的體積及底墊的斜度
 - 落石堆的組成、石塊大小、風化程度
 - 落石堆的類型、特性、發展過程及活動性
 - 落石堆的穩定性
 - 邊坡的坡度、坡高與地形
 - 坡緣(落石發源地)及邊坡的岩層；結構、不連續面、地層名稱
 - 坡緣或坡面是否有危石
 - 當地的氣象降雨、水文、地震等資料
 - 目前及未來的活動性或穩定性
 - 預測基地在相同的地形地質條件下，可能發生落石的地帶
 - 分析發生落石的原因並建議防治方法

落石的防治

- 可以繞避時，優先採取繞避方案
- 落石在運動時會產生跳動及滾動，須將該範圍考慮在內
- 設計及施工時，避免擾動高陡邊坡的地段，以免將完整堅硬的岩體弄得更為破碎，反而製造落石的機會
- 落石的防治可以分為危岩處理、落石攔截法、落石疏導法
- 落石的防治可以分為主動式防護、被動式防護
 - 主動式防護：將可能掉落的危岩固定在坡面上，阻止岩塊掉落
 - 被動式防護：以攔阻方式隔絕落石與保全對象



(a) Successive rockfalls have littered the base of this sandstone cliff with boulders. Note the talus at the base of the cliff.

危岩處理法

- 在岩坡上直接進行危岩處理，防止落石發生
- 有清理法、固定法及支撐法三種。
 - **清理法**：將岩坡上已經鬆脫的岩塊拔除。植生最好也砍除，以防其根系撐開裂縫，或迎風搖撼，形成危石。岩盤上覆蓋的土層如不厚，也應全部清理。
 - **固定法**：將被分割的岩塊就地固定。該岩塊目前還未達到危岩的程度，但是風化日久之後就可能轉變為危岩。可用岩栓、岩錨、灌漿、噴漿等。
 - **支撐法**：用支柱及支墩等方式頂住的懸空岩塊。

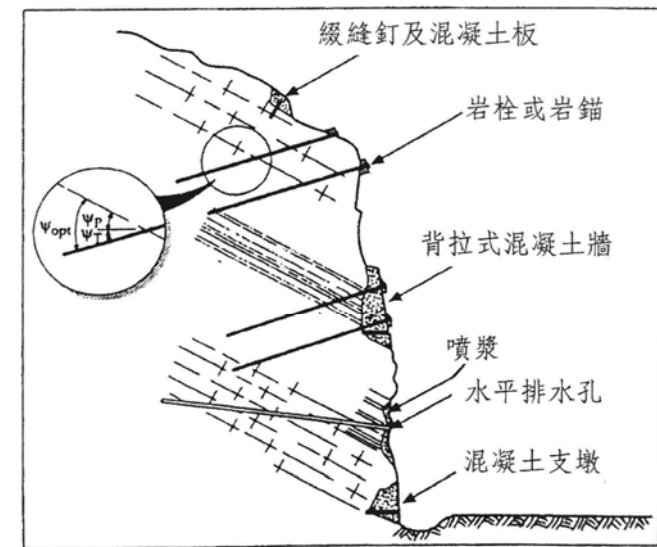
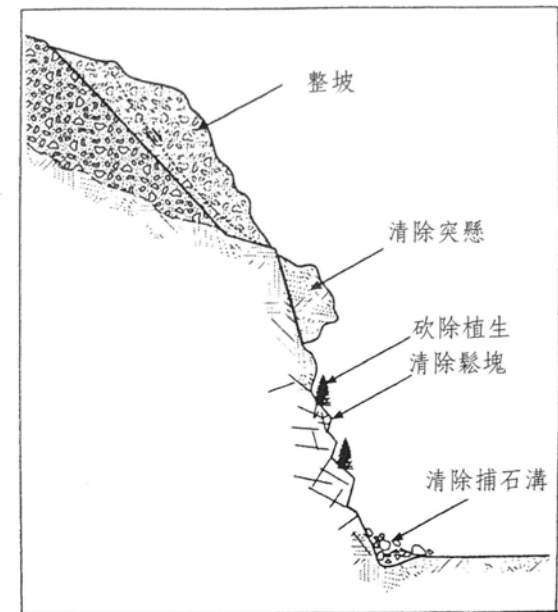


圖 14.2 岩坡上的各種危石處理法 (Turner and Schuster, 1996)

落石攔截法

- 用於落石已經發生之後，使用工程方法控制其運動距離，避免其傷害到人或物的一種方法。
- 常用方法有覆網、捕石籬、捕石堤、捕石牆、捕石溝等。
 - 覆網：將鋼絲網、鋼線網或鋼索網懸掛及覆蓋在岩坡上，防止落石飛出，限制落石掉落到網的底部。網底最好設置捕石溝，以收集掉落的石塊，並且定時清理。網底要開放，不能封死。
 - 捕石籬：利用鋼絲網放置在路面上方的邊坡趾部，攔截山上滾下來的落石，類似籬笆。捕石牆與之類似。

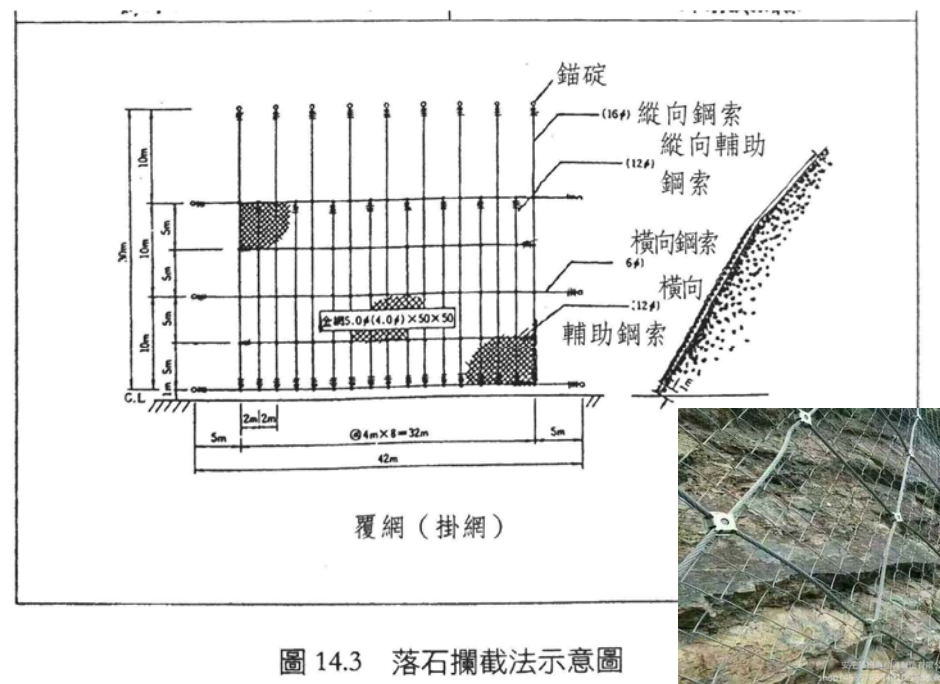
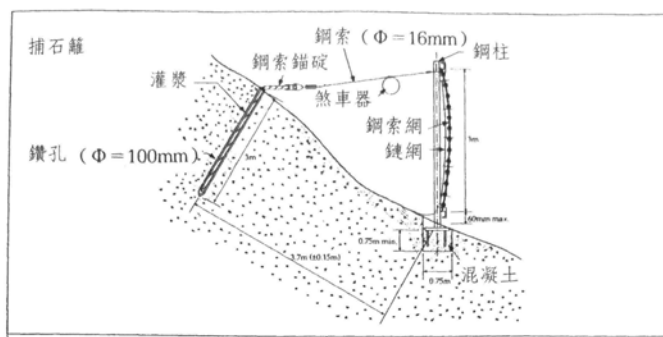
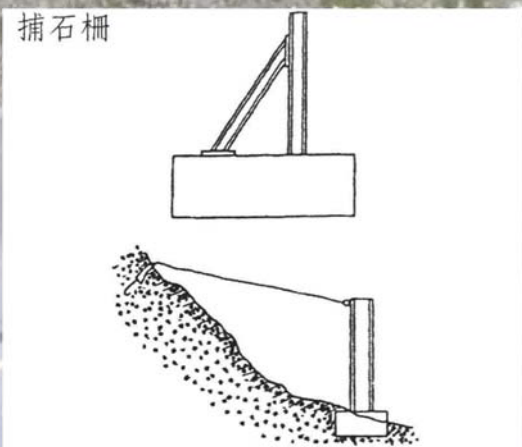


圖 14.3 落石攔截法示意圖



捕石柵



落石疏導法

- 控制或改變落石運動的方向與距離的一種方法。
- 明隧道：其實是一種防護棚，引導道路上邊坡的落石，從棚頂(路面上空)通過，傾卸到道路另外一側的下邊坡。
- 溜槽：功能與明隧道類似，差別在於溜槽比較像槽溝，其橫斷面比較窄。

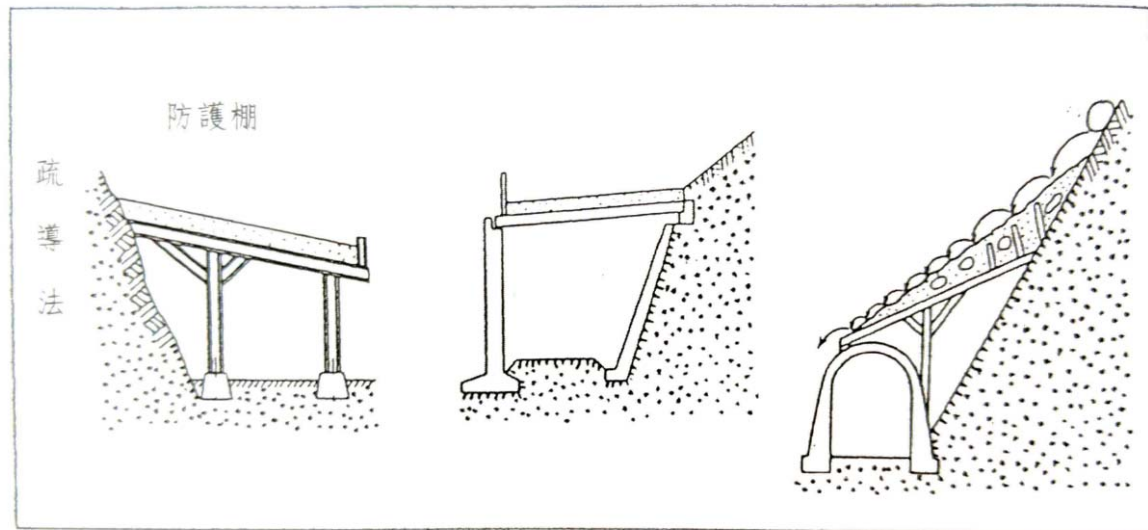


圖 14.4 落石疏導法示意圖

崩塌

- 崩塌是介於落石與滑動之間的一種運動方式。落石主要發生於硬岩，崩塌則發生於岩土同在的岩性。
- 鬆散土層在飽和時最容易發生崩塌。崩塌體的體積一般不大崩塌
- 崩塌體與母體之間的破裂面因為是張力面，面上粗糙不平，沒有滑動跡象，看不到磨平、光滑、擦痕等與滑動有關的證據。

表 14.3 崩塌及滑動的不同

運動體的部位	崩塌	滑動
外形	長條型、眼淚型、彗星型、舌型等	紡錘型、馬蹄型等
長寬比	較大	較小
冠部	非弧型	呈同心弧，冠部出現弧形的張力裂縫
主崩崖	淺而不明顯	深且非常明顯
滑動面的出露程度	全部露出	只有在主崩崖處露出，其他部位全部被滑動體所掩蓋
滑動面的陡度	非常陡	比崩塌稍緩
滑動面上的擦痕	滑動面原為張力裂縫，面上無擦痕，粗糙不平	滑動面原為剪力面，滑動體發生剪切滑動，在滑動床上留下明顯的擦痕或階步，可能可以找到具有光澤的摩擦鏡面、剪裂帶或斷層泥等
運動後的滑動體	滑動後潰散碎離，原結構被破壞	滑動後解體，但局部仍保留著原結構
運動體的后半部	顯現滑動面，全部露出	呈階梯狀，含大塊岩塊，屬於張力部
運動體的前半部	疏鬆及潰散的土體	呈亂丘狀，含有岩塊，屬於壓力部
運動方向	以垂直運動為主	以水平運動為主
運動規模	比較小	比較大
運動機制	坡頂加載或雨水貫入而加重	坡趾部失去支撐

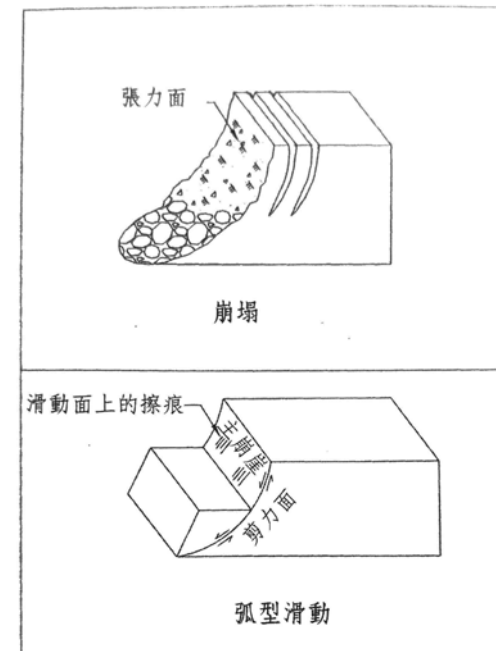


圖 14.5 崩塌與弧型滑動的區別示意圖