



109.01

Engineering Geology  
工程地質

---

Ch7 地質災害

授課教師：邱雅筑

2020/11/23

# 大綱

1. 地質災害的相關定義
2. 落石
3. 崩塌與滑動
4. 土石流
5. 坡地地質災害總論
6. 岩石邊坡之運動學分析

# 1. 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

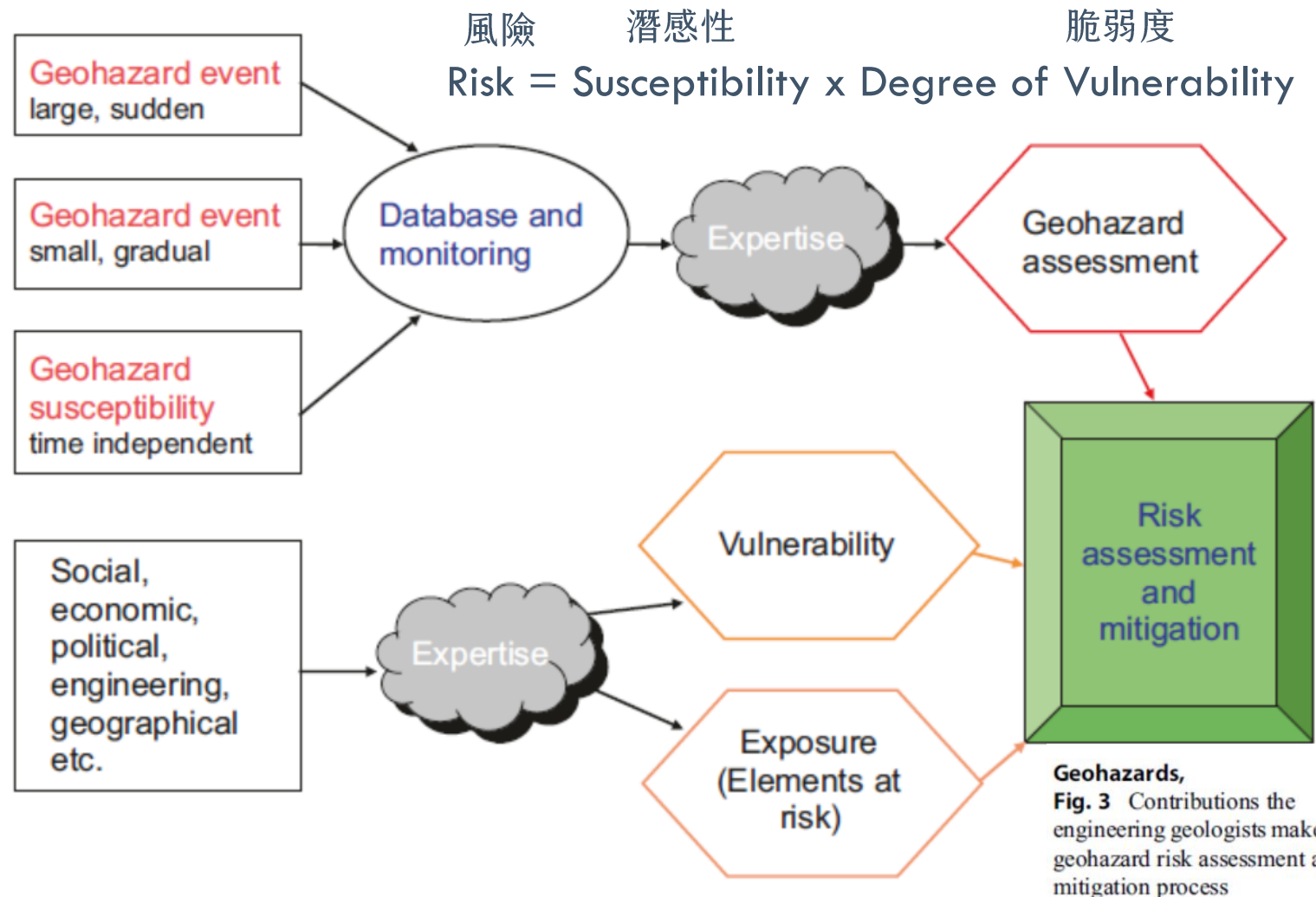
- 天然災害的一種。
- 由地質營力引起的天然災害，如地震、火山爆發、山崩、土石流、地盤下陷、海水入侵等。

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

## 2. 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



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



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

# 落石的成因

- 主要發生在坡度超過 $60^\circ$ 、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

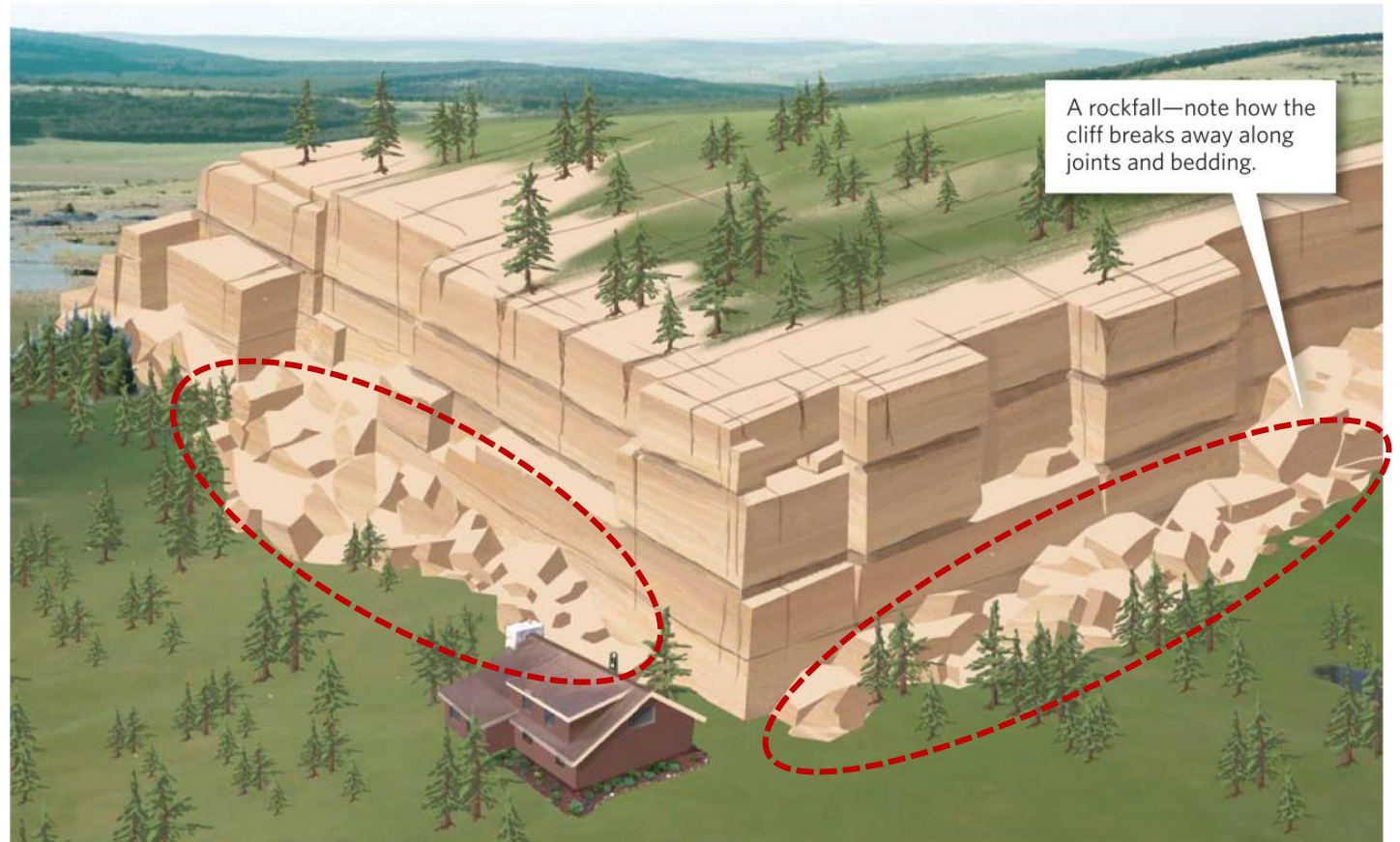
誘發因素	落石個數 百分率，%	誘發因素	落石個數 百分率，%
降雨	30	鑿穴動物	2
裂縫水的凍融作用	21	差異侵蝕	1
密集切割的破碎岩體	12	樹根的楔入	0.6
風力的搖撼	12	地下水滲出	0.6
融雪	8	野獸活動	0.3
沖蝕溝的沖刷	7	汽車振動	0.3
平面型滑動	5	風化作用	0.3

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，堆積物稱為落石堆或崖錐堆積，坡度常超過 $30^\circ$ ，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)

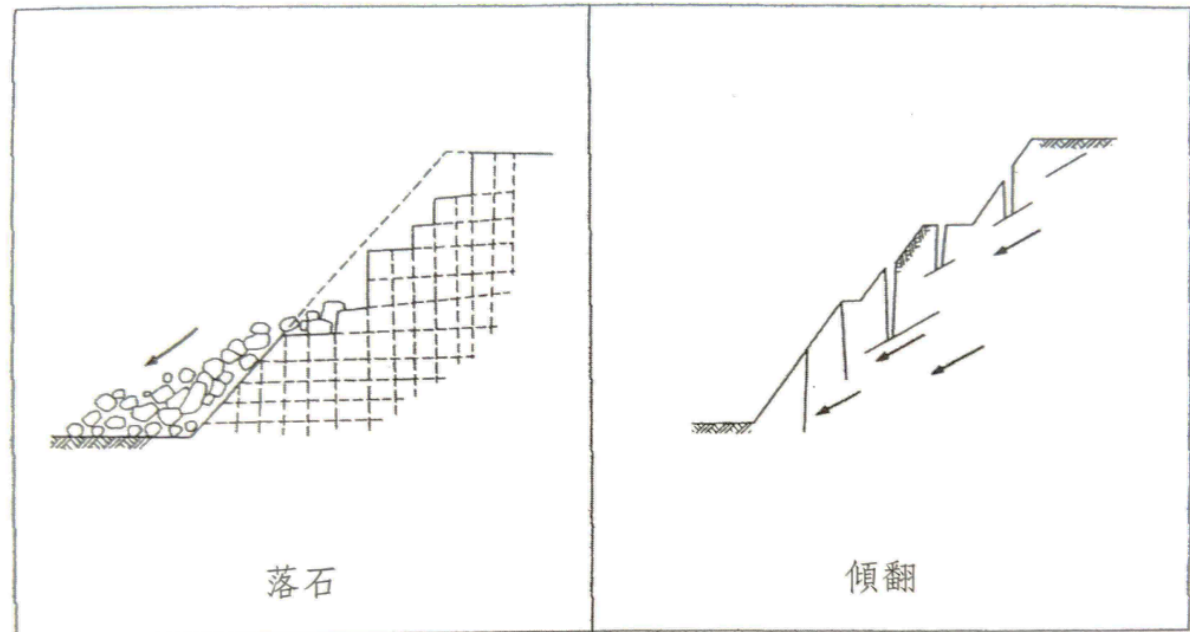


圖 14.1 落石與傾翻的區別示意圖

# 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。

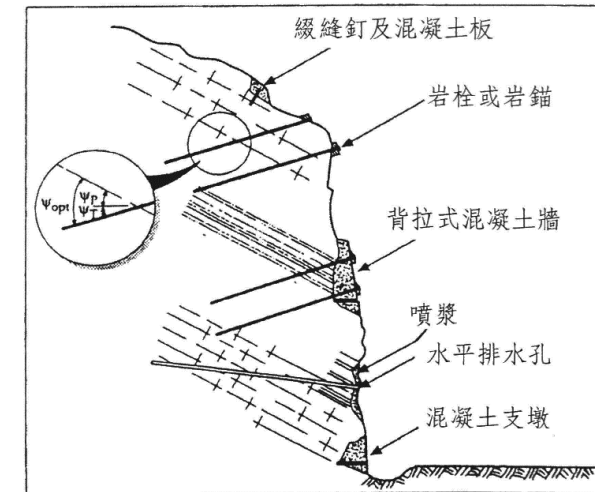
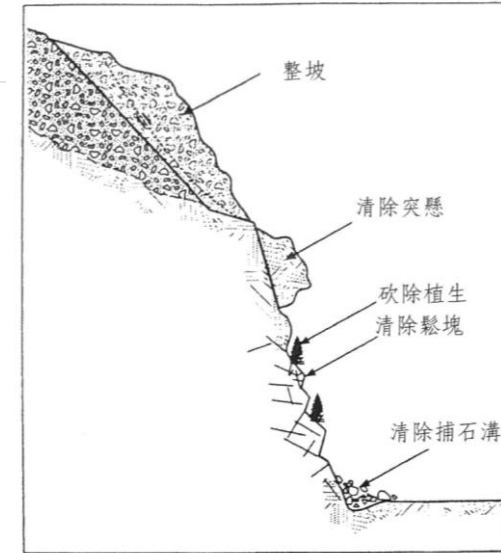
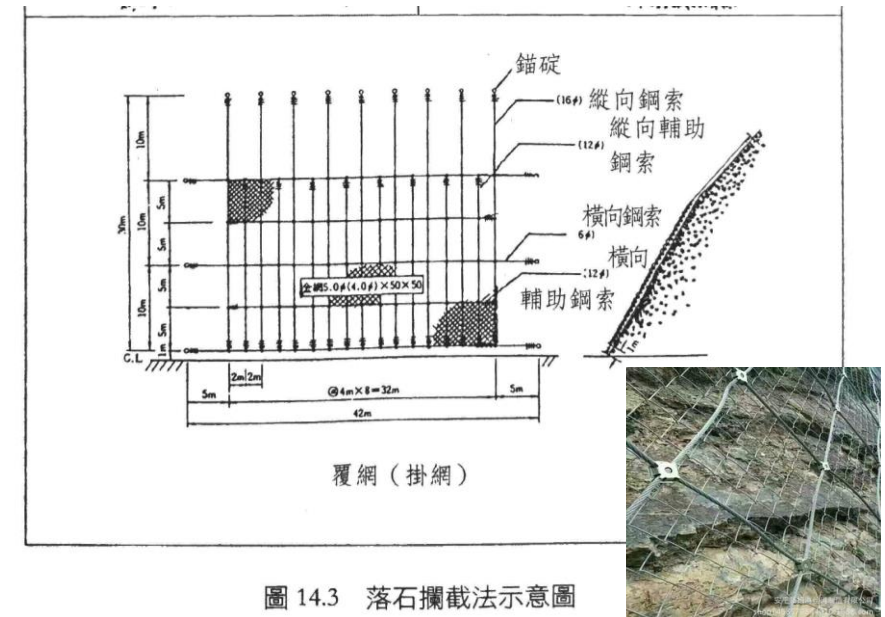
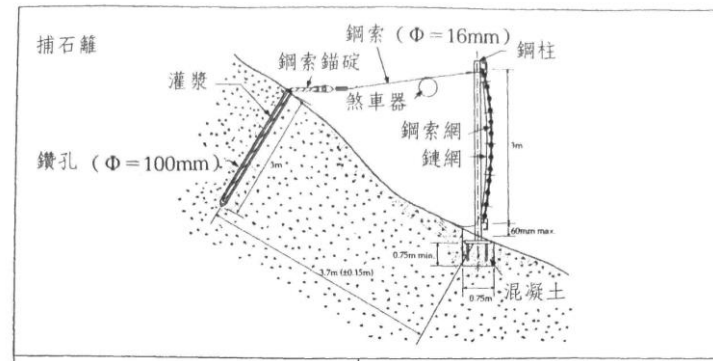


圖 14.2 岩坡上的各種危石處理法 (Turner and Schuster, 1996)

# 落石攔截法

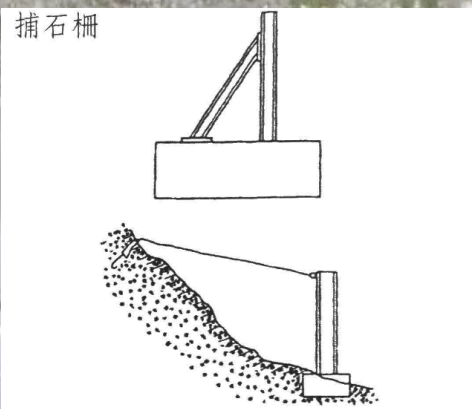
- 用於落石已經發生之後，使用工程方法控制其運動距離，避免其傷害到人或物的一種方法。
- 常用方法有覆網、捕石籬、捕石堤、捕石牆、捕石溝等。
  - 覆網：將鋼絲網、鋼線網或鋼索網懸掛及覆蓋在岩坡上，防止落石飛出，限制落石掉落到網的底部。網底最好設置捕石溝，以收集掉落的石塊，並且定時清理。網底要開放，不能封死。
  - 捕石籬：利用鋼絲網放置在路面上方的邊坡趾部，攔截山上滾下來的落石，類似籬笆。捕石牆與之類似。







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。

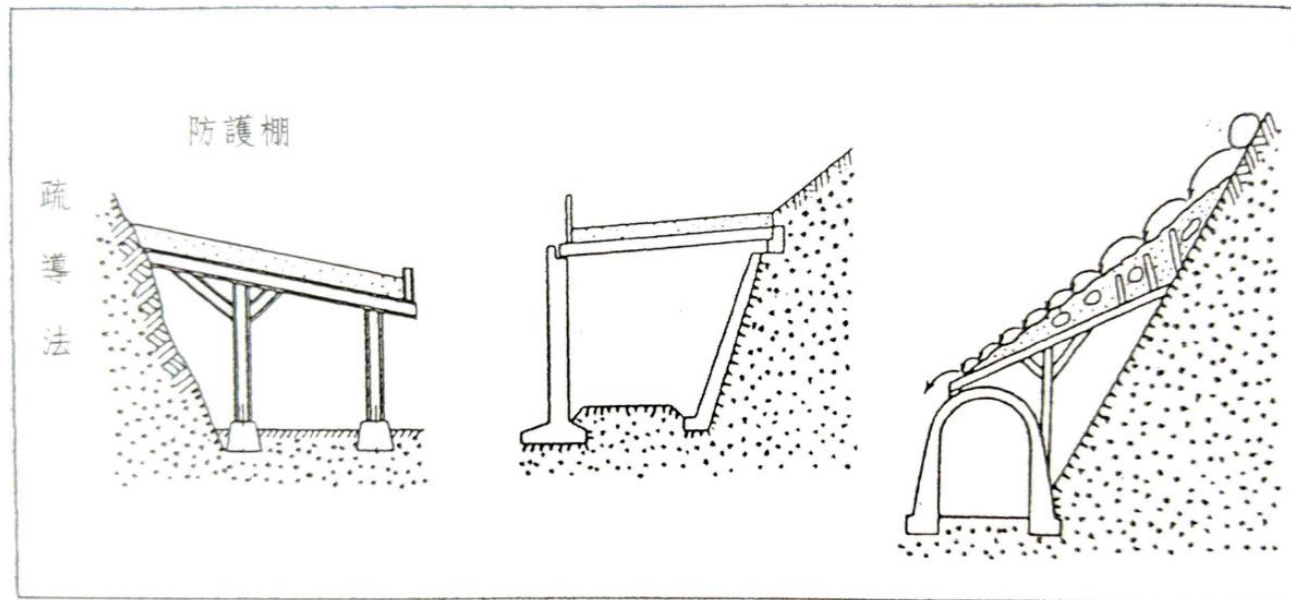


圖 14.4 落石疏導法示意圖



## 3.1 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，所以崩塌常發生於雨季或颱風侵襲期間。
- 成因：土層受到雨水入滲而重量增加，或者孔隙水壓來不及消散，或者土層中的黏土遇水後膨脹或軟化，結果使得崩塌體沿著張力弱面脫離母體，向下崩落。
- 崩塌體的體積一般不大，寬度常在數公尺至一、二十公尺之間，厚度很少超過5公尺。
- 崩塌體與母體之間的破裂面(Surface of rupture)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。

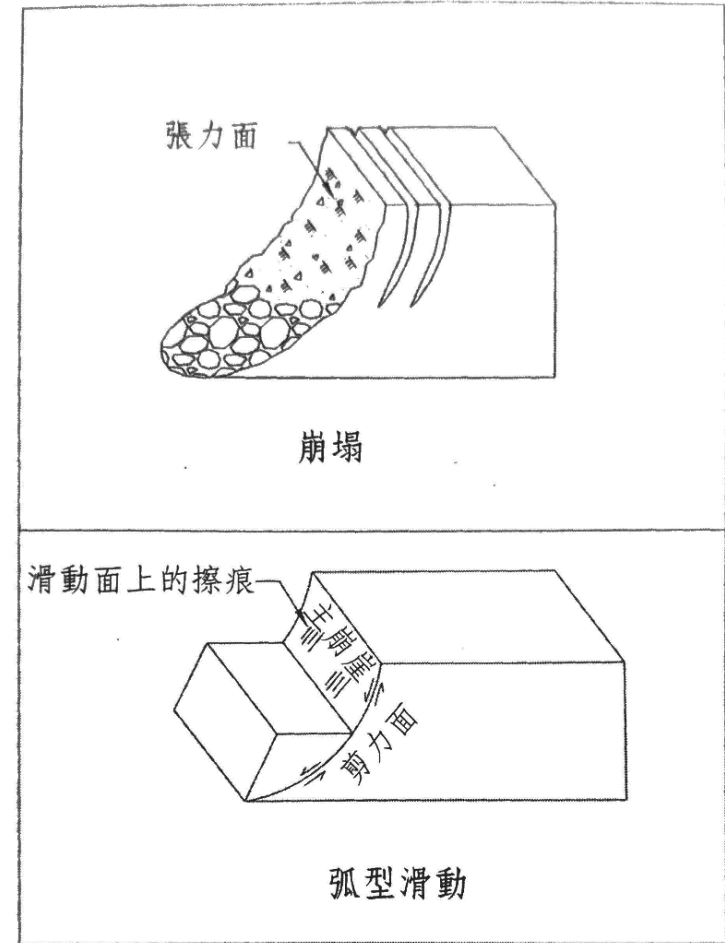


圖 14.5 崩塌與弧型滑動的區別示意圖

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
運動體的後半部	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

# 崩塌的調查

- 潘國樑(2007)：崩塌是一種地表的擦傷，規模小，容易復原。
- 崩塌地調查項目：
  - 崩塌面的長與寬、崩塌厚度、崩塌面的陡度、崩塌面的粗糙度或有無擦痕、崩塌體積。
  - 岩土層的特性：土層厚度、粒徑、含水量、岩土交界、風化程度、岩性、性、不連續面、軟弱夾層、膨脹性土層、地層名稱等。
  - 是否位於斷層帶上。
  - 邊坡的坡度、坡高與波形。
  - 植生覆蓋率。
  - 雨量。
  - 地震。
  - 距離河岸的攻擊坡多遠，距離水庫岸邊多遠。
  - 距離道路的邊坡多遠，是在上邊坡或下邊坡。
  - 人為活動的影響：土地利用形式、邊坡開挖、採砂石、採礦等。
  - 前及未來的活動性或穩定性。
  - 預測基地內在相同的條件下(以地形、地質為主)可能發生崩塌的地帶。分析發生崩塌的原因，並建議防治的方法

## 3.2 滑動

- 滑動的規模比崩塌還大，具有明顯的滑動面。滑動之後，滑動體發生變形及解體，但是局部仍可發現岩土層的原來結構，然而崩塌的崩塌體會產生整體潰散。
- 依據滑動面的形狀，滑動可分為弧形滑動及平面型滑動兩種。
- **弧型滑動(Rotational Slide)**：滑動面凹口向上如碗狀，通常發生於均質性較佳的土壤或非常破碎的岩層。
- **平面型滑動(Translational Slide)**：滑動面為平面或近乎平面，如層面、節理面、斷層面、葉理面、軟弱夾層、岩體介面等。
- **楔型滑動(Wedge Failure)**：滑動面為兩組不連續面相交而成的楔型。



# 弧型, 平面型與楔型滑動

(圓)弧型滑動



弧型滑動

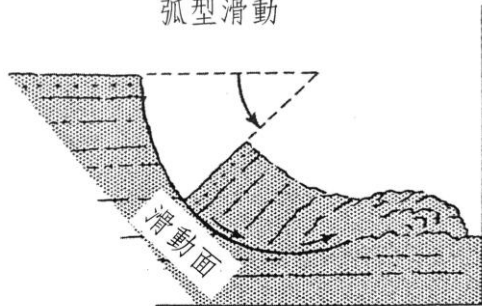
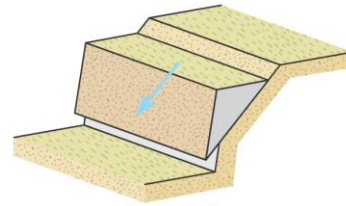


Figure 9.12 Curved failure in clays and shales in central Spain, showing the tension crack and vertical displacement of the slope head.

平面型滑動



Plane failure

平面型滑動

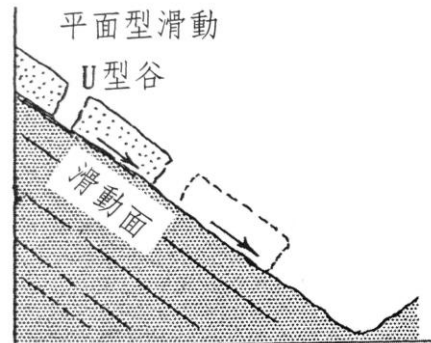
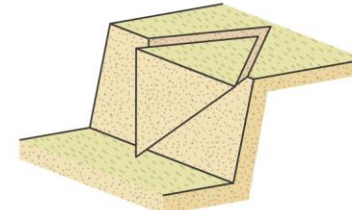


Figure 9.17 Plane failures along bedding planes on slope benches (slope height: 60 m).

楔型滑動



Wedge failure



Figure 9.19 Planes of a wedge slide on a rocky slope in southern Spain.

# 滑動的形成條件

- 滑動的形成條件可分成**基本條件**及**觸發條件**。前者是邊坡本身的內在因素，後者則是引起邊坡滑動的外在因素。

- **基本條件**

## 1. 岩性

- **C,  $\Phi$** 值較大的堅硬、完整之硬岩類，能形成高陡邊坡而不失穩定；C,  $\Phi$ 值較小的軟弱岩層或土壤只能形成低緩的邊坡。
- **火成岩邊坡**：穩定性一般比較好，但原生節理發達、風化較深的地區則常見小型或淺層的崩滑。凝灰岩強度較低，易風化，崩滑常發生。
- **變質岩邊坡**：穩定性比沉積岩佳，尤其是不具片理或板劈理的片麻岩、石英岩、大理岩等。**片岩**依礦物成分的不同，差異極大。石英片岩、角閃石片岩的強度高，可維持石片岩、石墨片岩、綠泥石片岩的強度低，常有崩滑之虞。**千枚岩、板岩**，性軟弱，最易發生表層的撓曲(flexure)變形，這種岩層順著板劈理發生結果產生隆起的現象，稱為**彎曲/隆曲/挫曲作用(buckling)**。

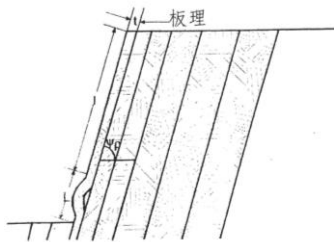


圖 14.7 板岩的撓曲現象  
(Turner and Schuster, 1996)

# 滑動的形成條件

- 基本條件

2. **不連續面**：不連續面與坡面的位態空間關係最具有決定性。

- **順向坡**：坡面與不連續面**走向**相同或夾角小於 $20^\circ$ ，且**傾向一致**者。
- **逆向坡**：坡面與不連續面**走向**相同或夾角小於 $20^\circ$ ，且**傾向相反**者。
- **斜交坡**：坡面與層面之走向交角大於 $20^\circ$ 以上者。

3. **坡度**：同一種物質的邊坡之穩定性隨著其坡度的增加而降低。統計資料顯示，發生**弧形滑動**的最低坡度大約是 $7^\circ-18^\circ$ ，發生**土石流**的最低坡度大約是 $4^\circ-20^\circ$ 。

4. **植被**：樹冠有遮雨的作用，可延遲或阻止土壤飽和；落葉的覆蓋作用可防止土壤乾縮龜裂，導致雨水不易下滲至土層內；根系的抓緊作用可提升土層凝聚力。植被會增加土層的載重，植物受風力的搖撼作用會產生拔土的負面影響。正負相抵的結果，植被一般可使得邊坡的安全係數從低於1.0增加到1.5。

5. **地下水**：地下水的存在對邊坡穩定性有**百害而無一利**。地下水增加土層自重；潤濕黏土，使其泥化及軟化；又使黏土礦物吸水膨脹，透水性降低產生止水作用而使孔隙水壓無法消散。雨水入滲、水位上漲等滲流現象也會降低土體/岩體抗剪強度。



# 滑動的形成條件

- 觸發條件

1. 降雨：降雨是觸發崩滑最重要的外在因素。降雨有一部分滲入地表成為地下水，另一部分則形成地表逕流。地下水滲流增加滲流方向滑動力，地表逕流則可能沖刷坡腳或揭露潛在滑動面。
2. 地震：除了降雨之外觸發崩滑的最重要因素之一。振動可促進坡體中的裂隙擴張，碎裂狀或碎塊狀的坡體可能因振動而全面潰散。結構鬆散的飽水砂土層或敏感的黏土層可能因受震而液化，引起上覆的坡體受到牽連而發生滑動。
3. 人類活動：改變坡形(開挖坡腳、坡頂加載)、改變坡體的應力狀態(人工爆破增加坡面張力)、增加坡體重量(排放水、澆花)、破壞植被(山坡地超限利用)等。

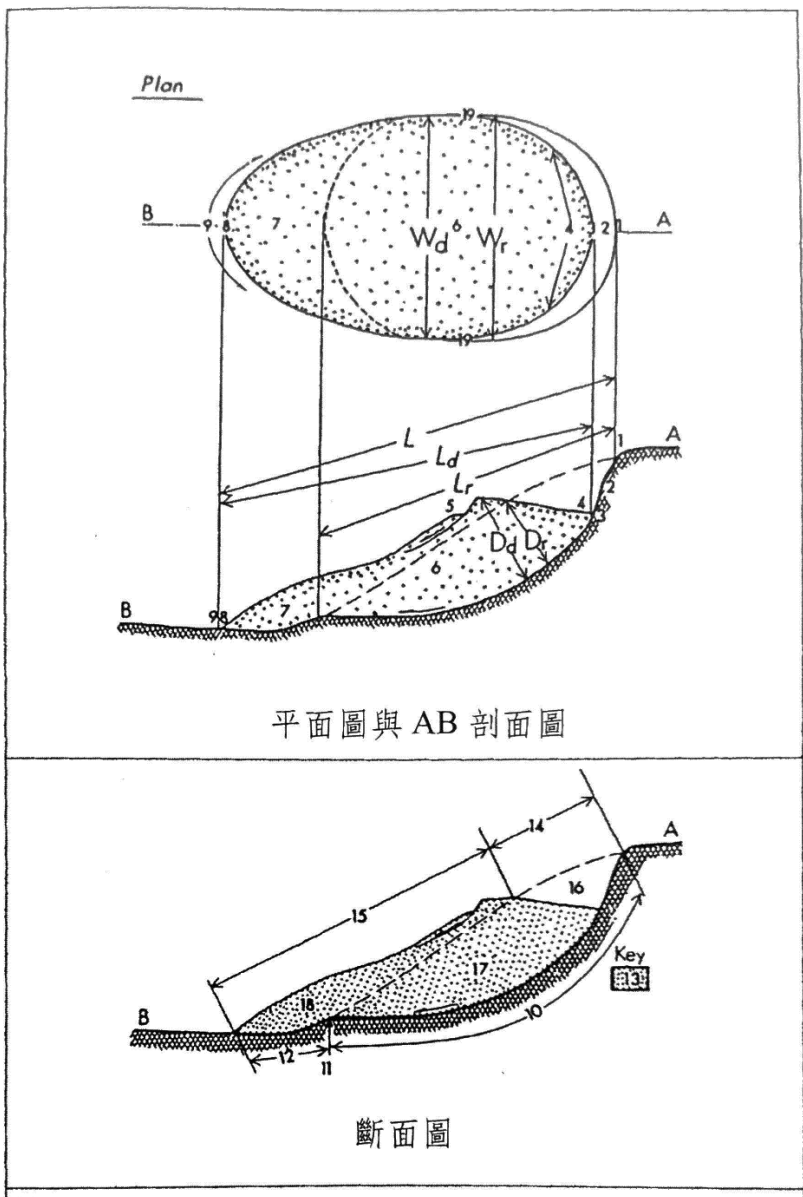
# 滑動的調查

- $W_r$  = 滑動面最大寬度
- $W_d$  = 滑動體最大寬度
- $L$  = 地滑地外圍的最大長度
- $L_d$  = 滑動體的最大長度
- $L_r$  = 滑動面的最大長度
- $D_d$  = 滑動體的最大厚度
- $D_r$  = 滑動面的最大深度

說明：

1: 冠部 (Crown)	11: 滑動面趾部 (剪出線)
2: 主崩崖 (Main Scarp)	12: 分離面 (Surface of Separation)
3: 後端 (Top)	13: 滑動物質 (Displaced Material)
4: 頭部 (Head)	14: 下陷帶 (Zone of Depletion)
5: 次崩崖 (Minor Scarp)	15: 隆起帶 (Zone of Accumulation)
6: 滑動體 (Main Body)	16: 空體 (Depletion)
7: 足部 (Foot)	17: 下陷體 (Depleted Mass)
8: 前端 (Tip)	18: 隆起體 (Accumulation)
9: 趾部 (Toe)	19: 側翼 (Flank)
10: 滑動面 (Surface of Rupture)	

圖 14.8 描述地滑地的形狀術語



# 滑動的調查

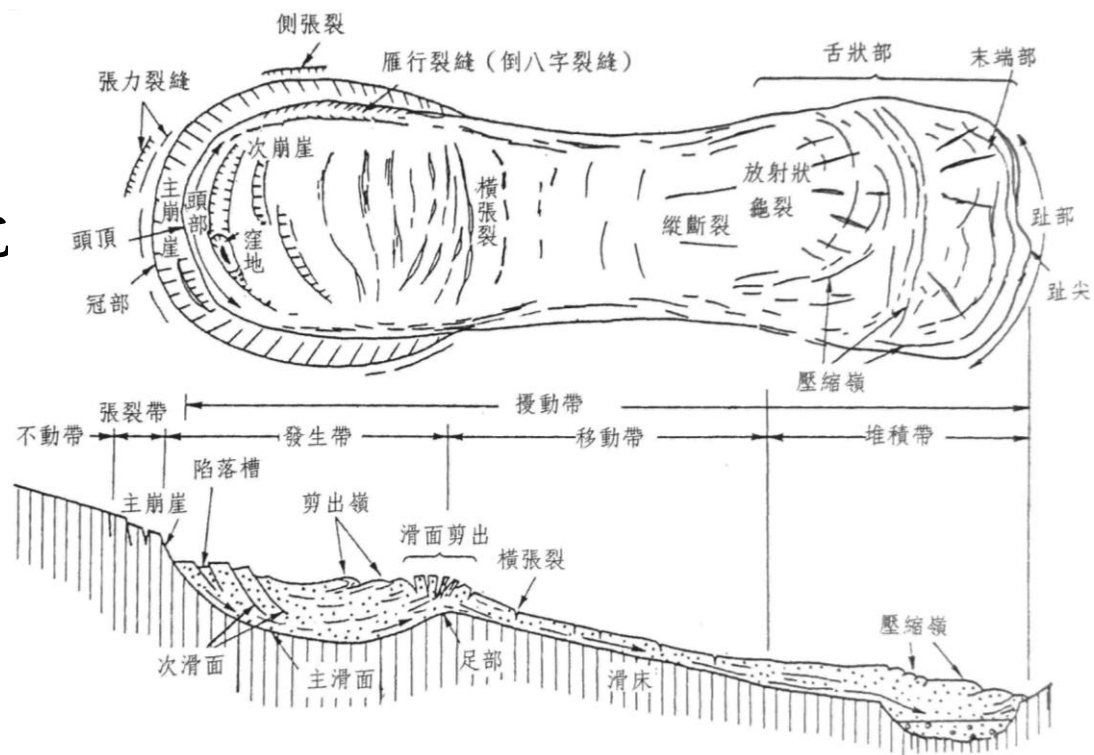
- 滑動體體積估算

$$V = 1/6 * \pi * L_d * D_d * W_d$$

上式中， $L_d$ =滑動體的最大長度； $W_d$ =滑動體最大寬度； $D_d$ =滑動體的最大厚度

- 如有鑽探，透過鑽孔判定 $D_d$
- 無鑽探資料時估計 $D_d$ 的方法：

- 量測主崩崖斜率
- 找出幾個微地形位置：
  - 反曲點：
  - 滑動面剪出地面的位置
- 根據1和2，以試誤法找到一個圓心，然後概略地畫出滑動面來
- 根據滑動面位置估計 $D_d$





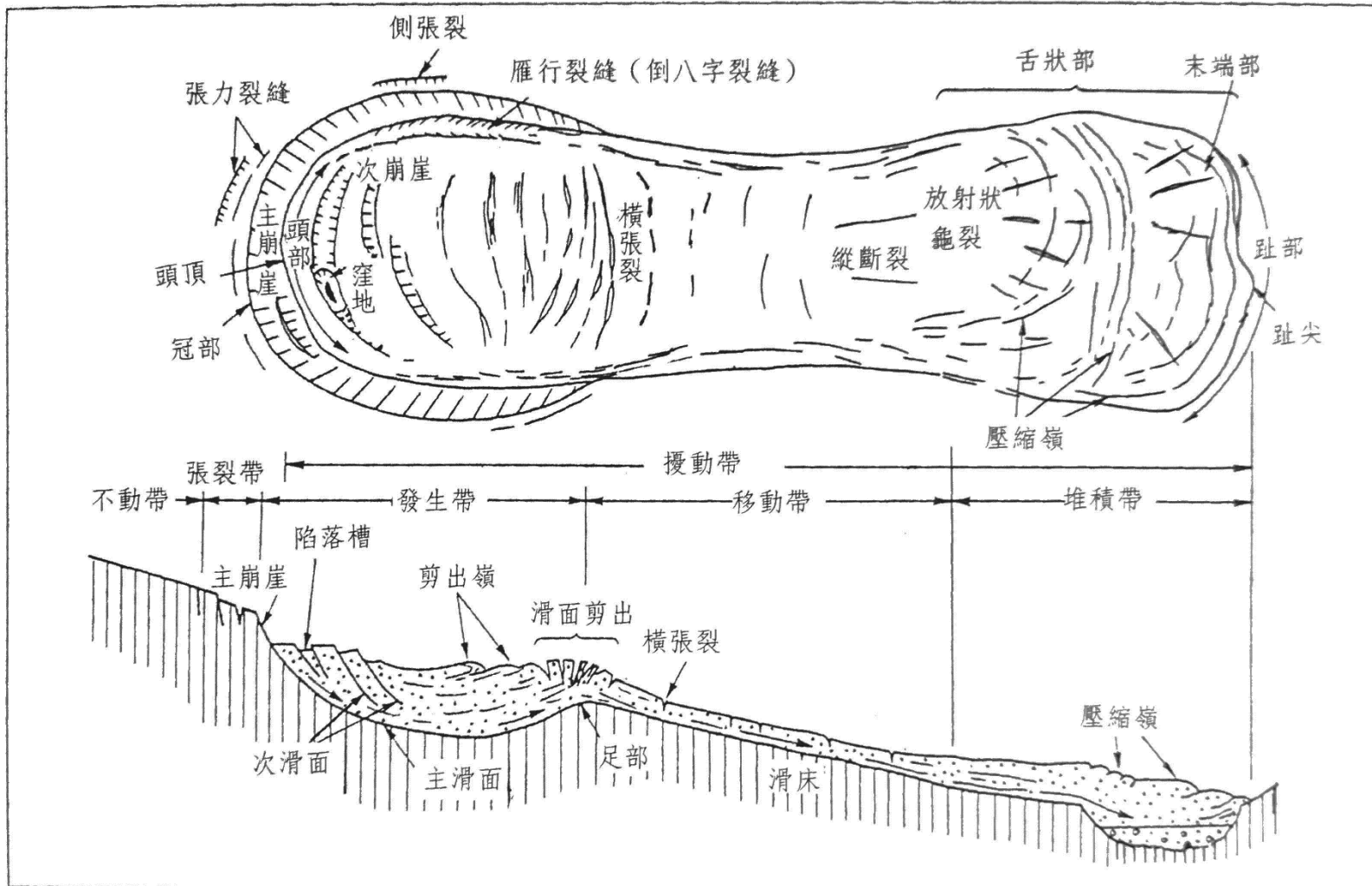
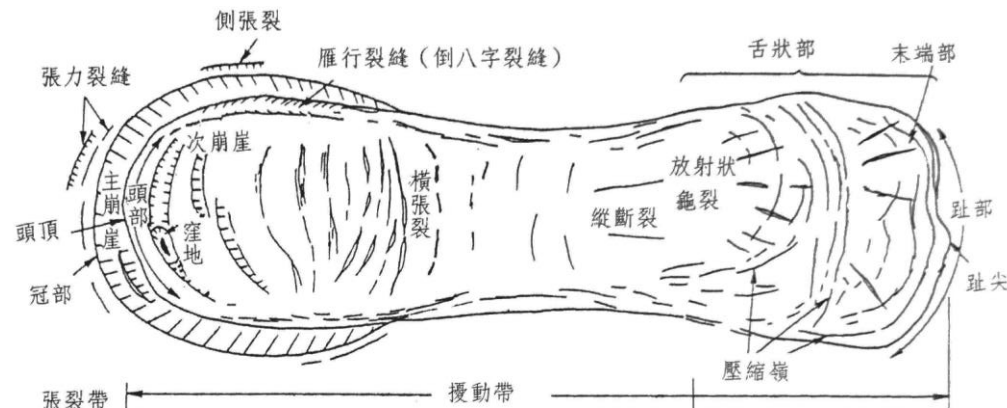


圖 14.9 弧型滑動的變形與破壞 (Selby, 1993)

# 滑動的地表調查項目

- 邊界形狀：馬蹄型、三角型、梨型、舌型、不規則型等。
- 本體形狀：分塊、台階、亂丘地形、下陷帶、隆起帶等。
- 滑動崖形狀：主崩崖(注意高度、斜度、擦痕、摩擦鏡面等)、次崩崖、台階數量、同心圓弧、圈椅狀、新月狀、後側的張力裂縫等。
- 趾部形狀：滑動舌、河道包抄、道路包抄、河岸侵蝕、岩層反翹
- 裂縫系統:在冠部為張力裂縫、趾部為輻射裂縫(向下向外)、兩翼為倒八字裂縫(人站在冠部看,在滑動區的兩側形成雁行排列的裂縫,向外張開,形如反八字;為剪力造成的張力裂縫;滑動體被侵蝕後容易形成雙溝,稱為雙溝同源;為鑑定古地滑時很好的證據)、隆起帶有橫張脊領(狀如海底的中洋脊,指示滑動面剪出地面的地方,但被滑動物質所掩蓋)



# 滑動的地表調查項目

- 邊坡的坡度、坡高與坡形。
- 地質：岩性、位態、風化程度、不連續面的位態、組數及組合關係、軟弱夾層、岩土交界、互層、阻水層、膨脹性岩土層等。
- 植生：植生疏密、生長狀況、枯死、樹根外露、樹種等。
- 水系：有無水系、蓄水窪地或凹坑、泉水、滲水、濕地、有無地表水滲入滑動體、河床的凹岸(攻擊坡)有否上邊坡的侵入而突出河中等。
- 水文氣象：地表水、地下水、降雨量、降雨強度及延時。
- 地震。
- 地滑的種類與發生機制。
- 土地利用型態及人為活動等。
- 滑動史及目前與未來的活動性。
- 預測基地內在相同的條件下(以地形、地質為主)可能發生地滑的地帶。
- 分析發生地滑的原因,並建議防治的方法。



# 滑動中地滑的證據

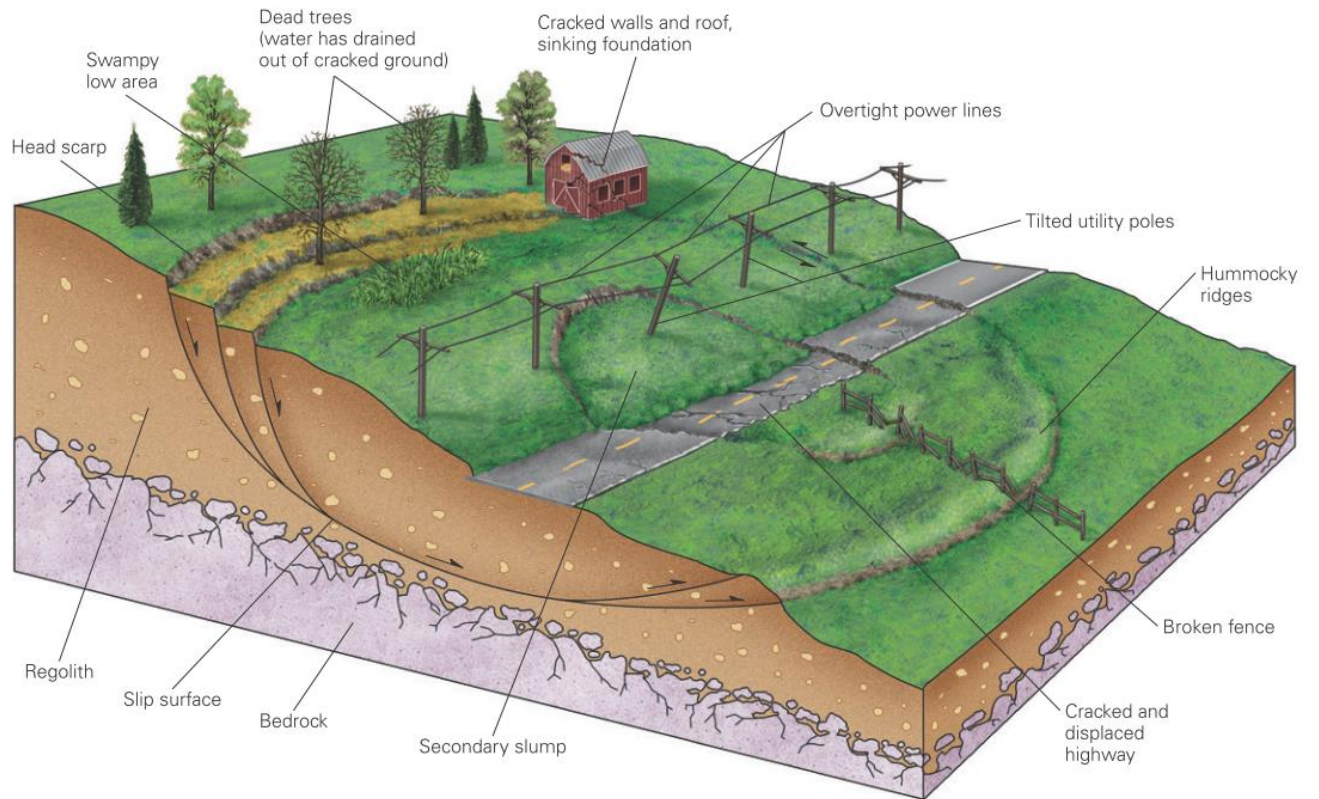
- 在地形上:

- 上邊坡出現張力裂縫,且不斷地緩慢下陷。
- 下邊坡有稍稍隆起的現象。
- 滑動面剪出帶的土石逐漸鼓出。

- 在水文上:

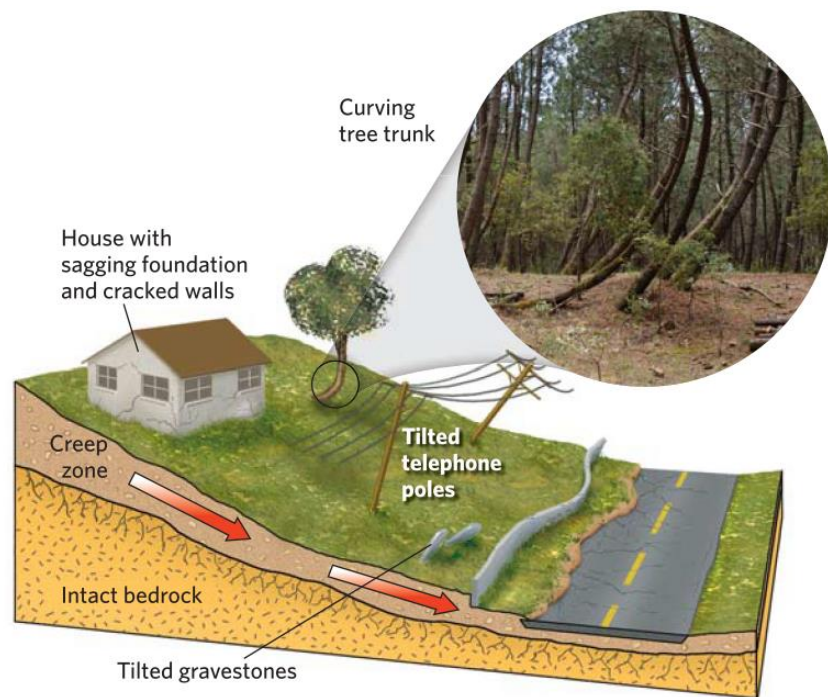
- 乾涸的泉水重新出水,且有黃濁現象。
- 坡趾附近的濕地,其範圍逐漸擴大。
- 大部份雨水有滲入地下的現象。

**FIGURE 16.23** Surface features warn that a large slump is beginning to develop. Cracks that appear at the head scarp may drain water and kill trees. Power-line poles tilt and the lines become tight. Fences, roads, and houses on the slump begin to crack.



# 滑動中地滑的證據

- 在植生上:
  - 坡面樹木逐漸傾斜。
  - 根系外露,且被拉緊;出現裸露的土壁及V型裂縫。



(a) Soil creep causes walls to bend and crack, building foundations to sink, trees to bend, and power poles and gravestones to tilt.

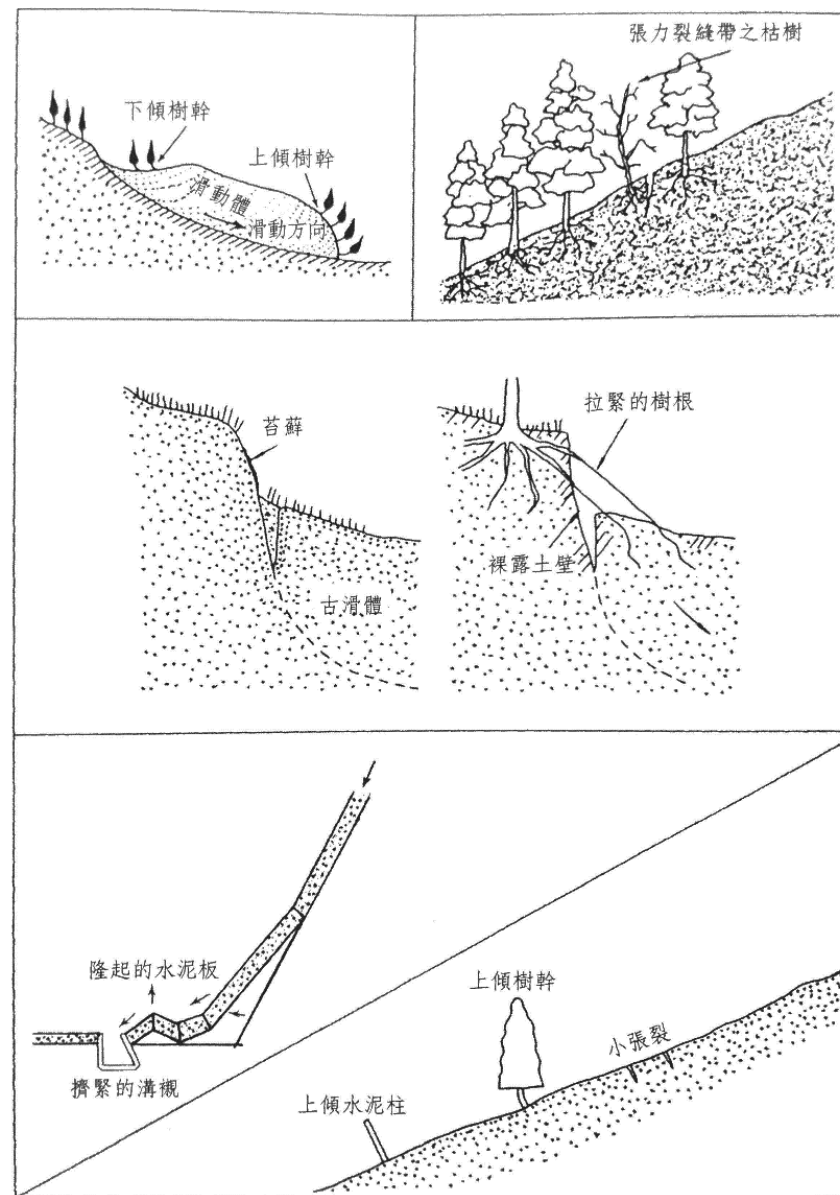


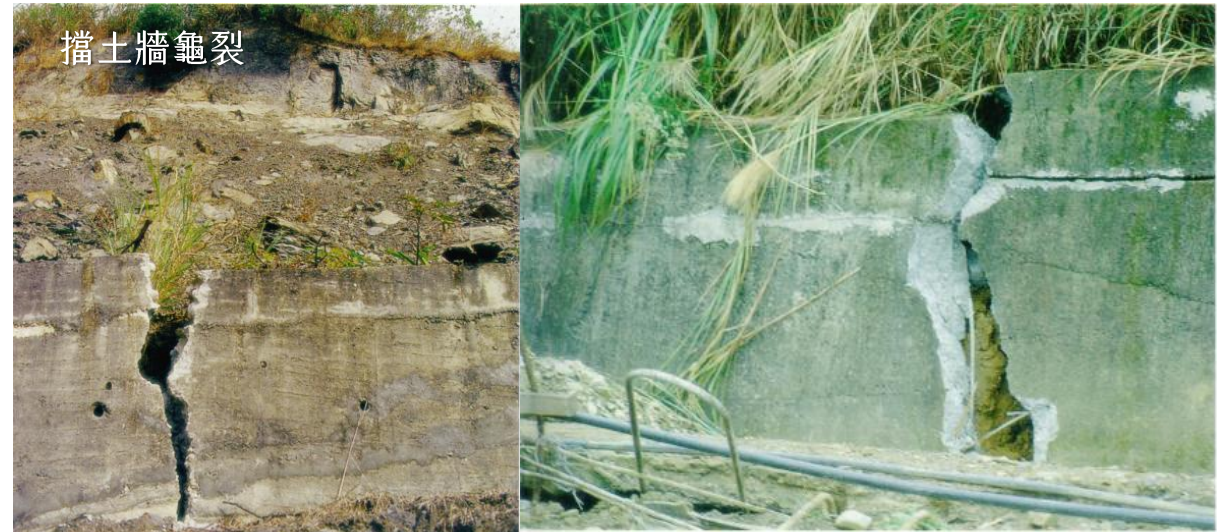
圖 14.10 邊坡正在滑動的證據 (奧園誠之, 1986)



# 滑動中地滑的證據

- 在人造結構物上：

- 擋土牆或駁坎鼓脹或龜裂(牆後的水壓上升之結果)。
- 坡趾的蛇籠變形,向外凸出。
- 錨頭鬆脫。
- 道路逐漸下移。
- 道路的路面下陷或龜裂(常呈現弧型)
- 道路的山邊溝被擠緊,或襯砌破裂。
- 門窗被扭曲變形,無法關閉或開啟。
- 牆角開裂、磁磚破裂或掉落、門窗的角落呈八字裂開等。





# 滑動的防治

1. 排水處理法：水是觸發滑動的最重要因素，因此，水的處理是最普遍採用的方法。

- **地表排水**：不需要複雜的工程設計，通常優先考慮。分為**滑動體外**及**滑動體內排水**。前者如在冠部設置截水溝，將逕流集中後排至滑動體外的既有水系；後者主要在防止雨水滲入滑動體內。
- **地下排水**：主要目的在紓解孔隙水壓，且都以重力式排水為之，主要方法有明渠、暗渠、集水井、水平排水管、垂直排水管、礫石樁、排水廊道、截水牆等。

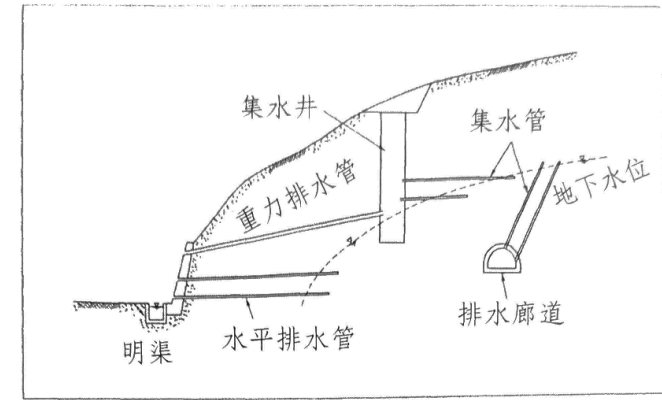


圖 14.13 集水井、排水廊道與水平排水管的排水系統

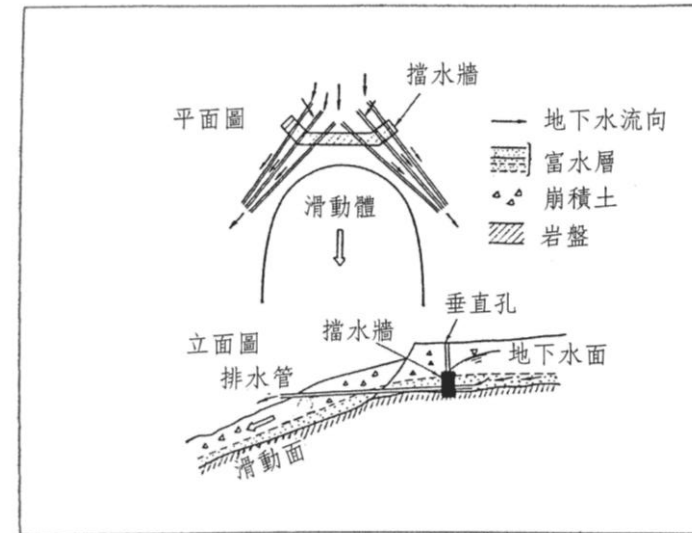


圖 14.16 截水牆與水平排水管

# 滑動的防治

2. 降低下滑力：滑動體的下滑力來自其重力，所以減重也可以達到防治的效果。減重的方法包括挖除、降坡、設階梯坡、採用輕質填土、體內排水等。
- 如果滑動體的體積很小，採用挖除法可一勞永逸。
  - 減重時需挖上坡補下坡，絕不可將邊坡修成頭重腳輕。
  - 輕質材料如飛灰、爐渣、空心磚等可用於輕質填土。
  - 開挖順向坡時，為避免坡趾開挖引起滑動，可採用跳島式開挖，讓順向坡應力來不及調整。

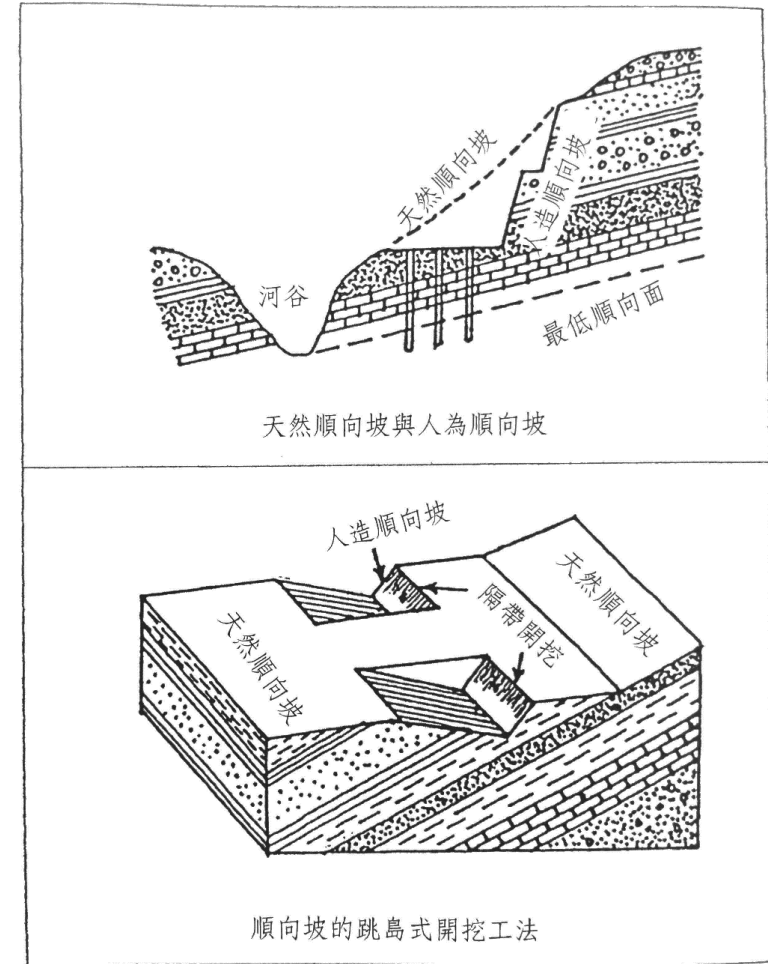


圖 14.17 順向坡的跳島式開挖工法

# 滑動的防治

3. 增加抗滑力：用工程的方法抵抗滑動體的下滑力，與排水設施合併使用，成為處理滑動體最常使用的方法。

- 方法有擋土牆、地錨、排樁、趾部加壓等。
- 擋土牆：漿砌卵石、混凝土、鋼筋混凝土、加勁土、蛇籠等。依據類別分則有重力式、懸臂式、扶臂式等。
- 地錨：將拉力傳遞到特定岩土層，藉地錨的拉力將滑動體與滑動面以下的強固穩定之岩土體牢牢地繫住。
- 趾部加壓：選在剪出線附近。

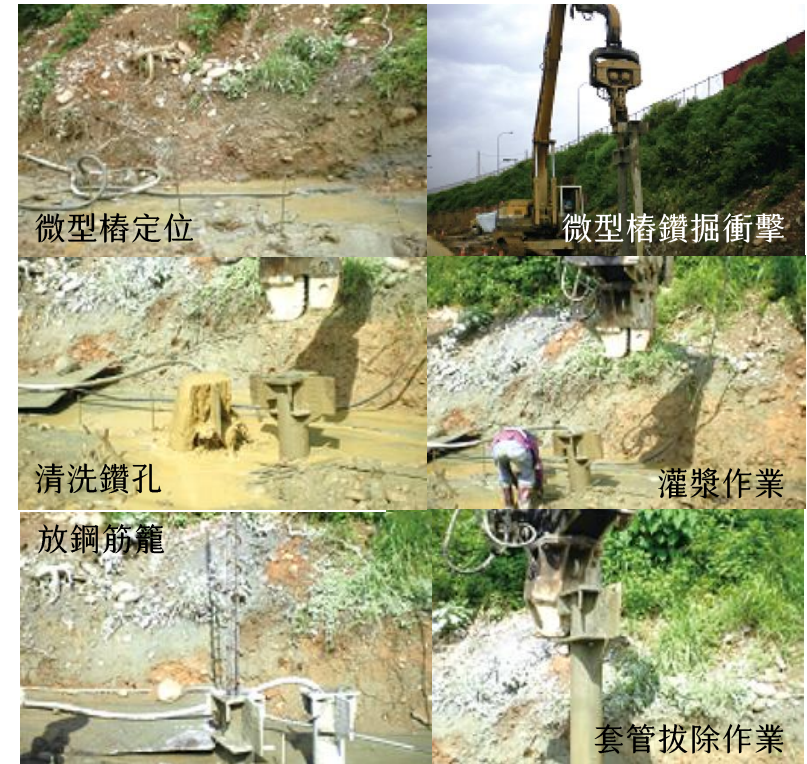




# 滑動的防治

4. 體內強健法(地盤改良)：常用方法有電滲排水法(electroosmosis)、烘焙法(baking)、冷凍法(ground freezing)、灌漿、微型樁(micropile)、土釘等。
- 岩質邊坡可以採用灌漿，例如以矽酸鹽水泥或有機合成化學材料對不連續面固結灌漿。
  - 微型樁直徑一般在7.5-30 cm之間，長度最多為樁徑75倍。
  - 土釘工法一般採用鋼條、鋼棒或鋼管等材料直接壓入土層，或置入鑽孔再灌漿。

## 微型樁工法



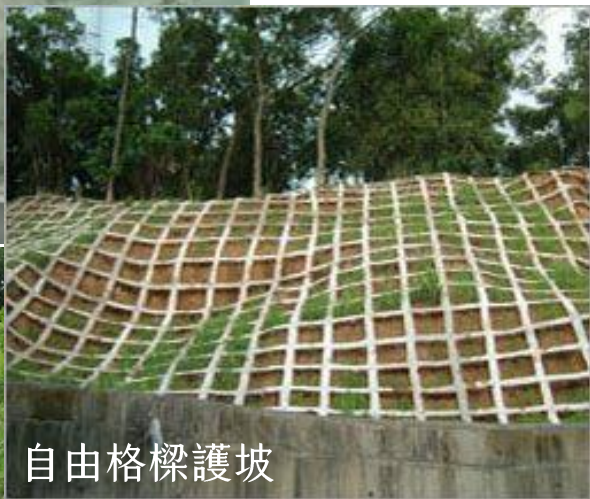
土釘及格梁護坡



# 其他邊坡穩定方法(邊坡表層穩定)



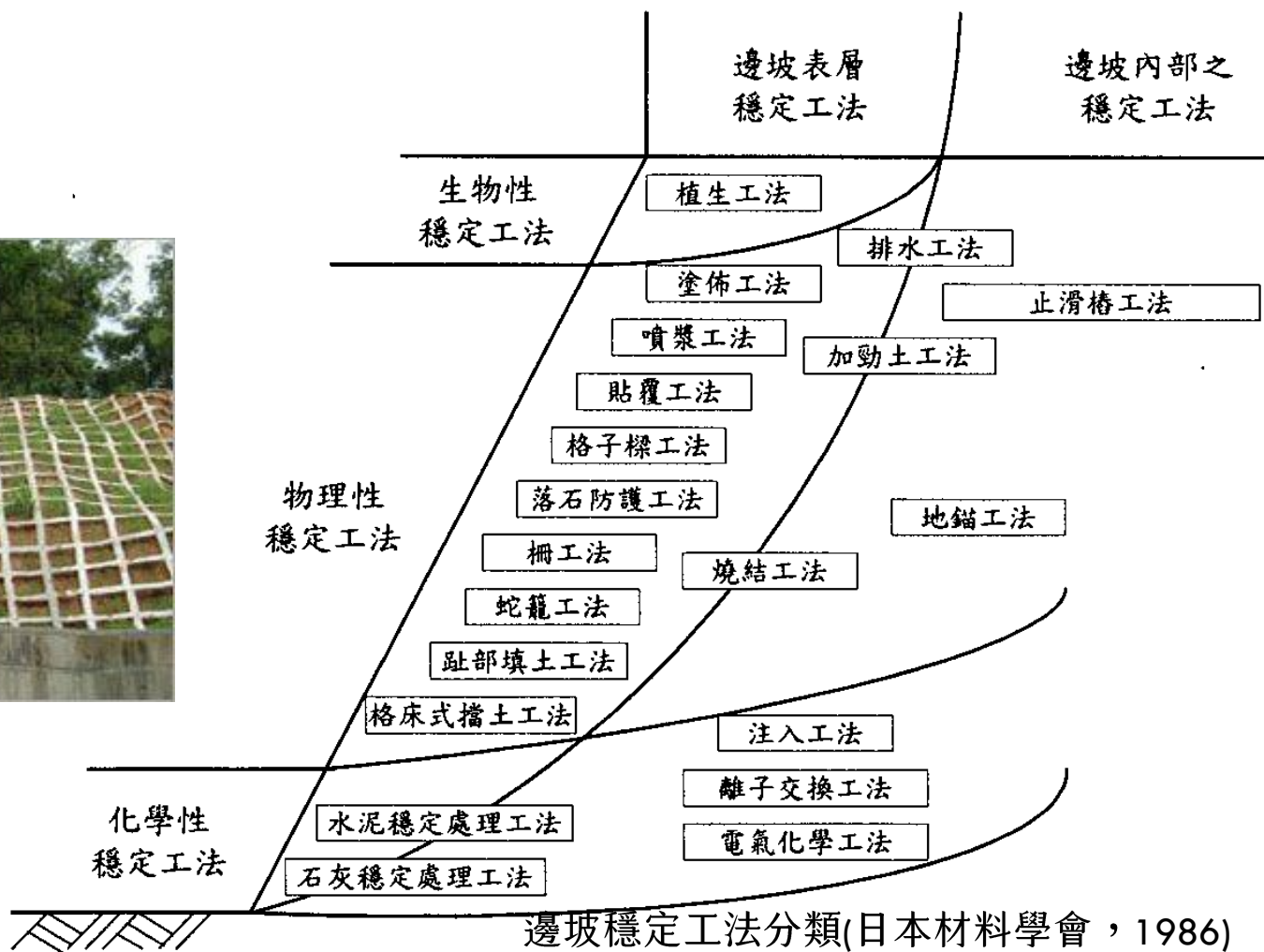
噴漿護坡



自由格樑護坡

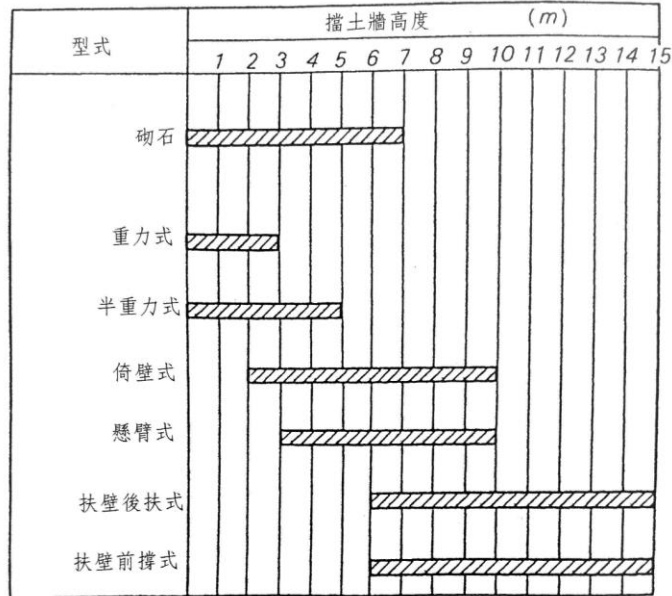


自由梁+植生護坡



# 滑動的防治

表 14.8 各式擋土牆的設計高度



工 1-4-1 邊坡類型與破壞可能原因(資料來源：「水土保持手冊」，2005)

邊坡類型	破壞之可能原因
開挖區上游之自然岩石邊坡	地震、降雨、風化、坡趾切除、採礦等
開挖區上游之自然土壤邊坡	地震、降雨、坡趾切除、採礦等
開挖後內之自然岩石邊坡	地震、降雨、坡趾切除、長期風化、爆破等
開挖後內之自然土壤邊坡	坡趾切除、不穩定邊坡之填方、供水或排水線之泥水、草地之噴灑水等
水庫、蓄水池之邊坡	增加土壤及岩石之含水飽和度、提高地下水位、增加浮力(上揚力)及急速降低水位
公路及鐵路之挖填邊坡	過量之雨水，不穩定邊坡之填方，坡趾切除，地下水排水受阻等
土石壩、堤防、水庫壩體之邊坡	滲流壓力過大，地震波動等
填方整地	填方分層夯實不良，地表及地下震動。降雨作用下，排水系統不確實等
開挖坡面及填方坡面	坡面設計不穩定，過高地下水位，不良地下水位控制，抽排水系統之中斷等

表 14.9 地滑防治工法所能提升的目標安全係數及其提升度

工法	大規模地滑		中規模地滑		小規模地滑	
	目標安全係數	提升度	目標安全係數	提升度	目標安全係數	提升度
排水工	1.15~1.20	0.05	1.15~1.20	0.05	> 1.20	0.1
坡趾反壓	1.05~1.10	0.07~0.12	1.10~1.15	0.12~0.20	> 1.20	> 0.2
擋土牆	1.10~1.15	0.05				

# 土石流





# 洪水

臨海古城失守

1949年以來  
登陸浙江第三強颱

台視新聞HD

利奇馬重創浙江 挾暴雨再登陸山東

## 4. 土石流

- 土石流是一種含有大量泥、砂及石塊的暫時性急速水流，它是由固態及液態的兩項物質所混合而成的，其中固體量可以超過水體量，且含量可以從30%到70%不等。
- 土石流的流速可以從每秒數十公尺至數百公尺不等。
- 土石流中的固體，其比重雖然比水重(土石流單位重介於 $1.3-2.3 \text{ g/cm}^3$ )，但在流動時形成一個連續體，於垂直斷面上存在連續的變形速度剖面，具有層流的性質。
- 土石流係因重力作用而發生運動，水不是搬運的介質；它是因為雨水加入土體，使土體的重量增加，並使孔隙水壓驟升，剪力強度降低，甚至到達液化的狀態而啟動的。
- 土石流橫斷面上中央較兩側高，且可以高出河岸或牆面；縱剖面上，土石流呈現波浪狀，水平面上則呈現一連串的耳狀或鼻狀。

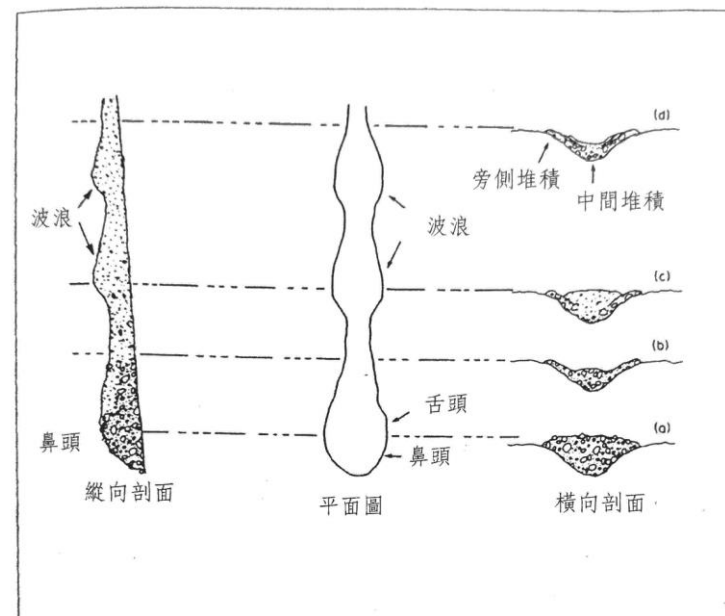
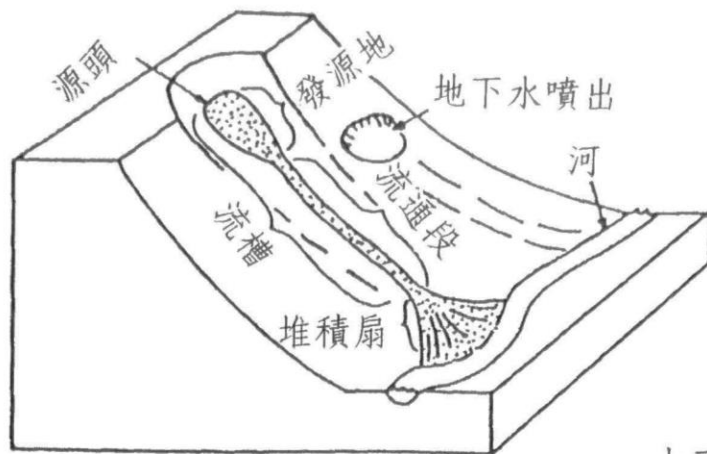


圖 14.19 土石流的縱橫剖面圖 (Selby, 1993)

• 土石流的運動具有直進性及陣流性等特性。

- 直進性：土石流遇到溪谷轉彎、狹窄化或障礙物等，因流動受阻而暫時停積下來，接著迅速堆積抬高，越過溝岸，截彎取直，往前衝出一條新路。固體含量越大，直進性越強，衝擊力越大。
- 陣流性：土石流通過溝谷的緊縮時、峽谷、急轉彎或遇到障礙物時，運動受阻停積時向上堆高形成天然壩，壩體潰毀後，後浪便越過前浪而繼續往下游流動，形成陣流。



土石流的地形分區

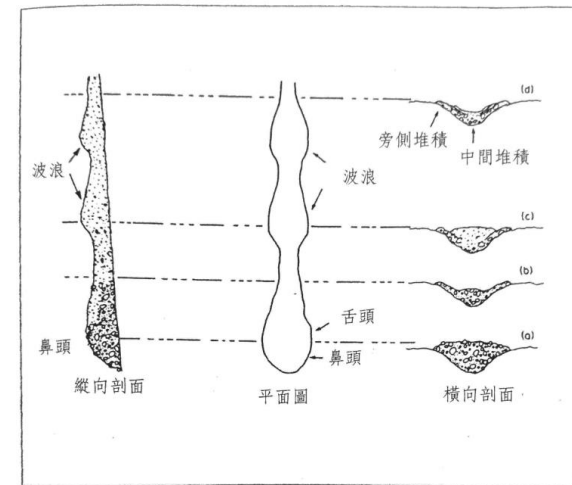


圖 14.19 土石流的縱橫剖面圖 (Selby, 1993)



- 土石流在地形上由發生區、流動區及堆積區三個部分組成。
  - 發生區：土石流的發源地，要具備有鬆散的土石材料及充分水量。多為三面環山，只留一個缺口的地形特徵。凹地的坡面陡峻，大多呈 $30^{\circ}$ - $60^{\circ}$ 。(土石流三要素)
  - 流動區：土石流搬運土石與水流過的地段，縱向坡度可達 $30^{\circ}$ 以上。土石流一進入流動區後即發揮極強的沖刷力，有時一次土石流可將槽床刷深7-8 m，從兩壁沖刷下來的土石不斷加入土石流，最後形成規模驚人的土石堆積物。



土石流的地形分區

- 堆積區：土石流停積的場所。通常位於山谷口或支流匯入主流的匯合口等開闊的地方。土石流在此停積，並形成扇狀、錐狀或長條形堆積體，又稱土石流堆積扇。外型類似水力沖積形成的沖積扇，但大小石塊混雜，淘選度差，稜角明顯，扇面坡度常大於 $11^{\circ}$ 。

# 土石流的調查

## • 從衛星影像上:

- 土石流的發生區、流動區及堆積區的劃分,包括其位置與範圍,整個發源部的匯小範圍之圈繪與面積的估計。
- 發生區及其母岩的岩性、風化程度與地質構造。
- 發生區的水源類型、匯水條件、山坡坡度等。
- 發生區料源的分佈、類別與成因;是否有崩塌地、滑動、崩積土、崖錐堆積或人為堆積(如棄土、礦渣、開路、砍伐森林、山坡地的超限利用、陡坡開挖等)。
- 流動區的地形地貌特性,包括溝槽的發育程度及分割情形。
- 流動區的溝床縱橫坡度、跌水、急彎等特徵,溝床的切深及沖淤變化;
- 流動區溝壁遭受側蝕的程度;溝槽兩側邊坡的坡度及穩定程度。
- 堆積區的堆積扇之分佈範圍、表面型態及斜度、不同堆積期的辨認、堆積部形成史的判斷、扇狀水系的變遷情形。



圖13.40 小型的土石流系統,每次發生時,其發源地及流動段的位置都不變,表示遺傳性很高。堆積扇的位置雖然很接近,但是範圍卻變化很大,需視土石流的規模及流動性而定

# 土石流的調查

## • 地面調查:

- 對衛星影像的判釋結果進行驗證。
- 發生區的地形及匯水條件、料源的成因及性質、土地利用型態。
- 發生區的地質條件。
- 流動區的侵蝕及沖淤情形(含溝床及兩側溝壁)、淤積後的縱橫剖面、顆粒分佈、陣流及直進情形、鼻頭的分佈、跌水、泥痕(歷次土石流遺留下來的痕跡)、沿路破壞情形。
- 堆積區堆積物的性質、層次、厚度、一般及最大粒徑、顆粒分佈的規律。

- 堆積區的形成史。
- 堆積區最大堆積量的估算。
- 降雨條件及地下水活動情形。
- 土石流發生史：歷次發生時間、週期、規模、形成過程、爆發前的降雨情形、發源部、流通段及堆積部的遺傳性、災害情形。
- 當地土石流的防治措施及工程經驗。
- 分析發生土石流的原因,並建議防治的方法。

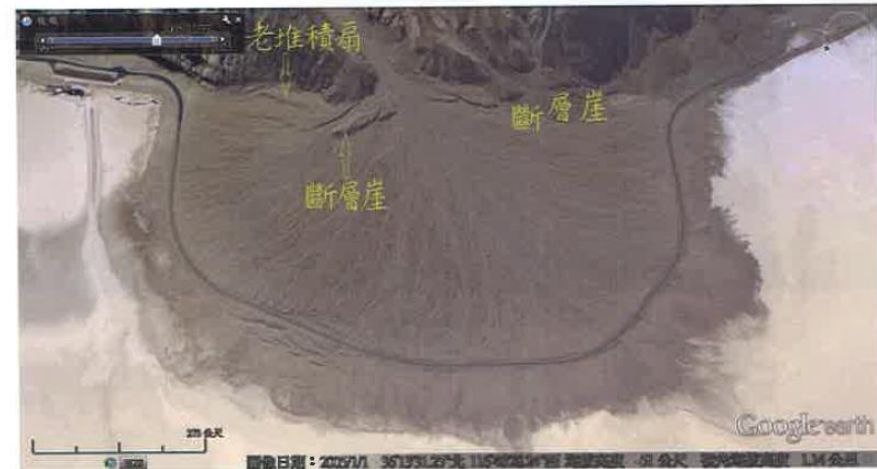


圖13.42 土石流多期堆積扇的疊置關係，因為新土石流常下切舊土石流的堆積扇，所以像河階堆積一樣，老堆積扇常站在高位；但是例外的情形很多，也有新土石流覆蓋舊土石流的



# 土石流的防治：發生區

- 發生區的防災：既要治山，也要治水。
  - 抑制土石生產，防止土石流動。
  - **坡面型土石流**：單條土石流，積於山谷。常用整治方法有植樹造林、穩定邊坡、禁止造路等。
  - **溪流型土石流**：由許多單條土石流匯流而成，且在次級河流形成災害性的土石流。常用的方法有防止溪岸淘刷、固床築壩(防砂壩或系列防砂壩)、整流護岸等。
  - 截水：應用處理地滑的地表集排水與截水方法。

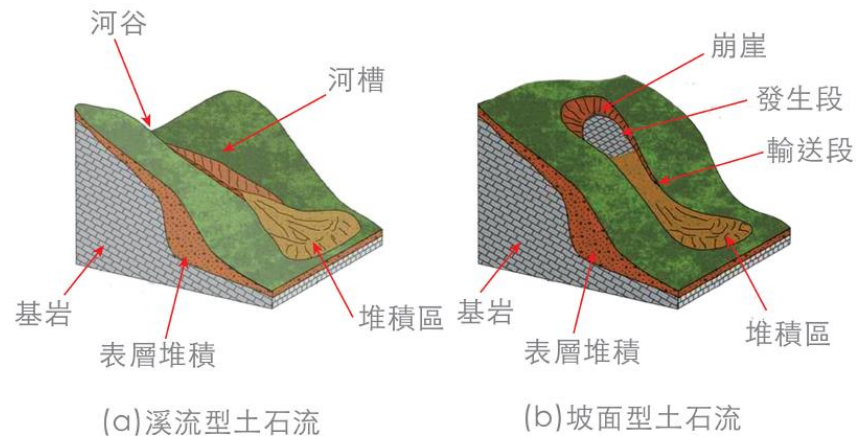


圖 土 1-1-1 坡面型與溪流型土石流示意圖(資料來源：Nettleton, I. M. et al.,2005)

# 土石流的防治

- 流動區的防災：避免土石流增量、改善溝槽的運輸功能、維持適宜的流速、調整輸運的路面與方向，以防止漫流與越岸直進，或延伸流通段，將土石流引導到安全的地方堆積。
  - 防砂壩(sabo dam; check dam)：5 m以上之橫向阻水構造物。
  - 潛壩(Submerged dam)：5 m以下之橫向阻水構造物。
  - 潛壩與防砂壩最大的不同點，在於後者係通過攔蓄土砂，以發揮調節土砂、穩定溪床及兩岸、防止侵蝕、抑止土石流等功能，而潛壩則是以控制水流流速為目的。
  - 固床工(Ground sill)：以保護溪床免於被洪水沖刷下切為目的所構築有效高度在1.0 m以下之橫向阻水構造物。



梳子壩



圖 工 2-2-1 系列潛壩(資料來源：水土保持局南投分局)



圖 工 2-3-1 系列固床工(地點：屏東縣滿州鄉攬仁溪)

# 土石流的防治

- 堆積區的防災：限制土石流通過，將土石堆積的位置與範圍往下游地帶延伸至大河傾瀉。

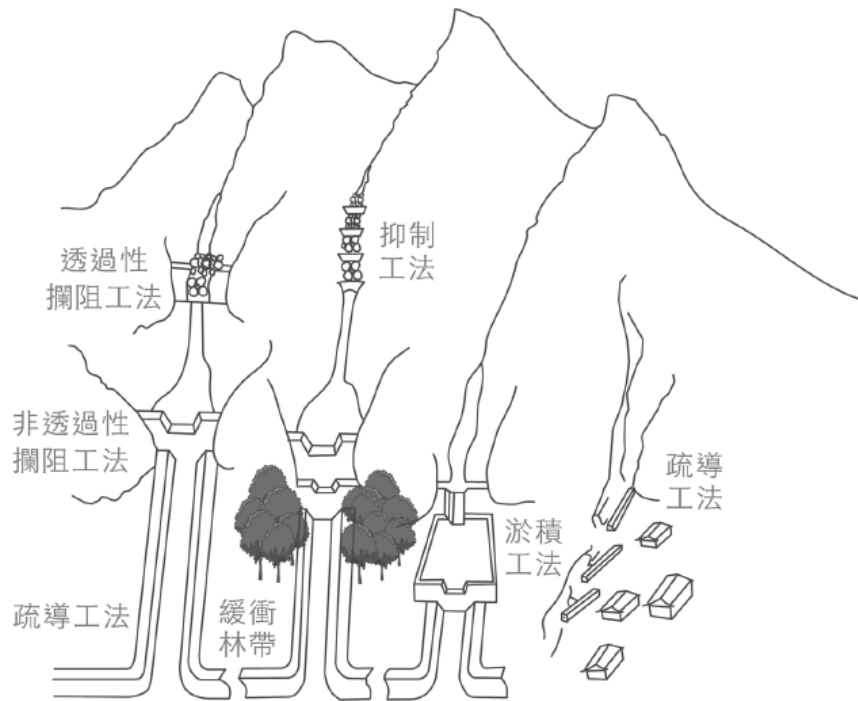


圖 土 1-3-1 土石流潛勢溪流工程配置模式(資料來源：水土保持手冊，2006)

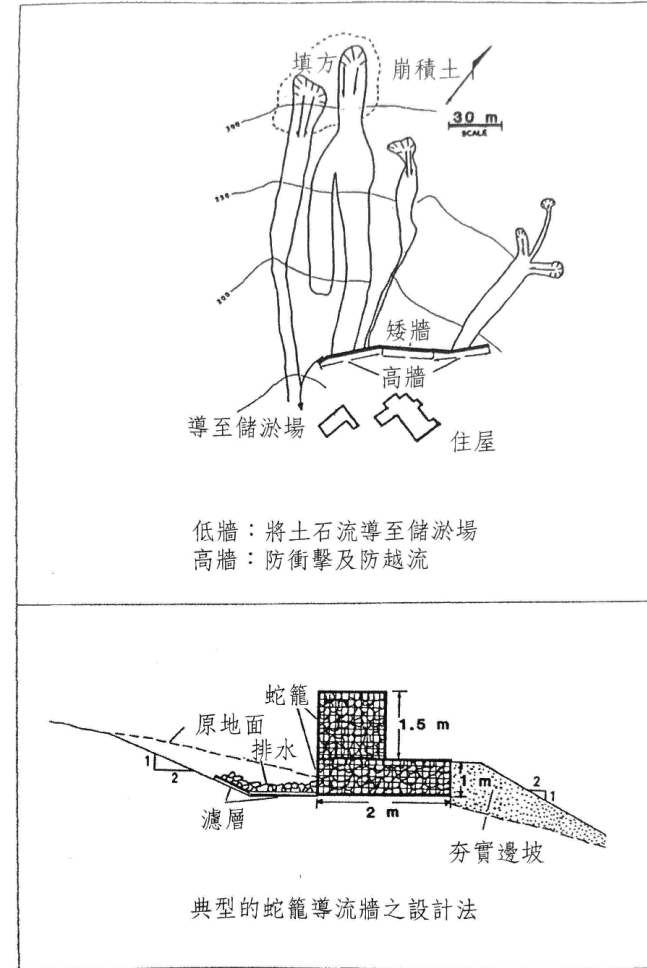


圖 14.22 導流牆的設置 (Ellen and Fleming, 1987)



### 「水土保持法」第3條：

- 一、水土保持之處理與維護：係指應用工程、農藝或植生方法，以保育水土資源、維護自然生態景觀及防治沖蝕、崩塌、地滑、土石流等災害之措施。

### 「地質法」第3條：

- 地質災害：指自然或人為引發之地震、海嘯、火山、斷層活動、山崩、地滑、土石流、地層下陷、海岸變遷或其他地質作用所造成之災害。

### 「地質敏感區劃定變更及廢止辦法」第2條：

- 具有特殊地質景觀、地質環境或有發生地質災害之虞之地質敏感區，包括以下各類.....四、山崩與地滑地質敏感區。.....

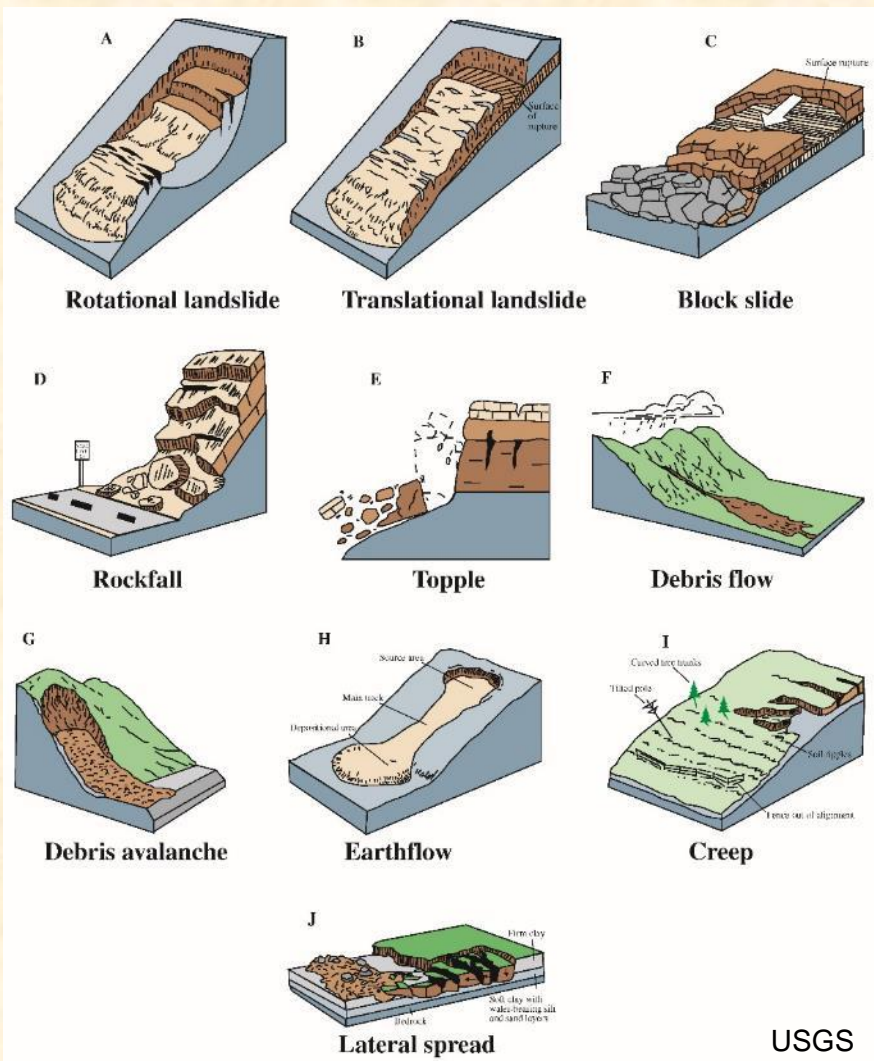
## 「水土保持手冊」第1.3.2節-崩塌之分類：

- ▶ 崩塌依運動方式材料組成及移動速度不同而有許多分類，惟至目前尚無統一之分類標準，因此發生之個案常因其特殊性而有不同之稱謂或分類，包括**山崩**、**落石**、**崩坍**、**地滑**等名詞。
- ▶ 一般而言，**地滑**係指規模較大之土體或岩體，在較緩之坡面上發生移動，其運動之典型特徵在於移動速度緩慢，而移動時可能呈現斷續或持續緩慢之運動型態，通常移動土體上方之構造物尚可保持原狀。
- ▶ 至於山崩、崩坍或落石等現象，概念上係屬較小規模之土體或岩體運動，但亦不排除有大規模發生之情形，惟其發生位置多以陡峭坡面為主，可在瞬間發生，且運動速度較快，其發生均因土體或岩體崩解所致，故一旦發生，其承載之地上構造物即可能完全被破壞。由於山崩、崩坍、落石、地滑等土體運動之發生機制均類似，因此概括以**崩塌**稱之，惟為強調其運動型態時，亦得以特殊名詞形容之，而本文所稱之崩塌，即涵蓋此等土體運動現象。



# Classification of slope movements

➤ 「斜坡運動」？「山崩」分類？



## Cruden and Varnes, 1996

type of material

Type of Movement	Type of Material		
	Bedrock	Engineering Soils	
		Predominantly coarse	Predominantly fine
Fall	Rock fall	Debris fall	Earth fall
Topple	Rock topple	Debris topple	Earth topple
Slide	Rock slide	Debris slide	Earth slide
Spread	Rock spread	Debris spread	Earth spread
Flow	Rock flow	Debris flow	Earth flow

## 山崩分類表 (classification of landslide)

移動方式 (Type of Movement)	移動物質 (Type of Material)	
	基岩 (Bedrock)	工程土壤 (Engineering Soils)
		岩屑 (Debris)
墜落 (Falls)	落石	
傾翻 (Topples)		
滑動 (Slides)	平滑 (Translational)	岩屑崩滑
	旋滑 (Rotational)	
流動 (Flows)		土石流

USGS



地質調查所與水土保持局有關坡地災害分類之差異比較表

		地質調查所山崩土石流分類		水土保持局山崩土石流分類			
移動 或作用型態	移動物質	基岩	工程土壤		(以防治災害為目的之分類，故不考慮移動物質類別)		
			岩屑	土壤			
墜落		落石	岩屑崩滑		崩塌(崩落、崩坍、崩壞)		
傾翻							
滑動	平面型	岩體滑動			土石流		地滑(岩盤型、風化層型、崩積型)
	楔型						
圓弧型							
側滑							
流動							
風化侵蝕		向源侵蝕、河岸侵蝕、(蝕溝、指溝)		沖蝕(地表沖蝕、侵蝕)			
表層緩移		潛移(邊坡表層土壤或岩層之緩移)		潛移			

註：在水土保持法及其子法中計出現5類相關的坡地災害類型，但是僅崩塌與地滑2類與「各類之斜坡運動」較相關。因此將其他3類另列，並分別說明各自對照之地質作用與用詞。

# 大規模崩塌(深層崩壞、深層崩塌)？

## □ 定義 (NCDR, 2015)

崩塌面積 > 10公頃 或

崩塌深度 > 10公尺 或

土方量 > 10萬立方公尺

考量重大的崩塌保全對象為防治範疇

陳聯光 (2014)

大規模崩塌災害防治優先推動之範疇，並非指定某一特定崩塌型態(特定深度、面積或崩塌土方量等)之調查，而是考量重大的保全對象為原則，當崩塌發生時可能直接導致保全對象形成「大規模災害」之處為對象。

Volume 體積 > (10<sup>5</sup>m<sup>3</sup>)  
= 100m長×100m寬×10m深

**Large landslide(USGS):**彙整近百年全球出現的大規模崩塌事件，此類崩塌具有3項特性：(1)至少造成百人以上死亡；或(2)巨額財產損失；或(3)造成自然環境重大影響等。因此對於社會、經濟或自然環境會產生重大的衝擊。  
(<http://landslides.usgs.gov/learning/majorls.php>)





# 大規模崩塌(深?淺?)

VS.

Deep-seated Gravitational Slope Deformation (DSGSD)





# 潛在大規模崩塌？





# classification of landslide types : 「山崩」分類

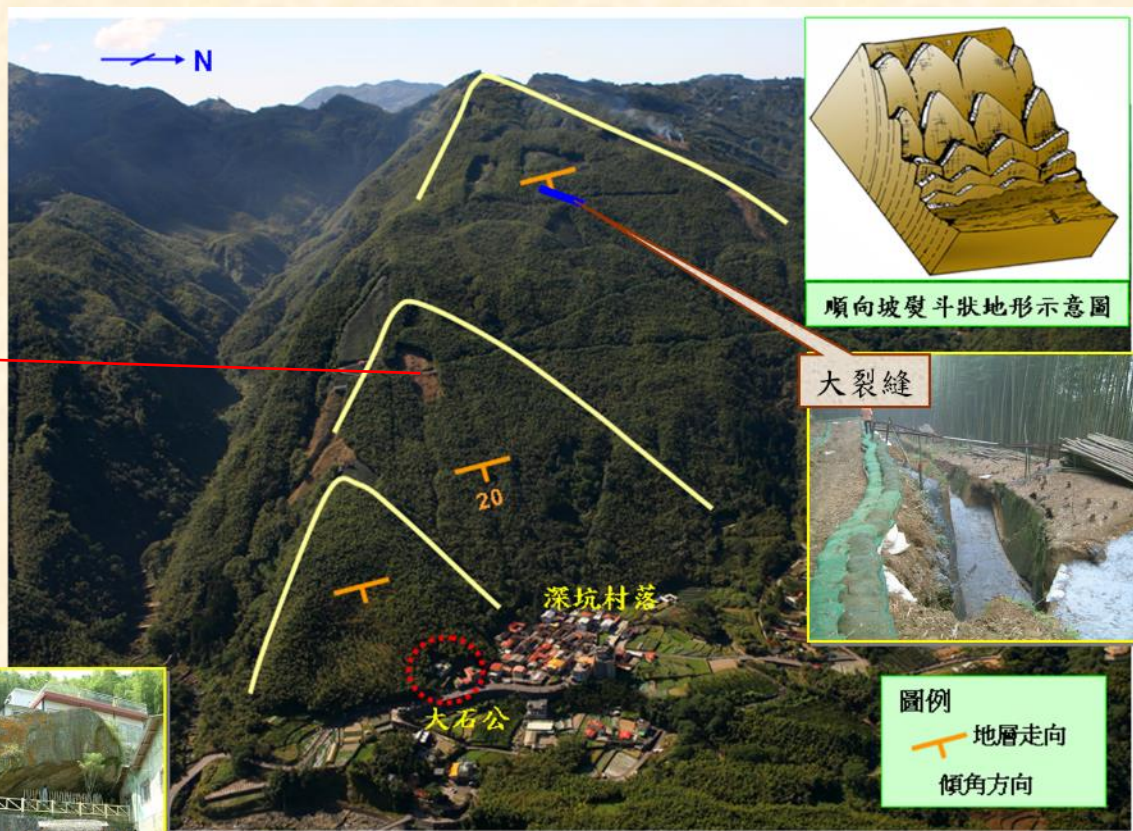
**Table 5** Summary of the proposed new version of the Varnes classification system. The words in *italics* are placeholders (use only one)

Type of movement	Rock	Soil
Fall	1. <i>Rock/ice</i> fall <sup>a</sup>	2. <i>Boulder/debris/silt</i> fall <sup>a</sup>
Topple	3. <i>Rock block</i> topple <sup>a</sup>	5. <i>Gravel/sand/silt</i> topple <sup>a</sup>
	4. <i>Rock flexural</i> topple	
Slide	6. <i>Rock rotational</i> slide	11. <i>Clay/silt</i> rotational slide
	7. <i>Rock planar</i> slide <sup>a</sup>	12. <i>Clay/silt</i> planar slide
	8. <i>Rock wedge</i> slide <sup>a</sup>	13. <i>Gravel/sand/debris</i> slide <sup>a</sup>
	9. <i>Rock compound</i> slide	14. <i>Clay/silt</i> compound slide
	10. <i>Rock irregular</i> slide <sup>a</sup>	
Spread	15. <i>Rock slope</i> spread	16. <i>Sand/silt</i> liquefaction spread <sup>a</sup>
		17. <i>Sensitive clay</i> spread <sup>a</sup>
		18. <i>Rock/ice</i> avalanche <sup>a</sup>
Flow	18. <i>Rock/ice</i> avalanche <sup>a</sup>	19. <i>Sand/silt/debris</i> dry flow
		20. <i>Sand/silt/debris</i> flowslide <sup>a</sup>
		21. <i>Sensitive clay</i> flowslide <sup>a</sup>
		22. <i>Debris</i> flow <sup>a</sup>
		23. <i>Mud</i> flow <sup>a</sup>
		24. <i>Debris</i> flood
		25. <i>Debris</i> avalanche <sup>a</sup>
		26. <i>Earthflow</i>
		27. <i>Peat</i> flow
		Slope deformation
29. <i>Rock slope</i> deformation	31. <i>Soil</i> creep	
	32. <i>Solifluction</i>	



# 百變的順向坡

- 順向坡：凡坡面與層面、坡面與劈理面之走向交角不超過二十度，且傾向一致者。（水土保持技術規範）
- 順向坡：係指坡向與地層之層理或劈理之傾向約為一致的地形範圍。（經濟部中央地質調查所，2008）





## 小結：

中文專有名詞：

- ✓ 崩塌：崩塌、地滑、土石流、沖蝕(水土保持法)
- ✓ 山崩：
  - 山崩、地滑、土石流(地質法)
  - 山崩與地滑 (地質法之地質敏感區)

中文其他：

- 落石、岩屑崩滑、岩體滑動(環境地質圖)
- (潛在)大規模崩塌、深層崩塌、深層崩壞、崩塌型地滑、
- 斜坡深層重力變形、山體變形...

英文

- ✓ Landslides:
  - fall, topple, slide , spread, flow, slope deformation
- ✓ Deep-seated Gravitational Slope Deformation (DSGSD)

Q：斜坡運動、地滑、潛在大規模崩塌....算不算「山崩」？

Q：「順向坡」算不算「山崩」或「潛在山崩」？