

# 單元 10：崩滑運動

## 概述：崩滑運動

**定義並解釋崩滑運動和地面沉降的原因，類型，影響和危害。**

## 介紹

崩滑運動可能是毀滅性的和昂貴的。大約 10 年前，一個朋友想在聖地亞哥購買新房。她發現一個大社區正建在俯瞰城鎮的山坡上。他們喜歡該地區，風景和房屋，因此購買了房屋所在地。費用為 150 萬美元。

由於這不是她購買的第一套房子，因此她知道要問的問題和需要執行的各種測試。一名檢查員注意到該地區甲烷升高。他們認為這是暫時的，不會造成任何問題。但是，隨著更多人在該地區購買房屋，問題變得更加突出。她聯繫了地質學家，問可能會是什麼。地質學家來自該地區，並且熟悉該位置。他們做了一些研究，並排除了許多可能的原因。他們被困住，直到有一天，一個核心樣本顯示該社區是在一個舊的滑坡區域上建造的。掩埋的樹木和植被正在腐爛，這使它們散發出包括甲烷在內的各種氣體。由於條件的限制，該站點的建設已停止，並且從未進行。時間，精力，水土流失的錢被水土流失了。當房主確實收回了他們的錢時，業主卻破產了。

除非我們生活在容易發生滑坡和雪崩的地區，否則滑坡和雪崩可能並不是我們真正考慮的問題，但是大量水土流失可能在任何地方發生。如果您回想起岩石循環的話，侵蝕是一個強大而持續的過程。

觀看此視頻中的片段，以了解意大利的驚人地流（請注意有背景噪音，但沒有實際音頻）。

那不是很神奇嗎？

大量水土流失可能非常快也可能很慢。你怎麼看這張照片？



你注意到樹木有什麼奇怪的地方嗎？您想住在這樣的地區嗎？

讓我們看看什麼是大眾水土流失，它可以告訴我們有關視頻和圖片的信息。

- 識別並描述崩滑運動的類型。
- 確定崩滑運動的各種原因，以及減少造成的損害的方法。

## 崩滑運動的類型

### 識別並描述崩滑運動的類型。

- 將蠕變描述為一種崩滑運動



圖 1.一塊岩石定期掉落到懸崖底部，形成距骨斜坡。

落到懸崖底部的岩石形成**距骨坡度**（圖 1）。有時，當一塊岩石落下時，它撞到了另一塊岩石上，後者又撞到了另一塊岩石上，並開始滑坡。

**滑坡**和**雪崩**是重力引起的最劇烈，最突然和最危險的地球物質實例。滑坡是岩石的突然下落，而雪崩是雪的突然下落。

- [這是雪崩視頻。](#)

## 滑坡

儘管通用術語“滑坡”中包含了多種類型的質量運動，但該術語的使用更為嚴格，僅指質量運動，其中存在明顯的薄弱區域，將滑動材料與更穩定的基礎材料分開。幻燈片的兩種主要類型是旋轉幻燈片和平移幻燈片。旋轉滑片：這是一種滑片，其中破裂表面凹入向上彎曲，並且滑片運動圍繞平行於地面並橫穿滑片的軸線大致旋轉（圖 2a）。平移滑坡：在這種滑坡中，滑坡體沿大致平坦的表面運動，幾乎沒有旋轉或向後傾斜（圖 2b）。



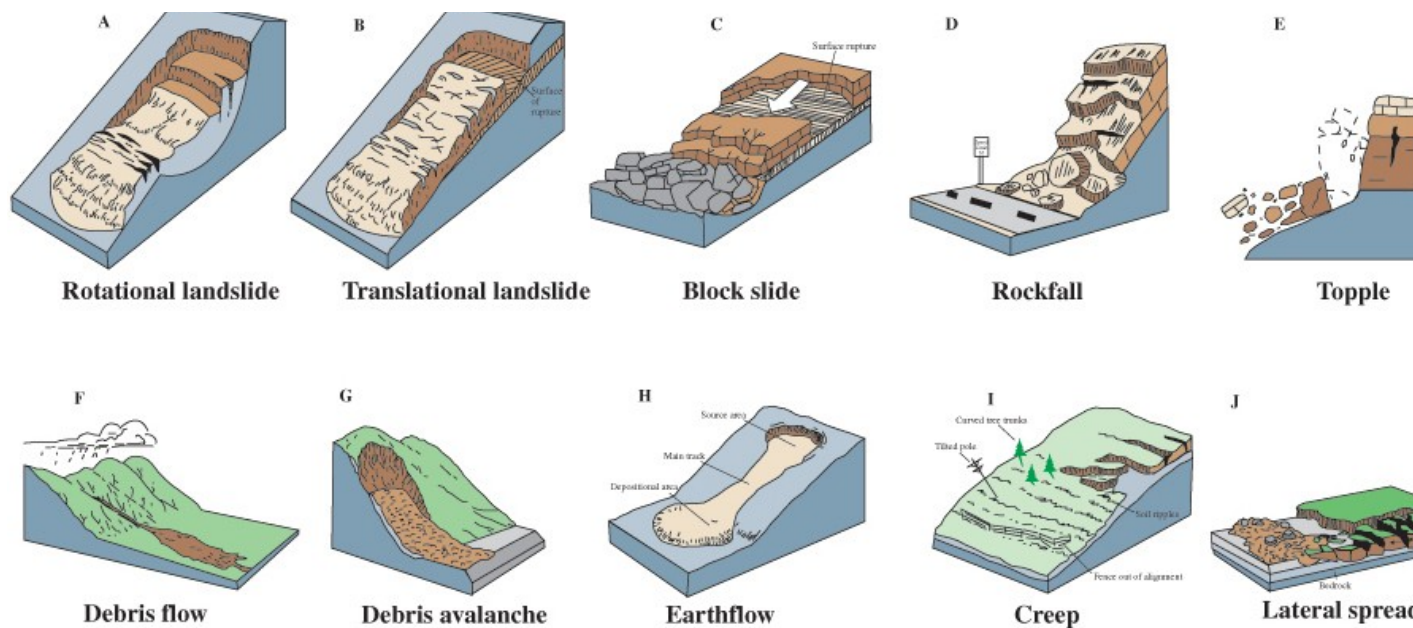


圖 1. 這些示意圖說明了滑坡運動的主要類型。

當大量岩石突然從懸崖或山坡上鬆脫時，它們會以巨大的力量快速移動（圖 2）。掉落在岩石下面的空氣起到緩衝作用，可防止岩石減速。滑坡和雪崩的移動速度可以達到每小時 200 至 300 公里。



圖 2. (a) 滑坡被地質學家稱為岩石滑坡。(b) 雪崩迅速下坡，將所有東西掩埋。

滑坡具有極強的破壞性。隨著山坡的倒塌，房屋可能被摧毀。滑坡甚至可以掩埋整個村莊。當岩石材料堵塞河流時，滑坡可能會形成湖泊。如果滑坡流入湖

泊或海灣，它們會引發海嘯（圖 3）。



圖 3. 1958 年滑入阿拉斯加利圖亞灣的滑坡，造成了 524m 海嘯，使海拔高於帝國大廈（淺灰色）的樹木被擊倒。

在乾旱或半乾旱氣候下，滑坡經常發生在陡坡上。加利福尼亞的海岸線陡峭的懸崖和數年降雨充沛的干旱導致多年的干旱，容易發生山體滑坡。高危社區已經開發了滑坡預警系統。在舊金山灣附近，國家氣象局和美國地質調查局使用雨量計監測土壤濕度。如果土壤變得飽和，氣象服務會發出警告。加州豐富的斷層可能發生的地震也可能引發滑坡。

## 土石流



圖 1.綠色山坡上的白色區域標記了無數泥流帶來的疤痕。

土石流是大量岩石和巨石等地質材料的突然運動，它們脫離了陡峭的斜坡或懸崖。沿破裂，接縫和墊層平面等不連續部分發生分離，並通過自由落體，彈跳和滾動發生移動。跌落受重力，機械風化和間隙水的影響很大。

## 拉哈斯和泥流

加水會因重力而產生自然危害（圖 1）。在土壤富含粘土，降雨少，植被不多的山坡上，將土壤保持在適當的位置時，高降水量的時間會產生**泥石流**。泥流沿著河道流動，沖刷了沿途的橋樑，樹木和房屋。

拉哈爾河是沿著複合火山（圖 2）流下的泥漿流。火山灰與噴發融化的雪和冰混合，產生熱的，快速移動的水流。1985 年，內華達州德爾魯伊斯（**Nevado del Ruiz**）爆發在哥倫比亞造成的勞拉造成 23,000 多人喪生。



圖 2.拉哈爾是由火山灰和碎屑形成的泥流。

## 跌落和蠕變

不太劇烈的下坡運動類型將泥土緩慢地向下移動到山坡上。**坍塌度**將材料作為大塊沿著曲面移動（圖 1）。當斜坡被底切，沒有支撐上覆材料時，或者當不穩定的斜坡增加了過多的重量時，經常會發生坍塌。





圖 1.坍落的物料作為一個整體移動，留下一個月牙形的疤痕。



圖 2.樹幹彎曲的樹木通常是山坡緩慢下坡的標誌。

**蠕變**是形成斜坡的土壤或岩石的緩慢，穩定，向下的運動。運動是由足以產生永久變形的剪切應力引起的，但太小而不會產生剪切破壞。通常有三種蠕變類

型：

1. 季節性的，在土壤深度範圍內運動受土壤水分和土壤溫度的季節性變化影響
2. 連續，剪切應力連續超過材料的強度
3. 漸進式，與其他類型的質量運動一樣，坡度到達破壞點。蠕變表現為彎曲的樹幹，彎曲的圍欄或擋土牆，傾斜的桿或圍欄以及小的土壤波紋或山脊

樹幹上的曲線表示蠕變，因為樹的根部向下傾斜，而頂部則試圖向上生長（圖2）。傾斜的電話或電力公司的電線桿也是蠕變的跡象。

## 驅動力和抵抗力

### 確定崩滑運動的各種原因，以及減少造成的損害的方法。

本節說明了大量水土流失的各種原因。它將說明如何控制大規模水土流失以及如何減少發生風險。

### 你會學到什麼

- 識別可能導致大量水土流失的地質原因。
- 確定人類對大眾水土流失的影響。

本節的包括以下內容：

- 大量自然水土流失
- 人類對大規模水土流失的影響
- 自我檢查：驅動力和抵抗力

## 大量自然水土流失

### 影響因素

有多種因素會增加發生滑坡的可能性。其中一些我們可以預防，有些則不能。



# 水

少量的水有助於將沙粒或土壤顆粒保持在一起。例如，您可以用稍微濕的沙子而不是乾的沙子建造更大的沙堡。但是，過多的水會使沙子迅速流走。快速的融雪或降雨會增加土壤水分，從而增加斜坡的重量，並使沉積物顆粒彼此失去接觸，從而使水流順暢。

# 岩石類型

諸如粘土等軟岩層也允許更多的滑坡。濕粘土非常滑，為材料提供了易於滑動的表面。

# 底切

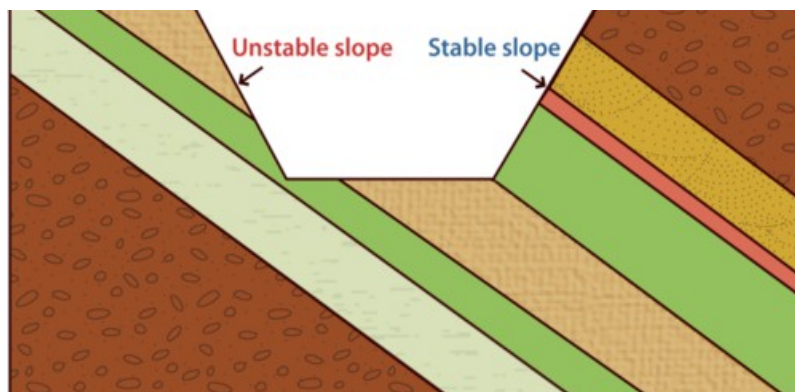


圖 8.進行道路切割時，必須考慮基礎材料的坡度。

如果人們深入斜坡的底部以創建道路或家園，斜坡可能會變得不穩定並下坡。當下面的岩層向該區域傾斜時，這尤其危險（圖 8）。

- [如該視頻所示，海浪沖過懸崖，導致海灘滑坡。](#)

當建築工人切入房屋或道路的斜坡時，他們必須穩定斜坡以防止滑坡（圖 9）。樹木的根甚至草可以將土壤粘合在一起。提供排水以使斜坡不被水浸透也是一個好主意。



圖 9.一塊石牆穩定了已被切掉以形成道路的斜坡。

## 地面震動

地震，火山噴發，甚至只是經過的卡車，都可能使不穩定的地面鬆動並引起滑倒。滑雪者和遠足者可能會干擾他們穿越的雪地並引發雪崩。

關於 [“Landslide 101”](#) 主題的一個很好的介紹是在 [“國家地理視頻”](#)，[“環境視頻”](#)，[“自然災害”](#)，[“滑坡”等視頻中](#) 看到的視頻。

### 滑坡

儘管滑坡的原因有多種類型，但導致世界上大多數破壞性滑坡的三種原因是：

## 滑坡和水

水使邊坡飽和是滑坡的主要原因。這種影響可能以強降雨，融雪，地下水位變化以及沿海岸線，土壩以及湖泊，水庫，運河和河流兩岸的水位變化的形式出現。

滑坡和洪水密切相關，因為兩者都與降雨，徑流和地面被水飽和有關。此外，泥石流和泥石流通常發生在狹窄的小河道中，常常被誤認為是洪水。實際上，這兩個事件通常在同一區域同時發生。

滑坡會形成滑坡壩，從而堵塞山谷和河流通道，使大量的水倒流，從而引發洪水。這將導致回水氾濫，如果大壩發生故障，則會導致隨後的下游泛洪。同樣，固體滑坡碎片可能“堆積”或增加體積和密度，否則正常流量會導流或造成河道阻塞和改道，從而形成洪水條件或局部侵蝕。滑坡還可能導致水庫超支和/或水庫蓄水能力降低。

## 滑坡與地震活動

在記錄的時間內，許多容易發生滑坡的山區也至少經歷了中等程度的地震發生。在陡峭易發生滑坡的地區發生地震，大大增加了滑坡發生的可能性，這是由於僅地面震動或震動引起的土壤材料膨脹，從而使水快速滲入。1964 年的阿拉斯加大地震造成了廣泛的山體滑坡和其他地面破壞，這是地震造成的大部分金錢損失。美國其他地區，例如加利福尼亞和華盛頓的普吉特海灣地區，由於中度到大地震而經歷了滑坡，橫向擴展以及其他類型的地面破壞。廣泛的岩石崩塌也是由於地面震動導致岩石鬆動引起的。全世界，

## 滑坡與火山活動

火山活動引起的滑坡是最具破壞性的類型。火山熔岩可能會迅速融化雪，導致大量岩石，土壤，灰燼和水氾濫，在火山陡峭的山坡上迅速加速，破壞其路徑上的一切。一旦它們離開火山側面，這些火山泥石流（也稱為拉哈斯）就會到達很遠的距離，並可能損壞火山周圍平坦區域中的結構。1980 年，華盛頓的聖海倫斯火山爆發，在火山北翼引發了大規模的滑坡，這是有記錄以來的最大滑坡。

### 地質形態原因

#### 地質原因

1. 弱或敏感材料



2. 風化材料
3. 剪切，接縫或裂縫材料
4. 逆向不連續性（床上用品，血吸蟲性，斷層，不整合，接觸等）
5. 材料的滲透性和/或剛度的對比

#### 形態學原因

1. 構造或火山隆升
2. 冰川反彈
3. 坡腳趾或側緣的河流，波浪或冰川侵蝕
4. 地下侵蝕（溶液，管道）
5. 沉積物加載斜率或其波峰
6. 清除植被（火，乾旱）
7. 解凍
8. 凍融風化
9. 脹縮風化

## 人類對大規模水土流失的影響

### 造成大量水土流失

人類可以通過幾種不同的方式為大規模水土流失做出貢獻：

1. 開挖斜坡或其腳趾
2. 斜坡或其波峰的荷載
3. （水庫的）水位下降
4. 森林砍伐
5. 灌溉
6. 礦業
7. 人工振動
8. 公用事業漏水

## 預防與意識

正如已經指出的，我們不能從長遠來看防止水土流失，因為這是一個自然而持續的過程。但是，在許多情況下，我們可以採取一些行動來減少或減輕其對人員和基礎設施的破壞性影響。在既不能拖延也不能減輕群眾水土流失的地方，我們應該考慮擺脫困境。



圖 1. Porteau Cove 的 2008 年岩石滑坡現場。注意平行於斜坡表面的突出裂縫。用岩石螺栓（上）穩定了斜坡，並在岩石上鑽了一些孔以改善排水（右下角可見）。懸掛網狀幕布（背景）可降低因掉落而使車輛駛過的危險。[SE 照片 2012]

令人欣慰的是，我們可以通過機械手段防止質量水土流失的某些影響，例如 **Porteau Cove** 道路切割中的岩石螺栓（圖 1），或者用於將水從斜坡上排出的鑽孔。在 **Downie Slide** 上完成，或在物理屏障（例如擋土牆）上建造。我們要記住的是，與自然相比，人類的作品是有限的。幾年後，**Porteau Cove** 道路切割中的岩石螺栓將逐漸開始腐蝕，並且在幾十年之內，許多螺栓將開始失去強度。除非更換它們，否則它們將不再支持該斜率。同樣，**Downie Slide** 的排水孔最終將被沉積物和化學沉澱物堵塞，除非定期將其堵塞，否則其有效性將降低。最終，除非鑽出新的孔，否則排水將受到嚴重影響，以至於滑塊將再次開始移動。這就是為什麼在這些地點由地質和岩土工程師進行仔細的邊坡監測很重要的原因。此處的重點是，我們“預防”大規模水土流失的努力與維持這些預防措施的決心一樣好。

當然，推遲大規模水土流失是值得的，因為在措施仍然有效的時期內，它們可以挽救生命並減少對財產和基礎設施的破壞。硬幣的另一面是，我們必須小心

避免可能導致群眾水土流失的活動。道路建設是造成人為水土流失的最常見的人為原因之一，這既適用於為林業和採礦業建造的偏僻的碎石路，也適用於大型城市和區域性公路。道路建設是一個潛在的問題，原因有兩個。首先，在斜坡上創建平坦的路面不可避免地涉及到創建比原始斜坡陡峭的路堤。這可能還涉及創建一個比原始坡度更陡峭和更弱的填充堤（圖 2）。第二，

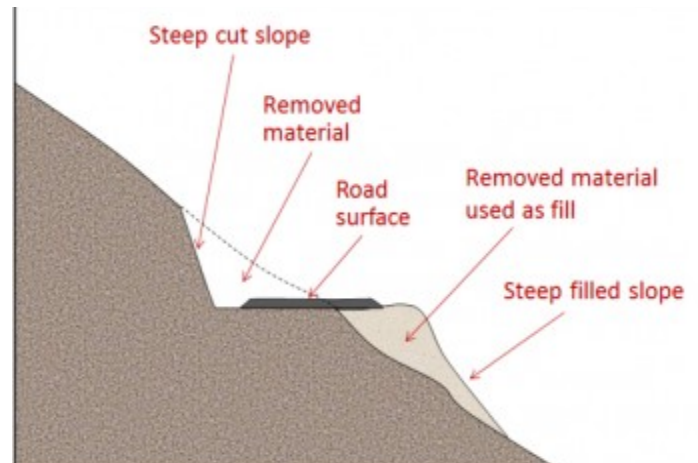


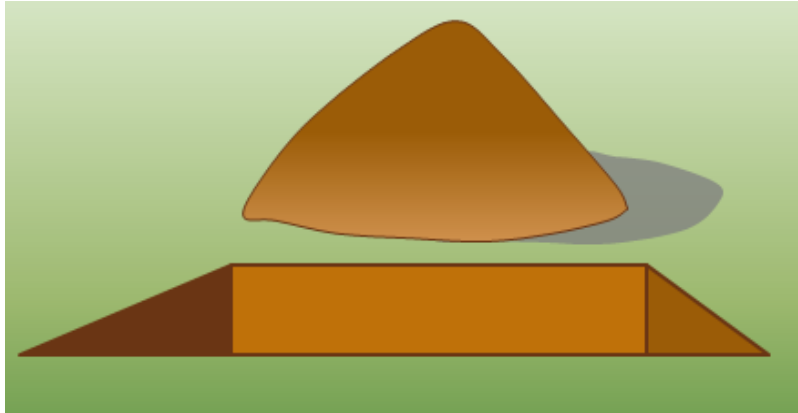
圖 2.通過切成陡坡並使用切出的材料作為填充物建造的道路的示例。[SE]

除了水問題之外，在基岩斜坡上修築道路和其他基礎設施的工程師還必須敏銳地意識到地質，尤其是與層理，壓裂或頁岩有關的岩石中的任何弱點或不連續性。如有可能，應避免在 **Porteau Cove**（圖 1）這樣的情況-通過在其他地方建造建築物-而不是嘗試用錨桿將邊坡縫在一起。

人們普遍認為，在陡坡頂部建造建築物可能會導致坡度不穩定。這可能是正確的，但不是因為建築物的重量。正如您將通過完成以下練習所看到的那樣，典型的房屋通常不比從建造該房屋的地面孔中去除的填充物重。建築物周圍的坡度不穩定的一個更可能的原因是它和周圍環境的變化對排水的影響。



## 房屋重了多少，並可能導致邊坡破壞？



通常認為，在斜坡的頂部建造

房屋（或其他建築物）會給斜坡增加很多額外的重量，這可能會導致斜坡破壞。但是房子到底有多重？典型的  $150 \text{ m}^2$ （約  $1600 \text{ ft}^2$ ）帶有地下室和混凝土基礎的木結構房屋重約  $145 \text{ t}$ （公噸）。但是大多數房屋都建在被挖到地下的地基上。這涉及到挖一個洞並帶走一些物料，因此我們需要減去挖掘物料的重量。假設我們的  $150$  平方米房屋需要開挖  $15 \text{ m} \times 11 \text{ m} \times 1 \text{ m}$  的深度，即  $165 \text{ m}^3$  的“污垢”，通常密度約為  $1.6 \text{ t} / \text{m}^3$ 。

計算去除的土壤的重量，並將其與房屋及其基礎的重量進行比較。

如果您認為建造更大的建築物會增加更多的重量，請考慮更大的建築物需要更大更深的挖掘，並且在許多情況下，挖掘將進入堅固的岩石，這比表面材料要重得多。

您不妨考慮一下建築物如何改變斜坡上的排水系統。有很多方法。水可以通過屋頂收集，進入下水道，並形成直接流到斜坡上或流入斜坡的集中流。同樣，附近道路的排水，草坪灌溉，漏水池和化糞池系統都可以改變斜坡上的地表水和地下水流。

## 監視大量水土流失



圖 3.運動監測設備的一部分，位於不列顛哥倫比亞省 Revelstoke 附近的 Checkerboard 滑軌上。電纜的下端連接到一塊不穩定的岩石上。該模塊的任何增量運動都將移動電纜，這將在此設備上檢測到。[SE]

在某些地區，有必要建立預警系統，以使我們知道已知滑道區域的狀況是否已發生變化，或者說諸如泥石流之類的快速故障實際上是否正在下坡。

Revelstoke Reservoir 上方的 Downie Slide 使用各種設備進行 24/7 全天候監控，例如測斜儀（坡度變化檢測器），鑽孔運動傳感器和 GPS 測量儀器。圖 3 中顯示了一個簡單的機械設備，用於監視附近的 Checkerboard 滑梯（也位於 Revelstoke 水庫上方）。這兩個都是非常緩慢移動的岩石滑梯，但是能夠檢測其滑坡速率的變化非常重要。運動，因為在這兩個位置上，快速失效都會導致大塊岩石掉入水庫，並在雷夫爾斯托克大壩上方送出一堵水牆，

公噸。雷尼爾（Rainier）是華盛頓州冰川覆蓋的火山，有可能在有或沒有火山噴發的情況下產生大量泥石流或泥石流（lahars）。塔科馬，普亞洛普和薩姆納地區的 100,000 多人受到了傷害，因為他們目前居住在過去的拉哈爾沉積物中（圖 4）。1998 年，在美國山附近建立了聲波監測器網絡。雷尼爾 監測器被嵌入預期拉哈路徑附近的地面。它們旨在向緊急情況官員發出警告，當檢測到喇嘛聲時，該地區的居民將有 40 分鐘至 3 個小時的時間到達安全地帶。



圖 4。來自塔科馬的華盛頓雷尼爾

## 減輕大量水土流失的影響

在無法預測，預防或延遲水土流失大量廢物的危險的情況下，可以採取一些有效措施來最大程度地減少相關的風險。例如，不列顛哥倫比亞省和艾伯塔省西部的許多高速公路都有雪崩避難所，如圖 5 所示。在世界的某些地區，已經建立了類似的特徵以保護基礎設施免受其他類型的大規模水土流失。



圖 5. Coquihalla 公路上的雪崩防護棚。雪崩的預期路徑是上方陡峭的未處理坡度。[SE]

在卑詩省的許多地方，泥石流是不可避免的，不可預防的和不可預測的，但是沿著馬蹄灣和斯闊米甚河之間的海天公路，無處不在。過去，結果屢屢是致命的和昂貴的。在該地區開發一條新路線將非常昂貴，因此省級當局已採取措施保護公路和鐵路上的居民和交通。如圖 6 所示，已經在幾個流域建造了泥石流防禦結構。一種策略是讓泥石沿著一條光滑的通道迅速流到海洋。另一個方法是將碎屑收集在已建好的水池中，使多餘的水繼續流過，但會捕獲碎屑。





圖 6.緩解海天公路上泥石流的兩種策略。左：艾伯塔省克里克（Alberta Creek）上的混凝土襯砌通道使殘骸迅速流向海洋。右：查爾斯河上的泥石流集水盆地。2010 年，泥石流將盆地填滿，達到了白色虛線水平。[SE]

### 減輕滑坡—如何減少滑坡的影響

滑坡災害的脆弱性是位置，人類活動類型，用途和滑坡事件發生頻率的函數。可以通過完全避免滑坡危險區域或通過限制，禁止或對危險區域活動施加條件來減少滑坡對人和建築物的影響。地方政府可以通過土地使用政策和法規來減少滑坡的影響。個人可以通過了解站點的過去危險歷史記錄以及向地方政府的計劃和工程部門進行查詢來減少遭受危險的可能性。他們還可以獲得工程地質學家，岩土工程師或土木工程師的專業服務，他們可以適當地評估已建或未建場地的潛在危害。

可以通過避免在陡峭的斜坡和現有的滑坡上進行建造或通過穩定斜坡來減少滑坡帶來的危害。當通過（1）用不透水膜覆蓋斜坡，（2）引導地表水遠離斜坡，（3）將地下水排出斜坡來防止地下水在斜坡體中上升時，穩定性會提高。）減少地面灌溉。當將保持結構和/或土壤/岩石護堤的重量放置在滑坡的腳趾處或當從斜坡的頂部移除物體時，斜坡穩定性也會提高。

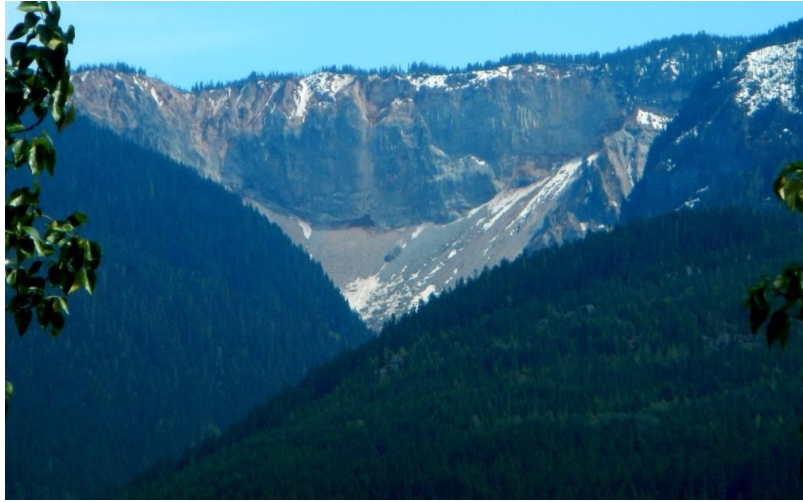


圖 7.屏障位於卑詩省惠斯勒以南，是 1855 年發生巨大岩石雪崩的地點，從此處可見的懸崖延伸到山谷下方 4 公里，並橫跨海天公路和 Cheakamus 河。[SE]

最後，在我們無法採取任何措施來延遲，預測，遏製或減輕邊坡破壞的情況下，我們只需要保持距離即可。在卑詩省惠斯勒以南 25 公里處的加里波第遺址有一個著名的例子。在 1980 年代初期，加里波第村的人口大約為 100，正在建造一些新房屋，併計劃建造更多房屋。

在 1980 年致命的火山爆發後的幾個月中，卑詩省交通部在華盛頓州的聖海倫斯進行了一項地質研究，該研究表明，被稱為壁壘的陡峭懸崖（圖 7）在 1855 年坍塌，導致了大的岩石雪崩，並且很可能再次坍塌。出乎意料的是，加里波第村處於極端危險之中。在隨後的法院案件中，裁定加里波第遺址不是人們居住的安全場所。那些已經在那裡有家的人得到了補償，其他人被命令離開。

## 小結：大量水土流失

### 概要

在本節中，我們能夠大範圍地了解隱含侵蝕的含義。我們了解了以下內容：

1. 水土流失的定義
2. 各種類型的水土流失
3. 大眾水土流失背後的力量
4. 人類正在做些什麼來加劇大規模水土流失的發生

## 合成

在開頭部分，我們看到了一段意大利大地流及其造成的破壞的視頻。您能想像像這樣從山坡上駛向主要城市嗎？



圖 1. Caraballeda 風扇上的泥石流損壞。主通道（在左側）開闢了一條新路線，該路線將其引導至右邊的房屋。這些火山沉積物厚達 6 米（20 英尺），總計約 180 萬立方米的巨石和其他材料。

那這個呢？





圖 2.波多黎各龐塞的巴里奧提貝斯市的 Mameyes 泥石流災害是由 1985 年熱帶風暴伊莎貝爾造成的大雨造成的。泥石流摧毀了 100 多個房屋，並造成了 300 人的生命。

回到開頭的圖片-您是否注意到圖片中的樹木有些奇怪？它們的底部肯定是奇怪的形狀。他們的行李箱是彎曲的。這些樹木是大量水土流失（特別是蠕變）的結果。蠕變是最慢的大規模水土流失形式，但請想像一下，如果在那裡有房子，那將會發生什麼！

再次，我們看到了我們在地質方面正在處理的強大力量。通過了解各種類型的大規模水土流失是如何發生的，地質學家不僅可以節省金錢，還可以挽救生命。

## 基本要求（分配標準）：

1. 打開“Google 地球”。
2. 在位置搜索框中輸入“懷俄明州地震湖”。
3. Google Earth 會將您帶到該位置。您只需要縮小一點即可。在西南方向發生了一場大規模的水土流失事件，將一條河築壩並形成了湖泊。如果您向南移動並使用右上角的工具來迴旋轉，則實際上可以看到該事件帶來的衝擊。做筆記並對該區域和事件進行屏幕截圖。



4. 現在，在搜索框中輸入“ Lake San Cristobal，CO”。同樣，您將需要暫時縮小。向東北看，您會注意到事件的來源。做筆記並對該區域和事件進行屏幕截圖。
5. 比較和對比這兩個事件，確保您確定每個位置的群眾水土流失類型。窺探一下周圍的區域，以了解每個區域的位置。
6. 將您的圖片插入文檔。
7. 保存之前，請確保您的名字在文檔中。