



行政院農業委員會水土保持局
Soil and Water Conservation Bureau, COA

地滑：水文地質_和排水修復方法_{指南}

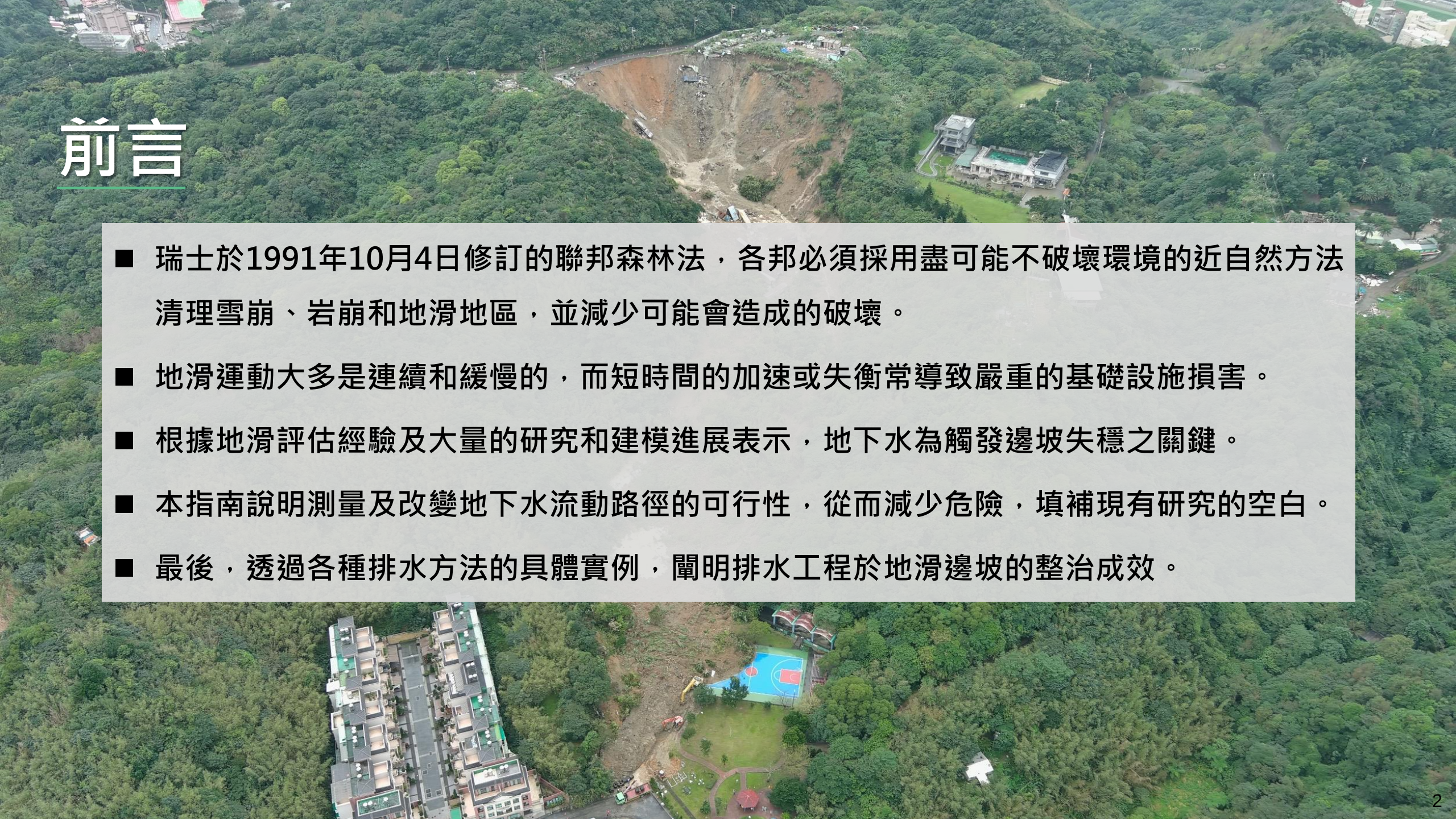
報告者：技研小組 莊承穎

111年10月18日

大綱

- 地滑水文地質
- 水文地質參數與儀器
- 水文地質特性：從概念模型到數值模擬
- 水文地質學與地滑運動之間關係概述
- 透過閉水排水治理地滑
- 整治計畫的規劃
- 案例分享



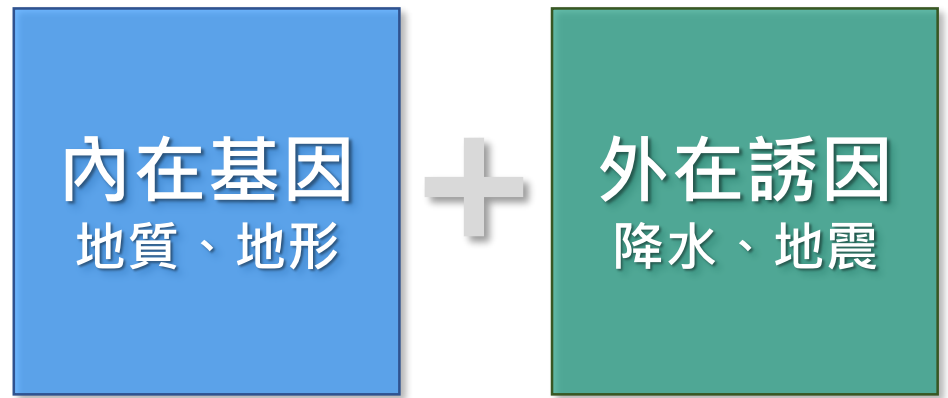


前言

- 瑞士於1991年10月4日修訂的聯邦森林法，各邦必須採用盡可能不破壞環境的近自然方法清理雪崩、岩崩和地滑地區，並減少可能會造成的破壞。
- 地滑運動大多是連續和緩慢的，而短時間的加速或失衡常導致嚴重的基礎設施損害。
- 根據地滑評估經驗及大量的研究和建模進展表示，地下水為觸發邊坡失穩之關鍵。
- 本指南說明測量及改變地下水流動路徑的可行性，從而減少危險，填補現有研究的空白。
- 最後，透過各種排水方法的具體實例，闡明排水工程於地滑邊坡的整治成效。

前言

■ 地滑的觸發因素取決於幾個因素：



■ 地滑及崩塌的整治過程中，若能影響地下水或地面水的流動情形，將有機會降低災害發生機率 (Bonnard, 2006b, Parriaux, 2009)。

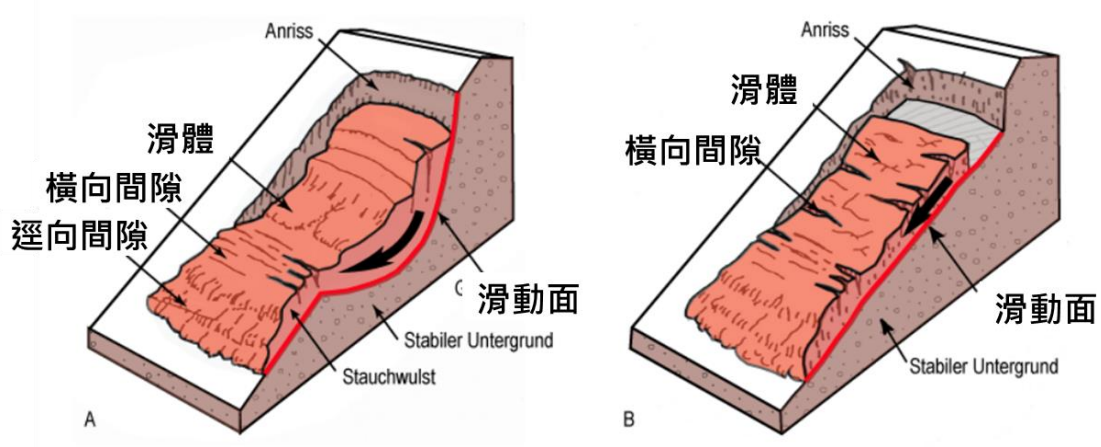


圖1、地滑示意圖 (A) 圓弧形滑動 (B) 平面型滑動。

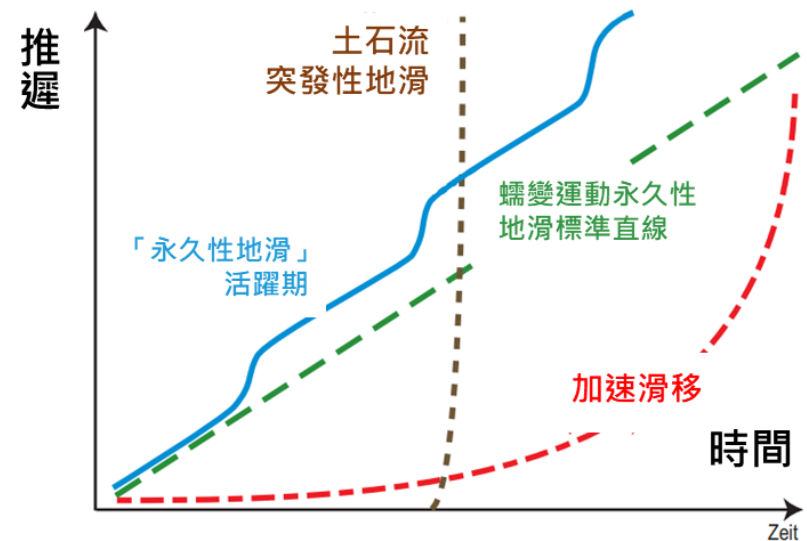


圖2、不同地滑類型的運動時間過程 (PLANAT, 2009)。

地滑水文地質-地下水分層

- 地下水依岩層間的透水性而分層。
- 侷限含水層與非侷限含水層的水文特性不同，需分開討論。
- 邊坡中的地下水流動常與水文地質學常處理的沖積含水層的地下水流動進行比較，以顯示出不穩定邊坡的特殊性。

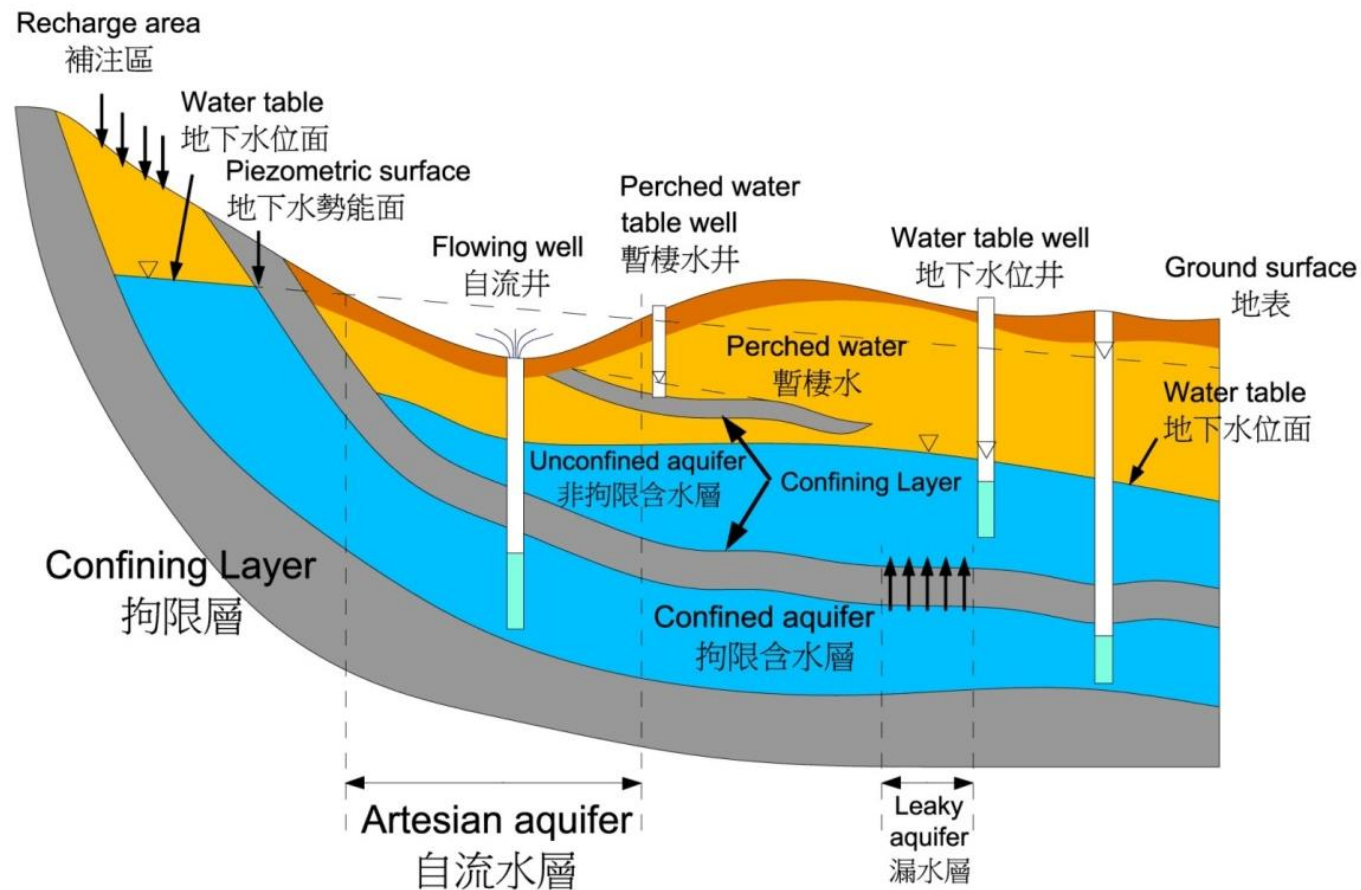


圖3、地下水名詞說明 (水規所)。

地滑水文地質

■ 不穩定邊坡的特殊性：

- 1. 高水力梯度
- 2. 地質條件複雜
- 3. 滲透率異質性高
- 4. 滲透率隨地滑運動而變動(圖4)
- 5. 地下優勢流的產生
- 6. 不飽和帶的影響
- 7. 劇烈的水文運動反應

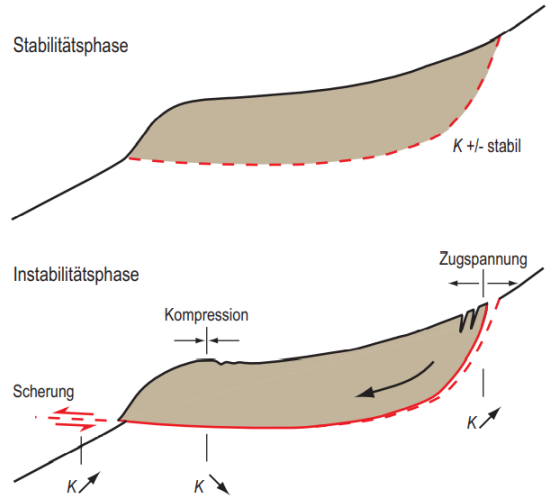


圖4、滑體內滲透率隨運動的變化。

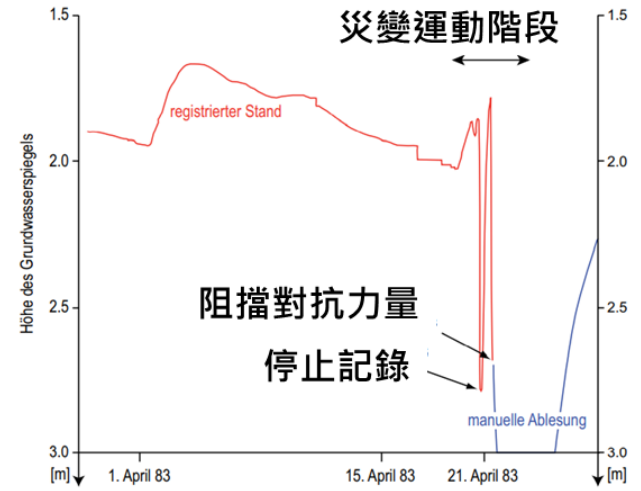


圖5、地滑滲透率突增的實例。

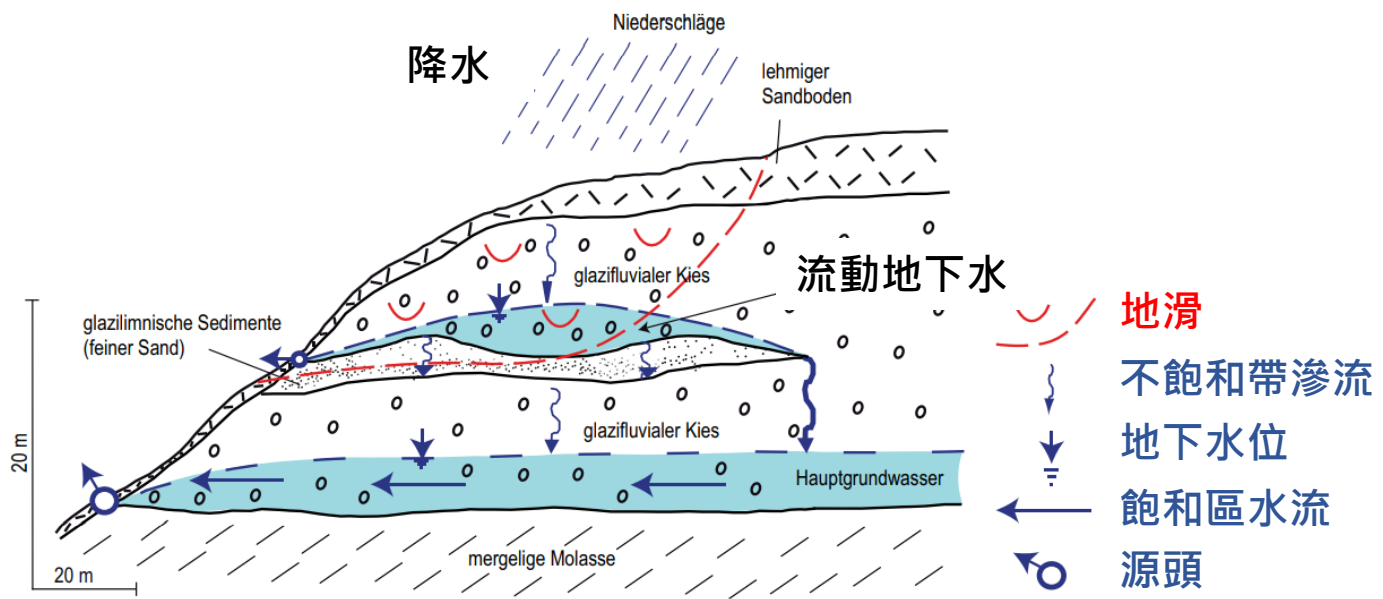


圖6、邊坡存在流動地下水及對地下逕流的影響。

水文地質參數與儀器

- 本章討論了水文地質系統三個要素的測量概念 (圖7)：



- 並提出應採取的預防措施和可能限制這些方法的應用。

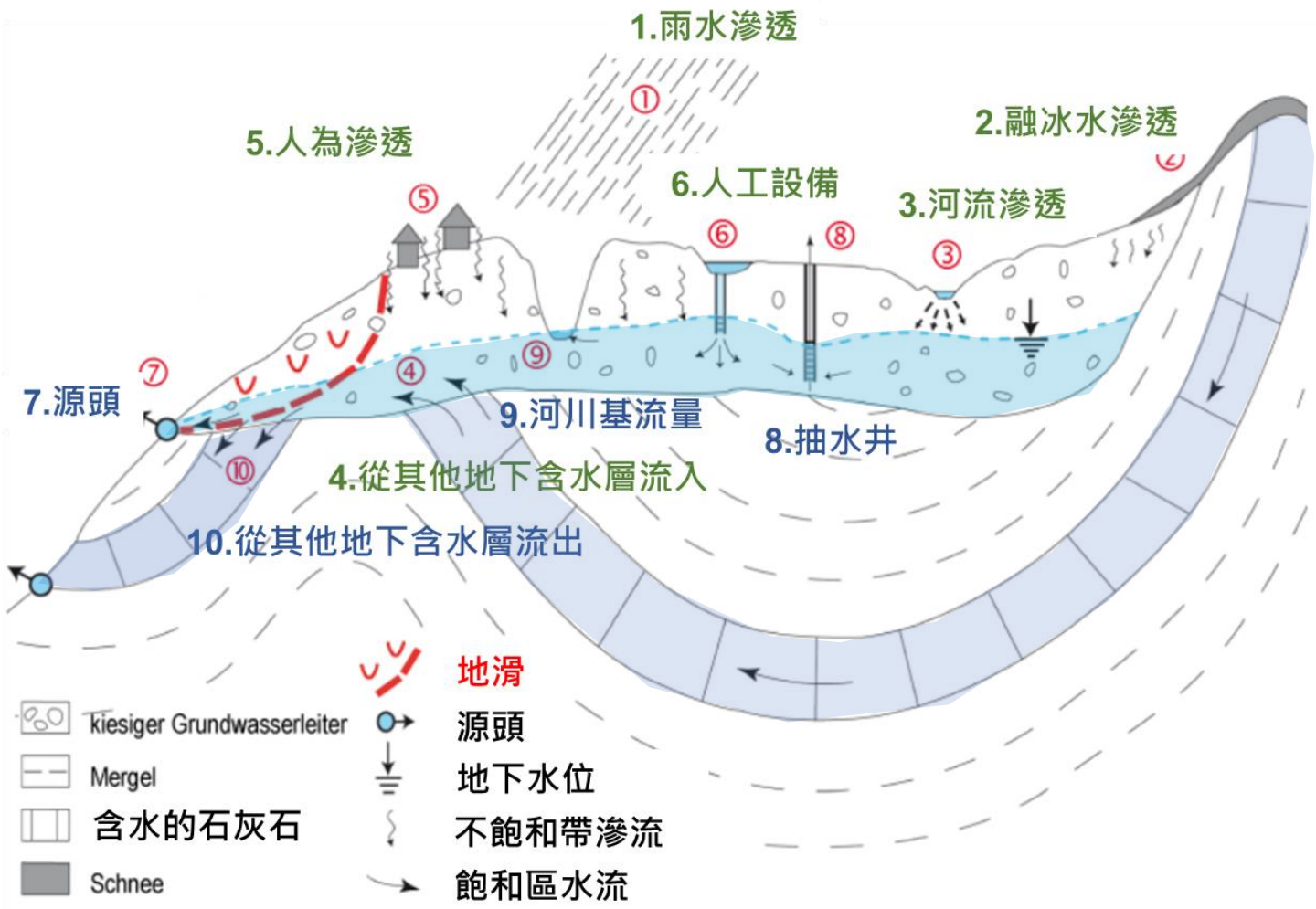


圖7、斜坡含水層的流入和流出。



水文地質參數與儀器 流入

■ 由於水文地質系統反應迅速，雨量計是較好的選擇 (瑞士需考慮融雪，雨量計無法量測)。

1. 水平衡公式
2. 現地滲透試驗
3. 地電阻測量
4. 測滲計 (融雪時優)
5. 水文觀測站

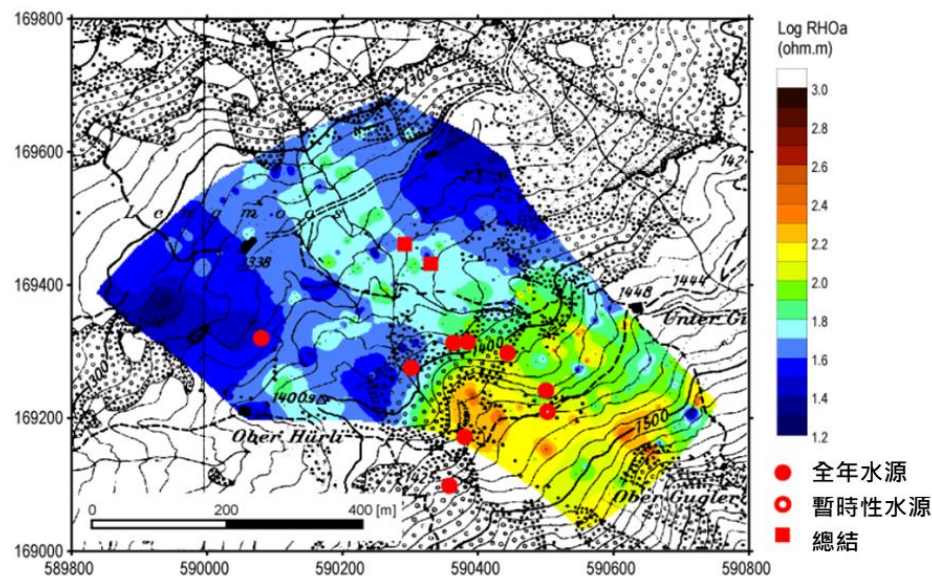


圖8、Hohberg地滑頂部的放射性地電測量製成之電阻圖 (RHOa)。

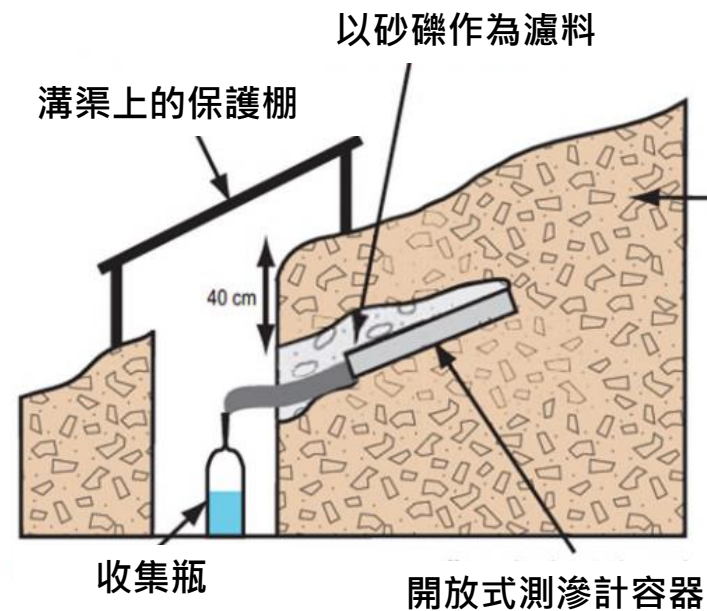


圖9、適合邊坡的測滲計。

水文地質參數與儀器

地下水流量

- 地下水流量的監測分為：
 - 間接量測(水頭)
 - 直接量測(示蹤劑)
- 水頭測量會模糊振幅和速度的真實變化，建議在同一個孔內安裝幾個小直徑的觀察管，而不是僅安裝一個壓力計 (圖10)。

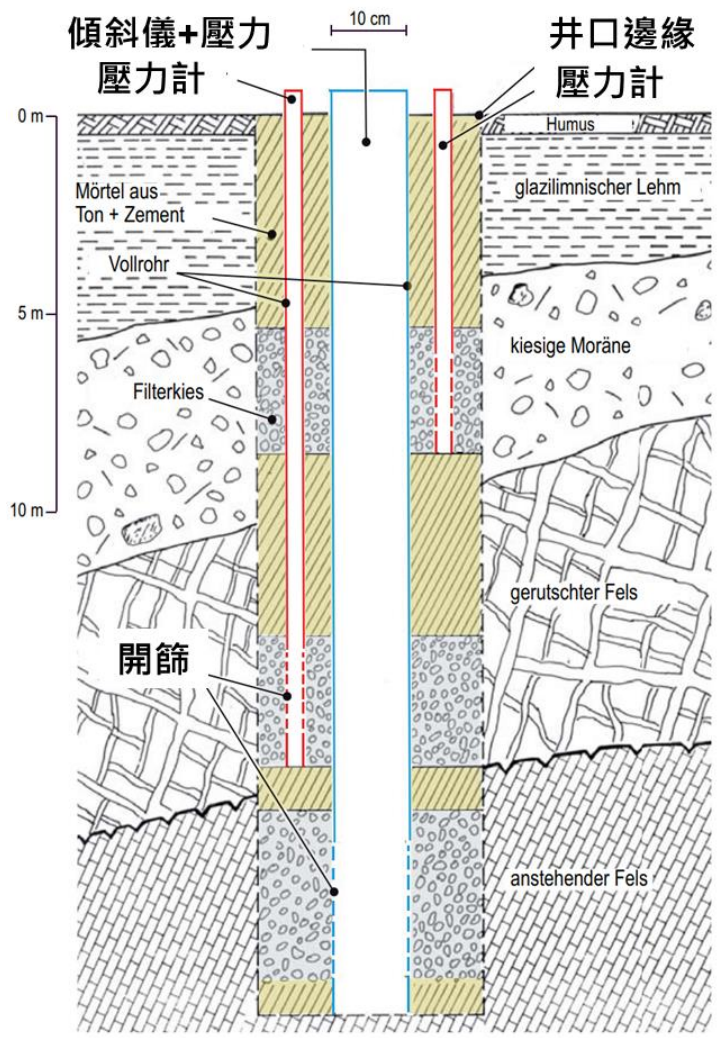


圖10、多含水層之建井剖面。

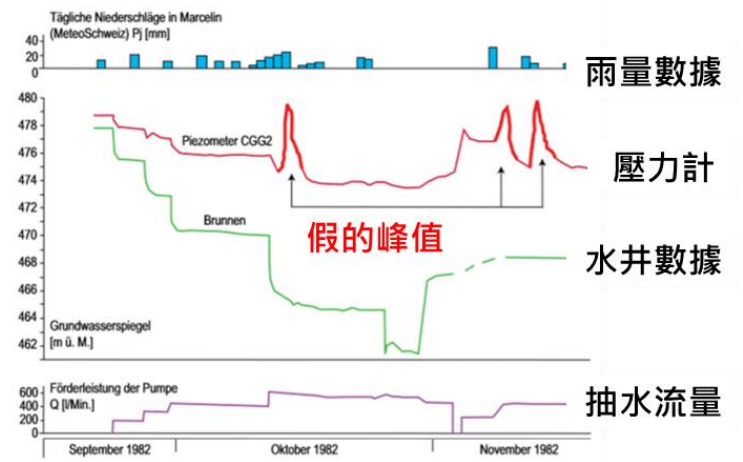


圖11、井體密封不良而產生的虛假數據。

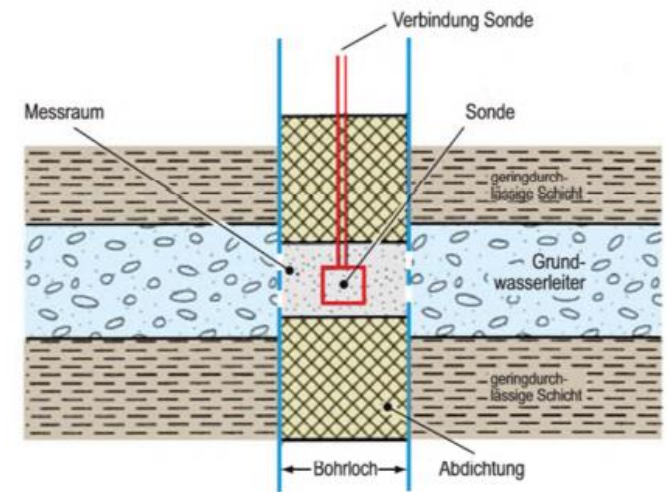


圖12、壓力探頭在鑽孔中的位置。

水文地質參數與儀器 流出

- 泉水湧出量的測量及水樣的採集，於地滑邊坡上非常不容易。
- 人們利用排水網路或開放式溝渠收集這些泉水，並加以分析其物理及化學特徵。
- 水的化學特徵包含了自然的示蹤劑，從而提供相關資訊，區分不同年代的地下水。

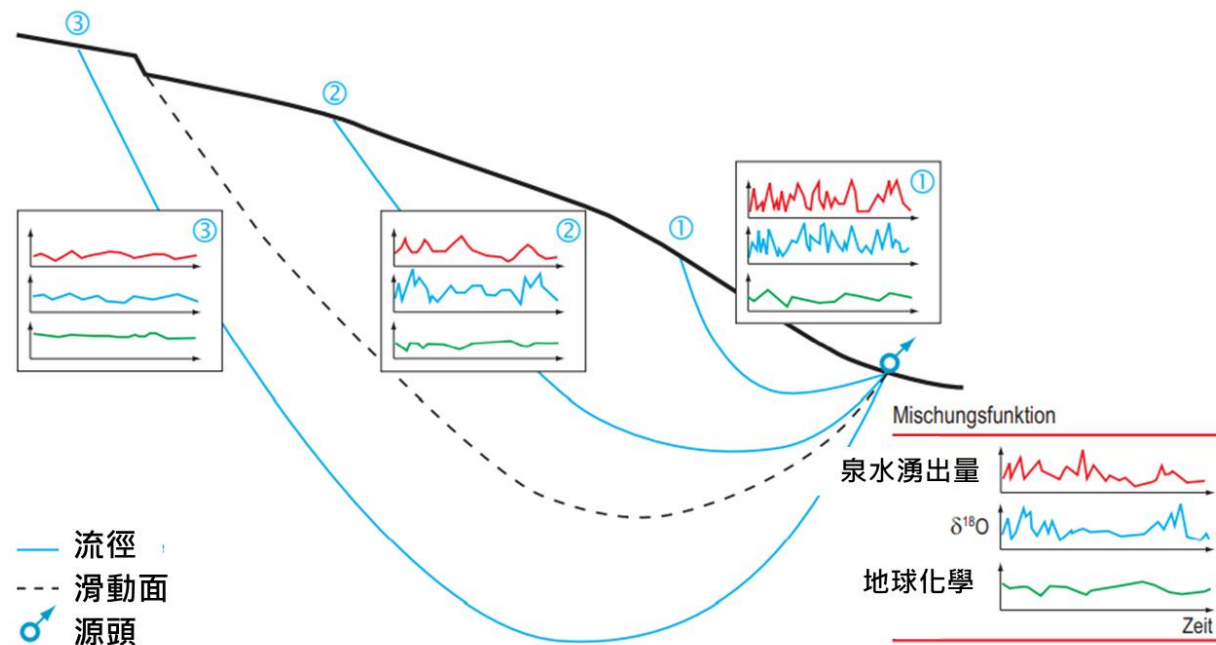


圖13、地滑趾部出現的泉水是由不同流量的地下水流供給之示意圖。

水文地質特性：從概念模型到數值模擬

- 地滑的原理可透過水文地質建模或結合地質力學模型驗證。
- 這些模型可用於規劃邊坡穩定措施並試驗其有效性，及定義臨界水位推測降雨可能引致的影響。
- 近年來，水文地質模型已成為管理緊急災害事件和執行預防措施的決策參考。

創建**水文地質模型**需考慮：

1. 地質的岩性和幾何特徵。
2. 地質條件和現象對地下水流動條件的影響。
3. 水文地質條件 (入滲或排水等)。
4. 地下水位系統反應分析。

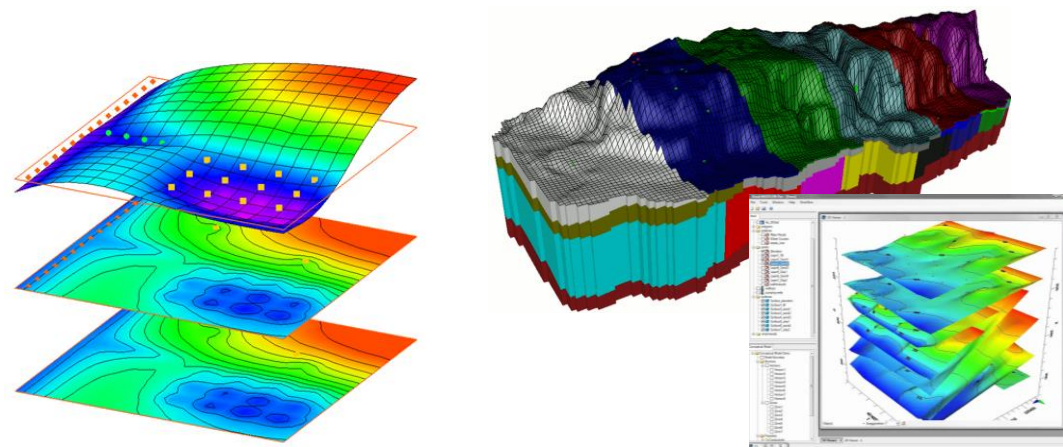


圖14、 GMS 10.3及MODFLOW地下水模擬軟體

水文地質學與地滑運動關係概述

快速反應

大多數相對較淺層的地滑，與降水有密切相關的位移。

複雜反應

降雨/位移關係不足以表現水對地滑的影響。

不受水文波動影響的行為

通常較深或規模大的地滑，在暴雨期間不會加速移動。

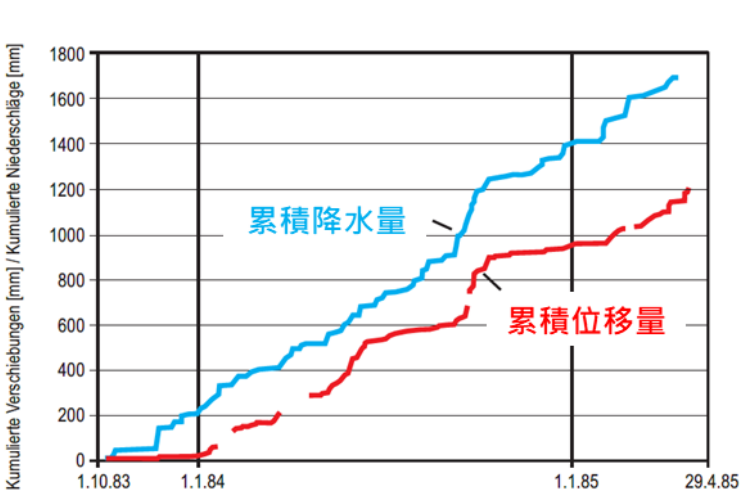


圖15、1983年10月至1985年4月間，維拉本尼地滑最活躍部位的地表運動與日降水量的連續性變化。

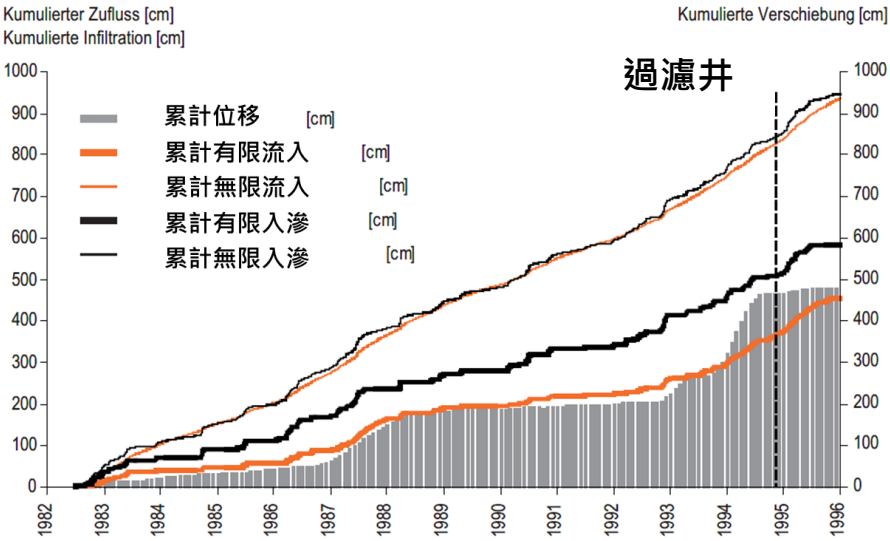


圖16、拉弗拉塞地滑水文地質與位移關係。

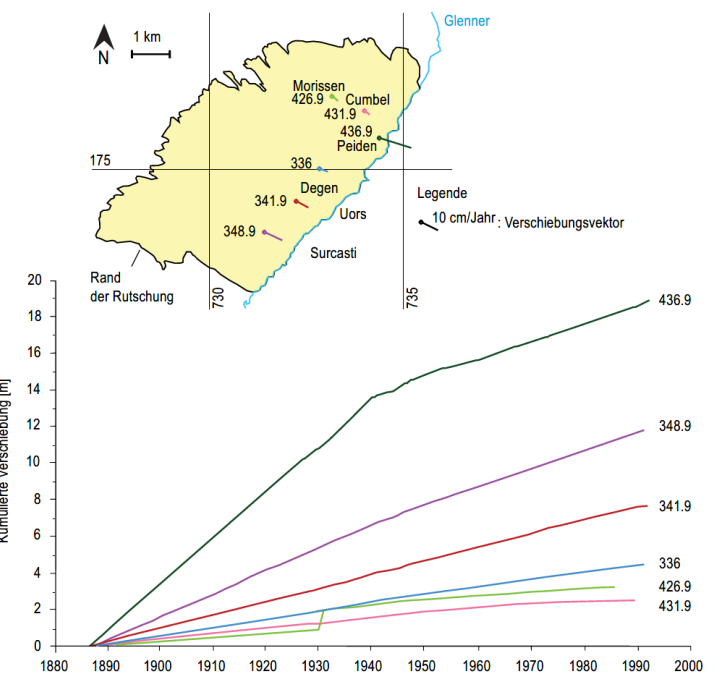


圖17、自1887年以來Lumnez大型地滑的地表運動測量。

透過閉水排水治理地滑

- 利用各種方法和技術影響邊坡水文和水文地質條件，以提高邊坡穩定性。
- 原則：透過減少入滲及利用排水，降低不穩定岩體或土體的地下水位。
- 根據作用的區域進行分類：地表 (收集地表水的明溝)、淺層 (排水溝)，和深層 (徑向排水隧道)。

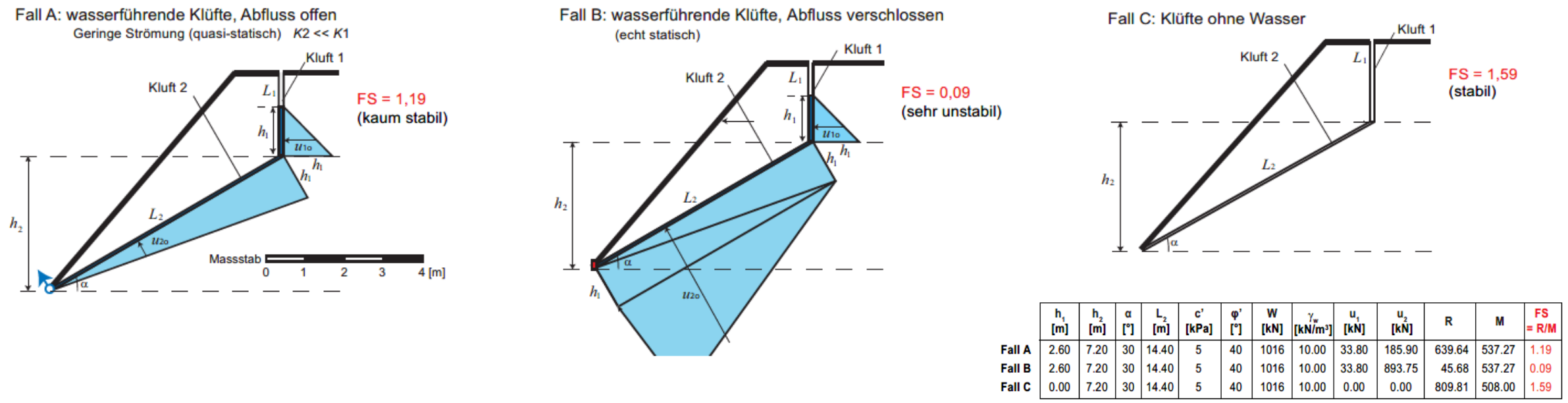
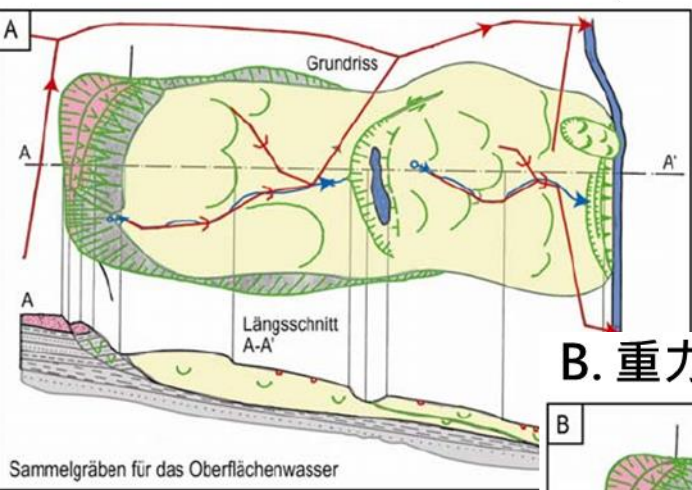


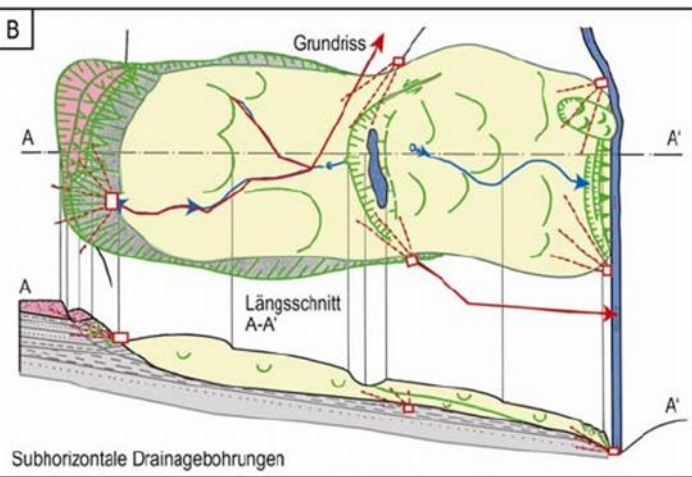
圖18、水位對岩石邊坡穩定性的影響 (A)含水裂縫, (B)有靜態水, (C)裂縫中無水。

透過閉水排水治理地滑

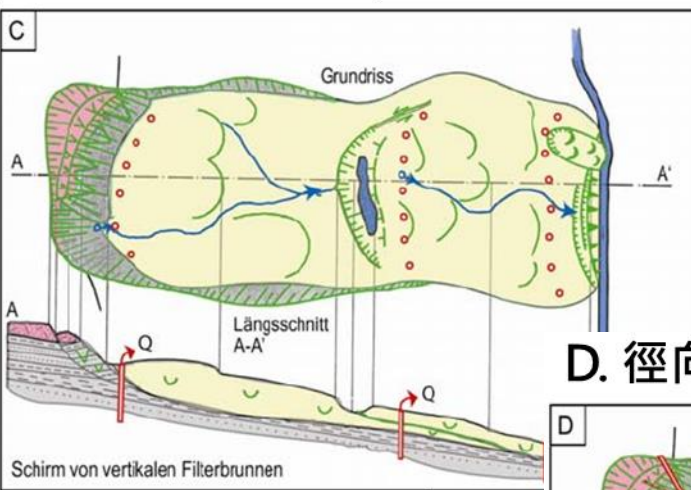
A. 地表水的開放式收集溝渠



B. 重力排水用的近水平排水孔



C. 垂直過濾井網



D. 徑向排水孔充填

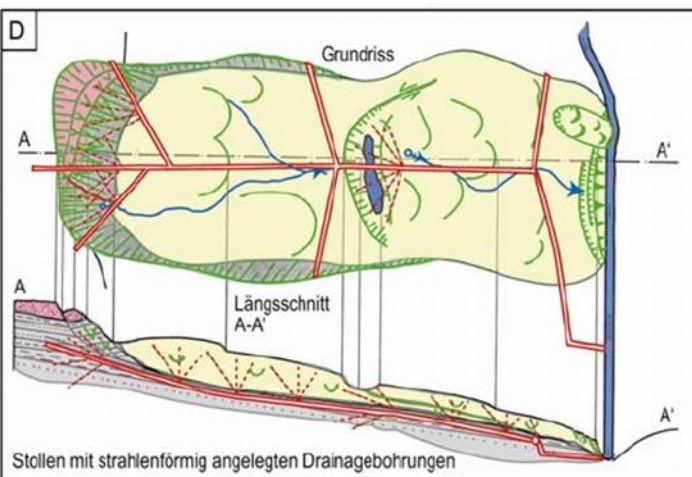


圖19、主要的水文地質修復方法的對比圖。

透過閉水排水治理地滑 地表水干擾及排水溝渠

■ 透過溪流底部密封或地下排水溝，將水移到地滑以外危險較小的地區。

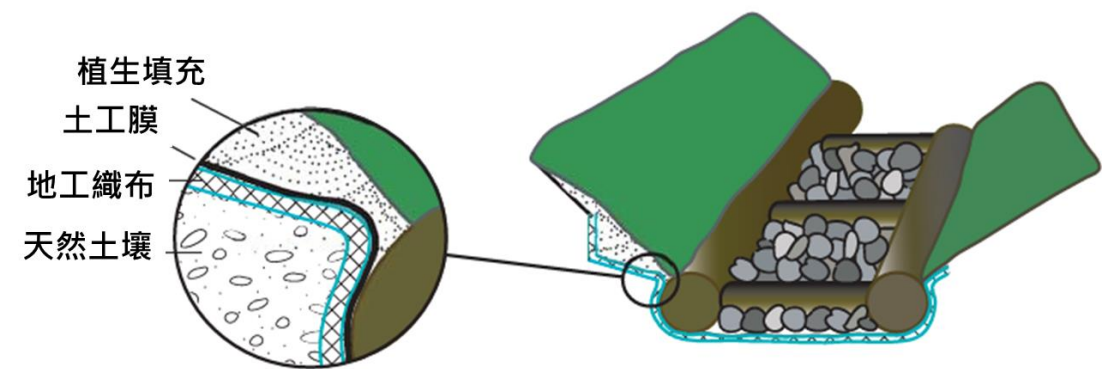


圖20、河床密封原理示意圖。

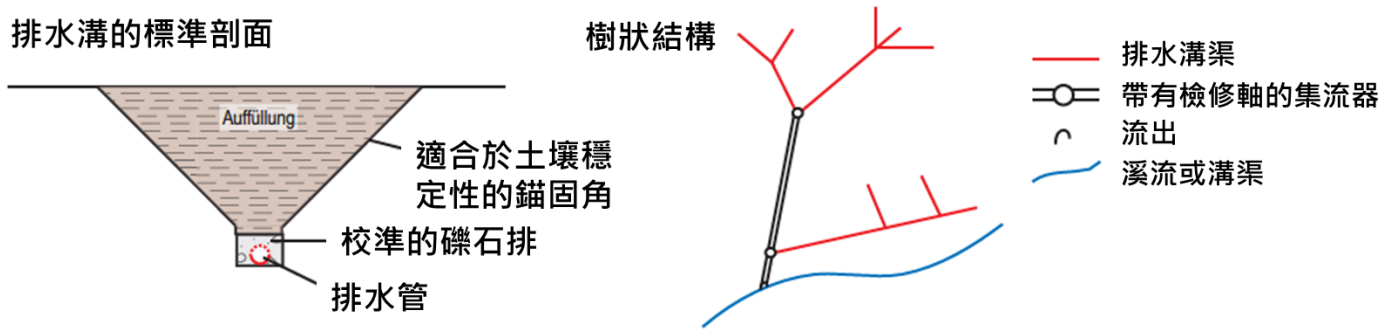


圖21、地下排水溝示意圖 (剖面圖、平面圖)。



石門水庫集水區之砂崙仔坡面整治工程(歷史影像平台)



透過閉水排水治理地滑

垂直過濾井網及徑向排水孔充填

- 垂直過濾井 (井點法) 排水透過抽取各種含水層的地下水，顯著降低邊坡中的孔隙水壓力。
- 排水隧道是一種高效的排水方法，但會對地層造成不可逆轉的破壞，還會造成地表沉陷。

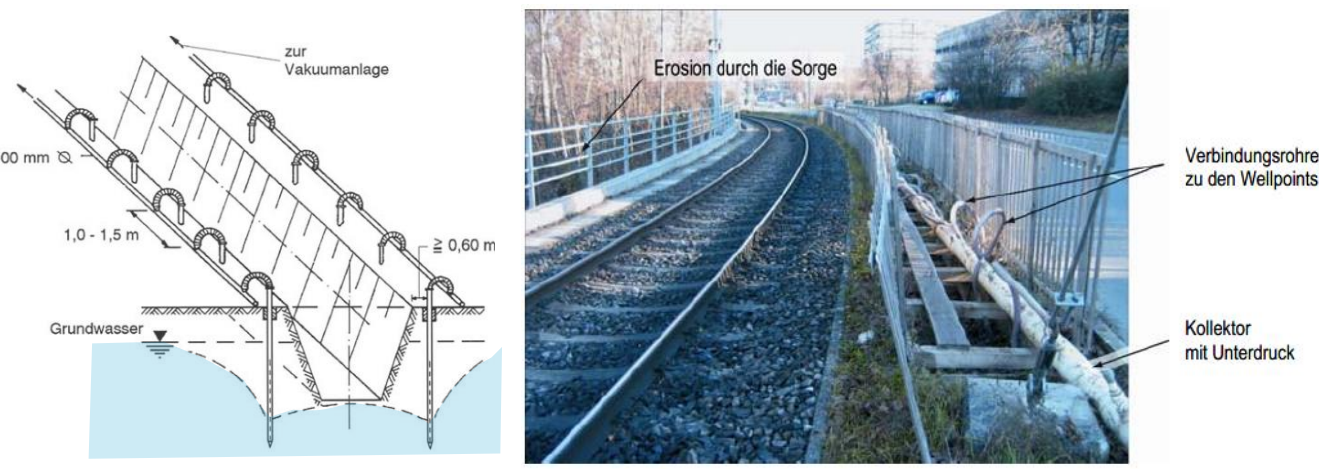


圖22、使用井點系統的案例。

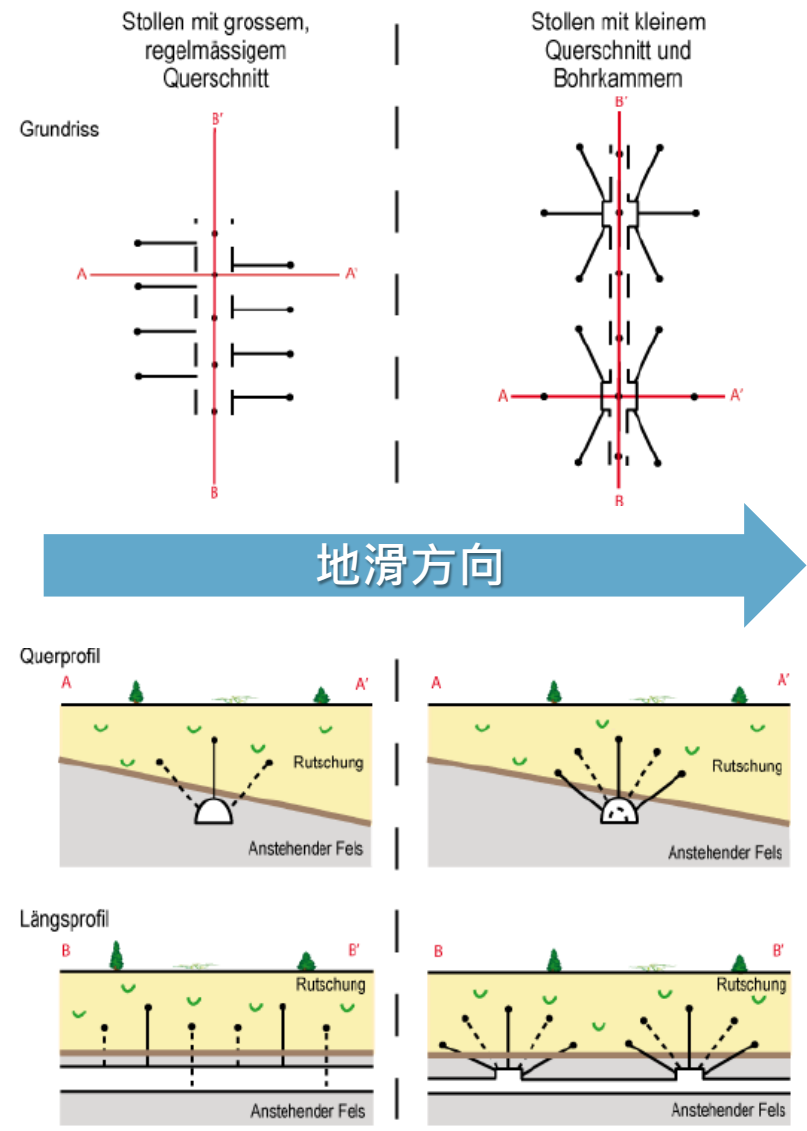


圖23、排水隧道兩種類型：大斷面和帶鑽孔室的小斷面隧道。

透過閉水排水治理地滑

森林對地滑的影響

- 森林對地滑的影響主要是由於蒸散作用降低土壤水分、根系的加固作用和葉面攔截防止土壤侵蝕。
- 瑞士森林年平均蒸發量約為600 mm/yr，隨樹種和海拔的不同而變化 (圖24、圖25)。

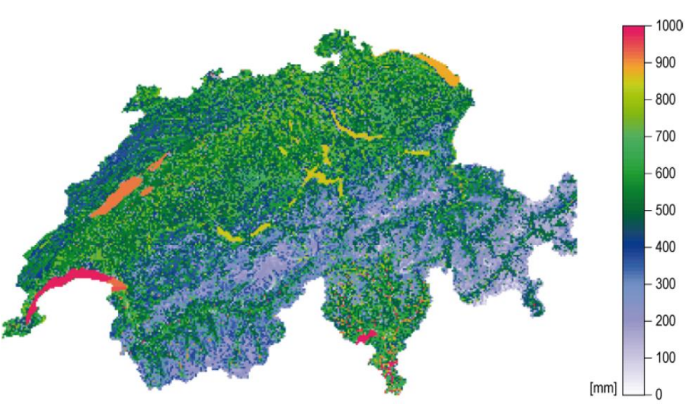


圖24、瑞士1973-1992年平均年蒸發量模型。

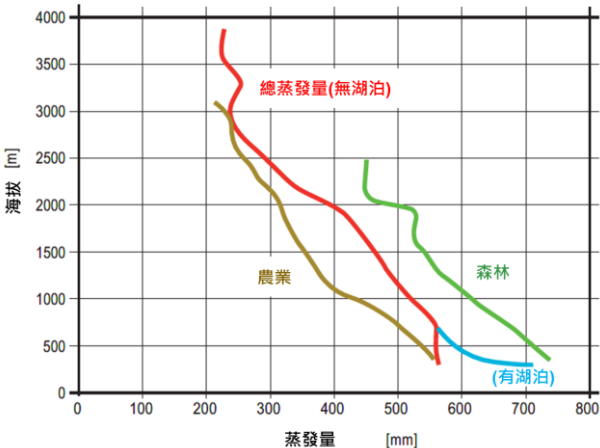


圖25、瑞士平均蒸發高度分佈圖。

森林的潛在貢獻	自然災害/最低限度的要求	自然災害/理想的要求
來源地：		
大小 適用於淺層地滑（地滑深度可達 2 m）及表面侵蝕	結構水平 - 最大間隙尺寸 6 Are，保證修復面積最大 12 Are。 結構水平 - 持續覆蓋程度≥40% - 根據位置類型滿足的最低要求 混合 - 對於不同地質類型的轉換，應該針對濕潤/多濕潤類型的樹種組合。	結構水平 - 最大間隙尺寸 4 Are，保證修復面積最大 8 Are。 結構水平 - 持續覆蓋程度≥60% - 根據位置類型滿足的理想要求 混合 - 對於不同地質類型的轉換，應該針對濕潤/多濕潤類型的樹種組合。 穩定支撐 - 沒有重樹及瀕危樹木：
滲水區：		
中 對於中、深地滑（地滑水平面小於 2 m），地滑水平面區域的水平平衡是否會受到影響	結構水平 - 持續覆蓋程度≥30% - 根據位置類型滿足的最低要求	結構水平 - 持續覆蓋程度≥50% - 根據位置類型滿足的理想要求
低 對於中、深地滑（地滑水平面小於 2 m），地滑水平面區域的水平平衡是否只會受到輕微影響	修復 保證可持續的修復	修復 - 保證可持續的修復 - 根據位置類型滿足的理想要求
補充和解釋：見 Frehner 等人 2005。		

表1、根據《保護森林的永續和績效控制- NaiS》，森林對自然災害的需求概況



整治計畫的規劃

整治計畫規劃

1. 穩定性及潛在危害評估
2. 統籌計畫執行經費
3. 預期效果和維護規劃

過程的 評估與分析

1. 分析滑動體變異過程
2. 評估受影響範圍
3. 評估危害程度

風險分析 和保護目標

1. 前期風險評估
2. 保全住戶對話
3. 規劃空間保護措施

邊坡滑動變異 和比較測試

1. 邊坡變數研究
2. 比較不同工程方法
3. 權衡成本效益

完整並公開招標 整治計畫

1. 明確公開招標計畫
2. 記錄成本超支責任權屬
3. 建立維護計畫

工程施工

1. 造冊水源清單
2. 建築物損害風險目錄
3. 資料保存並定期更新

有效控制、 維護及監測

1. 具有效益的定期監測
2. 維護觀測網路
3. 地滑情形評估報告

竣工規劃

1. 公共利益基礎設施
2. 主管機關應變措施
3. 成本效益比計畫

整治計畫的規劃

工程效益及施工補強措施

- 在特定情況下，技術性措施可能與對象的**價值不成比例**。與其不惜一切代價保護保全住戶，不如將其移除或推遲。
- 滑動體可能會分為多個區塊滑動，造成整治工程進行的排水因地滑而損壞，需視需要進行第二階段的施工及整治 (圖26)。

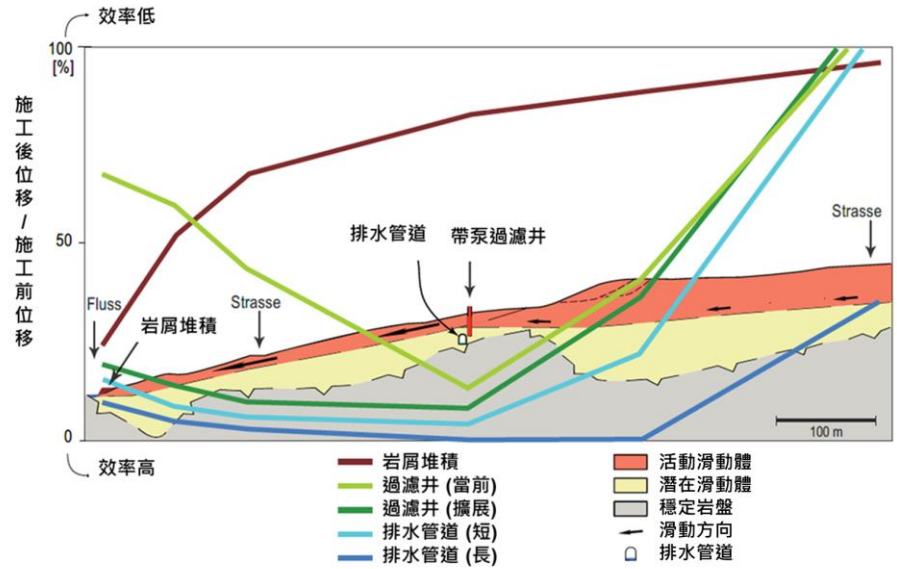


圖26、La Frasse 地滑：地滑下部地質剖面及幾種措施效果對比。

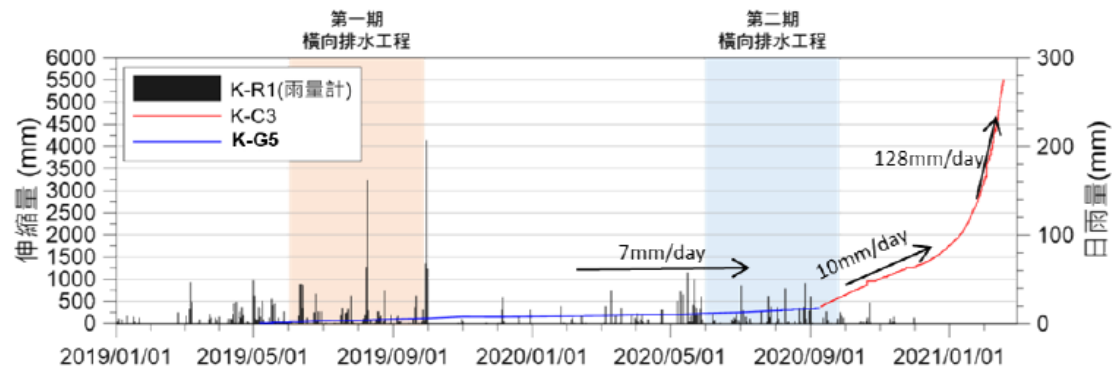


圖27、光華地區前期治理及邊坡活動性監測結果

透過排放地表水和地下水進行局部穩定化的例子

Les Peillettes地滑

- 雖此區域於1977 年即建立了地表水排水網，但其滑動邊坡仍不穩定，使得該處於1995年一場雪融，造成了嚴重的土石流，襲擊北方的格羅訥村莊。
- 相關單位於1994至2002間持續新增地表水排水工程，以穩定邊坡。



圖28、Les Peillettes地滑位置圖

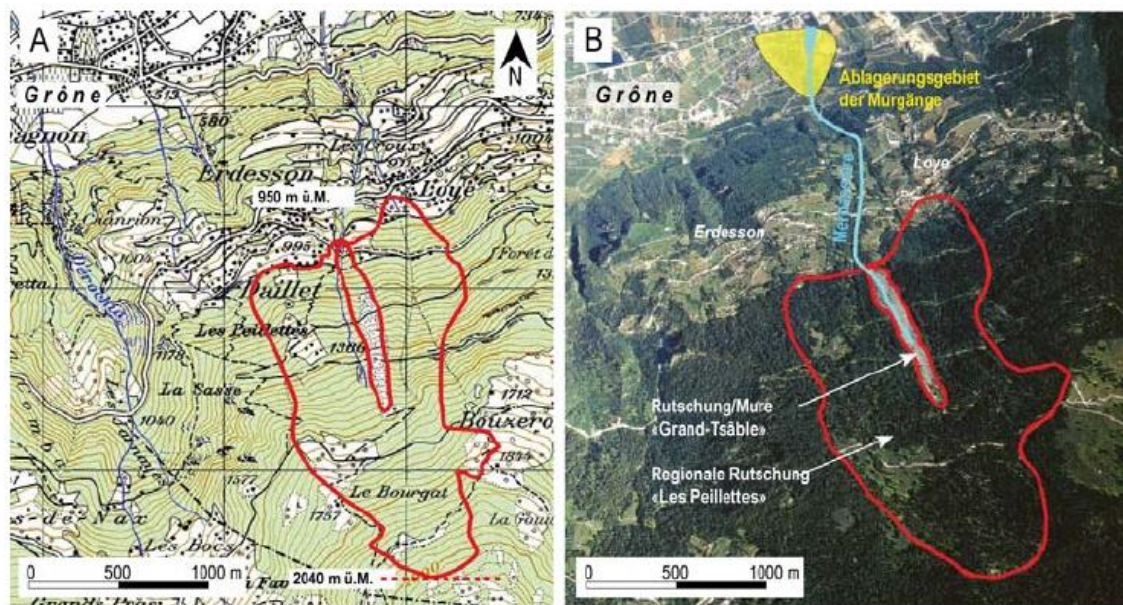


圖29、Les Peillettes地滑及土石流流向谷底的俯瞰圖

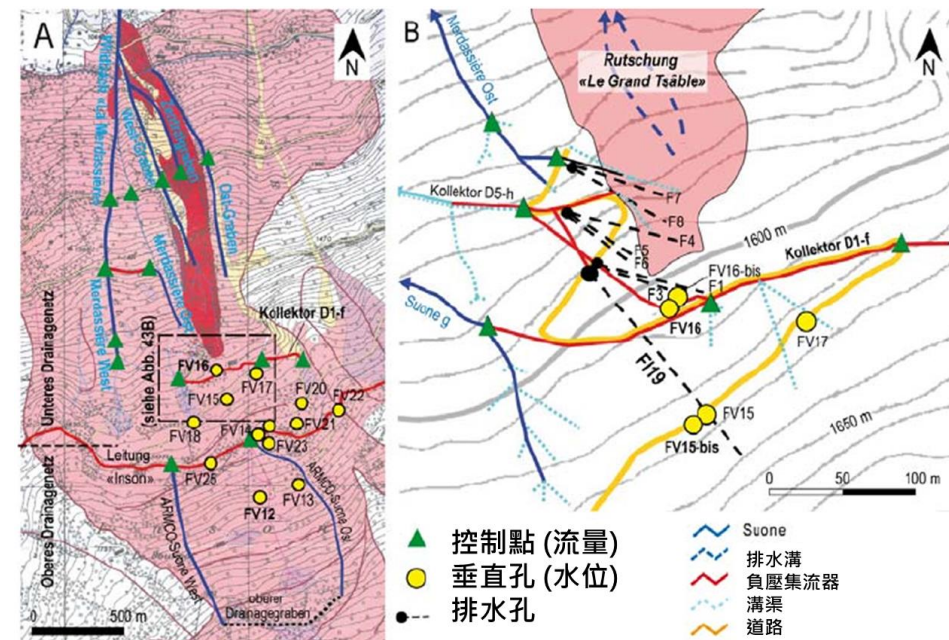


圖30、Les Peillettes地滑兩種地表水排水管網圖

透過排放地表水和地下水進行局部穩定化的例子

Les Peillettes地滑

- 自2001年新建排水工程陸續完工，2002年完工FI19排水井後，已將含水層的水位降低8 m (圖32)。
- 透過對地表水和地下水的掌握，有效的抑制地下水位大幅度變化，增加邊坡穩定性。

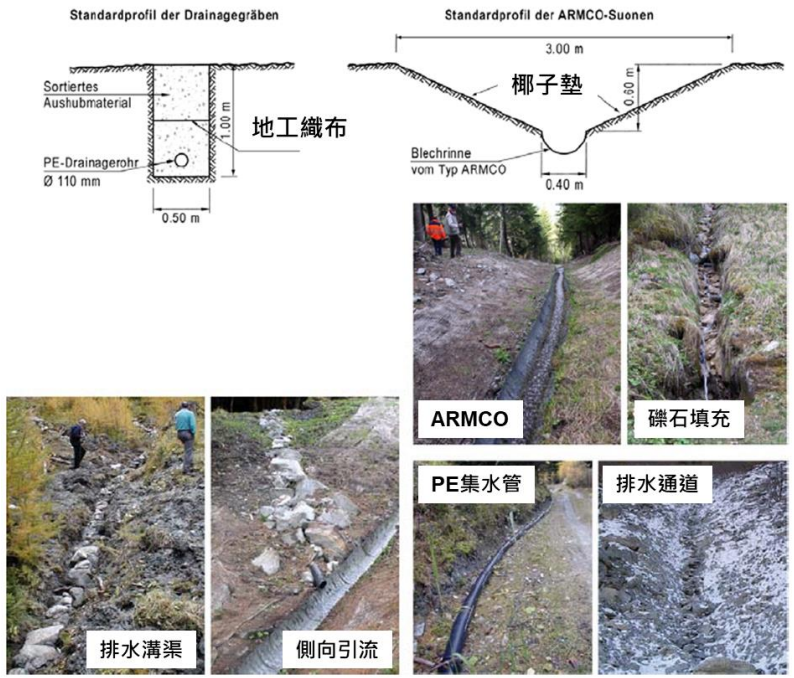


圖31、邊坡整治計畫：封底和排水措施詳情

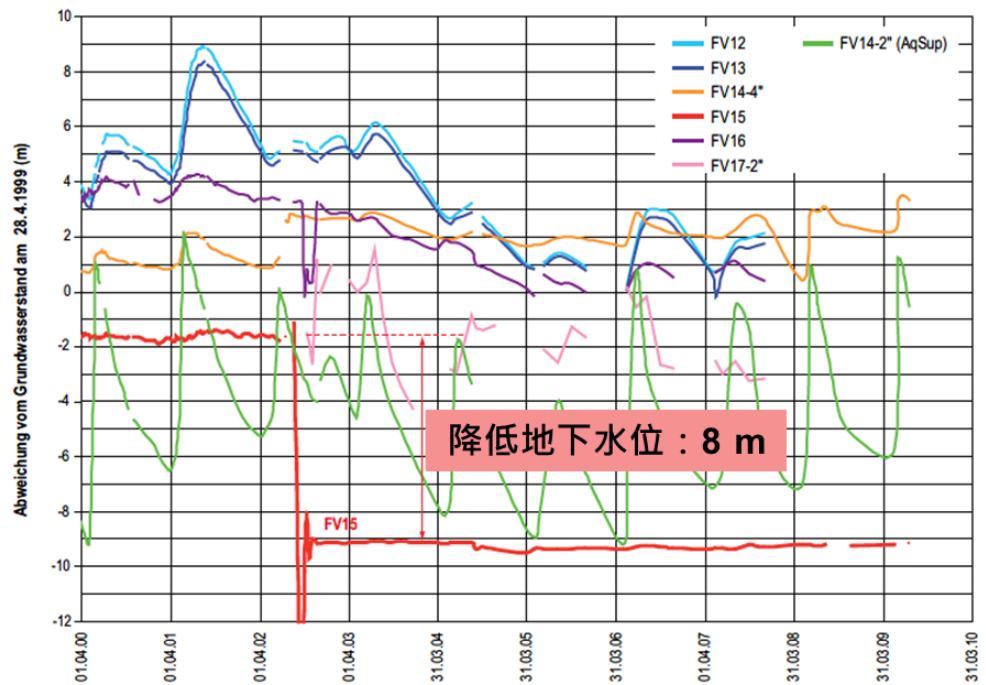


圖32、FI19 排水井對含水層水位的影響

透過泵過濾井穩定的例子 Arveyes地滑

- Arveyes地滑雖變形緩慢，於1970年代開始變形，逐漸影響鐵道及附近村莊。
- 由縱剖面顯示，滑動塊體頂部水頭高於地表，大部分的水來自基岩 (圖35)。



圖33、Arveyes地滑位置圖

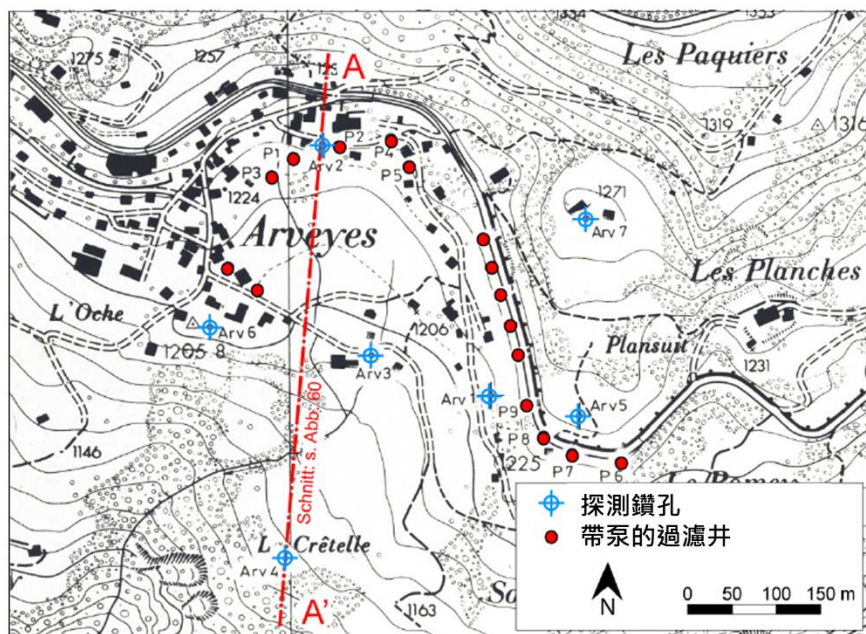


圖34、Arveyes地滑：過濾井及探測井位置

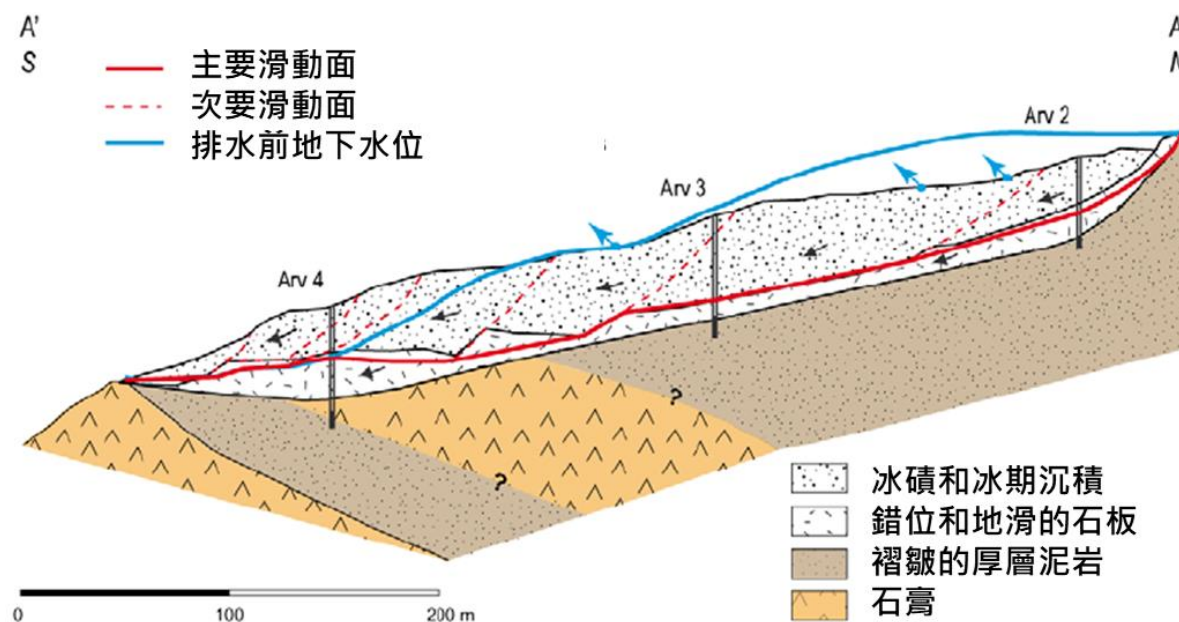


圖35、地滑區域A-A' 縱剖面圖

透過泵過濾井穩定的例子

Arveyes地滑

- 地滑的平均速度約1~4 公分/年間變化，而變形較大區域多分布於坡址處，該區域一年變形超過10公分 (圖36)。
- 在開始抽水後，滑動體幾乎馬上停止變形 (圖37)，目前已維持了25年皆無再啟動跡象。

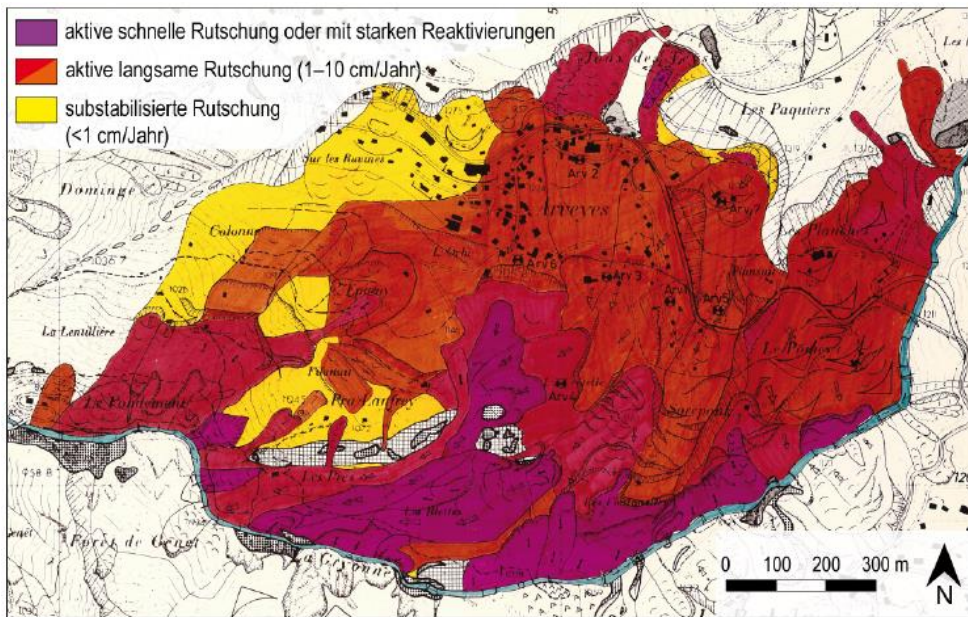


圖36、邊坡整治前失穩圖與變形速度分布

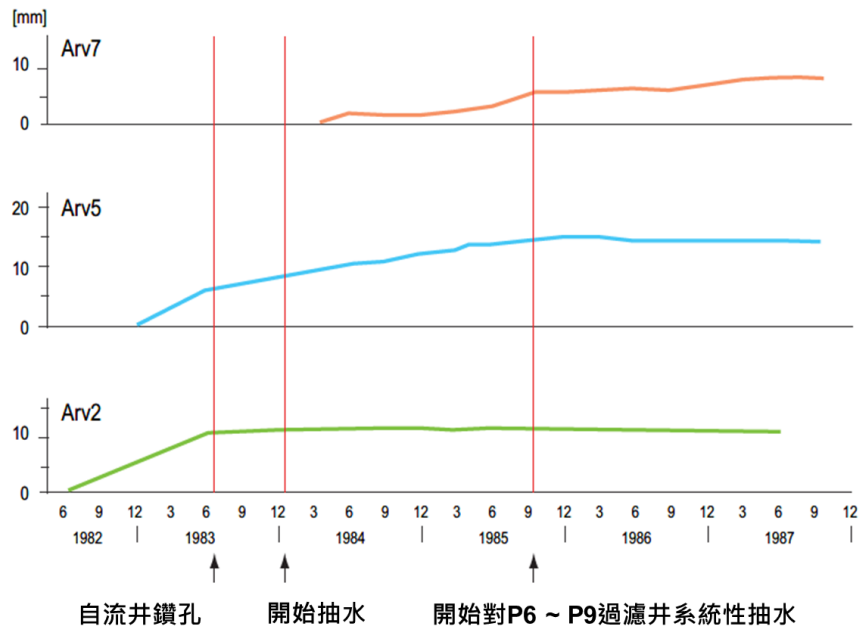


圖37、1982~1987年Arv2、Arv5和Arv7的累積水平位移圖



台灣案例 (梨山地滑整治工程)

- 台灣梨山地滑區自1990年來，每逢降雨皆會發生間歇性土體滑動。
- 相關部門於1995年開始施作地下排水系統以穩定邊坡，並持續監測及維護至今。
- 藉由地下排水系統之施作來降低地下水位，以達到保護保全對象的目標。



圖38、梨山地滑區 (柯金源)

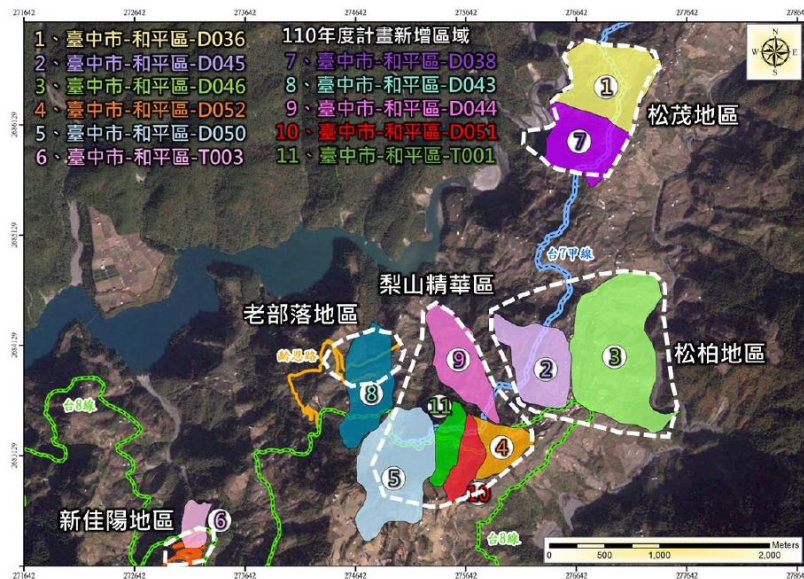


圖39、110年度計畫涵蓋範圍

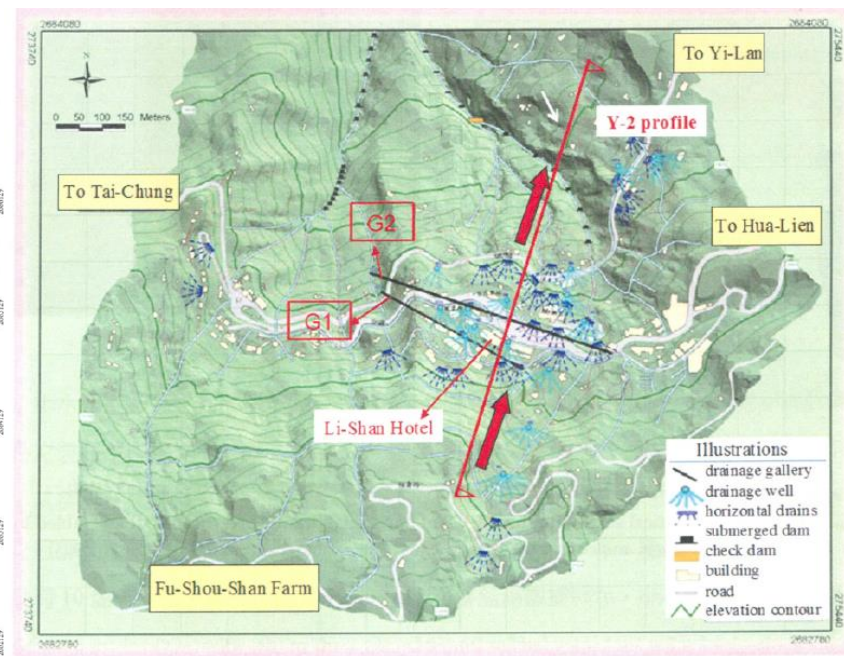


圖40、梨山地滑區下排水及整治工程配置圖

台灣案例 (梨山地滑整治工程)

■ 梨山地區地下橫向排水工程以集水井及排水廊道為主。

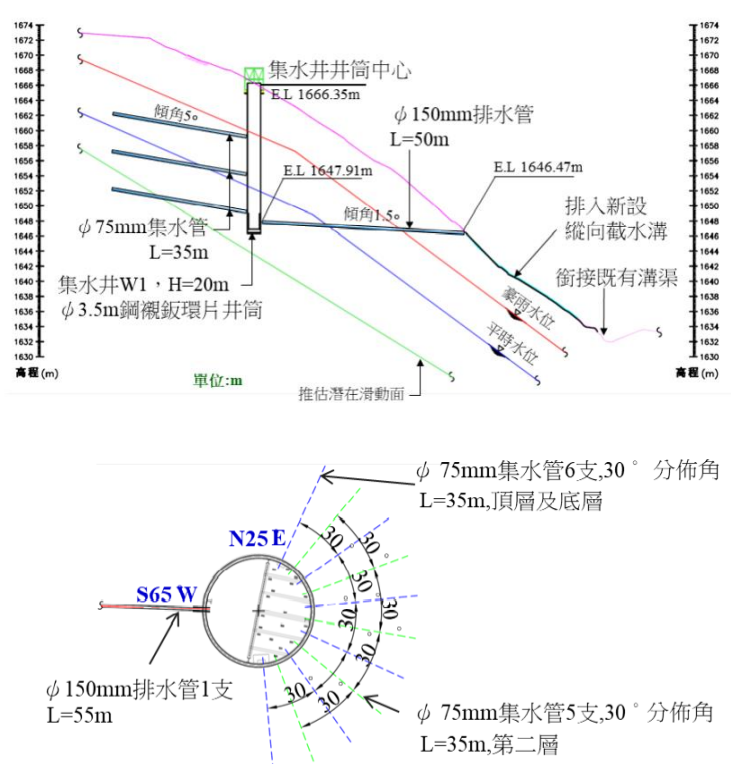


圖41、集水井設計圖及實際集水情形

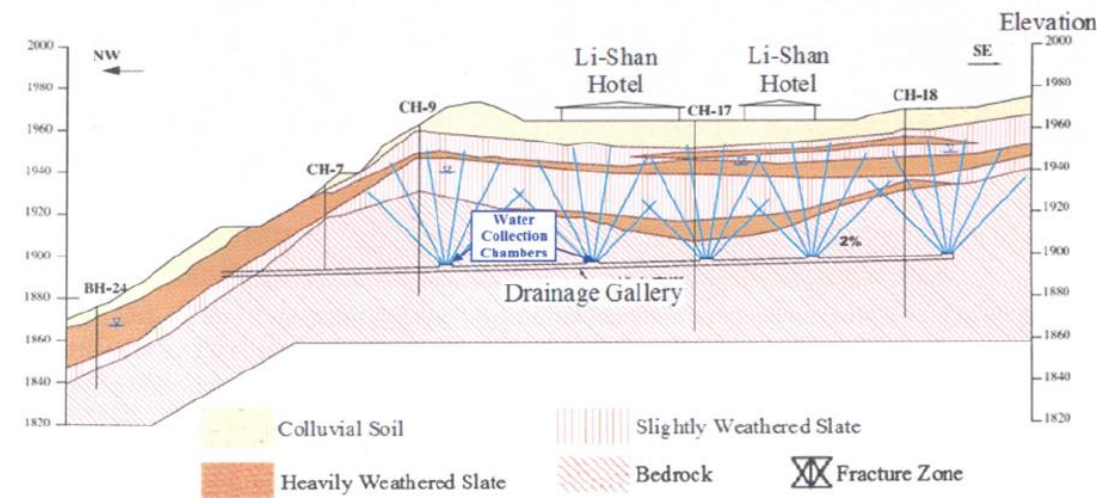


圖42、梨山G1排水廊道地質剖面圖及廊道現況

台灣案例 (梨山地滑整治工程)

- G1排水廊道於2001年完工後，地下水位迅速洩降了28 m，並在後續五場颱風事件裡，地下水水位幾乎維持於未變動狀態 (圖43)。
- 邊坡的安全係數於颱風引致降雨事件中，安全係數無明顯變化，可見排水廊道有效的提高邊坡穩定性 (圖44)。

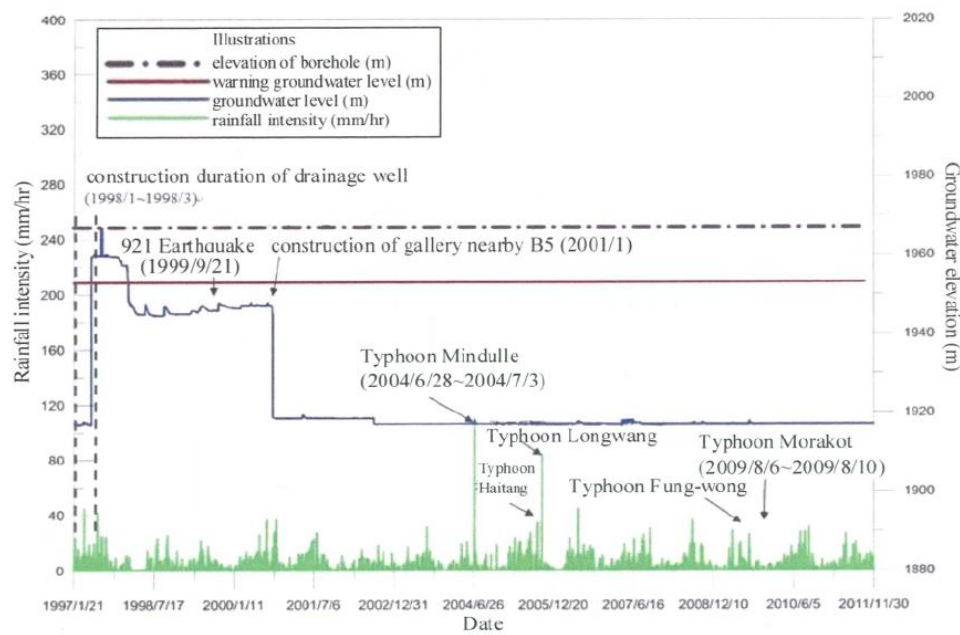


圖43、集水井設計圖及實際集水情形

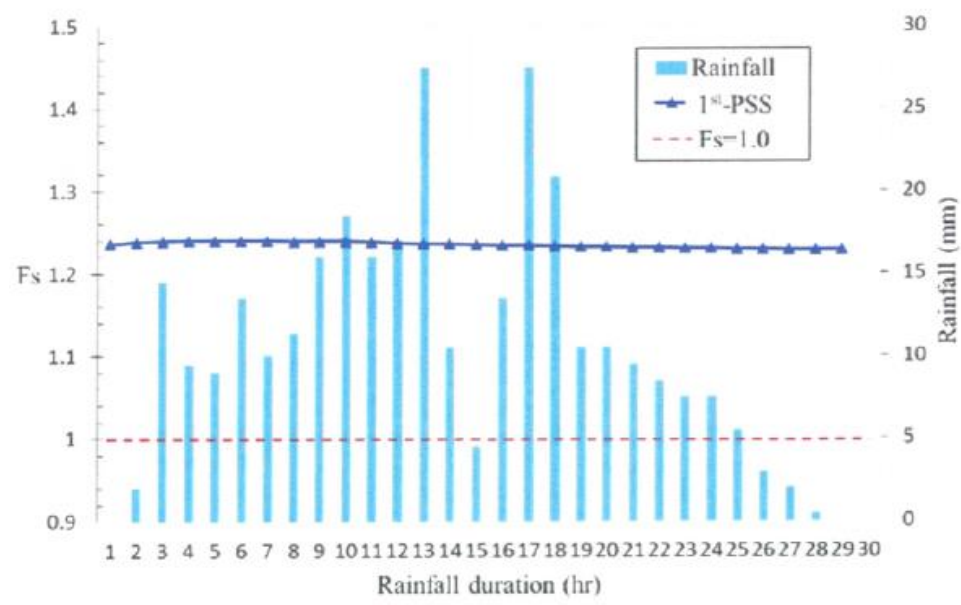


圖44、Y2剖面潛在滑動面穩定性安全係數變化圖 (2001桃芝颱風)



台灣案例 (梨山地滑整治工程)



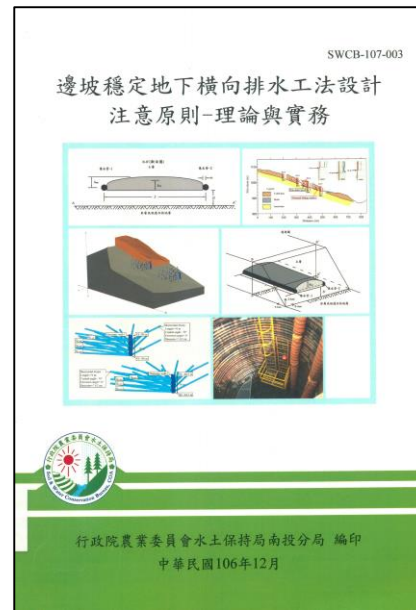
(影片來源：水土保持局台中分局)



水土保持局相關參考文獻

相關叢書 (水保酷學堂)

- 邊坡穩定地下橫向排水工法設計注意原則-理論與實務
- 水土保持單元叢書07-陡坡坡面排水渠道消能設施



報告書：

- 110年度大梨山地區地滑地與臺中市和平區潛在大規模崩塌監測計畫
- 梨山、南庄、泰安地區陡坡坡面排水設計基本原則研擬與適用排水設施成效分析
- 110年蘭台大規模崩塌潛勢示範區觀測科技整合研究
- 110年度雪霧閣及光華地區潛在大規模崩塌調查監測計畫
- 光華崩塌地監測資料與技術精進

水保酷學堂



FB社團 - 水土保持與防災資訊交流

報告完畢 敬請指教



行政院農業委員會水土保持局
與您一起打拼