

大規模崩移災害防制

山崩地滑、落石及坡地土石流災害整合管理準則



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Federal Office for the Environment FOEN

大規模崩移災害防制

山崩地滑、落石及坡地土石流災害整合管理準則

聯邦環保署(FOEN)發佈

2016 年伯恩

<p>本出版物法律位階</p> <p>本出版物是 FOEN 監督發佈的準則，主要針對執行機構發佈。</p> <p>本文藉由法律行為和法令釐清不明確的法律概念，旨在促進具有一致性的執法。若執法機構自認遵循本準則的活動已確實符合聯邦法律時，只要能遵循現行法律，也可採用其他的解決方案。FOEN 在其「實務環境」等系列文章發佈此準則內容（先前稱為準則、建議、手冊、實務準則等），本準則得取代</p> <p>"Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten"（BRP、BWW、BUWAL 1997）的建議內容。</p> <p>本準則取代"Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten"（BRP、BWW、BUWAL 1997）的建議內容。</p>	<p>引文建議形式</p> <p>FOEN 2016：防止大規模崩移之危害，落石和坡地土石流整合危害管理準則聯邦環保署(FOEN)-伯恩實務編號# 1608: 97 p 的環境</p>
<p>發佈人：</p> <p>聯邦環保署(FOEN)</p> <p>FOEN 是聯邦環保、運輸、能源和通訊（DETEC）部門</p>	<p>翻譯</p> <p>Susan Cox（第 1 版）和 Brian Mc Ardell（第 2 版修訂版），森林、雪地和景觀研究所 WSL Birmensdorf</p>
<p>作者</p> <p>Hugo Raetzo, Bernard Loup (FOEN 危害預防司)</p>	<p>設計</p> <p>Stefanie Studer, 5444 Künten</p>
<p>專家支援小組</p> <p>Christophe Bonnard - 洛桑 PBBG SA（瑞士洛桑聯邦理工學院前研究員 EPFL）</p> <p>Hans Rudolf Keusen, GEOTEST</p> <p>FOEN 危害預防司 Arthur Sandri</p>	<p>封面圖片</p> <p>被 Falli Hölli 山崩地滑摧毀的房屋，Plasselb Freiburg，1994（照片：Hugo Raetzo）</p>
<p>2015 年修訂的州代表工作小組</p> <p>Daniel Bollinger, Kanton Schwyz Christophe Dénervaud, Kanton Neuenburg Lukas Eggimann, Kanton Uri</p> <p>Jörg Häberle, Kanton Bern Nils Hählen, Kanton Bern</p> <p>Andreas Huwiler, Kanton Graubünden Raphaël Mayoraz, Kanton Wallis Andrea Pedrazzini, Kanton Jura</p>	<p>訂購印刷版的地址即 PDF 文件下載鏈結</p> <p>FOBL, Distribution of Publications, CH-3003 Bern Tel. +41 58 465 50 50 verkauf.zivil@bbl.admin.ch 訂購編號：810.100.099eng www.bafu.admin.ch/uv -1608-e 採用碳中性工藝再生紙印刷，低 VOC 含量。 本出版物還另有德語、法語和義大利文版本。 © FOEN 2016</p>
<p>協助者</p> <p>Gian Reto Bezzola, Hazard Prevention Division, FOEN Thomas Egli, Egli Engineering</p> <p>Werner Gerber, WSL</p> <p>FOEN 法律事務所 Mark Govoni</p> <p>Christopher Haemmig 聯邦水資源地質處 FOWG，目前是 GEOTEST。</p>	
<p>技術校對</p> <p>Roland Wyss, Dr. Roland Wyss GmbH</p>	

目錄

摘要.....	6
前言.....	7
總結.....	8
1. 法律文件和概念	10
1.1 介紹.....	10
1.2 法律基準.....	10
1.3 新準則的概念.....	11
2 情況分析.....	14
2.1 土地利用.....	14
2.2 處理過程.....	15
2.3 基本資訊和文件管理.....	15
2.3.1 基本資訊和方法.....	15
2.3.2 天然災害登錄.....	16
2.3.3 防護工程登錄.....	17
2.3.4 現象圖.....	18
2.4 現有保護措施的效果.....	20
2.4.1 在危害評估中考慮防護結構造成的影響.....	20
2.4.2 在危害評估中考慮組織措施.....	21
2.5 危害評估要求.....	22
2.6 危害結果圖.....	24
2.6.1 危害指數圖.....	25
2.6.2 強度圖.....	26
2.6.3 危害圖.....	27
2.7 使用強度機率圖進行危害評估.....	29
2.8 機率評估標準.....	31
2.8.1 墜落發生機率.....	33
2.8.2 滑動發生機率.....	33
2.8.3 流動過程發生機率.....	35
2.9 強度評估標準.....	38
2.9.1 墜落過程的強度和損害概況.....	42
2.9.2 滑動過程的強度和損害概況.....	42

2.9.3 流動過程的強度和損害概況.....	43
2.10 情境定義.....	43
2.10.1 準備情境.....	44
2.10.2 選擇情境.....	44
2.11 處理不確定性.....	44
3. 行動要求.....	46
3.1 風險識別.....	46
3.2 安全等級和保護目標.....	46
3.3 殘餘風險.....	49
4. 措施.....	51
4.1 保護措施的優化.....	51
4.2 規劃階段.....	54
4.3 現有措施的維護.....	54
4.4 空間規劃的應用.....	56
4.5 森林維護和造林措施.....	57
4.6 針對落石之結構性措施.....	58
4.7 針對滑動之結構性措施.....	60
4.8 針對流動之結構性措施.....	63
4.9 超載.....	64
4.10 組織性保護措施(包括監督和應急計畫).....	65
4.10.1 預警系統.....	66
4.10.2 應急計畫.....	70
4.11 定期檢查和成效監控.....	71
> 附錄	72
A1:法律基準.....	72
A2:大規模崩移過程識別.....	79
A3:流動發生機率判定.....	86
A4:空間規劃危害文件管理應用.....	88
A5:保護目標圖實例.....	92
> 參考書目	93

摘要

本準則解釋山崩地滑、坡地土石流和落石過程的管理作業，即採用最先進的方法識別評估這些天然危害，本文針對危害圖編制並確定發生機率和強度標準。規劃需評估風險、定義保護目標和措施並確定行動要求，為優化措施而實施的程序包括整合審查所有的行動方案，包括空間規劃、生物、結構和組織措施，措施評估應考慮技術、經濟、生態和社會標準。

關鍵字：滑坡、坡地土石流、落石、危害評估、危害圖、保護措施

前言

「聯邦森林法」旨在為保護人類生命和重要資產，防止雪崩、山崩地滑，侵蝕和落石。本準則「大規模崩移災害防制」說明該法案所規定的合法執行狀況，此新準則的制定即根據 1997 年發佈經專家肯定的 Berücksichtigung der Massen-bewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten (「空間衝擊活動對大規模崩移危害的考慮」) 的建議內容。本出版物即保留這些建議的基本原則，本文中的新要素包括審議與滑坡評估有關的當前研究結果並提供更詳細的量化準則內容。因此，速度的暫時變化也納入評估過程中，現有山崩地滑的再次活動和加速是造成塊體破壞常見的原因，因此，危險登錄更具意義。本文還詳細介紹管理大規模崩移危害的相關措施，如監測和預警服務的運作。另一個新要素是在 5 個作業階段中評估坡地土石流的發生機率。

FOEN 於 2009 年秋季提交本準則並在 2015 年由聯邦和州代表所組成的工作小組接管修訂本準則的相關任務，在最終版本的內容中盡量考慮到所提出的眾多評論和建議內容，本準則應考慮 FOEN 出版物其他的背景，內容涉及防洪的整合風險管理，也參考 PLANAT 出版物 Sicherheitsniveau für Naturgefahren (「天然危害的安全措施」) 及其中的保護目標 (PLANAT 2013)。

本準則有助於建立適當的大規模崩移危害預防管理措施。本文強調客觀和易於理解的危害文件管理和風險評估的必要性，將所有措施以最佳的方式結合起來並考慮經濟和社會標準，藉此確保可持續整合管理大規模崩移危害 - 即整合風險管理，因此，行動計畫旨在以最佳方式協調空間規劃、生物、結構和組織措施等相關作業。

Josef Hess 副主任
聯邦環保署(FOEN)

總結

「大規模崩移災害防制」準則說明如何根據「森林法」(森林法)管理山崩地滑、坡地土石流和落石過程，第二章介紹危害文件管理製作所採用的方法，在危害評估過程中考慮現有危險防護措施的可靠性和效用，危害評估的要求取決於具體目標，可細分為3個層次。非常嚴格的要求即適用於建築項目、報告和詳細研究所需(比例為1:1,000至1:5,000)，危害圖也需採用更高的標準，其強制性的空間精度約為10公尺(比例為1:2,000至1:10,000)。

使用強度機率圖(第2章)確定大規模崩移的危害程度，本文採用可能的方案作為評估基準，目的是確定洪水和雪崩過程其相關的年度發生機率。以下的強度分類適用於落石過程：低小於30 kJ，中等30-300 kJ，高大於300 kJ。用於評估淺層滑坡和坡地土石流的方法主要用於改善處置分析和機率確定的效果，3個平均速度-強度值可適用於永久性的滑坡(0-2 公分/年、2-10 公分/年和 v 大於10 公分/年)。根據事件分析將可能的加速度和差異活動結合在一起，因此，已引用於確定強度的其他標準：a) 對應於最大速度的滑坡加速度；b) 差異轉移；c) 滑動表面的深度。適用於坡面土石流的標準是深度和沉積高度，當現場檢測到明確的空間膨脹指標時，即評估崩塌和沉降(如陷孔)。

第三章說明風險的確定和保護目標的定義，聯邦當局旨在確保整個瑞士對天然災害的適當安全性，藉此實現生態合理經濟相稱和社會可接受的狀況。協助保護目標下，有關當局即可確定要採取行動的領域，若保護出現漏洞時，應檢查是否可藉由適當的措施來降低風險，負責人在規劃此類措施時即應確定具體目標。

第四章說明保護措施的規劃和實施，在計畫和優化措施期間檢查所有可能的行動替換方案，採用被動的保護措施可降低危害事件引發的損害，各州在可能影響空間的活動中，都應考慮危害圖，特別是州級政府的組織結構和土地利用規劃。主要可藉由空間規劃措施盡量降低潛在的破壞，應使用主動的保護措施來影響危害過程，這些措施包括維護森林和植樹造林等廣泛性的措施及落石網等個別性的結構措施。可在某些方面採取結構性的保護措施，即土地利用或值得保護的功能，或在土地利用變更或所有相關利益評估所需的必要功能。但出於技術或經濟的原因，在所有情況下都不可能提供結構性的保護，可藉此防止大規模崩移，特別是在涉及大體積和高能量的情況下。若因為這些原因無法為危險區域提供完整的保護、監測、警報時，警報系統仍是可用於保護人類生命並具有成本效益的方法。本定義4個具有不同要求的不同級別，當人們需撤離並關閉運輸路線時，預警系統需採用高安全要求。

本文的附錄提供技術說明和前面章節過程實施所需的相關資訊，介紹不同大規模崩移類型其基本法律文件、定義和說明後，其他的附錄即總結空間規劃應用和保護目標風險適當定義的相關資訊。

1. 法律文件和概念

1.1 介紹

已知大規模崩移的地區佔瑞士領土約 6-8%，這包括當前處於活動狀態且過去也處於活動狀態的滑坡過程。受這些過程影響最大的地區包括阿爾卑斯山、前阿爾卑斯山和汝拉地區等部份地區。大規模崩移的重要性促使聯邦當局在 1997 年制定並考慮到大規模崩移危害的防護建議 (BRP 等 1997)，各州隨後著手進行大規模崩移的危害評估，根據這些州政府獲得的經驗，近年來已向聯邦當局提交相關的補充建議事項。Arbeitsgruppe Geologie und Naturgefahren (地質和自然災害工作小組) 於 2004 年製作 1 份報告 (AGN 2004)，該報告即根據實際經驗提出對現有防護方法的補充建議事項。對 2005 年和 2007 年暴風雨的分析即表示，在某些情況下，過去曾低估滑坡的重新活動和加速的狀況，此外，以前沒有記錄或評估的斜坡地區，在暴風雨中也開始變得不穩定，這些事件涉及大量的泥漿和碎石運動，造成直接的損害讓碎石進入疏洪道，然後形成土石流。淺層滑坡和坡地土石流的分析促成對這些自發過程的處置改進和評估。

聯邦政府的建議事項 Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten (「空間衝擊活動對大規模崩移危害的考慮」) 由 3 個聯邦機構聯合出版 (1997 年當時的聯邦空間發展處[BRP]、聯邦水資源處[BWW]、瑞士環保、森林和景觀處[BUWAL]) 為本準則的製作提供相關的基準。本文保留基本準則，但為採用的方法提供更詳細的量化數據，旨在促成岩石崩塌、山崩地滑、坡地土石流和侵蝕過程具有理論一致性的危害評估作業，聯邦當局還在本準則提供危害防護其可能策略的相關資訊。

1.2 法律基準

關於危害文件管理作業方面，本準則根據 1992 年 11 月 30 日發佈的「森林法聯邦條例」(ForO) 第 15 條，根據本文內容，各州負責編制天然災害防護的基準文件，特別是危險登錄、防護措施登錄、危害圖和組織措施 (第 1 段) 等事項。制定本文時，各州當局即考慮聯邦專業機構所執行和定義的工作技術準則內容 (第 2 段)，本準則說明各州當局如何制定危險文件管理作業，特別是危害圖的說明，這旨在確保瑞士各地的地質大規模崩移危害即根據統一的標準來進行記錄，通常有效的標準可用於洪水和雪崩災害的管理。因此，相同的原則適用於天然災害的管理，即確保「森林法」和「水利工程法」在編制危害文件

管理作業規定其實施上的一致性。各州當局在空間相關性或造成影響的活動中，都考慮到文件管理作業，特別是結構措施和土地利用的規劃（第3段），要求需呈報聯邦環境處（FOEN）相關文件並以適當的形式向公眾公佈內容（第4段）。

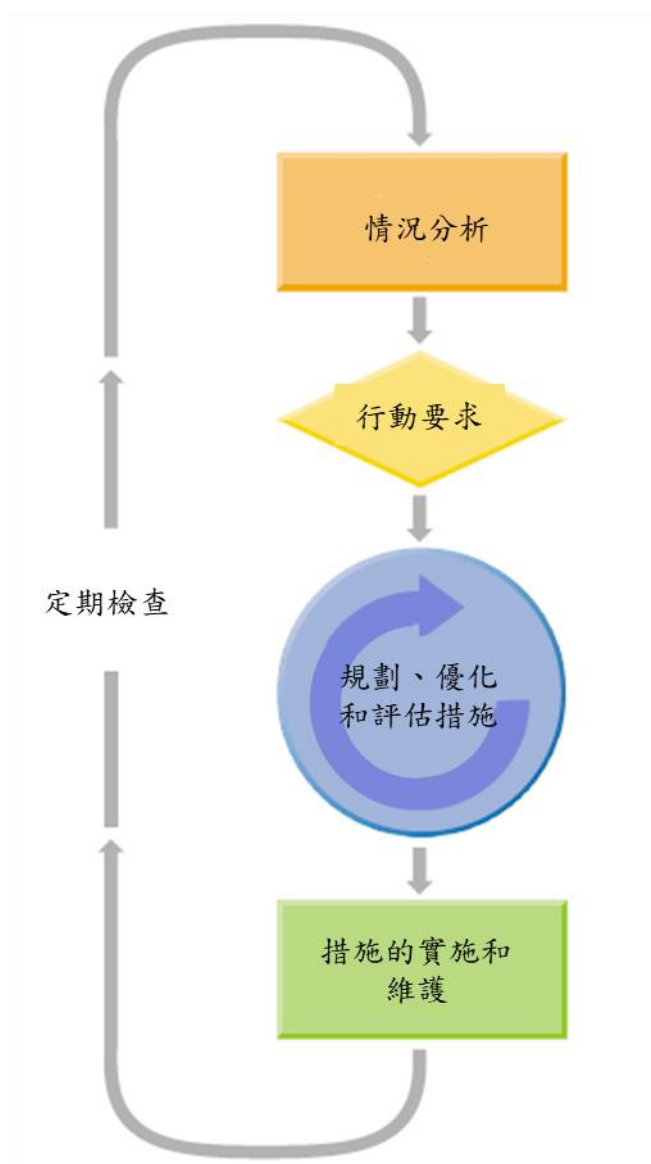
關於超出危害文件管理作業領域以外的主題（見第3章和第4章），本準則即根據 FOEN 在大規模崩移危害防護方面的一般監督權，即授權 FOEN 證實界定不明確的相關法律概念，即可促成執法的一致性。

附錄 A1 提供立法條例的相關摘錄內容。

1.3 新準則的概念

就其概念而言，本準則採用天然災害管理的適用準則並說明危險文件製作過程中應遵循的程序（圖1），相關的要求和方法可參見第2章「情況分析」。應檢查行動要求並在規劃措施前先確定保護目標（第3章），若措施規劃和實施符合第4章的規定時，即可履行保護人命和重要物資的任務。第2章至第4章即為本準則的主要內容並證實立法和法令中所規定的法律概念，附錄中提供不符法律準則的技術說明和其他相關資訊。

圖 1：天然危害管理應遵循的程序



新準則盡量採用公認的準則並規定某些要求的細節內容（關於一般程序請參見圖 1），除了危害過程的具體細節外，危害評估、行動計畫和評估過程基本上與防洪實施的作法相當。

本準則所提出的主要創新是：

- > 附錄 A2 中危險過程的改進定義：落石、山崩地滑和坡地土石流是瑞士的常見事件，為這些過程提供並說明詳細的定義和危害評估標準，藉由初始和二次工程（「初次行動」、「二次行動」）的差異性方法即可定義過程組合和轉換狀況。
- > 危害評估的相關規定取決於設定目標和結果的法律位階，因此，第 2 章的規定在 3 個處理層次上出現差異，嚴格的要求規定適用於施工專案、報告和詳細研究等內容。在此狀況下，應盡量降低評估中的不確定性並應確定正確的

可能規模大小，需在危害圖的背景下為當局編制具有約束力的危害文件管理作業，在此情況下，還需採用更高的標準，其空間精度約 10 公尺。

- > 應使用可能的情境來評估大規模崩移事件，應確定年度發生機率（0.033,0.01,0.003，<0.003）其相關的洪水和雪崩過程迴歸期（30,100,300,>300 年）。
- > 使用強度機率圖確定大規模崩移的危害程度，對於永久性山崩地滑，依據平均速度，有三種強度可供參考。根據事件分析得知，可能的加速度和差異位移對強度評估有很大影響性（權重），因此，應用新的標準來決定強度：
 - 在一事件中，與山崩地滑最大速度（ v_{max} ）有關的加速度或山崩地滑再發生性。
 - 差異變化(D)：最大的損害通常發生在不同的崩移區域，因為岩石以不同的速度（剪切過程）向下滑動。
 - 滑動表面的深度（T）：若同時滿足以下所有的條件，大約 30 公尺以下的深度其強度影響降低：巨大凝聚塊體，現況視為均質的區域，及大地工程上視為均一的位移。
- > 本準則介紹淺層滑坡和坡地土石流新的評估方法，對過去事件的地質和地貌分析也提供可用於確定發生機率的統計數據。
- > 本準則詳細說明坍塌和陷孔評估的相關資訊，但只在出現風險的情況下才標示出陷孔的紅色危險區。
- > 落冰的評估即類似落石危害。
- > 通常定義有效的準則用於考慮危害評估中的措施。
- > 保護目標即根據風險的評估方法加以確定，旨在保護重大風險，對小風險的計畫概無保護或小額的支出（第 3 章）等考慮。
- > 第 4 章（空間規劃、生物、結構、組織措施）說明大規模崩移的可能預防措施，現在也更加重視組織措施，特別是因為這些選擇通常會優先考慮岩石崩塌和深層的滑坡災害等狀況。

2 情況分析

各州當局制定預防天然災害事件的必要文件管理作業（森林法第 15 條），為能夠避免或降低風險，需識別評估這些危害狀況，在情況分析的背景，下，評估現有危害（第 2.2 至 2.10 章）並對現有和規劃中的土地利用和結構進行調查（第 2.1 章），從危害和土地利用的文件管理組合中可確定人員、物資、基礎設施和其他結構面臨天然災害等風險的可能區域。

分析的細節程度可能出現很大的差異，這是因為空間邊界（瑞士、州政府、地方政府、公社、專案計畫）或可用文件管理作業（性質、規模、內容等）所造成的結果。

2.1 土地利用

土地利用和對象類別涉及不同的細節層次並應根據其功能進行劃分，對於大空間系統的概述和摘要內容，根據以下的主要類別（保護對象）即足夠：

- > 人員
- > 建物
- > 基礎設施（如公路、鐵路）和生命線（如電力線）
- > 文化資產
- > 特殊物品

在行動計畫的背景，下，通常需進行詳細調查，例如在 EconoMe 中的調查。可藉由更詳細的級別編碼使用和結構來取得並可補充附加資訊內容。

無論其詳細程度如何，確定潛在損害的概況時，除了現有用途外，還應考慮計畫中或未來的用途，藉此瞭解損害的可能性或風險的可能變化。有關未來發展的資訊可由土地利用計畫和社區結構計畫來提供，關於開發計畫的其他資訊來源可能包括聯邦部門的開發計畫、州級政府的結構性計畫、州級和地方政府的開發計畫。

2.2 處理過程

「聯邦森林法」旨在促進保護人命和重要物資，防止山崩地滑、侵蝕和落石（天然災害事件）（森林法第 1 條第 2 款），本準則即關於下列的大規模崩移危害：

- > 墜落過程：落石（Steinschlag、Blockschlag）、岩崩（Felssturz，Bergsturz）冰崩和崩塌。
- > 滑坡滑動過程：滑坡、岩石滑坡和沉陷。
- > 流動過程：坡地土石流

坡地土石流（Hangmuren）即根據本準則進行評估，渠道型土石流（Murgänge）在防洪建議中加以處理（BWW 等 1997），對過程順序的考慮（如滑坡、坡地土石流、土石流）特別重要，因為大規模崩移常發生在距可能受損地點很遠處。

附錄 A2 說明與大規模崩移其相關過程的定義，本準則中未討論雪崩問題。

2.3 基本資訊和文件管理

管理大規模的塊體崩移危害在第 1 階段需採集現有危害的全部可用資訊，觀察測量進行未經判定的記錄作業。進行危險識別作業時，應記錄客觀的觀察結果盡量避免加以解釋。需提供觀測塊體的相關資訊 - 即根據估計或計算得出的測量資訊。執行危害識別即根據一系列的來源和方法，即使在平常期間執行相關的保護措施，特別是對歷史事件和「沉默的證人」都視為重要指標。

2.3.1 基本資訊和方法

簡要介紹評估大規模崩移危害的準則和方法，天然災害登錄和現象圖將在第 2.3.2-2.3.4 節中介紹。

地形分析是整體策略的一部份，此策略還包括正射影像、高程模型、遙感數據和專題地圖等，其中，可從高程模型生成坡角圖和浮雕影像（「山體陰影」或「山體遮影」）採用更高的解析度進行地貌繪圖。

遙感包括從太空、空中或地面遠程位置所採用的所有方法，這包括不同的物理方法：

- > 光學影像
- > 雷達影像（微波）
- > 鐳射影像(LIDAR)

利用光學、雷達或鐳射影像可進行衛星、空中（如小飛機、直升機、無人機）或地表數據的收集。

「測量」一語包括用於記錄位移差異甚大的傳統和現代測量方法（如 GPS、測速儀）。在不穩的斜坡區域，所有的這些方法旨在測量位移並確定其位移速度，

地質圖是大規模崩移繪圖的重要基準，各有不同的崩移形式如滑坡和沉陷彼此不同，

水在塊體重力崩移中扮演重要的角色，因此，需收集集水區水文地質和水文條件相關的資訊。

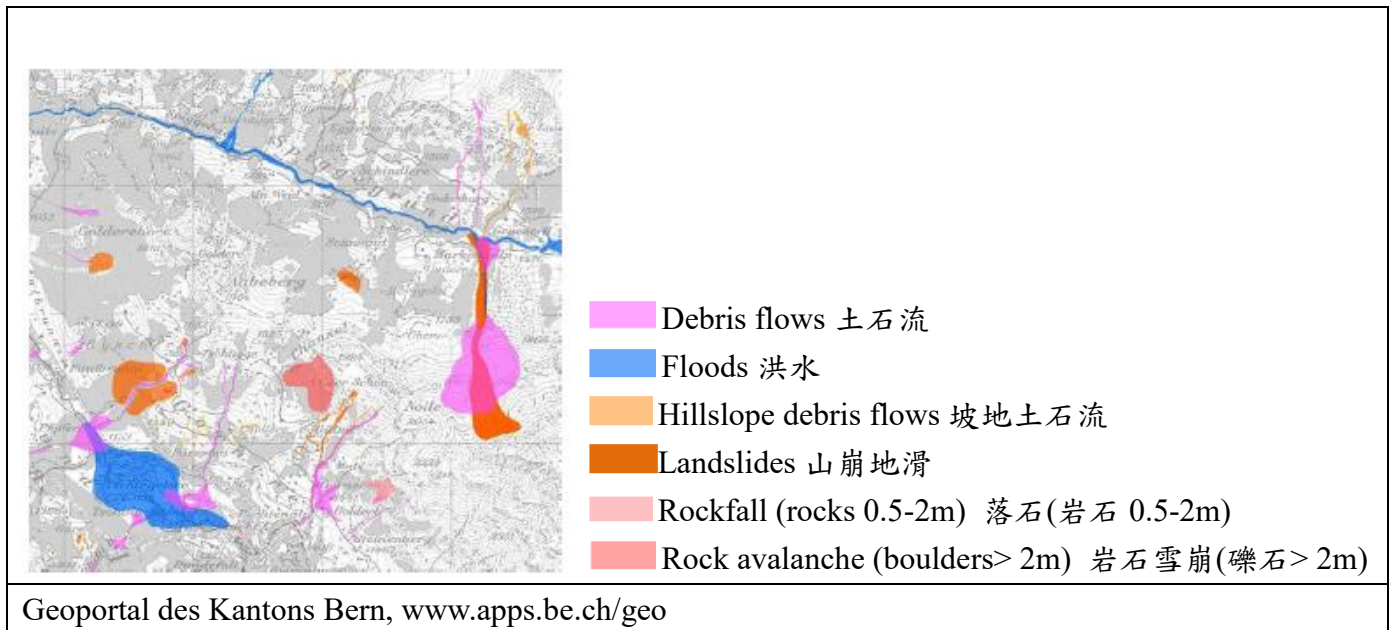
鑽孔可採用岩心鑽孔，也可採用壓縮空氣或灌水進行破壞性的鑽孔作業。岩心鑽探是確定岩石性質的唯一方法，具有取得深度和岩土特徵功能的器具，如傾度管、伸張計和水壓計都可安裝在鑽孔中，傾度管可用於深層活動的地滑表面，對相關的大規模崩移進行量化研究。

2.3.2 天然災害登錄

為能夠預測未來的事件，需回顧過去的歷史，天然災害登錄冊中所記錄的過程和證詞為特定的潛在危險區提供有價值的指標，有助於估計迴歸期、定義情境和進行損害概覽的校正。

天然災害登錄由州級政府的專家負責登錄並定期更新，聯邦當局提供標準化的調查表格內容，用於記錄危害過程類型的雪崩、落石、滑坡、水流和沉降等狀況。將資訊記錄在 Web 數據庫（StorMe）中並集中管理，事件藉由空間來呈現，至少應記錄關鍵過程、作用範圍、產生此狀況的時間及造成損害的程度，氣象環境也可列入紀錄選項中，這些紀錄可能有不同程度的細節（另見「數據建模」，如第 2.3.4 節內容。）。

圖 2：天然災害登錄



2.3.3 防護工程登錄

近幾十年來，在災害發生區設置結構物，或在運移段或流出段取防護措施的狀況下，可藉此保護大量的住宅區和運輸基礎設施。為能夠確保眾多防護結構的長期防護效果，需進行定期控制和維護（監控結構的安全性和適用性）。

防護工程登錄是有效管理防護結構的重要工具，此登錄內容包括所述結構或屏障的性質、位置、狀態、年齡和大小尺寸等相關的資訊。有關受保護的資產、客戶、施工成本、維護計畫、職責等相關資訊也可記錄在系統中。聯邦當局已就防護工程的登錄內容、結構和管理訂定相關的準則和最低要求，州級專業調查部門需調查收集數據並定期更新登錄內容（另見「數據建模」，如 2.3.4 節內容。）。

圖 3：落石防護網



2.3.4 現象圖

現象圖以製圖形式記錄現場觀察得知的地質地貌特徵和指標，地形分析是事件相關的重要補充資訊，主要以製圖形式呈現事實，但也應包括必要的非判斷性解釋內容，用於識別推估可能的危害類型（處置、釋放機制、作用方式），現象圖的產生與危害程度無關，後者在後期才能夠確定。















地形分析基即根據過去或現在的危險過程（如倒下的巨石）其場地形態、植被、水流條件和「沉默的目擊者」的觀察和解釋得知。這通常可用於確定事件原因、發生機率與危險事件相關的其他重要因素（如情境定義）。

使用特殊的標準化圖例（Symbolbaukasten zur Kartierung der Phänomene BWW und BUWAL 1995）可記錄呈現危險過程及其表現形態。

- > 比例：1：2,000 至 1：25,000，取決於預期用途而定。
- > 更新或驗證：若出現新的危險狀況或修訂危險圖的內容。

圖 4：現象圖

使用符號工具箱產生實例，有關滑坡符號的選擇顯示在地圖的關鍵字內容中。

		Landslide, velocity >10 公分/年 地滑、速度 >10 公分/年
		Landslide, velocity 2–10 公分/年 地滑、速度 2-10 公分/年
		Landslide, velocity 0–2 公分/年 地滑、速度 0-2 公分/年
		Flooding from torrent 洪水造成之淹水
		Potential debris flow deposit 可能的土石流堆積
		Debris flow deposit 土石流堆積
		Transit zone 過渡區
		Landslide, velocity >10 公分/年 地滑、速度 >10 公分/年
 Large scarp 崩崖  Spring 泉水  Spring, water collected 泉水集水區  Deep seated (>10 m) 深潛區(>10 公尺)  Moderate depth (2–10 m) 中深度(2-10 公尺)		

危害文件管理作業的數據建模和發佈

對於直接受天然災害影響的一般人應盡可能知道這些危害所造成的危險狀況，各州當局應藉由適當的形式向公眾提供危害狀況的相關說明文件（森林法第 15 條）。

為了便於進一步處理和交換紀錄資訊，需仔細描述地理數據讓人容易理解。數據結構和內容需符合最低要求，此外，地理資訊法（GeoIA SR 510.62）和相關的地理資訊條例（GeoIO，SR 510.620）即要求負責的聯邦和各州當局制定最低要求所需的地理數據模型（森林法第 66a 條），根據附錄 I GeoIO，即制定聯邦法律管轄下的地質數據集，在此內容中，需發佈以下的地址數據集，這些數據集的內容發佈在 www.bafu.admin.ch/geodatenmodelle（德語、法語）的網址上：

- > 標識符 167.1「危害登錄」（天然災害登錄第 2.3.2 節內容）
- > 標識符 81.2「防洪工程登錄」（防護工程登錄第 2.3.3 節內容）

當各州開發上述資訊時，需考慮聯邦當局所開發的數據模型，這些數據模型包括兩部份：根據地理資訊立法制定的「基本數據模型」，這是需強制制定的資訊，但建議採用「擴充數據模型」。

進一步的資訊

- > Symbolbaukasten zur Kartierung der Phänomene, BWW und BUWAL 1995
- > Data models: www.bafu.admin.ch/geodatenmodelle (German, French)

2.4 現有保護措施的效果

現有的保護措施包括森林防護、施工防護工程和組織措施，進行危害評估時，應考慮森林防護造成的影響並記錄在技術報告中（如採用 Protect Bio 方法後可能造成的影響）。

應建立防護結構提供危害預防的保護，降低危害強度或機率。但假如防護結構和措施在發生危害事件時已達預期效果，則應確保持續降低對人命和物資的危害風險，現在和未來需確保防護結構可發揮功能達到預期的使用壽命，在功能評估中，應提出過載條件下的預期發揮性能，因此，防護結構的維護是首要任務，需具有長期組織性的維護作業。

防護結構會不斷磨損，需定期檢查狀況，特別是在危險事件發生後。19 世紀和 20 世紀初的許多建物到現在已達使用壽命的終點，需加以更換。此外，許多現有的防護結構尺寸是根據特殊危險事件罕見機率的知識和經驗基準所建造（如 1927 年至 1977 年期間）。

2.4.1 在危害評估中考慮防護結構造成的影響

當防護結構物確實可靠有效，才能考慮用在災害評估中，因為這會對後續的空間規劃跟保護結構物設計尺寸造成影響。評估天然災害防護結構的效用包括 3 個階段：

- > 第一階段即執行一般的評估，包括推估相關的防護措施並決定是否需進一步再加以詳細考慮。
- > 在第二階段評估措施的可靠性：考慮事項即根據結構的安全性、適用性和耐久性（見方框 2.4.2 節內容）。
- > 效果評估再量化防護結構對危害過程造成的影響，評估相關強度和機率下的不同情境。

防護措施的效果需能夠加以量化並具有適當的永久確定性（50 年），考慮防護結構需進行整個系統的維護，特別是防護結構的維護。需定期驗證保護結構的危害狀況，也可進行監控（見第 4.10 章）。若出現故障，即無法提供防護作用或可能產生其他危險。若單個元件無法提供其適用性，即會降低防護效果，單個元件的故障可能導致整個防護系統功能失常時，此情況就攸關緊要。

也適用於下列的準則：

- > 若評估過程中的不確定性超過措施可能造成之影響，則不考慮採用這些防護措施。
- > 通常會考慮 4 種情境：具有較大、中等和較低發生機率的情境及極低發生機率的極端情境，還需考慮過程中的危害交互作用的狀況。
- > 此措施應被視為單獨的系統與整個系統也具有相關性。

2.4.2 在危害評估中考慮組織措施

與永久結構性的措施相反的是，在危害評估中不考慮預防性的組織措施，雖然用於監測警報的系統可降低人命（如關閉設施）和物資風險，但通常不會對危害過程造成任何影響，換言之，在所有的狀況下都無法確保臨時措施的可靠性和可用性，這危害圖沒有任何影響。

結構安全性

進行測試可確保結構具有足夠的承載能力，藉此承受情境所造成的影響，若結構安全/容量不足時，即顯示此措施具有低可靠性。

適用性

適用性是指結構在使用期間的使用規定（如淨高）所確保的功能。

耐久性

在影響可預測的狀況下，仍應滿足措施目的要求的結構安全性和適用性等相關要求。

可靠性

為能夠實現高度的可靠性，需符合結構安全性、適用性和耐用性（測量完全有效）等要求，可靠性有限時，即表示該措施的效用即降低，在可靠性低的狀況下（無效或負面影響），即可預期到措施的故障狀況。

效用評估

效用評估即根據可靠性得出可量化措施對過程所造成的影響。

進一步的資訊

- > Norm SIA 260: Grundlagen der Projektierung von Tragwerken (Principles of the design of load-bearing structures)
- > Norm SIA 261: Einwirkungen auf Tragwerke (Impacts on load-bearing structures)
- > Norm SIA 269: Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken (Principles of the maintenance of load-bearing structures)
- > Norm SIA 269/1: Erhaltung von Tragwerken – Einwirkungen (Maintenance of load-bearing structures – impacts)
- > Romang H. (Ed.) 2008: Wirkung von Schutzmassnahmen (Strategie Naturgefahren Schweiz), Einzelprojekt A 3 (2008). Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT, Bern

2.5 危害評估要求

危害評估的要求隨著細節的增加而增加，根據不同尺度 M1-3 分成三個等級：

第 1 級：危害指數圖（近似比例 M1）

第 2 級：危害圖（中等規模 M2）

第 3 級：施工項目或詳細研究（詳細規模 M3）

M1：危害指數圖的要求

危害指數圖提供危害過程空間表現的概述內容，因此，可顯示可能發生的危害狀況，應可顯示受到大規模崩移影響的所有區域。危害指數圖不包括根據強度和機率所定義的任何危害程度，僅顯示是否出現潛在危害的狀況（是/否的分類項目）。

M1；尺度 1

M2：危害圖製作過程的要求

危害圖適用於公社和各州當今的空間規劃（土地利用規劃），因此，應盡量準確根據危險程度劃分所使用的區域，危害圖採用 1：5,000 或 1：10,000 的比例製圖，根據個人和特殊狀況而定（如 1：2,000），也可提供更詳細的比例值，在內容和空間解析度方面，具有 5 級危害分類的危害圖其詳細資訊的內容比危害指數圖更多。

M2；尺度 2

危害圖、強度圖和相關的技術報告包括大規模崩移過程的可能發生原因、過程、空間範圍、強度和機率等詳細資訊，對大規模崩移危害的評估首先即根據現有危害的文件紀錄，可推導出過程及其空間範圍的相關指示，用於先前事件的危害評估，這些內容包括觀察、視覺文件和測量等，將結果記錄在天然災害時間的登錄資料中並製圖呈現。

危害圖檔案所需的文件清單：

- > 天然危害登錄、事件文件紀錄（StorMe）
- > 1：10,000 或更詳細的現象圖
- > 防護工程登錄並評估防護結構的效用。
- > 迴歸期為 30 年、100 年、300 年和極端事件所需情境的強度圖。
- > 技術報告包括所有必要的計算、模型和解釋內容。
- > 在墜落和主要滑動過程中的橫截面或軌跡應附記在地圖上。
- > 危害圖包括 5 個危害等級和評估區域的週長。

M3：施工計畫草案或詳細研究過程中之要求

需深度處理施工項目和超過危害圖詳細內容程度的複雜

M3；尺度 3

過程，這些詳細的研究內容可用於出現重大風險或特別危害坡地其規劃內容的防護措施設計作業，M3 級也適用於報告中引發爭議的複雜狀況評估作業，通常使用 1：5,000 或更大的比例來獲得詳細的地圖內容，施工項目特別是結構措施採用 1：2,000 或更大的比例圖。關於聯邦當局補貼的施工項目（M3）的級別，需提供危害圖（M2）的所有相關內容，還需提供其他內容並根據具體情狀況評估成本考慮風險機率：

- > 地質模型包括材料性質的決定。
- > 若水的影響性很重要，則需建立水文模型。
- > 關於位移、速度和剪切變形的量化資訊。
- > 用於高風險的深層地滑鑽孔作業。
- > 墜落過程建模的結果，包括結構測量位置的能量和彈跳高度（防護結構的尺寸）。
- > 滑動和流動過程建模。
- > 量化評估防護結構的效用。
- > 實施措施之前和之後的強度圖和危害圖。

2.6 危害結果圖

為能夠管理風險，首先需描述評估相關的危害狀況，危害評估的主要成果是強度圖和危害圖，這些為後續的審查行動要求、風險分析（第 3 章）和行動計畫（第 4 章）提供相關的基準，

危害圖以空間形式呈現大規模崩移的危害及對人命和物資、環境和其他價值所造成的危害狀況，這與強度圖和其他文件構成可讓當局和受影響人員可理解危害相關的基本先決條件，這是能夠符合檢查行動要求並採取適當措施（實施預防措施、管理特殊事件等）的唯一途徑。

危害分析需公認的專家來進行，各州當局的天然災害防護辦公室負責內容的制定，需針對許多的基準文件管理作業進行評估和調查，這些不僅涉及給定區域中的展示過程也涉及可疑和可預期的危害過程（關於情境定義請參見第 2.10 章）：

- > 已記錄的事件；
- > 無法證明在相關地點出現但在可比較的地區或情況中出現的事件；
- > 在評估所有標準後可能出現在相關過程或區域中的事件。

危害評估過程的重要成果將在下文中簡要描述。

2.6.1 危害指數圖

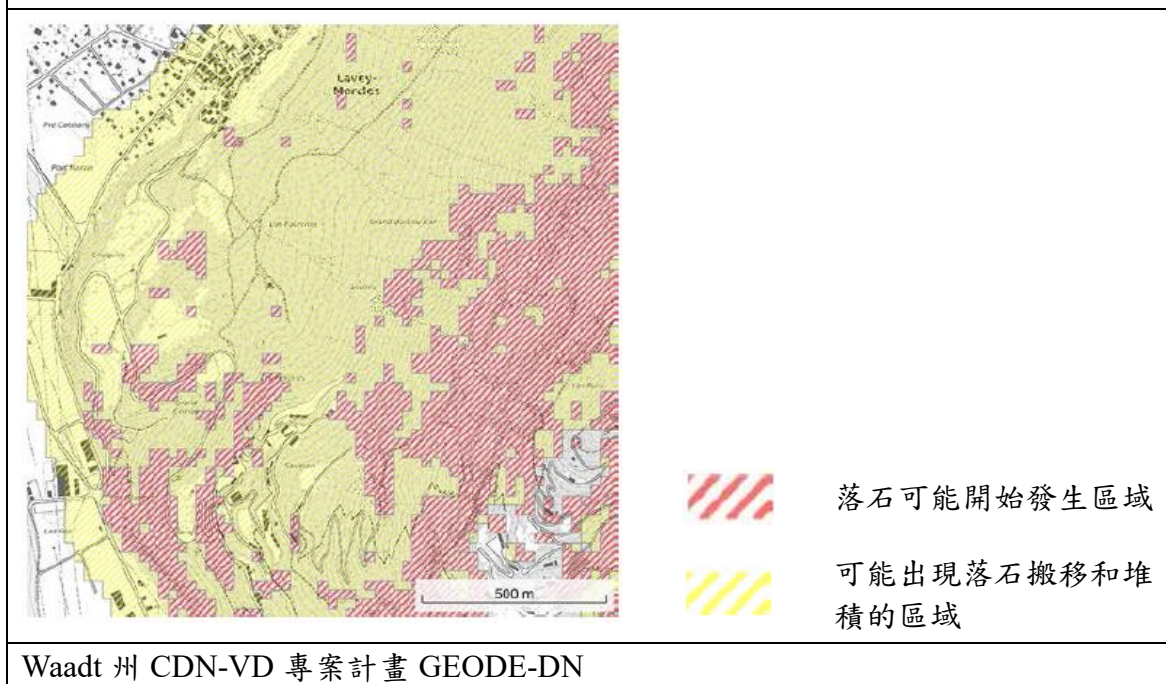
危害指數圖提供危害易感狀況的概述內容，包括出現潛在威脅的區域，但未提供危害程度任何相關的資訊（圖 5），這些指數圖是針對每種類型的危害過程單獨製作而成，可根據地球科學文獻和模型計算並使用天然災害登錄資料來證實，可能包括與空間分界有關的不準確性，在所有的情況下都可能無法準確指出其威脅的存在與否，這些地圖僅顯示危害的易感性而非經過驗證的事實，危害指數圖僅用於無危害圖可用（如定居區域之外）或特定的概覽位置的狀況下。

危害易感性與土地利用間可能存在的衝突點可從危害指數圖找出支出相對較少的方案。

- > 功能：州級結構規劃的基礎、衝突區域的確定、危害圖週邊以外規劃應用評估的基礎、危害圖制定的優先等級設定。
- > 處理深度：低深度，可能不準確未在當地進行驗證。
- > 比例：1：10,000 到 1：50,000。
- > 週長：通常用於州級（或地區/社區）
- > 更新：定期的結構規劃

圖 5：落石危害的危害指數圖

危害指數圖的呈現可隨狀況變化（例如，紀錄或可疑事件或模擬大規模崩移過程等區別）。



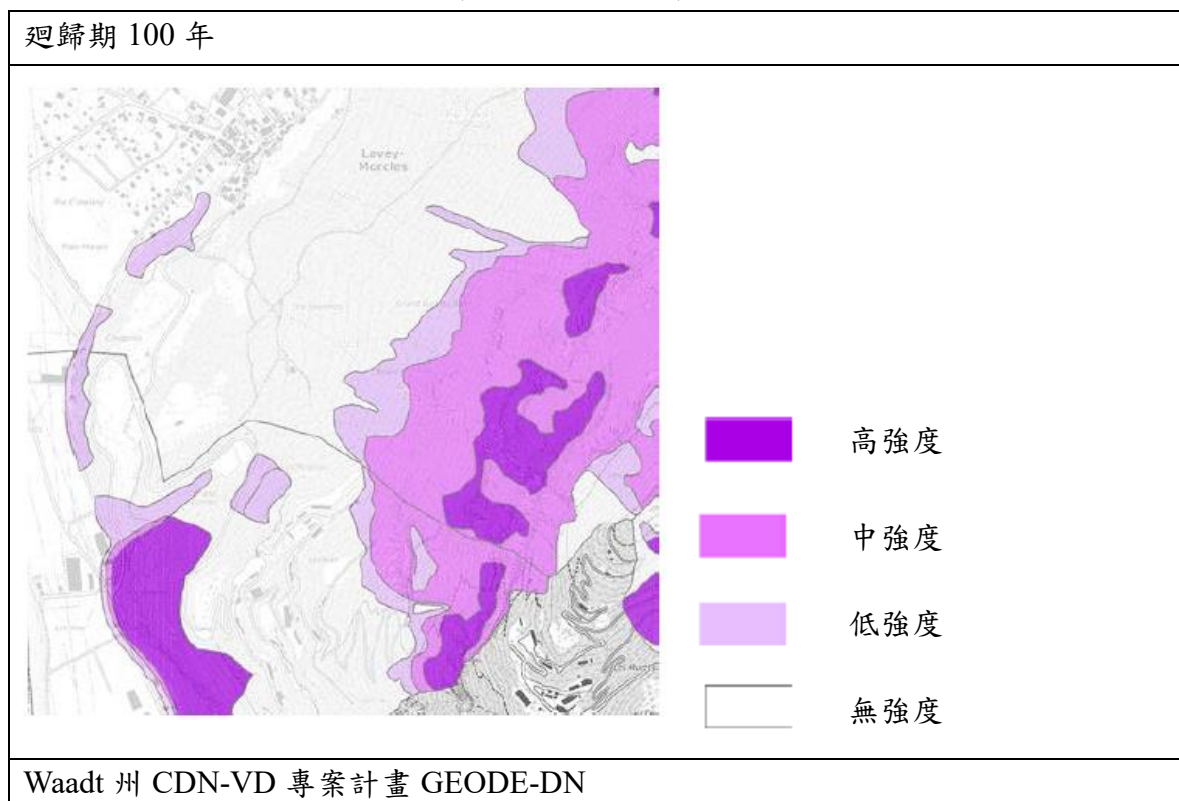
2.6.2 強度圖

強度圖顯示每個機率等級（高、中、低、極低）的預期危害過程強度，限定值是用於區分每個危害過程的強度而加以定義，取決於過程而定，採用不同的參數來估計強度（如落石過程中的能量，可參見第 2.9 章。）。

因此，強度圖即構成危害圖的製作基準，但還有許多其他可能的應用。例如，可從能量及空間分佈推導出用於防護結構尺度調整的相關資訊（能量吸收能力、合適位置等）。

- > 功能：制定危害圖和風險分析的基礎（EconoMe），用於應急計畫、當地防護、防護措施設計的儀器。
- > 內容：每種情境的 4 個強度等級（低、中、高和無危害）。
- > 處理深度：高（類似危害圖）
- > 比例：1：2,000 到 1：10,000（類似危害圖）
- > 週長：區域、社區（不廣泛，類似危害圖。）
- > 更新：類似危害圖。

圖 6：落石強度圖

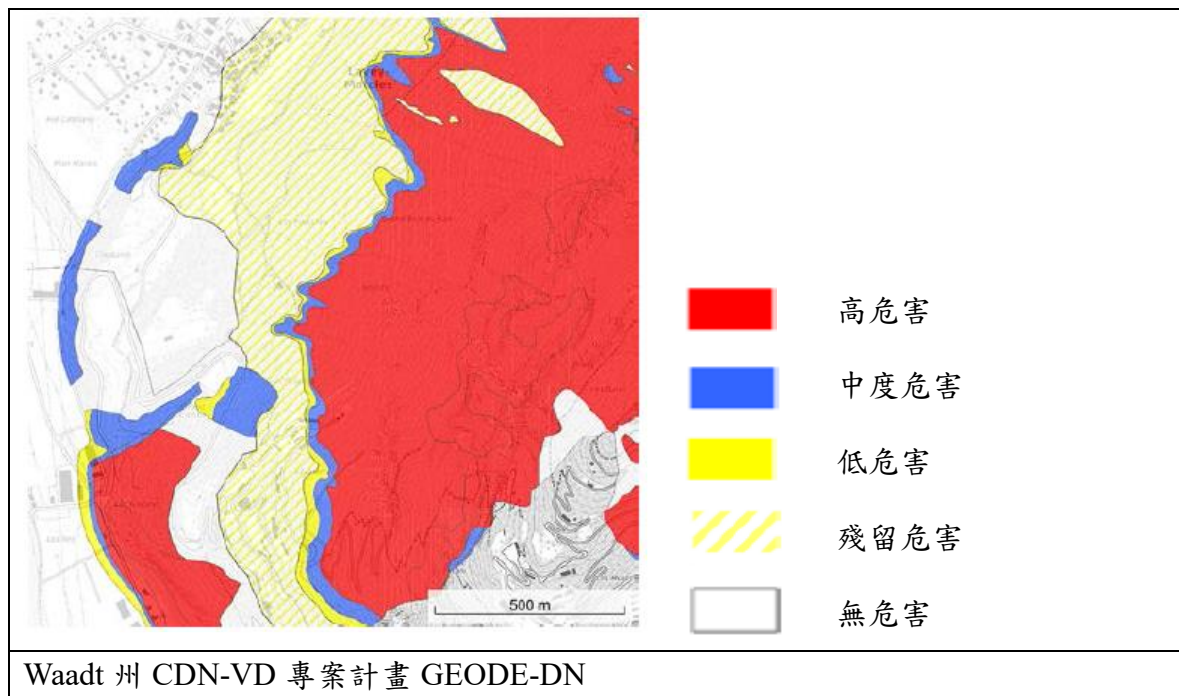


2.6.3 危害圖

危害圖和相關的技術報告包括天然災害發生原因、過程、空間範圍、強度和機率相關的詳細資訊（圖 7），這取決於有關當局的作為，危害圖主要用於公共土地利用計畫（地方計畫）時，應參考專家關於天然災害的考量事項，這對規劃和強制執行地方保護和應急計畫相關的措施也很重要，但危害圖並未指出哪些風險與所描述的過程彼此相關。

- > 功能：土地利用基準、土地利用規劃中指出危害區域、指定建物法規、行動計畫等內容。
- > 內容：有關危害類型、區域的空間範圍和危害程度的準確資訊（根據強度和機率分為 5 個等級）；詳細的文件管理作業。
- > 處理深度：與劃界相關的高精度作業（繪圖級別）。
- > 比例：1：2,000 至 1：10,000。
- > 邊界：區域、社區或分區（未必是連續覆蓋的範圍，即根據指定的邊界，其基準應盡量包括未來可能擴展的範圍和防護準備。）
- > 更新：如在修訂土地利用計畫期間，當危害造成重大變化的情況下（如實施保護措施或改變自然的先決條件後），若新的評估方法和文件管理作業可達成更好的評估結果，應考慮下列的危害事件（來自情境或影響評估所造成的偏差）。

圖 7：落石危害的危害圖



危害文件管理作業的數據建模和發佈

對於直接受天然災害影響的一般人應盡可能知道這些危害所造成的危險狀況，各州當局應藉由適當的形式向公眾提供危害狀況的相關說明文件（森林法第 15 條）。

地質數據模型：

- > 標識符為 166.1 的「危害圖」（相關的危害指數圖、強度圖和危害圖，如第 2.6.1-2.6.3 章內容。）

進一步的資訊

- > Hazard maps: www.bafu.admin.ch/naturgefahren > Fachinformationen Wasser, Rutschungen, Sturz, Lawinen > Gefahrensituation und Raumnutzung > Gefahrengrundlagen > Gefahrenkarten, Intensitätskarten und Gefahrenhinweiskarten (German, French, Italian)
- > Data models: www.bafu.admin.ch/geodatenmodelle (incl. model for hazard maps, German, French, BAFU 2015)

2.7 使用強度機率圖進行危害評估

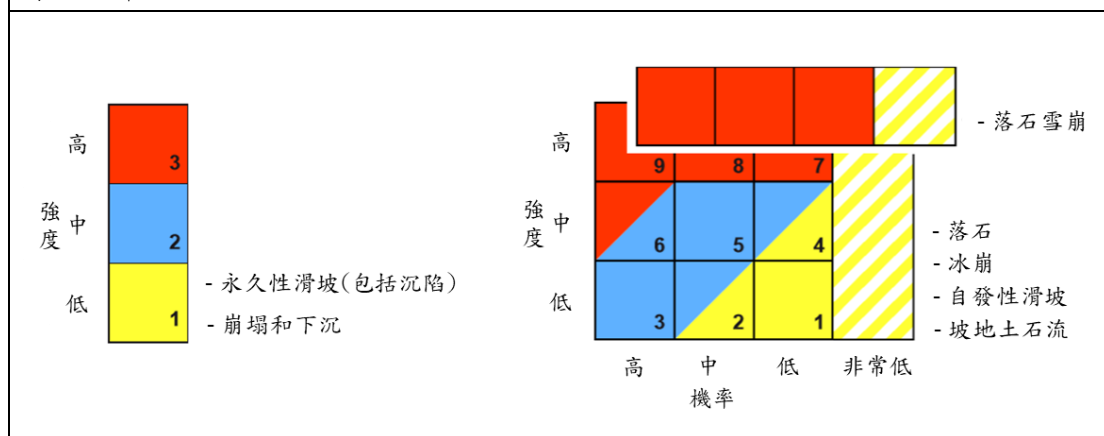
危害圖製作主要取決於空間規劃目標，因此，僅包括 3 個危害程度和 1 個發生機率非常低的殘留危害區。若在評估區未發現到危害或威脅時，在地圖上將其保留為白色。根據人命和物資可能產生的影響其相關的統一標準進行分類，旨在藉由平等的基礎評估所有的天然災害過程，這急需進行空間規劃措施、一般情況和防護結構狀況下的比較，這些一般性的標準是針對雪崩、洪水和大規模崩移的危害進行一致性的評估（參見 BWW 等 1997 BFF 和 EISLF 1984）。

兩個強度和機率（或迴歸期）參數可用於定義各種過程的危害程度，這些參數總結在幅度機率圖（圖 8）中，也稱為「強度-機率圖」，包括用於呈現自發性大規模崩移的 9 個欄位，具有 3 個欄位（不包括機率）的圖形用於呈現永久性滑坡和坍塌的狀況，關於永久性和自發性滑動過程的區別：

自發性過程是突發現象，即先前沒有運動或沒有這種高速度運動的跡象，自發性運動的實例包括初始過程（第 1 次發生），再度活動的過程和部份斷裂，在頭部或前方區域出現結構鬆散並呈現增高的活動狀況，可為這些過程給出發生機率，關於永久性的（連續）過程，即表示無需細分發生機率或機率視為 100%，永久性滑坡（加速、減速）也會出現速度上的變化，這些狀況即根據強度標準納入評估中（圖 11）。

圖 8：永久性的過程（左）和自發性大規模崩移過程的強度機率圖（右）

處理冰崩過程即類似落石的處理過程，可使用右圖評估，附錄 A2 所定義的沉陷即視為類似永久性的滑坡來處理（即左圖）。關於坍塌和沉降（包括陷孔），其處理可分為 3 類即低、中和高度危害狀況，危害程度可藉由永久性滑坡類比的紅色、藍色和黃色類別強度等級來加以確定，更多詳細內容可參考第 5.4 節內容。



分類顯示對人類、動物、建物、基礎設施和主要物資的危害程度，考慮到人民安全比建物更重要的事實。

表 1：危害程度的意義

關於土地利用規劃的應用，可參見附錄 4（表 6）和出版物“Raumplanung und Naturgefahren”（ARE et al 2005）等內容。

危害程度	意義
紅色：高	<ul style="list-style-type: none"> 建物內外人員都處於危險中 可能會快速破壞建物或： 事件的範圍可能較小但發生事件的機率較高，在此狀況下，任何人都處於危險之中，特別是在建物外的人更在危險中，建物會遭受相當大的破壞或無法居住。
藍色：中	<ul style="list-style-type: none"> 建物內的人員面臨很小的危險或幾乎沒有風險，但在外面的人員有危險。 可能會對建築物造成損壞，但只要遵循施工方法相關的某些要求，就不會在該區域內快速破壞建物。
黃色：低	<ul style="list-style-type: none"> 人員風險很小或沒有風險。 可能會對建物和障礙物造成輕微損壞。
黃-白色區域：殘留危害	<ul style="list-style-type: none"> 使用黃-白色區域表示發生機率非常低，黃-白色區域代表出現殘留危害的區域。 對參考區的指定應採用限制性的方法，應根據特定的過程和潛在損害基準執行作業。
白色	<ul style="list-style-type: none"> 根據當前得知的狀況，沒有威脅或威脅可忽略不計。

危害程度即分別針對各個危險源和過程加以確定，這些狀況藉由指數顯示在危害圖中。下列的縮寫用於表示大規模崩移的類型：

- > 落石：SS
- > 岩石雪崩（Felssturz）：SF
- > 岩石雪崩（Bergsturz）：SB
- > 淺層滑坡：RF
- > 中等深度地滑：RM
- > 深層地滑：RT
- > 坡地土石流：HM
- > 崩塌和沉陷（包括陷孔）：D

可為滑坡的運動行為添加額外的指數：永久性（P）和自發性（S）。

強度機率圖中的欄位編號（圖中的數字 1-9，或永久性滑坡和坍塌過程的 1-3，見圖 8。）可添加到過程的縮寫標示內容中，因此，RT8 指數即表示：具有高強度和中等機率的深層滑坡（欄位 8）。

若某個區域存在多種危害風險，則最高風險級別即適用於此危害區域的界定，但危險等級不會疊加構成更高等級，例如：藍色用於標示坡地土石流，藍色用於標示出滑坡區域（不是紅色），這樣做是因為每個過程的威脅通常不會增加並可為每個過程實施防護措施，與此相反的是，在危害出現累積的狀況下，可能造成更大的損害其風險也相對增加，此外，需根據其強度來檢查過程間的交互作用。

2.8 機率評估標準

可藉由可用的方法為每個過程給出機率，在洪水和雪崩防護方面，「復發期」一詞具有非常明確的意義，就大規模崩移而言，即採用「年度發生機率」一詞。在數學上，這兩個術語是互為倒數：

$$P_y = 1/T$$

P_y = 年度發生機率

T = 迴歸期

年度發生機率是過去事件的統計值，0.033 的 P_y 值意指如此的事件將在 1 年內出現 3.3% 的機率，或在 30 年期間出現 1 次的機率，在大規模崩移的區域

中，年度發生機率（0.033、0.01、0.003、<0.003）即類似洪水和雪崩防護的迴歸期（30 年、100 年、300 年和> 300 年），考慮到氣候場景，預計的降水量和強度會發生變化，溫度也會升高，應盡量考慮到這些變化及冰川和冰原地區（例如永久凍土）的冰雪融化等狀況。

可根據年度發生機率算出某段時間（如建物的使用壽命）的發生機率：

$$P_n = 1 - (1 - P_y)^n$$

其中： n = 期間
 P_y = 年度發生機率
 P = 發生機率

在某些狀況下，可藉由觀察和監測來改進對大規模崩移過程的評估結果（見第 4 章），根據其動力，特別是大而深層中的岩石可提供發生機率的重要相關資訊。

表 2：發生機率和迴歸期間的對應關係

發生機率	
50 年期間的發生機率	一般的發生機率
100 到 82%	高
82 到 40%	中
40 到 15%	低
< 15%	非常低
迴歸期	
迴歸期的年數	一般的迴歸期
< 30	頻繁發生
30 到 100	發生頻率普通
100 到 300	罕見發生
> 300	非常罕見發生

2.8.1 墜落發生機率

在大規模崩移的情況下，對歷史事件的分析只能確定年度發機率提供有限的參考依據：像是落石較小的墜落事件，對沉積區的碎片產生狀況進行分析也是一個很好的方法，可藉由經驗來確定發生機率。相反地，若發生像岩石雪崩較大的事件，則需根據潛在釋放區域的特徵來估計發生機率，因此，為能夠評估發生機率，地質學家確定類似的演進過程並確定地質潰裂機制，對變化條件的評估（冰川退縮、排水、溫度升高等）在本文也具有重要的意義。

在災害繪圖的實務中，可從不同的資訊來源推斷落石過程的發生機率：

- > 對岩體破裂或加速機率的評估即根據當地或釋放區域的地質岩石來進行分析，也稱為危害供應區，微觀結構分析和斷層或裂縫紀錄即為此階段工作內容的一部份。
- > 觀察碎片錐或沉積區域的「沉默目擊者」，在天然災害登錄資料的幫助下，可界定落石和岩石分配機率的類別。

所有的觀察資訊都納入情境的定義內容中。

2.8.2 滑動發生機率

永久性滑坡的發生機率是 1（或 100%），即表示此事件已發生，因此，建議首先確定平均長期速度（ v ），藉此評估危害程度。第二步即考慮升高的速度（ v_{max} ），速度的變化取決於不同的因素，即降水、坡度水位、深度和體積都具有其重要性，當分析成本增加，綜合評價的可能性隨體積、深度過程和地下水循環的增加而下降。

關於崩塌活躍的滑坡可能出現罕見的（ $P_y = 0.01$ ）和非常罕見的（ $P_y = 0.003$ ）滑動速度（ v_{max} ），需考慮不利的演進狀況或情境（自發性釋放、初次崩移、第二次崩移、同時出現洪水和山崩地滑等），在加速過程中，地滑可能擴張並引發先前不穩定或不活躍的岩石塊，特別是孔隙或岩層斷裂處的水壓劇增時，可能出現地滑加速和再度活動的狀況，藉由詳細的現象圖可進行這些危害的定位（Raetzo 和 Rickli 2007），可藉由計算和建模評估尚未滑動但處於臨界狀態的未固結材質與滑坡不穩定發生機率（潛在滑坡）的關係。在實心岩石中，評估需根據地質力學來進行假設。

當次級滑動表面在前方部位引發「自發性」破裂時，即出現活動滑坡的特殊情況，即部份的岩塊大量加速崩移，這些快速崩移過程將在下一節中討論，評估加速崩移的情境時，應考慮滑坡的擴張、二次滑動面的形成及差速運動的增加等狀況。

自發性地滑會造成下列狀況：

- > 淺層到深層出現旋轉或平移的地滑崩移，即迅速出現自發性崩移，無任何的初步跡象和先前崩移事件可參考，在近年來的暴風雨中，這種自發性的過程經常出現降水高峰後，塊體滑動體積可高達 100,000m³，圖 9 中的方法適用於確定淺層地滑（第一次崩移）的發生機率，這種滑坡會造成坡地土石流（第二次崩移）。
- > 影響高速或河流侵蝕造成陡峭滑坡面自發性滑動或脫落的部份深滑岩體，這種岩體潰裂的可能性取決於岩石的堅固性主要的滑坡速度、水文地質條件及下伏河道的侵蝕速率。在自發性滑動的狀況下，（新發生）次級滑動表面通常變得活躍，在極少數的狀況下，這些過程造成的活動岩體數量可達數百萬立方公尺，與此類事件破壞能量和對建物的影響與岩石崩塌的程度有關。

不管是否處於變化狀態，機率概念用於顯示活躍滑坡的狀況，這種滑坡再度活動可能性明顯取決於天氣條件，例如，長時間的降水可能與積雪結合，讓滑坡重新活動。

在先前無地滑現象的地方，其地滑過程與非活動地滑的特殊情況有關，在暴風雨期間，山崩地滑可能自發性瞬間發生在先前未出現地滑的地方（第一次塊體崩移），淺層滑坡的可能性可藉由現象映射、坡度、疏鬆材質分析和坡度水流條件來加以評估（另見第 2.3.4 章）。

2.8.3 流動過程發生機率

坡面土石流可能是初次出現（第 1 次崩移）或再次出現（第 2 次崩移），因此，釋放區的發生機率和處置方式與淺層至中深層自發性滑坡的發生機率類似（第 2.8.2 章），可能引發塊體厚度通常為 0.5-3 公尺，很少可高達 10 公尺。

藉由現場勘察模擬，即可確定碎屑斜坡的處置和受影響的過程，應在均勻地質的測試區中進行此分析，即表示應在均勻地質或未固結的材質條件下進行此分析，應首先考慮岩土工程的特性，對地層特徵考慮較少，下文介紹的方法（圖 9）即根據地質學和天然災害工作小組 AGN（由 FOWG 於 2004 年委託進行的研究）的工作成果，也藉此作為評估潛在發生區岩體潰裂的參考基準，在危害分析時，調查研究該區域以前的坡地土石流事件極為重要，若無可用的天然災害登錄數據，也可參考鄰近地區或其他地區的數據進行地質單位近似值的比較。

坡地土石流有 5 個階段的程序可用於評估其發生機率：

確定研究區域

階段 1

根據地質標準確定研究區域，旨在定義統一的基本配置區域，因此，劃分的區域需具備均勻的地質特性疏鬆材質和基岩間應有基本的區別，因為通常鬆散的沉積物會在基岩頂部崩移，還應考慮岩土特徵（如粒度、摩擦角、內聚力、可塑性）。

天然危害登錄和現象圖

階段 2

危害事件登錄資料提供坡地土石流和淺層滑坡的相關資訊，記錄評估研究區域內可能發生的過去事件（地形上的「沉默目擊者」即坡度不穩的跡象和當地人訪查紀錄）。

事件分析顯示超過 70% 的事件地點可建立先前發生事件相關痕跡紀錄，因此，詳細的實地觀測對評估坡地土石流事件是必要的事項。

確定初次地滑區域的坡度

階段 3

對階段 2 的結果進行統計分析，確定坡地土石流的發生頻率，可作為其地質同質釋放區的傾角參考函數（圖 10），推導出坡地土

石流所有釋放區的平均坡角 α_m 及標準差 (σ)，若平均坡度的統計結果確定調查數量不足時，即可參考相鄰區域可比較的地質近似值數據。

一般而言，坡度大於 20° 的試驗區存在不利的地質特徵時就可能出現坡地土石流，在不尋常的地質狀況下，其坡度也可能小於 20° （例外情況）。

確定環境趨動因子

階段 4

不同的因素促進坡地土石流的發生，應逐案根據具體情況審查這些環境趨動因子所造成的影響，本文進行強弱區分的定性分析，但發現並無影響，應在危害圖隨附的報告中解釋所考慮因素的評估和加權事項，應考慮目前的滑坡活動、過去的大規模崩移和可能的水流影響（飽和度、壓力、流動力）。

可能的環境趨動因子：

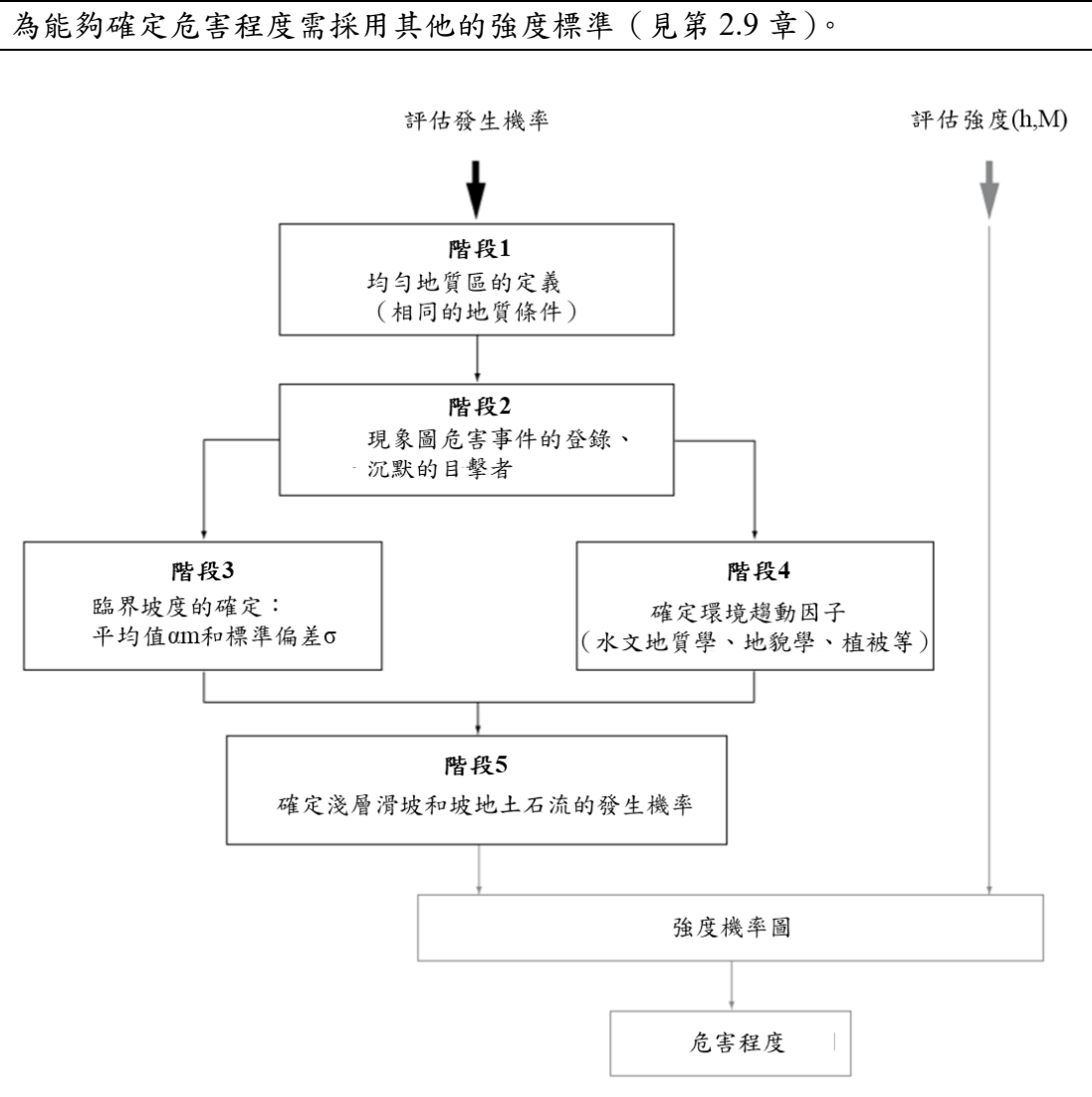
- > 位於永久性滑坡的區域，由於持續運動造成的坡度和水流循環條件的變化。
- > 地形構成：例如從平坦到陡峭的地形變化（交替的坡度）或空洞中的位置過度演進狀況。
- > 靠近滑坡表面的滲透性岩層斷裂處：下面的透水層（如岩石表面）或岩層滲透性差嵌入多孔隙的材質。
- > 水文地質條件：坡體出水口、水源、積水、岩石水流進入鬆散材質中（特別是經過岩層裂隙的水流循環）。
- > 水文條件：積水、水流進入未固結的材質、山腰區域、地表排水和/或斜坡水流。
- > 地表特徵和土地利用：開闊的土地和森林間的區別，開放的侵蝕區、出現破壞的牧場、牛踪、森林破壞（暴風雨、樹皮甲蟲）、不適合的林份組成（例如過度繁茂生長的森林）等。
- > 人為影響：來自不透水坡面（如道路、住宅區、壓實土壤等）的水流、飲水噴泉或泉水溢流、排水系統故障、坡度非常陡峭等。

確定初次地滑區域的發生機率

階段 5

初次發生坡地土石流的機率取決於坡度和環境趨動因子的影響，為此可採用各種評估方法（見附錄 A3）。

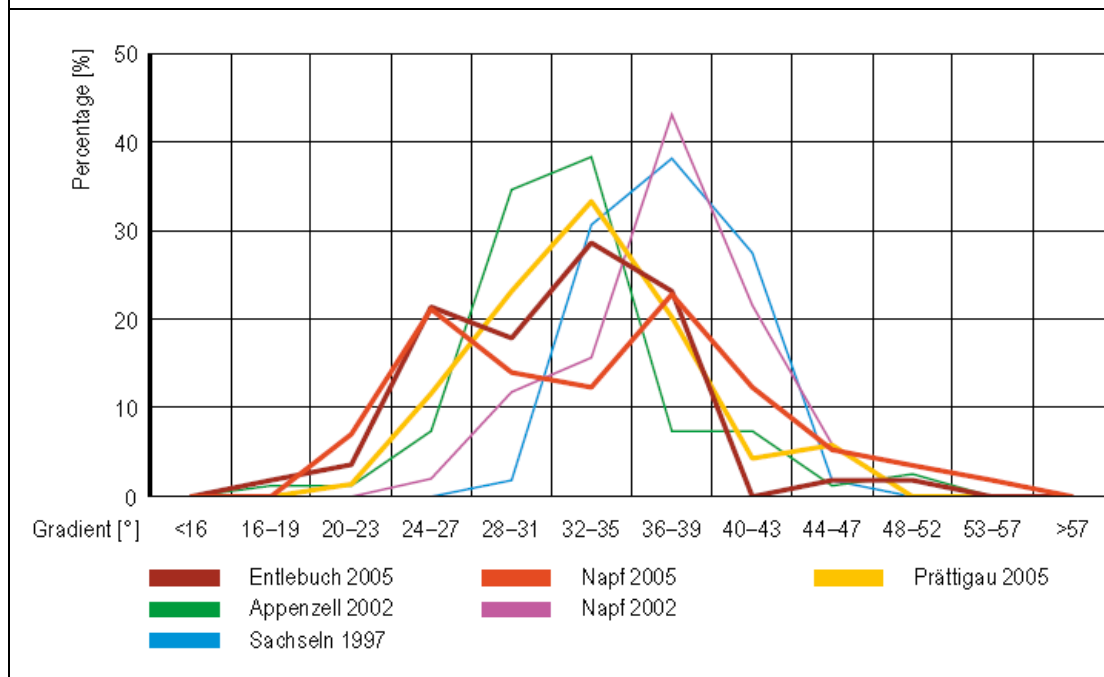
圖 9：坡地土石流發生機率的判定程序階段



其他方法可用於比較紀錄完整的地區，用於判定事件發生的區域，建模可用於發生階段特別是用於某些特定對象的評估。

圖 10：釋放區內每個梯度等級的淺層地滑百分比

數據取自 Appenzell、Napf、Sachseln、Entlebuch 和 Prättigau (Raetz 和 Rickli 2007)，在各種情況下，坡度數據取自暴風雨後的調查結果，節 085 所有滑坡的平均值約為 32° ，坡度分散範圍約 16° 至 57° ，例如，在磨拉的岩層中，在臨界坡度超過 22° 和環境趨動因子的明顯影響下，可能會出現危害威脅，在某些地區，各別的危害別事件會發生在坡度小於 20° 的斜坡上。



2.9 強度評估標準

根據各種過程的作用機制，將強度值定義為高、中、低的強度等級，相關的量化標準通常意指是過程活躍或出現風險的區域（可能出現損害），高強度出現 300kJ 的能量值，即為實心岩體和坡壁強化的阻抗極限值，但此類的量化資訊並非適用於各種情況，或其空間解析度可能不理想，在這些情況下，有關當局和專家應負責提出適當的假設和簡化內容。

<p>下列的文字框中即標示縮寫、說明和註釋內容：</p> <p>E = 動能[kJ]</p> <p>V = 平均（長期）滑動速度[cm /year]</p> <p>V_{max} = 最大滑動速度[公分/年]</p> <p>D = 建物使用壽命內的差異運動[cm/10 m]</p> <p>T = 滑動面深度，滑坡深度[m]。</p> <p>M = 可崩移塊體的厚度（潛勢）[m]</p> <p>h = 坡地土石流或山崩地滑（土石流高度）堆積高度[m]</p>			
過程	低強度	中強度	高強度
1. 墜落過程 - 落石 - 落石雪崩	$E < 30 \text{ kJ}$ --	$30 \text{ kJ} < E < 300 \text{ kJ}$ --	$E > 300 \text{ kJ}$ $E > 300 \text{ kJ}$
2. 滑動過程 2.1 主動、連續、永久性滑坡（也就是永久凍土中的滑動過程）	$v \leq 2 \text{ 公分/年}$	$2 \text{ 公分/年} < v < 10 \text{ 公分/年}$	$v > 10 \text{ 公分/年}$
2.2 自發性滑坡	$M < 0.5 \text{ m}$	$0.5 \text{ m} < M < 2 \text{ m}$ $h < 1 \text{ m}$	$M > 2 \text{ m}$ $h > 1 \text{ m}$
3. 流動過程 坡地土石流	$M < 0.5 \text{ m}$; 在10公分範圍內的漫灘沉積	$0.5 \text{ m} < M < 2 \text{ m}$ $h < 1 \text{ m}$	$M > 2 \text{ m}$ $h > 1 \text{ m}$
4. 崩塌和下沉 （如陷孔）	可能出現陷孔 或容易溶解的岩石	偵測出現陷孔	證實出現陷孔和 傾倒危害

E = 動能[kJ]

- > 30 kJ 可被橡木材質的鐵路枕木所吸收。
- > 300 kJ 可藉由大量鐵材加固的混凝土牆所吸收。
- > E> 300 kJ 在無特殊加固的情況下，無法被混凝土牆所吸收。

Vmax = 最大滑動速度[公分/年]

滑坡加速導致更大的危險，危險程度更高，Vmax 藉由加速階段或岩體重新活動後達到的最大活動的速度來加以定義。定義：Vmax30 意指具有 30 年迴歸期的事件，Vmax100 是指 100 年迴歸期事件或 100 年的迴歸期；Vmax300 意指迴歸期為 300 年的事件。

- > 從某個強度等級（短箭頭標示）改變滑動速度（Vmax）：Vmax30 > 20 公分/年或 Vmax100 > 約 40 公分/年或 Vmax300 > 約 50 公分/年。
- > 從兩個強度等級造成從低強度到高強度（長箭頭、高 Vmax 值）的活動速度(Vmax)變化：Vmax30 > 約 50 公分/年或 Vmax100 > 約 70 公分/年或 Vmax300 > 約 80 公分/年。

若在季度內測量其加速度，則應算出其對應的年度速度：測量的季度崩移速度乘以 4 即可得出對應的年崩移速度，此計算方法也可用於算出半年或 3 個季度期間的速度。

在區域範圍內的危害圖圖（M2）中，V 和 Vmax 的精確測量值通常難獲得，此外，大地測量數據和對應的資訊內容未必適用於詳細的研究（M3 級）或已知的地滑分析中，州級和聯邦當局的測量員可能提供大地測量的數據和速度（另見 FOEN 的 INSAR 數據），考慮到氣候變遷的影響，潛在加速度可視為一種無法獲得測量數據的情境，可能出現的再次活動和加速可能受到降水、融雪、地下水流和侵蝕過程（如山崩地滑基部的侵蝕）的影響，建情境時需說明其理由。

D = 差異性崩移

差異性崩移是根據 10 公尺[cm/10 m]的平均寬度以公分為單位測量的絕對差動距離，這與剪切力、差異值與受影響建物的使用持續時間具有相關性，也與與建物結構的安全性和適用性有關（如約 50 年的期間）。

- > 強度等級變化的差異性崩移（短箭頭）： $D = 2-10$ 公分/10 m。
- > 兩種強度等級變化的差異性崩移（長箭頭、大 D 值或 DD 值）： $D > 10$ 公分/10 m。

T = 滑動面的深度、滑坡深度

相關的（最上面）滑動面需至少低於地面 30 m 才能進行降級，降級（降低 1 個強度等級）只有在同時滿足以下三個條件時才會出現：

1. 巨大而且深的具凝聚性滑動塊體
2. 現象上均質的區域且無較高的二次滑動區域
3. 由大地測量佐證得知時間上均勻移動性質。

若符合條件 1-3 時，具有地滑坡面特性的強度只能在 20 公分/年的最高速度下進行降級。

崩塌和下沉

- > 在陷孔擴散分佈的情況下，可在大範圍的危害圖上輸入易溶地層的相關資料。可能出現下沉危害→低危害區（黃色）
- > 現場檢測到空間範圍的明確指標，則塌陷和沉降（如在陷孔中）屬中等強度，岩溶地層的溶解過程導致沉降，沉降可能是快速或非常緩慢，在此情況下，此區域即分類為具有中等危害程度（藍色）。
- > 出現明顯的坍塌危害，可標示為高強度和受到相當大威脅的區域（紅色），例如，石膏形成物非常容易溶解或造成陷孔。

若具有不同岩性和良好的承載力（如厚實的冰磧覆蓋層），則坍塌危險隨著第四紀覆蓋層的厚度而下降。

危害評估應包括所有的陷孔週邊區域，可再另外標示出 1 個危險區域，藉此防止下沉區邊緣出現二次沉陷的不穩狀況，經常出現陷孔的區域通常會聚集在一起。

2.9.1 墜落過程的強度和損害概況

<p>岩石和巨石的彈跳會造成相當大的破壞，建物的結構元件和磚石或屋頂中的孔洞大裂縫可導致部份或完全坍塌，即使在建物內，人類和動物也面臨嚴重威脅，建物的倒塌會威脅人命，維修成本會非常高，結構損壞的範圍通常非常大，造成不可避免的建物破壞，沉降物的沉積會導致水道淤積，若在新建大壩後面形成湖泊，則大壩穩定性變差。在大壩出現不穩或侵蝕的過程中，洪水和大規模的河道土石流可能威脅下游區域，地上的基礎設施（如道路、電力線）也可能被岩體墜落所直接損壞和阻擋。</p>	高強度
<p>取決於結構質量而定，岩石的彈跳會造成大幅度的破壞但不會影響建物的穩定性（若建物設計可承受此壓力時），門扇可能嚴重受損或毀壞，建物內的人類和動物幾乎沒有危險性，但損害影響住宅品質，通常會按照毀損狀況各有不同的維修成本，掉落的材質沉積可導致小溪流的阻塞，道路和架空的電力線路可能會受損並暫時中斷其功能。</p>	中強度
<p>墜落過程可能造成砌築體出現潰裂，建物內的人類和動物通常不會受到威脅，但低度的岩石墜落過程中，建物外的人畜會受到威脅，落石擊中頭部可能產生致命的後果。</p>	低強度

2.9.2 滑動過程的強度和損害概況

<p>地形的強烈變化導致地基相當大的差異性崩移，即明顯損害建物的穩定性，由於建物結構部件出現裂縫、沉降和傾斜現象，可能發生部份或全部的坍塌，門窗無法使用，建物內的人類和動物幾乎沒有危險性，但崩塌可能造成致命的危險，只能面對相當高的維修成本。結構損壞的範圍通常非常大，即無可避免需拆除建物，基礎設施嚴重受損（如道路堵塞），電纜斷裂，水道可能阻塞。</p>	高強度
<p>地層崩移可能出現牆壁裂縫，但不會影響建物的結構穩定性，接頭的密封功能和不同結構部件間的連結受損，門窗阻塞，對建物內的人畜沒有直接的危險性，但損害會影響住宅品質，對基礎設施會造成損害（如道路、地上和地下電力纜線的變形），排水道可能阻塞或破裂。</p>	中強度
<p>輕微的地層崩移可能造成輕微的損壞，建物的穩定性不受到損害，較大的穩定結構體通常不受影響，由於地形變化，建物可能傾斜，對建物內的人畜沒有危險性。</p>	低強度

2.9.3 流動過程的強度和損害概況

目前的實務即根據過去多年的經驗，採用可崩移的塊體（M）厚度和沉積物厚度（h）參數來評估流動過程的強度，如同雪崩一樣，預期將來會考慮其他參數如衝擊壓力。

強度等級說明如下：

將大量碎屑、泥漿、木材與水混合在建物結構部件上的彈跳可能導致嚴重的結構損壞或突然破壞，因為建物崩塌和洪水危害，人畜會面臨相當大的危險，坡地土石流可穿透建物（穿透門窗、玻璃幕牆和結構薄弱點）並危害人命，維修成本會非常高，大面積的侵蝕、碎片沉積和洪水造成地形大幅變化，導致基礎設施（道路、電線）的功能中斷或破壞。	高強度
雖然是較淺層的崩移，崩移的坡地土石流仍有其危險性，因為這會帶來碎屑，岩石、巨石和穿透的水流彈跳會對建物外殼和內部造成損害，但不會損害其整體的穩定性，坡地土石流可穿透築物並威脅人命（穿透門窗、玻璃幕牆或結構弱點），建物外的人畜會面臨危險，住宅品質可能會嚴重受損，通常會按照毀損狀況各有不同的維修成本，土石、泥土和木材的沉積會造成破壞和阻塞，尤其是地上的基礎設施（如道路），通道、管道和排水道可能阻塞。	中強度
由於狹窄和停止崩移的碎塊的阻擋，穿透的水流幾乎只在坡地土石流的逕流區內流動，建物圍護結構或其內部受到輕微的損壞，穩定性不受到任何影響。	低強度

2.10 情境定義

情境意指未來事件可能發生的狀況，但大規模崩移實際上會出乎意料不斷影響特定區域，在某個事件中，可想像其非常不同的受災結果，這些受災結果可能加劇、突然改變或與出乎預料。

由於此類過程的種類繁多複雜，因此需採用情境預設進行危害評估作業，為每個情境給出機率。

這些情境還在穩定或未受災的區域中呈現發生過程和空間範圍的相關組合，例如，洪流的橫向侵蝕導致引發滑坡形成大壩阻擋水流，當大壩突然斷裂，大量

的固體物或變成碎片向下流動，2005 年暴風雨期間的 Brienz 土石流就是受到塊體崩移嚴重的影響。

2.10.1 準備情境

不預設立場對情境設定很重要，在沒有任何理由的情況下，甚至無法排除不太可能發生的事件過程，如 2005 年 8 月的洪水事件，應考慮超出當地經驗的事件設限閾值、過程變化和序列（「思考無法想像的災變狀況」），因此，應考慮非常不可能發生的災難情境或過程。

這些災難情境需具備足夠的代表性，可用於公開說明展示所有可能發生的災難問題，應充份考慮對潛在危害的可能影響，事件歷程也攸關緊要。

2.10.2 選擇情境

雖然有詳實的科學文獻資料，但良好的估算模型、技術工具和危害評估品質的明確理解也是非常重要，在實務中出現的問題就是這些情境對受災區域應有足夠的代表性，因此，即可作為危害評估和措施規劃的堅實參考基準。

選擇或省略情境的論證和動機需藉由日後可理解的方式加以記錄，因此，確定發生機率和滑坡、落石和坡地土石流強度都需要高品質深入理解的參考文件（見上一節內容）。

定性考慮對危害評估與計算也同樣重要，因此，需詳細說明技術報告的內容，紀錄內容也需考慮日後無法讓人理解其內容的可能因素。

情境選擇也伴隨著不確定性，處理不確定性的方法將在下節內容中說明。

2.11 處理不確定性

關於天然災害的過程、強度和發生機率的確定程度，這基本上與不確定性具有相關性。此外，當事件發生的狀況超出以前的經驗範圍，這些不確定性就增加，現有的不確定性導致危害評估和行動計畫也不準確，對所有參與者的自

由裁量範圍構成挑戰。

本文無法全面描述所有事件的過程，在危險評估行動及應急計畫的制定過程中，特定區域總會出現意外狀況，在災難事件中可預測非常不同的發生過程，這些過程可能自發性加劇、突然改變或出現意外變化。

事件的多樣性

若對災難過程進行廣泛連續的觀察，即可採用統計方法或置信區間量化相關的不確定性，這種情況可能適用於最常見的發生過程中，在此情況下，可使用統計分析確定發生機率出現對應的不確定性其可能的強度（圖 12）。

關於大規模崩移，即使可參考的事件非常少，可能的話，應盡量估計呈現可能的受災範圍，若危害登錄內容僅記錄較低強度更頻繁的災難事件，但現場評估顯示可能發生更大的災難事件時，則需增加受災的推斷體積或速度。

要外插求取非常罕見的事件時，應特別注意，因為這些事件都缺乏門檻值、發生經過及後果的資料（圖 13），需估計現有對應的不確定性，相關的情境應根據充份的文件紀錄內容。

圖 12：特定發生機率的強度範圍

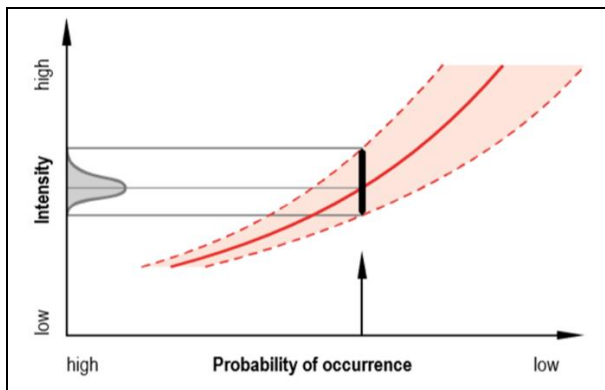
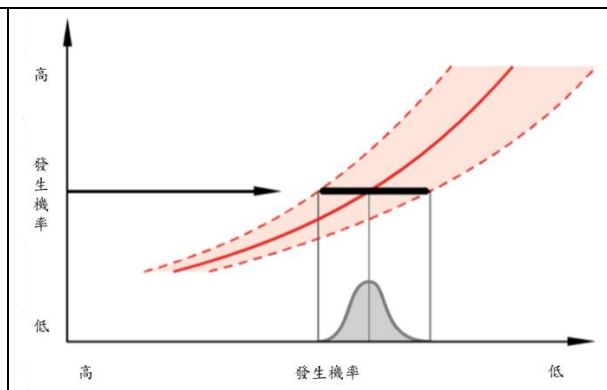


圖 13：特定強度的發生機率範圍



Bezzola & Hegg 2008

3. 行動要求

「聯邦森林法」旨在促進保護人命和重要物資，防止山崩地滑、侵蝕和落石的破壞（森林法第 1 條第 2 款），本章說明判定行動要求的相關過程。

若土地使用區域存在威脅，需評估風險情況。首先，應確定風險，然後將目前的情況與保護目標進行比較，再從這個比較結果推斷出行動要求並擬定優先權，第 4 章說明後續行動計畫所採用的方法。

3.1 風險識別

第一步即進行所有危害過程的演練分析，特定區域的風險取決於某種或多種危害所造成的潛在損害，其所有可能影響的總和，第二步分析對人員和物資所造成的影響，第三步關於識別風險。

可在不同層面上執行風險識別：

- a) 定性風險定義：哪些結構/區域受到哪種迴歸期的強度所影響？數量？
- b) 定量風險分析：可整合分析發生災害的空間機率、致死率和脆弱性，確定各個結構體可能的損害程度。個人風險由平均入住率、平均運輸率和有效存在期算出，個人風險和集體風險之間存有差異，物質風險可根據有效值（直接損害）算出。在重大風險中，應考慮下列的保護對象：建物、基礎設施、對國家經濟具有重大意義的物體、維護人命的資源、文化產品。間接損害並非以標準方式針對所有元素算出，但在嚴重中斷及後續損壞的情況下（例如在運輸路線關閉的情況下），此參數可能是探討重點。

原則上，個人風險評估需根據個人和集體風險的相關參數算出，個人風險說明風險範圍，即個人因威脅而失去生命的可能性，即使所有瀕危人員的個人風險很低，但集體風險也可能很高（例如受害者的人數眾多）。

3.2 安全等級和保護目標

一旦進行風險評估後，就需檢查行動要求的事項：風險是否可由社會承擔或需降低風險？本文主要涉及可接受和不可接受的風險範圍，目標安全級別說

明目標的安全狀態，藉由保護目標不同的參與者說明本身在其責任範圍內所達成的安全層級，或不同參與者對目標安全層級的基本貢獻，不同行為者的責任範圍差別很大。在本準則中，主要著重於制度所規定的職責範圍（例如，有關當局、負責實施森林法的人員），本文未談及個人的責任範圍，受風險影響的人員應自行負責此方面的自我保護（例如，在制度保護範圍外的登山者。）

一旦確定行動要求後，需規劃相關的行動。行動計畫顯示是否可藉由合理的成本降低風險，在此階段，行動者應確定降低風險措施的目標，無論結構體的保護措施為何，將危害圖應用於空間規劃即為危險區的永久性任務（廣義上的行動要求），即表示在最佳情況下，可保持特定的狀態避免風險增加。

預計的安全等級

聯邦當局旨在確保整個瑞士對天然災害的適當安全性，藉此實現藉此實現生態經濟合理並重和社會可接受的狀況。

預計的安全等級涉及天然災害對受保護物體所造成的直接影響：

天然災害不會急劇增加人員的平均死亡風險，由於天然災害造成的人员死亡風險率遠低於瑞士死亡率最低年齡族群中的平均死亡率。

人員

建物

建物為人員和物資提供相當大的保護，建物具有抵抗力，不會對人員和其他物資造成危害，風險承擔者可接受其他關於個人和物資的風險。

重要資產

基礎設施、對國家經濟非常重要的對象、維護人命的資源

基礎設施對國家經濟非常重要，對維護人命的資源構成的風險非常低，可讓當今社會的生存獲得保障，在瑞士大部份地區只能容許重要商品和服務的短暫供應中斷。

文化資產

應保護文化資產免受天然災害的影響，讓文化價值長期受到保護。

也有其他具有價值的資產未制定目標預計的安全等級，對牲畜更是如此，後者在瑞士的立法中具有高度的優先權，對物資的處理方式也不同，概由物主自行保護。

保護目標

保護目標說明負責的行為者對安全等級的影響量化程度，藉由保護目標，有關當局可用於說明行動要求的範圍。若未達保護目標，則應參考「保護不足」的相關內容。若保護不足時，有關當局應檢查是否可藉由適當措施來降低風險。因此，保護目標實際上也是評估行動要求的標準，有關當局的保護目標只能由負責單位自行確定，保護目標的確定應考慮瑞士聯邦制度，其中的公社和各個州政府擁有很大自治權可藉此行使直接民主。

因此，許多的州政府即制定保護目標的清單表，此圖實例如附錄 A5（ARE 等人 2005）。根據 NFA（新財政均等化）手冊（BAFU 2011），聯邦環保署（FOEN）制定以下的個人風險測試標準：每年個人死亡風險大於 10^{-4} 至 10^{-5} 的專案計畫，因此，聯邦道路處（FEDRO）還制定國家道路的測試標準：個人死亡風險超過每年 10^{-5} ，每 100 公尺道路的風險即超過每年 10,000 瑞士法郎的水準，每個過程風險來源造成的損失每年超過 10,000 瑞士法郎。

行動目標

藉由實施適當的措施，應可減少或消除現有保護不足的狀況，所有（計畫、技術、組織）措施的總效果與可達的安全等級彼此呼應，制定防止天然災害的行動計畫時，負責的行動者應確定行動目標，這些行動計畫即根據保護目標，可在整合行動規劃期間的優化下進行探討，在合理範圍內在上游或下游採用此類的行動計畫。在此階段，有關當局即可確定該機構管轄區的優先權，在這些計畫中，各方面的永續性就是核心所在，例如，在某些州當中，州政府和市政府其管轄道路的可用性應列入標準的考慮事項中。

只要從永續性的角度證明可達更高的安全性，即可獲得比預計目標更高的安全等級。如同以往，聯邦當局也會核實計畫措施的成本是否可被接受，其他可接受的風險可由不同的參與者來承擔。

在合理情況下，所達到的安全等級也可能低於預計目標：在某些情況下，在可接受的成本下，無法接受保護不足的狀況。在其他的情況下，無法具備永續性，例如，對天然景觀的保護可賦予比降低風險更大的權值，在此情況下，需研究替代方案並找到最佳的解決方案。在這些情況當中，專案計畫相關的行動目標可能偏離保護目標，這些內容需根據謹慎平衡利益的行動計畫來加以釐定，因此，還應在專案計畫中對目標進行分級或區分，除了土地利用外，還應考慮危害類型如與危害相關的強度、預警期和季節性。

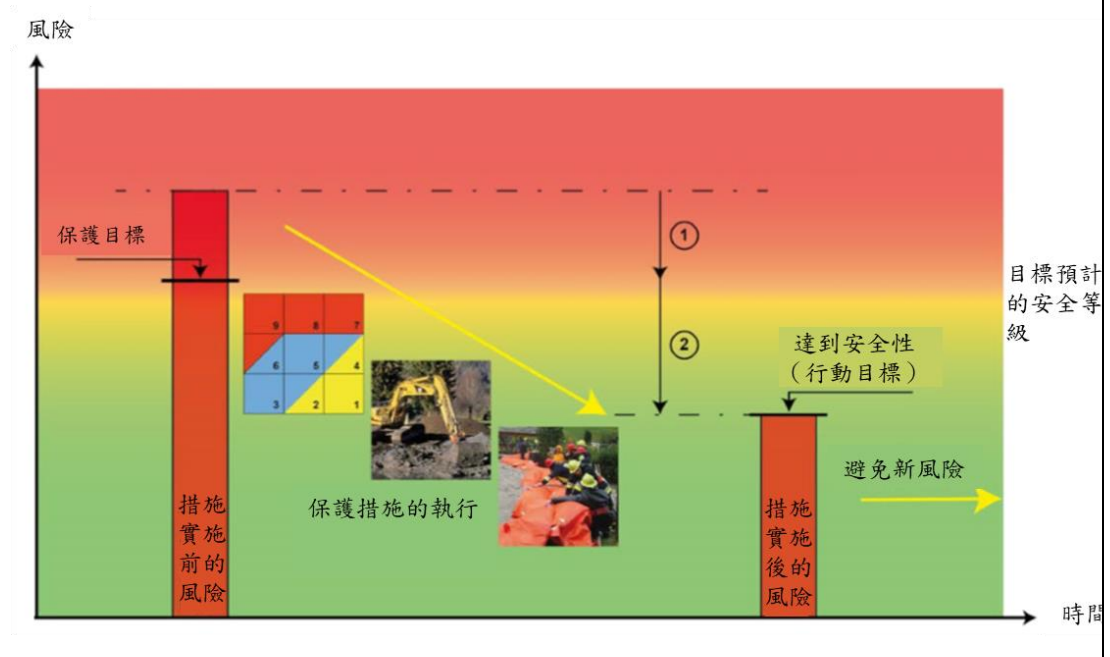
3.3 殘餘風險

風險不可能徹底消除，因為始終都存在一定程度的風險（「殘餘風險」），需向利害關係人說明此點，才不會對計畫的安全等級造成錯誤的期待，利害關係人也應了解本身的職責。

圖 14 提供措施實施前後的風險示意圖，在實施措施之前，風險太高超出預期保護目標範圍所及，即無法達到此保護目標。藉由實施所有的公共和私人保護措施即可降低風險，這些措施包括空間規劃、結構和組織措施等，這些措施是互相搭配而特別制定（見第 4.4 章 ff）。實施措施後風險即降低，在這個實例中，風險降低是根據實現保護目標（①）的相關部份內容，第二部份是涉及執行措施的目標（②）各不相同，應根據每種情況進行調整。實施這些措施後的風險即會低於安全等級的預計目標，因此，所達到的安全等級即處於可接受的範圍或綠色區域，殘餘風險需由不同的參與者（保險公司、財產所有人等）來承擔，此外，應能夠中長期達到安全等級（確保空間規劃和維護、保證應急組織發揮功能等）。

圖 14：措施實施前後的安全等級、保護目標、措施和風險目標

在文中說明



進一步的資訊

- > Raumplanung und Naturgefahren (ARE et al. 2005)
- > PLANAT publication “Risikokonzept für Naturgefahren” (Bründl Ed. 2009)
- > PLANAT publication “Sicherheitsniveau für Naturgefahren” (PLANAT 2013)
- > PLANAT: www.planat.ch

4. 措施

若事先確定行動要求，需採取措施保護人命和重要物資，需根據社會、經濟和生態標準優化等進行這些措施的選擇（森林法第 1 條和第 19 條、第 15 至 17 條），聯邦政府為各州政府負擔天然災害保護措施的相關經費（森林法第 36 條）。

4.1 保護措施的優化

行動計畫是根據危害評估和風險評估所得出的結果，可在無保護缺陷的情況下維持現狀，或在保護有缺陷的情況下來改善現狀，本文需考慮所有可能的措施類型：即被動、主動和組織等作為（圖 15）。

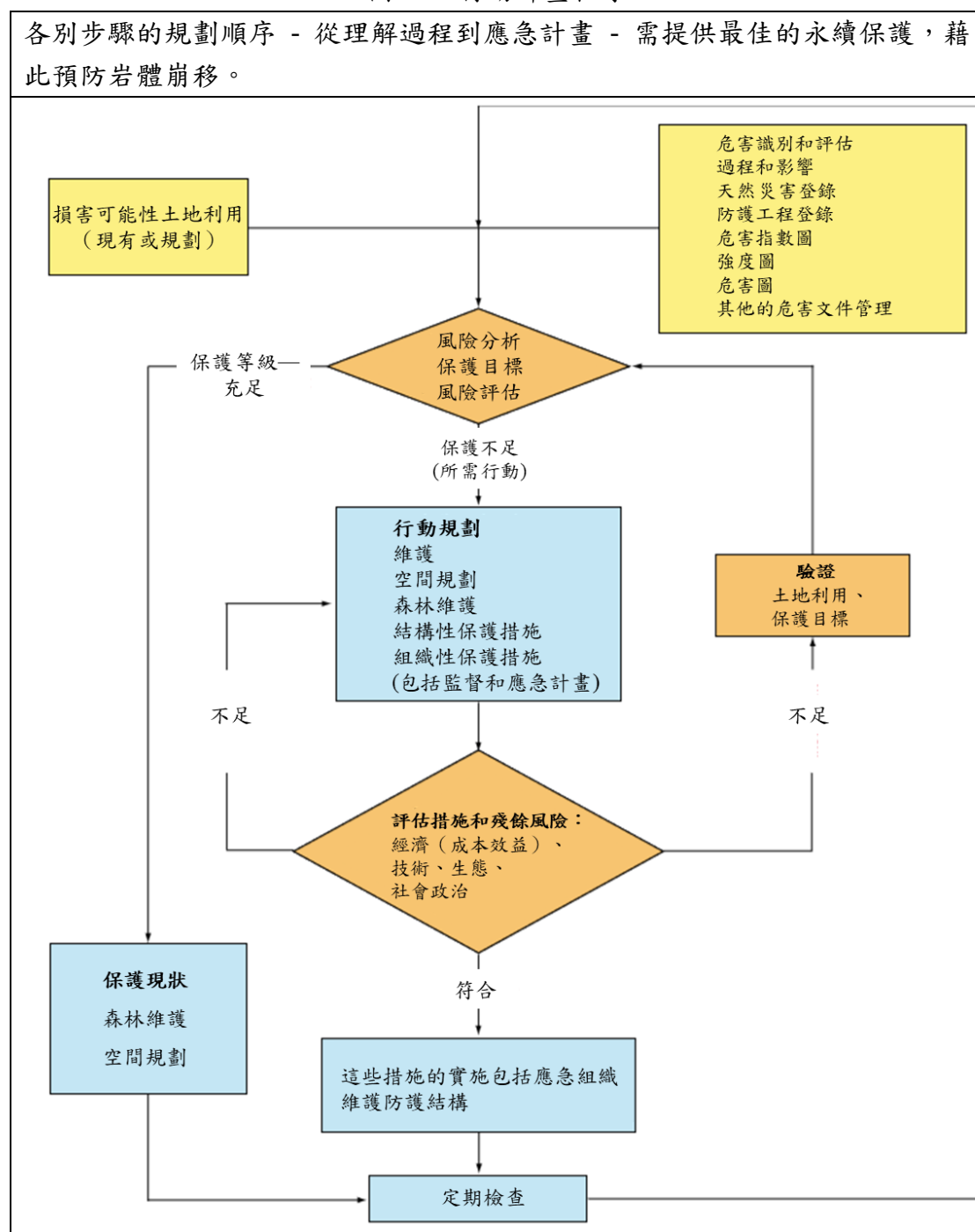
作為行動計畫過程部份任務是區分措施作為是否影響過程或其損害程度，然後按照優先順序說明被動和主動的保護措施。

採用被動的保護措施在不影響事件進程的情況下，造成的損害程度有限（ARE 等 2005），各州政府在所有會造成空間影響的活動中，特別是結構和土地利用規劃應考慮危害文件（危險圖）的相關內容（森林法第 15 條第 3 款和第 17 條第 1 款）。主要應藉由空間規劃（即被動）的措施降低潛在破壞，空間規劃措施應確保土地利用可因應現有的威脅，這還包括適用於預防危害的施工方法，藉由規劃許可過程指定適當的構造方法可確保局部保護的效果（例如，可參見 Egli 2005），土地利用規劃即提供相關的法規內容。

使用主動的保護措施會影響危害過程，保護危害區包括結構措施、地滑區的障礙、排水和預防墜落過程等措施（森林法第 17 條第 1-2 款）。主動的保護措施包括各別的結構防護措施，如落石網、保護性的森林維護措施、植樹造林和排水等。結構性的保護措施可用於值得保護已利用的土地或在權衡所有利益後認定是需保護的地方。若需建造大型水壩或集水區保護免受天然災害的重力影響時，需驗證這些結構體是否符合擋水設施法(WRFA)（見附錄 A1），

本法適用於需符合下列前提條件之一的擋土設施：保留水位應高於地面（或高於低水位）至少 10 公尺，或設施保留水位 5 公尺以上的保留面積應超過 50,000 立方公尺。若出現特定的潛在風險時，聯邦監管機構（第 22 條 WRFA）可縮小擋土保留設施的規模，若威脅人命或破壞大壩可能造成重大損害時，則出現特殊的潛在風險（水庫法第 2 條）。

圖 15：行動計畫程序



選擇適當保護措施的部份任務是必需考慮其相稱性，應從早期階段開始擬定數個不同的應變措施，持續比較其優缺點，每項措施需符合以下條件：第

一，擬議措施需能達成目標，第二，應盡量減少干預，這些措施需能夠被社會所接收。

需比較保護措施的成本與預期的潛在損害，聯邦當局對此已提供計算程式 EconoMe，需根據 EconoMe 證明聯邦當局批准的所有專案計畫的成本效益，若措施的評估結果是正面的，即可決定實施此措施，不符成本效益或用途所需的危害防護專案計畫不具備享有補貼或財政支援的資格。

各州當局應確保整合規劃，特別考慮到森林管理、水利工程、農業和天然景觀保護等利益（森林法第 17 條第 3 款）。因此，還應從生態角度評估保護措施，根據相關法規及天然景觀的具體保護目標，受保護的景觀不因結構體的改變而受損或只受到輕微損害。本文需考慮全國性和地區性的清單和要求規定（如聯邦景觀和國家重要的天然景觀紀念碑設施等），原則上，讓現有的狀況不受到損害，但有機會的話，應盡量持續改善現狀，因此，基於財務技術等原因，可修改人命和物資的保護目標，最終的利益平衡仍需考慮適用法規的框架。

組織措施可用於限制殘餘風險，此類別包括應急組織、測量站、預警服務（森林法第 16 條）、疏散、災難援助和臨時措施。組織措施是措施整體規劃的部份內容

進一步的資訊

- > EconoMe www.econome.admin.ch
- > Norm SIA 261/1
- > Wegleitung Objektschutz gegen gravitative Naturgefahren (Egli 2005)
- > Romang H. (Ed.) 2008: Wirkung von Schutzmassnahmen (Strategie Naturgefahren Schweiz), Einzelprojekt A 3 (2008). Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT, Bern.

4.2 規劃階段

瑞士工程師和建築師協會(SIA)的績效模型說明從需求的制定到管理其建築結構體的整個生命週期，工程師/建築師和客戶提供的服務順序及客戶的決策可分為幾個階段，旨在提供模型並根據實際應用進行調整，至少，這些順序將在主要階段發生變化：

- > 策略規劃
- > 初步研究
- > 設計、制定施工專案計畫
- > 招標過程
- > 施工
- > 管理

過去的經驗顯示可使用以下的規劃原則制定出準時和具有成本效益的專案計畫：

- > 在專案計畫的規劃和實施過程中應採用全面性的觀點，這也適用於最終的利益衝突考量。
- > 應交付所有利害關係人和利益相關方的相關透明解決方案（參與過程）
- > 需對鄰近地區（跨越公共地界、州政府和國家邊界等地區）承擔相關責任。

專案計畫的處理遵循 SIA 服務模型的相關階段和子階段，根據專案計畫的複雜性和規模或措施的緊迫性（如立即行動的關鍵詞），專案計畫階段的擬定各有不同的詳細程度。

進一步的資訊

- > SIA 103 Regulation governing services and fees of civil engineers
- > SIA 112 Service Model
- > Handbuch Programmvereinbarungen im Umweltbereich, BAFU 2011

4.3 現有措施的維護

防護結構的維護與其施工同樣重要，若未加以維護或效率低下時，施工前可能出現再次的威脅，事實上，因為擋土防護結構的破壞，施工前的威脅更

大，定期維護工程可找出弱點和破壞狀況，當災害事件發生後，需具有回復原狀的能力。

因此，維護是永久性的任務，由各州政府、公社和地主根據現行法律進行維護、資助或監督。

維護的性質、範圍和頻率需根據當地的條件進行調整，所有的維護工作應在地主和相關的州政府機構同意下才得進行。

<p>需將適當的維護規劃內容納入保護計畫中，因為這可能影響到措施的選擇，從兩個實例得知，反復排空推移載採樣器或落石網是在頻繁發生危害事件會損耗大量成本，因此，應從經濟和技術角度選擇適當的措施。</p> <p>此維護規劃也有助於區分施工、維護及權宜措施，維護策略規定相關的流程和職責：</p> <ul style="list-style-type: none"> > 誰負責維護和所需費用？ > 誰檢查防護結構？ > 檢查頻率為何？ > 何時及如何進行相關的維護？ 	<p>維護策略</p>
<p>維護控管取決於結構體的性質，日常維護工作的技術要求和財務負擔可能取決於施工類型。</p> <p>滑坡區的排水系統可能因殘餘的崩移而受損或被切斷，需定期檢查排水系統驗證其功能，許多老舊的排水系統會降低其性能，特別是在細粒岩層中，管路燒結和植物根部的穿透可能引起其他的問題。</p> <p>落石網的維護和檢查是永久性的任務，實施防止落石的措施不僅需定期檢查防護結構，還需監控危害源和危害區，藉由對該地區的預防監控，即可確定潛在危害的發展狀況並及時採取其他的措施，檢查措施還應記錄落石的活動，若大量岩體積聚在防護結構體後面，則可能造成各個結構體元件的變形，若岩石越來越損及措施的原始功能，需定期清除積聚在落石防護結構體後面的岩石，若落石造成重大影響，維護工程也呈現不穩狀態，可能需更換支柱、制動器、錨座和地板等。</p> <p>若土地的所有權發生變動，需向新地主說明落石網的保護措施功能，在這方面，其他形式的努力是必要的，需確保新地主容許進行維護工程，否則，基於美觀的原因，防護結構可能被清除，在土地登記處和或保單上增加相關的說明事項，可能有助於作業進行。</p>	<p>維護</p>

4.4 空間規劃的應用

根據空間規劃、水利工程和森林法，各州和公社需在所有可能影響空間的活動中考慮維護文件中的內容（森林法第 15 條第 3 款），這尤其適用於結構規劃、土地利用規劃和規劃許可的授予作業上，各州政府確保整合規劃的進行，尤其要考慮到空間規劃的施工利益（森林法第 17 條第 3 款）。

空間規劃是整合風險管理的部份任務，對預防風險攸關緊要，根據「水利工程法」，空間規劃措施比其他措施優先，空間規劃確保適當使用瀕危地區並藉此方式降低風險，空間規劃措施應能降低風險區域的風險（例如，藉由降低脆弱性或潛在的損害）或防止新風險的出現（例如，藉由放棄新用途或頒布開發禁令）。

危害文件根據風險考量威脅的性質、主要的危險過程、現有和預期土地利用及整個社會的其他利益，風險架構的空間規劃是預防天然災害的措施，此措施不僅具有長期的意義還可節省成本，空間規劃可藉由保留必要的土地進行結構和技術上的保護措施、排水道、緩衝區和風險區的保護等，若空間規劃已考慮所有的可能性並將可能的損害降至最低時，即可以高效益的方式產生重大的影響。

防護結構可承受危害過程，保護措施的效果應可加以量化並具有適當的確定性（約 50 年），其主要目標是提高安全性，次要目標是降低危害圖的危害等級，若已簽署接受維護工程，只有在危害評估中才考慮防護結構，在規劃階段無需考慮，根據準則的危害圖應用和考慮防護結構即構成挑戰（'unité de doctrine'）。

2005 建議(ARE 等人 2005)

在「空間規劃和天然災害」(ARE 等人 2005) 的建議中，聯邦當局即規定適當具有永續性天然災害文件管理作業準則，此建議內容即構成結構體規劃、土地利用規劃和區域指定（見附錄 A4）在應用基礎及授予規劃許可等過程的相關內容，在指定區域和規劃許可流程中，還應考慮職責和風險等因素。

經驗顯示即使在參考區域（黃色和黃白色陰影區域）也可使用簡單低成本的措施降低主要的風險，藉由組織措施可降低這些區域和其他區域的個人風險（見第 3.3 章），這些措施的成本較低但影響重大，

危害程度主要用於建築用地，應防止對人命的威脅並限制物資損害程度，若危害指數圖僅在開發區以外可用時，應根據需要確定危害程度（例如，在開發案

申請期間)，關於休閒娛樂活動（如遠足步道、滑雪道），危險程度不具決定性因素而不適用，若發生危險，行動要求主要藉由風險分析來確定。

在規劃許可過程中，主管部門應核實施工專案計畫是否符合主要規定，還包括防止天然災害的相關規定，附錄中列舉大規模崩移造成危害可能的損害預防建築法規，有關其他危害過程的相關資訊和可能規定，應參考 ARE 等人（2005）的出版物（參見 SIA 標準和 Egli 2005）。

進一步的資訊

- > Spatial Planning and Natural Hazards (ARE et al. 2005)
- > Norm SIA 261
- > Wegleitung Objektschutz gegen gravitative Naturgefahren (Egli 2005)

4.5 森林維護和造林措施

保護危險區域的措施包括造林（森林法第 17 條第 1(a)款），森林藉由預防危害的過程或減災來保護人命和物資免受天然災害。森林維護的構思基礎即假設風險降低與森林間存在直接的相關性，預計的森林狀況即根據對天然災害和特定場地條件的理解得知。

“Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald”準則（「森林保護的永續性和成功監控」）（NaiS BUWAL 2005）提供森林保護對預防所有天然災害的可能性和相關資訊。

進一步的資訊

> NaiS / Frehner et al. 2005, Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald” (NaiS); www.bafu.admin.ch/naturgefahren> Fachinformationen Wasser, Rutschungen, Sturz, Lawinen > Umgang mit Naturgefahren > Massnahmen > Schutzwald > NaiS
> SilvaProtect CH: Schutzwald in der Schweiz; www.bafu.admin.ch/naturgefahren
> Fachinformationen Wasser, Rutschungen, Sturz, Lawinen > Gefahrensituation und Raumnutzung > Gefahrengrundlagen > SilvaProtect-CH

4.6 針對落石之結構性措施

保護危險區域包括落石和岩石雪崩障礙物、擋土結構及岩體可能掉落的預防性釋放區（森林法第 17 條第 1(e)款），一般而言，3 種不同的墜落過程（落石、落石雪崩、崩塌）可測量的數值隨著崩移岩體的大小而下降（圖 16），對岩石崩塌幾乎沒有真正有效的結構體防護措施，對喀斯特地形區的崩塌也是如此。

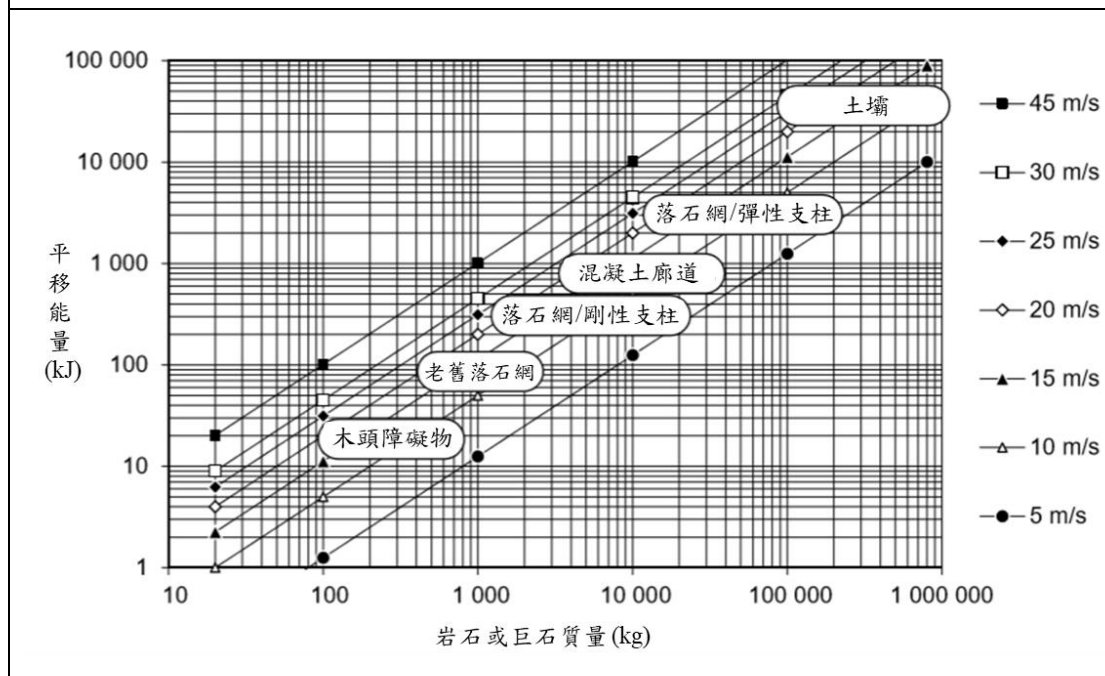
相反地，處理岩石雪崩時，可採取個別措施降低預期的損害，

措施規劃以崩移形式的相關資訊為基礎，由彈跳高度、岩體大小、岩石/巨石尺寸、速度和墜落能量的資訊所組成，也應熟悉墜落的空間軌跡，危害圖沒有足夠的資訊可確定防護結構的尺寸，因為這主要用於描繪墜落物體的能量和可能墜落軌跡的包絡線，判定保護措施不能僅根據最大動能，除了指定參數外，還需考慮其他因素，如可出入性、空間條件和維護，施工成本也攸關緊要。

這些措施可根據過程順序劃分其可能是：發生區（A 部份）、運移和堆積區（B 部份）及當地保護區（C 部份）。

圖 16：墜落過程的平移能量和可能的回復方法部署

動能由平移能量和旋轉能量所組合產生，通常僅代表平移能量約 20% 的數值，圖中顯示平移能量，可根據速度、岩石和巨石質量算出，保護措施的最大固持力如圖所示。



建築工程標準規則特別是 SIA 規範即為防護結構尺寸適用的規範，關於某些類型的結構體，需在所有的子區域中展示其承載能力和適用性，但其他子區域則不需要。例如，保護廊道的尺寸需符合聯邦道路處準則（ASTRA 1998），根據此準則，需遵循主要巨石的動能算出靜態替代荷載值，然後根據此靜態替代荷載值確定廊道所有區域的尺寸，所使用的彈性落石網需經官方品質認證，買方和用戶需在採購過程中規定保護網、裝配、定位和基礎等要求規定，支撐鋼繩中力量通常應再增加 30%，這些增加的力量是基礎和錨固尺寸其靜態替代支撐荷載所需。雖然這些尺寸已另外考慮其他的荷載值，但需根據各種情況測試過載結果，這是因為岩石的異質性，落石質量可能性出現較大的不確定性（見第 2.11 章），在高山區域設計防護結構時，應考慮永凍土施工的建議事項（Phillips 等 2003）。

A. 發生區中的措施

可在釋放區或起源區域執行以下的措施，藉此降低相關的危害：

- > 造林和生物方法
- > 岩石清理、爆破
- > 覆蓋、鐵絲網
- > 土釘、錨固、支柱、托底

B. 運移堆積區中的措施

- > 森林和生物措施，將砍伐的樹木放置成十字形（「交叉砍伐」）
- > 鋼架支撐的防護牆、落石網、保護廊道、防護壩

C. 當地保護措施

這些措施主要納入現有的結構體施工（對象的措施）中，建物牆壁加固是標準措施，窗戶和門洞需同時消除或加固，根據定義與土地相關的落石網、防護牆和防護壩也歸類為「當地保護措施」。

4.7 針對滑動之結構性措施

保護危險區域包括滑坡和溝壑控制結構、排水工程、擋土結構和侵蝕保護區（森林法第 17 條第 1(d)和(e)款），滑動過程在深度、寬度、長度和陡度方面出現很大的差異，滑坡的地質、水文和地形條件也具有異質性，因此，根據現有條件需採用不同的補救方案，以下列表概述為了改善穩定性和緊密性所採取的可能措施（改編自 Reuter 等 1992）：

- > 地表和地下的排水（重力或使用幫浦），可讓地表水的排水滲透最低化；
- > 結構 - 物理措施：
 - 支撐結構（如擋土牆、淺層和中深層滑坡用的木箱）
 - 錨座、釘子、插樁、支柱和小支柱
 - 土工布
 - 網子/吊架
 - 表面密封
- > 發生區（排放）和坡腳的地形變化（如制動效果）；

- > 藉由更換材質來改善岩石特性；
- > 造林措施、工程-生物邊坡穩定、侵蝕保護等措施（如在水道中）。

較小的滑動岩體時，通常採用結構性措施，這些方法常見於地質工程的技術中，也有相關文獻加以說明。因此，這些措施的規劃需得知不穩定岩體的實際尺寸，特別是滑動面的深度、岩石特性和水文地質條件，這些資訊通常不會出現在危害圖中，需經過調查才能確定 M3 級別。此外，需藉由高精確度的空間和時間來區分岩體崩移，若資訊不準確或不正確，則會產生風險即造成措施不足或超出範圍的狀況。

在前一種情況下，毀損將造成後續的成本，在第二種情況下，施工成本已過高。

可單獨或跨區安裝錨座和岩釘，對淺層和中層深度的不穩地層更常採用短釘和鋼管的插樁。在此情況下，安裝後會出現些微的崩移現象，地層可吸收應力。要完全阻止岩體崩移時，可根據岩石特性使用預應力錨座，必要時，可使用鋼筋混凝土板和鋼筋加固的錨頭，應定期檢查可能影響錨座的施力狀況（關於監控可參見第 4.10 章內容）。

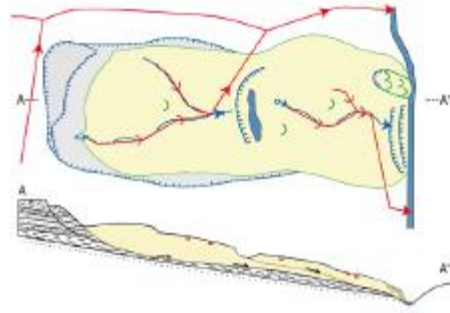
在各種規模的滑坡區域中，排水通常是行動規劃的選擇考慮事項，因此，本文旨在說明滑坡區域所使用的各種排水系統，許多廣泛應用的方法和技術會影響水文地質條件，可藉此提高邊坡的穩定性，可根據發揮功能的區域進行分類：在表面（如地表水的露天採集溝渠）、淺層（如排水溝），最後是大深度（如排水廊道）排水井和過濾井，圖 17），森林也會影響水流條件，可在修復後發揮重要的作用。

有關排水系統其要求和可能性的詳細技術說明，請參見 FOEN 準則“Rutschungen：Hydrogeologie und Sanierungs-methoden durch Drainage”（「山崩地滑：水文地質和排水修復方法」）（Parriaux 等 2010），下文列舉相關的原理和典型用途。

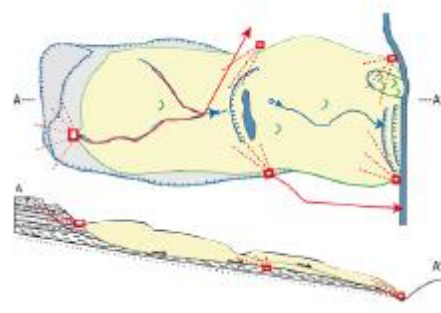
圖 17：主要水文地質整治措施的對比圖

平面圖（頂部）和縱向斷面圖（底部），部份示意圖，沿著軸線投射其構造並在平面圖 D 中，在滑動面上顯示隧道結構。

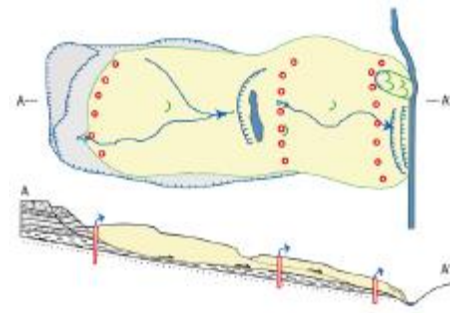
A：地表水集水渠



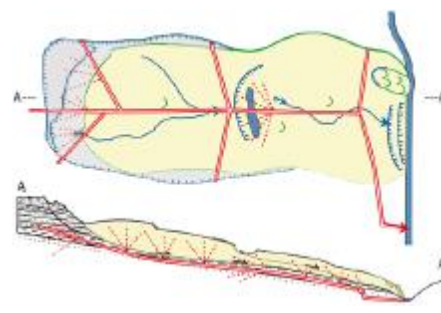
B：近水平排水孔



C：垂直過濾井



D：帶有徑向排水孔的隧道



在 Parriaux 等人於 2010 年後的修改

水文地質修復（排水）的原理在於人為改變水流條件，藉此 **準則** 降低水流運動並增加抑制流動的力量，此結果可藉由兩種方式來達成：

- > 藉由減少表面、側面或滑動岩體下的滲透降低進入地下的水流量；
- > 藉由各種排水技術降低地下水位和不穩岩體和/或地下的孔隙水壓力。

一般而言，所有的排水措施都有助於穩定斜坡。但排水也可能出現不受歡迎的副作用，如沉降、滲透力局部增加、水源密封及受保護的濕地或溪流可能造成乾涸，選擇適合的排水技術是複雜的作業，這取決於幾個因素，特別是：

- > 要加以穩定的滑動岩體尺寸和幾何形狀，
- > 地質和水文條件，
- > 實施措施並讓其生效所需的時間，
- > 此方法的有效性和耐久性，
- > 出入的可能性和位置條件，
- > 對環境的影響，
- > 風險（潛在損害），
- > 維護費用（長期），
- > 可用的財務資源。

4.8 針對流動之結構性措施

保護危害區的範圍包括滑坡和溝壑控制結構體、排水系統、擋土結構體和侵蝕保護（森林法第 17 條第 1(d)(e)款）。如同墜落過程（第 4.6 章），坡地土石流防護可分為發生區、運移堆積區及當地保護區內所實施的措施。另一個區別在於岩體流動：雖然制動措施（或小體積的制動措施）可改變流速（衝擊力），但轉移措施主要是影響流動方向，需知道以下的坡地土石流參數，才可規劃轉移防護結構：流速、流動高度、流動方向、體積、岩體材質特性（如密度、粒度、岩體尺寸）和木材的影響，在下列清單結尾部份將說明不同措施種類的相關技術。

A. 發生區的措施

這些措施有助於穩定山坡，基本上與淺層滑坡所採取的措施類似。

B. 運移堆積區的措施及當地的保護區

可假設不同種類的措施用於本地山坡的保護：

- > 將岩體保留在潛在損害區上方加以保護（例如，使用坡地土石流的保護屏障或土壩）。
- > 防止坡地土石流對建物（如牆壁或水壩）的影響。
- > 使用劈裂楔、偏轉牆或土壩偏轉山坡的土石流。

當地的保護措施包括保護單一建物的所有結構性措施，此類型還包括建物的結構性措施。

4.9 超載

當天然災害產生的壓力或應力超過防護結構體或組合保護系統的保護能力範圍時，就產生超載現象。在此狀況下，應盡量降低評估中的不確定性並確定可能的規模大小。例如，墜落過程中可能超過保護網的尺寸或彈跳能量等範圍，當採用的措施無法發揮預期效果時，也可能出現超載現象。

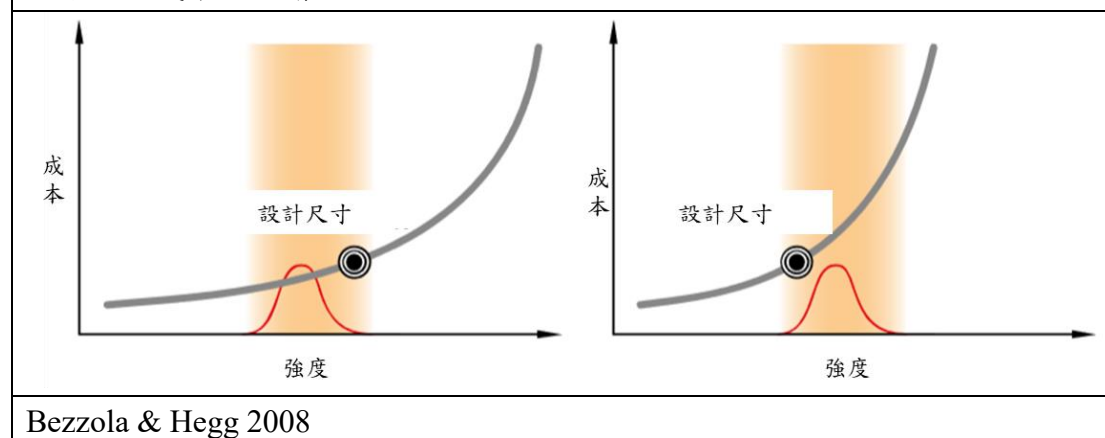
規劃保護措施需考慮現有的模糊性和不確定性：過程動態、意外事件的軌跡、建模結果、保護系統對負載的反應、連續事件等。優化保護措施可考慮所有的不確定性，保護結構的尺寸根據相關情境而定（見第 2.10 章），並針對所謂的設計事件進行相關的保護作業。

洪水統計數據中的數值即用於水災，雪崩危害則採用雪高的統計數據。相反地，岩體崩移的情況取決於相關情境的選擇、保護目標和降低風險的規模，尺寸規模和設計還需考慮可能的後果或預期的損害狀況（風險）。

若一般的尺寸規模調整不會耗費大量的成本，則措施或策略的實施應參考不確定範圍的上限荷載值（圖 18 左側。）。若在不確定性的區域內出現急增現象時，則尺寸規模的考慮應參考下限荷載值（圖 18 右側）。此外，除了強度外，還需考慮災害發生的可能性與相關的不確定性。

圖 18：考慮不確定性範圍的措施設計內容

頻率分佈和彩色區域用於表示相關強度尺寸其不確定性的可能範圍。左：設計值位於不確定性其範圍的上限，成本適中。右：設計值在不確定性其範圍的下限，成本大幅增加。



若防護結構無法達成保護目標時，即可根據整合危害管理的方法採取其他的措施達成更高的安全性：即監控、組織和規劃措施（見第 3 章、4.1、4.4、

4.10 ff 等內容)。因此，規劃措施時應尋求最佳組合，還應設計所有的措施，藉此利用適當資源數量（如氣候變化引起的大規模事件）讓其適應新的一般性條件。

在各種情況下，需說明保護系統超載期間預期將發生何事。當災害超載時，防護結構體不得失效和坍塌，因為這將導致災害不受控制並讓毀損量大增。因此，現有和規劃中的防護結構需進行系統測試，藉此確定超載時的功能和破壞狀況（見第 2.4 章）。但執行岩體崩移保護措施的區域中，無法隨時符合超載能力的條件，在此情況下，應再設立多餘的系統或選擇牢固的系統，即可承受更大的災害不造成故障，在荷載增加的情況下也可提供措施的可靠性（如採用土壩而非落石網）。

強健性(robustness)的定義即表示結構及其部件能承受一定的損壞或破壞，而能承受的限度與造成損壞的因素成一合理比例（SIA 260）。具體而言，組件的故障不會導致整個系統的故障，因此，規劃階段需確保天然災害的作用不會造成短期的損害狀況。根據技術和財務條件，應計畫額外的措施或多餘的系統，藉此盡量減少損害程度，這可能是有用的解決方法。

這些系統可用於補充其他措施的不足，藉此限制殘餘風險並將其降低到可接受的程度。假設超載情況下受災區域和廊道不受影響或可將其清除（第 17 條第 3 款 ForO）時，無論可能性如何，都可藉由規劃的措施達成最高的安全等級和永續性。

4.10 組織性保護措施(包括監督和應急計畫)

若需保護人命和重要物資，各州應建立預警系統。這些系統用於確保測量站和資訊系統的開發和運轉（森林法第 16 條第 1 款），我們可能永遠無法自保免受大規模岩體崩移的危害，潛在危害並非完全不可預測，也不是可完全控制。天然災害事件可能超出行動計畫的擬定強度，出現在意料之外的危險地區或影響到未受災的高度開發區。

組織性的措施旨在限制危害程度和持續時間，這些措施包括監控、預警服務、警報、及時啟動準備好的干預措施、救援服務和支援受害者。在活動之前和之後也需要立即採取相關措施，措施的準備和實施基本上即屬天然災害專家及執行和干預團隊的責任範圍。民間防護涉及以下的夥伴組織：警察、消防隊、保健服務、技術操作和民事防護等單位，部署及合作是順利運作成功處理緊急情況的先決條件。

由於技術和經濟原因，抵抗岩體崩移的結構保護未必都可發揮功能，特別是大型岩體崩移的情況下。若危害區域無法得到完全的保護，即可藉由監控、警報和警告系統以可接受的成本來確保人命安全。

需在適當階段調整和建立警告和警報系統，下文將說明需考慮的各個階段和標準。

在建立監控系統前，需掌握充份的基本資訊，在缺乏基本資訊的情況下，首先需分析危害過程、危害狀況和風險。

4.10.1 預警系統

一開始就需確定監控保護要求和目標事項，因為這對監控策略攸關緊要，定期測量通常同時用於監控和理解危害過程的事項中，如有足夠的反應時間可用於執行補充措施（如疏散）時，通常即可藉由定期測量來監控滑動過程的發展。在快速殘酷的災變過程中，反應時間（或干預時間）很短，因此，需使用永久警報系統監控危害位置。

可根據相關的目標定義 4 個階段來進行監控，在建立警告或警報系統前，需了解危害過程，因此，第一階段危害評估是強制作業，然後即可判定是否執行第 2,3 或 4 階段，測量紀錄次數隨每個階段增加：

表 3：監控階段

階段	目標、類別	臨時調查
1.	提高對過程的理解並進行危害評估	一次到多次
2.	跟踪或監控危害過程的發展	定期監控*
3.	早期檢測、警報系統**	定期*、時常
4.	永久監控警報**	永久***
<p>*定期測量的可能間隔期間：天、月、年間隔可以是定期或不定期，在某些情況下（降水、暴風雨等）可縮短指定的測量間隔期間。</p> <p>**預警系統包括警告和警報系統，這是安全維護策略的一部份。</p> <p>*** 用於警報的永久監控和即時傳輸，需有快速傳輸功能的永久監控作業，特別是發生自發性的破壞。原則上，可監控第一次的危害過程（第一次崩移如落石）和/或第二次的危害過程（第二次崩移如土石流的崩移）。</p>		

在確定監控階段後，需評估地表和地下測量的可能性，第一至第四階段可連續規劃和實施，選擇可能的參數整合到監控策略中，具體內容如下：

- > 位移、變形參考衍生的災害結果：速度、加速度和微量崩移等即根據位移算出。
- > 氣象參數（降水、溫度等）。
- > 水文測量（水壓、水位、流速等）
- > 地球物理測量（微地震、聲學測量等）
- > 岩石的其他參數或危害過程。

選擇的方法或測量技術攸關緊要，問題在於這些方法是否具有可靠、詳細、長期的區域或線性監控效果，需在確定目標前，先評估其優缺點。原則上，可區分為 3 種空間類型的監控測量方法：

- a) 點測量：

實例：用於裂縫測量的引伸計，GPS。
- b) 沿線或輪廓測量：

線性和輪廓測量可在地面或地下使用，例如，在鑽孔中的測量。鑽孔中的測量非常重要，因為當基板發生變化或變形，即可藉此提供可靠的紀錄。

實例：鑽孔中的測斜儀。
- c) 面積測量：

面積測量的優點是可提供空間解析度（或覆蓋範圍），這在危害程度和活動未知的區域中非常重要，實例：LIDAR、INSAR、影像（可能是衛星、空中和地面影像）。

若要取得點、線、面測量的相關資訊，可採用多種方法的組合，當不同的空間

分析出現未決的測量結果或監控作業（其他作業）要求嚴格的狀況下，需採用多種測量方法的組合。

測量精度

需事先確定測量精度的相關要求，因此，需知道測量設備的技術特性或監控系統的精度相關特性。位移測量的精度可在亞毫米到公寸的範圍內，落石威脅通常需要測量到公釐範圍內的精度，需檢查測量設備的精度（校準）。

在新安裝的監控系統開始啟用時，需執行評估階段，可讓相關的參與者了解系統的運作、測量變異性、自然變化及其可能的影響（所謂的「校準階段」）。只需說明安全的相關事項，在此階段後再定義閾值，在評估說明過程中檢查下列問題：

評估和說明

- > 位移量如何變化？動力、運動行為、加速度和位移趨勢？
- > 降水或溫度等外部影響是否具有相關性？
- > 可否證明已出現破壞機制呢？

對岩體崩移的數據和動態說明即為危害評估的參考基準，可驗證方案和預警系統。

若風險發生變化或殘餘風險的不確定性過大，應檢查監控系統，需驗證數據、極限值和系統的可靠性，這包括統計數據的評估和誤差分析（標準偏差等）。

預警系統的可靠性

預警系統的可靠性可分為三類：

1. 技術可靠性（裝置、元件、系統結構）
2. 天然危害警告數據相關的可靠性（相關性）
3. 人員的可靠性（專家、安全人員等）

人員的可靠性主要與預警系統有關，警報系統是干預決策的先決條件，這包括在發生危害事件時專家說明內容的品質，這些人員接受或避免風險的傾向對安全的影響狀況，在發生危害事件的情況下，決策人員需具備可靠性（安全官員、社區管理機構等）。

在數據和測量網路的評估期間，會出現的問題是測量點和參數的數量是否足夠？評估結果可能顯示這些缺陷，測量本身不是重點，也應檢查測量頻率。

需保證預警系統的適用性和可用性，也需具備足夠的耐久性。需在運轉階段定期測試可靠性：系統的可靠性（測量設備的功能、數據傳輸、緊急電源等），天然災害的影響（落石撞擊、雷電等）及對人畜的影響（損傷等），需提供可靠性相關的高要求容許空間。

警告或警報功能危害的演進過程具有相關性，例如，這包括針對洪水、雪崩和落石事件的警告。這些過程具有時間和空間維度，因此，警告功能與特定區域有關，例如，在地區、全國性或國際層面，這些過程都具有時間和空間維度。在受到落石威脅的狀況下，只需幾秒鐘或幾分鐘的時間災害即發生，在不穩定的冰緣鬆散岩體材質觸發土石流時，通常可在幾分鐘內發出警報，對於伯爾尼、巴塞爾和布達佩斯等城市的洪水風險，警告過程通常花費更多時間（數小時到數天）。

警告

地方當局基本上負責發佈當地的警報，在已知的危害區，由經過專門培訓的團隊負責發佈警告和警報，這些團隊可從自己的監控系統和國家機構獲取相關資訊，岩體崩移的極限值應根據具體情況來確定。關於緊迫的落石危險，警戒值通常會定義在公釐或公分的範圍內，疏鬆土壤材質的滑坡其極限值通常較高。

有關當局或機構指定安全策略為天然災害事件作準備，安全策略還應規定負責發佈警告和警報的相關單位，可能的相關人員和組織為：

- > 天然災害專家
- > 安全人員、安全服務、天然災害顧問機構
- > 危害應急委員會、警告應急委員會、警告服務機構
- > 社區管理委員會、社區行政人員
- > 民防行動部隊（警察、消防隊、保健服務、民防和技術服務機構）
- > 州政府、州管理委員會
- > 聯邦當局、第三方機構

這些保護措施的效果取決於風險應變人員的反應，受災人員需接受並理解警報的重要性，也需在遇到緊急危害時調整自己的行為，此類行為實例包括：在紅燈處停車、聽到警報時離開危害區、尋找受保護的區域（另請參閱應急計畫相關內容）。

預警系統的極限值由專家提前確定，特別是針對災害發生的相關位置，還需擬定提升警報等級的程序（限值、控管、職責等），下表顯示具有 3 個限制值或警戒值及相關職責的實例內容：

表 4：警戒值實例

警戒值	速度 v [mm/day]	人員、職責
警戒值 1：	$v > 1$ mm/day	
警戒值 2：	若位移 $>$ 變形	→ 地質學家、專家等
警戒值 3：	$v > 3$ mm/day	→ 危害應急委員會

注意：可擬定少於或多於 3 個的限制值。

進一步的資訊

專家聯邦機構負責國家層級的警告程序（見警報條例和聯邦委員會 OWARNA 法令），聯邦當局和天然災害專家在天然災害共用平台（GIN）上展示處理天然災害的不同相關事項，這些內容包括測量數據、預測、警告和公告等內容。

4.10.2 應急計畫

應急計畫規定發生危害事件時主管當局和行動部隊應採取的相關措施（森林法第 15 條），本文特別著重於人命拯救，可行的話，還需救援牲畜，降低物資損壞程度及有害物質（如化學品）所造成的損害性後果。

重要的是主管當局應了解岩體崩移的危害及相關的警告和警報階段（見上一節內容），藉由制定疏散干預計畫及相關的準備工作，至少可減輕危害事件的不良後果，除了後勤準備外，將人員撤離到安全區也很重要。

進一步的資訊

> Sättele M., Bründl M. 2015: Praxishilfe für den Einsatz von Frühwarnsystemen

für gravitative Naturgefahren.

- > GIN (not publically available): www.gin.admin.ch
- > Owarna: www.planat.ch/de/behorden/im-ereignisfall/owarna
- > Federal natural hazard warnings: www.naturgefahren.ch

4.11 定期檢查和成效監控

成效監控首先顯示某些措施是否已達成目標，定期驗證措施策略和危害文件管理作業是有關當局的任務，在暴風雨事件後尤其重要。其次，成效監控可提供未來實施調整和優化的指示內容，因此，成效監控本身不是目的而是專案計畫實施過程中的一部份，成效監控還可顯示部署的資源是否以最佳的預計方式來使用。

維護與檢查保護策略有關，需維護所有的措施：這不僅適用於結構性措施，也適用於規劃性和組織性的相關措施。

> 附錄

A1: 法律基準

「防止岩體崩移危害」準則即說明此法案所規定的合法執行狀況，此準則說明天然災害的相關行為。

英語非屬瑞士聯邦的官方語言，因此立法內容通常不會翻譯成英語版本，德語版本提供如下，其他法語或意大利語的版本也可在

www.admin.ch/gov/de/start/bundesrecht/systematische-sammlung.html 網址中找到。

Bundesgesetz vom 22. Juni 1979 über die Raumplanung (RPG, SR 700)

Art. 6: Grundlagen

² Für die Erstellung ihrer Richtpläne erarbeiten die Kantone Grundlagen, in denen sie feststellen, welche Gebiete

c) durch Naturgefahren oder schädliche Einwirkungen erheblich bedroht sind.

Art. 15 Bauzonen

⁴ Land kann neu einer Bauzone zugewiesen werden, wenn:

a) es sich für die Überbauung eignet.

Bundesgesetz vom 4. Oktober 1991 über den Wald (WaG, SR 921.0)

Art. 1: Zweck

¹ Dieses Gesetz soll:

- a) den Wald in seiner Fläche und in seiner räumlichen Verteilung erhalten;
- b) den Wald als naturnahe Lebensgemeinschaft schützen;
- c) dafür sorgen, dass der Wald seine Funktionen, namentlich seine Schutz-, Wohlfahrts- und Nutzfunktion (Waldfunktionen) erfüllen kann;
- d) die Waldwirtschaft fördern und erhalten.

² Es soll ausserdem dazu beitragen, dass Menschen und erhebliche Sachwerte vor Lawinen, Rutschungen, Erosion und Steinschlag (Naturereignisse) geschützt werden.

Art. 19: Schutz vor Naturereignissen

Wo es der Schutz von Menschen oder erheblichen Sachwerten erfordert, sichern die Kantone die Anrissgebiete von Lawinen sowie Rutsch-, Erosions- und Steinschlaggebiete und sorgen für den forstlichen Bachverbau. Für die Massnahmen sind möglichst naturnahe Methoden anzuwenden.

Art. 36: Schutz vor Naturereignissen

¹ Der Bund gewährt den Kantonen auf der Grundlage von Programmvereinbarungen globale Abgeltungen an Massnahmen, die Menschen und erhebliche Sachwerte vor Naturereignissen schützen, namentlich an:

- a) die Erstellung, die Instandstellung und den Ersatz von Schutzbauten und -anlagen;
- c) die Erstellung von Gefahrenkatastern und Gefahrenkarten, die Einrichtung und den Betrieb von Messstellen sowie den Aufbau von Frühwarndiensten zur Sicherung von Siedlungen und Verkehrswegen.

Verordnung vom 30. November 1992 über den Wald (WaV, SR 921.01)

Art. 15: Grundlagen

¹ Die Kantone erarbeiten die Grundlagen für den Schutz vor Naturereignissen. Sie:

- a) führen Inventare über Bauten und Anlagen, die für den Schutz vor Naturereignissen von Bedeutung sind (Schutzbautenkataster);
- b) dokumentieren Schadenereignisse (Ereigniskataster) und analysieren, soweit erforderlich, grössere Schadenereignisse;
- c) erstellen Gefahrenkarten und, für den Ereignisfall, Notfallplanungen und führen diese periodisch nach.

² Bei der Erarbeitung der Grundlagen berücksichtigen sie die von den Fachstellen des Bundes durchgeführten Arbeiten und aufgestellten technischen Richtlinien.

³ Die Kantone berücksichtigen die Grundlagen bei allen raumwirksamen Tätigkeiten, insbesondere in der Richt- und Nutzungsplanung.

⁴ Sie stellen die Grundlagen dem Bundesamt auf Verlangen zur Verfügung und machen sie der Öffentlichkeit in geeigneter Form zugänglich.

Art. 16: Frühwarndienste

¹ Wo es der Schutz von Menschen oder erheblichen Sachwerten erfordert, errichten die Kantone Frühwarndienste. Sie sorgen für den Aufbau sowie den Betrieb der dazugehörigen Messstellen und Informationssysteme.

² Bei der Errichtung und beim Betrieb der Frühwarndienste berücksichtigen sie die von den Fachstellen des Bundes durchgeführten Arbeiten und aufgestellten technischen Richtlinien.

³ Sie sorgen dafür, dass die Daten der Messstellen und Informationssysteme dem Bundesamt auf Verlangen zur Verfügung gestellt und der Öffentlichkeit in geeigneter Form zugänglich gemacht werden.

Art. 17: Sicherung von Gefahrengebieten

¹ Die Sicherung von Gefahrengebieten umfasst:

- a) waldbauliche Massnahmen;
- b) bauliche Massnahmen zur Verhinderung von Lawinenschäden und ausnahmsweise die Erstellung von Anlagen zur vorsorglichen Auslösung von Lawinen;
- c) begleitende Massnahmen im Gerinne, die mit der Walderhaltung im Zusammenhang stehen (forstlicher Bachverbau);
- d) den Rutschhang- und Rufenverbau, entsprechende Entwässerungen sowie den Erosionsschutz;
- e) Steinschlag- und Felssturzverbauungen, Auffangwerke sowie ausnahmsweise die vorsorgliche Auslösung von absturzgefährdetem Material;
- f) die Verlegung gefährdeter Bauten und Anlagen an sichere Orte.

² Die Arbeiten sind wenn möglich mit ingenieurb biologischen und waldbaulichen Massnahmen zu kombinieren.

³ Die Kantone sorgen für eine integrale Planung; diese berücksichtigt insbesondere die Interessen der Bewirtschaftung des Waldes, des Natur- und Landschaftsschutzes, des Wasserbaus, der Landwirtschaft und der Raumplanung.

Art. 39: Schutz vor Naturereignissen

¹ Abgeltungen an die Massnahmen und die Erstellung von Gefahrengrundlagen werden in der Regel global gewährt. Die Höhe der globalen Abgeltungen wird zwischen dem Bundesamt und dem betroffenen Kanton ausgehandelt und richtet sich nach:

- a) dem Gefahren- und Schadenpotenzial;
- b) dem Umfang und der Qualität der Massnahmen sowie von deren Planung.

² Abgeltungen können einzeln gewährt werden, wenn die Massnahmen:

- a) einen kantonsübergreifenden Bezug aufweisen;
- b) Schutzgebiete oder Objekte nationaler Inventare berühren;
- c) wegen der möglichen Alternativen oder aus anderen Gründen in besonderem Mass eine komplexe oder spezielle fachliche Beurteilung erfordern; oder
- d) unvorhersehbar waren.

³ Der Beitrag an die Kosten der Massnahmen nach Absatz 2 beträgt zwischen 35 und 45 Prozent und richtet sich nach:

- a) dem Gefahren- und Schadenpotenzial;
- b) dem Grad der Umsetzung einer umfassenden Risikobetrachtung;
- c) dem Umfang und der Qualität der Massnahmen sowie von deren Planung.

⁴ Wird ein Kanton durch ausserordentliche Schutzmassnahmen, namentlich nach Unwetterschäden, erheblich belastet, so kann der Beitrag nach Absatz 3 ausnahmsweise auf höchstens 65 Prozent der Kosten der Massnahmen erhöht werden.

⁵ Keine Abgeltungen werden gewährt an:

- a) Massnahmen zum Schutz von Bauten und Anlagen, die zum Zeitpunkt der Errichtung:
 - 1. in bereits ausgeschiedenen Gefahrenzonen oder bekannten Gefahrengebieten erstellt wurden, und
 - 2. nicht zwingend an diesen Standort gebunden waren;
- b) Massnahmen zum Schutz touristischer Bauten und Anlagen wie Seilbahnen, Skilifte, Skipisten oder Wanderwege, die sich ausserhalb des Siedlungsgebietes befinden.

Art. 66a Geoinformation

Das Bundesamt gibt die minimalen Geodatenmodelle und Darstellungsmodelle für

Geobasisdaten nach dieser Verordnung vor, für die es im Anhang 1 der Geoinformationsverordnung vom 21. Mai 2008 als Fachstelle des Bundes bezeichnet ist.

Bundesgesetz vom 21. Juni 1991 über den Wasserbau (WBG, SR 721.100)

Art. 3: Massnahmen

¹ Die Kantone gewährleisten den Hochwasserschutz in erster Linie durch den Unterhalt der Gewässer und durch raumplanerische Massnahmen.

² Reicht dies nicht aus, so müssen Massnahmen wie Verbauungen, Eindämmungen, Korrekturen, Geschiebe- und Hochwasserrückhalteanlagen sowie alle weiteren Vorkehrungen, die Bodenbewegungen verhindern, getroffen werden.

³ Diese Massnahmen sind mit jenen aus anderen Bereichen gesamthaft und in ihrem Zusammenwirken zu beurteilen.

Art. 6: Abgeltungen an Massnahmen des Hochwasserschutzes

¹ Der Bund fördert im Rahmen der bewilligten Kredite Massnahmen, die dazu dienen, Menschen und erhebliche Sachwerte vor den Gefahren des Wassers zu schützen.

² Er leistet Abgeltungen namentlich für:

b) die Erstellung von Gefahrenkatastern und Gefahrenkarten, die Einrichtung und den Betrieb von Messstellen sowie den Aufbau von Frühwarndiensten zur Sicherung von Siedlungen und Verkehrswegen.

Verordnung vom 2. November 1994 über den Wasserbau (WBV, SR 721.100.1)

Art. 20: Richtlinien

Das BAFU erlässt Richtlinien namentlich über:

b) die Erstellung der Gefahrenkataster und -karten;

Art. 21: Gefahrenggebiete und Raumbedarf der Gewässer

¹ Die Kantone bezeichnen die Gefahrenggebiete.

³ Sie berücksichtigen die Gefahrenggebiete [...] bei ihrer Richt- und Nutzungsplanung

sowie bei ihrer übrigen raumwirksamen Tätigkeit.

Art. 22: Überwachung

Die Kantone überprüfen periodisch die Gefahrensituation an den Gewässern und die Wirksamkeit der getroffenen Massnahmen des Hochwasserschutzes.

Art. 27: Grundlagenbeschaffung durch die Kantone

¹ Die Kantone erarbeiten die Grundlagen für den Schutz vor Naturereignissen. Sie:

- a) führen Inventare über Bauten und Anlagen, die für die Hochwassersicherheit von Bedeutung sind (Schutzbautenkataster);
- b) dokumentieren Schadenereignisse (Ereigniskataster) und analysieren, soweit erforderlich, grössere Schadenereignisse;
- c) erstellen Gefahrenkarten und, für den Ereignisfall, Notfallplanungen und führen diese periodisch nach;
- d) erheben den Zustand der Gewässer und ihre Veränderung; und
- f) richten die im Interesse des Hochwasserschutzes erforderlichen Messstellen ein und betreiben sie.

² Sie berücksichtigen die vom Bund erhobenen Grundlagen und seine technischen Richtlinien.

³ Sie stellen die Daten dem BAFU auf Verlangen zur Verfügung und machen sie der Öffentlichkeit in geeigneter Form zugänglich.

Bundesgesetz vom 1. Oktober 2010 über die Stauanlagen (Stauanlagengesetz, StAG, SR 721.101)

Art. 2: Geltungsbereich

¹ Dieses Gesetz gilt für Stauanlagen, die eine der folgenden Voraussetzungen erfüllen:

- a) Die Stauhöhe über Niederwasser des Gewässers oder über Geländehöhe beträgt min- destens 10 m.
- b) Die Stauhöhe beträgt mindestens 5 m und die Anlage weist einen Stauraum von mehr als 50000 m³ auf.

² Die Aufsichtsbehörde des Bundes (Art. 22) kann:

- a) Stauanlagen mit geringeren Ausmassen diesem Gesetz unterstellen, wenn sie ein

besonderes Gefährdungspotenzial darstellen;

b) Stauanlagen, für die nachgewiesen wird, dass sie kein besonderes Gefährdungspotenzial darstellen, vom Geltungsbereich dieses Gesetzes ausnehmen.

Art. 3: Begriffe

¹ Stauanlagen sind Einrichtungen zum Aufstau oder zur Speicherung von Wasser oder Schlamm. Als Stauanlagen gelten auch Bauwerke für den Rückhalt von Geschiebe, Eis und Schnee oder für den kurzfristigen Rückhalt von Wasser (Rückhaltebecken).

Art. 10: Vorkehrungen für den Notfall

¹ Die Betreiberin trifft Vorkehrungen für den Fall, dass der sichere Betrieb einer Stauanlage aufgrund von Verhaltensanomalien, Naturereignissen oder Sabotageakten nicht mehr gewährleistet ist.

² Sie muss bei einem Notfall alle erforderlichen Massnahmen treffen, um Gefährdungen von Personen, Sachen und der Umwelt zu verhindern.

Art. 12: Schutz der Bevölkerung im Notfall

¹ Bund, Kantone und Gemeinden sorgen bei einem Notfall mit Hilfe der Mittel und Strukturen des Bevölkerungsschutzes für die Verbreitung von Verhaltensanweisungen an die Bevölkerung und für deren allfällige Evakuierung.

Stauanlagenverordnung vom 17. Oktober 2012 (StAV, SR 721.101.1)

Art. 1: Begriffe

¹ Eine Stauanlage besteht aus:

- a) dem Absperrbauwerk;
- b) dem zugehörigen Stauraum;
- c) den Nebenanlagen.

² Als Absperrbauwerke gelten:

- a) Beton- oder Natursteinmauern;
- b) Schüttdämme;
- c) Wehre einer Flusstauhaltung mit zugehörigen Seitendämmen.

Art. 2: Stauanlagen mit besonderem Gefährdungspotenzial

¹ Ein besonderes Gefährdungspotenzial besteht, wenn im Falle eines Bruches des Ab-sperrbauwerks Menschenleben gefährdet oder grössere Sachschäden verursacht werden können.

² Die betroffenen Kantone melden der Aufsichtsbehörde des Bundes (Bundesamt für Energie, BFE) Stauanlagen, die aufgrund ihrer Grösse nicht dem StAG unterstehen, aber voraussichtlich ein besonderes Gefährdungspotenzial aufweisen.

Art. 3: Stauanlagen ohne besonderes Gefährdungspotenzial

¹ Die Betreiberin muss dem Antrag, ihre Stauanlage vom Geltungsbereich des StAG auszunehmen, sämtliche zur Prüfung des Gefährdungspotenzials notwendigen Unterlagen beilegen.

A2 大規模崩移過程識別

為能夠有效預防大規模崩移，理解相關的主要危害過程非常重要，每種現象都有其原因、斷裂機制、速度、動力、受災區域和相關的材質體積特徵。理解相關的危害過程和機制即可進行詳細的危害評估並為規劃措施提供參考依據，危害圖提供各區域所面臨威脅的相關資訊和保護措施的決策參考依據，以下各節將簡要介紹基本的大規模崩移類別。

A2-1 大規模崩移的定義

「森林法」涉及以下的危害過程：雪崩、山崩地滑、侵蝕和落石（天然災害）（森林法第 1 條第 2 款），所有的墜落過程都在本準則中經過類比處理：落石、岩崩、落冰、坍塌危害過程。

危害過程的變動概念是定義中的重要補充內容，幾個危害過程可連續出現並涉及相同質量的岩石活動，例如，自發性的滑動可從連續緩慢的滑動（「第一次崩移」）非常陡峭的山坡前部斷開到第二次山坡表面活動，然後變成為土石流（「第二次崩移」）下降滑動，所有的危害過程及演進順序對危害評估都很重要，應一起進行評估（Varnes 1978、Turner und Schuster 1996）。

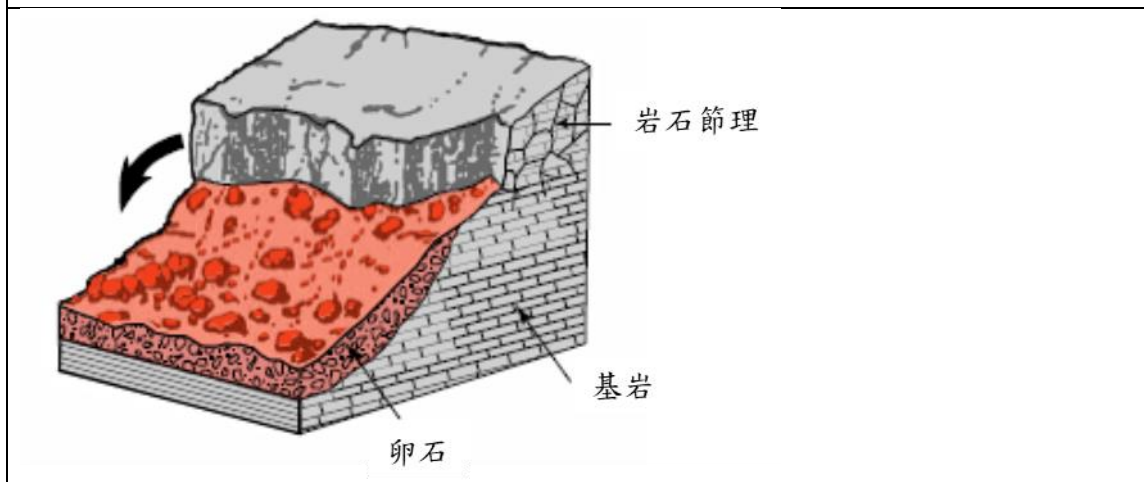
A2-2 墜落過程

陡坡基岩脫落或未固結即墜落過程，在大多數的情況下，岩體材質會自由

落下或反彈到坡底（圖 19），墜落過程是快速的岩體崩移，根據事件數量和組成大小可分為四類（表 5）。落石的大小形狀主要取決於岩床結構（連結等），若裂縫表面的活動非常活躍並影響山坡表面附近的岩體時，則岩石墜落過程可能引發落石和岩崩。

圖 19：落石

隨著墜落過程部份的岩體自由落下，接下來是反彈再滾動直到岩體停止崩移止。



摘自 Amanti 等 1992

表 5：根據岩石直徑和事件量的落石過程分類

危害過程	岩體組成直徑	體積	註解
落石 (Steinschlag)	< 50 cm	-	通常是每個事件的各別岩石
落石 (Blockschlag)	≥ 50 cm	體積 < 100 m ³	通常是每個事件的各別巨石
岩崩 (Felssturz)		體積 > 100 m ³ 和	岩石崩塌岩體通常先是大量岩石和巨石掉落，然後是碎石，岩崩會在不同階段中出現（部分雪崩）。
岩崩 (Bergsturz)		體積 < 100 萬 m ³	初始階段具有緻密岩崩岩體，涉及危害過程的區域，包括堆積區其範圍可能非常廣。

A2-3 滑動過程(地滑)

滑動過程是斜坡滑動面上的基岩和/或未固結岩體（和土壤）的崩移，陡坡基岩的脫落或未固結掉落即屬墜落過程，在特殊情況下，在數公尺厚的剪裂區域內會出現許多的滑動面，這種土壤的不穩定性在瑞士非常普遍並呈現多種形式。1994 年弗萊堡州的 Falli Hölli 最近發生的滑坡造成最嚴重的破壞，當時約

有 40 間房屋和 1 家酒店每天向 Höllbach 的方向滑動約 6 公尺並被徹底摧毀 (Raetzo 1997)，水文地質條件也會影響滑動岩體的活動狀況，因此，地下水和地表水對滑動機制和岩體活動扮演非常重要的角色，以下標準對理解相關的危害過程非常重要：

A2-3.1 機制

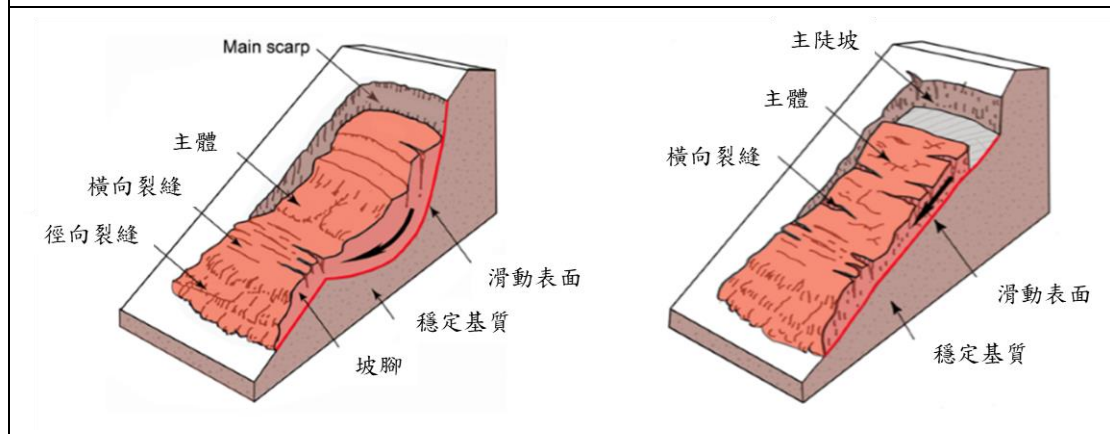
沉降是基岩的重力運動具有明顯的垂直運動分量（也稱為下沉），地滑的過渡崩移是連續性的類似行動模式，因此，沉降過程的評估標準與滑坡相同，若在沉降（第一次崩移）過程中出現岩體墜落（第二次崩移）則採用墜落過程的標準。

在圓弧型破壞上，地滑岩體藉由重力作用滑向凹形的破裂坡面中（圖 20），在地滑上方經常可看到裂隙和裂縫，因為壓縮作用，坡腳通常堆積有滑動的岩體，此類屬均質滑坡，尤其是具有黏土和粉質的鬆散岩土成份。

當地層或整個地層的包覆沿著現有幾乎平坦的薄弱坡面滑動時，此過程稱為平移式滑動破壞，這種滑坡的面積差異很大，在瑞士覆蓋範圍可達幾平方公里甚至高達 45 平方公里。滑動岩體通常大於數十公尺的厚度，複理岩、泥灰岩和頁岩為特徵的區域特別容易形成這種滑坡，可經常看到混合形式的圓弧型破壞和平移式滑動破壞，Varnes 將這些混合形式稱為「複雜」地滑（1978）。

圖 20：旋轉滑坡（左）和平移滑坡（右）

圓形滑動表面是旋轉滑坡的特徵，平移滑坡出現在較平坦的滑動面上，因為此種幾何形狀可促成更大的最高滑動速度。



摘自 Varnes 1978; USGS 2004

潛變過程屬特定類型，其評估方式與滑坡過程相同，潛變機制具有多種性，不同區域各有不同定義。

隨著潛變的作用，表面上的運動速度等於滑塊的運動速度，但主要由崩移岩體的剪切變形所引發（嚴格來說並未發生滑動）。變形程度隨著深度的增加而下降，

潛變產生鬆散的地層和土壤層，水或冰過度飽和導致未固結岩體材質的內聚力喪失，因此產生純粹變形的狀況，表面潛變可藉由潛變或凍/融循環產生，潛變可覆蓋幾平方公里的山區。

從岩土工程的角度來看，所謂的「潛變」主要用於描述淺層的岩體運動，在德語區，所謂的動詞 *kriechen*（即潛變）有時也用於表示緩慢深層的岩體滑動過程和岩石潛變（*Talzus Schub*）。無滑動面的岩石傾倒過程（*Hakenwurf*）應只能部份歸類為潛變，只能部份歸類為潛變，相反地，當外形完整的裂縫系統能夠讓岩石在坡面附近崩移時，即可確定為潛變過程。

A2-3.2 速度

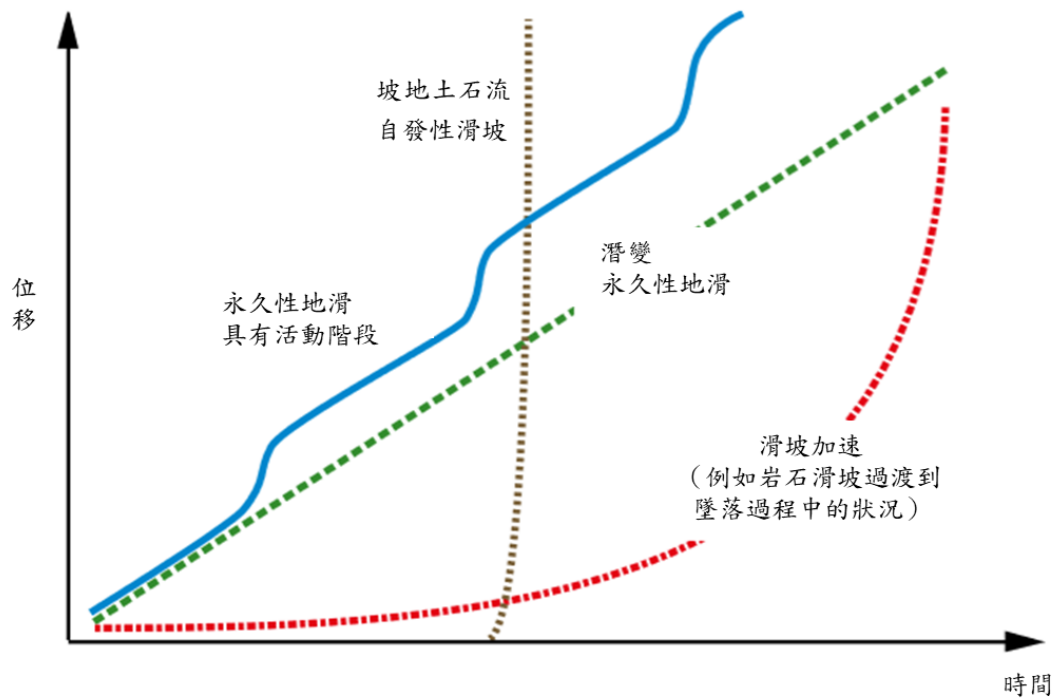
活躍的滑坡崩移速度經長期觀察是可變的，時常出現波動，確定長期的中速（ v ）崩移有助於進行危害評估，在岩體經常崩移的情況下，建議即使地下水、裂隙水或斜坡水條件的自然波動只引起最小變化的狀況下，也應採用「永久性滑坡」一詞，若發生加速現象（高達 V_{max} 水準），滑坡強度即增加。在極端情況下，快速的加速階段可能引發過程中的自發性變化，因此，活躍的地滑可能突然出現坡地土石流，速度變化是評估相關潛在危害的重要標準（見第 2 章或第 2.5 節 ff）。

速度變化（ V_{max} ）與機率彼此相關，這取決於不同的因素，其中降水、岩石物理性質、坡面水流條件、孔隙水壓力、破裂坡面的機理、深度和體積攸關緊要。評估 V_{max} 時，應考慮這些因素和其他的相關因素，在理想情況下，實際記錄的速度變化狀況可用於確定 V_{max} 值。

若在危害階段的公尺範圍內出現岩體崩移或每次事件只有 1 公尺或更長的距離時，通常應選擇高強度的防護措施藉此保護短期內大受威脅的人命和物資。在極端情況下，速度變化（ V_{max} ）可從零上升到每年幾公尺的程度，這種情況稱為重新活動的滑坡（見第 2.9 章）。

圖 21：滑坡區域不同位移曲線的示意圖

嚴格意義上的「永久」速度只能參考綠色曲線的相關狀況，所有其他曲線的速度都是可變的。



摘自 PLANAT 2009

A2-3.3 滑動面

滑動面的深度通常直接影響岩體重新活動和差異位移的位置，與深層地滑相比，淺層地滑對各別參數（如斜坡水流條件、地表性質與水道的交互作用）的變化反應更快，因此，不穩或看似穩定的斜坡在暴風雨期間會出現自發性岩體穩定性損失，特別是在淺地滑道上，可能出現突然的滑動也可能出現快速的流動危害過程，在非常深的滑坡上，滑動表面的深度約 30 公尺或更深。

中型和大型地滑通常具有多個滑動面，所有的變形和斷裂岩層對危害評估攸關緊要，幾公尺深的二次滑動表面通常與磁化率和變形程度有關，在非常深的地滑上，應該注意第二次滑動面可能出現在基層滑動面的上方位置。

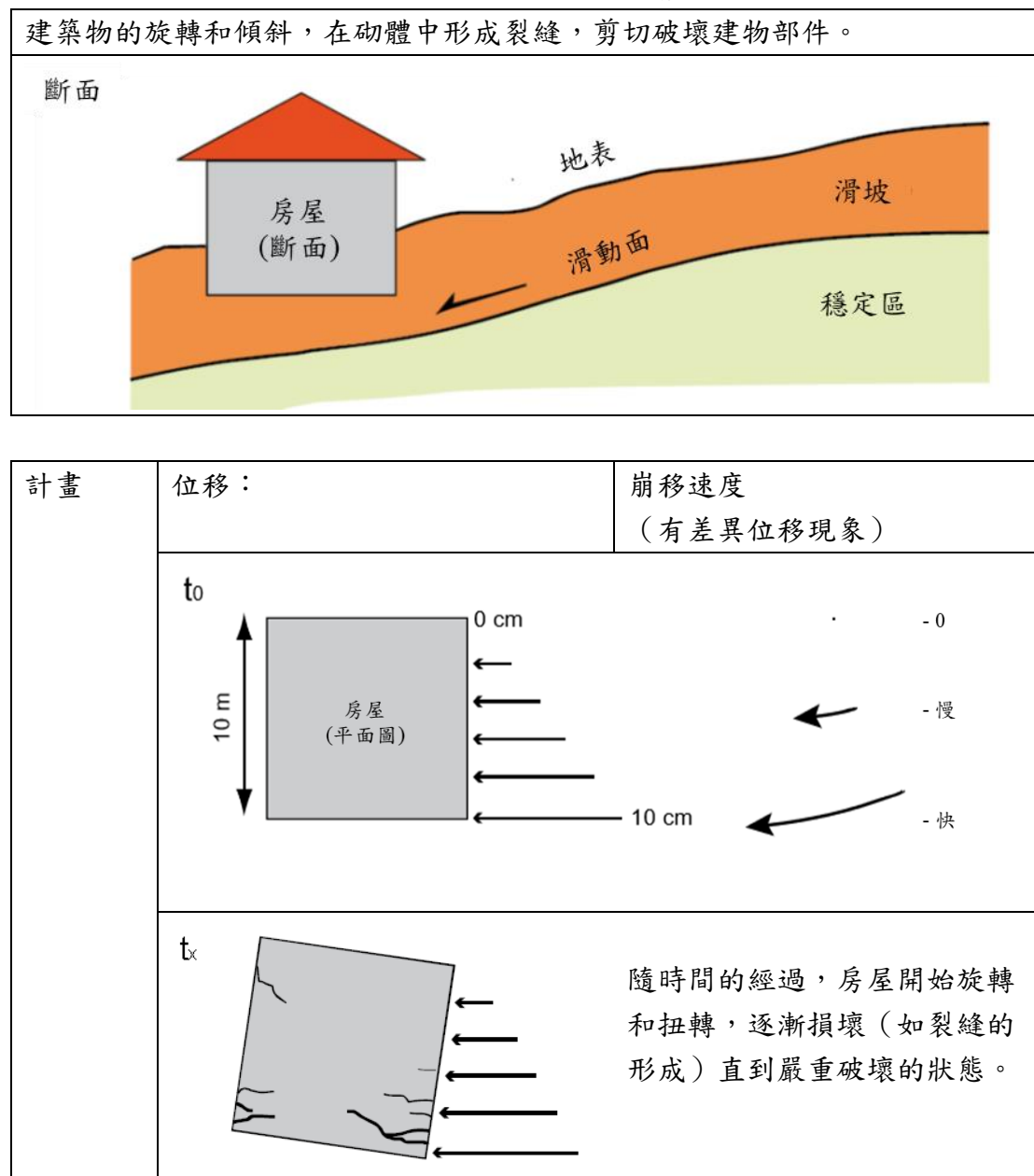
關於岩體移位的深度（T 代表[深度]），以下即屬有效類別：

- > 0-2 公尺深度（淺表）
- > 2-10 公尺中等深度
- > 10-30 公尺深度
- > T> 30 公尺非常深（新）

A2-3.4：差異位移

在具有不同速度和/或方向的邊界區域，剪力會發生作用，可能對建物和基礎設施造成損害（圖 22）。

圖 22：差異位移的影響



應注意伸展區（裂隙）和壓縮區（滑坡），這些差異位移（D）現象可能造成廣泛的破壞，構成危險評估背景下的重要標準，製作危害圖時應考慮到差異位移現象（見第 2 章）。

A2-4：流動過程(坡地土石流)

流動過程包括：

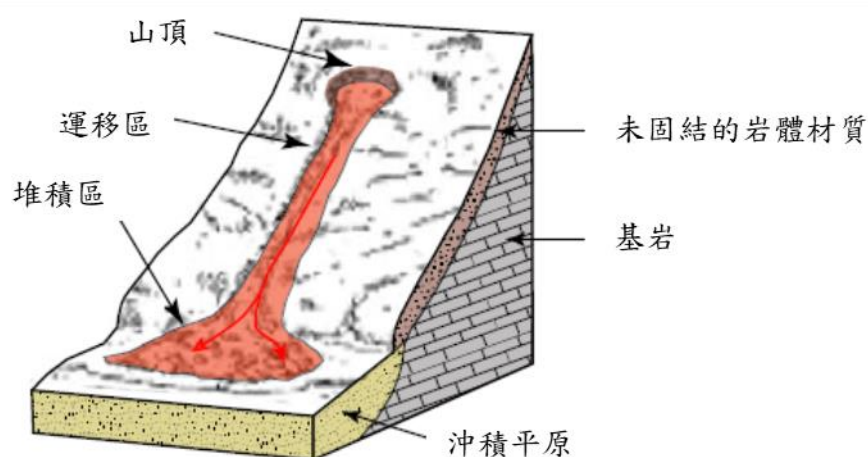
- ＞ 坡地土石流包括流經河道外的土壤、石塊和水的混合物。
- ＞ 河道型土石流在現有的河道中流向山谷，由土壤、石頭和水的混合物所組成。

本準則不包括碎石流和相關的危害評估方法，因為 1997 年的建議事項和 2001 年的準則（BWW 等 1997，BWG 2001）等內容已經涵蓋這些過程。

在初始階段不涉及剪切面或最多只出現淺層運動的流動過程類別，岩體傳送速度的分佈狀況類似黏性岩土的速度分佈，強降水和地下水流入對引發流動過程攸關緊要。

圖 23：流動過程：坡地土石流

當流動過程出現在河道外即斜坡上方時，通常稱為坡地土石流（Hangmuren），河道型土石流（Murgang）通常意指河道內的土石流過程。



摘自 Amanti 等 1992

鬆散物質和水的混合物沿著斜坡向下流動即為坡地土石流的特徵，碎石流的側向速度較低，有時會形成小山堆，岩體朝著坡腳緩慢崩移，然後以舌狀傳播最終再停止崩移。特別是高含水量的岩體是快速造成土石流的原因，這些過程通常具有更大的破壞性。具有低滲透性的第四紀覆蓋層（黏土冰磧和斜坡壤土）和更高滲透性的基質陡坡特別容易出現這種斜坡不穩的狀況，這些岩層滲透性會造成高水壓，因此，這是導致滑坡演變成坡地土石流的常見原因。

可崩移層和沉積層的深度可用於評估強度標準。

A2-5 永凍層的岩體崩移

永凍土是全年凍結的地下岩體材質 ($\leq 0^{\circ}\text{C}$)，即表示永凍土在崩移水流的過程中滲透性非常低，在孔隙和裂隙中會形成冰層，根據實際狀況的不同，2500-3000 公尺海拔的高山可能出現永凍土，永凍土上方表面的岩層稱為季節性解凍層，其特徵是季節性融化，通常具有較高的含水飽和度。

在永凍土區域可能出現各種潛變現象（如岩石冰川），由於永凍土的不透水性，永凍土經常造成水份飽和的狀態，因此，永凍土的存在有利於地表 1 公尺範圍內的潛變（溶質作用）。

高山區的潛變能和其他的岩體崩移對溫度變化具有敏感性：冰的黏度、斷裂強度及永凍土體的膨脹會因為地表溫度出現變化，具有時間滯後的現象，溫度升高可能帶來的後果包括冰川和山體滑坡加速、土石流活動增加及岩體不穩定。

A2-6 崩塌和陷孔

陷孔通常出現在岩溶地區，這與水溶性基質（石灰石、白雲石、石膏和角礫化白雲石）的浸出、侵蝕或現有的地下空洞化現象有關，可能造成塌陷、傾倒和下沉。在石膏岩中，如提供水份即可促成更快的浸出速度，這些喀斯特現象也可能導致石灰岩和白雲石岩層出現空洞。在這些情況下，岩體破裂會導致突然崩潰，很難預測這種崩潰現象的發生時間（涉及下沉和傾倒的過程），這些水溶性的岩石常見於汝拉山脈，在海爾維和阿爾卑斯山前方山區常看到石灰石，斷層帶和岩層褶皺會增加岩層不穩的敏感性。

A3 流動發生機率判定

附錄 3 是第 2.8.2 和 2.8.3 章關於地滑和流動條件的補充內容，有兩種可能的方法可用於確定這些機率：機率圖和流量圖

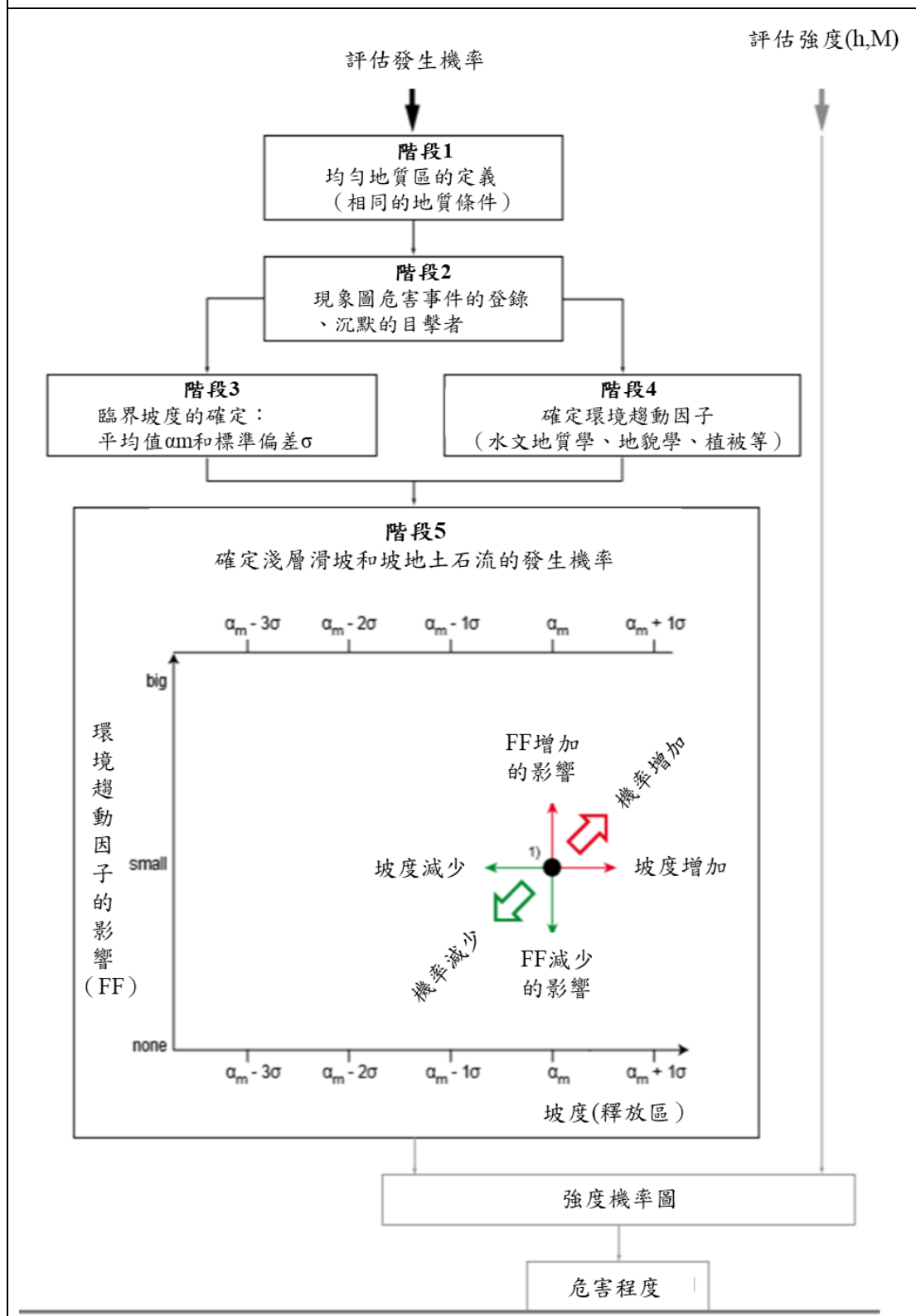
A3-1 用圖表確定機率

此方法包括坡度統計值（圖 24 的階段 3）和環境趨動因子（階段 4），在坡度遠低於臨界值，無環境趨動因子的情況下，可算出年度發生機率小於 0.003，此類的狀況應視為殘留危害。

圖 24：確定坡地土石流的機率

階段機率圖階段 5 的圖中點 1 位置對應於平均機率（如實例），此參考點位於

臨界坡度並考慮到環境趨動因子的微小影響，為能夠確定危害程度，還需評估其強度。

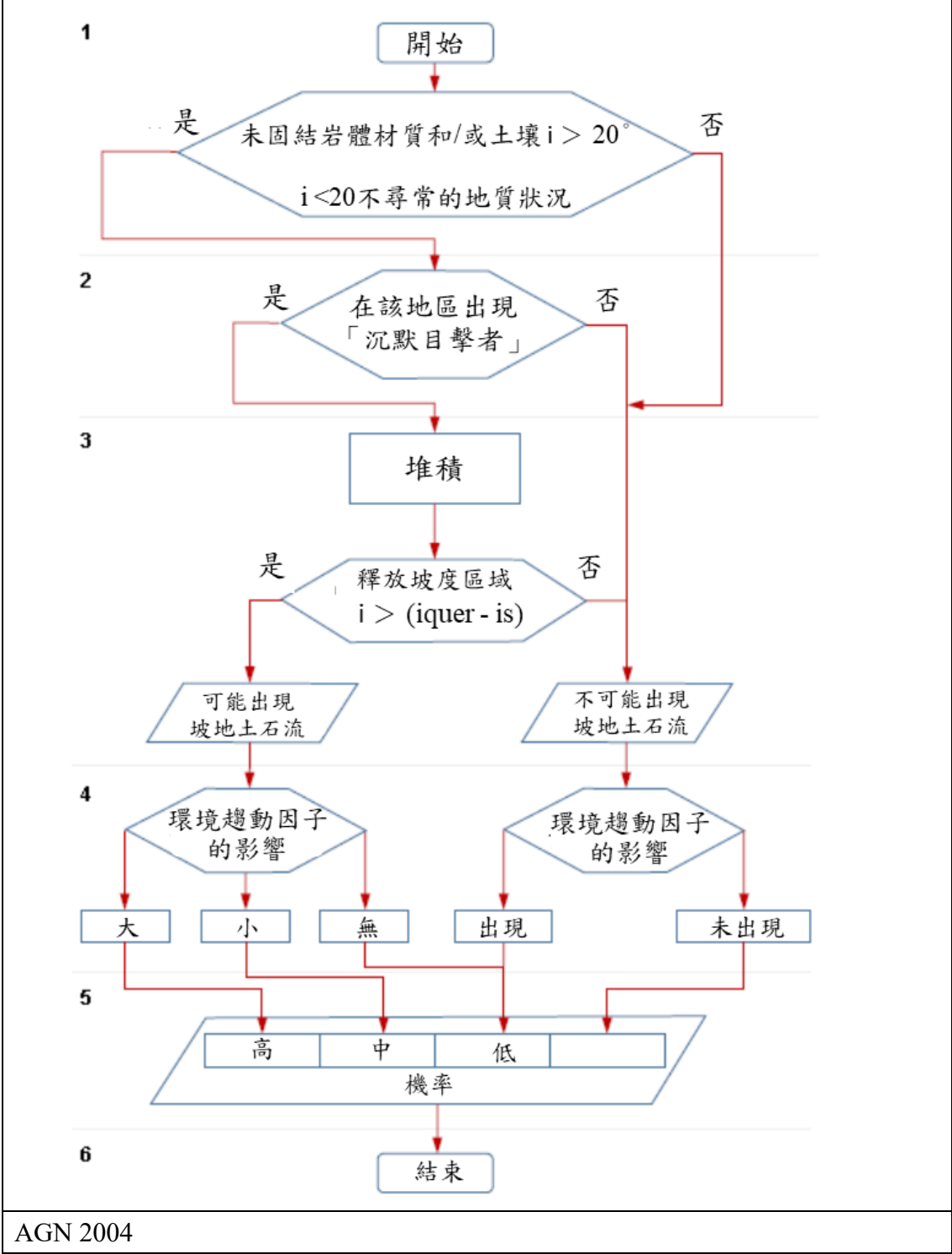


A3-2 用流程圖確定機率

地質和天然災害工作小組根據圖 25 (AGN 2004) 的流程圖提出企劃書，

此方法已被幾個州所採用，促進因子和臨界坡度（釋放區大約是 20°-28°）可用於確定機率，建議值：臨界坡度（ i_{quer} ）、標準偏差（ i_s ）。

圖 25：用流程圖確定機率



A4 空間規劃危害文件管理應用

表 6：不同程度的危害對土地使用區及施工分區規定的可能影響

除了空間規劃者及各州政府和社區層級的核查和授權機構之外，其他的參與者如保險公司、建築師、工程師，應急服務機構等也需參與此過程，特別是在非

空間規劃的情況下

	危害區	區域劃分	施工和區域劃分規定	其他測量 - 未涉及空間規劃
	相當危險（紅色）的禁區 （Verbotszone）	<ul style="list-style-type: none"> • 未劃分的新開發區 • 未利用新開發區的重新劃分 	<ul style="list-style-type: none"> • 無建物和設施的安裝或擴建 • 對現有結構體實施必要的使用限制； • 轉換和使用中的變更僅適用於降低風險的要求規定； • 拆除建物的重建僅限於特殊情況下的授權 	<ul style="list-style-type: none"> • 向受災土地和財產的所有人快速通報現有的威脅和必要措施 • 若必要時，應注意土地登記中的使用限制。 • 快速規劃和實施必要的技術和組織性保護措施
	中等風險（藍色）的投標區 （Gebotszone）	<ul style="list-style-type: none"> • 只在要求下並在驗證其他方案和權衡利益後才劃分新開發區 	<ul style="list-style-type: none"> • 未營造易受災的建物 • 規劃許可取決於相關的要求規定； • 對現有結構體實施必要的使用限制 • 空間佈局使用和設計要求的定義，也可能包括結構和設施的出入。 • 詳細的法規需根據危害類別和強度考慮採用不同的保護措施 • 在合理情況下拒絕讓已拆除結構體再行重建 	<ul style="list-style-type: none"> • 向受災的土地和財產所有人通報現有的威脅
	參考區 （Hinweiszone） 低風險區（黃色）	<ul style="list-style-type: none"> • 避免建立具有高潛在破壞性設施的區域 • 參考危害狀況 	<ul style="list-style-type: none"> • 對現有建物的建議 • 根據風險考慮敏感用途或重大開發的要求規定 	<ul style="list-style-type: none"> • 向受災土地和財產的所有人通報現有的威脅 • 與保險公司合作就可能的損害預防措施提供建議； • 根據保險公司的要求實施易受災對象的特殊技術性和組織性措施
	殘餘風險（黃/白）	<ul style="list-style-type: none"> • 只對現有的開發區進行非常有限的擴展或劃分新的開發區 • 避免建立具有高潛在破壞性設施的區域 • 參考危害狀況 	<ul style="list-style-type: none"> • 對現有建物的建議 • 根據風險考慮敏感用途或重大開發的要求規定 	<ul style="list-style-type: none"> • 向受災土地和財產的所有人通報現有的威脅 • 與保險公司合作就可能的損害預防措施提供建議； • 根據保險公司的要求實施易受災對象的特殊技術性和組織性措施
	無風險（白）	<ul style="list-style-type: none"> • 根據目前標準的風險評估方法，針對未出現易感性狀況的某個合格區域需檢查所有的災害過程來源的所有子過程。 		

摘自 ARE 等 2005

表 7：規劃許可流程中可能的要求和措施

危害過程	使用限制和要求	建物施工措施	環境/出入
落石	<ul style="list-style-type: none"> 為能夠減少人命風險，禁止住宅部件（如臥室和起居室）和陽台及最危險建物部份、設施和材料室、地窖、走廊等建物採用外露設計（短期停留的相關設施） 	<ul style="list-style-type: none"> 在施工區內仔細選擇場地 應採用適應建物和地形的設計，只讓建物的某些部份面臨災害風險（落石受災的可能性）。 地下室和底層建築為剛性一體成型的鋼筋混凝土箱結構 使用加固混凝土或覆層加固的瀕危外牆設計 藉由填土來加以保護 在建物外露部份避免採用像窗戶和門口一樣的開口設計，或盡量採用加固設計。 	<ul style="list-style-type: none"> 禁止在最危險的區域設計成駕駛車道、出入通道和戶外遊戲娛樂的空間。
深層永久性滑坡		<ul style="list-style-type: none"> 在施工區內仔細選擇場地 配置讓挖掘的樣體材質和填土具有受災減速效果（在施工期間的滑坡） 採用加筋基礎板的淺層基礎；地下室採用剛性一體成型的鋼筋混凝土箱；避免設計成脆弱的幾何形狀（例如 L 形或 U 形）；應在具有良好承重能力的土壤上建造地基。 具有延展性和可變形的外部管路連結 收集和控制地表水（屋頂水、停車場水流等）的排放；避免雨水滲透。 	<ul style="list-style-type: none"> 收集、容納和引導水流（地表水和地下水的相關措施，可參見第 4.7 章。）
坡地土石流和自發性滑坡（淺層）	<ul style="list-style-type: none"> 為能夠減少人命風險，禁止住宅部件（如臥室和起居室）和陽台及最危險建物部份、設施和材料室、地窖、走廊等建物採用外露設計（短期停留的相關設施） 	<ul style="list-style-type: none"> 在施工區內仔細選擇場地 應採用適應建物和地形的設計，只讓建物的某些部份面臨災害風險（落石受災的可能性）。 地下室和底層建築為剛性一體成型的鋼筋混凝土箱結構 使用加固混凝土或覆層加固的瀕危外牆設計 藉由填土來加以保護 建物的外露部份避免採用窗戶和門口等開口設計，或盡量採用加固設計，也可暫時施加支撐架，例如在暴風雨期間的支撐架。 收集和控制地表水（屋頂水、停車場水流等）的排放；避免雨水滲透。 	<ul style="list-style-type: none"> 禁止在最危險的區域設計成駕駛車道、出入通道和戶外遊戲娛樂的空間。 收集、容納和引導水流（地表水和地下水的相關措施，可參見第 4.7 章。）

進一步的資訊

- > Spatial planning and natural hazards (ARE et al. 2005)
- > Wegleitung Objektschutz gegen gravitative Naturgefahren (Egli 2005)
- > SIA standards 260, 261 and 261/1

A5 保護目標圖實例

圖 26：各州以類似土地利用規定形式的保護目標圖實例

閱讀輔助：目的是自完成日起（對象類別 3.2）提供完整的保護，可長達 100 年。在 100 年和 300 年災害事件的強度是可接受的。對於更罕見的災害事件，其平均強度是可容忍的。

= vollständiger Schutz

= Schutz vor mittleren und starken Intensitäten

= Schutz vor starken Intensitäten

= fehlender Schutz

= keine intensität zulässig

= schwache intensität zulässig

= mittlere intensität zulässig

= starke intensität zulässig

= 0

= 1

= 2

= 3

Objektkategorie

Schutzziele

Nr.	Sachwerte	Infrastruktur-Anlagen	Naturwert	Wiederkehrperiode (Jahre)			
				1-30 häufig	30-100 selten	100-300 sehr selten	>300 extrem selten
1		Berg- und Skitouren- routen (gemäss Karten SAC u.a.)	Naturlandschaften	3	3	3	3
2.1		Kommerzielle Wander- wege und Loipen, Flur- wege, Leitungen von kommunaler Bedeutung		2	3	3	3
2.2	Unbewohnte Gebäude (Remisen, Weidescheu- nen u.a.)	Verkehrswege von kommunaler Bedeu- tung, Leitungen von kommunaler Bedeutung	Wald mit Schutz- funktion, landwirt- schaftlich genutztes Land	2	2	3	3
2.3	Zeitweise oder dauernd bewohnte Einzelgebäu- de und Weiler, Ställe	Verkehrswege von kantonalen oder grosser kommunaler Bedeu- tung, Leitungen von nationaler Bedeutung, Bergbahnen, Zonen für Skiabfahrts- und -übungsgelände	Wald mit Schutzfunkti- on, sofern er geschlos- sene Siedlung schützt	1	1	2	3
3.1		Verkehrswege von nationaler oder grosser kantonaler Bedeutung, Ski- und Sessellifte		0	1	2	3
3.2	Geschlossene Sied- lungen, Gewerbe und Industrie, Bauzonen, Campingplätze, Frei- zeit- und Sportanlagen	Stationen diverser Beförderungsmittel		0	0	1	2
3.3	Sonderrisiken bzw. besondere Schaden- anfälligkeit oder Sekundärschäden	Sonderrisiken bzw. besondere Schaden- anfälligkeit oder Sekundärschäden		Festlegung fallweise			

在 ARE 等(2005)之後

在 ARE 等(2005)之後

進一步的資訊

- > Spatial planning and natural hazards (ARE et al. 2005)
- > Brochure on natural hazards published by the canton of Bern's natural hazards working group (in German and French): Achtung Naturgefahr! Verantwortung des Kantons und der Gemeinden im Umgang mit Naturgefahren (Arbeitsgruppe Naturgefahren des Kan- tons Bern 2011)

> 參考書目

編譯：水土保持局技術研究發展小組

Research and Technology Development Team, SWCB, COA

December 2018

本文件之翻譯及轉載，均符合瑞士著作權法相關規定。