



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



日本翻譯文獻導讀 大規模崩塌對策手冊

陳昭岑 助理研究員

日本

國土約七成由山地構成，
地貌起伏大、地形陡峭
且地質脆弱

近年來，極端氣候影響
造成如山崩、地滑等土
砂災害
發生頻率及規模增加

全面釐清大規模崩塌對策

✓ 危險度評估

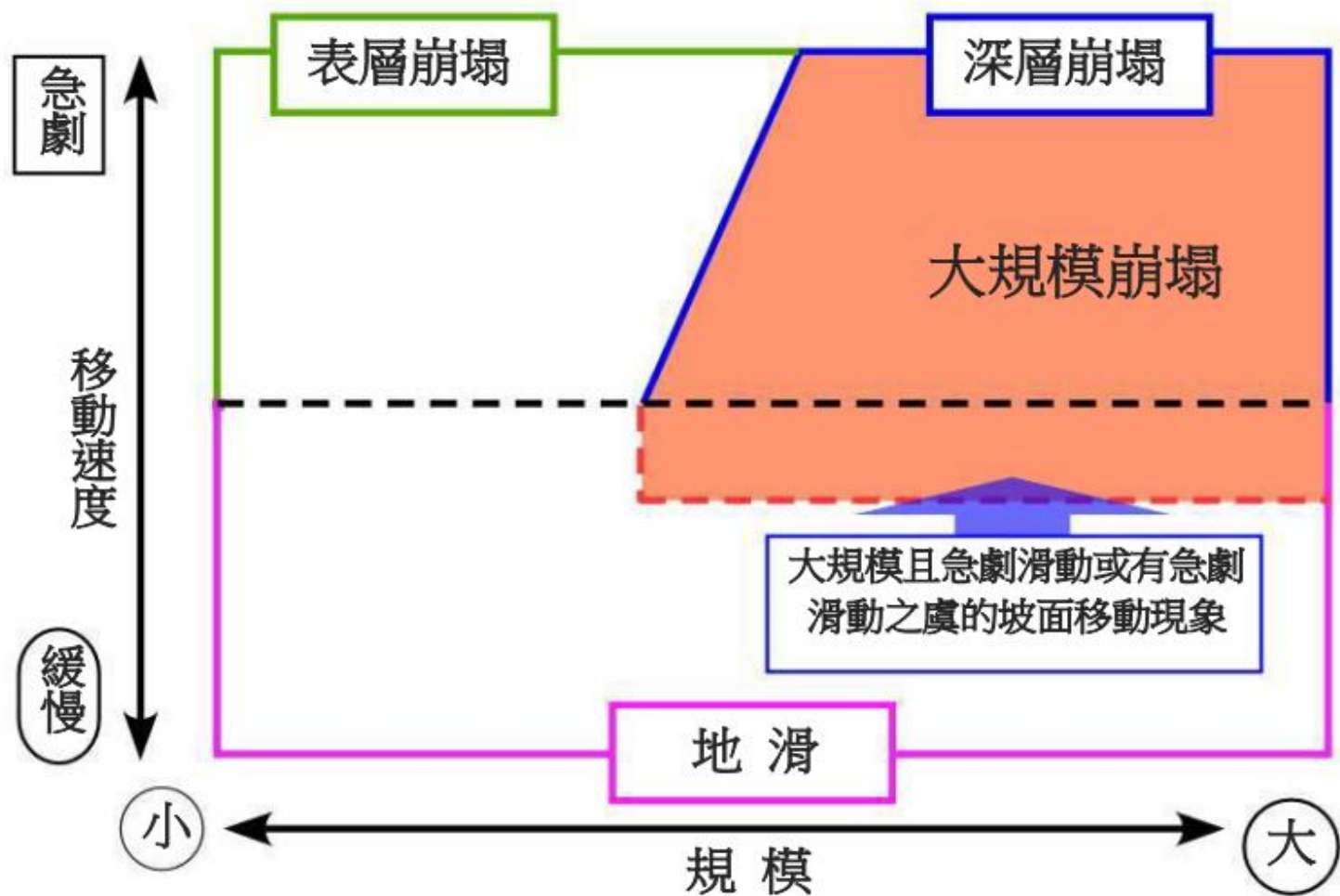
✓ 預防對策

✓ 復舊對策





大規模崩塌 定義



日本 林野廳-

大規模且急劇滑動或有急劇滑動之虞的坡面移動現象。

台灣 水土保持局-

崩塌面積超過10公頃或土方量達10萬立方公尺或崩塌深度在10公尺以上的崩塌地。

崩塌分類

國內外分類比較

運動方式 Type of movement		材料種類 Type of material		
		基岩 Bedrocks	工程土壤 Engineering Soils	
			粗粒為主 Predominantly coarse	細粒為主 Predominantly fine
墜落 Falls		岩石墜落 Rock Fall	岩屑墜落 Debris Fall	土墜落 Earth Fall
傾覆 Topples		岩石傾覆 Rock Topple	岩屑傾覆 Debris Topple	土傾覆 Earth Topple
滑動 Slides	轉動 Rotational	岩石崩移 Rock Slump	岩屑崩移 Debris Slump	土崩移 Earth Slump
	移動 Translational	岩體滑動 Rock Block Slide	岩屑塊滑移 Debris Block Slide	土塊滑移Earth Block Slide
		岩石滑動 Rock Slide	岩屑側滑 Debris Slide	土側滑 Earth Slide
側滑 Lateral Spreads		岩石側滑 Rock Spread	岩屑側滑 Debris Spread	土側滑 Earth Spread
流動 Flows		岩石流動 Rock Flow (deep creep)	岩屑流動 Debris Flow	土流動 Earth Flow
			(Soil creep)	
複合型運動 Complex		複合兩種或以上之運動 Combination of two or more principal types of movement		

			經濟部中央地質調查所		行政院農業委員會水土保持局		
運動型態			移動物質		-		
			基岩	工程土壤			
				岩屑			土壤
墜落			落石	山崩 (崩落、崩坍、崩壞)			
傾覆							
滑動	平面型		岩體滑動	岩屑崩滑		地滑 (岩盤型、風化層型、崩積型)	
	楔型						
	圓弧型						
側滑							
流動			-	土石流	土石流		

Varnes , 1978

經濟部中央地質調查所&
青山工程顧問股份有限公司，2018

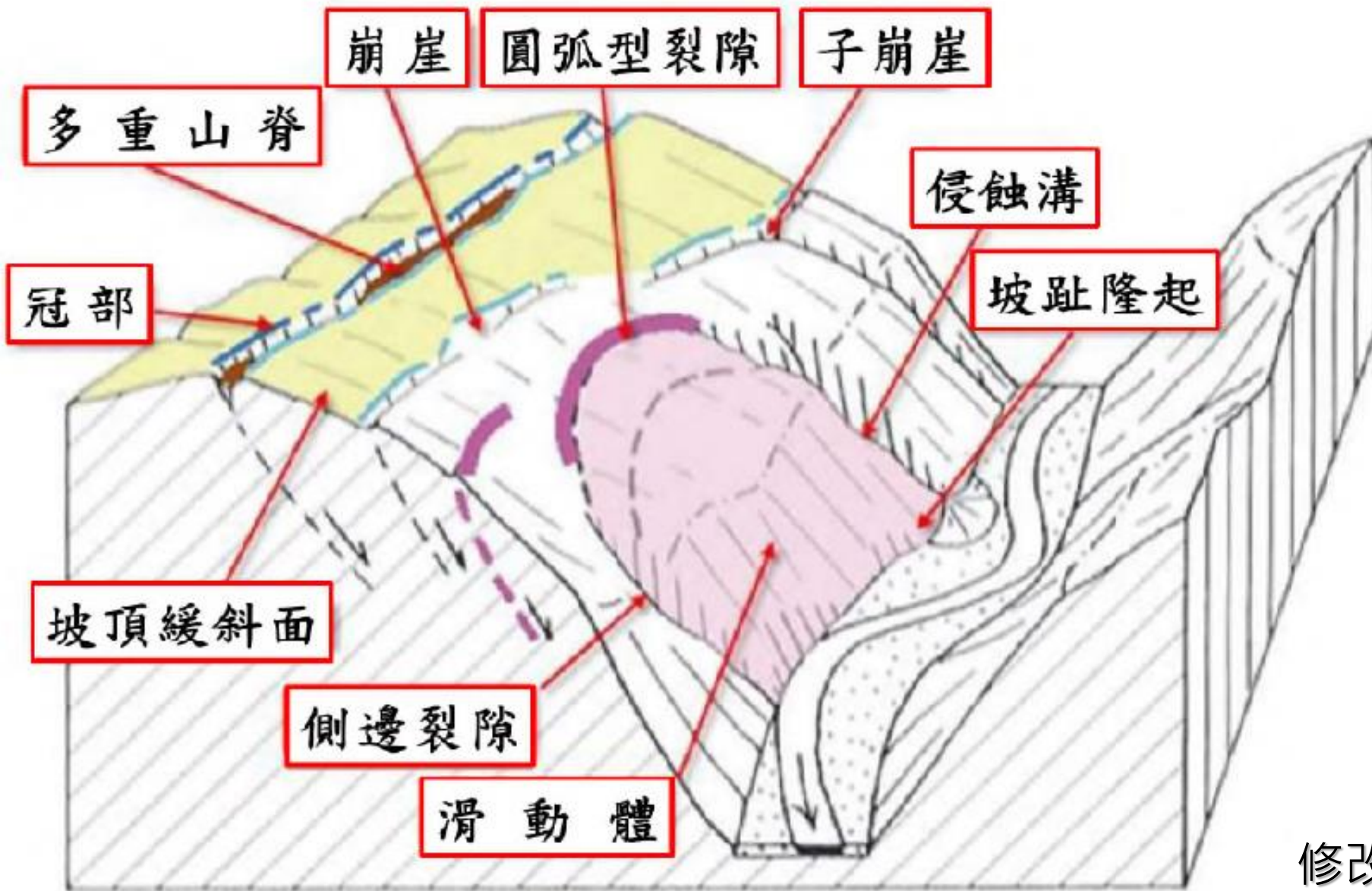


依運動型態& 土砂移動特性 區分

分類	落下型	流下型	潰決型
示意圖			
類似的 案例			
說 明	崩塌土砂在坡面下方停止，土砂所抵達距離小於坡面長度二倍	崩塌土砂進入溪流而成為土石流往下流動，土砂所抵達距離大於坡面長度二倍	崩塌土砂阻塞溪流形成堰塞壩，上游迴水淹沒後有潰決流下之虞者



大規模崩塌特徵



主要地形特徵：
冠部(坡頂)

陷落區(坡腹)

隆起區(坡趾)

修改自鈴木隆介，2000



地質類型

類型劃分

定義（概要）

誘因

堆積類 I

第四紀與新第三紀沉積岩所構成

原有的岩石風化或侵蝕所形成之礫石、砂、泥土，以及火山灰堆積或成岩作用所形成的較近年代岩石，固結度低。層面發達，多因地震出現順向坡崩塌。

火山類

火山岩類所構成

岩漿在地表急速冷卻固定而成，與深層岩不同。主要分布在新第三紀、第四紀，多為凝灰岩與熔岩。多因地震產生，也可能因為豪雨而發生。

堆積類 II

增積岩體等與變質岩類所構成

增積岩體係海洋板塊往大陸板塊下方沉入之際，其上方堆積物剝離並附著在陸側所形成，斷層與褶曲運動所造成的變動相當劇烈。變質岩類主要由結晶片岩構成，具有片理構造、能一片片剝離的特徵，因此和增積岩體相同歸類。古代第三紀之前的堆積岩，依其岩相特徵，也歸入此類。

深成類

深成岩類所構成

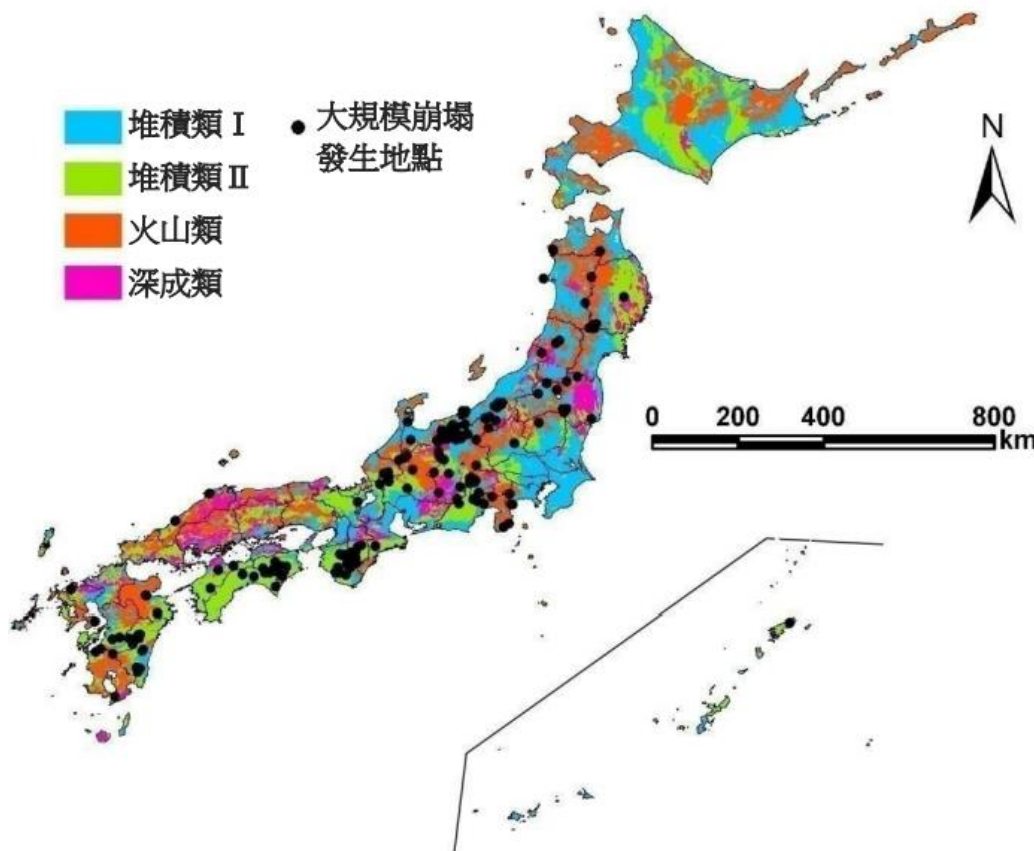
係岩漿在地底下緩慢冷卻固定所形成，與火山岩不同。主要由花崗岩構成，多表層崩塌；有些地區也會出現大規模崩塌。

地震

豪雨

- 堆積類 I
- 堆積類 II
- 火山類
- 深成類

● 大規模崩塌發生地點



僅242案例

類型劃分

定義 (概要)

堆積類 I

第四紀與新第三紀沉積岩所構成

原有的岩石風化或侵蝕所形成之礫石、砂、泥土，以及火山灰堆積或成岩作用所形成的較近年代岩石，固結度低。層面發達，多因地震出現順向坡崩塌。

火山類

火山岩類所構成

岩漿在地表急速冷卻固定而成，與深層岩不同。主要分布在新第三紀、第四紀，多為凝灰岩與熔岩。多因地震產生，也可能因為豪雨而發生。

堆積類 II

增積岩體等與變質岩類所構成

增積岩體係海洋板塊往大陸板塊下方沉入之際，其上方堆積物剝離並附著在陸側所形成，斷層與褶曲運動所造成的變動相當劇烈。變質岩類主要由結晶片岩構成，具有片理構造、能一片片剝離的特徵，因此和增積岩體相同歸類。古代第三紀之前的堆積岩，依其岩相特徵，也歸入此類。

深成類

深成岩類所構成

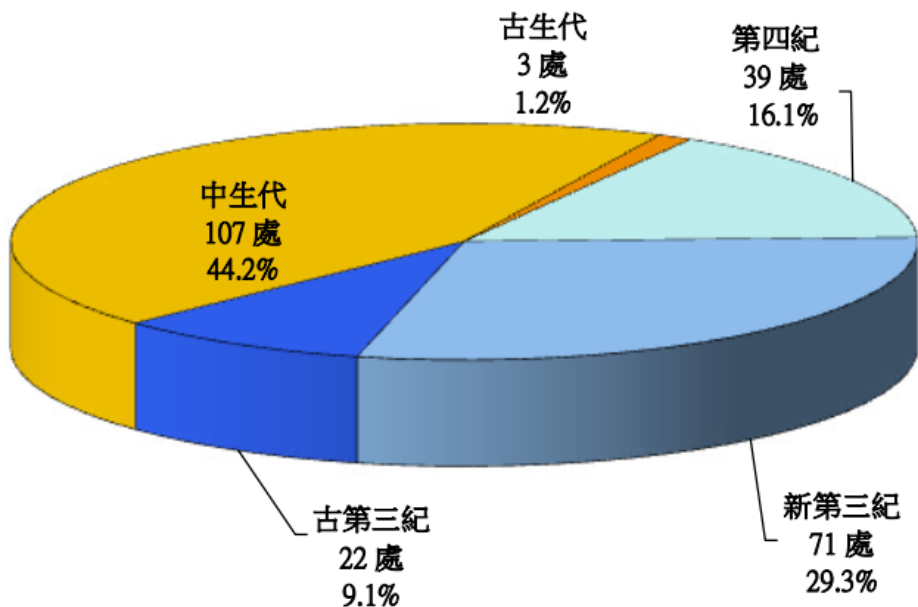
係岩漿在地底下緩慢冷卻固定所形成，與火山岩不同。主要由花崗岩構成，多表層崩塌；有些地區也會出現大規模崩塌。

堆積類 II
124 處
51.2%

堆積類 I
40 處
16.5%

深成類
16 處
6.6%

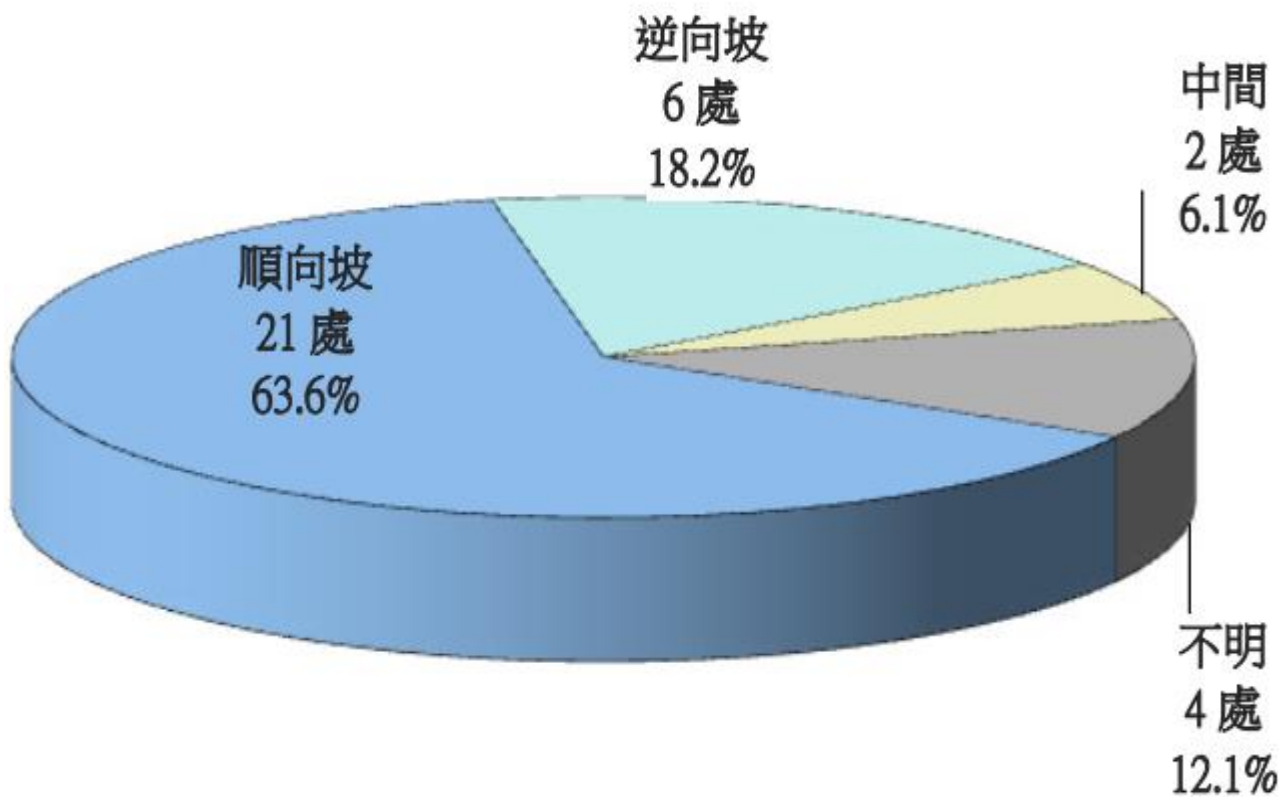
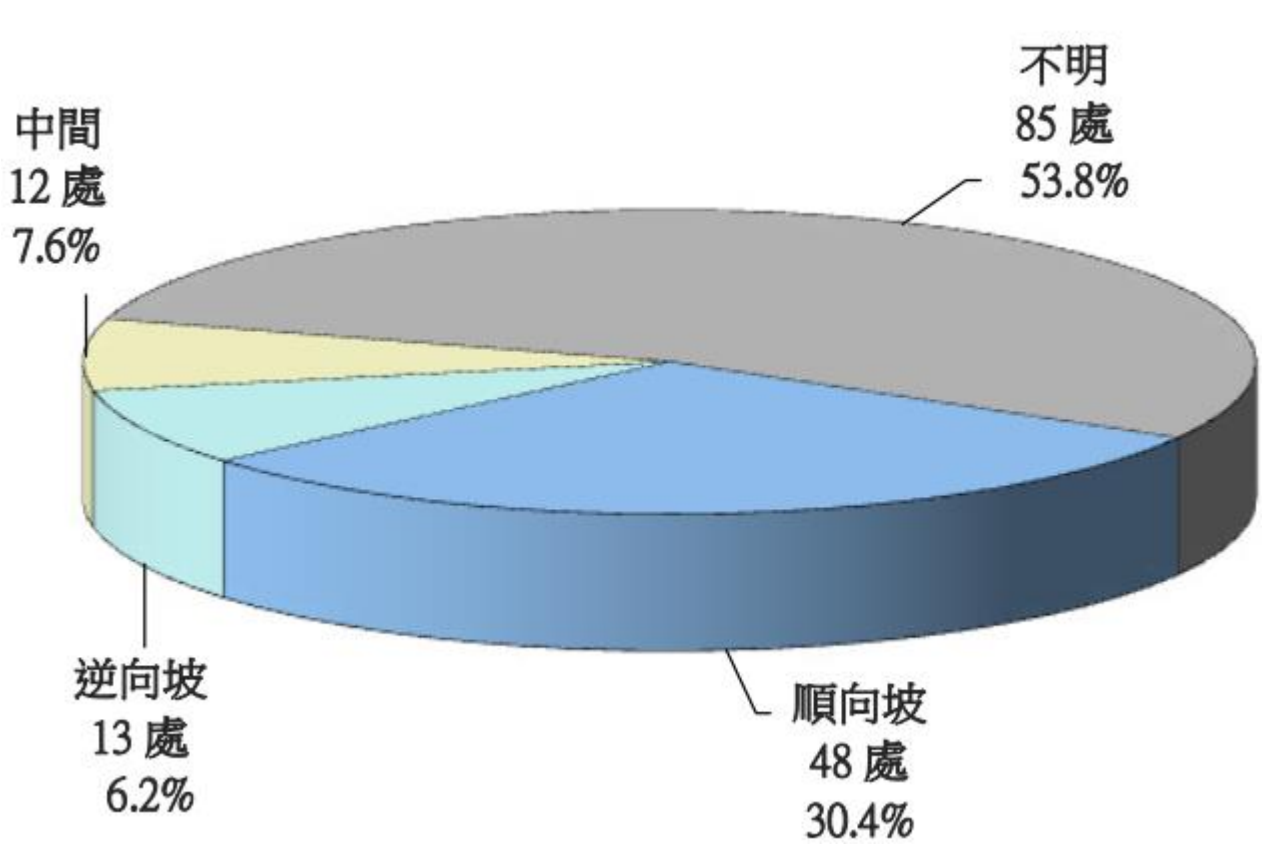
火山類
62 處
25.6%





堆積類地質構造

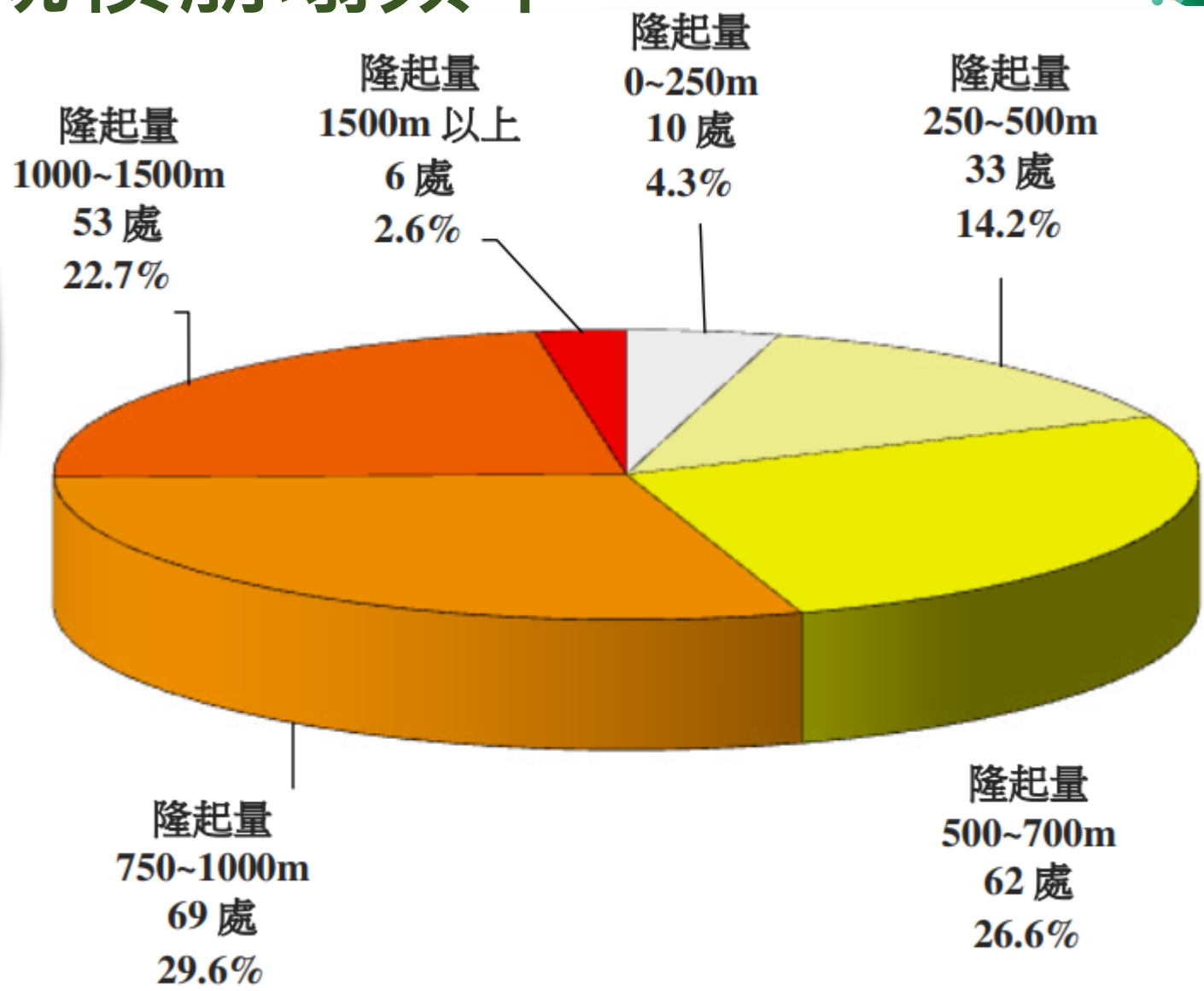
順向坡>逆向坡



地震誘發崩塌

第四紀隆起量&大規模崩塌頻率

最常出現
隆起量750~1000m
多半超過500m時發生

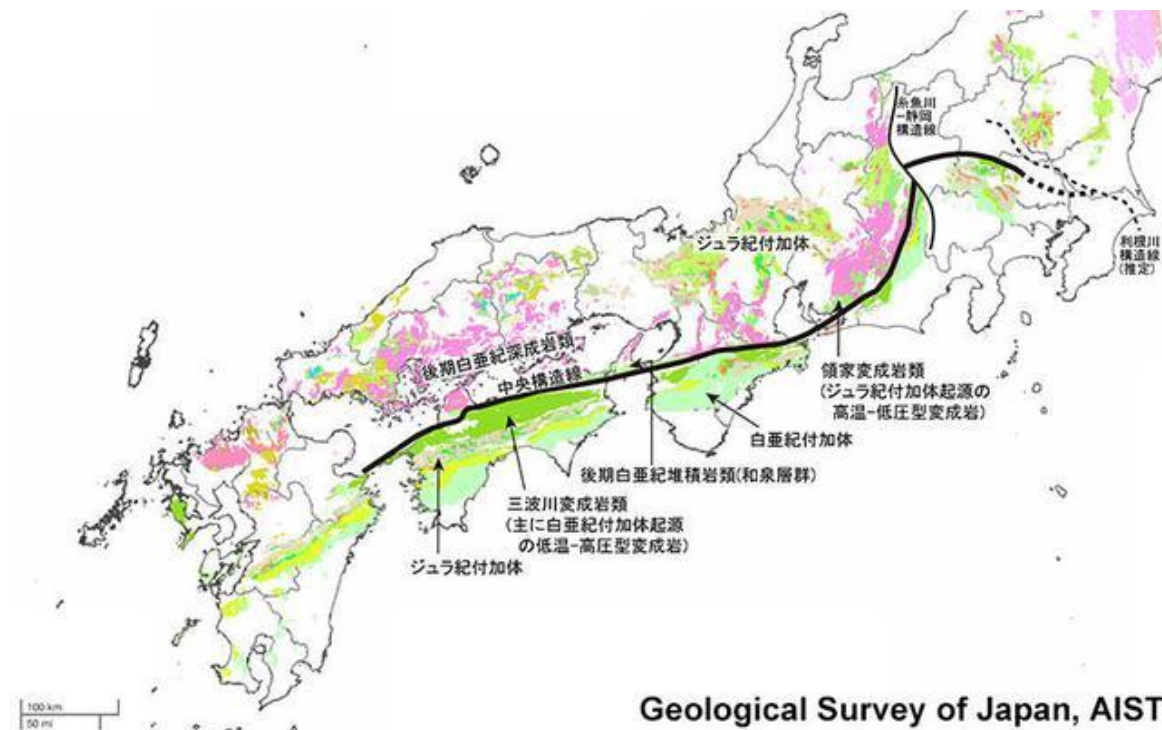
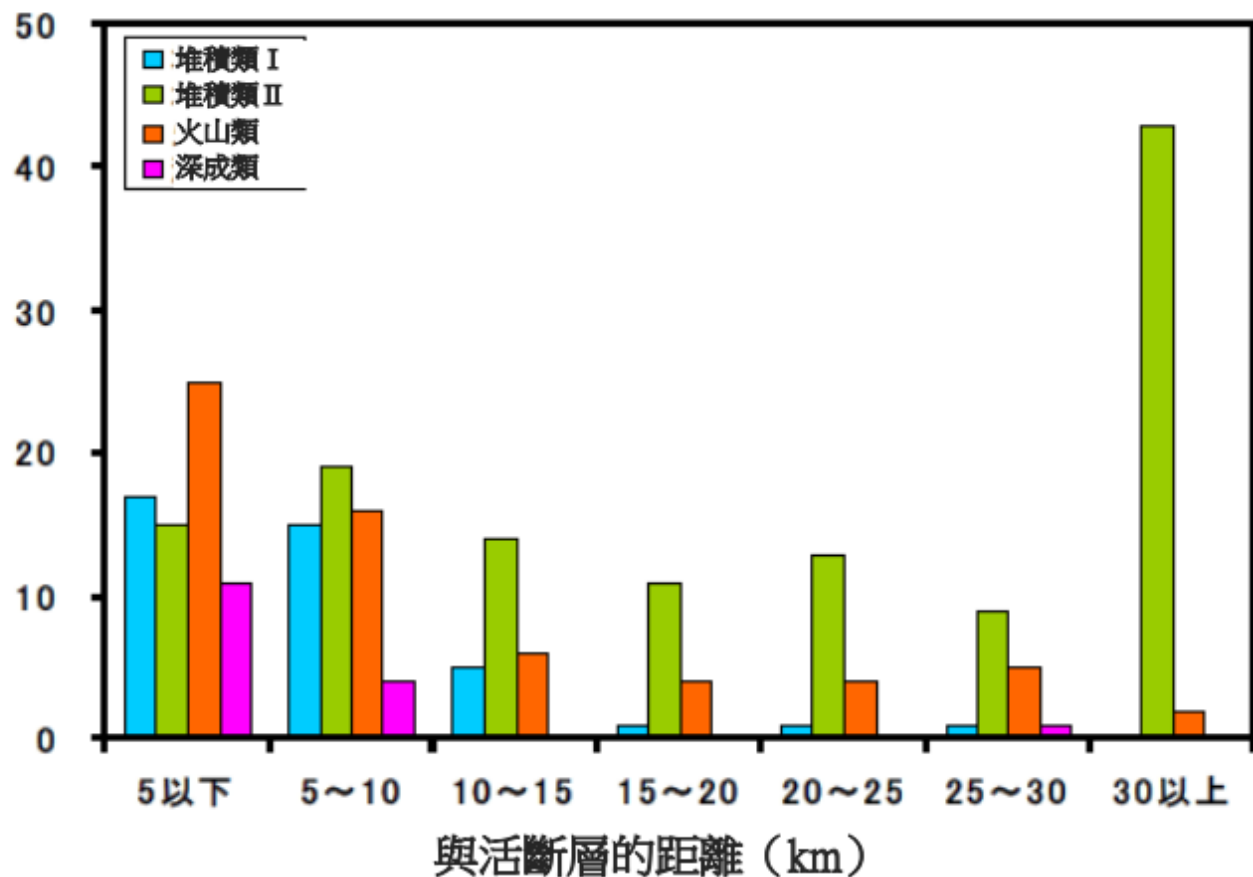




與活動斷層距離

距離越近，崩塌發生次數越多，尤以小於10km最明顯

崩塌處數

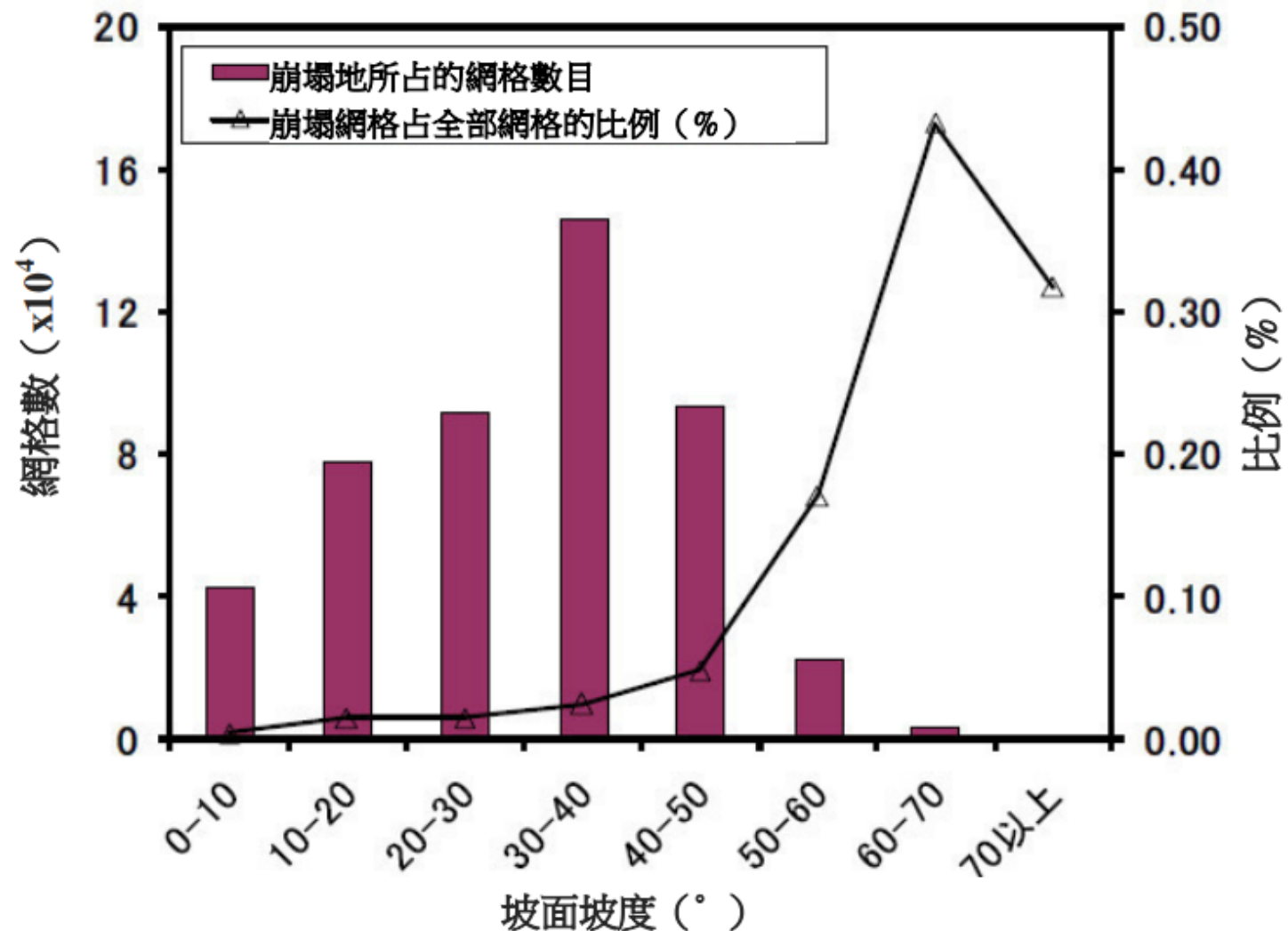
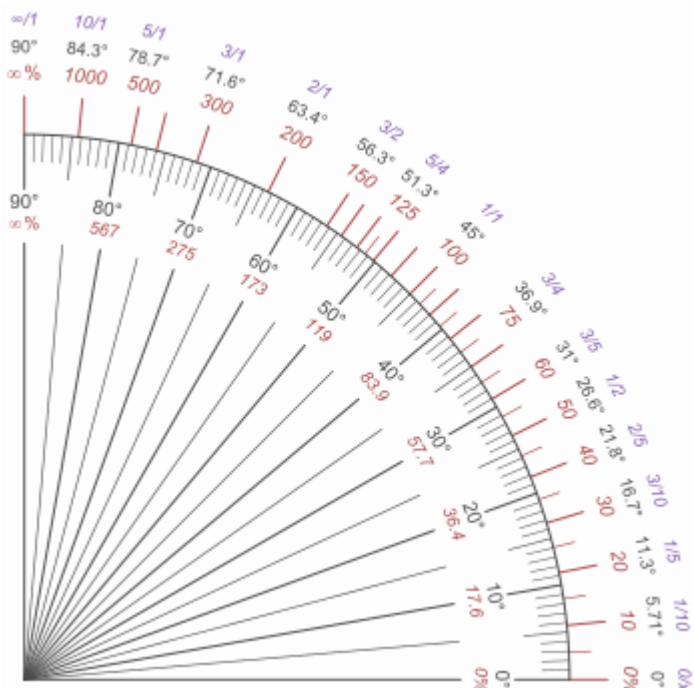


Geological Survey of Japan, AIST

坡度

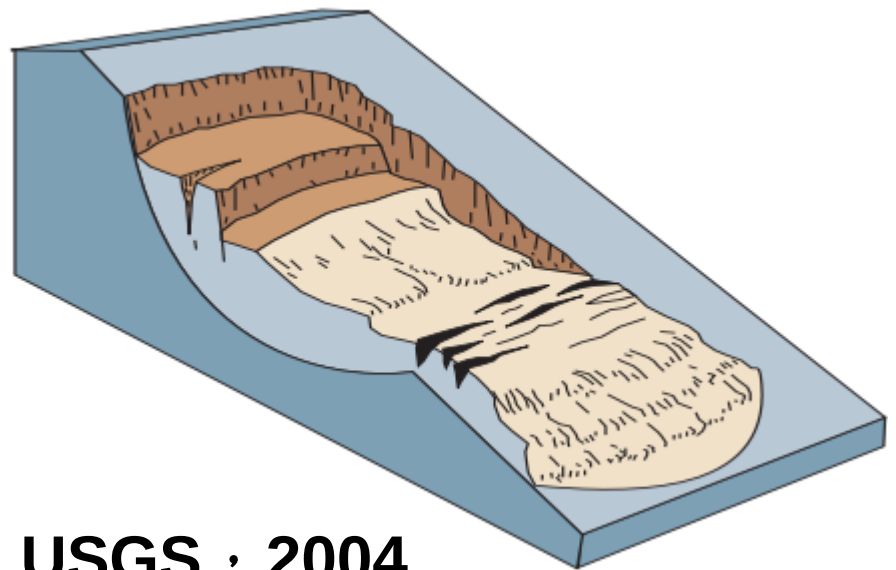
坡度介於30~40度
最容易引發大規模崩塌

坡度越大，崩塌密度越高

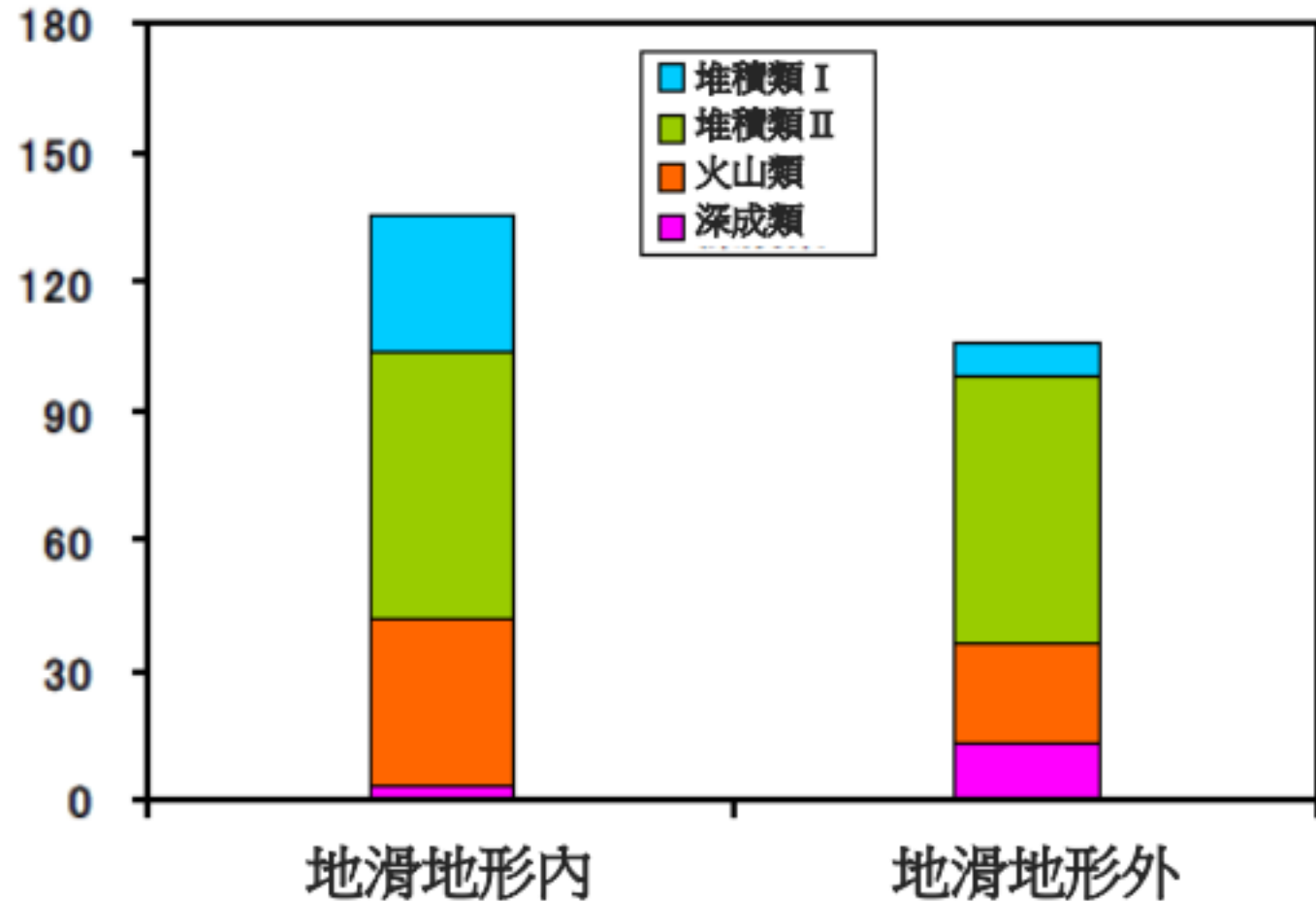


地滑地形

	地滑地形內	地滑地形外
堆積類I	V	
火山類	V	
深層類		V
堆積類II	相當	相當



崩塌地點數目



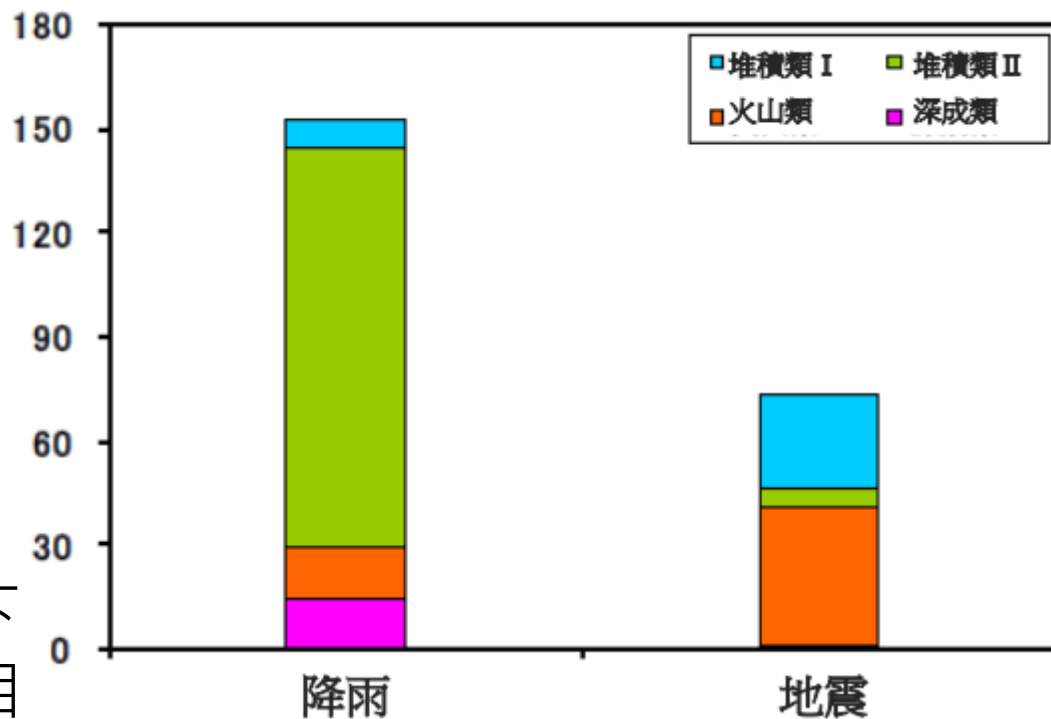
USGS, 2004

發生機制

降雨 VS. 地震



崩塌地點數目



不穩定的坡面，受強烈震動，導致崩塌。

雨水滲入坡面，致使地下水位上升，岩盤抵抗力相對於岩盤剪應力變小，因而產生崩塌。



大規模崩塌調查

必要時!!

第一階段

正實施大規模崩塌復舊對策的地區等周邊區域、打算掌握其大規模崩塌潛勢坡面。

掌握地域特性&社會相關條件等

確認坡面出現異狀需進行對策檢討時等。

掌握全標的、指定之山地災害危險地區指定狀況、治山計畫實施狀況等

第三階段

- 危險度『A』
- 現地確認、簡易觀測、溪流水調查
- 大雨&地震後現地確認
- 量測儀器的設置與地形變異分析
- 軟硬體對策實施

從緊急性、有效性、效率性等角度，綜合檢討對策之必要性。

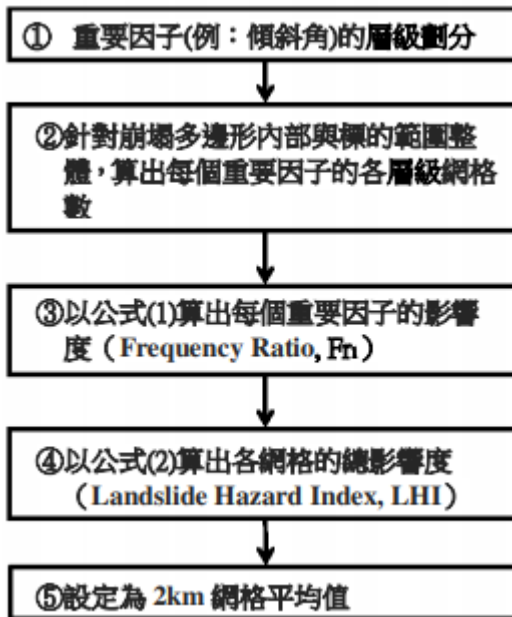
第一階段

- 現有地形與地質資料
- 危險度評估
- 全國與縣層級別的風險評估

第二階段

第三階段

崩塌發生危險度分析法



$$Fr_i = \frac{N_{pix(S_i)} / N_{pix(N_i)}}{\sum N_{pix(S_i)} / \sum N_{pix(N_i)}}$$

式中，

$N_{pix(S_i)}$ ：階級 i 的崩塌網格數

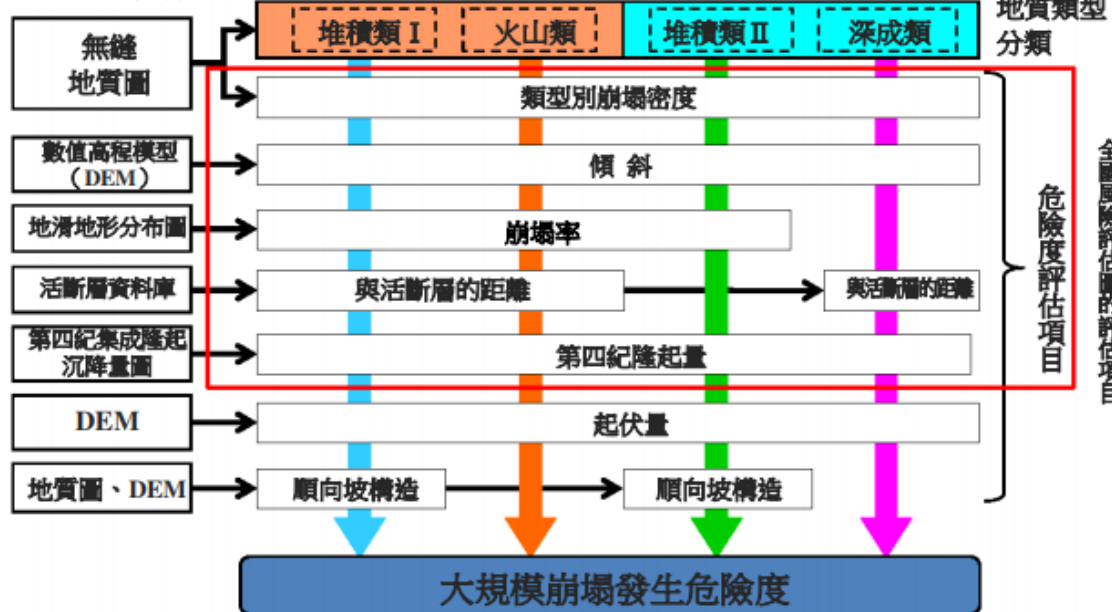
$N_{pix(N_i)}$ ：階級 i 的全部網格數

$\sum N_{pix(S_i)}$ ：崩塌網格總數

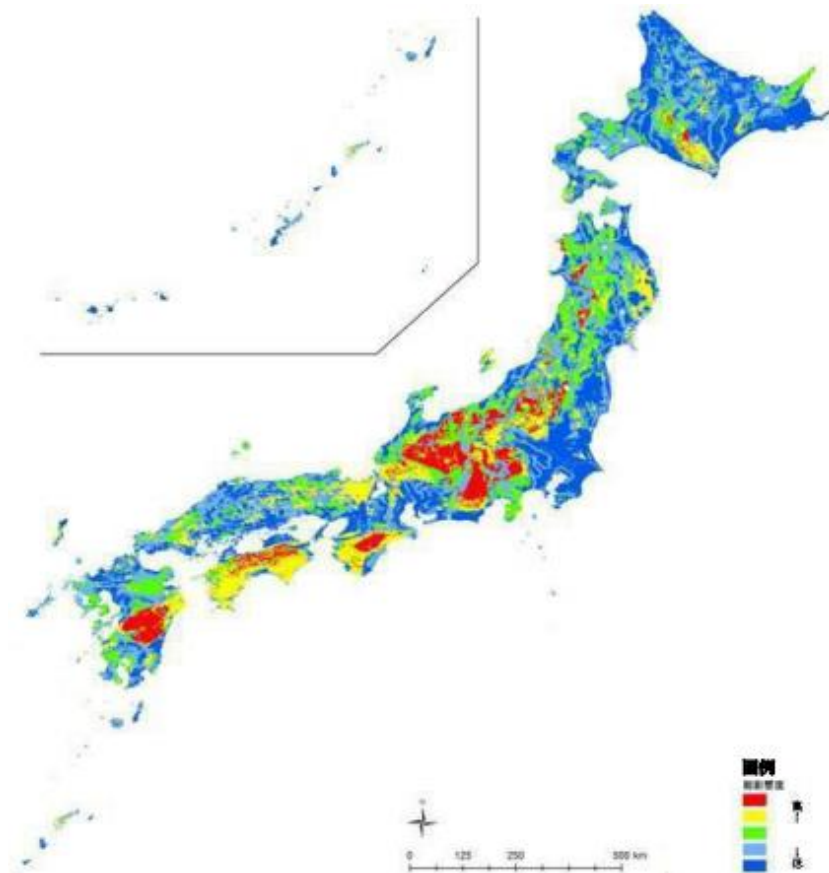
$\sum N_{pix(N_i)}$ ：調查範圍的全部網格數

$$LHI = Fr_1 + Fr_2 + Fr_3 + K + Fr_n$$

現有的圖與資料



製作風險評估圖



第一階段

第二階段

- 高危險度地區篩選
- 微地形判釋
- 設定大規模崩塌坡面單元
- 危險度判釋
- 危險度A~C:大規模崩塌潛勢坡面

層級分析法 (Analytic Hierarchy Process)

- ✓ 目的
- ✓ 評估項目
- ✓ 替代方案

大規模崩塌危險度判定

編號	目的 (等級 1)	評估項目 等級 2	等級 3 的權重	評估項目 等級 3	等級 3 的權重	評估項目 等級 4	等級 4 的權重	總權重 (等級 2 權重×等級 3×等級 4)
1	大規模崩塌危險度判定	坡面形狀	0.024	凸型	0.633	—	—	0.015
				中間	0.261	—	—	0.006
				凹型	0.106	—	—	0.002
2		坡面傾斜	0.068	15 度	0.085	—	—	0.006
				15-25 度	0.140	—	—	0.009
				25-35 度	0.233	—	—	0.016
				35 度-	0.542	—	—	0.037
3		起伏量	0.068	100m 以下	0.067	—	—	0.005
				100-200m	0.148	—	—	0.010
				200-300m	0.291	—	—	0.020
				300m-	0.494	—	—	0.033
		坡面異狀	0.253	龜裂、落差地形	0.292	上部	0.633	0.047
						中部	0.260	0.019
						下部	0.106	0.008
				線狀凹地、二重山脊	0.181	30m 以上	0.724	0.033
						10-30m	0.193	0.009
						10m 以下	0.083	0.004
				滑落崖	0.181	明瞭	0.633	0.029
						稍明瞭	0.260	0.012
						不明瞭	0.106	0.005
4				小崩塌	0.186	上部	0.106	0.005
						中部	0.260	0.012
						下部	0.633	0.030
		潛移坡面	0.113					0.029
		山頂緩坡面	0.026					0.007
		線性構造	0.026					0.007
5		末端侵蝕狀況	0.169	強	0.566	—	—	0.095
				稍強	0.274	—	—	0.046
				弱	0.113	—	—	0.019
				無	0.046	—	—	0.008
6		側向侵蝕狀況	0.113	兩側有溪流	0.615	—	—	0.070
				單邊有溪流	0.319	—	—	0.036
				無溪流	0.066	—	—	0.007
7		末端形狀	0.165	陡峭、落差大	0.643	—	—	0.106
				陡峭或落差大	0.283	—	—	0.047
				圓潤狀、落差小	0.070	—	—	0.012
8		地質	0.024	火山類	0.592	—	—	0.014
				堆積類 II	0.205	—	—	0.005
				堆積類 I	0.131	—	—	0.003
				深成類 (含變質岩)	0.072	—	—	0.002
9		地質構造	0.117	順向坡	0.738	—	—	0.086
				逆向坡	0.094	—	—	0.011
				其他	0.168	—	—	0.020

坡面單元

等級	臨界值
A	0.323 以上
B	0.27-0.323
C	0.209-0.27
D	0.209 以下

D列入大規模崩塌潛勢坡面，不列入危險地區

階段

第三階段

1. 大規模崩塌潛勢坡面

2. 初期調查

現地確認

簡易觀測

溪流水調查

- ✓ 微地形確認
- ✓ 湧水點確認
- ✓ 地層走向、傾斜確認
- ✓ 移動樁量測
- ✓ 導電度量測

3. 緊急維護檢查調查

現地確認

簡易觀測

溪流水調查

4. 監測

監測儀器觀測

地形差分析

5. 對策

軟體對策

硬體對策

- 危險度『A』
- 現地確認、簡易觀測、溪流水調查
- 大雨&地震後現地確認
- 量測儀器的設置與地形變異分析
- 軟硬體對策實施



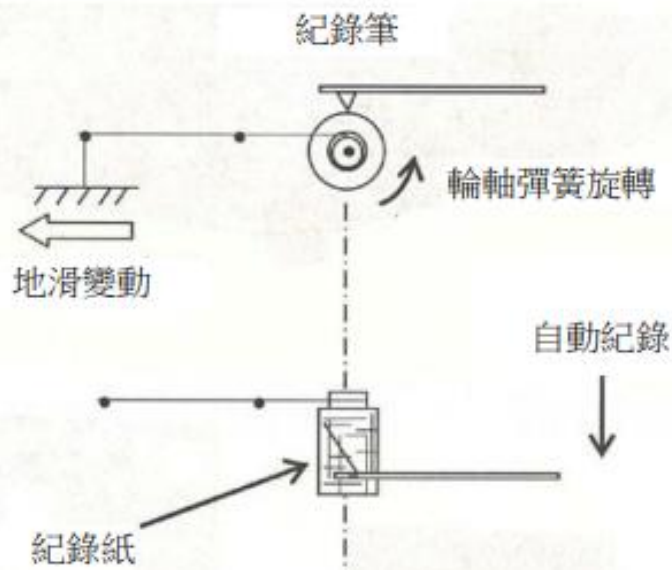
緊急維護檢查：
微地形異狀確認
移動樁距離
溪流水調查



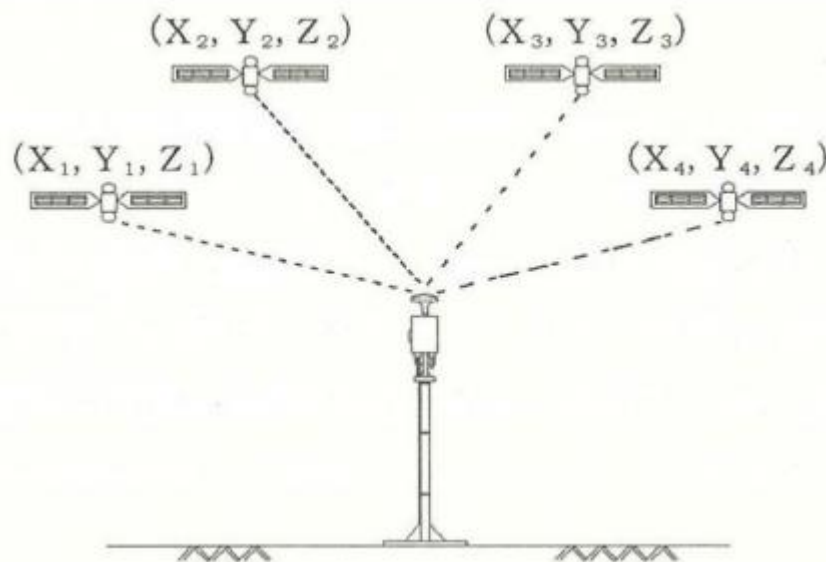
大規模崩塌潛勢坡面監測

對於危險性升高者，針對坡面上微地形移動狀況實施量測

- 短期-地表伸縮計
- 長期-GPS
- 地形差分分析(地形變異分析)



掌握前兆現象、龜裂與落差等
地形移動狀況



設置GPS接收器，測量接收器與衛星距離
算出接收訊號點 三維坐標

輸入 1

3	5	8
2	7	9
9	3	1

輸入 2

1	3	4
2	2	8
6	9	6

輸出

2	2	4
0	5	1
3	-6	-5

兩期DEM相減，
可算地表變動狀況

大規模崩塌軟、硬體對策

利用監測儀器，量測移動量及降雨量為指標，建立警戒避難體制。

以移動量進行判斷： 應綜合評估警戒標的之坡面地形、地質、規模、保全對象範圍及充足的避難或實施緊急對策時間。

注意體制

- 確認有異狀時，應增加儀器設置地點數目，提高監測頻率。

警戒體制

- 進行避難準備，專家實施相關檢討與判斷。

避難體制

- 周邊居民避難，禁止人員進入警戒標地所在坡面，道路禁止通行。

注意要點	警戒
每天超過 1mm，且特定方向累積超過 10 日的移動量	1 日 10mm 以上
避難	禁止進入
連續 2 小時且 1 小時移動 4mm 以上	由專家判斷，大體上 1 小時移動超過 10mm

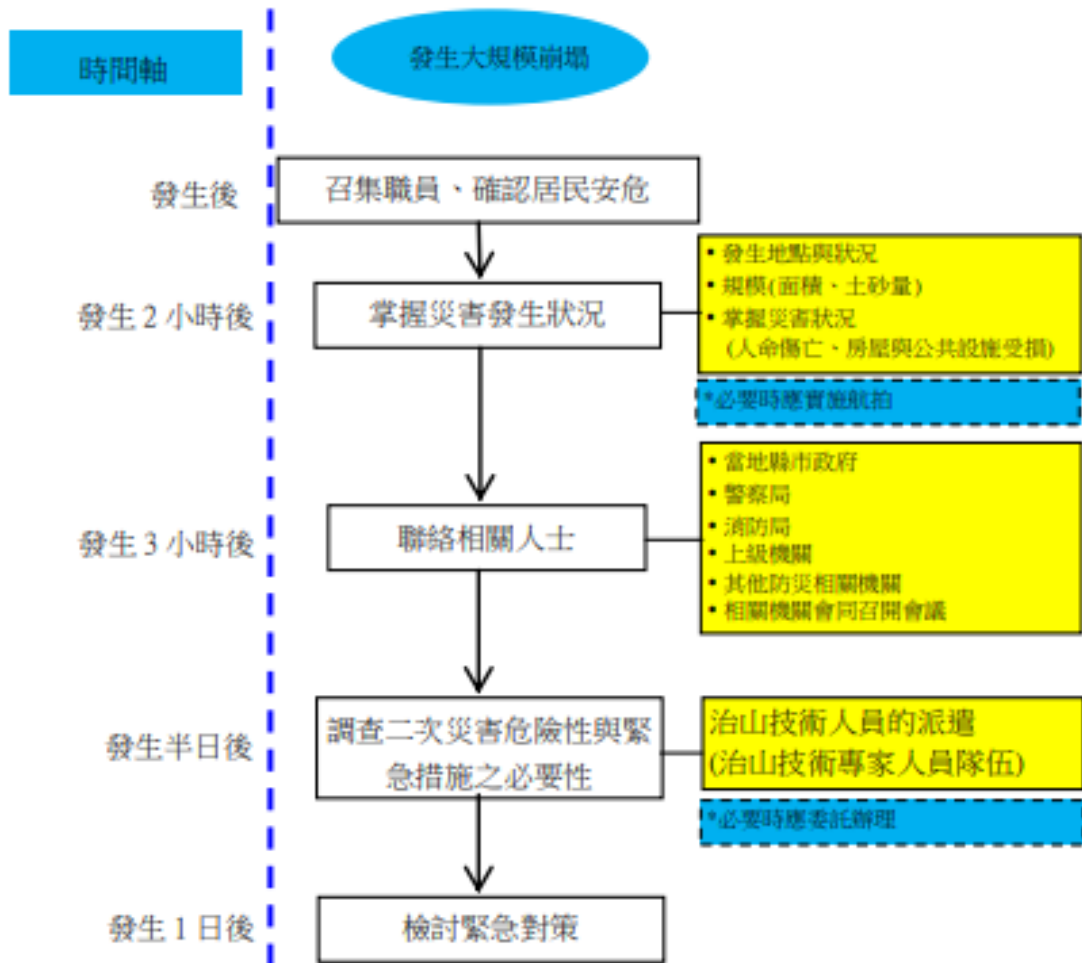
以降雨量進行判斷：

過去一個月總雨量達600mm時(特別是二日內達600mm，危險度高)



大規模崩塌發生後的應對 (1)

避免二次災難



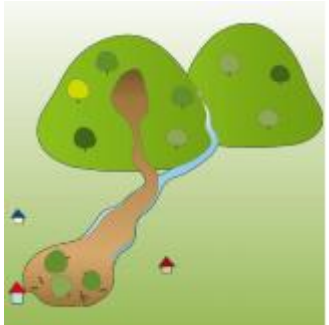
大規模崩塌對策(硬體對策)		
事前對策 【預防】	①平時對策 (崩塌發生前(平常時))	防止大規模崩塌潛勢坡面崩塌與土砂流出
	②緊急對策 (崩塌危險度升高階段)	分析、傳達雨量與大規模崩塌潛勢坡面監測資訊
事後對策 【復舊】	③應急對策 (崩塌後立刻實施)	防止二次災害、崩塌擴大(山坡與溪流)
	④長期對策 (崩塌發生後)	崩塌地的復舊整治(山坡崩塌地、野溪與地滑地)

大規模崩塌發生後的應對 (2)

事後對策	大規模崩塌對策具有特色的對應
應急對策	堰塞湖地點開挖河道防止潰壩，實施固床工防止侵蝕。
	開挖河道上游，以能短期施工的大型四角型箱籠或節制壩，減少土砂流出
	以大型沙包擋土牆抑制土砂流出。實施運送道路的復舊，確保通道。
	實施地表水與地下水排除工，抑制地滑移動
長期對策	針對大面積崩塌源，利用攀岩機加速實施坡面修整工與坡面整形
	難以到達的崩塌源，以直升機噴灑侵蝕防止劑，快速防止地表侵蝕
	發生龜裂的周邊森林，施作坡面加勁擋土牆，穩定坡面、防止崩塌擴大
	堆積大量崩塌土砂的溪流，施作鋼製板防砂壩、鋼板樁壩，並以現地土砂為填充材料。可縮短工期，防範土石流。
	堆積巨礫的溪流，混凝土防砂壩（節制壩）壩頂厚達 2.0m，可防止大滾石流下
	堆積大量枯倒木的溪流，配置鋼製梳子壩，防止漂流木流下
	地滑地或土質疏鬆的土砂堆積區上方，施作設施的山坡以及溪流，鋪設預鑄混凝土塊、可調整鋼構框等可撓性構造物。除了可對應不均勻沉陷，也可以預鑄工法縮短工期。
	以護岸工保護大規模崩場地坡趾，防止侵蝕
	現有已擴大的地滑區域，追加實施集水井與打樁工程
	出現新地滑徵兆的坡面，設置觀測設施，並實施橫向集水管與地錨工，抑止地層移動



適用工法



崩塌類型	應急對策 (發生當下)	長期對策 (發生後)		
	山坡與溪流	山坡崩壞地	野溪	地滑地
落下型 (崩土在山坡 正下方停止)	防護壁(大型沙包) 防護柵 (高能量吸收網) 地表水與地下水排除 (水路工、暗渠)	噴灑侵蝕防止劑(直升機) 坡面修整工(RCM) 坡面格框工、噴漿工 地錨工、加勁擋土牆工 擋土工 水路工、暗渠 山坡綠化工		抑制工 (水路工、整流工、橫向集 水管、集水井、挖方工、坡 面趾部填方工程、節制壩、 擋土工) 抑止工 (打樁工程、地錨工)
流下型 (崩土土石流 化而往下流 動)	清除現有工程的淤積 土石、漂流木 堆高(大型沙包堆置) 節制壩(四角形箱籠、 鋼絲網壩)	發生源對策與陷落型相 同	節制壩、固床工 (混凝土、鋼製框) (鋼製槽、鋼板樁) (梳子壩、預鑄混凝土 塊護岸) 護岸工、整流工	
潰決型 (堰塞湖的形 成、淹水與潰 決)	河道開挖 抽水機排水 固床工、護岸工 (型框填石護岸、四角型箱籠)	發生源對策與陷落型相 同	溪流對策與流下 型相同	



發生源頭區域 現有工法-抑制工

有效性

改善

工法	細分	大規模崩塌預防工的有效性
地表水排出工	滲透防止工	防止地表水滯留坡面或從龜裂地點往地面下滲透。
	水路工	
	整流工	防止溪流水造成侵蝕、擴大地表滲透能。
地下水排出工	暗渠工	排除往坡面下方滲透的淺層地下水
	橫向集水管	排除作用在地滑面深處的地下水、穩定坡面。施工容易。
	集水井	具高效率的排除深層地下水效果。確認地滑面需挖掘到地滑面下方，工程較大。
	排水廊道	其他排水工無法對應時的施工方法。
挖方工		會伴隨改變大範圍地形，砍伐森林。陡峭森林坡面所產生土方量大，處理費用劇增。
坡面趾部填方工		大規模危險坡面實施坡面趾部填方工，工程規模大增，施工用地不易取得。
治山防砂壩等	治山防砂壩	可防止溪流縱橫向侵蝕，治山防砂壩淤砂產生坡面趾部填方效果，防止崩塌。
	護岸工	防止溪岸側向侵蝕，穩定坡腳、防止崩塌。
	擋土工	防止坡趾侵蝕造成崩塌。具坡面趾部填方效果。

工法	細分	注意要點	有效的改善方案
地表水排出工	滲透防止工	施工性、耐久性	活用輕量且具耐久性的布製防水地工織布、地墊
	水路工	漏水防止對策與地形變化的對應	採用具可撓性的構造，集水井與水路的接合處，以及材料彼此的接合處，實施密封、防止漏水或溢水。
	整流工	對於施工性與地形變化的對應	活用不織布模板混凝土，合成樹脂等輕量且具可撓性的產品。
地下水排出工	暗渠工	堵塞導致機能降低 耐久性	活用輕量且具可撓性，耐壓強度優、吸水面積大的網狀管等合成樹脂二次製品。
	橫向集水管	精確掌握地下水帶	應用地下水流聲納掃描技術。
		集水管方向的極限 提升集水效果	以 <u>曲線鑽孔</u> 施工。 應用開口率(孔徑比)較高的保孔管。
治山防砂壩等	治山防砂壩	坡面土塊移動造成壩體破壞	地滑等可能形成側壓，壩頂厚度需達2.0~4.0m。現有設施予以增厚。以可撓性的構造對應地形變化。
	護岸工	淘刷與地下水滯留	同時設置丁壩，降低壩基附近水流流速，防止淘刷。屬透水型護岸，可防止坡面地下水位上升。
	擋土工	地下水滯留	屬透水型檔土牆，可防止坡面地下水位上升。



發生源頭區域 現有工法-抑止工

有效性

改善

工法	細分	大規模崩塌預防工之有效性
打樁工程		雖具速效性，但需使用較大型搬運車與施工機械，有時車輛與機械搬運與施工會受限。
深樁工		經費巨大，其他工法不宜且整治標的地滑推力大，才適用。
地錨工		陡坡可施工，能抑制坡趾崩塌。
加勁擋土牆工	鋼筋植入工	可最低限度地砍伐森林，防止坡趾崩塌。

工法	細分	注意要點	有效的改善方案
地錨工		施工性	利用輕量的二次製品受壓板，達到施工機械小型化、縮短工期的目的。活用開口率(孔徑比)高的格子嵌板，施工後完成綠化。
		耐久性	錨栓材料為具水密性的雙重防蝕構造。
加勁擋土牆工	鋼筋植入工	施工性	加勁材料使用自穿孔型岩栓，可對應鬆軟森林土壤坡面。同時使用金屬網與鋼絲網壩，具備預防地表侵蝕與落石功能
		耐久性	加勁的材料為雙重防蝕構造。

溪流對策、土石流&漂流木對策工

有效性

工法	細分	大規模崩塌預防工之有效性
治山防砂壩	治山防砂壩 (防水型)	可抑止、減少土砂流出。
	治山防砂壩 (透過型)	可攔阻土石流與漂流木。

改善

工法	細分	注意要點	有效的改善方案
治山防砂壩	不透過型	現有治山防砂壩壩頂厚度多小於1.5m，難以承受土石流衝擊。	有大規模發生土石流之虞，因此壩頂厚度達2.0~4.0m，現有的壩則予以增厚。
		土砂生產旺盛流域，幾年就滿砂、降低土砂抑止量。	設計成壩高較高的治山防砂壩(不需耐震設計的最大14.5m高度)。壩體做成可承受流體力與衝擊力的斷面。 連續設置治山防砂壩，確保更大的堆砂空間供土石流擴散堆積。拓寬溢洪道寬度。
	透過型	漂流木與土石導致阻塞	定期清除漂流木與土石。

結論

大規模崩塌調查，依策略實施步驟可分為第一階段調查~第三階段調查。

依據有限次數探討崩塌歷史事件與案例調查成果，有其侷限性，仍應提升 大規模崩塌潛在坡面維護檢查、提升監測精度、透過預防對策保全森林，減輕防止山地災害。



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