

大規模崩塌高潛感區坡面圈繪技術方法 與風險評估方法研究

導讀者：水保局技研小組 林恩如
2019年12月24日



ISSN 0386-5878

土木研究所資料 第4333號

土木研究所資料

大規模崩塌高潛勢區

坡面圈繪技術方法與風險評估 方法研究

2016年3月

國立研究開發法人 土木研究所
土砂管理研究群組 火山・土石
流團隊

土木研究所資料

深層崩壞の発生する恐れのある 斜面抽出技術手法及び リスク評価手法に関する研究

平成28年3月

国立研究開発法人 土木研究所
土砂管理研究グループ
火山・土石流チーム



目錄

1. 前言	1	6. 調查優先度的設定（第二次圈繪）	9
2. 概說	2	6.1 依據社會性條件進行選定	9
2.1 目的	2	6.2 依據地形性條件進行選定	9
2.2 方法概要	3	6.2.1 依據水文地形特性實施坡面圈繪	9
2.2.1 大規模崩塌高潛勢區坡面的圈繪（第一次圈繪）	3	6.2.2 依據重力變形地形特性實施坡面圈繪	10
2.2.2 調查優先度的設定（第二次圈繪）	3	6.2.3 依據地形條件設定調查優先度	10
2.2.3 大規模崩塌高潛勢區坡面風險評估	3	7. 大規模崩塌高潛勢區坡面風險評估	11
2.2.4 風險評估之後的應對措施	3	7.1 坡面危險度評估	11
2.3 作業順序	4	7.1.1 地形・地質構造的掌握	11
3. 資料的蒐集・整理	6	7.1.2 計算坡面應變率	11
4. 檢討目標區的選定	7	7.1.3 水文・水質調查	12
5. 大規模崩塌高潛勢區坡面的圈繪（第一次圈繪）	7	7.2 崩塌規模的推測	13
5.1 大規模崩塌遺跡資訊的整理	7	7.2.1 詳細調查（地質鑽探、物理探測等）	13
5.2 發生大規模崩塌相關微地形判釋	7	7.2.2 崩塌範圍的推測	14
5.3 大規模崩塌高潛勢區坡面的圈繪	7	7.2.3 崩塌深度的推測	14
		7.2.4 崩塌土砂量的推測	15
		8. 風險評估之後的應對作業（監視・觀測）	16

參考資料：

- | | | |
|-------------------|----------------------|---------------------------|
| 1. 微地形判釋(1-37) | 6. 重力變形坡面圈繪順序(45-46) | 11. 水文水質調查(53) |
| 2. 水文地形特性(38) | 7. 指標的組合與圈繪模式(47) | 12. 空中電磁探勘概要(54) |
| 3. 坡面與固有值比(39-40) | 8. 危險度評估案例(48-49) | 13. 崩塌面積推估土砂量方法(55) |
| 4. 地形分析網格尺寸(41) | 9. 應變率定義與計算(50-51) | 14. 監測大規模崩塌危險坡面之方法(56-57) |
| 5. 潛移坡面變形量(42-44) | 10. 流量計測方法(52) | |

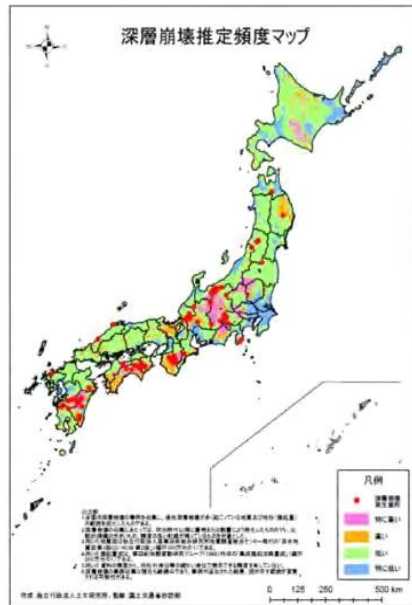


前言

- 大規模崩塌-直接-土砂災害
-間接-堰塞湖、大規模土石流
- 減輕大規模崩塌災情，需事先預測大規模崩塌之發生場所、規模、形態等。藉由累積研究案例，就能某種程度有根據地鎖定大規模崩塌高潛勢區地點。
- 圈繪大規模崩塌高潛勢區坡面與實施坡面風險評估之方法，及深入解說

前言 - 續

圈繪出危險區域



- 2010 年 8 月國土交通省公布大規模崩塌推測頻率地圖
- 依據崩塌歷史事件，分四個階段進行全國性的評估

圈繪出危險溪流



- 2008 年 11 月土木研究所公布溪流圈繪手冊（土木研究所資料第 4115 號）
- 特定區域內的危險地區相對風險評估
- 1km²左右的溪流（小溪流），都進行四階段風險評估

圈繪出大規模崩塌高潛勢區坡面

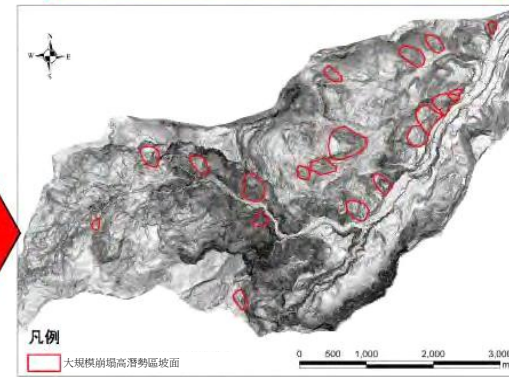


圖 1-1 處理大規模崩塌工作的順序



相關手冊

- 獨立行政法人（現：國立研究開發法人）土木研究所：2008 年 11 月發行「土木研究所資料第 4115 號 大規模崩塌高潛勢區圈繪手冊(草案)」1)（以下稱為溪流圈繪手冊）([參閱技研小組導讀文章](#))
- 國土交通省：2010年8月公布推測日本全國大規模崩塌發生頻率的「大規模崩塌推測頻率地圖」，大規模崩塌發生頻率高地區則比照溪流圈繪手冊，實施溪流（小溪流）層級的危險度評估
- 國土交通省：2012 年 9 月同時公布地區別大規模崩塌遺跡密度地圖，與溪流層級風險評估地圖3)。

風險定義

- 一般所謂「風險」，指「**危害發生機率**及其**危害程度**的綜合嚴重程度」4)，但大規模崩塌很難精確推測其「危害發生機率」。此外，「危害程度」可定義為「大規模崩塌形成**堰塞湖**、**土石流**等的影響範圍」。

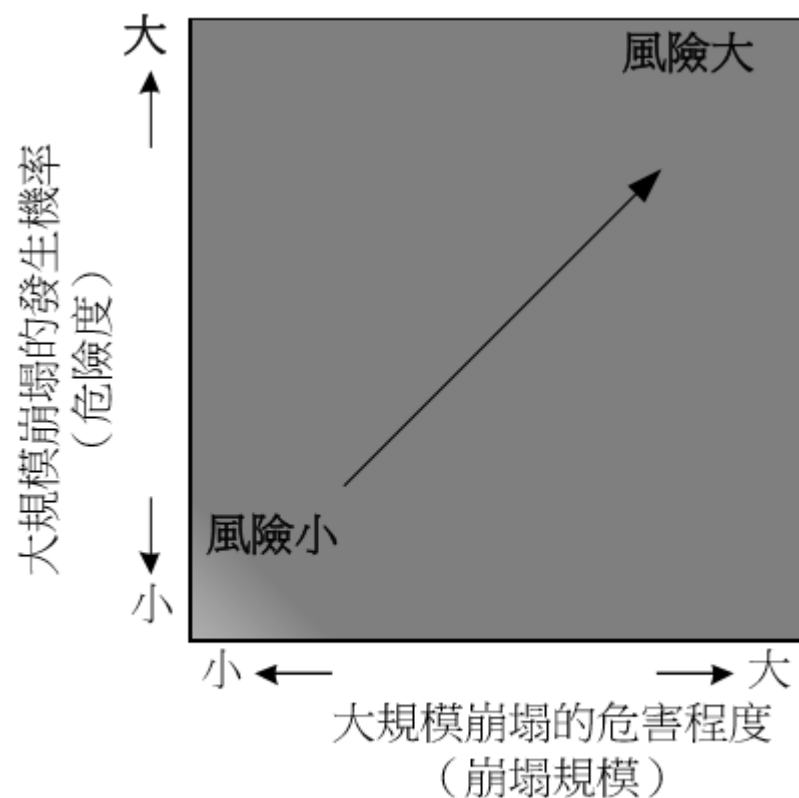


圖 2-1 風險評估示意圖



方法概要

- 本資料所說明大規模崩塌高潛勢區坡面圈繪技術：

1. 大規模崩塌高潛勢區坡面圈繪（第一次圈繪）

- 歷史事件、崩塌前兆、特徵的微地形
- 利用航空雷射測量（光達）、航空照片 - > 圈繪大規模崩塌遺跡地點、判釋微地形

2. 設定調查優先度（第二次圈繪）

- 社會性條件：民宅、公共建築物、災害時災民救護相關設施等保全對象位置與各設施的重要性
- 地形性條件：應以坡降與集水面積所影響的大規模崩塌發生率為臨界值的水文地形特性，作為圈繪指標；大多數大規模崩塌高潛勢區都有重力變形地形 7)，8)，因此，應以重力變形地形的地形量，作為圈繪指標([參閱技研小組導讀文章](#))

3. 坡面危險度評估與崩塌規模的推測（坡面風險評估）

- 危險度：地形與地質狀況進行評估
- 崩塌規模：地表踏查、地質鑽探與物理探測等詳細調查，就能掌握推測崩塌面的空間分佈，算出崩塌土砂量

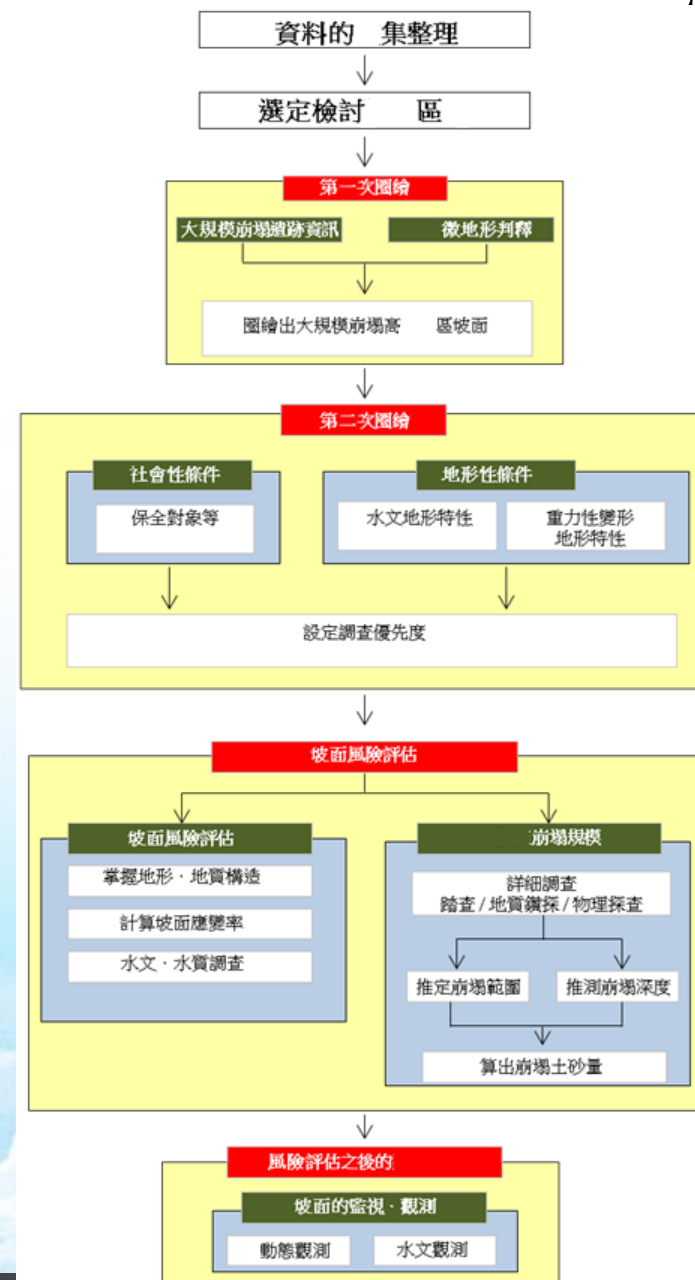


方法概要 - 續

- 本資料所說明大規模崩塌高潛勢區坡面圈繪技術：

4. 風險評估之後的應對措施

- 評估風險很大的坡面，須實施傳統地滑坡面崩塌調查常見的**動態觀測**，以及利用**地下水位觀測**所實施的「坡面之監測・觀測」。
- 不同方法所得到的圈繪精度以及適用規模也不同，很難一概而論當作指標。因此，本資料配合圈繪目的與手法特性，分階段圈繪大規模崩塌高潛勢區坡面，設定調查優先度，並進行坡面的危險度風險評估



資料的蒐集與整理

①DEM資料

原則上應備妥地方整備局事務所等所有1~2m格子尺寸的LP數據。

②大規模崩塌頻率地圖

2010年8月國土交通省河川局沙砂防部所發佈的資料²⁾。

③地區別大規模崩塌遺跡密度地圖

2012年9月國土交通省水管理・國土保全砂防部所發佈的資料³⁾。

④大規模崩塌溪流（小流域）層級評估水地圖

2012年9月之後，各砂防事務所發佈的資料³⁾。

⑤目標區的地形、地質相關資料

除了崩塌地分佈圖與微地形分類圖、1/200,000無縫地質圖之外，也應蒐集檢討區域的 1/25,000地形圖、地質圖、地形分類圖等。

⑥既有成果、縣與市町村災害史、氣象災害報告、防災地圖等。

透過檢討目標區的砂防負責部門等，儘可能蒐集已整理之既有資料。若下列檢討尚未充足，應蒐集各種災害史（都道府縣與市町村災害史）、氣象災害報告（氣象廳）等既有文獻與公佈資料。



資料的蒐集與整理 - 續

⑦社會基盤設施資訊、統計數據等

社會基礎設施資訊除了參照管內圖，也應透過主管自治體，儘可能蒐集既有已整理之資料。

⑧GIS數據（大規模崩塌遺跡、微地形等）

GIS數據方面，應蒐集過去相關業務等所製作大規模崩塌相關GIS數據。此外，也應蒐集WEB（網站）公開的相關數據。

⑨航空照片

航空照片指攝影比例尺 $1/5,000 \sim 1/10,000$ 垂直照片（黑白、彩色皆可），須是既有照片之中最新的。

⑩既有文獻

應蒐集針對目標區及其周邊區域有大規模崩塌、地形與地質條件、氣象條件等等有相關說明的既有文獻。

⑪既有調查成果

目標區及其周邊區域，若正在實施地質調查、微地形判釋、空中電磁探測等，應蒐集其調查成果。



大規模崩塌高潛勢區坡面的圈繪

判釋方法可參照溪流圈繪手冊([參閱技研小組導讀文章](#))

1. 大規模崩塌遺跡資訊的整理

- 把依據航空照片與DEM數據作成的地形表現圖當作背景圖。航空照片應盡可能使用大比例尺且清楚者，若亦可使用正射影像。此外，加工DEM數據並強調其地形起伏，能製作更容易進行地形判釋的地形表現圖等。
- 判釋結果應實施GIS電子化
- 基圖上應顯示比例尺1/1,000~1/5,000左右精度
- 事先把崩塌規模（崩塌面積、推測崩塌深度等）整理成屬性數據
- 分為「崩塌主部（崩塌範圍）」與「移動土體部分」，分別進行判釋



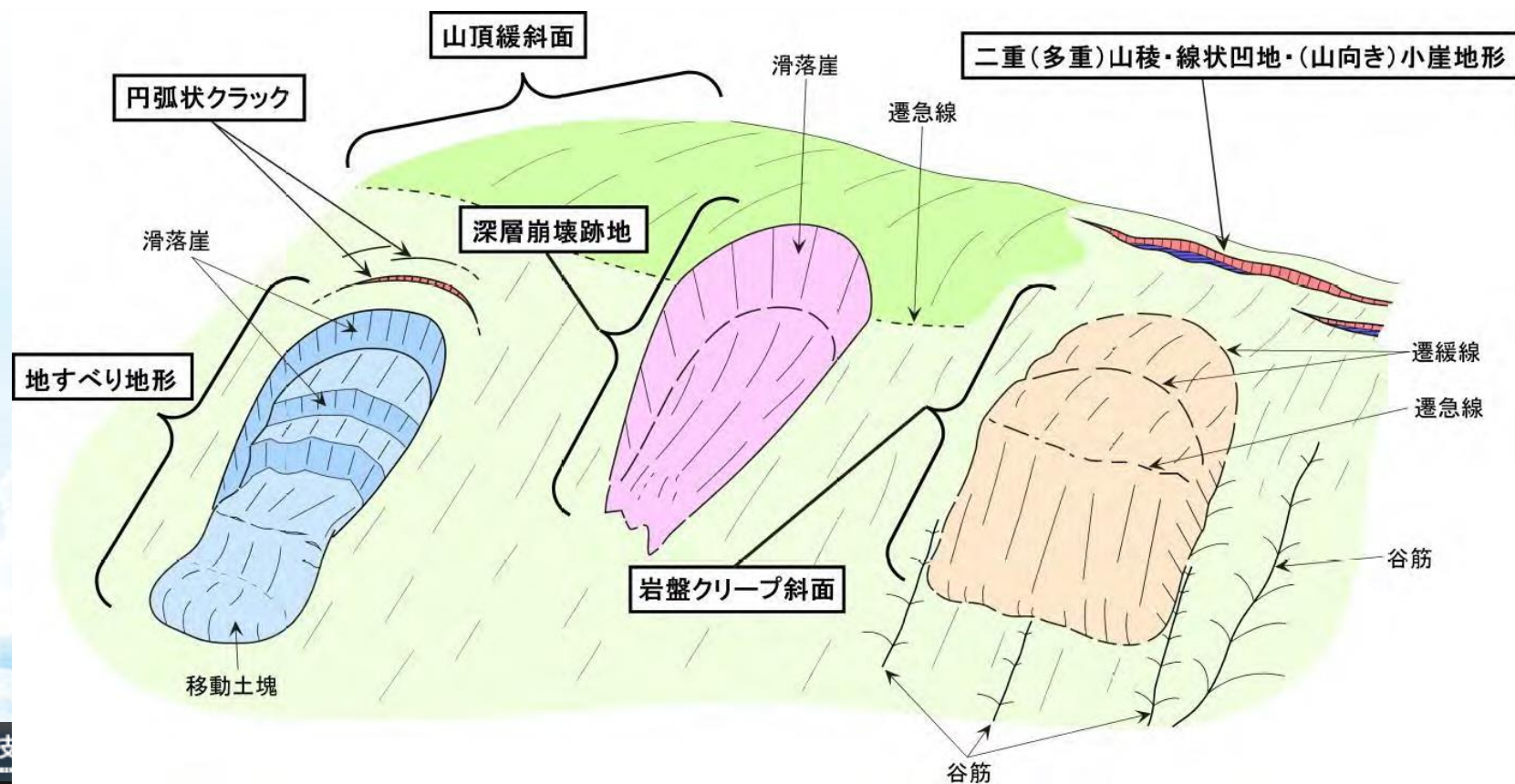
大規模崩塌高潛勢區坡面的圈繪 - 續

2. 發生大規模崩塌之相關微地形判釋

- 山頂緩坡面
- 二重（多重）山稜
- 線狀凹地
- （向山的）小崖地形
- 圓弧狀裂隙
- 岩盤潛移坡面
- 地滑地形、線性構造
- 不穩定土體活動性：
 - 表面侵蝕
 - 小崩塌
 - 蝕溝
 - 湧水
 - 植生差異

大規模崩塌高潛勢區坡面的圈繪 - 續

2. 發生大規模崩塌之相關微地形判釋



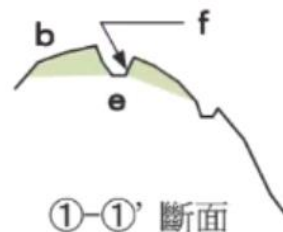
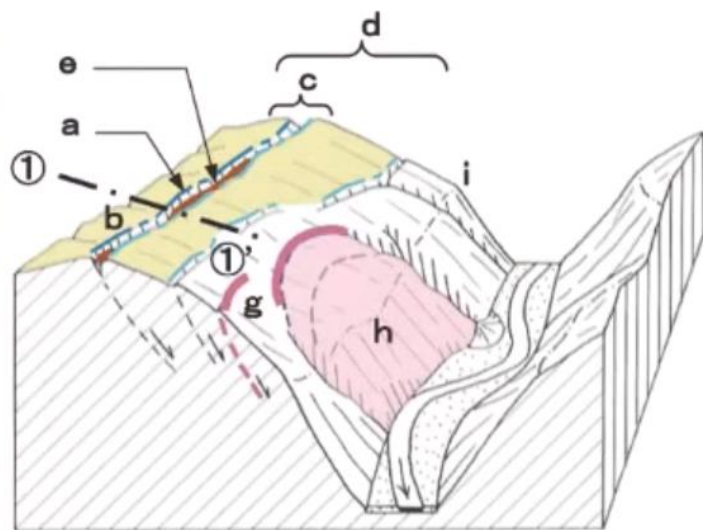


深層崩壞の発生の恐れのある溪流抽出マニュアル(案) 大規模崩塌高潛勢區溪流圈繪手冊（草案）

2. 發生大規模崩塌之相關微地形判釋

□ 清楚標示對象區域內的①～⑤微地形要素。

- ① 山頂緩坡面
- ② 二重（多重）山稜・線性凹地・（向山的）小崖地形
- ③ 圓弧狀裂隙
- ④ 岩盤潛移坡面
- ⑤ 地滑地形

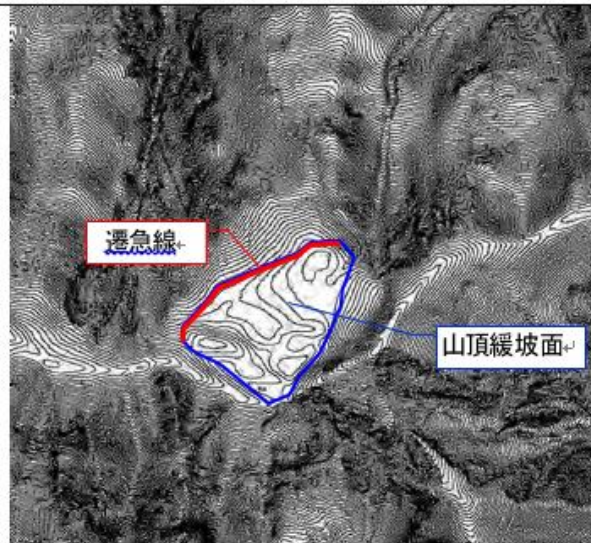


圖中符號

a：主稜線，b：山頂緩坡面，c：二重山稜，
d：多重山稜，e：線狀凹地，f：(向山的)小
崖地形，g：圓弧狀裂隙，h：岩盤潛移坡面
(或地滑地形)，i：遷急線



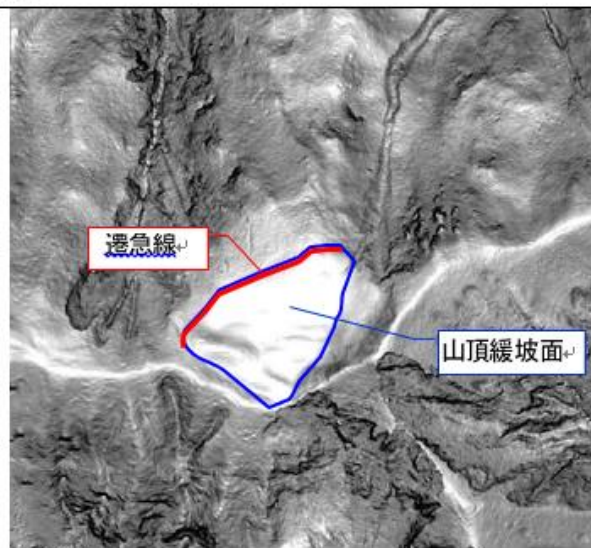
微地形判釋- 遷急線、 山頂緩坡面



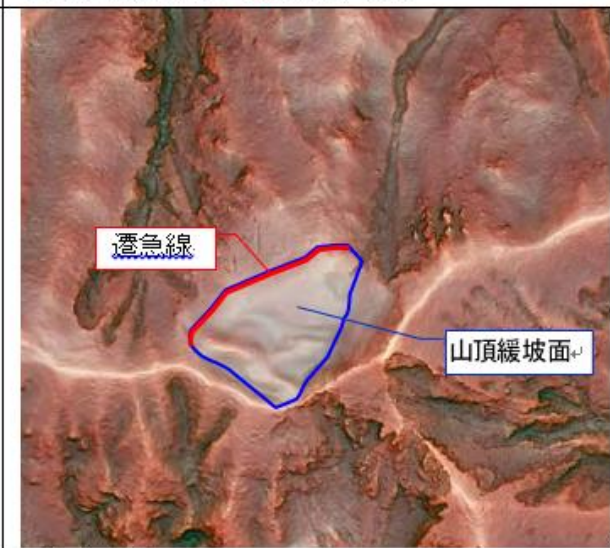
等高線圖
山地稜線附近的等高線間隔會呈現比周邊寬的狀況。



航空照片
運用立體視的方法，就能判釋遷急線範圍內與下方陡坡隔開的山稜上方平坦面。



傾斜量圖
緩傾斜的地方會呈現白色，和下方稍暗色的陡坡形成對比，其邊界便是遷急線。

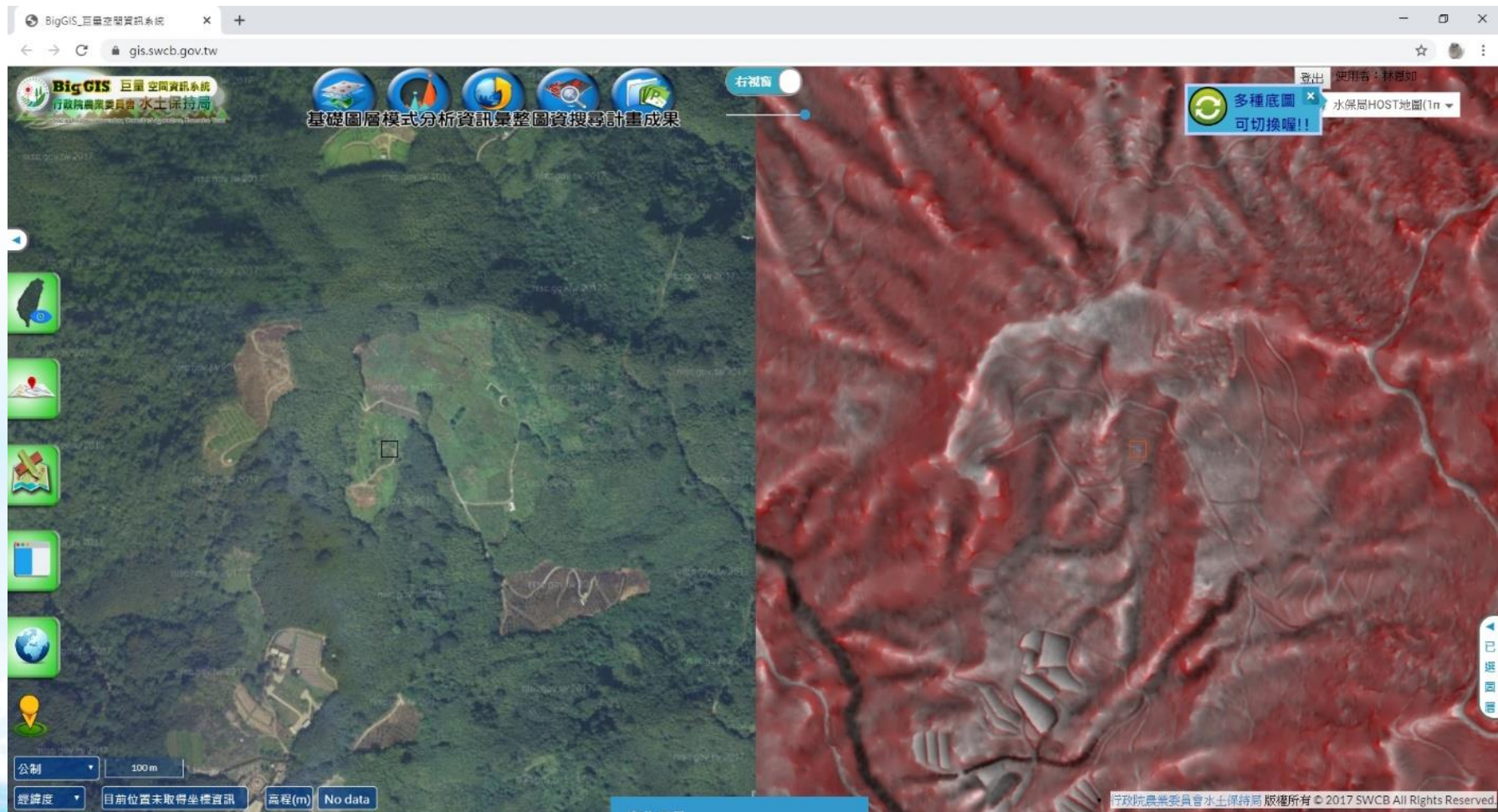


紅色立體地圖
緩傾斜，因此紅色較淡；平坦，因此呈現灰色。下方坡面為陡坡，因此紅色變深，和傾斜量圖一樣能以色調區分開來。



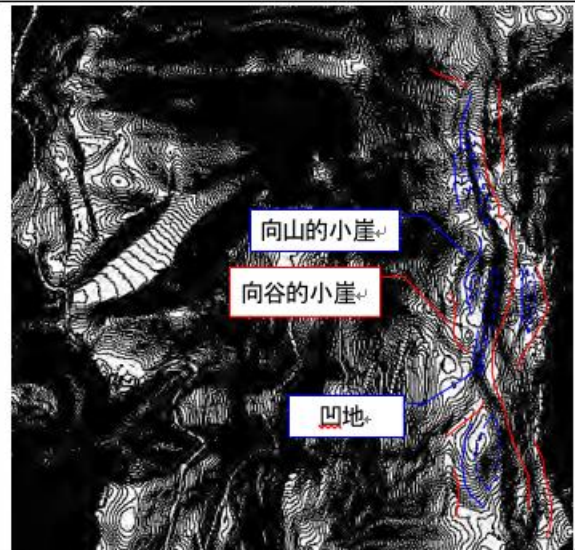
微地形判釋- 遷急線、山頂緩坡面

BigGIS 巨量空間資訊系統





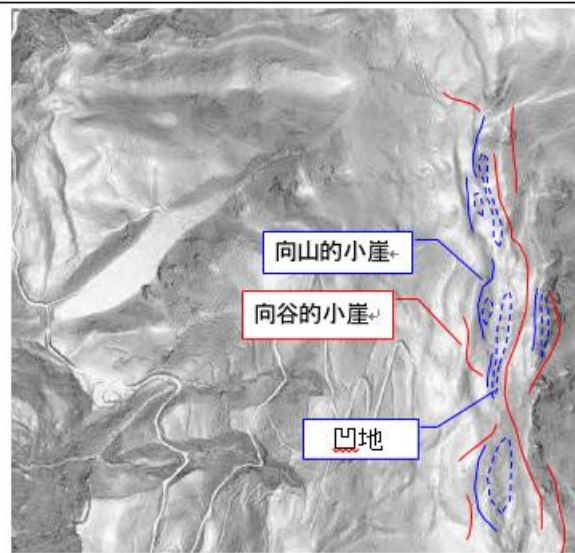
微地形判釋- 多重山陵、 線狀凹地



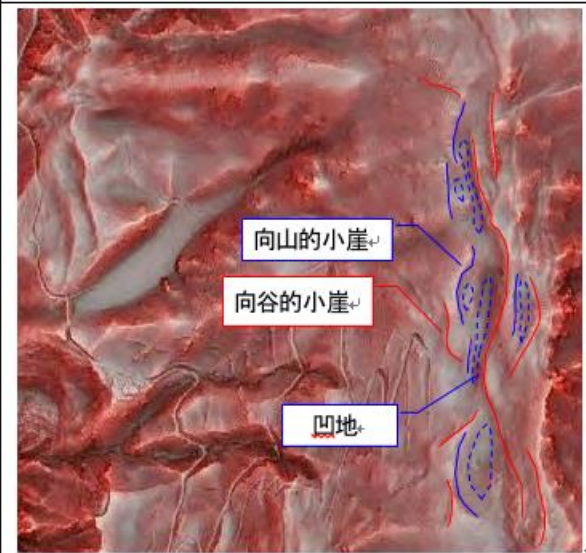
等高線圖
山地稜線附近的向山、向谷小崖（密集等高線）之間，有凹地（封閉的等高線）。



航空照片
很多都是在樹木下方，除非熟練者，否則難以判釋。



傾斜量圖
判釋的結果，山稜附近有線狀連續急崖（黑色）與凹地（白色），反覆出現。

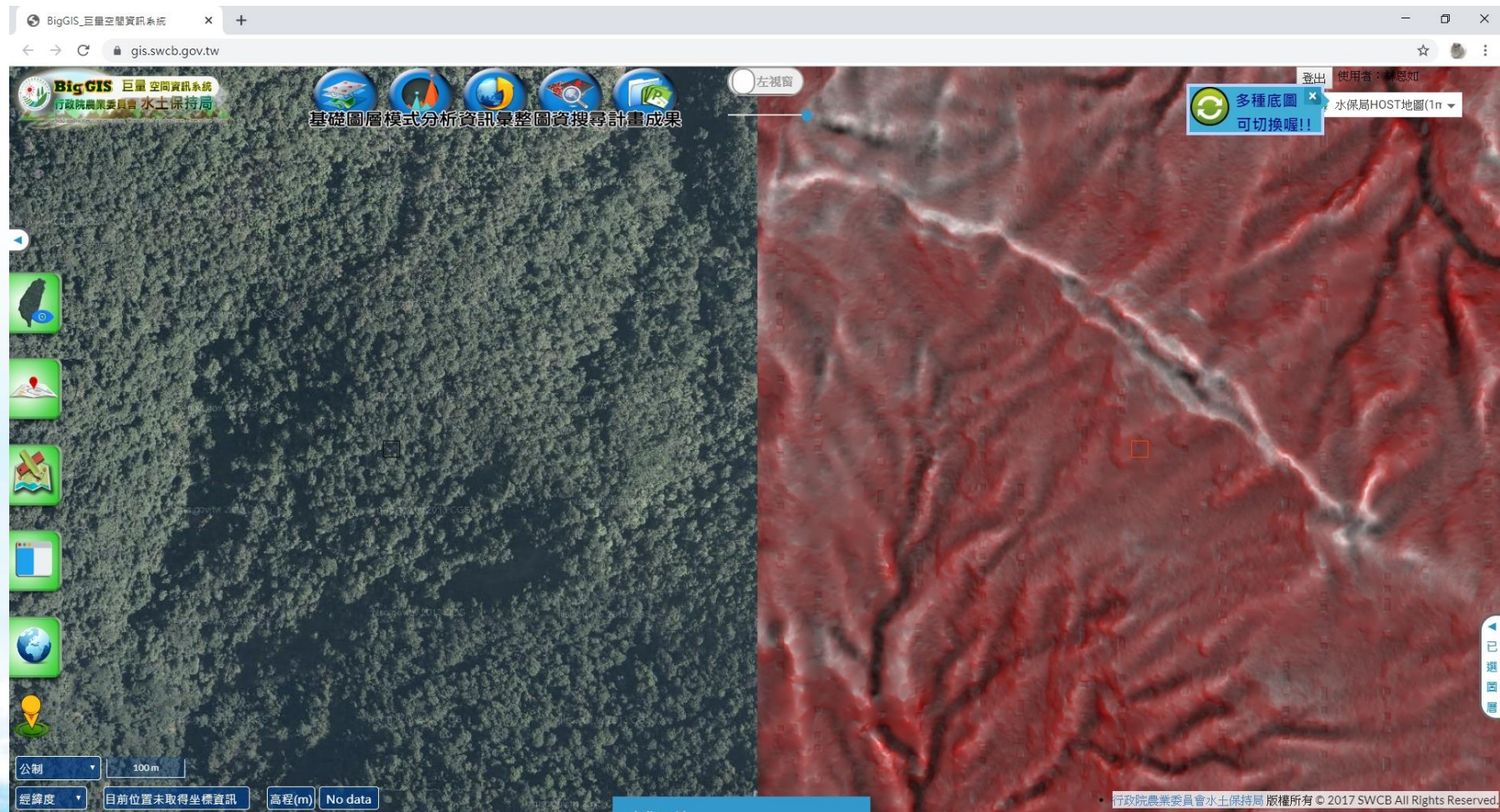


紅色立體地圖
判釋的結果，山稜附近有線狀連續的急崖（暗紅色）與凹地（灰色），反覆出現。



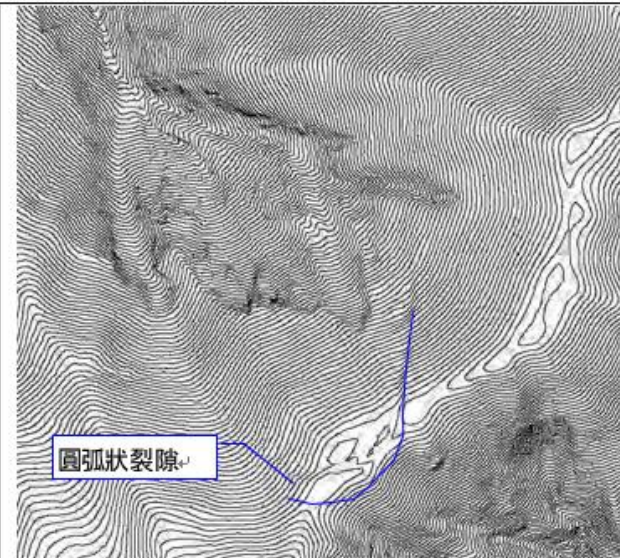
微地形判釋- 多重山陵、線狀凹地

BigGIS 巨量空間資訊系統





微地形判釋- 小崖地形



圓弧狀裂隙

等高線圖

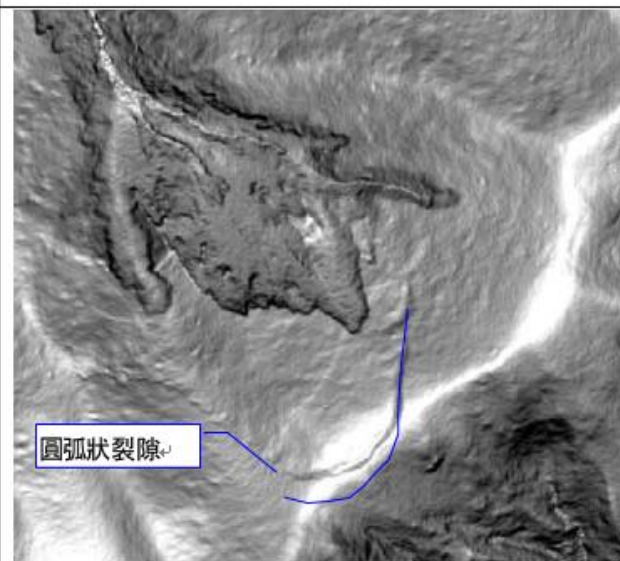
等高線上出現明顯的不連續。



圓弧狀裂隙

航空照片

很多都是在樹木下方，除非熟練者，否則難以判釋。



圓弧狀裂隙

傾斜量圖

可判釋為圓弧狀的急崖（黑色）。



圓弧狀裂隙

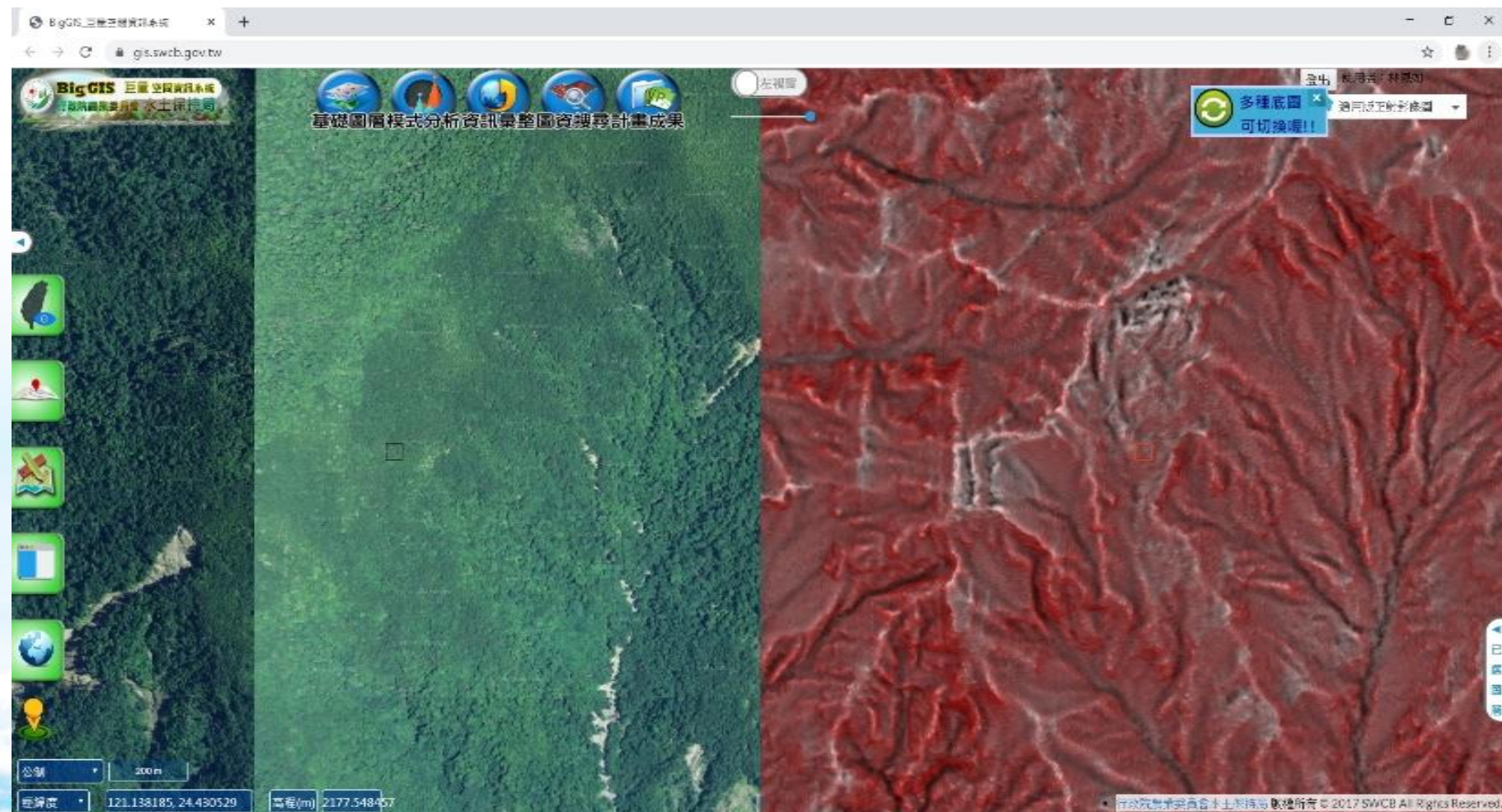
紅色立體地圖

可判釋為圓弧狀的急崖（暗紅色）。



微地形判釋- 小崖地形

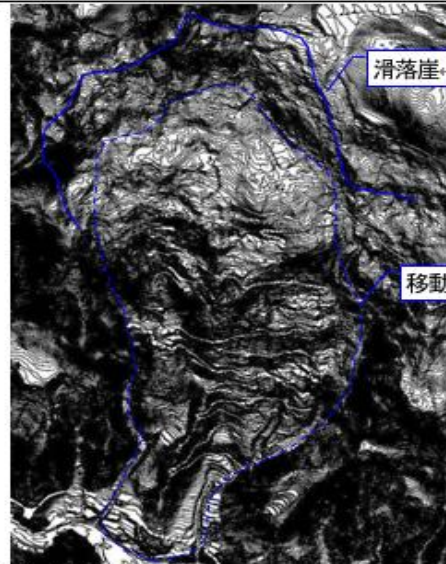
BigGIS 巨量空間資訊系統



第一次圈繪
第二次圈繪
坡面風險評估
應對措施



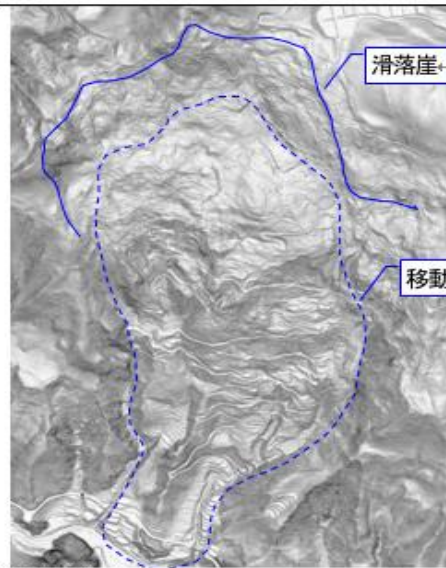
微地形判釋- 岩盤潛移坡面、 地滑地形



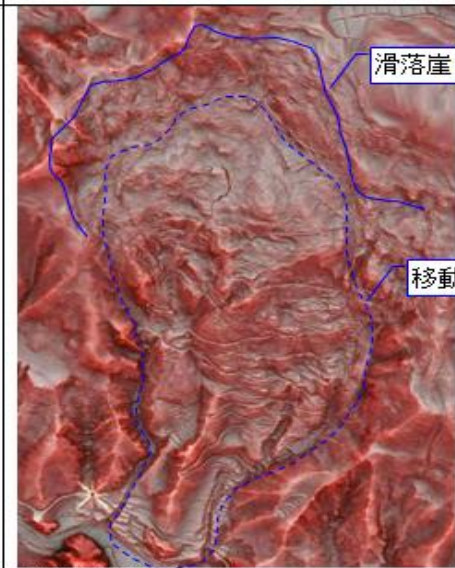
等高線圖
可搭配頭部的急崖（滑落崖）與下方緩坡面（移動體）進行判釋。



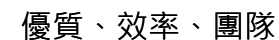
航空照片
可用立體視的方式，一起判釋頭部的急崖（滑落崖）與下方緩坡面（移動體）。



傾斜量圖
與等高線圖相同，移動體內可判釋無數的落差地形。



紅色立體地圖
與等高線圖相同，移動體內可判釋無數的落差地形。



微地形判釋- 岩盤潛移坡面、地滑地形、蝕溝

BigGIS_巨量空間資訊系統





調查優先度

1. 依據社會性條件進行選定

應整理檢討目標區的民宅、公共建築、災害時災民相關設施等保全對象的位置及各設施重要性等的社會條件，設定調查優先度。

2. 依據地形性條件進行選定

- 依據水文地形特性實施坡面圈繪
- 依據重力變形地形特性實施坡面圈繪

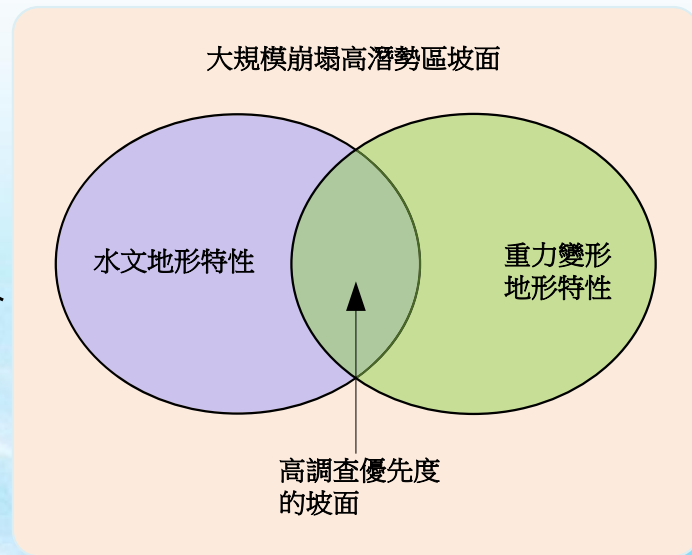


圖6-1 依據地形設定調查優先度的示意圖

調查優先度-續

2. 依據地形性條件進行選定-依據水文地形特性

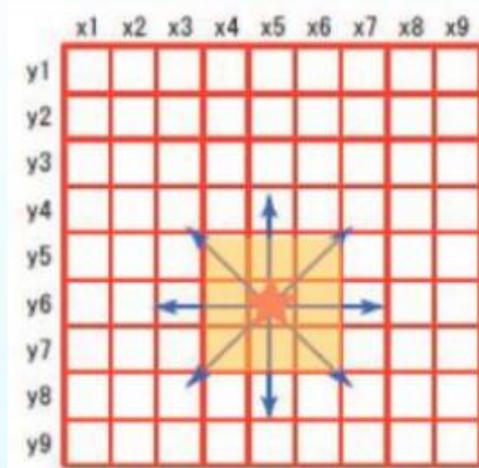
- 詳細的實施方法可依據溪流圈繪手冊
([參閱技研小組導讀文章](#))
- 大規模崩塌面積率:從**坡降**與**集水面積**、**大規模崩塌面積率**的關係，就能設定相對高危險度的臨界值(2倍以上)，圈繪出大規模崩塌高潛勢區坡面之中的高危險度地形量坡面
- 崩塌範圍與地形量範圍之交界：
地形量重心落於崩塌範圍內即算

	集水面積 (log ₁₀ As)								
	3.40	3.70	3.88~ 4.00	4.10~ 4.40	4.44~ 4.70	4.72~ 5.10	5.11~ 5.40	5.40~ 5.70	5.70~
斜面勾配 (度)	~ 10								
	10~ 15								
	15~ 20								
	20~ 25								
	25~ 30								
	30~ 35								
	35~ 40								
	40~								

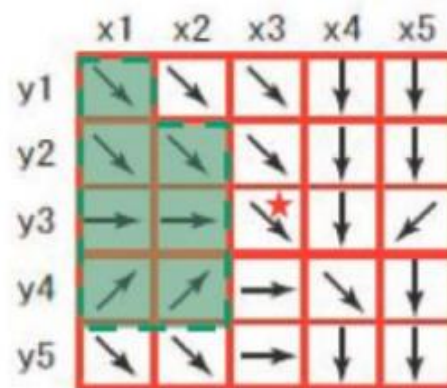
算出地形量

算出每個網格的坡面坡度與集水面積。

計算地形量所使用的 DEM 數據，主要是 50m 網格左右的數據。
地形量則針對每個網格進行計算。



★：坡度算出基準網格
→：8個方向
(a)坡面坡度



→：最大傾斜方向
★：算出基準網格
(b)集水面積

	x1	x2	x3	x4	x5
y1	0	0	0	0	0
y2	0	1	1	2	1
y3	0	3	7★	5	2
y4	0	0	0	18	0
y5	0	0	0	1	20

數字：流入網格數



地形量指標的設定

大規模崩塌發生與地形量關係的整理

圈繪指標設定區域可算出每個大規模崩塌遺跡分布形成地形量的大規模崩塌面積率

算出每個坡度與集水面積組合的大規模崩塌面積率

(= 有該地形量的大規模崩塌遺跡網格數 / 有該地形量的全部網格數)

【參考】圈繪指標設定區域計算的事例

全網格	集水面積 (log ₁₀ As)								
	3.40	3.70	3.88~4.00	4.10~4.40	4.44~4.70	4.72~5.10	5.11~5.40	5.40~5.70	5.70~
~10	1,812	217	243	231	223	150	131	138	1,292
10~15	2,765	753	776	697	622	418	246	219	466
15~20	4,106	1,662	1,644	1,301	1,009	662	359	206	180
20~25	3,928	2,522	2,308	1,576	1,067	524	194	91	35
25~30	2,587	2,441	2,238	1,272	758	326	82	15	2
30~35	1,098	1,612	1,383	620	310	74	11	5	2
35~40	286	584	561	200	66	9	3	0	0
40~	38	108	111	29	6	0	0	0	0

大規模崩塌遺跡網格	集水面積 (log ₁₀ As)								
	3.40	3.70	3.88~4.00	4.10~4.40	4.44~4.70	4.72~5.10	5.11~5.40	5.40~5.70	5.70~
~10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10~15	1	0	0	0	0	0	0	0	0
15~20	3	1	2	5	3	2	0	0	0
20~25	14	9	9	7	14	9	0	0	0
25~30	15	27	30	29	18	2	0	0	0
30~35	8	43	39	16	12	1	0	0	0
35~40	4	24	13	3	1	0	0	0	0
40~	2	1	3	0	0	0	0	0	0

大規模崩塌面積率	集水面積 (log ₁₀ As)								
	3.40	3.70	3.88~4.00	4.10~4.40	4.44~4.70	4.72~5.10	5.11~5.40	5.40~5.70	5.70~
~10	0.000	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	0.000
10~15	0.050	0.000	0.000	0.000	0.000	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)
15~20	0.102	0.084	0.170	0.536	0.415	0.421	(0.000)	(0.000)	(0.000)
20~25	0.497	0.498	0.544	0.820	1.831	2.386	(0.000)	(0.000)	(0.000)
25~30	0.809	1.543	1.870	3.181	3.213	(0.856)	(0.000)	(0.000)	(0.000)
30~35	1.017	3.722	3.934	3.800	(5.401)	(1.883)	(0.000)	(0.000)	(0.000)
35~40	(1.951)	5.794	3.233	(2.093)	(2.114)	(0.000)	(0.000)	—	—
40~	(7.343)	(1.280)	(3.771)	(0.000)	(0.000)	—	—	—	—



調查優先度-續

2. 依據地形性條件進行選定-依據重力變形地形特性

- 以重力變形（岩盤潛移）呈現地形特徵的地形量，設定臨界值
- 坡面坡降比與最小固有值比（DEM解析度:1~2m)
- 評估該坡面數與大規模崩塌關連性，可應用命中率與覆蓋率等。命中率與覆蓋率的計算方法，參照溪流圈繪手冊([參閱技研小組導讀文章](#))



大規模崩塌高潛感區溪流圈繪所用指標的設定

地質・微地形指標的設定

針對每種地質構造與微地形要素，計算下列2種指標，圈繪出2~3種①與②都很高的地質構造與微地形要素。

圈繪高度關聯性要素

① 大規模崩塌遺跡溪流，存在各種要素（或存在某數目以上）溪流的比率「**覆蓋率**」

② 存在各要素（或存在某數目以上）溪流，有大規模崩塌遺跡的溪流比率「**命中率**」

溪流①	溪流②	溪流③	溪流④	溪流⑤
▲ 大規模崩塌遺跡		▲ 大規模崩塌遺跡		
◆ 微地形要素 I	◆ 微地形要素 I		◆ 微地形要素 I	
● 微地形要素 II		● 微地形要素 II		

微地形要素 I 的情況

- 有大規模崩塌遺跡的溪流（①，③） ⇒ 2 溪流
- 其中，有微地形要素 I 的溪流（①） ⇒ 1 溪流
- 有微地形要素 I 的溪流（①，②，④） ⇒ 3 溪流
- 其中，有大規模崩塌遺跡的溪流（①，③） ⇒ 1 溪流

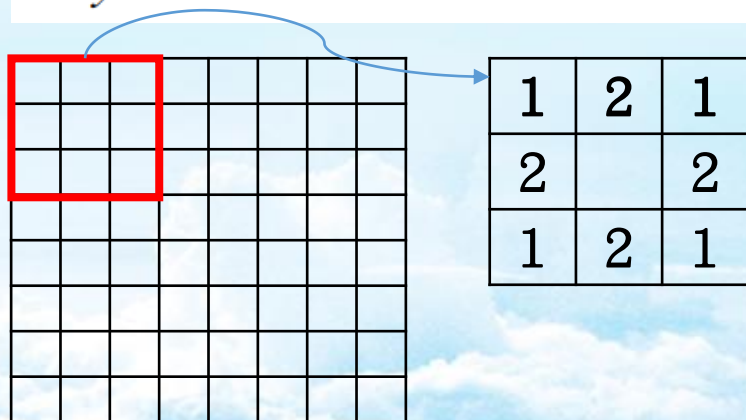
覆蓋率： $1/2$ 命中率： $1/3$

坡面坡降的計算方法

$$I = \text{atan}\sqrt{(dz/dx)^2 + (dz/dy)^2} \quad \dots\dots (1)$$

$$\frac{dz}{dx} = \frac{1}{8D} \{ (Z_{x-1,y+1} + 2Z_{x-1,y} + Z_{x-1,y-1}) - (Z_{x+1,y+1} + 2Z_{x+1,y} + Z_{x+1,y-1}) \} \quad \dots\dots (2)$$

$$\frac{dz}{dy} = \frac{1}{8D} \{ (Z_{x-1,y+1} + 2Z_{x,y+1} + Z_{x+1,y+1}) - (Z_{x-1,y-1} + 2Z_{x,y-1} + Z_{x+1,y-1}) \} \quad \dots\dots (3)$$



I 代表坡面坡降

中心網格：座標值 x, y （標高為 $Z_{x,y}$ ）

dz/dx 為從中央單元格往 x 方向的標高值變化率

dz/dy 為中央單元格往 y 方向的標高值變化率

D 代表網格單元格大小

DEM



固有值比的計算方法

$$(x_i, y_i, z_i) = (\cos\theta_i \cos\varphi_i, \cos\theta_i \sin\varphi_i, \sin\theta_i) \quad \cdots (4)$$

$$T = \begin{bmatrix} \sum x_i^2 & \sum x_i y_i & \sum x_i z_i \\ \sum y_i x_i & \sum y_i^2 & \sum y_i z_i \\ \sum z_i x_i & \sum z_i y_i & \sum z_i^2 \end{bmatrix} \quad \cdots \cdots \cdots (5)$$

算出上述行列式T的固有值
(依值大小排列，分別是 λ_1 、 λ_2 、 λ_3)

$$S_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3} \quad \cdots \cdots \cdots (6)$$

$$\gamma = \ln(S_1 / S_2) \quad \cdots \cdots \cdots (7)$$

3×3的網格單元*i*的坡面向量：

(x_i, y_i, z_i)

T ：坡面線向量的方向張量

φ_i ：網格單元格*i*的方位角

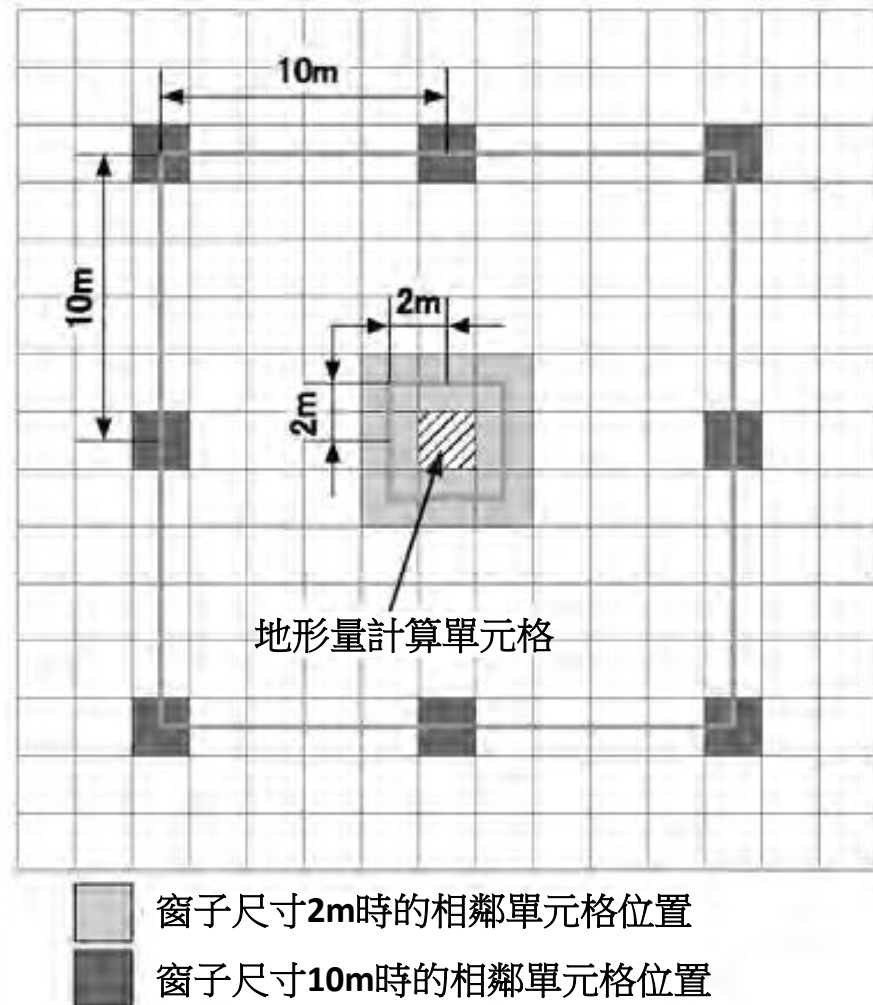
θ_i ：網格單元格*i*的天頂角

γ ：固有值比

值越大代表越平坦；值越
小表示表面形狀變化劇烈

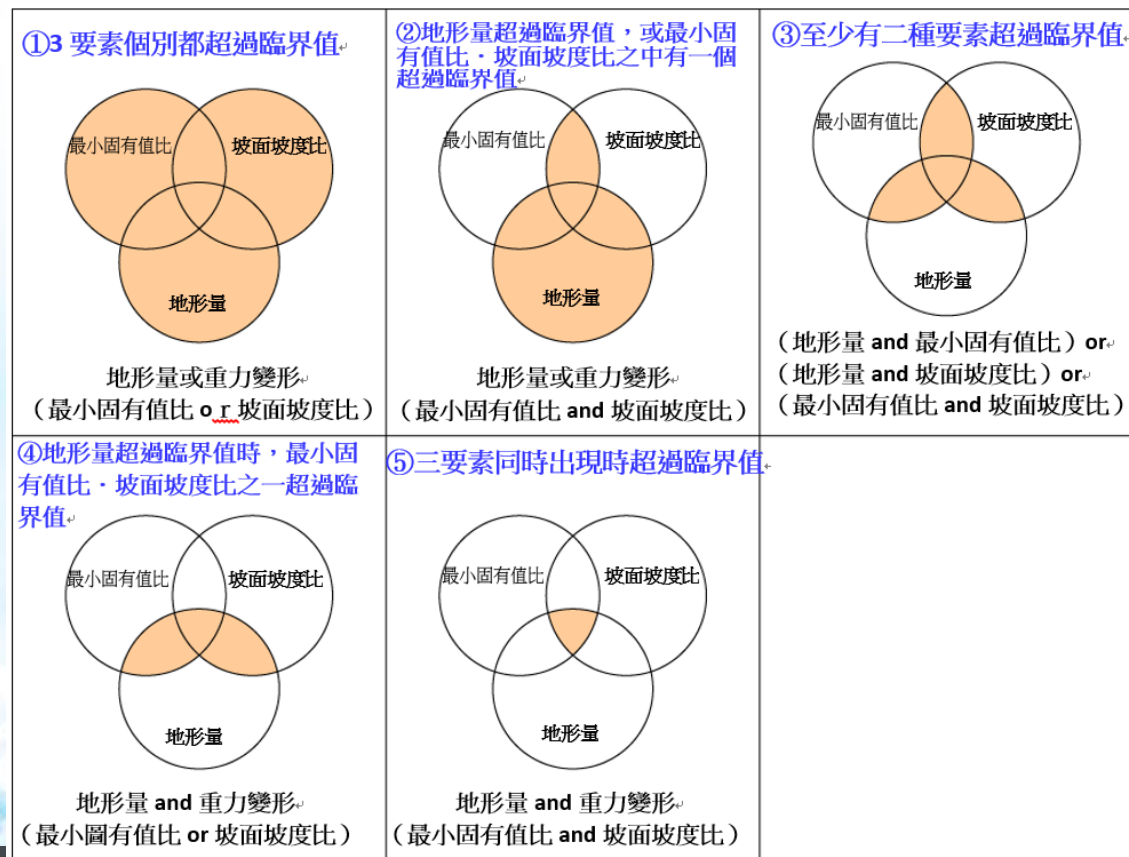
坡面坡降比與最小固有值比-網格視窗選擇

- 需呈現小比例尺的特徵時用小窗格計算；反之則以大窗格計算
- 算出最能清楚呈現對象坡面地形特徵的地形量
岩盤潛移坡面設定複數網格尺寸算出固有值比
就會出現固有值比最小的（最能呈現坡面凹凸的）網格尺寸



調查優先度-續

2. 依據地形性條件進行選定-依據水文地形特性



運用水文地形特性與重力變形特性（最小固有值比、坡面坡降比）3項指標，組合起來鎖定目標就能選擇適當的圈繪模式

圖 10 搭配 3 種指標的案例。



高潛勢區坡面危險度評估與崩塌規模的推測

1. 危險度：

- 地形・地質構造的掌握
- 坡面應變率的計算
- 水文・水質調查

2. 崩塌規模：

- 詳細調查（地質鑽探、物理探測）
- 崩塌範圍的推測
- 崩塌深度的推測
- 崩塌土砂量的推測



坡面危險度評估與崩塌規模的推測

1. 危險度：地形與地質狀況進行評估

1) 坡面地形、地質掌握：

- 地表踏查
- 掌握大範圍的地質分布、斷層、節理分離面等方向等的地質構造
- 確認湧水地點
- 有無發生小崩塌
- 荒廢狀況
- 植生
- 河川下切狀況

可參照紀伊山地的評估案例 (千木良雅弘・坂島俊彦・渋谷研一 (2014) : 大規模崩塌發生危險坡面の地質・地形的圈繪法について・平成 26 年度砂防学会研究発表會概要集 A・pp.16-17)

坡面危險度評估與崩塌規模的推測 - 續

1. 危險度：地形與地質狀況進行評估

2) 坡面應變率的計算：將小崖長度和坡面長度的比例，定義為「應變率」

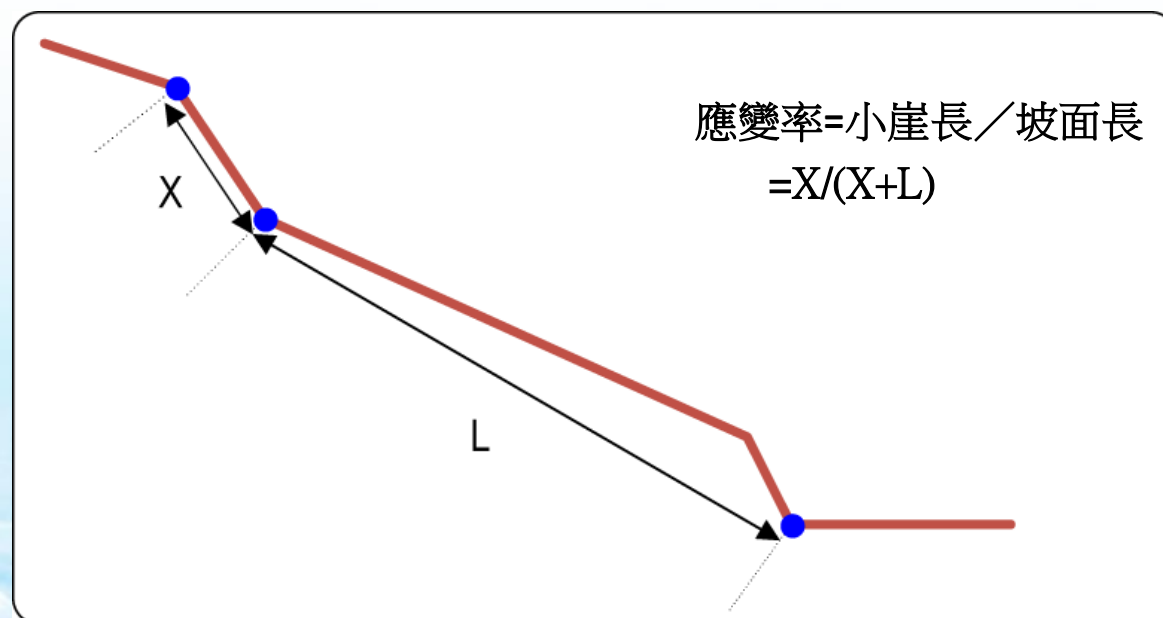


圖7-1 應變率計算概圖

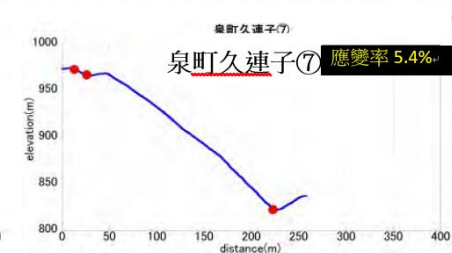
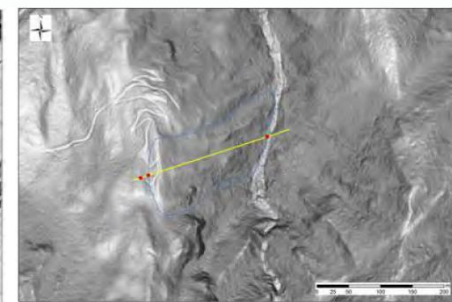
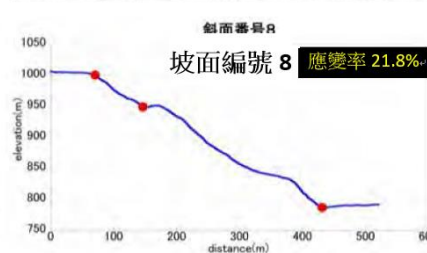
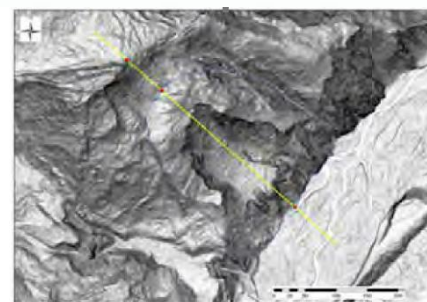
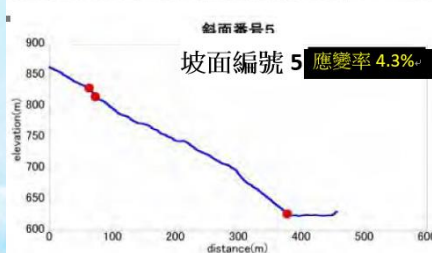
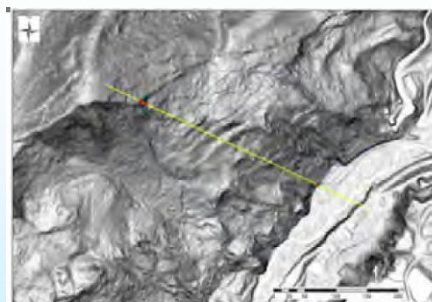


坡面危險度評估與崩塌規模的推測 - 續

1. 危險度：地形與地質狀況進行評估

2) 坡面應變率的計算：將小崖長度和坡面長度的比例，定義為「應變率」

- 地形發達過程的變位率
- 活動過程中變位率變大與否
- 不同研究所使用的應變率名稱與計算方法都有差異，故無法簡單地進行比較
- 本資料希望能統一應變率的計算方法



應變率計算範例



坡面危險度評估與崩塌規模的推測 - 續

1. 危險度：地形與地質狀況進行評估

3) **水文・水質調查**：調查的實施對象是所選定坡面的湧水與周邊池水。應依據有無水文・水質之特異性，評估其危險度

① 水文調查

水文調查應計測導電度、水溫、PH值、湧水量、流量與氣溫。此外，應依據水文調查結果，算出每個流域的**比流量**(集水區逕流量除以集水區面積)。水文調查最好在相同時期，一起實施。

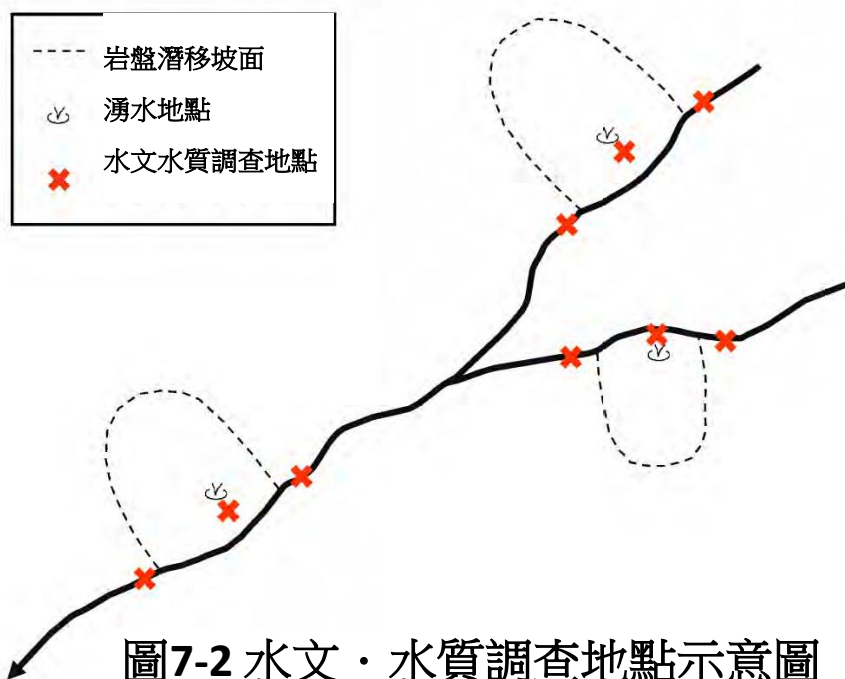
② 水質分析

水質分析對象項目包括主要溶存離子7種（納離子 Na^+ 、鉀離子 K^+ 、鈣離子 Ca_2^+ 、鎂離子 Mg_2^+ 、氯離子 Cl^- 、硫酸離子 SO_4^{2-} 、碳酸氫離子 HCO_3^- ）與硅酸。

坡面危險度評估與崩塌規模的推測 - 續

1. 危險度：地形與地質狀況進行評估

3) 水文・水質調查：調查的實施對象是所選定坡面的湧水與周邊池水。應依據有無水文・水質之特異性，評估其危險度





坡面危險度評估與崩塌規模的推測-續

2. 崩塌規模：地表踏查、地質鑽探與物理探測等詳細調查，就能掌握推測崩塌面的空間分佈，算出崩塌土砂量

1) 詳細調查（地質鑽探、物理探測）

①地質鑽探

針對所選定坡面及其周邊實施地質鑽探，掌握其地質狀況與地下水狀況。

②物理探測

在所選定的坡面，實施電阻率二次元探測或空中電磁探測等，掌握地面下電阻率分布等。另外，運用地表探測與地質鑽探所取得的地質數據，就能解釋電阻率分布狀況。

坡面危險度評估與崩塌規模的推測-續

2. 崩塌規模：地表踏查、地質鑽探與物理探測等詳細調查，就能掌握推測崩塌面的空間分佈，算出崩塌土砂量

1) 詳細調查（地質鑽探、物理探測）

③其他必要的調查

除此之外，應盡量實施能推測坡面內部構造的調查。

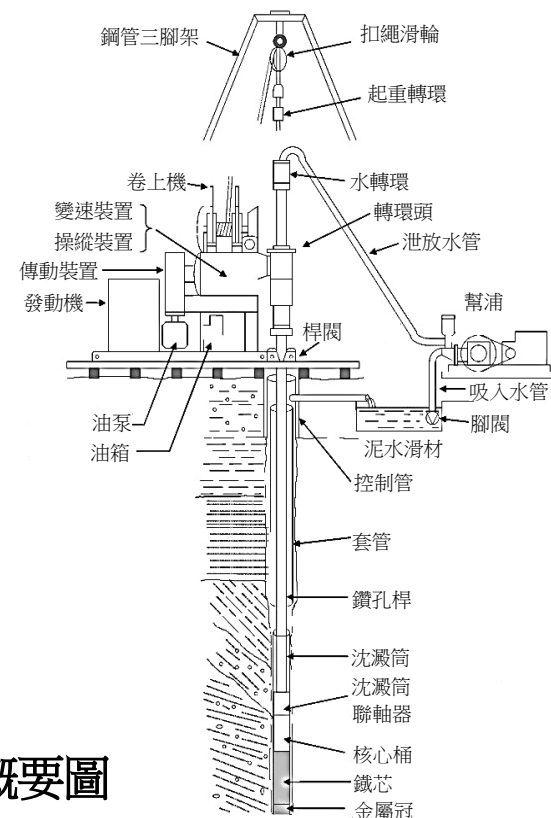


圖 7-3 鑽探裝置概要圖





坡面危險度評估與崩塌規模的推測-續

2. **崩塌規模**：地表踏查、地質鑽探與物理探測等詳細調查，就能掌握推測崩塌面的空間分佈，算出崩塌土砂量

2) 崩塌範圍的推測

依據**微地形判釋結果**與上項之詳細調查結果，設定大規模崩塌高潛勢區之範圍；也可參考水文地質**構造與電阻率分布**

3) 崩塌深度的推測

針對已實施詳細調查的坡面，製作呈現調查結果的地形、地質、電阻率分布相關**斷面圖**，推測崩塌深度。若正在實施空中電磁探測，最好能利用複數斷面。

* 崩塌推測範圍和崩塌深度推測，應具有**整合性**

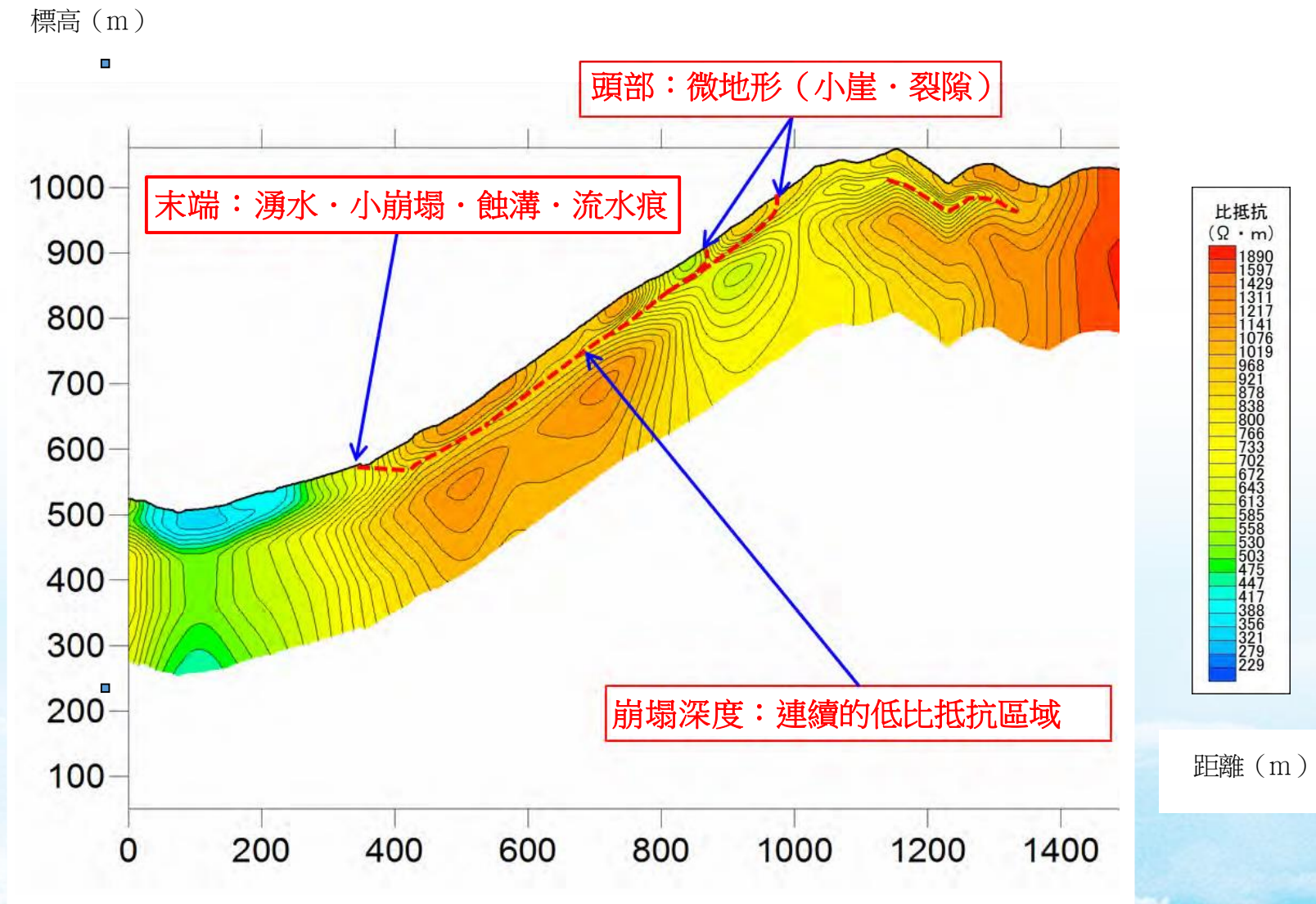


圖 7-4 應用空中電磁探測結果的崩塌深度推測案例



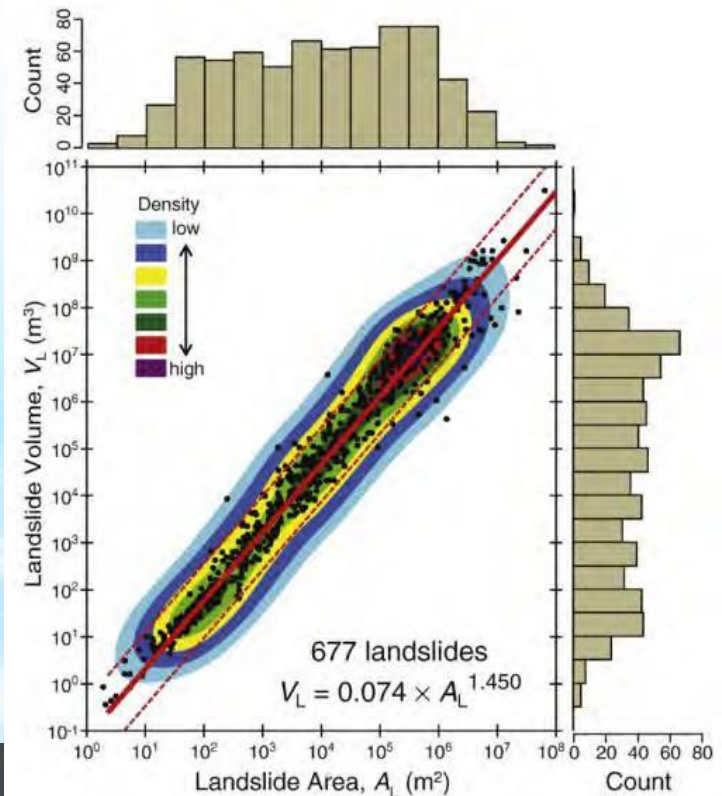
坡面危險度評估與崩塌規模的推測-續

2. **崩塌規模**：地表踏查、地質鑽探與物理探測等詳細調查，就能掌握推測崩塌面的空間分佈，算出崩塌土砂量

4) 崩塌土砂量的推測

依據平均斷面法、推測崩塌範圍、推測崩塌深度，算出崩塌土砂量

圖 7-5 崩塌土砂量與面積之關係





風險評估之後的應對措施 (監視・觀測)

重力變形所導致的坡面變動，和屬於緩慢運動的地滑有許多類似之點，地滑時常使用的監視與觀測方法通常也是有效的

1. 地中移動量：鑽探孔的孔內傾斜計或配管應變計
2. 地表移動量：地盤伸縮計、移動樁測量、GPS測量等方法、地上3D雷射掃描、合成孔徑雷達 (SAR)
3. 地下水變動量：鑽探孔內的地下水位變動、坡面側部・趾部附近湧水量

風險評估之後的應對措施 (監視 · 觀測)

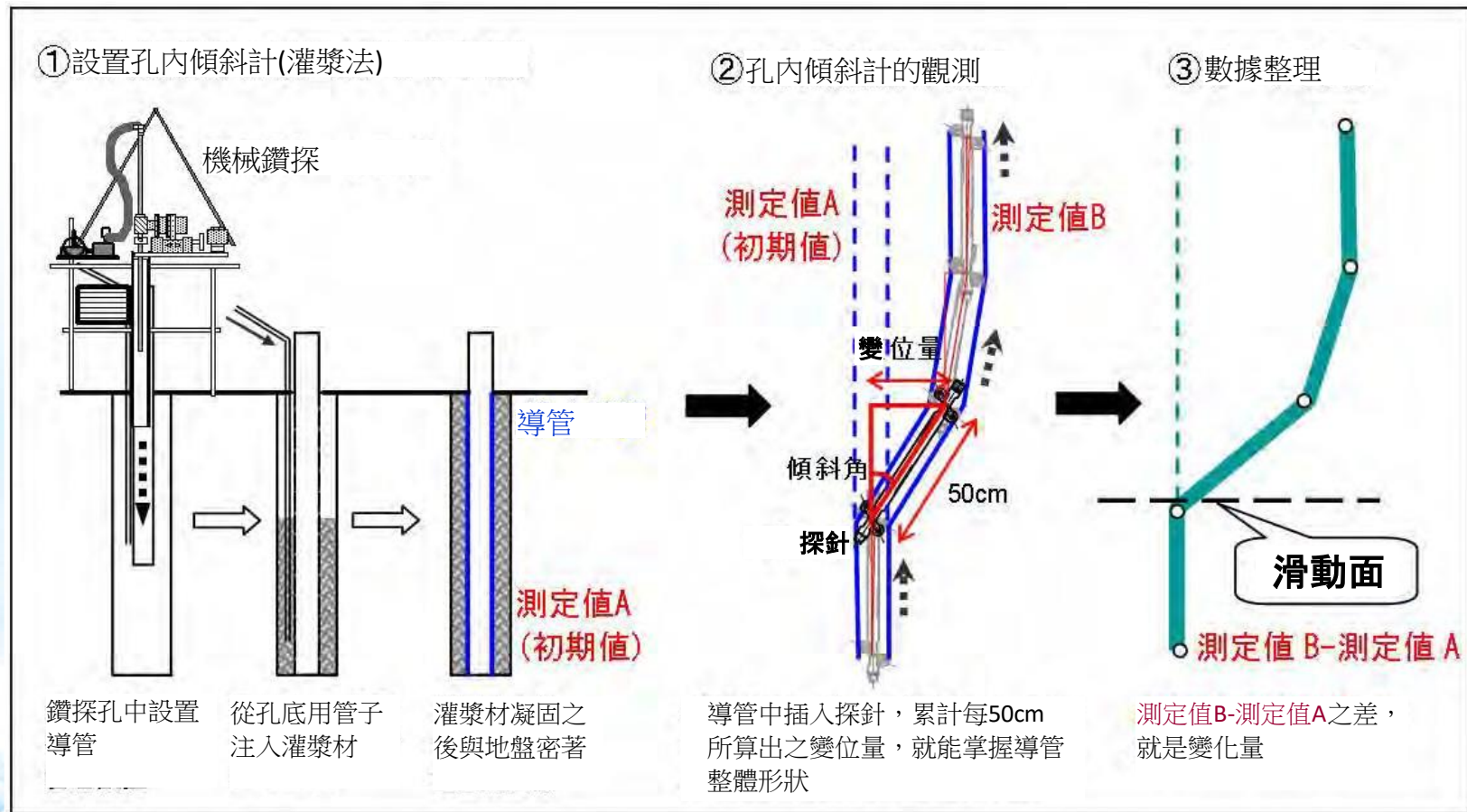


圖 8-1 動態觀測案例：插入式孔內傾斜計的測定原理



參考資料

- 1) 獨立行政法人土木研究所土砂管理研究群組火山・土石流團隊 (2008) : 大規模崩塌の發生の恐れのある溪流圈繪手冊(草案)・土木研究所資料・第 4115 號
- 2) 國土交通省河川局砂防部 (2010) : 深層崩壊に関する全國マップについて ,
http://www.mlit.go.jp/report/press/river03_hh_000252.html , 參照 2016/2/1
- 3) 國土交通省水管理・國土保全局・獨立行政法人土木研究所土砂管理研究群組火山・土石流團隊 (2012) : 大規模崩塌相關する溪流 (小流域) レベルの調査について ,
http://www.mlit.go.jp/report/press/mizukokudo03_hh_000552.html , 參照 2016/2/1
- 4) JIS Z 8051 (2004) : 安全側面—規格への導入指針
- 5) 獨立行政法人土木研究所土砂管理研究群組火山・土石流團隊 (2012) : 大規模崩塌に起因する土石流の流下・氾濫計算手冊(草案)・土木研究所資料・第 4240 號
- 6) Uchida・T・Yokoyama・O・Suzuki・R・Tamura・K and Ishizuka・T (2011) : A New Method for Assessing Deep Catastrophic Landslide Susceptibility・International Journal of Erosion Control Engineering・Vol.4・No.2・pp.32-42
- 7) 千木良雅弘 (2006) : 地滑・崩塌の發生場所予測-地質と地形からみた技術の現状と今後の展開- , 土木學會論文集 C・Vol.62・No.4・pp.722-735
- 8) 千木良雅弘 (2013) : 大規模崩塌 - どこが崩れるのか - , 近未来社・232p.
- 9) 千木良雅弘・ツォウ・チンイン・松四雄騎・平石成美・松澤真 (2012) : 台風 12 號による大規模崩塌の發生場 - 發生前後の詳細 DEM を用いた地形解析結果 - , 京都大学防災研究所特定研究集會大規模崩塌の 實態・予測・對應・pp.24-34



參考資料

- 10) 小野田敏・高山陶子・ハスバートル (2014) : 應變率等による坡面穩定度的推測・平成 26 年度日本 應用地質學會特別講演およびシンポジウム予稿集・pp.49-55
- 11) 地頭蘭隆・下川悦郎・寺本行芳 (2006) : 大規模崩塌發生場予測法の提案 - 鹿児島縣出水市矢筈岳山體を 例にして - , 砂防學會誌・Vol.59・No.2・pp.5-12
- 12) 横山修・内田太郎・中野陽子・石塚忠範・笠井美青・鈴木隆司 (2012) : レーザー測量データを用いた 岩盤潛移坡面の表面形狀把握・砂防學會誌・Vol.64・No.6・pp.13-24
- 13) 高原晃宙・磯貝尚弘・一色弘充・木下篤彦・石塚忠範・横山修・佐藤美波 (2014) : 大規模崩塌の發生の 恐れのある坡面圈繪方法相關する一考察・平成 26 年度砂防學會研究發表會概要集 B・pp.104-105
- 14) 千木良雅弘・坂島俊彦・渋谷研一 (2014) : 大規模崩塌發生危險坡面の地質・地形的圈繪法について・平 成 26 年度砂防學會研究發表會概要集 A・pp.16-17
- 15) (社)地盤工學會 (2004) : 「地盤調査の方法と解説」
- 16) Fausto Guzzetti・Francesca Ardizzone・Mauro Cardinali・Mauro Rossi and Daniela Valigi (2009) : Landslide volumes and landslide mobilization rates in Umbria・central Italy・Earth and Planetary Science Letters・Vol.279・Issues 3-4・pp.222-229
- 17) 獨立行政法人土木研究所・應用地質株式會社・坂田電機株式會社・日本工営株式會社共著 (2010) : 地 すべり地における插入式孔内傾斜計計測手冊・理工圖書



RTDT

技術研究發展小組

Research and Technology Development Team

Thank you for your attention

水保局技研小組 林恩如

聯絡資訊：brtd123@mail.swcb.gov.tw



修改錯字

頁碼	說明	訂正建議
參考-42	第四行	2m”網”格尺寸
參考-56	最末段第三行	合成孔徑”雷”達



重力坡面變形類型與機制對應的大規模崩塌發生危險度

【大規模崩塌發生危險度】

I：坡面因為重力而變形，但發生崩塌的危險度低

II：發生大規模崩塌的危險度低

III：發生大規模崩塌的危險度高

IV：發生大規模崩塌的危險度非常高

主要的變形地形		地質體	地質構造	變形機制	坡面上部的眉形小崖*			坡面下部的狀況		危險度 **	備考
					無	不連續	連續的	拘束***	崩塌		
不規則凹凸坡面		破斷層・混合	”翻捲褶皺“ 注意彎曲推力	滑移層 萌芽形成						I	
										IV	
										II	
										II	小崖連結到側部山谷時，為 III
										II	侵蝕劇烈時，為 III
										IV	
線狀凹地 (出現在彎曲崩塌的情況，也有時只出現在凸形坡面的情況)	山稜兩側對稱	多樣	緩坡不連續面	山體擴大						I	擴大部邊緣出現眉形小崖時，危險度 IV
	山稜單邊	具有平行面的構造（整然層、石板、片岩等）	陡坡的不連續面	彎曲崩塌						I	
										II	
										II	注意從陰影圖判定小崖的方向
										III	
										III	
	山上	具有平行面的構造（整然層、石板、片岩等）	陡坡的不連續面	彎曲崩塌						IV	
										II	
										IV	有從山上凹地連結山谷的小崖時
										IV	
									II		
大滑落崖或山上凹地		具有平行面的構造（整然層、石板、片岩等）	倒轉褶皺、平臥褶皺	挫曲						II	出現連續的強層
										II	挫曲變形較弱
										III	挫曲變形較強
										II	侵蝕劇烈時，為 III
										IV	
大滑落崖或山上凹地		具有平行面的構造	歪斜褶皺	地滑						II	
										II	侵蝕劇烈時，為 III
										IV	

*: 重力斜面変形の變位が尾根の傾斜方向にある場合には、尾根を横断する凹地となる場合がある

**：推定すべり面傾斜<25度の場合、危険度はII

***: 対岸に衝突あるいは、狹隘な谷に挟まれるなど。



成效評估指標	指標功能	計算方式
土石流警戒發布 捕捉率 (C ₁)	評估土石流警戒作業成效	$C_1 = A1/D$ A1：警戒區內土石流發生時間晚於(或等於)警戒發布時間總件數 D：警戒區內土石流災害發生總件數
土石流警戒基準值 捕捉率 (C ₂)	評估土石流警戒基準值 適用性	$C_2 = A2/D$ A2：警戒區內有效累積雨量超越土石流警戒基準值後土石流發生件數 D：警戒區內土石流災害發生總件數
土石流警戒發布 準確率 (C ₃)	評估土石流警戒發布準確率	$C_3 = A3/T$ 有土石流發生且有發布警戒的鄉鎮區數量(A3) 有發布土石流警戒的鄉鎮區總數(T)
土砂災害警戒 涵蓋率 (C ₄)	空間域之成效評估	$C_4 = D/DA$ D：警戒區內土石流發生總件數 DA：土石流災害發生總件數

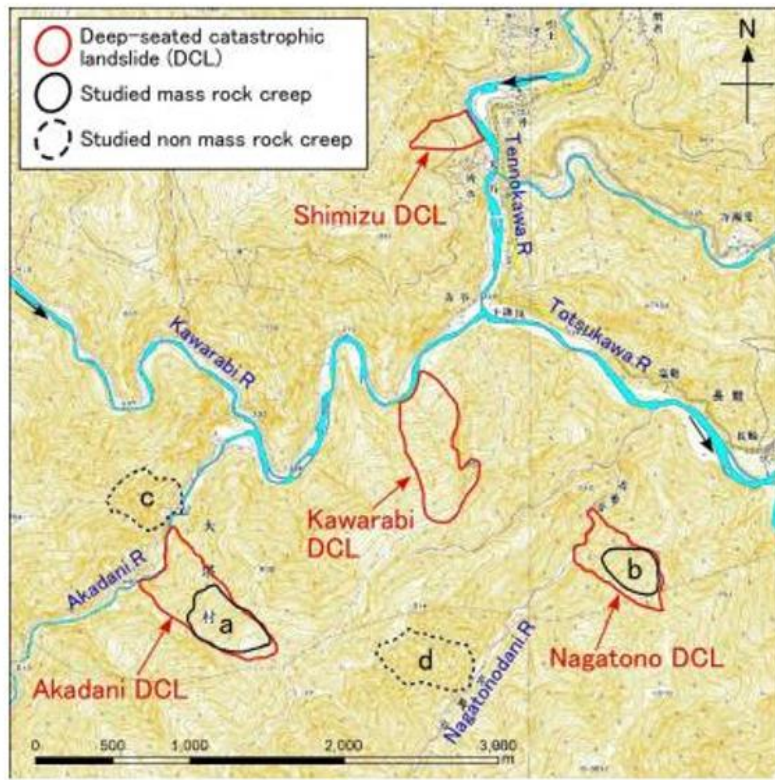


圖 5 設定目標區的代表性岩盤潛移坡面與非岩盤潛移坡面²⁾

網格尺寸變大時岩盤潛移坡面的坡面坡降中間值變化不大，非岩盤潛移坡面則明顯減少。

另外，岩盤潛移坡面與非岩盤潛移坡面的固有值比，都呈現網格尺寸變大、值就變小狀況，但非岩盤潛移坡面部分更小。

因此，設定臨界值就可能可以從地形量分離出特定的地形。

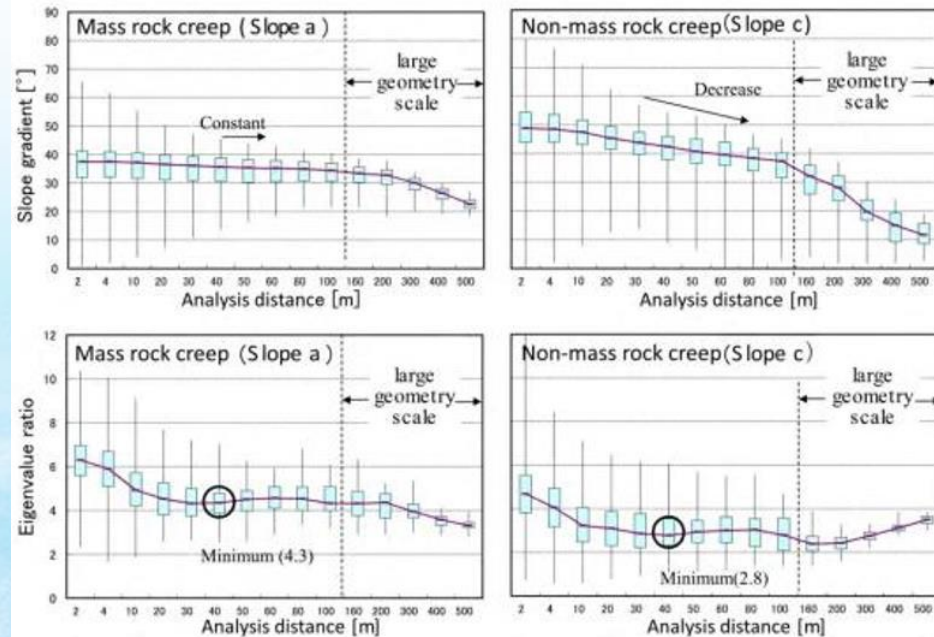


圖 6 岩盤潛移坡面與非岩盤潛移坡面的網格尺寸與變形量²⁾