

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

Copyright © (2016) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

本報告書獲得國立研究開發法人土木研究所理事長授權刊行。因此，本報告書之全部或部分轉載、複製，須取得國立研究開發法人土木研究所理事長授權文件，始得為之。

土 木 研 究 所 資 料
第4333號 2016年3月

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

土砂管理研究群組 火山・土石流團隊 主任研究員 木下 篤彦

(前)首席研究員 石塚 忠範^{*1}

研究員 高原 晃宙

交流研究員 瀬戸 秀治

交流研究員 野池 耕平

交流研究員 森 加代

子 上席研究員 水野

秀明

^{*1}…現：國土交通省近畿地方整備局六甲砂防事務所

概 要

發生大規模崩塌不只崩塌土砂造成直接災害，崩塌土砂所形成堰塞湖以及大規模土石流都可能帶給周邊地區嚴重災情。若要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。

本資料旨在提供更詳細大規模崩塌對策參考，彙集相關知識見解，指出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。

關鍵字：大規模崩塌高潛勢區坡面、調查優先度、坡面危險度、崩塌規模

目次

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

1.前言

發生大規模崩塌不只崩塌土砂造成直接災害，崩塌土砂所形成堰塞湖以及大規模土石流都可能帶給周邊地區嚴重災情（災害風險）。若要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¹⁾。

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）。此外，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」²⁾，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（圖 1-1）。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⁾。

本資料旨在提供更詳細大規模崩塌對策參考，而彙集相關知識見解，指出圈繪大規模崩塌高潛勢區坡面與實施坡面風險評估的方法，並且深入解說。

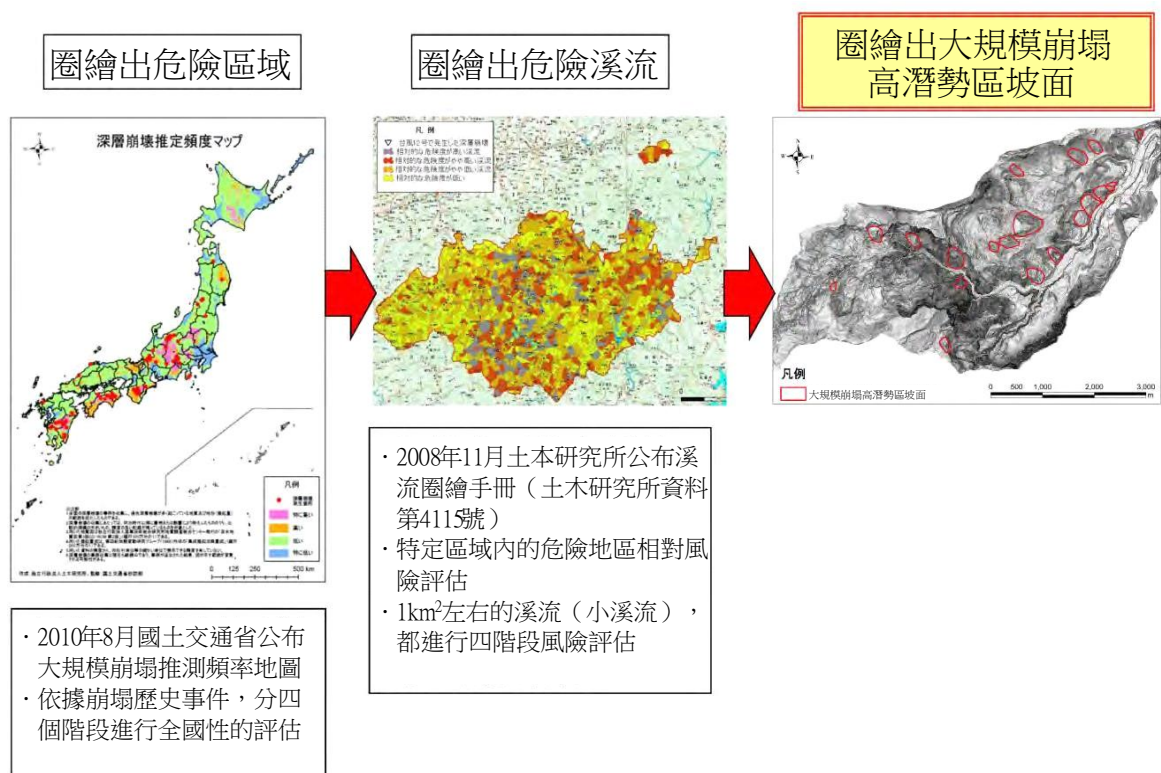


圖 1-1 處理大規模崩塌工作的順序

2.概説

2.1目的

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⁾，但大規模崩塌的崩塌勢力較少，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」。近年來藉由數值模擬，已經能推測大規模崩塌所形成土石流的影響範圍⁵⁾，大大有助於精確設定規模崩塌的崩塌規模（崩塌土砂量）。

本資料將發生機率改為「危險度」，危害程度改為「崩塌規模」，這兩個項目數據都很大的坡面，就可評估為大規模崩塌高風險坡面（圖 2-1）。

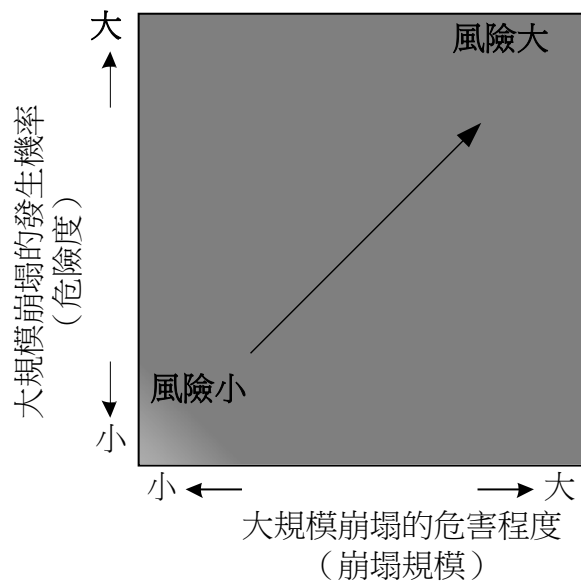


圖 2-1 風險評估示意圖

2.2 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，包括「大規模崩塌高潛勢區坡面圈繪（第一次圈繪）」、「設定調查優先度（第二次圈繪）」以及「坡面危險度評估與崩塌規模的推測（坡面風險評估）」。

2.2.1 大規模崩塌高前潛勢坡面的圈繪（第一次圈繪）

大規模崩塌經常發生在靠近大規模崩塌遺跡地點⁶⁾。因此，當地是否曾發生大規模崩塌非常重要。此外，大規模崩塌前兆現象，大多是坡面出現具有特徵的微地形^{7)、8)}。

因此，利用航空雷射測量（光達）取得高精度 DEM 數據（以下稱為 L P 數據）所做成的地形表現圖（傾斜量圖等），以及航空照片，就能圈繪大規模崩塌遺跡地點、判釋微地形，並圈繪出大規模崩塌高潛勢區坡面。

2.2.2 調查優先度的設定（第二次圈繪）

依據社會性條件與地形性條件綜合判斷，就能設定第一次圈繪的大規模崩塌高潛勢區坡面的調查優先度。設定社會性條件須先整理民宅、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。設定地形性條件，則應依據 L P 數據，實施地形分析。實施地形分析，就能設定配合目標區與地形地質的圈繪指標，進行圈繪結果之分析與坡面定量評估。大規模崩塌高潛勢區之坡面，容易受到水文地形條件（坡降・集水面積）影響，因此，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⁶⁾。此外，大多數大規模崩塌高潛勢區都有重力變形地形^{7)、8)}，因此，應以能說明重力變形地形的地形量，作為圈繪指標。

2.2.3 大規模崩塌高潛勢區坡面風險評估

如 2.1 所述，本資料將大規模崩塌高潛勢區坡面之風險區，分為「危險度」與「崩塌規模」二種項目，進行評估。坡面危險度評估，包括「依據地形與地質狀況進行評估」，以及顯示坡面所形成小崖擴大程度的「應變率」^{9)、10)}、依據水文與水質方面和周邊相比具有坡面特異性的「水文・水質調查」¹⁾進行評估。另一方面，推測崩塌規模不可或缺的是，須掌握坡面內部構造，藉由地表踏查、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。

2.2.4 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」。

2.3 作業順序

大規模崩塌高潛勢區坡面的圈繪方法，可利用微地形、地質構造、水文・水質資訊等。但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（圖 2-2）。

首先，依據既有文獻與既有成果，整理檢討目標區的地形與地質條件、氣象條件，整理地區特性與大規模崩塌發生之要因。然後特別是發生許多大規模崩塌的地區，考量其地形與地質條件、保全對象等因素，圈繪出檢討目標區。

其次，第一次圈繪作法是，運用 LP 數據製作之地形表現圖與航空照片，判釋檢討目標區內與大規模崩塌遺跡資訊，以及和大規模崩塌發生具有高度關聯性的微地形要素，圈繪出大規模崩塌高前桿區坡面。

接下來，第二次圈繪依據社會性條件與地形性條件，進行綜合判斷，並設定調查優先度。依據社會性條件就能整理出民宅、公共建築、災害時災民救護相關設施等保全對象的位置及各設施重要性。依據地形性條件，則可圈繪出 LP 數據分析所算出的高危險度地形量（坡降與集水面積之綜合判斷）坡面，以及出現重力變形所形成地形特徵的坡面，整理兩者地形量多寡。

最後，坡面的風險評估，應實施坡面危險度評估與崩塌規模推測。坡面危險度評估包含依據地形・地質狀況進行評估、計算坡面應變率，以及依據水文・水質調查進行評估。此外，崩塌規模之推測，包括地表踏查、地質鑽探與物理探測等詳細調查。推測出大規模崩塌高潛勢區的範圍與崩塌深度，就能算出崩塌土砂量。

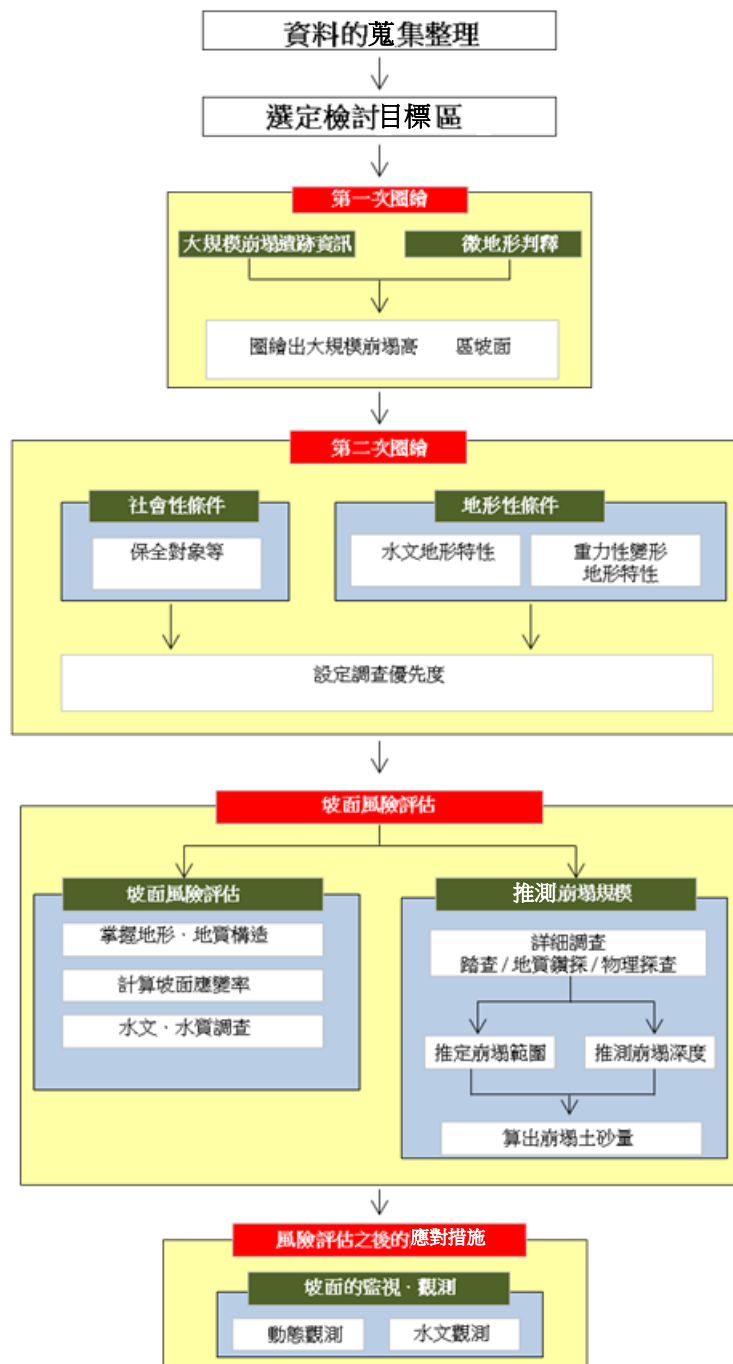


圖 2-2 大規模崩塌高潛勢區坡面圈繪與風險評估流程

3. 資料的蒐集與整理

進行大規模崩塌高潛勢區坡面圈繪時，應蒐集並整理資料。所應蒐集資料如下。

①LP 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

除了崩落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。

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 1/5,000~1/10,000 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。

4. 檢討目標區的選定

運用溪流圈繪手冊¹⁾，能從判定為相對高險度的溪流流域，或大規模崩塌遺跡密度地圖³⁾之中有特別多崩塌遺跡的地區，考量地形、地質條件，及保全對象、事業優先度等，選出應實施大規模崩塌高潛勢區坡面圈繪的檢討目標區。此外，選出檢討目標區之際，可將該目標區是否曾依現地調查條件與既往調查，而實施詳細的微地形判釋與空中電磁探測納入考量。

5. 大規模崩塌高潛勢區坡面的圈繪（第一次圈繪）

5.1 大規模崩塌遺跡資訊的整理

把依據航空照片與 LP 數據作成的地形表現圖當作背景圖，就能製作高精度大規模崩塌遺跡分布圖。航空照片應盡可能使用大比例尺且清楚者，若無法利用大比例尺航空照片，可使用正射影像。此外，加工 LP 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。此外，大規模崩塌遺跡資訊若可運用 LP 數據做成的崩塌地分布圖與微地形分類圖等，則可加以應用。

判釋方法可參照溪流圈繪手冊¹⁾，大規模崩塌遺跡分為「崩塌主部（崩塌範圍）」與「移動土體部分」，分別進行判釋。後述水文地形分析所利用的是「崩塌主部（崩塌範圍）」。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。此外，最好事先把崩塌規模，（崩塌面積、推測崩塌深度等）整理成屬性數據。

5.2 發生大規模崩塌之相關微地形判釋

應考慮檢討目標區地形、地質與崩塌特性，重點放在與發生大規模崩塌具有高度關連性的微地形要素，進行判釋。應注意的微地形要素，包括山頂緩坡面、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、線性構造等。此外，應針對小崩塌與蝕溝、湧水所導致表面侵蝕與植生差異等不穩定土體活動性所呈現變狀，進行判釋。

5.3 大規模崩塌高潛勢區坡面的圈繪

大規模崩塌遺跡邊緣部、岩盤潛移坡面、大規模地滑地形末端、有圓弧狀裂隙的坡面、山頂緩坡面邊緣，較可能發生大規模崩塌，應依據 5.1 項所整理的大規模崩塌遺跡資訊，以及 5.2 項所判釋微地形，圈繪出大規模崩塌高潛勢區坡面。

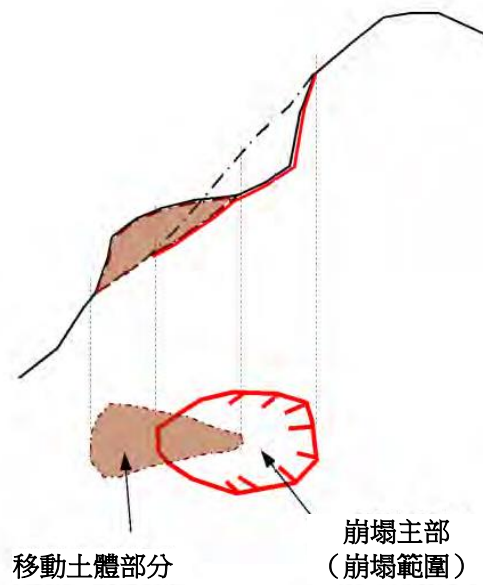


圖 5-1 大規模崩塌遺跡圈繪示意圖（模式圖）¹⁾

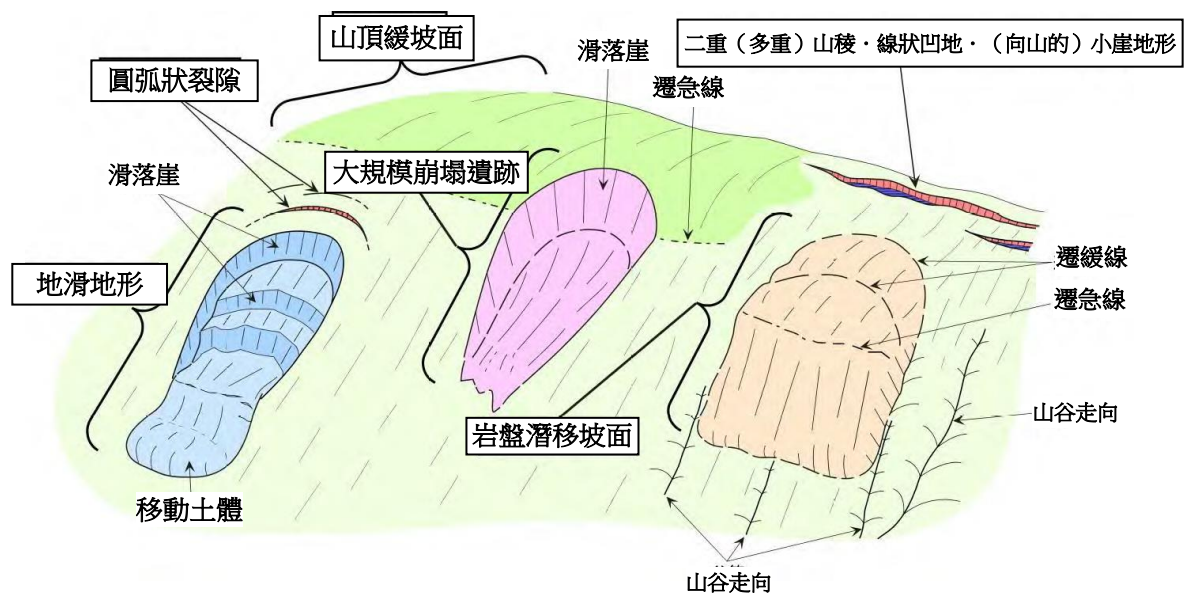


圖 5-2 微地形圈繪示意圖（模式圖）^{6)局部改變}

6.調查優先度的設計（第二次圈繪）

大規模崩塌高潛勢區坡面應依據社會性條件與地形條件，進行綜合判斷，設定調查優先度。

6.1 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。

6.2 依據地形性條件進行選定

6.2.1 依據水文地形特性實施坡面圈繪

應計算每個檢討目標區大規模崩塌遺跡分布所產生地形量的大規模崩塌面積率。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，並圈繪出大規模崩塌高潛勢區坡面之中的高危險度地形量（搭配坡降與集水面積）坡面。

詳細的實施方法可依據溪流圈繪手冊¹⁾。計算地形量時，可應用 LP 數據。但較小網格尺寸會和以表層崩塌為對象的分析尺度重覆，因此從 LP 數據製作 10M 左右的網格尺寸數據運用。若地質條件不同，應針對每個可視為大概的相同範圍，一一實施。

針對每個坡降以及集水面積的組合，算出其大規模崩塌面積（=有該地形量的大規模崩塌遺跡網格數／有該地形量的全網格數）。計算有該地形量的大規模崩塌遺跡網格數，應使用 5.1 項所整理的大規模崩塌遺跡 GIS 數據，若有該地形量的網格重心，位於大規模崩塌遺跡多邊形內，則以該地形量作為大規模崩塌遺跡網格。

另外，計算大規模崩塌面積率，應依據表 6-1 格式，分別整理有該地形量的全部網格數、大規模崩塌遺跡網格數，以及大規模崩塌面積率。集水面積的階級區分，可依據算出值的出現頻率，任意地設定。

由所算出的坡降與集水面積、大規模崩塌面積率之關係，就能把大規模崩塌面積率大約檢討目標區整體平均值二倍以上的坡降與集水面積組合，當作高危險度地形量臨界值，除此之外的則視為低危險度地形量。集計表應配合坡降與集水面積提高，由低危險度地形量往高危險度地形量移動地，設定臨界值¹⁾。

表 6-1 依據坡面坡降與集水面積組合算出大規模崩塌面積率¹⁾

		集水面積 ($\log_{10} A_s$)								
		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~
坡降 斜面勾配 (度)	~ 10									
	10~ 15									
	15~ 20									
	20~ 25									
	25~ 30									
	30~ 35									
	35~ 40									
	40 ~									

6.2.2 依據重力變形地形特性實施坡面圈繪

檢討目標區應用能以重力變形（岩盤潛移）呈現地形特徵的地形量，就能設定對於重力變形坡面及其他坡面而言較高分離性的臨界值，圈繪出重力變形所造成地形特徵的坡面。

若要呈現重力變形地形特徵的地形量，應使用坡面坡降比與最小固有值比^{13),14)}。除此之外，若能計算呈現重力變形地形的地形量，也可拿來當作圈繪指標。若地質條件不同，應針對每個大概可視為相同的範圍，一一實施。

坡面坡降比與最小固有值比的計算方法是，針對坡面坡降與固有值比，分別改變其網格尺寸（窗子尺寸）^{12),13)}。DEM 的網格尺寸大約為 1~2m。網格尺寸則在 500m 以下，大約有 10 種。固有值比與坡面坡降的每個地形量，都製作各窗子尺寸的箱形圖，然後依據其變化傾向，設定接下來要使用的網格尺寸。然後依據中間過濾，算出中間值。坡面坡降比則是計算最小網格尺寸和最大網格尺寸的比例。最小固有值比，則是在複數網格尺寸之間，圈繪出各個單元格的固有值比最小值。

比較 5.3 項所圈繪出的動力變形坡面，以及之外的坡面地形量，就能設定分離性高於這二者的臨界值。接著製作臨界值以上的坡面坡降比與最小固有值比等的分布圖，圈繪出出現重力變形的坡面。

6.2.3 設定地形條件所形成的調查優先度

綜合判斷地形條件（水文地形特性，重力變形地形特性），就能設定調查優先度。大規模崩塌高潛勢區坡面之中，以 6.2.1 項水文地形特性為指標而圈繪的坡面，與 6.2.2 項重力變形地形特性為指標而圈繪的坡面，和該坡面套繪，就能選出高調查優先度坡面（圖 6-1）。此外，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¹⁾。

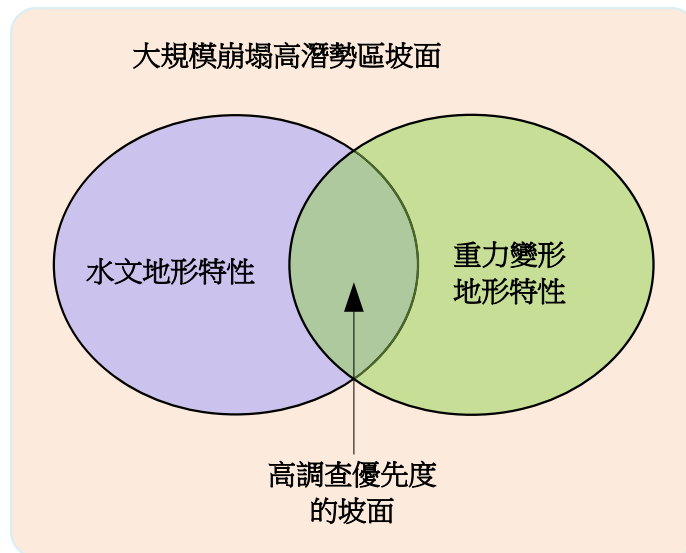


圖 6-1 依據地形設定調查優先度的示意圖

7.大規模崩塌高潛勢區坡面的風險評估

可從坡面的危險度與崩塌規模綜合判斷，進行坡面風險評估。

7.1 坡面的危險度評估

7.1.1 地形・地質構造的掌握

第 6 章所選定高調查優先度的坡面，應實施地表踏查，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。此外，應確認湧水地點、有無發生小崩塌、荒廢狀況、植生等與大規模崩塌發生相關的狀況。坡面周邊則注意河川下切等狀況，檢討山地坡面地形發達狀況。然後藉由地表踏查掌握地形與地質狀況，綜合評估大規模崩塌危險度。除此之外，分布著四萬十層群的地區，可參照紀伊山地的評估案例¹⁴⁾。

7.1.2 坡面應變率的計算

第 6 章所選定高檢查優先度的坡面，應依據小崖分布狀況，算出應變率並評估坡面危險度。

本資料將小崖長度和坡面長度的比例，定義為「應變率」，依據 5.2 項所判釋的小崖分布，設定分析測線，然後在各測線進行應變率計算（圖 7-1）。除此之外，可針對計算上會使用的地形變化點（小崖冠部、小崖下部、坡面趾部）算出其座標值，確保再現性。

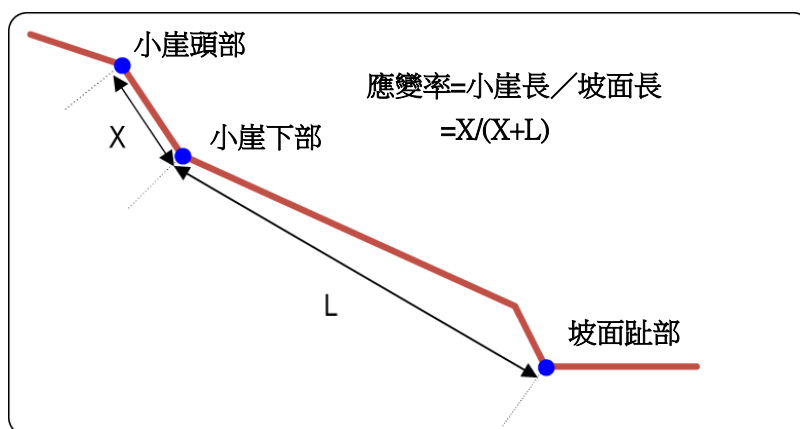


圖 7-1 應變率計算概念圖

7.1.3 水文·水質調查

第 6 章所選出高調查優先度的坡面周邊，應實施水文·水質調查。水文·水質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。水文·水質調查項目如下。

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。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（鈉離子 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。

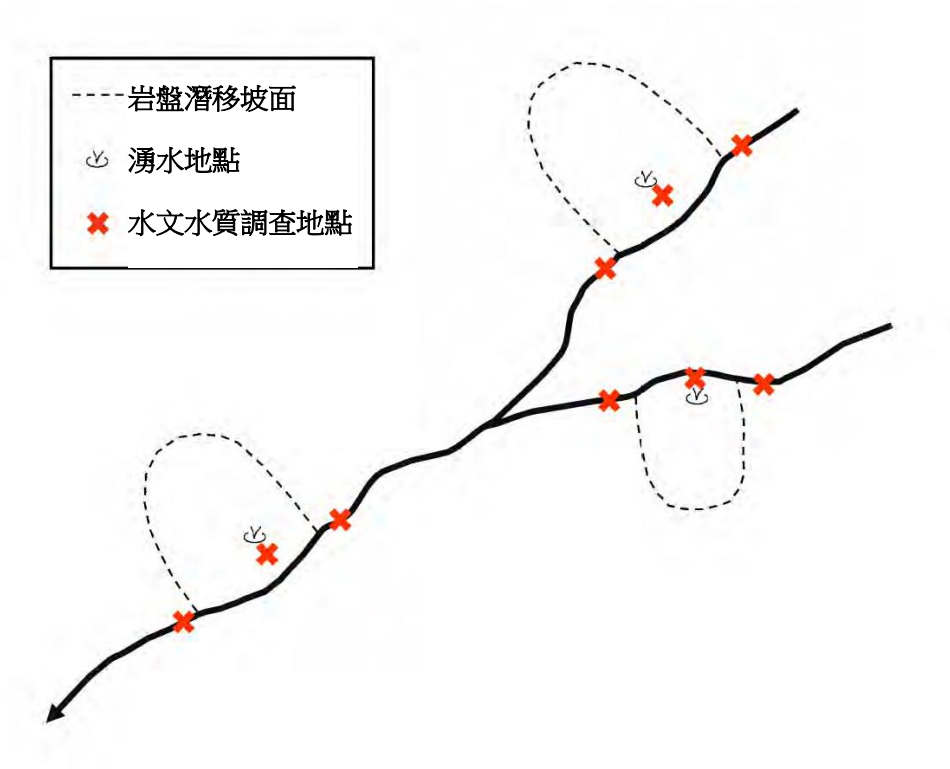


圖 7-2 水文·水質調查地點示意圖

7.2 崩塌規模的推測

7.2.1 詳細調查（地質鑽探、物理探測）

第6章選定的高調查優先度坡面，應詳細調查。坡面的詳細調查，主要包括地質鑽探與物理探測兩種。

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。

③其他必要的調查

除此之外，應儘量實施能推測坡面內部構造的調查。

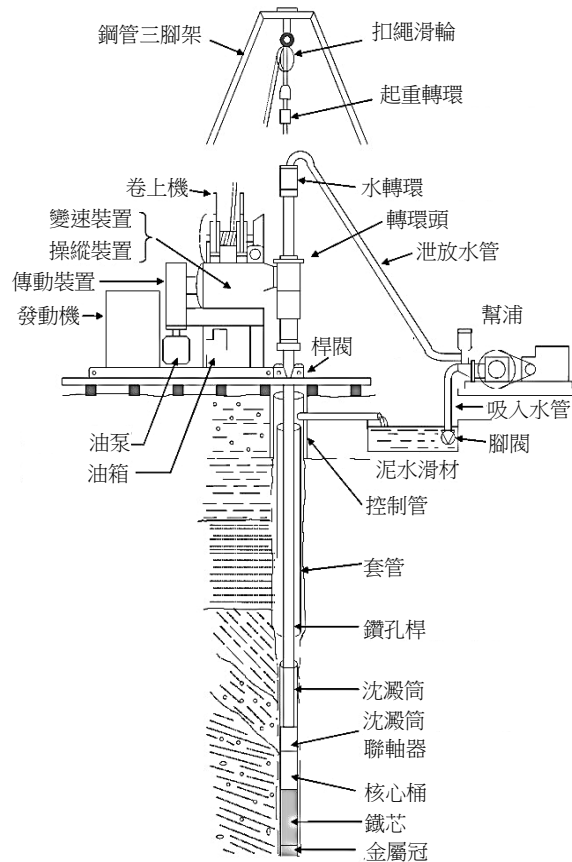


圖 7-3 鑽探裝置概要圖¹⁹⁾

7.2.2 崩塌範圍的推測

依據微地形判釋結果與7.2.1 項之詳細調查結果，設定大規模崩塌高潛勢區之範圍。確認崩塌範圍除了參考微地形分布之外，也可參考水文地質構造與電阻率分布。此外，崩塌推測範圍和次項所示的崩塌深度推測，應具有整合性。

7.2.3 崩塌深度的推測

依據7.2.1 項之詳細調查結果，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。然經7.2.2 項列入考量，推則崩塌深度。若正在實施空中電磁探測，最好能利用複數斷面。

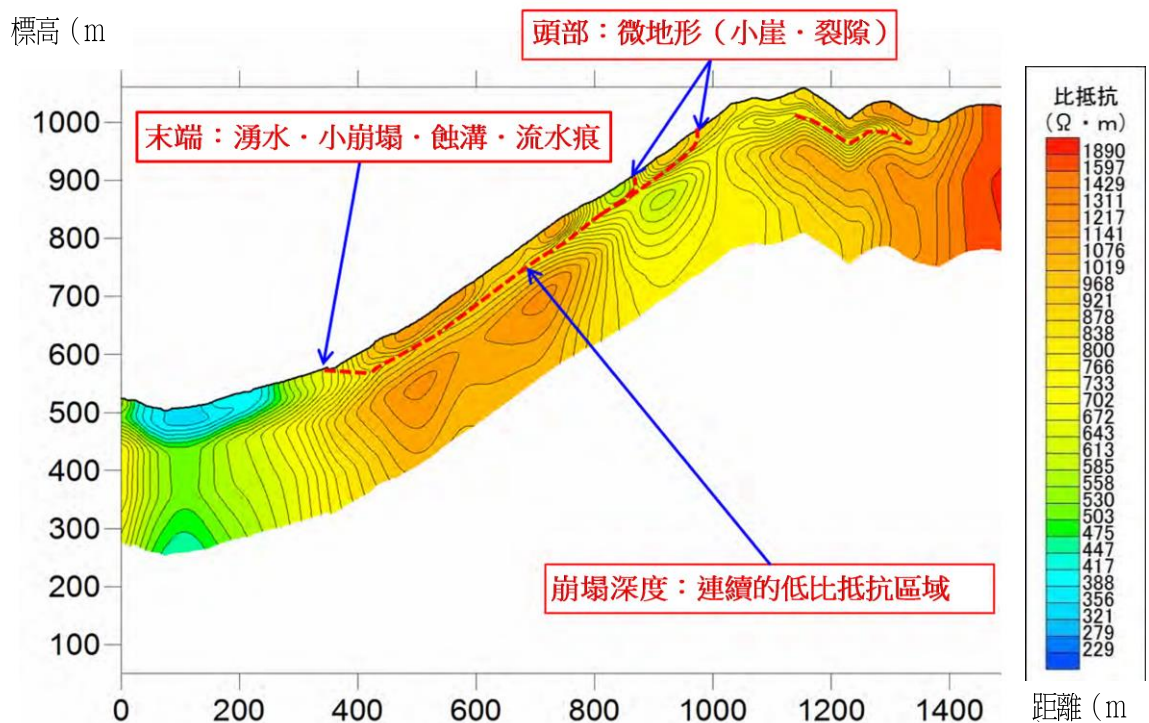


圖 7-4 應用空中電磁探測結果的崩塌深度推測案例

7.2.4 崩塌土砂量的推測

應用7.2.2 項所推測崩塌範圍與7.2.3 項所推測崩塌深度，就能依據平均斷面法等，算出崩塌土砂量。此外，預測崩塌深度，應分別算出其崩塌土砂量。也可依據崩塌面積所得出之換算公式^{比如16)}，算出崩塌土砂量（圖 7-5）。

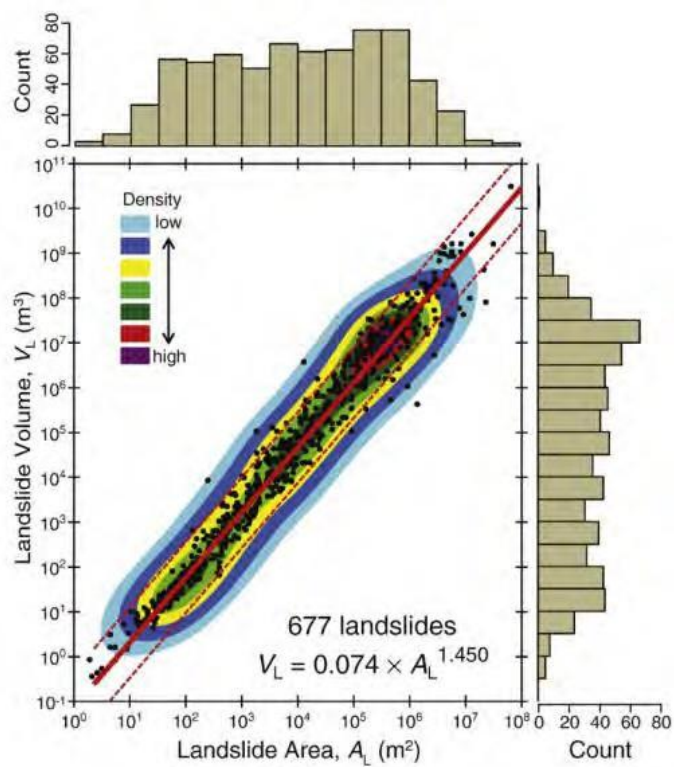


圖 7-5 崩塌土砂量與面積之關係¹⁶⁾

8.風險評估之後的應對作業（監視・觀測）

第7章評估為具備高風險大規模崩塌高潛勢區的坡面，應掌握保全對象，必要時須實施動態觀測與水文觀測。實施這兩種觀測之際，除了運用傳統地滑監視與監測技術，也應考慮運用近年來開發完成的高度監視與監測技術。

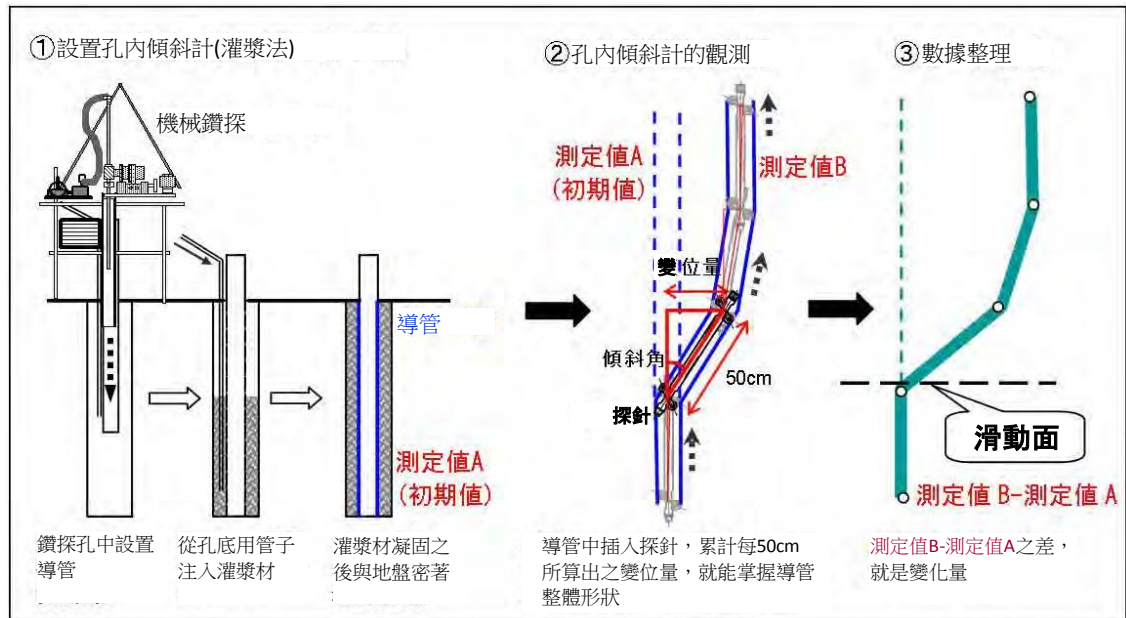


圖 8-1 動態觀測案例：插入式孔內傾斜計的測定原理¹⁷⁾

謝辭

本研究所使用數據，承蒙國土交通省北陸地方整備局松本砂防事務所、中部地方整備局天龍川上游河川事務所，近畿地方整備局紀伊山地砂防事務所不吝提供，在此僅表深深謝忱。

【参考文献】

- 1) 独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): 大規模崩壊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): 深層崩壊に關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): 大規模崩壊相關する溪流(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): 大規模崩壊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・崩壊の發生場所予測-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): 大規模崩壊—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 號による大規模崩壊の發生場—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壊の實態, 予測, 對應, pp.24-34
- 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): 大規模崩壊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): 大規模崩壊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): 大規模崩壊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

參考資料 1 運用LPの大規模崩塌微地形判釋

參考資料 2 紀伊山地的代表性判釋案例

參考資料 3 依據水文地形特性設定臨界值的案例

參考資料 4 坡面坡降與固有值比的計算方法

參考資料 5 地形分析的窗口尺寸

參考資料 6 岩盤潛移坡面與非岩盤潛移坡面的地形量

參考資料 7 重力變形(岩盤潛移)坡面的圈繪順序

參考資料 8 指標之組合與圈繪模式

參考資料 9 附加體區域的微地形形與大規模崩塌發生危險度的評估案例

參考資料 10 應變率的定義與計算案例

參考資料 11 流量的計測方法

參考資料 12 水文・水質調查案例

參考資料 13 空中電磁探測概要

參考資料 14 利用崩塌面積推測崩塌土砂量的方法

參考資料 15 有效監視・觀測大規模崩塌危險坡面的方法

參考資料1

運用LP的大規模崩塌微地形判釋

一般而言，長年重力影響導致地形變化，才會產生大規模崩塌。這種地形變化呈現在地表乃是二重（多重）山陵與圓弧狀裂隙等微地形。2008 年 11 月土木研究所公布，針對這種微地形進行照片判釋、比較地形量與過去大規模崩塌歷史事件，而評估大規模崩塌高潛勢區圈繪的手冊。其中與大規模崩塌具有高關聯性的微地形要素，如圖 1所示。

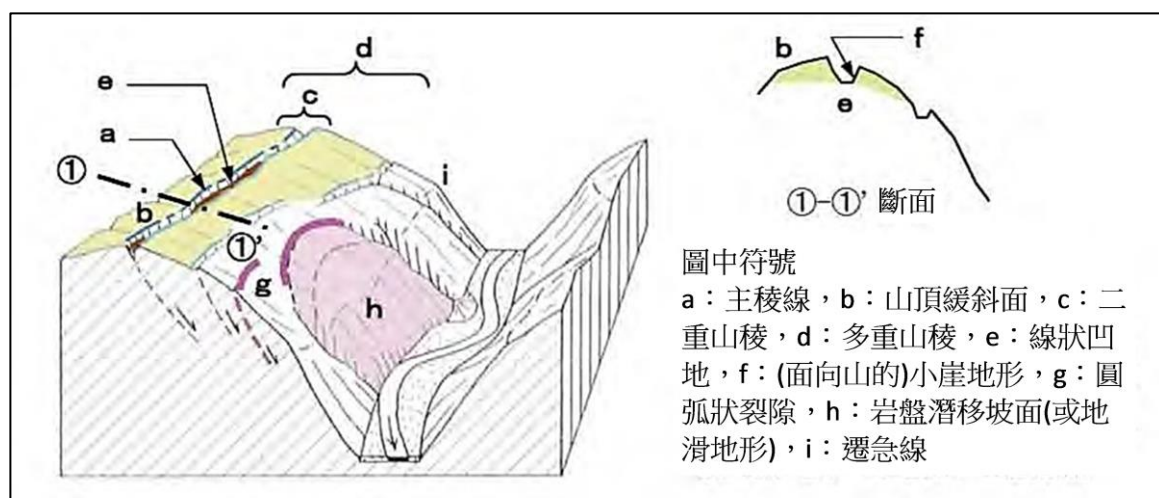
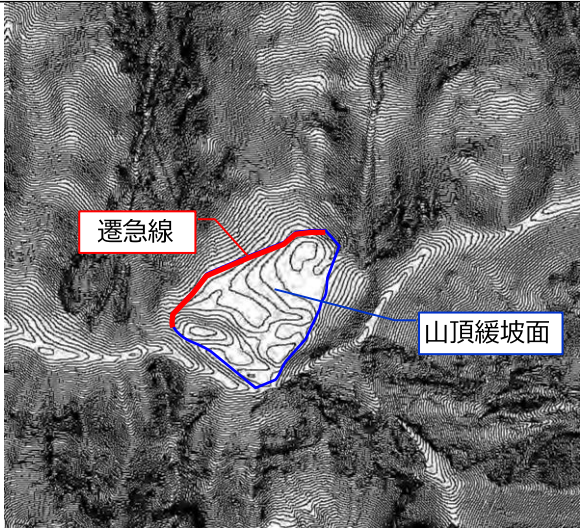
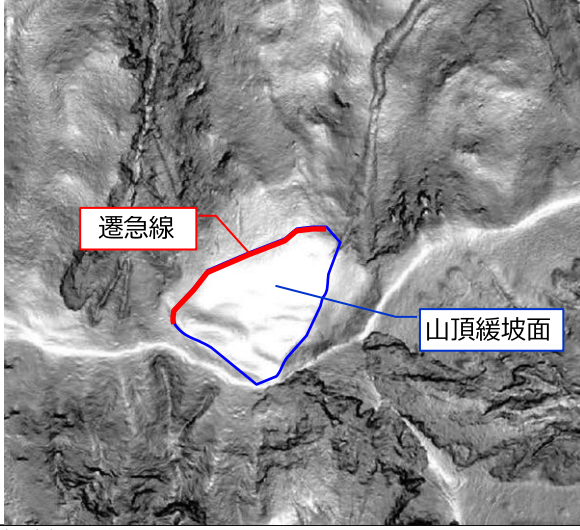
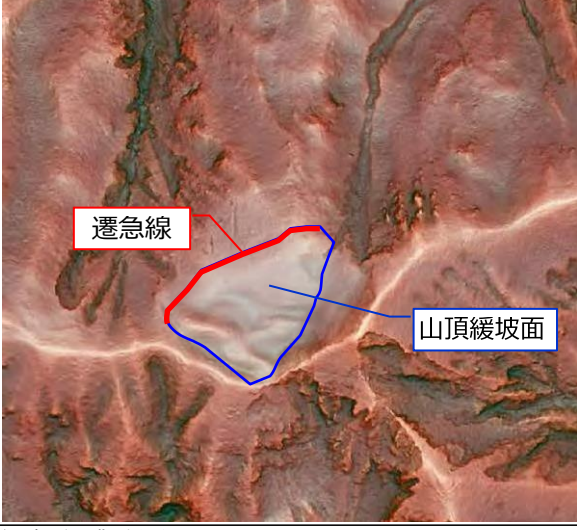


圖 1 發生大規模崩塌的微地形要素位置關係圖（模式圖）

(1) 山頂緩坡面

山地稜線附近的坡降明顯比周邊坡面平緩、可看到大片平坦坡面的部分。

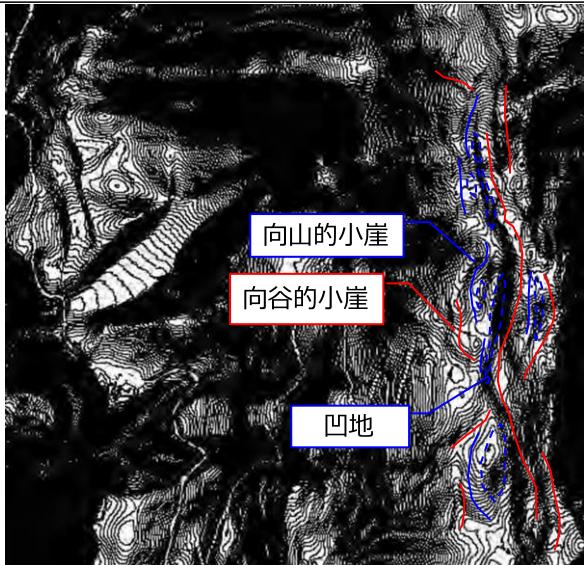
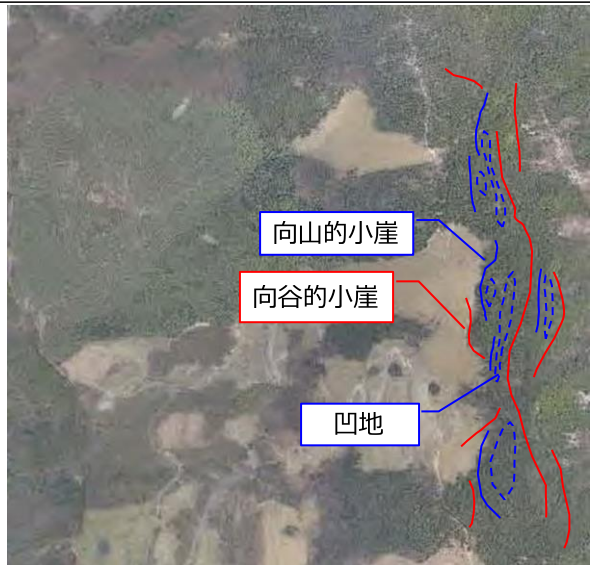
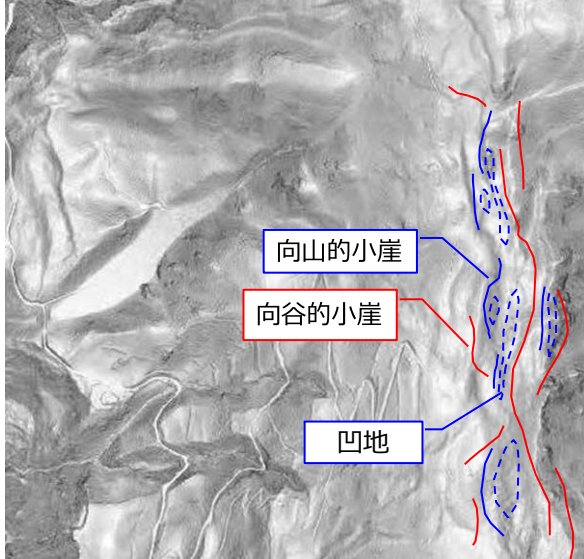
下方成為陡坡，出現遷急線（傾斜有緩道的變化的點所連結成的線）。

	
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。

(2) 二重(多重)山稜、線狀凹地

山地山稜部呈現並列而走的二列山稜地形，稱為二重山稜；複數山稜稱為多重山稜。坡面上連續分布幾乎呈直線狀的凹地地形，稱為線狀凹地。

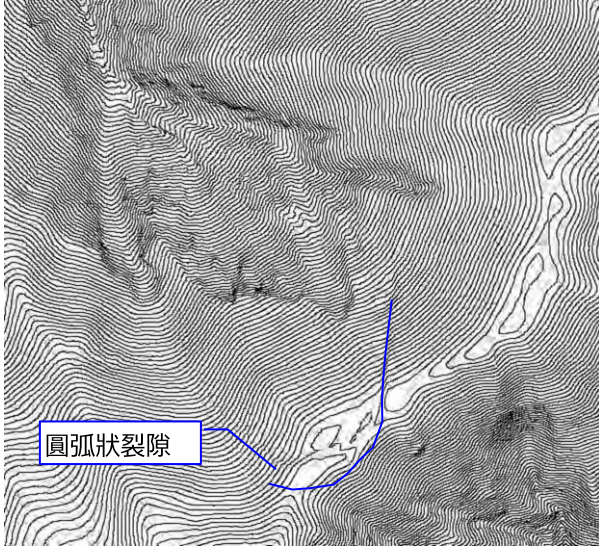
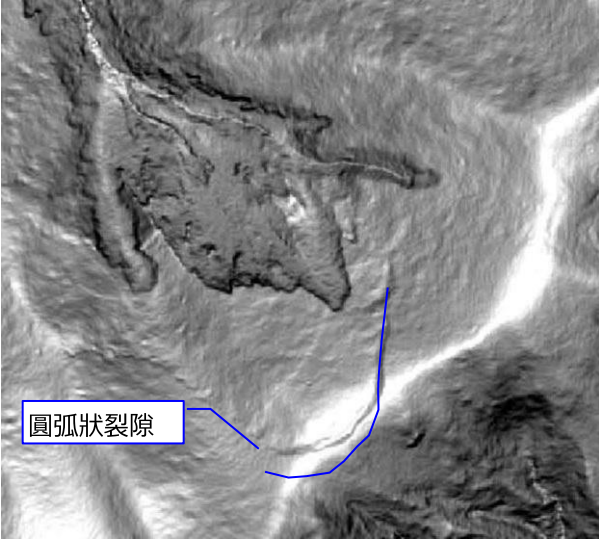
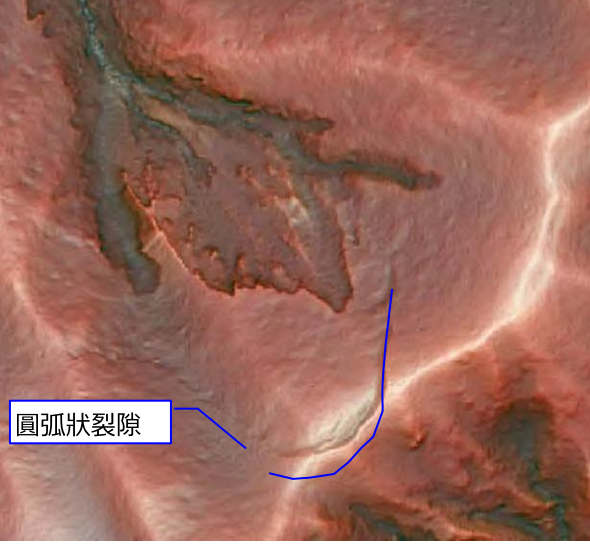
彼此面對面的兩處急崖（向谷的、向山的），其間會存在線狀凹地。

	
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。

(3) 小崖（落差地形）、圓弧狀裂隙（龜裂）

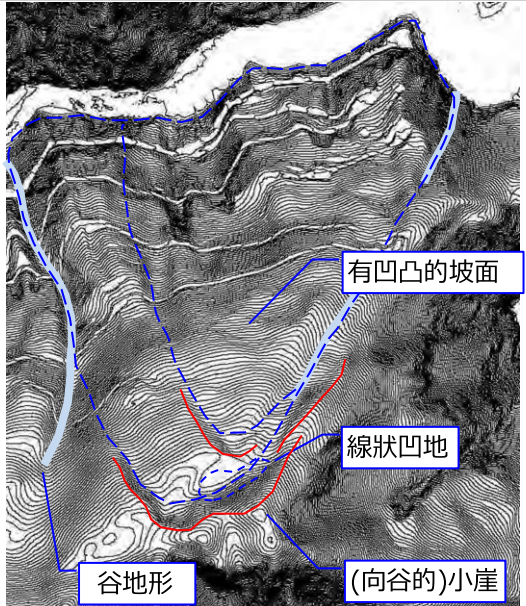
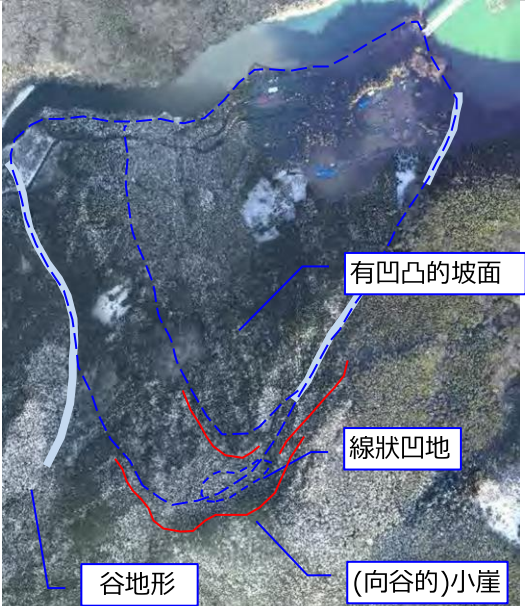
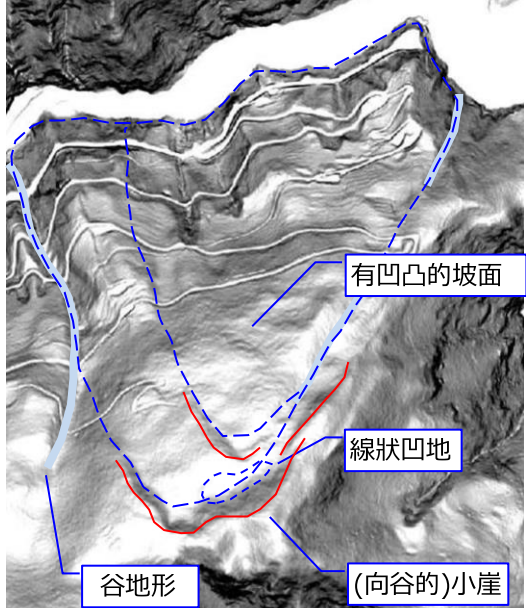
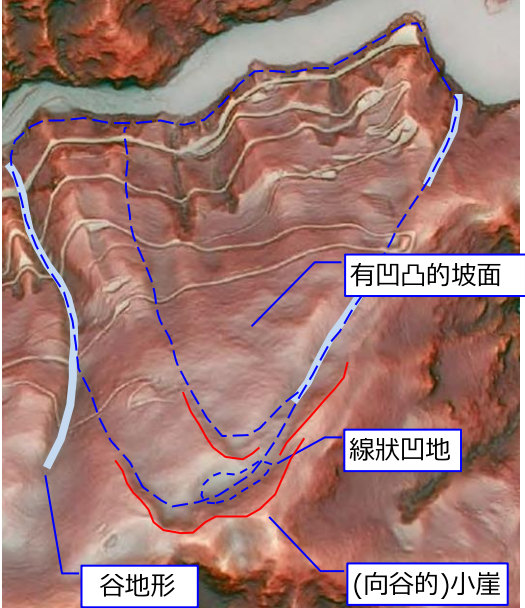
構成坡面的岩盤下方重力變位導致形成的裂縫，稱為裂隙或龜裂。其中，沿著等高線分布而呈現圓弧狀的，稱為圓弧狀裂隙。裂縫谷側坡面往下方變位形成落差，稱為落差地形。

落差地形可發現其線狀不連續線（有落差則是急崖）。

	
等高線圖 等高線上出現明顯的不連續。	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 可判釋為圓弧狀的急崖（黑色）。	紅色立體地圖 可判釋為圓弧狀的急崖（暗紅色）。

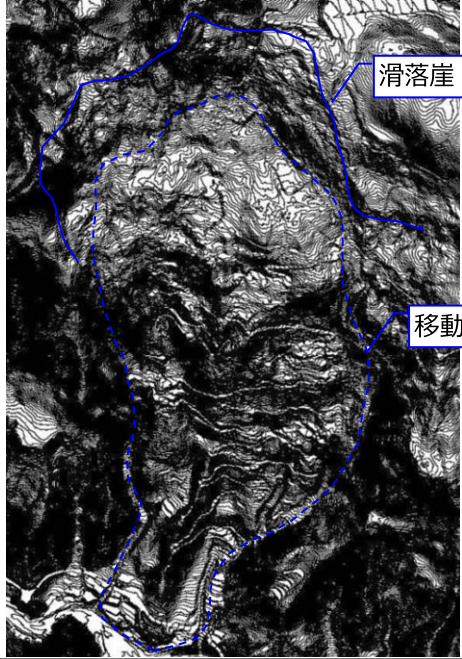
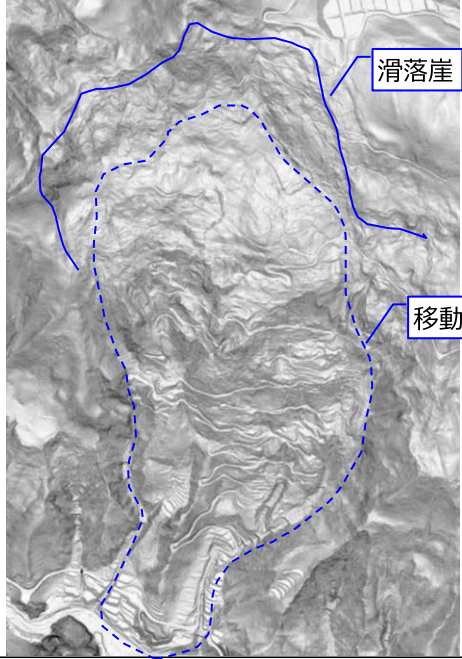
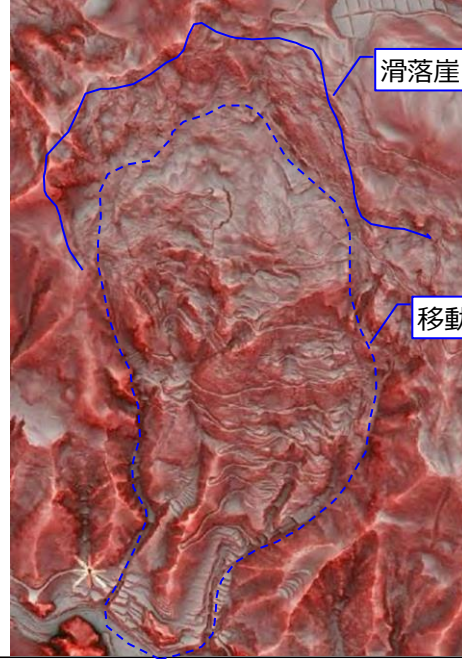
(4) 岩盤潛移坡面

在具有高差的山地坡面上，有時會出現和周邊坡面不同、呈現些微凹凸的坡面。這樣的坡面代表傾斜度緩和。其中，呈現凸型的坡面型，大多出現在龜裂・落差地形、線狀凹地・二重山稜附近，側部則只出現在谷地形。岩盤潛移乃是岩盤靠近地表、在重力作用下慢慢變形・破壞的現象，即使存在複數局部地滑面，也不會連結起來形成單一連續地滑面。

	
等高線圖 有凹凸的坡面（等高線凌亂），頭部出現線狀凹地。	航空照片 若出現大規模明顯線狀凹地，就可能判釋。坡面的些微凹凸，則難以判別。
	
傾斜量圖 這是有凹凸的坡面（坡面內色調有濃有淡），頭部出現線狀凹地。	紅色立體地圖 這是有凹凸的坡面（坡面內色調有濃有淡），頭部出現線狀凹地。

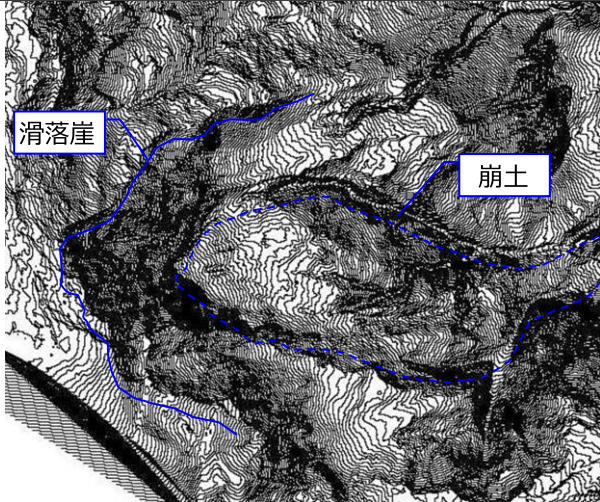
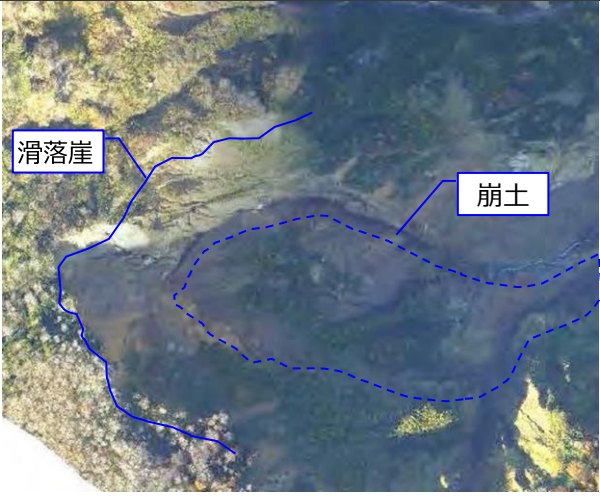
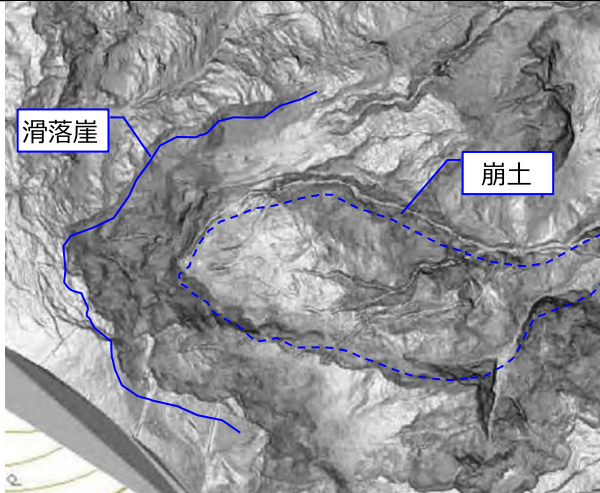
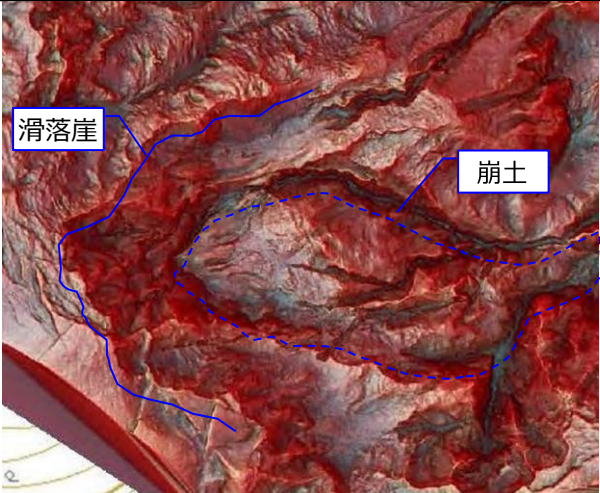
(5) 地滑地形

地滑地形指坡面局部或全部因為重力而往坡面下方移動地現象。地滑地形乃地滑變動所產生（或持續產生）地形的總稱。地滑地形一般而言由馬蹄形滑落崖與緩傾斜移動體構成，移動體呈現混亂地形。

 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。

(6) 大規模崩塌遺跡

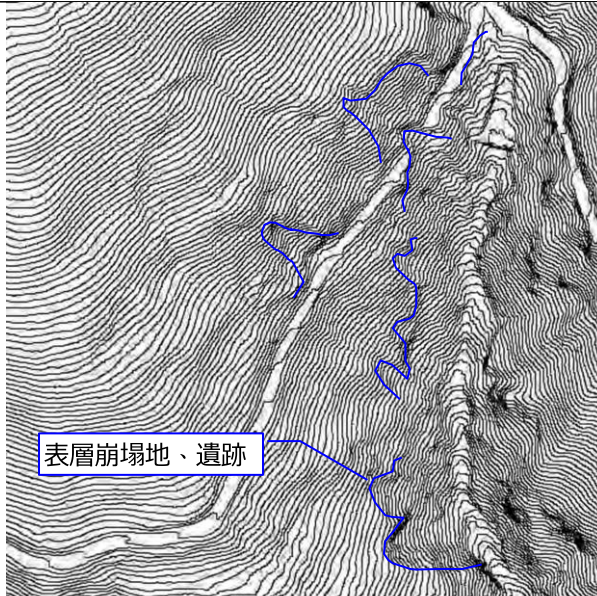
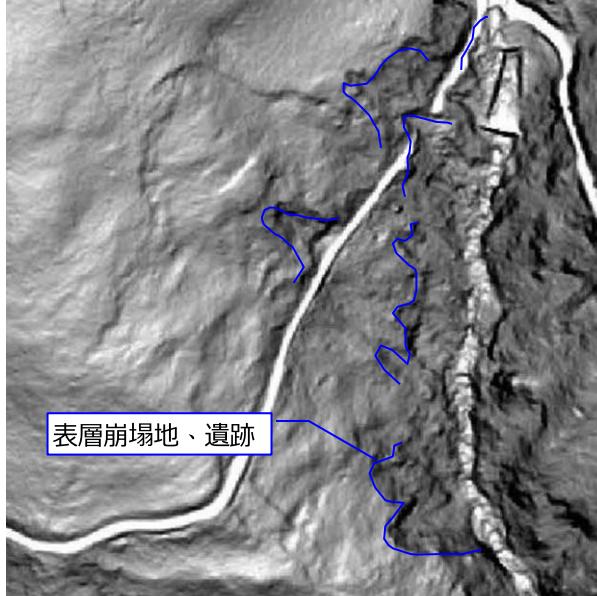
一般而言，大規模崩塌遺跡的特徵是出現馬蹄形大滑落崖。其土體有的持續流出，有的殘存，前著滑落崖下方呈現凹型坡面型，後者呈現凸型坡面型。

	
等高線圖 可一起判釋密集等高線呈現的滑落崖（急崖），與下方崩土堆積區（凸型緩坡面）。	航空照片 滑動中或新的崩塌遺跡，滑落崖是容易判別的裸地。崩土有時會連樹木都一起滑動。
	
傾斜量圖 可一起判釋濃色呈現的滑落崖（急崖），與淡色呈現的下方崩土堆積區（凸型緩坡面）。	紅色立體地圖 可一起判釋紅色呈現的滑落崖（急崖），與灰色呈現的下方崩土堆積區（凸型緩坡面）。

(7) 表層崩場地、遺跡

主要是表土層或表層風化部從周圍不動區域分離出來、快速滑落的範圍稱為崩場地；崩塌後草木類侵入崩場地內形成穩定化傾向的，稱為崩塌遺跡。一般而言，源頭部指馬蹄形或半圓形陡坡。

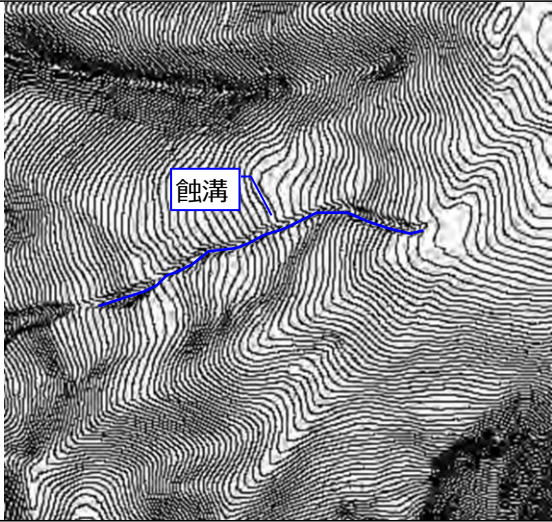
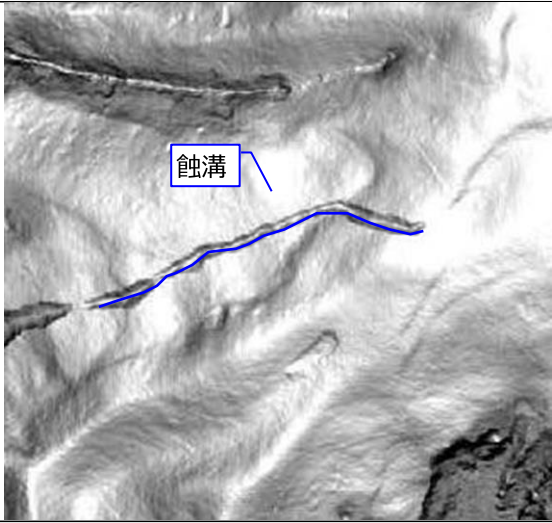
河川侵蝕導致坡面趾部持續出現表層崩塌，就須注意坡面整體不穩定化。

 表層崩場地、遺跡	 表層崩場地、遺跡
等高線圖 可判釋出呈凹型的等高線，並不連續。	航空照片 若是新崩場地，可判釋裸地、草本地或比周邊幼齡的樹林。植生復舊後就難以判別。
 表層崩場地、遺跡	 表層崩場地、遺跡
傾斜量圖 可判釋為連續的淺崖（黑色）。	紅色立體地圖 可判釋為連續的淺崖（暗紅色）。

(8) 蝕溝

有陡峭側壁而直線、有小規模溝狀的地形，稱為蝕溝（雨裂）。蝕溝內通常降雨時才有流水。

坡面側部蝕溝有地會發展成沼澤地形，連結坡面冠部小崖的坡面，可能持續進行坡面變形。

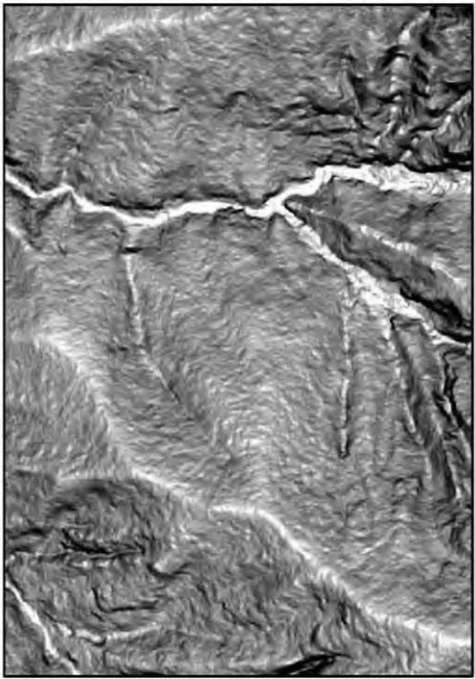
	
等高線圖 等高線凹進去的部分連結成線狀。	航空照片 達到某種程度大小的蝕溝，植生就能判釋為線狀而中途斷掉的線。
	
傾斜量圖 可判釋為呈線狀的淺溝地形（暗灰色）。	紅色立體地圖 可判釋為呈線狀的淺溝地形（暗紅色）。

參考資料2

紀伊山地的代表性微地形判釋案例



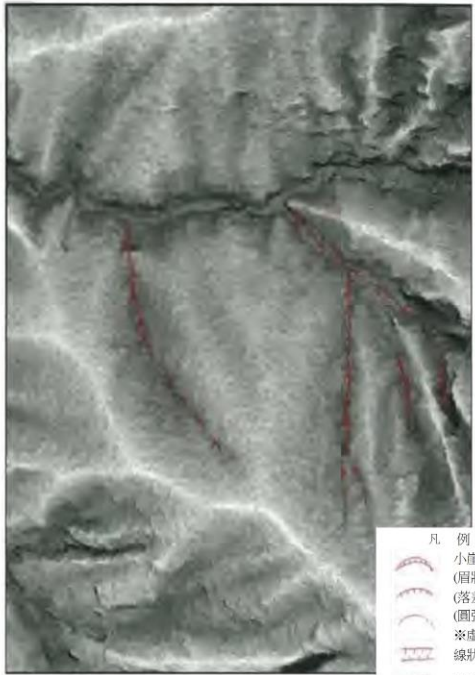
等高線圖



傾斜量圖



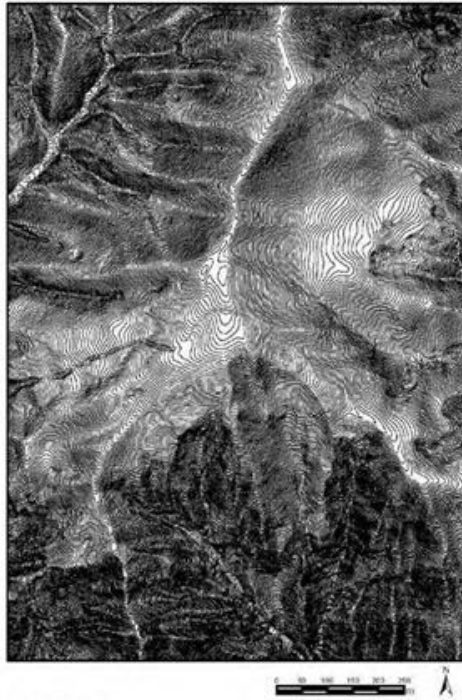
紅色立體地圖



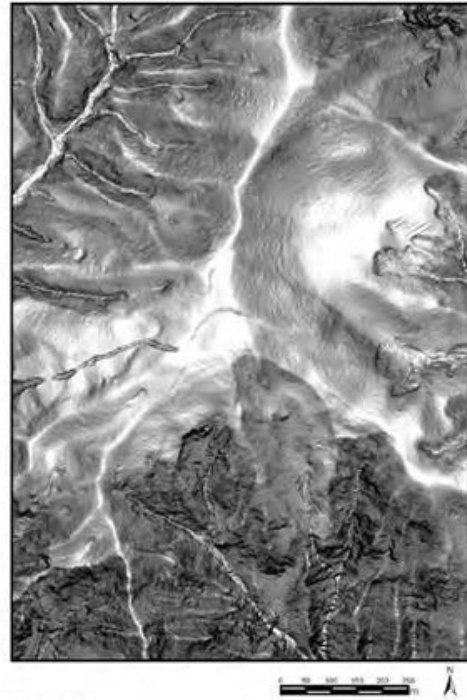
判釋圖

- 凡 例
- 小窪 (扇狀)
 - 落差地形 (圓弧狀裂隙)
 - ※虛線不明顯
 - 線狀凹地
 - 崩塌地
 - 蝕溝
 - 山頂緩坡面
 - 地滑地形

紀伊山地 1 (奈良縣吉野郡十津川村大字旭)



等高線圖



傾斜量圖



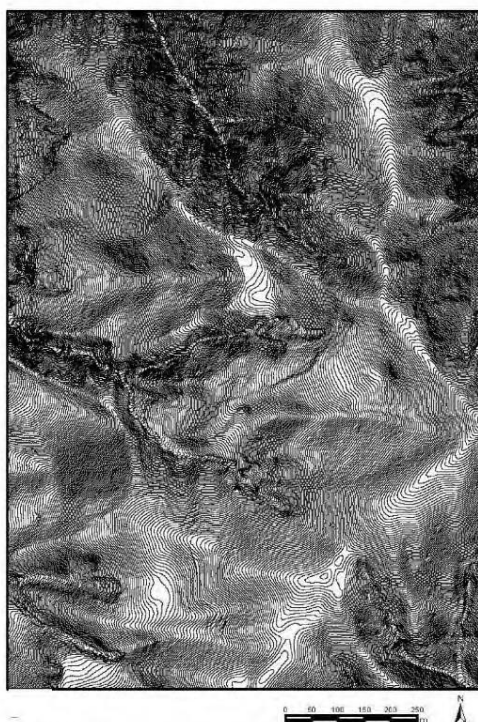
紅色立體地圖



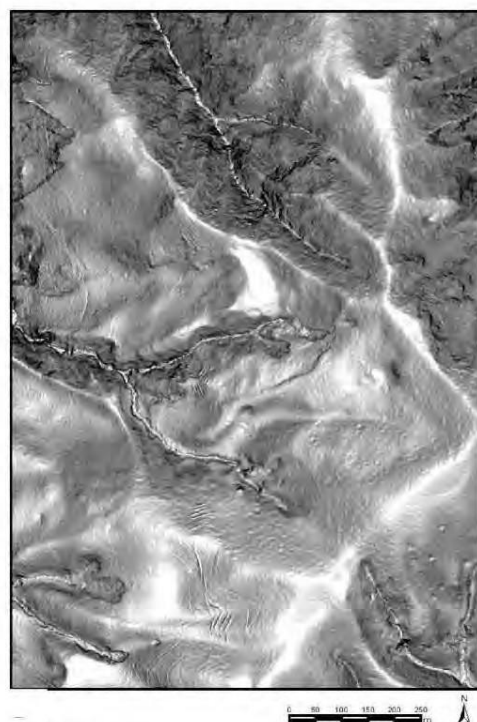
判釋圖

- 凡例
- 小量 (層狀)
 - (隱蔽地形)
 - (圓形/扇形)
 - ※直線不明瞭
 - 線狀窪地
 - 崩塌地
 - 柱潭
 - 山頂緩坡面
 - 地槽地形

紀伊山地 2 (奈良縣五條市大塔村清水)



等高線圖



傾斜量圖



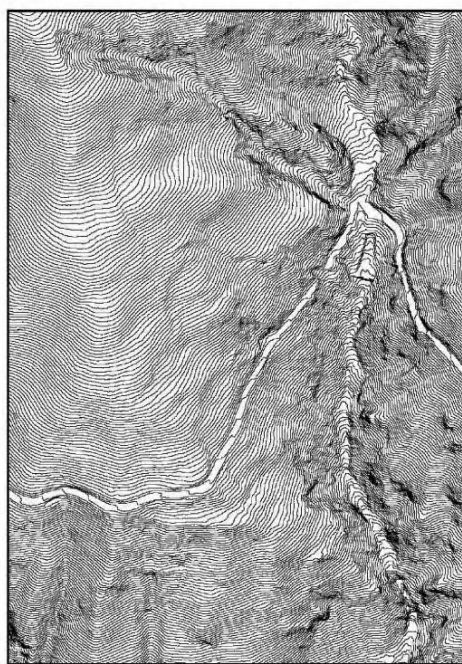
紅色立體地圖



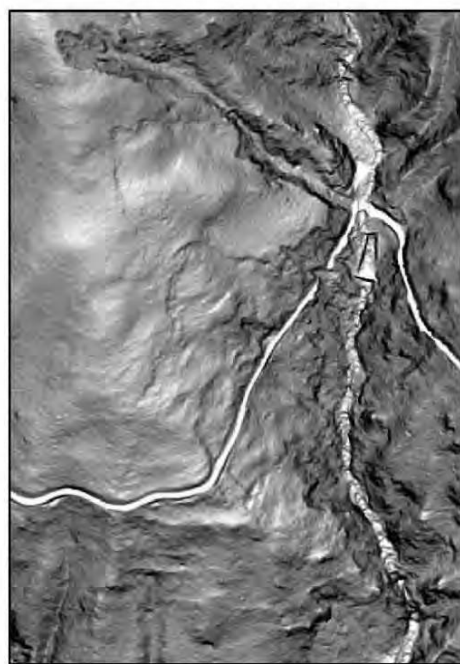
判釋圖

- 凡例
- 小崖 (眉狀)
 - (落差地形)
 - (圓弧狀裂隙)
 - ※虛線不明顯
 - 線狀凹地
 - 崩塌地
 - 蝕溝
 - 山頂緩坡面
 - 地滑地形

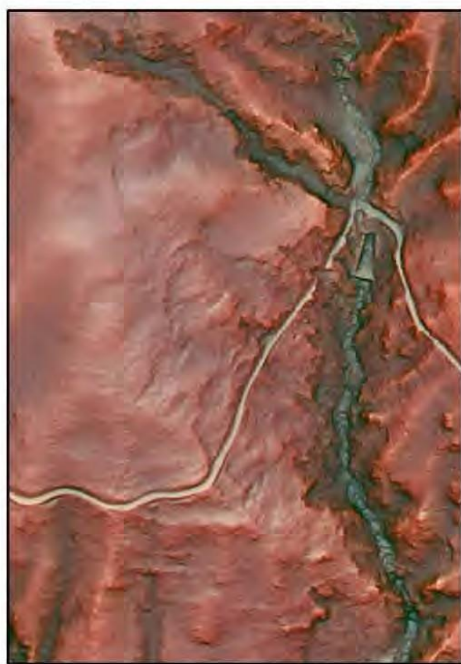
紀伊山地 3 (奈良縣五條市大塔村辻堂)



等高線圖



傾斜量圖



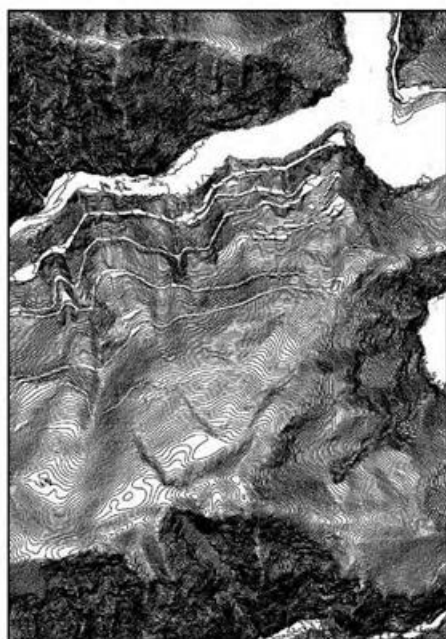
紅色立體地圖



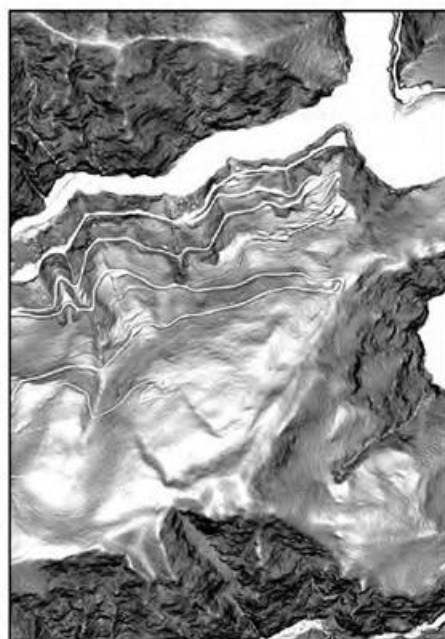
判釋圖

- 凡 例
- 小崖 (扇狀)
 - (落差地形)
 - (圓弧狀裂隙)
 - ※虛線不明顯
 - 線狀凹地
 - 崩塌地
 - 蝕溝
 - 山頂緩坡面
 - 地滑地形

紀伊山地 4 (和歌山縣田邊市本宮町三越)



等高線圖



傾斜量圖



紅色立體地圖



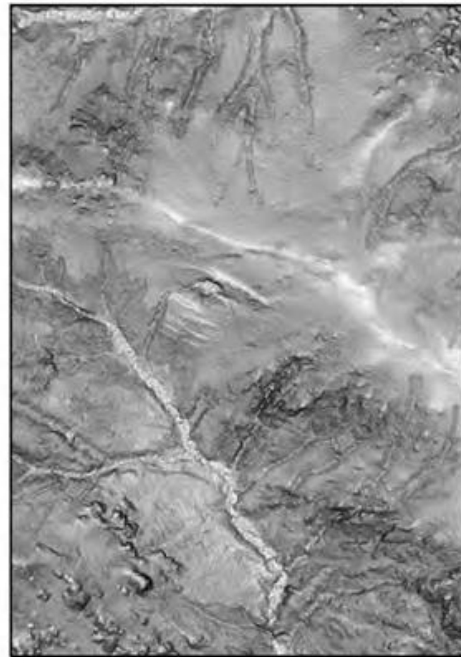
判釋圖

- | 凡例 |
|---|
|  小量 (目次) |
|  (定数地形) |
|  (定数片断形) |
|  ※ 数量不相關 |
|  線形定数 |
|  諸極性 |
|  性質 |
|  山頂地形 |
|  定数地形 |

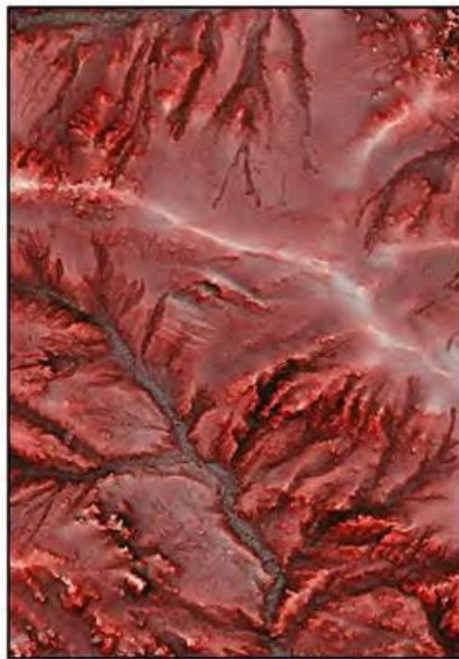
紀伊山地 5 (奈良縣五條市大塔村中原)



等高線圖



傾斜量圖



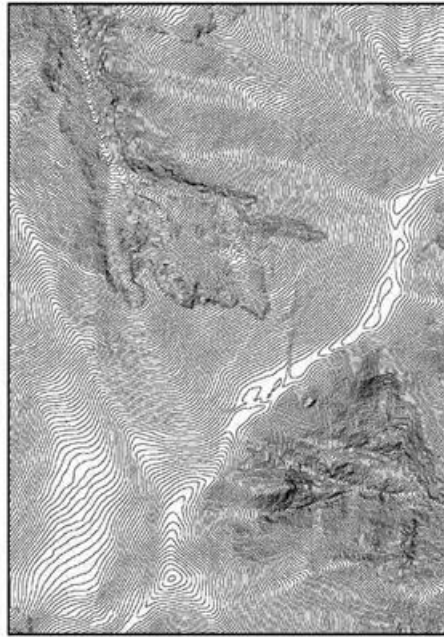
紅色立體地圖



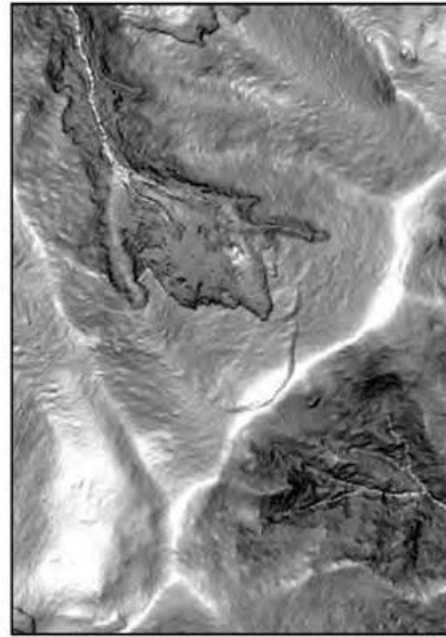
判釋圖

- 凡例
- 小川 (細水)
 - (急峻地形)
 - (急峻地形)
 - 坡度線不規則
 - 陡峻山地
 - 森林地
 - 柱潭
 - 山頂緩坡面
 - 地帶地形

紀伊山地 6 (奈良縣吉野郡下北山村前鬼)



等高線圖



傾斜量圖



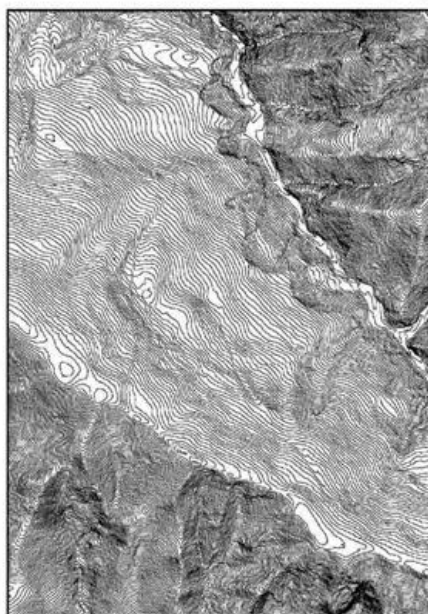
紅色立體地圖



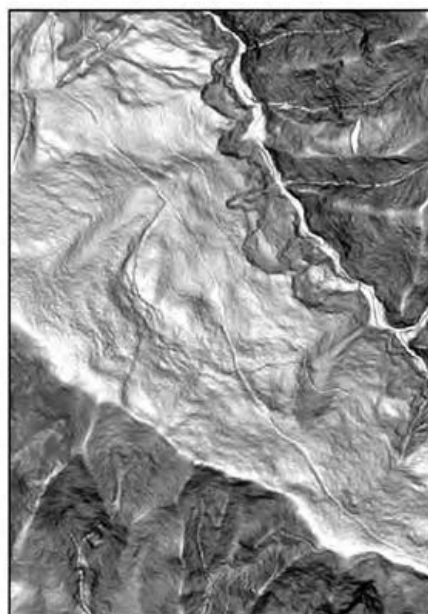
判釋圖

- 凡例
- 小量 (層狀)
 - (扇狀地形)
 - (圓錐狀地形)
 - 放射狀不明瞭
 - 線狀凹地
 - 扇狀地
 - 柱潭
 - 山頂緩坡面
 - 地槽地形

紀伊山地 7 (奈良縣吉野郡十津川村長殿)



等高線圖



傾斜量圖



紅色立體地圖



判釋圖

- 凡例
- 小室 (層狀)
 - (地盤地形)
 - (圓形狀地形)
 - 深處線不特厚
 - 線狀地形
 - 斷崖地
 - 柱地
 - 山頂緩坡面
 - 地槽地形

紀伊山地 8 (和歌山縣田邊市本宮町上大野)



等高線圖



傾斜量圖



紅色立體地圖



判釋圖

- 凡例
- 小區 (圖例)
- (圖例)
- (圖例)
- (圖例)
- 無蓋地
- 森林地
- 草地
- 水田
- 山地
- 地帶地形

紀伊山地 9 (奈良縣吉野郡十津川村大字杉清)



等高線圖



傾斜量圖



紅色立體地圖



判釋圖

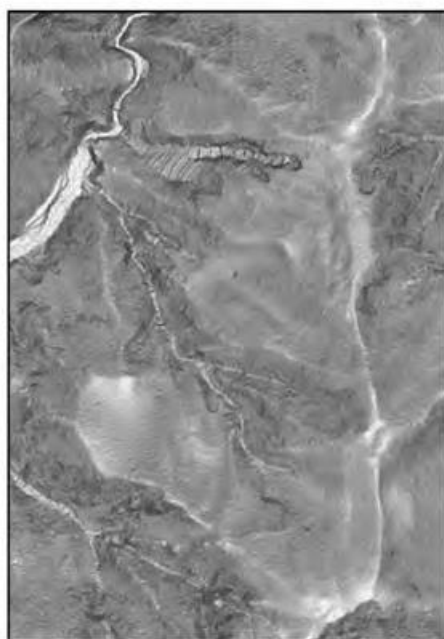
紀伊山地 10

(和歌山縣新宮市熊野川町九重)

- | 凡例 | |
|----|---------|
| | 小量 (目字) |
| | (高矮之形) |
| | (圓形之形狀) |
| | 其顏色不相同 |
| | 線形之形 |
| | 線形之形 |
| | 針線 |
| | 針線之形 |
| | 針線之形 |



等高線圖



傾斜量圖



紅色立體地圖

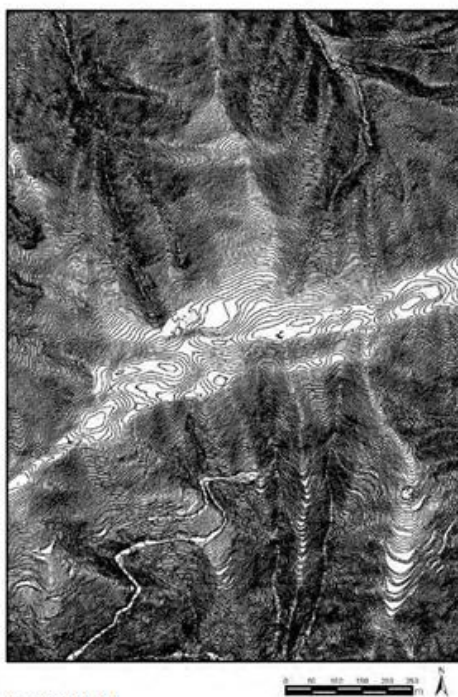


判釋圖

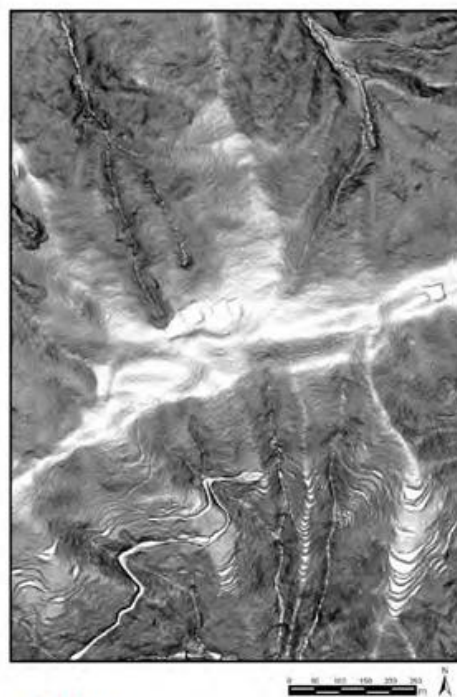
- 凡例
- 小區 (區划)
 - 地盤地形 (地盤地形)
 - (圖例) (圖例)
 - ※圖例不明瞭
 - 線形空地
 - 路場地
 - 路場
 - 山頂緩坡面
 - 地溝地形

紀伊山地 11

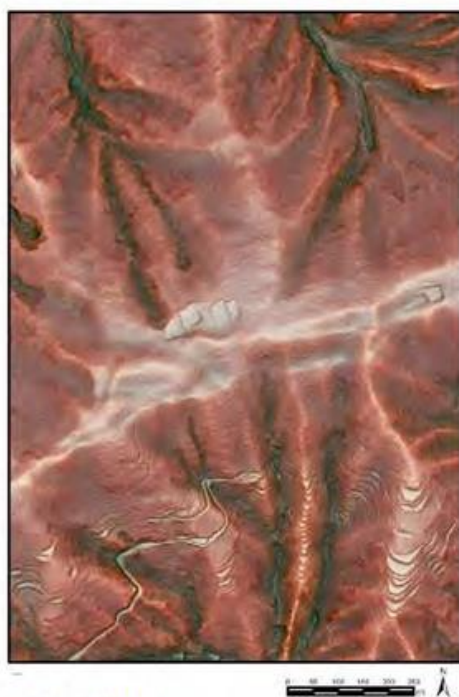
※依據2009年計測數據作成
(奈良縣吉野郡十津川村長殿)



等高線圖



傾斜量圖



紅色立體地圖

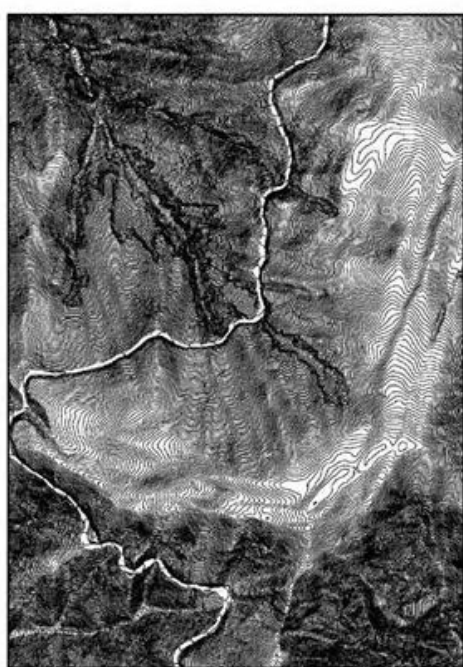


判釋圖

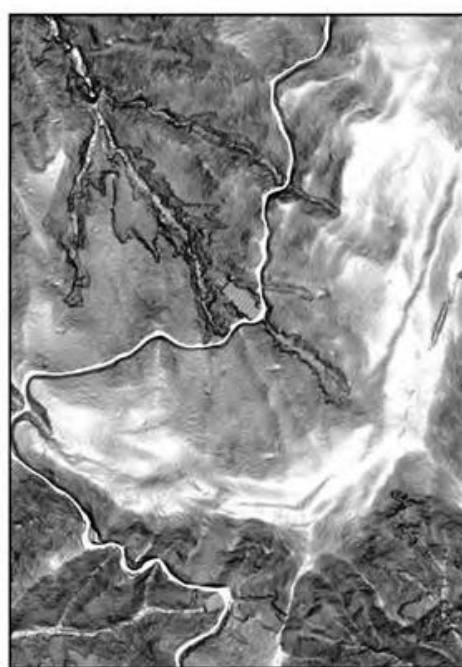
- 凡例
- 小量 (局部)
 - 地形 (地形)
 - (圖例) 地形
 - 地形不明瞭
 - 線狀地形
 - 地形
 - 地形
 - 地形
 - 地形

紀伊山地 12

(奈良縣吉野郡十津川村大字小山手)



等高線圖

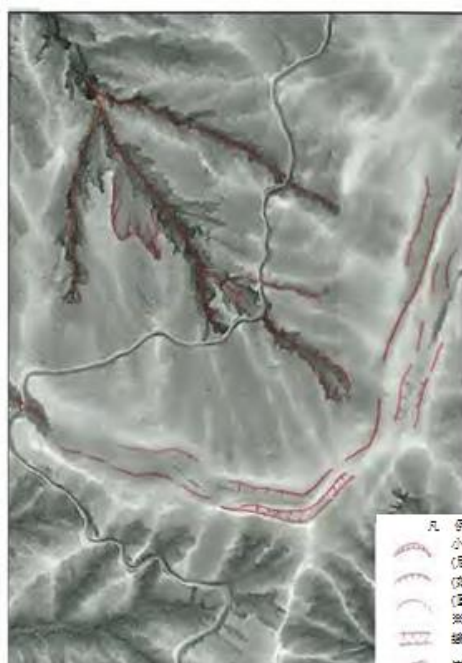


傾斜量圖



紅色立體地圖

紀伊山地 13



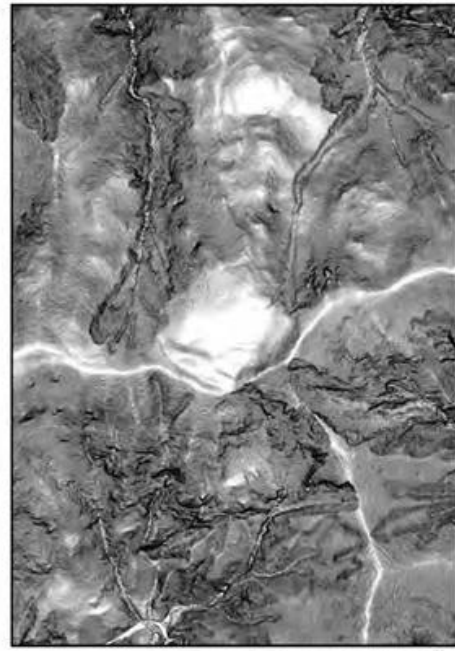
判釋圖

(奈良縣吉野郡十津川村大字川津)

- 凡例
- 小川 (細川)
 - (河川)
 - (湖沼地形)
 - (窪地/谷地)
 - ※雲線不明瞭
 - 線状窪地
 - 扇形地
 - 蛇溝
 - 山頂緩坡面
 - 地槽地形



等高線圖



傾斜量圖



紅色立體地圖

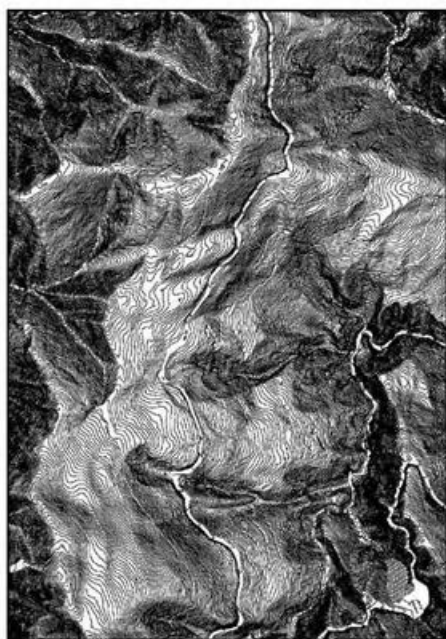
紀伊山地 14



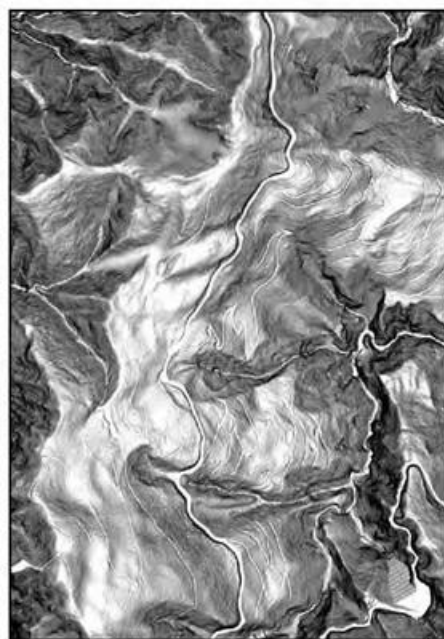
判釋圖

- 凡例
- 小室 (山頂)
 - (丘陵地形)
 - (圓形山頂)
 - 等高線不規則
 - 緩坡地
 - 緩坡地
 - 丘陵
 - 山頂緩坡
 - 地帶地形

(奈良縣吉野郡十津川村大字出谷)



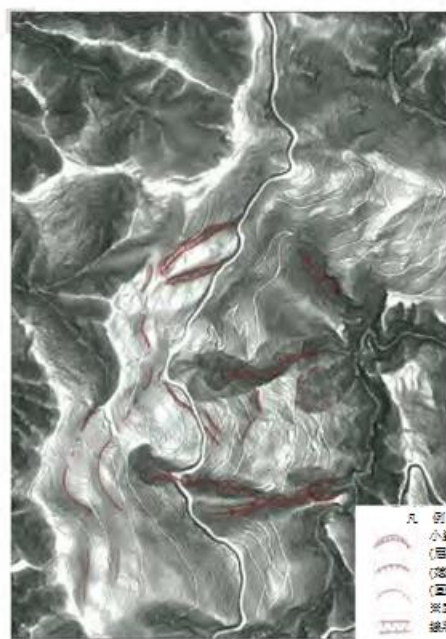
等高線圖



傾斜量圖



紅色立體地圖



判釋圖

紀伊山地 15

(和歌山縣新宮市熊野川町棕井)

- [illegible]



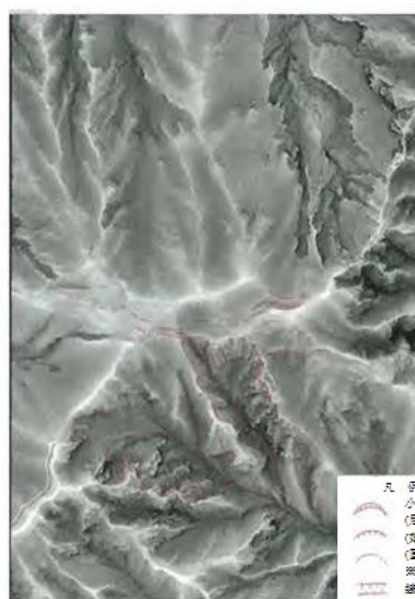
等高線圖



傾斜量圖



紅色立體地圖



判釋圖

- | 凡例 |
|--|
|  小量 (圓寸) |
|  定線地形 (圓寸狀圖版) |
|  定線地形不明 |
|  定線地形 |
|  定線地形 |
|  定線地形 |
|  定線地形 |
|  定線地形 |
|  定線地形 |
|  定線地形 |
|  定線地形 |
|  定線地形 |
|  定線地形 |
|  定線地形 |
|  定線地形 |
|  定線地形 |
|  定線地形 |
|  定線地形 |
|  定線地形 |
|  定線地形 |
|  定線地形 |
|  定線地形 |

紀伊山地 16

(奈良縣吉野郡十津川村大字杉清)



等高線圖



傾斜量圖



紅色立體地圖



判釋圖

- 凡例
- 小區 (區界)
- (地盤地形)
- (區劃狀地形)
- 坡度線不規則
- 地形起伏
- 地形地
- 地盤
- 山頂緩坡
- 地盤地形

紀伊山地 17

(奈良縣吉野郡十津川村大字杉清)



等高線圖



傾斜量圖



紅色立體地圖

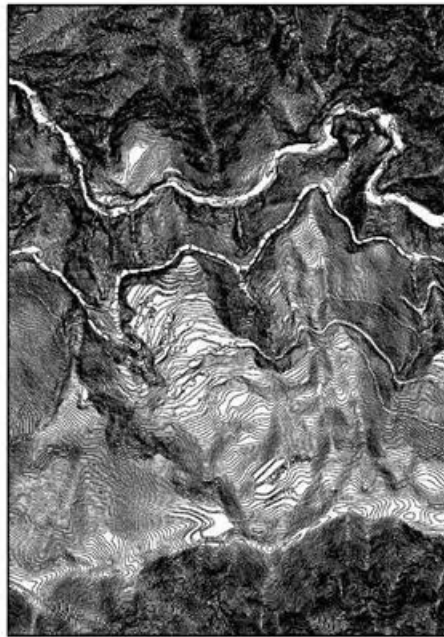


判釋圖

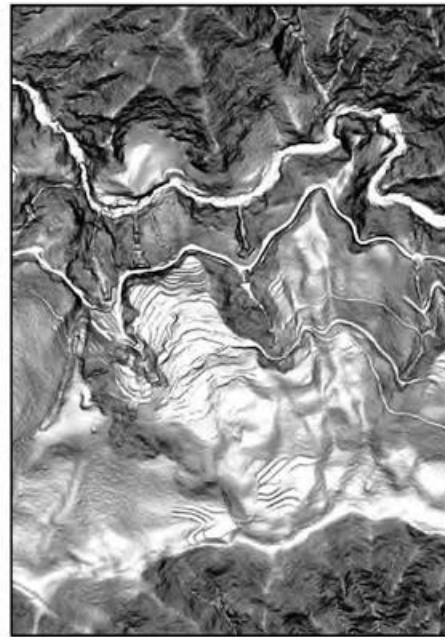
- | 凡例 | |
|---|---------|
|  | 小量 (圓形) |
|  | (定盤定形) |
|  | (圓形定盤) |
|  | ※ 盤線不規則 |
|  | 線形定形 |
|  | 線形定形 |
|  | 線形定形 |
|  | 線形定形 |
|  | 線形定形 |
|  | 線形定形 |
|  | 線形定形 |
|  | 線形定形 |
|  | 線形定形 |
|  | 線形定形 |
|  | 線形定形 |

紀伊山地 18

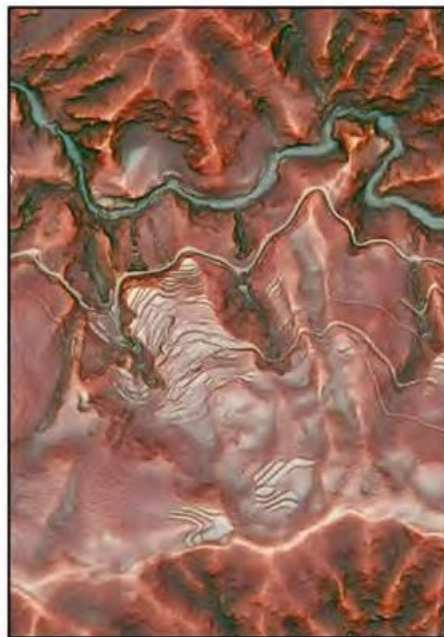
(奈良縣五條市大塔町阪本)



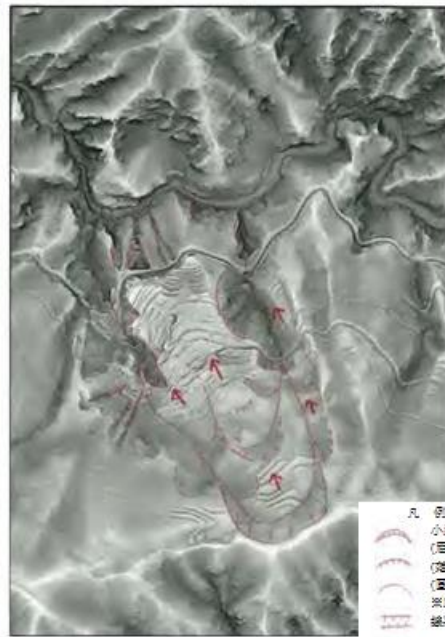
等高線圖



傾斜量圖



紅色立體地圖



判釋圖

- 凡例
- 小室 (山頂)
 - 穴鑿地形 (山頂穴鑿)
 - 穴鑿地形 (山頂穴鑿)
 - ※ 虛線不明瞭
 - 線狀空地
 - 農場地
 - 畦溝
 - 山頂總坡面
 - 地層地形

紀伊山地 20

(奈良縣五條市大塔町中原)



等高線圖



傾斜量圖



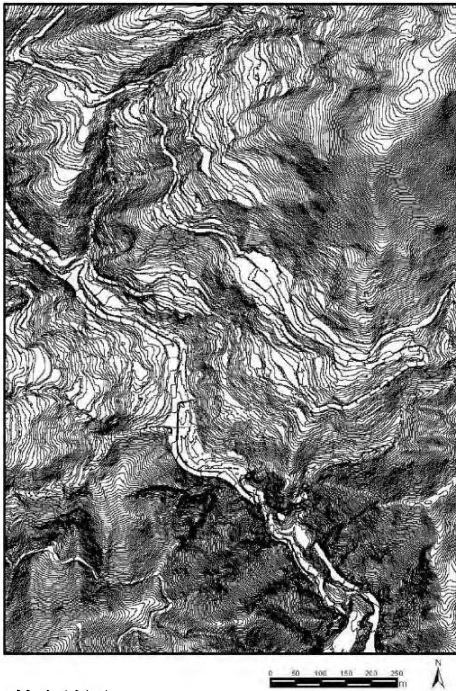
紅色立體地圖



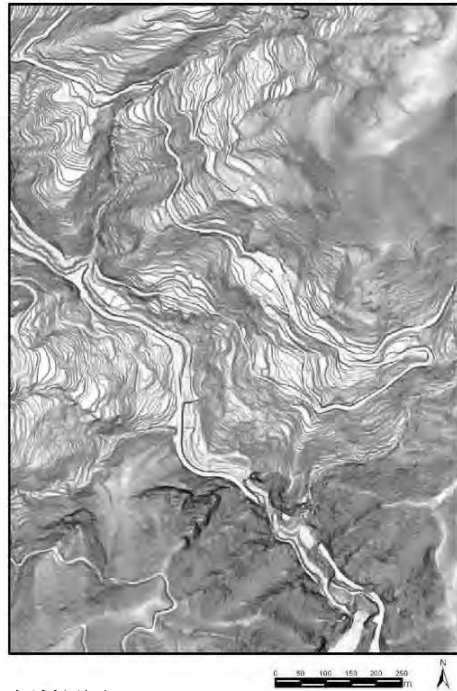
判釋圖

- 凡 例
- 小屋 (眉狀)
 - (落差地形)
 - (圓弧狀裂隙)
 - *虛線不明顯
 - 線狀凹地
 - 崩塌地
 - 蝕溝
 - 山頂緩坡面
 - 地滑地形

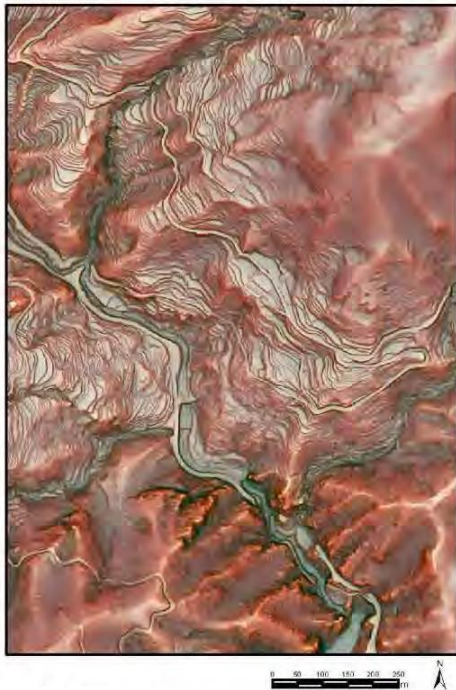
紀伊山地 21 (奈良縣五條市大塔村飛養曾)



等高線圖



傾斜量圖



紅色立體地圖



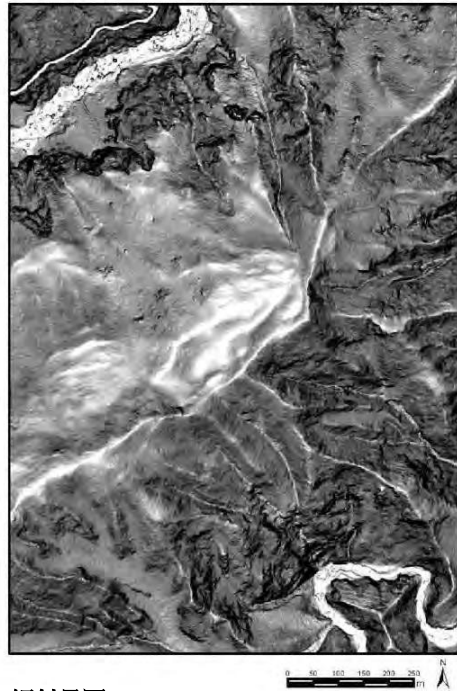
判釋圖

- 凡例
- 小崖 (眉狀)
 - (落差地形)
 - (圓弧狀裂隙)
 - ※虛線不明顯
 - 線狀凹地
 - 崩塌地
 - 蝕溝
 - 山頂緩坡面
 - 地滑地形

紀伊山地 22 (和歌山縣有田郡有田川町楠本)



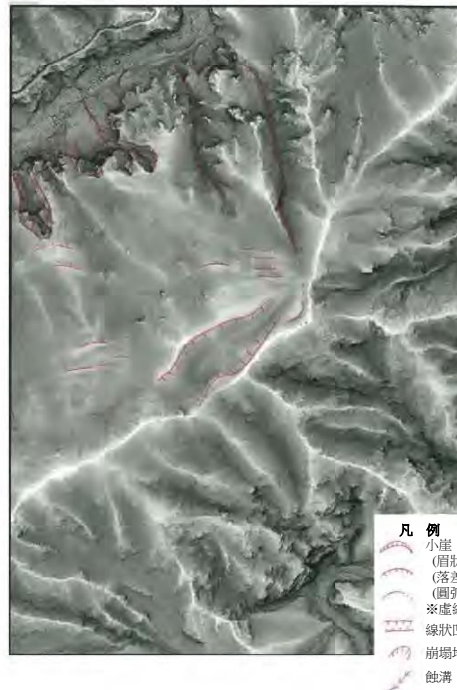
等高線圖



傾斜量圖



紅色立體地圖



判釋圖

- 凡 例
- 小崖 (肩狀)
 - (落差地形)
 - (圓弧狀裂隙)
 - ※虛線不明顯
 - 線狀凹地
 - 崩塌地
 - 蝕溝
 - 山頂緩坡面
 - 地滑地形

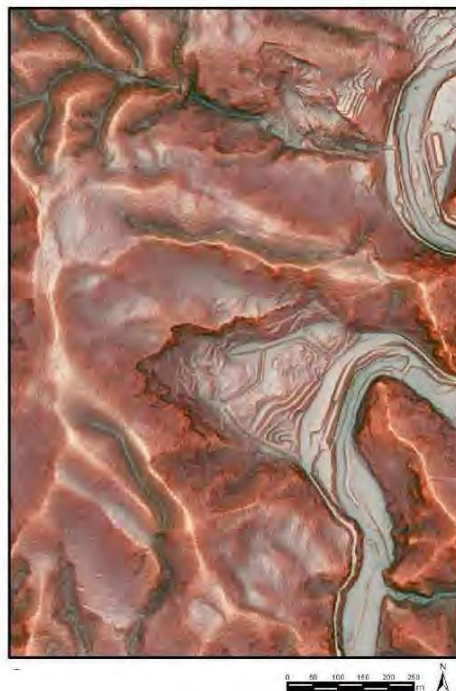
紀伊山地 23 (奈良縣吉野郡十津川村大字杉清)



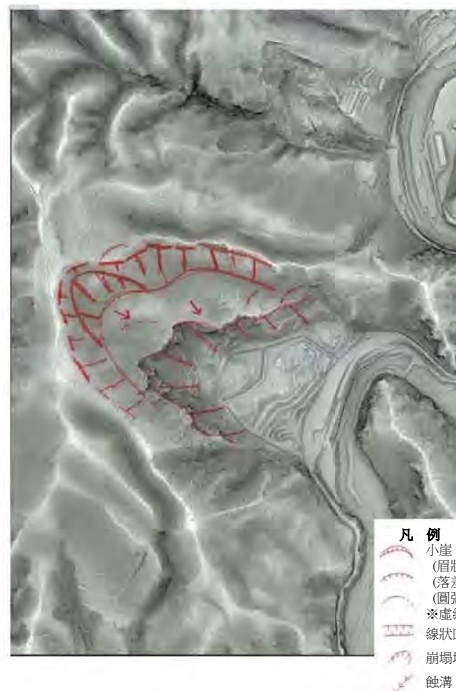
等高線圖



傾斜量圖



紅色立體地圖



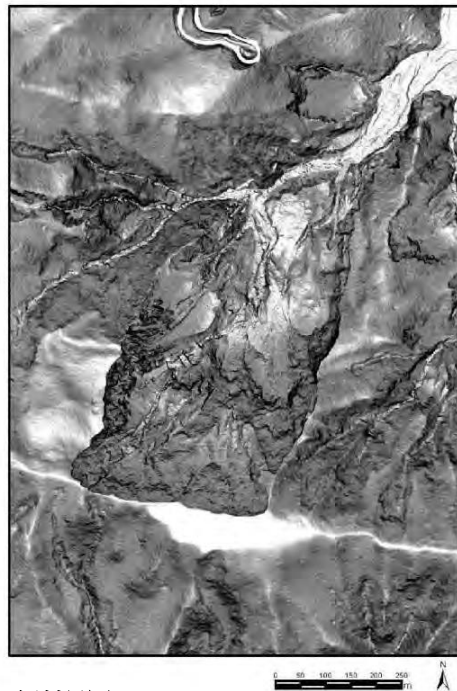
判釋圖

- 凡 例
- 小崖 (眉狀)
 - (落差地形)
 - (圓弧狀裂隙)
 - ※虛線不明顯
 - 線狀凹地
 - 崩塌地
 - 蝕溝
 - 山頂緩坡面
 - 地滑地形

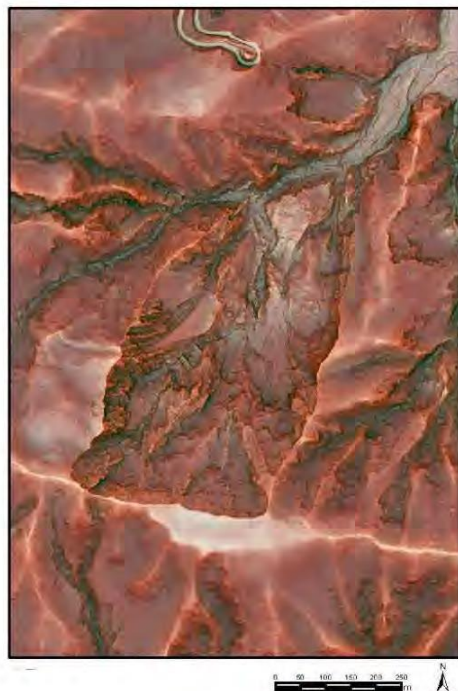
紀伊山地 24 (奈良縣吉野郡天川村大字坪内)



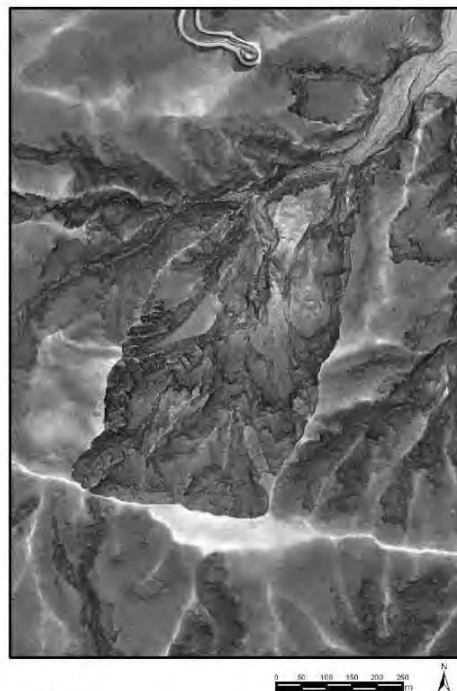
等高線圖



傾斜量圖



紅色立體地圖



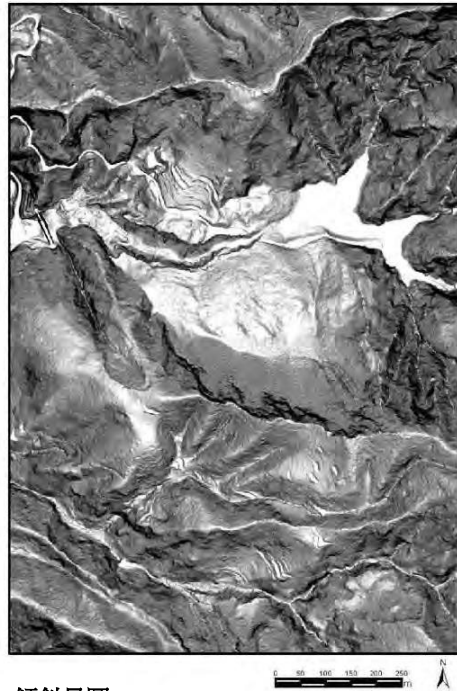
判釋圖

紀伊山地 25

崩塌遺跡（奈良縣吉野郡十津川村野廣瀬）



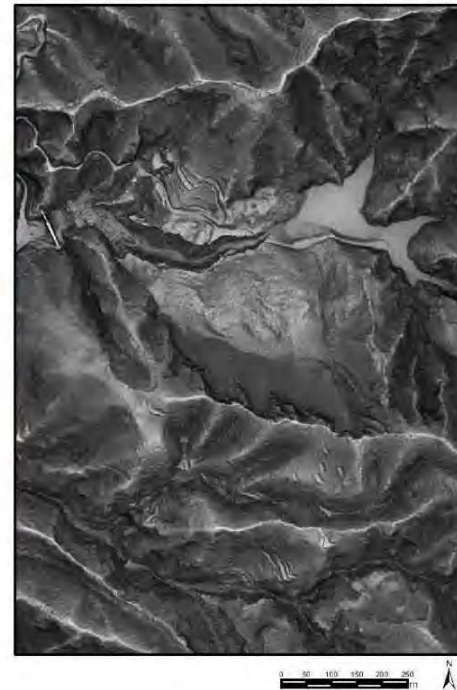
等高線圖



傾斜量圖



紅色立體地圖



判釋圖

紀伊山地 26

崩塌遺跡（奈良縣吉野郡十津川村大畑瀬）



等高線圖



傾斜量圖



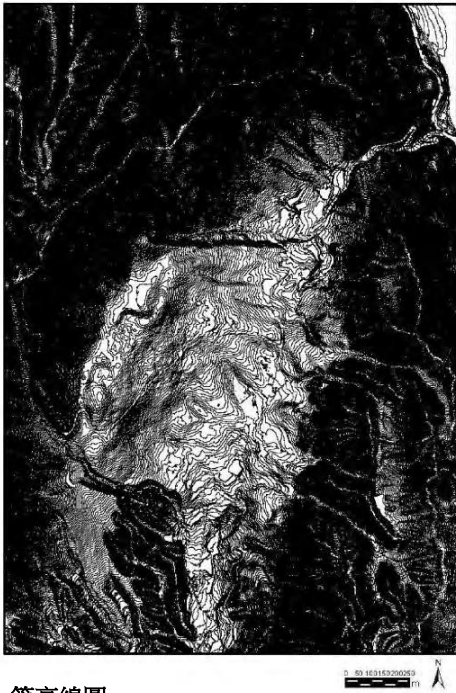
紅色立體地圖



判釋圖

紀伊山地 27

崩塌遺跡（奈良縣吉野郡十津川村大字上湯川）



等高線圖



傾斜量圖



紅色立體地圖



判釋圖

紀伊山地 28

崩塌遺跡（和歌山縣新宮市高田）

參考資料 3

依據水文地形特性設定臨界值的案例

依據水文地形特性設定危險網格的例子，如圖 2 所示。集計表之中，配合坡降與集水面積提高的過程中，地形量危險度也由低往高走地設定其臨界值（圖 2 的黑粗框框）。此外，即使大規模崩塌面積率超過該檢討目標區整體平均值 2 倍的地形量，擁有該地形量的網格數還是非常少（比如，不滿該地區總網格數的 1%），在此情況下，就不當作設定高危險度地形量的判斷材料。

大規模崩塌 面積率	集水面積									
	網格數 (10m)	1	2	3~4	5~10	11~20	21~50	51~100	101~200	201~
	As (m ²)	100	200	300~ 400	500~ 1,000	1,100~ 2,000	2,100~ 5,000	5,100~ 10,000	10,100~ 20,000	20,100~
坡面傾斜度 (度)	log ₁₀ As	2.00	2.30	2.48~ 2.60	2.70~ 3.00	3.04~ 3.30	3.32~ 3.70	3.71~ 4.00	4.004~ 4.301	4.303~
	~10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	10~15	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	15~20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	20~25	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	25~30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	30~35	0.227	0.526	0.192	0.543	1.171	3.586	5.263	1.220	0.000
	35~40	1.084	1.346	3.562	1.622	2.153	10.197	3.226	4.082	0.000
	40~	1.693	2.830	1.069	1.193	6.040	2.679	8.000	0.000	0.000

※粗黑框內為高危險度的地形量
 ※紅字代表擁有該當地形量的全部網格數不滿 1%
 ※使用 10m 網格尺寸 DEM

平均大規模崩塌面積率(%) (大規模崩塌遺跡網格數/全網格數)×100	1.203
比平均大規模崩塌面積率(%)大	1.203
比平均大規模崩塌面積率(%)大 1.2 倍	1.504
比平均大規模崩塌面積率(%)大 1.5 倍	1.805
比平均大規模崩塌面積率(%)大 1.75 倍	2.106
比平均大規模崩塌面積率(%)大 2 倍	2.406

圖 2 危險網格設定舉例

參考資料 4

坡面坡降與固有值比的計算方法

利用數值標高模型（DEM）進行地形計測，會出現坡降・傾斜、坡面方位、曲率等眾多地形特性值¹⁾。使用參考 LP 數據的細密 DEM 數據，能高精度掌握地形特徵。

以下介紹圈繪重力變形（岩盤潛移）坡面所使用坡面坡降²⁾與固有值比³⁾的計算方法。

○坡面坡降

3×3 的網格單元格之中，中心單元格（座標值 x, y ）標高設定為 $Z_{x,y}$ ，便能由公式(1)算出坡面坡降 I （rad）。

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

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

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

在此， I 代表坡面坡降。 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，分別如公式(2)、公式(3)所示。 D 代表網格單元格大小。

○固有值比

固有值比可用來評估坡面上垂直向量的混亂狀況，代表地表不平整。其值越大代表平坦；值小代表表面形狀變化劇烈。因此，固有值比可呈現地面凹凸程度。

計算固有值比的方法是，在 3×3 的網格單元格，網格單元格 i 的方位角為 φ_i ，天頂角為 θ_i ，則網格單元 i 的坡面線向量 (x_i, y_i, z_i) ，如公式(4)所示。另外，坡面線向量的方向張量 T ，如公式(5)所示。

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

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

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 ）。然後依據公式(6)，算出 S_1 、 S_2 。

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

依據公式(7)，從 S_1 、 S_2 ，算出固有值比 γ 。

$$\gamma = \ln(S_1 / S_2) \dots\dots\dots (7)$$

< 參考文獻 >

- 1) 太田岳洋・八戸昭一（2006）：数値標高モデルによる地形計測の現状と応用例，応用地質，Vol.46，No.6，pp.347-360
- 2) Burrough, P. A. and McDonnell, R. A. (1998) : Principles of Geographical Information Systems, Oxford University Press, p.190
- 3) Woodcock, N.H. and Naylor, M.A. (1983) : Randomness testing in the three-dimensional data, Jour. Struct.Geol. 5, pp.539-54

參考資料 5

地形分析的網格尺寸

應用高解析度（網格尺寸較小的）DEM算出的地形量，能呈現小比例尺地形特徵，但仍難以掌握大比例尺地形特徵。反之，DEM解析度降低（網格尺寸較大），難以掌握微小地形。因此，計算計形量之際，藉由設定網格尺寸（分析單元格的間隔），就能和高解析度DEM一樣掌握大空間尺度的地形特徵。

圖3乃分析網格概念圖。地形量大時，可應用周圍8個單元格，而在中央單元格的位置算出地形量，但若設定網格尺寸，就使用與中央單元格等間隔排列的8個單元格，進行計算。

利用網格尺寸，能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¹⁾。

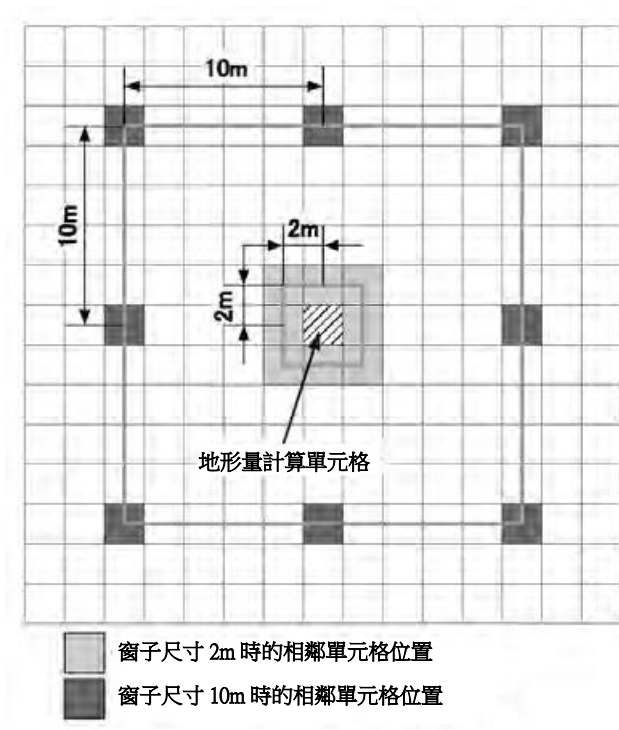


圖 3 分析窗的概念圖（橫山，2012）

< 參考文獻 >

- 1) 橫山修・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クリープ斜面の表面形状把握，砂防学会誌，Vol.64，No.6，pp.13-24
- 2) 内田太郎・中野陽子・秋山浩一・田村圭司・笠井美青・鈴木隆司（2010）：レーザー測量データが表層崩壊発生斜面予測及び岩盤クリープ斜面抽出に及ぼす効果に関する検討，地形，Vol.31，No.4，pp.383 - 402
- 3) 岩橋純子・神谷泉・山岸宏光（2009）：LiDAR DEM を用いた表層崩壊のアセスメントに適する勾配と凹凸度の計算範囲の推定，地形，Vol.30，No.1，pp.15 - 27

參考資料 6

岩盤潛移坡面與非岩盤潛移坡面的變形量

岩盤潛移坡面與非岩盤潛移坡面的坡面坡降與固有值比計算結果，如下圖所示。2011年紀伊山地所形成大規模崩塌坡面，很可能出現了岩盤潛移¹⁾。這些狀況設定為代表性岩盤潛移坡面（圖4），另一方面，對岸附近的陡坡，則把無緩坡而形成深層的坡面，視為非岩盤潛移坡面（圖5）。運用崩塌前的LP數據，就能利用複數的網格尺寸，算出坡面坡降與固有值比。LP數據使用2m網格尺寸，網格尺寸則有2~500m等15種。

箱形圖如圖6所示。從箱形圖可以發現，網格尺寸大於100~200m時的坡面坡降，明顯減少。這可能是因為，網格尺寸大幅超過岩盤潛移坡面的地形比例尺。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。

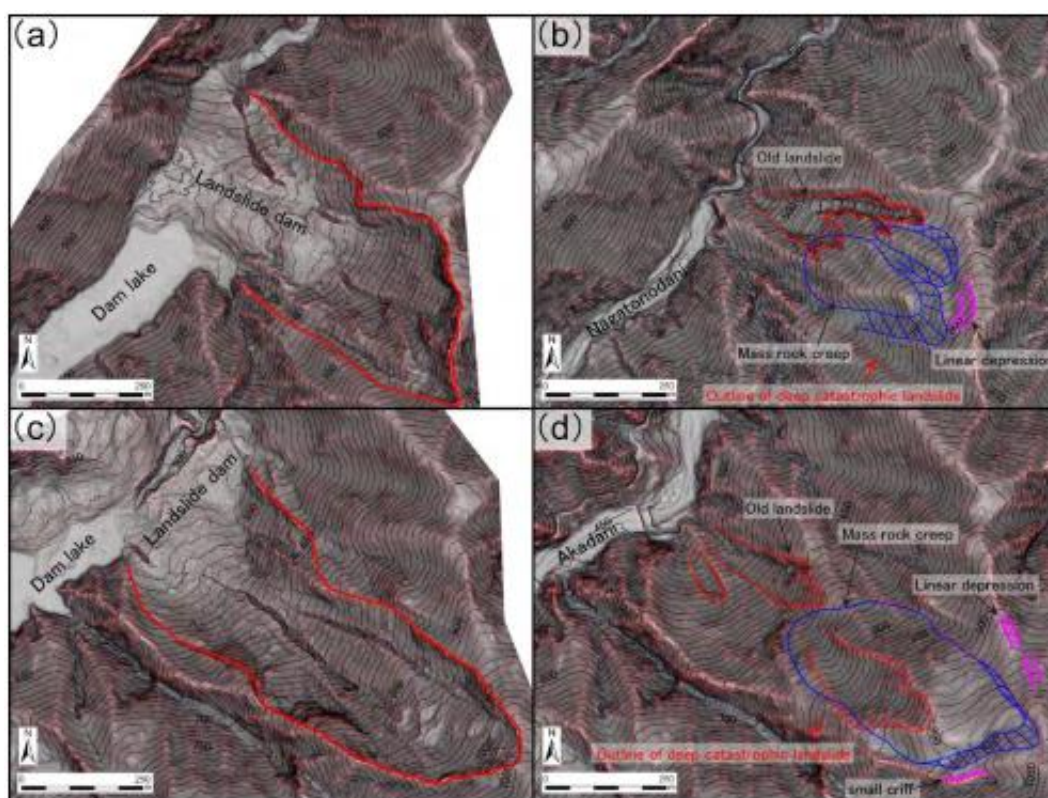


圖 4 大規模崩塌前的岩盤潛移坡面²⁾

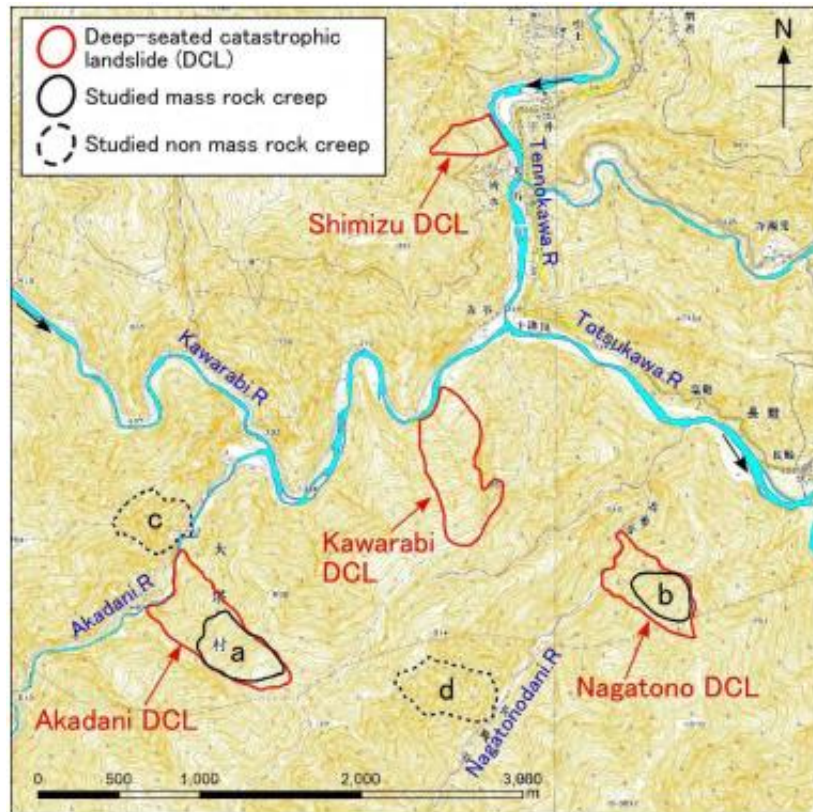


圖 5 設定目標區的代表性岩盤潛移坡面與非岩盤潛移坡面²⁾

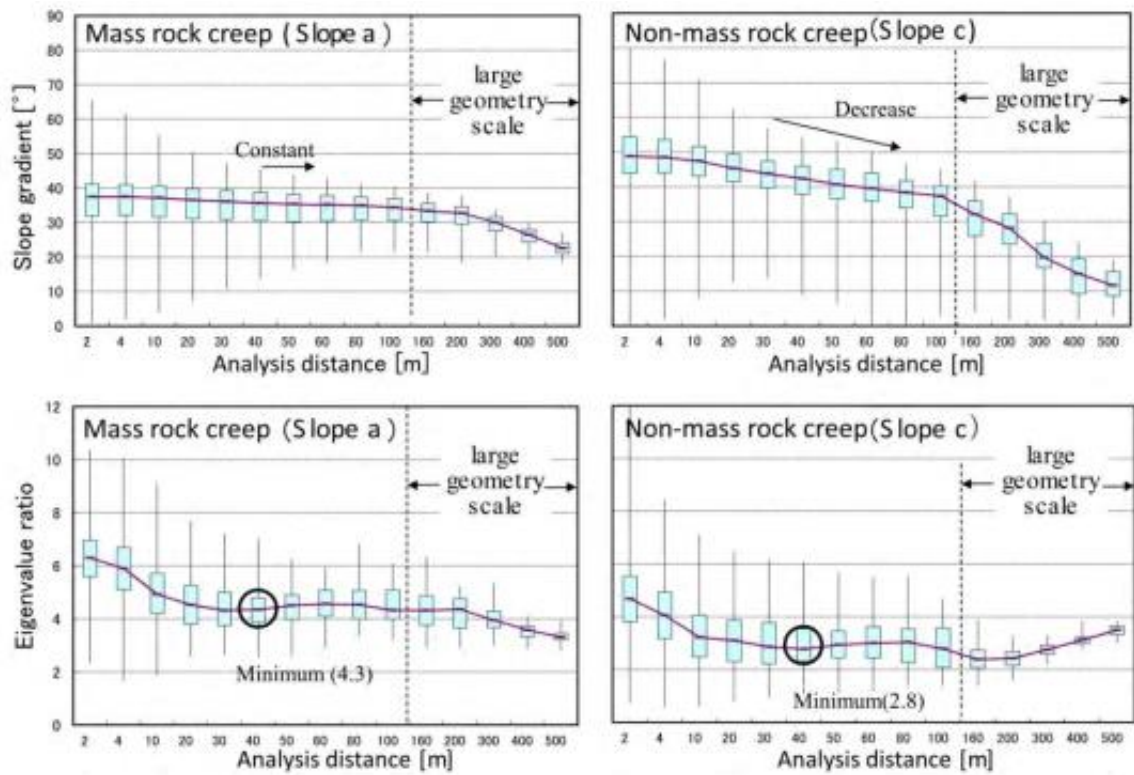


圖 6 岩盤潛移坡面與非岩盤潛移坡面的網格尺寸與變形量²⁾

< 参考文献 >

- 1) CHIGIRA, M., TSOU, C., MATSUSHI, Y., HIRAISHI, N. and MATSUZAWA, M. (2013) :
Topographic precursors and geological structures of deep-seated catastrophic landslides caused by Typhoon Talas ,
Geomorphology , 201 , pp.479-493 .
- 2) ISOGAI, N., KINOSHITA, A., TAKAHARA, T., ISHIZUKA, T., YOKOYAMA, O. and TAKEMURA, F. (2014) :
The Use of LiDAR in Identifying High-risk Slopes at Sites of Deep-Seated Catastrophic Landslides,
Interpraevent2014

參考資料 7

重力變形（岩盤潛移）坡面的圈繪順序

運用 LP 數據坡面坡降比與最小固有值比，圈繪岩盤潛移坡面的方法，如圖 7 所示。圈繪結果如圖 8 所示。

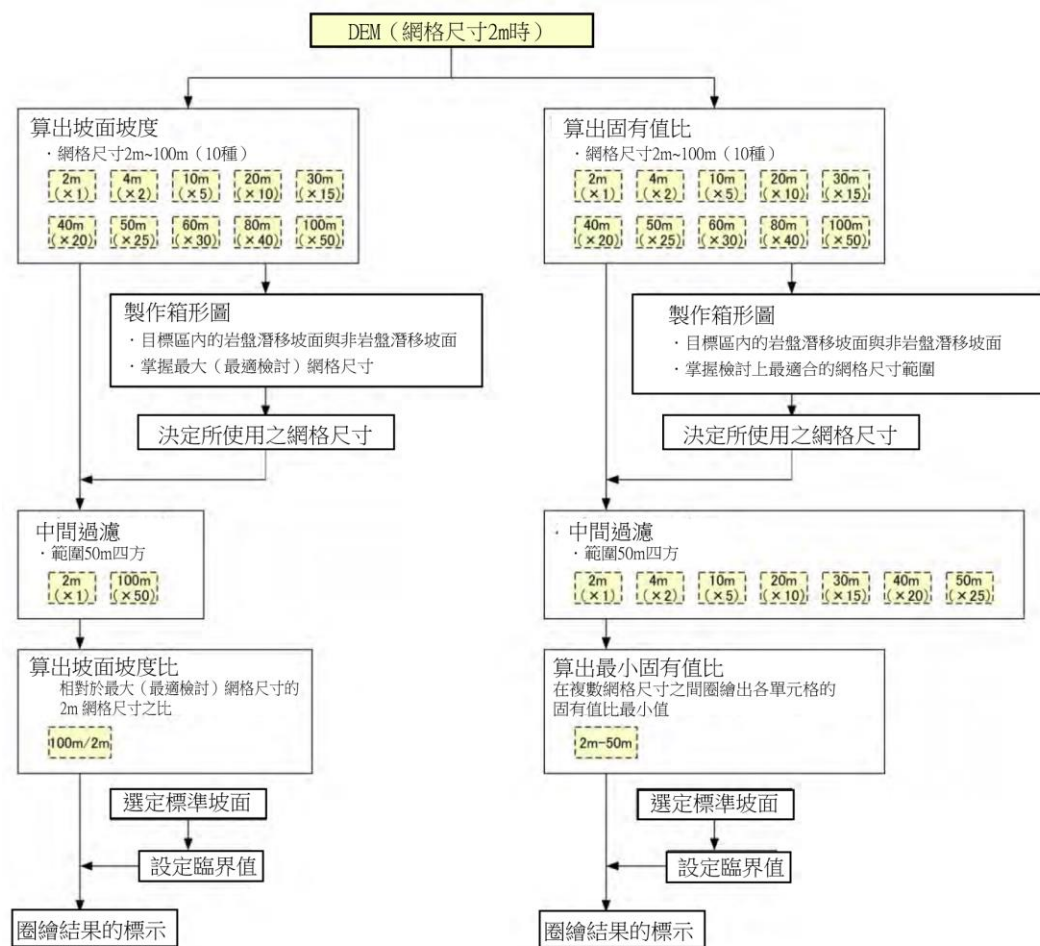


圖 7 圈繪岩盤潛移坡面流程¹⁾

岩盤潛移坡面與非岩盤潛移坡面，其坡面坡降比與最小固有值比分布率，如圖 9 所示。分布率呈現每單位面積的單元格數目。岩盤潛移坡面與非岩盤潛移坡面其，尖峯值各有差異，兩者分開分布時，可視為具有較高的分離性。

兩者分離性較低時，應修正所使用的網格尺寸，並修改主要潛移坡面（標準坡面），如此就能設定可讓兩者分離的臨界值。

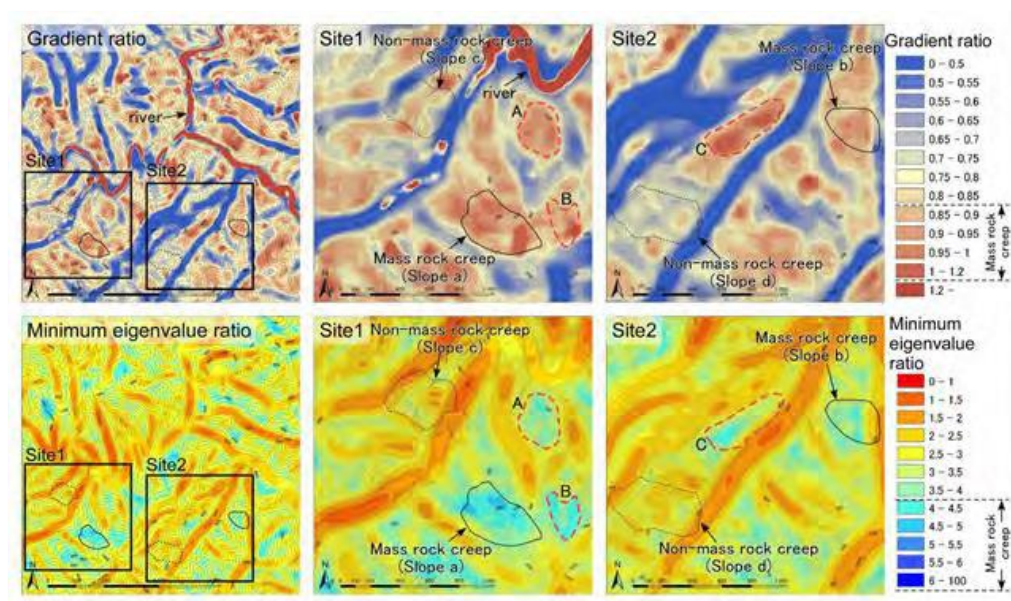


圖 8 岩盤潛移坡面的圈繪結果

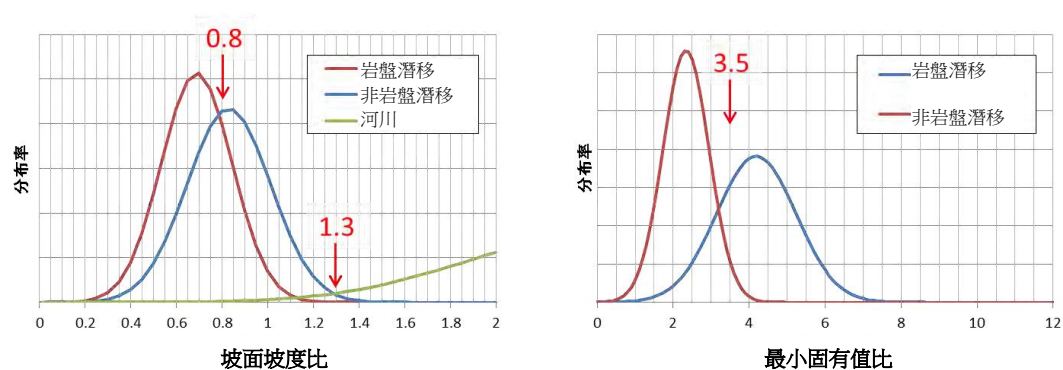


圖 9 岩盤潛移分離臨界值

<參考文獻>

- 1) 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）：
深層崩壊の発生の恐れのある斜面抽出手法に関する一考察，平成 26 年度砂防学会研
究発表会概要集 B，pp.104-105

參考資料 8

指標的組合與圈繪模式

運用水文地形特性與重力變形特性（最小固有值比、坡面坡度比）3 項指標，組合起來圈繪大規模崩塌高潛勢區的模式，如下所示。鎖定目標就能選擇適當的圈繪模式。

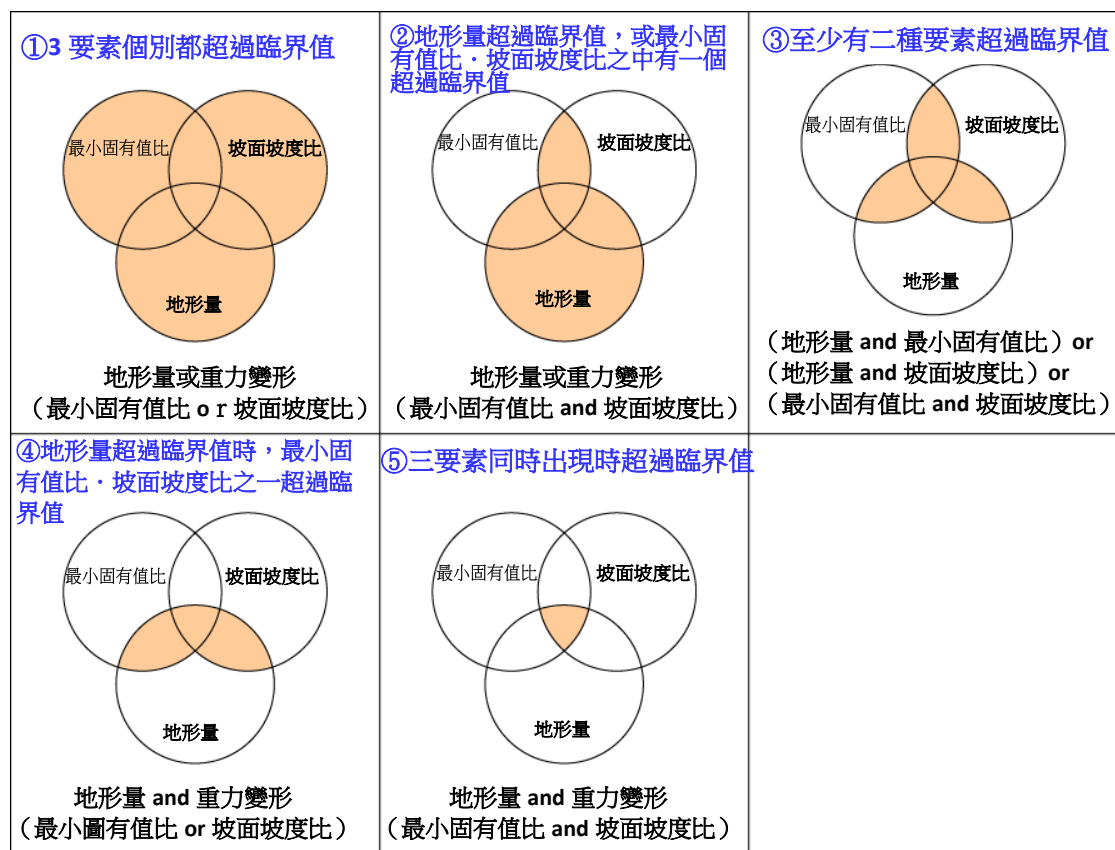


圖 10 搭配 3 種指標的案例

< 參考文獻 >

- 1) 高原晃宙・瀨戶秀治・野池耕平・木下篤彦・清水孝一・石塚忠範・横山修・磯貝尚弘（2015）：深層崩壊の発生の恐れのある斜面抽出のための検討案例，平成 27 年度砂防学会研究発表会概要集 B，pp.352-353
- 2) 城ヶ崎正人・渡邊剛・廣瀬昌宏・木下篤彦・高原晃宙・瀨戶秀治・野池耕平・中野真帆・松原智生・田中智（2015）：浦川流域における深層崩壊発生のおそれのある斜面の抽出手法と発生土砂量の検討，平成 27 年度砂防学会研究発表会概要集 B，pp.118-119

參考資料 9

附加體地區的微地形類型與大規模崩塌發生危險度評估案例

過去的研究¹⁾之中，有人注意到附加體區域重力坡面變形所導致的主要變形地形，並依據地質構造與重力變形機制，進行重力坡面變形分類。此外，依據大規模崩塌案例，大規模崩塌的發生危險度，可區分為下列 I ~IV4 個階段（表 1，圖 11）。

表 1 和重力坡面變形類型與機制對應的大規模崩塌發生危險度¹⁾

主要的變形地形		地質體	地質構造	變形機制	坡面上部的扇形小崖*		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	小崖連結到麓部山谷時，為III	
									II	侵蝕劇烈時，為III	
									IV		
線狀凹地 (出現彎曲崩塌的情況，有時只出現凸形坡面的情況)	山稜兩側對稱	多樣	緩坡不連續面	山體擴大					I	擴大部邊緣出現扇形小崖時，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	注意從陰影圖判定小崖的方向	
									II		
									III		
									IV		
	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					II	有從山上凹地連結山谷的小崖時	
									IV		
									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	
大滑落崖或山上凹地		具有平行面的構造	歪斜褶皺(?)	地滑					IV		
									II	侵蝕劇烈時，為III	
									II		
									IV		

*：重力坡面變形之變位在尾端斜方向時，會有尾端變成橫斷凹地的情况

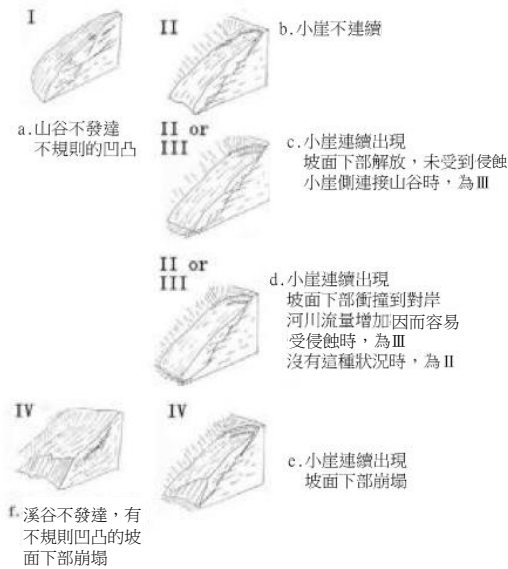
**：推測地滑傾斜<25 度時，危險度為II

***：衝撞到對岸或被狹隘山谷包夾住，等等。

＜參考文獻＞

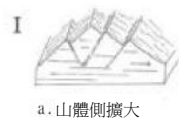
- 1) 千木良雅弘・坂島俊彦・渋谷研一（2014）：深層崩壊発生危険斜面の地質・地形的抽出法について，平成 26 年度砂防学会研究発表会概要集 A，pp.16-17

(1) 不規則凹凸坡面
(所有層都斷續而持續發展)

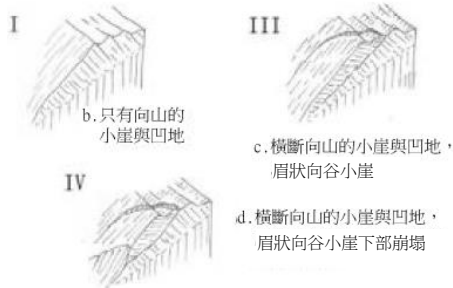


(2) 線狀凹地
(山體側方擴大或出現彎曲崩塌)

山稜兩側對稱



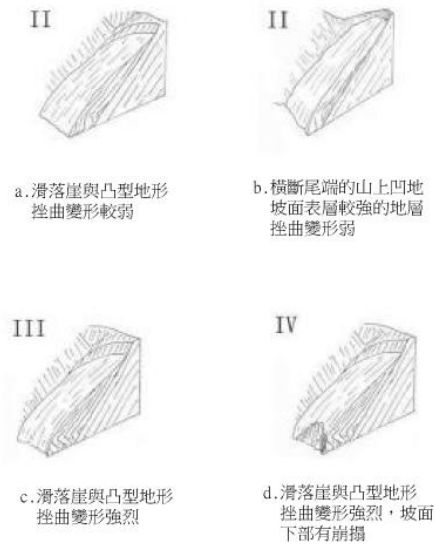
山稜的單側



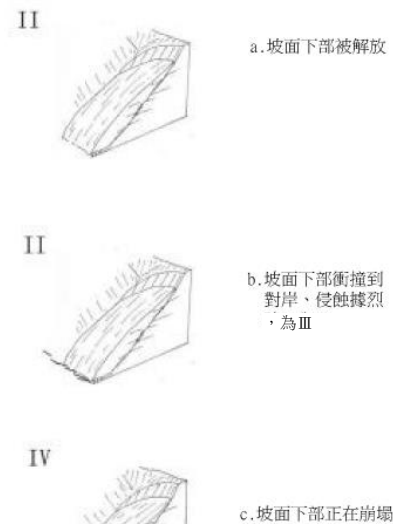
山稜上



(3) 大滑落或山上凹地
(平臥皺褶或倒轉皺褶—地層的挫曲)



(歪斜褶皺—成熟的地滑層，地滑)



【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

圖 11 主要變形地形與發生大規模崩塌發生危險度綜合整理¹⁾

參考資料 10

應變率的定義與計算案例

扭曲應變率的既有研究案例，包括將現場坡面的地面應變大小分成 4 個階段，而提出實施危險度評估方法的案例¹⁾，以及從航空照片判釋算出每個地滑地形發達過程的變位率、呈現出活動過程中變位率變大的案例²⁾，坡面方向與垂直方向分開而算出其變位量與坡面長之比，然後從應變率與坡降等得出坡面穩定度指標的案例³⁾。此外，2011 年颱風 12 號崩塌之紀伊山地的案例之中，從崩塌前後的 DEM 數據比較地形，從崩塌之前的變位量之合與邊坡整體大小，就能得到 5~21% 之應變值⁴⁾。類似這樣的既有研究案例可能有很多個，不同研究所使用的應變率名稱與計算方法都有差異，因此，無法簡單地進行比較。也因此，本資料希望能統一應變率的計算方法，從小崖上部・小崖下部・坡面末端三個點算出斜距離而得出應變率。

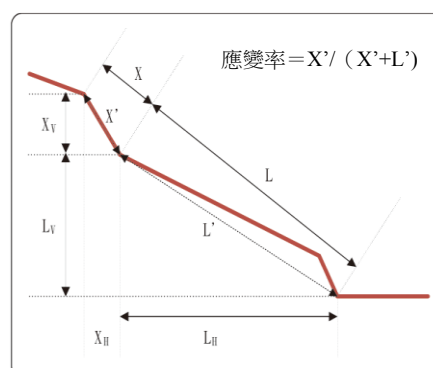


圖 12 應變率的定義

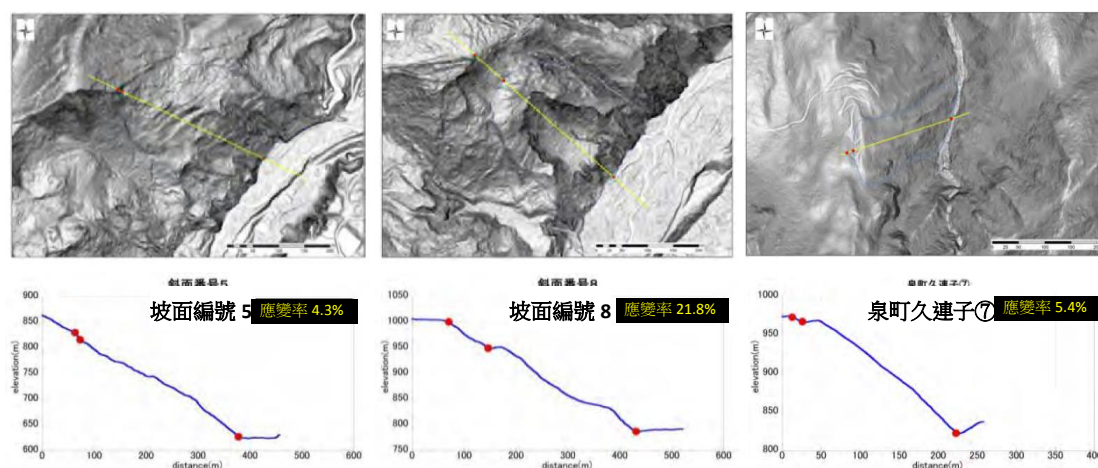


圖 13 應變率計算案例

<参考文献>

- 1) 森脇寛（2001）：地表面移動量を指標とする地すべり斜面の崩壊危険度評価，地すべり，Vol.38，No.2，pp.115-122
- 2) 稲垣秀輝・小坂英輝・大久保拓郎（2007）：四国，中央構造線沿いの地すべりの発生と安定化，日本地すべり学会誌，Vol.44，No.4，pp.37-43
- 3) 小野田敏・高山陶子・ハスバートル（2014）：ひずみ率等による斜面安定度の推定，平成 26 年度特別講演およびシンポジウム予稿集「土砂災害の軽減に向けて－大規模斜面変動の前兆と評価－」，pp.49-55，日本応用地質学会
- 4) 千木良雅弘・松四雄騎・ツォウ・チンイン・平石成美・松澤真・松浦純生（2012）：2011 年台風 12 号による深層崩壊，京都大学防災研究所年報，第 55 号 A，pp.193-211

參考資料 11

流量的計測方法

小流域的流量計測方法主要有以下四種。應配合現地條件選擇適當的流量計測法，或搭配不同方法實施。

不同的計測方法概要及其優缺點，如下表所示。

流速計測法除了使用流速計之外，也可應用浮標測法與超音波法等¹⁾。

表 2 流量計測方法

計測方法	概要	優點	缺點
容器法	以水桶或塑膠袋等直接計測每小時的流量，必要時可使用土囊，整理流路。	能直接測定，精度高。	流水不集中或流量大時，難以計測。
流速計測法	流路斷面積乘以每個斷面的流速，就能算出流量。	適合流量大的狀況。	流量小時難以計測、精度低。此外，若流路斷面內的流速變化劇烈，精度就會變差。
堰測法	在流路上設置三角堰等，測定槽口高，算出流量。	能精確測定堰容量內的流量。	大多數計測並不適合使用這種方法。此外，有分布岩盤與玉石的地方，難以設置堰。
鹽分稀釋法	在流路上游側投入定量食鹽水，然後在下游側測定其導電度而計算流量。	不論流量多寡，都能相對簡易地完成測定。	最好能在以一定河寬流動的地方測定，若計測流動區間有流路分岐、屈曲或大溝、伏流等狀況，精度會變差。

<參考文獻>

1) 国土交通省・水管理・国土保全局（2014）：河川砂防技術基準調查編

參考資料 12

水文・水質調査案例

大規模崩塌與水文・水質特性在九州山地有許多研究成果，詳細內容請參考文獻。

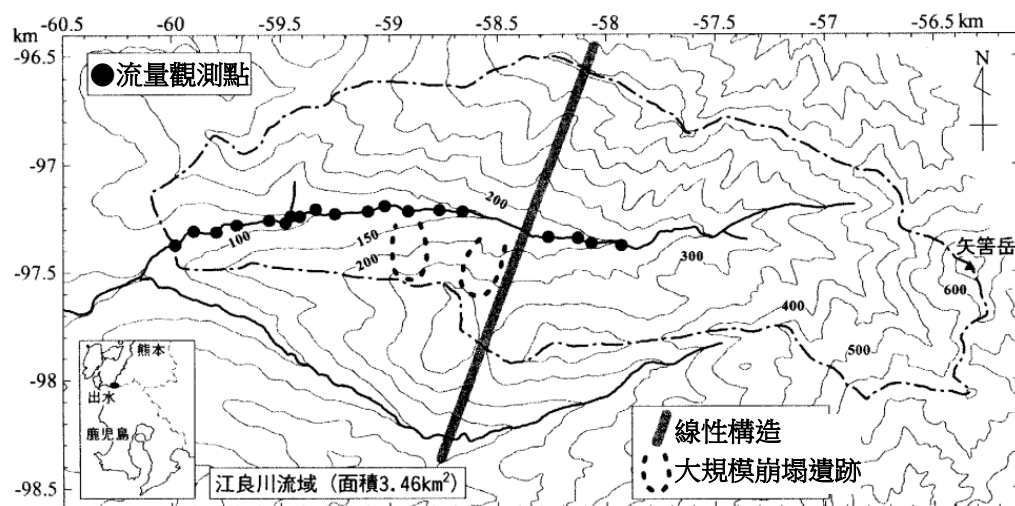


圖 14 江良川流域的地形與流量・水質調查地點¹⁾

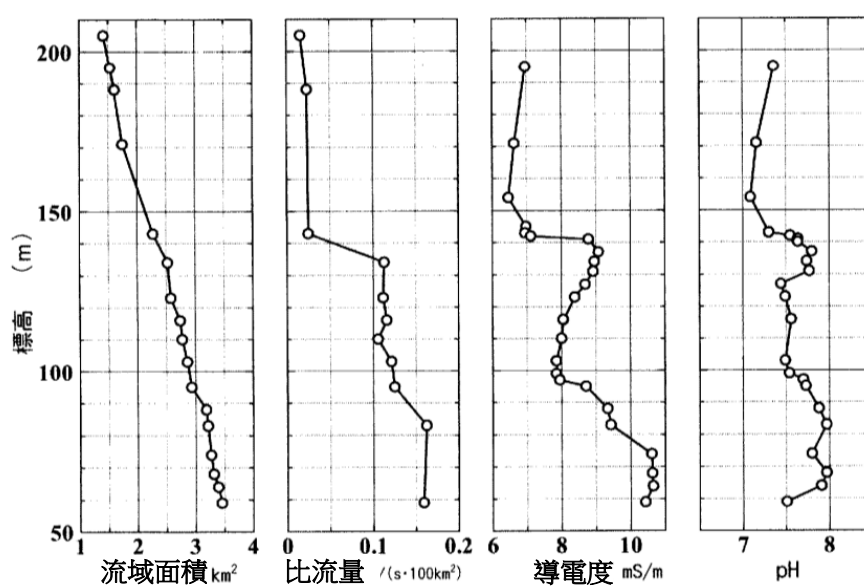


圖 15 流域面積・比流量・導電度・P H值的標高分布圖¹⁾

<參考文獻>

- 1) 地頭蘭隆・下川悦郎・寺本行芳（2000）：南九州の火山地域における崩壊の水文地形学的検討,地すべり，第36巻，第4号，pp.14-21
- 2) 地頭蘭隆・下川悦郎・寺本行芳（2006）：深層崩壊発生場予測法の提案－鹿児島県出水市矢筈岳山体を例にして－,砂防学会誌，Vol.59，No.2，pp.5-12

參考資料 13

空中電磁探測概要

空中電磁探測乃是以航空機搭載探測裝置，藉由電磁誘導而非接觸地取得地盤電阻率構造，主要有頻率域電磁法與時間域電磁法二種。大規模崩塌調查主要應用頻率域電磁法。空中電磁探測理論詳細內容，請參照參考文獻。

頻率域電磁法乃是運用直升機曳航固定並收納發射線圈與接收線圈，然後測定相互感應係數而算出其電阻率。讓發射線圈通過交流電流，線圈周邊產生交流磁場（第一次磁場），當磁場通過地面，地盤中就會產生渦電流，打消這種磁數變化，於是形成另外的交流磁場（第二次磁場）。第二次磁場的強度會受地盤電阻率影響，因此，用接收線圈所測定的第二次磁場相對於第一次磁場的比例，就能測定磁場所抵達深度的地盤平均電阻率。實施測定之際，會應用不同的頻率帶，因此能得到不同深度的電阻率資訊。另外，5 種頻率的稱為 DIGHEM 型（水平共面；56,000Hz，5,000Hz，385Hz，垂直同軸；7,200Hz，900Hz），6 種頻率的稱為 RESOLVE 型（水平共面；140,000Hz，31,000Hz，6,900Hz，1,500Hz，340Hz，垂直同軸 3,300Hz），可探測深度大約為 100~150m。



圖 16 空中電磁探測實施狀況（左：RESOLVE 型 右：DIGHEM 型）

<參考文獻>

- 1) 物理探査学会（1998）：物理探査ハンドブック，第 6 章電磁探査，創立 50 周年記念物理探査学会

參考資料 14

利用崩塌面積而推測崩塌土砂量的方法

圖 17 說明了 2011 年紀伊半島大水災形成大規模崩塌之中崩塌面積與移動土砂量之關係。若相關關係良好，且紀伊山地分布之附加體等地質類似就能相對高精度地推測崩塌土砂量。

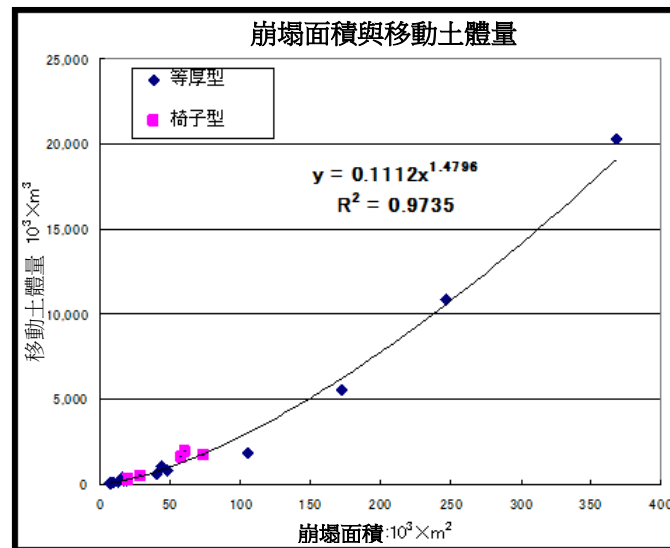


圖 17 崩塌土砂量與面積的關係（紀伊山地的案例）

<參考文獻>

- 1) 磯貝尚弘・森田耕司・石塚忠範・木下篤彦・高原晃宙（2014）：2011 年台風 12 号により紀伊山地において発生した深層崩壊の面積と土塊量，平成 26 年度砂防学会研究発表会概要集 B，pp.276-277

參考資料 15

能有效監視・觀測大規模崩塌危險坡面的方法

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，因此，地滑時常使用的監視與觀測方法通常也是有效的。主要的監視與觀測方法有以下 3 種。

- ① 地中移動量
- ② 地表移動量
- ③ 地下水變動量

觀測地中移動量可使用裝置鑽探孔的孔內傾斜計¹⁾或配管應變計。觀測地表量移動量，可使用地盤伸縮計、移動樁測量、GPS 測量等方法，近年來有利用地上 3D 雷射掃描以及人工衛星實施的合成孔徑電達（SAR）的干涉分析，能高精度地實施地盤變動測量²⁾³⁾。掌握地下水變動量的方法除了觀察鑽探孔內的地下水位變動之外，掌握對象坡面側部・趾部附近湧水量，也是有效方法。以上各種方法需考慮現地條件與計測間隔、精度等，作最佳選擇。

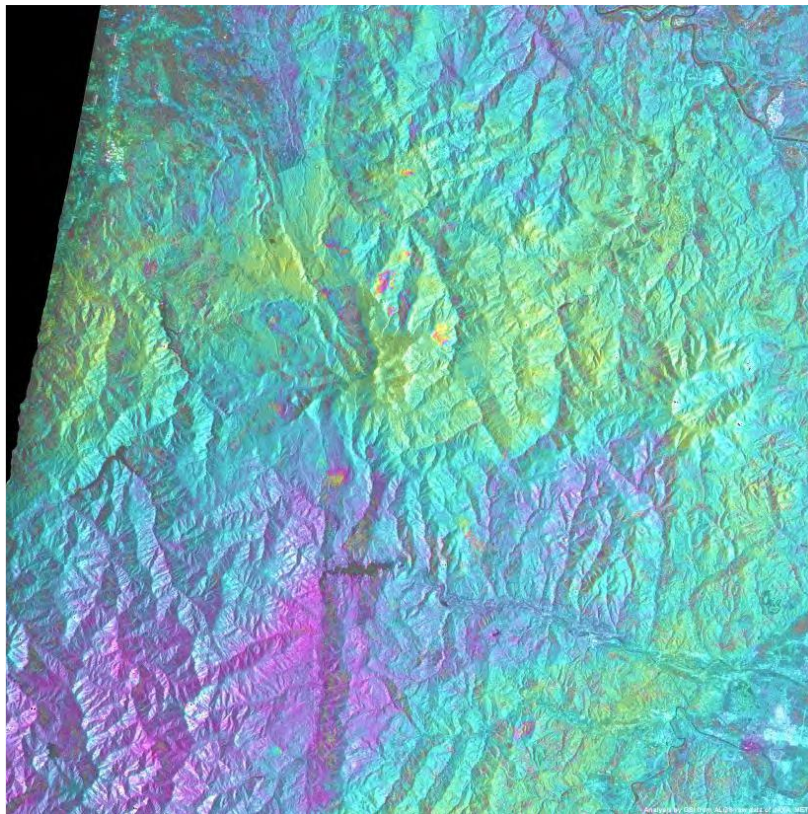


圖 18 月山周邊以干涉 SAR 圈繪變動坡面的案例⁴⁾

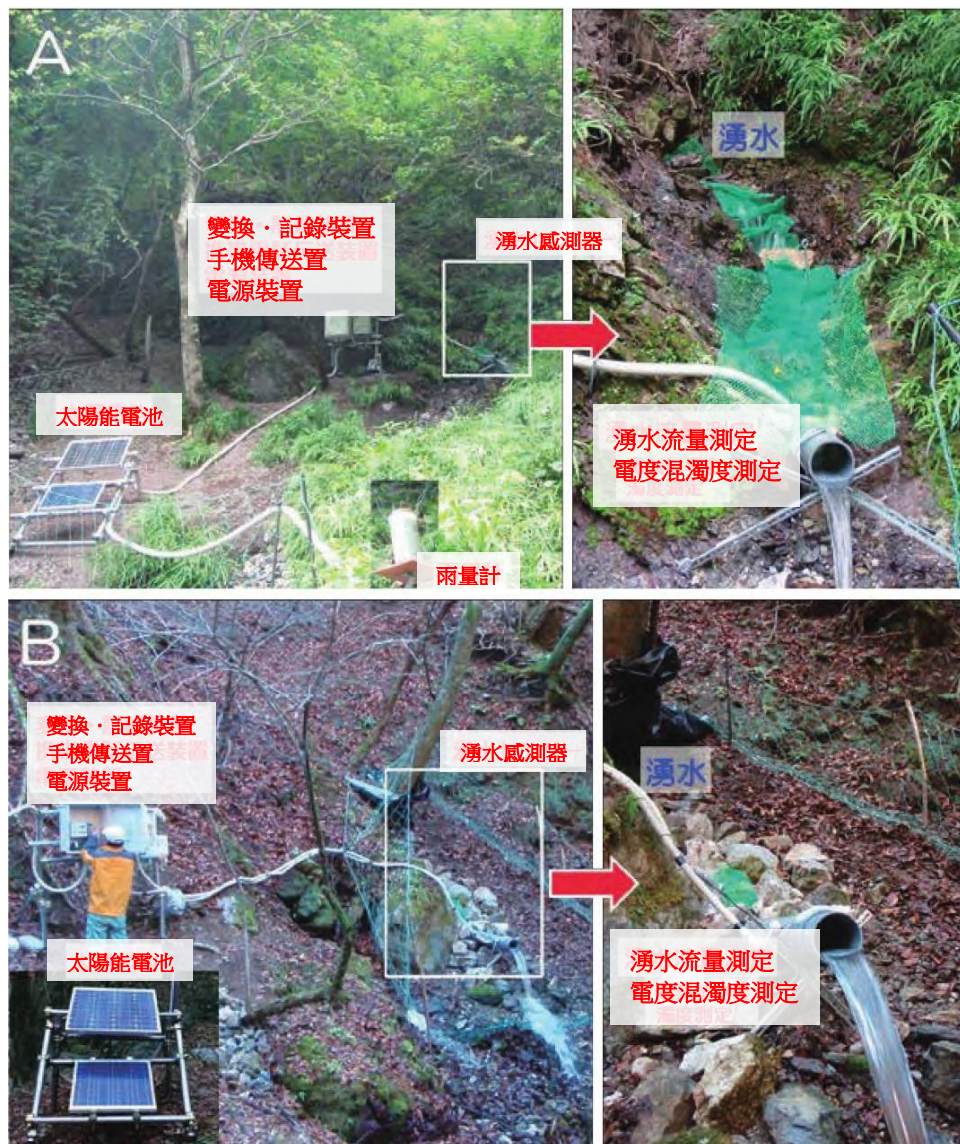


圖 19 以湧水感測器監視・觀測湧水量⁹⁾

<參考文獻>

- 1) 土木研究所土砂管理研究グループ地すべりチーム（2007）：地すべり防止技術指針及び同解説（提案），土木研究所資料，No.4077
- 2) 吉川知弘・水野正樹・林真一郎・佐藤匠・中川和男・藤本亮・松本定一（2012）：干渉 SAR を用いた土砂災害予兆監視手法の検討，平成 24 年度砂防学会研究発表会概要集，pp.180-181
- 3) 佐藤浩・岡谷隆基・小荒井衛・鈴木啓・飛田幹男・矢来博司・関口辰夫（2012）：SAR 干渉画像を用いた地すべり地表変動の検出について－山形県月山周辺を事例にして－，日本地すべり学会誌，vol.49，No.2，pp.61-67
- 4) 国土地理院（2014）：干渉 SAR ホームページ <http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/sar/index.html>，観測日 2006/09/12 及び 2008/09/17
- 5) 地頭蘭隆・石塚忠範・能和幸範・柳町年輝（2014）：深層崩壊警戒対応の湧水センサーの開発，砂防学会誌，vol.66，No.5，pp.49-52

土水研究所資料
TECHNICAL NOTE of PWRI
No.4333 March 2016

編集・發行 ©國立研究開發法人土木研究所

本資料轉載與複寫請查詢

國立研究開發法人土木研究所 企畫部 業務課
〒305－8516 茨城縣筑波市南原 1－6 電話 029－879－6754

編譯：水土保持局技術研究發展小組 Research and Technology Development Team, SWCB, COA December 2017 本文件之翻譯及轉載，均符合日本著作權法相關規定。
--