

大規模崩塌對策手冊

(案)

2014 年 3 月

林野廳

目次

1	概說.....	1
1.1	手冊的目的	1
1.2	手冊相關注意事項.....	3
1.3	大規模崩塌的定義.....	4
1.4	大規模崩塌的特徵.....	6
1.4.1	地質類型	6
1.4.2	地質構造	9
1.4.3	第四紀隆起量.....	10
1.4.4	與活斷層的距離.....	11
1.4.5	傾斜角	11
1.4.6	地滑地形	12
1.5	大規模崩塌的發生機制	12
1.6	大規模崩塌的調查體系	13
1.6.1	大規模崩塌的調查體系概要.....	13
1.6.2	第一階段調查概要（大規模崩塌風險評估全國與都道府縣區域圖）.....	15
1.6.3	第二階段調查概要（坡面單元的危險度判釋）.....	18
1.6.4	第三階段調查概要.....	21
2	大規模崩塌潛勢坡面的維護檢查.....	22
2.1	現地確認	23
2.1.1	準備.....	23
2.1.2	大規模崩塌潛勢坡面與微地形現地確認.....	23
2.1.3	湧水地點的確認.....	33
2.1.4	地層走向傾斜的確認	36
2.2	簡易觀測	37
2.3	湧水與溪流水調查.....	38
2.4	緊急維護檢查調查.....	40
3	大規模崩塌潛勢坡面監測	41
3.1	地形差分析	41
3.2	量測儀器觀測.....	43
3.2.1	地表伸縮計	43
3.2.2	GPS 觀測	46
4	大規模崩塌的軟、硬體對策	51
4.1	軟體對策	51
4.1.1	移動量(位移量)與雨量所構成的警戒避難指標.....	51
4.1.2	大規模崩塌發生後的對應.....	53
4.2	硬體對策	56

4.2.1	硬體對策的分類.....	56
4.2.2	現有工法的有效性.....	59
4.2.3	現有工法的改善方案	60
5	結語.....	62

1 概說

1.1 手冊的目的

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，加上氣象條件嚴峻，因而一再發生崩塌與地滑等山地災害。特別是近年來地球暖化帶來集中豪雨，不久之後仍可能再度發生大地震等，自然災害風險大增，是否會發生深層崩塌等大規模山地災害令人擔憂。大規模崩塌發生頻率非常低，但一旦發生，不僅範圍大、摧毀森林，流出的土砂直接破壞民宅與道路等，甚至可能形成堰塞湖而嚴重威脅山坡地區、造成慘重災情。

本手冊係森林管理的現場技術人員全面釐清大規模崩塌對策，參照「山地保全調查（大規模崩塌治山對策檢討調查）」（2011~2013 年度林野廳委託調查）檢討內容所撰寫、對應大規模崩塌危險度評估與預防對策、復舊對策等之入門指南。

圖 1.1.1 係本手冊在大規模崩塌調查體系之中的定位。

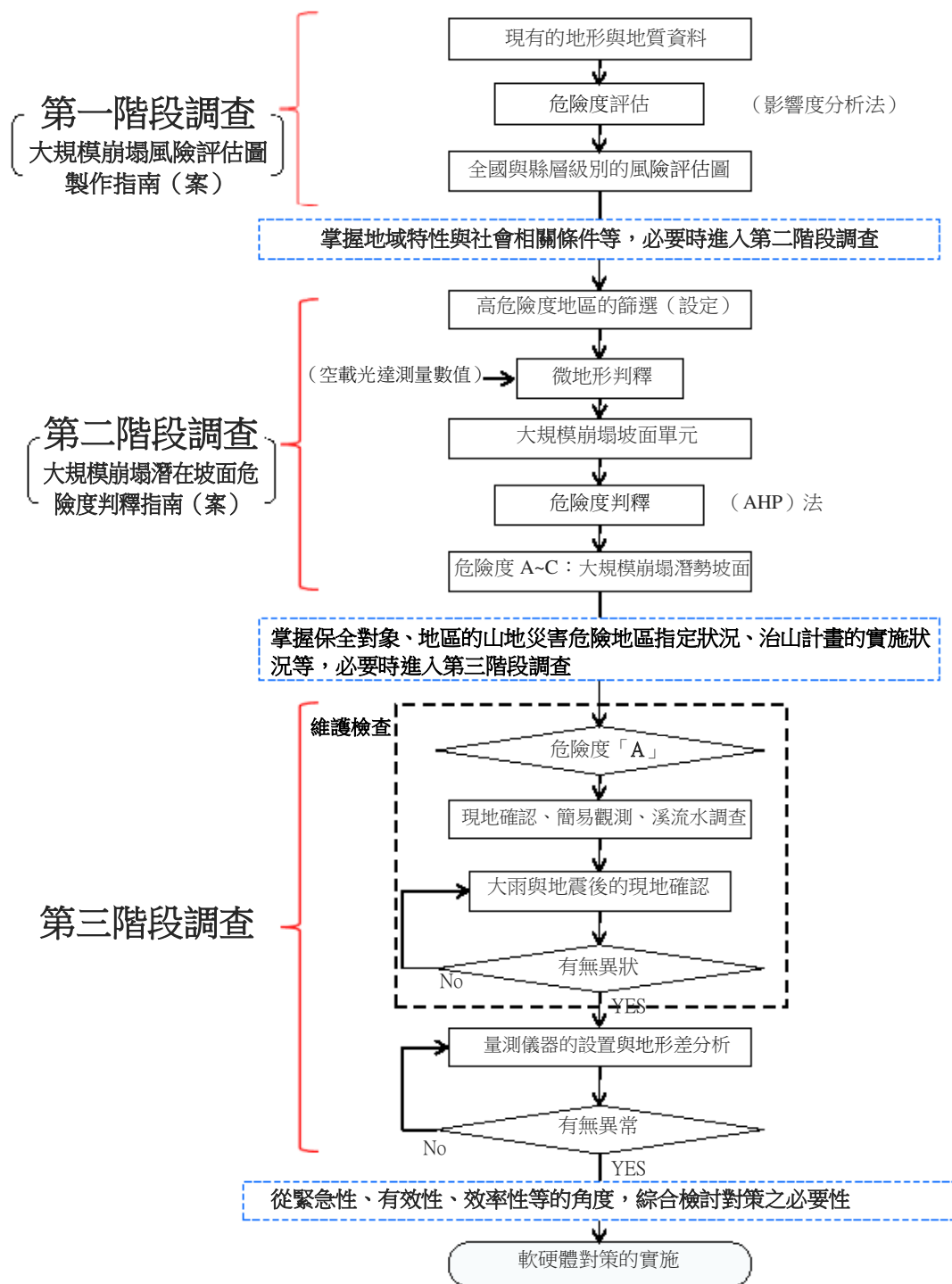


圖 1.1.1 大規模崩塌調查的定位

1.2 手冊相關注意事項

本手冊的運用，應特別注意下列事項。

- 本手冊以大規模崩塌為對象，不適用於其他土砂移動現象。
- 本手冊所述風險評估圖製作方法（第二階段調查），係依據地形與地質等容易取得的現有公開資料、實施簡易評估的方法，並非依據詳細地質鑽探調查等的現地地質資訊。
- 全國大規模崩塌風險評估圖係參照全國大規模崩塌案例（242 處所），運用相關統計方法，推估大規模崩塌發生與地形、地質等因子的關係與程度，並不代表馬上就有發生崩塌的危險性，且完成分析的案例仍有限，有待進一步的調查、研究與修正。
- 本手冊第二階段調查所示的大規模崩塌潛勢坡面危險度分級，只參照能實施分析的二個地區檢討結果作成，今後累積更多分析案例，仍有可能修正。
- 大規模崩塌發生頻率非常低，且大規模崩塌發生機制仍有許多未解之處，技術上目前要預測大規模崩塌的發生，仍有相當的困難。
- 本手冊係整理針對大規模崩塌的一般性對應的成果。實施實際調查與警戒避難體制檢討時，應綜合考量標的之大規模崩塌潛勢坡面狀況、崩塌誘因（大雨、地震）、保全對象、對策之必要性、優先度、地區特性與社會相關條件等，個別、有彈性地進行對應。
- 本手冊今後仍應持續累積更多的應用案例，充實內容，進行更新與修正。

1.3 大規模崩塌的定義

本手冊所謂的大規模崩塌，指大規模且急劇滑動或有急劇滑動之虞的坡面移動現象。(林野廳，2012¹⁾)。

大規模崩塌涉及的範圍如圖 1.3.1 所示。圖中，就坡面移動現象而言，崩塌與地滑坡面重疊，因此以虛線代表其邊界。也可依據樹木根系受到的影響，區分為表層崩塌與深層崩塌，以實線標示其界線。表層崩塌之中也有規模很大的，因此，規模大小的界線畫成斜線，代表表層崩塌也可能發生大規模崩塌。

表層崩塌之中雖也有屬大規模崩塌者，但在此只討論尚未有對策、根系不直接影響的表層崩塌以外的崩塌，以及地滑之中規模大且移動速度快者。

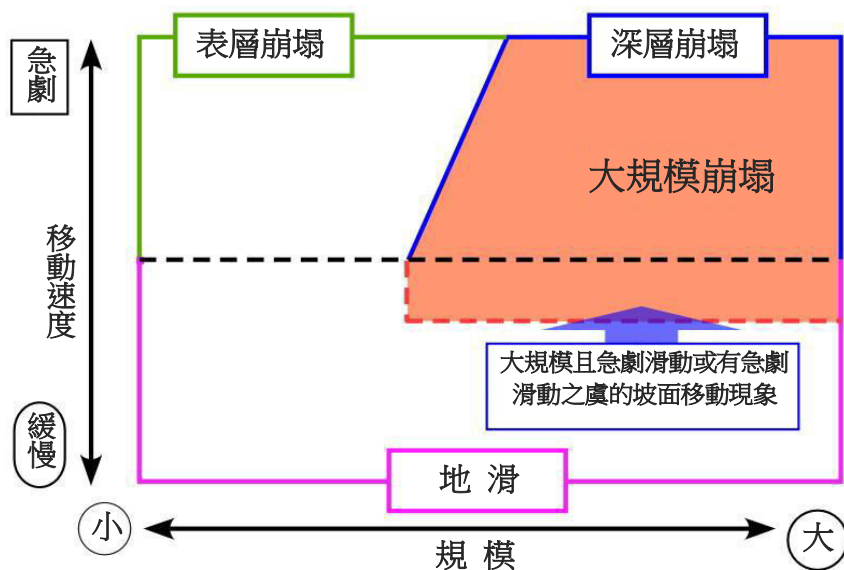


圖 1.3.1 大規模崩塌所涉及的範圍（林野廳，2012）

¹⁾林野廳（2012）：2011 年度山地保全調查（大規模崩塌治山對策檢討調查）報告書

參照現有文獻調查所篩選的 242 個處所大規模崩塌案例，依其運動形態與土砂移動特性，可分為「落下型」、「流下型」、「潰決型」三種。

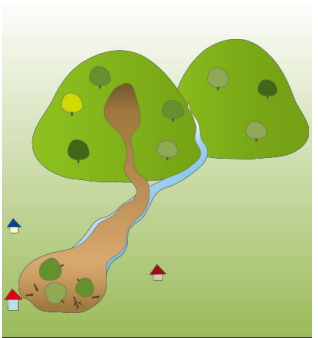
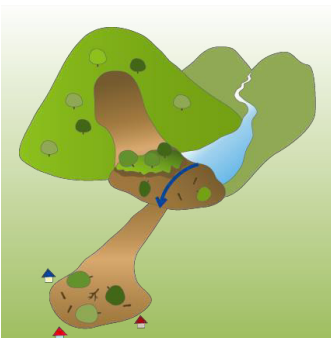
分類	落下型	流下型	潰決型
示意圖			
類似的案例			
說明	崩塌土砂在坡面下方停止，土砂所抵達距離小於坡面長度二倍	崩塌土砂進入溪流而成為土石流往下流動，土砂到達距離大於坡面長度二倍	崩塌土砂阻塞溪流形成堰塞壩，上游迴水淹沒後有潰決流下之虞者

圖 1.3.2 大規模崩塌的分類

依據過去案例分為三種，但實際上大規模崩塌發生前的個別坡面運動形態預測不易。今後應依據坡面下方的地形與地質特徵，釐清大規模崩塌的運動形態。

1.4 大規模崩塌的特徵

此處所謂大規模崩塌的特徵，係參照林野廳（2012）報告書所做定義摘要而成。大規模崩塌的詳細特徵，請參照該報告書。

1.4.1 地質類型

依據大規模崩塌發生狀況與地質關係的分析，大規模崩塌相關的地質群有圖 1.4.1 所示的四大類型。圖 1.4.2 為日本全國地質類型與大規模崩塌潛勢分布狀況。

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。	地震 / 豪雨
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。	

圖 1.4.1 大規模崩塌的地質類型（林野廳，2012）

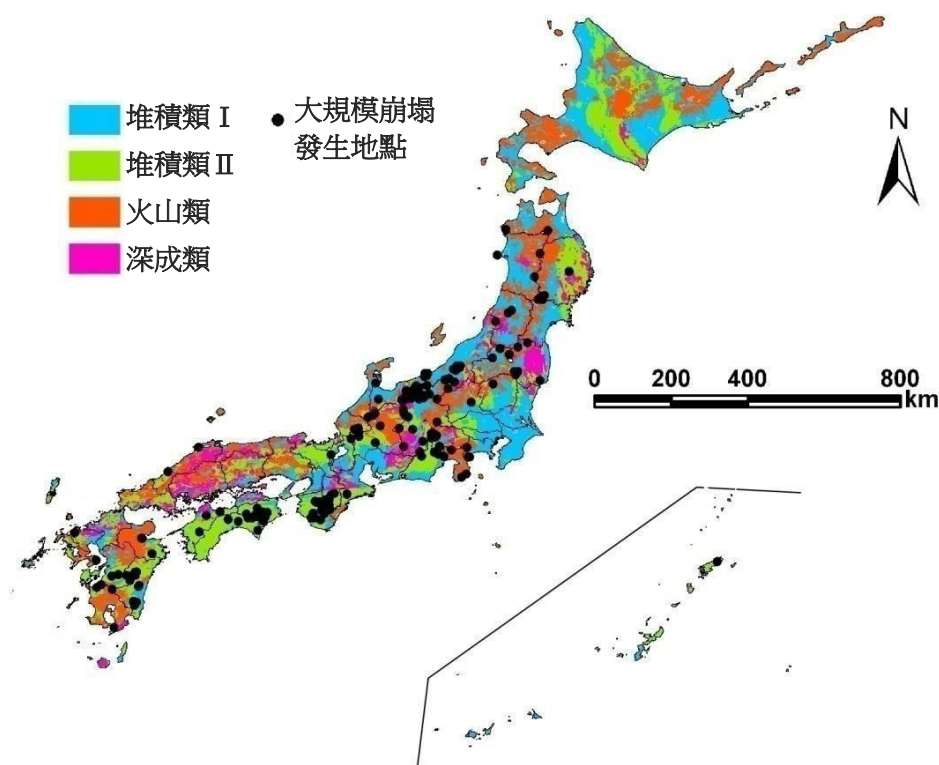


圖 1.4.2 全國地質分類與大規模崩塌發生地點分布圖（林野廳，2012）

地質類型別的大規模崩塌發生狀況，如圖 1.4.3 所示。地質年代*別的大規模崩塌發生狀況，如圖 1.4.4 所示。

大規模崩塌之中，堆積類 II 發生次數最多。其次是火山類。此外，大規模崩塌之中，中生代所發生的最多，其次是新第三紀與第四紀。古生代幾乎無大規模崩塌。

此外，此特徵係歸納大規模崩塌案例（242 地點）而成，屬有限案例的分析結果。

※【地質年代】

地質年代指地球地殼形成之後的區分。主要依據生物種類生存期間，由古代開始，分為太古宙（太古代）、元古宙（原生代）、古生代、中生代、新生代，各個年代又有細部劃分。圖 1.4.5 係地質年代表。

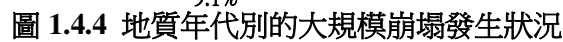
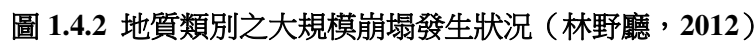


圖 1.4.5 地質年代表（出處：日本地質學會）

1.4.2 地質構造

堆積類的地質構造（順向坡、逆向坡；參照圖 1.4.6）與大規模崩塌發生狀況，基本上順向坡發生大規模崩塌的機率大於逆向坡（圖 1.4.7）。這種情況在地震所誘發的大規模崩塌特別明顯（圖 1.4.8）。

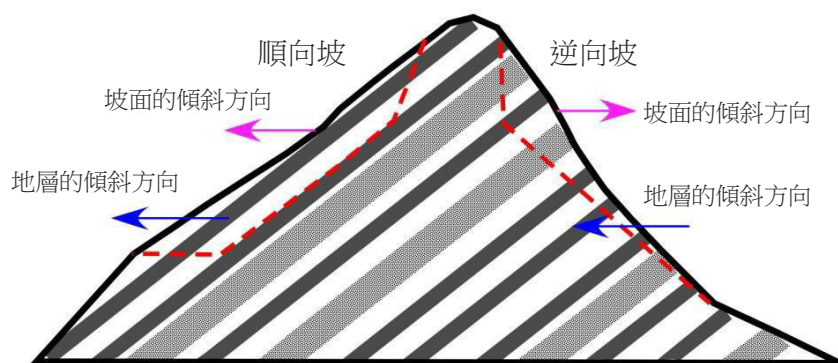


圖 1.4.6 順向坡與逆向坡構造模式圖

順向坡：地層與坡面同向傾斜

逆向坡：地層與坡面逆向傾斜

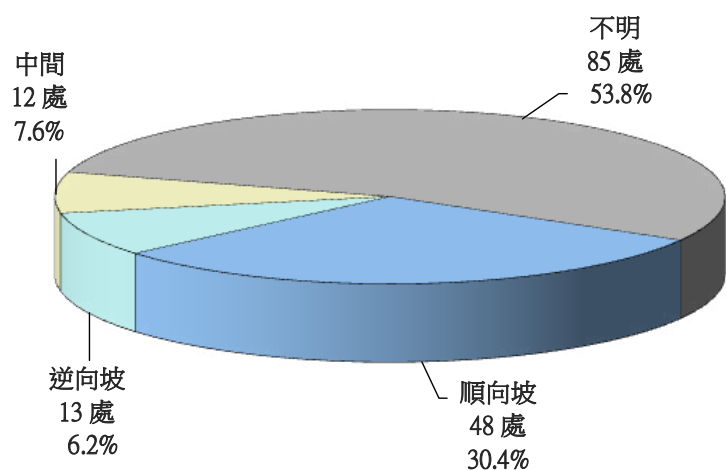


圖 1.4.7 堆積類地質構造與大規模崩塌的發生狀況

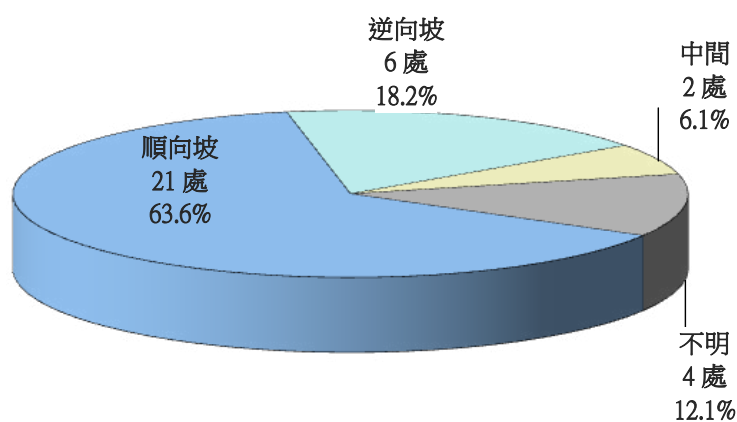


圖 1.4.8 地震誘發崩塌的堆積類地質構造與大規模崩塌發生狀況

1.4.3 第四紀隆起量

圖 1.4.9 說明第四紀隆起量*與大規模崩塌發生頻率的關係。大規模崩塌最常出現在隆起量 750~1,000m 的情況，基本上多半超過 500m 時發生。

※【第四紀】

地球歷史距離現在較近的年代，約從 260 萬年前到目前為止的期間（參照圖 1.4.5）。

※【第四紀隆起量】

日本的第四紀期間地殼垂直變動量（第四紀地殼變動研究小組，1968²⁾）

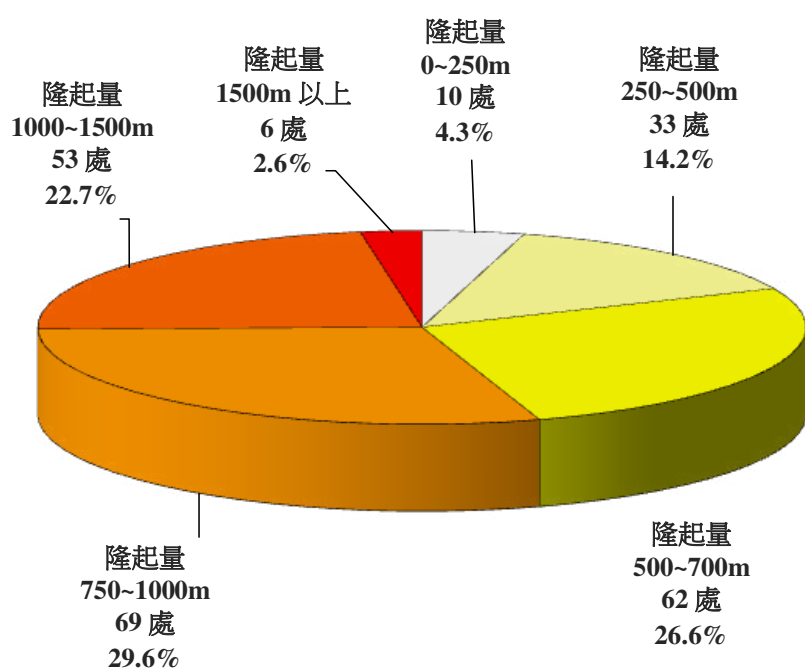


圖 1.4.9 第四紀隆起量與大規模崩塌發生狀況

²⁾ 第四紀地殼變動研究小組（1968）：第四紀地殼變動圖，第四紀研究，Vol.7, No.4, pp.182-187.

1.4.4 與活斷層的距離

活斷層*與大規模崩塌發生地點的距離，以及地質類型別的崩塌發生次數，如圖 1.4.10 所示。其中，堆積類Ⅱ之外的地質類型，基本上距離活斷層越近，崩塌發生次數越多。與斷層距離小於 10km 時，這項特徵特別明顯。

※【活斷層】

最近的地質年代反覆發生大規模崩塌，且將來可能大規模崩塌的斷層。

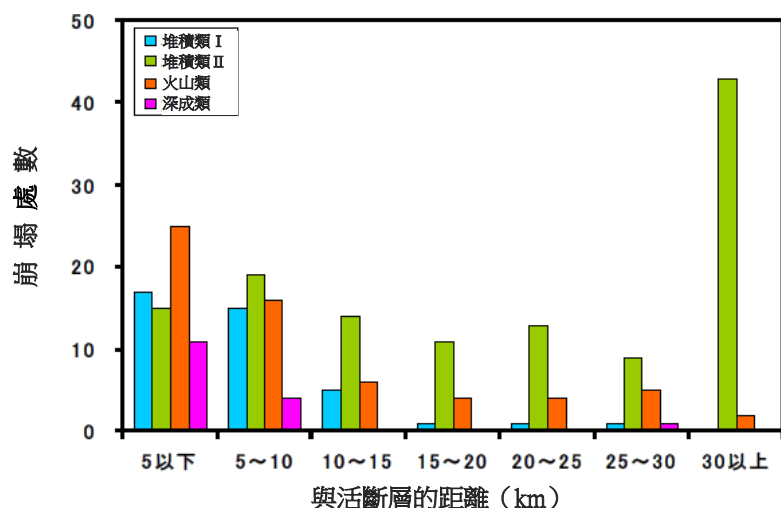


圖 1.4.10 與活斷層的距離及大規模崩塌發生狀況

1.4.5 傾斜角

坡度大小與大規模崩塌的關連性，如圖 1.4.11 所示。其中，傾斜 30~40° 時，最容易發生大規模崩塌。整體而言，坡度越大，崩塌密度越高。

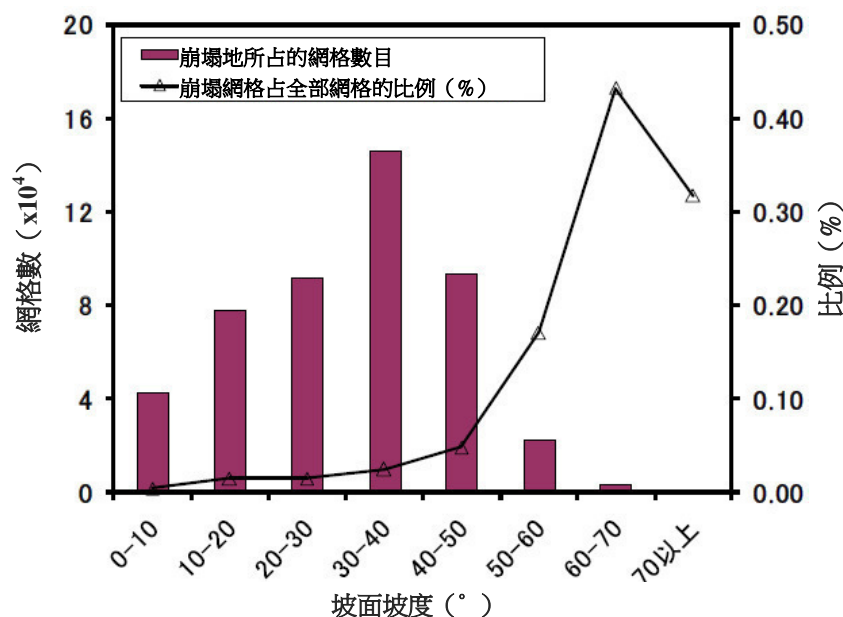


圖 1.4.11 坡面坡度大小與發生大規模崩塌的關連性

1.4.6 地滑地形

地滑地形^{*}內外發生大規模崩塌的狀況，如圖 1.4.12 所示。圖中顯示，地滑地形內發生的大規模崩塌，多於地滑地形外發生者。就地質類型別而言，堆積類 I 與火山類較多在地滑地形內發生；深成類大多在地滑地形外發生。堆積類 II 則是，地滑地形內外發生狀況發生次數相當。

※【地滑地形】

地滑變動形成（或形成中）的地形總稱。

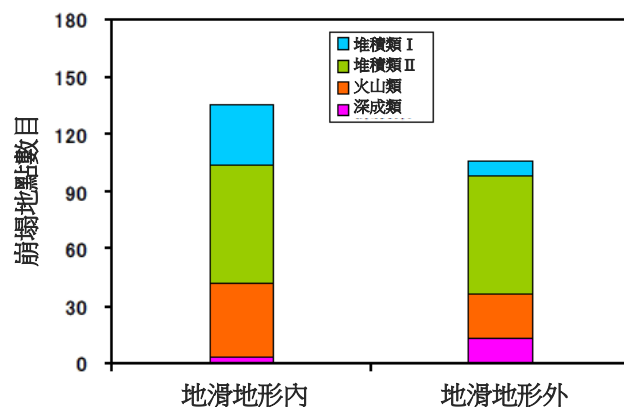


圖 1.4.12 地滑地形內外大規模崩塌發生狀況

1.5 大規模崩塌發生機制

大規模崩塌的發生，基本因子係地質與地形特徵。大規模崩塌的發生誘因，則主要是集中豪雨與強烈地震。

圖 1.5.1 為地質類型別、誘因別（地震與降雨）之大規模崩塌發生地點數目。其中，比地質年代第三紀新的堆積類 I 與火山類，主要為地震所誘發；堆積類 II 與深成類，則主要係降雨所誘發。

豪雨誘發大規模崩塌時，豪雨的雨水往坡面內滲透，沿著岩盤裂縫（節理、斷層、破碎帶等）到達坡面深處，導致岩盤內地下水位上升，岩盤抵抗力相對於岩盤剪應力變小時發生崩塌。

發生地震時，原本不穩定的坡面強烈震動，因而產生大規模崩塌。

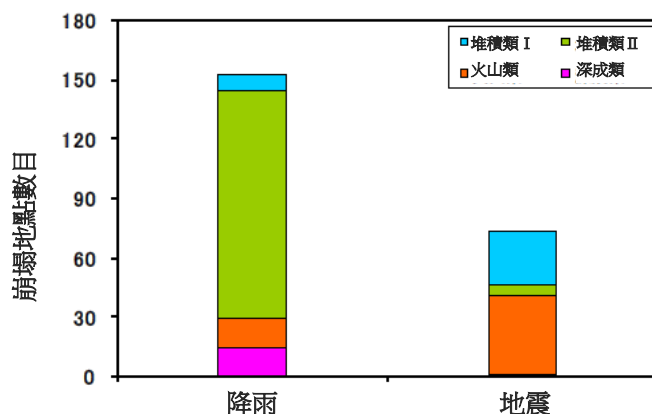


圖 1.5.1 誘因別與地質類型別的大規模崩塌發生狀況

1.6 大規模崩塌的調查體系

1.6.1 大規模崩塌的調查體系概要

大規模崩塌的調查體系概要，如圖 1.6.1 所示。

若要從各區域的大規模崩塌發生狀況、區域特性、社會相關條件等來掌握大規模崩塌潛勢坡面，第一階段的調查應利用全國可取得的現有地形與地質資料，篩選高危險度區域，鎖定可能發生大規模崩塌的範圍。

第一階段調查的具體實施方法，可參照「大規模崩塌風險評估圖製作指南（案）」。

第二階段調查主要鎖定第一階段調查判釋為「高危險度」的區域，針對其周邊區域發生過大規模崩塌的狀況，以及森林保全與管理等狀況，運用空載光達（LiDAR）測量等數據，實施危險度判釋，找出「大規模崩塌潛勢坡面」。第二階段調查具體實施方法，可參照「大規模崩塌潛勢坡面危險度判釋指南（案）」。

第三階段調查將第二階段調查危險度判釋之中危險度「A~C」的坡面單元，設定為「大規模崩塌潛勢坡面」，並從與保全對象的位置關係等，以及緊急性、有效性、效率性的觀點，必要時應以危險度 A 級大規模崩塌潛勢坡面為主，實施維護檢查與監測等。

此外，「民有林直轄管理治山計畫」等大規模崩塌復舊對策實施中的地區，有時可直接從周邊類似災害發生狀況找到對策，應依現場狀況而定，未必得按照第一階段→第二階段→第三階段的步驟實施調查。比如，有時也可省略第一階段或第三階段步驟，彈性對應。

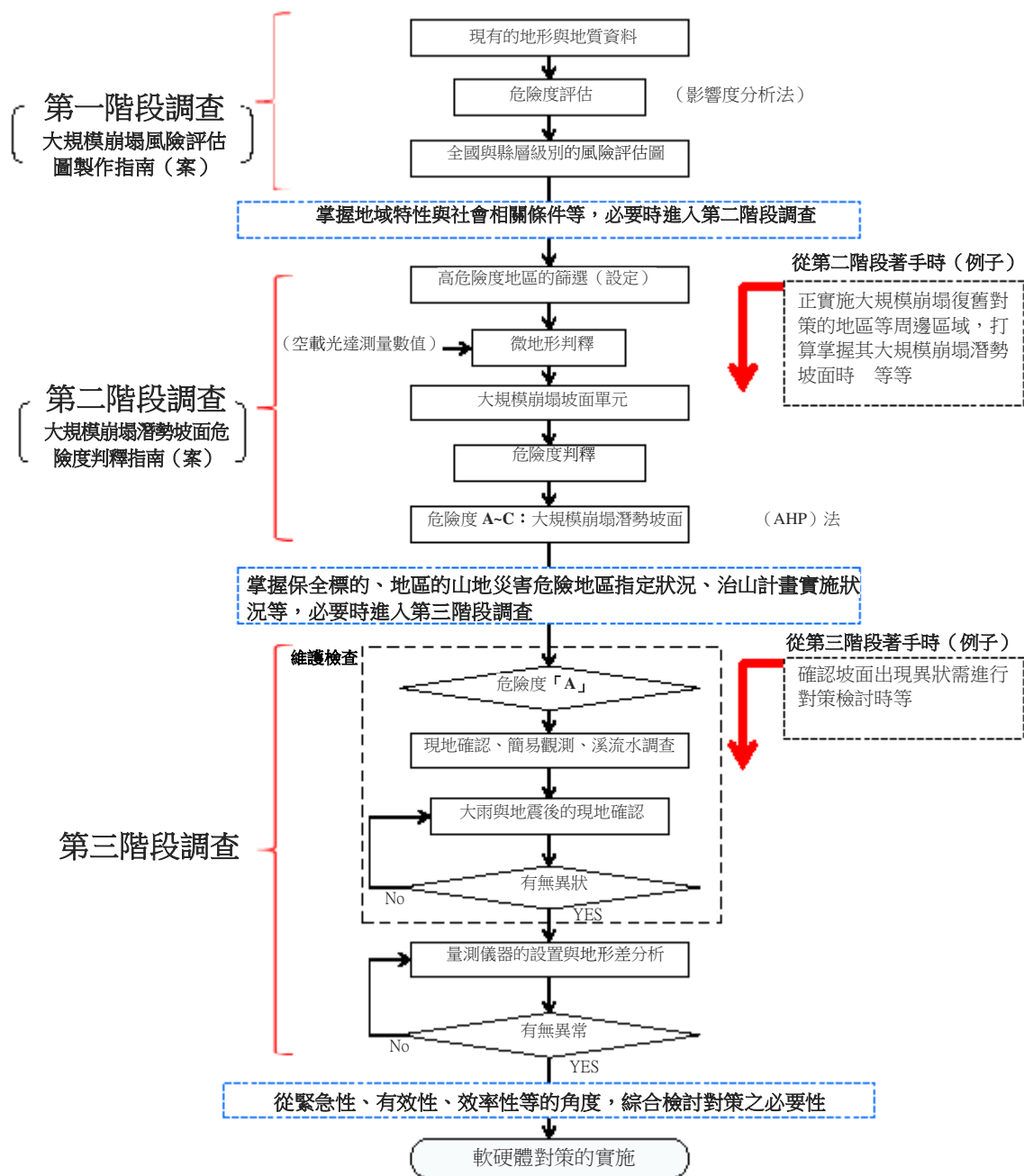


圖 1.6.1 大規模崩塌調查體系*

※【註釋】

此處說明的是一般性的調查流程。不同調查階段之間的移動等，以及實際運用調查結果時，應先掌握個別區域特性（周邊區域類似災害的發生狀況等）以及社會相關條件，針對具體的判斷概念與基準等，進行個別檢討。

1.6.2 第一階段調查概要（大規模崩塌風險評估全國與都道府縣區域圖）

1) 使用的資料

第一階段調查主要運用現有地形與地質資料，製作風險評估圖。其所使用的資料與項目，如圖 1.6.2 所示。製作全國大規模崩塌風險評估圖，可使用地質圖、數值高程模型 (DEM)、地滑地形分布圖、與活斷層的距離，以及第四紀隆起量。大規模崩塌風險評估都道府縣區域圖，則追加起伏量與順向坡構造。

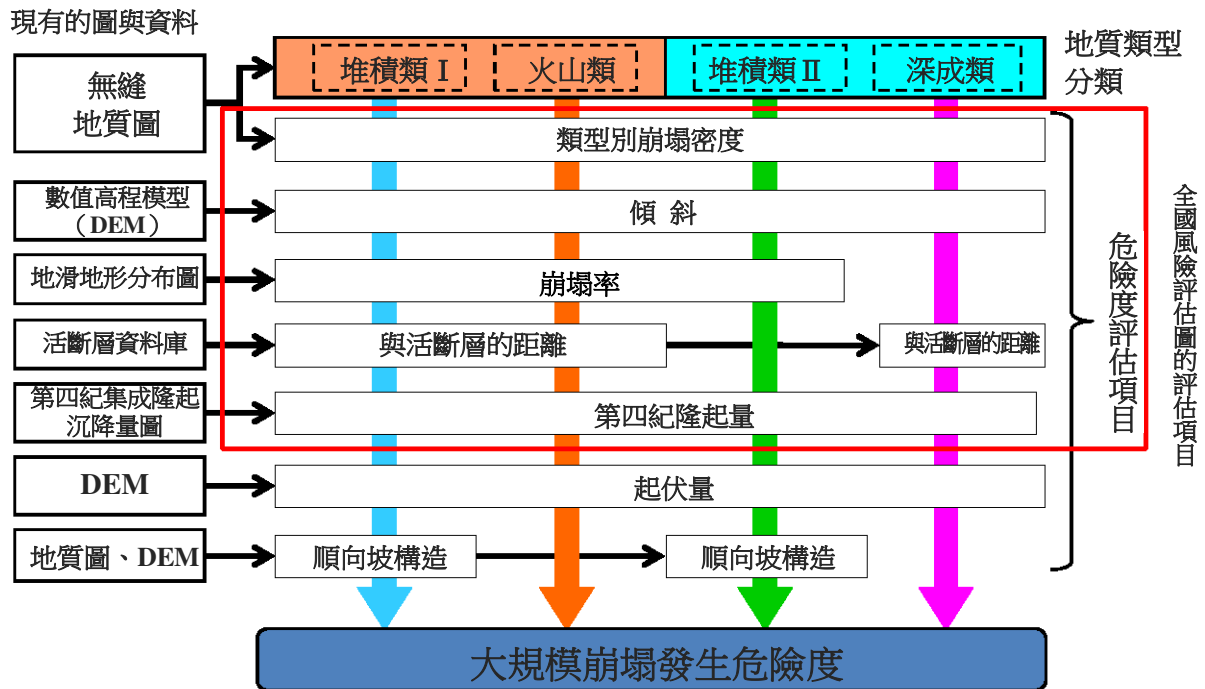


圖 1.6.2 大規模崩塌第一階段調查所使用資料與評估項目

2) 全國大規模崩塌風險評估圖製作方法

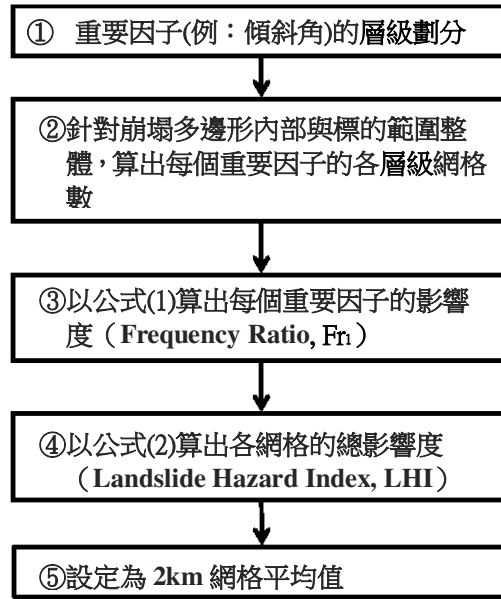
第一階段的危險度評估，使用影響度評估方法。影響度分析 (Frequency Ratio) 之中最常使用的是崩塌發生危險度分析法 (Lee et al., 2007³⁾; Karim et al., 2011⁴⁾)。這項方法主要是將可能造成崩塌的複數因素，過去的崩塌分布對比，以此進行評估。其做法步驟為，將每 10m 網格的評估內容，彙整到 2km 網格之中。

依據影響度評估法實施的大規模崩塌危險度評估，其步驟如圖 1.6.3 所示。依據調查範圍的各網格影響度 (Fr) 設定危險度等級，即可製作全國大規模崩塌風險評估圖。

日本全國危險度評估結果，如圖 1.6.4 所示。

³⁾ Saro Lee (2007): Biswajeet Pradhan: Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models, Landslides 4:33 –41, 2007

⁴⁾ Karim, K., Jalileddin, S., and Ali, M., T. (2011): Zoning Landslide by Use of Frequency Ratio Method (Case Study: Deylaman Region), Middle-East Journal of Scientific Research 9 (5): 578 -583.



$$Fr_i = \frac{N_{pix(S_i)} / N_{pix(N_i)}}{\sum N_{pix(S_i)} / \sum N_{pix(N_i)}} \quad (1)$$

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

$$LHI = Fr_1 + Fr_2 + Fr_3 + K + Fr_n \quad (2)$$

圖 1.6.3 實施大規模崩塌影響度分析的步驟

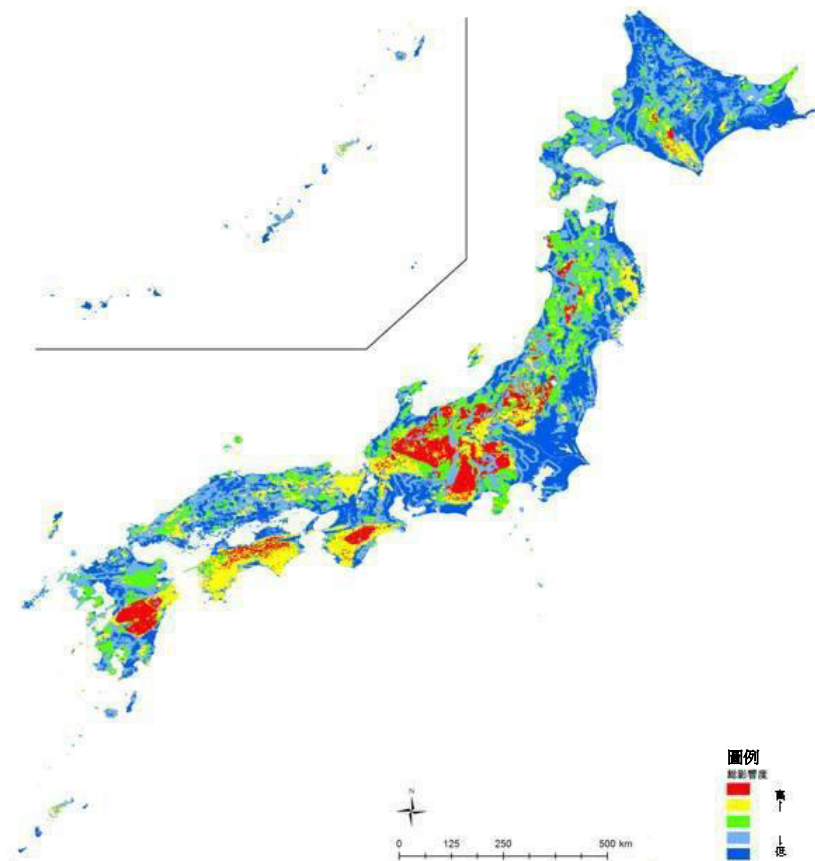


圖 1.6.4 全國大規模崩塌風險評估圖*

※【註解】

1. 本圖係依據有清楚記錄的全國大規模崩塌案例（242 地點），以特定統計方法（影響度分析）推測大規模崩塌與地形、地質等因素的關聯性高低而成，不代表馬上就有發生崩塌的危險性。本圖只分析現時點案例，今後若有進一步的調查與研究，圖可能修正。

2. 本圖的製作，使用一般能取得的下列資料。

- ・地形資料：國土地理院的 10m 網格高程數值模型
- ・地質資料：產業技術綜合研究所 20 萬之一無縫式地質圖
- ・地滑地形分布圖：防災科學技術研究所地滑地形分布資料庫
- ・活斷層：產業技術綜合研究所活斷層資料庫
- ・第四紀隆起量：第四紀研究小組（1968）的第四紀修正隆起沉降圖（200 萬分之 1）

3) 大規模崩塌風險評估都道府縣區域圖的製作方法與用途

全國大規模崩塌風險評估圖難以找出高風險區域時，可在縣的層級製作調整參數的風險評估圖。大規模崩塌風險評估都道府縣區域圖的製作，全國大規模崩塌風險評估圖的評估項目可追加起伏量與地質構造，並實施影響度評估。此評估項目因為資料蒐集與分析量負擔太大，全國大規模崩塌風險評估圖未加以列入，但縣區域層級可考慮運用，提升危險度評估精度。大規模崩塌風險評估都道府縣區域圖評估項目的計算方法，參照〈大規模崩塌風險評估圖製作指南（案）〉。

1.6.3 第二階段調查概要（坡面單元的危險度判釋）

第二階段的調查係在第一階段調查認定為高危險度地區實施微地形判釋，設定坡面單元，然後運用大規模崩塌潛勢坡面危險度判釋法（AHP 法）判釋危險度。此外，第一階段調查以 2km 網格為單位實施評估，能判釋一網格 4km²範圍的「高危險度」區。高危險度網格及其周邊乃至於小流域（50km²左右）。

層級分析法（Analytic Hierarchy Process，AHP）係美國 Saaty 教授（Saaty, 1980⁵⁾）所開發的意志決定支援系統。AHP 法旨在闡明難以定量化領域的複數重要因子之關係與重要性。以權重定量呈現該重要因子（評估項目）的重要程度，分數化且合計各重要因子，即可定量評估其重要度。這項方法將問題的解決分為「目的」、「評估項目」、「替代方案」三個階段，藉由分析實施評估項目優先度分級，提供整合性判斷的尺度。

圖 1.6.5 為 AHP 法的一般操作步驟。建立大規模崩塌危險度判釋法時，評估重點項目為坡面單元的地形異狀，並以此作為地質與地質構造等大規模崩塌發生的原因。

表 1.6.1 係大規模崩塌危險度判釋法評估項目與層級構造與權重例子。大規模崩塌危險度判釋，圖 1.6.6 係依據微地形判釋或現有地滑地形設定坡面單元，並加上各坡面單元相對的評估項目權重（表 1.6.1）。加總得出的綜合權重，依據危險度分級臨界值（圖 1.6.7），將坡面單元的危險度判釋為 A、B、C、D。

評估項目及其權重應依據專家們判斷而設定。今後累積更多大規模崩塌相關知識見解，這部分以後可能改變。

危險度分級係依據二案例（奈良縣十津川村長殿地區與新潟縣長岡市東竹澤地區）實施結果的臨界值平均完成設定（圖 1.6.7）。據此，D 以上者列入大規模崩塌潛勢坡面，D 不列入危險地區，今後進行對應時的優先步驟為 A、B、C。但新確認的地形異狀、大規模崩塌災害範圍以及現行計畫實施地點及其周邊狀況、保全對象等現場狀況，未必會符合上述危險度分級。

大規模崩塌危險度判釋方法，詳細內容參照大規模崩塌潛勢坡面危險度判釋指南（案）。

⁵⁾ T. Saaty, The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation, ISBN 0-07-054371-2, McGraw-Hill

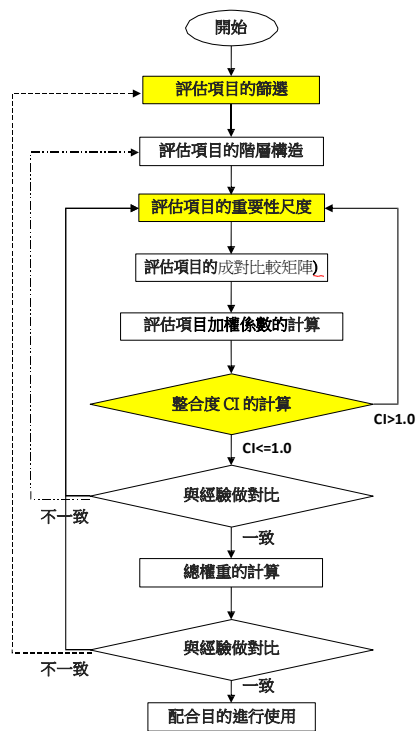


圖 1.6.5 AHP 法的實施步驟

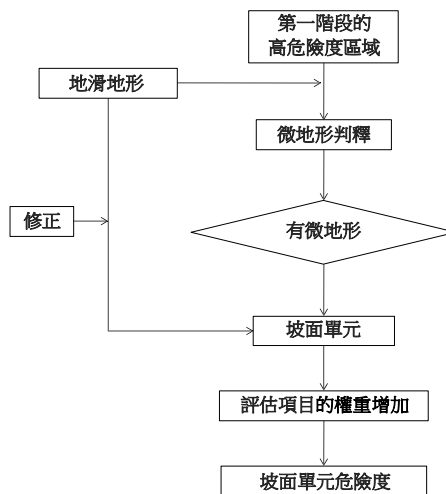


圖 1.6.6 大規模崩塌危險度判釋的步驟

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

圖 1.6.7 坡面單元的危險度分級（暫定值）

表 1.6.1 大規模崩塌潛勢坡面危險度判釋項目的層級構造與權重案例

編號	目的 (等級 1)	評估項目 等級 2	等級 2 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
				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、高差大	0.643	—	—	0.106
				陡峭或高差大	0.283	—	—	0.047
				緩傾斜、高差小	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

1.6.4 第三階段調查概要

大規模崩塌的第三階段調查係從必要性與緊急性等的觀點，針對大規模崩塌潛勢坡面之中、第二階段調查所判斷為「危險度 A」的大規模崩塌坡面，優先實施初期維護檢查調查與緊急維護檢查調查（通常是在大雨、強震後實施），必要時實施監測儀器監測，並配合監測結果與現地狀況，進一步檢討軟硬體對策的必要性、緊急性、有效性、效率性等。

2 大規模崩塌潛勢坡面的維護檢查調查

本章說明大規模崩塌第三階段調查的內容。

第三階段調查係針對第二階段調查之中列為優先步驟、判斷為「危險度 A」的大規模崩塌潛勢坡面，必要時優先實施圖 2.0.1 所示的調查。此外，可綜合考量保全對象與災害範圍等，優先調查非「危險 A」的大規模崩塌潛在坡面。

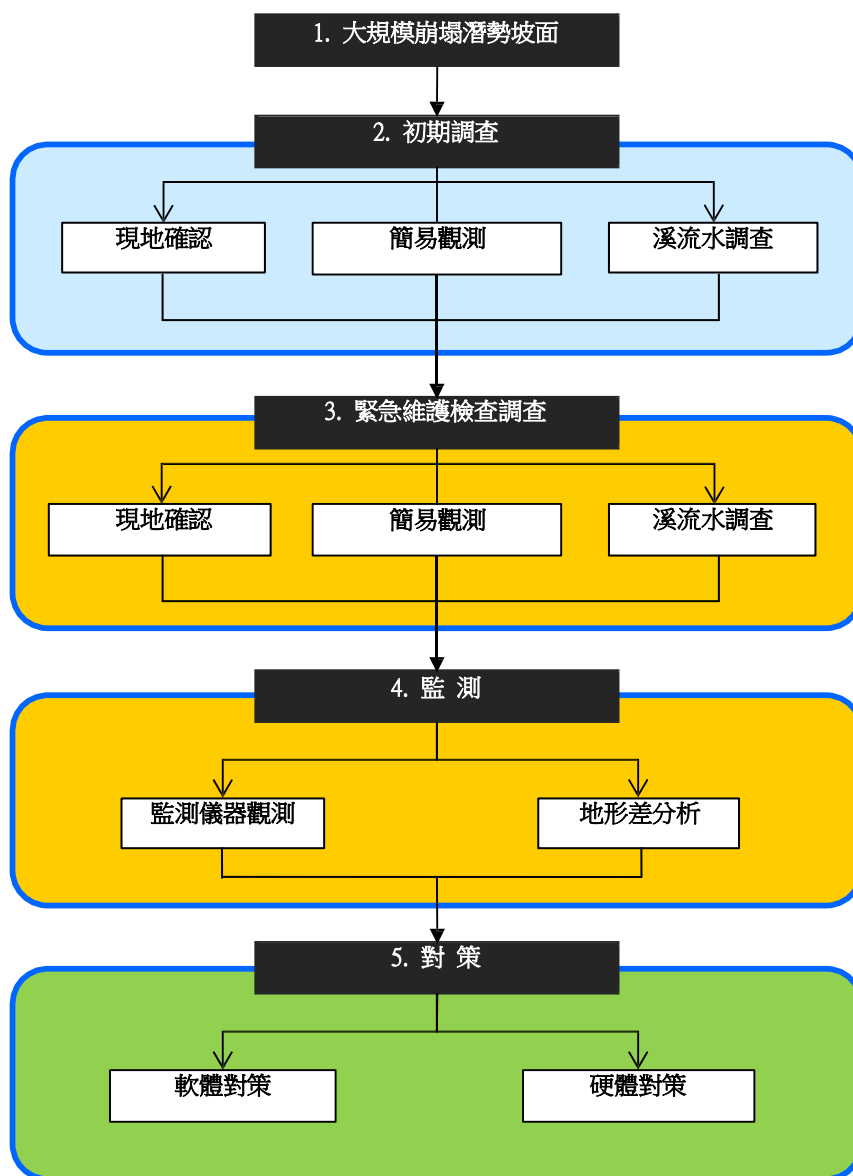


圖 2.0.1 大規模崩塌潛勢在坡面的第三階段調查概要

2.1 現地確認

大規模崩塌潛勢坡面的現地確認，內容包括標的坡面位置確認，實施微地形判釋結果的現地確認。

2.1.1 準備

實施現地確認的對象，基本上是第二階段調查所確認大規模崩塌潛勢坡面。

實施現地確認所需資料與工具如下。此外，現地調查需設置移動樁等，因此需調查員二名以上。

- (1) 調查圖面（小比例尺地形圖、大比例尺微地形判釋圖）、文具
- (2) 移動樁、大木槌、釘、塗料（噴漆）、量尺（捲尺、凸面捲尺）
- (3) 導電度計（EC 計）、容器
- (4) 相機、可攜式 GPS、傾斜儀（智慧型手機）

2.1.2 大規模崩塌潛勢坡面與微地形現地確認

第二階段調查判釋為大規模崩塌潛在坡面的坡面單元，完成室內作業微地形判釋後，進行現地確認。現地應確認該大規模崩塌潛在坡面及其周邊基本資訊（保全對象與前往當地的方法等）。

1) 微地形現地確認

現地確認使用可攜式 GPS 機，確認龜裂、落差地形、線狀凹地、二重山脊位置，與圖面判釋結果比較。必要時依據現地確認結果，修正判釋結果，記錄微地形位置資訊（經緯度與標高）。微地形模式圖如圖 2.1.1 所示。此處應考慮設置移動樁，注意龜裂與落差地形（圖 2.1.1 之中相當於「f」向山的小崖地形）與線狀凹地、二重山脊等微地形。

圖 2.1.2 為坡面單元地形表現圖上微地形判釋結果例子。微地形判釋詳細內容，可參照〈大規模崩塌潛在坡面危險度判釋手冊（案）〉。

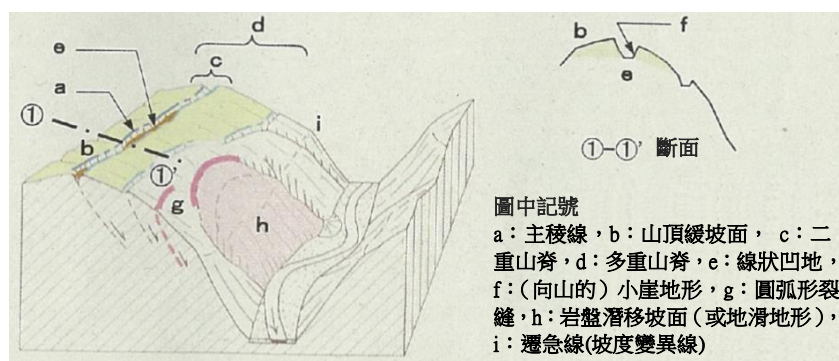


圖 2.1.1 坡面呈現的微地形模式圖（鈴木⁶⁾, 2000）

⁶⁾ 鈴木隆介（2000）：工程技術人員地形圖讀圖入門 第三卷 階地、丘陵、山地，古今書院

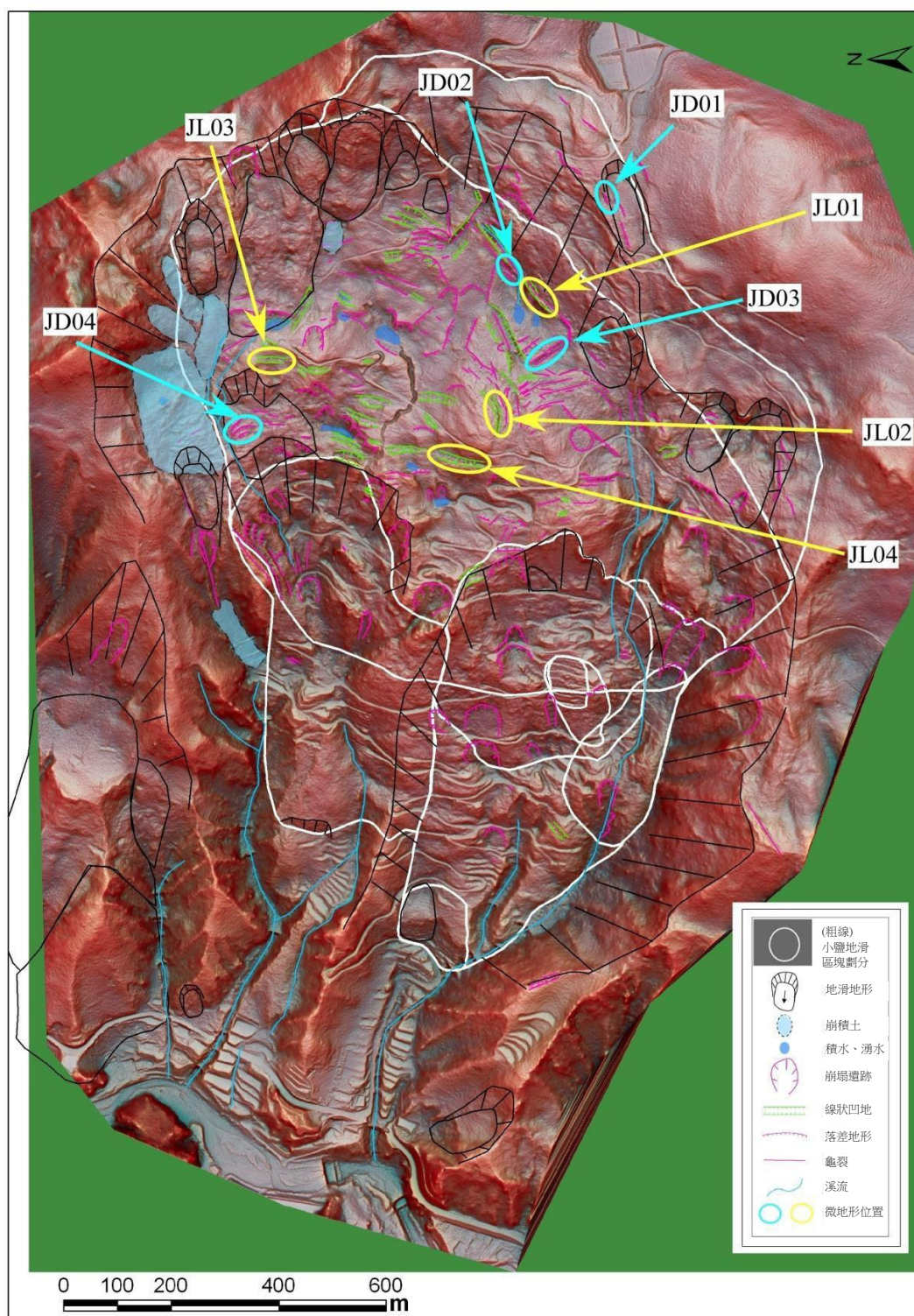


圖 2.1.2 坡面單元微地形判釋圖與現地確認微地形位置的例子（小鹽地滑的案例）

①龜裂與落差地形

龜裂與落差地形指坡面重力變形而在坡面上所形成的龜裂與階梯狀地形。有的落差地形稱為小崖（比如，千木良，2013⁷⁾）。

圖 2.1.1 模式圖顯示，靠山側常呈現崖的形態。靠谷一側較高時，稱為逆向小崖。

圖 2.1.3~圖 2.1.6 係龜裂與落差地形等的地形表現圖上之特徵與現地狀況比較，並比較完成判釋的龜裂與落差地形寬度，以及現地測量結果。

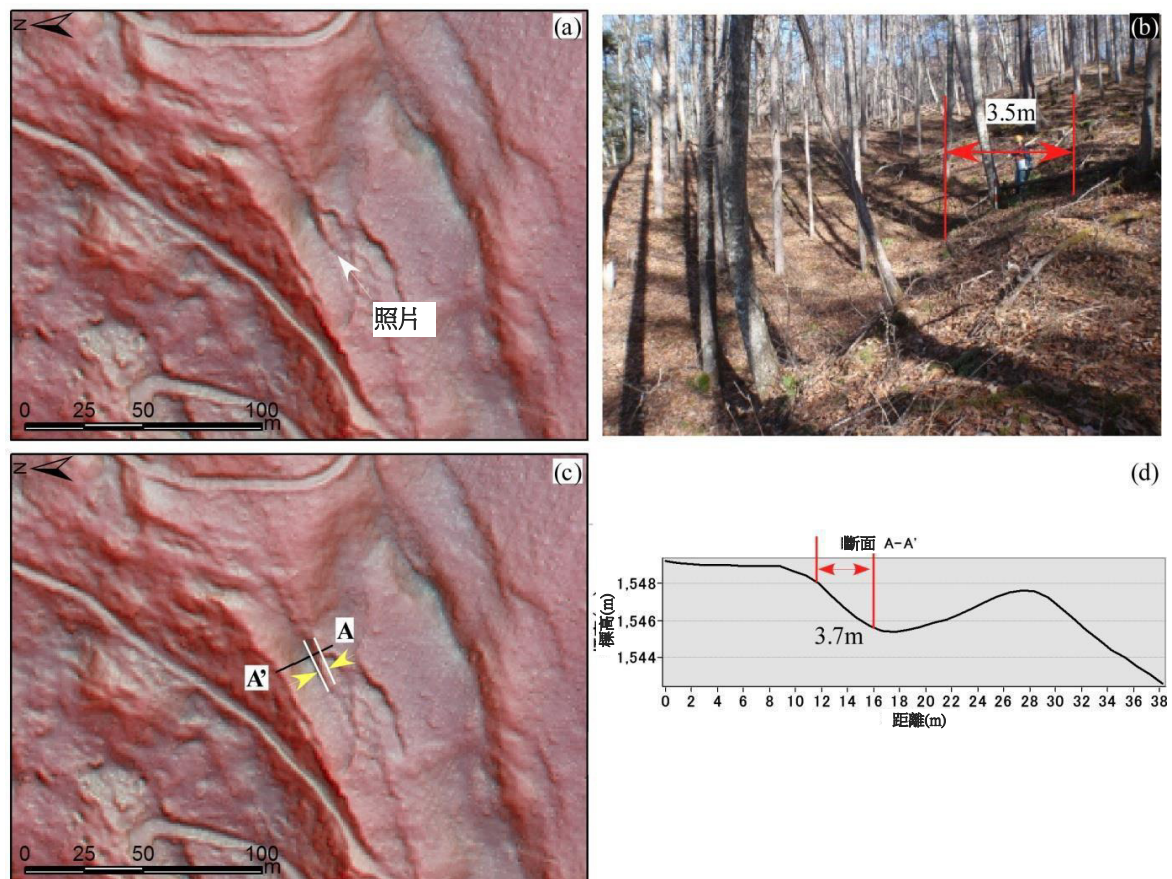


圖 2.1.3 龜裂與落差地形的地形表現圖上呈現狀況與現地確認（圖 2.1.2 JD03 地點）

(a) 東北—西南方向延伸、西南側較低的落差地形

(b) 現地確認有明顯的落差地形

(c) 落差地形的斷面位置與平面圖上的寬

(d) 落差地形的斷面形狀

圖面上落差地形的寬為 3.7 m，現地確認則是 3.5 m。

⁷⁾千木良 雅弘（2013）：深層崩塌（大規模崩塌），p.231，近未來社

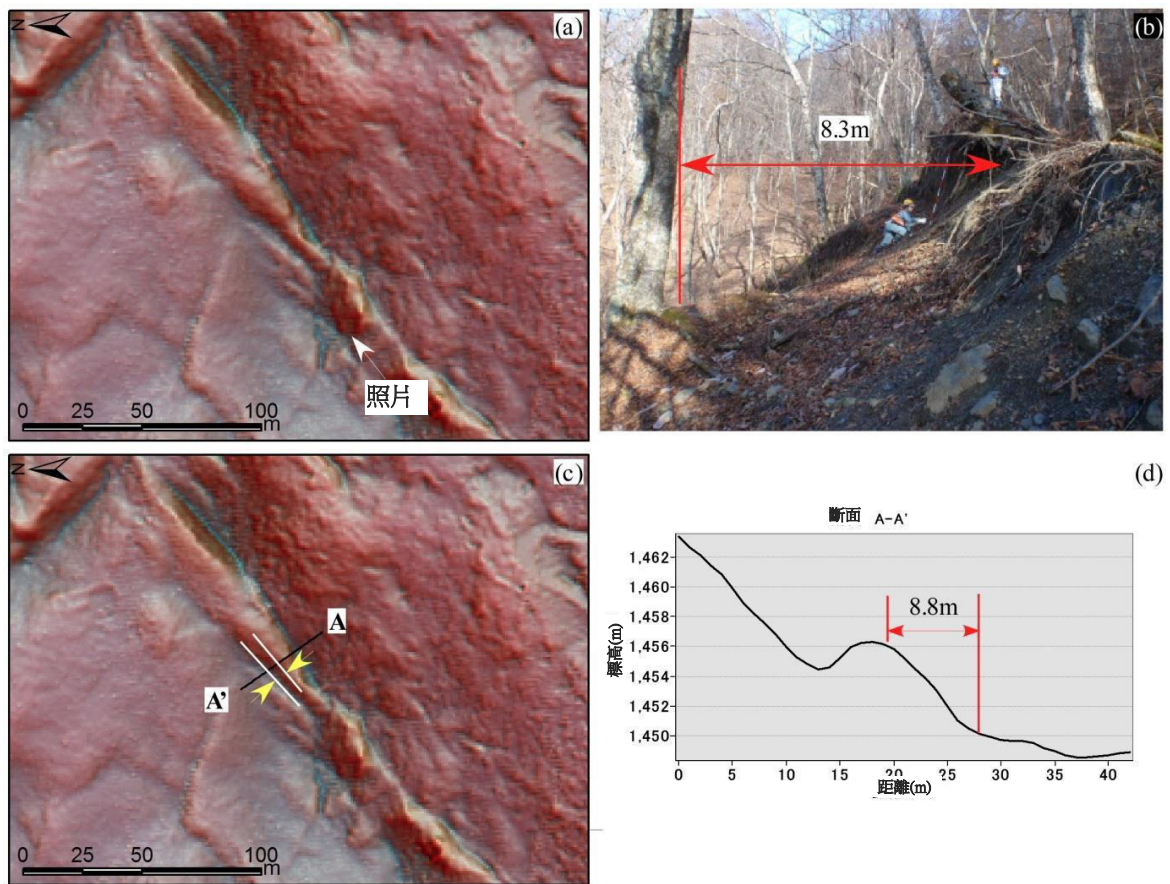


圖 2.1.4 龜裂與落差地形的地形表現圖上呈現狀況與現地確認（圖 2.1.2 JD02 地點）

(a) 東北—西南方向延伸、西北側較低的落差地形

(b) 現地確認有明顯的落差地形

(c) 落差地形的斷面位置與平面圖上的寬

(d) 落差地形的斷面形狀

圖面上落差地形的寬為 8.8 m，現地確認則是 8.3 m。

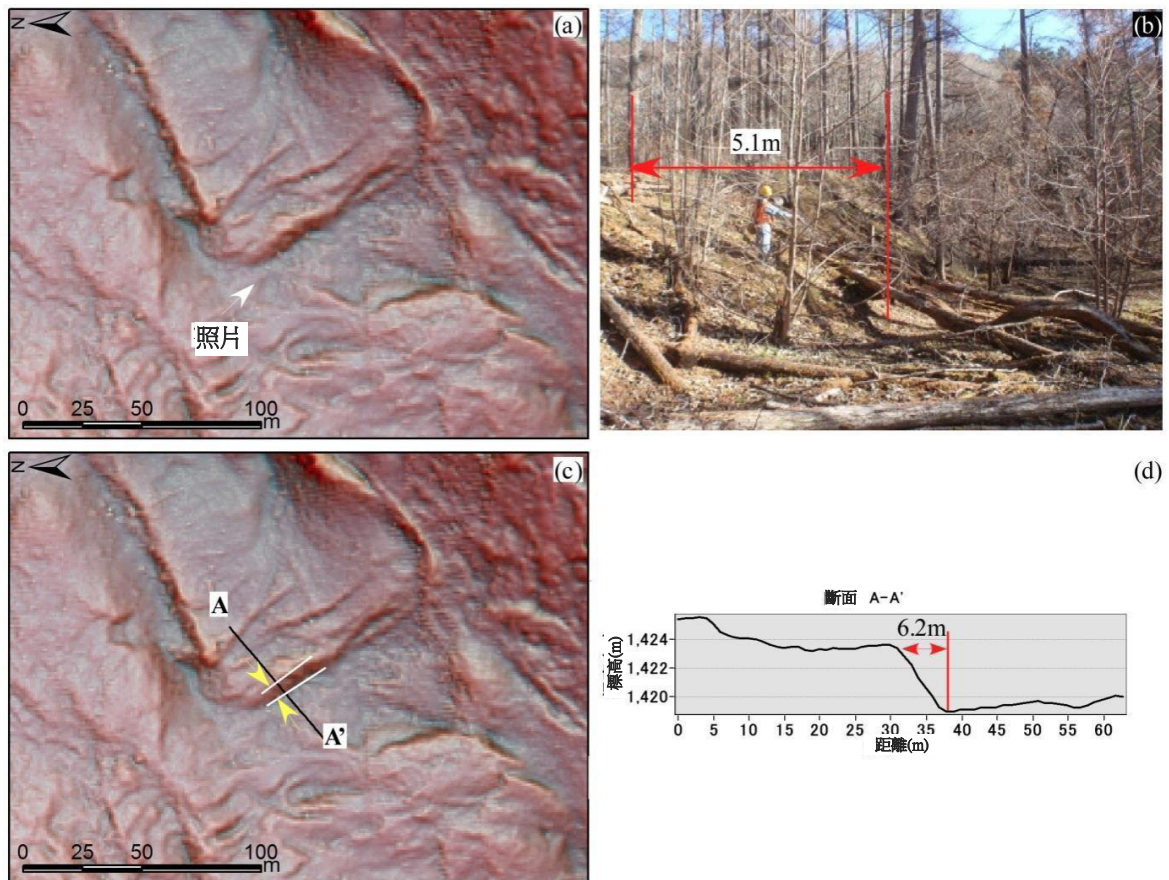


圖 2.1.5 龜裂與落差地形的地形表現圖呈現狀況與現地確認（圖 2.1.2 JD03 地點）

(a) 西北—東南方向延伸、西南側較低的落差地形

(b) 現地確認有明顯的落差地形

(c) 落差地形的斷面位置與平面圖上的寬

(d) 落差地形的斷面形狀

圖面上落差地形的寬為 6.2 m，現地確認則是 5.1 m。

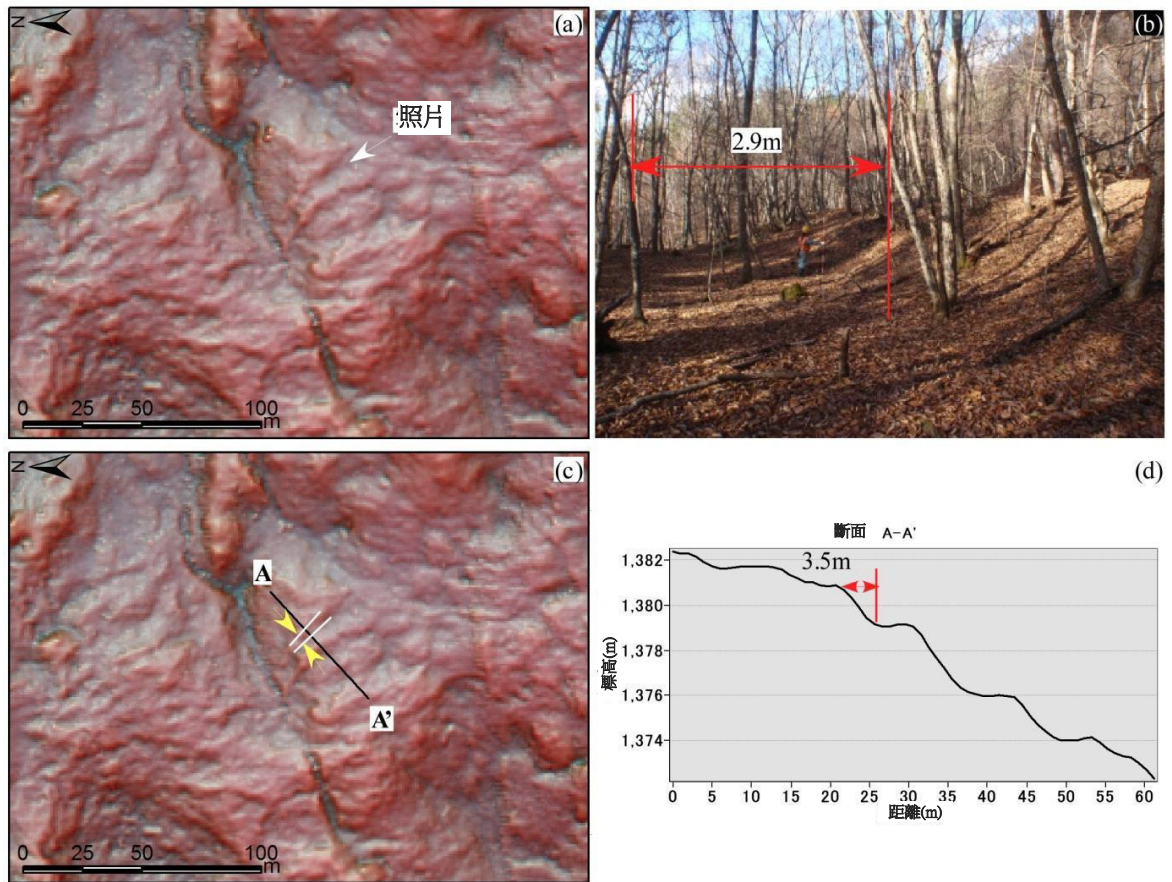


圖 2.1.6 龜裂與落差地形的地形表現圖上呈現狀況與現地確認（圖 2.1.2 JD03 地點）

- (a) 西北—東南方向有幾條線(條紋)，判釋西南側為較低的落差地形
- (b) 現地確認有明顯的落差地形
- (c) 落差地形的斷面位置與平面圖上的寬
- (d) 落差地形的斷面形狀

圖面上落差地形的寬為 3.5 m，現地確認則是 2.9 m。

② 線狀凹地、二重山脊

線狀凹地係與山地、丘陵地稜線平行的凹地，多半是重力變形、與山脊平行而形成。線狀凹地的位置若位於山脊，稱為二重山脊。此外，與山脊並列的數條線狀凹地，稱為多重山脊。

圖面上判釋為線狀凹地的部分，現地看起來呈現 V 或 U 型溝狀。通常線狀凹地會以和崩塌坡面移動方向垂直的方向延伸。

圖 2.1.7 到圖 2.1.10 為判釋圖、現地確認照片及地形斷面。

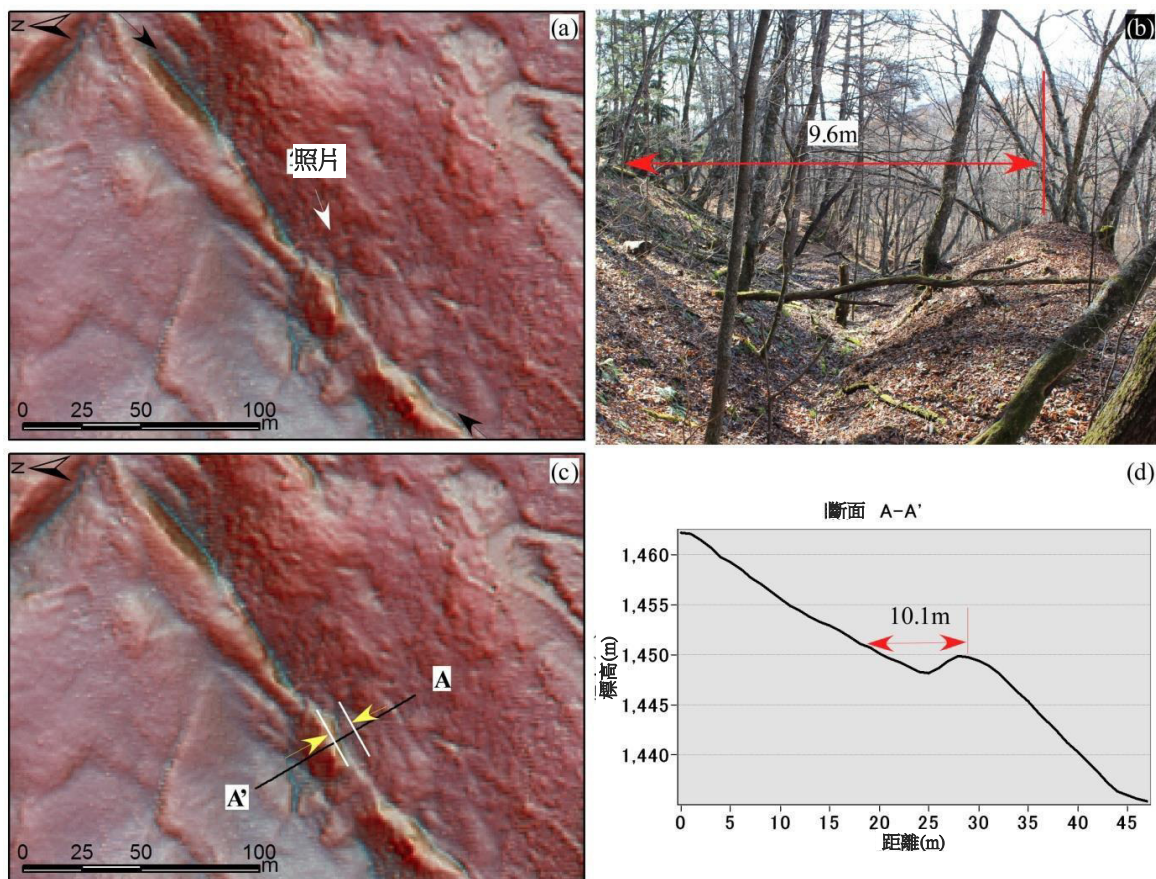


圖 2.1.7 線狀凹地、二重山脊的地形表現圖上呈現狀況與現地確認(圖 2.1.2 J01 地點)

(a) 有一條沿東北—西南方向延伸的明顯條紋(黑色箭頭之間)，判釋為線狀凹地

(b) 現地確認有明顯的凹地

(c) 線狀凹地的斷面位置與平面圖上的寬

(d) 線狀凹地的斷面形狀

圖面上線狀凹地的寬為 10.1m，現地確認則是 9.6 m。

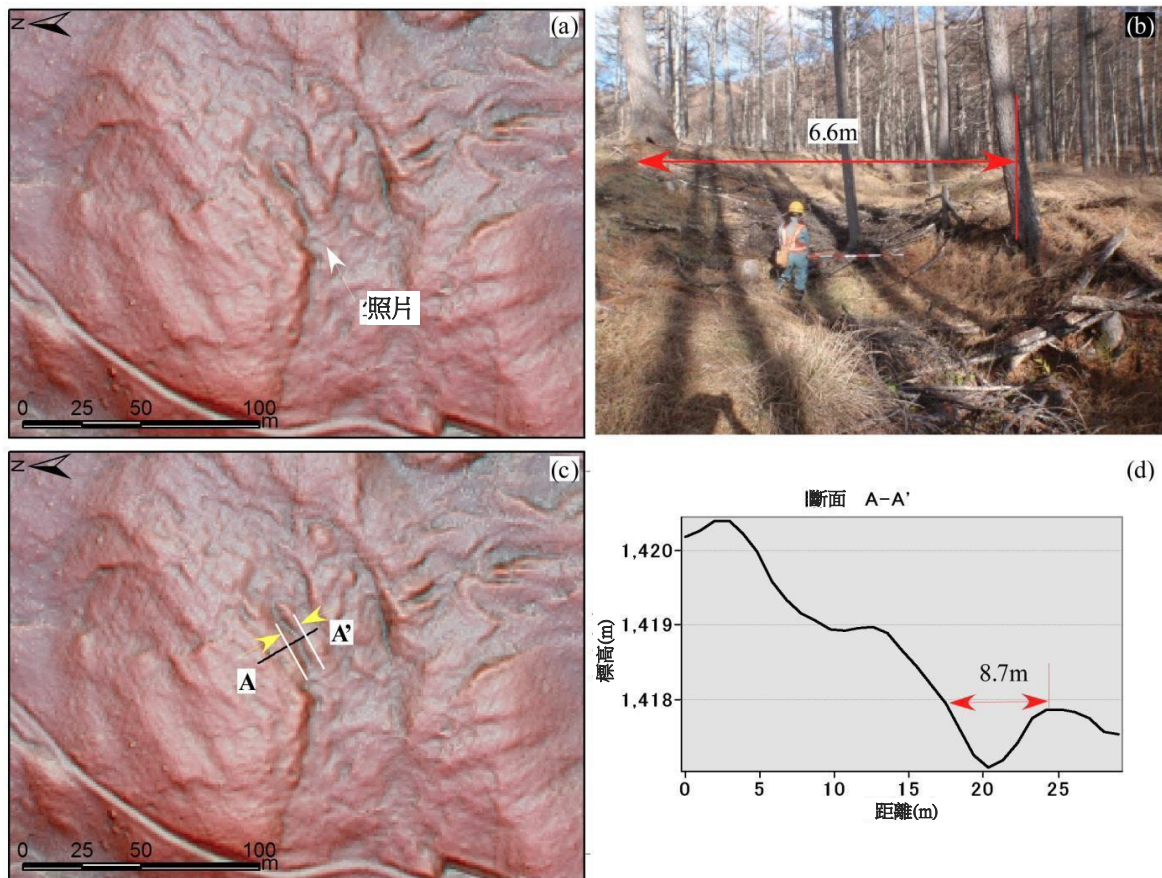


圖 2.1.8 線狀凹地、二重山脊的地形表現圖上呈現狀況與現地確認(圖 2.1.2 J02 地點)

- (a) 沿東北—西南方向延伸的線狀凹地
- (b) 現地確認有明顯的線狀凹地
- (c) 線狀凹地的斷面位置與平面圖上的寬
- (d) 線狀凹地的斷面形狀

圖面上線狀凹地的寬為 8.7 m，現地確認則是 6.6 m。

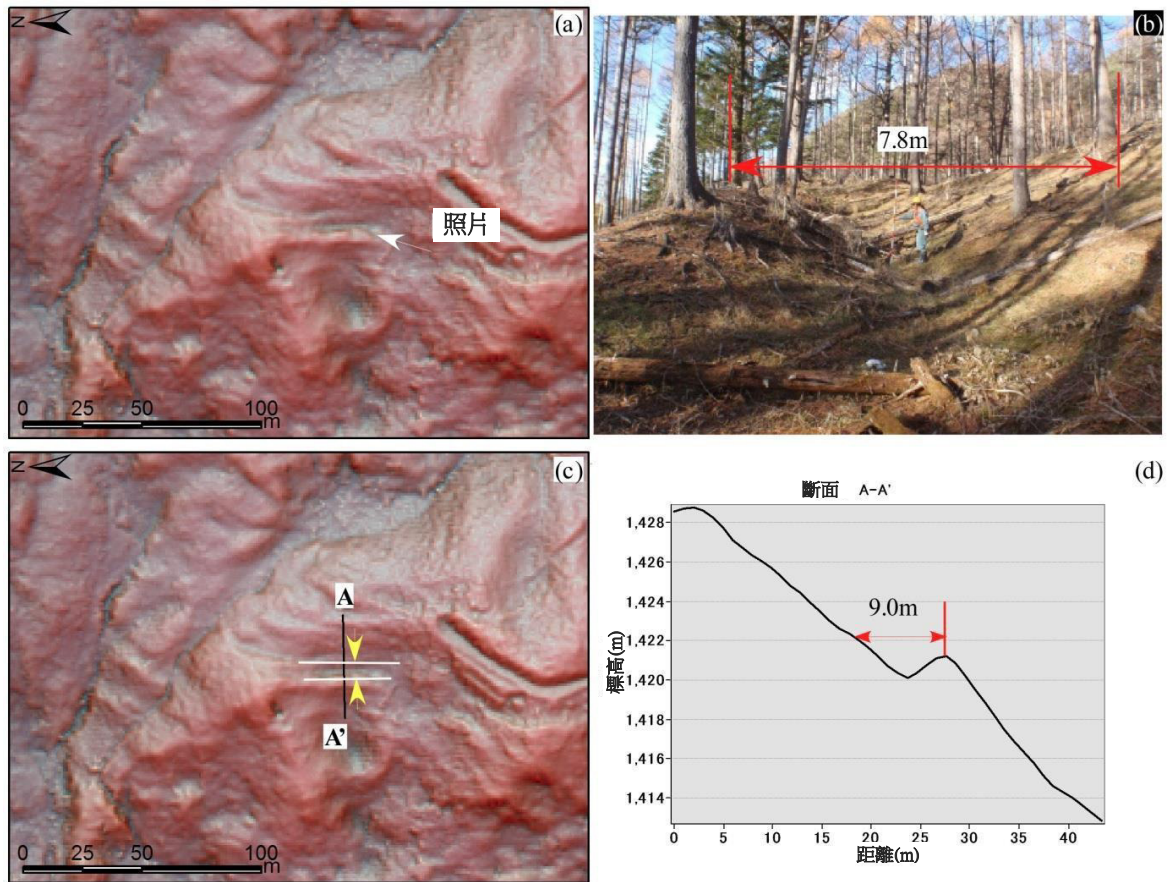


圖 2.1.9 線狀凹地、二重山脊的地形表現圖呈現狀況與現地確認（圖 2.1.2 J03 地點）

- (a) 幾乎呈南北方向延伸的明顯線狀凹地
- (b) 現地確認有明顯的線狀凹地
- (c) 線狀凹地的斷面位置與平面圖上的寬
- (d) 線狀凹地的斷面形狀

圖面上線狀凹地的寬為 9.0 m，現地確認則是 7.8 m。

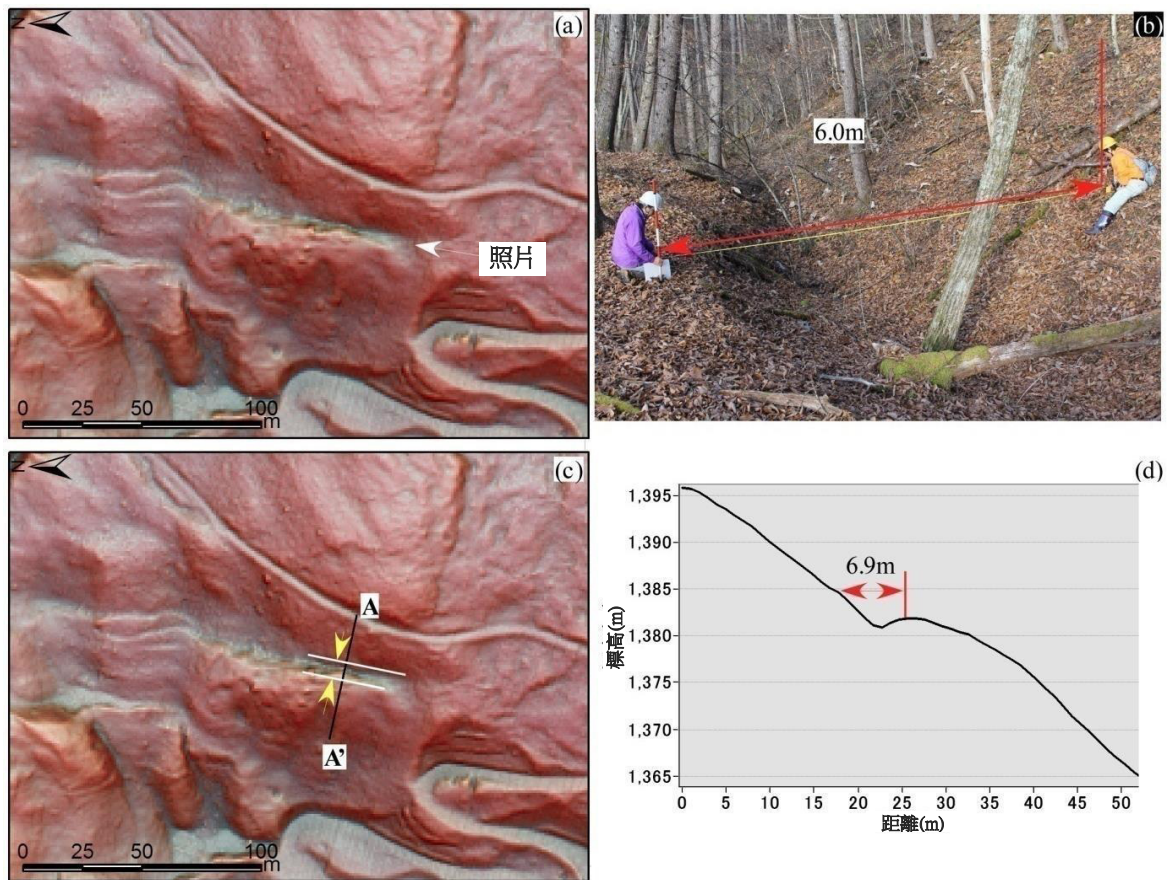


圖 2.1.10 線狀凹地、二重山脊的地形表現圖上呈現狀況與現地確認（圖 2.1.2 J04 地點）

(a) 幾乎呈南北方向延伸的明顯線狀凹地

(b) 現地確認有明顯的線狀凹地

(c) 線狀凹地的斷面位置與平面圖上的寬

(d) 線狀凹地的斷面形狀

圖面上線狀凹地的寬為 6.9 m，現地確認則是 6.0 m。

2.1.3 湧水地點的確認

湧水指流出地表面的地下水。同時也包含匯流入地表水的地下水。

應確認坡面單元及其周邊的湧水地點位置。坡面單元常在下列地點出現湧水。

- ① 滑落崖附近
- ② 線狀凹地與龜裂、落差地形附近
- ③ 頭部的緩坡面附近
- ④ 坡面尾端（坡趾）

這些出現湧水的地點都應確認其位置（經緯度），作為下階段調查地點。

地下水之外、有地下水會流進來的溪流，也應記錄其地點。



圖 2.1.11 湧水地點案例



圖 2.1.12 滑落崖附近的湧水（圖 2.1.11 的湧水地點 1）



圖 2.1.13 線狀凹地的湧水（圖 2.1.11 的湧水地點 2）



圖 2.1.14 頭部的湧水（圖 2.1.11 的湧水地點 3）



圖 2.1.15 頭部的湧水（圖 2.1.11 的湧水地點 4。紅色部分發亮的是水）

2.1.4 地層走向與傾斜的確認

堆積層地帶水平堆積的地層，常因地殼變動而傾斜。其傾斜狀況即為地層走向與傾斜。

圖 2.1.16 為地層走向與傾斜模式。

走向：地層層面與水平面交叉線延伸的方向

傾斜：與地層走向垂直方向所呈現之最大傾斜狀況，即為該層面之「傾斜」。

地層的走向與傾斜，可用傾斜儀量測地層露頭取得（目前已有智慧型手機搭載傾斜儀 APP，非常方便）。走向與傾斜的量測方法，如圖 2.1.17 所示。

地層走向與傾斜的量測數值，可用來判釋坡面是順向坡還是逆向坡，因此應儘量量測維護檢查路線所發現的露頭。量測到的走向傾斜數據資料，應與該地點的資訊（經緯度）彙整。

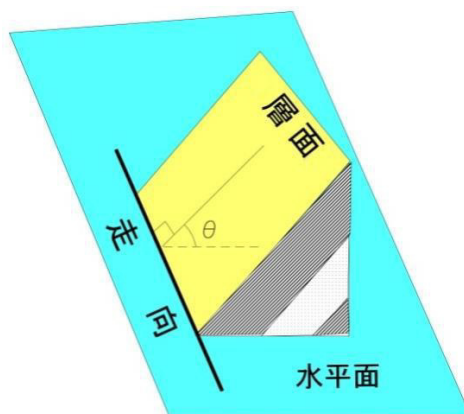


圖 2.1.16 地層的走向、傾斜模式圖

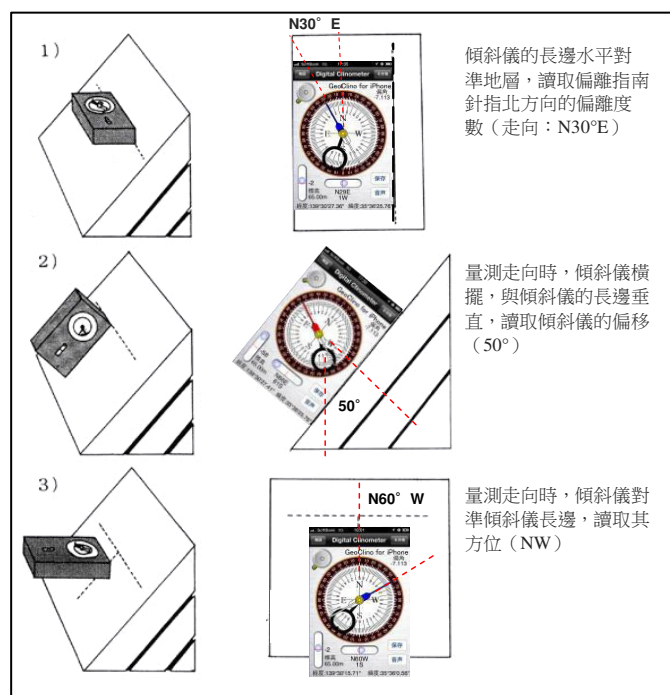


圖 2.1.17 以智慧型手機量測走向與傾斜

2.2 簡易觀測

在大規模崩塌潛勢坡面上的線狀凹地、二重山脊、龜裂與落差地形等微地形異狀的掌握，可設置能簡單裝設、容易操作的移動樁。

移動樁設置模式圖如圖 2.2.1 所示。量測跨越微地形的山側(視為不動點)與谷側之移動樁間的變動，可掌握坡面的變動狀況。坡面單元內若存在複數微地形，應實施複數地點觀測。

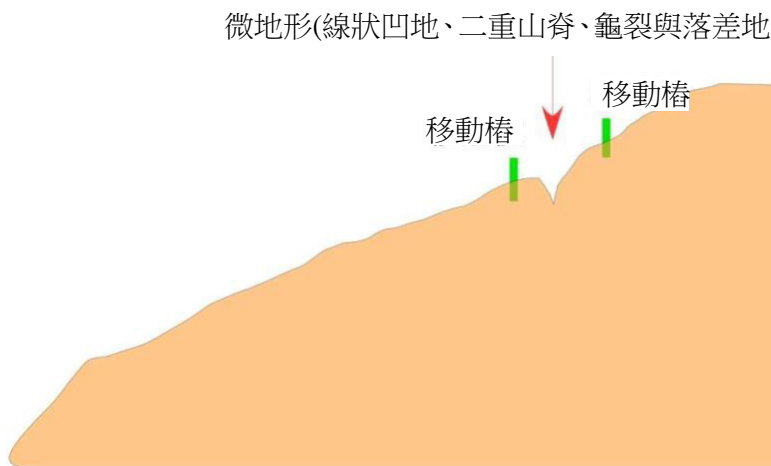


圖 2.2.1 跨越微地形的移動樁設置模式圖

【移動樁的設置方法】

- 準備二支以上截面 45 mm²、長 50cm 左右木製角樁
- 以大木槌將角樁打入地面，角樁頭部距離地面約 10~15cm。若地表土質鬆軟，應準備較長的角樁(圖 2.2.2)
- 角樁頭部打入鐵釘，作為量測基準點
- 角樁給予編號，避免人為移動(圖 2.2.3)
- 以量尺量出角樁釘與釘之間的距離，紀錄為初期值(圖 2.2.4)



圖 2.2.2 移動樁的設置



圖 2.2.3 完成設置的移動樁



圖 2.2.4 以量尺量出移動樁之間的距離

2.3 湧水與溪流水調查

湧水(含溪流水)調查指測量大規模崩塌潛勢坡面及其周邊所流出地下水的電導度。電導度係溪流水中溶存離子總量之指標，地下水流動過程中不斷取得岩石所融出離子，地下水湧水地點附近離子值提高(地頭園等，2013⁸⁾)，電導度相對高的地點，因此推估有深層風化地層，崩塌危險度高。

量測電導度可使用市售電導度計。圖 2.3.1 為可攜式電導度計，長約 20cm，重約 300g，容易攜帶。有各款產品，通常使用 10~15 元產品。



圖 2.3.1 可攜式電導度計

(1) 調查內容

量測湧水地點的位置、湧水量與電導度。

(2) 湧水地點的確認方法

實施現地調查、掌握谷地形坡面出現地表水的地點，即可確認該水流發源區域是否有明顯的表流水湧出點。

(3) 湧水量的測量方法

湧水地點設置採水容器，採取一定時間內湧水、測量其湧水量。採水時應整理水地點，避免漏水。圖 2.3.2 為湧水量量測操作例子



圖 2.3.2 湧水地點採水操作

⁸⁾ 地頭園 隆、寺本行芳、和田大祐、田淵陽介、中島希(2013)：大規模崩落地預測與地區防災力的提升，〈南九州到南西諸島的綜合防災研究推動與地區防災體制的構築〉報告書

(4)導電度的量測方法

可攜式導電度計感測器放入溪流水，紀錄感測器上的導電度值。溪流水太強或感測器附著泥土與垃圾等可能影響導電度的值，因此將溪流水放入容器再量測導電度。此外應注意，導電度可能受農地、畜產設施排水影響。**圖 2.3.3** 導電度量測操作實例。



圖 2.3.3 導電度量測操作案例

(5) 結果的整理

導電度與湧水量量測結果應妥善整理，以備與緊急維護檢查結果做比較。

2.4 緊急維護檢查調查

大規模崩塌潛勢坡面危險度分級 A 者，應優先參照下列基準，實施緊急維護檢查。

- (1) 有降雨的情況：發布大雨特別警報之後。
- (2) 有發生地震的情況：發生地震、震度 5 以上的區域。

此外，豪雨後有發生土砂災害之虞，強震後有餘震之虞，為確保觀測者安全，應經過一段時間判斷安全無虞，才實施維護檢查。

緊急維護檢查應實施下列對應措施。

- (1) 初期維護檢查應針對已完成現地確認的微地形異狀，實施維護檢查。
- (2) 量測初期維護檢查所設置的移動樁間之距離。
- (3) 實施溪流水調查。
- (4) 其他(確認有無新的地表異狀等)。

以下狀況實施緊急維護檢查後，應進行大規模崩塌潛勢坡面監測。

- (1) 微地形異狀擴大(移動樁量測，確認有明顯變動)。
- (2) 發現新的地表異狀。

3 大規模崩塌潛勢坡面監測

大規模崩塌潛勢坡面維護檢查所確認有變動的坡面，應實施監測。簡易觀測已確認有微地形變動者，代表崩塌危險性升高，應針對坡面上的微地形移動狀況實施地表伸縮計直接量測。此外，大規模崩塌潛勢坡面周邊若有保全對象，應設置 GPS 等，掌握坡面整體變動。若已有多時期的空載光達測量地形數值，應實施差分分析，掌握坡面整體變動狀況。

3.1 地形差分分析

針對量測標的的大規模崩塌潛勢坡面，以光達測量兩個不同時間點的數值高程模型資料(DEM)，進行地形差分分析。第二個時間點的 DEM 減去初期的 DEM，即可算出地表的變動狀況。

差分分析係以專用軟體(比如 ArcGIS 等)，實施柵格計算。計算方法如圖 3.1.1 所示，實施單元的減法。

圖 3.1.2 為小鹽地滑所實施的地形差分分析案例。

輸入 1		輸入 2																		
<table><tr><td>3</td><td>5</td><td>8</td></tr><tr><td>2</td><td>7</td><td>9</td></tr><tr><td>9</td><td>3</td><td>1</td></tr></table>	3	5	8	2	7	9	9	3	1	-	<table><tr><td>1</td><td>3</td><td>4</td></tr><tr><td>2</td><td>2</td><td>8</td></tr><tr><td>6</td><td>9</td><td>6</td></tr></table>	1	3	4	2	2	8	6	9	6
3	5	8																		
2	7	9																		
9	3	1																		
1	3	4																		
2	2	8																		
6	9	6																		
輸出																				
<table><tr><td>2</td><td>2</td><td>4</td></tr><tr><td>0</td><td>5</td><td>1</td></tr><tr><td>3</td><td>-6</td><td>-5</td></tr></table>			2	2	4	0	5	1	3	-6	-5									
2	2	4																		
0	5	1																		
3	-6	-5																		

圖 3.1.1 地形差分計算

四角格子內的數值為單元值(比如高程)

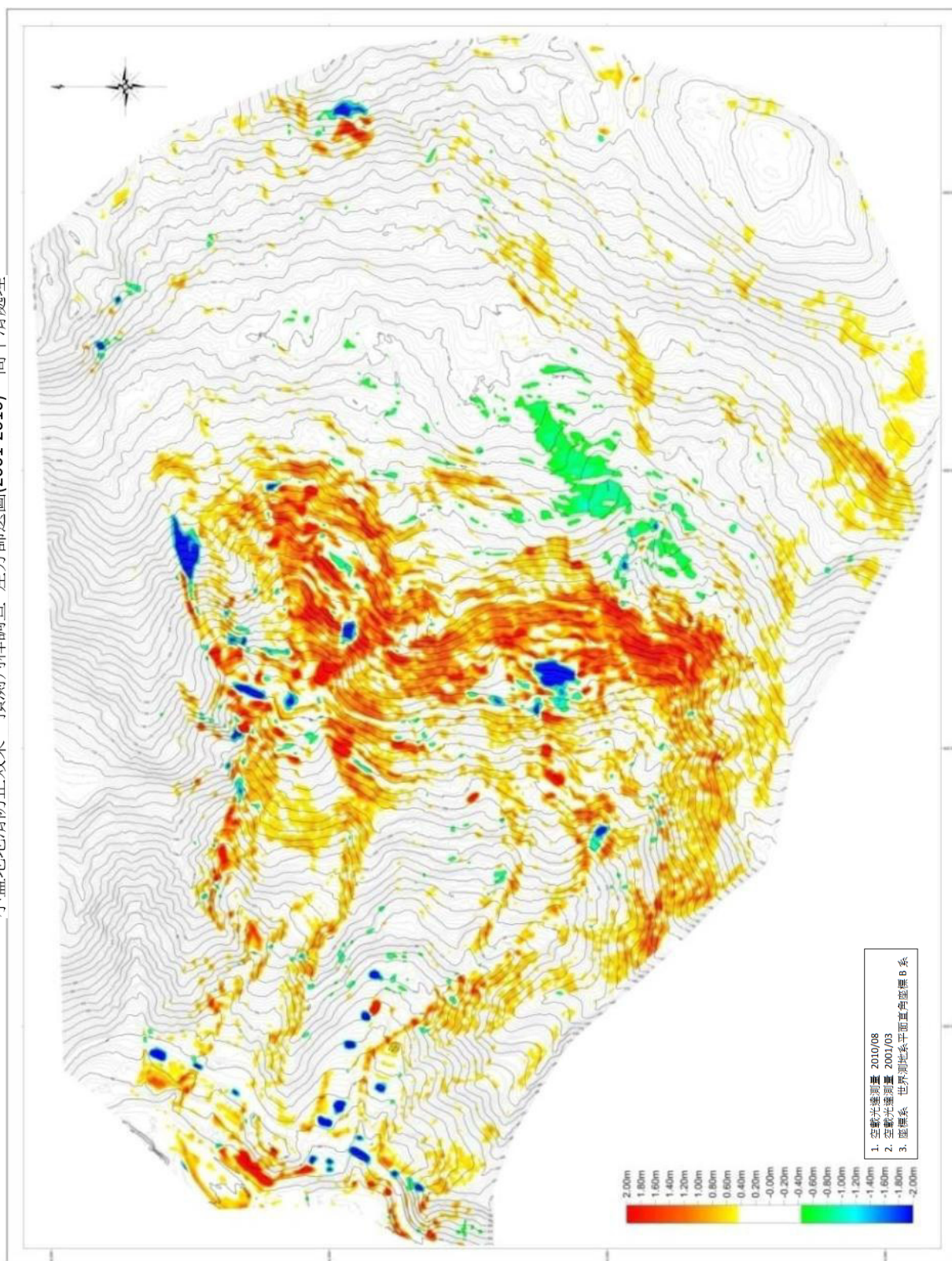


圖 3.1.2 地形差分析案例(小鹽地滑，2001 年-2010 年)

暖色系代表隆起，寒色系代表沉陷。

3.2 量測儀器觀測

以量測儀器實施監測，依目的分為短期操作與長期操作。短期觀測利用地表伸縮計。長期觀測、掌握坡面整體移動狀況，可使用 GPS 觀測。

3.2.1 地表伸縮計

地表伸縮計可掌握大規模崩塌前兆現象、龜裂與落差(水平差異)等地形不同時間的移動狀況。

地表伸縮計有紀錄紙與數位自動觀測兩種模式。可針對現場狀況，選擇適合機型。

地表伸縮計操作原理如圖 3.2.1 所示(坡面防災對策技術協會，2013⁹⁾)。觀測標的兩端設置堅固的樁(其中一個樁架設伸縮計)，二樁之間連接鋼鋼線(低膨脹率的鍍線)。二樁之間地表若有伸縮，地表伸縮計輪軸彈簧會旋轉，紀錄時間—變動量(位移量)的圖表。

此外，地表伸縮計的機型有用紙交換型、用紙交換與記憶卡併用型、自動觀測系統、即時監測等，應配合現地狀況。

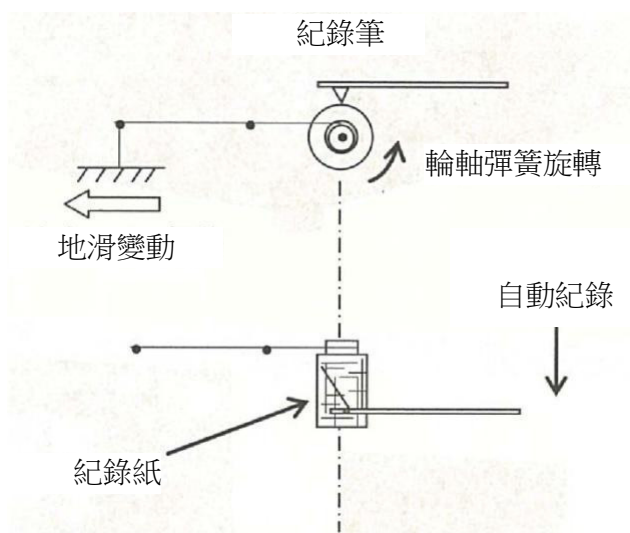


圖 3.2.1 地表伸縮計原理(坡面防災對策技術協會，2013)

1) 設置方法

地表伸縮計應設置在跨越大規模崩塌潛勢坡面頭部的線狀凹地或龜裂、落差地形且能推估崩塌移動方向的位置。大規模崩塌坡面內部可能也有龜裂與落差，地表伸縮計應設置在其垂直方向位置。

圖 3.2.2 地表伸縮計設置模式圖案例。

⁹⁾ 坡面防災對策技術協會(2013)：地滑觀測便覽，p.502

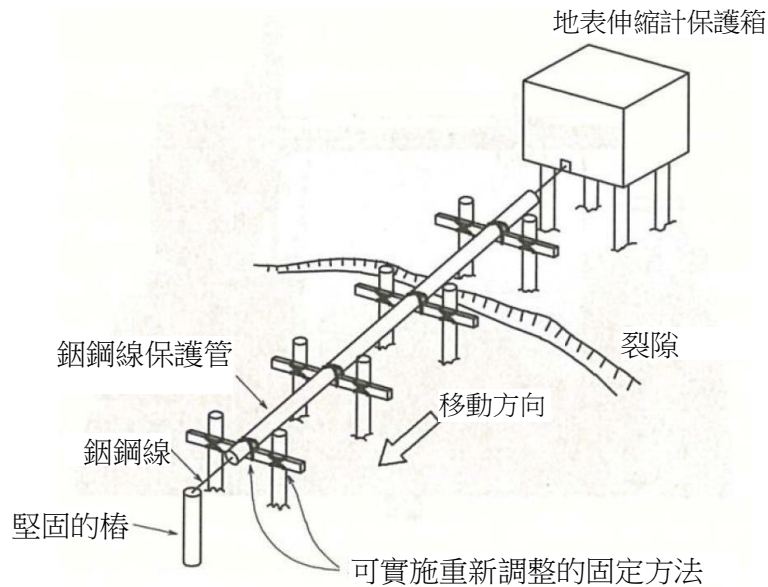


圖 3.2.2 地表伸縮計設置模式圖(坡面防災對策技術協會，2013)

地表伸縮計實施觀測注意要點，如下。

- (1) 地表伸縮計感測不到與鋼鋼線延長方向成直角的地表移動，因此，崩塌側壁設置地表伸縮計時，鋼鋼線的延長方向應盡量接近崩塌移動方向。
- (2) 除了張力變動之外，也可能量測到隆起、沉陷、壓縮等的變動等。因此，地表伸縮計的設置，選在能掌握變位狀況的位置。

2) 量測方法

地表伸縮計用紀錄紙，應填寫日期與地點名稱，紀錄紙貼緊輪軸彈簧、設定可記錄感測時刻的紀錄表，完成設置即可觀測。設定日後取得的量測值減去初期值，就是地表移動量(位移量)。初期值即伸縮計設置後初次取得的量測值。

3) 數據資料的整理

觀測數據資料應整理成時間—移動量(位移量)曲線圖。時間—移動量(位移量)圖也應紀錄日期、日雨量與觀測地點周邊地下水位資訊。製作方法如圖 3.2.3 所示。

(mm) 地表伸縮計 S-14-2

現場名：木根橋災害

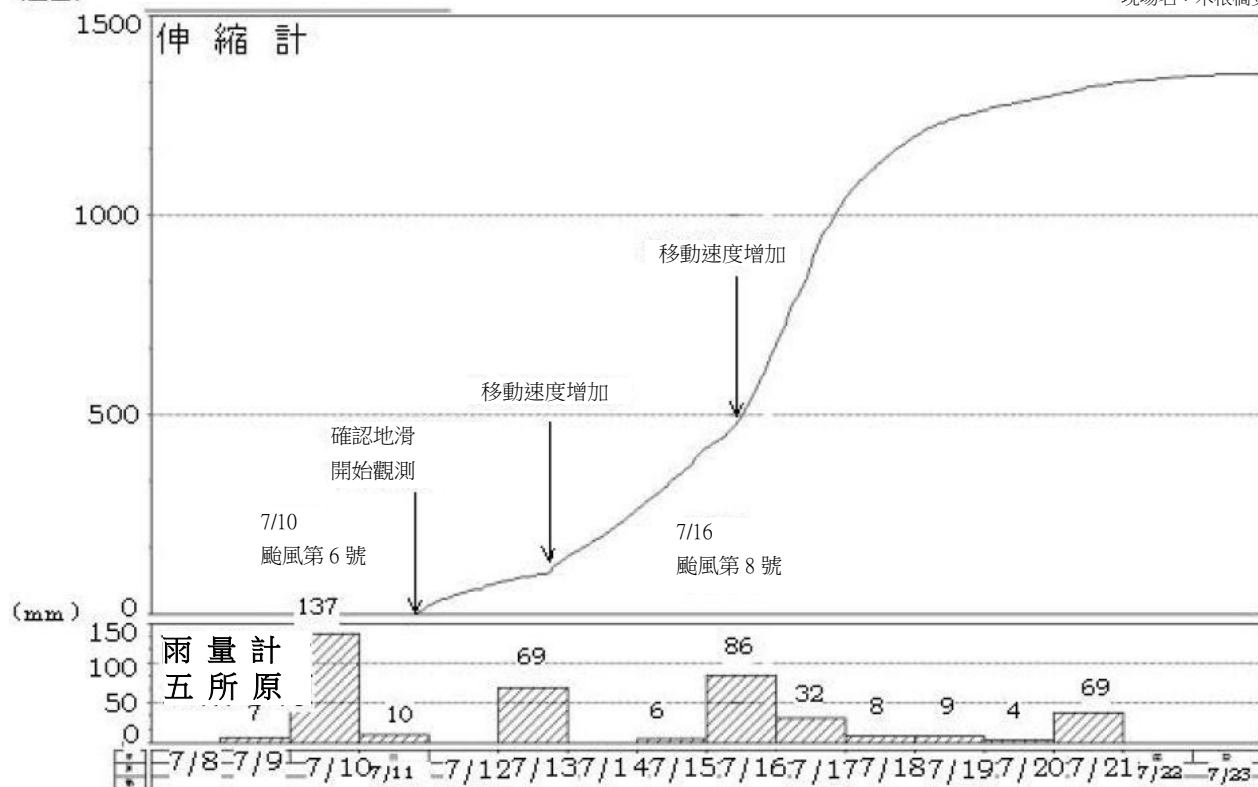


圖 3.2.3 地表伸縮計操作案例(橋本，2010¹⁰⁾)

¹⁰⁾ 橋本哲夫(2010)：颱風第6號、第8號導致木根橋再度發生地滑災害報告，地滑學會誌，Vo.39，No.2，p89

3.2.2 GPS 觀測

GPS 觀測係地面設置 GPS 接收機，接收來自太空 GPS 觀測衛星所發出電波、測量接收機與衛星距離，算出接收訊號地點三維座標的方法。

以下大致說明 GPS 觀測的操作原理、實施方法等概要(坡面防災對策技術協會，2013 摘要)。實施大規模崩塌潛勢坡面量測，應配合地表異狀地點與程度等不同狀況，詳細進行設置位置選擇等的檢討。

GPS 觀測精度因基線長(量測距離)而異，水平為 $\pm(5\text{mm}+1\text{ppm}\times\text{基線長})\text{mm}$ ，垂直為 $\pm(10\text{mm}+2\text{ppm}\times\text{基線長})\text{mm}$ (土佐，2006¹¹⁾)。比如，基線長 1,000m 時，水平為 $\pm 6\text{mm}$ ，垂直 $\pm 12\text{mm}$ 。GPS 觀測結果會因為基線長、氣象狀況、衛星數與上空視線是否清晰等產生誤差，很難檢測出 mm 位數的微小變動，但若能定點設置接收機長期觀測，搭配統計處理，即可檢測出微小的變位(坡面防災對策技術協會，2013)。

1) GPS 觀測操作原理

GPS 觀測操作基本概念圖，如圖 3.2.4 所示。

衛星所發射電波抵達的時間，可據以算出地面 GPS 接收機(或天線)與衛星的距離。接收機所接收三個以上衛星電波的座標，則可據以算出接收機座標位置。

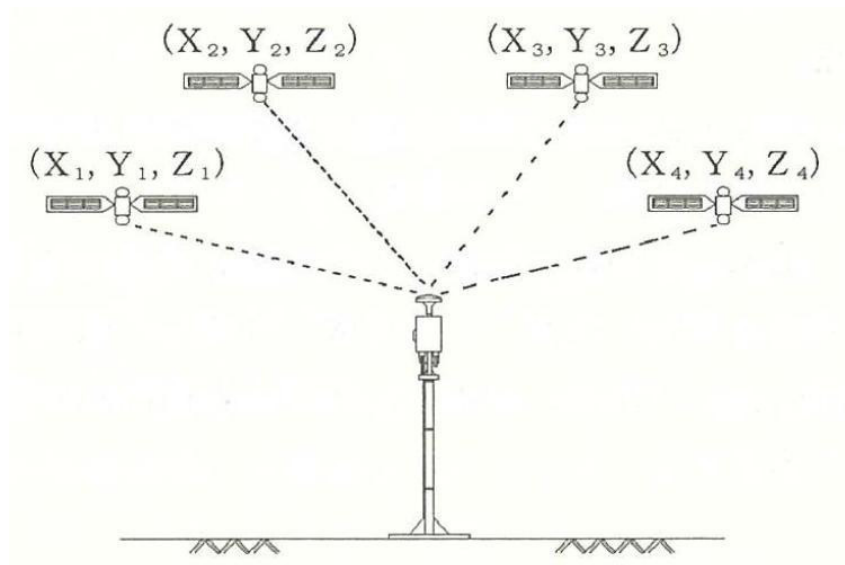


圖 3.2.4 GPS 觀測操作基本概念圖(坡面防災對策技術協會，2013)

¹¹⁾ 土佐(2006)：現場實用的地滑工學，第七屆，監測與預測，地滑學會誌，Vol.43，No.2，pp.52-56。

2) 設置方法

圖 3.2.5 為 GPS 接收機設置例子。

- GPS 接收機應設在上空視野良好的地點
- GPS 接收機應固定在觀測地點的堅固地盤上。一般使用混凝土地基，短期間操作也可使用三角架
- 通常架設在高度約 1-2m 支柱上，設置位置往上延伸、可確保上空仰角超過 15 度的高度。但日照過度會導致變位，不可過度拉高
- 可設置太陽能面板，作為 GPS 接收機電源
- 基準點設在不動地盤

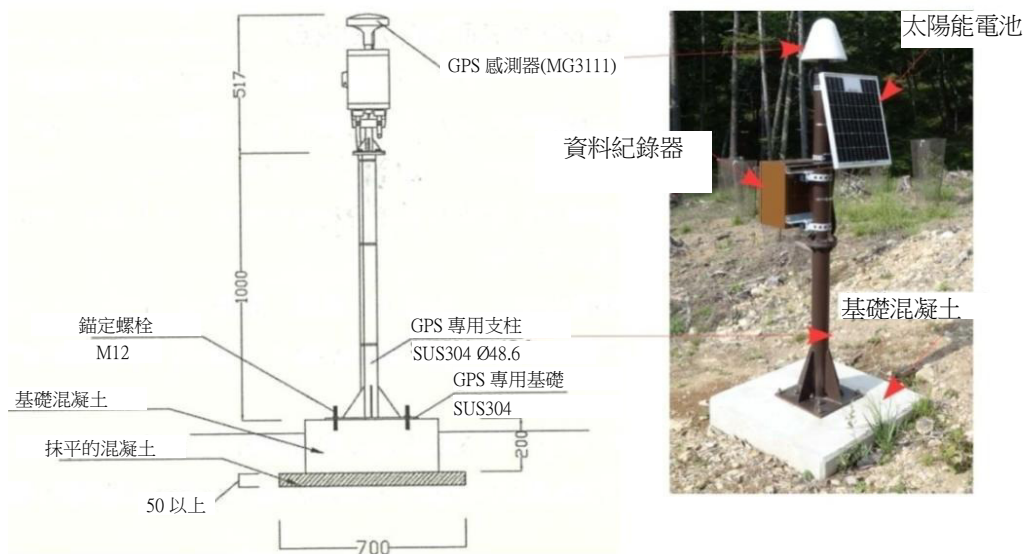


圖 3.2.5 GPS 接收機設置例子 (左、坡面防災對策技術協會，2013)

3) 量測方法

現地作業：

- 按下 GPS 接收機計測開始鈕
- 數據值回收(使用 PC 或記憶卡)

分析作業：。

- 利用「基線分析處理軟體」，將觀測數據值轉換為座標
- 必要時實施時序列統計處理

4) 資料管理

- 整理三種內容(南北、東西、高度)的數據值
- 以初次觀測得到的座標或任意時期得到的觀測座標為初期值
- 算出與初期值之差分
- 算出水平合成(圖 3.2.6，圖 3.2.7)、垂直變位(圖 3.2.8)與合成變位
- 依據變位量製作變位向量圖(圖 3.2.9，圖 3.2.10)

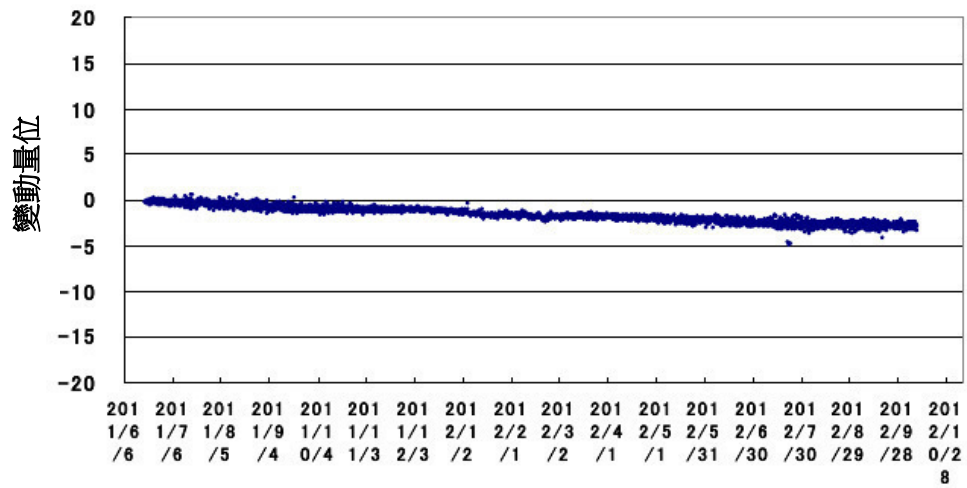


圖 3.2.6 GPS 資料整理例子 (小鹽地滑)

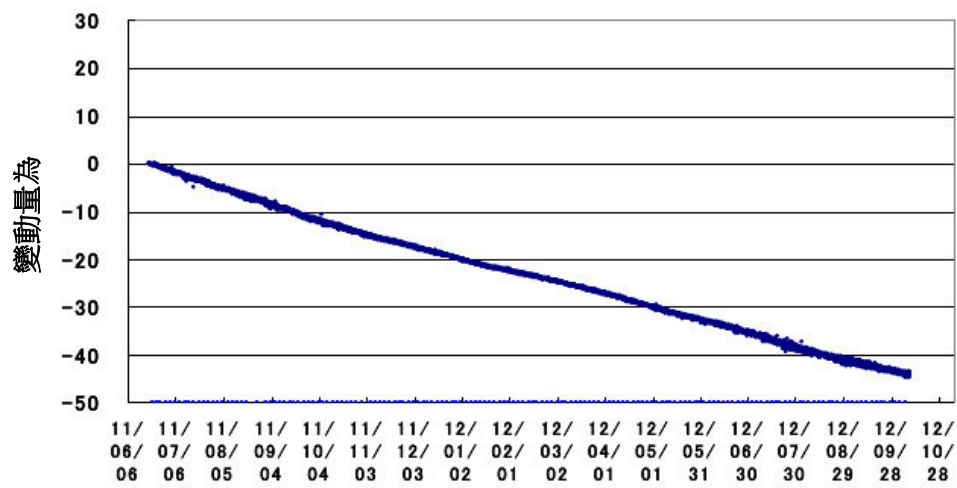


圖 3.2.7 GPS 資料整理例子 (小鹽地滑)

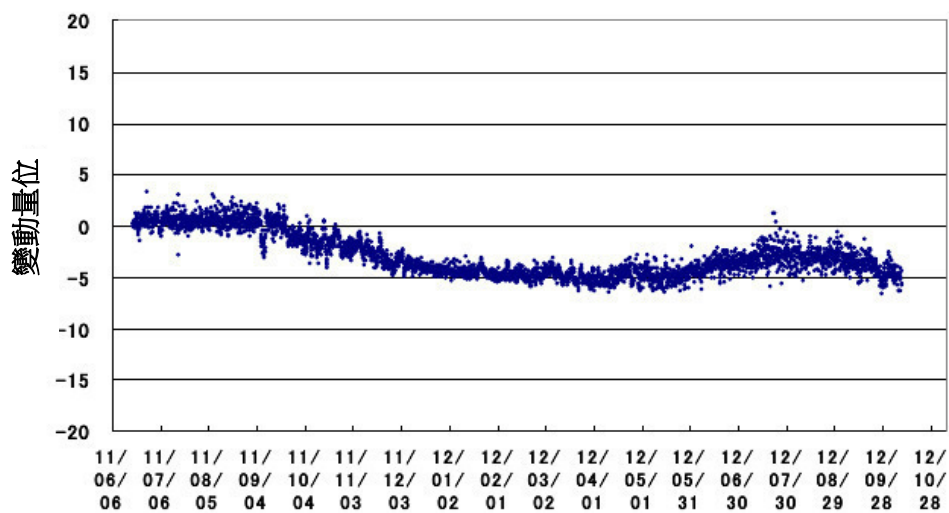


圖 3.2.8 GPS 資料整理例子 (小鹽地滑)

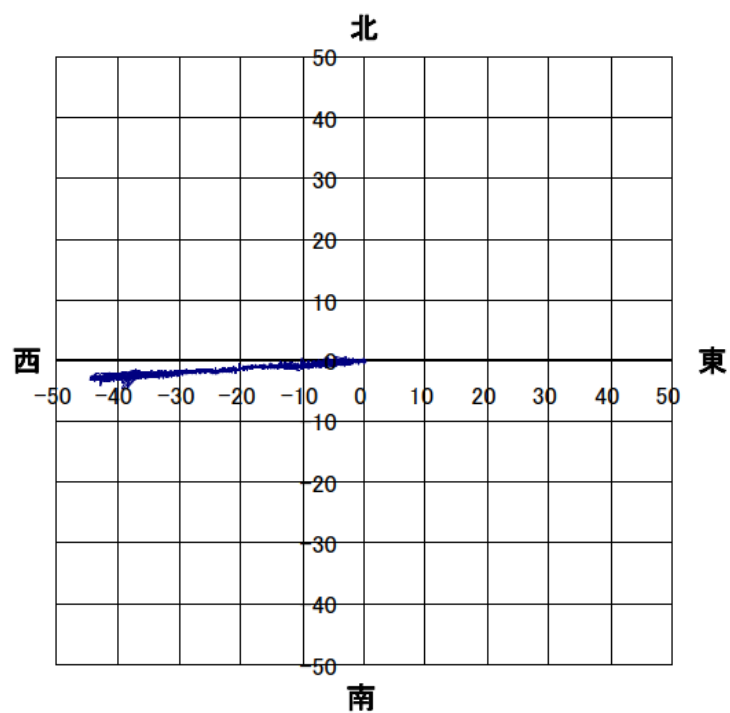


圖 3.2.9 GPS 資料整理例子 (水平向量圖)

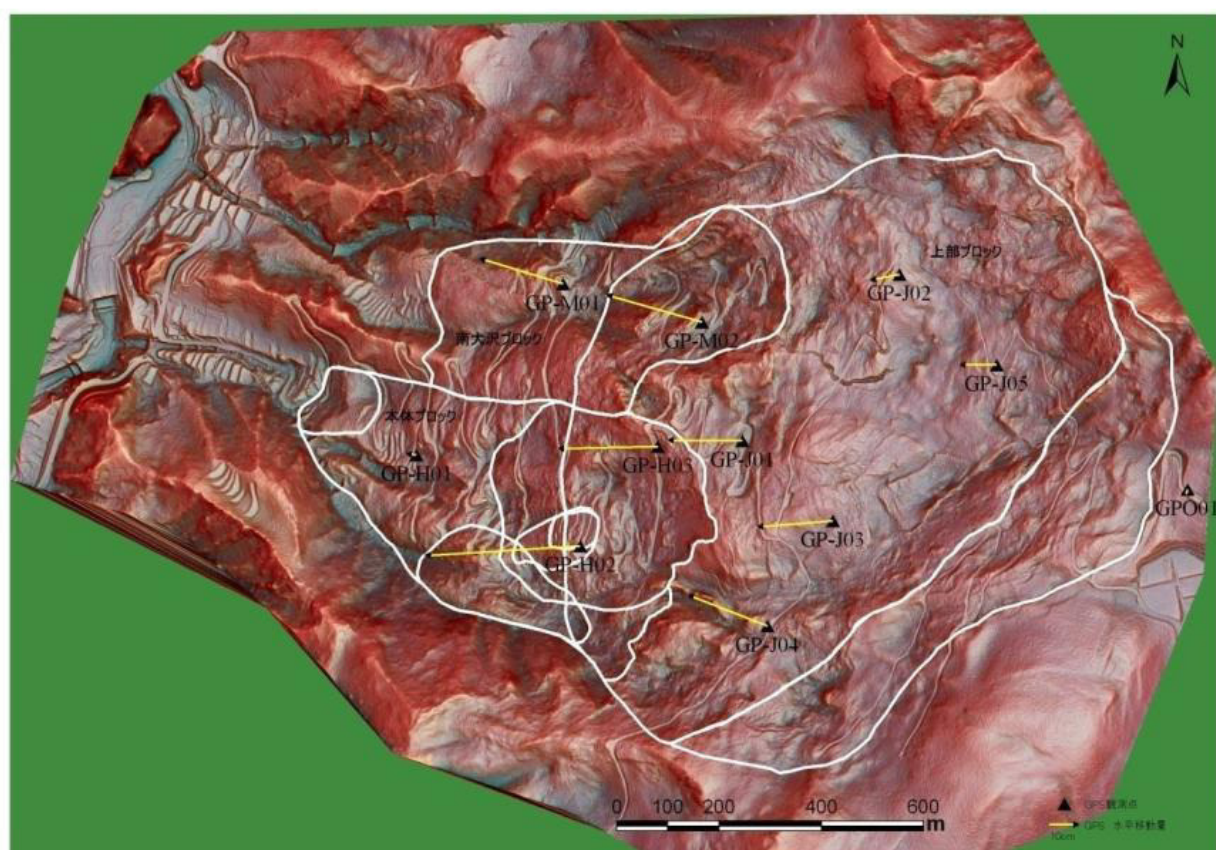


圖 3.2.10 GPS 觀測點向量圖例子 (小鹽地滑)

5) 應用的限制

樹木等遮蔽上空的地點實施 GPS 觀測，容易出現數據缺漏或精度甚差狀況，應砍伐樹木或更換觀測位置。GPS 觀測也應避免支柱傾倒或朝下。另外，GPS 不適合用來檢測急遽變位。

4 大規模崩塌的軟、硬體對策

以下整理大規模崩塌常見軟硬體對策。此外，擬定大規模崩塌軟硬體對策，應掌握各地區特性、社會相關條件、與保全對象之關係等的面向，一一檢討其必要性、緊急性、有效性與效率性等。

4.1 軟體對策

大規模崩塌軟體對策主要利用地表伸縮計或 GPS 等監測儀器，以量測到的移動量(位移量)及降雨量為指標，建立警戒避難體制。大規模崩塌緊急對策也有防止二次災害發生的功能。此外，實施監測並觀測到下列狀況，應針對現地狀況擬定對策。

- 地表伸縮計觀測到明顯的移動量(位移量)累積
- GPS 觀測確認該地點長期累積變動
- 特定期間雨量超過設定基準值

4.1.1 移動量(位移量)與雨量所構成的警戒避難指標

大規模崩塌軟體對策警戒避難命令發布前，需先進行大規模崩塌潛勢坡面微地形變位量與雨量判斷。

這些仍為試行之方法，今後應累積更多實施與檢討案例、逐步改善，建立更具實用價值的指標。

(1) 以移動量(位移量)進行判斷

累積觀測案例不多，目前仍很難預測大規模崩塌的動向，只能參考類似狀況(大規模地滑)與經驗，進行判斷。

警戒避難體制，通常有下列幾個階段。

- **注意體制**：確認有地表異狀等狀況時，應增加地表伸縮計等量測儀器的設置地點數目，或提高監測頻率
- **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的所在的大規模崩塌潛勢坡面，道路禁止通行等

此外，各階段移動時之基準，應綜合評估警戒標的之大規模崩塌潛勢坡面地形、地質與規模，乃至於保全對象的範圍，以及能否確保充裕的時間避難或實施緊急對策。因大規模崩塌為劇烈位移之現象，現實面很難訂定全國坡面統一基準，因此應掌握現地狀況，評估大規模崩塌潛勢坡面狀況，分別從緊急對策目的、必要性與緊急性的角度，彈性地對應。

以地表伸縮計設定地滑警戒避難基準值，作法如表 4.1.1 所示。但這只是案例之一，並非大規模崩塌的一般性基準。

表 4.1.1 警戒避難基準例子 (坡面防災對策技術協會，2013)

對應分類	注意要點	警戒	避難	禁止進入
基準值	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	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

除此之外，也有的方法是，到發生崩場所剩時間與移動量(位移量)關係(圖 4.1.1)，以及移動速度倒數與時間之關係(圖 4.1.2)，推測崩塌發生時刻。但是否可適用大規模崩塌，應由專家協助判斷。

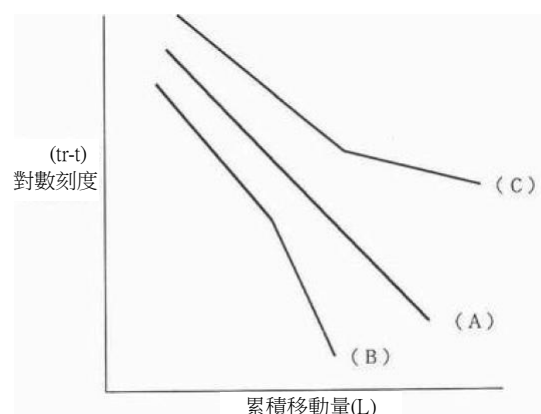
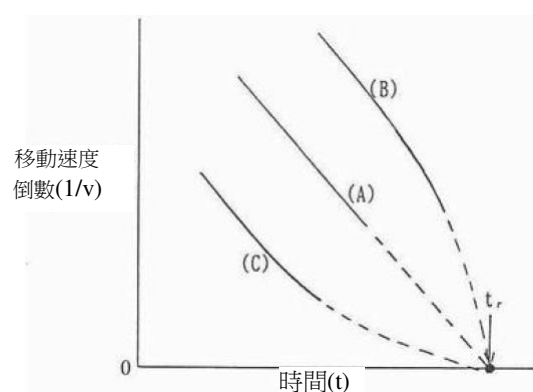


圖 4.1.1 到發生崩場所剩時間與移動量(位移量)之關係 (齊藤，1987¹²⁾)
圖中， t_r ：崩塌時刻， t ：時刻， L ：累積移動量(位移量)。A、B 與 C 為假設某時刻為崩塌時刻時的曲線



圖中， v ：移動速度， t_r ：崩塌時間， t ：時間，A、B 與 C 代表坡面型態。

圖 4.1.2 移動速度的倒數與時間之關係 (福圓，1985¹³⁾)

¹²⁾ 齊藤(1987)：潛移曲線的坡面崩塌時間預測之應用，《地滑》，Vol.24，No.1，p30-38

¹³⁾ 福圓(1985)：運用表面移動速度之倒數，算出降雨的坡面崩塌發生時間預測法，《地滑》，Vol.22，No.2，p8-13

(2) 依據雨量進行判斷

大規模崩塌與其誘因之一雨量的關係，研究案例尚少，因此應依據各地氣象狀況、地形與地質等實際狀況，檢討基準值。此外，可參考過去案例的下列數值，作為警戒避難判斷材料。

- 過去一個月總雨量達 600mm 時(特別是二日內達 600mm，危險度高)。

設定雨量基準，應先綜合掌握地區的氣象狀況、地形與地質特性，以及與保全標的之關係等，並詳細檢討大規模崩塌潛勢坡面相關調查(地區雨量與發生崩塌的關係，潛勢坡面的地質調查等)。

4.1.2 大規模崩塌發生後的對應

大規模崩塌發生後應迅速對應，防止二次災害。

大規模崩塌發生後有關單位的對應措施，依時間軸如圖 4.1.3 所示。本圖表設定大規模崩塌白天發生，但實際上不同的大規模崩塌發生地點與時間，對應措施的前後步驟可能改變。圖 4.1.3 之中土砂災害的掌握方面，若無法進入現場，或災害規模太大難以踏勘掌握，以及狀況緊急，空拍攝影是有效做法。圖 4.1.4、圖 4.1.5 係委託民間航測公司實施航空攝影與空載光達測量的作業內容與所需時間。實際空拍與量測的詳細做法，參照〈林野廳量測規定——2012 年林國業第 100 號-1〉。詳細對應方法應檢討、評估不同狀況，事先建立災害對應體制。

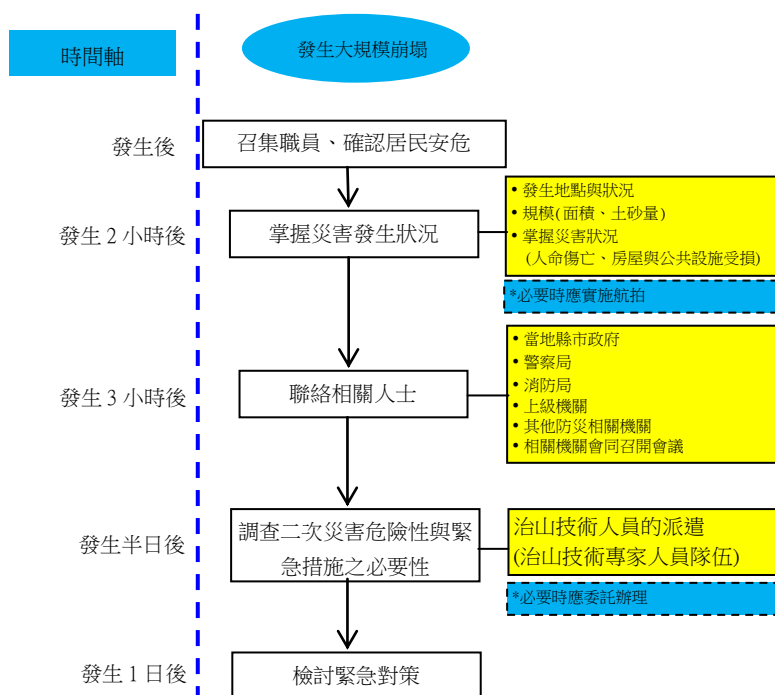


圖 4.1.3 大規模崩塌發生後的對應(例子)

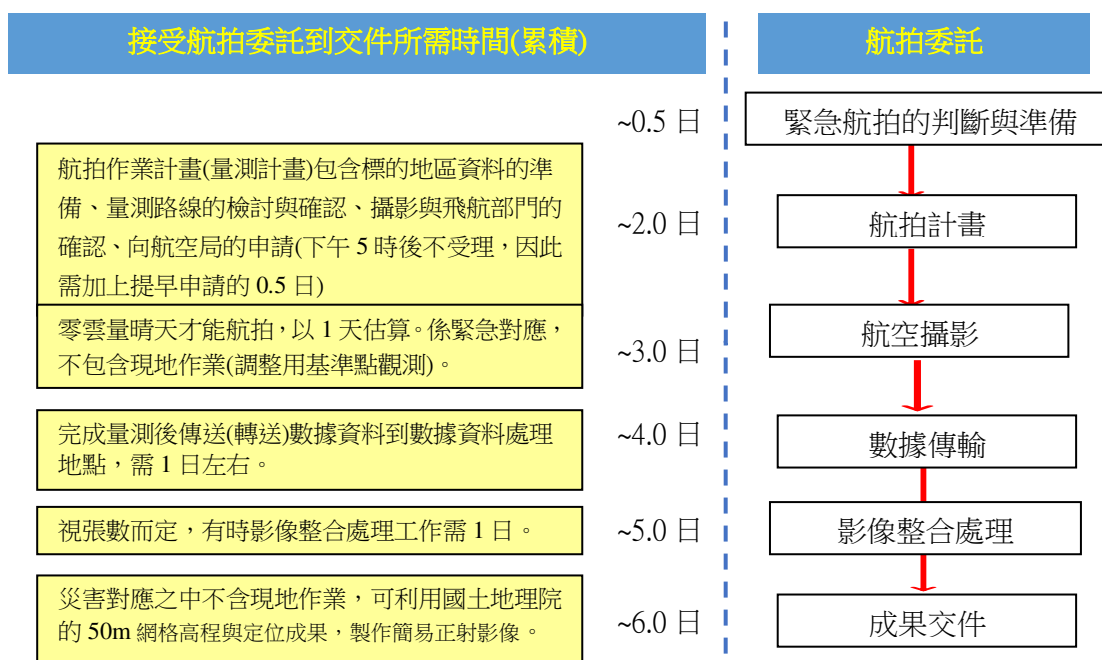


圖 4.1.4 委託航測公司實施航拍時所需的時間 (例)[※]

※【註解】

- 標的範圍：10km² 左右(1000 公頃)，地上畫素寸法：GSD30cm，拍攝數量：預估 2 路線 20 張左右
- 所需時間為物理上常態可能條件下可正常工作時間(1 日 7 小時)的累計。
- 災害對應多採取 24 小時體制，因此，以 24 小時還是每日工作 7 小時估算，所需工作日數會有差異。
- 所需時間因成果文件種類而異。此預定製作單張照片、簡易正射影像與 A0 版輸出圖三種。
- 航空攝影從接受航拍委託到文件為止所需時間，因不同航測公司、天候(晴天、陰天、下雨)、災害發生時間(傍晚、半夜、早上、中午)等而有明顯差異。

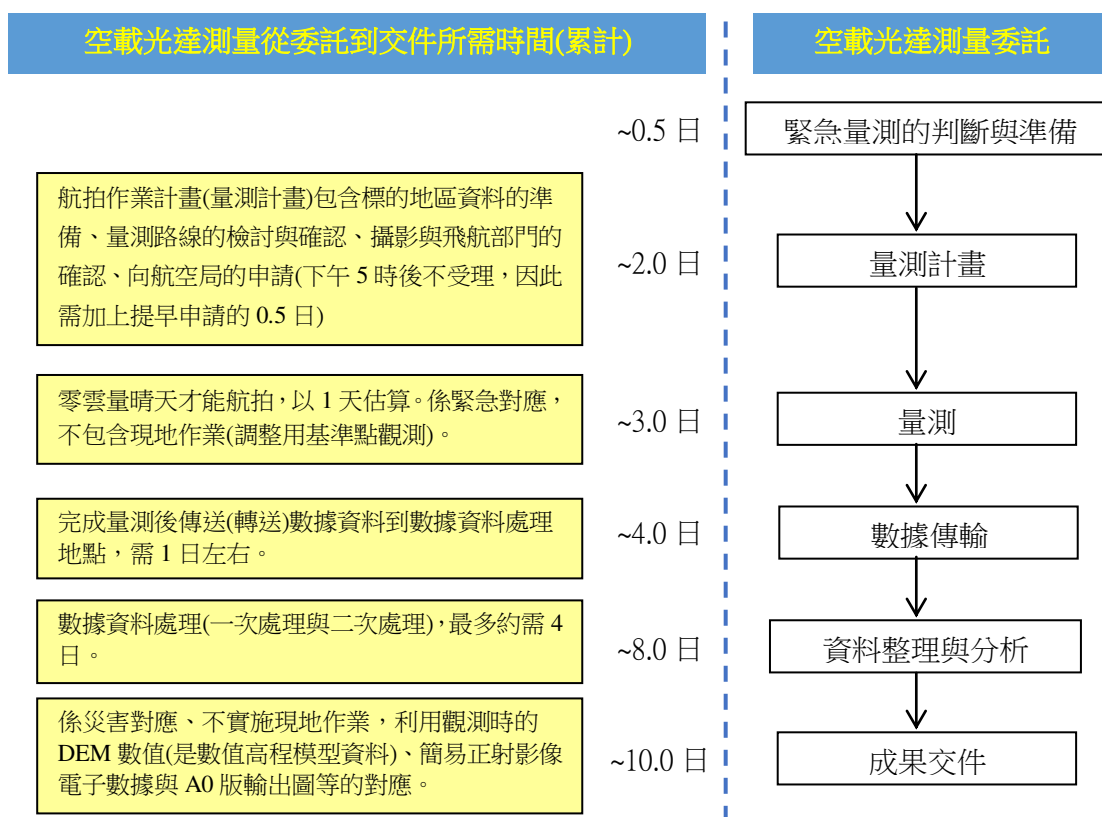


圖 4.1.5 委託航測公司實施空載光達測量所需時間 (例)^{*}

※【註解】

- 標的範圍：10km² 左右(1,000 公頃)，量測密度：4 處/m²，拍攝數量：預估 2 路線 20 張左右
- 所需時間為物理上常態可能條件下可正常工作時間(1 日 7 小時)的累計。
- 災害對應多採取 24 小時體制，因此，以 24 小時還是每日工作 7 小時估算，所需工作日數會有差異。
- 所需時間因文件種類而異。此預定製作簡單過濾的數值高程模型資料、簡易正射影像與 A0 版輸出圖三種。
- 空載光達測量從接受量測委託到文件為止所需時間，因不同航測公司、天候(晴天、陰天、下雨)、災害發生時刻(傍晚、半夜、早上、中午)等而有明顯差異。

4.2 硬體對策

4.2.1 硬體對策的分類

大規模崩塌硬體對策可依時間經過分類，如表 4.2.1 所示。

「①平時對策」，具體工法種類與一般治山設施整備大致相同。大規模崩塌發生頻率低於表層崩塌與小規模土石流，一旦發生災情卻可能很慘重，應從必要性、緊急性、保全對象重要性與計畫效果等的觀維護檢查討、選定適當的工法種類與對策。

「②緊急對策」係土砂災害警戒資訊等發布後的對應，將大規模崩塌潛勢坡面觀測儀器所測得資訊傳送給相關單位，作為避難判斷之材料等。

「③應急對策」，旨在防止二次災害、防止破壞擴大，崩塌後立刻實施。崩塌之後可能立刻出現二次災害、產生大量不穩定土砂，需實施具施工性與效率性的對策。此外，平時應做好準備，推估可能發生崩塌的地點，崩塌發生後才能迅速調查、實施應急工程。特別是高度緊急的應急對策，應事先檢討、建立因應現場條件的現況調查空拍機、直升機調配，備妥無人化施工所需機材、人力與施工方法等。崩塌災害發生後為防範人命傷害於未然，應迅速掌握崩塌狀況與二次災害危險性，實施硬體對策之前先擬定如何傳達資訊給有關機關、避難勸告等判斷資料，以及如何修正災害地圖等軟體對策。

「④長期對策」應接續在崩塌應急對策實施後實施，包含山坡崩壞地、野溪與地滑地的復舊整治對策。大規模崩塌破壞面積大且可能產生不穩定土砂，應掌握保全對象等的彼此關係，實施具施工性與效率性等的對策。

表 4.2.1 大規模崩塌對策(硬體對策)分類

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 (山坡崩壞地、野溪與地滑地)

事前對策之預防對策，主要是防範大規模崩塌於未然的「發生源對策」，以及防止、減輕崩塌土砂造成災害的「溪流對策」。大規模崩塌多因受地下水影響而發生，硬體對策以地滑防止工法為主，大致分類如表 4.2.2 所示。

表 4.2.2 大規模崩塌預防對策的工法種類

發生源對策	抑制工	地表水排除工	滲透防止工、水路工、整流工
		地下水排除工	暗渠、橫向集水管、集水井、排水廊道
		挖方工	
		坡面趾部填方工程	
	抑止工	治山防砂壩等	治山防砂壩、護岸工、(基礎)擋土工
		打樁工程	
		深樁工	
		地錨工	
溪流對策	土石流與漂流木對策工	加勁擋土牆工法	鋼筋植入工
		治山防砂壩工	不透水型、透過型

事後對策的復舊對策有發生後的應急對策，以及之後的長期對策，各自又有大規模崩塌類型別的細部分類，如表 4.2.3 所示。

表 4.2.3 大規模崩塌復舊對策可使用的工法種類

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	

近年來所實施大規模崩塌地復舊對策案例，較有特色的對應如表 4.2.4 所示。大規模崩塌常有發生二次災害之虞，且破壞面積大、不穩定土砂量多，所實施對策需具備緊急性、施工性與效率性。

表 4.2.4 大規模崩塌對策具有特色的對應方法

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塌地坡趾，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

發生大規模崩塌的地點除了實施復舊對策之外，也應針對有發生龜裂等擴大崩塌之虞的地點實施預防對策。因此，復舊對策的工法，也可作為預防對策的工法。

4.2.2 現有工法的有效性

針對現有對策工法，實施施工性、經濟性、施工效果等的驗證，其中具備有效性的大規模崩塌潛勢坡面預防對策，如表 4.2.5~表 4.2.7 所示。

表 4.2.5 現有工法的有效性(發生源對策 抑制工)

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	
地下水排出工	暗渠工	防止溪流水造成侵蝕、擴大地表滲透能。
	橫向集水管	排除往坡面下方滲透的淺層地下水
	集水井	排除作用在地滑面深處的地下水、穩定坡面。施工容易。
	排水廊道	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。
挖方工		其他排水工無法對應時的施工方法。
坡面趾部填方工		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。
治山防砂壩等		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	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。

表 4.2.6 現有工法的有效性(發生源對策 抑止工)

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。

表 4.2.7 現有工法的有效性(溪流對策 土石流、漂流木對策工)

工法	細分	大規模崩塌預防工的有效性
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。

4.2.3 現有工法的改善方案

現有治山設施雖在計畫與設計階段已設定可能發生的土砂移動現象種類與規模，但大規模崩塌常超出預估規模，而有破壞治山設施之虞。

大規模崩塌的預防對策不同於一般崩塌破壞地對策，需配置能對應地滑性土塊移動與土石流發生的治山設施，或配置針對異狀不明顯大規模崩塌潛勢坡面具優良施工性與耐久性的高機能構造、形式設施。現有治山方法提升效果方案，如表 4.2.8~表 4.2.10 所示。

表 4.2.8 現有工法改善方案(發生源對策 抑制工)

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	以曲線鑽孔施工。 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。

表 4.2.9 現有工法改善方案(發生源對策 抑止工)

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。

表 4.2.10 現有工法的改善方案(溪流對策 土石流與漂流木對策)

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。

已有治山防砂壩時，應強化、增補機能、足以對應大規模崩塌的對策(如治山防砂壩增厚、提高高度、加強打樁或增設地錨、排除地下水等)。

5 結語

本手冊係依據林野廳 2011 年度到 2013 年度實施的三年計畫調查結果，紀錄第三階段調查的維護檢查、監測與對策現場對應內容，彙整大規模崩塌特徵，以及第一階段調查與第二階段的調查概要。

但需注意，本手冊依據次數有限的崩塌歷史事件與案例調查結果完成，有其侷限性，並有下列待解決之課題。今後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，並在減輕並防止山地災害方面，實施更多的案例分析。

1. 大規模崩塌的調查體系，依對策實施的步驟可分為第一階段調查~第三階段調查。實施前應先了解並評估地區特性、社會條件、保全標的、山地災害危險地區指定狀況、治山計畫實施狀況，以及對策的緊急性、必要性、有效性等，然後決定著手哪個階段的調查。
2. 第一階段調查的全國大規模崩塌風險評估圖與大規模崩塌風險評估都道府縣區域圖，係依據有限崩塌歷史事件數目所歸納的相對危險度。製作大規模崩塌風險評估都道府縣區域圖，應盡量蒐集更多確認發生地點的大規模崩塌歷史事件，深入檢討。
3. 第二階段調查的大規模崩塌潛在坡面危險度判釋法，其危險度分級係依據二個案例的分析結果做成，未來累積更多案例分析，可能修改危險度分級的臨界值。
4. 本手冊介紹實施大規模崩塌監測並發布警戒避難命令的案例，但現實上很難針對所有坡面單元訂出相同的值。個別坡面單元應針對其地區特性、坡面單元的地形與地質、保全對象範圍等狀況詳細檢討，設定基準值。
5. 本手冊說明大規模崩塌的維護檢查與監測方面常用的地滑等的調查方法。個別坡面單元，應了解、評估現地狀況，選擇適當的維護檢查與監測方法。地層走向與傾斜之量測，則仍需累積更多的數據資料，因此即使一般性業務，現場技術人員技術能力所及，仍應盡量實施量測，建立資料庫。
6. 大規模崩塌對策，很難針對所有危險坡面達成經濟性與時間性的對應。應綜合了解各坡面單元的地形與地質、所推估之大規模崩塌規模、保全標的等，充分檢討對策的必要性、緊急性、有效性與效率性等，鎖定應實施軟硬體對策的坡面。
7. 大規模崩塌的應急對策以及崩塌發生危險度提高時的緊急對策，應先設定以現場對應時間前後步驟的操作指南。

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，均符合日本著作權法相關規定。