

大規模崩壊対策現場対応ハンドブック
(案)

平成 26 年 3 月

林 野 庁

目次

1	総説	1
1.1	ハンドブックの目的	1
1.2	ハンドブックに関する留意事項	3
1.3	大規模崩壊の定義	4
1.4	大規模崩壊の特徴	6
1.4.1	地質タイプ	6
1.4.2	地質構造	9
1.4.3	第四紀隆起量	10
1.4.4	活断層からの距離	11
1.4.5	傾斜角	11
1.4.6	地すべり地形	12
1.5	大規模崩壊の発生メカニズム	12
1.6	大規模崩壊の調査体系	13
1.6.1	大規模崩壊の調査体系の概要	13
1.6.2	第1段階調査概要（大規模崩壊リスク評価全国・都道府県域マップ）	15
1.6.3	第2段階調査概要（単元斜面の危険度判定）	18
1.6.4	第3段階調査概要	21
2	大規模崩壊潜在斜面の点検調査	22
2.1	現地確認	23
2.1.1	準備	23
2.1.2	大規模崩壊潜在斜面と微地形の現地確認	23
2.1.3	湧水地点の確認	33
2.1.4	地層の走向傾斜の確認	36
2.2	簡易観測	37
2.3	湧水及び溪流水調査	38
2.4	非常時点検調査	40
3	大規模崩壊潜在斜面のモニタリング	41
3.1	地形差分解析	41
3.2	計器観測	43
3.2.1	地表伸縮計	43
3.2.2	GPS 観測	46
4	大規模崩壊に対するソフト・ハード対策	51
4.1	ソフト対策	51
4.1.1	移動量と雨量による警戒避難の指標	51
4.1.2	大規模崩壊発生後の対応	53
4.2	ハード対策	56

4.2.1	ハード対策の分類.....	56
4.2.2	既存工法の有効性.....	59
4.2.3	既存工法の改善案.....	60
5	おわりに.....	62

1 総説

1.1 ハンドブックの目的

国土の約 7 割が山地からなる我が国では、起伏が大きく急峻な地形、脆弱な地質ならびに厳しい気象条件により、崩壊や地すべりなど山地災害が多く発生している。特に近年は、地球温暖化による集中豪雨や、近い将来の発生が危ぶまれる大地震など、自然災害リスクの増大による深層崩壊などの大規模な山地災害の発生が懸念されるところである。大規模崩壊の発生頻度は非常に小さいが、一旦発生した場合は広範囲にわたって森林が消失するとともに、流出土砂による人家、道路などの直接的な破壊や、天然ダムの形成による中山間地域への甚大な被害をもたらす可能性がある。

本ハンドブックは、「山地保全調査（大規模な崩壊に対する治山対策検討調査）」（平成 23～25 年度林野庁委託調査）での検討内容をもとに、森林管理に携わる現場技術者が大規模崩壊対策の体系的な理解とともに、大規模崩壊の危険度評価や、予防対策、復旧対策などに対応するための手引きとして作成したものである。

図 1.1.1 に大規模崩壊調査体系における本ハンドブックの位置づけを示す。

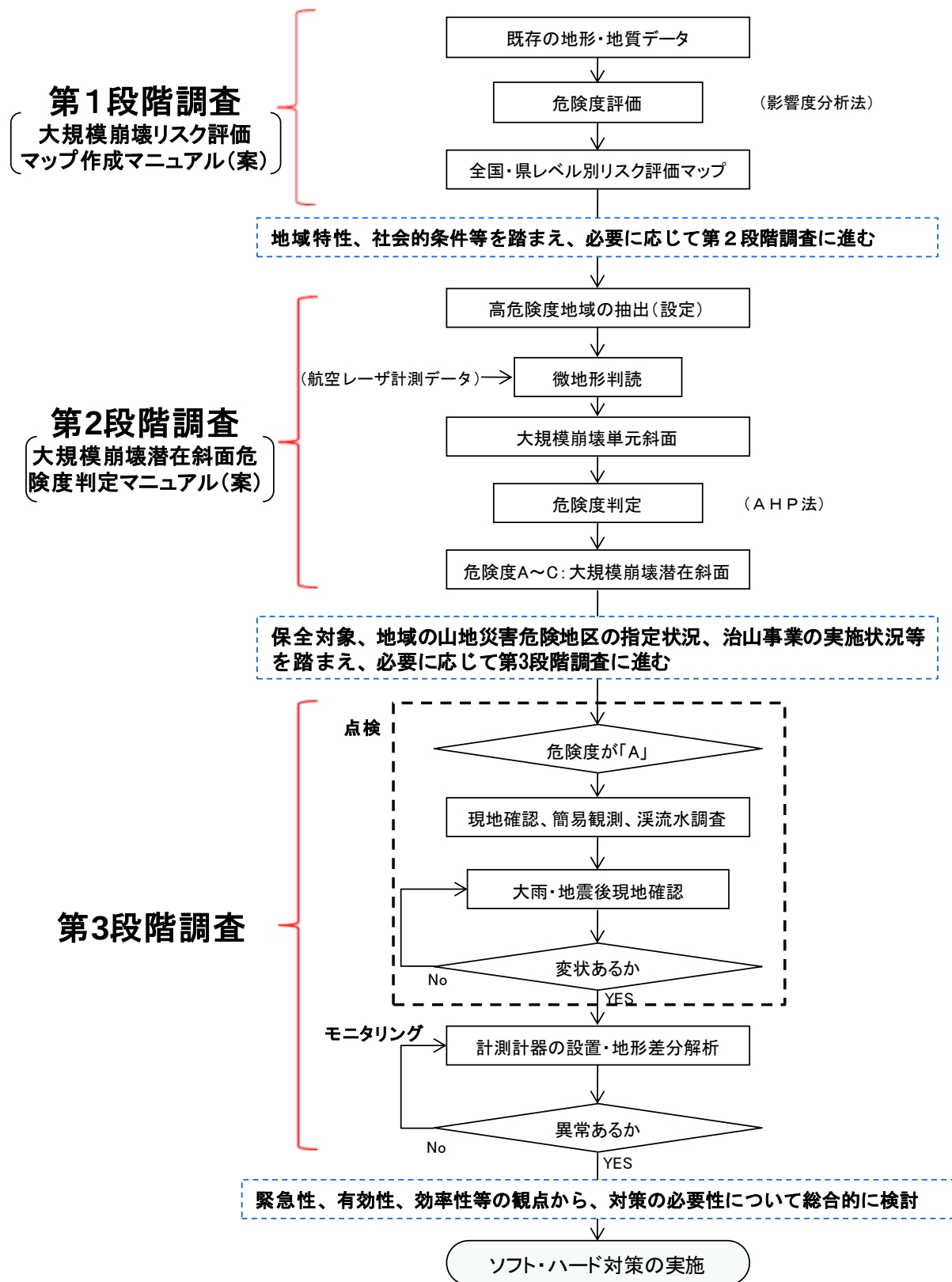


図 1.1.1 大規模崩壊調査の位置づけ

1.2 ハンドブックに関する留意事項

本ハンドブックの利活用にあたり、下記の事項について十分留意する必要がある。

- ・ 本ハンドブックは、大規模崩壊を対象とし、それ以外の土砂移動現象には適用できない。
- ・ 本ハンドブックで示したリスク評価マップ作成手法（第1段階調査）は、地形・地質など比較的容易に入手できる既存オープンデータをもとに、相対的かつ簡易な評価を行う手法であり、ボーリングによる詳細な地質調査など、現地の地質情報を基にしたものではない。
- ・ 大規模崩壊リスク評価全国マップは、全国の大規模崩壊の事例（242箇所）をもとに、一定の統計的手法により大規模崩壊の発生と地形・地質等の素因の関係の程度を相対的に推定したものであり、直ちに崩壊が発生する危険性を表すものではない。現時点において分析事例は限られており、今後の調査・研究の発展により修正され得るものである。
- ・ 本ハンドブックの第2段階調査で示した大規模崩壊潜在斜面の危険度ランク区分は、分析が可能であった二地区のみの検討結果に基づいたもので、今後の分析事例の積み重ねにより修正される可能性がある。
- ・ 大規模崩壊の発生頻度は非常に低く、また大規模崩壊の機構も未解明な点が多く、大規模崩壊の予測は、現在は技術的に困難である。
- ・ 本ハンドブックは、大規模崩壊に対する一般的な対応を整理したものである。実際の調査や警戒避難体制の検討などにあたっては、対象とする大規模崩壊潜在斜面の状況、誘因（大雨、地震）、保全対象、対策の必要性、優先度、地域特性や社会的条件等を総合的に考慮し、個別に柔軟に対応する必要がある。
- ・ 本ハンドブックの内容は、今後の適用事例を積み重ねて検証を進め、順次ブラッシュアップし、変更・改正されていくものである。

1.3 大規模崩壊の定義

本ハンドブックで扱う大規模崩壊とは、大規模かつ急激に滑動もしくは急激に滑動するおそれのある斜面移動現象をいう（林野庁，2012¹⁾）。

大規模崩壊の扱う範囲を図 1.3.1 に示す。ここでは、斜面移動現象としての崩壊と地すべりは重なる部分が存在することからその境界を破線にした。樹木根系の影響を考慮した場合、表層崩壊と深層崩壊は分けられるので、その境界は実線で示した。その際、表層崩壊にも規模が大きなもの存在するため、規模の境界は斜線として幅をもたせた。

表層崩壊の中にも大規模なものは含まれるものの、ここでは、これまでに対策が出来なかった根系の影響が直接及ばない表層崩壊以外の崩壊や地すべりの中でも規模が大きく移動速度が速いものを対象とした。

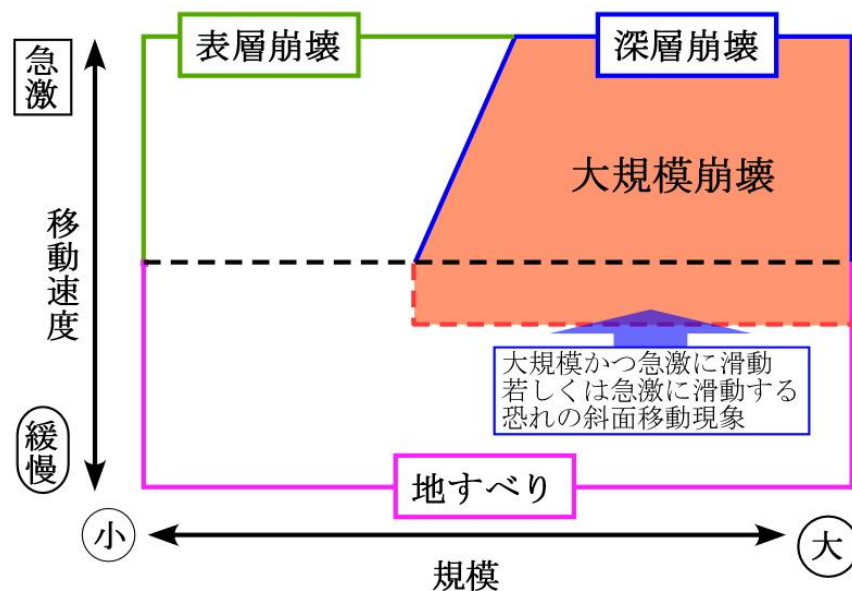


図 1.3.1 大規模崩壊として扱う範囲（林野庁，2012）

¹⁾林野庁（2012）：H23 年度山地保全調査（大規模な崩壊に対する治山対策検討調査）報告書

大規模崩壊は、既存文献調査により抽出した 242 箇所の事例から、運動形態や土砂移動特性をもとに「落下型」、「流下型」、「決壊型」の 3 タイプに区分した。

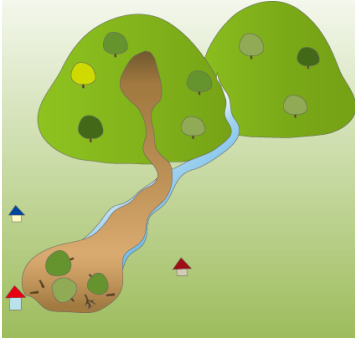
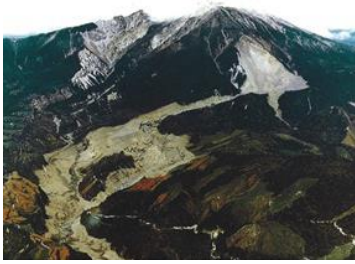
区分	落下型	流下型	決壊型
イメージ			
類似の事例			
説明	崩壊土砂が山腹斜面の下方で停止するもので、土砂の到達距離が斜面長の 2 倍未満のもの	崩壊土砂が溪流を介して土石流となって流下するもので、土砂の到達距離が斜面長の 2 倍以上になるもの	崩壊土砂が溪流を塞ぎ止めて天然ダムを形成し、湛水後、決壊して流下するおそれのあるもの

図 1.3.2 大規模崩壊のタイプ区分

過去の事例をもとに 3 区分したが、実際には発生前に個別斜面について運動形態を予測することは困難である。今後は、斜面下方の地形・地質の特徴に基づき、大規模崩壊の運動形態を明らかにする必要がある。

1.4 大規模崩壊の特徴

ここで記載した大規模崩壊の特徴は、林野庁（2012）に基づいて要約したものである。大規模崩壊の特徴の詳細については同報告書を参照されたい。

1.4.1 地質タイプ

大規模崩壊の発生状況と地質との関係の分析から、大規模崩壊に関係する地質のグループは図 1.4.1 に示した 4 つのタイプに分けられる。図 1.4.2 に全国の地質タイプと大規模崩壊の分布状況を示す。

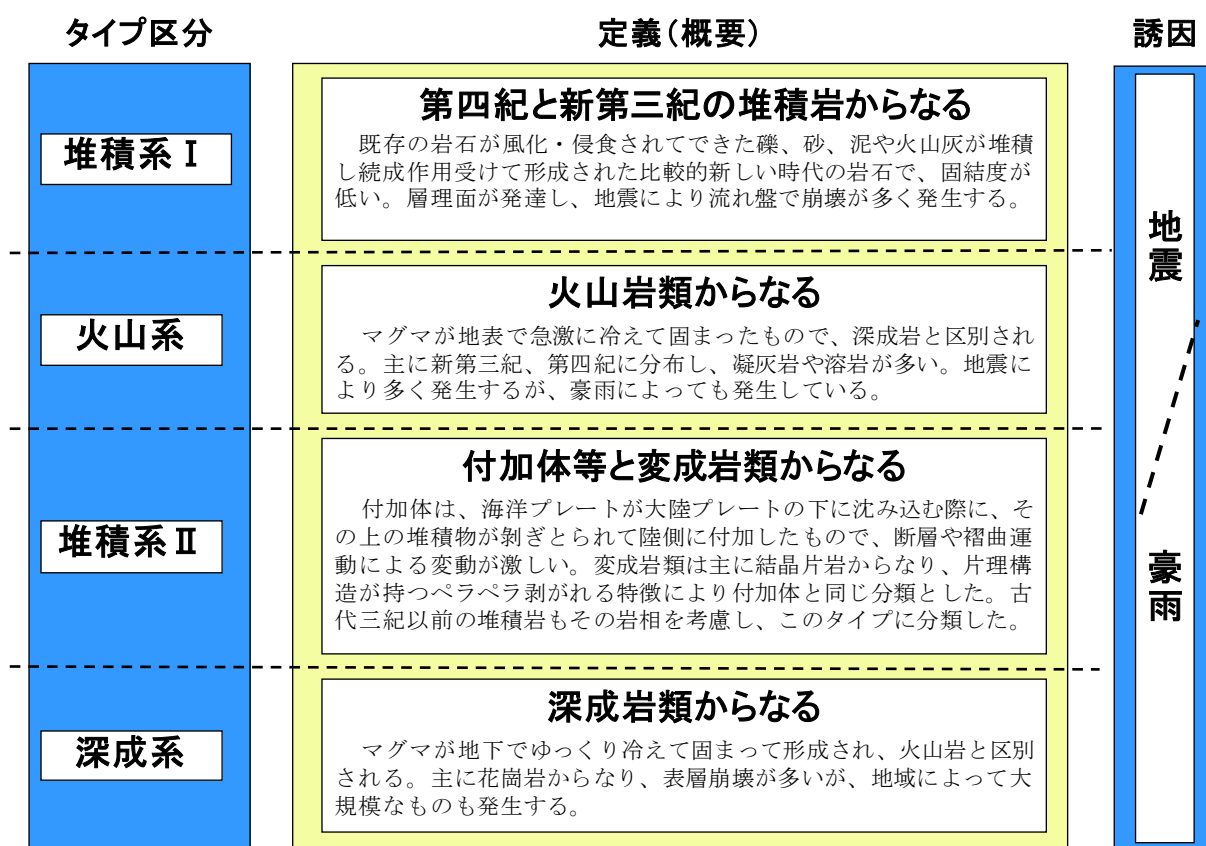


図 1.4.1 大規模崩壊の地質タイプ（林野庁，2012）

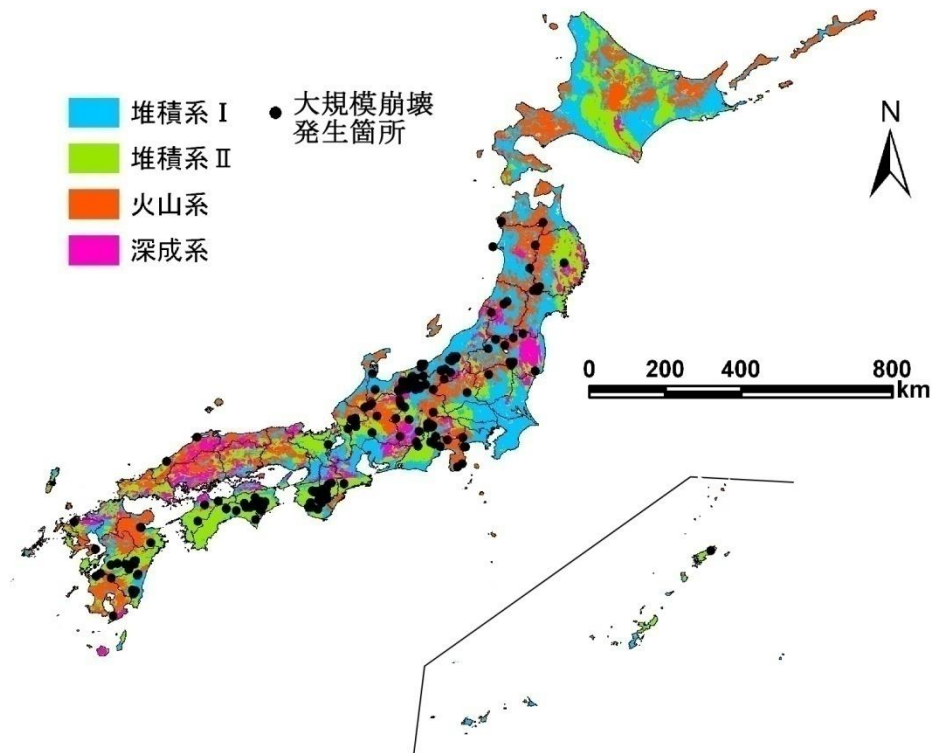


図 1.4.2 全国の地質タイプ区分と大規模崩壊の分布（林野庁，2012）

地質タイプ別の大規模崩壊発生状況を図 1.4.3、地質時代*別の大規模崩壊発生状況を図 1.4.4 にそれぞれ示す。

大規模崩壊は、堆積系Ⅱで最も多く発生し、次いで火山系で発生している。また、大規模崩壊は中生代で最も多く発生し、次いで新第三紀と第四紀で発生している。古生代はほとんど発生していない。

なお、この特徴は大規模崩壊事例（242 箇所）だけで分析した結果であり、限られた事例である。

※【地質時代】

地質時代とは、地球に地殻ができてからの時代のことである。主に生物種族の生存期間に基づいて、古い順から始生代、原生代、古生代、中生代、新生代に区分され、それぞれ詳細な区分がある。図 1.4.5 に地質年代表を示す。

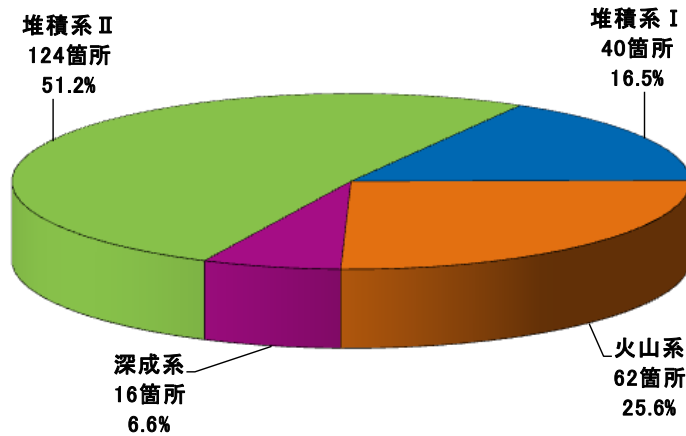


図 1.4.3 地質タイプ別の大規模崩壊発生状況

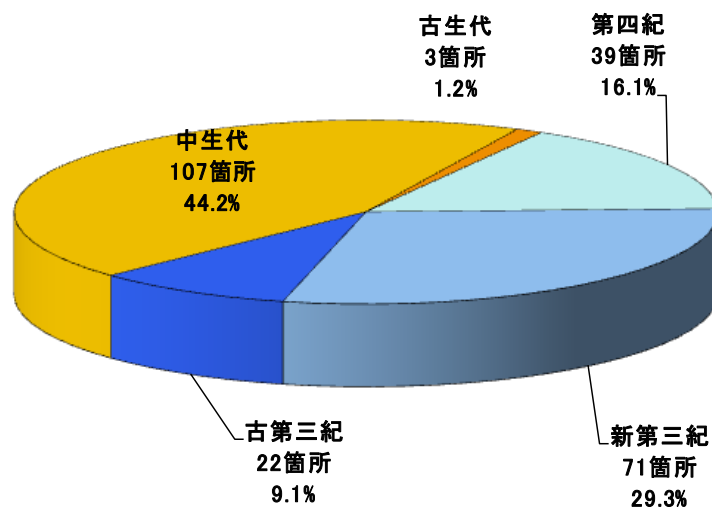


図 1.4.4 地質時代別の大規模崩壊発生状況

国際地質科学連合 (IUGS)・国際層序委員会 (ICS)・国際層序区分小委員会 (ISSC) 発行の『International Stratigraphic Chart』(2009)から簡略化して作成

年代区分の略称	年代区分	代 ERA	系 SYSTEM	世 EPOCH	年代尺度 AGE	略号 NOTATION	
						年代値 (単位: 年)	略号
顕生代 PHANEROZOIC	新生代 CENOZOIC	新第三紀 NEOGENE	新第三紀	完新世 Holocene	0 - 現在	Q	Q
				更新世 Pleistocene	2.580 - 現在	Q	Q
				鮮新世 Pliocene	2.580 - 520万年前	N	N
				中新世 Miocene	23.00 - 520万年前	Ni	Ni
				漸新世 Oligocene	23.00 - 3200万年前	E	E
		古第三紀 PALEOGENE	古第三紀	始新世 Eocene	55.8 - 65.5万年前	E	E
				始新世 Eocene	55.8 - 65.5万年前	E	E
				始新世 Eocene	55.8 - 65.5万年前	E	E
				始新世 Eocene	55.8 - 65.5万年前	E	E
				始新世 Eocene	55.8 - 65.5万年前	E	E
	中生代 MESOZOIC	中生代	白垩紀 Cretaceous	65.5 - 1億年前	K	K	
			白垩紀 Cretaceous	65.5 - 1億年前	K	K	
			白垩紀 Cretaceous	65.5 - 1億年前	K	K	
			白垩紀 Cretaceous	65.5 - 1億年前	K	K	
			白垩紀 Cretaceous	65.5 - 1億年前	K	K	
古生代 PALAEZOIC	古生代	石炭紀 Carboniferous	359.2 - 2億5800万年前	C	C		
		石炭紀 Carboniferous	359.2 - 2億5800万年前	C	C		
		石炭紀 Carboniferous	359.2 - 2億5800万年前	C	C		
		石炭紀 Carboniferous	359.2 - 2億5800万年前	C	C		
		石炭紀 Carboniferous	359.2 - 2億5800万年前	C	C		
先カンブリア代 PRECAMBRIAN	先カンブリア代	始生代 Archean	2500 - 25億年前	NA	NA		
		始生代 Archean	2500 - 25億年前	NA	NA		
		始生代 Archean	2500 - 25億年前	NA	NA		
		始生代 Archean	2500 - 25億年前	NA	NA		
		始生代 Archean	2500 - 25億年前	NA	NA		

地球の誕生 約46億年前

原図はIUGSホームページ <http://www.stratigraphy.org/upload/ISChart2009.pdf>

図 1.4.5 地質年代表 (出典: 日本地質学会)

1.4.2 地質構造

堆積系について、地質構造（流れ盤、受け盤；図 1.4.6 を参照）と大規模崩壊の発生状況を整理したところ、受け盤に比べて流れ盤で発生した大規模崩壊が多い傾向がみられる（図 1.4.7）。この傾向は、誘因が地震の場合で顕著である（図 1.4.8）。

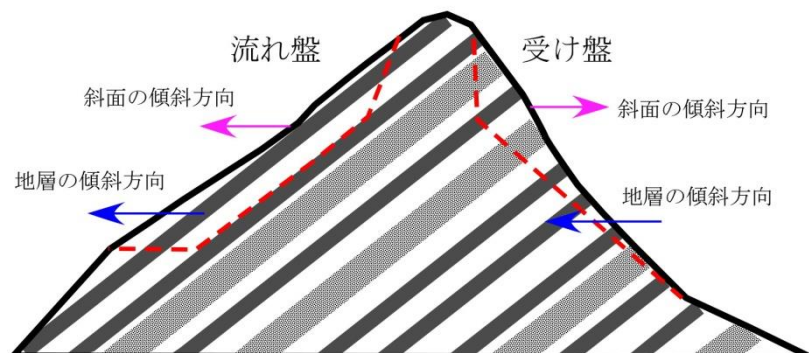


図 1.4.6 流れ盤、受け盤構造の模式図

流れ盤：地層と斜面が同方向に傾斜している

受け盤：地層と斜面が逆方向に傾斜している

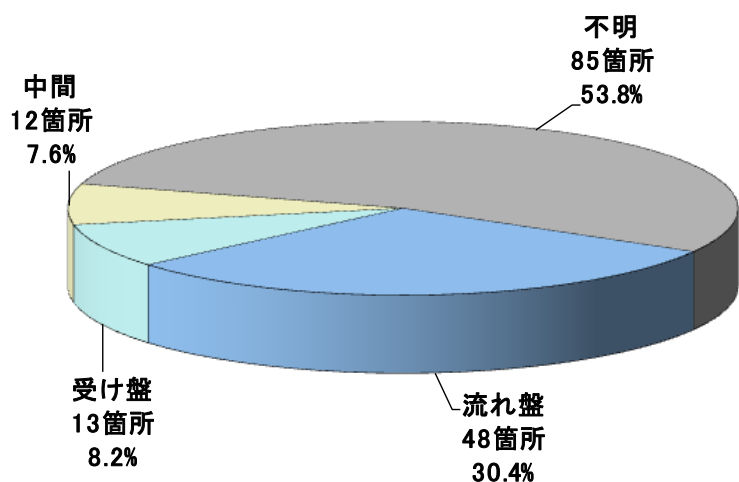


図 1.4.7 堆積系の地質構造と大規模崩壊の発生状況

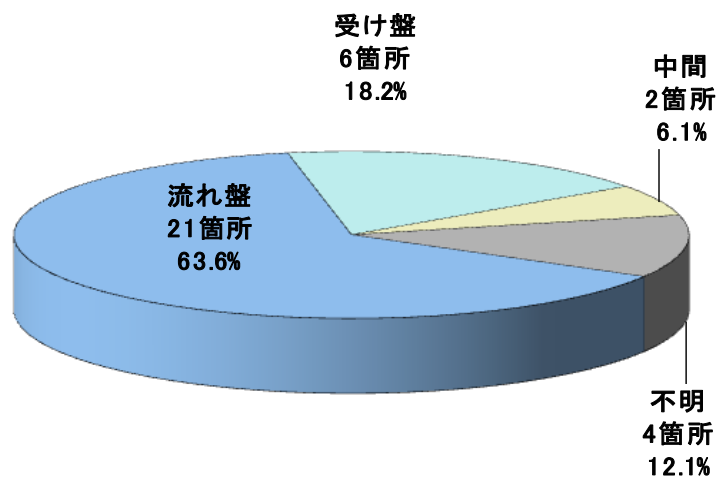


図 1.4.8 誘因が地震の場合の堆積系の地質構造と大規模崩壊の発生状況

1.4.3 第四紀隆起量

図 1.4.9 に第四紀隆起量^{*}と大規模崩壊の発生頻度の関係を示した。大規模崩壊は、隆起量が 750～1,000m で最も多く発生し、500m 以上で多く発生する傾向がみられる。

※【第四紀】

地球の歴史の中で、現在を含む最も新しい時代で、約 260 万年から現在までの期間をいう（図 1.4.5 を参照）。

※【第四紀隆起量】

わが国における第四紀の期間における垂直地殻変動量をいう（第四紀地殻変動研究グループ, 1968²⁾）。

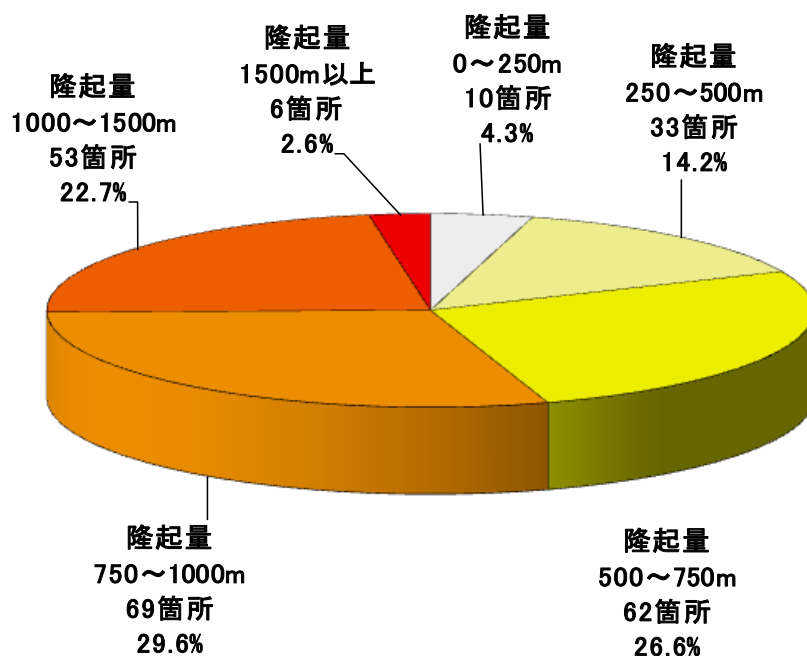


図 1.4.9 第四紀隆起量と大規模崩壊の発生状況

²⁾ 第四紀地殻変動研究グループ（1968）：第四紀地殻変動図，第四紀研究，Vol. 7，No. 4，pp. 182-187.

1.4.4 活断層からの距離

活断層※から大規模崩壊までの距離と地質タイプ別の崩壊発生数を図 1.4.10 に示す。堆積系Ⅱ以外は、活断層から近いほど崩壊発生数が多い傾向がみられる。この特徴は特に活断層から 10km 以内で顕著である。

※【活断層】

最近の地質時代に繰り返し活動し、将来も活動することが推定される断層のこと。

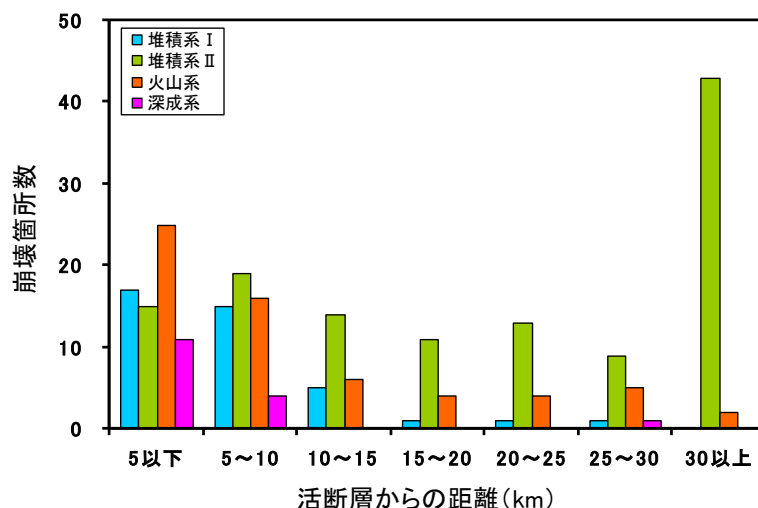


図 1.4.10 活断層からの距離と大規模崩壊の発生状況

1.4.5 傾斜角

斜面傾斜と大規模崩壊の発生状況を図 1.4.11 に示す。傾斜 30～40° が最も多い。崩壊密度は、全般的に見て傾斜が急になるほど高くなる傾向が認められる。

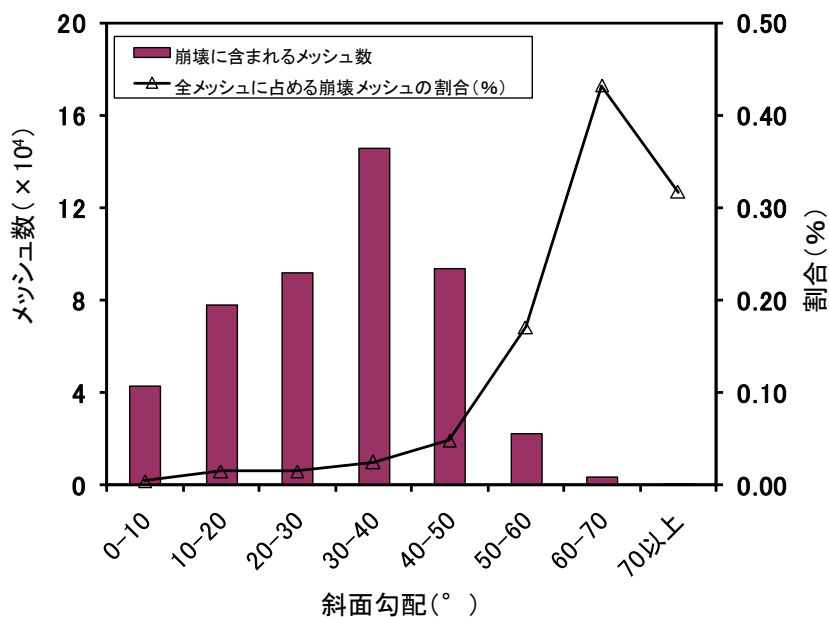


図 1.4.11 斜面の傾斜角と大規模崩壊の発生状況

1.4.6 地すべり地形

地すべり地形※内外における大規模崩壊の発生状況を図 1.4.12 に示す。地すべり地形内で発生した大規模崩壊は、地すべり地形外で発生したものより多い。地質タイプ別では、堆積系Ⅰ、火山系が地すべり地形内で比較的多く発生し、深成系は地すべり地形外で比較的多く発生している。堆積系Ⅱは、地すべり地形内外で同程度発生している。

※【地すべり地形】

地すべり変動によって生じた（又は生じつつある）地形の総称をいう。

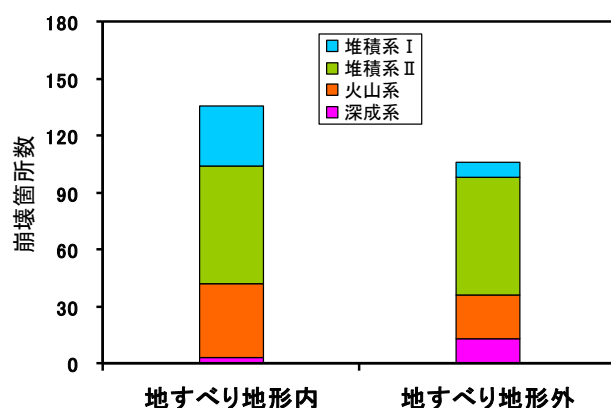


図 1.4.12 地すべり地形内外における大規模崩壊の発生状況

1.5 大規模崩壊の発生メカニズム

大規模崩壊の発生は、素因としては地質、地形的な特徴に規制されている。大規模崩壊発生の誘因としては、主に集中豪雨や強い地震が挙げられる。

図 1.5.1 に地質タイプ別、誘因別（地震と降雨）の大規模崩壊の発生箇所数を示す。新第三紀より新しい堆積系Ⅰと火山系は主に地震によって、堆積系Ⅱ、深成系は主に降雨によって発生する傾向が見られる。

豪雨による大規模崩壊の場合は、豪雨により雨水が斜面内に浸透し、岩盤の割れ目（節理、断層、破碎帯など）に沿って斜面深部まで到達し、岩盤内の地下水を上昇させる。これにより、岩盤のせん断力に対し岩盤の抵抗力が小さくなり、崩壊が発生する。

地震の場合は、もともと比較的不安定であった斜面が強い振動により大規模崩壊を発生させる。

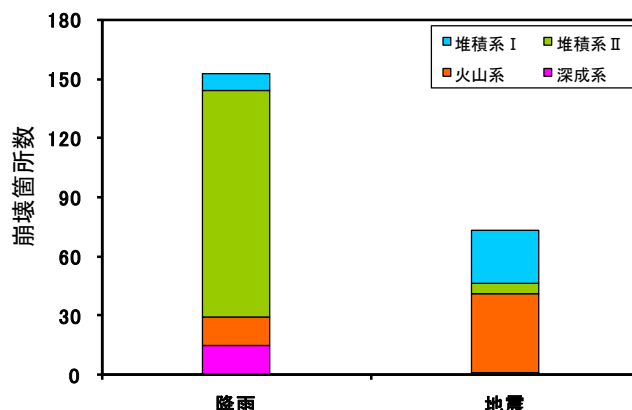


図 1.5.1 誘因別、地質タイプ別大規模崩壊の発生状況

1.6 大規模崩壊の調査体系

1.6.1 大規模崩壊の調査体系の概要

大規模崩壊の調査体系の概要を図 1.6.1 に示した。

地域における大規模崩壊の発生状況、地域特性、社会的条件等から大規模崩壊潜在斜面を把握する必要がある場合、第 1 段階の調査として、全国で入手できる既存の地形・地質のデータを用いた、高危険度地域の抽出による範囲の絞り込みを行うことが有効である。

第 1 段階調査の具体的な実施方法については、「大規模崩壊リスク評価マップ作成マニュアル（案）」を参照されたい。

第 2 段階の調査では、第 1 段階調査で「高危険度」と判断された地域において、周辺地域でのこれまでの大規模崩壊の発生状況や森林の保全・管理等上の必要性に応じて、航空レーザ測量データ等を用いて危険度判定を行い、「大規模崩壊潜在斜面」を絞りこむ。第 2 段階調査の具体的な実施方法については、「大規模崩壊潜在斜面危険度判定マニュアル(案)」を参照されたい。

第 3 段階の調査では、第 2 段階調査の危険度判定で危険度が「A～C」の単元斜面を「大規模崩壊潜在斜面」とし、保全対象との位置関係等、緊急性、有効性、効率性の観点から、必要に応じて危険度が A ランクの大規模崩壊潜在斜面を中心に、点検やモニタリング等を行う。

なお、民有林直轄治山事業など大規模崩壊の復旧対策を現に実施している地区であって、周辺の類似災害の発生状況から何らかの対策を講ずべきと考えられる場合など、現場の状況に応じて必ずしも第 1 段階→第 2 段階→第 3 段階の順に調査を実施する必要がなく、例えば第 1 段階や第 3 段階の手順を省略する場合も考えられることから、柔軟に対応する必要がある。

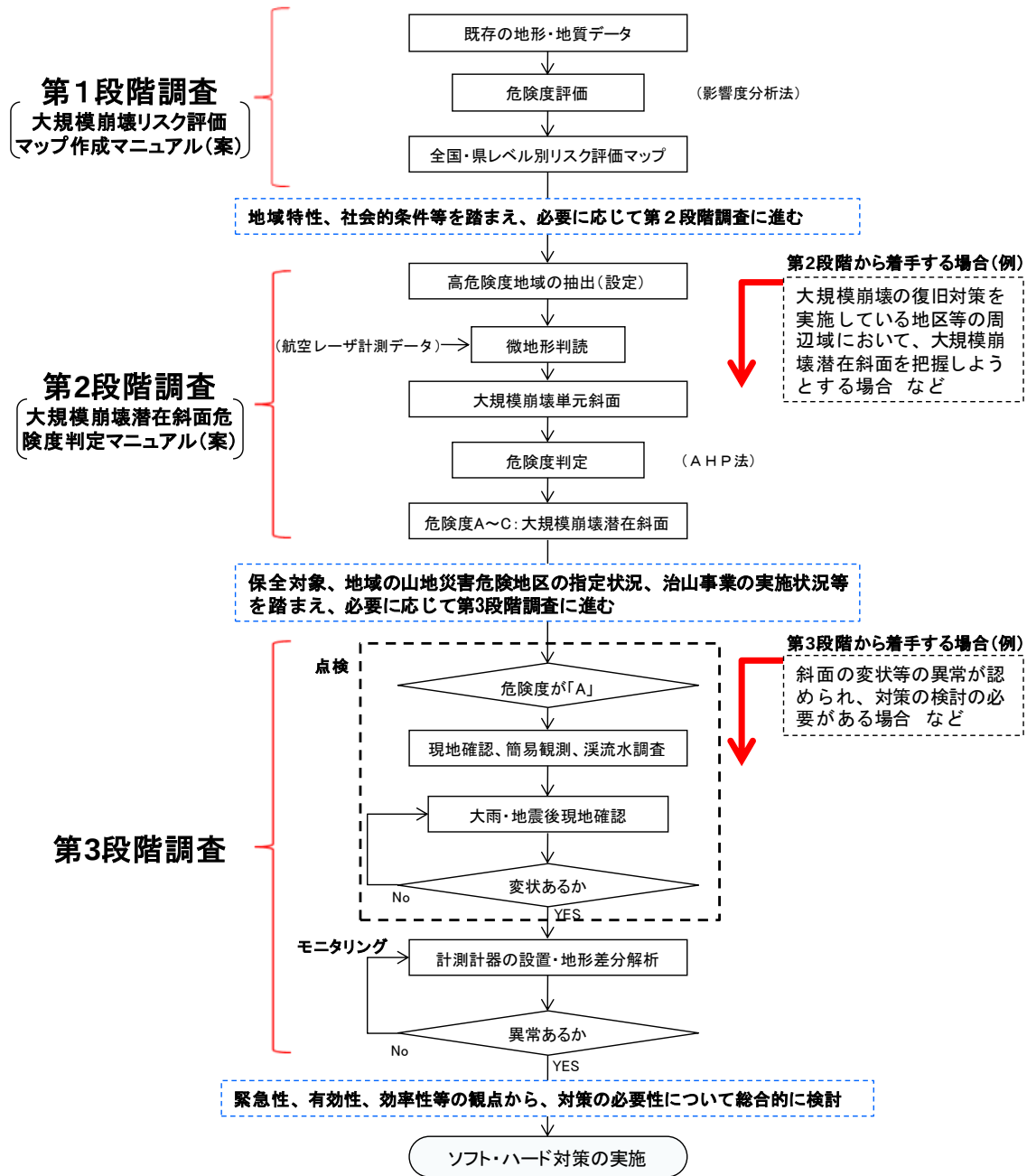


図 1.6.1 大規模崩壊調査体系※

※【注釈】

ここでは一般的な調査の流れを示した。各調査段階の移行等、実際の運用に当たっては具体的な判断の考え方や基準等についてはそれぞれの地域特性（周辺地域での類似災害の発生状況を含む）や社会的条件等を踏まえ、個々に検討する必要がある。

1.6.2 第1段階調査概要（大規模崩壊リスク評価全国・都道府県域マップ）

1) 使用データ

第1段階調査では、既存の地形・地質データ（資料）を用いてリスク評価マップを作成する。図 1.6.2 に使用データと項目を示した。大規模崩壊リスク評価全国マップの場合は、地質図、数値標高モデル（DEM）、地すべり地形分布図、活断層からの距離と第四紀隆起量を用い、大規模崩壊リスク評価都道府県域マップの場合は、さらに起伏量と流れ盤構造を追加する。

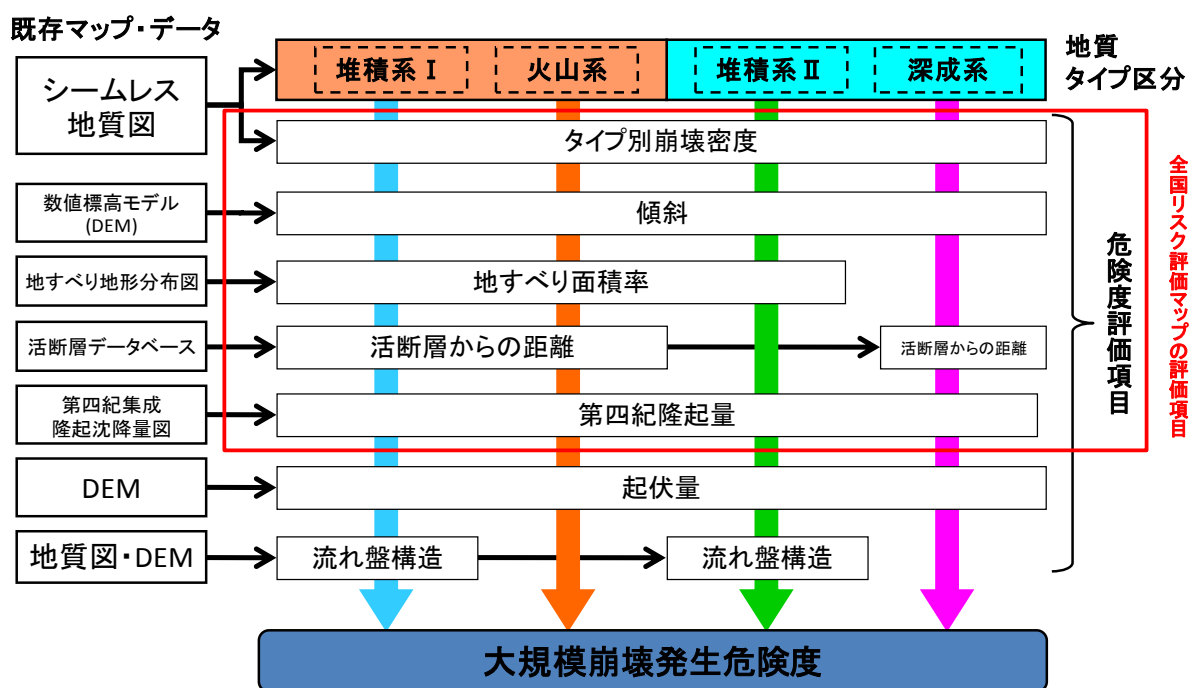


図 1.6.2 大規模崩壊第1段階調査の使用データと評価項目

2) 大規模崩壊リスク評価全国マップの作成方法

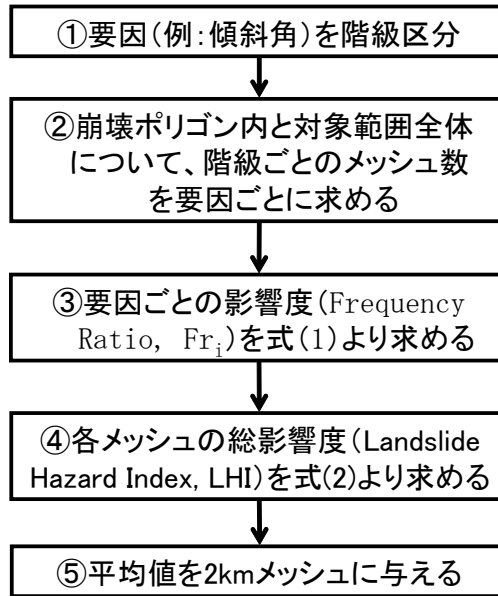
第一段階の危険度評価では、影響度評価手法を用いた。影響度分析 (Frequency Ratio) 手法は、崩壊発生危険度分析手法としてしばしば使われている手法である (Lee *et al.*, 2007³⁾; Karim *et al.*, 2011⁴⁾)。この方法では、崩壊の発生に寄与する複数の要因を過去の崩壊分布と対比することで評価する。その手順は以下のものであり、10 m メッシュごとに評価を行ったものを、2 km メッシュに集約した。

影響度評価法による大規模崩壊の危険度評価手順を図 1.6.3 に示す。調査範囲の各メッシュの影響度 (Fr) をもとに危険度ランクを設定し、大規模崩壊リスク評価全国マップを作成する。

図 1.6.4 に全国の危険度評価結果を示す。

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.



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

ここでは、

$N_{pix(S_i)}$: 階級 i における崩壊メッシュ数

$N_{pix(N_i)}$: 階級 i の全メッシュ数

$\sum N_{pix(S_i)}$: 崩壊メッシュの総数

$\sum N_{pix(N_i)}$: 調査範囲の全メッシュ数

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

図 1.6.3 大規模崩壊の影響度分析の手順

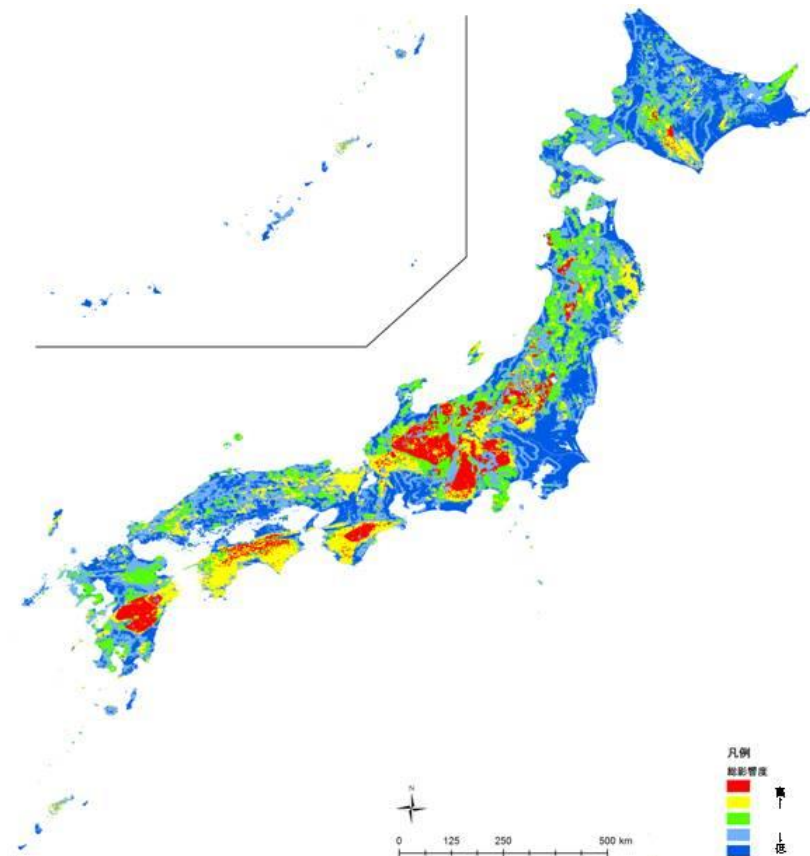


図 1.6.4 大規模崩壊リスク評価全国マップ※

※【注釈】

1. 本マップは、全国の大規模崩壊のうち履歴が判明している事例（242 箇所）をもとに、一定の統計的手法（影響度分析）により、大規模崩壊の発生と地形・地質等の素因の関係の程度を、相対的に推定したものであり、直ちに崩壊が発生する危険性を表すものではない。現時点において分析事例は限られており、今後の調査・研究の進展により修正され得るものである。

2. 本マップの作成にあたり、一般に入手可能な次の資料を用いた。

- ・ 地形データ：国土地理院の 10m メッシュ標高数値モデル
- ・ 地質データ：産業技術総合研究所 20 万分の 1 のシームレス地質図
- ・ 地すべり地形分布図：防災科学技術研究所地すべり地形分布データベース
- ・ 活断層：産業技術総合研究所の活断層データベース
- ・ 第四紀隆起量：第四紀研究グループ（1968）の第四紀修正隆起沈降図（200 万分の 1）

3) 大規模崩壊リスク評価都道府県域マップの作成方法と用途

大規模崩壊リスク評価全国マップで危険度の高い地域の絞り込みが困難な場合、県域レベルでパラメータを調整したリスク評価マップを作成する。大規模崩壊リスク評価都道府県域マップの作成では、大規模崩壊リスク評価全国マップの評価項目に起伏量と地質構造を追加し、影響度評価を適用する。この評価項目は、大規模崩壊リスク評価全国マップ作成ではデータ収集や解析量の負担の問題から除外したが、県域レベルであれば、十分に適用可能であり危険度評価の精度の向上が期待できる。大規模崩壊リスク評価都道府県域マップの評価項目の算出方法については、「大規模崩壊リスク評価マップ作成マニュアル(案)」

を参照されたい。

1.6.3 第2段階調査概要（単元斜面の危険度判定）

第2段階の調査では、第1段階調査で高危険度とされる地域において微地形判読を実施し単元斜面を設定し、大規模崩壊潜在斜面危険度判定法（AHP法）を用いて危険度判定を行う。なお、第1段階調査では2kmメッシュ単位で評価しているため、1メッシュ4km²範囲で「高危険度」地域を判定できる。実際に高危険度地域を選定するには、危険度が高いメッシュとその周辺、または小流域（50km²程度）とする。

AHP (Analytic Hierarchy Process) 法は Saaty 教授 (Saaty, 1980⁵⁾) によって開発された意志決定支援システムである。AHP 法は、定量化しにくい分野で複数の要素の関係や重要性を明らかにするために用いられる。その要素（評価項目）をどれだけ重視しているかをウェイトで定量的に表現し、多数ある要素を点数化し合計することにより、重要度を定量的に評価することができる。この方法では、問題の解決を「目的」、「評価項目」、「代替案」の3階層に分け、分析によって評価項目の優先度にランクを付け、整合性判断の尺度を提供する。

図 1.6.5 に AHP 法の一般的な手順を示す。大規模崩壊危険度判定法の構築にあたり、評価項目は単元斜面の地形変状に重点を置き、地質や地質構造などの大規模崩壊発生の素因とした。

表 1.6.1 に大規模崩壊危険度判定法の評価項目の階層構造とウェイトの例を示す。大規模崩壊危険度判定は、図 1.6.6 に示したように微地形判読または既存地すべり地形により単元斜面を設定し、それに対し単元斜面毎に該当する評価項目のウェイト（表 1.6.1）を加算する。加算して得られた総合ウェイトを、危険度ランク区分の閾値（図 1.6.7）に基づき単元斜面の危険度を A、B、C、D と判定する。

評価項目とそのウェイトは、複数の専門家の判断により設定したものである。大規模崩壊に対する知見の集積により今後変わりうるもので、注意が必要である。

危険度ランクは、2 事例（奈良県十津川村長殿地区と新潟県長岡市東竹沢地区）で実施した結果の閾値を平均して設定した（図 1.6.7）。ここでは、D 以上を大規模崩壊潜在斜面とし、D を危険地区から除外し、A、B、C は今後の対応の優先順位の参考とする。ただし、新たに確認された地形変状、大規模崩壊が発生した場合の被害範囲、現行事業箇所やその周辺状況、保全対象等現場状況に応じて、必ずしも上記危険度区分に従わない場合が考えられるため注意が必要である。

大規模崩壊危険度判定手法の詳細については、「大規模崩壊潜在斜面危険度判定マニュアル（案）」を参照されたい。

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

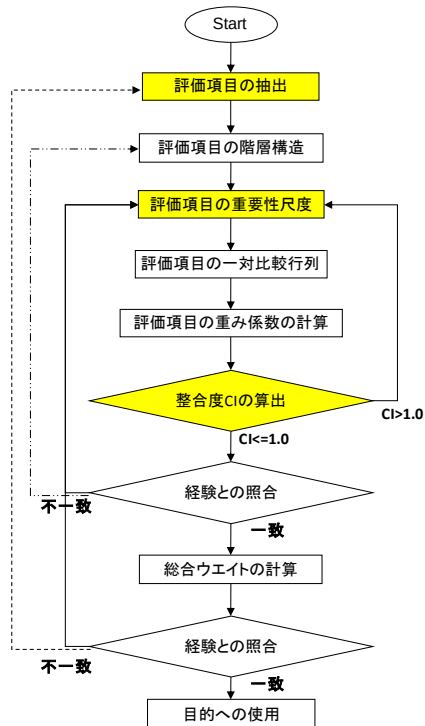


図 1.6.5 AHP 法の手順

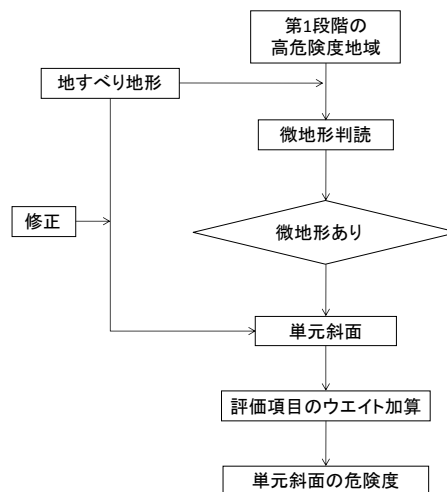


図 1.6.6 大規模崩壊危険度判定の手順

ランク	閾値
A	0.323 以上
B	0.27-0.323
C	0.209-0.27
D	0.209 以下

図 1.6.7 単元斜面の危険度ランク区分（暫定値）

表 1.6.1 大規模崩壊潜在斜面危険度判定項目の階層構造とウエイトの例

番号	目的(レベル1)	評価項目 レベル2	レベル2のウ エイト	評価項目 レベル3	レベル3のウ エイト	評価項目 レベル4	レベル4のウ エイト	総合ウエイト(レベル2ウエイト ×レベル3×レベル4)		
1	大規模崩壊危険度判定	斜面形状	0.024	凸型	0.633	—	—	0.015		
2				斜面傾斜	0.068	中間	0.261	—	—	0.006
						凹型	0.106	—	—	0.002
		－15度	0.085			—	—	0.006		
		15－25度	0.140			—	—	0.009		
		25－35度	0.233			—	—	0.016		
3		起伏量	0.068	35度－	0.542	—	—	0.037		
				100m以下	0.067	—	—	0.005		
				100－200m	0.148	—	—	0.010		
				200－300m	0.291	—	—	0.020		
4		斜面変状	0.253	亀裂・段差地形	0.292	上部	0.633	0.047		
						中部	0.260	0.019		
						下部	0.106	0.008		
				線状凹地・二重山稜	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		
						やや明瞭	0.260	0.012		
						不明瞭	0.106	0.005		
				小崩壊	0.186	上部	0.106	0.005		
						中部	0.260	0.012		
						下部	0.633	0.030		
				クリープ斜面	0.113				0.029	
				山頂緩斜面	0.026	—	—		0.007	
リニアメント		0.026	—	—		0.007				
5		末端侵食状況	0.169	強い	0.566	—	—	0.095		
				やや強い	0.274	—	—	0.046		
				弱い	0.113	—	—	0.019		
	なし			0.046	—	—	0.008			
6	サイド侵食状況	0.113	両側に溪流あり	0.615	—	—	0.070			
			片側に溪流あり	0.319	—	—	0.036			
			溪流なし	0.066	—	—	0.007			
7	末端形状	0.165	急・比高大	0.643	—	—	0.106			
			急または比高大	0.283	—	—	0.047			
			緩傾斜・比高小	0.070	—	—	0.012			
8	地質	0.024	火山系	0.592	—	—	0.014			
			堆積系Ⅱ	0.205	—	—	0.005			
			堆積系Ⅰ	0.131	—	—	0.003			
			深成系(変成岩を含む)	0.072	—	—	0.002			
9	地質構造	0.117	流れ盤	0.738	—	—	0.086			
			受け盤	0.094	—	—	0.011			
			その他	0.168	—	—	0.020			

1.6.4 第3段階調査概要

大規模崩壊の第3段階調査では、大規模崩壊潜在斜面のうち、必要性、緊急性等から第2段階調査で「危険度 A」と判断された大規模崩壊潜在斜面を優先的に初期点検調査、非常時点検調査（大雨、地震後）を行い、必要に応じて計器によるモニタリングを実施する。モニタリングの結果や現地状況に応じて必要性、緊急性、有効性、効率性等の観点を踏まえて対策（ハード、ソフト）を検討する。

2 大規模崩壊潜在斜面の点検調査

本章では、大規模崩壊の第3段階調査について記載する。

第3段階調査では、第2段階調査で優先順位として「危険度 A」と判断された大規模崩壊潜在斜面に対し、必要に応じて優先的に図 2.0.1 に示したような調査を実施する。なお、保全対象、被害範囲等を総合的に考慮し、「危険度 A」ではない大規模崩壊潜在斜面を優先的に調査する場合も考えられる。

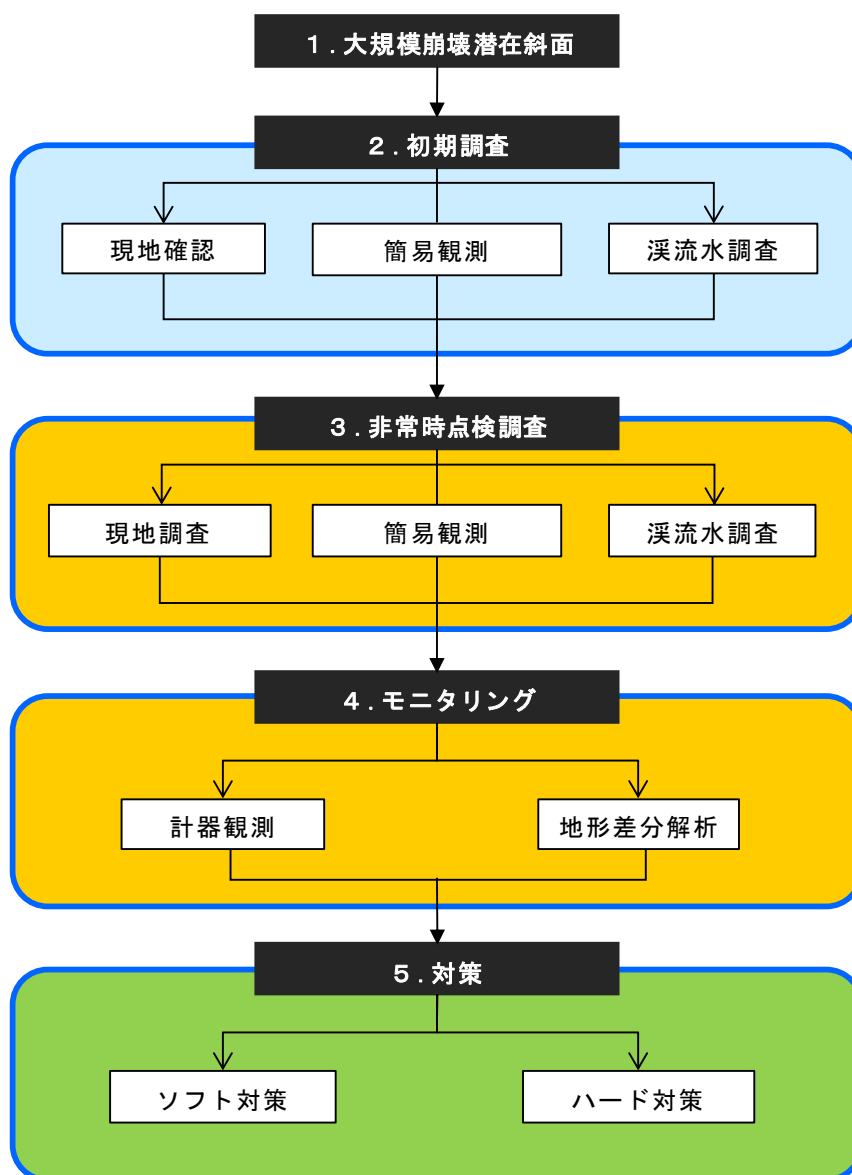


図 2.0.1 大規模崩壊潜在斜面の第3段階調査の概要

2.1 現地確認

大規模崩壊潜在斜面の現地確認には、対象斜面の位置確認と、判読した微地形の現地確認が含まれる。

2.1.1 準備

現地確認するためには、第2段階調査が実施され、大規模崩壊潜在斜面が特定されていることが基本となる。

現地確認に必要な資料、道具は次のとおりである。なお、現地調査で移動杭等を設置する必要があるため、2人以上の調査者が必要である。

- (1) 調査図面（小縮尺地形図、大縮尺微地形判読図）、文房具
- (2) 移動杭、カケヤ、釘、塗料（スプレー）、メジャー（巻尺、コンベックス）
- (3) 電気伝導度計（EC計）、容器
- (4) カメラ、ポータブルGPS、クリノメーター（スマートフォン）

2.1.2 大規模崩壊潜在斜面と微地形の現地確認

第2段階調査で大規模崩壊潜在斜面と判定された単元斜面について、机上で微地形判読した後、現地確認を行う。現地では当該大規模崩壊潜在斜面とその周辺の基本情報（保全対象、アクセス方法等）を確認する。

1) 微地形の現地確認

現地確認では、ポータブルGPS機を用いて亀裂・段差地形、線状凹地・二重山稜の位置を確認し、それを図上の判読結果と比較する。現地確認結果により、必要に応じて判読結果を修正し、微地形の位置情報（緯度経度、標高）を記載する。微地形の模式図を図2.1.1に示す。ここでは、移動杭の設置を考慮し、微地形として亀裂・段差地形（図2.1.1では「f（山向き）小崖地形」に相当）と線状凹地・二重山稜に注目する。その他の微地形については、位置情報、状況を把握する。

図2.1.2に、単元斜面の地形表現図上の微地形判読結果の例を示す。微地形判読の詳細については「大規模崩壊潜在斜面危険度判定マニュアル（案）」を参照されたい。

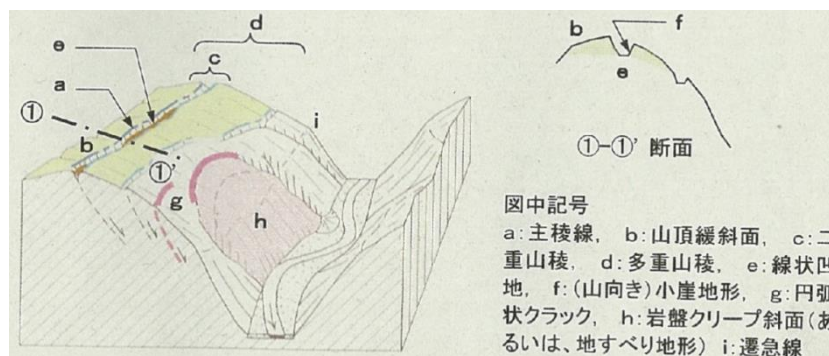


図 2.1.1 斜面に見える微地形の模式図（鈴木⁶⁾，2004）

⁶⁾ 鈴木隆介（2000）：建設技術者のための地形図読図入門 第3巻 段丘・丘陵・山地，古今書院。

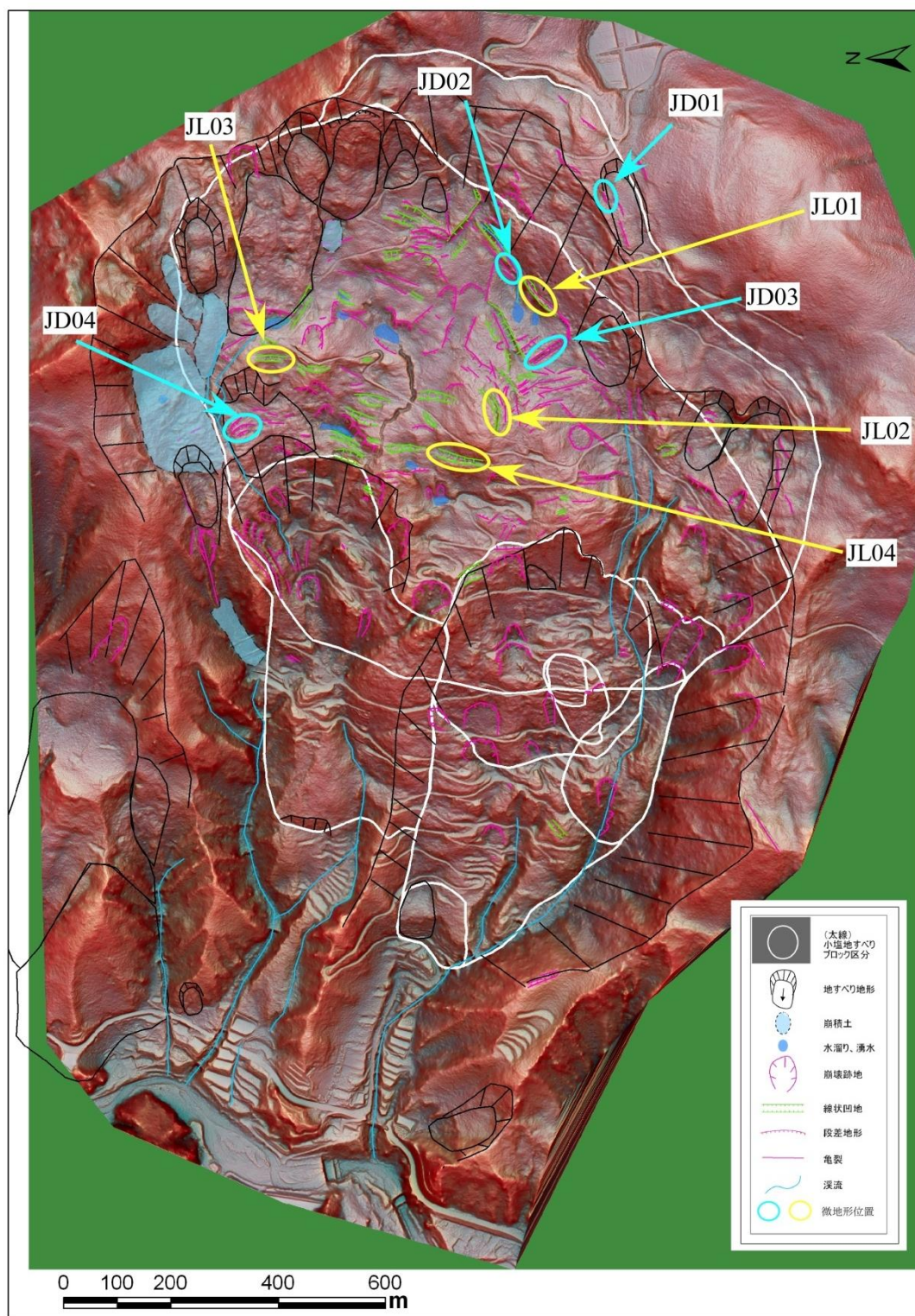


図 2.1.2 単元斜面の微地形判読図と現地確認微地形位置の例（小塩地すべりの例）

① 亀裂・段差地形

亀裂・段差地形とは、斜面の重力変形によって斜面上に形成された亀裂または階段状の地形をいう。段差地形については、小崖と呼ばれることもある（例えば、千木良，2013⁷⁾）。

図 2.1.1 の模式図に示したように、山側が崖になる場合が多い。谷側が高い場合は逆向き小崖と呼ばれる。

図 2.1.3～図 2.1.6 は、亀裂・段差地形の地形表現図上での特徴と現地状況を比較したものである。また、判読による亀裂・段差地形の幅と現地計測結果を比較した例を示している。

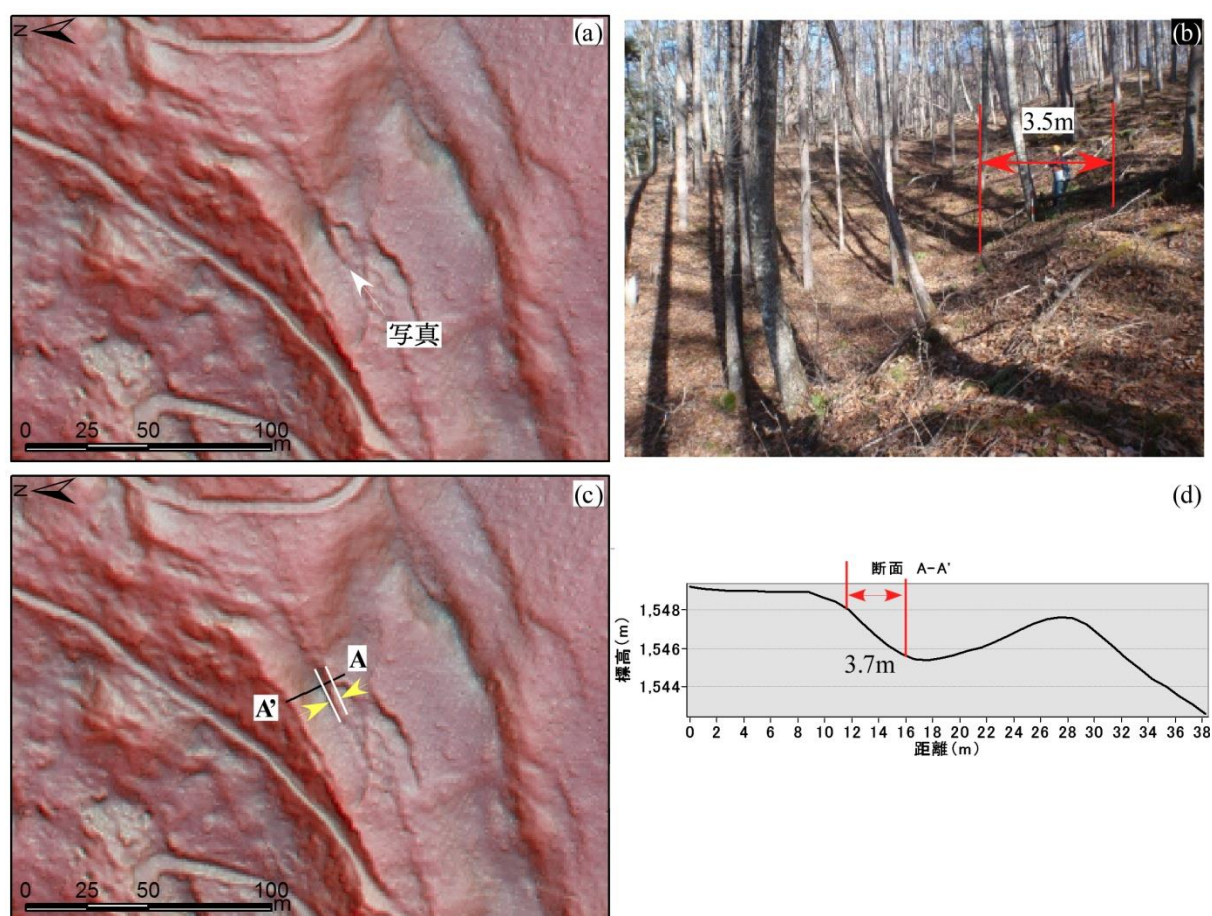


図 2.1.3 亀裂・段差地形の地形表現図上と現地確認（図 2.1.2 の JD03 の箇所）

- (a) 北東—南西方向に伸びる南西側が低い段差地形
- (b) 現地では明瞭な段差地形と確認された
- (c) 段差地形の断面位置と平面図上の幅
- (d) 段差地形の断面形状

図上での段差地形の幅は 3.7m であったのに対し、現地確認では 3.5m であった。

⁷⁾ 千木良 雅弘(2013)： 深層崩壊, p.231, 近未来社

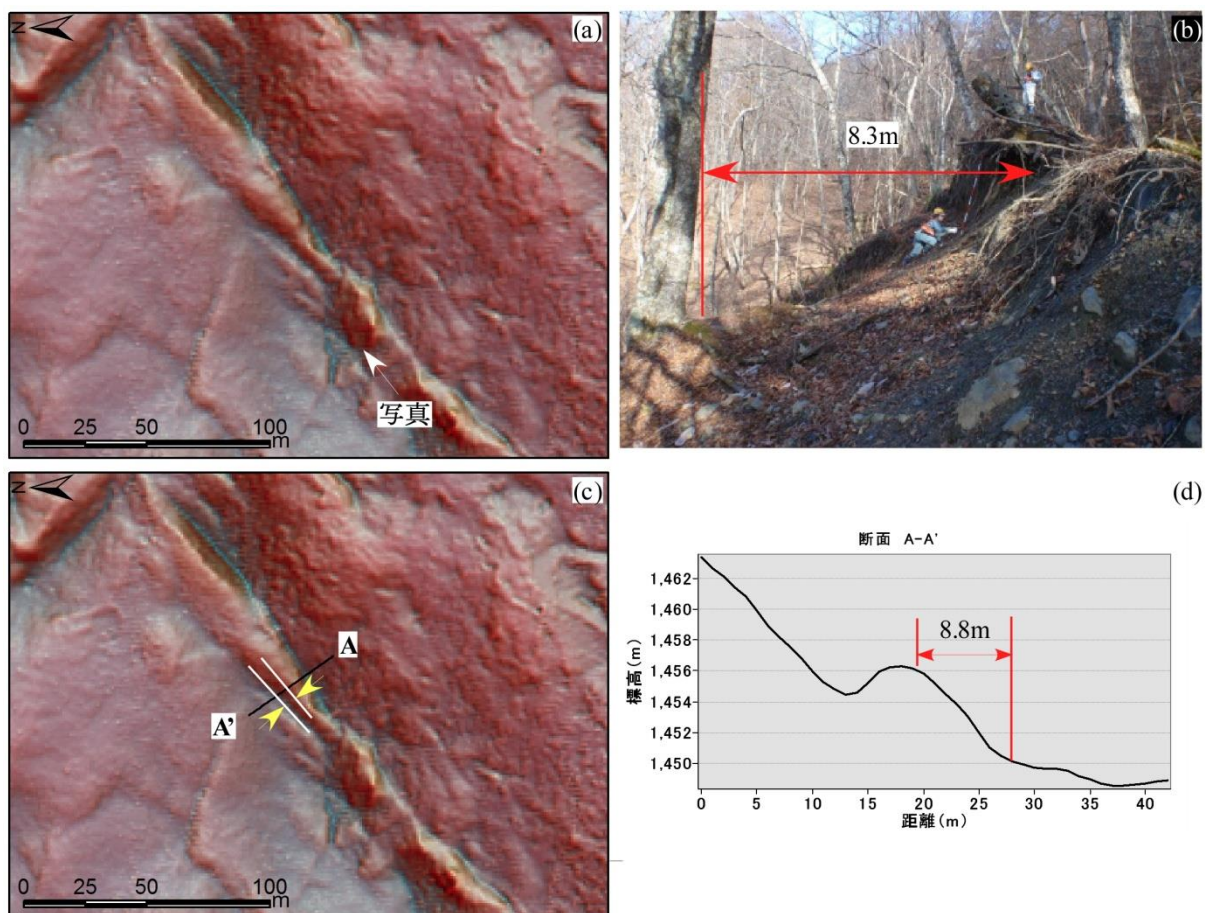


図 2.1.4 亀裂・段差地形の地形表現図上と現地確認（図 2.1.2 の JD02 の箇所）。

(a) 北東—南西方向に伸びる北西側が低い段差地形

(b) 現地では明瞭な段差地形と確認された

(c) 段差地形の断面位置と平面図上の幅

(d) 段差地形の断面形状

図上での段差地形の幅は 8.8m であったのに対し、現地確認では 8.3m であった。

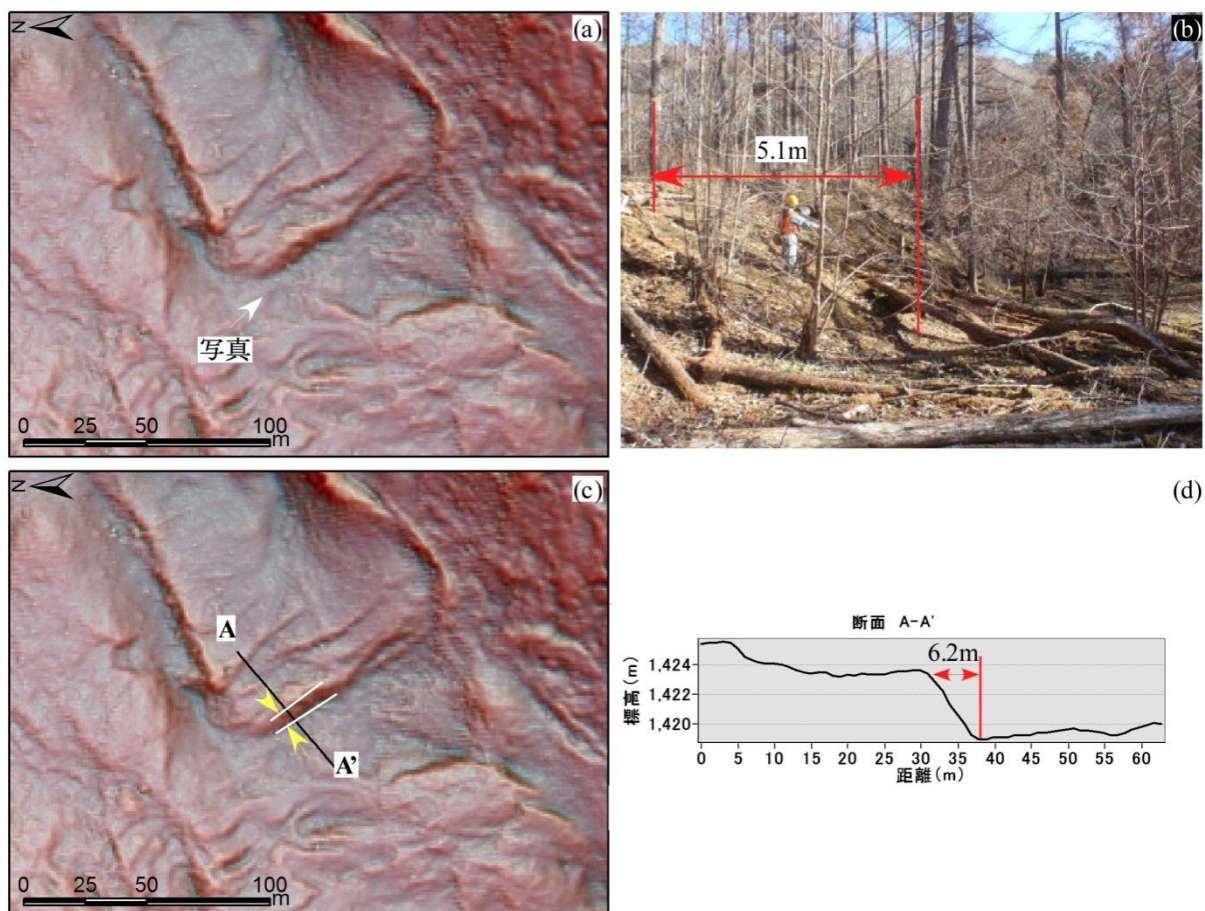


図 2.1.5 亀裂・段差地形の地形表現図上と現地確認（図 2.1.2 の JD03 の箇所）。

- (a) 北西—南東方向に伸びる南西側が低い段差地形
- (b) 現地では明瞭な段差地形と確認された
- (c) 段差地形の断面位置と平面図上の幅
- (d) 段差地形の断面形状

図上での段差地形の幅は 6.2m であったのに対し、現地確認では 5.1m であった。

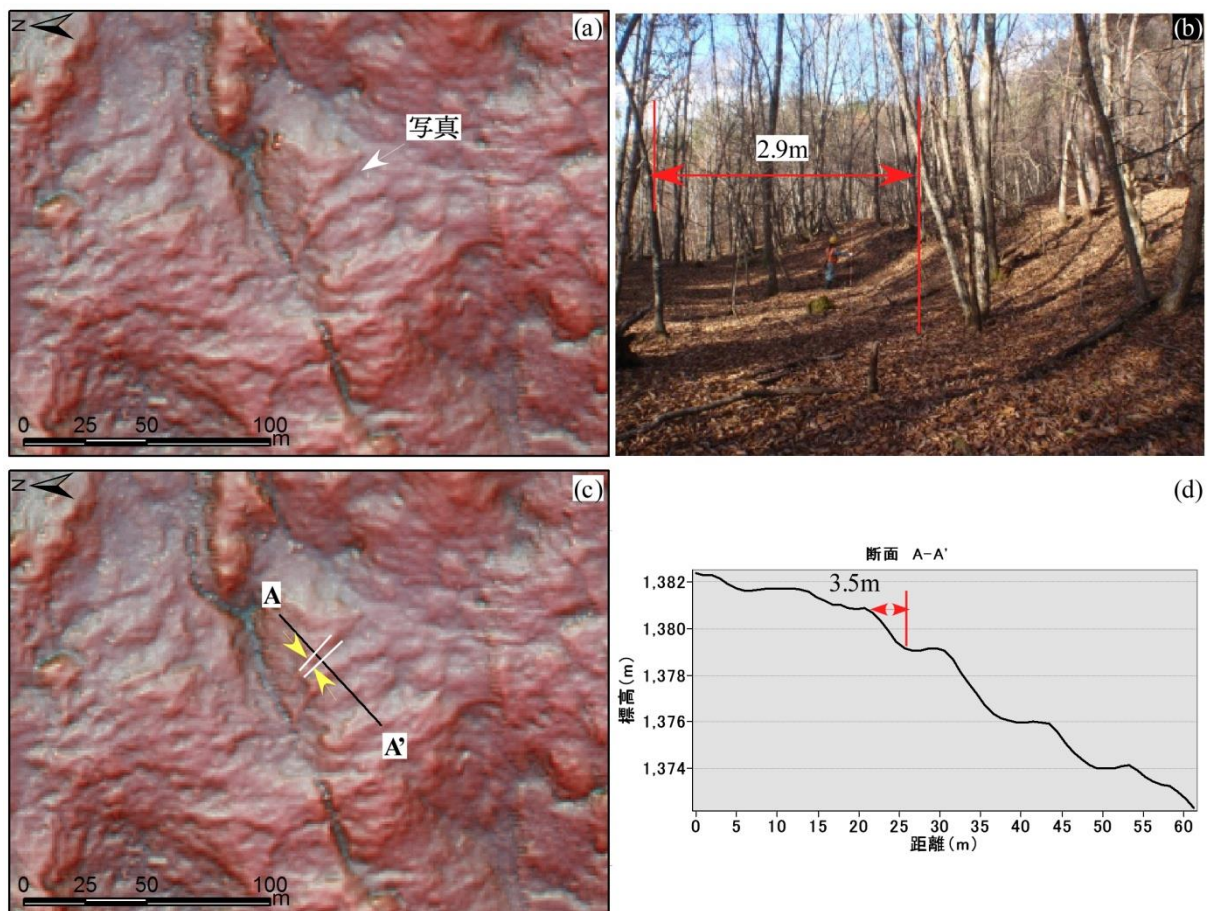


図 2.1.6 亀裂・段差地形の地形表現図上と現地確認（図 2.1.2 の JD04 の箇所）

- (a) 北西—南東方向に伸びる数段の筋があり、南西側が低い段差地形と判断される
- (b) 現地では明瞭な段差地形と確認された
- (c) 段差地形の断面位置と平面図上の幅
- (d) 段差地形の断面形状

図上での段差地形の幅は 3.5m であったのに対し、現地確認では 2.9m であった。

② 線状凹地・二重山稜

線状凹地は、山地、丘陵地の稜線に平行する傾向のもった凹地形であって、重力変形として山稜に平行して形成される場合が多い。線状凹地の位置が山稜にある場合、二重山稜と呼ばれる。また、山稜に並行していくつかの線状凹地がある場合は多重山稜という。

図上で判読された線状凹地は、現地では V または U 形の溝状に見える。一般的に崩壊斜面の移動方向に垂直な方向に延長する。

図 2.1.7 から図 2.1.10 に判読図、現地確認写真及び地形断面を示した。

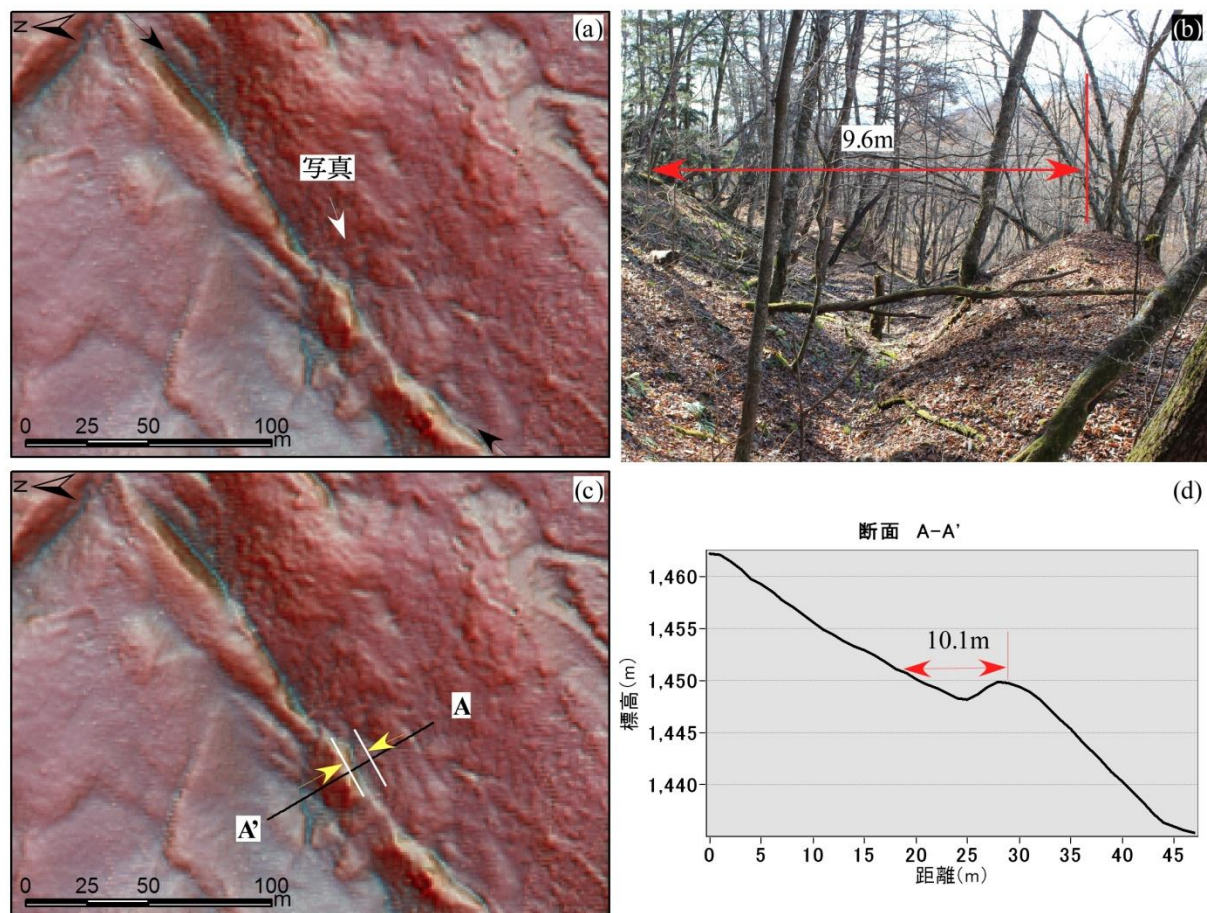


図 2.1.7 線状凹地・二重山稜の地形表現図上と現地確認（図 2.1.2 の J01 の箇所）

- (a) 北東—南西方向に伸びる明瞭な筋（黒い矢印の間）があり、線状凹地と判断される
- (b) 現地では明瞭な凹地が確認された
- (c) 線状凹地の断面位置と平面図上の幅
- (d) 線状凹地の断面形状

図上での線状凹地の幅は 10.1m であったのに対し、現地確認では 9.6m であった。

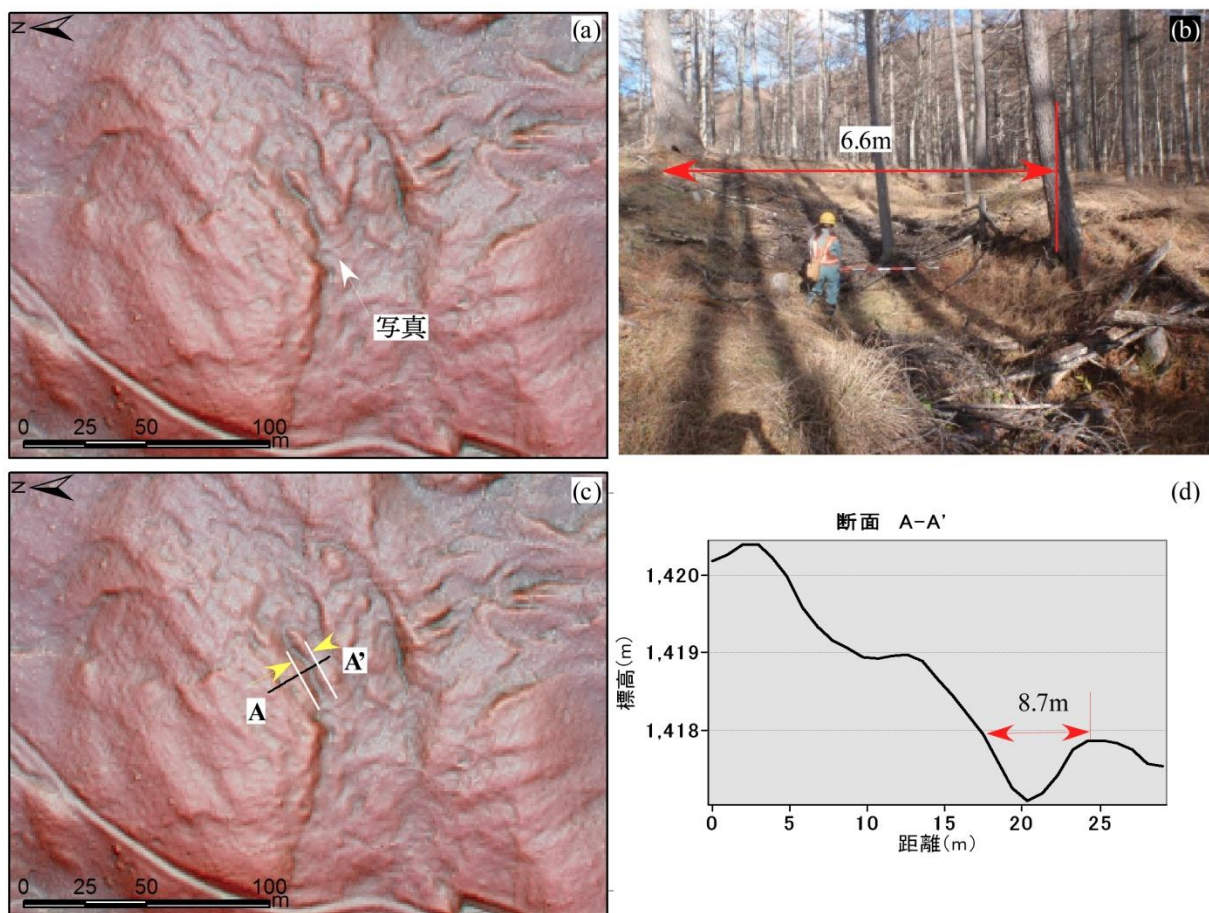


図 2.1.8 線状凹地・二重山稜の地形表現図上と現地確認（図 2.1.2 の J02 の箇所）

- (a) 北東—南西方向に伸びる線状凹地
- (b) 線状凹地の現地確認
- (c) 線状凹地の断面位置と平面図上の幅
- (d) 線状凹地の断面形状

図上での線状凹地の幅は 8.7m であったのに対し、現地確認では 6.6m であった。

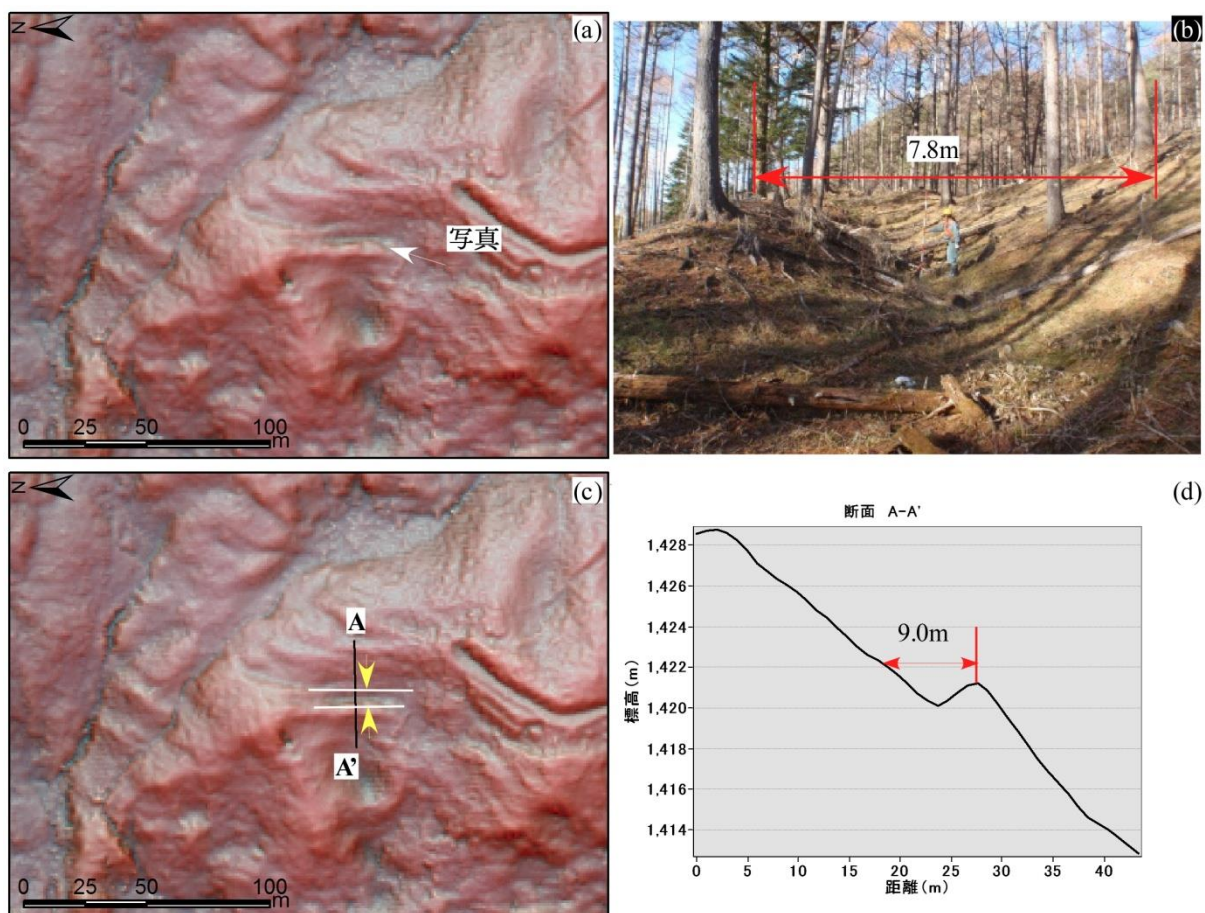


図 2.1.9 線状凹地・二重山稜の地形表現図上と現地確認（図 2.1.2 の J03 の箇所）

(a) ほぼ南北方向に伸びる明瞭な線状凹地

(b) 線状凹地の現地確認

(c) 線状凹地の断面位置と平面図上の幅

(d) 線状凹地の断面形状

図上での線状凹地の幅は 9.0m であったのに対し、現地確認では 7.8m であった。

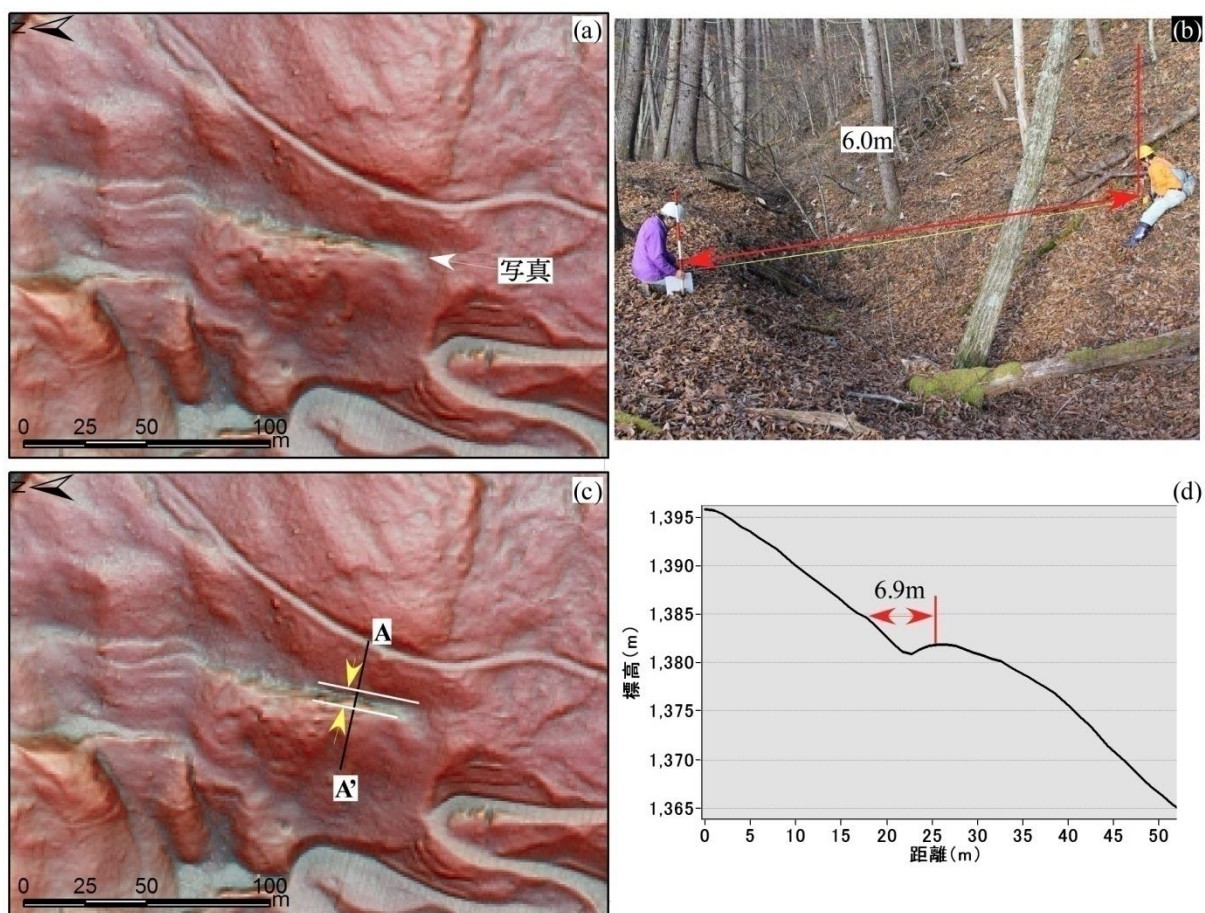


図 2.1.10 線状凹地・二重山稜の地形表現図上と現地確認（図 2.1.2 の J04 の箇所）。

(a) ほぼ南北方向に伸びる明瞭な線状凹地

(b) 線状凹地の現地確認

(c) 線状凹地の断面位置と平面図上の幅

(d) 線状凹地の断面形状

図上での線状凹地の幅は 6.9m であったのに対し、現地確認では 6.0m であった。

2.1.3 湧水地点の確認

湧水とは、地下水が地表面に流出したものをいう。なお、地下水が地表水に流入するものを含む。

単元斜面やその周辺において湧水する地点の位置確認を行う。単元斜面において、一般的に次の場所で湧水が見られる。

- ① 滑落崖付近
- ② 線状凹地や亀裂・段差地形付近
- ③ 頭部の緩斜面付近
- ④ 斜面末端

これらの地点についてその場所（緯度経度）を確認し、以後の調査地点とする。

なお、地下水だけではなく、地下水が溪流に合流しているとされる溪流についても、地点を記録しておく。

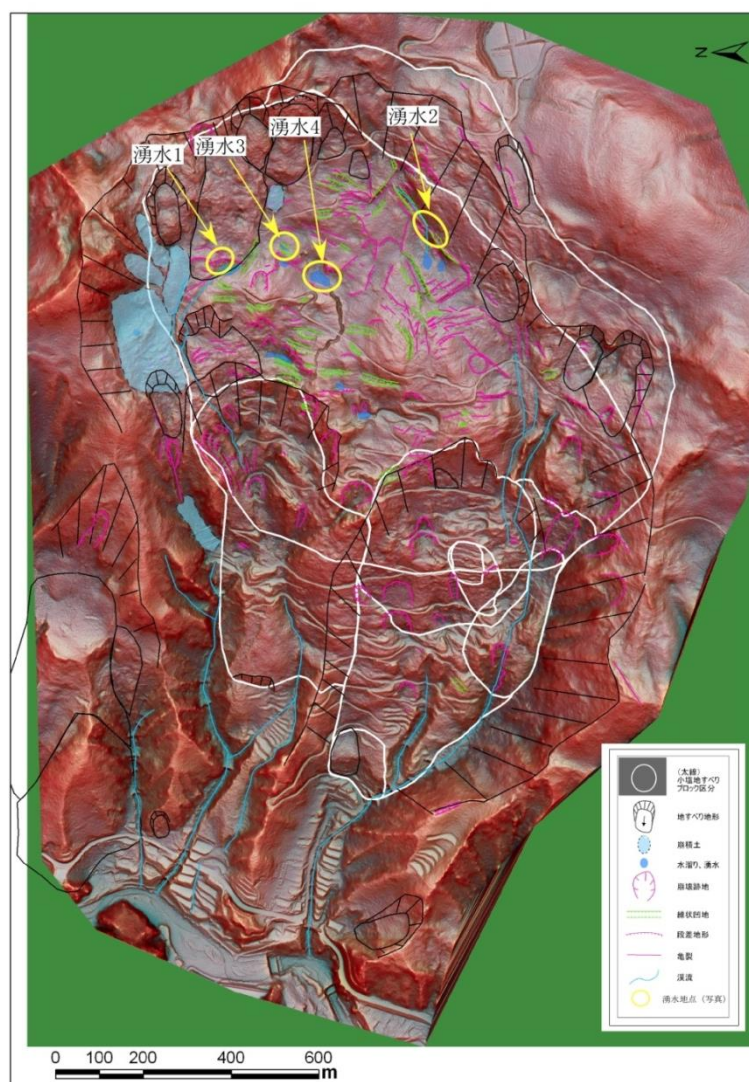


図 2.1.11 湧水地点の例



図 2.1.12 滑落崖付近の湧水（図 2.1.11 の湧水 1 地点）



図 2.1.13 線状凹地の湧水（図 2.1.11 の湧水 2 地点）



図 2.1.14 頭部の湧水（図 2.1.11 の湧水 3 地点）



図 2.1.15 頭部の湧水（図 2.1.11 の湧水 4 地点。赤で示したところ光っているのは水）

2.1.4 地層の走向傾斜の確認

堆積岩地帯では、堆積したときは水平であった地層がその後の地殻変動により傾いていることが多い。その傾きの状態を表すものが走向・傾斜である。

図 2.1.16 に地層の走向・傾斜を模式的に示す。

走向：地層の層理面と水平面との交線の延びていく方向

傾斜：走向に直交する方向は最大傾斜を示し、その面の「傾斜」である。

地層の走向・傾斜は、地層の露頭においてクリノメーター（現在スマートフォンで用いられるクリノメーターのアプリもあり、便利である）を用いて測定する。走向・傾斜の測定方法を図 2.1.17 に示す。

地層の走向・傾斜の測定データは斜面の流れ盤・受け盤の判定に用いられるため、点検ルートに見られる露頭でできるだけ多く測定する。測定した走向傾斜のデータをその位置情報（緯度経度）と合わせて整理する。

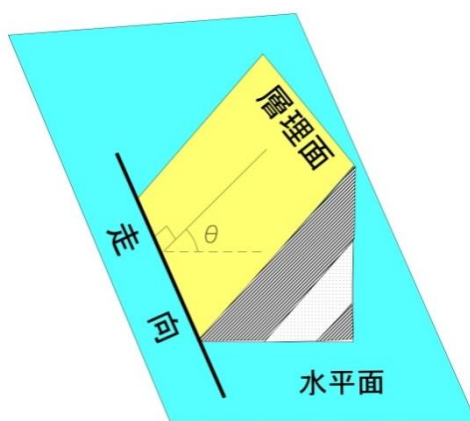


図 2.1.16 地層の走向・傾斜の模式図

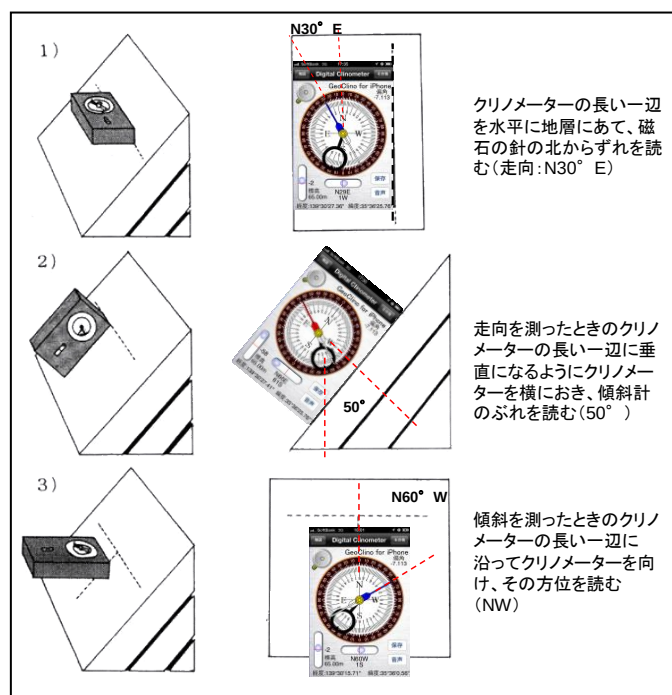


図 2.1.17 スマートフォンによる走向・傾斜の測定

2.2 簡易観測

大規模崩壊潜在斜面において、線状凹地・二重山稜、亀裂・段差地形等の微地形の変状を把握するため、簡単に設置でき観測が容易な手法として移動杭を設置する。

移動杭設置の模式図を図 2.2.1 に示す。微地形を跨いで山側（不動点とみなす）と谷側の杭間の距離の変動を計測することにより、斜面の変動状況を把握する。単元斜面内に多数の微地形が存在する場合は、複数の地点で観測する。

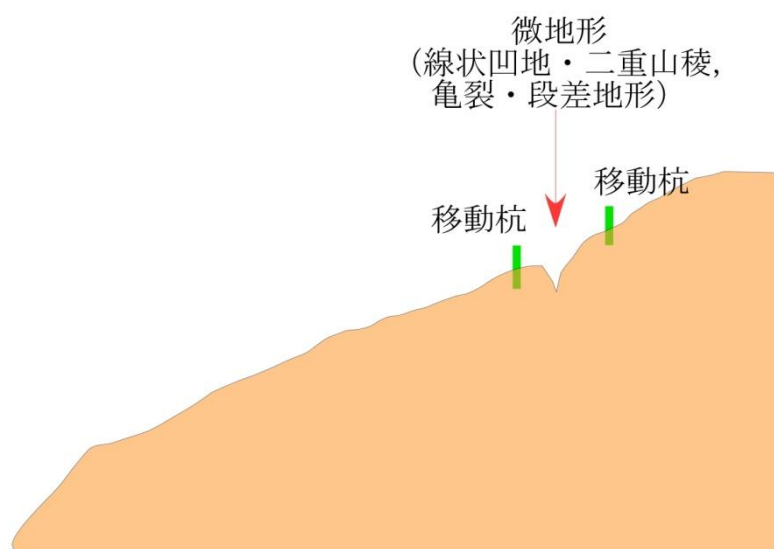


図 2.2.1 微地形を跨ぐ移動杭の設置模式図

【移動杭の設置方法】

- ・ 45mm 角、長さ 50cm 程度の木製角杭を二つ以上用意する
- ・ カケヤで杭を地面に打ち込み、杭の頭を地面から 10-15cm 程度にする。地表が柔らかい場合は長い杭を用意する（図 2.2.2）
- ・ 杭の頭に釘を打ち込み、計測の基準点とする
- ・ 杭に番号などをつけ、人為的に移動させないようにする（図 2.2.3）
- ・ 杭の釘と釘との間をメジャーで計測し、その値を初期値として記録する（図 2.2.4）



図 2.2.2 移動杭の設置



図 2.2.3 設置された移動杭



図 2.2.4 メジャーによる移動杭間の距離の測定

2.3 湧水及び溪流水調査

湧水（溪流水を含む）調査は、大規模崩壊潜在斜面とその周辺から流出する地下水の電気伝導度を測定するものである。電気伝導度は、溪流水中の溶存イオンの総量を示す指標であり、地下水が流動する過程で岩石から溶出するイオンを取り込むために、地下水の湧出地点付近の値が高くなる（地頭園ほか，2013⁸⁾）ことから、電気伝導度が相対的に高い地点では、深層風化した地層の存在が想定され、危険度が高いと推定される。

電気伝導度の測定器は市販の電気伝導度計を用いる。図 2.3.1 にポータブルな電気伝導度計の例を示す。長さ約 20cm、重さ 300g 程度で持ち歩きやすい計器である。様々な製品があるが、10～15 万円程度のものが一般的である。



図 2.3.1 ポータブル電気伝導計

（１）調査内容

湧水地点の位置、湧水量、電気伝導度を測定する。

（２）湧水地点の確認方法

現地調査により、谷地形を呈した斜面において表流水が発生している箇所を把握し、その源流域に明瞭な湧出点があるかを確認する。

（３）湧水量の測定方法

湧水地点に採水容器をあてて、一定時間内の湧水を採水し湧水量を測定する。採水の際は湧水地点を丁寧に整形して漏水がないように配慮する。図 2.3.2 に測定例を示す。



図 2.3.2 湧水地点における採水例

⁸⁾ 地頭園 隆・寺本行芳・和田大祐・田淵陽介・中島希（2013）：深層崩壊の予測と地域防災力の向上、「南九州から南西諸島における総合的防災研究の推進と地域防災体制の構築」報告書

（４）電気伝導度の測定方法

渓流水にポータブル電気伝導度計のセンサーを入れ、計測器に表示された電気伝導度の値を記録する。渓流水が浅く土、ゴミなどがセンサーに付くと電気伝導度の値に影響を及ぼすため、渓流水を容器に入れてから測定する。また、電気伝導度は農地、畜産施設の排水に影響されるため注意が必要である。図 2.3.3 に測定例を示す。



図 2.3.3 電気伝導計度の測定

（５）結果の整理

電気伝導度と湧水量の測定結果は、非常時点検の結果と比較できるように整理しておく。

2.4 非常時点検調査

大規模崩壊潜在斜面のうち、危険度ランク A の大規模崩壊潜在斜面を優先に、次の基準を参考に非常時点検を行う。

- (1) 降雨の場合：大雨特別警報が発表された後。
- (2) 地震の場合：震度 5 弱以上の地域。

なお、豪雨直後は土砂災害のおそれや強い地震の場合は余震のおそれがあり、観測者の安全を確保するために、十分時間が経ってから点検するように注意が必要である。

非常時点検としては、次のような対応を行う。

- (1) 初期点検において現地確認した微地形の変状を点検する。
- (2) 初期点検で設置した移動杭間の距離を計測する。
- (3) 溪流水調査を行う。
- (4) その他（新しい地表変状の有無を確認する等）。

次の場合は、非常時の点検から大規模崩壊潜在斜面のモニタリングへ移行する。

- (1) 微地形の変状が拡大した場合（移動杭計測で明らかな変動が認められる）。
- (2) 新しい地表変状が見つかった場合。

3 大規模崩壊潜在斜面のモニタリング

大規模崩壊潜在斜面の点検において変動が認められた斜面に対し、モニタリングを行う。簡易観測で微地形変動が認められた場合は、崩壊の危険性が高まったと判断されるため、短期間において斜面上の微地形の移動状況を直接計測することを目的として、地表伸縮計等を設置する。また、大規模崩壊潜在斜面周辺の保全対象等を考慮し、斜面全体の変動を把握する必要性が求められた場合は、GPS 等を設置する。多時期のレーザ計測地形データがある場合はその差分解析を行い、斜面全体の変動状況を把握する。

3.1 地形差分解析

対象とする大規模崩壊潜在斜面において、レーザ計測した時期が異なる二つのデジタル標高データ（DEM）を用いて地形差分解析を行う。2 時期目の DEM から初期の DEM を引くことにより、地表面の変動状況を把握する。

差分解析は、専用ソフトウェア（例えば ArcGIS など）を用い、ラスタ計算して行う。計算は図 3.1.1 に示したように、セルの引き算となる。

図 3.1.2 に小塩地すべりで行った地形差分解析の例を示す。

Input1

3	5	8
2	7	9
9	3	1

-

Input2

1	3	4
2	2	8
6	9	6

Output

2	2	4
0	5	1
3	-6	-5

図 3.1.1 地形差分計算

四角内の数値はセルの値（たとえば標高）を表す。

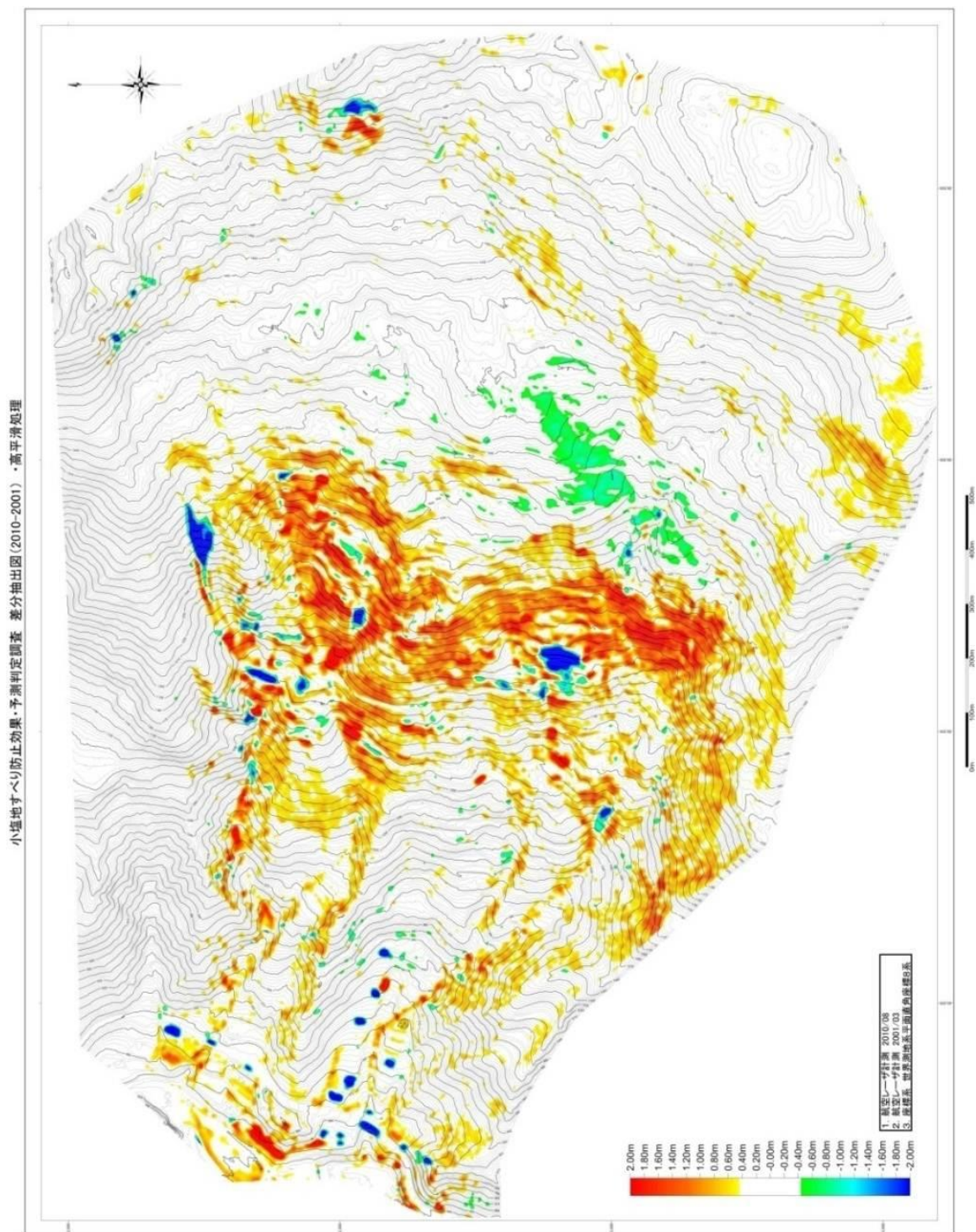


図 3.1.2 地形差分析の例(小塩地すべり、2001 年-2010 年)
暖色系は隆起を、寒色系は沈下をそれぞれ表す。

3.2 計器観測

計器によるモニタリングは、目的に応じて短期と長期に分ける。短期の観測は地表伸縮計が適している。長期にわたり斜面全体の移動状況を把握したい場合は GPS 観測を行う。

3.2.1 地表伸縮計

地表伸縮計は、大規模崩壊の前兆現象としての亀裂・段差などの時間の経過とともに移動状況の把握を目的に用いる。

地表伸縮計には、記録用紙を用いるものと自動観測デジタル式がある。現場の状況を勘案し、適切に選択する。

地表伸縮計の基本原理を図 3.2.1 に示す（斜面防災対策技術協会，2013⁹⁾）。観測対象の両端部に設置された丈夫な杭（一つに伸縮計をつける）の間にインバ線（低膨張率のニッケル線）を張る。両杭の間の地表面が伸縮すると、地盤伸縮計のドラムが回転し、時間－変異量のグラフが記録される。

なお、現在は用紙交換型、用紙交換・メモリカード併用型、自動観測システム、リアルタイム監視など様々なタイプがあり、現場の状況に応じて活用する。

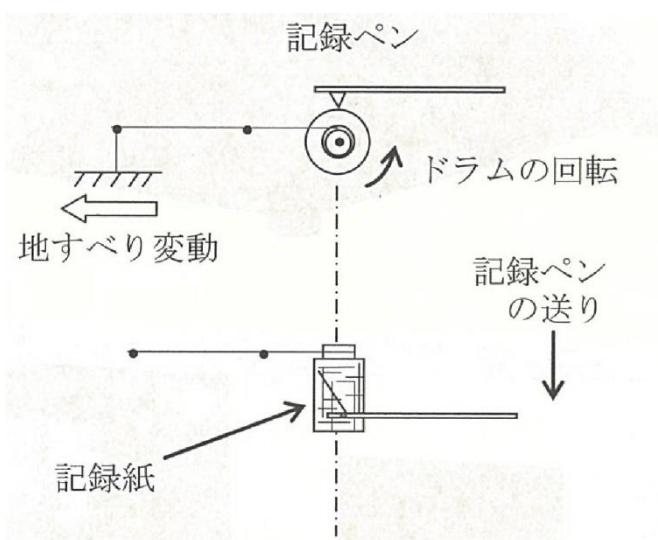


図 3.2.1 地表伸縮計の原理（斜面防災対策技術協会，2013）

1) 設置方法

大規模崩壊斜面の頭部の線状凹地また亀裂・段差地形を跨いで、大規模崩壊斜面の推定移動方向に設置する。大規模崩壊斜面内部でも、亀裂・段差を挟んで、それに垂直になるような方向で設置する。

図 3.2.2 に地表伸縮計の設置模式図例を示す。

⁹⁾ 斜面防災対策技術協会（2013）：地すべり観測便覧，p.502

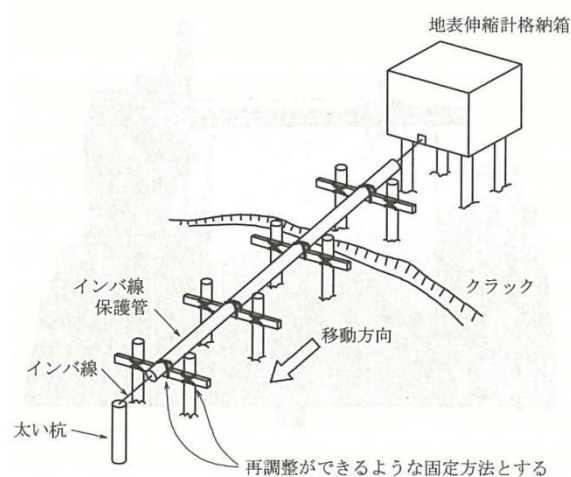


図 3.2.2 地表伸縮計の設置模式図（斜面防災対策技術協会，2013）

地表伸縮計の観測では、以下の点に注意する必要がある。

- （１）地表伸縮計は、インバ線の延長方向に対し直角に近い方向への移動にはほとんど感度がない。このため、崩壊側壁部に地表伸縮計を設置する場合は、インバ線の延び方向をできるだけ崩壊移動方向に近づける必要がある。
- （２）変動は引張変動だけではなく、隆起、沈下、圧縮の変動も計測される場合がある。このため、設置場所における変位状況を把握して設置する必要がある。

２） 測定方法

地表伸縮計用の記録紙に日付け、地点名等を記入し、それをドラムに巻きつけて止め、そのときの時刻に合わせて記録ペンをセットとし、観測を開始する。所定の経過日数ごとの測定値と初期値との差を地表面移動量とする。初期値は、伸縮計設置後の測定値とする。

３） データの整理

観測データは、時間—移動量曲線図として整理する。時間—移動量図には、日付、日雨量や観測地点周辺の地下水位などの情報を併記するとよい。図 3.2.3 に例を示す。

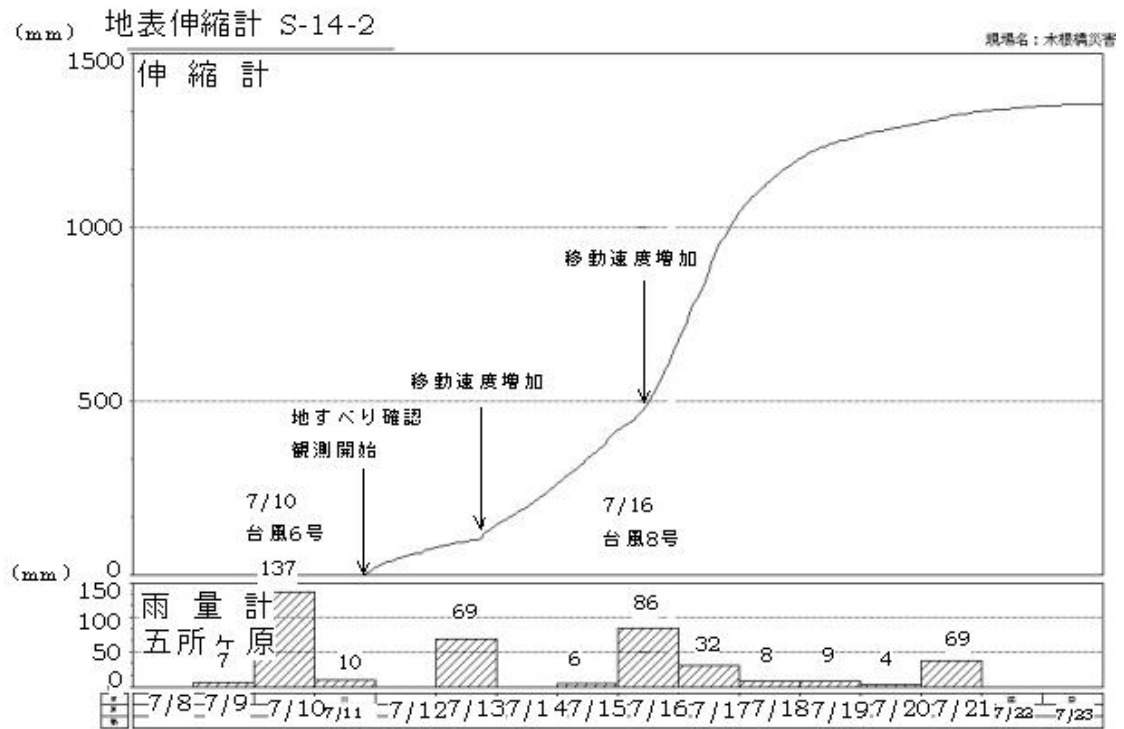


図 3.2.3 地表伸縮計の観測例（橋本，2010¹⁰⁾）

¹⁰⁾ 橋本哲夫(2010):台風6号、8号により再活動した木根橋地すべり災害報告，地すべり学会誌，Vo. 39, No. 2, p89

3.2.2 GPS 観測

GPS 観測とは、宇宙空間の GPS 観測衛星から発信する電波を地上に設置された GPS 受信機で受信し、受信機と衛星との距離を計測することにより、受信地点の三次元座標を計測することをいう。

ここでは、GPS 観測の原理、方法などの概要を記載する（斜面防災対策技術協会, 2013 より抜粋）。個別の大規模崩壊潜在斜面での計測については、地形変状の箇所や程度が様々なこと等から、設置位置の選定等について詳細な検討が必要である。

GPS 観測の精度は、基線長（測定距離）によって異なり、水平では $\pm(5\text{mm}+1\text{ppm}\times\text{基線長})\text{mm}$ 、垂直は $\pm(10\text{mm}+2\text{ppm}\times\text{基線長})\text{mm}$ （土佐, 2006¹¹⁾）。例えば基線長が 1000m の場合、水平では $\pm 6\text{mm}$ 、垂直では $\pm 12\text{mm}$ となる。GPS 観測結果には基線長、気象状況、衛星数、上空視野などから受ける誤差が含まれおり、mm オーダーの微小変動の検出は困難であるが、受信機を定点に固定し長期間連続観測行う場合、統計処理等を行うことで微小変位を検出できるとされる（斜面防災対策技術協会, 2013）。

1) GPS 観測の原理

GPS 観測の基本概念図を図 3.2.4 に示した。

地上の GPS 受信機（またはアンテナ）と衛星から送信された電波の到達時間から距離を算出し、受信機の座標位置は、3 つ以上の衛星から電波を受信することで求まる。

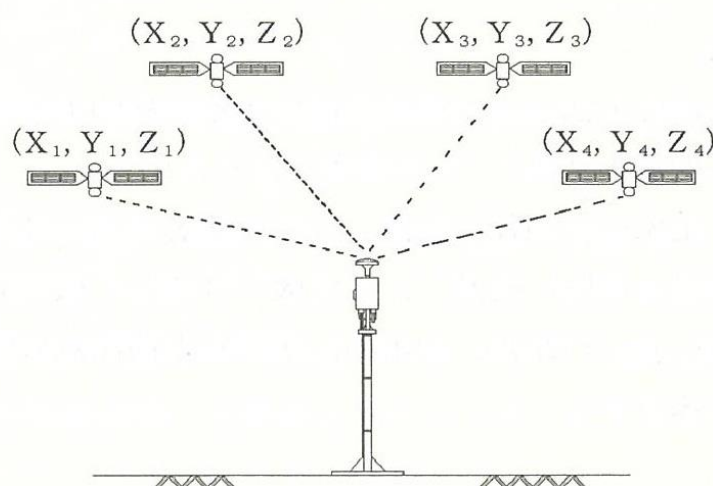


図 3.2.4 GPS 観測の基本概念図（斜面防災対策技術協会, 2013）

¹¹⁾ 土佐（2006）：現場に役立つ地すべり工学，第 7 回、監視と予測，地すべり学会誌，Vol. 43, No. 2, pp. 52-56.

2) 設置方法

図 3.2.5 に GPS 受信機の設置例を示す。

- ・ GPS 受信機は上空視界の良い箇所に設置する
- ・ 観測地点の地盤に堅固に固定する。一般にコンクリート基礎を用いる。短期間の場合は、三脚を用いる場合もある
- ・ 一般的に支柱を介して基礎に設置する。支柱の高さは 1-2m 程度だが、設置位置より上空が仰角 15 度以上確保される高さまで伸ばすことが望ましい。ただし、日射による変位の影響があるため、伸ばしすぎないようにする
- ・ GPS 受信機稼動のためのソーラーパネルやバッテリーを設置する
- ・ 基準点は不動地盤に設置する

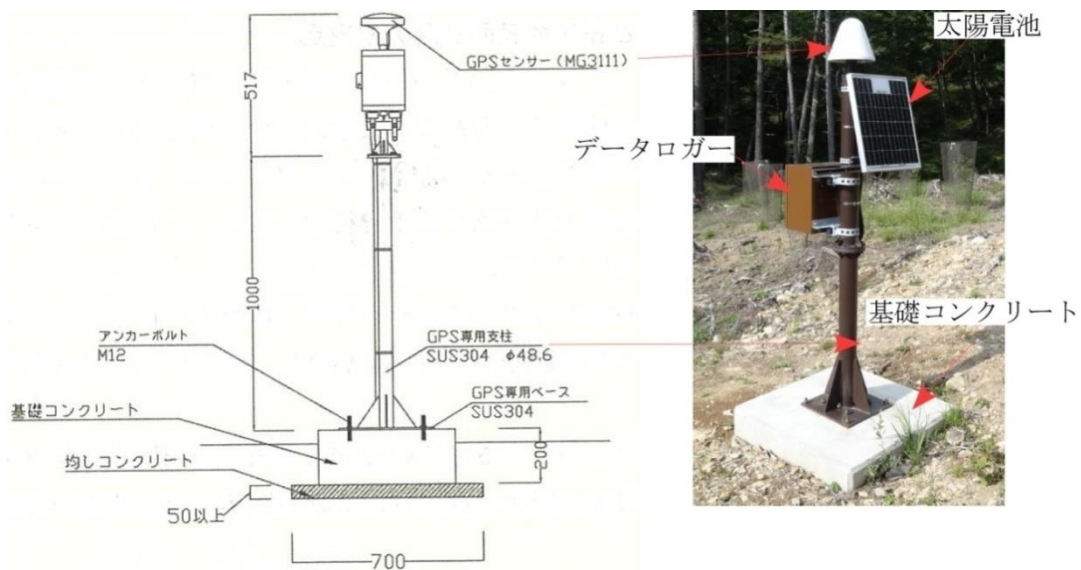


図 3.2.5 GPS 受信機の設置例 (左、斜面防災対策技術協会, 2013)

3) 測定方法

現地作業：

- ・ GPS 受信機の計測開始ボタンを押す
- ・ データ回収 (PC やメモリーカードを用いる)

解析作業：

- ・ 基線解析処理ソフトを用いて観測データを座標に換える
- ・ 必要に応じて時系列統計処理を実施する

4) データ管理

- ・ 3 成分データ (南北、東西、高さ) を整理する
- ・ 初回観測で得られた座標または任意の時期の観測座標を初期値とする
- ・ 初期値との差分を算出する
- ・ 水平合成 (図 3.2.6、図 3.2.7)、垂直変位 (図 3.2.8)、合成変位を算出する
- ・ 変位量に基づき変位ベクトル図を作成する (図 3.2.9、図 3.2.10)

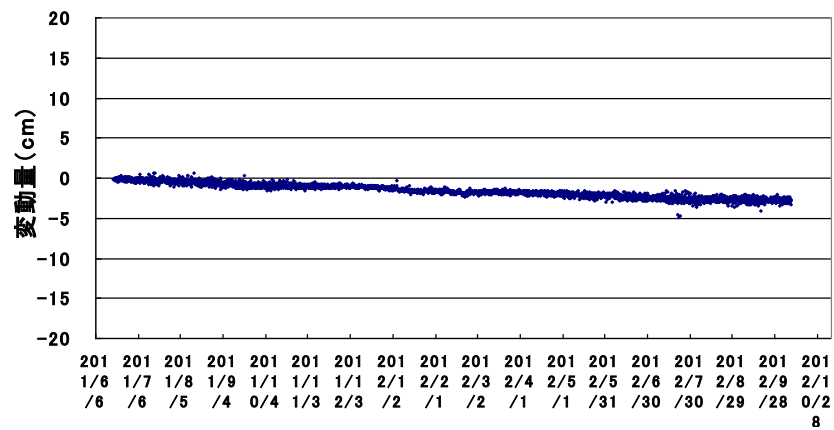


図 3.2.6 GPS データ整理の例（小塩地すべり）

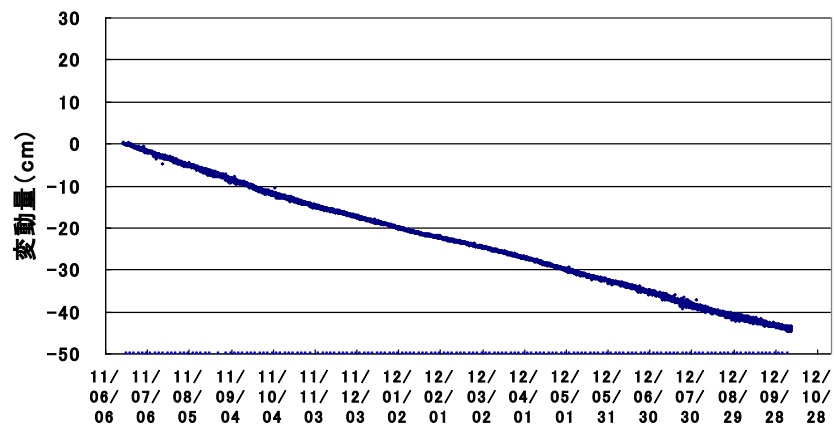


図 3.2.7 GPS データ整理の例（小塩地すべり）

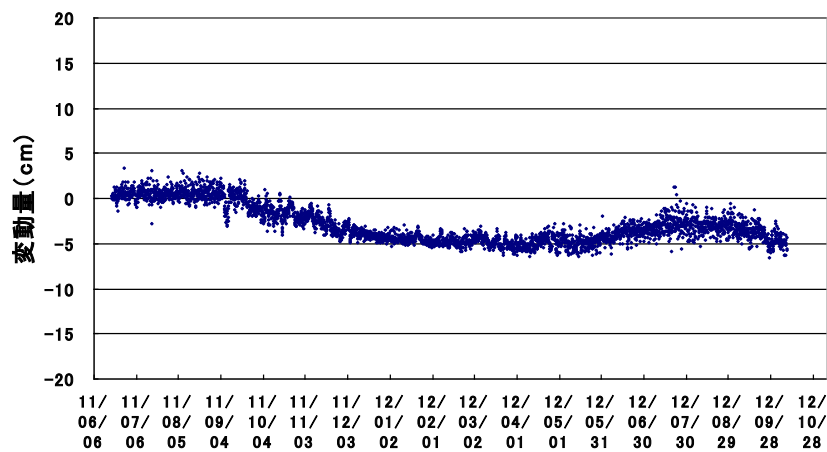


図 3.2.8 GPS データ整理の例（小塩地すべり）

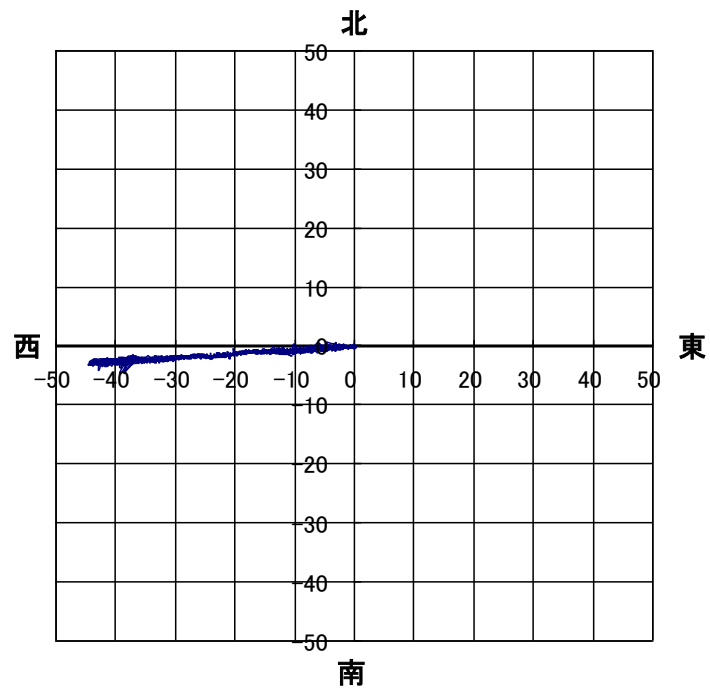


図 3.2.9 GPS データ整理の例（水平ベクトル図）



図 3.2.10 GPS 観測点ベクトル図の例（小塩地すべり）

5) 適用限界

樹木等で上空が遮蔽された地点での観測は、データ欠測が多発したり、極端に精度が低下するため、樹木の伐採や観測位置の見直しが必要となる。支柱が転倒、回転しないように注意する。GPS 観測は、急激な変位の検知としては適さない。

4 大規模崩壊に対するソフト・ハード対策

ここでは、大規模崩壊に対する一般的なソフト・ハード対策について整理した。なお、現に大規模崩壊に対するソフト・ハード対策を講じるにあたり、各々の地域の特性や社会的条件、保全対象との関係などを十分に踏まえつつ、その必要性、緊急性、有効性、効率性等の観点から個々に検討する必要がある。

4.1 ソフト対策

大規模崩壊に対するソフト対策としては、地表伸縮計や GPS 等のモニタリングにより計測された移動量及び降雨量を指標とした警戒避難体制の整備が考えられる。また、大規模崩壊が発生した際の応急対策も二次災害を防ぐために重要である。また、モニタリングにより次のような状況が観測された場合、現地状況に応じた対策を講じる。

- ・ 地表伸縮計に明瞭な移動量の累積が認められた場合
- ・ GPS 観測によって長期間にわたり累積変動が認められた場合
- ・ 一定期間の雨量が設定した基準値を超えた場合

4.1.1 移動量と雨量による警戒避難の指標

大規模崩壊のソフト対策としての警戒避難については、大規模崩壊潜在斜面における微地形の変位量と雨量の両方から判断する。

なお、これらの手法はあくまでも試行的なものであるため、今後検討事例の積み重ね、より実用的な指標に改善していくことが求められる。

(1) 移動量による判断

大規模崩壊の挙動については、観測事例が少なく予測が困難なため、類似の状況（大規模地すべり）や経験に基づいて判断することとなる。

警戒避難体制は、一般的に次のような段階に分けられる。

- ・ **注意体制**：地表変状等が確認された際に、地表伸縮計などの計器の設置箇所を増やしたり、モニタリングの頻度を上げたりする
- ・ **警戒体制**：避難の準備、専門家による検討・判断を行う
- ・ **避難体制**：周辺住民の避難、対象とする大規模崩壊潜在斜面内への立ち入り禁止、道路の通行止めなどを行う

なお、各段階へ移る際の基準値は、対象とする大規模崩壊潜在斜面の地形・地質や規模、保全対象の範囲、避難や応急対策までの余裕時間の確保などを総合的に考慮して設定する。大規模崩壊の場合は、急激に移動するため、現段階で全ての斜面に統一した基準を設定することは困難で非現実的であるため、現地状況を十分把握し、大規模崩壊潜在斜面毎に詳細な検討を行い、斜面毎に目的と必要性、緊急性等に応じて柔軟に独自の対応が必要である。

地表伸縮計を用いた地すべりにおける警戒避難基準値の設定例を表 4.1.1 に示した。ただし、これは一つの例であって、大規模崩壊に対する一般的な基準ではないことに留意する必要がある。

表 4.1.1 警戒避難基準の例（斜面防災対策技術協会,2013）

対応区分	要注意	警戒	避難	立入禁止
基準値	1 日 1mm 以上 一定方向に 10 日以上移動累積	1 日 10mm 以上	1 時間 4mm 以上 を 2 時間連続	1 時間 10mm 以上を目安に、 専門家の判断

このほか、崩壊までの残り時間と移動量との関係（図 4.1.1）、移動速度の逆数と時間との関係（図 4.1.2）から崩壊発生時刻を予測する方法があるが、大規模崩壊への適用の可否を含め専門家の指導と判断が必要である。

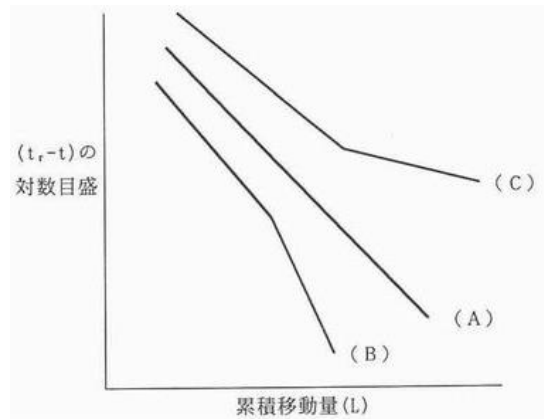


図 4.1.1 崩壊までの残り時間と移動量との関係（齊藤，1987¹²⁾）

図中、 t_r ：崩壊時刻、 t ：時刻、 L ：累積移動量を示す。A、B と C は崩壊時刻をある時刻に仮定した場合の曲線を示す

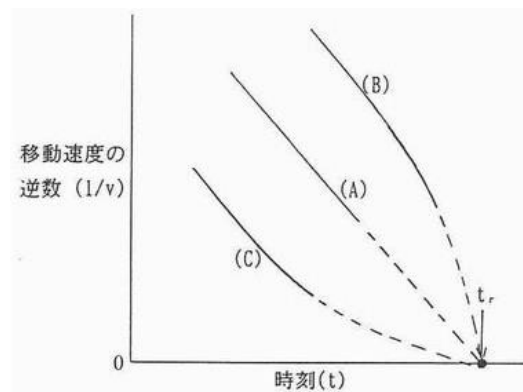


図 4.1.2 移動速度の逆数と時刻の関係（福園，1985¹³⁾）

図中、 v ：移動速度、 t_r ：崩壊時刻、 t ：時刻、A、B と C は斜面の形態を示す。

¹²⁾ 齊藤(1987)：斜面崩壊時刻予測のためのクリープ曲線の適用について、地すべり、Vol. 24, No. 1, p30-38

¹³⁾ 福園(1985)：表面移動速度の逆数を用いた降雨による斜面崩壊発生時刻の予測法、地すべり、Vol. 22, No. 2, p. 8-13.

（２）雨量による判断

大規模崩壊と誘因たる雨量の関係についての研究事例が少なく、基準値は各地の気象状況、地形、地質等の実情に応じて検討する必要がある。なお、過去の事例から次の値を参考に、警戒避難の判断材料とすることが考えられる。

- ・ 過去 1 ヶ月の総雨量が 600mm に達した場合（特に 2 日間で 600mm に達すると危険度が高い）。

なお、雨量基準は地域の気象状況、地形、地質的な特性、保全対象との関係等を総合的に考慮して設定する必要がある、大規模崩壊潜在斜面に対する詳細な調査検討（地域の雨量と崩壊発生との関係、潜在斜面の地質調査など）が望ましい。

4.1.2 大規模崩壊発生後の対応

大規模崩壊が発生した際、二次災害を防ぐために迅速な対応が求められる。

大規模崩壊発生後の関係機関に求められる対応例を図 4.1.3 にタイムラインとして示した。タイムラインは、大規模崩壊が昼に発生した場合を想定した。実際のタイムラインは大規模崩壊の発生場所、発生時刻によって異なると考えられる。図 4.1.3 における土砂災害状況の把握で、現場に入れない場合、また災害の規模が大きく踏査による把握が困難な場合、もしくは緊急を要する場合などは空からの写真撮影等が有効である。図 4.1.4、図 4.1.5 に民間航測会社に航空写真撮影とレーザ計測を依頼した場合の作業内容、必要な時間をそれぞれ示した。実際の撮影・計測に関する詳細は「林野庁測定規定―平成 24 年林国業第 100 号-1」を基本とする。詳細な対応方法については、さまざまな状況を想定した検討が必要であり、事前に対応できる体制を整備しておくことが望ましい。

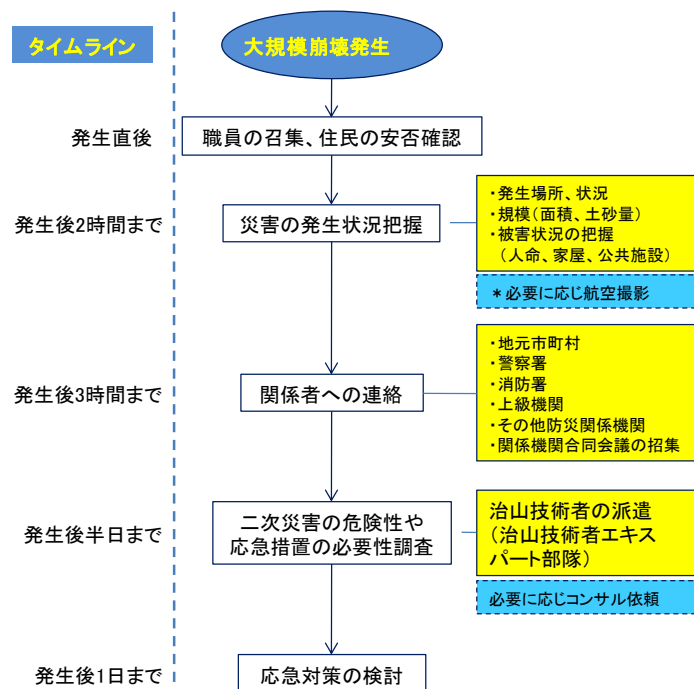


図 4.1.3 大規模崩壊発生後の対応（例）

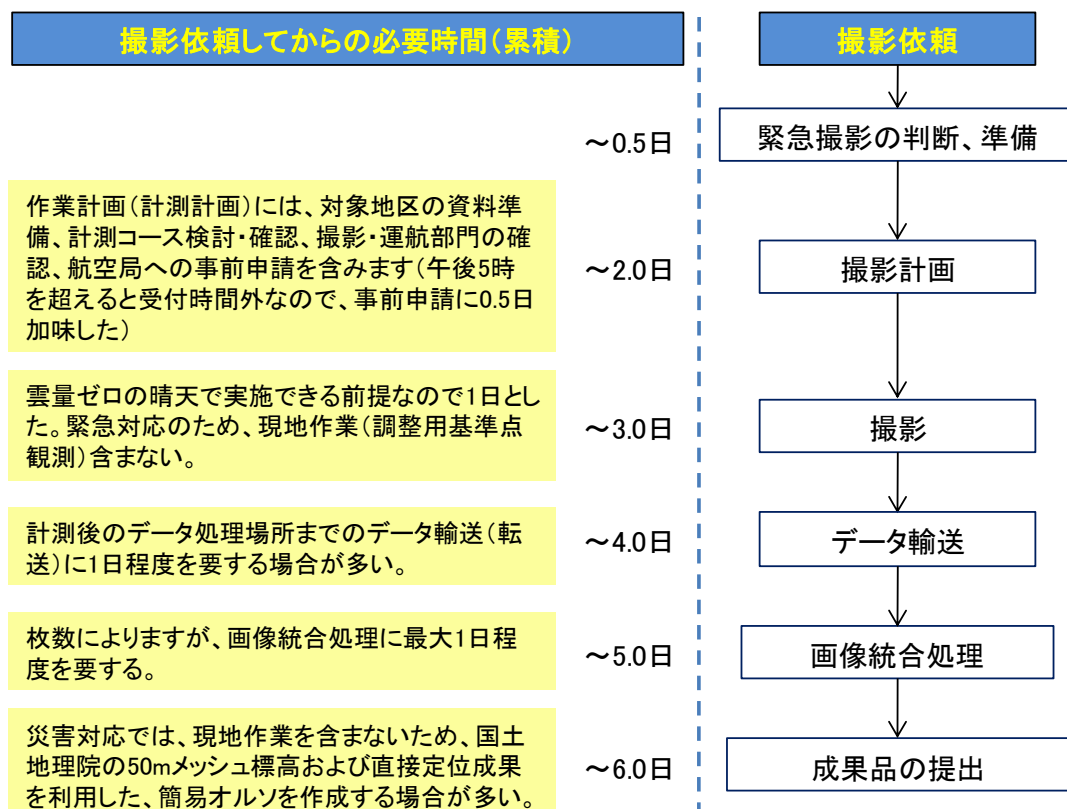


図 4.1.4 航測会社に空撮を依頼した場合の必要時間 (例) ※

※【注釈】

- 対象範囲：10 km²程度 (1000ha)、地上画素寸法：GSD 30cm、撮影数量：2 コース 20 枚程度の場合を想定。
- 必要時間は、物理的に可能な一般的なもので、通常勤務体制 (1 日=7 時間) の場合を想定し、累積で表示した。
- 災害対応では 24 時間体制になることも多く、必要時間を 24 時間で見積もるのか、7 時間で見積もるのかの違いで日数差が発生する。
- 成果品の種類により所要時間が異なる。ここでは、単写真、簡易オルソと A0 版出力図の 3 種類を想定した。
- 撮影は、航測会社、天候 (晴れ、曇り、雨)、発生時刻 (夕方、夜中、早朝、昼) などによって撮影依頼から納品までかかる時間が大きく異なる可能性もある。

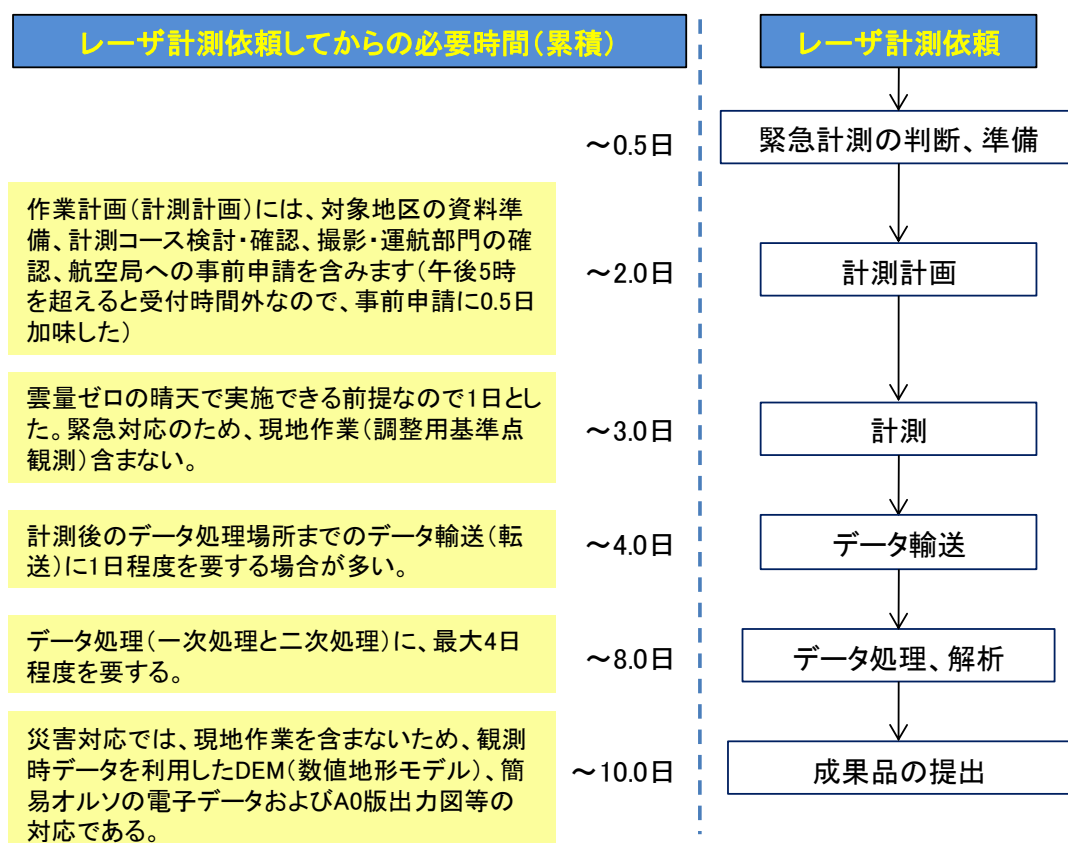


図 4.1.5 航測会社にレーザ計測を依頼した場合の必要時間(例)※

※【注釈】

- 対象範囲：10 km²程度(1000ha)、計測密度：4点/m²、撮影数量：2コース20枚程度の場合を想定。
- 必要時間は、物理的に可能な一般的なもので、通常勤務体制(1日=7時間)の場合を想定し、累積で表示した。
- 災害対応では24時間体制になることも多く、必要時間を24時間で見積もるのか、7時間で見積もるのかの違いで日数差が発生する。
- 成果品の種類により所要時間が異なる。ここでは、フィルタリング済の数値地形モデルと簡易オルソ、A0版出力図の3種類を想定した。
- 計測は、航測会社、天候(晴れ、曇り、雨)、発生時刻(夕方、夜中、早朝、昼)などによって計測依頼から納品までかかる時間が大きく異なる可能性もある。

4.2 ハード対策

4.2.1 ハード対策の分類

大規模崩壊を対象とするハード対策は、時間の経過に応じて、表 4.2.1 に示すように分類される。

「①平常時の対策」については、具体的な工種は通常の治山施設整備と基本的には同じと考えられる。しかし、大規模崩壊は表層崩壊や小規模な土石流に比べて発生頻度は高くはないものの、一旦発生した場合の被害は甚大なものとなるため、必要性、緊急性、保全対象の重要性、事業効果等を総合的に検討して工種を選定し、対策を実施する必要がある。

「②緊急時の対策」は、土砂災害警戒情報等が発表される場合の対応で、大規模崩壊潜在斜面に設置した観測機器の情報を関係機関に伝達し、避難の判断材料とするなどの、いわゆるソフト対策が主体になる。

「③応急対策」は、二次災害防止や荒廃拡大防止のために、崩壊発生直後に行われるものである。崩壊発生直後に二次災害のおそれや不安定土砂が膨大な量になるため、緊急性、施工性、効率性を重視した対策を講じる。また、崩壊の発生を想定して迅速に調査や応急工事ができるように、常時より準備をしておくことが必要と考えられる。特に緊急度の高い応急対策については、現況調査のための航空機やヘリコプターの手配、無人化施工に必要な機材や人材、施工方法等、現場条件に応じた措置を検討しておく必要がある。

崩壊発生直後は、人的被害を未然に防ぐために、崩壊の発生状況・二次災害の危険性を迅速に把握し、関係機関への情報伝達、避難勧告等の判断資料の提供、ハザードマップの修正等のソフト対策をハード対策に先駆け実施する必要がある。

「④恒久対策」は、崩壊発生直後の応急対策に続いて行うもので、山腹荒廃地、荒廃溪流、地すべり地の復旧整備対策となる。大規模崩壊では、荒廃面積が広大で、崩壊による不安定土砂も膨大量になるため、保全対象等の関係を踏まえ、施工性、効率性等を重視して対策を実施する必要がある。

表 4.2.1 大規模崩壊対策（ハード対策）の分類

大規模崩壊の対策(ハード対策)		
事前対策 【予防】	①平常時の対策 (崩壊発生前(平常時))	大規模崩壊潜在斜面の崩壊 及び土砂流出防止
	②緊急時の対策 (崩壊発生の危険性が高まった段階)	雨量、大規模崩壊潜在斜面の モニタリング情報の分析、伝達
事後対策 【復旧】	③応急対策 (崩壊発生直後)	二次災害、荒廃拡大防止 (山腹及び溪流)
	④恒久対策 (崩壊発生後)	荒廃地の復旧整備 (山腹荒廃地、荒廃溪流、地すべり地)

事前の対策となる予防対策については、大規模崩壊を未然に防ぐ「発生源対策」と、崩壊土砂による災害を防止・軽減する「溪流対策」に大別される。大規模崩壊は地下水の影響を受けて発生する場合が多いため、ハード対策は地すべり防止工法をベースに、表 4.2.2 に示すように分類することがある程度可能と考えられる。

表 4.2.2 大規模崩壊予防対策として考えられる工種

区分	工法	工種	細分
発生源対策	抑制工	地表水排除工	浸透防止工、水路工、流路工
		地下水排除工	暗渠工、ボーリング暗渠工 集水井工、排水トンネル工
		排土工	
		押え盛土工	
		治山ダム工等	治山ダム、護岸工、土留工
	抑止工	杭工	
		シャフト工	
		アンカー工	
		補強土工	鉄筋挿入工
溪流対策	土石流・ 流木対策工	治山ダム工	遮水型、透過型

事後の対策となる復旧対策は、発生直後の応急対策とその後の恒久対策について、大規模崩壊のタイプ別に表 4.2.3 に示すように分類される。

表 4.2.3 大規模崩壊復旧対策として考えられる工種

崩壊タイプ	応急対策 (発生直後)	恒久対策 (発生後)		
	山腹及び溪流	山腹荒廃地	荒廃溪流	地すべり地
落下型 (崩土が山腹直下 で停止)	防護壁(大型土のう) 防護柵 (高エネルギー吸収ネット) 地表水、地下水排除 (水路工、暗渠工)	侵食防止剤散布(ヘリ) 法切工(RCM) 法枠工、吹付工 アンカー工、補強土工 土留工 水路工、暗渠工 山腹緑化工		抑制工 (水路工、流路工、ボーリング 暗渠工、集水井工、排土工、 押え盛土工、谷止工、土留工) 抑止工 (杭工、アンカー工)
流下型 (崩土が土石流化 して流下)	既設工の除石、 流木除去 嵩上げ(大型土のう) 谷止工(大型ふとんかご、 ワイヤーネット)	発生源対策は落下型 と同じ	谷止工、床固工 (コンクリート、鋼製枠) (鋼製セル、鋼矢板) (スリット、ブロック) 護岸工、流路工	
決壊型 (天然ダムの形成、 湛水、決壊)	河道開削 ポンプ排水 床固工、護岸工 (かご枠、ふとんかご)	発生源対策は落下型 と同じ	溪流対策は流下型 と同じ	

近年の大規模崩壊地の復旧対策事例の中から、特徴的な対応を表 4.2.4 に示す。大規模崩壊では、二次災害のおそれがあること、荒廃面積が広大で、不安定土砂量が膨大であること等から、緊急性、施工性、効率性を重視した対策が講じられている。

表 4.2.4 大規模崩壊対策として特徴的な対応

事後対策	大規模崩壊対策として特徴的な対応
応急対策	天然ダム形成箇所において、河道開削により決壊を防止。床固工により侵食を防止。
	河道開削箇所の上流において、短期施工できる大型ふとんかご谷止工により土砂流出を軽減
	大型土のう擁壁により土砂流出を抑止。運搬路の復旧。アクセスの確保。
	地すべり発生箇所において地表水、地下水排除工により地すべり移動を抑制
恒久対策	大面積の崩壊源に対し、ロッククライミングマシーンにより法切、斜面整形を効率化
	アクセス不可能な崩壊源に対し、ヘリにより侵食防止剤を散布、短工期で地表侵食を防止
	亀裂が発生した周縁部の森林に対し、地山補強土工により斜面安定、崩壊の拡大防止
	多量の崩壊土砂が堆積する溪流において鋼製セルダム、鋼矢板ダムにより現地の土砂を中詰材に利用。工期の短縮。今後の土石流に対応
	巨礫の堆積する溪流においてコンクリート谷止工の天端厚を2.0mにすることで、今後の大転石の流下に対応
	多量の倒木が堆積する溪流に鋼製スリットダムを配置することで、今後の流木に対応
	地すべり地やルーズな堆積上に施設を設置することとなる山腹、溪流においてブロック、自在枠等の可撓性のある構造物を設置。不同沈下に対応するとともに、プレハブ工法により工期短縮。
	大規模崩壊地脚部を護岸工により保護、末端の侵食を防止
	既存地すべり地が拡大した区域において、集水井工、杭工を追加施工
	新たに地すべりの兆候が発生した斜面において、観測施設を設置し、ボーリング排水工とアンカー工により移動を抑止

大規模崩壊の発生箇所では、復旧対策の実施と併せて、亀裂の発生など拡大崩壊のおそれのある箇所については予防対策も並行して実施している。したがって、復旧対策の工種は、予防対策の工種にもなり得るものである。

4.2.2 既存工法の有効性

既存の対策工法について、施工性、経済性、施工効果等の観点から検証し、大規模崩壊潜在斜面の予防対策としての有効性を表 4.2.5～表 4.2.7 に示す。

表 4.2.5 既存工法の有効性（発生源対策 抑制工）

工種	細分	大規模崩壊の予防工としての有効性
地表水排除工	浸透防止工	地表水が斜面に滞留し、亀裂等から地中に浸透することを防止する。
	水路工	
	流路工	渓流水による侵食とそれによる地表浸透能の増大を防止する。
地下水排除工	暗渠工	斜面に浸透する浅層地下水を排除する。
	ボーリング暗渠工	深部のすべり面に作用する地下水を排除することで斜面の安定が図られる。施工は比較的容易である。
	集水井工	深層の地下水を排除する効果が高い。すべり面を特定し、すべり面の下まで掘り下げるため大掛かりな工事になる。
	排水トンネル工	他の排水工では対応できない場合に施工する。
排土工		広範囲の地形改変と森林伐採を伴う。急な森林斜面では切土量が膨大となり莫大な処理費用がかかる。
押え盛土工		大規模な危険斜面では押え盛土工も大規模となるため用地の関係で困難となる場合が多い。
治山ダム工等	治山ダム	渓流の縦横侵食防止、ダム堆砂の押え盛土効果により崩壊の防止が図られる。
	護岸工	溪岸の横侵食を防止し、山脚の安定、崩壊防止が図られる。
	土留工	斜面末端の侵食による崩壊を防止する。押え盛土効果がある。

表 4.2.6 既存工法の有効性（発生源対策 抑止工）

工種	細分	大規模崩壊の予防工としての有効性
杭工		即効的な効果があるが、搬入車や施工機械が比較的大型になるため、搬入条件、施工条件に限界がある。
シャフト工		経費が巨額となる。他の工法が計画できず、かつ相当大きな地すべり推力を対象とする場合のみ計画される。
アンカー工		急斜面でも施工が可能で、斜面の末端を面的に抑止することができる。
補強土工	鉄筋挿入工	森林の伐採を最小限にして、斜面末端の崩壊を防止することができる。

表 4.2.7 既存工法の有効性（溪流対策 土石流・流木対策工）

工種	細分	大規模崩壊の予防工としての有効性
治山ダム工	治山ダム（遮水型）	土砂流出の抑止・軽減が図られる。
	治山ダム（透過型）	土石流、流木の捕捉が図られる。

4.2.3 既存工法の改善案

既存の治山施設は、発生する土砂移動現象の種類や規模を想定して計画・設計されているが、大規模崩壊に対しては想定規模を超えたために治山施設が破壊されるおそれがある。

大規模崩壊の予防対策では、一般荒廃地対策とは異なり、地すべり性の土塊の移動や土石流の発生を想定した治山施設を配置したり、変状が顕著でない潜在斜面においては、施工性や耐久性が優れ、より機能の高い構造・形式の施設を配置することが必要になると考えられる。既存の治山工法について、より効果を発揮するための改善案を表 4.2.8～表 4.2.10 に示す。

表 4.2.8 既存工法の改善案（発生源対策 抑制工）

工種	細分	留意点	効果を発揮するための改善案
地表水排除工	浸透防止工	施工性、耐久性	軽量かつ耐久性のある布性遮水シート、マットの活用。
	水路工	漏水防止対策、地形変化への対応	可撓性のある構造とし、集水柵と水路の接合部や部材どうしの接合部はパッキングし漏水や逸水を防止する。
	流路工	施工性、地形変化への対応	布型枠コンクリート、合成樹脂等軽量で可撓性のある製品の活用。
地下水排除工	暗渠工	目詰りによる機能低下 耐久性	軽量で可撓性があり、耐圧強度が優れ、吸水面積の大きな網状管等の合成樹脂二次製品の活用。
	ボーリング 暗渠工	地下水帯の的確な把握	地下水流音探査技術の活用。
		ボーリング方向の限界	曲線ボーリングによる施工。
		集水効果の向上	開口率の高い保孔管の活用。
治山ダム工等	治山ダム	斜面土塊の移動にともなう堤体の破壊	地すべり等により側圧を受けるおそれがあるため、天端厚は2.0～4.0mとする。既設は増厚する。可撓性のある構造として地形変化に対応する。
	護岸工	洗掘、地下水の滞留	水制工を併設して基礎部の流速を減少させ、洗掘を防止する。透水型として、斜面の地下水位の上昇を防止する。
	土留工	地下水の滞留	透水型として、斜面の地下水位の上昇を防止する。

表 4.2.9 既存工法の改善案（発生源対策 抑止工）

工種	細分	留意点	効果を発揮するための改善案
アンカー工		施工性	軽量の二次製品の受圧板を利用し、施工機械の小型化、工期短縮を図る。開口率が高い格子パネルを活用することで施工後の緑化が可能になる。
		耐久性	ボルト材は水密性を有した二重防食構造とする。
補強土工	鉄筋挿入工	施工性	補強材は自穿孔型ロックボルトを使用して、膨軟な森林土壌の斜面に対応する。
			金網、ワイヤーネットを併用し、地表侵食や落石も合わせて予防する。
		耐久性	補強材は二重防食構造とする。

表 4.2.10 既存工法の改善案（溪流対策 土石流・流木対策）

工種	細分	留意点	効果を発揮するための改善案
治山ダム	遮水型	既存の治山ダムの多くは天端厚が1.5m以下であり、土石流の衝撃に耐えることが難しい。	大規模な土石流発生のおそれがあるため、天端厚は2.0～4.0mとする。既設は増厚する。
		土砂生産が活発な流域では数年で満砂し、抑止可能量が減少する。	堤高の高い治山ダム（耐震設計を要しない最大14.5m）を計画する。堤体に対する流体力、衝撃力を考慮した断面とする。 複数の治山ダムを連続的に設置して広い堆砂空間を確保することで、土石流の拡散堆積を促進する。放水路幅を広くとる。
	透過型	流木や土石による閉塞	定期的な流木、土石の除去。

既に治山施設が整備されている場合は、大規模崩壊に対応して機能を強化・補完する対策（例えば、治山ダムの増厚・嵩上げ、杭やアンカーの増し打ち、地下水排除等）が有効と考えられる。

5 おわりに

本ハンドブックは、林野庁が平成 23 年度から 25 年度に実施した 3 か年事業調査の結果に基づき、主に第 3 段階調査における点検、モニタリングや対策に関する現場対応を記載し、並びに大規模崩壊の特徴、第 1 段階調査と第 2 段階調査の概要をまとめたものである。

本ハンドブックに記載した内容は、限られた崩壊履歴、事例調査に基づくものであり、次のような課題や限界があることを留意しなければならない。今後は、大規模崩壊潜在斜面の点検、モニタリングの精度を向上させ、予防対策を通じて森林を保全し、山地災害を軽減・防止するために事例分析を重ねる必要がある。

1. 大規模崩壊の調査体系は、第 1 段階調査～第 3 段階調査、対策の順になっているが、地域特性、社会条件、保全対象、山地災害危険地区指定状況、治山事業実施状況、対策の緊急性、必要性、有効性等を勘案し、着手する調査段階を決める必要があること。
2. 第 1 段階調査の大規模崩壊リスク評価全国マップ、大規模崩壊リスク評価都道府県域マップは、限られた崩壊履歴による危険度を相対的に表示したものである。大規模崩壊リスク評価都道府県域マップの作成にあたり、発生場所が特定できる過去の大規模崩壊の履歴をできるだけ多く収集し、検討することが必要であること。
3. 第 2 段階調査の大規模崩壊潜在斜面の危険度判定法の危険度ランクは、二つの事例の分析結果に基づいたもので、事例分析が重ねられていくことにより、危険度ランクの閾値は今後変わりうること。
4. 大規模崩壊のモニタリングによる警戒避難の例を示したが、現実的には全ての単元斜面に一律の値を決めることは困難である。個別の単元斜面については、地域特性、単元斜面の地形・地質、保全対象範囲等の状況に応じて詳細に検討し、基準値を設定することが望ましいこと。
5. 大規模崩壊の点検、モニタリングについては、地すべり等で一般的に使われている手法を示した。個々の単元斜面については、現地状況を勘案し、適切な手法の選定を検討することが望まれること。また、地層の走向・傾斜の測定は、今後のデータ蓄積に必要であるため、通常業務においても現場技術者ができる限り測定し、データベース化しておくことが望ましいこと。
6. 大規模崩壊の対策については、危険斜面すべてに対応することは経済的・時間的にも困難である。個々の単元斜面においては現地の地形・地質、想定される大規模崩壊の規模、保全対象等を総合的に考慮し、必要性、緊急性、有効性、効率性等を十分検討し、ソフト・ハード対策を講じる斜面を絞り込むことが望ましいこと。
7. 大規模崩壊が発生した場合の応急対策、崩壊発生の危険が高まった場合の緊急対策について、現場でどう対応していくかの時間を軸としたマニュアルを整備しておく必要があること。