

ISSN 0386-5878

土木研究所資料 第4333号

## 土木研究所資料

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

平成28年3月

国立研究開発法人 土木研究所  
土砂管理研究グループ  
火山・土石流チーム

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.

この報告書は、国立研究開発法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、国立研究開発法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

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

土砂管理研究グループ 火山・土石流チーム 主任研究員 木下 篤彦  
(元) 上席研究員 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：国土交通省近畿地方整備局六甲砂防事務所

## 概要

深層崩壊が発生すると、崩壊土砂による直接的な被害だけではなく、崩壊土砂による天然ダムの形成や大規模土石流の発生により、周辺地域では甚大な被害が生じる恐れがある。深層崩壊による被害を軽減するためには、深層崩壊の発生場所、規模、形態などを事前に予測しておく必要がある。発生場所については、研究事例の蓄積により、客観的な根拠に基づく深層崩壊の発生する恐れのある場所の絞り込みがある程度可能となっている。

本資料は、より詳細な深層崩壊対応策を検討するため、これまでの知見を集約し、深層崩壊の発生する恐れのある斜面を抽出する手法及び斜面のリスク評価を行う手法を示し、解説するものである。

キーワード：深層崩壊の発生する恐れのある斜面、調査優先度、斜面の危険度、崩壊規模

## 目 次

1. はじめに	1
2. 概説	2
2.1 目的	2
2.2 手法の概要	3
2.2.1 深層崩壊の発生する恐れのある斜面の抽出（一次抽出）	3
2.2.2 調査優先度の設定（二次抽出）	3
2.2.3 深層崩壊の発生する恐れのある斜面のリスク評価	3
2.2.4 リスク評価後の対応	3
2.3 作業手順	4
3. 資料の収集・整理	6
4. 検討対象地域の選定	7
5. 深層崩壊の発生する恐れのある斜面の抽出（一次抽出）	7
5.1 深層崩壊跡地情報の整理	7
5.2 深層崩壊の発生に関わる微地形の判読	7
5.3 深層崩壊の発生する恐れのある斜面の抽出	7
6. 調査優先度の設定（二次抽出）	9
6.1 社会的条件による選定	9
6.2 地形的条件による選定	9
6.2.1 水文地形特性による斜面抽出	9
6.2.2 重力変形地形特性による斜面抽出	10
6.2.3 地形条件による調査優先度の設定	10
7. 深層崩壊の発生する恐れのある斜面のリスク評価	11
7.1 斜面の危険度評価	11
7.1.1 地形・地質構造の把握	11
7.1.2 斜面のひずみ率算出	11
7.1.3 水文・水質調査	12
7.2 崩壊規模の推定	13
7.2.1 詳細調査（ボーリング調査、物理探査等）	13
7.2.2 崩壊範囲の推定	14
7.2.3 崩壊深度の推定	14
7.2.4 崩壊土砂量の推定	15
8. リスク評価後の対応（監視・観測）	16

# 1. はじめに

深層崩壊が発生すると、崩壊土砂やそれに伴う大規模な土石流による直接的な被害だけではなく、崩壊土砂による天然ダムの形成により、周辺地域では甚大な被害の可能性（災害リスク）が生じる。そのような深層崩壊による被害や災害リスクを軽減するためには、深層崩壊の発生場所及び崩壊規模を事前に予測しておく必要がある。これらのうち、発生場所については、客観的な根拠に基づく深層崩壊の発生する恐れのある場所の絞り込みがある程度可能となっている<sup>1)</sup>。

独立行政法人（現：国立研究開発法人）土木研究所は、平成20年11月に「土木研究所資料第4115号 深層崩壊の発生する恐れのある溪流抽出マニュアル(案)」<sup>1)</sup>（以下、溪流抽出マニュアル）を発行した。また、国土交通省では、日本全国の深層崩壊の発生頻度を推定した「深層崩壊推定頻度マップ」を平成22年8月に公表し<sup>2)</sup>、深層崩壊の発生頻度の高い地域について溪流抽出マニュアルに準じて溪流（小溪流）レベルでの危険度評価を行った（図1-1）。平成24年9月には、地域別の深層崩壊跡地密度マップとともに溪流レベルの評価マップを公表した<sup>3)</sup>。

本資料は、より詳細な深層崩壊対応策を検討するため、これまでの知見を集約し、深層崩壊の発生する恐れのある斜面を抽出する手法及び斜面のリスク評価を行う手法を示し、解説するものである。

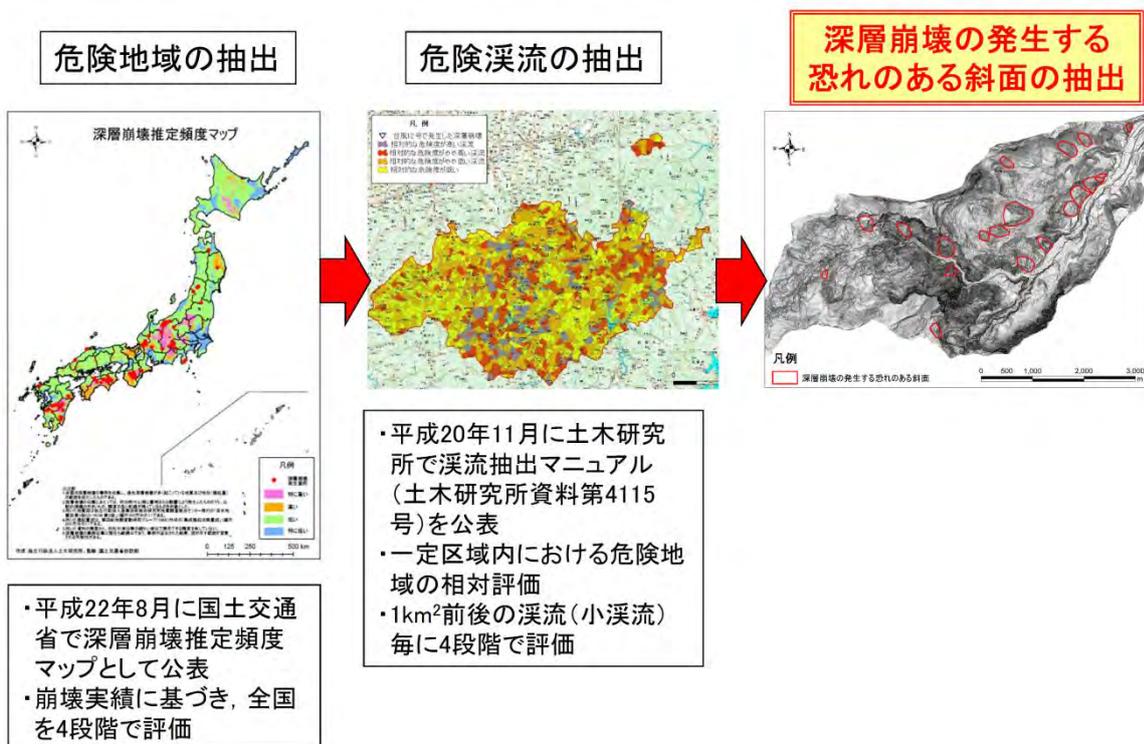


図 1-1 深層崩壊に対する取り組みの推移

## 2. 概説

### 2.1 目的

一般的にリスクとは、「危害の発生確率及びその危害の程度の組合せ」<sup>4)</sup>として表現される。しかし、深層崩壊の場合、崩壊事例が少ないことから「危害の発生確率」を厳密に推定することは困難である。また、「危害の程度」は「深層崩壊の発生に伴う天然ダム・土石流などの影響範囲」として表すことができる。近年、数値シミュレーションによる深層崩壊に伴う土石流の影響範囲推定が可能となっている<sup>5)</sup>。これの結果は、深層崩壊の崩壊規模（崩壊土砂量）の設定によるところが大きい。

そこで、本資料では、発生確率を「危険度」、程度を「崩壊規模」と置き換え、双方が大きい斜面をリスクの大きな斜面として評価することとした（図 2-1）。

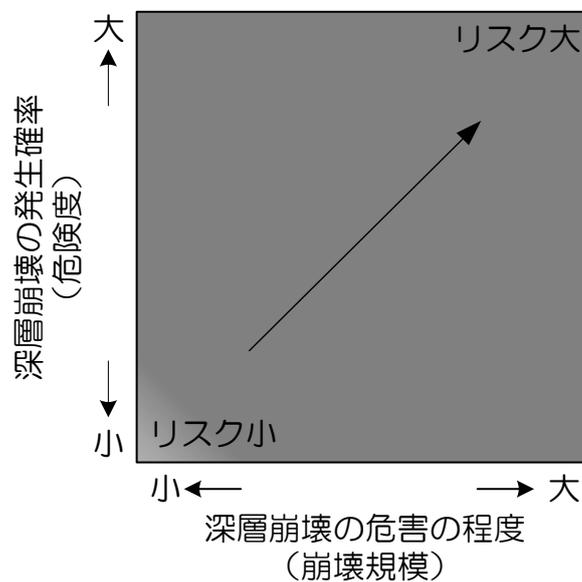


図 2-1 リスク評価のイメージ

## 2.2 手法の概要

本資料に示す深層崩壊の発生する恐れのある斜面抽出技術手法は、「深層崩壊の発生する恐れのある斜面の抽出（一次抽出）」、「調査優先度の設定（二次抽出）」及び「斜面の危険度評価と崩壊規模の推定（斜面のリスク評価）」からなる。以下にそれぞれについて解説する。

### 2.2.1 深層崩壊の発生する恐れのある斜面の抽出（一次抽出）

深層崩壊は深層崩壊跡地に近接して発生することが多く<sup>6)</sup>、深層崩壊の発生の有無を把握することは極めて重要である。また、深層崩壊の発生の前兆現象として特徴的な微地形が斜面に形成されることが多い<sup>7,8)</sup>。そこで、航空レーザー測量（レーザープロファイラ）で得られる高精度 DEM データ（以下 LP データとする）より作成された地形表現図（傾斜量図等）や空中写真を用いて、深層崩壊跡地の抽出や微地形を判読し、深層崩壊の発生する恐れのある斜面を抽出する。

### 2.2.2 調査優先度の設定（二次抽出）

社会的条件や地形的条件から総合的に判断して、一次抽出した深層崩壊の発生する恐れのある斜面について調査優先度を設定する。社会的条件は、人家や公共的建物、災害時要援護者関連施設などの保全対象の位置や各施設の重要性等を整理することにより設定する。地形的条件は、LP データを用いた地形解析を行うことにより設定する。地形解析を行うことにより、検討地域の地形・地質に応じた抽出指標の設定や抽出結果の分析が可能となり、定量的に斜面を評価することができる。深層崩壊の発生する恐れのある斜面は、水文地形条件（勾配・集水面積）に影響されていると推測されることから、勾配と集水面積による深層崩壊発生率を閾値とした水文地形特性を抽出指標とする<sup>6)</sup>。また、深層崩壊跡地の多くが重力変形地形を有していることから<sup>7,8)</sup>、重力変形地形を表現できる地形量を抽出指標とする。

### 2.2.3 深層崩壊の発生する恐れのある斜面のリスク評価

2.1 で述べたように、本資料では、深層崩壊の発生する恐れのある斜面のリスクを「危険度」と「崩壊規模」の組合せで評価することとする。斜面の危険度評価では、「地形・地質状況による評価」や斜面に形成された小崖の拡大進行程度を示した「ひずみ率」<sup>9,10)</sup>、水文・水質における周辺との比較により斜面の特異性を示した「水文・水質調査」<sup>11)</sup>による評価を行う。一方、崩壊規模の推定には、斜面の内部構造の把握が不可欠であり、地表踏査、ボーリング、物理探査などの詳細調査により、推定崩壊面の空間分布を把握し、崩壊土砂量を算出する。

### 2.2.4 リスク評価後の対応

リスクが大きいと評価された斜面においては、従来から地すべり斜面崩壊の調査として用いられている動態観測や、地下水位観測などによる「斜面の監視・観測」を行う。

### 2.3 作業手順

深層崩壊の発生する恐れのある斜面の抽出手法には、微地形、地質構造、水文・水質情報を利用する等が考えられる。しかし、手法によって抽出精度や適応スケールが異なり、横並びの指標として利用するのは困難である。そこで、本資料では、抽出目的や手法の特性に応じて段階的に深層崩壊の発生する恐れのある斜面の抽出、調査優先度の設定を行い、斜面の危険度リスク評価を行うこととする（図 2-2）。

まず、既往文献や既往成果を基に、検討対象地域の地形・地質条件、気象条件を整理し、地域特性や深層崩壊発生の要因について整理する。深層崩壊の特に多い地域のうち、地形・地質条件や保全対象等を考慮し、検討対象地域を選定する。

次に、一次抽出として、LP データを用いて作成された地形表現図及び空中写真により、検討対象地域内の深層崩壊跡地情報や深層崩壊の発生と関係性の高い微地形要素に着目した判読を行い、深層崩壊の発生する恐れのある斜面を抽出する。

続いて、二次抽出として、社会的条件や地形的条件から総合的に判断して調査優先度の設定を行う。社会的条件では、人家や公共的建物、災害時要援護者関連施設などの保全対象の位置や各施設の重要性等を整理する。地形的条件では、LP データの解析により算出された危険度の高い地形量（勾配と集水面積の組み合わせ）を有する斜面及び重力変形による地形的特徴を有する斜面を抽出し、両者の地形量の多寡を整理する。

最後に、斜面のリスク評価として、斜面の危険度評価と崩壊規模の推定を行う。斜面の危険度評価では、地形・地質状況による評価や斜面のひずみ率算出、水文・水質調査による評価を行う。また、崩壊規模の推定では、地表踏査やボーリング調査、物理探査等詳細調査を実施し、深層崩壊の発生する恐れのある範囲や崩壊深度の推定を行うことで、崩壊土砂量を算出する。

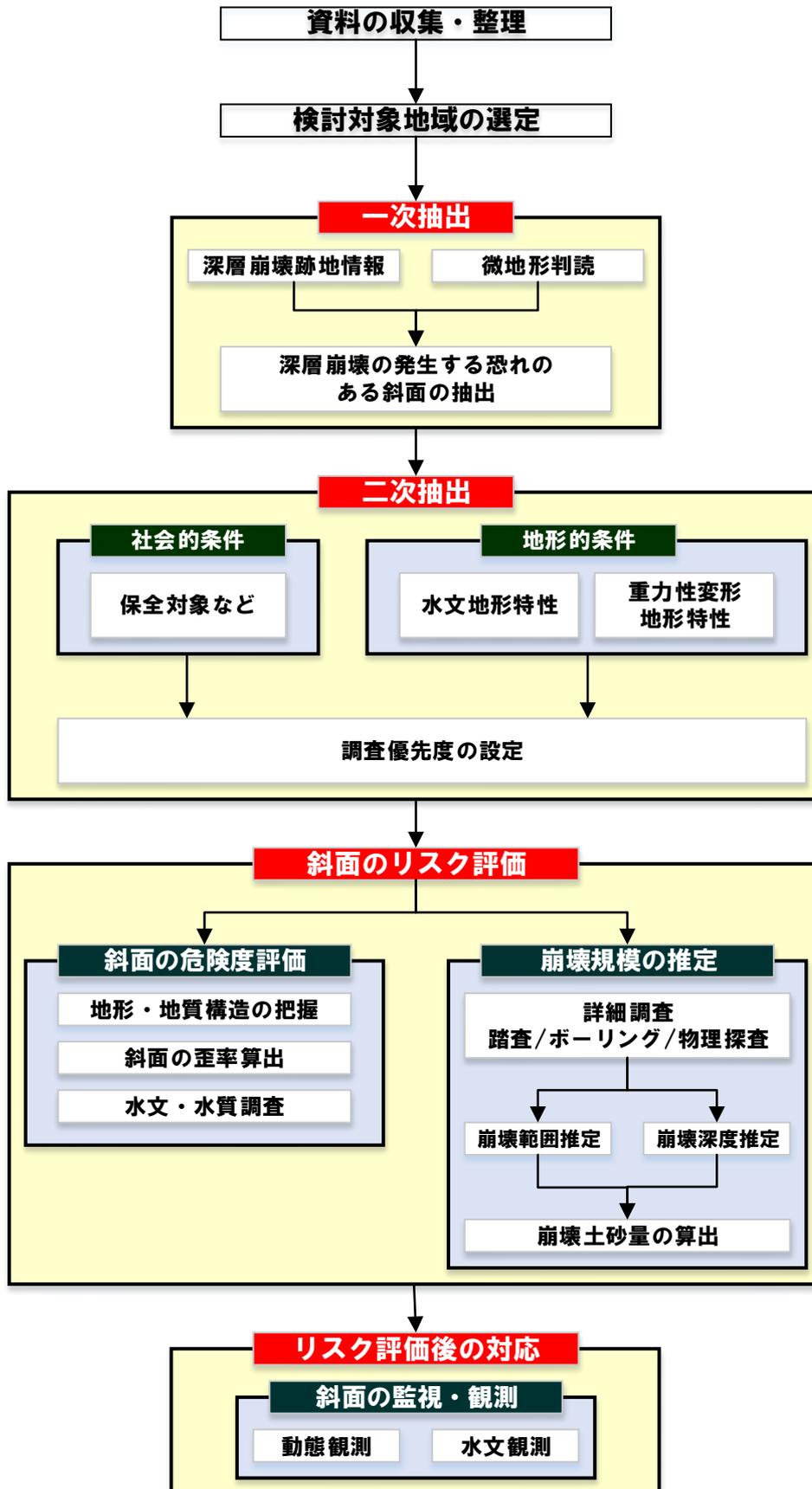


図 2-2 深層崩壊の発生する恐れのある斜面抽出及びリスク評価フロー

### 3. 資料の収集・整理

深層崩壊の発生する恐れのある斜面の抽出にあたり、資料の収集及び整理を実施する。収集する資料は次の通りである。

#### ①LP データ

原則として、地方整備局、事務所等の所有する 1~2m グリッドサイズの LP データを準備する。

#### ②深層崩壊推定頻度マップ

平成 22 年 8 月に国土交通省河川局砂防部より発表された資料<sup>2)</sup>である。

#### ③地域別深層崩壊跡地密度マップ

平成 24 年 9 月に国土交通省水管理・国土保全砂防部より発表された資料<sup>3)</sup>である。

#### ④深層崩壊溪流（小流域）レベル評価マップ

平成 24 年 9 月以降、各砂防事務所等より発表された資料<sup>3)</sup>である。

#### ⑤対象地域の地形、地質に関する資料

崩壊地分布図や微地形分類図、1/200,000 シームレス地質図のほか、検討地域の 1/25,000 地形図、地質図、地形分類図等を収集する。

#### ⑥既往成果、県や市町村の災害史、気象災害報告、ハザードマップ等

検討対象地域の砂防担当部局等を通じて既存の整理された資料を可能な限り収集する。既存の整理された資料では以降の検討が十分に進められない場合には、各種の災害史（都道府県や市町村の災害史）、気象災害報告（気象庁）等の既往文献、公表資料について収集する。

#### ⑦社会基盤施設情報、統計データなど

社会基盤施設情報は、管内図を参照するほか、地域を所管する自治体を通じて既存の整理された資料を可能な限り収集する。

#### ⑧GIS データ（深層崩壊跡地、微地形等）

GIS データは、既往の関連業務等で作成されている深層崩壊に関する各種 GIS データを収集する。また、WEB 上に公開されている関連データも収集する。

#### ⑨空中写真

空中写真は、撮影縮尺 1/5,000~1/10,000 の垂直写真（モノクロ、カラーどちらでも可）で、既存の写真のうち最新のものとする。

#### ⑩既往文献

対象地域及びその周辺地域における深層崩壊の有無、地形・地質条件、気象条件等について記述のある既往文献を収集する。

#### ⑪既往調査成果

対象地域及びその周辺地域において、地質調査、微地形判読、空中電磁探査等が実施されている場合は、その調査成果を収集する。

#### 4. 検討対象地域の選定

溪流抽出マニュアル<sup>1)</sup>によって相対的な危険度が高いと判定された溪流の流域、もしくは深層崩壊跡地密度マップ<sup>2)</sup>で崩壊跡地が特に多いエリアのうち、地形・地質条件や保全対象、事業優先度等を考慮し、深層崩壊の発生する恐れのある斜面の抽出を行う検討対象地域を選定する。なお、検討対象地域の選定の際には、現地調査の条件や既往調査による詳細な微地形判読や空中電磁探査の実施の有無なども考慮する。

#### 5. 深層崩壊の発生する恐れのある斜面の抽出（一次抽出）

##### 5.1 深層崩壊跡地情報の整理

空中写真及びLPデータから作成した地形表現図を背景図として、高精度な深層崩壊跡地分布図を作成する。空中写真は、可能な限り大縮尺で鮮明なものを使用し、大縮尺の空中写真を利用できない場合は、オルソ画像を使用する。また、LPデータを加工し、地形起伏を強調することにより地形判読を容易にした地形表現図等を作成し使用する。なお、深層崩壊跡地情報については、LPデータを用いて作成された崩壊地分布図や微地形分類図等が利用可能な場合には、それらを用いることとする。

判読の方法は溪流抽出マニュアル<sup>1)</sup>に準拠し、深層崩壊跡地は「崩壊主部（崩壊範囲）」と「移動土塊部分」に分けて判読する。後述する水文地形解析に利用するのは、「崩壊主部（崩壊範囲）」である。判読結果は、GIS上で活用できるように電子化し、縮尺1/1,000～1/5,000程度の基図に表示する精度の内容を備えているものとする。併せて、崩壊の規模（崩壊面積、推定崩壊深度等）を属性データとして整理しておくことが望ましい。

##### 5.2 深層崩壊の発生に関わる微地形の判読

検討対象地域の地形、地質、崩壊特性を考慮し、深層崩壊の発生と関係性の高い微地形要素に着目した判読を行う。着目する微地形要素は、山頂緩斜面、二重（多重）山稜、線状凹地、（山向き）小崖地形、円弧状クラック、岩盤クリープ斜面、地すべり地形、リニアメント等である。また、小崩壊やガリー、湧水による表面侵食や植生の違い等、不安定土塊の活動性を示す変状についても判読を行う。

##### 5.3 深層崩壊の発生する恐れのある斜面の抽出

深層崩壊跡地の縁辺部、岩盤クリープ斜面、大規模地すべり地形の末端部、円弧状クラックを有する斜面、山頂緩斜面の縁辺部では、深層崩壊が発生する可能性が高いことから、5.1項で整理した深層崩壊跡地情報、及び5.2項で判読した微地形に基づき、深層崩壊の発生する恐れのある斜面を抽出する。

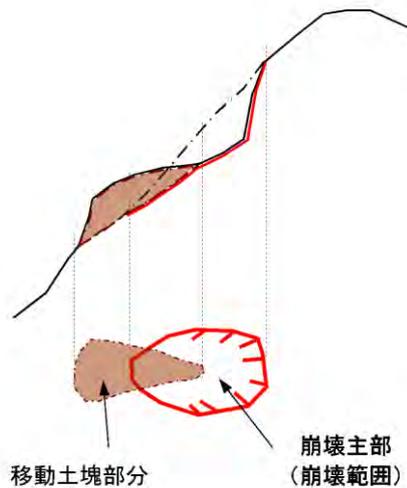


図 5-1 深層崩壊跡地の抽出イメージ (模式図) <sup>1)</sup>

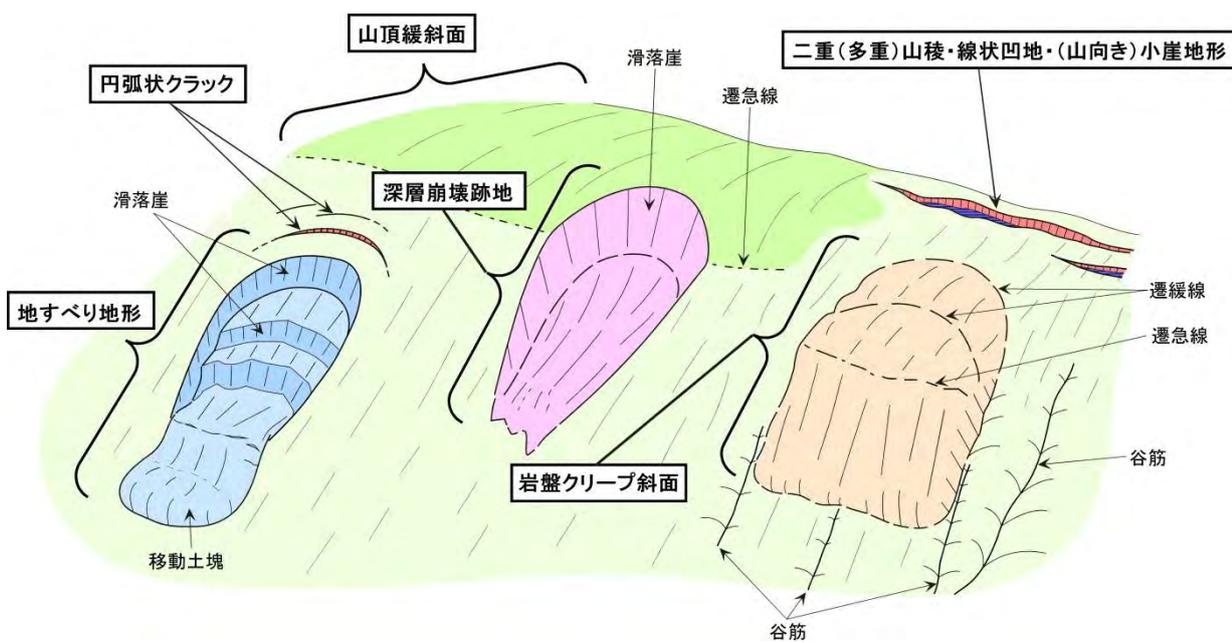


図 5-2 微地形の抽出イメージ (模式図) <sup>6)</sup>を一部改変

## 6. 調査優先度の設定（二次抽出）

深層崩壊の発生する恐れのある斜面に対して、社会的条件や地形的条件から総合的に判断して、調査優先度を設定する。

### 6.1 社会的条件による選定

検討対象地域において、人家や公共的建物、災害時要援護者関連施設などの保全対象の位置や各施設の重要性等、社会的条件を整理し、調査優先度を設定する。

### 6.2 地形的条件による選定

#### 6.2.1 水文地形特性による斜面抽出

検討対象地域において、深層崩壊跡地の分布を基にした地形量ごとの深層崩壊面積率を算出する。勾配及び集水面積と深層崩壊面積率の関係から、危険度が相対的に高くなる閾値を設定する。深層崩壊の発生する恐れのある斜面のうち、危険度の高い地形量（勾配と集水面積の組み合わせ）を有する斜面を抽出する。

実施方法の詳細は、溪流抽出マニュアル<sup>1)</sup>に準拠する。地形量の算出にはLPデータを使用する。ただし、小さなメッシュサイズは表層崩壊を対象とする解析スケールと重複するため、LPデータから10m程度のメッシュサイズデータを作成して使用する。地質条件が異なる場合には、概ね等しいものとして扱える範囲ごとで実施する。

勾配と集水面積の組み合わせごとに深層崩壊面積率（＝当該地形量を有する深層崩壊跡地メッシュ数／当該地形量を有する全メッシュ数）を算出する。当該地形量を有する深層崩壊跡地メッシュ数のカウントにあたっては、5.1項で整理した深層崩壊跡地のGISデータを用いることとし、当該地形量を有するメッシュの重心が深層崩壊跡地のポリゴン内にあるときに、当該地形量を有する深層崩壊跡地メッシュとする。

また、深層崩壊面積率の算出にあたっては、表6-1に示す様式に従うこととし、当該地形量を有する全メッシュ数、深層崩壊跡地メッシュ数、深層崩壊面積率をそれぞれ整理する。集水面積の階級区分は、算出値の出現頻度により任意に設定する。

算出した勾配と集水面積及び深層崩壊面積率の関係から、深層崩壊面積率が検討対象地域における全体の平均値の概ね2倍以上となる勾配と集水面積の組み合わせを危険度の高い地形量の閾値とし、それ以外を危険度の低い地形量とする。集計表では、勾配及び集水面積が増大するにしたがって、危険度の低い地形量から高い地形量へ移行するように閾値を設定する<sup>1)</sup>。

表 6-1 斜面勾配と集水面積の組み合わせによる深層崩壊面積率の算出<sup>1)</sup>

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

## 6.2.2 重力変形地形特性による斜面抽出

検討対象地域において、重力変形（岩盤クリープ）による地形的特徴が表現可能な地形量を用いて、重力変形斜面とそれ以外の斜面に対して分離性の高い閾値を設定することにより、重力変形による地形的特徴を有する斜面を抽出する。

重力変形の地形的特徴が表現可能な地形量には、斜面勾配比と最小固有値比を用いることとする<sup>13),14)</sup>。このほか、重力変形地形を表現する地形量の算出が可能な場合は、抽出指標として使用しても良い。地質条件が異なる場合には、概ね等しいものとして扱える範囲ごとで実施する。

斜面勾配比と最小固有値比は、斜面勾配、固有値比についてそれぞれウィンドウサイズ（空間解析距離）を変えて、算出する<sup>12),13)</sup>。DEMのメッシュサイズは1~2m程度とする。ウィンドウサイズは、500m以下で10種程度とする。固有値比、斜面勾配は、地形量毎に各ウィンドウサイズのボックスプロット図を作成し、その変化傾向から、以降で使用するウィンドウサイズを設定する。メディアンフィルターにより、中央値を算出する。斜面勾配比は、最大ウィンドウサイズに対する最小ウィンドウサイズの比を算出する。最小固有値比は、複数のウィンドウサイズ間で各セルの固有値比の最小値を抽出する。

5.3 項で抽出した重力変形斜面及びそれ以外の斜面の地形量を比較し、両者に対して分離性の高い閾値を設定する。閾値以上となる斜面勾配比、最小固有値比等の分布図を作成し、重力変形が発生している斜面を抽出する。

## 6.2.3 地形条件による調査優先度の設定

地形的条件（水文地形特性、重力変形地形特性）を総合的に判断して、調査優先度を設定する。深層崩壊の発生する恐れのある斜面のうち、6.2.1 項の水文地形特性を指標として抽出された斜面及び6.2.2 項の重力変形地形特性を指標として抽出された斜面に該当する斜面を重ね合わせ、調査優先度の高い斜面として選定する（図 6-1）。なお、該当斜面数と深層崩壊との関係性の評価には、的中率とカバー率等を使用する。的中率、カバー率の算出方法については、溪流抽出マニュアル<sup>1)</sup>に準拠する。

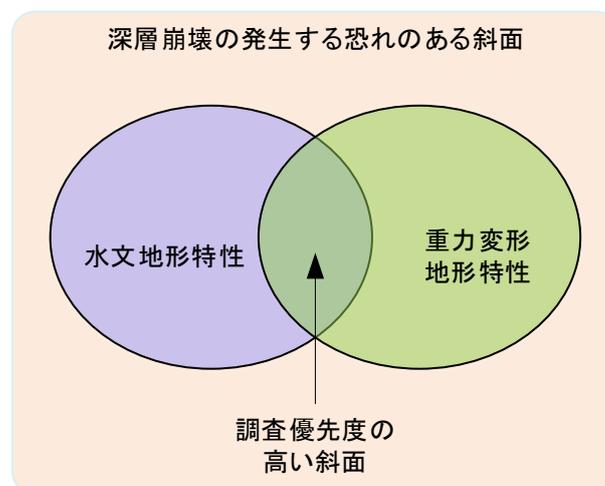


図 6-1 地形による調査優先度設定のイメージ

## 7. 深層崩壊の発生する恐れのある斜面のリスク評価

斜面の危険度と崩壊規模から総合的に判断し、斜面のリスク評価を行う。

### 7.1 斜面の危険度評価

#### 7.1.1 地形・地質構造の把握

6章で調査優先度の高い斜面として選定された斜面において、地表踏査を行い、広域の地質分布や、断層、節理の分離面等の方向など地質構造の把握を行う。また、湧水の箇所、小崩壊の発生の有無、荒廃状況、植生等、深層崩壊の発生に関連する状況について確認する。斜面の周辺では、河川の下刻などに着目し、山地斜面の地形発達を検討する。そして、地表踏査により把握した地形・地質状況から、深層崩壊の危険度を総合的に評価する。なお、四万十層群が分布する地域では、紀伊山地の評価事例<sup>14)</sup>を参照にできる。

#### 7.1.2 斜面のひずみ率算出

6章で調査優先度の高い斜面として選定された斜面において、小崖の分布からひずみ率の算出を行い、斜面の危険度を評価する。

本資料では、斜面長に対する小崖の長さを「ひずみ率」と定義し、5.2項において判読した小崖の分布をもとに解析測線を設定し、各測線でひずみ率の算出を行う(図7-1)。なお、計算に用いた地形変化点(小崖頭部、小崖下部、斜面末端)については座標値を求め、再現性を確保するようにする。

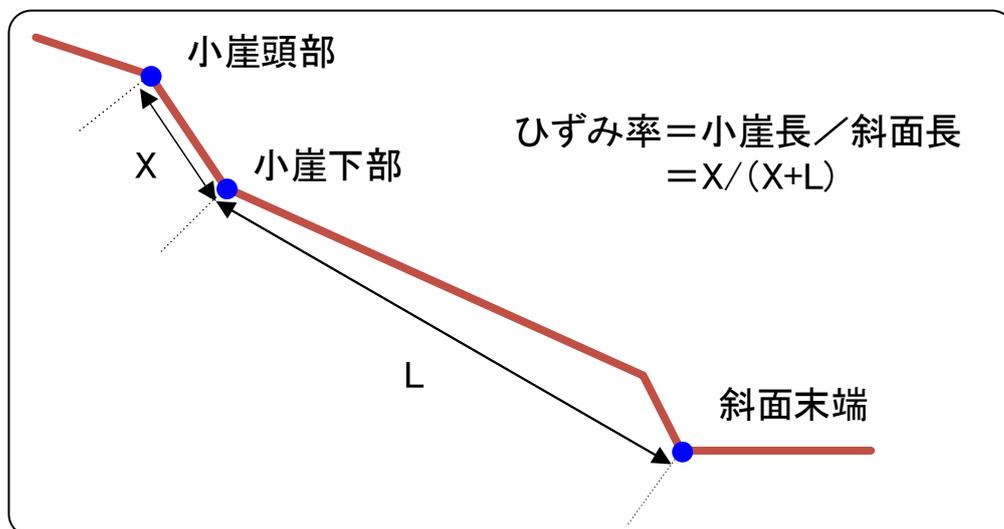


図 7-1 ひずみ率算出の概念図

### 7.1.3 水文・水質調査

6章で調査優先度の高い斜面として選定された斜面の周辺で水文・水質調査を実施する。水文・水質調査は、選定した斜面からの湧水や周辺の沢水を対象に実施し、水文・水質の特異性の有無により、危険度を評価する。水文・水質調査の項目は以下の通りとする。

#### ①水文調査

水文調査は、電気伝導度、水温、pH、湧水量、流量及び気温を計測する。また、水文調査の結果から流域ごとの比流量を算出する。水文調査は同一時期に一斉に実施することが望ましい。

#### ②水質分析

水質分析対象項目は、主要溶存イオン7種（ナトリウムイオン  $\text{Na}^+$ 、カリウムイオン  $\text{K}^+$ 、カルシウムイオン  $\text{Ca}^{2+}$ 、マグネシウムイオン  $\text{Mg}^{2+}$ 、塩化物イオン  $\text{Cl}^-$ 、硫酸イオン  $\text{SO}_4^{2-}$ 、炭酸水素イオン  $\text{HCO}_3^-$ ）及びケイ酸を含めることとする。

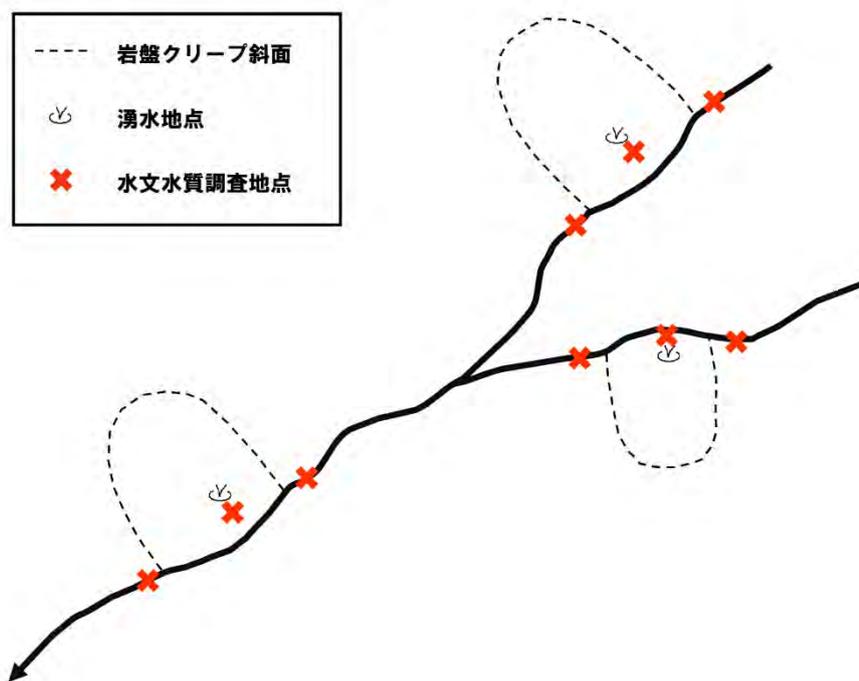


図 7-2 水文・水質調査地点のイメージ

## 7.2 崩壊規模の推定

### 7.2.1 詳細調査（ボーリング調査、物理探査等）

6章で調査優先度の高い斜面として選定された斜面に対し、詳細調査を実施する。斜面の詳細調査としては、ボーリング調査や物理探査が挙げられる。

#### ①ボーリング調査

選定された斜面及びその周辺についてボーリング調査を行い、地質状況や地下水状況を把握する。

#### ②物理探査

選定された斜面において、比抵抗二次元探査、もしくは空中電磁探査等を実施し、地中の比抵抗分布等を把握する。また、地表踏査やボーリング調査で得られた地質データを用いて、比抵抗分布状況の解釈を行う。

#### ③その他の必要な調査

その他、斜面の内部構造を推定できる調査が可能な場合は実施する。

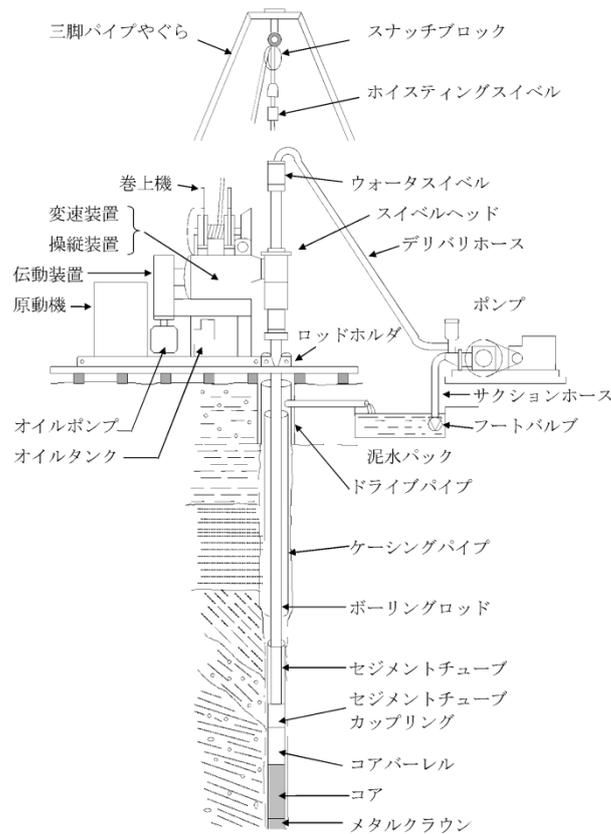


図 7-3 ボーリング装置概要図<sup>15)</sup>

### 7.2.2 崩壊範囲の推定

微地形判読結果や 7.2.1 項の詳細調査の結果に基づき、深層崩壊の発生する恐れのある範囲を設定する。崩壊範囲は、微地形の分布のほか、水文地質構造、比抵抗分布を参考に決定する。なお、崩壊推定範囲は、次項に示す崩壊深度の推定と整合性をもつこととする。

### 7.2.3 崩壊深度の推定

7.2.1 項の詳細調査の結果に基づき、詳細調査を実施した斜面について、調査結果を示した地形・地質・比抵抗分布に関する断面図の作成を行う。その上で、7.2.2 項を考慮し、崩壊深度を推定する。空中電磁探査が実施されている場合は、複数の断面を利用することが望ましい。

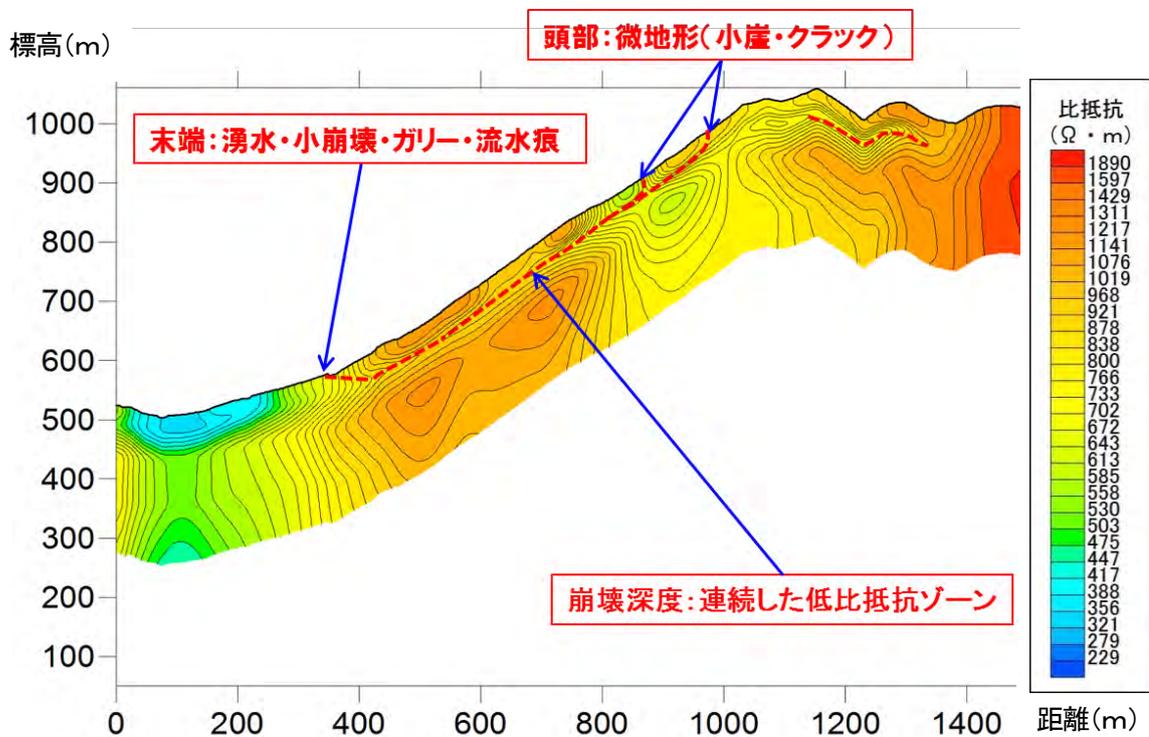


図 7-4 空中電磁探査結果を活用した崩壊深度推定事例

## 7.2.4 崩壊土砂量の推定

7.2.2 項で推定した崩壊範囲及び7.2.3 項で推定した崩壊深度を用いて、平均断面法等により崩壊土砂量を算出する。また、崩壊深度を複数想定した場合は、それぞれで崩壊土砂量を算出する。あわせて、崩壊面積を利用した換算式<sup>たたとえば16)</sup>により崩壊土砂量を算出する (図 7-5)。

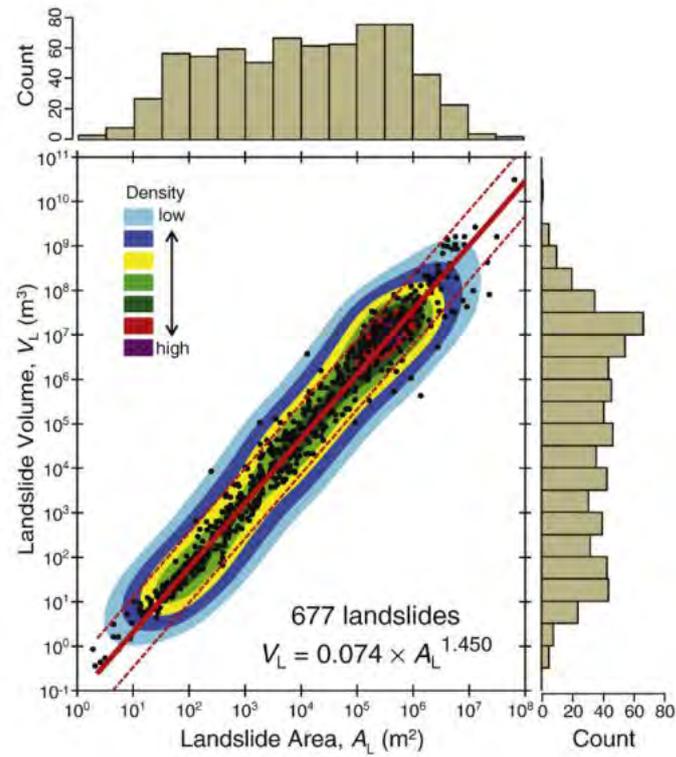


図 7-5 崩壊土砂量と面積の関係<sup>16)</sup>

## 8. リスク評価後の対応（監視・観測）

7章により、深層崩壊の恐れのある斜面においてリスクが高いと評価された斜面に対し、保全対象等を勘案し必要に応じて動態観測や水文観測を行う。実施にあたっては、従来からの地すべり監視・観測技術に加え、近年の高度な監視・観測技術を検討する。

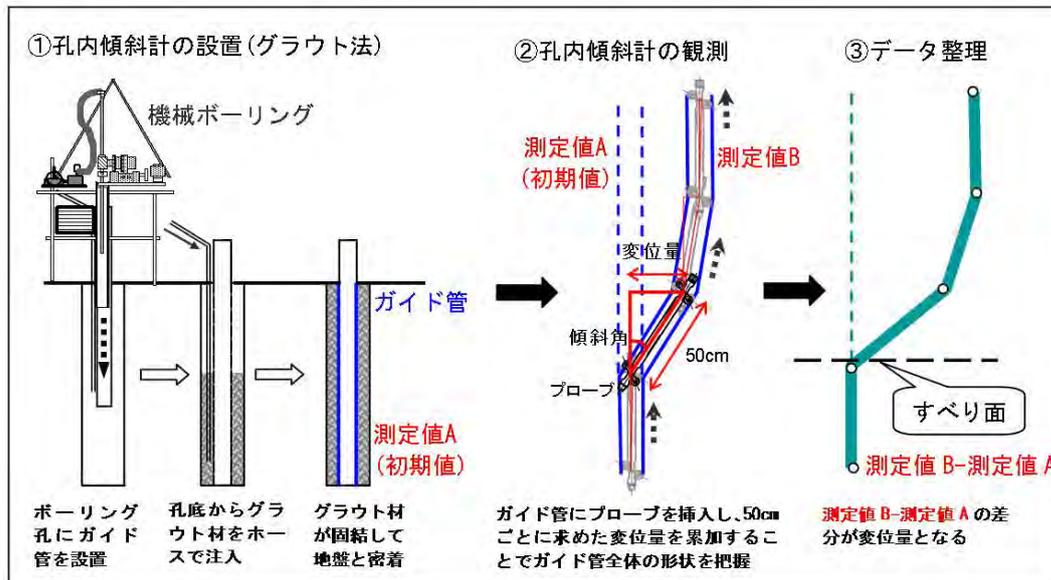


図 8-1 動態観測の事例：挿入式孔内傾斜計の測定原理<sup>17)</sup>

## 謝辞

本研究に使用したデータは、国土交通省北陸地方整備局松本砂防事務所、中部地方整備局天竜川上流河川事務所、近畿地方整備局紀伊山地砂防事務所よりご提供頂きました。ここに厚く感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 独立行政法人土木研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム (2008) : 深層崩壊の発生の恐れのある溪流抽出マニュアル(案), 土木研究所資料, 第 4115 号
- 2) 国土交通省河川局砂防部 (2010) : 深層崩壊に関する全国マップについて, [http://www.mlit.go.jp/report/press/river03\\_hh\\_000252.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/river03_hh_000252.html), 参照 2016/2/1
- 3) 国土交通省水管理・国土保全局・独立行政法人土木研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム (2012) : 深層崩壊に関する溪流 (小流域) レベルの調査について, [http://www.mlit.go.jp/report/press/mizukokudo03\\_hh\\_000552.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/mizukokudo03_hh_000552.html), 参照 2016/2/1
- 4) JIS Z 8051 (2004) : 安全側面—規格への導入指針
- 5) 独立行政法人土木研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム (2012) : 深層崩壊に起因する土石流の流下・氾濫計算マニュアル(案), 土木研究所資料, 第 4240 号
- 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) : 地すべり・崩壊の発生場所予測-地質と地形からみた技術の現状と今後の展開-, 土木学会論文集 C, Vol.62, No.4, pp.722-735
- 8) 千木良雅弘 (2013) : 深層崩壊—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 号による深層崩壊の発生場—発生前後の詳細 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会深層崩壊の実態, 予測, 対応, pp.24-34
- 10) 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 年度日本応用地質学会特別講演およびシンポジウム予稿集, pp.49-55
- 11) 地頭菌隆・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
- 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クリーブ斜面の表面形状把握, 砂防学会誌, 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) : 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
- 14) 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
- 15) (社)地盤工学会 (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) 独立行政法人土木研究所・応用地質株式会社・坂田電機株式会社・日本工営株式会社共著（2010）：地すべり地における挿入式孔内傾斜計計測マニュアル，理工図書

参考資料 1 LP を用いた深層崩壊の発生に関連する微地形判読

参考資料 2 紀伊山地での代表的な判読事例

参考資料 3 水文地形特性による閾値設定事例

参考資料 4 斜面勾配，固有値比の算出方法

参考資料 5 地形解析のウィンドウサイズ

参考資料 6 岩盤クリープ斜面と非岩盤クリープ斜面の地形量

参考資料 7 重力変形（岩盤クリープ）斜面の抽出手順

参考資料 8 指標の組み合わせと抽出パターン

参考資料 9 付加体地域における微地形タイプと深層崩壊の発生危険度の評価事例

参考資料 10 ひずみ率の定義と算出事例

参考資料 11 流量の計測手法

参考資料 12 水文・水質調査事例

参考資料 13 空中電磁探査の概要

参考資料 14 崩壊面積を利用した崩壊土砂量の推定方法

参考資料 15 深層崩壊の危険斜面に有効な監視・観測の手法

## 参考資料 1

### LP を用いた深層崩壊の発生に関連する微地形判読

一般に大規模崩壊はその発生前に長年の重力影響による地形の変化が生じると考えられている。この地形の変化は二重（多重）山陵や円弧状クラック等の微地形として地表面に表れると考えられている。この微地形を写真判読して地形量と過去の大規模崩壊発生履歴と比較することにより、深層崩壊の発生する危険性を評価する溪流抽出マニュアルが平成 20 年 11 月に土木研究所より公開されている。この中で大規模崩壊に関連性の高い微地形要素として、図 1 の要素が示されている。

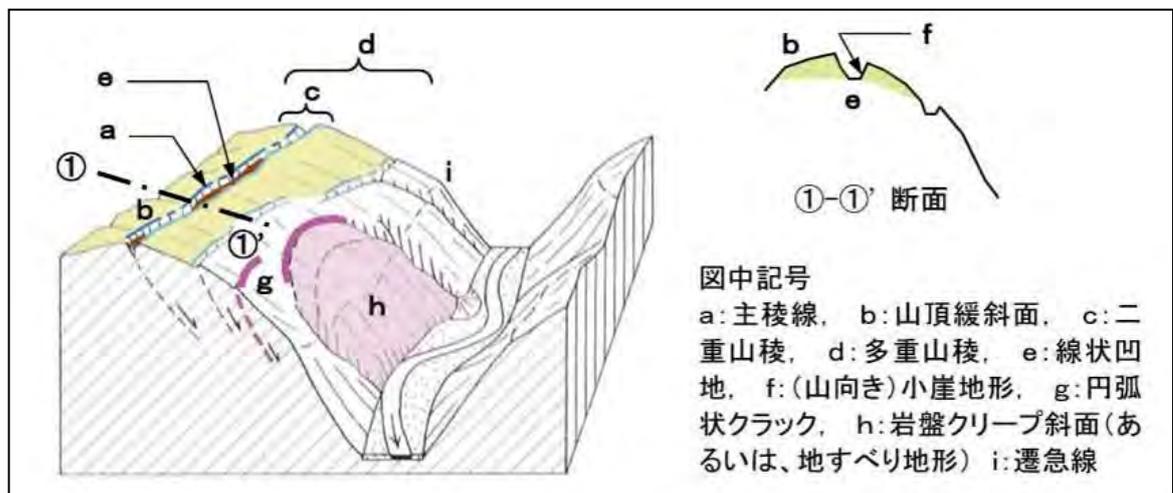
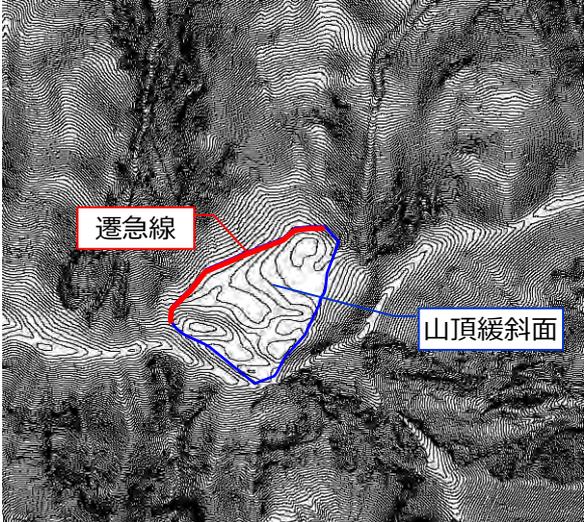
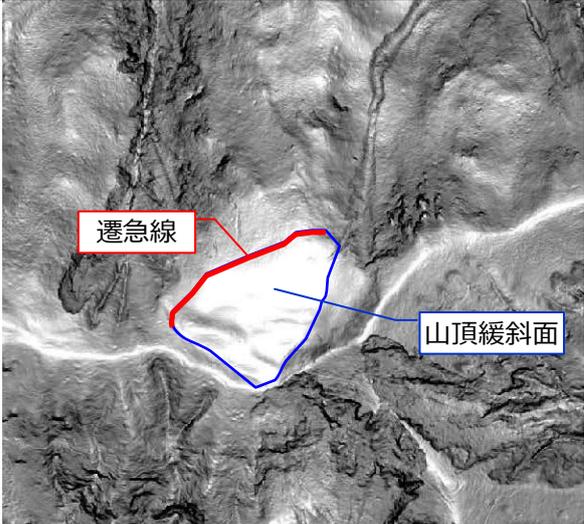


図 1 深層崩壊の発生に関連する微地形要素の位置関係（模式図）

### (1) 山頂緩斜面

山地の稜線付近に、周囲の斜面と比べて明らかに勾配が緩く、広い範囲にわたる平坦な斜面がみられるものをいう。

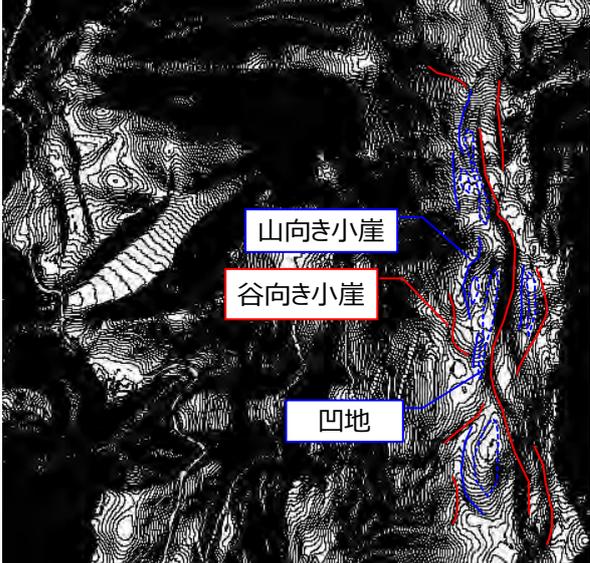
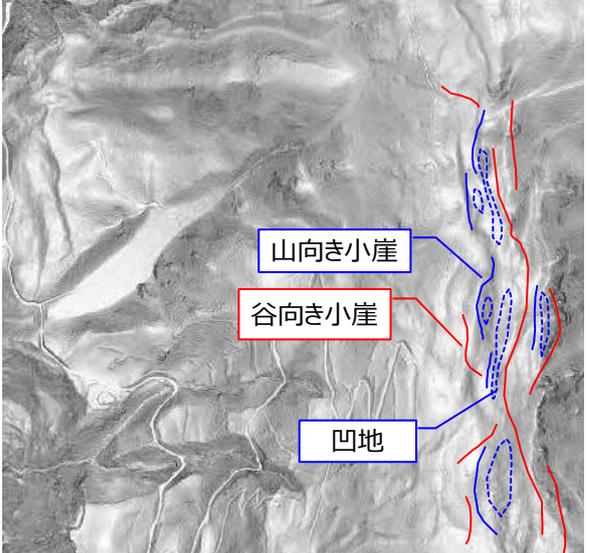
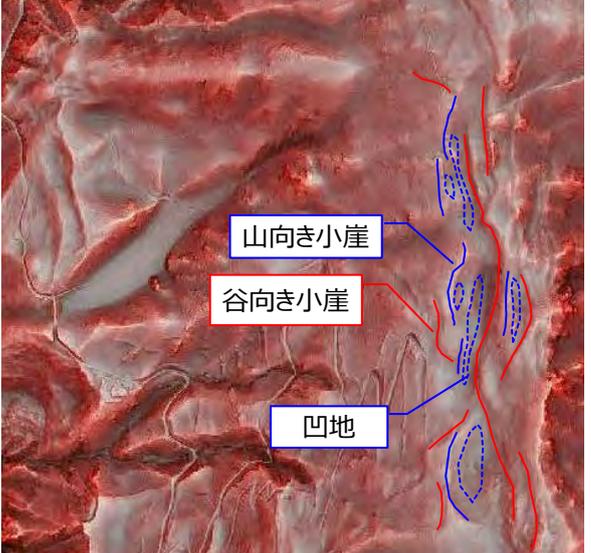
下方は急斜面となるため遷急線（傾斜が緩から急へ変化する点を結んだ線）が存在する。

	
<p>等高線図 山地の稜線付近で、周辺と比べ等高線間隔が広い面として表現される。</p>	<p>空中写真 立体視により、遷急線で下方の急傾斜面と隔てられた山稜上の平坦面が判読できる。</p>
	
<p>傾斜量図 緩傾斜のため他より白く表現される。下方のやや暗い色調で示されている急傾斜面と区分でき、その境界が遷急線となる。</p>	<p>赤色立体地図 緩傾斜のため赤色が弱く、平坦のため灰色がかって表現される。下方斜面は急傾斜のため赤色が濃くなり、傾斜量図と同様に色調で区分できる。</p>

(2) 二重(多重)山稜, 線状凹地

山地の山稜部に見られる並走する二列の山稜地形を二重山稜といい、山稜が複数になる場合は多重山稜という。斜面上に、ほぼ直線状の凹地が連続して分布する地形を線状凹地という。

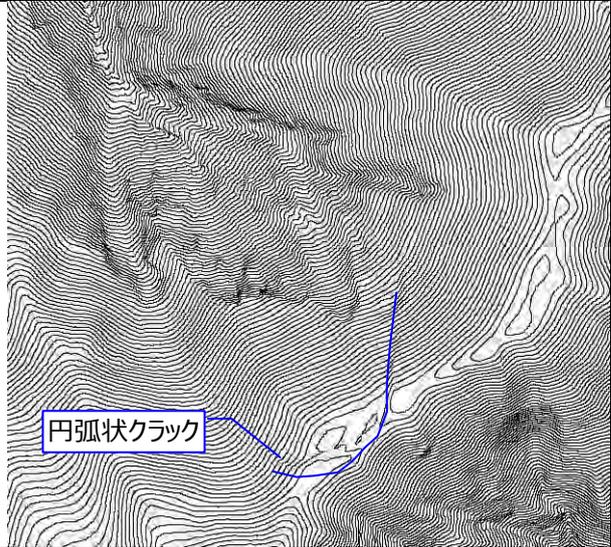
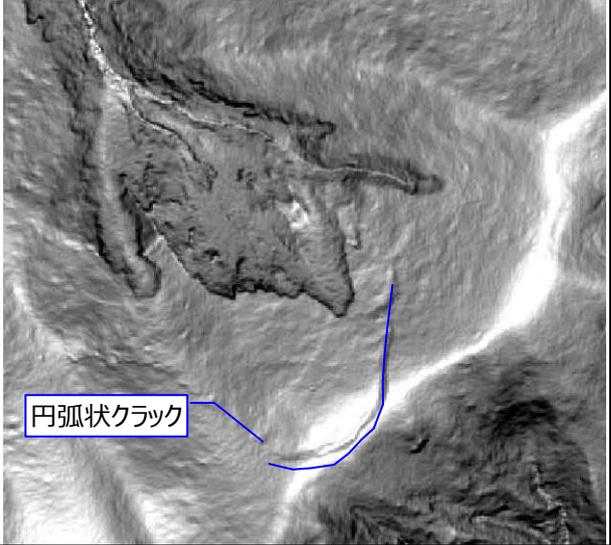
向かい合う2本の急崖(谷向き, 山向き)と、その間に線状の凹地が存在する。

 <p>山向き小崖 谷向き小崖 凹地</p>	 <p>山向き小崖 谷向き小崖 凹地</p>
<p>等高線図 山地の稜線付近で、山向き、谷向きの小崖（密な等高線）の間に凹地（閉じた等高線）がみられる。</p>	<p>空中写真 樹木下に存在することが多く、その場合は熟練者でなければ判読が困難。</p>
 <p>山向き小崖 谷向き小崖 凹地</p>	 <p>山向き小崖 谷向き小崖 凹地</p>
<p>傾斜量図 山稜付近に、線状に連続した急崖（黒色）と凹地（白色）の繰り返しとして判読される。</p>	<p>赤色立体地図 山稜付近に、線状に連続した急崖（暗赤色）と凹地（灰色）の繰り返しとして判読される。</p>

### (3) 小崖（段差地形）、円弧状クラック（亀裂）

斜面を構成する岩盤の下方への重力変位によって形成される割れ目のことをクラックまたは亀裂といい、等高線に沿うように円弧状を呈す場合を円弧状クラックという。割れ目の谷側斜面が下方への変位によって段差を呈す場合は段差地形という。

線状の不連続線（段差を伴う場合は急崖）として読み取ることができる。

	
<p>等高線図 等高線に明瞭な不連続がみられる。</p>	<p>空中写真 樹木下に存在することが多く、その場合は熟練者でなければ判読が困難。</p>
	
<p>傾斜量図 円弧状の急崖（黒色）として判読される。</p>	<p>赤色立体地図 円弧状の急崖（暗赤色）として判読される。</p>

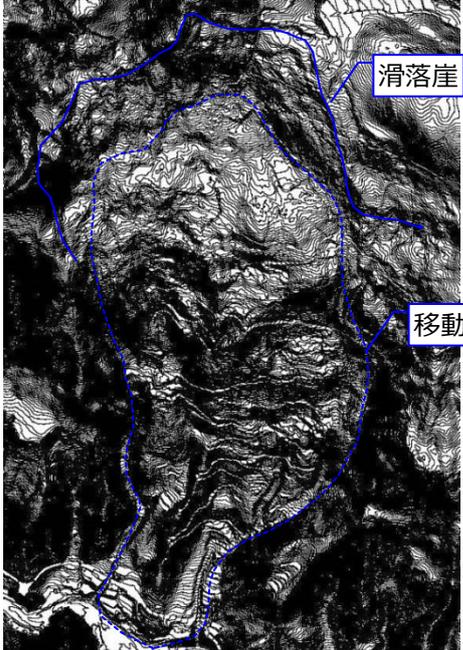
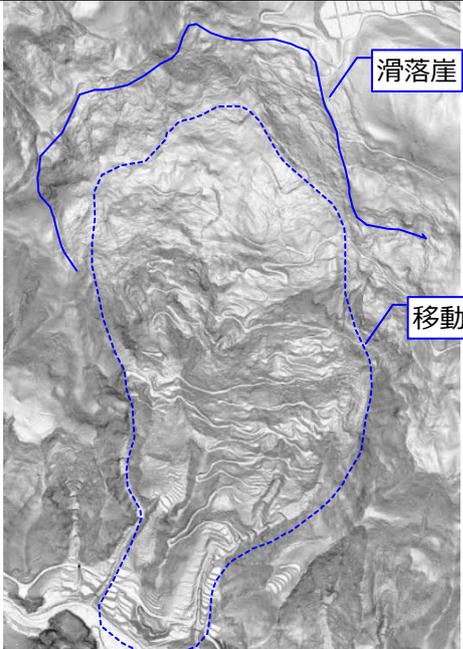
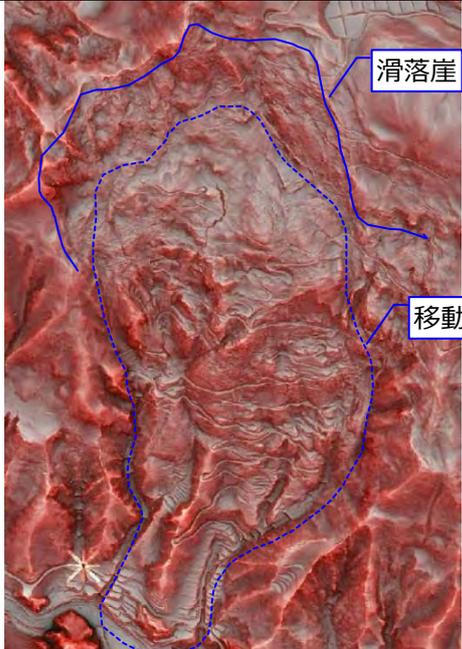
#### (4) 岩盤クリーブ斜面

比高のある山地斜面において、周辺斜面と異なり、わずかな凹凸が認められる斜面。斜面の緩みを示すと考えられる。凸型の斜面型を呈し、亀裂・段差地形、線状凹地・二重山稜の近傍で認められ、側部を谷地形で限られることが多い。岩盤クリーブは、岩盤が地表近くで重力によって徐々に変形・破壊する現象で、局部的なすべり面は複数存在してもこれらが連結して単一で連続的なすべり面は形成されていないと考えられている。

<p>等高線図 凹凸のある斜面（等高線の乱れあり）で、頭部に線状凹地が認められる。</p>	<p>空中写真 大規模で明瞭な線状凹地が存在すれば判読できる可能性がある。斜面の微細な凹凸は判別困難。</p>
<p>傾斜量図 凹凸のある斜面（斜面内に色調の濃淡あり）で、頭部に線状凹地が認められる。</p>	<p>赤色立体地図 凹凸のある斜面（斜面内に色調の濃淡あり）で、頭部に線状凹地が認められる。</p>

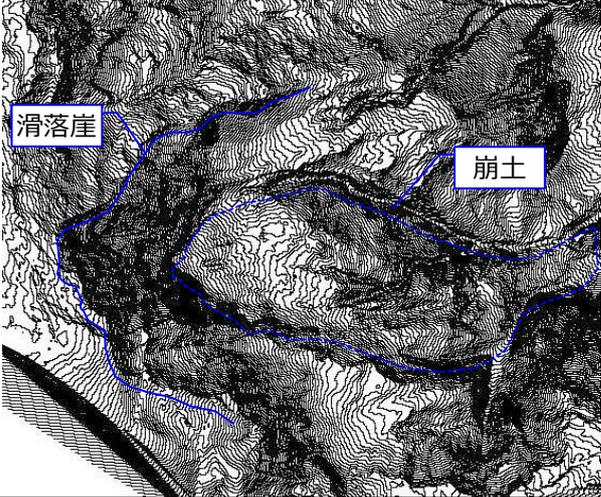
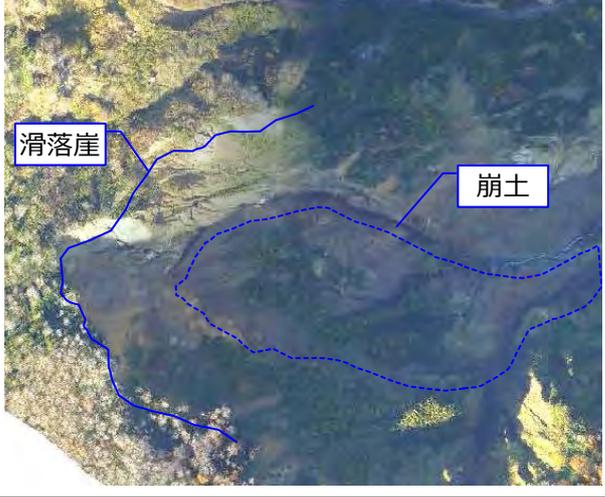
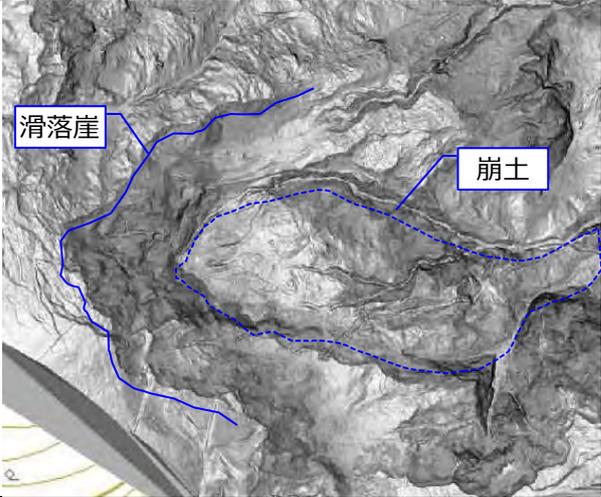
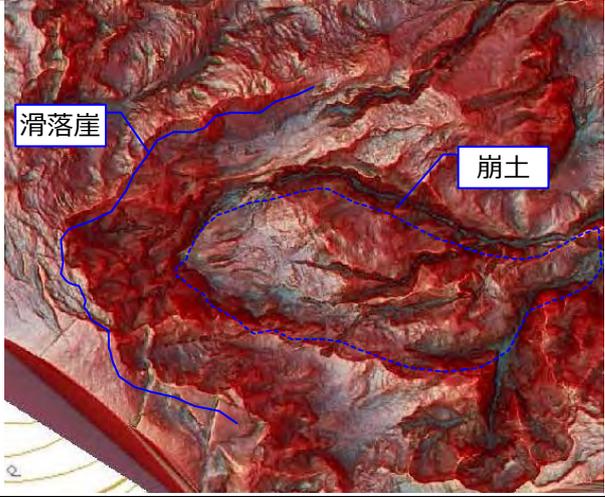
### (5) 地すべり地形

地すべりとは、斜面の一部あるいは全部が重力によって斜面下方に移動する現象をいう。地すべり地形は地すべり変動によって生じた（もしくは生じつつある）地形の総称をいう。地すべり地形は一般的に馬蹄形の滑落崖と緩傾斜の移動体からなり、移動体は乱れた地形を呈す。

	
<p>等高線図 頭部の急崖（滑落崖）と下方の緩斜面（移動体）の組み合わせとして判読できる。</p>	<p>空中写真 立体視により，頭部の急崖（滑落崖）と下方の緩斜面（移動体）の組み合わせとして判読できる。</p>
	
<p>傾斜量図 等高線図と同様で，移動体内は無数の段差地形が判読される。</p>	<p>赤色立体地図 等高線図と同様で，移動体内は無数の段差地形が判読される。</p>

## (6) 深層崩壊跡地

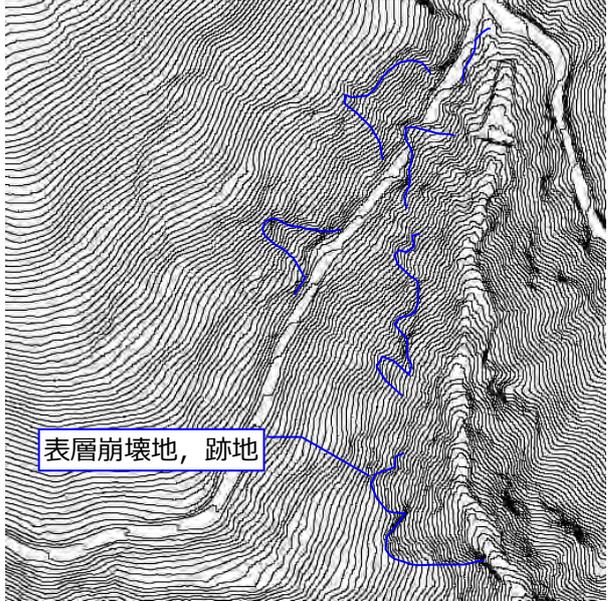
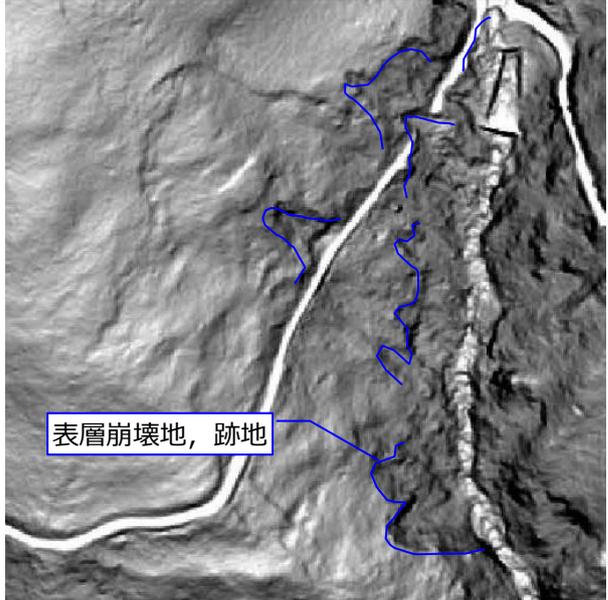
一般的に馬蹄形の大滑落崖が特徴的である。土塊が流出している場合と残存している場合があり、前者は滑落崖下方が凹型の斜面型、後者は凸型の斜面型を呈することが多い。

	
<p>等高線図 密な等高線で表現される滑落崖（急崖）と、下方の崩土堆積域（凸型緩斜面）の組み合わせが判読される。</p>	<p>空中写真 滑動中あるいは新しい崩壊跡地では、滑落崖は裸地として明瞭に判別できる。崩土は樹木がのったまま滑る場合もある。</p>
	
<p>傾斜量図 濃色で表現される滑落崖（急崖）と、淡色で表現される下方の崩土堆積域（凸型緩斜面）の組み合わせが判読される。</p>	<p>赤色立体地図 赤色で表現される滑落崖（急崖）と、灰色で表現される下方の崩土堆積域（凸型緩斜面）の組み合わせが判読される。</p>

(7) 表層崩壊地, 跡地

主に表土層あるいは表層の風化部が周囲の不動域から分離し, 急激に滑り落ちた範囲を崩壊地, 崩壊後, 崩壊地内に草本類が侵入してきて安定化に向かっているものを崩壊跡地という。一般に, 源頭部は馬蹄形や半円状の急傾斜をなす。

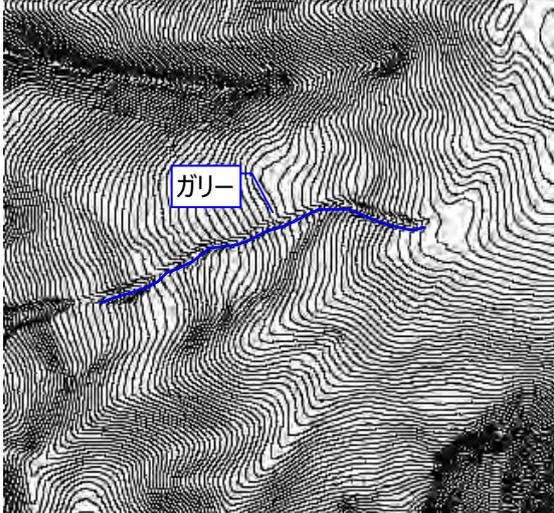
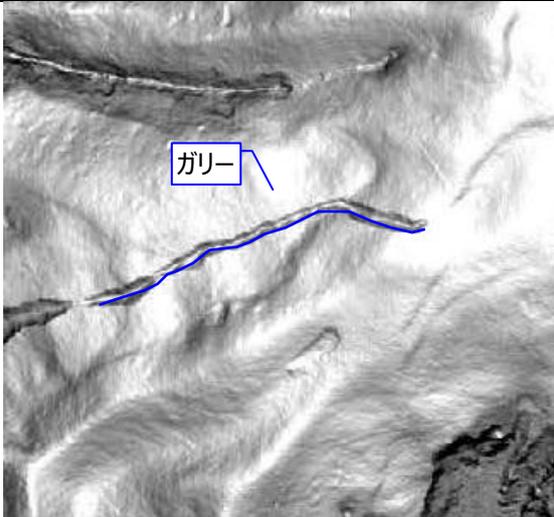
河川侵食により斜面末端に表層崩壊が進行すると, 斜面全体の不安定化につながるため注意が必要である。

	
<p>等高線図 凹型を呈す等高線の不連続が判読される。</p>	<p>空中写真 新しい崩壊地であれば裸地, 草本地あるいは周辺よりも幼齢の樹林として判読できる。植生が復旧後は判別が困難である。</p>
	
<p>傾斜量図 浅い崖 (黒色) の連続として判読される。</p>	<p>赤色立体地図 浅い崖 (暗赤色) の連続として判読される。</p>

## (8) ガリー

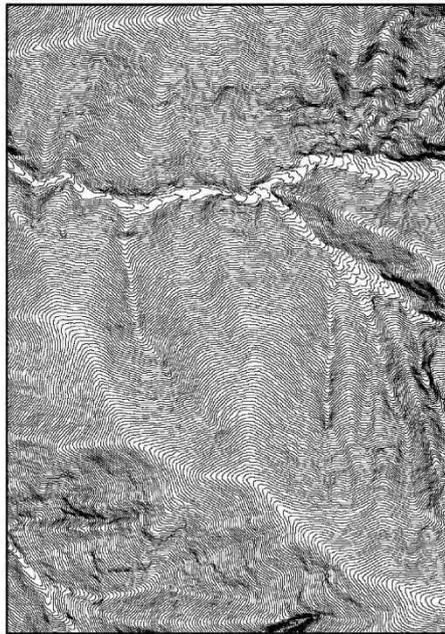
急な側壁を持つ直線的で小規模な溝状の地形をガリー（雨裂）という。降雨時のみ流水があることが多い。

斜面側部のガリーが発展して沢地形となり、斜面頭部の小崖とつながっているような斜面では、斜面の変形が進行していることが考えられる。

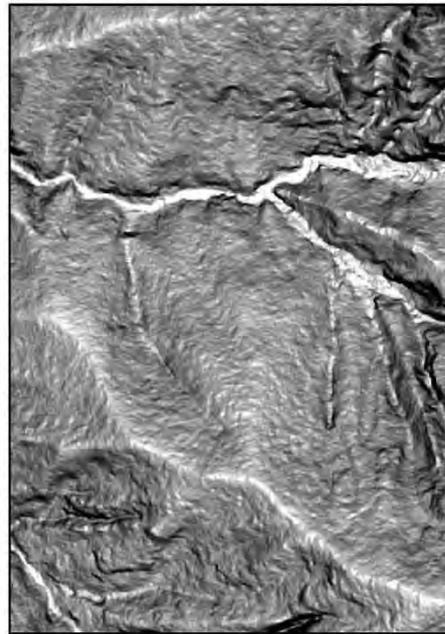
	
<p>等高線図 等高線の凹みが線状に連続する。</p>	<p>空中写真 ある程度の大きさのガリーであれば、植生が線状に途切れた線として判読できる。</p>
	
<p>傾斜量図 線状を呈す浅い溝地形（暗灰色）として判読される。</p>	<p>赤色立体地図 線状を呈す浅い溝地形（暗赤色）として判読される。</p>

参考資料 2

紀伊山地での代表的な微地形判読事例



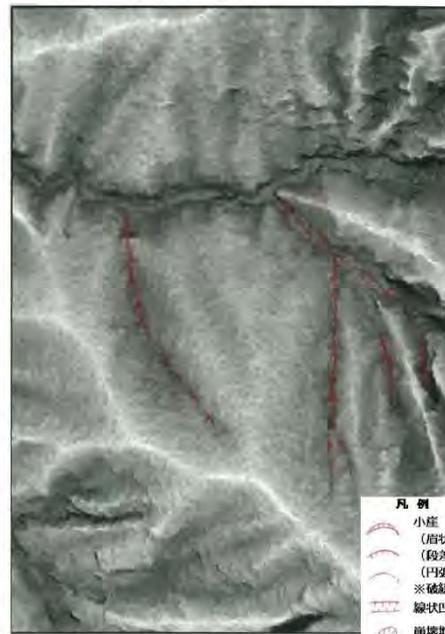
等高線図



傾斜量図



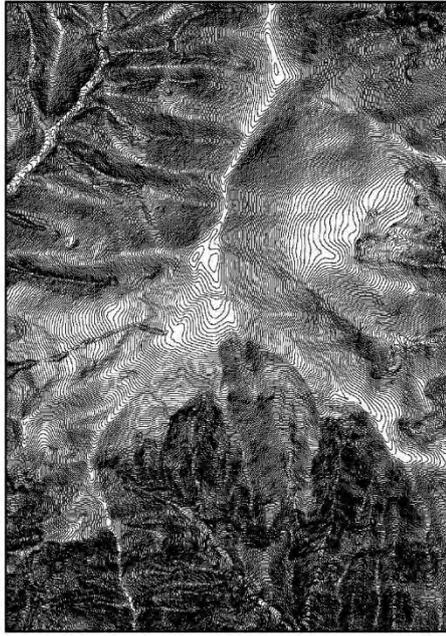
赤色立体地図



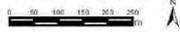
判読図

- 凡例
- 小窪 (陥状) (段差地形)
  - (円盤状クワック)
  - ※破線は不明瞭
  - 線状凹地
  - 崩壊地
  - ガリー
  - 山頂緩斜面
  - 地すべり地形

紀伊山地 1 (奈良県吉野郡十津川村大字旭)



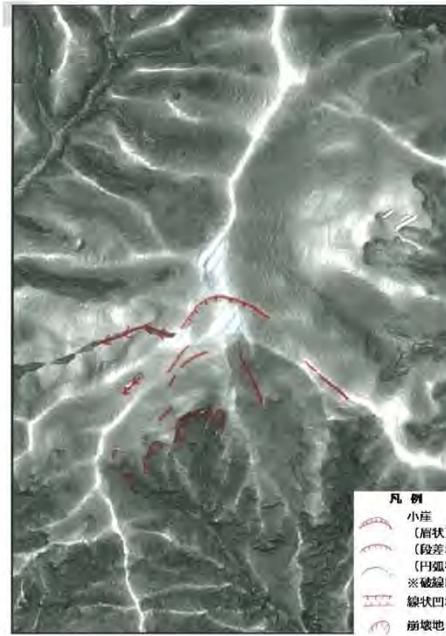
等高線図



傾斜量図



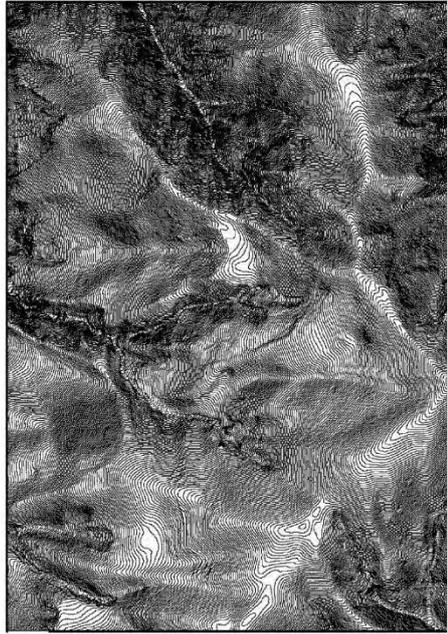
赤色立体地図



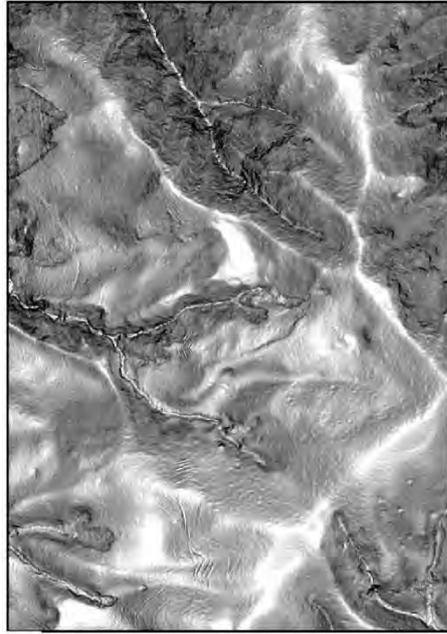
判読図

- 凡例
- 小丘 (扇状)
  - (段差地形)
  - (円弧状クラック)
  - ※破線は不明瞭
  - 線状凹地
  - 崩壊地
  - ガレ
  - 山頂緩斜面
  - 地すべり地形

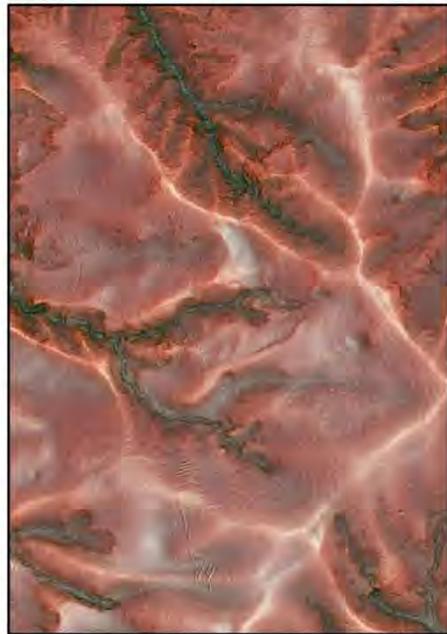
紀伊山地 2 (奈良県五條市大塔村清水)



等高線図



傾斜量図

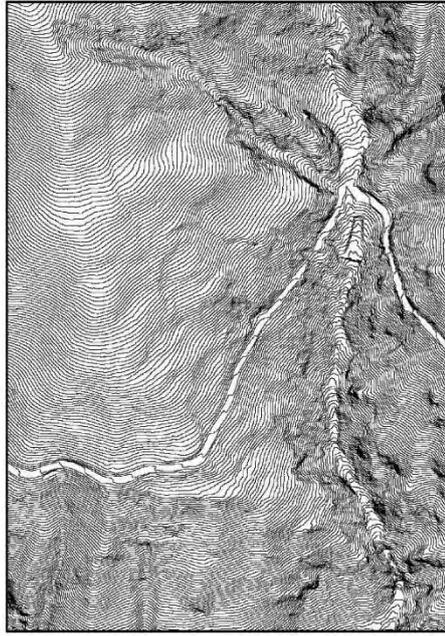


赤色立体地図

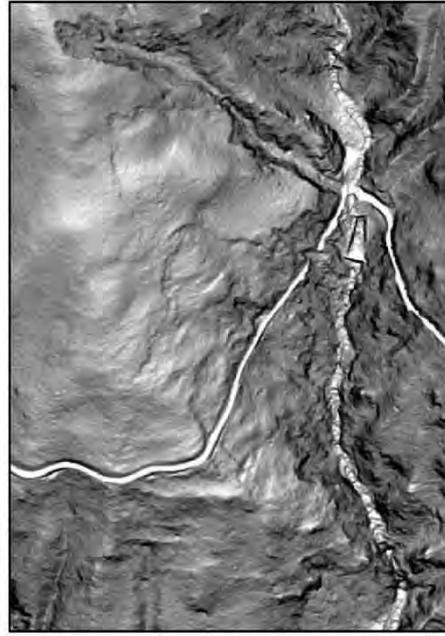


判読図

紀伊山地 3 (奈良県五條市大塔村辻堂)



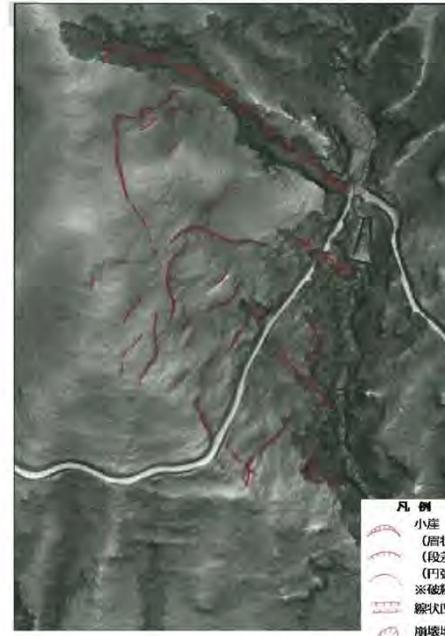
等高線図



傾斜量図



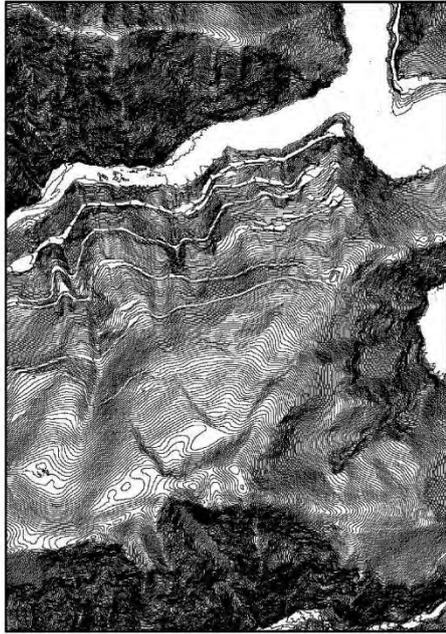
赤色立体地図



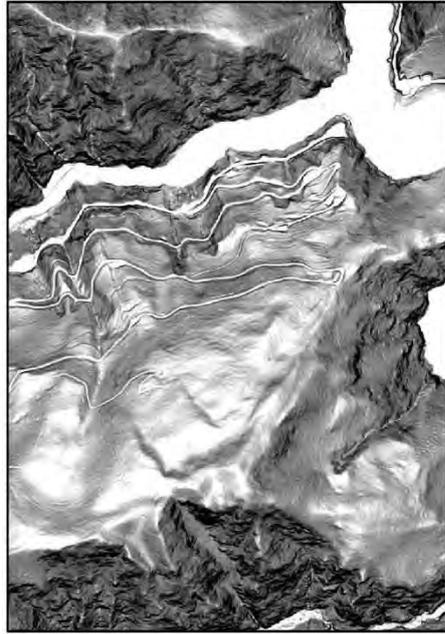
判読図

- 凡例
- 小崖 (崖状)
  - (段差地形)
  - (円弧状クラック)
  - ※破線は不明瞭
  - 線状凹地
  - 崩壊地
  - ガリ
  - 山頂緩斜面
  - 地すべり地形

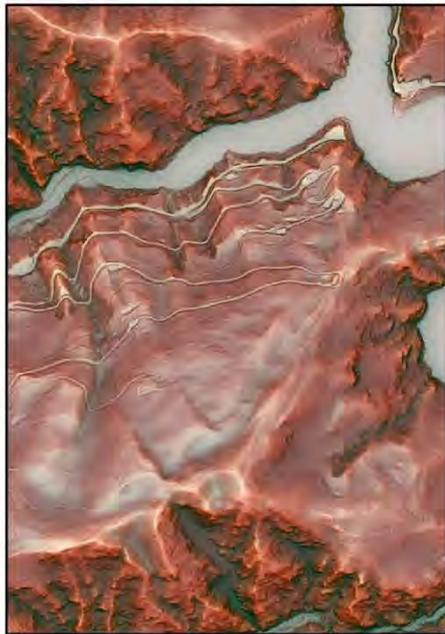
紀伊山地 4 (和歌山県田辺市本宮町三越)



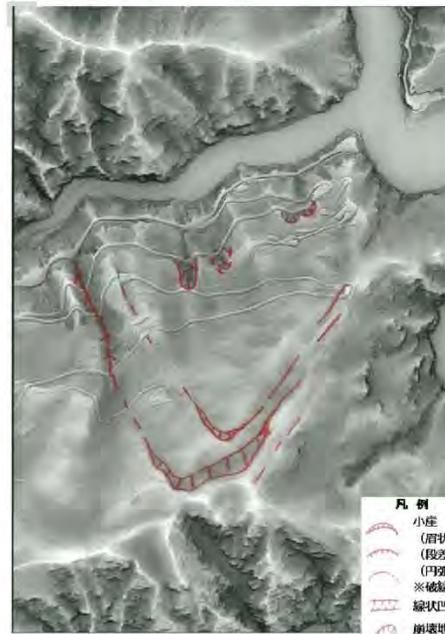
等高線図



傾斜量図



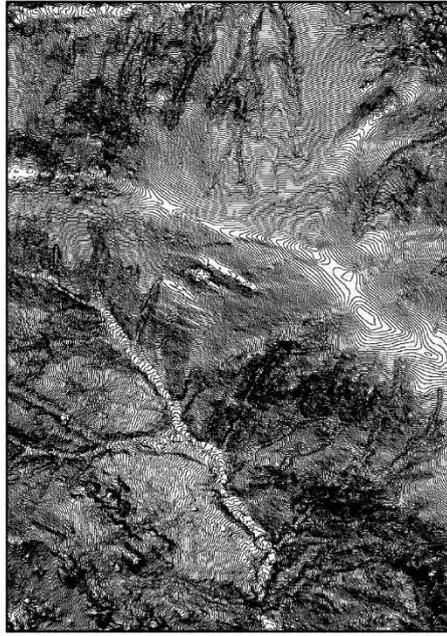
赤色立体地図



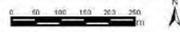
判読図

- 凡例**
- 小窪 (窪状)
  - (段差地形)
  - (円弧状クラック)
  - ※破線は不明瞭
  - 線状凹地
  - 崩壊地
  - 跡ノ
  - 山頂緩斜面
  - 地すべり地形

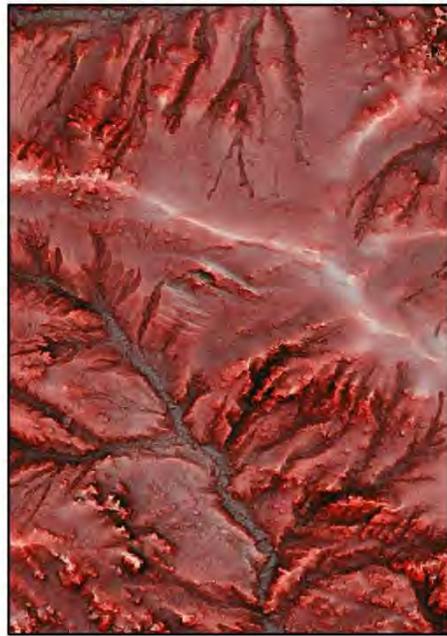
紀伊山地 5 (奈良県五條市大塔村中原)



等高線図



傾斜量図



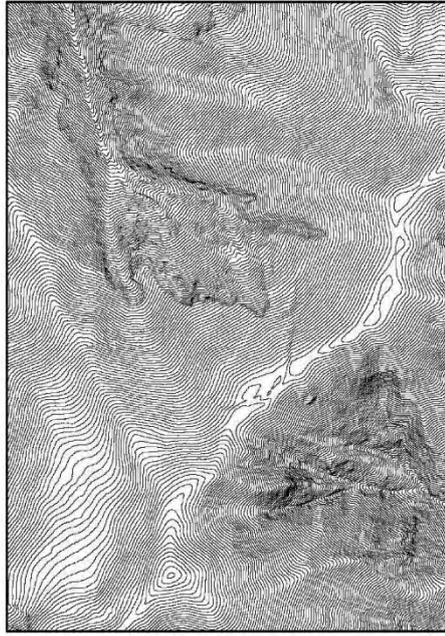
赤色立体地図



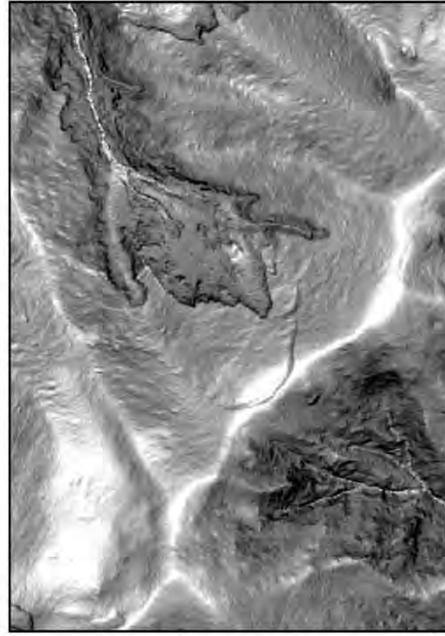
判読図

- 凡例
- 小崖 (肩状)
  - 段差地形 (円弧状クラック)
  - ※破線は不明瞭
  - 線状凹地
  - 崩壊地
  - ガリー
  - 山頂緩斜面
  - 地すべり地形

紀伊山地 6 (奈良県吉野郡下北山村前鬼)



等高線図



傾斜量図



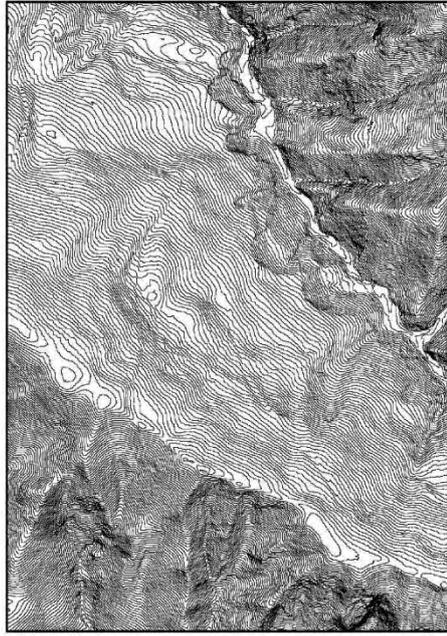
赤色立体地図



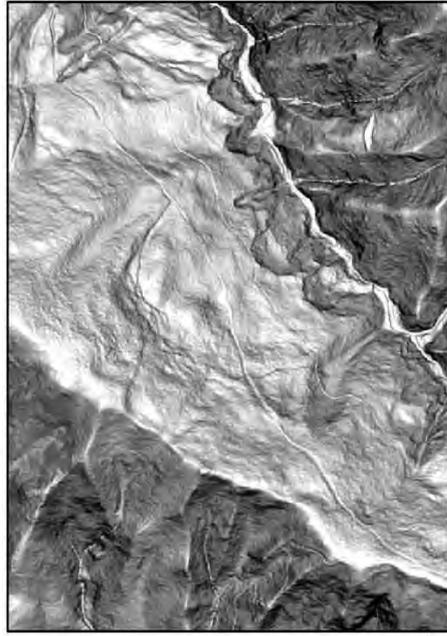
判読図

- 凡例
- 小丘状 (扇状地形)
  - (段差地形)
  - (円弧状クラック)
  - ※破線は不明瞭
  - 線状凹地
  - 崩壊地
  - ガリー
  - 山頂緩斜面
  - 地ほり地形

紀伊山地 7 (奈良県吉野郡十津川村長殿)



等高線図



傾斜量図



赤色立体地図



判読図

- 凡例**
- 小丘 (肩状) (段差地形) (円弧状クラック) ※破線は不明瞭
  - 線状凹地
  - 崩壊地
  - ガリ
  - 山頂緩斜面
  - 地すべり地形

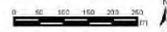
紀伊山地 8 (和歌山県田辺市本宮町上大野)



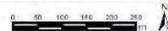
等高線図



傾斜量図



赤色立体地図



判読図

- 凡例**
- 小丘 (肩状) (段差地形) (円弧状クラック)
  - ※破線は不明瞭
  - 線状凹地
  - 崩壊地
  - ぶらー
  - 山頂緩斜面
  - 地すべり地形

紀伊山地 9 (奈良県吉野郡十津川村大字杉清)



等高線図



傾斜量図



赤色立体地図



判読図

- 凡例
- 小窪 (窪状)
  - (段差地形)
  - (円弧状クラック)
  - ※破線は不明瞭
  - 線状凹地
  - 崩壊地
  - ぶらー
  - 山頂緩斜面
  - 地すべり地形

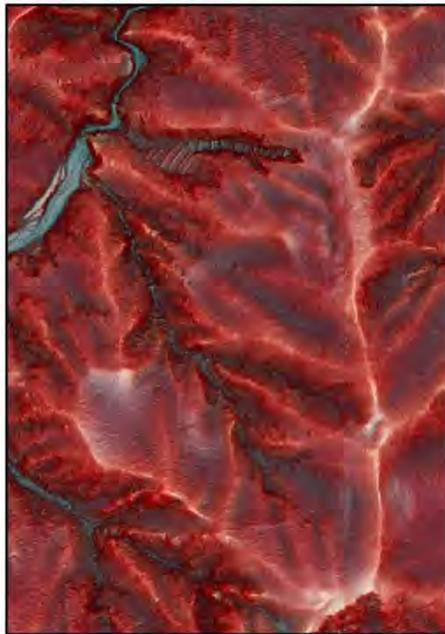
紀伊山地 10 (和歌山県新宮市熊野川町九重)



等高線図



傾斜量図



赤色立体地図

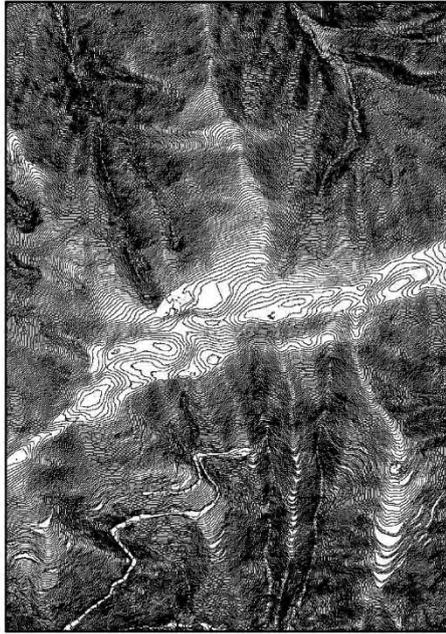


判読図

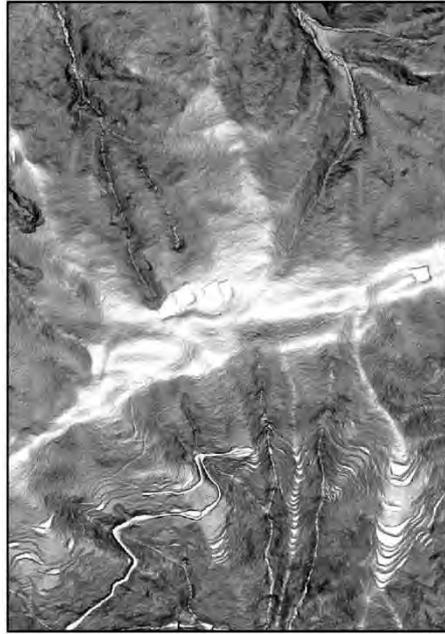
- 凡例
- 小窪 (肩状) (段差地形)
  - (凹弧状クラック)
  - ※破線は不明瞭
  - 線状凹地
  - 崩壊地
  - ガリ
  - 山頂緩斜面
  - 地すべり地形

紀伊山地 11

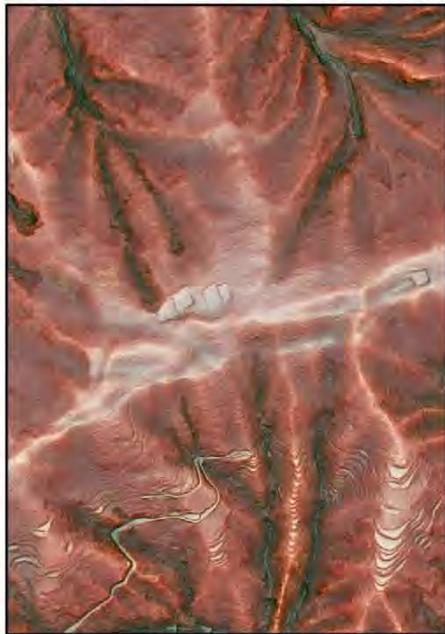
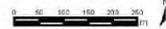
※平成21年計測データより作成  
(奈良県吉野郡十津川村長殿)



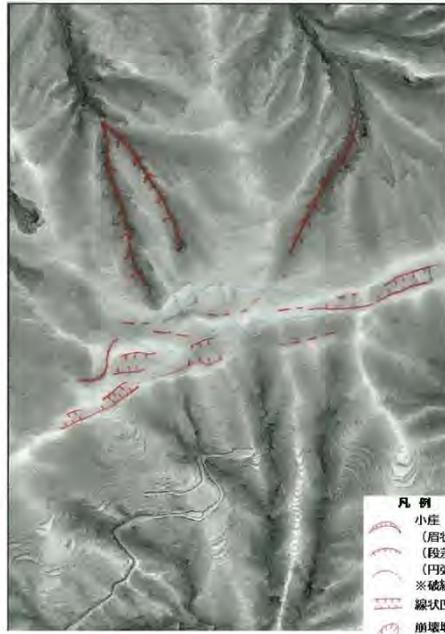
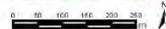
等高線図



傾斜量図



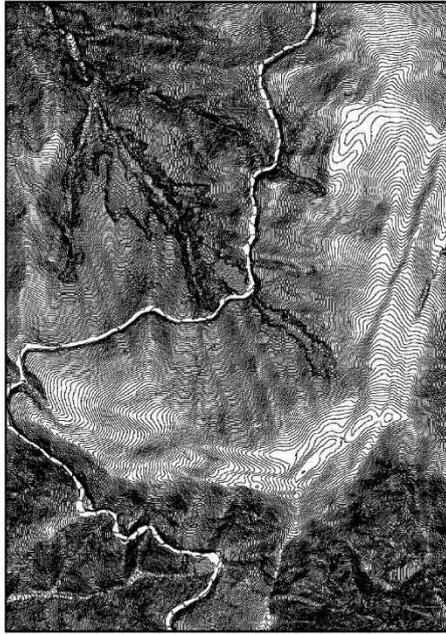
赤色立体地図



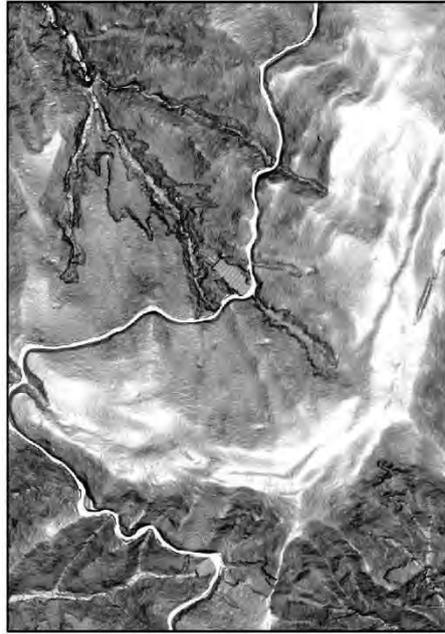
判読図

- 凡例
- 小庄 (層状)
  - (段差地形)
  - (円弧状クラック)
  - ※破線は不明瞭
  - 線状凹地
  - 崩壊地
  - ガリー
  - 山脈緩斜面
  - 地すべり地形

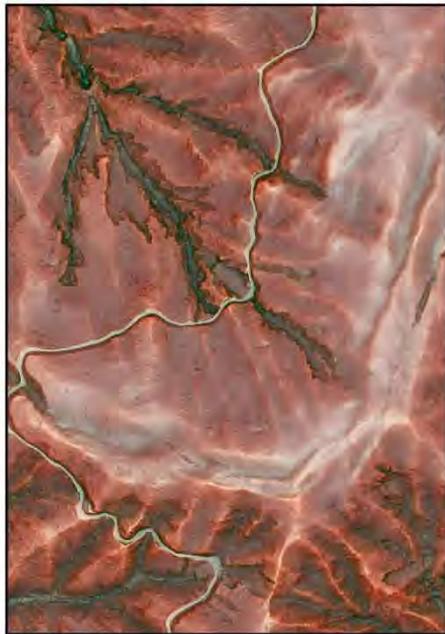
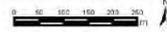
紀伊山地 12 (奈良県吉野郡十津川村大字小山手)



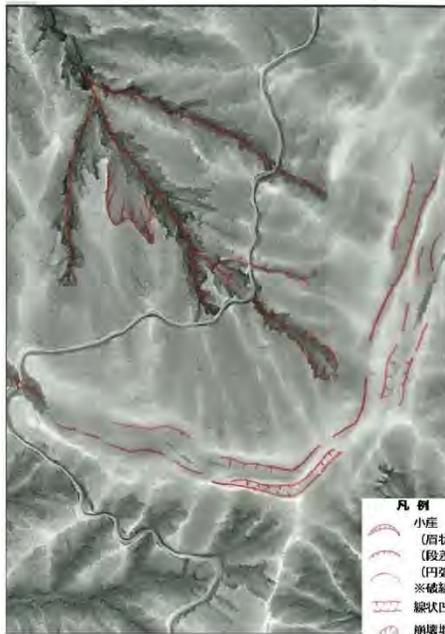
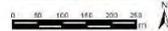
等高線図



傾斜量図



赤色立体地図



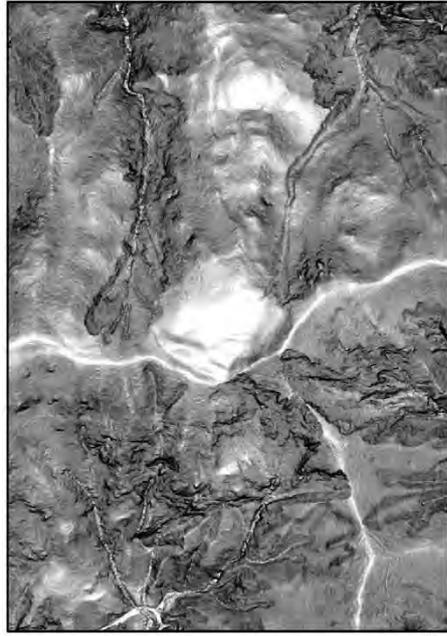
判読図

- 凡例**
- 小窪 (階状)
  - (段差地形)
  - (円弧状クラック)
  - ※破線は不明瞭
  - 線状凹地
  - 崩壊地
  - ガリ
  - 山頂緩斜面
  - 地すべり地形

紀伊山地 13 (奈良県吉野郡十津川村大字川津)



等高線図



傾斜量図



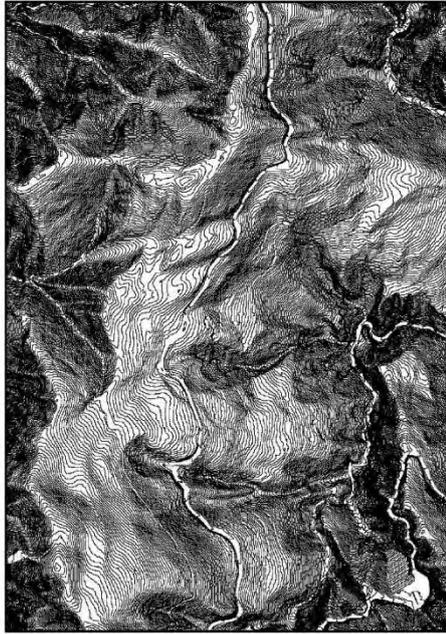
赤色立体地図



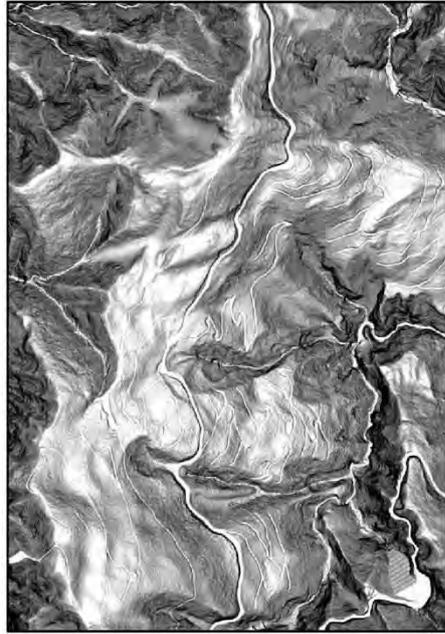
判読図

- 凡例**
- 小庄 (層状)
  - (段差地形)
  - (円弧状クラック)
  - \*破線は不明瞭
  - 線状凹地
  - 崩壊地
  - ガレ
  - 山頂緩斜面
  - 地すべり地形

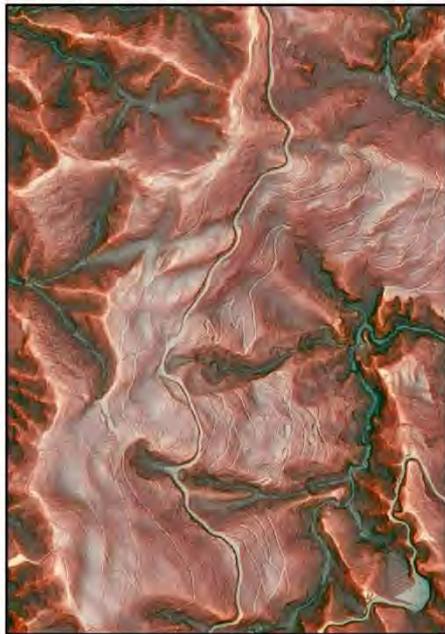
紀伊山地 14 (奈良県吉野郡十津川村大字出谷)



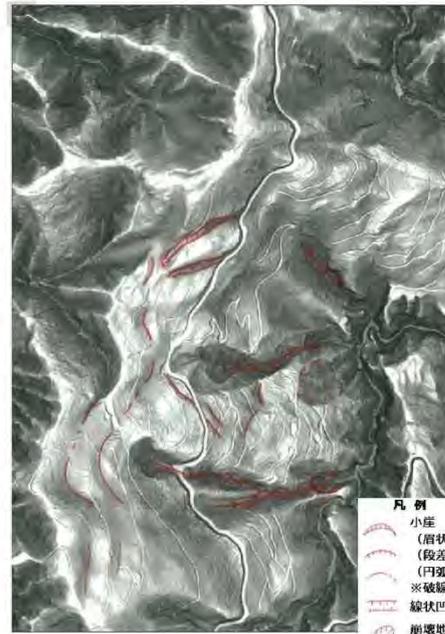
等高線図



傾斜量図



赤色立体地図

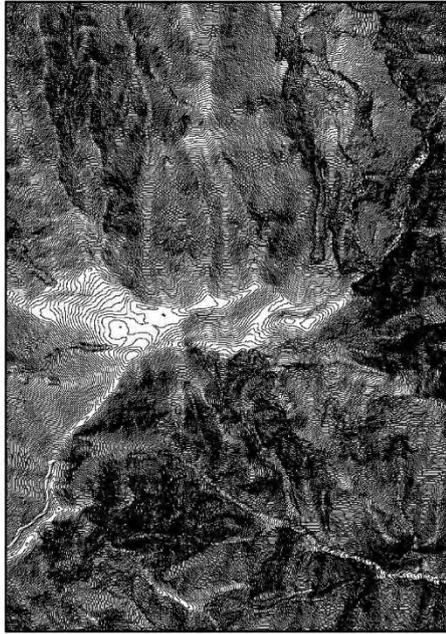


判読図

- 凡例
- 小崖  
(肩状)
  - (段差地形)
  - (円弧状クマック)
  - ※破線は不明瞭
  - 線状凹地
  - 崩壊地
  - ガリ
  - 山頂緩斜面
  - 地すべり地形

紀伊山地 15

(和歌山県新宮市熊野川町椋井)



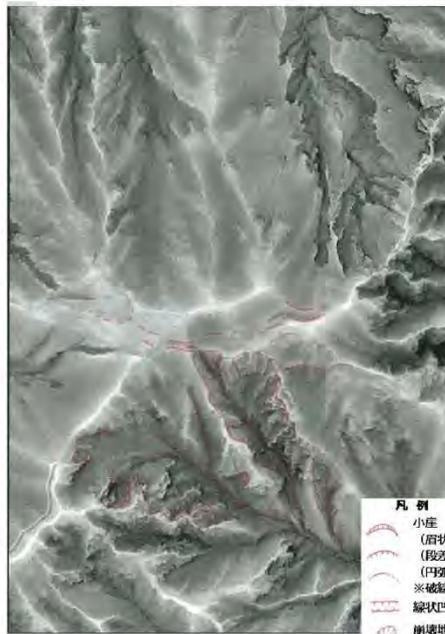
等高線図



傾斜量図



赤色立体地図



判読図

- 凡例
- 小庄 (扇状)
  - (段差地形)
  - (円弧状クラック)
  - ※破線は不明瞭
  - 線状凹地
  - 崩壊地
  - ガリ
  - 山頂緩斜面
  - 地すべり地形

紀伊山地 16 (奈良県吉野郡十津川村大字杉清)



等高線図



傾斜量図



赤色立体地図



判読図

- 凡例
- 小峰 (頂状)
  - 段差地形 (段差状クラック)
  - ※破線は不明瞭
  - 縮状凹地
  - 崩壊地
  - ぶらー
  - 山頂緩斜面
  - 地すべり地形

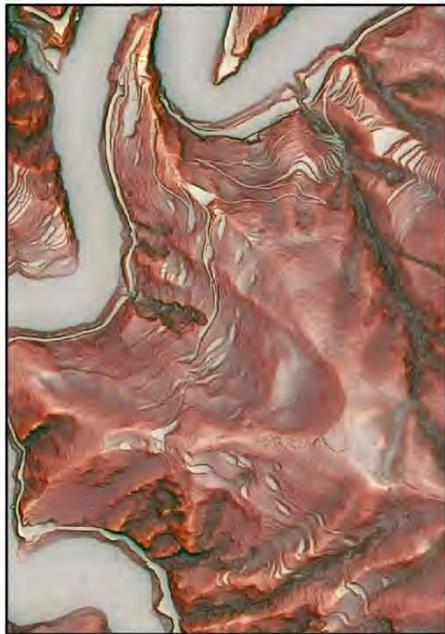
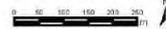
紀伊山地 17 (奈良県吉野郡十津川村大字杉清)



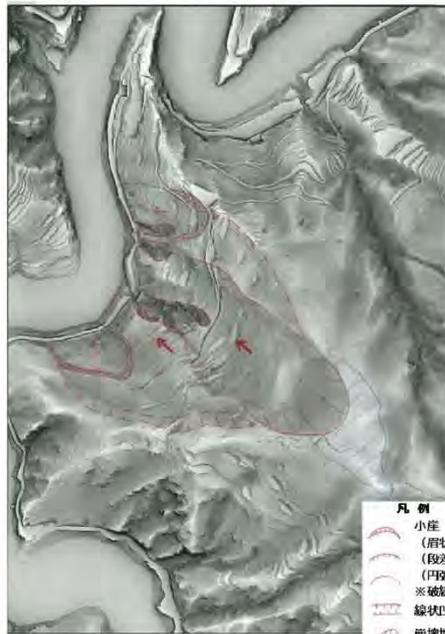
等高線図



傾斜量図



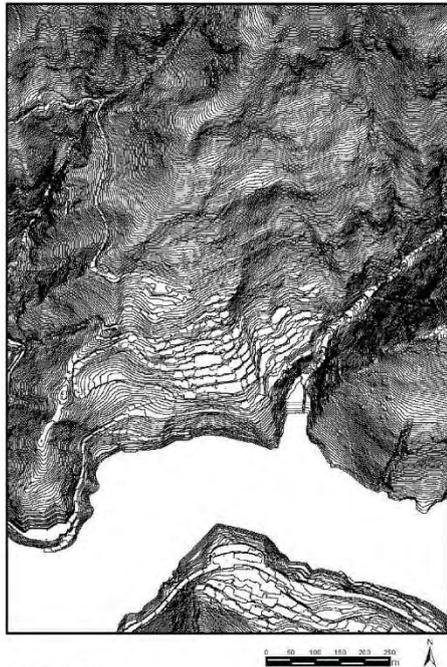
赤色立体地図



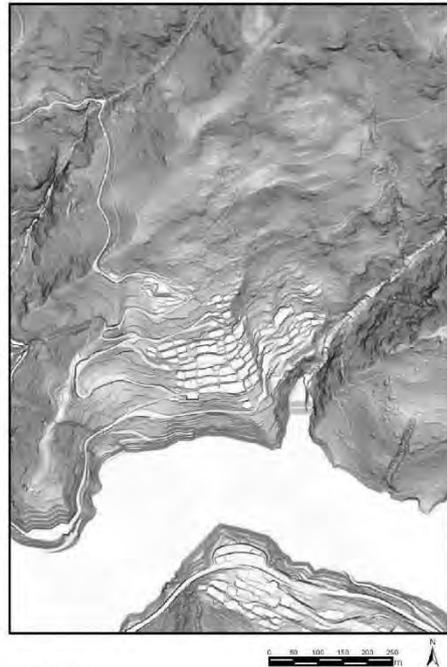
判読図

- 凡例
- 小崖 (段差地形)
  - (円弧状クラック)
  - ※破線は不明瞭
  - 線状凹地
  - 崩壊地
  - ガリ
  - 山頂緩斜面
  - 地すべり地形

紀伊山地 18 (奈良県五條市大塔町阪本)



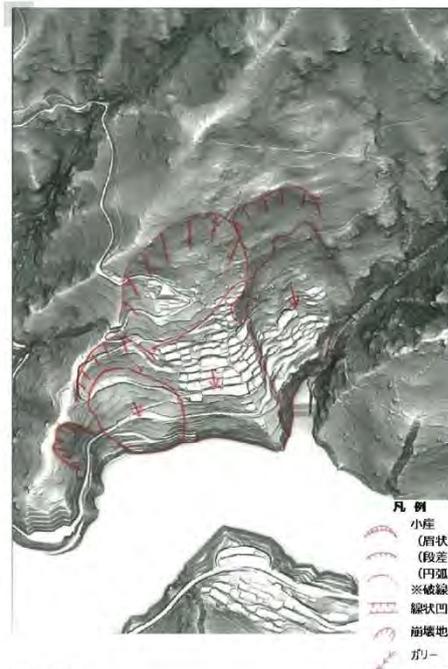
等高線図



傾斜量図



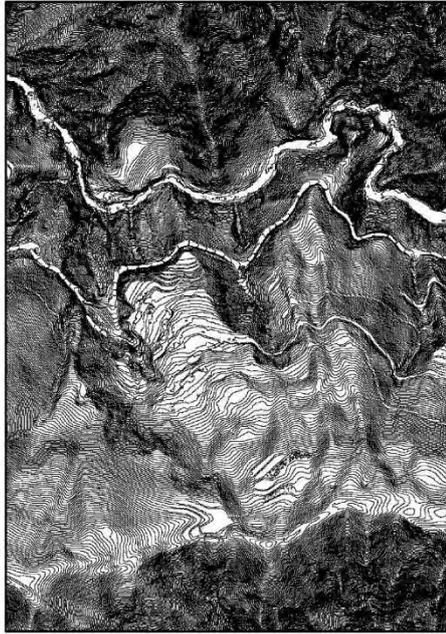
赤色立体地図



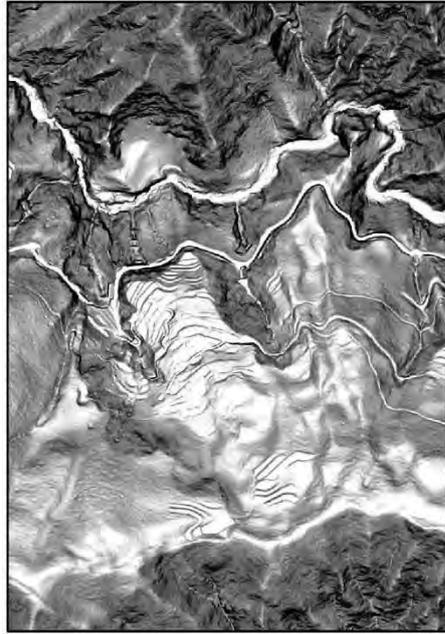
判読図

- 凡例
- 小崖 (崖状)
  - (段差地形)
  - (円弧状クラック)
  - ※破線は不明瞭
  - 陥状凹地
  - 崩壊地
  - ガリ
  - 山頂緩斜面
  - 地すべり地形

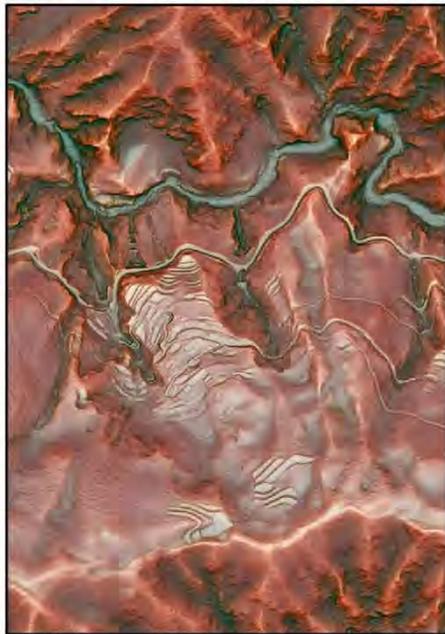
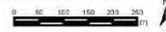
紀伊山地 19 (奈良県吉野郡川上村白屋)



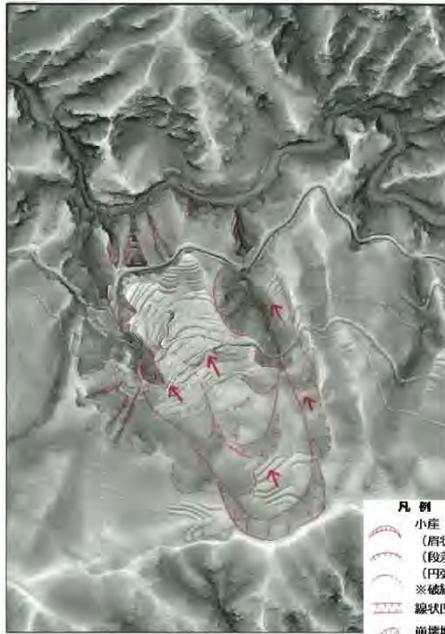
等高線図



傾斜量図



赤色立体地図



判読図

- 凡例
- 小窪 (肩状)
  - (段差地形)
  - (円弧状クラック)
  - ※地線は不明瞭
  - 線状凹地
  - 崩壊地
  - びりー
  - 山頂緩斜面
  - 地すべり地形

紀伊山地 20 (奈良県五條市大塔町中原)



等高線図



傾斜量図



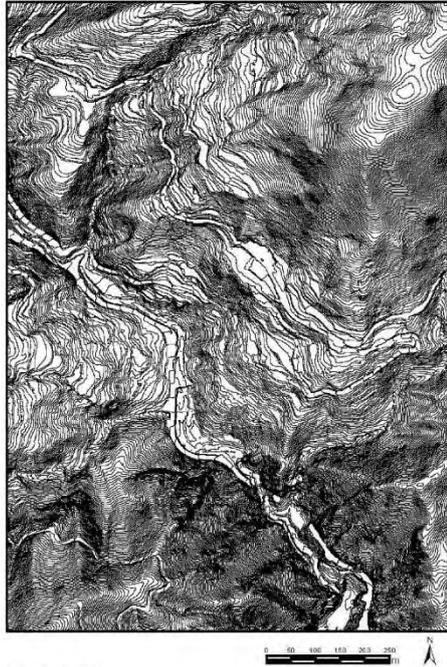
赤色立体地図



判読図

- 凡例
- 小窪 (凹状)
  - (段差地形)
  - (円弧状クラック)
  - \*破線は不明瞭
  - 線状凹地
  - 崩壊地
  - ガリ
  - 山頂緩斜面
  - 地すべり地形

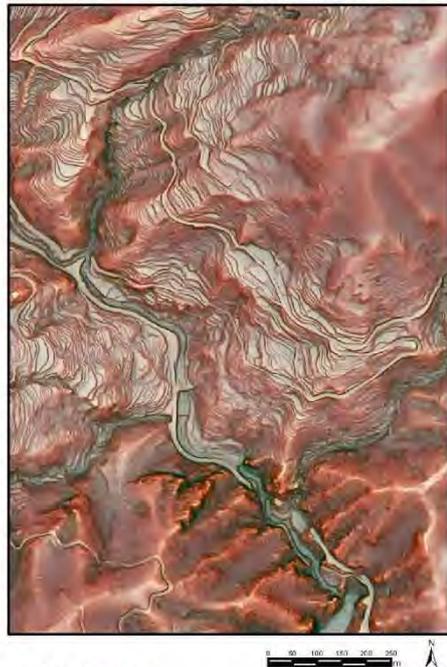
紀伊山地 21 (奈良県五條市大塔村飛養曾)



等高線図



傾斜量図



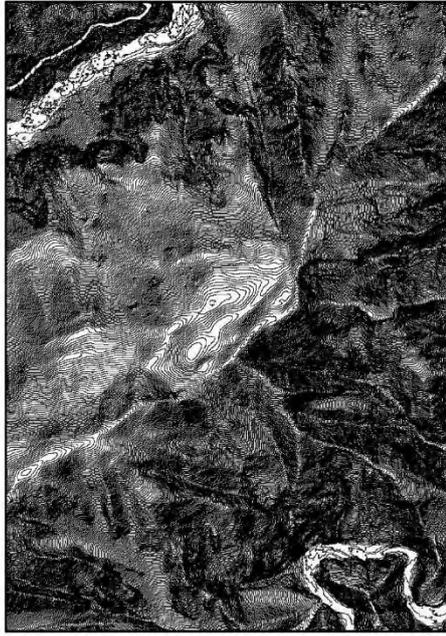
赤色立体地図



判読図

- 凡例
- 小窪 (窪状)
  - (段差地形)
  - (円弧状クラック)
  - ※破線は不明瞭
  - 線状凹地
  - 崩壊地
  - ガリー
  - 山頂緩斜面
  - 地すべり地形

紀伊山地 22 (和歌山県有田郡有田川町楠本)



等高線図



傾斜量図



赤色立体地図



判読図

- 凡例
- 小庄 (扇状)
  - (段差地形)
  - (円弧状クラック)
  - ※破線は不明瞭
  - 線状凹地
  - 崩壊地
  - ガリ
  - 山頂緩斜面
  - 地すべり地形

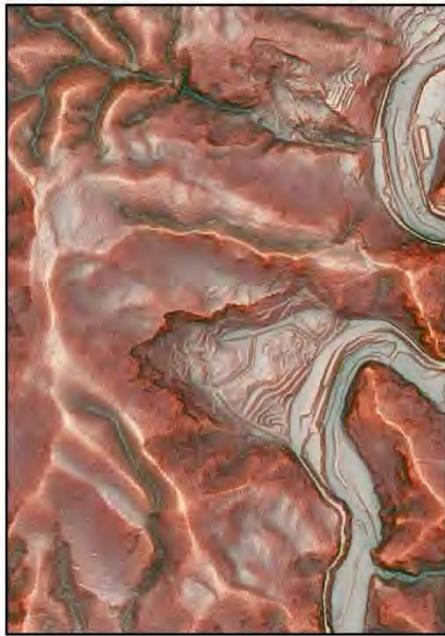
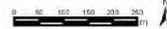
紀伊山地 23 (奈良県吉野郡十津川村大字杉清)



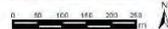
等高線図



傾斜量図



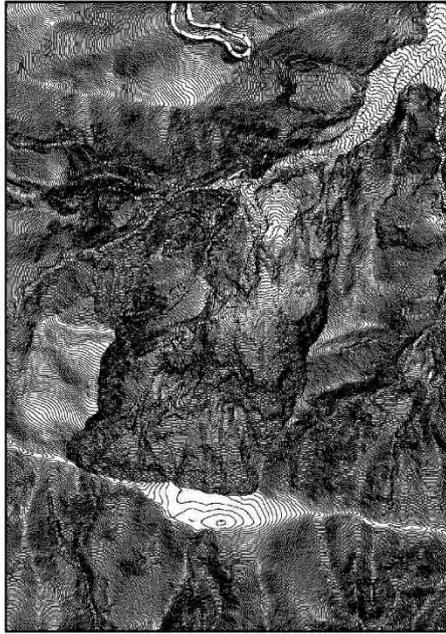
赤色立体地図



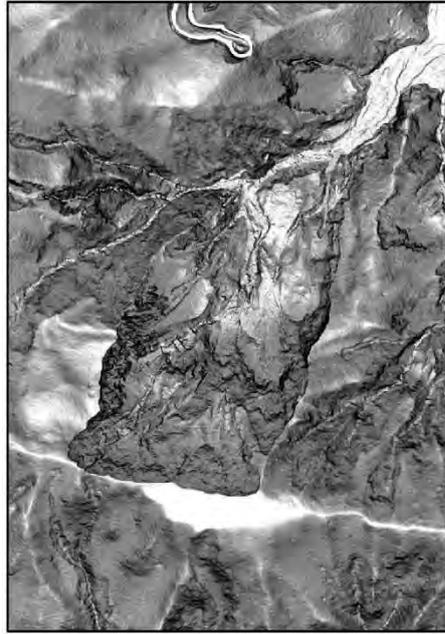
判読図

- 凡例
- 小産 (層状)
  - (段差地形)
  - (円弧状クラック)
  - ※破線は不明瞭
  - 線状凹地
  - 崩壊地
  - ガリー
  - 山頂緩斜面
  - 地すべり地形

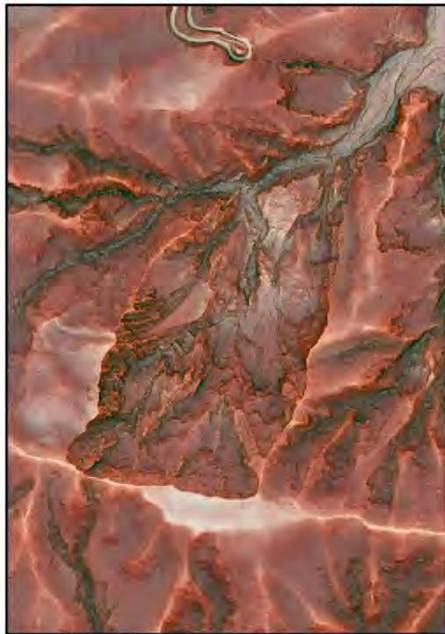
紀伊山地 24 (奈良県吉野郡天川村大字坪内)



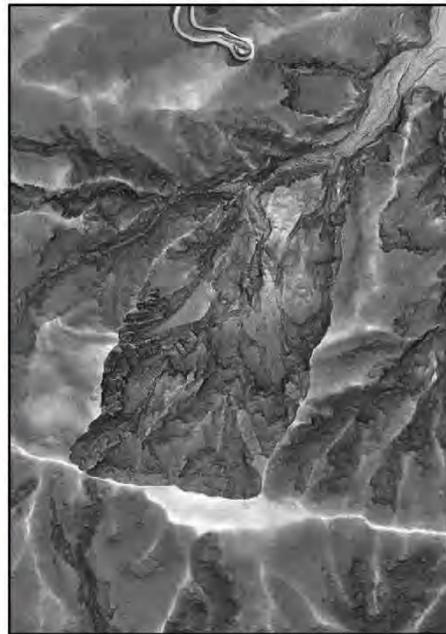
等高線図



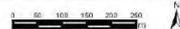
傾斜量図



赤色立体地図



判読図

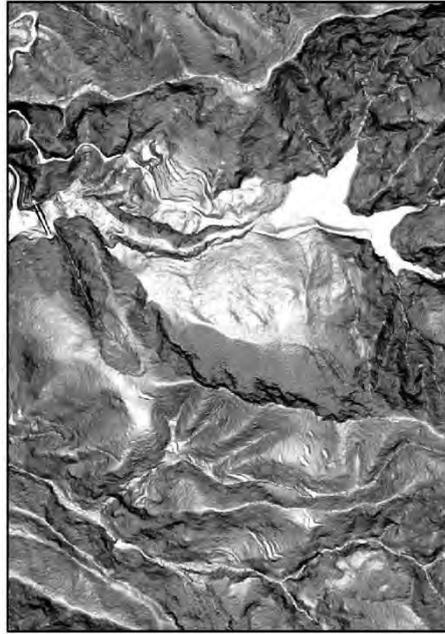


紀伊山地 25

崩壊跡地（奈良県吉野郡十津川村野広瀬）



等高線図



傾斜量図



赤色立体地図



判読図



紀伊山地 26

崩壊跡地（奈良県吉野郡十津川村大畑瀬）



等高線図



傾斜量図



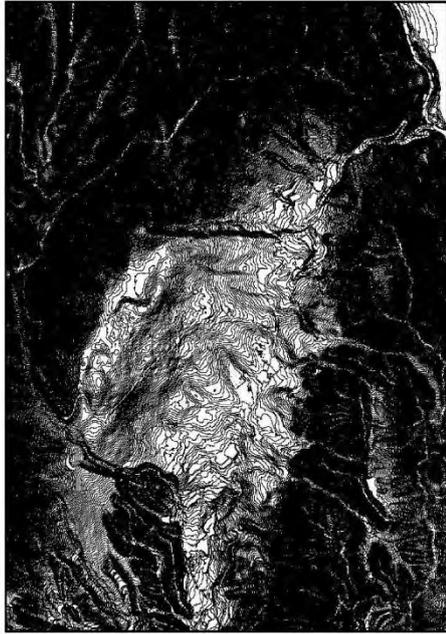
赤色立体地図



判読図

紀伊山地 27

崩壊跡地 (奈良県吉野郡十津川村大字上湯川)



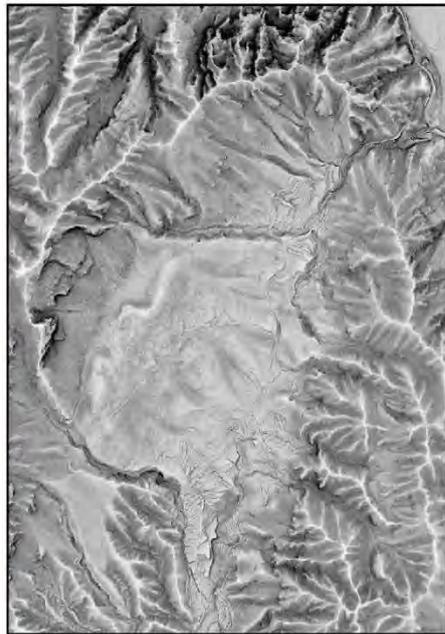
等高線図



傾斜量図



赤色立体地図



判読図

紀伊山地 28

崩壊跡地（和歌山県新宮市高田）

参考資料 3

水文地形特性による閾値設定事例

水文地形特性による危険メッシュ設定例を図 2 に示す。集計表では、勾配及び集水面積が増大するにしたがって、危険度の低い地形量から高い地形量へ移行するように閾値を設定する（図 2 の黒太枠）。なお、深層崩壊面積率が当該検討対象地域全体の平均値の 2 倍以上となる地形量であっても、当該地形量を有する全メッシュ数が極端に少ない場合（例えば、当該地域の総メッシュ数の 1% に満たない場合等）については、危険度の高い地形量を設定する際の判断材料にはしない。

深層崩壊 面積率	集水面積									
	メッシュ数 (10m)	1	2	3~4	5~10	11~20	21~50	51~100	101~200	201~
	As(m <sup>2</sup> )	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~
	log <sub>10</sub> 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~
斜面傾斜度 (度)	~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	

※黒太枠が設定した危険度が高い地形量 ※赤字は当該地形量を有する全メッシュ数が 1% に満たない場合 ※10m メッシュサイズ DEM を使用	平均深層崩壊面積率(%) (深層崩壊跡地メッシュ数/全メッシュ数)×100	1.203
	平均深層崩壊面積率(%)より大	1.203
	平均深層崩壊面積率(%)の1.25倍より大	1.504
	平均深層崩壊面積率(%)の1.5倍より大	1.805
	平均深層崩壊面積率(%)の1.75倍より大	2.106
	平均深層崩壊面積率(%)の2倍より大	2.406

図 2 危険メッシュの設定例

## 参考資料 4

### 斜面勾配, 固有値比の算出方法

数値標高モデル (DEM) による地形計測には, 勾配・傾斜, 斜面方位, 曲率など多くの地形特性値が存在する<sup>1)</sup>。LP データ等による細密な DEM データを用いれば, 地形の特徴を高精度に把握することが可能となる。

ここでは, 重力変形 (岩盤クリープ) 斜面の抽出に使用する斜面勾配<sup>2)</sup>と固有値比<sup>3)</sup>の算出方法について紹介する。

#### ○斜面勾配

斜面勾配は, 3×3 のグリッドセルにおいて, 中心セル (座標値  $x, y$ ) の標高を  $Z_{x,y}$  とすると, 斜面勾配  $I$  (rad) は, 式(1)にて算出される。

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

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

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

ここで,  $I$  は斜面勾配,  $dz/dx$  は中央セルから  $x$  方向への標高値の変化率,  $dz/dy$  は中央セルから  $y$  方向への標高値の変化率として, 式(2), 式(3)でそれぞれ表される。 $D$  は, グリッドセルの大きさである。

#### ○固有値比

固有値比は, 斜面に立てた垂線ベクトルの乱れを地表面の乱れとして評価するもので, 値が大きいと平坦で滑らか, 小さいと表面形状の変化が大ききことを表現でき, 凹凸の程度を表している。

固有値比の算出では, 3×3 のグリッドセルにおいて, グリッドセル  $i$  の方位角を  $\varphi_i$ , 天頂角を  $\theta_i$  とすると, グリッドセル  $i$  の法線ベクトル  $(x_i, y_i, z_i)$  は, 式(4)で示される。また, 法線ベクトルの方向テンソル  $T$  は, 式(5)で示される。

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

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

この行列  $T$  の固有値 (値の大きいものから順に,  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  とする) を求め, 式(6)により,  $S_1,$

$S_2$ を求める。

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

$S_1, S_2$ より固有値比 $\gamma$ は, 式(7)により求められる。

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

<参考文献>

- 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.539-548

## 参考資料 5

### 地形解析のウィンドウサイズ

解像度の高い（メッシュサイズの小さい）DEM を用いて算出した地形量は小さなスケールの地形的特徴を表現できるが、大きなスケールの地形的特徴を把握するのは困難である。反対に、DEM の解像度を低く（メッシュサイズを大きく）した場合には、微小な地形を把握することが困難となる。そこで、地形量を算出する際、ウィンドウサイズ（解析セルの間隔）を設定することにより、高解像度の DEM のままで大きな空間スケールの地形的特徴を把握することができる。

図 3 は解析ウィンドウの概念図である。地形量の多くは、周囲 8 つのセルを用いて中央のセルの位置で地形量を算出するが、ウィンドウサイズを設定した場合は、中央のセルから等間隔に位置する 8 つのセルを用いて算出する。

ウィンドウサイズを使用することにより、対象とする斜面の地形的特徴を最もよく表現できる地形量を算出することができる。岩盤クリープ斜面では、複数のウィンドウサイズを設定し固有値比を算出した場合、最も固有値比が小さくなる（最も斜面の凹凸が表現される）ウィンドウサイズが存在する<sup>1)</sup>。

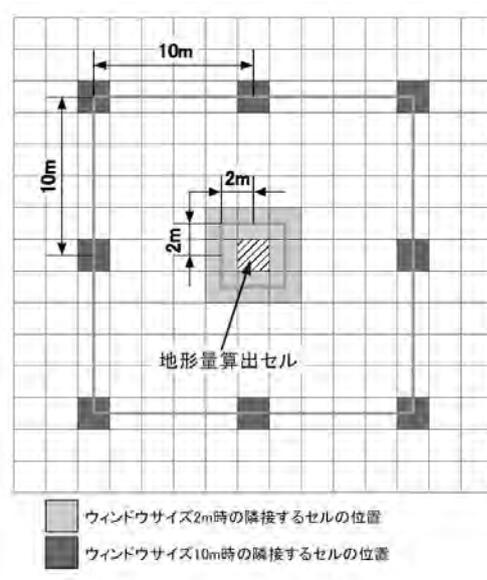


図 3 解析ウィンドウの概念図（横山ら，2012）

<参考文献>

- 1) 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

## 参考資料 6

### 岩盤クリープ斜面と非岩盤クリープ斜面の地形量

岩盤クリープ斜面と非岩盤クリープ斜面について、斜面勾配と固有値比の算出した結果を以下に示す。平成 23 年に紀伊山地で発生した深層崩壊斜面は、岩盤クリープであった可能性が高いことがわかっている<sup>1)</sup>。これらを代表的な岩盤クリープ斜面と設定し(図 4)、一方、対岸付近の急傾斜面で、緩傾斜地がなく谷が深く形成されている斜面を非岩盤クリープ斜面とした(図 5)。崩壊前の LP データを用いて複数のウィンドウサイズで斜面勾配と固有値比を算出した。LP データは 2m グリッドサイズを使用し、ウィンドウサイズは、2~500m の 15 種とした。

ボックスプロット図を図 6 に示す。ボックスプロット図で見ると、ウィンドウサイズが 100~200m より大きな場合の斜面勾配は、大きく減少している。これは、ウィンドウサイズが岩盤クリープ斜面の地形のスケールを大幅に越えたためと考えられる。ウィンドウサイズが大きくなると岩盤クリープ斜面の斜面勾配の中央値はあまり変化がないのに対し、非岩盤クリープ斜面は大きく減少する。また、岩盤クリープ斜面と非岩盤クリープ斜面の固有値比は、どちらもウィンドウサイズが大きくなると値が小さくなるが、非岩盤クリープ斜面のほうが、より小さい。閾値を設定することで、地形量から特定の地形を分離することが可能となる。

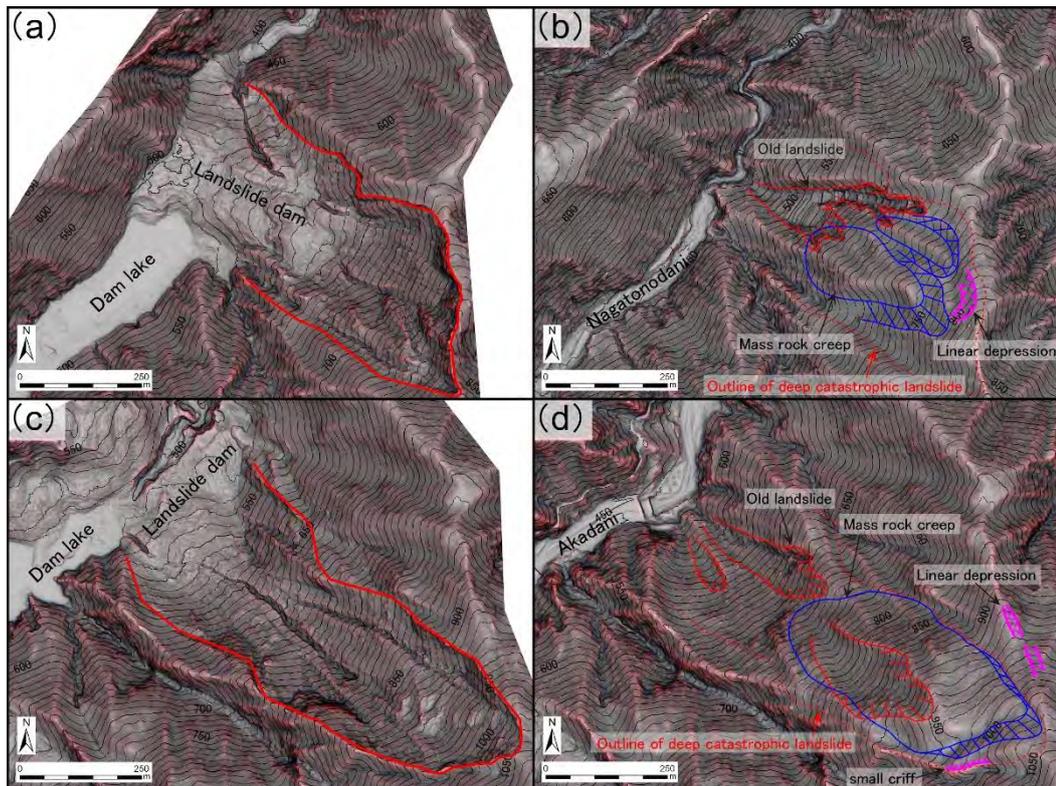


図 4 深層崩壊発生前の岩盤クリープ斜面<sup>2)</sup>

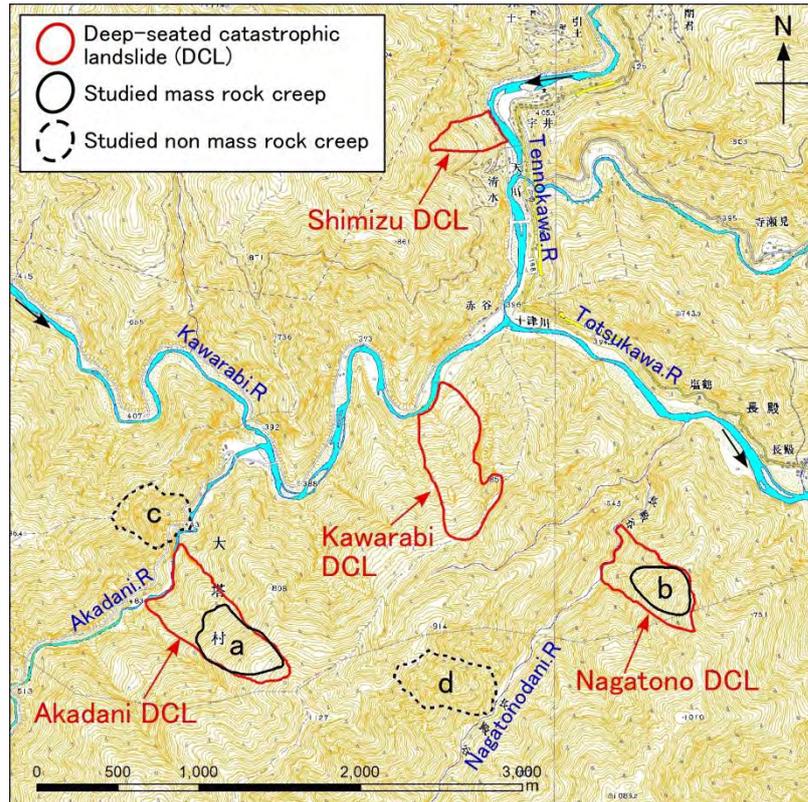


図 5 対象地域における代表的な岩盤クリープ斜面と非岩盤クリープ斜面の設定<sup>2)</sup>

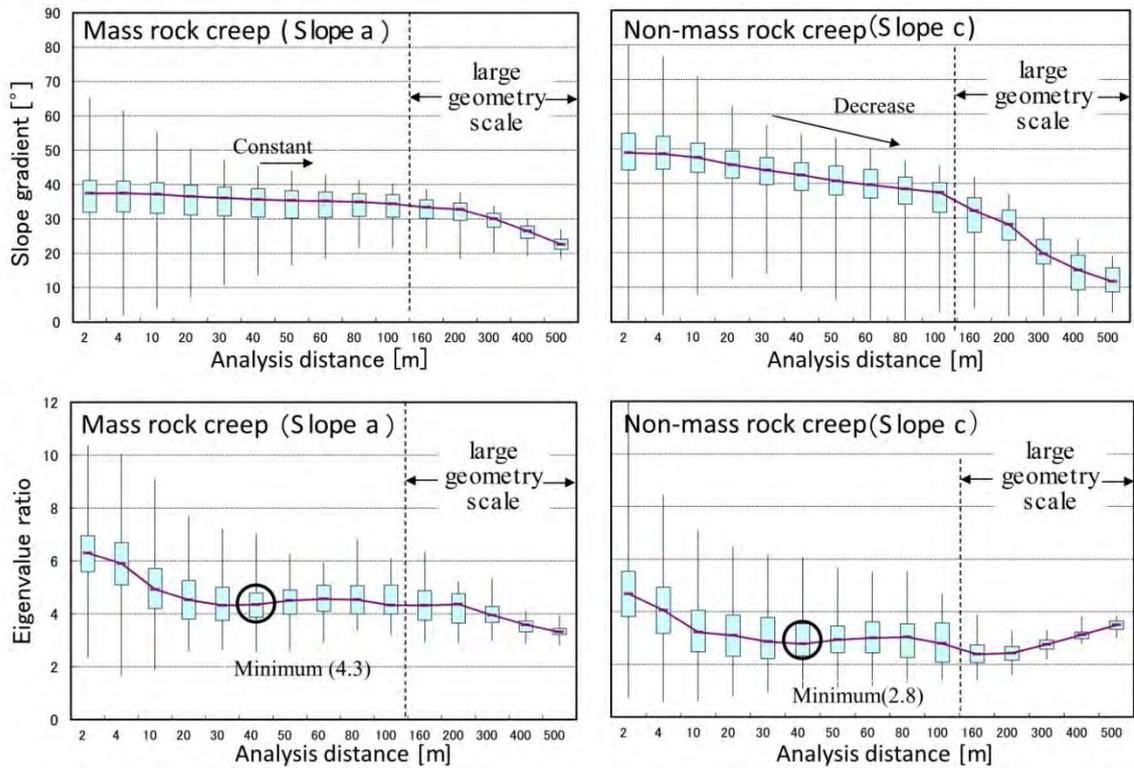


図 6 岩盤クリープ斜面と非岩盤クリープ斜面におけるウィンドウサイズと地形量<sup>2)</sup>

<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*

参考資料 7

重力変形（岩盤クリープ）斜面の抽出手順

LP データを用いた斜面勾配比，および最小固有値比による岩盤クリープ斜面の抽出手法を図 7 に示す。また，抽出結果を図 8 に示す。

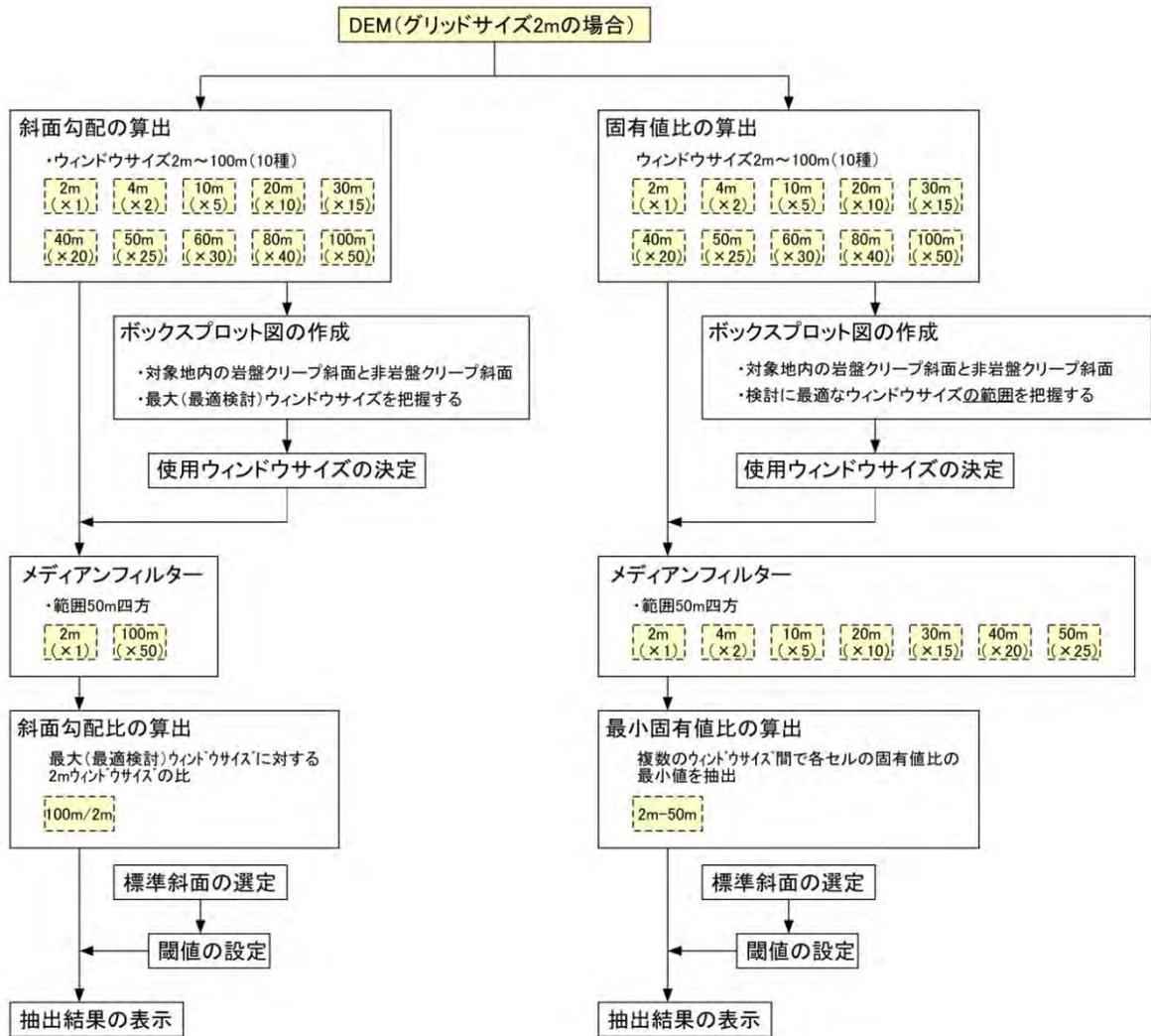


図 7 岩盤クリープ斜面の抽出フロー<sup>1)</sup>

岩盤クリープ斜面と非岩盤クリープ斜面について，斜面勾配比と最小固有値比の分布率を図 9 に示す。分布率は，単位面積あたりのセル数を示している。岩盤クリープ斜面と非岩盤クリープ斜面のピーク時のそれぞれの値に差があり，両者が離れた分布の場合は分離性が高いと判断される。

両者の分離性が低い場合は，使用するウィンドウサイズを見直す，代表としたクリープ斜面（標準斜面）を見直す等により，両者が分離できるような閾値設定を工夫する。

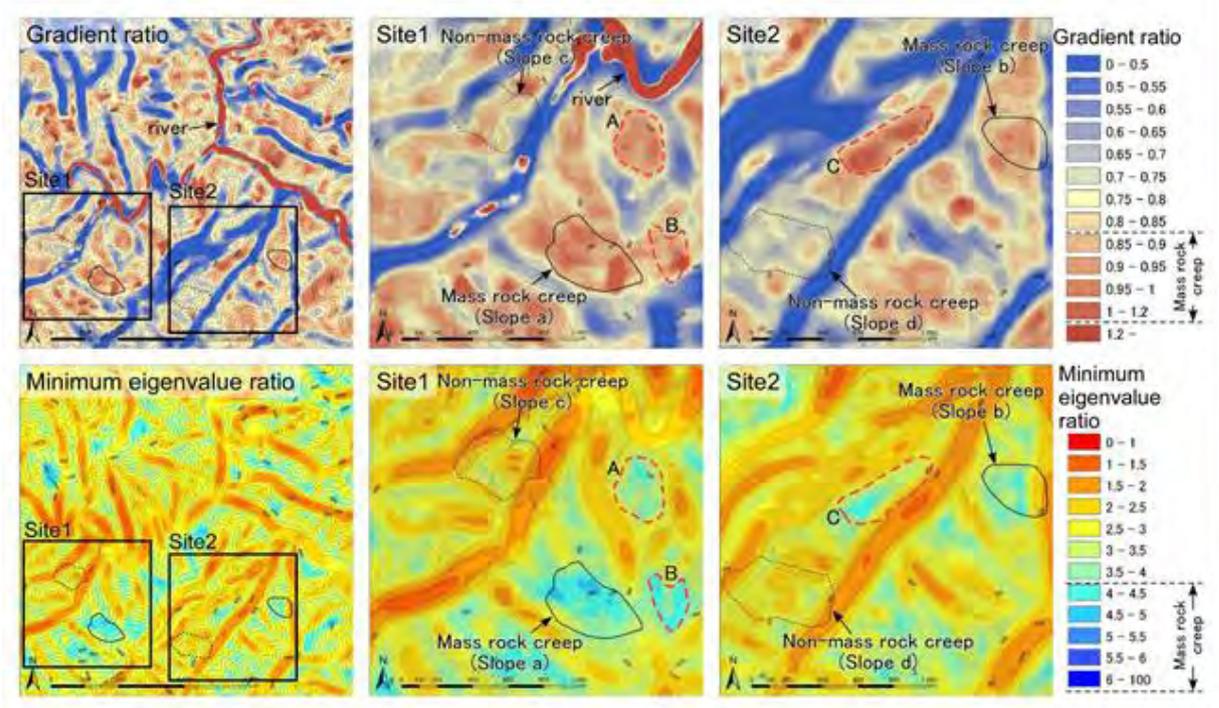


図 8 岩盤クリープ斜面の抽出結果

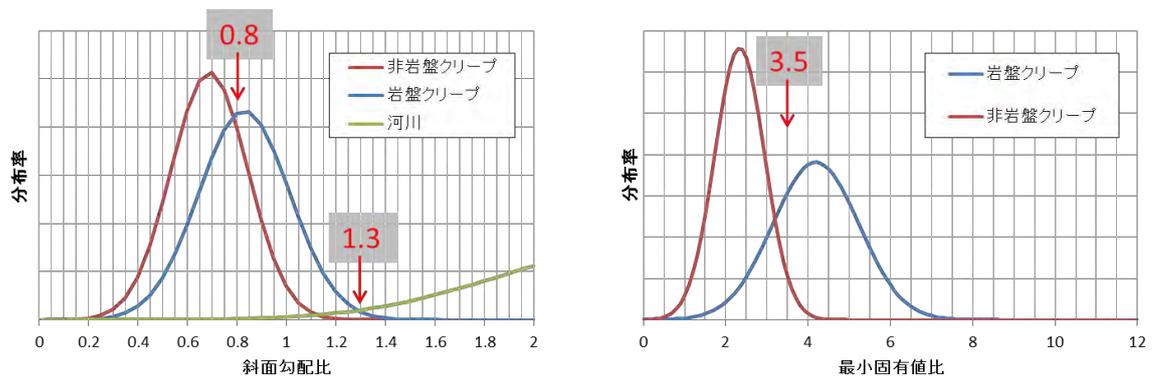


図 9 岩盤クリープを分離する閾値

<参考文献>

- 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

指標の組み合わせと抽出パターン

水文地形特性, 重力性変形特性 (最小固有値比, 斜面勾配比) の 3 指標を用いた場合について, 組み合わせによる深層崩壊の恐れのある斜面の抽出パターンを以下に示す。目標とする絞り込みの程度に応じて抽出パターンを選択する。

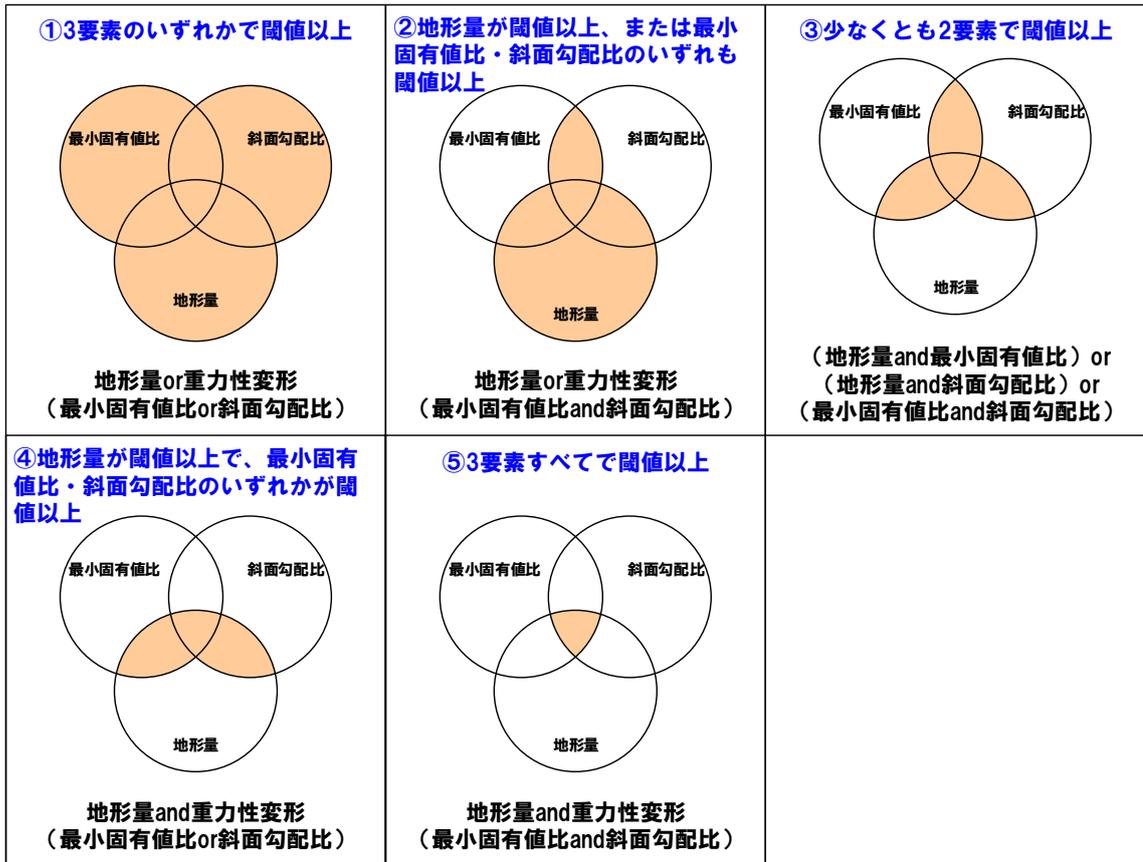


図 10 3 指標の組み合わせ事例

<参考文献>

- 1) 高原晃宙・瀬戸秀治・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事例, 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・瀬戸秀治・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

参考資料 9

付加体地域における微地形タイプと深層崩壊の発生危険度の評価事例

既往研究<sup>1)</sup>では、付加体地域において重力斜面変形による主たる変形地形に注目し、地質構造と重力変形のメカニズムに基づいて重力斜面変形を分類した。また、深層崩壊事例に基づいて、深層崩壊の発生危険度を次の I から IV の 4 段階に区分している (表 1, 図 11)。

表 1 重力斜面変形のタイプとメカニズムに応じた深層崩壊発生危険度<sup>1)</sup>

主たる変形地形	地質体	地質構造	変形メカニズム	斜面上部の眉形小崖*			斜面下部の状況		危険度**	備考
				無	不連続	連続的	拘束***	崩壊		
不規則凹凸斜面	破断層・メランジュ	"流れ盤" 湾曲スラストなどに注意	すべり層の萌芽形成						I	
									II	
									III	小崖が側部の谷に連続する場合はIII
									IV	侵食の激しい場ではIII
線状凹地 (曲げトッピングの場合、凸型斜面のみの場合もある)	山稜の両側対称	多様	緩傾斜不連続面	山体拡大					I	拡大部の縁で眉形小崖がある場合は危険度IV
	山稜の片側	平行な面構造を持つ層(整然層、スレート、片岩など)	急傾斜する不連続面	曲げトッピング					II	陰影図から小崖の向き判定に注意
								III		
							IV			
	山上	平行な面構造を持つ層(整然層、スレート、片岩など)	急傾斜する不連続面	曲げトッピング					II	山上凹地から谷に連続する小崖がある場合
大滑落崖または山上凹地	平行な面構造を持つ層(整然層、スレート、片岩など)	逆目盤, 平行盤	座屈						II	強い層が連続
									II	座屈変形が弱い
									III	座屈変形が強い
									II	侵食の激しい場ではIII
大滑落崖または山上凹地	破断層または平行な面構造を持つ層	柱目盤	地すべり						II	
									II	侵食の激しい場ではIII
									IV	
									IV	

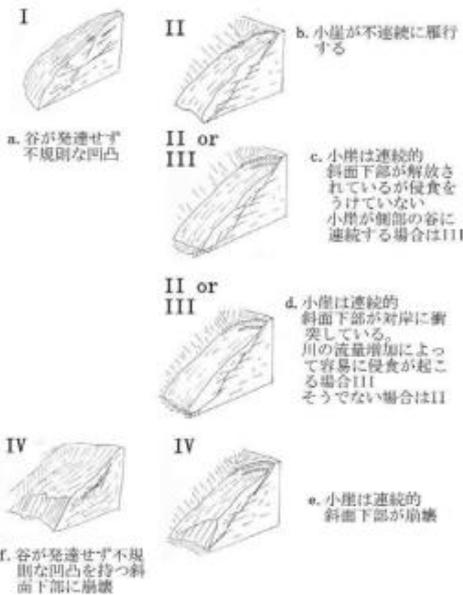
\*: 重力斜面変形の変位が尾根の傾斜方向にある場合には、尾根を横断する凹地となる場合がある  
 \*\*: 推定すべり面傾斜<25度の場合、危険度はII  
 \*\*\*: 対岸に衝突あるいは、狭隘な谷に挟まれるなど。

<参考文献>

- 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

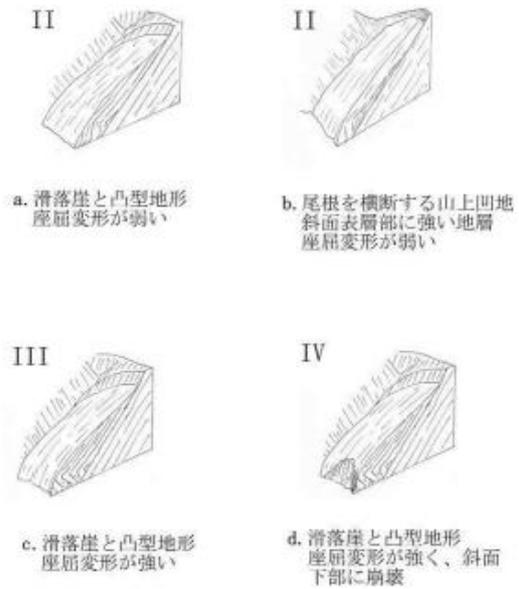
**(1) 不規則凹凸斜面**

(すべり層は断続的で、発達途上)



**(3) 大滑落崖または山上凹地**

(平行盤あるいは逆目盤—地層の座屈)



**(2) 線状凹地**

(山体の側方拡大あるいは曲げトップリング)

山稜の両側対称



山稜の片側



山稜上

III or IV



(柎目盤—成熟したすべり層、地すべり)



**【深層崩壊の発生危険度】**

- I: 斜面は重力によって変形しているが、崩壊発生の危険性は低い
- II: 深層崩壊発生の危険性は低い
- III: 深層崩壊発生の危険性が高い
- IV: 深層崩壊の発生の危険性が極めて高い

図 11 主たる変形地形と深層崩壊の発生危険度のまとめ<sup>1)</sup>

参考資料 10

ひずみ率の定義と算出事例

ひずみ率に関する既往研究事例としては、現場斜面における地表面のひずみの大きさを4段階に区分し、危険度評価を行う手法を提案した事例<sup>1)</sup>や、空中写真判読から地すべり地形の発達過程ごとに変位率を算出し、活動とともに変位率が大きくなることを示した事例<sup>2)</sup>、斜面方向と垂直方向にわけて変位量と斜面長の比を算出しひずみ率と勾配から斜面安定度指標を提案した事例<sup>3)</sup>がある。また、2011年台風12号で崩壊した紀伊山地の事例では、崩壊前後のDEMデータから地形を比較し、崩壊に先だった変形量の和と斜面全体の大きさから、5~21%というひずみの値が得られている<sup>4)</sup>。このように既往研究事例はいくつかあるが、研究ごとにひずみ率の名称や計算方法が異なっているため、単純に比較することができない。そこで本資料では、ひずみ率の計算方法を統一し、小崖上部・小崖下部・斜面末端の3点から斜距離を求め、ひずみ率を算出した。

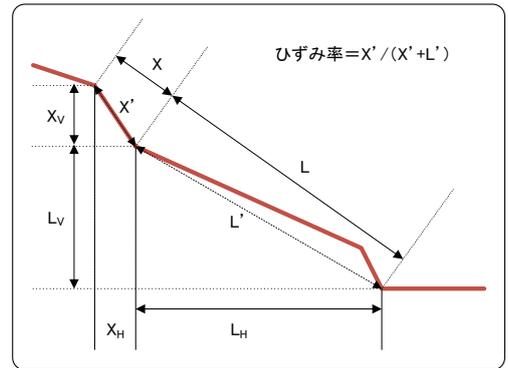


図 12 ひずみ率の定義

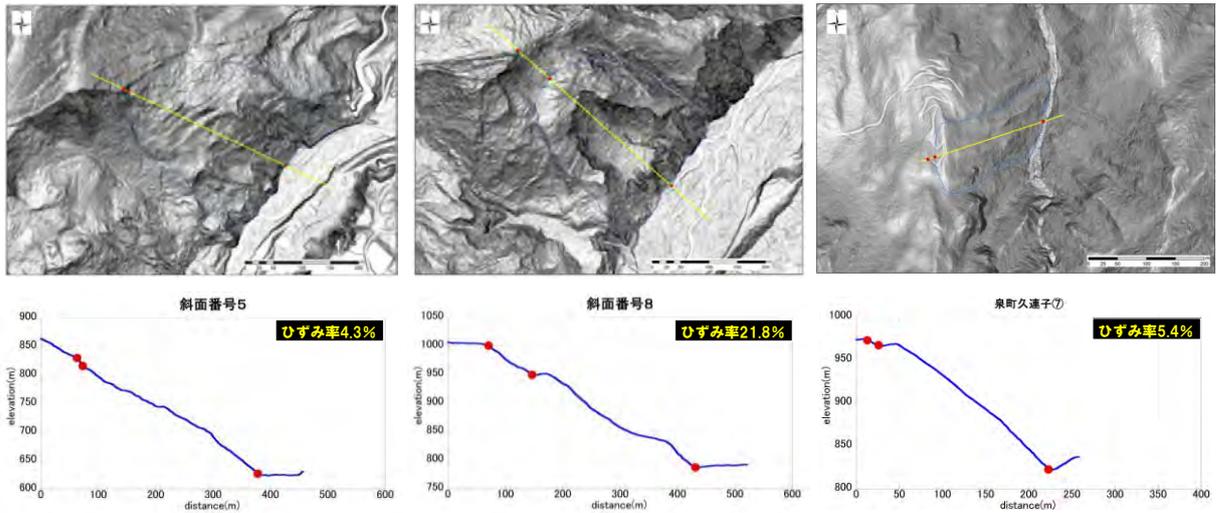


図 13 ひずみ率の算出事例

<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

## 参考資料 11

### 流量の計測手法

小流域における流量の計測手法として主に以下の4つが挙げられる。現地の条件に応じて適切な流量計測法を選定、若しくは組み合わせる。

それぞれの手法の概要とメリットとデメリットは以下のとおりである。流速計測法には、流速計を使用する以外に浮子測法や超音波法などがある<sup>1)</sup>。

表 2 流量計測手法

計測方法	概要	メリット	デメリット
容器法	バケツやビニール袋等により時間あたりの流量を直接計測する。必要に応じて土のう等を用いて流路を整備する。	直接的な測定であり、精度は高い。	流水が集中していない場合や流量が多い場合は、計測が困難である。
流速計測法	流路の断面積と断面あたりの流速を掛け合わせるにより、流量を算出する。	流量が多い場合に適する。	流量が少ない場合は、測定が難しく精度が悪くなる。また、流速が流路断面内で大きく変化する条件では精度が悪くなる。
堰測法	流路に三角堰などを設置し、ノッチ高を測定することによって流量を算出する。	堰の容量内の流量に対しては、精度は高い。	多数の計測には不向きである。また、岩盤や玉石の分布地では、堰の設置が困難となる。
塩分希釈法	定量の食塩水を流路の上流側で投入し、下流側にて電気伝導度を測定して算出する。	流量の多寡によらず比較的簡易に測定可能である。	ある一定幅で流下している箇所での測定が望ましく、計測流下区間で、流路の分岐や屈曲、大きな溝、伏流がある等の条件では精度が悪くなる。

#### <参考文献>

- 1) 国土交通省・水管理・国土保全局（2014）：河川砂防技術基準調査編

参考資料 12

水文・水質調査事例

深層崩壊と水文・水質特性に関する研究は、九州山地における実績が多い。詳細は参考文献を参照されたい。

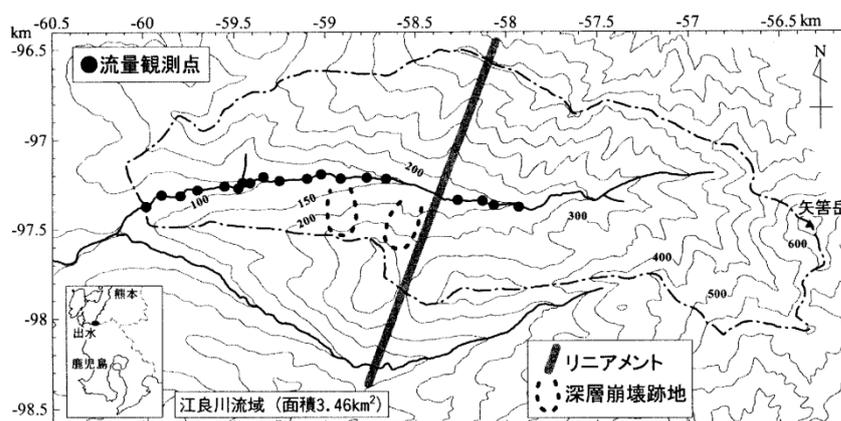


図 14 江良川流域の地形と流量・水質調査地点<sup>1)</sup>

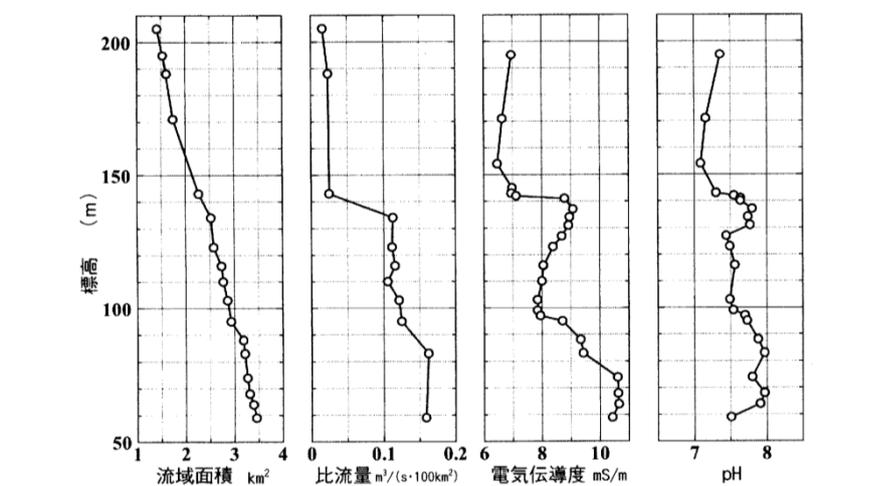


図 15 流域面積・比流量・電気伝導度・pHの標高分布図<sup>1)</sup>

<参考文献>

- 1) 地頭菌隆・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) 地頭菌隆・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

## 参考資料 13

### 空中電磁探査の概要

空中電磁探査は、航空機に探査装置を搭載して電磁誘導により地盤の比抵抗構造を非接触で取得する調査方法である。周波数領域空中電磁法と時間領域空中電磁法の 2 つの探査手法があり、深層崩壊に関する調査では、周波数領域空中電磁法が実施されている。空中電磁法探査理論の詳細については、参考文献を参照されたい。

周波数領域空中電磁法は、ヘリコプターを用いて送信・受信コイルを固定・収納したバードを曳航し、相互インダクタンスの変化を測定して比抵抗を求める方法である。送信コイルに交流電流を流すと、コイルの周辺に交流磁場（1次磁場）が生じる。この交流磁場が地中を通過する際、地盤中にこの磁束の変化を打ち消すように渦電流が流れ、これが別の交流磁場（2次磁場）を発生させる。2次磁場の強さは地盤の比抵抗と相関があるので、1次磁場に対する2次磁場の割合を受信コイルで測定することにより、磁場が到達した深度までの地盤の平均的な比抵抗を測定することができる。測定に際しては、異なる周波数帯を用いることにより、異なる深度の比抵抗情報を取得できる。なお、5周波はDIGHEMタイプ（水平共面；56,000Hz, 5,000Hz, 385Hz, 垂直同軸；7,200Hz, 900Hz）、6周波はRESOLVEタイプ（水平共面；140,000Hz, 31,000Hz, 6,900Hz, 1,500Hz, 340Hz, 垂直同軸3,300Hz）と呼ばれており、探査可能深度は100～150m程度である。



図 16 空中電磁探査の実施状況（左：RESOLVE タイプ 右：DIGHEM タイプ）

#### <参考文献>

- 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

## 参考資料 14

### 崩壊面積を利用した崩壊土砂量の推定方法

図 17 は平成 23 年紀伊半島大水害において発生した深層崩壊を基に分析された崩壊面積と移動土砂量の関係を示している。相関関係も良く、紀伊山地に分布する付加体等の地質が類似する場合には、比較的精度よく崩壊土砂量を推定することが可能と考えられる。

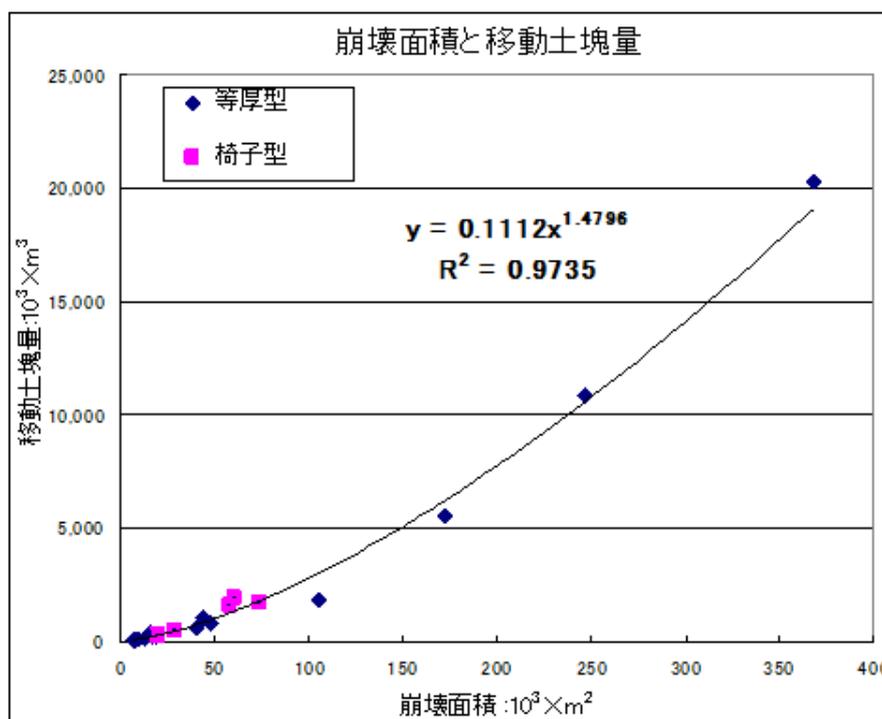


図 17 崩壊土砂量と面積の関係（紀伊山地の事例）

<参考文献>

- 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

## 参考資料 15

### 深層崩壊の危険斜面に有効な監視・観測の手法

重力変形による斜面変動は、緩慢な運動である地すべりと類似する点が多く、一般的な地すべり等で行われている監視・観測方法が有効と考えられる。監視・観測には以下の3種が考えられる。

- ① 地中移動量
- ② 地表移動量
- ③ 地下水変動量

地中の移動量の観測には、ボーリング孔を利用した孔内傾斜計<sup>1)</sup>やパイプ歪計が有効である。地表面の移動量の観測には、地盤伸縮計、移動杭測量、GPS 測量等があり、近年では、地上3Dレーザースキャナや人工衛星による合成開口レーダ(SAR)の干渉解析が行われ、高精度地盤変動測量の把握が行われている<sup>2) 3)</sup>。地下水変動量はボーリング孔内の地下水位変動だけでなく、対象斜面の側部・先端付近の湧水量の把握も有効である。いずれも現地条件や計測の間隔、精度等を考慮し選択する必要がある。

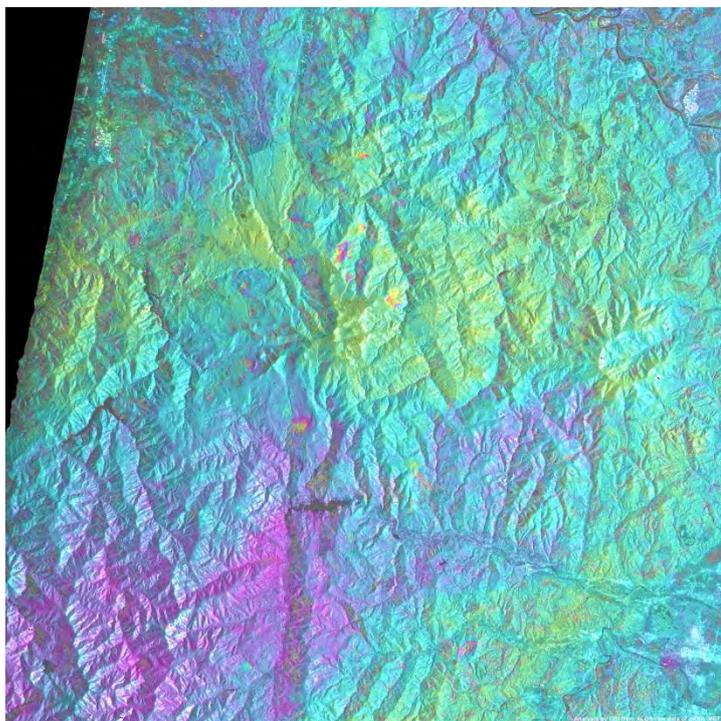


図 18 月山周辺での干渉 SAR による変動斜面の抽出事例<sup>4)</sup>

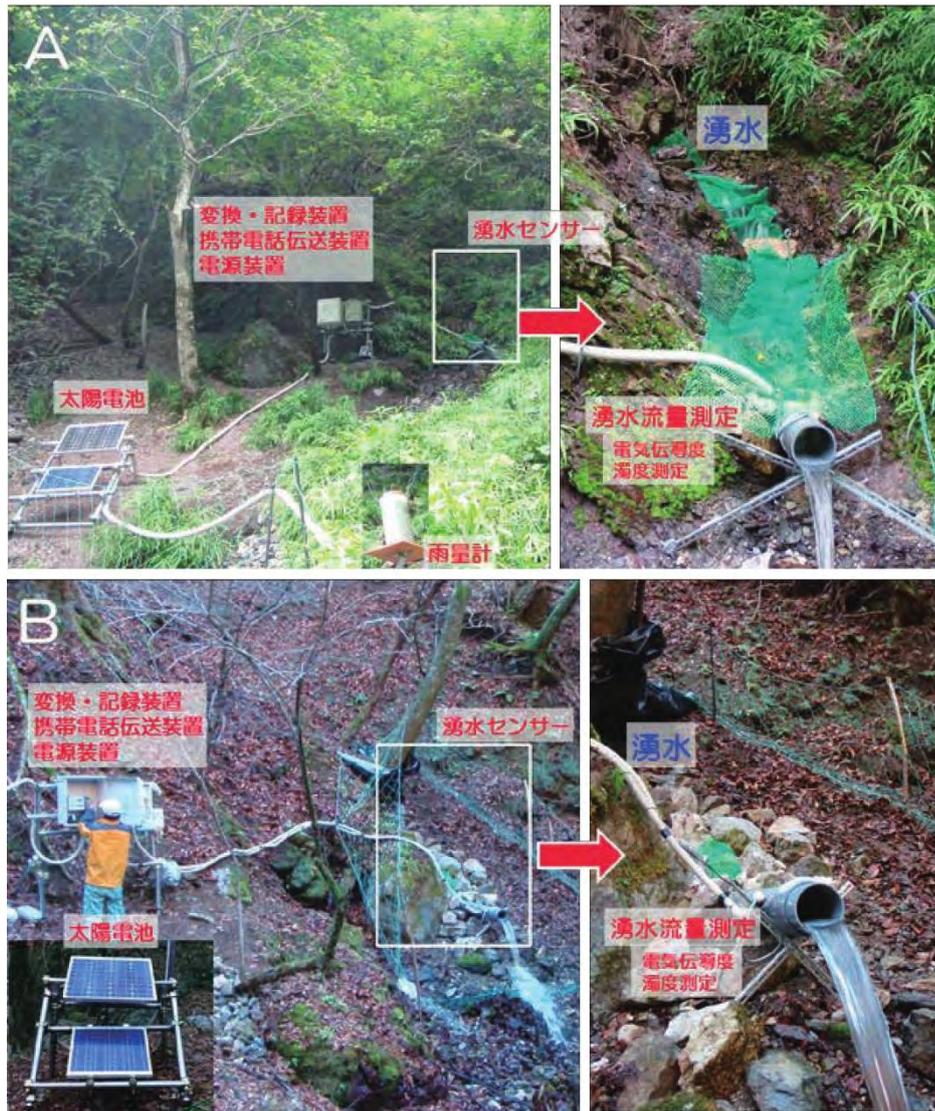


図 19 湧水センサーによる湧水量の監視・観測<sup>5)</sup>

<参考文献>

- 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ー山形県月山周辺を事例にしてー, 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) 地頭菌隆・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

---

土木研究所資料  
TECHNICAL NOTE of PWRI  
No.4333 March 2016

編集・発行 ©国立研究開発法人土木研究所

---

本資料の転載・複写の問い合わせは

国立研究開発法人土木研究所 企画部 業務課  
〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 電話029-879-6754