

Q

地すべり調査では、すべり面を確定させることが重要なのは理解できますが、それをどうやればわかるのか、今一つわかりません。説明してください。

A

地すべり調査ですべり面を確定させるためには、ボーリング調査の結果とパイプ歪計や孔内傾斜計等による地中変位の計測結果を用いた総合的な判断が必要です。

(1) 地すべりとすべり面

まず、地すべりの定義について述べます。藤田(2002)¹⁾によると地すべりとは「斜面を構成する物質が斜面下方へ塊として移動する現象」と位置づけられます。

この移動土塊（地すべり土塊）と不動地盤との境界部がすべり面と呼ばれます（図-1）。すべり面は一般的には軟質な粘土状であることが多く、その厚さは地すべりの活動履歴や活動性によって数mm～数10cmまで様々です。すべり面は地中にあるため、その正確な位置は専門性の高いすべり面調査を行わないとわかりません。しかし、地すべり地内で実施された高品質なボーリングコア、切土工事や集水井掘削のほか、災害発生時などに希に直接観察することができます（図-2）。

このすべり面を確定させるためには、ボーリング調査で採取された地すべりコアの観察と地中変位計測による手法を組み合わせる必要があります。ボーリングコアでは連続的に地盤の情報を取得できますが、地中変位計測では深さ方向に0.5～1m間隔での変位情報となりますので、具体的な順番としては、地中変位計測で得られた変位深度（0.5～1mオーダー）を参考として、ボーリングコア観察結果で実際のすべり面を決定する（数cm～10cmオーダー）という流れになります。

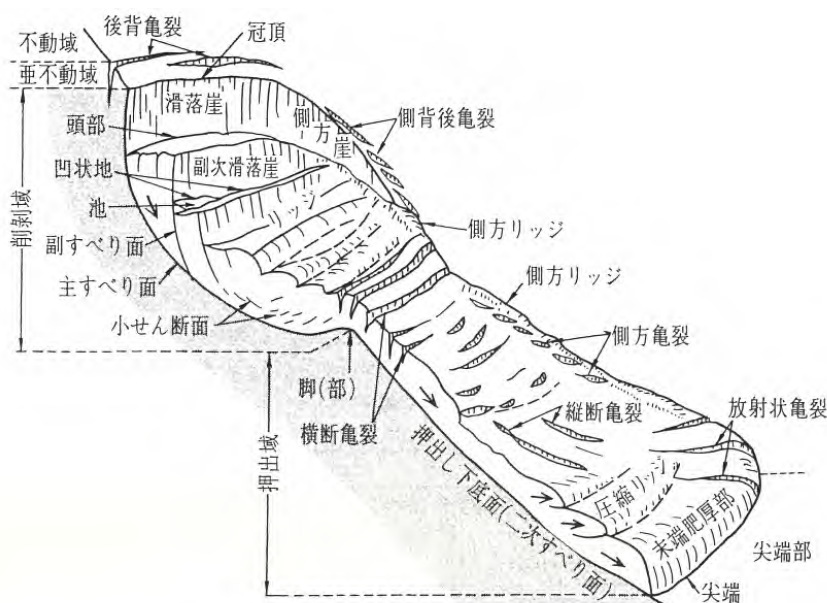


図-1 地すべり変形構造の模式図（大八木原図）²⁾



図-2 災害発生時に確認されたすべり面の例³⁾
(土塊が移動した痕跡である「条線」がすべり面上に認められる。)

(2) すべり面調査

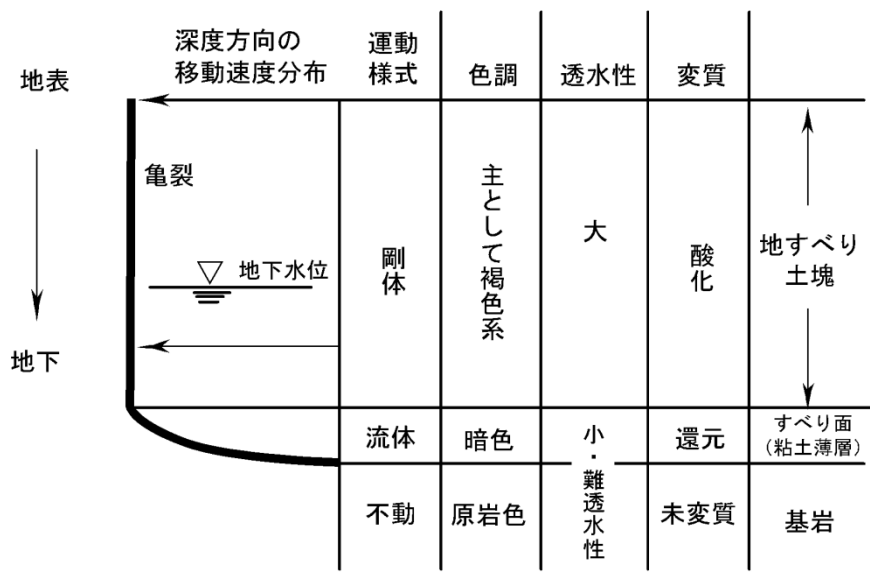
地中に存在するすべり面の位置（深度）を知るためには、専門的な調査を行う必要があります。地すべり調査のうち、すべり面調査としては、地すべり土塊を直接的に観察する「ボーリング調査」と、ボーリング孔を利用して地中で地すべり変動を把握する「地中変動調査」があります。以下に「ボーリング調査」と「地中変動調査」の代表的な3つの方法を示します。

①ボーリング調査

活動中の地すべり地内でボーリング調査を行う場合、掘進作業中に地すべりが活動し、掘削孔の孔曲りが発生することで通常は円形であるコアが半月形となったり、掘削ツールの上げ下げ時に同一深度で抵抗を感じることがあります。この場合、この抵抗がある深度付近がすべり面と推定されます。

一般的には、すべり面は粘土化しており、暗い色を示すことが多いという特徴があります。この特徴より採取してきたボーリングコアの観察によってすべり面の位置を推定でき、粘土層の有無、コアの色調、また、亀裂の量や形状、風化の程度などについて観察を行い、総合的にすべり面を判定します。活動的な地すべりの地すべり粘土は断層面のように鏡肌状になっていることや条痕が認められることがあり、このようなコアの状況に着目することが必要です。

地すべり土塊の鉛直方向における模式的な構成を図-3に示します。すべり面は粘土化しているためことが多く、そのため透水性は低くなっています。一方、地すべり土塊は移動の影響により地盤が緩んでいるため透水性が大きく、褐色系の色調を示すことが多くなります。地すべり粘土より深部の不動部では、もともとの岩盤や地盤の性質を残しており、多くの場合透水性は小さく、原岩色を示します。このような違いを見極めながらすべり面の位置を推定します。ただし、これはあくまでも一般的な模式図であり、地下水分布や地すべり土塊内の位置（頭部か末端部か）等によっても異なりますので、注意してください。


図-3 地すべり斜面の構成⁴⁾

コア観察によってすべり面を判定する時の着目点としては、以下の項目が挙げられます。

- ・ 軟弱粘土層の存在
- ・ 崩積土の下面
- ・ 風化岩あるいは岩盤上部
- ・ 異種の岩石などの境界部
- ・ 岩盤中の軟弱挟み層あるいは破碎部の存在
- ・ 堆積岩中における堆積構造の乱れの存在
- ・ 地すべり規模、形態とすべり面深度の相関

また、ボーリング孔壁の観察結果（ボアホールカメラなどによる孔壁写真や展開図等）がある場合には、コア観察と同様の観点ですべり面判定に利用できます。

地盤の透水性を概略的に判定する方法としては、ボーリング掘削中の日々の地下水変動を記録して地すべり土塊内の透水性を推定する「試錐日報解析」という手法があります。興味がある方は「申潤植（1989）：地すべり工学－理論と実践－、山海堂」などをご覧下さい。

②地中変位計測

(②-1) パイプ歪計

パイプ歪計とは、1mの長さの塩ビ管等のパイプに1対ないし2対の歪ゲージを180°反対方向に貼り、この歪を測定する手法です(図-4)。この歪ゲージが貼られたパイプを接続しながらボーリング孔内に挿入し、砂やグラウト等で埋め戻して設置し、その後各深度での歪の値を測定することで、すべり面の位置を推定します。(厳密には、地すべりによりパイプがたわんだ場合、パイプの一面が縮み、その反対面は伸び歪みを生じます。この曲げ歪みによって歪ゲージに生じる電気抵抗の変化を静歪み測定器で測定して、歪み量に換算して表示記録しています。) 1箇所に2対のゲージが貼られたものを使用すると地すべりの移動方向を確認することができます。

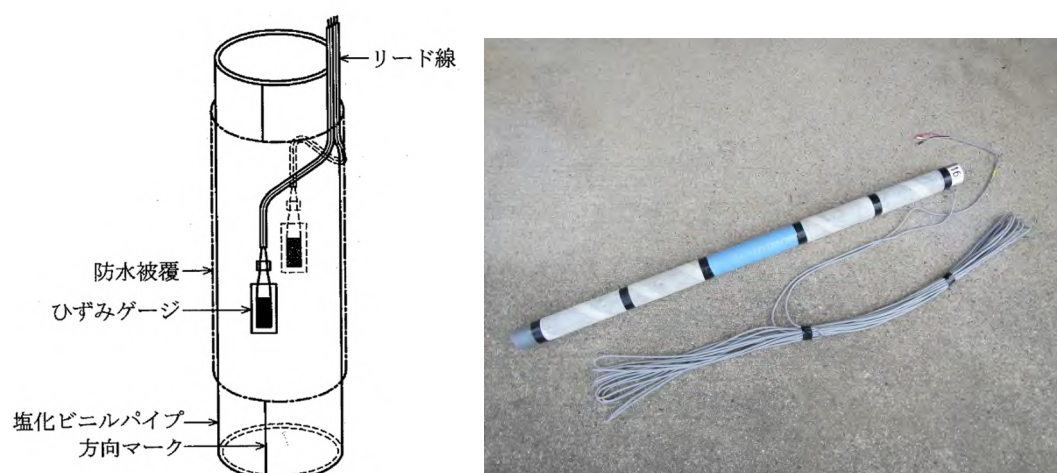


図-4 パイプ歪計の構造 (左：概要図⁵⁾、右：1本分の写真)

パイプ歪計では各深度の歪ゲージの歪量を測定し、その累積性を確認してすべり面の存在を確認します。歪量が小さい場合でも、累積性が認められる場合にはすべり面の可能性が高いと言えます。逆に大きなひずみが確認された場合でも、累積性がなければ、地すべりの可能性は低いと言えます(表-1、図-5)。

表-1 パイプ歪計観測結果による地すべり判定基準⁵⁾

変動種別	日変動 絶対値 (μ /日)	累積変動 絶対値 (μ /月)	変動形態		すべり面 存在の 可能性	総合判定
			累積傾向	変動形態		
確定変動	10^2 以上	5×10^3 以上	顕著	累積変動	あり	確定すべり面
準確定変動	10^2 以上	10^3 以上	やや顕著	累積変動	〃	準確定すべり面
潜在変動	10^2 以下	10^2 以上	ややあり	累積 断続 攪回	〃	潜在すべり面
異常変動	10^2 以上	10^3 以上	なし	断続 攪回	なし	地すべり 以外の要因

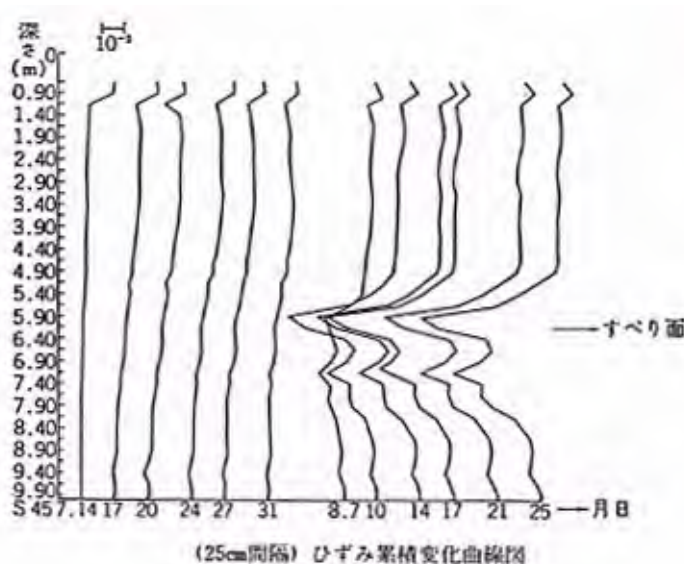


図-5 パイプ歪計による歪変動累積図（深部からの累積）の例⁵⁾

パイプ歪計によるすべり面計測の特徴として、高感度であるため微小な変位を検出できること、ボーリング孔全深度で変位を測定できることが挙げられます。これにより、複数の深度にすべり面がある場合でもそれぞれ地すべり変動の確認ができます。また、観測の自動化が容易であり、自動化した場合にはほぼリアルタイムにデータ回収を行うことが可能です。

一方、パイプ歪計の寿命は通常1～3年程度とされており、他の計測方法より寿命（観測可能期間）が短くなっています。また、地すべり変位が移動量として把握できないこと、観測深度が深い場合にはリード線が増加するため、設置が難しくなることなどが問題点として挙げられます。

(②-2) 孔内傾斜計

孔内傾斜計は、ボーリング孔内に傾斜計観測用の溝のついたガイドパイプを挿入・固定し、溝に沿わせて傾斜センサーを内蔵した傾斜計（プローブ）を挿入して一定深度ごとにガイドパイプの傾斜を測定する方法です（図-6、図-7）。観測時には、傾斜センサーが温度の影響を受ける可能性があるため、温度変化の少ない地中部で測定器を一定時間保持した後、計測を行う必要があります。

孔内傾斜計観測時には孔内傾斜計を現場まで持って行き、測定を行います。この方法は「挿入式孔内傾斜計観測」と呼ばれます。すべり面の位置があらかじめわかっている場合には、傾斜計を孔内に設置し、「設置型孔内傾斜計」として測定する場合があります。最近では、安価な傾斜センサーが実用化されていることから、1つの孔内に多数の傾斜センサーを配置してすべり面の確認のために使用することもあります。

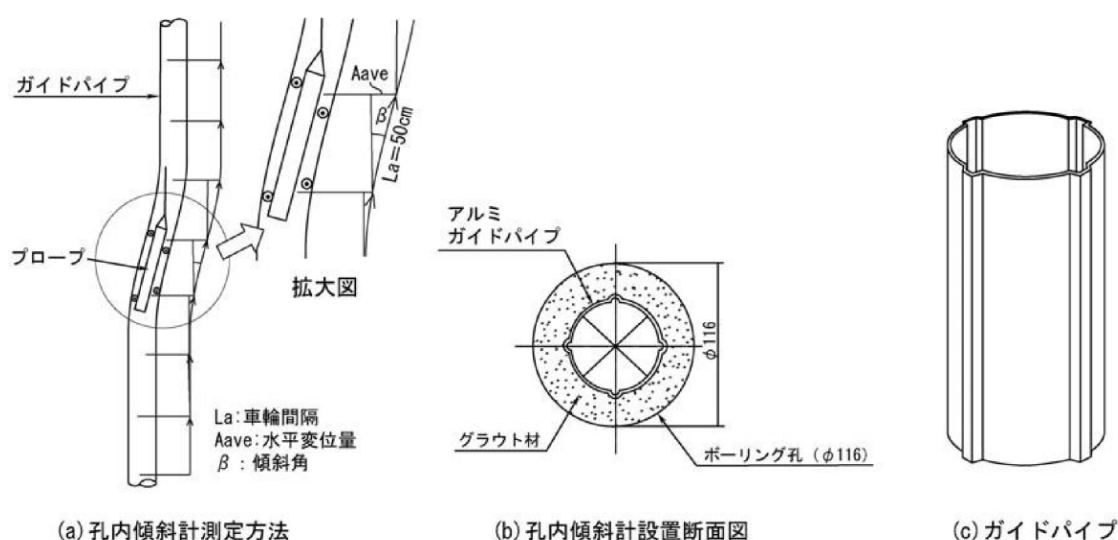


図-6 挿入型孔内傾斜計の概要図⁴⁾

孔内傾斜計の測定結果は孔底からの傾斜量の積分で表現され、曲りが顕著な箇所、なおかつ変位が累積する深度をすべり面と判定します。観測結果の基本的な取りまとめ方としては、地盤の水平変位をイメージしやすい「変位分布図」、各深度の変位の経時的な累積傾向を確認しやすい「経時変化図」、降水量や他の動態観測データ、対策工施工状況などと併記しやすい「区間変位図（経時変化）」などの表記方法があります（図-7）。

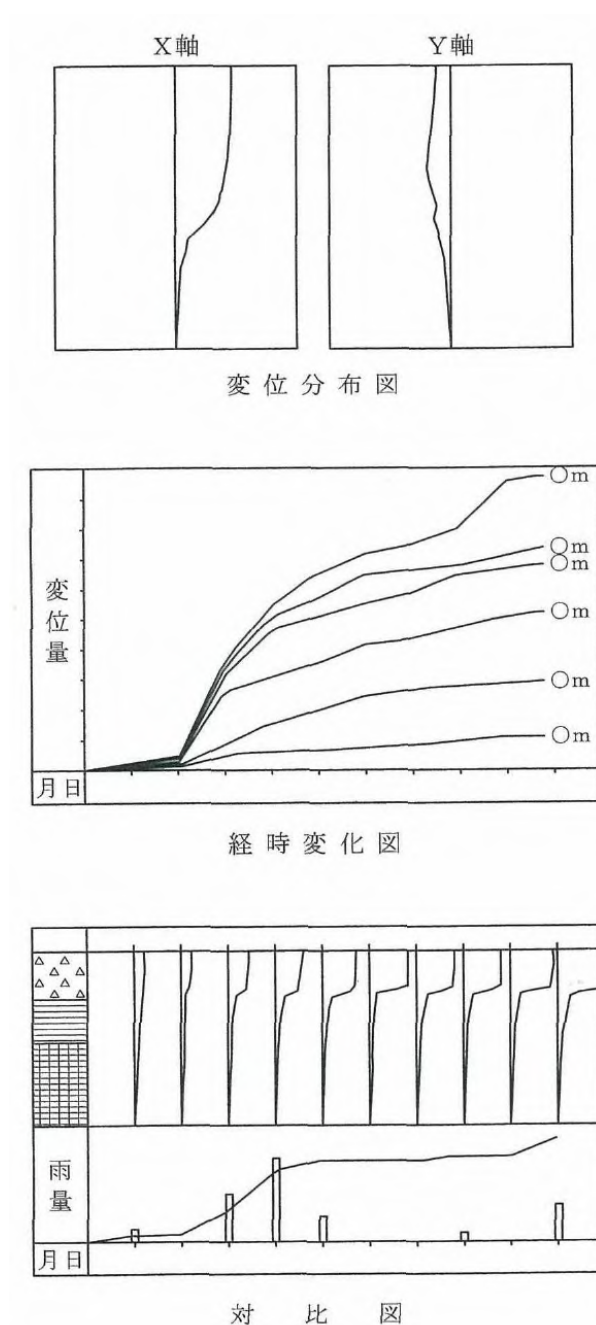


図-7 孔内傾斜計による変動累積図の例⁵⁾

孔内傾斜計は、高感度であるため微小な変位を検出でき、ガイドパイプの曲りによる地盤変位の形状を連続的かつ定量的に追跡できることが特徴です。このため、観測間隔（時間）と移動量の関係から地すべりの移動速度を推定することができます。また、2方向の測定を行うため、変動方向を把握することができます。さらに、ガイドパイプが正常な状態であれば長期間の観測が可能です。

一方、地すべりの移動量が大きい場合にはガイドパイプの曲りが大きくなり、傾斜計が挿入不能となり、その後の観測ができなくなります。また、挿入式孔内傾斜計は観測の自動化が難しく手動観測主体となるため、データの個数を増やす場合にはかなりの労力が必要です。

(2-3) 多層移動量計

多層移動量計は、地すべり土塊内に鉛直に設置された塩ビ管内の任意の複数深度にワイヤーを固定して、地上部でワイヤーの伸縮量を計測することで地すべり土塊の挙動を調べる方法です(図-8)。地上部には地下からのワイヤーを固定するための滑車やメジャーのセットされた測定台があり、ワイヤーは錘やバネなどで一定荷重で引っ張られています。

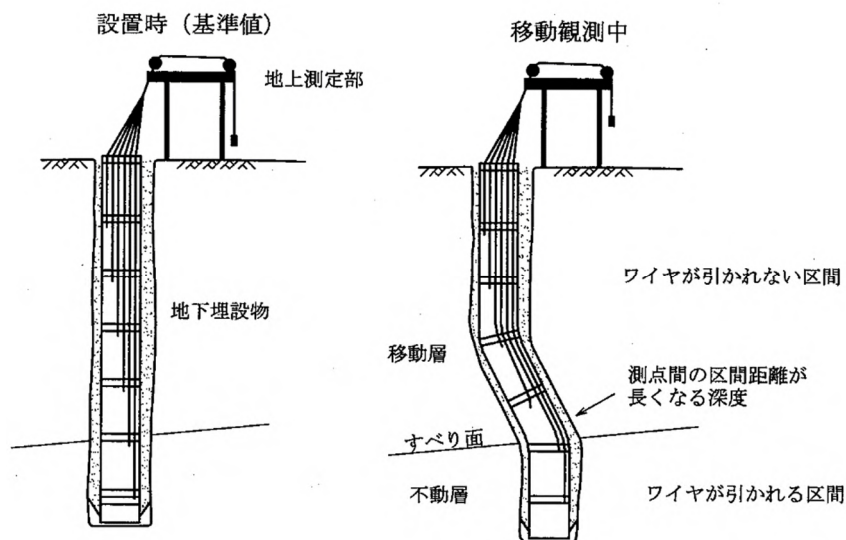


図-8 多層移動量計の概念図⁵⁾

測定結果は、横軸に時間、縦軸に深度毎の累積伸縮量を記録した時間累積図として表現されます(図-9)。この図では、パイプ歪計や孔内傾斜計と同様にすべり面の位置判定が可能です。

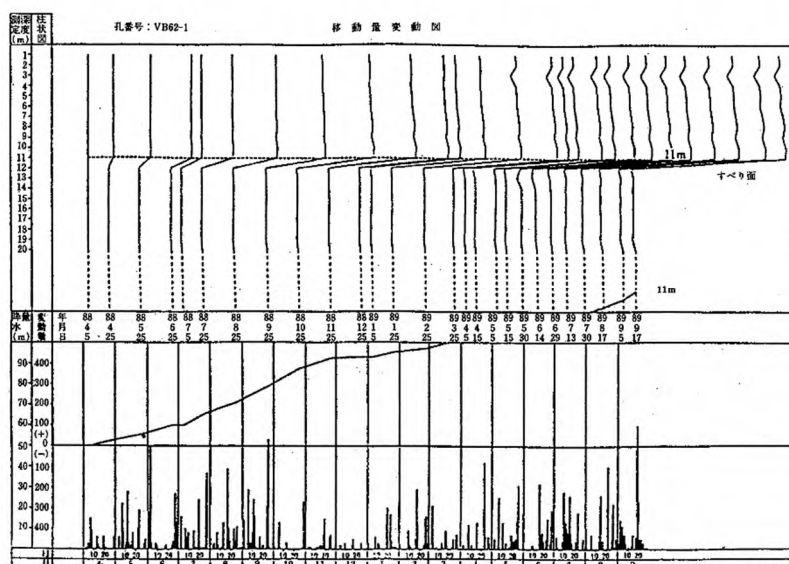


図-9 多層移動量計の概念図⁵⁾

多層移動量計は、すべり面深度が不明な場合や多くのすべり面が存在すると考えられる場合に有効です。また、変位量が大きい場合に適しており、連続して 10m 前後の変位を長期的に測定することができます。

一方、移動量が小さい地すべりでは変位が検出されない場合があるほか、地盤沈下を伴う箇所では良好なデータ取得ができないことがあります。

(3) まとめ

以上のように、地すべりのすべり面を確定させる方法にはいくつかの方法があり、基本的にはボーリングコアの観察結果と地中変位計測結果を組み合わせた総合的な判断が必要です。ここで紹介しているのは代表的な方法です。地すべり調査に関する参考書や基準書は数多く出版されていますので、そちらも参考にいただければと思います。

地すべりは現場ごとに違った特徴を持っており、いつも同じ見方をしていると思わぬ失敗を招くこととなります。地すべり調査にあたっては、調査目的をよく理解し、それぞれの現場に適したすべり面の決定方法を考えることが重要です。

【引用文献】

- 1) 藤田崇 (2002) : 地すべりと地質学, 古今書院、238p.
- 2) 日本応用地質学会編 (2000) : 山地の地形工学、古今書院、pp. 165.
- 3) 地すべり学会誌 (2005) : 現場で役に立つ地すべり工学、Vol. 42、No. 4、pp. 363.
- 4) 独立行政法人土木研究所 (2007) : 地すべり防止技術指針及び同解説 (提案) .
- 5) 地すべり観測便覧編集委員会 (2012) : いつでも、どこでもすぐに役立つ 地すべり観測便覧, (社)斜面防災対策技術協会, 502p.

(回答者 木村 一成)