ISSN 0386-5878 土木研究所資料 第4378号

土木研究所資料

地すべりのひずみ及び ひずみ速度の経時変化による崩壊の 切迫性評価と地すべりの崩壊事例

平成 30 年 9 月

国立研究開発法人土木研究所 土砂管理研究グループ 地 す べ り チ ー ム

Copyright © (2018) 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。

地すべりのひずみ及び ひずみ速度の経時変化による崩壊の 切迫性評価と地すべりの崩壊事例

地すべりチーム		上厚	常研究	名員	藤平	大
		主任	壬研多	的	竹下	航
	前	上厚	常研究	的	石井	靖雄
	前	研	究	員	西井	稜子
	前	交流	充研 3	名員	杉井	良平
	前	交涉	布研 9	名員	森永	高行

要旨:

本資料では、ひずみとひずみ速度を用いた地すべりの崩壊の切迫性評価手法について、実際の地すべりにおける適用例、警戒避難における崩壊の切迫性評価の留意 点をまとめたほか、各地すべりの概要と伸縮計データを参考資料として添付した。

1. はじめに
1.1 背景と目的
1.2 既往の崩壊予測手法の概要2
1.3 既往手法を利用する上での課題7
2. ひずみ及びひずみ速度を用いた崩壊の切迫性評価手法8
2.1 手法の概要
2.2 切迫性評価手法の適用例10
2.2.1 綿田地すべりの概要 10
2.2.2 変位量計測と崩壊予測の結果 11
2.2.3 ひずみとひずみ速度の算出と崩壊の切迫性評価
3. 警戒避難における崩壊の切迫性評価の留意点15
3.1 総合的な崩壊の切迫性評価の必要性15
3.2 既往崩壊事例における既往評価手法の適用性15
3.3 崩壊の切迫性評価の留意点20
参考資料
謝辞
引用文献

1. はじめに

1.1 背景と目的

日本全国には、1万ヶ所以上の地すべり危険箇所が存在し¹⁾,最近では、平成24年~平 成28年の5年間に339件もの地すべり災害が発生している²⁾。特に平成25年7月に発生 した門島地すべり(静岡県浜松市門島地区)のような崩壊性の地すべりは、一般の移動土塊 の動きが緩慢な地すべりとは異なり、比較的速い速度で短時間に滑落するために大きな被 害を伴う場合が多い。

このような崩壊性地すべり災害から人的被害を未然に防ぐ一つの方法として,地すべり の崩壊時刻を予測して,適切な警戒・避難を実施することが挙げられる。

これまでに、定常ひずみ速度から斜面の崩壊を予測する方法³⁰をはじめ、数多くの斜面の 崩壊時刻の予測式が提案されている。しかしながら、これらの予測式では、それぞれの適用 範囲や計算条件の設定方法などに一定の基準がないものが多く、個々の地すべりで計算条 件を設定し計算結果を評価しなければならない。

そこで,著者らは,現地での地すべりの計測結果をもとに,既往の崩壊予測手法の適用性 を調査するとともに,地すべりのひずみとひずみ速度に着目した崩壊の切迫性評価手法を 検討した⁴。本資料では,検討した手法について,実際の地すべりにおける適用例,警戒避 難における崩壊の切迫性評価の留意点をまとめたほか,各地すべりの概要と伸縮計データ を参考資料として添付した。

1.2 既往の崩壊予測手法の概要

(3)

リリーブ破壊時間 た

地すべりの崩壊時刻を予測する手法として、クリープ変形をモデルとした地すべりの崩壊時刻予測法等が提案されており、地盤伸縮計の計測値を用いて崩壊時刻が予測される。ここでは、2次クリープ段階での概略予測法^{3,5)}と、3次クリープ段階での近接予測法^{5,6)},精密予測法^{5,7)},移動速度逆数法⁸を紹介する。

(1) 概略予測法

土のクリープ破壊実験を行うと図-1 に示す曲線が得られ,第1次クリープから2次,3 次クリープ領域を経て破壊に至る。斉藤ら^{3,5)}は,土質試験結果と現場での計測結果より, 第2次クリープにおける破壊までの時間と定常ひずみ速度の関係(図-2)より,(1)式を示 した。







 $\log_{10} t_r = 2.33 - 0.916 \cdot \log_{10} \dot{\varepsilon} \pm 0.59$ · · · · (1) 式

- tr: クリープ破壊時間
- *ἐ*: ひずみ速度(10⁻⁴/分)

 2 地点に打設された杭間に対してひずみ速度は(2)式により求められる。

$$\dot{\varepsilon} = \frac{\left(\Delta l_{l}\right)}{\Delta t}$$
 ... (2) \exists

l: 杭間の距離(mm) $\Delta l: \Delta t で変化した移動量(mm)$ $\Delta t: \Delta l の移動に要した時間(分)$

(2) 近接予測法

斉藤は、(3)式、図-3に示す第3次クリープにおける近接予測法も提案している ^{5,6)}。図-3の変位量曲線上において、相対変位間隔を ΔI と等しくした 3 点、A1、A2、A3を取り、そ の時点の時刻を *t1、t2、t3*とする。次に、A2をとおり時間軸に平行な直線上に A1、A3を投 影し、その点をそれぞれ A1'、A3' とする。線分 A1' A2及び線分 A1' A3' の中点をそれぞ れ M 及び N とし、図のように A2をとおる Y 軸(ひずみ又は変位量)に平行な直線上にそ れぞれ MA2、NA2に等しく M' A2、N' A2をとる。M' を通り時間軸に平行な直線と A1' と N' を通る直線を引けば、その交点が崩壊時間(*t*)となる。

$$t_{r} - t_{1} = \frac{\frac{1}{2}(t_{2} - t_{1})^{2}}{(t_{2} - t_{1}) - \frac{1}{2}(t_{3} - t_{1})} \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$
 If



図-3 第3次クリープにおける崩壊時刻の図解法^{6)を基に作成}

(3)精密予測法

斉藤 5.70は,(1) 式を展開して得た(4) 式において,ひずみと崩壊までの余裕時間とが直 線関係をなすことから,ひずみもしくは変位量を普通目盛りで,崩壊までの余裕時間を対数 目盛で,図-4 に示すようにプロットし,最も直線をなす崩壊までの余裕時間を探索する手 法を精密予測法として提案した。

$$\varepsilon = C \log \frac{t_r - t_0}{t_r - t}$$
 ... (4) \vec{z}

ε: ひずみ
to: ひずみが0の時点
t: 任意の時点
tr: クリープ破壊時間
C: 定数



図-4 精密法による崩壊時刻の予測例⁷⁾(8月27日12時24分が崩壊予想時刻)

(4)移動速度逆数法

福囿⁸⁾は、移動速度の逆数を経時的にプロットし、移動速度の逆数曲線を延長した交点 を崩壊発生時刻と推定する手法を提案した。福囿は(5)式を示し、 $\alpha = 2$ の場合はそのまま 直線を延長し、 $\alpha \neq 2$ の場合には曲線の接線を延長して概略の崩壊時刻を知ることができる と述べている。

$$\frac{1}{\nu} = \left\{ a(\alpha - 1)^{t/(\alpha - 1)} (t_r - t)^{t/(\alpha - 1)} \right\} \quad \dots \quad (5) \ \texttt{I}$$
ただし、 $t < t_r$
 $\nu : 表面移動速度$
 $a, \alpha : 定数$
 $t : 時間$
 $t_r : 崩壊発生時刻$



図-5 移動速度の逆数の経時的変化⁸⁾

1.3 既往手法を利用する上での課題

前述の手法のうち,概略予測手法は2次クリープ段階に,その他の手法は3次クリープ 段階に対応する手法として提案されている。そのため,これらの手法を適切に用いるには, 現在の地すべりのクリープ段階を把握することが重要となる。

しかし,実際の地すべりは,前述したような3つのクリープ段階を経て崩壊に至る場合 もあるが,加減速などを繰り返した後に崩壊する場合や,そのまま変位が停止する場合もあ る5。そのため,地すべりの滑動が進行する過程で,現在の地すべりのクリープ段階を把握 することは困難を伴う。

この問題に対して、石澤ほか⁹⁰は大規模模型斜面を使用した降雨時の斜面崩壊実験の結果 から、崩壊に至る 3 次クリープ段階に入ったかを判断する手法を提案している。石澤ほか は、図・6 に示すように、各計測地点で変位速度が変化するタイミングには時間差があり、崩 壊が近づくにつれ、この時間差が縮まっていくこと明らかにした。そして、この現象が崩壊 発生の判断基準になり得ると述べている。このことは、現地での計測事例では斜面安定の極 限状態に近いほど変位伝播速度が速い傾向とも整合する ¹⁰⁾。しかし、実際の現場において は、変位速度を多点で計測することは困難なことも多い。とくに移動土塊内への立ち入りが 危険な場合などは、少ない計測点での計測結果から簡易に崩壊の切迫性を評価する手法も 求められる。



図-6 地表面の変位 δ_{sp}と変位速度 V_{sp}の経時変化⁹⁾

2. ひずみとひずみ速度を用いた切迫性評価手法

2.1 手法の概要

杉井ら⁴は既往地すべり 34 事例の計測値をもとに、ひずみとひずみ速度の経時変化から、 地すべりのクリープ段階を評価する手法を検討した。この検討では図-7 に示すように、地 すべりの斜面長と頭部での変位量の比(D/L)を「ひずみ」とし、1時間当たりのひずみの 増加量を「ひずみ速度」としている。次に図-8 に示すように、各崩壊事例において、ひずみ とひずみ速度の関係の経時変化を調査し、ひずみとひずみ速度が急激に増加する点を「加速 点」として読み取っている。



図-7 ひずみの算出方法⁴⁾



図-8 加速点の読み取り例4)

そして,各崩壊事例で読み取った加速点と,崩壊直前の計測値を同一グラフ上にプロット し,崩壊直前の値が分布する範囲(領域A),加速点が分布する範囲(領域B),その他の範 囲(領域C)に区分した(図-9)。

さらに、杉井らは、各崩壊事例において、近接予測手法と移動速度逆数法の適用性を調査 した結果、加速点以降の計測値を用いた場合、予測時刻の信頼性が高くなると述べている。 これらから、ひずみとひずみ速度の経時変化を確認することによって、現在の地すべりのク リープ段階が近接予測手法と移動速度逆数法の信頼性が高い段階にあるか否かを評価でき る可能性を示している。



図-9 ひずみとひずみ速度の関係 4)

実線: 同一事例の加速点と崩壊直前の計測値を結んだ線 破線: 加速点と崩壊直前の閾値

2.2 切迫性評価手法の適用例

本節では、前節までに提案した手法を、実際の地すべりにおいて適用した例を示す。

2.2.1 綿田地すべりの概要

対象とした地すべりは大分県豊後大野市朝地町綿田地区で発生した。綿田地区は平均勾 配 20 度の丘陵地であり,古くからの棚田と家屋が点在する。平成 29 年 5 月 16 日に一軒の 民家宅地の地割れが報告された以降,多数の亀裂が発見されており,5月 24 日時点では, 亀裂群は幅約 250m,長さ約 400m の弧状に分布し,地すべりブロックは写真-1 に示すよ うに想定された¹¹⁾。写真-2・3 に,5月 24 日に撮影した地すべり頭部の陥没帯と設置され た地盤伸縮計の状況を示す。



写真-1 地すべりブロック全景 (大分県撮影)



写真-2 地すべり頭部の陥没帯



写真-3 地盤伸縮計 (S-1)

2.2.2 変位量計測と崩壊予測の結果

(1) 変位計測結果

図-10 に地盤伸縮計の設置位置を,図-11 に 5月23日20時~5月26日11時までの計測 記録を示す。図-11(a)をみるといずれの計測点においても,累積で300mm以上の変位量 を記録している。また、図-11(b)をみると数~数十mm/hオーダーの変位速度を記録して いる。この変位速度は、一般的には避難や立入禁止などの措置がとられる値である 12)。



(2) 崩壞予測結果

図-12 に 5 月 26 日 11 時までの計測値を用いて,近接予測法・移動速度逆数法によって崩 壊時刻を予測した結果を示す。いずれの予測手法も計算間隔は 1 時間とした。また,近接予 測法の計算基準時刻(*t*₁)は,計測開始時刻の 5 月 23 日 20 時とした。図-12 をみると,S-5 を除いたいずれの結果も,崩壊予測時刻は 5 月 27 日~5 月 28 日の間を示した。



図-12 綿田地区における近接予測法・移動速度逆数法による崩壊予測 (5/26 11:00 時点)

2.2.3 ひずみとひずみ速度の算出と崩壊の切迫性評価

(1) ひずみとひずみ速度の算出

前述したように、崩壊の切迫性評価に用いるひずみは、斜面長に対する頭部変位量の比で 表される。綿田地すべりは、現地で観察された変状の範囲や、地盤伸縮計の S-1 と S-3 の変 位量が特に大きいことから、図-10 に示す範囲が A-A'断面もしくは B-B'断面に沿った方向 に滑動していると推定された。そのため、図-13 に示す、A-A'断面及び B-B'断面における地 すべりブロックの斜距離を斜面長とした。



図-13 綿田地区断面図

頭部の変位量として,滑落崖に設置された地盤伸縮計の値を用いた。A-A'断面および B-B'断面に対応する計測点として,それぞれ S-1 と S-3 を選定した。地盤伸縮計を設置した時 点で,すでに大きな変位が発生している場合には,その変位量を地盤伸縮計の計測値に加算 してひずみを算出する必要がある。綿田地すべりでは,地盤伸縮計が設置された 5 月 23 日 時点で数 cm オーダーの亀裂が発生していたものの,設定した斜面長に対して小さく,ひず みの評価には影響が少ないと考え加算は行わなかった。ひずみ速度は 1 時間当たりのひず みの増加量とした。

国土地理院基礎地図情報数値標高モデル5mメッシュを基に作成

(2) 崩壊の切迫性評価

計測開始から5月26日11時までの計測値を用いて、ひずみとひずみ速度を算出し、図-9にプロットした結果を図-14に示す。図-14をみると、いずれの計測点でも、ひずみとひずみ速度は増加傾向にあるものの、切迫性の評価区分は領域Cである。そのため、この時点では、地すべりのクリープ段階は近接予測法や移動速度逆算法により算出された崩壊予測時刻の信頼性は低いと考えられた。実際に、5月28日を過ぎても地すべりが崩壊に至ることはなく、変位速度は次第に小さくなっていった。

このように、図-9 に計測値から算出したひずみとひずみ速度をプロットし、その経時変 化を確認していくことによって、従来の崩壊予測手法による予測時刻の信頼性を評価する ことが可能と考えられる。ただし、この手法は、ひずみを算出する際に、斜面長を計測した 地すべりブロックにのみ適用される。そのため、対象としたブロック以外の範囲が崩壊する 可能性に留意する必要がある。また、内在する小ブロックが局所的に崩壊する可能性も考え られる。そのため、監視を行っている中で、地すべりの滑動方向が異なる可能性が疑われる 場合や、複数のブロックの存在が疑われる場合などは、適宜、斜面長の設定を変更するなど の対処を行うことも必要となる。



(5月26日11:00時点)

3. 警戒避難における崩壊の切迫性評価の留意点

3.1 総合的な崩壊の切迫性評価の必要性

地すべりの滑動が顕著となった場合,警戒避難を適切に実施できる体制の構築が重要と なる。これまで,実務における避難や通行規制の対応は,主に,長年の使用実績がある変位 速度に基づく基準値を目安に行われてきた。一方,崩壊予測手法(概略法,近接予測法,精 密予測法,移動速度逆数法)に基づく崩壊予測時刻は,計算条件により崩壊予測時刻が大き く変動し,その信頼性が不明であるため,避難等の対応をとる際には参考値として扱われる 場合が多かった。しかし,ひずみとひずみ速度を用いた切迫性評価手法の検討過程において, 既往崩壊予測時刻は加速点以降で実際の崩壊時刻に近い時刻を示すことが示された⁴。ま た,3.2 で紹介する事例のように,単に崩壊予測の結果だけを見るのではなく,予測値の経 時変化や変位加速度の変化にも注視して監視をしていくことで,崩壊の切迫性を把握でき る可能性が考えられた。

以上のことを考慮すると,現時点においては,本資料で提案するひずみとひずみ速度を用 いた切迫性評価手法に加えて,既往の手法を組み合わせて崩壊の切迫性を総合的に評価し, 警戒避難の対応に活かしていくことが有効と考えられる。

3.2 既往崩壊事例における既往評価手法の適用性

ここでは、2つの崩壊事例から、既往の評価手法を適用した時の特徴を見ていく。崩壊事例として、2013年に静岡県浜松市で発生した門島地区と、2004年に奈良県大塔村で発生した宇井地区をとりあげる。

(1)2013年門島地区の事例

門島地区では、2013年4月23日4時20分に崩壊が発生した。最大幅80m,高さ90mの崩壊が、写真-4左側に示す黄色破線の範囲で発生した。3月21日に亀裂の発生が確認され、4月8日から地盤伸縮計により地盤変位のモニタリングが実施されていた¹³⁾。



写真-4 門島地区, 黄色破線の範囲で崩壊が発生(静岡県撮影)

図-15 に、門島地区の概略法による崩壊予測時刻,次いで、近接予測法による結果,速度 の逆数,速度,加速度を示す。概略法及び近接予測法による計算には,冠頭部に設置された 地盤伸縮計により得られた1時間単位のデータを用いた。計算は1時間ステップで行い, 概略法及び近接予測法から計算された崩壊予測時刻と実際の崩壊時刻(4月23日4時と設 定)との差を調べた。概略法によりひずみ速度を求める際に必要となる基準長は、杉井ほか 4)や森脇¹²⁾などの述べる方法とは異なり,斉藤³⁾を参考に10 mと設定した。また,2次ク リープの開始時刻は,計測開始時において既に2次クリープの開始時刻以降にあると判断 されたため,設置数時間後の4月8日19時とした。図-15(d)(e)に示した変位速度,変位加 速度は,値の小さな範囲の変動が読み取れることから、縦軸に対数をとって表示した。変 位加速度は,負値を示す時刻もあったが,図-15(e)では負値は表示していない。

近接予測法の計算結果は、4月18日以降,実際の崩壊時刻との差が極端に減少する傾向 を示した(①)。その後,変位速度の逆数も、バラツキを持ちながら、幾分減少傾向を示し 始めた。

4月18日以降の結果を、図-16に示す。4月21日2時以降,速度の逆数が直線的に減 少する傾向が認められた(②)。また、速度は、概ね1mm/h以上の値を示すようになり、 近接予測法による予測値と実際の崩壊時刻の差は、24時間以内の値を示すようになった¹⁴⁾。

4月21日23時30分になって、事前に設定されていた避難基準値4mm/hを超過した。 その後、4月22日18時以降になって、加速度が増加傾向を示し、この時以降、近接予測法 による予測値と実際の崩壊時刻の差が3時間以内の値を示すようになった(③)。

このように,近接予測法,変位速度の逆数,変位加速度の経時変化をみると,大きく3つのターニングポイント(①~③)が認められた。

16



(2) 2004 年宇井地区の事例

宇井地区では、2004年8月10日0時15分に崩壊が発生した。最大幅120m,長さ157mの崩壊が、写真-5に示すように発生した。斜面をとおる国道の路面と擁壁に亀裂の発生が1月に認められ、地盤伸縮計により地盤変位のモニタリングが実施されていた。



写真-5 宇井地区(奈良県撮影)

図-17 に, 宇井地区の概略法による崩壊予測時刻, 次いで, 近接予測法による結果, 速度 の逆数, 速度, 加速度を示す。概略法及び近接予測法による計算には, 門島地区と同様に実施した。

近接予測法の計算結果は、8月4日以降,実際の崩壊時刻との差が極端に減少した(①)。 変位速度の逆数は、7月31日~8月4日に小さい値を示すようになり、8月4日以降減少 傾向を示すようになった。

8月4日以降の結果を、図-18に示す。8月7日14時以降,速度の逆数が0~4h/mmのレンジで表示した場合に、次第に直線的に減少するようになった(②)。また、近接予測法による予測値と実際の崩壊時刻の差が20時間以内の値を示すようになり、変位速度は1.5 mm/h以上の値を示すようになった。

8月8日7時になって、宇井地区で設定されていた通行規制の基準値2 mm/h を超過した。その後8月9日19時以降になって、近接予測法による予測値と実際の崩壊時刻の差が12時間以内の値を示すようになった。これ以降、加速度も増加傾向を示した(③)。

このように,門島地区と同様に大きく①~③の3つのターニングポイントが認められた。



(3) 2 地区の共通点

2013年門島地区と2004年宇井地区の事後解析事例から,共通して認められた特徴として,次のことが挙げられる。まず,近接予測法の予測値が収束し、実際の崩壊時刻に近い値を示すようになる(①)。次に,変位速度の逆数が直線的な減少傾向を示す(②)。その後,最終的に変位加速度が増加傾向を示し(③),崩壊に至る。従来の警戒避難の基準値2~4 mm/hを超過するのは②~③の間であった。

2つの崩壊事例を見ると、単に崩壊予測の結果だけを見るのではなく、当初は近接予測法 の予測値の経時変化、変位速度の逆数の変化を注視し、その後は、変位速度の基準値、変位 加速度の変化にも注視して監視をしていくことで、崩壊の切迫性を把握できる可能性が考 えられる。

3.3 崩壊の切迫性評価の留意点

前節で述べた 2 事例での既往評価手法の適用性の検討結果をふまえると,崩壊の切迫性 は,表-1 に挙げた項目について経時的な変化を確認しながら総合的に評価していくことが 実務における留意点として挙げられる。

評価項目		評価の視点		
(1) 変位速度		基準値超過		
(2) 変位加速周	度	増加		
(3)崩壊	1) 概略法, 近接予測法,	予測時刻の変化が極端に小さくなる		
予測時刻	精密法			
	2) 変位速度の逆数	顕著に直線的な減少傾向を示す		
(4) ひずみとひずみ速度		ひずみとひずみ速度の基準値超過		
(5) 現地状況		顕著な地表変状等の増加		

表-1 崩壊の切迫性の評価項目

以下に、評価項目毎の評価の留意点を述べる。

(1) 変位速度

変位速度が一貫して増加傾向を示すようになると崩壊が切迫しつつある。警戒避難の基準値としては、表-2の値¹²⁾や対象とする地すべり近傍での実績値が用いられる。

表 [−] 2		
体制	移動量の基準値	
注意	1 mm/日 オーダー	
警戒	10 mm/日 オーダー	
避難,立ち入り禁止	数 mm/時間 オーダー	

表−2 地盤伸縮計を用いた警戒避難基準値の例 ^{12) を基に作成}

地盤伸縮計による計測値の評価にあたっては,次の視点に立ち考察を行った上で,変位速 度が一貫して基準値を上回るようになったのかを評価することも重要である。

・変位量の累積性

- ・複数の計測機器による計測値との整合性
- ・現地での亀裂の発達状況と計測結果の整合性
- ・降雨・地下水位等との相関性
- ・想定される地すべりのメカニズムと計測結果の整合性

変位速度が一貫して基準値を上回るようになったのかを判断する上では,基準値を2時 間連続して超過した場合を避難の基準とする事例もある。

(2) 変位加速度

変位加速度については、現場で用いられてきた基準値はこれまでにない。既往の2事例 では、変位速度が顕著に大きくなった後に変位加速度の顕著な増加が認められた。変位加速 度は正値のみならず負値も示しながら値が次第に大きくなるが、その後一貫して正値を示 し増加が著しくなる。このような傾向が認められた場合には、崩壊が相当切迫している。

(3)崩壊予測時刻

1)概略法,近接予測法,精密法

予測時刻は、時事刻々と変化するが、2章で述べた加速点以降、崩壊予測時刻の誤差が 小さくなることに留意して、崩壊の切迫性を評価する。崩壊予測時刻の評価においては、 計算条件の影響も加味して評価を行う。予測時刻は計測間隔、基準長、計算間隔、t1、t2、 t3の設定によって異なる時刻を示す。しかしながら、(2)で述べたように、実際の崩壊時刻 に近づくと、これらによらず実際の崩壊時刻に近い時刻を示すようになる事例がある。計 算条件を変化させた感度分析結果は、崩壊の切迫性を評価する上で有効である可能性があ る。また、精密予測法において回帰計算を行う場合には、使用するデータの範囲を十分に 吟味することが重要となる。

2)変位速度の逆数

変位速度の逆数は、崩壊が切迫してくると、特に加速点以降で顕著に直線的な減少傾向 を示すようになる。変位速度を確認していることと同義ではあるが、逆数を用いると、グ ラフ上での視認が容易という利点がある。崩壊2事例での検討の結果、回帰直線を求める 計測値の範囲の設定が、予測時刻に大きな影響を及ぼした¹⁵⁾。回帰計算を行って予測値を 求める場合、計算に用いるデータの範囲を良く吟味することが重要となる。したがって、 逐次、変位速度の逆数の直線的な減少傾向を確認しながら、崩壊の切迫性を評価する必要 がある。

(4)ひずみとひずみ速度

崩壊に至る事例では、加速点のひずみとひずみ速度が一定の範囲の値を示す傾向が認め られる。また、崩壊直前のひずみとひずみ速度についても一定の範囲の値を示す傾向が認め られた。したがって、変位速度を地すべりの規模を用いて正規化し、ひずみとひずみ速度の 経時変化をグラフ上で確認しながら、崩壊の切迫性を評価する。

(5)現地状況

崩壊が切迫してくると、亀裂の連続性は顕著になり、末端部の崩壊など、地すべりの滑動 に伴う地表の変状等も顕著になる。現地で認められた変状の様子も整理しながら、崩壊の切 迫性を評価する。

(6)その他,注意すべき事項

以下の点にも注意して、警戒避難等の対応にあたる必要がある。

- ・降雨によって変位速度が大きくなると、予測結果より早い時刻に崩壊に至る可能性が ある。
- ・末端部の崩壊が、地すべりの崩壊を早める可能性がある。
- ・亀裂発生範囲の一部が局所的に崩壊する可能性にも注意する。
- ・亀裂発生範囲の上方に地すべりが拡大する可能性にも注意する。

参考資料

ひずみとひずみ速度を用いた切迫性評価手法の検討に用いた 34 事例 4の概要および観測 値を参考資料として添付する。これらの資料は,既往文献に記載された図のほか,各都道府 県より収集したものである。

参考資料での用語の定義

- 観 測 期 間:変位量を観測した期間
- 観 測 間 隔:変位量を観測した間隔
- 場 所:観測当時の地名
- 伸縮計番号:解析に使用した伸縮計の番号
- 斜 面 長:崩壊前の地すべり頭部と末端部を結んだ線の長さ(図-19)
- 勾 配:崩壊前の地すべり頭部と末端部を結んだ線の勾配(図-19)



図-19 斜面長・勾配の計測位置

- 観 測 記 録:変位量・変位速度・変位加速度と日付・時刻との関係図(降水量の得られた地 区については降水量の観測値も示した)
 - 注1) 地すべりブロックが複数ある場合,最も変位量が大きいブロックを解析対象とす ることを基本とした。
 - 注2) 斜面長・勾配は既往文献の断面図・文中から読み取った値を示す。
 - 注3) 平面図には,解析に使用した伸縮計の位置を示した。「推定」の記載があるものは, 既往文献の文中の内容から伸縮計の位置を推定した。

1.土讃線

観測期間	$: 1962/2/13 \sim 1962/2/20$		
観測間隔	:1時間	地質	:黒色片岩
伸縮計番号	: No.3	斜面長	:101m
場所	: 高知県大豊町	勾配	:48度



図-20 平面図^{16)に加筆}



図-21 断面図¹⁶⁾



2.浅虫

観測期間	:	$1966/7/4 \sim 1966/7/28$	地	質	:	流紋岩質凝灰岩
観測間隔	:	24 時間	斜面	長	:	85m
伸縮計番号	:	No.1	勾	配	:	35度
場所	:	青森県青森市浅虫				

ŭ





図-24 断面図¹⁶⁾



3.高場山

- 観測期間 : 1970/1/1~1970/1/22
- 観測間隔 : 2~24 時間
- 伸縮計番号:S27
- 場所 :新潟県小千谷市川井
- 地質 : 粘土質頁岩・砂岩互層 斜面長 : 151m 勾配 : 35度



0=92° ×= 120 m 160 <u>91^K875^M</u> 150 S = 1/400 140 130 170 110 推定すべり面 100 凰 ł۲ 高品 90 ~ 廧 - 页岩 10-3 80 パイプひずみ使料計のデーター 70 +1<u>8 an</u> | - H- Li 20 図-27 断面図¹⁶⁾



4.柳谷

観測期間	: 1979/6/28~1979/7/20			
観測間隔	:1~24 時間	地質	:砂岩、	粘板岩
伸縮計番号	: S-3	斜面長	:46m	
場所	: 愛媛県柳谷村落出地先	勾配	:47度	
場所	: 愛媛県柳谷村落出地先	勾配	:47度	



図-29 平面図 17) に加筆





5.和田

観測期間	: 1982/8/3~1982/8/4		
観測間隔	:1時間	地質	: 粘板岩
伸縮計番号	: S-3	斜面長	: 182m
場所	: 奈良県西吉野村和田	勾配	:27 度






図-34 観測記録(伸縮計 S-3・降水量)

6.地附山

観測期間	: $1985/7/12 \sim 1985/7/26$		
観測間隔	: 24 時間	地質	: 裾花凝灰岩
伸縮計番号	: C	斜面長	: 287m
場所	:長野県長野市上松	勾配	:28 度







図-36 断面図¹⁹⁾



7.打田

観測期間	: 1999/7/20~1999/10/1		
観測間隔	:1時間	地質	: 黒色片岩
伸縮計番号	: S-1	斜面長	: 122m
場所	:和歌山県那賀郡打田町高野	勾配	:16度



図-38 平面図



図-39 断面図



8.中山 (A-1 ブロック)

観測期間	: 2001/7/24~2001/11/10		
観測間隔	: 24 時間	地質	:泥質片岩
伸縮計番号	: S-2	斜面長	: 98m
場所	:大分県北海部郡佐賀関町	勾配	:16度



図-41 平面図







9.下崎



図-44 平面図





図-46 観測記録(伸縮計 S-1・降水量)

10.豊盛

観測期間	: 2002/7/11~2003/3/31		
観測間隔	:24 時間	地質	:砂質泥岩、砂岩
伸縮計番号	: S-1	斜面長	: 200m
場所	:長野県池田町豊盛	勾配	:22 度



図-47 平面図



11.一之貝

観測期間	$: 2002/11/2 \sim 2003/1/6$		
観測間隔	:2時間	地質	:砂岩・泥岩互層、凝灰岩
伸縮計番号	: S-1	斜面長	: 142m
場所	: 新潟県栃尾市大字一之貝	勾配	:18度



図-49 平面図



図-50 断面図



12.錦ヶ浦

観測期間	: 2004/1/20~2004/10/4		
観測間隔	: 3~24 時間	地質	: 凝灰岩
伸縮計番号	: S-11	斜面長	: 100m
場所	:静岡県熱海市錦ヶ浦	勾配	:37度



図-52 平面図





13.平

観測期間	: 2004/4/28~2004/12/21		
観測間隔	: 24 時間	地質	:石英安山岩、軽石凝灰岩
伸縮計番号	: S-1	斜面長	: 104m
場所	: 宮城県柴田郡村田町大字菅生	勾配	: 31 度



図-55 平面図



図-56 断面図



14.上手山(C ブロック)

観測期間	: 2004/5/1~2004/11/30		
観測間隔	: 24 時間	地質	: 泥岩、砂岩
伸縮計番号	: S-3	斜面長	: 104m
場所	:長野県東筑摩郡筑北村西条	勾配	:20度



図-58 平面図



図-59 断面図



15.宇井

観測期間	$: 2004/7/12 \sim 2004/8/10$		
観測間隔	:1時間	地質	:砂岩泥岩互層
伸縮計番号	: S-6	斜面長	: 157m
場所	: 奈良県五條市大塔町宇井	勾配	:45度







16.越道

観測期間	: 2004/10/11~2005/4/21		
観測間隔	:1時間	地質	: 泥岩
伸縮計番号	: No.1	斜面長	: 27m
場所	:長野県長野市信州新町越道	勾配	:30度



図-64 平面図



54



17.味藤

観測期間	$: 2004/10/25 \sim 2005/4/28$		
観測間隔	:1~24 時間	地質	:砂岩
伸縮計番号	: No.1	斜面長	: 183m
場所 :長	野県長野市信州新町山穂刈味藤	勾配	:20度



図-67 平面図



図-68 断面図





18.庄部

観測期間	: 2004/10/28~2006/3/14		
観測間隔	: 24 時間	地質	:泥岩
伸縮計番号	: S-1	斜面長	: 121m
場所	:長野県東筑摩郡明科町庄部	勾配	:31度







19.吹

観測期間	: 2004/12/16~2007/12/31		
観測間隔	:1時間	地質	:泥質片岩
伸縮計番号	: No.2	斜面長	: 94m
場所	: 徳島県三好郡井川町吹	勾配	:40度



60



20.葛城

観測期間	$: 2004/12/29 \sim 2005/9/30$		
観測間隔	:1~24 時間	地質	:泥質片岩
伸縮計番号	寻:S-1	斜面長	: 100m
場所	: 徳島県美馬郡つるぎ町半田葛城	勾配	:29度



図-76 平面図



62



21.天ケ瀬

観測期間	: 2004/10/7~2005/9/30		
観測間隔	: 12 時間	地質	:緑色片岩
伸縮計番号	: S-1	斜面長	: 175m
場所	: 三重県多気郡宮川村天ケ瀬	勾配	:30度



図-79 平面図





観測期間	:	2004/9/1~2005/4/18					
観測間隔	:	24 時間	地質	:	砂岩、	泥岩、	礫岩
伸縮計番号	:	S-1	斜面長	:	72m		
場所	:	福島県喜多方市山都町蓬莱	勾配	:	20 度		



図-82 平面図



図-83 断面図





23.滝沢




24.東横山

観測期間	:	$2005/5/7 \sim 2006/5/14$		
観測間隔	:	1時間	地質	:砂岩粘板岩互層
伸縮計番号	:	S-1	斜面長	: 199m
場所	:	岐阜県揖斐郡揖斐川町東横山	勾配	:43度



図-88 平面図

地質断面図(下流標準断面)





25.高間草

観測期間 : 2006/7/22~	-2007/1/26					
観測間隔 : 12 時間		地質	:砂岩、	泥岩、	礫岩	
伸縮計番号:S-1		斜面長	:74m			
場所 :茨城県常陸	大宮市諸沢	勾配	:28度			
				PL R1-00004EXE R1-00004EXE	(例) (市主 35年 (第二 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	
	図-91	平面図			81-4 81-100-100	
	¥−92 #	新面図				
	図-92 勝	所面図				



26.地附山2

観測期間	: 2006/7/25~2007/3/10		
観測間隔	: 24 時間	地質	: 泥岩
伸縮計番号	: S-1	斜面長	: 85m
場所	:長野県長野市上松地附山	勾配	:17度





27.中三栖

観測期間	$: 2007/7/13 \sim 2007/7/20$		
観測間隔	:1時間	地質	:泥岩、砂岩
伸縮計番号	: S-1	斜面長	: 438m
場所	: 和歌山県田辺市中三栖	勾配	$: 16^{\circ}$







図-98 断面図



28.土肥

- 観測期間 : 2007/7/25~2007/8/10
- 観測間隔 :1時間
- 伸縮計番号:KS-1・KS-2
- 場所 :静岡県伊豆市土肥
- 地質 :安山岩質溶岩、火山灰
- 斜面長 : 180m
- 勾配 : 19 度 <u>
 土肥側の路面の変状</u>





29.東祖谷

観測期間	: 2007/8/1~2007/8/7		
観測間隔	:1時間	地質	:泥質片岩
伸縮計番号	: S-2	斜面長	: 10m
場所	: 徳島県三好市東祖谷下瀬	勾配	:60度





30.惣津

観測期間	: 2009/7/1~2009/8/31		
観測間隔	:1時間	地質	: 頁岩
伸縮計番号	: S-1	斜面長	: 55m
場所	:島根県松江市三保関町七類	勾配	:18度





図-107 断面図



31.相道寺(主すべり)

観測期間	: 2010/4/28~2010/6/10		
観測間隔	:1時間	地質	:砂岩,礫岩
伸縮計番号	: S-1	斜面長	: 60m
場所	:長野県北安曇郡池田町相道寺	勾配	:22 度







図-111 観測記録(伸縮計 S-1・降水量)

観測期間	: 2012/4/13~2012/5/13		
観測間隔	: 12 時間	地質	: 凝灰岩、泥岩
伸縮計番号	: S-2	斜面長	: 110m
場所 :山	形県最上郡大蔵村大字南山肘折	勾配	:22 度



図-112 平面図





33.門島

観測期間	: 2013/4/8~2013/4/24		
観測間隔	:1時間	地質	: 頁岩
伸縮計番号	: S-2	斜面長	: 118m
場所	:静岡県浜松市天竜区春野町杉	勾配	:48度





88



34.坪内

観測期間	$: 2015/7/25 \sim 2015/10/31$		
観測間隔	:1時間	地質	: 頁岩, 緑色岩
伸縮計番号	: S-1	斜面長	: 400m
場所	: 奈良県天川村坪内	勾配	:29度



図-118 平面図 20)



図-119 断面図²⁰⁾



謝辞

本調査を進めるに当たり,各都道府県より地すべり災害資料を提供頂きました。ここに記して感謝いたします。

引用文献

- (一社)全国治水砂防協会(2015):砂防便覧(平成 26 年版),(一社)全国治水砂防協会, p.452.
- 2) (一財) 砂防・地すべり技術センター (2017): 平成 28 年土砂災害の実態. (一財) 砂 防・地すべり技術センター, p.22.
- 3) 斉藤迪孝・上沢弘(1966): 斜面崩壊時期の予知, 地すべり, Vol.2, No.2, pp.7-12.
- 4) 杉井良平・西井稜子・石井靖雄(2017):地すべりのひずみ及びひずみ速度の経時変化に よる崩壊の切迫性評価,日本地すべり学会誌, Vol.54, No.6, pp.11-20.
- 5) 斉藤迪孝(1992): 実証土質工学, 技報堂出版, pp.144-182.
- 6) 斎藤迪孝(1968):第3次クリープによる斜面崩壊時期の予知,地すべり, Vol.4, No. 3, pp.1-8.
- 7) 斉藤迪孝(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, pp.30-38.
- 8) 福囿輝旗(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, pp.8-13.
- 9) 石澤友浩・酒井直樹・福囿輝旗(2013): 模型実験による斜面変位速度の経時変化と崩壊 予測手法に関する検討,日本地すべり学会誌, Vol.50, No.6, pp.16-26.
- 10) 石井靖雄・綱木亮介・淺野広樹・杉本宏之(2001): 現地載荷による地すべりの移動特 性に関する考察, 土木技術資料, Vol.43, No.11, pp.32-37.
- 藤平大・竹下航・高木将行(2017):大分県豊後大野市で発生した地すべり災害,土木 技術資料, Vol.59, No.8, pp.6-7.
- 12)綱木亮介・白石一夫・小嶋伸一(1993):地すべり管理基準値の実態調査報告書,土木 研究所資料, No.3184, pp.15-20.
- 13) 石井靖雄(2016):地すべり災害現場の最前線一緊急対応の実際と課題一,砂防および 地すべり防止講義集(第56回),一般社団法人全国治水砂防協会, pp.13-21.
- 14) Yasuo Ishii, Satoshi Tsuchiya, Masamichi Yagi, Ryoko Nishii (2016) : Failure time prediction using the Saito method and evacuation notices in the Kadoshima landslide, Japan, Interprevent 2016-Extended Abstracts, pp348-349.
- 15) 石井靖雄, 杉井良平, 土屋智(2016): 福囿の方法と斉藤・近接予測法による崩壊予測 時刻の経時変化-2013 年門島地区の事例一, 第 55 回日本地すべり学会研究発表会講 演集, pp.17.
- 16) 山田剛二・渡正亮・小橋澄治(1971):地すべり・斜面崩壊の実態と対策,山海堂, pp.236-243, pp.310-325.
- 17) 関信雄・堀伸三郎・成田賢(1980): 柳谷地区岩盤斜面の崩壊予測, 応用地質調査事務 所年報, No.2, pp.13-29.

- 18) 米谷恒春・森脇寛・清水文健(1983): 1982 年台風第 10 号と直後の低気圧による三重 県一志郡の土石流災害および奈良県西吉野村和田地すべり災害調査報告,国立防災科 学技術センター,主要災害調査第 22 号, pp.28-49.
- 19) 川上浩・阿部廣史(1985):長野市地附山で地すべり発生,土と基礎, Vol.33, No.9, pp.19-20.
- 20) 石井靖雄・西井稜子・杉井良平・武田大典・城ケ崎正人・奥田慎吾・松田憲明・倉光泰 樹・後藤寛和・平山拓哉(2016):奈良県天川村坪内地区における地盤の破砕度評価と 斜面変動発生メカニズムの推定,平成28年度砂防学会研究発表会概要集 B, pp.126-127.

土木研究所資料 TECHNICAL NOTE of PWRI No.4378 September 2018

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