

地すべりに伴う崩壊の切迫性評価

藤平 大・竹下 航・小田川隼祐・後根裕樹

1. はじめに

一般に地すべりは、比較的緩やかな斜面が、年間数ミリから数センチメートルといった緩慢な動きを示す土砂移動現象である。しかし、大雨などによる急激な地下水位の上昇にともない移動速度が増し、崩壊に至る場合がある。地すべり災害は、緩やかな動きの際にも社会インフラに大きな被害をもたらすが、崩壊に至る場合には社会インフラのみならず人的な被害を伴うことも多く、極めて警戒を要する現象である。



写真-1 地すべりに伴う崩壊例（日田市小野地区）

地すべりに伴う崩壊から人的被害を防止するためには、崩壊の切迫性を評価することにより、切迫時に避難を促すことが重要である。崩壊の切迫性を評価する方法として、地すべり移動体と不動体の境界の開口亀裂などに設置した地盤伸縮計の時間当たりの移動量（以下「時間移動量」という。）を目安とする方法や、崩壊予測式による崩壊予測時刻を参考とする方法などがあるが、適用範囲が明瞭でないなどの理由により、必ずしも崩壊の切迫性を適切に評価できない場合がある。

本報では、まず、既往の崩壊予測手法と実務上の課題について述べる。その後、地すべりチーム

が提案する、ひずみとひずみ速度を用いた地すべりに伴う崩壊の切迫性評価手法^{1),2)}を解説し、近年の現地災害に適用した事例を紹介する。

2. 崩壊切迫性評価

2.1 既往の崩壊予測手法と実務上の課題

最も簡便で普及している方法として、時間移動量を管理基準値に設定し、崩壊の切迫性を評価する指標として利用する場合は挙げられる。過去に地すべりに伴う崩壊が発生した13事例をもとに毎時変化する時間移動量と観測した時点から実際に崩壊に至るまでの時間（猶予時間）の関係を図-1に示す。時間移動量が増加し、崩壊が迫っているために住民や工事関係者に対して避難の呼びかけを行う際には、4mm/hあるいは10mm/hなどの基準が用いられることが多い。一方、これらの時間移動量を観測してから実際の崩壊が発生するまでの時間は、数百時間から一時間程度までと、かい離幅が非常に大きい。また、時間移動量が基準値を超えたにもかかわらず崩壊に至らない例も多い。このような手法では崩壊までにどの程度の猶予時間があるかを正確に把握することは困難である。

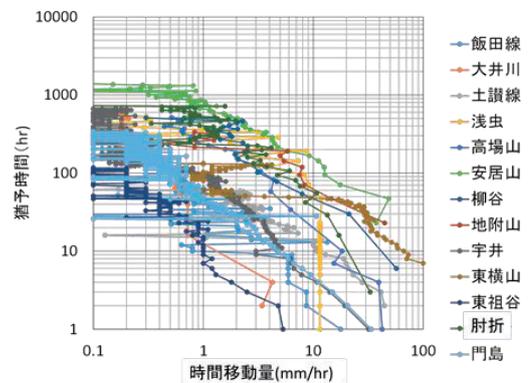


図-1 時間移動量と猶予時間の関係図

また、崩壊予測式を用いた予測時間を推定する方法が複数の研究者により提案されている。これは、土のクリープ破壊実験時に見られる時間とひずみの関係について、類似の機構が崩壊において

も見られると仮定して崩壊時間を予測する手法である。広く知られているように、この機構について、土のクリープ破壊実験に基づいて模式的に示すと図-2になる。左から順に1次クリープから2次クリープ、加速点を超えてから3次クリープの領域を経て破壊に至る。このように、地すべりに伴う崩壊においても類似の領域を経ると想定した崩壊予測式のうち、とりわけ3次クリープに着目した既往崩壊予測手法として、福園の移動速度逆数法³⁾、斎藤の近接予測法⁴⁾などが広く知られている。しかし、実際の地すべりは、加減速を繰り返したのちに崩壊する場合や、そのまま活動が停止する場合もある。このため、地すべりの活動が進行する過程で、現在の地すべりのクリープ段階、特に3次クリープ段階であるか否かを把握することは困難を伴うことが多い。

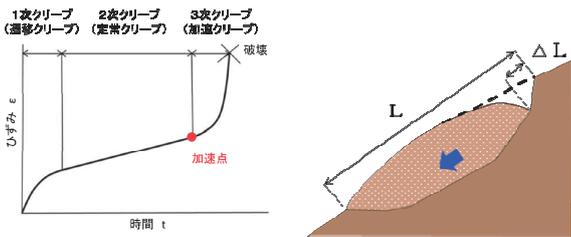


図-2 クリープ曲線模式図⁴⁾ 図-3 ひずみの算出方法

2.2 ひずみとひずみ速度による崩壊切迫性評価

前節の課題を踏まえて、崩壊予測手法を運用しようとする、加減速を生じるような不規則な条件下で式を適用する場合、条件によって予測値のばらつきが生じるため、ばらつきが比較的少なく、崩壊予測式が適用可能な時期をあらかじめ把握できることが望ましい。そこで、地すべり移動体の斜面長に対するひずみ及びひずみ速度がそれぞれの程度まで大きな値を示した時に、空振りが少なく実用的な崩壊の予測が可能となるか(=切迫性)を評価した。ここで示すひずみ及びひずみ速度とは、図-3に示すように地すべり斜面長Lと頭部での変位量 ΔL の比($\Delta L/L$)を「ひずみ ϵ 」とし、1時間当たりのひずみの増加量を「ひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ 」としている。結果を図-4に示す。

崩壊事例では、加速点のひずみ ϵ が 2.1×10^{-3} 以上、ひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ が $0.3 \times 10^{-4}/h$ 以上の領域に分布し、この範囲で予測手法の信頼性が高まる(図中青色範囲 以下「領域B」という)。また、崩壊

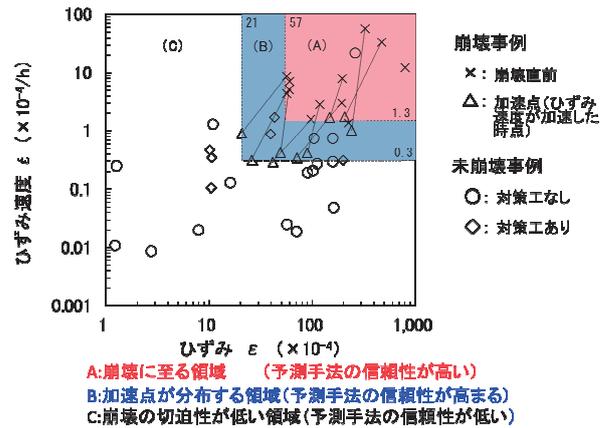


図-4 ひずみとひずみ速度の関係¹⁾に加筆修正

直前のひずみ ϵ が 5.7×10^{-3} 以上、ひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ が $1.3 \times 10^{-4}/h$ 以上の領域に分布し、この領域で予測手法の信頼性が高まる(図中赤色範囲 以下「領域A」という)。なお、これら以外の領域は、崩壊の切迫性が低い領域(以下「領域C」という)とした。

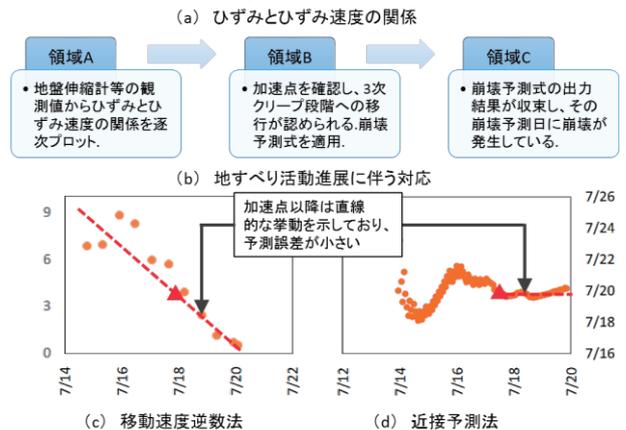
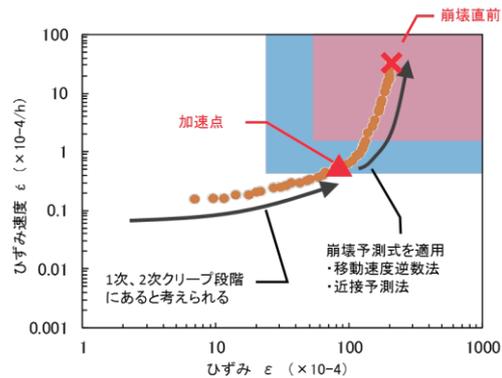


図-5 崩壊切迫性評価手法

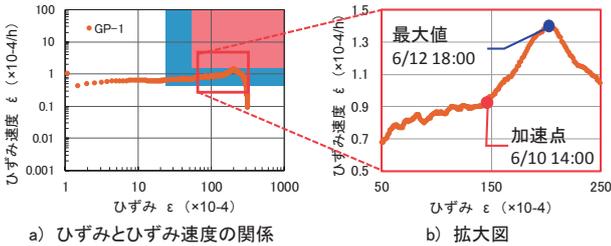
昭和54年に愛媛県上浮穴郡柳谷村で発生した柳谷地すべりに本手法を適用し、崩壊切迫性を評価した一例を図-5に示す。ひずみとひずみ速度の関係が図-5(a)である。地すべり活動の進展に伴う対応を図-5(b)に示す。この事例では、領域Bで加速点が観測され、これ以降は移動速度逆数法、



写真-2 揚津地区の地すべり

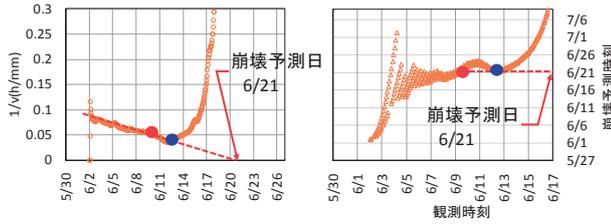


写真-3 綿田地区の地すべり



a) ひずみとひずみ速度の関係

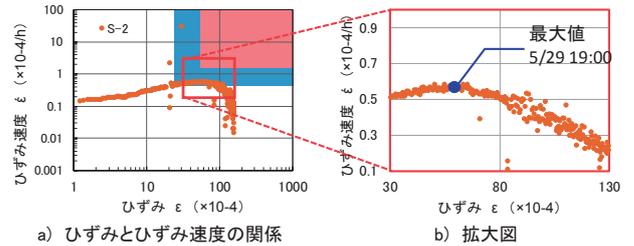
b) 拡大図



c) 福園の手法(移動速度逆数法)

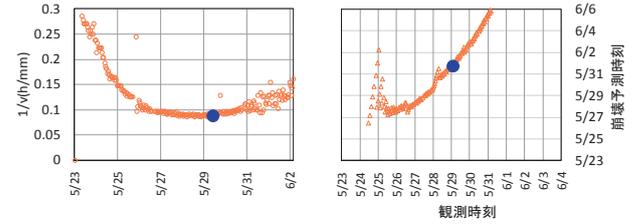
d) 斉藤の手法(近接予測法)

図-6 揚津地区の観測値を用いたひずみとひずみ速度の関係及び各崩壊予測手法の算出結果



a) ひずみとひずみ速度の関係

b) 拡大図



c) 福園の手法(移動速度逆数法)

d) 斉藤の手法(近接予測法)

図-7 綿田地区の観測値を用いたひずみとひずみ速度の関係及び各崩壊予測手法の算出結果

近接予測法が示す崩壊予測日は収束し、概ね同一の崩壊予測日(7月20日)を示しており(図-5(c)、(d))、各崩壊予測の信頼性が向上していることを確認できる。

3.適用事例

3.1 揚津地区の地すべり

上述した崩壊切迫性評価手法を福島県喜多方市高郷町揚津地区(写真-2)の地すべりに適用した。この地すべりは、平成30年4月に発生し、長さ約200m、幅約100mにおよぶ。末端部は阿賀川に面していることから、崩壊による河道閉塞が懸念された。

図-6に揚津地区の継続的に観測した地すべりの時間移動量から算出されるひずみ ϵ とひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ をプロットした結果、また、移動速度逆数法、近接予測法の適用結果を示す。

図-6(a)、(b)に示すように、この事例では6月10日14時に領域Bで加速点が観測された。この時点で崩壊予測を行った結果を図-6(c)、(d)の凡例

に示す。加速点以降、最大ひずみ速度を観測するまでの間、移動速度逆数法、近接予測法共に崩壊が予測される日として6月21日前後という結果が得られている。しかし、その後領域Aに至ったものの、ひずみ速度の上昇は6月12日を境に減速に転じ、地すべり活動は沈静化した。この要因としては同日(12日)に応急対策工として施工された強制排水工(ディープウェル工)の運用が開始され、急激に地下水水位が低下したことが考えられる。

3.2 綿田地区の地すべり

次に同手法を適用した事例は、大分県豊後大野市朝地町綿田地区(写真-3)で、平成29年5月に発生した長さ約500m、幅約250m、面積約10haの地すべりで、家屋や市道、水田など、広範囲に被害をもたらした。

この地すべりに同手法を適用した結果及び各崩壊予測手法の適用結果を図-7に示す。図-7(a)、(b)より、ひずみ速度は緩やかな上昇を続け、崩壊予測の精度が高まる領域Bで加速点を示さなかった。5月29日にひずみ速度は最大値を観測し、

その後減少に転じ、再び崩壊の切迫性が低い領域Cに戻り沈静化した。ひずみ速度が5月29日以降減少した要因としては、5月28日より応急対策工事として地下水排除工（横ボーリング工）が施工されたことから、1日程度の時間遅れを伴い活動が沈静化したものと考えられる。

4. まとめ

本報では地すべりチームが提案する、ひずみとひずみ速度を用いた地すべりに伴う崩壊の切迫性評価手法を用いて、福島県喜多方市高郷町揚津地区地すべり、大分県豊後大野市朝地町綿田地区地すべりに適用した。その結果、次のことが明らかとなった。

- 1) 地すべりの移動量を観測・蓄積し、ひずみ ϵ とひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ の関係を確認することにより、崩壊予測手法の信頼性を、逐次評価することが可能になった。
- 2) 揚津地区において、予測手法の信頼性が高まる領域Bで加速点が観測されて以降、本報で適用した各崩壊予測手法は共におおよそ一定の予測値を出力するという結果が得られた。
- 3) 綿田地区では、領域Bで加速点が観測されなかったが、領域Cに転じるなどの挙動を随時確認した。このことは現在どの領域に属しているかを逐次確認することで、警戒避難基準の目安として利用できる可能性を示している。

5. 今後の課題

これまでに収集したデータの中には、明瞭な加速点を持たない地すべりであっても崩壊が発生するという事例が確認されているため、ひずみ速度が沈静化しない限りは逐次観測を継続するなど注意が必要である。また、この手法による評価は、

地すべり規模（斜面長）が支配的であるので、末端が不明瞭な地すべりなど斜面長が明確でないものに関しては注意が必要である。

綿田地区では、加速点を示さずに地すべり活動が沈静化し、揚津地区では加速点観測後、応急対策工による効果で沈静化するという違いが見られた。既往の研究でも様々な変位パターンが確認されている⁵⁾ので、継続的に事例を収集し閾値の修正を行い、手法の信頼性を高めていく必要がある。また、斜面勾配等の要因が結果に影響している可能性が考えられるので、他の要因も考慮した検討が必要である。

謝 辞

本報を執筆するにあたり観測データのご提供など、国土交通省北陸地方整備局、国土交通省九州地方整備局、福島県、大分県には多大なるご協力を賜りました。深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 杉井良平、西井稜子、石井靖雄：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、2018
- 2) 藤平大、竹下航、石井靖雄、西井稜子、杉井良平、森永高行：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、土木研究所資料第4378号、2018
- 3) 福園輝旗：表面移動速度の逆数を用いた降雨による斜面崩壊時刻の予測法、地すべり、Vol.22、No.2、pp.8～13、1985
- 4) 斉藤迪孝：第3次クリーブによる斜面崩壊時期の予知、地すべり、Vol.4、No.3、pp.1～8、1968
- 5) 中村浩之：技術者の疑問に答える地すべり・崩壊、総合土木研究所、p.170、2011
- 6) 藤平大：平成30年度土木研究所講演会講演集、土木研究所資料第4383号、pp.37～40、2018

藤平 大



土木研究所土砂管理研究グループ地すべりチーム
 上席研究員
 Masaru TOHEI

竹下 航



土木研究所土砂管理研究グループ地すべりチーム
 主任研究員
 Wataru TAKESHITA

小田川隼祐



土木研究所土砂管理研究グループ地すべりチーム
 交流研究員
 Shunsuke ODAGAWA

後根裕樹



土木研究所土砂管理研究グループ地すべりチーム
 交流研究員
 Yuki USHIRONE