

地すべり発生時の現象の進展に対応した道路管理技術の開発

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 19～平 21

担当チーム：地すべりチーム

研究担当者：藤澤 和範、小原 嬢子

【要旨】

近年、豪雨や地震等による災害が多発し、災害発生時の道路管理の重要性が高まっている。地すべりにおいても、路面やトンネル等の構造物が被災する危険性を有しており、地すべり発生時には通行規制等の危機管理が重要である。しかしながら、地すべりの場合は徐々に現象が進展し、しかも現象の進展の速さも個々の地すべりで様々であるという特殊性を有しているため、現象の進展を的確に把握し、それに応じた的確な危機管理対応が必要となる。

本研究では災害事例をもとに、地すべり災害発見の状況分析やすべり発生時の現象の進展状況、通常時の道路管理手法や災害時の危機管理対応の実態分析を行い、地すべり災害に対する危機管理対応の課題と適切な手法について検討した。またレーザープロファイラデータを用いた地すべりの活性度を解析することにより、地すべりの活性度分布に応じた道路管理対応手法を提案した。

キーワード：地すべり、道路管理、維持管理、航空レーザー測量データ、活性度

1. はじめに

地すべりにより道路施設が被災する事例は数多く発生している。道路斜面に地すべりが発生した場合には、路面やトンネル等の構造物が被災する危険性を有しており、通行規制等の危機管理が重要となる。しかし、個々の地すべりの現象の進展の速さは様々であることから、現象の進展を的確に把握し、それに応じた的確な危機管理対応が必要となる。

そこで本研究では、災害事例をもとに、地すべり災害発見時の状況分析や地すべり発生時の現象の進展状況、通常時の道路管理手法や災害時の危機管理手法の実態を調査し、地すべり発生時の危険性がある道路における通常時、災害発生時の道路管理手法を検討した。また、広域におよぶ道路管理区間の中で、地すべり危険斜面を適切に認識し、監視・管理を行うための地すべり認定手法と活性度の評価手法の検討を行った。

2. 地すべり被害と道路管理の実態

2. 1 調査方法

近年発生した、地すべり災害により道路が被災した 45 事例について、既存文献資料をもとに被災状況や災害対応等を整理するとともに、道路管理者にアンケート調査を行った。また、国 2 事務所、地方自治体 2 事務所の計 4 事務所を対象に①監視対象地区の抽出方法、②点検調査の頻度および着目点、③管理や監視に使用する資料、④地すべり観測機器の設

置状況、⑤異常発見時の対処方法などの項目についてアンケート調査とヒアリング調査を行った。

2. 2 調査結果

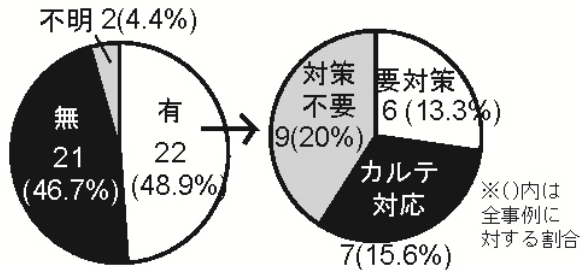
アンケートに回答頂いた管理者と事例件数は、国が 11 件、都道府県が 26 件、市町村が 7 件、NEXCO が 1 件である。災害事例は、東北から九州の各地にわたる。

これらの調査結果から、地すべりにより道路等が被災する事例の実態、および通常の道路管理から地すべり災害後の応急対応に至るまでの各段階における管理方法の実態を整理し、管理における課題を以下に整理する。

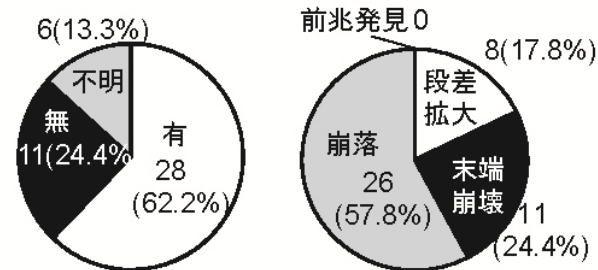
(1) 地すべりの抽出・認識

地すべり災害の発生場については、道路防災点検の対象外であった地区が約 50% であり、災害想定箇所として認識されていなかったことが分かる（図-1,a）。平成 18 年度版の防災点検要領において、点検対象外から発生した災害を調査した結果、被災箇所が道路用地外であった、災害の発生が想定されなかった、崩壊の形態や規模が想定外であったことなどが挙げられており、平成 8 年防災点検の時点では災害想定箇所を精度良く抽出することが困難であったと考えられる。また、図-1,a で防災点検を実施した 22 事例のうち 13 事例は要対策やカルテ対応となっているが、被災事例全体の約 29% にとどまっている（図-1,b）。なお、地すべり災害事例の多くは図-1,a

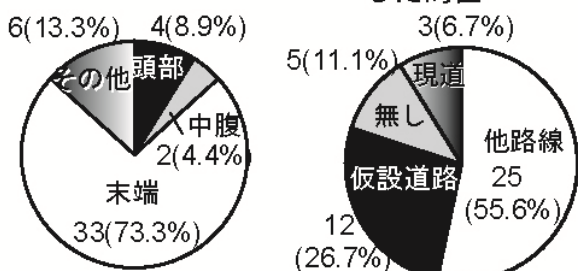
で約47%をしめる点検箇所以外（想定外）から発生していることがわかる。なお、被災箇所のうち約62%は周辺に地すべり地形が分布していた（図-1,c）が、道路防災点検の対象に含まれていない、管理地外であるなどの理由により、地すべり対策工等の具体的な対応が講じられなかったことが考えられる。



a) 防災点検実施状況 b) 防災点検結果



c) 地すべり地形の有無 d) 地すべりを認識した局面



e) 道路と地すべりの位置関係 f) 迂回路の状況

図-1 アンケート結果

地すべりの進展状況のどの局面で地すべりを認識したかについては、段差拡大が約18%、末端崩壊や崩落が合計で約82%であり、落石や構造物の変状などの前兆が見られる段階で地すべりを認識されることは少ない（図-1,d）。これらの現象が道路用地外で発生するものも多いため、前兆現象など災害の初期段階で地すべりを認識することが難しいという側面がある一方、地すべりに対する認識不足により前兆現象を地すべりに結びつけることが難しいといった事も考えられる（図-2）。また、道路用地外に地すべり地形や防止区域がある場合でも、それらの情報が共有されず、有効に活用されていない状況である。

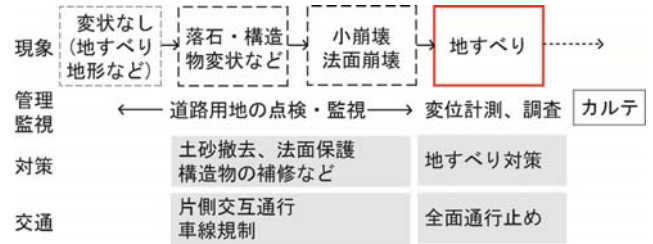


図-2 地すべりの認識に至るイメージ

(2) 道路パトロール・点検

国では、通常の道路パトロールを毎日実施しており、地方自治体では週もしくは月に2回程度実施されており、通常時は職員や維持業者が行い、防災点検や異常時点検は専門業者により行われている（図-3）。管理路線の重要度や地域によって通常時の点検頻度は異なるが、定期的な点検が行われており、図-4に一例を示すように、法面や斜面に対する点検のポイントを整理したマニュアル²⁾や点検要領が整備されている事務所が多い。しかし、車上巡回では主に路線上の落下物や付帯施設の状況などの点検が主であり、点検時の着目点も多数あるため、斜面を意識した点検はあまり行われていないと考える。路線上の落石や道路構造物のキレツなど、日常パトロールだけでは地すべり現象に結びつけることが難しい点もあるため、豪雨や地震等の異常時点検や防災点検により、定期的に法面の上方や背後斜面の状況を踏査にて確認する必要がある。

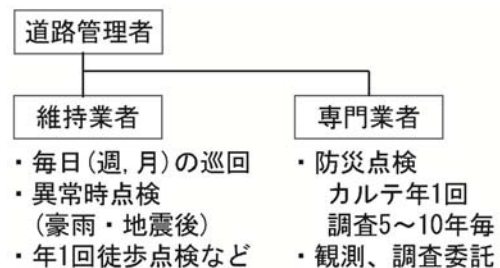


図-3 点検調査の頻度

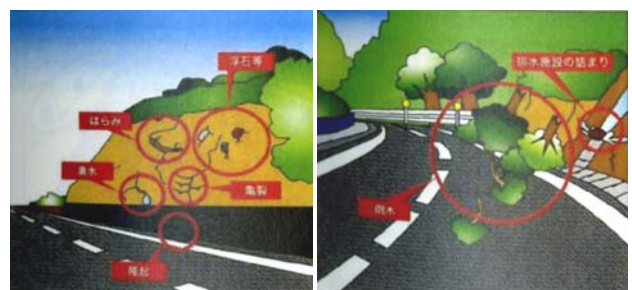


図-4 法面点検マニュアルの例²⁾

(3) 管理や監視に使用する資料

交通量、管理延長、気象などの地域特性による資料水準の違いもあるが、国と地方自治体では日常管

理に用いられる資料は異なる。国では定期的に更新される防災カルテが主に用いられており、道路用地外を含めた高精度な地形図(レーザープロファイラ)を用いる場合も見られた。一方、地方自治体では、防災カルテを用いた定期的な点検の頻度は低く、災害時のための連絡体制表などの資料が充実している。

(4) 地すべり発生時の応急対応状況

地すべりブロックと道路の位置関係を見ると、道路が地すべりの末端に位置する事例ほとんどで約73%、頭部が約9%であった(図-1,e)。山岳地の道路では施工時に斜面を切土することが多く、切土工により地すべりブロック末端部を不安定化させる要因になっていることが考えられる。また、前述の図-1,dのように、地すべりを認識する時点が末端崩壊や崩落する局面が多い原因としては、特に道路用地外の地すべりの影響を受ける場合、地すべり末端に道路が位置するため、地すべり変位が進行した状態にならないと変状の確認が困難であるためと考える。地域住民や道路利用者、維持業者、管理者が路面や周辺斜面の異常を認識する場合、部分的な異常を地すべりと認識するまでに至らない可能性も考えられるため、地すべり現象の理解と地すべりの危険性がある地域であることの認識を持つことが重要である。

地すべりを認識した際は、観測機器に基準値を設け、基準を上回る場合には電話通信に接続しメール一斉同報を行うことが多い。また、地すべり災害の影響が広域に及ぶ場合や応急対応のための資機材が複数必要な場合などに近隣の事務所の支援や、対策のために専門業者や施工業者による調査・設計等がなされる。異常発見時の体制の概要を図-5に示した。

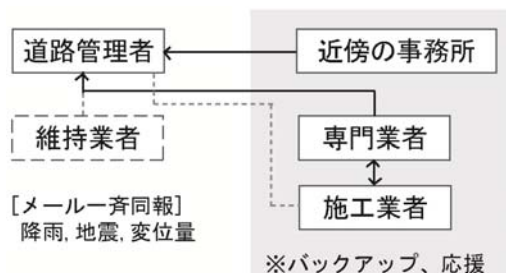


図-5 異常発見時の体制

また、異常発見時の対処法としてすぐにできることは、通行止めなどの規制である。地すべりブロック頭部や中腹部に道路が位置する場合、全事例(6件)で全面通行止めとなり、末端部に位置する場合も約85%と高い割合になっている。全事例のうち約13%と事例数は少ないが、地すべり頭部・中腹に道路が

位置する場合は全面通行止めになる確率がかなり高いため、道路と地すべりの位置関係も応急対応・対策の方針を決定するうえで重要となる。

通行規制を行った期間については、全面通行止めで半年未満が約49%、半年以上が約30%で、長期間に及ぶ通行止めがなされている(図-5)。1週間以内に規制解除をした事例の75%は国が管理する国道であり、影響が広域に及ぶため早期の交通解放がなされている。また、通行規制時の迂回路の状況としては、全面通行止めにより他路線を迂回路とする場合が大半で、次に仮設道路を建設するケースが多くみられた(図-1,f)。これは、山間部で厳しい地形条件の場合は谷側への仮設道路建設が多大な費用と時間がかかるため、他路線を迂回路とすることが多いためと考える。

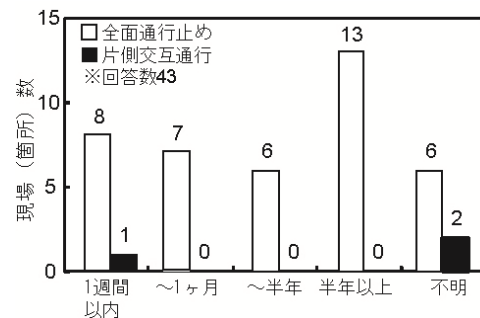


図-5 通行規制期間の内訳

(5) 地すべり観測機器の設置状況

地盤伸縮計や孔内傾斜計などの観測機器は、地すべり災害直後の安全管理や対策工の設計を目的に設置される。そのため対策後の地すべりの動きを観測することはほとんど無く、費用面も関係して長期の監視を継続することは難しい。また、地すべり観測を行っていても、変位が微小である場合や一度変位が発生した後に変位が収束する場合など、費用面の制約により対策もできず、観測の継続も困難な状況が見られた。特に地方自治体が管理する山岳部の道路では、集落が点在し、災害時には迂回路となる道路が近傍にないことがある。このような場合、災害発生の前兆となる変位を観測や点検により早期に捉え、応急対策を行うことが重要であるが、広域に及ぶ管理路線を同じような精度で管理することは困難な現状にあることから、地すべり地の管理を効率的に行う方法を提案する必要がある。

3. 道路管理手法の提案

実態調査で把握した課題を踏まえ改善の提案を示す。

(1) 監視対象地区の抽出方法

地すべり災害以前に地すべり危険斜面と認識している事例は少ないため、管理区域の災害履歴や他の管理者が所管する地すべり防止区域等の情報を共有し、地すべりの危険箇所を認識する必要がある。できれば、航空レーザー測量データから作成した詳細地形図を用いて地すべり範囲を抽出することが望ましいが、現状では全ての現場で実施することは難しいため、個々の地すべりの詳細な地形判読や活性度を評価する手法³⁾を用いて、監視対象の優先順位付けに活用することも考えられる。なおこの時、保全対象や防災点検などの点検情報も含めて総合的に判断する必要がある。次章で、航空レーザー測量データを用いた地すべり地形判読図と活性度評価について紹介する。

(2) 点検調査の頻度および着眼点

点検頻度やタイミングについては地域における土砂災害履歴を踏まえ、災害の頻度が高くなる時期の前に点検頻度や精度を高めて行う必要がある。また、通常時の道路パトロールは道路施設の点検が主であるが、巡回者にも道路での地すべり変状の現れ方の教育訓練や防災カルテにおける着目点や災害発生危険度が高い地区等の情報を共有することで、異常発生時に早期に地すべりであることの認識を持ち、通行止めに至る前の段階での応急対応につながるものが有効と考える。

(3) 管理や監視に使用する資料

地すべり危険斜面は広範囲に及ぶ場合があり、道路台帳以外に地すべりブロック全体の状況を把握するための地形図やカルテが必要である。

(4) 地すべり観測機器の設置・観測

地すべり変位量等の観測は、対象となる地すべりの安定性や保全対象の重要度により観測方法や頻度を設定するが、緩慢な挙動が把握される地すべり地における監視や対策方法、判断の指標を検討し、中・長期的な地すべり管理方針を設定する必要がある。

(5) 地すべり発生時の応急対応

異常の発生が地すべりに起因する場合、地すべりと早期に認識することが被害の軽減につながるため、現象の判断や対応方法に悩む場合は、専門家の助言を受けて対策方針を速やかに決定する必要がある。

また、道路における地すべり災害では、通行止めが長期間に及ぶ場合があることから、地域のみならず道路利用が想定される広範囲の地域に対し、適切な情報提供を行うことが重要である。特に、観光地

では地すべり災害に伴い風評被害が発生する事例⁶⁾も見られるため、通行止めにより地域経済への影響が懸念される場合は、わかりやすい迂回路の情報や通行規制解除などの情報を広く周知する必要がある。

通行止めにより集落が孤立する場合もあるため、定期的に住民が必要とする情報（被害状況、災害の影響とその期間、復旧の目途など）を発信し、不要な精神的不安の軽減を図る。また、山岳部の高齢化が進む地域では特に、医療や生活のための交通手段を確保することが住民の負担軽減に重要と考える。

4. 地すべり認定・評価手法の提案

災害発生前に地すべり地とその規模や範囲を的確に認識するために、近年、河川や砂防の分野で取得が進む航空レーザー測量データを活用することが考えられる。地すべりの詳細な地形判読のための視覚化手法、および地すべりの活性度を推定する手法について、以下に示す。

4.1 航空レーザー測量データの視覚化

取得したデータは地形判読などに活用されるため、陰影図や斜面勾配図など様々な手法で可視化がされているが、地すべり地形を認識する際に最も重要な微地形（段差、亀裂、凹地など）がはっきりと表わされている必要がある。陰影図は一般的によく用いられるが、仮想光源を設定して陰影をつけることから、光源の方向が微地形の見え方に影響を与えることがある。そこで、仮想光源を必要としない開度図と、微地形を強調するウェーブレット解析図を合成した「開度-ウェーブレット解析図」を地すべり判読に用いることを提案する（図-6）。なお、ウェーブレット解析には、メキシカンハット関数を用いている。

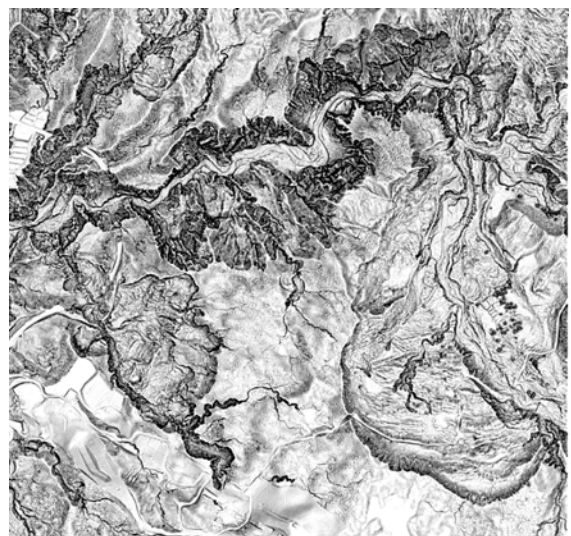


図-6 開度-ウェーブレット解析図の例

この図は、地すべり判読に関して以下の利点がある。

- ①急傾斜の斜面でも微地形が明確に表わされる。
- ②沢と尾根の色が異なって表わされ、地形判読がしやすい。
- ③視覚化に光源を必要としないため、斜面方位の影響が地すべり判読に表れない。

4. 2 地すべりの活性度推定手法

滑動している地すべりでは、段差や亀裂、小丘などの微地形が形成され、地表面が粗くなると考えられる。また、微地形分布の特徴は、地すべりの各発達段階で異なり、その発達段階は斜面勾配と関係があると考えられる。そこで、地表面の粗さを示す指標として「固有値比」⁴⁾と斜面勾配を用いた、地すべりの活性度推定手法を提案する。

固有値比は、地表面の単位斜面における法線ベクトルのばらつきの大さの指標である。これまで、実際の地すべり地において航空レーザー測量データをもとに地すべり地内の微地形に見られる活性度と固有値比の分布傾向、斜面勾配の関係を調査した結果⁵⁾、図-7に示すような関係が見られた。勾配が急な斜面では、固有値比の密度分布に二つの山になるが、緩い斜面では一つの山となる。またそれぞれの斜面勾配において、固有値比が小さい値の密度が高い地すべりほど活性度が高いことがわかった。今後、地質や地形的特徴が異なる地域において本手法を適用することで、地域特性に応じた活性度の判断の指標となる値を整理する必要があるが、地すべり地の活性度を数値で表現することが可能になる

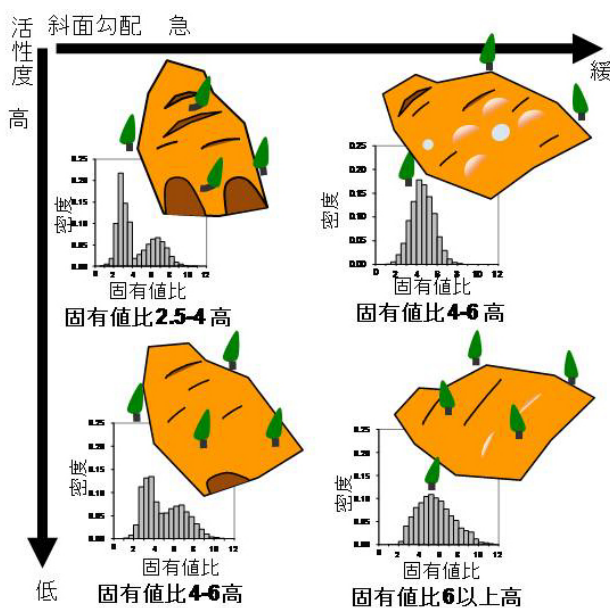


図-7 地すべりの活性度評価イメージ

め、定量的な評価につながるものとする。

山岳地の道路においては、道路沿いに多数の地すべり地形や地すべりの危険性がある斜面が存在することから、抽出された個々の地すべり危険斜面を活性度を用いて評価し、管理・監視の優先順位を付けた道路管理を行うことが地すべり災害による被害の防止・軽減につながると考える。

5. まとめ

道路管理者も含め巡回者が地すべりを意識できていないために、地すべり災害に適切に対処出来ず対応が後手になる場合がある。地すべり災害による被害を軽減し、住民や管理者自身の負担を軽減するうえで、地すべり発生初期段階における早期認識と対応が何よりも肝心である。そのような適切な対応を行うためには、道路周辺の精度の良い地形図の整備による地すべり地の認識や災害の情報共有を図る必要がある。

参考文献

- 1) 小原嬢子、奥田慎吾、藤澤和範、上野雄一、国領信男、笠原亮一(2009)：地すべり災害による交通途絶に伴う間接被害の算定事例(2009)、第48回日本地すべり学会研究発表会講演集, pp.215-216.
- 2) 道路巡回のポイント(案)編集委員会(2002)：道路巡回のポイント(案)、pp.18-19.
- 3) 藤澤和範、笠井美青(2009)：地すべり地における航空レーザー測量データ解析マニュアル(案)、土木研究所資料第4150号、pp.16-30.
- 4) McKean, J., Roering, J.(2004): Objective landslide detection and surface morphology mapping using high-resolution airborne laser altimetry, *Geomorphology*, Vol. 57, pp331-351.
- 5) 笠井美青、池田学、藤澤和範、松田昌之、鈴木雄介(2008)：航空レーザー測量データから作成されたDEMの解析に基づく地すべり地形発達プロセスの推定、*地すべり学会誌* 45, pp26-32.
- 6) 野村康裕、藤澤和範(2006)：地すべりの運動特性を考慮したリスクマネジメントに関する一考察～奈良県大塔村で発生した地すべり道路災害を例として～、*日本地すべり学会誌*, Vol.42, No.6, pp.467-474.