

地すべりによるトンネルの被災を回避する手法

藤澤和範* 奥田慎吾** 九田敬行***

1. はじめに

トンネルを計画する段階で地すべりの存在を認識できず、施工中あるいは施工後に地すべりによって被災する場合がある。トンネルのような重要構造物が地すべりによって被災した場合、対策に多大な時間と費用が必要になるだけでなく、被災状況によっては施工済み区間を放棄せざるを得ない場合もある。地すべりによるトンネルの被災を防止するためには、計画の段階で地すべりを把握し回避することが望ましい。

本稿では、トンネル事業に関する基準書から各事業段階で得られる調査精度と過去の被災事例における問題点を整理し、地すべりによるトンネルの被災を回避するための手法について検討するものである。

2. トンネル事業の流れ

トンネル計画時の地形地質調査の流れと各調査段階における調査項目を示す(図-1)。調査は、路線選定のための概査と設計・施工計画のための精査に大きく分類される。地すべりに関係する調査項目として、概査の段階では断層などの特殊地山・特殊条件の有無、精査の段階では特殊地山(条件)に対する追加調査・坑口付近の地すべり等が挙げられている。一旦路線が決定すると、詳細な調査・設計の実施と並行して、行政的な手続きや関係機関との協議を進めていくことになる。そのため、精査の段階に入ると路線の大幅な変更は困難な場合が多い。したがって、概査の段階で地すべりの抽出に必要な調査を行い、地すべりを認識することが重要になる。

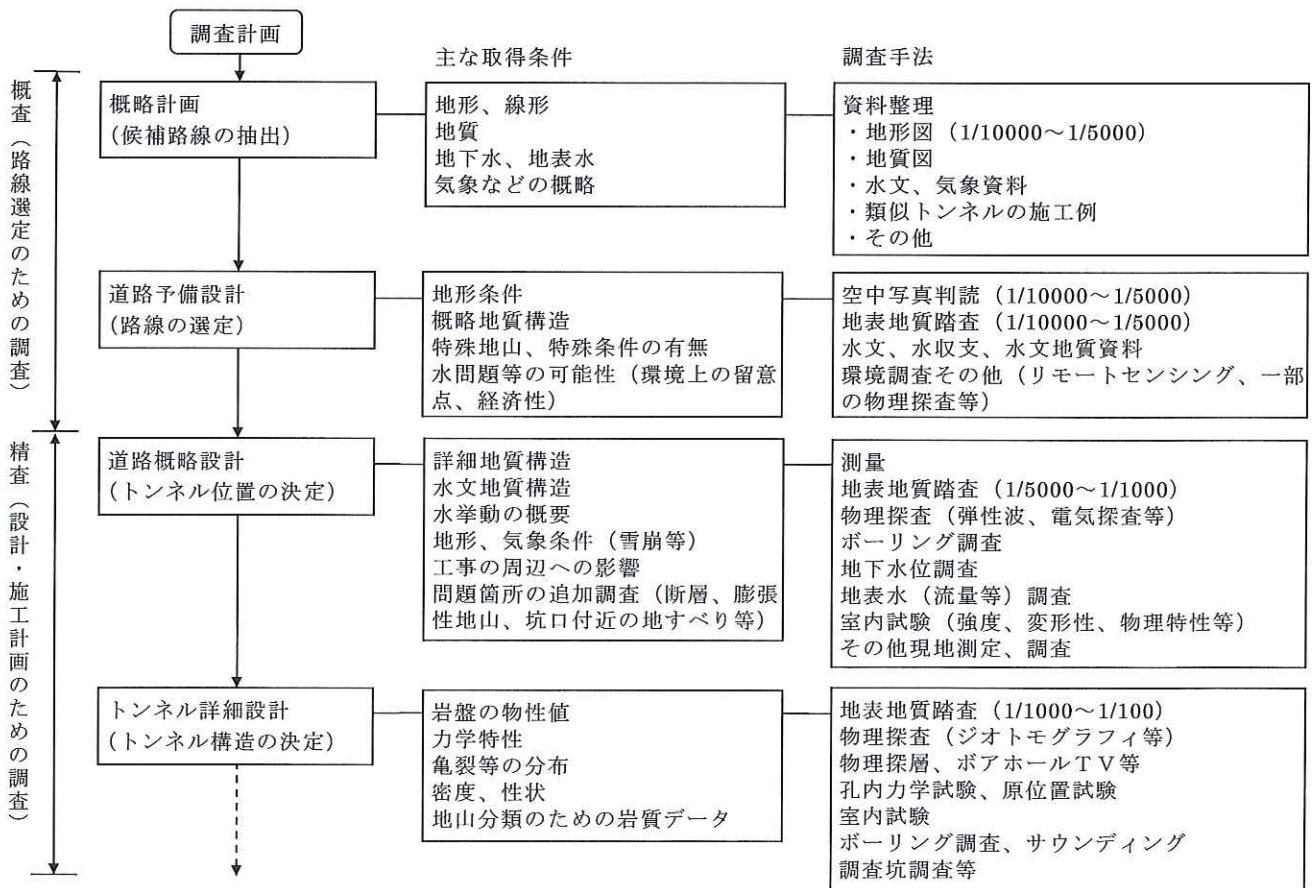


図-1 トンネル計画時の地形地質調査の流れ¹⁾

3. トンネルの被災事例と問題点の抽出

トンネルが地すべりによって被災した6つの事例について、被災に至るまでの状況とその後の対応を調べた(表-1)。被災後の対応を見ると、3事例ではトンネル自体が廃止となり、2事例では対策工事の実施に加え地すべりの監視体制を必要としている。地すべりによってトンネルが被災した場合、大規模な対策が必要となることがこの結果からも分かる。計画段階における地すべりの認識状況を見ると、概略計画・道路予備設計の段階で地すべりが認識されていた事例はなく、道路概略設計の段階で認識されていた事例が3事例、トンネル詳細設計の段階で認識されていた事例が1事例であった。残りの2事例では、計画段階で地すべりが認識されていなかった。また、地すべりが認識されていた4事例についても、地すべりの規模を誤って想定したことで、結果的には被災に至っている。

以上の調査結果から、トンネルの計画段階に地すべりを認識できなかったこと、あるいは地すべりを認識できたとしてもその規模を誤認してしまったことが、被災原因の一つとして考えられる。

4. 地すべり地形回避手法の検討

4.1 既往資料による地すべりの抽出

前述のとおり、地すべりによるトンネルの被災を防止するためには、計画の概査の段階で地すべりを認識し回避する必要がある。そこで、既往資料の調査で地すべりが認識できる可能性について、

表-1 地すべりによるトンネル被災事例の概要

箇所番号	竣工	被災	地すべりの規模	地すべりの認識状況	対応
①	H5	H8	長さ 400m 幅 270m 厚さ 100m	道路概略設計で認識	廃止 代替トンネル
②	S53	S51	長さ 500m 幅 250m 厚さ 100m	道路概略設計で認識	廃止 代替トンネル
③	H7	H12	長さ 270m 幅 170m 厚さ 50m	道路概略設計で認識	対策工事 監視体制
④	S54	S52	長さ 580m 幅 200m 厚さ 100m	計画段階での認識なし	対策工事 監視体制
⑤	S37	S38	長さ 160m 幅 210m 厚さ 20m	計画段階での認識なし	廃止 代替工法
⑥	S60	H11	長さ 20m 幅 14m 厚さ 3m	トンネル詳細設計で認識	補修工事

地すべり地形分布図(独立行政法人防災科学技術研究所)、土地分類基本調査(国土交通省)、土砂災害危険箇所図(都道府県)の3つの資料を基に調査を行った。これらの資料は、データが一般に公開されていることが多く、比較的容易に取得することができる。インターネット上で公開されているデータの一例を紹介する(図-2,3,4)。

前述の6箇所の被災事例について、トンネルの被災原因となった地すべりに該当するものが、各資料に記載されているかを調べた(表-2)。被災6



図-2 地すべり地形分布図

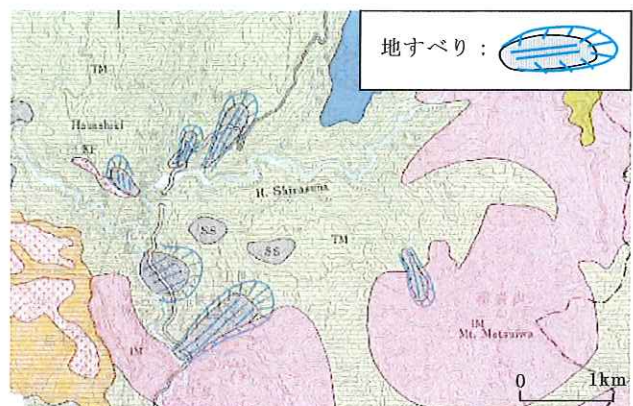


図-3 土地分類基本調査 地形分類図



図-4 土砂災害危険箇所図

表-2 既往資料における地すべりの記載

箇所 番号	地すべり地形 分布図	土地分類 基本調査	土砂災害 危険箇所図
①	○	×	○
②	資料なし	○	×
③	資料なし	○	×
④	○	×	○
⑤	×	×	×
⑥	×	×	×

事例のうち、いずれかの資料で地すべりの記載が確認できたものは4事例であった。記載が確認できなかった2事例でも、周辺が地すべりの密集する地域であったことが確認できた。

こうしたことから、既往資料の確認を行うことは、地すべりを抽出するための有効な手法の一つであると言える。しかし、これらの資料は、1/25000程度の地形図判読、空中写真の実体視、表層地質等から地すべりを抽出しているため、地すべりの詳細な位置や範囲を把握するには問題点が残る。

4.2 航空レーザー測量を活用した地すべりの抽出

地形図による地すべり判読では、地すべり特有の地形要素を地形図から読み取ることで地すべりの抽出を行うので、使用する地形図の精度が上がれば地すべりの地形要素を判読するのが容易になり、地すべりの見落としや規模の誤認も減少するものと思われる。そこで、近年発達が著しい航空レーザー測量で得られるDEM（数値標高モデル：Digital Elevation Model）データを活用した地形図を地形判読に用いて、地すべりの抽出に対する有効性について検討を行った。

調査は被災6事例の中で被災後に航空レーザー測量によりDEMデータを取得した1事例で実施した。現地を調査して確認できた地すべりの地形要素や斜面の変状を、森林基本図、DEMデータから作成した等高線図（LP図）、同じくDEMデータから作成した陰影図の3種類の地形図で判読を行った（図-5,6,7）。各地形要素に対して、「○：容易に判読可能」「△：判読可能」「×：判読不可能」の3段階で評価を行った。そして、各評価に対し「○=1.0」「△=0.5」「×=0.0」として点数化を行い、総合評価とした（表-3）。その結果、森林基本図では「△：判読可能」や「×：判読不可能」であっ



図-5 森林基本図（1/5000）による地形判読

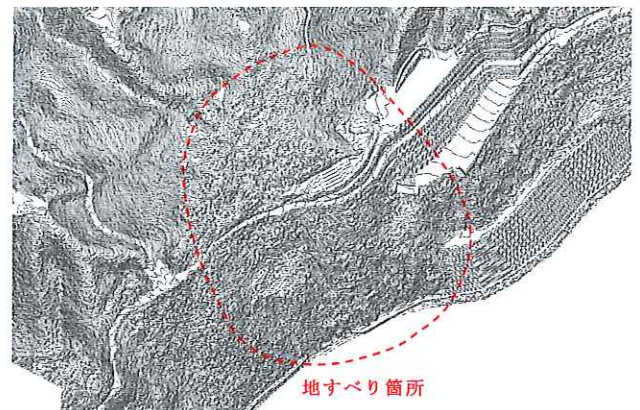


図-6 LP図による地形判読

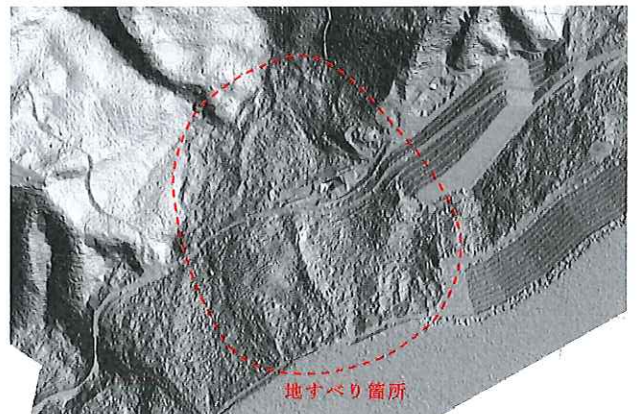


図-7 陰影図による地形判読

表-3 地すべり地形の判読結果

現地で確認できた地すべり地形	森林基本図 (1/5000)	LP図	陰影図
地すべりブロック(全体)	×	△	○
頭部滑落崖	○	○	○
上部緩斜面	△	○	△
地すべり境界部(斜面右側)	×	○	○
地すべり境界部(斜面左側)	×	○	○
地すべりの末端崩壊	×	△	×
構造物の変状(擁壁、舗装等)	×	×	×
総合評価 (○:1.0, △:0.5, ×:0.0)	1.5/7.0	5.0/7.0	4.5/7.0

た4項目の地形要素について、LP図や陰影図では「○：容易に判読可能」であった。総合評価を見ても点数が大幅に向上していることが分かる。特に斜面全体の乱れや地すべり境界部の尾根・沢地形を明瞭に捉えることができるため、地すべりの全体のブロックを把握するのが容易になる。

こうしたことから、航空レーザー測量を活用した地形図を地形判読に用いることは地すべりの抽出に有効であり、またその範囲を把握するのに有効であると言える。

5. 計画段階における地すべり調査の流れ

地すべり地形の見落としや規模の誤認を防ぐためには、トンネル計画時の各調査段階に応じた地すべり調査が必要である。既往資料の調査が中心となる概略計画の段階では、地すべり地形分布図などの既往資料を確認することで地すべりの危険がある箇所を抽出し、路線を選定する道路予備設計の段階では、抽出箇所に対して航空レーザー測量を活用して地すべりの規模をより正確に推定する。こうした調査過程を踏むことで、地すべりによるトンネルの被災は減少するものと考えられる。これまでの検討結果を踏まえ、トンネル事業の計画段階における地すべり調査の流れの参考例を示す(図-8)。

また、トンネル事業の計画段階における地すべり調査の重要性を過去の被災事例等から示していく必要がある。地すべり調査の重要性が認識されることで、調査の流れを示すことが大きな意味を持ち、地すべりによるトンネルの被災を回避・軽減することに繋がる。

6. おわりに

本稿では、地すべりによるトンネルの被災を回

避するための手法について検討を行い、その有効性を確認することができた。また、地すべりとトンネルの安全な離隔距離について現在検討を進めているところである。今後の課題として、精査の段階における詳細な地すべりの調査手法を検討していく必要がある。しかし、地すべりを認識した段階で地すべりを回避してトンネルを計画することが最も望ましいことを重ねて述べておく。

トンネルに限らず地すべりによる道路施設の被災は数多く発生している。道路計画段階の地すべり調査手法を確立することで、道路全般における地すべり被災の回避・軽減に繋げていきたい。

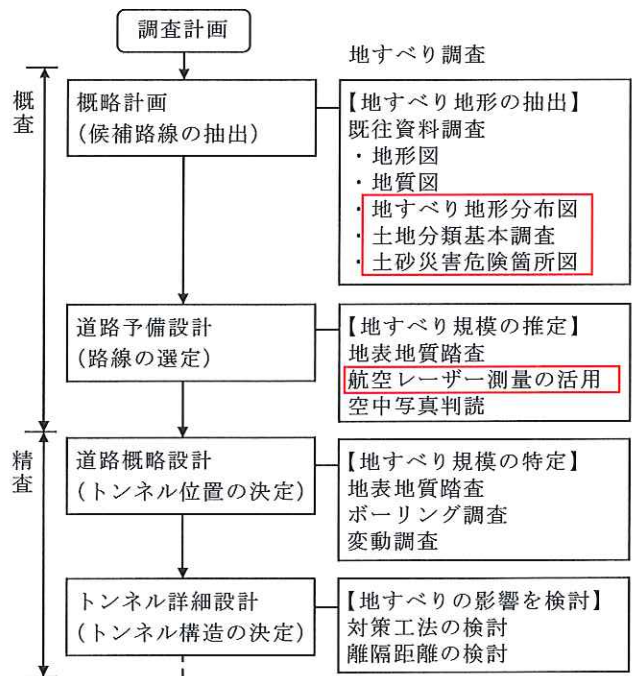


図-8 地すべり調査の流れ

参考文献

- 1) (社)土木学会：道路トンネル技術基準（構造編）・同解説、2003

藤澤和範*



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所土砂管理
研究グループ地すべり
チーム 上席研究員
Kazunori FUJISAWA

奥田慎吾**



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所土砂管理
研究グループ地すべり
チーム 交流研究員
Shingo OKUDA

九田敬行***



ライト工業株式会社(前独
立行政法人土木研究所つ
くば中央研究所土砂管理
研究グループ地すべりチ
ーム 交流研究員)
Takayuki KUDA