

# 地すべりによるトンネル等構造物被災の回避・軽減手法に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 18～平 20

担当チーム：地すべりチーム

研究担当者：藤澤和範、笠井美青

## 【要旨】

トンネル等道路構造物の施工中あるいは施工後に、それらの地すべりによる被災が明らかになると、地すべり対策の為に多大な時間と費用が必要になったり、施工済み区間を放棄せざるを得なくなったりする。そこで本研究ではトンネル事業に関する基準書と過去の被災事例を見直し、道路計画の各事業段階で得られる地すべり調査とその精度、問題点をまず整理した。その結果、地すべり被災回避には、調査段階で的確に地すべりの規模を認識することが重要であり、その為には航空レーザー計測データの活用が有効であることが分かった。また地すべり地にやむを得ずトンネルを建設する場合について、トンネルの地すべりに対する位置や地形や土質条件を考慮した、地すべりのトンネルからの安全な離隔距離が評価出来る数値解析モデルを提案した。

キーワード：トンネル計画、地すべり規模、離隔距離、航空レーザー測量、数値解析モデル

## 1. はじめに

地すべり地内にトンネル・橋梁等の道路構造物が建設されると、施工中あるいは施工後に、それらの構造物の地すべりによる被災が明らかになることがある。その場合には、地すべり対策の為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くなる。地すべり被災を回避・軽減するためには、被災の原因及び、道路計画時における地すべりの認識手法と対応手法を明らかにする必要がある。そこで本研究では、トンネル事業に関する基準書と過去の被災事例を見直すとともに、各事業段階で得られる調査精度と問題点を整理し、対応策を検討する。また地すべり地にトンネルを建設せざるを得ない場合も想定して、トンネルの地すべりからの安全な離隔距離を、数値モデルによる解析を行うことで検討する。

## 2. トンネル事業の流れ

法令、通達および道路基準書等の資料から、一般的な道路事業の流れとその段階毎の調査内容について整理し、現況の制度の課題を調べた。

### 2.1 一般的な道路事業の流れ

トンネル計画時の一般的な道路事業の流れを、各段階での調査及びその項目とともに図 1 に示す。調査は、路線選定のための概査（概略調査、予備調査）と設計・施工計画のための詳細調査に大きく分類される。現在の道路事業では、路線変更により地すべ

り災害を回避するには、概査の段階で地すべりを把握する必要がある。その後は行政的な手続きや法令上、路線の大幅な変更は難しくなることが多い。

### 2.2 基準書・既往資料における調査段階と地すべりに関する調査の記述

表 1 に示す基準書にて、トンネル設計における地すべり調査の記述を調べた。全 9 冊中の 1 冊を除き、概略調査・予備調査の段階で地すべりの位置や規模を把握する為に必要な調査内容（資料調査、空中写真判読、現地踏査、地形地質調査など）は盛り込まれていた。特に「設計要領 第三集 トンネル」では、予備調査での着眼点として、地すべり調査を記載していた。また「道路トンネル技術基準」と「トンネル標準示方書」では、路線が選定された後の道路概略設計段階の調査項目として、坑口付近の地すべりを挙げていた。

### 2.3 地すべり認識に関する道路事業の課題

以上の整理結果をまとめると、地すべり認識に関する道路事業の問題点は、路線変更が事実上困難な段階で地すべりが判明しやすい詳細調査を実際に行っていることであった。

## 3. トンネルの被災事例

### 3.1 道路トンネル建設事例の収集

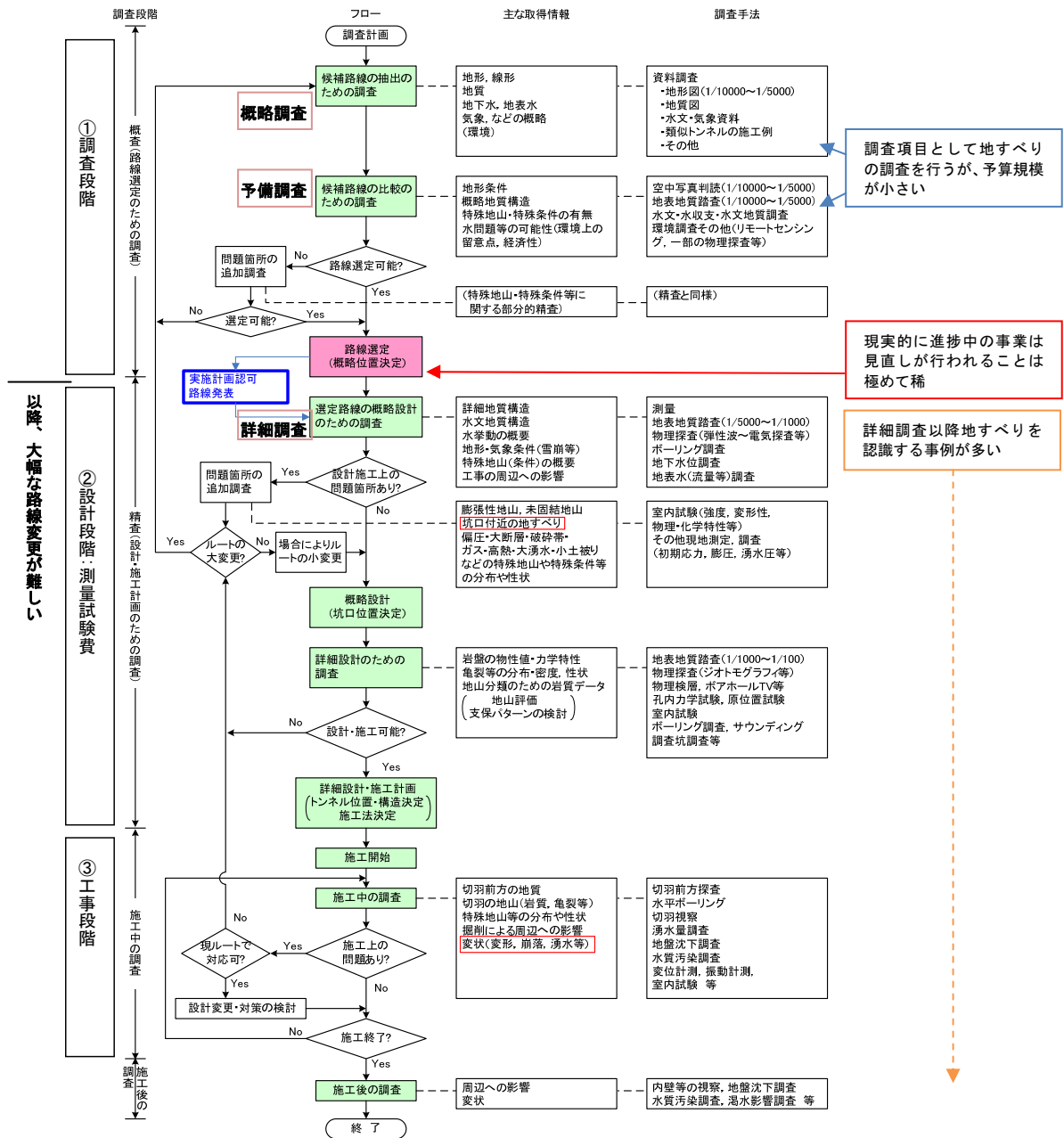


図1 トンネル事業の流れと問題点(「トンネル標準示方書(山岳工法編)・同解説」(2006)<sup>1)</sup>に加筆)

道路トンネルの地すべり被災の原因について明らかにする為に、地すべり地での道路トンネル建設事例を収集した。収集した全43事例のうち、地すべりによって被災した“被災トンネル”は21事例であり、計画段階を通じて地すべりを認識していなかったも

の(9事例)と、地すべりの規模(範囲、すべり面深度)を誤って認識したもの(12事例)があった。一方で、被災しなかった“事前対策トンネル”は22事例であった。そのうち、5事例の詳細は不明である。詳細の分かっている事前対策トンネルの17

事例では、計画段階に地すべり地を的確に抽出し、対策工等を実施することにより被災を回避している。事前対策トンネル事例の内、2事例ではトンネルがすべり面下方を通過している。これらの事例では、事前にすべり面と地すべり土塊の離隔が確認できており、地すべり滑動が活発化する前に事前対策を行っていた。またトンネル現場の地すべりについて、被災トンネルと事前対策トンネル事例を比較したところ、事前対策トンネル現場の多くの地すべりは層厚 20m 未満で奥行き 100m 未満であった。すなわち小さい地すべりでは適切な対策がしやすく、トンネル被災を防ぎやすいことがわかった。

### 3.2 被災トンネルの代表事例

被災トンネルの 6 事例について、地すべりが認識された段階及び、被災後の対応を更に詳しく調べた(表 2)。全事例とも、概査の段階では地すべりの存在が認識されていなかった。そのうち 2 事例(箇所番号 4, 5)では、計画段階を通じて地すべりは認識されなかった。残りの 4 事例については、詳査の段階に入ってから地すべりが認識されたが、その規模は誤って想定された。そのため、路線調整や地すべり対策工等の対応を行ったものの、結局被災にいたることになった。4 事例のうち 1 事例(箇所番号 1)では、空中写真で認識していた地すべりブロックが、地形図を用いた判読で小さい規模のブロックに変更されていた。これは地形図上で、地すべりブロックの認識に必要な地形が十分に表現されていなかったためであった。また他の 1 事例(箇所番号 6)では、規模の大きな地すべりが当初想定されており、実際

に発生した規模の小さな地すべりへの対応がされていなかった為、被災にいたった。

被災後、3 事例ではトンネルが廃止となり、2 事例では対策工事の実施に加えて地すべりの監視体制が必要となった。表 2 中の箇所番号 6 のトンネルのみ、補修工事による対応がとられた。なお地すべりが認識された段階の相違による被災後の対応の違いは見られなかった。

### 3.3 今後のトンネル事業に際しての地すべり対応の課題

以上の事例解析結果から、今後のトンネル事業での地すべり対応の課題は以下のように考えられた。

#### (1) 地すべり地形抽出の早期化

トンネル事業のできる限り早い段階で、既存資料整理・地形判読等により地すべり地形を抽出することが望まれる。

#### (2) 地すべり規模推定の精度向上

地すべり地形を抽出しても、規模やすべり面の深さを見誤ることによって被災した事例が見られた。地すべり抽出には高精度で大縮尺の地形図を用いるなどして、範囲を的確に抽出することが望まれる。また、十分な調査や解析を行うことで、地すべりの範囲やすべり面の深さを適切に推定することが重要であると考えられた。

事前に地すべり規模を的確に把握していたにもかかわらず被災に至ったような事例は無かった。したがって、地すべり規模を正しく評価できれば被災を回避する可能性が高いと考えられる。

表 1 主なトンネル設計の基準書

書名	発行機関	発行年
道路トンネル技術基準(構造編)・同解説	(社)日本道路協会	H15
トンネル標準示方書(山岳工法編)・同解説	土木学会	H18
設計要領 第一集 土工・舗装・排水・造園	日本道路公団	H10
設計要領 第三集 トンネル	日本道路公団	H9
道路土工要領	(社)日本道路協会	H2
道路土工 土質調査指針	(社)日本道路協会	S61
道路土工のり面工・斜面安定工指針	(社)日本道路協会	H11
建設省河川砂防技術基準(案)同解説 設計編[Ⅱ]	(社)日本河川協会編、山海堂	H11
森林土木ハンドブック(第7版)	(材)林業土木コンサルタンツ	H17

表 2 地すべりのトンネル被災事例

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 400 m 幅 270 m 厚さ 100 m	詳査段階で認識	廃止 代替トンネル
2	S53	S51	長さ 500 m 幅 250 m 厚さ 100 m	詳査段階で認識	廃止 代替トンネル
3	H7	H12	長さ 270 m 幅 170 m 厚さ 50 m	詳査段階で認識	対策工事 監視体制
4	S54	S52	長さ 580 m 幅 200 m 厚さ 100 m	計画段階での認識なし	対策工事 監視体制
5	S37	S38	長さ 160 m 幅 210 m 厚さ 20 m	計画段階での認識なし	廃止 代替トンネル
6	S60	H11	長さ 20 m 幅 14 m 厚さ 3 m	詳査段階で認識	補修工事

## 4. 地すべり回避手法の検討

### 4.1 既往資料による地すべりの抽出

以上から、地すべりによるトンネルの被災を防止するためには、概査の段階で地すべりの存在を認識し、その規模を的確に把握することが重要であると分かった。そこで、比較的容易に入手出来る既往資料を用いて、地すべりが認識できる可能性をまず調べた。用いた資料は、地すべり地形分布図（独立行政法人防災科学技術研究所）、土地分類基本調査地形分類図



図2 地すべり地形分布図

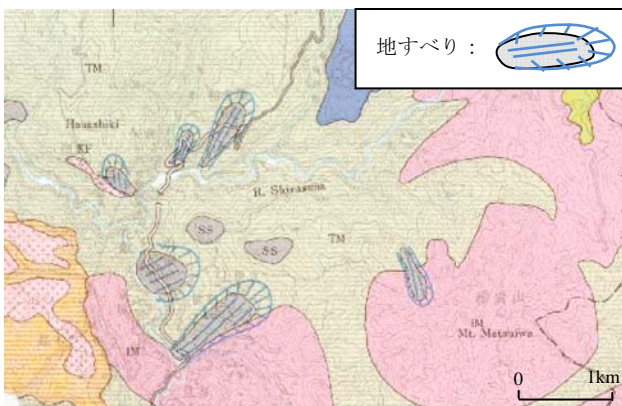


図3 土地分類基本調査地形分類図

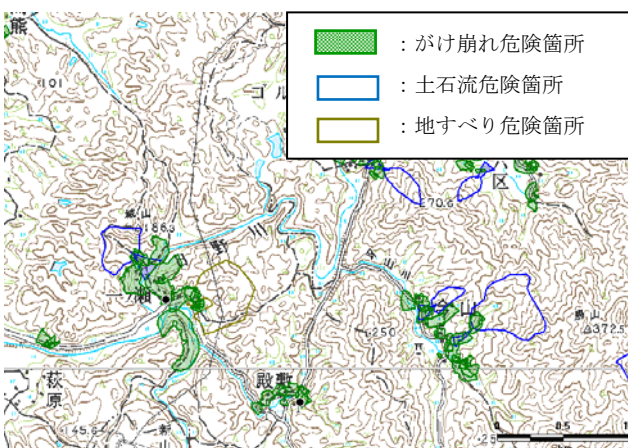


図4 土砂災害危険箇所図

分類図（国土交通省）、土砂災害危険箇所図（都道府県）である。インターネット上で公開されている各図の例を図2から4に挙げる。また各箇所の空中写真を用いた地すべり判読も併せて行った。

地すべり地に建設されたトンネル及び橋梁の15事例について調べたところ、9事例（67%）の箇所では、地すべり地形分布図と土地分類基本調査地形分類図のいずれかの資料で、地すべりの記載が確認できた（表3）。また空中写真判読で認識できた地すべりは、14箇所（93%）であった（表3）。すなわち、空中写真判読は文献調査より効率的に地すべりを認識できると考えられた。ただし空中写真判読には、判読技術の個人差による認識誤差が発生する欠点がある。なお、インターネット上に公開されている都道府県の土砂災害危険箇所図から抽出できた地すべりは1箇所（8%）のみであった。

表3からは、地すべり地形分布図と土地分類基本調査地形分類図、空中写真を併用すれば、地すべりの認識はほぼ可能であることが分かる。しかしこれらの資料では、地すべり地形の分布や道路構造物建設予定地周辺の地すべり地形の有無までは把握できるものの、地すべりの詳細な形状までは分からず、3.2で指摘した地すべり規模の見誤りが発生する可能性が懸念される。

### 4.2 航空レーザー測量データを活用した地すべり抽出

地すべりの範囲を適切に把握するには、出来るだけ高精度の地形図を用いて地形判読を行うことが効果的であると考えられる。そこで、数m単位で地表の標高を計測出来る航空レーザー測量のデータを用いて地すべり地形判読を行い、データ活用効果を調べた。前述の被災トンネル事例のうち、2箇所（表2: 箇所番号1、2）では航空レーザー測量を行っており、このデータを基に等高線図や陰影図（図5）が作成されている。これらの図を用いて地すべり地の地形判読を行い、現地で確認された地すべりブロックや地すべり地形と比較した。また航測図や森林基本図についても、比較の為に同様の判読を行った。

結果を表4にまとめる。表からは、地すべり判読には、航測図や森林基本図よりもレーザー計測をもとにした等高線図や陰影図を用いることが効果的であることが明らかである。両箇所に共通して、全図を通じて地すべり地形の中で表現されやすいのは、頭部滑落崖、頭部陥没帯、上部緩斜面など、地すべりブロック上部の地形であり、特にレーザー計測デ

表 3 既往資料・空中写真判読による地すべり認識の可能性

箇所 番号	地すべり地形分布図 (防災科学技術研究所)		土地分類基本調査			土砂災害危険箇所 図(都道府県)		文献における 地すべりの 記載	空中写真判読 ブロックの認識
	図面の有無	地すべりの 記載	図面の有無	分類項目に地 すべりの有無	地すべりの 記載	ウェブで の閲覧	地すべりの 記載		
1	有	有	有	無		不可		○	○
2	無		有	有	有	可	無	○	○
3	無		有	有	有	可	無	○	○
4	有	有	有	有	無	可	有	○	○
5	有	無	有	有	無	可	無	×	△
6	有	無	有	無		可	無	×	△
7	無		有	有	有	可	無	○	○
8	無		有	有	無	可	無	×	○
9	有	無	有	無		可	無	×	△
10	有	有	有	有	無	不可		△	△
11	有	無	有	有	無	可	無	×	○
12	有	無	有	有	無	可	無	×	×
13	有	有	有	有	有	可	無	○	○
14	有	有	有	有	有	可	無	○	○
15	無		有	有	有	不可		○	○

○ 認識可能  
 △ 地すべりは認められるが、災害との関連が不明  
 × 認識不能

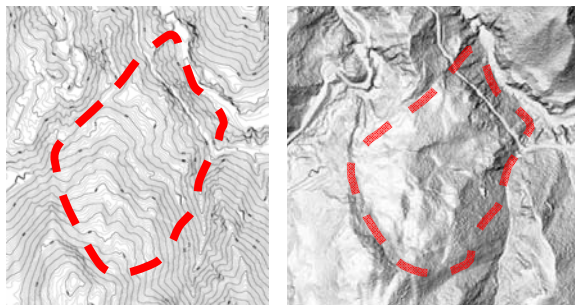


図 5 航空レーザー測量データから作成された等高線図(左)と陰影図(右)。赤の破線で囲まれた範囲は地すべり

ータから作成された陰影図や等高線図では、それらが明らかに表現されていた。また両図からは、地すべり左右の境界も容易に読みとることができた。すなわち、航空レーザー測量データを活用して地すべり地形判読を行えば、地すべりの見落としや規模の誤認も減少するはずである。

ただし航空レーザー測量データから作成された陰影図や等高線図を用いても、地すべりの末端崩壊や、表層崩壊、階段状地形などを判読することは必ずしも容易ではなかった。航空レーザー測量データを得

ても、全ての地すべり地形が明白に判読できるわけではないことから、地すべり範囲を的確に認識する為には、現地踏査も加えて行うことが望ましいと考えられた。

### 5. 地すべり認識手法のまとめ

以上の結果から、地すべりとその規模を的確に認識するためには、航空レーザー測量データから作成した等高線図を基盤図として空中写真による判読を行い、その結果により現地調査を行うことが最も望ましいと考えられた。航空レーザー測量は高価である為、概査の段階の費用は従前の地すべり認識手法(空中写真、地表踏査)よりも大きくなる。しかし地すべりの認識効率を大幅に向上させることで、トンネル被災を回避出来、被災の際に必要な多大な時間と費用をかけずに済むようになる。なお衛星写真は航空レーザー測量より少ない費用で画像および3次元のデジタルデータが取得でき、陰影図作成等の画像処理も可能である。しかしデータの解像度や購入面積(最低購入面積が広範囲)の制約もあり、現時点では航空レーザー測量データほど、地すべり判読に効率的に活用できないと考えられた。

表 4 箇所番号(表2) 1, 2での各種図面を用いた地すべり地形判別

箇所番号 1

図面	航測図 (1/10,000)	森林基本図 (1/5,000)	航測図 (1/2,000)	陰影図(航空レーザ ー測量データ) (1/1,000)	等高線図(航空レーザ ー測量データ) (1/1,000)
地すべりブロック	×	×	△	○	○
頭部滑落崖	△	△	△	○	○
右側部の沢	×	×	○	○	○
右側部の鞍部	×	×	○	○	○
左側部の沢	○	○	○	○	○
左側部の表層崩壊	×	×	×	×	△
上部緩斜面	△	○	○	○	○
連続する溝地形	×	×	△	△	○
分離小丘	×	×	×	×	○
階段状地形	×	×	△	△	○
末端崩壊	×	×	×	○	○
構造物の変状(橋梁・擁壁等)	×	×	×	×	×

箇所番号 2

図面	航測図 (1/10,000)	森林基本図 (1/5,000)	航測図* (1/2,000)	陰影図(航空レーザ ー測量データ) (1/1,000)	等高線図(航空レーザ ー測量データ) (1/1,000)
地すべりブロック	-	×	-	○	○
頭部陥没帯	-	○	-	○	○
頭部階段状地形	-	△	-	○	○
上部緩斜面	-	△	-	○	○
西側小尾根	-	×	-	○	○
ブロック境界の沢	-	×	-	○	○
斜面中の階段状地形	-	×	×	×	△
末端崩壊	-	×	×	×	△
構造物の変状(橋梁・擁壁等)	-	×	×	×	×

\*航測図の作成範囲はトンネル坑口付近のみ

## 6. 地すべり対応手法トンネル離隔の数値解析

地すべりのトンネル被災を避ける為には、地すべりの存在が疑わしい箇所にトンネルを計画しないことが、まず望ましい。しかし地すべり多発地帯にトンネルを建設する場合には、地すべりを避けることが困難な場合もある。その際には、経済性および施工性を考慮しつつ、トンネルと地すべりが相互に影響を及ぼさないようなトンネル計画をたてる必要がある。既往文献(表5)では、トンネル径をDとして、トンネルが地すべりから2D以上離れば、一般に影響はないとしている。しかしその距離を求めるにあたって、地すべりの規模や運動様式、斜面勾配、土質条件、地すべりとトンネルの位置関係等は十分に考慮されていない。そこで本研究では斜面勾配、土質条件、地すべりとトンネルの位置関係を考慮し

て、トンネルと地すべりの相互影響を調べる為の数値解析を行った。そして安全な離隔距離を検討し、目安となる資料を作成した。なおこの成果は、平成18~20年度「トンネルへの地すべりの影響評価手法に関する共同研究」から得られたものである。

用いた数値解析は、有限要素法の Drucker-Prager モデル(解析コード ISNA)、Mohr-Coulomb モデル(解析コード DIF)、有限差分法(解析コード FLAC)、マニフォールド法の Drucker-Prager モデル(解析コード MF)、個別要素法の Mohr-Coulomb モデル(解析コード UDEC)の5種類である。それぞれの解析手法については、地すべりの直下をトンネル掘削した事例を解析し、その結果を実際のトンネル坑内と地すべりの計測データと比較することで、適用性を確認した。トンネルと地すべりとの離隔との関係は、モデル斜面(図6)を用いたパラメータ解析により

求めた。地盤物性値と斜面勾配の一覧を表6に示す。またトンネルの位置は、地すべり頭部、中央部、末端部とした。

数値解析からは、トンネルと地すべりが相互に作用する機構を推定できた(図7)。このように得られたトンネルと地すべりの変形機構は、トンネル計画・設計だけでなく、施工中及び維持管理における計測の考え方にも反映させることができると考え

られた。

パラメータ毎に得られた、離隔に関する結果を図8にまとめる。図中、「危険離隔距離」は全ての手法において危険と判断された離隔、「要注意離隔距離」は各解析手法で安全側の結果と危険側の結果に分かれた離隔、「安全離隔距離」は全ての手法において安全と判断された離隔である。ただしここではモデル斜面を用いて解析を実施しており、推定された安全

表5 地すべりとトンネルの離隔に関する既往文献

文献	対象	回避する距離	参考図	根拠等
トンネル坑口周辺の地すべり・崩壊対策に関する研究報告書	地すべりとトンネル	<ul style="list-style-type: none"> <li>&lt;トンネルの離隔距離&gt;</li> <li>・掘削幅の2倍以上</li> <li>・<math>(幅W+高さh)/2</math>以上</li> </ul>	(一般的な考え方) 	トンネルの干渉を考慮 (文献には地すべりおよびトンネルの“ゆるみ”領域についての考え方が記述されているが、定量的な評価は難しく、“ゆるみ”部分が相互干渉する地山の強度低下の程度の評価は困難とある。)
		<ul style="list-style-type: none"> <li>&lt;すべり面下の距離&gt;</li> <li>・すべり面直下 20m 以内は変状発生事例あり</li> </ul>	(既存変状事例) 	20m以上：地すべり地外で発生したトンネル事例より (Fig4-16)
道路土工の面工・斜面安定工指針	地すべりとトンネル	<ul style="list-style-type: none"> <li>&lt;すべり面下の距離&gt;</li> <li>・下幅の2倍以上</li> <li>・20m以上のいずれか小さい方</li> </ul>		記載なし
道路トンネル技術基準(構造編)・同解説	トンネルの併設・近接施工	<ul style="list-style-type: none"> <li>&lt;トンネルの中心間隔&gt;</li> <li>・掘削幅の2倍</li> <li>・掘削幅の5倍(軟弱地盤)</li> <li>・掘削幅の3倍程度(施工実績)</li> </ul>		2D, 5D：地山を完全な弾性体として計算した場合 3D程度：施工実績
トンネル標準示方書[山岳工法編]・同解説	トンネルの併設・交差	<ul style="list-style-type: none"> <li>&lt;トンネルの中心間隔&gt;</li> <li>・掘削幅の2倍</li> <li>・掘削幅の5倍(軟弱地盤)</li> <li>・掘削幅の3倍以上(施工実績)</li> </ul>		2D, 5D：不明 3D以上：一般的
設計要領第三集トンネル	トンネルの併設・近接施工	<ul style="list-style-type: none"> <li>&lt;トンネルの中心間隔&gt;</li> <li>・掘削幅の2倍</li> <li>・掘削幅の5倍(軟弱地盤)</li> <li>・30m(施工実績)</li> </ul>		2D, 5D：研究 30m：施工実績

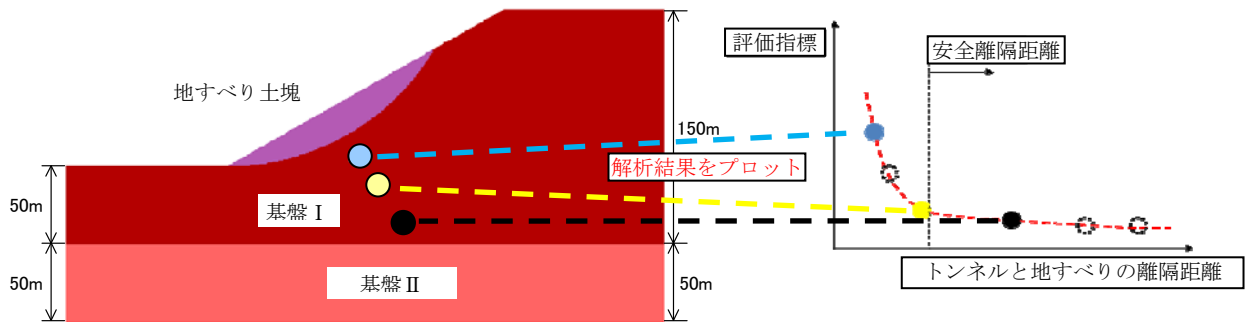


図6 モデル斜面の形状(左)と安全な離隔距離の判定例(右)

な離隔を直接現場に適用するには限界がある。  
 なお数値解析を実施するにあたっては、地すべりを構成する材料特性、すべり面形状、地下水などの

要素を考慮し、トンネル計画及び設計における数値解析の役目を明瞭にした上で実施することが望ましい。

表 6 地盤物性値の一覧

		単位体積重量 $\gamma t$ (kN/m <sup>3</sup> )	粘着力 c(kN/m <sup>2</sup> )	内部摩擦角 $\phi$ (°)	ポアソン比 $\nu$	変形係数 E(MN/m <sup>2</sup> )
地すべり土塊		18.0	20	25	0.35	50
基盤 I	強	22.0	200	30	0.3 <sup>※1</sup> 0.35 <sup>※2</sup>	150
	中		100			100
	弱		50			50
基盤 II		22.0	500	40	0.3	250

※1 Mohr-Coulomb 降伏基準を用いた解析の場合  
 ※2 Drucker-Prager 降伏基準を用いた解析の場合

		単位体積重量 $\gamma t$ (kN/m <sup>3</sup> )	粘着力 c(kN/m <sup>2</sup> )	内部摩擦角 $\phi$ (°)	ポアソン比 $\nu$	変形係数 E(MN/m <sup>2</sup> )
緩斜面(20°)		18.0	1	23	0.35	50
標準(30°)		18.0	20	25	0.35	50
急斜面(45°)		18.0	30	35	0.35	50

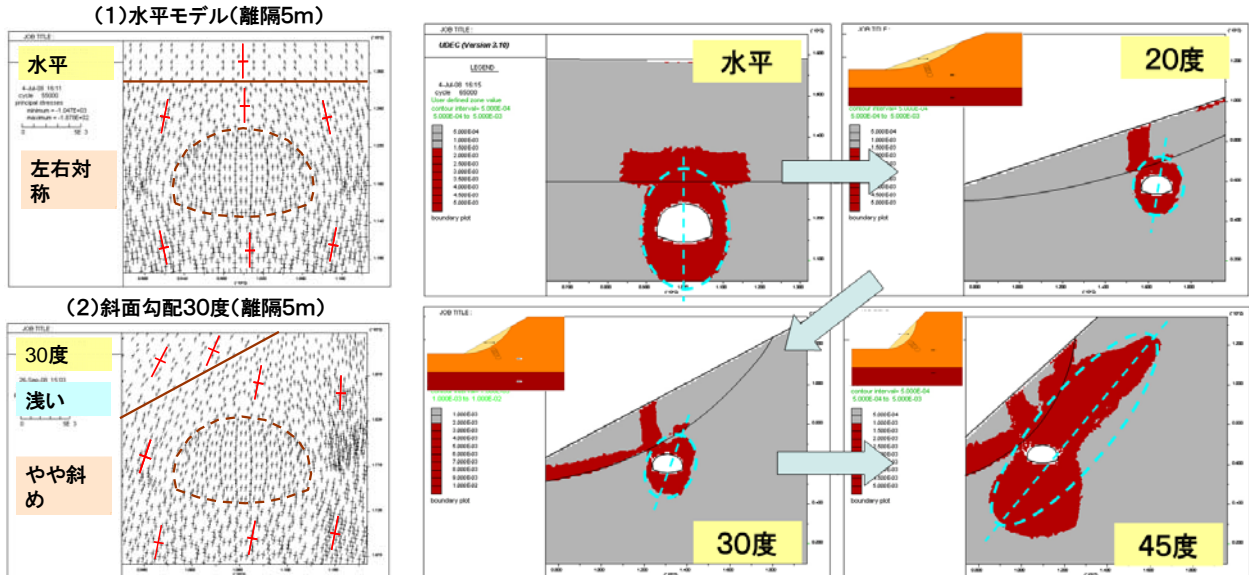


図 7 数値解析により推定されたトンネル掘削前の主応力分布(左)と掘削後の緩み域の分布

物性	応力解放率	斜面勾配	トンネル位置	離隔							
				0.5D	1.0D	1.5D	2.0D	2.5D	3.0D		
強	70%	30°	頭部	危険	危険	要注意	安全	安全	安全	安全	安全
			中央部	危険	危険	安全	安全	安全	安全	安全	安全
			末端部	危険	危険	安全	安全	安全	安全	安全	安全
弱	70%	30°	頭部	危険	危険	危険	要注意	安全	安全	安全	安全
			中央部	危険	危険	危険	危険	危険	危険	要注意	安全
			末端部	危険	危険	危険	危険	危険	危険	危険	危険

図 8 解析から得られた安全離隔距離



表 7 道路事業の計画設計の段階と地すべり認識手法の課題と方向性

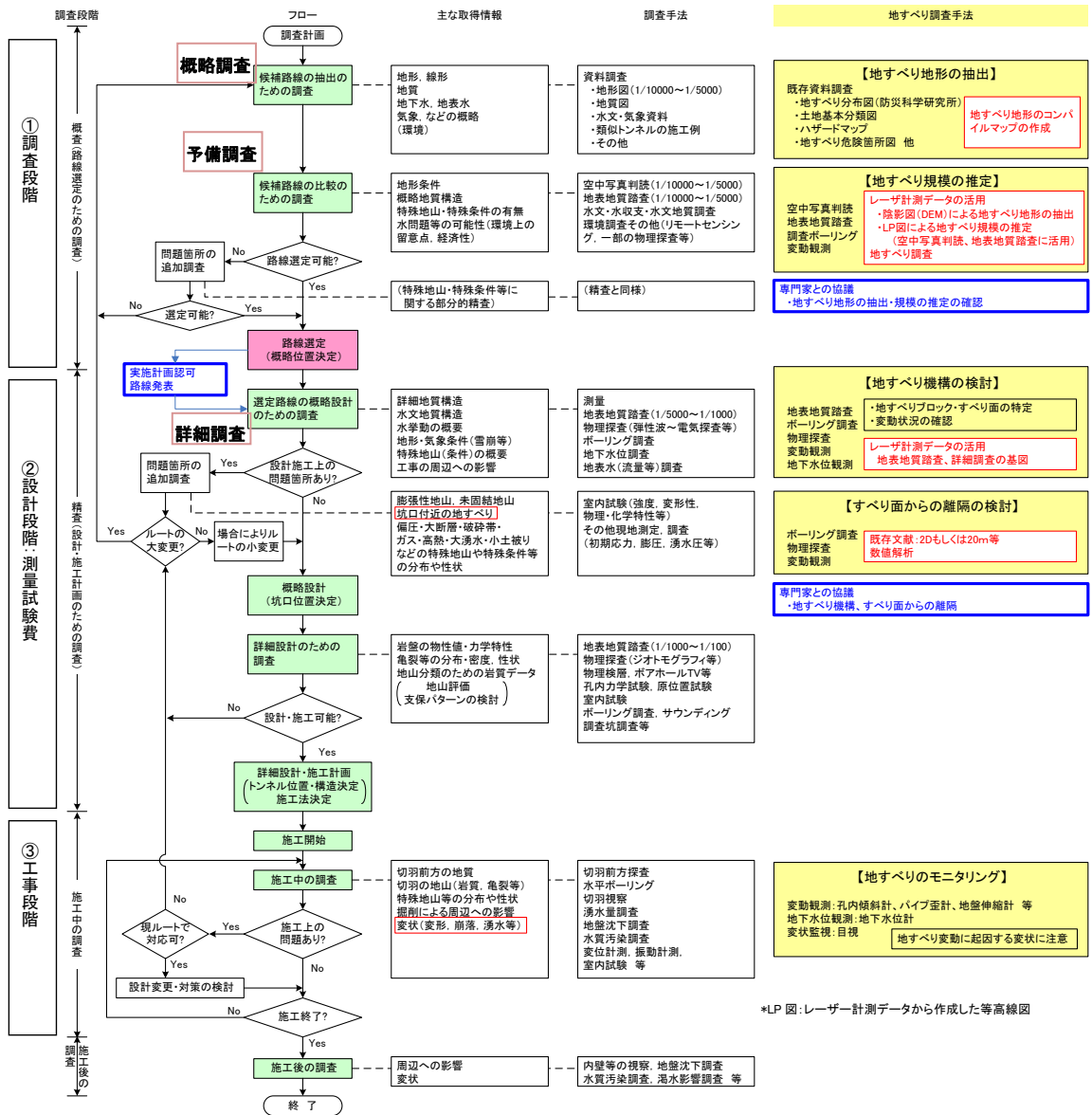
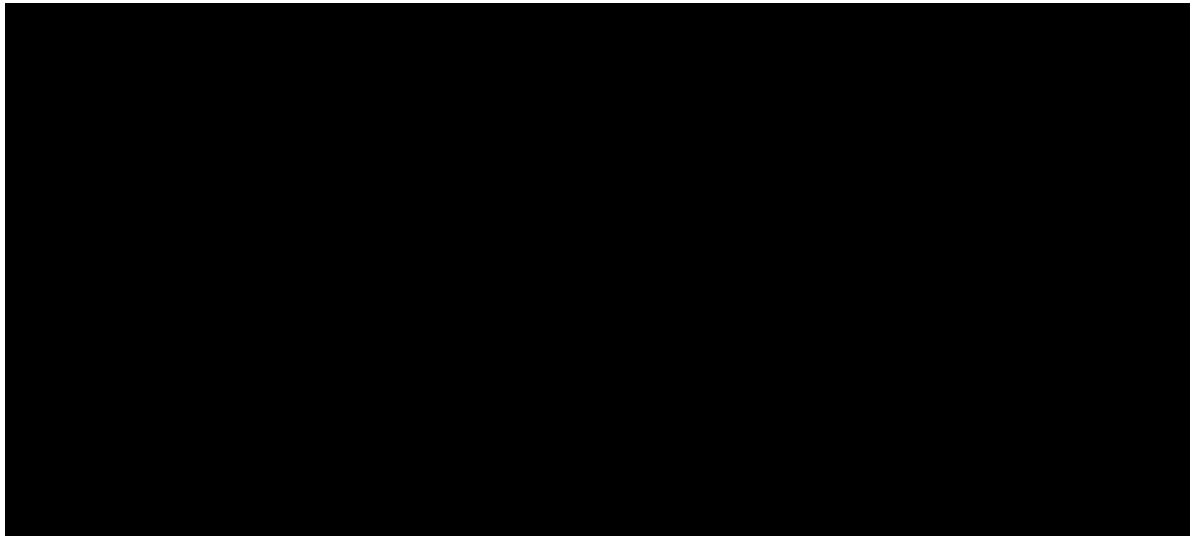


図 9 地すべり調査手法を考慮したトンネル事業の流れ(「トンネル標準示方書(山岳工法編)・同解説」(2006)<sup>1)</sup>に  
加筆)

## 7. 道路事業の流れと地すべり認識手法の方向性

以上の結果をもとに、「概略調査」（候補路線の抽出）、「予備調査」（比較路線の選定）、「詳細調査」（坑口位置の検討）の各段階での地すべりの認識に関する課題と、認識手法の方向性について表7にまとめた。道路事業の早期の段階におけるレーザー計測と現地調査の実施に加え、地すべりの専門家による調査結果の確認も重要な事項である。計画からトンネル施工までの各段階で必要な調査・解析手法については、「トンネル標準示方書（山岳工法編）・同解析」のフロー図に追記する形で図9にまとめた。

## 8. まとめ

本研究では、地すべりによるトンネル等構造物被災の回避・軽減手法について検討した。その結果を以下にまとめる。

(1) 地すべりによるトンネルの被災を防ぐためには、調査段階で的確に地すべりブロックを抽出し、地すべりを回避するよう路線を設計することが重要である。

(2) 調査段階では、航空レーザー計測データを活用し現地踏査を行うことで、地すべり範囲を的確に把握することが可能になる。

(3) トンネルが地すべり地を完全に回避出来ない場合は、すべり面以深をトンネルが通過することになる。その際には、地すべりのトンネルからの安全な離隔距離を求める必要が出てくる。本研究では、地すべりとトンネルが相互に影響する機構を推定し、安全な離隔距離を評価出来る数値解析モデルを提案した。

## 参考文献

- 1) トンネル工学委員会：「トンネル標準示方書（山岳工法編）・同解説」，土木学会，322p，2006.

## **Abstract**

When road structures, such as tunnels, are constructed in a landslide location, initial misrecognition of the size can cause damage to them, resulting in costly expense to mitigate landslide movement, or even being forced to abandon them. This study investigated through major manuals regarding tunnel route designing, to find out that in the current system appropriate recognition of landslide sizes is very important in the primary investigation stage of the process. This is because, if once route locations are determined in the stage, their changes are hard to make due to political and financial reasons. Misrecognition, mainly caused by those poor qualities of maps to identify landslides, can be reduced by utilizing detailed topographic information from airborne LiDAR data together with field survey in the stage, although the technology still costs.

In some locations, tunnels are designed to go through under landslides. This study also provided five numerical models employing parameters of relative tunnel locations to a landslide, and geological and topographical conditions, to suggest a safe distance of tunnels from landslides in various locations.

**Keywords: Tunnel route setting, Landslide size, Safe interval distance, Airborne LiDAR, Numerical model**