

### 3.3 地盤変状の影響を受ける道路橋の耐震安全対策技術に関する研究②

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：地質・地盤研究グループ（地質）

研究担当者：佐々木靖人、浅井健一、日外勝仁

#### 【要旨】

本研究は、山地部の地盤を主対象として、地震による斜面地盤変状の事例を収集・分析することにより、地震時に道路橋に影響を及ぼすような変状を起こしやすい地盤条件の判定手法を提案することを目的としている。平成 26 年度は、25 年度に検討した地震時に変状を起こしやすい斜面の地盤条件の判定手法の概略の方向性をふまえ、最終年度にとりまとめる「地盤変状の影響を受ける道路橋の耐震安全対策ガイドライン（案）（仮称）」の共通編および調査編の素案を作成した。その内容は以下のとおりである。(1)共通編・第 1 章総則：ガイドライン（案）の目的と適用範囲を示した。(2)調査編・第 2 章：地震時の斜面地盤変状の形態：地震時の斜面地盤変状の形態、特徴等について十分認識しておく必要があることを記述し、変状パターンを解説した。(3)第 3 章予備調査：計画路線ないし道路橋の周辺の地形・地質条件の概略を既存資料調査、地形判読、現地踏査等によって明らかにすることにより、地震時に地盤変状を起こす可能性のある箇所を抽出することを目的とすることを記述し、調査すべき内容を解説した。(4)第 4 章詳細調査：詳細調査は、予備調査の結果問題が明らかとなった斜面について、より詳細な調査を行って詳細地質構造、地盤物性、発生しうる地盤変状の形態等を明らかにすることを目的とすることを記述し、調査すべき内容を解説した。(5)地盤条件の判定：現状では地震時の斜面の安定解析手法はまだ十分確立していないため、判定にあたっては様々な面から十分検討する必要があること、対象地盤の地質構造や物性値（強度定数等）を適切に反映させる必要があること、橋梁基礎では許容される変位量が非常に小さいため、慎重な検討が必要であること、実際に生じる地盤変状が解析で求めるとおりの挙動になることは保証されていないため、対策で防止できない規模の地盤変状の発生を否定しきれない場合は、路線のシフトおよび架橋地点の変更を検討するべきであることを解説した。

キーワード：道路橋、地震、斜面、災害、地盤、変状

#### 1. はじめに

平成 20 年 6 月に発生した岩手・宮城内陸地震における国道 342 号祭時（まつるべ）大橋の落橋や国道 397 号尿前（しとまえ）溪谷橋の橋台基礎地盤の変状などの例のように、地震時に大きな地盤変状を生じる箇所に立地する道路橋は、道路通行の安全性はもとより、復旧、復興の長期化などにより地域経済に大きな損失を及ぼしかねない甚大な被害を生じる可能性を有する。このような橋梁が多いと想定される山地部等の橋梁は数万橋に及び、道路ネットワークの確保のためにも地震時に大きな地盤変状を受ける立地条件の道路橋に対する耐震安全性の確保が求められる。そのためには、地震時に変状を起こしやすい地盤条件の判定と道路橋への影響を推定する手法が必要となるが、その手法は確立されていない。

したがって、本研究では、山地部の地盤を主対象として、地震による斜面地盤変状の事例を収集・分析するこ

とにより、地震時に道路橋に影響を及ぼすような変状を起こしやすい地盤条件の判定手法を提案することを目的としている。

平成 26 年度は、25 年度に検討した地震時に変状を起こしやすい斜面の地盤条件の判定手法の概略の方向性をふまえ、最終年度にとりまとめる「地盤変状の影響を受ける道路橋の耐震安全対策ガイドライン（案）（仮称）」（以下「ガイドライン(案)」）の共通編および調査編の素案を作成した。

#### 2. 研究方法

「ガイドライン(案)」素案は、平成 25 年度に検討した、①既存資料調査、地形判読などによる地形および地質構造の把握、現地踏査による確認と補足→②ボーリング等の詳細地質調査による詳細な地質構造の解明、解析等の詳細検討に必要な物性値情報の取得→③地震時

の応力状態等に関する数値解析などの詳細な検討を加えた判定、という流れに沿って、共通編として総則、調査編として予備調査、詳細調査、判定について記述した。また、調査編の冒頭では、調査および判定にあたって認識しておく必要のある、地震時の斜面地盤変状の形態、特徴等について記述した。これらの記述にあたっては、平成23～24年度に整理した変状パターン<sup>1)</sup>および地形・地質の特徴<sup>2)</sup>、25年度の数値解析結果<sup>3)</sup>のほか、道路土工一切土工・斜面安定工指針<sup>4)</sup>、杭基礎設計便覧<sup>5)</sup>、斜面上の深礎基礎設計施工便覧<sup>6)</sup>を参考とした。

### 3. 研究結果

「ガイドライン(案)」素案は表-1の構成で作成した。その内容は以下のとおりである。

#### (1) 共通編

##### 1) 第1章 総則

総則には、「ガイドライン(案)」の目的と適用範囲を記述した。

##### 1-1 目的

「ガイドライン(案)」は、地震時に発生する斜面地盤変状の影響を受ける道路橋に対する耐震安全対策の方法を示すもので、平成20年6月の岩手・宮城内陸地震で発生した地すべりによる祭時(まつるべ)大橋の落橋を受け、このような災害を完全に防止するのは難しいが、道

路橋の被災を少しでも減ずることを目的としていることを記述した。

##### 1-2 適用の範囲

後述の「調査編」に示すように、地震時に地盤変状が発生する斜面の地盤条件の判定と道路橋に対する影響の検討のためには、十分な調査を必要とする。一方で、そのような調査を全国すべての路線の道路橋に適用するのは現実的に困難である。したがって、「ガイドライン(案)」は、特に重要であると道路管理者が認める路線ないし道路橋に対して適用する旨を記述した。

#### (2) 調査編

##### 1) 第2章 地震時の斜面地盤変状の形態

地震時に発生する斜面地盤変状に対する調査および地盤条件の判定にあたっては、地震時に発生する斜面地盤変状の形態、特徴等について十分認識しておくことが非常に重要である。したがって、調査編の冒頭に章を設けてその旨を記述するとともに、事例分析で明らかになった地震時の斜面地盤の変状パターン<sup>1)</sup> ①古い地すべりなどにより形成された崩積土のすべりまたは崩壊、②厚い風化層または未固結堆積物のすべりまたは崩壊、③流れ盤の層理面・節理面・断層面・薄い脆弱層によるすべり、④下部の脆弱層の変形による上部の岩盤の変状または崩壊、⑤柱状節理の発達した岩盤の節理面からの変状または崩壊)について解説した。

表-1 「地盤変状の影響を受ける道路橋の耐震安全対策ガイドライン(案)(仮称)」構成

<p><b>第1編 共通編</b></p> <p><b>第1章 総則</b></p> <p>1-1 目的 地震時に発生する斜面地盤変状の影響を受ける道路橋に対する耐震安全対策の方法を示すことを目的とする</p> <p>1-2 適用の範囲 特に重要であると道路管理者が認める路線ないし道路橋に適用</p> <p><b>第2編 調査編</b></p> <p><b>第2章 地震時の斜面地盤変状の形態</b> 地震時に発生する斜面地盤変状の形態、特徴等について十分な認識が必要:主なものについて解説</p> <p><b>第3章 予備調査</b></p> <p>3-1 予備調査の目的 計画路線・道路橋周辺の地形・地質条件を明らかにすることにより、地震時に地盤変状を起こす可能性のある箇所を抽出することを目的とする</p> <p>3-2 予備調査の内容 既存資料調査、地形判読、現地踏査等、予備調査の方法を解説</p> <p>3-3 予備調査結果の整理 地形図編纂、判読図・地質図の作成、詳細調査の必要な箇所の抽出等、予備結果の整理方法を解説</p>	<p><b>第4章 詳細調査</b></p> <p>4-1 詳細調査の目的 詳細な地質構造、地盤物性、発生しうる地盤変状の形態等を明らかにすることを目的とする(特に地震時の斜面地盤変状の発生に大きく影響する弱層の分布・性状・強度特性の調査を含む)</p> <p>4-2 詳細調査の内容 現地踏査、物理探査、ボーリング、サンプリング、地下水調査、現地計測、室内試験等、詳細調査の方法を解説</p> <p>4-3 詳細調査結果の整理 地質平面図・断面図、地盤物性とその分布等、詳細調査結果の整理方法を解説</p> <p><b>第5章 地盤条件の判定</b> 詳細調査結果をもとに対象斜面地盤の安定性について、数値解析等を含めて検討し、地盤変状の発生可能性について判定を行う</p> <p>参考資料(27年度に追記)</p> <p>(1)地震時の斜面地盤変状の事例集</p> <p>(2)地震時の斜面地盤変状に関する数値解析の事例集</p> <p>(第3編 設計編 に続く)</p>
---	--

なお、以上に挙げた地震時の斜面地盤変状の形態は収集できた事例から整理した結果によるものであり、実際に発生しうる斜面地盤変状の形態がこれらに限定されるとは限らない。そのため、どのような斜面地盤変状が発生しうるかについては個々の斜面について十分調査を行った上で、その結果に基づき検討する必要があることも記述した。

## 2) 第3章 予備調査

### 3-1 予備調査の目的

予備調査は計画路線ないし道路橋の周辺の地形・地質条件の概略を既存資料調査、地形判読、現地踏査等によって明らかにすることにより、地震時に地盤変状を起こす可能性のある箇所を抽出することを目的としていることを記述した。

### 3-2 予備調査の内容

予備調査で行う項目について、「既存資料調査」「地形判読」「現地踏査」に分けて列挙し、解説した。

「既存資料調査」では、収集すべき主な資料（地形図、地質図、地質・土質調査報告書、空中写真、航空レーザ測量データ、災害記録・工事記録、土地条件図・土地利用図・地すべり地形分布図、地震・気象等の資料、文献資料）を列挙し、解説した。特に航空レーザ測量データについては、道路土工一切土工・斜面安定工指針（平成21年度版）ではほとんど触れられていないが、空中写真では見えない樹木下の詳細な地形情報が得られるため、地形判読および現地踏査の精度向上に役立つ点で非常に重要であること、既に十分実用化された技術となっていることから、収集すべき主な資料の1つとして列挙し解説した。

「地形判読」では斜面地盤変状の可能性を把握するために重要となる、斜面変動に関連する地形を判読する旨を記述し、判読の対象となる地形について解説した。また、判読には空中写真および航空レーザ測量データを利用するよう記述した。

「現地踏査」では資料調査および地形判読による地形・地質状況の確認を行うとともに、資料調査および地形判読ではわからない斜面内の微小な変動地形、地盤の風化状況等を調査するために行うこと、特に露頭調査においては、弱層の存在とその性状についての記載を十分行うことを記述し、踏査で得られる地形・地質情報について解説した。

### 3-3 予備調査結果の整理

予備調査結果については、「既存資料の整理」、「地形判読および現地踏査結果の整理」のそれぞれについて必要

事項を解説した。

「既存資料の整理」では、地形図の編纂（基図作成）、地質図の編集等、必要な情報の整理の考え方について解説した。特に地形判読および現地踏査に先立って行われる地形図の編纂では、地形判読や現地踏査の基図としてできるだけ大縮尺で精度よい地形図が望ましいため、大縮尺で精度のよい既存地形図が存在しない場合は、航空レーザ測量データや空中写真等を用いて新たに地形図を作成する必要がある旨を記述した。

「地形判読および現地踏査結果の整理」では、地形図・地質編集図をもとに判読結果や踏査結果を加えて、問題箇所を抽出しやすくするよう路線地質図、災害地形分類図という形で整理することを記述した。また、これらの整理結果をもとに、計画路線ないし道路橋にとって問題となる地盤変状を生じる可能性のある箇所および詳細調査が必要な箇所の抽出と詳細調査項目の整理を行う旨を記述した。

## 3) 第4章 詳細調査

### 4-1 詳細調査の目的

詳細調査は予備調査で抽出された必要箇所についてより詳細な検討を行うため、現地踏査、ボーリング調査、物性試験等により、詳細な地質構造、地盤物性、発生しうる地盤変状の形態等を明らかにすることを目的としていることを記述した。

### 4-2 詳細調査の内容

詳細調査で行う主な項目（現地踏査、物理探査、ボーリング、サウンディング、サンプリング、地下水調査、現地計測、室内試験）を列挙し、解説した。

特に、現地踏査では、予備調査の段階よりも綿密に行い、地盤変状の原因となる地質構造と物性、風化部、弱層などの把握に主眼を置くこと、また、すべり面となるような断層、軟質層、劣化した層理面、あるいはゆるみにより開口した節理等が存在する場合にはその方向性や連続性、性状を特に詳細に調査する必要があることを記述した。

また、地震時の斜面地盤変状を対象とした調査・検討では薄い脆弱層や地すべりのすべり面、未固結層や風化層等の軟質な地質、土や岩石の力学的性質（強度特性、変形特性等）を把握する必要がある。そのため、ボーリングは原則としてオールコアボーリングとし、比較的口径の大きなボーリングや高品質ボーリングを採用することによって良い試料を採取するよう努め、標準貫入試験を実施する場合には別孔を削孔して行うこととした。また、サンプリングでは乱れの少ない試料の採取が必要で

あり、特に採取が難しい薄い弱層の乱れの少ない試料を採取するためにはブロックサンプリングや高品質ボーリングによる採取を検討する必要があることを記述した。

このほか、ボアホールテレビ等による孔内の観察が弱層やすべり面の方向性や挟在物の性状、割れ目の開口状況等の把握に有効であることを記述した。

#### 4) 第5章 地盤条件の判定

地震時に斜面地盤変状が発生する地盤条件かどうかの判定は、詳細調査により明らかになった地質構造および地盤物性をもとに、発生しうる地盤変状の形態を考慮しながら安定性を十分検討した上で行うこととするが、現状では地震時の斜面の安定解析手法はまだ十分確立しているとは言いがたい状況であるため、様々な面から十分検討する必要があること、種々の解析手法のうちいずれの手法を用いる場合でも、対象地盤の地質構造や物性値（強度定数等）を適切に反映させる必要があることを記述した。また、橋梁基礎の場合は許容される変位量が非常に小さいと考えられるため慎重な検討が必要であり、特に、実際に地震時において生じる地盤変状が解析で求めるとおりの挙動になることは保証されていないことから、対策で防止できない規模の地盤変状の発生を否定しきれない場合は、路線のシフトおよび架橋地点の変更を検討するべきであることを記述した。

#### 4. まとめ

地震時に道路橋に影響を及ぼすような変状を起こしやすい山地部の地盤条件の判定手法を提案することを目的として、平成26年度は、「地盤変状の影響を受ける道路

橋の耐震安全対策ガイドライン（案）（仮称）」の共通編および調査編の素案を作成した。今後、各章の内容を見直し、参考資料として地震時の斜面地盤の変状事例、解析事例を追記するとともに、斜面地盤変状が道路橋へ及ぼす影響の検討結果（CAESAR 担当分）と併せて「ガイドライン（案）」を作成していく予定である。

#### 参考文献

- 1) 浅井健一・日外勝仁・佐々木靖人：地震時に構造物基礎の安全性に影響を及ぼすような斜面地盤変状のパターン、地盤工学会関東支部発表会（CD-ROM）、2012年10月
- 2) 佐々木靖人・浅井健一・日外勝仁：地盤変状の影響を受ける道路橋の耐震安全対策技術に関する研究（2）、平成24年度土木研究所プロジェクト研究報告書。
- 3) 佐々木靖人・浅井健一・日外勝仁：地盤変状の影響を受ける道路橋の耐震安全対策技術に関する研究（2）、平成25年度土木研究所プロジェクト研究報告書。
- 4) 日本道路協会：道路土工一切土工・斜面安定工指針、平成21年6月。
- 5) 日本道路協会：杭基礎設計便覧、平成25年6月。
- 6) 日本道路協会：斜面上の深礎基礎設計施工便覧、平成24年4月。

## RESEARCH ON THE COUNTERMEASURES FOR PREVENTING THE DAMAGE OF A ROAD BRIDGE CAUSED BY MOVEMENT OF THE GROUND BY EARTHQUAKE ②

**Budget** : Grants for operating expenses

General account

**Research Period** : FY2011-2015

**Research Team** : Geology and Geotechnical Engineering  
Research Group(Geology)

**Author** : Yasuhito SASAKI

Ken-ichi ASAI

Katsuhito AGUI

**Abstract** : The purpose of this research is to propose method for judging ground condition which is likely to be deformed to influence bridge safety by earthquake in mountainous area. In 2014FY, we wrote drafts of “Common volume” and a “Investigation volume” of “Guideline of the countermeasures for preventing the damage of a road bridge caused by movement of the ground by earthquake (draft)” based on the rough direction examined in 2013FY. The guideline (draft) contains the following contents: (1) Common volume, Chapter 1 “general rule” explained the purpose and application sphere of the guideline. (2) Investigation volume, Chapter 2 “deformation patterns of slope caused by earthquake “ explained that it is important to understand the pattern and the features of slope deformation by earthquake enough, and explained each slope deformation pattern. (3) Chapter 3 “preliminary investigation” explained the purpose of the preliminary investigation, which is to reveal the topography and geology around the planned route and the bridge by materials, topographic interpretation and field investigation, and then to find the site which is likely to be deformed by earthquake. And this chapter also explained the contents of investigation. (4) Chapter 4 “detailed investigation” explained the purpose of the detailed investigation, which is to reveal the detailed geological structure, physical and mechanical properties of ground materials, and the possible deformation pattern. And this chapter also explained the contents of investigation. (5) Chapter 5 “judgment of ground condition” explained that sufficient examination is needed from various viewpoints because analysis method has not been established sufficiently, and that it is need to reflect geological structure and physical and mechanical properties of ground materials to the analysis properly. And also this chapter explained that it is need to examine carefully because the permitted displacement of the bridge foundation is very small, and that it is need to examine the shift of the route or the bridge in the case of large scale slope deformation occurrence which is not able to prevent by countermeasures is undeniable, because actual movement of slope deformation is not assured to be same to movement by analysis result.

**Key words** : road bridge, earthquake, slope, disaster, ground, deformation