

③-4 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 24 年度は、昨年度整理した地震時の斜面地盤の変状パターン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または崩壊流れ盤の層理面・節理面・断層面・薄い脆弱層によるすべりまたは崩壊）を中心に一部の代表的事例の詳細資料を収集し、地形・地質の特徴を整理するとともに、25 年度以降の数値解析手法の検討の基礎となる地質モデル（地形面、地層境界面、弱層等の 3 次元モデル）の作成を行った。収集した代表 6 事例の地形・地質の特徴からは、当該箇所の地形だけから簡単に変状可能性や範囲を判定するのは難しく、また、地質構造や脆弱層の分布と性状の把握が重要であることから、周辺の変動地形、地質構造、脆弱層の分布・性状（強度特性等）と併せ、判定手法を検討する必要があるといえる。平成 25 年度からは今年度作成した地質モデルをもとに、解析モデルを構築して数値解析手法の適用性の検討に着手し、地盤内の応力状態、変状の再現性、脆弱層の影響、地盤の強度特性の影響などについて検討する予定である。

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 24 年度は、昨年度整理した地震時の斜面地盤の変状パターン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または崩壊流れ盤の層理面・節理

面・断層面・薄い脆弱層によるすべりまたは崩壊）を中心に一部の代表的事例の詳細資料を収集し、地形・地質の特徴を整理するとともに、25 年度以降の数値解析手法の検討の基礎となる地質モデル（地形面、地層境界面、弱層等の 3 次元モデル）の作成を行った。

2. 研究方法

平成 23 年度に整理した地震時の斜面地盤の変状パターン¹⁾のうち、特に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または崩壊流れ盤の層理面・節理面・断層面・薄い脆弱層によるすべりまたは崩壊）などは良好な岩盤内に存在することが多く、またすべり面となりうる層や面の強度に依存するため、踏査だけでは把握しにくい。このような箇所については、地盤物性・強度の試験や解析などの検討が必要となる。したがって、25 年度以降の数値解析手法の検討の基礎とするため、変状パターン③を中心に代表的事例について地質調査報告書等の詳細資料を収集し、収集することができた 6 事例について地形・地質の特徴を整理するとともに、地質モデル（地形面、地層境界面、弱層等の 3 次元モデル）を作成した。

3. 研究結果

3.1 地形・地質の特徴の整理

詳細資料を収集した6事例の地形・地質の特徴を表1に示す。平成23年度整理の変状パターン③が4事例、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)と②(厚い風化層あるいは未固結堆積層のすべりまたは崩壊)が各1事例である。各事例の状況を以下に述べる。

(1)M地区

岩手・宮城内陸地震により長さ約160m、幅約120m、深さ約35mの規模の岩盤地すべりが発生した。当該箇所には道路橋が架設されており、地すべり移動体側の基礎が約11m移動し落橋した。すべり面の傾斜は約5度で下部はさらに緩い。地質は新第三紀の凝灰質砂岩であり、層理面の傾斜は約5度とすべり面の傾斜と調和的であった。当該箇所の地形は緩傾斜の平坦面(段丘面)で両側が河川の浸食により急崖となっていた。当該箇所自体には地すべり地形は認められていなかったが、周辺には複数の地すべり地形が認められていた。地すべり移動体および

背後のボーリング調査によれば、すべり面付近の弱層化した部分の厚さは2~5cm程度と薄い。すべり面となった層準には厚さ約3cmの凝灰岩の薄層が認められた²⁾。

(2)K地区

東北地方太平洋沖地震の誘発地震により長さ約200m、幅約250m、深さ約30mの規模の岩盤地すべりが発生した(写真-1)。すべり面の傾斜は約10度であった。地質は新第三紀中新世の堆積岩(凝灰質砂岩、砂岩、シルト



写真-1 K地区(管轄事務所提供の調査報告書より)

表-1 各地区の地形・地質の特徴

変状パターン ¹⁾	地区	規模および地形の特徴	地質構造等の特徴
③	M地区	<ul style="list-style-type: none"> 岩手・宮城内陸地震により発生 長さ約160m、幅約120m、深さ約35m、土量約226,800m³⁾ 緩傾斜の平坦面(段丘面)で、両側が河川により浸食されて急崖となっている。 当該箇所は <u>地すべり地形を呈していない</u> が、<u>近隣には地すべり地形が多く存在する</u>。 	<ul style="list-style-type: none"> 地質:新第三紀の凝灰質砂岩 すべり面傾斜約5度(下部はさらに緩い) 地質構造:層理面の傾斜約5度、すべり面と調和的 複数のボーリングですべり面付近に <u>軟質化した凝灰岩層</u>(厚さ2~5cm程度)が存在
	K地区	<ul style="list-style-type: none"> 東北地方太平洋沖地震の誘発地震により発生 長さ約200m、幅約250m、深さ約30m、土量約775,000m³⁾ 尾根状の丘陵地を呈する。 当該箇所の <u>末端部および近隣に地すべり地形</u> が判読されている(過去の調査報告書)。当該地区を <u>包括する地すべり地形</u> や、防災科学技術研究所の <u>地すべり地形分布図</u>による <u>地すべり地形は見られない</u>。 	<ul style="list-style-type: none"> 地質:新第三紀中新世の堆積岩(凝灰質砂岩、砂岩、シルト岩等) すべり面傾斜約10度 地質構造:層理面の傾斜約10度、すべり面と調和的 すべり面の上方延長に <u>破碎部</u>(厚さ10~20cm程度、層面断層と記載されている)が存在(ボーリング調査および現地踏査による)
	O地区	<ul style="list-style-type: none"> 東北地方太平洋沖地震(本震)により発生 長さ約33m、幅約30m、深さ約7m、土量約1,730m³⁾ 傾斜30度前後(上部は20度前後)のやや凸状の斜面。 当該箇所は <u>地すべり地形を呈していない</u>。防災科学技術研究所の地すべり地形分布図でも当該地区に地すべり地形は見られない。ただし周辺地区において <u>同様の走向・傾斜の斜面で地すべり地形</u> が判読されている箇所がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 地質:新第三紀中新世の砂岩、シルト岩 すべり面傾斜約20度 地質構造:層理面の傾斜約20度、すべり面と調和的 すべり面の上方延長に <u>粘土質の脆弱層</u>(厚さ60~70cm程度)が存在(ボーリング調査による)
	Y地区	<ul style="list-style-type: none"> 東北地方太平洋沖地震(本震)により発生 長さ約90m、幅約50m、深さ約10m、土量約22,500m³⁾ 傾斜30度前後のやや凸状の斜面。 当該箇所は <u>地すべり地形を呈していない</u>が、当該箇所と同様の走向・傾斜の <u>近隣の斜面で地すべり地形</u> が判読されている(調査報告書)。 	<ul style="list-style-type: none"> 地質:新第三紀中新世の砂岩、泥岩等 すべり面傾斜約25度 地質構造:層理面の傾斜20~30度、すべり面と調和的 すべり面付近に脆弱層が存在したかどうかは不明(上方斜面でのボーリング調査がないため)
①	S地区	<ul style="list-style-type: none"> 東北地方太平洋沖地震の誘発地震により発生 長さ約90m、幅約120m、深さ約18m、土量約64,800m³⁾ 傾斜30度前後の尾根状斜面。 当該箇所をほぼ包括する <u>地すべり地形</u> が存在する。防災科学技術研究所の <u>地すべり地形分布図</u>にも記載されている。 	<ul style="list-style-type: none"> 地質:基盤は古生代の結晶片岩(塩基性片岩、泥質片岩等)、その上位に地すべり崩積土が厚く分布 すべり面傾斜約25度 地質構造:地すべり崩積土と基盤の境界が傾斜20~25度の流れ盤 すべり面の上方延長に <u>粘土化が顕著な層</u>(厚さ約20cm)が存在(ボーリング調査による)
②	H地区	<ul style="list-style-type: none"> 東北地方太平洋沖地震(本震)により発生 長さ約160m、幅約70m、深さ約10m、土量約30,000m³⁾ 傾斜20度前後のやや凸状の斜面。 当該地区は <u>地すべり地形を呈していない</u>。防災科学技術研究所の地すべり地形分布図でも当該地区や隣接地に地すべり地形は記載されていない 	<ul style="list-style-type: none"> 地質:第四紀の火山灰層 すべり面傾斜15~20度(上部は30度程度とやや急) 滑落崖のすべり面付近に <u>脆弱な粘土化した火山灰層</u>(厚さ10cm程度)が存在(すべり面と同方向・同程度の傾斜)

③-4 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)

岩等)であり、層理面の傾斜は約10度とすべり面の傾斜と調和的であった。当該箇所は尾根状の丘陵地であり、過去の報告書では末端部および近隣に地すべり地形が判読されていたが、当該地区を包括する地すべり地形は見られず、防災科学技術研究所の地すべり地形分布図でも当該地区に地すべり地形は記されていない。ボーリング調査および現地踏査により、すべり面の上方延長部に厚さ10~20cmの破碎部が認められた。

(3) O地区

東北地方太平洋沖地震(本震)により長さ約33m、幅約30m、深さ約7mの規模で岩盤地すべりが発生した(写真-2)。当該箇所は傾斜約30度のやや凸状の斜面で、すべり面の傾斜は約20度であった。地質は新第三紀中新世の砂岩およびシルト岩であり、層理面の傾斜は約20度の流れ盤で、すべり面の傾斜と調和的であった。当該箇所には地すべり地形は認められておらず、防災科学技術研究所の地すべり地形分布図でも当該地区に地すべり地形は記されていないが、周辺地区の同様の走向・傾斜の斜面で地すべり地形が記されている箇所がある。ボーリング調査により、すべり面の上方延長部に厚さ60~70cm程度の粘土質の脆弱層が認められた。



写真-2 O地区(管轄事務所提供の調査報告書より)

(4) Y地区

東北地方太平洋沖地震(本震)により長さ約90m、幅約50m、深さ10mの規模で地すべりが発生した(写真-3)。当該箇所は傾斜約30度のやや凸状の斜面で、すべり面の傾斜は約25度であった。地質は新第三紀中新世の砂岩、泥岩等であり、地すべり移動体は崩積土および風化部に相当する。層理面の傾斜は20~30度の流れ盤で、すべり面の傾斜と調和的であった。当該箇所には地すべり地形は認められていないが、約200~400m東南東の同様の走向・傾斜の斜面には防災科学技術研究所の地すべり地形分布図に複数の地すべり地形が記されている。地すべり移動体内のボーリング調査ではすべり面付近は厚

さ20~25cm程度の礫混じり粘土状であったが、上方斜面でのボーリング調査が行われていないため、すべり面の上方延長部が同様の状態であったかどうかは不明である。



写真-3 Y地区(管轄事務所提供の調査報告書より)

(5) S地区

東北地方太平洋沖地震の誘発地震により長さ約90m、幅約120m、深さ約18mの規模の崩積土地すべりが発生した(写真-4)。当該箇所は傾斜約30度の尾根状斜面で、すべり面の傾斜は約25度であった。地質は基盤が古生代の結晶片岩(塩基性片岩、泥質片岩等)であり、その上位に地すべり崩積土が分布する。基盤と地すべり崩積土の境界は傾斜20~25度の流れ盤で、すべり面の傾斜と調和的であった。防災科学技術研究所の地すべり地形分布図では当該箇所を包括する地すべり地形が記されており、地すべり崩積土が分布することと調和的である。ボーリング調査により、すべり面の上方延長部に厚さ20cm程度の粘土化の顕著な層が認められた。



写真-4 S地区(管轄事務所提供の調査報告書より)

(6) H地区

東北地方太平洋沖地震(本震)により長さ約160m、幅約70m、深さ10mの規模で崩壊した(写真-5)。当該箇所

所は傾斜約 20 度のやや凸状の斜面で、すべり面の傾斜は約 15～20 度程度（上部は約 30 度とやや急）であった。当該箇所には地すべり地形は認められておらず、防災科学技術研究所の地すべり地形分布図でも当該地区や隣接地に地すべり地形は記されていない。当該地区の地質は第四紀の火山灰層からなる。滑落崖の露頭調査により、当該地区の火山灰層の走向・傾斜はすべり面と調和的であり、またすべり面付近に厚さ 10cm 程度の軟弱な粘土化した火山灰層が認められた³⁾。



写真-5 H地区（土木研究所HPより）

以上に述べた 6 地区の地形・地質の特徴を整理すると、以下のことがいえる。

- ① S 地区（平成 23 年度整理の変状パターン①）以外では、周辺に地すべり地形が認められる場合も多いものの、変状発生箇所自体が必ずしも地すべり地形を呈していない。地すべり地形以外の微地形の特徴についても今後検討する必要があるが、地形的特徴のみから変状範囲を一義的に推定できないことを示しているといえる。
- ② 地質構造が流れ盤ですべり面と調和的な事例が多い。変状の可能性や範囲を判定する上で地質構造の把握が重要であるといえる。
- ③ すべり面の上方延長部に破碎部、粘土質な部分などの脆弱層が存在する事例が多い。このような脆弱層の分布と性状（強度特性等）の把握が重要であるといえる。

3. 2 地質モデルの作成

3.1 で述べたように、当該箇所の地形だけから簡単に変状可能性や範囲を判定するのは難しいことから、周辺の変動地形、地質構造、脆弱層の分布・性状（強度特性等）と併せ、判定手法を検討する必要がある。そのためには、調査手法の検討とともに、数値解析手法の適用についての検討も必要である。

数値解析手法の適用性の検討の際の解析モデルの構築にあたっては、地質構造を適切に反映することが必要である。したがって、解析モデル構築のベースとなる、地形面、地質境界面、脆弱層などの 3 次元形状をモデル化した地質モデルを 3.1 の 6 事例について作成した（図-1）。

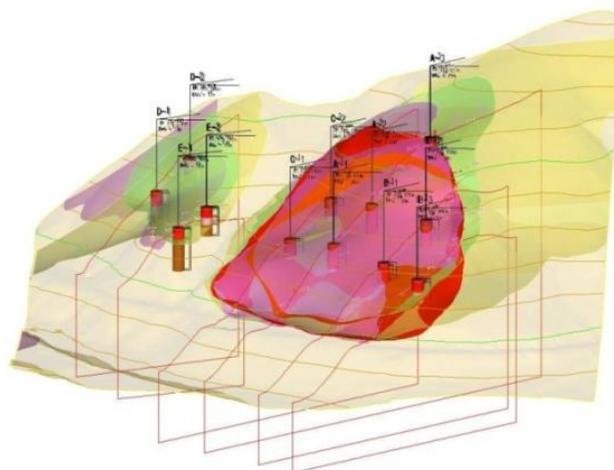


図-1 地質モデル作成例（S地区）

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 23 年度に整理した地震時の斜面地盤の変状パターン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または崩壊）を中心に代表的事例 6 事例の詳細資料を収集し、地形・地質の特徴を整理するとともに、25 年度以降の数値解析手法の検討の基礎となる地質モデル（地形面、地層境界面、脆弱層等の 3 次元モデル）の作成を行った。

収集した代表 6 事例の地形・地質の特徴からは、当該箇所の地形だけから簡単に変状可能性や範囲を判定するのは難しく、また、地質構造や脆弱層の分布と性状の把握が重要であることから、周辺の変動地形、地質構造、脆弱層の分布・性状（強度特性等）と併せ、判定手法を検討する必要があるといえる。そのため、今年度作成した地質モデルをもとに 25 年度から数値解析手法の適用性の検討に着手し、地盤内の応力状態、変状の再現性、脆弱層の影響、地盤の強度特性の影響などについて検討する予定である。

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

③-4 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)

盤工学会関東支部発表会 (CD-ROM)、2012年10月

- 2) 佐々木靖人・大河原正文：平成20岩手・宮城内陸地震により落橋した祭時大橋基礎のコアに見られる特徴、平成21年度日本応用地質学会研究発表会講演論文集、pp1-2、2006年10月

- 3) 杉本宏之・宇都忠和・本間宏樹・武士俊也：東北地方太平洋沖地震により白河丘陵で発生した地すべりの発生斜面の地形・地質的特徴、土木技術資料、第54巻第10号、pp18-21、2012年10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 2012FY, we collected detail materials of 6 typical cases, mainly of slope deformation pattern (divided in 2011FY) No.3 (slide or collapse by bedding plane, joint plane, fault plane or thin weak layer which dips concordant to the slope), to reveal the geographical and geological features of these cases. The geographical and geological features of these cases suggest that it is difficult to judge possibility and area of deformation based on geography of the site only, and it is important to grasp geography of surrounding area, geological structure, and weak layer. We also made geological models (three dimensional models of ground surface, boundary of strata, weak layer, etc.) of these 6 cases, which are bases of mathematical analysis planed in 2013FY and after.

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