

3.5 降雨の影響を考慮した道路土工構造物の耐震設計・耐震補強技術に関する研究

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

（土質・振動）

研究担当者：佐々木哲也、加藤俊二

【要旨】

本研究は、事前降雨等の影響が耐震性に大きく影響すると考えられる道路盛土等の道路土工構造物を対象として、地震時挙動・耐震性に及ぼす事前降雨等の影響の定量的な評価、耐震性照査手法の検討、および合理的で経済的な耐震補強法を検討・提案することを目的として実施するものである。平成 23 年度は、平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震における道路盛土の被災実態調査・被災要因分析を行うとともに、その結果から道路土工指針における道路盛土の耐震検討における課題について整理した。

キーワード：東日本震災、道路盛土、被災要因分析

1. はじめに

近年の地震等において、事前降雨が影響したと考えられる道路盛土等の道路土工構造物の被害により、長期間にわたり道路全体の交通機能を大幅に低下させ、社会問題を引き起こした。このため、道路土工構造物においても耐震性の向上が急務となっている。一方で公共事業費の縮減が求められており、事前降雨等の影響を考慮し適切かつ合理的に道路土工構造物の耐震性を向上させることが求められている。本研究は、事前降雨等の影響が耐震性に大きく影響すると考えられる道路盛土等の道路土工構造物を対象として、変状・被災事例の収集・分析、現地計測、模型実験等を通じて、①道路土工構造物の地震時挙動、耐震性に及ぼす事前降雨等の影響の定量的な評価、②事前降雨等の影響を加味した定量的な耐震性照査手法の提案、③既往の経験・実績に基づく仕様規定（標準のり面勾配、排水工等）が有する性能の明確化、④事前降雨等の影響を加味した合理的で経済的な耐震補強法の提案を目的に実施するものである。

平成 23 年度は、平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震（以下、東日本震災という）における道路盛土の被災実態調査・被災要因分析を行うとともに、その結果から道路土工指針における道路盛土の耐震検討における課題について整理した。

2. 東日本震災における道路盛土の被災要因調査

道路盛土における耐震検討に関する課題整理を目的として、東日本震災において道路盛土の被災実態及び被災

要因に関する調査を実施した。調査対象は、東日本震災において被災した直轄国道の災害査定資料をもとに、地震動による被災と判断される箇所、道路震災対策便覧による被災度判定¹⁾において「大被害」あるいは「中被害」に相当する箇所（図 1 に示す全 7 箇所）を抽出した。

これら被災箇所について、国土交通省の関係事務所の協力の下、被災状況ヒアリングおよび被災箇所の現地調査を行い、被災要因を分析し道路土工における課題・対応方針等を整理した。以下に、その概要を示す。

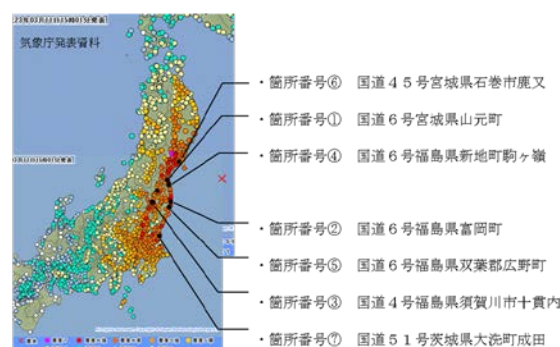


図 1 被災箇所の位置

2. 1 被災箇所の概要

2.1.1 国道 6 号線宮城県亶理郡山元町（箇所番号①）

当該箇所は、丘陵部の谷間に構築された谷埋め盛土区間で、大小 2 つの谷埋め盛土からなる。この箇所における近傍震度は 6 強（山元町浅生原）であった。谷埋め盛土全体にわたって路面の沈下、クラック等の変状が確認

され、大きな谷埋め部の切盛り境付近から約 50m 区間で盛土崩壊が発生した。写真 1 に崩壊箇所の状況を示す。また、写真 2 に道路構築前の航空写真を、写真 3 に被災後の航空写真を示す。当該箇所は、谷部全体を埋めた道路であるが、盛土部背後の丘陵地に農業用水用のため池が見られる。また崩壊部に向かって沢筋が走っており、水の供給元になっている可能性が高い。道路とため池との間の道路用地外部分は、民間開発により埋め立てられており、写真 3 に示すように集水井および排水碎石ドレーンが複数設置されており、施工当時から地山より大量の水が供給されていた可能性が推定される。写真 4 は、復旧作業中の崩壊箇所ののり尻部の状況であるが、高い位置から湧水が確認され、湧水の影響から復旧作業中も小規模の崩壊が見られ、箇所の盛土内水位が高かったことが推定される。

一方、未崩壊箇所（写真 3 の下部）では前述のように 1 車線分が最大で 1 m 程度の沈下による段差は発生したが、崩壊に至っていない。この部分は、写真 3 からわかるように遊水池を形成するために両盛土の形状となっており背後地と連続しておらず、崩壊後の現地調査においてのり面からの湧水は見られなかったことから、背後地からの水の供給は少なく、盛土内の水位が低かったことが推定される。

以上のように、連続する盛土区間においても被災状況が異なり、崩壊した部分は水が集まりやすい条件でかつ盛土内の水位が高かったことが要因で地震動により崩壊したと考えられる。

なお、当該箇所では事務所の協力のもと盛土内の水位観測システムを設置し、平成 24 年度より排水対策の効果の検討も含め降雨および余震による盛土内の水位変化に関するモニタリングを実施することとしている。

2.1.2 国道 6 号線 福島県富岡町（箇所番号②）

当該箇所は、福島第 1 原子力発電所の被災に伴う警戒区域内（福島第一原発から約 10 km）に位置し、近傍震度は 6 強（富岡町本岡）であった。また、当該箇所は、東名高速道路の盛土崩壊を受けて実施している盛土の緊急点検においても要詳細調査・対策箇所に分類されており、今後対策を進める予定であった箇所である。

写真 5 に道路建設前の航空写真を、写真 6 に崩壊後の航空写真を示す。現地は、切土部から片盛・谷埋め盛土に至る区間で、片盛土部の上下線の付加車線を含む計 3 車線全ての盛土が延長約 20m に渡り崩壊した。盛土高は 17m 程度である。航空写真に示すように、小規模な窪地（沢）があり、被災箇所はそこを埋めた箇所に相当する。



写真 1 崩壊状況（事務所提供）



写真 2 道路建設前（1952 年米軍撮影）



赤丸：集水井、黄丸：排水碎石ドレーン
写真 3 被災後（撮影：Google）



写真 4 復旧中ののり尻部の状況

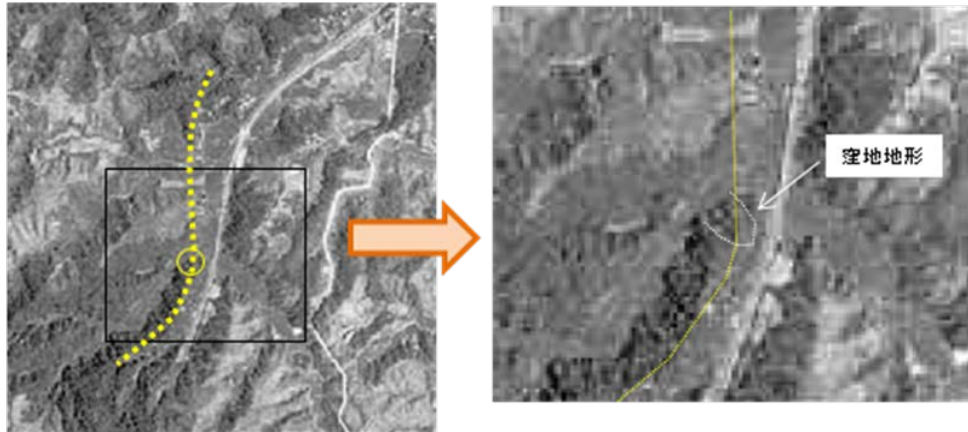


写真5 道路建設前（1948年米軍撮影）



写真6 崩壊後（撮影：Google）



写真7 崩壊箇所の状況（事務所提供）

写真7に崩壊箇所の状況を示す。被災後に事務所の行った調査では、崩壊によりのもり尻部は、約50m側方に流動したと報告されている。被災前日までの現地の3月の累積降水量は20mmであり、事前降雨の影響はほとんどなかったと考えられる。しかしながら、現地写真を見ると崩壊箇所のり尻部には比較的大きな水たまりができており、崩壊面の上部から湧水が見られ、盛土内の水位は常時高かったものと推察される。

以上のように、小規模な窪地に構築された盛土に常時地下水が供給され、地下水位が高い状態にあったところに地震が発生し崩壊したものと考えられる。

2.1.3 国道4号福島県須賀川市十貫内（箇所番号③）

当該箇所は、歩道部（店舗駐車場へ引込み道）のため、崩壊による国道本線への影響はなかったが、周辺の民地も含めて大きく変状が発生した箇所で、当該箇所の近傍震度は6強（須賀川市岩瀬支所）であった。

写真8に崩壊状況を示す。基礎地盤に変状が見られないことおよび盛土体が流動的に崩壊している。崩壊面の右側（宅地と反対側）では、大きな変状は見られなかつ

たが、宅地側では擁壁が折れ曲がるように盛土全体で変状が発生している。写真9に道路建設前の航空写真を、写真10に道路建設後の被災箇所の近景の航空写真を示す。現地は、阿武隈川の河岸段丘の縁辺部に位置し、小さな2つの沢地を埋めて道路および宅地を造成しており、崩壊箇所は2つの沢の合点にあたる。崩壊箇所周辺の標高差は小さく盛土高も5m程度と低いが、盛土背後地の周辺の土地利用状況は水田であり、また崩壊箇所のもり尻部も水田で利用されており、さらに近傍にもため池も見られることから、地盤の水位が常時高いことが推察される。

写真11に復旧作業中の宅地側の状況と湧水位置を示す。復旧工事の際に宅地側の掘削断面の中間付近からは湧水が確認され、肩部の土はかなり含水しており水位が高い状況であり、被災前から宅地側では後背地より常時水が供給されていたことが推定される。一方、道路側からの崩壊面からは、湧水は確認されなかった。

以上のように、崩壊箇所には宅地側から水が供給され、盛土内水位も高い状態にあったところに地震が発生し崩



(a) 正面



(b) 側面

写真8 崩壊状況

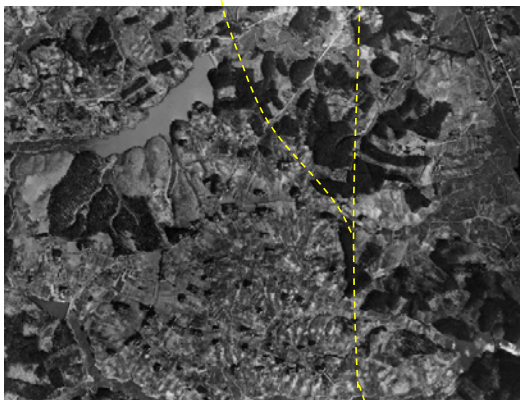


写真9 道路建設前（1948年米軍撮影）

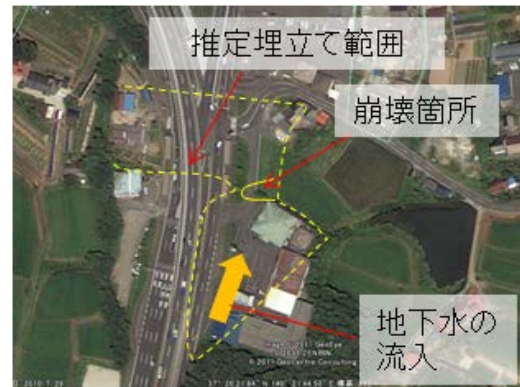


写真10 道路建設後（撮影：Google）



写真11 掘削時の湧水位置

壊したものと考えられる。

2.1.4 国道6号福島県新地町駒ヶ嶺（箇所番号④）

当該箇所は、沖積低地から丘陵部にかけて上りこう配で一部片盛土となっている区間で、近傍震度は6強（新地町谷地小屋）であった。写真12に被災状況を示す。本区間では、ほぼ全体にわたって、路面にクラックが入るなどの被害が確認され、写真13に示すように被災直後の航空写真からは、崩壊形状のような大きなクラックが入っているのが確認される。崩壊形状と思われる箇所について、建設前の航空写真（写真14）で確認すると、小さな沢部にあたるのが確認できる。変状箇所は小さな沢が2つ走っており、比較的大きな沢の部分で沈下およ

び滑りが発生し、路面にクラックが生じたと推定される。写真15に示すように、当片盛土部ののり尻にはアシが茂り、反対側の丘陵部側には竹藪となっているなど、元々地下水が高いことが想定される区間である。

以上のように水が集まりやすい地山形状で地下水位が高く、また軟弱な基礎地盤であったことから不等沈下および滑りが複合的に生じたことで変状が発生したものと推定される。

2.1.5 国道6号線 福島県広野町（箇所番号⑤）

当該箇所は、沼地のある公園沿いの国道で、盛土高が10m～15m程度の盛土で、近傍震度は6弱（広野町下北迫大谷地原）であった。写真16に示すように、上り線側



写真12 被災状況（事務所提供）



写真13 被災直後の航空写真（撮影：Google）

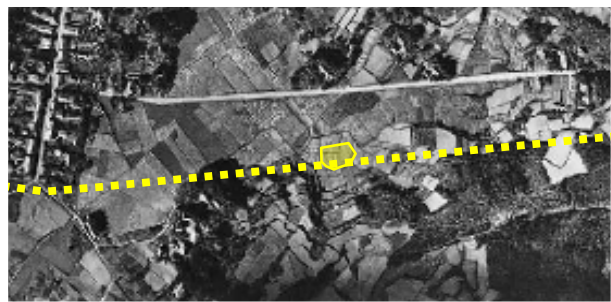


写真14 建設前の航空写真（1952年米軍撮影）



写真15 変状の大きい箇所の法尻部の状況（破線は道路面位置）

の2車線を含んで盛土が延長約70mにわたり崩壊した。被災前日までの3月の累積降水量は20mmであり、事前降雨の影響はほとんどなかったと考えられる。当該箇所は、当該地域の公園整備事業等とあわせて道路拡幅等の再整備が行われた箇所である。写真17に道路建設前、写真18に再整備前の状況、写真19に被災前、写真20に被災後の航空写真を示す。航空写真および露出した舗装断面から推察すると、元は沼地脇の丘陵部を切土してその前後の小規模な沢を埋めた箇所に対面2車線で整備され、道路拡幅の際に沼地側ののり面に腹付けしたものと推察される。沼に接する盛土の基盤部は、約20m側方に

流動している（写真21）。一方、写真22に示すように、盛土内には地下排水、のり尻にふとんかごが設置されており、盛土内の排水対策は行われていたようである。ただし、調査時の崩壊箇所ののり尻部の側面の状況を見ると、盛土内は乾燥しているが、ふとんかごが設置してある盛土部のり尻は深はかなり湿っており、調査前日までの2週間の降水量は約10mm程度であったことから、盛土の基礎地盤部の水位は常時高かったものと推察される。

以上から、沼地に接する基礎地盤が液状化により流動し、それに伴い腹付け拡幅した盛土部が崩壊したものと考えられる。なお、液状化による変状については、別途

3.5 降雨の影響を考慮した道路土工構造物の耐震設計・耐震補強技術に関する研究



写真16 被災状況（事務所提供）

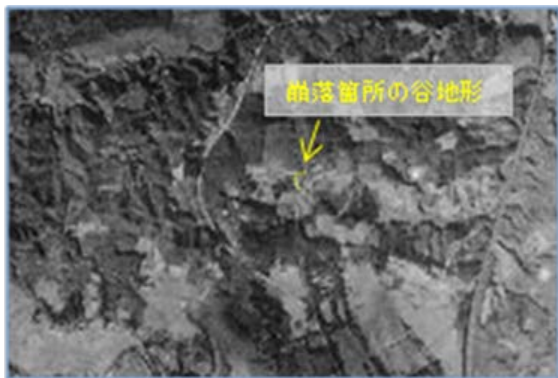


写真17 道路建設前（1947年米軍撮影）



写真18 再整備前（1975年国土地理院撮影）



写真19 被災前の状況（2003年Google）



写真20 被災後の状況（2011年3月18日Google）



写真21 基盤部の流動状況



写真22 のり尻部の排水対策と湿潤状況

実施した土質試験および安定解析においても示唆されていた。

2.1.6 国道45号線 宮城県石巻市鹿又（箇所番号⑥）

当該箇所は、右折レーンを設けるために拡幅した道路へのすり付け部で立ち上げた盛土部で、基礎地盤が軟弱であるため道路拡幅部は既設盛土のり面上にEPSによる軽量盛土により構築されている。近傍震度は6弱（石巻市泉町）であった。写真23に被災状況の近景、写真24に被災前の航空写真、写真25に被災後の航空写真を示す。被災箇所は拡幅部のすり付け区間であり、EPS盛土の基礎となっている盛土のり面がEPS盛土を含めて崩壊した。盛土の崩壊に伴い、盛土のり尻部の水路の側壁を押し倒したが、写真26に示すように盛土前面の民地部の家屋、ブロック塀や周辺地盤部には目立った変状は

認められなかった。崩壊した区間の前後を含めて盛土の全体的な沈下に伴い路面全体に沈下が見られた。崩壊部と反対車線側では、写真27および写真28に示すように、噴砂跡や、腰留め擁壁の傾斜、民地の土間コンクリートにクラック、水平変位が見られた。崩壊箇所の周辺地盤に目立った変状は認められないことから、主たる変状は軟弱地盤上の盛土部内で生じたものと推察される。ここで、変状の発生が局所的であることから、基礎地盤の状況について調査することを目的として、サウンディングおよび復旧工事の掘削断面の調査を行っており、図2に掘削状況を整理したものを示す。被災箇所は窪地となっており、基礎地盤の上にサンドマット施されているとともに、掘削面からは湧水が確認された。

以上から、軟弱地盤上の盛土で窪地を埋めたサンドマ



写真23 被災状況（事務所提供）



写真24 被災前の状況（2003年Google）



写真25 被災後の状況（2011年Google）



写真26 民家と土砂の状況（事務所提供）



写真27 噴砂跡の状況



写真28 擁壁の変状

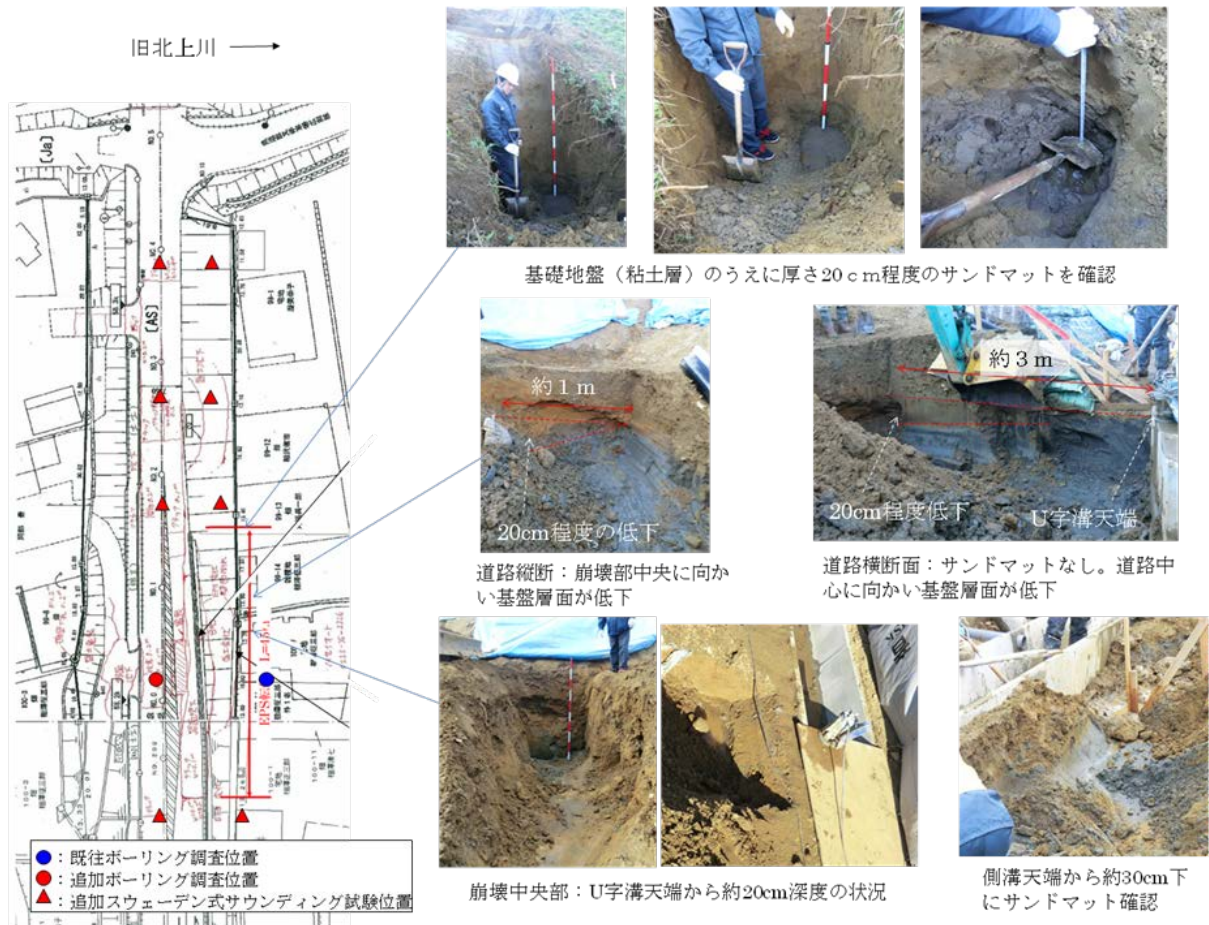


図2 サウンディングおよび掘削調査結果

ットを含む盛土材が液状化し、大きく崩壊したものと推定される。

2.1.7 国道51号線 茨城県大洗町成田（箇所番号⑦）

写真29に被災状況、写真30に道路建設前の航空写真、写真31に道路建設の写真に道路建設後の航空写真を重ね合わせたものを示す。当該箇所は、昭和41年に施工された、下総層群相当層と古砂丘の境界部付近を通

過している片側2車線（4車線）道路で、海側2車線の約3kmの広範囲で連続した亀裂・段差等が生じた。（写真29～31）

本復旧の際の掘削断面を見ると、写真32および写真33に示すようにローム層が海側に傾斜（海食によるものと推定）しており、その上に古砂丘層および盛土層が載っている状況が確認できた。現地の砂層および盛土は



写真29 被災状況 (事務所提供)



写真30 道路建設前 (1947年米軍撮影)



写真31 道路建設後 (1975年国土地理院撮影)



写真32 道路中央部の断面状況



写真33 道路横断面の状況

湿っており、ローム層を境に滑ったあるいは深い砂層の部分が沈下したものと推定される。特に、擁壁施工箇所については、擁壁自体の大きな傾斜は見られず数10cm程度沈下しており、砂層部分が厚い箇所が全体的に沈下したものと推定される。

以上のように、ゆるい傾斜地盤の上に構築した盛土が、地盤の変状に連動して変状が生じたものと考えられる。

2.2 被災要因の分類および道路土工指針での対応

前述の被災要因調査結果から、調査箇所における被災

要因は大きく次の4つに分類される。

分類Ⅰ：水が集まりやすい地形条件などで盛土内の水位が高かったことが要因（箇所番号①～④）

分類Ⅱ：水が集まりやすい地形条件で排水対策を実施したものの基礎地盤が液状化したことが要因（箇所番号⑤）

分類Ⅲ：平地部の軟弱地盤上の盛土で盛土材自体が液状化したことが要因（箇所番号⑥）

分類Ⅳ：不安定な傾斜地盤上に構築したことが要因（箇所番号⑦）

分類Ⅰは、能登地震における能登有料道路や駿河湾を

震源とする地震における東名高速道路の盛土の崩壊等に見られた集水地形上の盛土など水が集中する箇所等で、盛土内水位が高かったことによるものである。盛土工指針においては、これらの地震による被災を踏まえて基盤排水層や小段部の水平排水層の設置等の排水に関する記述が強化されており、分類Ⅰについての対応が図られているものとする。

分類Ⅱは、基盤排水層などにより盛土内水位を低下させた場合でも、水位が基礎地盤内あるいは基礎地盤面より上方に水位があるもので、今回の被災事例で見られたように、湖沼等の水辺に隣接し基礎地盤が砂質土等で液状化する可能性がある箇所については、基礎地盤の液状化による崩壊に対する注意喚起を行う必要があると考える。

分類Ⅲは、軟弱地盤上の盛土で盛土材（サンドマット層を含む）が液状化し崩壊したものである。盛土内水位の上昇は基盤排水層の設置により、一部対応できるものの、圧密沈下が著しい箇所や、石巻の事例のように基礎地盤にもともと窪地等の大きな不陸があるような場合は対応が不十分であり、例えば窪地の整形では碎石による置き換えをするなどの施工時の対応方法も含め、注意喚起を行う必要があると考える。

分類Ⅳは、ゆるい不安定な傾斜地盤上に構築された盛土で基礎地盤も含めて沈下が生じたものである。設計・施工当時の道路土工指針²⁾においては、傾斜地盤上の盛土および擁壁の設計に関する記述はされていなかった。

現行の盛土工指針³⁾においては、不安定な傾斜地盤については十分な調査と不安定箇所の掘削除去や改良等の対応についても記述されており、また、傾斜地盤上の擁壁についても、擁壁工指針⁴⁾において盛土基礎地盤を含む全体安定検討を行うことが記述されており、分類Ⅳについては対応が図られているものとする。

3. まとめ

東日本震災における被災では、地震発生前の数日間に降雨は無かったことから、降雨の影響による被災は見られなかったが、盛土の被災は水の影響が大きいことを再確認することができた。今後は、前述したように盛土内水位の現地観測を行い、排水対策の効果も含めて降雨等による盛土内の水位変化を把握するとともに、盛土材の含水状態と強度特性の関連についての室内実験等を行い、降雨等の盛土の耐震性への影響に関する検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路震災対策便覧（震災復旧編）、平成 19 年 3 月
- 2) 日本道路協会：道路土工指針、昭和 31 年 10 月
- 3) 日本道路協会：道路土工—盛土工指針、平成 22 年 4 月
- 4) 日本道路協会：道路土工—擁壁工指針、平成 11 年 3 月

RESEARCH ON THE SEISMIC DESIGNS AND RETROFITS CONSIDERED INFLUENCE OF THE RAINFALL FOR EARTH WORKS

Budgeted : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2011-2015

Research Team : Geology and Geotechnical
Engineering Research Group
(Soil Mechanics and Dynamics)

Author : Tetsuya SASAKI

Shunji KATO

Abstract : This study is carried out for suggesting the quantitative evaluation methods on influence of the prior rain to behavior; quake resistance due to earthquake, and rational and economical seismic strengthening method on road earthwork structures. In 2011FY, it was carried out the suffering fact-finding and factors of road embankments due to the Pacific Coast of Tohoku Earthquake occurred on March 11, 2011. By the results, it was arranged about problems to the seismic examination of the road embankment on the road earthwork standard.

Key words : seismic designs and retrofits, road earthworks, prior rainfall