

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 20 日現在

機関番号：82723

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26820191

研究課題名(和文) 中山間地域の道路盛土における地震時被害の低減対策に関する研究

研究課題名(英文) Reduction countermeasure of earthquake damage of road embankment in intermediate and mountainous area

研究代表者

野々山 栄人 (Nonoyama, Hideto)

防衛大学校(総合教育学群、人文社会科学群、応用科学群、電気情報学群及びシステム工・その他部局等・助教)

研究者番号：00624842

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、中山間地域の道路盛土の地震時被害の低減を目的として、現地調査を実施し、その結果をもとに模型実験を実施した。また、粒子法による解析プログラムの高度化を実施した。得られた結果として、盛土内部に局所的に高含水な箇所が存在すると、地震動によってその箇所を中心に液状化現象が生じ、盛土内部で崩壊が発生している可能性があることがわかった。

研究成果の概要(英文)：In order to reduce the seismic damage of road embankment in intermediate and mountainous area, site investigation and model test based on the results of the investigation, and simulations were carried out. The main conclusion is as follows. If the zone of locally high water content is exist inside the embankment, liquefaction occurs around this zone by ground motion and there is a possibility that the failure from the inside of embankment occurs.

研究分野：地盤工学

キーワード：地盤工学 地盤防災 中山間地域 粒子法

## 1. 研究開始当初の背景

東日本大震災や長野県北部地震では、中山間地域の道路盛土において線状の陥没や盛土区間の滑動が確認された。

本研究で対象とする中山間地域とは、国土の7割以上を占める山間地域の中で平野部との接点にあたり、古くから生活の場として利用されてきた箇所であり、近年、社会インフラの整備により、主要道路に上下水道などの地下埋設管(管渠)が敷設されてきた。結果として、この地域の道路は、地形的制限により片切・片盛土で構築され、盛土部分の路床・路体の境界付近に管渠が敷設されていることが多く、また、一般的にこの地域の道路は地盤の形成過程により細粒分を多く含む礫質土で構成されることが多いため、浸透水は雨水の表面浸透よりも、山地内の貯留水を供給源として破碎帯などの透水性に富んだ「水みち」から浸透し、それが道路内にも供給される。さらに道路内の暗渠を巻く透水性の良い「サンドマット」が浸透水を道路縦断方向に導水・拡散させている。この一連の浸透水の流れが地盤の強度低下を生じさせていると考えられる。また、この地域の下水道は、その地形特性と事業規模から小規模な集落排水であることが多く、自然流下型を採用している。このため、マンホールのような大きな浮力を受ける構造物以外にも、「サンドマット」の影響により地形変化点などで道路内の浸透水が集中しやすくなっている。加えて、道路施工では基本的に路床内の地下水は排水するように規定されているが、実際の道路は無対策であることが多い。こうした中山間地域特有の道路・埋設管事情が、地震時には過剰間隙水圧の発生に伴って、軽量の埋設管の浮き上がりや周辺盛土地盤の崩壊を誘発させていると考えた。

## 2. 研究の目的

地震等の外力が作用した際に中山間地域の道路盛土の被害の低減方法を検討することを目的として、現地調査、振動台実験装置を活用した模型実験ならびに粒子法の解析プログラムによる数値解析を実施して検討する。

## 3. 研究の方法

### (1)中山間地域の道路盛土の粒度特性の把握

研究対象地域は、我が国の主要な地質から構成されており地形的にも各種の地殻変動を受けることで、河谷の侵食と崖錐帯の形成が顕著である岐阜県北部域を対象とした。中山間地域における盛土は、現地発生土を利用することが原則となっているため、山間道路の主要な地形・地質である崖錐土砂の特性を知ることが中山間地域の盛土特性を把握することになる。この地域では高～低位の段丘

が河川に沿って分布し、段丘面上には形成された時代が異なった新旧の崖錐帯が分布しているが、現谷底付近には現在も拡大傾向にある新規崖錐帯が広がっている。そのため、崖錐帯を構成する土砂の材料特性を把握するためには、対象地域内のできるだけ多くの地点について土性の調査・把握を行う必要があった。また、中山間地域の集落間を結ぶ道路は、集落形成の基となる生活環境条件から河川に沿った崖錐帯を横切るように構築されているため、このような道路建設・維持のための土質調査報告書を整理し、崖錐土砂層の特徴を把握する。

### (2)中山間地域の道路における地震時被害の低減に関する実験的研究

模型実験装置を用いて、盛土内部に透水薄層を挟み込み、盛土内の局部的液状化現象と盛土変形の把握を試みた。実験では中山間地域の一般的な道路規格を考慮し、実規模の1/50スケール、また実験における盛土変形を強調するために低盛土で盛土勾配を1:1の急勾配とした。一般的な盛土施工と同様に、全5層(250mm)を各層(50mm)ごとに分けて敷き詰め、締固めて作製した。実験に用いた試料は、(1)の調査結果をもとに、崖錐土砂を主体とした材料とした。また、硬直ゴムホースを埋設管にみたくて、模型盛土を作製後、掘削して設置した。その際の埋戻し土には豊浦砂を使用した。入力地震動は、過去の地震動記録や予備実験結果より、微動から徐々に加速度を増す方法が盛土の変状が明確となることが判明したため、加振条件750gal、5Hzの正弦波を入力地震動(40秒)として繰返し加振を行った。

### (3)粒子法による斜面の変形解析

本研究で用いる粒子法は、地盤の初期変形から大変形までの一連の過程を連続して追従できる解法ではあるが、解析精度については従来のFEM等の解析手法と比較すると、十分ではないとも言われている。そこで、これまでに提案されている粒子法の改良手法を整理し、その精度の検証を行う。次に、斜面の変形解析を実施し、解析条件の違いが斜面の変形・崩壊パターンに及ぼす影響を把握する。

## 4. 研究成果

### (1)対象とする中山間地域の道路盛土の粒度特性の把握

模型実験および数値解析を用いて、地震時における中山間地域の道路盛土の安定性や対策工の検討ための事前調査として、岐阜県北部地域を研究対象地域と選定し、既存の土質調査報告書を整理・分析し、中山間地域における道路盛土の粒度特性の把握を実施した。分析結果から、図1に示すように、当該地域の地形・地質が異なっても、粒度特性と

してはほとんど変化しないことがわかった。ただし、材料特性としては、細粒成分のコンシステンシーによって変化するため、力学的挙動が異なる可能性はあるものの、今回得た平均的な粒度特性とコンシステンシー特性を用いることで、中山間地域の盛土材料の再現が見込める結果が得られた。

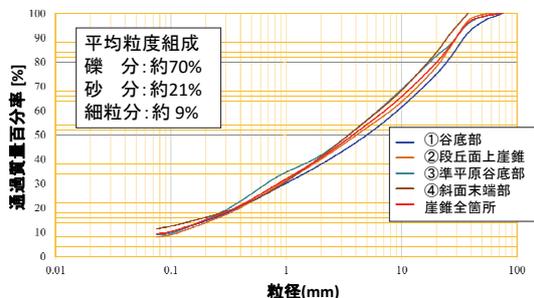


図1 現地調査で得られた粒径加積曲線

(2)中山間地域の道路における地震時被害の低減に関する実験的研究

得られた結果として、目視による管渠周辺地盤での液状化現象は確認できなかったものの(図2),加振によって過剰間隙水圧が上昇し,有効上載圧に達しているため液状化現象が発生していると考えられる(図3,4)。

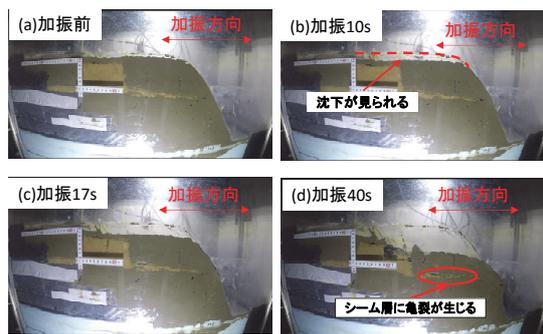


図2 盛土側面の変形状況

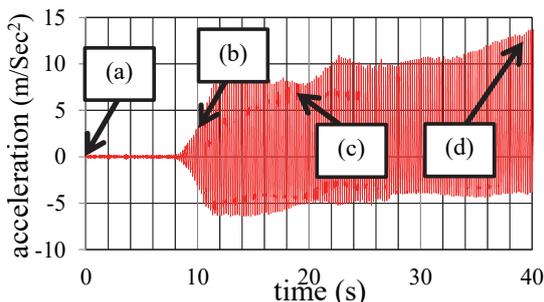


図3 盛土内に設置した加速度の時刻歴

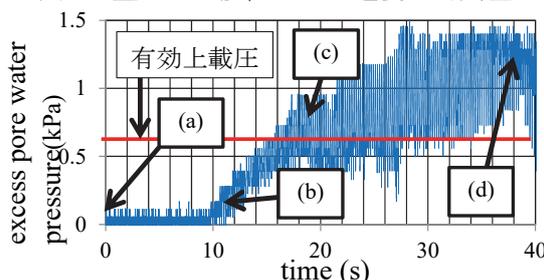


図4 盛土内に設置した水圧計の時刻歴

また、盛土内の透水薄層が液状化現象により、剛性低下し透水薄層周辺の盛土の安定が失われ法面全体の崩壊に至ったと判定できる。以上より、盛土内部に局所的な高含水状態部分が存在すると、地震動により高含水部分を中心に液状化現象が生じ、法面内部で崩壊が発生することが確認された。ただし、今回の実験では埋設管の液状化による浮き上がり現象が見られなかったが、これは法面崩壊が先行したためと判断される。

(3)粒子法による斜面の変形解析

粒子法の精度の検証として、同一条件における空間勾配の検証やせん断解析による理論解との比較を実施した。得られた結果として、従来法では自由表面での精度の担保が難しいが、改良手法を用いることで精度を向上できることを確認した。また、テーラー展開の高次項を用いる粒子法は、高精度に地盤の力学的挙動を表現できることを確認した。図5にその一例を示す。

次に、解析条件の違いが斜面の変形・崩壊パターンに及ぼす影響を把握した。また、間隙水圧の影響を考慮できるように拡張した。その結果、地下水位の上昇によって有効応力が減少し、斜面の強度が低下し、安全率が1を下回る解析条件だと、ひずみの局所化が連続化し、崩壊領域が明確に形成される結果が得られた(図6)。

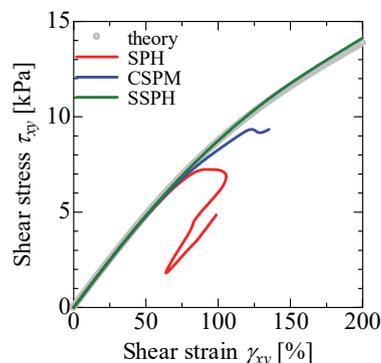


図5 せん断応力～せん断ひずみ関係

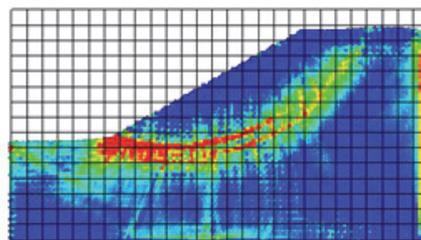


図6 せん断ひずみ分布

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2件)

①Nonoyama, H., Moriguchi, S., Sawada, K. and Yashima, A., Slope stability analysis using smoothed particle hydrodynamics (SPH) method, Soils and Foundations, 査読有, Vol.55, No.2, pp.458-470, 2015.

②野々山栄人, 中野正樹, 野田利弘, 改良型粒子法による地盤の変形解析に向けた検討, 土木学会論文集 A2 (応用力学), 査読有, Vol.70, No.2, pp.I\_453-I\_462, 2014.

[学会発表] (計 11 件)

③柴田翔, 野々山栄人, 余川弘至, 浅野憲雄: 中山間地域の道路における地震時被害の低減対策に関する研究, 第 51 回地盤工学研究発表会, 2016.9.13~15, 岡山大学 (岡山県・岡山市) .

④野々山栄人, 宮田喜壽: 変形を考慮した斜面の数値安定解析法, 第 51 回地盤工学研究発表会, 2016.9.13~15, 岡山大学 (岡山県・岡山市) .

⑤野々山栄人, 宮田喜壽: 斜面の安定解析における粒子法と極限平衡法の比較, 土木学会全国大会, 2016.9.7~9, 東北大学 (宮城県・仙台市) .

⑥福本一真, 宮田喜壽, 野々山栄人: 粒子法による崩壊後の変形予測を視野に入れた安定解析, 第 43 回土木学会関東支部技術研究発表会, 2016.3.14~15, 東京都市大学 (東京都) .

⑦Nonoyama, H. and Nakano, M., New Phase of Particle Method for Geotechnical Engineering, The 15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (15ARC), 2015.11.9~13, 福岡国際会議場 (福岡県・福岡市) .

⑧Nonoyama, H., Nakano, M., Noda, T. and Miyata, Y., Large deformation analysis of geomaterials based on continuum modeling considering soil skeleton structure, Proc. of 4th International Conference on Particle-Based Methods. Fundamentals and Applications, (Particles 2015), 2015.9.28 ~ 30, Technical University of Catalonia (Spain・Barcelona) .

⑨余川弘至, 野々山栄人, 浅野憲雄, 武藤大和, 中野正樹, 火山砕屑物で覆われた斜面の崩壊予測, 第 27 回中部地盤工学シンポジウム, 2015.8.7, 名古屋大学 (愛知県・名古屋市) .

⑩野々山栄人, 余川弘至, 浅野憲雄, 中山間地域における道路盛土の粒度特性の把握, 第 24 回調査・設計・施工技術報告会, 2015.6.12, 名古屋大学 (愛知県・名古屋市) .

⑪野々山栄人, 中野正樹, 野田利弘, 改良型粒子法を用いた地盤の変形解析, 第 26 回中部地盤工学シンポジウム, 2014.8.8, 名古屋大学 (愛知県・名古屋市) .

⑫野々山栄人, 中野正樹, 野田利弘, 改良型粒子法による地盤の変形解析に関する基礎的検討, 第 49 回地盤工学研究発表会, 2014.7.15~17, 北九州国際会議場 (福岡県・北九州市) .

⑬野々山栄人, 中野正樹, 野田利弘, 改良型粒子法の精度検証と地盤の変形解析への適用性, 第 19 回計算工学講演会, 2014.6.11~13, 広島国際会議場 (広島県・広島市) .

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

野々山 栄人 (NONOYAMA HIDETO)  
防衛大学校・システム工学群・助教  
研究者番号 : 00624842

### (2)研究分担者

なし

### (3)連携研究者

なし