

道路政策の質の向上に資する技術研究開発

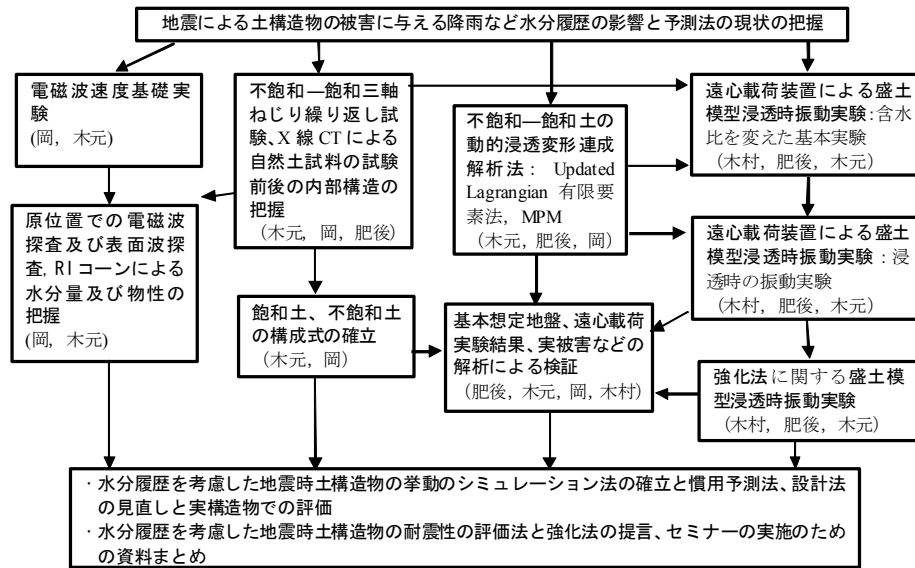
【研究終了報告書】

		氏名 (ふりがな)	所属		役職
①研究代表者		岡 二三生 (おか ふさお)	京都大学大学院 工学研究科 社会基盤工学専攻		教授
②研究 テーマ	名称	水分履歴を考慮した不飽和道路盛土の耐震性の評価法と強化法			
	政策 領域	[主領域] (8) 「大切な道路資産の科学的な保全」に資する技術研究開発	公募	タイプII	
		[副領域] (10) 「自然環境、地球環境の保全」に関する技術研究開発	タイプ		
③研究経費 (単位:万円)		平成21年度	平成22年度	平成23年度	総合計
※端数切り捨て。		693	779	741	2213
④研究者氏名		(研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。)			
氏名		所属・役職 (※平成24年3月31日現在)			
木村 亮		京都大学大学院 工学研究科 社会基盤工学専攻 教授			
木元 小百合		京都大学大学院 工学研究科 社会基盤工学専攻 准教授			
肥後 陽介		京都大学大学院 工学研究科 社会基盤工学専攻 助教			
⑤研究の目的・目標		(提案書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。)			
		<p>本研究は、豪雨や浸透水などの水分履歴を考慮した、道路盛土の耐震性の評価法および強化法の確立を目的としている。</p> <p>地盤探査方法の改良による土構造物の劣化の程度や不均一性の解明、不飽和土の実験的な研究による動的力学挙動の把握と構成モデルの確立、地震時の不飽和-飽和地盤の動的浸透-変形連成解析法の開発、遠心載荷振動台模型実験を実施する。</p> <p>慣用予測法との比較を行うとともに、最新の国際的知見を調査・導入し、水分履歴を考慮した地震時道路盛土の詳細被害予測法の提案、耐震性評価法と効果的排水対策方法など強化法を提言する。</p>			

⑥ これまでの研究経過・目的の達成状況

(研究の進捗や目的の達成状況、各研究者の役割・責任分担、本研究への貢献等（外注を実施している場合は、その役割等も含めて）について、必要に応じて組織図や図表等を用いながら、具体的かつ明確に記入下さい。)

研究者らは、以下に示す研究実施体制と研究フローによって研究を遂行し、水分履歴を考慮した道路盛土の耐震性の評価解析手法をと強化法を確立した。物理探査は、研究者らが計画を立案し、専門技術を有する機関への再委託によって実施した後に、結果から盛土内水分量を評価した。



⑦ 中間評価で指摘を受けた事項への対応状況

(中間評価における指摘事項を記載するとともに、その対応状況を簡潔に記入下さい。)

中間評価における指摘事項

1. 早期の現場での適用を検討していただきたい。(H22年度)
2. 研究成果を道路管理の現場でどう活かすかが重要であるため、実務で研究成果を活用できるよう、まとめるとともに、物理探査と耐震性評価法との関係を手引き書等で示していただきたい。(H22年度)
3. 実務への反映しやすさを考慮し、実務者がどのような基礎データを収集し、どのような解析を行うかを想定した上で、研究成果を整理いただきたい。(H23年度)
4. 本研究の最終目的である、「耐震性評価法と効果的排水対策方法などの、強化法の提言」まで研究を推進いただきたい。(H23年度)

対応状況

本研究で提案した水分履歴を考慮した道路盛土の耐震性評価手法の現場での適用を考慮し、現行の設計法との比較から提案手法の適用条件、解析に必要なデータ、解析から得られる結果と効果について明示した。

また、最終年度の平成23年11月に、道路管理者および実務者と研究者らによる、「道路盛土の耐震性に関するセミナー」を実施し、講師による講演、本研究の成果発表と技術移転、意見交換を行った。さらに、本研究期間の最後に、本研究の成果とセミナーで得た知見から、道路盛土の耐震性の評価法と強化法に関する提言をまとめた。

⑨研究成果

(本研究で得られた知見、成果、学内外等へのインパクト等について、具体的にかつ明確に記入下さい。)

1. 概要

本研究は、豪雨や浸透水などの水分履歴を考慮した、道路盛土の耐震性の評価法および強化法の確立を目的としている。この目的のため、地盤探査方法の改良による土構造物の劣化の程度や不均一性の解明、不飽和土や軟岩の実験的な研究による動的力学挙動の把握と構成モデルの確立、地震時の不飽和－飽和地盤の動的浸透－変形連成解析法の開発、遠心載荷振動台模型実験を実施した。また、慣用予測法との比較を行うとともに、最新の国際的知見を調査・導入し、**水分履歴を考慮した地震時道路盛土の詳細被害予測法の提案、耐震性評価法と効果的排水対策方法など強化法を提言した。**

2. 不飽和土の繰返し変形特性と構成式の確立

(1) 不飽和土の繰返し三軸試験と弾粘塑性構成式によるシミュレーション

地震時などの動的な載荷条件では、短時間に大きな外力を受けるため発生した間隙圧が消散しない状態が考えられる事から、不飽和試料を用いた非排気－非排水条件での実験が必須であるが、国際的に見ても実験データはほとんど無いのが現状である。そこで、地震外力を受ける土構造物の締固め土を念頭に、不飽和砂質土の排気－排水、非排気－非排水条件での繰返し三軸試験を実施し、繰返し載荷時における変形特性と時間依存性挙動を詳細に検討した。

さらに、不飽和土の繰返し弾粘塑性構成式の確立のため、構成式による要素シミュレーションを実施した。また、不飽和土の構成式の一部である水分特性曲線の曲線形状を実験結果からモデル化した。

(2) 自然堆積軟岩の三軸試験と弾粘塑性構成式によるシミュレーション

盛土基礎地盤や切土斜面で問題となる軟岩についても、耐震性の評価には材料の微視的内部構造の破壊、劣化を考慮した繰返し構成モデルが必須である。このため、繰返し試験を凝灰岩に対して実施し、弾粘塑性構成式によるシミュレーションを実施した。

(3) 研究成果

- ◆ 淀川堤防砂を用いた不飽和砂質土の排気－排水、非排気－非排水条件での繰返し試験により、不飽和土のひずみ速度依存性と繰返し力学特性を明らかにした。
- ◆ 実験データに基づく、弾粘塑性構成式および空気－水－土連成有限要素法による排気－排水、非排気－非排水三軸試験のシミュレーション結果は、概ね実験結果と一致しており、弾粘塑性構成式の有効性を確認した。
- ◆ 凝灰岩を用いた三軸試験を実施し、繰返し特性を含む力学特性を明らかにした。また、せん断変形に伴う内部構造変化を μ フォーカスX線CTによって明らかにした。
- ◆ 軟岩の三軸試験結果のシミュレーションを通して、時間依存性、ダイレイタンシー、内部構造変化を考慮した弾粘塑性構成式を確立した。

⑧研究成果（つづき）

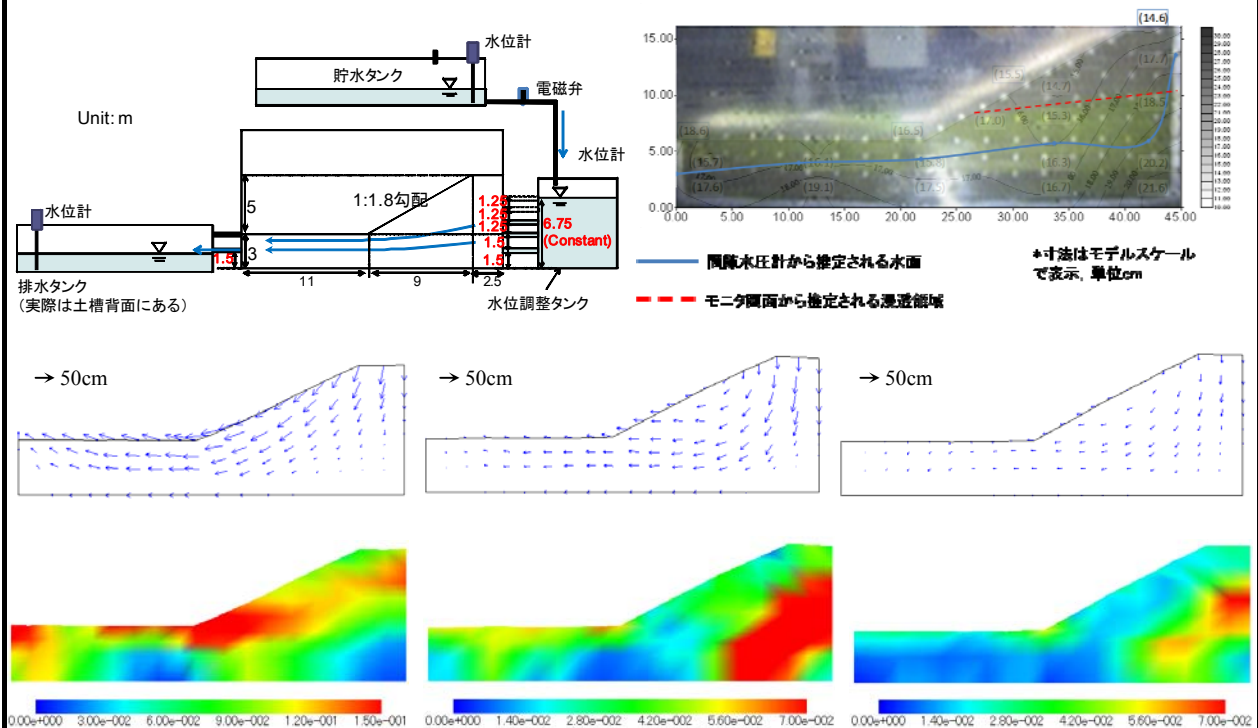
3. 盛土地盤の遠心載荷装置による振動実験

(1) 浸透を考慮した不飽和盛土の遠心模型振動台実験

遠心載荷装置による振動実験で降雨や地下水位上昇による水分履歴を受けた道路盛土の地震時安定性を評価する事を目的とし、含水比の異なる不飽和盛土、盛土への浸透を行った不飽和盛土、浸透後に一定時間水位低下させた不飽和盛土について遠心模型実験を実施した。さらに、浸透を受ける盛土の強化法として、ドレーンを設置した実験を行い対策の効果を検証した。

(2) 研究成果

- ◆ 浸透水は無いが盛土全体の含水比が高い場合、大きな変形が発生した。一方で、最適含水比の不飽和盛土は、大規模地震を想定した大きな地震動によっても崩壊に至らなかった。
- ◆ 不飽和盛土内への浸透過程では、盛土内に空気が封入された状態で部分的に飽和した箇所を水が流れていることを明らかにした。浸透を考慮した場合、動的載荷過程において浸透領域で間隙水圧が上昇し盛土が大きく変形する結果となった。水位低下後においても、浸透の無い盛土に比べて大きな変形が見られた。
- ◆ 排水工（基盤排水層）によって強化した不飽和盛土の浸透を考慮した動的遠心模型実験を実施し、排水工が法尻への浸透を防ぎ、動的載荷による変形を抑制する効果を確認した。
- ◆ 不飽和土を用い、浸透までを考慮した盛土の動的遠心載荷実験の事例は少ない。本研究で評価解析手法のキャリブレーション、対策工の考案に有効な盛土の動的挙動に関する実験データを示した。



(a) 高含水比盛土（浸透無し） (b) 浸透水を有する盛土 (c) ドレーンを有する盛土
変位ベクトル分布図およびせん断ひずみ（偏差ひずみテンソルの第二不変量）分布図

⑧研究成果（つづき）

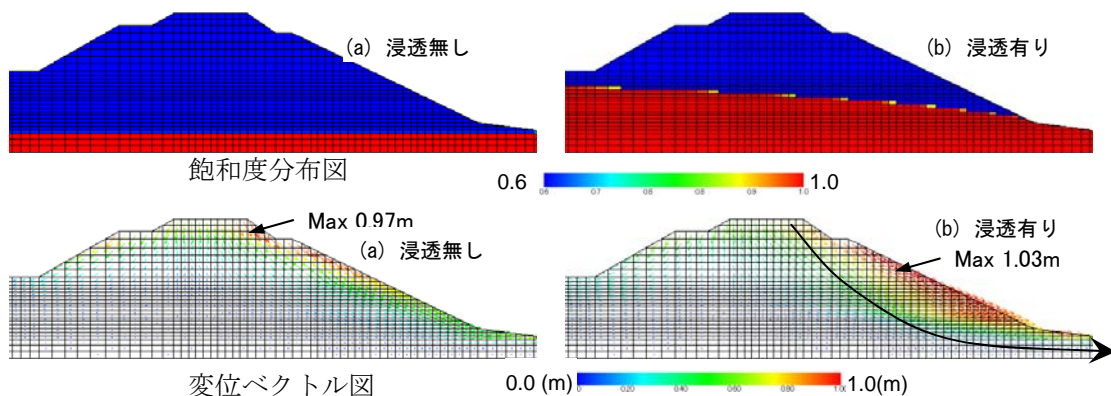
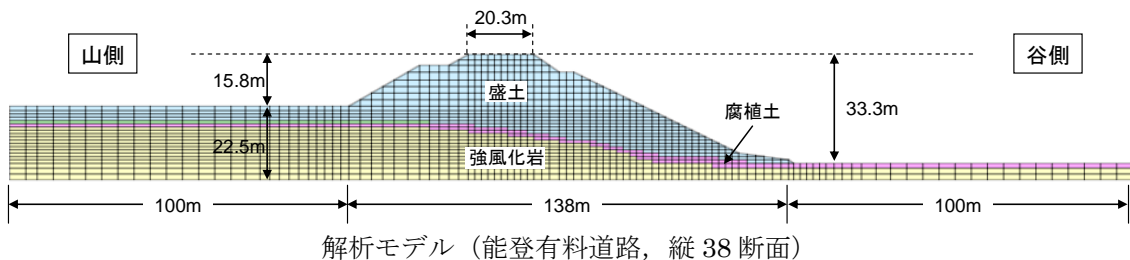
4. 多相系地盤の動的大変形解析法の確立

(1) 弾塑性構成式および弾粘塑性構成式を用いた多相連成動的大変形解析

不飽和-飽和地盤の空気-水-土骨格からなる多相系材料の動的解析法を確立する事を目的とし、弾塑性構成式を用いた多相連成有限要素法、updated Lagrangian法に基づく有限要素法、及び多相連成Material Point Methodによる解析を行った。多相連成弾塑性有限要素法とニューマーク法を比較し、それぞれの特徴を考察した。

(2) 研究成果

- ◆ 不飽和土の弾塑性構成式を用いた多相連成有限要素法(FEM)による、浸透を考慮した不飽和盛土の動的遠心载荷試験のシミュレーションを実施し、不飽和盛土の破壊メカニズムを詳細に明らかにするとともに解析法の適用性を示した。
- ◆ 2007年能登半島地震による能登有料道路の盛土崩壊事例の解析を実施し、水の浸透によって盛土が大変形を起こす挙動を再現した。
- ◆ 不飽和土の弾粘塑性構成式および弾塑性構成式を用い、updated Lagrangian法に基づく有限変形多相連成3次元有限要素法(FEM)を定式化し、両盛土を対象とした動的解析に適用した。不飽和土の地震時挙動の解析には、間隙空気圧と間隙水圧の挙動が重要であり、これらを同時に解析する不飽和土の解析手法は例を見ない新しい手法である。
- ◆ 有限要素法では計算が困難な大変形領域においても解析可能な粒子法であるMaterial Point Methodを用いた多相連成解析法を用い、浸透を考慮した不飽和道路盛土の動的解析を実施し、盛土の崩壊に至るまでの大変形挙動を表現できた。
- ◆ ニューマーク法と本研究の提案手法の比較および解析例を示し、水分履歴を考慮した不飽和道路盛土の地震時の耐震性の評価には、本研究の解析手法の適用性が高い事を示した。



⑧研究成果（つづき）

5. 道路盛土内の水分量および劣化状況の物理探査

（1）表面波探査およびRIコーン貫入試験による地盤調査

2007年能登半島地震時に、能登有料道路の集水地形の高盛り土に発生した代表的な流動性崩壊箇所（縦41断面）を利用して高密度表面波探査連続波レーダーによる電磁波速度構造調査および電磁波反射法構造調査を実施した。

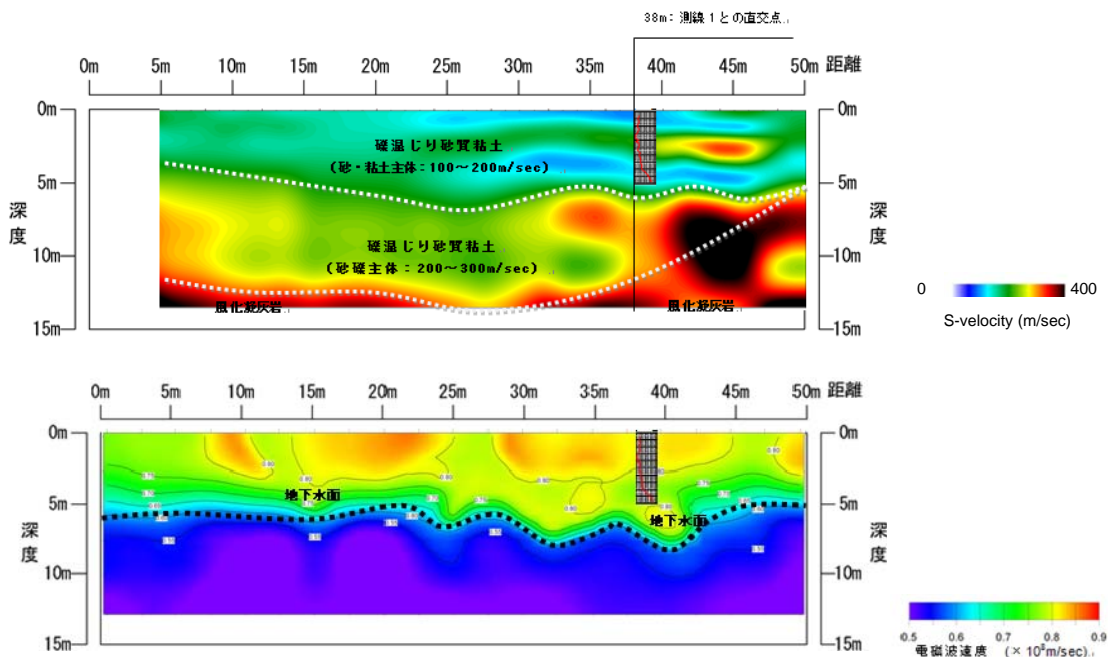
また、物理探査に必須のキャリブレーションのため、土質性状の明らかな原位置での表面波探査、およびRIコーンによる地盤調査を行った。さらに、室内実験で電磁波速度と地下水位の関係性を求めた。これらの結果を基に盛土の水分量や物性を確認した。

（2）マイクロフォーカスX線CTによる不飽和土内部微視構造の観察

不飽和土の水分保持状態と内部構造の把握のため、砂質土の水分保持特性試験を実施し、試験中の不飽和土内部構造を μ フォーカスX線CTによって観察した。

（3）研究成果

- ◆ 連続波レーダー探査によって盛土内の地下水位を評価し、電磁波速度から地盤構造の推定を実施した。
- ◆ 室内実験で、地下水位と電磁波速度の関係を求め、連続波レーダー探査の結果のキャリブレーションを行った。
- ◆ RIコーンによる地盤調査を実施し、盛土内の物性と地下水位を測定した。また、表面波探査により地盤物性を測定した。これらの結果で、連続波レーダー探査結果を補完し、総合的に盛土内の水分量と物性を評価する手法を示した。



測線2（道路に平行な方向）におけるS波速度構造図と電磁波速度構造図の比較

⑧研究成果（つづき）

6. 成果の総括と道路盛土の耐震性の評価法と強化法に関する提言

不飽和盛土の耐震性の評価法と強化法：

- ・ 不飽和土の地震時の挙動の評価には、盛土－基礎地盤の水分履歴を考慮する必要があり、不飽和土の繰返し力学特性をモデル化した構成式と、気体相、流体相、固体相を連成した多相連成解析法を用いる事が重要である。
- ・ 過去の経験で不十分な状況を考える場合は、力学特性を単純化なしに正確に記述した解析法による耐震性の評価が必須である。
- ・ 強化法としては、十分な締固めによる盛土の強化が重要である。また、各種排水工法により水を効果的に排水させる事が、降雨や浸透水に対する対策として最も有効である

不飽和土の実験データの蓄積と構成モデルの確立：

- ・ 実際の盛土材料やそれを想定した粒度の良い土を用いた不飽和土の非排気－非排水および排気－排水条件での繰返し力学試験結果の蓄積は最重要項目である。
- ・ 不飽和土の繰返し力学特性を表現可能な、サクシヨンの影響を適切に考慮した弾塑性あるいは弾粘塑性構成式が必須である。

地盤の水分量と物性の物理探査：

- ・ 盛土の不均質性と水分量の定量的な把握ため、弾性波探査、電磁波などのレーダー探査の適用が有効である。さらに、室内試験で電磁波速度と水分量のキャリブレーションを別途実施する事で、土の含水量を正確に推定する事も可能となる。
- ・ 弾性波試験では力学物性を陽に明らかにすることが可能であり、現在の探査レベルでは、弾性波試験と電磁波探査を併用することがのぞましい。
- ・ これらに加えて、砂質土や粘性土ではコーン試験や礫質土では標準貫入試験などのサウンディング、ボーリング調査などを同時に行い、物性をキャリブレーションすれば、探査結果の精度向上に有効である。RIコーン試験を3成分コーン試験と共に行えば、物性に加えて水分量と地下水位を推定する事ができる。

以上より、不飽和土構造物である道路盛土の耐震性の評価法および強化法には、水分履歴を考慮する事が重要である。

⑨研究成果の発表状況

(本研究の成果について、これまでに発表した代表的な論文、著書(教科書、学会抄録、講演要旨は除く)、国際会議、学会等における発表状況を記入下さい。なお、学術誌へ投稿中の論文については、掲載が決定しているものに限ります。)

- 1) 土井達也, 肥後陽介, 岡二三生, 木村亮, 木元小百合, 李忠元, 遠心場における不飽和盛土の浸透手法と振動台実験に関する研究, 第45回地盤工学研究発表会, 松山, 514 (DVD-ROM), 2010, 8.
- 2) 中島康介, 岡二三生, 木元小百合, 肥後陽介, 松本真明, 不飽和砂質土の繰返し載荷時における力学特性, 第45回地盤工学研究発表会, 松山, 345 (DVD-ROM), 2010, 8.
- 3) 土井達也, 李忠元, 岡二三生, 肥後陽介, 木村亮, 木元小百合, 遠心模型実験による動的載荷時の不飽和道路盛土の安定性に与える初期含水比の影響, 土木学会全国大会, 第65回年次学術講演会講演概要集, 札幌, III-358 (DVD-ROM), 2010, 9.
- 4) 中島康介, 岡二三生, 木元小百合, 肥後陽介, 松本真明, 不飽和砂質土の繰返し三軸試験と弾粘塑性構成式によるシミュレーション, 土木学会全国大会, 第65回年次学術講演会講演概要集, 札幌, III-095 (DVD-ROM), 2010, 9.
- 5) Doi, T., Higo, Y., Oka, F., Kimura, M., Kimoto, S. and Lee, C.-W., Dynamic centrifugal tests for the unsaturated embankments with infiltration, the 23rd KCCNN Symposium on Civil Engineering, Taipei, November 13-15, pp.303-306, 2010.
- 6) 衣川哲平, 土井達也, 肥後陽介, 岡二三生, 木村亮, 木元小百合, 李忠元, 浸透後の水位低下を考慮した不飽和盛土の地震時挙動に関する遠心模型実験, 第46回地盤工学研究発表会, 神戸, 555 (DVD-ROM), 2011, 7.
- 7) 加藤亮輔, 岡二三生, 木元小百合, 肥後陽介, 浸透水を考慮した道路盛土の地震時動的浸透-変形連成解析, 第46回地盤工学研究発表会, 神戸, 756 (DVD-ROM), 2011, 7.
- 8) 西村太佑, 肥後陽介, 岡二三生, 木元小百合, 野間健介, 一般化補間法を適用したMPM-FDM 連成法を用いた不飽和堤防の動的解析, 第46回地盤工学研究発表会, 神戸, 527 (DVD-ROM), 2011, 7.
- 9) 衣川哲平, 土井達也, 肥後陽介, 岡二三生, 木村亮, 木元小百合, 李忠元, 初期含水比及び入力動の異なる不飽和盛土の動的遠心模型実験, 土木学会全国大会, 第66回年次学術講演会講演概要集, 松山, III-179 (DVD-ROM), 2011, 9.
- 10) 狩野修志, 岡二三生, 木元小百合, 肥後陽介, 松本真明, 不飽和砂質土の非排気-非排水条件下における繰返し三軸試験, 土木学会全国大会, 第66回年次学術講演会講演概要集, 松山, III-390 (DVD-ROM), 2011, 9.
- 11) 松本真明, 岡二三生, 木元小百合, 肥後陽介, 狩野修志, 不飽和砂質土の非排気-非排水三軸試験のシミュレーション, 第66回年次学術講演会講演概要集, 松山, III-392 (DVD-ROM), 2011, 9.
- 12) 山田茂治, 北川義治, 岡二三生, 木元小百合, 肥後陽介, 電磁波速度構造探査による地下水調査事例, 地盤の環境・計測技術に関するシンポジウム 2011, 公益社団法人地盤工学会関西支部, pp.79-82, 2011.
- 13) Lee, C.-W., Doi, T., Kinugawa, T., Higo, Y., Oka, F., Kimura, M. and Kimoto, S., Dynamic centrifuge modeling tests for the partially saturated embankments considering seepage flow, the 24th KCCNN Symposium on Civil Engineering, Awaji, Hyogo, December 14-16, pp.455-458, 2011.
- 14) 土井達也, 肥後陽介, 岡二三生, 木村亮, 木元小百合, 李忠元, 衣川哲平, 浸透を考慮した不飽和盛土の動的遠心模型実験とシミュレーション, 第47回地盤工学研究発表会, 八戸, 485 (DVD-ROM), 2011, 7.
- 15) 森本恭弘, 岡二三生, 木元小百合, 肥後陽介, 竹内正之, 非排気-非排水三軸試験における不飽和砂質土のひずみ速度依存性, 第47回地盤工学研究発表会, 八戸, 330 (DVD-ROM), 2011, 7.
- 16) 森下諒一, 吉田竜也, 肥後陽介, 岡二三生, 木元小百合, μ X線CTを用いた異なる水分保持状態における不飽和豊浦砂の微視的構造の観察, 第47回地盤工学研究発表会, 八戸, 349 (DVD-ROM), 2011, 7.
- 17) 肥後陽介, 岡二三生, 木村亮, 木元小百合, 土井達也, 李忠元, 衣川哲平, 排水工を施した不飽和道路盛土の動的遠心模型実験とそのシミュレーション, 土木学会全国大会, 第67回年次学術講演会講演概要集, 名古屋, 2012, 9. (発表予定)
- 18) Higo, Y., Oka, F., Kimoto, S., Doi, T., Lee, C.W. and Kinugawa, T., centrifugal model test for unsaturated embankments considering seepage flow and the numerical analysis, the 18th ICSMGE, Paris, France, 2013, 9. (発表予定)

⑩研究成果の社会への情報発信

(ウェブ、マスメディア、公開イベント等による研究成果の情報発信について記入下さい。ウェブについてはURL、新聞掲載は新聞名、掲載日等、公開イベントは実施日、テーマ、参加者数等を記入下さい。)

1. 「道路盛土の耐震性に関するセミナー」

平成21年から23年度までに得た研究成果を発表するとともに、技術移転のためのセミナー「道路盛土の耐震性に関するセミナー」を開催した。また、セミナー後に資料を作成し、関係者へ配布した。

開催日：平成23年11月14日

参加者数：(独)土木研究所，大阪大学，岐阜大学，京都大学，西日本高速道路(株)，大成建設(株)，ソイルアンドロックエンジニアリング(株)，日建設計シビル(株)，(財)地域地盤環境研究所，他29名

テーマ：道路盛土の耐震性

講師：(独)土木研究所 佐々木 哲也「道路盛土の耐震性向上の考え方」

講師：大阪大学 常田 賢一「性能を考慮した道路盛土の耐震性評価と対策」

研究成果発表：京都大学 木元 小百合「道路盛土の物理探査」

研究成果発表：京都大学 肥後 陽介「浸透を考慮した盛土の遠心載荷実験」

研究成果発表：京都大学 岡 二三生「多相系地盤の動的変形解析法」

2. 「能登有料道路盛土探査の公開実験」

土質構造や地下水面を非破壊で簡易的に探査可能な技術の開発と普及のため、2007年能登半島地震時に流動性崩壊を起こした、能登有料道路の集水地形の高盛り土を利用して、連続波レーダによる電磁波速度構造調査の公開実験を実施した。

開催日：平成22年11月29，30日

参加者数：国土交通省北陸地方整備局金沢河川国道事務所，石川県，石川県道路公社，他7名

テーマ：道路盛土内の水分量の調査

⑪研究の今後の課題・展望等

(研究目的の達成状況や得られた研究成果を踏まえ、研究の更なる発展や道路政策の質の向上への貢献等に向けた、研究の今後の課題・展望等を具体的に記入下さい。)

- ・ 盛土材料である不飽和土の地震時の力学挙動を知る事が重要であるが、非排気－非排水状態の実験は、これまでにほとんど行われた事例が無く、今後も不飽和土に対する繰返し載荷の力学試験データの補充・蓄積がさらに必要である。
- ・ 軟岩材料についても、盛土材料の基礎地盤としてその繰返し載荷時および乾湿繰返し時の力学特性の把握とデータの蓄積がさらに必要である。
- ・ 実験データの着実な蓄積によって、不飽和土の構成モデルを改良し、遠心模型実験結果によって解析手法をキャリブレーションし、多相連成解析法を高精度化する事で、水分履歴を考慮した盛土の地震時変形量照査法としての適用が可能である。
- ・ 遠心模型実験のデータとそのシミュレーション結果は、水分履歴を受けた道路盛土の変形メカニズムを明らかにするものであり、予測解析手法のキャリブレーションや対策法の考案に有効である。
- ・ 長時間の繰返し載荷、予測される地震動、豪雨などの水分履歴を考慮した、今後予想される外力に対する不飽和盛土の挙動を評価することが必要である。
- ・ 対策工法などによって強化した盛土および長時間地震動を受ける盛土の実験を行い、浸透時の挙動及び強化法の適応性を検証する実験も重要である。
- ・ 電磁波速度及び体積含水率のデータの蓄積により、精度の高い相関関係の検討、比誘電率と体積含水率の定量的評価を進める事で、水分履歴を明らかにすることが可能となり実務に供し得る探査法が確立できる。
- ・ 本研究で得られた技術的成果を道路盛土の耐震化に役立てるため、学会等での発表のみでなく、大学、学会、産業界、各種法人や行政組織などと連携しながら普及に務めることが望まれる。

⑫研究成果の道路行政への反映

(本研究で得られた研究成果の実務への反映等、道路政策の質の向上への貢献について具体的かつ明確に記入下さい。)

水分履歴を受けた道路盛土の耐震性の評価法と強化法を提案し、道路盛土の管理に資する技術を開発した。以下に、具体的内容を示す。

- ・ 現在までは、盛土内の水分量を十分に小さくする事を前提とした慣用設計手法が用いられてきたが、慣用手法の適用外である、浸透水や高含水状態など、水分履歴を受けた盛土の地震時変計照査手法を提案した。
- ・ 模型実験とそのシミュレーションから、盛土の強化法としては、十分な締固めと排水工が有効である事を示した。また、浸透を受ける不飽和盛土の変形メカニズムを明らかにし、今後の新しい対策工を考案するためのデータを示した。
- ・ 盛土内の水分量を把握するための物理探査手法を提案した。現場物理探査の結果を室内試験データを用いてキャリブレーションする事で高精度な探査結果が得られる事を示した。

⑬自己評価

(研究目的の達成度、研究成果、今後の展望、道路政策の質の向上への寄与、研究費の投資価値についての自己評価及びその理由を簡潔に記入下さい。)

- ・ 研究者らは、当初目標を達成し、最後に水分履歴を考慮した道路盛土の耐震性の評価法と強化法の提言をまとめた。
- ・ 盛土内水分量の探査法、盛土の変形照査法、盛土の強化法を提案し、水分履歴を考慮した地震時の道路盛土管理技術の向上に寄与した。
- ・ 今後更に、提案法をより実証的にしていくため、要素実験による不飽和土の力学特性、遠心模型実験による変形メカニズムの解明に寄与する、基礎的データの収集とキャリブレーションによる提案手法の高度化が重要である。
- ・ 本研究費を投じて得た研究成果によって、新しい変形照査法と物理探査法を含む盛土の耐震性の評価法と、排水工や十分な締固め等の強化法を明示する事ができた。
- ・ セミナー、公開現場実験等を通して、研究成果を発信し、道路管理者や実務者に提案する評価法と強化法の有効性を示し、技術発展に寄与した。