

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 8 月 17 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25249064

研究課題名(和文) 不飽和土を内包する地盤力学への展開と巨大地震に対する地盤～土構造物の耐震性評価

研究課題名(英文) Evolvement of geomechanics including unsaturated soils and performance assessment of ground - soil structure interactive systems against megaquakes

研究代表者

野田 利弘 (Noda, Toshihiro)

名古屋大学・減災連携研究センター・教授

研究者番号：80262872

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,100,000円

研究成果の概要(和文)：東日本大震災では、埋立地やその上の土構造物に対して、発災時点での研究の枠組みでは対応しきれない地盤力学/工学上の課題が浮き彫りになったが、これらの多くは、メカニズム解明が十分とは言えない不飽和土に関する事項であった。そこで、従来の水～土骨格二相系解析コードを拡張整備し、慣性力にも対応する空気～水～土骨格連成(三相系)有限変形解析コードを用いた地盤～土構造物系の耐震性評価を主たる研究目的とした。力学試験・模型実験と数値解析との対比から、解析コードの妥当性確認・高度化を行ったうえで、東日本大震災の土構造物の被災メカニズムの検証、南海トラフ巨大地震における土構造物の耐震性能照査を実施した。

研究成果の概要(英文)：In the Great East Japan Earthquake, geotechnical engineering problems that cannot be dealt with the existing research framework at the time of disaster were highlighted especially for the reclaimed site and the earth structure above it. Many of these were matters concerning unsaturated soils which elucidations of the mechanism are insufficient. Therefore, the main purpose of the research was to evaluate the seismic assessment of the ground-soil structure interactive systems using soil-water-air coupled (three phase) finite deformation analysis which was extended from existence soil-water coupled two-phase analysis. From the comparison between mechanical test / model experiment and numerical analysis, validity of the analysis code was improved and advanced. Moreover, damage mechanism of the earth structure at the time of the Great East Japan Earthquake was investigated and aseismic performance of the earth structure in the case of Nankai Trough massive earthquake was evaluated.

研究分野：地盤工学

キーワード：地震防災 地震応答解析 不飽和土 サクシオン 複合災害 地震シナリオ 耐震性評価 軟弱地盤

1. 研究開始当初の背景

前研究課題である基盤研究(S) (課題番号 21226012)では、海溝型連発地震を想定して、粘土や砂の互層からなる自然堆積地盤とその上の中間土からなる人工島・盛土など、地盤と(土)構造物システムの、地震中・地震後の全面的な地震応答解析と、これを踏まえた地盤強化技術の開発を実施してきた。阪神淡路大震災以降、集中的な地震研究投資を伴う強震動観測網の充実等により急速な進歩を遂げる地震学に対し、これに応えるべき対地震の地盤工学は十分追いついていない、という強い危機感に基づくものであった。

この課題では構成式研究を含む水～土骨格連成有限変形解析コードの高度化、当該解析コードを用いた海溝型強震動が及ぼす効果の把握、沿岸域重要施設の耐震性再評価と耐震強化技術の効果の再検討などを積極的に進めてきた。しかし、この研究期間内に発生した東日本大震災では、東京臨海地域の人工埋立地における広範な液化化被害が発生すると同時に、人工島・埋立地やその上の土構造物に対して発災時点での研究の枠組みでは対応しきれない地盤力学/工学上の課題が浮き彫りになった。例えば、河川堤防の築堤時めり込み沈下に伴う閉封飽和域生成が原因とされる地震時の堤内液化化による崩壊、戸建住宅地盤の浅層不飽和域の本震時飽和化に影響を受けたとされる余震時液化化、造成宅地崩壊に及ぼしたとされる不飽和・飽和域の影響などで、これらはメカニズム解明が十分とは言えない不飽和土の力学に関する事項であった。

2. 研究の目的

「1. 研究開始当初の背景」で述べた不飽和土に関する課題の重要性を直視し、従来の水～土骨格二相系の枠組みで進めてきた研究範囲・方法を不飽和土の地震時挙動まで拡張することを目的とし、以下の3点を主たる研究目的とする。

- (1) 不飽和土の静的・動的の室内力学試験を実施し、本申請課題遂行のために拡張整備した、慣性力にも対応する空気～水～土骨格連成(三相系)の有限変形解析コードの検証・高度化を行う。
- (2) 上記解析コードを用いて、東日本大震災における河川堤防・埋立造成地等の被災事例を対象に、飽和/不飽和境界とその遷移にも関連する土構造物の地震時大変形・崩壊メカニズムを明らかにする。
- (3) 複数の地震シナリオや連続降雨時のような複合災害シナリオも考慮した地盤～土構造物系の耐震性について、特に不飽和土に関する観点から問題点/課題を抽出し、耐震強化対策を検討する。

3. 研究の方法

前申請課題では、水～土骨格二相系、すな

わち飽和土の力学に基づいて、我が国沿岸域の人工島・埋立地などの人工地盤と土構造物の耐震性再評価を進めてきた。ところが、研究期間中に発生した東日本大震災では、飽和土を対象とする二相系の理論的枠組みでは近似的にしか扱えない不飽和の土構造物、埋立地盤における被害が多く発生した。このような地盤災害の発生メカニズム解明と地盤変形予測の高度化には、不飽和土を内包する理論的枠組みが欠かせない。

本研究課題では、従来の水～土骨格二相系解析コードを拡張整備した、慣性力にも対応する空気～水～土骨格連成(三相系)有限変形解析コードを用いて地震応答解析を実施し、これに基づく地盤～土構造物系の耐震性評価を主たる骨子とする。室内力学試験や模型実験と数値解析結果との対比から、解析コードの妥当性確認・高度化を行ったうえで、これまでの解析事例の再評価を進めるとともに、東日本大震災の土構造物の被災メカニズムの検証、南海トラフ巨大地震における土構造物の耐地震の性能照査を実施した。

4. 研究成果

以下に研究期間中に得られた新たな知見や実験的・計算的事実を示す。

(1-1) 空気の圧縮性に着目した不飽和砂供試体の三軸圧縮試験の実施

空気の圧縮性が力学特性に与える影響を把握するために、B値が100%を下回る状態を作為的に作りだし、サクシオンが事実上ゼロと見なせる密詰め砂供試体の非排水三軸圧縮試験を実施した。非排水せん断強度は飽和度が高いほど大きく、空気の存在がむしろ土のせん断強度を弱めるといった実験事実を示すとともに、供試体の要素試験を初期値・境界値問題と捉える立場で実施した空気～水～土骨格連成計算から、空気混入による強度低下を空気の圧縮性の効果として説明した(図1)。

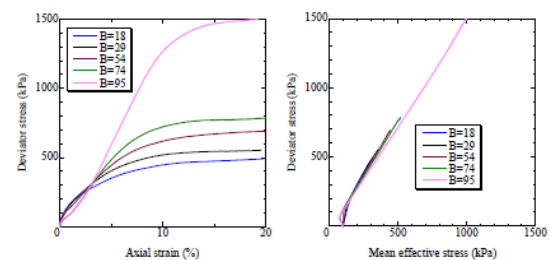


図1 B値が異なる三軸供試体の非排水せん断挙動(数値シミュレーション結果)

(1-2) 空気～水～土骨格連成有限変形解析による「不飽和土特有の挙動」の把握

密な砂の正のダイレイタンスに着目し、初期飽和度が99.9%で事実上「飽和土」と見なされる密詰め砂供試体の側圧一定・非排水(・非排気)三軸試験のシミュレーションを実施した。背圧が不十分な場合は、間隙水圧

が正から負へと転ずるあたりから空気の存在による体積膨張が顕著になるため、供試体は不飽和土として挙動して軸差応力の伸びが見られなくなることを示し、過圧密土では空気の存在が少量であっても力学挙動に大きな影響を与えることを指摘した。

(1-3) 不飽和シルト供試体の力学挙動の把握と解析コードの検証・高度化

セラミックディスクと微細多孔質膜の両者を用いて不飽和シルトの排気・排水三軸試験を行い、セラミックディスクの低透水性が供試体の吸排水を阻害している危険性を指摘した。また、三軸試験を初期値・境界値問題と捉える立場で注意深く分析し、空気～水～土骨格連成有限変形解析を実施した。吸水コラプスはサクシオン低下時の吸水圧縮挙動だが、サクシオン一定のせん断時においても現れることを見出すとともに、再現解析から、提案する間隙比依存性考慮の水分特性モデルの妥当性を確認した。

(2-1) 軟弱粘性土地盤上の河川堤防築堤に伴う閉封飽和域の形成とその地震応答解析

東北地方太平洋沖地震では基礎地盤の液状化だけでなく、閉封飽和域の液状化に起因する堤体被害が数多く見られた。そこで、名古屋市内の軟弱粘性土地盤上に築造された河川堤防を対象に地震応答解析を実施し、1) 築堤に伴う圧密沈下によって堤体下部に閉封飽和域が形成されること、2) 閉封飽和域が地震時に液状化すること、を再現するとともに、3) 鋼管矢板の根入れを深くすることで堤体の側方流動を抑えることができること（鋼管矢板締切り工法の有効性）、などを示した。

(2-2) 不飽和状態にある堤体の地震後の水位上昇現象の再現

浸透条件下での地震応答解析を実施し、堤体の圧密沈下に伴う閉封飽和域の形成過程の再現とともに、地震前～地震後の浸潤面の変動の検討の結果、地震後に盛土内の水位が上昇するため、元々の地下水位が高いと盛土内に浸潤線が現れること、一度上昇した水位は、地表面および盛土表面に設定した全水頭境界によって地震後に時間をかけて元の位置に戻るなどを示した（図2）。

東日本大震災において被災後に実施された河川堤防の調査から、被災断面の堤体下部に地下水面が存在している。これに対し、無被災断面の堤体下部には地下水面が存在しないことが随所で確認されており、地下水面と被災の程度との関係が議論されている。本解析結果で示す地震後に堤体内に見られた上に凸の浸潤面は、従来の考え方のように地震前にその状態にあったのではなく、地震動によって現れた可能性を強く示唆している。

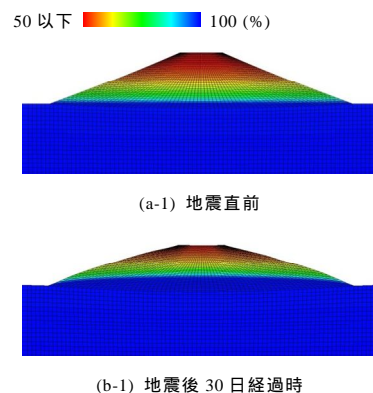


図2 地震中～地震後の盛土内飽和度変化

(3-1) 複合外力（浸透・地震）下での河川堤防の耐震性評価

南海トラフ巨大地震による被害が危惧される実河川の堤防を対象として、複合外力下での耐震性能照査を実施した。その結果、1) 当該地盤では地震中に基礎地盤内の砂質土層が液状化して堤体の沈下や側方流動が生じること、2) 豪雨や台風によって河川水位が高いと堤体が川裏側に強く押されて、堤防近傍の住宅や構造物の被害が拡大する危険性があること、3) 堤防天端の沈下量は河川水位によらず3m程度と大きく、洪水時や津波来襲時など、高河川水位状態であると堤防高が河川水位を下回って越水し、堤内地が浸水する恐れがあること、を示した（図3）。

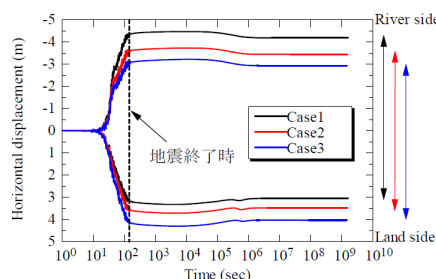


図3 河川水位の違いによる堤防法尻の水平変位

(3-2) 共振現象に着目した盛土造成地の振動台模型実験

模型地盤の固有振動数と入力振動数の関係に着目した1G場振動台模型実験を実施し、盛土造成斜面の地震時安定性（崩壊に至る加速度の大きさや崩壊モード）は、単に入力加速度の大きさで決まるものではなく、盛土造成斜面の固有振動数と入力振動数の関係に強く依存し、地震シナリオに応じて盛土の地震時安定性が大きく異なることを示した。また、盛土材は繰返し負荷によって塑性変形が進展すると、剛性が低下して固有振動数が小さくなるため、特に入射波の卓越振動数が小さい場合には、共振によって揺れが非常に大きくなり、崩壊に至る危険性が高いことを指摘した（図4）。

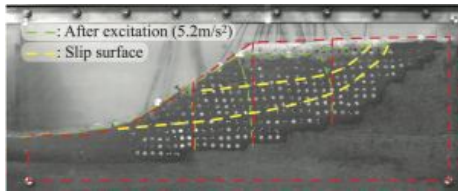


図4 入力振動数が模型斜面の固有振動数と等しい時の崩壊の様子

(3-3) 性能設計開発・実施における本解析技術の利用方法の検討

伊勢湾内の岸壁構造物や防波堤、濃尾平野内の河川堤防、軟弱地盤上に立地する煙突やガスホルダーなど、具体の構造物を対象に複数の地震シナリオに対する地震応答解析を実施し、耐震性を再評価した(図5)。

既往の被害予測手法は地震時安定性評価に主眼が置かれ、地震後の長期継続する地盤変状を予測することはできない。また、粘性土層はすべて弾性体としてモデル化するため地盤変状を過小予測するだけでなく、実際の地震発生時に予測を超えた変状が発生して甚大な被害に繋がりがねない。特に重要構造物や軟弱地盤の耐震性評価の際には、既往の予測手法に加えて、本解析技術による評価も並行して実施することで、予測精度の向上とともに、被害の見落としを防ぐ役割を果たすことが可能となることを示した。

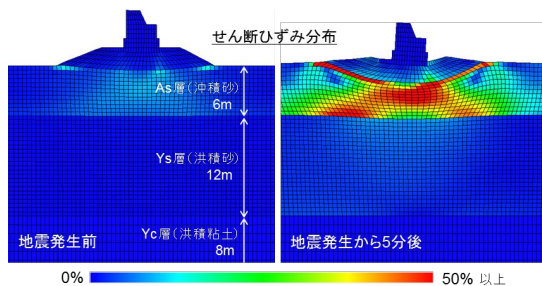


図5 液状化層の上に建設された防波堤の地震時変状予測と対策工の検討

(3-4) 間隙水圧消散工法によるの液状化対策

東京都15号地木材埠頭では、2001年から2005年にかけて、一部の領域で人工ドレーン材料による過剰間隙水圧消散工法による液状化対策が施され、東日本大震災において対策領域は液状化被害を免れた。この工法の液状化抑止効果の有無と変形(沈下量など)の予測可能性を調べるため、ウエルレジスタンスが表現できるマクロエレメント法(Yamada et al., 2015)を新たに導入し、工法原理を解析的に検討した。これにより、計算効率を向上させながら同工法の改良効果を定量的に評価することが可能であること、間隙水圧の上昇抑制や、地盤の変形抑制ができること(図6)など、埋立地盤に対して液状化対策効果をもたらす得ること、また、多次元メッシュ解析に1次元メッシュ解析を上手く組み合わせることにより同工法の効率的な設計が可能であることを示した。

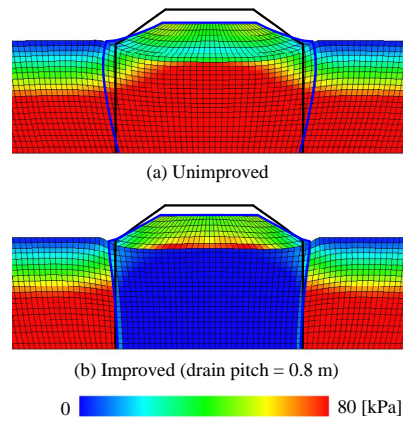


図6 改良の有無による間隙水圧分布

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13件)

- 1) Nakai, K., Noda, T. and Kato, K. (2017): Seismic assessment of river embankments reinforced by the sheet pile constructed on a low N-value soft ground, *Canadian Geotechnical Journal*, accepted. 査読有
- 2) 中井健太郎, 野田利弘 (2017): 地盤 - 煙突構造物相互作用系の耐震性に及ぼす入力地震波の影響, 土木学会論文集 A2(応用力学), 72(2), pp. I_409-I_418. 査読有
DOI: doi.org/10.2208/jscejam.72.I_409
- 3) Yoshikawa, T., Noda, T., Kodaka, T. and Takaine, T. (2016): Analysis of the effect of groundwater level on the seismic behavior of an unsaturated embankment on clayey ground, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 85, pp. 217-230. 査読有
DOI: doi.org/10.1016/j.soildyn.2016.02.008
- 4) 吉川高広, 野田利弘, 加藤健太, 小高猛司, 李圭太, 高稲敏浩 (2015): 空気~水~土骨格連成有限変形解析による大規模河川堤防の浸透・地震時挙動の評価, 土木学会論文集 A2(応用力学), 71(2), pp. I_621-I_632. 査読有
DOI: doi.org/10.2208/jscejam.71.I_621
- 5) Noda, T., Yamada, S., Nonaka, T. and Tashiro, M. (2015): Study on the pore water pressure dissipation method as a liquefaction countermeasure using soil-water coupled finite deformation analysis equipped with a macro-element method, *S&F*, 55(5), pp.1129-1138. 査読有
DOI: 10.1016/j.sandf.2015.09.013
- 6) Noda, T. and Yoshikawa, T. (2015): Soil-water-air coupled finite deformation analysis based on a rate-type equation of motion incorporating the SYS Cam-clay model, *S&F*, 55(1), pp.45-62. 査読有
DOI: 10.1016/j.sandf.2014.12.004

〔学会発表〕(計 59 件)

- 1) 吉川高広, 野田利弘, 小高猛司: セラミックディスクの透水性が不飽和土三軸試験結果に及ぼす影響の数値解析的考察, 第 51 回地盤工学研究発表会, 2016 年 9 月 13 日~9 月 15 日, 岡山大学 (岡山県・岡山市)
- 2) 吉川高広, サクシヨンの効果を考慮した SYS Cam-clay model による不飽和シルト三軸試験の数値シミュレーション, 第 71 回土木学会年次学術講演会, 2016 年 9 月 7 日~9 日, 東北大学川内北キャンパス (宮城県・仙台市)
- 3) 高稲敏浩, N 値ゼロの軟弱層を有する地盤上の岸壁構造物の耐震性に対する 2 次元・3 次元照査比較, 第 71 回土木学会年次学術講演会, 2016 年 9 月 7 日~9 日, 東北大学川内北キャンパス (宮城県・仙台市)
- 4) 野田利弘, 本震による不飽和土層の飽和化に起因した余震時の液化化被害拡大に関する解析的考察, 第 71 回土木学会年次学術講演会, 2016 年 9 月 7 日~9 日, 東北大学川内北キャンパス (宮城県・仙台市)
- 5) 堀田繁, 1G 場振動台実験における模型盛土造成斜面の固有振動数の探索, 第 71 回土木学会年次学術講演会, 2016 年 9 月 7 日~9 日, 東北大学川内北キャンパス (宮城県・仙台市)
- 6) 村尾英彦, 入力振動数の違いに着目した盛土造成斜面の 1G 場振動台実験, 第 71 回土木学会年次学術講演会, 2016 年 9 月 7 日~9 日, 東北大学川内北キャンパス (宮城県・仙台市)
- 7) 中井健太郎, 地層構成が異なる地盤上に建設された防波堤の耐震性評価, 第 71 回土木学会年次学術講演会, 2016 年 9 月 7 日~9 日, 東北大学川内北キャンパス (宮城県・仙台市)
- 8) Yoshikawa, T., Evaluation of seismic behavior of a large river levee based on soil-water-air coupled finite deformation analysis, International Mini Symposium Chubu (IMS-CHUBU), 2016 年 5 月 26 日~28 日, 名古屋大学 (愛知県・名古屋市)
- 9) Nakai, K., Liquefaction damage of Urayasu reclaimed lands aggravated by the surface waves induced from the inclined bedrock, 3rd International Workshops on Advances in Computational Mechanics (IWACOM III), 2015 年 10 月 12 日~14 日, KFC Hall & Rooms (東京都)
- 10) Nakai, K., Analytical seismic evaluation for the reinforcement effect of steel pipe sheet pile on river embankment, 3rd AUN/SEED-Net Regional Conference on Natural Disaster (RCND2015), 2015 年 9 月 25 日~26 日, Manila (Philippine)
- 11) Noda, T., Seismic assessment of an unsaturated river levee with a saturated area on soft clay subsoil by soil-water-air coupled finite deformation analysis, 3rd AUN/SEED-Net Regional Conference on Natural Disaster (RCND2015), 2015 年 9 月 25 日~26 日, Manila (Philippine)
- 12) 中井健太郎, 軟弱粘性土地盤上の河川堤防築堤に伴う閉封飽和域の形成とその地震応答解析, 第 70 回土木学会年次学術講演会, 2015 年 9 月 16 日~18 日, 岡山大学津島キャンパス (岡山県・岡山市)
- 13) 吉川高広, B 値が異なる三軸砂供試体の非排水せん断挙動, 第 70 回土木学会年次学術講演会, 2015 年 9 月 16 日~18 日, 岡山大学津島キャンパス (岡山県・岡山市)
- 14) 中井健太郎, 地盤 - 煙突構造物相互作用系の耐震性評価, 第 50 回地盤工学研究発表会, 2015 年 9 月 1 日~3 日, 北海道科学大学 (北海道・札幌市)
- 15) 野田利弘, 空気~水~土骨格連成有限変形解析に基づく南海トラフ地震に対する大規模河川堤防の挙動に及ぼす河川水位の影響評価, 第 50 回地盤工学研究発表会, 2015 年 9 月 1 日~3 日, 北海道科学大学 (北海道・札幌市)
- 16) 吉川高広, 地下水位が異なる粘性土地盤上の不飽和盛土の静的/動的空気~水~土骨格連成解析, 第 50 回地盤工学研究発表会, 2015 年 9 月 1 日~3 日, 北海道科学大学 (北海道・札幌市)
- 17) 吉川高広, 空気~水~土骨格連成解析を用いた濃尾平野にある軟弱粘土地盤上の河川堤防の耐震性照査, 第 27 回中部地盤工学シンポジウム, 2015 年 8 月 7 日, 名古屋大学 (愛知県・名古屋市)
- 18) 吉川高広, 粘性土地盤上の不飽和盛土で地震後に生じる水位上昇メカニズムに関する空気~水~土骨格連成有限変形解析, 第 20 回計算工学講演会計算工学会, 2015 年 6 月 8 日~10 日, つくば国際会議場 (茨城県・つくば市)
- 19) 吉川高広, 空気~水~土連成有限変形解析による大規模河川堤防の浸透・地震時挙動の評価, 第 18 回応用力学シンポジウム, 2015 年 5 月 16 日~17 日, 金沢大学角間キャンパス (石川県・金沢市)
- 20) 尾崎奨, 深部粘性土の状態の違いが河川堤防の地震時挙動に及ぼす影響, 第 69 回土木学会年次学術講演会, 2014 年 9 月 10 日~12 日, 大阪大学 (大阪府・吹田市)
- 21) 酒井崇之, 巨大地震時における名古屋港ポートアイランドの地盤変状に関する数値解析, 第 69 回土木学会年次学術講演会, 2014 年 9 月 10 日~12 日, 大阪大学 (大阪府・吹田市)
- 22) 野田利弘, 背圧の大きさが異なる密詰め砂供試体の力学挙動の違いに関する数値シミュレーション, 第 69 回土木学会年次学術講演会, 2014 年 9 月 10 日~12 日, 大阪大学 (大阪府・吹田市)

- 23) 吉川高広, 不飽和浸透模型実験の空気～水～土骨格連成有限変形シミュレーション, 第 69 回土木学会年次学術講演会, 2014 年 9 月 10 日～12 日, 大阪大学 (大阪府・吹田市)
- 24) 吉川高広, 低背圧下の非排水せん断における密詰め「飽和」砂供試体の不飽和化, 第 19 回計算工学講演会, 2014 年 6 月 11 日～13 日, 広島国際会議場 (広島県・広島市)
- 25) 竹内秀克, 平成 23 年東北地方太平洋沖地震でみられた締固め改良による地盤の変形抑止効果の検証, 地盤工学会特別シンポジウム - 東日本大震災を乗り越えて -, 2014 年 5 月 14 日, 東京電機大学(東京都)
- 26) 野中俊宏, 間隙水圧消散工法の液状化対策効果の予測に関する水～土連成解析, 地盤工学会特別シンポジウム - 東日本大震災を乗り越えて -, 2014 年 5 月 14 日, 東京電機大学(東京都)
- 27) 野田利弘, 軟弱地盤上の矢板補強した河川堤防の地震時評価, 地盤工学会特別シンポジウム - 東日本大震災を乗り越えて -, 2014 年 5 月 14 日, 東京電機大学(東京都)
- 28) 中野正樹, 締固め度・スレーキング進行の異なる泥岩盛土の地震時変形挙動, 地盤工学会特別シンポジウム - 東日本大震災を乗り越えて -, 2014 年 5 月 14 日, 東京電機大学(東京都)
- 29) 酒井崇之, ジオテキスタイル補強土を用いた盛土の耐震メカニズムの数値解析による把握, 地盤工学会特別シンポジウム - 東日本大震災を乗り越えて -, 2014 年 5 月 14 日, 東京電機大学(東京都)
- 30) 吉川高広, 粘性土地盤上の不飽和盛土の施工時・地震中・地震後挙動に関する空気～水～土骨格連成解析, 地盤工学会特別シンポジウム-東日本大震災を乗り越えて, 2014 年 5 月 14 日, 東京電機大学(東京都)
- 31) Nakai, K., Seismic Response Analysis of River Embankments Constructed on the Alternatively Layered Soft Ground, Computational Engineering and Science for Safety and Environmental Problems (COMPSAFE 2014), 2014 年 4 月 14 日, 仙台国際センター (宮城県・仙台市)
- 32) 吉川高広, 粘土地盤上の不飽和盛土の地震中・地震後挙動に関する空気～水～土骨格連成解析, 平成 25 年度土木学会中部支部研究発表会 2014 年 3 月 7 日, 岐阜大学 (岐阜県・岐阜市)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

野田 利弘 (NODA, Toshihiro)
名古屋大学・減災連携研究センター・教授
研究者番号: 80262872

(2) 研究分担者

浅岡 顕 (ASAOKA, Akira)
公益財団法人 地震予知総合研究振興会・
副主席主任研究員
研究者番号: 50093175

田代 むつみ (TASHIRO, Mutsumi)
名古屋大学・未来社会創造機構・特任講師
研究者番号: 00422759
(平成 26 年度まで研究分担者)

中井 健太郎 (NAKAI, Kentaro)
名古屋大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 60402484

山田 正太郎 (YAMADA, Shotaro)
名古屋大学・工学研究科・准教授
研究者番号: 70346815

吉川 高広 (YOSHIKAWA, Takahiro)
名古屋大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号: 20771075
(平成 28 年度より研究分担者)

(3) 連携研究者

小高 猛司 (KODAKA, Takeshi)
名城大学・理工学部・教授
研究者番号: 00252271

中野 正樹 (NAKANO, Masaki)
名古屋大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 00252263

(4) 研究協力者

稲垣 太浩 (INAGAKI, Motohiro)
大塚 悟 (OHTSUKA, Satoru)
河井 正 (KAWAI, Tadashi)
河村 精一 (KOMURA, Seiichi)
酒井 崇之 (SAKAI, Takayuki)
澤田 義博 (SAWADA, Yoshihiro)
白石 岳 (SHIRAIISHI, Takeshi)
曾根 好徳 (SONE, Yoshinori)
高稲 敏浩 (TAKAINE, Toshihiro)
竹内 秀克 (TAKEUCHI, Hidekatsu)
濁川 直寛 (NIGORIKAWA, Naohiro)
野中 俊宏 (NONAKA, Toshihiro)
福武 毅芳 (FUKUTAKE, Kiyoshi)