

令和 3 年 6 月 11 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17H01289

研究課題名（和文）巨大地震・豪雨のマルチハザードに対する飽和／不飽和土構造物の安定性評価と強化対策

研究課題名（英文）Stability evaluation and strengthening measures for saturated / unsaturated earth structures against multi-hazard of large earthquakes and heavy rains

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） 34,200,000円

研究成果の概要（和文）：東日本大震災や熊本地震などの地震被害や、平成26年8月豪雨や平成30年7月豪雨などの豪雨被害が相次いで発生している。本研究ではこのような巨大地震と豪雨およびその複合事象に対する地盤・土構造物の性能評価を可能とする解析コードを新たに開発し、力学試験・模型実験の数値シミュレーションを通じて本解析コードの妥当性確認を行った。この解析コードを用いて、地震と降雨の複合外力に対する地盤・土構造物の性能評価を行い、耐震・耐水上の問題点／課題の抽出を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

大変形挙動を扱うための有限変形論に基づき、飽和・不飽和両状態にある粘土から砂までの広範な土を対象に、変形から破壊までを、動的・静的を問わずあらゆる外力条件下で統合的に扱う本解析コードは、巨大地震と豪雨およびその複合事象に対応可能な唯一の解析コードである。本解析コードにより、南海トラフ巨大地震と連続降雨時の複合シナリオ評価も可能で、評価対象や対策代替案の検討が一段と拡大する。また、地震中に加え地震後も対象にする本解析技術により、土構造物の長期評価も可能になる。

研究成果の概要（英文）：Earthquake damage such as the Great East Japan Earthquake and the 2016 Kumamoto Earthquakes, and heavy rain damage such as the Torrential rains of August 2014 and the 2018 Japan floods have occurred one after another. In this research, we have newly developed an analysis code that enables performance evaluation of ground and earth structures against such large earthquakes, heavy rains, and their complex events, and the validation of this analysis code was performed through numerical simulations of mechanical and model experiments. Using this analysis code, we evaluated the performance of ground and earth structures against combined external forces of earthquakes and rainfall, and extracted problems / issues in seismic and water resistance.

研究分野：地盤工学

キーワード：土構造物 不飽和土 地震防災 複合災害 地震応答解析 固有値解析

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災では、東京湾臨海埋立地に代表される広範な液状化被害の発生と同時に、軟弱な人工／自然地盤上や傾斜地上の造成宅地・土構造物が多数被災し、「飽和土」を対象とする地盤力学の枠組みでは全く対応できない地盤工学的課題が浮き彫りになった。それは飽和・不飽和の連続的狀態に関する力学的事項で、例えば、粘性土地盤の河川堤防崩壊に繋がった築堤時の圧密沈下に伴い堤内下部に形成された飽和域の地震時液状化や、宅地の液状化被害の拡大に繋がった浅部不飽和層に形成された本震時飽和化領域の余震時液状化等であった。このため、当時「飽和土」地盤力学を基礎学理にして、人工島・盛土などの地盤-土構造物システムの海溝型連発地震に対する耐震性再評価と強化技術の開発を進めていた基盤研究(S) (H21～25 年度) を、最終年度に、不飽和土を内包する空気～水～土骨格 (三相系) の地盤力学へと基盤研究(A) (H25～28 年度) として再構築し、不飽和土の地震時挙動までを研究対象に拡張実施してきた。この結果、東日本大震災での河川堤防崩壊は堤体内下部の飽和域形成に加え地下水位の高さに影響があること、上述の不飽和土層の地震後の飽和化現象はその下部の飽和地盤の圧密沈下に伴って排出された水の上昇によって生じること等、飽和・不飽和を自在に扱う弾塑性有限変形理論に基づく地盤力学でなければ全く解明できないメカニズムを明らかにしてきた。また、造成斜面崩壊に及ぼす不飽和・飽和域の影響の解明のために、室内要素実験と 1G 振動台模型実験も実施し、入力加速度の大きさだけでなく、共振現象の観点から斜面造成・補強には極めて重要であることを実証してきた。

土構造物・斜面・地盤の耐震性に対して上記の研究成果が得られる一方、平成 26 年広島土砂災害、平成 24 年九州北部豪雨や平成 27 年関東東北豪雨による河川堤防決壊など度重なる水害や平成 28 年熊本地震等によって緩んだ地盤・斜面に齎す豪雨被害は、我々に土構造物の耐水性の重要性も叩きつけた。この課題の重要性を直視するとともに、耐震性についても長周期地震動の影響が新たな課題として俎上に載っていることから、耐震性も耐水性も同一の基礎学理の中で評価できるように、地盤力学とその実現のための解析技術を深化・進化させる必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、前研究課題：基盤研究(A) (H25～28 年度) の研究成果を踏まえ、巨大地震動と豪雨時の非定常浸透やその複合事象の地盤・土構造物の変状・破壊にも対応可能な地盤力学の深化を図る。主な研究目的として次の 3 点を掲げる。

- (1) 構成式拡張を含む慣性力対応の空気～水～土骨格連成(三相系)有限変形解析コードの高度化と土構造物の耐震診断を可能とする固有値解析手法の開発。
- (2) 現状の $u-p$ 近似の変形解析コードでは理論上不可能な高透水性の土の変形解析を可能とする Full formulation に基づく解析コードの開発。
- (3) 海溝型巨大連発地震・連続降雨のマルチ外力に対する地盤～土構造物系の耐震・耐水上の問題点／課題抽出と斜面・土構造物の統合的防災・減災対策への貢献。

3. 研究の方法

「2. 研究の目的」の(1)に対しては、研究代表者らが開発した弾塑性構成式 SYS カムクレイモデルに不飽和土のサクシジョンの効果を導入したモデルや降雨と乾燥による繰返し吸排水挙動を記述可能な水分特性モデルを新たに開発し、これらモデルを前研究課題で開発した慣性力対応の空気～水～土骨格三相系・有限変形解析コードに搭載して、解析コードを高度化する。さらに、前研究課題と本研究課題で整備した不飽和土対応三軸試験装置を用いて各種力学試験を行い、その数値シミュレーションを通じて開発モデルの妥当性を検証する。また、長周期強震動までを対象にした巨大地震に対する耐震診断と有効な耐震工法原理の開発を行うために、多相系の固有値解析コードを整備する。

「2. 研究の目的」の(2)に対しては、Full formulation に基づく慣性力対応の水～土骨格二相系・有限変形解析コードを新たに開発し、理論解との比較検証やシンプルな例題による検証を通じて本解析コードの特徴を整理する。また、豪雨時に高透水性土を有する地盤・土構造物で生じる細粒分の流出現象について、細粒分流出による内部侵食を考慮可能な構成モデルの開発を見据えて、関連する力学試験を行う。

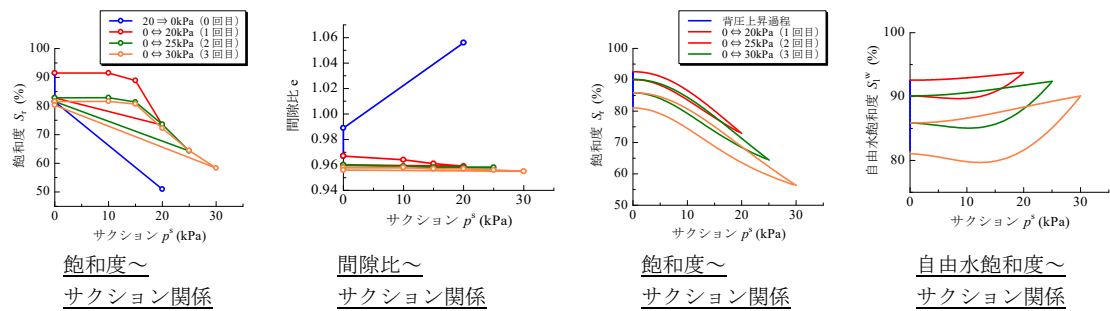
「2. 研究の目的」の(3)に対しては、本研究課題で高度化した解析コードを用いて、地震と降雨の複合外力に対する河川堤防の性能評価を試みる。また、広域にわたる防災・減災対策への貢献を念頭に、OpenMP と MPI のハイブリッド並列化により解析コードの高速化・大容量化を行い、スパコンによる大規模計算を可能とする。

4. 研究成果

(1-1) 新たな有効飽和度に基づく弾塑性構成モデルと水分特性モデルの開発

不飽和土の間隙空気を、間隙水に封入された空気と連続した相として存在する空気に分けて扱い、この手法に基づく新たな有効飽和度を提案した。この有効飽和度を用いて、弾塑性構成式 SYS カムクレイモデルへのサクシジョン効果の導入と、水分特性モデルの改良を行った。これらモデルの妥当性確認のために、降雨と乾燥の繰返しを想定した繰返し吸排水三軸試験とその数値シミュレーションを実施した。

図 1 は繰返し吸排水三軸試験の実験結果と計算結果の比較を示す。等方応力状態にある不飽



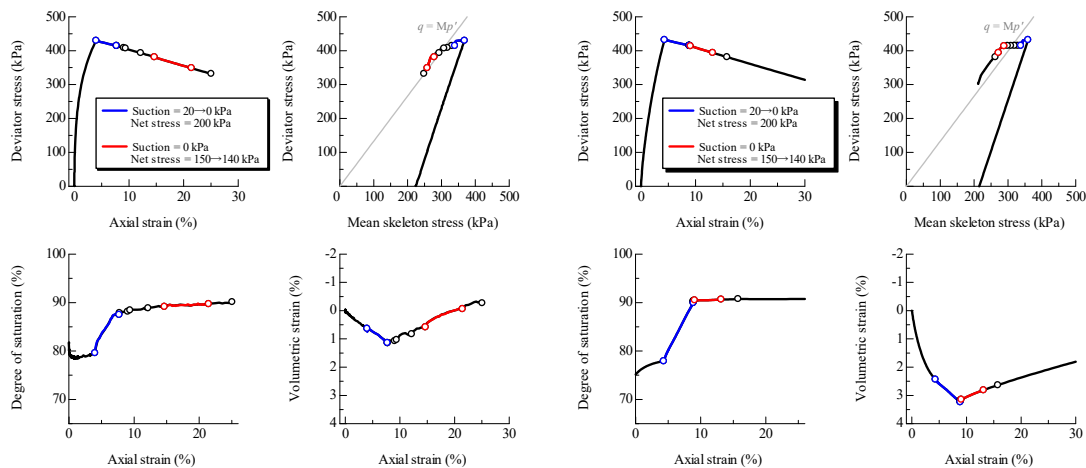
実験結果 計算結果
図1 繰返し吸排水試験の実験結果と計算結果の比較

和シルト供試体に対して、背圧上昇させて飽和度を高めた後で、サクシジョンを $0 \rightarrow 20 \rightarrow 0 \rightarrow 25 \rightarrow 0 \rightarrow 30 \rightarrow 0$ kPa と排水時のサクシジョンを段階的に上昇させて吸排水を3回繰返す試験である。まず背圧上昇過程において、実験のサクシジョン 0kPa での飽和度上昇を、計算では封入空気の圧縮（自由水飽和度の上昇）により表現可能である。次に、排水時のサクシジョンを段階的に上昇させて吸排水過程を繰返すと、実験ではサクシジョン 0kPa での飽和度が徐々に低下し、計算では封入空気の増加（自由水飽和度の低下）により、その様子を再現できている。

上述の実験に対して、背圧上昇過程後および吸排水過程を3回繰返した後にサクシジョン 0kPa で非排気・非排水せん断試験を行った。紙幅の都合上図面は省略するが、吸排水繰返し履歴の違いで力学挙動は大きく異なり、実験における背圧上昇過程後に吸排水過程を繰返さない場合の骨格応力経路では、限界状態線 ($q = Mp'$) 下側での軟化挙動を示した。計算ではその特徴を土骨格の弾塑性構成モデルが記述する構造の劣化により表現可能であることを示した。

(1-2) 不飽和土三軸供試体の吸水破壊メカニズムの解明

不飽和土三軸供試体の吸水破壊実験とその数値シミュレーションを行った。実験では、不飽和シルト供試体に対して三軸圧縮過程中に荷重一定条件下で間隙圧を上昇させる吸水試験を行い、供試体が吸水時に軟化して、軸変位が急激に生じて破壊に至ることを示した。その数値シミュレーションにおいては、慣性力対応の空気～水～土骨格三相系・有限変形解析コードにより、供試体が吸水軟化により加速度を伴って破壊に至る挙動の再現に成功するとともに、「塑性圧縮を伴う軟化」と「塑性膨張を伴う軟化」の二つの吸水破壊メカニズムがあることを明らかにした。



実験結果 計算結果
図2 不飽和シルト三軸供試体の荷重一定条件下での吸水破壊試験の実験結果と計算結果
 (「サクシジョン低下時」および「間隙圧上昇過程で限界状態線($q = Mp'$)上側に到達時」に軸変位が大きく進展する)

(1-3) 砂および粘土の繰返しせん断挙動を精緻に記述可能な弾塑性構成式の開発

砂が液状化時に示すサイクリックモビリティ挙動も記述可能な土骨格の構成モデルとして、弾塑性構成式 SYS Cam-clay model と非関連流れ則を適用した Drucker-Prager model が複合的な負荷状態を呈し得る弾塑性構成式をこれまでに開発し、誘導異方性の新たな発展則を導入して高度化を行った。力学試験結果の数値シミュレーションを通じて、砂の単調および繰返しせん断挙動だけでなく、粘土の単調および繰返しせん断挙動も精緻に再現可能であることを確認した。

(1-4) 透水模型実験の数値シミュレーションによる解析コードの妥当性の確認

河川堤防の浸透破壊に関する透水模型実験¹⁾の数値シミュレーションを行った。図3は模型実験の概要¹⁾を示す。模型の右側から水位 330mm で透水させる実験で、領域IIに基礎地盤の高透水性層として三河硅砂3号を、領域IIIに上部砂質基礎地盤層として三河硅砂8号を、領域IIIに堤体

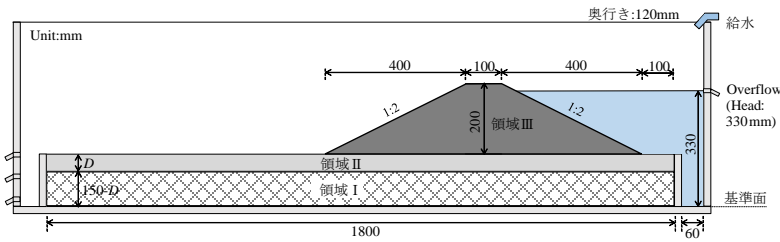


図3 模型実験の概要¹⁾



図4 模型実験の実験結果¹⁾

(浸透開始後8分経過時)

0 20以上 (%)

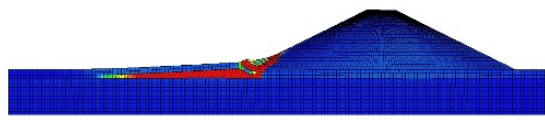


図5 模型実験の計算結果

(浸透開始後8分経過時のせん断ひずみ分布)

として三河硅砂6号、7号、8号の混合砂を用いている。ここでは地盤上部層厚が30mm(図3中の $D=30\text{mm}$)の場合の数値シミュレーションを行った。図4は浸透開始後8分経過時の実験結果を示す。紙幅の都合上図面は省略するが、浸透開始後50秒経過時に川裏側の高透水性層と地盤上部層の層境で大きく膨張し、16分経過時には滑りが堤体天端部分まで到達した。図5は浸透開始後8分経過時の計算結果のせん断ひずみ分布を示す。浸透により、地盤の層境において平均骨格応力がゼロに近づいてボイリングし、これをきっかけにすべり面が進展するという、実験と同様の結果を再現することができた。なお、地盤上部層厚が50mm(図3中の $D=50\text{mm}$)の場合、実験においてほとんど変形が生じず、計算においても同様の結果となった。

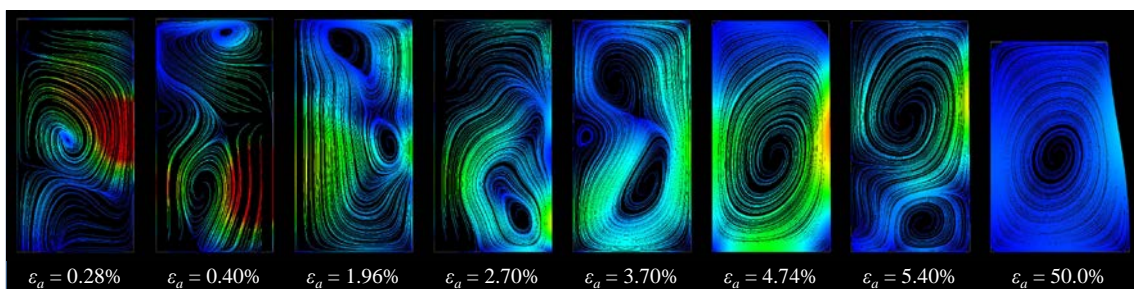
【引用文献】1) 小高猛司, 李圭太, 崔瑛, 森智彦, 森三史郎, 林愛実: 浸透に伴う基礎地盤の弱화에起因する堤防法すべり崩壊に関する考察, 第5回河川堤防技術シンポジウム, pp. 55-58, 2017.

(1-5) 刺激係数による評価手法を備えた多相系の固有値解析手法の開発

粘性境界・制約条件を有する静的/動的水～土骨格連成有限変形の初期値・境界値問題に対して、刺激係数による固有モードの評価手法を備えた固有値解析コードを開発した。この解析コードにより、土構造物—地盤系の初期値・境界値問題に対して、解析領域の水平方向の大きさが固有値解析結果に与える影響について評価を行った。水平方向に大きい解析領域を有する土構造物—地盤系の解析モデルを用いる場合、土構造物近傍の領域に着目して求めた「局所刺激係数」を利用すれば、土構造物に関する主要な固有モードを客観的に抽出することができ、土構造物近傍の振動特性を把握する上で非常に有用であることを示した。

(2-1) Full formulation に基づく解析コードの開発と妥当性の確認

慣性力を考慮した飽和土の水～土骨格連成解析の定式化手法としては一般に $u-p$ formulation が採用される。この手法は、方程式中の未知数を削減するために、間隙水の浸透が十分静的であることを仮定する「近似解法」に相当するため、間隙水が動的にも浸透しうる高透水性土の連成問題への適用は困難であった。そこで、近似を導入しない Full formulation に基づく解析手法を新たに開発し、(1) $u-p$ formulation により求解不能な高透水性土の諸問題が求解可能になることを確認するとともに、(2) 間隙水の慣性が考慮されたことではじめて求解可能となる間隙水の動的応答にまつる諸現象の解明を試みた。図6は高透水性供試体(透水係数: $k=10\text{ cm/s}$)の急速載荷問題を Full formulation で解いた例であり、土骨格の変形の進行に伴って複雑な渦を生じつつ変化する間隙水の動的輸送現象が解かれている。この問題は、もちろん $u-p$ formulation に



0 30 (cm/s)

図6 供試体内での間隙水の流線の推移

よっては求解不能であって、将来的にはグラベルドレーンの動的応答解析をはじめとする礫質土の諸問題や、間隙水の慣性が無視できない洗掘等の諸問題への適用が期待される。

(2-2) 細粒分流出による内部侵食を模擬した三軸試験

細粒分流出に起因する土構造物劣化に対応可能な解析コードへの拡張を見据えて、供試体試料の一部を水に溶解する尿素肥料に置き換えて、細粒分流出による内部侵食を模擬した三軸試験を行った。その結果、肥料の溶解（つまり細粒分の流出）による間隙比の増加で供試体の強度が低下することを確認した。また、細粒分流出時の軸差応力に破壊の有無を分ける閾値が存在し、細粒分が流出した土試料の単調せん断時の最大軸差応力がその閾値となることが示唆された。

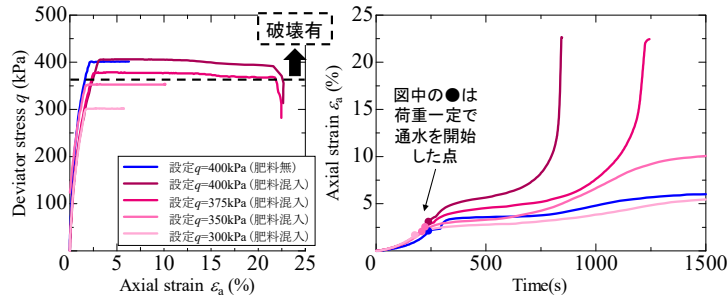


図7 細粒分流出を模擬した三軸試験

(単調せん断時の最大軸差応力以上で通水すると細粒分流出（肥料溶解）により破壊に至る）

(3-1) 地震と降雨の複合外力に対する地盤・土構造物の変形挙動の評価

これまでに高度化を行った慣性力対応の空気～水～土骨格連成有限変形解析コードを用いて、地震と降雨の複合外力が河川堤防の力学挙動に与える影響を評価した。具体的には河川水位と堤体内の飽和度を系統的に変化させて地震応答解析を実施した。図8は地震直前の飽和度分布と水位位置および地震直後のせん断ひずみ分布と平均骨格応力分布を示す。堤体内の飽和度が高いほど地震中に平均骨格応力が低下するために変形が大きくなり、また河川水位が高いほど堤内側へ堤体が大きく変形することを示した。さらに降雨境界条件下での地震応答解析にも成功し、地震と降雨の複合外力に対する地盤・土構造物の変形評価手法を確立した。

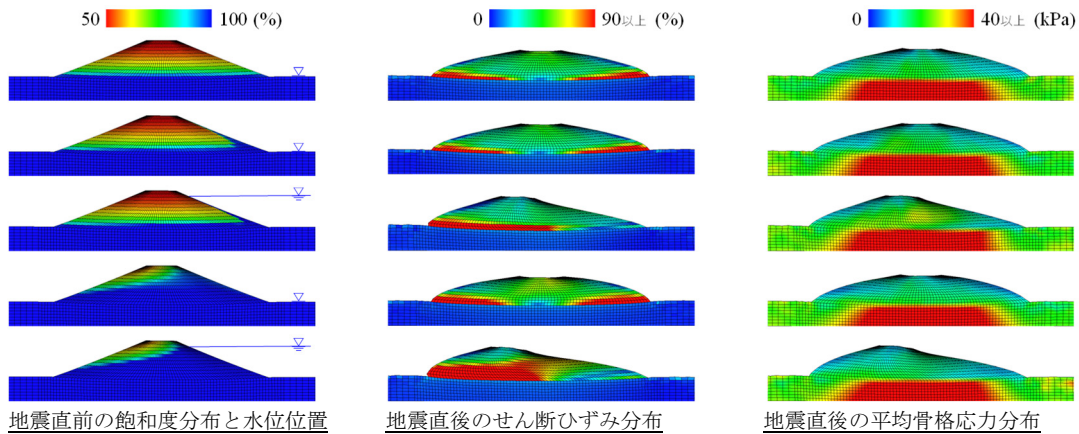


図8 河川水位と堤体内飽和度の違いが堤防の地震時挙動に与える影響

(3-2) 解析コードの高速化・大容量化

スパコンによる大規模解析を可能とするため、解析コードの高速化を行った。まず、本解析手法の実行時間の大半を占める連立一次方程式のソルバライブラリについて、現行の直接法ソルバ PARDISO を、剛性行列生成部のサブルーチンとともに OpenMP でスレッド並列化した。さらに、MPI によるプロセス並列対応のソルバとして MUMPS (直接法) および PETSc (間接法) を導入することで更なる高速化を実現した。

また、高速化した解析コードを用いて、地盤の大規模三次元変形解析を実施した。まず、準静的な例題として、屈曲を有する横ずれ断層上の表層地盤の変形問題を取り上げ、屈曲の配置に応じて異なる rupture pattern が解かれることを系統的に示した。さらに、動的問題への対応として、本解析手法が不規則外力作用下で高精度かつ安定して計算を継続可能な適切な分散方法を検討するとともに、三次元弾性・弾塑性堆積盆地の地震時応答解析を実施した。その結果、弾性解析においては、堆積構造の非一様性に起因した多次元効果や表面波の干渉による顕著な増幅が、弾塑性解析においては液状化に伴う堆積層全体の「スロッシング」現象が解かれることを示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Yoshikawa, T., Noda, T. and Kodaka, T.	4. 巻 61(3)
2. 論文標題 Importance of considering unsaturated triaxial tests including ceramic disk as initial and boundary value problems	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Soils and Foundations	6. 最初と最後の頁 901-913
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.sandf.2020.12.009	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Toyoda, T. and Noda, T.	4. 巻 61(2)
2. 論文標題 Numerical simulation based heuristic investigation of inertia-induced phenomena and theoretical solution based verification by the damped wave equation for the dynamic deformation of saturated soil based on the u-w-p governing equation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Soils and Foundations	6. 最初と最後の頁 352-370
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.sandf.2020.12.007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Mura0, H., Nakai, N., Yoshikawa, T. and Noda, T.	4. 巻 20(78)
2. 論文標題 Progressive failure of unsaturated fill slope caused by cumulative damage under seepage surface	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of GEOMATE	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Yoshikawa, T. and Noda, T.	4. 巻 60(5)
2. 論文標題 Triaxial test on water absorption compression of un-saturated soil and its soil-water-air-coupled elasto-plastic finite deformation analysis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Soils and Foundations	6. 最初と最後の頁 1151-1170
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.sandf.2020.06.010	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 吉川高広, 野田利弘, 小高猛司, 崔瑛	4. 巻 75(2)
2. 論文標題 堤防の浸透破壊に関する模型実験の空気~水~土連成有限変形シミュレーション	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集A2 (応用力学)	6. 最初と最後の頁 I_379-I_388
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejam.75.2_I_379	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Noda, T. and Toyoda, T.	4. 巻 59(4)
2. 論文標題 Development and verification of a soil-water coupled finite deformation analysis based on u-w-p formulation with fluid convective nonlinearity	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Soils and Foundations	6. 最初と最後の頁 888-904
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sandf.2019.03.008	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Mura0, H., Nakai, K., Noda, T. and Yoshikawa, T.	4. 巻 55(11)
2. 論文標題 Deformation/failure mechanism of saturated fill slopes due to resonance phenomena based on 1G shaking-table tests	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Canadian Geotechnical Journal	6. 最初と最後の頁 1668-1681
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1139/cgj-2017-0385	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計82件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 14件)

1. 発表者名 岩井周平, 野田利弘, 豊田智大
2. 発表標題 横ずれ断層の非一様な幾何形状がリーデルせん断の形成に及ぼす影響に関する検討
3. 学会等名 第32回中部地盤工学シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 廣田康起, 中野正樹, 酒井崇之
2. 発表標題 細粒分流出量の違いが砂質土の単調・繰返しせん断挙動に及ぼす影響
3. 学会等名 第32回中部地盤工学シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉川高広, 野田利弘
2. 発表標題 慣性力考慮の弾塑性有限変形解析による不飽和シルト三軸供試体の吸水破壊メカニズムの解明
3. 学会等名 第26回計算工学講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 豊田智大, 野田利弘
2. 発表標題 調和外力による飽和土の一次元強制振動に対するu-w-p解析に基づいたu-p 近似解法の再評価と u-w-p定式化の優位性
3. 学会等名 第26回計算工学講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野田利弘, 豊田智大, 岩井周平, 浅岡顕
2. 発表標題 三次元的な地下構造を有する堆積盆地の水～土骨格連成弾塑性地震応答解析
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 豊田智大, 野田利弘, 大西和也, 浅岡顕
2. 発表標題 弾塑性地盤力学に基づく一様圧縮作用下でのImbricationおよびデコルマの形成解析
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoshikawa, T. and Noda, T.
2. 発表標題 Clarification of water absorption failure mechanisms of unsaturated silt triaxial specimen through three-phase elastoplastic finite deformation analysis considering inertia force
3. 学会等名 COUPLED PROBLEMS 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Toyoda, T. and Noda, T.
2. 発表標題 Evaluation of the performance of u-p formulation-based analysis by the u-w-p formulation-based analysis in oscillation problem
3. 学会等名 COUPLED PROBLEMS 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野田利弘, 豊田智大, 岩井周平, 浅岡顕
2. 発表標題 三次元堆積盆地の弾塑性性状に応じた地震応答の解析的研究
3. 学会等名 第56回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 豊田智大, 野田利弘, 大西和也, 浅岡顕
2. 発表標題 水平圧縮作用により地盤内に発生するデコルマの水～土骨格連成弾塑性解析
3. 学会等名 第56回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大西和也, 野田利弘, 豊田智大, 浅岡顕
2. 発表標題 弾塑性計算地盤力学に基づくimbrication の形成に関する数値シミュレーション
3. 学会等名 第56回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉川高広, 野田利弘, 広瀬祥
2. 発表標題 サクシオン低下と間隙圧上昇による緩い不飽和シルト三軸供試体の吸水破壊実験
3. 学会等名 第56回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 酒井崇之, 中野正樹, 山田正太郎
2. 発表標題 液状化履歴による異方性の発展を考慮した再液状化現象のシミュレーション
3. 学会等名 第56回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉川高広, 野田利弘
2. 発表標題 三相系有限変形解析による河川堤防の力学挙動に及ぼす地震と河川水位の複合外力の影響評価
3. 学会等名 令和3年度土木学会全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 豊田智大, 野田利弘, 岩井周平, 浅岡顕
2. 発表標題 線形弾性解析に基づく堆積盆地の三次元構造が地震動の増幅および周波数特性に与える影響の評価
3. 学会等名 令和3年度土木学会全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Noda, T. and Nakai, K.
2. 発表標題 Seismic damage of soft clay layer directly under the river levee that becomes prominent by L2 earthquake
3. 学会等名 17th World Conference on Earthquake Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nakai, K., Noda, T. and Fukuda, S.
2. 発表標題 Localized/enormous seismic damage of subsurface ground induced by the stratum irregularity
3. 学会等名 17th World Conference on Earthquake Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoshikawa, T. and Noda, T.
2. 発表標題 Numerical analysis on aftershock-induced liquefaction of sandy ground with water-level raised by main shock
3. 学会等名 17th World Conference on Earthquake Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉川高広, 野田利弘, 中澤一眞
2. 発表標題 繰返し吸排水履歴に関する不飽和シルト三軸試験と封入空気を考慮した水分特性モデルを用いた数値シミュレーション
3. 学会等名 第31回中部地盤工学シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 服部敦貴, 吉川高広, 野田利弘, 北折陽一, 中澤一眞
2. 発表標題 排気・排水 / 非排水条件下における不飽和シルトの体積圧縮時の水分特性に関する研究
3. 学会等名 第31回中部地盤工学シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 豊田智大, 野田利弘
2. 発表標題 u-w-p水 ~ 土連成解析による有限変形を伴う超高透水性多孔質媒体内での間隙水の動的流れの解明
3. 学会等名 第31回中部地盤工学シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Noda, T. and Yoshikawa, T.
2. 発表標題 An analytical study on expansion of liquefaction damage during aftershock induced by groundwater-level rise due to main shock
3. 学会等名 7th Asia-Pacific Conference on Unsaturated Soils (AP-UNSAT 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshikawa, T. and Noda, T.
2. 発表標題 Soil-water-air coupled elasto-plastic finite deformation simulation of unsaturated silt triaxial test using void ratio-dependent soil water retention model
3. 学会等名 7th Asia-Pacific Conference on Unsaturated Soils (AP-UNSAT 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Noda, T. and Yoshikawa, T.
2. 発表標題 An analytical consideration on aftershock-induced expansion of liquefaction damage of sandy ground with groundwater-level rise due to main shock
3. 学会等名 16th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (16ARC) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toyoda, T., Noda, T., Yamada, S. and Asaoka, A.
2. 発表標題 Numerical simulation of Riedel shear bands formation considering effects of geometrical barrier on strike-slip fault
3. 学会等名 16th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (16ARC) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Murao H. and Nakai, K.
2. 発表標題 Analysis of the influence of phreatic surface position on the deformation of fill slope by using 1G shaking table tests
3. 学会等名 16th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (16ARC) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yamada, S. and Nakano, M.
2. 発表標題 Basic study on the anisotropy of sand by using hollow cylindrical torsional shear apparatus
3. 学会等名 16th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (16ARC) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 豊田智大, 野田利弘
2. 発表標題 水～土連成問題におけるu-w-p支配方程式の減衰波動方程式への帰着とその解の性質に関する一考察
3. 学会等名 第25回計算工学講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野田利弘, 吉川高広, 服部敦貴
2. 発表標題 慣性力考慮の三相系弾塑性有限変形解析による不飽和シルト三軸供試体の二つの吸水破壊メカニズムの解明
3. 学会等名 第55回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉川高広, 野田利弘, 服部敦貴
2. 発表標題 不飽和シルト三軸供試体の荷重一定条件下における吸水破壊試験
3. 学会等名 第55回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 豊田智大, 野田利弘
2. 発表標題 土の一次元的弾性変形問題におけるu-w-p支配方程式の減衰波動方程式への帰着と有限要素解析コードのVerification
3. 学会等名 第55回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩井周平, 野田利弘, 豊田智大
2. 発表標題 ランダムな屈曲を有する横ずれ断層の変位に伴う表層地盤の3次元弾塑性変形解析
3. 学会等名 第55回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中野正樹, 酒井崇之, 廣田康起, 山田正太郎
2. 発表標題 細粒分流出による粒度の違いが砂の単調・繰返しせん断挙動に及ぼす影響
3. 学会等名 第55回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉川高広, 野田利弘
2. 発表標題 砂地盤の余震時液状化被害に及ぼす本震時の地下水位上昇と飽和域の過剰水圧上昇の関係性
3. 学会等名 令和2年度土木学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 豊田智大, 野田利弘
2. 発表標題 「u-w-p二相質点系モデル」による飽和地盤の一次元動的変形問題における即時水圧の出現および水圧の二段階遷移現象に関する一考察
3. 学会等名 令和2年度土木学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 豊田智大, 野田利弘
2. 発表標題 u-w-p formulationに基づく水～土骨格連成有限変形解析コードの開発と検証
3. 学会等名 第30回中部地盤工学シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山田翔太, 野田利弘, 豊田智大, 山田正太郎, 浅岡顕
2. 発表標題 リーデルせん断の数値シミュレーションとせん断面の発生角度に関する一考察
3. 学会等名 第30回中部地盤工学シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉川高広, 野田利弘, 西垣隆士
2. 発表標題 新たに定義する有効飽和度に基づく不飽和土の有限変形解析手法の開発と検証
3. 学会等名 第30回中部地盤工学シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中澤一眞, 吉川高広, 野田利弘, 中井健太郎, 西垣隆士, 岡田知也
2. 発表標題 二酸化炭素を用いた三軸試験による不飽和土中の封入空気量の把握
3. 学会等名 第30回中部地盤工学シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉川高広, 野田利弘
2. 発表標題 空気～水～土連成有限変形解析に基づく本震時の地下水位上昇に起因した余震時の砂地盤の液状化被害拡大メカニズムの考察
3. 学会等名 極大地震時における表層地盤の強い非線形現象とその影響に関する研究シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 豊田智大, 野田利弘, 山田正太郎, 山田翔太, 浅岡顕
2. 発表標題 Jog の存在を考慮したflower 構造を伴うRiedel せん断帯の弾塑性有限変形解析
3. 学会等名 極大地震時における表層地盤の強い非線形現象とその影響に関する研究シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 村尾英彦, 野田利弘, 中井健太郎, 吉川高広
2. 発表標題 1G場振動台実験に基づく浸潤面の位置が盛土造成斜面の変状に及ぼす影響の一考察
3. 学会等名 極大地震時における表層地盤の強い非線形現象とその影響に関する研究シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 浅岡顕, 澤田義博, 野田利弘, 山田正太郎, 清水亮太, 高稲敏浩
2. 発表標題 計算地盤力学による, いわゆる“トランポリン効果”の再現
3. 学会等名 極大地震時における表層地盤の強い非線形現象とその影響に関する研究シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山田正太郎, 野田利弘, 浅岡顕, 澤田義博
2. 発表標題 表層地盤の非線形性および多次元波動伝播の影響を考慮した基盤上昇波推定手法の提案と適用 - 2008年岩手・宮城内陸地震における荒戸沢ダムの強震観測記録を例に -
3. 学会等名 極大地震時における表層地盤の強い非線形現象とその影響に関する研究シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉川高広, 野田利弘, 小高猛司, 崔瑛
2. 発表標題 サクシオン効果を記述する弾塑性構成式を用いた堤体の浸透破壊の空気～水～土連成有限変形シミュレーション
3. 学会等名 第6回河川堤防技術シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 豊田智大, 野田利弘, 山田正太郎, 浅岡顕
2. 発表標題 三次元弾塑性解析を用いたRiedelせん断の形成に及ぼすJogの逸脱量の影響に関する検討
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 豊田智大, 野田利弘, 山田正太郎, 山田翔太, 浅岡顕
2. 発表標題 三次元弾塑性解析による横ずれ断層線の逸脱量がRiedelせん断の発生角度に与える影響に関する検討
3. 学会等名 第24回計算工学講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山田正太郎, 野田利弘, 中野正樹, 浅岡顕
2. 発表標題 複合負荷弾塑性構成式の提案
3. 学会等名 第24回計算工学講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉川高広, 野田利弘, 中澤一眞
2. 発表標題 封入空気を考慮可能な水分特性モデルによる繰返し吸排水三軸試験の数値シミュレーション
3. 学会等名 第24回計算工学講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toshihiro Noda and Takahiro Yoshikawa
2. 発表標題 Expansion of liquefaction damage during aftershock induced by groundwater-level rise due to main shock: soil-water-air coupled elasto-plastic finite deformation analysis approach
3. 学会等名 COUPLED PROBLEMS 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takahiro Yoshikawa and Toshihiro Noda
2. 発表標題 Numerical simulation of unsaturated soil triaxial test based on a soil-water- air coupled analysis incorporating a void ratio-dependent SWC model
3. 学会等名 COUPLED PROBLEMS 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomohiro Toyoda and Toshihiro Noda
2. 発表標題 Dynamic Soil-Water Coupled Finite Deformation Analysis of a Highly-Permeable Soil Specimen on an Undrained Plane-Strain Compression Test
3. 学会等名 COUPLED PROBLEMS 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野田利弘, 吉川高広, 中澤一眞
2. 発表標題 封入空気を考慮した水分特性モデルによる不飽和シルトの吸排水時ヒステリシス性の表現
3. 学会等名 第54回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉川高広, 野田利弘, 中澤一眞
2. 発表標題 不飽和シルトを用いた繰返し吸排水履歴に関する三軸試験
3. 学会等名 第54回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山田正太郎, 野田利弘, 中野正樹, 浅岡顕
2. 発表標題 複合負荷弾塑性構成式への誘導異方性の新たな発展則の導入と妥当性の検証
3. 学会等名 第54回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大前憲盛, 中野正樹, 野田利弘, 山田正太郎, 酒井崇之
2. 発表標題 水溶性化学肥料を用いた内部浸食の模擬実験
3. 学会等名 第54回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 廣田康起, 中野正樹, 野田利弘, 山田正太郎, 酒井崇之
2. 発表標題 僅かな粒度変化が砂質土のせん断挙動に及ぼす影響
3. 学会等名 第54回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 清水亮太, 野田利弘, 山田正太郎, 浅岡顕
2. 発表標題 局所刺激係数を用いた土構造物近傍の固有振動特性の評価
3. 学会等名 第54回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 豊田智大, 野田利弘, 山田正太郎, 山田翔太, 浅岡顕
2. 発表標題 Riedel せん断帯の形成過程における寸法効果に関する数値シミュレーション
3. 学会等名 第54回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉川高広, 野田利弘, 北折陽一
2. 発表標題 不飽和シルトの体積圧縮時の水分特性に関する実験的研究
3. 学会等名 平成31年度土木学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 豊田智大, 野田利弘
2. 発表標題 間隙水の慣性の影響を考慮した高透水性土の動的即時沈下解析
3. 学会等名 平成31年度土木学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 豊田智大, 野田利弘, 山田正太郎, 山田翔太
2. 発表標題 横ずれ断層における幾何学的不整が表層地盤のせん断帯の形成に及ぼす影響
3. 学会等名 第29回中部地盤工学シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中澤一眞, 吉川高広, 野田利弘, 中井健太郎, 高根澤巧也
2. 発表標題 セラミックディスクおよび微細多孔質膜を用いた三軸試験による不飽和シルト排気排水せん断挙動の把握
3. 学会等名 第29回中部地盤工学シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山田正太郎, 野田利弘, 浅岡顕
2. 発表標題 粘性境界条件を適用した水～土連成弾塑性有限変形解析による基盤入射波の推定法の提案
3. 学会等名 第64回理論応用力学講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 吉川高広, 野田利弘
2. 発表標題 砂地盤の本震による地下水位上昇に起因した余震時の液状化被害拡大に関する計算地盤力学的考察
3. 学会等名 第64回理論応用力学講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 豊田智大, 野田利弘, 山田正太郎, 山田翔太, 浅岡顕
2. 発表標題 非線形地盤力学に基く横ずれ断層上のjogの存在を考慮したRiedelせん断帯の生成シミュレーション
3. 学会等名 第64回理論応用力学講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 村尾英彦, 野田利弘, 中井健太郎, 吉川高広, 堀田繁
2. 発表標題 材料非線形性に伴う共振現象の変化に着目した飽和盛土造成斜面の1G場振動台実験
3. 学会等名 第64回理論応用力学講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山田正太郎, 野田利弘, 浅岡顕, 澤田義博
2. 発表標題 水～土連成解析を用いた2008年岩手・宮城内陸地震における荒砥沢ダムにおける基盤上昇波の推定
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 豊田智大, 野田利弘, 山田正太郎, 浅岡顕
2. 発表標題 地盤の強非線形性と横ずれ断層上の幾何学的バリアの影響を考慮したRiedelせん断帯の生成シミュレーション
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉川高広, 野田利弘, 小高猛司, 崔瑛
2. 発表標題 サクシヨン効果を記述するSYS Cam-clay modelを用いた堤体の浸透破壊の空気～水～土連成有限変形シミュレーション
3. 学会等名 第23回計算工学講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 豊田智大, 野田利弘
2. 発表標題 u-w-p 定式化に基づく水～土骨格連成計算における制約条件としての非排水条件の実装と検証
3. 学会等名 第23回計算工学講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 野田利弘, 吉川高広, 西垣隆士
2. 発表標題 新たに定義する有効飽和度に基づく不飽和土の有限変形解析手法の提案
3. 学会等名 第53回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉川高広, 野田利弘, 西垣隆士
2. 発表標題 封入空気を考慮可能な不飽和土の有限変形解析手法の妥当性確認
3. 学会等名 第53回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中澤一眞, 吉川高広, 野田利弘, 中井健太郎, 西垣隆士, 岡田知也
2. 発表標題 土中の間隙水に封入された間隙空気量計測のための不飽和三軸試験
3. 学会等名 第53回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 豊田智大, 野田利弘, 山田正太郎, 山田翔太, 浅岡顕
2. 発表標題 Riedel せん断帯の形成過程における寸法効果に関する数値シミュレーション
3. 学会等名 第53回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 村尾英彦, 野田利弘, 中井健太郎, 吉川高広
2. 発表標題 1G場振動台実験による盛土造成斜面の変状に及ぼす浸潤面の影響の考察
3. 学会等名 第53回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山田正太郎, 野田利弘, 浅岡顕, 澤田義博, 阪口崇博
2. 発表標題 水~土連成解析を用いたロックフィルダムの地震応答解析および基盤上昇波の推定
3. 学会等名 第53回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 野田利弘, 豊田智大
2. 発表標題 Full-formulation の動的問題への適用とu-p formulation の適用限界の克服
3. 学会等名 平成30年度土木学会全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 豊田智大, 野田利弘
2. 発表標題 Full-formulation に基づく超高透水性土の動的有限変形圧密解析
3. 学会等名 平成30年度土木学会全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉川高広, 野田利弘, 小高猛司, 崔瑛
2. 発表標題 サクシヨン効果を記述するSYS Cam-clay model を用いた透水模型実験の空気～水～土連成有限変形解析
3. 学会等名 平成30年度土木学会全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山田翔太, 野田利弘, 豊田智大, 山田正太郎, 浅岡顕
2. 発表標題 横ずれ断層の非一様な幾何形状がリーデルせん断帯の形成過程に及ぼす影響
3. 学会等名 平成30年度土木学会全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 村尾英彦, 野田利弘, 中井健太郎, 吉川高広
2. 発表標題 1G場振動台実験による浸潤面位置が地震時の盛土造成斜面の安定性に及ぼす影響
3. 学会等名 平成30年度土木学会全国大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 全32名(野田利弘, 吉川高広を含む)	4. 発行年 2020年
2. 出版社 丸善出版(株)	5. 総ページ数 149
3. 書名 河川堤防の調査・検討から維持管理まで	

1. 著者名 全36名(野田利弘, 山田正太郎, 中井健太郎を含む)	4. 発行年 2019年
2. 出版社 (株)エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 338
3. 書名 地盤・土構造物のリスクマネジメント～地盤崩壊・液状化のメカニズムとその解析、監視、防災対策～	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	中野 正樹 (Nakano Masaki) (00252263)	名古屋大学・工学研究科・教授 (13901)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	中井 健太郎 (Nakai Kentaro) (60402484)	名古屋大学・工学研究科・准教授 (13901)	
研究分担者	酒井 崇之 (Sakai Takayuki) (20773592)	名古屋大学・工学研究科・助教 (13901)	
研究分担者	吉川 高広 (Yoshikawa Takahiro) (20771075)	名古屋大学・工学研究科・助教 (13901)	
研究分担者	山田 正太郎 (Yamada Shotaro) (70346815)	東北大学・工学研究科・准教授 (11301)	
研究分担者	河井 正 (Kawai Tadashi) (10371436)	東北大学・工学研究科・准教授 (11301)	
研究分担者	浅岡 顕 (Asaoka Akira) (50093175)	公益財団法人地震予知総合研究振興会・地震防災調査研究部・副首席主任研究員 (82669)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------