

令和 5 年 6 月 10 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H00780

研究課題名（和文）築造過程から長期供用を経て地震による変形・破壊まで、盛土の一生を解く

研究課題名（英文）Simulation of the life of embankments from the construction process through the long-term in-service period to deformation and failure

研究代表者

菊本 統（Kikumoto, Mamoru）

横浜国立大学・大学院都市イノベーション研究院・教授

研究者番号：90508342

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 35,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、高速道路や鉄道などの長期供用を経た土構造物のメンテナンス課題に対応するため、盛土の築造過程から浸水・応力変化による変形・破壊、さらには長期的な風化・劣化までを解析する土の構成モデルの開発を目指した。締固め現象を適切に取り扱うために不飽和土の構成則を定式化し、等方・異方応力下での浸水挙動や諸々の応答を一貫して再現することを試みた。研究成果として、盛土の変形・破壊挙動を再現できる技術の開発や長期供用時の風化・劣化現象のメカニズムに関する洞察が得られた。一連の研究により、土構造物の安全性評価やメンテナンス計画の改善に寄与することが期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で得た成果は、高速道路や鉄道などの重要なインフラストラクチャーの土構造物の維持管理の合理化に寄与します。土構造物の変形や破壊、長期的な風化を予測するために開発した土のモデルは、安全性評価やメンテナンス計画の改善に役立てることができる。また、土のモデルを組み込んだ初期値・境界値問題の解析技術を用いれば、土構造物の耐久性と持続可能性の向上にも寄与し、効率的な交通システムの確保や構造的な故障のリスク軽減に寄与できる。重要なインフラの安全性、信頼性、長寿命化を促進する。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to develop a model capable of describing the complete life cycle of earth structures, such as highways and railways, including construction, deformation, failure due to inundation and stress changes, and long-term weathering and degradation. A mode for unsaturated soils was formulated, incorporating effective stress concepts and state boundaries. The developed model demonstrated consistent response from unsaturated to saturated conditions, enabling unified analysis of a wide range of soil behaviors. Validity was confirmed through comparisons with laboratory tests and parametric studies. The findings contribute to the evaluation of earth structure safety and improvement of maintenance planning, enabling accurate prediction of deformation and failure behavior, and providing insights into long-term weathering and degradation. These outcomes have implications for enhancing infrastructure resilience and sustainability, leading to optimized maintenance strategies.

研究分野：地盤工学

キーワード：土構造物 応答曲面 浸水破壊 X線撮影 風化・劣化 築造過程 脆弱岩破砕土 締固め曲線

### 1. 研究開始当初の背景

東名・名神高速や東海道新幹線は供用50年を超え、インフラは本格的なメンテナンス時代に突入している(図-1)。なかでも土構造物は高速道路や鉄道の総延長の約7割を占め、維持・補修の必要性が高い。実際、長期供用中の盛土は各地で不同沈下や変状を生じている。加えて、駿河湾沖地震での盛土崩壊の要因は盛土材の乾湿風化であり、長期供用による耐震性能の低下も懸念されている(図-2)。盛土の耐震性能は、盛土の諸元(土質、締固め度、高さ、勾配)で決まる。しかし、既存の解析技術は地盤の変形から破壊を一元的に取り扱えるようになってきていたものの、締固め現象は解析的に記述できておらず、築造後の盛土の物性を恣意的に入力して解析しているのが現状であった。

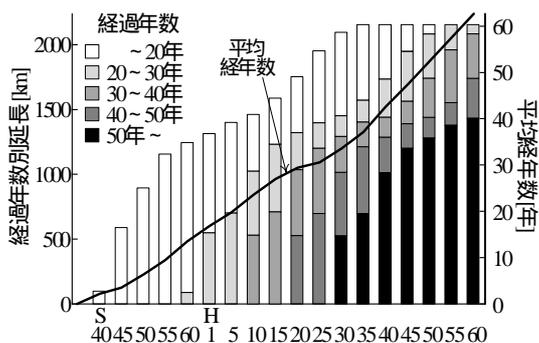


図-1 高速道路の経過年数別延 (山口・山陽道、2005年)



図-2 地震による高速道路盛土の被害 (熊本・九州自動車道、2016年)

### 2. 研究の目的

築造過程(ゆりかご)から長期供用中の風化・劣化を経て、地震による変形・破壊(墓場)まで、盛土の一生を解く解析技術を開発する。築造過程から変形・破壊まで解く土の構成モデルを開発・高度化するとともに、それを盛土材の風化・劣化現象も考慮できるように拡張し、長期供用による盛土の変状や耐震性能の変化を評価する統合的なシステムの構築を狙う。

### 3. 研究の方法

盛土等の土構造物の締固め築造過程とその後の変形・破壊を再現できる土の構成則を開発する。構成則は飽和土の限界状態モデルをベースとして、発展型水分特性曲線モデルと Bishop の有効応力、不飽和土の状態境界面を導入することで、不飽和土から飽和土まで応答を一貫して再現できる構成則を定式化する。状態境界面は、粘土・シルトの状態境界面と砂・礫の状態境界面(図-3)をそれぞれ別々の実験事実から導出しつつ、両者は本質的に同じであることを示し、細粒土から粗粒土まで土の広範な応答を統一的に再現できる構成則の開発につなげる(図-4)。開発した構成則の妥当性は室内要素試験との比較やパラメトリックスタディを通じて検証し、必要に応じて改良する。締固め現象は含水比一定条件の静的等方圧縮によりシミュレートする。また、開発した構成則は商用の有限要素解析コードに導入し、初期値境界値問題の解析を行う。

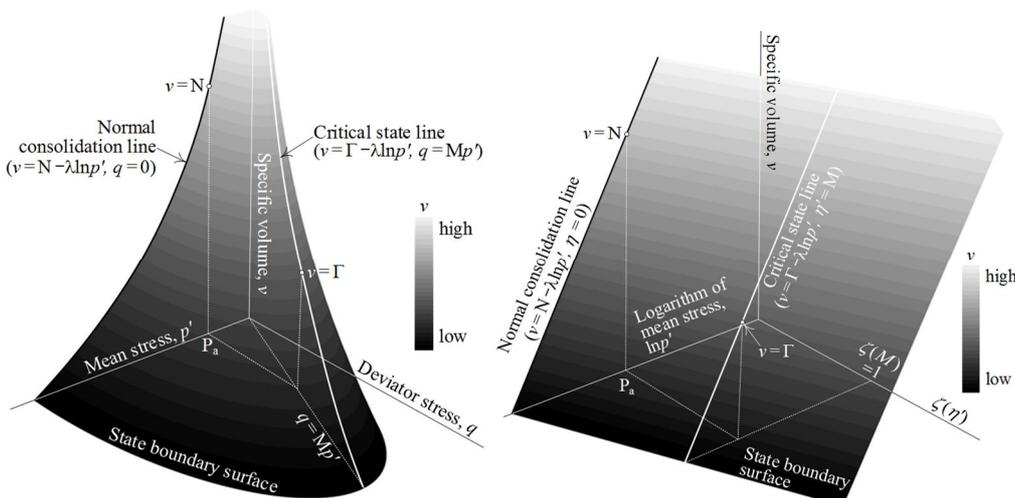


図-3 細粒土と粗粒土の統一的な状態境界面 (左は平均応力-偏差応力-比体積の関係、右は平均応力の対数軸と応力比の関係により線形化した関係)

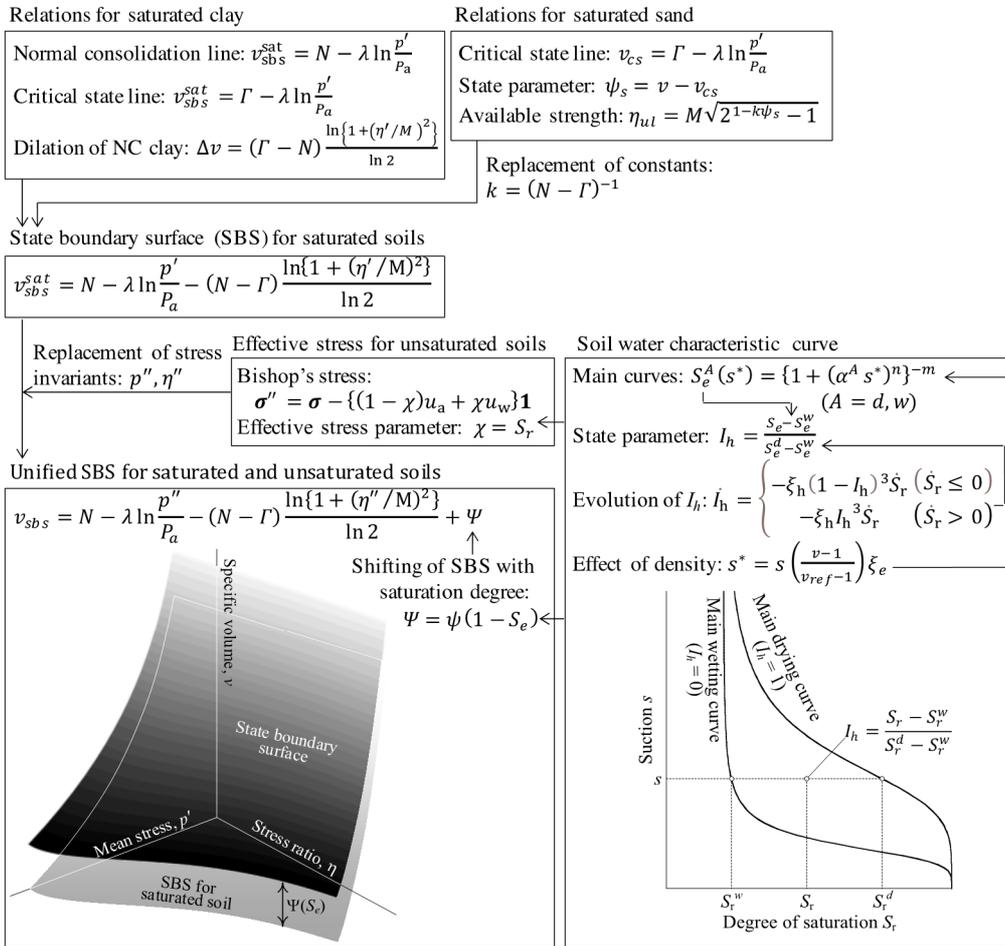


図-4 飽和から不飽和、細粒土から粗粒土の応答まで再現できる構成則の概要

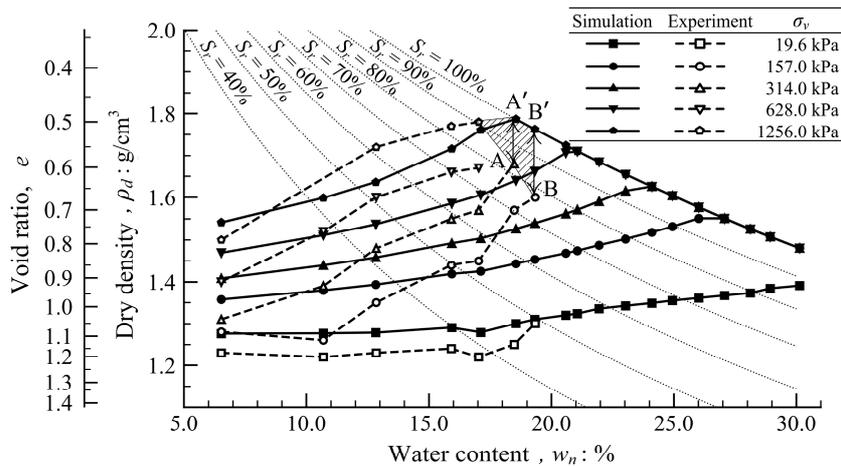


図-5 静的締固め試験および開発した構成則による解析の比較

## 4. 研究成果

### 4.1 静的締固め現象とシミュレーション

含水比が異なる不飽和試料の排気非排水条件での一次元圧縮試験により静的に締固め曲線を求め、同一条件で構成則の検証を行った(図-5)。試験ではゼロ空気間隙曲線に近づくときと載荷応力がほぼ間隙水圧に変換されるようになるため非排水条件を保持することが難しく、最適含水比よりウェットサイドの応答を観察することができなかった。解析は上に凸な締固め曲線や載荷応力による締固め曲線の変遷を再現することに成功したが、ドライサイドの曲線の形状は実験値とやや乖離があった。土質パラメータを変えた解析では、土の種類による締固め曲線の違い、例えば貧配合の粗粒土では締固め曲線が平らになる様子や良配合の土では締固め効果が非常に高くなることなど、実際の土に見られる締固め特性をよく再現した。

### 4.2 締固め土の浸水挙動とシミュレーション

不飽和土の浸水による変形・破壊挙動をシミュレートし、提案した構成則による締固め土の応答予測性能を確認した。既往実験との比較によりモデルの検証を行った後、異なる密度や拘束応

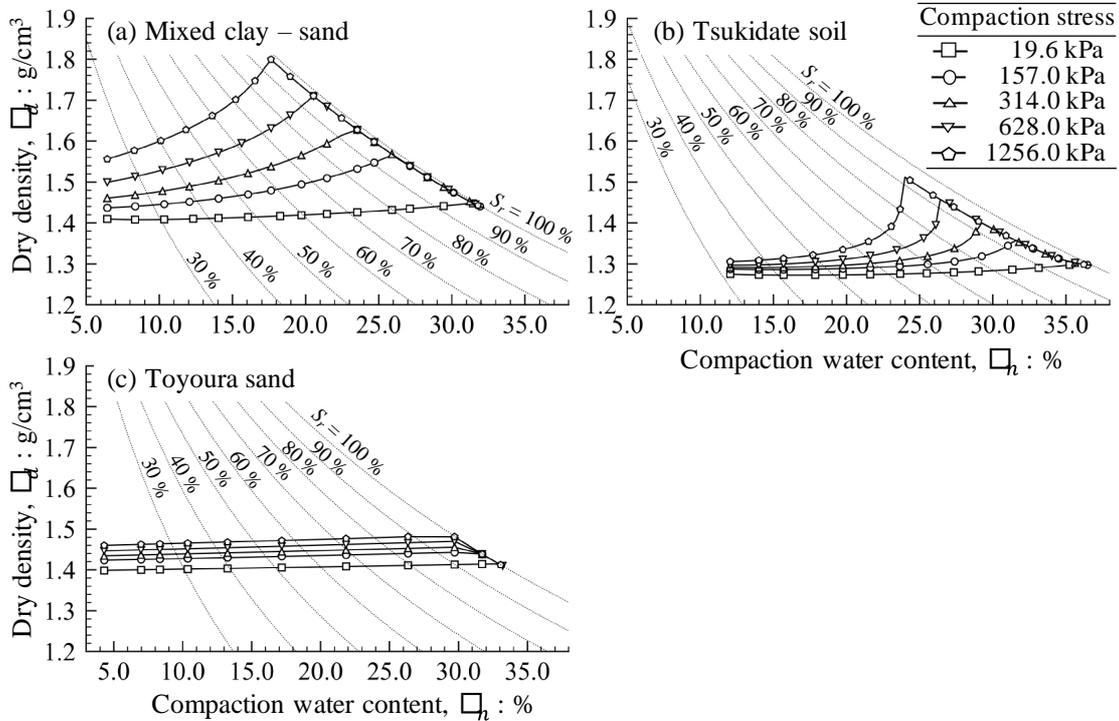


図-6 開発した構成則により再現した各種の土の静的締固め曲線

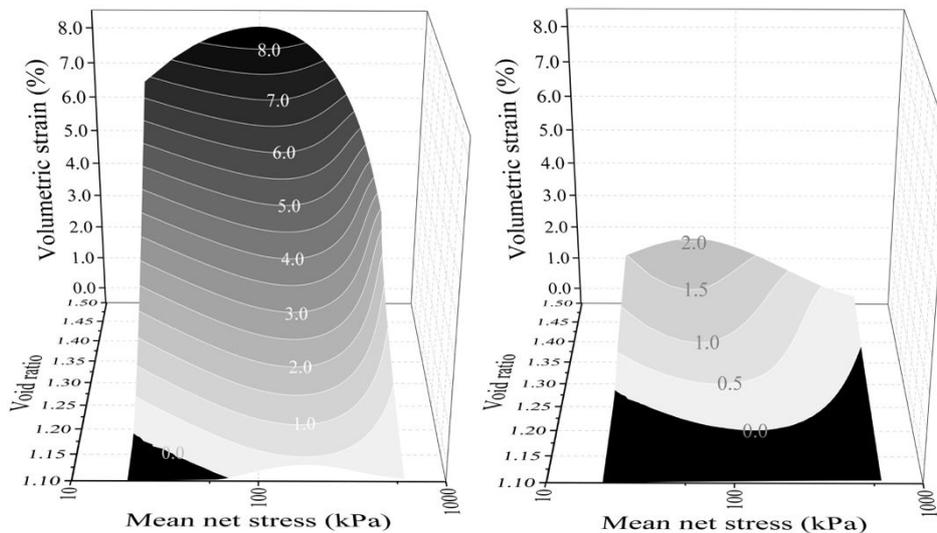


図-7 浸水時の圧縮挙動に及ぼす拘束応力と間隙比の影響（左：一回目浸水；右：二回目浸水）

力のもとで浸水による体積圧縮量を比較し、密度が浸水時の圧縮挙動に支配的な影響を及ぼすこと、体積圧縮は初回の浸水時に顕著で、二回目以降の浸水に対してはあまり生じないことを解析的に示した（図-7）。異方応力下での浸水挙動についても既往実験との比較により構成則の妥当性を検証した後、異なる偏差応力下で浸水シミュレーションを実施し、応力が異方的であるほど、また密度が低いほど、浸水時のせん断変形は大きくなることを示した（図-8）。さらに広範なパラメトリックスタディを行い、浸水時のせん断変化に及ぼす密度と偏差応力を明示するとともに、所定の偏差応力を超えると浸水により崩壊に至ることも示した（図-9）。

#### 4.3 乾湿繰返しによる風化（スレーキング）の実験とシミュレーション

築造後の盛土内部の地盤材料の長期的な劣化のメカニズムについて、X線撮影装置を用いて泥岩の湿潤過程でのスレーキング挙動を観察するとともに、泥岩破碎土の粒子の湿潤過程と破壊現象に関する数値シミュレーションを実施した。実験では吸水による膨潤と崩壊過程を X 線画像解析により捉えた。解析では、湿潤過程が進行した粒子表層部と未だ乾燥状態にある粒子内部との間で含水状況に差異が生まれ、それにより粒子内部の応力状態が異方的になり破壊に至るメカニズムを再現することができた。

#### 4.4 結論

盛土の締固め築造過程からその後の浸水やせん断により変形・破壊挙動を一貫して再現する技術の開発と高度化を行った。各種の試験結果との比較により開発したモデルの妥当性を検証

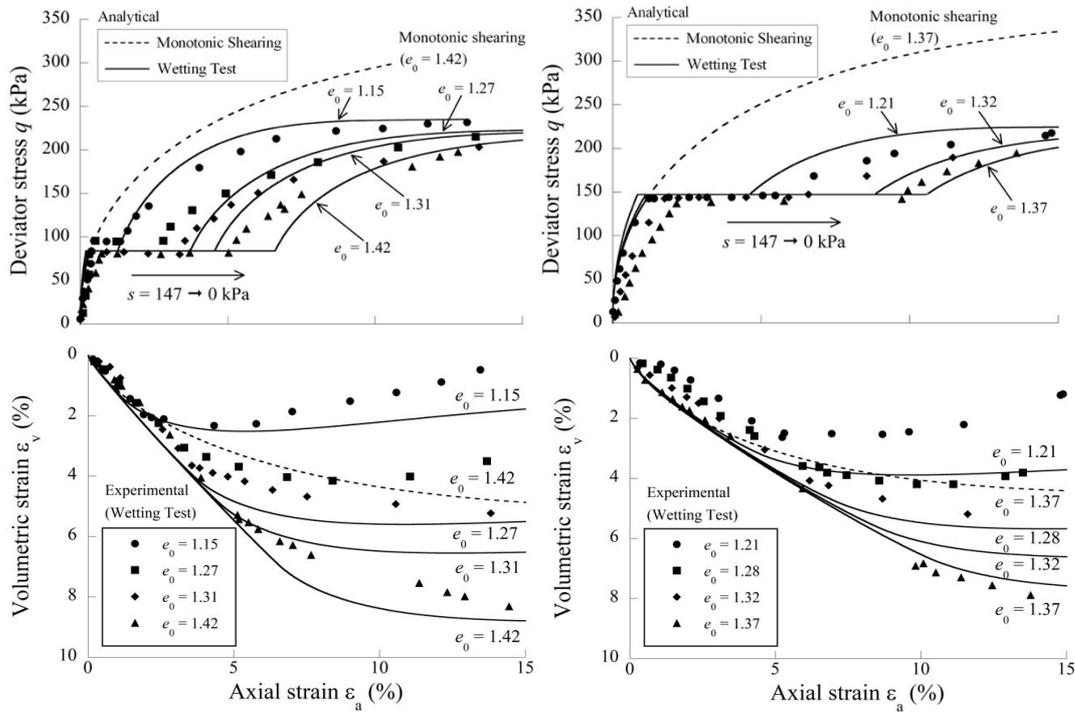


図-8 浸水時の変形・破壊挙動に及ぼす間隙比と偏差応力の影響

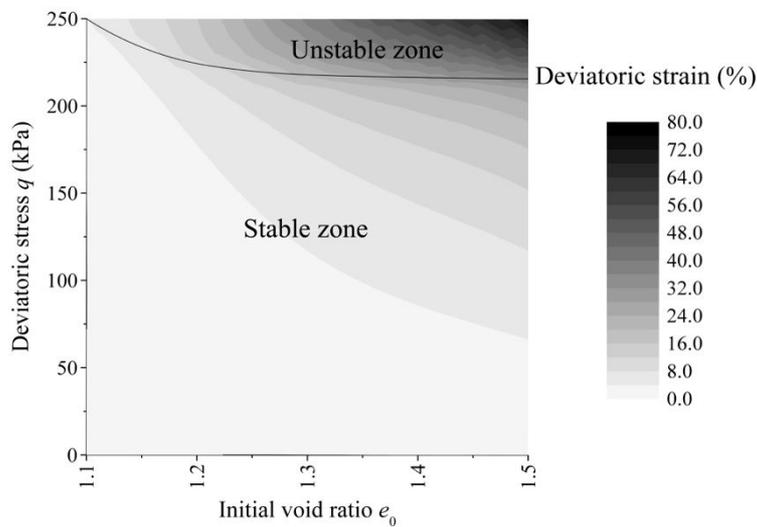


図-9 浸水時の変形・破壊挙動に及ぼす間隙比と偏差応力の影響

するとともに、等方・異方応力下での浸水崩壊のパラメトリックな解析により変形・破壊現象について幾つかの応答曲面（例えば図-7、図-9）を得た。また、盛土材、特に泥岩破碎土のような軟岩由来の材料を想定して長期的な風化・劣化現象を室内試験で観察するとともに、浸水時のスレーキング現象のメカニズムについて数値解析的に検証を行った。

一連の検討の結果、締固め築造過程から降雨や地震に対する締固め土の力学的応答を一貫して追従できるモデルを実現するとともに、モデルの初期値境界値問題への導入も行うことができた。また、長期供用時の風化・劣化現象まで再現できるモデルの開発につなげるために、風化現象のメカニズムについての知見を得ることができた。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 16件／うち国際共著 5件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Nguyen, T. N., Bergado, D. T., Kikumoto, M., Dang, P. H., Chaipayut, S. and Nguyen, P-C.	4. 巻 49(1)
2. 論文標題 A simple solution for prefabricated vertical drain with surcharge preloading combined with vacuum consolidation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geotextiles and Geomembranes	6. 最初と最後の頁 304-322
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.geotexmem.2020.10.004	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 該当する
1. 著者名 Nguyen, T. N., Kikumoto, M., Khatir, S., Chaipayut, S., Nguyen, X. H. and Cuong, L. T.	4. 巻 15
2. 論文標題 A data-driven approach based on deep neural network with particle swarm optimization and genetic algorithm for an unprecedented solution to vertical drain under time-dependent loading	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontier of Structural and Civil Engineering	6. 最初と最後の頁 696-711
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s11709-021-0727-7	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 該当する
1. 著者名 Hashimoto, R., Sueoka, T., Koyama, T. and Kikumoto, M.	4. 巻 54
2. 論文標題 Improvement of discontinuous deformation analysis incorporating implicit updating scheme of friction and joint strength degradation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Rock Mechanics and Rock Engineering	6. 最初と最後の頁 4239-4263
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00603-021-02459-2	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 Riaz, S., Kikumoto, M., Basharat, M. and Putra, A. D.	4. 巻 39
2. 論文標題 Wetting-induced deformation of soils triggering landslides in Pakistan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geotechnical and Geological Engineering	6. 最初と最後の頁 5633-5649
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10706-021-01851-7	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 該当する

1. 著者名 永田政司, Bhowmik, S., 菊本統, 藤原優, 佐藤尚弘	4. 巻 17(1)
2. 論文標題 半世紀にわたる泥岩切土法面の風化過程と法面安定への影響	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 地盤工学ジャーナル	6. 最初と最後の頁 73-89
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3208/jgs.17.73	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 Komolvilas, V., Kikumoto, M. and Kyokawa, H.	4. 巻 46(6)
2. 論文標題 Mechanism of wetting-induced deformation and failure of unsaturated soils	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics	6. 最初と最後の頁 1064-1092
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/nag.3336	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 該当する

1. 著者名 上園浩志, 橋本涼太	4. 巻 39(1)
2. 論文標題 2次元DDA-VOF法連成解析による土石流中の巨礫の衝撃力に関する検討	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 地盤と建設	6. 最初と最後の頁 29-37
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 渡邊 唯, 海野 寿康, 加村 晃良	4. 巻 77(4)
2. 論文標題 砂質土における非排水繰返しせん断履歴後の透水係数の変化	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集 C(地圏工学)	6. 最初と最後の頁 386-391
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 Kyokawa, H.	4. 巻 294
2. 論文標題 A double structure model for hydro-mechano-chemical behavior of expansive soils based on the surface phenomena of mineral crystals	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Engineering Geology	6. 最初と最後の頁 106366
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.enggeo.2021.106366	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 Fang, X., Kikumoto, M. and Cui, Y.	4. 巻 44(10)
2. 論文標題 A theory of loosening earth pressure above a shallow tunnel in unsaturated ground	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/nag.3072	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 該当する

1. 著者名 Fang, X., Kikumoto, M. and Cui, Y.	4. 巻 44(10)
2. 論文標題 A theory of loosening earth pressure above a shallow tunnel in unsaturated ground	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/nag.3072	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 Khalid, M. S., Kikumoto, M., Cui, Y. and Kishida, K.	4. 巻 4(3)
2. 論文標題 Role of dilatancy in shallow overburden tunneling	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Underground Space	6. 最初と最後の頁 181-200
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.undsp.2018.09.006	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 橋本涼太, 菊本統, 小山倫史	4. 巻 75(3)
2. 論文標題 摩擦構成則の陰的積分アルゴリズムを導入した不連続変形法 (DDA) の開発	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会論文集C (地圏工学)	6. 最初と最後の頁 336-448
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejge.75.336	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 Hashimoto, R., Ohnishi, Y., Sasaki, T. and Miki, S.	4. 巻 92
2. 論文標題 Stability analysis of underground space with discontinuous planes by four node iso-parametric element numerical manifold method with rigid body rotation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Tunnelling and Underground Space Technology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tust.2019.103047	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 海野寿康, 緑川雄介	4. 巻 19(5)
2. 論文標題 水分状態を変化させた不飽和土の繰返しせん断変形特性	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本地震工学会論文集	6. 最初と最後の頁 170-183
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5610/jaee.19.5_170	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 緑川雄介, 海野寿康, 加村晃良, 仙頭紀明, 風間基樹	4. 巻 76(4)
2. 論文標題 2018年北海道胆振東部地震で被害を受けた火山灰質土の物理特性および力学特性	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集 A1特別号 (地震工学論文集)	6. 最初と最後の頁 -
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 Kyokawa, H., Ohno, S. and Kobayashi, I.	4. 巻 44(6)
2. 論文標題 A method for extending a general constitutive model to consider the electro chemo mechanical phenomena of mineral crystals in expansive soils	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics	6. 最初と最後の頁 749-771
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/nag.3026	査読の有無 無
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 Kido, R., Higo, Y., Takamura, F., Morishita, R., Khaddour, G. and Salager, S.	4. 巻 -
2. 論文標題 Morphological transitions for pore water and pore air during drying and wetting processes in partially saturated sand	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Acta Geotechnica	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11440-020-00939-3	査読の有無 無
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 -

〔学会発表〕 計30件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 15件)

1. 発表者名 Sueoka, T., Hashimoto, R., Kikumoto, M., Kamiya, K. and Russell, A.
2. 発表標題 Numerical Analysis on Stacking Conditions of Stones Influencing the Seismic Stability of Castle Masonry Wall
3. 学会等名 15th Int. Conf. on Analysis of Discontinuous Deformation (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Bhowmik, S., Kikumoto, M. and Nagata, M.
2. 発表標題 Weathering of mudstone and its effect on the long-term stability of a cut slope
3. 学会等名 20th International Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ali, U., Kikumoto, M., Ciantia, M.O. and Cui, Y.
2. 発表標題 Direct observation of particle kinematics in biaxial shearing test
3. 学会等名 18th UK Travelling Workshop - GeoMechanics: from Micro to Macro (GM3) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Uezono, H. and Hashimoto, R.
2. 発表標題 Fundamental Study on Boulder Impact Force by A Debris Flow Trapped in Check Dam Using Coupled DDA-VOF Analysis
3. 学会等名 15th International Conference on Analysis of Discontinuous Deformation (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 橋本涼太, 小山倫史
2. 発表標題 不連続性岩盤を模擬した金属六角棒積層斜面模型の遠心力载荷加振実験(13) - 改良型不連続変形法による評価 -
3. 学会等名 第48回岩の力学国内シンポジウム講演集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 奥田喬一, 京川裕之, 古関潤一
2. 発表標題 地盤材料の一次元载荷/除荷過程におけるクリープ特性のモデル化
3. 学会等名 第76回土木学会年次学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋真鈴, 肥後陽介, 木戸隆之祐, 菊本統
2. 発表標題 X線μCTを用いた泥岩のスレーキングによる透水性変化に関する研究
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 Bhowmik, S., Nagata, M. and Kikumoto, M.
2. 発表標題 A half-century weathering of mudstone in a highway cut slope
3. 学会等名 54th U.S. Rock Mechanics Geomechanics Symposium (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 末岡知紘, 橋本涼太, 菊本統, 神谷圭祐, Adrian Russell
2. 発表標題 NMM-DDAを用いた石垣模型振動台実験の再現解析
3. 学会等名 第47回岩盤力学に関するシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宇高亘, 松村聡, 菊本統
2. 発表標題 泥岩の湿潤崩壊機構に及ぼす载荷条件の影響
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 永田政司, 菊本統, Sharmily Bhowmik, 村上豊和, 佐藤尚弘
2. 発表標題 弾性波探査に基づく切土のり面の風化進行速度に関する分析
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 栗原歩, 橋本涼太, 菊本統
2. 発表標題 NMM-DDA による基壇模型支持力実験の再現解析
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 池田慧生, 崔瑛, 菊本統
2. 発表標題 盤ぶくれを生じたトンネルの周辺地山の膨潤特性に関する検討
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 渡邊唯, 海野寿康, 菊本統, 加村晃良, 松丸貴樹
2. 発表標題 飽和軽石土の非排水繰返しせん断中における粒子破碎挙動
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 永田政司, 菊本統, Sharmily Bhowmik, 村上豊和, 佐藤尚弘
2. 発表標題 弾性波探査に基づく切土のり面の安定度評価手法の検証
3. 学会等名 第75回土木学会年次学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Srinil, C., Kikumoto, M. and Komolvilas, V.
2. 発表標題 Simulation on liquefaction of unsaturated compacted soils - effect of compaction degree -
3. 学会等名 7th Int. Conf. on Earthquake Geotech. Engr. (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Florince and Kikumoto, M.
2. 発表標題 Reduction of undrained strength of volcanic soils due to particle breakage
3. 学会等名 7th Int. Conf. on Earthquake Geotech. Engr. (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Fang, X., Kikumoto, M. and Cui, Y.
2. 発表標題 Theory of loosening earth pressure on a shallow tunnel in unsaturated ground
3. 学会等名 16 ARC (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 Nakamura, K. and Kikumoto, M.
2 . 発表標題 A rotational hardening model applicable to finite strain analysis based on multiplicative decomposition of plastic deformation gradient tensor
3 . 学会等名 16 ARC ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Putra, A. D., Takahashi, M. and Kikumoto, M.
2 . 発表標題 Weathering-induced deformation of crushed weak rocks and its countermeasure
3 . 学会等名 7th Int. Sym. on Deformation Characteristics of Geomaterials ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Nagata, M., Bhowmik, S., Kikumoto, M., Fujiwara, Y. and Sato, N.
2 . 発表標題 Long-term weathering of cut slope consisting of mudstone
3 . 学会等名 YSRM2019 & REIF2019 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Unno, T., Midorikawa, Y. and Zakari, A. Y. B.
2 . 発表標題 Cyclic shear deformation behavior of unsaturated soil with varying pore air and water state
3 . 学会等名 7th international Conference on Earthquake Geotechnical Engineering (VII ICEGE) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Bhowmik, S., Nagata, M. and Kikumoto, M.
2. 発表標題 A half-century weathering of mudstone in a highway cut slope
3. 学会等名 54th U.S. Rock Mechanics Geomechanics Symposium (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiraga, M., Koseki, J. and Kyokawa, H.
2. 発表標題 Experimental and analytical investigations of volume change behaviour of saturated expansive soils in oedometer test
3. 学会等名 7th International Symposium on Deformation Characteristics of Geomaterials (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kyokawa, H.
2. 発表標題 Constitutive model describing the hydro-mechanical behaviors of compacted bentonite clay based on the crystal surface phenomena
3. 学会等名 2nd International conference of energy geotechnics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 池田慧生, 崔瑛, 菊本統
2. 発表標題 盤ぶくれを生じたトンネルの周辺地山の膨潤特性に関する検討
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 宇高亘, 松村聡, 菊本統
2. 発表標題 泥岩の湿潤崩壊機構に及ぼす載荷条件の影響
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 永田政司, 菊本統, 藤原優, 佐藤尚弘
2. 発表標題 弾性波探査に基づく風化した泥岩切土のり面の強度評価 - 東名高速道路 吉田地区 -
3. 学会等名 第74回土木学会年次学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 永田政司, 菊本統, Sharmily Bhowmik, 藤原優, 佐藤尚弘
2. 発表標題 泥岩切土のり面の長期風化メカニズムに関する検討 - 東名高速道路 吉田地区 -
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 永田政司, 菊本統, Sharmily Bhowmik, 村上豊和, 佐藤尚弘
2. 発表標題 弾性波探査に基づく切土のり面の風化進行速度に関する分析
3. 学会等名 第55回地盤工学研究発表会, 京都市
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

横浜国立大学 研究者総覧  
[https://er-web.ynu.ac.jp/html/KIKUMOTO\\_Mamoru/ja.html](https://er-web.ynu.ac.jp/html/KIKUMOTO_Mamoru/ja.html)  
YNU Geomechanics Group  
<http://www.cvg.ynu.ac.jp/G3/MamoruKikumoto/index.html>

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	肥後 陽介  (Higo Yosuke)  (10444449)	京都大学・経営管理研究部・教授   (14301)	
研究分担者	松村 聡  (Matsumura Satoshi)  (20748305)	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・港湾空港技術研究所・主任研究官   (82627)	
研究分担者	海野 寿康  (Unno Toshiyasu)  (50570412)	宇都宮大学・地域デザイン科学部・准教授   (12201)	
研究分担者	京川 裕之  (Kyokawa Hiroyuki)  (60799865)	名古屋工業大学・工学研究科・准教授   (13903)	
研究分担者	橋本 涼太  (Hashimoto Ryota)  (60805349)	京都大学・工学研究科・准教授   (14301)	

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
---------	---------