

令和 6 年 6 月 23 日現在

機関番号：12201

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K18741

研究課題名（和文）土中気泡のローラー・コロ化による土砂流動の促進メカニズムの提案

研究課題名（英文）Mechanisms of accelerated flow of sediment by rollers of air bubbles in soil

研究代表者

海野 寿康（UNNO, TOSHIYASU）

宇都宮大学・地域デザイン科学部・准教授

研究者番号：50570412

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：地震や豪雨により地盤が泥状になり崩壊する流動性崩壊が昨今多発している。流動性崩壊は、多量の土砂が長距離に移動する現象であるが、その流下メカニズムは未だ不明である。本研究は、崩壊土砂中の空気（気泡）が低強度・低剛性に伴う流動メカニズムの一因となっているという仮説を立て、土のせん断変形挙動における間隙空気の影響について要素力学試験、数値解析等を実施し把握を試みた。特に本研究では、空気連行剤を添加し人為的に気泡を多量に入れた流動模擬土を作製し検討を行った。その結果、間隙中に気泡を多量に含む場合、従来、軟化挙動を生じないとされる様な状態下でもせん断抵抗を失い軟化挙動を示す結果が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

自然災害により表層地盤が泥状になり崩壊する流動性崩壊が多発している。この崩壊部は、地下水位より上の比較的浅い不飽和土層である。本研究では、地震動等の外力を受け軟化する不飽和土の力学挙動を室内要素試験、数値解析を用いて検討し、不飽和土の軟弱化メカニズムの把握を試みている。その結果、従来、間隙空気により高いせん断強度や液状化抵抗を有するとされる不飽和土でも、土中の間隙空気と間隙水の状態によっては十分な強度を発揮しない状態に至ることを明らかにした。この事実は、不飽和土の力学挙動に対し間隙空気と間隙水の状態を精緻に把握する重要性を示す結果であるとともに、不飽和土の耐震検討に対して有益な知見を与える。

研究成果の概要（英文）：In recent years, ground disasters involving soil turning into mud and flowing during natural calamities like earthquakes and heavy rains have become increasingly frequent. This phenomenon, where large quantities of soil travel over long distances, remains poorly understood. Our study hypothesizes that air bubbles trapped within collapsing soil significantly reduce its strength and stiffness, leading to fluid-like behavior. To confirm this, we conducted mechanical tests and numerical analyses to investigate the impact of pore air on soil's shearing behavior. We created synthetic soil samples by introducing bubbles using special chemical agents. The experiments revealed that soil containing many bubbles in its pores exhibited shear softening behavior, even in conditions not typically associated with softening. These findings highlight the role of pore air in soil's susceptibility to fluidization and offer new insights into ground failure mechanisms during natural disasters.

研究分野：地盤工学

キーワード：不飽和土 間隙水 間隙空気 サクション 繰返し載荷 液状化 三次元個別要素法 ベアリング効果

## 1. 研究開始当初の背景

世界的に自然災害の脅威が深刻化している。中でも、大規模な地盤災害として地盤が泥状になり崩壊する「流動性崩壊」が挙げられる。この流動性崩壊は、2018年の北海道胆振東部地震や2018年のインドネシア・スラウェシ島地震などで顕著な被害をもたらした。この現象は、不飽和状態の土が長距離に移動するという特徴を持つ。しかし、土砂が多量の水や空気を含むため、その挙動は非常に複雑であり長距離流下のメカニズムについては未だに解明されていない。

申請者は、2003年の三陸南地震の際に発生した盛土崩壊メカニズムの解明に取り組んで以来、流動性崩壊に関する研究を続けている。不飽和土の地震時挙動の研究状況は、既存の液状化強度試験や振動台実験、液状化解析によって表層の不飽和土の挙動を再現しようとする「空気の圧縮により土が液状化しない」「動的載荷を終了すると変形が止まる」など、実際の現象とかけ離れた挙動を示すことが多い。現象の再現やメカニズムの解明には未だ多くの課題が残されている。したがって流動性崩壊のメカニズムを解明し、その予測および防止策を確立するためには、さらなる研究が必要であった。特に不飽和土の特性や動的挙動に関する詳細な実験やモデル化、解析が求められている。

## 2. 研究の目的

自然災害時の土砂流動に対し、多量の土砂が流動化し長距離に移動する現象に着目すると埋立・浚渫工事において使用される流動化処理工法がある。この工法は、セメントを添加した浚渫土に圧縮空気の注入やミキサーによる攪拌などの手法を用いて土を液状化・流動化させる技術である。この技術は、土中の微細気泡がせん断時に摩擦緩和として「コロ」の役割を果たす「微細気泡によるベアリング効果」に起因するとされる。申請者は、流動性崩壊を起こし流下する土砂中の空気もベアリング効果を発揮する可能性があるのではないかと推測した。

本研究では、この推測を証明するために、空気連行剤を添加し気泡(コロ)を含む流動模擬土を作製し、流動模擬土に対する要素せん断実験、あるいは3次元個別要素法やモデル化作成による理論検討を行い、不飽和土の変形挙動の把握とメカニズム解明を目指した。すなわち、本研究の目的は、不飽和土中の微細気泡によるベアリング効果が不飽和土の強度低下を生み、不飽和土の強度低下に繋がるかを検討すること、合わせて本研究で行った試験や解析検討を通して、従来から不明な点が多くある不飽和土の力学特性の把握と力学特性や締固め特性の現象理解の高度化を目指した。

## 3. 研究の方法

本研究では、空気連行剤を添加し気泡(コロ)を多量に入れた流動模擬土を作製し、流動模擬土に対する要素せん断実験と3次元個別要素法を用いた数値実験、さらに不飽和土力学に基づく構成則の開発、高度化を通じ、本研究の目的である土中の間隙空気の状態や水分状態に基づく不飽和土の強度低下メカニズム解明を目指し、土の要素実験と数値実験、構成則の開発、高度化に伴う挙動再現を試みた。

## 4. 研究成果

### 4. 1 要素試験による検討：間隙空気・間隙水の状態を変化させた不飽和状態のせん断挙動

本検討では、間隙空気および間隙水の状態が供試体のせん断時に強度および剛性にどのように影響を与えるかを明らかにするため、供試体条件および載荷条件を変えた試験を実施した。用いた試験体は、不飽和化に伴っては強度が低下しないとされる粗粒土であり、具体的には豊浦砂( $\rho_s=2.643 \text{ Mg/m}^3$ )および瑞浪珪砂( $\rho_s=2.646 \text{ Mg/m}^3$ )を使用した。本研究では、土中の間隙空気と間隙水の状態を変化させるために、空気連行剤(AE剤)を土供試体中の間隙水に添加し、これにより間隙空気を小さな気泡にし、併せてサクシオンを減少させた。使用したAE剤は、アルキルエーテル型陰イオン界面活性剤および樹脂酸塩素系イオン界面活性剤であり、JIS A 6204「コンクリート用化学混和剤」の多目的減水剤標準形(1種)に適合し、AE剤およびAE剤として添加濃度10%で土試料に添加した。本研究ではAE剤を添加していないケースをcase1(AE剤無添加)、AE剤を添加したケースをcase2(AE剤)、AE剤を添加したケースをcase3(AE剤)とした。使用した試験装置は、本科研費にて改良・修繕した不飽和用三軸圧縮試験機であり、載荷には微小な調整が可能な空圧式方式を採用し、最大荷重2kNで圧力を制御する。下部にセラミックディスク(AEV=50kN/m<sup>2</sup>)、上部にフッ素コーティングガラスフィルタを装着し、間隙水圧 $u_w$ と間隙空気圧 $u_{au}$ を測定する。また、体積変化は三軸セル内に配置した内セルの水位変化で測定する。不飽和土の有効応力は、Bishop et al. (1960)が提案する不飽和土の有効応力式を用いサクシオンパラメータは飽和度を用いた。

不飽和供試体の作製方法は次の通りである。乾燥密度の土試料と脱気蒸留水または脱気AE剤添加蒸留水を6等分し、一層ずつモールドに投入し、スポイトでAE剤を混ぜた間隙水を加える。圧密は10kN/m<sup>2</sup>載荷後、基底応力を一定に保ちながら間隙空気圧を5kN/m<sup>2</sup>ずつ与える。間隙空気圧が所定値になった後、一晩放置し目標飽和度 $S_r=80\%$  $S_{r}=80\%$  $S_r=80\%$ まで排水する。以上の方法で作製された供試体に対して各種試験を行い、実験データを収集した。

a) 非排気・非排水条件の不飽和せん断変形挙動

非排気非排水条件下の三軸圧縮試験より得られた基底応力  $\sigma_{net}$  ( $=\sigma - u_a$ ) = 10 kN/m<sup>2</sup> 時の応力～ひずみ関係を図-1 に示す。図-1 から、AE 剤の添加により、同一飽和度における最大軸差応力の値が低下していることが分かる。その最大軸差応力の低下幅は、case1 (AE 剤無添加) と比較し、case2 (AE 剤①) では 4 割程度、case3 (AE 剤②) では 2 割程度であった。この低下傾向は基底応力  $\sigma_{net} = 20, 30$  kN/m<sup>2</sup> 時の応力～ひずみ関係からも観察された。図-2 に非排気・非排水条件下におけるモルタル供試体の気泡サイズと  $\sigma_{net} = 10$  kN/m<sup>2</sup> 時の最大軸差応力の関係を示す。図-2 より、気泡の直径の値が低下することで、最大軸差応力の値が低下していることが分かる。すなわち、供試体内の気泡の直径の大きさと最大軸差応力の値には比例の関係があると推測される。これらの試験結果により、AE 剤の添加による試体内の間隙空気における気泡割合の増加および気泡サイズが小さい場合、非排気・非排水条件下における単調せん断下では、同一密度、同一飽和度であっても、せん断強度が低下することが確認された。

b) 高拘束圧条件下による不飽和せん断変形挙動

間隙水の変化について拘束圧の影響をさらに検討するため、拘束圧を高い状態で載荷し基底応力  $\sigma_{net} = 200$  kN/m<sup>2</sup> 時の応力～ひずみ関係を図-3 に示す。図-3 より、AE 剤を添加した case2 (AE 剤①) および case3 (AE 剤②) において、低い拘束圧の結果と比較し、その最大軸差応力の低下幅は小さく、拘束圧が一定程度大きい状況では、最大軸差応力の値に大きな差は生じない。なお、case3 (AE 剤②) では最大軸差応力の値がやや低下しているものの、残留強度の値は、全てのケースにおいて大きな違いは生じなかった。

これらの挙動の差は、高い拘束圧下では供試体内の間隙中の気泡が拘束圧により圧縮されることにより、見かけ上、影響が小さくなり AE 剤の添加による効果も薄れるためと考察する。実際、電子顕微鏡による気泡の観察においても高拘束圧下での気泡は無拘束の状態の気泡に比べだいぶ小さくなることは、別途行ったモルタル固化における間隙内気泡の状況確認でも観察しており、気泡数自体も大幅に減少する。

c) 間隙空気、間隙水の状態によるせん断剛性への影響

AE 剤を添加した状態でのせん断剛性を把握するため、本研究ではベンダーエレメント試験 (BE 試験) を実施した。なお、BE 試験では、供試体の作製条件の都合から、case2 (AE 剤①) および case3 (AE 剤②) の AE 剤の添加量を調整し、添加濃度を 10% から 7% まで減らし測定を行っている (添加 10% の場合、供試体が極端に柔らかいためか、ノイズが多く計測不可)。表-1 並びに図-4 から、 $\sigma_{net} = 50$  (kN/m<sup>2</sup>) では AE 剤の添加により供試体のせん断剛性は低下している。その低下幅は case1 (AE 剤無添加) と比較し、case2 (AE 剤①) では 4 割程度、case3 (AE 剤②) では 2 割程度であり、最大軸差応力の低下傾向と概ね類似した傾向である。一方、 $\sigma_{net} = 200$  (kN/m<sup>2</sup>) の試験体では、そこまでせん断剛性 G あるいはせん断波速度  $V_s$  には大きな差は生じず、こちらも最大軸差応力の結果と同様である。

以上、要素試験の結果、人為的に土中の間隙空気および間隙水の状態を変化させると、不飽和土のせん断変形挙動が大きく変化することが明らかになった。非排気・非排水条件においては、間隙空気の状態を変化させることで最大軸差応力が大幅に低下し、せん断抵抗が減少することが確認された。一方、高拘束圧条件下では、この挙動の差異は顕著に見られず、間隙中の空気 (気泡) の影響が薄れる。これらのことから間隙空気の挙動が不飽和土のせん断変形挙動に影響を及ぼすことが確認できた。申請者らが指摘する不飽和土の地震時における液状化後の軟化および流動挙動に対する間隙空気の影響について、その影響の大小に関しては今後も検討を続ける必要があるが、影響自体は存在すると推測される結果が得られた。

このほか、本研究では、AE 剤を添加した不飽和供試体を用いたフロー試験による検討、あるいは高い流動性を持つ土の力学挙動の検討の一環として流動化処理土の配合による強度への影響に関する検討について、室内試験を用いて実施した。

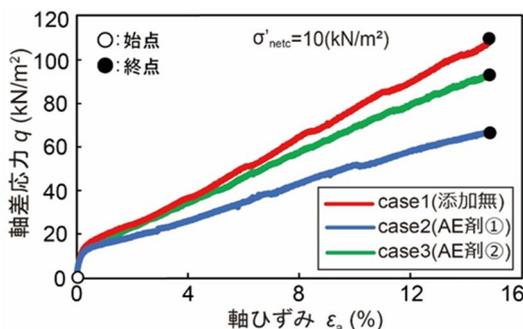


図-1 非排気・非排水条件の載荷における  
応力～ひずみ関係

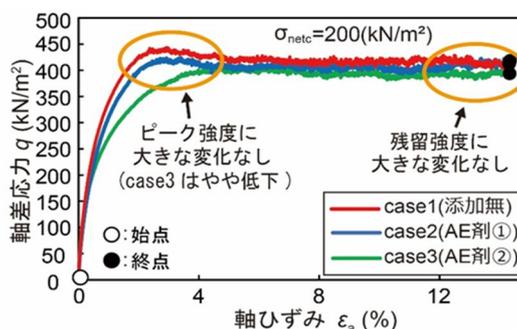


図-2 高拘束圧下の非排気・非排水条件の載荷  
における応力～ひずみ関係

表-1 ベンダーエレメント試験結果

	せん断剛性係数 $G$ (MN/m <sup>2</sup> )		
	case1	case2	case3
$\sigma'_c = 50$ (kN/m <sup>2</sup> )	71.8	47.0	60.1
$\sigma'_c = 200$ (kN/m <sup>2</sup> )	144.0	152.3	136.4

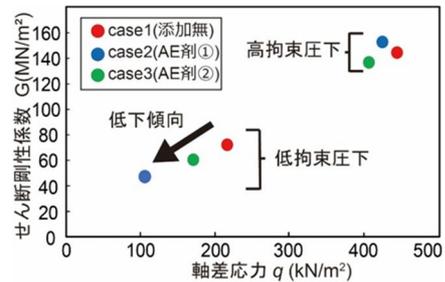


図-3 異なる水分状態における供試体の圧密終了時点におけるせん断剛性

#### 4.2 三次元個別要素法 (3D-DEM) による粒状集合体の定体積繰返しせん断挙動の表現<sup>1)</sup>

3次元個別要素法で非排水繰返しせん断載荷を模擬するため、粒状集合体の供試体モデルを作成した。間隙流体を非圧縮と見なせば、非排水条件は定体積条件に等価となる。無重力条件下で供試体モデルに載荷すれば、有効応力を直接観測可能になり、非排水繰返しせん断に伴う粒状集合体の動的挙動が評価できる。一例として、無重力条件下において粒子密度  $2.6 \text{ Mg/m}^3$  の非球形粒子 3,867 個を用いて、初期状態を作成した。図-4 に初期状態と非球形粒子を示す。粒状集合体の  $xy$  方向は周期境界とし、 $z$  方向は球形粒子を結合させた Clump を境界とした。非球形粒子は球形粒子 2 つを組み合わせることで作成した。粒子間の接触モデルは Linear モデルを用い、きれいな砂を模擬するパラメータを設定した。粒子と Clump 間の接触モデルは、繰返しせん断ですべりが生じないよう Linear Parallel Bond モデルを用いて接着した。

圧密は、無重力条件下で各境界と Clump を各面垂直方向に動かして制御することで行った。ここでは、 $\sigma'_m = 100 \text{ kPa}$ 、 $K_0 = 0.5$  ( $\sigma'_v = \sigma'_{zz} = 150 \text{ kPa}$ 、 $\sigma'_H = \sigma'_{xx} = \sigma'_{yy} = 75 \text{ kPa}$ ) の例を示す。

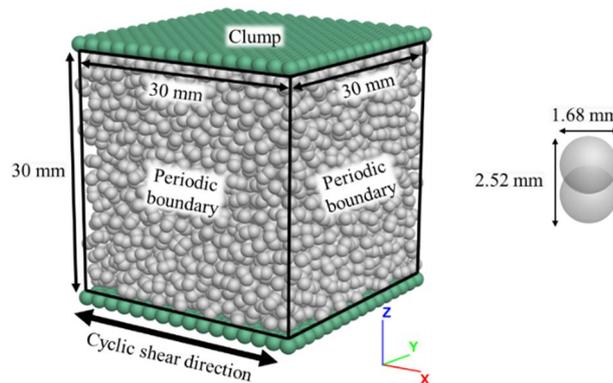


図-4 初期状態 (左) と非球形粒子 (右)

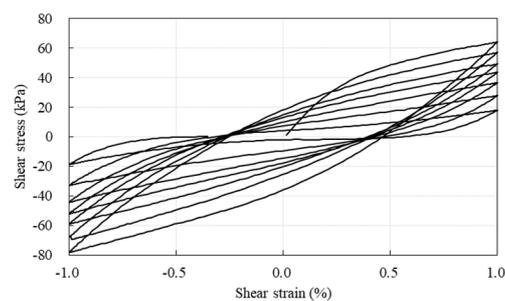
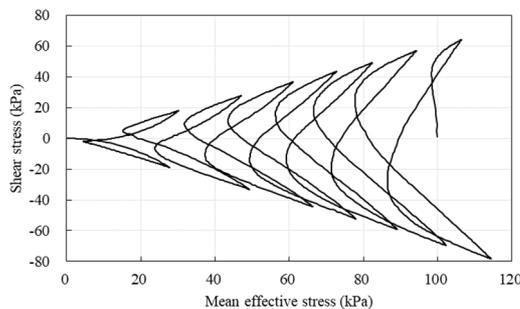


図-5 3D-DEM による液状化試験での有効応力経路 図-6 3D-DEM による液状化試験での応力～ひずみ関係

繰返しせん断過程においても、無重力条件として載荷した。各境界と Clump を各面垂直方向には固定することで定体積条件を実現し、Clump を  $x$  方向に動かすことで粒状集合体に繰返しせん断を与えた。繰返しせん断は、ひずみ片振幅 1.0 %、周波数 2 Hz で行い、 $\sigma'_m$  が 0.001 kPa まで減少したときに載荷を停止した。図-5 に有効応力経路、図-7 に応力～ひずみ関係を示す。

結果より、本研究で作成した粒状集合体の仮想供試体は、土らしい挙動が表現できていることがわかる。このモデルに空気を模擬する物性と粒子間のインタラクション表現を組み込むことで、三相系の繰返しせん断挙動を表現できると考えられる。

#### 4.3 不飽和土の力学特性のモデル化

不飽和土の力学特性のモデル化については、定式化済の構成則<sup>2)</sup>の検証とパラメトリックスタ

ディを進めた。以前に実施した液状化特性や浸水崩壊挙動のシミュレーションに対して、今回の検討では特に盛土等の土構造物の応答を、締固め築造過程から変形・破壊過程まで記述できるかといった観点で幾つかのシリーズの解析を実施した。

締固め過程の再現解析は、不飽和試料を一次元排気・非排水圧縮条件で静的に圧縮することで静的締固めを模擬し、含水比や載荷応力（締固めエネルギーに相当）を変化させて実験と解析の比較を行った。図-7は5つの載荷応力レベルで異なる含水比の不飽和試料に対して静的締固めを行った結果をまとめている。破線で示した実験では乾燥側から含水比が高くなるほど締固め後の乾燥密度が高くなる様子、すなわち最適含水比より乾燥側での締固め特性を確認できたが、ゼロ空気間隙曲線に近い高飽和条件下では非排水条件を継続して付与することが困難になり、載荷途中で排水が確認されたため、排気・非排水条件を適切に付与した乾燥側の結果のみ示している。一方、構成則を用いた要素解析では含水比によらず排気・非排水条件を満足して静的締固めを解析しており、最適含水比と最大乾燥密度をもつ上に凸な締固め曲線とその載荷応力による変遷をよく記述した。図-8は図-7で示した解析（5つの載荷応力レベル、18の含水比で実施）の静的締固め後の試料内部のサクシオンを一点鎖線のコンター図で示したものであるが、実測値でしばしば指摘される締固め土のサクシオン分布をよく捉えている。

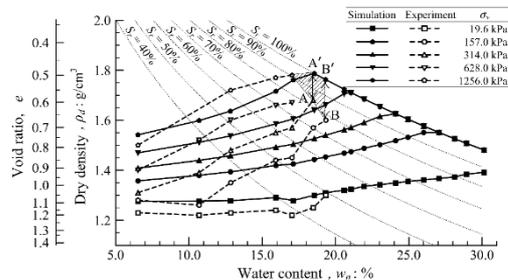


図-7 解析モデルによる一次元静的締固め  
(試験と解析の比較)

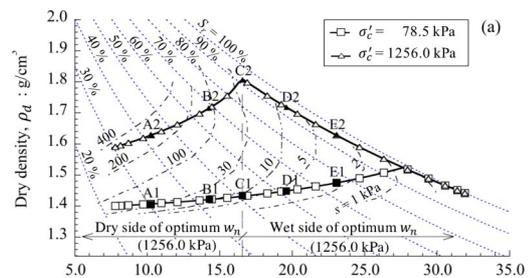


図-8 解析モデルによる締固め土内部のサクシオン

図-9は静的締固め後の浸水やせん断に対する強度・変形特性についての数値パラメトリックスタディの結果をまとめたものである。このシリーズでは、図-9(a)に示すように2つの載荷応力レベルで締固めた試料に対して解析を行っている。図-9(b)は締固め後に浸水飽和させた際の体積変化を示している。図のように、乾燥側で締固めた試料は浸水時に明瞭に体積変化を生じており、特に低応力レベルで締固めた場合に顕著な体積圧縮を生じることがわかる。一方、湿潤側では締固め時の応力レベルによらずほとんど変化は生じない。図-9(c)は締固め試料をせん断した際のピーク強度をまとめている。白抜きプロットは締固め直後、塗りプロットは締固め試料を浸水飽和させた後のせん断強度を表している。

図のように、締固め直後の試料は飽和度が低い乾燥側ほどピーク強度が高くなる傾向があり、特に高応力レベルで締固めた試料はピーク強度が明瞭に高く、湿潤側では締固め時の応力レベルによらず強度はほぼ同じになる。一方、浸水飽和した試料は乾燥側で顕著に強度低下しており、締固め時の応力レベルによらず最適含水比で締固めた土の強度が最大となる。実際の土構造物は、飽和時の強度特性を想定して設計するのがセオリーであるが、この結果は解析的にも最適含水比での締固めが土構造物の安定性の観点で最も合理的であることを示している。

【参考文献】

- 1) Zhang S., Zaho Q., Ni X. (2023). Strain-history dependent macro behavior/microscopic fabrics of re-liquefiable sand verified by 3D DEM, *Powder Technology*, 426(1): 118667.
- 2) Srinil, C., Komolvilas, V., and Kikumoto, M. : Unified state boundary surface model for clay and sand under saturated and unsaturated conditions, *Soils Found.* 62(5), 101219, 2022.

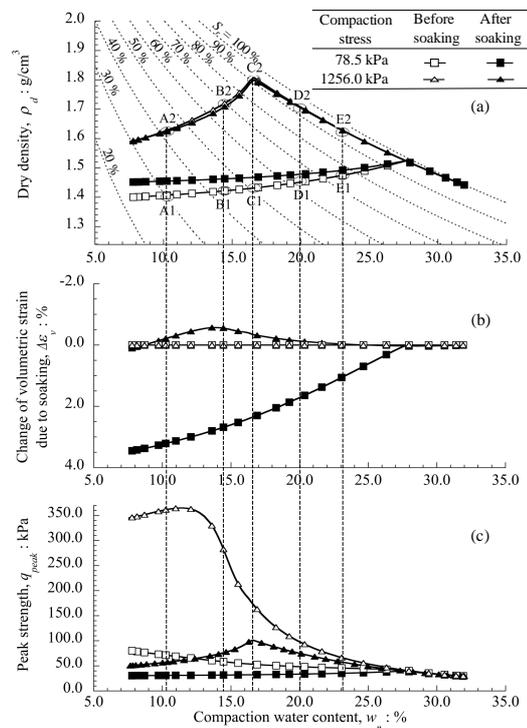


図-9 締固め土の浸水による体積圧縮と浸水前後のせん断ピーク強度

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 MATSUMARU Takaki, UNNO Toshiyasu	4. 巻 79
2. 論文標題 NUMERICAL SIMULATION OF UNSATURATED CYCLIC SHEAR TEST CONSIDERING ENCLOSED AIR IN VOID WATER	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Japanese Journal of JSCE	6. 最初と最後の頁 n/a ~ n/a
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscej.22-15039	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 UNNO Toshiyasu, SHINSHA Hiroshi, YOSHIZAWA Kenta	4. 巻 17
2. 論文標題 A study on mix proportion that satisfies both fluidity and strength of Kanto Loam cement stabilized soil	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Geotechnical Journal	6. 最初と最後の頁 511 ~ 521
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3208/jgs.17.511	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 UNNO Tomoyasu, SHINSHA Hiroshi, YOSHIZAWA Kenta	4. 巻 17
2. 論文標題 Mix proportion and strength characteristics of cement stabilized soil with adjusted fluidity	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Geotechnical Journal	6. 最初と最後の頁 255 ~ 265
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3208/jgs.17.255	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 MATSUMARU Takaki, UNNO Toshiyasu, MIDORIKAWA Yusuke	4. 巻 77
2. 論文標題 NUMERICAL SIMULATION OF UNSATURATED LIQUEFACTION TEST USING VOLCANIC SOILS DAMAGED IN THE 2018 HOKKAIDO IBURI EASTERN EARTHQUAKE	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. A1 (Structural Engineering & Earthquake Engineering (SE/EE))	6. 最初と最後の頁 I_533 ~ I_543
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejsee.77.4_I_533	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 Veerayut, Kikumoto Mamoru, Kyokawa Hiroyuki	4. 巻 46
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 Riaz Saima, Kikumoto Mamoru, Basharat Muhammad, Putra Andius Dasa	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 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2件(うち招待講演 0件/うち国際学会 0件)

1. 発表者名 伊藤恭祐、佐藤颯、吉直卓也、海野寿康
2. 発表標題 繰返し載荷を伴うセメント改良砂のせん断波速度と液状化の相関性
3. 学会等名 第15回地盤改良シンポジウム, 日本材料学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉澤健太, 新舎博, 海野寿康
2. 発表標題 建設発生土を原料とした流動化処理土の強度特性
3. 学会等名 第14回環境地盤工学シンポジウム
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔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	加村 晃良  (Akiyoshi Kamura)  (80761387)	東北大学・工学研究科・准教授   (11301)	
研究 分担者	菊本 統  (Mamoru Kikumoto)  (90508342)	横浜国立大学・大学院都市イノベーション研究院・教授   (12701)	

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