

令和 2 年 6 月 22 日現在

機関番号：32201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06562

研究課題名(和文) 懸念される人工バリアシステムの不確実性の検証

研究課題名(英文) Inspection of engineering barrier system concerned unreliability

研究代表者

西村 友良 (NISHIMURA, Tomoyoshi)

足利大学・工学部・教授

研究者番号：00237736

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：放射性廃棄物地層処分場の安全確保のために高い信頼性の醸成に向けた取り組みを継続しなければならない。地層処分事業の安全に対する国民への理解のために工学的技術の整備・発展を推進している中において、本研究課題は高レベル放射性廃棄物施設の人工バリアが再冠水し飽和状態に至るまでの圧縮ベントナイトの不飽和状態における特性に着目し以下の3項目を中心に成果を得た。高温環境下における不飽和ベントナイトの水分特性曲線の測定と保水性の検証。地層処分地下空間の湿度環境増加による不飽和ベントナイトの有効応力低下と変形特性。高温・高湿度作用を受けた不飽和ベントナイトの強度・変形特性。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ベントナイトの飽和プロセスにおける膨潤特性は国内・国外で十分に明らかにされ、人工バリア設計に反映されている。残されている課題の一つとしては、不飽和状態でのベントナイトのThermal-Hydration-Mechanical-Chemical解析は国内・国外ともに注目を浴び続けている現状であり、本研究課題では解析パラメータ因子抽出を念頭においた室内試験を実施し、既往の研究結果との整合性と新規の知見を得たことが学術的意義と社会的意義がある

研究成果の概要(英文)：Barcelona Basic Model elaborated by Alonso et al. (1990) has described accurate predicted behavior for unsaturated-saturated transfer phenomena for compacted bentonite-sand mixture. As far as bentonite-sand mixture behavior is concerned, this study conducted out some experimental tests such as SWCC test, unsaturated creep test, unconfined compression test, unsaturated thermal triaxial test with controlling suction, and temperature and heating actions for three years. Two years in a required periods prepared to directly measure as following; soil-water characteristic curves, unconfined compressive strength, stiffness, creep failure times, strength under triaxial compression test. Behind, quantification of based on together lots experimental data sets are verified, are propose d some parameters for using coupled thermal-hydro-mechanical models. In addition, previous literature are refereed, assessments obtained from this study lead to be stabilization.

研究分野：環境地盤工学

キーワード：廃棄物処分施設 ベントナイト 不飽和状態 飽和状態 サクション 高温作用 三軸圧縮試験 水分特性曲線

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災発生前のわが国の総発電電力量の約3分の1は原子力発電所発電により供給され、原子力発電に伴って発生した放射性廃棄物を安全に処分する責務がある。東京電力福島原子力発電所の事故による、高レベルの放射能で汚染された廃棄物処分の急務な現状もからもモンモリロナイト系粘土のベントナイトで構築した人工バリアの Thermal-Hydration- Mechanical-Chemical 挙動の多角的な研究が継続的に不可欠である。

2. 研究の目的

高レベル放射性廃棄物地層処分施設の人工バリアを構成する不飽和ベントナイトに高温・高湿度の外的要因を与え、ベントナイトの有効応力を低下させる。その後の不飽和ベントナイトの保水性、クリープ特性、強度・変形特性を解明し、人工バリアの不確実性を考慮した安全性評価手法の提案に結び付けることを目的とする。具体的な目的は、①高温条件下での不飽和ベントナイトの水分保持曲線の定量評価。②Hydration 効果を考慮した不飽和ベントナイトのクリープ挙動の定量的評価。③不飽和ベントナイトの高温高湿度環境下でのせん断強度特性である。

3. 研究の方法

平成 29 年度

保水性試験・一軸圧縮試験・クリープ試験の実施

平成 30 年度

高温高湿度環境下でのサクシオン制御可能な三軸圧縮試験の実施

平成 31 年度

地層処分人工バリアの長期安定性検討のための構成式・数理モデルの提案

4. 研究成果

4.1 平成 29 年度（主な試験：保水性試験・一軸圧縮試験・クリープ試験）

4.1.1 保水性試験

不飽和ベントナイトの内部構造の変化を Thermal-Hydro-Mechanical-Chemical 特性解明のため検証するには膨張性粘土であるベントナイトの微細粘土鉱物で構成されている構造の含水量とサクシオンの関係を測定するために室内保水性試験を行う必要がある。水分保持曲線は一般的にサクシオン（土中のポテンシャル）と含水比、飽和度の関係を方対数軸上でプロットして示される。砂質土、シルトのような土質材料ではサクシオンの値として 1.0MPa 以内で残留領域に至り、土中の含水量が極めて少ない状態である。ところがベントナイトのようなモンモリロナイト鉱物が支配的な膨張性材料の場合はサクシオンが 1.0MPa 以上でも含水比は 1.0%以上の場合がある。

保水性試験は、蒸気圧法・加圧板法を用い、ゼロサクシオンから高サクシオン領域での含水量の変化・体積変化を測定した。使用したベントナイトはクニゲル V1 であり、ナトリウム型に属する。このクニゲル V1 は MX-80 などとともに海外でも Thermal-Hydro-Mechanical-Chemical 現象解明の研究対象として取り扱われている。試料であるクニゲル V1 を含水比調整し、剛性モールドを用いて静的に締固めた。目標乾燥密度 1.600g/cm³ とした。まず蒸気圧法による保水性試験を述べる。不飽和ベントナイト（直径 6cm、高さ 2cm）をガラスデシケータまたは密閉型アクリル容器に塩過飽和溶液とともに静置する。制御温度を 20℃から 80℃、11%から 98%の環境下において、供試体の含水比、体積変化を測定した。高サクシオン領域においてベントナイトの含水比の変化及び乾燥密度の変化を乾燥過程と湿潤過程で検討した。サクシオン増大（乾燥過程）によって含水比の明確な減少、乾燥密度の増大。一方で、湿潤過程（サクシオン減少）では含水比の増大、乾燥密度の低下が確認され、同時にヒステリシスの存在が見られた。高サクシオン領域に水分保持曲線に与える温度の影響が含水比の違いや、乾燥密度の値に明確に表れることはなかった。若干の温度が高い方が小さな含水比が小さく示されていた。含水比の相違が極めて小さいことから、乾燥密度の値に温度増加による違いが極めて少ないといえる。温度増加による水分特性曲線への影響が小さいことは、ベントナイトの内部構造への影響が小さいとも考えられる。

4.1.2 一軸圧縮試験

高湿度環境下、高温環境下でベントナイトの内部構造の変質・変状が生じるため処分施設建設・操業・設置の閉鎖前の段階で人工バリアに不確実性が蓄積されることが高い確率で想定される。そこで、平成 29 年度に不飽和ベントナイト（直径 3.8cm、高さ 7.6cm）に一軸圧縮強さに高湿度環境下、不飽和状態から飽和状態、高温作用を与えた場合の一軸圧縮強さについて検証した。

静的締固め直後の不飽和状態のベントナイトは 400kPa 以上の一軸圧縮強さを示す。JIS A 1216 の土の一軸圧縮試験方法に従うと、圧縮速度は毎分 1%である。本研究課題では研究対象が放射性廃棄物処分施設であり長期的な視点で工学的評価を組み入れる必要性から圧縮速度を毎分 0.01%まで減速させた場合のベントナイトの一軸圧縮強さを検討した。

4.1.3 クリープ試験

原子力発電環境整備機構(2010)の報告によると高レベル放射性廃棄物をガラス固化体の状態で閉じ込めた剛性メタル容器を覆うベントナイトブロックの変質・変状が見受けられ、その報告に

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

よるとベントナイト 70%、珪砂 30%の混合体、含水比 4%、乾燥密度 $1.9\text{Mg}/\text{m}^3$ 、温度 45°C 、湿度 95%であった。試験開始後 7 時間で剥離が確認されたとしている。一方、ベントナイト 50%、珪砂 50%の混合体、含水比 7%、乾燥密度 $1.9\text{Mg}/\text{m}^3$ 、温度 45°C 、湿度 95%ではベントナイトブロックの変質・変状は確認されず問題いと評価している。ベントナイトと珪砂の混合比または締固め時の含水比を適切に設定することで、高湿度環境下でもベントナイトブロックへの Hydration による性能を低下させる影響を回避できるとはいえ、湿度とベントナイトの変状の関係を検証する必要性はあり、今後の人工バリアの性能評価法の審査項目の一つに取り上げられることも考えられる。

4.1.4 まとめ

平成 29 年度の研究目的は研究計画に従い以下のように解明することが出来た。

高サクシオン領域に水分保持曲線に与える温度の影響は明確に表れることはなかった。乾燥過程、湿潤過程のヒヒステリシスは確認された。

高温作用を受けた場合、水分特性曲線に影響が明確に見られないことは、蒸気圧法で求めた水分特性曲線の特性と一致する。

Bimodal 型水分保持曲線を予測において、Fredlund and Pham (2006) が定めた、それぞれの領域の水分特性曲線の勾配を規定する S1、S2、S3 に加えて S4 を加える。本研究課題で用いたベントナイトでは S4 は S3 の 50% 程度であり、高温作用の影響は明確ではない。

一軸圧縮強さは圧縮速度が大きくなるにつれて減少する傾向を示した。この定性的な関係は膨潤飽和させたベントナイトの一軸圧縮試験からも得られた結果であると同時に剛性係数は膨潤飽和状態になると減少する。

また高温作用 (80°C)、塩水吸水による膨潤飽和の影響についても、剛性係数は低下し、また圧縮速度増大によって一軸圧縮強さが減少することが明白になった。

高湿度と高温作用を受けたベントナイトのクリープ試験を行い、クリープ破壊に至る挙動、軸ひずみが大きく発生する際のクリープ荷重と軸ひずみ速度の関係を明らかにし、クリープ荷重と破壊到達時間の関係を定量的に示した。さらに 2 つの係数を有する定量式のそれぞれの係数とクリープ現象との関係も明らかにした。

4.2 平成 30 年度 (主な試験：高温高湿度環境下でのサクシオン制御可能な三軸圧縮試験)

Thermal-Hydration 作用を受けた不飽和ベントナイトの間隙構造は変化している。間隙構造の変化が不飽和ベントナイトの強度・変形特性に影響することは十分に考えられる。平成 30 年度は人工バリアの性能劣化に深く関係する Thermal-Hydration の外的要因の力学的性質に与える影響を明確にするために、高温・高湿度・高サクシオン環境下でのサクシオン制御可能な三軸圧縮試験を用いた。

高温三軸圧縮試験機は最大 80°C で供試体を等方的に加熱することが可能。計画試験条件は以下の通りであった。応力条件は基底応力 (拘束圧と間隙空気圧の差) $0.1\text{MPa}\sim 1.0\text{MPa}$ 、サクシオン制御 (0MPa (飽和状態) $\sim 83\text{MPa}$)、温度条件は $20^\circ\text{C}\sim 80^\circ\text{C}$ 、载荷条件は変位制御。排気・排水条件は非排気・非排水状態で間隙空気圧、間隙水圧測定によるサクシオン測定は加圧板法で実施。

4.2.1 締固め直後のベントナイトと膨潤飽和状態の三軸圧縮試験結果

締固め直後の供試体 (初期状態供試体) は締固め含水比 17.0%、乾燥密度 $1.600\text{g}/\text{m}^3$ 、飯豊珪砂との混合比が 7:3。また同じ乾燥密度 $1.600\text{g}/\text{cm}^3$ で膨潤飽和した供試体 (サクシオン消失) の三軸圧縮試験結果を述べる。基底応力・圧密圧力が 0.1MPa から 1.0MPa で三軸圧縮試験を行った。不飽和状態では非排気・非排水状態、飽和状態では非排水状態とした。膨潤飽和状態の供試体はモールドから脱型後、膨張ひずみ発生懸念もあるので、迅速に高温三軸圧縮試験機にセットおよび基底応力・圧密圧力の载荷を行った。最大軸差応力と基底応力・圧密圧力の関係を求めた。供試体の乾燥密度が $1.600\text{g}/\text{cm}^3$ であるから大きな圧縮力で締め固めているので、基底応力が 0.6MPa までは基底応力の増分に対する最大軸差応力の増加は、基底応力が 0.6MPa 以降に比べて顕著ではない。しかし、基底応力が 0.6MPa から 1.0MPa になると基底応力の影響が明確に現れるような結果が示されている。せん断過程中的間隙空気圧の変化は見られなかった。詳細検討のため飽和したセラミックフィルターを用いて間隙水圧の挙動を観察したが供試体の初期サクシオンがセラミックフィルターの AEV 値を上回っていたので、正確な測定記録には至らなかった。

一方、膨潤飽和状態の供試体は初期サクシオンが消失しているため、最大軸差応力は、どの大きさの基底応力 (圧密応力) と比較しても、初期状態供試体に比べてせん断抵抗力は減少している。次に圧密圧力増加に対する最大軸差応力の増分は膨潤飽和状態の供試体の方が小さくさらに切片値も低いため、せん断抵抗角ならびに見かけの粘着力が膨潤飽和することで、低下するといえる。

4.2.2 締固め直後のベントナイトと膨潤飽和状態のベントナイトに高温作用を与えた場合の三軸圧縮試験

締固め直後 (初期不飽和状態) 供試体と膨潤飽和状態の供試体に高温作用を与えた場合 (80°C) の最大軸差応力と 20°C の最大主応力差を比較した。不飽和状態で 20°C から 80°C の加熱を行うことで最大主応力差は減少していることがわかる。この最大主応力差の低下は基底応力の大きさに関わらず明白である。高温作用を与えたベントナイトに関する研究では、Tang et al. (2008) は制御サクシオンを $9\sim 110\text{MPa}$ において、膨張性粘土に 25°C から 80°C の温度変化を与え、

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

さらに等方拘束圧を 0.1~60MPa の高圧領域での圧縮試験を実施している。サクシオンを一定にした場合、高温作用を与えると膨張あるいは収縮が発生することを報告している。低いサクシオン下で高温作用を与えると降伏応力は小さくなり、弾性領域および塑性領域の圧縮性が高くなることを報告している。

4.2.3 まとめ

平成 30 年度の研究目的は研究計画に従い以下のように解明するに至った。

不飽和状態では非排気・非排水状態、飽和状態では非排水状態とした。不飽和状態で 20℃の試験条件では基底応力が 0.6MPa 以降、基底応力の増分に対する最大軸差応力の増加は顕著となる。一方、膨潤飽和状態の供試体 (20℃) は初期サクシオンが消失しているので、最大軸差応力は、どの大きさの基底応力 (圧密応力) と比較しても、初期状態供試体に比べてせん断抵抗力は減少している。

不飽和状態で 20℃から 80℃の加熱を行うことで最大主応力差は減少する。また膨潤飽和状態の供試体を 80℃の高温作用を与えることでも強度低下が発生している。また 20℃から 80℃に段階的に加熱温度を高めることで (40℃、60℃、80℃)、次第に、ベントナイトのせん断強さは減少する。

80℃の高温状態での不飽和供試体にせん断強さに与えるサクシオンの影響を検討した。サクシオンの低下はベントナイトの低下を引き起こすことが明白となった。

不飽和状態、膨潤飽和状態の供試体の 20℃および 80℃の三軸圧縮試験結果から、強度定数のせん断抵抗角と見かけの粘着力を求めた。最も高い値を示したのが不飽和状態の 20℃であり、低い値を示したのが膨潤飽和状態の 80℃条件であった。

4.3 平成 31 年度 (地層処分人工バリアの長期安定性検討の構成式・数理モデルの提案)

4.3.1 ベントナイトの水分特性曲線モデル化と温度効果の定量化

平成 29 年度の研究成果で述べたように本研究課題で得られた高サクシオン領域までも含む水分特性曲線 (サクシオンと飽和度) の関係を見ると、Fredlund and Pham (2006) が定めた、水分特性曲線予測・推察のためのモデル式では十分に表現できないことが分かった。具体的には勾配を規定する S1、S2、S3 の他にサクシオン 100MPa (湿度 54% 以下の環境) 以降に S4 を定義する必要性を認識した。S4 はサクシオン増大に対する飽和度の変化量であり、S4 の値は S3 と同一または以下である。本研究課題で用いたベントナイトでは S4 は S3 の 50% 程度であった。また高温作用の影響は、きわめて小さく S4 に与える温度の影響は考慮する必要はないともいえる。

4.3.2 ベントナイトのクリープ挙動から、ひずみ速度依存性、クリープ荷重と変形量の定量化ならびにベントナイトブロックの品質管理手法の提案

平成 29 年度の結果報告で示したようにクリープ破壊に至るまでに膨張伸張のみ、膨張伸張⇒収縮、収縮のみ、収縮⇒膨張伸張の 4 つの形式が確認された。さらにクリープ破壊を起こす前の軸ひずみ速度を検証したところ軸ひずみ速度とクリープ荷重との関係の整理から定量化ではなく定性的な見解にとどまった。ただし、クリープ破壊直前のひずみ速度は膨張伸張方向では毎時 0.005% から毎時 0.03%、収縮方向の場合、毎時 0.005% から 0.03% であった。平成 31 年度試験計画に示したようにクリープ挙動に関する定量化の提案を検討した。

4.3.3 ベントナイトブロックの品質管理手法の提案

ベントナイトブロックの仕様と同一の含水比・乾燥密度条件で蒸気圧法による体積変化を考慮した水分特性曲線の把握。サクシオン制御範囲は 2.8MPa から 296MPa。温度は少なくとも 20℃と高温領域の温度 (例えば 80℃)。

締め固め直後の状態での一軸圧縮強さの測定と廃棄物施設の想定される地下空間の湿度の代表値を抽出し、同一湿度下での一軸圧縮強さの測定。緩衝バリアから設計外力を想定し、軸方向外力に対するクリープ挙動からクリープ荷重 (kPa) とクリープ破壊時までの時間 (h) を示す定量化式を用いて破壊予測する。

4.3.4 ベントナイトの強度・変形特性からサクシオンを考慮した有効応力経路の表現と降伏面変化の定量的評価

本研究課題が対象としたベントナイトは不飽和状態である。不飽和土の有効応力は基底応力とサクシオンで構成され、Fredlund and Morgenstern (1977) は Null test を行い、空気と水の境界の膜を含めた 4 層構成で不飽和土の有効応力を議論している。Cui and Delage (1996) の報告を引用し、平均有効主応力が 1.5MPa 付近までの最大主応力差を示し、直線的な破壊線を示すとともに、マトリックサクシオンと骨格的応力、粒子間作用、受働的な力の 3 つの要素で構成されたサクシオン応力の関係を示している。

そのサクシオン応力とマトリックサクシオンの関係はマトリックサクシオンが 200kPa から 1600kPa まで示されており、マトリックサクシオン 200kPa 以下は非線形であるが、200kPa 以上では直線性が維持されている。直線性の維持は LC 局面 (Loading collapse curve) の一様な拡大を意味する。対象はシルトであった。マトリックサクシオンは小さいが、Gacial till (Gan et al. 1988、Vanapalli et al. 1996)、粘土、カオリンについても引用からマトリックサクシオンに対するサクシオン応力の直線的な増大を示している。Ning et al. 2006 のモデル化された有効応力の見解と本研究課題で示したベントナイトの平均主応力と最大主応力差の関係は一致している。

Ayman et al. (2017) は CODE BRIGHT を基本に放射性廃棄物処分施設のバリア構造体の Thermo-

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

hydro-mechanical 挙動を予測するために高さ 50cm 程のカラム試験を行いベントナイト中の湿度、膨潤調圧、温度の変化を測定結果と FEM 解析から得られた結果と比較している。例えば湿度測定結果は CODE BRIGHT から算定して結果よりも若干高い値を示している。しかし経過時間が長くなるにつれて両者は一致する方向に近づいており、また予測された値は湿度 70% から 95% であった。温度増加に伴う粒子間力は減少することを仮定として導入している。導入された粒子間力と温度の関係は Jacinto et al. (2009) が報告している関係を用い、20°C から 100°C に上昇した場合、粒子間力は 89% まで減少することを示している。

弾性・塑性理論に基づく Barcelona Basic Model (Alonso et al. (1990)) は 拡張 Cam Clay model (Schofield and Wroth (1968)) を基本理論として展開していることは十分知られている。しかし、不飽和状態から完全飽和状態への質的移行や時間依存性については多くの仮定もあることが指摘されている (Vaunat et al. (1997) Gens et al. 2006)。ベントナイトのような粘土鉱物による構造が卓越する材料の Thermo-hydro-mechanical 挙動の有効応力を用いた説明さらにはモデル化には Wheeler et al. (2002) が述べているようにパラメータの抽出が重要となる。ベントナイトの降伏面には Barcelona Basic Model からの枠組みの中である平均主応力～サクシオン～せん断強さの 3 次元空間で検討することが妥当であると認識する。

Ayman et al. (2017) は BBM モデルに高温に関わるパラメータを導入しており、これまでの先行圧密応力と温度に関係する降伏応力の比が圧縮指数、サクシオンを関数とする圧縮指数、膨潤指数の比に関係していることを提案している。BBM モデルと相関を持たせるために、平均主応力～温度～せん断強さの 3 次元空間内に降伏面を表している。示された降伏面は非常に興味深い面と曲線を形成しており、温度上昇 (高温作用) によってせん断強さが低下するので降伏面が縮小し、弾性域が狭くなる。この降伏面の形状の変化は本研究課題で示した温度増加によるせん断強さの低下に一致する。

4.3.5 熱伝導とサクシオン

不飽和状態の地盤の工学的課題のこれまでの検討項目としてはせん断強さ、浸透・透気問題、盛土・切り土安定問題、原位置計測がある。また環境問題に関連付けている課題としては不飽和地盤中の汚染物質移動、植生と土中の水分保持能力、放射性廃棄物施設があげられる (地盤工学会 (平成 20 年))。しかし、本研究のような 100°C 近傍におよぶ熱的作用を受けた研究分野 (地盤工学会 (平成 16 年)) は決して広範囲に実施・報告されていないのが現状であり、さらに間隙圧挙動になると統一的な見解すら見当たらない。例えば、不飽和土の間隙圧については未解明な部分が残されている。既往の報告の中で、Mitchell (1992) は一般的に土が高温にさらされると微細な構造が変質し、間隙水の浸透性が高まり、風化現象が進行するとされている。また Mitchell (1992) は変形特性については 60°C から 140°C まで温度増大を与え、再び 60°C まで減温すると、温度変化が原因で土の体積変化に伴う間隙水の出入りが発生することが示されている (Mitchell (1992))。その報告によると 60°C から 140°C まで一挙に間隙水が排水し、減温すると逆に吸水する。この過程は飽和土の圧密荷重を受けた際の圧密曲線に類似し、ヒステリシスも確認される。Plum and Esrig (1969) は温度変化に与える間隙比と垂直応力の関係を 24°C と 50°C の温度幅を有した条件で行った。間隙比の大きさによって温度影響は異なり、間隙比が大きな (土が緩い状態) では温度増加の影響は確認されないが、垂直応力の増加による圧密が進行し、間隙比が 2.0 を下回る状態では高温になるにつれて間隙比が小さくなる。間隙比の減少は土が密になることであり、上述の Mitchell (1992) の報告にあったように、風化過程のように構造および粒子間力が脆くなる見解と整合する。また土の有効応力理論による見解からすると、有効応力減少といえる。

4.3.6 まとめ

平成 31 年度の研究目的は研究計画に従い以下のように解明するに至った。

ベントナイトの水分特性曲線モデル化と温度効果の定量化やクリープ挙動の定量化を踏まえてベントナイトブロックの品質管理手法の提案を示した。最後にベントナイトの強度・変形特性からサクシオンを考慮した有効応力経路の表現と降伏面変化の定量的評価を示唆に至った。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 15件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Tomoyoshi Nishimura and Junichi Koseki	4. 巻 B7
2. 論文標題 Changing of properties of unsaturated compacted bentonite due to hydration effort	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Environmental Science and Engineering, Journal of Environmental Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 92-102
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 該当する

1. 著者名 Tomoyoshi Nishimura and Junichi Koseki	4. 巻 2
2. 論文標題 Accumulated vertical strain without confining pressure for compacted bentonite due to hydration effort	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The 8th International Congress on Environmental Geotechnics	6. 最初と最後の頁 414-420
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 該当する

1. 著者名 Tomoyoshi NISHIMURA	4. 巻 1
2. 論文標題 A severe exchange due to hydration effort to unsaturated bentonite	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of the 4th International Symposium on Unsaturated Soil Mechanics and Waste Disposal (UNSAT-WASTE 2017)	6. 最初と最後の頁 26-36
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 該当する

1. 著者名 P. HABASIMBI and T. Nishimura	4. 巻 1
2. 論文標題 Assessment of micro-porous membrane method to cyclic triaxial test for an unsaturated silty soil	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The 7th International Conference on Unsaturated Soils, UNSAT 2018	6. 最初と最後の頁 275-280
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 該当する

1. 著者名 T. Nishimura and M. Matsumoto	4. 巻 1
2. 論文標題 Influence of thermal heating on unsaturated bentonite strength	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The 7th International Conference on Unsaturated Soils, UNSAT 2018	6. 最初と最後の頁 609-614
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 該当する

1. 著者名 P. HABASIMBI and T. Nishimura	4. 巻 2,43
2. 論文標題 Comparison of Soi Water Characteristic Curves in One-Dimensional and Isotropic Stress Conditions,	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Soil system MDPI Open Access Journal	6. 最初と最後の頁 1-15
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 該当する

1. 著者名 西村友良, 佐藤 伸	4. 巻 1
2. 論文標題 水分量の変更に伴うベントナイトの変形特性	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 第 12 回環境地盤工学シンポジウム	6. 最初と最後の頁 571-574
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 該当する

1. 著者名 西村友良	4. 巻 67
2. 論文標題 サクシオンを考慮した不飽和土のクリープ試験とその結果	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 地盤工学誌	6. 最初と最後の頁 20-23
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 該当する

1. 著者名 Seiichi Narushima, Yasunori Arai, Yuki Sakoda and Tomoyoshi Nishimura	4. 巻 1
2. 論文標題 SWCC of crushed bentonite under high suction ranges	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 7th Asia-Pacific Conference on Unsaturated Soils (AP-UNSAT2019)	6. 最初と最後の頁 168-173
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 該当する

1. 著者名 Tomoyoshi Nishimura and Nanako Tamura	4. 巻 1
2. 論文標題 Change of pore-water pressure on creep behavior of an unsaturated silty soil	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 7th Asia-Pacific Conference on Unsaturated Soils (AP-UNSAT2019)	6. 最初と最後の頁 205-208
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 該当する

1. 著者名 Tomoyoshi Nishimura	4. 巻 1
2. 論文標題 DIRECT SHEAR STRENGTH OF HEATING AND HYDRATION BENTONITE-SAND MIXTURE SAND	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 9th International Conference on Geotechnique, Construction Materials and Environment, GeoTech Hanoi	6. 最初と最後の頁 1-6
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 該当する

1. 著者名 Tomoyoshi NISHIMURA	4. 巻 1
2. 論文標題 Vertical deformation of bentonite in high suction ranges	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 国際地盤工学会第16回アジア地域会議・台湾	6. 最初と最後の頁 1-4
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 該当する

1. 著者名 成島誠一・新井靖典・佐古田又規・西村友良	4. 巻 1
2. 論文標題 締固め密度が異なる不飽和ベントナイト砕石の膨潤圧と透水性に関する特性の把握	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 第13回環境地盤工学シンポジウム論文集	6. 最初と最後の頁 331-334
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 該当する

1. 著者名 西村友良・本島貴之・磯 さち恵	4. 巻 1
2. 論文標題 難透水性覆土に用いられる膨張性材料のサクシオンを考慮した基礎的性質	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 第13回環境地盤工学シンポジウム論文集	6. 最初と最後の頁 347-350
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 該当する

1. 著者名 Paul Habasimbi, Tomoyoshi Nishimura	4. 巻 1
2. 論文標題 Soil Water Characteristic Curve of an Unsaturated Soil under Low Matric Suction Ranges and Different Stress Conditions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Geosciences	6. 最初と最後の頁 39-56
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) DOI: 10.4236/ijg.2019.101004	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

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 西村友良
2. 発表標題 圧縮ベントナイトの工学的性質に与える塩水・高温の影響
3. 学会等名 平成30年度全国大会第73回年次学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西村友良 田村菜南子
2. 発表標題 サクシヨン制御を受けた不飽和シルトの拘束圧下でのクリープ変形
3. 学会等名 第53回地盤工学研究発表会 香川・高松
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomoyoshi NISHIMURA
2. 発表標題 Hydraulic-mechanical properties of bentonite used for high level radioactive disposal barrier system
3. 学会等名 BITs 7th Annual World Congress of Advanced Materials-2018 (WCAM-2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西村友良・田村菜南子・古関潤一
2. 発表標題 不飽和シルトの拘束圧下でのクリープ試験
3. 学会等名 第14回地盤工学会関東支部発表会 (GeoKanto2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松本政文 西村友良 大島 峻 川野 望
2. 発表標題 高温三軸圧縮試験機を用いたベントナイトの一軸圧縮強さに与える高温作用の影響
3. 学会等名 第14回地盤工学会関東支部発表会 (GeoKanto2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tomoyoshi Nishimura, Shuichi Yamamoto, Sin Sato, Motoki Moriwa.
2. 発表標題 Unconfined compressive strength for unsaturated-saturated bentonite
3. 学会等名 The DECOVALEX 2019 Symposium on Coupled Processes in Radioactive Waste Disposal and Subsurface Engineering Applications (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西村友良 松本政文
2. 発表標題 膨張性不飽和土の一軸圧縮強さに与える高温作用の影響
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 西村友良
2. 発表標題 ベントナイトの定圧せん断強さに与える間隙水圧の影響
3. 学会等名 2019年度土木学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松本政文 西村友良
2. 発表標題 異なるクリープ応力を受けた不飽和シルトのサクシオン変化
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 西村友良
2. 発表標題 高温作用を受けた不飽和ベントナイトの一軸圧縮強さと間隙圧の測定
3. 学会等名 2020年度土木学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shin SATO, Shuichi YAMAMOTO and Tomoyoshi NISHIMURA
2. 発表標題 Measurement of strain of bentonite-sand mixture in suction cycles
3. 学会等名 International Symposium on Energy Geotechnics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomoyoshi NISHIMURA, Sachie ISO and Takayuki MOTOSHIMA
2. 発表標題 Soil-water characteristic curve of a Ca-bentonite-sand mixture at wide suction range
3. 学会等名 International Symposium on Energy Geotechnics (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>Tomoyoshi Nishimura and Junichi Koseki Comparison of unconfined compressive strength on heated bentonite/sand mixture by chemical exposure Third International Symposium on Coupled Phenomena in Environmental Geotechnics, CPEG2020. (論文審査中)</p> <p>Tomoyoshi Nishimura^{1,*}, and Masaaki Fukaya² Evaluation of direct shear strength of based having pore-water pressure on effective stress theory 4TH EUROPEAN CONFERENCE ON UNSATURATED SOILS, E-UNSAT2020 (論文審査中)</p> <p>Tomoyoshi NISHIMURA and Junichi Koseki Performance of THM behavior of sand-bentonite mixtures considering thermal effect. Pan-American Conferences on Unsaturated Soils, 2021. (abstract受理)</p>

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