

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 21 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01426

研究課題名(和文) 地下温度変化が地盤環境にもたらす影響：重金属等の存在形態と構造変化の解明

研究課題名(英文) Temperature effects on the geo-environment: Speciation of metals and soil structure

研究代表者

高井 敦史 (Takai, Atsushi)

京都大学・地球環境学堂・准教授

研究者番号：30598347

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：再生可能エネルギーを活用しつつ地盤と熱交換を行う地盤技術が急速に発展しており、熱利用地盤技術の推進や、低濃度汚染土の浅層部での有効活用時における環境安全性担保に向けて、温度変化が地盤材料の物理的・化学的性質に及ぼす影響の評価が求められている。本研究では、温度変化が遮水壁の健全性や自然地盤重金属等の溶出特性に及ぼす影響の評価を目的に、透水試験やバッチ式やカラム式の溶出試験を実施した。その結果、60 程度に地温が上昇した場合、遮水壁の透水係数は極端に増加する可能性は小さく十分な遮水性能を発揮しうることを、掘削土からの自然由来のヒ素の溶出濃度の増加は数倍程度の範囲内であることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

SBの透水係数は温度の上昇に伴って一定程度増加するが顕著な増加は確認されなかったことから、地盤温度の季節変動や日変動が生じやすい地表面付近でもSBの高い遮水性能を維持しうるということが明らかとなった。一方で、SBの吸着量は温度上昇により小さくなったことは、温度の上昇が化学物質の移行特性に及ぼす影響を考慮した遮水工の設計が求められる可能性を指摘した。掘削岩石に含まれるヒ素の溶出特性が温度の影響を受けることを示したことは、自然由来で基準に不適合な岩石・土砂を再資源化する際に、より現実に即した合理的な試験法に基づき対策工を設計する必要があることを示唆している。

研究成果の概要(英文)：Due to the rapid development of Energy Geotechnics, the changes in ground temperature is becoming a big concern to ensure geoenvironmental safety. The hydraulic conductivity tests using the soil-bentonite mixture and batch and column leaching tests using excavated soils with geogenic contamination was conducted in this study, to evaluate the effects of temperature on the performance of the vertical cutoff walls and the leaching behavior of arsenic. The results revealed that when the soil temperature rose to around 60 degree Celsius, the hydraulic conductivity of the soil-bentonite specimen did not increase drastically and maintained sufficient hydraulic performance. Also, column leaching tests showed that the concentration of geogenic arsenic leached from excavated soils increased several times.

研究分野：環境地盤工学

キーワード：建設発生土 地盤汚染 遮水壁 封じ込め 重金属等 物質移行 室内試験

## 1. 研究開始当初の背景

近年、再生可能エネルギーを活用しつつ地盤と熱交換を行う地盤技術が急速に発展しており、2013年にはTC308: Energy Geotechnicsが国際地盤工学会に発足するなど、新たな学術領域として欧米や中国を中心に研究事例も増加している。具体的な個別技術として、太陽熱や工業排熱を表層地盤に貯留する地中蓄熱、地中熱を活用した道路橋の凍結防止技術、熱交換機能と支持機能を両立したエナジーパイルなどが挙げられる。このような地盤温度の変化を伴う地盤技術を利用する際、例えば地中蓄熱では夏季の蓄熱期に地盤温度が最大で60°C以上に達するなど、これまで年間を通してほぼ約15°Cで一定として扱われてきた地盤温度が著しく変化しうることから、温度変化が地盤環境に与える影響を明らかにする必要がある。

我が国には、地質的な要因で自然由来の重金属等(ヒ素やフッ素など)を環境基準以上に含む土砂や岩石が広く分布しており、建設工事に伴い発生する基準超過土の量は膨大であるため、環境リスクを低減しつつ資源として活用するための様々な研究がこれまでなされてきた。地盤材料中の有害物質濃度の評価法として、バッチ溶出試験やカラム通水試験などの室内試験が広く採用されているが、上述のとおり深部の地盤温度がほぼ一定のため、“常温”と規定されているだけで、温度条件に関する明確なルールは現行法では存在しない。つまり、自然由来の重金属等を含む建設発生土は、盛土材や埋戻し材、嵩上げ材等として地表面付近の構造物内での利用が想定されるため、深部の地盤に比べ日射による日変動や季節変動が無視できないにも関わらず、現行の試験法では土水接触時の温度変化を伴う影響が考慮できていないのが現状である。今後、熱アクティブな地盤技術の推進や、低濃度汚染土の浅層部での有効活用時における環境安全性担保に向けて、温度変化に対する化学物質の移動性は重要な要因だと言える。地盤温度の変化は地盤と汚染物質の諸特性に影響しううえに、これらが相互に影響し合い、その結果として地盤環境への影響の大小が決定されると考えられる。

よって本研究では、これらの個別パラメータの温度による変化を要素的に評価するとともに、熱水力学・化学連成挙動としての汚染物質の移動性を明らかにすることを目的とした。

## 2. 研究の目的

本研究では上記の背景を踏まえ、主に3つの研究目的を定めた。まず、サブテーマ(1)「地盤材料の物理的・水理的性質の変化」では、温度変化に伴う地盤材料の構造と透水性の変化を明らかにすることを目的とした。次に、サブテーマ(2)「地盤材料に含まれる汚染物質の溶出特性に及ぼす影響」では、地盤材料に含まれる自然由来重金属等の溶出特性に及ぼす温度の影響を明らかにすることを目的とした。最後に、サブテーマ(1)と(2)で得られた知見を総合して、サブテーマ(3)「熱水力学・化学連成挙動を考慮した物質輸送のモデル化」に取り組むことで、熱利用地盤技術の導入に伴う環境リスクの評価や、地下温暖化が地盤環境に及ぼす影響の評価を試みた。

## 3. 研究の方法

サブテーマ(1)では異なる温度条件下で圧密試験や透水試験を行い、地盤材料の間隙構造や、透水性、溶質の移行特性に及ぼす影響を明らかにした。試料には、砂質土と粘性土及びそれらの混合土を使用し、粒度を含む基礎物性と温度効果の関係を定量化した。

サブテーマ(2)では、汚染物質の溶出量に及ぼす温度の影響を、各種溶出試験により評価した。対象試料には、地質由来で自然的にヒ素や鉛等の重金属等を含む土壌と岩石を用い、バッチ溶出試験、カラム通水試験、拡散溶出試験を実施した。バッチ溶出試験では、所定の液固比で地盤材料と水を接触させることで、地盤材料に含まれる有害物質の可溶量を評価した。また、カラム通水試験では、実環境に近い条件での溶出特性評価を目的に、連続通水時のピーク溶出濃度や経時変化を評価した。最後に、拡散溶出試験では、試料上部に満たした蒸留水の濃度変化を測定し、化学的拡散による物質輸送を評価した。

以下、本報告書の3.と4.では本研究で得られた**成果の一部を抜粋**して研究成果を示す。

### 3.1 ソイルベントナイトの透水性と化学物質の移行特性に及ぼす温度の影響

サブテーマ(1)に関連する事項のうち、温度変化に対するソイルベントナイト(SB)遮水壁の健全性の評価を目的に、従来の柔壁型透水試験装置を改良して、試験温度を20°Cと60°Cに制御し、SBの供試体に0.1 mol/L塩化カルシウム(CaCl<sub>2</sub>)溶液や蒸留水を通水して透水試験を行い、供試体の透水係数とCa<sup>2+</sup>に対する緩衝能に温度が与える影響を考察した。

試験には、ナトリウム(Na)型の粉体ベントナイトと、2mmのふるいを通した真砂土を用いた。供試体の作製では、質量比1:20でベントナイトと水をよく混合し、5%濃度のベントナイトスラリーを作製した後、真砂土にスラリー、粉体ベントナイトの順番で添加し、ミキサーで混合した。全てのケースで、ベントナイトはSB供試体の乾燥質量の7.5%となるように調整した。なお、作製後のSBの含水比は29%、土粒子密度は2.66 g/cm<sup>3</sup>、液性限界は25%であった。

サブテーマ(1)の目的である、温度変化が透水性と化学物質の移行特性に及ぼす影響を評価するため、従来の柔壁型透水装置にラバーヒーターで側面を覆うことで温度条件を制御して透水

試験を行った。装置内部にも温度センサーを設置して、試験中の温度変化を測定した。この方法で、試験中は $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 内の精度で $20^{\circ}\text{C}$ から $60^{\circ}\text{C}$ までの恒温条件を維持しうることが確認できた。作製したSBの供試体は、直径60mm、高さ70mmの圧密リングに充填し、39.2kPaの圧密圧力のもとで48時間の予備圧密を行った。その後、圧密された試料を高さ20mmの圧密リングに移し、ワイヤーソーで成形した。次に、成形したSB、ろ紙、ジオテキスタイルを蒸留水に浸して48時間脱気して飽和させた後、柔壁型透水試験装置に取り付けて、下部からろ紙、ジオテキスタイル、供試体の順に組み立てた。続いて、側壁としてメンブレンを供試体に密着させた後、セル内に注水して30kPaの拘束圧を作用させた。この状態から加温を開始し、目標の温度に到達した時点で24時間静置し、動水勾配を50に調整して蒸留水または $\text{CaCl}_2$ 溶液を通水した。温度条件は $20^{\circ}\text{C}$ または $60^{\circ}\text{C}$ に設定し、繰り返し回数2回の条件で実施した。

### 3.2 温度条件の異なるカラム通水試験による自然由来のヒ素の溶出特性評価

サブテーマ(2)に関連する事項のうち、温度条件が自然由来重金属等の溶出挙動に及ぼす影響をカラム通水試験によって評価した。特に、地温の上昇が重金属等の溶出特性に及ぼす影響を評価するため、ラバーヒーターを用いて $40^{\circ}\text{C}$ の条件でカラム通水試験を実施し、 $20^{\circ}\text{C}$ の結果と比較した。さらに異なる温度条件下での溶出機構の推定を行うため、カラム通水試験の結果に対し逆解析を行った。

実験には、実際の建設工事現場で得られた2種類の掘削土を用いた。本研究では溶出試験を行う試料の粒径を全量2mm以下に粉砕したものをを用いた。表-1に破碎後試料の基礎物性を示す。また、表-2に示すように、蛍光X線分析装置(島津製作所, EDX-720)を用いて全岩化学組成とヒ素(As)の全含有量を測定した。

カラム試験の条件を表-3に示す。本研究では選択流の発生を極力防ぐために、飽和上向流の条件で試験を実施した。アクリル製の円筒カラム内に、気乾状態の土試料を5層に均等に充てて充填した。ISO 21286-3で規定されるように125gのランマーを用い、各層3回ずつ突き固めを行った。続いて、カラム装置内への土試料充填後、カラムの下端にはチューブを繋ぎペリスティックポンプに接続して蒸留水を通水し、カラム上端から1滴流出した時点で送液を停止し、15時間静置することで供試体を飽和に近づけた。供試体の飽和が終了した後にカラム上端に採水容器を取り付け、蒸留水を累積液固比が10以上になるまで通水した。通水速度は15mL/hを目安とし、定期的に流出液を採水した。

カラム試験は $40^{\circ}\text{C}$ 、 $20^{\circ}\text{C}$ の2条件で実施した。 $40^{\circ}\text{C}$ の試験は、カラム本体にラバーヒーターを巻き付けて実施した。また、蒸留水を送液するボトルやチューブにもラバーヒーターとガラスウールを巻き付け、可能な限り温度条件を一定に保った。 $20^{\circ}\text{C}$ の試験は常温の実験室内で実施した。

流出液の化学分析に際し、 $0.45\mu\text{m}$ メンブレンフィルターでろ過を行い、検液を作製した。検液のAs濃度の測定には、原子吸光光度計(島津製作所製, AA-7000)を用いた。また、検液のpHと電気伝導度(EC)はpH/ECメーター(HORIBA製, F-54)を用いて測定した。化学分析で得られた濃度からAsとBの累積溶出量を以下の式(1)に示すように計算した。

$$Q = \sum_{i=1}^n \frac{C_i V_i}{m} \quad (1)$$

ここに、 $Q$ (mg/kg)はAsの累積溶出量、 $i$ は採水した分画の番号、 $C_i$ (mg/L)は $i$ 番目の検液のAsの濃度、 $V_i$ (L)は $i$ 番目の流出液の体積、 $m$ (kg)はカラムに充填した土試料の乾燥質量である。

カラム試験で得た実験結果に対し、表面洗浄や土粒子内部からの拡散などを考慮した溶出モデルである式(2)をフィッティングすることで、Asの溶出メカニズムを推定した。具体的には最小二乗法によって、式(1)の実験値 $Q$ と、式(2)のモデル式から算出した $Q_{(t)}$ の残差二乗和が最小になるようにフィッティングし、溶出パラメータ $a, b, c$ を取得した。なお、 $a, b, c$ の3変数を未知数とした逆解析では複数の解が存在する可能性がある。パラメータの同定方法には課題が残るが、本研究では温度条件の違いが溶出特性に及ぼす影響の基礎的検討として実施した。

$$Q_{(t)} = a + bt^{0.5} + ct \quad (2)$$

ここに、 $Q_{(t)}$ (mg/kg)はある時間 $t$ におけるAsの累積溶出量、 $t$ は時間(hour)、 $a$ は表面洗浄によるAsの溶出量(mg/kg)、 $b$ はAsの拡散律速溶出に関わる係数(mg/kg/hour<sup>0.5</sup>)、 $c$ は鉱物の溶解によって溶出したAsに関わる係数(mg/kg/hour)である。

表-1 使用材料の基礎物性

パラメータ名	掘削土 1	掘削土 2
$\rho_s$ , 土粒子密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	2.686	2.749
$w$ , 自然含水比(%)	1.4	4.7
砂分(%)	83	62
細粒分(%)	17	38

表-2 全岩化学組成分析の結果

構成成分	掘削土 1	掘削土 2
$\text{SiO}_2$	74.1 wt. %	44.0 wt. %
$\text{CaO}$	3.9 wt. %	8.9 wt. %
$\text{Al}_2\text{O}_3$	7.9 wt. %	19.7 wt. %
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	6.4 wt. %	18.6 wt. %
$\text{MgO}$	0.6 wt. %	2.9 wt. %
$\text{SO}_3$	3.6 wt. %	0.3 wt. %
Others	5.3 wt. %	4.6 wt. %
As (mg/kg)	51	87

表-3 カラム試験の条件

	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
掘削土の種類	1	1	2	2
温度 $^{\circ}\text{C}$	40	20	40	20
高さ cm	29.2	28.7	29.5	28.4
供試体体積 $\text{cm}^3$	573.3	563.5	579.2	557.6
通水速度 mL/h	15.9	15.2	15.4	15.0
間隙体積 $\text{cm}^3$	307.8	296.2	282.0	262.2

## 4. 研究成果

### 4.1 ソイルベントナイトの透水性と化学物質の移行特性に及ぼす温度の影響

図-1 に、透水係数のプロファイルを示す。横軸の PVF (Pore volumes of flow) は累積通水量を供試体の間隙体積で除した無次元パラメータである。つまり、1 PVF は供試体の間隙体積分の水が入れ替わったことを示している。繰り返し回数 2 回の条件で実施したため、凡例の (A) と (B) は同一条件で異なる供試体の試験結果を示している。なお、通水溶液に蒸留水を用いたケースが Blank の 1 ケースで、それ以外のプロットは CaCl<sub>2</sub> 溶液を通水した結果を示している。

図-1 に示す通り、温度が上昇すると SB の透水係数がわずかに増加する傾向が確認されたが、20°C と 60°C の差異は顕著ではなかった。例えば、5 PVF の時点では、60°C (A) の透水係数 ( $3.9 \times 10^{-10}$  m/s) は 20°C (A) と 20°C (B) の平均の透水係数 ( $1.9 \times 10^{-10}$  m/s) の約 2 倍程度だった。全体的な傾向をみると、温度条件や通水液の種類によらず SB の透水係数は同程度の値で推移しており、透水係数は  $1.0 \times 10^{-10}$  m/s 以下であった。以上より、0.1 mol/L CaCl<sub>2</sub> を通水した場合のように、通水溶液に電解質が含まれていて、さらに周囲環境の温度が 60°C 程度に上昇した場合でも、ソイルベントナイト遮水壁の遮水性能は十分期待できることが明らかになった。また、SB の遮水壁を設計する際の目安である  $1.0 \times 10^{-9}$  m/s も超えない結果となった。

次に、流出液の Ca<sup>2+</sup> の濃度から Ca<sup>2+</sup> の吸着量を求め、SB 供試体に含まれる Na<sup>+</sup> の脱着量にも着目して、温度変化が化学物質の移行特性に及ぼす影響を議論した。図-2 に流出液の Ca<sup>2+</sup> 濃度の変化を示す。温度の違いに着目すると、温度が高いほど小さい PVF で流出液の Ca<sup>2+</sup> 濃度が大きくなりはじめ、より小さな PVF で流出液の Ca<sup>2+</sup> 濃度が流入液の Ca<sup>2+</sup> 濃度 (0.1 mol/L) に漸近した。つまり、温度が 60°C のケースの方が Ca<sup>2+</sup> の破過が早く起こることで、SB に取り込まれた Ca<sup>2+</sup> の吸着量が少なくなったことを意味している。これらの結果から、高温条件では化学物質の吸着量が減少する可能性があり、化学物質の移行特性に及ぼす温度の影響を考慮した遮水工の設計が求められることが示唆された。

図-3 に流出液の Na<sup>+</sup> 濃度から求めた脱着量の変化を示す。Na<sup>+</sup> 濃度は PVF の増加に伴っていったん増加したあとに減少し、60°C の場合にはより小さい PVF でピークを迎えてより高い濃度を示したことから、図-3 のような脱着量のプロファイルが得られた。図-2 と図-3 から、60°C では Ca<sup>2+</sup> とのイオン交換で多くの Na<sup>+</sup> が脱着したことが推測される。

以上、4.1 ではソイルベントナイト供試体の透水性と化学物質の移行特性に及ぼす温度の影響の評価を目的に、加温式の柔壁型透水試験を作製して透水試験を行い、以下の知見を得た。

- 1) SB の透水係数は温度の上昇に伴って一定程度増加するが、20 ~ 60°C の範囲では極端に増加する可能性は小さく、十分な遮水性能を発揮する。
- 2) SB の Ca<sup>2+</sup> の吸着量は温度上昇により小さくなったことから、温度の上昇が化学物質の移行特性に及ぼす影響を考慮した遮水工の設計が求められる。

### 4.2 温度条件の異なるカラム通水試験による自然由来のヒ素の溶出特性評価

図-4 に、カラム通水試験から得られた As 溶出濃度と pH のプロファイルを示す。図-4(a) に示すように、掘削土 1 から溶出した As は 2 PVF までは 0.01 mg/L 程度の値だった一方、2 PVF よりも通水量が大きくなると溶出濃度が増加し、10 PVF 程度で最も溶出濃度が大きくなった。このような濃度プロファイルの形状は 40、20°C の温度条件で類似しており、10 PVF 以降は溶出濃度が低下する結果となった。一方で、溶出濃度の最大値に着目すると、40°C では最大 0.53 mg/L で 20°C の 3 倍程度の値となり、高温条件のほうが As の溶出濃度は大きくなる結果となった。図-4(b) に示すように、掘削土 2 から溶出した As の濃度は 40°C では 2 PVF、20°C では 7 PVF 程

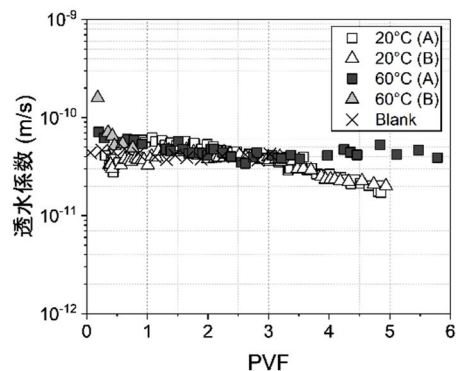


図-1 透水係数のプロファイル

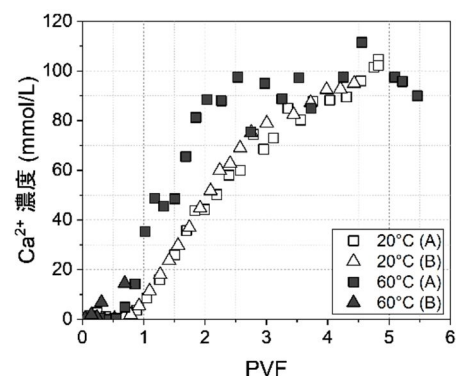


図-2 流出液の Ca<sup>2+</sup> 濃度の変化

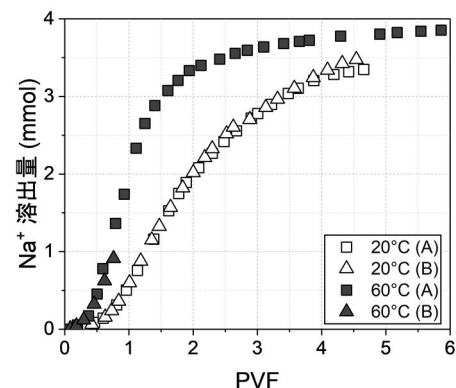


図-3 流出液の Na<sup>+</sup> 脱着量の変化



度で最も大きくなり、温度条件によって最大の溶出濃度となる PVF が異なった。また、As 溶出濃度の最大値に着目すると、40°C では最大 4 mg/L で 20°C の 1.3 倍程度の値となり、掘削土 2 でも高温条件ほど As 溶出濃度が大きくなった。以上より、本研究の結果に基づくと、高温になると溶出濃度が大きくなる可能性がある。また、最大濃度となるピークの PVF が小さくなることから反応速度の増加も予想される。

図-4(a),(b)に示すように、温度条件に関わらず pH は 7~8.5 の値であった。今回のような試験条件であれば、掘削土 1, 2 を盛土材として使用した場合、地温の上昇に伴って極端な酸性水は発生しない結果となった。表-2 に示すように、掘削土には硫化物 (S) が含まれており、pH の値に影響を及ぼす可能性が予想されたが、pH の値は温度条件の違いによって大きな差異はなかった。高温条件で硫化鉱物の溶解は促進されなかったことや、pH を緩衝する能力を有するカルシウム (Ca) 由来の鉱物の溶解が高温化で促進されたことが理由として考えられる。

ここで、As の溶出濃度と pH の関係を整理する。本研究では、高温条件ほど As の溶出濃度が大きくなった一方で、pH は温度条件に関わらず同程度であった。仮に As の溶出量がアルカリ性になるほど促進された場合、負に帯電した As イオンの斥力で脱着が促進されたことが理由の一つとして考えられる。しかし、本研究では上記のような傾向は確認されなかったことから、掘削土 1, 2 からの As の主な溶出機構として、土粒子表面の pH 変化に伴う静電引力による脱着反応ではなく、As を含む鉱物の溶解が卓越した可能性が推察される。

図-5 に、式(1)と(2)で計算した As の累積溶出量を示す。掘削土 1, 2 とともに As の累積溶出量は、40°C の方が 20°C に比べて大きくなった。また、逆解析によって式(2)をフィッティングした際に取得された各種パラメータを表-4 に示す。掘削土 1 では As の溶出機構は溶解によるものと推定され、高温条件ほど溶解に関わる係数  $c$  が大きな値で推定された。掘削土 2 では拡散律速溶出に関わる係数  $b$  と溶解に関わる係数  $c$  の両方が溶出機構として推定され、高温条件ほど拡散律速による溶出の促進も推察された。掘削土 1, 2 とともに表面洗浄による溶出量  $a$  は 0 と推定され、As の溶出反応は即時反応ではなく比較的長期にわたり続くことが確認された。

以上、4.2 では温度条件が掘削土に含まれる As の溶出特性に及ぼす影響の評価を目的に、40°C と 20°C の条件でカラム通水試験を行い、以下の知見を得た。

- 1) 高温条件ほど As を含む鉱物の溶解が促進される可能性があり、比較的長期間に渡って As の溶出が継続する可能性がある。
- 2) 今回の試験条件では、40°C での溶出濃度の最大値は 20°C の最大値と比べて、最大でも 3 倍大きい程度の範囲であった。

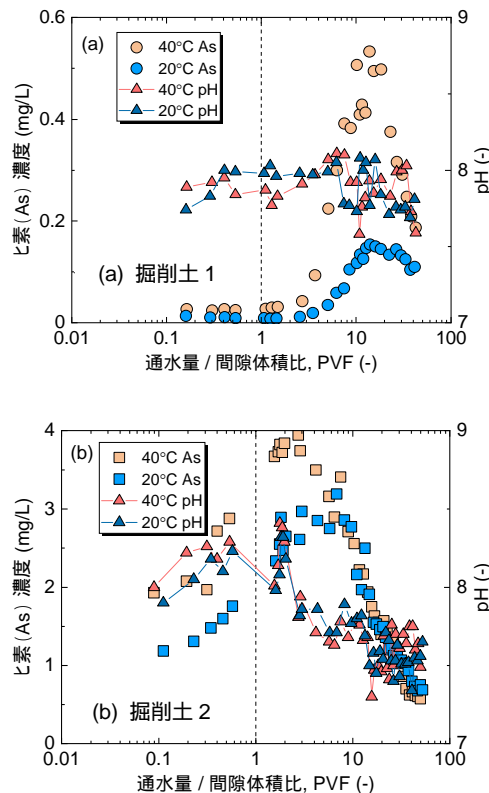


図-4 As 濃度と pH のプロファイル

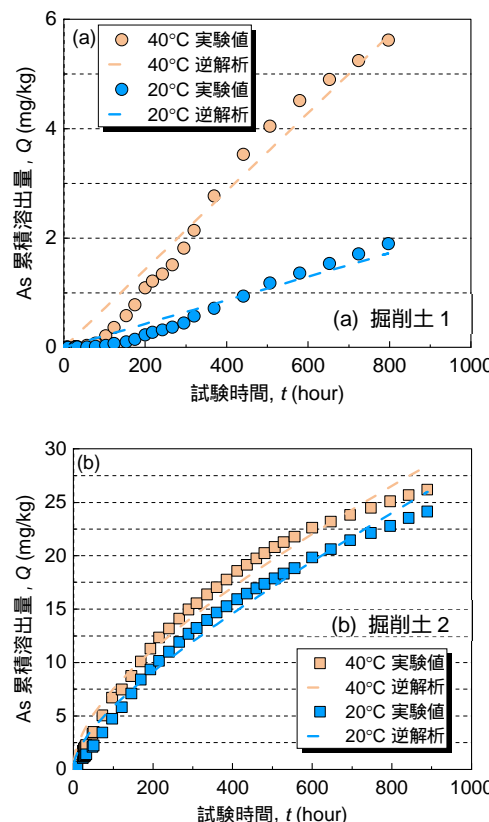


図-5 As の累積溶出量

参考文献

1. Yu ら：第 59 回地盤工学研究発表会論文集，2024 .(発表予定)
2. 加藤ら：Kansai Geo-Symposium 2022 論文集，2022，pp. 200-203 .

表-4 フィッティングで推定したパラメータ

土	温度	$a$ (mg/kg)	$b$ (mg/kg/hour <sup>0.5</sup> )	$c$ (mg/kg/hour)
1	40°C	0	0	0.0071
1	20°C	0	0	0.0021
2	40°C	0	0.65	0.010
2	20°C	0	0.44	0.014

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 小河 篤史, 高井 敦史, 清水 巧巳, 山口 和樹, 勝見 武	4. 巻 71
2. 論文標題 粘性土のコンシステンシーと圧密特性に及ぼす温度の影響	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 材料	6. 最初と最後の頁 83~90
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2472/jsms.71.83	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 加藤 智大, 岩田 侑祐, GATHUKA Lincoln W., 高井 敦史, 勝見 武	4. 巻 -
2. 論文標題 温度条件が掘削ずりに含まれるヒ素溶出挙動に及ぼす影響の評価	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Kansai Geo-Symposium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 Mohammed Sakr, Atsushi Takai, Atsushi Ogawa, Masaya Minari, Takeshi Katsumi	4. 巻 148
2. 論文標題 Heat Transfer in Soft Clay: Pilot-Scale Experiment Using Solar Collectors	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering	6. 最初と最後の頁 4022061
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0002838	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 小河 篤史, 高井 敦史, 肴倉 宏史, 目黒 緑, 勝見 武	4. 巻 17
2. 論文標題 自然由来の重金属等を含有する粘土の拡散溶出特性に及ぼす温度の影響	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 181~194
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3208/jgs.17.181	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 Jiajie Tang, Hirofumi Sakanakura, Atsushi Takai, Takeshi Katsumi	4. 巻 63
2. 論文標題 Effect of dry-wet cycles on leaching behavior of recovered soil collected from tsunami deposits containing geogenic arsenic	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Soils and Foundations	6. 最初と最後の頁 101271 ~ 101271
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sandf.2022.101271	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 Tomohiro Kato, Atsushi Takai, Yusuke Iwata, Lincoln W. Gathuka, Takeshi Katsumi	4. 巻 63
2. 論文標題 Evaluating temperature effects on leaching behavior of geogenic arsenic and boron from crushed excavated rocks using shaking and nonshaking batch tests	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Soils and Foundations	6. 最初と最後の頁 101274 ~ 101274
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sandf.2023.101274	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 Atsushi Ogawa, Atsushi Takai, Hirofumi Sakanakura, Takeshi Katsumi	4. 巻 -
2. 論文標題 Evaluating temperature effects on diffusive releases from clay particles	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the 9th International Congress on Environmental Geotechnics	6. 最初と最後の頁 115-124
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.53243/ICEG2023-162	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 Tomohiro Kato, Atsushi Takai, Lincoln W. Gathuka, Takeshi Katsumi, Yuexin Xie	4. 巻 -
2. 論文標題 Elevated temperature on leaching of arsenic and boron from excavated rocks	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Smart Geotechnics for Smart Societies	6. 最初と最後の頁 1853-1857
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1201/9781003299127-281	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4件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Xie Yuexin
2. 発表標題 掘削ずりに含まれるヒ素の溶出特性に及ぼす温度の影響
3. 学会等名 第57回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Xie Yuexin
2. 発表標題 温度条件が掘削泥岩に含まれる重金属等の溶出特性に及ぼす影響の評価
3. 学会等名 2022年度土木学会関西支部年次学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuexin Xie
2. 発表標題 Temperature effect on behavior of geogenic contaminants using column and batch leaching experiments
3. 学会等名 Geo-Environmental Engineering 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Atsushi Takai
2. 発表標題 Potential impacts of temperature rise on the geoenvironment
3. 学会等名 9th International Congress on Environmental Geotechnics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年



〔図書〕 計0件

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計2件

産業財産権の名称 軟弱地盤における圧密促進システム	発明者 高井 敦史, 小河 篤史, 他	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、第7343880号	取得年 2023年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 寒冷地の軟弱地盤における構造物の施工方法	発明者 高井 敦史, 小河 篤史, 他	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、第7300652号	取得年 2023年	国内・外国の別 国内

〔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	勝見 武 (Katsumi Takeshi) (60233764)	京都大学・地球環境学堂・教授  (14301)	
研究分担者	加藤 智大 (Kato Tomohiro) (80943612)	京都大学・地球環境学堂・助教  (14301)	
研究分担者	Gathuka Lincoln Waweru (Gathuka Lincoln Waweru) (70885582)	京都大学・地球環境学堂・特定研究員  (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
---------	---------