

令和 4 年 6 月 14 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04620

研究課題名(和文) イオン交換反応を応用した泥の減容化技術の開発とそのモデル化

研究課題名(英文) Development and modeling of sediment volume reduction based on ion exchange reaction

研究代表者

中下 慎也 (Nakashita, Shinya)

広島大学・先進理工系科学研究科(工)・助教

研究者番号：90613034

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では泥に吸着する陽イオンを保水性が低くなる1価の陽イオンに強制的に交換させる手法を確立した。堆積泥の陽イオン吸着サイト量は地盤分野で用いられる0.1 mol/Lの塩化バリウム溶液を用いる手法と農業土木や土壌学の分野で用いられる1 mol/Lの酢酸アンモニウム溶液を用いる手法を組み合わせることで有機物の官能基が持つ吸着サイト量、粘土鉱物が持つ表面・層間の吸着サイト量を推定できることを明らかにした。また、示差熱重量分析の測定条件を様々に変化させることで堆積泥に含まれる物質を推定できる可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで粘土鉱物に対して吸着イオンを交換した場合の凝集性の変化について検討した研究例は存在したが、粘土鉱物に有機物が付着した複雑な特性を持つ堆積泥を対象として電気化学的な効果を検討した研究は無かった。本研究では、堆積泥に吸着するイオンの種類や量を変化させることで泥の減容化が可能であることを明らかにした。また、吸着陽イオン量を決定する大きな要因である堆積泥に含まれる有機物の種類や量を示差熱重量分析を用いて検討する手法を提案した。

研究成果の概要(英文)：We established a method to exchange to adsorbed cation on the sediment to monovalent cations, which have lower water retention properties. To investigate the amount of cation adsorption sites in sedimentary mud, we combined a method using a 0.1 mol/L barium chloride solution, which is used in the field of geotechnical engineering, with a 1 mol/L ammonium acetate solution, which is used in the fields of agricultural engineering and soil science. As a result, it was found that the amount of adsorption sites of functional groups of organic matters and the amount of adsorption sites on the surface and between layers of clay minerals can be estimated. It was also suggested that it may be possible to estimate the substances contained in sediment by changing the measurement conditions of differential thermogravimetric analysis.

研究分野：海岸工学

キーワード：堆積泥 保水性 イオン交換 陽イオン交換容量 有機物含有量 示差熱分析

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災で発生した汚泥の処理をはじめとして、海域や湖沼の浚渫泥や下水汚泥の処理は重要な課題である。汚泥や浚渫泥は物理的な圧密や脱水・焼却によって減容化し、埋め立て処分されているが、埋立地の確保が難しいことや処理コストの低減のため、新たな泥の減容化技術が望まれている。申請者は AlCl_3 や CaCl_2 などの多価の陽イオンが含まれる溶液中で堆積した泥 (= 多価の陽イオンが多く吸着した泥) の含水比が高く、 NaCl や KCl などの1価の陽イオンが含まれる溶液中で堆積した泥 (= 1価の陽イオンが多く吸着した泥) の含水比が低くなることを室内実験にて明らかにしている。土木分野で対象としている泥 (海底泥・湖底泥・下水汚泥など) は砂や粘土だけでなく、有機物も多く含んでいるため、砂や粘土鉱物 (カオリンやベントナイトなど) とは物理的・化学的性質が異なる。特に泥の大部分がシルト分以下の粒子で構成される場合には、泥の特性を変化させる要因として粒径や比重などの物理的効果だけでなく、間隙水のイオン強度や表面電位などの電気化学的な効果も重要となる。泥に含まれる有機物の種類が様々であること、淡水中と海水中でイオンの溶出量や化学反応が異なることなどから、泥の減容化に電気化学的な効果を考慮した手法は実施されておらず、物理的な処理に留まっているのが現状である。

2. 研究の目的

本研究では、泥の表面に電気的に吸着している多価 (Al^{3+} や Ca^{2+} など) の陽イオンを強制的に1価の陽イオン (Na^+ や K^+) に交換させることで泥を減容化する手法の開発を目指す。そのため、室内実験でイオン交換により保水性を低減できる溶液を検討した。また、地球化学モデルを用いてイオン交換現象の再現を試みたが、堆積泥に含まれる有機物の質や量によって吸着量が大きく異なることが明らかとなったため、有機物を含む堆積泥が持つ吸着サイト量を把握することを目的として堆積泥に含まれる物質について示差熱重量分析や元素分析などを用いて検討した。具体的には、①多価の陽イオンを交換可能な溶液の種類を検討、②堆積泥の陽イオン吸着サイト量の検討、③堆積泥に含まれる有機物の分画を実施した。

3. 研究の方法

(1) 多価の陽イオンを交換可能な溶液の種類を検討

(a) 実験に用いた試料と実験条件

実験では、2015年、2018年に広島県の海田湾で採取された海底堆積泥、2017年に広島県の呉湾で採取された海底堆積泥を使用した。全ての堆積泥は粘土・シルト分割率は95%を超え、有機物量 (示差熱・重量分析での600°Cでの初期からの減量, IL_{600}) はそれぞれ7.54%, 11.4%, 9.5%であった。また、それぞれの泥は不純物を取り除くために75 μm のふるいで濾した (各 Case の Initial)。さらに、海水由来の間隙水を除去するために泥300 mL と脱イオン水500 mL を200 rpm で5時間混合して12時間静置し、上澄み液の電気伝導度が0.1 S/m 以下になるまで脱イオン水との混合を繰り返し、沈降実験に使用した。実験条件を表-1に示す。沈降実験では、表-1に示した溶質を用いてイオン強度が0.6 mol/L の溶媒を作成し、実験開始時に泥と攪拌させることで吸着陽イオンを変化させている。

(b) 塩化バリウムを用いた前処理

表-1のNa-3、K-3は泥に吸着する陽イオンを Ba^{2+} に交換するために、間隙水が脱イオン水に交換された泥150 mL をイオン強度0.6 mol/L の BaCl_2 溶液150 mL と混合して200 rpm で5時間攪拌し、12時間静置した。次に、間隙水に含まれる0.6 mol/L の塩化バリウム (BaCl_2) 溶液を取り除くため、泥150 mL を脱イオン水150 mL と混合して200 rpm で5時間攪拌し、12時間静置し、沈降実験に使用した。

(c) 実験方法と分析項目

沈降実験では $\phi = 60 \text{ mm}$ の1 L の有栓メスシリンダーに乾燥重量40 g に調整した湿潤状態の泥と表-1に示した溶質を用いて作成したイオン強度が0.6 mol/L の溶媒を合計が750 mL になるように加え、栓を閉め1分以上攪拌した後静置させた。72時間経過後に実験を終了し、上澄み液を吸引した後に堆積泥を混合して採取した。採取した泥に対して含水比、遠心分離後の含水比、吸着陽イオン量 (Na^+ , K^+ , Ca^{2+}) を分析した。測定した含水比は圧密時間や上澄み液

表-1 沈降実験の実験条件

Case	泥の種類	BaCl_2 による前処理	溶質の種類
Case1	Initial	×	-
	Na-1	×	NaCl
	Na-2	×	Na_2SO_4
	Na-3	○	Na_2SO_4
	K-1	×	KCl
	K-2	×	K_2SO_4
Case2	Initial	×	-
	Na-1	×	NaCl
	Na-3	○	Na_2SO_4
	K-1	×	KCl
Case3	Initial	×	-
	Na-1	×	NaCl
	Na-3	○	Na_2SO_4

の吸着量によって変化することが予想されたため、それらの要因に左右されない含水比として遠心分離後の含水比も測定した。遠心分離後の含水比は液性限界値と相関があることが報告されており、今回は 6000 rpm で 20 分遠心分離し、上澄み液を除去した試料を 1 週間程度 50°C 炉乾燥して測定した。

(2) 堆積泥の陽イオン吸着サイト量の検討

各吸着サイトの吸着陽イオン量を検討するために吸着サイトが既知の粘土鉱物（カオリン、ベントナイト）と腐植物質の 1 つであるフミン酸を用いて吸着陽イオン量を測定した。また、吸着陽イオン量の測定方法の違いから吸着サイトを推定する手法を検討した。これまで吸着陽イオン量の測定には地盤工学会が示した 0.1 mol/L の塩化バリウム (BaCl₂) 溶液を用いる手法を海洋堆積泥に適用した中下らの手法（以降、手法 1 とする）を基に実施してきた。一方で農業土木や土壌学分野では 1 mol/L の酢酸アンモニウム (CH₃COONH₄) 溶液を用いる手法（例えばセミマイクロショーレンベルガー法など）が主に使用されている。ここでは、測定方法の異なる 2 種類の手法による吸着陽イオン量の違いを検討するために、武藤らの手法（以降、手法 2 とする）を参考に酢酸アンモニウム溶液を用いた吸着陽イオン量の測定を実施した。

実験では、ナカライテスクで購入した粘土鉱物（カオリン、ベントナイト）と腐植物質の 1 つであるフミン酸を用いた。また、吸着陽イオン量の比較を容易にするため、陽イオン交換順位が Ba²⁺ よりも低く、海水に含まれる主要な陽イオンの中で最も陽イオン交換順位が高い Ca²⁺ を各試料に事前に吸着させた。具体的にはイオン強度 0.3 mol/L の CaCl₂ 溶液 30 mL にそれぞれの試料を 2.5 g-dry を混合し、200 rpm で 1 時間攪拌した。その後、5300 rpm で 10 分間の遠心分離を行い上澄み液を除去した後、再度イオン強度 0.3 mol/L の CaCl₂ 溶液 30 mL と混合し、同様の操作を繰り返した。この作業を合計 3 回実施することで Ca²⁺ を試料に吸着させた。本実験においては CEC ではなく、吸着陽イオンを測定したため、両手法ともそれぞれの溶液中に溶出した Na⁺、K⁺、Ca²⁺ の陽イオン濃度を LAQUA-twin を用いて測定した。なお、手法 2 において、1 mol/L の NH₄⁺ 溶液中で LAQUA-twin を用いて K⁺ 濃度を測定すると 180 mg/L 程度高い値を示すことから、手法 2 では事前実験により補正式を作成し、算出した。

表-2 に堆積泥を対象に手法 1 と 2 を用いて吸着陽イオン量を測定した実験条件を示す。実験に用いた堆積泥は、呉泥、福山泥、福山浚渫泥の 3 種類で、有機物量はそれぞれ、8.9、12.2、6.6% であり、浚渫泥のみ有機物量が極端に少ない。Case1, 2 については前章で実施した保水性の低減が確認された BaCl₂ 溶液との混合後に Na₂SO₄ 溶液または K₂SO₄ 溶液と混合する手法を用いて泥に吸着する陽イオンを Na⁺、K⁺ に交換した泥に対しても実験を実施した。また、手法 1 を用いて吸着陽イオンを測定した後に手法 2 を用いて吸着陽イオンを測定する方法（1→2）、手法 2 を用いて吸着陽イオンを測定した後に手法 1 を用いて吸着陽イオンを測定する方法（2→1）を実施することで、両手法で溶出する陽イオンの種類や量について検討した。なお、1 回目の吸着陽イオンの測定が終わった泥には、脱イオン水を 30 mL 加え、1 時間 200 rpm で攪拌後に 5300 rpm で 10 分間の遠心分離を行い、上澄み水を除去することで間隙水を脱イオン水に交換し、2 回目の吸着陽イオンの測定を行った。

(3) 堆積泥に含まれる有機物の分画

窒素雰囲気中で燃焼した後の試料に対して空気雰囲気中で燃焼させることで酸化分解する物質の IL と DTA を特定することができると考えた。具体的な測定条件としては、窒素雰囲気において、窒素ガスを 100 ml/min の流量で注入し、50°C で 30 分間保持した後、10 °C/min の昇温速度 850°C まで燃焼させた。炉内の温度が室温まで低下した後、窒素バルブを閉め（ガス流量 0 ml/min）、空気雰囲気中で 50°C で 30 分保持した後、10°C/min の昇温速度で再度 850°C まで燃焼させた。

4. 研究成果

(1) 多価の陽イオンを交換可能な溶液の種類、攪拌方法の検討

(a) 溶液の種類の見直し

図-1 には(a) Case1, (b) Case2, 3 の各実験条件における実験後の堆積泥の吸着陽イオン量を示す。全てのケースにおいて NaCl や KCl 溶液との混合 (Na-1, K-1) よりも Na₂SO₄ や K₂SO₄ 溶液との混合 (Na-2, 3 と K-2, 3) で吸着陽イオン

表-2 吸着陽イオン量測定を実施した

堆積泥の種類

Case	Sediment type	IL ₆₀₀ [%]	Sample condition
Case1-1	呉泥 (2019年採取)	8.89	Initial
Case1-2			BaCl ₂ →Na ₂ SO ₄
Case1-3			BaCl ₂ →K ₂ SO ₄
Case2-1	福山泥 (2019年採取)	12.17	Initial
Case2-2			BaCl ₂ →Na ₂ SO ₄
Case2-3			BaCl ₂ →K ₂ SO ₄
Case3	福山浚渫泥 (2019年採取)	6.56	Initial

を用いる手法を海洋堆積泥に適用した中下らの手法（以降、手法 1 とする）を基に実施してきた。一方で農業土木や土壌学分野では 1 mol/L の酢酸アンモニウム (CH₃COONH₄) 溶液を用いる手法（例えばセミマイクロショーレンベルガー法など）が主に使用されている。ここでは、測定方法の異なる 2 種類の手法による吸着陽イオン量の違いを検討するために、武藤らの手法（以降、手法 2 とする）を参考に酢酸アンモニウム溶液を用いた吸着陽イオン量の測定を実施した。

実験では、ナカライテスクで購入した粘土鉱物（カオリン、ベントナイト）と腐植物質の 1 つであるフミン酸を用いた。また、吸着陽イオン量の比較を容易にするため、陽イオン交換順位が Ba²⁺ よりも低く、海水に含まれる主要な陽イオンの中で最も陽イオン交換順位が高い Ca²⁺ を各試料に事前に吸着させた。具体的にはイオン強度 0.3 mol/L の CaCl₂ 溶液 30 mL にそれぞれの試料を 2.5 g-dry を混合し、200 rpm で 1 時間攪拌した。その後、5300 rpm で 10 分間の遠心分離を行い上澄み液を除去した後、再度イオン強度 0.3 mol/L の CaCl₂ 溶液 30 mL と混合し、同様の操作を繰り返した。この作業を合計 3 回実施することで Ca²⁺ を試料に吸着させた。本実験においては CEC ではなく、吸着陽イオンを測定したため、両手法ともそれぞれの溶液中に溶出した Na⁺、K⁺、Ca²⁺ の陽イオン濃度を LAQUA-twin を用いて測定した。なお、手法 2 において、1 mol/L の NH₄⁺ 溶液中で LAQUA-twin を用いて K⁺ 濃度を測定すると 180 mg/L 程度高い値を示すことから、手法 2 では事前実験により補正式を作成し、算出した。

表-2 に堆積泥を対象に手法 1 と 2 を用いて吸着陽イオン量を測定した実験条件を示す。実験に用いた堆積泥は、呉泥、福山泥、福山浚渫泥の 3 種類で、有機物量はそれぞれ、8.9、12.2、6.6% であり、浚渫泥のみ有機物量が極端に少ない。Case1, 2 については前章で実施した保水性の低減が確認された BaCl₂ 溶液との混合後に Na₂SO₄ 溶液または K₂SO₄ 溶液と混合する手法を用いて泥に吸着する陽イオンを Na⁺、K⁺ に交換した泥に対しても実験を実施した。また、手法 1 を用いて吸着陽イオンを測定した後に手法 2 を用いて吸着陽イオンを測定する方法（1→2）、手法 2 を用いて吸着陽イオンを測定した後に手法 1 を用いて吸着陽イオンを測定する方法（2→1）を実施することで、両手法で溶出する陽イオンの種類や量について検討した。なお、1 回目の吸着陽イオンの測定が終わった泥には、脱イオン水を 30 mL 加え、1 時間 200 rpm で攪拌後に 5300 rpm で 10 分間の遠心分離を行い、上澄み水を除去することで間隙水を脱イオン水に交換し、2 回目の吸着陽イオンの測定を行った。

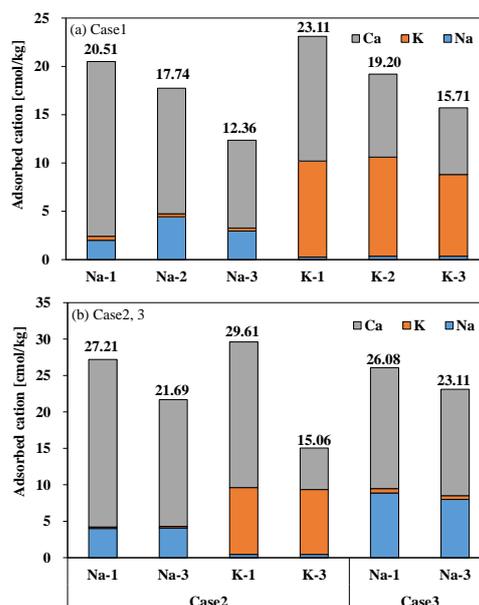


図-1 (a) Case1, (b) Case2, 3 の各実験条件における実験後の堆積泥の吸着陽イオン量

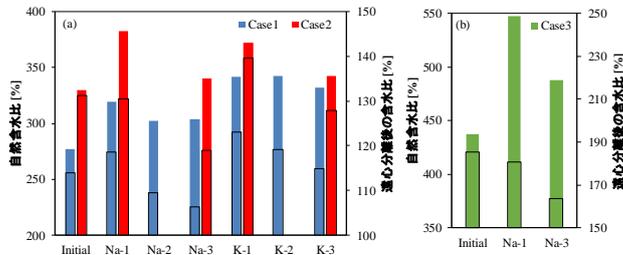


図-2 沈降実験後の(a)Case1, 2, (b)Case3 の自然含水比と遠心分離後の含水比の関係（枠線ありの棒グラフは遠心分離後の含水比を示す）

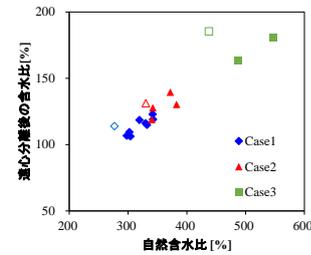


図-3 自然含水比と遠心分離後の含水比（白抜き凡例は Initial を示す）

の合計値 ($\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Ca}^{2+}$) が低下していること、吸着陽イオンの合計値に対する Ca^{2+} の割合が低下し、混合した溶液に含まれる主要な陽イオン（例えば溶質に Na_2SO_4 を用いた場合は Na^+ ）の割合が増加していること、その傾向は BaCl_2 溶液と混合する前処理を実施した場合（Na-3, K-3）に顕著であることがわかる。これらのことから、本研究で示した手法により堆積泥の Ca^{2+} を減らすことができた。

(b) 保水性の低減

図-2 に沈降実験後の自然含水比と遠心分離後の含水比を示す。なお、枠線ありの棒グラフは遠心分離後の含水比を示す。NaCl 条件や KCl 条件（Na-1, K-1）と BaCl_2 溶液との混合による前処理を行った条件（Na-3, K-3）では自然含水比が Case1, 2 の海田泥では 20~40%, Case3 の呉泥では 60%低下していることがわかる。含水比の低下は多価の吸着陽イオン量が減ると保水性が低くなるというこれまでの研究結果を踏まえると、図-1 に示した Ca^{2+} の吸着量の低下によって生じていることが考えられる。また、海田泥と呉泥の含水比の低下量の違いは初期の含水比の違いに依存しており、どちらも Na-1 や K-1 の含水比の 10%程度含水比が低下している。なお、Initial の含水比が最も低い理由としては、沈降実験においては静置時間が泥を攪拌させてから 72 時間であったが、Initial は現地で採取した後に長期間（半年以上）室外で静置状態にあったため、圧密が非常に進行していたと予想される。遠心分離後の含水比で比較した場合には、全てのケースで BaCl_2 溶液と混合する前処理を実施した場合に最も保水性が低下していることがわかる。

図-3 には自然含水比と遠心分離後の含水比の関係を示す。なお、図中の白抜きの凡例は Initial の結果である。全てのケースにおいて Initial と沈降実験後の自然含水比と遠心分離後の含水比にはそれぞれ相関関係があること、Initial の遠心分離後の含水比は Na-1 や K-1 と同程度であり、陽イオン交換を行った Na-2, Na-3 や K-2, K-3 よりも高くなっていることがわかる。両者の相関関係の違いは静置時間に依存していると考えられ、遠心分離後の含水比を用いることで静置時間の異なる泥に対しても陽イオン交換による保水性の低減を評価できる可能性が高い。

(2) 堆積泥の陽イオン吸着サイト量の検討

(a) 各吸着サイトの吸着陽イオン量の検討

図-4 に粘土鉱物・フミン酸に対して手法 1, 2 で吸着陽イオン量を測定した結果を示す。Ca-カオリンは手法 1 と 2 で同程度の吸着陽イオン量、Ca-ベントナイト、Ca-フミン酸では手法 1 の吸着陽イオン量が高くなった。Ca-カオリンについては吸着サイトが鉱物のエッジ部のみであるため、吸着陽イオン量が小さいことから、両者の測定結果が同程度になったと考えられる。Ca-ベントナイトについては吸着サイトにエッジ部分に加え、同型置換部位があるためカオリンと比較して吸着陽イオン量が高くなる。ただし、手法 1 では手法 2 よりも 5 倍程度吸着陽イオン量が高くなっている。なお、ベントナイトの陽イオン交換容量が 50~80 cmol/kg 程度であることを考えると、手法 2 では Ca-ベントナイトの吸着陽イオン量を正しく測定できない。Ca-フミン酸については官能基に吸着した Ca^{2+} を測定しており、 Ca^{2+} よりもイオン交換順位の高い Ba^{2+} を用いた場合には Ca^{2+} と交換するが、 Ca^{2+} よりもイオン交換順位の低い NH_4^+ を用いた場合ではほとんど Ca^{2+} と交換していないことがわかる。なお、2 の手法で吸着陽イオン量を測定した後の Ca-フミン酸に対して続けて 1 の手法で吸着陽イオン量を測定した結果、 Ca^{2+} が 22.6 cmol/kg 溶出しており、2 回の合計値が手法 1 の測定結果と同程度になることを確認している。

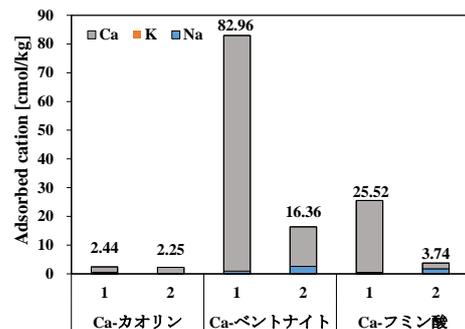


図-4 粘土鉱物・フミン酸に対して手法 1 と手法 2 を用いて測定した吸着陽イオン量

このことから、 Ba^{2+} と NH_4^+ を用いた場合には粘

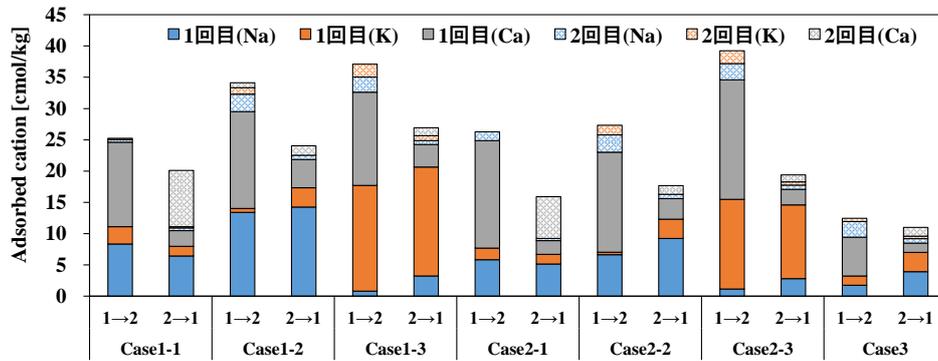


図-5 様々な堆積泥に対して手法 1→2, 手法 2→1 の順で測定した吸着陽イオン量

土鉱物由来の吸着サイトは同程度の値となるが, 腐植物質に含まれる官能基の量については Ba^{2+} を用いた場合に多く陽イオンが溶出されることがわかった。

(b) 堆積泥の陽イオン吸着サイトの検討

図-5 に様々な堆積泥に対して手法 1→手法 2, 手法 2→手法 1 の順で吸着陽イオン量を測定した結果を示す。例えば, 凡例の 1 回目は, 例えば 1→2 の場合の 1 回目は手法 1 を用いて溶出した陽イオン量, 2 回目は手法 2 を用いて溶出した陽イオン量を示す。

1→2 と 2→1 では順番が異なるだけであるが, 1→2 と 2→1 の合計値は Case3 を除いて同じにならず, その差の大半はカルシウムイオンの溶出量であった。また, この差は有機物量の少ない Case3 では確認されず, Case1, Case2 のみ確認されること, 有機物の官能基の吸着陽イオンは手法 1 を用いた場合に多く溶出されることが (図-4) から, 有機物に含まれる官能基の量を表している可能性が高い。Initial の場合 (Case1-1, 2-1, 3) は 1→2 の手法では 2 回目にほとんど陽イオンが溶出しておらず, 吸着陽イオンを Na^+ や K^+ に交換した Case1-2, 1-3, 2-2, 2-3 では 1→2 の手法でも 2 回目に Na^+ と K^+ が合計 4.2 cmol/kg 程度溶出した。この吸着陽イオンは鉱物の表面・層間に吸着されていたものと予想され, 吸着陽イオンを Na^+ , K^+ に交換する際に何度も泥を攪拌していることから鉱物の表面・層間に Na^+ や K^+ が吸着し, 粘土鉱物の表面・層間の吸着陽イオンとの交換性の高い NH_4^+ を用いた手法 2 ではそれらのイオンが溶出してきたものと考えられる。これらのことから, 手法 1 と手法 2 の差から有機物の官能基が持つ吸着サイト量, 手法 1 の後に手法 2 を続けて行うことで表面・層間の吸着サイト量を推定できる可能性が示された。

(3) 堆積泥に含まれる有機物の分画

図-6 に(a)堆積泥, (b)浚渫泥に対して窒素雰囲気燃焼後 (N_2) に空気雰囲気燃焼 ($N_2 \rightarrow Air$) した結果と空気雰囲気燃焼 (Air) した IL と DTA の測定結果を示す。また, IL の結果には窒素雰囲気燃焼での減量と空気雰囲気燃焼の結果を足し合わせた結果を Sum ($N_2 \rightarrow Air$) として加えている。堆積泥と浚渫泥では窒素雰囲気燃焼後の空気雰囲気燃焼での IL が大きく異なり, 浚渫泥には空気雰囲気燃焼で酸化分解される物質が含まれていないことがわかる。また, 図-6(b)の $N_2 \rightarrow Air$ では $400^\circ C$ 以降に IL が負になっており, 堆積物中に含まれる鉄やマンガンなどの重金属の酸化によって重量が増加したと考えられる。この手法により, 熱分解せず, 酸化分解する物質 (例えば炭素 (C) を含む化合物など) の含有量を特定できる可能性が示唆された。

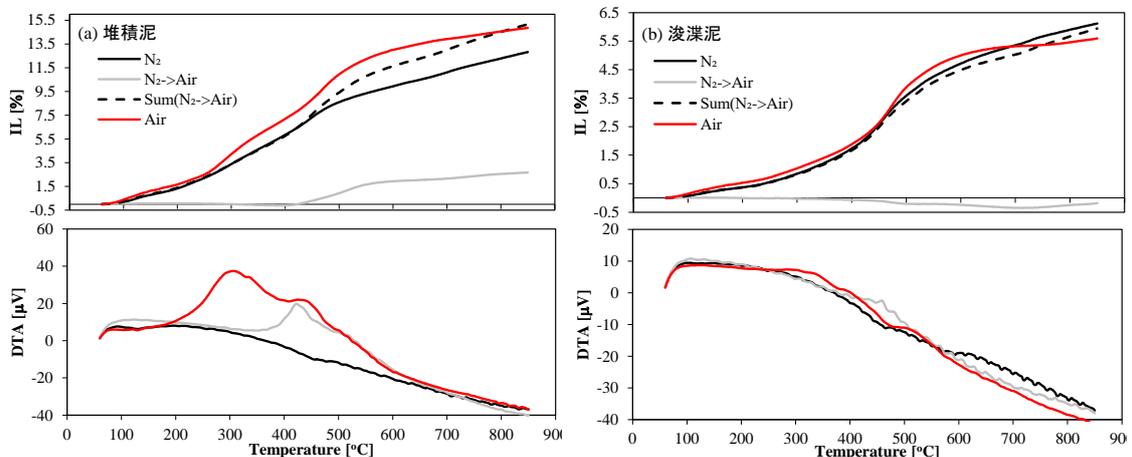


図-6 (a)堆積泥, (b)浚渫泥に対して窒素雰囲気燃焼後に空気雰囲気燃焼した結果と空気雰囲気燃焼した IL と DTA

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 NAKASHITA Shinya, SHIMOKATA Kanji, KIM Kyeongmin, HIBINO Tadashi	4. 巻 76
2. 論文標題 INVESTIGATION OF MEASUREMENT CONDITIONS OF DIFFERENTIAL THERMAL ANALYSIS METHOD FOR SEDIMENT	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B2 (Coastal Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_1027 ~ I_1032
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.76.2_I_1027	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 SHIMOKATA Kanji, KIM Kyeongmin, HIBINO Tadashi, NAKASHITA Shinya	4. 巻 76
2. 論文標題 REDUCTION OF WATER RETENTION AND CATEGORIZATION OF CATION ADSORPTION SITES CONSIDERING ADSORBED CATION ON SEDIMENT	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B2 (Coastal Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_907 ~ I_912
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.76.2_I_907	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 NAKASHITA Shinya, MITO Yugo, OIKAWA Takahito, HIBINO Tadashi	4. 巻 76
2. 論文標題 MECHANISM OF SEDIMENT DEPOSITION INTO GRANULATED COAL ASH LAYER	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B3 (Ocean Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_804 ~ I_809
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejoe.76.2_I_804	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 Shinya NAKASHITA, Kyeongmin KIM, Yuki IMAMURA and Tadashi HIBINO	4. 巻 77
2. 論文標題 ESTIMATION OF CRITICAL SHEAR STRESS OF SEDIMENT USING ROTATIONAL VISCOMETER	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B2 (Coastal Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_1039 ~ I_1044
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 -

〔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 中下 慎也
2. 発表標題 堆積泥に吸着する陽イオンを考慮した保水性の低減と吸着サイトの分類
3. 学会等名 海岸工学講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中下 慎也
2. 発表標題 回転式粘度計を用いた底泥の限界せん断応力の推定
3. 学会等名 海岸工学講演会
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
---------------------------	-----------------------	----

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