有機泥に吸着するイオンが 泥の物理特性に及ぼす影響の把握

中下 慎也¹・森本 優希²・金城 信隆³・日比野 忠史⁴

¹正会員 広島大学助教 大学院工学研究院 (〒739-8527 東広島市鏡山1-4-1)

E-mail: nakashita@hiroshima-u.ac.jp

²学生会員 広島大学 工学研究科 (〒739-8527 東広島市鏡山1-4-1)

E-mail: y-morimoto@labotec.co.jp

³学生会員 広島大学 工学研究科 (〒739-8527 東広島市鏡山1-4-1)

E-mail: m151638@hiroshima-u.ac.jp

⁴正会員 広島大学准教授 大学院工学研究院 (〒739-8527 東広島市鏡山1-4-1)

E-mail: hibinot@hiroshima-u.ac.jp

本研究では有機泥の輸送・堆積機構の解明に向けて有機泥に吸着する陽イオンの測定手法を提案するとともに、陽イオンの種類や間隙水のイオン濃度を变化させた場合の有機泥の液性限界値の変化を明らかにした。陽イオン交換容量試験を参考にして有機泥に吸着する陽イオンを測定した結果、感潮域や海域の堆積泥では Na^+ 、 Ca^{2+} 、 K^+ 、 Mg^{2+} が主な吸着イオンであること、それぞれの吸着割合は堆積場所にかかわらず同程度であり、粘土・シルト分の含有量に依存して吸着量が変化していることがわかった。また、有機泥の液性限界値は間隙水のイオン濃度が同程度で有機泥に吸着する陽イオンを9割以上 Ca^{2+} イオンに変化させた場合には1割程度低下し、間隙水を海水から淡水に変化させた場合には1割程度増加することがわかった。

Key Words : adsorbed ion, cation exchange, organic mud, liquid limit, electrical double layer

1. はじめに

早期に合流式下水道が整備された都市河川では、近年の集中豪雨の頻発など計画を超える排水により有機物を多く含む未処理の下水が放流されている。有機物を多く含む下水は粘土やシルトなどの微細土粒子と結合し、有機泥として還元的な状態で過剰に河口域に堆積しており、都市河川を有する大都市では親水性の低下や悪臭の発生などが大きな問題となっている。土粒子表面は負に帯電しており、有機物や間隙水中の陽イオンが吸着することで電氣的平衡が保たれるとともに、有機泥の性質が大きく変化することが報告されている¹⁾。河口・沿岸域において有機泥は、河川上流から運ばれた微細土粒子に海水の豊富な陽イオン (Na^+ や Ca^{2+} 、 K^+ 、 Mg^{2+} など) が吸着するとともに、間隙水のイオン濃度が増加して粒子間の反発力を失わせ、河川中の有機物と凝集 (フロック化) し、沈降速度を速めて堆積する。

粘土工学分野やコロイド化学分野などにおいては、単純な微細土粒子 (ベントナイトやカオリンなど) に対してイオン交換を行った場合の強度や粘度などの変化について検討した例は多くある^{2,3)}。しかしながら、微細土

粒子に有機物が吸着した有機泥については有機物の特性が様々であり現象の把握が難しいことから、有機泥を対象とした研究は少なく、その特性は明らかになっていないのが現状である。

これまで、未処理下水の放流がある広島県の中心部を流れる太田川に堆積する泥を用いた室内実験にて間隙水の塩分が低く、土粒子への Na^+ イオンの吸着量が少ないと考えられる場合に有機泥の液性限界値が高くなる (巻き上がり量が多くなる) という結果が報告されており⁴⁾、土粒子に吸着する有機物や陽イオンの量が干潟のヘドロ化機構の解明に重要であることが示唆されている。

本研究では、有機泥の輸送・堆積機構の解明に向けて有機泥に吸着する陽イオンの測定手法を提案するとともに、陽イオンの種類や間隙水のイオン濃度を变化させた場合の有機泥の液性限界値の変化を明らかにした。

2. 土粒子に吸着するイオンと物理特性の関係

水中に浮遊するコロイド粒子の分散、凝集現象は一般的に、粒子間の電気反発力 (斥力) とファン・デル・ワールス力 (引力) の和で表されるという DLVO 理論を

図-1 土粒子に吸着するイオンと周辺に形成される電気二重層の模式図⁸⁾

用いて検討される⁹⁾。本研究では、Michaels^ら⁹⁾やAdachi^ら⁷⁾の研究を参考にして、有機泥の限界せん断応力が発現する主な原因は表面力による粒子間相互作用であることを仮定する。静電反発力によるエネルギー U_e は(1)式、式中の κ は(2)式で表される。

$$U_e = \frac{64k_B T v_\infty \gamma^2}{\kappa} \exp(-\kappa L) \quad (1)$$

$$\kappa = \sqrt{\frac{e^2}{\epsilon k_B T} \sum v_i z_i^2} \quad (2)$$

ここで、 k_B はボルツマン定数[J/K]、 T は絶対温度[K]、 v_∞ は溶液の全イオン濃度[mol/l]、 γ は表面電位[V]、 κ はデバイ長の逆数[1/m]、 v_i は*i*種の溶液の全イオン濃度[mol/l]、 z_i は*i*種のイオン電荷数[C]、 ϵ は誘電率[C²/J・m]である。ここに、 $1/\kappa$ で表されるデバイ長は土粒子まわりの電気二重層の厚さを表しており、電気二重層の厚さが変化すると静電反発力によるエネルギー U_e が変化し、粒子間における凝集や反発力が変化する。

粘土粒子の表面は一般的に負に帯電しているため、土粒子表面には Na^+ 、 Ca^{2+} 、 K^+ 、 Mg^{2+} などの交換性陽イオンが電氣的に吸着している。この粘土粒子が溶液と接すると、土粒子表面に吸着している陽イオンが一部解離して電気二重層(拡散イオン層)を形成する(図-1)。電気二重層の厚さは一般的には数Å～数百Åといわれているが、DLVO理論における静電反発力によるエネルギーは電気二重層の重なり合いに基づく静電的な反発力であるため、電気二重層が厚くなれば反発力が大きくなり凝集しにくく、薄くなれば反発力が小さくなり凝集しやすくなる。(2)式で示される電気二重層の厚さは土粒子に吸着している陽イオンに依存するため、土粒子に吸着できるイオンの容量を表すCEC (Cation Exchange Capacity) や陽イオンの解離度が大きくなれば厚くなる。一方で、

図-2 実験に用いた泥の採取地点

図-3 各地点の泥の粒度組成

電気二重層の厚さは溶液のイオン濃度にも依存しているため¹⁾、溶液のイオン濃度が高くなれば薄くなる。

これらのことから、有機泥に吸着する陽イオンの種類や量が変化することで電気二重層の厚さが変化し、粒子間の凝集力が変化して限界せん断応力等の物理特性が変化することが予想される。次章以降では有機泥に吸着する陽イオンを把握する手法を提案し、測定するとともに、その種類を変化させた場合の物理特性の変化について検討した。

3. 海底や河岸に堆積した有機泥の間隙水に含まれる陽イオン

(1) 使用した泥の性状

実験には図-2に示すSt. 1 (江波, 15/4/17採取), St. 2 (京橋, 15/6/17採取), St. 3 (福山, 15/6/29採取), St. 4 (呉, 15/5/19採取)の泥を用いた。St. 1は太田川市内派川の河口付近, St. 2は河口から8 km上流地点に位置して

いる。St. 1やSt. 2の泥は太田川市内派川の河岸に堆積した泥であり、下水放流の影響を受けた堆積泥である⁴⁾。St. 3の泥は海底泥であり、下水起源の堆積泥である⁹⁾。一方で、St. 4の泥は植物プランクトン等の一次生産が主な起源の泥である¹⁰⁾。

図-3に各地点の泥の粒度組成を示す。75 μm 以下の割合はSt. 1で64 %、St. 2で94 %、St. 3で88 %、St. 4で97 %とSt. 1を除いてほぼ90 %が粘土・シルト分であり、St. 1の泥には細砂や中砂も含まれている。実験においては425 μm のふるいを通過した試料を使用した。

(2) 有機泥の間隙水に含まれるイオン

図-4にはそれぞれの地点における泥の間隙水の Na^+ 、 Ca^{2+} 、 K^+ イオン濃度、電気伝導度（Electric Conductivity, EC）が示されている。間隙水は3000 rpmで遠心分離することで抽出し、間隙水の Na^+ 、 Ca^{2+} 、 K^+ イオン濃度をコンパクトメータ・水質分析計（LAQUA Twin, HORIBA）、ECを電気伝導率計（ES-51, HORIBA）で測定した。図中では Na^+ イオン濃度は1/10倍、ECは100倍した値が示されている。

一般的に海水では Na^+ が10000 mg/L、 Ca^{2+} が400 mg/L、 K^+ が400 mg/L程度であるが、海域に位置するSt. 3、St. 4ではSt. 3の Ca^{2+} イオン濃度を除き海水と同程度のイオン濃度となっている。一方で、St. 1、St. 2は感潮域に位置しているためECが低く、ECの低下に比例して各イオン濃度も低下している。St. 3のみ Ca^{2+} イオン濃度が800 mg/Lと一般的な海域と比較して2倍程度高いのは調査地点付近では下水の放流が顕著であることや Ca^{2+} イオンを溶出する石炭灰造粒物が散布されていること⁴⁾などが理由であると考えられる。

4. 土粒子に吸着するイオンの測定方法の提案

(1) 土粒子に吸着するイオンの測定方法

土粒子に吸着できるイオンの容量がCECであり、その測定方法は例えば地盤工学会基準では土の陽イオン交換容量の試験方法（JGS 0261-2009）¹¹⁾に示されている。この試験方法では乾燥試料2.5 gの試料に対し、0.1 mol/Lの塩化バリウム（ BaCl ）溶液30 mLを加え、1時間振とうし、遠心分離後の上澄み水を取り出す。イオン交換順位は電荷が大きい方がイオン交換しやすく、同じ電荷であれば原子半径が大きい方が交換しやすいことから、 $\text{Ba}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$ の順で交換しやすい。 Ba^{2+} は Ca^{2+} や K^+ 、 Na^+ よりもイオン交換しやすいため、この作業を3回繰り返すことで土粒子に吸着するイオンを全て Ba^{2+} に置換させる。その後0.0025 mol/Lの塩化バリウム溶液30 mLを加え、一夜振とうさせ、上澄み水を取り除いた後0.02 mol/Lの硫酸マグネシウム（ MgSO_4 ）を30 mL加えて一夜

図-4 各地点の有機泥に含まれる間隙水のイオン濃度とEC（Naは1/10倍、ECは100倍した値が示されている）

図-5 振とう回数に伴う間隙水の電気伝導度の低下

振とうさせる。硫酸マグネシウムを用いて Ba^{2+} と SO_4^{2-} を化学的に反応させることで、土粒子に吸着していたBaの代わりに Mg^{2+} を吸着させ、添加直後に0.02 mol/Lあった硫酸マグネシウムの Mg^{2+} イオン濃度の減少量からCECを算出する。

土粒子に吸着するイオンを Ba^{2+} イオンに置換する際には、もともと土粒子に吸着していたイオンが Ba^{2+} イオンと交換されて溶液中に放出される。この抽出液に含まれるイオンを測定することで土粒子に吸着するイオンを測定することが可能である。ただし、CEC測定においては風乾試料を用いることになっており、海底や感潮域の河岸に堆積した試料には間隙水に含まれる高濃度のイオンが水の蒸発に伴い土粒子表面に残留しているため、吸着イオンを測定する場合には見かけ上溶液のイオン濃度が高くなる。地盤工学会基準において土粒子に吸着するイオンの測定は、間隙水に可溶性の塩類を含んでいない場合に用いる手法として示されている。

今回は海底や感潮域の河岸を対象としているため、間隙水を起源とするイオンの影響を取り除く前処理を追加した試験方法を提案した。具体的には、乾燥重量2.5 gの試料に対して30 mLの脱イオン水を加えて1時間振とうする操作を3回繰り返す前処理を追加した。図-5にはSt. 3の泥を対象に実施した本手法によるイオンの影響の除去効果が示されている。間隙水は海水のため、間隙水のEC

は4 S/m程度あるが、30 mLの脱イオン水で希釈しているため、1回目の振とうで0.7 S/mまでECが低下している。その後、操作を3回繰り返すことで間隙水を起源とするイオンの影響を90 %以上取り除くことができていることがわかる。この提案した試験方法では土粒子に吸着する陽イオンを測定した後、続けてCECも測定できるため、CECの測定も実施した。今回対象とした陽イオンはLAQUA Twinで測定可能な Ca^{2+} 、 Na^{+} 、 K^{+} とした。St. 2、St. 3の泥に対してはICP発光分光分析（ICP-AES Optima 7300DV, Perkin Elmer製）を用いて主要なイオン濃度についても測定した。

(2) 間隙水のイオンと土粒子に吸着するイオンの関係

図-6に各地点の泥に吸着する Na^{+} 、 Ca^{2+} 、 K^{+} イオン量とCECを示す。また、図中には4～6回測定した吸着イオンの測定結果の誤差範囲も示されている。

有機泥に吸着する陽イオンは海水に主に含まれる Na^{+} 、 Ca^{2+} 、 K^{+} であり、 $\text{Na}^{+}+\text{Ca}^{2+}+\text{K}^{+}$ イオンの合計値をCECと比較すると吸着している陽イオンの8割以上が Na^{+} 、 Ca^{2+} 、 K^{+} であることがわかった。 Ca^{2+} の吸着量はSt. 3のみ他地点と比較して倍程度の濃度となっている。これはSt. 3の間隙水の Ca^{2+} イオン濃度が他地点と比較して2倍程度高いことに起因していると予想される。イオン交換順位より、 $\text{Ca}^{2+} > \text{K}^{+} > \text{Na}^{+}$ の順で交換しやすいため、 Ca^{2+} イオン濃度は Na^{+} イオン濃度と比較して低いが、イオン交換のしやすさから最も土粒子に吸着していることがわかる。

図-7には細粒分割合とCECの関係が示されている。イオンは主に粒径の細かい粘土鉱物や有機物に吸着しているため、細粒分割合が60 %程度と低いSt. 1では吸着イオン量が低くなっている。吸着イオン量は細粒分割合に依存し、吸着している陽イオンの種類は海域であるSt. 3、St. 4と感潮域であるSt. 1、St. 2では両地点とも海水の影響を受けるため似た傾向にあることがわかった。

LAQUA Twinを用いた測定では Ca^{2+} 、 K^{+} 、 Na^{+} のみしか測定できないため、ICP-AESを用いてSt. 2、St. 3に含まれる主要のイオン濃度を同時に測定した。測定結果を表-1に示す。分析結果より、P、S、Mn、Fe、Alは検出限界値以下であり、土粒子に吸着しているイオンは主にNa、K、Ca、Mgであること、LAQUA Twinを用いた測定結果はICPと比較して10 %以内の誤差で測定できることがわかった。Ba濃度が高いのは土粒子に吸着するイオンを高濃度のBaCl溶液中に浸漬させることでBaと交換させたためである。

図-8にはICP分析結果から得られた吸着イオン量が示されている。表-1より有機泥に吸着している主要な陽イオンは Na^{+} 、 Ca^{2+} 、 K^{+} 、 Mg^{2+} であることから、この4種類のイオンを合計した値がCECと同程度の値になることが予想される。St. 2においては合計値とほぼ等しいが、St.

図-6 土粒子に吸着する Na^{+} 、 Ca^{2+} 、 K^{+} イオン量とCEC

図-7 細粒分割合とCECの関係

表-1 St. 2、St. 3の泥に吸着するイオン量

Unit [mg/L]	ICP-AES		LAQUA Twin	
	St. 2	St. 3	St. 2	St. 3
P	<0.1	<0.1		
S	<0.2	<0.2		
Na	25	46	26.5	41
K	11	22	12	18
Ca	35	92	52.5	110
Mg	36	31		
Mn	<0.1	<0.1		
Fe	<0.1	<0.1		
Al	<0.1	<0.1		
Si	0.9	2.1		
Ba	11000	13000

図-8 ICP分析結果から得られた吸着イオン量

3においては Ca^{2+} イオン濃度が高いことに依存して大きな差が生じている。図-6では Mg^{2+} イオン濃度が含まれていないが、St. 3以外のCECは Na^{+} 、 Ca^{2+} 、 K^{+} の合計値と同

程度であることから、4種類のイオンを合計した値がCECと同程度の値にならない理由は測定精度の問題では無く、調査地点の特異性によるものと予想される。

5. 有機泥に吸着するイオンや間隙水のイオン濃度を变化させた場合の液性限界値の変化

(1) 土粒子に吸着するイオン濃度や間隙水のイオン濃度の異なる試料の作成方法と物理特性の検討方法

0.5 mol/LのCaCl溶液（海水の主成分をNaClと考えた場合と同程度のイオン濃度）に有機泥を混合・攪拌させることで有機泥に吸着するイオンをCa²⁺イオンに変化させた有機泥を作製した。吸着イオンの変化前後において有機泥に対してフォールコーン試験を実施し、液性限界値を求めた。液性限界試験には200 g程度の試料が必要となるため、4章2節と同様の方法では必要量の試料を確保することが困難である。そのため、固液比1：10の割合で有機泥とCaCl溶液を混合し、200 rpmで4時間攪拌し、6時間以上静置した。この操作をあと2回繰り返すことで有機泥に吸着する陽イオンをCa²⁺イオンに置換した。その後、間隙水に含まれるCaClを除去するため、上澄み水の電気伝導度が0.1 S/m以下になるまで脱イオン水を用いて同様の手順で洗浄した。

有機泥の液性限界値はフォールコーン試験機（DH-22NM，誠研舎）を用いて計測した。フォールコーンは先端角が60°，重量が60 gのコーンを用いた。液性限界試験はJGS0142に基づいて流動曲線を作成し、貫入量が11.5 mmの含水比を液性限界値とした。

(2) CaCl溶液混合前後における吸着イオンの変化

前節に示した方法で作成したCaCl溶液を混合したSt. 3, St. 4の泥に対して吸着イオンが変化したことを確認するため、4章2節で提案した手法を用いてCaCl溶液混合前後で有機泥に吸着する陽イオンとCECを測定した。

CaCl溶液混合前後での吸着イオン量を表-2に示す。St. 3, St. 4ともCaCl溶液に混合することで吸着イオンの90%以上がCa²⁺イオンに変化していることがわかる。CECは混合前後で変化がほとんど確認されないことから、有機泥をCaCl溶液に混合することで強制的に有機泥に吸着するイオンをCa²⁺イオンに交換できていることがわかる。

(3) イオンの変化が泥の液性限界値に及ぼす影響

有機泥に吸着する陽イオンの9割以上をCa²⁺に交換した有機泥や間隙水のイオン濃度を海水から淡水に変化させた有機泥に対して液性限界試験を実施し、液性限界値の変化について検討した。表-3には実験に用いた試料とそれぞれの有機泥の表面に吸着している陽イオンの種類、間隙水のイオン濃度、液性限界値、図-9には土粒子に吸

表-2 CaCl溶液混合前後での吸着イオン量

	Na	Ca	K	Total	CEC
	cmol(+)/kg	cmol(+)/kg	cmol(+)/kg	cmol(+)/kg	cmol(+)/kg
St. 3 -Raw	7.61	12.60	2.10	22.31	20.14
St. 3 -CaCl	0.96	29.00	0.62	30.57	-
St. 4 -Raw	9.74	11.65	2.36	23.75	26.62
St. 4 -CaCl	1.22	47.50	0.72	49.44	26.19

表-3 実験に用いた試料の性質と液性限界値

	吸着イオンの種類	間隙水のイオン濃度 [mol/L]	Liquid Limit [%]
St.3-Raw	Ca,Na,K,Mg	0.5	88.5
St.3-CaCl	Ca	0.5	80.5
St.3-CaCl→Elix	Ca	0.0	95.0
St.4(1)-Raw	Ca,Na,K,Mg	0.5	167.5
St.4(1)-CaCl→Elix	Ca	0.0	189.3
St.4(2)-Raw	Ca,Na,K,Mg	0.5	142.4
St.4(2)-Raw→Elix	Ca,Na,K,Mg	0.0	163.4
St.4(2)-CaCl	Ca	0.5	123.6

図-9 土粒子に吸着するイオンと間隙水のイオン濃度の違いによる流動曲線と液性限界値の変化

着するイオンと間隙水のイオン濃度を变化させた場合の流動曲線が示されている。なお、St. 4については有機泥に吸着する陽イオンや間隙水のイオン濃度を变化させて2回液性限界試験を実施したが、使用した有機泥の含水

比が初期状態で20 %程度異なっていたため、St4 (I), St. 4(2)と区別して結果をまとめている。

有機泥の種類によらず、間隙水のイオン濃度が低下すると液性限界値は1割程度増加する。これは、間隙水のイオン濃度が低下すると電気二重層が厚くなり、土粒子の分散が起こりやすく、含水比が増加するためと考えられる。また、間隙水のイオン濃度が同程度で吸着するイオンを9割以上 Ca^{2+} に変化させた場合、液性限界値は1割程度低下する。これは、有機泥に吸着する陽イオンの9割以上が2価のCaに置換されることで有機泥に吸着する陽イオン量が低下し、電気二重層が薄くなり、土粒子の凝集が起こりやすく、含水比が低下するためと考えられる。これらのことから、有機泥に吸着する陽イオンや間隙水のイオン濃度によって変化する液性限界値は電気二重層の厚さを考えることで説明できることがわかった。

6. おわりに

本研究では、有機泥に吸着する陽イオンの種類や間隙水のイオン濃度が変化することで有機泥の物理特性が変化する事を明らかにした。本研究結果から有機泥の輸送・堆積機構を検討する上で電気化学的な要因を考慮することの重要性が示唆された。主要な結論を以下に示す。

- (1) 有機泥に吸着している陽イオン量を測定する手法を提案し、提案した手法の妥当性を確認した。
- (2) 感潮域や海域の堆積泥では Na^+ 、 Ca^{2+} 、 K^+ 、 Mg^{2+} が主な吸着イオンであること、それぞれの吸着割合は堆積場所にかかわらず同程度であり、粘土・シルト分の含有量に依存して吸着量が変化している。
- (3) 有機泥の液性限界値は間隙水のイオン濃度が同程度で有機泥に吸着する陽イオンを9割以上 Ca^{2+} イオンに変化させた場合には1割程度低下し、間隙水を海水から淡水に変化させた場合には1割程度増加する。また、これらの液性限界値の変化は電気二重層の厚さの変

化によって説明できることを示した。

謝辞：本研究は本研究は科学研究費補助金（研究課題番号：15K00514と15K18124）によるものである。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 阿部真己, 中下慎也, 日比野忠史: 感潮域における堆積有機泥の巻き上げ機構のモデル化, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.67, pp.1146-1150, 2011.
- 2) C. Chassagne, F. Mietta, J.C. Winterwerp: Electrokinetic study of kaolin suspensions, *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol.336, pp.352-359, 2009.
- 3) Marek Kosmulski, Per Dahlsten: High ionic strength electrokinetics of clay minerals, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, Vol.291, pp.212-218, 2006.
- 4) 阿部真己, 今川昌孝, 駒井克昭, 日比野忠史: 汽水干潟域での有機物の輸送・堆積特性, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), No.66, No.1, pp.1091-1095, 2010.
- 5) 足立泰久, 岩田進午: 土のコロイド現象 (土・水環境の物理化学と工学的基礎), 学会出版センター, pp.246-249, 2003.
- 6) Michaels, A. S. and Bolger, J. C.: The Plastic Flow Behavior Flocculated Kaolin Suspensions, *I&EC Fundamentals*, Vol.1 (3), pp.153-162, 1962.
- 7) Adachi, Y., Nakaishi, K. and Tamaki, M.: Viscosity of a Dilute Suspension of Sodium Montmorillonite in a Electrostatically Stable Condition, *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol.198, pp.100-105, 1998.
- 8) 大坪国順: 底泥の物性および流送特性に関する実験的研究, 国立公害研究報告第 42 号, p.49, 1983.
- 9) 中下慎也, 加納一成, TOUCH NARONG, 日比野忠史: 沿岸域に拡散・堆積する油脂類の変動特性の解明, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.70, No.2, pp.1086-1090, 2014.
- 10) 高御堂良治, 永尾謙太郎, 日比野忠史, 松本英雄: 海面清掃船に設置された自動水質測定装置を用いた有機懸濁物質の沈降・堆積量の把握, 海岸工学論文集, Vol.53, pp.1156-1160, 2006.
- 11) 地盤工学会: 地盤材料試験の方法と解説, 丸善, pp.361-367, 2010.

(2016.3.16 受付)

EFFECT OF ADSORBED ION ON ORGANIC MUD FOR LIQUID LIMIT

Shinya NAKASHITA, Yuki MORIMOTO, Nobutaka KINJO
and Tadashi HIBINO

Soil particle surface has negatively charge. Characteristics of organic mud change with adsorption of cation and organic matter has been reported. Understanding of transport and deposition of organic mud, we proposed a new measuring method of adsorption ion of organic mud. Moreover, we cleared that liquid limit varies because of the changing the type and cation concentration and ion concentration of pore water.

Amount of adsorption cation was measured based on the cation exchange capacity test. Adsorption cation of the sediment located at the tidal river and sea bottom were almost Ca^{2+} , Na^+ , K^+ and Mg^{2+} . The ratio of adsorption cation was same and adsorption cation varies with amount of clay and silt. In the 90 % cations adsorbed on the organic mud changed to Ca^{2+} , liquid limit of the mud decreased about 10 %. The pore water changed sea water to fresh water, liquid limit of the mud increased about 10 %. These phenomena can explain thickness of electrical double layer.