

塩分および有機物が底質の再懸濁・沈降に及ぼす影響に関する研究

山口大学大学院理工学研究科	学生会員	○西村翔太
山口大学大学院理工学研究科	学生会員	内山卓也
山口大学大学院理工学研究科	正会員	山本浩一
首都大学東京 都市環境学部	正会員	横山勝英
山口大学大学院理工学研究科	正会員	関根雅彦
山口大学大学院理工学研究科	正会員	今井剛
山口大学大学院理工学研究科	正会員	樋口隆哉

1. はじめに

河川感潮部には懸濁物質を高濁度に保持している高濁度水塊が存在しており、塩分フロント付近で沈降速度が上昇することが知られている¹⁾。懸濁物質の沈降速度上昇には、塩分による粘土粒子の凝結や細胞外ポリマー（EPS）による懸濁物質の凝集が影響していると考えられている。しかしながら、それらが具体的に沈降速度をどのように変化させているのかについては研究が不足している。そこで本研究では、高濁度水塊中における懸濁物質の沈降速度の上昇に対する塩分や有機物濃度の影響を明らかにすることを目的とする。

底泥は、懸濁物質が凝集して沈降することにより形成されるので、底泥間隙水中の塩分を調べることで凝集時の塩分が把握できると考えた。そこで、本研究では筑後川感潮河道における最も底泥の堆積が著しい場所において、底泥のコアサンプリングを行い、まず底泥間隙水の塩分を調べた。その後底泥内への塩分侵入状況について室内実験および現地の塩分状況に基づく再現計算を行った。塩分が沈降速度分布や再懸濁速度に及ぼす影響を明らかにするため、現地底泥を用い

て有機物を除去する場合と除去しない場合について室内実験を行った。

2. 研究方法

2.1 現地調査方法

調査地点は筑後川の河口から 14 km の地点（図-1）であり、2010 年 6 月 13 日、8 月 27 日、9 月 12 日、10 月 9 日についてコアサンプラーを用いてコアを採取した。

このうち 9 月 12 日については全長 1 m のコアをダイバーによってサンプリングした。サンプリング後、コアを 2 cm ごとにカットし、底泥のせん断強度を測定した。実験室に持ち帰った底泥は蒸留水で希釈した後に電気伝導度計で電気伝導度を測定し、含水率で換算することにより底泥中の間隙水の電気伝導度を計算した。9 月 12 日の調査では、上記の調査と併せて筑後川の縦断方向の表層底泥間隙水の塩分についても調査した。

2.2 底泥中への塩分の侵入状況の再現実験

塩分は底泥に拡散によって侵入することから、海水を用いた底泥コアサンプル内への拡散実験を行った。深さ約 10cm 分のコアサンプル（2010/10/9 筑後川河口 14 km 地点で採泥、含水率 60~70 %）を、海水で満たされた水槽内に入れ、時間経過とともに直上水が底泥中の塩分に及ぼす影響を調べた。コアは 1 cm 毎にカットし、実験開始の 1 日後、14 日後にカットを行った。

2.3 沈降実験

塩分の異なる水 1 ℓ に底泥 10 g（2010/8/27 筑後川河口 14 km 地点で採泥）を入れ、フロッキュレータにセットし、120 rpm で 3 分間、50 rpm で 10 分間攪拌した後、時間経過とともに水面から 5 cm 下の位置で採水し各電気伝導度における沈降速度分布を取得した。

沈降速度分布は、横軸に沈降速度 w 、縦軸に累積濁度と沈降フラックスの累積頻度を取ったグラフを作成し、

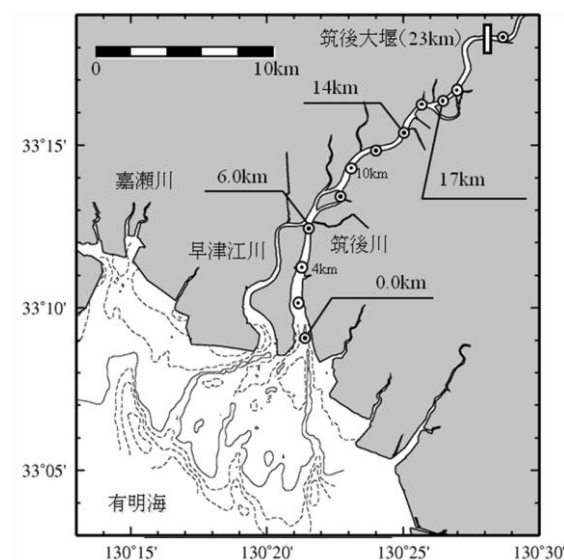


図-1 調査対象水域

累積頻度が 50 %のところを中央沈降速度として、各電気伝導度における中央沈降速度を算出した。

濃度基準中央沈降速度 w_{c50} は (1) 式から、また、フラックス基準中央沈降速度 w_{f50} は、沈降フラックス (Mass Settling Flux ; MSF) を (2) 式で定義すると (3) 式であらわされる。

$$0.5 = \frac{1}{C} \int_0^{w_{c50}} c(w) dw \quad (1)$$

$$MSF = \int_0^{w_{max}} w \cdot c(w) dw \quad (2)$$

$$0.5 = \frac{1}{MSF} \int_0^{w_{f50}} w \cdot c(w) dw \quad (3)$$

ただし、 C : 試料水の濁度、 w : 沈降速度、 $c(w)$: 沈降速度 w における濁度である。ただし、 w_{max} : 最大沈降速度である。

2.4 再懸濁実験

塩分の異なる水 1 ℓ に湿泥 40 g (2010/8/27 筑後川河口 14 km 地点で採泥) を入れ、フロッキュレータにセットした後、回転数 10 rpm~150 rpm で各 2 分間ずつ計 30 分間攪拌した。採水は、攪拌を行う前に初期濁度として一回行い、その後は 30 秒ごとに水面から 5 cm 下の位置で行い、濁度を測定し再懸濁速度を算出した後グラフを描画し、濁度が顕著に上昇し始める掃流力を限界掃流力とした。

フロッキュレータの回転数から掃流力への換算は、単一粒径の掃流条件 (岩垣公式) を用い、粒径分画された数種類のシルトと砂を用いてフロッキュレータで再懸濁実験を行って定めた。

2.5 底泥中の有機物処理方法

ビーカーに入れた底泥 (2010/8/27 筑後川河口 14 km 地点で採泥、含水率 80~85 %) に過酸化水素 6 % 水溶液 (H_2O_2) を添加し、よく攪拌した後、 $105 \pm 5^\circ C$ の乾燥炉に入れ約 1 時間放置した。その後、乾燥炉から取り出し 15 時間以上放置して底泥内の有機物を過酸化水素で酸化して分解した。この処理によって EPS は 57% 分解した。

3. 研究結果および考察

3.1 筑後川感潮河道における底泥の分布特性

2010 年 9 月 12 日に採泥した筑後川の縦断方向の底泥の電気伝導度の分布を図-2 に示す。含水率は非常に高く 70% 以上であった。底泥間隙水の電気伝導度については前日の 2010 年 9 月 11 日満潮時に調査した底泥直上水の電気伝導度の縦断分布と概ね一致していた。

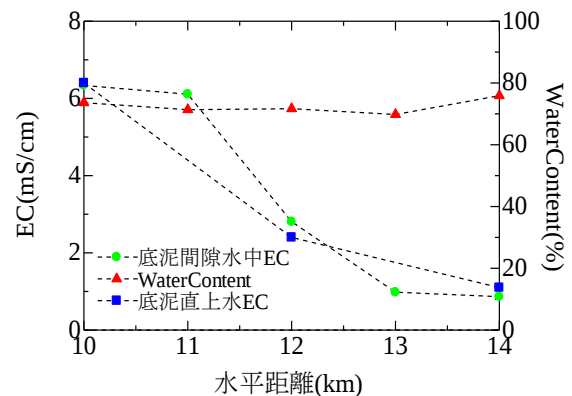


図-2 筑後川感潮河道における底泥間隙水および底泥直浄水の電気伝導度 (EC) , 含水率 (Water Content) の縦断分布 (2010 年 9 月 12 日)

3.2 高濁度水塊フロント付近 (筑後川 14km) における底泥の堆積状況

図-3 に 14km 地点における底泥の電気伝導度、含水率、ベーン剪断強度の鉛直分布を示す。全体的に底泥下層に行くほど含水率が低下し、せん断強度が増加している。表層底泥はほぼ剪断強度が $100 Pa \cdot s$ 以下の非常にゆるい底泥が堆積していて、ごく最近堆積したことを示している。

電気伝導度は鉛直方向に 60 cm 程度まで $700 \mu S/cm$ 前後で推移し、最も高くても $4000 \mu S/cm$ 程度 (塩分 2.6‰) であった。なお、拡散モデルによって現地の塩分データを表面に与えて底泥の塩分侵入を数値計算したところ、14km 地点における塩分変動では底泥の塩分プロファイルに影響はなく、現地では圧密により長期的に変化する可能性はあるものの、ごく表層においては堆積時の塩分が保持されていたと考えられた。よって、底泥の堆積は $1000 \mu S/cm$ 前後で活発に起こっていると考えられる。

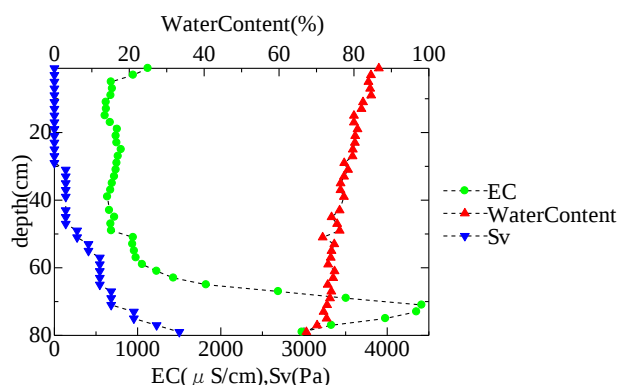


図-3 底泥の含水率 (Water Content), 電気伝導度 (EC), せん断強度 (Sv) の鉛直プロファイル (2010 年 9 月 12 日)

3.3 塩分, EPS の沈降速度分布への影響に関する実験結果

表-1 に 6% H_2O_2 処理前後での供試底泥の強熱減量と EPS の含有量の変化を示す。当初 EPS は $319.1 \mu\text{g/g}$ 含有されていたが, 処理によって $136.3 \mu\text{g/g}$ まで減少した。

図-4 に処理前後での沈降速度分布を示した。濃度基準中央沈降速度 w_{c50} は, EPS を多く含む底質で沈降速度が速くなった。また, 電気伝導度が高くなるほど沈降速度が速くなっているが, これは, 塩分の影響で粘土粒子が凝結することで, 沈降速度が非常に遅い粒子の沈降速度が増加したためだと考えられる。

一方で, フラックス基準中央沈降速度 w_{f50} は, 過酸化水素処理前後で顕著な差が生じなかった。むしろ, 沈降速度は過酸化水素処理した場合に低下する傾向がみられた。フラックス基準の場合, 沈降速度が速いシルトの影響が大きくなるが, これはほとんど有機物の影響を受けていないため, シルトがブロックに取り込まれないほうが, 沈降速度が増加することを示していると考えられた。

表-1 過酸化水素による有機物処理前後における供試底泥の強熱減量および EPS の測定結果

	有機物未処理	有機物処理
強熱減量(%)	12.16	6.56
EPS含有量($\mu\text{g/g}$)	319.1	136.3
EPS含有量(%)	0.032	0.014

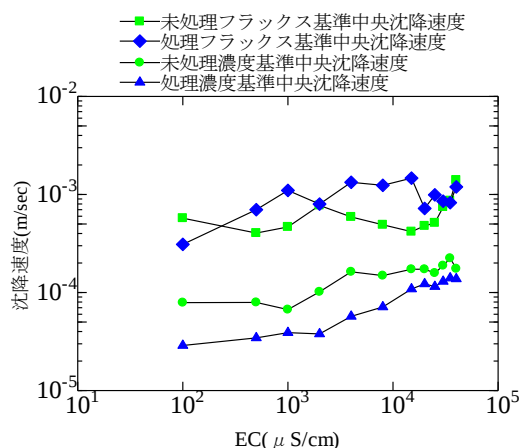


図-4 濃度基準中央沈降速度 (過酸化水素未処理 w_{f50} , 処理 w'_{c50}) およびフラックス基準中央沈降速度 (過酸化水素未処理 w_{c50} , 処理 w'_{c50})

3.5 塩分, EPS が再懸濁に及ぼす影響に関する実験結果

図-5 に過酸化水素処理前後での再懸濁実験結果を示す。過酸化水素処理によって, 限界掃流力が減少する傾向を示している。かつ塩分に比例して限界掃流力が大きくなる傾向が見られた。淡水環境下でも有機物の力だけで限界掃流力が高まり, 底泥の巻き上がりを抑制することが分かった。

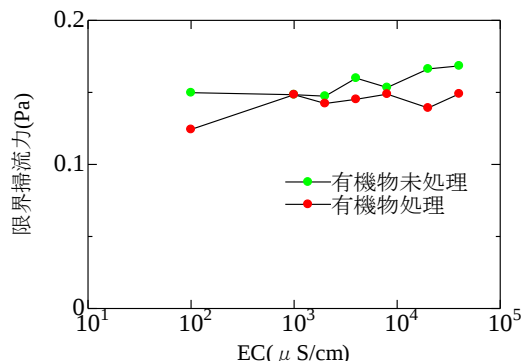


図-5 過酸化水素処理前後における限界掃流力の電気伝導度 (EC) への依存性の変化 (筑後川 14 km 底泥)

4. まとめ

高濁度水塊の発達が著しい筑後川河道において, 底泥中の塩分及び有機物が底質の沈降・再懸濁に及ぼす影響について調べた。底泥は強熱減量が 12 %程度であり, そのうち粘着性に影響を及ぼす EPS はグルコース換算で SS あたり 0.01 %~0.02 %含有されていた。これを H_2O_2 で処理する前後で底質の沈降・再懸濁について調べたところ, 次のことがわかった。

- 1)塩分により沈降速度が増加するのは、沈降速度が低い粘土粒子であり、シルトに対しては塩分の影響は小さい。
- 2)有機物の存在によって、粘土粒子の沈降速度は淡水環境下でも2倍以上速くなる。
- 3)底泥の限界せん断応力は有機物が付着していることでより高くなり、さらに塩分が高いと増加する傾向にあった。
- 4)過酸化水素処理した底泥においては、 $1000\mu\text{ S/cm}$ 以上における塩分の増加による限界せん断応力の変化はほとんどなかった。

謝辞：本研究の実施にあたり平成22年度科学研究費補助金（若手B，山本浩一）および河川環境管理財団河川整備基金（重点課題，横山勝英）の援助を受けた。現地観測の実施に際し，下筑後川漁協の塚本辰己氏には傭船の面で，いであ株式会社九州支店の皆様には機器設置の面でご助力いただいた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 宗宮功：自然の浄化機構（1999，技報堂出版）