

感潮河川域における底泥の堆積に関する研究

九州大学大学院 学生会員 ○宮市 哲 フェロー 楠田哲也
福岡大学工学部 正会員 渡辺亮一 正会員 山崎惟義

1. はじめに

有明海湾奥部に注ぐ六角川は、通常の状態では河口から上流に向かって常に微細粒子が輸送されているため、河道断面上に底泥が堆積しやすい傾向にある。このため、洪水流下能力を高めるために河道を拡張しても、わずか数年でもその状態に戻ってしまうのが現状である。このような感潮河川で安定河道断面を効率的に設計するためには、河道の平衡状態を予測する必要があるが、底泥の堆積現象が非線形性の強い現象であるために、これまで定量的に評価することは困難であるとされていた。本研究では、感潮河川域での底泥堆積モデルを構築することを最終目的としており、今年度はその基本的な部分を理解するために、底泥堆積に関する室内実験を行った¹⁾。その結果、底泥の堆積特性とせん断強度の関係が明らかとなり、解析に必要なパラメータを求めることができた。また、現象を単純化したモデルを用いることで、概ね堆積現象がシミュレート可能であることが確認できたので、報告させていただく。

2. 試料及び実験結果

本実験に用いた底泥は佐賀県新川で採取したもので、その物性値は真密度 2557kg/m^3 、含有有機物量10.4%、中央粒径 $16\text{ }\mu\text{m}$ であり、粒度組成は粘度分約83%、シルト分約16%、砂分約1%で地盤工学での三角座標分類では粘土に属している。実験は水平板を設置した水槽内に懸濁液を水平板上0.5mまで注入、静置(圧密過程)させた後に排水を行い(せん断破壊過程)、水平板上に堆積した底泥が干出した状態で静置した。この操作を繰り返すことによって擬似的に潮汐環境を作り出し、底泥干出時には底泥層の堆積厚を測定した¹⁾。

図1は底泥の堆積状況及び第12周期終了時の底泥層内鉛直方向の固体分率分布を示している。この図から、1潮汐当たりの堆積量は先端付近の表面勾配が大きい区間では少なく、先端から離れるほど多くなることがわかる。このことから、底泥の堆積に関する限界勾配が存在していることが明らかとなった。この限界勾配は底泥の強度に支配されており、圧密によって強度が増すと限界勾配も大きくなり、結果として底泥堆積厚も増加する。また、底泥層内の固体分率分布はどの地点においてもほぼ同じ分布形を示していることから、相似則を適用することが可能であると考えられる。

3. モデル化

実験から得られた堆積現象をシミュレートするために、現象を停潮時における懸濁物質の圧密過程及び落潮時におけるせん断破壊過程の2つに簡略し、モデル化を行う。図2はその概略を表している。

圧密過程については楠田らの解析手法²⁾を用い、透水係数及び有効応力を以下のように定式化した。

$$\rho_l g K = \alpha \left\{ \frac{\varepsilon^3}{(1-\varepsilon)^2} \right\}^{0.76} \quad (1)$$

$$\frac{P_s}{\rho_l g} = \beta (\varepsilon_c - \varepsilon)^m \quad (2)$$

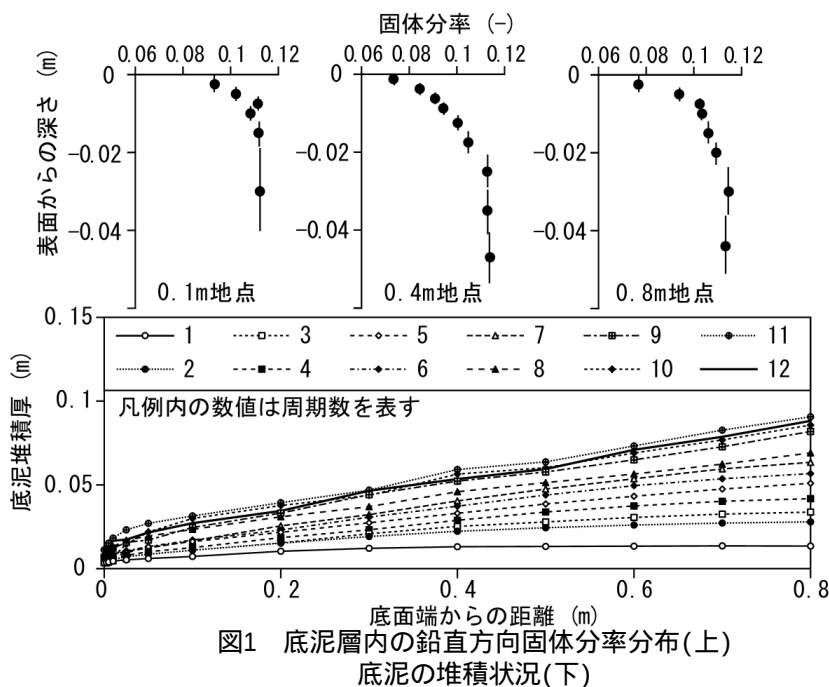


図1 底泥層内の鉛直方向固体分率分布(上)
底泥の堆積状況(下)

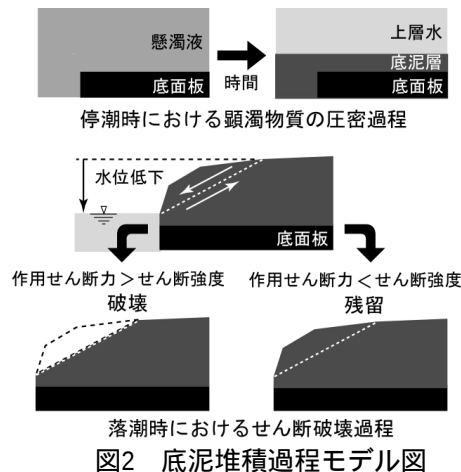


図2 底泥堆積過程モデル図

キーワード：底泥、シルテーション、圧密、せん断強度、フラクタル

連絡先：住所 福岡市東区箱崎6-10-1 電話 092-642-3241 FAX 092-642-3342

ここで P_s : 有効応力、 K : 透水係数、 ρ_l : 液相の密度、 g : 重力加速度、 $1-\varepsilon$: 固体分率、 $1-\varepsilon_c$: 有効応力発生限界固体分率、 α 、 β 、 m : 圧密時間の関数である。図3は圧密実験結果とシミュレーション値の比較を示している。この図から、この解析手法を用いることによって圧密現象を適切に評価できることがわかる。

次に、落潮時におけるせん断破壊過程に関しては、パラメータとなる底泥のせん断強度を実験により求めた。実験方法は水層に仕切り板を立て、一方に懸濁液を注入し所定の日数圧密させた後に仕切り板を取り外して底泥を自重でせん断破壊させる。後に底泥層内の固体分率分布と破壊した部分の形状からせん断強度を算出した。ここで底泥のせん断強度をフラクタルの概念で整理すると、関係式は以下で表される³⁾。

$$\tau \sim (1-\varepsilon)^{\frac{2}{3-D}} \quad (3)$$

式中の D はフラクタル次元であり、土粒子構造の複雑さを表す指標である。図4は固体分率とせん断強度の関係を示している。この図から浮泥の状態⁴⁾ではフラクタル次元が1.82であり、圧密の進行によって土粒子構造が複雑化し、最終的にはフラクタル次元が2.82まで漸近していく結果が得られた。実験値から、フラクタル次元を圧密時間 t (day) の関数とすると

$$D = 1.82 + (1 - e^{-\frac{t}{3}}) \quad (4)$$

として表すことができる。また、図4中の熊本港底泥の値⁵⁾は回転粘度計を用いて測定した結果を示している。そのせん断強度は、回転円筒部でのスリップ効果のために過小評価されがちである⁶⁾と指摘されている。今回の実験結果と比較するとその値は数千分の1程度であることが確認された。

4. シミュレーションおよび考察

図5は底泥堆積シミュレーション結果と実験値の比較を表している。実験開始から初期の段階では再現性のよい計算結果を得ることができた。しかしながら周期を重ねるごとに実験値とシミュレーション結果に差異が認められ始める。これは一旦堆積した底泥の圧密を考慮していないことが原因と考えられる。

5. まとめ

これまで、底泥のせん断強度は固体分率によって一義的に決定されていたが、本研究ではフラクタルの概念を用いてこれを整理し、フラクタル次元を圧密時間の関数としてせん断強度の定式化を行った。このパラメータを用いたシミュレーション結果は、従来のパラメータを用いた場合よりも精度の高い結果を得ることができ、実際の感潮河川域に適用可能な底泥堆積モデルの基礎を構築できた。

6. 参考文献

- 1) 宮市哲、渡辺亮一、山崎惟義、安井顕：感潮河川域における底泥の堆積に関する研究、土木学会西部支部年次学術講演会講演概要集、B96-B97、2002。
- 2) 楠田哲也、古賀憲一、栗谷陽一：汚泥の沈降濃縮に関する研究、土木学会論文報告集、第294号、59-71、1980。
- 3) C.Kranenburg : The Fractal Structure of Cohesive Sediment Aggregates, Estuarine Coastal and Shelf Science, vol39, 451-460, 1994。
- 4) 渡辺亮一：感潮河川域における浮泥の輸送と底泥形成に関する研究、九州大学学位論文、66、2000。
- 5) 鶴谷広一、中野晋、鷹濱潤：回転粘度計による底泥の流動特性の検討、港湾技術資料、No.556、1986。
- 6) 楠田哲也、二渡了、古賀憲一、栗谷陽一：改良型同心円筒回転粘度計による粘土懸濁液の流動特性の測定、衛生工学研究論文集、第21巻、91-99、1985。

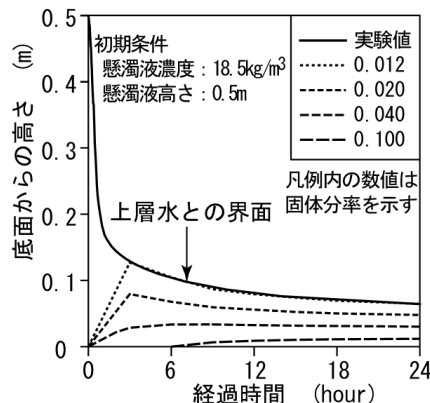


図3 圧密シミュレーション結果

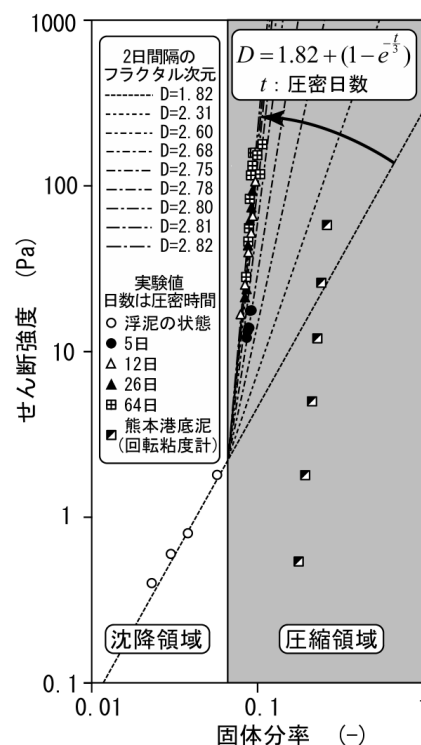


図4 せん断強度と固体分率の関係

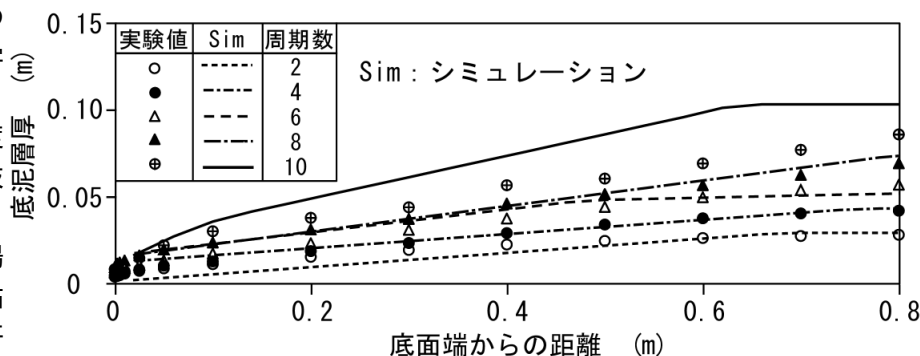


図5 底泥堆積シミュレーション結果