

令和元年6月11日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K18156

研究課題名(和文) 海岸・海底地形変化特性に必要な粘着力を考慮した混合土砂数値モデルの開発

研究課題名(英文) Development of numerical model of mixed soil considering the cohesive force of clay

研究代表者

趙容桓(CHO, Yonghwan)

名古屋大学・工学研究科・助教

研究者番号：00761082

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、混合土砂における粘土の流失による混合土砂の初期移動限界に及ぼす影響に着目し、粘土の流失を考慮した混合土砂の漂砂モデルを構築することを目的とした。波浪条件と粘土含有率による混合土砂からの粘土の流失特性を究明する断面2次元水理模型実験と規則波作用下で、異なる初期粘土含有率を有する混合土砂で構成される浅場地形の地形変動特性及び地形変化後の粘土の空間分布特性を検討する水理模型実験を実施した。また、水理模型実験の結果に基づいて粘土の流失現象と流失による混合土砂地盤の粘土含有率の変化を考慮した混合土砂の計算モデルを提案し、モデルの再現性および感度分析による粘土の流失特性を検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

混合土砂の地形変化は、粘土が一定量流失した後に生じること、混合土砂の粘土支配的、あるいは砂支配的な挙動はある粘土含有率で分類されることが判明した。さらに、地形形成過程において粘土の粘着力は、地形変動を遅延させる効果があるものの、粘土の含有率が小さい場合、時間の経過に伴った粘土の流失によって砂と同様な地形変化の傾向があることが明らかとなった。なお、これらの結果を踏まえて構築した混合土砂の計算モデルによって、混合土砂の移動特性についての理解がより深まると期待される。

研究成果の概要(英文)：This study presents the method to calculate sediment transport of mixed soil consisting of sand and clay based on the influence of clay loss from mixed soil bed on the initial motion of mixed soil. Two-dimensional laboratory experiments were conducted to investigate the characteristics of clay loss from mixed soil with the different wave conditions and the clay contents, and the characteristics of the spatial distribution of clay after the change of topography. In addition, based on the experimental results, the sediment transport model of mixed soil in the consideration of the clay loss phenomenon attributing to the change of the clay content was proposed and the validation and the sensitivity analysis of the model were examined.

研究分野：海岸工学，漂砂

キーワード：混合土砂 粘着力 粘土流失 粘土含有率 漂砂

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

沿岸域は、内陸と海洋を繋げる陸地で、経済・社会・環境的な価値が高く、観光・産業活動・レクリエーションの場として様々な便益を与える。しかし、河川整備・海岸構造物の増加・沿岸漂砂の採取など人為的な開発活動は、内陸からの土砂供給の低減とともに沿岸域の漂砂循環システムの不均衡をもたらした。さらに、海水面の上昇や異常気候現象による高波浪と高潮の頻繁な出現は、沿岸域の侵食を加速化させている。沿岸域の侵食対策は高費用であり、多様な侵食対策が施行されているものの、侵食制御工の効果は不確実性がある。効率的に沿岸域を守るためには、沿岸域における水理・漂砂現象の十分な工学的理解に基づいて侵食現象を検討することが極めて重要である。実際の沿岸域は非粘着性（砂礫）・粘着性（粘土）土砂が混在している混合土砂の状況であるため、侵食評価において砂礫底面に含まれている粘土の影響を考慮する必要がある。しかし、従来の侵食現象の評価は、粘着性土砂（粘土）の複雑な挙動特性のため、非粘着性土砂（砂および礫）に対して行われており、粘土に対する理解度は顕著に低く、粘着性土砂が海岸底質の挙動特性に与える影響が検討されていない。したがって、沿岸域を効率的に管理するためには、粘着性土砂が海浜及び海岸構造物周辺の侵食・堆積の傾向に及ぼす影響を的確に把握する必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、混合土砂における粘土の流失が混合土砂の移動限界に及ぼす影響に着目し、水理模型実験による粘土の流失特性を把握するとともに、粘土の流失を考慮した混合土砂の計算手法を提案し、混合土砂の地形変化特性を評価できる漂砂モデルを構築することを目的とする。具体的には、波浪条件と粘土含有率による混合土砂からの粘土の流失特性を究明する断面2次元水理模型実験と異なる初期粘土含有率を有する混合土砂で構成される浅場地形の地形変動特性及び地形変化後の粘土の空間分布特性を検討する水理模型実験を実施した。また、その実験結果に基づいて粘土の流失現象と流失による混合土砂地盤の粘土含有率の変化を考慮した混合土砂の計算モデルを提案し、モデルの再現性と感度分析による粘土の流失特性を検討した。

3. 研究の方法

(1) 粘土の流失特性

異なる波浪条件と粘土含有率による混合土砂からの粘土の流失挙動を解明するとともに、抜け出し現象が混合土砂の漂砂特性に与える影響を検討することを目的として、図-1に示すように水理模型実験を行った。所定の粘土含有率になるようにガラスビーズ（ $d_{50} : 0.9\text{mm}$ ）とカオリン（ $d_{50} : 0.001\text{mm}$ ）を攪拌して作成した混合土砂を移動床（長さ：1.2m、幅：0.3m）として設置した。その後、規則波を作用させ、そのときの浮遊泥濃度（ C_e ）、底面流速（ u , v ）、水位変動（ η ）を計測した。波作用時は、側面からビデオカメラにより、粘土の流失挙動及び地形変動を撮影した。

(2) 粘土流失による粘土含有率の空間的变化

混合土砂で構成される浅場の地形変動特性及び地形変化後の粘土の空間分布特性を検討するため、図-2に示す水理模型実験を実施した。水平床の岸側末端に木製隔壁板を設置し、水平床上に所定の初期粘土含有率になるように細砂（ $d_{50} : 0.465\text{mm}$ ）とカオリン（ $d_{50} : 0.008\text{mm}$ ）を攪拌して作成した混合土砂を1/20の勾配を有する浅場地形を造成した。静水条件下で18時間静置した後、規則波を作用させ、そのときの底面水平流速と水位変動を計測した。波作用時は、側面からビデオカメラにより地形変動と碎波の様子を撮影を行った。実験終了後にレーザー変位計を用いて最終地形を計測した。最終地形の特徴点から試料を採取し、粘土含有率を測定した。

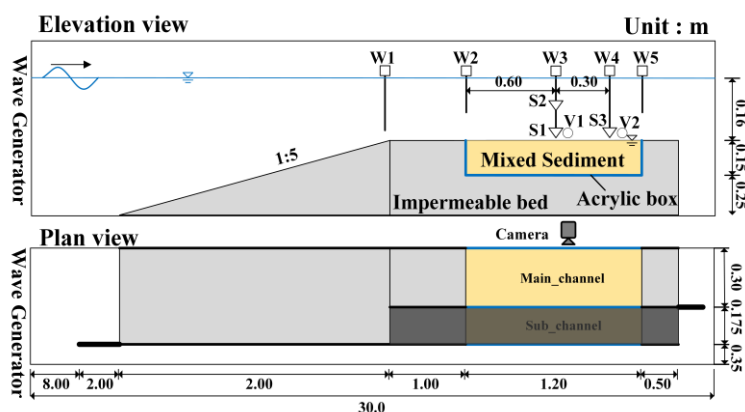


図-1 実験の断面図（上）と平面図（下）

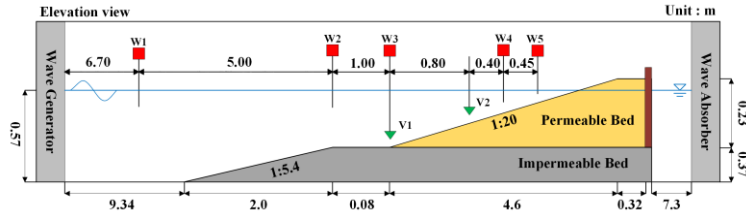


図-2 実験概略図

(3) 粘土の流失を考慮した混合土砂モデル

混合土砂の粘土流失による初期移動限界の変化を考慮した漂砂計算手法を提案し、提案した計算手法を組み込んだモデルの再現性と感度分析による粘土の流失特性を検討した。砂と粘土の幾何学的な特性から導かれた既往の混合土砂概念を基に、土質力学の示相図にしたがって、空隙を考慮したモデルに拡張した。また、既往の砂のみの漂砂モデルに、粘土の移動計算を追加し、粘土の有無を粘土含有率項の導入によって判断するようにした。粘土含有率は、混合土砂の空隙率と砂の移動限界にかかわる変数となり、粘土の流失による混合土砂の移動限界変化を、粘土含有率の変化より計算できるようにした。本研究では、工業用粘土の再現計算を対象としたため、粘土の移動を浮遊砂のみとみなし、粘土固有特性の *floc* の影響は考慮していない。地形変化計算は、砂の堆積を優先とした。その後、堆積する粘土は、格子内の粘土含有率を増加させる方法を採用し、限界粘土含有率を超えた場合、粘土量に支配される地盤高式を用いて計算した。地形変化計算後に各格子に存在する砂と粘土の堆積割合から粘土含有率を更新した。

4. 研究成果

(1) 粘土の流失特性

図-3 に波が十分に作用した造波開始 50 分後の浮遊泥濃度の経時的変化を示す。表層における粘土の流失が十分に生じると、浮遊泥濃度は一定の値に漸近する傾向が確認される。これは、表層から流失する粘土の量が微小となり、粘土の岸側に輸送される量と抜け出される量がほぼ等しい状態を意味する。また、波高と周期が大きいほど、浮遊泥濃度が小さくなる傾向があることがわかる。この現象は、波高が大きく、あるいは周期が長くなると表層に存在する粘土がより早い段階で多く消失され、時間の経過後では、表層に存在する粘土の量が少なくなったため、流失する粘土の量が減少したと考えられる。また、粘土含有率の大きい (20%) では、写真-1 に示すように、流路の形成が確認され、流路内の粘土が入射波条件とは異なる周期で振動する現象が確認された。また、地盤内部の粘土が浸透流によって地盤内部から粘土が抜け出る

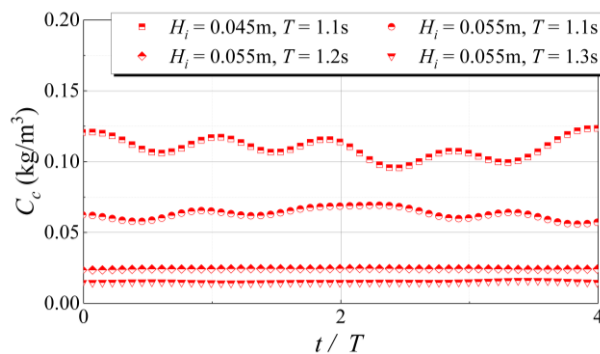
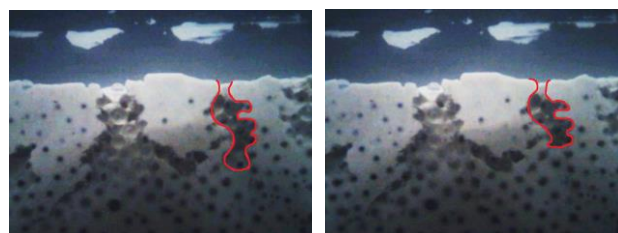


図-3 造波開始 50 分後の浮遊泥濃度の変動 (S3)



(a) 粘土の振幅の波谷

(b) 粘土の振幅の波峰

写真-1 地盤内部に形成される流路と粘土の振幅

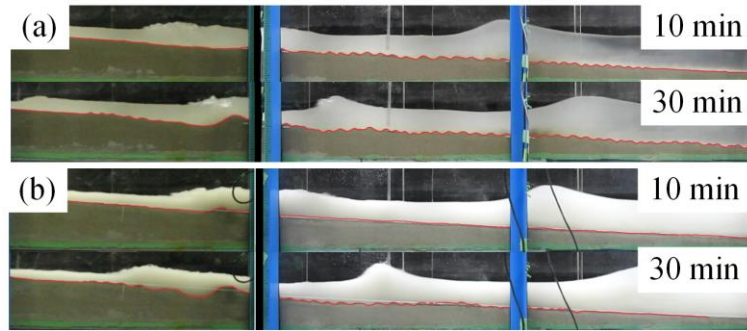


図-4 初期粘土含有率の違いによる地形形成過程

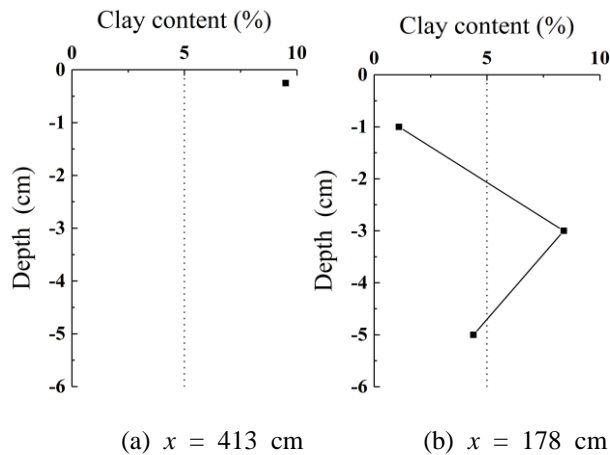


図-5 粘土含有率の鉛直分布 (粘土含有率 5%)

様子が確認された。従って、粘土の抜け出し挙動形態は、表層からの抜け出し形態と、地盤内流路を通じて生じるものがあり、高含有率下での粘土の抜け出し挙動は、粘土地盤の侵食と同様の傾向を示すことが示唆される。

(2) 粘土流失による粘土含有率の空間的变化

砂のみのケースと粘土含有率 5% のケースの時間経過に伴う地形変化過程を図-4 に示す。砂のみのケースでは造波開始 10 分後から砂漣の発達を確認されたものの (図-4(a)参照), 粘土を含有すると図-4(b)に示すように、造波開始 20 分後 (造波開始 30 分後) に砂漣の形成や拡がることわかる。この結果から、粘土の混合によって初期段階の侵食が抑制され、底質の侵食を遅延させる効果があることが示唆される。この遅延現象は、砂粒子に対して粘着抵抗力として寄与する粘土に起因し、一定の粘土が流亡した後に砂粒子が移動するためと考えられる。なお、最終地形の粘土含有率の鉛直分布を示す図-5 より、汀線付近に形成されたバームの表層 (図-5(a)参照) で粘土含有率が増加し、砂漣の表層で粘土含有率が減少、その下の層では増加することがわかる。バームでの粘土含有率の増加は、碎波帯で浮遊された粘土が汀線まで波と一緒に移動し、その後、寄せ波によってバームまで運搬された粘土が引き波の際に、地面に入り込む流れによってバームの周辺で体積されたことが起因したと考えられる。一方、砂漣部の粘土含有率の減少は、砂漣の形成後、持続的な波の影響で表面部の粘土が減少することや砂漣の形成前に粘土の流失によって粘土フリーになった砂が移動し、粘土を含有していない砂によって砂漣が形成される可能性が考えられるが、より詳細な検討が求められる。

(3) 粘土の流失を考慮した混合土砂モデル

図-6(a)に示す実際の混合土砂の状態を、図-6(b)のように、砂、粘土、粘土が含有している水、混合土砂の空隙に存在する水にそれぞれ分離して考える。その際、粘土含有率が小さく、混合土砂の空隙が存在する図-6(b)と、粘土が砂の空隙をすべて埋めた図-6(c)、砂の空隙より多くの粘土を含有する図-6(d)に分類した。図-6(c)と図-6(d)の境界は、砂のみの場合の空隙率と粘土の比重、粘土含水比で定義した限界粘土含有率 f_{mc} と粘土含有率 f_m で定義した。限界粘土含有率は、図-7 に示すように、粘土含水比が大きくなるほど小さくなり、限界粘土含有率を基点に砂、粘土、粘土が含有する水の増減率が変化する特徴がある。粘土流失機構に着目した実験 (図-1) に基づいてモデルの検証を実施した。その結果、図-8 に示すように波浪場の再現性が確認できたものの、初期波到達後の急激に巻き上がる粘土の浮遊砂濃度は再現できていない。また、実験の初期条件の粘土含有率 5% の場合、過大評価されるが、粘土含有率を 1% にした場合、実験とおおむね一致する傾向がある。これは、実験の実施中、粘土含有率が均等な地盤

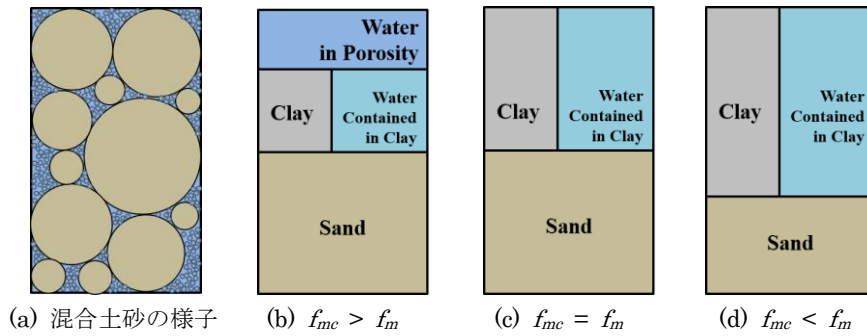


図-6 示相図による混合土砂のモデル

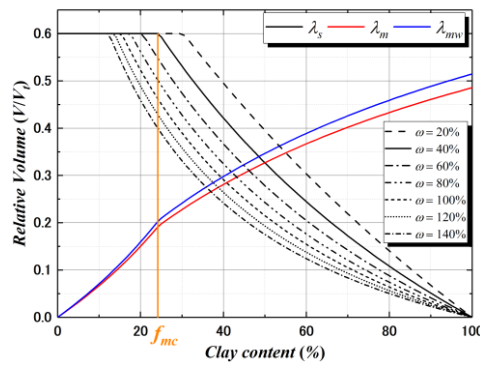
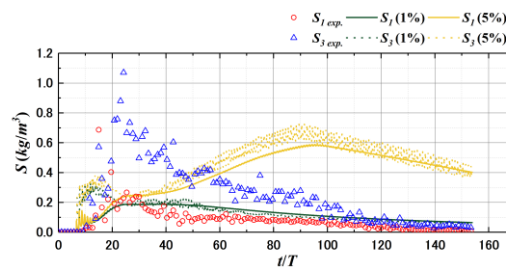


図-7 粘土含有率による相対体積の変化



(b) 浮遊濃度 S_1 , S_3 の比較

図-8 モデルの検証

にすることや注水時に生じうる混合土砂表面における砂と粘土の分離が原因であったと考えられる。各パラメータによる粘土の浮遊特性を見ると、粘土含有率と巻き上げ係数、粘土流失活性層の深さが大きいほど、浮遊粘土量が増加することが確認できた。なお、粘土の流失が卓越する粘土流失活性層の粘土がすべて流失されると浮遊濃度が減少することが判明した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

- ① 趙 容桓, 中村友昭, 水谷法美: 粘土流失を考慮した混合土砂の漂砂計算手法の導入, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 2019 (採択済), 査読有。
- ② 赤星 怜, 趙 容桓, 渡辺樹也, 中村友昭, 水谷法美: 粘土分の空間変動が混合土砂から成る地形に及ぼす影響に関する実験的研究, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), 2019 (採択済), 査読有。
- ③ 赤星 怜, 趙 容桓, 中村友昭, 水谷法美: 波作用下における混合土砂底面の粘土抜け出し効果, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol. 73, No. 2, pp. I_696-I_701, 2017, 査読有。

〔学会発表〕(計4件)

- ① Y. H. Cho, M. Watanabe, T. Nakamura and N. Mizutani: Morphological evolution of clay/sand mixture focusing on clay loss, Proc., 10th International Conference on Asian and Pacific Coasts, APAC, 2019 (採択済), 査読有。

- ② Akahoshi, R., Cho, Y.-H., Nakamura, T., Mizutani, N. : Suspended Clay Load from Mixed Soil under Regular Waves, Proc., 28th International Offshore and Polar Engineering Conference, ISOPE, 2018, 査読有.
- ③ 趙 容桓, 赤星 怜, 中村友昭, 水谷法美 : Sobel gradient の適用による礫浜における汀線自動抽出の完全性向上, 平成 28 年度土木学会中部支部研究発表会, II-45, pp. 169-170, 2017, 査読無.
- ④ 赤星 怜, 趙 容桓, 中村友昭, 水谷法美 : 波浪場における混合土砂の移動評価式に関する一考察, 平成 28 年度土木学会中部支部研究発表会, II-46, pp. 171-172, 2017, 査読無.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

[その他]

特になし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

趙容桓 (CHO Yonghwan)

名古屋大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号 (8 桁) : 00761082

(2) 研究分担者

なし

(2) 研究協力者

なし

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。