

微細粒子を対象とした底質の巻上げに関する水理実験

大成建設株式会社 正会員 ○橋本 貴之 織田 幸伸

1. はじめに

2011年東日本大震災において底質（土砂、ヘドロ等）を巻き込んだ黒い津波が目撃され、その影響が懸念されている。構造物の適切な耐津波設計のためには、底質の含有による流体特性（密度や粘性など）の変化が与える影響を定量的に評価する必要がある。津波による底質の巻上げに関する既往研究は、粒径が比較的大きい土砂を対象とした実験が多く^{1),2)}、シルトや底泥など粒径が数 μm の底質を対象とした実験は少ない。そこで本研究では、微細粒子を対象とした移動床実験を実施し、底質の鉛直濃度分布について検討した。

2. 実験方法

本実験は、図-1に示す管路区間（幅0.2m）と開水路区間（幅0.5m）を有するアクリル製の2次元水路を用いて実施した。管路区間には、深さ0.15mのサンドベッドを設けた。水路の上流端部には、3 m^3 のタンクを2台設置して所定量の水を溜め、上流側のバルブの開度で流量を調整し、下流側のバルブの開放により流れを発生させた。

(1) 固定床実験

サンドベッドをアクリル製の蓋で閉じ、水路内に流れを発生させ、PIV (Particle Image Velocimetry)により水路内の流速分布を計測した。なおPIVの精度は、Z=50, 250mmに設置した電磁流速計の計測値との比較から確認している。

(2) 移動床実験

サンドベッドに底質模型を敷き均し、水路内の流れで底質を巻き上げた。その際、サンドベッドより下流位置に設けた吸引孔（ $\phi 4\text{mm}$, 9箇所）から、図-2の通り、所定量の濁水を採取した。底質模型は、表-1の2種類（フライアッシュ；FA、シリカフェーム；SF）を用い、材料を水中落下により自然沈降させた際の含水比 w を別途求めて、これに一致するように設定した。濁水の採取時間については、FAはサンドベッド上流端での定常流が吸引孔の位置に到達した後の時間を設定し、SFは流れによりサンドベッド内の底質模型がそのままの状態（二層流）で流下したため、それよりも早い時間に設定した。

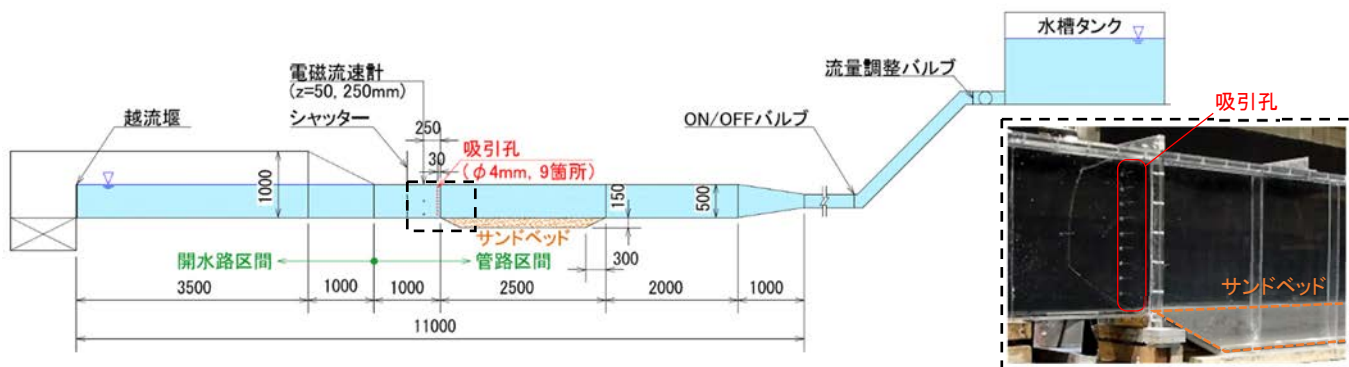


図-1 実験水路縦断面図

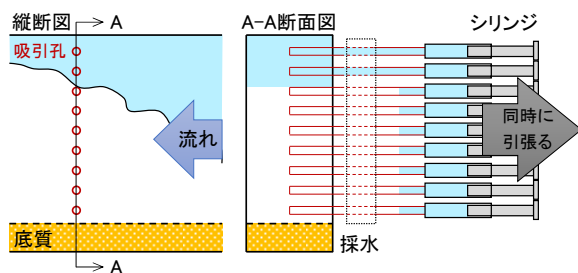


図-2 底質模型を含む濁水の採取方法

表-1 底質模型の諸元

材料名	中央粒径 d_{50} [μm]	粒子密度 ρ_s [g/cm^3]	含水比* w [%]
フライアッシュ (FA)	5.43	2.34	63
シリカフェーム (SF)	0.54	2.26	213

*静水中における材料の自然沈降により設定

キーワード 津波, 底質, 巻上げ, 濃度分布, 水理実験

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設株式会社 技術センター TEL 080-9579-4368

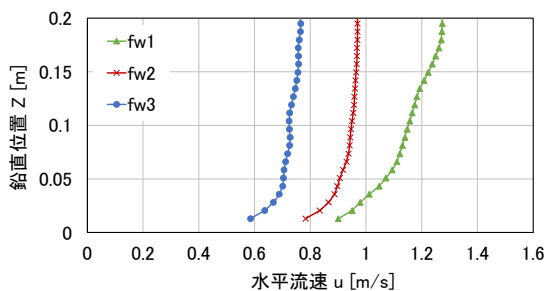


図-3 固定床での鉛直流速分布 (水路断面中央)

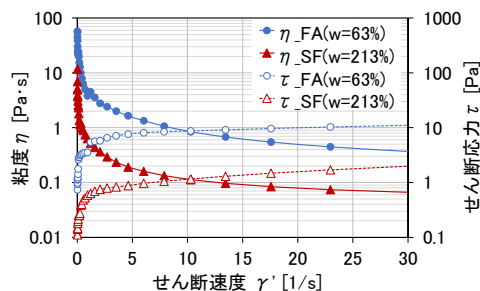


図-4 底質模型の粘度・せん断応力

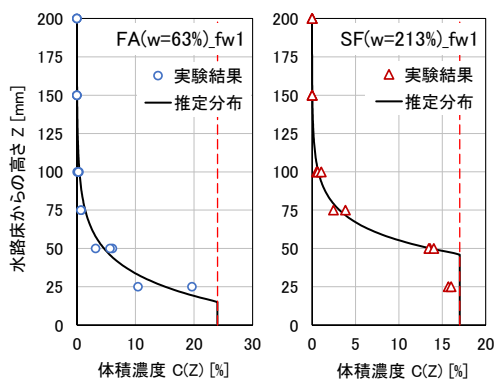


図-5 底質模型の鉛直濃度分布 (fw1)

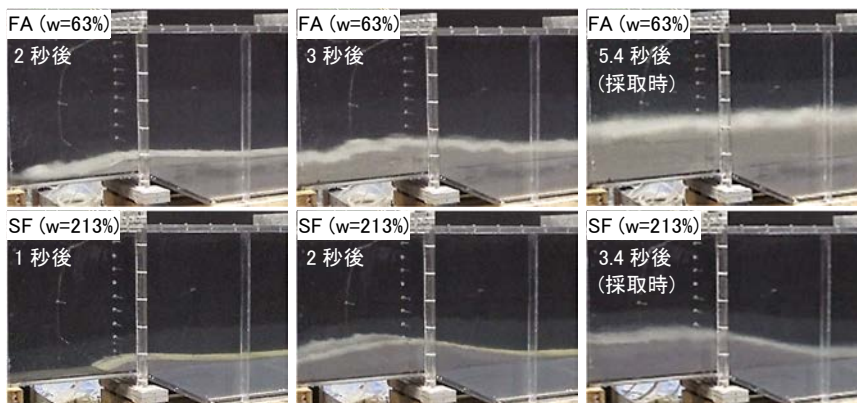


写真-1 底質模型の巻上り状況 (fw1)

3. 実験結果

(1) 固定床実験

本実験では、流速の異なる3ケース (fw1~fw3) を設定した。PIVによる水路断面中央での1秒間平均流速分布を図-3に示す。なお、側壁近傍でも計測を行い、水路横断方向にほぼ一様の流速となっていることを確認している。

(2) 移動床実験

移動床実験に先立ち、二重円筒型粘度計により底質模型の粘性を確認した結果を、図-4に示す。粘度 η とせん断応力 τ は、SF(w=213%)よりもFA(w=63%)が大きく、どちらも非ニュートン流体(ビンガム流体)の特徴を示した。

移動床実験の結果のうち、流速fw1における底質模型の鉛直濃度分布を図-5に示す。ここで、 $C(Z)$ は水路床からの高さ Z の体積濃度であり、図中の赤破線はサンドベッド内の底質模型の濃度 C_b を示している。図中には、指数近似式として $C(Z) = C_b \exp[-A(Z - Z_0)]$ を仮定し、最小二乗法で係数 A と底面濃度の初期高さ Z_0 を算定した結果を示した。写真-1は、流速fw1における底質模型の巻上り状況を示しており、各写真に記載した時間は流れ開始後(バルブ開放後)からの時間である。これらの写真から、FA(w=63%)とSF(w=213%)はともに一般的な砂移動の形態ではなく、二層流のような挙動でFA(w=63%)は表層の一部、SF(w=213%)では全体が流下している。つまり、流れのせん断力に対して流動化する深さが異なり、図-4から粘度 η が支配要因の1つと考えられる。

4. まとめ

微細粒子を対象とした移動床実験により、底質の一部が流動化して流れる現象を確認した。また、底質のせん断抵抗により流動化する範囲が異なることを示した。このことから、黒い津波の発生を考える上で、底質表層の流動化範囲を明らかにすることが重要と考えられる。ただし、本実験はケース数が限られるため、定量的な評価には、底質の粒径や比重、含水比などを変化させた追加検討が必要である。なお本研究は、原子力規制庁の『令和3年度原子力施設等防災対策等委託費事業』により実施したものである。ここに記して、関係各位に謝意を表す。

参考文献

- 1) 池野正明, 吉井匠, 松山昌史, 藤井直樹: 津波による砂移動量実験と浮遊砂巻上量式の提案, 電力中央研究所報告, 2009.
- 2) 志方建仁, 藤井直樹, 松山昌史, 加藤勝秀: 津波による高流速条件下の浮遊砂濃度に関する実験的研究, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.77, No.2, pp.199-204, 2021.