

土砂動態シミュレーションのデータ同化実装に向けた掃流砂観測の確率的評価

○左藤起也¹⁾, 宮田秀介²⁾, 小柴孝太²⁾, 山野井一輝²⁾, 藤田正治²⁾

1) 京都大学大学院工学研究科 2) 京都大学防災研究所

1. はじめに

現在, 流域土砂動態シミュレーションにおいて, モデルの現象再現性や境界条件のすべてを実測できないという問題がある. 一方, 流域末端での観測データの蓄積が進んできているが, 将来予測や計画に十分に活用されているとは言えない. そこで観測とシミュレーションをつなぐデータ同化手法を導入することで, 土砂動態の予測精度を向上させること, 流域内の状態を逆推定できるようになることが期待される.

データ同化を導入するにあたっては, 流砂の観測精度がどの程度なのかが重要となる. 掃流砂を観測するハイドロフォンのは, 砂礫の衝突による音響の音圧もしくはそれを加工して得るパルス数が計測結果であり, 掃流砂量への換算にはいくつかの方法が提案されているが, いずれも一義に計測結果—掃流砂量関係を決定するものであり, その精度は十分に評価されていない. そこで本研究は現地実験を実施して, ハイドロフォンの計測結果から確率的に掃流砂量を評価するモデルを作成することを目的とした. また混合砂と現地土砂を用いて, 作成したモデルの検証も行った.

2. 現地実験

2022 年 11 月, 岐阜県高山市足洗谷流域 (流域面積: 6.5 km²) の観測水路にて現地実験を実施した (図-1). ハイドロフォンの両側を流れ方向に仕切ることによって観測水路内に実験水路を設けた. 実験水路の上流端からハイドロフォンまでの距離は約 6.5 m である. 実験にはほぼ均一な粒径の 4 種類の砂 (50%粒径: 3.3, 5.2, 11.9, 20.1 mm; Case 1~4, 図-2) を用い, 実験水路の上流端から給砂強度が均一となるように 5 分間投入した. 単位幅あたり給砂強度は約 3.3, 1.6, 0.8, 0.4 × 10⁻⁴ m²/s の 4 通りである. さらに 50%粒径が約 7.5 mm となるように均一砂を混合した 4 通りの混合砂 (Case A~D, 図 2) と, 河道の側岸から

採取された現地土砂 (Case 5, 図 2) を実験に用いた. 水深は各実験の前後にポイントゲージを用いて計測した. ハイドロフォンの計測は 5 秒間隔で行った.



図-1 足洗谷観測水路での実験の様子

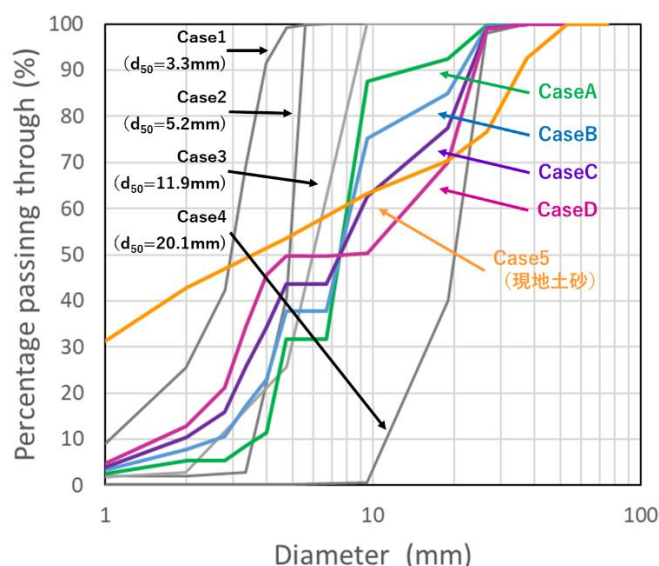


図-2 実験砂の粒度分布

3. モデルの作成

均一粒径砂の実験結果を訓練データとし, 観測モデルを作成した. まず均一粒径砂 (Case 1~4) の結果を図-3に示す. ここではハイドロフォンのアンプ

倍率が4, 64, 1024倍でのパルス数と掃流砂量の関係を示している。パルス数と掃流砂量には正の相関関係があり、定性的にはアンプ低倍率でのパルス数は大粒径、アンプ高倍率でのパルス数は小粒径に対応していた。これは小粒径の掃流砂はパイプ衝突時の音が比較的小さいため、アンプ低倍率ではパルスとして記録されないからと考えられる。

次にこれらの実験結果に対してベイズ線形回帰を行い、パルス数から掃流砂量への換算について観測精度を評価できる観測モデルの構築を行った。ベイズ線形回帰は、計測値と予測値についてのデータ全ての組み合わせについて回帰候補を構築し、それらを統合することで予測の誤差の確率密度関数を示す。本研究では、複数倍率のパルス数計測結果から掃流砂量およびその標準誤差 σ を表す観測モデルを構築した。

4. モデルの検証

混合砂の実験 (Case A~D) と現地土砂の実験 (Case5) の結果を検証データとして、作成したモデルの検証を行った。図-4 に Case A と Case5-3 での観測モデルにより求めた掃流砂量を示す。均一砂を混合した CaseA~D においては、投入した土砂の単位幅流砂量はモデルによって推定された掃流砂量 $\pm\sigma$ の範囲に概ねおさまっていた。50%粒径は共通するが粒径分布が異なる Case A~D に対して、本観測モデルはいずれの混合砂でも掃流砂を精度よく評価することができた。一方、現地土砂を用いた Case5-2~4 においては、いずれもモデルの推定は過小評価となった。これは現地土砂にハイドロフォンでの応答が小さいとされる 2mm 以下の粒径の土砂や、モデル作成に使用した土砂よりも大きな粒径の土砂が多く含まれていることにより、適切な評価ができていないからだと考えられる。

5. 結論

本研究では均一砂によって作成されたモデルにより、混合砂および足洗谷における現地土砂の掃流砂量を確率的に評価するという試みを行った。その結果、混合砂では精度よく掃流砂を評価できたが、現地

土砂では過小評価となった。訓練に使用した粒径より粗い礫が多く含まれる流砂や、氾濫時などの流砂や流量がさらに多くなる場合への適用は今後の課題である。

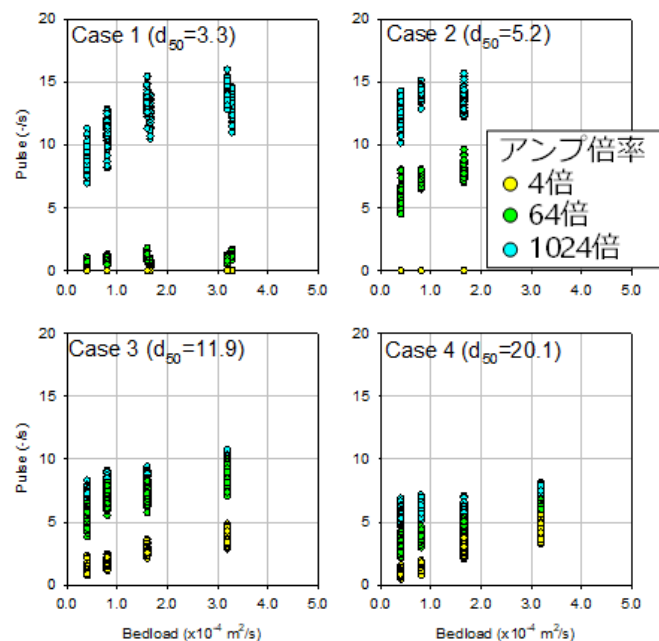


図-3 均一粒径砂の実験結果

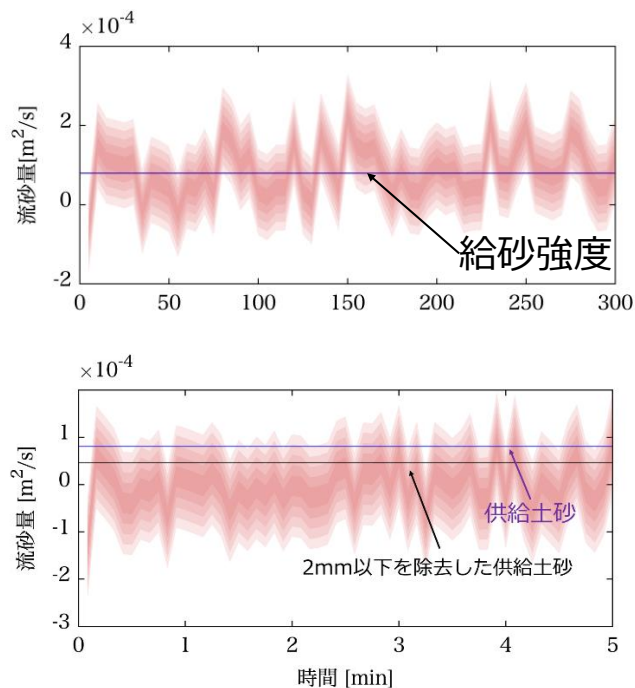


図-4 (上) CaseA と (下) Case5-3 における構築した観測モデルにより求めた単位幅当たり掃流砂量。赤い色付きの部分が標準誤差の範囲、色の濃さが確からしさを示す。