

アンサンブル降雨予測を用いた土砂流入量予測の検討 Sediment Inflow Prediction by using Ensemble Rainfall Forecast

○角 哲也・古家諒也・Sameh Ahmed Kantoush・Mohamed Saber・Nguyen Quang Binh・小林草平
○Tetsuya Sumi・Ryoya Furuie・Sameh Ahmed Kantoush・Mohamed Saber・Nguyen Quang Binh・
Sohei Kobayashi

The effective management of sedimentation is crucial for long-term dam utilization. This study aims to enhance the operation of sediment control facilities, including sediment bypass tunnels (SBT), by predicting sediment inflow using ensemble rainfall forecasts. Analyzing sediment dynamics and creating Q-SSC correlation equations, we applied SWAT model with ensemble rainfall forecasts for sediment inflow prediction. Although the optimization of SBT operation efficiency was limited, ensemble forecasts offer potential benefits, considering early flood anticipation and the compatibility with flood control and water use.

1. はじめに

気候変動によってダム的重要性が高まる中、長期的な運用には堆砂対策が必要である。堆砂対策には、貯砂ダムや掘削・浚渫などのほかに、洪水時に上流から流入する土砂をダム湖下流に直接流下させる「土砂バイパストンネル」（以後SBT）や、浚渫して溜めた土砂を洪水時にSBTから流す「ストックヤード」（以降SY）がある（図-1）。これらの施設は浮遊砂を流下させることを目的とし、流量に基づき操作されるが、流量と浮遊砂濃度（以後SSC）は必ずしも1対1に対応しないため、流量のみに基づいた操作では不十分である。そこで本研究では、予測期間が長く複数の予測メンバーを持つことが特徴であるJWAアンサンブル降雨予測を用いて洪水ー土砂流入量予測を行うことにより、より効率的にSBTを運用できるかどうかを検討した。また浮遊砂動態の分析も行い、得られた考察を予測に用いた。研究対象は、天竜川水系に位置し、上流域に中央構造線があるため土砂生産量が多く、2005年からSBT、2021年からSYが運用されている美和ダムを選定した。

2. 研究手法

SSCのデータは、ダム湖上流の飯島堰堤に設置された濁度計の計測データを変換することで用意する。流量QとSSCの観測データから洪水時のQ-SSC散布図の挙動を分析する。また、Q-SSC相関式（Rating Curve）を作成することにより、流量

からSSCを予測できるようにする。

流出計算には、流量に加えて土砂流出も計算できる準分布型水文流出モデルSWATを使用する。最大48時間流入量に基づいた3つのグループ（上位：1～5位，中位：6～15位，下位：47～51位）のアンサンブル降雨予測をSWATに入力して流量を計算し、相関式を用いてSSCを予測する。得られた予測から複数のルールに基づきSBT操作開始・終了時間を決定する（図-2）。SBT排出量（ $\Sigma(Q_{SBT} \times SSC)$ ）、バイパス効率（ $\Sigma(Q_{IN} \times SSC) / \Sigma(Q_{SBT} \times SSC)$ ）を評価パラメータとして、予測を活用した運用ルールの効率を定量的に比較する。

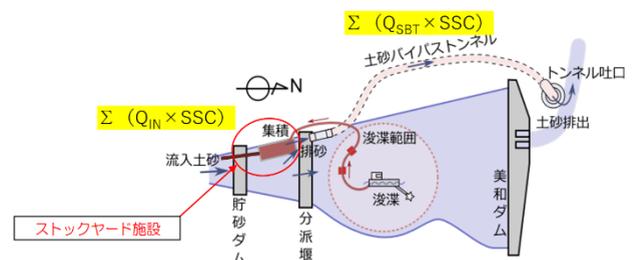


図-1 美和ダムの堆砂対策施設

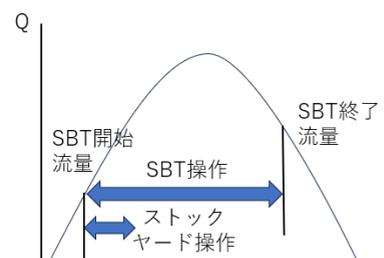


図-2 SBT操作のイメージ

3. SSC データの分析と相関式の作成

SSC データの分析の際には、比較的連続で濁度のデータがある 2020 年 7 月と 2023 年 6 月の洪水時を対象とした。Q-SSC 散布図を分析すると、最大流量が 200 m³/s を超える大規模な出水は不規則な挙動を示したが、小規模な出水では時計回りのループが確認された (図-3)。小出水時は主に河床に堆積した土砂が洪水前半に流されるため、時計回りのループになると考えられる。また、2020 年と 2023 年の洪水を両方プロットすると、流量 200 m³/s を下回る部分で年ごとに挙動の違いが見られた。年次の変動の影響を考慮して 5 つの Q-SSC 相関式を作成した (図-4)。流量と相関式から年間土砂流入量を求めると、観測値よりも過小評価となった。濁度計に反応しない粒径の土砂の影響や、季節的な変動を考慮できていないことが原因として考えられるが、経年の傾向は予測と観測で一致したため、作成した式を予測に用いることとした。

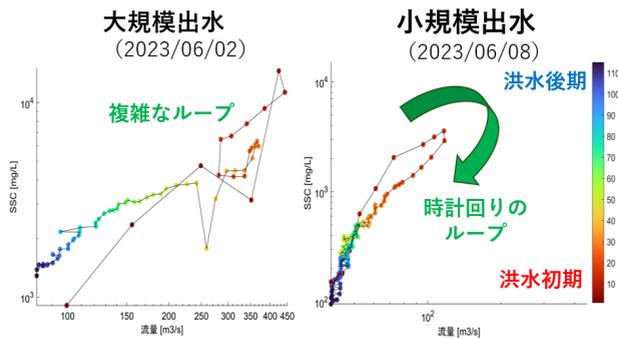


図-3 洪水時のヒステリシスループ

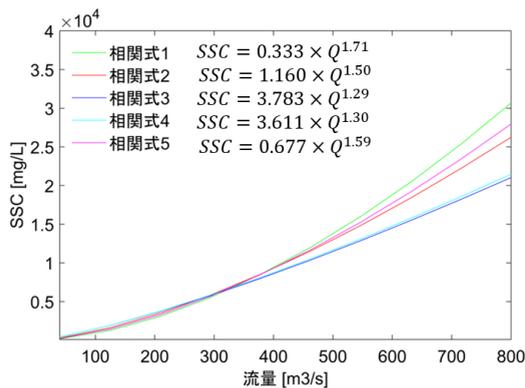


図-4 Q-SSC 相関式

4. アンサンブル予測を活用した SBT の運用

2023 年 6 月 2 日の洪水を対象として予測を行った。5 月 25 日 9 時の予測では、上位・中位予測から洪水の可能性を確認できる (図-5)。6 月 1 日 9 時の予測からは上位・中位予測が実測流量に近い値を示していることがわかる (図-6)。相関式を適

用すると SSC の予測が得られたが (図-7)、相関式ごとに大きな違いは見られなかった。以下の表-1 に予測を用いた SBT 操作の結果を示すが、現行の操作である 0 が最も良い結果を示した。モデルの精度により流量が実測値よりも早く下がったことが影響したと考えられる。

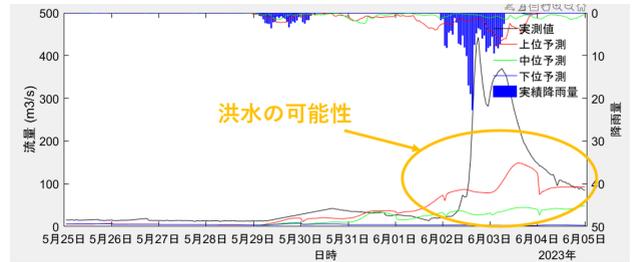


図-5 5 月 25 日 9 時発表予測

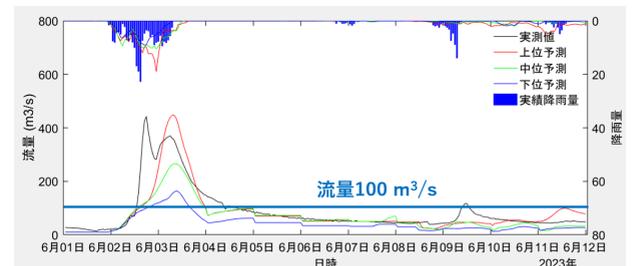


図-6 6 月 1 日 9 時発表予測

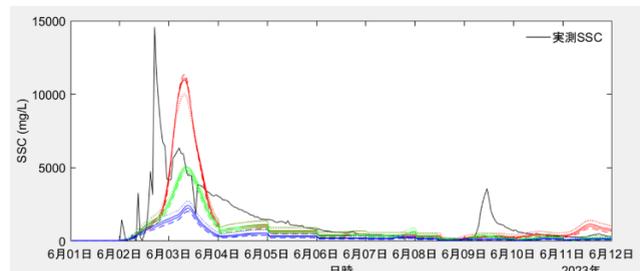


図-7 相関式によるアンサンブル SSC 予測

表-1 アンサンブル適用の SBT 操作

	開始	終了	SBT排砂量[t]	バイパス率
0	流量が100m ³ /sを超えた時間	流量が100m ³ /sを下回る時間	1.87 × 10 ⁵	1.147
1	予測発表日1日後までに、上位Qが100m ³ /sを超えた時間	予測発表日24時間後までに、中位Qが100 m ³ /sを下回る時間	1.63 × 10 ⁵	1.169
2	予測発表日1日後までに、上位Qが100m ³ /sを超えた時間	予測発表日24時間後までに、下位Qが100 m ³ /sを下回る時間	1.63 × 10 ⁵	1.169
3	予測発表日1日後までに上位SSCが500mg/Lを超えた時間	予測発表日24時間後までに下位SSCが1000mg/Lを超えた時間	1.71 × 10 ⁵	1.161
4	予測発表日1日後までに中位SSCが500mg/Lを超えた時間	予測発表日24時間後までに下位SSCが1000mg/Lを超えた時間	1.71 × 10 ⁵	1.161

5. まとめ

洪水の規模や年によって土砂動態が変化することが確認できた。アンサンブル降雨予測を用いて SBT 操作の最適化を検討したが、モデルの精度などにより現行の操作以上に効率化することはできなかった。しかし、早期に洪水発生を認識できる点や、洪水後期の貯水位回復の確実性向上など、堆砂対策以外の観点も含め活用の可能性がある。