

京都大学工学部 学生員 ○天井 洋平
 京都大学防災研究所 正会員 野原 大督
 京都大学防災研究所 正会員 堀 智晴

1. はじめに 近年、地震や水害などの巨大な災害が発生している。これらの災害により損なわれた下流河川での治水機能を補う方法として、ダム貯水池における事前放流操作が検討されている。事前放流操作を円滑に実施するためには、降水や流量などの出水に関する予測情報を利用することが必要となることから、事前放流操作による治水上の効果や利水上のリスクを評価しようとする際には、利用する予測情報の精度を考慮しながら検討を行う必要がある。そこで、本研究では、予測情報を利用したより効果的なダム事前放流操作手法の立案に資するための基礎的検討として、任意の精度を有した予測流入量情報を多数模擬発生させた上で、それぞれの予測流入量情報を考慮した事前放流操作シミュレーションを実施し、それらの結果を総合的に分析することのできる、ダム操作シミュレーションモデルを構築する。そして、構築したモデルを用いて事前放流操作の効果の分析を行い、その有効性を検討する。

2. シミュレーション分析モデルの開発

2.1 モデルの概要

対象とするダム貯水池における流入量の観測値に、2.2 に述べる方法によって発生させた誤差を加えることによって、予め定められたリードタイム L までの任意の精度の予測流入量情報を模擬発生させる。次に模擬発生させた予測流入量情報に基づいてダム貯水池の事前放流操作実施の判断を行い、実施する基準を満たせば事前放流操作を行い、そうでなければ利水操作を実施する。ただし、観測流入量等の状況から洪水調節が必要な場合は、所定の洪水調節操作を行う。以上の手順を一つの出水事例に対する分析対象期間 T にわたって繰り返すことで、一回の操作シミュレーションが完了する。この操作シミュレーションを、予測流入量情報の模擬発生を行いながら多数回繰り返して行い、得られた結果を総合的に評価することで、一つの精度

を有する予測流入量情報を用いた場合のダム事前放流操作シミュレーション分析が完了する。

2.2 予測流入量情報の模擬発生機構

本研究における予測流入量系列の模擬発生においては、流入量の観測値に、平均を 0 とした正規分布に従う変数を予測誤差として加えることによって、予測実施時刻 t ($t=0\sim T$)における l 時間先($l=1\sim L$)の時間単位の予測流入量を 1 時間ごとに模擬発生させる。予測誤差系列についてはリードタイム方向に一次の自己相関(系列相関)を考え、各予測時点における予測誤差系列の模擬発生モデルとして、AR(1)モデルを採用し[1]、以下のように定式化する。

$$e(t,l) = e(t,l-1) \cdot \rho_L(1) + E(t,l) \sqrt{1 - \{\rho_L(1)\}^2} \quad (l \geq 2, t \geq 0) \quad (1)$$

ここに、 $\rho_L(1)$ は予測リードタイム方向の予測誤差の 1 次自己相関係数、 $E(t,l)$ は平均を 0、標準偏差を、時刻 $t+l$ の真値 $I_o(t+l)$ と誤差の広がり表現する係数 $c_e(l)$ の積とする正規確率分布 $N(0, \{c_e(l) \cdot I_o(t+l)\}^2)$ に従う誤差成分である。ここで、精度のパラメータ $c_e(l)$ は、予測の誤差がリードタイムに対して線形に増加すると仮定し、以下のように設定した。

$$c_e(l) = \alpha l \quad (l \geq 1) \quad (2)$$

各予測実施時点における予測誤差の初期値 $e(t,1)$ は正規確率分布 $N(0, \{c_e(1) \cdot I_o(t+1)\}^2)$ からのランダムサンプリングによって値を決定する。時刻 t における、 l 時間先の流入量の予測値 $I_p(t,l)$ は以下ようになる。

$$I_p(t,l) = I_o(t+l) + e(t,l) \quad (3)$$

2.3 予測流入量情報を用いたダム事前放流操作モデル

本研究では、予め定められた予測リードタイム内において、操作規則により洪水調節を開始する必要があるとされている流入量(以後、洪水流量と呼ぶ)以上の流入が予測された場合に、事前放流操作に移るもの

と考える。ただし、事前放流を実施するにあたって、下流河川における安全確認や周知、関係機関への通知等の作業に3時間程度を要すると仮定し、洪水流量を超える流入が予測されてから3時間後に事前放流を開始する。事前放流による水位低下後は、洪水調節が開始されるまで、低下させた水位を維持する。

2.4 操作結果の評価方法

一般に、事前放流操作結果の評価方法については、事前放流操作が治水面、利水面の両方に影響を及ぼすことから、この二つの視点から検討する必要がある。今回は事前放流操作を行った際に洪水調節後に利水容量がどの程度回復できたか、所定の事前放流操作が洪水調節操作開始の前に完了しているかどうかという点から評価を行う。

3. 適用と考察

名取川水系釜房ダムにおいて2002年以降に洪水流量以上の流入量を観測した6つの出水事例を用いてシミュレーションを行った。各事例を用いたシミュレーション回数は1000回、予測のリードタイムは24時間、分析対象期間は出水期間と出水前後48時間とした。

3.1 予測流入量情報の模擬発生結果の検証

検証には釜房ダムにおける2005年8月26日の出水データを用いた。図1、図2に、次の二式によってそれぞれ求めたME(l)、RMSE(l)のリードタイム方向の推移を示す。

$$ME(l) = \frac{1}{I} \frac{1}{T} \sum_i^I \sum_t^T e(i, t, l) \quad (4)$$

$$RMSE(l) = \sqrt{\frac{1}{I} \frac{1}{T} \sum_i^I \sum_t^T e(i, t, l)^2} \quad (5)$$

$e(i, t, l)$ はシミュレーション*i*における、時刻*t*に実施した*l*時間先の予測値の予測誤差、*I*はシミュレーション総数である。リードタイム後半に値が大きくなっており、リードタイムが長くなるほど発生する誤差も大きくなるのが分かる。またαによって誤差の大きさを制御することができている。以上から、おおむね意図した精度の予測流入量情報を模擬発生することができている。

3.2 予測流入量情報を用いた事前放流操作結果の分析

図3に操作シミュレーション結果の例を示す。今回の結果ではどの出水事例においても、2.4において述べ

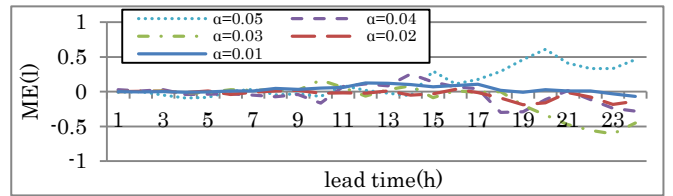


図1 設定した $c_e(l)$ により発生させた誤差のME(l)

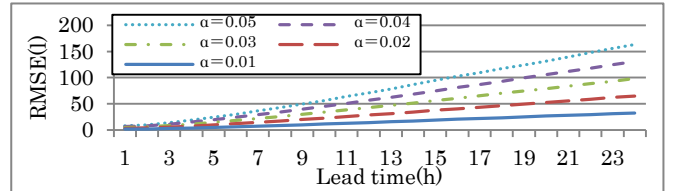


図2 設定した $c_e(l)$ により発生させた誤差のRMSE(l)

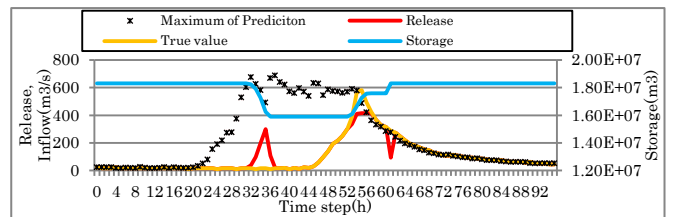


図3 結果例、2005年8月26日出水、 $c_e(l)=0.01$

た二つの視点について、その内容を満たしているシミュレーション結果の割合は全ての精度で100%であった。原因として、今回分析に用いた出水事例が全て洪水流量以上の規模の出水事例であったことに加え、予測流入量系列の模擬発生機構と事前放流操作の実施条件との関係が事前放流操作をほぼ必ず行うような構造にあったことなどが考えられる。

4. おわりに

本研究では、任意の予測精度を有した予測流入量情報の模擬発生機構を構築し、模擬発生させた予測流入量情報に基づいたダム事前放流操作についてのシミュレーション分析モデルを開発した。今回の操作結果では十分な分析を行うことができなかったが、原因は対象とした出水事例の規模や構築したモデルの構造にあると考えられる。今後の課題としては、大小様々な出水事例への適用、精度のパラメータ設定のさらなる検討、実際の気象・水文予測情報を用いた分析などが挙げられる。

参考文献

[1] 星清 時系列データの模擬発生, 水文・水資源ハンドブック 7.4.3, 朝倉書店, pp249-251, 1997.