

中期アンサンブル予報を考慮したダム事前放流実施に伴う利水・発電への長期リスク評価

鹿島建設(株) 正会員 ○野原大督

1. はじめに

ダム貯水池の事前放流の実施を適切に判断するためには、一般に降雨予測情報が必要となる。中でも、生起可能性がある複数の予測シナリオが得られるアンサンブル降雨予測情報からは、大規模な出水発生の危険性と出水後の貯水位回復可能性の双方に関する情報が得られ、これを考慮することによって事前放流の判断精度が高まると期待されることから、盛んに研究が進められている¹⁾²⁾。一方で、事前放流によりダム貯水池の洪水調節機能が高まることは期待できるものの、事前の貯水位の低下によりダム貯水池の利水・発電機能が長期的に受ける影響については、定量的な研究報告が少ないのが現状である。こうした背景を踏まえ、ダム貯水池の長期操作シミュレーションにより、現業の中期アンサンブル降水予測情報を考慮して多目的ダムの事前放流の意思決定を行う場合における利水・発電への長期的なリスクの分析を行ったので、その結果を報告する。

2. 分析方法

アンサンブル降水予測には、先行研究³⁾と同様に、気象庁週間アンサンブル予報の従来版（空間解像度 1.25 度、27 メンバ、1 日 2 回更新）の 8 日先までの予報値を用い、流出モデル Hydro-BEAM を用いて予測ダム流入量を算出した。多目的ダムの事前放流手法については、アンサンブル予測より得られる予測メンバ（予測シナリオ）のうち、予測積算流入量が上位と下位の予測メンバに基づいて事前放流を実施する手法³⁾を用いた。本手法では、事前放流を実施するかどうかの判断は、上位の予測メンバを用いて次式に従って行われる。

$$\frac{1}{I} \sum_{i=1}^I \left[i\text{-th greatest} \left\{ \sum_{m=1, \dots, M}^L (q_{m,l}^* - r_{m,l}^*) \cdot \delta_s \right\} \right] > Q_F \tag{1}$$

ここに、 $q_{m,l}^*$ は予測メンバ m による l 時間先の予測流入量 (m^3/s)、 $r_{m,l}^*$ はメンバ m の予測流入量に対する操作規則上の放流量 (m^3/s)、 δ_s は単位時間の秒数、 L は予測時間、 M はメンバ数、 Q_F は事前放流を実施する基準となる予測積算流入量 (m^3) である。一方、事前放流実施時に放流できる貯水量（事前放流可能量）は、下位の予測メンバを用いて、次式により決定する。

$$v_{PR} = k\text{-th smallest} \left\{ \alpha \sum_{m=1, \dots, M}^L (q_{m,l}^* - d_l) \cdot \delta_s \right\} \tag{2}$$

ここに、 v_{PR} は事前放流可能量 (m^3)、 d_l は l 時間先の確保放流量 (m^3/s)、 α は期間総流入量の何割を貯水回復に利用できるかを表す定数である。分析対象は、先行研究³⁾と同じく、近畿

表-1 対象ダム貯水池の諸元

有効貯水容量	6,000 万 m^3
洪水調節容量	4,400 万 m^3
利水容量	1,600 万 m^3
集水面積	290 km^2
洪水調節方式	一定量放流方式
計画最大流入量	1,510 m^3/s
計画最大放流量	150 m^3/s
最大事前放流量	1,600 万 m^3
事前放流時の最大放流量	60 m^3/s
確保放流量	5.2 m^3/s
最大発電使用水量	11.6 m^3/s
有効落差	68.49 m
最大出力	6,700 kW

地方に位置する A ダムをモデルとした仮想ダム（以下対象ダムと呼ぶ）を考えた（表-1）。ただし、本研究では、現地の水力発電条件に即した発電量の評価が行えるよう、利水容量は A ダムと同じに設定した。また、利水への影響の過小評価を避ける目的で、利水補給上の確保放流量を、先行研究³⁾より大きい 5.2 m^3/s と設定した。また、事前に放流できる最大の貯水量は理想的な条件を考え 1,600 万 m^3 （利水容量全て）と仮定した。事前放流決定時のパラメータ α については $\alpha=0.5$ と設定した。予測積算流入量の基準値 Q_F については、先行研究³⁾⁴⁾での検討を踏まえて、3,480 万 m^3 （流出率 0.8 を仮定し相当雨量 150mm に相当、ケース 1）と 2,320 万 m^3 （同 100mm に相当、ケース 2）の 2 ケースに、事前放流を実施しない条件（ケース 0）を加えた計 3 ケースを考えた。ダム操作シミュレーション期間は 2014~2019 年の各年 6 月 1 日~10 月 31 日である。

キーワード ダム操作, 事前放流, 利水, 発電, 影響評価, アンサンブル予報
連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株) 技術研究所 TEL 042-485-1111

表ー2 操作シミュレーション結果

評価項目	ケース 0	ケース 1	ケース 2
大規模洪水事例における最大放流量 [m³/s] (ケース 0 と比較した場合の増減割合)	968.5 (-)	871.7 (-10.0%)	848.0 (-12.4%)
平均利水貯水量 [百万 m³] (貯水率)	15.4 (96.3%)	13.7 (85.5%)	12.8 (80.0%)
平均年間発電量 [MWh] (増減割合)	14276.1 (-)	14002.1 (-1.9%)	14110.2 (-1.2%)

3. 分析結果

分析結果のまとめを表ー2 に示す。事前放流による対象ダムの治水機能の向上については、総流入量が計画を上回る規模となった 2018 年の大規模洪水において、ケース 1, 2 ともに最大放流量が 1 割程度低減されており、一定の効果が窺える。利水への影響については、事前放流がない場合（ケース 0）で貯水率が 96.3%であったのに対し、事前放流を実施した場合には 80%台に低下している。平均貯水率が低下した原因は事前放流実施中の貯水位低下によるところも大きく、総じて出水後の貯水位は最終的に回復できており、その後の利水に大きな支障が生じる事例は計算期間内では見られなかった（図ー1）。一方で、図ー2 に示す 2014 年では、梅雨期にあたる 6 月～7 月上旬に断続的に事前放流が実施されたものの、実際には大きな出水が無かったことから、貯水量の回復が十分に行えず、貯水率が一時 40%を下回るなど貯水の低下が見られた。最終的に 8 月の出水により貯水量は回復したが、少雨となりやすい時期を後に控える梅雨期に関しては、事前放流後の貯水位回復が達成できない場合に夏季の利水に影響を及ぼす恐れがあり、注意が必要である。次に、平均年間発電量に関しては事前放流の有無で大きな差は見られなかった。先行研究²⁾では、事前放流を出水前の早期より実施することで、出水前後での無効放流が減少し、水力発電量が大きくなる可能性が指摘されていたが、今回の検討では、この増電効果が事前放流後の貯水量回復に時間を要する場合の減電効果と相殺され、長期的には大きな差は見られなかった（逆に大きな減電も見られなかった）。

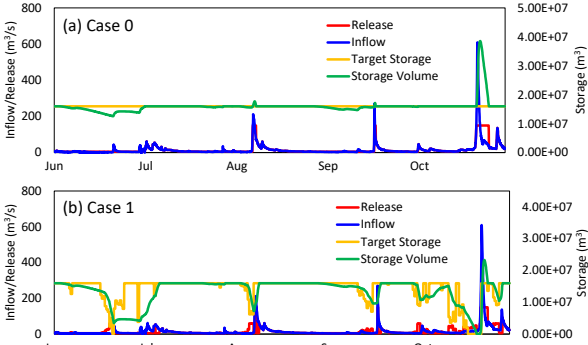
4. おわりに

現業中期アンサンブル降水予測情報を考慮して多目的ダムの事前放流の意思決定を行う場合における利水・発電への長期的なリスクの分析を行った。利水補給については、対象ダムのような水収支を持つ貯水池においては大きな影響は生じにくいと考えられるものの、夏季が少雨の年においては梅雨期の事前放流後の貯水位回復不足がその後の利水補給に影響を及ぼす可能性が示唆された。水力発電については、事前放流の有無によって長期的に大きな差は生じない結果となった。今後、分析範囲を広げつつ、より詳細な分析が期待される。

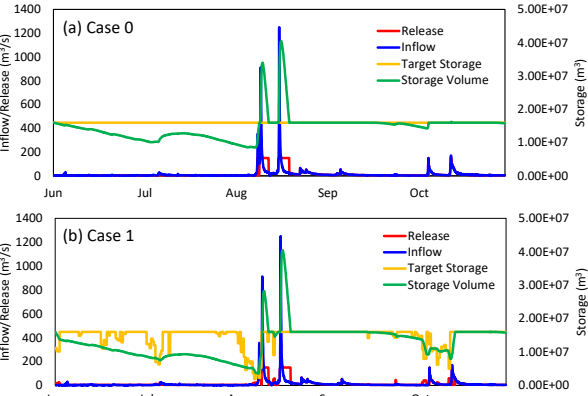
謝辞：本研究は、JSPS 科研費（課題番号：19K04616）の助成を受けて実施された。

参考文献

1) Wang, F., Wang, L., Zhou, H., Valeriano O.C.S., Koike, T. and Li, W.: Ensemble hydrological prediction-based real-time optimization of a multiobjective reservoir during flood season in a semiarid basin with global numerical weather predictions. Water Resour. Res., 48, W07520, 2012.
2) 野原大督・木谷和大・道広有理・角哲也：利水ダムにおける事前放流の意思決定への ECMWF 中期アンサンブル予報の利用性の分析，土木学会論文集 B1(水工学)，76(2)，I_829-I_834, 2020.
3) 野原大督：中期アンサンブル降水予報と誤差特性を踏まえた多目的ダムの事前放流手法に関する検討，土木学会論文集 B1(水工学)，77(2)，I_91-I_96, 2021.
4) Nohara, D.: Optimized prior release operation of a multi-purpose reservoir considering medium-range ensemble hydrological forecast, Proc. 39th IAHR World Congress, Granada, pp.2913-2921, 2022.



図ー1 操作シミュレーション結果（2017 年）



図ー2 操作シミュレーション結果（2014 年）