

# 予備放流操作へのアンサンブル予測雨量の活用方法

工藤 俊・川崎将生

## 1. はじめに

気候変動に伴い豪雨の規模が増大する可能性が指摘される中、適応策として既存防災施設の能力をより効率的に発揮することの重要性が示されており、既設のダムにおいては洪水調節操作方法を高度化して従来以上に洪水調節効果を発揮することが求められている<sup>1)</sup>。これを実現するための一つの方策として、予測雨量の利用が挙げられる。

ただし、予測雨量には必ず大小の誤差が含まれるが、従来の確定的な予測雨量からこの誤差の程度を予見することは難しい。このため、確定的な予測雨量をダム操作に利用しようとする場合、予測が大きく外れた場合でも逆効果が発生しないダム操作を検討しなければならず、結果的に予測雨量の利用による効果が限定的になる傾向がある。そこで国総研では、複数の初期条件・境界条件の予測計算から出力された複数の予測雨量であるアンサンブル予測雨量に着目し、これまで予見が困難であった予測誤差の程度を把握することにより、予測雨量をダム操作により効果的に利用する手法の開発を進めてきたところである<sup>2),3)</sup>。本報は、アンサンブル予測雨量を予備放流操作に活用する方法を検討するものである。なお、今回は複数の予測のうち、各個別の予測をアンサンブルメンバーと表記する。

## 2. アンサンブル予測雨量を活用した予備放流操作の考え方

予測雨量の幅を考慮したダム操作に関する研究はこれまでいくつか実施されてきており、例えば、三石ら<sup>4)</sup>の研究は確定的な予測雨量に対してある誤差率を仮定することで予測雨量の幅を設定している。また、近年はアンサンブル予測雨量を活用したダム操作の高度化に向けた検討が要請されており<sup>5),6)</sup>、国総研では、以下に例示する検討等を実施してきた。例えば、アンサンブル予測雨量に

より得られる期待値情報を基にした洪水調節操作を試算し、操作規則に基づく操作と比較して下流基準地点におけるピーク水位をより低くできる試算例を示した<sup>2)</sup>。また、事前放流（利水容量の貯留水の一部を洪水調節前に放流し、洪水調節に用いることのできる空き容量を一時的に増やす操作）に着目し、アンサンブル予測雨量を活用して操作方法を決定する手法を提案、試算例を示した<sup>3)</sup>。本報では、新たに予備放流操作（ダムの貯水位をあらかじめ定められた水位（以下「予備放流水位」という。）まで低下させて洪水調節容量を確保する操作）に着目し、アンサンブル予測雨量の活用方法を検討した上で、対象ダムを設定し試算した例を示す。

### 2.1 アンサンブル予測雨量

アンサンブル予測雨量は、非静力学モデルである WRF(Weather Research and Forecasting Model)を用い、以下の条件で計算した。

- ・アンサンブルメンバー数：20
- ・予測先行時間：39時間
- ・空間解像度：5km
- ・予測更新間隔：6時間

なお、初期値・境界値には気象庁全球モデル(GSM(全球域))の出力結果を用いた。GSM(全球域)の空間解像度は約50kmである。より具体的な計算条件は猪股ら<sup>2)</sup>に示されるとおりであり、これを今回の対象ダムが存する流域を包含

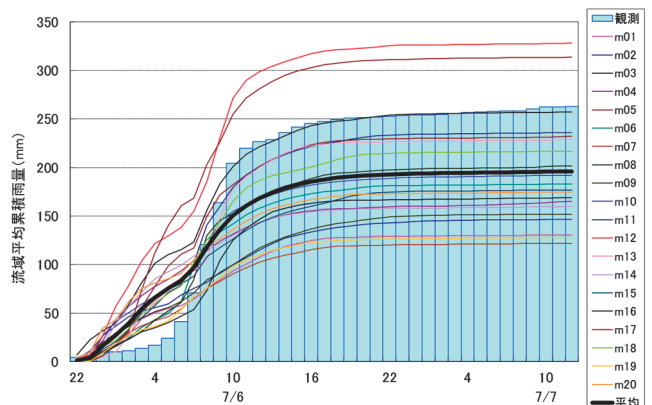


図-1 アンサンブル予測雨量の計算結果

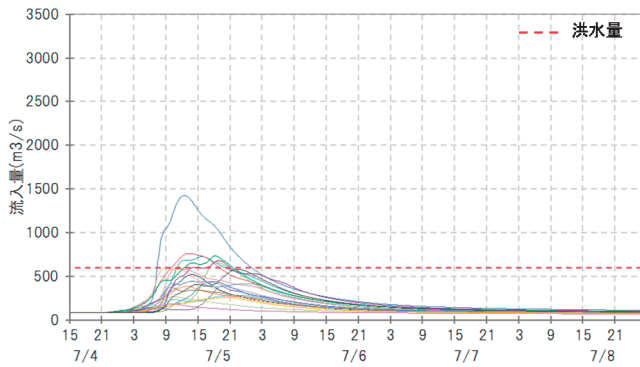


図-2 アンサンブル予測雨量を用いた流入量の計算例

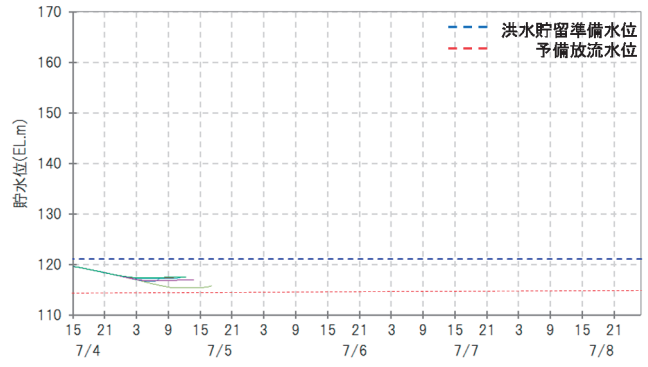


図-3 アンサンブル予測雨量を用いた貯水位の計算例

する領域に適用して計算した。

図-1はアンサンブル予測雨量の計算結果の一例であり、今回試算対象としたダムの上流域における流域平均累積雨量の時系列変化を示す。さらに実績雨量も併せて示す。この例では、アンサンブル予測雨量の平均値は実績雨量に比べて過小であることがわかる。一方、アンサンブルメンバーの幅の範囲には実績雨量が入っていることが確認できる。本報では、上述のようにアンサンブルの平均値が実績と差異が見られる場合でも、予測の幅を考慮することで効率的な予備放流操作を実施する方法を検討する。

## 2.2 予備放流操作方法の決定に用いる指標

予備放流は、前述の通り洪水が予想される場合に、ダムの貯水位を予備放流水位まで低下させて洪水調節容量を確保する操作のことである。事前放流はダム計画上の治水容量に加えて利水容量の一部も一時的に洪水調節に活用しようとする運用上の工夫であるのに対し、予備放流はダム計画上の治水容量を確保するための操作であるため、義務として流入量が洪水量に至る前（洪水調節を開始する前）に貯水位を予備放流水位まで低下させる必要がある。このことから、予備放流方式を採るダムにおいては、洪水前に、予備放流の要否や、予備放流を完遂するための放流量について意思決定しなければならない。

予備放流の要否を判断するためには、ダムが洪水調節を実施することとなるかを予想する必要がある。ダムの洪水調節は一般的に流入量が洪水量を超える場合に実施することから、今回の検討では、予備放流の要否の判断指標として「流入量が洪水量を超える割合」という指標を考える。図-2は、アンサンブル予測雨量を、降雨流出計算を介

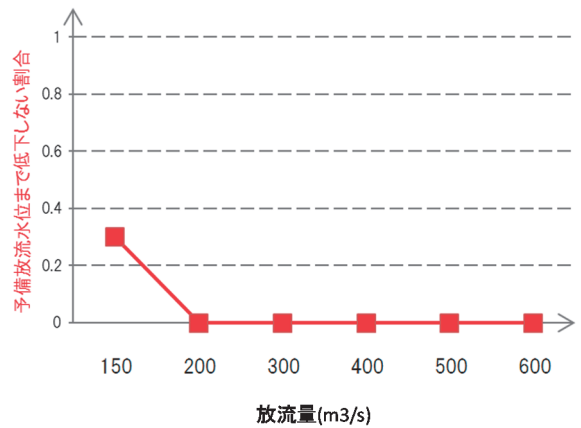


図-4 予備放流における放流量と「予備放流水位まで低下しない割合」の関係

してダム流入量に変換したものの一例である。20のアンサンブルメンバーのうち、6のアンサンブルメンバーで流入量が洪水量を超える結果となり、「流入量が洪水量を超える割合」は6/20で0.3となる。

また、予備放流を実施する場合に放流量を判断するためには、どれだけの放流量で予備放流を実施すれば流入量が洪水量に至る前に予備放流を完遂できるかを予想する必要がある。今回の検討では、その判断材料としてある放流量を設定した上で「予備放流水位まで低下しない割合」という指標も考える。図-3は、予備放流における放流量を対象ダムの利水放流量の最大である150 m³/sと設定した場合に、流入量と放流量の収支から計算されるダム貯水位である。なお、図-3は流入量が洪水量を超える結果となった6のアンサンブルメンバーについてのみ計算したものであり、それぞれのアンサンブルメンバーで流入量が洪水量を超える時点までの貯水位を示している。6のアンサンブルメンバー全てにおいて、貯水位が予備放流水位まで低下しない結果となる。よって、全アン

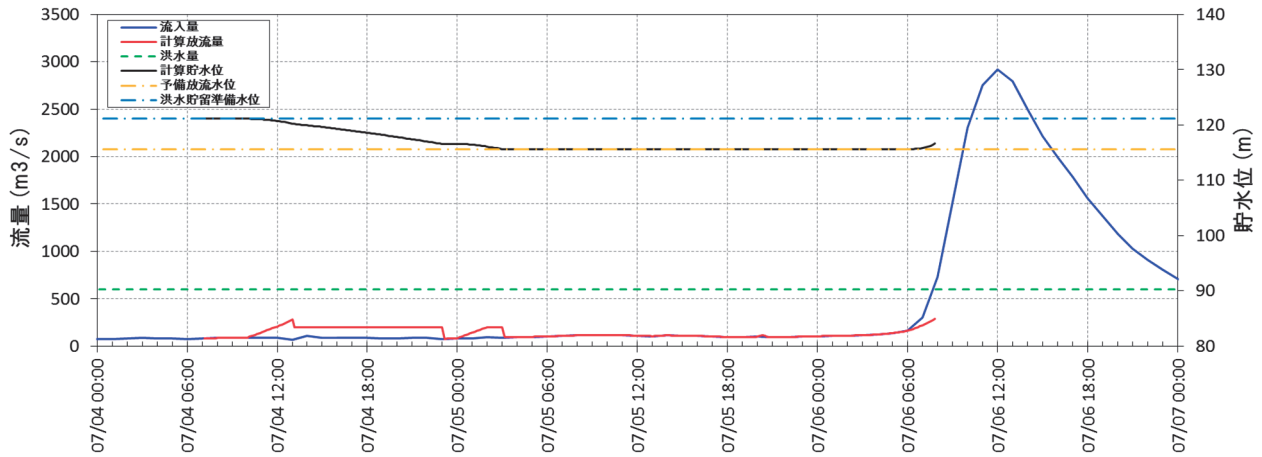


図-5 アンサンブル予測雨量に基づく予備放流の試算結果

サンプル数に対して、「予備放流水位まで低下しない割合」は6/20で0.3となる。

上記の150m<sup>3</sup>/sも含めて複数設定した放流量に対して、「予備放流水位まで低下しない割合」を計算して整理した例を図-4に示す。図-4は、予備放流における放流量が対象ダムの利水放流量の最大である150m<sup>3</sup>/sの場合は予備放流水位まで低下しない割合が存在するが、他の放流設備を併用して200m<sup>3</sup>/sまで増加させると、予備放流水位まで低下しない割合が0となることを示している。

### 3. アンサンブル予測雨量を活用した予備放流操作の試算

#### 3.1 試算手順

対象ダムの実績流入量と、アンサンブル予測雨量をもとに決定する放流量から、貯水位の時系列変化を計算する。具体的には、計算開始時の貯水位は洪水貯留準備水位とし、1時間毎に更新される実測値と6時間毎に更新されるアンサンブル予測雨量を反映して前章で示した指標（「流入量が洪水量を超える割合」及び「予備放流水位まで低下しない割合」）を逐次更新した上で、これに基づき放流量を決定しながら貯水位の時系列変化を計算する。

指標を予備放流操作の意思決定に活用する考え方の一例として、次が挙げられる。すなわち、「流入量が洪水量を超える割合」が図-2で示したように0以外の場合は予備放流操作を開始又は継続することとする。その際の放流量は、図-4で示したように利水放流量の最大である150m<sup>3</sup>/sでは「予備放流水位まで低下しない割合」が存在するため他の放流設備を併用することとし、「予備放

流水位まで低下しない割合」が0となる適切な放流量を選択することが考えられる。

具体的に指標から予備放流における放流量を決定する手順は各ダムの個別の状況により様々であると考えられるが、今回の試算では以下の手順で決定した。

1. 「流入量が洪水量を超える割合」が0の場合は予備放流を実施しない。それ以外の場合は、予備放流を開始または継続する。
2. 予備放流を開始または継続する場合は、「予備放流水位まで低下しない割合」が0となる放流量のうち、最小の放流量とする。例えば、図-4の場合は、200m<sup>3</sup>/sとする。

#### 3.2 試算結果

図-5に試算結果を示す。7月4日10:00から予備放流を開始し、7月5日3:00に貯水位を予備放流水位まで低下させて予備放流を完遂する計算結果であった。各時刻にどのような指標に基づき予備放流を実施したかを次に示す。

7月4日7:00時点の予測流入量において、「流入量が洪水量を超える割合」が0以外であったため、予備放流の開始を決定する。図-6は同時刻の予備放流における放流量と「予備放流水位まで低下しない割合」の関係である。予備放流水位まで低下しない割合が0の中となる中で最小の放流量は300m<sup>3</sup>/sであるため、この放流量で予備放流を開始することを決定する。予備放流を開始するにあたっては巡視等の準備時間が必要となるため、今回の試算ではこれを3時間と設定し、予備放流開始を決定した7:00から3時間後の10:00に予備放流を開始する。なお、予備放流の開始にあたっては、放流の原則に従い放流量を増加させている。

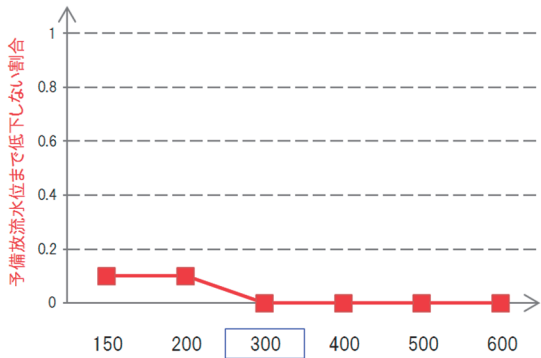


図-6 7月4日7:00時点の予備放流における放流量と「予備放流水位まで低下しない割合」の関係

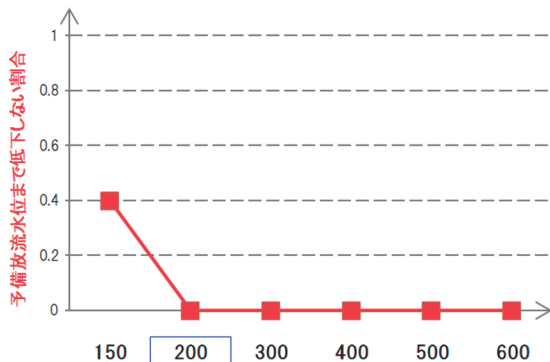


図-7 7月4日13:00時点の予備放流における放流量と「予備放流水位まで低下しない割合」の関係

図-7は7月4日13:00時点の放流量と「予備放流水位まで低下しない割合」の関係である。実測値及びアンサンブル予測雨量の更新を反映して指標が更新され、この時点では200m³/sが選択されるため、放流量を200m³/sまで減ずる。

上記のように、逐次更新される指標に応じて放流量を再設定しながら予備放流を実施し、7月5日3:00に予備放流が完了した。

今回の試算では、流入量が洪水量を超過する洪水に対して予備放流を完遂する試算結果を得た。一方、今回の試算結果は放流量を最大約300m³/sまで増加させて流入量が洪水量を超過する時点よりも24時間以上早く予備放流水位まで低下させており、結果的には利水放流量の最大である150m³/sよりも大幅に放流量を増加させて予備放流を実施する必要性は低かったと考えられる。このような計算となった要因は、7月4日7:00や13:00時点の指標の算出に用いたアンサンブル予測雨量が流域平均累積雨量について、全てのアンサンブルメンバーで実績値に比べて過大予測となっており、それに伴い実際よりも早くに流入量が洪水量を超過すると予測したためである。

また、今回試算した指標と放流量の決定手順の場合、予備放流中に放流量を複数回変更しており、

現場の必要性に応じて操作の煩雑性を低くする工夫も必要になると考える。

#### 4. まとめ

アンサンブル予測雨量を用いることで、予測の幅を考慮して予備放流操作を決定する方法と、それに基づく試算結果を示した。今回は限られた事例における検討であるため、検討事例数を増やして本手法の適用性を検証していくことが課題である。今後は開発手法に基づき、別途検討した事前放流や特別防災操作も合わせた一連のダム操作について、現場と密に連携しながら手法の適用性の検証及び改良を図っていくこととしている。

#### 参考文献

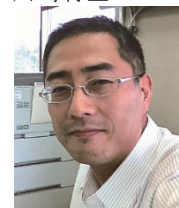
- 1) 社会資本整備審議会：水災害分野における気候変動適応策のあり方について ～災害リスク情報と危機感を共有し、減災に取り組む社会へ～、2015、[http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai\\_blog/shaseishin/kasenbunkakai/shouinkai/kikouhendou/index.html](http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/shaseishin/kasenbunkakai/shouinkai/kikouhendou/index.html)
- 2) 猪股広典、川崎将生、後藤祐輔、増田有俊、荒木千博、荒木孝之：アンサンブル予測雨量のダム洪水調節操作への適用に関する研究、水文・水資源学会誌、第28巻、6号、pp.278～290、2015
- 3) 工藤俊、川崎将生：事前放流操作へのアンサンブル予測雨量の活用の可能性、土木技術資料、第59巻、第12号、pp.38～41、2017
- 4) 三石真也、尾関敏久、角哲也：WRFによる降雨予測を活用した新たな洪水調節手法の適用性検討、水文・水資源学会誌、第24巻、2号、pp.110～120、2011
- 5) 国土交通省、水管理・国土保全局：ダム再生ビジョン、2017、[http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai\\_blog/dam\\_saisei\\_vision/index.html](http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/dam_saisei_vision/index.html)
- 6) 異常豪雨の頻発化に備えたダムの洪水調節機能に関する検討会：異常豪雨の頻発化に備えたダムの洪水調節機能と情報の充実に向けて（提言）、2018、[http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai\\_blog/chousetsu\\_kentoukai/index.html](http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/chousetsu_kentoukai/index.html)

工藤 俊



国土交通省国土技術政策  
総合研究所河川研究部  
水循環研究室 研究官、  
博士（工学）  
Dr. Shun KUDO

川崎将生



国土交通省国土技術政策  
総合研究所河川研究部  
水循環研究室長  
Masaki KAWASAKI