

## 降水短時間予報を用いたダム放流量の新しい手法の提案

中央大学理工学部	学生員	○北田悠星
中央大学大学院	学生員	菊地慶
University of California, Davis	正会員	呉修一
中央大学理工学部	フェロー会員	山田正
中央大学大学院	学生員	岡部真人

### 1. はじめに

流域総合治水管理においてダムのゲート操作は大きな役割の一つを担う。また近年、地球温暖化の影響により将来の豪雨の増加や積雪の減少に起因する水資源の減少が温暖化影響総合予測プロジェクト報告書等で予測されており、既存のダムを今まで以上に効率的に運用する必要が出てくる。そこで、従来から著者らは既存のダムを現況以上に有効に活用するために、累積降雨量と流出特性の関係を利用して大規模な出水が起きる前にダム貯水池の貯水位を下げ、治水容量を一時的に増大させる事前放流手法を提案している<sup>1), 2)</sup>。また、著者らの従来の研究から、事前放流を行う際の放流開始準備に多くの時間を要するため、治水容量増大の効果を期待するためには可能な限り放流開始準備時間を多く確保する必要があることを示している<sup>3)</sup>。本論文では気象庁の降水短時間予報を従来から提案する手法に組み込み、洪水調節を行いその効果を検証した。



図-1 渡良瀬川流域及び解析対象ダムの位置関係

### 2. 本研究で対象としたダムの諸元

本研究では、利根川水系の渡良瀬川上流78km 地点に位置する草木ダムを対象として解析を行った。草木ダムは多目的ダムであり、流域面積は 254km<sup>2</sup>である。図-1 に渡良瀬川流域および草木ダムの位置、図-2 に草木ダムの容量分配図を示す。草木ダムでは昭和 52 年の建設当初に定められた操作規則に従って洪水調節が行われている。それによると草木ダムでは流入量 500m<sup>3</sup>/s 以上を洪水と定義し、洪水時の放流量は式(1)により決定される。

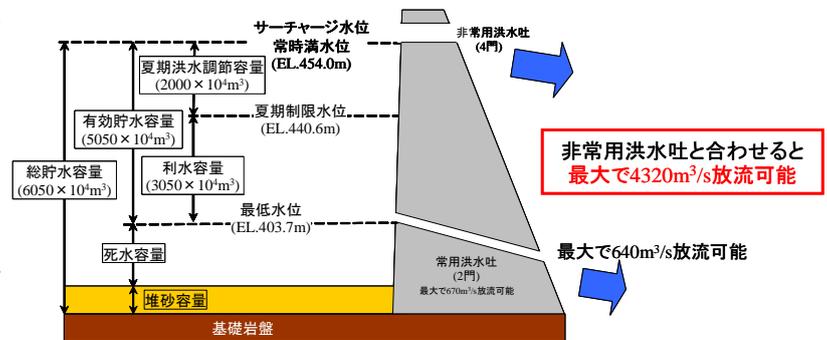


図-2 草木ダムの容量分配図

(利根川ダム統管理事務所「利根川上流ダム群の概要」参照)

$$Q_{OUT} = (Q_{IN} - 500) \times 0.1 + 500 \quad (1)$$

洪水調節は式(1)の操作規則に従って放流している。本論文ではこの放流操作を 1 割放流と定義する。この放流は常用洪水吐の操作によって行われるが、ダムが満水に近づくとただし書き操作として非常用洪水吐から流入量と同じ量が放流される。

キーワード 事前放流, 流出特性, 降水短時間予報

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部土木工学科 TEL 03-3817-1807

E-mail : yusei-kitada@civil.chuo-u.ac.jp

### 3. 本研究で提案するダム放流量の決定手法

本研究で提案しているダム放流量決定手法の概念を以下に述べる。

ダム貯水池における流入量，放流量に関しては式(2)に示す連続式が成立する。

$$-\int_0^t (Q_{IN} - Q_{OUT}) dt = V \quad (2)$$

ここに， $V$ ：現時点(=時刻  $t$ )以降に確実にダム貯水池に流入する総流入量 (=ダム流域における総直接流出量) [ $m^3$ ]， $Q_{IN}$ ：ダム貯水池への流入量 [ $m^3/s$ ]， $Q_{OUT}$ ：ダム貯水池からの放流量 [ $m^3/s$ ]である。

これは著者らが従来から提案している考え方であり，ある時刻における流入量や降雨量などのダム貯水池における水文諸量から，その後最低限貯水池へ流入する総流入量を算出し，それに見合う流量を事前放流量とする。事前放流としては降雨終了後に確実に流入する量だけを放流するものであり，洪水終了後にはダム貯水池は最低でも夏期制限水位まで回復することができる。この放流方法はいかなるダム流域においてもその流出特性を明らかにすることで適用することができる最も単純かつ合理的な放流方法と言える。

ここで，放流量の算出においては以下に示す時々刻々の累積降雨量の関数  $R(t)$  で  $V$  を表す手法を用いる。

$$-\int_0^t (Q_{IN} - Q_{OUT}) dt = V(R(t)) \quad (3)$$

本研究では，この手法を山田方式 (総降雨量方式) と定義する。以下に累積降雨量から  $V$  を算出する理論を記す。

現行のダム操作規則による放流操作は，時々刻々の流入量データを基に行っているが，洪水の発生要因である降雨の情報を得る事により，ダム貯水池への流入量を実際に流入が開始する前に算出することが可能となる。これにより，さらに効率的な洪水調節を行える可能性がある。式(3)を時間( $t$ )で微分し，式(4)の  $dR/dt=r(t)$  の関係を用いると式(5)が得られる。

$$R(t) = \int_0^t r(t) dt \quad (4) \quad Q_{OUT} = Q_{IN} + \frac{dV}{dR} \cdot \frac{dR}{dt} = Q_{IN} + \frac{dV}{dR} \cdot r(t) \quad (5)$$

ここに， $R(t)$ ：ダム流域において降雨が開始した時刻から現時点までの累積降雨量 [mm]， $r(t)$ ：時々刻々の降雨量 [mm/h] である。この山田方式では，降雨開始時を時刻  $t=0$  と定義する。

ところで，降雨に伴う流出は雨が降った瞬間から始まるものではなく，ある閾値に達しなければ流出は始まらない。本研究ではこの閾値を  $R_{SA}$  と定義し， $R_{SA}$  に到達した時刻を  $t=0$  とした。草木ダム流域における  $R_{SA}$  は平均して 46mm である。図-3 に草木ダムにおける累積降雨量  $R(t)$  と総直接流出量  $V$  の関係を示す。式(5)を用いるとともに，流域における  $V$  と  $R(t)$  の関係を事前に作成しておくことで，事前放流量が決定される。つまり，実測のデータに対して回帰直線を作成する事で放流量を決定することができる。ここで，この累積降雨量と直接流出量の関係のばらつきが大きいダム流域に対しては，回帰直線の傾きを変化させることで，平均値のライン (LineA)，治水に有利なライン (LineB)，利水に有利なライン (LineC) を定義し用いることができる。どのラインを使用するかはダムの管理者サイドが出水規模，貯水容量，洪水調節の主目的などに応じて決定することができる。これにより，著者らが提案する放流手法はいかなるダムに対しても普遍的に適用可能である。5章で記す事例では平均ラインを用いている。ダム貯水位に関しては式(6)より算出可能であり，利水容量の安全性も同時に確認できる。

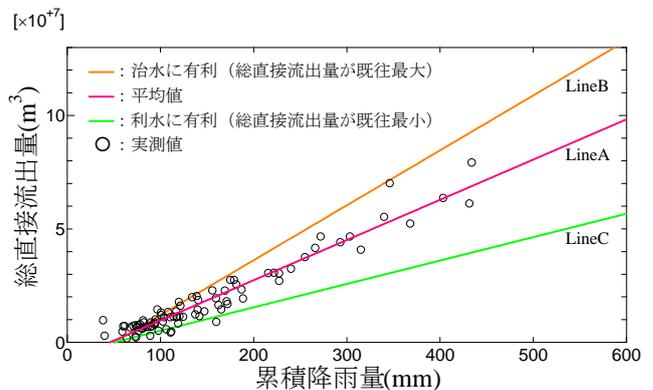


図-3 草木ダム流域における累積降雨量  $R(t)$  と総直接流出量  $V$  の関係

$$A(h) \frac{dh}{dt} = Q_{IN} - Q_{OUT} \quad (6)$$

ここに、 $A(h)$ ：湛水面積[m<sup>2</sup>]、 $h$ ：貯水位[m]である。

#### 4. 降水短時間予報を取り入れた事前放流を用いた洪水調節

著者らは前述のように降雨予測を用いない事前放流量決定手法を提案しているが、放流を開始する際にダム管理者は、放流開始の準備として、人員の確保やゲート等放流設備の点検、関係機関への放流通知などに約2時間を要し、放流開始の判断や所員の集合指示等を含めると約3時間の準備時間を必要とするのが現状である。

これらの放流準備時間を考慮した場合に、事前放流による治水効果を最大限に発揮するためには可能な限り早く事前放流を開始することが必要となる。そこで本研究では、山田方式より事前放流量を決定する際に、時々刻々の累積降雨量ではなく、気象庁の降水短時間予報による予測降雨量の累積値を用いる。予測降雨量を用いることにより放流開始を早めようという試みである。気象庁の降水短時間予報は30分間隔で発表され、6時間先までの各1時間雨量を予測する。予測降雨量を用いることで、時々刻々の累積降雨量を用いるよりも早い時期から洪水に備えることが可能になると考える。予測降雨量に伴う総直接流出量を図-3に示した総直接流出量 $V$ と累積降雨量 $R(t)$ の関係から求め、事前放流量を決定する。

#### 5. 大規模洪水を対象とした本洪水調節手法の適用

総直接流出量と予測降雨量の累積値の関係に基づき事前放流量を決定する洪水調節を実際の洪水に適用した。対象とした洪水は、過去の降水短時間予報データが得られた2007年9月の台風9号（草木ダムへのピーク流入量1,190 m<sup>3</sup>/s、既往2番目の規模）に伴う洪水である。ここで、ダムからの放流により人工洪水が発生する場合、洪水調節の意味が無くなる。さらに、事前放流の段階において洪水流量以上の放流はできない。よって、事前放流量の最大値は、解析対象としている草木ダムにおいて洪水流量と定義されている500m<sup>3</sup>/sとし、洪水調節開始流量に到達以降は現行の操作規則に従う洪水調節を行った。本事例の場合、現行の操作規則通りに放流した場合でもただし書き操作に移行することなく洪水調節を行うことに成功しているが、放流の最中により多くの降雨がある場合

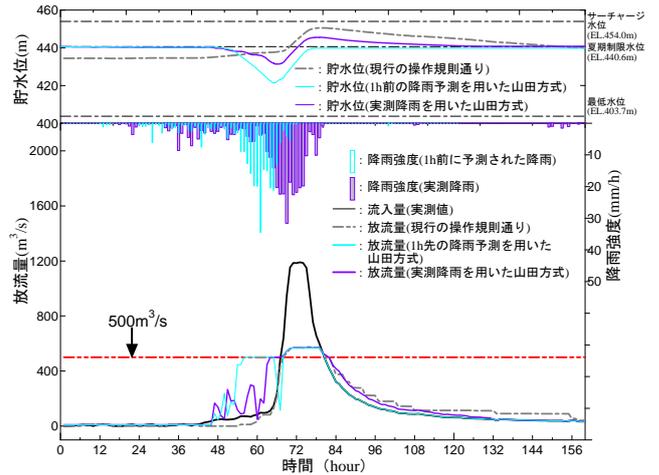


図-4 1時間前の降雨予測を用いた草木ダム流域における洪水時の流入・放流量及び貯水位の時系列

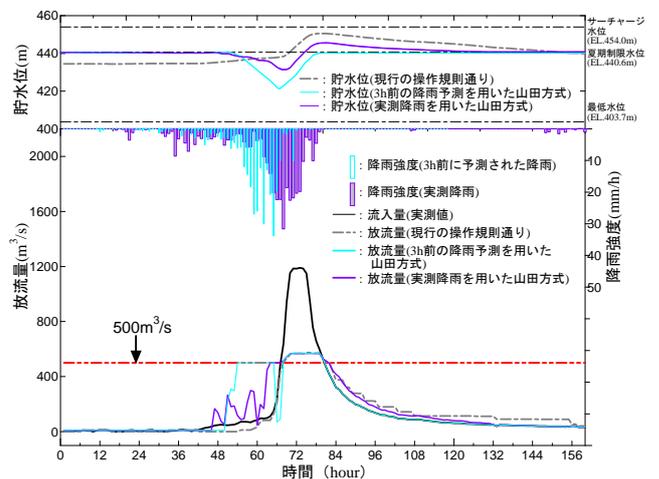


図-5 3時間前の降雨予測を用いた草木ダム流域における洪水時の流入・放流量及び貯水位

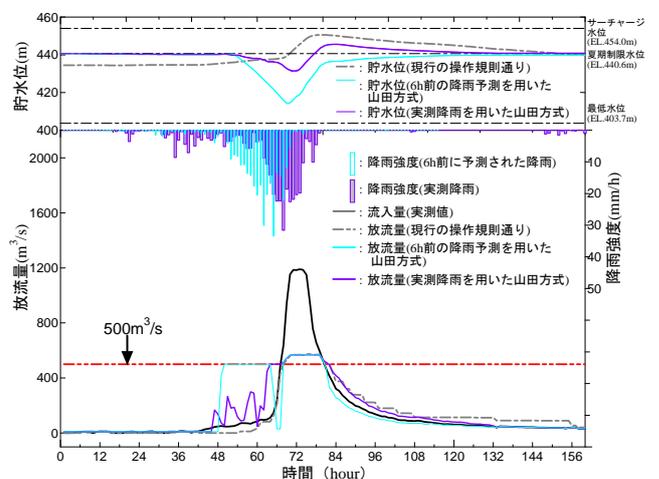


図-6 6時間前の降雨予測を用いた草木ダム流域における洪水時の流入・放流量及び貯水位

に、ただし書き操作に移行することが予想されるため、事前放流を行うという前提に基づいている。

降水短時間予報に基づき事前放流量を算出した際の流入量、放流量、貯水位の時系列を図-4, 5, 6に示す。

図-4は1時間前の降雨予測に基づき放流量を決定した場合、図-5は3時間前の降雨予測、図-6は6時間前の降雨予測に基づき放流量を決定した場合である。比較のために、実測降雨量に基づいて決定した放流量、貯水位、および対象洪水発生時に実際行われた操作による放流量、貯水位も同時に示す。

図-4, 5, 6において、予測降雨量を用いて事前放流を行ったことにより、時々刻々の実測降雨量を用いた場合よりも多くの量を事前放流できていることがわかる。また、洪水終了後の貯水位を見ると貯水位は夏季制限水位へと回復しており利水容量を確保していることがわかる。これにより、降水短時間予報を著者らが従来から提案している事前放流手法へ組み込むことで、最長6時間前から洪水に備えることが可能であるとともに、不確実性を伴う予測降雨量を用いたとしても貯水容量を失うことなく事前放流が可能であることを示した。以上により降水短時間予報を用いた事前放流が治水にとって非常に有効な手法であることを示した。

本論文で対象とした予測降雨量は実測降雨量よりも初期の段階から全体を通じて少ない量の降雨を予測している。よって、さらに高精度な予報を用いることができれば、多くの事前放流を早い段階から行うことができ、本論文で示した結果よりも大きな治水効果を得ることが可能となる。逆に降雨イベントの初期に降雨を過大に予報するような予測結果に対しては、予測降雨量に対する次々刻々の補正を行うなどにより利水容量を失うことを回避するための取り組みが必要となる。今後は、本研究で提案する事前放流手法がどの程度の予測結果にまで利水容量を損なわずに適用可能であるかを定量的に評価するとともに、予測値をいかに補正し予測誤差をいかに小さくするかに関する検討を行う。また、著者らは従来から、事前放流に伴う治水的な「利益」と利水的な「損失」を、経済的指標を用いることによりその期待利益を算出し、事前放流の意思決定に適用するなどの検討を行っている<sup>4)</sup>。このような取り組みと、本研究で提案するダムからの事前放流のフレームワークおよび予測降雨量の取り扱い・精度向上などを統合的に扱うことが流域総合治水・利水管理に向けて非常に重要となる。

## 6. まとめ

本論文では実測降雨量と気象庁の降水短時間予報による予測降雨量を用いたダム放流量を比較し、それに基づく現実的なダム管理を提案した。それにより得られた知見と今後の課題を列挙する。

- 1) 著者らが従来から提案している事前放流を用いた洪水調節手法の効果をより有効にするために、降水短時間予報による降雨量をもとにダムからの事前放流量を決定した。この結果を実測降雨量を用いた事前放流と比較した。いずれの場合も事前放流を行ったことでダム貯水池への流入が卓越する前に治水容量を増大させることで洪水調節に成功するとともに、洪水終了後に利水容量を確保することを示した。
- 2) 予測降雨量を用いて事前放流を行うことにより、時々刻々の実測降雨量を用いた場合よりも多くの量を事前放流できることを示した。また、洪水終了後の貯水位を見ると貯水位は夏季制限水位へと回復しており予測降雨量を用いた場合にも利水容量を失うことなく事前放流が可能であることを示した。

## 参考文献

- 1) 戸谷英雄, 秋葉雅章, 宮本守, 山田正, 吉川秀夫: ダム流域における洪水流出特性から可能となる新しい放流方法の提案, 土木学会論文集, Vol.62, No.1, pp.27-40, 2006
- 2) 下坂将史, 呉修一, 山田正, 吉川秀夫: 既存ダム貯水池の洪水調節機能向上のための新しい放流方法の提案, 土木学会論文集, 投稿中, 2009
- 3) 菊地慶, 呉修一, 戸谷英雄, 山田正, 吉川秀夫: ダムの治水機能向上を目的とする事前放流手法の提案, 第35回関東支部技術研究発表会, II, 68, 2008
- 4) 腰塚雄太, 下坂将史, 戸谷英雄, 山田正: 確率予報を用いたダムによる事前放流量の決定手法に関する研究, 第33回関東支部技術研究発表会, II, 17, 2006