

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

中央大学大学院 学生員 ○腰塚 雄太
河川環境管理財団 正会員 戸谷 英雄

中央大学大学院 学生員 下坂 将史
中央大学理工学部 フェロー会員 山田 正

1. はじめに

我が国では、古くから様々な治水・利水対策が取り組まれてきた。その中でもダムゲート操作による洪水調節は、最も効果を発揮する治水・利水手法の1つである。著者らは、従来から流域の洪水流出特性に基づいた、事前放流を用いた洪水調節手法を提案している。この手法は降雨予測を用いずに事前放流量を決定している。本論文では、新たに降雨の確率予報を用いてダムからの事前放流量を決定する手法を提案した。

2. ダム流域の流出特性に基づいた洪水調節手法

著者らは、従来からダム流域の流出特性に基づき事前放流量を決定する手法を提案している¹⁾。この手法は、降雨予測を用いずにダムからの事前放流量が決定できる。以下に従来から提案している事前放流量の算出式の考え方を述べる。ダム貯水池における流入量、放流量に関しては式(1)に示す連続式が成立する。ここに V ：現時点以降に確実にダム貯水池に流入する総流入量 $[m^3]$ である。放流量の算出においては V の表し方によって以下に示す2通りの式が得られる。

1. V を時々刻々のダム貯水池への流入量 $Q_{IN}(t)$ の関数で表す場合
2. V を時々刻々のダム流域における累積降雨量の関数 $R(t)$ で表す場合

著者らは、1を逓減特性方式、2を総降雨量方式と定義している。式(2)、(3)を時間 t で微分し、式(4)から $dR/dt=r(t)$ の関係を用いるとそれぞれ式(5)、(6)が得られる。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。ダム貯水位に関しては式(7)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。ここに $A(h)$ ：湛水面積 $[m^2]$ 、 h ：貯水位 $[m]$ である。ところで、 V の算出に当たっては対象流域の水文資料(降雨、流量データ等)の充実具合に応じて以下に示す2通りの求め方が存在する。

- A. 過去の水文資料が充実している流域： V と Q_{IN} の関係を既往のデータから求める。
- B. 過去の水文資料が不足している流域： V と Q_{IN} の関係を解析解から求める。

V と Q_{IN} の関係においては、図-1に示す山田²⁾が導出した流出高逓減部の解析解を用い、 V と R の関係においては図-2に示す既往のデータから作成した。

3. 事前放流を用いた洪水調節手法

対象ダム流域(流域面積：254 km^2)において2001年9月8日～13日(台風15号、既往最大の放流量906 m^3/s を記録)の洪水に対して、上述した逓減特性方式及び総降雨量方式を用いて事前放流を行う洪水調節を適用すると図-3のようになる。図-3に流入量、放流量、貯水位の時系列を示す。本研究で用いた放流量決定方法は、事前放流部分に適用することを目的としているので、流入量が500 m^3/s に達した後は現行の操作規則通りの洪水調節を行った。ただし書き操作を行う必要がなくなったことから、ピーク流入量付近で最大400 m^3/s の洪水流量の低減に成功している。また、ダム貯水位は夏期制限水位まで回復していることから利水上の安全性を保った上での事前放流が可能であることが言える。

4. 確率予報を用いた事前放流量の決定手法

前節までは、降雨予測を用いずに事前放流量を決定したが、本章では降雨予測を用いて事前放流量を決定する手法を述べる。降雨予測を用いた事

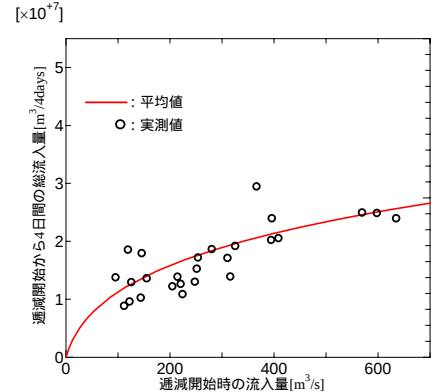


図-1 逓減開始時の流入量 Q_{IN} とその後4日間の総流入量 V の関係

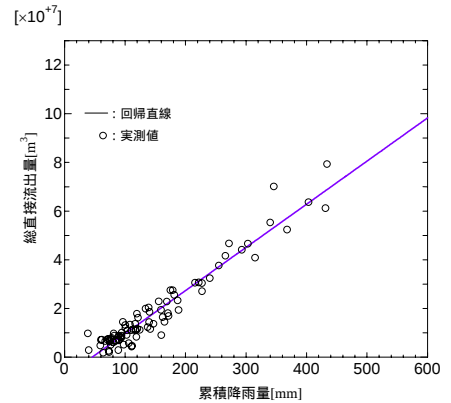


図-2 総降雨量 R と総直接流入量 V の関係

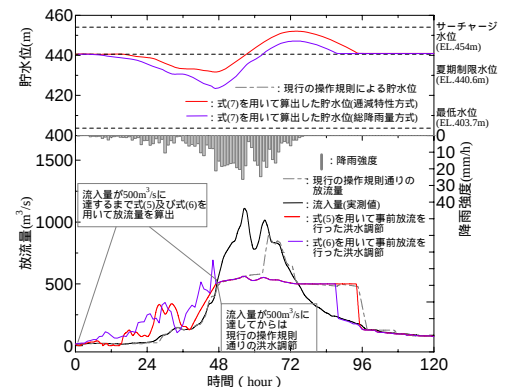


図-3 本研究で提案する事前放流を用いた洪水調節

表-1 本研究で用いる数式および式番号

$-\int_0^t (Q_{IN} - Q_{OUT}) dt = V \quad (1)$	$-\int_0^t (Q_{IN} - Q_{OUT}) dt = V(Q_{IN}(t)) \quad (2)$	$-\int_0^t (Q_{IN} - Q_{OUT}) dt = V(R(t)) \quad (3)$
$R(t) = \int_0^t r(t) dt \quad (4)$	$Q_{OUT} = Q_{IN} + \frac{dV}{dQ_{IN}} \cdot \frac{dQ_{IN}}{dt} \quad (5)$	$Q_{OUT} = Q_{IN} + \frac{dV}{dR} \cdot \frac{dR}{dt} = Q_{IN} + \frac{dV}{dR} \cdot r(t) \quad (6)$
$A(h) \frac{dh}{dt} = Q_{IN} - Q_{OUT} \quad (7)$	$EG_{(i)} = +P \cdot V \cdot f + P \cdot 0 \cdot w = +P \cdot V \cdot f \quad (8)$	$EG_{(i)} = +(P_M - P) \cdot V_M \cdot f - (P_M - P) \cdot (V - V_M) \cdot w \quad (9)$
$EG_{(i)} = +(1 - P_M) \cdot 0 \cdot f - (1 - P_M) \cdot V \cdot w \quad (10)$	$\sum_{i=3} EG_{(i)} = EG_{(i)} + EG_{(i)} + EG_{(i)} > 0 \quad (11)$	
$P > \frac{V \cdot w - P_M \cdot V_M \cdot (f + w)}{(V - V_M) \cdot (f + w)} = \frac{R \cdot w - P_M \cdot R_M \cdot (f + w)}{(R - R_M) \cdot (f + w)} \quad (12)$		

キーワード：事前放流，確率予報，治水，利水，経済的価値，洪水調節

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・FAX：03-3817-1803

前放流を行うことを前提とすると、治水的には非常に効率的であるが、一方で利水的には空振りにあう危険性が常につきまとうため不利である。そこで、もし降雨予測を用いて事前放流を行うことを前提とすると、どの程度の流量を事前放流すれば合理的かという問題に対して、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した。具体的には、確率予測を用いて事前放流する際に、治水・利水の観点から考えられる全事象の期待利益の合計額が、プラスになるように事前放流を行う。

(1) 事前放流の意思決定に必要な情報

事前放流を行うか否かを決定するには3つの情報が必要になるが、以下にその例を示す。

- 1) 「この台風では、 $R_f(\text{mm})$ 以上の総降雨量が P_f の確率で発生する」という量的な降雨確率予測
- 2) 「対象ダム流域では、台風の際には最低 $R_M\text{mm}$ 以上の総降雨量が P_M の確率で発生する」という気候的な降雨確率予測
- 3) 「対象ダム流域では、 $R(\text{mm})$ 以上降雨が発生すると合計 $V(\text{m}^3)$ の流量がダム貯水池に流入する」というダム流域の流出特性

量的な降雨確率予測である1)に関しては、気象庁が発表している大雨確率予測のように、数値予測モデル等を用いて予測されたものを用いる。気候的な降雨確率予測である2)は、既往の統計データから各ダム流域で作成しておく。例えば本研究の解析対象ダム流域では、過去25年間の洪水期において、閾値以上の総降雨量が発生する確率は図-4のようになる。ここでは、30mm以上の発生度数で正規化した。この値を各ダム流域で予め決めておく必要がある。また、例として台風性の降雨を取り上げたが、その他の降雨(集中豪雨など)に対しては、それぞれの気候的な降雨確率を求めておけばよい。3)のダム流域の流出特性は、図-2に示すように、累積降雨量と総直接流出量の関係から、予測された総降雨量が発生した際に、その後確実にダム貯水池に流入する総量が算出できる。

(2) 事前放流に伴う事象と各事象の期待利益

例えば、「これから、確率 P で合計 $R(\text{mm})$ 以上の雨が降る」という予測(以下、予測Aと定義する)が与えられたと仮定する。ここで、前節3)の流域特性を求めておけば、 $R(\text{mm})$ 以上降雨が発生すると合計 $V(\text{m}^3)$ の流量がダム貯水池に流入することが解るので、合計 $V(\text{m}^3)$ の事前放流を行うことができる。また、前節2)で示した気候的な発生確率(予測Bと定義する)は既往の統計データより求まっている事とする。これらの条件の下、予測Aを信じて合計 $V(\text{m}^3)$ の事前放流を行うという試行に対して、以下の3つの事象が考えられる。

事象) 予測Aが適中する

事象) 予測Aははずれるが、予測Bは適中する

事象) 予測AもBもはずれる

これら3つの事象に対して、それぞれ治水・利水両面から期待利益を算出する。事象の場合、信じた予測が適中するわけであるから、空振りはなく、事前放流量に相当する流量以上はダム貯水池に流入する。すなわち治水的には事前放流により貯水容量を空けた分は流入流量を貯め込むことができるため、治水的に $V(\text{m}^3)$ 得したことになる。利水的には空振りが無いので、得も損もない。よって、事象の期待利益は式(8)によって算出される。ここに、 EG : Expected Gain[円]、 P : これから合計 $R\text{mm}$ 以上降る確率、 V : 合計 $R\text{mm}$ 以上降った時、ダム貯水池に流入してくる総流入量 $[\text{m}^3]$ 、 f : 水 $1\text{m}^3/\text{s}$ あたりの洪水被害軽減額、 w : 水 $1\text{m}^3/\text{s}$ あたりの利水額、である。

次に事象の場合は、 $V(\text{m}^3)$ 事前放流を行うことによって空けた貯水容量のうち、 $V_M(\text{m}^3)$ がダム貯水池に流入する。すなわち、治水的にはダム貯水池に貯め込んだ $V_M(\text{m}^3)$ の得をするが、見込んでいたダムへの流入量 $V(\text{m}^3)$ を下回る $V_M(\text{m}^3)$ しかダム貯水池に流入しないので、利水的には $(V-V_M)(\text{m}^3)$ を失うことになる。すなわち事象の期待利益は式(9)のように表される。ここに、 P_M : これから最低 $R_M\text{mm}$ 以上降る確率、 V_M : 合計 $R_M\text{mm}$ 以上降った時、ダム貯水池に流入してくる総流入量 $[\text{m}^3]$ 、である。

事象の場合は、空振りにあう場合である。この時、 $V(\text{m}^3)$ の事前放流を行うが、貯水池にはほとんど流入して来ないため、治水的には損も得もない。しかし、事前放流により空けた $V(\text{m}^3)$ の貯水容量のうち、 $V(\text{m}^3)$ 全てを失ってしまうことになるので、利水的には、 $V(\text{m}^3)$ を失うことになる。すなわち事象の期待利益は式(10)のように表される。以上式(8)~(10)により、この試行の期待利益が正になるように P を決定すると式(11)のようになり、式(11)を整理すると式(12)を得る。以上をまとめると、台風などに伴う降雨が予想される際、前節1)のように量的な降水確率予測を得ることができれば、この予測確率 P_f が式(12)を満たす P より大きい時に事前放流を行うことで、より合理的な洪水調節が可能になる。

5. まとめ

本研究で得られた知見を以下に述べる。

- 1) 従来から行ってきた、降雨予測を用いずに事前放流量を決定する手法に加えて、本論文では降雨の確率予測を用いて事前放流量を決定する手法を提案した。事前放流に伴う治水・利水両面の経済的な期待利益を算出し、事前放流を行うための意思決定に適用した。これにより、より合理的な事前放流量が決定できる可能性を示した。

参考文献

- 1) 下坂将史、腰塚雄太、戸谷英雄、山田正：流出特性に着目したダム放流量の決定方法とその洪水水位低減効果に関する研究、第60回年次学術講演会講演概要集、部門2-057、2005。
- 2) 呉修一、腰塚雄太、山田正：ハイドログラフの逓減特性を用いた流出特性の抽出、土木学会水工学論文集、Vol.48, pp.13-18, 2004。
- 3) 立平良三：気象予測による意思決定、東京堂、1999。

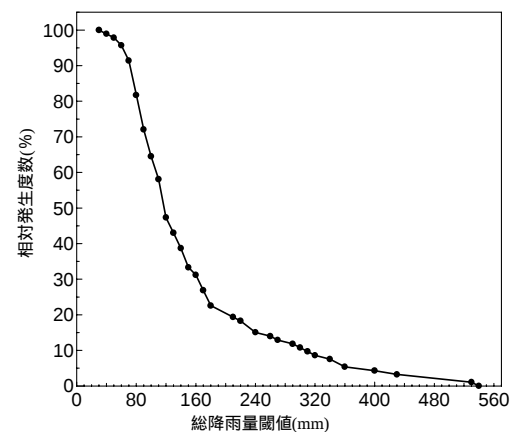


図-4 解析対象ダム流域における降雨量閾値以上の発生度数