治水・利水を考慮したダム放流量の決定に関する研究

中央大学理工学部 学生員 腰塚 雄太 河川環境管理財団 正会員 戸谷 秀雄 (独)水資源機構 正会員 佐藤 直良 中央大学理工学部 正会員 山田 正

1.はじめに

我が国のダムの多くは利水と兼用された多目的ダムであるが,そのほとんどは治水容量のみで流量制御が行われている.しか し洪水時において確実にダムに流入してくる量を算出することで、ダムへの流入量を前期放流として流量制御を行うことが可 能になり、利水容量を確保した上で治水容量を大きくとることができる。すなわち、ダムの持つ治水・利水容量を最大限に活用し た新しい流量制御が実現可能であると考えた.そこで本研究では,ダム流域における過去の実測データを回帰することにより得 られる様々な流出特性に応じた,より効果的な放流操作の1方法を提案する.

2. 草木ダム流域の流出特性

本研究では、利根川水系の渡良瀬川上流 78km 地点に位置する多目的ダムである草木ダム流 域(流域面積 254km²)を対象例として過去の実測データを用いて解析を行い,その流出特性を の実測流入量の最大値と流入量の最大値を逓減開始とした4日間の累積流入量を示す. 草木 ダムではピーク流入量が 500m³/s を超える出水を洪水と定義しているが,それらの総流出量 は最低でも $2050 \times 10^4 \text{m}^3/\text{s}$ が草木ダムに流入しており,そのほとんどが $3000 \times 10^4 \text{m}^3/\text{s}$ 以上流入 していることが分かる.草木ダムの利水容量が 3000×10⁴m³/s であるからダム貯水位をピーク 流入量発生から4日間で夏期制限水位まで回復させることが可能である.

3. ハイドログラフ逓減部の累積流入量の算出

図-2 で明らかにした草木ダム流出特性を用いて,流入ハイドログラフの逓減特性を抽出する ことにより累積流入量の算出を行った.山田²)は式(1)のように流出高逓減部は非線形性特有の分 数関数のべき乗形式で逓減するという解析解を導出した.ここに, q_* : 流出高[nm/h], $q_{**,0}$: 初期流 出高[mm/h], a_0 , は流域の流出特性を表すパラメータである.

$$q_{**}(t) = \frac{q_{**_0}}{\left(1 + a_0 \beta q^{\beta_{**_0}} t\right)^{1/\beta}} (1), \qquad \int_0^{96} q_{**}(t) dt = \frac{q_{**_0}^{(1-\beta)} \left\{ (1 + 96a_0 \beta q^{\beta_{**_0}})^{(b-1)/\beta} - 1 \right\}}{a_0(\beta - 1)}$$
(2)

この流出高逓減部の解析解である式(1)を積分すると逓減開始以降の累積流入量を算出するこ とができる.草木ダム流域での降雨と流入量のピークの遅れ時間が平均して 2 時間程度発生す ることから、逓減期間を降雨終了時点2時間後からその4日後までとした.式(1)を4日間、つまり 96 時間積分すると逓減開始以降の累積流入量の解析解である式(2)を得る.この式(2)を用いるこ とで洪水時におけるダムの流量制御においてダムへの流入量を算出することが可能になる.こ 図-2 流入量の最大値と逓減開始からの れは流域特性の把握及び水資源確保の観点から、ダム管理の洪水制御における有益な知見である.

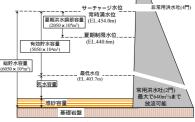
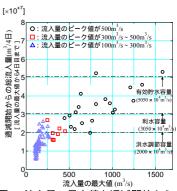


図-1 草木ダムの容量配分図



累積流入量の関係

4. 流出特性を用いたダム放流量の算出

図-3 は 1979 年 10 月から 2002 年 7 月までのハイドログラフ逓減部に降雨の無い 11 洪水の実測流量データを回帰することに より求めた流出パラメータの平均値(以下 $a_0eta;\Sigma Q_{
m Average}$ で表す)を適用した場合の式(2)と実測の累積流入量及び総降雨量を示した ものである .また,流出パラメータの回帰に用いた 11 洪水の中で逓減時の実測累積流入量が最も多かった 2001 年 9 月 10 日[台風

15 号]の洪水時の流出パラメータ(以下 $a_0,\beta;\Sigma Q_{\text{Max}}$ で表す)[$\times 10^{-7}$] 及び逓減時の実測累積流入量が最も少なかった 1997 年 6 月[台風 7号]の洪水時の流出パラメータ(以下 $a_0eta; \Sigma Q_{\mathrm{Min}}$ で ${}^{\leftarrow}$ 表す)を用いた場合の式(2)も図-3 に示した.図-4 は著者ら が提案するダム放流量決定に関する理論過程である.すな わち算出した累積流入量を先に前期放流として放流して も、その後にダム貯水位は夏期制限水位まで回復する.こ の理論過程に基づいた放流量の算出に用いる式展開の概 要を以下に記す.前節で逓減期間を 4 日間としているの で,n=4 とし,前期放流によりダムの貯水位を下げた分の流 量と、ピーク流入量発生以降 4 日間でダムに流入する累積 流入量との関係を式(3)に示す .式(3)を時間 t で微分するこ 図-3 ピーク流入量と逓減開始から とにより式(4)のような常微分方程式が得られる.また,ダ

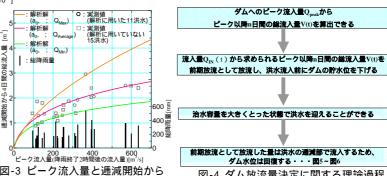


図-4 ダム放流量決定に関する理論過程 4日間の累積流入量の関係

ムの湛水面積とダムの貯水位の時間変化及び流入・放流量の関係を式(5)に示す.ここに, $Q_{\rm in}$:流入量 $[{
m m}^3/{
m s}]$, $Q_{\rm out}$:放流量 $[{
m m}^3/{
m s}]$,V(t): ピーク流入量発生以降にダムに流入する累積流入量 $[m^3], Q_{peak}$:流入量の最大値 $[m^3/s], A(h)$: 湛水面積 $[m^2]$ である .また,式(4)の Q_{peak} はある時刻における流入量であり、 $Q_{\text{neak}}=Q_{\text{in}}$ に置換が可能であるため式(6)が得られる.この式(6)の右辺第二項は過去の実測デー タから V(t)と Qin の関係を予め求めておく、本研究で提案するこれら式(4)と式(6)、さらにはハイドログラフ逓減部の累積流入量 の解析解である(2)式に流出パラメータを用いることによって、流入ハイドログラフ逓減部の累積流入量に基づいた放流量の決定 が可能になる.

$$-\int_{0}^{t} \left(Q_{in} - Q_{out}\right) = V(t) \qquad (3), \qquad Q_{out} = Q_{in} + \frac{dV(t)}{dQ_{peak}} \times \frac{dQ_{peak}}{dt} \qquad (4), \qquad A(h)\frac{dh}{dt} = Q_{in} - Q_{out} \qquad (5), \qquad Q_{out} = Q_{in} + \frac{dV(t)}{dQ_{in}} \times \frac{dQ_{in}}{dt} \qquad (6)$$

また、本研究で提案する式との比較を行うために草木ダムにおける現行の操作規則を以下に記す.草木ダムの現行の操作規則は 昭和52年のダム建設当時に定められており、それによると流入量500m³/s以上を洪水と定義し、その時の放流量は式(7)により決定 される、この放流は常用洪水吐の操作により行われ、ダムが満水になってくるとただし書き操作により、非常用洪水吐から流入量 とほぼ同じ量が放流される.

$$Q_{out} = (Q_{in} - 500) \times 0.1 + 500$$
 (7)

著者らは草木ダムにおいてただし書き操作が行われた 2001 年9月10日[台風15号]の洪水に関して解析を行い式(5)・(6) による放流操作に基づいて放流したときのダム貯水位の時系 列を実測の貯水位の値と比較した.解析には図-3 で示した流 出パラメータの平均値を用いた.実測の流入量と放流量のハイ ドログラフと式(5)・(6)による放流量のハイドログラフとの比 較及びそれぞれのダム貯水位の時系列の比較を図-5 に示す. 図-5.2~5.4 は流量制御が必要ない段階で降雨が終了した場合 に式(5)・(6)による放流操作を行ったときのダム貯水位の時系 列をみるために、流入量の最大値が500m³/s,300m³/s,100m³/s だ ったと仮定して解析を行った結果を示したものであるがいず れもダム貯水位はほぼ夏期制限水位までほぼ完全に回復する ことが分かる.この時放流量は河川流量の維持等を考慮し,最 低でも 10m³/s は放流するようにした.さらに,様々な洪水形態 に適用させた場合のダム貯水位の時系列をみるためにそれぞ れのケースにおいて流出パラメータを変化させた場合の解析 結果も図-6 に示した.ここで比較に用いた流出パラメータは 図-3 に示した $a_0\beta$; ΣQ_{Min} 及び $a_0\beta$; ΣQ_{Max} である $a_0\beta$; ΣQ_{Min} を用 いた場合にはダム貯水位は完全に夏期制限水位まで回復して いるが、 $a_0\beta$ 、 ΣQ_{Max} を用いた場合には、ダム貯水位は夏期制限水 位までは回復していない.これは式(5)・(6)に基づいた放流操 作を行った場合計算上放流量が負の値を取るときも 10m³/s を 放流するように放流条件を与えたからであると考える.以上の 結果から、より合理的なダム操作を行うには流出パラメータの 平均値 $(a_0,\beta;\Sigma Q_{\text{Average}})$ を用いることが妥当と考えられるが,本研 究で提案する放流操作は解析に用いる流出パラメータの値を 様々な洪水形態に応じて変化させた場合でも十分適用可能で あることを示したものであり、ダムの機能を最大限に活用する 非常に有効な新しい放流操作方法を提案したと考える.

本研究で得られた知見を述べる.

- ダム流域における過去の実測データからその流出特性を 抽出した結果、実測流入量の最大値と実測流入量の最大値 を逓減開始とした4日間の累積流入量の関係が得られ,草 木ダムでは逓減部の総流出量は最低でも 2050×10⁴m³/s が 草木ダムに流入しており、そのほとんどが 3000×10⁴m³/s 以 上流入している.草木ダムの利水容量が 3000×10⁴m³/s で あるから、前期放流で最低水位まで貯水位を下げた状態で 洪水を迎えたとしても、ピーク流入量発生から 4 日間でダ ム貯水位は夏期制限水位まで回復することが可能である.
- 流入ハイドログラフ逓減部の解析解から逓減期間の累積 流入量を算出し、ピーク流入量以降にダムに流入してくる 量を決定することが可能になり、ダム管理の洪水制御にお いて逓減特性を用いた最適放流量の決定につながる非常 に有益な知見を示した.
- 解析解によって得られた逓減部の累積流入量を先に前期 放流として放流する操作方法を提案した .この操作方法に 基づき実際過去に起きた洪水時例を対象に解析を行った 結果、前期放流によって低下したダム貯水位は確実にダム に流入してくる量によって夏期制限水位まで回復するこ とが可能であることを示した .これによりダムの持つ利水 容量を確保した上で治水容量を最大限に活用した新しい 流量制御が実現可能であることを示した.
- 本研究で提案する新しい放流操作は、過去の実測データか ら回帰し求めた流出パラメータの値をそれぞれ変化させ ても、ダム貯水位が夏期制限水位まで回復することを示し

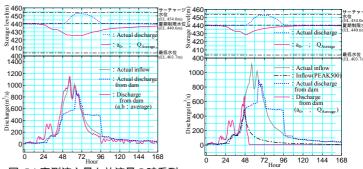


図-5.1 実測流入量と放流量の時系列

1000

800

600

400

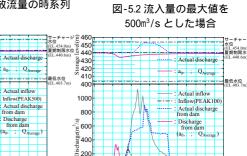


図-5.3 流入量の最大値を 300m3/s とした場合

72 96 Hour 図-5.4 流入量の最大値を 100m³/s とした場合

120

図-5 流出パラメータ $a_0,\beta;\Sigma Q_{\text{Average}}$ を用いた場合の流入量と 放流量のハイドログラフと貯水位の時系列

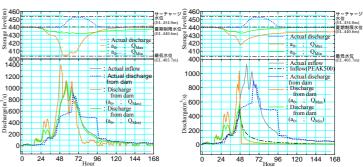


図-6.1 実測流入量と放流量の時系列

図-6.2 流入量の最大値を 500m³/s とした場合

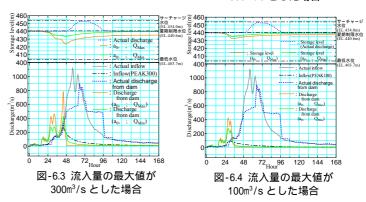


図-6 流出パラメータ $a_0\beta$; ΣQ_{Max} 及び $a_0\beta$; ΣQ_{Min} を用いた場合の流入量と 放流量のハイドログラフと貯水位の時系列

た、これにより本研究で提案する放流操作は様々な洪水形態に応じた放流を行なうことが可能であることを示した、

謝辞:本研究の遂行に当り貴重なデータを提供して頂いた草木ダム管理所に深甚なる感謝を表す

参考文献:1)志村光一,大原憲明,松木浩志,山田正:水理計算に基づく大規模河道網の洪水流出特性に関する研究,水文・水資源学会 誌,Vol.14,No3<pp.217-228,2001 . 2) 山田正:山地流出の非線形性に関する研究,土木学会水理講演会論文 集, Vol.47, pp.259-264, 2003