

前期放流による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

中央大学大学院 学生員 腰塚 雄太 (独)土木研究所 正会員 宮本 守
 河川環境管理財団 正会員 戸谷 秀雄 中央大学理工学部 正会員 山田 正

1. はじめに

一級河川に代表される大規模流域では、流域の保水・遊水機能の低下や外水氾濫に対して流域全体で総合的な治水対策がなされるべきであり、また国民生活の基盤を支える水資源の安定した供給を図る上で今後も着実な治水対策を行う事は非常に重要である。そこで著者らは一つのダムの持つ治水・利水機能の観点からより効果的なダム操作方法を提案した。その操作方法とは、既に降った降雨のうち確実にダム湖へ流入する量を前期放流として放流する操作方法である。さらに本研究では前期放流による流量制御がダム下流域においてどのような影響を及ぼすのかをその洪水水位低減効果に着目し解析を行った。

2. 解析対象ダムの容量配分と操作規則

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)を対象例として解析を行った。図-1 に草木ダムの容量配分図を示す。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流量制御が行われており、それによると草木ダムでは流入量 500m³/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。ここに、 Q_{OUT} : 放流量[m³/s]、 Q_{IN} : ダム湖への流入量[m³/s]である。

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

ここで図-2 に既往最大の放流量(906m³/s)を記録した 2001 年 9 月 10 日[台風 15 号]におけるダムの運用状況を示す。この洪水では残存貯水容量率が約 9% になった時点でただし書き操作が行われ、それ以降はダム貯水位が夏期制限水位に戻るまで流入量と同じ流量を放流している。このように現在の放流操作規則では対処しきれないような洪水が過去に発生していることが分かる。

3. 前期放流量を用いたダム放流量の決定方法

3-1. 前期放流量の算出方法: 図-2 の事例に示したような洪水に対して前期放流によりダム貯水位を下げた状態で洪水を迎える事は治水的観点から非常に効果的である。しかしダムの利水としての役割を考慮すると夏期制限水位以下に貯水位を下げる事はできない。これらを踏まえて治水・利水を考慮した新しいダム放流量の決定方法の導出を試みた。図-3 にその理論過程を示す。本研究では、既に降った降雨のうち確実にダム湖へ流入する量、すなわち流入ハイドログラフの積分値を算出し、それを放流するという操作を提案している。この放流方法によりダム貯水位はいったん下がるものの、前期放流の総量はハイドログラフ逡減部の積分値としているため、洪水終了後にダム貯水位は最低でも夏期制限水位まで回復する。以上の理論を数学的定式化すると式(2)になる。左辺は前期放流として放流した総量であり、右辺はハイドログラフ逡減部にダム湖へ流入する総流入量である。この式(2)を時間(t)で微分し変形することで式(3)を導出した。ここに V: 流入ハイドログラフ逡減部の総流入量[m³]である。さらに、式(4)よりダム貯水位も同時に算出した。

$$-\int_0^t (Q_{IN} - Q_{OUT}) = V(Q_{IN}(t)) \quad (2), \quad Q_{OUT} = Q_{IN} + \frac{dV}{dt} = Q_{IN} + \frac{dV}{dQ_{IN}} \cdot \frac{dQ_{IN}}{dt} \quad (3), \quad A(h) \frac{dh}{dt} = Q_{IN} - Q_{OUT} \quad (4)$$

V の算出に当たっては、図-7 に示す流入ハイドログラフ逡減部の積分値を用いた。図-7 は降雨終了後から 2 時間後の流入量とその後 4 日間の総流入量の関係の解析解及び実測値、さらにその洪水の総降雨量を示したものである。前期放流の算出に用いた流入ハイドログラフ逡減部の解析解は図-4 に示す 3 ケースを用いた。この 3 ケースは流出パラメータに、平均値を用いた場合(Line1)、逡減部の総流入量が最も多い場合(Line2)、逡減部の総流入量が最も少ない場合(Line3)である(本論文では以後これらを Line1, Line2, Line3 と定義する)。

3-2. 前期放流量の算出結果: 草木ダム流域において 2001 年 9 月[台風 15 号]の洪水を対象に放流量を算出した。放流量算出に Line1 を用いた場合の流入量、放流量、貯水位の時系列を図-5、Line2,3 を用いた場合を図-6 に示す。図のように洪水終了まで放流量を算出することは可能であるが、本研究で提案する放流理論は前期放流部分に適用することを目的としている。そこで、LINE1 を用いて前期放流量を決定し、流入量が 500 m³/s を超えてからは現行の流量制御を行った場合の流入量、放流量、貯水位の時系列を図-7 示す。前期放流によってダム貯水位を約 10m 下げ、治水容量を大きく取った状態で洪水を迎える事ができ、その後の流量制御によりただし書き操作を回避することが可能であることを示した。また逡減部の総流入量によりダム貯水位は夏期制限水位まで確実に戻っていることが分かる。同様に放流

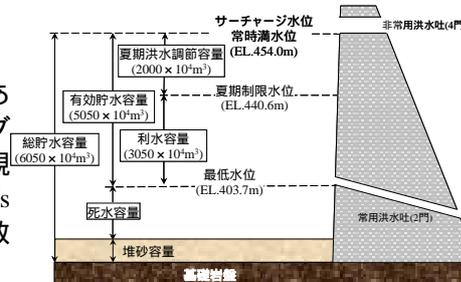


図-1 草木ダムの容量配分図

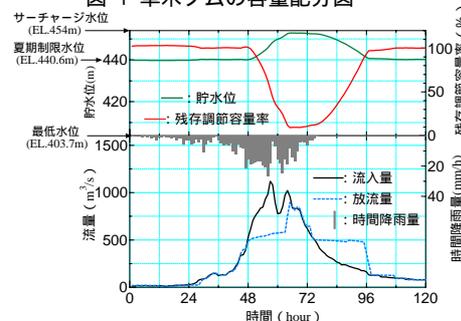


図-2 洪水時における草木ダム流域の時間降雨量と流入・放流量の実測値

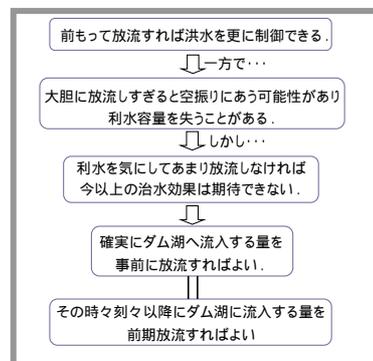


図-3 放流ルールの考え方

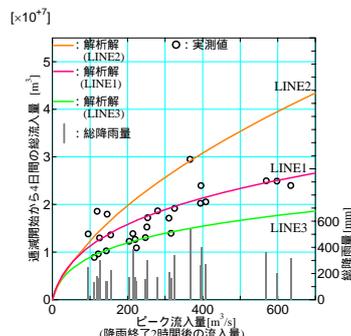


図-4 ピーク流入量と逡減開始から4日間の総流入量の関係と放流量算出に用いた解析解

量算出に LINE2 を適用した場合を図-8 に示す。さらに、図-7,8 には草木ダムにおいて既往最大の流入量(1584m³/s)を記録した1982年8月の洪水を対象に同様に放流量の算出を行った結果を示す。この時図-8 においては LINE2 を用いて放流量を算出しているため、ダム貯水のピークと常時満水位の差が12m という値を示した。この事はダム貯水位を予め夏期制限水位より高い水位に設定しておく事が可能性である事を示した。

4. 前期放流を行った際の下流における洪水水位低減効果

4-1. 基礎式と計算条件: 前期放流を行った流量制御がダム下流の渡良瀬川においてどのように応答するかその洪水水位低減効果に着目し、利根川河道全体を不定流計算した。図-9 は計算に用いた利根川河道網と懸案地点を示している。ダム下流の懸案地点はダムから22km下流の高津戸と42km下流の足利の2地点とした。この2懸案地点において前期放流を行った流量制御の水位をダムによる制御のない場合、現行の流量制御を行った場合と比較した。河道部の不定流計算には連続式(式(5))及びサン・ヴナン式(式(7))を用いている。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (5), \quad \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{n^2 g Q |Q|}{AR^{4/3}} = 0 \quad (6)$$

また、河道の粗度係数は渡良瀬川には2001年と2002年の洪水痕跡調査からセグメントごとに逆算した値を与え、渡良瀬川以外の河道には上流部、中流部、下流部のそれぞれに0.03, 0.025, 0.02 を与えた。草木ダム上流の上流端境界条件は実測流入量を与え、渡良瀬川流域の上流端境界条件には実測流量のうち残流域のみからの流量を与えた。渡良瀬川以外の上流端境界条件には、草木ダムでの実測流入量の流出高を集水面積倍した流量ハイドログラフを与えた。下流端境界条件は江戸川河口と利根川河口のそれぞれに、芝浦、鹿島で実測された潮位の時系列を与えた。

4-2. 草木ダムに適用した流量制御方法とその洪水水位低減効果:

ダムによる流量制御による下流での治水効果を定量的に評価するために対象とした洪水は2001年9月の洪水である。前期放流量の算出には Line1 を用いた。この時の草木ダムにおける流入量と放流量は図-7 に示した通りである。ダム下流2懸案地点における水位のハイドログラフを図-12, 図-13 に示した。ダム下流22km地点においては、前期放流を行った流量制御は洪水自体のピーク水位を77cm、現行の流量制御と比較すると58cmピーク水位を下げていることが分かる。ダム下流42km地点においては前期放流を行った流量制御は洪水自体のピーク水位を43cm、現行の流量制御と比較すると26cmピーク水位を下げていることが分かる。現行の流量制御を行った場合では、ただし書き操作で放流した流量がピークとなっているが、それに対し前期放流を行った流量制御ではただし書き操作を回避し、ピーク水位を低減させているためであると考えられる。

5. まとめ

本研究で得られた知見を以下に述べる。

1) 本論文で提案した前期放流による流量制御を行うと、2001年9月の洪水ではただし書き操作を回避することができた。さらに、減速部の積分値を前期放流の総量としているため、ダム貯水位は確実に夏期制限水位まで回復することを示した。2) Line2 を用いた場合のように多く前期放流すれば予めダム貯水位を夏期制限水位より高く設定することが可能である。3) ダム下流22km, 42km地点において2001年の洪水に対して現行の流量制御を行った場合では、ただし書き操作で放流した流量がピークとなっている。前期放流を行った流量制御ではただし書き操作を回避できたことから現行の流量制御より58cmピーク水位を下げる事ができた。

参考文献: 1) 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. 2) 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. -130-

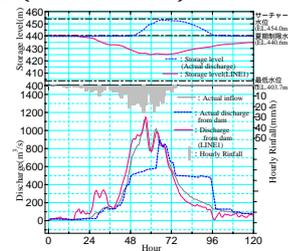


図-5 LINE1 を用いて算出した放流量, 実測流入量, 現行の流量制御のハイドログラフと貯水位の時系列

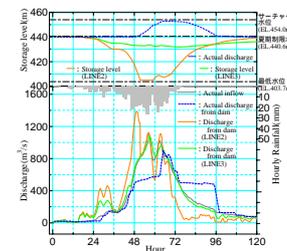


図-6 LINE2,3 を用いて算出した放流量, 実測流入量, 現行の流量制御のハイドログラフと貯水位の時系列

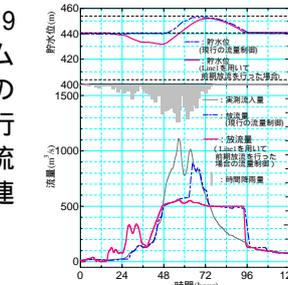


図-7 LINE1 を用いて前期放流を行った場合の放流量, 実測流入量, 現行の流量制御のハイドログラフと貯水位の時系列

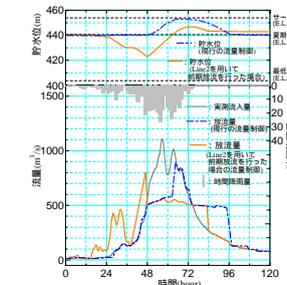


図-8 LINE2 を用いて前期放流を行った場合の放流量, 実測流入量, 現行の流量制御のハイドログラフと貯水位の時系列

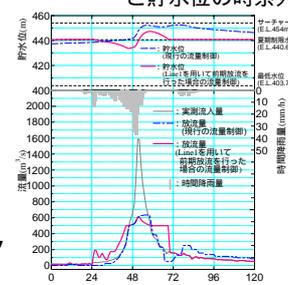


図-9 LINE1 を用いて前期放流を行った場合の放流量, 実測流入量, 現行の流量制御のハイドログラフと貯水位の時系列

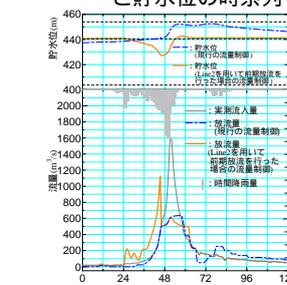


図-10 LINE2 を用いて前期放流を行った場合の放流量, 実測流入量, 現行の流量制御のハイドログラフと貯水位の時系列



図-11 計算に用いた利根川河道網と懸案地点

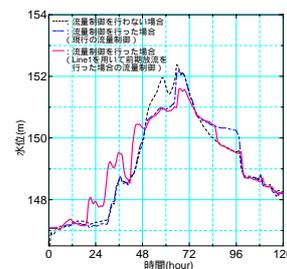


図-12 下流における水位のハイドログラフ (ダム下流22km地点)

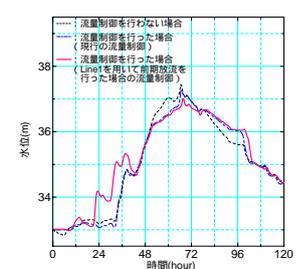


図-13 下流における水位のハイドログラフ (ダム下流42km地点)