

洪水時におけるダム放流量決定手法に関する研究

中央大学大学院 学生員 ○下坂 将史 中央大学大学院 学生員 呉 修一
河川環境管理財団 正会員 戸谷 英雄 中央大学理工学部 フェロー会員 山田 正

1. はじめに: 台風や近年多発している集中豪雨のような大規模な出水の際には、ダムから事前に放流を行うことで、現在より大きな治水効果を得ることができる。著者らは、従来からダム上・下流域の流出特性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ている。本論文は流域の流出特性に着目し得られた知見を残流域からの流出量の推定及びダム操作に応用し、現在の操作規則より有効なダム放流量決定手法を提案し、またその定量的評価を行う事を目的とした。

2. ダムの管理目的と現況のダム運用操作: 我が国における治水・利水対策において、最も効果を発揮する手法の一つにダムによる洪水調節が挙げられる。洪水時にダムに貯水し、ゲート操作を行うことで、下流河川の流量を低減させるというダムの治水機能は、洪水被害の減少に大きく寄与している。草木ダム(渡良瀬川上流に位置する)における 2001 年台風 15 号に伴う出水を対象とした洪水調節を図-1 に示す。この時の操作では洪水のピーク付近において洪水流量を溜め込み、放流量を最小限に留めている。しかしダム貯水位が満水位に近づくとただし書き操作が行われ、流入量とほぼ同じ量が放流されている。

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放流量決定手法の概念を以下に述べる。ダム流域においてピーク流入量または累積降雨量と逓減部における総流入量との関係を明らかにすることで、その後に最低限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する。ここで大事な点は降雨予測や流出予測に頼ることなく、任意のダム流域においても適用可能であることである。ダム放流量を決定する際、時々刻々の流量データ、降雨データを用いることが可能であるが、本論文ではこの二種類の観測データを用いることによるダム放流量を決定する手法を提案する。ここで、時々刻々の流量観測データからダム放流量を決定する手法を逓減特性方式、降雨観測データからダム放流量を決定する手法を総降雨量方式と本論文では定義し、以下はこの言葉を用いることとする。

4. 1 逓減特性方式を用いたダム放流量決定手法: 3 章で述べた放流量決定手法の理論を数式化すると式(1)になる。左辺は事前放流量の総量であり、右辺はハイドログラフ逓減部にダム貯水池へ流入する総流入量である。この式(1)を時間 t で微分し変形することで式(2)が得られる。ここに V : 流入ハイドログラフ逓減部の総流入量 $[m^3]$ 、 Q_{IN} : ダム貯水池への流入量 $[m^3/s]$ 、 Q_{OUT} : ダムからの放流量 $[m^3/s]$ である。さらに、式(3)よりダム貯水位も同時に算出し利水容量の安全性を確認した。ここに $A(h)$: 湛水面積 $[m^2]$ 、 h : 貯水位 $[m]$ である。流入ハイドログラフ逓減部の総流入量である V の算出に当たっては、 V と Q_{IN} の関係を既往のデータから明らかにすることで流入ハイドログラフ逓減部の総量である V が算出可能である。本研究では山田ら²⁾により V の算出式(4)式が導かれているのでそれを用いた。図-2 は降雨終了から 2 時間後の流入量とその後 4 日間の総流入量の関係である。即ち式(2)の V と Q_{IN} の関係である。

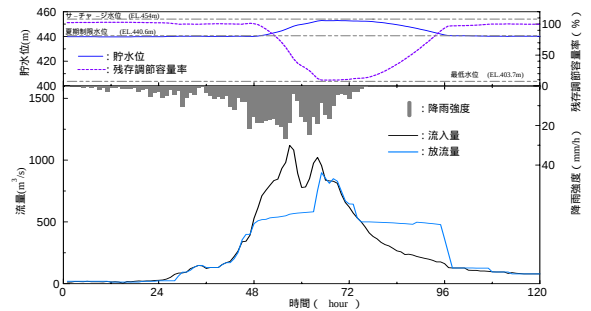


図-1 草木ダム流域における洪水時の流入・放流量及び貯水位の時系列

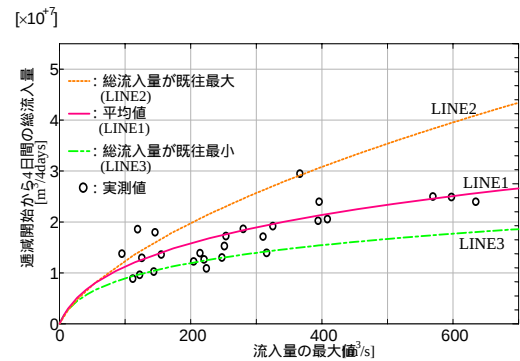


図-2 逓減時の流入量 Q_{IN} とその後 4 日間の総流入量 V と放流量算出に用いた解析解

$$-\int_0^t (Q_{IN} - Q_{OUT}) dt = V(Q_{IN}(t)) \quad (1) \quad Q_{OUT} = Q_{IN} + \frac{dV}{dQ_{IN}(t)} \cdot \frac{dQ_{IN}(t)}{dt} \quad (2)$$

$$A(h) \frac{dh}{dt} = Q_{IN} - Q_{OUT} \quad (3) \quad V = \int_{t_{rec}}^{t_{rec}+96} q_{*rec}(t) dt = \frac{q_{*rec}^{(1-\beta)} ((1+96a_0\beta q_{*rec}^\beta)^{(\beta+1)/\beta} - 1)}{a_0(\beta-1)} \quad (4)$$

$$Q_{OUT} = Q_{IN} + \frac{dV}{dR} \cdot r(t) \quad (5) \quad \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (6) \quad \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{n^2 g Q |Q|}{AR^{4/3}} = 0 \quad (7)$$

4. 2 総降雨量方式を用いたダム放流量決定手法: 3 章で示したとおり、洪水時にはダム上・下流域の情報を、ダム操作に用いることは高水管理上非常に効果的である。そこで本論文では、草木ダム上流 16km 地点に位置する足尾砂防ダムにおける降雨情報及び、ダム下流 42km に位置する足尾懸案地点における水位情報をダム操作に組み込んだ。足尾砂防ダムから草木ダムまでの到達時間は過去の流量観測データから約 1 時間、また足尾砂防ダムで観測された流量の 3.3 倍が平均して草木ダムに流入してくることが分かっている。よって足尾砂防ダムにおける現時点の累積降雨量から求まる現時点以降の総流入量を時々刻々算出し続け、その流量の 3.3 倍に見合う量を草木ダムにおける事前放流量とする。この総降雨量方式を用いたダム放流量の算出手法を定式化すると式(5)になる。ここに、 dV : 足尾砂防ダムにおけるある時刻の降雨量から求まる洪水の総流入量 $[m^3]$ 、 Q_{OUT} : 草木ダムからの放流量 $[m^3/s]$ 、 R : 足尾ダムにおけるある時刻までの累積降雨量、 $r(t)$: 足尾砂防ダムにおけるある時刻の降雨量 $[mm/h]$ である。

キーワード: 事前放流, 可能放流量, 流出特性

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

4.3 可能放流量の算定：草木ダム可能放流量とは、足利懸案地点において草木ダムからの放流量と足利残流域からの流量の総量が、危険水位以下で流下可能になる草木ダムからの流量と定義した。ここで、残流域からの流出量は流出計算を行うことにより求めた。降雨流出モデルとして、流出成分(地表流、中間流、基底流)を個別の貯留における含水量の関数として計算するものである。流域を構成するタンクは、地表面タンク、根群層タンク、地下水タンクの3段の構成として表現される。本計算における降雨流出パラメータのキャリブレーションに利用した河川流量の観測所は足利懸案地点とした。また降雨量は、残流域とその近傍に位置する24箇所の雨量観測所のデータを利用してティンセン雨量を算出した。シミュレーションを行った期間は洪水発生時前後の1週間としたため蒸発量は無視した。また本研究では、計算結果と観測流量との整合性(最大流量事象の平均誤差)から最適化を行った。

4.4 事前放流を用いた洪水調節：著者が提案する洪水調節手法は事前放流量を行う事を前提としている。よって、逓減特性方式及び総降雨量方式を用いて事前放流量を決定し、洪水調節を行うダム操作を実際の洪水に適用した。対象とした洪水は、足尾砂防ダムにおける流量観測データが得られた1998年9月16日(台風5号)の洪水(既往二番目の出水：草木ダムにおけるピーク流入量が $1347\text{m}^3/\text{s}$)である。逓減特性方式及び総降雨量方式を用いて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、可能放流量の時系列を図-3に示す。事前放流を行ったことで洪水のピークは制御されており、下流懸案地点においても安全に流下可能な量を放流量の最大値としているため、治水面において非常に有効であり、また洪水終了後のダム貯水位を見ると利水容量を確保している事もわかる。特に総降雨量方式においては、ダム上流域の降雨情報を用いて事前放流量を算出しているため、到達時間の1時間分早く放流できている事も分かる。

4.5 下流域における洪水水位低減効果：事前放流を行う洪水調節がダム下流においてどのような効果を及ぼすか洪水水位低減効果に着目し、その定量的評価を行った。逓減特性方式、総降雨量方式の両手法を用いて、実際の洪水と降雨強度を2倍にした仮想的な大規模洪水を想定してダム操作シミュレーションを行った。本研究の計算にはMIKE11及びCTI-MIKE11を用いており、河道部の流況再現では連続式及び不定流の基本式(サン・ヴナン式)を用いて計算している。連続式および運動量保存式を式(6)と式(7)にそれぞれ示す。なお、 A ：通水断面積 $[\text{m}^2]$ 、 Q ：流量 $[\text{m}^3/\text{s}]$ 、 q ：側方流入流量 $[\text{m}^2/\text{s}]$ 、 α ：エネルギー補正係数 $[1.0]$ 、 h ：水位 $[\text{m}]$ 、 g ：重力加速度、 n ：Manningの粗度係数、 R ：径深 $[\text{m}]$ である。水位計算点と流量計算点を交互に配置するスタッガート法で差分化し、陰解法6点アボットスキームによって解いている。図-4、5にダム下流42km地点での水位ハイドログラフを示す。図-4においては30cmピーク水位を低減することができ、また図-5においては129cmピーク水位を低減することができた。つまり、本研究で提案する放流量決定手法がさらなる治水効果を得る事を示した。

5. まとめ：本論文ではダム流域の流出特性に着目し、極めて合理的なダム放流量の決定手法を提案した。それにより得られた知見を列挙する。

1) 効率的且つ合理的なダム放流操作を可能にするために、ダム上・下流域の降雨・水位情報をダム放流量算出の際の制限要素に組み込み、ダム放流量を決定した。すると、現況のダム操作よりも1時間早い洪水調節が可能になり、事前放流を行うことで洪水のピークを制御する事が可能になった。

2) 仮想的な大規模洪水が発生した場合でも、低減目標水位内(危険水位内)に抑えながら放流することが可能であるだけでなく、現行の操作通りの洪水調節を行った場合よりも大きな治水、利水効果を得られることがわかった。

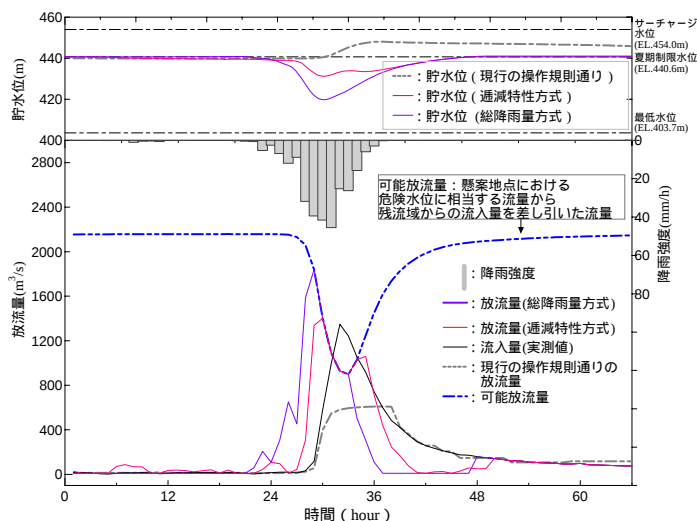


図-3 逓減特性方式・総降雨量方式から求めた放流量、現行の放流量、実測の流入量、貯水位及び可能放流量の時系列

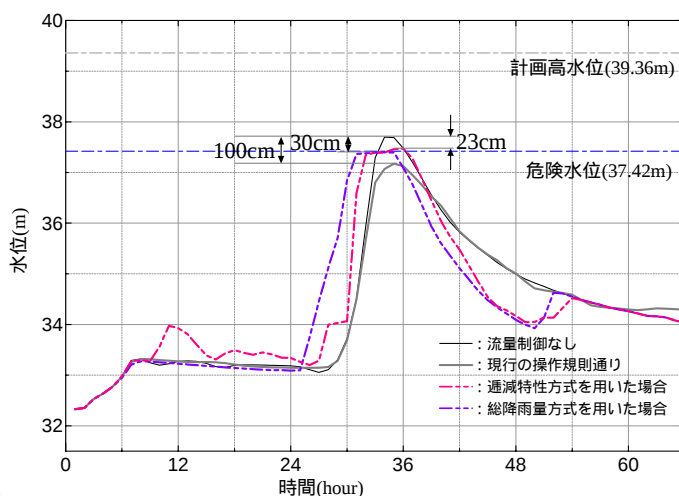


図-4 ダム下流42km地点における水位のハイドログラフ(実際の洪水)

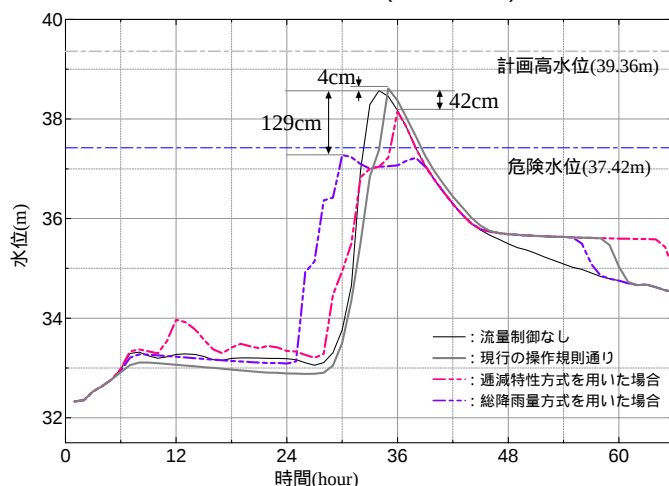


図-5 ダム下流42km地点における水位のハイドログラフ(仮想的な大規模洪水)

参考文献

- 1) 竹内邦良：貯水量の累加損失係数を用いた貯水池群の最適操作手法，土木学会論文報告集，No.222，pp93-103，1974
- 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.