

## 流出特性に着目したダム放流量の決定手法と 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  
河川環境管理財団 正会員

○下坂 将史  
戸谷 英雄

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

1. はじめに：著者らは、1つのダムの合理的且つ効率的な運用操作を目指し研究を行っている。個々のダムの治水・利水機能を最大限に発揮することが可能になれば、現状以上に効果的なダムによる流域総合洪水調節が可能になる。本論文は、流域の流出特性に着目し得られた知見をダム操作に応用し、より有効なダム放流量決定手法を提案する事を目的とする。

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流量制御が挙げられる。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。図-1にはただし書き操作により洪水のピークを低減させることに成功した例である。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。

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、ある時刻までの累積降雨量から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前期放流する。これによりダム貯水位は最低でも夏期制限水位までは回復することができる。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。我々は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り、更に合理的かつ効率的な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定義する。

4. 1 逓減特性方式を用いたダム放流量決定手法：上述の放流量決定法を数式化すると式(2)になる。左辺は前期放流量の総量、右辺はハイドログラフ逓減部でダム貯水池へ流入する総流入量である。式(2)を時間  $t$  で微分し変形し、式(3)を得る。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(4)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 [ $m$ ]。  $V$  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、観測データの無いダム流域ならば、(5)式に示す山田ら<sup>2)</sup>の理論解を用いてもよい。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、即ち式(3)である。

$$\text{放流量} = (\text{流入量} - 500) \times 0.1 + 500 \quad (\text{単位は } m^3/s) \quad (1) \quad - \int_0^t (Q_{IN} - Q_{OUT}) dt = V(Q_{IN}(t)) \quad (2)$$

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

$$V = \int_{t_{rec}}^{t_{rec}+96} q_{*rec}(t) dt = \frac{q_{*rec}^{(1-\beta)} \left( (1 + 96 a_0 \beta q_{*rec}^\beta)^{(\beta+1)/\beta} - 1 \right)}{a_0(\beta-1)} \quad (5) \quad Q_{OUT} = Q_{IN} + \frac{dV}{dR} \cdot r(t) \quad (6)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (7) \quad \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left( \alpha \frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{n^2 g Q |Q|}{AR^{4/3}} = 0 \quad (8)$$

4. 2 総降雨量方式を用いたダム放流量決定手法：洪水時にはダム上・下流域の情報を、ダム操作に適用す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。図-3に足尾砂防ダム、草木ダム、足尾懸案地点における累積降雨量と、総直接流出量との関係を示す。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前期放流量とする。こ

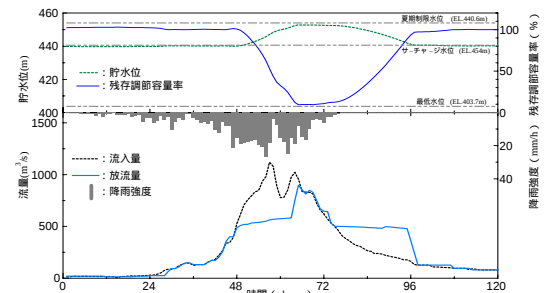


図-1 洪水時のダム流入・放流量及び貯水位の時系列(例：草木ダム)

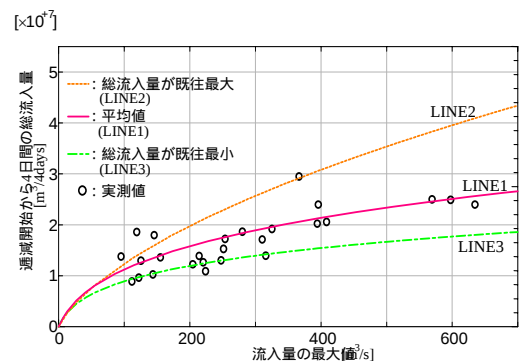


図-2 逓減時の流入量  $Q_{IN}$  とその後 4 日間の総流入量  $V$  と放流量算出に用いた解析解(草木ダム流域)

の総降雨量方式を用いたダム放流量の算出手法を数学的定式化すると式(6)になる．ここに， $V$ ：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 $[m^3/s]$ である． $R$ ：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 $[mm/h]$

4.3 前期放流を用いた流量制御：著者らが提案する放流量決定方法は前期放流量の決定に用いる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前期放流量を決定し，流量制御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 $1347m^3/s$ ）である．逓減特性方式及び総降雨量方式を用いて前期放流量を算出した際の流入量，放流量，貯水位の時系列，草木ダム最大放流可能量の時系列を図-4に示す．ここで草木ダム最大放流可能量とは，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する．前期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こともわかる．特に総降雨量方式においては，ダム上流の降雨情報を用いて前期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．

4.4 下流域における洪水水位低減効果：前期放流を行う流量制御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，実際の洪水と洪水継続時間を2倍にした超過洪水を想定してダム操作シミュレーションを行った．河道部の流況再現では，MIKE11及びCTI-MIKE11を用いており，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(7)と式(8)にそれぞれ示す．なお， $A(m^2)$ ：通水断面積， $Q(m^3/s)$ ：流量， $q(m^2/s)$ ：側方流入流量， $\alpha$ ：エネルギー補正係数(1.0)， $h(m)$ ：水深， $g$ ：重力加速度， $n$ ：Manningの粗度係数， $R(m)$ ：径深である．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-5，6にダム下流42km地点での水位ハイドログラフを示す．図-5においては65cmピーク水位を低減することができ，また図-6においては67cmピーク水位を低減することができた．図-5，6よ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，極めて効率的且つ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時間早い流量制御が可能になり，前期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)逓減特性方式，総降雨量方式ともに超過洪水が発生した場合でも，洪水安全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，現行の操作ルールより大きな治水，利水効果を得られることがわかった．

<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．

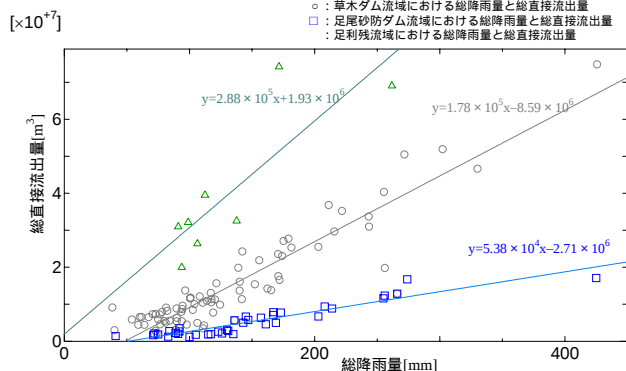


図-3 足尾砂防ダム・草木ダム・足利残流域における累積降雨量と総直接流出量の関係

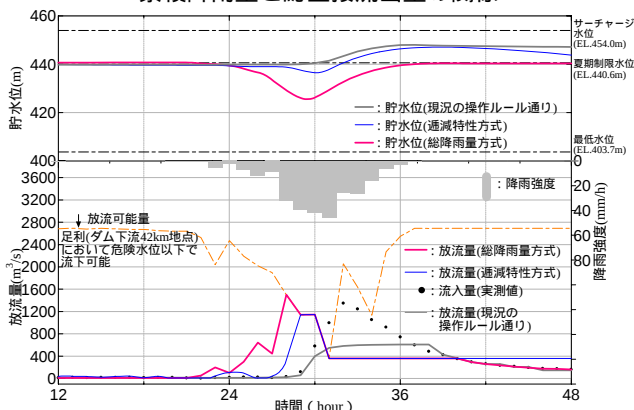


図-4 逓減特性方式・総降雨量方式から求めた放流量，現行の放流量，実測の流入量，貯水位及び最大放流可能量の時系列

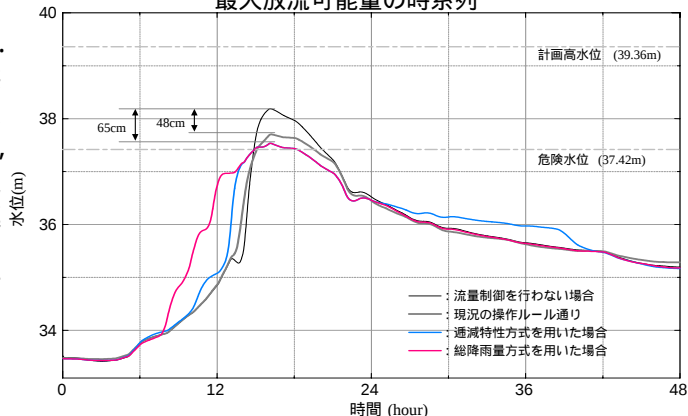


図-5 ダム下流42km地点における水位のハイドログラフ(実際の洪水)

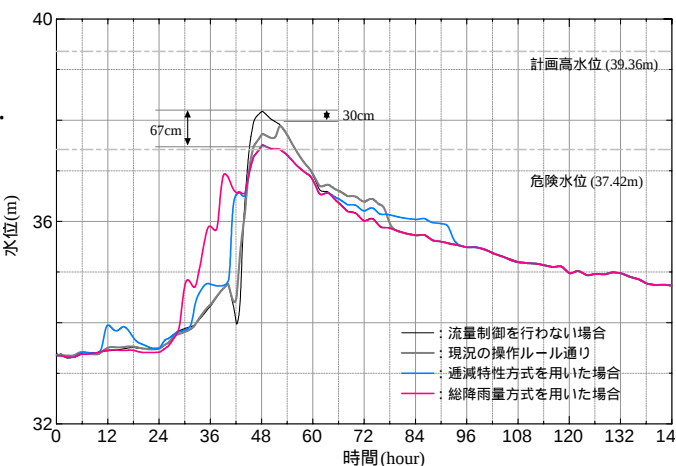


図-6 ダム下流42km地点における水位のハイドログラフ(超過洪水)