

ダムの運用方法別に見た洪水水位逓減効果に関する研究

中央大学大学院 学生員 ○宮本 守 中央大学大学院 学生員 秋葉雅章
河川環境管理財団 正会員 戸谷英雄 (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

我が国の治水ダムのほとんどは利水と兼用された多目的ダムであり、利水と治水の両方の役割を果たさなければならない。さらに利根川水系のように上流にいくつものダムを持っている場合は、個々のダムとしてだけでなく、それぞれのダムの流域面積、貯水容量、気象、水文等の特性を十分に考慮した上で、合理的、効率的なダム管理を目標にした統合的な運用操作が必要である。そこで本研究では、ダムの多様な操作が下流の河道にどのように応答するか、概略感度分析を試みようとするものである。

2. ダムの運用状況と流域の流出特性

利根川流域には治水目的を持つダムは10個存在し、その中で渡良瀬川本川に位置する草木ダムの洪水水位低減効果に着目した。図-1は草木ダムの容量配分図である。草木ダムの集水面積は254km²であり、放流設備は2門の常用洪水吐、4門の非常用洪水吐を備えている。草木ダムの洪水時の原則的な操作規程は昭和52年に定められており、それによると流入量500m³/s以上を洪水と定義し、そのときの放流量は式(1)により決定される。

放流量 = (流入量 - 500) × 0.1 + 500 (1) (単位は m³/s)

この放流は常用洪水吐の操作によって行われるが、ダムが満水になるとただし書き操作が行われる。草木ダムの既往最大放流量は2001年9月10日(台風15号)の906m³/sである。このときの草木ダムにおけるダム操作状況を図-2に示す。残存調節容量率とは、その時刻での残りの洪水調節容量を洪水調節容量全体で割った割合である。2001年9月10日午前4時の時点で残存調節容量率が約9%となり、それ以降は、ただし書き操作を行い、夏期制限水位になった時点で定水位操作に移行していることがわかる。図-3はピーク流入量と逓減開始から4日間の総流入量の関係である。この傾向により草木ダムへの流入量のハイドログラフの逓減部を再現することができる。さらに、ダムへの流入量ピークからの4日間で最低でも2000 × 10⁴m³が草木ダムに流入しており、そのほとんどが3000 × 10⁴m³以上流入していることがわかる。草木ダムの利水容量が3000 × 10⁴m³であるから、前期放流により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、ダムへの流入量のピークから4日間で夏期制限水位まで回復することが可能であると言える。

3. 洪水水位低減効果の評価

洪水管理の典型的な操作が、下流河道にどのように応答するかを観るために数値解析を行った。図-4は計算に用いた利根川河道網における草木ダムとその洪水水位比較地点を示している。ダムによる流量制御の効果を草木ダムの53km下流地点で渡良瀬川と利根川の合流部から25km上流地点(この地点を本稿ではこれ以降A地点と定義する)と利根川河口から130km上流の栗橋地点(この地点を本稿ではこれ以降B地点と定義する)で考察し、ダムによる流量制御の無い場合との比較を行った。

基礎式と計算条件；本研究の計算において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(2)と式(3)にそれぞれ示す。なお、A(m²):通水断面積、Q(m³/s):流量、q(m²/s):側方流入流量、α: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。

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

草木ダム上流の上流端境界条件は2001年9月8日~14日の洪水時の草木ダムにおける実測流入量を与えた。草木ダム上流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1/3倍し、それを集水面積倍した流量のハイドログラフを与えた。このときの実測流入量の流出高がピークで15mm/hを超えるほどの大洪水であったために、利根川水系の流下能力を考慮して1/3倍した。図-5に上流端の境界条件に用いた流出高のハイドログラフを示す。

適用した流量制御方法とその評価；図-3から洪水時の草木ダム流域では逓減開始から4日間の流入量の積算が最低でも2000 × 10⁴m³は流入することが明らかであるため、

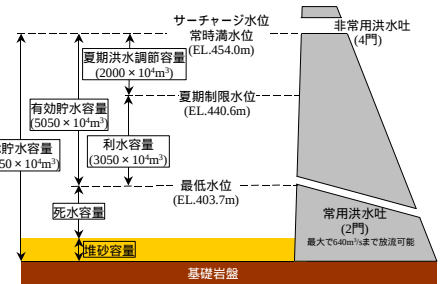


図-1 草木ダムの容量配分図

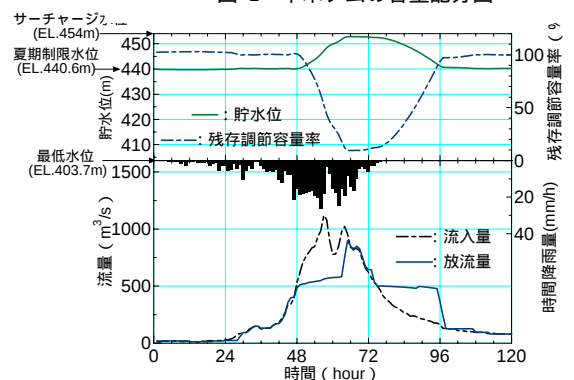


図-2 洪水時における草木ダム流域の時間降雨量と草木ダムの流入・放流量の実測値(2001年9月8日~13日)

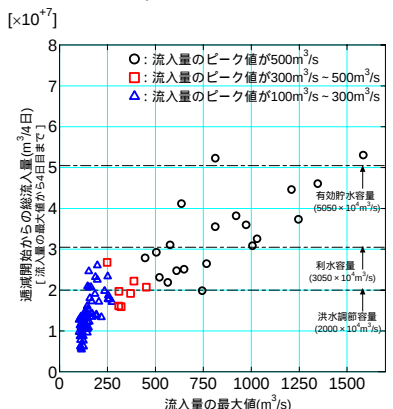


図-3 草木ダム流域におけるピーク流入量とピーク以降4日間の総流入量の関係

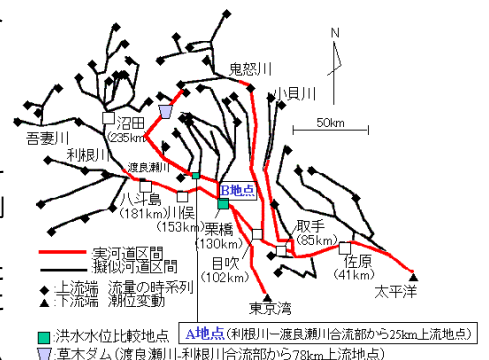


図-4 利根川河道網における草木ダムと洪水水位比較地点

キーワード：放流量，ダム操作，治水容量，流量制御

連絡先：〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部 TEL03(3817)1805, FAX03(3817)1803

ダム水位の初期水位に夏期制限水位と最低水位の 2 通りを適用した。ダムの初期水位が最低水位の場合とは前期放流を仮定し最もダムによる洪水制御が見込める場合である。草木ダムに適用したダム操作パターンは、表-1 に示した 4 パターンを適用し計算した。それぞれの流量制御を適用したときの草木ダムにおける流入量と放流量の時系列を図-6～9 に、流量制御方法別のピーク水位、流量、流速の低減量を A 地点(渡良瀬川)と B 地点(利根川)の 2 地点で考察した結果を表-2 に示す。ダムの初期水位が夏期制限水位の場合、CASE2 と CASE3 は全く洪水水位低減効果は表れない。これは、降雨開始から早い段階でダムが満水になってしまったからである。ダムの治水効果を十分に発揮するためには流入量のピーク前後の放流量を効率良く制御することが必要である。一方、ダムの初期水位が最低水位の場合、CASE3 の一定率放流の場合では、他の流量制御に比べ各ピーク値の低減効果が 2 倍近く表れている。これは、流入量のピーク発生時に効率よく流入量の 70%をダムに貯留させているためである。流入量のピーク後にダムが満水になり、流入量と同じ流量を放流しているが、この後期放流は下流地点での最大水位を上昇させてはいない。ただし、CASE2 の場合においては流入量の 1 つ目のピークのみを制御しているが、それでもピーク水位を 20cm 低減させる効果があった。このことから、残流域から合流してくる流量のピークと放流量のピークのタイミングをずらすことが重要であり、草木ダムでは流入量の前半部のピークを制御することが重要であると言える。

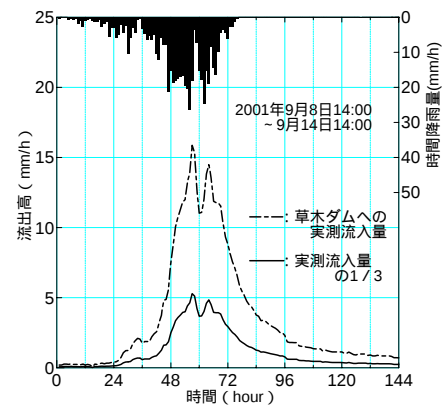


図-5 上流端の境界条件として与えた流出高のハイドログラフ

表-1 草木ダムに適用した流量制御方法

CASE 1	式(1)に従った現行の流量制御の場合
CASE 2	ダムからの放流は一切行わず、雨水をダムに貯留させ続けた場合
CASE 3	流入量の 30%を放流し続け、残りの 70%を貯留させ続けた場合
CASE 4	貯水量が有効貯水容量の 70%を上回った時点で一定量 550 m ³ /s を放流開始し、ダムの水位が夏期制限水位まで下がった時点で放流を止めた場合

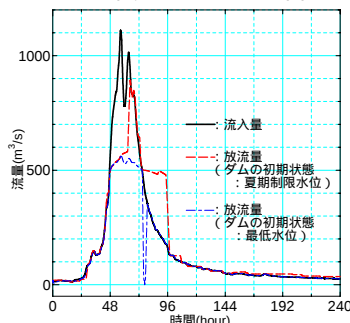


図-6 CASE 1 を適用した場合の草木ダムにおける流入・放流量

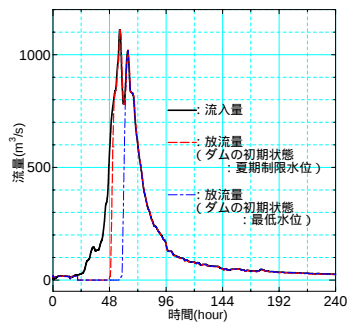


図-7 CASE 2 を適用した場合の草木ダムにおける流入・放流量

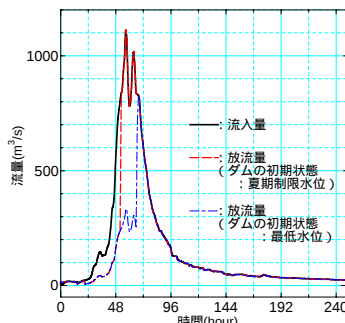


図-8 CASE 3 を適用した場合の草木ダムにおける流入・放流量

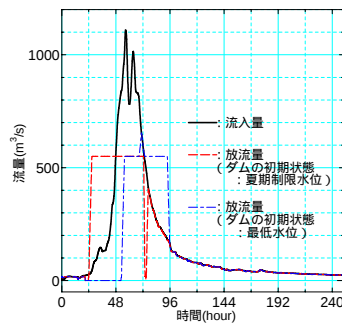


図-9 CASE 4 を適用した場合の草木ダムにおける流入・放流量

4. まとめ

1 つのダムの持つ治水機能の影響に力に着目し、ダムが洪水水位低減にどれほどの効果を及ぼすかを定量的に評価することとダムの最適な稼働方法を検討することを目的として、ダムによる流量制御を含んだ不定流計算を行った。草木ダムを対象として、その洪水水位低減効果を A 地点(渡良瀬川)と B 地点(利根川)の 2 地点で考察した。ここで得られた知見を列挙する。

- 1) 洪水時のダム貯水池への総流入量はそのピーク値以後の 4 日間の積算で最低でも $2000 \times 10^4 \text{ m}^3$ 以上あり、そのほとんどが $3000 \times 10^4 \text{ m}^3$ 以上流入していることから前期放流で夏期利水容量を全て放流し、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、洪水終了後ダムへの流入量のピークから 4 日間で夏期制限水位まで回復することが可能である。
- 2) ダムの初期状態が夏期制限水位の場合、洪水調節容量のみで洪水調節を行わなければならないため流量制御開始をできるだけ遅くし、かつ流入量のピーク前後の放流量を少なくすることが必要である。
- 3) ダムへの流入量のピークを過ぎた後の後期放流及びただし書き操作は下流地点での最大水位を上昇させてはいない。
- 4) ダムの初期水位が最低水位の場合、流入量のピーク前後での放流量がいかに少ないかで低減効果が決まる。さらに、残流域から合流してくる流量のピークと放流量のピークのタイミングをずらすことが重要であり、草木ダムでは流入量のハイドログラフの前半部を制御することが重要である。

5. おわりに

本研究は数理解析モデルの構築とダムの最適な稼働方法の確立を目指している。本計算により算出した各種水理量は河道の横断面形状や上流端境界条件、マニングの粗度係数等の詳細な情報のもとにその結果を評価するべきであり、研究の初期段階である本論文の各種計算結果を早急に実流域に適用することには十分に慎重であらねばならない。

末尾ではあるが、本研究の遂行に当たり貴重なデータを提供して頂いた(独)水資源機構草木ダム管理所に深甚なる感謝を表す。

参考文献：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, No.3, pp.217-228, 2001..

表-2 流量制御パターン別の下流でのピーク水位・流量・流速の低減量 (値が下がった場合を正とする)

流量制御パターン	草木ダムの初期水位	草木ダムでの流量制御による下流地点でのピーク値の低減量					
		ピーク水位差 (cm)		ピーク流量差 (m ³ /s)		ピーク流速差 (m/s)	
		A地点	B地点	A地点	B地点	A地点	B地点
CASE 1	夏期制限水位	28.3	12.6	247	413	0.073	0.028
	最低水位	39.2	13.1	338	424	0.125	0.028
CASE 2	夏期制限水位	-0.7	1.5	-4	17	-0.066	-0.001
	最低水位	20.5	19.1	137	608	0.169	0.068
CASE 3	夏期制限水位	-1.6	2.2	-7	39	-0.043	0
	最低水位	72.9	20.8	488	680	0.248	0.069
CASE 4	夏期制限水位	37.4	12.9	323	420	-0.051	0.028
	最低水位	39.1	15.4	400	499	0.306	0.038