

既存ダムの洪水調節機能向上を目的としたゲート操作手法の構築

中央大学理工学部 学生会員 菊地 慶
 中央大学大学院理工学研究科 学生会員 下坂 将史
 中央大学大学院理工学研究科 学生会員 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

流域総合治水において最も大きな影響力を持つ手法の1つとしてダムのゲート操作による洪水調節が挙げられる。現況以上の治水効果を発揮するためにはダム容量を効率的に運用し、洪水時にいかに治水容量を大きく設定できるかが重要である。すなわち近年多発している様な大規模な出水の際には、ダム貯水池から一定量の放流を事前に行うことでダムのポケットを大きくし、現在設定されている洪水調整能力よりも更に大きな治水機能を持たせるということである。そこで著者らは、従来から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¹⁾²⁾³⁾。本論文では上記に加え、ダム管理者の管理体制および放流開始のタイミングを考慮した新しいダムのゲート操作手法を提案し、治水効果の定量的評価を行った。

2. 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ダム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一雨の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、その後ダム貯水池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。このダム放流量決定手法の概念図を図-1に示す。また、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。著者らは従来からこの二つの手法を逓減特性方式、総降雨量方式と定義し、洪水調節を行う際の事前放流量の決定手法として提案している。

ここで、洪水時の一般的なダム操作の手順を図-2に示す。提案するダム放流量決定手法では降雨予測を用いていないため、事前放流を行うまでのダム管理者の判断及び対応が重要になる。そこで次節以降、この事前放流量の算出方法およびダムゲート操作に関する体制について詳述していく。

また、図-3は事前放流の概念図であるが、このように事前放流を行うことにより一時的に洪水調節容量を増

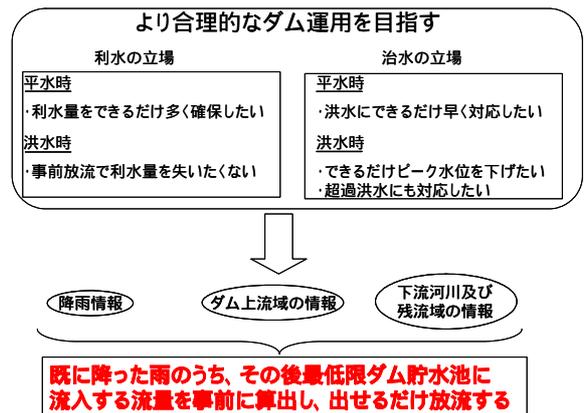


図-1 提案する新しい放流手法の概念

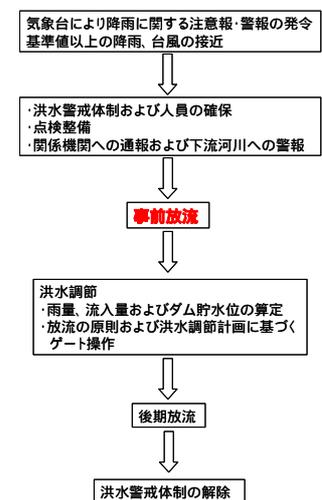


図-2 洪水時における一般的なダム操作の手順

キーワード 事前放流, 流出特性, 土壌・地形特性, 水位上昇率, ダムの管理体制

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河川・水文研究室

T E L 03-3817-1805 E-mail : kik@civil.chuo-u.ac.jp

大きせることが出来る．

2.1 逓減特性方式を用いたダム放流量決定手法

ダム放流量決定手法の理論を数式化すると以下のようになる．

$$-\int_0^t (Q_{IN} - Q_{OUT}) dt = V(Q_{IN}(t)) \quad (1)$$

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．

$$Q_{OUT} = Q_{IN} + \frac{dV}{dQ_{IN}(t)} \cdot \frac{dQ_{IN}(t)}{dt} \quad (2)$$

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，下記の式(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．

$$V = \int_{t_{rec}}^{t_{rec}+96} q_{*rec}(t) dt = \frac{q_{*rec}^{(1-\beta)} ((1 + 96a_0\beta q_{*rec}^\beta)^{(\beta+1)/\beta} - 1)}{a_0(\beta - 1)} \quad (3)$$

$$A(h) \frac{dh}{dt} = Q_{IN} - Q_{OUT} \quad (4)$$

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¹⁾らにより V の算出式(4)式が導かれているのでそれを用いた．

2.2 総降雨量方式を用いたダム放流量決定手法

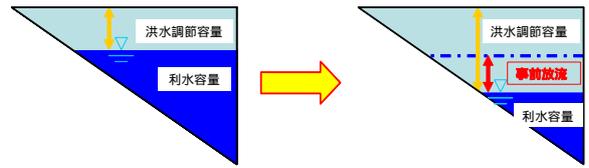
洪水調節を行う際，ダムの上・下流域の水文情報をダム貯水池操作に反映させる事は高水管理上非常に重要なことである．そこで本論文では，ダム下流 42km 地点に位置する足利懸案地点の水位情報をダム操作に組み込んだ．この総降雨量方式を用いたダム放流量の算出手法を数式化すると以下のようになる．

$$Q_{out} = Q_{IN} + \frac{dV}{dR} \cdot r(t) \quad (5)$$

ここに， dV : ある時刻の降雨量から求まる洪水の総流入量 [m^3] , Q_{OUT} : ダム湖からの放流量 [m^3/s] , R : ダム湖におけるある時刻からある時刻までの一雨の累積降雨量 [mm] , $r(t)$: ダム湖におけるある時刻の降雨量 [mm/h] である．

3. 放流開始のタイミングを考慮したダム貯水池操作

気象台から降雨に関する注意報または警報が発令された時，流域の総降雨量，累積降雨量，時間降雨強度等が基準値を超える時，台風の暴風雨圏内に入る恐れがある時には，洪水警戒体制をとることになっている．洪水警戒体制に入った時には，以下の措置をとらなければならない．



現況のダム容量配分図

事前放流を実施した場合のダム容量配分図

図-3 事前放流の概念図

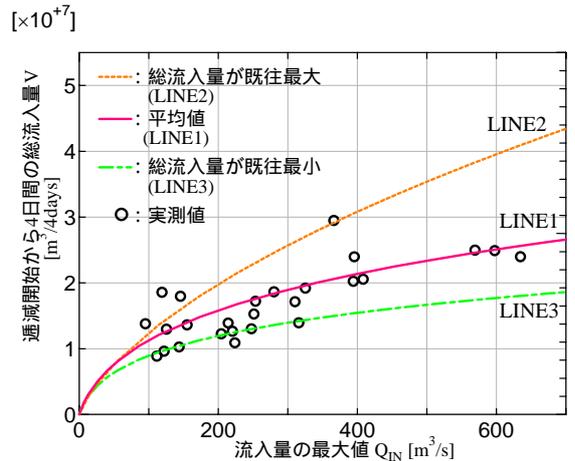


図-4 時々刻々の流入量 Q_{IN} とその後最低限流入してくる総量 V の関係

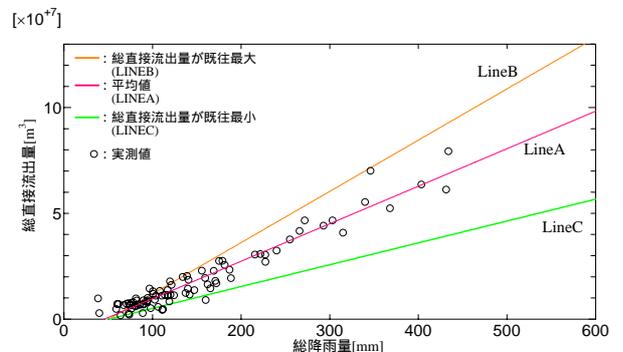


図-5 一雨の総降雨量 R とそれに伴う総直接流出量 V の関係

必要な人員の確保(所員の呼集)

関係機関との連絡

水文情報の収集

ゲート・バルブ等の操作に必要な機械および器具の点検整備

予備電源設備の試運転

その他ダム操作に関して必要な措置

本論文ではダム管理者がこれらの措置を行うための準備時間を1時間および2時間と仮定し、比較のためにその時間を考慮しない場合の3ケースについての洪水調節シミュレーションを行った。また、ダムからの放流により人工洪水が発生するような事があった場合、洪水調節の意味が無くなる。さらに、事前放流の段階において洪水流量以上の放流は出来ないため、事前放流量の最大値は当該流量とし、洪水調節開始流量に到達以降は現行の操作規則に従う洪水調節を行った。

4. ダム可能放流量の算定

洪水直前の事前放流のためには、下流の水位時系列を考慮する必要があり、事前放流によって下流部に本来のハイドログラフ以上の過大な水位上昇を招いてはならない。そこで本研究ではダムからの放流量に制限を設け、それを可能放流量と定義した。可能放流量とは、足利懸案地点において、到達時間を考慮した草木ダムからの放流量と足利残流域からの流出量の総量が、危険水位以下で流下可能になる草木ダムからの放流量と定義した。ここで、残流域からの流出量は単一斜面から河道への横流入量として求め、河道部における不定流計算を行った。横流入量の計算については、著者ら⁴⁾が従来から提案している土壌・地形特性と降雨強度からの関係から表面流、鉛直浸透流、飽和・不飽和側方流に関する多層流れを表現可能な単一斜面における降雨流出計算手法を用いた。

5. 事前放流を用いた洪水調節

著者らが提案する洪水調節手法は事前放流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、足利における水位観測データが得られた1998年9月16日(台風5号)の洪水(既往二番目の流入量を記録した出水)の流入量を2倍にした仮想的な大規模洪水である。例として、逓減特性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、可能放流量の時系列を図-6,7に示す。図-6は放流準備のための時間を考慮しない場合、図-7は放流準備のための時間を2時間とした場合である。図-6においては、事前放流を行ったことで、ただし書き操作に移行する時間を遅らせ、洪水のピーク流量は制御されている。一方、図-7においては、ただし書き操作への移行時間は現行の操作規則通りの洪水調節と同じになった。

5.1 下流域における洪水水位低減効果

事前放流を用いた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を洪水水位低減効果に着目し、その定量的評価を行った。図-6 図-7の洪水調節に対応するダム下流42km地点での水位ハイドログラフを図-8, 図-9に示す。河道部の流況計算として不定流計算を行っている。図-8においては、洪水のピーク水位を54.3cm,

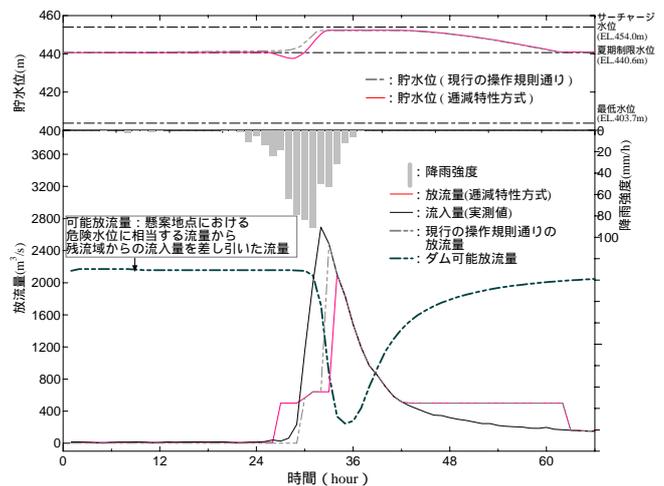


図-6 逓減特性方式から求めた放流量，現行の放流量，実測の流入量，貯水位及び可能放流量の時系列 (流入量が立ち上った後に放流開始)

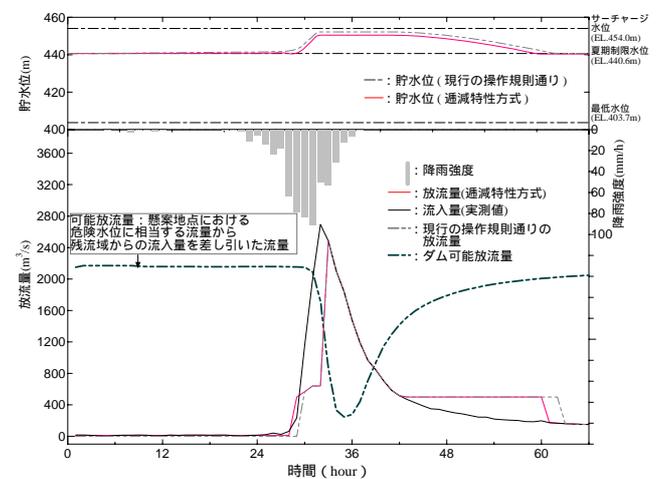


図-7 逓減特性方式から求めた放流量，現行の放流量，実測の流入量，貯水位及び可能放流量の時系列 (流入量が立ち上り2時間後に放流開始)

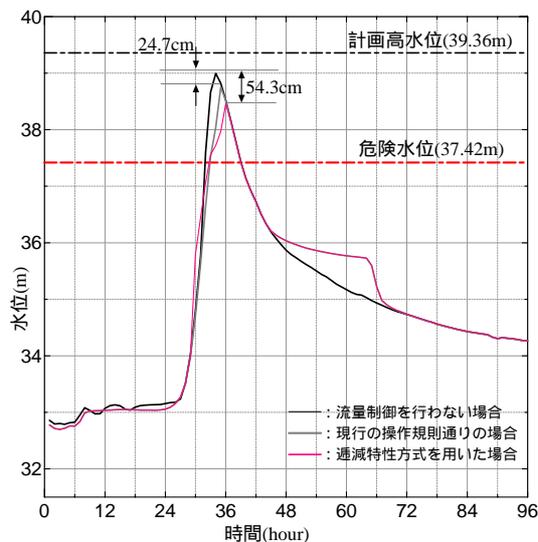


図-8 仮想的な大規模洪水を想定した際の
ダム下流 42km 地点における
水位のハイドログラフ
(流入量が立ち上がり後放流した場合)

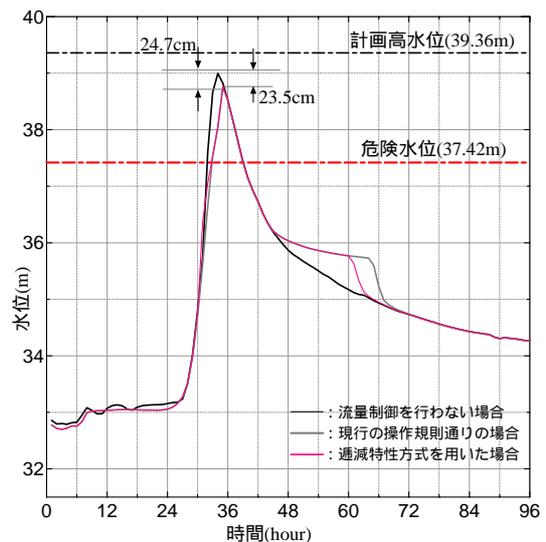


図-9 仮想的な大規模洪水を想定した際の
ダム下流 42km 地点における
水位のハイドログラフ
(流入量が立ち上がり 2 時間後に放流した場合)

現行の操作規則に従う洪水調節と比べると 29.6cm 下げていることがわかる。図-9 においては、洪水のピーク水位を 23.5cm 下げた。

6. まとめ

本論文ではダム流域の洪水流出特性に着目し、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) 合理的なダム放流操作を可能にするために、ダム上・下流域の水文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。
- 2) 事前放流実施に要する準備時間を 1 時間および 2 時間と仮定し、洪水調節シミュレーションを行った。準備時間を 2 時間とした場合、ダム下流河川で 23.5cm の水位低減効果が現れた。また準備時間を考慮しない場合は、ただし書き操作に移行する時間は現行の操作規則に従う洪水調節よりも遅くなり、洪水のピーク流量は制御され、ダム下流河川で 54.3cm の水位低減効果が現れた。

また、この洪水調節手法を常日頃から使用するのではなく、超過洪水に対して大きな効果を発揮する一手法として考えている。さらに、より現実的な問題として、まだ雨が激しく降っていない段階で放流するので、その事前放流に対する河原でのキャンパーや釣り人への情報伝達のあり方や、発電用の流水の管理など考慮すべきかつ克服すべき課題はいくつかあることも考えなければならない。

参考文献

- 1) 戸谷英雄, 秋葉雅章, 宮本守, 山田正, 吉川秀夫: ダム流域における洪水流出特性から可能となる新しい放流方法の提案, 土木学会論文集 BVol.62, No.1, pp.27-40, 2006
- 2) 下坂将史, 呉修一, 戸谷英雄, 山田正: 洪水流出特性に基づくダム貯水池操作に関する研究, 水文・水資源学会 2006 年研究発表会要旨集, pp.80-81, 2006.
- 3) 下坂将史, 腰塚雄太, 戸谷英雄, 山田正: 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, 土木学会年次学術講演会, Vol.60.No.1, pp 2-57, 2005.
- 4) 呉修一, 山田正, 吉川秀夫: 表面流の発生機構を考慮した斜面多層降雨流出計算手法に関する研究, 土木学会水工学論文集, Vol.49, pp.169-174, 2005