

ダムの治水機能向上を目的とする事前放流手法の提案

中央大学大学院
河川環境管理財団

学生員 ○菊地 慶
正会員 戸谷 英雄

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

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。計画規模を上回る超過洪水に対して、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ような大規模な出水の際には、ダム貯水池から事前に放流を行うことでダムのポケットを増大させ、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ことが治水上有効となる。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)}。また、著者らの従



図-1 渡良瀬川流域及び解析対象ダムの位置関係

来の研究から、事前放流を行う際の放流開始準備に多くの時間を要するため、治水容量増大の効果を期待するためには可能な限り放流開始準備時間を少なくする必要があることを示した。本研究では、事前放流する時間を確保するために、従来から提案する手法に降雨予測を組み込み、洪水調節を行いその効果を検証した。

2. 本研究で対象としたダムの諸元

本研究では、利根川水系の渡良瀬川上流 78km 地点に位置する草木ダムを対象例として解析を行った。草木ダムは多目的ダムであり、流域面積は 254km² である。図-1 に渡良瀬川流域および草木ダムの位置を示す。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ている。

3. 本研究で提案するダム貯水池からの放流量決定手法

本研究で提案するダム放流量決定手法の概念を以下に述べる。

ダム貯水池における流入量、放流量に関しては式(1)に示す連続式が成立する。

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

ここに、 V ：現時点(=時刻 t)以降に確実にダム貯水池に流入する総流入量(=ダム流域における総直接流出量) [m³]、 Q_{IN} ：ダム貯水池への流入量[m³/s]、 Q_{OUT} ：ダム貯水池からの放流量[m³/s]である。

これは著者らが従来から提案している考え方であり、ある時刻における流入量や降雨量などのダム貯水池における水文諸量から、その後最低限貯水池へ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量とする。事前放流としては降雨終了後に確実に流入する量だけを放流するものであり、洪水終了後にはダム貯水池は最低でも夏季制限水位までは回復することができる。この放流方法はいかなるダム流域においてもその流出特性を明らかにすることで適用することができる最も単純かつ合理的な放流方法と言える。

ここで、放流量の算出においては V の表し方によって以下に示す 3 通りの手法が考えられる。

0. 流出計算により算定する手法

1. 時々刻々の流入量 $Q_{IN}(t)$ の関数で表す手法：

$$-\int_0^t (Q_{IN} - Q_{OUT}) dt = V(Q_{IN}(t)) \quad (2)$$

2. 時々刻々の累積降雨量の関数 $R(t)$ で表す手法：

$$-\int_0^t (Q_{IN} - Q_{OUT}) dt = V(R(t)) \quad (3)$$

本研究では、1 の手法を逓減特性方式、2 の手法を総降雨量方式と定義する。また、1 の手法は著者らによって提案された事前放流量決定手法であり、放流量は式(4)で決定される。

$$Q_{OUT} = Q_{IN} + \frac{dV}{dQ_{IN}} \cdot \frac{dQ_{IN}}{dt} \quad (4)$$

この式(4)を用いるとともに、流域における V と Q_{IN} の関係を事前に作成しておくことで、事前放流量を決定できることを著者らは示している。逓減特性方式では、流入量の立ち上がり時を時刻 $t=0$ と定義する。しかしながら、 V の算定に関しては上記のように Q_{IN} のみが利用できるわけではなく、時々刻々の降雨量を用いる事も可能である。以下に累積降雨量から V を算出する理論を記す。

(1) ダム貯水池における時々刻々の累積降雨量を用いた放流量の決定手法

ここでは、時々刻々の降雨データ(累積降雨量)を基に放流量を決定する総降雨量方式について述べる。現行のダム操作規則による放流操作は、時々刻々の流入量データを基に行っているが、洪水の発生要因である降雨の情報を得る事により、ダム貯水池への流入量を実際に流入が開始する前に算出することが可能である。これにより、さらに効率的な流量制御を行える可能性がある。式(3)を時間(t)で微分し、式(5)の $dR/dt=r(t)$ の関係を用いると式(6)が得られる。

$$R(t) = \int_0^t r(t) dt \quad (5)$$

$$Q_{OUT} = Q_{IN} + \frac{dV}{dR} \cdot \frac{dR}{dt} = Q_{IN} + \frac{dV}{dR} \cdot r(t) \quad (6)$$

ここに、 $R(t)$ ：ダム流域において降雨が開始した時刻から現時点までの累積降雨量 [mm]、 $r(t)$ ：時々刻々の降雨量 [mm/h] である。この総降雨量方式では、降雨開始時を時刻 $t=0$ と定義する。

ところで、降雨に伴う流出は雨が降った瞬間から始まるものではなく、ある閾値に達しなければ流出は始まらない。本研究ではこの閾値を R_{SA} と定義する。この R_{SA} は流域によって異なる。草木ダム流域における R_{SA} は平均して 46mm である。図-2 に草木ダムにおける累積降雨量 $R(t)$ と総直接流出量 V の関係を示す。式(6)を用いるとともに、流域における V と $R(t)$ の関係を事前に作成しておくことで、事前放流量を決定できる。つまり、実測のデータに対して回帰直線を作成する事で放流量を決定することができる。これにより、著者らが提案する放流手法はいかなるダムに対しても普遍的に適用可能である。ダム貯水位に関しては式(8)より算出可能であり、利水容量の安全性も同時に確認できる。

$$A(h) \frac{dh}{dt} = Q_{IN} - Q_{OUT} \quad (8)$$

ここに、 $A(h)$ ：湛水面積[m²]、 h ：貯水位[m]である。

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、ダム下流の水位時系列を考慮する必要がある。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。横流入量の算出については、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

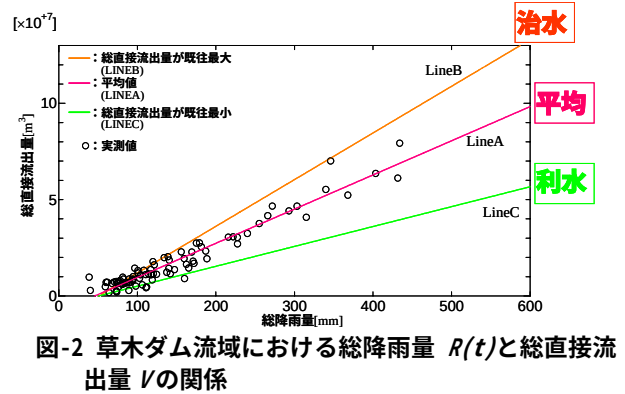


図-2 草木ダム流域における総降雨量 $R(t)$ と総直接流出量 V の関係

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. 短時間降雨予測および事前放流を用いた洪水調節

著者らは前述のように降雨予測を用いない事前放流量決定手法を提案しているが、放流を開始する際にダム管理者は、放流開始の準備として、人員の確保やゲート等放流設備の点検、関係機関への放流通知などに約2時間を要し、放流開始の判断や所員の集合指示等を含めると約3時間の準備時間を必要とするのが現状である。

これらの時間を考慮すると、ダム貯水池に流入が開始する1, 2時間前から事前放流を開始するのが限界であり、事前放流による治水容量の増大効果は小さくなってしまふ。そこで本研究では、総降雨量方式を用いる際に、時々刻々の降雨データ(累積降雨量)ではなく、予測した降雨量の累積値を用いて放流量の算出を行う。予測した降雨量を用いることで、時々刻々の累積降雨量を用いるよりも早い時期から洪水に備えることが可能となる。事前放流量を決定する際に用いる予測した降雨量のある時刻から6時間先までの各1時間降雨量と仮定する。予測した降雨量に伴う総直接流出量を図-2に示した V と $R(t)$ の関係から求め、事前放流量を決定する。

6. 大規模洪水を対象とした本洪水調節手法の適用

著者らが提案する洪水調節手法は事前放流を行うことを前提としている。予測した降雨量の累積値と総直接流出量の関係に基づき事前放流量を決定する洪水調節を実際の洪水に適用した。

対象とした洪水は、足利懸案地点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、予測した降雨の時間と雨量がともに的中した場合(図-3)、降雨時間は的中したが実際の降雨の2倍の降雨量を予測した場合(図-4)、予測した降雨量は的中したが、予測した時間よりも2時間遅れて実際の降雨が開始した場合(図-5)、実際の洪水が予測したよりも降らずに途中で止む場合(図-6)の流入量、放流量、貯水位、可能放流量の時系列を示す。比較のために、実際に降雨が開始してから累積降雨量 $R(t)$ と総直接流出量 V の関係により事前放流量を算出する総降雨量方式を用いて行った洪水調節シミュレーションも同時に示す。図-3, 4, 5においては、降雨予測を用いて事前放流を行ったことでダム貯水池への流入が卓越する前に治水容量を増大させ、ただし書き操作を回避した。また、洪水終了後の貯水位を見ると治水容量を確保していることがわかる。一方、図-6においては、実際の降雨量が予測した降雨量よりも少なかったために、貯水位は夏季制限水位まで回復せず、利

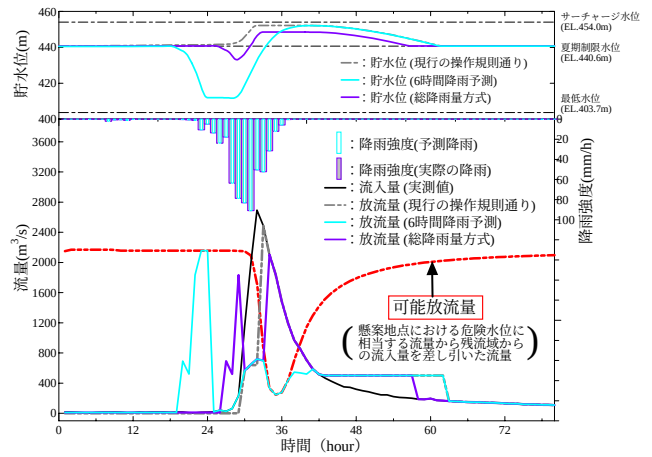


図-3 降雨予測を基に総降雨量方式から求めた放流量、現行の放流量、実測の流入量、貯水位及び可能放流量の時系列(降雨量、時間ともに的中)

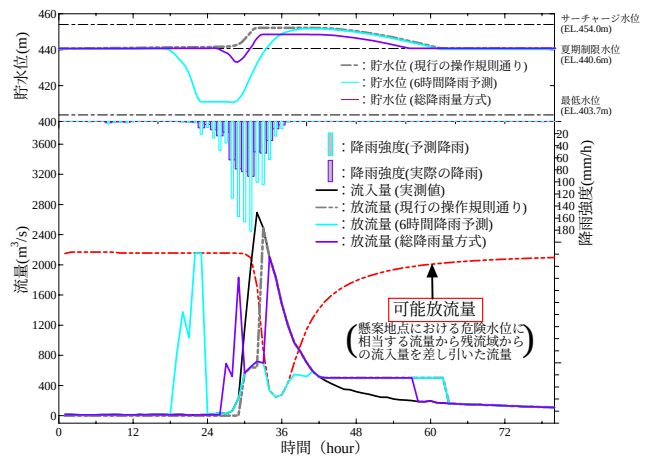


図-4 降雨予測を基に総降雨量方式から求めた放流量、現行の放流量、実測の流入量、貯水位及び可能放流量の時系列(実際の降雨の2倍の量が降る)

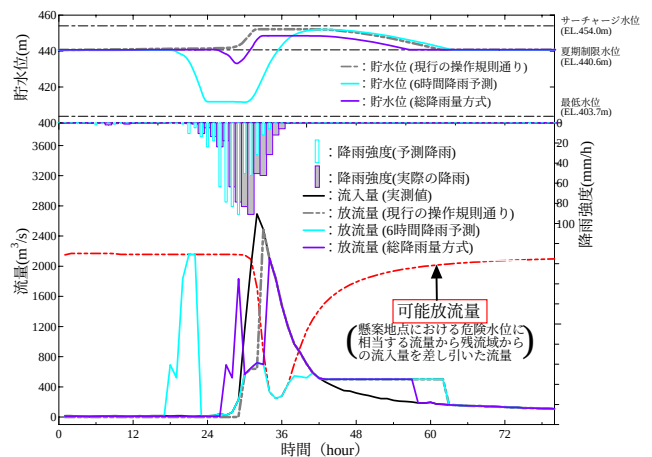


図-5 降雨予測を基に総降雨量方式から求めた放流量、現行の放流量、実測の流入量、貯水位及び可能放流量の時系列(実際の降雨よりも2時間早く降る)

用いた。比較のために、実際に降雨が開始してから累積降雨量 $R(t)$ と総直接流出量 V の関係により事前放流量を算出する総降雨量方式を用いて行った洪水調節シミュレーションも同時に示す。図-3, 4, 5においては、降雨予測を用いて事前放流を行ったことでダム貯水池への流入が卓越する前に治水容量を増大させ、ただし書き操作を回避した。また、洪水終了後の貯水位を見ると治水容量を確保していることがわかる。一方、図-6においては、実際の降雨量が予測した降雨量よりも少なかったために、貯水位は夏季制限水位まで回復せず、利

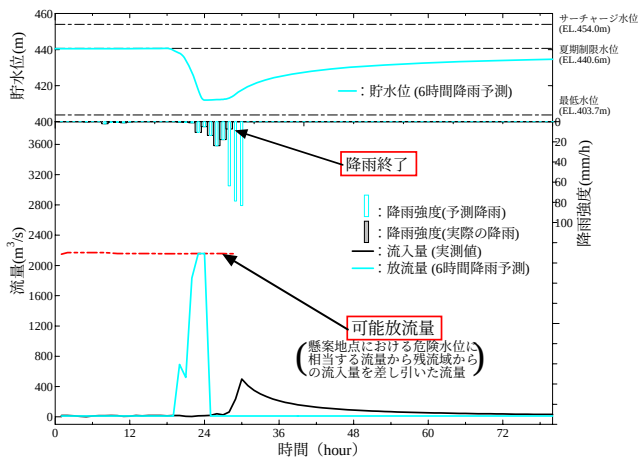


図-6 流入量が $500\text{m}^3/\text{s}$ で降雨が終了した場合の予測した降雨量を基に総降雨量方式を用いて算出した放流量と貯水位

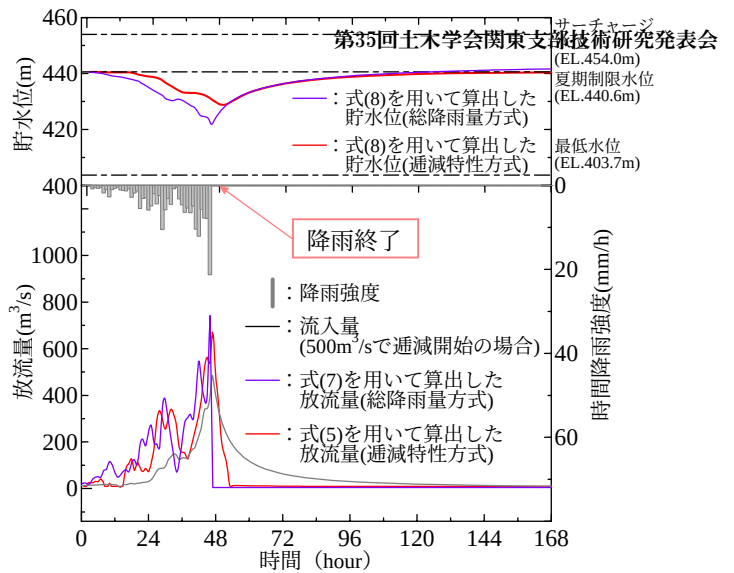


図-7 流入量が $500\text{m}^3/\text{s}$ で降雨が終了した場合の通減特性方式及び総降雨量方式を用いて算出した放流量と貯水位

水容量を損失した。これは、予測した降雨量を基に放流量を決定したことに起因し、提案する放流量決定手法によるものではない。Vを算出するにあたって、予測した降雨量ではなく実際の時々刻々の累積降雨量を用いれば貯水位は夏季制限水位まで回復し、利水容量を損失することはない（図-7）。このことから、どの程度の降雨予測精度があれば利水容量を失わずに事前放流を行うことができるかを検証することが必要となる。

7. まとめ

本研究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) 著者らが従来から提案している事前放流を用いた洪水調節手法の効果をより有効なものとするために、短時間降雨予測を想定し、予測した降雨量をダム放流量算出のための累積降雨量としてダムからの放流量を算出した。
- 2) 予測した時間と降雨量が的中した場合、実際の降雨よりも2倍の降雨量を予測した場合、実際の降雨よりも2時間早く降ると予測した場合の3ケースを想定し、提案する洪水調節手法を適用した。いずれの場合も事前放流を行ったことでダム貯水池への流入が卓越する前に治水容量を増大させ、ただし書き操作を回避し、洪水終了後に利水容量を確保することができた。

また、本研究で用いた予測降雨量は仮想的なものであり、実際の予測精度とは定量、定性的な関係はない。今後は、より現実的に即した洪水調節とするために、実際の短時間降雨予報に基づきダムからの放流量を決定し、どの程度の予測精度があれば利水容量を失わずに事前放流ができるか、また、予測値をいかに補正し予測誤差をいかに小さくするかを定量的に評価し、降水予報とダムからの事前放流を有機的に組み込むことの有用性の検証を行う必要がある。

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) 秋葉雅章，腰塚雄太，宮本守，戸谷英雄，佐藤直良，山田正：流出特性に応じた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，河川技術論文集，第10巻，2004
- 3) 下坂将史，呉修一，戸谷英雄，山田正：既存ダム郡の洪水調節機能向上のための新しい放流方法の提案，土木学会水工学論文集，印刷中，2008
- 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