

超過洪水時のダム洪水調節操作手法に関する一考察 —平成30年7月豪雨災害を踏まえて—

A Study on Reservoir Operation for Flood Control during Flood Events beyond the Designed Level

野原大督・竹門康弘・角 哲也

Daisuke NOHARA, Yasuhiro TAKEMON and Tetsuya SUMI

Synopsis

In July in 2018, a strong frontal rain system caused prolonged and torrential rainfall in the broad areas in the western Japan. While many reservoirs contributed to mitigate flood impacts by controlling flood water in the rivers, some reservoirs lost their flood control volumes to regulate river flow in the downstream by the overwhelming amount of inflow in the middle of the flood event. Those reservoirs therefore had to release the same amount of water as inflow after that, and resulted in severe inundation in the downstream in some river basins. Considering lessons learnt from this flood event, a robust reservoir operation method is proposed for flood control under extreme flood events in this paper.

キーワード: ダム操作, 洪水調節, 超過洪水, 異常洪水時防災操作

Keywords: reservoir operation, flood control, extreme event, emergency spillway gate operation

1. はじめに

平成30年7月豪雨災害では、ダム洪水調節能力を超えるような規模の降雨により、全国の8基のダム貯水池において、洪水調節操作中に洪水調節容量が満杯となる見込みとなったことから、洪水の最中に流入量と同量の放流を行う異常洪水時防災操作が実施され、洪水後期においてその治水機能が失われる事態となった。ダム洪水調節機能が洪水途中で失われたことにより、流域によっては下流において甚大な被害が生じ、愛媛県の肱川流域では、野村ダム下流において5名、鹿野川ダム直下流において4名の人的被害が生じた。

ダム貯水池の洪水調節計画の基準となる規模を大きく超えるような出水が生じた場合、洪水調節のために貯水池に確保されている空き容量が不足することから、洪水調節の最中に放流量をやむを得ず大きく引き上げる操作が行われる可能性が高くなる。こ

の場合、放流量の急激な増加に伴い、ダム下流の河川水位が急激に上昇する危険性があり、こうしたダム防災操作の実施にあたっては細心の注意を払う必要がある。

特に、河道や堤防の整備がいまだ十分に進まず、ダム下流の河川の疎通能力が小さい場合には、ダム建設時点において想定されていた洪水調節方式と比べて、より流入水を貯留するような洪水調節計画が暫定的に採用されているケースが見られる。ダムの洪水調節容量は建設時の計画に従って洪水調節を行う際に最も合理的に活用できるよう設計されていることを考えれば、上記のような状況は、いわばダム貯水池に過剰な洪水調節の役割を担わせているとも考えられる。こうしたダム貯水池では、出水の規模が大きくなると貯水量が急激に上昇する危険性があり、早い段階で洪水調節容量を使い切り、異常洪水時防災操作に移行する可能性も考えられる。この場合、ダム下流の河川では、疎通能力が小さいことも

相まって、急激に大規模な氾濫に至る危険性があることから、大規模な洪水時にダム洪水調節操作をいかに行うかが特に重要となる。

本稿では、上述の点を鑑み、平成30年7月豪雨災害にて顕在化したダム洪水調節操作に関わる課題を踏まえながら、特に超過洪水時に着目して、より安全なダム洪水調節操作手法の検討を行う。

2. 平成30年7月豪雨でのダム洪水調節操作の状況と操作の課題

国土交通省の取りまとめによれば、国土交通省所管の558ダムのうち、西日本を中心とした全国の213ダムで洪水調節を実施し、下流洪水被害の軽減・防止に効果を発揮した。その一方、そのうち8基のダムでは、洪水期間中に洪水調節容量を使い切る見込みとなり、異常洪水時防災操作が実施された（異常豪雨の頻発化に備えたダムの洪水調節機能に関する検討会，2018）。同操作に至った大きな要因は、長期間にわたる豪雨とそれに伴う大規模な洪水流出であると考えられる。例えば、肱川流域や高梁川流域では、2日雨量で計画規模を超過するような降水量が観測されている（Nohara *et al.*, 2020; 国土交通省, 2018）。また、例えば、淀川水系日吉ダムでは、洪水調節操作ルール（150 m³/sの一定量放流）通りに本出水の最後まで洪水調節を継続する場合に必要な空き容量は約7600万m³であり、有効貯水量5800万m³（洪水調節容量は4200万m³）を大きく上回っていた。この例からも、平成30年7月豪雨においては、異常洪水時防災操作を実施したダム貯水池では当時の洪水調節機能を上回る洪水流出があったことが窺える。

ダム貯水池への流入波形に着目すると、本出水で異常洪水時防災操作に至った8基のダムは2つに大別され、肱川流域の2ダム（野村、鹿野川）では、後期集中型の一山タイプであるのに対し、その他の6ダムでは、複数のピークを持った長い出水タイプであった（角・野原，2019）。一方、異常洪水時防災操作への移行のタイミングで見ると、5ダム（岩屋、一庫、日吉、引原、河本）では、流入量の減少局面であったのに対して、野村、鹿野川、野呂川の3ダムでは、流入量の増加局面で同操作が開始された。一例として、前者のうち淀川水系日吉ダムの操作状況をFig. 1に、後者のうち肱川水系野村ダムの操作状況をFig. 2に示す。なお両図とも、国土交通省水文・水質データベースから得られた時間データを元に作図しているため、10分データを元に作図をした場合と比べて流入量や放流量のピーク値が若干異なっていることに留意されたい。この結果、後者では、Fig. 2にも示

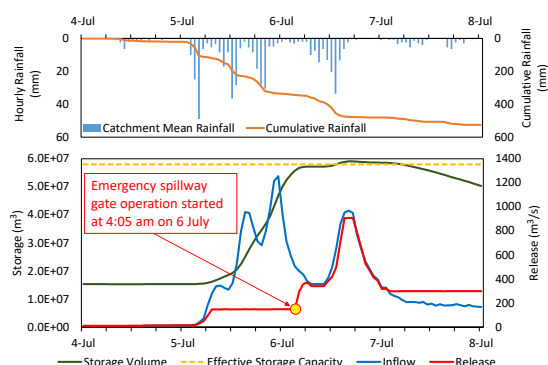


Fig. 1 Actual operation of the Hiyoshi Reservoir in the Yodo River basin during the flood event in July, 2018.

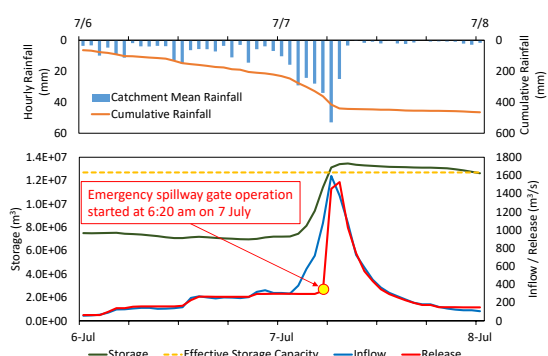


Fig. 2 Actual operation of the Nomura Reservoir in the Hiji River basin during the flood event in July, 2018.

されているように、洪水調節中の流入量と放流量が大きく乖離している状態から、増加する流入量に放流量をすり付けるため、放流量の増分割合はさらに大きくなり、結果として特に直下流での河川流量は急激に増加することとなった。

従来、ダムの異常洪水時防災操作（あるいは特例操作としてのただし書き操作）は、多くの場合、流入量のピーク後の低減部において開始されることが想定されることが多かった（例えば、ダム水源地環境整備センター，2000）。平成30年7月豪雨での肱川流域での事例のように、流入量がピークへ向けて鋭く立ち上がる段階での異常洪水時防災操作の実施は、これまであまり想定されてこなかった。多目的ダムが多く建設された時代の洪水調節操作ルールの計画段階まで遡れば、こうしたタイミングでの異常洪水時防災操作の開始についても検討された向きもあるが、流入量のピークを迎える前にダムの洪水調節容量が満水となるような洪水は、河川計画の基準となる規模を大きく超える規模であることを意味するため、議論の対象となりにくかった面もあると考え

られる。

しかし、流入量がピークを迎える以前に異常洪水時防災操作を開始すれば、上述のように流入量の増加を上回る速度で放流量を増加させる必要があり、こうしたタイミングでの急激な放流の増加は、ダム下流での河川における急激な水位上昇・氾濫、そして氾濫範囲と浸水深の急激な拡大へとつながりかねない。場合によっては沿川住民の避難の必要性の認知から氾濫到達までの避難等に利用できる時間を縮めてしまう可能性があり、水害対応の上でも課題があると考えられる。また、下流の河川整備が不十分であることなどの理由で暫定的に設計当初と比べて多くの貯留を行うことを洪水調節ルールとして採用しているようなダム貯水池にあっては、こうした状況がより発生しやすく、特に注意が必要である。

他方、流入量の減少局面で異常洪水時防災操作に移行したダムでも、淀川流域の日吉ダムなどのようにその後の新たな流入ピークにおいて十分な洪水調節効果が発揮できていない事例がある。こうしたケースでは、長時間に及ぶ複数のピークから構成される降雨で総流出量が大きくなる場合に、いかに後期の流入ピークに備えられるかが、全体の洪水調節効果を高める上で重要となってくると考えられる。

3. 超過洪水への対応も踏まえたダム洪水調節操作手法

以上を踏まえ、通常の洪水調節操作モードからの移行が円滑に行え、超過洪水の発生時にもある程度有効なダム洪水調節操作手法について考える。ここで言う超過洪水とは、ダムの治水容量と洪水調節操作ルールから見た場合の、ダムが持つ現有治水能力を超過する規模の洪水を指す。ここでは特に、これまであまり注目されてこなかった、流入量の増加局面で洪水調節容量の不足が見込まれる場合のダム治水操作手法について着目する。

上述のような暫定的な運用を行っているなどの理由で、流入量が増大しているのにダムからの放流を少ない量で維持している場合、貯水量の増加が早くなる。残りの貯水量が少なくなったタイミングで、降雨のピークによる流入量の著しい増加があると、短い時間で異常洪水時防災操作に移行、すりつけ操作を行わなければならない、放流量をさらに著しい割合で増加させなければならない。この結果、下流河川ではこれからピークを迎えるタイミングで自然状態よりも速い水位増加が生じることになる。

これを防ぐためには、ダム貯水池の洪水調節容量

の残りが少なくなった段階で、放流量と流入量の差を大きく取らないよう操作することが重要である。流入量がどこまで増加するのが実時間では正確に分からない以上、安全側を考えれば、空き容量がある程度少なくなれば、それに応じて洪水調節量（流入量と放流量の差分）を小さくし、貯水量の増加を抑えるようにして、今後の流入量の著しい増加の可能性に備える必要があると考えられるからである。こうした操作方式としては、VR方式（三石ら、2010）などが提案されているが、流入波形の事前の想定が必要となる上に、通常は流入量の減少局面での検討事例が多い。

以上の課題に対応するため、本稿では、流入量の増加局面において洪水調節容量の残量が小さくなる場合においても、放流量と流入量の比較的緩やかなすり付けが可能となる洪水調節方式を考える。操作方式の検討にあたって留意した点は、以下の通りである。

- 1) 可能な限り、貯水池の状態（貯水量または貯水位、流入量）の観測情報から操作が一意に決まる（計画操作、操作の透明性の確保）
- 2) 中小洪水にも調節効果が得られる
- 3) 貯水池が満水となり、洪水調節機能が喪失するリスクを減らす（将来の流入量の増加に備えて余力を残す、不確実性への対応）
- 4) 放流量の増加割合を極力抑える（流入量への緩やかなすり付け）

これらの点を満足する洪水調節方式の一例として、比較的よく用いられる一定量放流方式を基本とする場合、次式のような放流決定方法が考えられる。

$$R(t) = \begin{cases} \min[Q(t), Q_F] & (0 \leq \alpha(t) < c) \\ \beta(t) \cdot [Q(t) - Q_F] + Q_F & (c \leq \alpha(t) \leq 1) \end{cases} \quad (1)$$

$$\alpha(t) = 1 - \frac{V_c(t)}{V_F} \quad (2)$$

ここに、 $R(t)$ 、 $Q(t)$ はそれぞれ時点 t における放流量と流入量、 Q_F はダム貯水池による洪水調節を開始すべき流入量（洪水調節開始流量）で、一定量放流時の放流量に同じ、 $\alpha(t)$ は時点 t における貯水池の洪水調節容量使用率（貯留率）、 $V_c(t)$ は時点 t における貯水池の空き容量、 V_F は貯水池の洪水調節容量、 c は放流増加を開始する貯留率である。 $\beta(t)$ は洪水調節の対象となる流入量（ $Q(t) \geq Q_F$ ）に対してどの程度の放流を行うかを表す放流率である。

この放流率の決め方には様々な方法が考えられるが、いま、Fig. 3 の青線によって示すように、貯水池の貯留率が c を上回ってから、貯留率が1の時点、すなわち貯水池が満水となる時点までの間に、貯留率の増加に応じて線形に放流率 $\beta(t)$ を引き上げることを考えれば、 $\beta(t)$ は次式によって決まる。

$$\beta(t) = \frac{\alpha(t) - c}{1 - c} \quad (c \leq \alpha(t) \leq 1) \quad (3)$$

一方、一定率放流方式で洪水調節を行っている場合には、Fig. 3 の赤線に示すように、一定量放流方式と同様に貯留率が c に到達した段階から徐々に放流率を引き上げる方法が考えられる。一定率放流の放流率を ρ とすると、この場合の放流率 $\beta(t)$ は次式によって算出できる。

$$\beta(t) = \frac{(1 - \rho)\alpha(t) + \rho - c}{1 - c} \quad (c \leq \alpha(t) \leq 1) \quad (4)$$

あるいは、一定量放流方式の場合と同様に放流率の引き上げに式(3)を用いる場合には、式(3)によって決まる放流率（貯留率によって決まる放流率） $\beta(t)$ が ρ 以上となるまでは一定率放流を継続し、次式によって得られる貯留率 c' に達した段階より放流率の増加を開始すればよい。

$$c' = (1 - \rho)c + \rho \quad (5)$$

ダム洪水調節の実務では、貯留量が洪水調節容量のおよそ8割に到達した段階で、異常洪水時防災操作に移行し、流入量へのすり付けのため、放流率を引き上げる場合が多い。一方で、提案する方法は、貯留量がより低い段階から、放流率の引き上げを段階的に行い、流入量のすり付けをより緩やかにすることを意図したものである。

ただし、提案手法では、放流率を引き上げる貯留率 c や c' （以下、基準貯留率と呼ぶ）をどのように決めるかが課題となる。この点については、対象となるダム貯水池において洪水貯留によって満水に近づく速さがどの程度かが重要となる。一般に、洪水調節容量が集水面積に比べて小さなダム貯水池や、暫定運用などにより当初の洪水調節計画と比べてより放流量を制限するような洪水調節ルールが採用されているダム貯水池などでは、洪水調節時に急激に空き容量が少なくなりやすい。このことから、例えば、次式に示すようなダム貯水池の相当雨量や補正相当

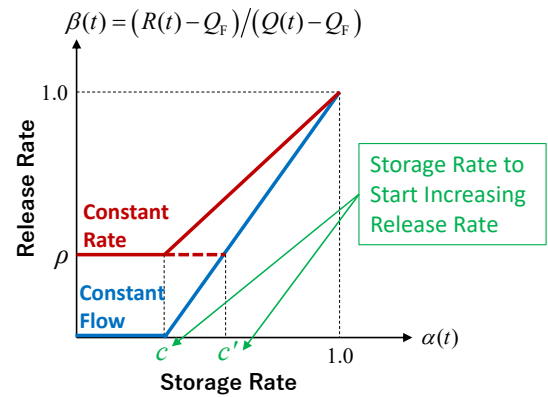


Fig. 3 Conceptual diagram to determine the release rate of the reservoir from the storage rate to its flood control capacity.

雨量（野原・角，2020）などに応じて、基準貯留量（ c や c' ）を変化させると良いだろう。

$$\eta = \left(\frac{S_F}{A} \right) \times 10^{-3} \quad (6)$$

$$\eta^* = \frac{1}{\kappa} \cdot \eta \quad (7)$$

$$\kappa = \frac{Q_M - R_M}{Q_M} \quad (8)$$

ここに、 η はダム貯水池の相当雨量（mm）、 S_F は貯水池の洪水調節容量（ m^3 ）、 A は貯水池の集水面積（ km^2 ）、 η^* は補正相当雨量（mm）、 Q_M はダムの計画最大流入量（ m^3/s ）、 R_M はダムの計画最大放流量（ m^3/s ）、である。すなわち、相当雨量や補正相当雨量が小さい場合には、基準貯留量を小さく設定し、早い段階から放流率の段階的な引き上げを行う運用にすると良い。反対に、相当雨量や補正相当雨量が大きい場合には、洪水操作ルールに照らして洪水調節容量に余裕があるわけであるから、基準貯留率を大きく設定して放流率の引き上げのタイミングが遅らせても、流入量に放流量をある程度緩やかにすり付けることが可能な程度に洪水調節容量が残存していることが期待できる。

Fig. 4に本稿で提案する洪水調節手法（漸増率放流方式と呼ぶ）と、従来から採用されている洪水調節方式である定額放流方式および定率・定額放流方式の放流量を比較した概念図を示す。ここでは、漸増率放流方式として、計画規模洪水に対応した定額放流方式と同じ流入量から洪水調節を開始する方式（漸増率放流方式1）と、中小規模洪水にも治水効果が発揮できるよう洪水調節を開始する流入量を低く設定した方式（漸増率放流方式2）の2種類を考えて

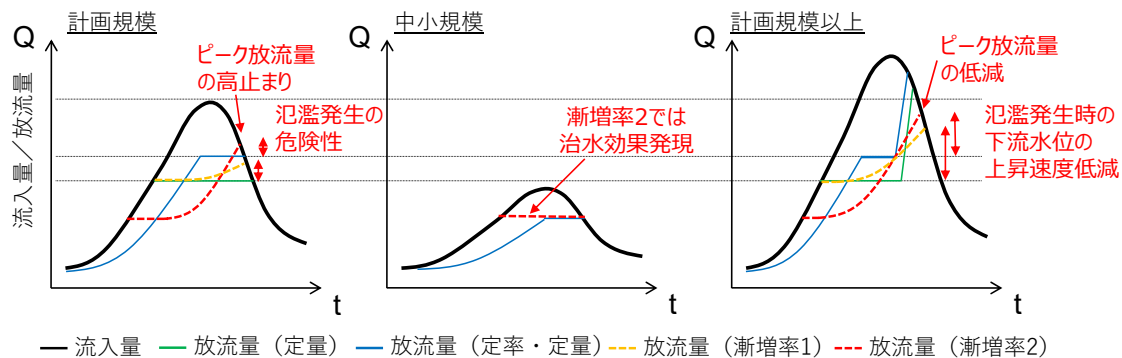


Fig. 4 Conceptual diagram for comparison in reservoir flood control effects between conventional and proposed methods.

いる。比較にあたっては、定量放流方式と漸増率放流方式1を、あるいは中小洪水に対応できる定率・定量放流と漸増率放流方式2を比較すると良い。

Fig. 4にも示される通り、計画規模の洪水においては、漸増率放流方式では洪水調節容量の残存量の減少に伴って放流率を引き上げることから、特に定量放流方式と比較する場合、ピーク放流量が高くなることが予想される。通常、河川計画の上では、ダム の最大放流量（定量放流量）が下流河川の流下能力との関係で決まることが多いことを考えると、定量放流量よりもピーク放流量が大きくなることは、下流河川で氾濫が発生する危険性が生じることを示す。そのため、計画規模の洪水でも、少なくとも小規模の氾濫が発生する可能性を許容する操作方式となる。

一方、計画規模以上の洪水に対しては、定量放流方式や定率・定量放流方式では、残りの洪水調節容量が少なくなってから流入量への放流量のすり付けを行うため、すり付けの際の放流量の増加割合が大きくなりがちである。また、その時点で流入量がまだ大きい場合には、対応してピーク放流量も大きくなる恐れがある。これに対して、漸増率放流方式では、貯水池の空き容量にある程度余裕が段階から徐々に放流量を引き上げるため、放流量の増加割合を抑えることが可能である。このときに下流の河川で氾濫が発生している場合には（計画規模を超える洪水のため氾濫が発生する可能性は高いわけだが）、氾濫時の河川水位の上昇速度が抑えられることになり、同時に氾濫による浸水深の上昇速度や浸水域の拡大速度を抑えることにもなる。また、貯水池の洪水調節容量の先使いが軽減されることから、放流量の引き上げが行われる出水後半においても洪水調節機能がある程度に残されることとなり、その結果としてピーク放流量を抑えることが可能となると考え

られる。なお、中小規模の洪水に対しては、漸増率放流方式2のように、洪水調節を開始する流入量を小さく設定することで、定率・定量方式ほどではないものの、ある程度の治水効果を発揮させることが可能である。

なお、近年、既存ダム貯水池の有効活用の方策として、事前放流が着目されており（既存ダムの洪水調節機能強化に向けた検討会議，2020），その治水効果が期待されているところであるが、事前放流の実施により洪水調節容量を一時的に増大できたとしても、増大された洪水調節容量をもってしても対応が難しい規模の洪水はやはり起こり得る。そのため、上述のような放流率を増加させてダム貯水池への洪水貯留を抑える方策が、事前放流の実施がある場合においても重要となる。

4. 超過洪水時における治水効果の検証

提案する洪水調節方式の超過洪水時における治水効果を検証するため、ダム洪水調節操作のシミュレーションを行った。対象ダム貯水池は、肱川水系野村ダムと淀川水系の支流、桂川流域に位置する日吉ダムである。

肱川水系野村ダムを対象とした検証には、超過洪水として平成30年7月豪雨時の実績流入量を用いた。貯水量の初期値についても、同豪雨発生時の実績値を用いた。野村ダムの相当雨量は、豪雨発生時点で約20.8mmと小さく、事前放流によって確保していた空き容量を加味しても40mm程度（角・野原，2019）と、集水面積に比べて洪水調節容量がかなり小さく、大規模な出水の際に洪水調節のための空き容量が急速に減少しやすい特徴がある。こうした点も勘案し、本計算では、放流率を引き上げる基準貯留率を $c=0.2$

と設定し、洪水調節を開始した段階から貯水池の空き容量の減少に応じて徐々に放流量を引き上げる操作方式と設定した。

Fig. 5にこの条件での操作シミュレーション結果を示す。実績操作と比較して、提案方式では、事前放流操作による空き容量の増量を行っていないにもかかわらず、ピーク放流量の低減が見られるほか、1時間あたりの放流量の最大増加量も、実績の1124 m^3/s から579 m^3/s と減少し、流入量の1時間あたりの増加量の最大値（519 m^3/s ）に近づいている。提案方式では、前述のように、計画規模あるいはそれよりも規模が小さい洪水で洪水調節容量を十分に使い切れない可能性があるという課題があるものの、このように超過洪水時においても粘り強く洪水調節効果をもたらすことが見込め、超過洪水時の洪水調節手法として一考の余地があると考えられる。

次に、平成30年7月豪雨を対象とした淀川水系桂川流域の日吉ダムでの操作シミュレーション結果を示す。日吉ダムでは、相当雨量が約150mm程度と、野村ダムと比較して大きいことから、放流率を引き上げる基準貯留量を $c=0.5$ と設定して計算した。なお、平成30年7月豪雨における降雨の確率規模は、48時間雨量で1/80程度であり、出水当時の日吉ダムの洪水調節計画の基準となる洪水の確率規模1/20を超過していた（岩本ら，2019）。Fig. 6に操作シミュレーションの結果を示す。前述のように、日吉ダムにおいては、平成30年7月豪雨では複数の流入ピークから出水に見舞われ、実績操作では最終ピークが始まる以前に洪水調節容量がほぼ使い切られていたため、流入量の最終ピークに対するピーク放流量の低減量は小さかった。しかし、提案方式では、実績と比較してピーク放流量を約155 m^3/s 低減しており、流入量の最終ピークに対してもある程度の洪水調節効果が得られていることが分かる。ただし、その反面、流入量の最大ピーク時には、実績と比較してより大きな放流となっているため、最大ピーク時には実績操作による洪水調節効果の方が優れていることになる。

どちらの洪水調節効果の方がより重視されるべきかは、降雨・流出の時間分布、ダム残流域における流出状況や下流河川の水位状況などに左右され、出水イベントに応じて異なることから事前に確定的に論じることは難しい。しかし、特に洪水貯留がある程度進んでいるにも関わらず、今後降雨が収まる見込みが得られず、出水の規模が予測できない場合などにおいては、この後にさらに大きな出水ピークが現れる可能性も否定できない。そのため、後半の出水ピークにおいてダムの洪水調節効果が全く見込めなくなるような操作方式は、不確実な将来に対して

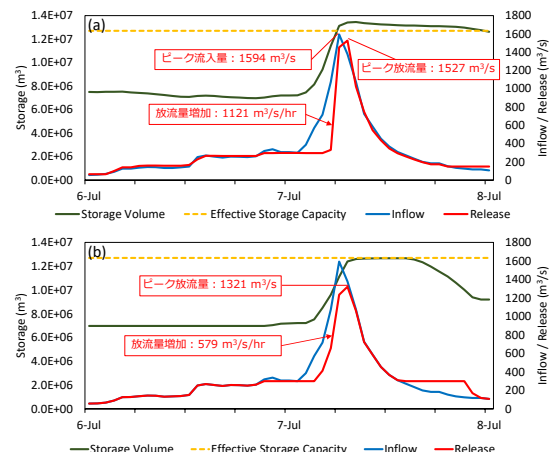


Fig. 5 Comparison in reservoir states of the Nomura Reservoir between (a) actual operation and (b) proposed operation.

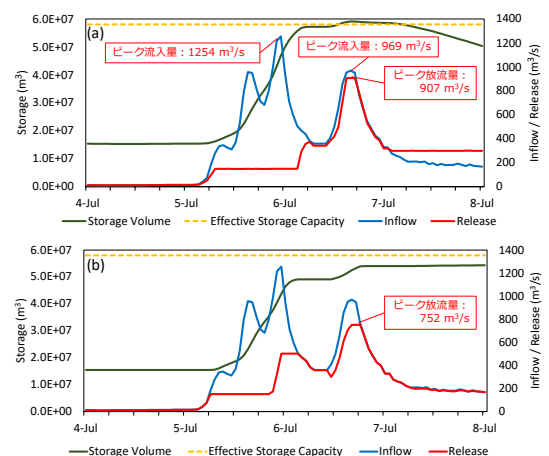


Fig. 6 Comparison in reservoir states of the Hiyoshi Reservoir between (a) actual operation and (b) proposed operation.

ややリスクを抱えるような操作方式であると考えられ、段階的に放流率を上げ貯水量の増加を和らげる操作方式を採用する方が、不確実な将来に対してより安全な態度であるとも考えられる。

最後に、日吉ダムを対象として、平成30年7月豪雨よりもさらに降雨規模が大きい出水における提案操作方式の有効性の検証を行う。ここでは、平成30年7月豪雨の終盤にあたる7月7日未明に由良川流域・加古川流域にかかった強雨域の場所が南東にずれ、同時時間帯に日吉ダムが位置する桂川上流域にかかったと仮定した仮想降雨を対象に考えた。

具体的には、桂川流域の鎌倉、周山、殿田、新町、園部の各雨量観測地点における7月6日18時以降の雨量として、それぞれ、由良川流域あるいは加古川流

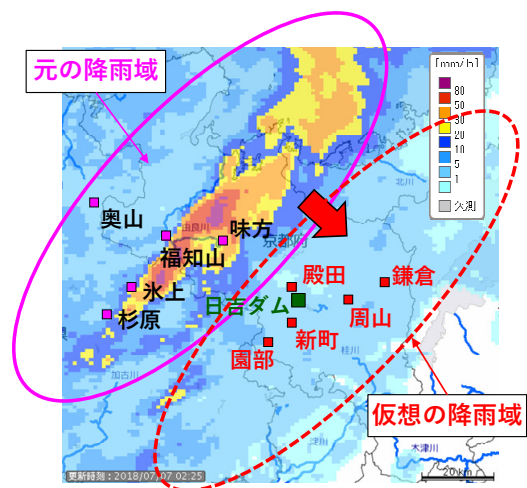
域に位置する雨量観測地点の綾部、味方、福知山、奥山、氷上、杉原の観測雨量を用いることで作成した (Fig. 7) . 仮想降雨における降水量時別データの作成方法を、周山地点を例に挙げながら Fig. 8 に示す. この結果、実績の降雨イベントの最終盤に、新たに大きな降雨ピークが作成される. なお、この仮想降雨の再現確率は、48時間雨量で1/400である (岩本ら, 2019) . この仮想の降雨データを用いて、分布型降雨流出モデルHydro-BEAM (Kojiri, 2006) によってダム地点の流出量を算出することによって、仮想降雨におけるダム流入量の時別データを作成した.

この仮想降雨において提案方式で洪水調節を行った場合の日吉ダムの操作シミュレーション結果を Fig. 9 に示す. 図に示す通り、仮想降雨では、実績操作では洪水調節容量を使い切ったために異常洪水時防災操作が行われていた7月6日17時頃のピークが終了した後に、さらに大きな流入ピークが現れているが、提案操作方式ではこのピークに対しても洪水調節が行えており、放流量をやや減少させる効果が見られている. このように、提案手法では、洪水調節容量が使い切られないという課題があるものの、度重なる大きな流入ピークを持つような超過洪水に対しても、洪水後半における洪水調節機能にある程度維持することが出来ており、結果的にピーク放流量の低減につながっていることが分かる. このことより、特に超過洪水を見据えたダムの洪水調節操作手法として、一考の余地があると考えられる.

5. おわりに

本稿では、平成30年7月豪雨災害にて顕在化したダム洪水調節操作に関わる課題を踏まえながら、特に超過洪水時に着目して、より安全なダム洪水調節操作手法の検討を行った. その中で、貯水池の洪水調節容量の貯留率に応じて、ダムからの放流率を徐々に引き上げる洪水調節方式を新たに考え、超過洪水を対象としたダム操作シミュレーションの実施により、その有効性の検証を行った. その結果、提案手法では、超過洪水において、定量放流方式や定率・定量放流方式と比較して、洪水調節のための貯水池の空き容量を出水後半にある程度温存することが可能であることから、最大放流量を小さく抑えることが期待でき、流入量への放流量のすり付け時における放流量の増加割合も小さく抑えることができる可能性が示唆された.

一方で、提案手法では、中小規模洪水や計画規模洪水において洪水調節容量を十分に使い切ることができず、それゆえに計画規模洪水では現行方式と比



C-band Radar解析雨量 (7月7日 2:25)

Fig. 7 Locations of rain stations in original rain areas and hypothetical rain areas (added by the authors to the base image of rainfall analysed with C-band radar by Japan Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT)).

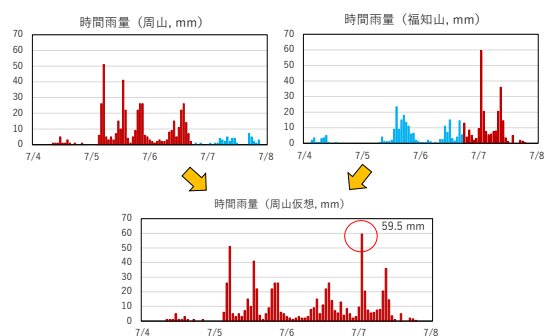


Fig. 8 Example of the method applied to generate hypothetical hyetograph for each rain gauge around the Hyogoshi Reservoir.

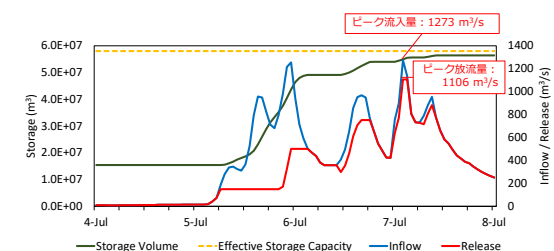


Fig. 9 Simulation results of operation of the Hyogoshi Reservoir for the generated hypothetical flood event.

較して最大放流量が大きくなる可能性があるという特徴も見られた. この点については、特に計画論の立場からは、ダムの計画時に想定された所定の治水効果が発揮されないとの捉え方もでき、課題である

と考えられる。ただし、管理論の立場から見れば、計画規模を超えるような出水は、発生確率は小さいといえどもいつでも起こり得るわけであり、計画上の基準となる出水規模を超えるからといって、そうした洪水に対する想定や準備を怠ることは妥当ではない。気候変動の影響等により、将来にわたって洪水の激甚化・頻発化が懸念される中では、超過洪水の発生を前提とし、被害が甚大となりやすい超過洪水時にもある程度有効な治水施設の運用計画を準備しておくことが、様々な規模の洪水を考慮した流域の治水システム全体の機能向上の面でも、非常に重要であると考えられる。

なお、上述のような懸念に対する一つの対応策としては、例えば、現行の特別防災操作の実施時などのように、予測情報などの活用によって、出水の終わりが確実に見通すことができ、かつ貯水池の空き容量に余裕がある場合に限り、放流量を増加させずに据え置く方式などが考えられる。一方で、予測情報の精度が芳しくないと考えられ、出水の終わりが見通せないような場合には、出水収束の目途が立つまではダム貯水池の洪水調節容量にある程度余裕を残すことが、将来の急激な流入量の増大などの不測の事態に備えるという意味で、より信頼性が高い操作であると言えるだろう。

一方で、流域の治水システム全体から見れば、本稿での議論は、一つのダム貯水池の洪水調節操作を対象としたいわば部分最適化問題を取り扱ったものである。今後は、岩本ら（2019）や舟橋・沖（2019）でも検討されているように下流域での流出・氾濫や被害推定の状況などを勘案し、さらには住民等による水害対応行動の効果なども考慮しながら、本稿で提案するようなダム洪水調節手法が治水システム全体の最適化にどの程度寄与するのかを分析することが、今後の課題である。また、放流率を引き上げるべき貯留率の合理的な決め方についても、ダム貯水池の相当雨量などとの関係に留意しながら、今後検討していく必要がある。

参考文献

異常豪雨の頻発化に備えたダムの洪水調節機能に関

する検討会（2018）：異常豪雨の頻発化に備えたダムの洪水調節機能と情報の充実に向けて（提言概要）。

岩本麻紀・野原大督・竹門康弘・小柴孝太・角哲也（2019）：亀岡盆地の流出・氾濫解析に基づくダム治水操作手法の有効性の比較検討，土木学会論文集B1(水工学)，Vol.75, No.2, I_97-I_102.

既存ダムの洪水調節機能強化に向けた検討会議（2019）：既存ダムの洪水調節機能の強化に向けた基本方針。

国土交通省（2018）：野村ダム・鹿野川ダムの操作に関わる情報提供等に関する検証等（とりまとめ）参考資料，pp.8-9, <http://www.skr.mlit.go.jp/kasen/kensyounoba/matomesankou.pdf>.（2020年8月30日確認）

角哲也・野原大督（2019）：平成30年7月豪雨でのダム治水操作と今後の課題，ダム工学，29(1)，28-33.

ダム水源地環境整備センター（2000）：ダム管理の実務，p.126.

野原大督・角哲也（2020）：令和元年台風第19号出水でのダム操作の状況と中期アンサンブル予報の事前放流への利用性，土木学会論文集B1（水工学）。（投稿中）

舟橋壮真・沖大幹（2019）：肱川・鹿野川ダムの操作ルールが想定被害額に及ぼす影響に関する研究，土木学会論文集B1（水工学），Vol.75, No.2, pp.I_73-I_78.

三石真也・角哲也・尾関敏久・松木浩志（2010）：VR方式によるダム洪水調節の適用性に関する検討，ダム工学，20(2)，pp.105-115.

Kojiri, T (2006): Hydrological River Basin Environment Assessment Model (Hydro-BEAM), Watershed models, Taylor & Francis, CRC Press, pp.613-626.

Nohara, D., Takemon, Y. and Sumi, T. (2020): Real-time flood management and preparedness: Lessons from floods across the western Japan in 2018, Advances in Hydroinformatics - Models for Extreme Situations and Crisis Management, Gourbesville, P. and Guy, C. (eds.), Springer, Singapore, pp.287-304.

（論文受理日：2020年8月31日）