

大規模出水に対する千曲川上流域の洪水調節能力強化検討

信州大学工学部水環境・土木工学科 教授 吉谷 純一
特任准教授 木戸研太郎
京都大学防災研究所 教授 角 哲也

1. 研究の背景・目的

近年、地球温暖化に伴う気候変動の影響とみられる局所的豪雨による山地崩壊や河川氾濫等の災害が頻発している。たとえば、令和元年台風19号（東日本台風）時のような豪雨災害が今後いつどこで発生してもおかしくないと考えなければならない。

あらゆる対策を総動員する「流域治水」の概念のもと、既設の大規模な貯留施設に乏しい千曲川上流域（本研究では千曲川本川流域のうち杭瀬下地点（千曲市）より上流域を千曲川上流域という。）では、出水ピーク流量の抑制のために流域内での一時的な貯留による洪水調節能力の強化が重要となると考える。

そこで本研究では、令和元年台風19号時の実績降雨（以下「台風19号降雨」という。）を対象降雨とし、流水型の小規模貯留施設の分散配置や「田んぼダム」による千曲川上流域の貯留能力強化に関するケーススタディを行い、流域内の貯留能力強化方策の選択肢（オプション）を示す。

2. 令和元年台風19号の概要

台風19号降雨の総降雨量分布を、既往の主な台風性降雨（昭和34年8月台風7号、昭和57年9月台風18号）と比較して図-1に示す。いずれも千曲川上流域の群馬・埼玉・山梨県境付近の山地部での降雨が多いという特徴があるが、令和元年台風19号では特に群馬県側の山地部で多く、佐久穂町上石堂の72時間降雨量が579mm（10月11日1時～13日24時）となる等の記録的豪雨となった。

この出水により、杭瀬下地点での最高水位は計画高水位を1m近く上回り、千曲川上流の本川および支川流域の多くの個所で堤防・護岸損壊や浸水等の被害が発生した。

3. 流水型貯留施設の分散配置による洪水調節効果

3.1 流水型貯留施設とは

流水型貯留施設は、平常時は貯留せず取水時のみ一時的に出水を貯留する自然調節式の河道内遊水地である。河川の中～上流

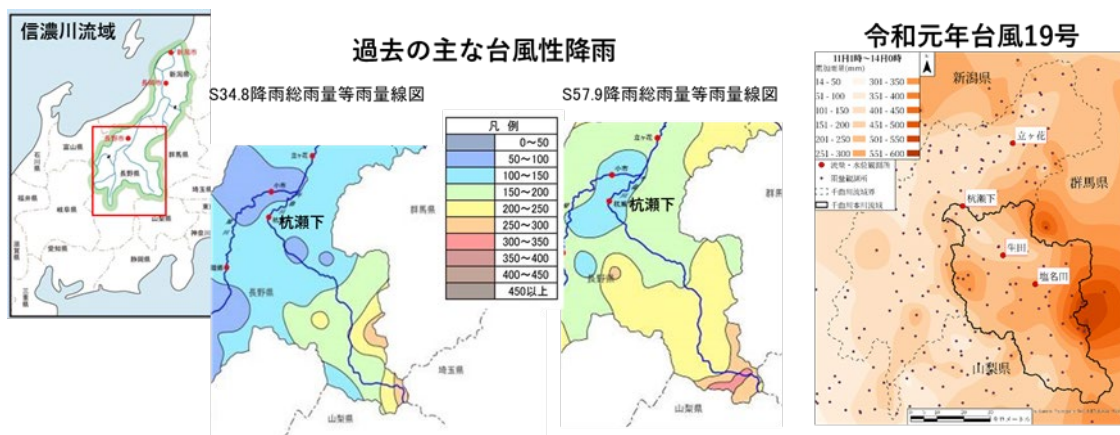


図-1 令和元年台風19号の降雨量分布

部地形を利用した比較的コンパクトな構造物で、河床部に設けた洪水吐きにより平常時は河川流を貯留せず流下させるという特長がある。そのため、環境への負荷が比較的小さく、またゲートがなく単純な構造物のため総工費も抑えられると考えられる。

世界的には流水型貯留施設の歴史は古く、16世紀にはイランで、17世紀にはフランスでの事例が報告されている。また、オーストリアでは、グラーツ市を中心とする流域の洪水対策として、都市部に流れ込む支川を中心に小規模な流水型貯留施設が1960年代以降100か所以上に分散配置されている(図-2)。同様な小規模分散型貯留施設群はドイツ南部ネッカー川流域にもみられる¹⁾。

千曲川上流域は、地形的にみて大規模貯留施設の設置に適した場所に乏しいが、多くの支川が枝葉状に存在しており、このような小規模流水型貯留施設の分散配置が有効な方策となる可能性が考えられる。

3.2 計算方法

貯留関数法を用いた千曲川上流域の流出計算モデルにおいて小規模な流水型貯留施設を分散配置し、台風19号降雨に対する流

量低減効果を明らかにする。

流水型貯留施設には、河床部に常用洪水吐きを堤体天端に自由越流式の非常用洪水吐きを設置する。いずれもゲートを有さない自然調節方式とし、放流量は水深に応じて常用洪水吐きはトリチェリの定理、非常用洪水吐きは全幅せきの越流公式により定める。

洪水調節効果は施設の存在する流域の下流端でのピーク流量により評価することとし、下流端ピーク流量が最小となる施設ごとの最適な常用洪水吐き断面積をSCE-UA法により探索した(図-3(1))。ここで、堤高(貯水深H)は30mで一定とし、常用洪水吐き断面積の最小値は2.0m²とした。なお、常用洪水吐き断面積の最小値は、流木等による閉塞の回避や施設の維持管理の作業性等を考慮して、現実的な最小規模と想定したものである。

また、複数の流水型貯留施設群が直列・並列に存在する流域では、池田ら¹⁾の提案した「カスケード型洪水制御方式」、すなわち上流側の施設では非常用洪水吐きからの越流も許容することにより下流端でのピーク流量の抑制効果をより大きく発揮させるという考え方を採用した(図-3(2))。

3.3 施設候補地の選定

千曲川上流域各支川の下流端付近において、地形上H=30m程度以上確保可能な地点を地形図から計43地点を一次選定し、それぞれの流域面積、貯水容量(H=30m)、相当雨量(=貯水容量/流域面積)、台風19号実績降雨量等より、計算モデルに採用する流水型貯留施設候補地(以下単に「施設」という)18か所に絞り込んだ。18施設の貯水容量の合計は約75,000千m³である。

3.4 複数施設を有する支川流域での計算結果

杭瀬下上流域における洪水流出計算に先立ち、流域内の2つの支川流域を取り上げ、流水型施設群配置と洪水調節効果の関係を検討した。具体的には、1本の支川に4施

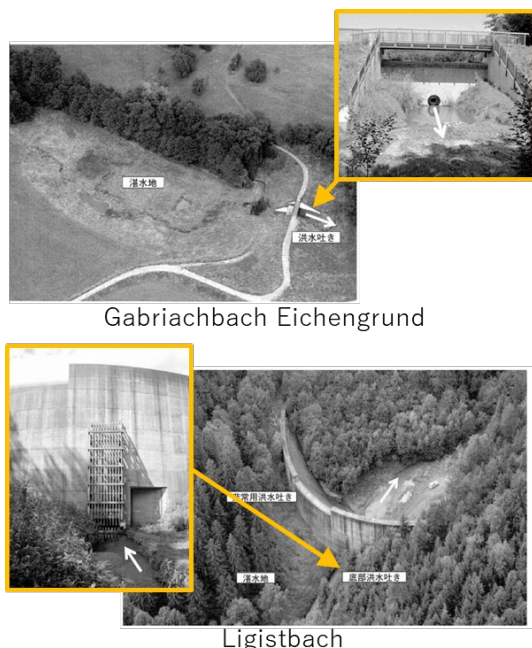
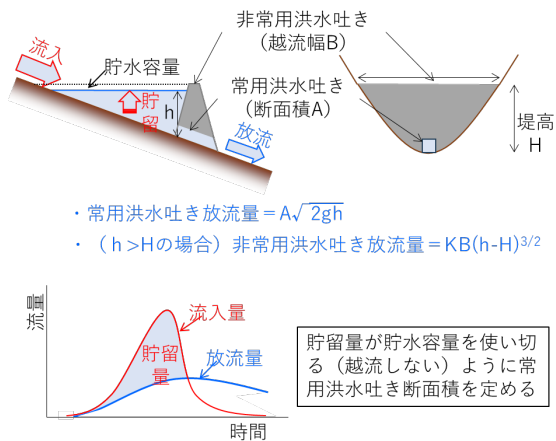
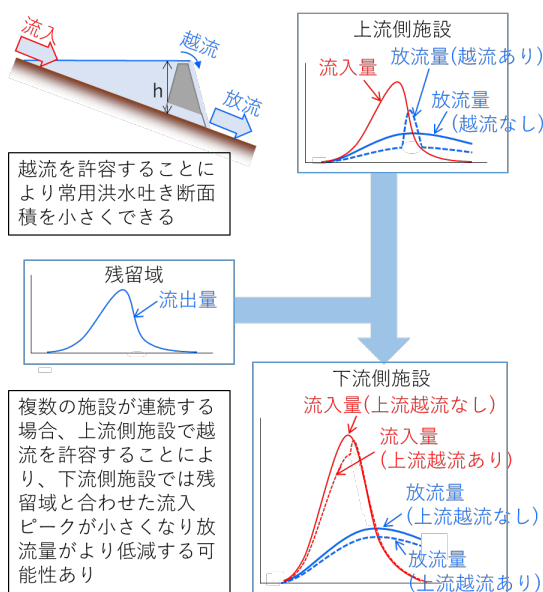


図-2 オーストリアの流水型貯留施設の例(参考文献2)を編集)



(1) 単独施設の場合



(2) 施設群によるカスケード型洪水制御 (例：2施設直列配置の場合)

図-3 流水型貯留施設による流出計算のイメージ

設がある直列配置型の流域 A と、3本の支川それぞれに1~2か所とそれらの合流後1か所の計6施設がある直列・並列配置型の流域 B を対象に常用洪水吐き断面積の最適化計算を行った。計算結果を図-4 および図-5 に示す。

流域 A において、上流から2番目の DC16 では越流が発生しカスケード方式による施設群としての最適化がなされている。一方、最上流の DC15 と3番目の DC19 では貯水

容量に余裕が残っており、施設の小規模化あるいは常用洪水吐き断面積の縮小が可能であることがわかる。前述のオーストリアの事例では、湛水に伴う浮力の発生を利用して無動力・回転式の自動開閉ゲートを用いて水位上昇時の洪水吐き放流能力を低減することによりピーク流量を抑制する構造の施設もあり²⁾、低水位時の洪水吐き断面積を確保しつつ水位上昇時のピーク流量を抑制する方法として、そのような設備の導入も今後検討に値すると思われる。

流域 B においては、右支川の上流から2番目の DC08 では越流が発生する一方で、中央支川の DC10 および左支川の DC17,11 では貯水容量をすべて利用していない。この理由としては、右支川流域の降水量が他の2支川流域よりもかなり多かったことが考えられる。今回の結果からは、中央・左支川では施設の小規模化や常用洪水吐き断面積の縮小等が可能であり、それにより流域 B 全体としてより適した洪水調節能力強化が図られると考えられる。

このように、今回の計算手法を活用すれば、流水型貯留施設群の分散配置および規模・放流能力の最適な組合せを探索することが可能であることが示された。

次に、流域 A, B それぞれの下流端における流量変化を、施設なしの場合(自然流量)と比較して図-6 に示す。

流域 A では、流域下流端のピーク流量は自然流量 $760\text{m}^3/\text{s}$ に比べ $58\text{m}^3/\text{s}$ と大幅に低減された。また、ピーク流量発現時刻は約26時間遅延された。

流域 B では、流域下流端のピーク流量は自然流量 $561\text{m}^3/\text{s}$ に比べ $232\text{m}^3/\text{s}$ に低減された。また、ピーク流量発現時刻は約4.8時間遅延された。

このように、流水型貯留施設群の分散配置により、支川ごとの下流端において大きなピーク流量低減効果およびその発現時刻の遅延効果が得られる可能性が示された。

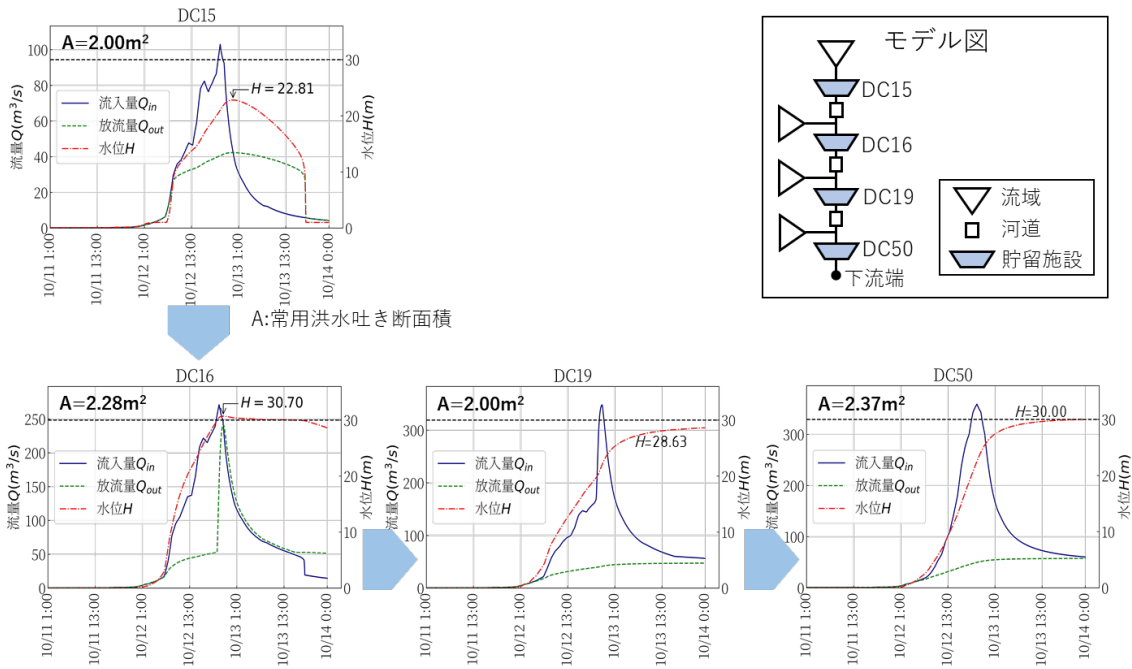


図-4 流域 A (4 施設直列配置) 計算結果

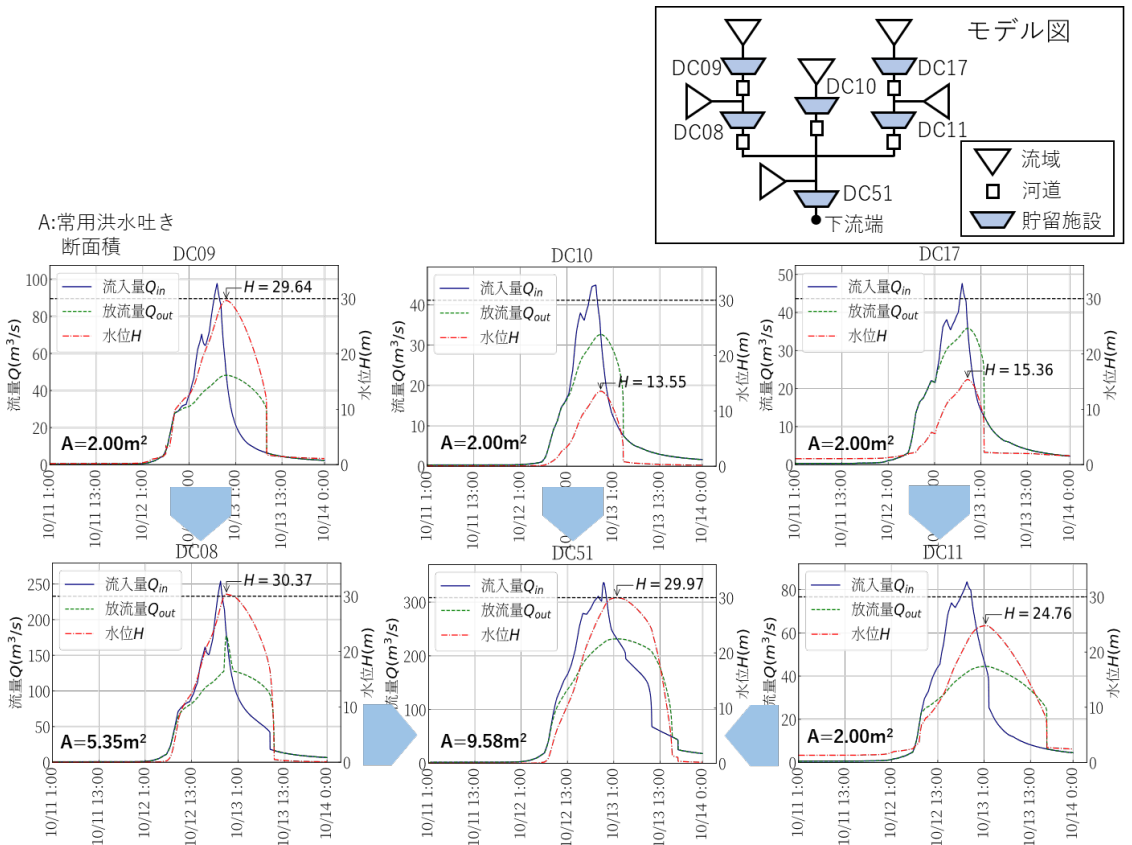


図-5 流域 B (6 施設直列・並列配置) 計算結果

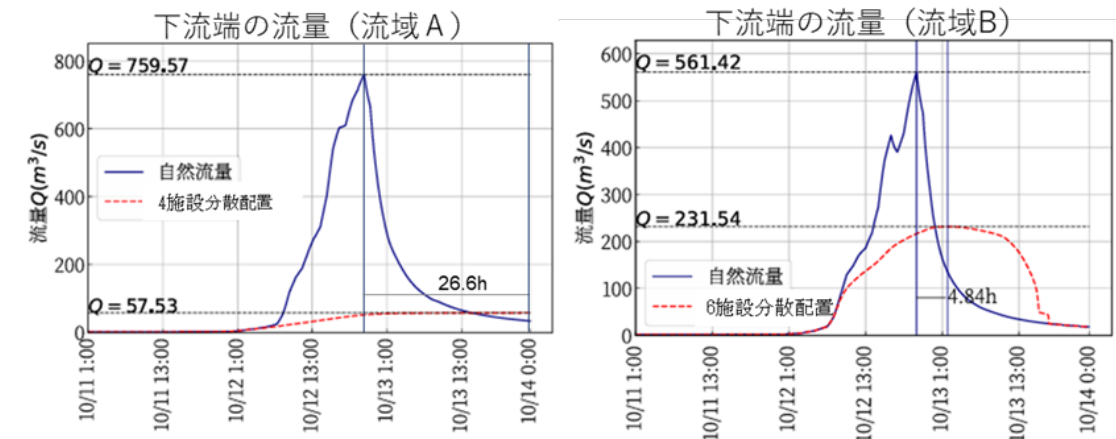


図-6 流域下流端での流量低減効果

4. 「田んぼダム」による洪水調節計算方法

「田んぼダム」は、水田の排水口に小さな穴の開いた調整板等を取り付け、流出量を抑えることで水田の雨水貯留機能の強化を図り、周辺農地や下流域等の浸水被害リスクの低下を図る取り組みである³⁾。すなわち、水田に降った雨を一時的に貯留するものであり、遊水地とは異なり、河川等から水田に洪水を引き入れる施設ではない。また、作物の生産に影響を与えない範囲で農業者の協力を得て実施されるものであり、常に確実な貯留効果を期待することはできない。

台風 19 号降雨における田んぼの貯留効果を求めるにあたり、まず千曲川上流域を 22 の単位流域に分割し、単位流域ごとに以下の手順により田んぼの貯留効果を計算した。なお、千曲川上流域において田んぼの占める面積割合は 5.0% である⁴⁾。

①田んぼ 1 枚 (千曲川上流域平均 $1,358m^2$ /枚) ごとの流出量を調整板形状に応じて水理公式 (四角セキ、オリフィス等) により算定した。計算は農林水産省「水田流出簡易計算プログラム ver.0.0」を利用した。

②単位流域内の田んぼを流域下流端までの流下距離により 3 つに区分し、田んぼ枚数に応じて流出量を算出し、各区分重心位置から流域下流端までの流達時間をクラークヘン式により算定した。

③単位流域内の田んぼ以外の地域からの流

出は貯留関数法により計算し、田んぼからの流出 (②の流達時間を考慮) と合わせて流域下流端の流出量とした。

以上の手順を図-7 に示す。この手順を作成するにあたっては、現地調査を行い考え方の妥当性を確認した。

杭瀬下地点での流量低減効果は、③により得られた各単位流域からの流出量を千曲川上流域の貯留関数法モデルに入力することにより算定した。

5. 洪水流量低減効果の計算結果

図-8 に、流水型貯留施設および「田んぼダム」による杭瀬下地点での流量低減効果を示す。

流水型貯留施設については、3. における流域 A,B と同様に他支川の施設 (いずれも $H=30m$) の最適な常用洪水吐き面積を求め、全 18 施設を設置した場合の杭瀬下地点の流量低減効果を算定した。その結果、杭瀬下でのピーク流量は現況 (施設なし) と比べて $1,760m^3/s$ 以上低減し $4,670m^3/s$ となり、大きな治水効果が得られた。今回の計算で用いた降雨パターンは台風 19 号降雨のみのため単純な比較はできないが、杭瀬下基準点の計画高水流量 $4,900m^3/s$ を十分下回る結果となった。

また、「田んぼダム (立板方式)」による計

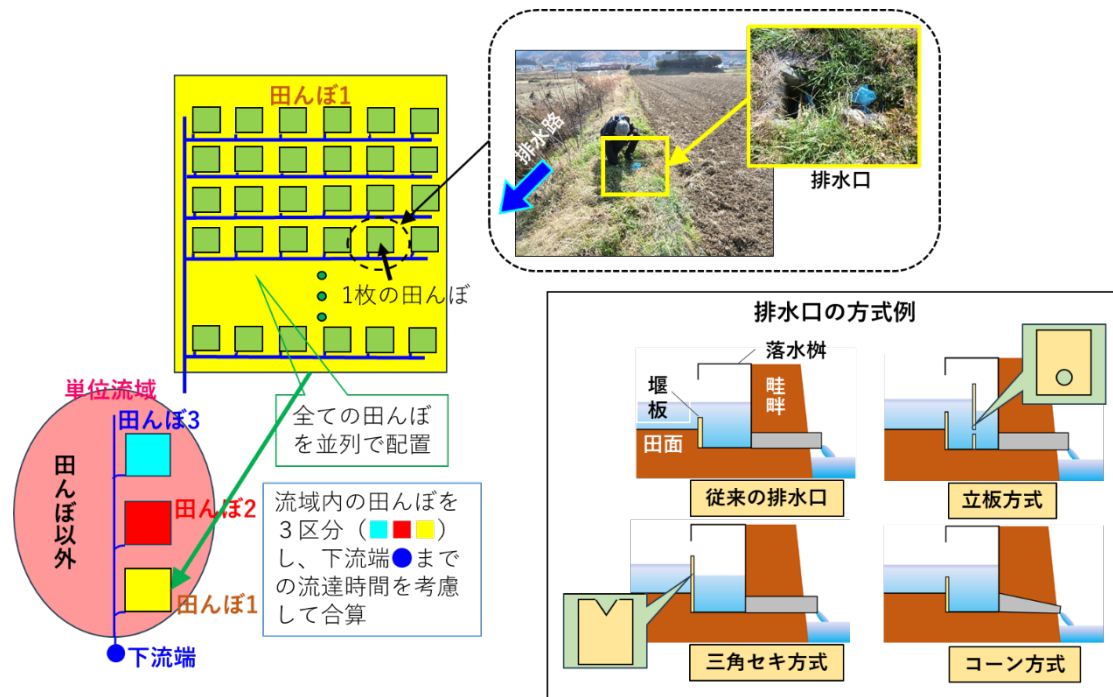


図-7 単位流域での「田んぼダム」貯留効果計算手順

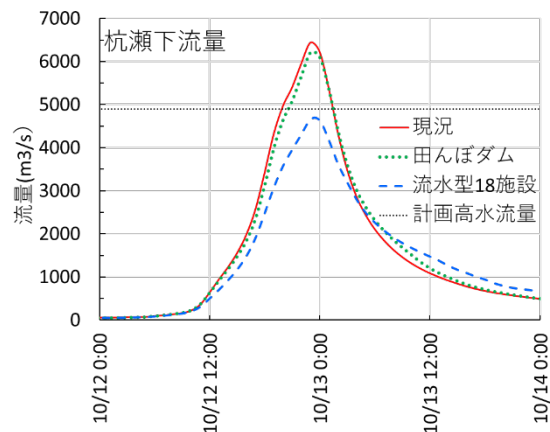


図-8 杭瀬下地点における流量低減効果

算結果では、杭瀬下地点で約 $230m^3/s$ のピーク低減効果が得られた。これは流域内すべての田んぼで適切に堰板が設置され理想的に機能した場合の最大限の効果であるが、流域内の貯留能力増加の可能性として一定の効果があることが示された。

6. まとめ

本研究は、令和元年台風19号降雨を対象とし、流水型の小規模貯留施設の分散配置

や「田んぼダム」による千曲川上流域の貯留能力増加に関するケーススタディを行い、流域内の貯留能力強化方策の選択肢を検討したものである。

このような方策の実施に向けては、地域社会や自然環境等への影響や費用確保等を含めた多角的な検討、調整が必要であるが、本研究の成果は、流域治水の実現のための各種方策を考えるうえでの技術的選択肢、可能性を示す基礎的知見となり得るものと考えられる。

参考文献

- 1) 池田駿介, 小松利光, 角哲也: 流水型ダム-防災と環境の調和に向けて-, 技報堂出版, 2017.7.
- 2) 角哲也: オーストリアにおける流水型ダム, ダム技術 No.277, 2009.10.
- 3) 農林水産省農村振興局整備部: 「田んぼダム」の手引き, 2022.4.
- 4) 農林水産省: 筆ポリゴンデータ 2022.