

直列と並列が混在したダム群による洪水制御効果の検討

佐賀大学理工学部 学生員 太田侑希 正会員 押川英夫 福岡大学工学部 正会員 橋本彰博
九州大学大学院工学研究院 正会員 田井明 名誉会員 小松利光

1. はじめに

従来のダム群による治水の考え方は、直列や並列に配置されている場合であっても個々のダムで計画高水流量を定め、それぞれのダムが非常用洪水吐きから越流しないように洪水処理を行うものである（以後、従来型と呼ぶ）。一方、押川ら¹⁾は、“ダムの水が非常用洪水吐きを通して流れることを許容する”という新しい治水の概念（カスケード方式）に基づき、複数のダムを直列に配置することによる洪水制御能力を検討している。しかしながら、実際の流域では支川の流入もあることから、本川のみダムを直列に配置してカスケード方式を適用したとしても、支川からの流入に伴い十分な洪水制御効果が得られないことも有り得る。

そこで本研究は、本川と支川に複数のダムが設置された場合のダム群の連携運用の効率化を目指す研究を行った。具体的には、流域に複数のダムを有する九州最大の1級河川の筑後川の上流部を対象に、ダム1基を新たに配置することで直列と並列が混在した場合のカスケード方式による洪水制御効果を従来型との比較を通して検討した。

2. 数値シミュレーションの概要

本研究では、筑後川本川上に（支川の津江川に位置する）下笠ダムと同じ治水容量のダム（以後、仮想ダムと呼ぶ）を設置して検討を行った。ここでは治水効果のみを評価するため、簡単のために仮想ダムを洪水調節容量分のみの治水専用ダムとした上で、通常は下流側に市街地があることから最も重要となる最下流の松原ダムからの最大放流量を各条件で比較することで治水効果の評価を行った。

解析には DHI の MIKE 11 を用いた²⁾。図1に示す筑後川本川の 89~100km（小五馬橋から杖立）、支川の津江川の 0~12.2km（合流地点から栃野）、支川の上野田川の 0~1km（合流地点から上野田）を解析区間とし、洪水の流入地点（上流端）からの流入流量以外に降雨等の流入はないと仮定した。流入端は筑後川本川の杖立、津江川の栃野、上野田川の上野田の3地点とした（図1参照）。

3. 結果および考察

境界条件となる各上流端に流入する洪水の流量 Q_{mi} には以下の式(1)を与えた。

$$Q_{mi}(t) = Q_{bi} + (Q_{pi} - Q_{bi}) \left\{ \frac{t}{t_{pi}} \exp \left(1 - \frac{t}{t_{pi}} \right) \right\}^{c_i} \quad (1)$$

なお、 t_{pi} は洪水のピーク時間、 Q_{bi} は河川の平常流量、 c_i は洪水波形に関する定数、 t は時間であり、式(1)中の添え字 $i=1$ (杖立)、 2 (栃野)、 3 (上野田) は流入端の位置を示す。本研究では、 $t_{p1}=71\text{hr}$ 、 $t_{p2}=72\text{hr}$ 、 $t_{p3}=54\text{hr}$ 、 $Q_{b1}=13.9\text{m}^3/\text{s}$ 、 $Q_{b2}=3.0\text{m}^3/\text{s}$ 、 $Q_{b3}=2.6\text{m}^3/\text{s}$ 、 $c_1=20$ 、 $c_2=25$ 、 $c_3=15$ とした。

始めに、比較の際の基準となる従来型の Case1 として、無害放流量を意味する各ダムが越流しない限界の計画高水流量 Q_{aj} (添え字 j は3基のダムの位置で、 $j=1$ を仮想ダム、 $j=2$ を下笠ダム、 $j=3$ を松原ダムとする)と式(1)中の各上流端に流入する洪水のピーク流量 Q_{pi} を以下のように決定した。実在するダムの治水用量は実状に即した値で下笠ダム 5130万 m^3 、松原ダム 4580万 m^3 としており、下笠ダムの無害放流量は $Q_{a2}=350\text{m}^3/\text{s}$ 、仮想ダムの無害放流量 Q_{a1} については松原ダムの実際の計画高水流量 $1100\text{m}^3/\text{s}$ から Q_{a2} を差し引いた $Q_{a1}=750\text{m}^3/\text{s}$ を採用した。支川への流入量のピークを意味する Q_{p2} と Q_{p3} については、下笠ダムが非常用洪水吐きを使用することなく $Q_{a2}=350\text{m}^3/\text{s}$ で制御できる限界の値として $Q_{p2}=570\text{m}^3/\text{s}$ 、 $Q_{p3}=443\text{m}^3/\text{s}$ とした。また、支川と並列して本川上に設置された仮想ダムの貯水容量は下笠ダムと同一にして、仮想ダムの $Q_{a1}=750\text{m}^3/\text{s}$ で制御できる限界のピーク流量として $Q_{p1}=1363\text{m}^3/\text{s}$ を求めた。最後に上述した本支川から流入する洪水を下流側の松原ダムが越流することなく制御できる限界として、松原ダムの無害放流量 $Q_{a3}=929\text{m}^3/\text{s}$ を求めた。



図1 筑後川上流部の計算領域

従来型の Case1 の結果として、主要地点の流量のハイドログラフを併せて図 2 に示す。図中には各ダムからの放流量、仮想ダムへの流入量を意味する杖立地点の流量 Q_{m1} 、下笠ダムへの流入量を意味する上野田川の合流後の川原地点での流量 Q_{m*} が示されている (図 1 参照)。これより、各ダムでは越流することなくそれぞれの計画高水流量と一致した最大放流量となっており、Case1 では従来型の洪水制御が適切に行われていることが理解される。なお、今後洪水制御効果を評価する際に用いられる松原ダムからの最大放流量 Q_{3max} は、当然ながら Q_{a3} と同じ $929 \text{ m}^3/\text{s}$ である。

次に Case1 の結果に基づいて、直列と並列が混在した場合のカスケード型の Case2 を行った。ここでは、下笠ダムと仮想ダムの計画高水流量を小さくして上流側の 2 つのダムからの越流は許容した上で、最下流の松原ダムからの越流が生じない範囲で最少となる無害放流量 Q_{a3} を試行錯誤的に求めた。カスケード型の Case2 の結果を図 3 に示す。これより、上流側の下笠ダムおよび仮想ダムでは越流が生じているものの、下流側の松原ダムの最大放流量は Q_{a3} と同じ $Q_{3max}=861 \text{ m}^3/\text{s}$ で、Case1 の $Q_{3max}=929 \text{ m}^3/\text{s}$ と比較して 7.3% ピーク流量が低く抑えられている。従って、直列と並列が混在した場合でもカスケード方式を採用することで、洪水制御能力が顕著に強化されることが分かった。

次に、最下流の松原ダムの堤体を嵩上げて、3 基のダムの治水容量を併せた総治水容量 $14,840 \text{ 万 m}^3$ の大ダム 1 基 (下笠ダムと仮想ダムの堤体無し) とした場合について検討を行った。松原ダムが越流しない範囲で最小となる限界として、 $Q_{a3}=843 \text{ m}^3/\text{s}$ が得られた Case3 の結果を図 4 に示す。これより、松原ダムからの最大放流量は Q_{a3} と同じ $Q_{3max}=843 \text{ m}^3/\text{s}$ で適切な洪水制御が行われており、Case1 の $Q_{3max}=929 \text{ m}^3/\text{s}$ と比較して 9.3% ピーク流量が低く抑えられていることが分かる。また、Case3 の $Q_{3max}=843 \text{ m}^3/\text{s}$ が Case2 のカスケード型の $Q_{3max}=861 \text{ m}^3/\text{s}$ とほぼ等しくなっており、直列と並列が混在している場合においてもカスケード方式は線形となることが明らかとなった¹⁾。

最後に、現況に相当する仮想ダムが無いダム 2 基の場合の検討を行った。下笠ダムと松原ダムからの越流が生じない範囲で最少となる各ダムの無害放流量 Q_{a2} および Q_{a3} を求めた従来型の Case4 の結果を図 5 に示す。Case1 の従来型の $Q_{3max}=929 \text{ m}^3/\text{s}$ に対し、Case4 の現況の従来型では $Q_{3max}=1146 \text{ m}^3/\text{s}$ となっており、本研究は現在の治水計画よりも 19% 大きな超過洪水を対象に、適応策の効果を検討していることになる。

4. おわりに

本研究により、直列と並列が混在して複数のダムが配置された場合にも、従来の考えに基づいた非常用洪水吐きからの越流を積極的に許容しないダム群と比較して、上流側のダムで非常用洪水吐きからの越流を許容するカスケード方式を用いることで、一般的にはより重要となる下流側の洪水制御能力が顕著に強化されることが示された。

謝辞： 本研究の一部は、一般社団法人九州地方計画協会、JSPS 科研費 17K06581、および文部科学省気候変動適応技術社会実装プログラム (SI-CAT) の支援のもとに実施された。ここに記して謝意を表します。

参考文献 1) 押川英夫, 小松利光: カスケード方式に基づく直列配置されたダム群の洪水制御機構, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.70, No.4, pp.I_1555-I_1560, 2014. 2) DHI: MIKE 11 Reference Manual, 524p., 2009.

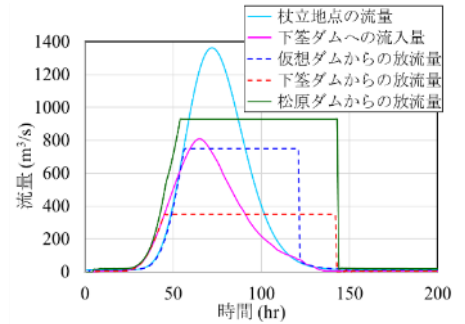


図 2 従来型の流量の時系列(Case1)

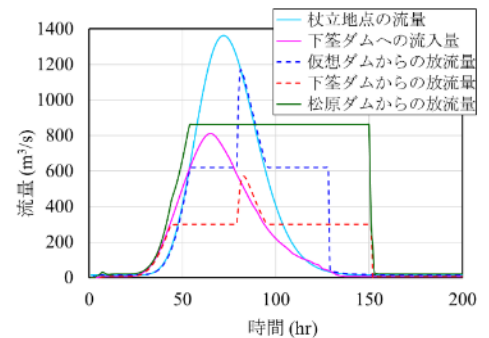


図 3 カスケード型の流量の時系列(Case2)

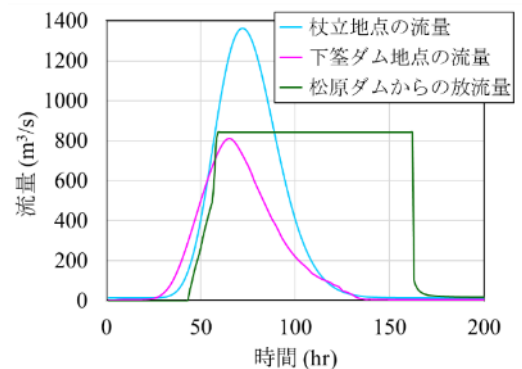


図 4 松原ダムを大ダム 1 基とした場合(Case3)

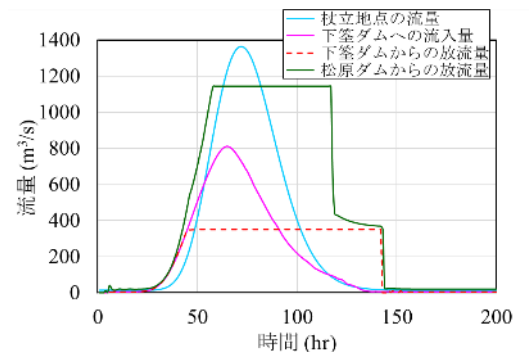


図 5 現状のダム 2 基の場合の流量(Case4)