

数値解析に基づく直列配置された流水型ダム群の洪水制御能力の検討

九州大学大学院 学生員 ○三戸佑夏
九州大学大学院 正会員 押川英夫 フェロー 小松利光

1.はじめに

近年、地球温暖化に伴う災害外力の増加などに因る大規模災害の発生が危惧されるとともに、社会の自然環境へのニーズが高まる中、流水型ダムが注目されてきている。本研究では、“ダムが溢れることを許容する”という新しい治水の概念¹⁾に基づき、複数の流水型ダムを直列に配置することによる洪水制御能力を数値シミュレーションにより検討する。押川ら²⁾は連続の式を用いた簡便な数値シミュレーションにより、複数の流水型ダムが直列に配置された場合、従来の考え方に基づいた越流を許容しない流水型ダム群と比較して、山間部の上流側のダムの越流を許容することで、一般的にはより重要となる下流側の洪水制御能力が強化されることを示している。しかしながら、運動方程式を解いていないことから流下に伴う洪水の変形が考慮されないために、ピーク流量の低減効果などについて十分な検討を行うには至っていない。そこで本論文では、流れを解析する数値シミュレーションを行うことにより、従来の考え方に基づいて配置された流水型ダム群（以後、従来型と呼ぶ）と、上記の新しい概念に基づき配置された全く同じスケールの流水型ダム群（以後、越流型）において、洪水制御能力がどのように異なるのかを比較した。

2.シミュレーションの概要

流水型ダム群が連続的に配置される対象流域において、上流側からの流入流量以外に降雨や支川からの流入等はないと仮定した。また本研究では、顕著な越流が頻繁に生じる。しかしながら本研究の越流型では、流水型ダム群の設置領域全体を実質的な遊水池と見做しており、最下流のダムからの越流のみが問題となる。

本研究では一次元の運動方程式と連続の式を基礎式とした細田³⁾による計算コードを適宜修正して用いた。なお、マニングの粗度係数は $0.03(\text{m}^{-1/3}\text{s})$ としている。計算領域の上流端で発生する流入量 Q_m には、洪水波形として一山洪水を示す以下の式(1)を与えた²⁾。

$$Q_m(t) = Q_b + (Q_p - Q_b) \left\{ \frac{t}{t_p} \exp \left(1 - \frac{t}{t_p} \right) \right\}^c \quad (1)$$

ここで、 t は時間、 $Q_b(=219\text{m}^3/\text{s})$ は河川の平常流量、 $t_p(=20\text{hr})$ は洪水のピーク到達時間、 Q_p は洪水のピーク流量、 $c(=20)$ は洪水波形に関する係数である。

対象とするダムの形状は、堤体の高さ $H=100(\text{m})$ で、堤頂長 $222(\text{m})$ の二次関数断面とする。また河道断面はダム

の形状と同一とする。後述する他のスケールの場合のCase3($H=75\text{m}$)でも全て相似形である。河床勾配 $\tan\theta$ は0.01である。河床の常用洪水吐きの断面積 A_b は、水位が堤高 H と等しくなった時点で放流量が計画高水流量 Q_a に等しくなるように設計した。常用洪水吐きからの放流量 $Q_{\text{out-b}}$ は、 A_b が小さいと考え、トリチェリの定理からその時点での水位によって決定されると仮定した。また、洪水が堤体を越流した際の非常用洪水吐きからの放流量には越流公式 $Q_{\text{out-u}}=KBh^{3/2}$ を用いた³⁾。ここで B は越流幅、 h は越流水深（非常用洪水吐きのクレストからの貯水位）、 K は流量係数である。なお、 B は堤頂長と等しく全幅越流で、いわゆる“坊主ダム”を対象としており、各ダムからの総放流量は $Q_{\text{out}}=Q_{\text{out-b}}+Q_{\text{out-u}}$ である。また、簡単のために堆砂容量等は無視している。

本研究では、直列配置されたダム間の距離 L_{xd} は均等とし、流下方向の計算領域は $L_{\text{xa}}=200(\text{km})$ 、計算時間 $72(\text{hr})$ 、空間格子間隔 $\Delta x=1.0(\text{km})$ 、時間格子間隔 $1.0(\text{s})$ である。なお、Case3とCase4では L_{xd} 、 L_{xa} および Δx を後述のように適宜変更している。

3.結果および考察

まず、 $L_{\text{xd}}=50(\text{km})$ で3基のダムを直列に配置した河川に基本高水の $Q_p=8887(\text{m}^3/\text{s})$ の洪水が流入した際に、従来型の洪水制御に基づいて、3基全てのダムが越流しない限界の Q_a （実質的には常用洪水吐きの断面積に相当）を求めたところ、上流側から $Q_a=6658, 5478, 4606(\text{m}^3/\text{s})$ となった。この結果に基づいて、最下流の $4606(\text{m}^3/\text{s})$ で Q_a を一定とした越流型の場合を計算した(Case1)。従来型と越流型を比較した結果をFig.1に示す。これより、越流型の下流側ダムからの最大放流量は $4324(\text{m}^3/\text{s})$ で、従来型($Q_a=4606\text{m}^3/\text{s}$)よりも6%程度低く抑えられており、越流型では洪水制御能力が強化されていることが分かる。しかしながら越流型では、ピーク流量が Q_a 以下で洪水制御能力（すなわち、貯水容量）にまだ余裕がある。なお、これらの結果は過去のほぼ同一の条件における結果¹⁾と符合している。

次にCase1の結果を踏まえ、越流型の貯水容量を完全に使用するように、 Q_p のみを最下流のダムで越流しない限界まで大きくした(Case2)。 $Q_p=9902(\text{m}^3/\text{s})$ の結果をFig.2に示す。基本高水を11%越える超過洪水であることから、従来型では全てのダムで溢れているものの、越流型の下流側ダムでは適切に制御されていることがわかる。

次に Case1 の 3 基のダム の L_{xd} を変更した場合について従来型と越流型の比較を行った (Case3)．従来型では上流側から溢れない限界までそれぞれのダムの Q_a を小さくし、一方、越流型では上流側から下流側まで同一の Q_a を最下流のダムが溢れない限界まで小さくした． $\Delta x=250(\text{m})$ で、 $H=100(\text{m})$ と $75(\text{m})$ の場合において $L_{xd}\sin\theta/H=0.4, 0.6, 0.8, 1, 2, 5$ となるように L_{xd} を変化させた． $L_{xd}\sin\theta/H$ はダムの堤高に相対的なダム間の鉛直距離を意味する．なお、 L_{xA} は L_{xd} の値に応じて変化させている．結果を Fig.3 に示す．横軸は $L_{xd}\sin\theta/H$ 、縦軸は 3 基目のダムの最大放流量 $Q_{3\max}$ を $Q_p=8887(\text{m}^3/\text{s})$ で無次元化した値である．これより、ダム間の距離が比較的長いときには従来型と越流型の差は一定となっているものの、ダム間の距離が短くなり $L_{xd}\sin\theta/H$ が 1 よりも小さくなると越流型と従来型の差は小さくなることわかる．すなわち、ダム間の距離が極端に短い場合には越流型の効果は小さくなる．

最後に、直列配置される流水型ダム の数 N が 1, 2, 3, 4, 5 のそれぞれの場合について、従来型および越流型の計算を行った (Case4)．ここでは、 N にかかわらず $L_{xd}\sin\theta/H=1$ の $L_{xd}=10(\text{km})$ で一定にした場合 (Case4-1) と、一定の L_{xA} を N に応じて等分割するようにダムを設置した場合 (Case4-2) を計算した． H は全て $100(\text{m})$ 、 $L_{xA}=100(\text{km})$ 、 $\Delta x=250(\text{m})$ である．例えば $N=4$ のときのダムの設置地点は、Case4-1 では 50, 60, 70, 80(km) であるが、Case4-2 では 20, 40, 60, 80(km) である．結果を Fig.4 に示す．横軸はダムの数 N で、縦軸は最下流のダムの最大放流量 $Q_{N\max}$ を $Q_p=8887(\text{m}^3/\text{s})$ で無次元化した値である．これより、 $N=1$ の場合には当然ながら従来型と越流型で一致しているものの、 N が大きくなるのに伴って、従来型では $Q_{N\max}/Q_p$ の減少率が小さくなっているのに対し、越流型では $Q_{N\max}/Q_p$ が線型的に減少していることが分かる．すなわち、越流型ではダムの数が多いほど、従来型よりも効率的に洪水のピークカットが行われる．また、Case4-1 と Case4-2 は、従来型と越流型でそれぞれほぼ等しい結果となっている．これは、Case4 の $L_{xd}\sin\theta/H$ が 3~10 程度となっていることから、Fig.3 の結果を踏まえると理解できる．

4.おわりに

これまでの研究¹⁾よりも現実に近いシミュレーションを行った結果、複数の流水型ダムが直列に配置された場合、従来の考えに基づいた越流を許容しない流水型ダム群と比較して、山間部の上流側のダムの越流を許容することで、下流側の洪水制御能力が強化されることが改めて示された．また、直列配置されたダムの間隔が極端に狭い場合に越流型の効果が小さくなること、ダムの数が多い方が越流型の効果が大きいことが明らかになった．

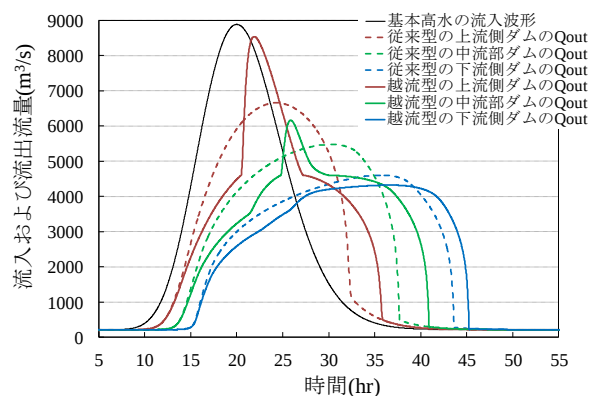


Fig.1 Case1 における流入および流出流量の時間変化

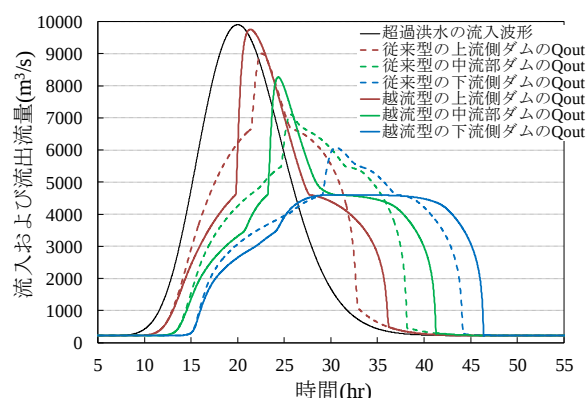


Fig.2 Case2 における流入および流出流量の時間変化

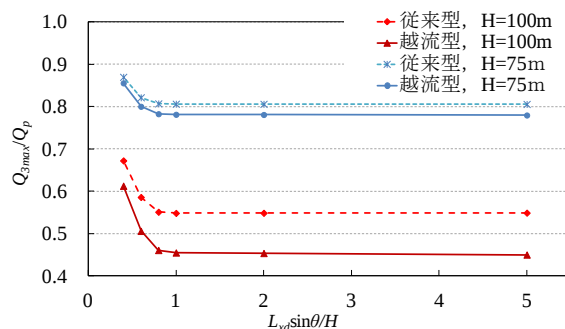


Fig.3 ダム間の距離と最下流のダムからの最大放流量の関係

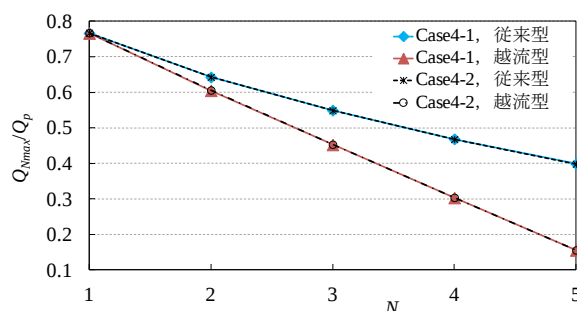


Fig.4 ダムの数と最下流のダムからの最大放流量の関係

参考文献

- 1) 川村英夫, 三戸佑夏, 小松利光: 流水型ダム群の洪水制御効果に関する研究, 河川技術論文集, 第17巻, pp.317-322, 2011.
- 2) 土木学会 水理委員会 水理公式集改訂小委員会: 水理公式集 例題プログラム集, 第2編 河川編, 2002.
- 3) 土木学会: 水理公式集 [平成11年度版], 713p., 1999.