

治水専用穴あきダムの 洪水調節能力改善手法に関する研究

STUDY ON IMPROVEMENT IN THE FLOOD CONTROL ABILITY OF A DRY DAM

中島泰裕¹・押川英夫²・小松利光³
Yasuhiro NAKASHIMA, Hideo OSHIKAWA and Toshimitsu KOMATSU

¹学 (工) 元九州大学工学部地球環境工学科 (〒819-0395 福岡市西区元岡744)

²正会員 博 (工) 九州大学助教 大学院工学研究院環境都市部門 (同上)

³フェロー 工博 九州大学教授 大学院工学研究院環境都市部門 (同上)

We propose a new type of 'dry dam' to make the most of storage capacity for flood control. Flood control dam without slide gate in spillway, known as 'dry dam', has been reviewed, planned and built in some sites. However, conventional dry dams can not adequately use the storage capacity for flood control. The new dry dam has some slide gates in a spillway which can be opened and closed automatically depending on hydraulic pressure (we call this gate 'pressure gate') in addition to a constantly open gate. All the gates are set at a river bed level. For each pressure gate, a critical water level to open and close a gate automatically is determined in each condition. Since an outflow rate increases even in lower water level using the 'pressure gates', the proposed dam could control flood adequately.

The effects of a new 'dry dam' on flood disaster management were investigated using numerical simulations. In this study, 'pressure gates' were applied as measures against excessive floods. As a result of this study, it is made clear that the new type of dry dam with pressure gates is extremely effective as a countermeasure against flood disasters.

Key Words : Dry dam, river flood, flood control ability, pressure gate

1. はじめに

近年地球温暖化によると思われる豪雨, 干ばつ, 台風の強大化などの災害外力 (災害を引き起こす力) の増大が実感されるようになってきた¹⁾. IPCCの第4次評価報告書²⁾が示すとおり, 温室効果ガスが今後も増え続けることで温暖化が進行し, 様々な影響が世界中に顕在化してくるものと思われる. すなわち近い将来, 大規模超過洪水の発生が危惧されている. しかしながら, 我が国の社会基盤・防災基盤は高度経済成長期に整備されたものが多く, その大部分は老朽化しつつあるが, 公共事業費の削減などでその更新すらままならない状況となっている.

このような状況の下, 近年治水専用穴あきダム (流水型ダム) の機能が見直され, 益田川ダム³⁾・⁴⁾に代表されるように各地で計画されてすでにいくつか施工されるようになってきた. 従来より農地防災ダムとしては例があったが, 我が国で本格的な治水専用ダムとして注目されてきたのは最近になってからである⁵⁾・⁶⁾. 従来型の穴

あきダムは以下のような特長を有している⁷⁾.

- 河床とほぼ同じ高さに設置された穴を通して水は常時流れるため, 通常は水は貯まらない. 従って土砂や魚類も通過する. 通常はダムがないのと同じ状態なので環境への負荷が少ない.
- 安全のための治水専用ダムなので住民の合意が得られ易い.
- 洪水自然調節方式のダムなので管理の必要がなく, 人為的なダム操作が入らない. 人為的ダム操作が「ダムが洪水の原因」という誤解を下流住民に与える原因となっており⁸⁾, この誤解を回避できる.
- 天然土砂ダムや上流の既存ダムが万一崩壊した場合, また大量の降雨や地震などで大量の土砂がダム湖内に崩落してダムサイトを越水した場合などに生じる段波を, 下流に穴あきダムがあると一旦受け止めて, 下流側の被害を大幅に軽減してくれる.
- 人口減少・高齢化による将来の我が国の国力の低下, ならびに地球温暖化の進行による農業用水・飲料水の不足など将来水資源問題が深刻化したとき, 住民

の合意のもとで、治水専用穴あきダムを低コスト・短期間で容易に貯水ダムに転換できる。従って、水資源の問題解決に大きく貢献できる。ちなみに、このような穴あきダムの貯水ダムへの転換については、益田川ダムの建設に伴い、小規模ながらその上流の笹倉ダムにおいて既に行われている³⁾。

しかしながら、このように多くの特長を有する穴あきダムにも治水容量の使用効率が悪いという欠点が存在する。本研究では、従来型の治水専用穴あきダムの洪水調節能力を改めて評価するとともに、その欠点を改善することで穴あきダムの洪水調節能力を強化する手法を提案して、簡便なシミュレーションによりその効果を検証した。

2. 従来型の穴あきダムの洪水調節能力の検証

(1) 従来型の穴あきダムの洪水調節能力の検証方法

ダムモデルを考える場合には、一般にダムの堤体が長方形で、ダム湖に勾配のないモデル（いわば、シンプルな箱型ダム）をイメージすることが多いように思われる。しかしながら実際のダムは、堤体が上方にいくにつれて幅が広くなるとともに、ダム湖の湖底に（河床）勾配が存在するため、洪水調節能力が箱型ダムと異なってくることが予想される。そこで、従来型の穴あきダムにおいて、ダム湖の形によってどの程度洪水調節能力に差があるのかを検証した。

(2) シミュレーションの概要と計算条件

本研究では一次元の連続の式を時空間方向に積分した以下の式(1)を基礎式とした。

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

ここに、 $V(t)$ (m^3)はその時点でダム湖内に貯留されている水の体積、 t は時間、 Q_{IN} (m^3/s)はダムへの流入流量、 Q_{OUT} (m^3/s)は流出流量である。 Q_{IN} には洪水波形として以下の式(2)を与えた⁹⁾。

$$Q_{IN}(t)=Q_b+(Q_p-Q_b)\left\{\frac{t}{t_p}\exp\left(1-\frac{t}{t_p}\right)\right\}^c \tag{2}$$

ここで、 Q_b ($=0.5$ (m^3/s))は河川の平常流量、 t_p は洪水のピーク到達時間、 Q_p は洪水のピーク流量、 c ($=0.5$)は定数である。また、ダムからの流出流量 Q_{OUT} は穴の断面積が小さいと考え、近似的に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。

本研究では、3種類の穴あきダムを用いた計算結果を比較することで、ダム湖の形状の効果を検証した。我々がイメージしやすい最もシンプルなダムモデルとし

て、箱型モデルをType-1とする（図-1参照）。次にType-1よりも実際の治水専用穴あきダムに近いモデルとして、堤体が二次関数で表わされる断面とした場合をType-2（図-2参照），更にType-2のダム湖底に勾配をもたせた場合をType-3とした（図-3参照）。以上の3つのモデルの中で、実際の治水専用穴あきダムに最も近いモデルはType-3である。ここで、各ダムモデルの諸元を表-1に示す。各モデルにおいてダムの総貯水容量を等しくして、同じ洪水の流入に対する洪水調節能力の差を検証した。なお本研究では、簡単のため堆砂容量等は無視しており、全てのケースで穴の断面積は $56m^2$ である。

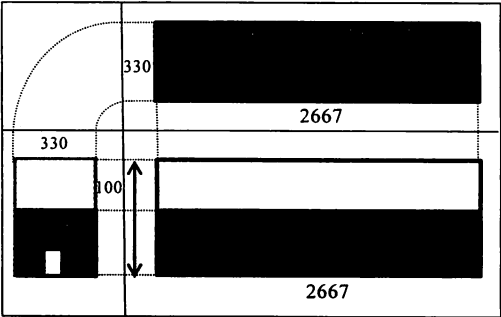


図-1 ダムモデルの概略図 (Type-1)

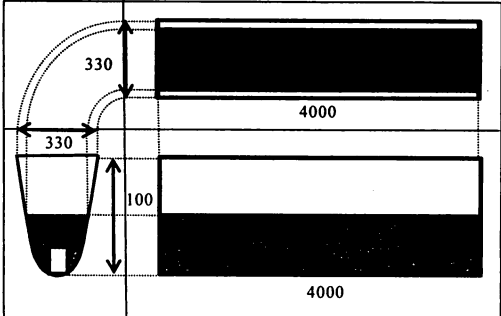


図-2 ダムモデルの概略図 (Type-2)

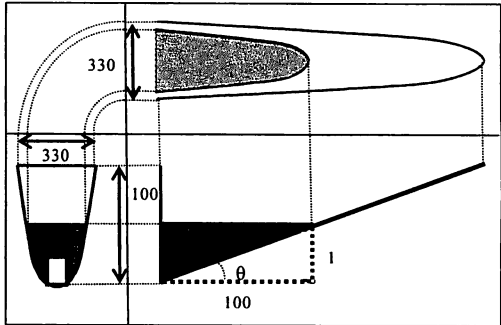


図-3 ダムモデルの概略図 (Type-3)

表-1 ダムモデルの諸元

	Type-1	Type-2	Type-3
堤体の高さ (m)	100	100	100
堤頂長 (m)	330	330	330
ダム湖の長さ	2667	4000	
ダム湖内の湖底勾配	0	0	0.01
総貯水容量 (m^3)	8.8×10^7	8.8×10^7	8.8×10^7

まず計画高水流量を2500 (m³/s)とし、最大流入流量 Q_p = 3500 (m³/s)の一山洪水が流入した場合における各ダムモデルの洪水調節能力の差を検証した (Series-1) . さらに、 Q_p = 3000 (m³/s)の一山洪水の重ね合わせ [t_p の異なる式(2)の右辺第二項の和] として二山洪水を再現し、二山洪水に対する各ダムモデルの洪水調節能力の差を検証した (Series-2) .

(3) 計算結果および考察

各ダムモデルに対して一山洪水を流入させた場合の流入流量、流出流量、および水位の時系列を図-4～図-6に示す。図中の H_{max} は最大水位であり、図-5以降の凡例は全て図-4と共通である。また、各モデルにおける最大水位および洪水調節に要した治水容量を表-2に示す。表中には、Type-1が使用した治水容量に対するそれぞれのTypeが使用した治水容量の割合の逆数 (%表示) を洪水調節能力の評価指標として記載している。

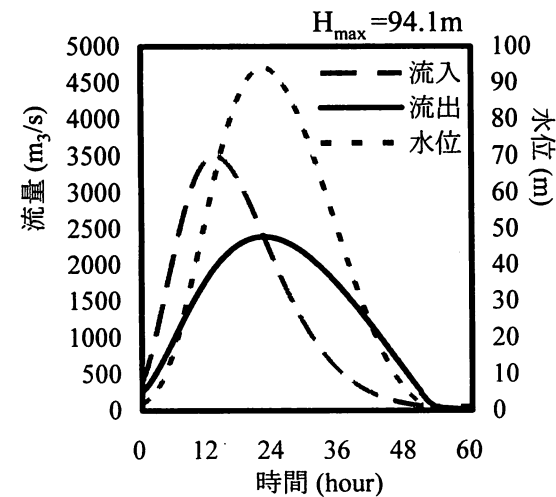


図-4 Type-1のダムにおける計算結果 (Series-1)

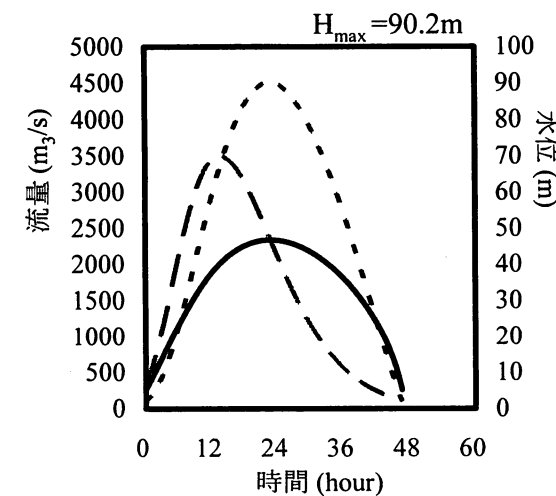


図-5 Type-2のダムにおける計算結果 (Series-1)

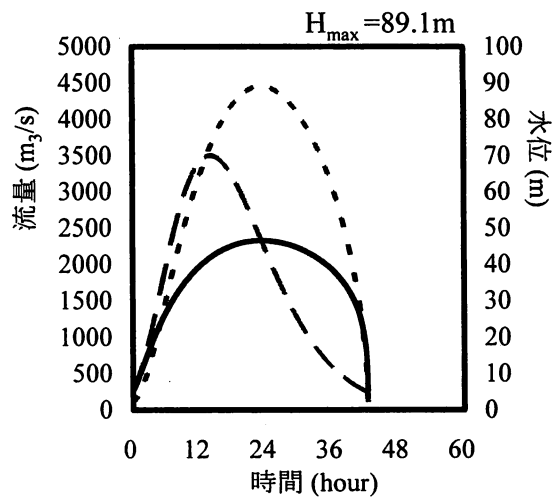


図-6 Type-3のダムにおける計算結果 (Series-1)

	Type-1	Type-2	Type-3
最大水位 (m)	94.1	90.2	89.1
使用した治水容量 (m ³)	8.28×10^7	7.53×10^7	6.59×10^7
洪水調節能力 (%)	100	110	126

表-2 において、実際の穴あきダムに近いダム湖形状のモデルほど最大水位および洪水調節に要した治水容量が小さくなっている。これは換言すれば、さらに大きな洪水に対して洪水調節を行う余力が残っていることを意味する。この結果から判断すると、一山洪水に対して実際の穴あきダムは、イメージしがちな箱型ダムよりも3割程度大きな洪水調節能力を有していることになる。

各ダムモデルに対して二山洪水を流入させた場合の流入流量、流出流量、および水位の時系列を図-7～図-9に示す。また一山洪水と同様に、Type毎の最大水位、洪水調節に要した治水容量、およびType-1に対する使用した治水容量の割合の逆数を表-3に示す。

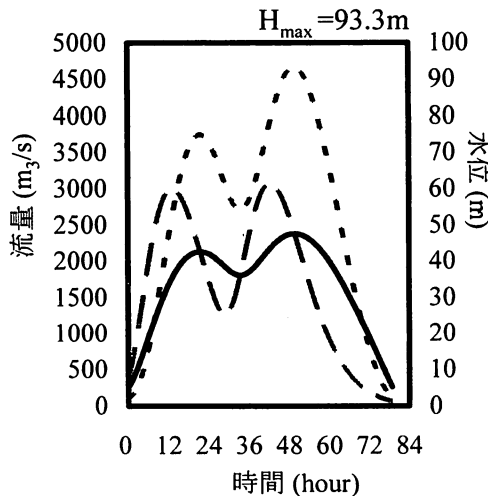


図-7 Type-1のダムにおける計算結果 (Series-2)

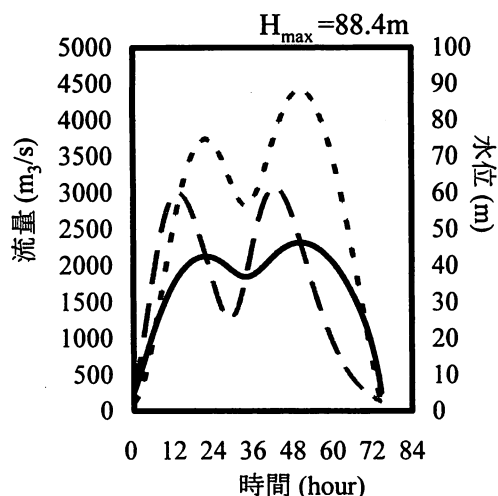


図-8 Type-2のダムにおける計算結果 (Series-2)

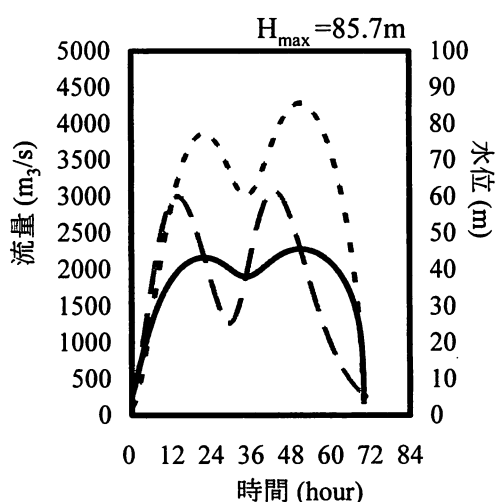


図-9 Type-3のダムにおける計算結果 (Series-2)

表-3 計算結果一覧 (Series-2)

	Type-1	Type-2	Type-3
最大水位 (m)	93.3	88.4	85.7
使用した治水容量 (m³)	8.21×10^7	7.31×10^7	5.98×10^7
洪水調節能力 (%)	100	112	137

表-3の結果は定性的には表-2と同様であるが、それらの値を比較すると二山洪水に対しての方が各ダムモデルの洪水調節能力の差が大きくなっている。これはダム湖の形状が流出能力の大きい水位が高いときに、水表面が広がって貯水容量が大きくなっていることに起因している。従って、治水専用穴あきダムの洪水調節能力は、特に二山洪水に対してイメージ的に過小評価されがちであることが分かった。これより実際の穴あきダムは、二山洪水に対して、箱型ダムよりも4割程度大きな洪水調節能力を有していることになる。

3. 追加穴の設置による洪水調節能力の強化

(1) 従来型の穴あきダムの洪水調節能力の改善方法

トリチェリの定理から理解されるように、通常の治水専用穴あきダムでは水位の上昇に伴って流出流量が増加するため流入流量の増加に対する流出流量の応答が遅く、計画高水流量以下においてもダム湖内に水が貯まるため治水容量の使用効率が悪くなるという欠点をもつ。そこで本研究では、治水専用穴あきダムにおいて常に開いている常用穴（常用洪水吐き）に加え、水圧により自動開閉するゲート（以下では追加穴と呼ぶ）を河床に設置することで治水容量の使用効率を改善する手法を提案する。

各追加穴が開閉する際の水圧は予め設定されていることとし、その水圧を得るのに必要なダムの水位を開閉水位と以下では呼ぶ。ダムの水位が開閉水位より低ければ追加穴は開いており、開閉水位以上になれば閉じてその追加穴からの流出流量は0になるものとする。追加穴を設置することで流入量が計画高水流量以下のときの流出流量が増加するため、治水容量の使用効率が改善されることになる。

(2) シミュレーションの概要と計算条件

本章で行うシミュレーションの方法と計算条件は前章と同じ点が多いため、異なる点のみ説明する。基本的には、前章と同様な計算（従来型の治水専用穴あきダム：Type-3）に加えて、追加穴を設置した場合の計算を行いそれらの結果を比較することで追加穴の効果を検討した。

本研究において、追加穴は最大4つまで設置できるものとし、開閉水位は20m、40m、60m、80mの中から適宜選択した。また、穴全体からの流出流量が計画高水流量に達した時点で閉まるように、それぞれの追加穴の断面積が決定されている。なお、全ての条件で常用穴の断面積は56m²である。

まず一山洪水について、最大流入流量 Q_p を基本高水流量から増加させていき、追加穴設置によりどの程度の超過洪水まで堤体からのオーバーフローを抑制できるかを検討した (Series-3)。一山洪水は $Q_p = 4000(\text{m}^3/\text{s})$ の洪水を基本高水として、計画高水流量を2500 (m³/s) とした。

次に、ピーク時間が異なる二つの基本高水 [$Q_p = 4000(\text{m}^3/\text{s})$] の重ね合わせで二山洪水を再現し、追加穴の設置によりどの程度までオーバーフローを発生させずにピーク時間の差 ($\equiv \Delta t_p$) を短くできるかについて検証した (Series-4)。計画高水流量は同じく 2500 (m³/s) である。

(3) 計算結果および考察

a) 一山洪水に対する追加穴設置の効果 (Series-3)

追加穴なしの通常の穴あきダムに基本高水が流入した場合の流入流量、流出流量、および水位の時系列を図-10に示す。追加穴が最大4つという条件下では、最大流入流量4290 (m³/s) の超過洪水までオーバーフローを抑制できた。この超過洪水について追加穴なしの場合の結果を図-11に、追加穴を4つ設置した場合の結果を図-12に

示す。図中の A_h は開閉水位が h の追加穴の断面積を示す。図-12では、図-11と比較して最大流出流量が1275 (m^3/s) 減少している。なお、図-11の流出流量が不連続的に増加している箇所はオーバーフローを意味している。

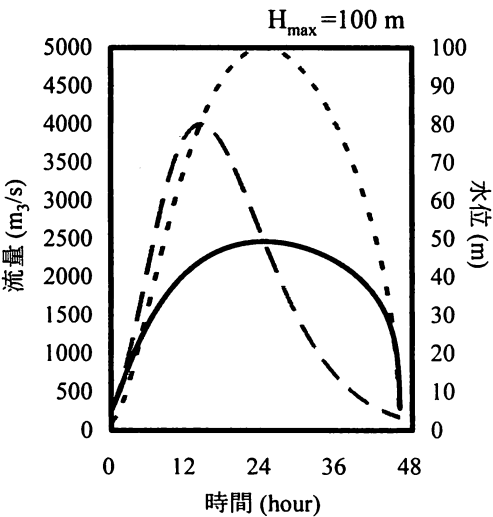


図-10 Series-3の計算結果 [追加穴なし, $Q_p=4000(\text{m}^3/\text{s})$]

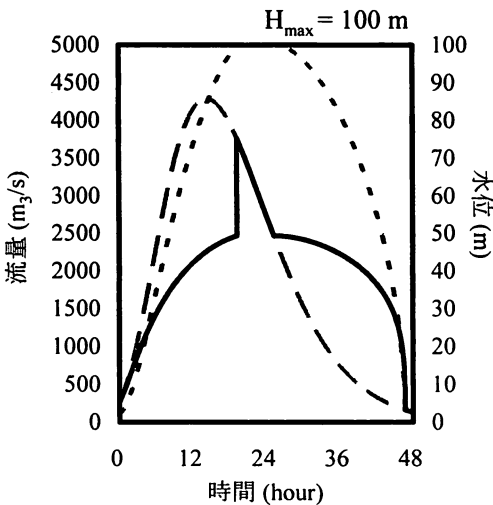


図-11 Series-3の計算結果 [追加穴なし, $Q_p=4290(\text{m}^3/\text{s})$]

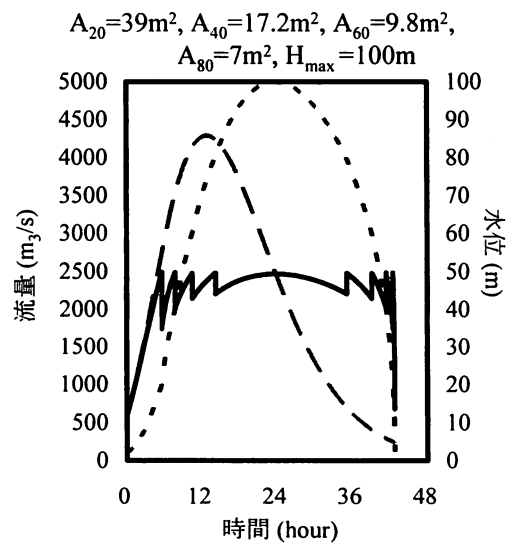


図-12 Series-3の計算結果 [追加穴4つ, $Q_p=4290(\text{m}^3/\text{s})$]

b) 追加穴の設置による治水安全度の改善効果の評価

Series-3 に関して、鹿児島県の川内川を想定して追加穴設置による超過確率年の変化、すなわち治水安全度の改善効果を検証した。

川内川において基本高水に対する超過確率年を100年としてType-3のダムモデルの建設が計画されていると仮定する。このとき、Series-3 で得られた限界超過洪水 [$Q_p=4290(\text{m}^3/\text{s})$] の超過確率年がどの程度の値になるかを検証した。鹿児島県川内川における年最大流量データ(1954年～2006年)¹⁰⁾を基本高水4000 (m^3/s) において超過確率年が100年になるように比例換算し、換算したデータを統計処理ソフト¹¹⁾に入力して「流量-超過確率年曲線」を出力して、追加穴設置後の限界超過洪水の超過確率年を求めた。

その結果、超過確率年は追加穴設置前の100年から2倍程度増加して200年弱となった。追加穴の設置により、超過洪水による下流への甚大な被害の抑止が期待できることが分かった。

c) 二山洪水に対する追加穴設置の効果 (Series-4)

二山洪水について、追加穴なしの状態ではオーバーフローを発生させずに洪水調節が可能なピーク時間差をTRIAL計算により求めたところ59時間であった。その場合の洪水調節波形を図-13に示す。そこからピーク時間差を徐々に短くしていった結果、追加穴が最大4つという条件下ではピーク時間差を38時間まで短くすることができた。すなわち、追加穴の設置によりピーク時間が36%短い二山洪水にまで対応可能となっている。このピーク時間差38時間の二山洪水が追加穴なしの穴あきダムに流入した場合の計算結果を図-14、追加穴を4つ設置した穴あきダムに流入した場合の結果を図-15に示す。図-15を図-14と比較すると、最大流出流量が1300 (m^3/s) 減少しており、追加穴を設置することで二山超過洪水に対しても大幅な被害の防止が期待できる。

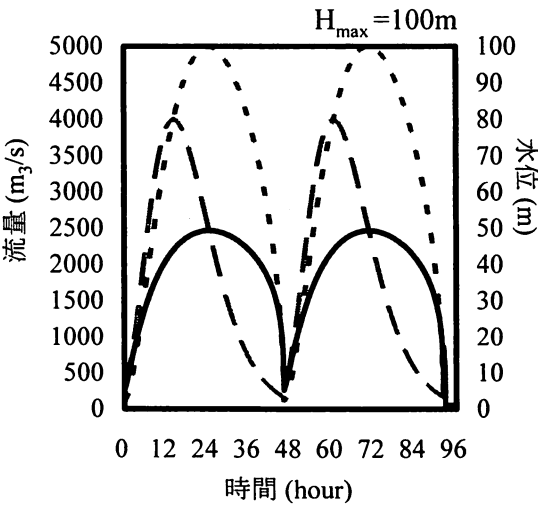


図-13 Series-4の計算結果 [追加穴なし, $\Delta t_p=59(\text{h})$]

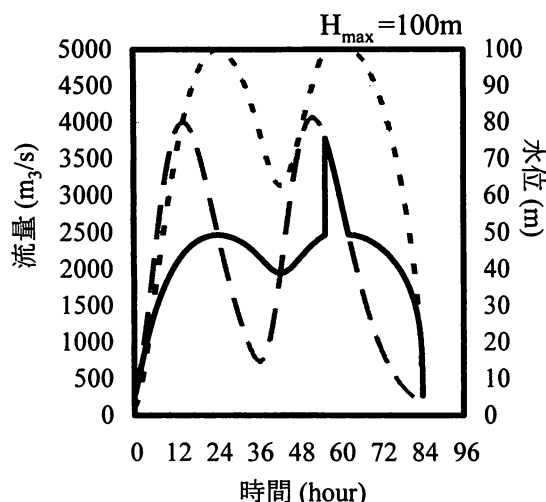


図-14 Series-4 の計算結果 [追加穴なし, $\Delta t_p=38$ (h)]

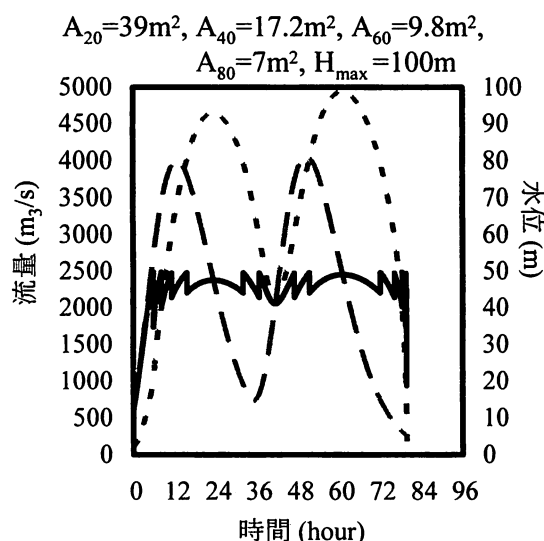


図-15 Series-4 の計算結果 [追加穴4つ, $\Delta t_p=38$ (h)]

4. おわりに

地球温暖化に伴う災害外力の増加などに因る大規模水災害の発生が危惧される中、近年治水専用穴あき（流水型）ダムが注目されてきており、著者らは今後大いに活用されるべきものと期待している。しかしながら、穴あきダムは基本的に（ゲート操作を行わない）自然流下方式となるために、水位が上昇するまでは放流量が増加せず、そのためまだ流入流量が比較的小さい内からダム湖に水が貯まり始めることになり、治水容量が有効活用されにくいという欠点を有している。そこで本研究では、常に開いている常用穴に加え、水圧により自動開閉するゲートを河床に設置することで治水容量を有効活用する手法を新たに提案するとともに、数値シミュレーションによりその効果を検証した。

本研究では、まずダム堤体およびダム湖の形状により穴あきダムの洪水調節能力が異なってくることに着目して、従来型の穴あきダムを対象に、箱型ダムとより一般的な形状のダムのもつ洪水調節能力を比較した。その結果、現実的な形状のダム湖をもつ穴あきダムは一般に持たれているイメージ（箱型ダム）よりも高い洪水調節能力を有していることが分かった。またこれらの洪水調節能力の違いは、一山洪水よりも二山洪水に対してより大きく発揮される。

次に追加穴の設置による治水専用穴あきダムの洪水調節能力の改善効果を検証した。その結果、ある程度の超過洪水に対してまでオーバーフローを抑止できることが分かった。また二山洪水については、オーバーフローが発生する限界のピーク時間差を大幅に縮めることができた。オーバーフローが発生するとダムからの放流量が不連続的に急増して下流域に甚大な被害を及ぼすため、超過洪水対策として追加穴の設置は極めて有効である。なお、ここでは超過洪水対策として追加穴の設置を検討しているが、追加穴を基本高水への対応に含めてダム堤体の小型化を図ることも勿論可能である。

参考文献

- 1) 日本学術会議，国土・社会と自然災害分科会：提言 地球環境の変化に伴う水災害への適応，2008.
- 2) IPCC: IPCC Fourth Assessment Report (AR4), February, 2007.
- 3) 島根県：一安全で安心して暮らせる地域をめざして－ 益田川治水ダム建設事業 益田川ダム 笹倉ダム.
- 4) <http://www.pref.shimane.jp/section/mizube/dam/masudagawa-dam.htm>
- 5) 角哲也：スイスにおける治水専用オルデンダムの水理設計と管理，ダム技術，No.241，pp.3-16, 2006.
- 6) 角哲也：米国における洪水調節専用（流水型(DRY)）ダム，ダム技術，No.256，pp.20-34, 2008.
- 7) 小松利光，押川英夫，塚原健一：2005年台風14号下での土砂・流木による耳川の河道閉塞とその対策，河川技術論文集，第13巻，pp.399-404, 2007.
- 8) 押川英夫，橋本彰博，小松利光：過疎化が進行する水害常襲地域の今後の防災対策に関する調査研究，水工学論文集，第53巻，pp.571-576, 2009.
- 9) 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 例題プログラム集編集部：水理公式集 例題プログラム集，第2編 河川編，2002.
- 10) 社団法人日本河川協会：雨量・流量年表データベース，2007.
- 11) 財団法人国土技術研究センター：水文統計ユーティリティ，<http://www.kasen-keikaku.jp/suimon/>

(2009. 4. 9受付)