

戦-21 ダムにおける河川の連続性確保に関する研究

研究予算：運営費交付金
 研究期間：平 21～平 23
 担当チーム：河川・ダム水理チーム
 研究担当者：箱石憲昭、宮脇千晴
 海野 仁、櫻井寿之

【要旨】

近年、治水専用の流水型ダムの計画・建設事例が増加してきており、ダムにおける河川の連続性確保への期待が高まってきている。しかしながら、連続性の確保と洪水調節の機能とはトレードオフの関係にあり、従来の放流設備によって十分に連続性を確保することは困難である。そこで、常時は貯留しない流水型ダムにおいて、土砂や生物の移動を考慮した、従来にはない放流設備の配置計画手法や設計手法が求められている。施設対応としては、放流口付ゲートや掘り込み式減勢工が考えられ、これらの適応性や設計手法の解明が必要となっている。

本研究で対象とするダムは、河川の連続性を確保し、かつ貯水容量を有効に活用する洪水防御施設として洪水調節の必要がない流量については、流水を貯留することなく現況河道と同様に流下させ、洪水調節の必要がある大出水時のみ貯留を行う流水型ダムである。本研究は、河川の連続性を確保する流水型ダムに必要な放流設備の規模、形状及び操作方法等を検討するものである。

キーワード：流水型ダム、河川の連続性確保、ゲート設備、ゲート操作、掘り込み式減勢工、貯水池内堆砂

1. はじめに

近年、治水専用の流水型ダムが環境面から注目されてきている。流水型ダムは、常時は貯留せず、洪水時にのみ河床付近に配置した洪水調節用放流設備により放流量を調節する形式のものである。また、各種治水事業に対するさらなる環境負荷低減の要求が高まっており、ダムにおいても河川の連続性を確保する事業の展開が求められている。既存の流水型ダムでは、ダムの構造面などの制約条件が多く、河川の連続性確保への対応が困難な状況となっている。このため、これまでのダムの設計とは異なる視点から、ダムに必要な放流設備の配置・設計及び操作方法等を検討していくことが必要である。

上記に鑑み、本調査では、現在までに計画・建設

されている流水型ダムの放流設備のパターン分類を行い、求められる洪水吐きの機能・配置について検討するとともに、検討対象ダムの規模を設定して、そのダムにおける河川の連続性を確保するために必要な放流設備の規模・形状及び掘り込み式減勢工の適応性について検討している。

2. 調査概要

現状、流水型ダムとして建設あるいは計画されているダムの諸元について調査した。調査結果を表 1 に示す。

表 1 より、流水型ダムとして計画されているダムは、ダム高、流域面積及びダム直下高水流量などが広範囲に及んでおり、ここでは、検討対象ダムを

表-1 流水型ダム諸元

ダム名	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
ダム高H(m)	106.5	110.2	52	87.6	39.2	77.1	41	21.5	55	53
流域面積A(km ²)	470	105.2	35.4	48	52	51	37.6	6.8	234	15.2
総貯水池容量V1(千m ³)	86000	28700	8800	6750	5600	6000	2400	793	45800	1102
有効貯水池容量V2(千m ³)	84000	28200	8500	6500	5530	5800	2100	718	44500	1070
堆砂容量V3(千m ³)	2000	500	300	250	70	200	300	75	1300	32
設計洪水水位	280	268.7	181.7	76	203.5	135	311.5	57.3	188.6	564
サーチャージ水位	269	265.7	179.2	72.7	201	132	309	55	184.3	562.1
常時満水位	195				165	97	276		167.4	520.5
最低水位		181	136	36	165	97		43	145	532.7
ダム設計洪水流量Qd(m ³ /s)	5160	1600	450	1580	690	1420	700	320	2550	380
計画高水流量Qt(m ³ /s)	3700	778	370	950	770	600	330	95	2050	130
ダム直下高水流量Qs(m ³ /s)	1100	180	40	640	180	270	80	30	360	30

設定して検討を実施する。

研究の初年度であるH21年度は、流水型ダムにおける放流設備のパターン分類を行い、ゲートレス形式の放流設備について検討するとともに、その下流に設置する堀込み式減勢工の水理機能について水理模型実験により検討した。

3. 調査結果

3.1 放流設備パターン分類

(1) 現状の考え方

流水型ダムの放流設備の配置にあたっては、洪水調節計画から求められる常用洪水吐きの規模、堆砂の観点から求められる土砂吐きの規模、さらには、土砂を流下させる水路や減勢工の摩耗対策等が考慮されている。

現在までに建設あるいは計画されている流水型ダムのタイプは表-2のように分類され、洪水調節をゲートレスで行うタイプ1-1から1-3と、洪水時にゲートで放流量をコントロールするタイプ2がある。タイプ2は、ゲート付の常用洪水吐きを土砂吐きよりも一段高い標高に設置し、土砂を放流しな

いようにしている。これは、土砂放流によりゲートや戸溝が損傷した状態で高速流をゲート部分で放流する可能性があり、安全上支障があるとの判断による。

また、生物、特に魚類の移動への配慮については、ダムサイト付近の河床勾配が比較的急であり、何らかの形で魚道の設置を考えているダムが多い。

(2) 今後の検討の方向

ダムの上下流の連続性確保の観点からは、中小出水時はできるだけせき上げずに放流できるように、放流設備の断面、特に幅を大きくすることが求められている。しかし、洪水調節の観点からは、洪水時の放流量を抑えるため、放流断面を縮小する必要がある。そのためには、タイプ2のゲート付常用洪水吐きを設置して対応するか、自然調節の場合は、放流口を内蔵したゲートや一定開度で戸溝がなくなるゲート等、土砂の流下によるゲートや戸溝の損傷対策を考慮したゲートを河床部放流設備に設置して対応することも考えられる。これらの特殊なゲートについては今後の技術開発が必要である。

3.2 検討対象ダムの設定と減勢工規模

表-2 放流設備パターン分類

タイプ	設備配置	常用洪水吐き	土砂吐き	常用洪水吐き減勢工	備考
1-1		ゲートレス	常用洪水吐きと兼用	非常用洪水吐き減勢工と兼用	洪水調節計画から求められる常用洪水吐きの規模で十分に土砂を流下させることができると判断され、常用洪水吐きと土砂吐きを兼用。
1-2		ゲートレス	常用洪水吐きと兼用	独立して設置	常用洪水吐きの規模が小さく、常用洪水吐き用の減勢工を非常用洪水吐き用と分離して配置。非常用洪水吐きの減勢工は土砂が流下しないため、摩耗対策不要。
1-3		ゲートレス	独立して設置	独立して設置	常用洪水吐きの規模が小さく、土砂吐きとしての能力が不十分と判断されたため、別途土砂吐きを設置。
2		ゲート調節	独立して設置	非常用洪水吐き減勢工と兼用	ゲート付の常用洪水吐きを土砂吐きよりも一段高い標高に設置し、土砂の放流を防止。土砂吐きを完全に分離したことにより、洪水吐きの減勢工の摩耗対策は不要。

検討対象ダムの設定に際して、これまでに建設或いは計画されている流水型ダムの規模(ダム高 H,流域面積 A)と計画最大放流量 Q の関係について調査した。調査結果を図 1 に示す。図 - 1 より、D ダムを除き比較的相関がとれており、式(1)で表せる。

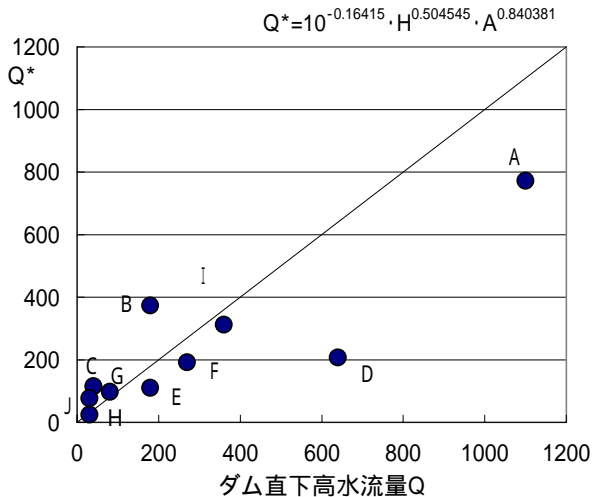


図 1 調査結果

$$Q = 10^{-0.16415} \cdot H^{0.504545} \cdot A^{0.840381} \dots\dots\dots(1)$$

検討対象ダムを常用洪水吐きと土砂吐きが兼用となる比較的単純な放流設備からなるパターン 1 - 2 として、表 1 の流水型ダムの平均的なダム規模 (A=50km², H=50m) を考える。その時の計画最大放流量 Q を(1)式から計算し、常用洪水吐きの必要断面高 D を計算した。なお、常用洪水吐きの幅 B=7.5m とし、放流量式は以下のナイフエッジの式(2)を用いた。

$$Q = C \cdot B \cdot D \cdot (2gH)^{0.5} \dots\dots\dots(2)$$

$$C = (-0.311 \cdot D/H + 0.408)^{0.5}$$

(1)式の関係より、

$$Q = 10^{-0.16413} \cdot 50^{0.504545} \cdot 50^{0.840381} = 132.1 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D = Q / \{ (B \cdot 0.642 \cdot (2gH)^{0.5}) \} = 0.88 \text{ m}$$

次に、計画最大放流量 Q のとき、この等幅断面水路を考慮した掘り込み式減勢工規模について、河床勾配 1/50 として検討する。減勢工規模の設定には、水平水叩き跳水式として計算される規模を基本として、完全減勢となる副ダム高を実験により求める。減勢工規模は、水平水叩き式減勢工 (水平水叩き長 L, 副ダム高 d) を基本とし、図 2 に示すように、常時の流れを阻害しないように河床勾配 1/50 の線より上にでないように設計する。また、この減勢工にすりつけるための接続水路部は、H=50m での放流水脈の自由落下曲線を直線近似している。図 2 に、掘り込み式減勢工規模設定のイメージを示す。河床

勾配と下流面勾配との交点を始点として、この位置での放流水脈の自由落下曲線を近似した直線を接続水路部とし、その下流で水平水叩き長 L と副ダム高 d が確保できるように掘り込み式減勢工の形状を設定する。

減勢工の規模は、

$$Q = 132.1 \text{ m}^3/\text{s}, H = 50 \text{ m}, B = 7.5 \text{ m} \text{ から、}$$

$$\text{流入流速 } v_1 = 0.9 \cdot (2gH)^{0.5} = 28.2 \text{ m/s}$$

$$\text{流入水深 } h_1 = 0.63 \text{ m}$$

$$\text{流入フルード数 } Fr = 11.4$$

$$\text{共役水深 } H_j = 10.0 \text{ m}$$

$$\text{水平水叩き長 } L = 4.5H_j = 45.2 \text{ 45m}$$

$$\text{副ダム高 } d = 9.7 \text{ 10m}$$

となった。

3.3 水理模型実験結果

放流能力調査結果より、d=0.7m, H=50m で流量 Q が Q=128.4m³/s となり、この場合の減勢工規模を再度計算すると、

$$\text{流入流速 } v_1 = 0.9 \cdot (2gH)^{0.5} = 28.2 \text{ m/s}$$

$$\text{流入水深 } h_1 = 0.61 \text{ m}$$

$$\text{流入フルード数 } Fr = 11.54$$

$$\text{共役水深 } H_j = 9.9 \text{ m}$$

$$\text{水平水叩き長 } L = 4.5H_j = 44.7 \text{ 45m}$$

$$\text{副ダム高 } d = 9.6 \text{ 10m}$$

となり、図 2 とほぼ同じ規模になる。このため、開口高 d=0.7m で掘り込み式減勢工の水理実験を実施した。写真 1 に貯水位 H=50m の時の減勢池流況を示す。潜り跳水の状況を示し、減勢工規模には、かなり余裕のある流況である。跳水始端が接続水路部に達しない場合は、安定した流況を呈しており、貯水位を低下させてから、再び H=50m まで上昇させても安定した流況を呈している。H=52m くらいから、跳水始端が接続水路部に移動すると、安定した潜り跳水から大きな水位変動が生じる状況に推移していく(写真 2 a,b 参照)。接続水路部で水脈が突入せずに上向きに盛り上がり、上がったから下向きに向きを変えるなど、不安定な流況を繰り返していく流況を呈している。

写真 2 a,および b の状況が発生すると、貯水位を下げてもなかなかもとの潜り跳水に戻らない。今回の実験範囲では、H=50m を超えなければ、この変動状況は発生していない。次に、この減勢工の減勢池が満砂した場合の減勢機能復元状況について調査した。調査は、貯水位が無い状況で減勢池を 3 号珪砂で満たして、貯水位を 0m から 50m まで上昇させた。結果を写真 - 3 に示す。

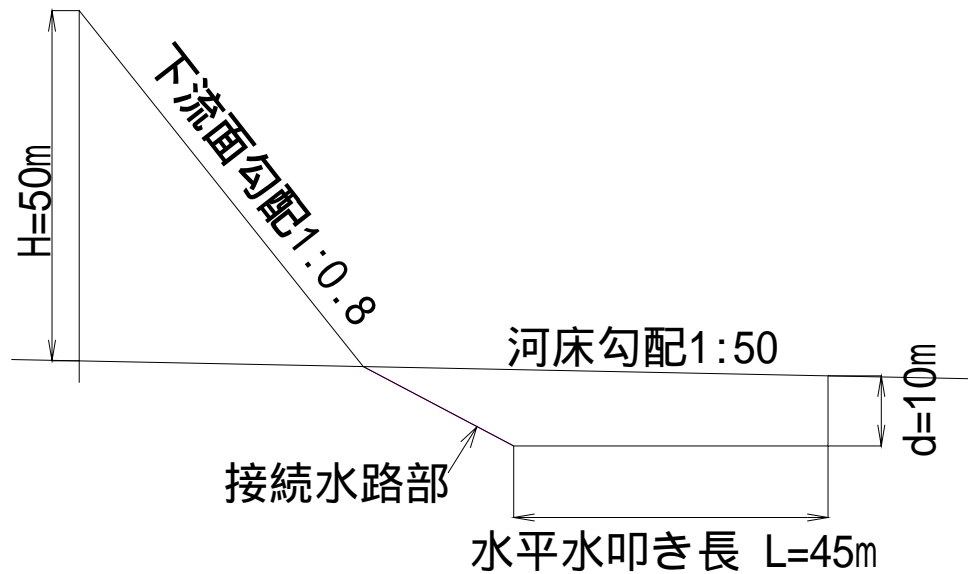


図 2 掘り込み式減勢工の設定イメージ

写真 1 減勢工内流況 (D=0.7m,H=50m)



写真 2b 減勢工内流況 (D=0.7m,H=52.5m)



写真 2a 減勢工内流況 (D=0.7m,H=52.5m)



写真 - 3より、貯水位の上昇に従って、接続水路始端部から土砂が下流にフラッシュされて、減勢工底面まで達した後、下流に徐々にフラッシュされていき、最

最終的に水平水叩き長の半分程度までフラッシュされた状態で土砂の移動は停止した。水のみの実験でも減勢工にかなり余裕のある流況を呈しており、潜り跳水の始端が接続水路前面であることから、水平水叩き長に接続水路部分を余分に見込んでいると考えて、接続水路分の長さ分 (21.535m) 水叩き長を短縮した図 4 に示した修正案形状で実験を実施した。修正案形状での流況を写真 4 に示す。

写真 4 のとおり、原案よりも減勢池内水位が若干上昇しているが、潜り跳水の状況に大きな変化は無く、安定した流況を呈している。H=0m~50m まで貯水位をあげても、H=50m から H=0m に貯水位を下げてても特に、流況が大きく変化する状況は発生しない。減勢池満砂時に貯水位を H=0m から H=50m に上昇させて、減勢池内土砂の状況を調査した結果を写真 5 に示す。貯水位の上昇に伴い、減勢池上

写真 - 3 減勢工満砂で貯水位上昇時の流況



写真 4 修正案形状流況 (H=50m)



写真 - 5 減勢工満砂時水位上昇流況

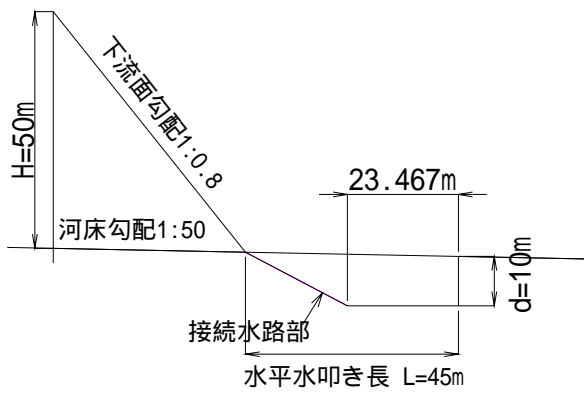
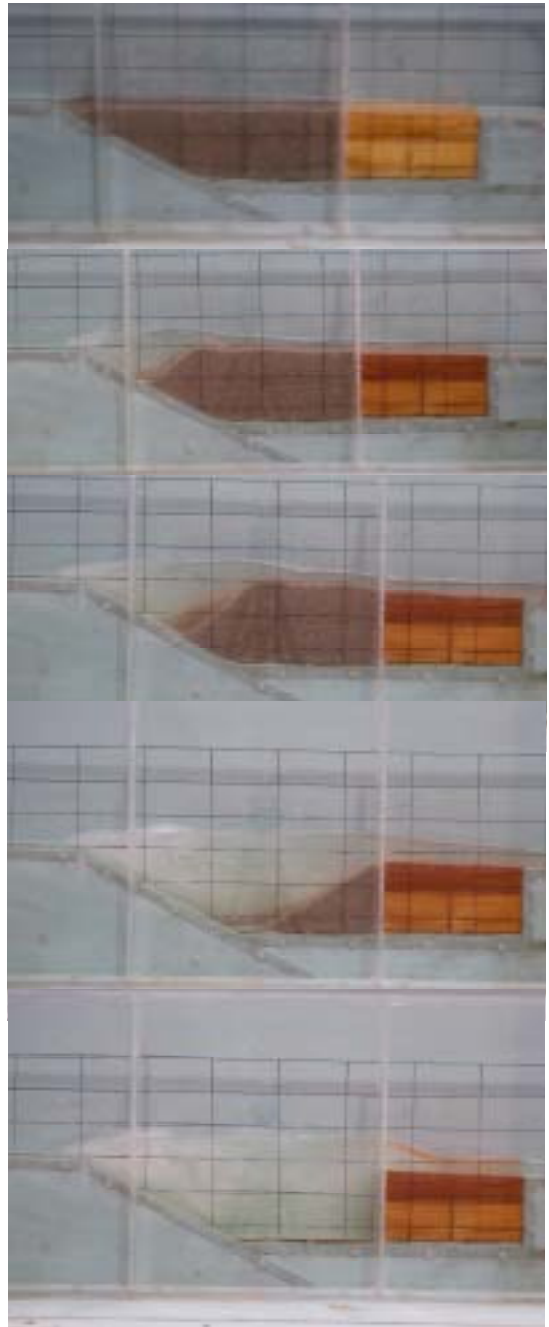


図 4 修正案形状

流端から順にフラッシュされていき、貯水位 $H=50\text{m}$ で完全に土砂が減勢池から排出されている。土砂の移動も上流から下流へ向かっており、上流側への移動は観測されない。

4. まとめ

流水型ダムに必要となる掘り込み式減勢工の水力機能に関する水力実験を行った結果、得られた知見を以下に示す。

1) 流水型ダムにおける放流設備のパターンは、大きくゲートレスとゲートの2分類に区分され、このうちゲートレスについては、他の放流設備との兼用を考えれば4ケースに分類できる。

2) 放流設備規模(幅 $B=7.5\text{m}$ 、開口高 $d=0.7\text{m}$)で貯水位 $H=50\text{m}$ に対応する今回の掘り込み式減勢工の検討では、接続水路として放流水脈の自由落下曲線を直線近似し、副ダムを有する水平水叩き式減勢工の規模を計算して水平水叩き長 L を接続水路始端からの距離とし、副ダム高を河床までの高さで設定すれば、安定した減勢工規模が算定可能である。

【英文要旨】

STUDY ON SECURING THE CONTINUITY OF RIVER FLOW AT DAM SITE

Abstract: Recently, the projects' number of "Stream type flood control dam" has been increasing and the expectation for securing the continuity of river flow at dam site is rising. However, both the securing continuity and the function of flood control are in the trade-off relations, so that it is difficult for ordinal outlet facilities to secure the sufficient continuity. The planning and design method for new type outlet works taking the transport of sediment and the mobility of living things into account has been exhausted. The new type gate with hollows and digging type energy dissipater are considered as the measures and it is necessary to develop design method and to evaluate the applicability of these facilities.

The study scopes on "Stream type flood control dam". This type of dams ensure natural river flow as long as the inflow discharge is less than the flood discharge, on the other hand, they start storing flood if it exceeds the flood discharge for the purpose of flood control. The study aims to develop the planning of the scale, designing of the shape and the operation method of outlet facilities, which would be indispensable for "Stream type flood control dam" to preserve the continuity of river flow.

Key words: stream type flood control dam, securing the continuity of river flow, gate facilities, gate operation, digging type energy dissipater, sediment in a reservoir