

## 論文

## 水位放流方式によるダム操作の適用性に関する検討

三石 真也<sup>1</sup> 角 哲也<sup>2</sup> 尾関 敏久<sup>3</sup> 松木 浩志<sup>4</sup>

## Effectiveness of Dam Operation by Water Level Threshold Discharge Method

Shinya MITSUISHI Tetsuya SUMI Toshihisa OZEKI Hiroshi MATSUKI

多目的ダムの洪水時の操作にあつては、迎洪水位が制限水位よりも低い場合に規定がなく、遅れ操作の発生と治水容量内における過貯留がまれに報告されている。これらの現象を未然に防止し、ダムの治水機能をより適切かつ効果的に発揮させるためには、水位放流方式によるすり付け操作の実施が有効と考えられる。本論文は、過去の実洪水データを活用して、その有効性を検証するとともに、下流河道水位上昇速度などの問題点を明らかにし、改良策を提案するものである。

キーワード: ダム操作, 洪水調節, 水位放流方式, すり付け操作, 遅れ操作

## 1. はじめに

ダムの操作においては、洪水時に短期間に正確な操作が求められること、その影響が下流に大きく及ぶことから、法に基づく操作規則により規定され、一定率一定量放流方式、一定量放流方式、自然調節方式などの操作方法が採用されてきた。しかしながら、ゲートによる洪水操作を行う多目的ダムにおいて、迎洪水位が制限水位よりも相当低い状況で洪水が発生した場合には、貯留回復に努めつつ放流量を流入量に漸近させる「すり付け操作」を行う必要がある<sup>1)</sup>が、ダム操作規則には具体的な操作方法について規定されておらず、放流の開始時期については、ダム管理者の判断に委ねられてきた。現実には、一部のダムにおいて降雨予測に基づく流出予測とダム地点の流入量予測を行い<sup>2)</sup>、放流開始時期を決定しているが、大部分のダム管理者は、過去の経験や勘に基づき、放流開始時期を決定しているのが現状である。この問題は、適切な洪水操作と治水容量の回復の両方にまたがる問題でもあり、とりわけ発電容量については、無効放流が発生した場合に減電が確実であることから、一般的には治水安全度を確保すべく、ぎりぎりまで治水容量の回復を優先し

た操作が実施されてきた。このため、大規模かつシャープな洪水が襲来した場合にあつては、すり付け操作が追いつかず、ダムの水位が制限水位以上に達しても、操作規則で定められた所要の放流量を放流できない、すなわち治水容量内に余分な流量を貯留してしまうケースが散見された。

本論文では、すり付け操作を円滑かつ確実に実施する上で有力な手法である今村が提案した「水位放流方式」の現場への適用性を検証したものである。すなわち、国土交通省管轄ダム等において水位が低い状況で大規模な洪水が襲来した過去の事例を基に水位放流方式を適用した場合のシミュレーションを行い、過貯留、下流河川水位上昇速度超過等の発生状況について調査した。さらに、明らかになった問題点を解決すべく「水位放流方式」の改良策を提案した。

## 2. ダムによる洪水調節の現状と問題点

## 2.1 洪水調節方式と操作規則

ダムによる洪水調節は、下流河川の被害を防止し又は軽減することを目的としているため、洪水を適切に制御する必要がある。このため、安定して確実に効果

<sup>1</sup> 国土交通省国土技術政策総合研究所 河川研究部 水資源研究室長 工修

<sup>2</sup> 京都大学防災研究所 水資源環境研究センター教授 工博

<sup>3</sup> 国土交通省国土技術政策総合研究所 河川研究部 水資源研究室研究官

<sup>4</sup> 財団法人ダム水源地環境整備センター 企画部 主任研究員

を發揮することが必要であり、ヒューマンエラーを防止する観点からも、適切な操作規則の制定と操作員による確実な操作が求められる。その前提条件として、人為操作により住民の生命、財産が危険にさらされることは避けるべきであり、洪水調節は慎重かつ安全に行う必要がある。さらには、ダムや関連構造物の安全性を確保しなければならないことも重要であり、確実性、安全性、即応性の原則を遵守することが求められる。

具体的な洪水調節の操作手法は、特定多目的ダムにあっては、特定多目的ダム法第31条、水資源機構ダムにあっては、水資源機構法第23条、治水ダムや河川法に基づく兼用工作物としての多目的ダムにあっては、河川法第14条に基づく操作規則において、定められている。

ここに、制限水位以下に迎洪水位がある場合は、ダムからの放流量について具体的に規定されていなく、ダム管理者の判断に委ねられている。多くのダム管理者は、過去の洪水における経験や勘を基に、ダム操作細則において定められた下流河川の水位上昇速度を勘案しつつ、放流量を決定しているのが実情である。

そして、操作規則や操作細則において、下流河川水位上昇速度やゲート開度に基本的に制限を課されていることも相まって、放流開始の初動対応が遅れた場合には、洪水時には図-1に示すような過貯留が発生する可能性がある。ここに、過貯留とは、ダムの水位が制限水位以上に到達した際に、所定のダム放流量を放流することができず、治水容量内に余分な流水（図の②～④の部分）を貯留してしまうことを指し、治水計画を策定する上で、必要な治水容量として計上されていないものである。現実には、治水計画に必要な容量に計上されていないながら、治水容量内に貯留されている⑤の部分により過貯留量は軽減されるが、安全のため、ここでは、⑤の効果は考慮しないものとする。特に治水計画を上回るような洪水が発生した場合においては、但し書き操作に入り、計画最大放流量を上回る放流量が発生するが、本来の洪水調節前に過貯留によって治水容量の一部を消費してしまっていた場合には、ダム下流への最大放流量を増大させ、下流で発生する被害を助長することとなる。特に計画放流量の大きなダム

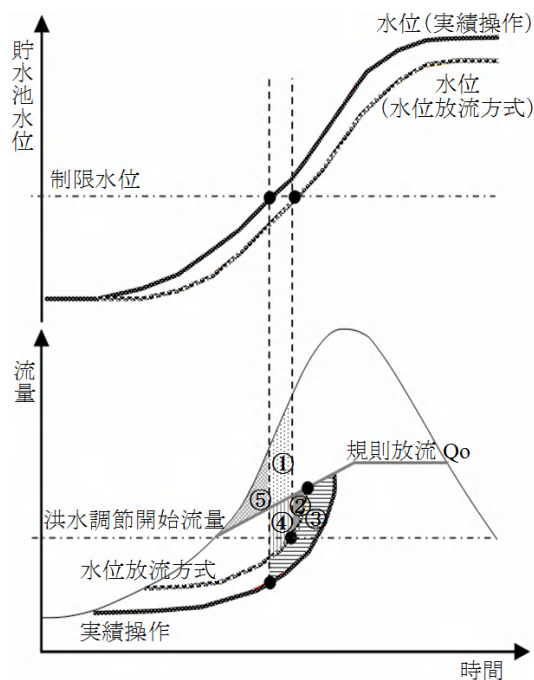


図-1 水位放流方式による擦り付け操作の模式図

においては、放流量が計画放流量に達するまでに時間を要するため、結果的に規定どおりの放流を行えないままダムが満水となる事態も生ずる可能性もある。このように、過貯留の容量が大きくなるような場合は、貯留のしかたが適切でなく、放流開始が遅れていることとなり、治水上の観点から非常に大きな危険を伴うことになる<sup>3)</sup>。以上に示した危険性を少しでも避けるために、通常管理水位を制限水位よりも下に設定しているダムも見られ、例えば大雪ダムにあっては、0.5メートルを設定している。

なお、図の⑤の部分は、計画上治水容量として必要な部分として計算されているが、実際の操作においては、迎洪水位が低いことから治水容量内に貯留され、治水計画上は余裕の部分となる。

### 3. 水位放流方式の考え方

水位放流方式は、今村により提案されたダム放流方式であり、貯水池情報を基に、放流開始時期および放流量を決定するダム操作方法である<sup>4)</sup>。放流の開始時期は、ダムの空き容量、下流河川の水位上昇速度から求められる限界流入量を指標とし、限界流入量が流入量と等しくなった時点で放流を開始することとされている。これにより、放流開始時点を一意的に決定する<sup>5,6)</sup>

とともに、2章で示した治水容量内への過貯留を相当程度小さくできる(図-1の②の部分のみ)ものと期待される。

水位放流方式の具体的な手法は、次のとおりである。すなわち、放流量は、空容量比率の2乗に比例した放流量となるよう設定した放流関数により、水位に対して一意的に決定する。そして貯水位が制限水位時に達した際に放流量が洪水調節開始流量となるよう放流関数を設定する。その模式図を図-2に示す。以下に、維持流量や発電などの放流量がない場合の、限界流入量、放流関数の求め方を示す。

放流関数を(1)式に示す  $V(t)$  の2次式、下流河道の水位と流量の関係を(2)により規定する。治水容量内の貯留量  $V(t)$  は放流量と流入量の差で(3)式のように表される。

$$Q_0(t) = AV(t)^2 \quad (1)$$

$$Q_0(t) = K(H(t)-h_0)^2 \quad (2)$$

$$\frac{dV(t)}{dt} = Q_i(t) - Q_0(t) \quad (3)$$

$V(t)$  : 貯留量(放流開始時点と0とする)

$H(t)$  : 河川水位

$h_0$  : 水位観測所のゼロ点標高

$Q_i(t)$  : 貯水池流入量

$Q_0(t)$  : 当該時刻におけるダム放流量

以上3つの式により、下流の水位上昇速度は、次の式により示される。

$$\frac{dH(t)}{dt} = \frac{AV(t)}{K(H(t)-h_0)} (Q_i(t) - Q_0(t)) \quad (4)$$

(1)式において、貯水位が制限水位時に放流量が洪水調節開始流量  $q_u$  となるよう定数  $A$  を決定し、次のように表される。

$$Q_0(t) = \frac{q_u}{V_w^2} V(t)^2 \quad (5)$$

$q_u$  : 制限水位時の目標放流量(洪水調節開始流量)

$V_w$  : 制限水位までの空き容量

これを(4)に代入し下流河道の水位上昇速度  $dH(t)/dt$  について解くと、次式のように示される。

$$\frac{dH(t)}{dt} = \frac{\sqrt{q_u}}{\sqrt{K} V_w} (Q_i(t) - Q_0(t)) \quad (6)$$

$dH(t)/dt$  が、下流河道における水位上昇速度の制限  $H_c$  よりも小さくなる必要があることからその限界流入量  $Q_{ic}$  は次式で示される。

$$Q_{ic} = \frac{H_c \sqrt{K} V_w}{\sqrt{q_u}} \quad (7)$$

具体的な放流操作の手順は以下のとおりである。

(1)  $H_c$ ,  $K$ ,  $q_u$  を定める。

(2)  $V_w(t)$  から  $Q_{ic}(t)$  を計算する。

(3)  $Q_i(t) < Q_{ic}(t)$  の場合には、(2)の計算を繰り返す。

(4)  $Q_i(t) = Q_{ic}(t)$  となった段階で  $V_w(t) = V_w$  を確定し、式(5)の放流関数を決定する。

(5) 上記(4)で決定した放流関数に基づいて、貯留量  $V(t)$  に対応する放流量  $Q_0$  を放流し、これを貯水位が制限水位付近に達するまで継続する。

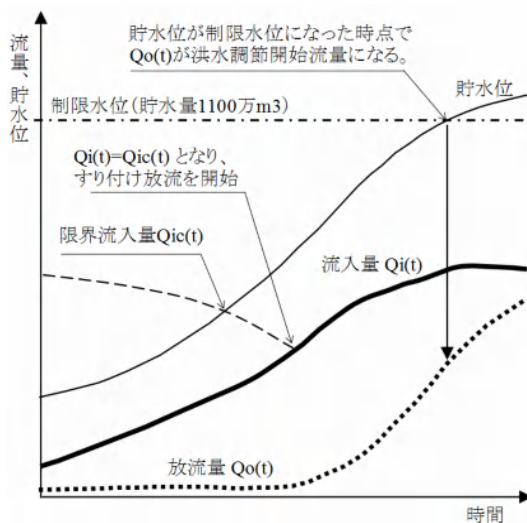


図-2 水位放流方式の模式図

#### 4. 実績洪水による水位放流方式適用の検証

今村は、水位放流方式の洪水への適用性の検証として、三角ハイドロの様々な波形の洪水を定義して解析し、その有効性を示している。しかしながら、その後現在においてもダム管理の現場における導入状況は、必ずしも多くないのが実情であり、その理由の一つとして、過去に発生した実際の洪水を想定したシミュレーションが実施されておらず、操作実績と比べた優位性、問題点が明らかにされていないことが挙げられる。また、大谷ら<sup>7)</sup>は、過去に発生した洪水について、最低水位を条件として設定した水位放流方式によるシミュレーションを行い、その有効性を確認しているが、

実際に発生した迎洪水位とは異なる条件のシミュレーションとなっており、同様の問題点を有している。

本論文では、迎洪水位が低い状況で比較的大きな洪水が発生したダムを対象として、水位放流方式によるダム操作のシミュレーションを現場の水位、流量をそのまま使用して実施し、実際に洪水時に行われた操作との比較を行ってその有効性を確認した。

検討対象ダムの選定にあたっては、次の観点を考慮して12ダムを選定した。

- ・国土交通省、(独)水資源機構、都道府県土木部が管理する多目的ダム(治水容量と利水容量を有するダム)
- ・ゲート操作により洪水調節を実施しているダム
- ・迎洪水位が低い状態で比較的大きな洪水が発生したダム
- ・洪水調節に当たり、治水容量内に過貯留が発生したダム

選定した各ダムの諸元を表-1に示す。シミュレーション結果は表-2に示すとおりである。図-3にGダムにおけるすり付け操作のハイドログラフを示す。すり付け操作が遅れたため、規定の放流量に達する前に洪水

表-1 水位放流方式シミュレーション選定ダム

ダム名	事業者	目的	流域面積 (km <sup>2</sup> )	治水容量 (千m <sup>3</sup> )	利水容量 (千m <sup>3</sup> )	相当雨量 (mm)
Aダム	国交省	F.N.A.W.I.P	307.5	31,500	9,600	102
Bダム	国交省	F.N.W.I.P	301.0	58,000	48,000	193
Cダム	国交省	F.N.W.I	246.1	34,000	26,000	138
Dダム	国交省	F.N.A.W.I.P	217.4	50,000	28,100	230
Eダム	国交省	F.N.A.W.I.P	504.5	15,000	46,000	30
Fダム	国交省	F.A.W	168.0	3,500	9,200	21
Gダム	国交省	F.P	1196.0	33,900	1,600	28
Hダム	国交省	F.N.P	185.0	51,300	1,000	277
Iダム	水資源機構	F.N.A.W.I.P	417.0	90,000	199,000	216
Jダム	県	F.N.P	157.8	18,300	16,800	116
Kダム	県	F.N.I.P	45.2	4,100	764	91
Lダム	県	F.N.P	81.0	10,300	19,600	127

表-2 すり付け操作シミュレーション結果

ダム名	洪水発生年月	実績操作			水位放流方式			すり付け操作の効果		水位上昇速度(cm/30min)						下流河川の水 位変動 ※4			
		過貯留量 (千m <sup>3</sup> ) ①	治水容量 内貯留率 (①/治水 容量%) ②	遅れ 時間 ※1 ③	過貯留量 (千m <sup>3</sup> ) ④	治水容量 内貯留率 (④/治水 容量%) ⑤	遅れ 時間 ※1 ⑥	過貯留 減少量 (千m <sup>3</sup> ) ①-④	放流開始 時刻の差 ※3	実績操作			水位放流方式						
										規定値	平均値	最大値	超過値 平均	平均値	最大値			超過値 平均	放流の 原則
Aダム	H18.9.16	3,118	9.9	-1.40	6	0.0	0:00	○	3,112	-10:30	50	7.9	42.3	0.0	35.3	61.3	61.3	○	×
Bダム	H17.9.5	372	0.6	-0:50	16	0.0	0:00	○	357	-9:00	30	9.9	37.5	37.5	45.5	69.3	45.5	×	×
Cダム	H10.10.17	142	0.4	-0:20	2	0.0	0:00	○	140	0:40	30	10.1	38.7	35.1	14.5	40.9	39.0	×	×
	H11.6.29	1,748	5.1	-1:20	4	0.0	0:00	○	1,743	-1:20	30	28.0	64.9	64.9	37.6	61.6	44.8	×	○
Dダム	H18.7.17	1,140	2.3	-2:50	4	0.0	0:00	○	1,136	-0:30	30	10.1	34.5	34.5	29.7	46.0	46.0	×	×
Eダム	H12.9.12	803	5.4	-0:10	436	2.9	0:00	○	367	-1:50	50	28.9	71.2	71.2	46.7	50.8	50.8	○	○
Fダム	H16.8.30	18	0.5	-0:50	0	0.0	0:00	○	18	-4:20	50	16.3	24.0	0.0	22.8	38.3	0.0	×	×
Gダム	H16.9.30	6,955	20.5	-5:10	4	0.0	0:00	○	6,951	3:00	30	23.3	42.9	39.9	30.3	37.9	37.8	○	○
Hダム	H18.7.4	273	0.5	-0:50	0	0.0	0:00	○	273	-0:30	30	8.3	16.6	0.0	17.9	29.8	0.0	×	×
Iダム	S50.8.17	5,099	5.7	-0:40	1,229	1.4	0:00	○	3,870	-1:30	50	28.5	41.2	0.0	33.5	57.1	57.1	○	×
	H9.9.16	14,206	15.8	-1:40	4,237	4.7	0:00	○	9,969	0:10	50	50.2	81.9	79.0	53.2	68.7	61.3	×	○
	H17.9.6	45,649	50.7	-11:00	9,950	11.1	0:00	○	35,699	-0:40	50	14.4	62.1	57.4	38.5	44.3	0.0	○	○
	H19.7.14	19,846	22.1	-1:20	2,048	2.3	0:00	○	17,798	-0:10	50	24.4	38.0	0.0	35.8	45.2	0.0	○	×
Jダム	H5.9.3	768	4.2	0:00	108	0.6	0:00	○	660	-2:40	30	33.0	78.7	56.8	64.0	153.5	95.7	×	×
	S55.6.20	1,783	21.0	-3:40	5	0.1	0:00	○	1,778	3:30	30	27.7	54.4	53.4	17.3	25.7	0.0	×	○
	S57.7.10	2,036	24.0	-1:20	45	0.5	0:00	○	1,991	1:40	30	66.4	110.1	92.7	45.0	67.6	58.3	×	○
Kダム	H5.9.3	1,156	28.2	-2:00	0	0.0	0:00	○	1,156	-5:00	30	23.8	47.9	39.8	23.8	62.0	62.0	×	×
	H4.8.8	305	7.4	-2:10	0	0.0	0:00	○	305	-1:00	30	27.1	33.7	32.3	36.1	58.6	48.4	×	×
Lダム	H16.10.20	4,099	39.8	-3:10	650	6.3	0:00	○	3,449	1:10	30	26.1	45.9	45.9	41.7	48.2	41.7	×	×

※1 遅れ時間は、『貯水位が制限水位に達した時刻-放流量が洪水調節開始流量に達した時刻』として算出。  
 ※2 Iダム(H17.9.6)では、迎洪水位が非常に低かったために、すり付け操作が流入量のピーク後の低減部になり、放流量は規則操作にすりつかず、治水容量内貯留量が大きくなった。  
 ※3 放流開始時刻の差は、『実績操作においてすり付け操作を開始した時刻-限界流入量に達した時刻』とした。正は遅れ操作であることを示す。  
 ※4 水位放流方式による放流と放流の原則による放流を比較し、水位放流方式による放流が放流の原則を満たす場合、○とした。水位放流方式と実績操作による水位上昇速度の最大値を比較し、水位放流方式が小さい場合○とした。

はピークを迎えており、危険性を残した操作である。図-4 は、J ダムにおけるハイドログラフであるが、すり付け操作が遅れた結果、ただし書き水位を上回り、計画最大放流量を約 200 m<sup>3</sup>/s 上回る放流を行っている。2 節で述べた治水計画上下流に悪影響をもたらす治水容量内の過貯留は、表-1 に示す実績の操作においては、国土交通省管理 1 ダム、水機構管理ダム、県管理 4 ダムにおいて治水容量の 20~50%を占める結果となった。これに対して、水位放流方式を導入することにより、過貯留は大幅に縮小され、最大でも治水容量の 5%程度に抑えることが可能となる。なお、I ダムの場合、利水容量が極めて大きく、また、コンジットゲートがなく低い貯水位での放流能力が不足するために円滑なすり付け操作が困難であり、過貯留が発生する特殊な条件である。

また、貯水位が制限水位に達した時点で放流量は洪水調節開始流量となる必要があるが、実績の操作では 1~3 時間程度、最大で 11 時間遅れている。この遅れ時

間についても水位放流方式の採用により、皆無とすることができる。すり付け操作を開始した時刻については、直轄ダムについては、実績操作の方が水位放流方式よりも早いダムが多い。これはダム管理所職員が慎重を期して早めの操作に入っていること、流域面積が比較的大きく、洪水末期の貯留により利水容量を貯水することが容易であるため、洪水初期に利水容量への貯留操作を行う必要性が小さいことによると推察される。水機構ダムについては、両者概ね同じであり、県管理のダムについては、まちまちである。G ダム、J ダム S55.6 洪水、S57.7 洪水など実績操作の方が遅いケースも見られ、これらのケースにおいては、治水容量の 20%を超える過貯留が発生しており、水位放流方式の採用により、これを大幅に改善することが可能である。一方、下流の水位上昇速度については、河道の条件

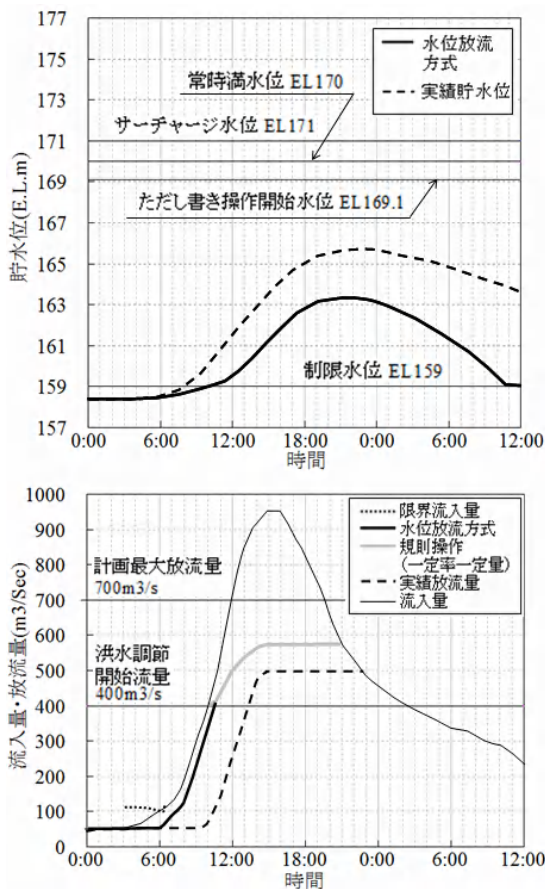


図-3 すり付け操作シミュレーション (Gダム H16.9.30 洪水)

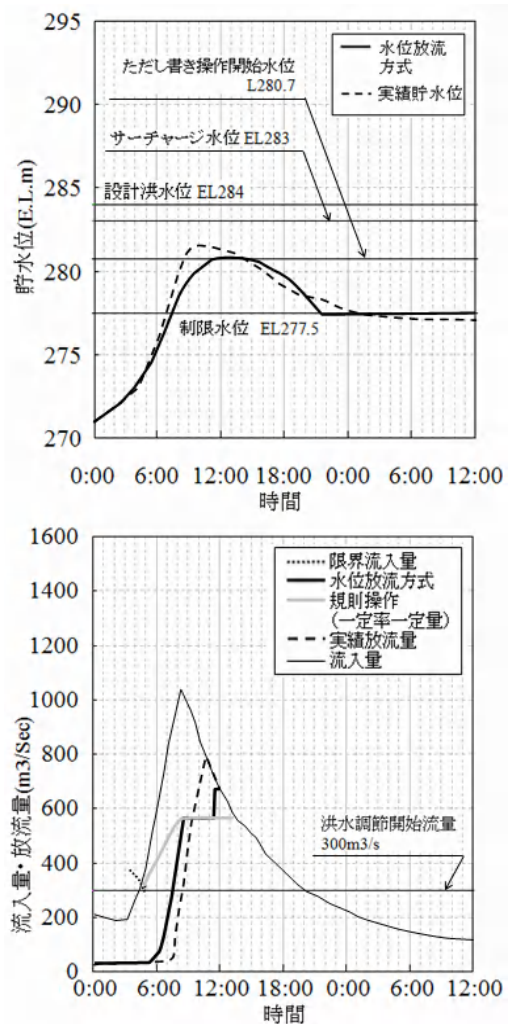


図-4 すり付け操作シミュレーション (Jダム S57.7.12 洪水)

や利用状況などにより原則として 30 cm/30 min または 50 cm/30 min 以内に抑えることと規定されているが、県管理 3 ダム全てを含む 13 ケースにおいて原則を遵守できず、また A ダム、B ダムなど 12 ケースにおいて放流実績よりも水位上昇速度が大きくなることが認められる。

これは、水位放流方式の構造上、ダム流入量が限界流量に達した以降は、(5)式の放流関数、すなわち空き容量と洪水調節開始流量のみによって放流量を決定しており、流入量を考慮していないことによる。特にシャープな洪水等大きな流量がダム貯水池に流入したケースでは、大量の流水の流入により貯留量  $V(t)$  が短時間に急激に大きくなり、これに対応して大量の流水の放流を実施することとなるため、下流水位上昇速度が大きく規定値を上回るものと考えられる。ダム操作細則においては、下流水位上昇速度が規定値を上回る場合、

「所長は、次の各号の一に該当する場合には、規則第〇条の規定により関係機関に通知するとともに、一般への周知を行うものとする。」と定められており、サイレン等警報による周知やパトロールを入念に実施することにより、このような放流を実施することは可能である。

図-5 に下流水位上昇速度の最大値とすり付け期間中の 10 分間ダム最大流入量/最大流入時点の空き容量  $V_w(t)$  の関係を示す。さらに、図-6 に水位上昇速度の平均値と 10 分間ダム最大流入量/空き容量  $V_w$  の関係を示す。空き容量に対するピーク流量の比が大きいほど、 $\Delta t$  の間の流入量が多いことから、 $V_w(t)$  に基づいて算出した放流量が過小となり、これに伴って空き容量が小さくなって放流量  $Q_o(t+\Delta t)$  と下流水位上昇速度が大きくなるものと考えられる。

図-7 に、下流河道水位上昇速度の最大値とすり付け期間中の流入量増大比率最大値の比較を、図-8 に、下流河道水位上昇速度の平均値とすり付け期間中の流入

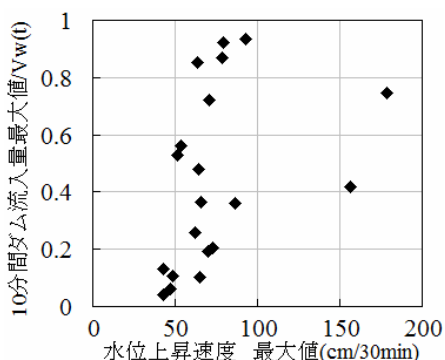


図-5 10 分間ダム流入量最大値 /  $V_w(t)$ ～水位上昇速度最大値

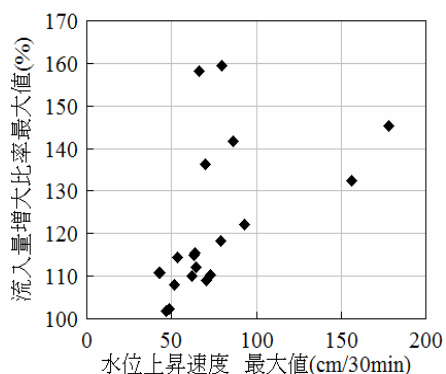


図-7 流入量増大比率最大値～水位上昇速度最大値

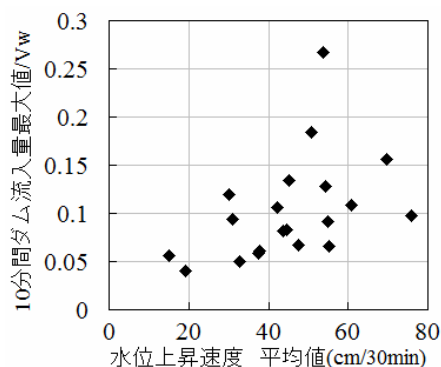


図-6 10 分間ダム流入量最大値 /  $V_w$ ～水位上昇速度平均値

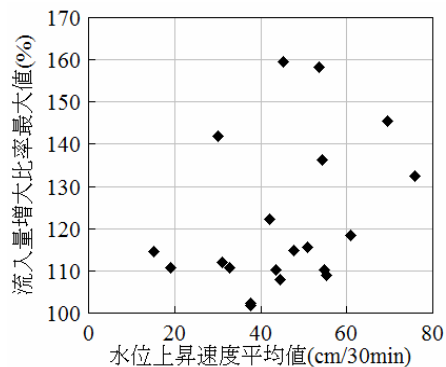


図-8 流入量増大比率最大値～水位上昇速度平均値

量増大比率最大値の比較をそれぞれ示す。これらのことから急激な流入量の増大に対して、水位放流方式が十分な対応ができず、下流河道水位上昇速度の規定を守れないことがわかる。

5. 水位放流方式の評価と改良

5.1 水位放流方式の評価

前節では、水位放流方式のメリット、デメリットについて述べた。現場における活用を考えた場合、少なくともすり付け操作を開始する時刻の判断に限界流入量を活用することは、その後の放流を従来どおりの手法に基づいて行う限り、全く問題は発生しない。G ダムやJ ダムのように、限界流入量発生から約3時間遅れて実際の操作に入っているダムなどを中心に、その活用価値は大きく、ダム管理に携わる技術者を支援する意義は大きいものと思われる。

すり付け操作開始以降の放流量を水位放流方式により実施する場合は、過貯留の発生が削減される一方で下流河道水位上昇速度が増大する可能性があるというトレードオフ関係にある2種類のリスクを管理することとなる。リスクアセスメント<sup>8)</sup>の考え方は、図-9に示すとおりであり、発生確率が小さくともその被害が大きなリスクはリスク低減させるべきとされ、発生確率が大きいとその被害が小さなリスクはリスク保有(リスクにより被害が発生することを許容範囲内として受容すること)が適切と考えられている。過貯留は、計画を超える大洪水が発生した場合、下流での氾濫を

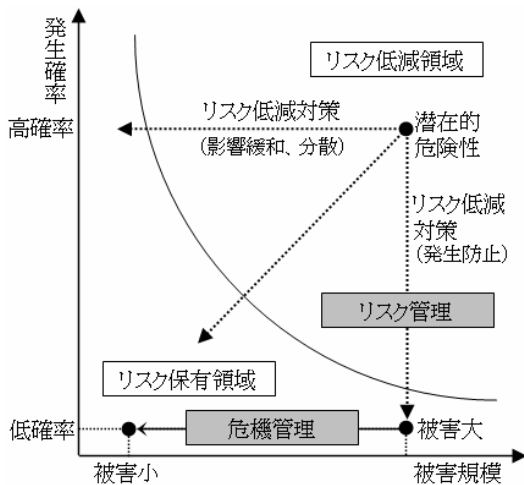


図-9 リスクアセスメントの考え方

増大させ、莫大な被害を発生させる可能性があることから、リスク低減が適切であり、一方の下流河道上昇速度の増大は、サイレン等による警報、パトロールを適切に実施することにより、河川利用者に対する大きな被害を回避することは可能と考えられ、リスク保有もひとつの選択肢と思われる。

しかしながら、ダム放流は、天然現象である洪水を人工的に制御することから、水位放流方式による副作用とも言える水位上昇速度の増大は、極力小さくすることが望ましい。そこで、水位上昇速度増大の改善を目指して次のように水位放流方式の改良を試みた。

5.2 水位放流方式の改良

5.2.1 限界流入量等の縮小

すり付け操作を早期に開始することにより、貯留量に余裕ができ、水位上昇速度の抑制に繋がると考えら

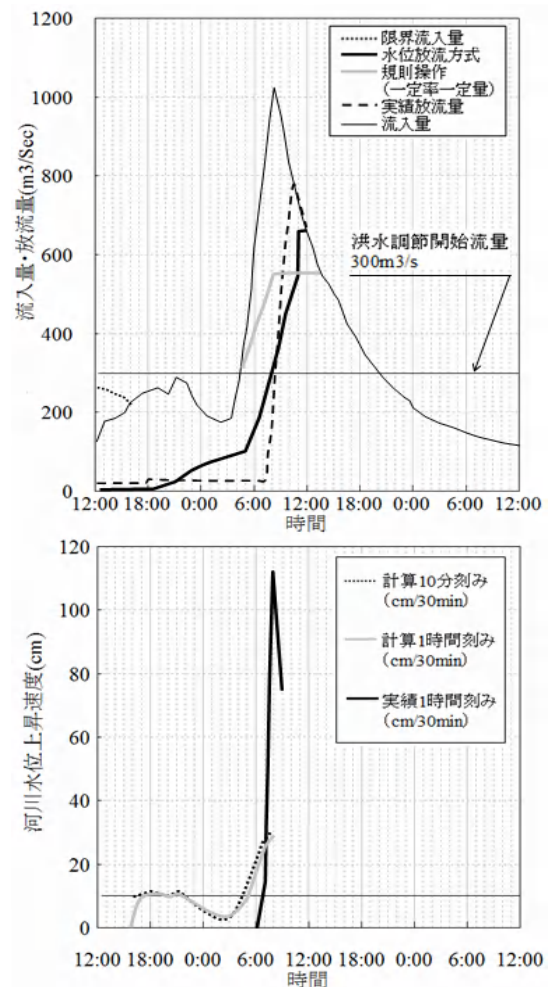


図-10 すり付け操作改良の結果 (Jダム S57.7.12 洪水)

表-3 水位上昇速度規定値，限界流入量の縮小の効果

ダム名	洪水	放流開始時間						水位上昇速度 (cm/30min)						備考
		実績 操作	水位放 流方式	Hc/2	Hc/3	Qic/2	Qic/3	実績 操作	水位放 流方式	Hc/2	Hc/3	Qic/2	Qic/3	
A ダム	H18.9	8:00	18:40	17:20	14:40	17:10	14:20	42.32	61.33	51.39	46.22	50.17	47.82	Hc=50cm
B ダム	H17.9	7:00	16:10	15:20	14:40	15:20	14:30	37.53	69.33	56.94	52.52	56.94	51.72	Hc=30cm
D ダム	H18.7	0:00	23:40	23:20	23:10	(19:00)	(19:00)	34.50	45.96	42.11	41.37	39.07	39.07	Hc=30cm
I ダム	S50.8	12:00	12:40	11:50	11:20	11:50	11:10	41.20	57.10	47.07	43.79	47.07	43.07	Hc=50cm
J ダム	H5.9	14:00	16:50	15:50	15:20	15:30	14:50	78.72	153.45	129.97	123.66	125.46	119.69	Hc=30cm
	S57.7	6:00	3:30	20:10	16:10	20:10	16:10	110.13	69.84	37.76	30.01	37.76	30.01	Hc=30cm
K ダム	H5.9	11:00	14:20	11:50	11:20	11:20	10:30	47.93	72.70	68.53	67.58	67.58	66.60	Hc=30cm

: Hc超過  
 水位放流方式 : Hc、Qicとも規定値を採用  
 ( ) : この時刻より前の時刻であることを示す

れることから，次の2とおりの改良案を考えた。

- (1) 水位上昇速度の規定値 Hc を規定よりも小さく設定する案
- (2) 限界流入量 Qic を算出された値よりも小さく設定する案

以上の2案について，改良の効果を検証する対象として，前節に示したシミュレーションのうち，水位上昇速度の規定値を守れなく，速度が比較的大きな6ダム7洪水を選定した。また，規定値よりも小さな値として，1/2，1/3に相当する値をそれぞれ検討した。結果は，表-3に示すとおりである。図-10にJダムにおけるハイドログラフを示す。規定値を縮小しても水位上昇速度低下の感度は悪いが，10~50%程度の低減が確認できた。

### 5.2.2 放流関数の改良

今村の提案した水位放流方式においては，(5)式に示した放流関数により放流量が決定されている。ここでは，限界流入量に達した時点の空き容量に対する各時点の空き容量比の2乗により放流量を規定している。実績の流入波形によっては，この放流関数の適合性が悪く，下流河川水位上昇速度を規定値よりも大きくする現象に係わっている可能性がある。このため，改良案としてこのべき乗を1から3まで0.5刻みで放流関数を設定し，Iダムの4洪水について，下流河川水位上昇速度と治水容量内過貯留量がどのような挙動を示すか

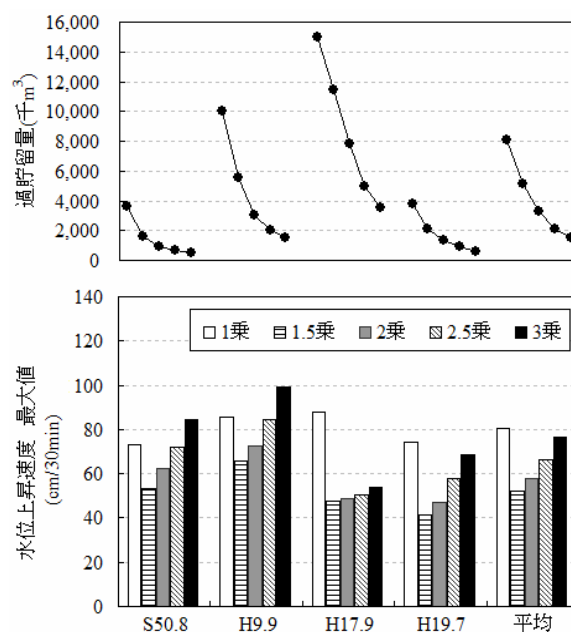


図-11 放流関数と過貯留量，水位上昇速度（最大値）

感度分析を行った。

結果は，図-11，図-12に示すとおりである。Iダムにあっては，べき乗を1.5から3に増加させるに従って，下流の河川水位上昇速度（最大値）は大きくなるが，河川水位上昇速度（平均値）については大きな差はない。すなわち，放流関数のべき乗を1.5乗に設定した場合が最も下流河川水位上昇速度（最大値）を抑えることができた。4洪水ともにべき乗を1から3に増加するに従って，治水容量内への過貯留は減少していき，特



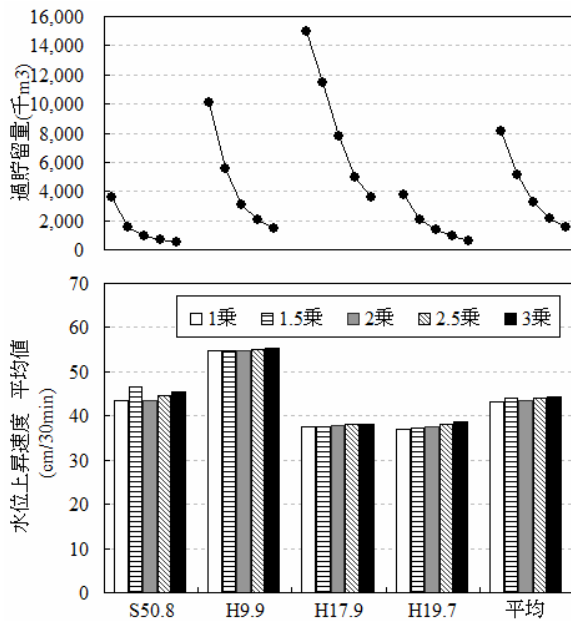


図-12 放流関数と過貯留量，水位上昇速度（平均値）

に2.5までは過貯留量が低下する感度が良い。よって、Iダムにあっては、放流関数のべき乗として2.5を採用する方が河川管理上、より適切と思われる。但し、放流関数の形は、ダムの流入特性によって変わるものと考えられ、管理への導入にあたっては、ダム毎に多くの洪水データを試算して決定するとともに、水位放流方式を採用することについて操作規則に反映する必要がある。

この他、前節で述べたように、ダムによってはコンジットゲートがない、あるいはあっても低い貯水位での放流能力が不足するなど、水位放流方式を採用したとしても、円滑なすり付け操作がハード的に対応できない場合も想定され、今後の気候変動による洪水波形の増大に対する既存施設の機能強化の観点からも、十分な検討に基づく早期の改造が望まれるところである。

## 6. 結論

本論文では、迎洪水位が制限水位よりも低い状態で大きな洪水を迎えた場合の適切なすり付け操作の実施について、実際に発生した洪水によりその有効性を検証するとともに問題点を明らかにし、併せてその改良策の検討を行った。得られた結論は以下のとおりである。

①水位放流方式の限界流入量により、すり付け操作開

始時期を判断することは、その後の放流量が適切に設定される限り有効であり、ダム管理者の判断を支援する「アラーム」としての活用が期待される。但し、国土交通省管理の多くのダムにおいて実施されているより早期のすり付け操作を妨げるものではない。

②今村が提案した(5)式の放流関数を活用した放流を実施することにより、実績操作においてしばしば起こっている治水容量内の過貯留について大幅に低減することが可能であり、超過洪水が発生した場合などに、必要以上の最大放流量を発生させない点で有効である。

③下流河道における水位上昇速度については、既定値を守れない場合や実績の操作よりも悪化させる場合が見られるが、丁寧な警報やパトロールの実施によりリスクは小さくできるものと考えられる。

④水位上昇速度の制限値や限界流入量を既定値よりも小さく設定することにより、下流水位上昇速度をより小さく抑えることが可能である。

⑤放流関数の設定にあたっては、必ずしもべき乗2とする必然性はなく、ダム毎に多くの洪水データにより適合性を確認することが望ましい。

⑥本研究では、大規模な洪水が流入した場合の適用性について検討を行ったが、中小洪水が流入した場合には、利水容量が回復できない状況が発生することが危惧される。今後は、現場における本方式の導入に向けて、さまざまな規模の洪水について検証を行う必要がある。

本研究を行う上で国土交通省各地方整備局、水資源機構、各県からデータを提供していただいた。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) (財)ダム技術センター：多目的ダムの建設第7巻管理編，pp.76-84，2005
- 2) (財)ダム水源地環境整備センター：ダム管理の実務，pp.58-60，2000
- 3) (財)ダム水源地環境整備センター：ダムの管理例規集，pp.151-154，2006
- 4) 今村瑞穂：ダム貯水池における洪水調節の工学的特性の分析と改善に関する研究，九州大学博士論文，1998
- 5) 今村瑞穂：洪水時のダム操作について，ダム工学会第16回学術講演会，2006

- 6) 今村瑞穂：ダム貯水池による洪水調節の合理化に関する2, 3の考察, ダム工学, 8 (2), 102-116, 1998
- 7) 大谷知樹, 一ノ瀬泰彦, 竜澤宏昌：水位放流方式に基づく低貯水位条件下でのダム放流操作シミュレーション, 第15回水資源機構関東ブロック技術研究発表会, 2003
- 8) (社) 日本技術士会：技術士制度における総合技術監理部門の技術体系 (第2版), pp.134-135, 2004
- (2009年10月22日 受理)

With regard to multi-purpose dam operations during floods, delayed operations and excess impoundment over the normal water level are occasionally reported since there are no applicable rules when the reservoir water level is very low below the normal water level in a summer flood season. In order to prevent such risks on a necessary flood control operation and improve its function, adjustment operations based on the water level threshold discharge method may be effective. This paper verifies the effectiveness of the method with past flood data and propose further improvement plan in order to minimize the risks such as rising speed of the downstream river water level.

**Key words:** dam operation, flood control, water level threshold discharge method, adjustment operation, delayed operation