

第4章 水位放流方式適用性の検証と改良

4.1 水位放流方式とVR方式の必要性

第3章で述べたWRFによる降雨予測を利用したダム洪水調節手法は、WRFによる降雨予測誤差のリスク管理が極めて重要であり、一定の数の洪水を対象とした解析を試みたが、現場における導入にあたっては、今後その上限誤差、下限誤差の設定について、多くのデータに基づいた詳細な検討を行う必要がある。さらには、洪水発生 of 初期段階における放流量の増加について、下流河道上昇速度制限（通常 30 分 30cm 又は 50cm を採用）を守れない課題や超過洪水が発生したにもかかわらず、WRF による降雨予測において予測できなかった場合における円滑な操作手法の開発など解決すべき課題が残されている。

これらの課題の解決手法として、今村の提案した水位放流方式¹⁾や裏戸の提案したVR方式²⁾が有力と考えられるが、両者ともに考案されてから、それぞれ 12、17 年が経過しているものの、未だ現場のダムにおける導入は、ほとんど行われていない。

さらには、現行の操作規則に則って操作を行う場合にあっては、迎洪水位が低い状況で洪水が襲来した場合のすり付け操作や超過洪水が発生した場合の但し書き操作に代わる円滑な操作手法の開発は、多くのダム管理技術者において切実な問題として待たれているところである。

これらの状況を踏まえ、第4章では、水位放流方式の適用について、第5章では、VR方式の適用について、それぞれ検証を行うとともに、課題を明らかにし、改良の検討を行った。

4.2 ダムによる洪水調節の現状と問題点

4.2.1 すり付け操作の現状

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³⁾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⁴⁾、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、適切な洪水操作と利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、一般的には利水安全度を確保すべく、ぎりぎりまで利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

一瞬の洪水が襲来した場合にあっては、すり付け操作が追いつかず、ダム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。

本章では、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。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。

4.2.2 洪水調節方式と操作規則

第2章で述べたように、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を発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、ダム本体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。

しかしながら、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。このため、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。

ここに、下流河川の水位上昇速度を考慮した放流については、早明浦ダムを例にとれば、次のように実施されている。

- 一 放流を開始してから1時間を経過するまでは、ゲート操作の時間間隔を10分とし、かつ、下流吉田橋地点における水位の上昇が30分に50センチメートルを超えないように行う。
- 二 前号の期間を経過した後は、ゲート操作の時間間隔を10分、15分、又は20分とし、かつ、下流吉田橋地点における水位の上昇が30分に1メートルを超えないように行う。

以上の放流の原則を基に、時間と放流量の関係は、図-4.2.1のとおり定められている。

このように、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-4.2.2に示すような過貯留が発生する場合がある。ここに、過貯留とは、ダム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、治水計画上必要な容量に計上されていながら、利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、貯留の方法が適切でなく、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⁵⁾。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利水容量内に貯留され、治水計画上は余裕の部分となる。

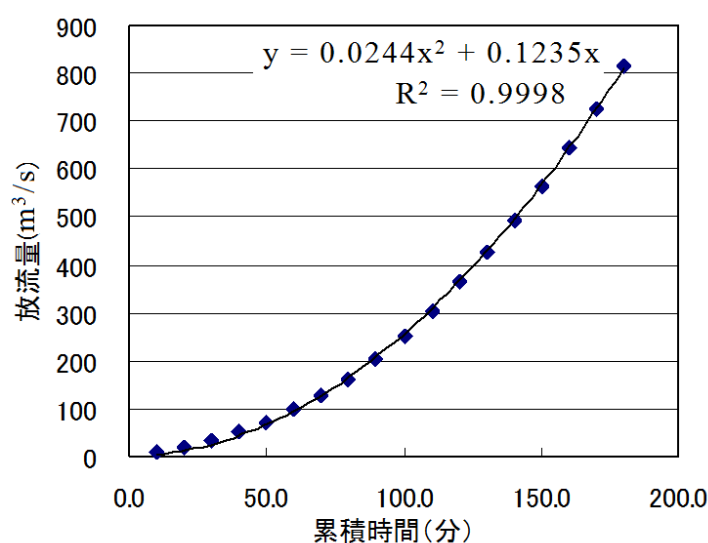


図-4.2.1 累積時間と放流量の関係

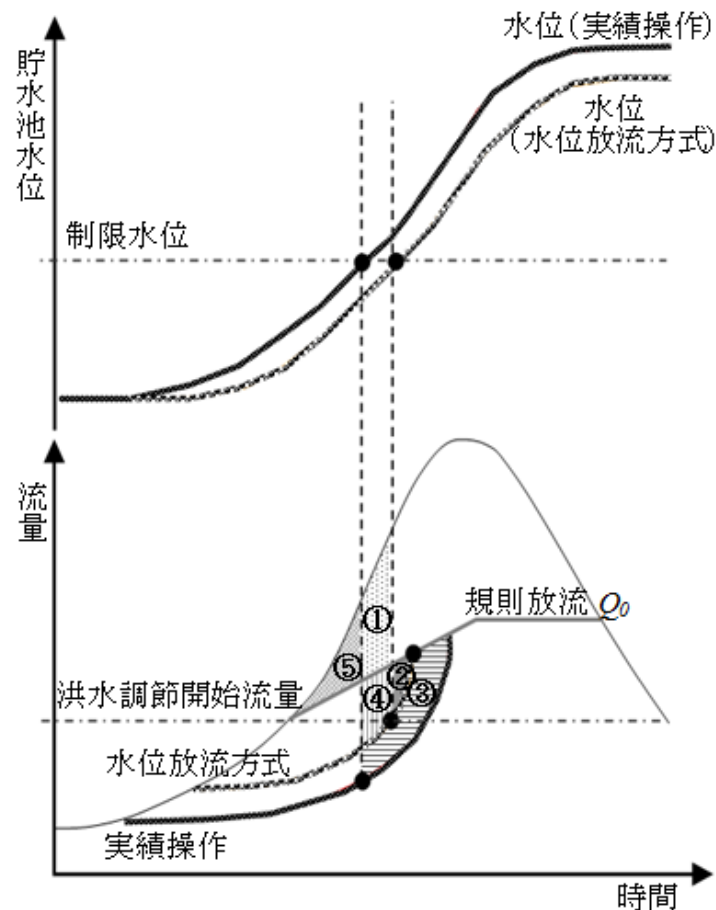


図-4.2.2 水位放流方式による擦り付け操作の模式図¹⁾¹⁾

4.3 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¹⁾。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^{6)、7)、8)、9)}とともに、治水容量内への過貯留を相当程度小さくできる（図-4.2.2の②の部分のみ）ものと期待される。

水位放流方式において一般的に使用されている具体的な手法は、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-4.3.1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。

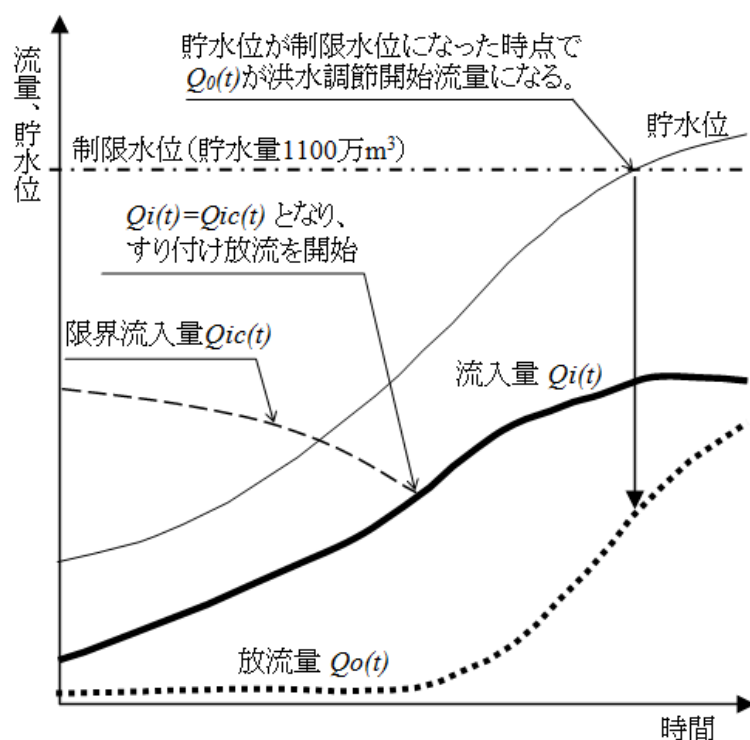


図-4.3.1 水位放流方式の模式図¹⁾

放流関数を(4.3.1)式に示す $V(t)$ の 2 次式、下流河道の水位と流量の関係を(4.3.2)式により規定する。治水容量内の貯留量 $V(t)$ は放流量と流入量の差で(4.3.3)式のように表される。

$$Q_o(t) = AV(t)^2 \quad (4.3.1)$$

$$Q_o(t) = K(H(t)-h_0)^2 \quad (4.3.2)$$

$$\frac{dV(t)}{dt} = Q_i(t) - Q_o(t) \quad (4.3.3)$$

$V(t)$: 貯留量(放流開始時点を0とする) (m³)

A : 定数

$H(t)$: 河川水位 (m)

h_0 : 水位観測所のゼロ点標高 (m)

K : 河道定数

$Q_i(t)$: 貯水池流入量 (m³/s)

$Q_o(t)$: 当該時刻におけるダム放流量 (m³/s)

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。

$$\frac{dH(t)}{dt} = \frac{AV(t)}{K(H(t)-h_0)} (Q_i(t)-Q_0(t)) \quad (4.3.4)$$

(4.3.1) 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 となるよう定数 A を決定し、次のように表される。

$$Q_0(t) = \frac{q_u}{V_w^2} V(t)^2 \quad (4.3.5)$$

q_u : 制限水位時の目標放流量(洪水調節開始流量)(m^3/s)

V_w : 制限水位までの空き容量 (m^3)

これを (4.3.4) 式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。

$$\frac{dH(t)}{dt} = \frac{\sqrt{q_u}}{\sqrt{K} V_w} (Q_i(t)-Q_0(t)) \quad (4.3.6)$$

$dH(t)/dt$ 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。

$$Q_{ic} = \frac{H_c \sqrt{K} V_w}{\sqrt{q_u}} \quad (4.3.7)$$

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 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、(4.3.2) 式の計算を繰り返す。
- (4) $Q_i(t) = Q_{ic}(t)$ となった段階で $V_w(t) = V_w$ を確定し、(4.3.5) 式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。

4.4 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、県管理の一部のダムにおいて活用するに留まっているのが実情であり、その理由の一つとして、過去に発生した実際の洪水、ダム貯水位を想定したシミュレーションが十分には実施されておらず、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¹⁰⁾ 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。

本研究では、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¹¹⁾。

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、19 洪水についてシミュレーションを実施した。

- ・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-4.4.1 に示す。シミュレーション結果は表-4.4.2 に示すとおりである¹¹⁾。図-4.4.1 に四十四田ダムにおけるすり付け操作のハイドログラフを示す。この洪水における実績操作では、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ピークを迎える結果となった。また、過貯留量は比較的大きな貯水量に達しており、仮に襲来した洪水がもう少し大きければ、但し書き操作に移行した可能性がある。但し、水位放流方式の活用により、これらの問題は解決されている。

表-4.4.1 水位放流方式シミュレーション選定ダム¹¹⁾

ダム名	事業者	目的	流域面積 (km ²)	治水容量 (千m ³)	利水容量 (千m ³)	相当雨量 (mm)
土師ダム	国交省	F.N.A.W.I.P	307.5	31,500	9,600	102
弥栄ダム	国交省	F.N.W.I.P	301.0	58,000	48,000	193
八田原ダム	国交省	F.N.W.I	246.1	34,000	26,000	138
苦田ダム	国交省	F.N.A.W.I.P	217.4	50,000	28,100	230
矢作ダム	国交省	F.N.A.W.I.P	504.5	15,000	46,000	30
野村ダム	国交省	F.A.W	168.0	3,500	9,200	21
四十四田ダム	国交省	F.P	1196.0	33,900	1,600	28
下笠ダム	国交省	F.N.P	185.0	51,300	1,000	277
早明浦ダム	水資源機構	F.N.A.W.I.P	417.0	90,000	199,000	216
市房ダム	県	F.N.P	157.8	18,300	16,800	116
祝子ダム	県	F.N.I.P	45.2	4,100	764	91
渡川ダム	県	F.N.P	81.0	10,300	19,600	127

表-4.4.4.2 すりつけ操作シミュレーション結果¹¹⁾

ダム名	洪水発生 年月	実績操作			水位放流方式			すりつけ操作の効果		水位上昇速度(cm/30min)					下流河川の水位 変動 ※4	
		過貯留量 (千m ³)	治水容量 内貯留率 (①:治水 容量 %)	遅れ 時間 ※1	過貯留量 (千m ³)	治水容量 内貯留率 (④:治水 容量 %)	遅れ 時間 ※1	過貯留 減少量 (千m ³)	放流開始 時刻の差 ※3	規定値	実績操作		水位放流方式		放流の 原則	実績
											平均値	超過 平均	平均値	超過 平均		
土師ダム	H18.9.16	3,118	9.9	-1:40	6	0.0	0:00	○ 3,112	-10:30	50	7.9	42.3	35.3	61.3	×	×
弥栄ダム	H17.9.5	372	0.6	-0:50	16	0.0	0:00	○ 357	-9:00	30	9.9	37.5	45.5	69.3	×	×
八田原ダム	H10.10.17	142	0.4	-0:20	2	0.0	0:00	○ 140	0:40	30	10.1	38.7	35.1	40.9	×	×
	H11.6.29	1,748	5.1	-1:20	4	0.0	0:00	○ 1,743	-1:20	30	28.0	64.9	37.6	61.6	×	○
吉田ダム	H18.7.17	1,140	2.3	-2:50	4	0.0	0:00	○ 1,136	-0:30	30	10.1	34.5	29.7	46.0	×	×
矢作ダム	H12.9.12	803	5.4	-0:10	436	2.9	0:00	○ 367	-1:50	50	28.9	71.2	46.7	50.8	×	○
野村ダム	H16.8.30	18	0.5	-0:50	0	0.0	0:00	○ 18	-4:20	50	16.3	24.0	22.8	38.3	○	×
四十四田ダム	H16.9.30	6,955	20.5	-5:10	4	0.0	0:00	○ 6,951	3:00	30	23.3	42.9	30.3	37.9	×	○
下釜ダム	H18.7.4	273	0.5	-0:50	0	0.0	0:00	○ 273	-0:30	30	8.3	16.6	17.9	29.8	○	×
早明浦ダム	S50.8.17	5,099	5.7	-0:40	1,229	1.4	0:00	○ 3,870	-1:30	50	28.5	41.2	33.5	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	53.2	68.7	×	○
	H17.9.6	45,649	50.7	-11:00	9,950	11.1	0:00	○ 35,699	-0:40	50	14.4	62.1	38.5	44.3	○	○
	H19.7.14	19,846	22.1	-1:20	2,048	2.3	0:00	○ 17,798	-0:10	50	24.4	38.0	35.8	45.2	○	×
市原ダム	H5.9.3	768	4.2	0:00	108	0.6	0:00	○ 660	-2:40	30	33.0	78.7	64.0	153.5	×	×
	S55.6.20	1,783	21.0	-3:40	5	0.1	0:00	○ 1,778	3:30	30	27.7	54.4	17.3	25.7	○	○
	S57.7.10	2,036	24.0	-1:20	45	0.5	0:00	○ 1,991	1:40	30	66.4	110.1	45.0	67.6	×	○
祝子ダム	H5.9.3	1,156	28.2	-2:00	0	0.0	0:00	○ 1,156	-5:00	30	23.8	47.9	23.8	62.0	×	×
	H4.8.8	305	7.4	-2:10	0	0.0	0:00	○ 305	-1:00	30	27.1	33.7	36.1	58.6	×	×
渡川ダム	H16.10.20	4,099	39.8	-3:10	650	6.3	0:00	○ 3,449	1:10	30	26.1	45.9	41.7	48.2	×	×

※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 早明浦ダム(H17.9.6)では、逆洪水水位が非常に低かったために、すりつ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つ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。

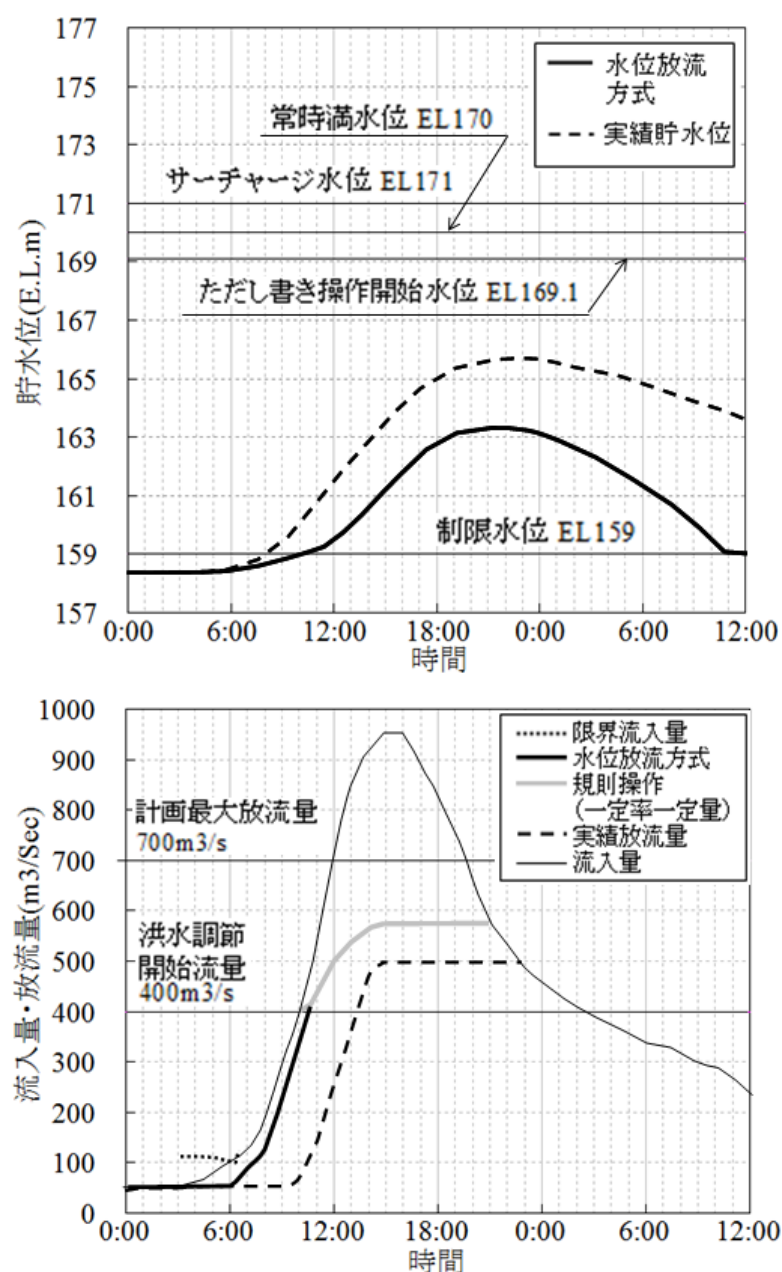


図-4.4.1 四十四田ダム H16年9月洪水 シミュレーション結果¹⁾¹⁾

図-4.4.2は、市房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、但し書き水位を上回り、計画最大放流量を約 $200\text{m}^3/\text{s}$ 上回る放流を行っている。水位放流方式の採用により、但し書き操作は回避できないものの、最大放流量を約 $120\text{m}^3/\text{s}$ 低減することができる。

シミュレーションを実施した12ダム全般については、次のとおりである。すなわち、4.2.2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-4.4.2に示す実績の操作においては、表-4.4.2に示すように国土交通省管理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、表-4.4.2に示すように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、早明浦ダムの場合は、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。

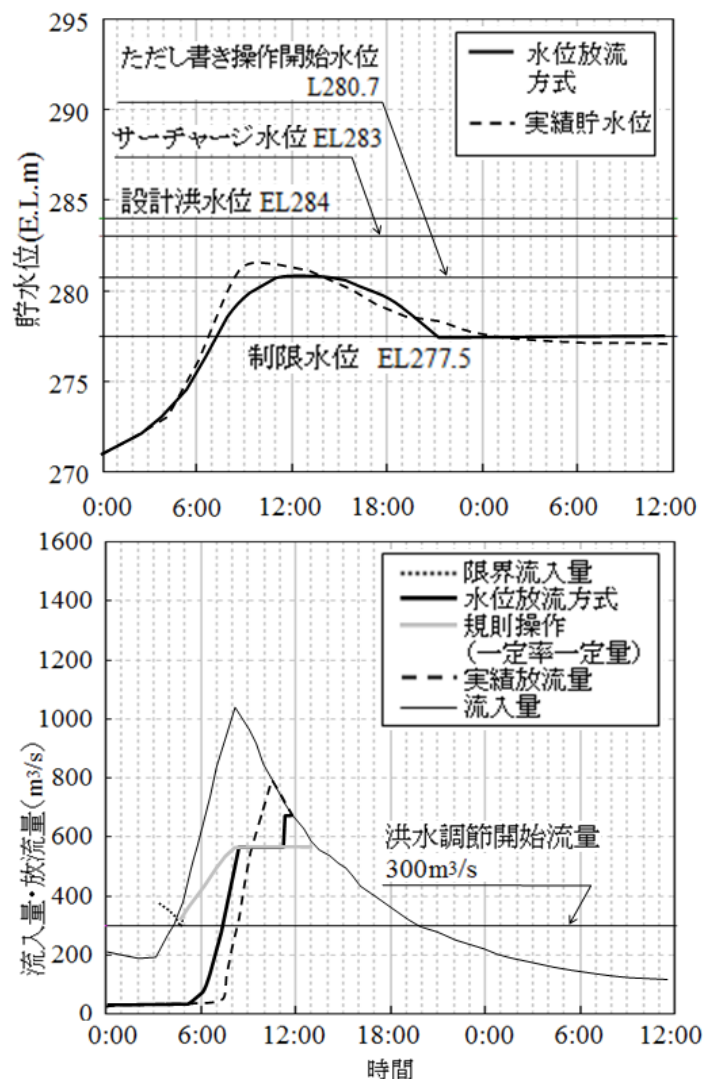


図-4.4.2 市房ダム S57年7月洪水 シミュレーション結果¹⁾

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。水位放流方式の採用により、この遅れ時間についても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が経験的に知られていることによると推察される。水資源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。四十四田ダム、市房ダム 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、これら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、河道の条件や利用状況などにより原則として 30cm/30min または 50cm/30min 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 14 ケースにおいて原則を遵守できず、また土師ダム、弥栄ダムなど 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、(4.3.5) 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おいては、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-4.4.3 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-4.4.4 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 $V_w(t)$ 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、 Δt の間の流入量が大きいため、 $V_w(t)$ 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-4.4.5 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-4.4.6 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。

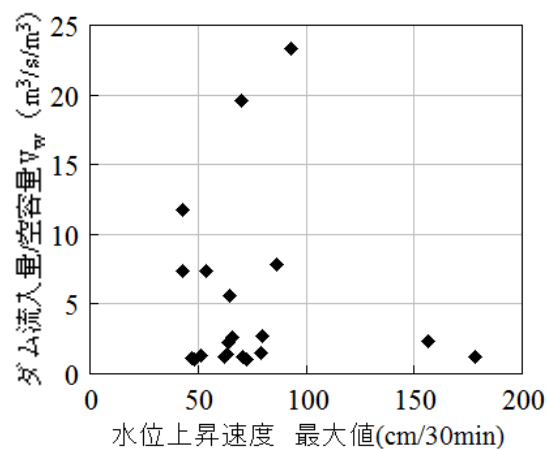


図-4.4.3 10 分間ダム流入量最大値／ $V_w(t) \sim$ 水位上昇速度最大値¹⁾

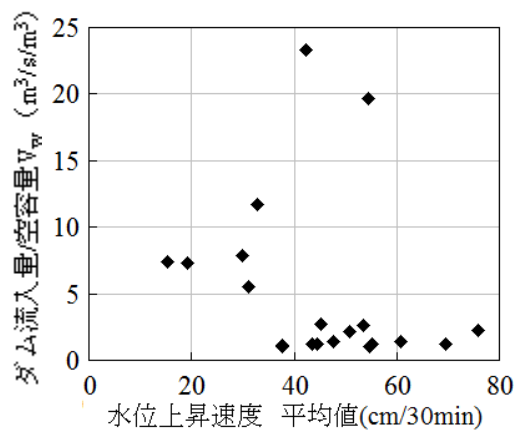


図-4.4.4 10 分間ダム流入量最大値／ $V_w \sim$ 水位上昇速度平均値¹⁾

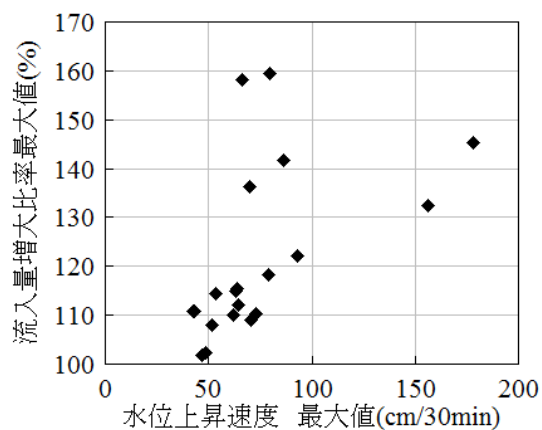


図-4.4.5 流入量増大比率最大値 $\sim$ 水位上昇速度最大値¹⁾

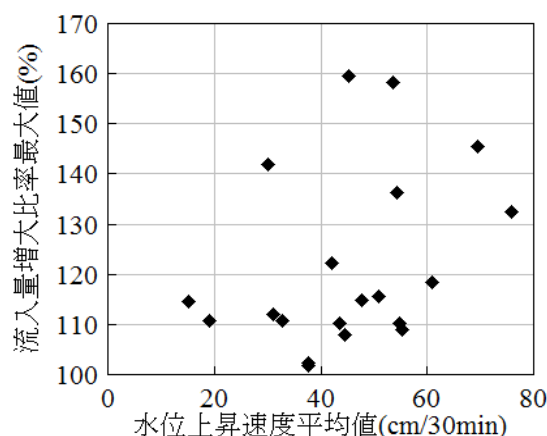


図-4.4.6 流入量増大比率最大値～水位上昇速度平均値¹¹⁾

4.5 水位放流方式の評価と改良

4.5.1 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。四十四田ダムや市房ダムのように、限界流入量発生から約3時間遅れて実際の操作に入った経験のあ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¹²⁾の考え方は、図-4.5.1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、一方の下流河道水位上昇速度の増大は、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、本研究では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¹¹⁾。

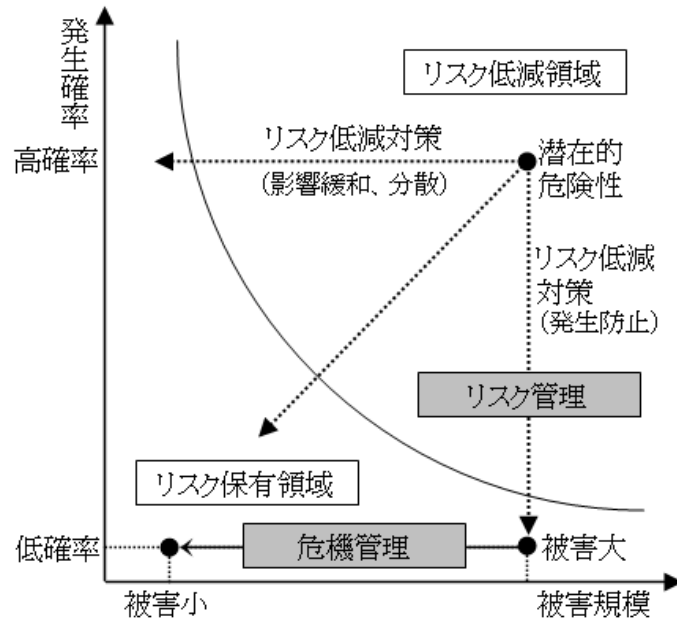


図-4.5.1 リスクアセスメントの考え方^{1 2)}

4.5.2 水位放流方式の改良

(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 H_c を規定よりも小さく設定する案
- 2) 限界流入量 Q_{ic} 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-4.5.1に示すとおりである。図-4.5.2に市房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。

(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、(4.3.5)式に示した放流関数により放流量が決定されている。すなわち、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、本研究では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、早明浦ダムの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感度分析を行った^{1 1)}。

表-4.5.1 水位上昇速度規定値、限界流入量の縮小の効果¹⁾

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	
土師 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
弥栄 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
苦田 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
早明浦 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
市房 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
祝子 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

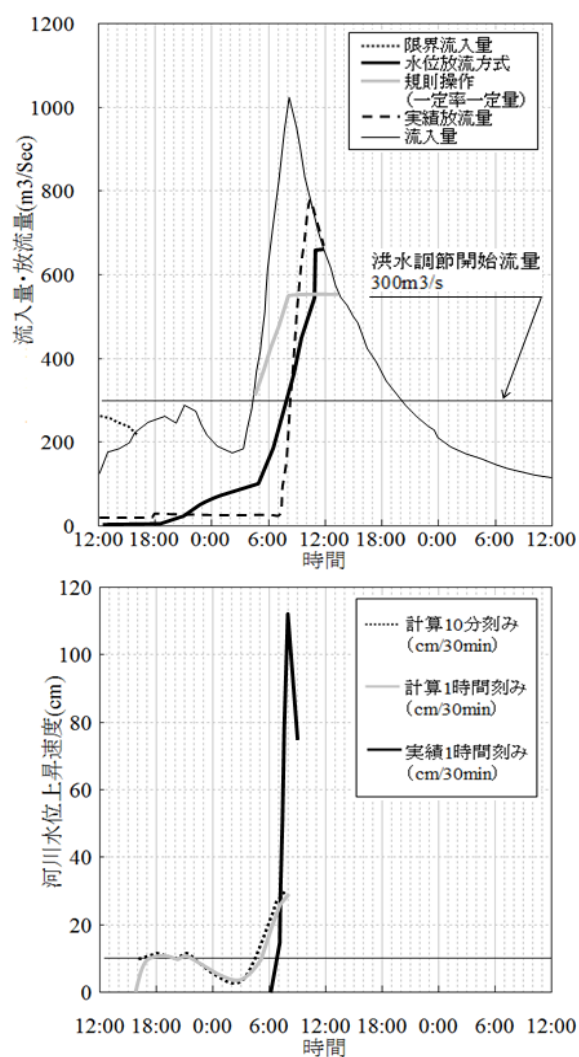


図-4.5.2 すり付け操作改良の結果(市房ダム S57 年 7 月 12 日洪水)¹⁾

結果は、図-4.5.3、図-4.5.4に示すとおりである。早明浦ダムにあっては、べき数を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。

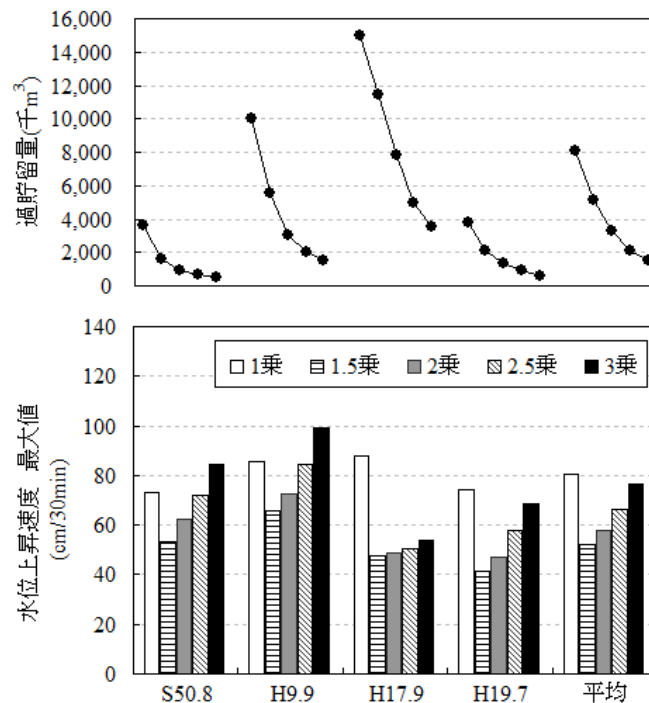


図-4.5.3 放流関数と過貯留量、水位上昇速度（最大値）¹¹⁾

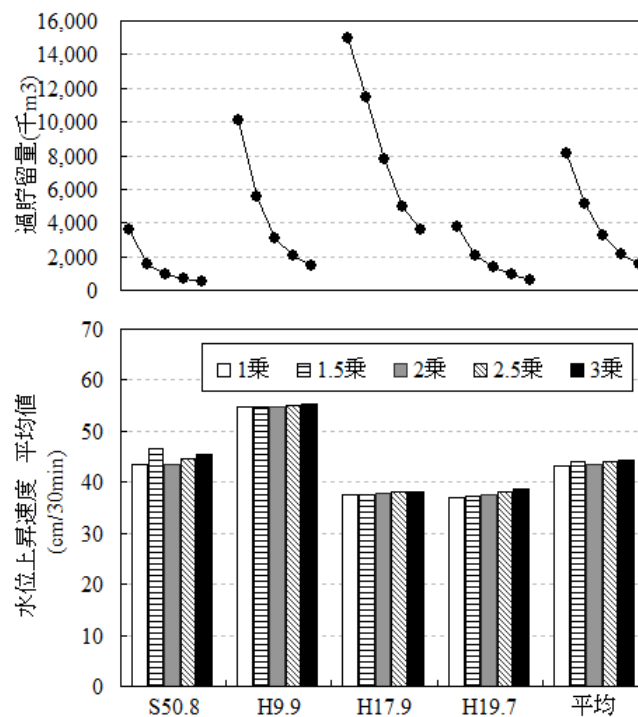


図-4.5.4 放流関数と過貯留量、水位上昇速度（平均値）¹¹⁾

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、特に 2.5 までは過貯留量が低下する感度が良い。よって、早明浦ダムにあっては、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。

(3) 操作規則と水位放流方式を組み合わせた操作手法

4.5.1 で述べたように、水位放流方式は、過貯留量の減少という大きなメリットがあるものの、下流河道上昇速度の増大というデメリットが発生し、本項(1)、(2)の改良により、デメリットを縮小させることができたものの、依然として小さな問題点としては残されたところである。

このため本研究では、この問題点の完全な解決を図るため、やや操作は煩雑になるものの、新たな操作手法を考案した¹¹⁾。3.4.2 に述べたように、河道において、河川利用者が歩行可能な水深は、70cm までと考えられる。よって、これを切り上げて 1m として、河川利用者が河川区域内に存在する可能性のある水深と見なした。下流河道水位が 1m に達するまでは、下流河道上昇速度制限(通常、30 分 30cm 又は 50cm)を遵守した放流量とし、1m 以上の水深にあっては、水位放流方式の放流関数に従った放流とする。すり付け操作開始時刻は、当然ながら流入量が限界流入量に達した時刻となる。

渡川ダムにおいて実施したシミュレーションの結果は、図-4.5.5 に示すとおりであり、下流河道の水深が 1m 以下の状況にあっては、本方式の採用により、水位上昇速度が最大で 23.6cm/30 分と守ることができ、過貯留量も 514 千 m^3 と一般の水位放流方式によった場合の 650 千 m^3 よりも縮小できた。水深が 1m 以上に上がってからの河道水位上昇速度については、最大で 103cm/30 分と通常の水位放流方式や実績操作と比べて大きくなるが、河川内に河川利用者が存在する可能性は無いことから、問題ないものと判断できる。本方式の導入により、すり付け操作について、過貯留量の減少と水位上昇速度の遵守という 2 つの課題について、同時に守りながら、円滑に操作を実施することが可能となる。

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。

また、本研究においては、大規模な洪水についてシミュレーションを実施したが、中小洪水に終わった場合は、水位放流方式の適用による早期のすり付けにより、利水容量すらも充足できない恐れも完全には否定できないため、これらの分析も必要である。

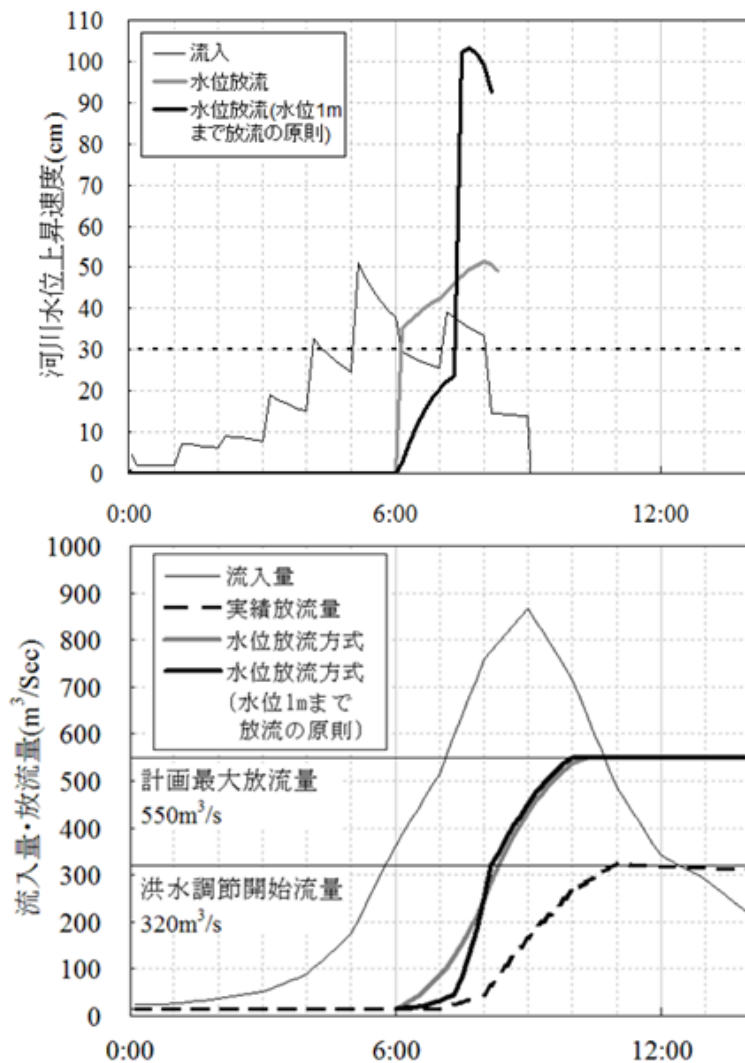


図-4.5.5 渡川ダム H16 年 10 月洪水

4.6 まとめ

本章では、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（4.3.5）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。また、操作はやや煩雑になるが、下流河道水深 1m までは、河道水位上昇速度を守る放流とし、水深 1m 以上にあつては、水位放流方式の放流関数に基づいた放流とすることにより、過貯留量の減少と河道水位上昇速度の遵守という二つの課題を達成することが可能となる。
- (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) 低標高部における放流施設能力が不足しているダムにあつては、本方式を適用しても、物理的にすり付け操作が不可能であり、遅れ操作となつて過貯留量が発生することが不可避である。このようなダムにあつては、コンジットゲートの新設等の改造を行うことにより、遅れ操作を回避することが望まれる。
- (7) 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おいては、すり付け操作を行うことにより、利水容量が回復できない状況が発生することも想定される。今後は、現場における本方式の導入に向けて、中小洪水を含むさまざまな規模の洪水について検証を行う必要がある。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 裏戸 勉、洪水時のダム操作について、ダム技術 No.86、pp.4-12、1993.
- 3) (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.
- 4) (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.
- 5) (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.
- 6) 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.
- 7) 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、Vol.8 No.2、pp.102-116、1998.
- 8) 今村瑞穂、ダム操作について考えること、ダム技術 No.193、PP.3-9、2002.10
- 9) 今村瑞穂、日野 徹、芳地廉征、日本における多目的ダムの新たな操作方法の提案、大ダム No.190、PP.121~126、2005.1
- 10) 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.

- 11) 三石真也、角哲也、尾関敏久、松木浩志、水位放流方式によるダム操作の適用性に関する検討、ダム工学 Vol.20 No.1、pp.6-15、2010.3
- 12) (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.