

論文

VR 方式によるダム洪水調節の適用性に関する検討

三石 真也¹ 角 哲也² 尾関 敏久³ 松木 浩志⁴

A Study on Effectiveness of V-R Method of Dam Operation in Flood Control

Shinya MITSUISHI Tetsuya SUMI Toshihisa OZEKI Hiroshi MATSUKI

治水容量を持つダムにおいて計画を超える超過洪水が発生した際には、放流量を大幅に引き上げ、流入量にすり付けるただし書き操作が実施されるが、ダムの洪水防御効果が低下する点や必ずしもダムの空き容量が十分には使用できていない点が課題として残っている。このような超過洪水に対しては、空き容量を考慮しながら放流を行う VR 方式の実施が有効と考えられる。本論文は、過去の洪水データを活用して VR 方式の適用を試み、その有効性を検証するとともに、問題点を明らかにし、合理的な適用手法を提案するものである。

キーワード: VR 方式, ただし書き操作, 基準流入波形, 洪水調節

1. はじめに

ダムによる洪水調節は、下流河川の被害を防止または軽減することを目的としたものであるから、流量を適切に制御しなければならない。そのためには、安定して確実に効果を発揮させることが、第一の目標であり、適切な操作ルールの設定と確実な操作が要求される。

現在の洪水調節に係わる操作は、操作規則において「所長は、次の各号に定める方法により洪水調節を行わなければならない。ただし、気象、水象その他の状況により特に必要があると認める場合においては、この限りでない。」と規定している。これは、「固定ルール調節方式」と呼ばれるもので、あらかじめ十分な技術的検討を行って洪水調節方法を定めるものである¹⁾。これらの操作方式は、治水計画で定めた超過確率以下の洪水にあつては、一定の効果を確実に発揮し、さらに操作の過程において操作員に適応判断を要しない利点がある。

しかしながら、治水計画を超える超過洪水発生時にあつては、ただし書き操作が行われることとなる。具体的には、貯水位がただし書き操作開始水位に達し、

さらにサーチャージ水位を超えることが予測される場合は、貯水位に対応したゲート開度として放流量を引き上げ流入量にすり付けることとし、流入量が計画最大放流量に等しくなるまでの間は、貯水位を流入量が放流量と等しくなった時の貯水位に保つことにより、流入量に等しい放流を行うことと定められている²⁾。この結果、ダムの洪水調節機能は低下し、過去の洪水においても、甚大な被害の発生が見られたところである。ただし書き操作の開始にあたっては、下流河川において洪水氾濫のおそれがあるため、地元関係機関等が時間的余裕をもって住民の避難等の適切な措置が行えるよう、操作規則において、ただし書き操作への移行を予告するための通知を行うものとする定められていることから、その状況が理解できる。

平成 16 年新潟・福島豪雨において刈谷田川ダムおよび笠堀ダムが、平成 18 年川内川豪雨において鶴田ダムがそれぞれ相当の治水機能を発揮し、下流の洪水被害軽減に寄与^{3, 4)}しながらも、結果的には下流河川において氾濫し、大きな浸水被害が発生したことに代表されるように、超過洪水発生時におけるダム操作手法については、なお改善の余地がある。すなわち、ダム最

¹ 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

² 京都大学防災研究所 水資源環境研究センター教授 工博

³ 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

⁴ 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

大放流量について現況の操作規則において一般的に採用されているただし書き操作手法によるよりもさらに低減させ、下流被害をより小さくすることを実現すべく、次に示す観点からの技術的改良が図られることが期待される。

- i) ただし書き操作をできる限り早い時点から開始し、治水容量を有効に使うことで最大放流量を極力下げる
- ii) ただし書き操作の放流曲線の増加割合を抑えて、最大放流量を下げる

本論文は、超過洪水への対応のために考案された VR 方式について、実際に発生した洪水を用いて適用性を検証し、併せてその合理的な適用策について検討を行ったものである。

2. VR 方式の概要

VR 方式 (Water storage Volume with the Ratio of discharge to the flow method) は、裏戸が超過洪水時における有効なダム操作手法として提案している方式^{5, 6)}であり、その時点の空き容量から判断して、以後の洪水をその空き容量内で貯留できない場合に、放流量を逐次増加していく操作方式である。すなわち、ダムの現時点の空き容量 $V_0(t)$ と現時点の放流を継続した場合に今後必要となる調節容量 $V_m(t)$ を等しくなるように放流量 $Q_0(t)$ を変化させ、限られた貯水容量を最大限活用して洪水調節効果を高めようとする洪水調節手法である。本方式を活用することにより、洪水調節において流入量=放流量となった時点で空き容量=0 とすることができる。

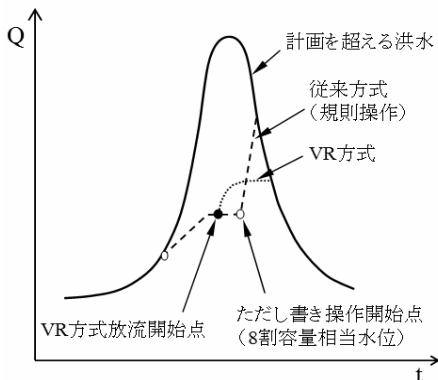
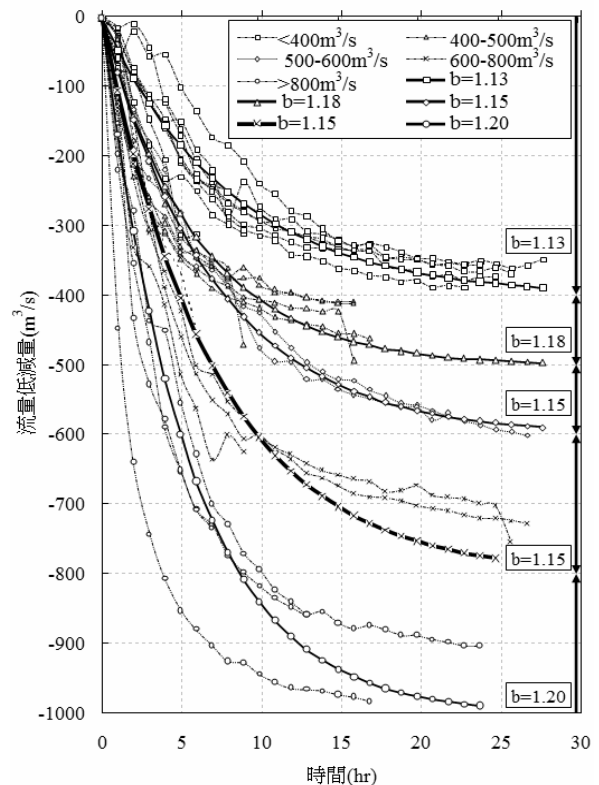


図-1 VR 方式による放流の概要図

空き容量および通常の操作から VR 方式への移行時期は任意に設定が可能であるが、これまでの検討では、一般的に空き容量は設計洪水位までの容量、移行時期は流入量がピークとなった時点が良く採用されている。VR 方式による放流にあつては、空き容量が大きく、規模が小さい洪水の場合は、放流量を低下させ貯留量を多くする操作に移行する。逆に空き容量が小さく、規模が大きい洪水の場合、放流量を増加させる操作に移行することとなる。VR 方式による放流概要図を図-1 に示す。以下に VR 方式の実行手順を示す。

① 基準流入波形の推定

基準流入波形 (流入量の低減傾向) を計画波形や既往洪水から推定する。基準流入波形は、ほぼ等比級数的に低減するものとして時間の指数関数で表されると仮定し、以下の関数で表現する。定数 b は当該ダムにおける既往洪水波形をピーク流量に着目しつつ、いくつかのパターンに分類し、低減部について代表的な低減波形を表す数値によって定める (図-2 参照)。



※ 右端の矢印は各基準波形の適用範囲を示す。

図-2 基準流入波形の算定 (G ダム)

$$Q(t) = a \cdot b^{-t} \quad (1)$$

ここに、 $Q(t)$: 時刻 t におけるダム流入量

a : 洪水のピーク流量で定まる定数

b : 洪水の低減状況で定まる定数

基準流入波形は洪水の低減部を表す関数であるため、定数 a, b は $a > 0, b > 1$ となり、下に凸の曲線となる。

② 現放流量を継続した場合の空き容量と放流率の関係の算定

推定した基準流入波形を活用しつつ、さまざまな空き容量と放流量の組み合わせから、対応する放流率をそれぞれ求める。図-3 において、現放流量 $Q_o(t)$ を固定し、ダムの空き容量 $V_e(t)$ を一定の値に設定すると、洪水調節によりダムに貯留される量が空き容量 $V_e(t)$ に等しくなるハイドログラフは、 $t_f \sim t_s$ の期間であり、時刻 t_f における流入量は $Q'_i(t_f)$ である。すなわち、ダムの空き容量と放流量に見合う放流率 $R'(t)$ は、次式の値で求められる。

$$R'(t) = (Q_o(t) - Q_s) / (Q'_i(t_f) - Q_s) \quad (2)$$

ここに Q_s : 洪水調節開始流量

表-1 に示すようにダムの空き容量と放流量のさまざまな組み合わせに対して、洪水調節が終了した際にダム容量を使い切るような放流率が求められる。次に $R'(t)$ を用いて実際の放流量を修正する。ゲート操作に必要な時間（通常 10 分）を考慮して、時刻 $t + \Delta t$ における放流量 $Q_o(t + \Delta t)$ は、次式で表される。

$$Q_o(t + \Delta t) = (Q_i(t + \Delta t) - Q_s) R'(t) + Q_s \quad (3)$$

③ 放流率、放流量の算定

VR 方式の適用にあたっては、時刻 t における現放流率 $R(t)$ について、現放流量と空き容量の関係から表-1 により求められる放流率 $R'(t)$ と比較を行う。

$R(t) > R'(t)$ 放流率が大きすぎるためダム容量を使い切れない

$R(t) < R'(t)$ 放流率が小さすぎるためダム容量が不足する

いずれの場合も、洪水調節終了時にダム容量を使い切るべく、放流率を $R'(t)$ に修正する。

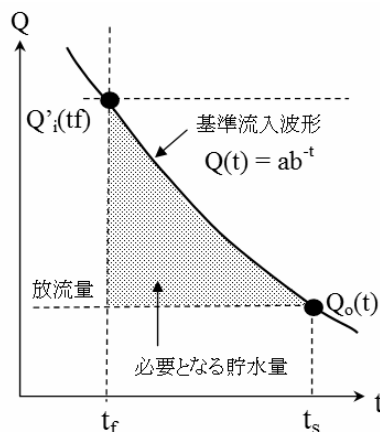


図-3 基準流入波形と空き容量

表-1 貯水量、放流量に対応した放流率 $R'(t)$

空き容量 (千 m^3)	放流量(m^3/s)					
	2,000	2,100	2,200	2,300	2,400	...
50,000	0.2473	0.2594	0.2708	0.2815	0.2917	...
49,000	0.2499	0.2620	0.2734	0.2842	0.2945	...
48,000	0.2524	0.2646	0.2761	0.2870	0.2973	...
47,000	0.2551	0.2673	0.2789	0.2898	0.3002	...
46,000	0.2578	0.2701	0.2817	0.2927	0.3031	...
45,000	0.2606	0.2730	0.2847	0.2957	0.3062	...
44,000	0.2635	0.2759	0.2877	0.2988	0.3093	...
43,000	0.2664	0.2789	0.2908	0.3019	0.3124	...
42,000	0.2694	0.2821	0.2939	0.3051	0.3157	...
41,000	0.2726	0.2852	0.2972	0.3084	0.3191	...
40,000	0.2758	0.2885	0.3005	0.3119	0.3225	...
...

3. 管理中のダムにおける VR 方式適用シミュレーション

VR 方式は、十数年前に提案されながらも、未だ国土交通省所管のダムにおいては採用されていない。これは、裏戸の検討において、検証の対象とされた実績洪水が数少ないこと、その後にも、竹下ら⁷⁾によってその実用性が検討されるも、計画高水流量の波形をダム設計洪水流量で引き延ばした波形であり、実績の超過洪水について検討が少ないことも一因と考えられる。すなわち、ダム管理者にとって、過去に経験した厳しい超過洪水に関する VR 方式の効果が不明であり、その有効性を証明するには、これまでの検討が必ずしも十分ではないと推察される。

以上の状況を踏まえ、ここでは、ただし書き操作の

実績の多い国土交通省、県管理ダムにおいて、実際の洪水波形やダム貯水位を用いて VR 方式のシミュレーションを実施し、実績のただし書き操作による洪水調節と比較してその有効性を検証した。表-2 に検討対象としたダムの諸元を示す。

3.1 基準流入量波形の設定

まず、2 章(1)式に示した基準流入量波形の定数 a, b の設定をダム毎に行った。a は、放流率算定時放流量である。本検討では、b について、各ダム既往洪水のピーク流量以降の低減部の波形により、洪水規模（ピーク流量）毎に洪水群に適合するよう配慮しつつ設定した。表-3 に流量規模毎の a の設定例を示す。また、基準流入量波形の b の算定例は、前章図-2 に示したとおりであり、流域面積が 81 km² の G ダムの場合、一部の洪水を除いて概ね 30%以下の誤差に留まっている。

3.2 洪水操作シミュレーションの実施

シミュレーション開始時の貯水位は、検討ダムにおけるただし書き洪水時の実績貯水位とし、流入波形は、ただし書き洪水実績流入波形とした。なお、C ダムにあっては、ただし書き操作の実績がないため、流入波形について計画対象洪水を設計洪水流量にまで引き伸

ばして使用した。計算間隔は 10 分、活用する容量は設計洪水位までとし、VR 方式の適用開始は、流入量のピーク発生時点とした。ダム放流量の計算にあたっては、放流設備の設置標高および貯水位に応じた放流能力に留意しつつ行った。

放流量の計算に際して、空き容量の状況によっては計画最大放流量以下へ放流量を抑えることが解として出される場合も発生するが、最低でも計画最大放流量を放流することとした。これは、放流量を小さく絞りすぎると、往々にして、その後の流入量の増大により、計画最大放流量を大きく上回る放流が発生することによる。

図-4 に代表例として、E ダム H18.7 洪水におけるシミュレーション結果を示す。実績操作による最大放流量 3,490 m³/s に対して VR 方式の導入により、最大放流量を 329 m³/s 低減し、計画最大放流量 2,400 m³/s を超過した流量を約 30%抑えることが可能となった。設計

表-2 検討対象ダムの放流方式

ダム名	洪水調節方式	洪水調節開始流量(m ³ /s)	計画最大放流量(m ³ /s)
Aダム	自然調節方式	1,900	5,000
Bダム	一定率一定量方式	800	1,300
Cダム	一定率一定量方式	300	600
Dダム	その他(一定量後一定開度)	300	1,000
Eダム	一定率一定量方式	600	2,400
Fダム	自然調節方式	-	85
Gダム	一定率一定量方式	320	550
Hダム	一定量方式	220	220

表-3 流量規模毎の a の設定例

Gダム	
流量範囲(m ³ /s)	aの設定値
800以上	1,000
600以上 800未満	800
500以上 600未満	600
400以上 500未満	500
300以上 400未満	400
300未満	300

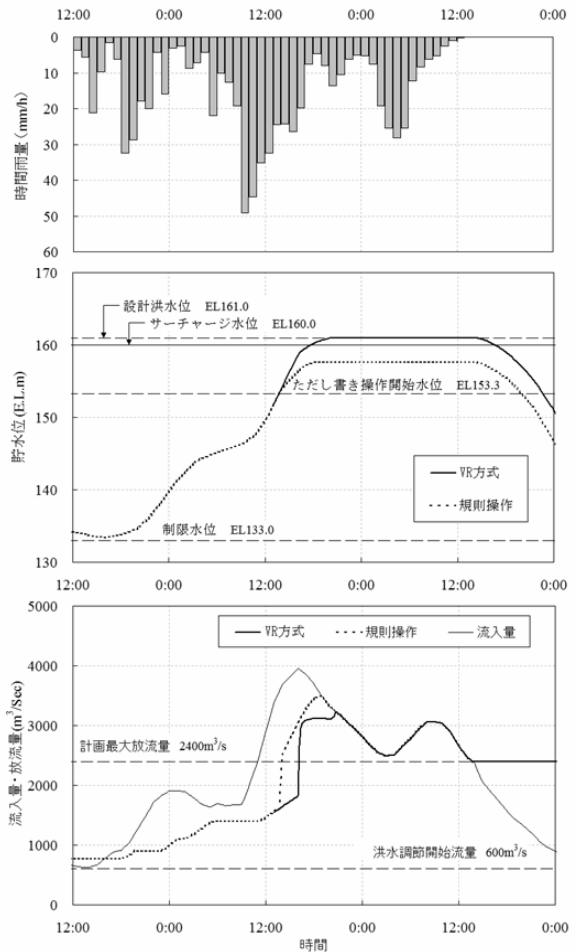


図-4 E ダム H18.7 洪水

洪水位までの空き容量については、実績操作において約 12,000 千 m³残っていたが、VR 方式においては、37 千 m³と貯水池容量をほぼ全て使い切ることができた。H18.7 洪水においては、E ダム下流河道において大量の流水が氾濫し、とりわけ、I 町においては、約 206 億円にのぼる浸水被害が発生したことから、VR 方式適用の意義は大きいと考えられる。

表-4 にシミュレーション総括表を示す。H ダムの 2 洪水においては、洪水の流入量がピークを迎える前に貯水位が設計洪水位に達することから、今回設定した条件による VR 方式が適用できない。これらを除けば、設計洪水位までの空き容量活用の観点からは、全てのダム、洪水において、空き容量をほぼ使い切ることができ、VR 方式導入の効果が見られる。また、C ダム、G ダム H17.9 洪水、H ダム H5.8 洪水の 3 洪水を除けば、12 洪水について最大放流量の低減が図られ、実績洪水と比較した最大放流量の低減率は単純平均で約 38%となる。D ダム、G ダム H9.9 洪水、H ダム H11.7、H18.8

洪水においては、VR 方式の適用により、計画最大放流量を上回る放流、すなわち、ただし書き操作に入ることが防げる。いずれの洪水もただし書き操作開始水位を若干上回る洪水である。

H ダム H5.8 洪水における実績操作は、管理所職員が豪雨の発生による超過洪水の発生を早くから予想していたものと推察され、貯水位がただし書き操作開始水位の約 4 m も低い時点からただし書き操作に入っており、ピーク流量を相当下げることを実現している。これは、ダム管理者の間でいわゆる「神様運転」と呼ばれるものであり、極めて高度な判断と熟練した経験を要する。

仮に操作規則どおり、ただし書き開始水位からただし書き操作に移行していた場合と比較すれば、VR 方式による最大放流量低下の効果は 41 m³/s と推定される(図-5 参照)。

G ダム H17.9 洪水は、図-6 に示すように、洪水ピークが約 12 時間にわたって続く特異な洪水であり、この

表-4 ただし書き操作の適用性総括表

ダム名	洪水発生年月日	ただし書き操作開始水位 ㉔ (m)	設計洪水位 ㉕ (m)	制限水位から設計洪水位までの容量 ㉖ (千m ³)	計画最大放流量 ㉗ (m ³ /s)	規則操作				VR方式				VR方式の効果(規則と比較)				
						最大放流量 ㉘ (m ³ /s)	最高水位 ㉙ (m)	最高水位ただし書き操作開始水位 ㉚ (m)	設計洪水位までの空き容量 ㉛ (千m ³)	ただし書き操作移行時期 ㉜	最大放流量 ㉝ (m ³ /s)	最高水位 ㉞ (m)	設計洪水位までの空き容量 ㉟ (千m ³)	ただし書き操作移行時期 ㊱	最大放流量の低減率 ㊲ ①-⑤/ ①-⑥/ ×100	容量の活用 ㊳ ③-⑦	ただし書き操作への移行 ㊴ ④⑧比較	
Aダム(国)	H15.8.11	48.0	49.4	24,885	3,850	5,402	48.83	0.83	2,465	8/10 1:50	4838	49.40	0	2:10	○ 564	36.3%	○ 2,465	遅
Bダム(国)	H12.9.12	296.8	299.0	16,515	1,300	2,560	298.43	1.63	1,426	9/12 5:20	2148	298.97	75	5:10	○ 412	32.7%	○ 1,351	早
Cダム(国)	引き伸ばし(計画波形)	124.8	129.5	63,239	600	3,408	128.99	4.19	1,675	10/15 23:50	3972	129.18	975	1:10	× -564	-20.1%	○ 700	遅
Dダム(国)	H16.8.30	169.4	171.5	4,691	400	578	169.74	0.34	1,666	8/30 20:00	400	170.51	941	移行せず	○ 178	100.0%	○ 725	移行せず
Eダム(国)	H18.7.21	153.3	161.0	75,536	2,400	3,490	157.64	4.34	11,911	7/22 13:50	3236	161.00	6	16:10	○ 254	23.3%	○ 11,905	遅
Fダム(県)	H16.7.13	268.3	272.6	4,320	85	212	272.26	3.96	74	7/13 13:50	149	272.59	2	7/13 12:00	○ 64	50.4%	○ 72	早
Gダム(県)	H9.9.15	299.1	301.5	12,256	550	691	299.65	0.55	2,970	9/15 12:30	550	300.00	2,439	移行せず	○ 141	100.0%	○ 531	移行せず
	1,088					300.25	1.15	2,037	9/5 23:50	1088	301.48	2	9/6 1:30	-	0	0.0%	○ 2,035	遅
	934					299.97	0.87	2,484	8/30 10:00	579	301.40	171	8/30 11:00	○ 355	92.4%	○ 2,313	遅	
Hダム(県)	H5.8.8	320.9	324.5	4,233	220	425	323.65	2.75	228	8/10 2:10	458	324.50	0	8/10 3:10	× -33	-16.1%	○ 228	遅
	499					323.83	2.93	180	8/10 3:00	458	324.50	0	8/10 3:10	○ 41	14.7%	○ 180	遅	
	460					323.77	2.87	196	8/30 12:10	449	324.50	0	8/30 12:10	○ 11	4.6%	○ 196	同じ	
	665					324.45	3.55	15	9/16 11:30	流入量ピーク前に設計洪水位を超える			運用不可	-	運用不可	-		
	237					321.22	0.32	869	8/18 8:10	220	322.21	611	移行せず	○ 17	100.0%	○ 258	移行せず	
	484					323.95	3.05	148	7/14 12:10	流入量ピーク前に設計洪水位を超える			運用不可	-	運用不可	-		
	316					322.70	1.80	485	8/27 4:10	251	324.50	0	8/27 5:10	○ 65	67.8%	○ 485	遅	
	298					322.00	1.10	668	7/27 4:40	220	323.20	348	移行せず	○ 78	100.0%	○ 320	移行せず	

※ 規則操作を行った場合

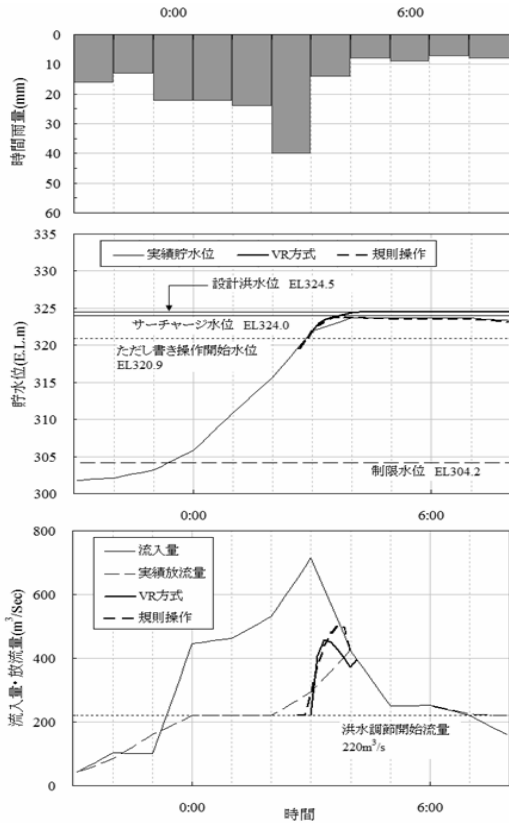


図-5 Hダム H5.8洪水

ような長大な降雨による洪水に対しては、どのような洪水調節方法を採用しても、いずれは放流量=流入量となることは免れなく、VR方式の最大放流量低減効果がないことはやむを得ないものと思われる。

Cダムのシミュレーションにおいて、計画洪水流量の引き伸ばした洪水について、VR方式の導入により最大放流量が規則操作によるよりも大きくなる状況が発生している(図-7参照)。この洪水においては、計画洪水波形を設計洪水流量まで引き伸ばしているため、洪水低減部が過大である可能性があり、降雨量の生起確率を加味したハイドログラフの設定方法について検討が必要である。さらに、流入量ピーク時において、貯水位がサーチャージ水位を超えており、VR方式の適用開始時に空き容量が極めて小さい特徴がある。このような状況下においては、VR方式の適用は適切ではないと考えられる。

以上を総括すれば、洪水ピークが発生する前に設計洪水水位に至る洪水や長大な降雨による洪水、洪水ピーク時に空き容量が極めて小さい洪水を除けば、VR方式の適用は、最大放流量の低減、空き容量の有効利用の観点から、規則操作に比べて有効である。

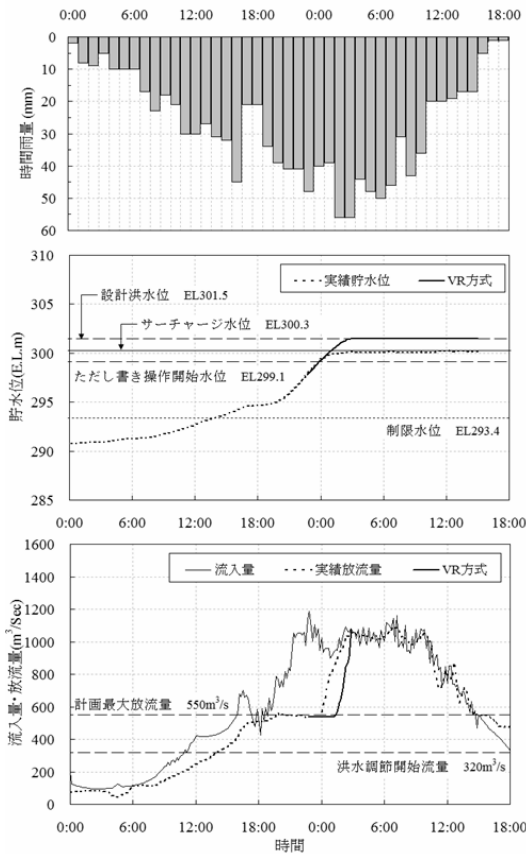


図-6 Gダム H17.9洪水

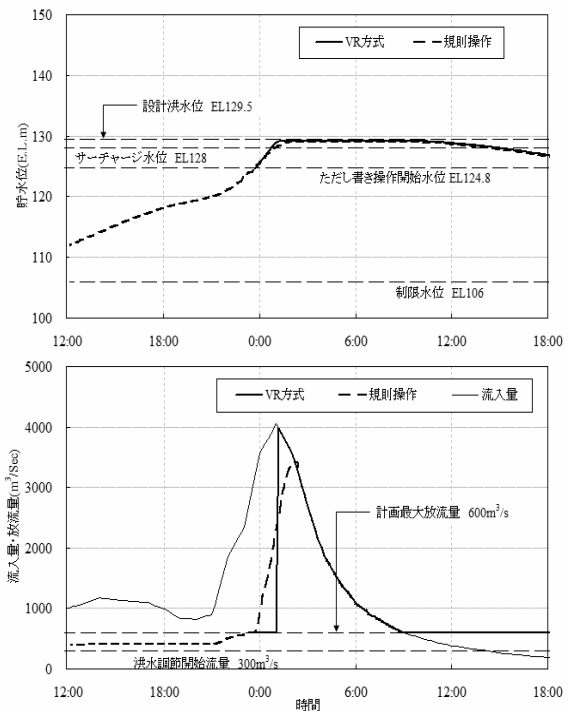


図-7 Cダム 計画洪水設計洪水流量引き延ばし

4. VR方式の合理的な適用手法の検討

4.1 VR方式の適用性について

H ダム 2 洪水においては、最大放流量の低減量が計画最大放流量の 15%以下と比較的小さい。これは、図-8 に示すように実績の洪水波形が、設定した基準流入波形に比べて一部の期間において大きく上回る流量を示しており、流入波形に基づいて設定した放流率に従った結果、空き容量が大幅に低減して、放流率を大幅に引き上げざるを得なくなった結果と考えられる。

3 章にてシミュレーションを行ったダム、洪水に関して、図-9 に (最大流入量-計画最大放流量) /ピーク時

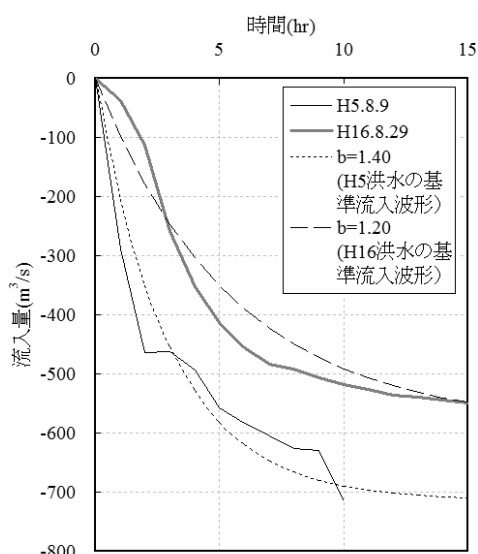


図-8 実績洪水低減部と基準流入波形

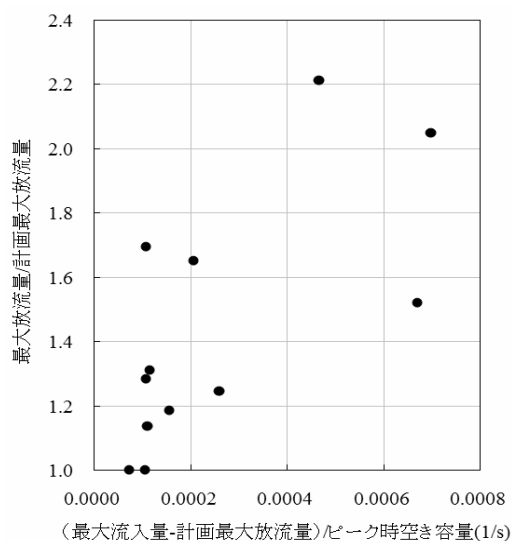


図-9 最大流入量のピーク時空き容量に対する比率と最大放流量の関係

空き容量～最大放流量/計画最大放流量の関係を、図-10 に (最大流入量-計画最大放流量) /ピーク時空き容量～放流量増大率最大値の関係をそれぞれ示す。ここに、放流量増大率とは、10 分間における放流量の増大する割合をいう。いずれも右肩上がりの相関を示しており、空き容量が小さい状況下において、大きな洪水が流入すると放流量が大きく変化し、最大放流量も大きくなることが理解できる。この現象は前述した基準流入波形を大きく上回ることで類似した現象と推察される。

実際のダム管理にあっては、ただし書き操作開始水位前後に到達する洪水時において、ただし書き操作を実行するか否か、判断に苦慮することが散見される。このような洪水発生時における VR 方式の適用性を検証するため、これまでに 7 回のただし書き操作を経験している H ダムについて、S57.8, H5.8, H18.8 洪水を対象に流入ピーク時の空き容量を変化させてシミュレーションを行った。結果は図-11, 12, 表-5 に示すとおりであり、洪水ピーク時における貯留率が治水容量に対して 70~90%の場合にあっては、3 洪水とも VR 方式による操作の方が規則操作によるよりも最大放流量を低く抑えることができ、優れている。

このうち、最も効果がある貯留率は、洪水によって異なるが、70%または 85%である。一方、貯留率が 95%の場合は、2 洪水において規則操作の方が最大放流量を小さくすることが可能である。

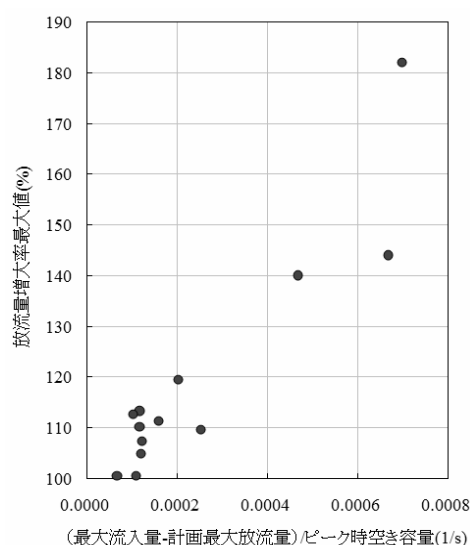


図-10 最大流入量、空き容量と放流量増大率最大値の関係

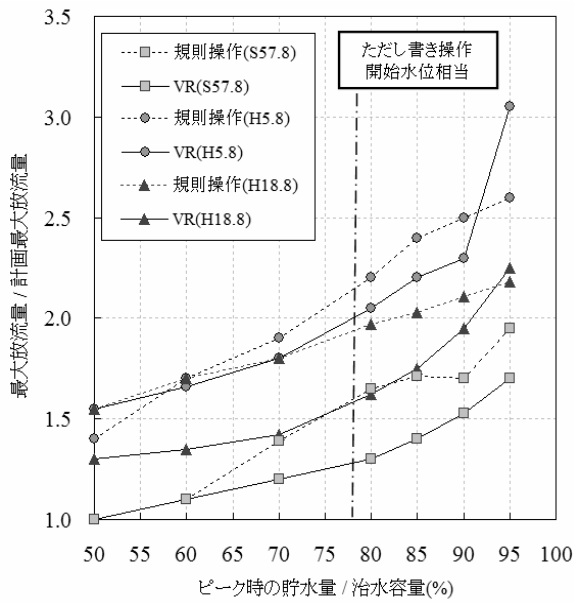


図-11 ピーク時の貯水量と計画最大放流量超過比率 (Hダム)

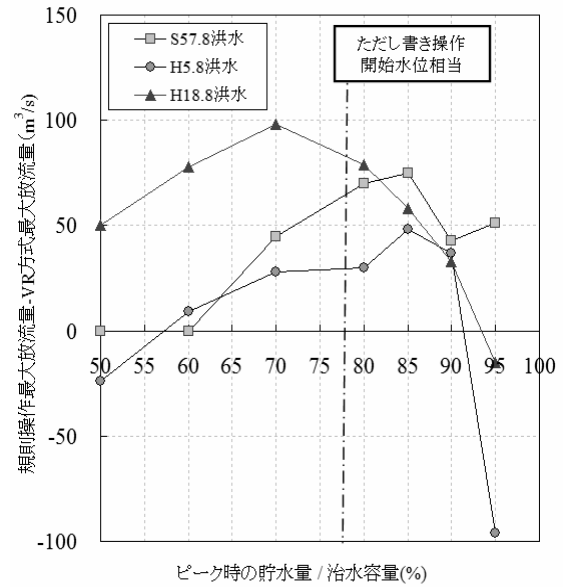


図-12 ピーク時の貯水量と最大放流量低減効果 (Hダム)

表-5 ピーク时空き容量とVR操作の効果

	① 流入ピーク時 総貯留量 (千m ³)	② 流入ピーク時 貯留率 (%)	③ 流入ピーク時 空容量 (千m ³)	④ ピーク時 水位 (EL.m)	⑤ 規則操作最 大放流量 (m ³ /s)	⑥ VR操作最 大放流量 (m ³ /s)	⑦ 規則操作最 大放流量⑤/ 計画最大放 流量	⑧ VR操作最 大放流量⑥/ 計画最大放 流量	⑨ 規則操作最 大放流量⑤- VR操作最 大放流量⑥ (m ³ /s)
S57.8 洪水	2,882	50	2,117	315.96	220.00	220.00	1.00	1.00	0.00
	3,305	60	1,693	317.83	232.00	232.61	1.05	1.06	-0.61
	3,729	70	1,270	319.61	297.99	253.37	1.35	1.15	44.62
	4,152	80	847	321.30	354.60	286.83	1.61	1.30	67.77
	4,364	85	635	322.12	379.90	308.44	1.73	1.40	71.46
	4,575	90	423	322.92	379.90	336.05	1.73	1.53	43.85
	4,787	95	212	323.71	428.60	377.63	1.95	1.72	50.97
H5.8 洪水	2,882	50	2,117	315.96	308.43	331.93	1.40	1.51	-23.50
	3,305	60	1,693	317.83	366.87	361.35	1.67	1.64	5.52
	3,729	70	1,270	319.61	425.30	397.20	1.93	1.81	28.10
	4,152	80	847	321.30	474.90	443.51	2.16	2.02	31.39
	4,364	85	635	322.12	521.73	473.55	2.37	2.15	48.18
	4,575	90	423	322.92	549.60	512.99	2.50	2.33	36.61
	4,787	95	212	323.73	569.95	666.38	2.59	3.03	-96.43
H18.8 洪水	2,882	50	2,117	315.96	333.70	284.01	1.52	1.29	49.70
	3,305	60	1,693	317.83	368.50	288.37	1.68	1.31	80.13
	3,729	70	1,270	319.61	401.51	303.79	1.83	1.38	97.71
	4,152	80	847	321.30	431.70	350.59	1.96	1.59	81.12
	4,364	85	635	322.12	447.20	389.02	2.03	1.77	58.18
	4,575	90	423	322.92	459.90	426.48	2.09	1.94	33.42
	4,787	95	212	323.71	470.29	485.95	2.14	2.21	-15.66

また、貯留率が 50% の場合は、2 洪水において規則操作による最大放流量が VR 方式によった場合の最大放流量以下となる。

同様のシミュレーションを A, B, E, G ダムについてそれぞれ実施した。洪水ピーク時の治水容量に対する貯水率と VR 方式導入による最大放流量低減効果は、図-13 のとおりである。A, B ダムにあっては、貯水率が 80% 以上の場合、VR 方式の効果は得られない。また、E, G ダムにあっては貯水率が 95% 以上の場合、極めて小さくなる。貯水率が 60% 以下の場合については、H ダムのような傾向は見られない。

以上の結果により、ダムによって境界となる数値は異なるものの、洪水ピーク時の空き容量が極めて小さい場合（治水容量の 5~20% 以下）において、VR 方式による放流を行うことは、かえってリスクを伴うことが理解できる。

4.2 基準流入波形の妥当な設定について

VR 方式の適用にあたっては、洪水の低減状況を示すパラメータ b の値を適切に設定する必要がある。 b の値が小さいほど低減しにくい洪水といえ、多くのダム貯水量を要することとなる。ただし書き操作実績の多い H ダムにおいて、洪水ピーク流量を $500 \text{ m}^3/\text{s}$ として、基準流入波形を洪水群に適合する値 $b=1.21$ に設定し、さまざまな洪水が流入した場合を想定して、実洪水波形の b の値を $1.05 \sim 1.50$ に変化させて VR 方式を適用した場合の最大放流量について検討したところ、図-14 に示すように、 b の値が大きい洪水ほど（急激に低減する洪水ほど）最大放流量を抑えることができる。

一般的には、基準流入波形の設定にあたって、同一規模のピーク流量を持つ洪水群に関して、図-2 に示すように、ほぼ中間値となるべく、(1)式の b の値を設定している。ここに、裏戸によれば、他ダムの検討結果から最初に採用を検討すべき b の値として 1.12 が提唱されている⁸⁾。一方、3 章で記述したように、基準流入波形を上回る流入量が見られる洪水にあっては、VR 方式の有効性が低減することから、ここでは、基準流入波形のパラメータ b の合理的な設定手法について H ダムを対象に検討を行った。すなわち基準流入波形を上回る部分が洪水量の 20% となるよう b の値を 1.155 と設定した（図-15）。

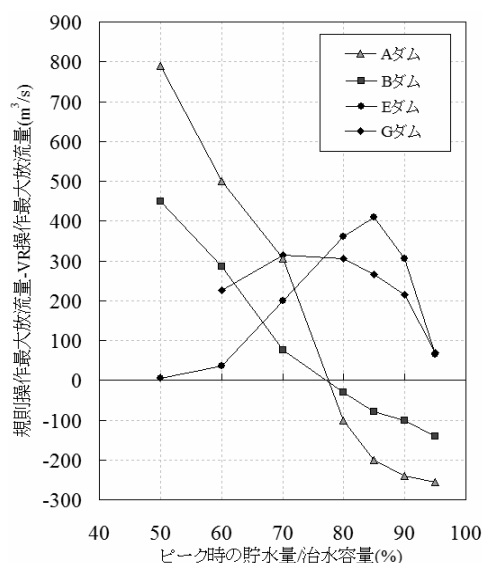


図-13 ピーク時の貯水量比率と VR 操作の効果

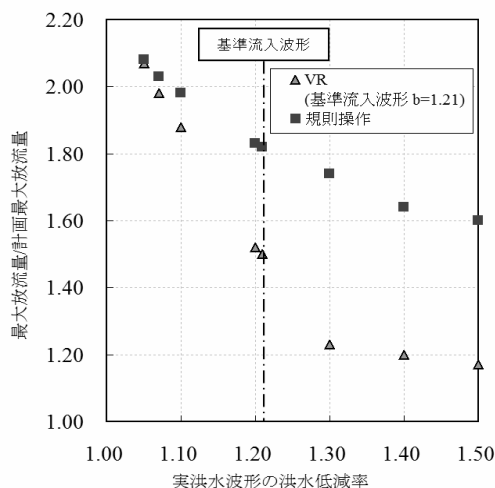


図-14 洪水流入波形低減部の感度分析結果

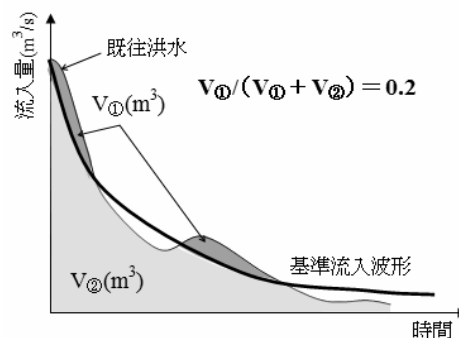


図-15 b の設定方法概念図

なお、基準流入波形を上回る部分の洪水量に対する割合と b の値の関係は、表-6 のとおりである。 b の値を既往洪水の大半を網羅できるよう 1.02~1.50 の範囲で変化させシミュレーションを実施して規則操作による場合との比較を行った。 b の値と最大放流量の関係は、図-16 のとおりであり、H ダムの場合、洪水によって変化するものの、 $b=1.10\sim 1.35$ の範囲であれば、いずれの洪水においても規則操作による最大放流量よりも放流量を低減することが可能であるため、 b の設定値として適している。また、表-6 から基準流入波形を上回る部分の割合が 20% の場合、 b の値 1.155 が 1.10~1.35 の範囲内に入ること、図-16 からいずれの洪水においても最大放流量低減の効果が高いことから、図-15 により、20% を考慮しつつ基準流入波形を設定することが概ね妥当であることも確認できる。

表-6 基準流入波形を上回る部分の割合と b の関係

	6割	5割	4割	3割	2割	1割
b 値	1.446	1.336	1.261	1.202	1.155	1.112

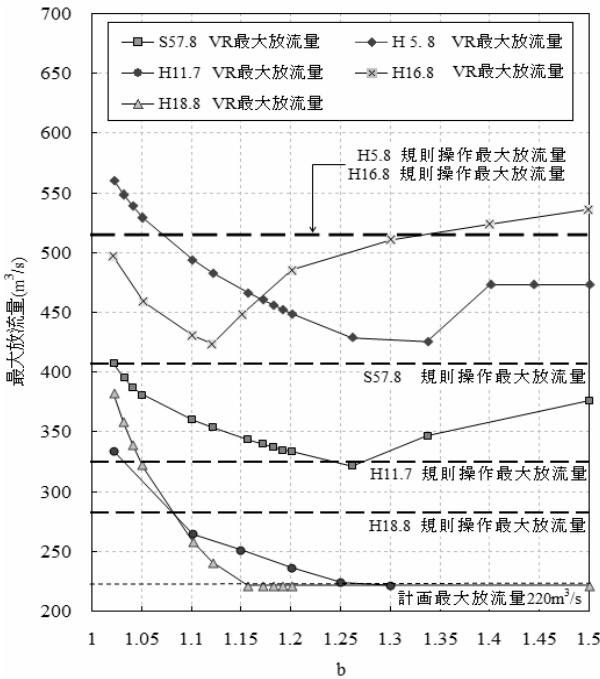


図-16 基準流入波形と VR 方式による最大放流量の関係

5. 結論

本論文では、異常洪水発生時の下流被害軽減を目的として、VR 方式の適用性について、実洪水を用いて検証を行うとともに、その特性を分析し、合理的な適用手法の検討を実施した。その結果として得られた結論は以下のとおりである。

- ① 長大な降雨による洪水、ピーク流量までの流入量が大规模な洪水等特殊な洪水を除いて、VR 方式の適用により、ダムの空容量をほぼ全て使い切るとともに、最大放流量を低減して下流被害を軽減することが可能である。
- ② 長大な降雨による洪水にあつては、VR 方式を適用しても、いずれは放流量=流入量となり、最大放流量を低減することは不可能である。また、ピーク流量までの流入量が大规模な洪水にあつては、流入量がピークに達する前にダム空き容量を使い切ってしまう、VR 方式の適用は困難である。
- ③ 超過洪水が未発生なダムにあつては、既往洪水を引き伸ばすことにより、検証を行うこととなるが、引き伸ばし洪水の降雨量の生起可能性を加味しつつ、超過洪水の設定方法について引き続き検討する必要がある。
- ④ VR 方式の適用はダム毎に特性が異なるものの、洪水ピーク時にダム貯水率が治水容量の 70~90% の範囲にある場合に効果を発揮し、操作規則において定めるただし書き操作による場合よりも、最大放流量を低減することができる。ダム貯水率が 80~95% 以上の場合、すなわち、空き容量が極めて小さい場合に VR 方式を適用することは、かえって最大放流量の増大を招く場合も見られ、リスクが大きい。
- ⑤ 洪水流入波形の関数のパラメータ b については、既往超過洪水から妥当な値を求める必要がある。今回試算を行った H ダムにあつては、基準流入波形を上回る部分の洪水量の対する割合が 20% となるよう設定することにより、概ね妥当な値が得られた。
- ⑥ 昨今の情報処理技術の進歩に鑑みれば、洪水時に分布型モデル等の流出解析を迅速に行うことにより、さらに精度の高い洪水流入波形の臨機応変な

設定が可能であり、VR 方式適用のさらなる改良の可能性が期待される。

本研究を行う上で国土交通省各地方整備局、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. 76-77，2005
- 2) (財)ダム水源地環境整備センター：ダムの管理例規集，pp. 203-210，2006
- 3) (財)日本ダム協会：ダム便覧，平成 16 年新潟・福島豪雨とダムの役割，2004
- 4) 今井 徹：平成 18 年 7 月の川内川豪雨における鶴

田ダムの操作について，(社)九州地方計画協会九州技報，第 41 号，2007

- 5) 裏戸 勉：洪水時のダム操作について，ダム技術，No. 86，4-12，1993
- 6) 裏戸 勉：異常洪水時のダム操作手法について，第 10 回ダム工学会研究発表会講演集，pp. 40-42，1999
- 7) 竹下 清，ほか：異常洪水に対する洪水調節方式の改善に関する検討，ダム水源地環境技術研究所報，pp. 50-56，2006
- 8) 裏戸 勉：異常洪水時のダム操作手法とその運用について，第 52 回平成 12 年度土木学会中国支部研究発表会発表概要集，pp. 117-118，2000

(2010 年 1 月 7 日 受理)

When an extreme flood event beyond the scale assumed in the flood control plan occurs at a dam site retaining a flood control capacity, so-called “proviso operation (extreme-flood control operation of dams)”, in which the discharge volume is increased significantly to balance the inflow is usually implemented. However, lowering the flood prevention effect of the dam and being not able necessarily to utilize the remaining capacity of the dam remain in the technique as challenges to be solved. In the case of such an extreme flood event, use of the V-R method is considered effective, in which water is discharged with the remaining capacity taken into account. In this study we simulated the use of the V-R method by using the past data. As a result, the effectiveness of the method was verified and the problems it involves were identified. Reasonable methods of application were also proposed.

Key words : V-R method (Water storage Volume with the Ratio of discharge to the flow method), “proviso” operation (extreme-flood control operation of dams), reference inflow waveform, flood control