第5章 VR 方式を活用した洪水調節手法

5.1 超過洪水等への適切な対処の必要性

第3章第5節まとめ(5)に示したように、WRFによる降雨予測においては、解析手法のいかなる精度向上を図ろうとも、誤差が一定の率で誤差が残ることを指摘した。

具体的には、第3章図-3.4.15、図-3.4.18に示すように、無害流量以下の流入量しか発生しない降雨を WRF において予測した場合、貯水池を使い切ってしまい(早明浦ダムでは、8月19日3時頃)、その後に無害流量を上回る流量が発生した場合には、洪水調節が全くできず、流入量=放流量となる。このように2山以上の洪水や大規模な洪水の低減部などにおいて、WRFによる降雨予測が実際よりも過小に算出した場合においては、下流で大きな氾濫被害を発生させる恐れがあり、図-3.4.1による手法は、構造的な欠点を有している。特に超過洪水発生時にあっては、下流で氾濫する恐れがかなりの確率であり、問題の根は深い。このため、3.4.4(1)4)において、空き容量の一定率を留保した操作手法を提案し、欠点の克服を試みたところである。しかし、この手法にあっても、WRFによる降雨予測が大きな誤差を有する場合、特に予測降雨を過小に評価した際には、空き容量が少なくなった状態において合理的な放流方法が取られているとは必ずしも言い難く、降雨予測の誤差が下流氾濫へ繋がる恐れのあることへの対応を考えれば、その改善が望まれるところである。

一方、現在、ダム管理の現場において採用されている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。」と規定されている。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っては、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っては、但し書き操作が行われる。具体的には、貯水位が但し書き操作開始水位(通常、治水容量の8割の容量に相当する水位で規定)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(第2章図-2.2.2参照)、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。但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、但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と定められていることからも、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及び笠堀ダムが、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、現在のダム管理において、採用されている操作規則にあっても、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。

以上の問題点から理解できるように、WRF による降雨予測を活用した新たな洪水調節手法を現場において採用する場合においても、また現況の操作規則に基づき操作する場合においても、予測以上の洪水、とりわけ超過洪水が発生した場合の適切な対応手法の策定が必要とされるところである。すなわち、ダム最大放流量について極力小さくすること、具体的には、現況の操作規則において一般的に採用されている但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。

- 1) 但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って最大放 流量を極力下げること
- 2) 但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こと 本章では、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。

5.2 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 $V_e(t)$ 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。

空き容量及び通常の操作から 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っては、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-5.2.1 に示すとともに、一般的に採用される実行手順を示す。

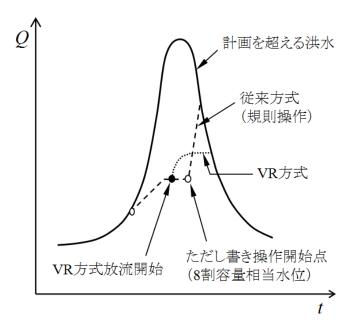


図-5.2.1 VR 方式による放流の概要図⁷⁾

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-5.2.2参照)。

$$Q(t) = a \cdot b^{-t} \tag{5.2.1}$$

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。

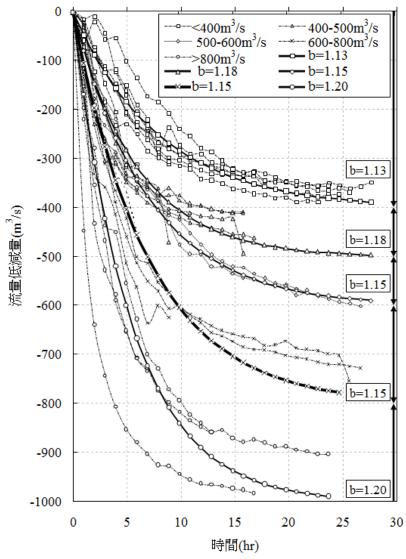
② 現放流量を継続した場合の空き容量と放流率の関係の算定

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-5.2.3において、現放流量 Q_0 (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。

ここに Qs: 洪水調節開始流量

洪水のピークから導入する VR 方式にあって、洪水調節開始流量 Q。を用いていることは、やや理解困難であるが、裏戸においては、流入量に対する放流率を規定するにあたって、ダム管理者が通常用いる一定率一定量方式の放流率と混同しないよう、あえて(5.2.2)式の定義としている。

VR 方式における洪水開始流量からの放流率は、図-5.2.4に示すとおりとなる。



※ 右端の矢印は各基準波形の適用範囲を示す。

図-5.2.2 基準流入波形の算定(渡川ダム)7)

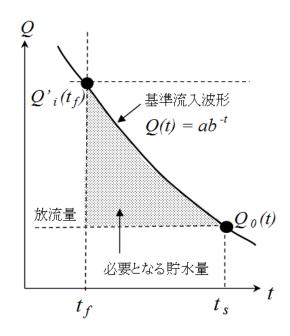


図-5.2.3 基準流入波形と空き容量7)

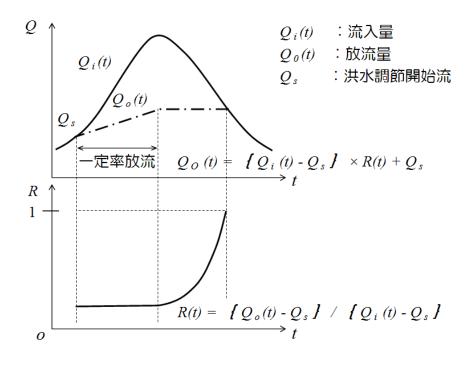


図-5.2.4 一定率一定量放流方式における放流率

表-5.2.1 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。

$$Q_o(t+\Delta t) = (Q_i(t+\Delta t)-Q_s)R'(t)+Q_s$$
(5.2.3)

表-5.2.1 貯水量、放流量に対応した放流率11)

貯水量	放流量(m³/s)											
(千m³)	2,000	2,100	2,200	2,300	2,400							
40,000	0.2473	0.2594	0.2708	0.2815	0.2917							
41,000	0.2499	0.2620	0.2734	0.2842	0.2945							
42,000	0.2524	0.2646	0.2761	0.2870	0.2973							
43,000	0.2551	0.2673	0.2789	0.2898	0.3002							
44,000	0.2578	0.2701	0.2817	0.2927	0.3031							
45,000	0.2606	0.2730	0.2847	0.2957	0.3062							
46,000	0.2635	0.2759	0.2877	0.2988	0.3093							
47,000	0.2664	0.2789	0.2908	0.3019	0.3124							
48,000	0.2694	0.2821	0.2939	0.3051	0.3157							
49,000	0.2726	0.2852	0.2972	0.3084	0.3191							
50,000	0.2758	0.2885	0.3005	0.3119	0.3225							

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-5.2.1により求められる放流率 R'(t)と比較を行う。

- 1) R(t) < R'(t) 放流率が小さすぎるためダム容量が不足する
- 2) 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)に修正し、図-5.2.5のように放流量を修正する。すなわち、1)にあっては、放流量を増加させ、2)にあっては、放流量を減少させることとなる。

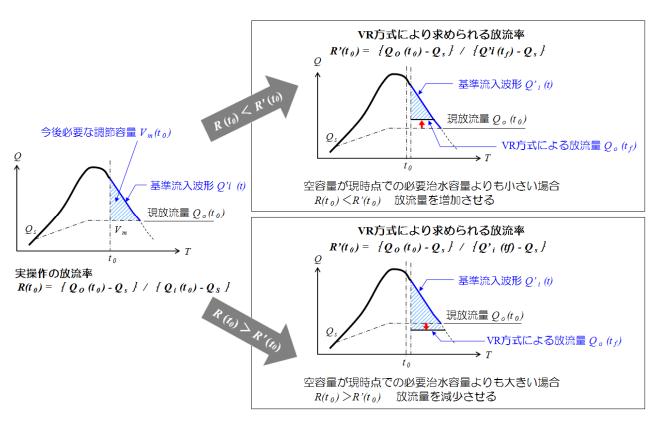


図-5.2.5 必要調節容量と比較した放流量の修正

5.3 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、17 年前の 1993 年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 $^{8)$ 、 $^{9)}$ 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 $^{10)}$ 、松浦ら $^{11)}$ によってその実用性が検討されるも、竹下らにあっては、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、松浦らにあっては、VR 曲線として特定できておらず、解析した洪水と異なる流入波形の場合は、うまく適応できないものと評価していることが、その一因と考えられる。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 方式の効果が不明又は不確実であり、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、本研究では、但し書き操作の実績の多い国土交通省、県管理の8 ダムにおいて、実際の洪水波形(16 洪水)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、実績の但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するとともに、より良い適用性について分析を行った⁷⁾。表-5.3.1 に検討対象としたダムの諸元を示す。

表-5.3.1 検討対象ダムの放流方式7)

ダム名	洪水調節方式	洪水調節開始流量 (m³/s)	計画最大放流量 (m³/s)
二風谷ダム	自然調節方式	1,900	5,000
矢作ダム	一定率一定量方式	800	1,300
弥栄ダム	一定率一定量方式	300	600
野村ダム	一定量後一定開度	300	1,000
鶴田ダム	一定率一定量方式	600	2,400
刈谷田川ダム	自然調節方式	-	85
渡川ダム	一定率一定量方式	320	550
祝子ダム	一定量方式	220	220

5.3.1 基準流入量波形の設定

まず、前節(5.2.1)式に示した基準流入波形の定数 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。本研究では、b について、各ダム既往洪水のピーク流量以降における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-5.3.2に流量規模毎のaの設定例を示す。また、基準流入波形のbの算定例は、前節図-5.2.2に示したとおりであり、流域面積が $81 {
m km}^2$ の渡川ダムの場合、一部の洪水を除いて概ね30%以下の誤差に留まっている。

表-5.3.2 流量規模毎の a の設定例⁷⁾

渡川ダム									
流量範囲(m³/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								

5.3.2 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、検討ダムにおける但し書き洪水時の実績貯水位とし、流入波形は、但し書き洪水実績流入波形とした。なお、弥栄ダムにあっては、過去に但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及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に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-5.3.1 に代表例として、鶴田ダム 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 $3,490 \text{m}^3/\text{s}$ に対して VR 方式の導入により、最大放流量 $2,400 \text{m}^3/\text{s}$ を超過した流量を約 30%抑えることが可能となった。

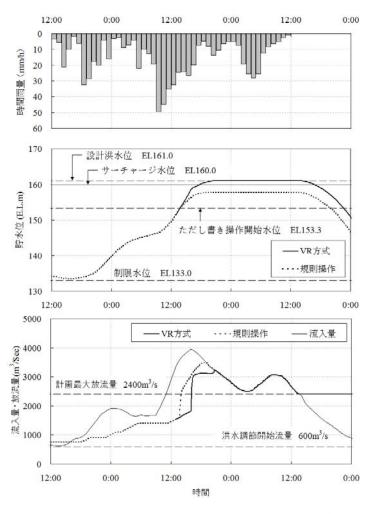


図-5.3.1 鶴田ダム H18年7月洪水⁷⁾

設計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 m^3 残っていたが、 VR 方式においては、37 千 m^3 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、鶴田ダム下流河道において大量の流水が氾濫し、とりわけ、さつま町においては、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-5.3.3に8ダム16洪水のシミュレーション総括表を示す⁷⁾。祝子ダムの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、弥栄ダム、渡川ダムH17.9洪水、祝子ダム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。野村ダム、渡川ダムH9.9洪水、祝子ダム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、すなわち但し書き操作に入ることが防げ、この効果は著しい。いずれの洪水も但し書き操作開始水位を若干上回る洪水である。図-5.3.2に渡川ダムH9.9洪水の調節状況を示す。

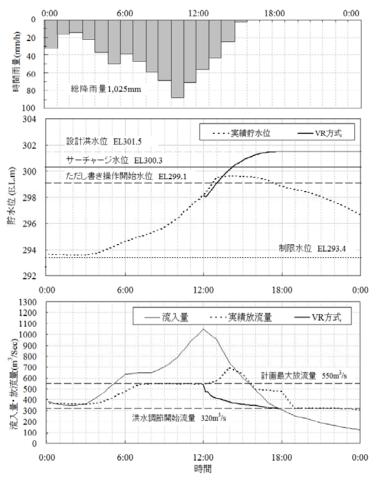


図-5.3.2 渡川ダム H9 年 9 月洪水

ただし書き操作の適用性総括表7) 表-5.3.3

	ただし 書き操作 への移行	48比較	赙	마	関	移行せず	関	마	移行せず	၂	」	関	၂	<u>ت</u>	•	移行せず	•	」	移行せず
(規則と比較)	容量の	<u>0</u> -©	2,465	1,351	700	725	11,905	72	531	2,035	2,313	228	180	196	用不可	258	運用不可	485	320
規則と		<u></u>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	田薫	0	運用	0	0
VR方式の効果(最大 放流量 低減率 ①-⑤/	× ⊕ × 00 ×	36.3%	32.7%	-20.1%	100.0%	23.3%	50.4%	100.0%	%0.0	92.4%	-16.1%	14.7%	4.6%		100.0%	•	%8'.29	100.0%
VR方	最大 放流量の 低減量	Q-Q) 564	412	-564	178	254	64	141	0	355	-33	41	11	運用不可	17	運用不可	9 (2	28
	ただし 書き操作 移行 時期	©	2:10	5:10	1:10 ×	移行せず 〇	16:10	7/13 12:00	移行せず 〇	9/6 1:30	8/30 11:00	8/10 ×	8/10 3:10	8/30 12:10	1/0	移行せず 〇	1/0	8/27 5:10	移行せず 〇
5 式	設計洪水位までの投資の	(+m3)	0	75	975	941	9	2	2,439	2	171	0	0	0	ク前に設計洪水位を超え	611	ク前に設計洪水位を超え	0	348
VR方式	最高水位	© (E)	49.40	298.97	129.18	170.51	161.00	272.59	300.00	301.48	301.40	324.50	324.50	324.50		322.21		324.50	323.20
	最大的流量	(m ₃ /s)	4838	2148	3972	400	3236	149	550	1088	579	458	458	449	流入量で	220	流入量で	251	220
	ただし 書き操作 移行時期	4)	8/10 1:50	9/12 5:20	10/15 23:50	8/30 20:00	7/22 13:50	7/13 13:50	9/15 12:30	9/5 23:50	8/30 10:00	8/10 2:10	8/10 3:00	8/30 12:10	9/16 11:30	8/18 8:10	7/14 12:10	8/27 4:10	7/27 4:40
	設計洪水 位までの 空き容量	® (∓m³)	2,465	1,426	1,675	1,666	11,911	74	2,970	2,037	2,484	228	180	196	15	869	148	485	899
規則操作	最高水位- ただし 書き操作 関始水位	(m)	0.83	1.63	4.19	0.34	4.34	3.96	0.55	1.15	0.87	2.75	2.93	2.87	3.55	0.32	3.05	1.80	1.10
	最大行	© (E)	48.83	298.43	128.99	169.74	157.64	272.26	299.65	300.25	299.97	323.65	323.83	323.77	324.45	321.22	323.95	322.70	322.00
	最大放流量	(m ³ /s)	5,402	2,560	3,408	278	3,490	212	691	1,088	934	425	499	460	999	237	484	316	298
	計画最大放流量	(m ₃ /s)	3,850	1,300	009	400	2,400	85		250				I		077			
制限水位	ない設計 洋学合 またの	© (∓m³)	24,885	16,515	63,239	4,691	75,536	4,320		12,256					2,00	4,233			
	設計 洪水位	@ (E	49.4	299.0	129.5	171.5	161.0	272.6	301.5										
Į.	でたり 書み操作 関略 子付	@ (E)	48.0	296.8	124.8	169.4	153.3	268.3	320.9					(
	洪水発生年 月日		H15.8.11	H12.9.12	引き伸ばし (計画波形)	H16.8.30	H18.7.21	H16.7.13	H9.9.15	H17.9.4	H16.8.28	H5.8.8	H5.8.8 ※	H16.8.29	H9.9.15	H18.8.17	H19.7.13	557.8.26	H11.7.26
	ダム各		二風谷ダム(玉)	矢作ダム (国)	弥栄ダム (国)	野村ダム (国)	鶴田ダム (国)	※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※		渡川ダム (県)		祝子ダム(県)				3			

祝子ダム 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、貯水位が但し書き操作開始水位の約 4m も低い時点から但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、但し書き開始水位から但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41m³/s と推定される(図-5.3.3参照)。

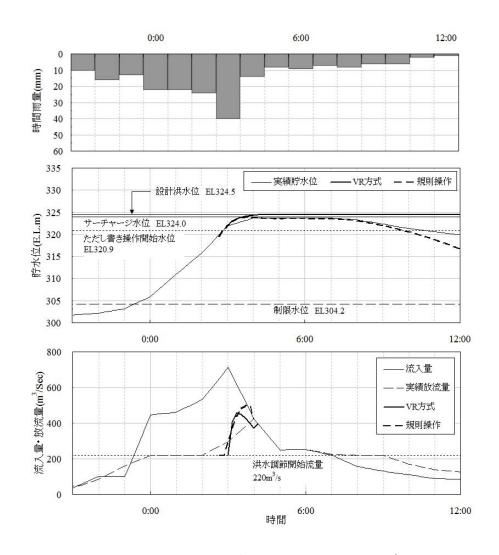


図-5.3.3 祝子ダム H5年8月洪水⁷⁾

渡川ダム H17.9 洪水は、図-5.3.4 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。

弥栄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-5.3.5参照)。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。

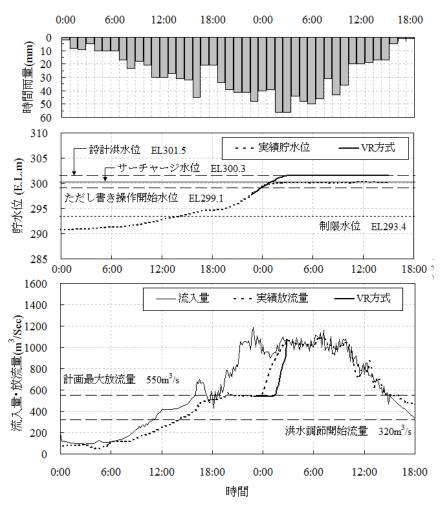


図-5.3.4 渡川ダム H17年9月洪水⁷⁾

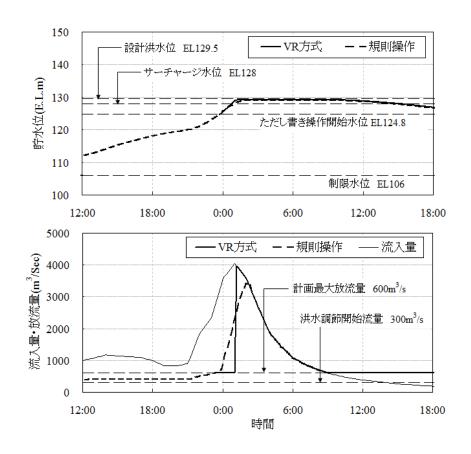


図-5.3.5 弥栄ダム 計画洪水設計洪水流量引き延ばし7)

5.4 VR 方式の合理的な適用手法の検討

5.4.1 VR 方式の適用性について

ここでは、本研究で試みた VR 方式の適用について、より合理的に実施すべく、適用 手法の検討を行った⁷⁾。祝子ダム 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-5.4.1 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。

この背景として、VR 曲線が、図-2.4.2に例を示すように、空き容量が小さな水位にあっては、空き容量が 0 に近づくにつれて、急激に放流量が増加する特性を有していることが上げられる。このため、基準流入波形と比較した流入波形の特性や VR 方式を適用する際の空き容量との関係は、重要である。

前節にてシミュレーションを行ったダム、洪水に関して、図-5.4.2に(最大流入量 -計画最大放流量)/ピーク時空き容量~最大放流量/計画最大放流量の関係を、図-5.4.3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と類似した現象と推察される。

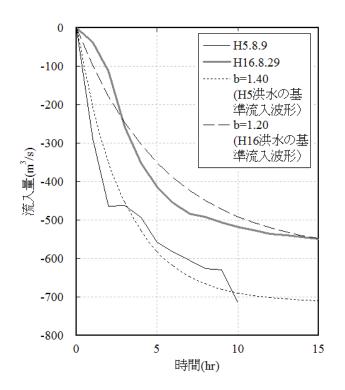


図-5.4.1 実績洪水低減部と基準流入波形7)

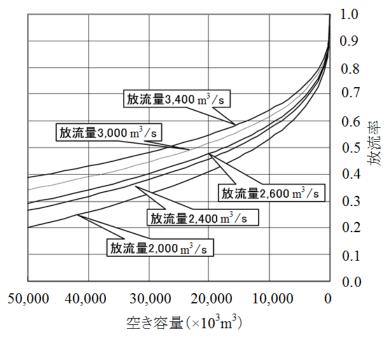


図-2.4.2 VR 曲線 (再掲) ¹²⁾

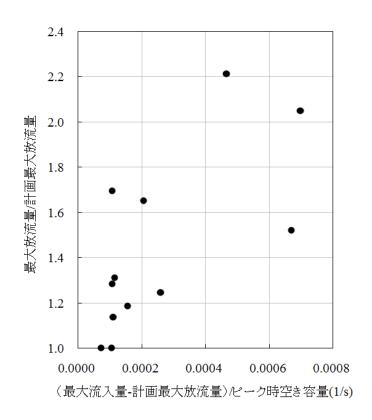


図-5.4.2 最大流入量のピーク時空き容量に対する比率と最大放流量の関係7)

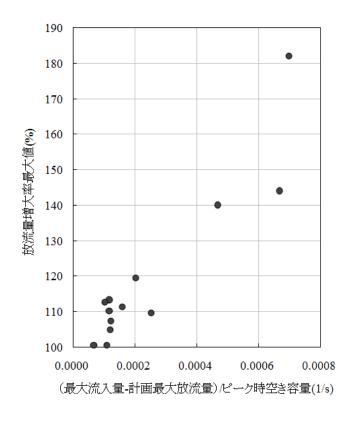


図-5.4.3 最大流入量、空き容量と放流量増加率最大値の関係7)

実際のダム管理にあっては、但し書き操作開始水位前後に到達する洪水時において但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。また、松浦ら 11)は、第2章図-2.4.2に示したように、VR 曲線が空き容量が少ない部分で放流率が急増するため、場合によっては洪水調節終了間際に放流量が急増する可能性があると指摘している。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回の但し書き操作を経験している祝子ダムについて、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-5.4.4、5.4.5、表-5.4.1 に示すととおりであり、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。

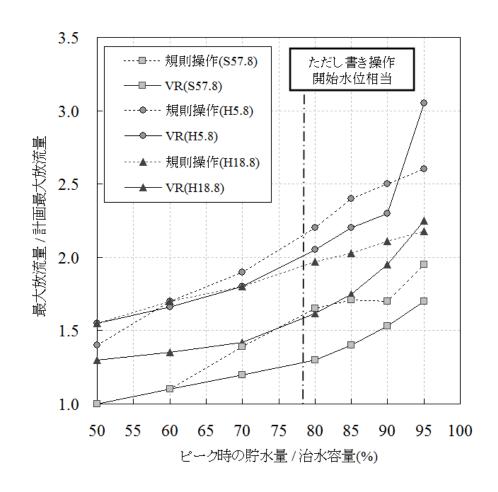


図-5.4.4 ピーク時の空き容量と計画最大放流量超過比率7)

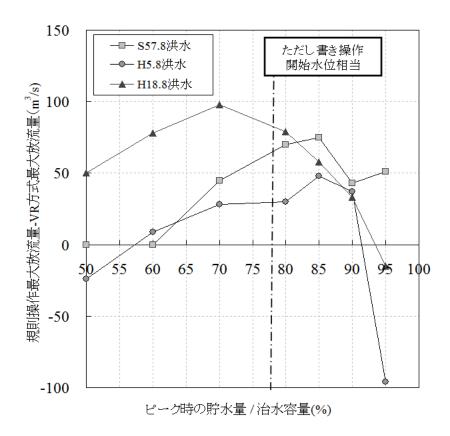


図-5.4.5 ピーク時の空き容量と最大放流量低減効果(祝子ダム) 7)

表-5.4.1 空き容量による感度分析結果一覧表7)

	0	2	3	4	(5)	(B)	(T)	8	9
	流入ピーク時	流入ピーク時	流入ピーク時	ピーク時	規則操作最	VR操作最大	規則操作最	VR操作最大	規則操作最
	総貯留量	貯留率	空容量	永位	大放流量	放流量	大放流量⑤/	放流量®/計	大放流量⑤-
	(1 m³)	(%)	(1 m³)	(EL.m)	(m^3/s)	(m^3/s)	計画最大放	画最大放流	VR操作最大
							流量	量	放流量®
									(m^3/s)
	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
S57.8	3,729	70	1,270	319.61	297.99	253.37	1.35	1.15	44.62
洪水	4,152	80	847	321.30	354.60	286.83	1.61	1.30	67.77
757/1	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
	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
H5.8	3,729	70	1,270	319.61	425.30	397.20	1.93	1.81	28.10
洪水	4,152	80	847	321.30	474.90	443.51	2.16	2.02	31.39
757	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
	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
H18.8 洪水	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
757/1	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

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%又は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。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二風谷ダム、矢作ダム、鶴田ダム、渡川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-5.4.6 のとおりである。二風谷ダム、矢作ダムにあっては、貯水率が80%以上の場合、VR 方式の効果は得られない。また、鶴田ダム、渡川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、祝子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。

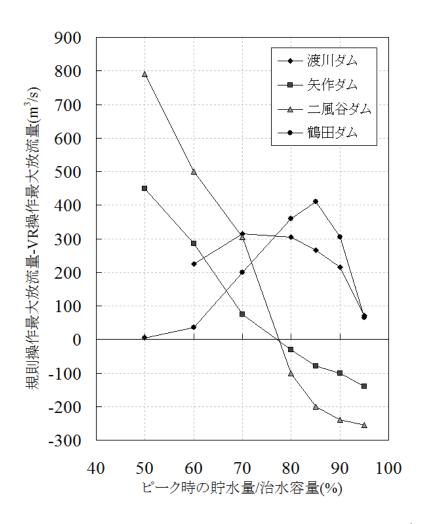


図-5.4.6 ピーク時の貯水量比率と VR 操作の効果⁷⁾

5.4.2 基準流入波形の妥当な設定について

松浦ら 11)は、VR 曲線について、「ある特定の出水事例の流入波形に基づいているため、元の事例と異なる流入波形の場合はうまく適応できないものと想像される。」と評価している。当然ながら、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 の値をさまざまな洪水に適応できるよう、適切に設定する必要がある。ここに、 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。本研究では、但し書き操作実績の多い祝子ダムにおいて、洪水ピーク流量を $^{500m^3/s}$ 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 $^{1.05}$ ~ $^{1.50}$ に変化させて $^{500m^3/s}$ と場合の最大放流量について検討したところ、図 $^{500m^3/s}$ と場合の最大放流量について検討したところ、図 $^{500m^3/s}$ に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た $^{500m^3/s}$

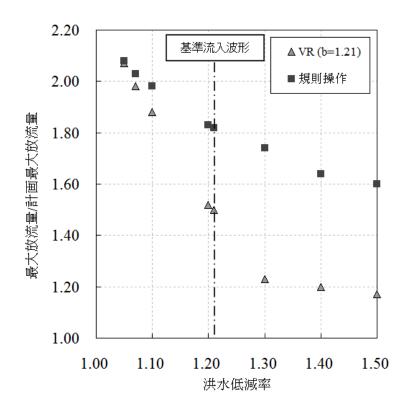


図-5.4.7 洪水流入波形低減部の感度分析結果7)

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-5.2.2に示すように、ほぼ中間値となるべく、(5.2.1)式の b の値を設定している。また、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 1.3 。一方、前節で記述したように、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、本研究

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祝子ダムを対象に検討を行った $^{7)}$ 。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-5.4.8)。なお、基準流入波形を上回る部分の洪水量の対する 割合と b の値の関係は、表-5.4.2 のとおりである。さらに b の値を既往洪水の大半を網羅できるよう、 $1.02\sim1.50$ の範囲で変化させて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-5.4.9 のとおりであり、祝子ダムの場合は、洪水によって変化するものの、 $b=1.10\sim1.35$ 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-5.4.2 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 $1.10\sim1.35$ の範囲内に入ること、図-5.4.9 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-5.4.8 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。

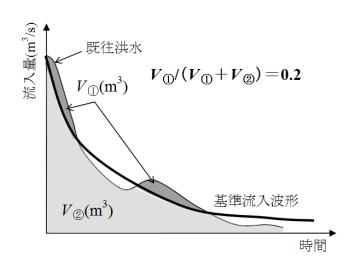


図-5.4.8 bの設定方法概念図⁷⁾

表-5.4.2 貯留量と基準流入波形低減率7)

	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

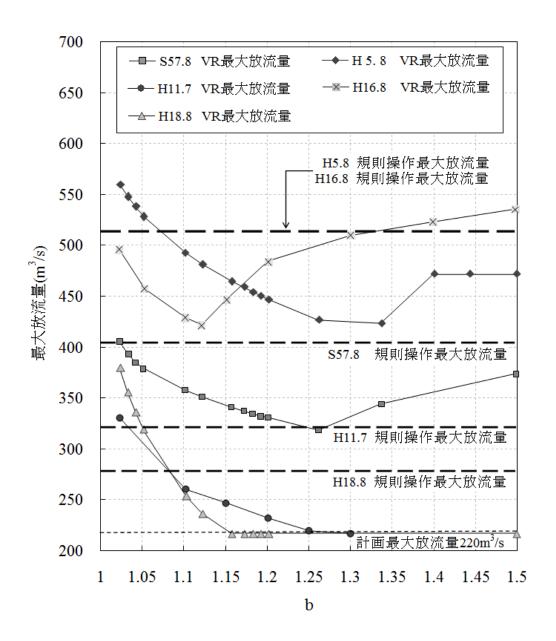


図-5.4.9 基準流入波形と VR 方式による最大放流量の関係 7)

5.4.3 VR 方式移行時期の適切な判断

本研究においては、VR 方式への移行時期について、流入量のピーク時としたが、実際の洪水調節時には、流入量のピークは、洪水が終了した後でないと正確には判断できない。また、計画最大放流量を上回る放流量を放流する際には、警報、通知、巡視を実施する時間を確保する必要があり、これらの時間を考慮した実操作の実施方法について、例えば、第3章で述べた WRF による洪水予測と適切な流出解析を組み合わせて、流入量と洪水ピーク発生時刻を予測する手法などを含めて、今後検討が必要である。

流入量がピークに達する前に、治水容量が流水で満水してしまい、本研究で採用する 手法では、VR 方式が適用できないケースも祝子ダム 2 洪水で見られた。今後は、2 山 以上の洪水などの洪水波形についての適用性も合わせて検証する必要がある。

5.5 まとめ

本章では、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規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っては、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規模な洪水にあっては、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い、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っては、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但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ことが必要である。今回試算を行った祝子ダムにあっては、基準流入波形を上回る部分の洪水量の割合が 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る。
- (6) 実際のダム操作にあっては、洪水のピーク発生時刻を推定するとともに、警報、通知等の時間を確保して VR 方式移行時期を決定する必要があり、これらの判定方法について、今後詳細な検討が必要である。
- (7) 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。

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、pp.4-12、1993.
- 6) 裏戸 勉、異常洪水時のダム操作手法について、ダム工学会第 10 回研究発表会 講演集、pp.40-42、1999.
- 7) 三石真也、角哲也、尾関敏久、松木浩志、VR 方式によるダム洪水調節の適用性に 関する検討、ダム工学 Vol.20 No.2、pp.105-115、2010.6
- 8) 裏戸 勉、ダムによる洪水調節方法の合理化について、松江高専研究紀要第 36 号、 PP.37-44、2001.2
- 9) 裏戸 勉、異常洪水に適応する洪水調節の手法について、リザバー2006.3、 PP.11-13、2006.3
- 10) 竹下清他、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所報 pp.50-56、2006.
- 11) 松浦 旬、宮内茂行、流入量の逓減予測を用いた洪水調節方法の検討、平成 19 年度水資源機構技術研究発表会発表論文、2007.
- 12) 松浦 旬、宮内 茂行、流入量の逓減予測を用いた洪水調節方法の検討、平成19年 度水資源機構技術研究発表会発表論文、2007.
- 13) 裏戸 勉、異常洪水時のダム操作手法とその運用について、土木学会中国支部 第52回研究発表会発表概要集、pp.117-118、2000.