

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.1028

March 2018

ダムの機能を最大限活用する洪水調節方法の導入に向けた
ダム操作規則等点検に関する資料

河川研究部 水循環研究室

Technical Note on Assessment of Dam Operational Rules for Advanced Flood Control Operation

Water Cycle Division, River Department

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

ダムの機能を最大限活用する洪水調節方法の導入に向けたダム操作規則等点検に関する資料

川崎将生* 猪股広典** 工藤俊***

Technical Note on Assessment of Dam Operational Rules for Advanced Flood Control Operation

Masaki Kawasaki, Hironori Inomata, Shun Kudo

概要

国土交通省では、既設ダムの有効活用を促進する観点から、これまでの知見や最新の技術を活用した柔軟なダム操作（事前放流、異常洪水時防災操作、特別防災操作）について、各ダムにおいて実施可能性を点検するための方法について検討を重ねてきた。本資料は、2017年7月に発出された「ダムの機能を最大限活用する洪水調節方法の導入に向けたダム操作規則等点検要領及び同解説」に基づき点検を行う際に参考となる技術的事項等を取りまとめたものである。

キーワード : ダム、事前放流、異常洪水時防災操作、特別防災操作

Synopsis

Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism has examined methods to evaluate the efficient operations of dams, i.e. preliminary release, flood control operation for extreme floods and advanced operation for flood control, based on the latest technics and knowledges, aiming at promotion of the efficient usage of the existing dams.

This technical note shows points of the assessment of dam operation rules for advanced flood control operation based on "Guideline for Assessment of Dam Operational Rules for Advanced Flood Control Operation" which was published in July 2017.

Key Words : Dam, Preliminary release, Flood control operation for extreme floods, Advanced operation for flood control

*	河川研究部水循環研究室長	Head, Water Cycle Division, River Department
**	前 河川研究部水循環研究室 主任研究官	Former Senior Researcher, Water Cycle Division, River Department
***	河川研究部水循環研究室 研究官	Researcher, Water Cycle Division, River Department

まえがき

近年、時間雨量 50mm 以上の短時間強雨の発生件数が約 30 年前の約 1.4 倍に増加し、日降水量 100mm、200mm 以上の発生日数も増加している。また、総雨量 1000mm を超える大雨や中心気圧が 900hpa を下回るスーパー台風が発生するなど、大規模洪水の危険性が高まっている。

気候変動による洪水のさらなる激甚化が懸念される中、近年では、平成 27 年 8 月に取りまとめられた「水災害分野における気候変動適応策のあり方について 答申（社会資本整備審議会）」、平成 27 年 12 月に取りまとめられた「大規模氾濫に対する減災のための治水対策のあり方について 答申（社会資本整備審議会）」において、既設ダム機能を最大限活用する操作方法を検討すべきとの考え方が示されたところである。

こうした状況を踏まえ、これまでの知見や最新の技術を活用したより高度なダム操作（事前放流、異常洪水時防災操作、特別防災操作）の実施可能性を各ダムで点検するため、国土技術政策総合研究所では、有識者及び行政関係者からなる「気候変動に適応したダム洪水調節操作のあり方に関する検討会」（座長：中川博次 京都大学名誉教授）を設立し、本検討会の技術的な指導・助言を得て、各操作方法について検討を行った。

本資料は、上記の検討を踏まえ、国土交通省がとりまとめた「ダムの機能を最大限活用する洪水調節方法の導入に向けたダム操作規則等点検要領及び同解説」に基づき点検を行う際に参考となる技術的事項等を取りまとめたものである。点検の結果、柔軟なダム洪水調節操作の実施可能性が見出されたダムについては、実運用への導入に向けた検討や関係機関との調整を図った上で各操作の運用を開始し、洪水被害のさらなる軽減に寄与することが期待されている。

なお、本資料に収録した内容は、平成 28 年度までに実施された国土技術政策総合研究所における検討並びにいくつかのダムにおける試行事例から得られた知見を取りまとめたものであるが、事例数は必ずしも多くない。このため、個々の点検の実施にあたっては、本資料及び点検要領策定後の他の点検事例から得られた知見も十分参考にされるようお願いする。

目 次

ダムの機能を最大限活用する洪水調節方法の導入に向けたダム操作規則等点検に関する資料

第1章	事前放流操作	
I.	本章の目的、点検フロー	1-1
II.	回復可能水位テーブルの概要	1-2
	1. 回復可能水位テーブルの構成、使用方法	1-2
	2. 回復可能水位テーブルの作成方法の概要と意味	1-2
III.	回復可能水位テーブルの作成手順	1-2
	1. A ダムの諸元	1-3
	2. 回復可能水位テーブル作成に必要なデータの収集・整理	1-4
	3. 回復可能水位テーブルの作成	1-13
IV.	回復可能水位テーブルの評価	1-21
	1. 事前放流実施頻度に関する簡易評価	1-21
	2. 事前放流の効果に関する評価	1-23
	3. テーブル①及びテーブル②の違い	1-29
第2章	異常洪水時防災操作	
I.	本章の目的、点検フロー	2-1
II.	異常洪水時防災操作方式	2-2
	1. A ダムの諸元、計算条件	2-2
	2. 現行の異常洪水時防災操作方式	2-5
	3. 必要最小放流量方式	2-5
	4. VR 方式	2-12
	5. 放流曲線逐次見直し方式	2-17
	6. 限界操作方式	2-21
III.	異常洪水時防災操作の開始水位の点検	2-25
	1. 異常洪水時防災操作の開始水位の点検手順	2-25
	2. 計算条件	2-25
	3. 計算結果	2-27
	4. まとめ	2-28
IV.	「計画規模を超える洪水時におけるただし書き操作の運用の改訂について」(昭和59年6月河川局長通達)以降提案された異常洪水時防災操作の導入可能性に関する検討方法	2-29
	1. 検討手順	2-29
	2. ダム設計洪水流量規模の流入ハイドログラフに対する洪水調節計算	2-29
	3. 洪水調節機能の評価に関する検討	2-32
	4. 結果のまとめ	2-35

第3章 特別防災操作	
I. 特別防災操作の概要、本章の目的、点検フロー	3-1
II. 特別防災操作の実施フローに関わる技術的事項	3-4
1. Bダムの諸元、下流水位観測地点（C地点）、対象出水について	3-4
2. 各ステップにおける検討事項	3-4
3. 特別防災操作による水位低下効果のシミュレーション	3-14
4. その他の放流量決定方法の紹介	3-16

参考文献	4-1
------	-----

【巻末資料】ダムの機能を最大限活用する洪水調節方法の導入に向けたダム操作規則等点検要領及び同解説

第1章 総則	1
1.1 目的	1
1.2 用語の定義	2
1.3 本要領の構成	2
第2章 事前放流に関する点検	3
2.1 点検の目的	3
2.2 対象ダム	3
2.3 点検内容	3
第3章 異常洪水時防災操作に関する点検	7
3.1 点検の目的	7
3.2 対象ダム	7
3.3 点検内容	7
第4章 特別防災操作に関する点検	12
4.1 点検の目的	12
4.2 対象ダム	12
4.3 点検内容	12

第 1 章

事前放流操作

I. 本章の目的、点検フロー

「ダム機能を最大限活用する洪水調節方法の導入に向けたダム操作規則等点検要領（平成29年7月）」において、事前放流に関する点検では『「事前放流ガイドライン（案）¹⁾」において事前放流により確保する空容量の範囲として定められる「降雨解析などにより確実に容量回復が見込める容量の活用」について近年の降雨予測技術による予測雨量を使用して検討する』とされており、具体的には「回復可能水位テーブル」に基づく事前放流実施方法について検討を実施することとされている。

本章では、回復可能水位テーブルに基づく事前放流実施方法に関わる技術的事項について述べる。具体的には、回復可能水位テーブルの概要を述べた後（II.）、A ダムを事例とした、近年の降雨予測技術による予測雨量を使用した回復可能水位テーブルの作成手順（III.）及び回復可能水位テーブルの評価（IV.）について述べる。また、事前放流操作の点検フローを図1.1に示す。

なお、A ダムとは異なり、点検対象ダムの上流にダムが直列の位置関係にある場合は、流域の治水・利水計画における各施設の役割、施設規模等を踏まえ、ダム群としての事前放流方法を検討する方が望ましい場合がある。

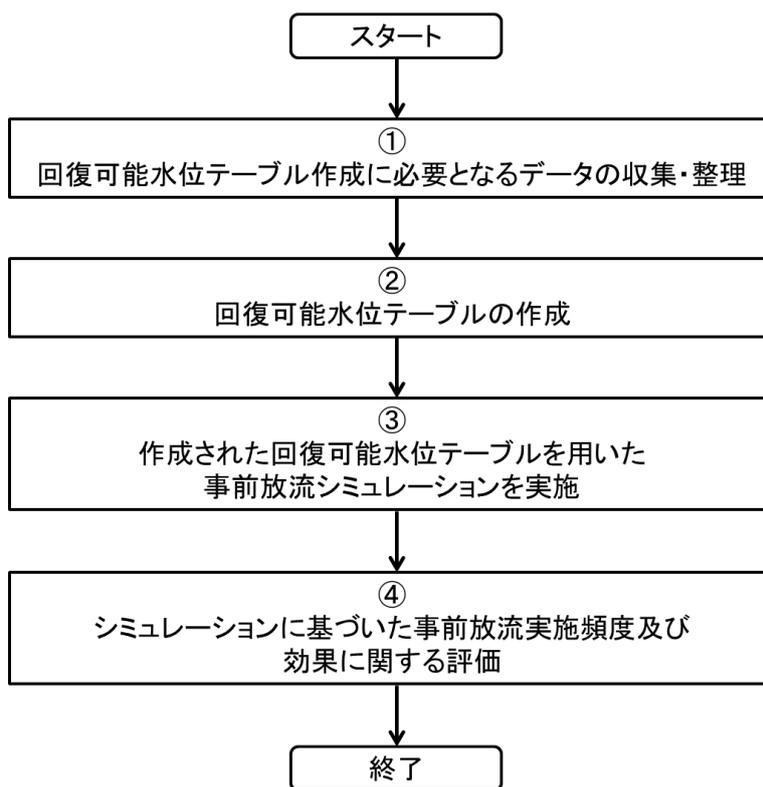


図 1.1 事前放流操作の点検フロー

II. 回復可能水位テーブルの概要

1. 回復可能水位テーブルの構成、使用方法

表 1.1 が回復可能水位テーブルの一例である。縦軸は実績の累積雨量を一定間隔で区切った「累積雨量ランク」を示し、横軸は予測積算雨量を一定間隔で区切った「予測雨量ランク」を示し、それぞれに対応する回復可能水位を表示した構成となっている。使用方法は、洪水調節開始前の任意の時間における累積雨量およびその時点で発表されている予測雨量の情報を収集し、それに対応する回復可能水位をテーブルから読み取り、その水位まで事前放流を実施するという順序で利用する。テーブル状の構成となっているため、利用が簡便であり誰が操作を行っても同様に操作されることが利点として挙げられる。また、事前放流だけでなく利水容量に空容量がある場合に洪水調節開始前の水位維持操作の判断にも利用することができる。

2. 回復可能水位テーブルの作成方法の概要と意味

回復可能水位テーブルは、過去の複数の出水に関する実績の流入量、放流量、雨量及びその時に発表された予測雨量を基に作成されるものであり、後述 (III.3.) するとおり作成方法によって表 1.1 のように 2 種類が存在する。表 1.1 に示される各累積雨量ランク及び各予測雨量ランクに対応する回復可能水位は、過去に同等の累積雨量が発生し、かつその予測雨量ランク以上の大きさの予測雨量が発表された全ての出水の中で、貯留量が最も少なかった出水の貯留量を洪水貯留準備水位相当容量から引き、その貯水量に対応する貯水位として定められる (III.3.で詳述)。そのため、事前放流を行いつつも洪水貯留準備水位までの確実な貯水位回復を意識した性質を有していると言える。

III. 回復可能水位テーブルの作成手順

回復可能水位テーブルは、II.2.で記した通り過去の複数の出水に関するデータを用いて作成するものである。ここでは、A ダムを事例として交えて下記手順で回復可能水位テーブルの作成方法について記す。なお、ここで述べる作成手順は、「事前放流検討の手引き²⁾」を参考とした上で、最新の降雨予測技術による予測雨量を用いる手順として示すものである。

表 1.1 回復可能水位テーブル

(上：回復可能量の考え方その①に基づき作成、下：回復可能量の考え方その②に基づき作成、
詳細は「2.3 回復可能量の整理」に記述)

累積雨量ランク (mm)	予測雨量ランク (33時間予測積算雨量 mm/33hr)											
	0 - 49	50 - 99	100 - 149	150 - 199	200 - 249	250 - 299	300 - 349	350 - 399	400 - 449	450 - 499	500 - 549	550 -
0	事前放流 しない											
1 - 19												
20 - 39												
40 - 59												
60 - 79												
80 - 99												
100 - 119												
120 - 139												
140 - 159												
160 - 179												
180 - 199												
200 -												

累積雨量ランク (mm)	予測雨量ランク (33時間予測積算雨量 mm/33hr)											
	0 - 49	50 - 99	100 - 149	150 - 199	200 - 249	250 - 299	300 - 349	350 - 399	400 - 449	450 - 499	500 - 549	550 -
0	事前放流 しない											
1 - 19												
20 - 39									293.5			
40 - 59									(-5.5m)			
60 - 79					298.2 (-0.2m)							
80 - 99					297.3 (-1.7m)							
100 - 119			296.1	(-2.9m)								
120 - 139	295.0		294.3					291.4	(-7.6m)			
140 - 159	(-4.0m)		(-4.7m)									
160 - 179									289.7			
180 - 199									(-9.3m)			
200 -												

1. A ダムの諸元

A ダムの諸元は以下の通りである。

- 形式：重力式コンクリートダム
- 用途：F（洪水調節）、N（不特定用水）、W（水道用水）、P（発電）
- 流域面積：80.9 km²
- 洪水期の不特定容量：5,500,000 m³
- 洪水期の洪水調節容量：17,000,000 m³
- 洪水貯留準備水位：299.0 m
- 最低水位：276.0 m
- 放流設備：常用洪水吐 3 門（高圧ラジアルゲート）、非常用洪水吐 4 門（普通ラジアルゲート）
- 洪水調節方式：一定量放流方式
- 洪水量：200 m³/s
- 計画最大放流量：350 m³/s
- 洪水期：6 月 16 日～10 月 31 日

※上述の用語の定義は、例えば、「社団法人 日本河川協会、財団法人 国土開発技術研究センター 編：改訂 解説・河川管理施設等構造令」、「財団法人 ダム技術センター：多目的ダムの建設」等を参照のこと。

2. 回復可能水位テーブル作成に必要となるデータの収集・整理

2.1 データの収集

1) 収集するデータの種類

回復可能水位テーブルを作成するために、下記の2種類のデータを収集する。

- 対象ダムにおける毎時の実績貯水位、流入量、放流量、流域平均雨量
- MSM(Meso-Scale Model)の予測雨量またはそれに準じる精度を有する予測雨量

ここで、MSMとは、日本及びその近海の大気を対象とした気象庁の数値予報モデルのことであり、時空間解像度などの詳細は以下の3)で示す通りである。

2) 収集対象期間

気象庁が運用するMSMの33時間予測が開始された2007年から、検討実施時点までの洪水期を対象期間とする。Aダムの洪水期は6月16日～10月31日であることから、6月16日以前に始まり6月16日をまたいで発生した出水についても整理対象とするため収集対象期間は洪水期より少し延伸して、2007年から2015年における毎年の6月1日～10月31日とした。ダム諸量についてもMSMと同様の期間について収集する。

3) MSMの予測雨量の主な仕様、処理

ここでは、予測雨量として気象庁が運用するMSMの予測雨量を用いることとする。MSMの主な仕様は以下の通りである。MSMは雨量だけでなく気温、風速をはじめとした数多くの変数について予測計算されているが、これ以降断りがない限り「MSM」という表記は予測雨量を示すものとする。

- 空間解像度：約5 km
- 時間解像度：1時間
- 予測先行時間及び更新頻度：

2013年5月29日以降 39時間先まで、1日8回 (00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21UTC (UTCは協定世界時))

2013年5月29日以前 33時間先まで、1日8回 (00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21UTC) ただし、33時間先までの予測は03, 09, 15, 21UTCの1日4回

2013年5月29日以降は39時間先までのMSMを用いることができる。しかし2013年以降のデータのみで検討を行おうとすると利用可能なデータ期間が短くなってしまうため、ここでは39時間先の予測が利用可能な2013年5月29日以降のMSMも33時間先までを利用し、それ以前まで配信されていた33時間先までのMSMと併せて用いることとする。

また、収集したMSMはグリッドデータとなっているため、以降の検討に用いるために対象ダム流域内のMSMの各グリッドについて予測雨量を抽出し、それらの値を平均して流域平均値を算出する。

2.2 回復可能水位テーブルの作成に用いる出水の抽出

対象期間として設定した期間の中から、回復可能水位テーブルの作成に用いる「出水」を抽出する。ここで「出水」とは、流入量が洪水量に至った出水と至らない小規模な出水を併せて表現する。出水は、以下の手順で抽出する。

1) 評価期間内の水文量の整理

①毎時の累積雨量の整理

対象期間において収集したダム流域の流域平均時間雨量から毎時の累積雨量を整理する。累積雨量の整理に当たっては、無降雨が何時間継続したら累積雨量をリセットするかを考慮する必要があり、ここ

では各ダムのダム管理用制御処理設備（ダムコン）において設定されている値を用いることを基本とする。Aダムにおいては、無降雨が6時間継続した時点で累積雨量をリセットすることとした。

②毎時のダム流入量の整理

対象期間において収集した毎時のダム流入量を整理する。

③毎回のMSM予測値の整理

対象期間において収集した毎回のMSM予測値を整理する。MSMの雨量予測値は2013年5月29日以前にあっては03,09,15,21UTCの各回における予測初期時刻から33時間先までの毎時の1時間雨量を抽出し、33時間分の流域平均雨量積算値を整理する。また、2013年5月29日以降にあっては00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21UTCの各回における予測初期時刻から39時間先までの毎時の1時間雨量を抽出し、予測初期時刻から33時間分の流域平均雨量積算値を整理する。

2) 洪水量に到達した出水の水文量の整理

対象期間において洪水量に到達した出水について、表1.2のように、最大流入量生起日時、最大流入量、期間の総雨量、洪水量到達時の累積雨量、最大流入量発生時点における累積雨量、洪水量到達までに計算されたMSM33時間予測積算雨量の最大値、気象要因を整理する。ここで、図1.2は、表1.2におけるNo.2の出水の各水文量の時系列変化を、参考として示したものである。

表1.2 洪水量に到達した出水における水文量の整理結果

No	最大流入量 生起日時	最大 流入量 (m^3/s)	期間の 総雨量 (mm)	洪水量 到達時 累積雨量 (mm)	最大 流入時点 累積雨量 (mm)	洪水量到達前 最大予測雨量 (mm/33hr)	気象要因
1	2007-07-14T23:00	290.2	373	156	291	296	梅雨前線、台風第4号
2	2009-10-08T04:00	581.9	342	227	291	350	台風第18号
3	2011-07-20T00:00	701.2	647	270	623	593	台風第6号
4	2011-09-03T03:00	929.9	1,520	359	885	586	台風第12号
5	2011-09-17T01:00	203.4	155	109	114	120	台風第15号
6	2011-09-21T10:00	540.4	422	257	339	349	台風第15号
7	2012-06-19T18:00	561.0	128	83	119	221	台風第4号
8	2012-09-18T12:00	236.7	362	306	306	284	台風第16号
9	2012-09-30T17:00	684.0	101	46	92	306	台風第17号
10	2013-09-04T13:00	221.6	114	71	71	106	低気圧
11	2013-09-16T03:00	643.9	296	184	257	403	台風第18号
12	2014-08-10T10:00	498.8	603	211	568	390	台風第11号
13	2014-10-06T05:00	482.5	211	136	189	398	台風第18号
14	2015-07-17T04:00	574.5	580	207	511	374	台風第11号
15	2015-08-25T20:00	385.8	168	138	159	247	台風第15号

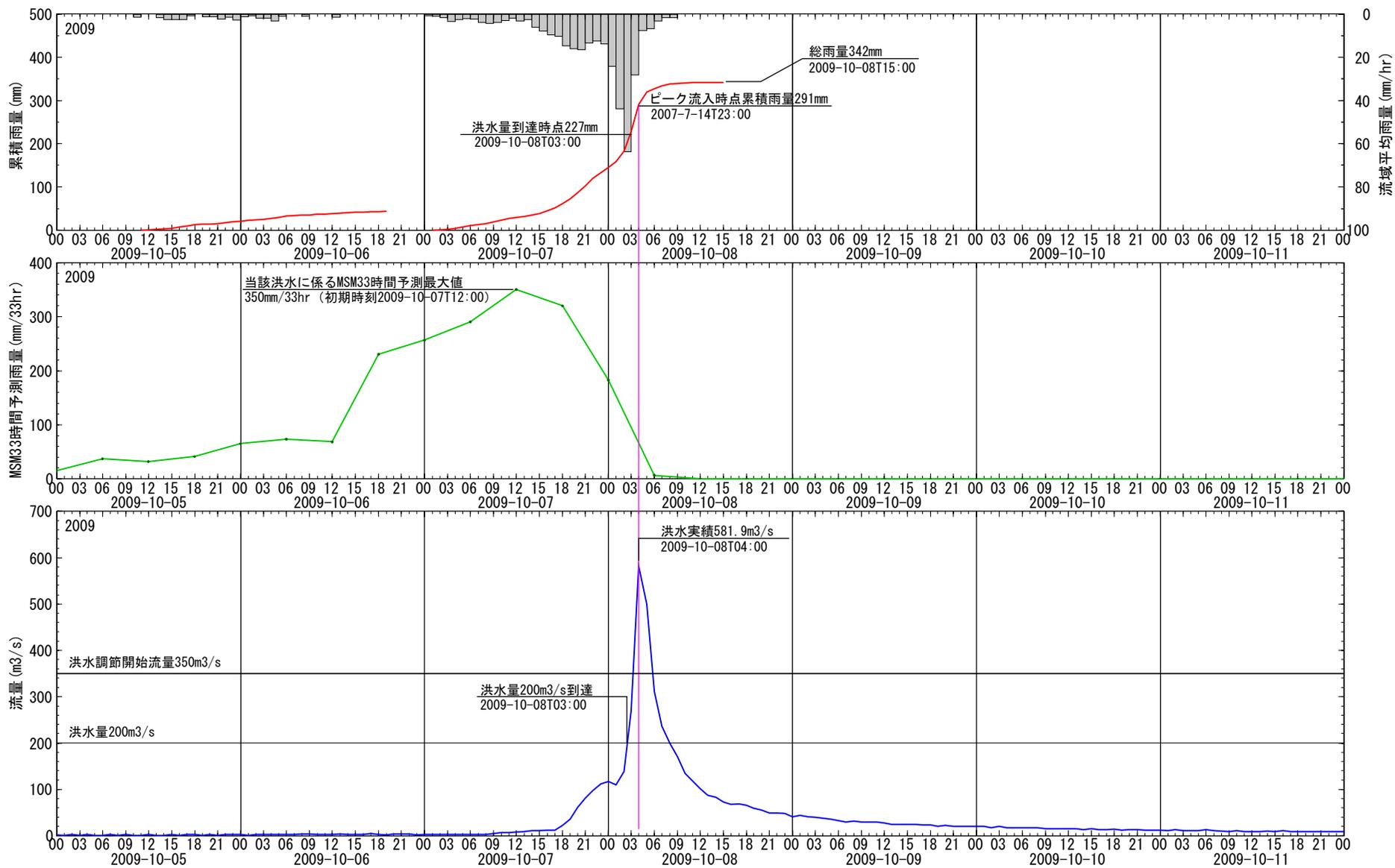


図1.2 洪水量に到達した出水における水文量の整理例

3) 回復可能水位テーブルの作成に用いる出水の抽出

最初に、洪水量に到達した出水の水文諸元の整理結果から、回復可能水位テーブルの作成に用いる出水を抽出するため、予測雨量の閾値（X）、累積雨量の閾値（Y）を決定する。

①予測雨量の閾値（X）の決定

対象期間内に洪水量に達した出水に着目し、それらの出水から「洪水量到達前の33時間予測積算雨量最大値」の最小値（X mm/33hrとする）を抽出する。

Aダムでは、表1.3に示すように、2013年9月4日13時にピーク流量が生起した出水に係る降雨が該当し、X=106mm/33hrである。

②累積雨量の閾値（Y）の決定

対象期間内に洪水量に達した出水に着目し、それらの出水から「最大流入量時点の累積雨量」の最小値（Y mmとする）を抽出する。

Aダムでは、表1.3に示すように、2013年9月4日13時にピーク流量が生起した出水に係る降雨が該当し、Y=71mmである。

表1.3 予測雨量の閾値（X）、累積雨量の閾値（Y）の決定

No	最大流入量 生起日時	最大 流入量 (m ³ /s)	期間の 総雨量 (mm)	洪水量 到達時 累積雨量 (mm)	最大 流入時点 累積雨量 (mm)	洪水量到達前 最大予測雨量 (mm/33hr)	気象要因
1	2007-07-14T23:00	290.2	373	156	291	296	梅雨前線、台風第4号
2	2009-10-08T04:00	581.9	342	227	291	350	台風第18号
3	2011-07-20T00:00	701.2	647	270	623	593	台風第6号
4	2011-09-03T03:00	929.9	1,520	359	885	586	台風第12号
5	2011-09-17T01:00	203.4	155	109	114	120	台風第15号
6	2011-09-21T10:00	540.4	422	257	339	349	台風第15号
7	2012-06-19T18:00	561.0	128	83	119	221	台風第4号
8	2012-09-18T12:00	236.7	362	306	306	284	台風第16号
9	2012-09-30T17:00	684.0	101	46	92	306	台風第17号
10	2013-09-04T13:00	221.6	114	71	71	106	低気圧
11	2013-09-16T03:00	643.9	296	184	257	403	台風第18号
12	2014-08-10T10:00	498.8	603	211	568	390	台風第11号
13	2014-10-06T05:00	482.5	211	136	189	398	台風第18号
14	2015-07-17T04:00	574.5	580	207	511	374	台風第11号
15	2015-08-25T20:00	385.8	168	138	159	247	台風第15号

累積Y= 71 予測X= 106

③閾値以上となる出水の抽出

対象期間において整理した毎回のMSM予測による33時間予測積算雨量から閾値（X）以上となる出水を抽出する。

まず、表1.4（手順1）に示すように、対象期間内の全てのMSM予測による33時間予測積算雨量を最大の結果から最小の結果へ降べき順に整理し、予測雨量が閾値（X）以上となる全ての予測を抽出する。

次に、表1.4（手順2）に示すように、閾値（X）以上となる予測を時系列順に並べ替え、一つの降雨イベントに係る予測として区分けする。区分けした降雨イベントに係る予測において、最大となる予測値を確認する。さらに、降雨イベント毎のピーク流量生起時刻、ピーク流量値、また、ピーク流量生起時の累積雨量を確認する。

表1.4 予測雨量の閾値 (X) を超過する出水の抽出

(手順1) 対象期間内の全ての予測結果の降べき順整理 (手順2) 予測値の時系列順整理、降雨イベント毎の水文量の確認

順位	予測初期時刻	予測雨量 mm/33hr	順位	予測初期時刻	予測雨量 mm/33hr	ピーク流量 発生時刻	同左ピーク 流量 (m3/s)	同左累積 雨量 (mm)	
1	2011-09-03T12:00	780	205	2007-07-13T12:00	120	2007-07-14T23:00	290.2	291	
2	2011-07-18T18:00	593	127	2007-07-13T18:00	178				
3	2011-09-02T12:00	586	96	2007-07-14T00:00	209				
4	2011-09-03T06:00	576	54	2007-07-14T06:00	296				
5	2011-09-03T00:00	573	87	2007-07-14T12:00	218				
6	2011-09-02T18:00	563	178	2007-07-14T18:00	139				
7	2011-07-19T00:00	553	131	2007-09-11T00:00	174	2007-09-12T00:00	27.7	77	
8	2011-09-03T18:00	539	207	2007-09-11T06:00	119				
9	2011-07-19T06:00	504	218	2007-09-11T12:00	114				
10	2011-09-02T06:00	492	179	2007-09-11T18:00	136				
11	2011-09-01T18:00	443	158	2008-08-29T06:00	154	2008-08-30T09:00	68.3	103	
12	2015-09-08T03:00	436	74	2008-08-30T00:00	240				
13	2011-07-18T12:00	431	227	2008-09-17T18:00	111	2008-09-19T08:00	198.4	166	
14	2013-09-15T12:00	419	166	2008-09-18T12:00	149				
15	2013-09-15T00:00	403	44	2008-09-18T18:00	323				
16	2014-10-04T21:00	398	39	2008-09-19T00:00	336				
17	2013-09-15T03:00	392	43	2008-09-19T06:00	324				
18	2014-08-09T06:00	390	193	2008-10-23T00:00	125	2008-10-24T01:00	39.8	66	
~ 中略 ~			107	2008-10-23T06:00	202				
227	2008-09-17T18:00	111	174	2008-10-23T12:00	141				
228	2014-08-08T09:00	110	187	2008-10-23T18:00	127				
229	2013-10-24T06:00	110	206	2009-07-27T18:00	120	2009-07-29T04:00	5.7	27	
230	2013-10-24T00:00	109	78	2009-07-28T00:00	234				
231	2011-10-21T06:00	109	194	2009-07-31T12:00	125				
232	2013-10-24T12:00	109	114	2009-07-31T18:00	197				
233	2015-08-16T15:00	108	73	2009-08-08T18:00	245	2009-08-10T17:00	102.8	158	
234	2011-09-04T06:00	108	116	2009-08-09T00:00	194				
235	2009-08-09T06:00	106	235	2009-08-09T06:00	106				
236	2013-09-03T21:00	106	30	2009-08-09T12:00	356				
237	2015-08-16T03:00	105	75	2009-08-09T18:00	237				
238	2014-06-04T12:00	105	221	2009-08-10T00:00	113				
239	2007-10-19T00:00	105	161	2009-08-10T12:00	152				
240	2015-08-28T21:00	104	79	2009-10-06T18:00	230	2009-10-08T04:00	581.9	291	
241	2011-10-14T00:00	104	68	2009-10-07T00:00	256				
242	2013-10-25T00:00	104	58	2009-10-07T06:00	290				
~ 中略 ~			31	2009-10-07T12:00	350				
7315	2015-10-31T03:00	0	46	2009-10-07T18:00	320				
7316	2015-10-31T06:00	0	125	2009-10-08T00:00	183				
7317	2015-10-31T09:00	0	以下省略						
7318	2015-10-31T12:00	0	閾値以上の予測を時系列順に並べ替え						

整理範囲

X=106mm

範囲外

また、同様の手順で、対象期間において整理した累積雨量について、閾値 (Y) 以上となる出水を整理する。

表1.5は、上記2つの閾値のいずれかを超過する出水をまとめたものである。表1.5の左端において「予測」及び「累積」の列に示される●印は、それぞれ予測雨量の閾値（X）及び累積雨量の閾値（Y）を超過して抽出されたことを示しており、降雨によっては両方に該当する場合がある。

表1.5 回復可能水位テーブルの作成に用いる出水の水文諸元

予測 X	累積 Y	No	最大流入量 生起日時	最大 流入量 (m ³ /s)	期間の 総雨量 (mm)	洪水量 到達時 累積雨量 (mm)	最大 流入時点 累積雨量 (mm)	最大流入前または 洪水量到達前の 最大予測雨量 (mm/33hr)	気象要因
●	●	1	2007-06-08T22:00	8.1	96		73	80	低気圧
●	●	2	2007-07-14T23:00	290.2	373	156	291	296	梅雨前線、台風第4号
●	●	3	2007-08-02T21:00	66.5	182		142	100	台風第5号
●	●	4	2007-09-12T00:00	27.7	77		77	174	低気圧
●	●	5	2007-10-19T20:00	18.2	77		76	105	前線
●	●	6	2008-06-03T09:00	34.2	98		87	83	台風第5号
●	●	7	2008-08-30T09:00	68.3	111		103	240	低気圧
●	●	8	2008-09-19T08:00	198.4	274		166	336	台風第13号
●	●	9	2008-10-24T01:00	39.8	88		66	202	前線
●	●	10	2009-07-29T04:00	5.7	27		27	234	梅雨前線
●	●	11	2009-08-10T17:00	102.8	158		158	356	台風第9号
●	●	12	2009-10-08T04:00	581.9	342	227	291	350	台風第18号
●	●	13	2010-07-29T20:00	6.4	54		54	112	低気圧
●	●	14	2010-09-16T03:00	18.0	53		53	217	低気圧
●	●	15	2010-09-28T06:00	19.8	82		82	88	低気圧
●	●	16	2010-10-03T23:00	11.3	41		31	172	前線
●	●	17	2010-10-09T17:00	78.9	173		160	294	低気圧
●	●	18	2011-06-20T17:00	20.0	34		31	172	梅雨前線
●	●	19	2011-07-20T00:00	701.2	647	270	623	593	台風第6号
●	●	20	2011-08-01T08:00	9.2	19		19	126	低気圧
●	●	21	2011-09-03T03:00	929.9	1,520	359	885	586	台風第12号
●	●	22	2011-09-17T01:00	203.4	155	109	114	120	台風第15号
●	●	23	2011-09-21T10:00	540.4	422	257	339	349	台風第15号
●	●	24	2011-10-14T20:00	17.7	67		20	125	低気圧
●	●	25	2011-10-22T07:00	59.7	94		92	205	低気圧
●	●	26	2012-06-19T18:00	561.0	128	83	119	221	台風第4号
●	●	27	2012-07-07T07:00	56.0	88		80	23	梅雨前線
●	●	28	2012-08-05T13:00	7.6	0		0	227	大気不安定
●	●	29	2012-09-18T12:00	236.7	362	306	306	284	台風第16号
●	●	30	2012-09-30T17:00	684.0	101	46	92	306	台風第17号
●	●	31	2012-10-18T22:00	14.2	73		72	46	台風第21号
●	●	32	2013-06-21T01:00	15.4	111		98	197	梅雨前線
●	●	33	2013-06-26T16:00	53.2	84		83	116	梅雨前線
●	●	34	2013-07-26T17:00	7.4	85		79	5	大気不安定
●	●	35	2013-09-04T13:00	221.6	114	71	71	106	低気圧
●	●	36	2013-09-16T03:00	643.9	296	184	257	403	台風第18号
●	●	37	2013-10-16T03:00	138.0	124		115	206	台風第26号
●	●	38	2013-10-20T13:00	65.5	109		100	62	低気圧
●	●	39	2013-10-26T04:00	70.8	66		59	125	台風第27号
●	●	40	2014-07-04T02:00	7.0	36		36	129	梅雨前線
●	●	41	2014-07-10T17:00	65.1	122		122	72	台風第8号
●	●	42	2014-08-02T13:00	2.0	14		13	140	台風第12号
●	●	43	2014-08-10T10:00	498.8	603	211	568	390	台風第11号
●	●	44	2014-10-06T05:00	482.5	211	136	189	398	台風第18号
●	●	45	2014-10-13T17:00	174.1	124		102	174	台風第19号
●	●	46	2015-07-17T04:00	574.5	580	207	511	374	台風第11号
●	●	47	2015-08-17T03:00	5.1	36		27	186	前線
●	●	48	2015-08-25T20:00	385.8	168	138	159	247	台風第15号
●	●	49	2015-09-04T00:00	10.3	20		20	123	前線
●	●	50	2015-09-09T08:00	61.2	128		118	436	台風第18号

2.3 回復可能量の整理

2.2 で抽出した出水それぞれについて「回復可能量」を算定する。回復可能量には「①洪水調節で貯留することのできる容量」及び「②洪水調節及び減水期間で貯留することのできる容量」という 2 種類の定義が存在する。

回復可能量の考え方その①（洪水調節で貯留することのできる容量を回復可能量とする）：

任意の流入に対して通常の洪水調節操作を実施し、洪水調節によって貯まる体積を当該洪水に対する回復可能量として計上する（図 1.3）。洪水調節に至らない出水については、回復可能量は 0 m^3 となる。

回復可能量の考え方その②（洪水調節及び減水期間で貯留することのできる容量を回復可能量とする）：

任意の流入に対して通常の洪水調節操作を実施し、洪水調節によって貯まる体積に加えて、流入量が洪水調節開始流量を下回ってから放流量を下げることで貯留される体積を計上して当該洪水に対する回復可能量とする。洪水調節に至らない出水については、流入量がピークを迎えた後から放流量を下げることで貯留される体積を当該洪水に対する回復可能量とする（図 1.4）。また、減水期間における貯留については、何時間先まで貯留し続けるか及び何 m^3/s を最低限放流する必要があるかを決定する必要がある。これについてはダム毎に決定する。

回復可能量に関するこの算定方法の違いにより表 1.1 に示した 2 種類の回復可能水位テーブルが作成されることになる。両者の基本的な特性の違い、管理や効果における違いについては、次節「IV.回復可能水位テーブルの評価」で述べる。

図 1.5 及び図 1.6 は、A ダムにおける出水に対して洪水調節及び減水期間における貯留を行ったグラフである。洪水調節については通常操作（ $350 \text{ m}^3/\text{s}$ の一定量放流）に基づき実施することを想定する。減水期間を何時間先まで取るかについては、ここでは「事前放流の実施後に利水容量を直ちに回復する」ことを考慮して、2～3 日のうちに利水容量を回復する観点から、48 時間とした。また減水期間においては、発電最大使用水量の $9.0 \text{ m}^3/\text{s}$ を放流するものとした。図 1.5 においては「①洪水調節で貯留することのできる容量」は、「洪水調節量 533 万 m^3 」が該当し、「②洪水調節及び減水期間で貯留することのできる容量」は、「洪水調節量 533 万 m^3 」に「減水期間貯留 48 時間 730 万 m^3 」を足した値となる。一方洪水調節に至らない図 1.6 については、「①洪水調節で貯留することのできる容量」は 0 m^3 、「②洪水調節及び減水期間で貯留することのできる容量」は「減水期間貯留 48 時間 350 万 m^3 」となる。この考え方に基づいて表 1.5 に示した出水について回復可能量を計算した結果が表 1.6 である。

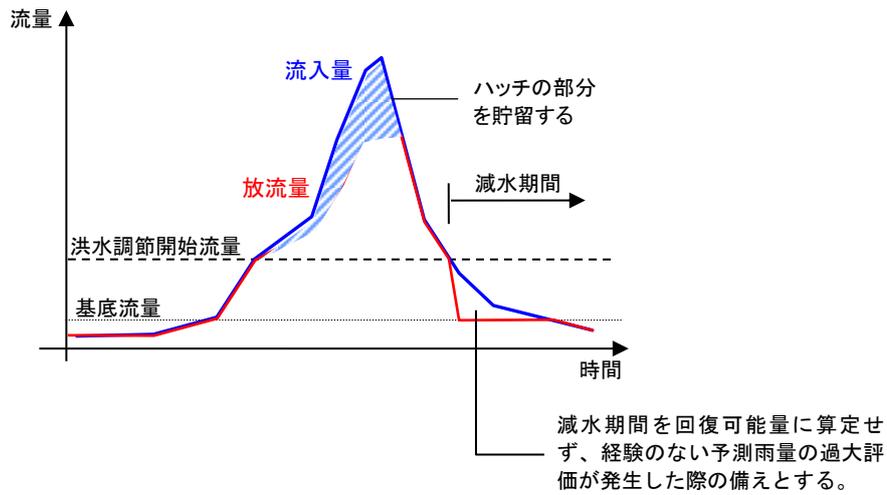


図 1.3 回復可能量の考え方その① (洪水調節で貯留することのできる容量を回復可能量とする)

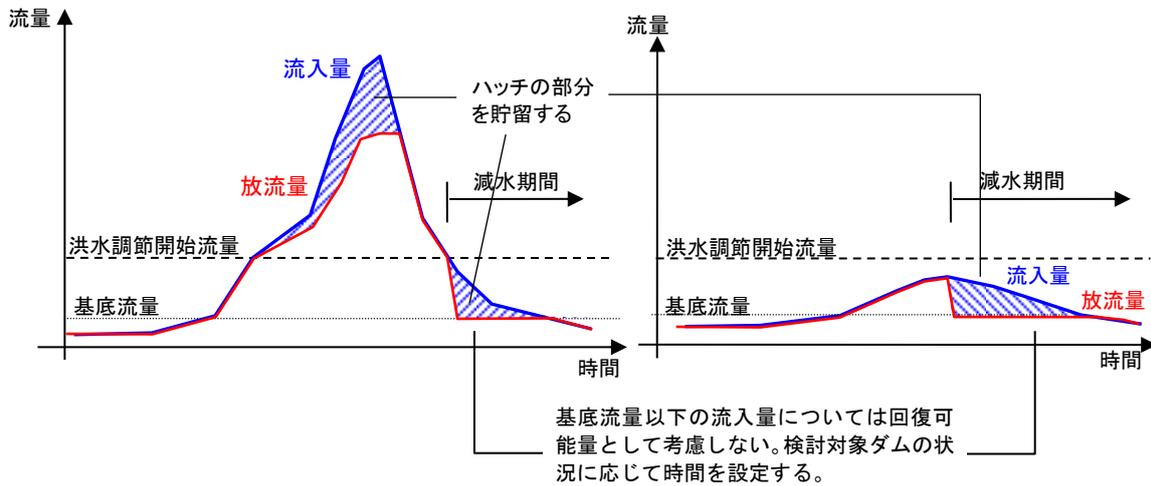


図 1.4 回復可能量の考え方その②
(洪水調節及び減水期間で貯留することのできる容量を回復可能量とする)

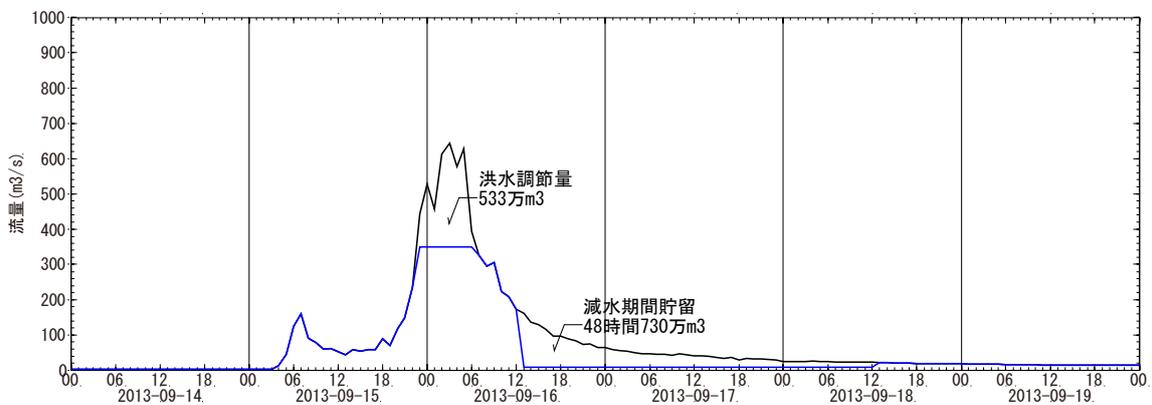


図1.5 洪水調節開始流量を超える出水における回復可能量算定 (洪水調節、減水期間の貯留)

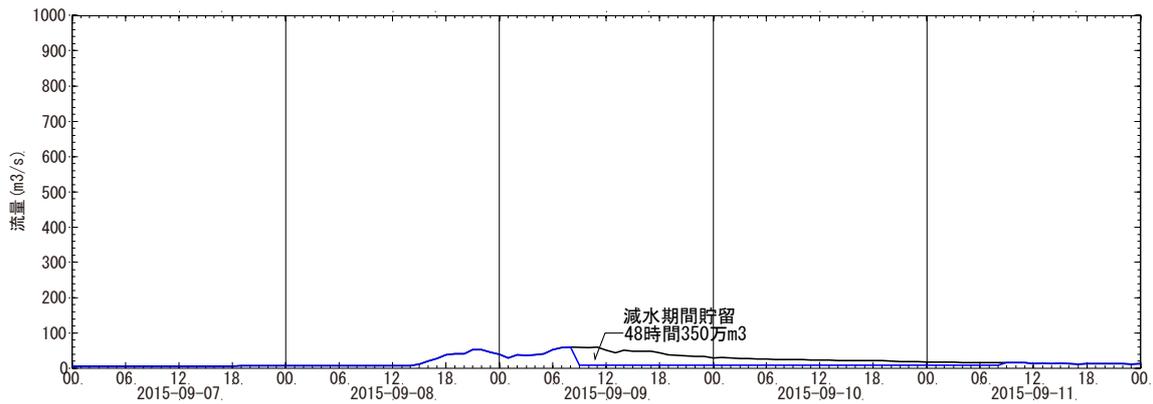


図1.6 洪水調節開始流量に満たない出水における回復可能量の算定（減水期間の貯留）

表1.6 回復可能量の算定結果

予測 X Y	No	最大流入量 生起日時	最大 流入量 (m³/s)	期間の 総雨量 (mm)	洪水量 到達時 累積雨量 (mm)	最大 流入時点 累積雨量 (mm)	最大流入量前または 洪水量到達前の 最大予測雨量 (mm/33hr)	回復可能量			気象要因
								①洪水調節 (m³)	②減水期間貯留 48時間分(m³)	合計 ①+② (m³)	
●	1	2007-06-08T22:00	8.1	96		73	80	0	0	0	低気圧
●	2	2007-07-14T23:00	290.2	373		291	296	0	8,153,892	8,153,892	梅雨前線、台風第4号
●	3	2007-08-02T21:00	66.5	182		142	100	0	2,627,640	2,627,640	台風第5号
●	4	2007-09-12T00:00	27.7	77		77	174	0	186,336	186,336	低気圧
●	5	2007-10-19T20:00	18.2	77		76	105	0	34,632	34,632	前線
●	6	2008-06-03T09:00	34.2	98		87	83	0	1,884,708	1,884,708	台風第5号
●	7	2008-08-30T09:00	68.3	111		103	240	0	1,932,552	1,932,552	低気圧
●	8	2008-09-19T08:00	198.4	274		166	336	0	8,625,384	8,625,384	台風第13号
●	9	2008-10-24T01:00	39.8	88		66	202	0	586,512	586,512	前線
●	10	2009-07-29T04:00	5.7	27		27	234	0	0	0	梅雨前線
●	11	2009-08-10T17:00	102.8	158		158	356	0	6,480,036	6,480,036	台風第9号
●	12	2009-10-08T04:00	581.9	342	227	291	350	1,375,128	5,946,876	7,322,004	台風第18号
●	13	2010-07-29T20:00	6.4	54		54	112	0	0	0	低気圧
●	14	2010-09-16T03:00	18.0	53		53	217	0	42,696	42,696	低気圧
●	15	2010-09-28T06:00	19.8	82		82	88	0	62,028	62,028	低気圧
●	16	2010-10-03T23:00	11.3	41		31	172	0	6,048	6,048	前線
●	17	2010-10-09T17:00	78.9	173		160	294	0	3,071,124	3,071,124	低気圧
●	18	2011-06-20T17:00	20.0	34		31	172	0	518,292	518,292	梅雨前線
●	19	2011-07-20T00:00	701.2	647	270	623	593	5,498,964	8,856,072	14,355,036	台風第6号
●	20	2011-08-01T08:00	9.2	19		19	126	0	0	0	低気圧
●	21	2011-09-03T03:00	929.9	1,520	359	885	586	21,136,392	8,601,192	29,737,584	台風第12号
●	22	2011-09-17T01:00	203.4	155		114	120	0	5,831,640	5,831,640	台風第15号
●	23	2011-09-21T10:00	540.4	422	257	339	349	2,016,432	8,815,896	10,832,328	台風第15号
●	24	2011-10-14T20:00	17.7	67		20	125	0	44,604	44,604	低気圧
●	25	2011-10-22T07:00	59.7	94		92	205	0	1,164,960	1,164,960	低気圧
●	26	2012-06-19T18:00	561.0	128	83	119	221	1,269,324	6,586,956	7,856,280	台風第4号
●	27	2012-07-07T07:00	56.0	88		80	23	0	1,394,028	1,394,028	梅雨前線
●	28	2012-08-05T13:00	7.6	0		0	227	0	0	0	大気不安定
●	29	2012-09-18T12:00	236.7	362		306	284	0	10,993,500	10,993,500	台風第16号
●	30	2012-09-30T17:00	684.0	101	46	92	306	1,822,896	6,390,288	8,213,184	台風第17号
●	31	2012-10-18T22:00	14.2	73		72	46	0	19,584	19,584	台風第21号
●	32	2013-06-21T01:00	15.4	111		98	197	0	35,964	35,964	梅雨前線
●	33	2013-06-26T16:00	53.2	84		83	116	0	1,560,600	1,560,600	梅雨前線
●	34	2013-07-26T17:00	7.4	85		79	5	0	0	0	大気不安定
●	35	2013-09-04T13:00	221.6	114		71	106	0	3,300,480	3,300,480	低気圧
●	36	2013-09-16T03:00	643.9	296	184	257	403	5,334,408	7,302,276	12,636,684	台風第18号
●	37	2013-10-16T03:00	138.0	124		115	206	0	3,749,940	3,749,940	台風第26号
●	38	2013-10-20T13:00	65.5	109		100	62	0	2,807,280	2,807,280	低気圧
●	39	2013-10-26T04:00	70.8	66		59	125	0	4,190,472	4,190,472	台風第27号
●	40	2014-07-04T02:00	7.0	36		36	129	0	0	0	梅雨前線
●	41	2014-07-10T17:00	65.1	122		122	72	0	2,639,124	2,639,124	台風第8号
●	42	2014-08-02T13:00	2.0	14		13	140	0	0	0	台風第12号
●	43	2014-08-10T10:00	498.8	603	211	568	390	1,816,236	8,681,544	10,497,780	台風第11号
●	44	2014-10-06T05:00	482.5	211	136	189	398	476,820	4,150,116	4,626,936	台風第18号
●	45	2014-10-13T17:00	174.1	124		102	174	0	6,554,376	6,554,376	台風第19号
●	46	2015-07-17T04:00	574.5	580	207	511	374	5,331,960	8,434,368	13,766,328	台風第11号
●	47	2015-08-17T03:00	5.1	36		27	186	0	0	0	前線
●	48	2015-08-25T20:00	385.8	168	138	159	247	128,808	3,374,100	3,502,908	台風第15号
●	49	2015-09-04T00:00	10.3	20		20	123	0	0	0	前線
●	50	2015-09-09T08:00	61.2	128		118	436	0	3,502,800	3,502,800	台風第18号

3. 回復可能水位テーブルの作成

3.1 回復可能水位テーブルの縦軸及び横軸の設定

ここでは、回復可能水位テーブルの縦軸（累積雨量のランク）、横軸（予測雨量のランク）の設定方法について述べる。

1) 縦軸（累積雨量ランク）の設定

- 累積雨量ランクの最小値の設定

近年の降雨予測技術による降雨予測の精度向上を考慮すると、降雨が発生する以前から、または累積雨量が極めて少ない時点において、予測雨量の精度が一定量確保されていて事前放流を実施できることが期待される。この観点から、累積雨量ランクの最小値は0 mmとすることを基本とする。

- 累積雨量ランクの区分設定

表1.5で抽出した出水の最大累積雨量の分布をふまえ、10 - 50 mmの単位で区切ることを基本とし、「累積雨量〇〇mm以上××mm未満」と区分した設定とする。Aダムにおいては流入量が洪水量に到達する時点での累積雨量が200 mm強である出水が多く、0 - 200 mmまでを10分割するという考えのもとに20 mm刻みとし、これに0 mmおよび200 mm以上の区分を加えて表1.7に示す縦軸のように決定した。

2) 横軸（予測雨量ランク）の設定

- 予測雨量ランクの最小値の設定

予測雨量ランクは、十分な流出遅れが見込める流域面積が大きいダムであれば予測雨量が少なくとも累積雨量が大きければ事前放流実施できる可能性があるため、予測雨量ランクの最小値を0 mm/33hrとすることを基本とする。Aダムの流域面積はそれほど大きくないが、0 mm/33hrを最小値とした。

- 予測雨量ランクの区分設定

表1.5で抽出した出水の予測雨量の最大値の値を考慮して、10 - 50 mm/33hrの単位で区切ることを基本とし、「予測雨量〇〇mm/33hr以上××mm/33hr未満」と区分した設定とする。Aダムにおいては50 mm/33hr刻みとした。

3) 「事前放流を実施しない」範囲の設定

2.2では、回復可能水位テーブルの作成に用いる出水を抽出するために、累積雨量及び予測雨量についてX mm/33hr及びY mmという閾値を設定し、いずれかを満足する出水を抽出した。そのため、回復可能水位テーブルの作成に当たってはX mm/33hr及びY mmを両方とも下回る規模の出水については回復可能水位テーブルには反映されないため、この規模の出水については事前放流の対象としないものとする。

Aダムでは、累積雨量が71 mm未満かつ予測雨量が106 mm/33hr未満の出水は対象としない。

上記1)~3)により作成される回復可能水位テーブルは表1.7のようになる。

表1.7 縦軸及び横軸を設定した回復可能水位テーブル

累積雨量ランク (mm)	予測雨量ランク (33時間予測積算雨量 mm/33hr)											
	0 - 49	50 - 99	100 - 149	150 - 199	200 - 249	250 - 299	300 - 349	350 - 399	400 - 449	450 - 499	500 - 549	550 -
0	事前放流しない											
1 - 19												
20 - 39												
40 - 59												
60 - 79												
80 - 99												
100 - 119												
120 - 139												
140 - 159												
160 - 179												
180 - 199												
200 -												

3.2 各累積雨量ランク及び予測雨量ランクに対応する回復可能量の設定

ここでは、回復可能量の考え方は「①洪水調節で貯留することのできる容量」（以下、「回復可能量の考え方その①」）、表1.7の累積雨量ランク「160-179」（表1.7の赤枠部分）を例にして各予測雨量ランクに当てはまる回復可能量の設定手順を示す。

1) 累積雨量ランクごとの33時間予測積算雨量最大値の整理

各出水について、累積雨量が160 mm - 179 mmに到達する以前に発表された33時間予測積算雨量の最大値を整理する。これに各出水の回復可能量を整理したものが表1.8である。累積雨量が160 mmに到達しなかった出水については、「累積雨量が160 mm - 179 mmに到達する前に発表された33時間予測積算雨量の最大値」に「×」を付している。ここで、表1.8で整理された33時間予測積算雨量の最大値は、累積雨量到達前の予測雨量最大値であるため、表1.5及び表1.6の「33時間予測積算雨量の最大値」で示された値と異なる場合があることに注意が必要である。

2) 各累積雨量ランク及び予測雨量ランクに対応する回復可能量の設定

横軸に予測雨量の各ランクを示し、それぞれの出水について表1.8で整理した33時間予測積算雨量の値がそのランク以上の値を示している箇所に「○」を記す（表1.9）。表1.9で、灰色に塗られている出水は累積雨量が160 mmに到達しなかったものを示している。次に、各予測雨量ランクについて、「○」が付された出水の中で最小の回復可能量を探索する。この値が累積雨量160 mm - 179 mm、予測雨量ランクにおける回復可能量となる。この探索を全ての予測雨量のランクに対して実施する。表1.9においては、予測雨量ランク350 mm - 399 mmにおける最小の回復可能量の探索について赤線・赤枠で示している。この予測雨量ランクにおいては、No.19, 36, 43, 46において、350 mm - 399 mmのランク以上の予測が発表されており、これらの出水の中で最小の回復可能量を示すNo.43の1,816,236 m³が回復可能量として選定される。この探索について図で示したものが図1.7である。予測雨量ランク350 mm - 399 mmでは、No.19, 36, 43, 46において350 mm - 399 mmと同等または上回る33時間の予測積算雨量が発表されており、回復可能量はそれぞれ5,498,964 m³, 5,334,408 m³, 1,816,236 m³, 5,331,960 m³である。これらの出水の中で最小の回復可能量であるNo.43の1,816,236 m³がこの予測雨量ランクにおける回復可能量として選定される。

以上のプロセスから得られる各予測雨量ランクにおける回復可能量は、そのランク以上の予測雨量を示した全イベント中で、最小の回復可能量として設定されると表現することができる。

表1.8 出水毎の累積雨量160 mm - 179 mm到達前の最大の33時間予測積算雨量の整理

No	最大流入量 生起日時	最大 流入量 (m ³ /s)	最大流入時 点または洪 水量到達時 点の累積雨 量(mm)	回復可能量	累積雨量が160 mm - 179 mm に到達する前に発表された33 時間予測積算雨量の最大値 (mm/33hr)
				洪水調節のみ (m3)	
1	2007-06-08T22:00	8.1	73	0	×
2	2007-07-14T23:00	290.2	291	0	296
3	2007-08-02T21:00	66.5	142	0	×
4	2007-09-12T00:00	27.7	77	0	×
5	2007-10-19T20:00	18.2	76	0	×
6	2008-06-03T09:00	34.2	87	0	×
7	2008-08-30T09:00	68.3	103	0	×
8	2008-09-19T08:00	198.4	166	0	336
9	2008-10-24T01:00	39.8	66	0	×
10	2009-07-29T04:00	5.7	27	0	×
11	2009-08-10T17:00	102.8	158	0	×
12	2009-10-08T04:00	581.9	227	1,375,128	350
13	2010-07-29T20:00	6.4	54	0	×
14	2010-09-16T03:00	18.0	53	0	×
15	2010-09-28T06:00	19.8	82	0	×
16	2010-10-03T23:00	11.3	31	0	×
17	2010-10-09T17:00	78.9	160	0	294
18	2011-06-20T17:00	20.0	31	0	×
19	2011-07-20T00:00	701.2	270	5,498,964	593
20	2011-08-01T08:00	9.2	19	0	×
21	2011-09-03T03:00	929.9	359	21,136,392	278
22	2011-09-17T01:00	203.4	114	0	×
23	2011-09-21T10:00	540.4	257	2,016,432	349
24	2011-10-14T20:00	17.7	20	0	×
25	2011-10-22T07:00	59.7	92	0	×
26	2012-06-19T18:00	561.0	83	1,269,324	×
27	2012-07-07T07:00	56.0	80	0	×
28	2012-08-05T13:00	7.6	0	0	×
29	2012-09-18T12:00	236.7	306	0	284
30	2012-09-30T17:00	684.0	46	1,822,896	×
31	2012-10-18T22:00	14.2	72	0	×
32	2013-06-21T01:00	15.4	98	0	×
33	2013-06-26T16:00	53.2	83	0	×
34	2013-07-26T17:00	7.4	79	0	×
35	2013-09-04T13:00	221.6	71	0	×
36	2013-09-16T03:00	643.9	184	5,334,408	419
37	2013-10-16T03:00	138.0	115	0	×
38	2013-10-20T13:00	65.5	100	0	×
39	2013-10-26T04:00	70.8	59	0	×
40	2014-07-04T02:00	7.0	36	0	×
41	2014-07-10T17:00	65.1	122	0	×
42	2014-08-02T13:00	2.0	13	0	×
43	2014-08-10T10:00	498.8	211	1,816,236	390
44	2014-10-06T05:00	482.5	136	476,820	×
45	2014-10-13T17:00	174.1	102	0	×
46	2015-07-17T04:00	574.5	207	5,331,960	374
47	2015-08-17T03:00	5.1	27	0	×
48	2015-08-25T20:00	385.8	138	128,808	×
49	2015-09-04T00:00	10.3	20	0	×
50	2015-09-09T08:00	61.2	118	0	×

表1.9 予測雨量ランク毎の回復可能量の選定（累積雨量160 mm - 179 mm、回復可能量の考え方その①）

No	最大流入量 生起日時	回復可能量 洪水調節FC (m3)	累積雨量に 対応した 予測雨量	予測雨量のランク													
				0~49	50~99	100~149	150~199	200~249	250~299	300~349	350~399	400~449	450~499	500~549	550~600		
1	2007-06-08T22:00	0	×	○													
2	2007-07-14T23:00	0	296	○	○												
3	2007-08-02T21:00	0	×	○	○												
4	2007-09-12T00:00	0	×	○	○	○											
5	2007-10-19T20:00	0	×	○	○												
6	2008-06-03T09:00	0	×	○	○	○	○										
7	2008-08-30T09:00	0	×	○	○	○	○										
8	2008-09-19T08:00	0	336	○	○	○	○	○		○	○						
9	2008-10-24T01:00	0	×	○	○	○	○	○									
10	2009-07-29T04:00	0	×	○	○	○	○	○									
11	2009-08-10T17:00	0	×	○	○	○	○	○	○	○							
12	2009-10-08T04:00	1,375,128	350	○	○	○	○	○	○	○							
13	2010-07-29T20:00	0	×	○	○	○	○	○									
14	2010-09-16T03:00	0	×	○	○	○	○	○									
15	2010-09-28T06:00	0	×	○	○	○	○	○									
16	2010-10-03T23:00	0	×	○	○	○	○	○									
17	2010-10-09T17:00	0	294	○	○	○	○	○									
18	2011-06-20T17:00	0	×	○	○	○	○	○									
19	2011-07-20T00:00	5,498,964	593	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
20	2011-08-01T08:00	0	×	○	○	○	○	○									
21	2011-09-03T03:00	21,136,392	278	○	○	○	○	○									
22	2011-09-17T01:00	0	×	○	○	○	○	○									
23	2011-09-21T10:00	2,016,432	349	○	○	○	○	○	○	○							
24	2011-10-14T20:00	0	×	○	○	○	○	○									
25	2011-10-22T07:00	0	×	○	○	○	○	○									
26	2012-06-19T18:00	1,269,324	×	○	○	○	○	○									
27	2012-07-07T07:00	0	×	○	○	○	○	○									
28	2012-08-05T13:00	0	×	○	○	○	○	○									
29	2012-09-18T12:00	0	284	○	○	○	○	○	○								
30	2012-09-30T17:00	1,822,896	×	○	○	○	○	○	○	○							
31	2012-10-18T22:00	0	×	○	○	○	○	○									
32	2013-06-21T01:00	0	×	○	○	○	○	○									
33	2013-06-26T16:00	0	×	○	○	○	○	○									
34	2013-07-26T17:00	0	×	○	○	○	○	○									
35	2013-09-04T13:00	0	×	○	○	○	○	○	○	○							
36	2013-09-16T03:00	5,334,408	419	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
37	2013-10-16T03:00	0	×	○	○	○	○	○									
38	2013-10-20T13:00	0	×	○	○	○	○	○									
39	2013-10-26T04:00	0	×	○	○	○	○	○									
40	2014-07-04T02:00	0	×	○	○	○	○	○									
41	2014-07-10T17:00	0	×	○	○	○	○	○									
42	2014-08-02T13:00	0	×	○	○	○	○	○									
43	2014-08-10T10:00	1,816,236	390	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
44	2014-10-06T05:00	476,820	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
45	2014-10-13T17:00	0	×	○	○	○	○	○									
46	2015-07-17T04:00	5,331,960	374	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
47	2015-08-17T03:00	0	×	○	○	○	○	○									
48	2015-08-25T20:00	128,808	×	○	○	○	○	○									
49	2015-09-04T00:00	0	×	○	○	○	○	○									
50	2015-09-09T08:00	0	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
回復可能量の最小値(m3)				0	0	0	0	0	0	0	0	1,816,236	5,334,408	5,498,964	5,498,964	5,498,964	5,498,964
累積雨量、予測雨量の実績(回数)				11	11	11	11	11	11	11	7	4	2	1	1	1	1
回復可能量最小値に該当する実績降雨				4降雨	4降雨	4降雨	4降雨	4降雨	4降雨	4降雨	2008-9-19	2014-8-10	2013-9-16	2011-7-20	2011-7-20	2011-7-20	2011-7-20

× : 累積雨量ランクの範囲外となったことを示す

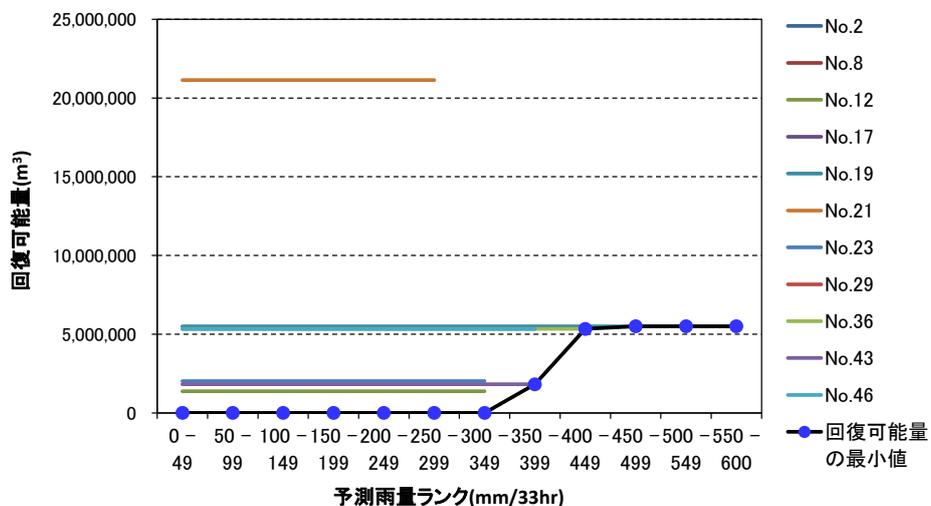


図1.7 予測雨量ランク別の回復可能量最小値（累積雨量ランク160 mm - 179 mm）

この手続きを各予測雨量ランクについて実施した結果として表1.9の下段にある回復可能量の最小値の一行が、累積雨量ランク160 mm - 179 mmにおける回復可能量となり、回復可能量テーブルには表1.10のように反映される。

表1.10 累積雨量ランク160 mm - 179 mmに回復可能量が設定されたテーブル

累積雨量ランク (mm)	予測雨量ランク (33時間予測積算雨量 mm/33hr)											
	0 - 49	50 - 99	100 - 149	150 - 199	200 - 249	250 - 299	300 - 349	350 - 399	400 - 449	450 - 499	500 - 549	550 -
0	事前放流しない											
1 - 19												
20 - 39												
40 - 59												
60 - 79												
80 - 99												
100 - 119												
120 - 139												
140 - 159												
160 - 179	0	0	0	0	0	0	0	1,816,236	5,334,408	5,498,964	5,498,964	5,498,964
180 - 199												
200 -												

3) その他の累積雨量ランクにおける繰り返しによる、回復可能量のテーブルの作成

2)に示した作業をその他の累加雨量ランクについても実施することで、表1.11に示す回復可能量のテーブルが作成される。

表1.11 回復可能量のテーブル (回復可能量の考え方その①)

累積雨量ランク (mm)	予測雨量ランク (33時間予測積算雨量 mm/33hr)																						
	0 - 49	50 - 99	100 - 149	150 - 199	200 - 249	250 - 299	300 - 349	350 - 399	400 - 449	450 - 499	500 - 549	550 -											
0	事前放流しない																						
1 - 19													0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20 - 39													0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40 - 59													0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60 - 79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
80 - 99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
100 - 119	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
120 - 139	0	0	0	0	0	0	0	0	5,334,408	5,498,964	5,498,964	5,498,964											
140 - 159	0	0	0	0	0	0	0	0	5,334,408	5,498,964	5,498,964	5,498,964											
160 - 179	0	0	0	0	0	0	0	1,816,236	5,334,408	5,498,964	5,498,964	5,498,964											
180 - 199	0	0	0	0	0	0	1,375,128	1,816,236	5,334,408	5,498,964	5,498,964	5,498,964											
200 -	0	0	0	0	0	0	1,375,128	1,816,236	5,498,964	5,498,964	5,498,964	5,498,964											

3.3 回復可能量の修正と回復可能水位への変換

1) 不特定容量を上限とした回復可能量の設定例

事前放流により確保する対象容量の最大限度として、本資料でここまでに検討した「降雨解析などにより確実に容量回復が見込める容量の検討」に加え、未利用容量及び不特定容量、死水容量についての確認、放流設備の施設諸元から定まる限度の確認を行う必要がある。

Aダムでは利水容量の未利用容量、死水容量となっているものはない。また、事前放流は常用洪水吐きを用いて放流するが、常用洪水吐きの取水標高は標高268.592mであり、最低水位標高276.00mより低位であることから、取水標高の限度として制約とならない。

このため、利水の共同事業者に支障を与えない観点から、不特定容量を上限として回復可能量のテーブルを修正したものが表1.12である。本事例は表1.11に示される回復可能量の最大値が不特定容量5,500,000 m³未満であるため該当する項は発生していない。そのため表1.11と全く同じとなる。また、過去の出水で未経験の範囲 (表1.11及び表1.12において「未経験」と記載されている箇所) については、同じ累積雨量ランクで予測雨量ランクが小さいセルの回復可能量を援用することを基本とする。

表1.12 不特定容量を上限として修正した回復可能量のテーブル（回復可能量の考え方その①）

累積雨量ランク (mm)	予測雨量ランク (33時間予測積算雨量 mm/33hr)											
	0 - 49	50 - 99	100 - 149	150 - 199	200 - 249	250 - 299	300 - 349	350 - 399	400 - 449	450 - 499	500 - 549	550 -
0	事前放流しない											
1 - 19												
20 - 39												
40 - 59												
60 - 79												
80 - 99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100 - 119	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,498,964	5,498,964
120 - 139	0	0	0	0	0	0	0	0	5,334,408	5,498,964	5,498,964	5,498,964
140 - 159	0	0	0	0	0	0	0	0	5,334,408	5,498,964	5,498,964	5,498,964
160 - 179	0	0	0	0	0	0	0	1,816,236	5,334,408	5,498,964	5,498,964	5,498,964
180 - 199	0	0	0	0	0	0	1,375,128	1,816,236	5,334,408	5,498,964	5,498,964	5,498,964
200 -	0	0	0	0	0	0	1,375,128	1,816,236	5,498,964	5,498,964	5,498,964	5,498,964

2) 回復可能量のテーブルを貯水位換算

表 1.12 まで作成したら、表 1.12 は回復可能量で示されているため、それぞれのセルの値を洪水貯留準備水位に相当する容量から差し引き、HV 関係から貯水位換算したうえで 0.1 m 単位で切り上げ、同一の目標水位となる項を整理する。その結果、表 1.13 となる。

表1.13 回復可能水位テーブルの作成（回復可能量の考え方その①）

累積雨量ランク (mm)	予測雨量ランク (33時間予測積算雨量 mm/33hr)											
	0 - 49	50 - 99	100 - 149	150 - 199	200 - 249	250 - 299	300 - 349	350 - 399	400 - 449	450 - 499	500 - 549	550 -
0	事前放流しない											
1 - 19												
20 - 39												
40 - 59												
60 - 79												
80 - 99												
100 - 119												
120 - 139											289.7	
140 - 159									290.0		(-9.3m)	
160 - 179									297.0	296.3		
180 - 199									(-2.0m)	(-2.7m)		
200 -												

また、「②洪水調節及び減水期間で貯留することのできる容量」の考え方で回復可能量を算出した場合の回復可能量のテーブルを表1.14に示す。

表1.14 回復可能量のテーブル（回復可能量の考え方その②）

累積雨量ランク (mm)	予測雨量ランク (33時間予測積算雨量 mm/33hr)											
	0 - 49	50 - 99	100 - 149	150 - 199	200 - 249	250 - 299	300 - 349	350 - 399	400 - 449	450 - 499	500 - 549	550 -
0	事前放流しない											
1 - 19												
20 - 39												
40 - 59												
60 - 79												
80 - 99	0	0	34,632	35,964	586,512	3,071,124	3,502,800	3,502,800	3,502,800	3,502,800	3,502,800	3,502,800
100 - 119	1,932,552	1,932,552	1,932,552	1,932,552	1,932,552	3,071,124	3,502,800	3,502,800	3,502,800	14,355,036	14,355,036	14,355,036
120 - 139	2,627,640	2,627,640	3,071,124	3,071,124	3,071,124	3,071,124	4,626,936	4,626,936	12,636,684	14,355,036	14,355,036	14,355,036
140 - 159	2,627,640	2,627,640	3,071,124	3,071,124	3,071,124	3,071,124	6,480,036	6,480,036	12,636,684	14,355,036	14,355,036	14,355,036
160 - 179	3,071,124	3,071,124	3,071,124	3,071,124	3,071,124	3,071,124	7,322,004	10,497,780	12,636,684	14,355,036	14,355,036	14,355,036
180 - 199	7,322,004	7,322,004	7,322,004	7,322,004	7,322,004	7,322,004	7,322,004	7,322,004	10,497,780	12,636,684	14,355,036	14,355,036
200 -	7,322,004	7,322,004	7,322,004	7,322,004	7,322,004	7,322,004	7,322,004	10,497,780	14,355,036	14,355,036	14,355,036	14,355,036

不特定容量を上限として修正した回復可能量のテーブル、回復可能水位テーブルを表1.15及び表1.16に示す。

表1.15 不特定容量を上限として修正した回復可能量のテーブル（回復可能量の考え方その②）

累積雨量ランク (mm)	予測雨量ランク (33時間予測積算雨量 mm/33hr)											
	0 - 49	50 - 99	100 - 149	150 - 199	200 - 249	250 - 299	300 - 349	350 - 399	400 - 449	450 - 499	500 - 549	550 -
0	事前放流しない											
1 - 19	0	0	0	0	0	3,502,800	3,502,800	3,502,800	3,502,800	未経験	未経験	未経験
20 - 39	0	0	0	0	0	3,502,800	3,502,800	3,502,800	3,502,800	未経験	未経験	未経験
40 - 59	0	0	0	35,964	42,696	3,071,124	3,502,800	3,502,800	3,502,800	未経験	未経験	未経験
60 - 79	0	0	34,632	35,964	586,512	3,071,124	3,502,800	3,502,800	3,502,800	未経験	未経験	未経験
80 - 99	0	35,964	35,964	35,964	1,164,960	3,071,124	3,502,800	3,502,800	3,502,800	未経験	未経験	未経験
100 - 119	1,932,552	1,932,552	1,932,552	1,932,552	1,932,552	3,071,124	3,502,800	3,502,800	3,502,800	5,500,000	5,500,000	5,500,000
120 - 139	2,627,640	2,627,640	3,071,124	3,071,124	3,071,124	3,071,124	4,626,936	4,626,936	5,500,000	5,500,000	5,500,000	5,500,000
140 - 159	2,627,640	2,627,640	3,071,124	3,071,124	3,071,124	3,071,124	5,500,000	5,500,000	5,500,000	5,500,000	5,500,000	5,500,000
160 - 179	3,071,124	3,071,124	3,071,124	3,071,124	3,071,124	3,071,124	5,500,000	5,500,000	5,500,000	5,500,000	5,500,000	5,500,000
180 - 199	5,500,000	5,500,000	5,500,000	5,500,000	5,500,000	5,500,000	5,500,000	5,500,000	5,500,000	5,500,000	5,500,000	5,500,000
200 -	5,500,000	5,500,000	5,500,000	5,500,000	5,500,000	5,500,000	5,500,000	5,500,000	5,500,000	5,500,000	5,500,000	5,500,000

※ 表1.14において不特定容量である5,500,000 m³を上回る回復可能量が設定されているセルが5,500,000 m³に修正された。

表1.16 回復可能水位テーブルの作成（回復可能量の考え方その②）

累積雨量ランク (mm)	0 - 49	50 - 99	100 - 149	150 - 199	200 - 249	250 - 299	300 - 349	350 - 399	400 - 449	450 - 499	500 - 549	550 -
0	事前放流しない											
1 - 19	事前放流しない											
20 - 39	事前放流しない											
40 - 59	事前放流しない											
60 - 79	事前放流しない											
80 - 99	事前放流しない											
100 - 119	事前放流しない											
120 - 139	295.0	294.3		298.2 (-0.2m)		297.3 (-1.7m)		293.5 (-5.5m)		291.4 (-7.6m)		
140 - 159	(-4.0m)	(-4.7m)		(-2.9m)		(-7.6m)		(-9.3m)		(-9.3m)		
160 - 179	(-9.3m)											
180 - 199	(-9.3m)											
200 -	(-9.3m)											

(参考) 回復可能量の設定に使用した出水特性の確認例

表1.17は各予測雨量・累積雨量における回復可能量の設定に使用した事例数の表示例である。表に示されるように、回復可能水位テーブルの特性として、予測雨量・累積雨量が大きくなるにつれて事例数は減少する傾向がある。設定される回復可能量は出水事例の特性に依存するため、少数の出水事例から回復可能量が設定される場合は、流入量のヒドログラフ、降雨の成因、雨量の予測特性（すなわち予測雨量が過小予測であったか過大予測であったか）などの観点から、その出水事例が他の事例に比べて特異でないことを確認することが考えられる。

表1.17 各予測雨量・累積雨量における回復可能量の設定に使用した事例数の表示例

累積雨量ランク (mm)	予測雨量ランク (33時間予測積算雨量 mm/33hr)											
	0-49	50-99	100-149	150-199	200-249	250-299	300-349	350-399	400-449	450-499	500-549	550-
0	50	42	33	24	15	8	6	4	未経験	未経験	未経験	未経験
1 - 19	49	47	37	27	16	9	6	5	2	未経験	未経験	未経験
20 - 39	47	44	39	27	18	11	11	7	2	未経験	未経験	未経験
40 - 59	40	37	30	23	18	12	11	7	3	未経験	未経験	未経験
60 - 79	36	32	27	23	16	11	10	7	3	未経験	未経験	未経験
80 - 99	31	29	25	22	17	13	10	7	3	未経験	未経験	未経験
100 - 119	22	22	19	18	15	13	10	7	3	1	1	1
120 - 139	16	16	14	14	13	12	9	6	2	1	1	1
140 - 159	13	13	12	12	12	12	8	5	2	1	1	1
160 - 179	11	11	11	11	11	11	7	4	2	1	1	1
180 - 199	9	9	9	9	9	9	7	5	2	1	1	1
200 -	7	7	7	7	7	8	6	4	2	2	2	2

IV. 回復可能水位テーブルの評価

ここでは、回復可能量の考え方その①（以下、テーブル①）及び回復可能量の考え方その②（以下、テーブル②）に基づく2種類の回復可能水位テーブル（表 1.13 及び表 1.16）の評価方法として、「事前放流実施頻度」及び「事前放流の効果」について述べた後、両テーブルの一般的な得失についてまとめる。

1. 事前放流実施頻度に関する簡易評価

回復可能水位テーブルの作成に用いた過去の出水について、それぞれの回復可能水位テーブルに基づいて事前放流の実施判断を行った場合、いくつの出水で事前放流を実施する必要があるのか、及びテーブル②についてはそのうちいくつの出水において洪水貯留準備水位までの回復のために減水期間における貯留を実施する必要があるのかについて簡易的に調べる。これを調べることによって、おおよその事前放流実施頻度を把握することが可能となる。

具体的には、回復可能水位テーブルの作成に用いた過去の出水それぞれについて、累積雨量ランク及び予測雨量ランクの最高値を調べ、回復可能量のテーブルから該当する事前放流量を調べる。併せて、それぞれの出水について回復可能量を洪水調節による回復可能量と減水期間における回復可能量を分けて表示・比較することで簡易評価する。

表1.18はAダムについて出水毎の回復可能量（洪水調節による回復可能量と減水期間における回復可能量を分けて表示）、累積雨量及び予測雨量の最高値を基に回復可能水位テーブルから取得される事前放流量をまとめたものである。

テーブル①については、全50出水中7個の出水で事前放流を実施する結果となり、その全てについて洪水調節の貯留のみで洪水貯留準備水位まで貯水位を回復することができた。例えば、No.21の出水では、「(1)洪水調節(m³)」で貯留できる容量が21,136,392 m³と計上されているのに対し、回復可能水位テーブルから求まる事前放流する容量は5,498,964 m³となるため、洪水調節による貯留だけで洪水貯留準備水位まで貯水位が回復すると考えられる。

テーブル②については、全50出水中34個の出水で事前放流を実施する結果となった。また、そのうち洪水調節による貯留だけで洪水貯留準備水位まで貯水位を回復できる出水は2個で、残り32個の出水については減水期間に貯留することで洪水貯留準備水位まで回復する。例えば、No.23の出水では、回復可能水位テーブルから求まる事前放流量は5,500,000 m³であるのに対し、「(1)洪水調節(m³)」で貯留できる容量は2,016,432 m³であるため洪水貯留準備水位まで貯水位が回復しないことが考えられる。「(1)洪水調節(m³)」に「(2)減水期間貯留 48時間分(m³)」の8,815,896 (m³)を加えることで合計10,832,328 m³となり事前放流量5,500,000 m³を上回るため洪水貯留準備水位まで貯水位が回復すると考えられる。

表1.18 事前放流実施頻度に関する簡易評価表

No	最大流入量 生起日時	出水毎の回復可能量			洪水量 到達時 累積雨量 (mm)	最大 流入時点 累積雨量 (mm)	洪水量到 達前の33 時間予測 積算雨量 の最大値 (mm/33hr)	事前放流量と回復可能量の大小関係 - : 事前放流を実施しない、○ : 事前放流量<回復可能量、 ● : 事前放流量=回復可能量、× : 事前放流量>回復可能量				
		(1)洪水調節 (m³)	(2)減水期間貯 留 48時間分(m³)	(3)合計 =(1)+(2) (m³)				回復可能水位テーブル①		回復可能水位テーブル②		
								回復可能水位 テーブル上で該 当する事前放 流量(m³)	洪水調節による 回復可能量(1) と事前放流量 の大小関係	回復可能水位 テーブルで該当 する事前放流 量(m³)	洪水調節による 回復可能量(1) と事前放流量の 大小関係	洪水調節及び減 水期間の貯留によ る回復可能量(3)と 事前放流量の大小 関係
1	2007-06-08T22:00	0	0	0	73.0	80.0	しない	-	しない	-	-	
2	2007-07-14T23:00	0	8,153,892	8,153,892	291.0	296.0	しない	-	5,500,000	×	○	
3	2007-08-02T21:00	0	2,627,640	2,627,640	142.0	100.0	しない	-	2,627,640	×	●	
4	2007-09-12T00:00	0	186,336	186,336	77.0	174.0	しない	-	35,964	×	○	
5	2007-10-19T20:00	0	34,632	34,632	76.0	105.0	しない	-	34,632	×	●	
6	2008-06-03T09:00	0	1,884,708	1,884,708	87.0	83.0	しない	-	35,964	×	○	
7	2008-08-30T09:00	0	1,932,552	1,932,552	103.0	240.0	しない	-	1,932,552	×	●	
8	2008-09-19T08:00	0	8,625,384	8,625,384	166.0	336.0	しない	-	5,500,000	×	○	
9	2008-10-24T01:00	0	586,512	586,512	66.0	202.0	しない	-	586,512	×	●	
10	2009-07-29T04:00	0	0	0	27.0	234.0	しない	-	しない	-	-	
11	2009-08-10T17:00	0	6,480,036	6,480,036	158.0	356.0	しない	-	5,500,000	×	○	
12	2009-10-08T04:00	1,375,128	5,946,876	7,322,004	227.0	291.0	350.0	1,375,128	●	5,500,000	×	○
13	2010-07-29T20:00	0	0	0	54.0	112.0	しない	-	しない	-	-	
14	2010-09-16T03:00	0	42,696	42,696	53.0	217.0	しない	-	42,696	×	●	
15	2010-09-28T06:00	0	62,028	62,028	82.0	88.0	しない	-	35,964	×	○	
16	2010-10-03T23:00	0	6,048	6,048	31.0	172.0	しない	-	しない	-	-	
17	2010-10-09T17:00	0	3,071,124	3,071,124	160.0	294.0	しない	-	3,071,124	×	●	
18	2011-06-20T17:00	0	518,292	518,292	31.0	172.0	しない	-	しない	-	-	
19	2011-07-20T00:00	5,498,964	8,856,072	14,355,036	270.0	623.0	593.0	5,498,964	●	5,500,000	×	○
20	2011-08-01T08:00	0	0	0	19.0	126.0	しない	-	しない	-	-	
21	2011-09-03T03:00	21,136,392	8,601,192	29,737,584	359.0	885.0	586.0	5,498,964	○	5,500,000	○	○
22	2011-09-17T01:00	0	5,831,640	5,831,640	114.0	120.0	しない	-	1,932,552	×	○	
23	2011-09-21T10:00	2,016,432	8,815,896	10,832,328	257.0	339.0	349.0	1,375,128	○	5,500,000	×	○
24	2011-10-14T20:00	0	44,604	44,604	20.0	125.0	しない	-	しない	-	-	
25	2011-10-22T07:00	0	1,164,960	1,164,960	92.0	205.0	しない	-	1,164,960	×	●	
26	2012-06-19T18:00	1,269,324	6,586,956	7,856,280	83.0	119.0	221.0	しない	×	1,164,960	○	○
27	2012-07-07T07:00	0	1,394,028	1,394,028	80.0	23.0	しない	-	しない	-	-	
28	2012-08-05T13:00	0	0	0	0.0	227.0	しない	-	しない	-	-	
29	2012-09-18T12:00	0	10,993,500	10,993,500	306.0	284.0	しない	-	5,500,000	×	○	
30	2012-09-30T17:00	1,822,896	6,390,288	8,213,184	46.0	92.0	306.0	しない	-	3,502,800	×	○
31	2012-10-18T22:00	0	19,584	19,584	72.0	46.0	しない	-	しない	-	-	
32	2013-06-21T01:00	0	35,964	35,964	98.0	197.0	しない	-	35,964	×	●	
33	2013-06-26T16:00	0	1,560,600	1,560,600	83.0	116.0	しない	-	35,964	×	○	
34	2013-07-26T17:00	0	0	0	79.0	5.0	しない	-	しない	-	-	
35	2013-09-04T13:00	0	3,300,480	3,300,480	71.0	106.0	しない	-	34,632	×	○	
36	2013-09-16T03:00	5,334,408	7,302,276	12,636,684	184.0	257.0	403.0	5,334,408	●	5,500,000	×	○
37	2013-10-16T03:00	0	3,749,940	3,749,940	115.0	206.0	しない	-	1,932,552	×	○	
38	2013-10-20T13:00	0	2,807,280	2,807,280	100.0	62.0	しない	-	1,932,552	×	○	
39	2013-10-26T04:00	0	4,190,472	4,190,472	59.0	125.0	しない	-	しない	-	-	
40	2014-07-04T02:00	0	0	0	36.0	128.9	しない	-	しない	-	-	
41	2014-07-10T17:00	0	2,639,124	2,639,124	122.0	72.0	しない	-	2,627,640	×	○	
42	2014-08-02T13:00	0	0	0	13.0	140.0	しない	-	しない	-	-	
43	2014-08-10T10:00	1,816,236	8,681,544	10,497,780	211.0	568.0	390.0	1,816,236	●	5,500,000	×	○
44	2014-10-06T05:00	476,820	4,150,116	4,626,936	136.0	189.0	398.0	しない	-	4,626,936	×	●
45	2014-10-13T17:00	0	6,554,376	6,554,376	102.0	174.0	しない	-	1,932,552	×	○	
46	2015-07-17T04:00	5,331,960	8,434,368	13,766,328	207.0	511.0	374.0	1,816,236	○	5,500,000	×	○
47	2015-08-17T03:00	0	0	0	27.0	186.0	しない	-	しない	-	-	
48	2015-08-25T20:00	128,808	3,374,100	3,502,908	138.0	159.0	247.0	しない	-	3,071,124	×	○
49	2015-09-04T00:00	0	0	0	20.0	123.0	しない	-	しない	-	-	
50	2015-09-09T08:00	0	3,502,800	3,502,800	118.0	436.0	しない	-	3,502,800	×	●	

2. 事前放流の効果に関する評価

1. では回復可能水位テーブルについて事前放流の「実施頻度」を通じて簡易的に評価する方法について述べた。ここでは、事前放流の「効果」について、異常洪水時防災操作の回避及び異常洪水時防災操作の開始を遅らせることを観点に評価する方法について述べる。事前放流の効果は、回復可能水位テーブルを用いた事前放流シミュレーションにより算出するものであり、ここではシミュレーションの条件、シミュレーション事例等について述べる。

2.1 シミュレーションの条件

ここでのシミュレーションでは、実際のダム管理に即したシミュレーションとするため、MSMの配信時間の遅れ及び巡視等の準備に要する時間を考慮して行う。

1) MSMの配信時間の遅れ

MSMの取得には、予測初期時刻から配信まで最短2.5時間程度を要し、遅延がある場合は最長4.0時間程度を要することがある。ここでは、実際にMSMが取得できるのは予測初期時刻から4.0時間後として設定した。

2) 巡視等の準備に要する時間

放流操作実施の手続きにかかる準備時間は、ダム毎の条件に従い設定する必要がある。Aダムでは、図1.8に示すように、MSM予測データが配信された後、実施判断に必要な時間を3.0時間、分室から管理所までの参集に必要な時間を1.5時間、関係機関への連絡・下流巡視に必要な時間を1.5時間として設定した。

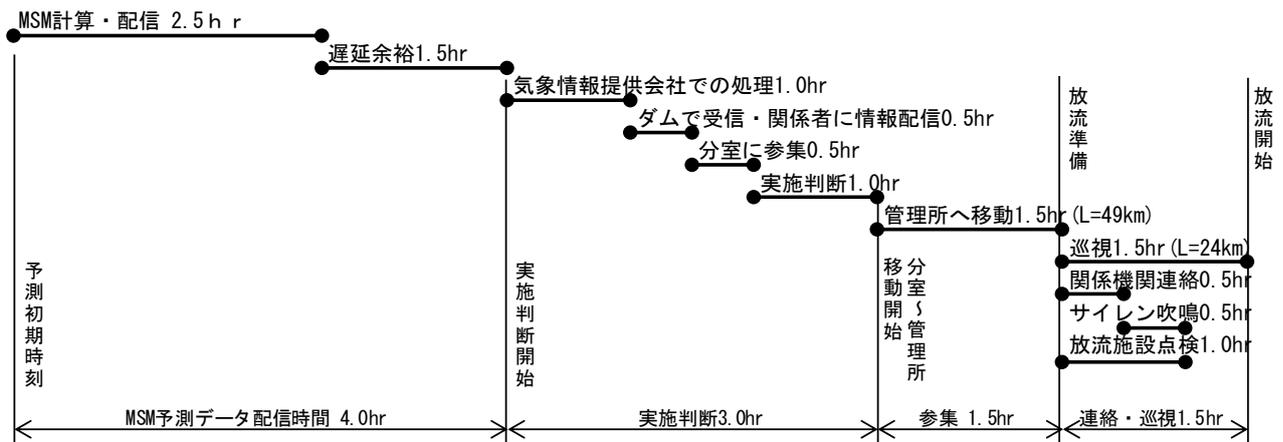


図1.8 Aダムの事前放流実施に係る準備時間

3) 放流の原則

事前放流にあたって、ダム下流河道の流量が少ない状況から放流量を増加させることとなるため、下流河道水位の急上昇を避けるため、放流の原則に基づいて放流量を増加させる。また、事前放流の最大放流量は、ダムの洪水量を上限とする。

4) 利水放流能力の考慮

事前放流の放流量は、利水放流設備の放流能力を考慮して設定する。事例として取り上げるAダムでは、発電最大使用水量である9.0 m³/sに常用洪水吐からの放流を加えて事前放流の放流とする。しかし、ダムによって常用洪水吐からの放流が認められない等の条件があるダムについては、利水放流設備のみでの放流とする等、適宜条件を変更することが必要となる。

5) 事前放流の終了・洪水調節

事前放流操作は、目標とする水位まで水位が低下するまで、または事前放流中に流入量が洪水量に到達するまで実施することとし、流入量が洪水量に達して以降は、操作規則に基づく洪水調節操作を行うものとする。

2.2 対象出水

A ダムを対象とした事前放流シミュレーションとして、下記 2 出水を対象とした事例を示す。

出水 1：2011 年（平成 23 年）9 月 2 日 台風 12 号（A ダムにおける近年最大規模の出水）

出水 2：2015 年（平成 27 年）9 月 7 日 台風 18 号（実績に対して過大な予測となった出水）

2.3 シミュレーション結果

1) 出水 1

- 累積雨量の時系列変化及び予測雨量の更新状況に基づく事前放流操作の目標水位の変化、操作開始及び終了のタイミング

表 1.19 下は、テーブル①について、累積雨量の時系列変化及び予測雨量の更新状況に応じて事前放流の目標水位がどのように変化し、どのタイミングで事前放流を開始し、終了したかを示したものである。1 日 18 時を初期時刻とする MSM が取得されるまでは、事前放流を実施する基準に至らない。1 日 18 時に累積雨量 194 mm、予測雨量 443 mm/33 hr に達する。この時点で表 1.19 上の回復可能テーブルの累積雨量ランク「180 - 199」、予測雨量ランク「400 - 449」に到達したため、290.0 m までの事前放流を開始する。ただし、MSM の配信遅れを 4 時間、巡視等の準備に要する時間を 6 時間として設定しているため、実際の事前放流開始は予測初期時刻である 1 日 18 時から 10 時間が経過した 2 日午前 4 時からとなる。その後、2 日 6 時を初期時刻とする予測が発表された段階（4 時間の配信遅れを考慮して実際に MSM が取得できるのは 2 日 10 時）で、累積雨量 284 mm、予測雨量 492 mm/33 hr に達するため、回復可能水位テーブルの累積雨量ランク「200 -」、予測雨量ランク「450 - 499」に示される 289.7 m を目指して事前放流することになる。289.7 m を目標として事前放流を実施している最中に流入量が増加し 2 日 13 時において洪水量に到達するため、その時点で事前放流は終了し洪水調節操作が開始される。事前放流を実施することができた時間は 9 時間程度となった。

なお、2 日 0 時時点で累積雨量 242 mm、予測雨量 345 mm/33 hr となり、回復可能水位テーブルでは目標水位が 297.0 m となり、290.0 m よりも高い水位となる。目標を 290.0 m から 297.0 m に上げることも考えられるが、回復可能水位は過去の出水に基づけば確実に洪水貯留準備水位まで貯水位が回復する水位を示しているため、目標とする水位を途中で上げなくてもよい。よってここでは目標とする水位を上げる操作は行わないこととした。

表 1.20 下は、テーブル②に対して表 1.19 下と同様の時間推移を示したものである。1 日 12 時に累積雨量 139 mm、予測雨量 278 mm に到達し、表 1.20 上の回復可能水位テーブルの累積雨量ランク「120 - 139」、予測雨量ランク「250 - 299」に到達し、配信遅れ及び巡視等に要する時間を考慮して 1 日 12 時から 10 時間後の 1 日 22 時から 294.3 m まで事前放流を開始する順序となる。ただし、その次の予測初期時刻である 1 日 18 時において、累積雨量 194 mm、予測雨量 443 mm/33 hr に到達し、回復可能水位テーブルの累積雨量ランク「180 - 199」、予測雨量ランク「400 - 449」に該当し、目標となる水位は 289.7 m になる。

この情報は1日22時に取得されるため、結局294.3 mではなく289.7 mを目標として事前放流することとなる。洪水調節開始は2日13時であるため、事前放流を実施することができた時間は15時間程度となった。

- 効果

図1.9に示す通り、テーブル①に基づく事前放流では、2日4時から放流量を増加させるのに対し、テーブル②ではそれよりも早い1日22時から事前放流を開始している。テーブル②ではテーブル①よりも事前放流を実施している時間が長いため、図1.9上の貯水位の図に示されているとおり事前放流による貯水位低下が大きい。その後、通常の洪水調節操作では3日15時ぐらいから異常洪水時防災操作を開始するのに対し、テーブル①ではそれよりも3時間程度遅い3日18時頃から異常洪水時防災操作を開始した。テーブル②では、そこからさらに12時間程度が経過した4日6時頃から異常洪水時防災操作を開始した。テーブル①、②ともに異常洪水時防災操作そのものを回避することはできなかったものの、その開始時刻を遅らせることができたことが効果として挙げられる。

表 1.20 事前放流の目標水位決定手順（出水1：2011年9月2日、テーブル②）

累積雨量ランク (mm)	0 - 49	50 - 99	100 - 149	150 - 199	200 - 249	250 - 299	300 - 349	350 - 399	400 - 449	450 - 499	500 - 549	550 -
0	事前放流											
1 - 19	しない											
20 - 39									293.5			
40 - 59									(-5.5m)			
60 - 79					298.2 (-0.2m)							
80 - 99					297.3 (-1.7m)							
100 - 119			296.1 (-2.9m)									
120 - 139	295.0		294.3					291.4	(-7.6m)			
140 - 159	(-4.0m)		(-4.7m)									
160 - 179												
180 - 199									289.7	(-9.3m)		
200 -												

年月日	2011年8月31日																							2011年9月1日																							2011年9月2日																																																																				
	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23																																																				
2011-08-31 12:00 予測 累積0mm、予測102mm	初期時刻																							配信時間4hr																																																																																											
2011-08-31 18:00 予測 累積0mm、予測122mm	初期時刻																							配信時間4hr																							目標水位296.9m(-0.1m)																																																																				
2011-09-01 0:00 予測 累積42mm、予測115mm	初期時刻																							配信時間4hr																																																																																											
2011-09-01 6:00 予測 累積95mm、予測172mm	初期時刻																							配信時間4hr																																																																																											
2011-09-01 12:00 予測 累積139mm、予測278mm	初期時刻																							配信時間4hr																							準備時間6hr																							目標水位294.3m(-4.7m)																																													
2011-09-01 18:00 予測 累積194mm、予測443mm	初期時刻																							配信時間4hr																							初期時刻																							配信時間4hr																							目標水位289.7m(-9.3m)																						
2011-09-02 00:00 予測 累積242mm、予測345mm	初期時刻																							配信時間4hr																																																																																											
2011-09-02 06:00 予測 累積284mm、予測492mm	初期時刻																							配信時間4hr																																																																																											
2011-09-02 12:00 予測 累積387mm、予測586mm	初期時刻																							配信時間4hr																																																																																											
事前放流設定水位	事前放流に該当しない																							目標水位294.3m(-4.7m)																							目標水位289.7m(-9.3m)																							13時に洪水調節に移行																																													

※累積雨量は無降雨6時間でリセット

※準備時間6時間の内訳(実施判断3.0hr、参集1.5hr、巡視・連絡1.5hr)

洪水調節移行の15時間前に事前放流開始

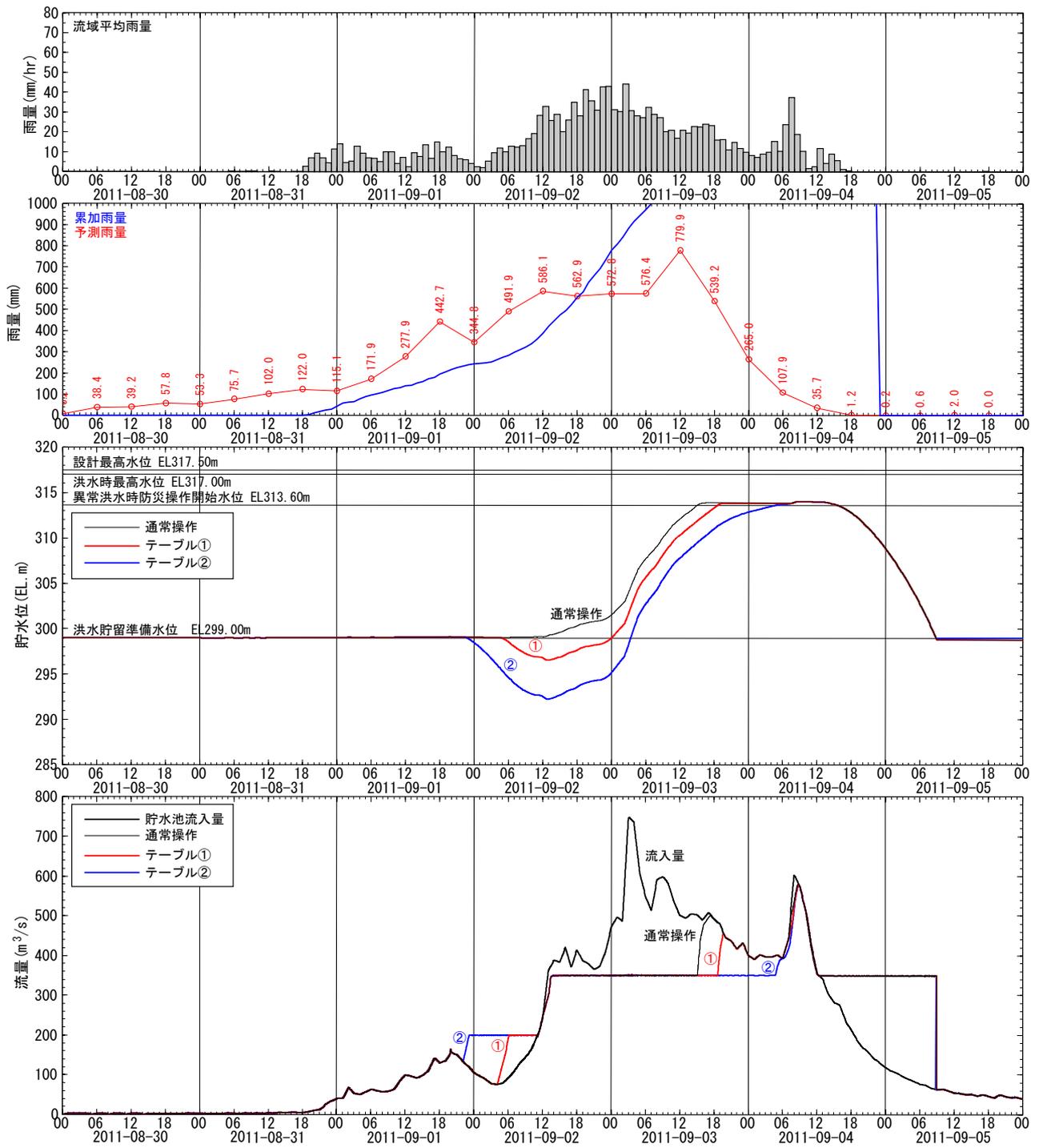


図1.9 Aダム事前放流シミュレーション (出水1: 2011年9月2日)

2) 出水 2

表 1. 21 下より、累積雨量の時系列及び予測雨量の更新状況からテーブル①では事前放流を実施しない。それに対しテーブル②では、14 日 6 時に累積雨量が 0 mm ではあるが予測雨量が 376 mm に到達し、293.5 m を目標として事前放流を開始する。その後、図 1. 10 に示す通り 9 月 9 日 1 時頃に目標とする水位に到達して事前放流を終了、水位維持操作を実施する。ただし、この出水においては予測が過大評価であったため、ピーク流量が生起する 9 月 9 日 8 時からオーバーカット操作を実施することで貯水位を回復させる必要が生じている。

3. テーブル①及びテーブル②の違い

1.では実施頻度、2.では事前放流シミュレーションによりテーブル①及び②の評価を行った。これらの結果から、テーブル①及び②には下記のような特性があると考えられる。

● テーブル①

減水期間における貯留量を回復可能量に算入していないため、②の考え方と比較して事前放流の実施頻度及び容量が少なくなる。

過去の出水において経験のない規模で雨量が過大に予測され、事前放流を実施した後に洪水貯留準備水位まで貯水位が回復しないおそれがある出水においても、減水期間において貯留することで貯水位回復に努めることができる。その一方で、事前放流実施容量が少なくなることから異常洪水時防災操作を回避すること及び開始を遅らせることに関する効果が小さくなる。

● テーブル②

①の考え方と比較して減水期間を考慮する分だけ回復可能量が多くなり、事前放流の実施頻度および容量が多くなる。

事前放流実施容量が多くなることから異常洪水時防災操作を回避すること及び開始を遅らせることに関する効果も大きくなる。その一方で、減水期間における貯留量を含めて事前放流するため、過去の出水において経験のない規模で雨量が過大に予測された出水が発生した場合には、事前放流実施後に減水期間における貯留を実施しても洪水貯留準備水位まで貯水位が回復しないおそれがある。

表 1.21 事前放流の目標水位決定手順 (出水 2 : 2015 年 9 月 7 日、テーブル①)

累積雨量ランク (mm)	予測雨量ランク (33時間予測積算雨量 mm/33hr)											
	0 - 49	50 - 99	100 - 149	150 - 199	200 - 249	250 - 299	300 - 349	350 - 399	400 - 449	450 - 499	500 - 549	550 -
0	事前放流											
1 - 19	しない											
20 - 39												
40 - 59												
60 - 79												
80 - 99												
100 - 119												
120 - 139												
140 - 159												
160 - 179										289.7		
180 - 199									290.0	(-9.0m)		
200 -							297.0	(-2.0m)	296.3	(-2.7m)		

年月日 時刻	2015年9月7日											2015年9月8日											2015年9月9日																																				
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
2015-09-07 9:00 予測 累積0mm 予測56mm	初期時刻 配信時間4hr																																																										
2015-09-07 12:00 予測 累積0mm 予測74mm	初期時刻 配信時間4hr																																																										
2015-09-07 15:00 予測 累積5mm 予測78mm	初期時刻 配信時間4hr																																																										
2015-09-07 18:00 予測 累積17mm 予測114mm	初期時刻 配信時間4hr																																																										
2015-09-07 21:00 予測 累積20mm 予測12mm	初期時刻 配信時間4hr																																																										
2015-09-08 0:00 予測 累積21mm 予測358mm	初期時刻 配信時間4hr																																																										
2015-09-08 3:00 予測 累積2mm 予測436mm	初期時刻 配信時間4hr																																																										
2015-09-08 6:00 予測 累積2mm 予測316mm	初期時刻 配信時間4hr																																																										
2015-09-08 9:00 予測 累積4mm 予測362mm	初期時刻 配信時間4hr																																																										
2015-09-08 12:00 予測 累積8mm 予測322mm	初期時刻 配信時間4hr																																																										
2015-09-08 15:00 予測 累積19mm 予測269mm	初期時刻 配信時間4hr																																																										
2015-09-08 18:00 予測 累積40mm 予測122mm	初期時刻 配信時間4hr																																																										
2015-09-08 21:00 予測 累積63mm 予測71mm	初期時刻 配信時間4hr																																																										
2015-09-09 0:00 予測 累積69mm 予測38mm	初期時刻 配信時間4hr																																																										
2015-09-09 3:00 予測 累積86mm 予測38mm	初期時刻 配信時間4hr																																																										
2015-09-09 6:00 予測 累積107mm 予測23mm	初期時刻 配信時間4hr																																																										
2015-09-09 9:00 予測 累積124mm 予測2mm	初期時刻 配信時間4hr																																																										
2015-09-09 12:00 予測 累積128mm 予測1mm	初期時刻 配信時間4hr																																																										
2015-09-09 15:00 予測 累積128mm 予測3mm	初期時刻																																																										
事前放流設定水位	事前放流に該当しない																																																										

※累積雨量は無降雨6時間でリセット
 ※準備時間6時間の内訳(実施判断3.0hr、参集1.5hr、巡視・連絡1.5hr)

表 1.22 事前放流の目標水位決定手順（出水2：2015年9月7日、テーブル②）

累積雨量ランク (mm)	0 - 49	50 - 99	100 - 149	150 - 199	200 - 249	250 - 299	300 - 349	350 - 399	400 - 449	450 - 499	500 - 549	550 -
0	事前放流しない											
1 - 19												
20 - 39												
40 - 59												
60 - 79												
80 - 99												
100 - 119	296.1 (-2.9m)											
120 - 139	295.0 (-4.0m)	294.3 (-4.7m)				291.4 (-7.6m)						
140 - 159												
160 - 179												
180 - 199	289.7 (-9.3m)											
200 -												

年月日	2015年9月7日																								2015年9月8日																								2015年9月9日																							
	時刻	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23											
2015-09-07 9:00 予測	初期時刻	配信時間4hr																																																																						
累積0mm 予測56mm																																																																								
2015-09-07 12:00 予測	初期時刻																							配信時間4hr																																																
累積0mm 予測74mm																																																																								
2015-09-07 15:00 予測	初期時刻																							配信時間4hr																																																
累積5mm 予測78mm																																																																								
2015-09-07 18:00 予測	初期時刻																							配信時間4hr																																																
累積17mm 予測114mm																																																																								
2015-09-07 21:00 予測	初期時刻																							配信時間4hr																																																
累積20mm 予測72mm																																																																								
2015-09-08 0:00 予測	初期時刻																							配信時間4hr																								準備時間6hr																								
累積21mm 予測358mm																																																																								
2015-09-08 3:00 予測	初期時刻																							配信時間4hr																								目標水位293.5m(-5.5m)																								
累積2mm 予測436mm																																																																								
2015-09-08 6:00 予測	初期時刻																							配信時間4hr																																																
累積2mm 予測316mm																																																																								
2015-09-08 9:00 予測	初期時刻																							配信時間4hr																																																
累積4mm 予測362mm																																																																								
2015-09-08 12:00 予測	初期時刻																							配信時間4hr																																																
累積8mm 予測322mm																																																																								
2015-09-08 15:00 予測	初期時刻																							配信時間4hr																																																
累積19mm 予測269mm																																																																								
2015-09-08 18:00 予測	初期時刻																							配信時間4hr																																																
累積40mm 予測122mm																																																																								
2015-09-08 21:00 予測	初期時刻																							配信時間4hr																																																
累積63mm 予測71mm																																																																								
2015-09-09 0:00 予測	初期時刻																							配信時間4hr																																																
累積69mm 予測38mm																																																																								
2015-09-09 3:00 予測	初期時刻																							配信時間4hr																																																
累積86mm 予測38mm																																																																								
2015-09-09 6:00 予測	初期時刻																							配信時間4hr																																																
累積107mm 予測23mm																																																																								
2015-09-09 9:00 予測	初期時刻																							配信時間4hr																																																
累積124mm 予測2mm																																																																								
2015-09-09 12:00 予測	初期時刻																							配信時間4hr																																																
累積128mm 予測1mm																																																																								
2015-09-09 15:00 予測	初期時刻																							配信時間4hr																																																
累積128mm 予測3mm																																																																								
事前放流設定水位	事前放流に該当しない																								目標水位293.5m(-5.5m)																								オーバーカットによる貯水位回復(48時間)																							
※累積雨量は無降雨6時間でリセット																									ピーク流量生起の17時間前に事前放流開始																								●ピーク流量生起 9月9日8:00																							
※準備時間6時間の内訳(実施判断3.0hr、参集1.5hr、巡視・連絡1.5hr)																									※洪水量に達せず、空振りとなる。																																															

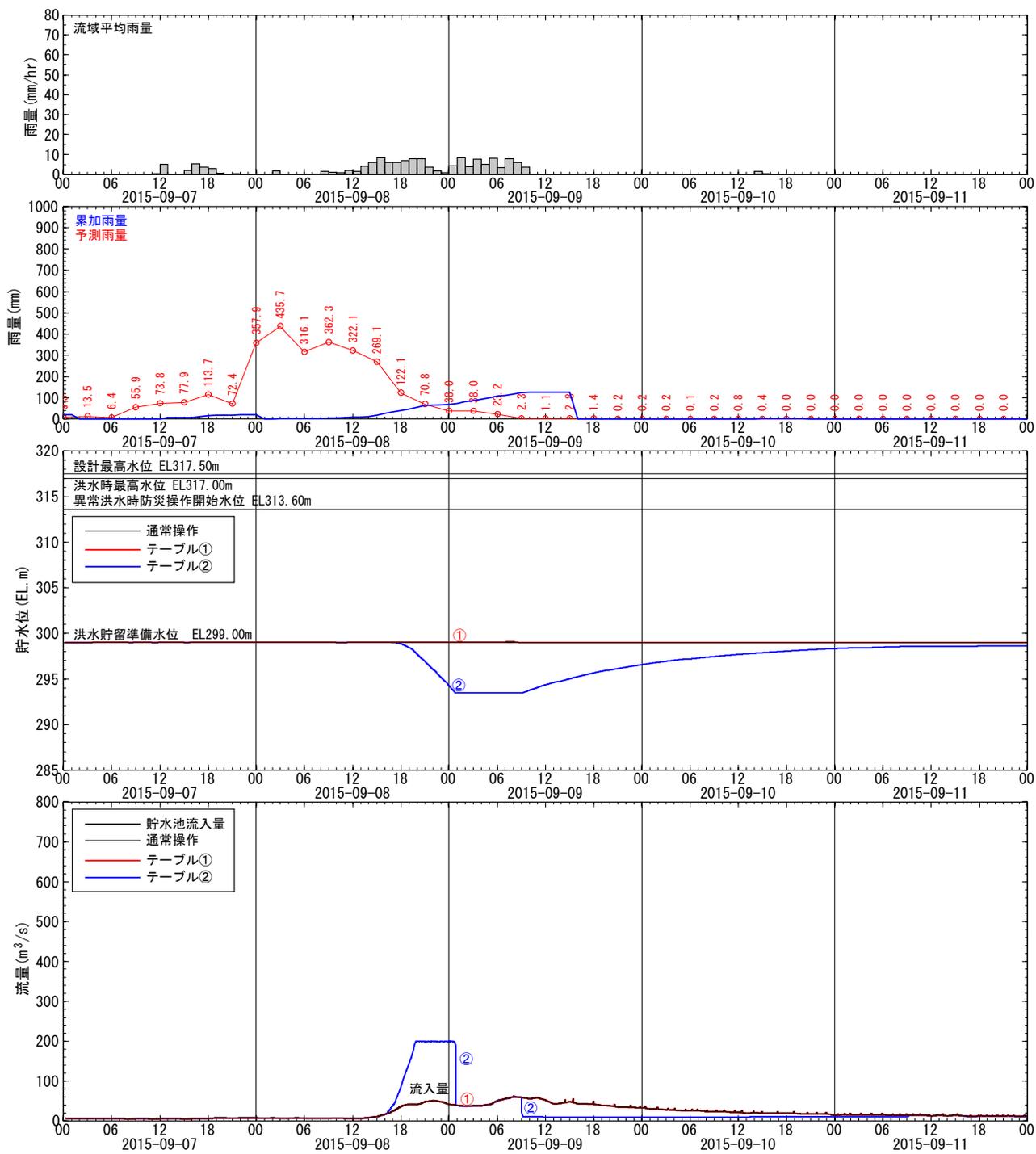


図 1.10 A ダム事前放流シミュレーション (出水 2 : 2015 年 9 月 7 日)

第 2 章

異常洪水時防災操作

I. 本章の目的、点検フロー

本章では、最初に「計画規模を超える洪水時におけるただし書き操作の運用の改訂について」（昭和 59 年 6 月河川局長通達）¹⁾に基づき運用されている現行の異常洪水時防災操作及び同通達以降に提案された異常洪水時防災操作方式について、概要・特徴・計算手順等について説明する（Ⅱ）。その後、現行の異常洪水時防災操作の開始水位の点検方法（Ⅲ）及び上記通達以降に提案された異常洪水時防災操作方式の導入可能性に関する検討方法（Ⅳ）について述べる。また、異常洪水時防災操作の点検フローを図 2.1 に示す。なお、本章で紹介する計算事例は、全て A ダムにおけるものである。

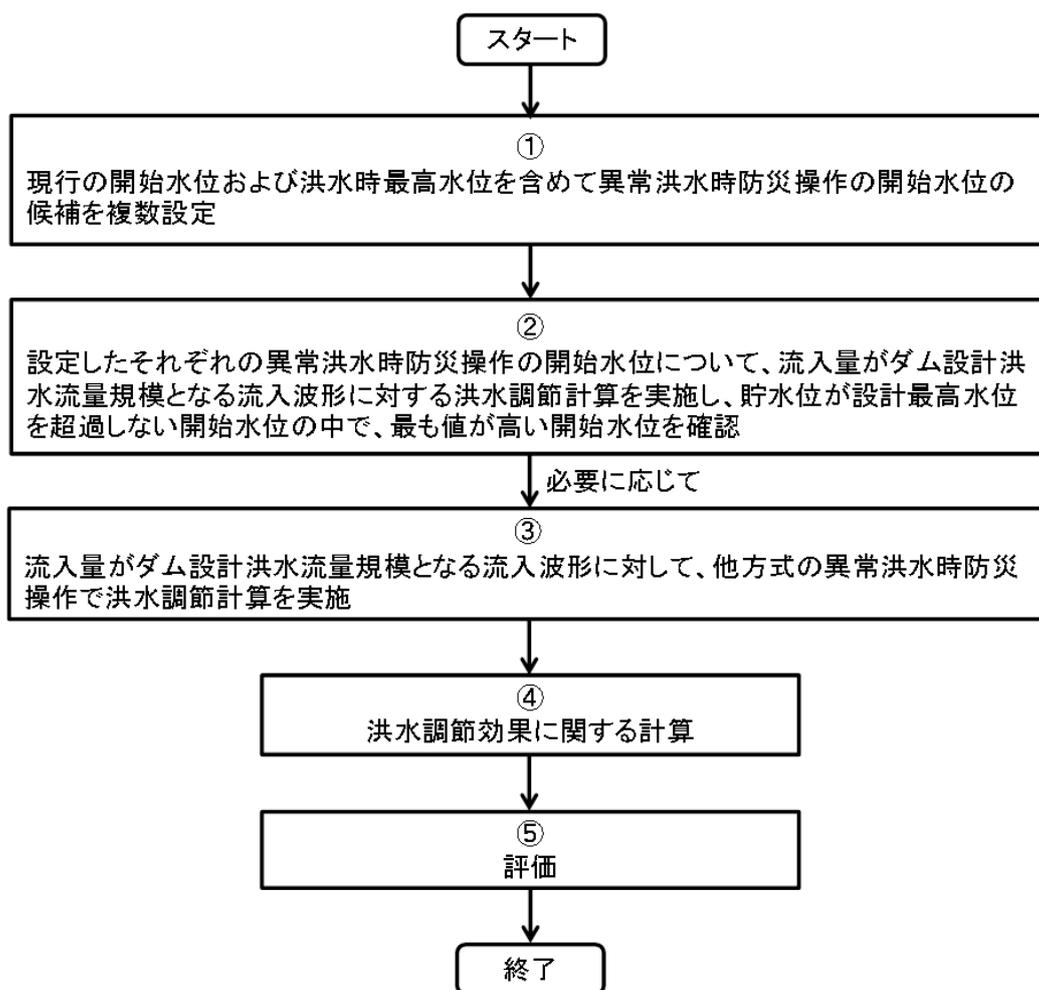


図 2.1 異常洪水時防災操作の点検フロー

II. 異常洪水時防災操作方式

ここでは、「計画規模を超える洪水時におけるただし書き操作の運用の改訂について」（昭和 59 年 6 月河川局長通達）に基づき運用されている現行の異常洪水時防災操作及び同通達以降に提案された異常洪水時防災操作方式について、各方式の概要、計算事例、特徴と留意事項、操作にあたって必要となる情報について説明する。「同通達以降に提案された異常洪水時防災操作方式」として、必要最小放流量方式、VR 方式、放流量曲線逐次見直し方式及び限界操作方式を扱う。

1. A ダムの諸元、計算条件

1.1 A ダムの諸元

A ダムの諸元は以下の通りである。

- 形式：重力式コンクリートダム
- 用途：F（洪水調節）、N（不特定用水）、W（水道用水）、P（発電）
- 流域面積：約 80.9 km²
- 洪水貯留準備水位：299.0 m
- 異常洪水時防災操作の開始水位：313.6 m
- 洪水時最高水位：317.0 m
- 設計最高水位：317.5 m
- 洪水調節容量（洪水期）：17,000,000 m³
- 洪水量：200 m³/s
- 洪水調節方式：一定量放流方式
- 計画最大放流量：350 m³/s
- ダム設計洪水流量：2,800 m³/s
- 放流設備：常用洪水吐 3 門（高圧ラジアルゲート）、非常用洪水吐 4 門（普通ラジアルゲート）
- 常用洪水吐及び非常用洪水吐のゲートの操作条件：

常用洪水吐及び非常用洪水吐の操作条件は以下の通りである。

常用洪水吐：

1 門の 1 回の操作開度は 0.50 m 以内とし、1 門ずつ操作を行うものとする。ゲート間の開度の差は 0.50 m 以内とする。

非常用洪水吐：

1 門の 1 回の操作開度は 0.50 m 以内とし、1 門ずつ操作を行うものとする。ゲート間の開度の差は 0.50 m 以内とする。

※上述の用語の定義は、例えば、「社団法人 日本河川協会、財団法人 国土開発技術研究センター 編：改訂 解説・河川管理施設等構造令」、「財団法人 ダム技術センター：多目的ダムの建設」等を参照のこと。

1.2 シミュレーション条件

II.2.以降で述べるシミュレーションで共通となる条件は以下の通りである。

- 計算時間間隔：1 分
- ゲートの開閉速度は、常用、非常用洪水吐ともに最大 0.3 m/min とする。
- 常用洪水吐は 3 門全て同時に動作するものとする。また、目標開度が開閉速度の上限である 0.3

m/min よりも小さい場合、1分で目標開度まで操作できるものとする。(※)

- 非常用洪水吐は常用洪水吐のゲートが全開となった以降に行うものとする。また、非常用洪水吐の4門についても、上記の常用洪水吐と同様4門同時に動作し、目標開度が開閉速度の上限である0.3 m/min よりも小さい場合、1分で目標開度まで操作できるものとする。(※)

(※) ゲートを同時に操作できず、動作をずらす必要があるダムにおいては、ずらした操作を行えるように計算することが望ましい。

- **各ゲートからの放流量の計算：**

それぞれのゲートについて定められる貯水位～ゲート開度～放流量の関係を用いる。

常用洪水吐：

$$Q_{goj} = C(P_o) \times S(P_o) \times \sqrt{2g \times (H_a - 268.24)}$$

$$C(P_o) = 1 - 0.0211 \times P_o^2 + 0.00188 \times P_o^4$$

$$S(P_o) = 2.78 \times P_o$$

$$P_o = 0.99201 \times P - 0.299760 \times \sin(R) + 0.203797$$

$$R = 2 \times \sin^{-1} \left(\sqrt{\frac{P+2}{15}} \right)$$

ただし、

Q_{goj} : 1門毎ゲート放流量(m³/s)

$C(P_o)$: 流量係数

$S(P_o)$: 放流管の放流断面積(m²)

g : 重力加速度(m/s²)

H_a : 貯水位(m)

P_o : ゲート開度 (垂直) (m)

P : ゲート開度 (鉛直 (入力値)) (m)

非常用洪水吐：

1) 自由越流 (フリーフロー) 時 Q_{crf}

$$Q_{crf} = C_f \times B \times H^{\frac{3}{2}}$$

$$B = 10.50$$

$$H = H_a - 310.50$$

$$C_f = a + b \left(\frac{H}{H_d} \right)^2 + \left(\frac{H}{H_d} \right)^4$$

$$a = 1.6407$$

$$b = 1.0183$$

$$c = 0.5063$$

$$H_d = 6.50$$

ただし、

Q_{crf} : 自由越流時の1門毎放流量(m^3/s)

C_f : 流量係数 (フリーフロー時)

B : 越流幅(m)

H : 越流水深(m)

H_d : 設計水頭(m)

2) オリフィス流 (部分開放) 時 Q_{cro}

$$Q_{cro} = C_o \times B \times \left(H^{\frac{3}{2}} - (H - P)^{\frac{3}{2}} \right)$$

$$B = 10.50$$

$$H = H_a - 310.50$$

$$C_o = a + b \times P + c \times P^2 + d \times P^3 + e \times P^4$$

$$a = 1.6951$$

$$b = 0$$

$$c = 0.03077$$

$$d = 0$$

$$e = 0.000575$$

ただし、

Q_{cro} : オリフィス流時の1門毎放流量(m^3/s)

C_o : 流量係数 (オリフィス流時)

P : ゲート開度(m)

ここで、自由越流かオリフィス流かの判定は以下の条件で決定するものとする。

$0 \leq H < 1.348 \times P + 0.612$ → オリフィス流

上記に当てはまらない場合 → 自由越流

2. 現行の異常洪水時防災操作方式

2.1 方式の概要

貯水位が異常洪水時防災操作の開始水位を超えて以降、放流量が流入量と等しくなるまでの間、予め定めた貯水位に対応したゲート開度に基づいてゲート操作を行う方式である。

2.2 計算事例

既に広く普及されている方式であるためここでは紹介しない。

2.3 方式の特徴と留意事項

放流量の決定に必要な情報は貯水位のみであり、操作が簡便であることが優位な点として挙げられる。その一方で、流入量の大きさに関係なく放流量を増加させて流入量にすり付けるよう操作するため、これまでの実施実績の中には結果的に洪水調節容量を十分に使用できなかった事例も存在する。

3. 必要最小放流量方式

3.1 方式の概要

任意の流入量・貯水位から一定割合で流入量がダム設計洪水流量まで増加・継続した際に、規定に定められたゲート操作を行って設計洪水水位でダム設計洪水流量を放流するために「現時点で最低でも放流しなければいけない放流量（必要最小放流量）」を定めたテーブル（必要最小放流量テーブル、表 2.1）を作成し、このテーブルに基づいて操作を行う方式である^{3),4)}。

表 2.1 必要最小放流量テーブルのイメージ（柏井³⁾に加筆して作成）

貯水位(EL.m)	流入量(m ³ /s)								ダム設計洪水流量
	調節開始流量								
異常洪水時防災操作開始水位	①	①	①	①	①	①	①	①	①
	②	②	②	②	必要最小放流量				②
	②	②	②	②	②	②	②	②	②
	②	②	②	②	②	②	②	②	②
	②	②	②	②	②	②	②	②	②
	②	②	②	②	②	②	②	②	②
	②	②	②	②	②	②	②	②	②
	②	②	②	②	②	②	②	②	②
洪水時最高水位	②	②	②	②	②	②	②	②	②
									大
設計最高水位	③	③	③	③	③	③	③	③	③

①洪水調節操作から設定される最小の流量以下となる必要がある(例えば、一定率一定量操作では一定率操作時の放流量(計画最大放流量を最大)以下の流量)

②新設ダムでは①と同じ条件設定が望ましい(設計最高水位をそのように設定する必要がある)。

③流入量に等しく設定される。

3.2 必要最小放流量テーブルの作成

ここでは、表2.1に示した必要最小放流量テーブルのそれぞれの流入量及び貯水位に対応する必要最小放流量の算出事例を示すことで必要最小放流量テーブルの作成方法について示す。

1) 縦軸及び横軸の設定

必要最小放流量テーブルの縦軸は貯水位、横軸は流入量、表の中はそれぞれの貯水位及び流入量に対応する必要最小放流量を示している。縦軸は、異常洪水時防災操作の開始水位を下限とし、上限は設計最高水位とする。横軸の下限は洪水調節開始流量、上限はダム設計洪水流量とする。

Aダムにおいては、異常洪水時防災操作の開始水位が313.6 m、設計最高水位が317.5 mであるため、縦軸の貯水位については0.5 m刻みとした。また、計画最大放流量が350 m³/s、ダム設計洪水流量が2,800 m³/sであるため横軸の流入量については250 m³/sを基本としてとして刻んだ。この結果、表2.2のように縦軸及び横軸が設定される。

表2.2 Aダムの必要最小放流量テーブルの縦軸及び横軸の設定例

貯水位 (EL.m)	流入量(m ³ /s)												
	350	500	750	1000	1250	1500	1750	2000	2250	2500	2600	2700	2800
313.6													
314.0													
314.5													
315.0													
315.5													
316.0													
316.5													
317.0													
317.5													

2) 必要最小放流量の算出

表2.2の流入量750 m³/s、貯水位316.0 mを例として、必要最小放流量の算出過程を示す。

a) 条件設定

• 初期放流量

必要最小放流量を求めるために初期時刻における放流量を設定する。Aダムの事例では、0 m³/sから2 m³/s刻みで設定した。

• ゲート休止時間

流入量の把握及び実運用における余裕等を考慮してゲート休止時間を設定する。Aダムの事例では、ゲート休止時間を10分として設定した。

• 流入量の増加速度

流入量の増加速度は、実績の流入波形や計画波形等を利用して流入量の立ち上がりが急な部分の増加速度を採用することを基本とする。Aダムでは、計画流入波形のピーク流入量をダム設計洪水流量まで引き延ばした波形の中で、最も勾配が急な部分の値を抽出した。図2.2はAダムの計画流入波形及び計画流入波形のピーク流入量をダム設計洪水流量まで引き延ばした波形であり、後者の波形を参考にして、流入量の増加速度を882 m³/s/hr (=14.7 m³/s/min)とした。

ゲート休止時間や流入量の増加速度の設定方法については、柏井(2013)も参考にすることが望ましい。

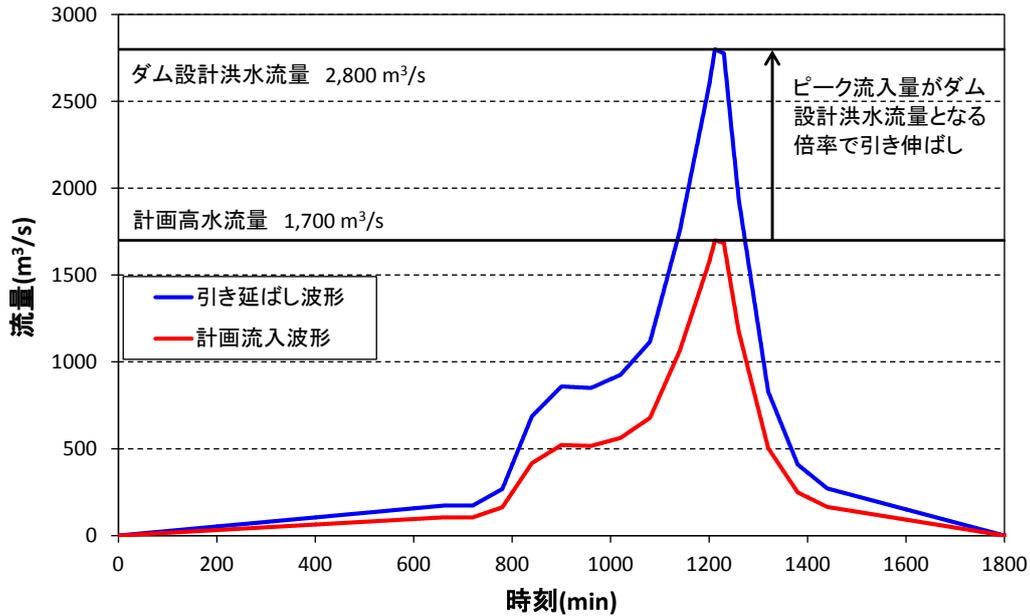


図2.2 計画流入波形及び引き延ばした波形

b) 洪水調節シミュレーションによる必要最小放流量の算出

a)で記した流入量の増加速度で流入量がダム設計洪水流量まで増加し、その流入が継続する波形に対して規定のゲート操作による洪水調節シミュレーションを実施する。図2.3は、初期放流量 $0 \text{ m}^3/\text{s}$ で計算した事例である。その結果、放流量がダム設計洪水流量と同じになる時には、貯水位が設計最高水位を超過しており、初期放流量が不足していることが分かる。図2.4は、同様の流入波形に対して初期放流量を $146 \text{ m}^3/\text{s}$ とした場合のシミュレーション結果である。この場合も図2.3と同様に放流量がダム設計洪水流量と同じになる時には貯水位が設計最高水位を超過しており、初期放流量が不足していることが分かる。図2.5は、初期放流量を $148 \text{ m}^3/\text{s}$ とした計算である。この場合、貯水位が設計最高水位に到達する以前に放流量がダム設計洪水流量と同じになった。上記の結果から、 $148 \text{ m}^3/\text{s}$ が貯水位 316.0 m 、流入量 $750 \text{ m}^3/\text{s}$ における必要最小放流量と求めることができる。

上記の計算を表2.2に示した全ての流入量・貯水位について実施する。最終的にAダムについて作成された必要最小放流量テーブルは表2.3に示すようになる。

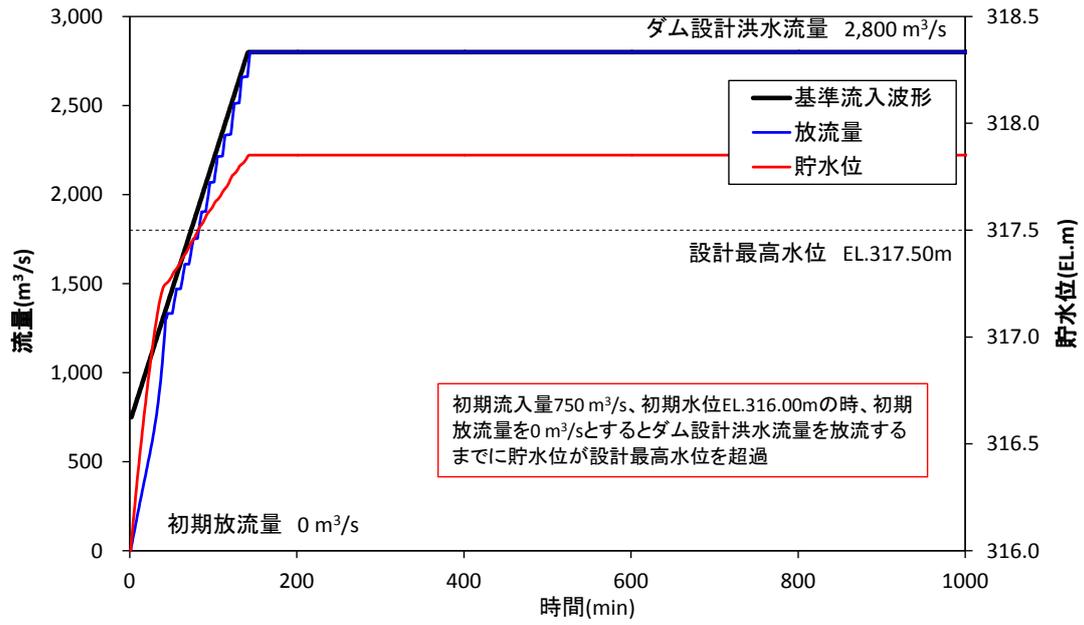


図2.3 必要最小放流量のシミュレーション (初期放流量 : 0 m³/s)

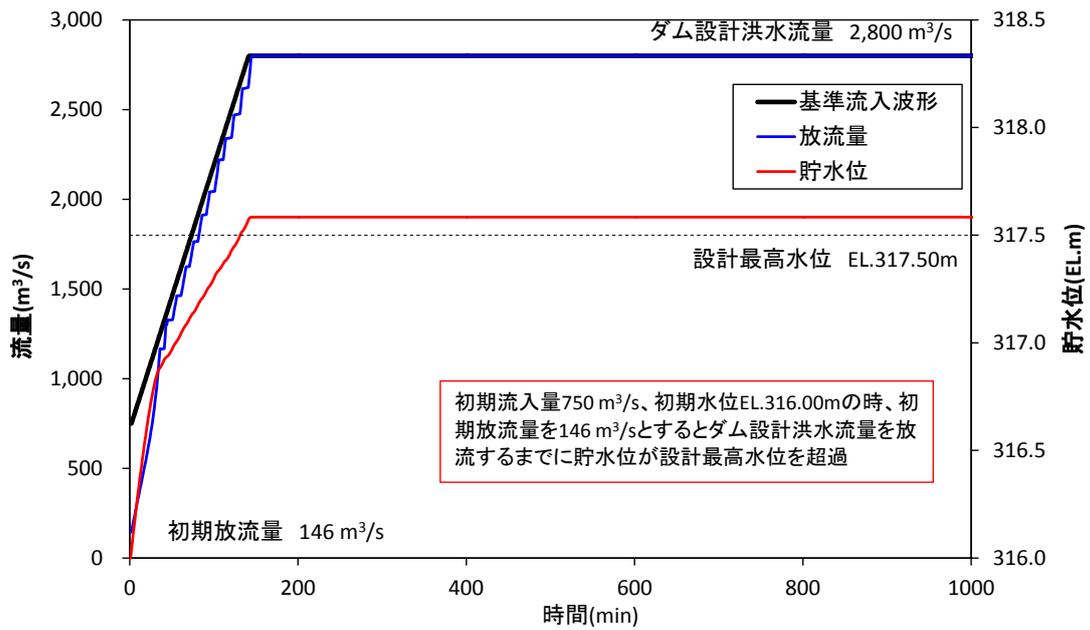


図2.4 必要最小放流量のシミュレーション (初期放流量 : 146 m³/s)

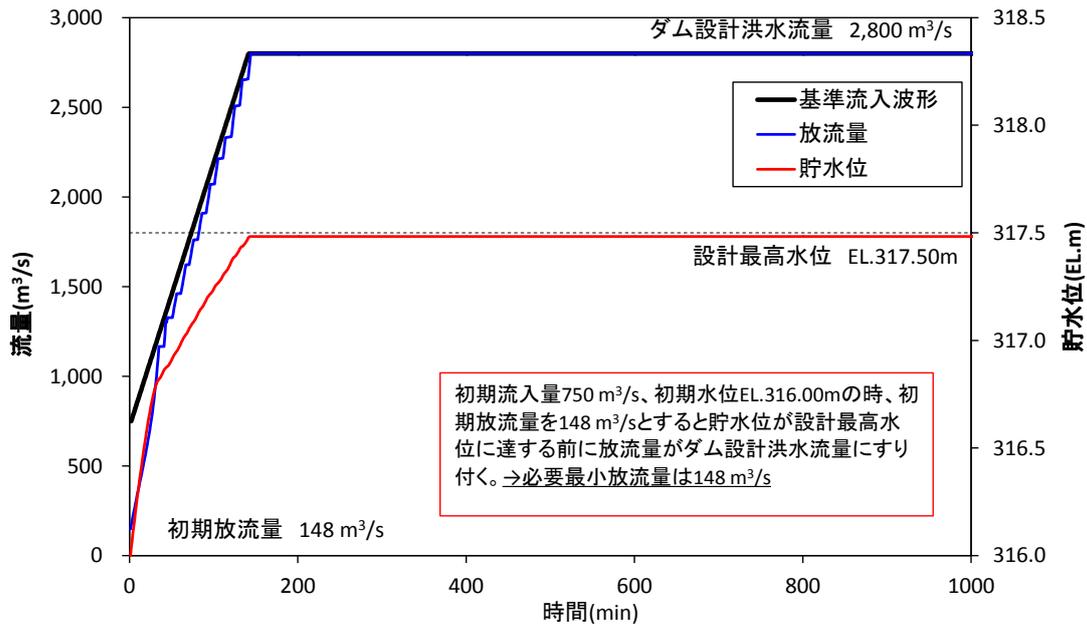


図2.5 必要最小放流量のシミュレーション（初期放流量：148 m³/s）

表2.3 Aダムにおける必要最小放流量テーブル

貯水位 (EL.m)	流入量(m³/s)												
	350	500	750	1000	1250	1500	1750	2000	2250	2500	2600	2700	2800
313.6	0	0	0	0	0	120	282	436	550	624	650	678	678
314.0	0	0	0	0	0	190	350	506	626	710	740	774	774
314.5	0	0	0	0	98	262	420	580	744	850	890	932	932
315.0	0	0	0	26	194	354	512	688	894	1086	1144	1144	1208
315.5	0	0	0	146	310	468	636	820	1092	1306	1330	1352	1352
316.0	0	0	148	312	448	588	756	1044	1314	1436	1484	1508	1508
316.5	350	382	428	568	644	794	1050	1348	1500	1626	1652	1678	1704
317.0	350	500	750	1000	1250	1500	1490	1622	1758	1870	1930	1960	1990
317.5	350	500	750	1000	1250	1500	1750	2000	2250	2500	2600	2700	2800

3.3 Aダムにおける計算事例

通常の洪水調節により操作した場合に洪水調節容量を使い切る程度に実績の流入波形を引き延ばし、それに対して必要最小放流量方式により操作したシミュレーションを実施した。必要最小放流量方式による洪水調節計算の過程の一部を表2.4に示す。なお、時間軸は仮想であり現実の時間とは関係ない時間を示している。

① 貯水位が異常洪水時防災操作の開始水位を超過（必要最小放流量方式による放流量決定）

表2.4の12時10分に貯水位が異常洪水時防災操作の開始水位に到達し、この時点から必要最小放流量方式による放流が開始される。12時10分時点では流入量が1,146 m³/s、貯水位が313.70 mであり、表2.3の青枠内の値を確認すると、必要最小放流量は0.00 m³/sとなる。この結果から、放流量は0.00 m³/sまで下げることが可能であることを示している。しかし、操作の単純化の観点及び放流量を下げた後に再び増加させる危険性を避けるため、本計算では必要最小放流量が現時点の放流量を下回る場合は現時点の放流量を継続するものとして計算した。結果としてこの時点では350.0 m³/sの放流を継続した。

次に12時20分を見ると、貯水位は314.10 m、流入量は1,070 m³/sである。表2.3の赤枠内の値を内挿することで必要最小放流量は5.68 m³/sと求まる。この時も12時10分の時と同様、必要最小放流量が現時点の放流量である350.0 m³/sを下回るため、現時点の放流量を継続させた。

② 「必要最小放流量 > 前時刻の放流量」となり、放流量増加を開始

必要最小放流量が現時点の放流量を下回る状態が14時30分まで継続し、14時30分に求めた必要最小放流量389.84 m³/sが1時刻前の放流量を上回るため、384.84 m³/sを放流する。上述の手順で放流量を時々刻々決定・操作していくと、15時40分に放流量が流入量と同じとなる。その結果、放流量としては図2.6上のようになり、最大放流量を現行の異常洪水時防災操作より抑えることができていることが分かる。また、貯水位についても、図2.6下に示すとおり現行の異常洪水時防災操作より高くなり、洪水調節容量を多く用いる操作が行われていることが確認できる。

表2.4 必要最小放流量方式による洪水調節計算の過程

日時	貯水位(m)	流入量(m ³ /s)	必要最小放流量(m ³ /s)	放流量(m ³ /s)	備考
12:00	313.26	1222.24	-	350.00	
12:10	313.70	1145.94	0.00	350.00	ただし書き操作開始水位を超過(必要最小放流量方式による放流開始)
12:20	314.10	1069.64	5.68	350.00	「必要最小放流量 < 1時刻前の放流量」の場合、放流量を下げることはなく、1時刻前の放流量を継続させる。
12:30	314.46	993.34	0.00	350.00	
12:40	314.77	917.05	9.52	350.00	
12:50	315.05	840.75	13.45	350.00	
13:00	315.28	797.56	17.87	350.00	
13:10	315.50	758.06	4.69	350.00	
13:20	315.69	718.56	49.43	350.00	
13:30	315.86	679.06	76.96	350.00	
13:40	316.01	639.55	91.72	350.00	
13:50	316.14	600.05	157.49	350.00	
14:00	316.26	575.66	225.97	350.00	
14:10	316.36	552.95	290.11	350.00	
14:20	316.45	530.24	349.12	350.00	
14:30	316.53	507.54	389.84	389.84	必要最小放流量が、350m ³ /sを上回ったので、必要最小放流量を放流するために放流量を増加させる。
14:40	316.58	484.83	395.95	395.95	必要最小放流量を放流する。
14:50	316.62	462.12	395.26	395.95	
15:00	316.65	446.68	393.44	395.95	
15:10	316.67	432.05	389.71	395.95	
15:20	316.69	417.42	384.22	395.95	
15:30	316.69	402.79	377.37	395.95	
15:40	316.69	388.16	369.79	388.16	

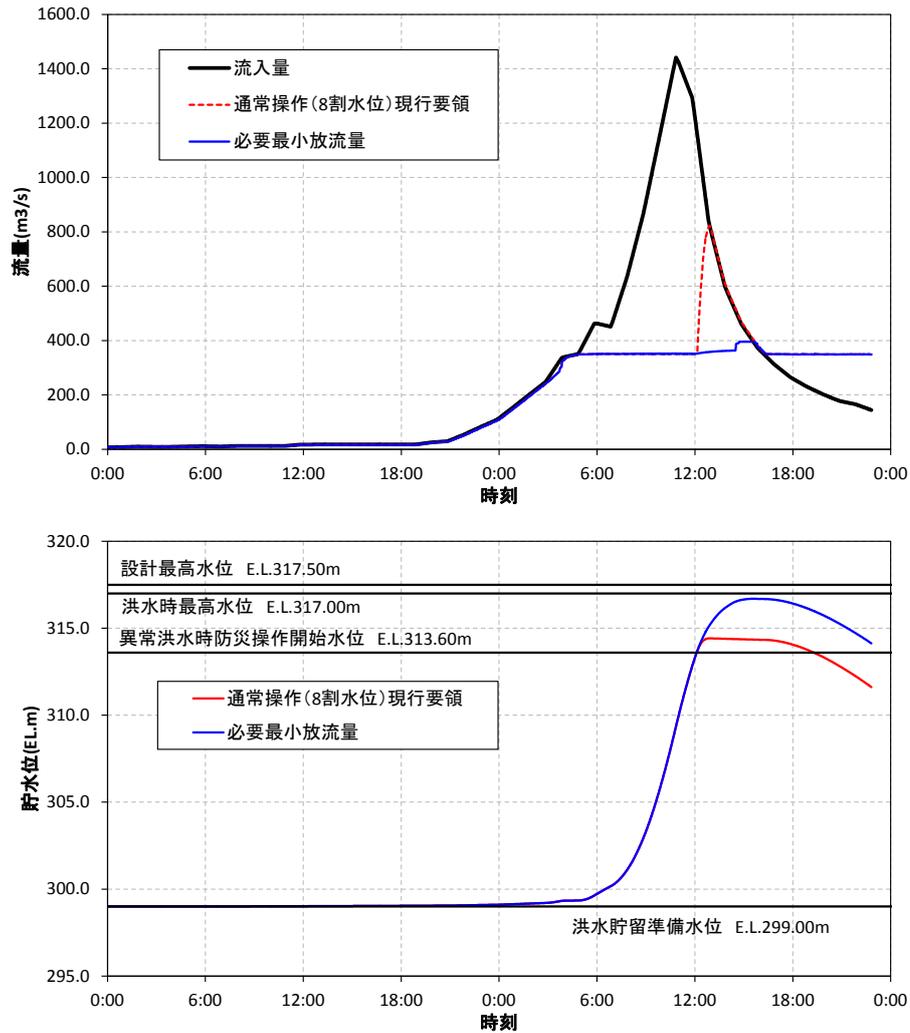


図 2.6 必要最小放流量方式によるシミュレーション事例（上：流入量・放流量 下：貯水位）

3.4 方式の特徴と留意事項

3.2 で記した必要最小放流量テーブルの作成過程からも分かるとおり、必要最小放流量方式は流入量が任意の値からダム設計洪水流量まで上昇する場合においても設計最高水位におけるダム設計洪水流量の放流が満足される操作方式であるため、操作中に流入量が減少から増加に転じる場合においても必要最小放流量テーブルに則った操作を実施することで適切に操作が行われる。

流入量の増加割合が必要最小放流量テーブルの作成において想定した増加割合を上回る場合、操作の遅れが生じるおそれがある。

4. VR方式

4.1 方式の概要

VR方式^{5),6)}の概要は、

- ① 最初に、過去の実績出水等から作成したピーク流量以降の流入量の逓減特性を表現した基準流入波形を設定する。その基準流入波形に対して洪水調節容量を使い切るよう空容量と放流量に応じた放流率(※)を定めた「放流率テーブル」を予め作成する。

$$\text{※ 放流率} = (\text{放流量} - \text{洪水調節開始流量}) \div (\text{流入量} - \text{洪水調節開始流量})$$

- ② 実際の操作に当たっては、その時点の空容量と放流量から放流率テーブルを基に放流率を求め、次の放流量(※※)を時々刻々定める。

$$\text{※※ 放流量} = \text{放流率} \times (\text{流入量} - \text{洪水調節開始流量}) + \text{洪水調節開始流量}$$

というものであり、洪水調節終了時に洪水調節容量を使い切ることで洪水調節効果を高めることを目的とした操作方式である。時々刻々の操作においては、基準流入波形から想定される流入量よりも空容量が不足していれば放流率を上げ(=放流量を上げる)、逆に空容量に余裕があれば放流率を下げる(=放流量を下げる)ように放流量が決定される。

4.2 放流率テーブルの作成方法

1) 放流率テーブルの縦軸及び横軸の設定

放流率テーブルは、縦軸に洪水時最高水位までの空容量、横軸に放流量、表の中はそれぞれの空容量及び放流量に対応する放流率で構成される。縦軸の上限は洪水時最高水位における空容量(=0 m³)とする。また縦軸の下限については決められた設定方法があるわけではないが、ここでの検討は異常洪水時防災操作を対象としていることから異常洪水時防災操作の開始水位における空容量とした。横軸の下限は計画最大放流量、上限はダム設計洪水流量とする。縦軸及び横軸について、適切に内挿・区分する。

Aダムにおいては、異常洪水時防災操作の開始水位から洪水時最高水位までの空容量が3,990千m³であるため、空容量0 m³から3,990千m³の間を1,000千m³で刻んだ。また放流量については、計画最大放流量が350 m³/s、ダム設計洪水流量が2,800 m³/sであるため100 m³/s刻みとした。この結果、表2.5のようになる。

表2.5 Aダム の放流率テーブル（下表は上表の右端と接続する）

空容量(千m ³)	放流量(m ³ /s)												
	350	450	550	650	750	850	950	1050	1150	1250	1350	1450	1550
0													
990													
1990													
2990													
3990													

空容量(千m ³)	放流量(m ³ /s)												
	1650	1750	1850	1950	2050	2150	2250	2350	2450	2550	2650	2750	2800
0													
990													
1990													
2990													
3990													

2) 基準流入波形の設定

逓減期の基準流入波形は、ほぼ等比級数的に逓減すると仮定し、以下の時間の指数関数で表されるものとする。

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

$Q(t)$: 時刻 t におけるダム流入量(m³/s)

a : 洪水のピーク流量で決まる定数

b : 洪水の逓減状況を把握できる定数

a および b の値は、計画流入波形や既往洪水を基に推定することを基本とする。ここでは、ダム設計洪水流量規模の流入についても考慮するため、 a の値についてはダム設計洪水流量の値を取ることにした。

Aダムについては a の値をダム設計洪水流量である2,800 m³/sとした。 b の値は、計画流入波形のピーク流量をダム設計洪水流量まで引き伸ばした波形の逓減期に合うように設定し、Aダムについては $b = 1.01$ とした。設定された基準流入波形は図2.7のようになる。

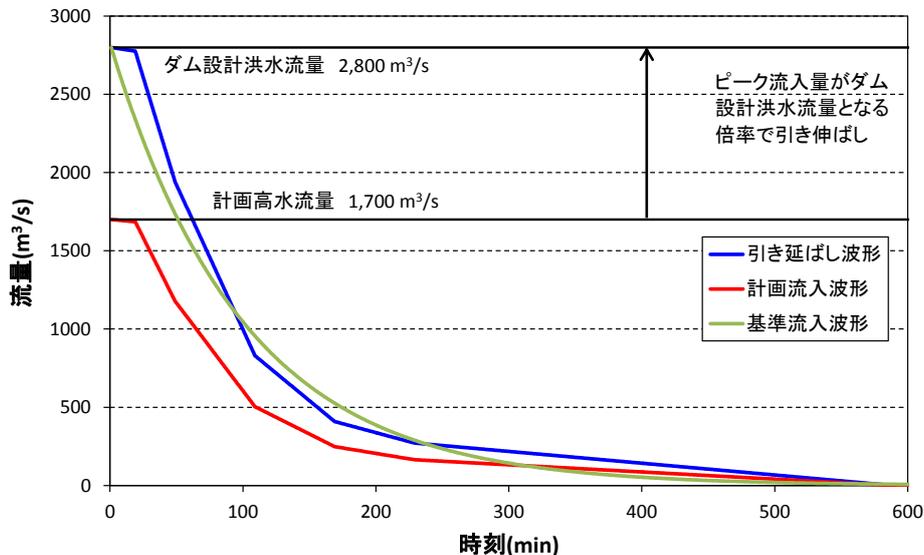


図 2.7 Aダムにおいて設定した基準流入波形 ($a = 2,800 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $b = 1.01$)

3) 放流率の算出

基準流入波形を設定した後、表2.5に示したそれぞれの放流量及び空容量に対する放流率を算出する。図2.8は放流量が950 m³/s、空容量が3,990千m³の場合の放流率算定過程を示している。最初に、①放流量を950 m³/sとした場合に基準流入波形との交点を求める。この時の時刻をt_sとする。そこから、②貯留量が空容量である3,990千m³と等しくなるまで基準流入波形を時間的に遡る。この時の時刻をt_fとする。時刻t_fにおける流入量は、基準流入波形の式を用いて2,560 m³/sと求まる。これらの値より、放流率R=(放流量-洪水調節開始流量)÷(流入量-洪水調節開始流量)=(950-350)/(2560-350)=0.271と算出される。この計算過程をその他の放流量、空容量に対して行うことで放流率テーブルが完成する。Aダムについて作成した放流率テーブルを表2.6に示す。

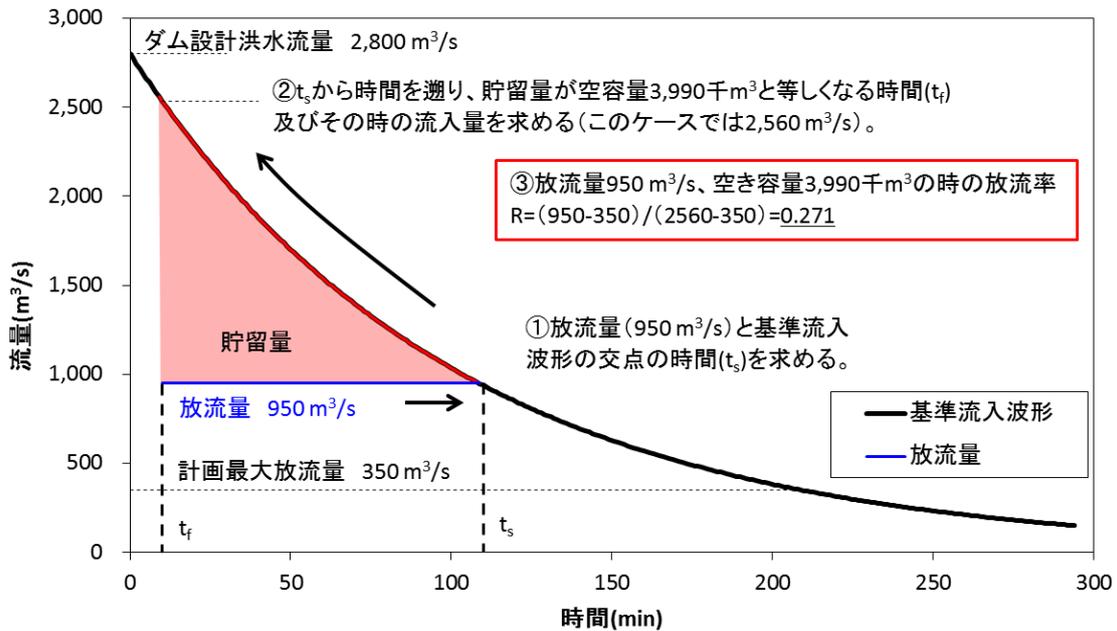


図 2.8 放流率の算定プロセス (空容量 3,990 千 m³、放流量 950 m³/s)

表2.6 Aダムにおける放流率テーブルの例

空容量(千m ³)	放流量(m ³ /s)												
	350	450	550	650	750	850	950	1050	1150	1250	1350	1450	1550
0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
990	0.000	0.168	0.271	0.342	0.393	0.436	0.472	0.499	0.523	0.547	0.565	0.579	0.589
1990	0.000	0.113	0.191	0.252	0.299	0.339	0.369	0.396	0.421	0.442	0.458	0.475	0.490
2990	0.000	0.088	0.154	0.206	0.246	0.283	0.312	0.336	0.362	0.380	0.408	0.449	0.490
3990	0.000	0.073	0.129	0.176	0.213	0.245	0.271	0.296	0.327	0.367	0.408	0.449	0.490

空容量(千m ³)	放流量(m ³ /s)												
	1650	1750	1850	1950	2050	2150	2250	2350	2450	2550	2650	2750	2800
0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
990	0.602	0.619	0.626	0.653	0.694	0.735	0.776	0.816	0.857	0.898	0.939	0.980	1.000
1990	0.531	0.571	0.612	0.653	0.694	0.735	0.776	0.816	0.857	0.898	0.939	0.980	1.000
2990	0.531	0.571	0.612	0.653	0.694	0.735	0.776	0.816	0.857	0.898	0.939	0.980	1.000
3990	0.531	0.571	0.612	0.653	0.694	0.735	0.776	0.816	0.857	0.898	0.939	0.980	1.000

4.3 Aダムにおける計算事例

実績で異常洪水時防災操作を実施した洪水を対象としてVR方式による異常洪水時防災操作のシミュレーションを実施した。その計算過程の一部を表示したものが表2.7である。なお、裏戸(2013)では洪水の流入ピークの直後から操作を開始しているが、ここでは貯水位が異常洪水時防災操作の開始水位を超過してから操作を判断する計算を実施した。また、流入量の把握及び実運用における余裕等を考慮して、ゲート休止時間を10分として設定した。

表2.7によると、9月3日3時00分に流入量がピークを迎えた。貯水位は異常洪水時防災操作の開始水位を14時頃に超過したためその時点からVR方式による放流量決定を行っているが、表2.7において放流量決定過程が示されているのは14時頃から少し時間が進展した9月3日17時10分以降である。17時10分の時点で、空容量は2,305千 m^3 、放流量は356 m^3/s である。この値を基に放流率を求めると、表2.6の青枠内の値を内挿することで0.006と求まる。この放流率の値を用いることで、放流量は $0.006 \times (512.69 - 350.00) + 350.0 = 350.98 \text{ m}^3/s$ と求まる。以降、上記の手順を繰り返すことでVR方式による放流量が決定されていく。またVR方式により決定された放流量が1時刻前の放流量よりも小さい場合には、VR方式により決定された放流量に従って放流量を下げる事が可能であるが、必要最小放流量方式と同様に、操作の単純化の観点及び放流量を下げた後に再び増加させる危険性を避けるため、ここでの計算では放流量を増加させる際の放流量決定にVR方式を用いることとし、放流量を下げる操作は行わないこととした。計算の結果、図2.9上に示されるとおり、通常操作では9月3日15時頃から放流量を急激に増加させているのに対し、VR方式では放流量を徐々に増加させているものの9月3日23時頃まで急増させることはない。9月3日23時頃から放流量をやや増加させ、9月4日0時10分に流入量＝放流量となった。貯水位は図2.9下に示されている通り、通常操作と比較して洪水調節容量を多く用いていることが分かる。本事例では9月4日6時からの二山目の洪水が発生する前に放流量が流入量と同じとなっているため問題となっていないが、流入量と放流量が一致していない段階で流入量が減少から増加に転じた場合は、単調な減少波形を想定しているVR方式では操作遅れが発生することがあり得ることに留意が必要である。

表2.7 VR方式による放流量決定過程の一部

日時	貯水位	空容量(千 m^3)	当該時刻の放流量(m^3/s)	放流率	流入量(m^3/s)	VR方式により求められた放流量(m^3/s)	決定される放流量(m^3/s)	備考
09/03 03:00	304.950	12614.81	352.39	0.000	929.870	-	350.00	流入量ピーク
09/03 03:10	305.332	12279.88	352.25	0.000	885.160	350.00	350.00	
...								
09/03 17:10	315.071	2304.78	355.62	0.006	512.690	350.98	355.62	VR方式により求められた放流量 = $0.006 \times (512.69 - 350) + 350 = 350.98 \text{ m}^3/s$ ※VR方式により求められた放流量がその時点の放流量よりも小さい場合はその時点の放流量を継続する。
09/03 18:10	315.492	1810.89	357.22	0.009	478.760	351.16	357.22	VR方式により求められた放流量 = $0.009 \times (478.76 - 350) + 350 = 351.16 \text{ m}^3/s$
09/03 19:10	315.849	1387.85	358.57	0.013	466.460	351.51	358.57	
09/03 20:10	316.109	1078.31	359.55	0.016	430.980	351.30	359.55	
09/03 21:10	316.335	806.32	363.82	0.204	433.900	367.12	367.12	
09/03 22:10	316.473	640.57	370.04	0.375	407.920	371.72	371.72	
09/03 23:10	316.609	476.26	401.28	0.560	435.400	397.82	401.28	
09/04 00:10	316.625	456.63	378.62	0.561	378.980	366.26	378.98	流入量＝放流量となる

4.4 方式の特徴と留意事項

本方式が優位な点として、基準流入波形は流入量の通減期に関する流入量予測に用いられるものであるため、ピーク以降の流入量が単調に減少する洪水に対しては放流率テーブルに基づいて時々刻々放流量を見直して洪水調節容量を多く使用することで洪水調節効果を高めることが期待できる。そのため、気象観測、予測情報を参考にして、流入量の減少が見込まれる場合に実施することが望ましい。

4.2で示した放流率テーブルの作成過程からも分かるように、VR方式は単調に減少する流入量を仮定し

た操作方式である。そのため、操作中に流入量が減少から増加に転じると、単調な減少を仮定する基準流入波形と実際の流入量との乖離が大きくなるため、操作遅れが生じるおそれがあることがある。このため、二山洪水等に対する留意が必要となる。

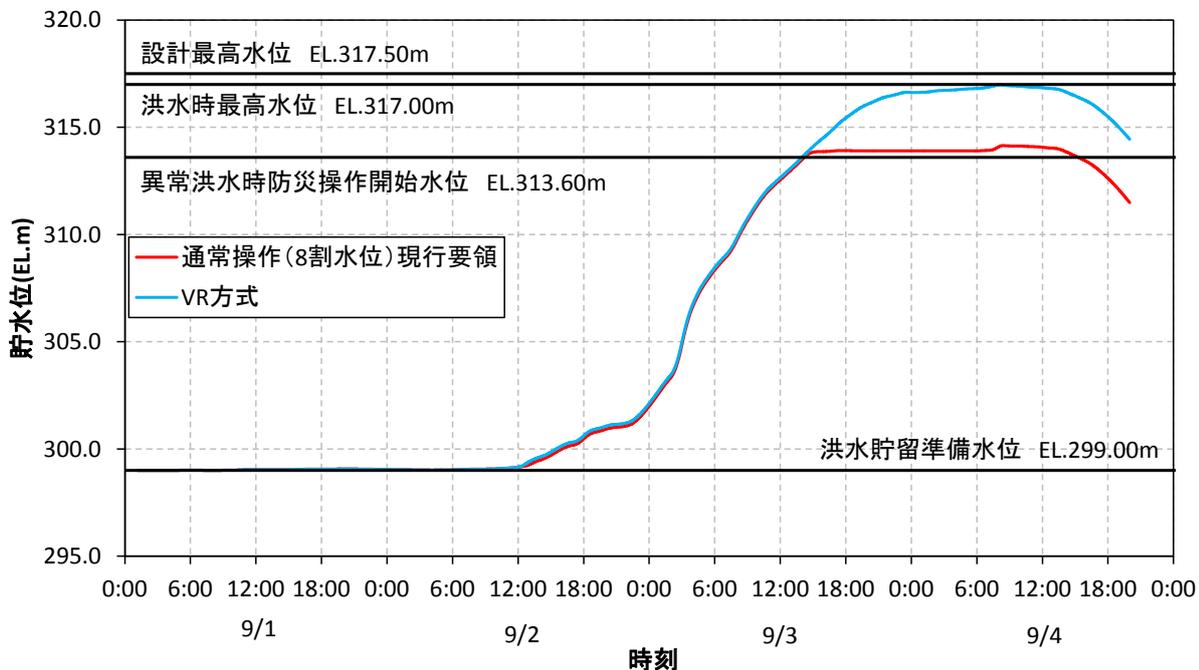
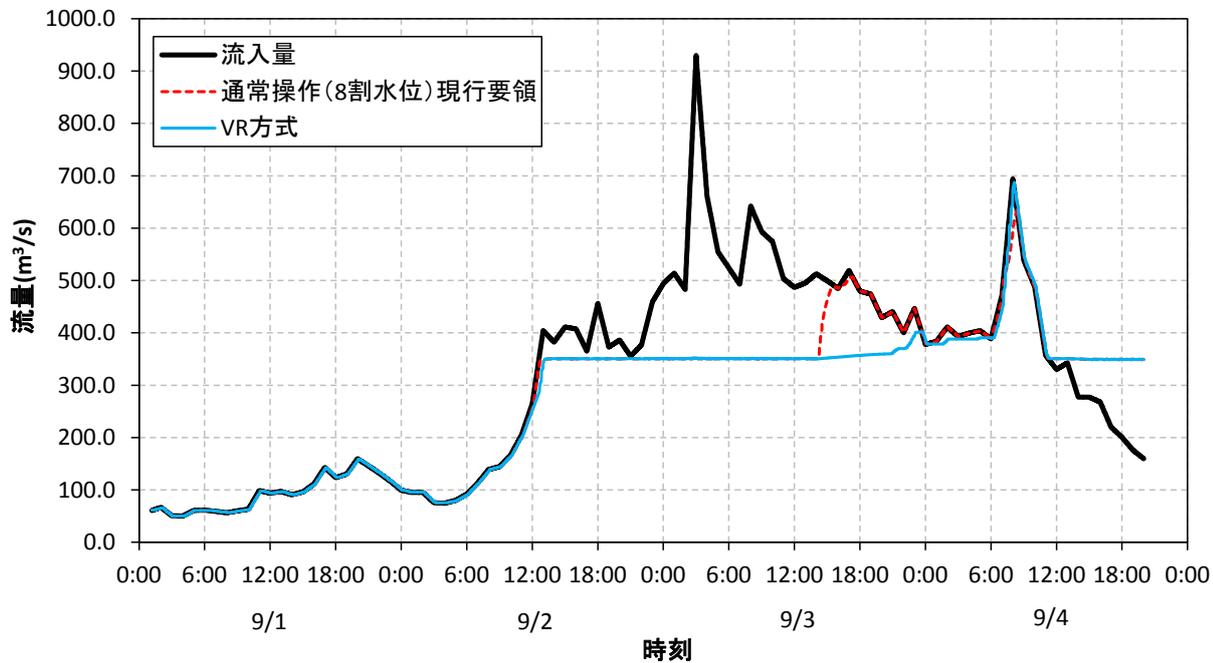


図 2.9 VR 方式によるシミュレーション事例 (上：流入量・放流量 下：貯水位)

5. 放流曲線逐次見直し方式

5.1 方式の概要

貯水位が異常洪水時防災操作開始水位を超えた後、流入量がピークを過ぎて逡減している場合において、その時の流入量を洪水時最高水位で放流するように放流量曲線（貯水位-ゲート開度の関係式を介して計算される貯水位と放流量の関係を表す曲線）を逐次設定する操作方式である。放流量曲線を逐次見直すことで、洪水調節容量をできる限り多く使用し洪水調節効果を高めることを目的とした操作方式である。

5.2 放流量曲線見直しの考え方

図2.10左の赤線で描かれているのは、通常の異常洪水時防災操作の放流量曲線である。この放流量曲線では、洪水時最高水位（図2.10では「サーチャージ水位」と表記）で計画最大流入量（図2.10においては4,600 m³/s）を放流し、設計最高水位（図2.10では「設計洪水水位」と表記）でダム設計洪水流量（図2.10においては5,520 m³/s）を放流するように設定されている。異常洪水時防災操作を開始し1時間程度経過した時の流入量を Q_{in1} 、放流量を Q_{out1} とすると、流入量が逡減していれば洪水時最高水位において計画最大流入量である4,600 m³/sを放流するのではなく、それよりも値が小さい Q_{in1} を洪水時最高水位で放流すればよいと考え、 Q_{in1} を洪水時最高水位で放流できるように放流量曲線を見直す。そこから1時間は見直した放流量曲線に基づいて操作を行う。1時間が経過した時の流入量を Q_{in2} 、放流量を Q_{out2} とした時、流入量が逡減していれば（ $Q_{in1} > Q_{in2}$ ）、先ほどと同様の考えに基づいて Q_{in2} を洪水時最高水位で放流するよう放流量曲線を見直し、その放流量曲線に基づいて操作を行う。このように放流曲線を逐次見直すことで洪水調節容量を効率的に利用・洪水調節効果を高めることができると考えられる。

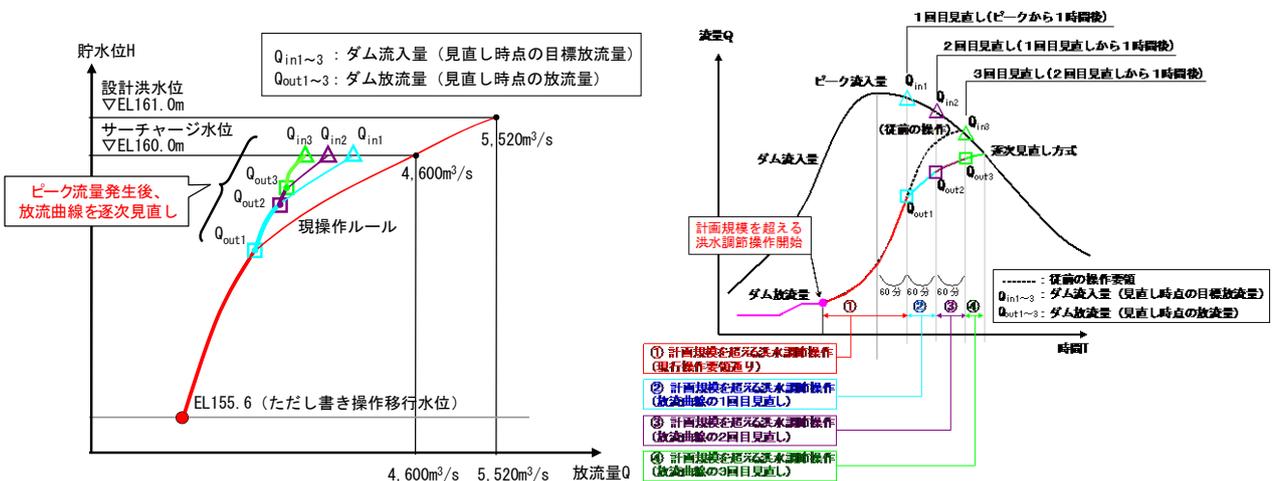


図2.10 放流量曲線逐次見直し方式のイメージ図（左：放流量曲線の見直しイメージ、右：流入量及び放流量の時間変化イメージ）（第5回鶴田ダムの洪水調節に関する検討会説明資料⁷⁾）

5.3 Aダムにおける計算事例

通常の洪水調節により操作した場合に洪水調節容量を使い切る程度に実績の流入波形を引き延ばし、それに対して放流量曲線逐次見直し方式により操作したシミュレーションを実施した。表2.8は計算の過程の一部を示したものである。12時8分に貯水位が異常洪水時防災操作の開始水位を超過し、この時点か

ら放流量曲線逐次見直し方式による放流が開始される。この時点で流入量は1161.20 m³/sであり、既にピーク流入量を迎えて流入量が逡減しているため、この流入量を洪水時最高水位で放流するよう放流量曲線を見直す。表2.9には、見直し前の放流量曲線と見直し後の放流量曲線について貯水位毎の放流量を示した。12時8分の1回目の見直しでは、上述した通り洪水時最高水位である317.0 mにおいて1161.20 m³/sが放流できるように設定されている。具体的には、見直し前の放流量曲線の洪水時最高水位における放流量が2,365 m³/s、1回目の見直し時の流入量が1161.20 m³/s、その時点での放流量が349.6 m³/sであったことから、見直し前の放流量曲線に対して $(1161.20 - 349.6) / (2365 - 349.6) = 0.40$ の倍率を乗じて引き縮めることで見直した放流量曲線を得た。1回目の見直しの後1時間が経過したため、13時8分に流入量765.96 m³/sを基に2度目の放流量曲線の見直しを行った。最終的には13時30分に放流量が流入量と同じになるため、これ以降は流入量＝放流量とする操作を行った。見直し前及び1回目・2回目の見直し後の放流量曲線を図2.11に示す。洪水調節効果としては、図2.12上に示す通り現行の異常洪水時防災操作と比較して最大放流量を抑えることができていることが分かる。さらに、貯水位についても、図2.12下に示す通り現行の異常洪水時防災操作と比較して洪水調節容量を多く用いた効率的な操作が実施されていることが分かる。

表2.8 放流量曲線逐次見直し方式による計算過程の一部

日時	貯水位(m)	流入量(m ³ /s)	放流量曲線逐次見直し方式により定まる放流量(m ³ /s)	放流量(m ³ /s)	備考
10:50	309.255	1442.05	-	350.00	流入量ピーク
12:00	313.255	1222.24	-	350.00	
12:08	313.617	1161.20	353.07	353.07	ただし書き操作開始水位を超過、流入量がピークを越え低減しているため、放流量曲線逐次見直し方式開始(1回目の見直し)
12:10	313.703	1145.94	370.62	370.62	
12:20	314.096	1069.64	453.27	453.27	
12:30	314.403	993.34	535.76	535.76	
12:40	314.628	917.05	622.43	622.43	
12:50	314.766	840.75	687.88	687.88	
13:00	314.837	797.56	709.66	709.66	
13:08	314.869	765.96	705.09	705.09	1回目の見直しより1時間経過したので2回目の見直し
13:10	314.875	758.06	705.22	705.22	
13:20	314.893	718.56	705.63	705.63	
13:30	314.890	679.06	705.56	679.06	放流量曲線逐次見直し方式により定まる放流量が流入量を上回るため、以降は流入量＝放流量で操作
13:40	314.879	639.55	705.31	639.55	
13:50	314.867	600.05	705.04	600.05	
14:00	314.858	575.66	704.84	575.66	
14:10	314.850	552.95	704.66	552.95	
14:20	314.842	530.24	603.11	530.24	
14:30	314.834	507.54	601.48	507.54	

表2.9 見直し前及び見直し後の貯水位－放流量関係

貯水位 (E.L.m)	見直し前	1回目見直し	2回目見直し
	放流量 (m ³ /s)	放流量 (m ³ /s)	放流量 (m ³ /s)
313.60	349.6	-	-
313.70	400.3	370.0	-
313.80	450.8	390.3	-
313.90	501.8	410.9	-
314.00	554.2	432.0	-
314.10	609.3	454.2	-
314.20	668.8	478.1	-
314.30	734.6	504.6	-
314.40	809.4	534.7	-
314.50	896.1	569.6	-
314.60	993.4	608.8	-
314.70	1114.4	657.5	-
314.80	1228.7	703.5	-
314.90	1269.9	720.1	705.8
315.00	1313.5	737.7	708.2
315.10	1367.5	759.4	711.1
315.20	1399.8	772.4	712.9
315.30	1445.1	790.6	715.4
315.40	1489.9	808.7	717.9
315.50	1535.9	827.2	720.4
315.60	1584.0	846.6	723.0
315.70	1630.9	865.5	725.6
315.80	1681.3	885.7	728.4
315.90	1733.0	906.6	731.2
316.00	1783.6	926.9	734.0
316.10	1837.9	948.8	737.0
316.20	1893.5	971.2	740.0
316.30	1947.9	993.1	743.0
316.40	2006.0	1016.5	746.2
316.50	2065.1	1040.3	749.5
316.60	2122.6	1063.4	752.6
316.70	2183.4	1087.9	756.0
316.80	2242.2	1111.6	759.2
316.90	2303.8	1136.4	762.6
317.00	2365.5	1161.2	766.0
317.10	2424.3		
317.20	2492.3		
317.30	2614.5		
317.40	2726.9		
317.50	2845.1		

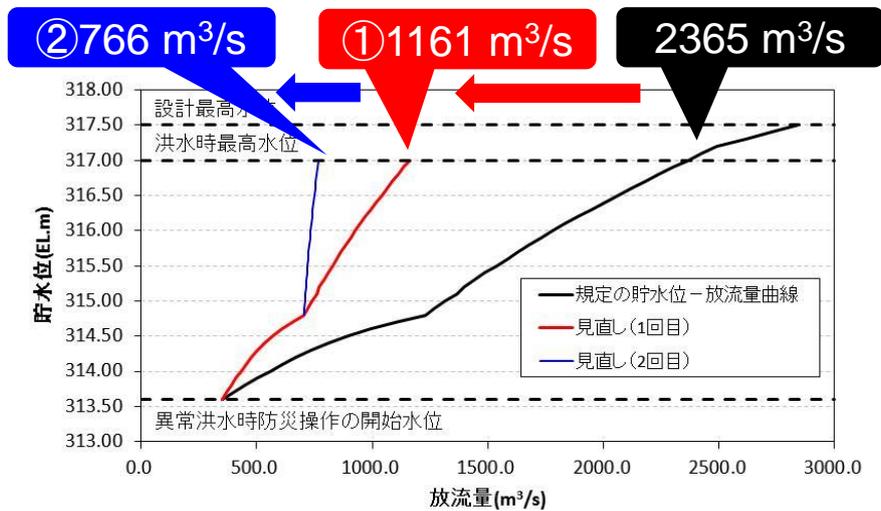


図2.11 通常及び見直し後の異常洪水時防災操作の放流量曲線

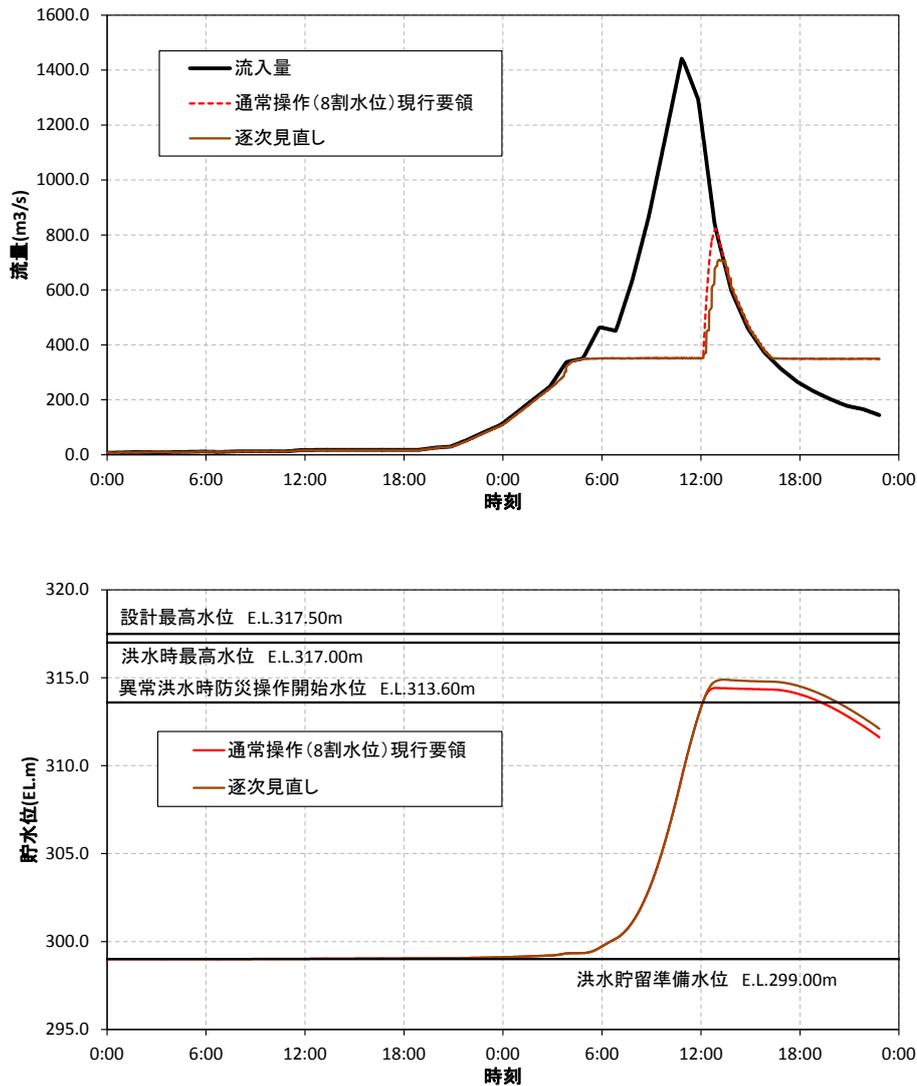


図2.12 放流量曲線逐次見直し方式によるシミュレーション事例（上：流入量・放流量 下：貯水位）

5.4 方式の特徴と留意事項

本方式が優位な点として、流入量が単調に減少する洪水に対しては、60分毎に放流量曲線を設定し、放流量を決定して洪水調節容量を多く使用することで洪水調節効果を高めることが期待できる。そのため、気象観測、予測情報を参考に、流入量の減少が見込まれる場合に実施することが望ましい。

本方式で注意を要する点として、流入量が低減することを前提とした操作方式であるため、操作中に流入量が減少から増加に転じる場合は、洪水時最高水位における放流量の目標値を計画高水流量とするよう放流量曲線を設定しなおす等の留意が必要となる。

6. 限界操作方式

6.1 方式の概要

下流河道の水位－流量関係、下流河道の水位上昇速度の上限、流入量、放流量、貯水位の関係から求まる「限界流入量」を異常洪水時防災操作の移行判断基準として、流入量が限界流入量を上回った場合に異常洪水時防災操作の放流を開始する方式である。これにより、下流の水位上昇速度を所要の速度以下に抑えることができることが特徴である^{8),9)}。

6.2 限界操作方式に基づく異常洪水時防災操作の開始及び放流量の決定方法

現行の異常洪水時防災操作、必要最小放流量、VR方式及び放流量曲線逐次見直し方式は、例えば「貯水位が異常洪水時防災操作の開始水位を越えた時点から放流開始」といった基準が存在するのに対し、限界操作方式は「限界流入量」という指標を時々刻々解析的に求め、流入量が限界流入量を越えた時点から異常洪水時防災操作を開始するものであり、異常洪水時防災操作の開始のタイミングが他の方式とは異なることが特徴である。また限界操作方式に基づく異常洪水時防災操作の放流量は、貯水位の2次関数で示される放流関数によって計算される。ここでは、限界操作方式による異常洪水時防災操作開始のタイミング及び放流量の決定手順を理解することを目的として、必要最低限の数式のみを用いて述べる。各式の意味、詳細等については今村⁸⁾を参考にして頂きたい。

限界操作方式では、異常洪水時防災操作における放流量を、式(1)で示される貯水位の2次関数として表す。これを放流関数と呼ぶ。また、放流量は直下に位置する水位流量観測地点のHQ式を用いて式(2)のようにも表現される。

$$Q_o = A(V - B)^2 + q_b \quad (1)$$

$$Q_o = K(H - h_o)^2 \quad (2)$$

ここで、 Q_o ：放流量、 V ：貯水量、 H ：下流河川の水位、 (B, q_b) ：2次関数で示される放流関数の頂点、 A ：定数、 K ：定数（通常、HQ式から得られる。）、 h_o ：水位観測所のゼロ点標高

式(1)および式(2)を時間 t で微分し、下流河川の水位 H に関する時間変化について示すと式(3)になる。

$$\frac{dH}{dt} = \sqrt{\frac{A}{K}} \sqrt{\frac{Q_o - q_b}{Q_o}} (Q_i - Q_o) \quad (3)$$

ここで、所要の下流の水位上昇速度（例えば 30 cm/30 min が考えられる）を H_c とおくと、式(3)について $dH/dt \leq H_c$ とすると以下の式(4)が得られる。

$$Q_i \leq \frac{H_c \sqrt{K}}{\sqrt{A}} \sqrt{\frac{Q_o}{Q_o - q_b}} + Q_o \equiv Q_{ic} \quad (4)$$

式(4)の右辺である Q_{ic} が限界流入量と呼ばれる変数であり、限界流入量を時々刻々計算し、その時点での流入量が限界流入量を越えた時点で式(1)に示す放流を開始すると H_c で規定される下流の水位上昇速度を守ることができる（今村⁸⁾）。

流入量が限界流入量より大きくなった時点から式(1)に示される放流関数により放流量を決定・操作を行うにあたって、放流関数の定数 A 、 B 及び q_b を算定する必要がある。 q_b は以下の式で算定される。

$$q_b = \frac{2Q_o^2 \left(1 - \frac{dQ_i}{dQ_o}\right)}{Q_i + Q_o - 2Q_o \frac{dQ_i}{dQ_o}} \quad (5)$$

定数 A 及び B は、目標とするダム設計洪水流量と最大貯留量 (q_u, v_u) と異常洪水時防災操作の移行時点における放流量と貯留量 (q_m, v_m) から以下の式により算定される。

$$A = \left(\frac{\sqrt{q_u - q_b} - \sqrt{q_m - q_b}}{v_u - v_m} \right)^2 \quad (6)$$

$$B = \frac{v_m \sqrt{q_u - q_b} - v_u \sqrt{q_m - q_b}}{\sqrt{q_u - q_b} - \sqrt{q_m - q_b}} \quad (7)$$

6.3 限界操作方式の計算手順

限界操作方式による計算の手順は、以下の通りとなる。

限界操作方式開始前

- (5), (6), (7)式より、 q_b 、A及び Bの値を時々刻々計算する。 q_u はダム設計洪水流量、 v_u は最大貯留量＝設計最高水位における容量、 q_m 及び v_m は時点時点の放流量及び貯水量である。
- a)で計算されたAと q_b の値から(4)式で Q_{ic} を計算
- Q_i が Q_{ic} に達したら、その1時刻前に求めた q_b 、A及び Bの値を用いて放流関数（式(1)）により放流量を決定する。

限界操作方式開始後

- c)で求めた q_b 、A及び B と時々刻々変化する貯水量から式(1)により放流量を決定する。

6.4 Aダムにおける計算事例

通常の洪水調節により操作した場合に洪水調節容量を使い切る程度に実績の流入波形を引き延ばし、それに対して限界操作方式により操作したシミュレーションを実施した。ここでKの値は、下流の水位流量曲線の定数を参照して $K=57.4$ と設定した。また、A及びBを計算するために必要となる表2.10はその計算の過程の一部を示したものであり、水位上昇速度の上限値 H_c は30 cm/30 minで設定した。9時20分に流入量が限界流入量が越えたため、この1時刻前に計算されたA、B、 q_b の値を用いて放流関数を設定する。それぞれの値は、 $A=7.46 \times 10^{-12}$ 、 $B=9738351$ 、 $q_b=181.88$ である。以降は、この放流関数に貯水量を入力して得られる放流量を放流し、流入量と同じになるまで操作を実施した。12時20分頃に放流量が流入量と同じとなり、以降は流入量＝放流量の操作を実施した。

図2.13は流入量・放流量及び貯水位の時系列である。図2.13では、下流の水位上昇速度の上限値を30 cm/30 min以外に50 cm/30 min及び100 cm/30 minとした結果についても示した。下流の水位上昇速度を30cm/30minとすると、現行の異常洪水時防災操作の開始のタイミングよりもかなり早いタイミングで放流量を増加させていることがわかる。これは、下流の水位上昇速度をできるだけ緩やかにするために早い時点で異常洪水時防災操作の放流を開始したものと考えられる。貯水位についても、洪水調節容量の8割に相当する水位である現行の異常洪水時防災操作の開始水位よりもかなり低い水位までしか上がらず

洪水調節容量をあまり利用できない結果となった。50 cm/30 min及び100 cm/30 min共に30 cm/30 minと同様に現行の異常洪水時防災操作よりも早い時点で放流量を増加させているが、上限を50 cm/30 min、100 cm/30 minとすることで放流量を増加させるタイミングを遅くすることができる事が分かる。

表2.10 限界操作方式の計算例の一部

日時	貯水位 (m)	貯留量 (千m ³)	流入量 (m ³ /s)	q _m (m ³ /s)	v _m (千m ³)	A	B	q _b (m ³ /s)	限界流入量 (m ³ /s)	限界操作方式により定まる放流量 (m ³ /s)
09:10	303.699	14176.835	960.86	351.38	14176.84	7.34E-12	9445635.00	187.832	1035.805	-
09:19	304.103	14516.283	1003.93	352.40	14516.28	7.633E-12	9792730.00	181.875	1010.750	-
09:20	304.149	14555.375	1008.72	353.61	14555.38	7.667E-12	9833286.00	181.437	1008.425	355.01
09:30	304.620	14957.209	1056.59	-	-	-	-	-	-	385.46
09:40	305.095	15369.137	1104.45	-	-	-	-	-	-	419.23
09:50	305.571	15789.084	1152.32	-	-	-	-	-	-	456.33
10:00	306.046	16214.457	1200.57	-	-	-	-	-	-	496.65
10:10	306.518	16643.037	1248.87	-	-	-	-	-	-	540.07
10:20	306.985	17074.023	1297.16	-	-	-	-	-	-	586.56
10:30	307.444	17504.322	1345.46	-	-	-	-	-	-	635.80
10:40	307.896	17933.225	1393.75	-	-	-	-	-	-	687.70
10:50	308.339	18359.318	1442.05	-	-	-	-	-	-	742.03
11:00	308.755	18765.021	1423.48	-	-	-	-	-	-	796.35
11:10	309.120	19125.178	1397.49	-	-	-	-	-	-	846.67
11:20	309.436	19440.508	1371.49	-	-	-	-	-	-	892.35
11:30	309.707	19713.762	1345.50	-	-	-	-	-	-	933.17
11:40	309.939	19947.998	1319.50	-	-	-	-	-	-	969.06
11:50	310.133	20146.268	1293.51	-	-	-	-	-	-	1000.10
12:00	310.283	20299.406	1222.24	-	-	-	-	-	-	1024.48
12:10	310.374	20393.795	1145.94	-	-	-	-	-	-	1039.69
12:20	310.415	20435.492	1069.64	-	-	-	-	-	-	1046.45
12:30	310.414	20434.938	993.34	-	-	-	-	-	-	1046.36

日時	貯水位 (m)	貯留量 (千m ³)	流入量 (m ³ /s)	q _m (m ³ /s)	V _m (千m ³)	A	B	q _b (m ³ /s)	限界流入量 (m ³ /s)	限界操作方式により定まる放流量 (m ³ /s)	目標放流量 (m ³ /s)
09:10	303.699	14176.835	960.86	351.38	14176.84	7.175E-12	9391353.00	187.832	1043.648	-	350.00
09:19	304.103	14516.283	1003.93	352.40	14516.28	7.46E-12	9738351.00	181.875	1018.332	-	350.00
09:20	304.149	14555.375	1008.72	351.65	14555.38	7.494E-12	9778897.00	181.437	1015.981	354.97	354.97
09:30	304.626	14962.921	1056.59	-	-	-	-	-	-	385.50	385.50
09:40	305.121	15392.546	1104.45	-	-	-	-	-	-	420.37	420.37
09:50	305.618	15830.654	1152.32	-	-	-	-	-	-	458.76	458.76
10:00	306.112	16274.122	1200.57	-	-	-	-	-	-	500.54	500.54
10:10	306.602	16720.561	1248.87	-	-	-	-	-	-	545.56	545.56
10:20	307.086	17168.580	1297.16	-	-	-	-	-	-	593.73	593.73
10:30	307.562	17615.814	1345.46	-	-	-	-	-	-	644.80	644.80
10:40	308.029	18060.859	1393.75	-	-	-	-	-	-	698.59	698.59
10:50	308.484	18500.779	1442.05	-	-	-	-	-	-	754.65	754.65
11:00	308.911	18919.154	1423.48	-	-	-	-	-	-	810.66	810.66
11:10	309.288	19292.961	1397.49	-	-	-	-	-	-	862.90	862.90
11:20	309.614	19619.980	1371.49	-	-	-	-	-	-	910.32	910.32
11:30	309.896	19904.480	1345.50	-	-	-	-	-	-	952.87	952.87
11:40	310.135	20148.012	1319.50	-	-	-	-	-	-	990.25	990.25
11:50	310.336	20354.482	1293.51	-	-	-	-	-	-	1022.63	1022.63
12:00	310.492	20515.266	1222.24	-	-	-	-	-	-	1048.29	1048.29
12:10	310.590	20616.613	1145.94	-	-	-	-	-	-	1064.67	1064.67
12:20	310.636	20664.088	1069.64	-	-	-	-	-	-	1072.39	1069.64
12:30	310.638	20665.914	993.34	-	-	-	-	-	-	1072.69	993.34

6.5 方式の特徴と留意事項

「限界流入量」と呼ばれる変数を、下流河道の水位流量曲線の定数、流入量、放流量等を基に解析的に求め、流入量はその限界流入量を上回った段階で異常洪水時防災操作の放流を開始することで、下流の水位上昇速度を目標値以下に抑えることができる操作方式である。流入波形によっては、目標とする下流の水位上昇速度を遅く設定すると洪水調節効果が適切に得られないおそれがある。また、放流量を計算する放流関数（通常、貯水位の2乗の関数で表される）の定数の値を、洪水毎に算定する必要がある。

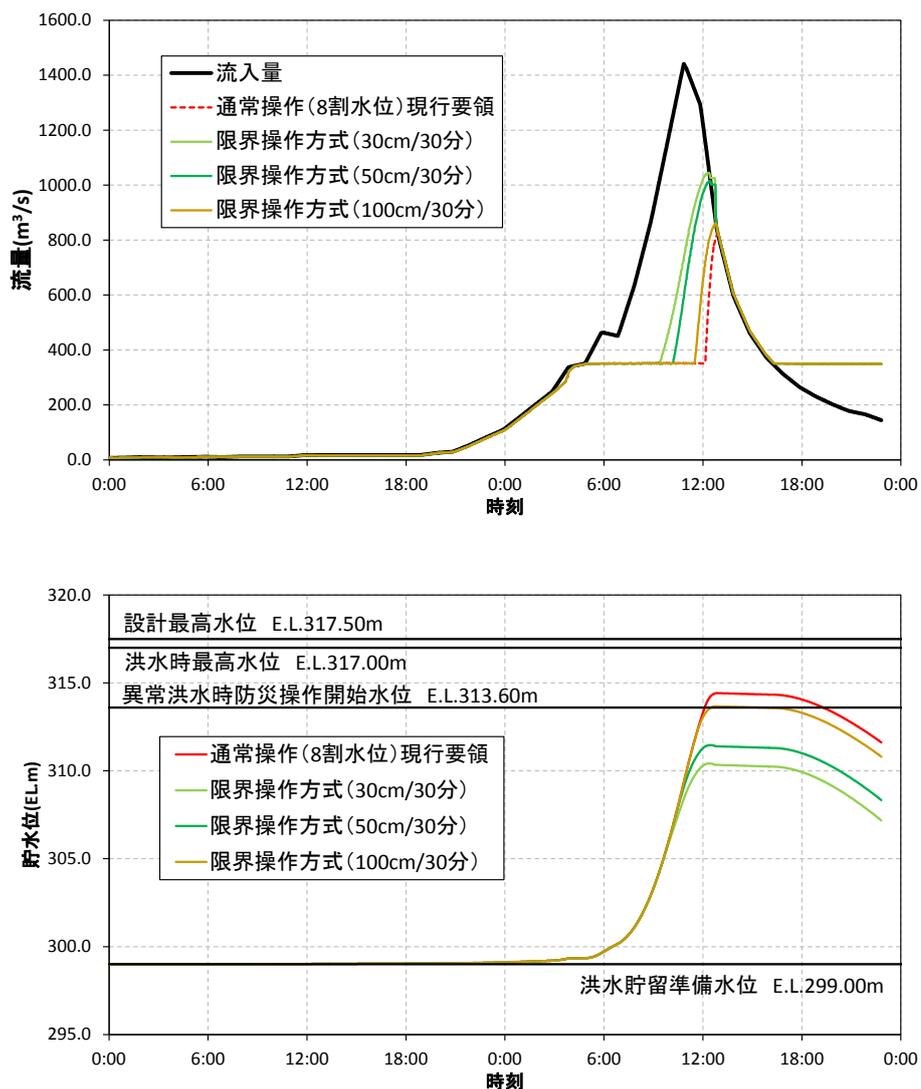


図2.13 限界操作方式によるシミュレーション事例（上：流入量・放流量 下：貯水位）

III. 異常洪水時防災操作の開始水位の点検

本節では、II.2.において述べた「計画規模を超える洪水時におけるただし書き操作の運用の改訂について」（昭和 59 年 6 月河川局長通達）に基づき運用されている現行の異常洪水時防災操作の開始水位の点検に関する手順、条件等について A ダムを事例に挙げて述べる。A ダムの諸元は、II.1.に記載されている通りである。

1. 異常洪水時防災操作の開始水位の点検手順

異常洪水時防災操作の開始水位の点検は、現在設定されている異常洪水時防災操作の開始水位よりも高い開始水位を見出す作業となる。具体的には、新しい開始水位の候補となる複数の開始水位（現在設定されている開始水位よりも高い水位）を最初に設定する。次に、ダム設計洪水流量規模の流入を想定したハイドログラフに対して洪水調節シミュレーションを行い、上で設定したそれぞれの開始水位から異常洪水時防災操作を行った場合に貯水位が設計最高水位に到達する前に流入量と放流量が同じになるかを確認する。また、過去に異常洪水時防災操作の開始水位の点検を実施したことがあるダムについては、その内容について確認すること。

2. 計算条件

2.1 新しい開始水位の候補となる複数の開始水位の設定

最初に、新しい異常洪水時防災操作の開始水位の候補となる複数の開始水位を設定する。ここでは、現行の開始水位および洪水時最高水位を含めて複数設定する。Aダムの事例では、現行のただし書き操作要領で規定されている洪水調節容量の8割に相当する水位、9割に相当する水位及び10割に相当する水位（＝洪水時最高水位）の3通りを設定した（以下、「8割水位」、「9割水位」及び「10割水位」と呼ぶ）。表2.11は8割水位、9割水位及び10割水位それぞれの貯水位である。

表2.11 Aダムにおける異常洪水時防災操作開始水位の検討ケース

区分	8割水位 (現行要領)	9割水位	10割水位 =洪水時最高水位
検討対象とした異常洪水時防災 操作の開始水位 (EL.m)	313.60	315.34	317.00

ここで、9割、10割水位に対応した貯水位-ゲート開度テーブルを作成したとき、貯水位と目標とする放流量の関係が著しく変化する水位や、著しく放流量が増加する水位区間が生じていないか確認することが必要である。図2.14は、貯水位-ゲート開度テーブルの確認及びテーブルの見直しのイメージを示す。

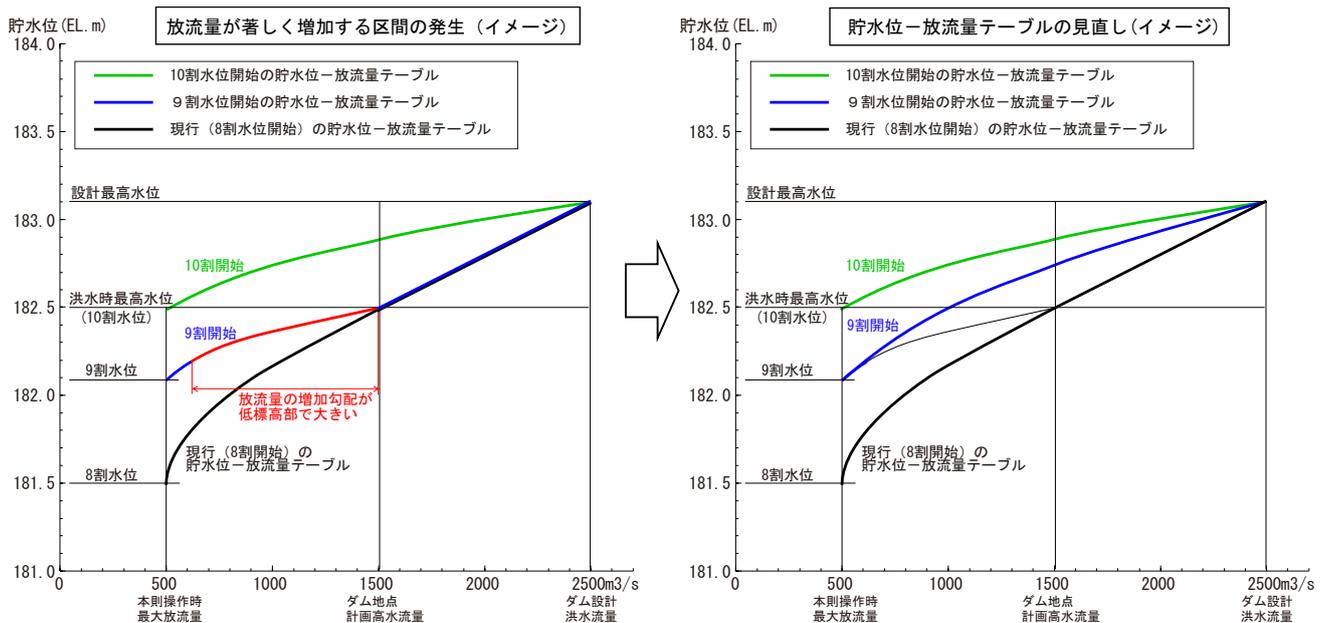


図2.14 貯水位－放流量テーブルの確認及び見直しのイメージ

2.2 流入ハイドログラフの設定

異常洪水時防災操作は、ダム設計洪水流量規模の流入に対して貯水位が設計最高水位までに到達する前に放流量を流入量と同じにすることが求められるため、設定する流入ハイドログラフはダム設計洪水流量規模である必要がある。設定方法の一例として、ダム計画高水流入波形のピーク流量をダム設計洪水流量まで引き延ばした流入ハイドログラフを設定することが考えられる。Aダムにおいては、図2.15に示すように、計画高水流量 $1,700 \text{ m}^3/\text{s}$ をダム設計洪水流量である $2,800 \text{ m}^3/\text{s}$ まで引き延ばした流入ハイドログラフを設定した。

なお、当該ダムの実績洪水においてダム設計高水流入波形と比較して急激な流入量増加が生じた洪水事例がある場合などは、こうした実績流入波形により設定した流入ハイドログラフも含めて検討することが望ましい。また、ダムが直列の位置関係にある場合、下流側のダムでは上流側のダムで本則操作から異常洪水時防災操作に移行することを考慮して適切な流入波形を設定することが考えられる。

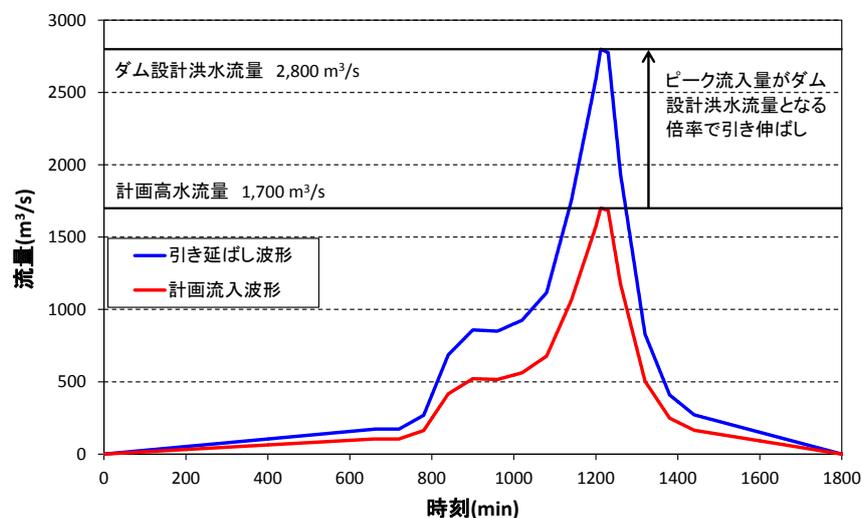


図2.15 Aダムにおいて設定した流入ハイドログラフ

2.3 ゲート休止時間の設定

通常のゲート操作においては、流入量の把握及び実運用における余裕等を考慮して最大で10分程度ゲートを停止して貯水位を把握することが基本であるが、異常洪水時防災操作においては、貯水位は上昇することさえ確認できればゲートは操作し続けるものと考え、ここでの点検においては貯水位把握のためのゲート休止時間は取らずにゲート性能上最速の操作を行うことができることとする。Aダムにおいて、常用洪水吐及び非常用洪水吐共に0.3 m/minとして設定した。

3. 計算結果

2で記した計算条件に従って計算した結果が図2.16である。図2.16上の貯水位に関する計算結果から分かるとおり、8割水位及び9割水位については、貯水位が設計最高水位に到達する前に放流量が流入量と同じになったことが分かる。10割水位については、急激な流入量の増加に伴う貯水位の上昇にゲート開操作が追い付かず、貯水位が設計最高水位を超過している。表2.12は貯水位及び放流量の最大値をまとめたものである。

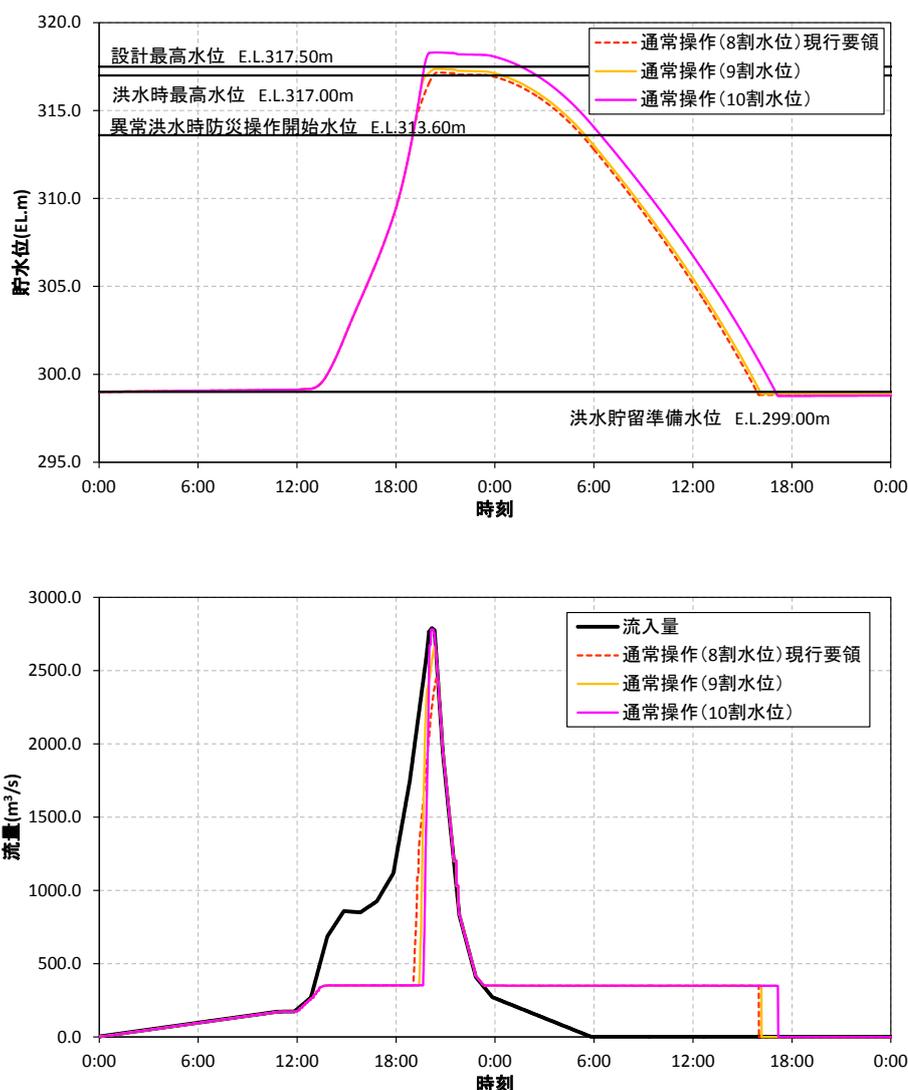


図2.16 Aダムの異常洪水時防災操作シミュレーション (上：貯水位、下：流入量・放流量)

表2.12 複数の異常洪水時防災操作の開始水位に関する洪水調節計算の結果（Aダム）

	8割水位	9割水位	10割水位
最高貯水位 (EL.m)	○ 317.17	○ 317.37	× 318.31
最大放流量 (m ³ /s)	2,454.8	2,665.6	2,781.2

4. まとめ

3.の計算結果より、点検の結果としてここでは現行の8割水位または9割水位が異常洪水時防災操作の開始水位として候補となることが分かる。

IV. 「計画規模を超える洪水時におけるただし書き操作の運用の改訂について」(昭和59年6月河川局長通達)以降提案された異常洪水時防災操作の導入可能性に関する検討方法

本節では、II.3,4,5,6.において述べた「計画規模を超える洪水時におけるただし書き操作の運用の改訂について」(昭和59年6月河川局長通達)以降に提案された異常洪水時防災操作方法の点検に関する手順、条件等についてAダムを事例に挙げて述べる。Aダムの諸元は、II.1.に記載されている通りである。

1. 検討手順

「計画規模を超える洪水時におけるただし書き操作の運用の改訂について」(昭和59年6月河川局長通達)以降提案された異常洪水時防災操作の導入可能性に関する検討は、大きく2段階に分けて行う。

1段階目：ダム設計洪水流量規模の流入に対する放流の確認

各操作方式がダム設計洪水流量規模の流入に対して設計最高水位までに放流量を流入量と同じにすることができるかを確認するもので、手順としてはIII.で述べた異常洪水時防災操作の開始水位の点検で実施した内容と同様である。この検討において貯水位が設計最高水位を超過しなかった操作方式については洪水調節機能を評価するための検討として2段階目の検討を実施する。

2段階目：洪水調節機能の評価

対象波形として洪水調節容量を決定した流入波形やその他の実績流入波形を選定し、通常の洪水調節操作により洪水調節容量を使い切る程度に引伸ばしを行った流入量ハイドログラフに対して各操作方式がどれだけ多く洪水調節容量を利用することができるかを確認する。

2. ダム設計洪水流量規模の流入ハイドログラフに対する洪水調節計算

2.1 計算条件

a) 流入ハイドログラフの設定

III.2.2で設定したダム設計洪水流量規模の流入ハイドログラフを用いる。

b) ゲート休止時間の設定

III.2.3で、現行の異常洪水時防災操作の開始水位に関するシミュレーションにおいては、現行の異常洪水時防災操作は貯水位のみで放流量を決定できるためゲート休止時間を設定しなかった。しかし、必要最小放流量方式、VR操作方式及び放流量曲線逐次見直し方式については、放流量決定のために流入量が必要であるため、流入量の把握及び実運用における余裕等を考慮して最大10分程度のゲート休止時間が必要となる。よってここでのシミュレーションでは、これら3操作方式についてはゲート休止時間として10分間を取ることとした。限界操作方式については、II.6の式(1)で示した放流関数に基づいて放流量を決定するものであり、貯水量(貯水位)の情報のみで放流量を決定することができることから、ゲート休止時間は設定せず、ゲートの操作性能の上限(常用洪水吐及び非常用洪水吐共に0.3 m/min)で操作できることとした。

c) 各操作方式個別の条件設定及びその他の条件設定

① 必要最小放流量方式及びVR操作方式で用いるテーブル

必要最小放流量方式については表2.3、VR操作方式については表2.6に示したそれぞれのテーブルを用いて計算を行う。

② 放流量曲線逐次見直し方式の放流量曲線を見直す時間間隔

1時間に1回見直すこととした。

③ 限界操作方式の下流水位上昇速度

洪水の立ち上がりにおいて下流水位上昇速度の上限として一般的に設定される 30 cm/30 min では所定の洪水調節効果が得られない可能性があるため、50 cm/30 min 及び 100 cm/30 min の 2 種類を追加した。

④ 計算時間間隔及び目標開度設定

目標開度設定は 10 分おきに行った。また、計算は 1 分間隔で行った。

2.2 計算結果

上述した計算条件に従って計算した結果が図2.17である。図2.17上の貯水位に関する計算結果から分かる通り、VR操作方式以外の方式は貯水位が設計最高水位に到達する前に放流量が流入量と同じになったことが分かる。図2.18は、限界操作方式について下流の水位上昇速度を変えた場合の結果を示しており、水位上昇速度が遅いほど早いタイミングで異常洪水時防災操作の放流を開始していることが分かる。表2.13は計算結果について最高貯水位及び最大放流量をまとめたものである。上記の結果、VR操作方式は流入量＝放流量になる段階で貯水位が設計最高水位を超えているため、2段階目の洪水調節機能に関する検討は実施しないこととする。

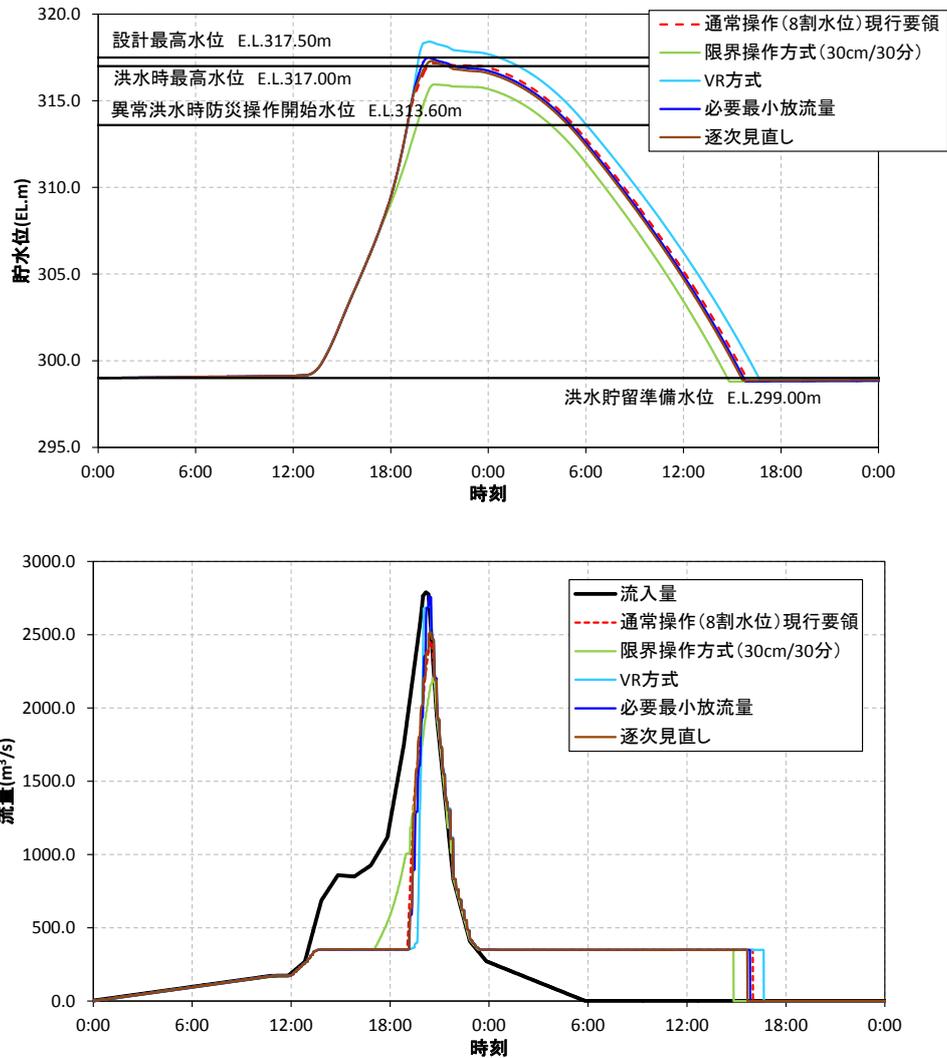


図2.17 各操作方式による、ダム設計洪水流量規模の流入に対するAダムのシミュレーション (上：貯水位、下：流入量・放流量)

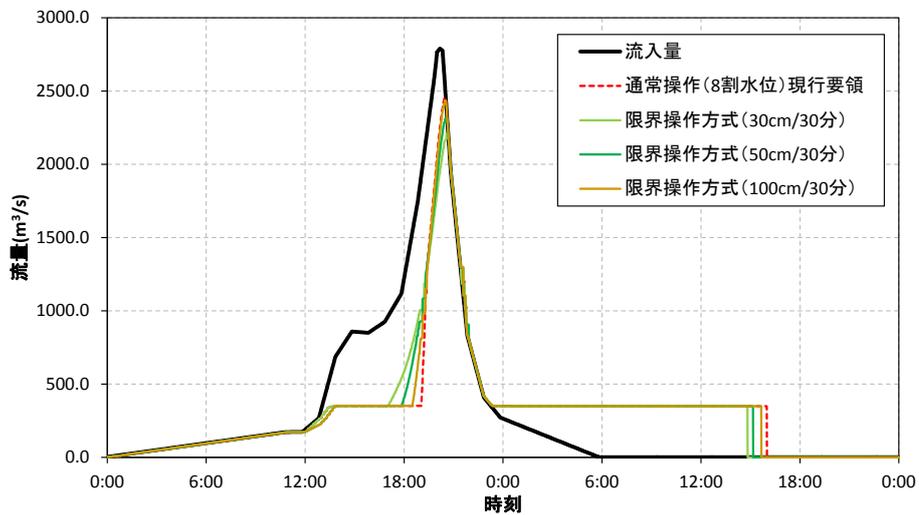
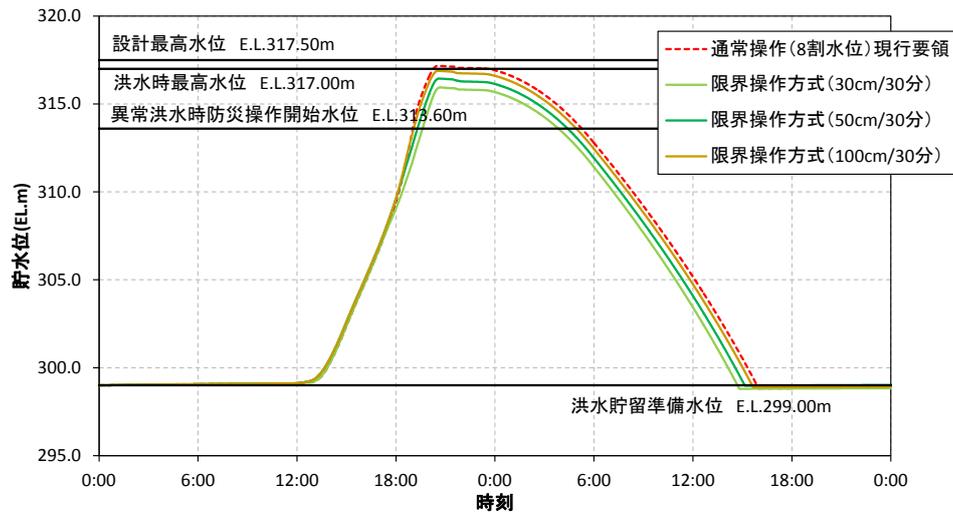


図2.18 ダム設計洪水流量規模の流入に対するAダムのシミュレーション
 (限界操作方式の水位上昇速度を変えた結果)
 (上：貯水位、下：流入量・放流量)

表2.13 各操作方式による、ダム設計洪水流量規模の流入に対するAダムのシミュレーション結果

評価項目	限界操作 (30cm/30分)	限界操作 (50cm/30分)	限界操作 (100cm/30分)	放流量曲線 逐次見直し	VR 操作	必要最小放流量
最高貯水位 (EL.m)	○ 317.29	○ 315.94	○ 316.45	○ 316.88	× 318.42	○ 317.49
最大放流量 (m ³ /s)	2,515.1	2,208.3	2,315.1	2,435.7	2,691.8	2,762.3

3. 洪水調節機能の評価に関する検討

ダム設計洪水流量規模の流入に対する放流について確認が行われた操作方式については、洪水調節機能について評価を行う。ここでは、III.において見直しを行った開始水位及び2.での検討の結果、貯水位が設計最高水位を超過しなかった操作方法を対象として、洪水調節機能の評価に関する検討を実施することとする。

3.1 計算条件

a) 流入ハイドログラフの設定

対象波形として洪水調節容量を決定した流入波形やその他の実績流入波形を選定し、通常の洪水調節操作により洪水調節容量を使い切る程度に引伸ばしを行った流入量ハイドログラフを用いて洪水調節計算を行う。Aダムにおいて設定したハイドログラフを図2.19に示す。

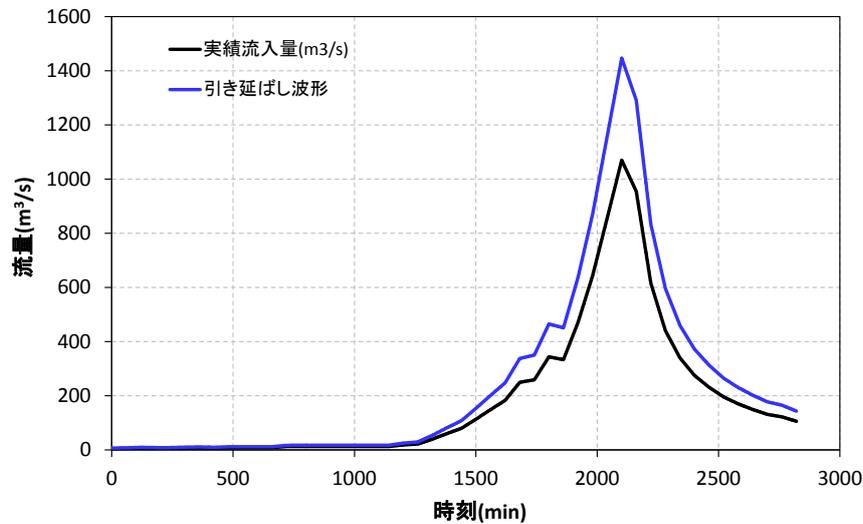


図2.19 設定した流入ハイドログラフ

b) 下流基準地点における洪水調節効果

洪水調節機能の評価するためのものであるため、下流基準地点を評価項目として追加する。ここでは、流出計算を用いて評価することが望ましいが、簡易的な手法として以下のような手順を取った。

- ① ダム地点から評価地点までの流出遅れを求める。
- ② ①で求めた流出遅れを考慮して基準地点の実績の流量からダムの放流量を差し引く。ここで得られたものを残流域からの流出量とみなす。
- ③ 以下3.2で行う洪水調節計算で得られる放流量を②で求めた流出量に足すことで基準地点における流量とする。これをHQ式により水位に変換する。

c) その他の計算条件

その他の計算条件については、2.1 b), c)と同じである。

3.2 計算結果

図2.20はIII.で検討を行った8割水位（現在の異常洪水時防災操作における設定）及び9割水位を異常洪水時防災操作の開始水位とした時の計算結果である。また、図2.21は必要最小放流量方式、放流量曲線逐次見直し方式、限界操作方式(30 cm/30 min)の計算結果、図2.22は限界操作方式(30 cm/30 min, 50 cm/30 min, 100 cm/30 min)の計算結果である。図2.20及び図2.21のそれぞれの下図より、9割水位、必要最小放

流量方式及び放流量曲線逐次見直し方式については、現行の8割水位からの異常洪水時防災操作と比較して最大放流量を抑えることができていることが分かる。また貯水位の時系列から（図2.20及び図2.21の上図）、洪水調節容量を多く利用して効果的な洪水調節が行われていることが分かる。一方で、限界操作方式については、30 cm/30 minを水位上昇速度の上限とすると、8割水位からの異常洪水時防災操作の開始と比較してかなり早いタイミングで異常洪水時防災操作の放流を開始していることが分かり、洪水調節容量も効率的に使う事ができていない。水位上昇速度の上限を100 cm/30 minとすると、8割水位からの異常洪水時防災操作の結果に近くなることが分かる。

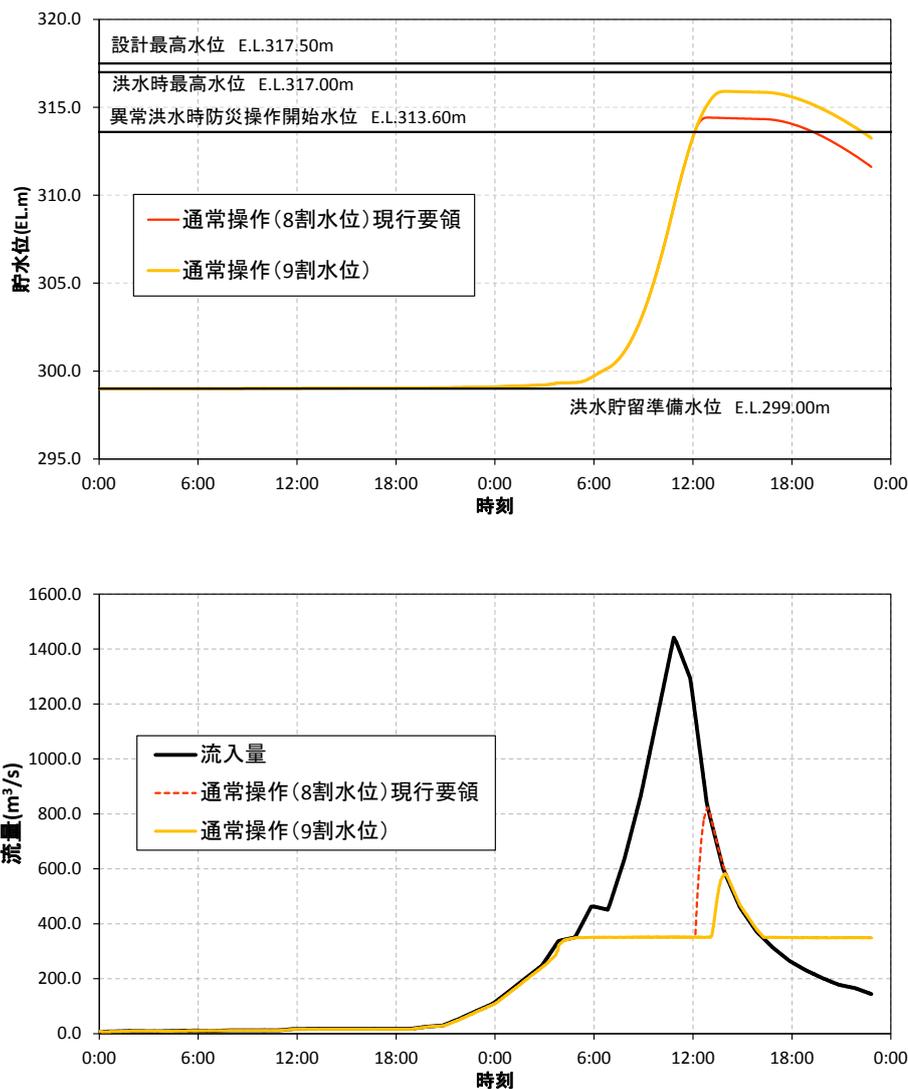


図2.20 洪水調節容量を使い切る程度の流入に対するAダムシミュレーション
(8割水位及び9割水位)
(上：貯水位、下：流入量・放流量)

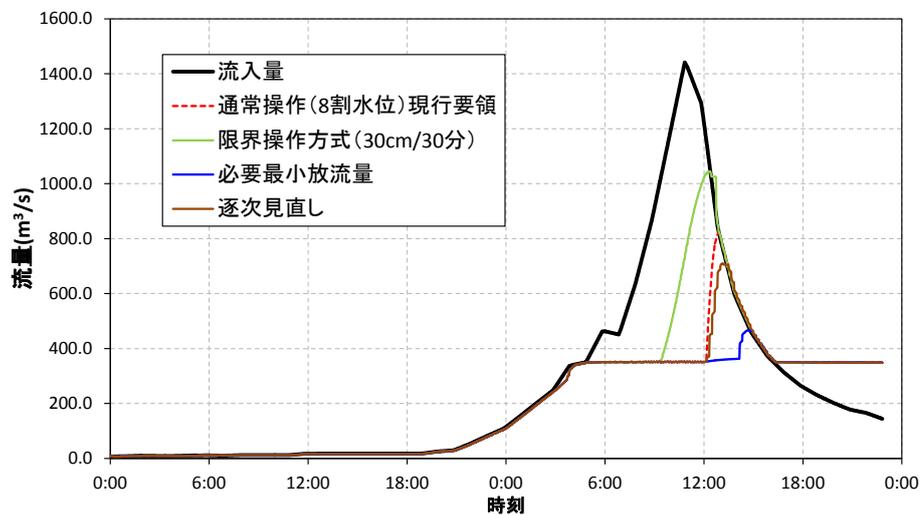
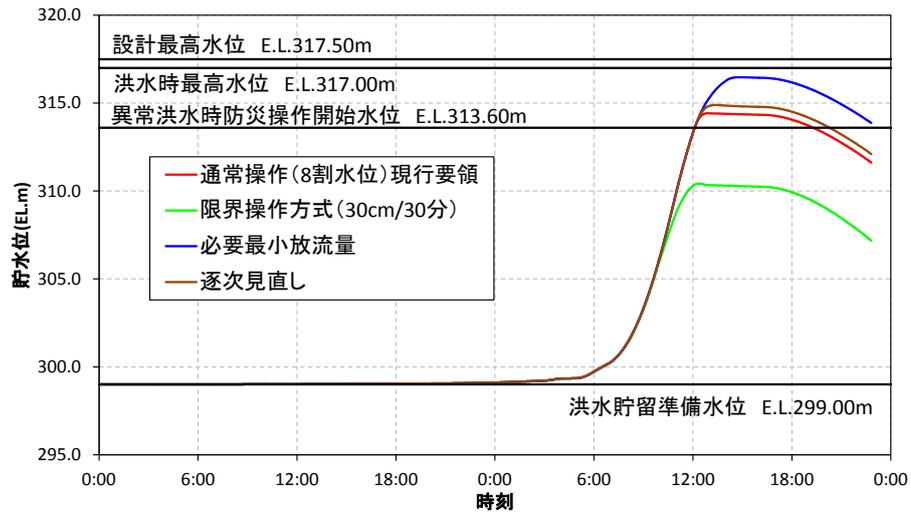


図2.21 洪水調節容量を使い切る程度の流入に対するAダムシミュレーション
 (必要最小放流量方式、放流量曲線逐次見直し方式、限界操作方式(30 cm/30 min))
 (上：貯水位、下：流入量・放流量)

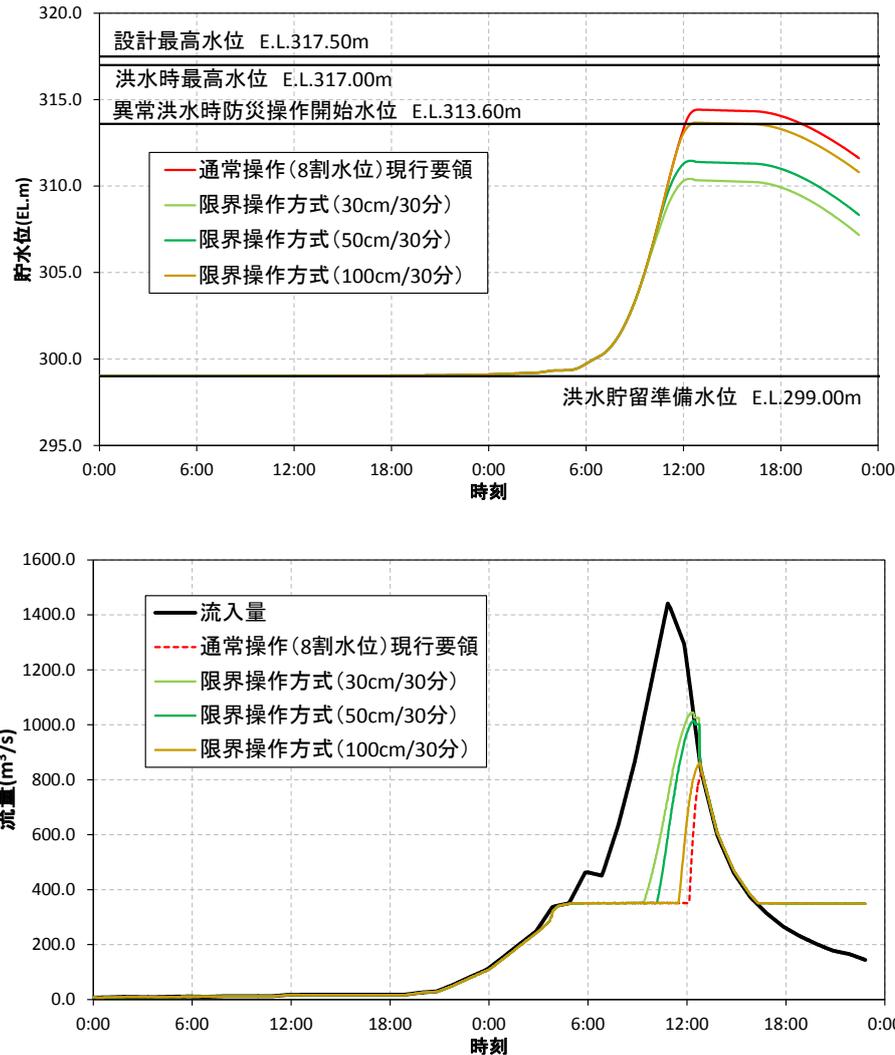


図2.22 洪水調節容量を使い切る程度の流入に対するAダムシミュレーション
 (限界操作方式(30 cm/30 min, 50 cm/30 min, 100 cm/30 min))
 (上：貯水位、下：流入量・放流量)

4. 結果のまとめ

2.及び3.において実施した計算結果をまとめたものが表2.14である。10割水位及びVR操作方式については、ダム設計洪水流量を放流することができなかつたため洪水調節機能の評価を実施しなかつた。洪水調節機能については、1)最大放流量、2)基準地点の洪水調節効果、3)操作手法の平易性(操作のために必要な情報)、4)最高貯水位、5)洪水調節容量の使用割合等の指標により、総合的に各手法の優位性を評価することが考えられる。

表2.14 異常洪水時防災操作に関するシミュレーション結果のまとめ

洪水調節計算の対象とする流入波形	評価項目	通常操作 (8割水位) 現行要領	通常操作 (9割水位)	通常操作 (10割水位)	限界操作 (30cm/30分)	限界操作 (50cm/30分)	限界操作 (100cm/30分)	VR操作 (水位把握10分)	必要最小 放流量 (水位把握10分)	逐次見直し (水位把握10分)	備考
1) ピーク流量を設計洪水流量まで引き伸ばした流入波形	最高貯水位 EL.m ○: 設計最高水位を超過しない ×: 設計最高水位を超過する	○ EL.317.17 m	○ EL.317.37 m	× EL.318.31 m	○ EL.315.94 m	○ EL.316.45 m	○ EL.316.88 m	× EL.318.42 m	○ EL.317.49 m	○ EL.317.29 m	
2) 本則操作により洪水調節容量を使い切る程度に適切に引き伸ばした流入波形	1) 最大放流量	823.23 m ³ /s	582.31 m ³ /s		1044.25 m ³ /s	1014.68 m ³ /s	862.04 m ³ /s		465.48 m ³ /s	709.71 m ³ /s	計画最大放流量 350m ³ /s
	2) 基準点の洪水調節効果※1	5.382 m	5.260 m		6.178 m	6.119 m	5.750 m		5.260 m	5.260 m	氾濫注意水位 3.50m 氾濫危険水位 7.20m
	3) 操作手法の平易性 (操作実施のために必要な情報)	・貯水位	・貯水位		・流入量 ・放流量 ・下流河道定数 ・限界流入量 ・放流関数※2	・流入量 ・放流量 ・下流河道定数 ・限界流入量 ・放流関数※2	・流入量 ・放流量 ・下流河道定数 ・限界流入量 ・放流関数※2		・貯水位 ・流入量 ・必要最小放流量※3	・貯水位 ・流入量※4	目標放流量設定に必要なパラメータ
	4) 最高貯水位	EL. 314.42 m	EL. 315.91 m		EL. 310.42 m	EL. 311.46 m	EL. 313.67 m		EL. 316.47 m	EL. 314.89 m	設計最高水位 317.50m 洪水時最高水位 317.00m
	5) 洪水調節容量の使用割合	0.84	0.94		0.58	0.64	0.79		0.98	0.87	洪水調節容量 17,000千m ³

第3章

特別防災操作

I. 特別防災操作の概要、本章の目的、点検フロー

特別防災操作は、下流河川で洪水被害が発生又は発生するおそれがある場合において、洪水の終わりの見通しが相当程度確実と考えられる場合にのみ実施するものであり、気象水文観測・予測情報を基に開始・継続の判断を行うものである。具体的には、図3.1に示されるフローを基本として実施されるものであり、特別防災操作の「開始判断」と「継続判断」に大別される。開始判断については以下①～④のステップで検討が行われ、継続判断については⑤で検討が行われるものである。本章ではBダムを事例として、①～⑤の各ステップにおいて判断に用いる情報や特別防災操作の放流量の決定方法及び、下流地点の水位低下効果のシミュレーションについて紹介する。また、特別防災操作の点検フローを図3.2に示す。

なお、複数のダムが直列の位置関係にある場合は、ダム毎に個別の点検を行ったうえで、複数ダムが連携して実施する場合の実施判断、継続判断の手順について整理することが望ましい。

● 開始判断

① 下流河川で洪水被害が発生または発生するおそれがないか

下流河川で洪水被害が発生又は発生するおそれがあるかについて、雨量や水位情報を参考に判断する。

② 次期洪水のおそれがないか

気象庁の府県天気予報（明後日までの天気）および週間天気予報資料を参考に、現洪水に次ぐ洪水が発生するおそれがないか、又は現洪水に対する洪水調節によって貯留した容量を洪水貯留準備水位まで低下させるまでの期間に次の洪水の発生のおそれが無いこと確認する。

③ 洪水の終了が見通せるか

現況の雨および今後（数時間先まで）の雨の予測に関する情報を基に、雨量のピークおよび降り終わりを確実に確認又は予測できるかについて確認する。ここでは、現況に至るまでの雨の推移および現況の雨の把握については国土交通省Cバンドレーダ雨量計もしくはXRRAINによる雨量データを用いることを基本とする。また、今後の雨の見通し（今後の雨域の移動、ダム流域の流域平均雨量の予測）については、6時間先までの予測雨量である降水短時間予報を用いることを基本とする。

④ 残貯水容量に余裕があるか、放流量の検討

洪水の終了が見通せた場合、本則操作による放流を継続した場合に残貯水容量に余裕があるか確認する。残貯水容量に余裕がある場合、本則操作に基づく放流よりも放流量をカットできるか検討する。

● 継続判断

⑤ 特別防災操作を継続するか

特別防災操作を開始した後は、ダム貯水位、流入量および下流河川の状況を把握しながら、天気予報や予測雨量が更新されるたびに次期洪水発生の恐れおよび今後数時間に予測される雨量について確認を行い、状況に変化がない場合は特別防災操作を継続する。再び雨が降るなど次の予測雨量の更新までに残貯水容量が不足する状況が予測される場合、特別防災操作を終了する。

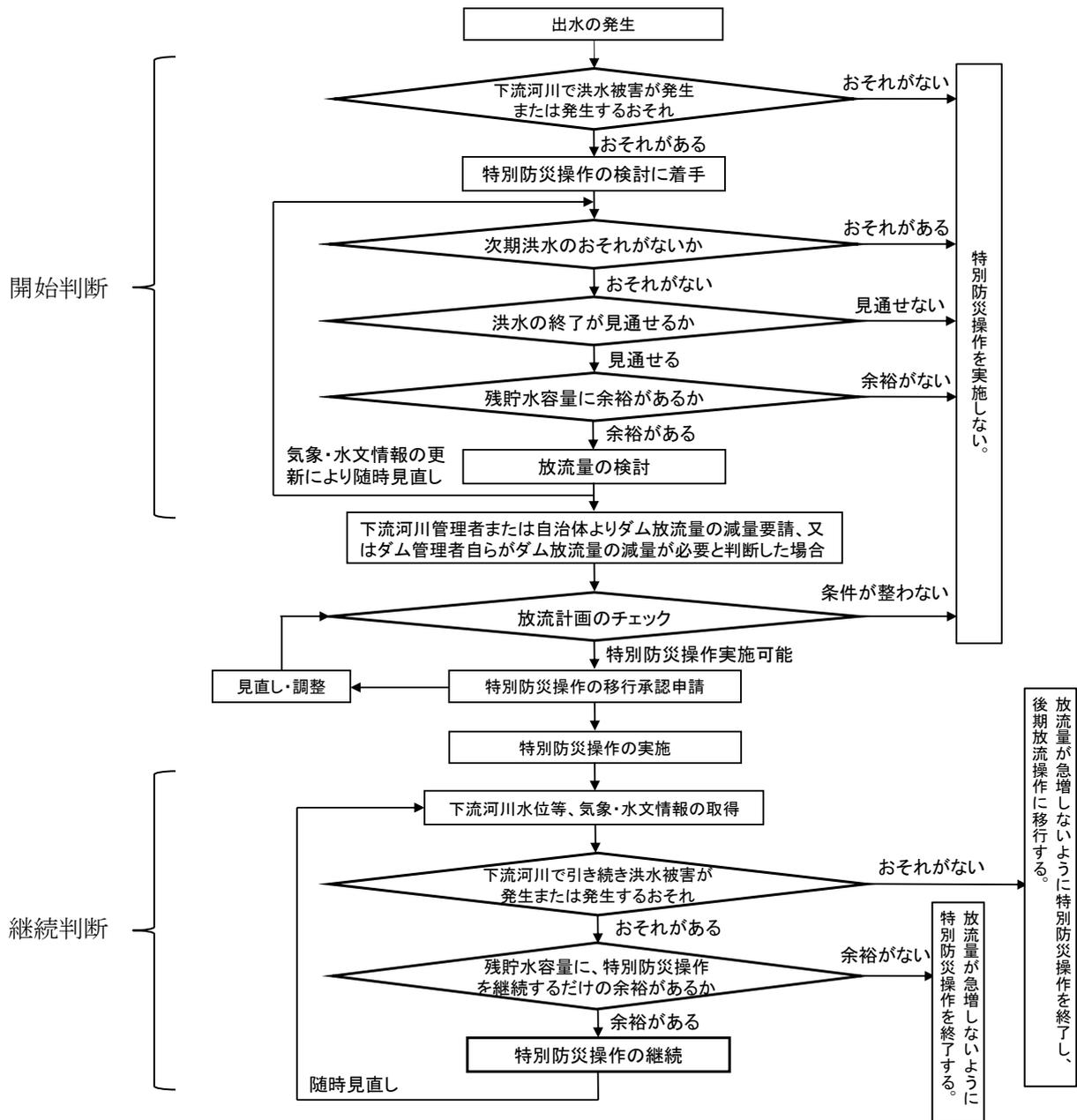


図3.1 特別防災操作の実施フロー

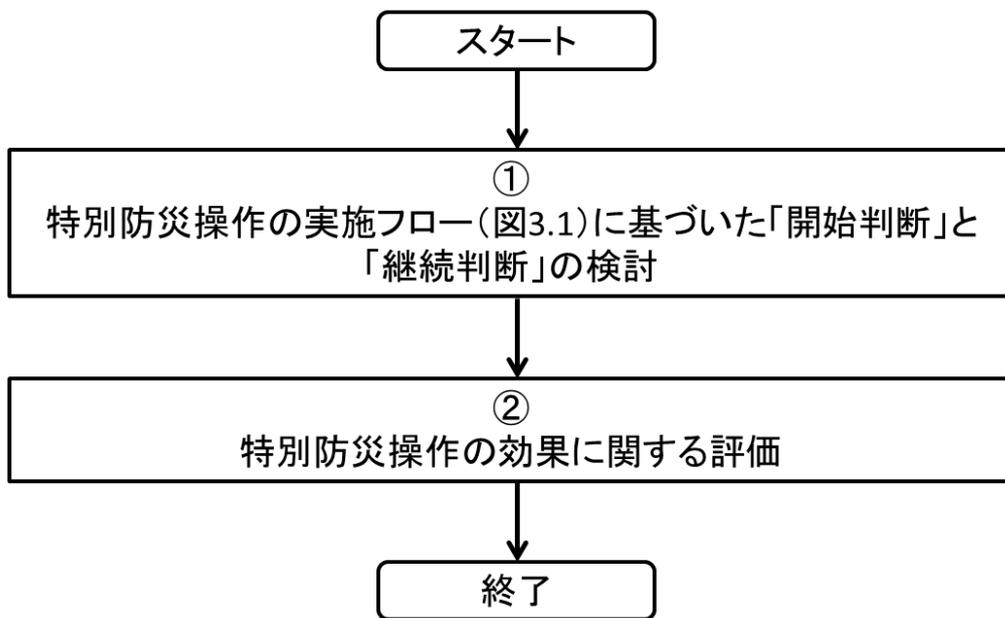


図3.2 特別防災操作の点検フロー

II. 特別防災操作の実施フローに関わる技術的事項

I.で述べた①～⑤それぞれのステップにおける検討事項について、Bダムにおける既往洪水を事例として具体的に説明する。

1. Bダムの緒元、下流水位観測地点（C地点）、対象出水について

• Bダムの諸元

Bダムは1級水系D川の支川であるE川に位置している。諸元は以下の通りである。

流域面積：226.4 km²

ダム地点からD川合流点までの距離：約10 km

洪水貯留準備水位：318.0 m

異常洪水時防災操作の開始水位：330.8 m

洪水時最高水位：333.0 m

設計最高水位：334.0 m

洪水調節容量（洪水期）：28,000,000 m³

洪水量：100 m³/s

洪水調節方式：一定量放流方式

計画最大放流量：100 m³/s

放流設備：常用洪水吐1門（ラジアルゲート）、非常用洪水吐4門（ラジアルゲート）

※上述の用語の定義は、例えば、「社団法人 日本河川協会、財団法人 国土開発技術研究センター 編：改訂 解説・河川管理施設等構造令」、「財団法人 ダム技術センター：多目的ダムの建設」等を参照のこと。

• 下流水位観測地点（C地点）

特別防災操作は、下流河川で洪水被害が発生または発生するおそれがある場合に実施するものであるため、特別防災操作の実施・継続を判断するために基準となる水位観測地点を設定する必要がある。BダムにおいてはC地点を設定した。C地点は、D川本川に位置し、D川とE川の合流点から下流に約2 km下流に位置する。計画高水位等の値は下記の通りである。

計画高水位：8.69 m

はん濫危険水位：7.90 m

はん濫注意水位：6.80 m

• 対象出水

Bダムにおいて実際に特別防災操作を実施した平成23年9月洪水を対象出水とする。台風による洪水であり、当該流域において戦後最大規模の出水である。

2. 各ステップにおける検討事項

I.で示した①～⑤の各ステップについて、具体的な検討方法を示す。

① 下流河川で洪水被害が発生または発生するおそれがないか

特別防災操作は、下流河川において洪水被害が発生又は発生するおそれがある場合に実施するものであるため、降雨量や水位情報を参考にして判断する。以下、Bダムの対象出水における事例である。

a) 降雨量及び下流河川の水位の推移

対象出水においては、図3.3に示すように、9月20日から強い雨が降り続き、台風が接近した21日夜には非常に激しい雨となった。C地点では、9月21日20時頃に氾濫危険水位を超過し、その後も水位が上昇する可能性がある状況であった。

b) 判断

a)で確認した通り、C地点では水位が上昇してきており、今後も上昇する可能性がある。そのため、特別防災操作の検討に着手する。

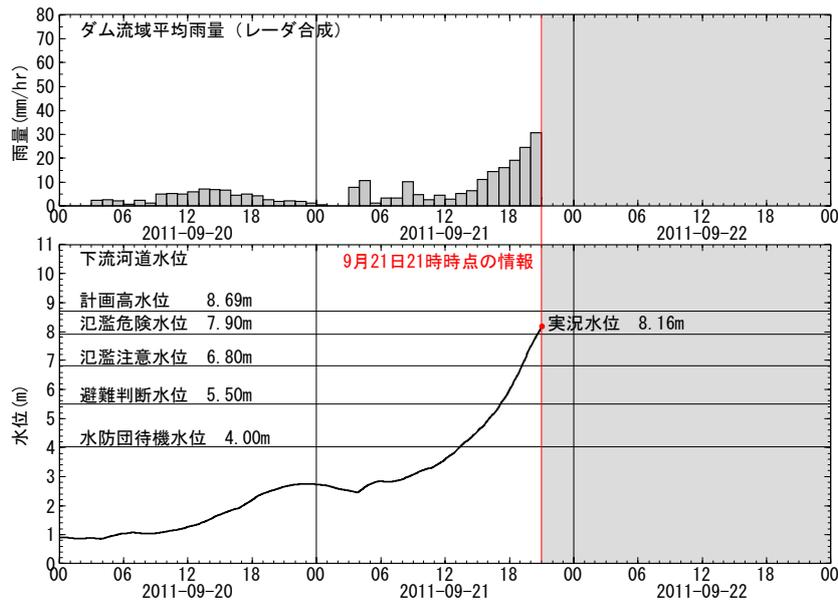


図3.3 9月21日21時までのBダム流域平均雨量及びC地点の水位

② 次期洪水のおそれがないか

特別防災操作を実施することにより本則操作以上に洪水を貯留した場合、本則操作による洪水調節を実施した場合よりも洪水調節終了後の水位低下に長い時間を要することとなる。そのため、貯水位を洪水貯留準備水位まで低下させるまでの期間に次期洪水が発生する恐れが無いことを確認する必要がある。ここでは、気象庁の府県天気予報や週間天気予報といった比較的予報時間の長い予報に基づいて判断する。以下、Bダムの対象出水における事例である。

a) 気象庁の府県天気予報

Bダムを予報対象区域に含む福島地方气象台から発表された府県天気予報では、Bダムが位置する福島県中通りの明後日までの天気として、9月21日17時の発表で、21日夜は「雨 所により 雷を伴い非常に激しく降る」、明日 (22日) は「くもり 昼前から時々 晴れ 所により 夕方まで雨」、明後日 (23日) は「晴れ 時々 くもり」という予報となっている (図3.4)。

福島県 21日17時発表

中通り

今夜 (308)	東の風 強く 後 南西の風 強く 雨 所により 雷を伴い 非常に 激しく 降る 波	降水確率 18-00 雨 100%
明日 (210)	南の風 やや強く 後 北西の風 曇り 昼前 から 時々 晴れ 所により 夕方まで 雨 波	降水確率 00-06 雨 30% 06-12 雨 10% 12-18 雨 30% 18-00 雨 10%
明後日 (101)	西の風 後 北西の風 晴れ 時々 曇り 波	

浜通り

今夜 (208)	南の風 非常に強く 雨 所により 雷を伴い 非常に 激しく 降る 波 5メートル 後 7メートル うねりを伴う	降水確率 18-00 雨 100%
明日 (101)	南の風 強く 後 北の風 晴れ 時々 曇り 波 7メートル 後 3メートル うねりを伴う	降水確率 00-06 雨 20% 06-12 雨 10% 12-18 雨 20% 18-00 雨 10%
明後日 (101)	北の風 晴れ 時々 曇り 波 2.5メートル 後 1.5メートル うねりを伴う	

会津

今夜 (308)	東の風 強く 後 西の風 強く 雨 会津南部 では 雷を伴い 非常に 激しく 降る 波	降水確率 18-00 雨 80%
明日 (203)	西の風 やや強く 後 北西の風 曇り 昼過ぎまで 時々 雨 波	降水確率 00-06 雨 60% 06-12 雨 40% 12-18 雨 50% 18-00 雨 30%
明後日 (201)	北西の風 曇り 時々 晴れ 波	

図3.4 福島地方気象台が発表した府県天気予報（9月21日17時発表）

b) 気象庁の週間天気予報

また、同地方気象台から発表された週間天気予報では、平成23年9月21日17時の発表で福島県中通りの9月22日から28日までの天気として、曇り時々晴れ、または曇り、晴れ時々曇りと予報され、信頼度はAまたはBであり、大きな雨は予報されていない状況である（図3.5）。

シユウカンヨホウ1 フクシマ

福島県週間天気予報

9月21日17時

予報期間

9月22日から 9月28日まで

天気」	中通り・浜通り	
22日	くもり後時々晴れ	(2 1 0)
23日	晴れ時々くもり	(1 0 1)
24日	くもり時々晴れ	(2 0 1)
25日	くもり	(2 0 0)
26日	くもり	(2 0 0)
27日	晴れ時々くもり	(1 0 1)
28日	晴れ時々くもり	(1 0 1)

天気」	会津	
22日	くもり時々雨	(2 0 3)
23日	くもり時々晴れ	(2 0 1)
24日	くもり時々晴れ	(2 0 1)
25日	くもり	(2 0 0)
26日	くもり	(2 0 0)
27日	晴れ時々くもり	(1 0 1)
28日	晴れ時々くもり	(1 0 1)

降水確率」	中通り・浜通り					
///	2 0	3 0	4 0	4 0	3 0	3 0

降水確率」	会津					
///	3 0	3 0	4 0	4 0	3 0	3 0

最低気温」	福島					
///	1 6	1 4	1 6	1 7	1 7	1 7
()	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)
()	(2)	(2)	(1)	(2)	(2)	(2)

最低気温」	若松					
///	1 1	1 1	1 2	1 4	1 5	1 4
()	(2)	(2)	(1)	(2)	(2)	(2)
()	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)

最高気温」	福島					
///	2 3	2 7	2 5	2 6	2 7	2 6
()	(3)	(2)	(3)	(4)	(3)	(3)
()	(2)	(3)	(3)	(3)	(3)	(4)

最高気温」	若松					
///	2 1	2 6	2 5	2 6	2 6	2 5
()	(3)	(2)	(3)	(3)	(3)	(4)
()	(2)	(3)	(4)	(3)	(3)	(3)

平年値」	福島		
降水量の合計	: 少ない ≤	9 mm < 平年並 ≤	4 7 mm < 多い
最低気温	: 1 5. 4℃	最高気温	: 2 3. 5℃

平年値」	若松		
降水量の合計	: 少ない ≤	7 mm < 平年並 ≤	3 4 mm < 多い
最低気温	: 1 4. 0℃	最高気温	: 2 3. 3℃

日別信頼度」	中通り・浜通り					
///	/	A	B	B	A	B

日別信頼度」	会津					
///	/	A	B	B	A	B

図3.5 福島地方気象台による週間天気予報 (9月21日17時発表)

c) 判断

a)およびb)より、現在の降雨に次ぐ出水の恐れはないと考えられる。また、仮に特別防災操作を実施して洪水調節容量を全て使い切った場合においても貯水位低下に要する時間は3日程度(= 28,000,000 m³ / (100 m³/s * 24 hr * 60 min * 60 sec))である。a)及びb)から、現在の降雨の後は向こう1週間程度にかけて大きな出水は予想されていないため、仮に特別防災操作により貯水位を上昇させたとしても貯水位低下のために十分な時間を確保できると考えられる。

③ 洪水の終了が見通せるか

②においては次期洪水の発生可能性について調べた。ここでは、現在降っている雨のピークや降り終わりについて、現況の降雨情報及び今後数時間の予測情報を基に判断する。以下、Bダムの対象出水における事例である。

a) 気象レーダによる現在までの降雨状況の推移

現況に至るまでの降雨の時間分布、空間分布の推移を気象レーダ（Cバンドレーダ）により監視し、流域の降雨のピーク及び降り終わりを予測する。図3.6は、対象出水について10分毎の雨量を積算した1時間雨量の時間推移（21日18時～22時）を表示したものである。これによると、18時頃からBダム周辺に発生していた強雨域は徐々に北に抜け、9月21日22時（図3.6の赤枠で示した一番右の図）における前1時間雨量はそれ以前の時間と比較して小さくなっており、既にピーク雨量が過ぎた可能性を示唆している。

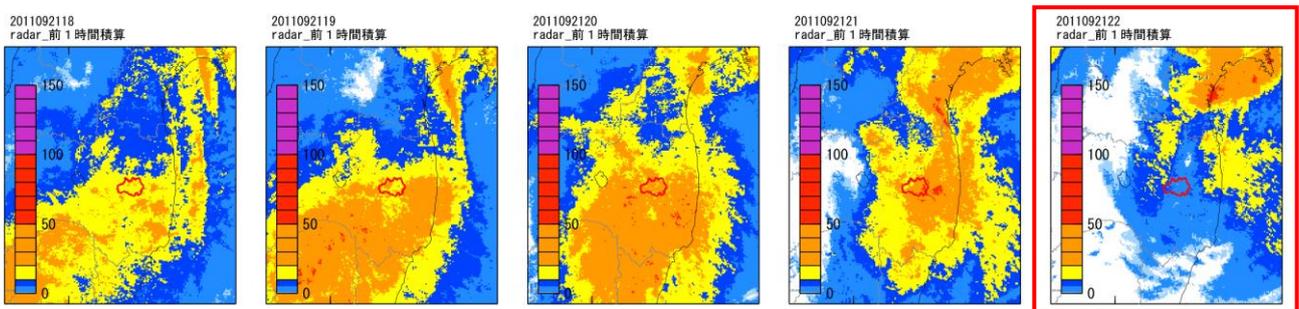


図3.6 気象レーダによるBダム周辺の1時間雨量の推移（9月21日18時～22時）

b) 降水短時間予報による6時間先までの雨量予測

気象庁降水短時間予報から得られる6時間先までの時間雨量予測により、ダム流域の今後の雨の推移について見通しをたてる。図3.7は、対象出水についてBダム流域の予測雨量の推移（予測初期時刻：9月21日21時、6時間先まで）を示したものである。その結果、22時以降（2時間先以降）、Bダム流域の雨量は大きく減少することが予測される結果が得られた。

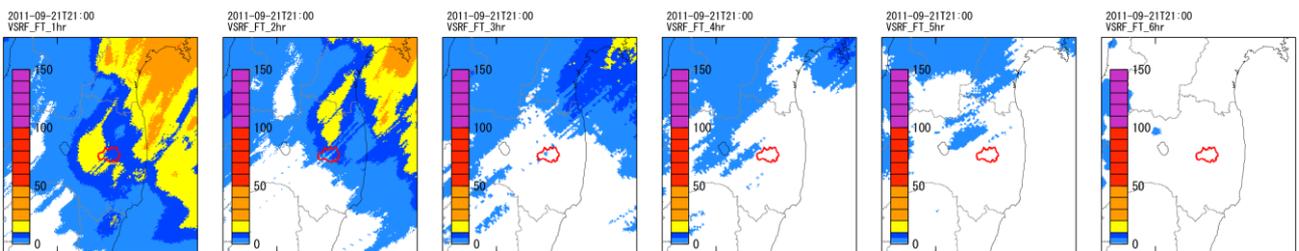


図3.7 降水短時間予報による6時間予測値（予測初期時刻9月21日21時）

左から順に1時間先、2時間先、3時間先、4時間先、5時間先、6時間先までの予測結果

c) 判断

a)及びb)から、22時時点で既に雨のピークは過ぎており、今後雨量は減少・降り止み、洪水は終了すると思われる。

※補足

ここでは、気象レーダ及び降水短時間予報に基づく判断について示したが、入手可能であれば台風進路予報情報も併せて用いることが望ましい。

④ 残貯水容量に余裕があるか、放流量の検討

現洪水の終了が見通せた場合、「本則操作による放流を継続した場合に残貯水容量に余裕があるか」について確認する。残貯水容量に余裕がある場合は、放流を本則操作で行うよりも放流量を下げる事が可能かについて検討する。ここでは上記の検討手順について、「適応操作」において採用されている方法について紹介する。適応操作は、ダムの流出の遅れ時間を設定（ダムコンで設定されている値を採用することを基本とする。）し、その遅れ時間内に降った実績の雨量及び降水短時間予報から得られる6時間の予測積算雨量が損失することなく全てダムに流入すると仮定した総流入量と、現在の空容量の比較を通じて、その実施を判断するものである。適応操作方式以外にも放流量決定方法があると考えられ、これについては4.で述べる。以下、Bダムでの9月21日22時における検討過程について示す。

a) 残貯水容量に余裕があるか

9月21日22時時点でのBダムの貯水位は320.20 m、空容量は25,380,000 m³、流入量は353.8 m³/s、放流量は100 m³/s、C地点の水位は8.66 mという状況である（図3.8）。また、Bダムにおける流出の遅れ時間は、TL = 2 hrである。残貯水容量の余裕については、上述した通り、遅れ時間内に降った実績の雨量及び、降水短時間予報から得られる6時間の予測積算雨量が損失することなく全てダムに流入すると仮定した総流入量と現在の空容量の比較することで検討する。

- 1) TL内での実績流域平均雨量の累積： $R_{\text{obs}} = 34.2 \text{ mm}$ （レーダ雨量より算出）
- 2) 6時間先までの予測雨量の合計： $R_{\text{for}} = 0.4 \text{ mm}$ （22時時点の降水短時間予報より算出）
- 3) 予測時間内の総流入量相当雨量： $R_{\text{tot}} = R_{\text{obs}} + R_{\text{for}} = 34.2 \text{ mm} + 0.4 \text{ mm} = 34.6 \text{ mm}$
- 4) この時点での空容量相当雨量： $R_{\text{vol}} = 25,380,000 \text{ m}^3 / 226.4 \text{ km}^2 = 0.112 \text{ m} = 112.1 \text{ mm}$
- 5) 時点空容量相当雨量 $R_{\text{vol}} = 112.1 \text{ mm} >$ 予測時間内の総流入量相当雨量 $R_{\text{tot}} = 34.6 \text{ mm}$

以上より、Bダムの対象出水においては、予測時間内の総流入量よりもその時点での空容量を上回っているため、残貯水容量に余裕があると判断される。

b) 放流量の検討

5)において、時点空容量相当雨量 $R_{\text{vol}} = 112.1 \text{ mm} >$ 予測時間内の総流入量相当雨量 $R_{\text{tot}} = 34.6 \text{ mm}$ となっており、放流量をゼロとしても洪水調節容量は不足しないため放流量をゼロとする。

※補足

もしも空容量相当雨量が予測時間内の流入量相当雨量よりも小さい場合は、
予測時間内の総流入量相当雨量 = 空容量相当雨量 + 放流量相当雨量
となるように、放流量相当雨量を決定する。

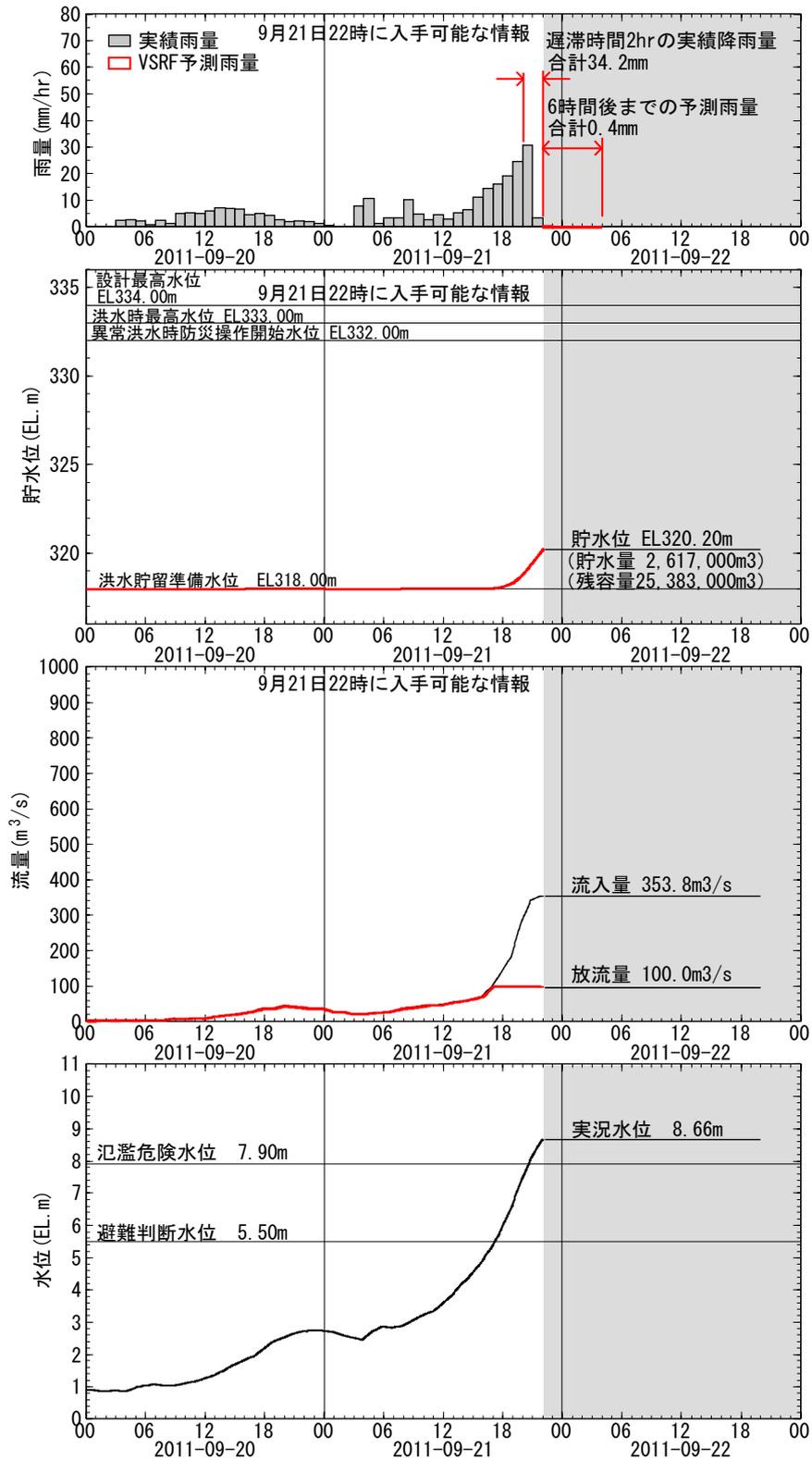


図3.8 適応操作開始判断に係る情報 (9月21日22時時点の情報)

⑤ 特別防災操作を継続するか

特別防災操作を開始した後は、ダム貯水位、流入量および下流河川の状況を把握しながら、天気予報や予測雨量が更新されるたびに次期洪水発生のおそれおよび今後数時間に予測される雨量について確認を行い、状況に変化がない場合は特別防災操作を継続する。下流での氾濫のおそれがなくなった場合は特別防災操作を終了して貯水位低下操作に移行する。また、再び雨が降るなど次の予測雨量の更新までに残貯水容量が不足する状況が予測される場合においても特別防災操作を終了する。以下に9月22日5時時点のBダムにおける特別防災操作の継続判断に関する検討例を示す。

a) ダム貯水池の状況及び下流河道の状況

9月22日5時の時点でC地点の水位は7.99 mであり、氾濫危険水位7.90 mを以前超過しているため引き続いて放流量を抑えることが望ましい状況である。Bダムの貯水状況としては、貯水位が323.94 m、貯水量が8,070,000 m³、洪水調節容量の空容量が19,930,000 m³（使用率29%）という状況である（図3.9）。

b) 気象レーダによる現在までの降雨状況の推移

図3.10は、9月21日18時～22日5時までの1時間雨量を示したものである。これによると、9月22日5時の前1時間雨量（図3.10の赤枠図）では、流域の降雨は観測されていないことが分かる。

c) 降水短時間予報による6時間先までの雨量予測

図3.11は、9月22日5時を初期時刻とする6時間先までの1時間毎雨量予測である。図3.11より、6時間先まで流域平均雨量はゼロが継続すると考えられる。

d) 残貯水容量に余裕があるか、放流量の検討

- 1) TL内での実績流域平均雨量の累積： $R_{\text{obs}} = 0.0 \text{ mm}$ （レーダ雨量より算出）
- 2) 6時間先までの予測雨量の合計： $R_{\text{for}} = 0.0 \text{ mm}$ （5時時点の降水短時間予報より算出）
- 3) 予測時間内の総流入量相当雨量： $R_{\text{tot}} = R_{\text{obs}} + R_{\text{for}} = 0.0 \text{ mm} + 0.0 \text{ mm} = 0.0 \text{ mm}$
- 4) この時点での空容量相当雨量： $R_{\text{vol}} = 19,930,000 \text{ m}^3 / 226.4 \text{ km}^2 = 0.0880 \text{ m} = 88.0 \text{ mm}$
- 5) 時点空容量相当雨量 $R_{\text{vol}} = 88.0 \text{ mm} >$ 予測時間内の総流入量相当雨量 $R_{\text{tot}} = 0.0 \text{ mm}$

以上より、Bダムの対象出水においては、予測時間内の総流入量よりもその時点での空容量を上回っているため、残貯水容量に余裕があると判断される。

時点空容量相当雨量 $R_{\text{vol}} = 88.0 \text{ mm} >$ 予測時間内の総流入量相当雨量 $R_{\text{tot}} = 0.0 \text{ mm}$ となっており、放流量をゼロとしても洪水調節容量は不足しないため、引き続いて放流量をゼロとすることが可能である。

→現在の特別防災操作を継続する。

なお、下流河川で洪水被害の発生又は発生する恐れが解消された場合、あるいは特別防災操作の継続判断により貯水池容量の不足が見込まれ操作を中止する場合、下流に対する放流量の急増を防ぐ放流の増加方法により特別防災操作を終了することが必要となる。このとき、放流量の増加中に貯水量が増加することを予め見込む必要がある。

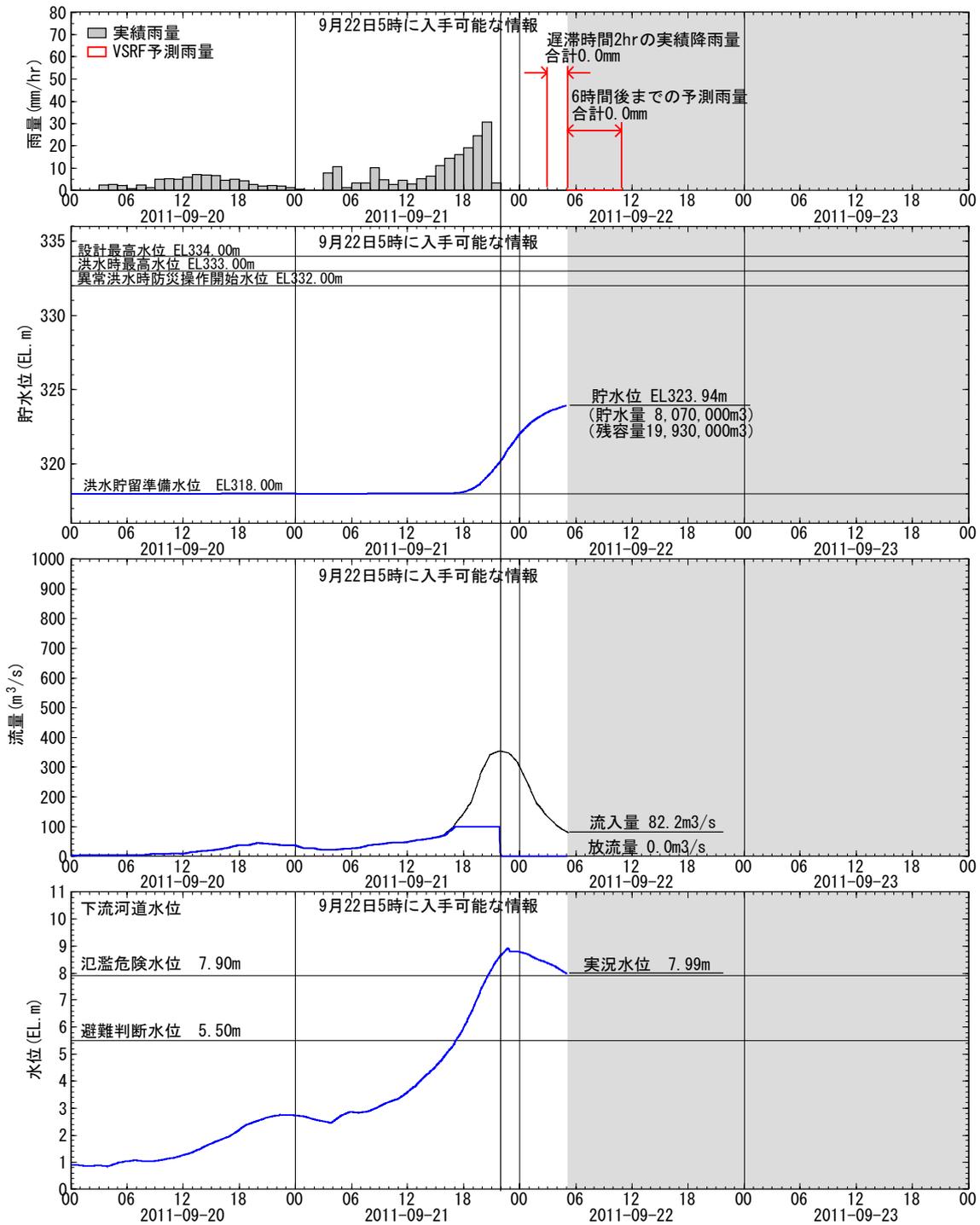


図3.9 特別防災操作の継続判断に係る情報 (9月22日5時点の情報)

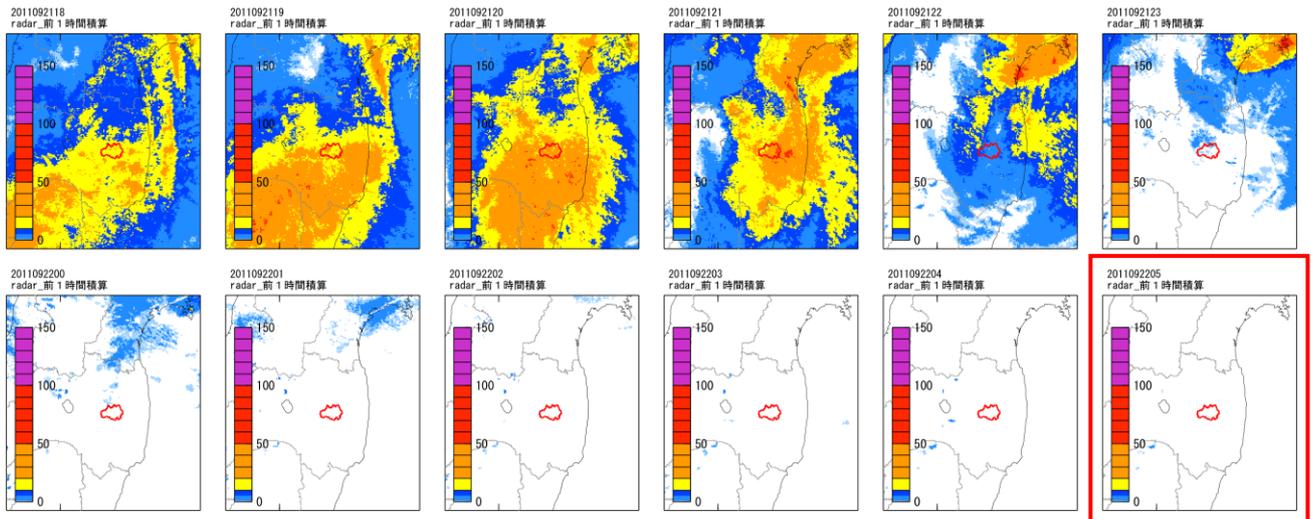


図3.10 気象レーダによる1時間積算雨量の推移（9月21日18時～22日5時）

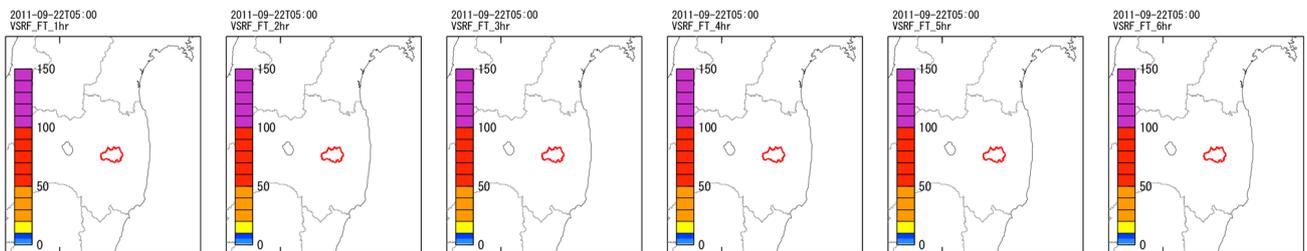


図3.11 降水短時間予報による6時間予測値（予測初期時刻9月22日5時）

左から順に1時間先、2時間先、3時間先、4時間先、5時間先、6時間先までの予測結果

3. 特別防災操作による水位低下効果のシミュレーション

特別防災操作の開始後、2.⑤で述べたような継続判断を時々刻々実施する。対象出水では特別防災操作を一定の時間まで継続させることとなった。そのシミュレーション結果は図3.12のようになり、特別防災操作を実施することにより、本則操作による操作と比較してC地点の水位を下げることであり、特別防災操作による効果が確認される。

なお、ここでの水位低下効果のシミュレーションについては、本来は流出計算を用いて評価する事が望ましいが、簡易的な手法として2章IV.3と同様に以下のような手順を取った。

- (1) ダム地点からC地点までの流出遅れを求める。
- (2) (1)で求めた流出遅れを考慮して、C地点の実績の流量からダムの放流量を差し引く。ここで得られたものを残流域からの流出量とみなす。
- (3) 特別防災操作によるBダムからの放流量を(2)で求めた流出量に足すことでC地点における流量とする。これをHQ式により水位に変換する。

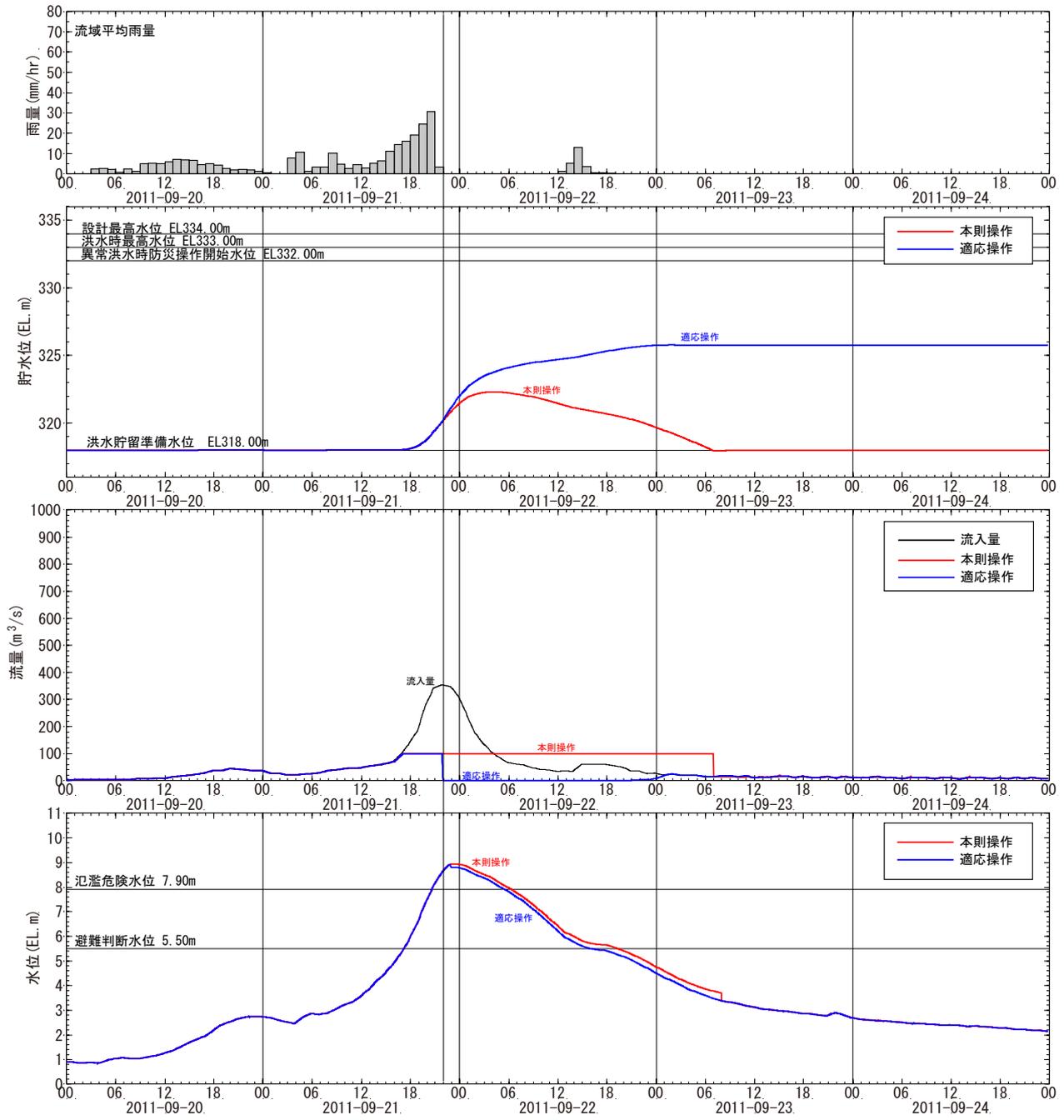


図3.12 特別防災操作のシミュレーション結果

4. その他の放流量決定方法の紹介

2.及び3.では、特別防災操作における放流量の決定方法として適応操作方式で採用されている方法を紹介した。ここでは、これ以外の放流量決定方法として異常洪水時防災操作でも紹介した必要最小放流量方式及びVR方式に基づく放流量決定方法について紹介する。

4.1 必要最小放流量方式による特別防災操作

a) 特別防災操作における必要最小放流量テーブルの考え方、作成

異常洪水時防災操作における必要最小放流量方式は、流入量がダム設計洪水流量まで増加することを想定した際に現在の流入量、貯水位において最低限必要な放流量を定めた必要最小放流量テーブルを作成・これに基づいて操作する方式である。この方式を特別防災操作に応用するため、以下の設定を行う。

- 想定する流入量

異常洪水時防災操作において流入量がダム設計洪水流量まで増加することを想定するのは、異常洪水時防災操作中に流入量の増加・減少を明確に判断することが難しいためである。その一方で、特別防災操作においては流入量の減少が相当程度見込まれた場合において実施するものとされている。このことから特別防災操作への応用に当たっては、流入量は「現在の流入量が継続する」と仮定することとする。

- 必要最小放流量テーブルの作成範囲

流入量：

異常洪水時防災操作においては、テーブル作成の範囲として、下限を計画最大放流量、上限を設計洪水流量とした。特別防災操作においては、規則操作よりも放流量を下げることを想定するため、下限を計画最大放流量、上限を計画高水流量とすることを基本とする。Bダムにおいては、上記の考え方に基づき下限を $100 \text{ m}^3/\text{s}$ 、上限を $700 \text{ m}^3/\text{s}$ とした。

貯水位：

異常洪水時防災操作においては、下限を異常洪水時防災操作開始水位、上限を設計最高水位とした。特別防災操作においては、空容量に余裕がある場合における操作であることから下限を洪水貯留準備水位とする。上限については、洪水調節容量内での調節を想定し、洪水時最高水位とすることを基本とする。Bダムにおいては、上記の考え方に基づき下限を 318.0 m 、上限を 333.0 m とした。

- 必要最小放流量の算出

任意の貯水位・流入量における必要最小放流量は、その貯水位からその流入量が継続した時に、洪水時最高水位においてその流入量を放流するために現時点で最低限必要な放流量として考えられる。この考えに則って求めたBダムの必要最小放流量テーブルが表3.1である。なお必要最小放流量方式は流入量が必要であるため、貯水位計測のためゲート休止時間を設定する必要がある。ここではゲート休止時間として10分間を設定した。

表3.1 特別防災操作の必要最小放流量テーブル

貯水位 (EL.m)	流入量(m ³ /s)						
	100	200	300	400	500	600	700
318	0	0	0	0	0	0	0
319	0	0	0	0	0	0	0
320	0	0	0	0	0	0	0
321	0	0	0	0	0	0	0
322	0	0	0	0	0	0	0
323	0	0	0	0	0	0	0
324	0	0	0	0	0	0	0
325	0	0	0	0	0	0	0
326	0	0	0	0	0	0	0
327	0	0	0	0	0	0	0
328	0	0	0	0	0	0	0
329	0	0	0	0	0	0	0
330	0	0	0	0	0	0	0
331	0	0	0	0	0	0	0
332	0	0	0	0	0	0	0
333	100	200	300	400	500	600	700

b) 計算事例

必要最小放流量方式による放流量決定事例として、9月21日22時時点为例に示す。この時点における貯水位、流入量等の条件は図3.8に示される。

- 1) 9月21日22時の時点の貯水位、流入量から、表3.1の必要最小放流量テーブルにより必要最小放流量を求める。貯水位は320.20 m、流入量は353.8 m³/sであるため、表3.1の赤枠内の値を内挿することで必要最小放流量は0 m³/sと求まる。
- 2) 放流量を0 m³/sとする特別防災操作に移行する。

これ以降、特別防災操作の継続判断の度にその時点の貯水位、流入量から必要最小放流量テーブルを基に放流量を設定し直す。

4.2 VR方式による特別防災操作

a) 特別防災操作における放流率テーブルの考え方、作成

異常洪水時防災操作で紹介したVR方式は、異常洪水時防災操作開始後の流入量が逡減することを仮定した操作である。特別防災操作は、洪水の終了が相当程度確実な場合に実施する方式であるため、異常洪水時防災操作のVR方式と同様に流入量が逡減する場合に行われるものである。よって特別防災操作にVR方式を援用することを考える。VR方式を特別防災操作に応用するに当たって必要となる設定は以下の通りである。

• 流入量の設定

設定する基準流入波形は異常洪水時防災操作の時と同じであることを基本とする。BダムにおけるVR方式の基準流入波形を図3.13に示す。

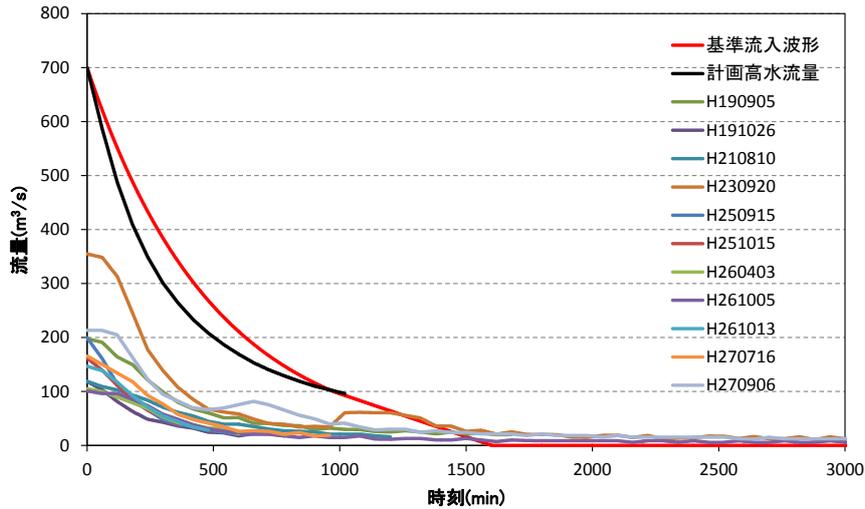


図3.13 BダムにおけるVR方式の基準流入波形

• 放流率テーブルの作成範囲

空容量：

異常洪水時防災操作におけるVR方式では、異常洪水時防災操作の開始水位から洪水時最高水位を範囲として放流率テーブルを作成した。それに対し特別防災操作においては、空容量に余裕がある場合における操作であることから下限を洪水貯留準備水位とする。上限については、洪水調節容量内での調節を想定し、洪水時最高水位とすることを基本とする。よって空容量の上限は洪水調節容量（貯水位：洪水貯留準備水位）とし、空容量の下限は 0 m^3 （貯水位：洪水時最高水位）とすることを基本とする。Bダムにおいては、上記考え方に基づいて上限を $28,000,000 \text{ m}^3$ 、下限を 0 m^3 とした。

放流量：

異常洪水時防災操作においては、放流量は計画最大放流量から設計洪水流量までの流量を設定することを基本としたが、特別防災操作は放流量を下げることを想定した操作であるため上限を計画最大放流量、下限をゼロとすることを基本とする。Bダムにおいては計画最大放流量である $100 \text{ m}^3/\text{s}$ を上限、下限を $0 \text{ m}^3/\text{s}$ とし、その間を $10 \text{ m}^3/\text{s}$ 刻みで設定した。

• 放流率の算出

任意の空容量・放流量における放流率は、異常洪水時防災操作における算出方法と同等の手順（2章II. 4.2. 3）求める。ただし、異常洪水時防災操作においては、「放流率 $R = (\text{放流量} - \text{洪水調節開始流量}) \div (\text{流入量} - \text{洪水調節開始流量})$ 」としたが、特別防災操作においては、「放流率 $R = (\text{放流量}) \div (\text{流入量})$ 」とした。この考えに則って求めたBダムの放流率テーブルが表3.2である。なおVR方式は流入量が必要であるため、貯水位計測のためゲート休止時間を設定する必要がある。ここではゲート休止時間として10分間を設定した。

表3.2 特別防災操作の放流率テーブル

空き容量(万m3)	放流量(m3/s)										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
99.5	0.000	0.121	0.216	0.290	0.343	0.382	0.412	0.436	0.455	0.472	0.488
199.5	0.000	0.085	0.152	0.204	0.245	0.277	0.304	0.327	0.346	0.364	0.380
299.5	0.000	0.065	0.118	0.160	0.194	0.223	0.247	0.268	0.287	0.303	0.318
399.5	0.000	0.053	0.096	0.132	0.162	0.188	0.210	0.229	0.246	0.262	0.277
499.5	0.000	0.045	0.082	0.113	0.140	0.163	0.183	0.201	0.217	0.232	0.246
599.5	0.000	0.039	0.071	0.099	0.123	0.145	0.163	0.180	0.195	0.209	0.222
699.5	0.000	0.034	0.063	0.089	0.110	0.130	0.147	0.163	0.177	0.191	0.203
799.5	0.000	0.031	0.057	0.080	0.100	0.118	0.135	0.149	0.163	0.176	0.187
899.5	0.000	0.028	0.052	0.073	0.092	0.109	0.124	0.138	0.151	0.163	0.174
999.5	0.000	0.025	0.047	0.067	0.085	0.101	0.115	0.128	0.140	0.152	0.163
1099.5	0.000	0.023	0.044	0.062	0.079	0.094	0.107	0.120	0.132	0.143	0.153
1199.5	0.000	0.022	0.041	0.058	0.074	0.088	0.101	0.113	0.124	0.134	0.144
1299.5	0.000	0.020	0.038	0.054	0.069	0.082	0.095	0.106	0.117	0.128	0.143
1399.5	0.000	0.019	0.036	0.051	0.065	0.078	0.090	0.101	0.114	0.128	0.143
1499.5	0.000	0.018	0.034	0.048	0.061	0.074	0.086	0.100	0.114	0.128	0.143
1599.5	0.000	0.017	0.032	0.046	0.058	0.071	0.086	0.100	0.114	0.128	0.143
1699.5	0.000	0.016	0.030	0.043	0.057	0.071	0.086	0.100	0.114	0.128	0.143
1799.5	0.000	0.015	0.029	0.043	0.057	0.071	0.086	0.100	0.114	0.128	0.143
1899.5	0.000	0.014	0.029	0.043	0.057	0.071	0.086	0.100	0.114	0.128	0.143
1999.5	0.000	0.014	0.029	0.043	0.057	0.071	0.086	0.100	0.114	0.128	0.143
2099.5	0.000	0.014	0.029	0.043	0.057	0.071	0.086	0.100	0.114	0.128	0.143
2199.5	0.000	0.014	0.029	0.043	0.057	0.071	0.086	0.100	0.114	0.128	0.143
2299.5	0.000	0.014	0.029	0.043	0.057	0.071	0.086	0.100	0.114	0.128	0.143
2399.5	0.000	0.014	0.029	0.043	0.057	0.071	0.086	0.100	0.114	0.128	0.143
2499.5	0.000	0.014	0.029	0.043	0.057	0.071	0.086	0.100	0.114	0.128	0.143
2599.5	0.000	0.014	0.029	0.043	0.057	0.071	0.086	0.100	0.114	0.128	0.143
2699.5	0.000	0.014	0.029	0.043	0.057	0.071	0.086	0.100	0.114	0.128	0.143
2799.5	0.000	0.014	0.029	0.043	0.057	0.071	0.086	0.100	0.114	0.128	0.143

b) 放流量決定事例

VR方式による放流量決定事例として、必要最小放流量方式と同様に9月21日22時時点为例に示す。この時点における貯水位、流入量等の条件は図3.8に示される。

- 1) 9月21日22時の時点の空容量 (25,380,000 m³)、放流量 (100 m³/s) から、表3.2の放流率テーブルから放流率 (0.143) を設定する (表3.2の赤枠)。
- 2) 流入量 (353.8m³/s) に放流率を乗じた値を放流量 (354.9 × 0.143 ≒ 50.5 m³/s) とする。
- 3) 2)で求めた放流量 (50.5 m³/s) は、現時点の放流量 (100 m³/s) よりも小さいため、放流量を50.5 m³/s とする。

これ以降、特別防災操作の継続判断の度にその時点の空容量、放流量から放流率テーブルを基に放流量を設定し直す。

4.3 必要最小放流量方式及びVR方式による特別防災操作のシミュレーション事例

4.1及び4.2において述べた特別防災操作における必要最小放流量方式及びVR方式によりBダムの対象出水についてシミュレーションを行った結果を図3.14に示す。C地点の水位の計算方法はII.3.で記した方法と同じである。図3.14には、本則操作方式及び適応操作方式によるシミュレーション結果も併せて表示している。その結果、対象出水については適応操作方式、必要最小放流量方式及びVR方式は特別防災操作開始直後から数時間後には放流量がゼロとなり、それ以降放流量を上げることはなかった。これにより、C地点において本則差よりも水位を低下させることができた。その一方で、3方式間の結果に差が出なかった。方式毎の特性の違いについては、対象出水を増やす等して考察することが今後の課題である。

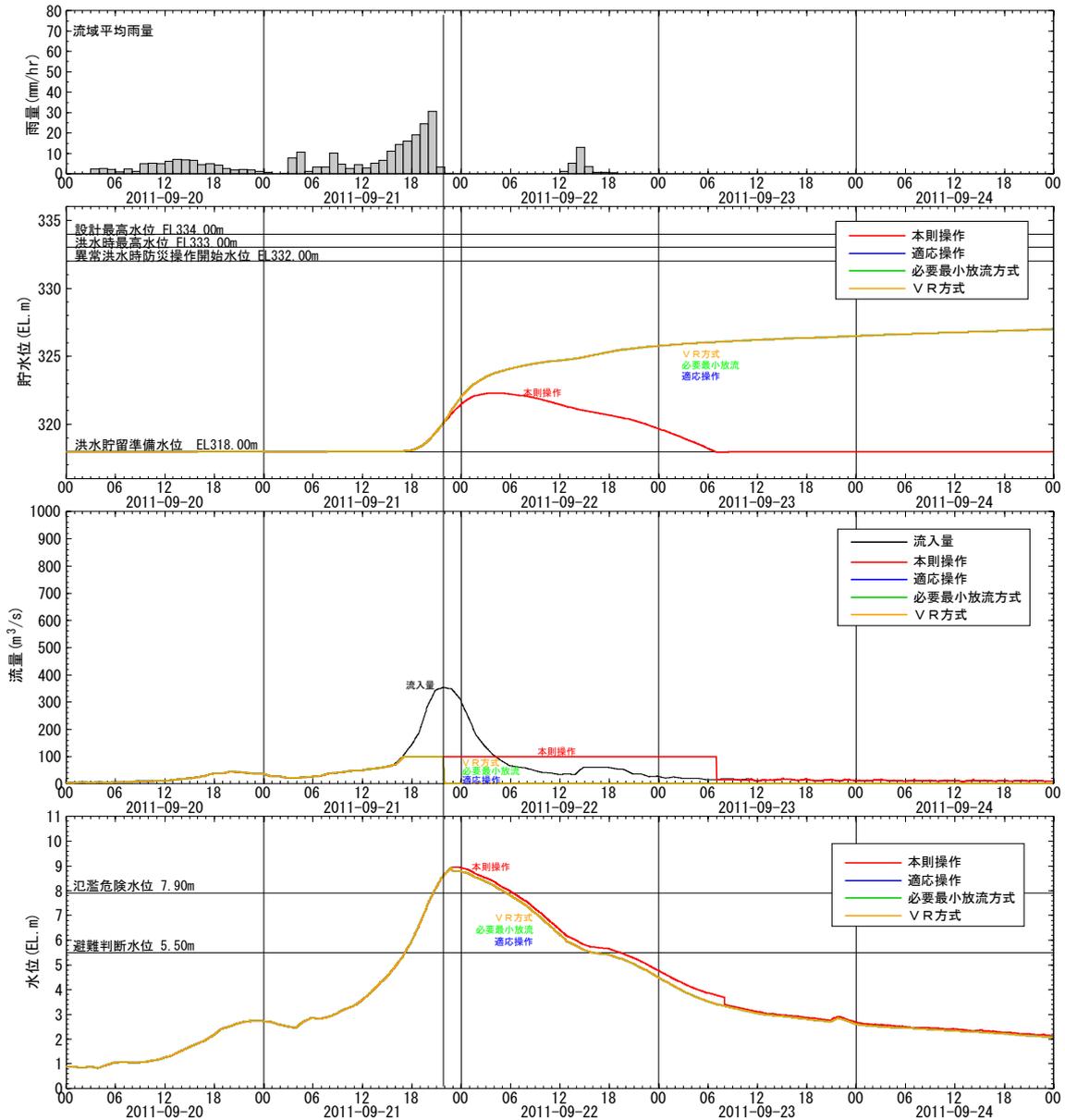


図 3.14 必要最小放流量方式、VR 方式及び適応操作方式による特別防災操作のシミュレーション

(参考) 大規模な降雨時における降雨流出特性について

平成28年8月の北海道地方における洪水では、常呂川において北海道地方への連続した台風の上陸に伴う降雨により出水が連続して発生し、下図に示すように、洪水後期の流出率が大きくなり、その値が1.0を超えた。

このような場合は、ダム上流の遅滞時間内の降雨量と今後の予測雨量の総量に相当する流出高より流入量が多くなることが考えられるため、長期的な流出現象を適切に表現できる降雨流出モデル等を用いて、精度の良い洪水逓減部の予測計算を実施できる場合には、これによって計算される流入量をもとに特別防災操作の実施判断を行うことが考えられる。

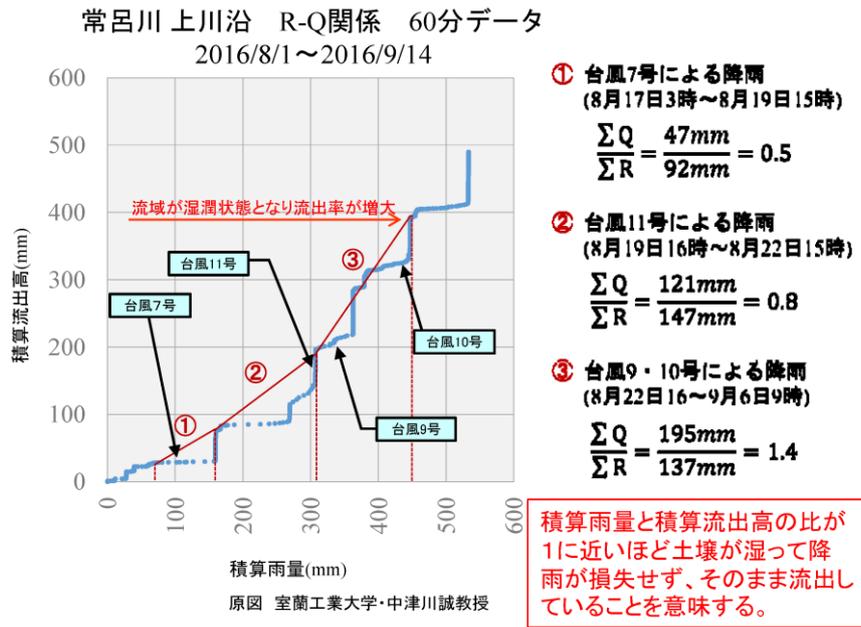


図3.15 出水が連続した際に流出率が1.0を超える事例

(平成28年8月北海道大雨激甚災害を踏まえた水防災対策検討委員会資料より抜粋)

参考文献

- 1) 例えば、国土交通省河川局河川環境課 監修、財団法人ダム水源地環境センター 編：ダムの管理 例規集、山海堂、平成18年
- 2) 財団法人 ダム水源地環境整備センター：事前放流検討の手引き（1次案）、平成17年6月
- 3) 柏井条介：貯水池を有効利用する異常洪水時操作の試案、ダム技術 320、pp.49-62、2013
- 4) 高田徹：平成 25 年台風 18 号出水における大野ダムの防災操作、ダム技術 346、pp.29-35、2015
- 5) 裏戸勉：VR 方式による異常洪水時のダム操作、ダム技術 301、pp.3-15、2011
- 6) 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 20(2)、pp.105-115、2010
- 7) 第5回鶴田ダムの洪水調節に関する検討会説明資料、pp.8-9、平成19年5月29日、http://www.qsr.mlit.go.jp/turuta/d4_kouzuikentou/pdf/h190529_no05_setumei.pdf
- 8) 今村瑞穂：ダム貯水池における洪水調節の合理化に関する2、3の考察、ダム工学 8-2、pp.102-116、1998
- 9) 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 20(1)、pp.6-15、2010

卷末資料

ダムの機能を最大限活用する洪水調節方法の導入に向けた
ダム操作規則等点検要領及び同解説

平成29年7月

国 土 交 通 省

水管理・国土保全局 河川環境課

はじめに

国土交通省ではこれまで、治水・利水の課題に対処するため、流域の特性に応じてダムを整備してきた。ダムは、洪水時の防災操作等による下流河川の被害軽減など、極めて重要な役割を担っている。また、建設時における堤体等の適切な施工、完成後の適切な維持管理がなされることにより、半永久的に健全であることが期待できることから、長期にわたって有効に、かつ持続的に活用を図ることが重要である。

近年、毎年のように洪水被害が全国各地で発生し、気候変動の影響が顕在化しつつある中、ダムは、運用の変更等によって、気候変動による外力の増大に対応する可能性を有している施設であることから、社会資本整備審議会や関係学会等において、気候変動への適応やダムの有効活用の推進等に関する様々な答申、提言等がなされている。

また、国土交通省では、社会全体の生産性向上につながるストック効果の高い社会資本の整備・活用等を加速することとし、「生産性革命プロジェクト」の一つとして「ダム再生～地域経済を支える利水・治水能力の早期向上～」を選定した。

こうした状況を踏まえ、既設ダムの有効活用を促進する観点から、これまでの知見や最新の技術を活用した柔軟なダム操作（事前放流、異常洪水時防災操作、特別防災操作）の実施可能性について、各ダムで点検するため、有識者を交えた「気候変動に適応したダム洪水調節操作のあり方に関する検討会」（座長：中川博次 京都大学名誉教授）を設立し、本検討会の技術的な指導・助言を得て、今般、本要領をとりまとめた。

点検の結果、柔軟なダム洪水調節操作の実施可能性が見出されたダムについては、実運用への導入に向けた検討や関係機関との調整を図った上で各操作の運用を開始し、洪水被害のさらなる軽減に寄与することを期待するものである。

気候変動に適応したダム洪水調節操作のあり方に関する検討会

委員名簿

座長

中川 博次 京都大学 名誉教授

委員

角 哲也 京都大学 防災研究所 教授

中津川 誠 室蘭工業大学 教授

山口 嘉一 国立研究開発法人土木研究所 理事

高須 修二 一般財団法人ダム技術センター ダム技術研究所長

丸山 準 国土交通省水管理国土保全局河川環境課 流水管理室長

藤巻 浩之 国土交通省水管理国土保全局治水課 事業監理室長

中込 淳 国土交通省水管理国土保全局河川計画課 河川計画調整室長

天野 邦彦 国土交通省国土技術政策総合研究所 河川研究部長

※敬称略 平成 29 年 6 月現在

目 次

第1章 総則

- 1.1 目的
- 1.2 用語の定義
- 1.3 本要領の構成

第2章 事前放流に関する点検

- 2.1 点検の目的
- 2.2 対象ダム
- 2.3 点検内容

第3章 異常洪水時防災操作に関する点検

- 3.1 点検の目的
- 3.2 対象ダム
- 3.3 点検内容

第4章 特別防災操作に関する点検

- 4.1 点検の目的
- 4.2 対象ダム
- 4.3 点検内容

第1章 総則

1.1 目的

本要領は、ダム機能を最大限活用する洪水調節方法の導入可能性について、現行のダム操作規則等を点検するための標準的な考え方を示したものである。

【解説】

気候変動による洪水のさらなる激甚化が懸念される中、平成27年8月に取りまとめられた「水災害分野における気候変動適応策のあり方について 答申（社会資本整備審議会）」において、

5 水災害分野における気候変動適応策の具体的な内容

5.2 水害（洪水、内水、高潮）に対する適応策

5.2.2 施設の能力を上回る外力に対する減災対策

（既存施設の機能を最大限活用する運用）

既設ダムの機能を最大限活用することにより、下流の被害を軽減し、また避難時間ができる限り確保されるよう、計画規模を超える洪水等もダムに可能な限り貯留し、洪水のピークを低減させる、あるいは遅らせることなどを検討するべきである。また、異常洪水時防災操作（計画規模を超える洪水時の操作）の開始水位の見直しなど、ダムの洪水調節機能を最大限活用するための操作の方法についてあらかじめ検討し、個々の技術者の技量に依拠したものにならないよう、操作規則等を必要に応じて見直すとともに、個別のダムだけでなく、複数ダムが連携した運用についても検討するべきである。（後略）

とされた。また、平成27年12月に取りまとめられた「大規模氾濫に対する減災のための治水対策のあり方について 答申（社会資本整備審議会）」においても、

5. 速やかに検討に着手し、早期に実現を図るべき対策

(4) 「危機管理型ハード対策」とソフト対策の一体的・計画的な推進

③既設ダムにおける危機管理型運用方法の確立

既設ダムについて、下流河川の氾濫時又はそのおそれがある場合における操作方法等、危機管理型の運用方法について確立し、個々のダムの操作規則等への反映を図ること。

とされたところである。

これらを踏まえ、これまでの知見や最新の技術を活用し、

① 洪水前に洪水調節に使える容量をできる限り多く確保する事前放流操作方法

② ダム容量を最大限使用して下流の被害をできる限り軽減する洪水調節操作方法

の導入可能性についてダム毎に現行のダム操作規則等の点検を実施する。本要領は、この点検の標準的な実施方法を示すものである。なお、「②ダム容量を最大限使用して下流の被害をできる限り軽減する洪水調節操作方法」については、「異常洪水時防災操作」と「特別防災操作」に大別される。

1.2 用語の定義

直轄・水資源機構管理ダム：

河川法第3条の規定に基づく河川管理施設のダム(同法第17条に規定する兼用工作物のダム、特定多目的ダム法第2条第1項に規定する多目的ダム、独立行政法人水資源機構法第2条に規定する特定施設を含む)のうち、国土交通省または(独)水資源機構が管理するダム

事前放流：

予測雨量情報等に基づいて洪水の発生を予測した場合に、事前に貯水位を低下させ、利水容量を治水容量として一時的に活用する操作

異常洪水時防災操作：

大きな出水によりダムの洪水調節容量を使い切る可能性が生じたため、放流量を徐々に増加させ、流入量と同じ流量を放流する操作

特別防災操作：

下流の被害を軽減するために貯留量を増やして容量を有効に活用する高度な操作

【解説】

本文で説明なく使用している用語について定義を示した。

1.3 本要領の構成

本要領は、総則、事前放流に関する点検、異常洪水時防災操作に関する点検、特別防災操作に関する点検で構成される。

【解説】

本要領は、4章から構成されている。

第1章は総則であり、本要領の目的、構成、用語の定義について示す。第2章で事前放流に関する点検、第3章で異常洪水時防災操作に関する点検、第4章で特別防災操作に関する点検について示す。

第2章 事前放流に関する点検

2.1 点検の目的

計画規模を超える洪水等においても洪水調節機能を発揮させることを目的として、近年の降雨予測技術の進展を踏まえた事前放流の実施可能性について点検する。

【解説】

事前放流は、利水の共同事業者の権利を侵すことのないよう確実な容量回復が見込める範囲内で実施する必要がある。ここでは、「事前放流ガイドライン（案）」において事前放流により確保する空容量の範囲として定められる「降雨解析などにより確実に容量回復が見込める容量の活用」について、近年の降雨予測技術による予測雨量を用いた検討を通じ、事前放流の実施可能性について点検する。

なお、点検で整理したデータを含め、今後とも降雨予測、水文量のデータを蓄積することが望ましい。

2.2 対象ダム

直轄・水資源機構管理ダムのうち、洪水調節を目的に有するダムを対象とする。

【解説】

ここでは、事前放流実施要領が未策定のダムだけでなく、事前放流実施要領が策定済のダムについても、近年の雨量予測精度の向上に伴い事前放流を実施できる容量の増加が期待されることから点検を実施する。

2.3 点検内容

「国土交通省所管ダムにおける事前放流の実施について」（平成17年3月30日付け河川環境課長通知）の別記「事前放流ガイドライン（案）」において事前放流により確保する空容量の範囲として定められる「降雨解析などにより確実に容量回復が見込める容量の活用」について、近年の降雨予測技術による予測雨量を使用して検討する。

【解説】

1. 「降雨解析などにより確実に容量回復が見込める容量の活用」の検討方法

「事前放流ガイドライン（案）及び同解説」において、「降雨解析などにより確実に容量回復が見込める容量の活用」については「事前放流検討の手引き（1次案）」を参考にすることが述べられている。

同手引きにおいては「回復可能水位テーブル」に基づく事前放流実施方法が定められている。ここで、回復可能水位は事前放流の目安となる水位であり、回復可能水位テーブルは図2-1に示す通り、縦軸に示される実績の累積雨量規模および横軸に示される予測雨量ランクに対応する回復可能水位を表示したものである。使用方法は、洪水調節開始前の任意の時間における累積雨量およびその時点で発表されている予測雨量の情報を収集し、それに対応する回復可能水位をテーブルから読み取り、その水位まで事前放流を実施するという順序で利用する。また、事前放流だけでなく利水容量に空容量がある場合の洪水調節開始前の水位維

持操作にも利用することができる。

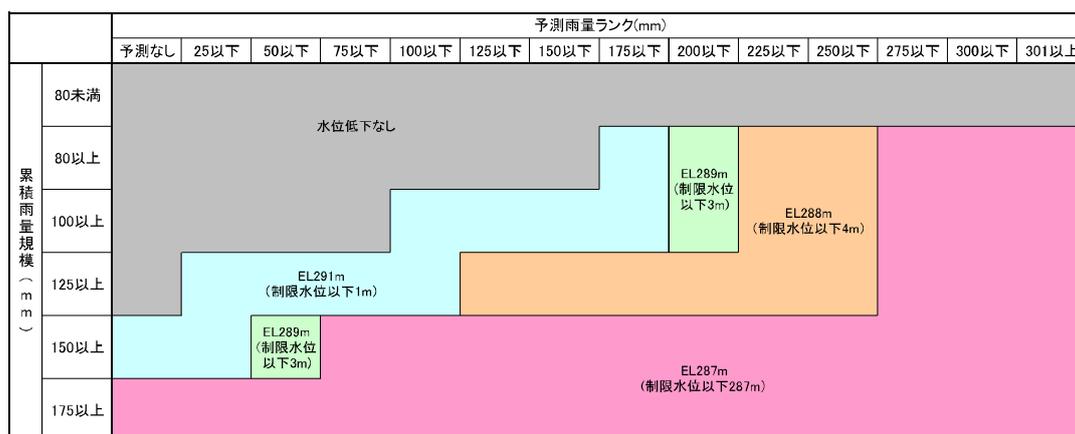


図 2-1 回復可能水位テーブルの例

2. 回復可能水位テーブル作成手順の概略

回復可能水位テーブルは、過去の出水に関する実績雨量、予測雨量および流入量を基に作成される。図 2-1 の累積雨量規模「100 以上」を例にして回復可能水位テーブルの作成手順の概要を示す。

- 1) 100 mm 以上の累積雨量が観測された過去の出水を抽出する。
- 2) 対象ダムについて、1) で抽出した出水に関する流入量を用いて出水毎に回復可能量を算出する。ここで回復可能量は、「①洪水調節で貯留することのできる容量(図 2-2)」および「②洪水調節および減水期間で貯留することのできる容量(図 2-3)」という 2 種類の考え方がある。
- 3) 予測雨量の大きさに関するランクを設定する。この事例では 25 mm 毎にランクを設定し、ランクの小さい方から「予測なし」、「25 以下」、「50 以下」、「75 以下」…「301 以上」と設定する。
- 4) 1) で抽出した各出水について、実績累積雨量が 100 mm 以上になった以前において発表された最大の予測雨量を整理する。
- 5) 各予測雨量ランクについて、4) においてその予測雨量ランクを超える予測雨量が発表された出水の中で最小の回復可能量を選定する。この値をその予測雨量ランクにおける事前放流実施容量とし、この容量を洪水貯留準備水位相当容量から引き、水位に変換した値を回復可能水位とする。

上記整理を、その他の累積雨量規模についても繰り返し行うことで図 2-1 に示される回復可能水位テーブルが作成される。

上記整理により設定された回復可能水位は、任意の累積雨量および任意の予測雨量における事前放流実施容量を、同程度以上の予測雨量が発表された過去の出水の中で最も少ない回復可能量(最も貯留が少なかった容量)として定めており、事前放流を行いつつも洪水貯留準備水位までの確実な貯水位回復を意識したものとなっている。

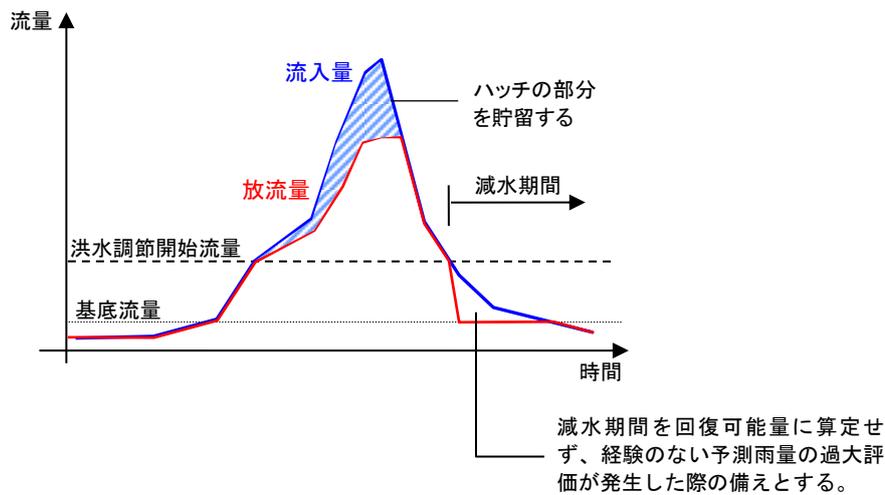


図 2-2 回復可能量の考え方 (①洪水調節で貯留することのできる容量)

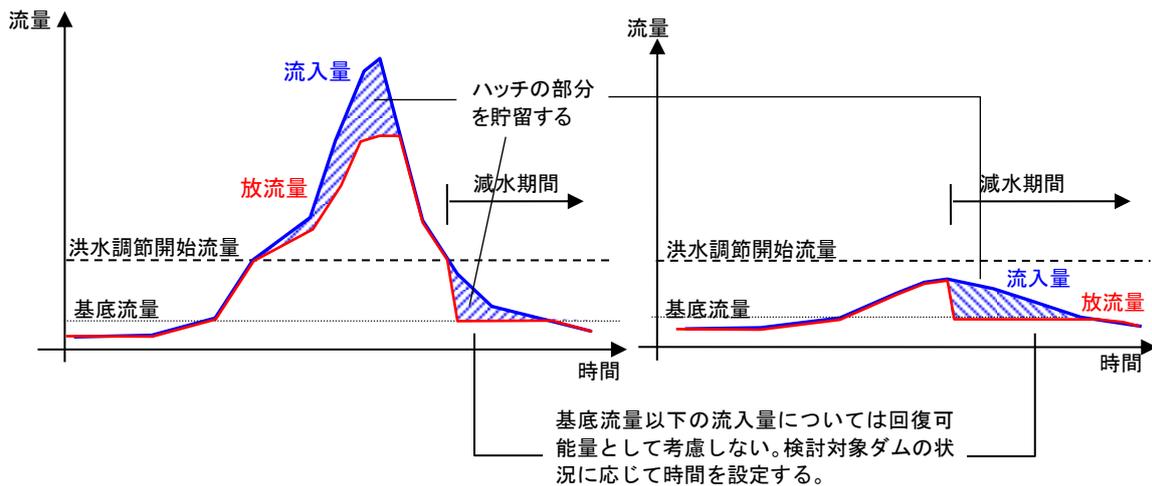


図 2-3 回復可能量の考え方 (②洪水調節及び減水期間で貯留することのできる容量)

3. 回復可能量の算定方法の違いによる事前放流の実施頻度および容量

2. 2) では回復可能量の算定方法について「①洪水調節で貯留することのできる容量 (図 2-2)」および「②洪水調節および減水期間で貯留することのできる容量 (図 2-3)」とする 2 種類の考え方について示しており、①および②で事前放流の実施頻度および容量が異なる。

「①洪水調節で貯留することのできる容量」の場合

減水期間における貯留量を回復可能量に算入していないため、②の考え方と比較して事前放流の実施頻度および容量が少なくなる。

過去の出水において経験のない規模で雨量が過大に予測され、事前放流を実施した後に洪水貯留準備水位まで貯水位が回復しないおそれがある出水においても、減水期間において貯留することで貯水位回復に努めることができる。その一方で、事前放流実施容

量が少なくなることから異常洪水時防災操作を回避すること及び開始を遅らせることに関する効果が小さくなる。

「②洪水調節及び減水期間で貯留することのできる容量」の場合

①の考え方と比較して減水期間を考慮する分だけ回復可能量が多くなり、事前放流の実施頻度および容量が多くなる。

事前放流実施容量が多くなることから異常洪水時防災操作を回避すること及び開始を遅らせることに関する効果も大きくなる。その一方で、減水期間における貯留量を含めて事前放流するため、過去の出水において経験のない規模で雨量が過大に予測された出水が発生した場合には、事前放流実施後に減水期間における貯留を実施しても洪水貯留準備水位まで貯水位が回復しないおそれがある。

4. 近年の降雨予測技術による予測雨量を用いた回復可能水位テーブルの作成および評価

近年の降雨予測技術による予測雨量を利用し、2. で示した手順に従って回復可能水位テーブルを作成する。3. で述べた通り、回復可能量の算定方法によって事前放流の実施頻度および容量が異なる。ここでは、最初に「①洪水調節で貯留することのできる容量」について回復可能水位テーブルを作成し、過去の出水について事前放流の実施頻度および事前放流シミュレーションを通じてその効果を評価する。ここでの評価の結果、満足な結果が得られない場合においては「②洪水調節及び減水期間で貯留することのできる容量」について回復可能水位テーブルの作成および評価を行う。

なお、事前放流により確保する対象容量の最大限度として、降雨解析などにより確実に容量回復が見込める容量の検討に加え、未利用容量及び不特定容量、死水容量についての確認、放流設備の施設諸元から定まる限度の確認を行う。

5. 事前放流実施要領の作成又は改訂

事前放流を導入しようとする場合や、現行の事前放流方法を変更しようとする場合は、点検内容に加え、ダム施設及び貯水池の安全その他管理上の留意事項について、専門家の意見を聞いた上で、所定の手続きにより事前放流実施要領を作成又は改訂する。なお、事前放流は利水容量を活用して実施することから、4. の評価結果をふまえ、利水の共同事業者と十分調整した上で導入する。

第3章 異常洪水時防災操作に関する点検

3.1 点検の目的

計画規模を超える洪水に対しダム洪水調節容量を可能な限り使用し、洪水のピークを低減させる、あるいは遅らせることを目的として、異常洪水時防災操作について点検を行う。

【解説】

現在の異常洪水時防災操作は、「計画規模を超える洪水時におけるただし書き操作の運用の改訂について（昭和59年6月29日）」が通達され、その中に位置づけられている「ただし書き操作要領作成要領」に基づいて予め要領を作成し、地方整備局長等の承認を経て実施することが定められている。

本通達に基づく現行の異常洪水時防災操作においては、「貯水位がただし書き操作開始水位に達し、今後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」に異常洪水時防災操作に移行するものとされているが、貯留量の予測の不確定性等から結果的に洪水調節容量を十分に使用できなかった事例も存在する。その一方で、平成25年台風18号時の日吉ダム操作のように、異常洪水時防災操作の開始を遅らせることで洪水調節容量を全て使用し下流の被害軽減に貢献した事例がある。また先述の通達以降、異常洪水時防災操作の方式が複数提案されており、方式によってはダムからの放流量を現行の操作方式より低減できる場合があることが分かっている。

ここでは、計画規模を超える洪水もダムに可能な限り貯留し、洪水のピークを低減させる、あるいは遅らせることを目的として、異常洪水時防災操作について点検を行う。

3.2 対象ダム

直轄・水資源機構管理ダムのうち、異常洪水時防災操作を行うダムを対象とする。

【解説】

ここでは、異常洪水時防災操作を行うダムを対象とし、自然調節方式のダムは対象としない。

3.3 点検内容

現行操作方式による異常洪水時防災操作の開始水位について点検する。また必要に応じて「計画規模を超える洪水時におけるただし書き操作の運用の改訂について」（昭和59年6月29日河川局長通達）以降提案された異常洪水時防災操作方式の適用性について検討する。

【解説】

1. 種々の異常洪水時防災操作方式および基本的な考え方

「計画規模を超える洪水時におけるただし書き操作の運用の改訂について」（昭和59年6月29日河川局長通達）以降提案された異常洪水時防災操作方式（以下、「他方式の異常洪水時防災操作」という）として、本要領では、必要最小放流量方式、VR方式、放流量曲線逐次見直し方式および限界操作方式を対象とする。現行の操作方式を含め、それぞれの操作方式の基本的な考え方は以下の通りである。

- 現行の異常洪水時防災操作方式

放流量が流入量と等しくなるまでの間、予め定めた貯水位に対応したゲート開度に基づいてゲート操作を行う方式である。

放流量の決定に必要な情報は貯水位のみであり、操作が簡便である。流入量の大きさに関係なく放流量を増加させて流入量にすり付けるよう操作するため、これまでの実施実績の中には結果的に洪水調節容量を十分に使用できなかった事例も存在する。

予め必要な準備：貯水位－ゲート開度対応表の作成

操作開始時および操作中の放流量決定に必要な情報：貯水位

- 必要最小放流量方式

任意の流入量・貯水位から一定割合で流入量がダム設計洪水流量まで増加・継続した際に、規定に定められたゲート操作を行って設計洪水水位でダム設計洪水流量を放流するために現時点で最低でも放流しなければいけない放流量（必要最小放流量）を定めたテーブル（必要最小放流量テーブル）を作成し、このテーブルに基づいて操作を行う方式である。

流入量が任意の値からダム設計洪水流量まで上昇する場合においても設計最高水位におけるダム設計洪水流量の放流が満足される操作方式であるため、操作中に流入量が減少から増加に転じる場合においても必要最小放流量テーブルに則った操作を実施することで適切に操作が行われる。流入量の増加割合が必要最小放流量テーブルの作成において想定した増加割合を上回る場合、操作の遅れが生じるおそれがある。

予め必要な準備：必要最小放流量テーブルの作成

操作開始時および操作中の放流量決定に必要な情報：貯水位、流入量

- VR 方式

過去の実績流入量等から作成される流入量逡減期の基準流入波形に基づいて、異常洪水時防災操作開始以降の任意の時点以降の総流入量を予測し、その時点の空容量との大小関係から放流量を決定する方式である。

基準流入波形は流入量の逡減期に関する流入量予測に用いられるものであるため、ピーク以降の流入量が単調に減少する洪水に対しては時々刻々放流量を見直して洪水調節容量を多く使用することで洪水調節効果を高めることが期待できる。そのため、気象観測、予測情報を参考にして、流入量の減少が見込まれる場合に実施することが望ましい。操作中に流入量が減少から増加に転じると、単調な減少を仮定する基準流入波形と実際の流入量との乖離が大きくなるため、操作遅れが生じるおそれがある。このため、二山洪水等に対する留意が必要となる。

予め必要な準備：基準流入波形の設定、放流率テーブルの作成

操作開始時および操作中の放流量決定に必要な情報：貯水位、流入量

その他必要な情報：気象観測、予測情報

- 放流量曲線逐次見直し方式

貯水位が異常洪水時防災操作の開始水位を超えた後、流入量がピークを過ぎて逡減している場合、60分毎にその時点における流入量を洪水時最高水位で放流するように放流量曲線を設定する操作方式である。

流入量が単調に減少する洪水に対しては、60分毎に放流量曲線を設定し、放流量を決定して洪水調節容量を多く使用することで洪水調節効果を高めることが期待できる。そのため、気象観測、予測情報を参考に、流入量の減少が見込まれる場合に実施することが望ましい。流入量が逡減することを前提とした操作方式であるため、操作中に流入量が減少から増加に転じる場合は、洪水時最高水位における放流量の目標値を計画高水流量とするよう放流量曲線を設定しなおす等の留意が必要となる。

操作開始時および操作中の放流量決定に必要な情報：貯水位、流入量

その他必要な情報：気象観測、予測情報

- 限界操作方式

「限界流入量」と呼ばれる変数を、下流河道の水位流量曲線の定数、流入量、放流量等を基に解析的に求め、流入量はその限界流入量を上回った段階で異常洪水時防災操作の放流を開始することで、下流の水位上昇速度を目標値以下に抑えることができる操作方式である。流入波形によっては、目標とする下流の水位上昇速度を遅く設定すると洪水調節効果が適切に得られないおそれがある。また、放流量を計算する放流関数（通常、貯水位の2乗の関数で表される）の定数の値を、洪水毎に算定する必要がある。

操作開始決定に必要な情報：貯水位、流入量、放流量、下流水位上昇速度の目標値

操作中の放流量決定に必要な情報：貯水位

2. 異常洪水時防災操作に関する点検のフロー

ここでの点検は、最初に貯水位の情報のみで操作を実施できる現行操作方式の異常洪水時防災操作の開始水位について検討を行う。その後必要に応じて、貯水位に加えて流入量をはじめとした追加情報を活用することで洪水調節容量をより効果的に利用するなど高度な操作を目的とする他方式の異常洪水時防災操作の導入可能性について検討を行うものとする。具体的には図 3-1 のフローに基づいて実施することを基本とする。

1) 異常洪水時防災操作の開始水位の検討（図 3-1 ①～②）

最初に、異常洪水時防災操作の開始水位の候補となる水位について、現行の開始水位および洪水時最高水位を含めて複数設定する。次に、設定したそれぞれの異常洪水時防災操作の開始水位について、例えばダム計画高水流入波形のピーク流量をダム設計洪水流量まで引き延ばした流入波形を対象として洪水調節計算を実施する。ここでの計算は、ゲート操作の休止時間を取らず全速で開操作を行うことを前提とする。得られた計算結果について、貯水位が設計最高水位を超過しない開始水位の中で最も

高位の開始水位を確認する。

2) 他方式の異常洪水時防災操作の導入検討 (図 3-1 ③～⑤)

1) の検討の後、必要に応じて 2) の検討を行うものとする。

例えばダムの計画高水流入波形のピーク流量をダム設計洪水流量まで引き延ばした流入波形を対象として、他方式の異常洪水時防災操作による洪水調節計算を実施する。なおここでは、異常洪水時防災操作中の放流量を決定するために流入量を把握する必要のない限界操作方式については、ゲート操作の休止時間を取らず全速で開操作を行うことを前提とする。また、計算条件である下流河川の水位上昇速度について複数設定して計算する。放流量を決定するために流入量を把握する必要がある方式(必要最小放流量方式、VR方式および放流量曲線逐次見直し方式)については、流入量把握のため必要なゲート休止時間を設定する。

この結果、貯水位が設計最高水位を超過しなかった操作方式を対象として、洪水調節容量の決定流入波形やその他実績流入波形を本則操作により洪水調節容量を使い切る程度に適切に引き延ばした流入波形に対する洪水調節計算を行う。

それぞれの操作方式の計算結果について洪水調節機能(ダムの最大放流量、下流評価地点における水位低下効果等)及びそれぞれの操作方式の基本的な考え方を勘案し、他方式の異常洪水時防災操作の適用性について評価する。

3. 異常洪水時防災操作要領の改訂

異常洪水時防災操作の開始水位を再設定しようとする場合や、新たな操作方式を導入しようとする場合は、点検内容に加え、ダム施設及び貯水池の安全その他管理上の留意事項について、専門家の意見を聞いた上で、所定の手続きによりただし書き操作要領を改訂する。

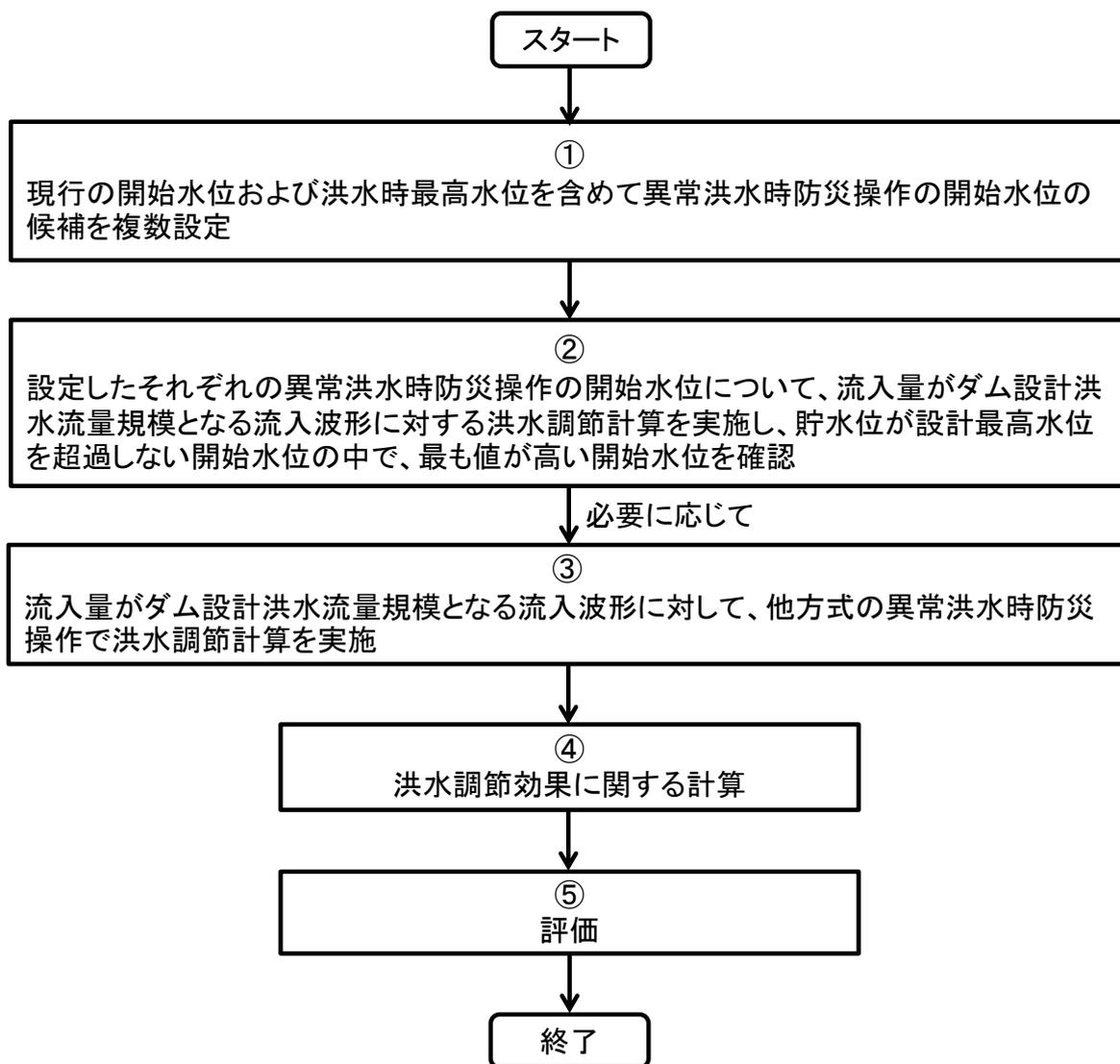


図 3-1 異常洪水時防災操作に関する点検フロー

第4章 特別防災操作に関する点検

4.1 点検の目的

下流河川において、洪水被害が発生し、又は発生するおそれがある場合に、降雨状況等を勘案しながら、ダムの洪水調節容量をより効果的・効率的に活用し、下流域の洪水被害をより軽減させる機能を発揮させることを目的として、特別防災操作の実施可能性について点検する。

【解説】

「大規模氾濫に対する減災のための治水対策のあり方について 答申（社会資本整備審議会、平成27年12月）」においては、「既設ダムにおける危機管理型運用方法の確立として下流河川の氾濫時又はそのおそれがある場合における操作方法等、危機管理型の運用方法について確立し、個々のダムの操作規則等への反映を図ること」が求められている。

そのため、特別防災操作を実施することが可能な設備を有するダムを対象として特別防災操作の実施可能性について点検する。

なお同点検によって、洪水に達しない流水の貯留の実施可能性についても確認されることとなる。

4.2 対象ダム

直轄・水資源機構管理ダムのうち、洪水調節を目的に有し、特別防災操作を実施することが可能なゲートを有するダムを対象とする。

【解説】

ここでは、自然調節方式以外のダム及び自然調節方式のダムにおいても常用洪水吐にゲートを有し、洪水調節時に操作可能なダムを対象とする。なお既に特別防災操作実施要領を策定している一部のダムにおいても、現行要領の精査として、点検を実施するものとする。

4.3 点検内容

気象水文観測・予測情報を踏まえた特別防災操作の実施可能性について点検する。

【解説】

1. 特別防災操作の点検手順

特別防災操作は、下流河川で洪水被害が発生又は発生するおそれがある場合において、洪水の終わりの見通しが相当程度確実と考えられる場合にのみ実施するものであり、気象水文観測・予測情報を基に開始・継続の判断を行うものである。図4-1は、特別防災操作の実施フローであり、特別防災操作の開始判断と継続判断に分けられる。ここでは、台風性や前線性の降雨による実績の出水について下記手順に沿った検討を通じ、特別防災操作の実施可能性について点検する。

- ① 下流河川で洪水被害が発生又は発生するおそれがあるかを雨量や水位情報を参考に判断する（※）。

- ② 気象庁の府県天気予報（明後日までの天気）および週間天気予報資料を参考に、現洪水に次ぐ洪水が発生するおそれがないか、又は現洪水に対する洪水調節によって貯留した容量を洪水貯留準備水位まで低下させるまでの期間に次の洪水の発生のおそれが無いこと確認する。
- ③ 現況の雨および今後（数時間先まで）の雨の予測に関する情報を基に、雨量のピークおよび降り終わりを確実に確認又は予測できるかについて確認する。ここでは、現況に至るまでの雨の推移および現況の雨の把握については国土交通省CバンドレーダおよびXRAINを用いることを基本とする。また、今後の雨の見通し（今後の雨域の移動、ダム流域の流域平均雨量の予測）については、6時間先までの予測雨量である降水短時間予報を用いることを基本とする。
- ④ 洪水の終了が見通せた場合、本則操作による放流を継続した場合に残貯水容量に余裕があるか確認する。残貯水容量に余裕がある場合、本則操作に基づく放流よりも放流量をカットできるか検討する。
- ⑤ 特別防災操作を開始した後は、ダム貯水位、流入量および下流河川の状況を把握しながら、天気予報や予測雨量が更新されるたびに次期洪水発生のおそれおよび今後数時間に予測される雨量について確認を行い、状況に変化がない場合は特別防災操作を継続する。下流河川で洪水被害の発生又は発生する恐れが解消された場合は下流に対する放流量の急増を防ぐ放流量の増加方法により特別防災操作を終了し、後期放流操作に移行する。また、再び雨が降るなど次の予測雨量の更新までに残貯水容量が不足する状況が予測される場合は、下流に対する放流量の急増を防ぐ放流量の増加方法により特別防災操作を終了する。

※近年、下流河川で洪水被害の発生又は発生するおそれがあった出水の実績がない場合でも②以降の検討を行う。

2. 特別防災操作の要領の作成

1. に基づいた検討を実施し、特別防災操作を導入しようとする場合は、点検内容に加え、ダム施設及び貯水池の安全その他管理上の留意事項について、専門家の意見を聞いた上で、所定の手続きにより特別防災操作に係る実施要領を作成する。

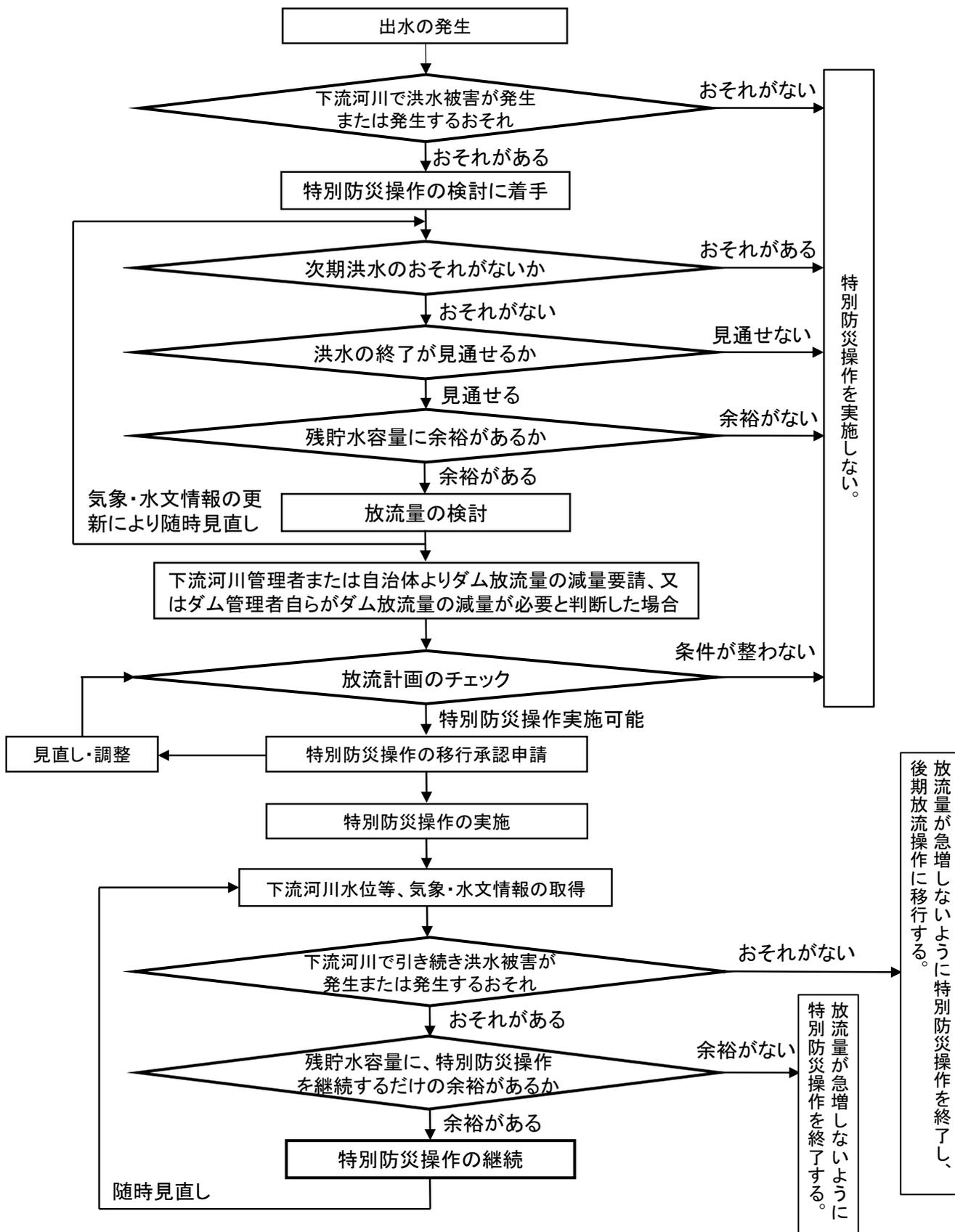


図 4-1 特別防災操作の実施フロー

.....

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of N I L I M

N o . 1028 March 2018

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

.....

本資料の転載・複写の問い合わせは

〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地

企画部研究評価・推進課 TEL 029-864-2675