

気象予測情報を適用した発電専用ダムにおける 流域の洪水被害軽減運用手法の検討

STUDY ON THE HYDROELECTRIC POWER DAM'S OPERATION
FOR REDUCING FLOOD DAMAGE
BY MEANS OF WEATHER FORECAST INFORMATION

高倉 秀幸¹・河田 暢亮²・中北 英一³・中津川 誠⁴
Hideyuki TAKAKURA, Nobuaki KAWATA, Eiichi NAKAKITA and Makoto NAKATSUGAWA

¹ 正会員 電源開発株式会社 土木建築部 (〒104-8165 東京都中央区銀座 6-15-1)

² 正会員 工博 電源開発株式会社 東日本支店 (〒350-1170 埼玉県川越市むさし野 37-77)

³ 正会員 工博 京都大学教授 防災研究所 (〒611-0011 宇治市五ヶ庄)

⁴ 正会員 工博 室蘭工業大学大学院工学研究科 (〒050-8585 室蘭市水元町 27-1)

In August 2016, Four typhoons hit Hokkaido continuously and the floods caused by the typhoons did extensive damage to the area. As a result of this event, social demands are increasing that even hydroelectric power dams, which have originally no function for flood-control, act as a flood-control dam. In this case, the accurate and long-term rainfall forecast is necessary.

In this study, a new flood-control method of a hydroelectric power dam is proposed in case of the Nukabira dam, using rainfall forecast of Japan Meteorological Agency's Global Spectral Model (GSM), Me-so-Scale Model (MSM) and the information.

Key Words: rainfall forecast, GSM, MSM, Reduction of dam flood discharge

1. はじめに

2016年8月、4つの台風が短期間に連続して北海道に襲来し、記録的洪水被害をもたらした。電源開発(株)が十勝川水系で運用する糠平ダムでも設計洪水量以上の流入量を記録したが、河川管理者と協議しながら洪水前にダム水位を予備放流水位以下に低下するとともに流水を最大限貯めるダム操作を行い、下流域の被害軽減に貢献した。当時の操作は地元から評価された一方、さらなる貢献を望む声もあり、電源開発(株)は被害軽減と電力供給責任を考慮しつつ、ダム操作の見直しを図ることとした。糠平ダムは、治水を目的としない発電専用ダムであり、貢献できることには限度があるが、今般、気象予測情報を適用した洪水被害軽減のためのダム運用手法を案出し、実務への適用性を評価したことから本論文にて報告する。

水力発電は水の位置エネルギーを利用して電気を生み出すため、水位を高くして貯水池を運用することが多い。一方、洪水調節の点では、洪水時に多くの流水を貯留するためダム水位は低い方が望ましい。このため発電専用ダムが洪水被害軽減に協力するには、普段は水位を高くして発電を行い、洪水が予測された場合に水位を下げる

必要がある。ただし水位低下には時間を要し、洪水到達前までに目標水位へ下げるには、信頼性が高くリードタイムの長い気象予測情報が必要となる。

気象庁からは、表-1に示すような数値予報 GPV が公表されており、これらを適用した洪水調節方法についてはいくつかの研究が行われている。松原他¹⁾²⁾は、2011年台風第12号豪雨災害を機に、熊野川流域の発電専用ダムを対象として、台風情報と気象庁 GSM を活用した放流量低減手法を提案し、実証している。

今回案出した手法は、2016年8月台風のように連続した大雨事象への適用を想定している。先行降雨に伴う洪水吐ゲート(以下、「ゲート」という)放流中、さらに後続降雨による洪水が予想される場合、発電とゲート放流によりダム水位を下げるものである。適用する気象予測情報は、予測精度の高い気象庁 MSM とリードタイム

表-1 気象庁の数値予報 GPV(Grid Point Value)の種類

モデル	降水短時間予報	LFM	MSM	GSM	
予測時間	6h	9h	39h	84h	192h
配信間隔	30m	1h	3h	6h	24h
水平解像度	1km	2km	5km	20km	

の長い気象庁 GSM を降雨予測情報として用いる。また、台風がダム流域の西側を通過すると大雨となる傾向があるため、台風情報を併用する。

2. 十勝川流域とダムの概要

十勝川は流路延長 156km、流域面積 9,010km²の一級河川である。図-1 のとおり、流域には電源開発株のダムが 6 箇所、国土交通省、北海道および北海道電力株のダムが各 3 箇所あり、本手法で対象とした糠平ダムは十勝川支川の音更川上流に位置する。表-2 が糠平ダム、国土交通省所管の多目的ダムである十勝ダム、札内川ダムの主要諸元であり、糠平ダムは洪水調節機能をもつ十勝ダムや札内川ダムと同等以上の貯水容量を有している。図-2 に糠平ダムの貯水池諸元のイメージを示す。

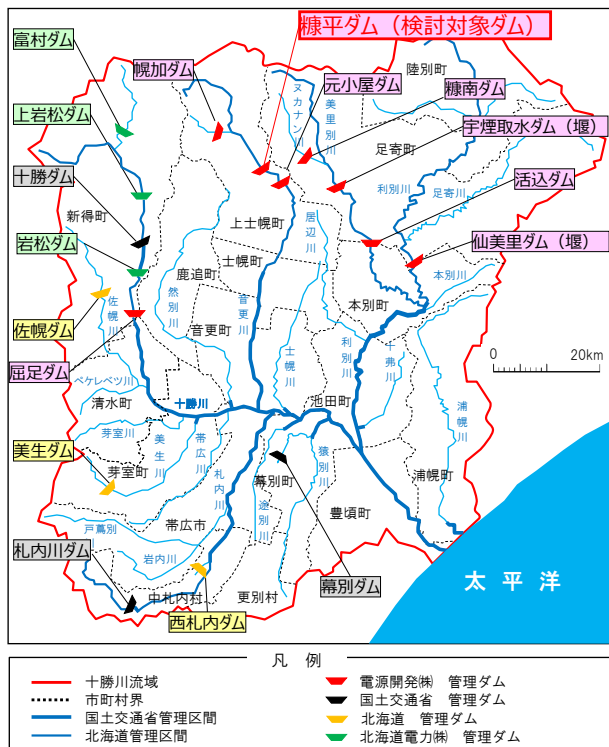


図-1 十勝川流域図

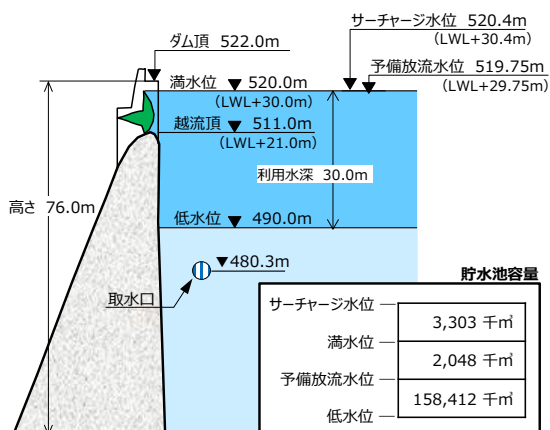


図-2 糠平ダム 貯水池諸元

表-2 十勝川流域の主なダムの諸元

ダム	高さ (m)	堤頂長 (m)	総貯水容量 (×10 ³ m ³)	有効貯水容量 (×10 ³ m ³)
糠平	76.0	293.0	193,900	160,500
十勝	84.3	443.0	112,000	88,000 (80,000)
札内川	114.0	300.0	54,000	42,000 (25,000)

※有効貯水容量の下段 () 内は洪水調節容量を示す

表-3 流域平均総雨量 (解析雨量)

台風	最接近距離	流域平均総雨量
第7号	103 km (西)	173 mm (8/15 0時～8/18 6時)
第11号	111 km (東)	166 mm (8/19 7時～8/22 0時)
第9号	53 km (東)	104 mm (8/22 1時～8/23 9時)
第10号	351 km (西)	236 mm (8/28 13時～9/1 23時)

3. 2016 年連続台風襲来時の雨量とダム流入量

(1) 連続台風襲来の原因と総雨量

2016 年 8 月に 4 つの台風 (7, 11, 9, 10 号) が連続して襲来した主な原因として、札幌管区気象台は、2016 年 8 月は太平洋高気圧の日本付近への張り出しが弱かったことを挙げている³⁾。糠平ダム流域における当時の流域平均総雨量 (気象庁解析雨量) が表-3 であり、台風第 10 号の時に最も雨量が多かった。台風第 10 号時の総雨量分布が図-3 であるが、北海道南東から暖かく湿った空気が流れ込み、日高山脈東斜面や大雪山系南斜面周辺で雨雲が形成・発達し、総雨量 200mm 超の大雨となったものであり、地形性降雨と言われている。

(2) 糠平ダム流域の雨量とダム流入量の経時変化

糠平ダム流域における過去主要降雨時の積算雨量およびダム流入量の経時変化を図-4, 5 に示す。図-4 は雨量のピーク発生時から 15 日前までの積算雨量を示しており、2016 年の台風では過去事例と比べ、雨量ピーク発生までの 2 週間で非常に多くの雨が降ったことがわかる。また図-5 によれば、2016 年台風第 10 号時のダム

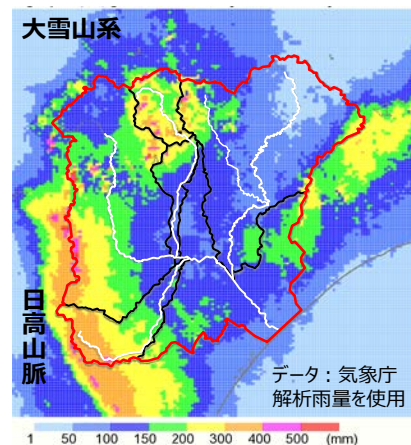


図-3 十勝川流域 総雨量分布 (台風第 10 号)

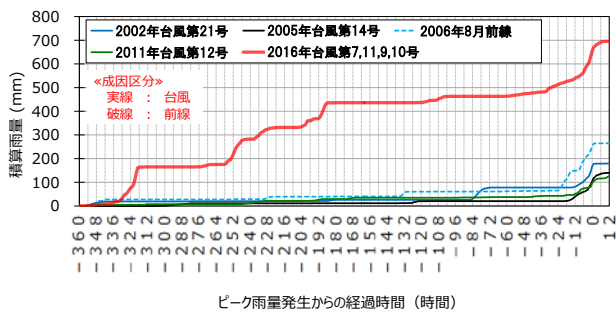


図-4 過去主要降雨時の積算雨量の比較

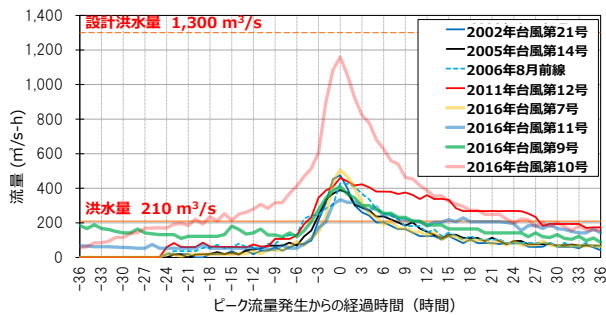


図-5 過去主要降雨時の糠平ダム流入量の比較

流入量が他の事例と比べて突出して大きい。これは、先行の台風第7号、11号、9号の降雨で地山が飽和し、雨水が流出しやすい状態であったことが原因と考えられる。

4. 放流量低減方法と水位低下開始基準の考え方

(1) 放流量低減方法

発電専用ダムは洪水調節機能をもたない一方、ダム設置に伴う治水上の影響に対して、河川の従前の機能を維持する義務がある。大きな貯水池を形成するダムの場合、洪水伝播速度が増大することに対して遅らせ操作を行う。遅らせ操作とは流入量の変化に対して一定時間遅らせて放流し、ダムの影響で下流の洪水到達時刻が早まらないようにする操作である。なお、糠平ダムでは遅らせ操作で流入量を一時的に貯留するための容量は、予備放流水位とサーチャージ水位の間で確保している。

図-6 は遅らせ時間の延長による放流量低減イメージである。遅らせ操作では流入量が最大となった後、流入量最大時の放流量で一定放流を行っているが、図-6 のとおり遅らせ時間を延伸することで放流量を低減する方法を本手法において採用した。

遅らせ時間を延伸するには標準操作に比べて多くの流入水を貯水池に貯めるため、事前に予備放流水位以下にダム水位を下げて空容量を確保しておく必要がある。

(2) 水位低下操作開始基準

水位低下操作開始基準は降雨予測情報と台風進路予報を組み合わせたものとする。今回の手法では連続する大

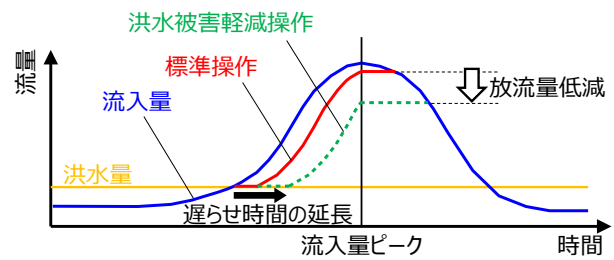


図-6 遅らせ時間の延長による放流量低減イメージ

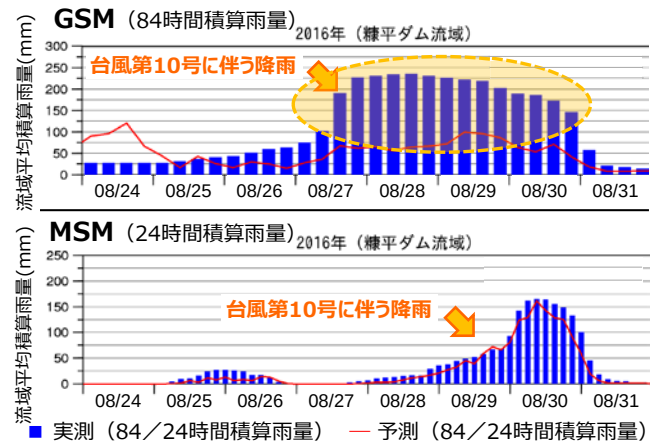


図-7 台風第10号時の降雨予測精度(積算雨量)

雨を条件とし、先行降雨の出水でゲート放流中に、後続降雨によって大規模出水が予想される場合に水位低下を実施する。後続降雨の規模については、糠平ダム下流河川における現況流下能力を勘案し、ダムへの最大流入量が $600\text{m}^3/\text{s}$ 以上となる総雨量を条件とした。

なお単発降雨の場合は、降雨開始時点での地山水分量が多くないため大規模出水になりにくい。また糠平ダムでは年間で高水位となる期間が限られており、常時ある程度の空容量を有している。したがって、単発降雨に対しては現行操作規程を基本としたこれまでの操作で安全に放流できる見通しがあり、本検討では適用除外とした。

台風第10号の流入量に対し、下流に安全な流量で放流しつつ水位を下げる場合、予備放流水位 29.75m から 28.0m (台風第10号時の実績) まで下げるのに約40時間を要する。放流準備等にかかる時間を含めると2～3日前に水位低下操作を判断する必要があるため、気象予測情報には数日先までのリードタイムが求められる。また見逃しや空振りを抑えるには、当然精度が高いことも重要である。

表-1 のとおり、数日先までの降雨予測としては GSM と MSM があり、リードタイムの点では GSM が適している。一方精度の点では、図-7 のとおり MSM が優れている。したがって本手法では GSM 基準で水位を低下させた後、さらに MSM 基準でもう一段階水位を下げる二段階操作を適用することとした。また台風情報としては3～5日先までの台風進路予報を適用する。

5. 予備検討

(1) 糠平ダム流域における飽和雨量

2016年8月、先行する台風第7号、11号、9号の降雨で地山が飽和状態となり、10号の時には雨水のほとんどが地表を流れて大規模出水になったと考えられる。このことから糠平ダム流域の飽和雨量について検討した。

先行降雨の影響を考慮した2週間総雨量と総流出高の関係が図-8である。総雨量165mm付近から流出率を示す回帰直線の勾配が変化し、流出率が1に近くなることから、糠平ダム流域の飽和雨量を165mmと評価した。また総雨量165mm以上でダム流入量が洪水量210m³/s以上となる事例が多いことも見てとれる。洪水量以上の流入になればゲート放流となる可能性が高まる。実際、過去にゲート放流となった事例はすべて総雨量が165mm以上となった事例である。これより、本手法で条件とした『先行降雨の出水でゲート放流中』という状態は、165mm以上の先行降雨があった時とみなすこととした。

(2) 本手法を適用する大雨事象の考え方

2週間総雨量とダム最大流入量の関係が図-9である。最大流入量が洪水量以上となった事例に着目すると、最大流入量は総雨量とともに増加する傾向があるが、破線に示すようなバラツキがあり、水位低下開始基準値の設定においては考慮する必要がある。図-9によれば、総雨量が265mm以上となれば、最大流入量が600m³/sを超える可能性がある。「総雨量265mm以上」を言い換えれば、「雨量が165mmに達して地山が飽和し、さらに100mm以上の雨が降れば最大流入量が600m³/sを超える可能性がある」と言うことができる。

本手法においては、『先行降雨の出水でゲート放流中』（先行降雨で雨量165mm以上となった状態）、さらに100mm以上の雨が降れば最大流入量が600m³/sを超える可能性があることとみなし、水位低下操作を実施することとする。

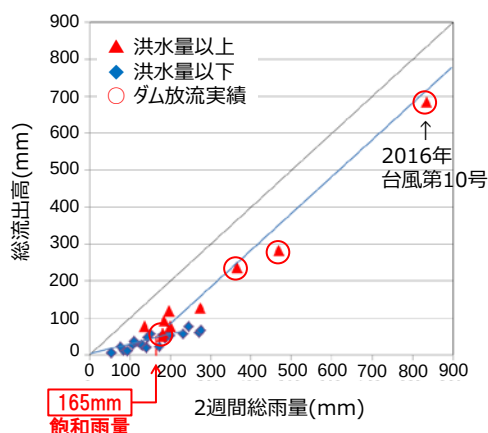


図-8 2週間総雨量と総流出高の関係

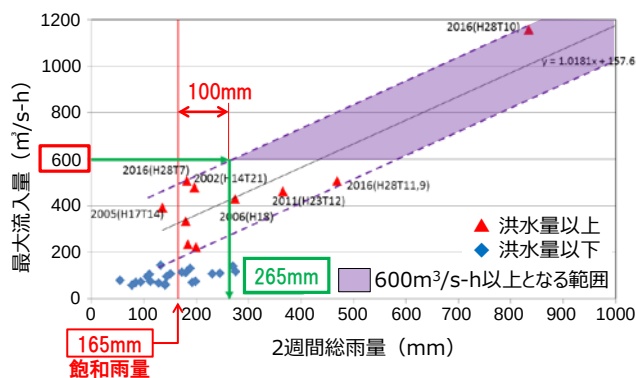


図-9 2週間総雨量と最大流入量の関係

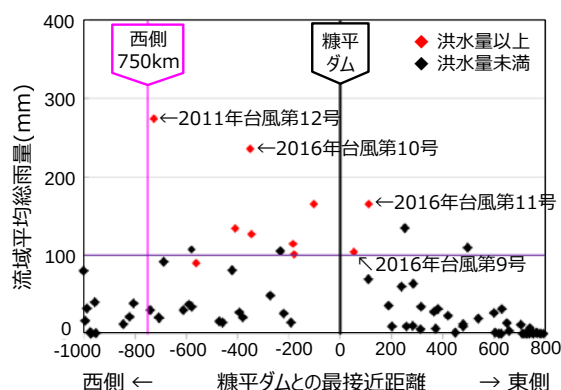


図-10 台風最接近距離と雨量の関係

(3) 糠平ダム流域に大雨をもたらす台風進路

糠平ダム流域での台風最接近距離と雨量の関係が図-10である。2016年台風第9号と11号は、降雨の原因が台風に刺激された前線であるため、これらを除いて考えれば、ダムから西側750kmまでの範囲を台風が通過すると、総雨量100mm以上の大雨になりやすい傾向が見られるため、これを台風進路の基準とする。

台風がダムの西側を通過する場合に大雨となるのは、台風通過時に北海道南東から暖かく湿った空気が流れ込み、日高山脈東斜面や大雪山系南斜面周辺で雨雲が形成・発達する地形性降雨の影響と考えられる。

6. 水位低下操作開始基準の設定

(1) 基準値の考え方

降雨予測の配信が始まった2008年以降の降雨を対象とし、総雨量100mm以上となった事例を整理したものが表-4である。表中の予測積算雨量は、GSMはダム流入量が洪水量に到達する時刻の3～4日前、MSMは1～2日前までに予測されたものの最大値である。全5事例のうち、2011年台風第12号と2016年台風第10号の降雨は総雨量が200mmを超えた事例であるが、地形性降雨の影響によって大雨となったものであり、予測雨量は著しく過小となった。

表-4 総雨量 100mm 以上の降雨事例 (2008 年以降)

年	降雨成因	流域平均総雨量(mm)	予測積算雨量(mm)	
			GSM	MSM
2011	台風第 12 号	278.4	64.2	43.7
2016	台風第 7 号	172.5	109.3	193.8
	台風第 11 号	165.6	187.2	142.1
	台風第 9 号	104.7	242.7	104.0
	台風第 10 号	235.7	36.6	84.5

このことから、5 事例を 2016 年台風第 7 号、11 号、9 号のタイプと、地形性降雨の影響を受けた 2011 年台風第 12 号、2016 年台風第 10 号のタイプに分け、各タイプを予測するのに適した基準値を設定することとした。

すなわち、前者には後述の基準値 A、後者には基準値 B を適用し、見逃しや空振りが少なくなるようにする。

(2) 降雨予測基準の設定

1) 基準値 A (地形性降雨の影響を受けないケース)

地形性降雨の影響がない 3 事例では、表-4 のとおり、GSM 予測最小値は 109.3mm、MSM 予測最小値は 104.0mm であり、基準値は安全側に 100mm と設定した。

2) 基準値 B (地形性降雨の影響を受けるケース)

地形性降雨の影響がある 2 事例では、表-4 のとおり、GSM 予測最小値 36.6mm、MSM 予測最小値 43.7mm であり、基準値はそれぞれ 30mm、40mm と設定した。ただし、台風進路予報を併用する。

(3) 台風進路基準

5. (3) のとおり、台風進路に関する判断基準については、台風中心位置が糠平ダム西側 750km の範囲を通過するか否かとする。それに際し、次に示す条件の下、台風進路予報の精度を確認した。結果を表-5 に示す。的中率は 80%以上 (最接近時刻の 3 日前の予報のみでは 35%程度) であり、適用性があると判断した。

【精度評価条件】

対象台風：台風情報が入手可能な 1994 年以降で、糠平ダム西側 750km 以内に台風として接近もしくは接近予報がでた台風 (49 事例)
 的中条件：最接近時刻の 2~3 日前の予報で台風の接近を予測し、実際に接近したもの

表-5 台風進路予報の的中割合

	事例数	割合
的中	40 (17)	82% (35%)
空振り	3 (2)	6% (4%)
見逃し	6 (30)	12% (61%)
合計	49	

※()内の数字は 3 日前予報のみを評価した場合の値

【前提条件】先行降雨の出水でゲート放流中

	糠平流域 予測積算雨量	台風進路予報 (中心位置)
第1段階 水位低下 開始基準①	GSM (84時間) 100mm 以上	
	もしくは GSM (84時間) 30mm 以上	かつ 糠平ダム西側 半径750km内通過
第2段階 水位低下 開始基準②	MSM (39時間) 100mm 以上	
	もしくは MSM (39時間) 40mm 以上	かつ 糠平ダム西側 半径750km内通過

図-11 水位低下開始基準

表-6 基準の妥当性検証結果

基準①： GSM 基準	実 績		基準②： MSM 基準	実 績	
	100mm 以上	100mm 未満		100mm 以上	100mm 未満
基準到達	6(a)	20(b)	基準到達	6(a)	9(b)
基準未達	0(c)	177(d)	基準未達	0(c)	188(d)
的中率：	90.1% (=a/(a+d)/N)		的中率：	95.6% (=a/(a+d)/N)	
捕捉率：	100.0% (=a/(a+c))		捕捉率：	100.0% (=a/(a+c))	
一致率：	23.1% (=a/(a+b))		一致率：	40.0% (=a/(a+b))	

(4) 水位低下操作開始基準と妥当性の検証

本手法の水位低下操作開始基準を図-11 に示す。竣工後、ゲート放流中に後続台風で大規模出水となった実績は 2016 年の台風第 9 号、11 号、10 号のみであり、これらは水位低下操作開始基準の条件に該当する。

ここでは前提条件『先行降雨の出水でゲート放流中』を外し、降雨予測の配信が始まった 2008 年以降の台風 (N=203 事例) に対し、総雨量 100mm 以上の降雨を捕捉できるかの検証を行った。結果は表-6 のとおり捕捉率 100%であり、見逃しが無いことを確認した。

7. 放流量低減方法

(1) 目標低下水位の設定

本手法では水位低下操作を二段階で行い、目標水位①は台風第 10 号での実績から 28.0m とした。また目標水位②は、表-4 の 5 事例を対象に水位低下シミュレーションを行い、確実に低下可能な水位として 27.5m とした。水位低下によって確保される空容量を表-7 に示す。

表-7 水位低下で確保される空容量

	ダム水位	空容量
予備放流水位	29.75m	5,400 千 m ³
目標水位①	28.00m	19,400 千 m ³
目標水位②	27.50m	23,200 千 m ³

※空容量はサーチャージ水位 (30.4m) までの間の空容量

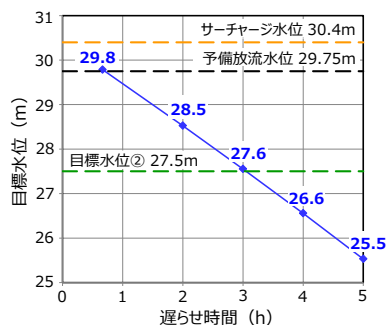


図-12 遅らせ時間と目標低下水位

(2) 遅らせ時間の設定

遅らせ時間とその遅らせ操作に必要な空容量から求めた水位の関係が図-12 である。なお必要な空容量は、1 山目を設計洪水量 $1,300 \text{ m}^3/\text{s}$ の 8 割流量、2 山目を設計洪水量とした 2 山波形の出水を対象として算出している。

糠平ダムの場合、現行操作規程の遅らせ時間は 40 分であるが、目標水位②まで水位低下させた時の空容量を用いれば、図-12 より 3 時間まで延伸できるため、本手法に適用する遅らせ時間は 3 時間と設定した。

8. 効果の検証

本手法の効果を台風第 10 号を対象としたシミュレーションで検証した結果が図-13 である。これによれば、現行操作規程による操作と比較して最大放流量を約 $500 \text{ m}^3/\text{s-h}$ (h: 時間平均の意) 低減できるうえ、一連の放流操作を完了した後のダム水位にはまだ余裕があるため、操作の工夫でさらに放流量を低減できる余地もある。

9. まとめ

糠平ダムを対象として気象予測情報を適用した洪水被害軽減のためのダム運用手法を案出し、その放流量低減効果および実務への適用性について評価した。

本手法は国土交通省北海道開発局の承認を得て、2017 年 9 月から実際のダム運用に適用している。降雨予測基準は、現在の予測精度を踏まえた基準となっていることから、今後の予測精度向上に応じて、適宜、基準値の見直しを行う予定である。

最後に、本手法の運用に向け、京都大学名誉教授 池淵周一先生より御指導、御助言をいただきましたこと、心より御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 松原隆之, 笠原覚, 嶋田善多, 中北英一, 土田和稔, 高田望: 台風情報と全球数値予報モデル (GSM) によるダム運用の改善に関する基礎検討, 土木学会論文集 B1 (水工学) Vol.69, No.4, I _367-372, 2013.
- 2) 松原隆之, 梶啓介, 池口幸宏, 中北英一, 土田和稔: 気象庁降雨予測 (GSM) と台風情報を活用した発電専用ダムの運用高度化手法の実証, 土木学会論文集 B1 (水工学) Vol.72, No.4, I _1195-1200, 2016.
- 3) 気象庁札幌管区气象台: 《顕著な天候事例》台風と前線による記録的多雨 (2016 年 8 月), http://www.jma-net.go.jp/sapporo/tenki/kikou/tokucho/kencho_summer2016.html

(2018. 4. 3 受付)

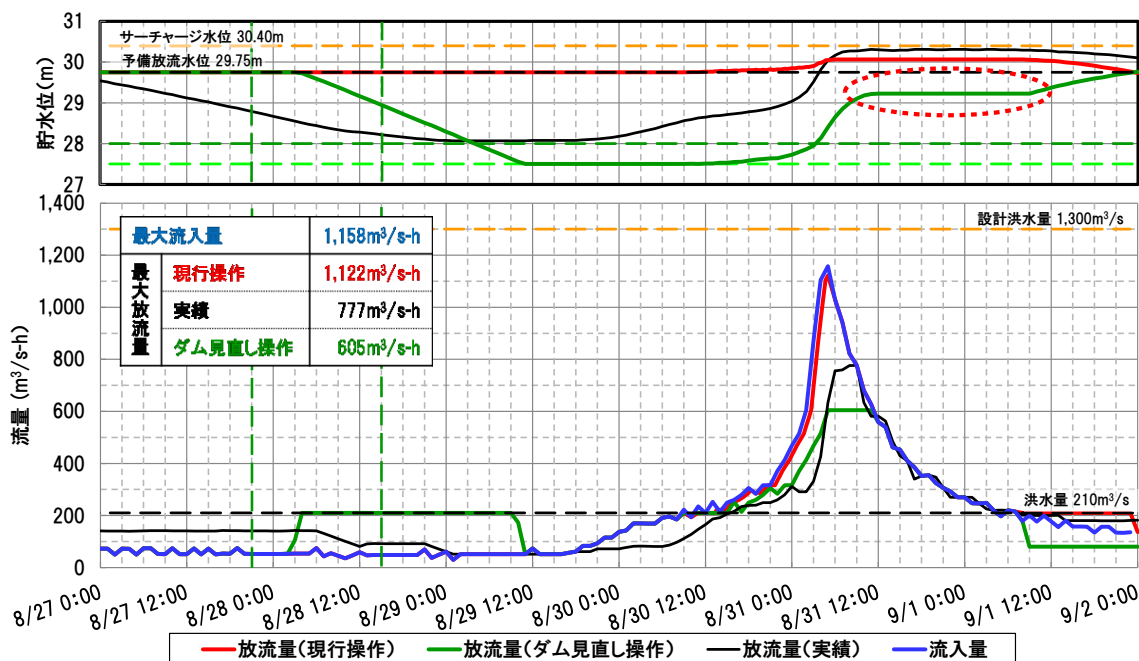


図-13 放流量低減効果の検証 (2016 年台風第 10 号)