

旭川水系河川整備基本方針

基本高水等に関する資料

令和6年3月

国土交通省 水管理・国土保全局

目 次

	頁
1. 基本高水の検討	1
1-1 工事実施基本計画	1
1-2 河川整備基本方針	1
1-3 河川整備基本方針策定後の状況	2
1-4 流出解析モデルの確認	3
1-5 基本高水のピーク流量の設定	8
1-6 対象降雨の継続時間の設定	8
1-7 河川の整備の目標となる洪水の規模及び対象降雨の降雨量の設定	18
1-8 主要降雨波形の設定	22
1-9 対象降雨の地域分布及び時間分布の検討	24
1-10 主要洪水における降雨量（気候変動考慮）の引き伸ばしと流出計算	27
1-11 アンサンブル予測降雨波形による検討	34
1-12 既往洪水からの検討	46
1-13 総合的判断による基本高水のピーク流量の決定	47
2. 高水処理計画	49
3. 計画高水流量	50
4. 河道計画	51
5. 河川管理施設等の整備の現状	52

1. 基本高水の検討

1-1 工事実施基本計画

旭川水系の治水計画(事業)は、大正 15 年（1926 年）の直轄改修事業に着手したところから始まり、昭和 41 年（1966 年）に直轄水系指定を受け、工事実施基本計画を策定した。

また、平成 4 年（1992 年）4 月に工事実施基本計画の改訂を行い、基準地点下牧において基本高水のピーク流量を $8,000 \text{ m}^3/\text{s}$ （下牧基準点 1/150）と定め、このうち、洪水調節施設により $2,000 \text{ m}^3/\text{s}$ を調節し、計画高水流量 $6,000 \text{ m}^3/\text{s}$ と定めている。基準地点の基本高水のピーク流量は、貯留関数法により決定している。

1-2 河川整備基本方針

平成 9 年（1997 年）の河川法改正を受け、旭川水系工事実施基本計画で策定された基本高水のピーク流量を検証した結果、基本方針においても、基準地点下牧の基本高水のピーク流量を $8,000 \text{ m}^3/\text{s}$ とし、計画高水流量を $6,000 \text{ m}^3/\text{s}$ と定め、平成 20 年（2008 年）1 月に旭川水系河川整備基本方針を策定した。

1-2-1 雨量確率評価による検証

工事実施基本計画を策定した平成 4 年（1992 年）以降、計画を変更するような大きな洪水、降雨は発生していないため、近年の雨量データを追加し、実績降雨（明治 41 年（1908 年）～平成 16 年（2004 年））の統計処理により、1/150 規模の確率雨量を $257 \text{ mm}/2$ 日の妥当性を確認した。また、過去の主要な洪水時の降雨波形を確率雨量まで引き伸ばし、既定計画と同様の貯留関数法での流出計算モデルにより流出量を算出した。

この結果、基本高水のピーク流量は、基準地点下牧において最大値となる昭和 54 年（1979 年）10 月洪水の降雨での流出量から、 $8,000 \text{ m}^3/\text{s}$ と算出した。

1-2-2 流量確率評価による検証

流量確率の検討の結果、1/150 規模の流量は、基準地点下牧で $5,500 \sim 8,200 \text{ m}^3/\text{s}$ と推定される。

1-2-3 既往洪水による検証

旭川の基準地点下牧における水位データ、雨量データ等をもとに既往最大洪水と目される昭和9年（1934年）9月洪水について、上流域での洪水氾濫による流量低減がない状態を想定して計算を行った結果は8,000m³/sとなった。

1-3 河川整備基本方針策定後の状況

平成20年（2008年）1月に河川整備基本方針（以降、既定計画という）を策定以降、計画高水流量8,000m³/sを上回る洪水は発生していないものの、平成30年（2018年）7月豪雨において、計画降雨量257mm/2日を超える363mm/2日を記録した。

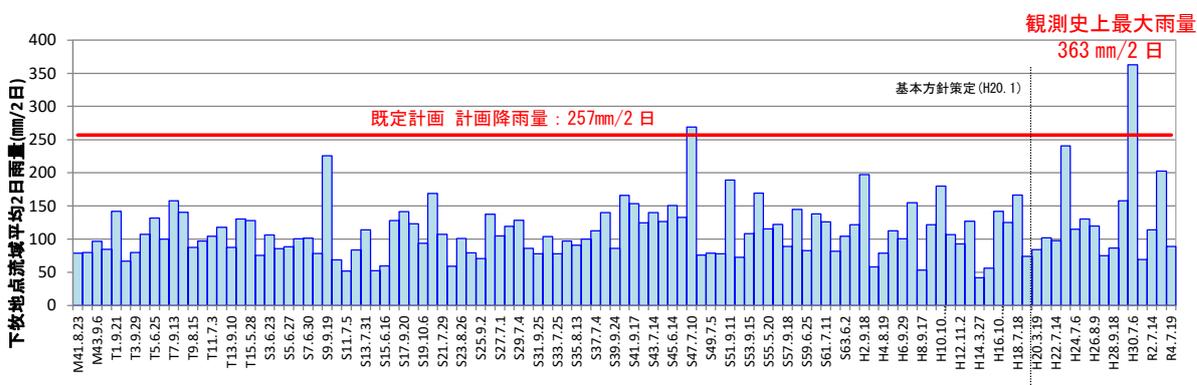


図 1-1 年最大流域平均雨量（基準地点下牧上流域平均雨量）

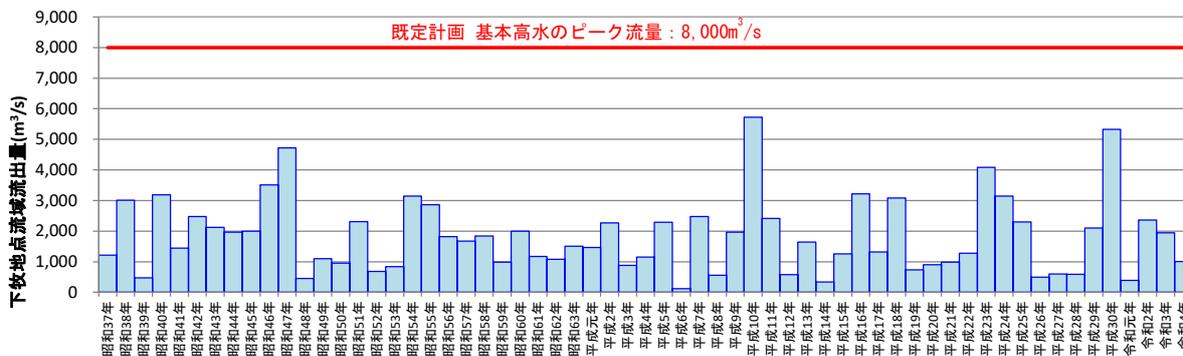


図 1-2 年最大流量（基準地点下牧）

1-4 流出解析モデルの確認

降雨をハイドログラフに変換するための流出計算モデル（貯留関数法）については、既定計画策定以降の流域の土地利用状況に大きな変化がないこと、近年洪水における再現性を確認し、既定計画に用いた流出計算モデルを使用するものとし、利水ダム位置で流域を新たに分割して流出計算モデルに反映させた。なお、近年洪水における再現性の確認において、基準地点下牧観測所で再現性を確認した。

1-4-1 モデルの概要

貯留関数法の基礎式を次に示す。

$$\frac{ds}{dt} = \frac{f(t)}{r(t)} - q(t + Tl)$$

$$s(t) = K \cdot q(t + Tl)^P$$

$$q(t) = \frac{3.6 \cdot Q(t)}{A}$$

ただし、

$$\sum r(t) < R_{sa} \quad \text{の場合、} f(t) = f_1$$

$$\sum r(t) \geq R_{sa} \quad \text{の場合、} f(t) = 1.0$$

また、流域からの流出量 $Q_{ca}(t)$ は、基底流量 $Q_b(t)$ を含めて次の式で与える。

$$Q_{ca}(t) = \frac{1}{3.6} \cdot A \cdot q(t) + Q_b(t)$$

ここで、

$s(t)$ ：貯留高(mm)、 $f(t)$ ：流入係数、 $r(t)$ ：流域平均降雨強度(mm/hr)

$q(t)$ ：直接流出高(mm/hr)、 Tl ：遅滞時間(mm/hr)、 K ：定数、 P ：定数

$Q(t)$ ：直接流出強度(m³/s)、 A ：流域面積(km²)、 f_1 ：一次流出率

$Q_{ca}(t)$ ：流域からの流出量(m³/s)、 $Q_b(t)$ ：基底流量(m³/s)

を表す。

河道区間の貯留関数及び連続方程式は、それぞれ下式で表される。

$$S_t(t) = K \cdot Q_i(t)^P - Tl \cdot Q_i(t)$$

$$\frac{dS_t(t)}{dt} = l(t) - Q_i(t)$$

$$Q_i(t) = Q(t + Tl)$$

$S_t(t)$ ：みかけの河道貯留量((m³/s)・hr)

Q_i ：遅滞時間を考慮した流出量(m³/s)

$Q(t)$ ：流出量(m³/s)、 $l(t)$ ：流入量(m³/s)、 Tl ：遅滞時間(hr)

K, P ：河道による定数

1-4-2 流域及び河道分割

旭川水系における流域分割は、降雨の時空間分布を適確に反映させることを考え、既定計画における流出モデルは、流域・河道分割を19流域9河道としている。

なお、利水ダム貯留による流量低減効果を適切に反映するため、細分化を行っている。

図 1-3 に流域分割図、図 1-4 に流出モデル模式図を示す。

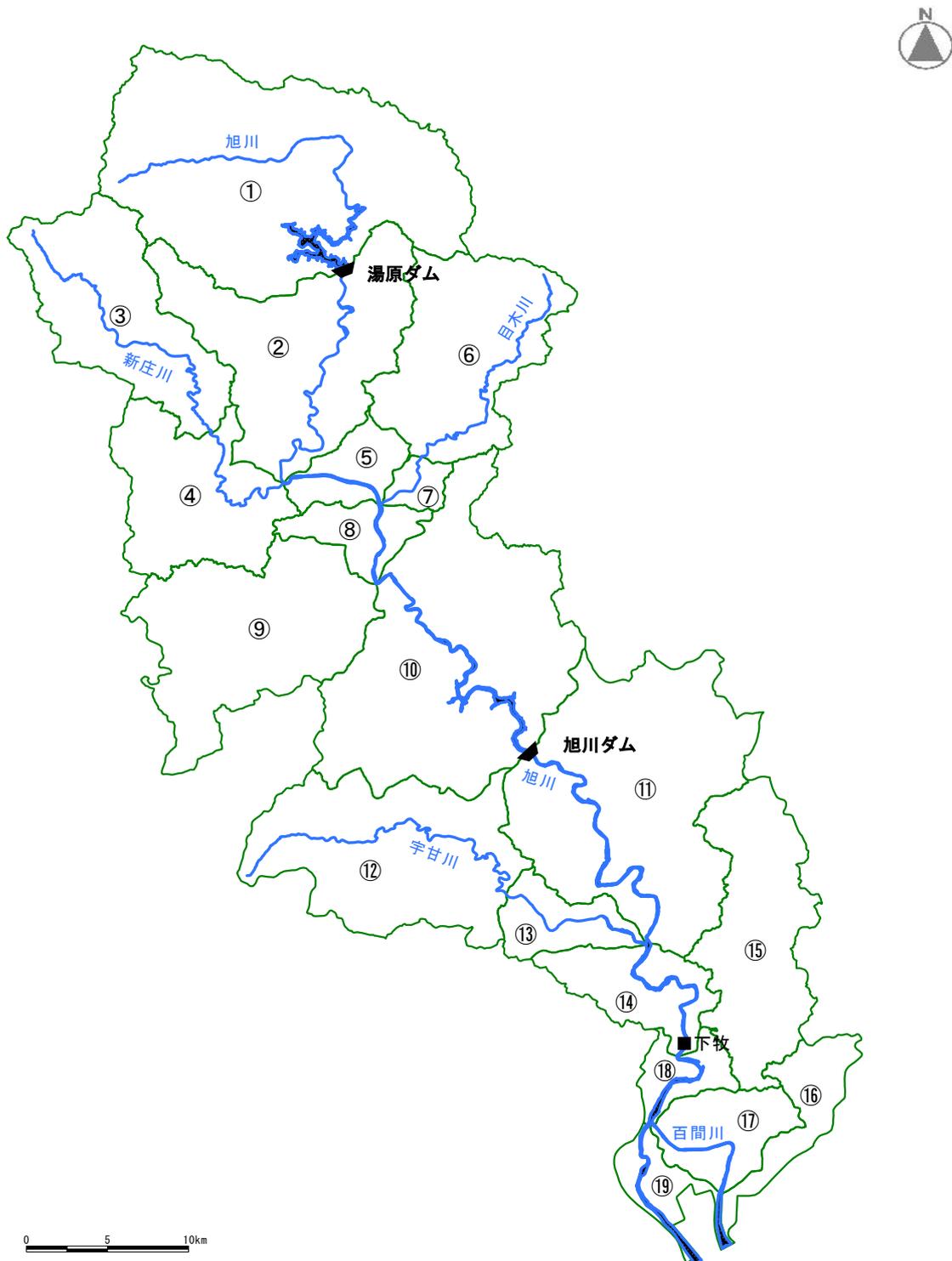


図 1-3 流域分割図

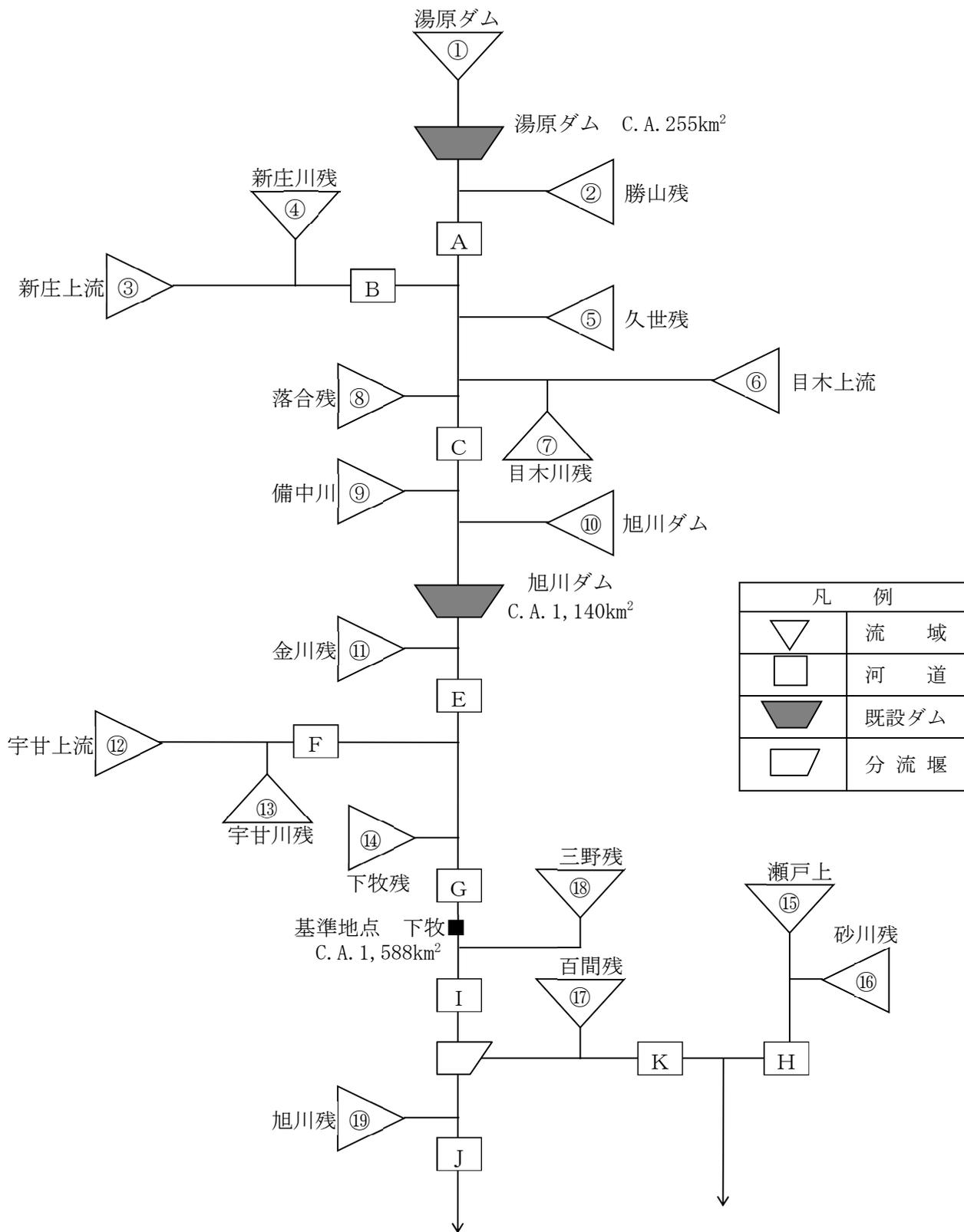


図 1-4 流出モデル模式図

1-4-3 流出解析による実績再現結果

既定計画では、工事実施基本計画の定数解析 7 洪水により同定された流域定数・河道定数を設定し、工事実施基本計画以降の 7 洪水を追加して統一定数の妥当性を検証している。

既定計画策定以降の主要洪水である平成 30 年（2018 年）7 月豪雨の定数解析(不定流計算による氾濫戻し後流量との比較)により、モデル定数の妥当性を確認したため、モデルの変更を行わない。

なお、主要洪水の昭和 47 年（1972 年）7 月豪雨、平成 30 年（2018 年）7 月豪雨を踏まえ、飽和雨量 Rsa を 30mm とした。

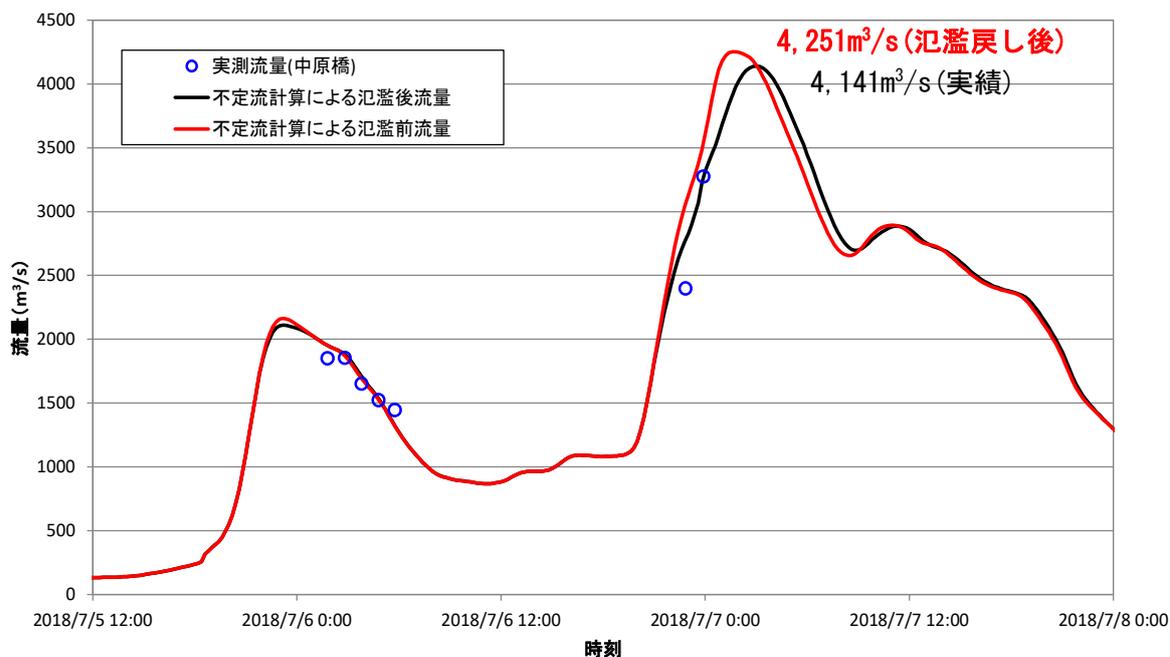


図 1-5 平成 30 年（2018 年）7 月豪雨における不定流計算検証図

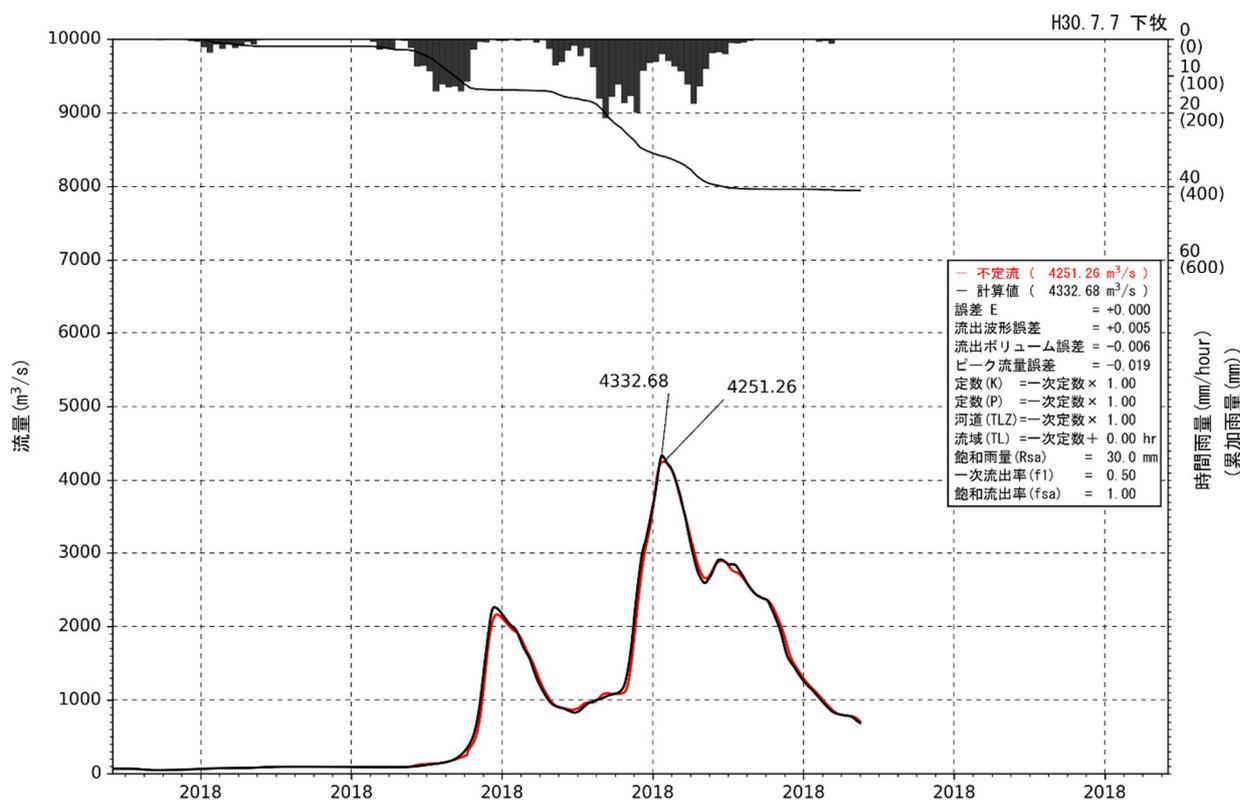


図 1-6 平成 30 年（2018 年）7 月豪雨における貯留関数モデル検証図

表 1-1 既定計画における定数解析結果と平成 30 年（2018 年）7 月豪雨

No	洪水名	ピーク流量(m ³ /s)		K 修正率	P 修正率	飽和雨量 Rsa(mm)	一次 流出率f
		実績	計算値				
1	S40. 7. 20	3,092	2,807	1.00	1.00	10.0	0.50
2	S42. 7. 8	2,242	2,190	1.00	1.00	10.0	0.50
3	S46. 6. 30	3,180	2,765	1.00	1.00	10.0	0.50
4	S47. 7. 9	4,614	4,043	1.00	1.00	30.0	0.50
5	S51. 9. 8	2,081	2,063	1.00	1.00	90.0	0.50
6	S54. 10. 18	2,443	2,680	1.00	1.00	110.0	0.50
7	S55. 8. 28	2,634	2,871	1.00	1.00	10.0	0.50
8	H5. 6. 28	1,505	1,492	1.00	1.00	10.0	0.50
9	H5. 9. 3	1,727	1,736	1.00	1.00	90.0	0.50
10	H7. 7. 2	2,138	1,786	1.00	1.00	70.0	0.50
11	H9. 8. 5	1,692	1,309	1.00	1.00	10.0	0.50
12	H10. 10. 16	4,311	4,306	1.00	1.00	110.0	0.50
13	H11. 6. 28	1,814	1,682	1.00	1.00	10.0	0.50
14	H16. 10. 18	2,527	2,068	1.00	1.00	10.0	0.50
15	H30. 7. 7	4,251	4,333	1.00	1.00	30.0	0.50
平均値				1.00	1.00	40.7	0.50

表 1-2 貯留関数モデル統一定数(流域定数)

流域番号	流域面積 (km ²)	K	P	T ₁ (hr)	Q _B (m ³ /s)	f ₁	Rsa (mm)
1	255.0	65.0	0.33	1.23	10.2	0.5	30.0
2	145.1	46.2	0.33	1.69	5.8		
3	106.0	56.9	0.33	1.87	4.2		
4	91.3	52.2	0.33	1.31	3.7		
5	30.8	29.0	0.33	1.00	1.2		
6	115.5	47.7	0.33	1.81	4.6		
7	10.2	27.5	0.33	1.00	0.4		
8	26.1	32.5	0.33	1.00	1.0		
9	136.9	64.3	0.33	1.90	5.5		
10	223.1	60.3	0.33	2.28	8.9		
11	215.0	37.9	0.33	2.24	8.6		
12	136.0	36.3	0.33	1.80	5.4		
13	38.3	20.4	0.33	1.00	1.5		
14	58.7	32.8	0.33	1.50	2.3		
15	85.6	63.5	0.33	1.40	3.4		
16	63.6	39.1	0.33	1.00	2.5		
17	36.5	62.5	0.33	1.00	1.5		
18	13.1	20.8	0.33	1.00	1.1		
19	13.2	20.9	0.33	1.00	1.0		

※飽和後の 2 次流出率(fsa)は 1.0 である。

表 1-3 貯留関数モデル統一定数(河道定数)

河道番号	河道長 L(km)	勾配 (1/ i)	K	P	T ₁ (hr)
A	22.2	127	18.2	0.63	0.36
B	12.0	100	10.0	0.65	0.18
C	12.5	300	20.6	0.57	0.32
E	19.8	573	34.0	0.56	0.70
F	11.2	269	14.8	0.64	0.26
G	12.0	648	20.9	0.60	0.44
H	14.6	1,460	28.9	0.60	0.41
I	7.5	805	10.8	0.57	0.32
J	11.4	1,707	245.0	0.46	0.35
K	13.7	2,638	438.6	0.30	0.28

1-5 基本高水のピーク流量の設定

1-5-1 基本高水のピーク流量の設定の考え方

基本高水のピーク流量は、前述した流出解析モデルを用いて、以下の項目について総合的に判断し設定する。

- (1) 気候変動を考慮した時間雨量データによる確率からの検討
- (2) アンサンブル予測降雨波形を用いた検討
- (3) 既往洪水からの検討

1-5-2 計画規模の設定

既定計画策定時と流域の重要度等に大きな変化がないことから、計画規模は既定計画と同様の 1/150 とした。

1-6 対象降雨の継続時間の設定

1-6-1 対象降雨の継続時間設定の考え方

旭川水系における対象降雨の降雨継続時間については、①洪水到達時間、②ピーク流量と短時間雨量との相関関係及び③強い降雨強度の継続時間を整理し設定した。

1-6-2 洪水到達時間

洪水到達時間は、以下に示す①Kinematic Wave 法に基づく式及び②角屋の式を用いて算定することとした。

なお、対象洪水は、基準地点下牧の実績流量の上位 10 洪水を対象とした。

(1) Kinematic Wave 法による洪水の到達時間

Kinematic Wave 法は矩形斜面上の表面流に Kinematic Wave 理論を適用して洪水到達時間を導く手法である。

(2) 角屋の式による洪水の到達時間

角屋の式は Kinematic Wave 理論の洪水到達時間を表す式に、河道長と地形則を考慮した式である。

結果を以下に示す。これによると概ね以下のようなになる。

Kinematic Wave 法 :	8～23 時間 (平均 15 時間)
角屋の式 :	10～14 時間 (平均 12 時間)

(1)及び(2)の計算結果を表 1-4 に示し、洪水ごとの Kinematic Wave 法による洪水到達時間の検討結果を図 1-7 に示す。

表 1-4 洪水到達時間の算定結果

NO.	洪水発生年月日	ピーク流量		Kinematic Wave法	角屋式	
		流量 (m ³ /s)	生起時刻	算定結果 (hr)	平均降雨降雨強度 (mm/hr)	算定結果 (hr)
1	S40.7.23	3,188	7/23 13:00	23	4.7	14.2
2	S46.7.1	3,510	7/1 21:48	18	7.3	12.2
3	S47.7.12	4,719	7/12 7:00	19	6.6	12.6
4	S54.10.19	3,147	10/19 10:00	13	9.6	11.1
5	H10.10.18	5,720	10/18 3:00	9	14.5	9.6
6	H16.10.20	3,209	10/20 21:00	15	5.8	13.3
7	H18.7.19	3,078	7/19 9:00	13	6.7	12.6
8	H23.9.3	4,088	9/3 20:12	19	8.5	11.5
9	H24.7.7	3,147	7/7 5:00	8	9.6	11.1
10	H30.7.7	5,328	7/7 1:36	12	12.6	10.1
平均値		—	—	14.9	—	11.8

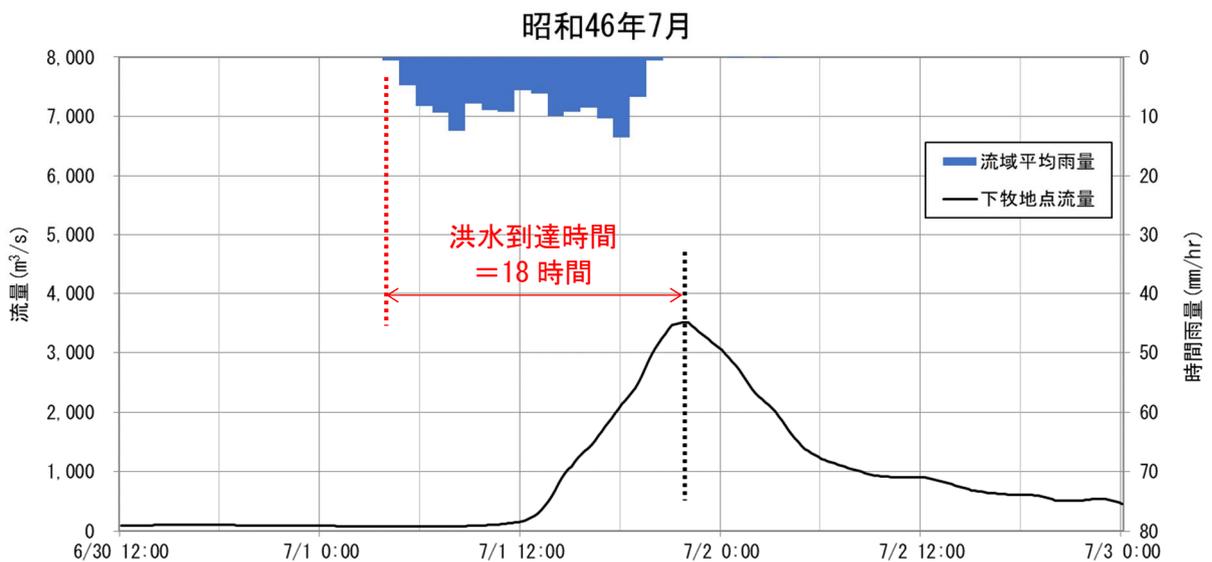
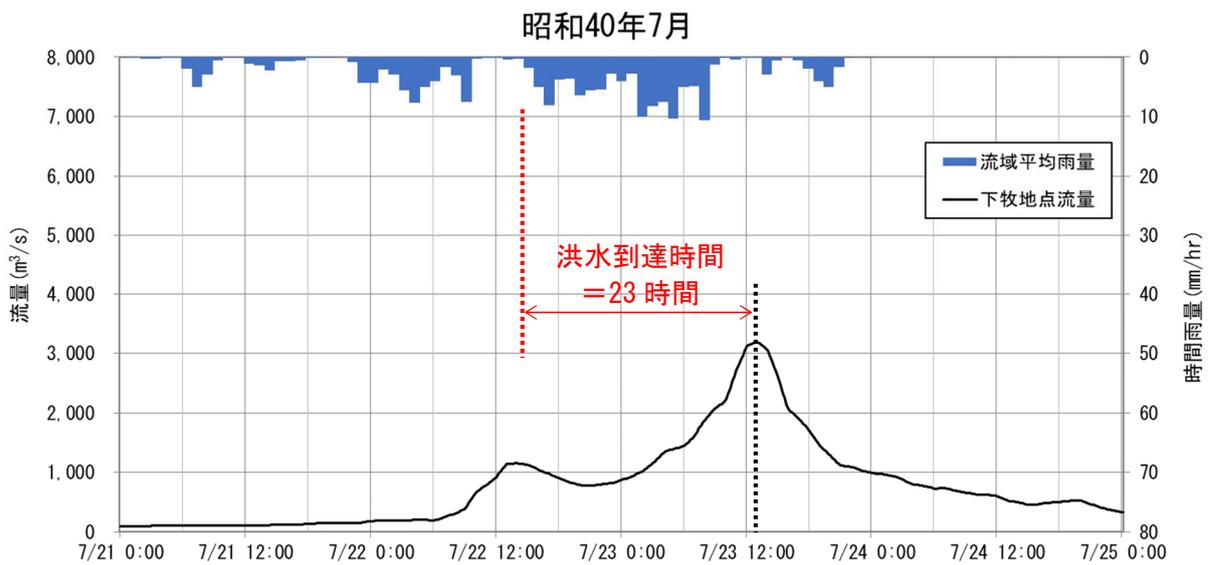


図 1-7(1) Kinematic Wave 法による洪水到達時間

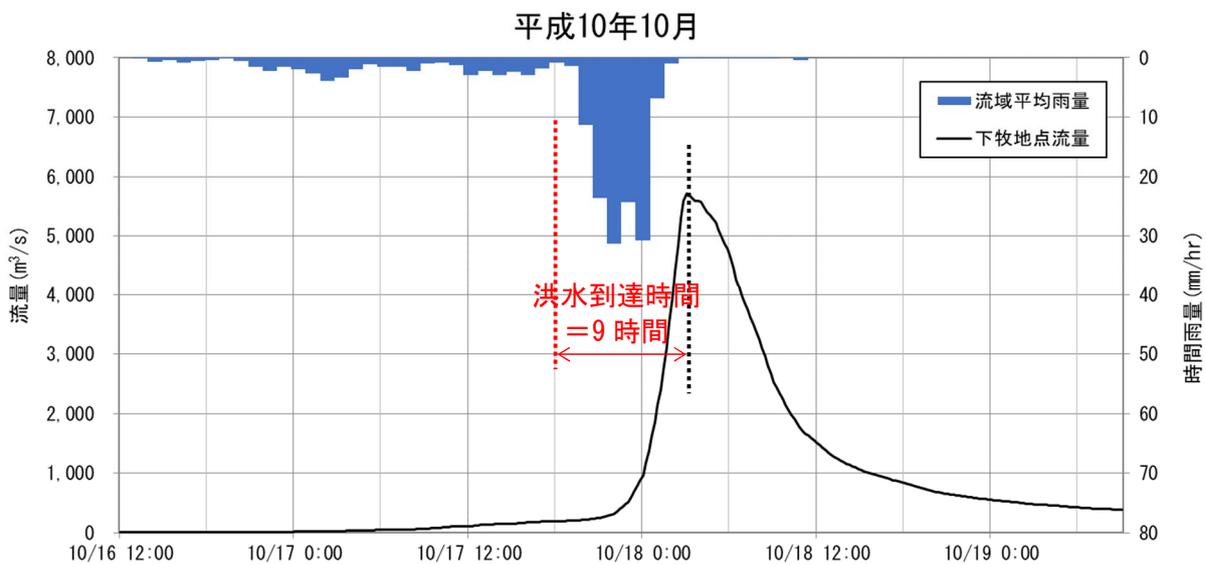
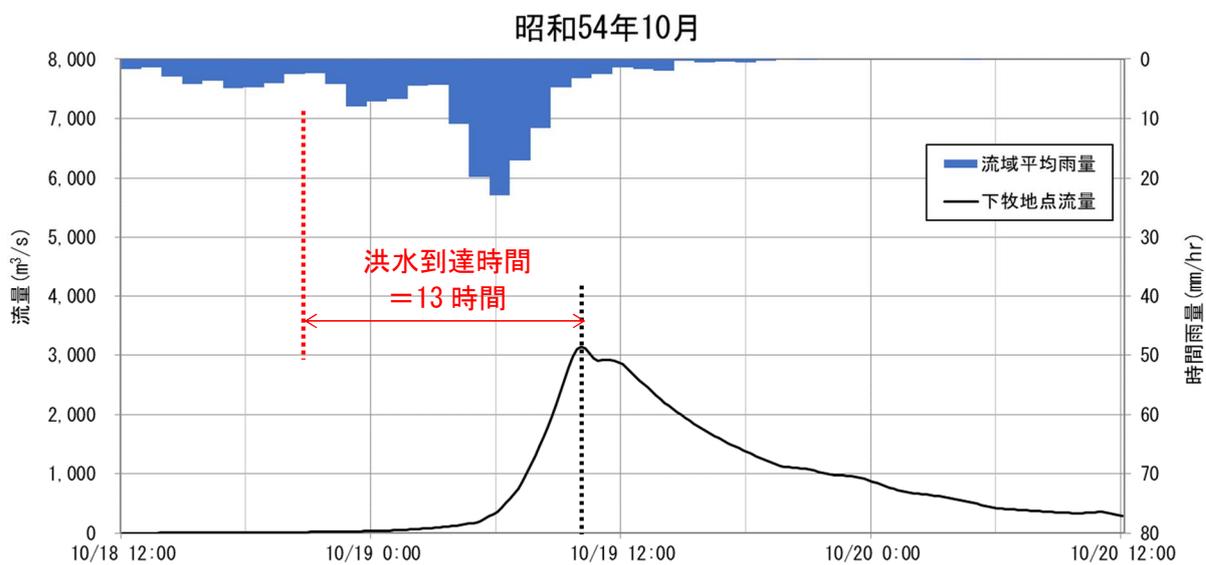


図 1-7(2) Kinematic Wave 法による洪水到達時間

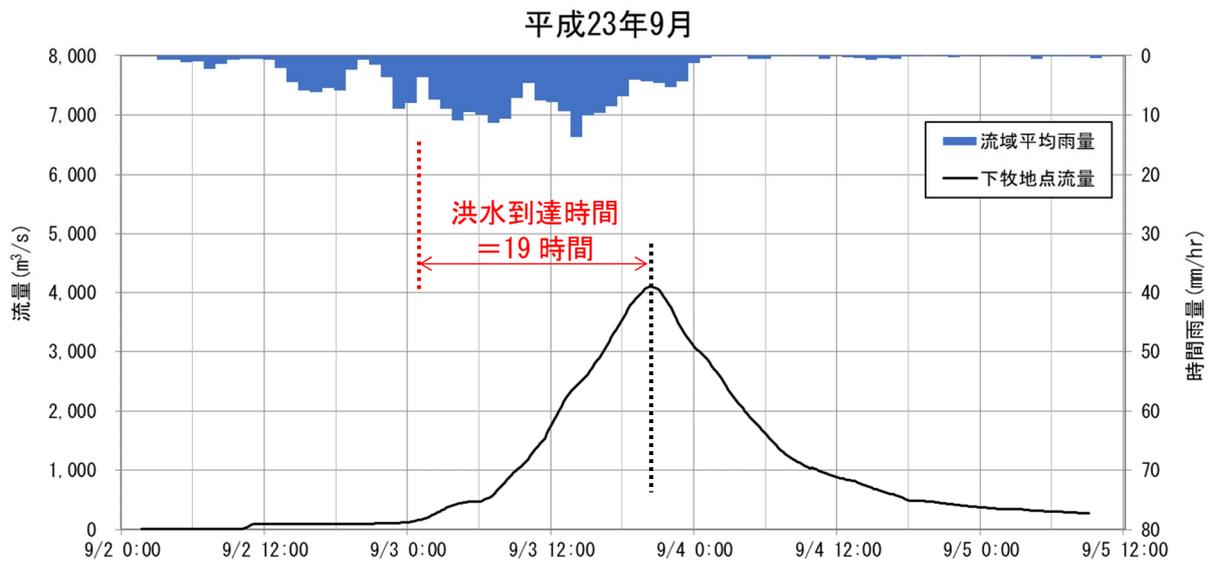
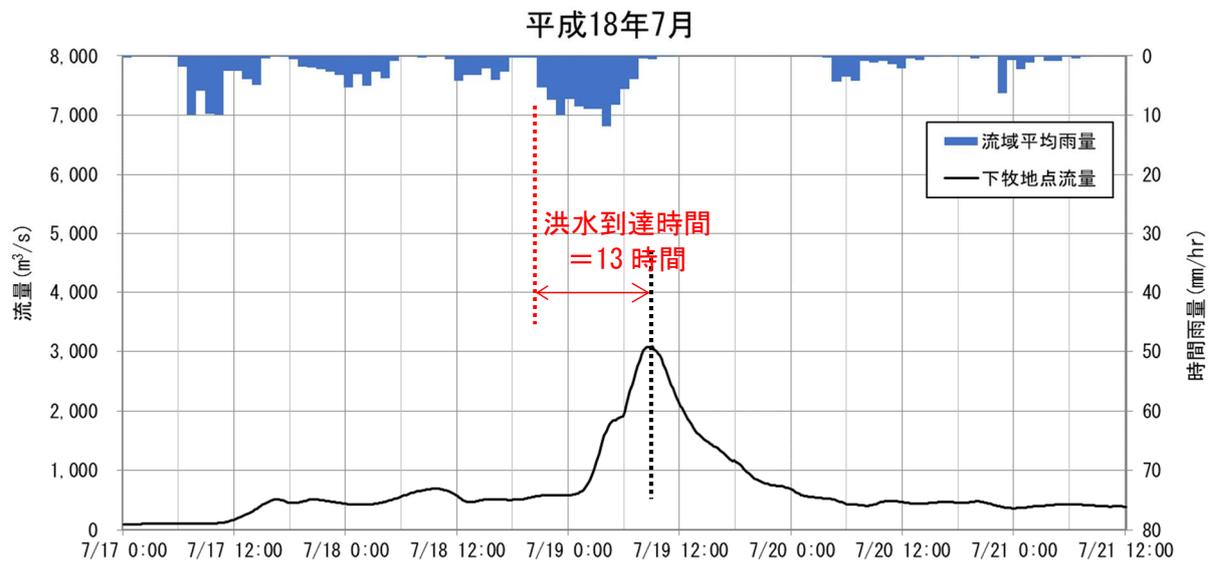
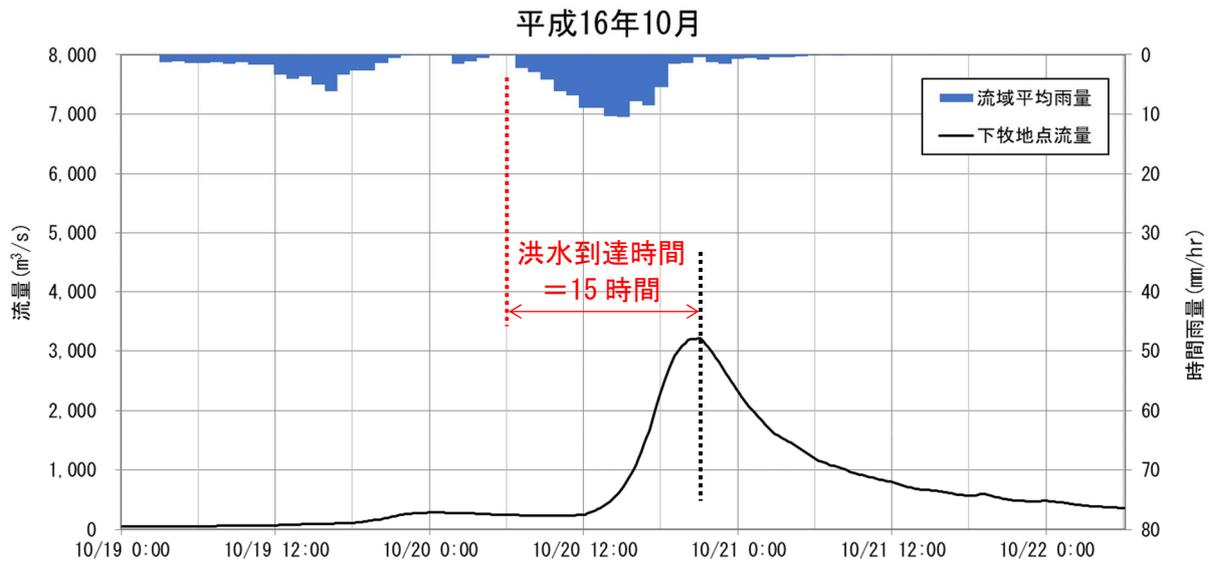


図 1-7(3) Kinematic Wave 法による洪水到達時間

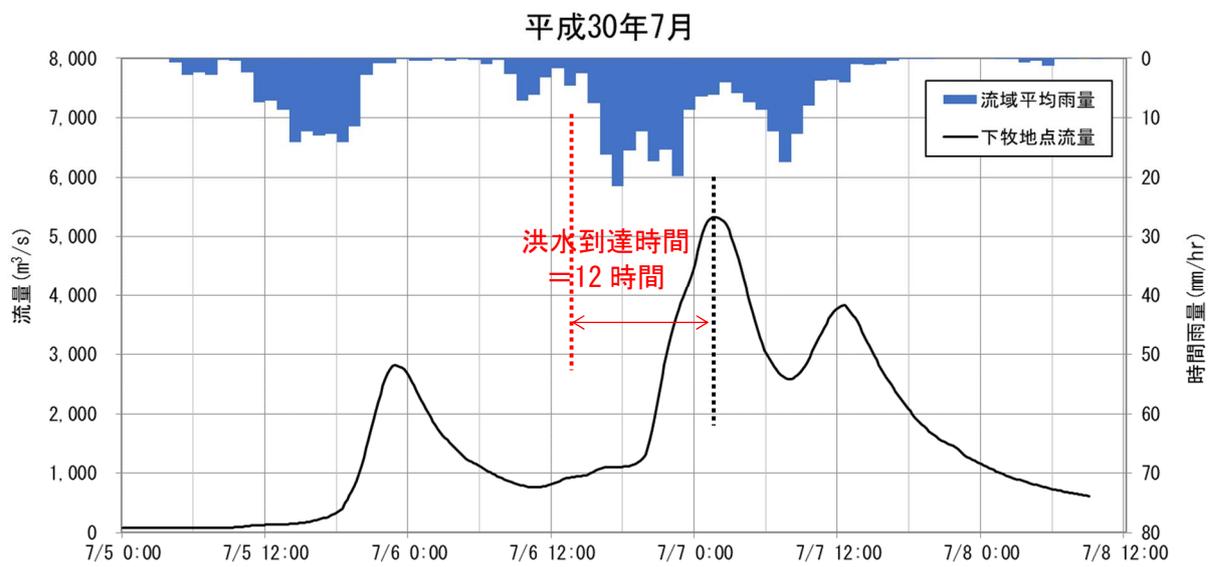
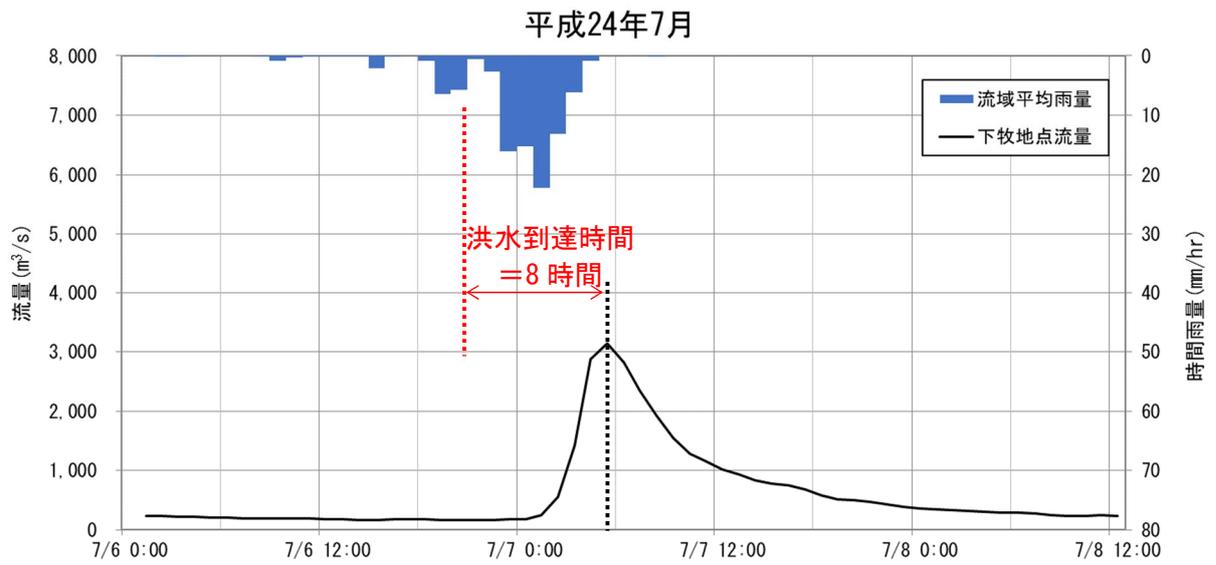


図 1-7(4) Kinematic Wave 法による洪水到達時間

1-6-3 ピーク流量と短時間雨量の相関

ここでは、昭和37年（1962年）から令和3年（2021年）までの60年間の雨量を対象に、ピーク流量と短時間雨量（1、2、3、6、9、12、15、18、24、30、36、48、60、72時間雨量）との相関関係の整理を行った。

その結果、基準地点下牧では18時間以上でピーク流量と短時間雨量の相関が大きくなっている。この結果を図1-8に示す。また、定義①によるピーク流量と流域平均時間雨量の相関図を図1-9(1)に示し、定義②によるピーク流量と流域平均時間雨量の相関を図1-9(2)に示す。

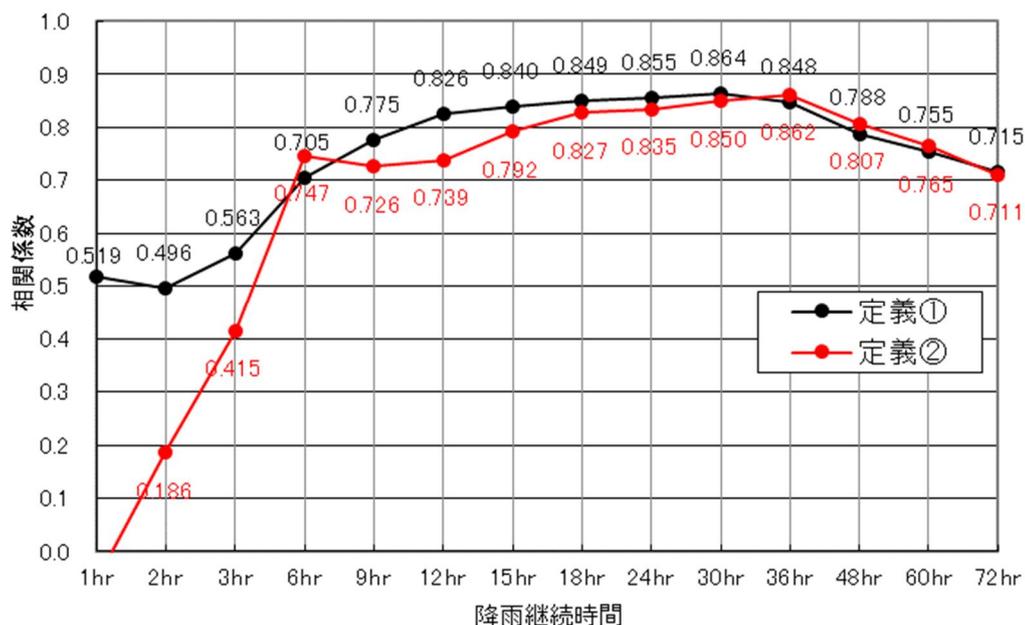


図 1-8 ピーク流量と相関の高い短時間雨量

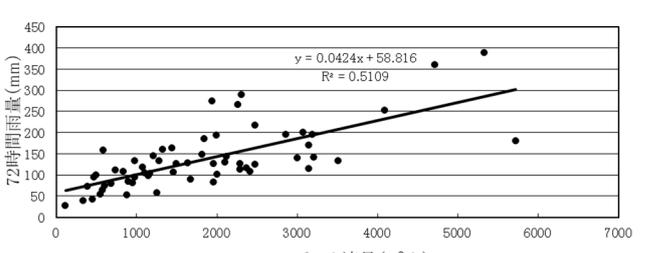
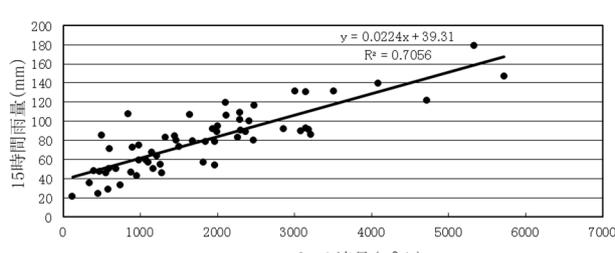
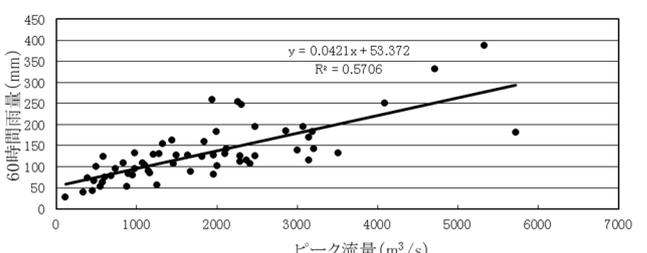
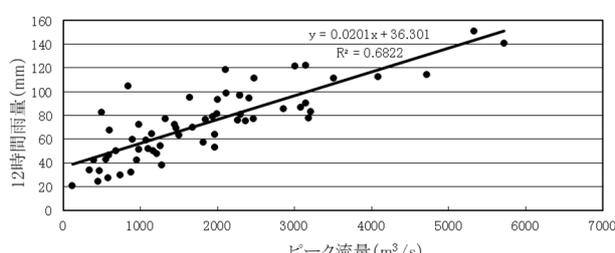
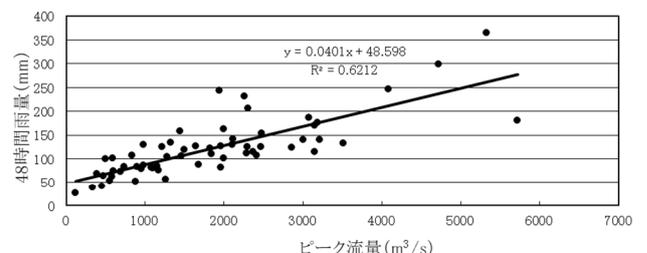
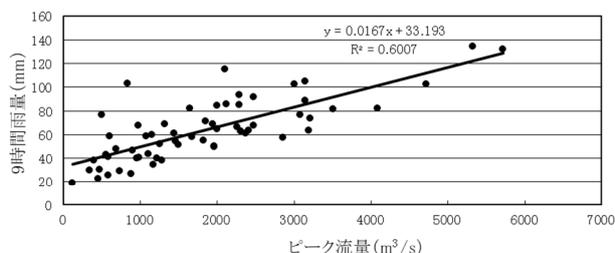
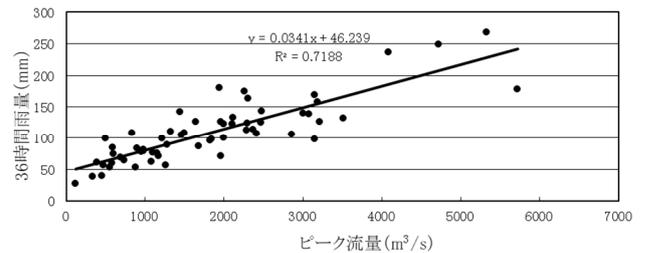
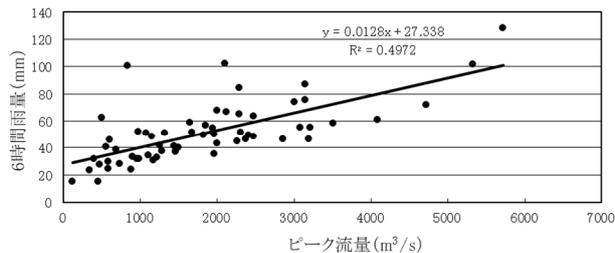
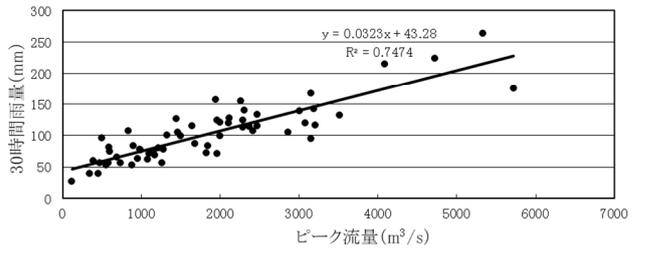
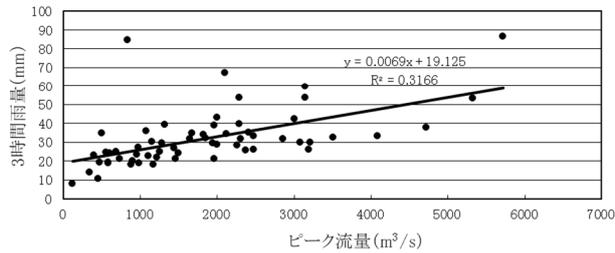
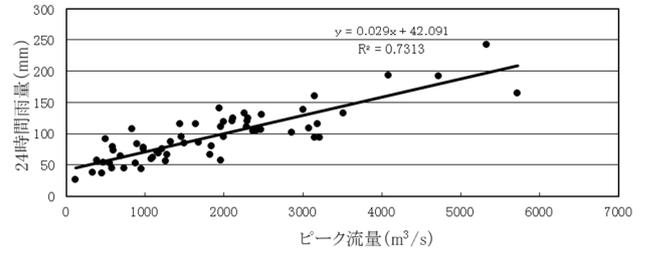
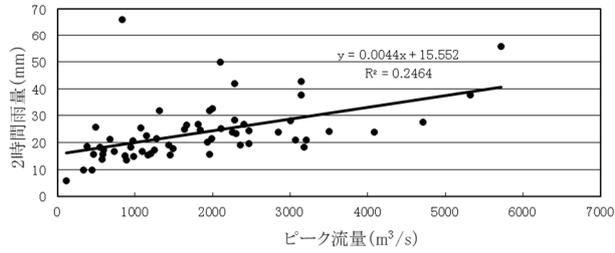
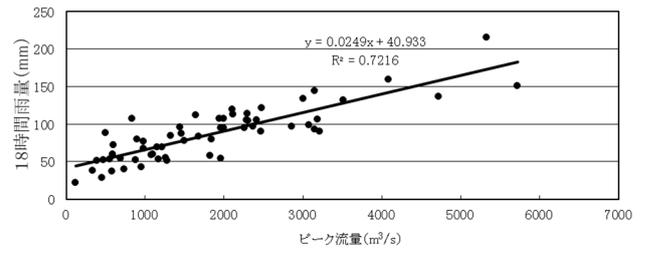
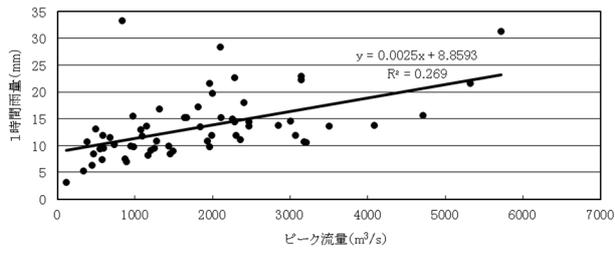


図 1-9(1) ピーク流量と流域平均時間雨量の相関図【定義①】

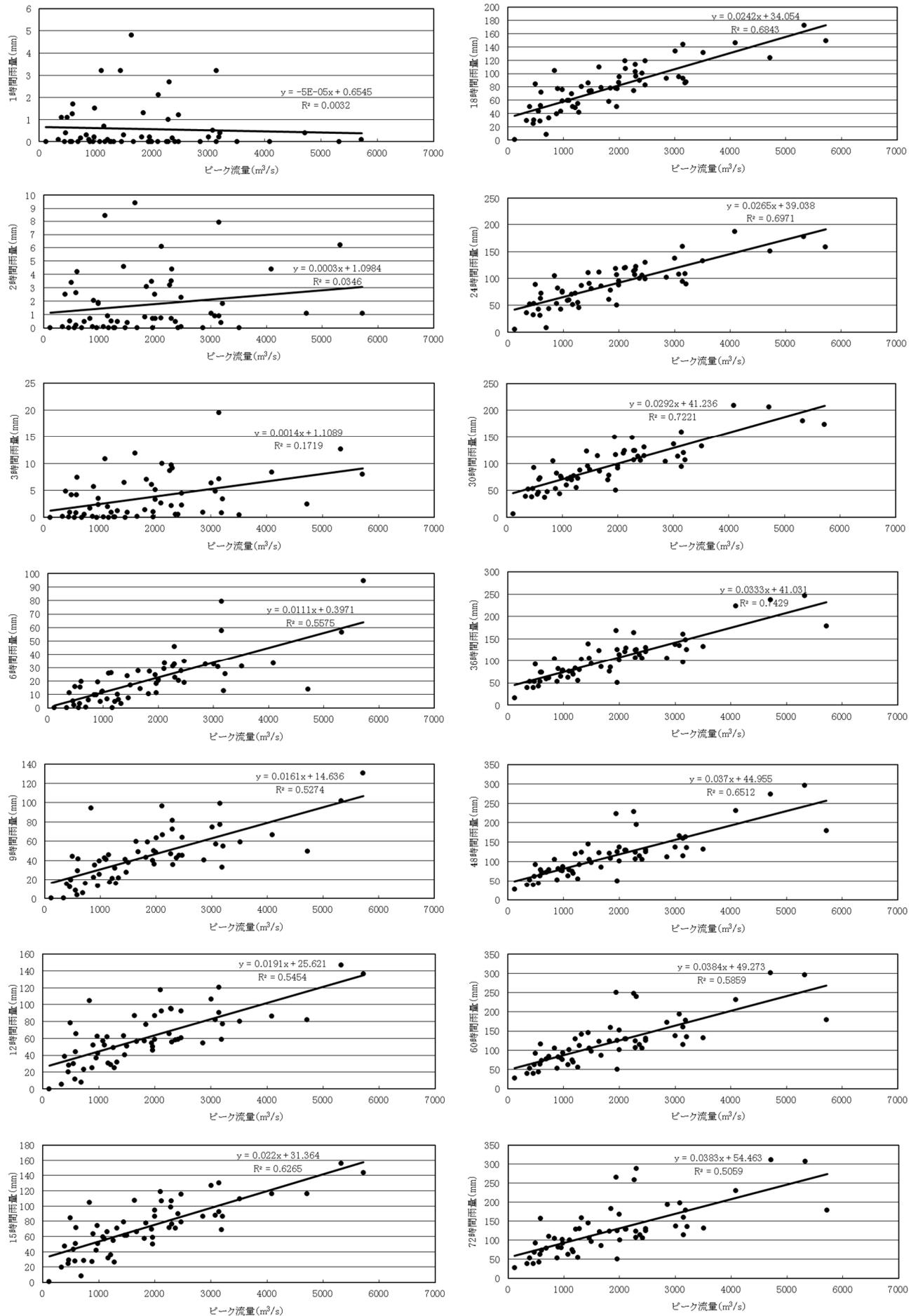


図 1-9(2) ピーク流量と流域平均時間雨量の相関図【定義②】

1-6-4 強い降雨強度の継続時間

既往の洪水をもたらした降雨について、強い降雨強度（5mm/hr 及び 10mm/hr）の継続時間を整理した。

対象洪水は、過去洪水（昭和 37 年（1962 年）から令和 3 年（2021 年））のうち、基準地点下牧における実績流量の上位 10 洪水とした。

主要洪水における降雨量 5mm/hr の継続時間の平均値は 15 時間、降雨量 10mm/hr の継続時間の平均値は 6 時間となり、洪水のピーク流量を形成している強い降雨強度の継続時間は、18 時間で 10mm 以上の降雨の 10 割がカバーでき、5mm 以上の降雨の 8 割がカバーできる。

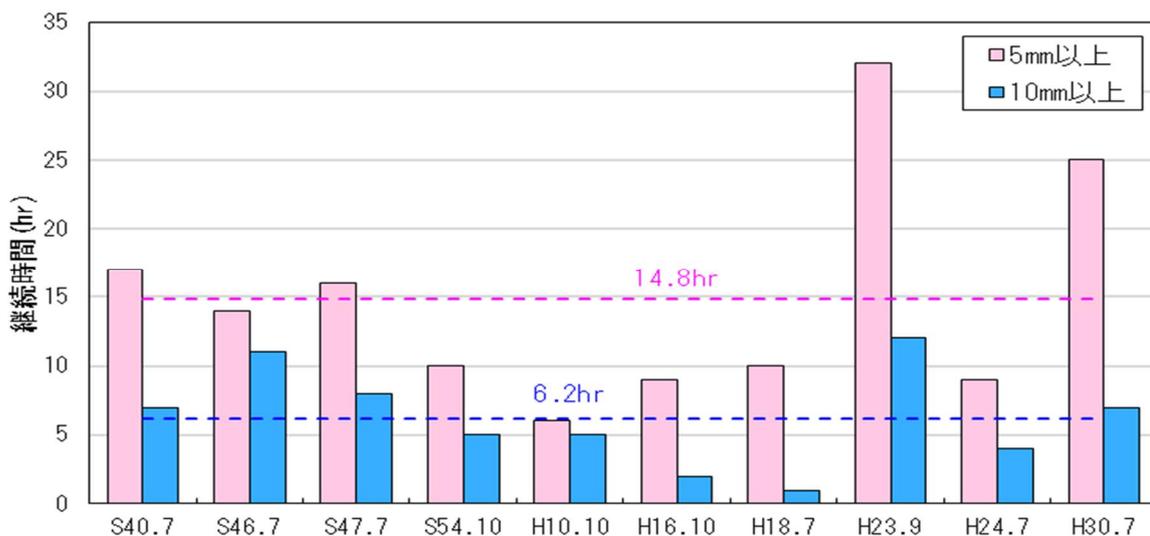


図 1-10 強い降雨強度の継続時間（旭川流域平均雨量）

1-6-5 対象降雨の降雨継続時間の設定

昭和 37 年（1962 年）から令和 3 年（2021 年）までの雨量資料（60 年間）を整理し、旭川の降雨特性、ピーク流量との相関から総合的に判断して、下記理由により対象降雨の降雨継続時間は 18 時間と設定した。

【基準地点下牧】

- 洪水到達時間の検討において、Kinematic Wave 法では 8～23 時間（平均 15 時間）、角屋式では 10～14 時間（平均 12 時間）となる。
- ピーク流量と相関の高い短時間雨量は、18 時間以上の雨量において実績ピーク流量との相関が高く、定義①，②ともに相関係数 0.8 以上となる。
- 洪水のピーク流量を形成している強い降雨強度の継続時間は 18 時間で 10mm 以上の降雨の 10 割がカバーでき、5mm 以上の降雨の 8 割がカバーできる。
- ピーク流量に支配的な短時間雨量との関係、実績降雨における一雨降雨の継続時間等から、総合的に判断して 18 時間と設定する。

1-7 河川の整備の目標となる洪水の規模及び対象降雨の降雨量の設定

1-7-1 対象降雨の降雨量の設定

対象降雨の降雨継続時間は、Kinematic Wave 法及び角屋式等による洪水の到達時間、短時間雨量と洪水ピーク流量の相関、降雨強度の強い降雨の継続時間等から総合的に判断した結果、既定計画の2日から18時間に変更した。

対象降雨の降雨量は、降雨量変化倍率の算定に用いている過去実験の期間が平成22年(2010年)までであることを踏まえ、既定計画からの雨量標本のデータ延伸は平成22年(2010年)までにとどめ、平成22年(2010年)までの雨量標本(表1-6)を用いて定常の水文統計解析により1/150確率雨量を算定し、これに降雨量変化倍率を乗じた値とする。

基準地点下牧の1/150確率雨量は、昭和31年(1956年)～平成22年(2010年)の55年間の各年最大18時間雨量を確率処理し、適合度の基準を満足し、安定性の良好な確率分布モデルによる180.6mm/18hrと決定した。その結果を表1-5、グラフを図1-11に示す。

表 1-5 基準地点下牧 18時間雨量 確率計算結果

水系名	旭川
河川名	旭川
地点名	下牧18時間雨量(S31-H22)
データ件数	55
α	0.4
Bootstrapサンプル数	2000
LN4PMの上限值 g	-9999
LN4PMの下限值 b	0
K(毎年) = $(X_p - X)/S2.02$	
K(非毎年) = $(X_p - X)/S2.02$	

	Exp	Gumbel	SqrtEt	Gev	LP3Rs	LogP3	Iwai	IshiTaka	LN3Q	LN3PM	LN2LM	LN2PM	LN4PM
X-COR(99%)	0.958	0.99	0.976	0.994	0.995	—	0.993	0.994	0.994	0.994	0.993	0.993	—
P-COR(99%)	0.94	0.997	0.996	0.997	0.996	—	0.997	0.996	0.996	0.996	0.997	0.997	—
SLSC(99%)	0.059	0.028	0.041	0.023	0.024	—	0.021	0.022	0.021	0.023	0.021	0.021	—
対数尤度	-241.2	-254.8	-255.8	-254.7	-254.7	—	-254.6	-254.8	-254.6	-254.8	-254.6	-254.6	—
pAIC	486.4	513.7	515.6	515.3	515.4	—	515.2	515.6	515.2	515.6	513.3	513.2	—
X-COR(50%)	0.974	0.981	0.97	0.986	0.989	—	0.983	0.987	0.985	0.987	0.983	0.983	—
P-COR(50%)	0.984	0.984	0.985	0.986	0.988	—	0.985	0.986	0.986	0.987	0.986	0.985	—
SLSC(50%)	0.087	0.055	0.081	0.043	0.043	—	0.046	0.043	0.045	0.043	0.046	0.047	—

確率水文学	確率年	Exp	Gumbel	SqrtEt	Gev	LP3Rs	LogP3	Iwai	IshiTaka	LN3Q	LN3PM	LN2LM	LN2PM	LN4PM
2	77.2	81.7	80.6	82.9	84.1	—	82.5	83.6	83	83.7	82.5	82.5	—	
3	89.1	93.2	92.8	94.6	95.6	—	94	95	94.3	95	94.2	94	—	
5	104.2	105.9	107.4	107	107.4	—	106.4	106.8	106.3	106.8	107	106.4	—	
10	124.7	121.9	127	121.7	120.8	—	121.6	120.5	120.6	120.5	122.5	121.6	—	
20	145.2	137.2	147.2	135.1	132.3	—	135.7	132.9	133.7	132.8	137.1	135.8	—	
30	157.1	146	159.4	142.5	138.5	—	143.7	139.7	141.1	139.6	145.3	143.8	—	
50	172.2	157.1	175.4	151.4	145.8	—	153.5	148	150	147.8	155.6	153.7	—	
70	182.2	164.3	186.2	157	150.4	—	160	153.2	155.8	153	162.2	160.2	—	
80	186.1	167.1	190.6	159.2	152.1	—	162.5	155.3	158.1	155	164.8	162.7	—	
100	192.7	171.9	198	162.8	155	—	166.7	158.7	161.9	158.4	169.2	167	—	
150	204.7	180.6	211.7	169.2	160.1	—	174.3	164.8	168.7	164.5	177.2	174.7	—	
200	213.2	186.7	221.7	173.6	163.6	—	179.7	169.1	173.5	168.7	182.8	180.1	—	
400	233.6	201.5	246.7	183.8	171.6	—	192.7	179.2	184.9	178.7	196.3	193.2	—	
500	240.2	206.3	255	186.9	174.1	—	196.9	182.4	188.6	181.9	200.7	197.4	—	
600	245.6	210.2	261.9	189.5	176.1	—	200.3	185	191.5	184.4	204.3	200.8	—	
700	250.2	213.5	267.8	191.6	177.8	—	203.2	187.2	194.1	186.6	207.3	203.8	—	
800	254.1	216.3	272.9	193.4	179.2	—	205.7	189.1	196.2	188.5	209.9	206.3	—	
1000	260.7	221.1	281.6	196.4	181.6	—	209.9	192.3	199.9	191.6	214.3	210.5	—	

JackKnife推定誤差	確率年	Exp	Gumbel	SqrtEt	Gev	LP3Rs	LogP3	Iwai	IshiTaka	LN3Q	LN3PM	LN2LM	LN2PM	LN4PM
2	3.2	3.3	3.4	4	3.9	—	3.7	3.9	4.4	3.9	3.4	3.4	—	
3	3.6	3.8	4.1	4.6	4.5	—	4.1	4.4	4.7	4.4	3.9	3.9	—	
5	4.5	4.7	5.2	5	5	—	4.8	4.9	4.9	4.9	4.8	4.7	—	
10	6.1	5.9	7.1	5.8	5.6	—	6	5.6	5.4	5.6	6.3	6.1	—	
20	7.8	7.1	9.3	7.2	6.4	—	7.7	6.5	6.5	6.5	7.9	7.6	—	
30	8.8	7.9	10.6	8.4	7	—	8.9	7.1	7.5	7.1	8.9	8.5	—	
50	10.2	8.8	12.5	10.3	7.8	—	10.6	8	9	8	10.2	9.8	—	
70	11	9.4	13.7	11.8	8.5	—	11.8	8.7	10.1	8.7	11.1	10.6	—	
80	11.4	9.7	14.2	12.4	8.8	—	12.3	9	10.6	8.9	11.5	10.9	—	
100	12	10.1	15.1	13.5	9.3	—	13.2	9.5	11.4	9.4	12.1	11.5	—	
150	13.1	10.9	16.8	15.7	10.3	—	14.8	10.5	13	10.4	13.2	12.6	—	
200	13.8	11.5	18	17.4	11.1	—	16.1	11.3	14.2	11.1	14.1	13.3	—	
400	15.7	12.8	21.2	21.7	13.1	—	19.2	13.2	17.4	12.9	16.1	15.3	—	
500	16.3	13.2	22.2	23.2	13.8	—	20.3	13.9	18.5	13.6	16.8	15.9	—	
600	16.8	13.6	23.1	24.5	14.4	—	21.2	14.4	19.4	14.1	17.4	16.4	—	
700	17.2	13.9	23.8	25.6	14.9	—	22	14.9	20.2	14.6	17.9	16.9	—	
800	17.6	14.1	24.5	26.5	15.4	—	22.7	15.3	20.9	15	18.3	17.2	—	
1000	18.2	14.6	25.6	28.2	16.1	—	23.8	16	22	15.6	19	17.9	—	

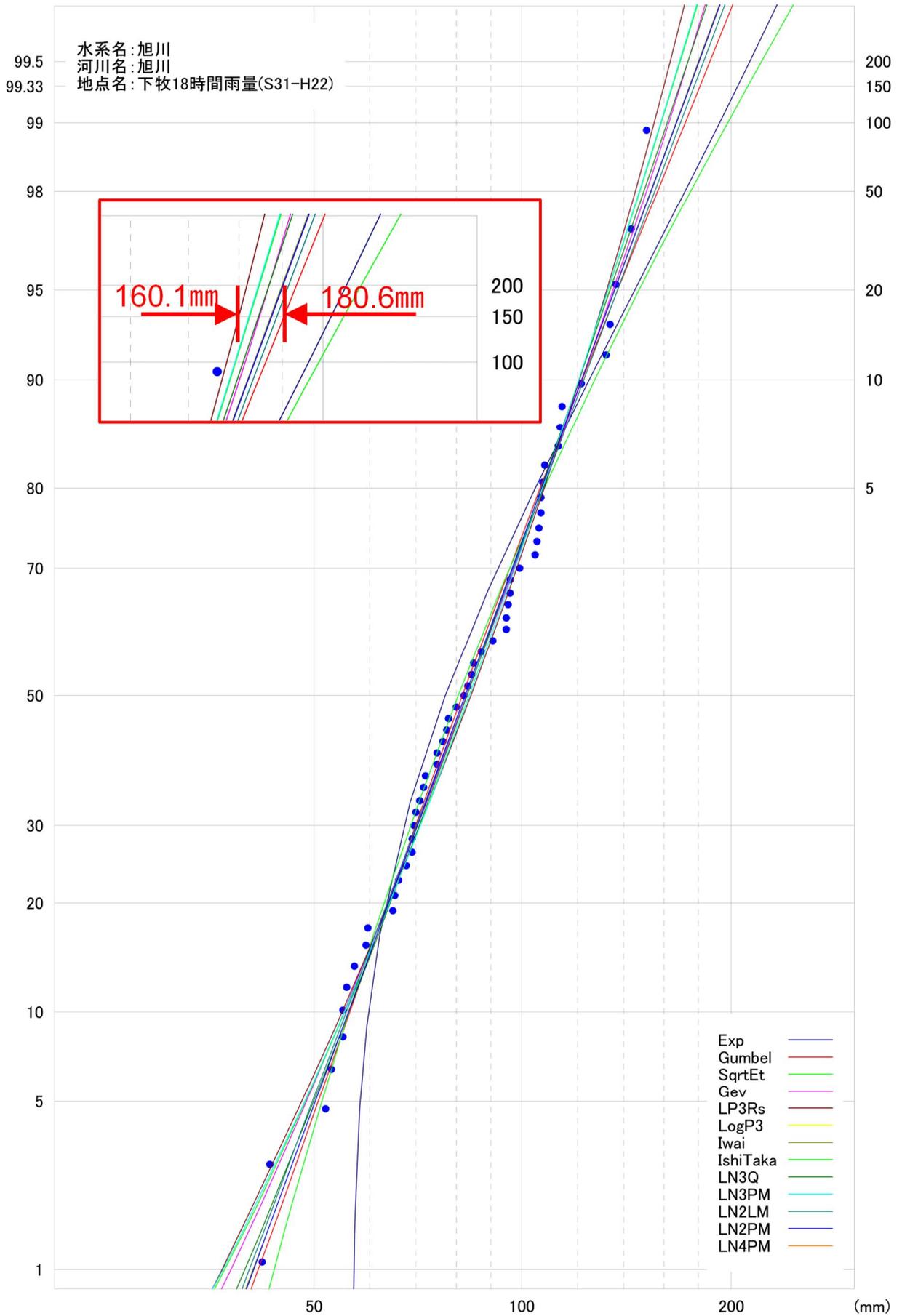


図 1-11 雨量確率計算結果

(基準地点下牧 18 時間雨量 昭和 31 年 (1956 年) ~平成 22 年 (2010 年))

表 1-6 年最大 18 時間雨量一覽（下牧地点）

年	18時間雨量	
	発生日	雨量(mm)
昭和31年	1956/6/12	72.3
昭和32年	1957/6/27	75.4
昭和33年	1958/7/26	55.6
昭和34年	1959/9/26	84.3
昭和35年	1960/8/11	82.1
昭和36年	1961/10/27	75.3
昭和37年	1962/7/6	69.1
昭和38年	1963/7/11	133.8
昭和39年	1964/9/25	70.2
昭和40年	1965/7/23	106.4
昭和41年	1966/9/18	96.0
昭和42年	1967/7/9	90.7
昭和43年	1968/7/15	113.5
昭和44年	1969/7/8	94.9
昭和45年	1970/8/21	95.3
昭和46年	1971/7/1	132.2
昭和47年	1972/7/12	136.4
昭和48年	1973/6/27	54.9
昭和49年	1974/7/6	59.6
昭和50年	1975/8/23	69.5
昭和51年	1976/9/12	104.4
昭和52年	1977/11/17	70.8
昭和53年	1978/9/16	107.6
昭和54年	1979/10/19	144.1
昭和55年	1980/5/21	114.2
昭和56年	1981/7/13	66.0
昭和57年	1982/9/25	83.2
昭和58年	1983/9/28	95.8

年	18時間雨量	
	発生日	雨量(mm)
昭和59年	1984/6/26	67.7
昭和60年	1985/6/25	107.3
昭和61年	1986/6/24	57.2
昭和62年	1987/7/17	59.4
昭和63年	1988/6/3	77.8
平成元年	1989/9/19	87.0
平成2年	1990/9/19	94.9
平成3年	1991/7/5	51.9
平成4年	1992/8/19	69.3
平成5年	1993/9/4	105.5
平成6年	1994/9/29	72.0
平成7年	1995/7/3	122.0
平成8年	1996/9/17	53.0
平成9年	1997/7/12	78.0
平成10年	1998/10/18	151.1
平成11年	1999/6/29	105.0
平成12年	2000/11/2	65.2
平成13年	2001/6/20	112.3
平成14年	2002/3/27	43.1
平成15年	2003/7/14	55.0
平成16年	2004/8/1	106.3
平成17年	2005/9/7	85.0
平成18年	2006/7/19	99.1
平成19年	2007/6/22	42.0
平成20年	2008/3/20	80.0
平成21年	2009/7/20	76.8
平成22年	2010/5/23	64.9

表 1-7 1/150 確率規模降雨量（基準地点下牧）

	下牧	備考
1/150 確率雨量	180.6mm/18hr	確率手法 SLSC \leq 0.04 JackKnife 推定誤差 AIC 指標を総合的に判断
気候変動を 考慮した降雨量	199mm/18hr	180.6mm/18hr \times 降雨量変化倍率

また、気候変動の影響を考慮した対象降雨の降雨量として、1/150 確率雨量 180.6mm/18hr に降雨量変化倍率 1.1 倍を乗じた 199mm/18hr に設定した（表 1-7）。

参考として、近年降雨の気候変動の影響等を確認するため、雨量標本に「非定常状態の検定：Mann-Kendall 検定等」を行った上で、非定常性が確認されない場合は最新年までデータを延伸し、非定常性が確認された場合は「非定常性が現れる前までのデータ延伸」にとどめ、定常の水文統計解析により確率雨量の算定等も併せて実施した。

(1) Mann-Kendall 検定（定常/非定常性を確認）

昭和 31 年（1956 年）～平成 22 年（2010 年）までの雨量データに一年ずつ雨量データを追加し、令和 3 年（2021 年）までのデータを対象とした検定結果を確認
⇒非定常性は確認されなかったため、近年降雨までデータ延伸を実施

(2) 近年降雨までデータ延伸を実施

非定常性が確認されなかったことから、最新年（令和 3 年（2021 年））まで時間雨量データを延伸し、水文解析に一般に用いられる確率分布モデルによる 1/150 確率雨量から、適合度の基準を満足し、安定性の良好な確率分布モデルを用いて 1/150 確率雨量を算定
⇒令和 3 年（2021 年）までの雨量データを用いた場合の基準地点下牧 1/150 確率雨量は 196.1mm/18hr となりデータ延伸による確率雨量に大きな差は確認されない。

1-8 主要降雨波形の設定

基本高水の検討対象洪水において、短時間に降雨が集中する洪水や降雨の範囲が著しく偏った洪水を一律拡大すると、引き伸ばし後の短時間雨量が非現実的な確率値となる場合がある。そのため、引き伸ばし後の降雨の地域分布及び時間分布を確認し、計画降雨としての妥当性評価により代表的な洪水に適さない洪水については検討対象から除外した上で計画降雨波形を設定する。

検討対象洪水の選定は、令和3年（2021年）までの基準地点下牧における年複数洪水を抽出し、基準地点下牧のピーク流量が氾濫注意水位相当流量以上、かつ基準地点下牧のピーク流量生起時刻前後の最大18時間雨量の引き伸ばし率が2倍以下（1.1倍する前の確率雨量）となる、28洪水を選定した（図1-12）。

選定した洪水を対象に、基準地点下牧の1/150確率18時間雨量199mm（ $180.6\text{mm} \times 1.1$ ）となるよう引き伸ばし降雨波形を作成し流出計算を行った結果、基準地点下牧において、 $4,900 \sim 10,400\text{m}^3/\text{s}$ となる（表1-8）。

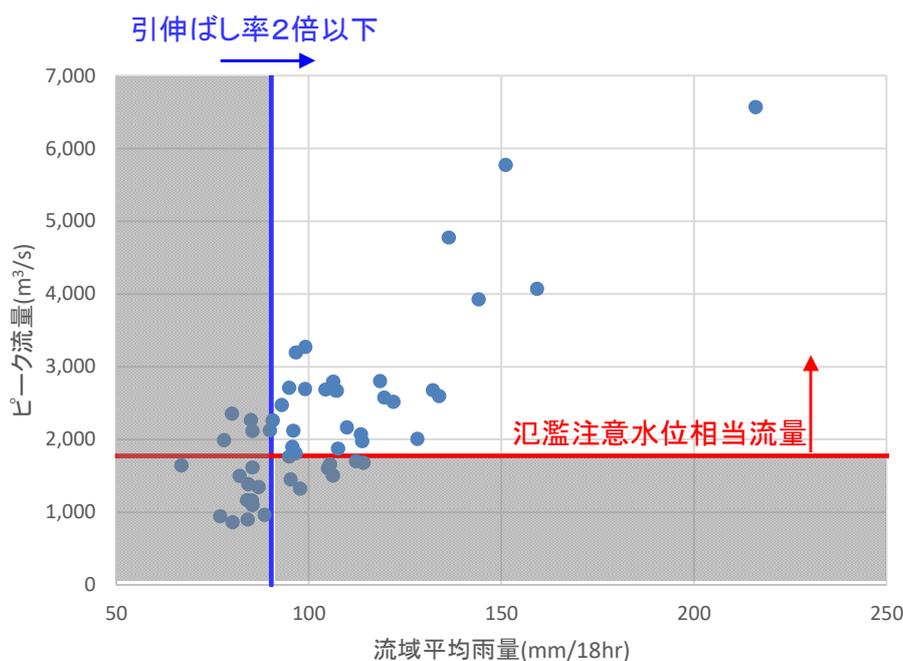


図 1-12 対象洪水の選定（基準地点下牧）

表 1-8 選定洪水のピーク流量一覧(下牧基準地点)

No	洪水名	180.6 mm/18hr		199mm/18hr 倍率 気候変動後	流出計算結果 (m ³ /s) 雨量倍率 (1.1倍) 下牧地点
		18hr (mm)	拡大率		
1	S38.7.11	133.8	1.350	1.487	5,266
2	S40.7.23	106.4	1.697	1.870	5,760
3	S40.9.9	99.1	1.822	2.008	7,453
4	S41.9.18	96.0	1.881	2.073	5,690
5	S42.7.9	90.7	1.991	2.194	6,438
6	S43.7.15	113.5	1.591	1.753	5,808
7	S46.7.1	132.2	1.366	1.505	5,471
8	S47.6.8	118.5	1.524	1.679	8,350
9	S47.7.12	136.4	1.324	1.459	7,270
10	S51.9.12	104.4	1.730	1.906	5,605
11	S53.9.16	107.6	1.678	1.849	8,945
12	S54.10.19	144.1	1.253	1.381	6,898
13	S55.8.31	96.7	1.868	2.058	7,907
14	S58.9.28	95.8	1.885	2.077	5,209
15	S60.6.25	107.3	1.683	1.855	6,005
16	H2.9.19	94.9	1.903	2.097	6,467
17	H7.7.3	122.0	1.480	1.631	6,576
18	H10.9.25	128.2	1.409	1.552	4,840
19	H10.10.18	151.1	1.195	1.317	9,391
20	H18.7.19	99.1	1.822	2.007	7,847
21	H23.9.3	159.3	1.134	1.249	5,262
22	H24.7.7	93.0	1.942	2.140	10,386
23	H25.9.4	113.9	1.586	1.747	5,267
24	H29.9.18	119.6	1.510	1.664	7,675
25	H29.10.23	109.9	1.643	1.810	4,876
26	H30.7.7	216.0	1.000	1.000	6,571
27	R2.7.14	96.6	1.870	2.060	6,315
28	R3.8.15	107.0	1.688	1.859	5,455

※拡大率：「実績雨量(mm/18h)」と「1/150 確率雨量 (180.6mm/18h)」との比率

※倍率：「実績雨量(mm/18h)」と「1/150 確率雨量×1.1 (199mm/18h)」との比率

※平成 30 年 (2018 年) 7 月豪雨は「実績>確率雨量」であるため拡大率・倍率ともに 1.000 倍を使用

1-9 対象降雨の地域分布及び時間分布の検討

1-9-1 考え方

基本高水の検討対象洪水において、「短時間に降雨が集中する洪水」や「降雨の範囲が著しく偏った洪水」等を一律拡大すると、引き伸ばし後の短時間雨量が非現実的な確率値となる場合がある。そのため、実績降雨波形を計画降雨波形として採用するには、確率水文量への引き伸ばしによって異常な降雨になっていないか十分にチェックする必要がある。

従って、表 1-8 で選定した一次選定洪水について、引き伸ばし後の降雨の地域分布及び時間分布を確認し、計画降雨としての妥当性評価により代表的な洪水に適さない洪水については検討対象から除外した上で計画降雨波形を設定する。

1-9-2 棄却基準の設定

引き伸ばし後の降雨に対する棄却基準としては、1/500 降雨量又は実績最大降雨量のいずれか大きい方とした。

なお、引き伸ばし後の降雨量は気候変動による降雨量の増大を考慮しない雨量（降雨量変化倍率を乗じる前の雨量）とした。

1-9-3 地域分布の評価

(1) 対象地域の選定

対象地域は、クラスター分析結果等より、以下に示す 4 流域を選定した。

- | | |
|-------------|-------------|
| A：湯原ダム上流域 | B：湯原ダム～久世流域 |
| C：久世～旭川ダム流域 | D：旭川ダム～下牧流域 |

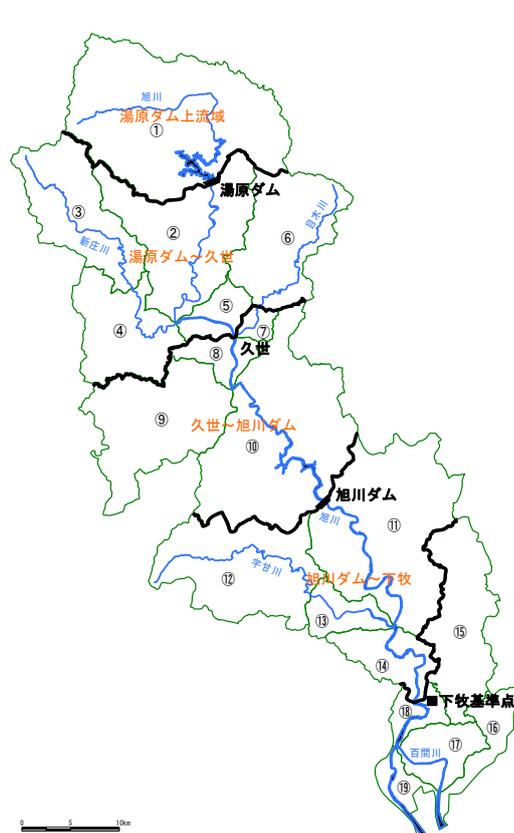


図 1-13 地域分布設定図

(2) 棄却基準値の選定

各選定地域における棄却基準値を設定した。確率雨量の算定は、昭和31年（1956年）～平成22年（2010年）までの各流域の年最大18時間雨量について確率計算を行い、1/500降雨量又は実績最大降雨量のいずれか大きい方を採用した。

表 1-9 地域分布 1/500 年確率：ゲンベル法(単位：mm)

雨量	湯原ダム上流	湯原ダム～久世	久世～旭川ダム	旭川ダム～下牧
18hr 雨量	291.5	232.3	224.7	214.4
実績最大(下牧)	233.5	252.0	218.7	173.0

※実績最大雨量は、平成30年（2018年）7月豪雨で決定

(3) 地域分布の雨量評価

選定した地域について、拡大後雨量の異常性評価を確認した。

各地域の拡大後雨量及び棄却基準値は以下に示すとおりであり、5洪水が棄却された。

表 1-10 地域分布による拡大後降雨の確率評価表

No	洪水名	180.6 mm / 18hr		地域分布棄却(1/500)												棄却判定
		18hr雨量(mm)	拡大率	湯原ダム 18hr雨量 (mm)			湯原ダム～久世 18hr雨量 実績(mm)			久世～旭川ダム 18hr雨量 (mm)			旭川ダム～下牧 18hr雨量 (mm)			
				実績値	引伸後	判定	実績値	引伸後	判定	実績値	引伸後	判定	実績値	引伸後	判定	
1	S38.7.11	133.8	1.350	128.0	172.8	○	171.2	231.1	○	137.3	185.4	○	101.6	137.2	○	○
2	S40.7.23	106.4	1.697	125.3	212.6	○	138.7	235.4	○	100.9	171.2	○	75.3	127.8	○	○
3	S40.9.9	99.1	1.822	136.0	247.7	○	113.1	206.1	○	86.5	157.6	○	80.6	146.9	○	○
4	S41.9.18	96.0	1.881	90.7	170.6	○	92.1	173.2	○	93.9	176.6	○	104.7	196.9	○	○
5	S42.7.9	90.7	1.991	86.4	171.9	○	75.2	149.7	○	91.5	182.2	○	105.5	210.1	○	○
6	S43.7.15	113.5	1.591	122.7	195.3	○	124.1	197.4	○	113.3	180.3	○	99.1	157.7	○	○
7	S46.7.1	132.2	1.366	116.0	158.4	○	131.3	179.4	○	142.3	194.4	○	131.4	179.5	○	○
8	S47.6.8	118.5	1.524	91.8	139.9	○	113.4	172.8	○	131.6	200.6	○	123.2	187.8	○	○
9	S47.7.12	136.4	1.324	131.1	173.6	○	151.9	201.1	○	169.1	223.9	○	89.9	119.0	○	○
10	S51.9.12	104.4	1.730	67.8	117.2	○	91.0	157.4	○	117.2	202.8	○	122.3	211.6	○	○
11	S53.9.16	107.6	1.678	99.5	166.9	○	124.4	208.7	○	117.1	196.5	○	87.4	146.7	○	○
12	S54.10.19	144.1	1.253	160.6	201.2	○	141.4	177.2	○	113.8	142.6	○	171.8	215.3	×	×
13	S55.8.31	96.7	1.868	63.9	119.4	○	79.6	148.7	○	109.9	205.3	○	114.2	213.3	○	○
14	S58.9.28	95.8	1.885	109.2	205.9	○	113.1	213.2	○	73.4	138.4	○	99.5	187.6	○	○
15	S60.6.25	107.3	1.683	86.6	145.7	○	103.6	174.4	○	110.4	185.8	○	118.7	199.8	○	○
16	H2.9.19	94.9	1.903	88.7	168.8	○	80.8	153.8	○	88.8	169.0	○	117.3	223.2	×	×
17	H7.7.3	122.0	1.480	132.5	196.1	○	125.9	186.3	○	128.4	190.0	○	105.5	156.1	○	○
18	H10.9.25	128.2	1.409	190.0	267.7	○	182.3	256.9	×	116.7	164.4	○	61.5	86.7	○	×
19	H10.10.18	151.1	1.195	156.1	186.5	○	140.1	167.4	○	156.5	187.0	○	150.7	180.0	○	○
20	H18.7.19	99.1	1.822	125.0	227.7	○	113.0	205.9	○	94.9	173.0	○	77.8	141.7	○	○
21	H23.9.3	159.3	1.134	201.1	228.1	○	180.6	204.9	○	143.0	162.2	○	136.0	154.2	○	○
22	H24.7.7	93.0	1.942	46.3	89.9	○	83.9	162.9	○	104.3	202.6	○	114.6	222.6	×	×
23	H25.9.4	113.9	1.586	122.5	194.3	○	117.5	186.4	○	106.0	168.2	○	115.1	182.6	○	○
24	H29.9.18	119.6	1.510	184.0	277.8	○	120.2	181.6	○	99.9	150.8	○	104.9	158.4	○	○
25	H29.10.23	109.9	1.643	181.0	297.4	×	112.9	185.5	○	87.6	143.9	○	92.4	151.8	○	×
26	H30.7.7	216.0	1.000	233.5	233.5	○	252.0	252.0	○	218.7	218.7	○	173.0	173.0	○	○
27	R2.7.14	96.6	1.870	103.2	193.0	○	106.1	198.4	○	105.2	196.8	○	75.0	140.3	○	○
28	R3.8.15	107.0	1.688	114.0	192.4	○	126.9	214.2	○	117.0	197.5	○	75.3	127.0	○	○

※拡大率：「実績雨量(mm/18h)」と「1/150 確率雨量(180.6mm/18h)」との比率

1-9-4 時間分布の評価

時間分布の検討では、洪水到達時間相当の短時間雨量にて過度に引き伸ばしがされていないか確認を行った。

(1) 対象時間の選定

対象時間は、降雨継続時間の 1/2(9 時間)と、洪水到達時間(12 時間)から設定した。

表 1-11 対象時間の設定

基準地点名	時間分布棄却基準 (短時間雨量として設定)	
下牧	9hr	12hr

(2) 棄却基準値の選定

対象時間における棄却基準値を設定する。確率雨量の算定は、昭和 31 年 (1956 年) ~平成 22 年 (2010 年) までの年最大雨量について確率計算を行い、1/500 降雨量又は実績最大降雨のいずれか大きい方を採用した。

表 1-12 短時間雨量 1/500 年確率 (単位 : mm)

地点名	9 時間	12 時間
下牧	203.4(SqrtEt)	181.7(Gumbel)
実績最大(下牧)	133.3	151.1

※実績最大雨量は、平成 30 年 (2018 年) 7 月豪雨で決定

(3) 時間分布の雨量評価

設定した棄却基準値をもとに、著しい引き伸ばしとなっていないかを確認した。時間分布による棄却洪水は存在しない。

表 1-13 時間分布による拡大後降雨の確率評価表

No	洪水名	180.6 mm/18hr		時間分布棄却(1/500)						棄却判定
		18hr雨量 (mm)	拡大率	9hr雨量 (mm)			12hr雨量 (mm)			
				実績値	引伸後	判定	実績値	引伸後	判定	
1	S38.7.11	133.8	1.350	102.5	138.4	○	121.4	163.9	○	○
2	S40.7.23	106.4	1.697	63.6	107.9	○	77.5	131.5	○	○
3	S40.9.9	99.1	1.822	56.2	102.4	○	79.2	144.3	○	○
4	S41.9.18	96.0	1.881	61.1	114.9	○	72.3	136.0	○	○
5	S42.7.9	90.7	1.991	67.5	134.4	○	76.6	152.5	○	○
6	S43.7.15	113.5	1.591	85.5	136.0	○	98.7	157.0	○	○
7	S46.7.1	132.2	1.366	81.8	111.7	○	111.4	152.2	○	○
8	S47.6.8	118.5	1.524	94.0	143.3	○	98.8	150.6	○	○
9	S47.7.12	136.4	1.324	102.5	135.7	○	109.5	145.0	○	○
10	S51.9.12	104.4	1.730	63.1	109.2	○	80.3	138.9	○	○
11	S53.9.16	107.6	1.678	103.4	173.5	○	104.7	175.7	○	○
12	S54.10.19	144.1	1.253	104.9	131.4	○	121.8	152.6	○	○
13	S55.8.31	96.7	1.868	56.1	104.8	○	85.3	159.3	○	○
14	S58.9.28	95.8	1.885	50.4	95.0	○	76.4	144.0	○	○
15	S60.6.25	107.3	1.683	64.9	109.2	○	81.0	136.3	○	○
16	H2.9.19	94.9	1.903	50.4	95.9	○	75.9	144.4	○	○
17	H7.7.3	122.0	1.480	91.8	135.9	○	111.0	164.3	○	○
18	H10.9.25	128.2	1.409	93.6	131.9	○	104.9	147.8	○	○
19	H10.10.18	151.1	1.195	132.3	158.1	○	140.7	168.1	○	○
20	H18.7.19	99.1	1.822	76.9	140.1	○	86.5	157.6	○	○
21	H23.9.3	159.3	1.134	82.4	93.4	○	112.7	127.8	○	○
22	H24.7.7	93.0	1.942	88.6	172.1	○	90.3	175.4	○	○
23	H25.9.4	113.9	1.586	85.0	134.8	○	97.1	154.0	○	○
24	H29.9.18	119.6	1.510	115.0	173.6	○	118.6	179.0	○	○
25	H29.10.23	109.9	1.643	58.6	96.2	○	75.5	124.1	○	○
26	H30.7.7	216.0	1.000	133.3	133.3	○	151.1	151.1	○	○
27	R2.7.14	96.6	1.870	61.2	114.4	○	74.9	140.1	○	○
28	R3.8.15	107.0	1.688	69.1	116.6	○	77.2	130.3	○	○

※拡大率 : 「実績雨量 (mm/18h)」 と 「1/500 確率雨量 (180.6mm/18h)」 との比率

1-10 主要洪水における降雨量（気候変動考慮）の引き伸ばしと流出計算

主要洪水を対象に、18時間雨量に対して、1/150確率規模に1.1倍した降雨量となるように引き伸ばし降雨波形を作成した後、流出計算を行った結果、基準地点下牧におけるピーク流量は5,300~9,400m³/sとなった。基準地点下牧におけるピーク流量の一覧を表1-14、洪水ごとのハイドログラフを図1-14(1)~(6)に示す。

表 1-14 ピーク流量一覧（下牧基準地点）

No	洪水名	180.6 mm/18hr		棄却判定			総合	199mm/18hr 倍率 気候変動後	流出計算結果 (m ³ /s) 雨量倍率 (1.1倍) 下牧地点
		18hr (mm)	拡大率	2倍	時間 分布	地域 分布			
1	S38. 7. 11	133. 8	1. 350	○	○	○	○	1. 487	5, 266
2	S40. 7. 23	106. 4	1. 697	○	○	○	○	1. 870	5, 760
3	S40. 9. 9	99. 1	1. 822	○	○	○	○	2. 008	7, 453
4	S41. 9. 18	96. 0	1. 881	○	○	○	○	2. 073	5, 690
5	S42. 7. 9	90. 7	1. 991	○	○	○	○	2. 194	6, 438
6	S43. 7. 15	113. 5	1. 591	○	○	○	○	1. 753	5, 808
7	S46. 7. 1	132. 2	1. 366	○	○	○	○	1. 505	5, 471
8	S47. 6. 8	118. 5	1. 524	○	○	○	○	1. 679	8, 350
9	S47. 7. 12	136. 4	1. 324	○	○	○	○	1. 459	7, 270
10	S51. 9. 12	104. 4	1. 730	○	○	○	○	1. 906	5, 605
11	S53. 9. 16	107. 6	1. 678	○	○	○	○	1. 849	8, 945
12	S54. 10. 19	144. 1	1. 253	○	○	×	×	1. 381	6, 898
13	S55. 8. 31	96. 7	1. 868	○	○	○	○	2. 058	7, 907
14	S58. 9. 28	95. 8	1. 885	○	○	○	○	2. 077	5, 209
15	S60. 6. 25	107. 3	1. 683	○	○	○	○	1. 855	6, 005
16	H2. 9. 19	94. 9	1. 903	○	○	×	×	2. 097	6, 467
17	H7. 7. 3	122. 0	1. 480	○	○	○	○	1. 631	6, 576
18	H10. 9. 25	128. 2	1. 409	○	○	×	×	1. 552	4, 840
19	H10. 10. 18	151. 1	1. 195	○	○	○	○	1. 317	9, 391
20	H18. 7. 19	99. 1	1. 822	○	○	○	○	2. 007	7, 847
21	H23. 9. 3	159. 3	1. 134	○	○	○	○	1. 249	5, 262
22	H24. 7. 7	93. 0	1. 942	○	○	×	×	2. 140	10, 386
23	H25. 9. 4	113. 9	1. 586	○	○	○	○	1. 747	5, 267
24	H29. 9. 18	119. 6	1. 510	○	○	○	○	1. 664	7, 675
25	H29. 10. 23	109. 9	1. 643	○	○	×	×	1. 810	4, 876
26	H30. 7. 7	216. 0	1. 000	○	○	○	○	1. 000	6, 571
27	R2. 7. 14	96. 6	1. 870	○	○	○	○	2. 060	6, 315
28	R3. 8. 15	107. 0	1. 688	○	○	○	○	1. 859	5, 455
棄却後最大流量									9, 391

※グレー着色：短時間雨量あるいは小流域が著しい引き伸ばしとなっている洪水

※拡大率：「実績雨量(mm/18h)」と「1/150 確率雨量 (180.6mm/18h)」との比率

※倍率：「実績雨量(mm/18h)」と「1/150 確率雨量×1.1 (199mm/18h)」との比率

※平成 30 年（2018 年）7 月豪雨は「実績＞確率雨量」であるため拡大率・倍率ともに 1.000 倍を使用

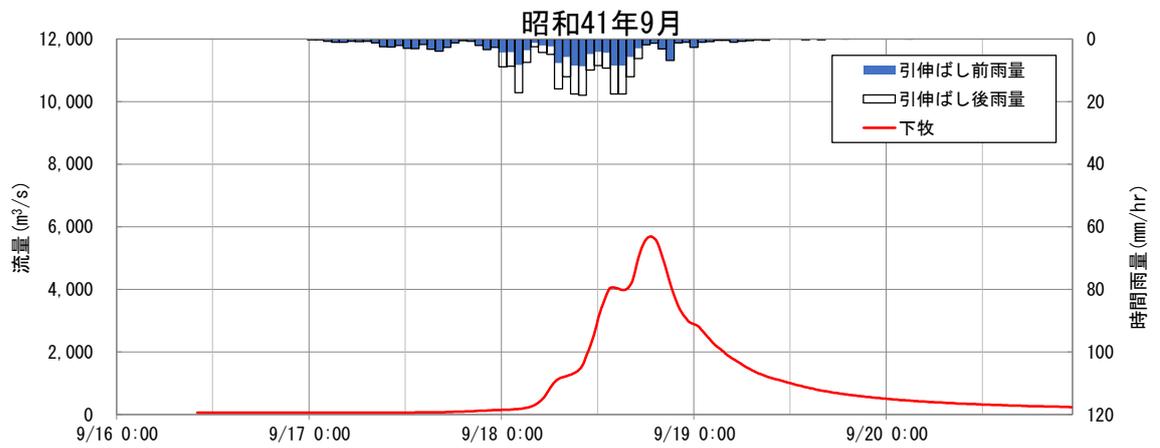
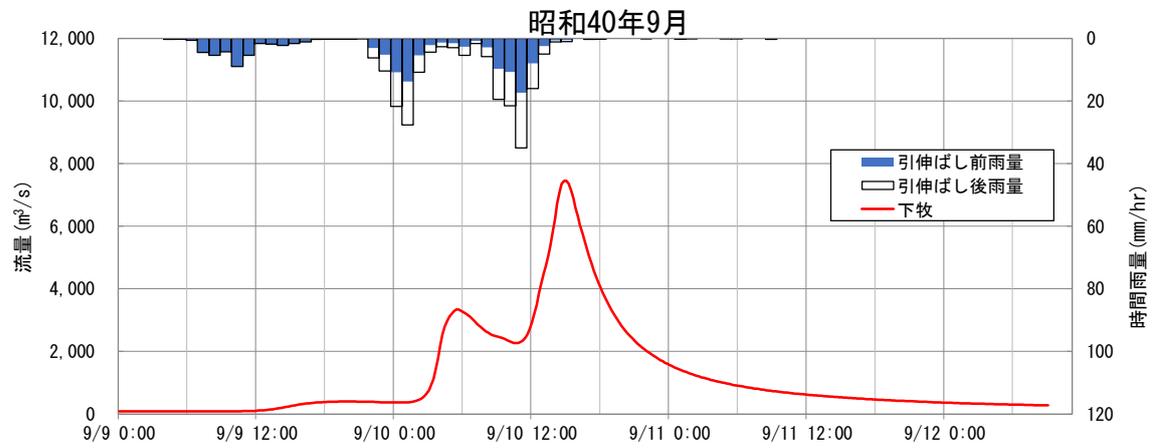
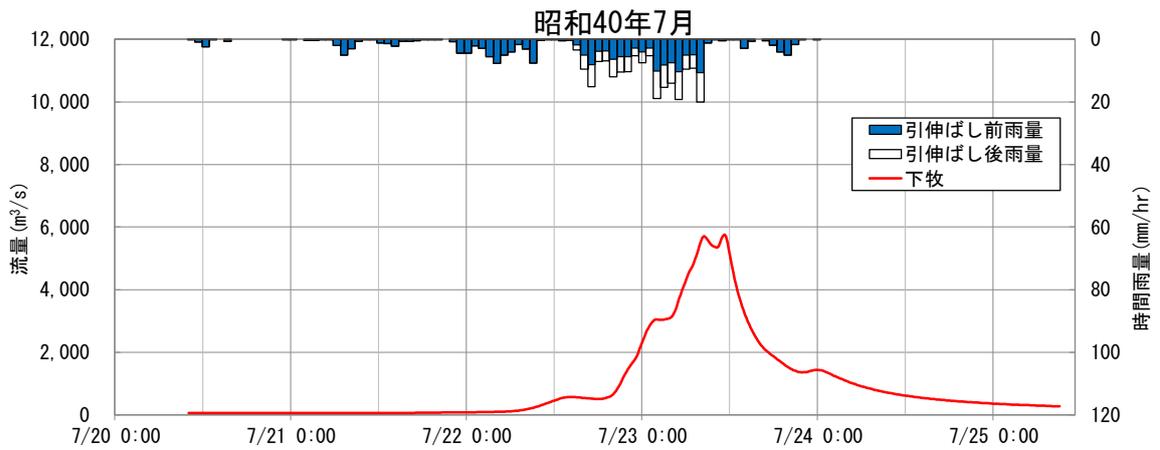
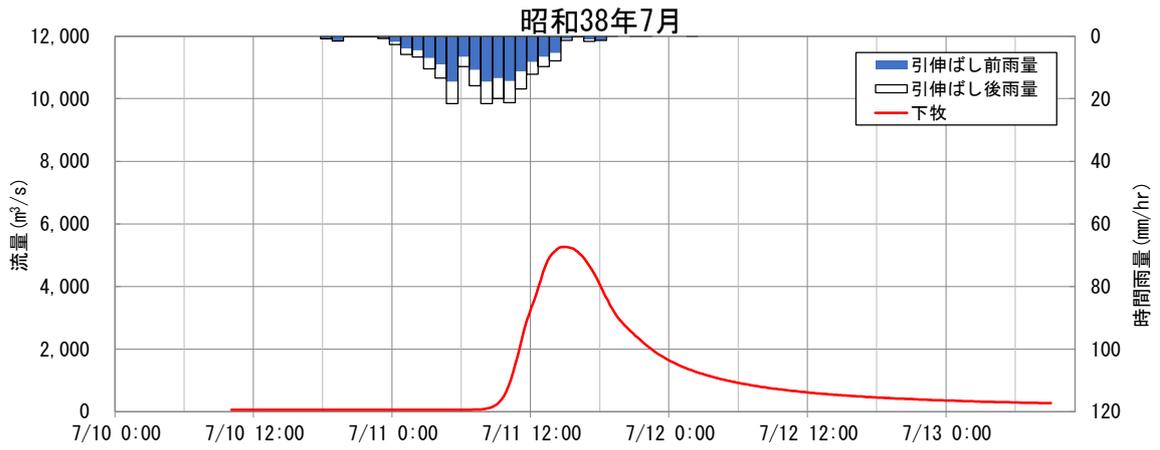


図 1-14(1) 基本高水ハイドログラフ (基準地点下牧)

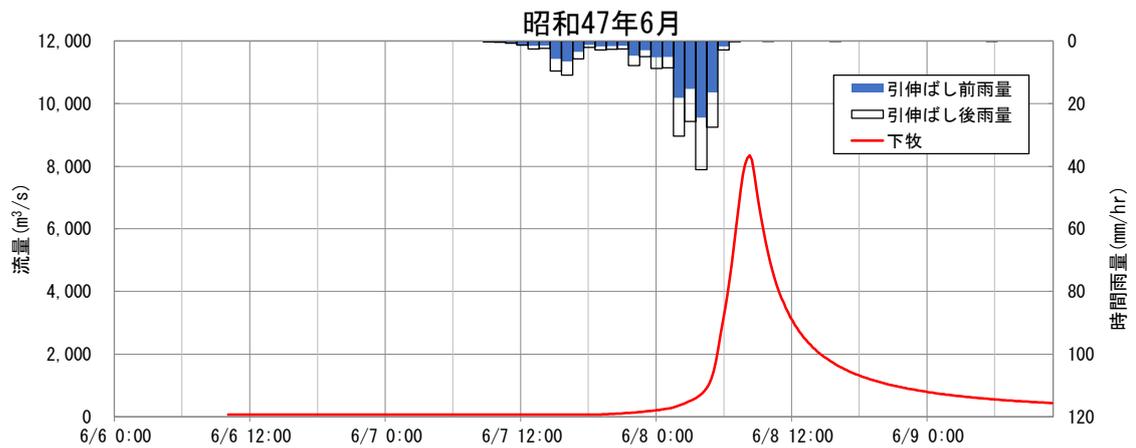
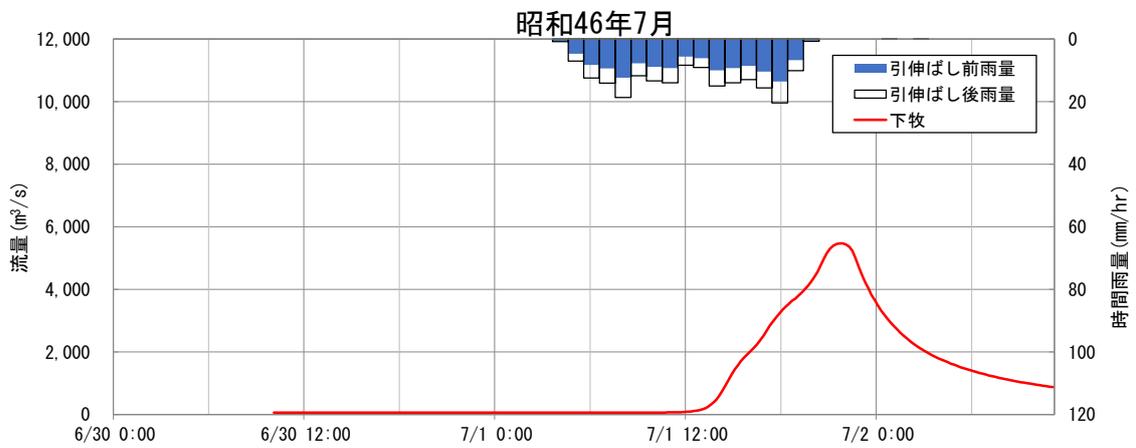
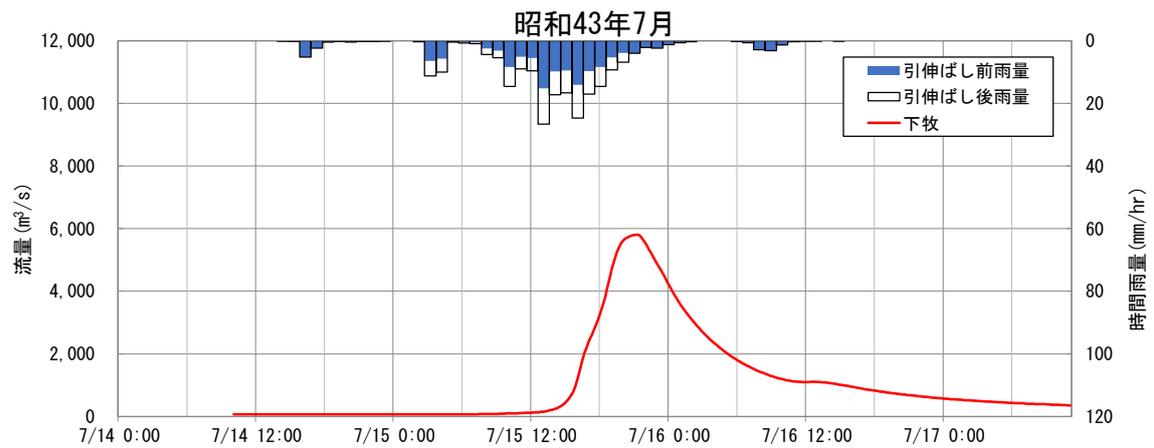
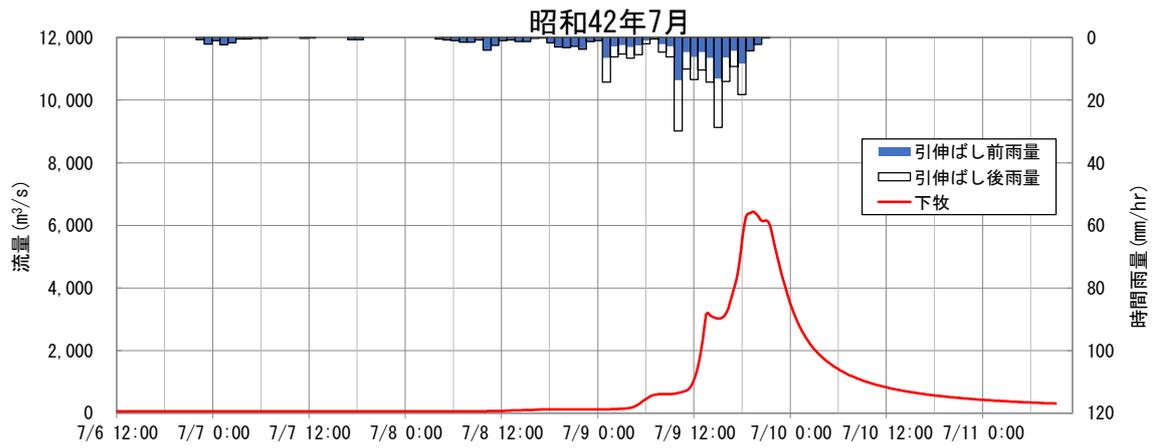


図 1-14 (2) 基本高水ハイドログラフ (基準地点下牧)

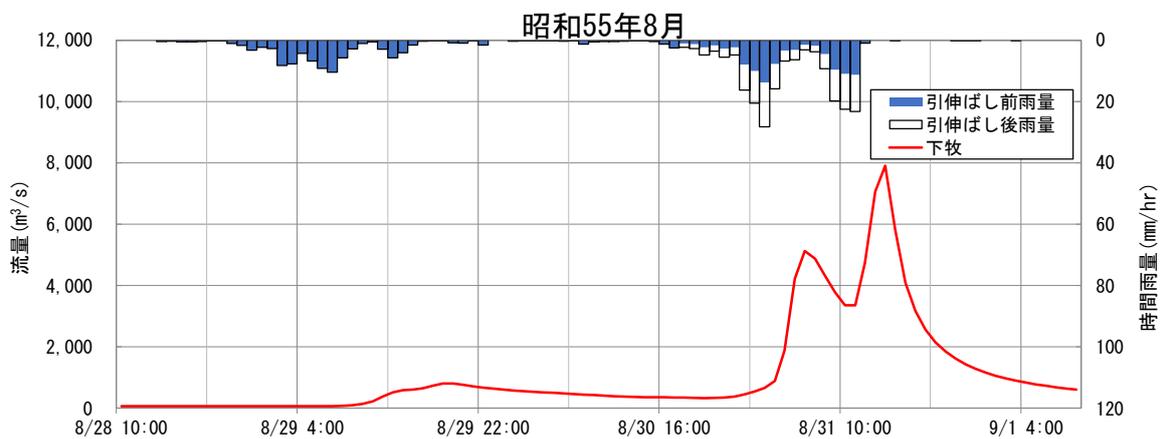
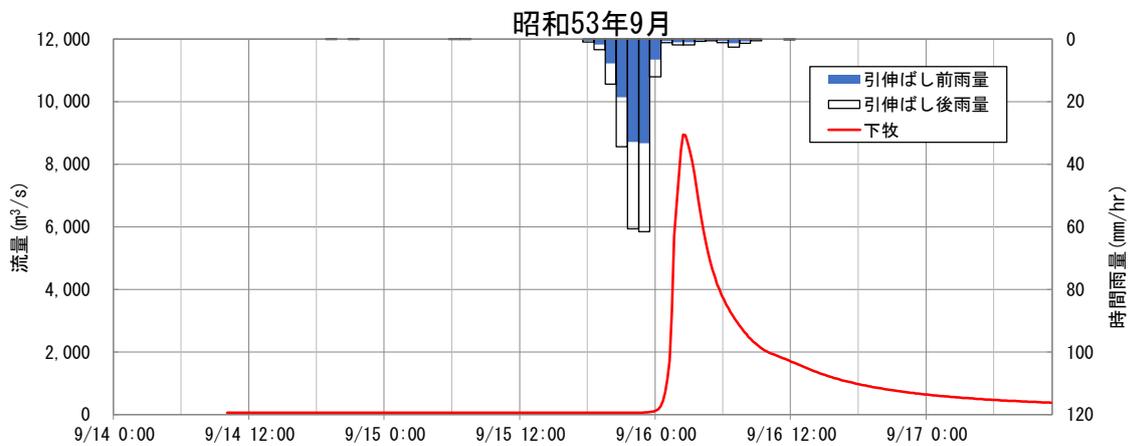
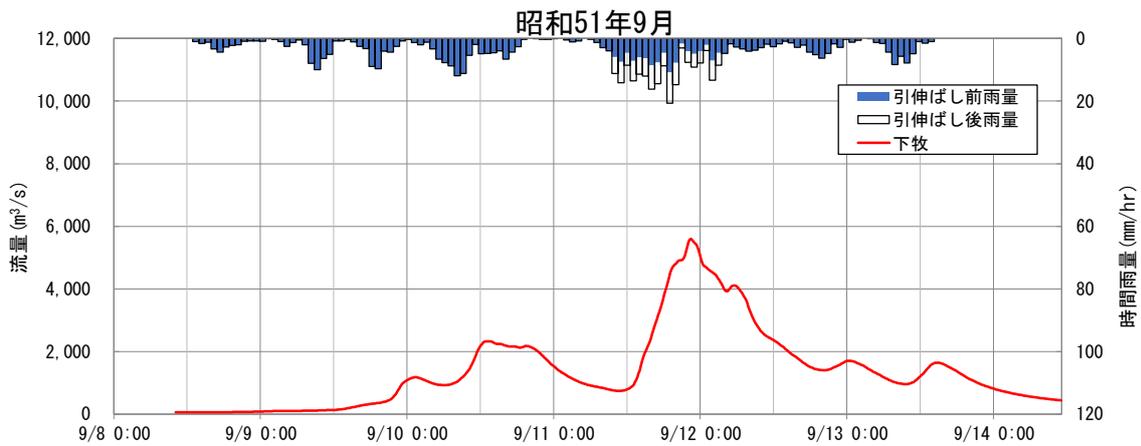
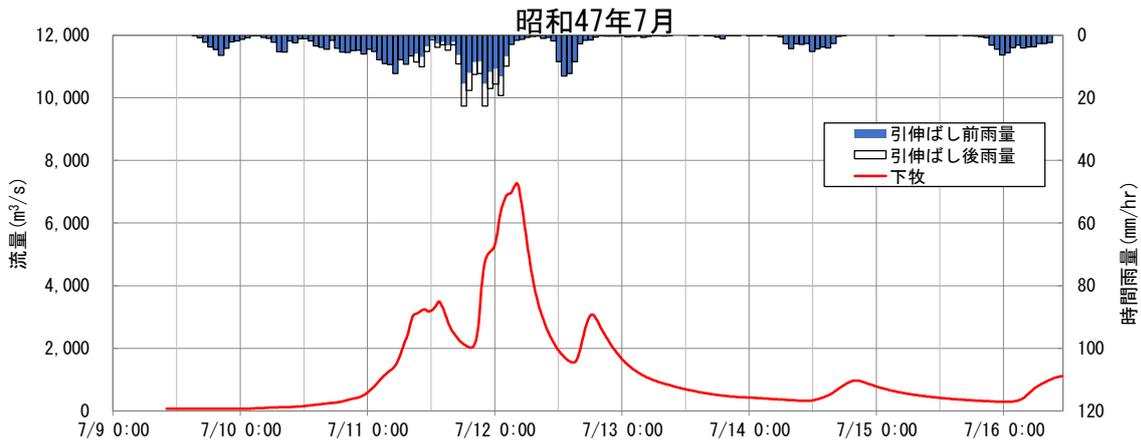


図 1-14 (3) 基本高水ハイドログラフ (基準地点下牧)

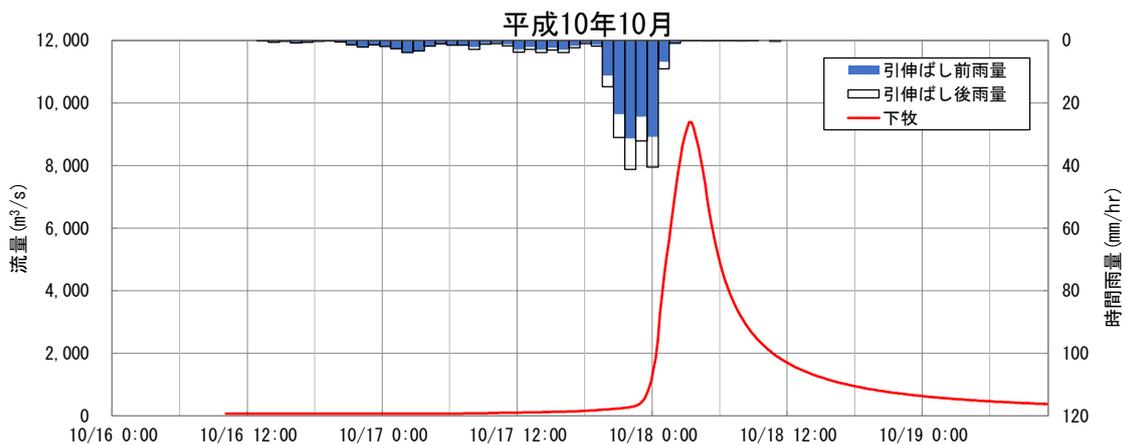
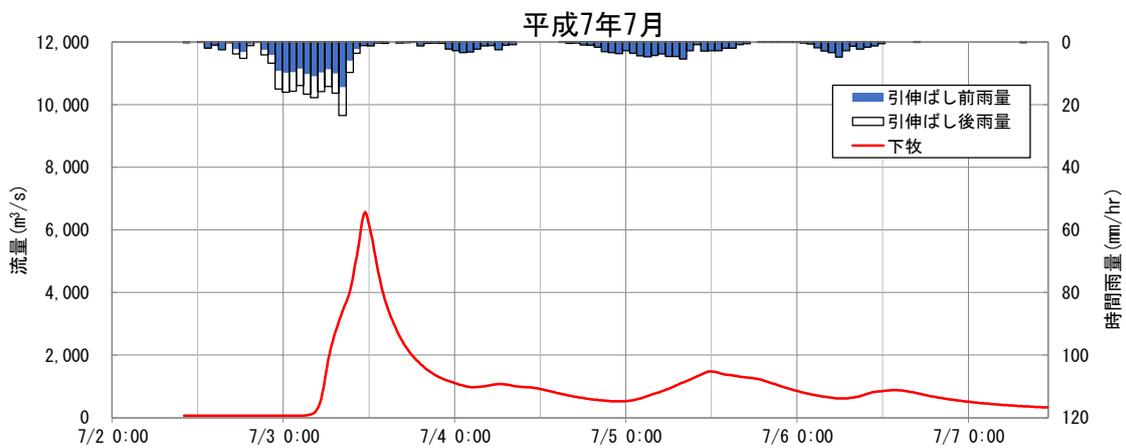
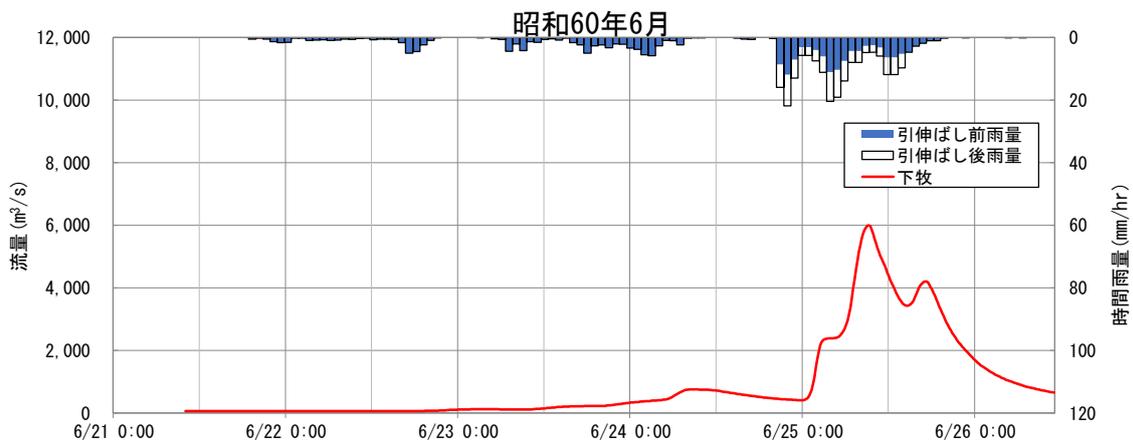
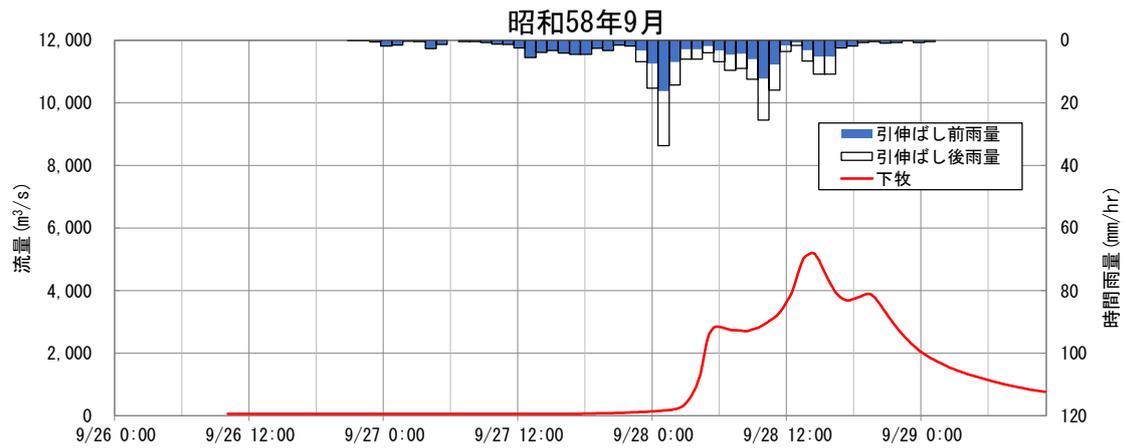


図 1-14 (4) 基本高水ハイドログラフ (基準地点下牧)

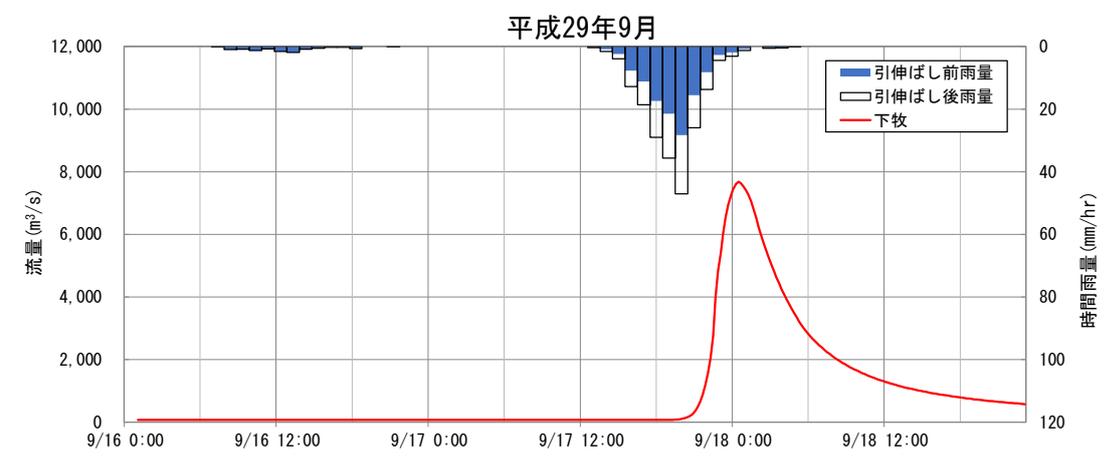
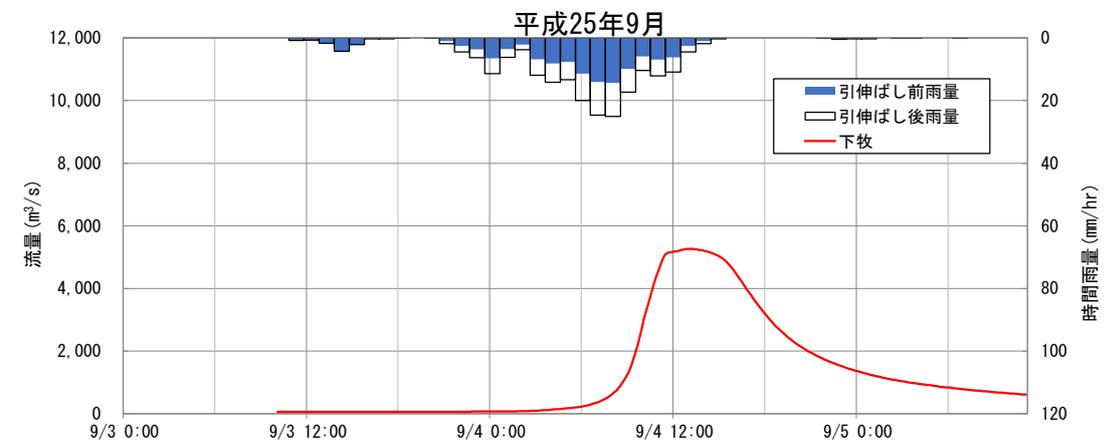
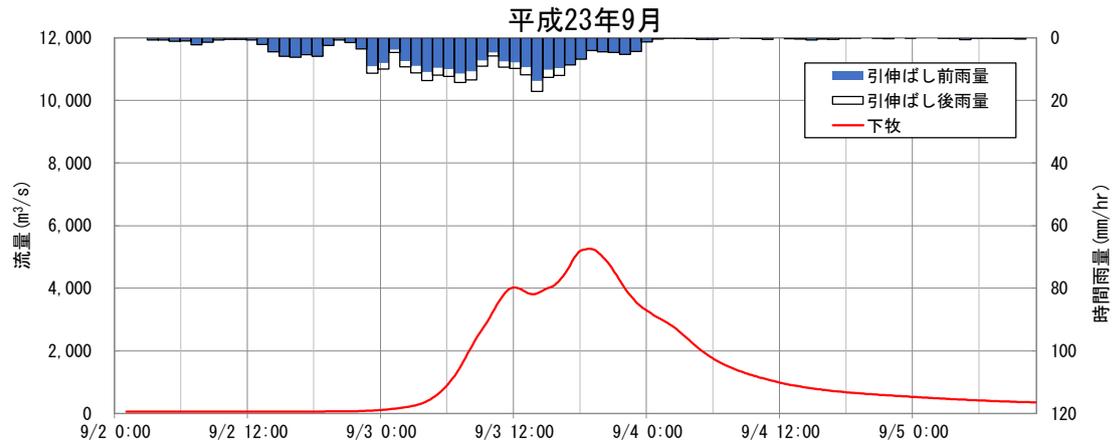
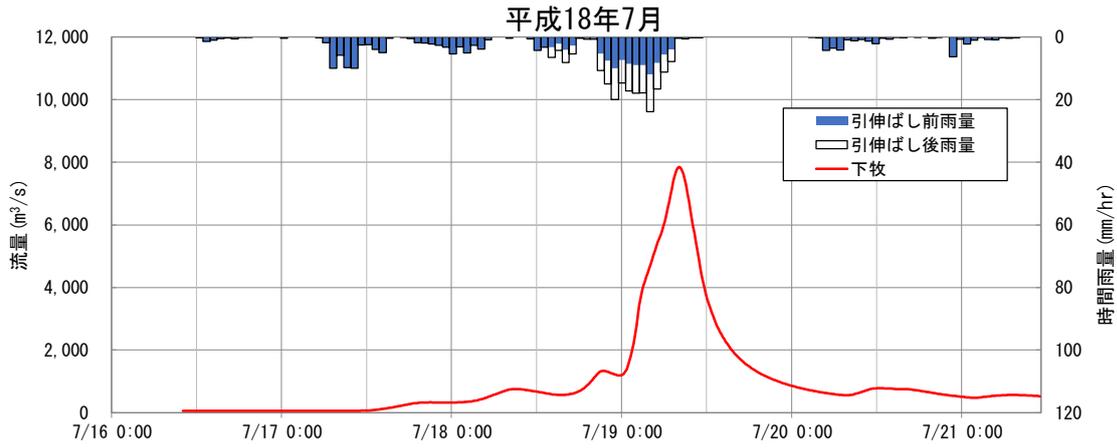


図 1-14 (5) 基本高水ハイドログラフ (基準地点下牧)

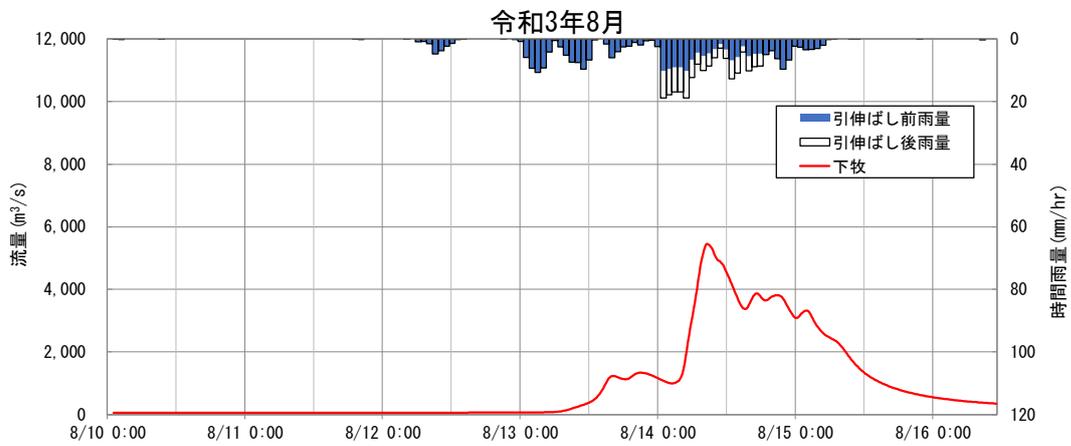
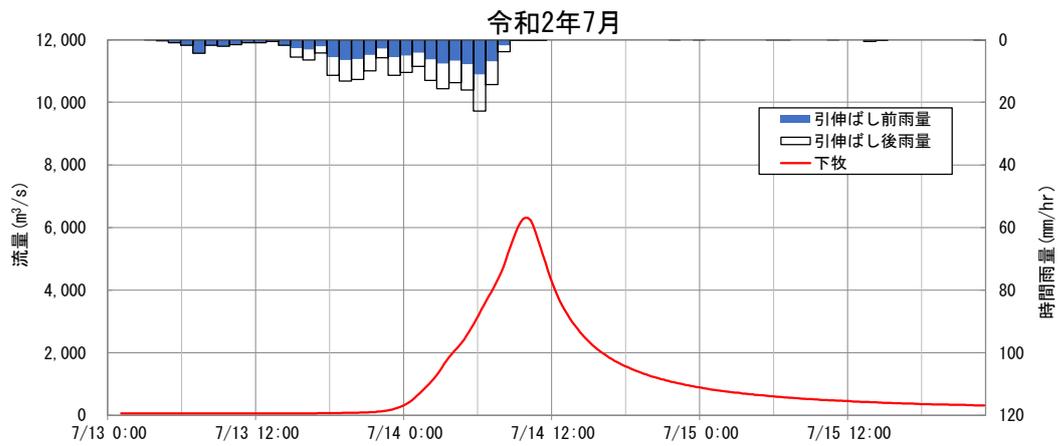
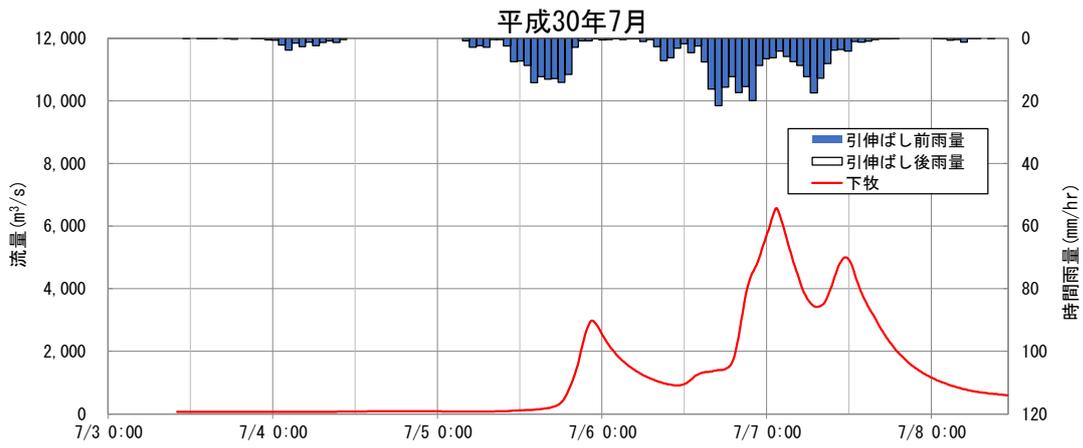


図 1-14 (6) 基本高水ハイドログラフ (基準地点下牧)

1-11 アンサンブル予測降雨波形による検討

1-11-1 アンサンブル予測降雨波形による流出計算

4℃上昇のシナリオ RCP8.5 における近未来の気候（2℃上昇時：およそ 2040 年頃、世界平均の地上気温が産業革命当時と比べて 2℃上昇）を前提として、文部科学省「SI-CAT 気候変動適応技術社会実装プログラム※」において整備・公表された解像度 5km にダウンスケーリングされたアンサンブル実験により得られたアンサンブル将来予測降雨波形（以下、d2PDF）から求めた、現在気候（360 年分=30 年×12 摂動）及び将来気候（360 年分=30 年×6SST×2 摂動）の年最大流域平均雨量標本から計画対象降雨の降雨量 199mm/18hr の近傍 15 洪水を抽出した。抽出した 15 洪水は、中央集中や複数の降雨ピークがある波形等、様々なタイプの降雨波形を含んでいることを確認した。

また、抽出した洪水の降雨波形を気候変動考慮した 1/150 確率規模の 18 時間雨量 199mm まで調整し、流出計算モデルにより流出量を算出した結果、約 4,600m³/s から約 12,200m³/s の範囲となり、雨量データによる確率からの検討により算出された流量が数値の範囲に収まっていることを確認した。

※SI-CAT：気候変動適応技術社会実装プログラム（Social Implementation Program on Climate Change Adaptation Technology）

日本全国の地方自治体等が行う気候変動対応策の検討・策定に汎用的に生かされるような信頼性の高い近未来の気候変動予測技術や気候変動影響に対する適応策の効果の評価を可能とする技術を開発するプログラム

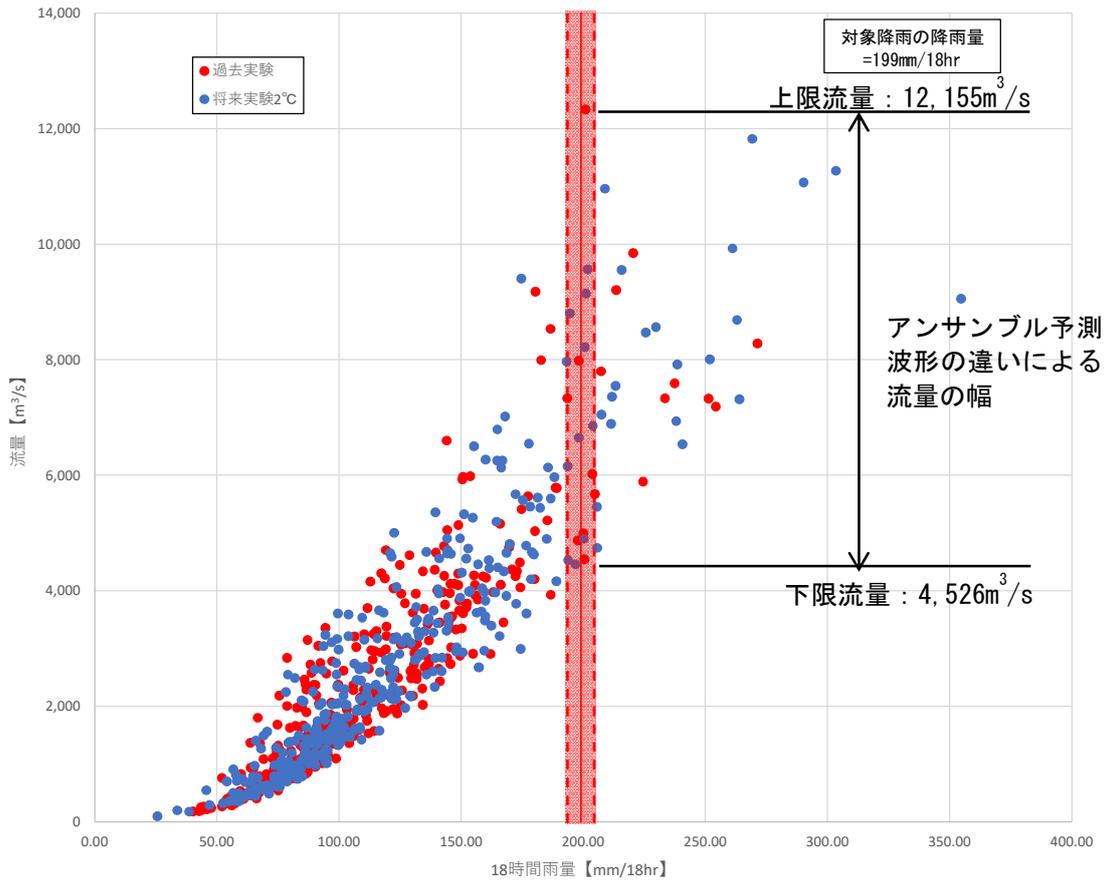


図 1-15(1) アンサンブル予測降雨波形からの抽出 (基準地点下牧)

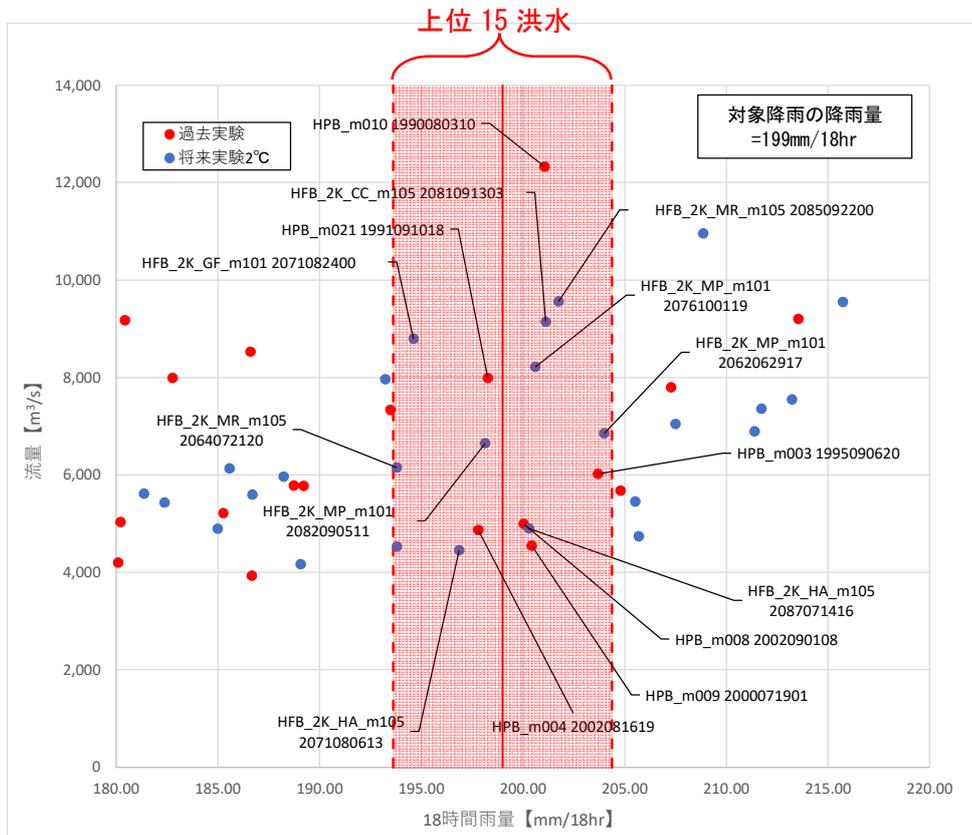
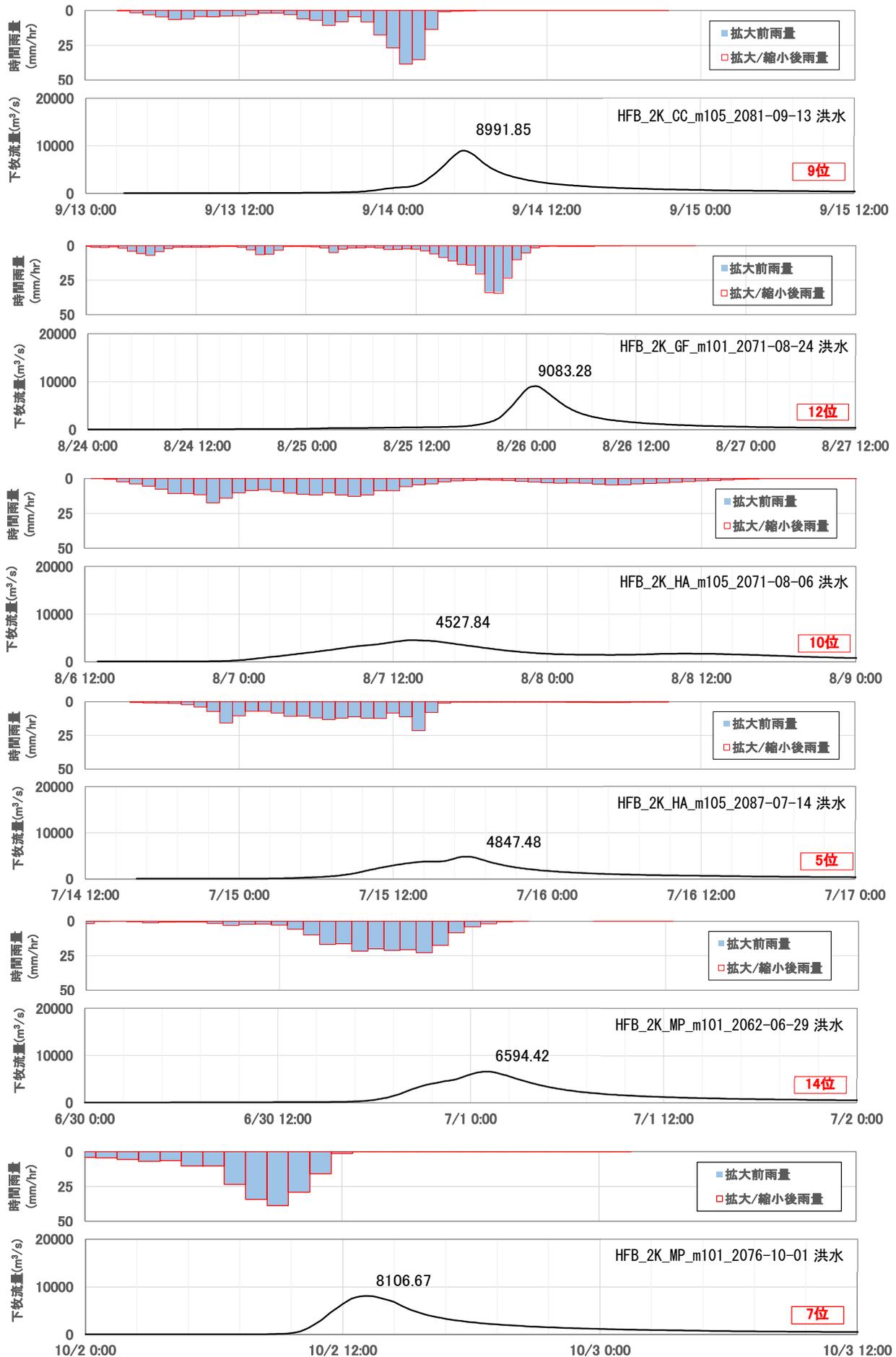


図 1-15(2) アンサンブル予測降雨波形からの抽出 (基準地点下牧) 【詳細図】

表 1-15 アンサンブル予測降雨波形のピーク流量一覧（基準地点下牧）

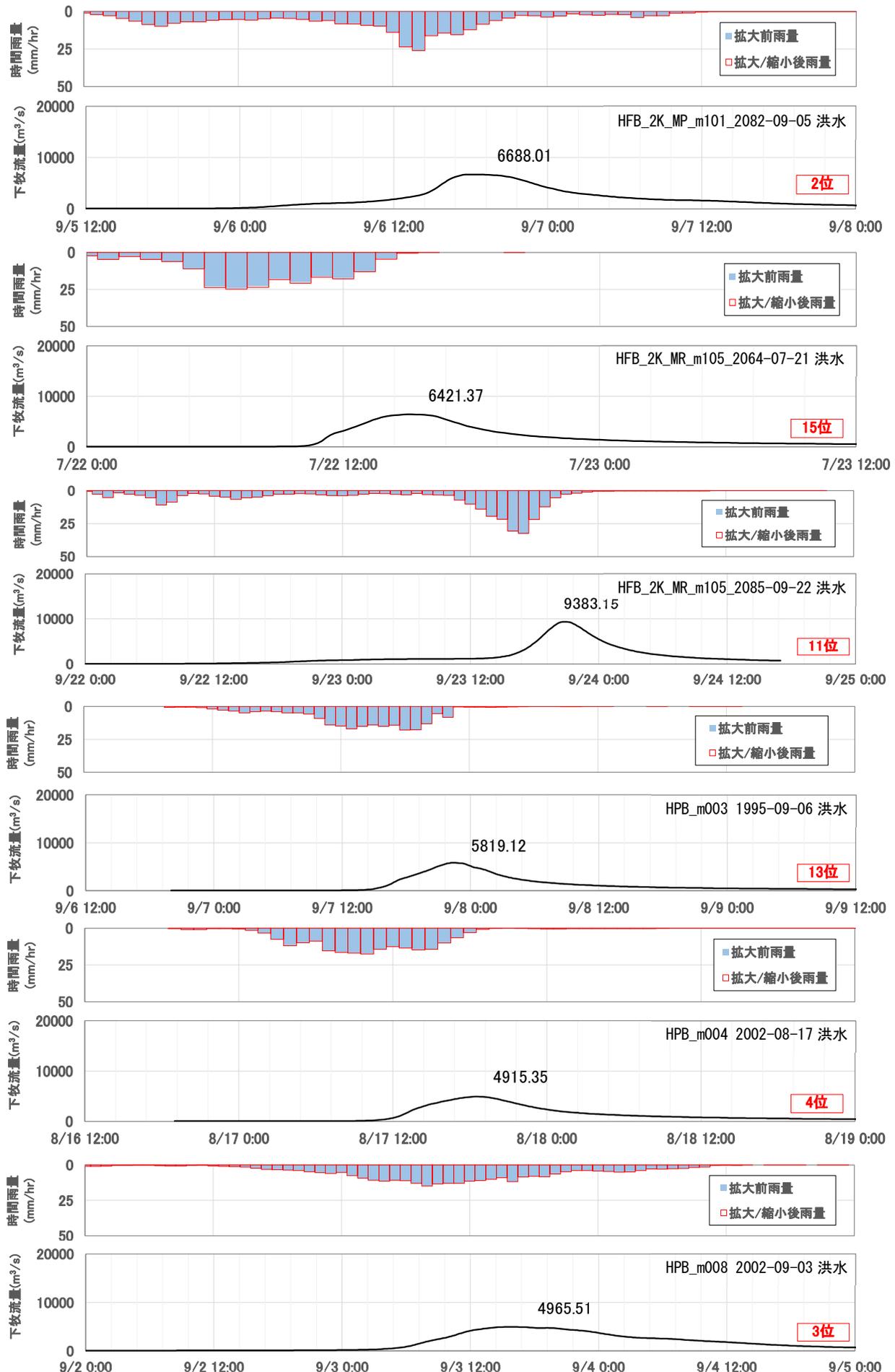
将来実験				
洪水名	下牧18時間雨量 (mm)	気候変動 後1/150 雨量 (mm)	拡大率	下牧地点 流量 (m ³ /s)
HFB_2K_CC_m105 2081091303	201.1	199	0.990	8,992
HFB_2K_GF_m101 2071082400	194.6		1.023	9,083
HFB_2K_HA_m105 2071080613	196.9		1.011	4,528
HFB_2K_HA_m105 2087071416	200.3		0.994	4,847
HFB_2K_MP_m101 2062062917	204.0		0.975	6,594
HFB_2K_MP_m101 2076100119	200.6		0.992	8,107
HFB_2K_MP_m101 2082090511	198.1		1.005	6,688
HFB_2K_MR_m105 2064072120	193.8		1.027	6,421
HFB_2K_MR_m105 2085092200	201.8		0.986	9,383
過去実験				
洪水名	下牧18時間雨量 (mm)	気候変動 後1/150 雨量 (mm)	拡大率	下牧地点 流量 (m ³ /s)
HPB_m003 1995090620	203.7	199	0.977	5,819
HPB_m004 2002081619	197.8		1.006	4,915
HPB_m008 2002090108	200.0		0.995	4,966
HPB_m009 2000071901	200.4		0.993	4,526
HPB_m010 1990080310	201.1		0.990	12,155
HPB_m021 1991091018	198.3		1.004	8,035

※拡大率：「18時間雨量」と「1/150 確率雨量×1.1倍（199mm/18h）」との比率



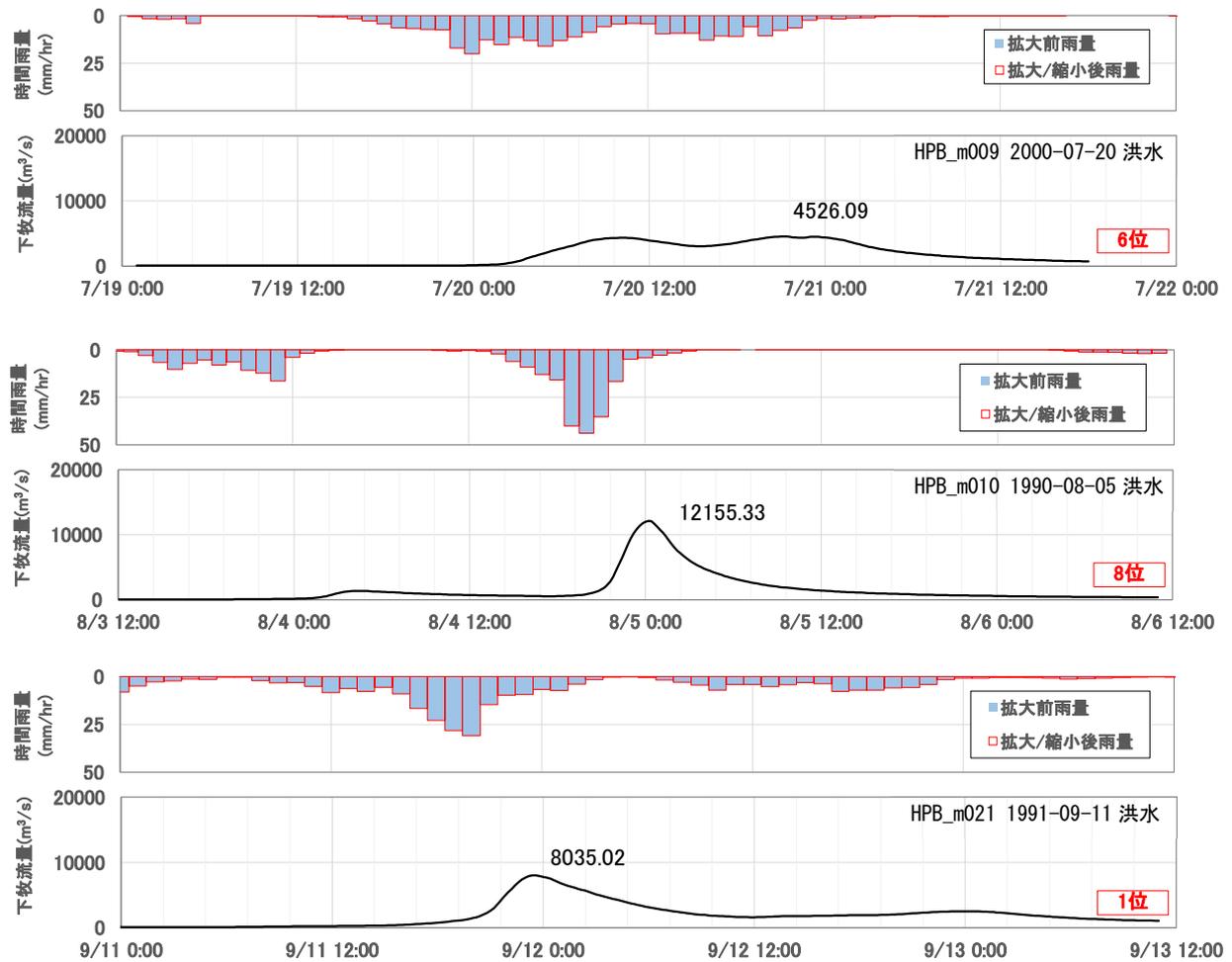
右下に記載の順位は、アンサンブル予測雨量が「気候変動を考慮した降雨量 199mm/18hr」に近い順に順位付けを実施

図 1-16(1) 抽出した予測降雨波形のハイドログラフ (基準地点下牧)



右下に記載の順位は、アンサンブル予測雨量が「気候変動を考慮した降雨量 199mm/18hr」に近い順に順位付けを実施

図 1-16(2) 抽出した予測降雨波形のハイドログラフ (基準地点下牧)



右下に記載の順位は、アンサンブル予測雨量が「気候変動を考慮した降雨量 199mm/18hr」に近い順に順位付けを実施

図 1-16(3) 抽出した予測降雨波形の hidro グラフ (基準地点下牧)

1-11-2 棄却された実績引き伸ばし降雨における発生の可能性検討

気候変動による降雨パターンの変化（特に小流域集中度の変化）により、これまでの手法で棄却されていた実績引き伸ばし降雨波形の発生が十分予想される場合がある。このため、これまでの手法で棄却されていた実績引き伸ばし降雨波形を、当該水系におけるアンサンブル予測降雨波形による降雨パターンと照らし合わせる等により再検証を実施した。

その結果、基準地点下牧で棄却した5洪水のうち、アンサンブル予測降雨から推定される時間分布、地域分布の雨量比（基準地点流量と小流域の比率）以下に収まる洪水として、2洪水（昭和54年（1979年）10月洪水、平成2年（1990年）9月）を棄却とせず、参考波形として活用する。

(1) 地域分布のチェック

d2PDF（将来気候）から計画規模の降雨量近傍（20洪水）のアンサンブル予測降雨波形を抽出し、各波形について、「基準地点上流域の流域平均雨量に対する小流域の流域平均雨量の比率」（小流域の流域平均雨量/基準地点上流域平均雨量）を求めた。ここでは、代表的な小流域として、地域分布の評価で用いた湯原ダム上流域、湯原ダム～久世流域、久世～旭川ダム流域、旭川ダム～下牧流域を対象とした。

棄却した引き伸ばし降雨波形も同様に比率を求め、実績引き伸ばし降雨波形の比率がアンサンブル予測降雨波形による比率を下回っている場合は、対象降雨波形に含めることを検討した。

棄却した5洪水の内、3洪水は実績引き伸ばし降雨波形の比率がアンサンブル予測降雨波形による比率を上回り、アンサンブル予測降雨波形と比較しても生起し難いことを確認した。

表 1-16 雨量の比率（アンサンブル予測降雨波形）

洪水 d2PDF アンサンブル	下牧上流域	湯原ダム上流域		湯原ダム～久世		久世～旭川ダム		旭川ダム～下牧	
	予測雨量 ① (mm/18hr)	予測雨量 ② (mm/18hr)	比率 ②/①	予測雨量 ③ (mm/18hr)	比率 ③/①	予測雨量 ④ (mm/18hr)	比率 ④/①	予測雨量 ⑤ (mm/18hr)	比率 ⑤/①
HFB_2K_CC_m105 2081091303	201.1	210.0	1.04	235.7	1.17	190.3	0.95	179.6	0.89
HFB_2K_GF_m101 2071082400	194.6	272.4	1.40	196.6	1.01	172.2	0.88	174.3	0.90
HFB_2K_HA_m105 2071080613	196.9	230.3	1.17	208.2	1.06	197.2	1.00	168.0	0.85
HFB_2K_HA_m105 2087071416	200.3	171.8	0.86	225.4	1.13	214.1	1.07	179.8	0.90
HFB_2K_MP_m101 2062062917	204.0	129.2	0.63	213.7	1.05	204.2	1.00	238.3	1.17
HFB_2K_MP_m101 2076100119	200.6	178.4	0.89	157.5	0.79	190.4	0.95	260.8	1.30
HFB_2K_MP_m101 2082090511	198.1	221.6	1.12	176.9	0.89	191.8	0.97	209.7	1.06
HFB_2K_MR_m105 2064072120	193.7	125.3	0.65	226.4	1.17	208.3	1.08	188.7	0.97
HFB_2K_MR_m105 2085092200	201.8	282.8	1.40	231.6	1.15	188.6	0.93	145.8	0.72

予測降雨波形 最大値	拡大後雨量 1.40	拡大後雨量 1.17	拡大後雨量 1.08	拡大後雨量 1.30
---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

表 1-17 雨量の比率（棄却した実績引き伸ばし降雨波形）

棄却された 実績洪水	下牧上流域			湯原ダム上流域 (255km ²)		湯原ダム～久世 (489km ²)		久世～旭川ダム (397km ²)		旭川ダム～下牧 (448km ²)	
	実績雨量 (mm/18hr)	計画雨量 (mm/18hr)	拡大率	拡大後雨量 (mm/18hr)	比率	拡大後雨量 (mm/18hr)	比率	拡大後雨量 (mm/18hr)	比率	拡大後雨量 (mm/18hr)	比率
S54.10.19	144.1	199	1.381	221.3	1.11	194.9	0.98	156.8	0.79	236.8	1.19
H2.9.19	94.9	199	2.097	185.7	0.93	169.1	0.85	185.9	0.93	245.5	1.23
H10.9.25	128.2	199	1.552	294.5	1.48	282.5	1.42	180.9	0.91	95.3	0.48
H24.7.7	93.0	199	2.140	98.9	0.50	179.1	0.90	222.9	1.12	244.9	1.23
H29.10.23	109.9	199	1.810	327.1	1.64	204.0	1.03	158.3	0.80	167.0	0.84

■ アンサンブル降雨波形と比較しても生起し難いと判断

(2) 時間分布のチェック

d2PDF（将来気候）から計画規模の降雨量近傍（20 洪水）のアンサンブル予測降雨波形を抽出し、各波形について「対象降雨の継続時間内雨量に対する短時間雨量の比率」を求めた。

棄却した引き伸ばし降雨波形も同様に比率を求め、実績引き伸ばし降雨波形の比率がアンサンブル予測降雨波形による比率を下回っている場合は、対象降雨波形に含めることを検討した。ここでは短時間雨量の継続時間として、時間分布の評価で用いた 9 時間、12 時間を対象とした。

棄却した 5 洪水の内、1 洪水は実績引伸ばし降雨波形の比率がアンサンブル予測降雨波形による比率を上回り、アンサンブル予測降雨波形と比較しても生起し難いことを確認した。

表 1-18 雨量の比率（アンサンブル予測降雨波形）

d2PDF アンサンブル	② 9時間 予測雨量 (mm/9hr)	比率 ②/①	③ 12時間 予測雨量 (mm/12hr)	比率 ③/①
HFB_2K_CC_m105 2081091303	165.6	0.82	182.0	0.90
HFB_2K_GF_m101 2071082400	166.0	0.85	181.0	0.93
HFB_2K_HA_m105 2071080613	100.3	0.51	134.8	0.68
HFB_2K_HA_m105 2087071416	114.7	0.57	144.7	0.72
HFB_2K_MP_m101 2062062917	171.0	0.84	189.8	0.93
HFB_2K_MP_m101 2076100119	176.4	0.88	190.5	0.95
HFB_2K_MP_m101 2082090511	140.0	0.71	165.0	0.83
HFB_2K_MR_m105 2064072120	165.6	0.85	180.5	0.93
HFB_2K_MR_m105 2085092200	172.6	0.86	185.2	0.92

予測降雨波形	9時間予測雨量	12時間予測雨量
最大値	0.88	0.95

表 1-19 雨量の比率（棄却した実績引き伸ばし降雨波形）

棄却された 実績洪水	下牧上流域					
	実績雨量 (mm/18hr)	①計画雨量 (mm/18hr)	② 9時間拡大 後雨量 (mm/9hr)	拡大率 ②/①	③ 12時間拡大 後雨量 (mm/12hr)	拡大率 ③/①
S54. 10. 19	144.1	199	144.6	0.73	167.9	0.84
H2. 9. 19	94.9	199	105.5	0.53	119.5	0.60
H10. 9. 25	128.2	199	145.1	0.73	138.4	0.70
H24. 7. 7	93.0	199	189.3	0.95	176.0	0.88
H29. 10. 23	109.9	199	105.8	0.53	95.0	0.48

■ アンサンブル降雨波形と比較しても生起し難いと判断

1-11-3 主要洪水群に不足する降雨パターンの確認

これまで、実際に生じた降雨波形のみを計画対象の降雨波形としてきたが、基本高水の設定に用いる計画対象の降雨波形群は、対象流域において大規模洪水を生起し得る様々なパターンの降雨波形等を含んでいる必要がある。

気候変動等による降雨特性の変化によって、追加すべき降雨波形が無いかを確認するため、アンサンブル将来予測降雨波形を用いて空間分布のクラスター分析を行い、将来発生頻度が高まるものの計画対象の実績降雨波形が含まれていないクラスターの確認を実施した。

波形パターンの解析にはクラスター分析を用いた。アンサンブル予測から得られた将来予測波形群 360 波形と過去実験波形 360 波形の計 720 波形を対象に、流域全体の総雨量に対する各流域の寄与率を算出し、ユークリッド距離を指標としてウォード法により 6 つのクラスターに分類した。

下牧地点で選定された計画対象降雨波形について、クラスター分析を行った結果、下牧地点ではクラスター1～クラスター6 と評価された。したがって、アンサンブル将来予測から対象波形に含まれないクラスターは存在しない。

表 1-20 主要洪水のクラスター分析結果

No	洪水名	199.0 mm/18hr		対象洪水	下牧地点 基本高水 ピーク流量 (m ³ /s)	クラスター 番号	備考
		18hr 雨量 (mm)	倍率				
1	S38.7.11	133.8	1.487	○	5,266	C3	
2	S40.7.23	106.4	1.870	○	5,760	C3	
3	S40.9.9	99.1	2.008	○	7,453	C1	
4	S41.9.18	96.0	2.073	○	5,690	C2	
5	S42.7.9	90.7	2.194	○	6,438	C5	
6	S43.7.15	113.5	1.753	○	5,808	C2	
7	S46.7.1	132.2	1.505	○	5,471	C4	
8	S47.6.8	118.5	1.679	○	8,350	C4	
9	S47.7.12	136.4	1.459	○	7,270	C4	
10	S51.9.12	104.4	1.906	○	5,605	C5	
11	S53.9.16	107.6	1.849	○	8,945	C3	
12	S54.10.19	144.1	1.381	○	6,898	C6	アンサンブルによる参考波形
13	S55.8.31	96.7	2.058	○	7,907	C4	
14	S58.9.28	95.8	2.077	○	5,209	C6	
15	S60.6.25	107.3	1.855	○	6,005	C5	
16	H2.9.19	94.9	2.097	○	6,467	C5	アンサンブルによる参考波形
17	H7.7.3	122.0	1.631	○	6,576	C2	
18	H10.9.25	128.2	1.552	×	4,840	C1	
19	H10.10.18	151.1	1.317	○	9,391	C2	
20	H18.7.19	99.1	2.007	○	7,847	C1	
21	H23.9.3	159.3	1.249	○	5,262	C1	
22	H24.7.7	93.0	2.140	×	10,386	C4	
23	H25.9.4	113.9	1.747	○	5,267	C2	
24	H29.9.18	119.6	1.664	○	7,675	C1	
25	H29.10.23	109.9	1.810	×	4,876	C1	
26	H30.7.7	216.0	1.000	○	6,571	C3	
27	R2.7.14	96.6	2.060	○	6,315	C3	
28	R3.8.15	107.0	1.859	○	5,455	C3	

※拡大率：「実績 18 時間雨量」と「計画降雨量」との比率

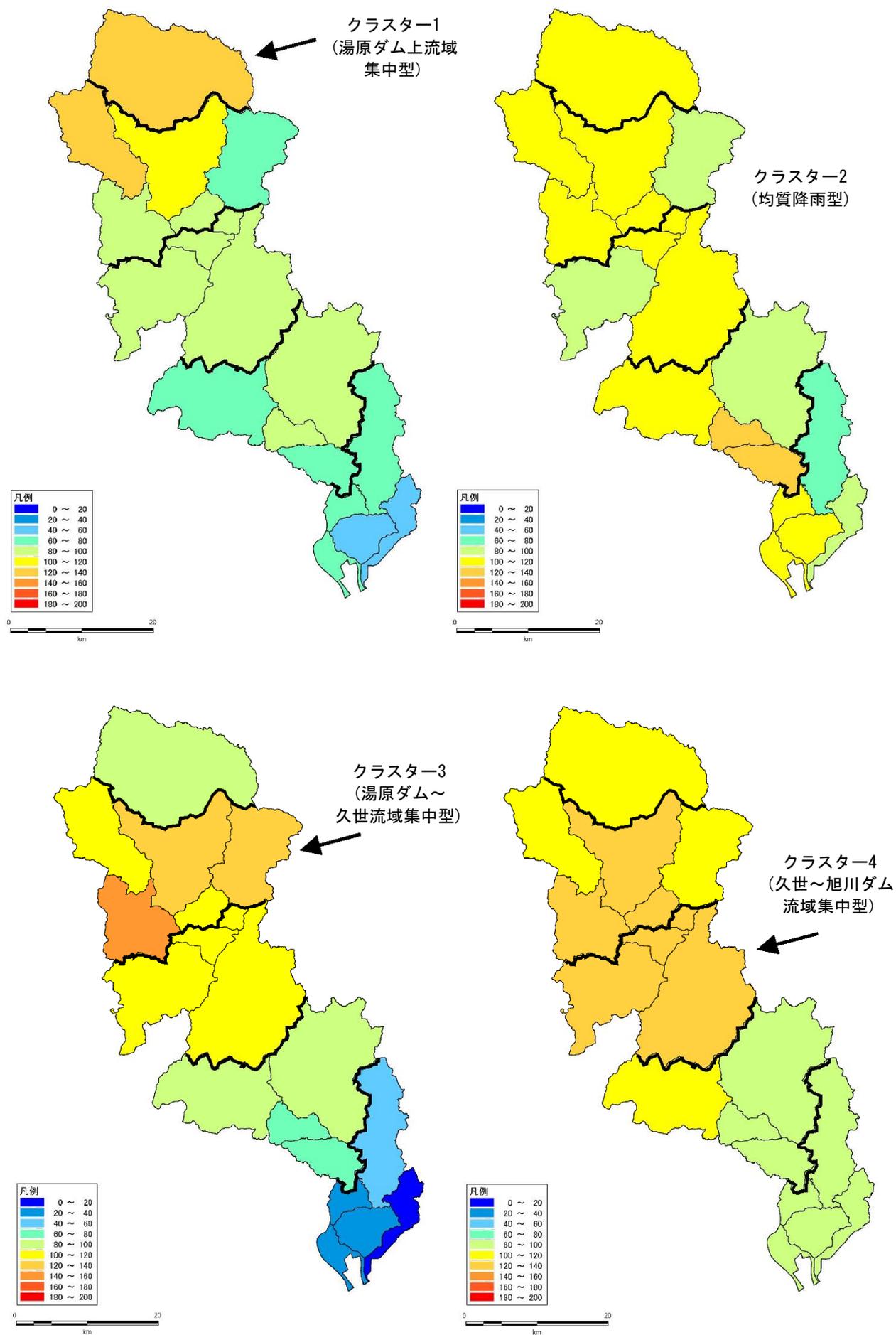


図 1-17(1) 旭川流域アンサンブル予測降雨のクラスター分析結果

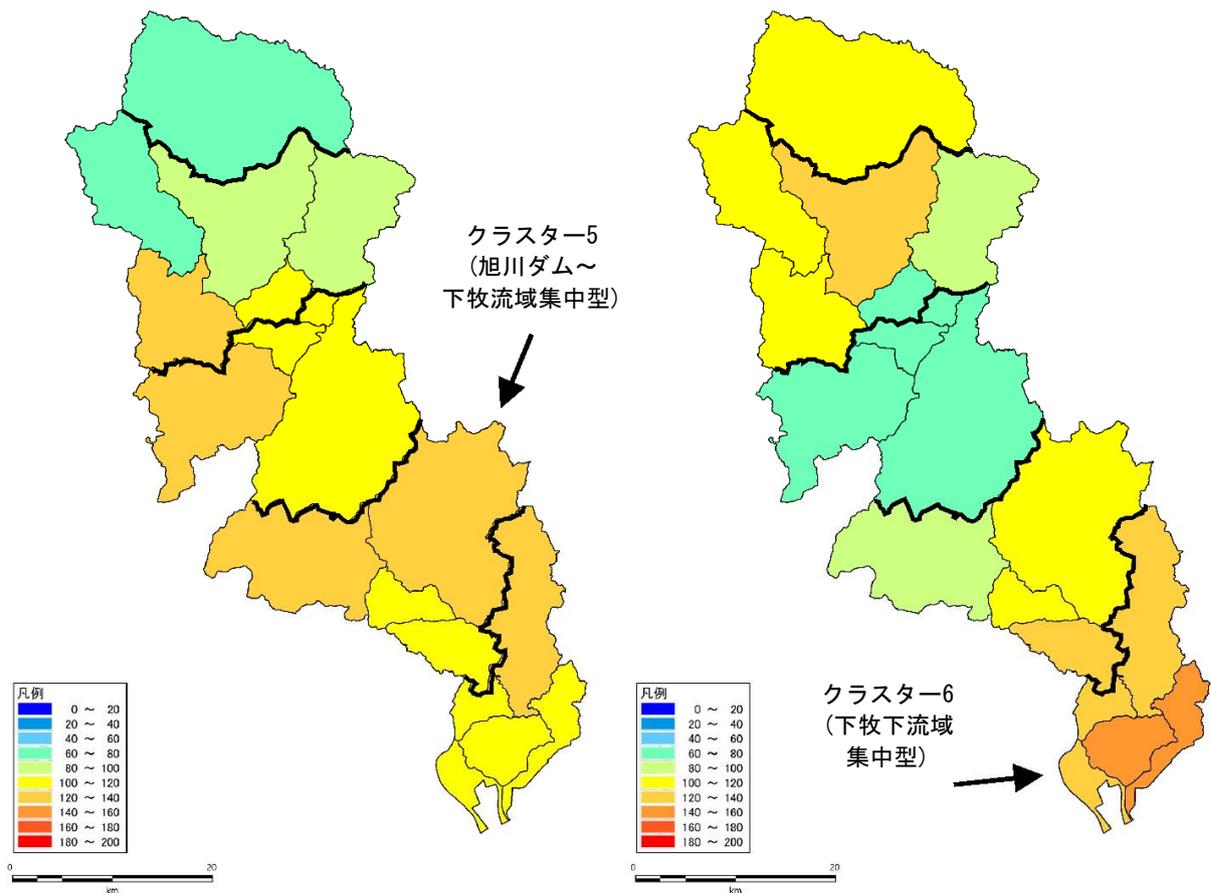


図 1-17(2) 旭川流域アンサンブル予測降雨のクラスター分析結果

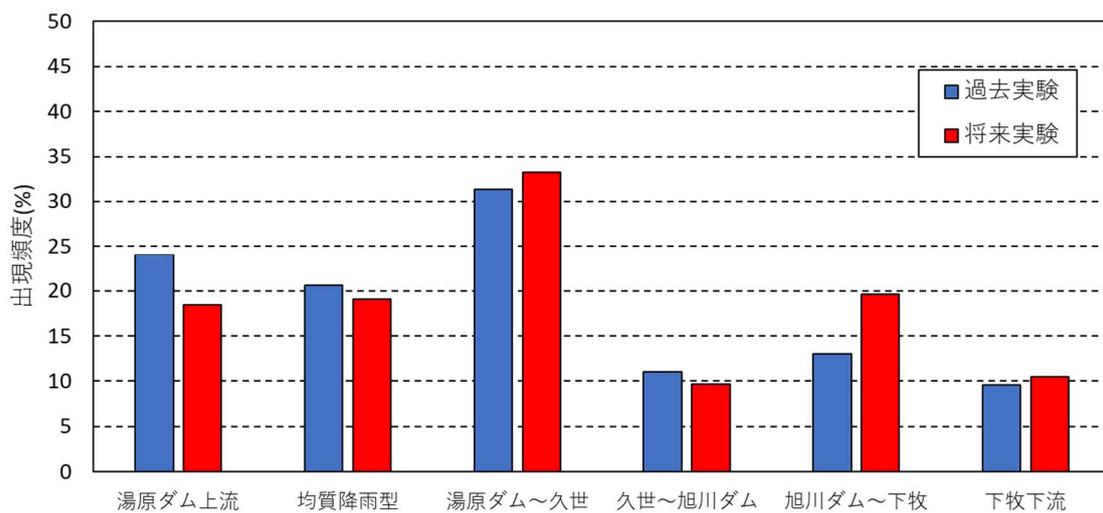


図 1-18 旭川流域のアンサンブル予測降雨の出現頻度 (クラスター毎)

1-12 既往洪水からの検討

旭川水系で最も甚大な被害をもたらした昭和9年（1934年）9月洪水では、基準地点下牧の流量（氾濫戻し後流量）は約 $8,000\text{m}^3/\text{s}$ と推定される。

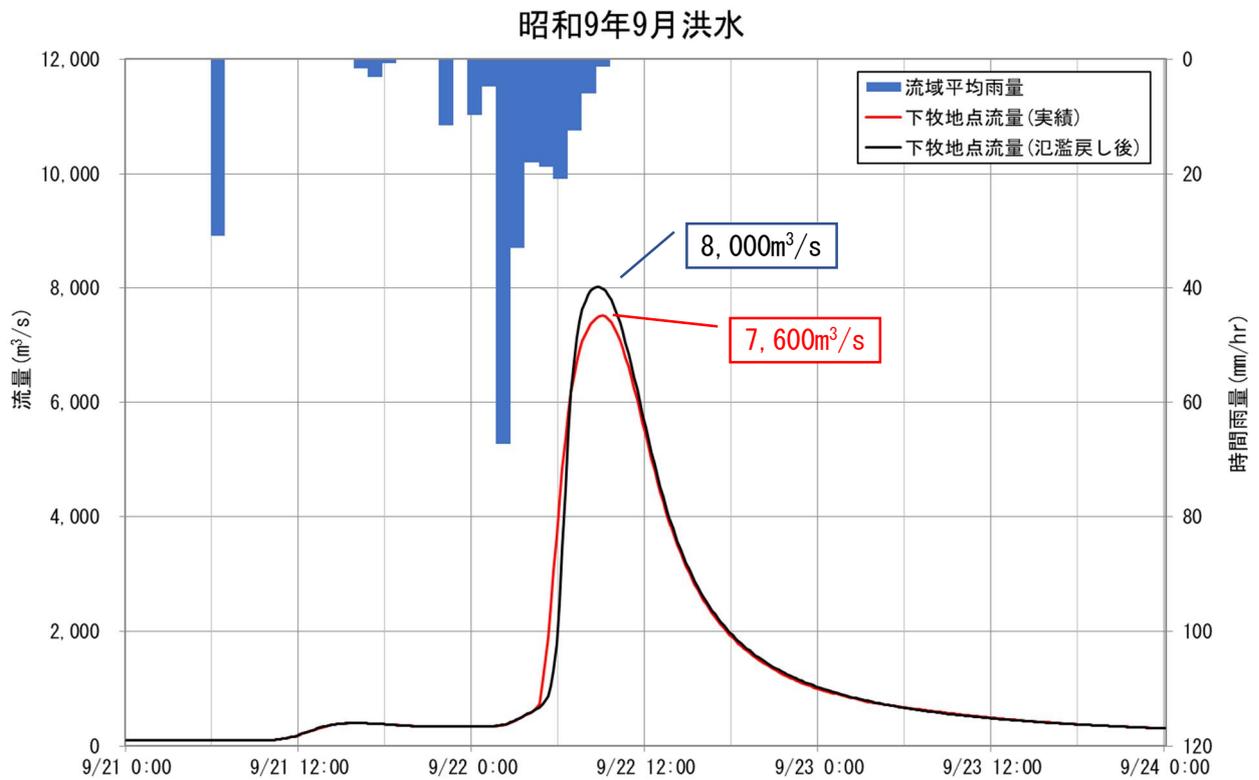
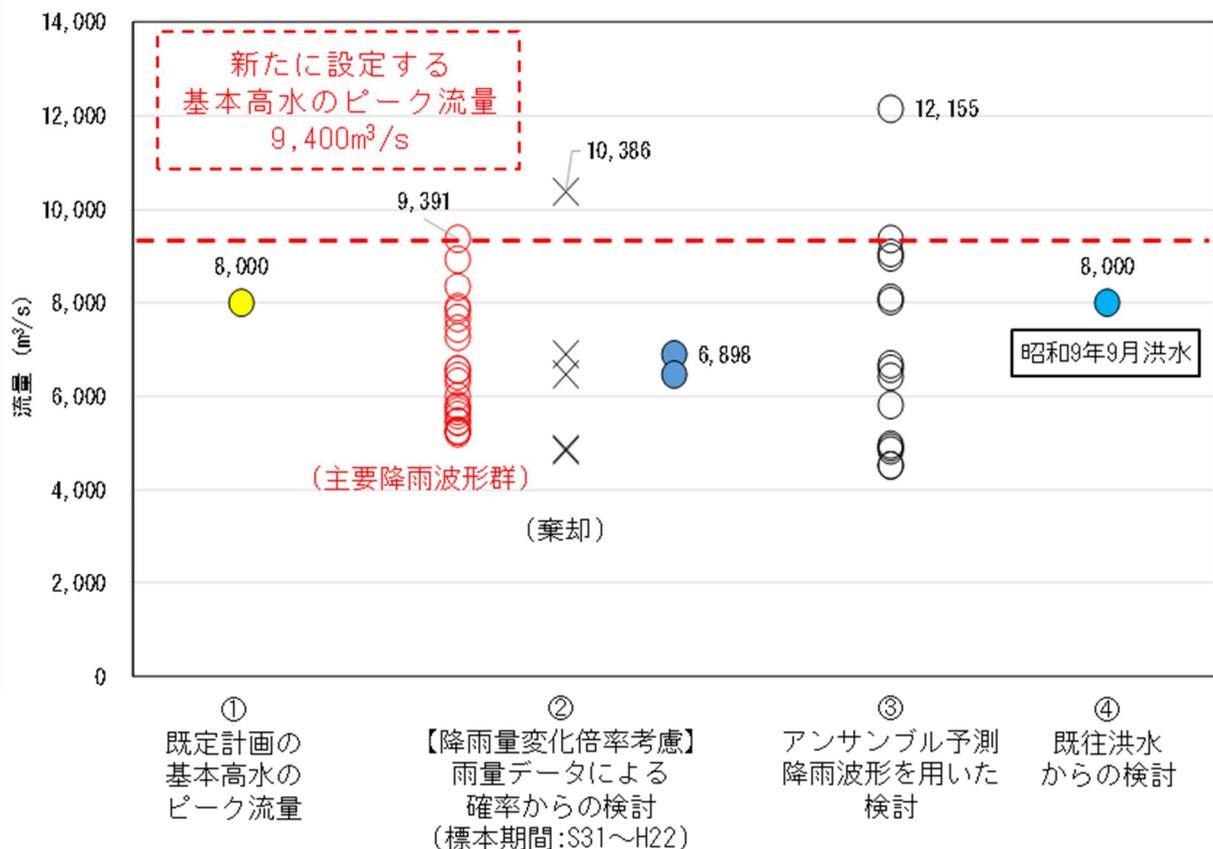


図 1-19 昭和9年（1934年）9月洪水の推定結果（基準地点下牧）

1-13 総合的判断による基本高水のピーク流量の決定

今後想定される気候変動の影響による水災害リスクの増大を考慮し、気候変動シナリオ RCP2.6 (2℃上昇相当) を想定した将来の降雨量の変化倍率 1.1 倍 (199mm/18hr) を考慮して、以下のように様々な手法による検討結果を総合的に判断した結果、雨量データによる確率からの検討により算出された流量のうち短時間あるいは小流域において著しい引き伸ばしとなっている洪水を除き最大となる流量を基本高水のピーク流量として決定した。

その結果、計画規模 1/150 の旭川水系における基本高水のピーク流量は、基準地点下牧において 9,400m³/s と設定する。



【凡例】

- ② 雨量データによる確率からの検討：降雨量変化倍率 (2℃上昇時の降雨量の変化倍率 1.1 倍) を考慮した検討
 - ×：短時間・小流域において著しい引き伸ばしとなっている洪水
 - ：棄却された洪水 (×) のうち、アンサンブル予測降雨波形 (過去実験、将来予測) の時空間分布から見て生起し難いとは言えないと判断された洪水
- ③ アンサンブル予測降雨波形を用いた検討：計画対象降雨の降雨量 (199mm/18h) 近傍の上位 20 洪水を抽出
 - ：気候変動予測モデルによる将来気候 (2℃上昇) のアンサンブル降雨波形

図 1-20 基本高水の設定に係る総合的判断 (基準地点下牧)

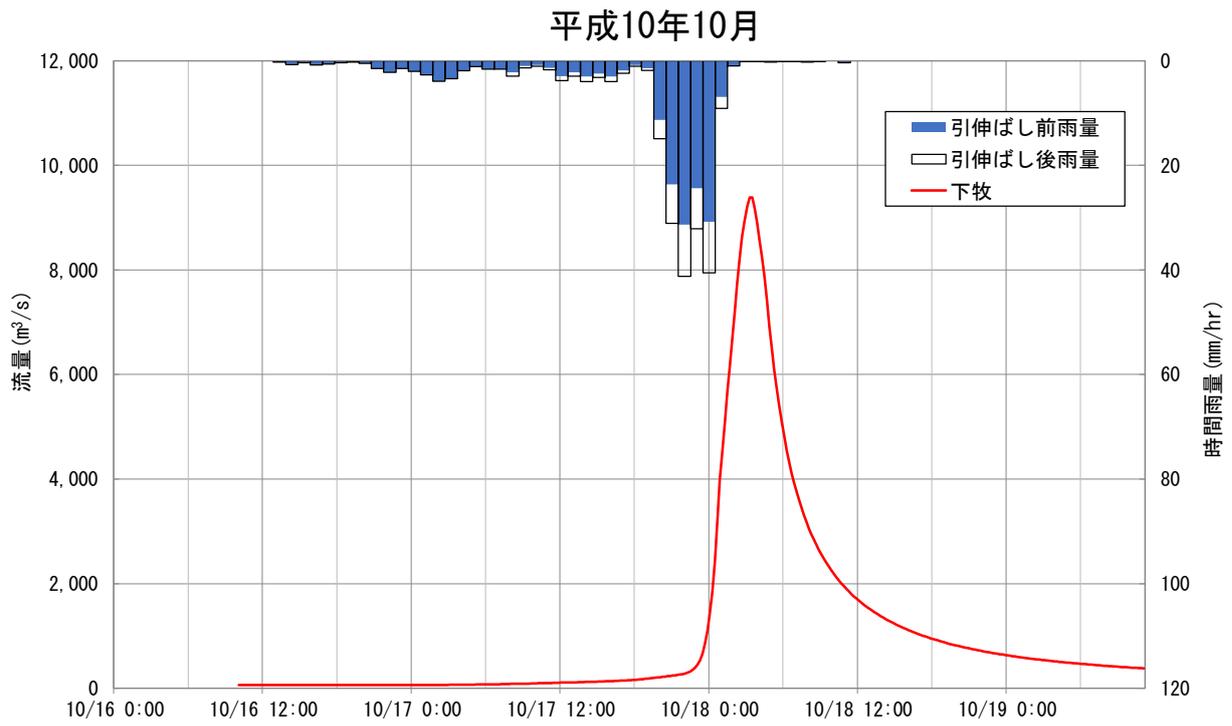


図 1-21 基本高水のピーク流量ハイドログラフ（平成 10 年（1998 年）10 月洪水）

2. 高水処理計画

旭川水系の既定高水処理計画は、基準地点下牧における基本高水のピーク流量の $8,000\text{m}^3/\text{s}$ に対し、洪水調節施設により $2,000\text{m}^3/\text{s}$ を調節し、 $6,000\text{m}^3/\text{s}$ を河道で処理する計画としている。なお、旭川(百間川分流後)は $4,000\text{m}^3/\text{s}$ 、百間川 $2,000\text{m}^3/\text{s}$ としている。

今回、気候変動による降雨量への影響を踏まえ、新たに基準地点下牧における基本高水のピーク流量を見直した結果、既定計画 $8,000\text{m}^3/\text{s}$ を $9,400\text{m}^3/\text{s}$ に変更する計画とした。

なお、河道と洪水調節施設等への配分の検討に用いる降雨波形は、計画規模の降雨量まで実績降雨を引伸ばすことにより得られた主要降雨波形群を用いた。

旭川の河川改修は、既定計画の下牧地点 $6,000\text{m}^3/\text{s}$ を目標に実施され、人家が密集する岡山市街地の堤防高はおおむね確保されており、既に橋梁・排水門等、多くの構造物も完成している。また、旭川放水路である百間川は分流部の改築や百間川河口水門の増設が完了し、 $2,000\text{m}^3/\text{s}$ 河道が完成している。

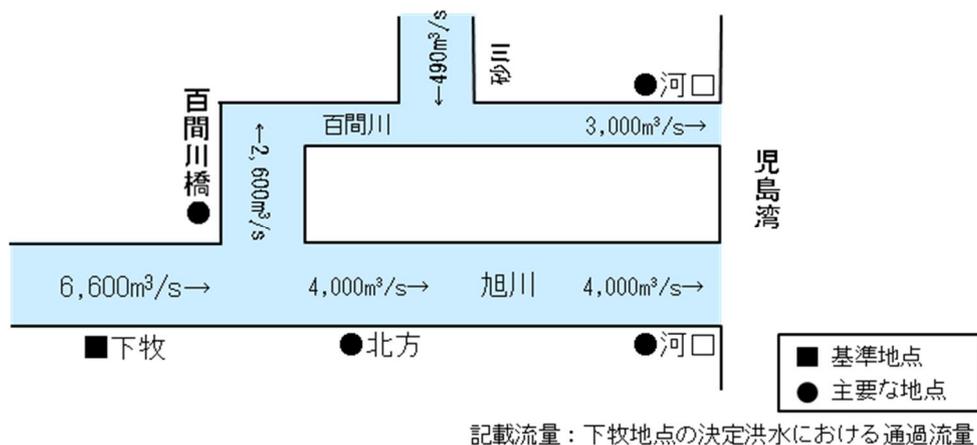
旭川(百間川分流後)に関しては、特別名勝岡山後楽園付近において、河床掘削等の河川環境の改変や将来河道の維持、社会的影響を考慮すると、河道で処理可能な流量は、既定計画である $4,000\text{m}^3/\text{s}$ である。

ただし、旭川放水路である百間川においては、低水路拡幅や分流部の改築、百間川河口水門の増築等を行うことにより、放水路としての役割を果たすべく、計画高水流量の増大は可能であると判断できる。以上より、高水処理計画上、旭川中上流ダム再生事業における既設ダムの有効活用、新たな洪水調節施設等により、対応することとした。

なお、既設ダムに加えて必要となる洪水調節施設等については、その配置の可能性を概略検討し、可能性があるとの結果が得られているが、流域の地形や土地利用状況、流域治水の視点等も踏まえ、基準地点のみならず流域全体の治水安全度向上のため、具体的な施設計画等を今後検討していく。

3. 計画高水流量

旭川水系の計画高水流量は、高水処理計画に基づき、基準地点下牧において、 $6,600\text{m}^3/\text{s}$ とする。なお、計画高水流量の増加分は旭川放水路である百間川に分流させるものとし、旭川(百間川分流後) $4,000\text{m}^3/\text{s}$ 、百間川 $2,600\text{m}^3/\text{s}$ とする。



記載流量：下牧地点の決定洪水における通過流量

図 3-1 旭川計画高水流量図

4. 河道計画

計画河道は、以下の理由により、現況の河道法線や縦断勾配を尊重し、流下能力が不足する区間については、河川環境等に配慮しながら必要な河積（洪水を安全に流下させるための断面）を確保する。

- ① 大臣管理区間の堤防は計画高水位に対し、全川の約 90%が既成（完成、暫定）していること。（令和 4 年（2022 年）3 月末時点）
- ② 計画高水位を上げることは、堤防決壊時における被害を増大させることになるため、沿川の市街地の張り付き状況を考慮すると避けるべきであること。
- ③ 既定計画の計画高水位に基づいて多数の橋梁や排水門等の構造物が完成していることや計画高水位を上げることによる堤内地での内水被害を助長させることを避けるべきであること。

主要な地点における計画高水位及びおおむねの川幅を表 4-1 に示す。

表 4-1 主要な地点における計画高水位及び概ねの川幅一覧表

河川名	地点名	河口又は合流点からの距離 (km) ^{※1)}	計画高水位 T. P. (m)	川幅 (m)
旭川	しもまき 下牧	19.4	21.30	120
〃	きたかた 北方	10.7	8.64	210
〃	かこう 河口	0.0	2.95 ^{※2)}	520
百間川	ひやっけんがわぼし 百間川橋	11.2	7.59	150
〃	かこう 河口	0.2	2.28	600

注) T. P. : 東京湾中等潮位

※基点からの距離

5. 河川管理施設等の整備の現状

旭川における河川管理施設等の整備の現状は以下のとおりである。

(1) 堤防

堤防の整備の現況（令和4年（2022年）3月末時点）は下記のとおりである。

表 5-1 堤防整備の現状

大臣管理 区間延長 (km)	施行令2条7号 区間延長 (km)	堤防延長(km)			
		堤防必要 区間	計画断面 堤防区間	暫定堤防 区間	無堤防 区間
30.4	2.3	61.5	46.7	11.5	3.4

※延長は大臣管理区間（ダム管理区間を除く）の左右岸の計である。

(2) 洪水調節施設

完成施設 : 湯原ダム（洪水調節容量：15,500 千 m³）【岡山県管理】
旭川ダム（洪水調節容量：23,000 千 m³）【岡山県管理】

事業中施設 : 旭川中上流ダム再生事業

旭川ダムに 6,000 千 m³ 洪水調節容量増強

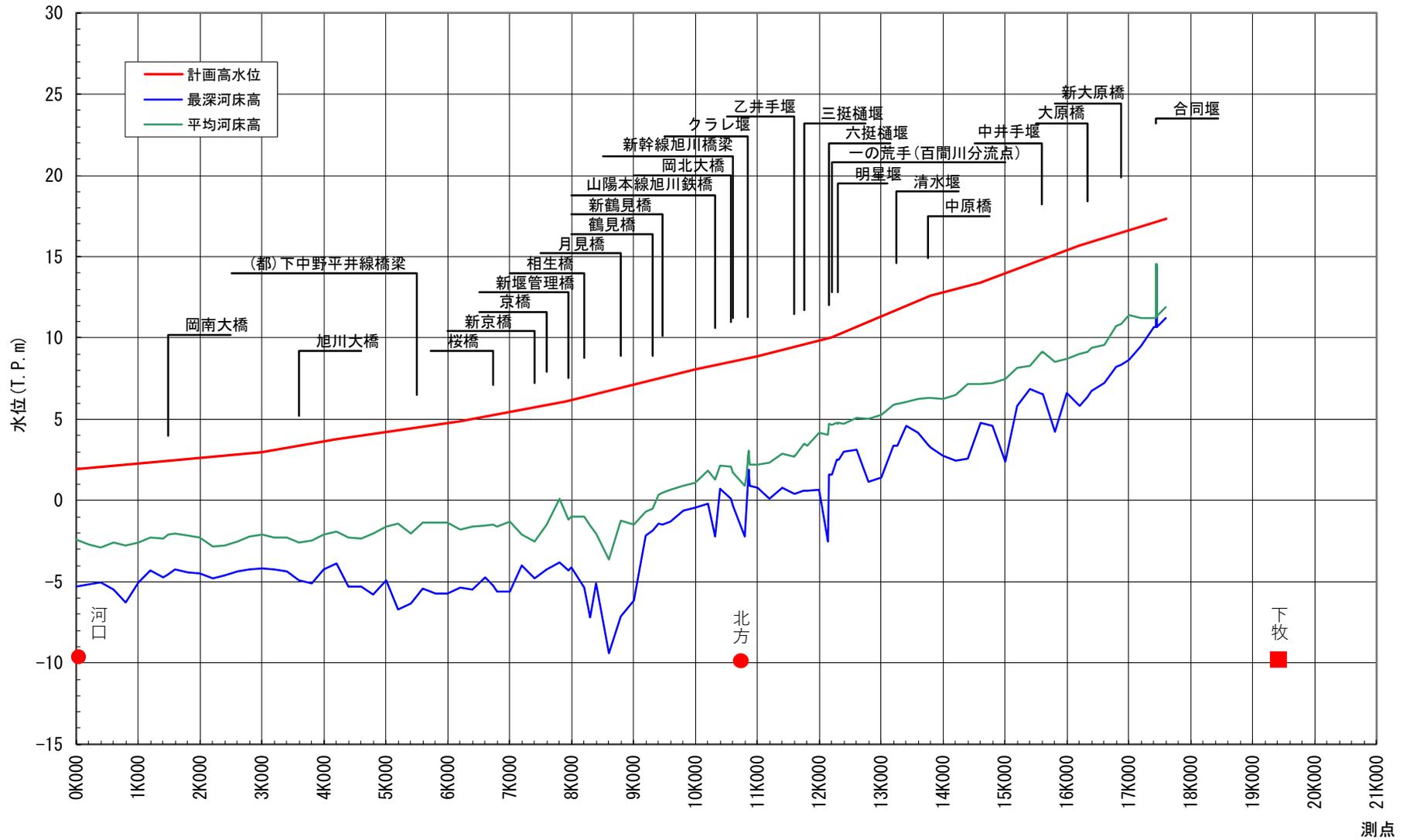
残りの必要容量：おおむね 10,200 千 m³

(3) 排水機場等

表 5-2 河川管理施設一覧表

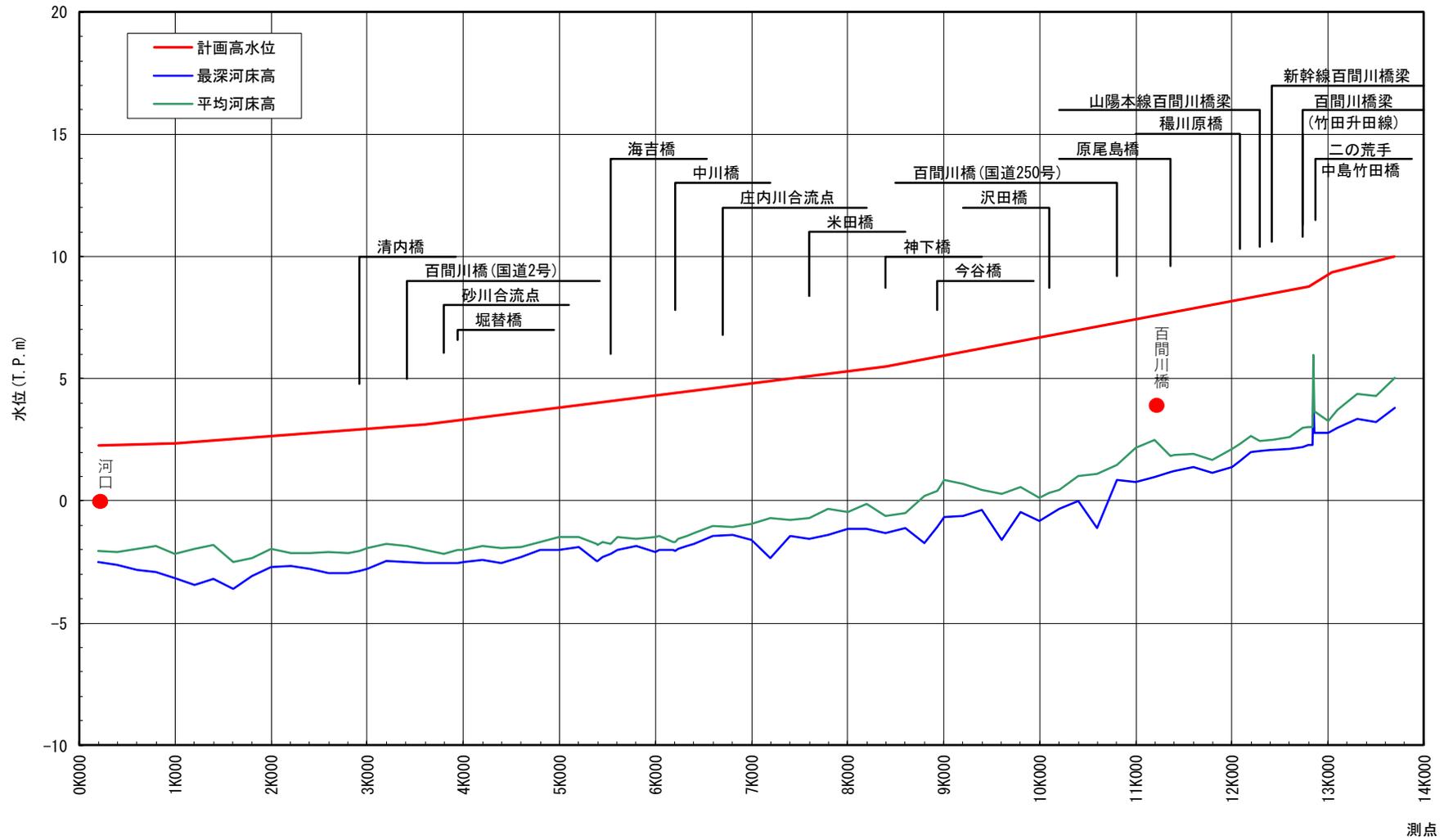
堰	水門	排水機場	排水樋門等	主な施設
1	2	4	41	百間川河口水門、新地堰等

※大臣管理区間（ダム管理区間を除く）



計画高水位 (T. P. m)	1. 90	3. 16	4. 76	7. 14	9. 81	13. 97	17. 20
平均河床高 (T. P. m)	-2. 41	-2. 08	-1. 38	-1. 49	4. 24	7. 83	11. 53
最深河床高 (T. P. m)	-5. 26	-4. 16	-5. 70	-6. 12	0. 64	2. 38	10. 84
追加距離	0. 2km	3. 0km	6. 0km	9. 0km	12. 0km	15. 0km	17. 5km

図 5-1 計画縦断図 (旭川)



計画高水位 (T. P. m)	2.28	2.94	4.31	5.96	8.19	10.00
平均河床高 (T. P. m)	-2.03	-1.93	-1.47	0.85	2.10	5.04
最深河床高 (T. P. m)	-2.52	-2.80	-2.09	-0.66	1.37	3.79
追加距離	0.2km	3.0km	6.0km	9.0km	12.0km	13.7km

図 5-2 計画縦断図 (百間川)