

赤川水系河川整備基本方針

基本高水等に関する資料（案）

令和 年 月

国土交通省 水管理・国土保全局

目 次

1. 基本高水の検討	1-1
1.1 工事実施基本計画	1-1
1.2 河川整備基本方針	1-2
1.3 河川整備基本方針策定後の状況	1-3
1.4 流出計算モデルの構築	1-4
1.5 基本高水のピーク流量の設定	1-31
1.6 対象降雨の継続時間の設定	1-31
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	1-39
1.8 対象降雨波形の設定	1-43
1.9 対象降雨の地域分布及び時間分布の検討	1-44
1.10 対象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	1-47
1.11 アンサンブル予測降雨波形を用いた検討	1-55
1.12 既往洪水からの検討	1-68
1.13 総合的判断による基本高水のピーク流量の決定	1-69
2. 高水処理計画	2-1
3. 計画高水流量	3-1
4. 河道計画	4-1
5. 河川管理施設等の整備の状況	5-1

1. 基本高水の検討

1.1 工事実施基本計画

昭和 42 年（1967 年）に赤川水系が一級水系に指定されたことから、赤川水系工事実施基本計画が策定され、赤川の計画高水流量を基準地点熊出において $2,100\text{m}^3/\text{s}$ と定めている。

その後、昭和 51 年（1976 年）に改定された工事実施基本計画における計画規模は、流域内の開発状況等に照らして 1/100 と設定し、基準地点熊出において基本高水のピーク流量を $5,300\text{m}^3/\text{s}$ 、上流ダム群により $2,300\text{m}^3/\text{s}$ 調節して、計画高水流量を $3,000\text{m}^3/\text{s}$ と定めた。

(1) 計画規模

昭和 51 年（1976 年）に改定された工事実施基本計画は、流域内の開発状況を勘案して、計画規模 1/100 と設定した。

(2) 対象降雨量

計画降雨継続時間は、実績降雨の降雨時間を考慮して 24 時間を採用した。

昭和 12 年（1937 年）～昭和 47 年（1972 年）までの 36 年間を対象に年最大流域平均 24 時間雨量を確率処理し、基準地点熊出で $323\text{mm}/24\text{h}$ に決定した。

(3) 流出計算モデル

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）を作成し、流域の過去の主要洪水における降雨分布特性により流出計算モデルを同定した。

(4) 主要洪水における対象降雨量への引き伸ばしと流出計算

流域の過去の主要洪水における降雨波形を対象降雨量まで引き伸ばし、同定された流出計算モデルにより流出量を算定した。

(5) 基本高水ピーク流量の決定

基本高水のピーク流量は、上記の流出計算結果から、熊出地点において昭和 15 年（1940 年）7 月型洪水を採用し $5,300\text{m}^3/\text{s}$ に決定した。

1.2 河川整備基本方針

平成 9 年（1997 年）の河川法改正に伴い、赤川水系河川整備基本方針（以下、既定計画という）を平成 20 年（2008 年）9 月に策定し、基準地点熊出における基本高水のピーク流量を $5,300\text{m}^3/\text{s}$ とし、流域内の洪水調節施設により $2,100\text{m}^3/\text{s}$ を調節し、計画高水流量を $3,200\text{m}^3/\text{s}$ とする計画とした。

(1) 計画降雨継続時間の検証

洪水到達時間や洪水のピーク流量と短時間雨量との相関関係、短時間での降雨の集中状況等から総合的に判断し、計画降雨継続時間を 12 時間と設定した。

(2) 対象降雨の検証

計画規模 1/100 の確率降雨量は昭和 12 年（1937 年）～平成 18 年（2006 年）の 70 年間の年最大 12 時間雨量を確率処理し、一般的に用いられている確率降雨モデルの適合度である SLSC が 0.04 以下となる手法の平均値をもとに基準地点熊出上流で $164.5\text{mm}/12\text{h}$ とした。

(3) 流量確率評価による検証

昭和 12 年（1937 年）～平成 18 年（2006 年）の 70 年間による 1/100 確率規模の流量を検証した結果、熊出で $3,835\sim 5,313\text{m}^3/\text{s}$ となり、工事実施基本計画の基本高水のピーク流量である、熊出 $5,300\text{m}^3/\text{s}$ が範囲内であることを確認した。

(4) 1/100 規模引き伸ばし雨量を用いた流出計算による検討

主要な実績降雨群について、計画雨量に引き伸ばした雨量を用いて基本高水のピーク流量を算定した結果、熊出地点で昭和 46 年（1971 年）7 月洪水が $5,300\text{m}^3/\text{s}$ で最大となったため、工事実施基本計画のピーク流量とほぼ同値で流量確率 1/100 の範囲内であることを確認した。

(5) 既往洪水からの検証

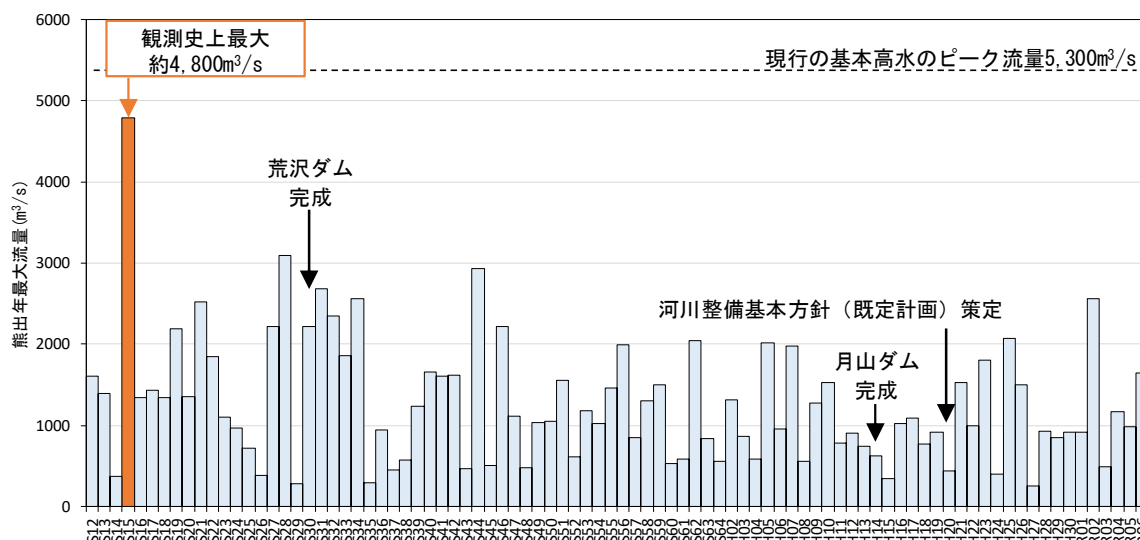
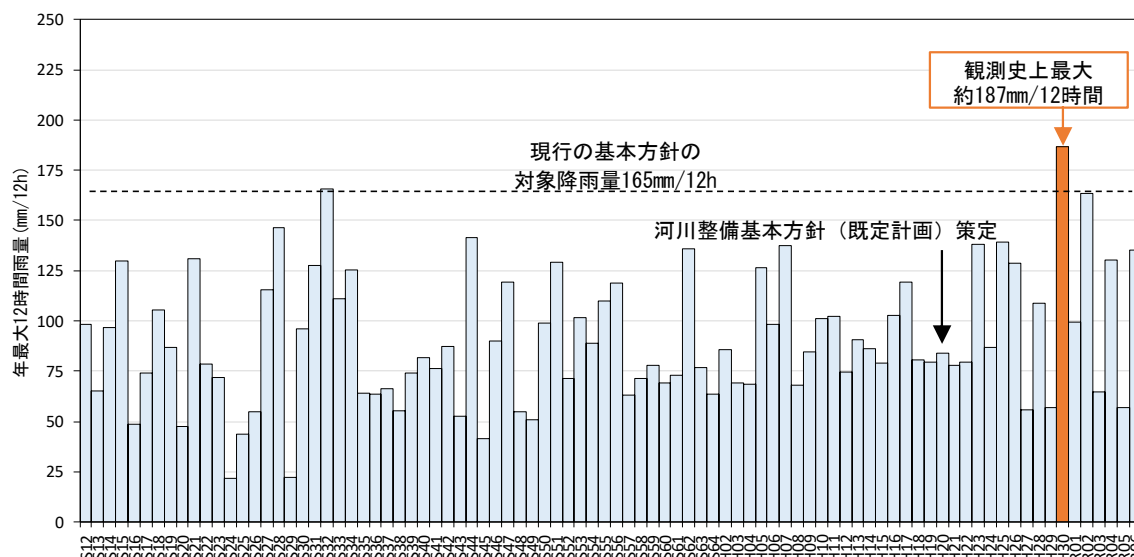
赤川の既往最大洪水である昭和 15 年（1940 年）7 月について、洪水発生前に前期降雨により流域全体が湿潤状態にあったと想定して流量を算出した結果、熊出地点で約 $5,320\text{m}^3/\text{s}$ と推定された。

(6) 1/100 モデル降雨波形による検討

実績降雨群の波形を全ての降雨継続時間において、1/100 確率雨量となるモデル降雨を設定し、熊出地点での流量検討を行った。その結果、1/100 確率規模の流量は熊出地点において $2,651\sim 6,915\text{m}^3/\text{s}$ と推定された。

1.3 河川整備基本方針策定後の状況

既定計画を策定以降、平成 30 年（2018 年）8 月に対象降雨量（熊出：165mm/12h）を基準地点熊出で上回る洪水が発生しているものの、熊出地点で基本高水のピーク流量（熊出：5,300m³/s）を超過する洪水は発生していない。



※ダム・氾濫戻し流量

※なお、令和 6 年のデータは速報値であり、今後変更となる可能性がある。

図 1.2 年最大流量（基準地点熊出）

1.4 流出計算モデルの構築

降雨をハイドログラフに変換するために流出計算モデル（貯留関数法）を構築した。基礎式及び模式図について整理したうえで、モデル定数として、流域定数及び河道定数を設定した。構築したモデルの再現性を確認するため既往出水を対象に再現計算を行った。

1.4.1 モデルの概要

貯留関数法の基礎式は次のとおりである。

【流域の基礎式】

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

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

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

ただし、

$$\sum R(t) \leq R_0 \quad \text{の場合、} f(t) = 0.0$$

$$R_0 < \sum r(t) < R_0 + R_{sa} \quad \text{の場合、} f(t) = f1$$

$$\sum R(t) > R_0 + R_{sa} \quad \text{の場合、} f(t) = 1.0$$

$$\text{ここで、} R_{sa} = \frac{(R_{sum} - \frac{Q_{sum}}{1000 \cdot A})}{(1-f1)}$$

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。

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

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

$q(t)$: 直接流出高(mm/h), Tl : 遅滞時間(h), K : 定数, p : 定数,

$Q(t)$: 直接流出強度(m³/s), A : 流域面積(km²),

$\sum R(t)$: 降雨の降り始めから当該時刻までの流域平均降雨強度の和(mm),

R_0 : 初期損失雨量(mm), R_{sa} : 飽和雨量(mm), R_{sum} : 総降雨量(mm),

Q_{sum} : 総直接流出量(m³), $f1$: 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)

【河道の基礎式】

$$S_l(t) = K \cdot Q_l(t)^p - Tl \cdot Q_l(t)$$

$$\frac{dS_l(t)}{dt} = I(t) - Q_l(t)$$

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

$S_l(t)$: 見かけの貯留量($\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{h}$), $Q_l(t)$: 遅滞時間 Tl を考慮した流出量(m^3/s),

$Q(t)$: 流出量(m^3/s), $I(t)$: 流入量(m^3/s), Tl : 遅滞時間(h),

K : 定数, p : 定数

1.4.2 モデル分割

流出モデルの分割は、基準地点や主要な地点、主要な支川、既存の洪水調節施設、既定計画等を踏まえて、流域を 18 分割、河道を 11 分割し、赤川の降雨特性や流出特性を反映できるモデル分割とした。なお、赤川流域の土地利用状況は既定計画の策定当時と比較して大きな変化は見られないが、小流域の降雨特性及び支川からの流出特性を表現可能とするため、赤川本川及び梵字川の左右岸や支川流域で流域の細分化を行った。

図 1.3 に流域分割図、図 1.4 に流出計算モデル模式図、表 1.1 に流域・河道モデル分割諸元を示す。

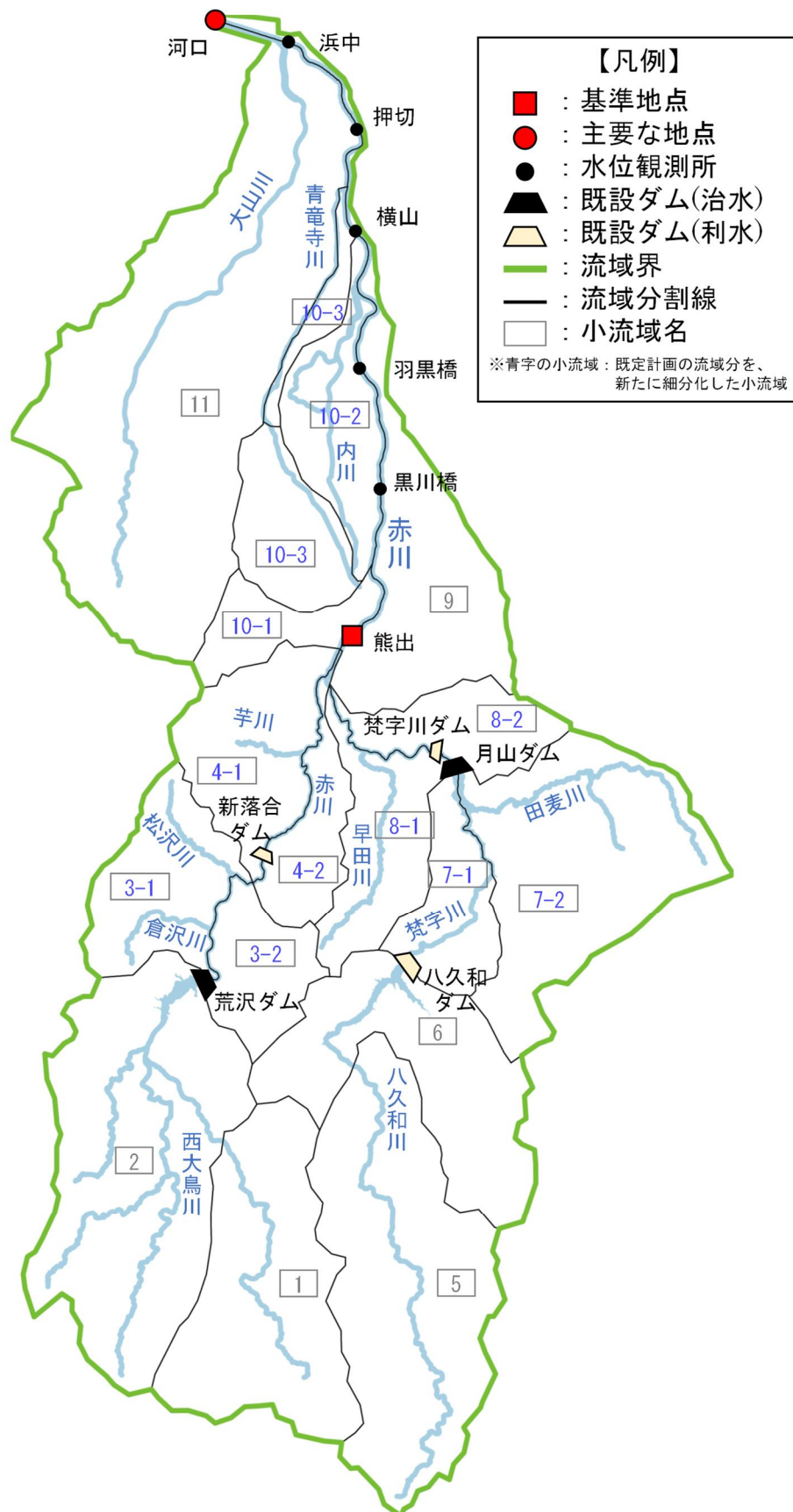


図 1.3 流域分割図

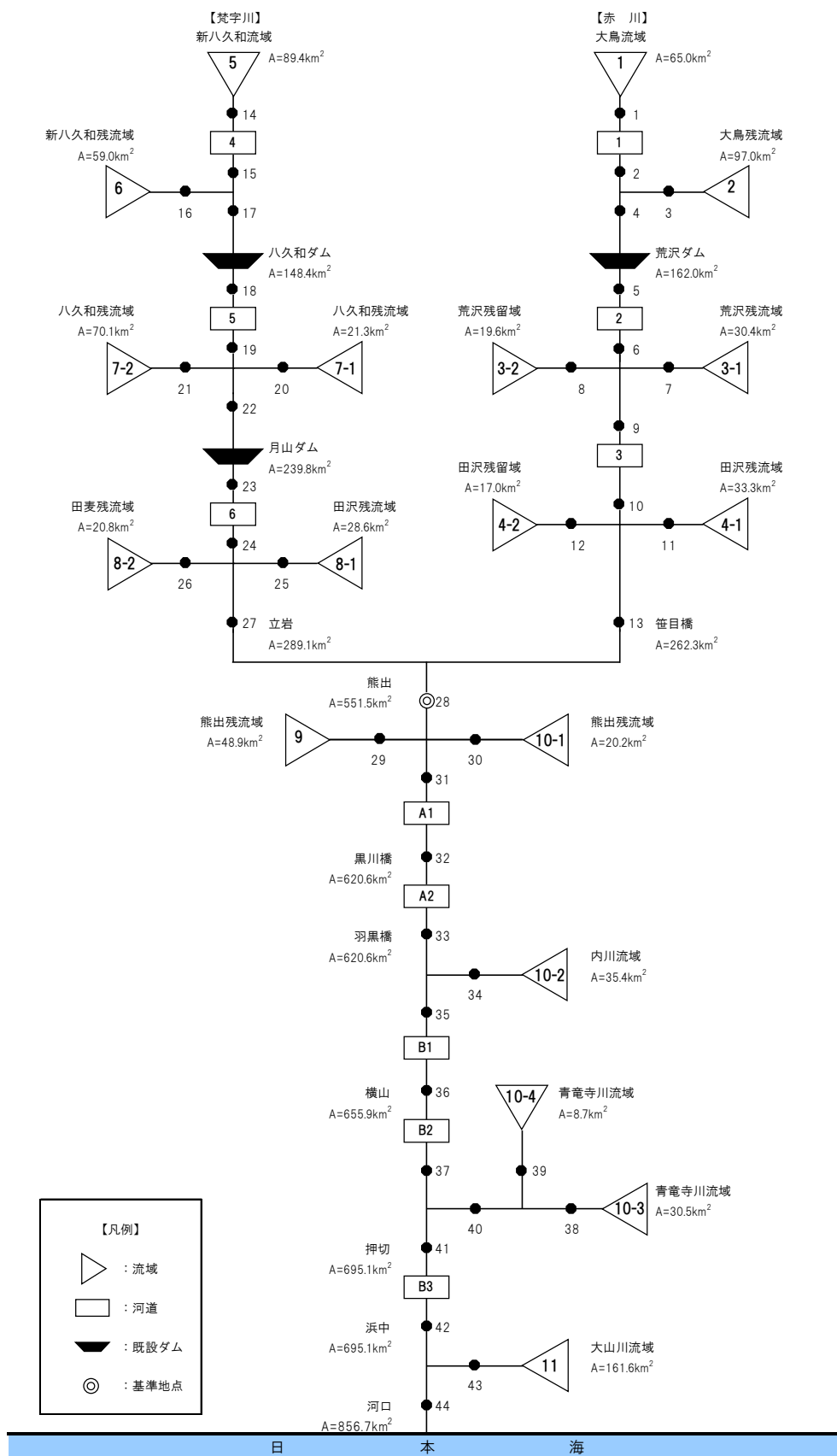


表 1.1(1) 流域・河道モデル分割諸元（流域分割）

No	名称		流域面積 (km ²)
1	1	大鳥流域	65.00
2	2	大鳥残流域	97.00
3	3-1	荒沢残流域	30.43
4	3-2	荒沢残流域	19.57
5	4-1	田沢残流域	33.30
6	4-2	田沢残流域	17.00
7	5	新八久和流域	89.40
8	6	新八久和残流域	59.00
9	7-1	八久和残流域	21.29
10	7-2	八久和残流域	70.11
11	8-1	田沢残流域	28.56
12	8-2	田麦残流域	20.84
13	9	熊出残流域	48.90
14	10-1	熊出残流域	20.16
15	10-2	内川流域	35.36
16	10-3	青竜寺川流域	30.48
17	10-4	青竜寺川流域	8.70
18	11	大山川流域	161.60

表 1.1(2) 流域・河道モデル分割諸元（河道分割）

No	河道		河川名	河道区間	河道延長 (km)
	更新前	更新後			
1	1	1	赤川	荒沢ダム上流	8.5
2	2	2	赤川	荒沢ダム上流 ～ 田川	5.5
3	3	3	赤川	田川 ～ 落合	11.0
4	4	4	梵字川	八久和ダム上流	6.0
5	5	5	梵字川	八久和ダム上流 ～ 月山ダム	10.0
6	6	6	梵字川	月山ダム ～ 名川	8.5
7	A	A1	赤川	熊出 ～ 黒川橋	5.6
8		A2	赤川	黒川橋 ～ 羽黒橋	5.5
9	B	B1	赤川	羽黒橋 ～ 横山	5.8
10		B2	赤川	横山 ～ 押切	3.9
11		B3	赤川	押切 ～ 浜中	5.0

1.4.3 定数の設定

(1) 流域定数の設定

1) f_l 、 R_{sa} の設定

a) 定数設定の考え方

流出率 f_l 、飽和雨量 R_{sa} は、流域の地被、植生、形状、開発状況等を勘案して決定されるものであるが、本検討では、基準地点及び主要な地点において既往出水の総降雨量～総流出高の関係から、 f_l 、 R_{sa} を設定した。

検討にあたっては、各洪水のハイドログラフから基底流出と直接流出の成分分離を行った。次に成分分離の結果から、各地点の総降雨量と総流出高の関係を整理し、上記の流域の f_l 、 R_{sa} を設定した。

b) 検討対象地点の選定

赤川流域は、鶴岡市を中心とした下流部、月山ダム、荒沢ダムの位置する上流部に分かれており、地形や構成される地質分布が異なる。それらを踏まえ、 f_l 、 R_{sa} の検討は、過去からの流量データが存在する以下の地点でそれぞれ定数を設定することとした（表 1.2、図 1.5 参照）。

表 1.2 定数設定地点一覧

No	名称	流域面積 (km^2)
1	荒沢ダム	162.00
2	八久和ダム	148.40
3	月山ダム	239.80
4	浜中	695.10

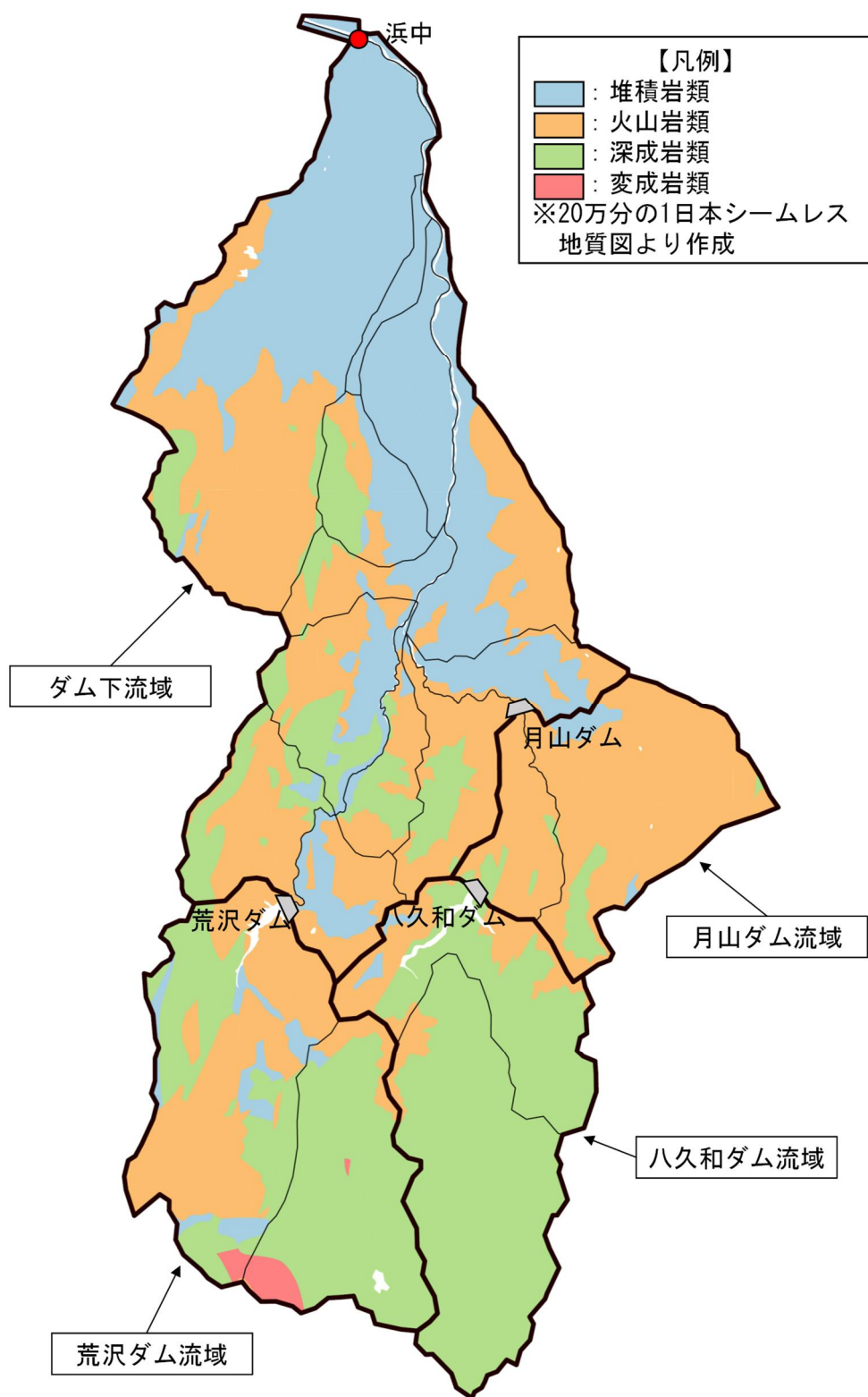


図 1.5 f1、Rsa 検討対象流域

c) 検討対象洪水の選定

f1、Rsa の検討では、各洪水の総降雨量－総流出高の関係から、流出率が 1 となる雨量（飽和雨量）を求める必要がある。そのためには、総降雨量－総流出高の偏りがないよう選定する必要があることから、以下の考え方により対象洪水を選定した。

<選定基準>

- ① 浜中地点で流量データが存在する昭和 39 年以降（1964 年）で、定数設定地点における実績ピーク流量の上位 10 洪水
 - ・・・総降雨量－総流出高が大きいと思われる洪水
- ② 既定計画策定以降、浜中地点の氾濫注意水位を超過した洪水
 - ・・・総降雨量－総流出高が比較的小さいと思われる洪水を含む洪水

以上の考え方により、①で選定した 24 洪水に、②の条件に該当する 5 洪水を追加した 24 洪水（重複を含む）のうち、流量データに欠測の有る洪水、総降雨量－総流出高の関係が降雨による洪水と異なる可能性がある融雪期の洪水を除いた 17 洪水を対象とした（表 1.3）。

表 1.3 f1、Rsa 検討洪水一覧

No.	洪水名	浜中		月山ダム		八久和ダム		荒沢ダム		H18以降に浜中地点で 氾濫注意水位を 超過した洪水	備考
		ピーク流量 (m ³ /s)	順位	ピーク流量 (m ³ /s)	順位	ピーク流量 (m ³ /s)	順位	ピーク流量 (m ³ /s)	順位		
	S420828							706	5		※1
1	S440808	1,830	1			465	10				
	S510806	1,622	3			543	6	640	8		※1
2	S560622	1,351	10								
3	S620829	1,387	9								
4	H020627	1,445	7								
5	H050714	1,399	8								
6	H070810					647	2	802	2		
	H160717			687	5						※1
7	H210719							653	7		
	H220913					466	9				※1
	H230510			608	6						※2
8	H230624	1,557	4	597	7			621	10	○	
9	H250715			525	8					○	
10	H250718	1,497	6	1,013	1	707	1	682	6	○	
11	H250722			746	4	513	7	633	9		
12	H280822					621	3				
13	H290825							708	4		
	H300806					488	8				※1
14	R020728	1,709	2	971	2	561	5	730	3	○	
	R040427			516	10						※2
15	R040803					607	4	994	1		
16	R060708			517	9						
17	R060725	1,527	5	758	3					○	

※1：流量データに欠測あり

※2：融雪期

d) 流出成分の分離

流域定数の設定を行う上で、実績流量のハイドログラフをもとに流出成分を分離し、直接流出成分と間接流出成分の分離を行い、各時刻の直接流出と基底流量を求めた(図 1.6)。

一般に、ハイドログラフの低減部を片対数紙に描き、3本の直線で「表面流出成分」、「中間流出成分」、「地下水流出成分」を近似すると、洪水の終わりから1つ目の折れ点が中間流出の終了時点と考えられている。赤川では、流域のほとんどが自然地形(森林)であることから、表面流のほかに、側方浸透流(中間流出成分)、地下水位流に分かれ、流出過程をとると想定される。したがって、ピーク以降の流量を3本の直線で分離し、洪水の終わりから1つ目の折れ点を直接流出の終了点とした。

初期損失雨量の設定については、洪水の立ち上がりを定めて、それ以前の洪水は初期損失雨量として取り扱い、総降雨量に含めないものとして整理した。

なお、ダム下流における f_l 、 R_{sa} の検討では、検討期間のダム貯留量を流域面積で除してダム貯留高として整理し、下流の流出高に加えて、ダムの影響を考慮した。

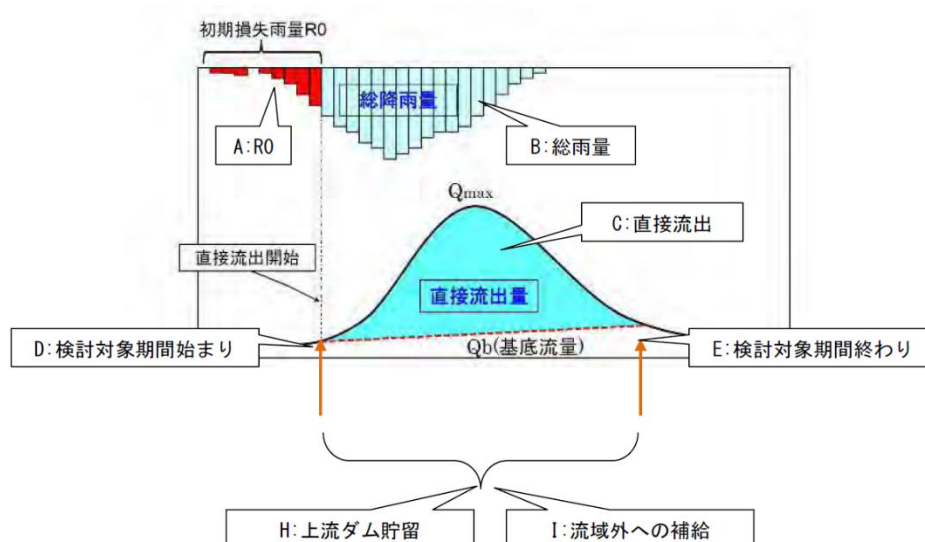


図 1.6 成分分離の概念図

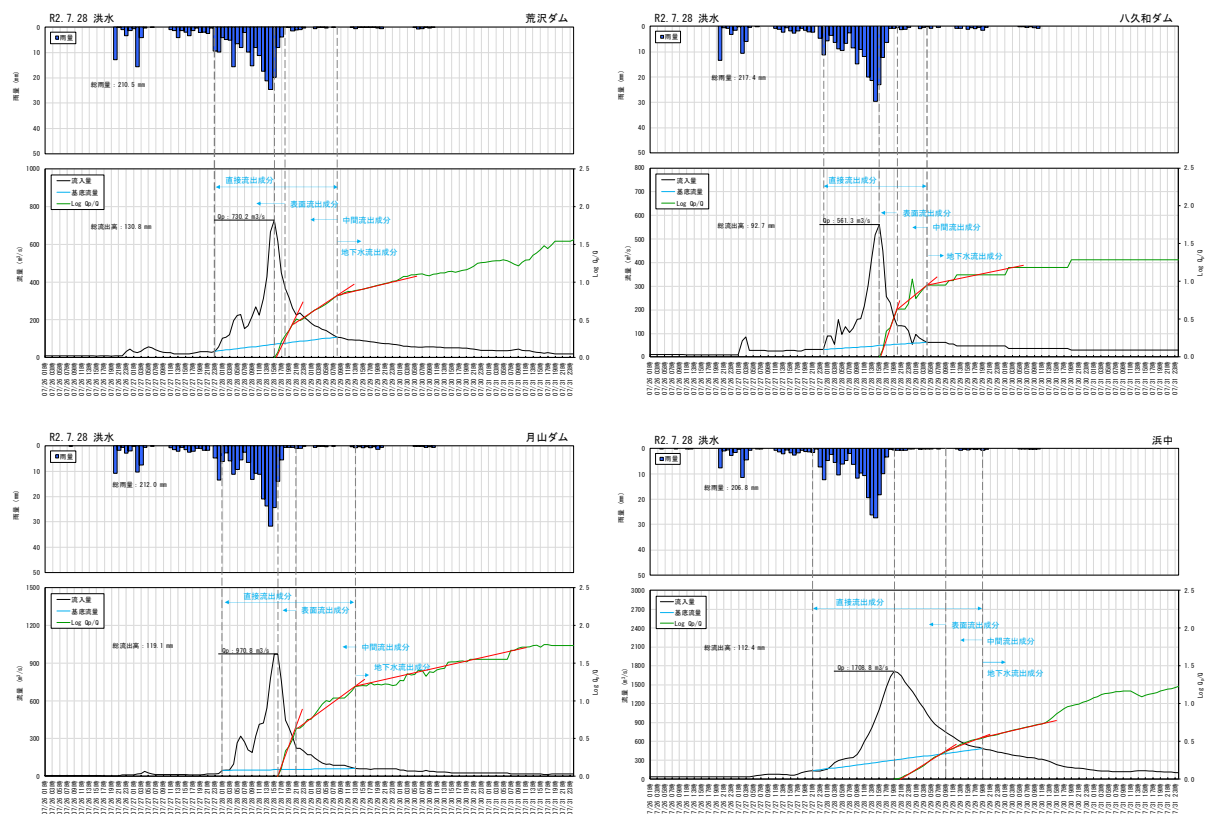


図 1.7 成分分離の事例 (R2.7 洪水)

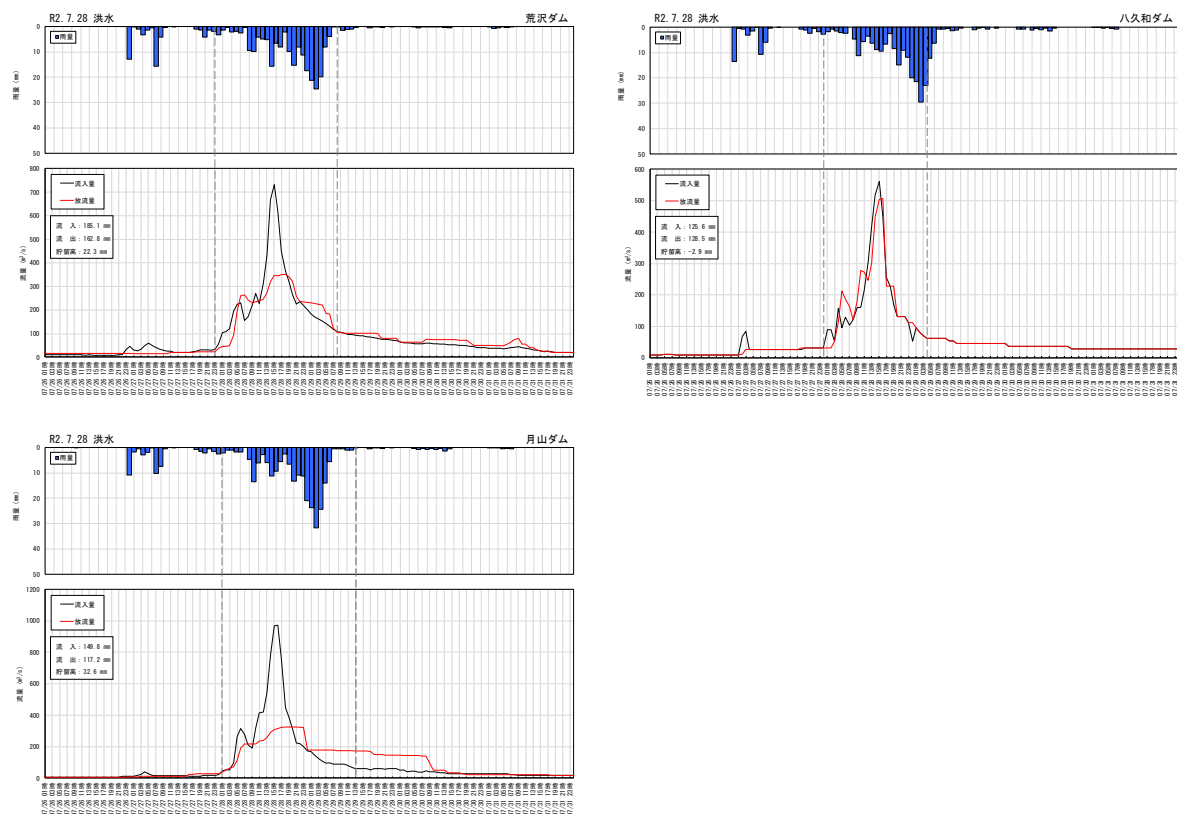


図 1.8 ダム貯留高算定事例 (R2.7 洪水)

e) 計画 f1、Rsa の検討

流出率 f1 及び飽和雨量 Rsa は次に述べる方法により算出を行った。検証対象地点の成分分離の結果と流域平均雨量を用いて、総降雨量 R(mm)と総流出高 q(mm)をプロットし、Rsa を仮定して、総降雨量が Rsa より小さい点群について、その座標と原点を結ぶ直線の傾きの平均値 f1 としたときに、総降雨量が Rsa より大きい点群について、総降雨量と総流出高の差の平均値が $Rsa \times (1-f1)$ となることを満足するように、Rsa を変化させて平均的な Rsa を求めた。このとき、累積雨量が飽和雨量を上回った後の流出率（飽和流出率）は、1.0 とする。

なお、ダム下流の検証対象地点における総流出高の算定では、ダム地点で調節された貯留高を下流地点の総流出高に考慮した。貯留高は、洪水期間においてダム地点の流入量と放流量の差分を時々刻々総和し求めるものとする。

f1、Rsa の検討地点は b) にて設定した 4 地点とした。

総降雨量 R(mm)と総流出高 q(mm)関係図（図 1.9）を基に設定した f1、Rsa は表 1.4 に示すとおりである。各洪水の再現にあたっては、f1 は本検討により得られた計画 f1 を使用し、Rsa は各洪水で検討した数値を採用する。

表 1.4 計画 f1、Rsa 設定結果

No	区分名	設定値		対象流域		備考
		一次流出率 f1	飽和雨量 Rsa (mm)	上流端	下流端	
1	荒沢ダム	0.5	150	赤川	荒沢ダム	
2	八久和ダム	0.4	260	梵字川	八久和ダム	
3	八久和ダム～月山ダム	0.5	150	八久和ダム	月山ダム	ダム貯留量を考慮
4	ダム地点～浜中	0.5	150	荒沢ダム、八久和ダム、月山ダム	浜中	ダム貯留量を考慮

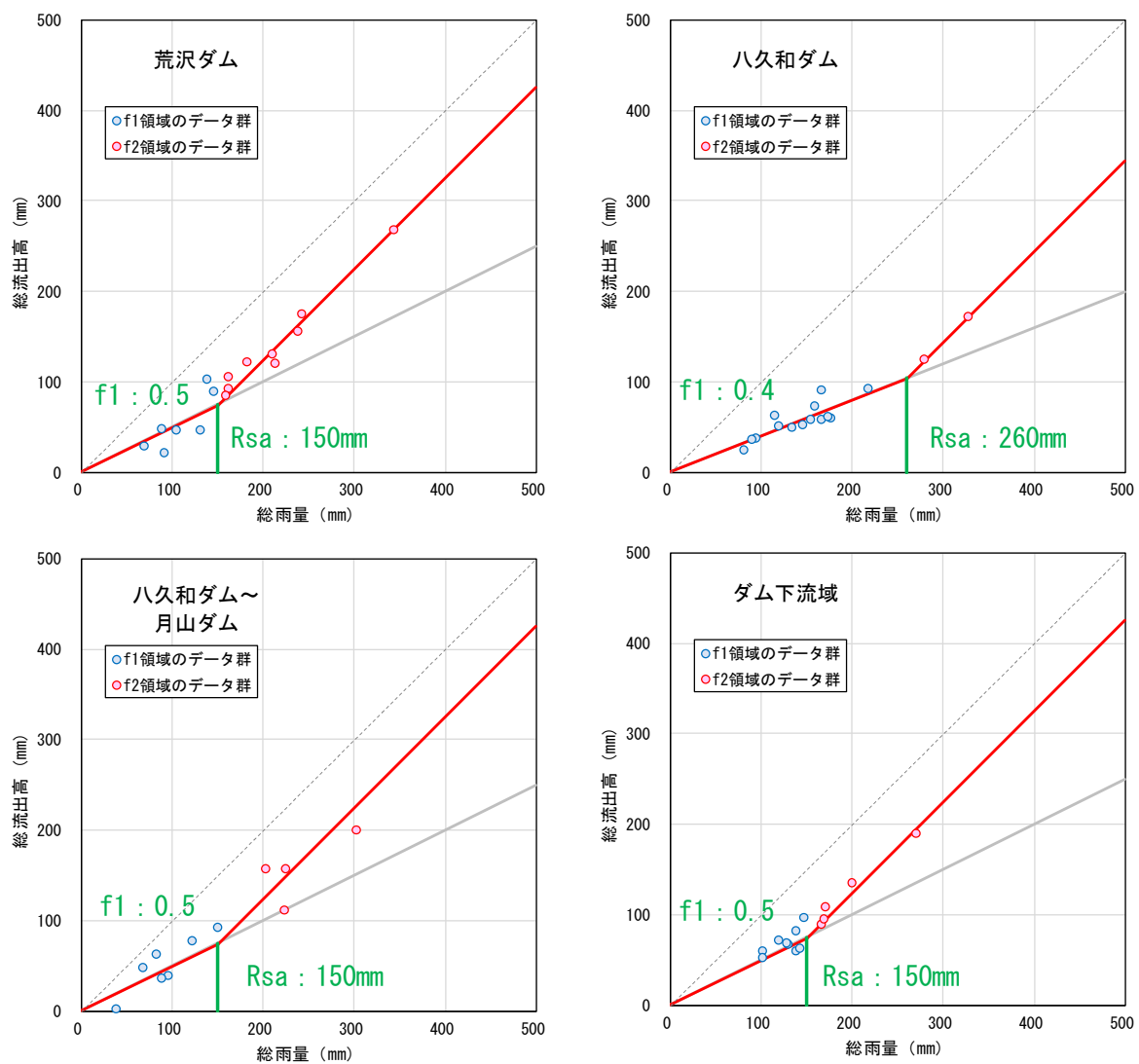


図 1.9 総降雨量と総流出高の関係

2) k 、 p 、 TI の設定

a) 代表地点における k 、 p 、 TI の算出

流出計算に用いる k 、 p 、 TI の設定は、上流域の降雨量と当該地点での流出量の関係が把握可能な地点（以下、「代表地点」という。）で行う必要がある。赤川流域において自然流況を把握可能な地点は、荒沢ダム、八久和ダム及び面野山であり、これらの地点を代表地点とし、貯留高－流出高関係図から流域定数 k 、 p 、 TI を算出した。なお、面野山は大山川の水位観測所地点であり下流部の流出特性をモデルに反映するため代表地点に追加した。面野山地点での流量観測は実施されていないものの、不等流計算による断面 HQ を用いて水位を流量に換算し、以降の検討を実施した。

具体的には、貯留高と流出高を両対数でプロットして貯留高－流出高関係図を作成し、 TI を少しずつ変化させ、最もループが小さくなる TI を求める。求めた TI によって両対数でプロットした貯留高－流出高関係図を直線近似し、切片を k 、傾きを p とした。（図 1.10 参照）

このようにして洪水ごとに k 、 p 、 TI を求めることとし、大きな洪水における流出量の再現性を考慮して k 、 p については最大流量となる洪水を、 TI については規模の大きい洪水の平均値により求めた。（表 1.5 参照）

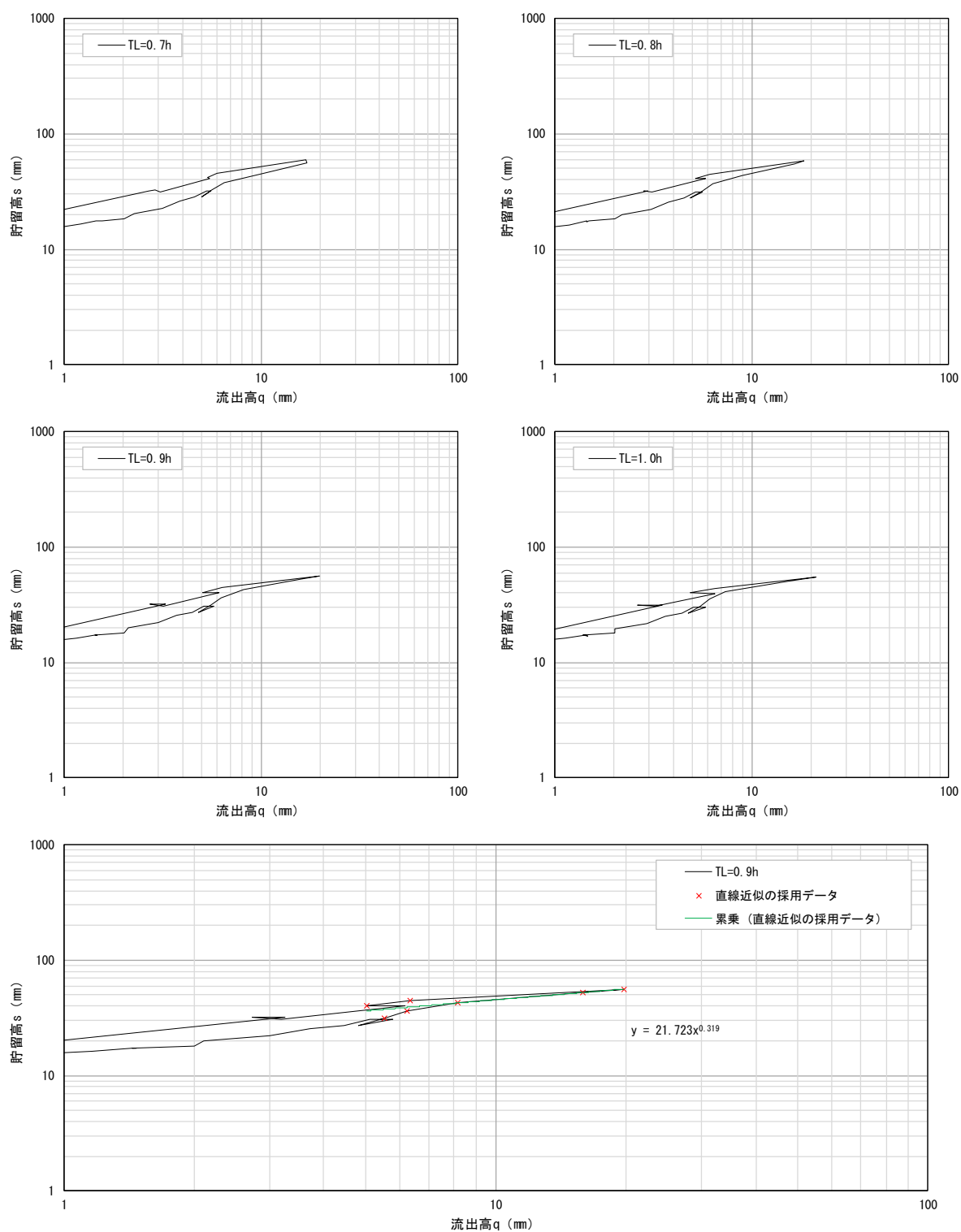


図 1.10(1) 貯留高－流出高関係図（荒沢ダム地点・R4.8 洪水）

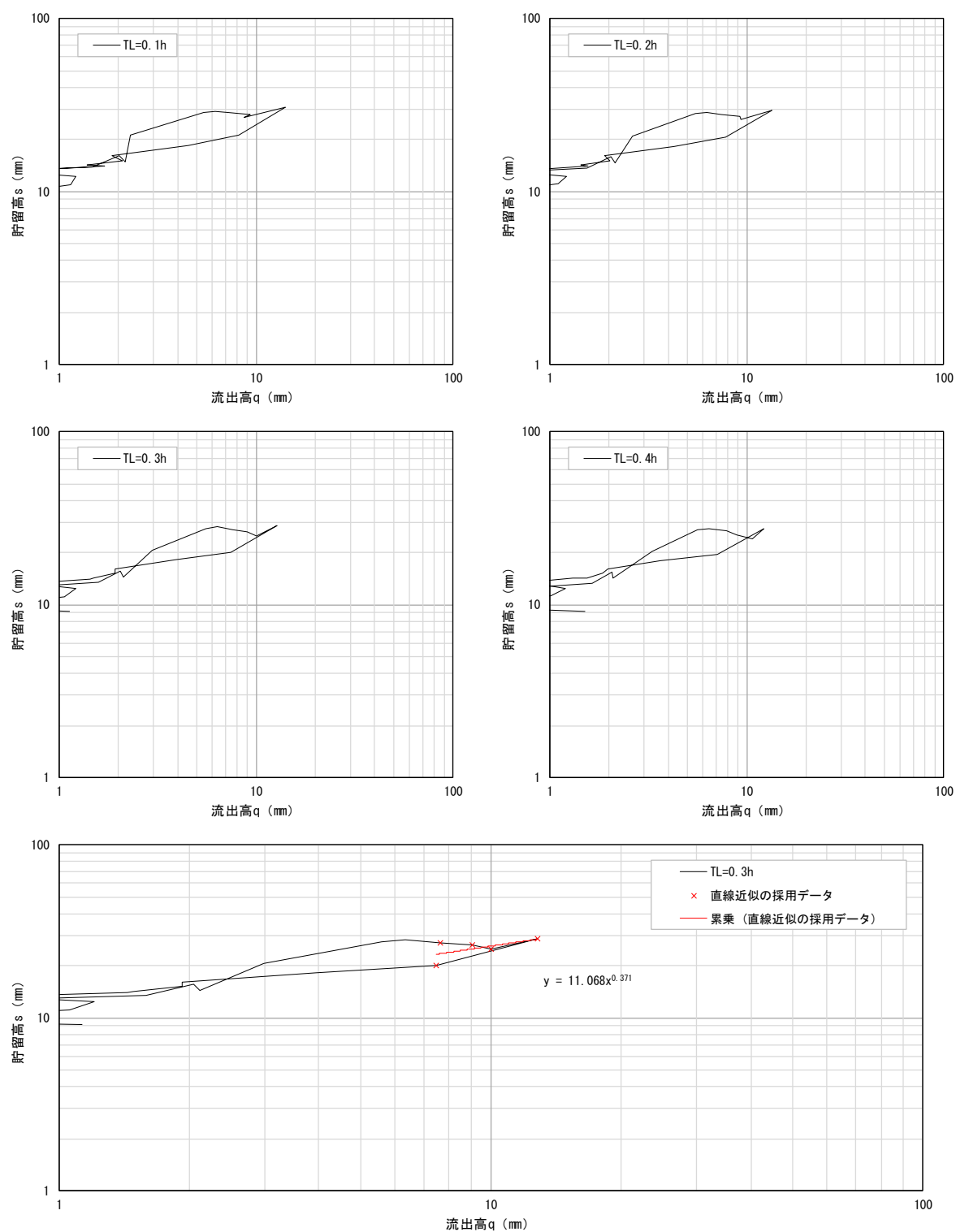


図 1.10(2) 貯留高一流出高関係図 (八久和ダム地点・H25.7 洪水)

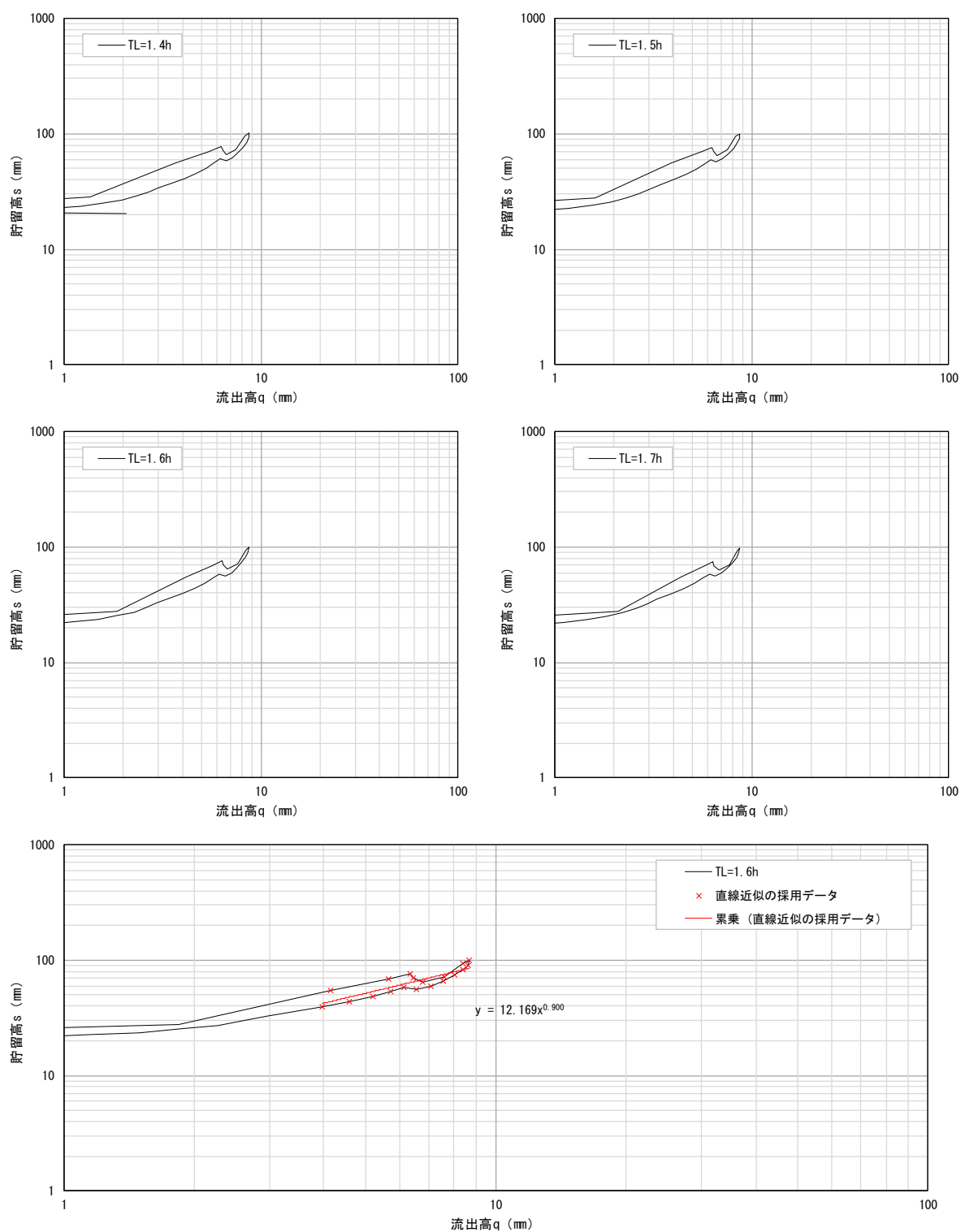


図 1.10(3) 貯留高－流出高関係図（面野山地点・R6.7 洪水）

表 1.5 代表地点における流域定数の設定結果

荒沢ダム

No	洪水名	実績流量		定数設定ケース別		流域定数			備考
		ピーク流量 (m ³ /s)	順位	対象洪水		K	P	Tl (h)	
				A	B				
1	S340722	903	2		○	10.892	0.385	1.40	
2	H070810	802	4		○	14.857	0.313	0.60	
3	H290825	708	6		○	27.875	0.284	0.20	
4	R020728	730	5		○	49.899	0.192	0.70	
5	R040803	994	1	○	○	21.723	0.319	0.90	
ケースA：実績ピーク流量最大洪水における流域定数						21.723	0.319	0.60	R040803洪水
ケースB：対象全洪水の流域定数の平均値						25.049	0.299	0.80	

八久和ダム

No	洪水名	実績流量		定数設定ケース別		流域定数			備考
		ピーク流量 (m³/s)	順位	対象洪水		K	P	Tl (h)	
				A	B				
1	H070810	647	2		○	6.192	0.236	1.20	
2	H250718	707	1	○	○	11.068	0.371	0.30	
3	H280822	621	3		○	4.385	0.532	0.60	
4	R020728	561	5		○	16.325	0.146	0.80	
5	R040803	607	4		○	19.508	0.160	1.00	
ケースA：実績ピーク流量最大洪水における流域定数						11.068	0.371	0.60	H250718洪水
ケースB：対象全洪水の流域定数の平均値						11.496	0.289	0.80	

面野山

No	洪水名	実績流量		定数設定ケース別		流域定数			備考
		ピーク流量 (m ³ /s)	順位	対象洪水		K	P	Tl (h)	
				A	B				
1	H190626	258	5		○	8.746	0.738	1.40	
2	H230818	317	2		○	22.455	0.600	0.80	
3	H300816	276	4		○	8.969	0.674	2.70	
4	R020728	309	3		○	35.581	0.432	2.00	
5	R060725	341	1	○	○	12.169	0.900	1.60	
ケースA：実績ピーク流量最大洪水における流域定数						12.169	0.900	2.70	R060725洪水
ケースB：対象全洪水の流域定数の平均値						17.584	0.669	1.70	

b) 各小流域における k、p、TL の設定

a) にて設定した代表地点流域では各々の地点における実績雨量と実績流量の関係から流域定数を表 1.5 に示すとおり設定した。上記以外の小流域の k、p 値を求める際には、以下の考え方をを用いることとした。

- ・ k 値は、リザーブ定数を用いた経験式の考え方を利用する。
- ・ p 値は、k 値算定に用いた代表地点の値を一様に採用する。
- ・ TL は、k 値算定に用いた代表地点の TL をそれぞれの流域の流路長比により設定する。

【リザーブ式】

$$k = \alpha \times C \times I^{-1/3} \times L^{1/3}$$

α : 定数

C : 流域粗度（自然流域 C=0.12、都市流域 C=0.012）

I : 流域勾配

L : 流路長

代表地点における流域定数 k、p、TL を用いて、リザーブ定数を用いた経験式により各小流域の k、p、TL を表 1.7 のとおり設定した。

表 1.6 代表地点の流域諸元

地点	K ①	P	TL (h)	C ②	I ③	L (km) ④	α ① $\frac{①}{② \times ③^{-1/3} \times ④^{1/3}}$
荒沢ダム	21.723	0.319	0.800	0.118	0.017	24.43	16.158
月山ダム	11.068	0.371	0.800	0.118	0.020	24.03	8.862
面野山	12.169	0.900	1.700	0.107	0.007	23.53	7.539

表 1.7 各小流域における流域定数の設定結果

流域番号		対象地点等	流域面積 A (km ²)	流路長 L (km)	勾配 I	流域粗度 C	代表地点の流域定数					小流域の流域定数		
No	名称						代表地点名	α	P	TL (h)	流路長L (km)	k	p	TL (h)
1	1	大鳥流域	65.00	17.44	0.037	0.118	荒沢ダム	16.158	0.319	0.80	24.43	14.790	0.319	0.57
2	2	大鳥残流域	97.00	22.89	0.013	0.117	荒沢ダム	16.158	0.319	0.80	24.43	22.630	0.319	0.75
3	3-1	荒沢残流域	30.43	6.97	0.035	0.119	荒沢ダム	16.158	0.319	0.80	24.43	11.270	0.319	0.23
4	3-2	荒沢残流域	19.57	5.33	0.085	0.118	荒沢ダム	16.158	0.319	0.80	24.43	7.590	0.319	0.17
5	4-1	田沢残流域	33.30	6.53	0.047	0.117	荒沢ダム	16.158	0.319	0.80	24.43	9.820	0.319	0.21
6	4-2	田沢残流域	17.00	4.32	0.083	0.115	荒沢ダム	16.158	0.319	0.80	24.43	6.930	0.319	0.14
7	5	新八久和流域	89.40	24.61	0.021	0.119	八久和ダム	8.862	0.371	0.80	24.03	11.140	0.371	0.82
8	6	新八久和残流域	59.00	13.83	0.029	0.116	八久和ダム	8.862	0.371	0.80	24.03	7.990	0.371	0.46
9	7-1	八久和残流域	21.29	6.17	0.014	0.114	八久和ダム	8.862	0.371	0.80	24.03	7.760	0.371	0.21
10	7-2	八久和残流域	70.11	16.55	0.053	0.118	八久和ダム	8.862	0.371	0.80	24.03	7.100	0.371	0.55
11	8-1	田沢残流域	28.56	12.40	0.038	0.117	八久和ダム	8.862	0.371	0.80	24.03	7.170	0.371	0.41
12	8-2	田沢残流域	20.84	6.17	0.087	0.117	八久和ダム	8.862	0.371	0.80	24.03	4.280	0.371	0.21
13	9	熊出残流域	48.90	9.83	0.032	0.104	面野山	7.539	0.900	1.70	23.53	5.280	0.900	0.71
14	10-1	熊出残流域	20.16	9.94	0.027	0.112	面野山	7.539	0.900	1.70	23.53	6.060	0.900	0.72
15	10-2	内川流域	35.36	8.89	0.002	0.064	面野山	7.539	0.900	1.70	23.53	8.540	0.900	0.64
16	10-3	青龍寺川流域	30.48	7.42	0.004	0.112	面野山	7.539	0.900	1.70	23.53	10.520	0.900	0.54
17	10-4	青龍寺川流域	8.70	10.41	0.001	0.040	面野山	7.539	0.900	1.70	23.53	7.370	0.900	0.75
18	11	大山川流域	161.60	31.45	0.004	0.105	面野山	7.539	0.900	1.70	23.53	16.000	0.900	2.27

各流域に用いるリザーブ式は、地質区分や河川の流路等を考慮して以下のとおり設定した。

なお、地質分類は、各小流域と代表流域を対象に、シームレス地質図にて大枠で分類されている①堆積岩類、②火山岩類、③深成岩類、④変成岩類の占める割合を整理した（表 1.8、図 1.11 参照）。

【各流域に用いるリザーブ式】

- ・ 1、2、3-1、3-2、4-1、4-2 流域

⇒赤川筋である小流域であること、地質区分が類似していることから、赤川筋の代表地点である荒沢ダムのリザーブ式により定数を設定

- ・ 5、6、7-1、7-2、8-1、8-2 流域

⇒梵字川筋である小流域であること、地質区分が類似していることから、梵字川筋の代表地点である八久和ダムのリザーブ式により定数を設定

- ・ 9、10-1、10-2、10-3、10-4、11 流域

⇒熊出地点の下流に位置する小流域であり、堆積岩が主体の地質であることを踏まえ、面野山のリザーブ式により定数を設定

表 1.8 赤川流域における地質分類

代表流域名	流域面積 (km ²)	堆積岩類 (%)	火山岩類 (%)	深成岩類 (%)	変成岩類 (%)
荒沢ダム	162.0	5.98	36.49	54.42	3.11
八久和ダム	148.4	1.01	14.24	84.75	0.00
面野山	127.2	45.31	50.50	4.18	0.00

■小流域

流域 No	流域面積 (km ²)	堆積岩類 (%)	火山岩類 (%)	深成岩類 (%)	変成岩類 (%)	リザーブ式 代表流域
1	65.00	0.82	7.32	85.94	5.93	荒沢ダム
2	97.00	9.45	56.03	33.31	1.21	荒沢ダム
3-1	30.43	3.15	59.57	37.29	0.00	荒沢ダム
3-2	19.57	36.86	63.03	0.12	0.00	荒沢ダム
4-1	33.30	30.08	36.95	32.97	0.00	荒沢ダム
4-2	17.00	9.68	52.59	37.73	0.00	荒沢ダム
5	89.40	0.00	3.92	96.08	0.00	八久和ダム
6	59.00	2.54	29.87	67.58	0.00	八久和ダム
7-1	21.29	0.00	88.84	11.16	0.00	八久和ダム
7-2	70.11	4.61	88.77	6.62	0.00	八久和ダム
8-1	28.56	0.61	73.42	25.97	0.00	八久和ダム
8-2	20.84	67.61	32.39	0.00	0.00	八久和ダム
9	48.90	55.42	44.58	0.00	0.00	面野山
10-1	20.16	26.84	56.22	16.93	0.00	面野山
10-2	35.36	100.00	0.00	0.00	0.00	面野山
10-3	30.48	44.46	23.94	31.60	0.00	面野山
10-4	8.70	99.87	0.13	0.00	0.00	面野山
11	161.60	48.79	47.29	3.91	0.00	面野山

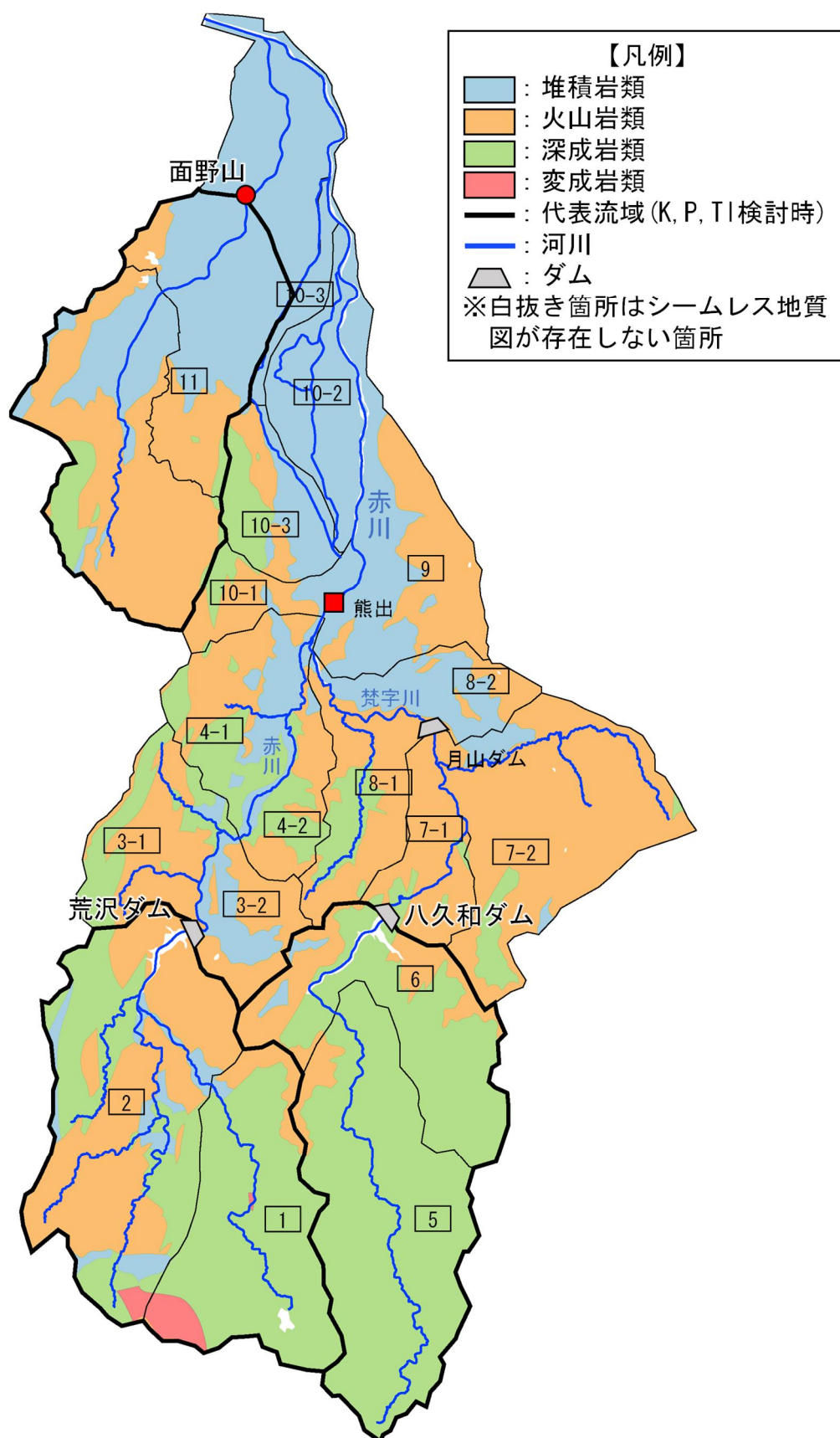


図 1.11 赤川流域における地質分布

(2) 河道定数の設定

赤川流域における小流域間に設定された直轄管理区間の A1 河道～B3 河道については、不等流計算により河道の任意の流量 Q に対応する貯留量 S との関係を求めて K 、 P を設定することとした。以下の式により河道毎に流量規模毎の貯留量 S を不等流計算により求め、流量と河道貯留の関係から、流域定数の検討と同様に切片を K 、傾きを P として求めた。

また、河道の遅滞時間 Tl は、定流の貯留関数と洪水流の貯留関数の関係から求めた。

$$s = \frac{V}{3600}$$

$$V = \frac{A_1 + A_2}{2} L_1 + \frac{A_2 + A_3}{2} L_2 + \frac{A_3 + A_4}{2} L_3 + \dots$$

V : 各流量に対応した河道内のボリューム 【 m^3 】

A : 河道の各断面における断面積 【 m^2 】

L : 河道の各断面間の延長 【 m 】

表 1.9 対象河道一覧

河道名	河川名	河道定数			備考
		k	p	Tl	
1	赤川	—	—	1.00	既定計画を踏襲
2	赤川	—	—	0.50	既定計画を踏襲
3	赤川	—	—	1.25	既定計画を踏襲
4	梵字川	—	—	1.00	既定計画を踏襲
5	梵字川	—	—	1.05	既定計画を踏襲
6	梵字川	—	—	0.90	既定計画を踏襲
A1	赤川	4.520	0.701	0.10	
A2	赤川	0.410	0.973	0.20	
B1	赤川	1.254	0.909	0.20	
B2	赤川	1.150	0.907	0.20	
B3	赤川	2.065	0.857	0.20	

(3) 流出計算モデルの検証

前述までに設定した定数を用いて、既往洪水時の雨量データを用い、再現計算を実施した。検討対象洪水は、既定計画策定以降（平成 21 年（2009 年）以降）の洪水のうち、基準地点熊出の実績流量の上位 5 洪水とした。

再現検証にあたり、飽和雨量、基底流量について各洪水の実績値を用いた。

基準地点熊出において計算値と実績値を比較したところ、実績値を概ね再現できており、流出計算モデルの妥当性を確認した。

表 1.10 検証対象洪水一覧

No	洪水名	熊出	
		流量 (m^3/s)	順位
1	H230624	1,211	3
2	H250718	1,178	5
3	H260710	1,191	4
4	R020728	1,694	1
5	R060725	1,306	2

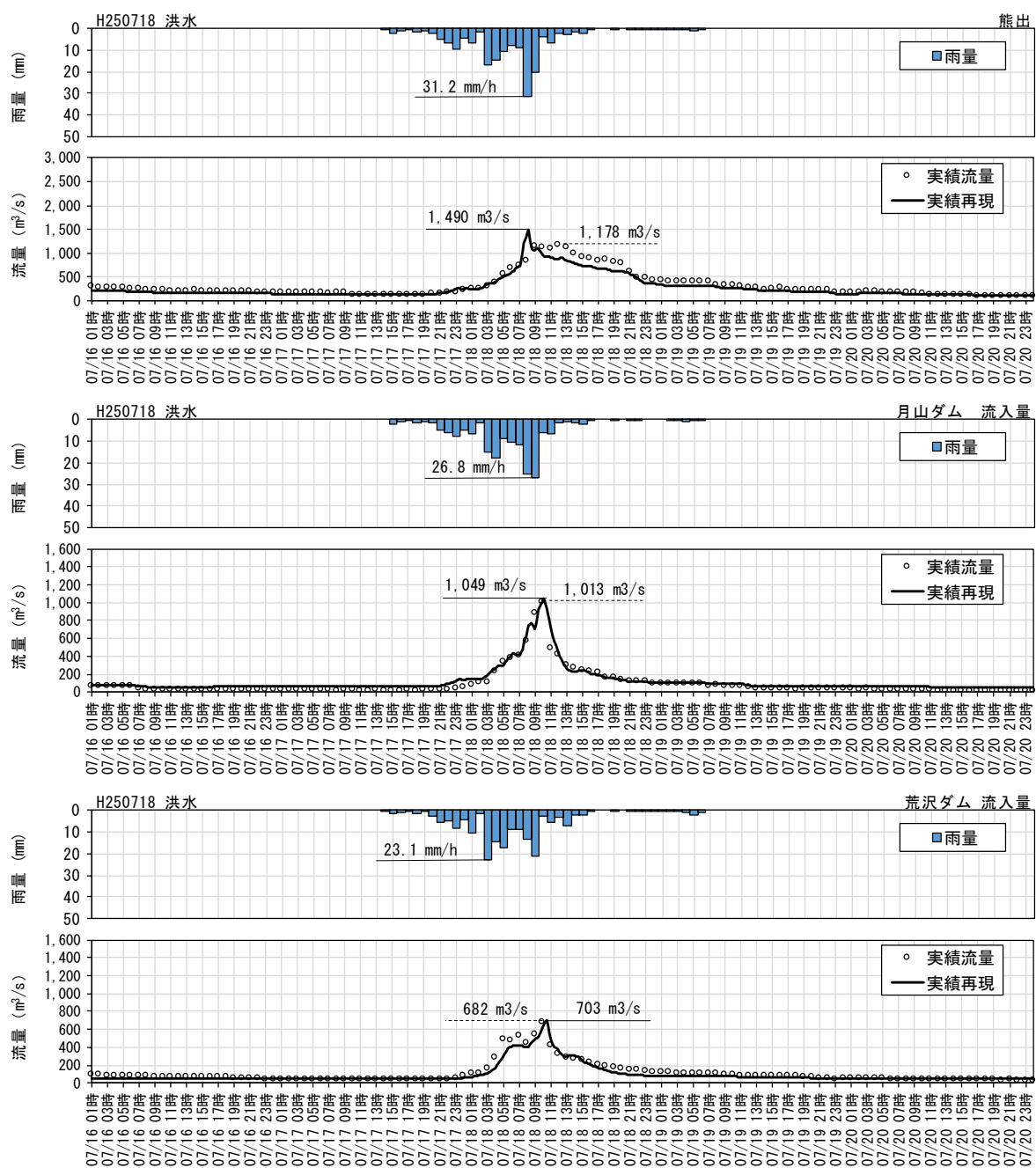


図 1.12(1) 再現計算結果 (H230624 洪水)

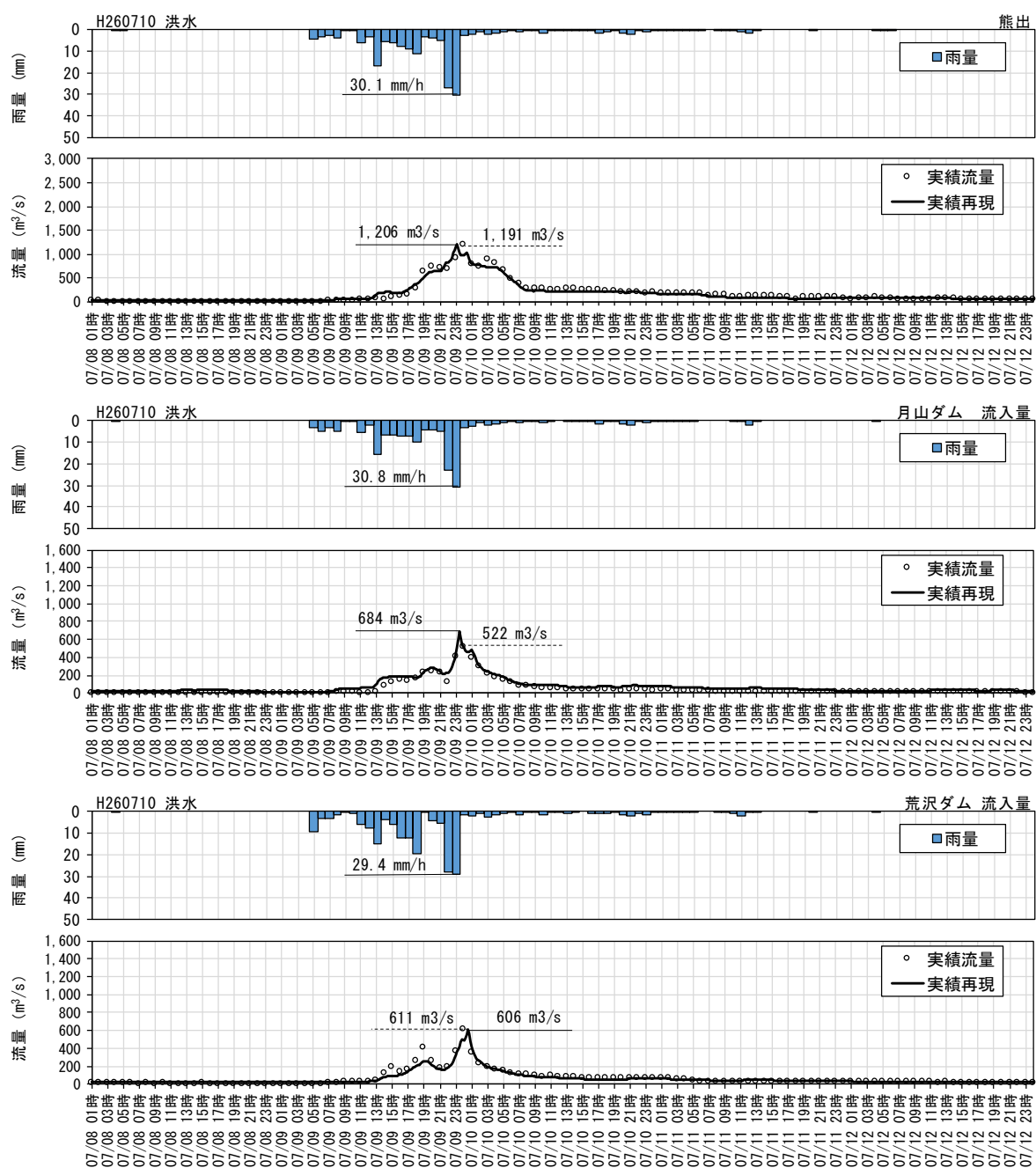


図 1.12(2) 再現計算結果 (H250718 洪水)

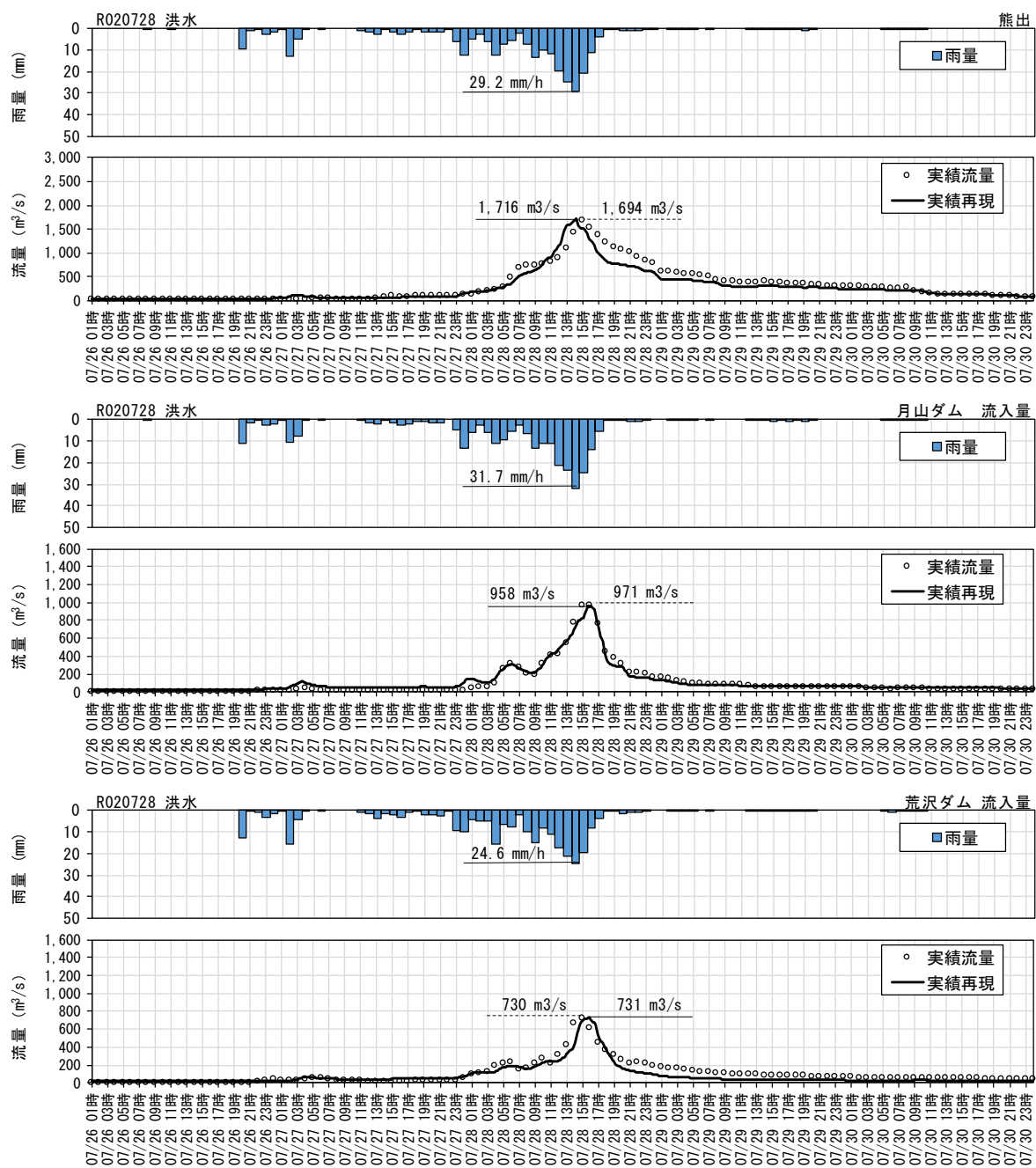


図 1.12(3) 再現計算結果 (H260710 洪水)

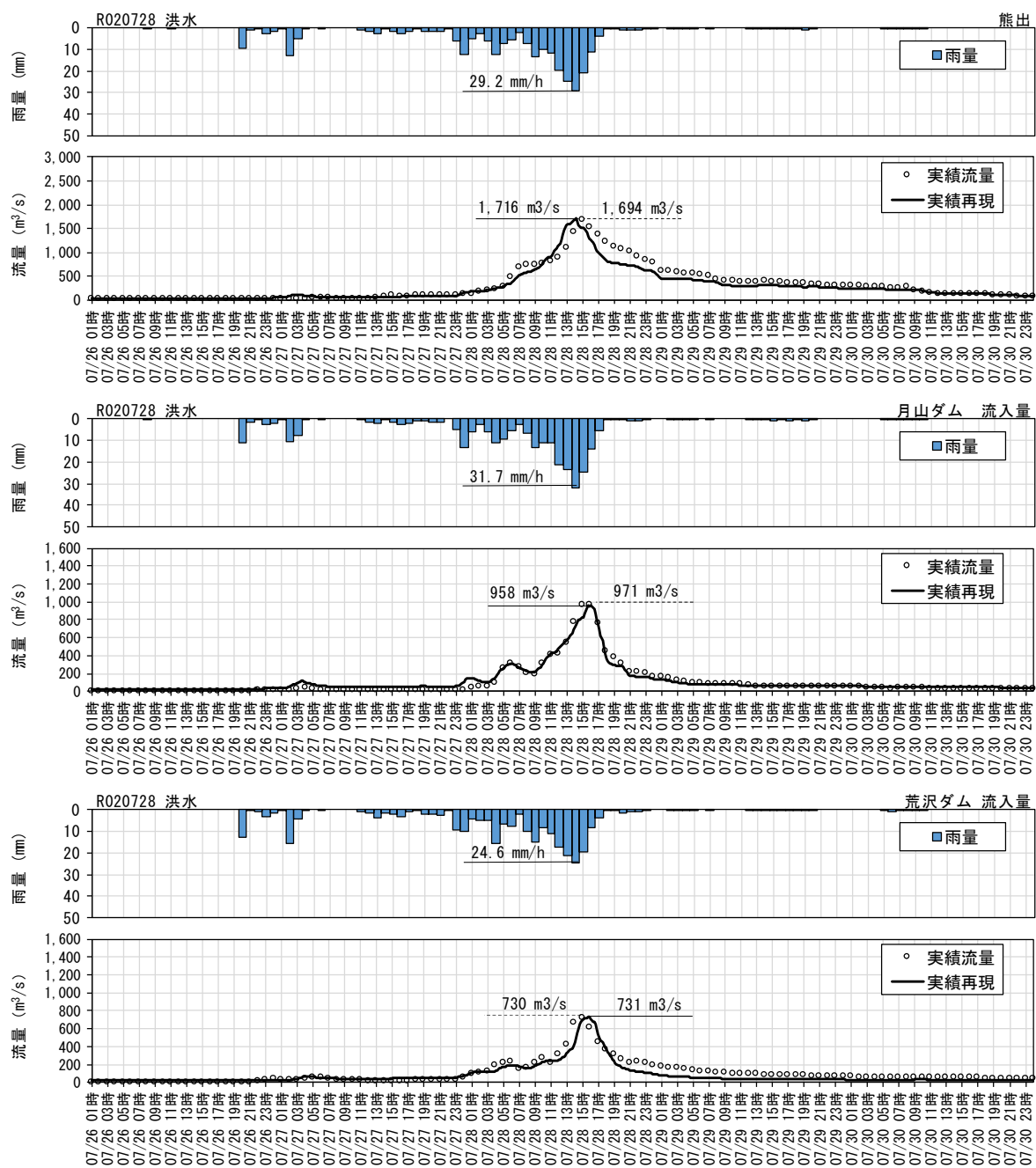


図 1.12(4) 再現計算結果 (R020728 洪水)

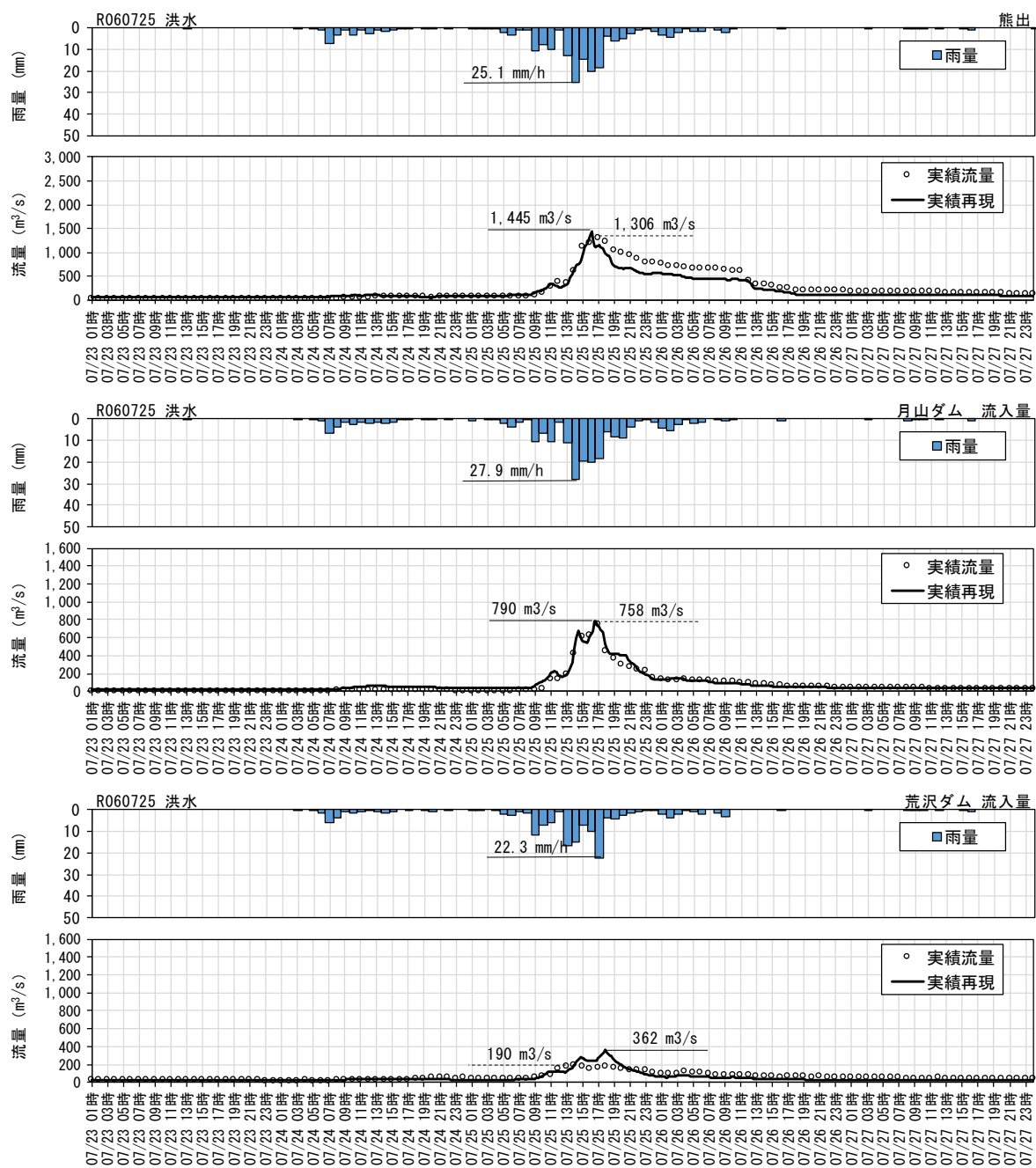


図 1.12(5) 再現計算結果 (R060725 洪水)

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設定の考え方

基本高水のピーク流量の設定については、前述した流出計算モデルを用いて、以下の項目について総合的に判断し設定する。

- ・ 既定計画の基本高水のピーク流量
- ・ 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
- ・ アンサンブル予測降雨波形を用いた検討
- ・ 既往洪水からの検討

1.5.2 計画規模の設定

計画規模については、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、現計画の基準地点熊出 1/100 を踏襲するものとした。

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の設定の考え方

赤川流域における対象降雨の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、(1)Kinematic Wave 法に基づく式、(2)角屋の式により評価した。

対象洪水は、過去洪水（昭和 32 年（1957 年）～令和 6 年（2024 年））のうち、基準地点熊出のダム戻し流量上位 10 洪水とした。

(1) Kinematic Wave 法による洪水到達時間

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。

(1) 及び (2) の計算結果を表 1.11 に示し、洪水毎の Kinematic Wave 法に基づく洪水到達時間の検討結果を図 1.13 示す。

【基準地点熊出】

Kinematic Wave 法 : 2.0～15.0 時間（平均 7.5 時間）

角屋の式 : 9.2～12.0 時間（平均 10.3 時間）

表 1.11 洪水到達時間の算定結果

洪水名	熊出地点 ピーク流量 (m^3/s)	洪水到達時間 (h)	
		Kinematic Wave法	角屋の式
S320708	2,018	8.0	9.4
S330728	1,929	15.0	11.0
S440808	2,315	12.0	10.3
S460716	2,068	2.0	12.0
S560622	1,654	7.0	10.9
S620829	1,949	5.0	10.0
H230624	1,803	5.0	10.3
H250718	2,070	14.0	10.1
R020728	2,564	3.0	9.2
R060725	1,640	4.0	10.0
最大値		15.0	12.0
最小値		2.0	9.2
平均値		7.5	10.3

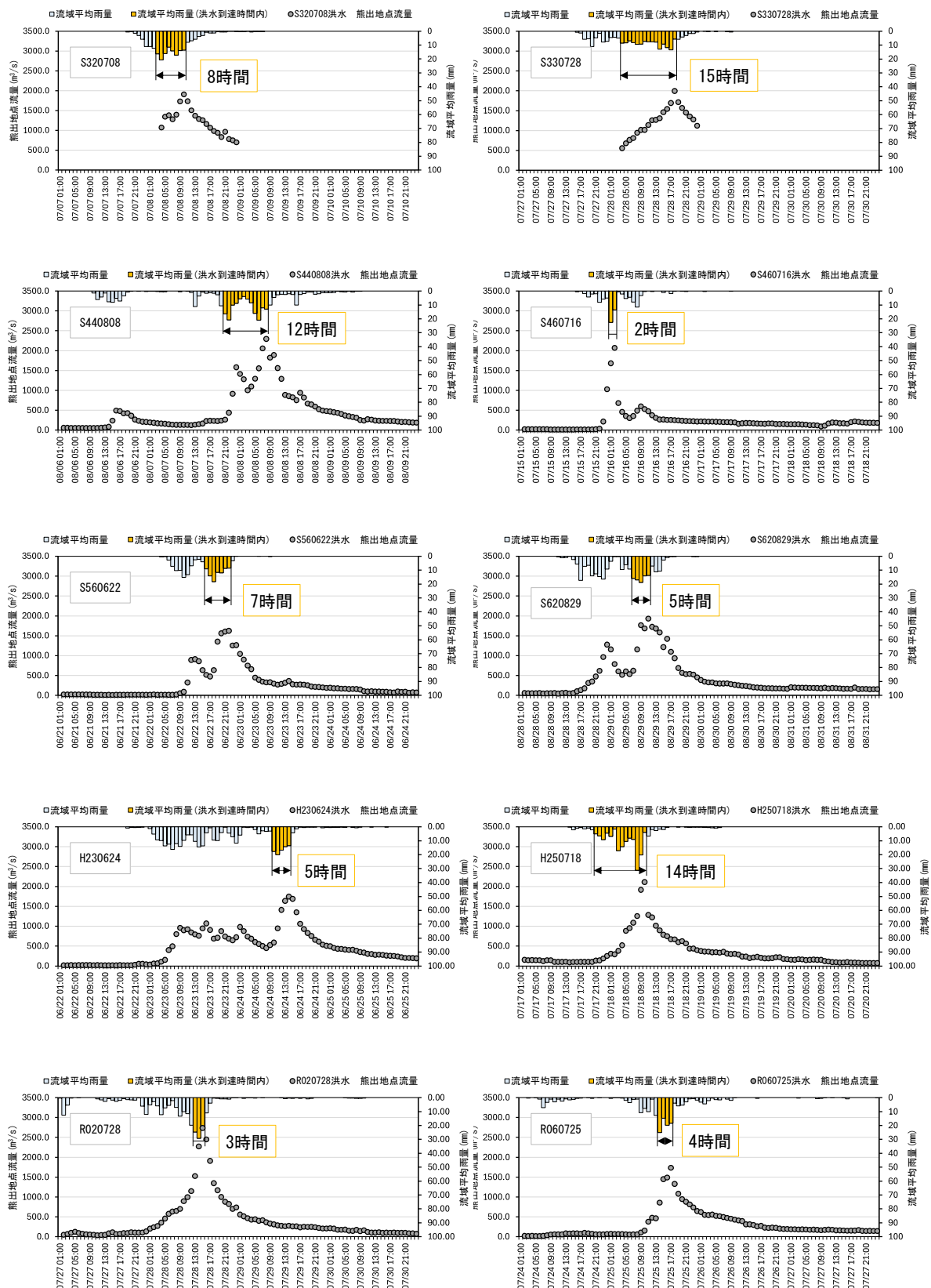


図 1.13 Kinematic Wave 法に基づく式による洪水到達時間の算定 (基準地点熊出)

1.6.3 ピーク流量と雨量の相関について

ここでは、昭和 32 年（1957 年）から令和 6 年（2024 年）までの 70 年間で基準地点熊出において年最大流量を記録した洪水を対象に、ピーク流量と短時間雨量（1、2、3、6、9、12、15、18、24、36、48 時間雨量）との相関関係を整理した。短時間雨量については、図 1.14 に示す 2 パターンについて整理を行った。

その結果、熊出地点では、どちらの手法においても 12～18 時間で相関が高くなり、特に①の手法において最も相関が高いのは 12 時間（相関係数：0.81）、②の手法において最も相関が高いのは 12 時間（相関係数：0.82）となった。

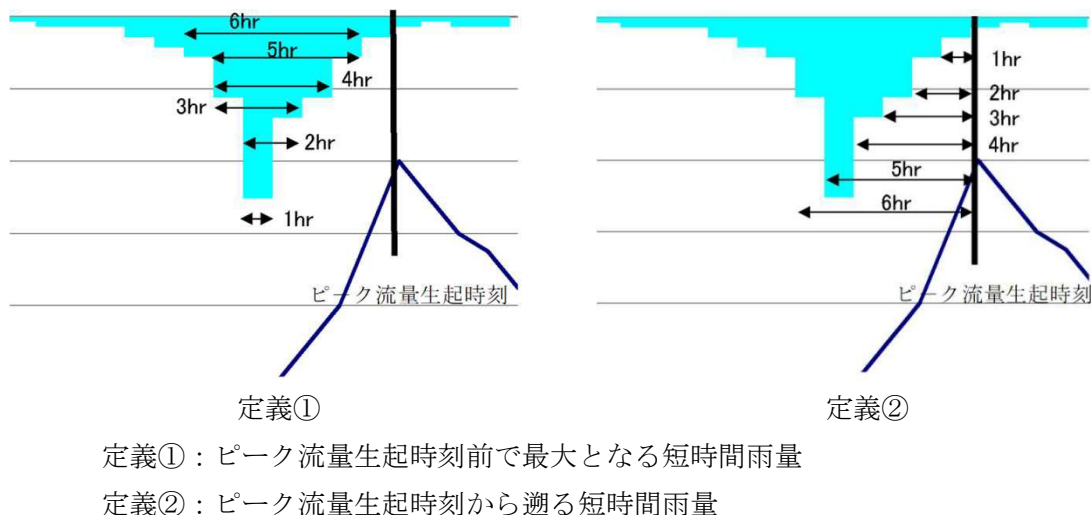


図 1.14 ピーク流量と雨量相関の定義

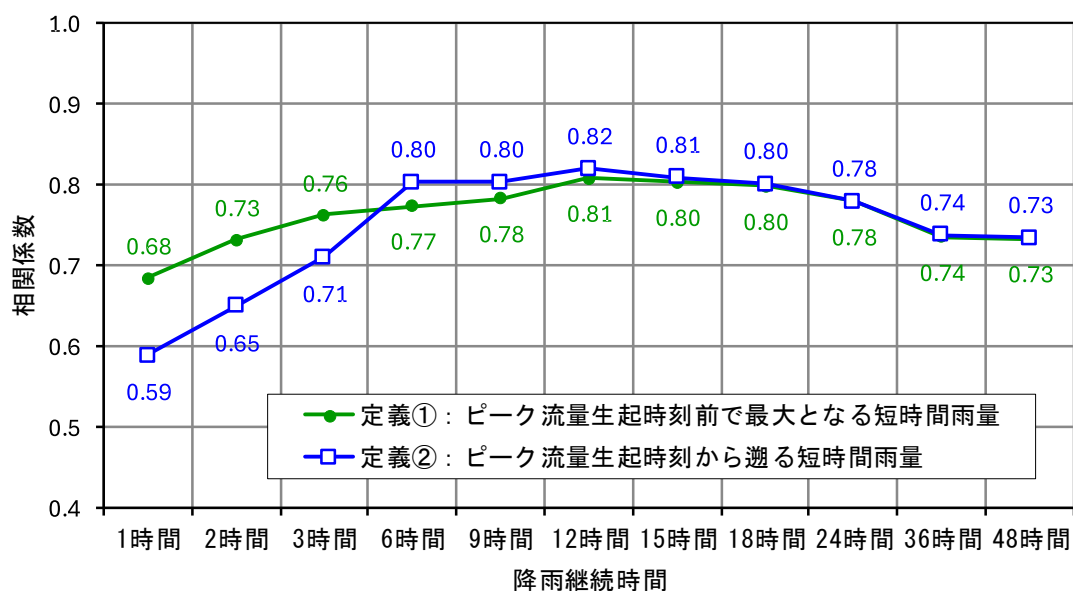


図 1.15 ピーク流量と雨量相関の定義（基準地点熊出）

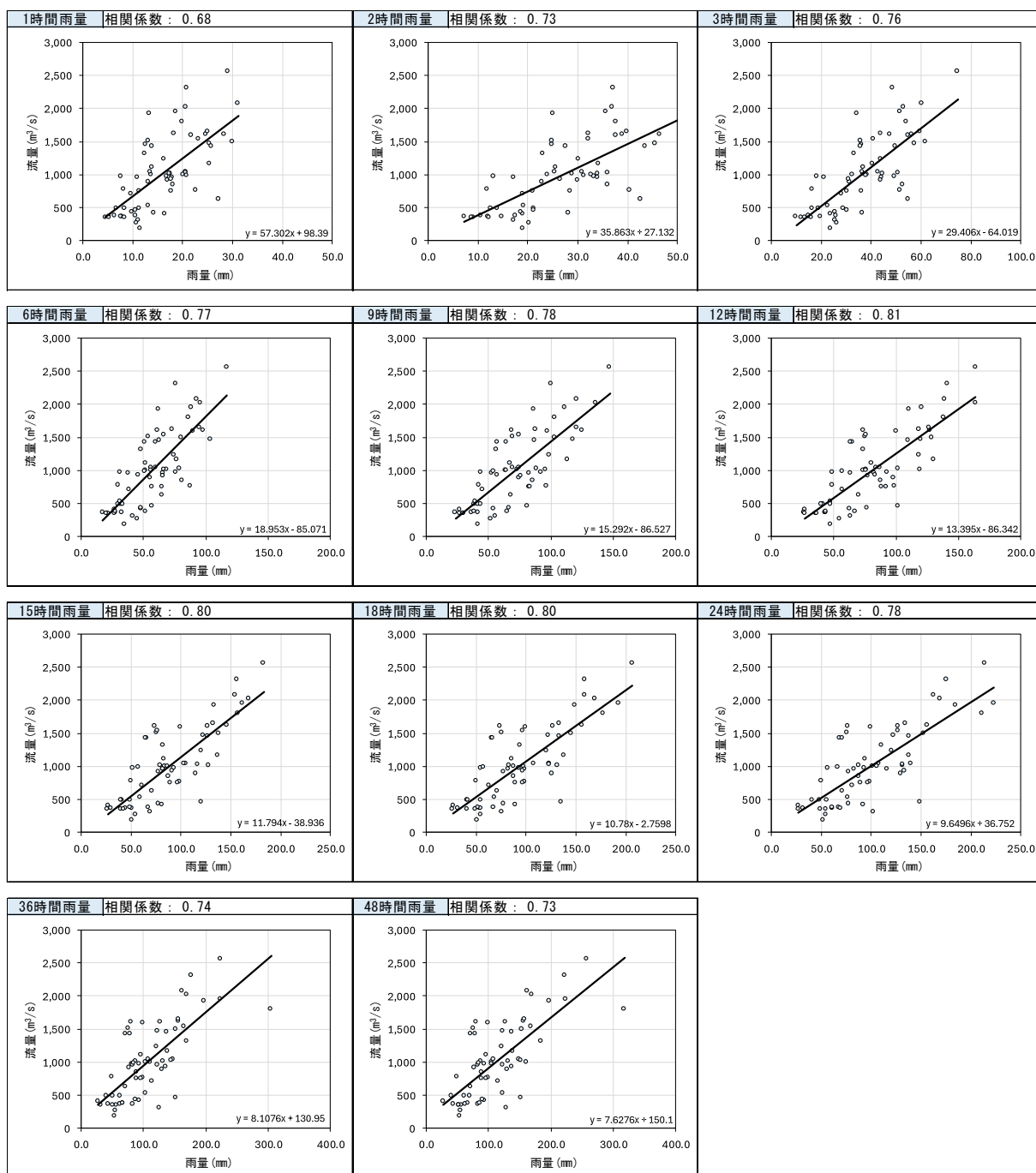


図 1.16 ピーク流量と雨量との相関関係
 (①ピーク流量生起前で最大となる短時間雨量：熊出地点)

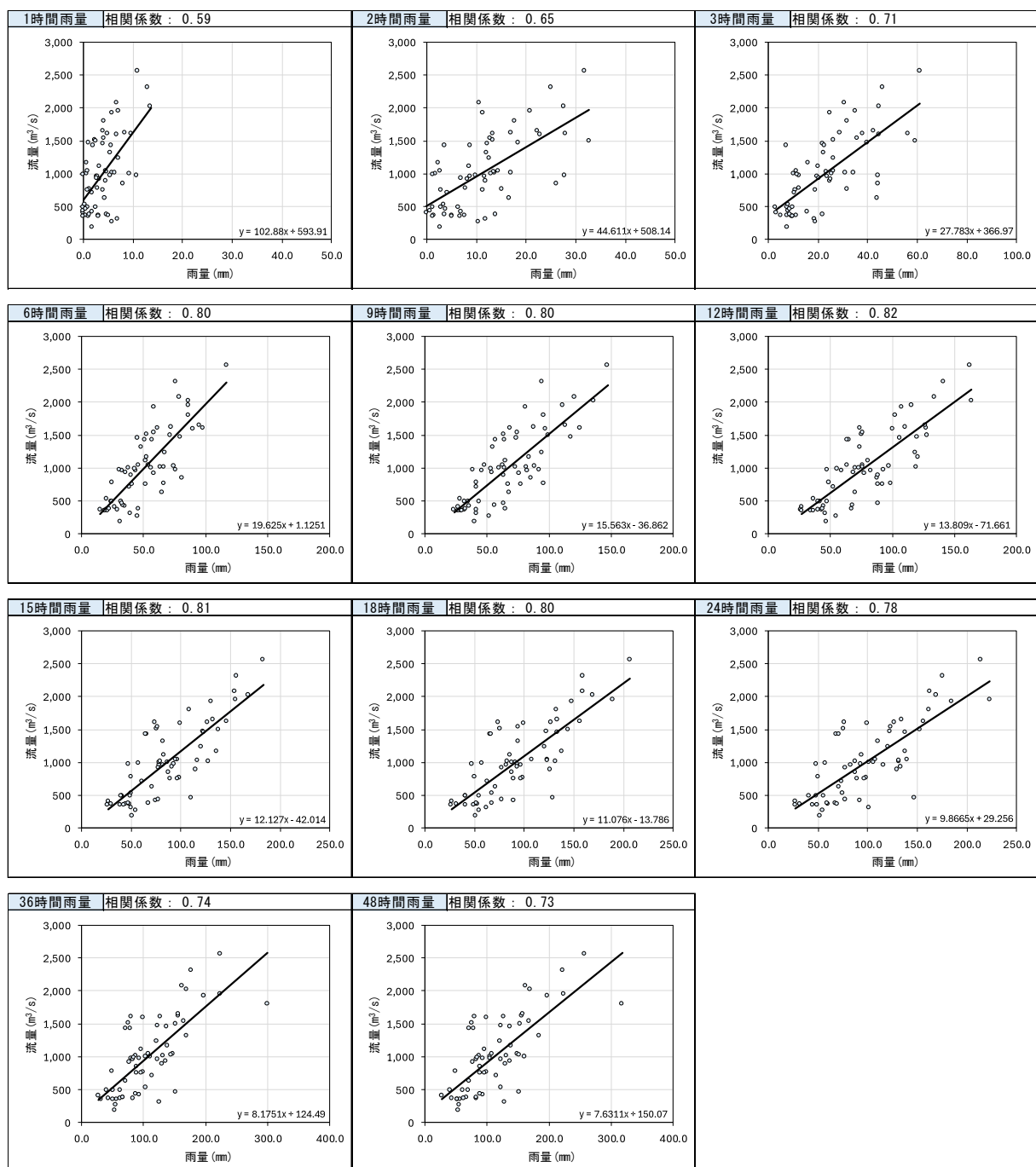


図 1.17 ピーク流量と雨量との相関関係
 (②ピーク流量生起時刻から遡る短時間雨量：熊出地点)

1.6.4 強い降雨強度の継続時間

比較的強い降雨強度である時間 5mm/h の降雨の継続時間及び強い降雨強度である時間 10mm/h の降雨の継続時間の集計を行った。なお、対象降雨は過去洪水（昭和 32 年（1957 年）～令和 6 年（2024 年））のうち、熊出地点のダム戻し流量の上位 10 洪水とした。

以下に集計した結果を示す。この結果、熊出地点における 5mm/h 以上の降雨継続時間は 5～16 時間、平均 10.8 時間、10mm/h 以上の継続時間は 2～11 時間、平均 5.9 時間となった。このため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、熊出地点では概ね 12 時間でカバーできることがわかる。

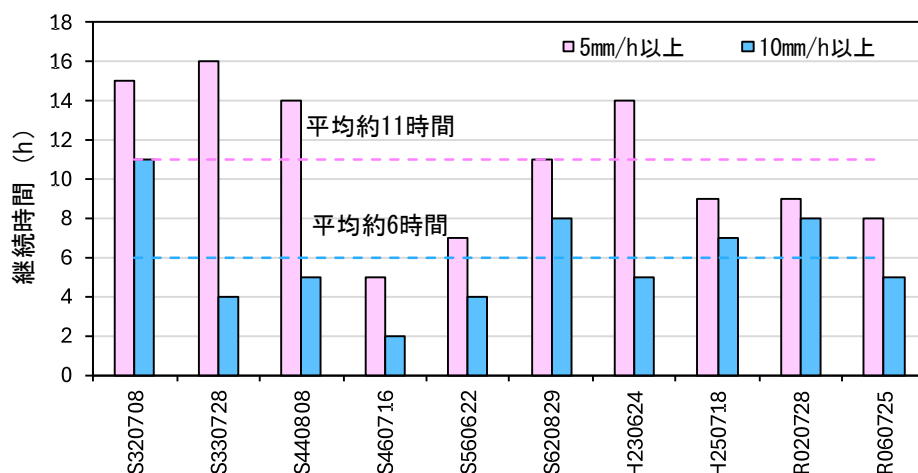


図 1.18 強い降雨強度の継続時間（基準地点熊出）

表 1.12 強い降雨強度の継続時間（基準地点熊出）

洪水名	熊出地点 ピーク流量 (m^3/s)	強い降雨強度の継続時間	
		5mm/h	10mm/h
S320708	2,018	15.0	11.0
S330728	1,929	16.0	4.0
S440808	2,315	14.0	5.0
S460716	2,068	5.0	2.0
S560622	1,654	7.0	4.0
S620829	1,949	11.0	8.0
H230624	1,803	14.0	5.0
H250718	2,070	9.0	7.0
R020728	2,564	9.0	8.0
R060725	1,640	8.0	5.0
最大値		16.0	11.0
最小値		5.0	2.0
平均値		10.8	5.9

1.6.5 対象降雨の継続時間の設定

昭和 32 年（1957 年）から令和 6 年（2024 年）の 68 年間の主要な洪水を対象に、以下に示す洪水到達時間や強い降雨強度の継続時間等から総合的に判断して、対象降雨の継続時間は、基準地点熊出で 12 時間と設定した。

表 1.13 対象降雨の継続時間の検討結果

項目	熊出
1)Kinematic Wave 法による洪水の到達時間	2.0～15.0 時間 (平均 7.5 時間)
2)角屋の式による洪水の到達時間	9.2～12.0 時間 (平均 10.3 時間)
3)ピーク流量と雨量の相関	ピーク流量との相関の高い 短時間雨量は、12～18 時間
4)強い降雨強度の継続時間	5mm 以上 5.0～16.0 時間 (平均 10.8 時間) 10mm 以上 2.0～11.0 時間 (平均 5.9 時間)
評価	上記を総合的に判断すると 12 時間

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

対象降雨の継続時間は、Kinematic Wave 法及び角屋の式等による洪水到達時間、短時間雨量と洪水ピーク流量との相関、強い降雨強度の継続時間等から総合的に判断した結果、既定計画の12時間を踏襲した。

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）までの雨量標本を用いて定常の水文統計解析により1/100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。

確率雨量は、水文解析に一般的に用いられている確率分布モデルにより、適合度の基準を満足する確率分布モデル（ $SLSC \leq 0.040$ ）かつ、Jackknife 推定誤差が最小となる確率水文量を採用した。

基準地点熊出の1/100確率雨量は、昭和32年（1957年）～平成22年（2010年）の54年間の各年最大12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172.9mm/12hと決定した。

表 1.14 基準地点熊出 12時間雨量 1/100 確率評価結果

確率分布	計算方法	基準地点：熊出				
		SLSC	確率1/100 12時間雨量 (mm)	Jackknife 推定誤差 (1/100)	pAIC	備考
極値 分布型	指数分布 Exp	0.047	193.3	13.9	476.2	SLSC>0.04
	グンベル分布 Gumbel	0.023	172.9	11.7	501.6	Jackknife推定誤差最小
	平方根指数型最大値分布 SqrtEt	0.031	195.0	14.9	503.0	
	一般化極値分布 Gev	0.023	174.9	15.9	503.7	
ガンマ 分布型	対数ピアソンⅢ型分布（実数空間法） LP3Rs	0.025	163.9	12.8	-	
	対数ピアソンⅢ型分布（対数空間法） LogP3	-	-	-	-	
対数正規 分布型	岩井法 Iwai	0.023	166.8	13.9	503.7	
	石原・高瀬法 IshiTaka	0.023	167.0	13.1	503.7	
	対数正規分布3母数クォンタイル法 LN3Q	0.023	167.3	20.0	503.6	
	対数正規分布3母数(SIadeⅡ) LN3PM	0.023	166.5	12.9	503.7	
	対数正規分布2母数(SIadeⅠ, L積率法) LN2LM	0.023	167.0	13.4	501.8	
	対数正規分布2母数(SIadeⅠ, 積率法) LN2PM	0.023	166.0	12.6	501.7	
	対数正規分布4母数(SIadeⅣ, 積率法) LN4PM	0.024	164.7	12.3	505.7	

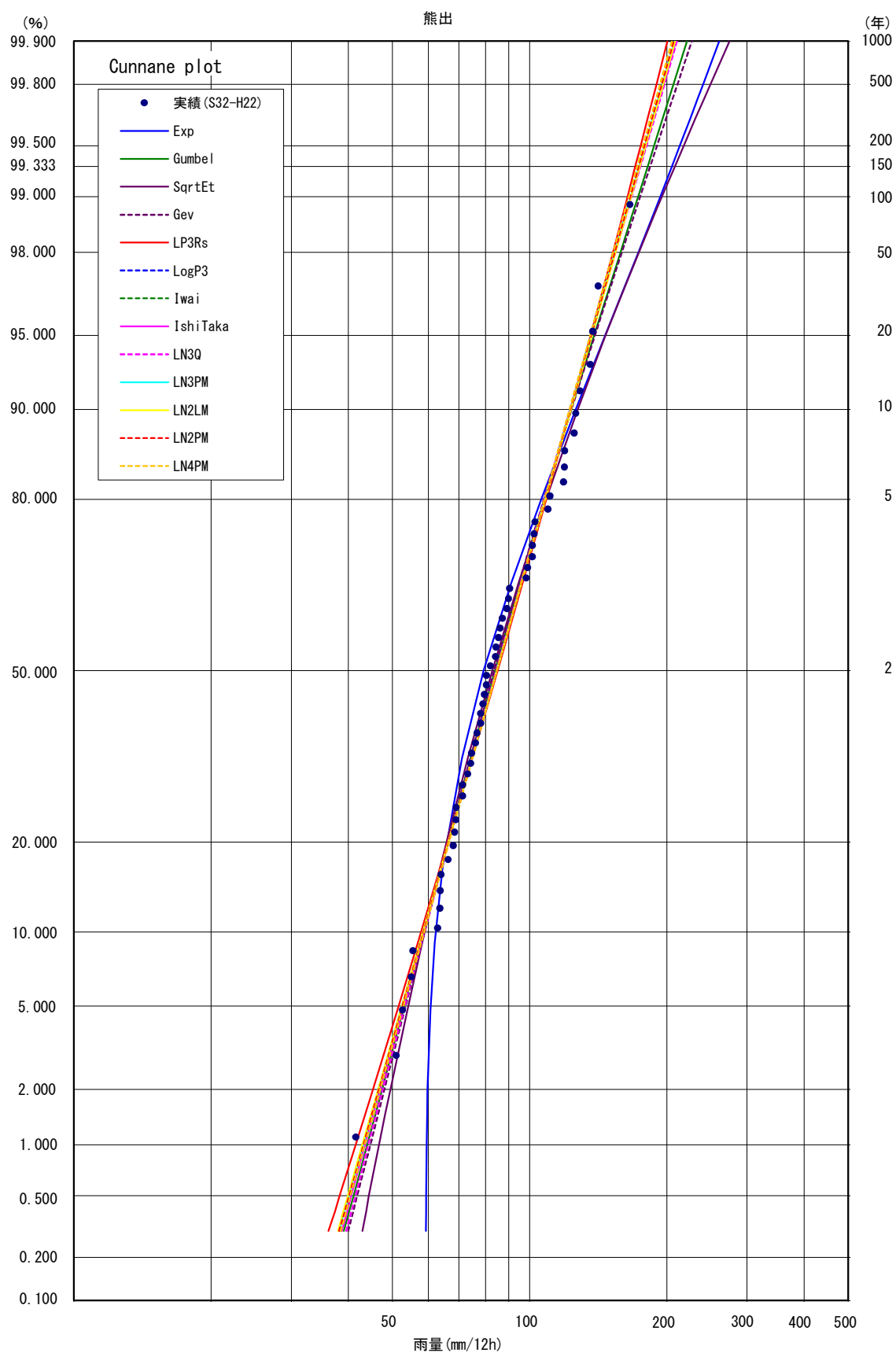


図 1.19 雨量確率計算結果
(基準地点熊出 12 時間雨量 昭和 32 年 (1957 年) ~平成 22 年 (2010 年))

表 1.15 年最大 12 時間雨量一覽（基準地点熊出）

西曆	和曆	洪水名	12時間雨量 (mm)	西曆	和曆	洪水名	12時間雨量 (mm)
1957	S32	S320708	166.0	1984	S59	S590620	78.1
1958	S33	S330728	110.8	1985	S60	S600701	69.0
1959	S34	S340722	125.3	1986	S61	S610805	73.2
1960	S35	S350713	63.9	1987	S62	S620829	136.0
1961	S36	S360704	63.6	1988	S63	S630709	76.7
1962	S37	S370806	66.3	1989	H01	H010829	63.7
1963	S38	S380917	55.5	1990	H02	H020627	85.5
1964	S39	S390713	74.3	1991	H03	H030830	69.0
1965	S40	S400715	82.1	1992	H04	H040718	68.5
1966	S41	S410717	76.1	1993	H05	H050714	126.3
1967	S42	S420829	87.2	1994	H06	H060702	98.3
1968	S43	S430829	52.7	1995	H07	H070810	137.6
1969	S44	S440808	141.5	1996	H08	H080814	68.0
1970	S45	S451114	41.6	1997	H09	H090705	84.5
1971	S46	S460716	89.9	1998	H10	H101015	101.4
1972	S47	S470709	119.2	1999	H11	H111028	102.3
1973	S48	S480622	55.0	2000	H12	H120718	74.6
1974	S49	S490710	51.0	2001	H13	H130704	90.5
1975	S50	S500806	99.0	2002	H14	H141001	86.2
1976	S51	S510806	129.1	2003	H15	H150824	79.0
1977	S52	S520920	71.3	2004	H16	H160718	102.8
1978	S53	S530817	101.4	2005	H17	H170627	119.4
1979	S54	S540728	89.2	2006	H18	H180713	80.4
1980	S55	S550618	109.7	2007	H19	H190629	80.4
1981	S56	S560622	118.8	2008	H20	H200926	84.1
1982	S57	S570912	62.8	2009	H21	H210719	78.1
1983	S58	S580731	71.2	2010	H22	H220913	79.6

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、年超過確率 1/100 雨量 172.9mm/12h に降雨量変化倍率 1.1 倍を乗じた 191mm/12h に設定した（表 1.16 参照）。

表 1.16 1/100 確率規模降雨量（基準地点熊出）

	基準地点熊出	備考
1/100 確率雨量 (標本期間：S32～H22)	172.9mm/12h	確率手法 $SLSC \leq 0.04$ Jackknife 推定誤差最小
気候変動を 考慮した降雨量	191mm/12h	$172.9\text{mm}/12\text{h} \times \text{降雨量変化倍率}(=1.1)$

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」ととどめ、定常の水文統計解析による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 32 年（1957 年）～平成 22 年（2010 年）までの雨量データに 1 年ずつ雨量データを追加し、令和 6 年（2024 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 6 年（2024 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年超過確率 1/100 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年超過確率 1/100 雨量を算定

⇒令和 6 年（2024 年）までの雨量データを用いた場合の基準地点熊出における年超過確率

1/100 雨量は 193.9mm/12h 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。

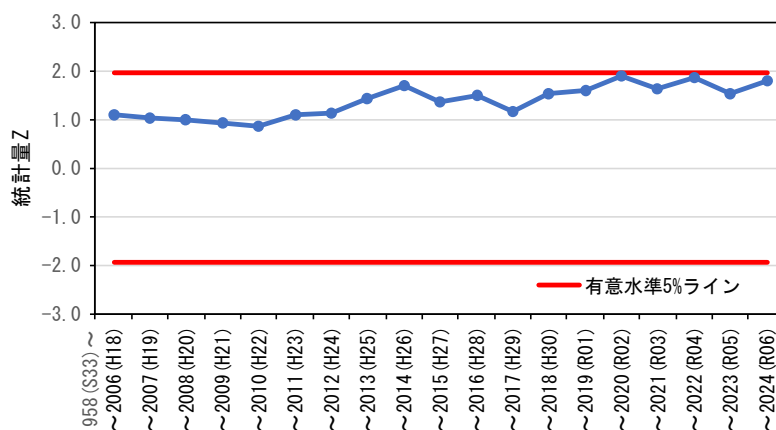


図 1.20 Mann-Kendall 検定（定常／非定常性を確認）（基準地点熊出）

1.8 対象降雨波形の設定

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した。

基本高水の設定に用いる降雨波形群は、基準地点熊出のピーク流量が平均年最大流量以上、かつ基準地点上流域の降雨継続時間（12 時間）内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）となる洪水を選定した。以上を踏まえて、対象降雨波形は表 1.17 に記載の 26 洪水とした。

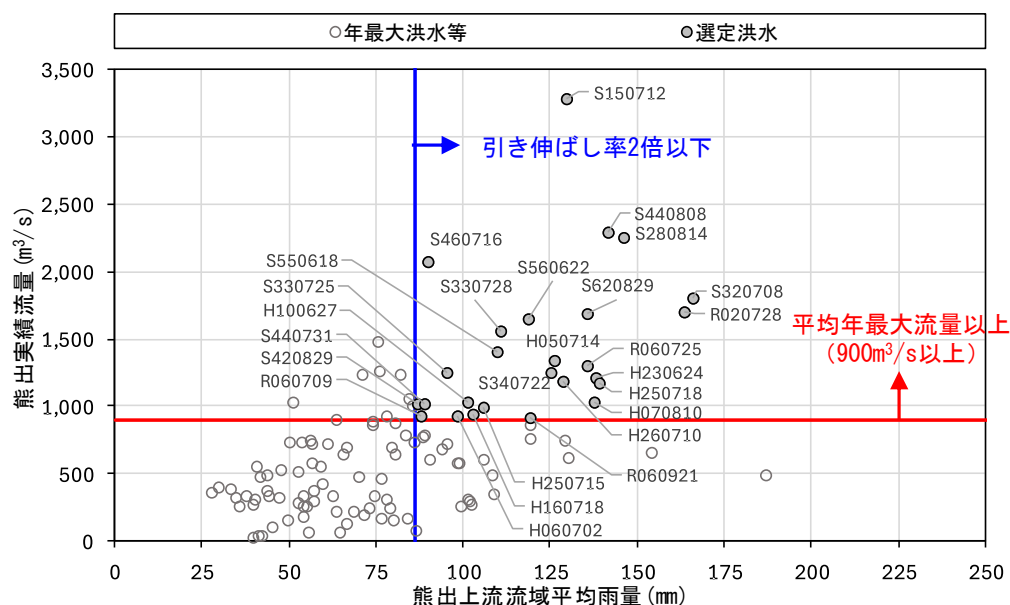


図 1.21 対象洪水の選定結果（基準地点熊出）

表 1.17 選定洪水のピーク流量一覧（基準地点熊出）

No	洪水名	実績雨量 (mm/12h)	1/100 確率降雨量 × 1.1 (mm/12h)	拡大率	No	洪水名	実績雨量 (mm/12h)	1/100 確率降雨量 × 1.1 (mm/12h)	拡大率
1	S150712	129.7	191	1.467	14	H050714	126.3	191	1.506
2	S280814	146.2	191	1.301	15	H060702	98.3	191	1.934
3	S320708	166.0	191	1.146	16	H070810	137.6	191	1.382
4	S330725	95.3	191	1.997	17	H100627	101.4	191	1.876
5	S330728	110.8	191	1.716	18	H160718	102.8	191	1.850
6	S340722	125.3	191	1.518	19	H230624	138.1	191	1.377
7	S420829	87.2	191	2.181	20	H250715	105.9	191	1.796
8	S440731	89.1	191	2.134	21	H250718	139.0	191	1.368
9	S440808	141.5	191	1.344	22	H260710	128.9	191	1.475
10	S460716	89.9	191	2.115	23	R020728	163.6	191	1.162
11	S550618	109.7	191	1.733	24	R060709	88.2	191	2.157
12	S560622	118.8	191	1.602	25	R060725	135.6	191	1.403
13	S620829	136.0	191	1.399	26	R060921	119.1	191	1.597

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、実績降雨波形を対象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、前項で設定した洪水について、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した。

1.9.2 棄却基準の設定

棄却基準については、地域分布及び時間分布の異常な降雨として、1/500 以上の降雨をその判断基準とした。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 地域分布の評価について

(1) 対象地域の設定

対象地域は、以下に示す2流域を選定した。

- ・ 赤川上流域
- ・ 梵字川流域

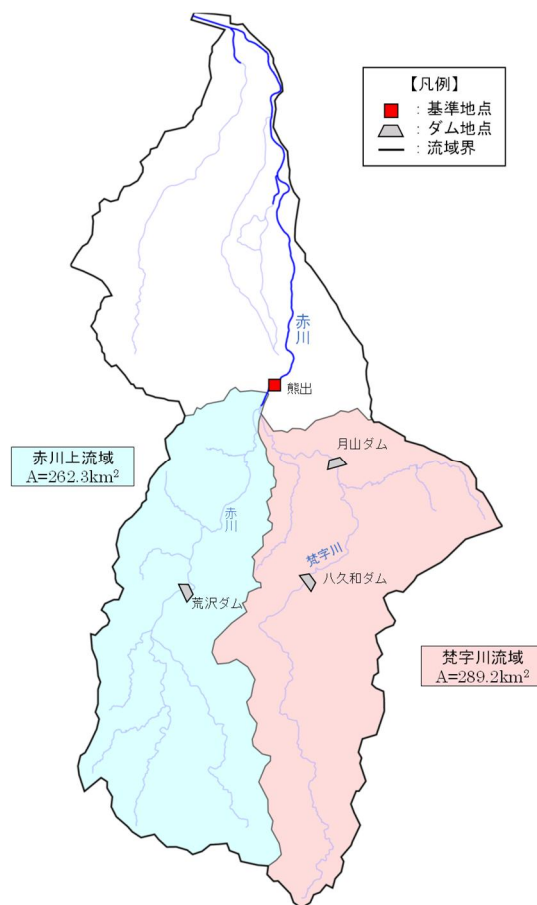


図 1.22 地域分布の検討対象流域

(2) 棄却基準値の設定

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 32 年（1957 年）～平成 22 年（2010 年）までの各流域の年最大 12 時間雨量について確率計算を行い、各確率分布モデルの中で $SLSC \leq 0.04$ かつ Jackknife 推定誤差が最小となる確率分布モデルを採用し、1/500 降雨量を棄却基準値とした。

(3) 地域分布の雨量評価

設定した対象地域について、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表 1.18 に示すとおりであり、棄却洪水は存在しない。

表 1.18 地域分布による拡大後降雨の確率評価表

No	洪水名	熊出地点 12時間雨量 (mm/12h)	1/100 確率降雨量 (mm/12h)	拡大率 (mm/12h)	熊出上流12時間雨量帯の12時間雨量				棄却洪水
					実績雨量		引き伸ばし後雨量		
					赤川上流域	梵字川流域	赤川上流域	梵字川流域	
1	S150712	129.7	172.9	1.333	156.8	105.4	209.0	140.5	
2	S280814	146.2	172.9	1.183	114.5	174.5	135.4	206.4	
3	S320708	166.0	172.9	1.042	174.9	156.9	182.2	163.4	
4	S330725	95.3	172.9	1.815	94.8	96.2	172.1	174.6	
5	S330728	110.8	172.9	1.560	139.5	84.6	217.7	132.0	
6	S340722	125.3	172.9	1.380	139.0	113.2	191.7	156.2	
7	S420829	87.2	172.9	1.983	89.3	85.4	177.1	169.3	
8	S440731	89.1	172.9	1.940	87.4	90.6	169.5	175.8	
9	S440808	141.5	172.9	1.222	150.4	133.2	183.8	162.8	
10	S460716	89.9	172.9	1.923	70.7	106.0	135.8	203.8	
11	S550618	109.7	172.9	1.576	120.9	99.9	190.5	157.4	
12	S560622	118.8	172.9	1.456	126.4	112.0	184.1	163.1	
13	S620829	136.0	172.9	1.272	146.6	126.1	186.4	160.4	
14	H050714	126.3	172.9	1.369	134.4	118.4	184.0	162.1	
15	H060702	98.3	172.9	1.759	112.0	86.3	197.0	151.8	
16	H070810	137.6	172.9	1.257	142.0	133.8	178.5	168.1	
17	H100627	101.4	172.9	1.705	97.7	105.8	166.5	180.5	
18	H160718	102.8	172.9	1.682	104.4	101.3	175.5	170.4	
19	H230624	138.1	172.9	1.252	155.6	121.7	194.8	152.4	
20	H250715	105.9	172.9	1.633	101.8	109.7	166.2	179.2	
21	H250718	139.0	172.9	1.244	135.6	142.1	168.7	176.8	
22	H260710	128.9	172.9	1.341	138.4	120.1	185.5	161.1	
23	R020728	163.6	172.9	1.057	159.8	167.2	168.9	176.7	
24	R060709	88.2	172.9	1.961	82.6	93.4	162.0	183.2	
25	R060725	135.6	172.9	1.275	121.2	149.5	154.5	190.6	
26	R060921	119.1	172.9	1.452	130.7	108.2	189.8	157.1	
棄却基準値【1/500確率雨量】					－		222.5	231.2	－

赤字：1/500確率雨量を超過

1.9.4 時間分布の評価について

(1) 対象時間の選定

対象時間は、対象降雨の継続時間である 12 時間の 1/2 である「6 時間」、角屋の式から求められる洪水到達時間の最小値「9 時間」を対象とした。

(2) 棄却基準値の設定

対象時間における棄却基準値を設定した。確率雨量の算定は、昭和 32 年（1957 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、各確率分布モデルの中で SLSC ≤ 0.04 かつ Jackknife 推定誤差が最小となる確率分布モデルを採用し、1/500 降雨量を棄却基準値とした。

(3) 時間分布の雨量評価

設定した短時間雨量について、拡大後雨量の異常性評価を確認した。

各時間の拡大後雨量及び棄却基準値は表 1.19 に示すとおりであり、5 洪水が棄却された。

表 1.19 時間分布による拡大後降雨の確率評価表

No	洪水名	熊出地点 12時間雨量 (mm/12h)	1/100 確率降雨量 (mm/12h)	拡大率 (mm/12h)	熊出上流12時間雨量帯の短時間雨量				6時間雨量	9時間雨量
					引き伸ばし前雨量		引き伸ばし後雨量			
					6時間雨量	9時間雨量	6時間雨量	9時間雨量	棄却洪水	棄却洪水
1	S150712	129.7	172.9	1.333	116.9	116.9	155.9	155.9	棄却	
2	S280814	146.2	172.9	1.183	126.6	137.4	149.8	162.5	棄却	
3	S320708	166.0	172.9	1.042	95.8	135.8	99.8	141.5		
4	S330725	95.3	172.9	1.815	57.9	79.4	105.0	144.1		
5	S330728	110.8	172.9	1.560	62.4	86.5	97.4	135.0		
6	S340722	125.3	172.9	1.380	103.6	119.5	142.9	164.9	棄却	
7	S420829	87.2	172.9	1.983	55.5	69.8	110.0	138.3		
8	S440731	89.1	172.9	1.940	48.2	59.1	93.5	114.7		
9	S440808	141.5	172.9	1.222	76.2	100.1	93.1	122.3		
10	S460716	89.9	172.9	1.923	55.4	72.9	106.6	140.1		
11	S550618	109.7	172.9	1.576	63.1	86.8	99.5	136.8		
12	S560622	118.8	172.9	1.456	68.8	85.1	100.1	123.9		
13	S620829	136.0	172.9	1.272	88.8	117.7	112.9	149.6		
14	H050714	126.3	172.9	1.369	89.8	118.5	122.9	162.3		
15	H060702	98.3	172.9	1.759	55.7	72.7	97.9	127.8		
16	H070810	137.6	172.9	1.257	98.2	128.3	123.4	161.3	棄却	
17	H100627	101.4	172.9	1.705	78.9	85.6	134.5	145.9	棄却	
18	H160718	102.8	172.9	1.682	70.0	90.2	117.7	151.6		
19	H230624	138.1	172.9	1.252	78.3	102.3	98.0	128.0		
20	H250715	105.9	172.9	1.633	72.9	85.4	119.0	139.4		
21	H250718	139.0	172.9	1.244	93.2	118.8	115.9	147.8		
22	H260710	128.9	172.9	1.341	80.4	103.4	107.9	138.7		
23	R020728	163.6	172.9	1.057	116.0	138.5	122.5	146.4		
24	R060709	88.2	172.9	1.961	52.2	74.9	102.4	146.9		
25	R060725	135.6	172.9	1.275	95.0	120.5	121.1	153.6		
26	R060921	119.1	172.9	1.452	75.7	94.5	109.9	137.2		
棄却基準値【1/500確率雨量】					－		123.2	222.6	－	

赤字：1/500確率雨量を超過

1.10 対象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

対象洪水について、12 時間雨量に対して、1/100 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、流出計算を行った結果、基準地点熊出におけるピーク流量は 1,633m³/s ～5,954m³/s となった。基準地点熊出におけるピーク流量の一覧を表 1.20、洪水ごとのハイドログラフを図 1.23 に示す。

表 1.20 基本高水のピーク流量（基準地点熊出）

No	洪水名	実績雨量 (mm/12h)	1/100 確率降雨量 × 1.1 (mm/12h)	拡大率	熊出地点 ピーク流量 (m ³ /s)	棄却洪水	
						地域分布	時間分布
1	S150712	129.7	191	1.467	5,815		棄却
2	S280814	146.2	191	1.301	3,263		棄却
3	S320708	166.0	191	1.146	1,760		
4	S330725	95.3	191	1.997	2,764		
5	S330728	110.8	191	1.716	2,414		
6	S340722	125.3	191	1.518	2,656		棄却
7	S420829	87.2	191	2.181	2,607		
8	S440731	89.1	191	2.134	3,363		
9	S440808	141.5	191	1.344	3,161		
10	S460716	89.9	191	2.115	5,954		
11	S550618	109.7	191	1.733	1,839		
12	S560622	118.8	191	1.602	2,680		
13	S620829	136.0	191	1.399	2,655		
14	H050714	126.3	191	1.506	1,910		
15	H060702	98.3	191	1.934	1,633		
16	H070810	137.6	191	1.382	2,090		棄却
17	H100627	101.4	191	1.876	2,980		棄却
18	H160718	102.8	191	1.850	1,678		
19	H230624	138.1	191	1.377	2,412		
20	H250715	105.9	191	1.796	3,001		
21	H250718	139.0	191	1.368	3,118		
22	H260710	128.9	191	1.475	2,771		
23	R020728	163.6	191	1.162	3,332		
24	R060709	88.2	191	2.157	2,705		
25	R060725	135.6	191	1.403	2,998		
26	R060921	119.1	191	1.597	2,034		

：著しい引き伸ばしとなっている洪水

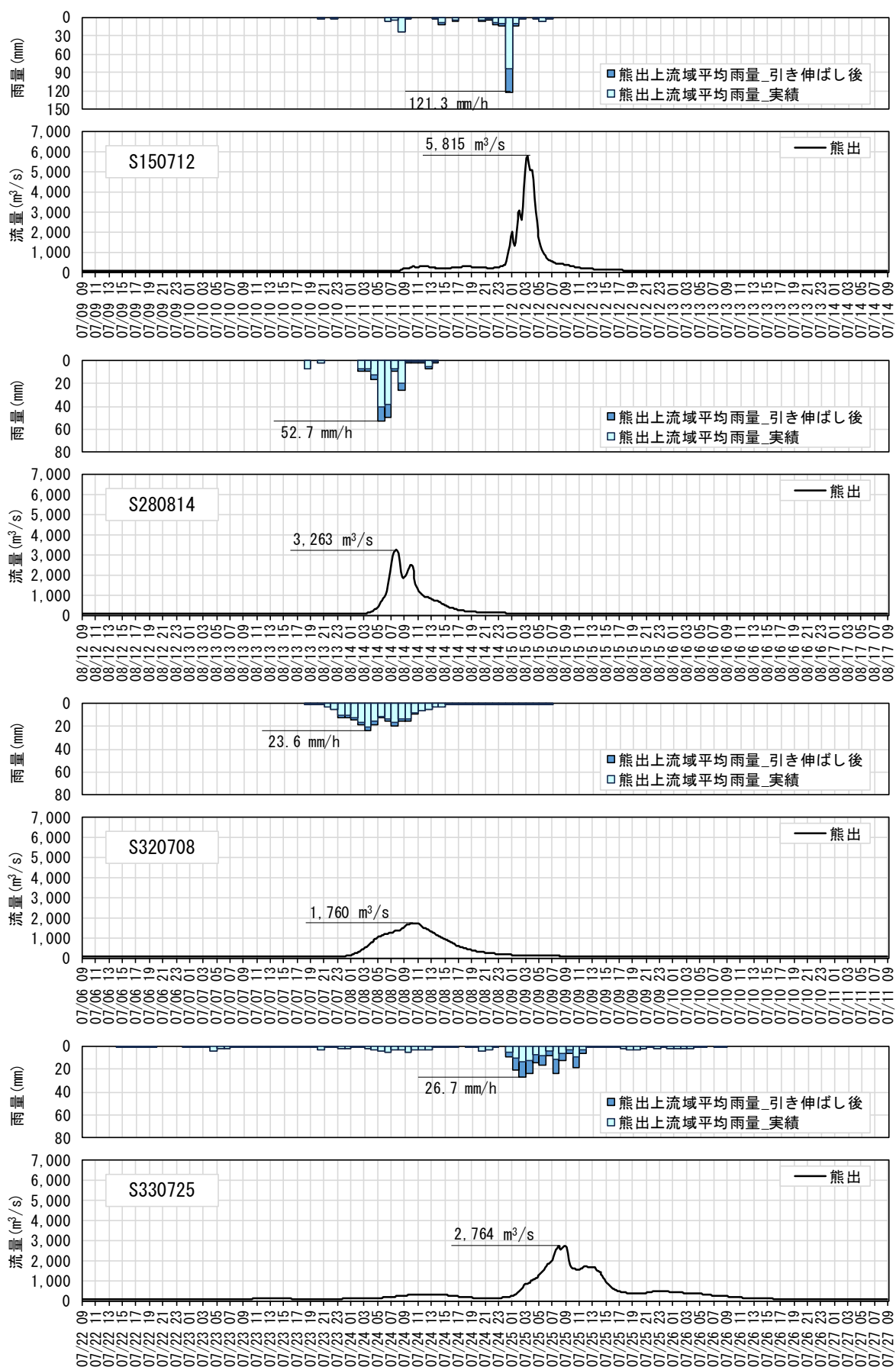


図 1.23(1) 主要降雨波形ハイドログラフ（基準地点熊出）

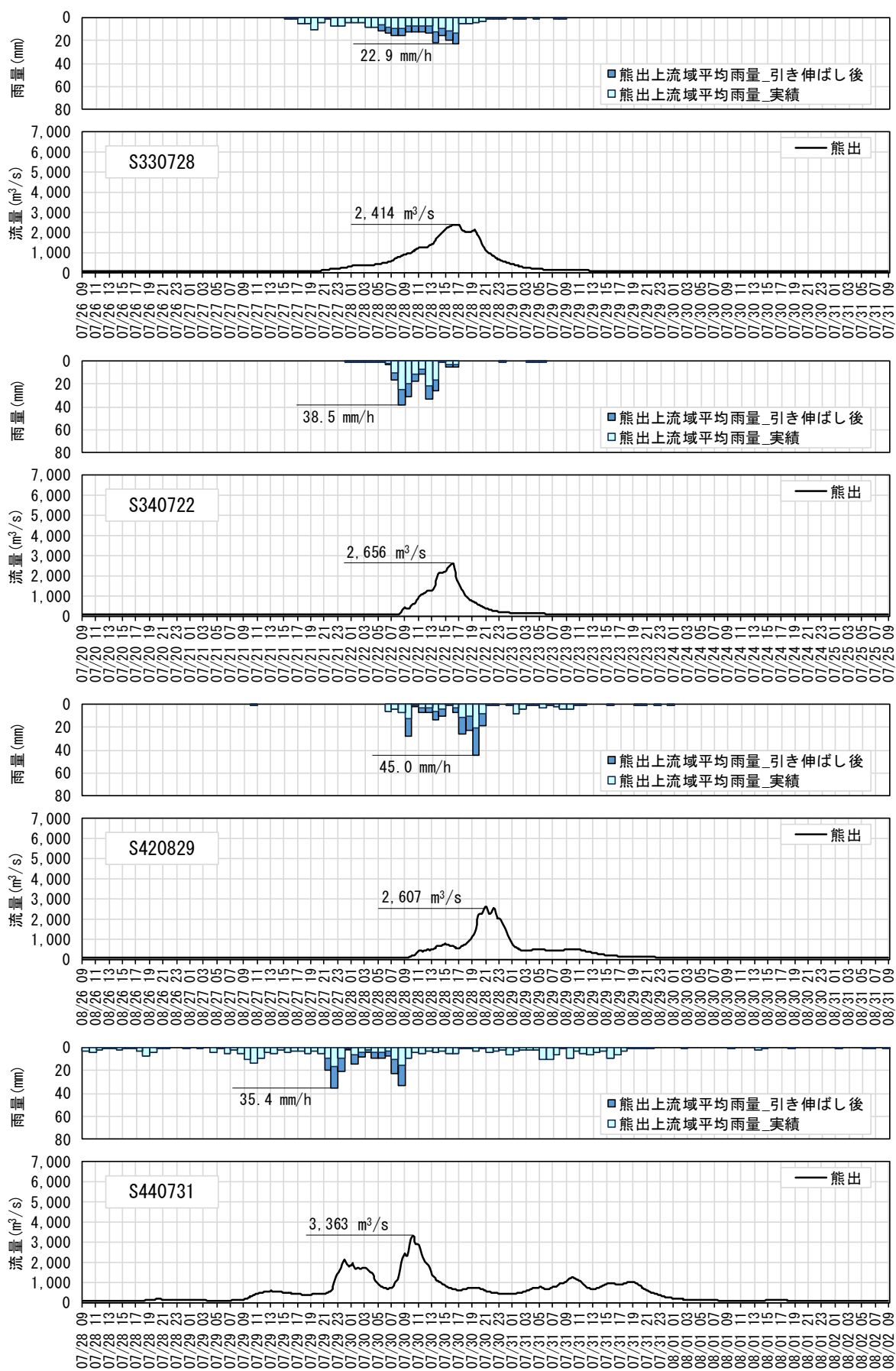


図 1.23(2) 主要降雨波形ハイドログラフ (基準地点熊出)

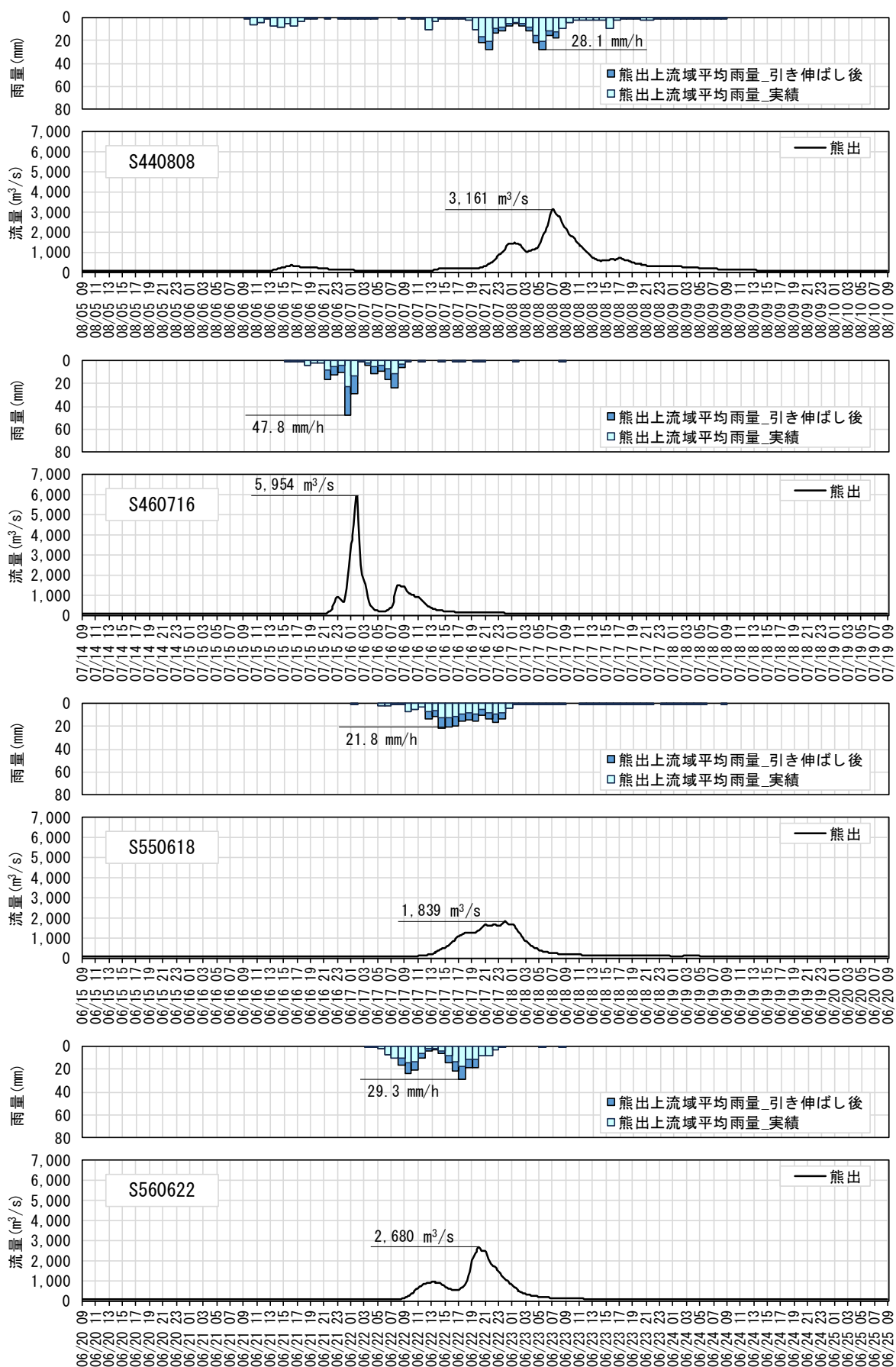


図 1.23(3) 主要降雨波形ハイドログラフ (基準地点熊出)

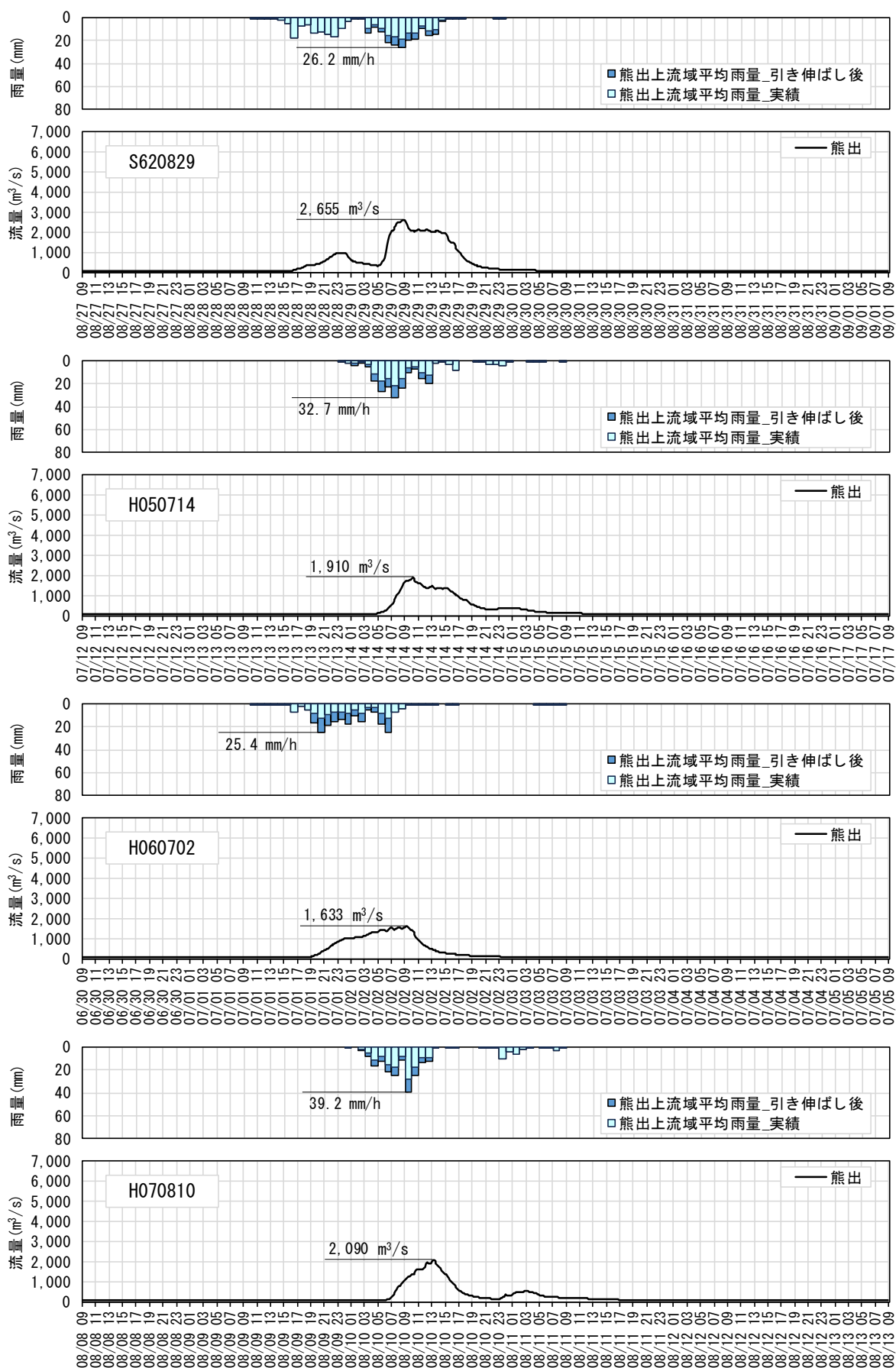


図 1.23(4) 主要降雨波形ハイドログラフ (基準地点熊出)

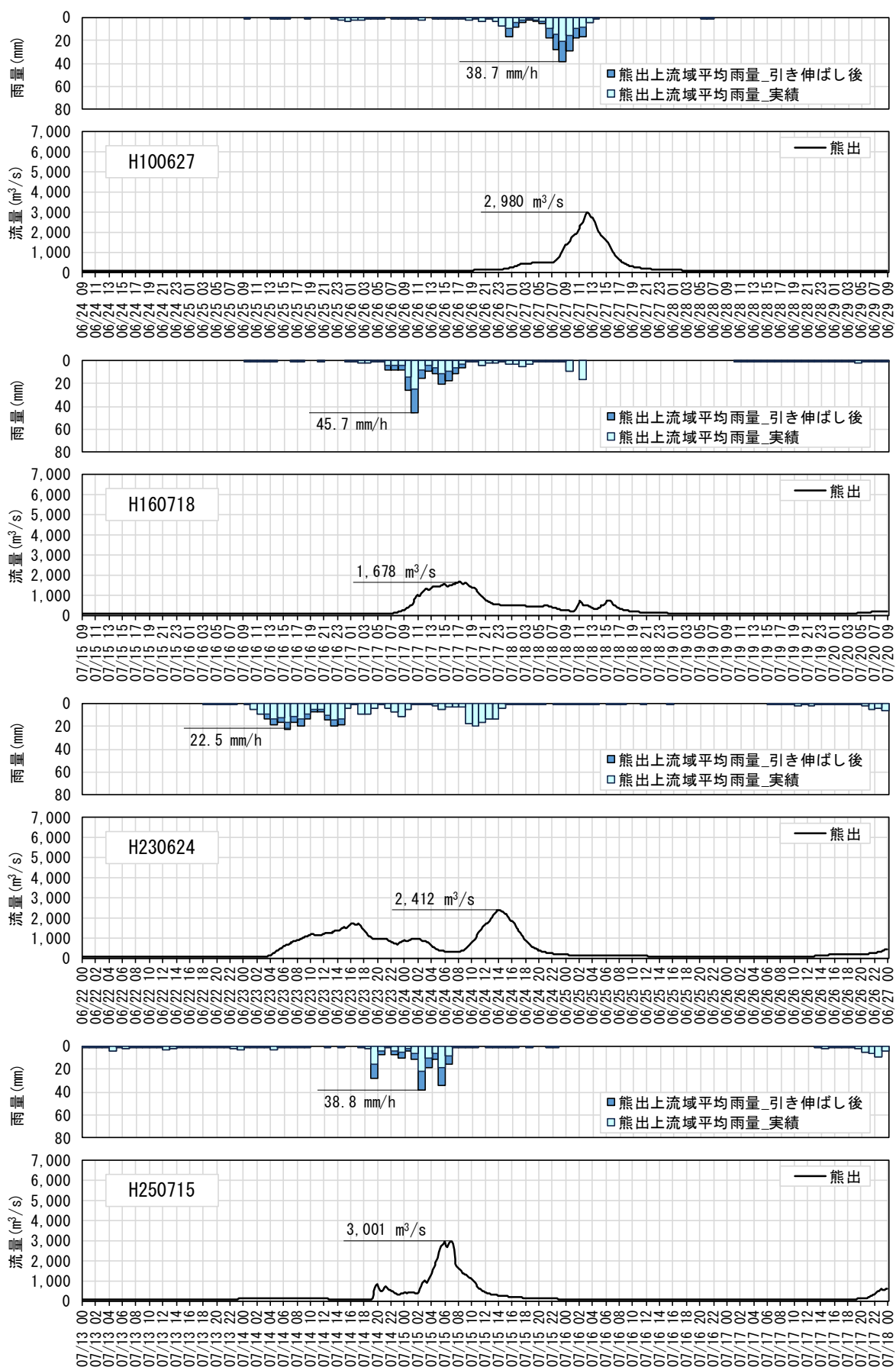


図 1.23(5) 主要降雨波形ハイドログラフ (基準地点熊出)

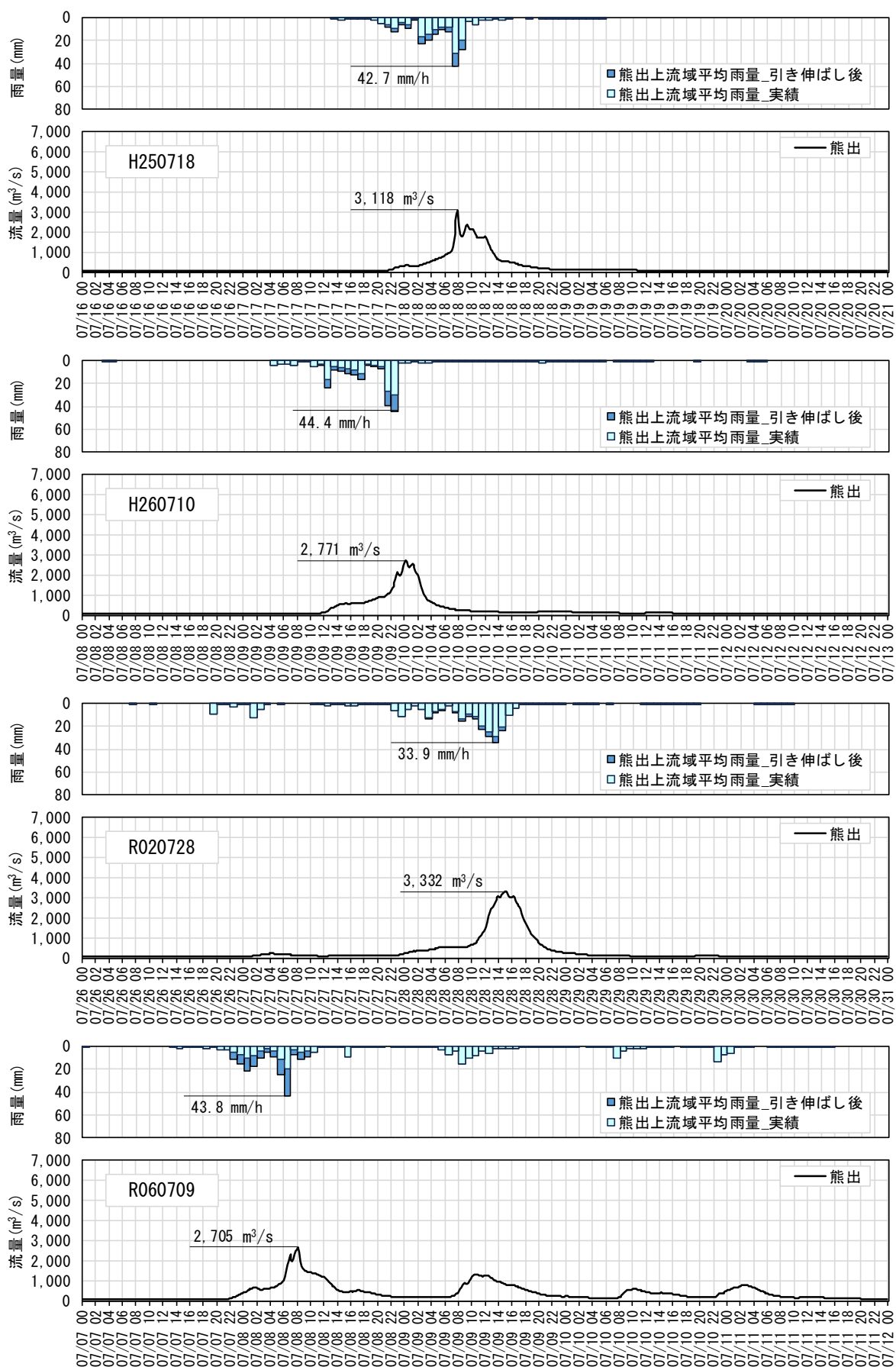


図 1.23(6) 主要降雨波形ハイドログラフ (基準地点熊出)

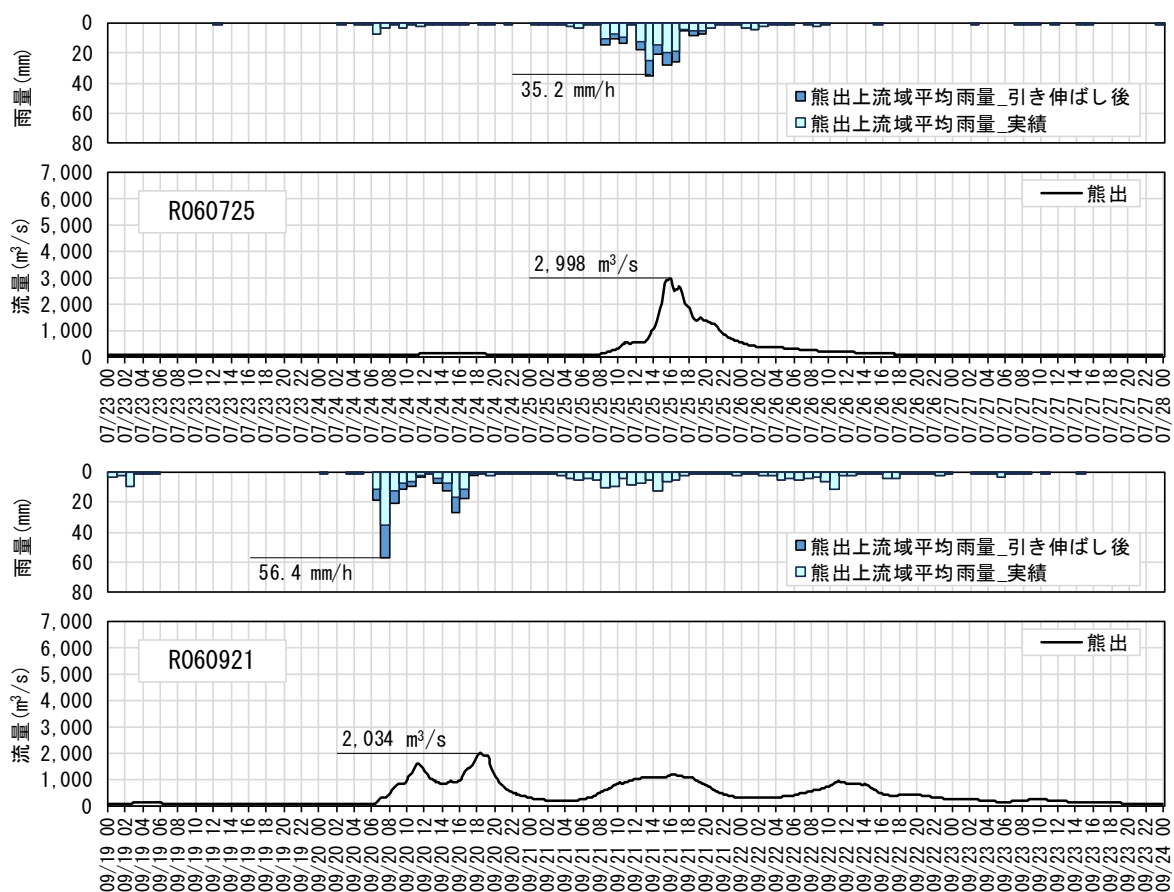


図 1.23(7) 主要降雨波形ハイドログラフ (基準地点熊出)

1.11 アンサンブル予測降雨波形を用いた検討

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」という。）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 190.2mm/12h の近傍（±20%）の 24 洪水を抽出した。抽出した 24 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、気候変動を考慮した 1/100 確率規模の 12 時間雨量 191mm 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、基準地点熊出のピーク流量は約 1,800m³/s～5,700m³/s と推定された（表 1.21 参照）。

※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の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

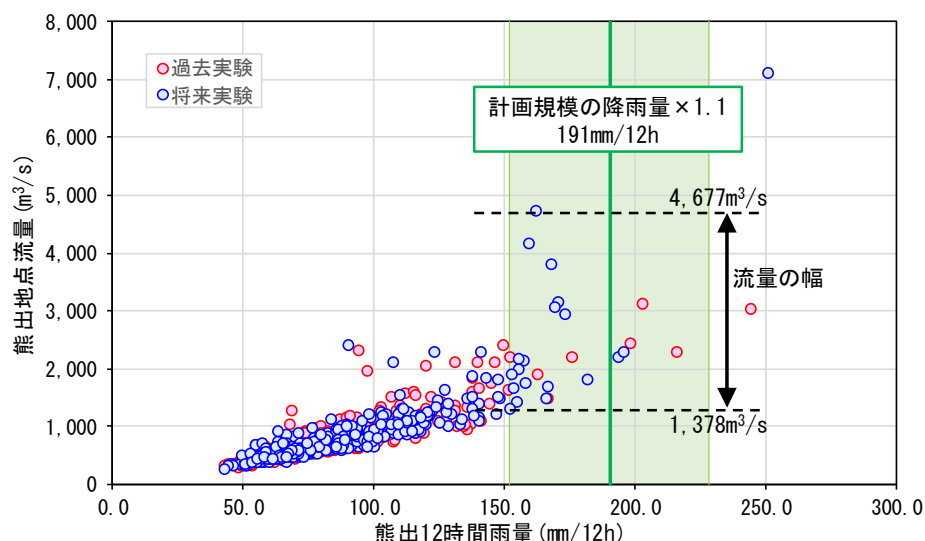


図 1.24 アンサンブル予測降雨波形による流出計算結果（基準地点熊出）

- ・ d2PDF（将来 360 年、現在 360 年）の年最大雨量標本（360 年）を対象
- ・ 著しい引き伸ばし等によって降雨波形をゆがめることがないよう、計画対象降雨の降雨量近傍の洪水を抽出

表 1.21 アンサンブル予測降雨波形によるピーク流量一覧

洪水名			熊出上流 12時間雨量 (mm/12h)	熊出地点 ピーク流量 拡大前 (m ³ /s)	計画規模の 降雨量×1.1 (mm/12h)	拡大率 (mm/12h)	熊出地点 ピーク流量 拡大後 (m ³ /s)
将来実験	HFB_2K_CC_m101	2073/7	161.6	4,677	191	1.177	5,624
	HFB_2K_CC_m101	2087/6	153.2	1,622	191	1.242	2,824
	HFB_2K_GF_m101	2068/7	157.0	2,099	191	1.211	2,776
	HFB_2K_GF_m105	2061/8	155.2	2,105	191	1.226	2,954
	HFB_2K_GF_m105	2080/7	170.2	3,084	191	1.117	3,665
	HFB_2K_GF_m105	2090/7	172.8	2,882	191	1.100	3,249
	HFB_2K_HA_m101	2090/7	167.8	3,747	191	1.134	4,384
	HFB_2K_HA_m105	2063/5	154.8	1,378	191	1.228	1,874
	HFB_2K_MI_m105	2066/8	155.6	1,917	191	1.223	2,546
	HFB_2K_MP_m101	2082/8	181.9	1,776	191	1.046	1,876
	HFB_2K_MP_m105	2062/7	152.4	1,911	191	1.248	2,029
	HFB_2K_MR_m101	2068/7	165.9	1,476	191	1.147	1,723
	HFB_2K_MR_m101	2075/8	193.6	2,076	191	0.983	1,993
	HFB_2K_MR_m101	2090/8	157.7	1,673	191	1.206	2,223
	HFB_2K_MR_m105	2068/7	159.1	4,115	191	1.195	5,338
	HFB_2K_MR_m105	2085/4	166.7	1,614	191	1.141	2,155
	HFB_2K_MR_m105	2088/7	169.3	2,934	191	1.123	3,426
	HFB_2K_MR_m105	2090/7	195.6	2,267	191	0.972	2,193
過去実験	HPB_m001	2000/6	202.8	3,059	191	0.938	2,811
	HPB_m006	1998/4	215.9	2,285	191	0.881	1,978
	HPB_m010	1983/6	162.3	1,883	191	1.172	2,444
	HPB_m010	1992/7	198.3	2,451	191	0.959	2,334
	HPB_m010	2003/6	175.4	2,203	191	1.085	2,401
	HPB_m010	2009/7	166.2	1,443	191	1.145	1,745
熊出ピーク流量 最大値							5,624
熊出ピーク流量 最小値							1,723
	: 拡大後流量最大値						
	: 拡大後流量最小値						

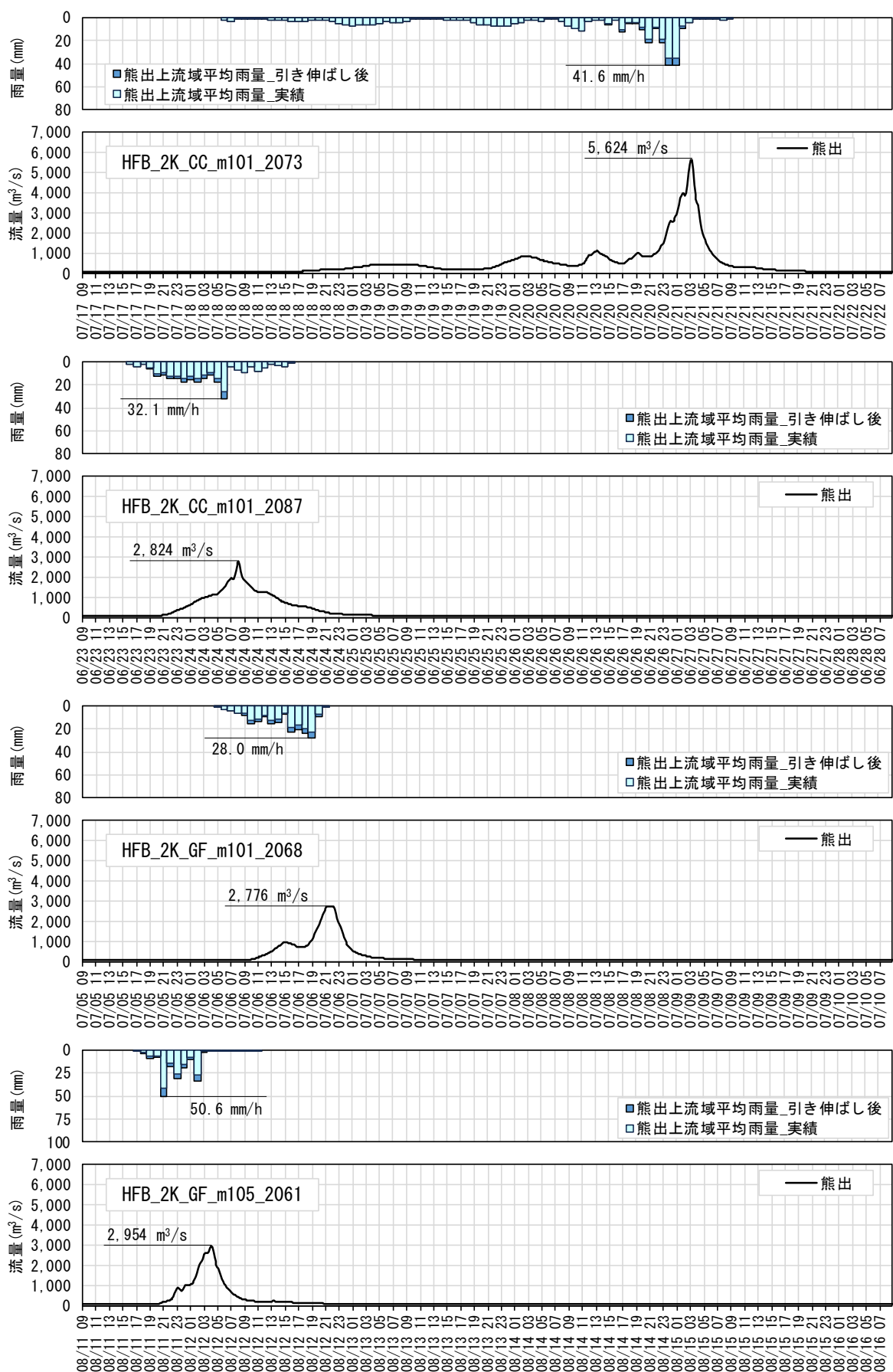


図 1.25(1) アンサンブル予測降雨波形による流出計算結果（熊出地点）

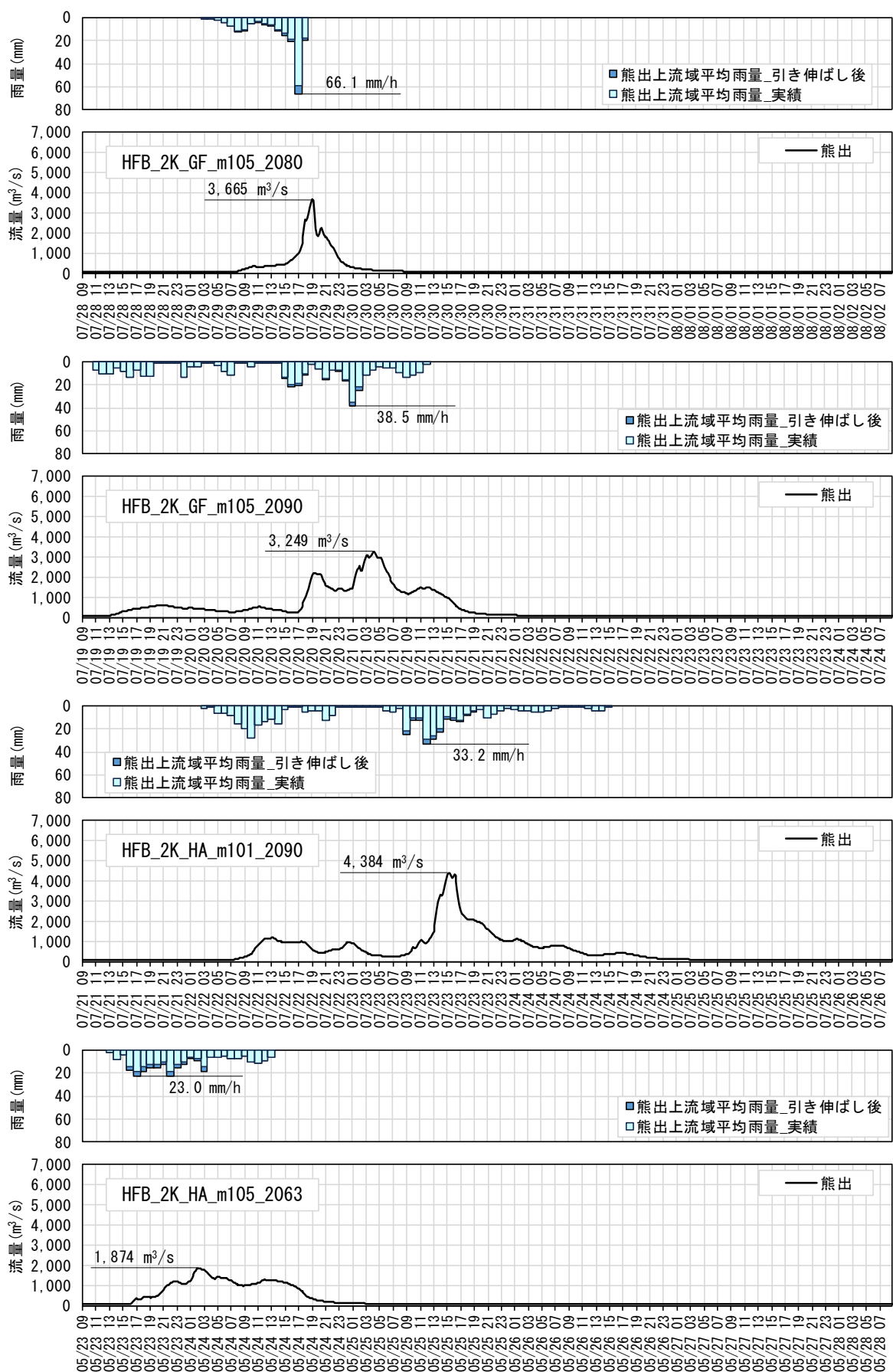


図 1.25(2) アンサンブル予測降雨波形による流出計算結果（熊出地点）

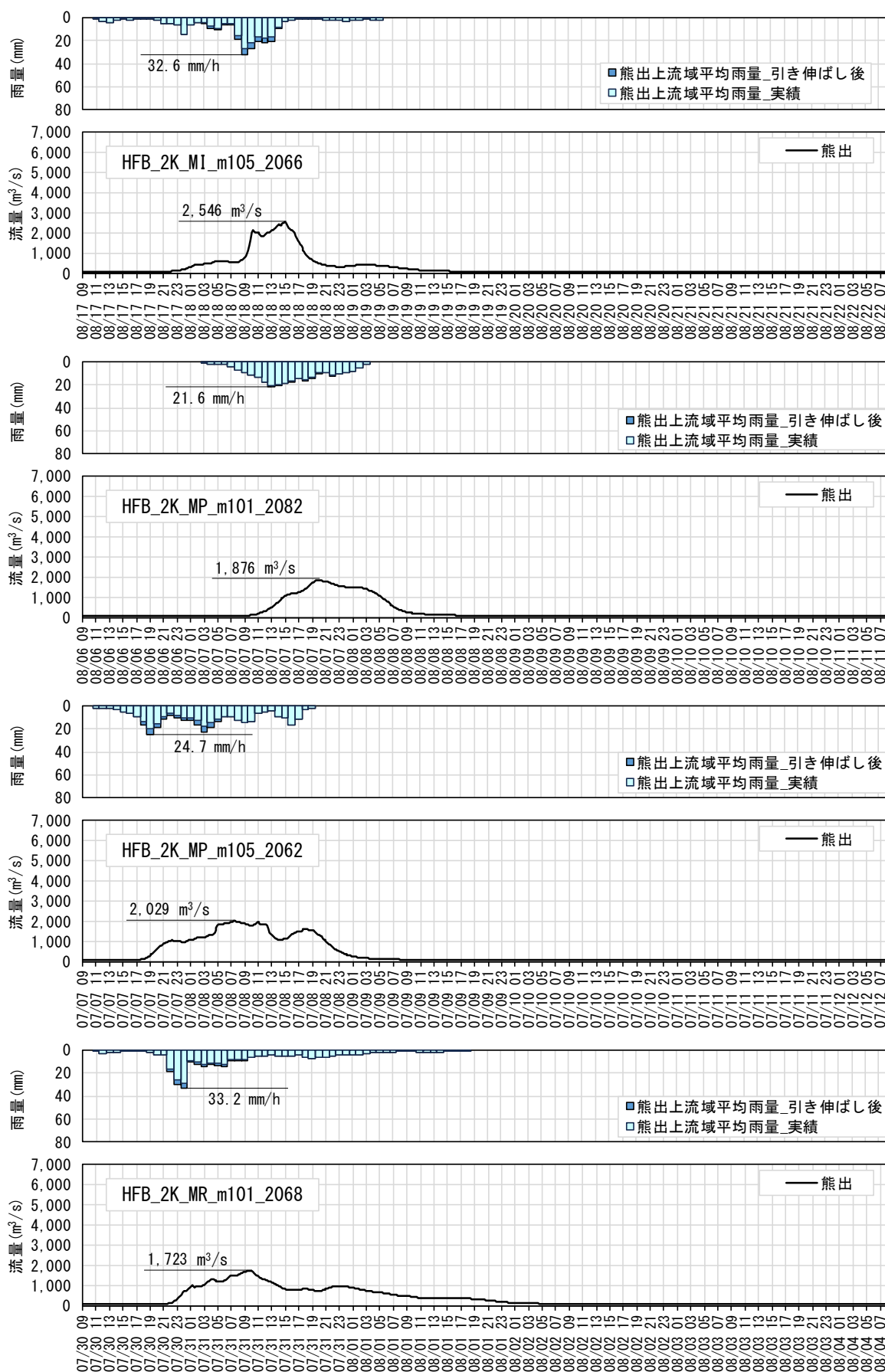


図 1.25(3) アンサンブル予測降雨波形による流出計算結果（熊出地点）

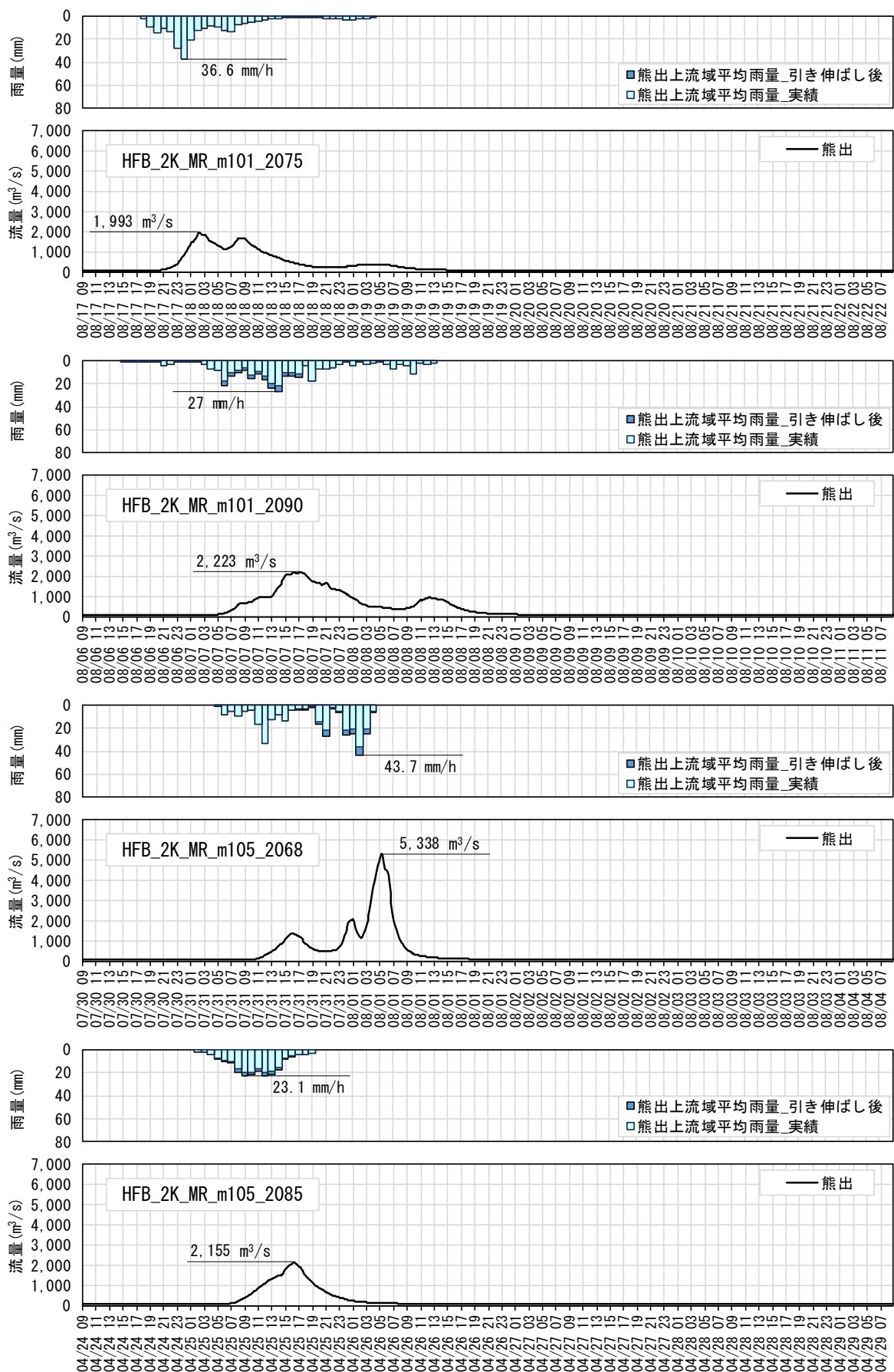


図 1.25(4) アンサンブル予測降雨波形による流出計算結果（熊出地点）

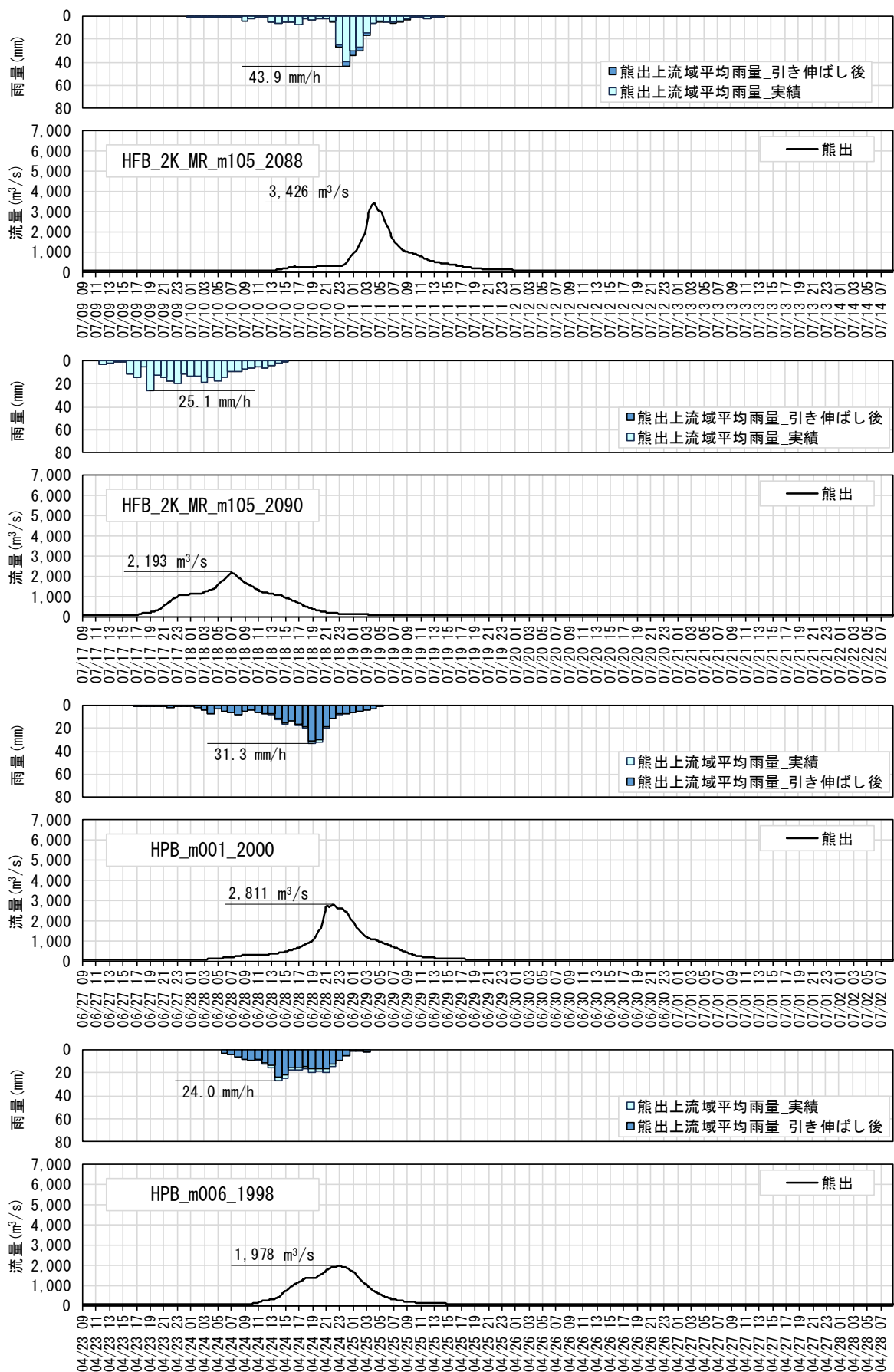


図 1.25(5) アンサンブル予測降雨波形による流出計算結果（熊出地点）

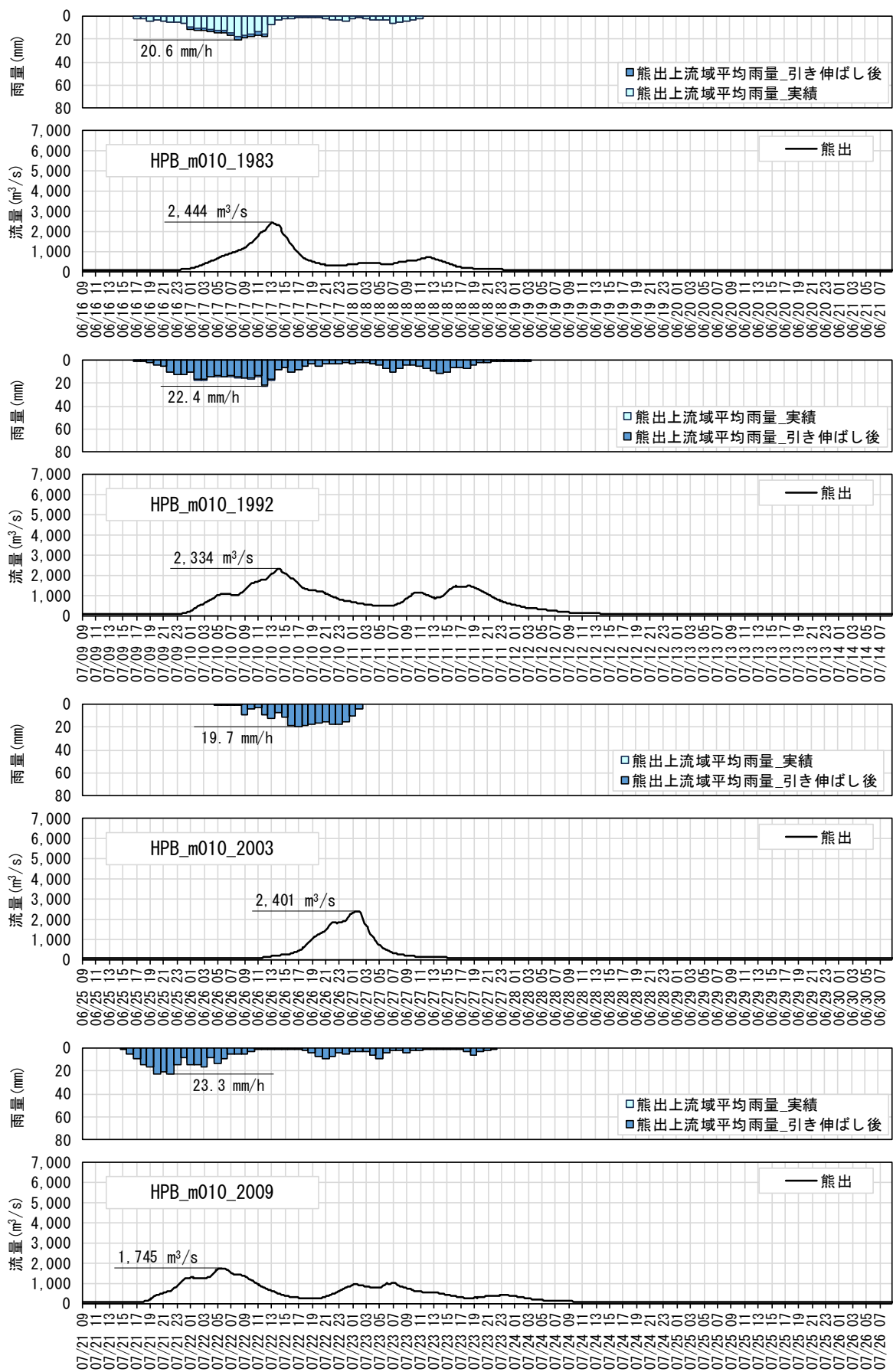


図 1.25(6) アンサンブル予測降雨波形による流出計算結果（熊出地点）

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する。

その結果、基準地点熊出で棄却した 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の雨量比（短時間（例えば洪水到達時間やその 1/2 時間）の流域平均雨量/継続時間内の流域平均雨量）以下に収まる洪水として、3 洪水（昭和 34 年（1959 年）7 月洪水、平成 7 年（1995 年）8 月洪水、平成 10 年（1998 年）6 月洪水）を棄却せず、参考波形として活用する。

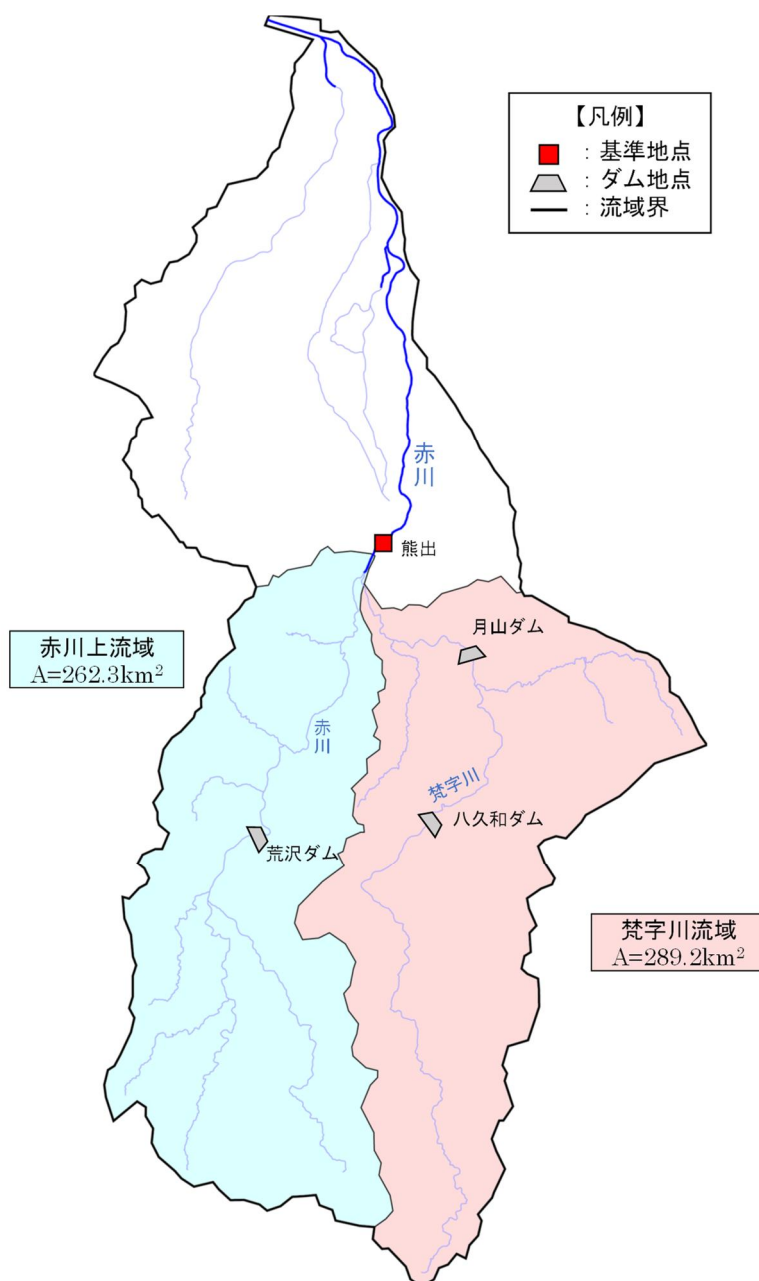


図 1.26 地域分布のチェック（基準地点熊出）

(1) 地域分布のチェック

地域分布の評価において棄却された洪水は存在しないため、棄却された実績引き伸ばし降雨波形における発生の可能性検討の必要はない。

(2) 時間分布のチェック

d2PDF（将来気候）から対象降雨の降雨量近傍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」（短時間（例えば洪水到達時間やその 1/2 時間）の流域平均雨量/継続時間内の流域平均雨量）を求める。

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する。

その結果、基準地点熊出で棄却した 5 洪水のうち 2 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 1.22 アンサンブル将来予測降雨波形と棄却した引き伸ばし降雨波形との比較（基準地点熊出）

洪水			熊出 上流域平均	赤川上流域 (262.3km ²)		梵字川流域 (289.2km ²)	
項目	d2PDF アンサンブル		予測雨量 (mm/12h)	予測雨量 (mm/12h)	熊出雨量に 対する比率	予測雨量 (mm/12h)	熊出雨量に 対する比率
将来実験	HFB_2K_CC_m101	2073	161.6	162.5	1.01	160.8	1.00
	HFB_2K_CC_m101	2087	153.2	166.1	1.08	141.0	0.92
	HFB_2K_GF_m101	2068	157.0	179.8	1.15	135.7	0.86
	HFB_2K_GF_m105	2061	155.2	165.2	1.06	145.8	0.94
	HFB_2K_GF_m105	2080	170.2	166.7	0.98	173.5	1.02
	HFB_2K_GF_m105	2090	172.8	185.9	1.08	160.6	0.93
	HFB_2K_HA_m101	2090	167.8	178.6	1.06	157.6	0.94
	HFB_2K_HA_m105	2063	154.8	169.2	1.09	141.4	0.91
	HFB_2K_M1_m105	2066	155.6	134.3	0.86	175.5	1.13
	HFB_2K_MP_m101	2082	181.9	204.3	1.12	160.8	0.88
	HFB_2K_MP_m105	2062	152.4	173.9	1.14	132.2	0.87
	HFB_2K_MR_m101	2068	165.9	184.9	1.11	148.0	0.89
	HFB_2K_MR_m101	2075	193.6	175.0	0.90	211.0	1.09
	HFB_2K_MR_m101	2090	157.7	173.8	1.10	142.6	0.90
	HFB_2K_MR_m105	2068	159.1	177.5	1.12	141.9	0.89
	HFB_2K_MR_m105	2085	166.7	179.3	1.08	154.9	0.93
	HFB_2K_MR_m105	2088	169.3	181.1	1.07	158.4	0.94
	HFB_2K_MR_m105	2090	195.6	221.1	1.13	171.7	0.88
過去実験	HPB_m001	2000	202.8	228.3	1.13	178.8	0.88
	HPB_m006	1998	215.9	228.0	1.06	204.6	0.95
	HPB_m010	1983	162.3	185.7	1.14	140.3	0.86
	HPB_m010	1992	198.3	225.6	1.14	172.7	0.87
	HPB_m010	2003	175.4	179.3	1.02	171.7	0.98
	HPB_m010	2009	166.2	186.0	1.12	147.6	0.89

各対象対象流域と熊出上流域の比率の最大値

予測降雨波形	赤川上流域	梵字川流域
最大	1.15	1.13

□ : 比率の最大値

棄却された 実績洪水	熊出上流域平均			赤川上流域 (262.3km ²)		梵字川流域 (289.2km ²)	
	実績雨量 (mm/12h)	計画雨量 (mm/12h)	拡大率	拡大後雨量 (mm/12h)	熊出雨量に 対する比率	拡大後雨量 (mm/12h)	熊出雨量に 対する比率
S150712	129.7	191.0	1.466	229.9	1.21	154.6	0.81
S280814	146.2	191.0	1.301	149.0	0.78	227.0	1.19
S340722	125.3	191.0	1.518	211.0	1.11	171.8	0.90
H070810	137.6	191.0	1.390	197.3	1.03	185.9	0.97
H100627	101.4	191.0	1.876	183.3	0.96	198.5	1.04

■ : アンサンブル降雨波形と比較しても生じし難いと判断

洪水			熊出上流域平均				
項目	d2PDF アンサンブル		①予測雨量 (mm/12h)	②予測雨量 (mm/9h)	比率 ②/①	③予測雨量 (mm/6h)	比率 ③/①
将来実験	HFB_2K_CC_m101	2073	161.6	146.2	0.90	125.7	0.78
	HFB_2K_CC_m101	2087	153.2	128.1	0.84	89.1	0.58
	HFB_2K_GF_m101	2068	157.0	129.1	0.82	96.5	0.61
	HFB_2K_GF_m105	2061	155.2	151.6	0.98	134.1	0.86
	HFB_2K_GF_m105	2080	170.2	141.2	0.83	126.7	0.74
	HFB_2K_GF_m105	2090	172.8	121.3	0.70	102.4	0.59
	HFB_2K_HA_m101	2090	167.8	152.0	0.91	118.5	0.71
	HFB_2K_HA_m105	2063	154.8	125.9	0.81	88.1	0.57
	HFB_2K_M1_m105	2066	155.6	135.2	0.87	115.4	0.74
	HFB_2K_MP_m101	2082	181.9	150.4	0.83	107.5	0.59
	HFB_2K_MP_m105	2062	152.4	112.2	0.74	78.9	0.52
	HFB_2K_MR_m101	2068	165.9	140.2	0.84	104.6	0.63
	HFB_2K_MR_m101	2075	193.6	157.2	0.81	125.5	0.65
	HFB_2K_MR_m101	2090	157.7	123.5	0.78	90.4	0.57
	HFB_2K_MR_m105	2068	159.1	150.4	0.95	111.0	0.70
	HFB_2K_MR_m105	2085	166.7	147.1	0.88	112.0	0.67
	HFB_2K_MR_m105	2088	169.3	157.3	0.93	141.9	0.84
	HFB_2K_MR_m105	2090	195.6	149.0	0.76	102.6	0.52
過去実験	HPB_m001	2000	202.8	178.1	0.88	137.1	0.68
	HPB_m006	1998	215.9	178.9	0.83	124.6	0.58
	HPB_m010	1983	162.3	130.6	0.80	93.7	0.58
	HPB_m010	1992	198.3	148.2	0.75	103.9	0.52
	HPB_m010	2003	175.4	145.6	0.83	98.9	0.56
	HPB_m010	2009	166.2	133.6	0.80	98.2	0.59

各短時間雨量と12時間雨量の比率の最大値

予測降雨波形	9時間雨量	6時間雨量
最大	0.98	0.86

棄却された 実績洪水	熊出上流域平均						
	実績雨量 (mm/12h)	①計画雨量 (mm/12h)	拡大率	②拡大後雨量 (mm/9h)	比率 ②/①	③拡大後雨量 (mm/6h)	比率 ③/①
S150712	129.7	191	1.466	171.5	0.90	171.5	0.90
S280814	146.2	191	1.301	178.8	0.94	164.7	0.87
S340722	125.3	191	1.518	181.4	0.95	157.3	0.83
H070810	137.6	191	1.390	178.3	0.93	136.4	0.71
H100627	101.4	191	1.876	160.5	0.84	148.0	0.78

□ : 棄却せず、参考波形として活用

(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群 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 5 つのクラスターに分類した。

基準地点熊出で選定された対象降雨波形についてクラスター分析を行った結果は表 1.23 に示すとおりであり、熊出地点における今回抽出した過去の実績降雨波形に含まれないクラスター分類は存在しなかった。

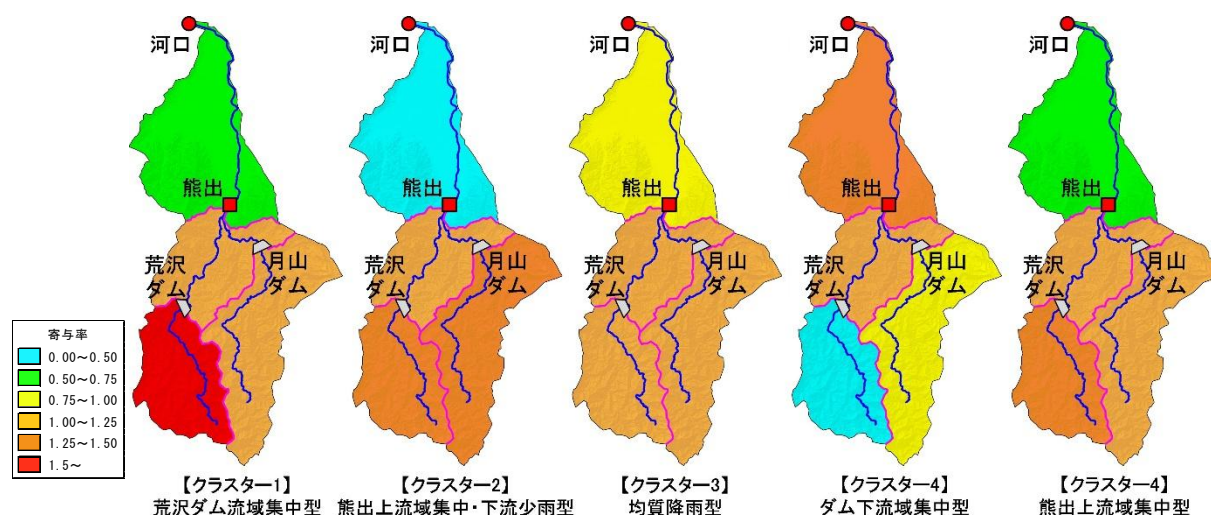


図 1.27 将来実験アンサンブル予測降雨のクラスター分析結果

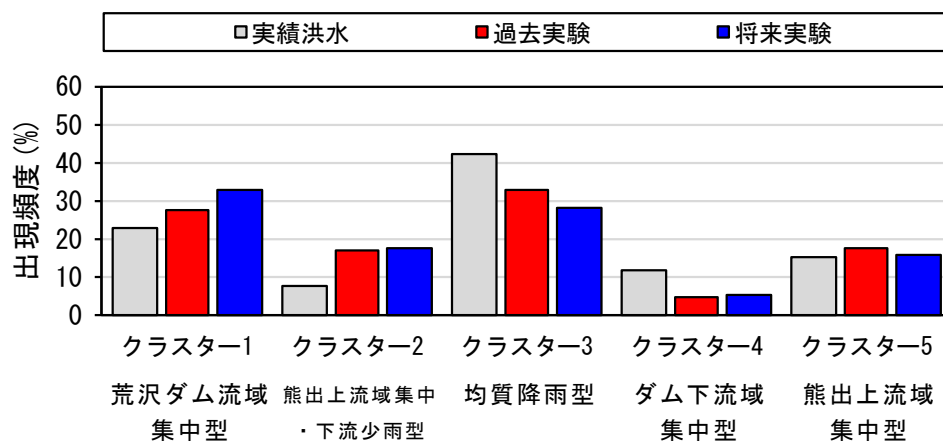


図 1.28 アンサンブル予測降雨の出現頻度（クラスター毎）

表 1.23 主要洪水のクラスター分析結果

洪水名	基準地点上流			基準地点 熊出 ピーク流量 (m³/s)	クラスター 番号	備考
	実績雨量	計画降雨量	拡大率			
	(mm/12h)	(mm/12h)				
対象洪水波形群						
S150712	129.7	191	1.467	5,815	2	棄却洪水
S280814	146.2	191	1.301	3,263	5	棄却洪水
S320708	166.0	191	1.146	1,760	3	
S330725	95.3	191	1.997	2,764	5	
S330728	110.8	191	1.716	2,414	1	
S340722	125.3	191	1.518	2,656	1	参考波形
S420829	87.2	191	2.181	2,607	4	
S440731	89.1	191	2.134	3,363	3	
S440808	141.5	191	1.344	3,161	2	
S460716	89.9	191	2.115	5,954	4	
S550618	109.7	191	1.733	1,839	1	
S560622	118.8	191	1.602	2,680	1	
S620829	136.0	191	1.399	2,655	3	
H050714	126.3	191	1.506	1,910	3	
H060702	98.3	191	1.934	1,633	1	
H070810	137.6	191	1.382	2,090	5	参考波形
H100627	101.4	191	1.876	2,980	5	参考波形
H160718	102.8	191	1.850	1,678	3	
H230624	138.1	191	1.377	2,412	3	
H250715	105.9	191	1.796	3,001	3	
H250718	139.0	191	1.368	3,118	3	
H260710	128.9	191	1.475	2,771	1	
R020728	163.6	191	1.162	3,332	3	
R060709	88.2	191	2.157	2,705	3	
R060725	135.6	191	1.403	2,998	4	
R060921	119.1	191	1.597	2,034	3	
アンサンブル降雨波形						
CC_m101 2072	94.7	191	1.177	5,624	1	
CC_m101 2086	60.3	191	1.242	2,824	4	
GF_m101 2067	85.6	191	1.211	2,776	5	
GF_m101 2090	66.7	191	1.226	2,954	1	
GF_m105 2079	89.4	191	1.117	3,665	1	
GF_m105 2089	74.0	191	1.100	3,249	1	
HA_m101 2089	87.3	191	1.134	4,384	5	
HA_m105 2062	90.2	191	1.228	1,874	3	
MI_m105 2065	75.9	191	1.223	2,546	2	
MP_m101 2081	66.9	191	1.046	1,876	1	
MP_m105 2061	71.1	191	1.248	2,029	5	
MR_m101 2067	66.7	191	1.147	1,723	5	
MR_m101 2074	146.8	191	0.983	1,993	2	
MR_m101 2089	137.3	191	1.206	2,223	4	
MR_m105 2067	81.2	191	1.195	5,338	3	
MR_m105 2084	151.7	191	1.141	2,155	2	
MR_m105 2087	66.4	191	1.123	3,426	5	
MR_m105 2089	88.6	191	0.972	2,193	5	
m001 1999	92.2	191	0.938	2,811	1	
m006 1997	68.3	191	0.881	1,978	3	
m010 1982	119.0	191	1.172	2,444	3	
m010 1991	97.5	191	0.959	2,334	2	
m010 2002	69.8	191	1.085	2,401	3	
m010 2008	134.0	191	1.145	1,745	1	

 : 棄却洪水

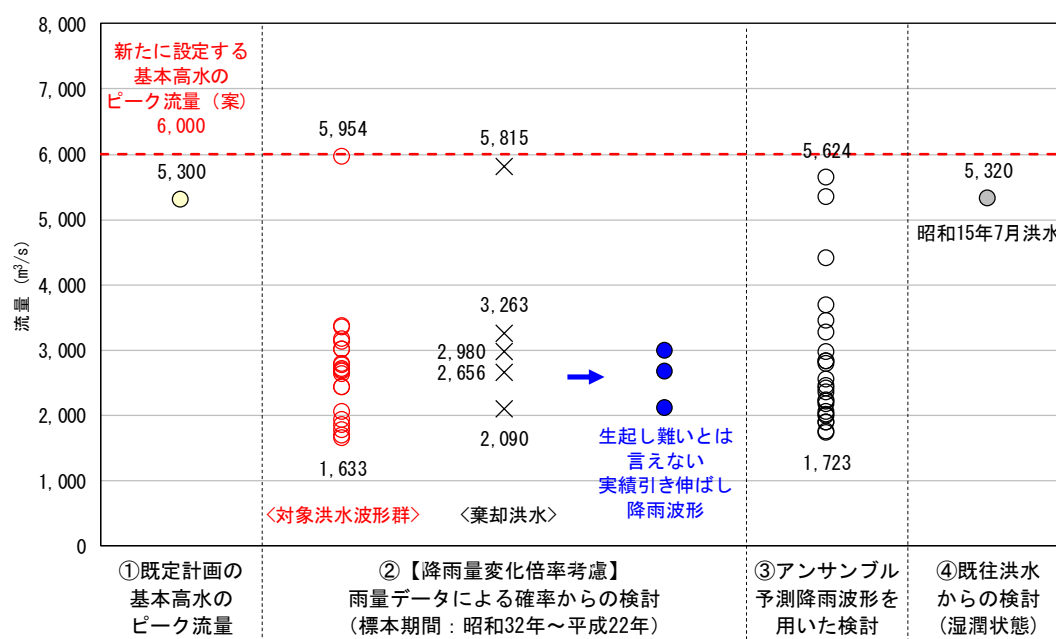
1.12 既往洪水からの検討

赤川流域に大きな被害をもたらした昭和 15 年（1940 年）7 月洪水が、前期降雨があり流域からの降雨量が流出しやすい湿潤状態において発生したとすれば、基準地点熊出の流量は約 5,320m³/s と推定される。

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地域分布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。

この結果、赤川水系における基本高水のピーク流量は、基準地点熊出で $6,000\text{m}^3/\text{s}$ 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・将来実験) の時空間分布から見て生じ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を用いた検討：
 気候変動予測モデルによる現在気候 (1980～2010 年) 及び将来気候 (2℃上昇) のアンサンブル降雨波形
 ○：対象降雨の降雨量 (190.2 mm/12h) の±20%に含まれる洪水
- ④ 既往洪水からの検討 昭和 15 年 7 月洪水の推定流量

図 1.29 基本高水の設定にかかる総合判断図 (基準地点熊出)

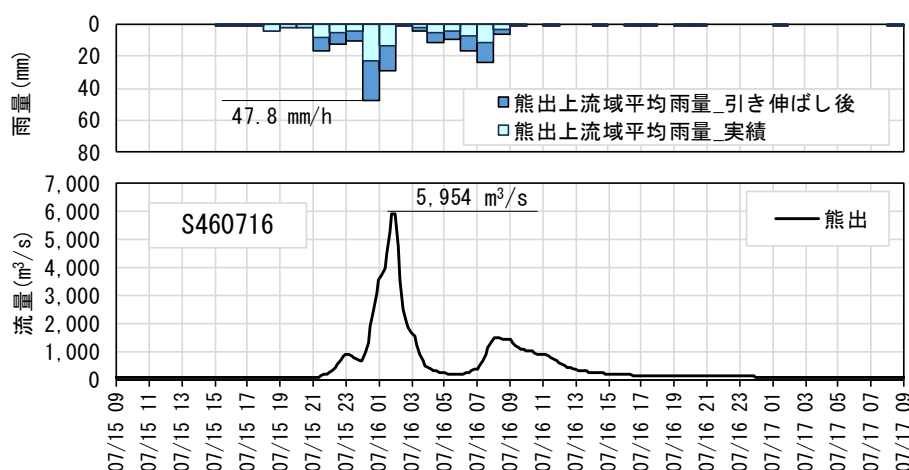


図 1.30 基本高水のピーク流量ハイドログラフ (昭和 46 年 7 月洪水 基準地点熊出)

2. 高水処理計画

平成 20 年（2008 年）に策定した既定計画における洪水処理計画は、基準地点熊出における基本高水のピーク流量 $5,300\text{m}^3/\text{s}$ に対し、洪水処理施設により $2,100\text{m}^3/\text{s}$ を調節し、 $3,200\text{m}^3/\text{s}$ を河道で処理する計画としている。

今回、気候変動による降雨量への影響を踏まえ、新たに基準地点熊出における基本高水のピーク流量を見直した結果、既定計画の $5,300\text{m}^3/\text{s}$ を $6,000\text{m}^3/\text{s}$ 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き伸ばすことにより得られた対象降雨波形群を用いた。

外力の増大に対応した河道計画を検討するにあたり、流下能力が不足する区間において、堤防の嵩上げや引堤等が現状の地域に与える社会的影響、河道掘削量の増加による河川環境の負荷等を考慮した上で、河道断面の拡幅の検討を行い、基準地点熊出において $3,300\text{m}^3/\text{s}$ の流下断面の確保が可能であることを確認した。

このため、高水処理計画は、基準地点熊出における河道への配分流量を $3,300\text{m}^3/\text{s}$ とし、既存ダムの事前放流等により確保可能な容量を活用した洪水調節を見込むことで対応することとした。

なお、既存ダムの事前放流については、降雨予測の不確実性など課題はあるが、事前放流により治水のための容量が確保されることを仮定して、過去の洪水パターンを用いて基準地点におけるピーク流量を試算した結果、洪水パターンによっては低減効果があることを確認している。河道への配分流量については、降雨予測技術向上による確実な容量確保、確保された容量を効率的に活用する操作ルールの変更等により洪水調節機能を強化できる可能性を踏まえ、これらの洪水調節効果を見込むこととする。

3. 計画高水流量

赤川の計画高水流量は、基準地点熊出において $3,300\text{m}^3/\text{s}$ 、河口において $3,400\text{m}^3/\text{s}$ とする。

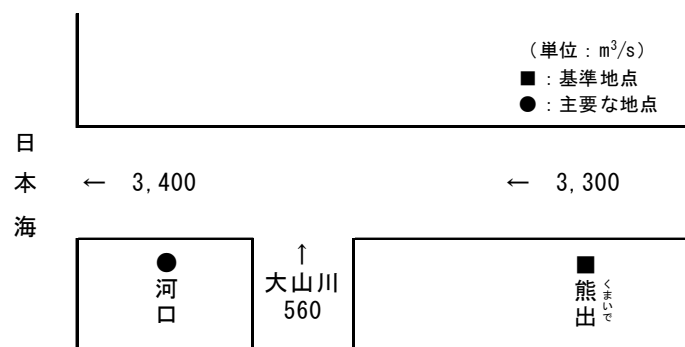


図 3.1 赤川計画高水流量図

4. 河道計画

河道計画は、以下の理由により縦断勾配を尊重し、流下能力が不足する区間については、周辺の社会的影響や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、概ね堤防が概成（完成・暫定）していること。
- 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樋門等の構造物が完成していることや計画高水位を上げて堤内地での内水被害の助長を避けるべきであること。
- ④ 河道の安定を考慮した掘削高さの設定が重要であること。

計画縦断図を図 5.1 に示すとともに、主要な地点における計画高水位及び概ねの川幅を表 4.1 に示す。

表 4.1 主要な地点の計画高水位及び概ねの川幅一覧表

河川名	地点名	河口からの距離 (km)	計画高水位 T. P. (m)	川幅 (m)
赤川	熊出	29.5	69.27	160
	河口	0.0	3.81	170

注) T.P. 東京湾中等潮位

※：基点からの距離

【参考】気候変動の影響検討（河口水位）

IPCC のレポートでは、2010 年までの平均海面水位の予測上昇範囲は、RCP2.6 (2℃上昇に相当) で 0.29～0.59m であり、RCP2.6 シナリオの気候変動による水位上昇の平均値は 0.43m とされている。

朔望平均満潮位による出発水位（気候変動による海面上昇考慮）を試算した。

- ① 朔望平均満潮位＋気候変動による海面水位上昇量：T.P.+1.023m
- ② 密度差（①の水深の 2.5%）：0.046m
- ③ 上記の①＋②：T.P.+1.069m

以上より、気候変動による海面上昇を考慮した出発水位は T.P.+1.069m は、痕跡水位の最高値から設定される出発水位 T.P.+2.200m に対し、約 1.1m 低い値であり、計画高水流量を計画高水位以下で流下可能であることを確認した。

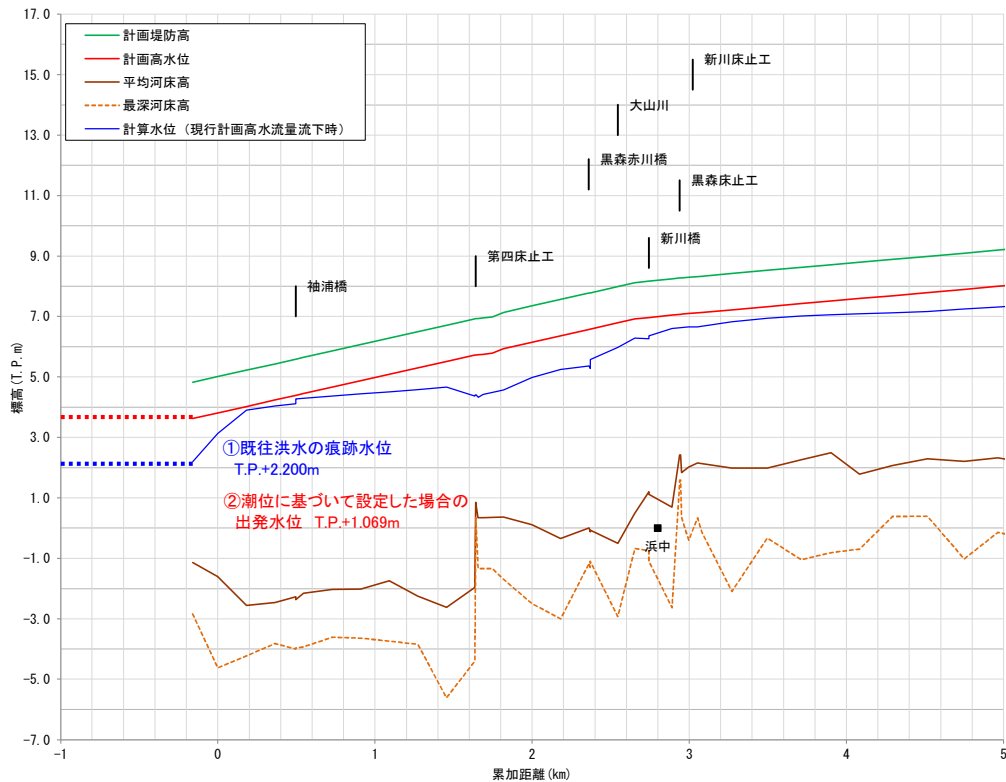


図 4.1 河口水位

5. 河川管理施設等の整備の状況

5.1 堤防

堤防整備の現状（令和 7 年（2025 年）3 月末時点）は下表のとおりである。

表 5.1 堤防整備の現状

	延長 (km)
完成断面	57.0
暫定断面	4.5
堤防不必要区間	12.6
計	74.1

※延長は、大臣管理区間左右岸の計である。

5.2 洪水調節施設

- 完成施設 : 月山ダム（治水容量：38,000 千 m³）
荒沢ダム（治水容量：17,570 千 m³）【山形県管理】

5.3 排水機場等

- 河川管理施設：3.5m³/s

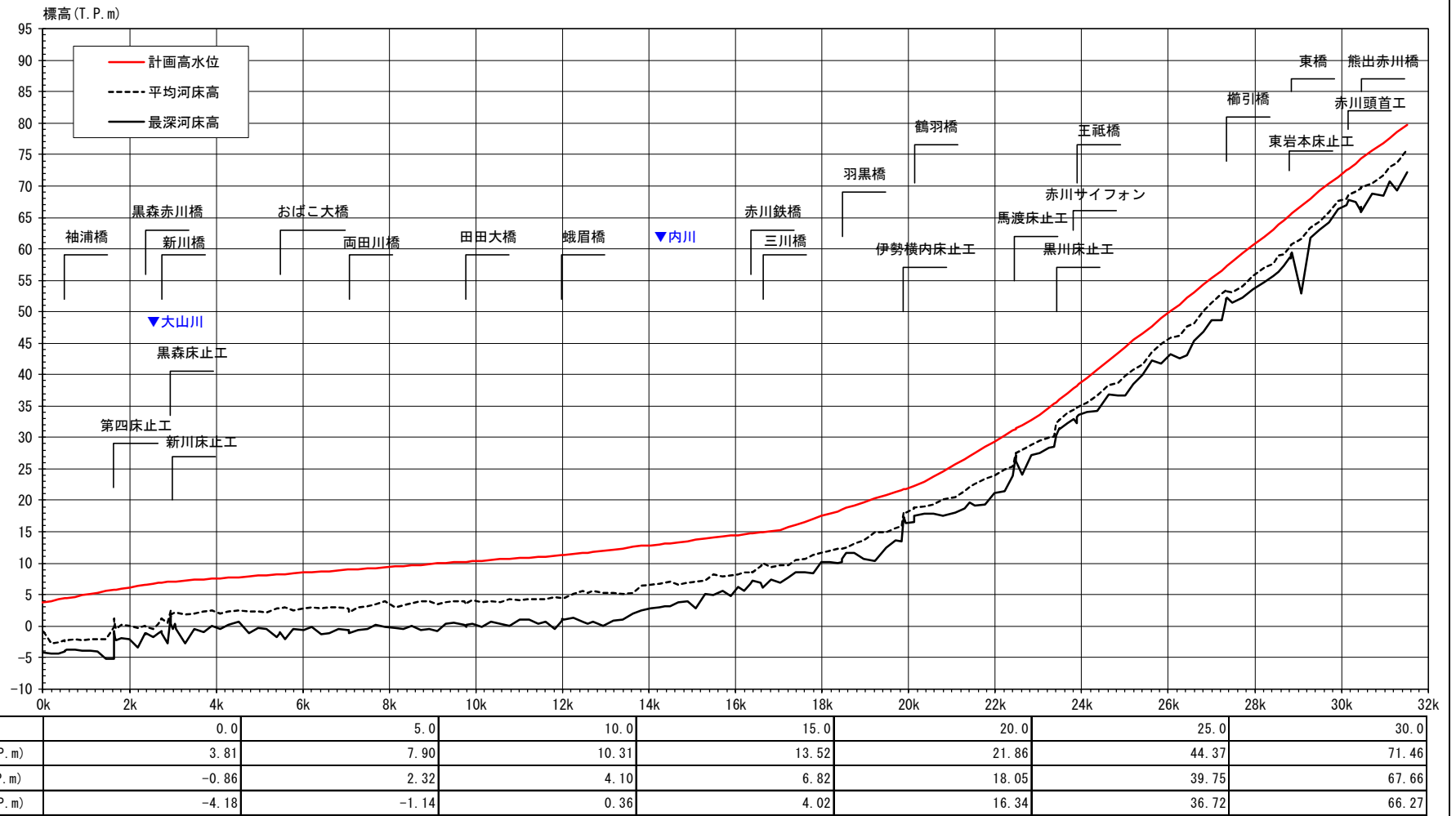


図 5.1 計画縦断面図 (赤川)