

新宮川水系河川整備基本方針

基本高水等に関する資料

令和3年10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
2. 高水処理計画	162
3. 計画高水流量	163
4. 河道計画	164
5. 河川管理施設等の整備の状況	166

1. 基本高水の検討

1.1 工事実施基本計画

昭和 45 年(1970 年)4 月に策定された新宮川水系工事実施基本計画では、熊野川流域に被害をもたらした「昭和 34 年(1959 年)9 月洪水」を対象洪水とし、基準地点「相賀」において、基本高水のピーク流量を $19,000\text{m}^3/\text{s}$ 、計画高水流量を $19,000\text{m}^3/\text{s}$ と定めている。

基本高水のピーク流量である「昭和 34 年(1959 年)9 月洪水」のピーク流量は、合理式で算定した流量や昭和 34 年(1959 年)9 月洪水の推定流量等を勘案して、決定されている。

1.2 河川整備基本方針

工事実施基本計画の策定以降、計画を変更するような洪水・降雨は発生していないが、既定計画では、基本高水のピーク流量を合理式等を用いて算出しており、河川整備基本方針の策定にあたっては、下記に示す様々な手法により基本高水のピーク流量を検討し、平成 20 年(2008 年)3 月に河川整備基本方針を策定した。

(1) 流量データによる確率からの検討

相当年数の流量データが蓄積されたこと等から、流量データを確率統計処理することにより、基本高水のピーク流量を検討。

(2) 時間雨量データによる確率からの検討

流域の過去の主要洪水における降雨波形を 1/100 確率規模の降雨量まで引き伸ばし、同定された貯留関数法を用いた流出計算モデルにより流出量を検討。

(3) モデル降雨波形による検討

主要洪水の実績降雨群の波形を 1~48 時間のすべての降雨継続時間において、1/100 確率規模となるように降雨波形を作成し、同定された流出計算モデルにより流出計算を行い、基本高水のピーク流量を検討。

この結果、様々な手法により検討された基本高水のピーク流量 $19,000\text{m}^3/\text{s}$ は、総合的に判断し妥当と判断された。

1.3 河川整備基本方針策定後の状況

平成 20 年（2008 年）、河川整備基本方針の策定以降、平成 23 年（2011 年）9 月に、基本高水のピーク流量 19,000m³/s、対象降雨の降雨量 632mm/2 日を上回る洪水が発生している。

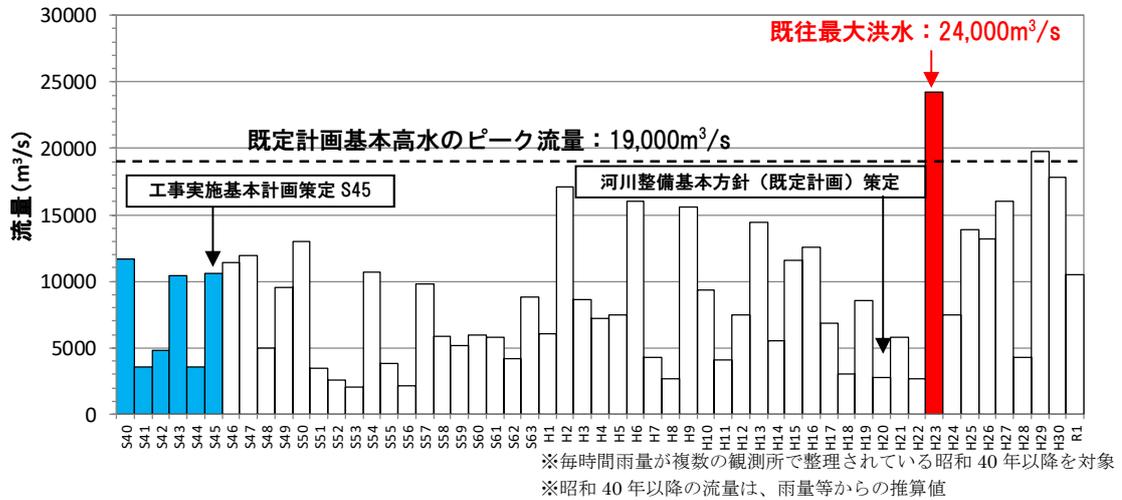


図 1-1 (1) 年最大流量（基準地点相賀）

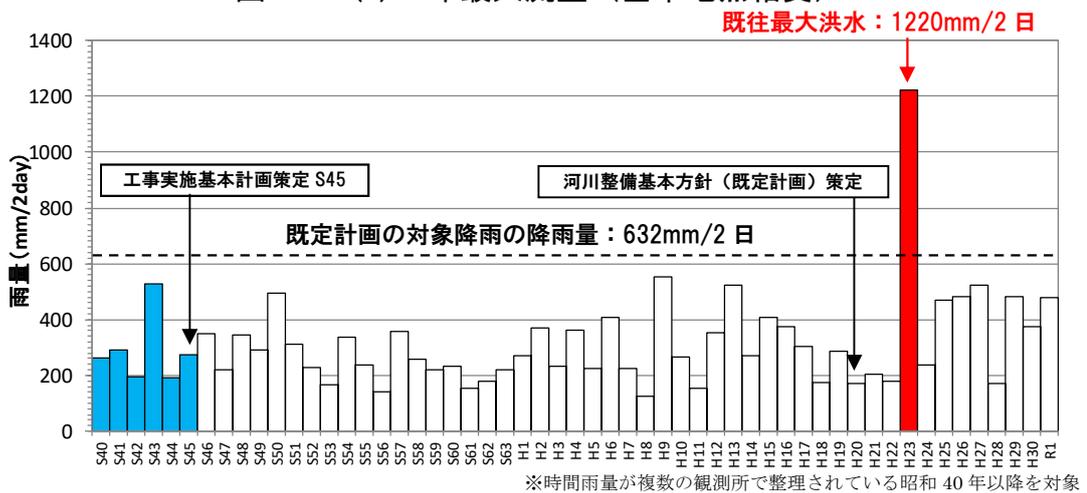


図 1-1 (2) 年最大 2 日雨量（基準地点相賀上流域平均雨量）

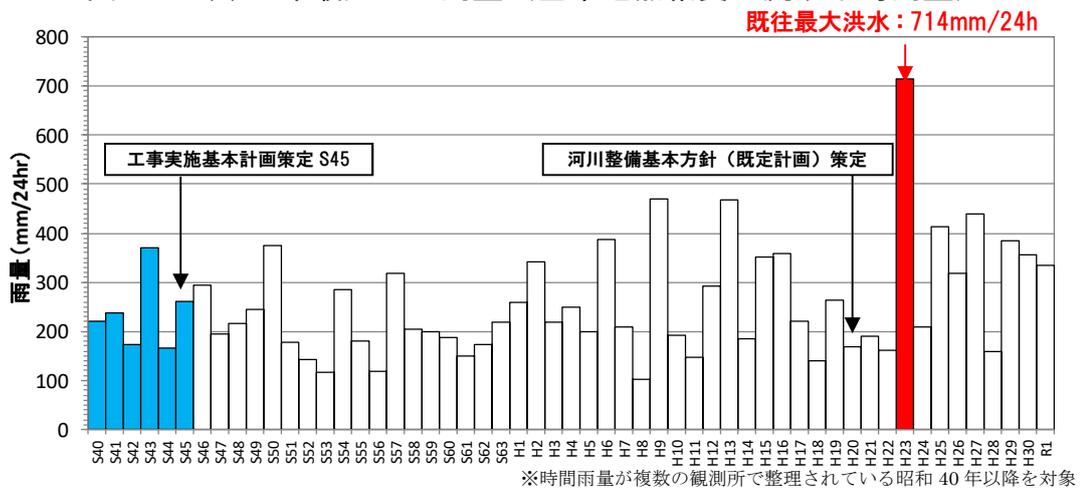


図 1-1 (3) 年最大 24 時間雨量（基準地点相賀上流域平均雨量）

1.4 平成23年（2011年）9月洪水の実績流量に関する検討

1.4.1 貯留関数法による流量算出結果

平成23年（2011年）9月台風12号洪水は既往最大規模の洪水であり、相賀地点観測所の水位観測機器が水没し、流量観測を行えなかったため、実績流量が把握できなかった（図1-2）。

そこで、基準地点相賀の流量を、十津川流域に位置する二津野ダム及び北山川流域に位置する七色ダムの実績放流量に加え、2ダム下流域（二津野ダム・七色ダム下流域）の流出計算を行うことで算出した。

流出計算に使用するダム放流量データ及び雨量データの点検を行った。流出計算は、我が国でこれまで多数の流域で適用実績があり、信頼性のある貯留関数法により行った。また、貯留関数の各種定数については感度分析を実施し、定数変化によるピーク流量の変化が少ないことを確認した。また、貯留関数法により算出された流量の妥当性を確認するため、種々の流出計算手法により流量算定を行った。

その結果、貯留関数モデルによる流出計算結果は、 $23,800\text{m}^3/\text{s}$ となったが、雨量や水位、河道断面のデータの精度等を踏まえ、総合的に判断し有効数字2桁とし、基準地点における流量を $24,000\text{m}^3/\text{s}$ と推定した（図1-3）。

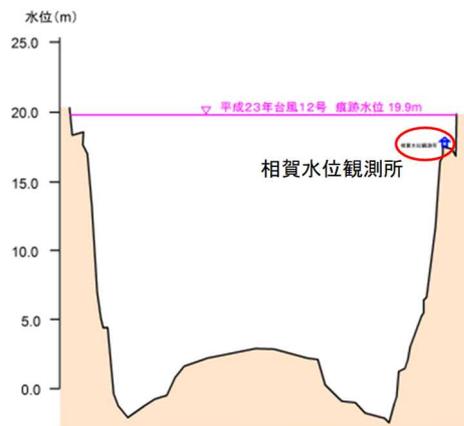


図 1-2 相賀水位観測所 横断面図

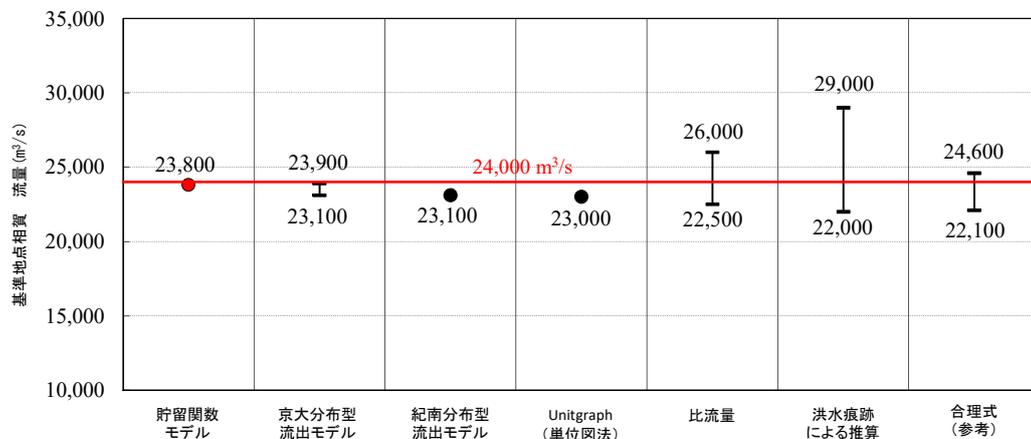


図 1-3 相賀地点のピーク流量算出結果

1.4.2 貯留関数法以外の手法による流量算出結果

貯留関数法の計算結果の妥当性を確認するため、貯留関数法以外の手法により流出計算を行った。

まず、分布型流出モデルを用いて、平成23年（2011年）9月台風12号洪水の基準地点における流量算出を行った。分布型流出モデルは、①京都大学立川准教授（当時）が構築したモデル、②紀南河川国道事務所が構築したモデルの2つにより流出計算を実施した。計算方法は貯留関数法と同様に、二津野ダム及び七色ダム放流量に2ダム下流域の流量を流出計算により推定した。①京大モデルは、電源開発（株）の相賀観測所で流量が把握出来ている、1990年出水をはじめとする7洪水に対応したモデルが構築されている。流出計算の結果、①京大モデルは23,100m³/s～23,900m³/s、②紀南モデルでは23,100m³/sとなり貯留関数法により算出した24,000m³/sが妥当であることが確認された。

次に、中安の総合単位図法によって平成23年（2011年）9月台風12号洪水の相賀地点流量を推定した。上流ダム（二津野、七色ダム）から相賀地点までの残流域流量を計算できるモデルを単位図により作成し、上流からは、二津野ダム、七色ダムの実績放流量を与え、相賀地点流量を算出した。その結果、相賀地点のピーク流量は23,000m³/sとなった。

次に、二津野ダム及び七色ダムの実績放流量から、十津川流域及び北山川流域の比流量を算出し、その結果を用いてダム下流域の流量を算出した。十津川流域の比流量は8.8m³/s/km²、北山川流域の比流量は13.8m³/s/km²であり、両者にダム下流域の流域面積695km²を掛け、ダム放流量を加えた結果、相賀地点の流量は22,500m³/s～26,000m³/sとなった。

次に、新宮川の相賀地点のピーク流量を洪水痕跡から不等流計算により推定した。不等流計算については、粗度係数、出発水位、河道断面形状を精度良く設定できることが重要であるが、本検討においては、一つの値に設定することができなかったため、ある幅を持った値として設定し、ピーク流量についても幅を持って推定した。粗度係数については逆算粗度と推定粗度を比較して整合性を確認し設定を行った。出発水位については、氾濫による流量減少の影響が無いと考えられる地点の痕跡水位に、痕跡水位の取り得る誤差を考慮し幅を持った値を設定した。これらの条件により、基準地点相賀の流量算出を行った結果、22,000m³/s～29,000m³/sとなった。

以上より、平成23年（2011年）9月台風12号洪水の際の新宮川水系の基準地点相賀におけるピーク流量は24,000m³/sと推定した。

1.4.3 流出計算に使用するデータの点検

(1) 地上観測雨量の妥当性の確認

平成23年(2011年)9月台風12号洪水時の熊野川流域において、局所的な降雨分布が地上観測雨量で捉えられているか確認するため、一連の降雨時間について、①雨量観測所による時間雨量分布図、②Cバンドレーダ(同時刻全国合成レーダ)による時間雨量分布図を比較した。なお、等雨量線図の作成にあたっては、国、気象台、県等の雨量観測所データを用いて行った。

平成23年(2011年)9月台風12号洪水時のレーダ雨量は、熊野川流域は、城ヶ森山レーダサイトが遮蔽物により一部正しく観測できないデータ(図1-5の青色のくさび型部分)となっているため、そのままでは用いることができない。このため、城ヶ森山レーダサイトに近い深山レーダサイトのデータ(図1-6)により、遮蔽物により正しく観測できていないデータを補完し、そのレーダ雨量(図1-7)を用いて、風屋ダム～猿谷ダム残流域(流域3,4、以降、風屋ダム残流域という。)の流域平均雨量を補正するものとした。

地上観測雨量とレーダ雨量において、平成23年(2011年)9月台風12号洪水時のハイトグラフを比較した結果、風屋ダム残流域の流域平均2日雨量は、地上観測雨量754mm、レーダ雨量1,062mmであり、地上観測雨量がレーダ雨量より過少となっている。その他の流域では、大きな乖離は見られなかった。

このため、風屋ダム残流域以外は、地上観測雨量を用いることで、降雨分布を表現できるのものと考えられるが、風屋ダム残流域においては、ダム地点における流入量と雨量の関係を地上観測雨量及びレーダ雨量について整理し、流出率の精度から妥当性を確認する。

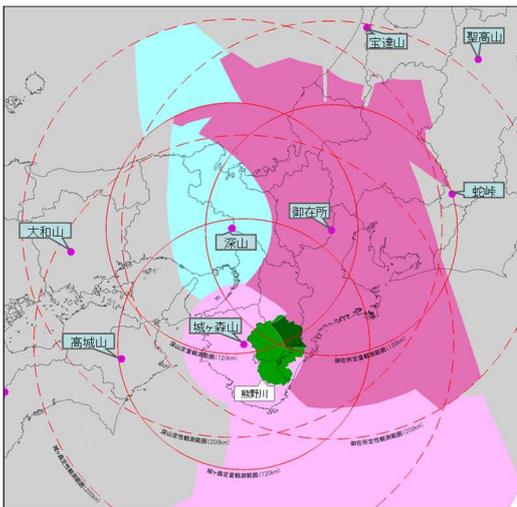


図 1-4 新宮川流域近傍のレーダ雨量観測局

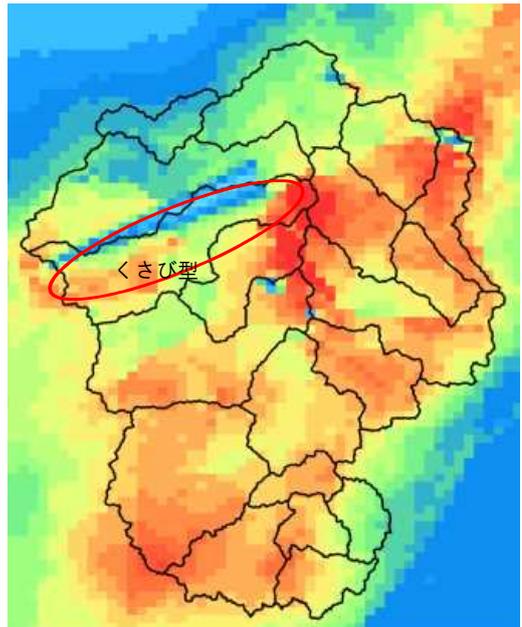


図 1-5 同時刻全国合成レーダ

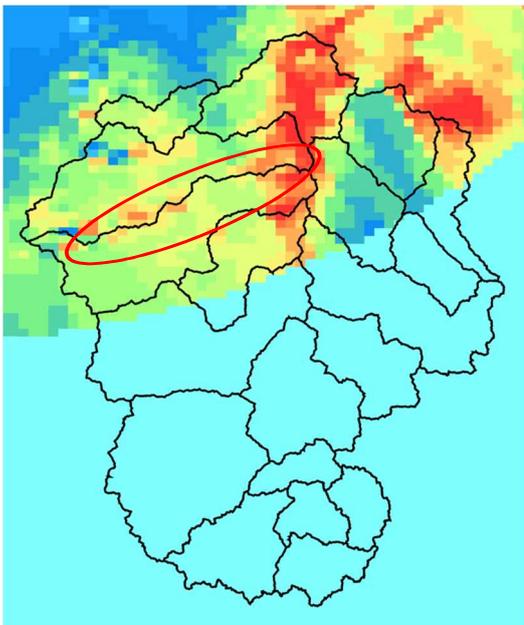


図 1-6 深山レーダサイト補正值
(仰角 0.4 度)

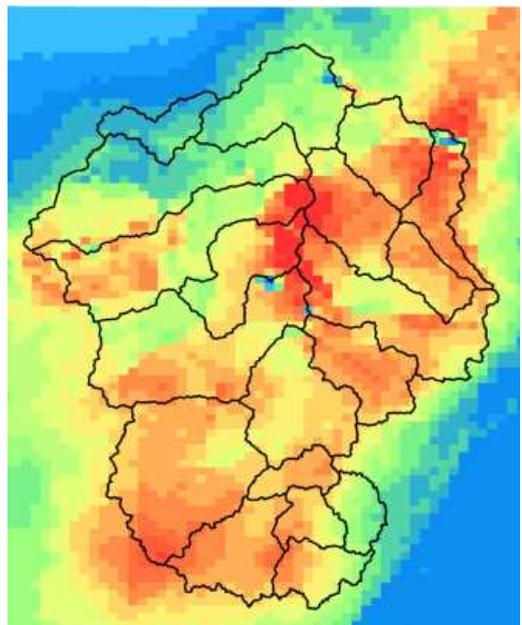


図 1-7 同時刻全国合成レーダを深山レーダ
サイトで補完したデータ

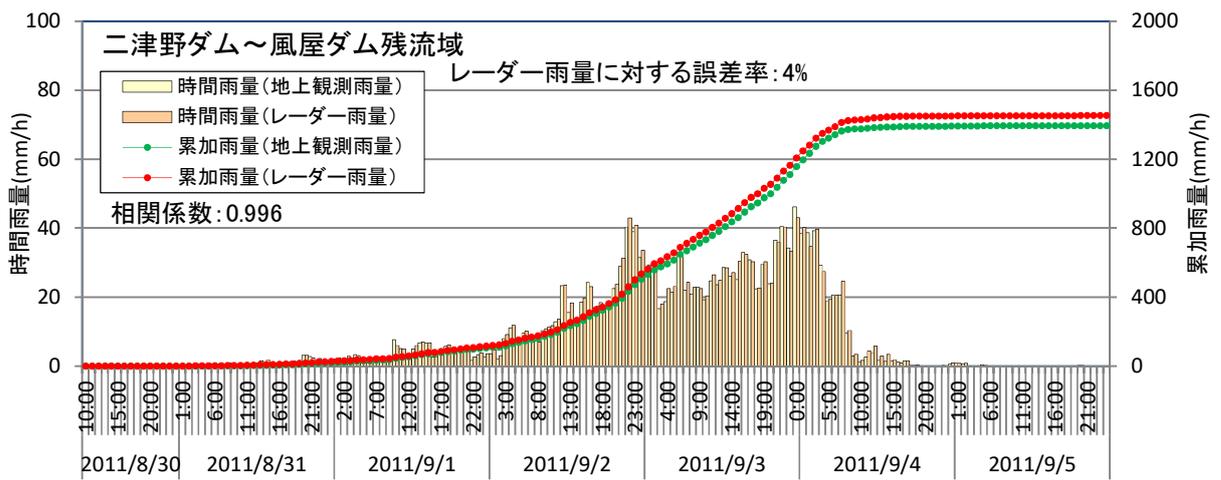
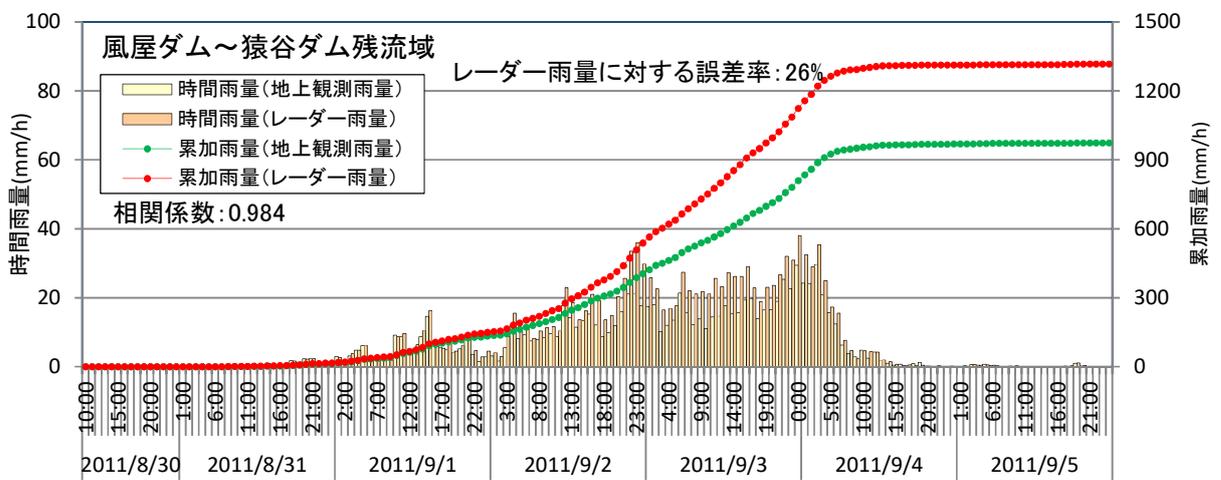
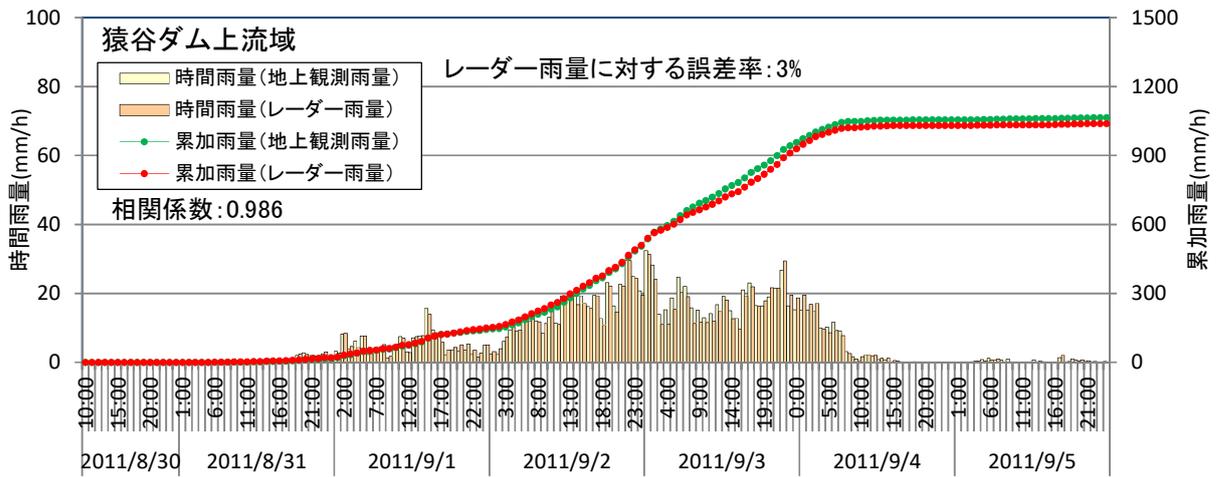


図 1-8 (1) 地上観測雨量とレーダ雨量の比較 (平成 23 年 (2011 年) 9 月台風 12 号)

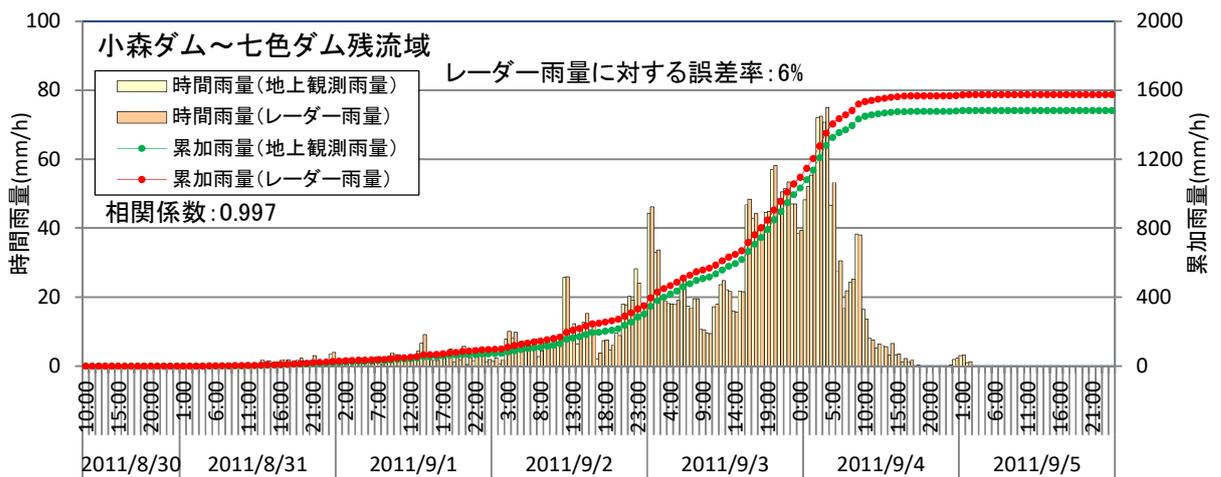
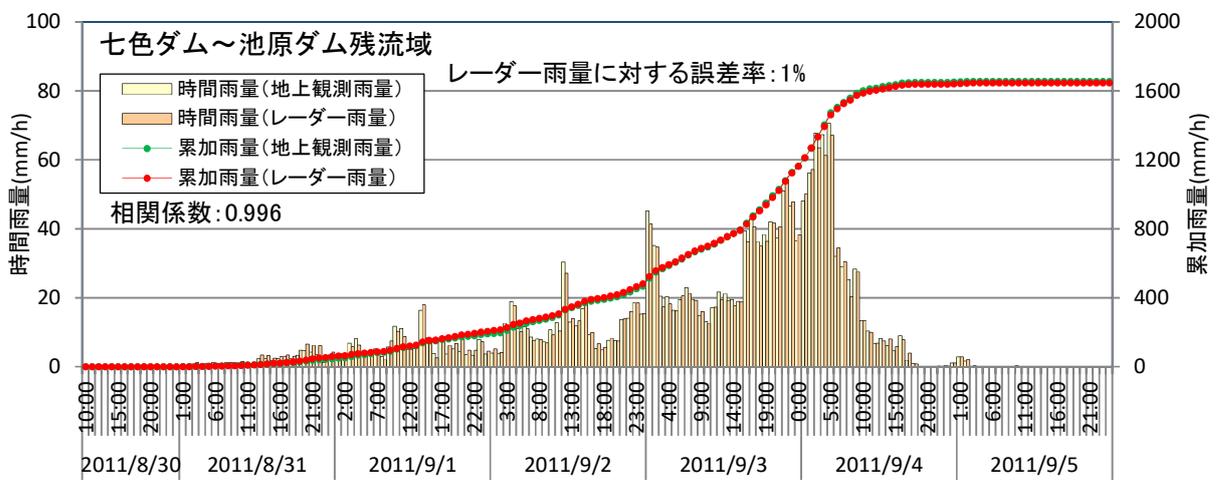
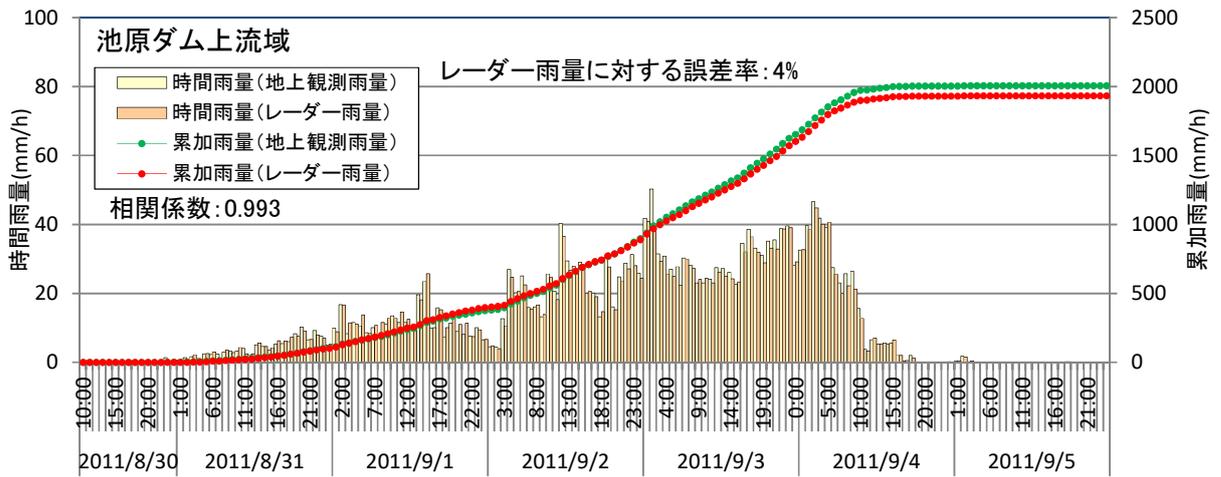


図 1-8 (2) 地上観測雨量とレーダー雨量の比較 (平成 23 年(2011 年)9 月台風 12 号)

表 1-1 (1) 平成 23 年 (2011 年) 9 月台風 12 号洪水時間雨量表

時間	猿谷ダム上流域				風屋ダム～猿谷ダム残流域				二津野ダム～風屋ダム残流域			
	時間雨量(mm)		累加雨量(mm)		時間雨量(mm)		累加雨量(mm)		時間雨量(mm)		累加雨量(mm)	
	地上雨量	レーダ雨量	地上雨量	レーダ雨量	地上雨量	レーダ雨量	地上雨量	レーダ雨量	地上雨量	レーダ雨量	地上雨量	レーダ雨量
2011/8/30 10:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011/8/30 11:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011/8/30 12:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011/8/30 13:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011/8/30 14:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011/8/30 15:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011/8/30 16:00	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011/8/30 17:00	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011/8/30 18:00	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011/8/30 19:00	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011/8/30 20:00	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011/8/30 21:00	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011/8/30 22:00	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011/8/30 23:00	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011/8/31 0:00	0.0	0.1	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1
2011/8/31 1:00	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2
2011/8/31 2:00	0.1	0.0	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0	0.2	0.2
2011/8/31 3:00	0.1	0.2	0.2	0.4	0.0	0.1	0.0	0.2	0.0	0.6	0.2	0.8
2011/8/31 4:00	0.1	0.0	0.3	0.5	0.1	0.0	0.1	0.2	0.2	0.1	0.4	0.8
2011/8/31 5:00	0.1	0.3	0.4	0.7	0.1	0.2	0.2	0.4	0.2	0.7	0.6	1.5
2011/8/31 6:00	0.2	0.5	0.7	1.2	0.1	0.2	0.3	0.5	0.4	0.2	1.0	1.7
2011/8/31 7:00	0.4	0.1	1.1	1.4	0.1	0.1	0.4	0.6	0.2	0.3	1.2	2.0
2011/8/31 8:00	0.2	0.6	1.3	1.9	0.3	0.5	0.7	1.0	0.2	0.8	1.4	2.8
2011/8/31 9:00	0.6	0.4	1.9	2.4	0.1	0.2	0.8	1.2	0.2	0.5	1.6	3.4
2011/8/31 10:00	0.2	0.3	2.0	2.7	0.1	0.3	0.9	1.5	0.3	0.7	1.9	4.0
2011/8/31 11:00	0.3	0.4	2.3	3.0	0.2	0.2	1.0	1.7	0.4	0.3	2.3	4.4
2011/8/31 12:00	0.6	0.9	2.8	3.9	0.6	0.5	1.6	2.2	0.4	0.9	2.7	5.2
2011/8/31 13:00	0.6	0.9	3.5	4.7	0.2	0.5	1.8	2.7	0.7	1.5	3.4	6.8
2011/8/31 14:00	0.4	1.1	3.9	5.8	0.6	1.0	2.4	3.8	0.8	1.7	4.1	8.5
2011/8/31 15:00	0.8	0.9	4.7	6.7	0.5	0.6	2.9	4.4	0.5	0.7	4.6	9.2
2011/8/31 16:00	0.4	0.8	5.1	7.5	0.4	0.6	3.3	4.9	0.8	1.1	5.4	10.3
2011/8/31 17:00	0.6	0.7	5.7	8.1	0.2	0.5	3.5	5.4	0.9	1.2	6.3	11.4
2011/8/31 18:00	1.1	1.0	6.8	9.1	1.7	1.6	5.3	7.0	1.2	1.4	7.5	12.8
2011/8/31 19:00	1.9	2.4	8.8	11.4	1.2	1.4	6.5	8.3	1.2	1.7	8.7	14.5
2011/8/31 20:00	2.8	2.3	11.5	13.8	2.3	2.2	8.8	10.6	3.1	3.1	11.8	17.6
2011/8/31 21:00	2.1	2.0	13.6	15.8	2.3	2.3	11.1	12.9	2.8	2.4	14.6	20.0
2011/8/31 22:00	1.8	2.1	15.4	17.9	1.1	1.1	12.2	14.0	1.2	2.2	15.8	22.2
2011/8/31 23:00	2.5	3.1	18.0	21.0	1.2	1.4	13.4	15.4	1.0	1.8	16.7	24.0
2011/9/1 0:00	0.9	0.4	18.8	21.4	0.5	0.5	13.9	15.9	0.8	1.6	17.5	25.6
2011/9/1 1:00	3.2	2.8	22.1	24.2	2.9	2.6	16.8	18.5	2.1	2.4	19.7	28.0
2011/9/1 2:00	8.2	8.4	30.3	32.6	1.5	1.5	18.3	20.1	1.6	1.9	21.3	29.9
2011/9/1 3:00	3.8	4.6	34.1	37.2	3.1	3.8	21.4	23.8	2.9	2.3	24.2	32.2
2011/9/1 4:00	6.2	4.3	40.3	41.4	4.8	4.8	26.2	28.6	3.3	3.0	27.4	35.2
2011/9/1 5:00	7.7	7.7	47.9	49.1	6.1	6.2	32.3	34.8	2.4	2.3	29.9	37.5
2011/9/1 6:00	2.4	2.6	50.3	51.7	1.5	2.5	33.8	37.3	0.9	1.5	30.7	39.0
2011/9/1 7:00	3.2	3.5	53.5	55.2	1.8	2.2	35.5	39.4	2.5	2.5	33.2	41.5
2011/9/1 8:00	4.4	5.1	58.0	60.3	2.5	2.6	38.0	42.0	1.6	1.1	34.8	42.6
2011/9/1 9:00	1.2	1.7	59.1	62.0	1.9	1.9	39.9	43.9	2.1	1.8	37.0	44.4
2011/9/1 10:00	5.0	5.3	64.1	67.3	9.2	8.7	49.0	52.7	7.6	5.9	44.6	50.4
2011/9/1 11:00	7.5	7.0	71.5	74.3	8.7	9.6	57.7	62.2	5.0	5.0	49.6	55.4
2011/9/1 12:00	3.1	2.9	74.6	77.2	4.4	4.4	62.2	66.7	3.4	2.6	53.0	58.0
2011/9/1 13:00	7.2	7.5	81.7	84.7	5.2	6.4	67.3	73.0	5.0	5.9	58.0	63.9
2011/9/1 14:00	7.7	7.8	89.4	92.5	8.7	10.4	76.1	83.4	6.7	7.0	64.7	70.9
2011/9/1 15:00	15.6	14.0	105.0	106.5	14.6	16.3	90.6	99.7	6.7	6.7	71.4	77.6
2011/9/1 16:00	9.4	8.7	114.4	115.2	6.4	6.5	97.1	106.2	2.7	2.8	74.0	80.4
2011/9/1 17:00	8.0	5.8	122.5	120.9	5.6	5.4	102.7	111.5	3.7	4.1	77.8	84.5
2011/9/1 18:00	2.2	3.6	124.7	124.5	4.9	6.6	107.5	118.2	5.7	6.1	83.4	90.6
2011/9/1 19:00	3.5	4.3	128.1	128.8	4.1	4.6	111.7	122.7	3.6	3.6	87.0	94.3
2011/9/1 20:00	3.3	5.1	131.5	133.9	5.2	6.2	116.9	128.9	4.9	5.4	91.9	99.7
2011/9/1 21:00	3.5	5.4	135.0	139.3	8.0	8.5	124.8	137.4	4.6	4.7	96.5	104.4
2011/9/1 22:00	2.3	3.5	137.3	142.7	3.6	4.7	128.4	142.1	1.6	2.6	98.2	107.0
2011/9/1 23:00	1.5	2.7	138.8	145.4	1.5	2.9	129.9	145.0	3.3	3.8	101.5	110.8
2011/9/2 0:00	5.0	5.1	143.9	150.5	2.8	4.5	132.7	149.5	2.6	3.6	104.0	114.4

表 1-1 (2) 平成 23 年 (2011 年) 9 月台風 12 号洪水時間雨量表

時間	猿谷ダム上流域				風屋ダム～猿谷ダム残流域				二津野ダム～風屋ダム残流域			
	時間雨量(mm)		累加雨量(mm)		時間雨量(mm)		累加雨量(mm)		時間雨量(mm)		累加雨量(mm)	
	地上雨量	レーダ雨量	地上雨量	レーダ雨量	地上雨量	レーダ雨量	地上雨量	レーダ雨量	地上雨量	レーダ雨量	地上雨量	レーダ雨量
2011/9/2 1:00	2.5	3.1	146.3	153.6	3.1	4.0	135.8	153.5	3.6	4.7	107.6	119.0
2011/9/2 2:00	2.3	3.9	148.6	157.5	1.6	3.0	137.4	156.5	2.1	3.0	109.7	122.0
2011/9/2 3:00	6.0	7.4	154.6	164.8	5.5	8.9	142.9	165.4	7.9	9.1	117.6	131.1
2011/9/2 4:00	9.5	11.6	164.1	176.5	11.9	15.5	154.8	180.9	11.1	11.8	128.7	142.9
2011/9/2 5:00	9.1	9.3	173.2	185.8	8.1	10.2	162.9	191.1	7.7	8.0	136.3	151.0
2011/9/2 6:00	13.2	13.4	186.4	199.2	9.3	10.9	172.2	202.0	9.5	10.1	145.8	161.0
2011/9/2 7:00	12.0	13.0	198.4	212.2	7.4	8.1	179.6	210.1	8.2	7.0	154.0	168.0
2011/9/2 8:00	12.0	11.7	210.4	223.9	7.9	10.3	187.5	220.4	7.2	7.0	161.1	175.0
2011/9/2 9:00	8.4	11.3	218.8	235.2	8.5	11.3	196.0	231.7	10.3	10.9	171.4	185.8
2011/9/2 10:00	13.1	15.2	231.9	250.5	9.6	11.7	205.6	243.3	11.3	11.7	182.7	197.5
2011/9/2 11:00	11.4	11.1	243.3	261.5	8.7	10.4	214.3	253.7	12.9	13.5	195.6	211.1
2011/9/2 12:00	19.3	17.7	262.6	279.2	17.8	22.9	232.1	276.6	23.3	23.5	218.9	234.6
2011/9/2 13:00	19.4	19.2	281.9	298.4	14.2	18.5	246.2	295.1	15.5	18.3	234.4	252.8
2011/9/2 14:00	19.1	16.7	301.0	315.1	11.5	13.6	257.7	308.7	12.1	13.2	246.5	266.1
2011/9/2 15:00	19.3	17.1	320.4	332.1	13.3	16.2	271.0	324.8	18.6	19.7	265.1	285.8
2011/9/2 16:00	16.2	15.7	336.5	347.8	15.3	21.0	286.3	345.8	24.3	23.0	289.3	308.7
2011/9/2 17:00	19.5	19.3	356.0	367.0	12.1	19.2	298.4	365.0	16.3	17.3	305.7	326.0
2011/9/2 18:00	12.7	10.7	368.7	377.7	8.8	13.6	307.2	378.6	18.4	17.3	324.1	343.2
2011/9/2 19:00	23.1	22.1	391.8	399.8	9.8	14.9	317.0	393.5	17.6	18.8	341.6	362.0
2011/9/2 20:00	16.3	14.6	408.1	414.4	11.9	20.3	328.9	413.8	22.4	23.7	364.0	385.7
2011/9/2 21:00	22.6	22.0	430.7	436.4	15.9	25.6	344.8	439.5	28.9	31.2	393.0	416.9
2011/9/2 22:00	29.5	29.5	460.3	465.9	21.1	33.5	365.8	472.9	40.3	43.0	433.2	459.9
2011/9/2 23:00	24.9	24.4	485.2	490.3	21.2	36.0	387.0	508.9	38.9	40.8	472.2	500.7
2011/9/3 0:00	20.8	19.6	505.9	509.8	17.8	29.7	404.8	538.6	31.5	33.6	503.6	534.3
2011/9/3 1:00	32.4	31.3	538.3	541.1	17.5	25.8	422.4	564.5	26.6	29.3	530.2	563.5
2011/9/3 2:00	28.3	24.1	566.6	565.2	18.0	22.5	440.4	587.0	27.9	29.4	558.1	592.9
2011/9/3 3:00	14.0	11.1	580.6	576.3	10.1	16.4	450.5	603.4	16.6	18.0	574.6	610.9
2011/9/3 4:00	15.3	11.1	595.8	587.4	12.0	16.9	462.5	620.3	18.6	22.5	593.3	633.3
2011/9/3 5:00	18.7	15.4	614.5	602.7	13.5	17.7	476.0	638.0	21.5	23.1	614.8	656.4
2011/9/3 6:00	24.7	20.2	639.2	622.9	21.4	27.3	497.5	665.3	32.9	31.8	647.7	688.2
2011/9/3 7:00	22.1	19.0	661.2	641.9	15.6	22.0	513.1	687.3	22.0	24.3	669.7	712.5
2011/9/3 8:00	15.8	11.3	677.1	653.2	12.2	21.1	525.3	708.4	20.8	22.8	690.6	735.2
2011/9/3 9:00	15.2	11.6	692.3	664.9	13.8	21.9	539.1	730.2	22.8	22.4	713.4	757.7
2011/9/3 10:00	13.0	11.6	705.2	676.4	11.1	21.1	550.2	751.4	19.3	20.3	732.7	777.9
2011/9/3 11:00	14.2	12.0	719.4	688.4	14.4	25.7	564.6	777.0	24.7	26.5	757.4	804.4
2011/9/3 12:00	16.7	14.8	736.1	703.2	14.6	23.2	579.2	800.2	23.6	24.8	781.0	829.2
2011/9/3 13:00	19.1	18.0	755.2	721.2	17.7	27.1	596.9	827.3	28.6	28.5	809.5	857.7
2011/9/3 14:00	15.0	12.7	770.2	733.9	15.4	26.2	612.3	853.5	26.1	27.1	835.6	884.8
2011/9/3 15:00	12.7	9.7	782.9	743.5	15.7	26.2	628.1	879.7	25.1	30.3	860.7	915.1
2011/9/3 16:00	21.0	19.3	803.8	762.8	19.3	29.0	647.4	908.7	32.9	32.4	893.6	947.5
2011/9/3 17:00	23.0	21.9	826.8	784.7	19.8	22.8	667.2	931.5	30.8	30.3	924.4	977.8
2011/9/3 18:00	16.5	16.3	843.3	801.0	14.0	18.8	681.2	950.3	22.3	22.5	946.8	1000.4
2011/9/3 19:00	16.4	17.9	859.7	818.9	16.4	23.0	697.6	973.3	29.5	30.3	976.3	1030.7
2011/9/3 20:00	19.0	21.7	878.6	840.6	16.5	23.6	714.1	996.9	23.9	24.1	1000.2	1054.7
2011/9/3 21:00	21.5	21.5	900.1	862.1	19.0	26.6	733.1	1023.5	36.5	36.0	1036.6	1090.7
2011/9/3 22:00	26.8	29.5	926.9	891.6	25.3	32.1	758.4	1055.6	40.5	40.3	1077.1	1131.0
2011/9/3 23:00	16.3	19.6	943.2	911.2	22.7	30.9	781.0	1086.5	34.2	33.3	1111.4	1164.3
2011/9/4 0:00	15.3	18.7	958.5	929.9	29.4	38.0	810.4	1124.5	46.2	43.0	1157.6	1207.3

表 1-1 (3) 平成 23 年 (2011 年) 9 月台風 12 号洪水時間雨量表

時間	猿谷ダム上流域				風屋ダム～猿谷ダム残流域				二津野ダム～風屋ダム残流域			
	時間雨量(mm)		累加雨量(mm)		時間雨量(mm)		累加雨量(mm)		時間雨量(mm)		累加雨量(mm)	
	地上雨量	レーダ雨量	地上雨量	レーダ雨量	地上雨量	レーダ雨量	地上雨量	レーダ雨量	地上雨量	レーダ雨量	地上雨量	レーダ雨量
2011/9/4 1:00	15.1	19.5	973.6	949.4	24.2	32.5	834.6	1157.0	38.4	40.1	1196.0	1247.5
2011/9/4 2:00	15.2	16.8	988.8	966.2	24.2	29.0	858.8	1185.9	38.7	34.7	1234.7	1282.2
2011/9/4 3:00	14.9	17.1	1003.7	983.3	29.7	35.4	888.4	1221.3	39.2	39.7	1273.9	1321.9
2011/9/4 4:00	10.0	9.6	1013.7	993.0	20.8	24.9	909.3	1246.2	29.2	27.5	1303.1	1349.3
2011/9/4 5:00	10.2	8.6	1023.9	1001.6	15.8	17.3	925.0	1263.5	18.9	19.4	1322.0	1368.7
2011/9/4 6:00	11.6	9.3	1035.5	1010.9	12.3	15.5	937.4	1279.0	20.6	20.5	1342.6	1389.2
2011/9/4 7:00	9.2	7.8	1044.7	1018.6	6.3	7.6	943.7	1286.6	20.6	24.6	1363.2	1413.8
2011/9/4 8:00	3.1	2.6	1047.8	1021.2	3.9	4.8	947.5	1291.4	9.5	10.3	1372.7	1424.1
2011/9/4 9:00	1.7	1.0	1049.5	1022.2	2.9	2.4	950.4	1293.7	3.0	3.4	1375.7	1427.5
2011/9/4 10:00	0.3	1.7	1049.8	1023.9	4.8	4.6	955.2	1298.4	1.0	1.6	1376.7	1429.1
2011/9/4 11:00	2.1	2.1	1051.9	1025.9	2.5	4.4	957.7	1302.7	2.7	4.4	1379.4	1433.5
2011/9/4 12:00	1.8	2.0	1053.7	1027.9	4.3	4.3	962.0	1307.0	3.8	5.7	1383.1	1439.2
2011/9/4 13:00	0.8	1.2	1054.5	1029.1	1.8	1.9	963.8	1308.9	1.6	2.9	1384.7	1442.1
2011/9/4 14:00	0.7	1.2	1055.2	1030.3	1.0	1.4	964.8	1310.3	1.3	3.3	1386.0	1445.5
2011/9/4 15:00	0.1	0.6	1055.3	1030.9	0.5	0.7	965.2	1311.0	1.4	1.8	1387.4	1447.2
2011/9/4 16:00	0.4	0.1	1055.7	1031.0	0.7	0.3	965.9	1311.4	1.1	0.9	1388.5	1448.1
2011/9/4 17:00	0.0	0.0	1055.7	1031.1	0.3	0.5	966.2	1311.9	1.4	1.5	1390.0	1449.6
2011/9/4 18:00	0.1	0.2	1055.8	1031.2	0.9	0.3	967.1	1312.2	0.1	0.2	1390.1	1449.8
2011/9/4 19:00	0.0	0.1	1055.8	1031.3	1.2	0.4	968.4	1312.6	0.3	0.0	1390.4	1449.8
2011/9/4 20:00	0.1	0.1	1055.9	1031.3	0.2	0.1	968.6	1312.8	0.0	0.0	1390.4	1449.8
2011/9/4 21:00	0.0	0.0	1055.9	1031.3	0.0	0.0	968.6	1312.8	0.1	0.1	1390.5	1449.9
2011/9/4 22:00	0.0	0.0	1055.9	1031.4	0.3	0.1	968.8	1312.8	0.0	0.0	1390.5	1449.9
2011/9/4 23:00	0.0	0.0	1055.9	1031.4	0.1	0.0	968.9	1312.9	0.2	0.1	1390.7	1450.1
2011/9/5 0:00	0.0	0.0	1055.9	1031.4	0.2	0.0	969.1	1312.9	0.6	0.9	1391.3	1450.9
2011/9/5 1:00	0.0	0.0	1055.9	1031.4	0.1	0.0	969.2	1312.9	0.8	0.8	1392.0	1451.7
2011/9/5 2:00	0.0	0.0	1055.9	1031.4	0.2	0.1	969.4	1313.0	0.6	0.8	1392.6	1452.5
2011/9/5 3:00	0.1	0.2	1056.0	1031.6	0.6	0.6	970.0	1313.6	0.1	0.0	1392.7	1452.5
2011/9/5 4:00	0.4	0.4	1056.4	1032.0	0.5	0.5	970.5	1314.1	0.0	0.1	1392.7	1452.6
2011/9/5 5:00	0.9	0.4	1057.2	1032.3	0.8	0.5	971.2	1314.6	0.4	0.2	1393.0	1452.8
2011/9/5 6:00	1.1	0.7	1058.4	1033.0	0.4	0.4	971.6	1315.1	0.0	0.1	1393.1	1452.9
2011/9/5 7:00	0.7	0.9	1059.1	1033.9	0.2	0.0	971.9	1315.1	0.0	0.0	1393.1	1452.9
2011/9/5 8:00	0.7	0.1	1059.8	1034.0	0.1	0.0	971.9	1315.1	0.0	0.0	1393.1	1452.9
2011/9/5 9:00	0.9	0.1	1060.6	1034.1	0.2	0.0	972.1	1315.1	0.0	0.0	1393.1	1452.9
2011/9/5 10:00	0.0	0.0	1060.6	1034.1	0.3	0.0	972.4	1315.1	0.0	0.0	1393.1	1452.9
2011/9/5 11:00	0.1	0.0	1060.7	1034.1	0.0	0.0	972.4	1315.1	0.0	0.0	1393.1	1452.9
2011/9/5 12:00	0.1	0.0	1060.8	1034.1	0.1	0.0	972.5	1315.1	0.0	0.0	1393.1	1452.9
2011/9/5 13:00	0.7	0.1	1061.5	1034.2	0.1	0.0	972.6	1315.1	0.0	0.0	1393.1	1452.9
2011/9/5 14:00	0.4	0.2	1061.9	1034.4	0.0	0.0	972.6	1315.1	0.0	0.0	1393.1	1452.9
2011/9/5 15:00	0.0	0.1	1061.9	1034.4	0.0	0.0	972.6	1315.1	0.0	0.0	1393.1	1452.9
2011/9/5 16:00	0.0	0.1	1061.9	1034.5	0.0	0.0	972.6	1315.1	0.0	0.0	1393.1	1452.9
2011/9/5 17:00	1.4	2.0	1063.2	1036.5	0.1	0.2	972.7	1315.3	0.0	0.0	1393.1	1452.9
2011/9/5 18:00	0.1	0.3	1063.4	1036.9	0.1	0.3	972.8	1315.6	0.1	0.1	1393.1	1452.9
2011/9/5 19:00	1.0	0.7	1064.4	1037.5	1.0	1.1	973.7	1316.7	0.0	0.1	1393.1	1453.0
2011/9/5 20:00	0.4	0.7	1064.8	1038.2	0.2	0.3	973.9	1317.0	0.2	0.2	1393.3	1453.2
2011/9/5 21:00	0.3	0.4	1065.1	1038.7	0.0	0.1	973.9	1317.1	0.0	0.0	1393.3	1453.2
2011/9/5 22:00	0.2	0.3	1065.3	1039.0	0.0	0.1	973.9	1317.2	0.0	0.0	1393.3	1453.2
2011/9/5 23:00	0.1	0.1	1065.4	1039.1	0.0	0.0	974.0	1317.2	0.0	0.0	1393.3	1453.2
2011/9/6 0:00	0.3	0.0	1065.7	1039.1	0.0	0.0	974.0	1317.3	0.0	0.0	1393.3	1453.2

表 1-1 (4) 平成 23 年 (2011 年) 9 月台風 12 号洪水時間雨量表

時間	池原ダム上流域				七色ダム～池原ダム残流域				小森ダム～七色ダム残流域			
	時間雨量(mm)		累加雨量(mm)		時間雨量(mm)		累加雨量(mm)		時間雨量(mm)		累加雨量(mm)	
	地上雨量	レーダ雨量	地上雨量	レーダ雨量	地上雨量	レーダ雨量	地上雨量	レーダ雨量	地上雨量	レーダ雨量	地上雨量	レーダ雨量
2011/8/30 10:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011/8/30 11:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011/8/30 12:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011/8/30 13:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011/8/30 14:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011/8/30 15:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011/8/30 16:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011/8/30 17:00	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011/8/30 18:00	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011/8/30 19:00	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
2011/8/30 20:00	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
2011/8/30 21:00	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
2011/8/30 22:00	0.4	0.0	0.5	0.1	0.2	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
2011/8/30 23:00	1.4	0.2	1.8	0.3	0.3	0.0	0.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
2011/8/31 0:00	0.5	0.1	2.3	0.4	0.4	0.1	0.9	0.2	0.0	0.1	0.0	0.1
2011/8/31 1:00	0.7	0.1	3.0	0.5	0.2	0.1	1.1	0.3	0.0	0.1	0.0	0.2
2011/8/31 2:00	1.4	0.3	4.4	0.8	0.0	0.0	1.1	0.4	0.0	0.0	0.0	0.2
2011/8/31 3:00	1.6	2.2	6.0	2.9	0.8	1.2	1.9	1.6	0.0	0.4	0.0	0.6
2011/8/31 4:00	1.1	0.4	7.0	3.3	0.6	0.1	2.5	1.7	0.0	0.0	0.1	0.6
2011/8/31 5:00	2.5	2.6	9.5	5.8	1.0	0.9	3.4	2.6	0.3	0.6	0.4	1.2
2011/8/31 6:00	2.3	3.0	11.8	8.9	1.2	1.0	4.7	3.6	0.0	0.2	0.4	1.4
2011/8/31 7:00	2.4	1.1	14.2	9.9	0.9	0.5	5.5	4.1	0.4	0.1	0.8	1.5
2011/8/31 8:00	2.9	3.6	17.2	13.5	1.2	1.1	6.7	5.2	0.6	0.5	1.4	2.0
2011/8/31 9:00	3.2	2.9	20.4	16.3	1.2	1.1	7.9	6.3	0.7	0.5	2.1	2.5
2011/8/31 10:00	3.3	4.3	23.7	20.6	1.1	1.6	9.0	7.8	0.3	0.6	2.3	3.0
2011/8/31 11:00	4.0	2.5	27.7	23.0	1.3	0.9	10.2	8.7	0.7	0.4	3.0	3.4
2011/8/31 12:00	2.1	2.5	29.8	25.6	0.8	1.2	11.1	9.9	0.0	0.1	3.0	3.6
2011/8/31 13:00	5.1	5.6	34.9	31.2	2.4	3.4	13.5	13.3	0.7	1.7	3.8	5.3
2011/8/31 14:00	4.6	4.6	39.5	35.8	2.4	3.2	15.8	16.5	1.2	1.5	5.0	6.8
2011/8/31 15:00	3.5	4.2	43.0	40.0	1.8	2.5	17.7	19.0	0.7	0.5	5.7	7.4
2011/8/31 16:00	5.2	6.2	48.2	46.2	2.4	2.9	20.1	21.9	1.3	1.8	7.0	9.1
2011/8/31 17:00	5.4	6.2	53.7	52.4	3.0	3.4	23.1	25.3	1.7	1.8	8.7	10.9
2011/8/31 18:00	6.0	7.3	59.7	59.6	2.3	3.0	25.4	28.4	1.1	1.5	9.8	12.4
2011/8/31 19:00	8.3	7.6	67.9	67.2	3.3	4.8	28.7	33.2	1.7	2.3	11.5	14.7
2011/8/31 20:00	10.2	9.1	78.1	76.3	4.7	6.6	33.4	39.8	1.5	1.5	13.0	16.2
2011/8/31 21:00	6.6	6.7	84.7	83.0	4.2	6.2	37.6	45.9	1.7	3.0	14.6	19.3
2011/8/31 22:00	9.3	8.0	94.0	90.9	3.5	6.0	41.1	51.9	0.8	1.4	15.4	20.7
2011/8/31 23:00	7.6	7.1	101.6	98.0	1.3	1.9	42.4	53.8	1.1	1.8	16.4	22.4
2011/9/1 0:00	5.0	5.3	106.6	103.2	3.4	4.3	45.8	58.1	3.3	4.0	19.8	26.5
2011/9/1 1:00	9.9	8.9	116.5	112.1	3.4	3.8	49.1	61.9	1.3	1.3	21.1	27.8
2011/9/1 2:00	16.7	16.6	133.2	128.7	3.1	2.9	52.3	64.8	1.9	2.1	23.0	29.9
2011/9/1 3:00	8.3	11.5	141.5	140.2	6.8	5.7	59.1	70.6	2.2	1.8	25.1	31.7
2011/9/1 4:00	11.6	11.2	153.1	151.4	8.1	6.3	67.1	76.9	2.1	2.4	27.2	34.1
2011/9/1 5:00	10.6	13.8	163.6	165.2	4.3	3.1	71.4	80.0	0.5	0.1	27.7	34.2
2011/9/1 6:00	8.6	8.6	172.3	173.7	4.4	3.6	75.8	83.6	1.6	0.6	29.3	34.8
2011/9/1 7:00	10.1	10.8	182.3	184.5	5.2	3.7	81.0	87.3	2.6	2.8	31.9	37.5
2011/9/1 8:00	7.7	11.5	190.0	196.1	2.9	2.0	83.9	89.3	0.4	0.9	32.3	38.4
2011/9/1 9:00	11.1	12.8	201.1	208.8	5.7	7.5	89.6	96.8	2.8	3.8	35.1	42.2
2011/9/1 10:00	13.6	12.8	214.7	221.7	11.8	10.2	101.4	107.0	3.3	3.3	38.4	45.5
2011/9/1 11:00	11.5	14.6	226.2	236.2	11.1	8.8	112.5	115.8	2.2	2.6	40.6	48.1
2011/9/1 12:00	11.6	12.4	237.8	248.7	5.1	5.1	117.5	120.9	2.6	3.1	43.2	51.2
2011/9/1 13:00	9.4	9.5	247.2	258.1	5.3	6.0	122.8	126.9	3.3	4.4	46.5	55.5
2011/9/1 14:00	19.6	18.1	266.8	276.2	16.4	17.9	139.2	144.8	6.7	9.1	53.2	64.7
2011/9/1 15:00	23.5	25.8	290.3	302.0	8.3	7.4	147.5	152.2	1.9	1.7	55.1	66.3
2011/9/1 16:00	9.9	10.0	300.1	312.0	3.8	2.6	151.3	154.8	1.6	1.6	56.7	67.9
2011/9/1 17:00	15.9	15.3	316.0	327.3	7.5	8.7	158.8	163.5	2.3	3.4	59.0	71.2
2011/9/1 18:00	7.4	10.1	323.4	337.4	3.7	6.1	162.5	169.6	3.1	4.9	62.0	76.2
2011/9/1 19:00	11.4	13.8	334.8	351.2	5.1	6.8	167.6	176.4	1.0	3.0	63.1	79.2
2011/9/1 20:00	9.0	11.1	343.8	362.2	4.5	7.8	172.1	184.2	1.9	5.7	64.9	84.8
2011/9/1 21:00	8.1	11.4	351.9	373.7	3.5	4.8	175.6	189.0	0.5	2.5	65.4	87.3
2011/9/1 22:00	7.6	7.5	359.4	381.2	3.3	4.8	178.8	193.8	1.5	2.8	66.9	90.0
2011/9/1 23:00	10.1	9.4	369.5	390.6	7.9	7.3	186.7	201.0	3.4	3.4	70.3	93.4
2011/9/2 0:00	6.6	6.7	376.1	397.2	3.6	4.5	190.3	205.5	1.2	2.0	71.6	95.3

表 1-1 (5) 平成 23 年 (2011 年) 9 月台風 12 号洪水時間雨量表

時間	池原ダム上流域				七色ダム～池原ダム残流域				小森ダム～七色ダム残流域			
	時間雨量(mm)		累加雨量(mm)		時間雨量(mm)		累加雨量(mm)		時間雨量(mm)		累加雨量(mm)	
	地上雨量	レーダ雨量	地上雨量	レーダ雨量	地上雨量	レーダ雨量	地上雨量	レーダ雨量	地上雨量	レーダ雨量	地上雨量	レーダ雨量
2011/9/2 1:00	4.5	4.8	380.6	402.1	3.9	5.1	194.2	210.7	1.4	2.3	72.9	97.7
2011/9/2 2:00	4.5	4.0	385.1	406.0	3.8	4.2	198.0	214.9	0.6	1.7	73.5	99.4
2011/9/2 3:00	12.7	10.6	397.7	416.6	12.5	11.9	210.6	226.8	7.8	10.0	81.3	109.4
2011/9/2 4:00	27.0	24.7	424.7	441.3	18.9	17.7	229.4	244.5	8.0	9.8	89.3	119.2
2011/9/2 5:00	20.2	20.6	444.8	461.9	11.1	10.1	240.5	254.6	5.9	7.2	95.2	126.3
2011/9/2 6:00	25.1	22.5	469.9	484.3	11.6	11.0	252.1	265.6	6.0	6.7	101.2	133.0
2011/9/2 7:00	15.9	15.5	485.8	499.8	8.6	7.7	260.7	273.3	4.5	7.8	105.7	140.8
2011/9/2 8:00	16.1	16.6	501.9	516.4	8.0	7.8	268.7	281.1	2.7	4.4	108.4	145.2
2011/9/2 9:00	13.2	13.8	515.1	530.3	7.2	6.9	275.9	288.0	6.7	6.9	115.1	152.1
2011/9/2 10:00	25.6	24.6	540.7	554.9	10.8	9.3	286.7	297.3	5.9	7.9	121.0	160.0
2011/9/2 11:00	20.6	18.2	561.3	573.1	12.8	10.3	299.5	307.6	8.6	8.9	129.6	168.8
2011/9/2 12:00	40.2	36.6	601.5	609.7	30.4	27.1	329.9	334.6	25.7	25.9	155.3	194.8
2011/9/2 13:00	29.4	26.7	630.9	636.4	13.0	13.9	342.9	348.6	8.5	12.2	163.8	207.0
2011/9/2 14:00	27.9	25.8	658.8	662.2	11.8	13.3	354.7	361.9	6.5	10.7	170.3	217.7
2011/9/2 15:00	29.1	28.4	687.9	690.5	16.8	18.2	371.5	380.1	12.7	15.2	183.0	233.0
2011/9/2 16:00	20.0	20.5	707.9	711.1	9.3	9.9	380.8	390.0	10.6	12.0	193.6	245.0
2011/9/2 17:00	20.1	19.0	728.0	730.1	5.3	6.6	386.1	396.6	2.0	3.7	195.6	248.7
2011/9/2 18:00	13.2	14.7	741.3	744.8	4.9	5.6	391.0	402.2	7.4	7.6	203.0	256.2
2011/9/2 19:00	30.5	27.6	771.7	772.4	7.6	8.2	398.6	410.5	4.6	6.1	207.6	262.3
2011/9/2 20:00	16.1	15.3	787.8	787.7	7.6	7.4	406.2	417.9	9.6	8.8	217.2	271.1
2011/9/2 21:00	24.8	23.6	812.6	811.2	13.7	13.9	419.9	431.8	17.9	17.7	235.2	288.9
2011/9/2 22:00	28.8	27.1	841.4	838.3	14.0	16.0	433.9	447.7	20.3	19.2	255.4	308.0
2011/9/2 23:00	31.3	28.1	872.6	866.4	18.5	18.5	452.4	466.2	28.2	24.0	283.6	332.1
2011/9/3 0:00	25.9	24.4	898.5	890.8	15.2	15.5	467.6	481.7	18.3	17.6	301.9	349.7
2011/9/3 1:00	41.8	41.0	940.3	931.8	45.2	41.4	512.8	523.1	44.3	46.2	346.2	395.8
2011/9/3 2:00	50.2	38.5	990.5	970.2	35.2	34.7	548.0	557.8	33.0	33.7	379.2	429.5
2011/9/3 3:00	31.4	29.3	1021.9	999.5	20.4	17.5	568.4	575.3	19.3	18.8	398.5	448.3
2011/9/3 4:00	30.9	25.6	1052.8	1025.1	20.2	18.2	588.7	593.5	18.1	18.1	416.6	466.3
2011/9/3 5:00	27.0	25.0	1079.9	1050.1	16.3	16.2	605.0	609.7	17.8	19.1	434.5	485.4
2011/9/3 6:00	27.7	22.4	1107.5	1072.5	19.5	20.6	624.4	630.2	25.1	25.6	459.5	511.0
2011/9/3 7:00	30.3	29.9	1137.8	1102.4	22.9	21.2	647.4	651.4	17.4	16.8	476.9	527.8
2011/9/3 8:00	28.2	27.2	1166.0	1129.7	19.5	19.3	666.9	670.7	19.6	19.5	496.5	547.3
2011/9/3 9:00	23.0	24.1	1189.1	1153.7	14.9	16.0	681.8	686.7	10.6	10.6	507.1	557.9
2011/9/3 10:00	23.0	24.4	1212.1	1178.1	13.1	12.5	694.9	699.2	9.5	9.4	516.6	567.3
2011/9/3 11:00	24.1	23.1	1236.2	1201.2	17.2	17.4	712.1	716.6	17.2	17.9	533.8	585.2
2011/9/3 12:00	27.4	26.3	1263.7	1227.4	21.7	19.4	733.8	736.0	23.6	24.7	557.4	609.9
2011/9/3 13:00	27.2	25.0	1290.9	1252.4	21.1	19.2	754.9	755.2	22.1	21.7	579.5	631.6
2011/9/3 14:00	26.1	24.3	1317.0	1276.7	19.6	17.7	774.5	772.9	16.0	15.6	595.5	647.2
2011/9/3 15:00	22.7	23.3	1339.7	1300.0	18.9	18.7	793.3	791.7	21.7	21.6	617.2	668.8
2011/9/3 16:00	34.6	32.1	1374.2	1332.1	39.4	36.3	832.7	828.0	46.8	48.4	664.0	717.1
2011/9/3 17:00	38.6	36.5	1412.9	1368.6	42.9	40.7	875.6	868.7	42.8	44.2	706.7	761.3
2011/9/3 18:00	33.2	31.9	1446.0	1400.4	36.2	35.0	911.8	903.7	39.6	40.9	746.3	802.2
2011/9/3 19:00	31.1	28.9	1477.1	1429.3	38.3	36.4	950.1	940.1	44.7	44.9	791.0	847.1
2011/9/3 20:00	35.2	33.1	1512.4	1462.4	42.0	41.7	992.1	981.8	57.0	58.2	848.0	905.3
2011/9/3 21:00	35.6	32.9	1547.9	1495.3	37.3	40.6	1029.4	1022.4	48.4	50.5	896.4	955.8
2011/9/3 22:00	38.8	38.8	1586.7	1534.0	51.0	54.4	1080.4	1076.8	51.5	53.4	947.9	1009.2
2011/9/3 23:00	39.6	39.1	1626.3	1573.1	46.6	47.7	1127.0	1124.5	47.1	47.0	995.0	1056.3
2011/9/4 0:00	28.2	29.1	1654.5	1602.2	36.6	38.2	1163.5	1162.7	38.5	39.3	1033.4	1095.5

表 1-1 (6) 平成 23 年 9 月台風 12 号洪水時間雨量表

時間	池原ダム上流域				七色ダム～池原ダム残流域				小森ダム～七色ダム残流域			
	時間雨量(mm)		累加雨量(mm)		時間雨量(mm)		累加雨量(mm)		時間雨量(mm)		累加雨量(mm)	
	地上雨量	レーダ雨量	地上雨量	レーダ雨量	地上雨量	レーダ雨量	地上雨量	レーダ雨量	地上雨量	レーダ雨量	地上雨量	レーダ雨量
2011/9/4 1:00	32.7	32.7	1687.1	1634.9	48.1	50.0	1211.6	1212.8	48.2	52.0	1081.6	1147.6
2011/9/4 2:00	39.7	38.6	1726.8	1673.5	56.2	57.2	1267.8	1270.0	55.4	56.4	1137.0	1204.0
2011/9/4 3:00	46.7	44.7	1773.5	1718.2	67.7	63.5	1335.5	1333.4	72.0	72.5	1209.0	1276.5
2011/9/4 4:00	41.8	40.0	1815.3	1758.3	67.3	61.3	1402.8	1394.7	70.8	75.0	1279.8	1351.5
2011/9/4 5:00	39.2	40.6	1854.5	1798.8	70.6	67.1	1473.5	1461.8	46.6	53.2	1326.4	1404.7
2011/9/4 6:00	27.5	25.6	1882.0	1824.4	32.1	34.4	1505.5	1496.3	27.5	30.5	1353.8	1435.2
2011/9/4 7:00	23.0	20.0	1905.0	1844.4	29.0	30.5	1534.6	1526.7	16.7	21.8	1370.5	1457.0
2011/9/4 8:00	25.8	22.2	1930.8	1866.6	25.2	20.4	1559.8	1547.1	24.3	25.1	1394.8	1482.2
2011/9/4 9:00	26.5	21.2	1957.2	1887.8	28.4	27.5	1588.2	1574.6	38.3	38.0	1433.2	1520.2
2011/9/4 10:00	15.7	12.8	1972.9	1900.5	13.4	13.4	1601.5	1588.1	16.4	13.6	1449.6	1533.8
2011/9/4 11:00	3.7	3.4	1976.6	1903.9	10.3	10.0	1611.8	1598.1	8.0	7.5	1457.5	1541.3
2011/9/4 12:00	6.6	7.0	1983.2	1910.9	6.7	6.9	1618.6	1604.9	5.2	6.3	1462.7	1547.6
2011/9/4 13:00	5.4	5.3	1988.6	1916.2	8.2	7.5	1626.8	1612.4	5.9	5.6	1468.7	1553.2
2011/9/4 14:00	5.6	5.2	1994.2	1921.4	6.0	8.0	1632.8	1620.4	3.2	6.5	1471.9	1559.7
2011/9/4 15:00	5.5	6.5	1999.8	1927.9	4.6	5.9	1637.4	1626.2	3.2	3.5	1475.0	1563.2
2011/9/4 16:00	2.1	2.0	2001.8	1929.9	9.0	7.8	1646.4	1634.0	1.1	2.3	1476.1	1565.4
2011/9/4 17:00	0.5	0.6	2002.3	1930.5	1.9	4.0	1648.3	1638.0	1.1	1.8	1477.2	1567.2
2011/9/4 18:00	2.0	1.2	2004.3	1931.7	0.9	0.8	1649.1	1638.8	0.0	0.2	1477.2	1567.5
2011/9/4 19:00	0.0	0.0	2004.4	1931.7	0.0	0.0	1649.1	1638.8	0.0	0.0	1477.2	1567.5
2011/9/4 20:00	0.0	0.0	2004.4	1931.7	0.0	0.1	1649.1	1638.9	0.0	0.0	1477.2	1567.5
2011/9/4 21:00	0.0	0.0	2004.4	1931.7	0.0	0.0	1649.2	1638.9	0.0	0.0	1477.2	1567.5
2011/9/4 22:00	0.1	0.0	2004.5	1931.7	0.2	0.0	1649.3	1638.9	0.0	0.0	1477.2	1567.5
2011/9/4 23:00	0.0	0.0	2004.5	1931.7	0.3	0.2	1649.6	1639.1	0.1	0.2	1477.3	1567.8
2011/9/5 0:00	0.2	0.0	2004.6	1931.8	1.1	1.1	1650.6	1640.2	2.0	2.3	1479.3	1570.1
2011/9/5 1:00	0.4	0.5	2005.1	1932.2	2.8	2.9	1653.5	1643.1	3.0	3.2	1482.3	1573.3
2011/9/5 2:00	1.8	1.5	2006.9	1933.7	1.6	2.1	1655.1	1645.1	0.9	1.2	1483.3	1574.5
2011/9/5 3:00	0.2	0.5	2007.1	1934.2	0.0	0.3	1655.1	1645.4	0.0	0.0	1483.3	1574.5
2011/9/5 4:00	0.0	0.0	2007.1	1934.2	0.0	0.0	1655.1	1645.4	0.0	0.0	1483.3	1574.5
2011/9/5 5:00	0.0	0.0	2007.1	1934.2	0.1	0.0	1655.2	1645.4	0.0	0.0	1483.3	1574.5
2011/9/5 6:00	0.0	0.0	2007.1	1934.2	0.0	0.0	1655.2	1645.4	0.0	0.0	1483.3	1574.5
2011/9/5 7:00	0.0	0.0	2007.1	1934.3	0.0	0.0	1655.2	1645.4	0.0	0.0	1483.3	1574.5
2011/9/5 8:00	0.0	0.0	2007.1	1934.3	0.0	0.0	1655.2	1645.4	0.0	0.0	1483.3	1574.5
2011/9/5 9:00	0.0	0.0	2007.1	1934.3	0.0	0.0	1655.2	1645.4	0.0	0.0	1483.3	1574.5
2011/9/5 10:00	0.0	0.0	2007.1	1934.3	0.3	0.0	1655.4	1645.4	0.0	0.0	1483.3	1574.5
2011/9/5 11:00	0.0	0.0	2007.1	1934.3	0.0	0.0	1655.4	1645.4	0.0	0.0	1483.3	1574.5
2011/9/5 12:00	0.0	0.0	2007.1	1934.3	0.0	0.0	1655.4	1645.4	0.0	0.0	1483.3	1574.5
2011/9/5 13:00	0.0	0.0	2007.2	1934.3	0.0	0.0	1655.4	1645.4	0.0	0.0	1483.3	1574.5
2011/9/5 14:00	0.2	0.0	2007.3	1934.3	0.0	0.0	1655.4	1645.4	0.0	0.0	1483.3	1574.5
2011/9/5 15:00	0.0	0.0	2007.3	1934.3	0.0	0.0	1655.4	1645.4	0.0	0.0	1483.3	1574.5
2011/9/5 16:00	0.0	0.0	2007.3	1934.3	0.0	0.0	1655.4	1645.4	0.0	0.0	1483.3	1574.5
2011/9/5 17:00	0.0	0.0	2007.3	1934.3	0.0	0.0	1655.4	1645.4	0.0	0.0	1483.3	1574.5
2011/9/5 18:00	0.2	0.2	2007.5	1934.5	0.1	0.0	1655.5	1645.4	0.0	0.0	1483.3	1574.5
2011/9/5 19:00	0.0	0.0	2007.5	1934.5	0.0	0.0	1655.5	1645.4	0.0	0.0	1483.3	1574.5
2011/9/5 20:00	0.0	0.0	2007.6	1934.5	0.0	0.0	1655.5	1645.4	0.0	0.0	1483.3	1574.5
2011/9/5 21:00	0.0	0.0	2007.6	1934.6	0.0	0.0	1655.5	1645.4	0.0	0.0	1483.3	1574.5
2011/9/5 22:00	0.0	0.0	2007.6	1934.6	0.0	0.0	1655.5	1645.4	0.0	0.0	1483.3	1574.5
2011/9/5 23:00	0.0	0.0	2007.6	1934.6	0.0	0.0	1655.5	1645.4	0.0	0.0	1483.3	1574.5
2011/9/6 0:00	0.0	0.0	2007.6	1934.6	0.0	0.0	1655.5	1645.4	0.0	0.0	1483.3	1574.5

(2) 近傍観測所におけるハイエトグラフの確認

今回使用する地上雨量観測所のデータについて異常が無いか確認するため、近傍観測所のハイエトグラフの比較、検証を行った。対象観測所は、十津川流域、北山川流域、合流点下流域の各流域にて最も観測所間距離の短い以下の観測所とした。

- ・十津川流域 … 風屋(気象庁)、風屋(電源開発(株)) (2点間距離: 370m)
- ・北山川流域 … 育生(三重県)、尾川(電源開発(株)) (2点間距離: 633m)
- ・合流点下流域 … 桐原 2(国土交通省)、平尾井(国土交通省) (2点間距離: 2,077m)

注) 2点間距離は、図上計測による

また、対象洪水は、近年10ヶ年の主要洪水を対象に観測所雨量の整備状況等を勘案し、以下のとおりとした。

- ・十津川流域(風屋(気象庁)、風屋(電源開発(株)))… H23.7洪水、H23.9洪水
H25.9洪水、H27.7洪水
- ・北山川流域(育生(三重県)、尾川(電源開発(株)))… H23.7洪水、H23.9洪水
H25.9洪水、H27.7洪水
- ・合流点下流域(桐原 2(国土交通省)、平尾井(国土交通省))
… H23.7洪水、H23.9洪水
H25.9洪水、H27.7洪水

その結果、近傍雨量観測所の時間雨量の相関係数は0.933~0.995と高く、同様の降雨分布を示していることから、いずれの観測所においても精度が保たれていることが確認された。

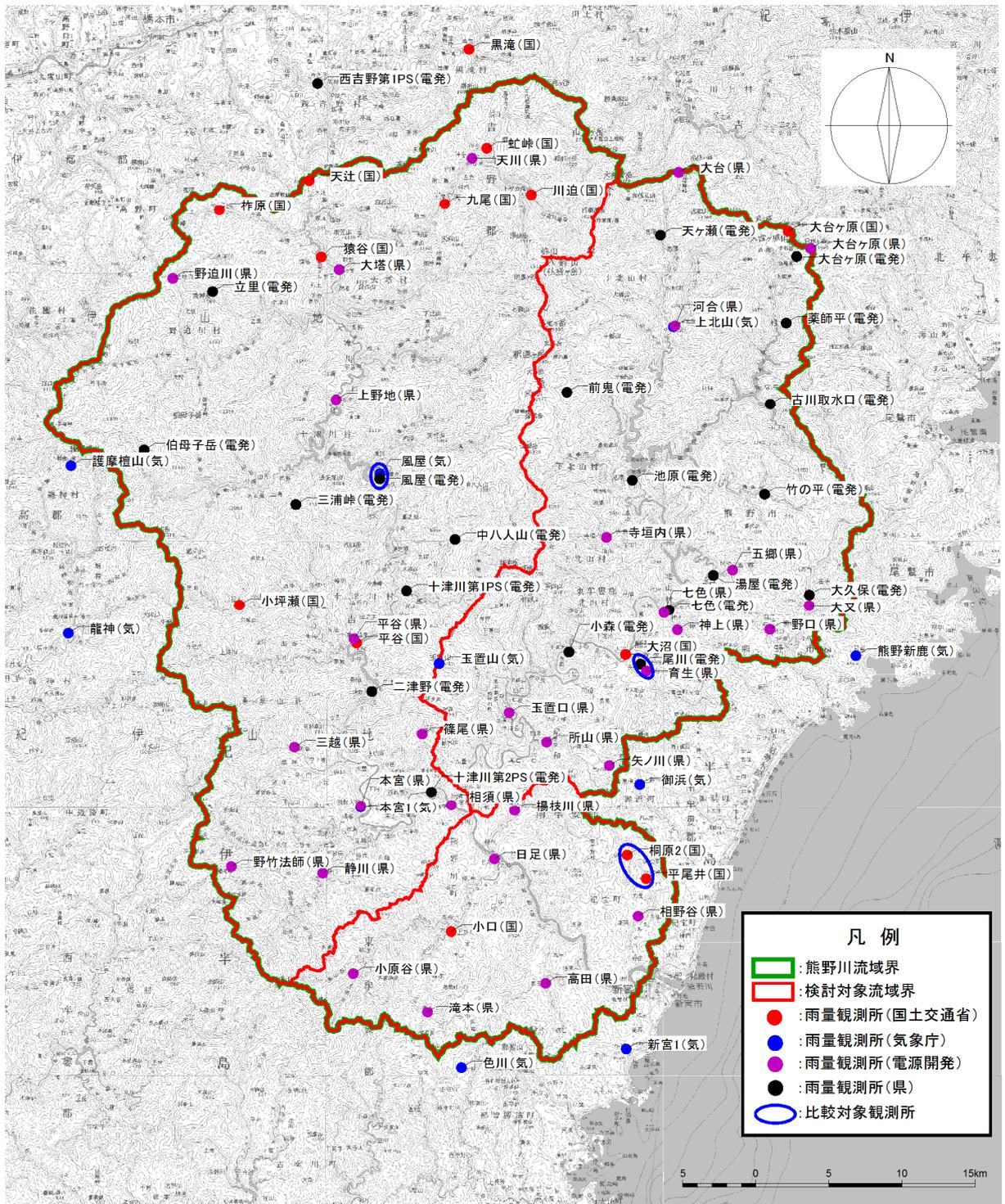


図 1-9 対象雨量観測所位置図

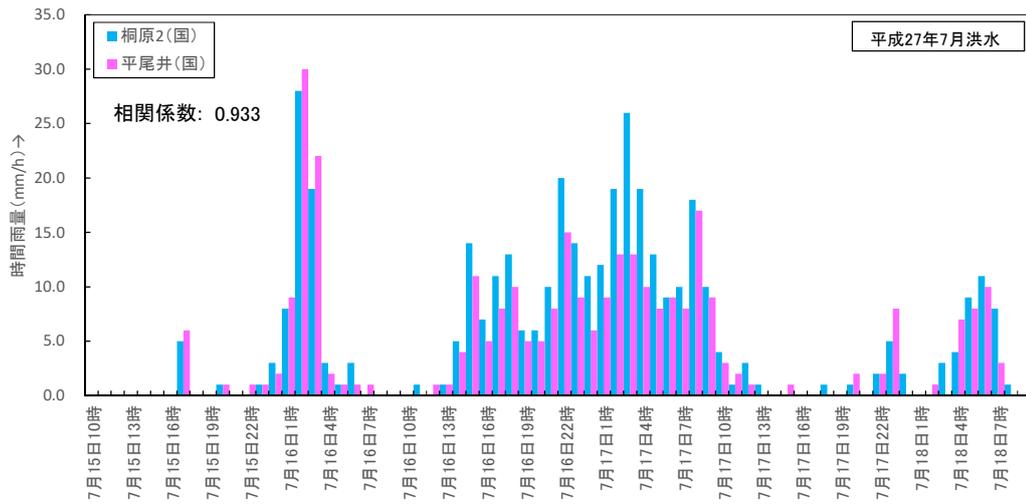
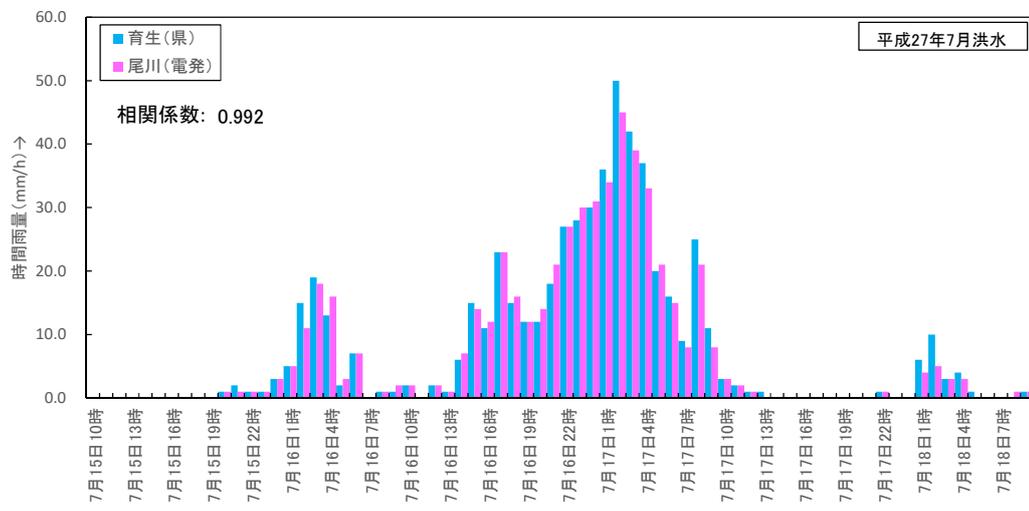
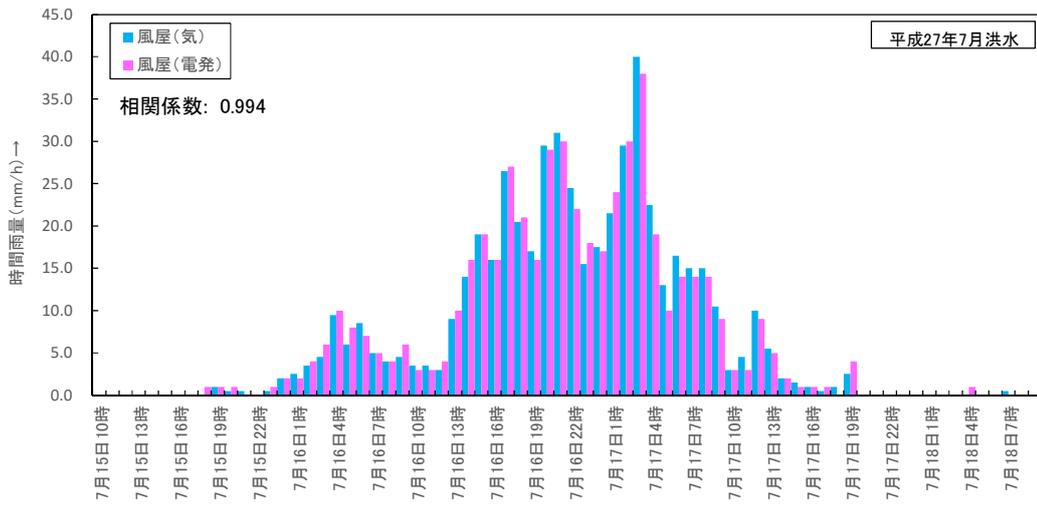


図 1-10 (1) 近傍観測所における降雨ハイトグラフの比較

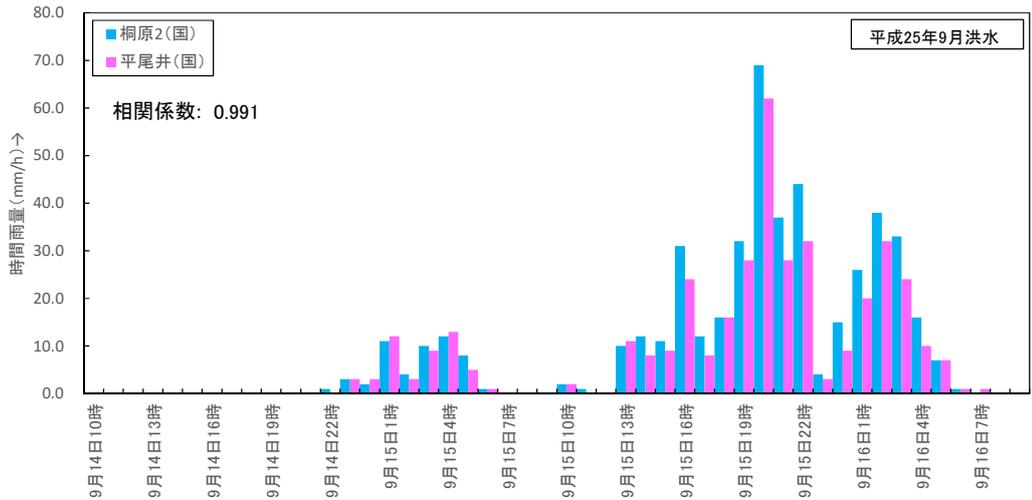
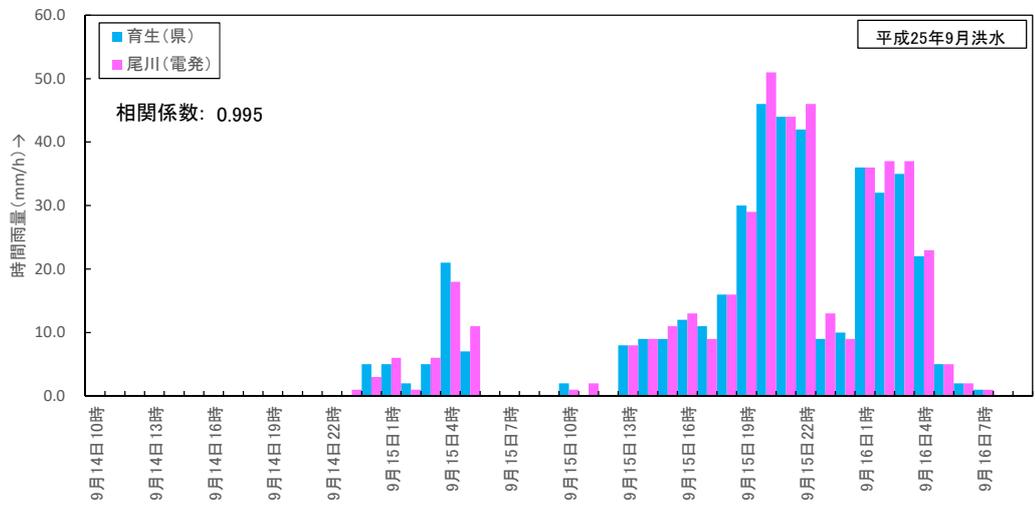
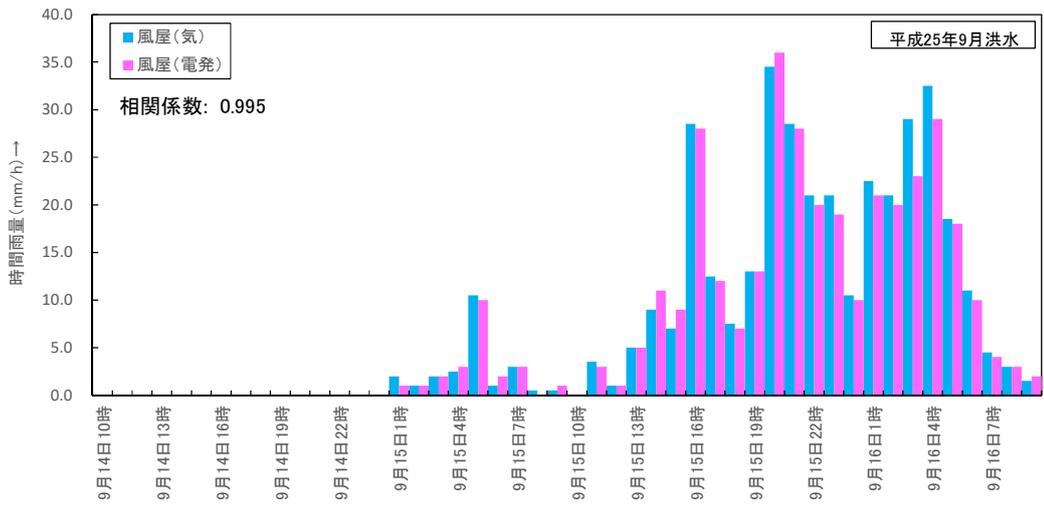


図 1-10 (2) 近傍観測所における降雨ハイトグラフの比較

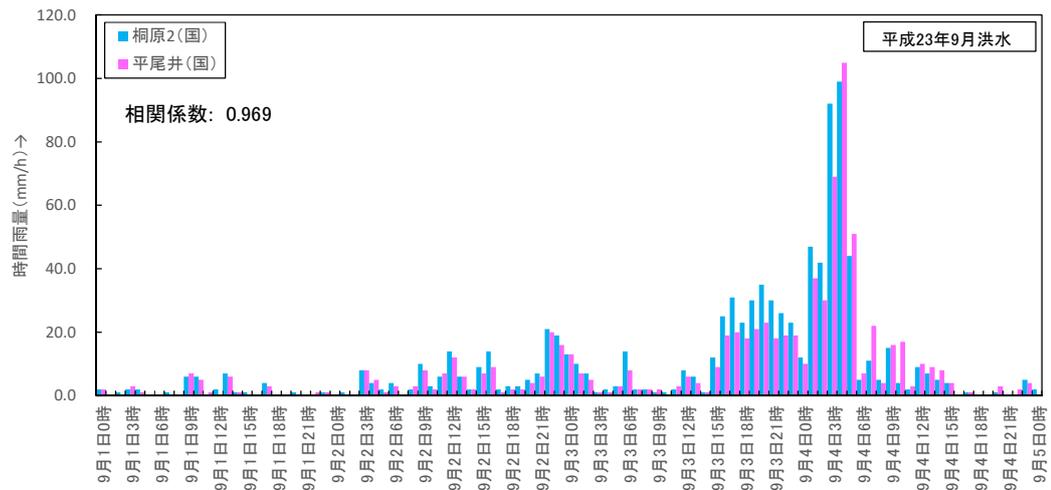
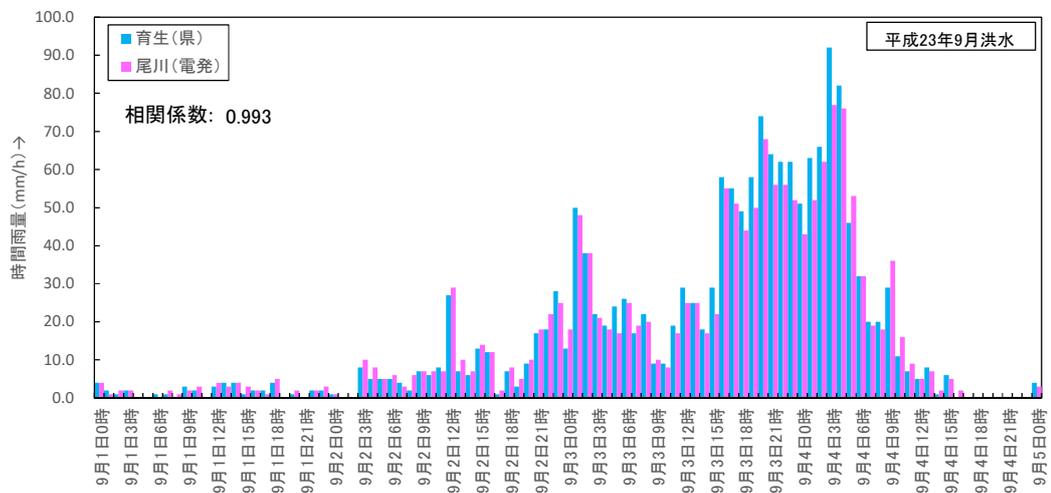
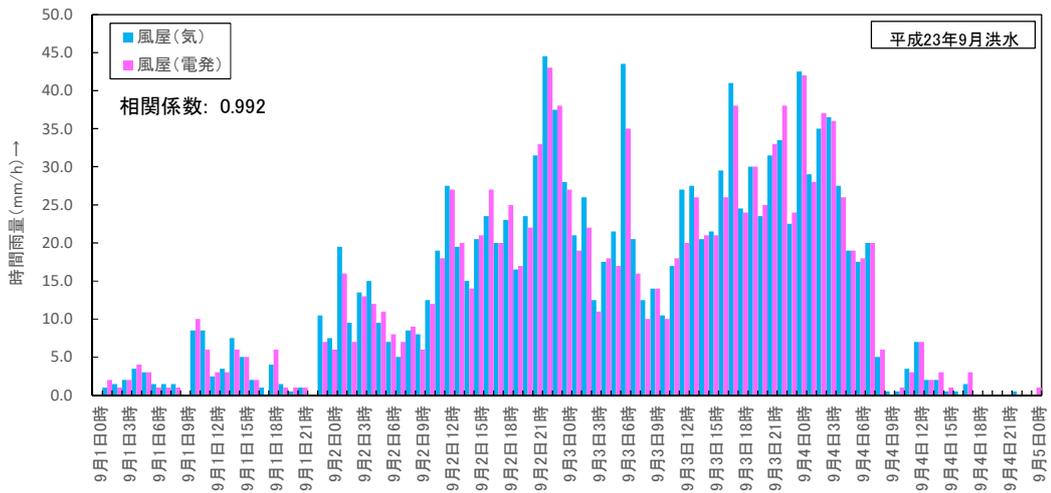


図 1-10 (3) 近傍観測所における降雨ハイトグラフの比較

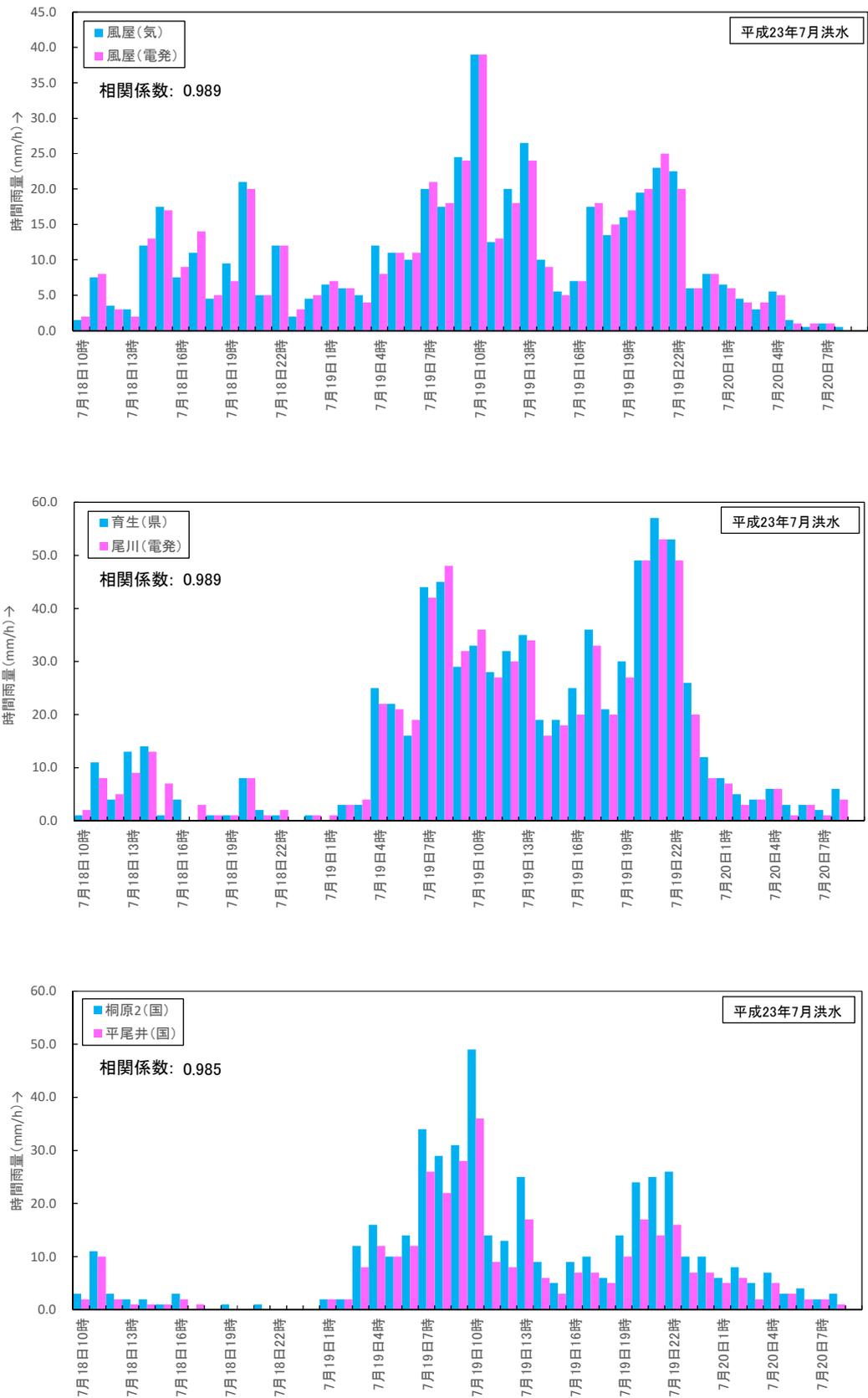


図 1-10(4) 近傍観測所における降雨ハイトグラフの比較

(3) 流域内のダム地点における流入量と雨量の関係

1) 流入量と雨量の整理方法

地上観測雨量とダム地点流量の妥当性を確認するため、雨量データから算出したボリュームとダム運用データから算出したボリュームを整理した（図 1-11）。

検証対象洪水は、相賀地点で比較的大きな流量を生起した主要12洪水とし、検討対象地点は、熊野川流域内の7つのダム（十津川筋：猿谷ダム、風屋ダム、二津野ダム、北山川筋：坂本ダム、池原ダム、七色ダム、小森ダム）とした（図 1-12、表 1-2）。

各ダム地点の流出率は、対象とした各流域の雨量ボリューム、流出量ボリュームを下記の算定方法にて算出し求めた。雨量ボリュームについては、損失雨量を考慮しないこととした。また、比較対象期間におけるダム運用データに欠測や数値異常を含む洪水については、検討対象外とした。

<算定方法>

$$\text{流出率 } f = V / R$$

$$\text{ダム運用データからのボリューム } V = (i - ii - iii) \times 3600$$

$$\text{流域平均雨量からのボリューム } R = iv \times (\text{対象流域面積}) (\text{km}^2) \times 10^3$$

ここに、i…ダム流入量 (m³/s-h)、ii…基底流量 (m³/s-h)

iii…上流ダム放流量 (m³/s-h)、iv…ダム残流域平均雨量 (mm/h)

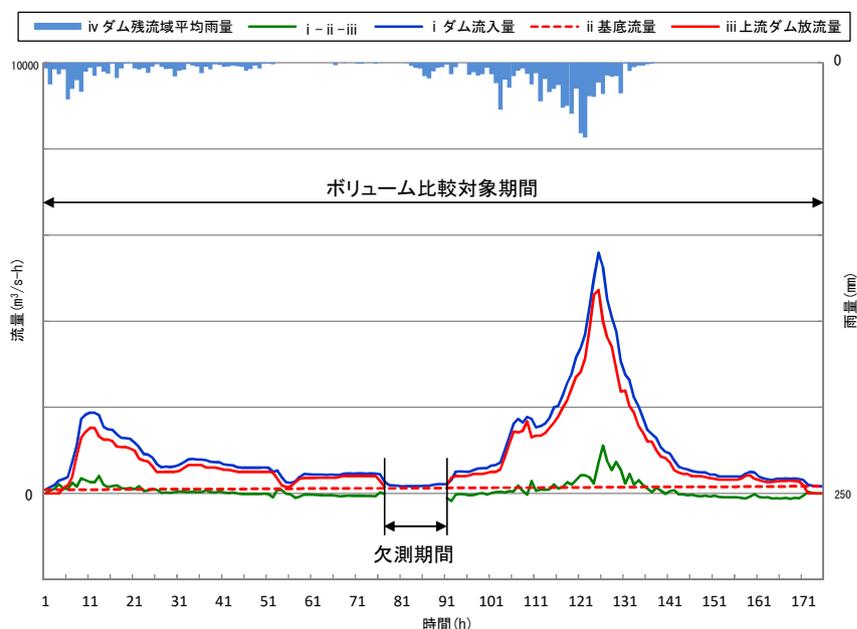


図 1-11 流域平均雨量とダム地点流量比較の概念図

※ダム残流域平均雨量から算出したボリュームとダム運用データ（図上 i・ii・iii）から算出したボリュームを比較。ただし、欠測や数値異常がある場合は検討対象外とする。

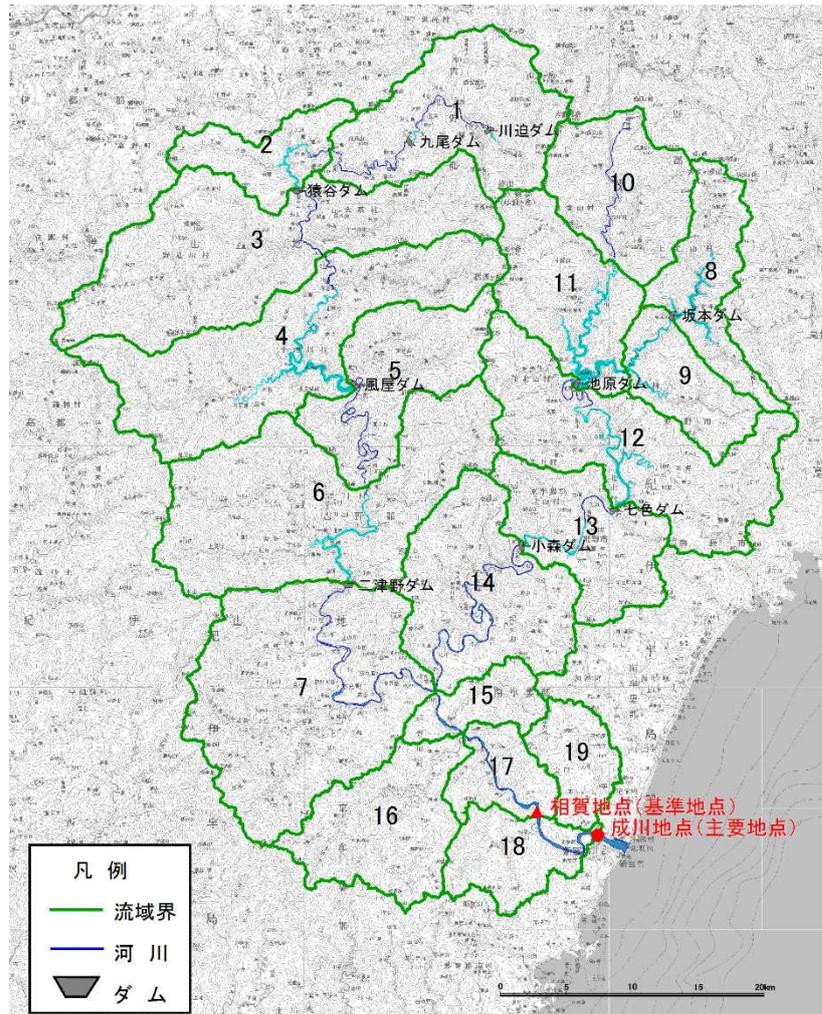


図 1-12 熊野川流域のダム位置図

表 1-2 熊野川流域のダム諸元

対象流域		十津川流域		
対象ダム		猿谷ダム	風屋ダム	二津野ダム
管理		国交省	電源開発	電源開発
竣工年		S32	S35	S36
河川名		熊野川	熊野川	熊野川
ダム諸元	使用水量(m ³ /s)	16.7	60.0	75.0
	洪水量(m ³ /s)	1,000	1,500	2,000
	設計洪水量(m ³ /s)	2,060	5,200	9,600
	設計洪水位(EL.m)	436.0	295.6	134.5
	常時満水位(EL.m)	436.0	295.0	132.5
	予備放流水位(EL.m)	432.0	291.0	—
	最低水位(EL.m)	412.0	265.0	127.5
	越流頂の標高(EL.m)	425.5	281.7	121.0
有効貯水量(m ³)	17,300,000	89,000,000	11,000,000	

対象流域		北山川流域			
対象ダム		坂本ダム	池原ダム	七色ダム	小森ダム
管理		電源開発	電源開発	電源開発	電源開発
竣工年		S37	S39	S40	S40
河川名		東の川	北山川	北山川	北山川
ダム諸元	使用水量(m ³ /s)	21.0	342.0	140.0	74.0
	洪水量(m ³ /s)	400	1,500	2,000	2,400
	設計洪水量(m ³ /s)	1,500	6,700	10,000	12,000
	設計洪水位(EL.m)	391.4	318.0	188.4	118.0
	常時満水位(EL.m)	387.5	318.0	190.0	118.0
	予備放流水位(EL.m)	—	315.8	188.4	117.5
	最低水位(EL.m)	347.5	283.0	186.5	113.0
	越流頂の標高(EL.m)	387.5 (中央) 389.0 (両端)	301.2	175.6	101.0
	有効貯水量(m ³)	68,000,000	220,000,000	10,700,000	4,700,000

2) 流出率算定結果

各ダム地点における流出率の算出結果を図 1-13 に示す。表中のグレーに着色している洪水は、データが一部欠測のため検討不能となった洪水である。

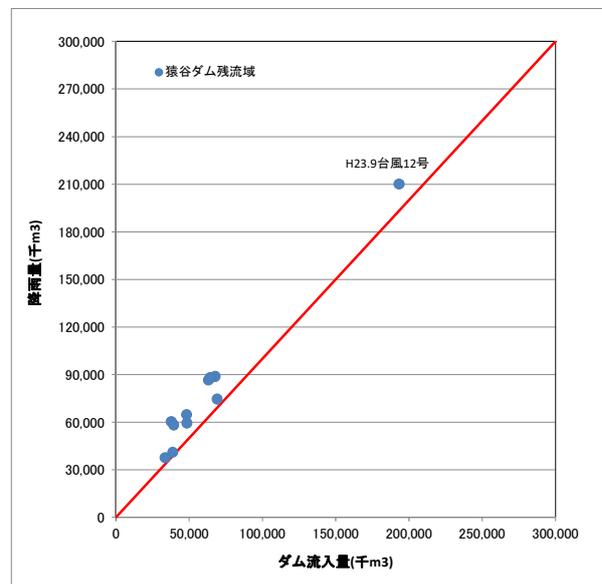
風屋ダム残流域については、前述の地上観測雨量の妥当性の確認結果より、地上観測雨量とレーダ雨量における流出率を算出（平成 23 年（2011 年）9 月洪水）した。

一般に流出率は 1.0 未満の値となる中、平成 23 年（2011 年）9 月洪水による風屋ダム残流域の地上観測雨量の流出率が大きく 1.0 を上回る結果となり、レーダ雨量による流出率は 1.0 を下回り、妥当であることが確認された。

したがって、風屋ダム残流域（流域番号 3、4）ではレーダ雨量を用いることとした。

<猿谷ダム>

No.	洪水名	ダム流入量(m ³)	降雨量(m ³)	流出率	欠測
1	S430727	37,855,800	60,328,199	0.63	
2	S500821				あり
3	H020918	69,145,614	74,588,014	0.93	
4	H060928	38,749,068	41,087,512	0.94	
5	H090725	48,291,426	64,832,618	0.74	
6	H130820	39,469,748	58,275,107	0.68	
7	H150807	48,427,272	59,518,288	0.81	
8	H160803	33,639,975	37,705,685	0.89	
9	H230718	63,237,888	86,537,667	0.73	
10	H230902	193,319,424	210,122,661	0.92	
11	H250914	67,781,700	88,899,569	0.76	
12	H270715	64,383,579	87,997,178	0.73	



<風屋ダム>

No.	洪水名	ダム流入量(m ³)	降雨量(m ³)	流出率	欠測
1	S430727				あり
2	S500821	170,661,384	187,658,425	0.91	
3	H020918	165,249,798	204,868,934	0.81	
4	H060928	65,743,495	99,618,821	0.66	
5	H090725	134,005,913	176,319,995	0.76	
6	H130820	79,035,697	125,676,742	0.63	
7	H150807	134,531,594	156,692,484	0.86	
8	H160803	57,378,896	85,145,600	0.67	
9	H230718	166,796,477	181,115,160	0.92	
10	H230902	493,458,387	430,230,747	1.15	
11	H250914	122,040,071	167,321,806	0.73	
12	H270715	161,763,727	174,947,467	0.92	

レーダ雨量					
10	H230902	493,458,387	585,928,560	0.84	

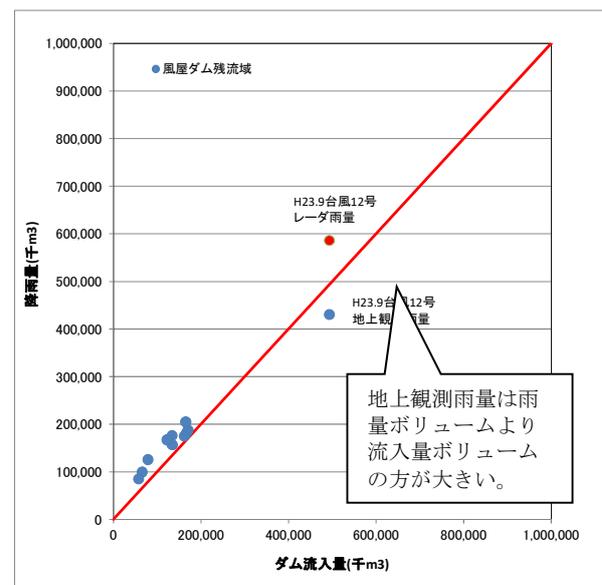
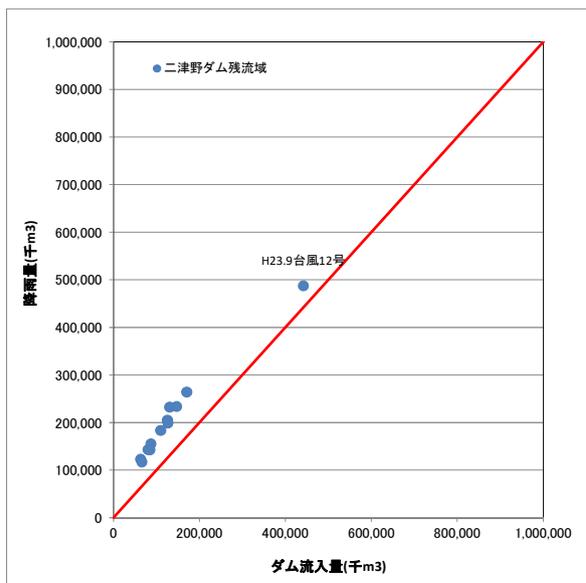


図 1-13(1) ダム地点における流入量と降雨量の関係

<二津野ダム>

No.	洪水名	ダム流入量(m ³)	降雨量(m ³)	流出率	欠測
1	S430727	130,813,616	232,168,248	0.56	
2	S500821	125,501,003	205,001,888	0.61	
3	H020918	170,630,123	264,051,964	0.65	
4	H060928	63,295,435	123,211,244	0.51	
5	H090725	110,124,638	183,702,764	0.60	
6	H130820	80,429,596	143,205,628	0.56	
7	H150807	87,398,173	155,379,048	0.56	
8	H160803	66,194,784	117,289,184	0.56	
9	H230718	147,137,720	233,679,824	0.63	
10	H230902	441,842,583	487,406,720	0.91	
11	H250914	84,892,452	142,610,396	0.60	
12	H270715	126,584,119	199,291,292	0.64	



<坂本ダム>

No.	洪水名	ダム流入量(m ³)	降雨量(m ³)	流出率	欠測
1	S430727				あり
2	S500821	46,187,164	55,718,278	0.83	
3	H020918	61,853,282	72,599,219	0.85	
4	H060928	53,147,340	74,181,261	0.72	
5	H090725	63,671,760	76,638,562	0.83	
6	H130820	62,125,560	76,358,359	0.81	
7	H150807	28,633,320	39,502,155	0.72	
8	H160803	33,996,960	49,779,961	0.68	
9	H230718	62,905,140	84,522,361	0.74	
10	H230902	139,832,424	174,765,360	0.80	
11	H250914	51,368,567	65,495,430	0.78	
12	H270715	57,181,898	69,776,014	0.82	

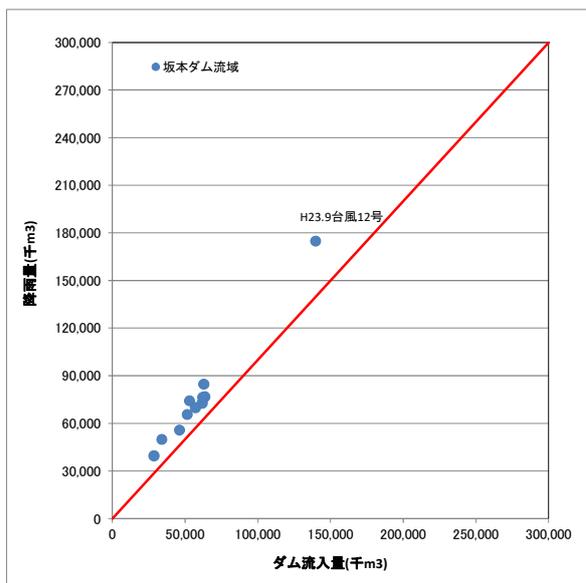
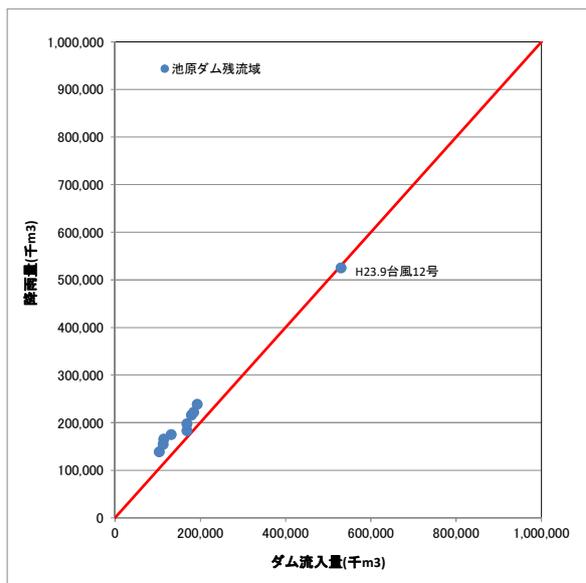


図 1-13(2) ダム地点における流入量と降雨量の関係

<池原ダム>

No.	洪水名	ダム流入量(m ³)	降雨量(m ³)	流出率	欠測
1	S430727				あり
2	S500821				あり
3	H020918	179,283,379	216,007,647	0.83	
4	H060928	113,965,920	165,319,971	0.69	
5	H090725	184,206,970	221,757,336	0.83	
6	H130820	131,731,652	175,105,550	0.75	
7	H150807	103,760,224	138,560,940	0.75	
8	H160803	168,842,116	183,007,529	0.92	
9	H230718	192,839,648	238,581,208	0.81	
10	H230902	529,702,487	525,391,440	1.01	
11	H250914	112,365,862	154,707,270	0.73	
12	H270715	168,813,063	197,406,820	0.86	



<七色ダム>

No.	洪水名	ダム流入量(m ³)	降雨量(m ³)	流出率	欠測
1	S430727	149,212,690	184,508,825	0.81	
2	S500821				あり
3	H020918				あり
4	H060928	62,305,142	78,225,215	0.80	
5	H090725	96,063,570	131,733,690	0.73	
6	H130820	101,646,180	119,116,875	0.85	
7	H150807	56,499,396	72,629,520	0.78	
8	H160803	61,329,722	99,150,565	0.62	
9	H230718	102,394,827	130,627,205	0.78	
10	H230902				あり
11	H250914	50,575,860	60,388,810	0.84	
12	H270715	66,026,394	100,265,005	0.66	

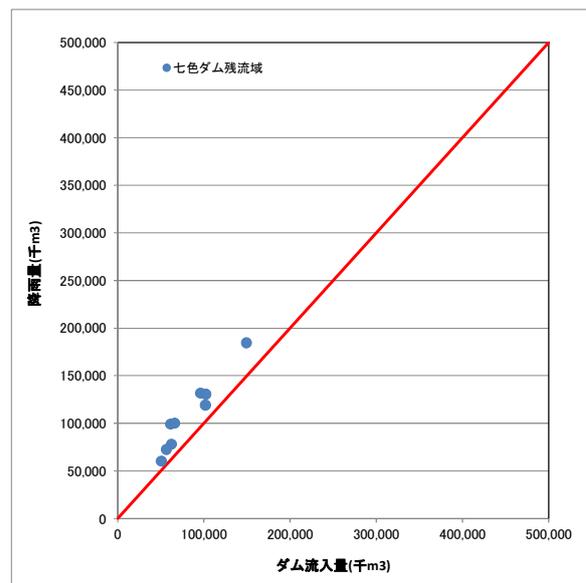


図 1-13(3) ダム地点における流入量と降雨量の関係

<小森ダム>

No.	洪水名	ダム流入量(m ³)	降雨量(m ³)	流出率	欠測
1	S430727	54,520,896	76,952,268	0.71	
2	S500821				あり
3	H020918	37,251,210	64,066,812	0.58	
4	H060928	32,858,344	44,824,818	0.73	
5	H090725	51,334,595	61,780,890	0.83	
6	H130820	58,705,773	66,093,144	0.89	
7	H150807	30,142,439	30,553,080	0.99	
8	H160803	60,344,496	92,157,102	0.65	
9	H230718	59,277,807	69,140,190	0.86	
10	H230902	136,817,486	157,552,260	0.87	
11	H250914	31,345,265	38,098,224	0.82	
12	H270715	35,324,100	51,720,120	0.68	

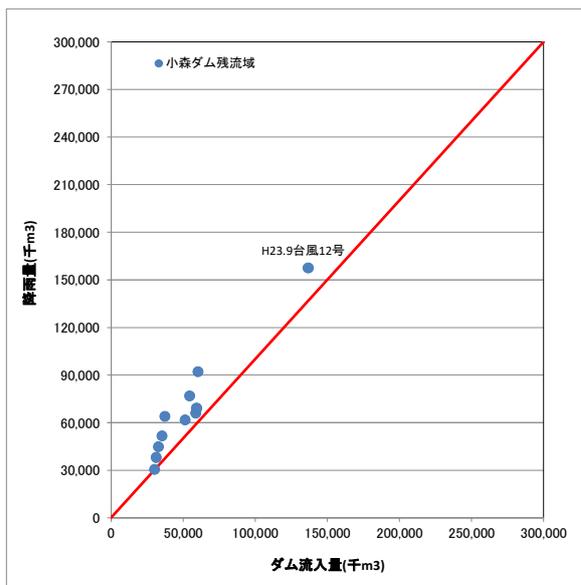


図 1-13(4) ダム地点における流入量と降雨量の関係

(4) 小森ダムの実績放流量の検証

小森ダムは、ダムではあるが、その堤体規模と越流水深の関係から考えると特異なダムだと言える。越流水深が17m (118.0m-101.0m) に対し、ダム高は12.0m (101.0m-89.0m) である。(図 1-14 図 1-15)



図 1-14 小森ダム模式図

平面的には、ダムサイト直下流に急縮地点があり、ダム放流量が大きくなると、ダム越流状況が完全越流となり得ない状況と想定される。

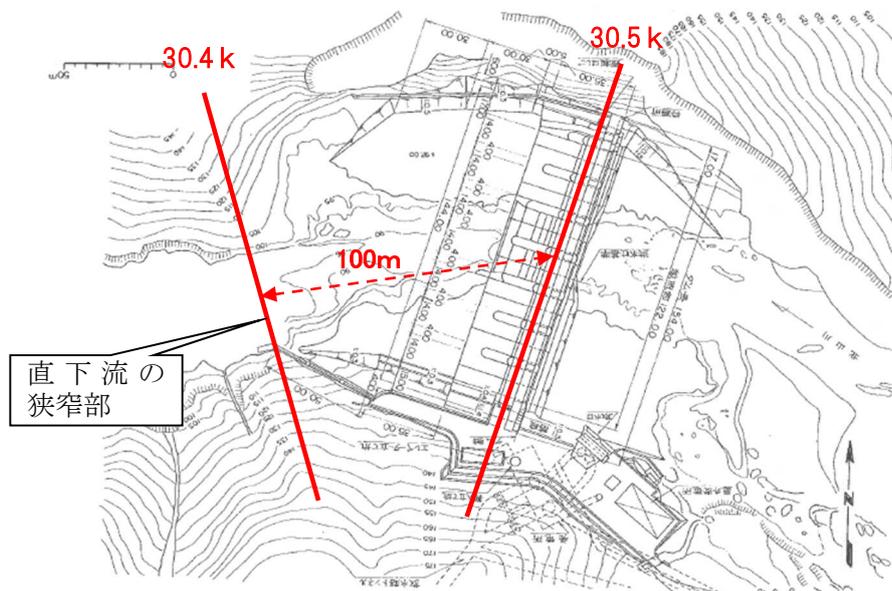


図 1-15 小森ダム平面図

ダムの越流係数は、通常完全越流を目途に定められていることが多く、下流の水位が高い場合に通常の越流係数では放流量が正しく評価されていないと考えられる。このため、ピーク流量時にはダム放流量は下流水位の影響を受けている可能性が高く、実績放流量の数値が過大に評価され、それに伴いダム流入量も過大になっている可能性がある。

既往最大洪水である平成 23 年（2011 年）9 月台風 12 号洪水による小森ダムへの流入量について、実績ダム流入量と流出解析モデルによる計算流量を比較すると、7,000m³/s までの流量では再現性が高く、7,000m³/s を超えると実績値と流出計算値の乖離が見られるようになった。

以上より、小森ダムでは流入量が大きくなると放流量が正しく評価できない可能性があることから、小森ダムの直上流に位置する七色ダムの実績放流量を用いて流出計算を実施することとする。

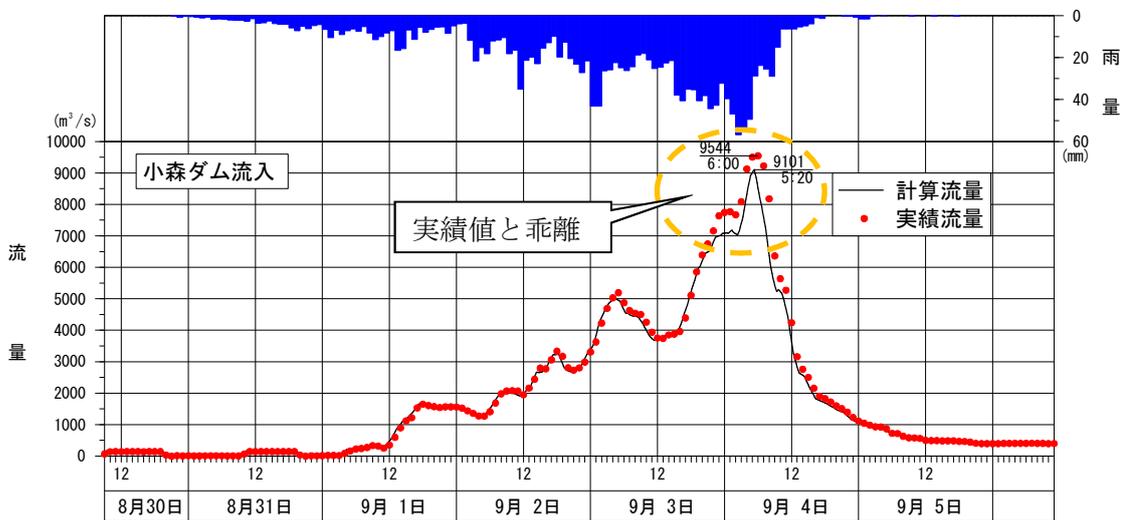


図 1-16 小森ダム実績流入量と計算流量の比較（平成 23 年(2011 年)9 月台風 12 号)

1.5 新たな流出解析モデルの構築

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、モデルの定数（ k, p ）を同定した。

貯留関数の基礎式を下記に示す。貯留関数モデルにおける流域分割は、利水ダムの活用を念頭に各ダム地点でも流域分割を行った。河道モデルでは、河道範囲を限定せず氾濫を考慮した流量と貯留量の関係を算定した。

1.5.1 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、

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

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

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

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/hr)

$q(t)$: 直接流出高(mm/hr), Tl : 遅滞時間(hr), 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】

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

$$\frac{dS_i(t)}{dt} = I(t) - Q_i(t)$$

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

$S_i(t)$: 見かけの貯留量 ($\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{hr}$), $Q_i(t)$: 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 (hr),

K : 定数, P : 定数

1.5.2 モデル分割

流域は 19 分割、河道は 14 分割とする。当該流域はダム湖が長大であるため、ダム湖を河道モデルとして見立て分割を行っている。

熊野川（十津川、北山川）では、水力発電が盛んに行われており、河川より取水がされている。流出モデルには、主要な取水地点を取り込むものとする。なお、モデル同定時のみ実績取水量を考慮するものとし、計画流量算出時には取水は考慮しないものとする。

図 1-17 に流域分割図、図 1-18 に流出モデル模式図を示す。

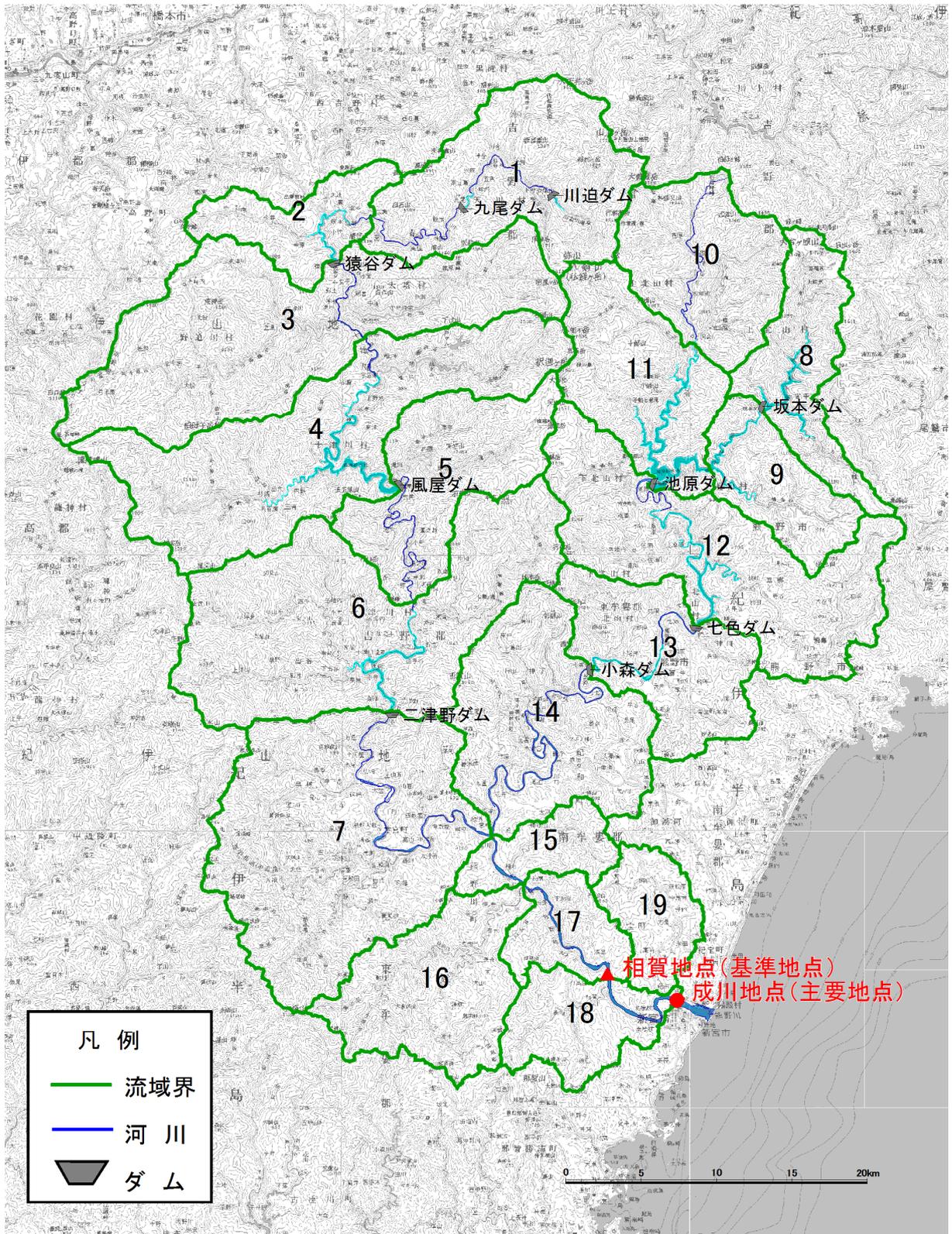


图 1-17 流域分割图

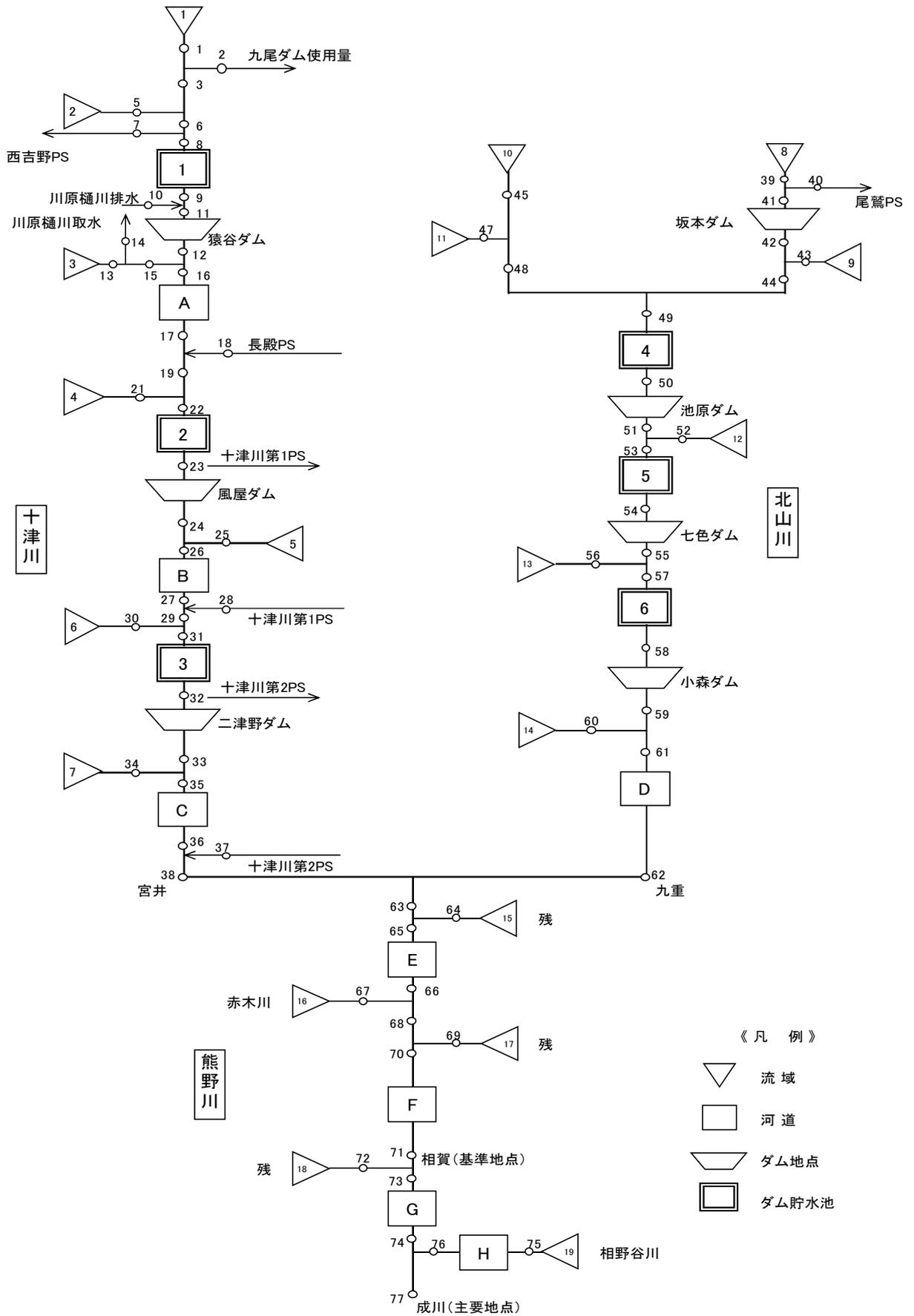


図 1-18 流出モデル模式図

表 1-3 (1) 流域・河道モデル分割諸元 (流域分割)

流域 番号	流域名	流域面積
		(km ²)
1	広瀬地点残流域	161.0
2	猿谷ダム残流域	42.7
3	長殿地点残流域	239.7
4	風屋ダム残流域	217.2
5	滝川流域	110.2
6	二津野ダム残流域	245.8
7	宮井地点残流域	255.4
8	坂本ダム地点	77.0
9	備後川流域	75.8
10	河合地点上流域	101.9
11	池原ダム残流域	99.3
12	七色ダム残流域	185.0
13	小森ダム残流域	102.0
14	九重地点残流域	137.0
15	赤木川合流点残流域	39.0
16	赤木川流域	110.3
17	相賀地点残流域	51.7
18	成川地点残流域	45.4
19	相野谷川流域	45.6
	合計	2342.0

表 1-3 (2) 流域・河道モデル分割諸元 (河道・ダム湖)

河道No.	河道区間	距離(km)
A	猿谷ダム～長殿地点	8.60
B	風屋ダム～大津呂地点	18.00
C	二津野ダム～十津川下流端	24.40
D	小森ダム～北山川下流端	30.20
E	十津川・北山川合流点～赤木川合流点	4.40
F	赤木川合流点～相賀地点	9.20
G	相賀地点～成川地点	7.80
H	相野谷川上流端～合流点	5.70

河道No.	ダム湖区間	距離(km)
1	猿谷ダム	8.76
2	風屋ダム	22.02
3	二津野ダム	14.04
4	池原ダム	15.76
5	七色ダム	21.75
6	小森ダム	13.40

表 1-3 (3) 取水モデル諸元

No.	取水位置	排水位置	最大使用水量 (m ³ /s)
1	猿谷ダム	西吉野P/S (流域外である紀の川への不特定 用水としても利用される)	16.70
2	川原樋川取水堰	猿谷ダム (川原樋川排水)	8.00
3	九尾ダム	長殿P/S	7.49
4	風屋ダム	十津川第一P/S	60.00
5	二津野ダム	十津川第二P/S	75.00
6	坂本ダム	尾鷲P/S (流域外へ)	21.00

1.5.3 定数の設定

(1) 流域定数の設定

1) f1、Rsa の設定

① 定数設定の考え方

熊野川流域では、既設ダムである猿谷ダム、風屋ダム、二津野ダム、坂本ダム、池原ダム、七色ダムが存在し、基準地点相賀にて水位流量観測が行われている。しかし、基準地点相賀は、洪水ピーク時の高水流量観測が行われていない。そのため、f1、Rsa の検討は過去からの流量データが存在する各ダム地点でそれぞれ定数を設定することとした。ただし、各ダムが位置する十津川流域及び北山川流域の中流域は、地形的に変わらないこと及び、流出計算の目的が下流基準地点の流出量を求めることであることより、各中流域の最下流地点（十津川流域：二津野ダム地点、北山川流域：七色ダム地点）を検討対象地点とした。なお、関西電力所轄の川迫ダム、九尾ダム、旭ダム、瀬戸ダムは、ダム規模が小さく、流出モデルにおいて流域分割を行わないため、検討対象外とした。

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表面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、各ダム上流域の f1、Rsa の設定を行った。

② 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－総流出高の偏りが無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。

a) 基準地点相賀で比較的大きな流量を生起した洪水（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
※H20 河川整備基本方針時の流出解析モデルによる計算流量により抽出

b) 近年 10 カ年において、成川水位観測所のはん濫注意水位相当まで水位が到達した洪水もしくは年最大水位を記録した洪水・・・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にて選定した 10 洪水に②の条件に該当する洪水を追加で 7 洪水選定し、計 17 洪水を対象とした（表 1-4）。

表 1-4 f1、Rsa 検討洪水一覧表

No.	洪水名	①主要洪水	②近年10カ年の洪水	
		実績流量 上位10洪水 (相賀)	年最大水位 (相賀)	はん濫注意 水位超過 (成川)
1	S430727	○		
2	H020918	○		
3	H060928	○		
4	H090725	○		
5	H130820	○		
6	H190713		○	○
7	H200918		○	
8	H211006		○	
9	H221008		○	
10	H230718	○		○
11	H230902	○	○	○
12	H230920			○
13	H240618		○	
14	H250914	○	○	○
15	H260808	○	○	○
16	H270715	○	○	○
17	H280919		○	
合計	17	10	10	7

③ 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、流域定数解析等の洪水ごとに $f1$ 、 Rsa 検討地点（十津川：二津野ダム、北山川：七色ダム）のハイドログラフについて、ハイドログラフの低減部の指数低減性を利用する方法^{1),2)}によって、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 1-19）。

なお、雨量の精度により Rsa がマイナスになるケース、検討対象洪水のダム地点データが上流ダムの影響を受け流出成分の分離が困難である場合は、上流ダム地点（猿谷ダム、風屋ダム、坂本ダム、池原ダム）を検討対象地点とした。

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。熊野川では、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、熊野川では、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、熊野川流域は、ダムが多く設置されていることから、ダム下流における $f1$ 、 Rsa の検討では、検討期間の上流ダム群の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。

$f1$ 等解析地点ごとに、流域定数解析洪水ごとに、直接流出開始以前の降雨を初期損失雨量($R0$)と設定。各 $f1$ 等解析地点における各流域定数解析洪水において、降り始めから $R0$ 分の雨量を控除して総降雨量を求める。

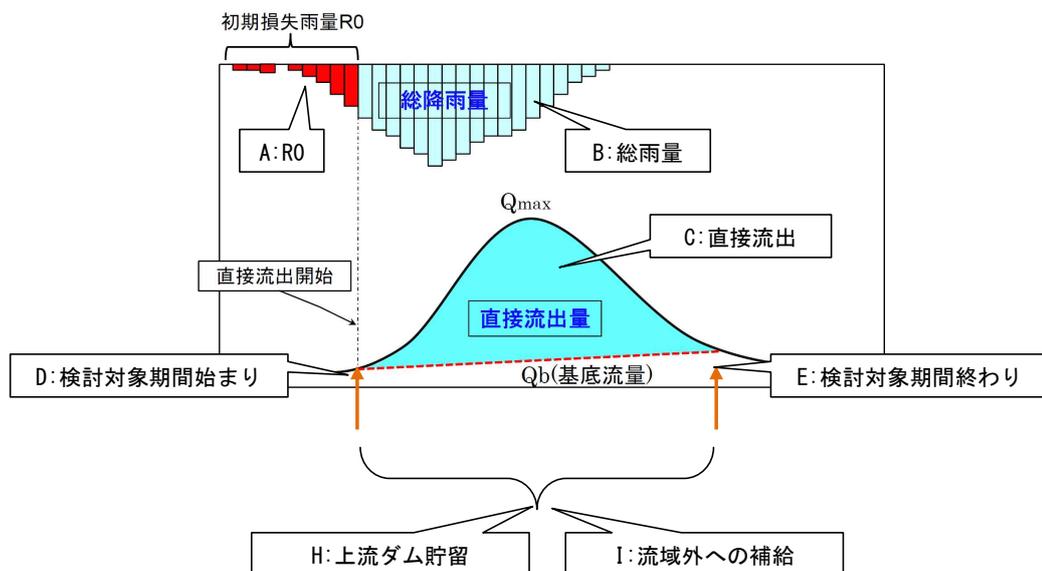


図 1-19 成分分離の概念図

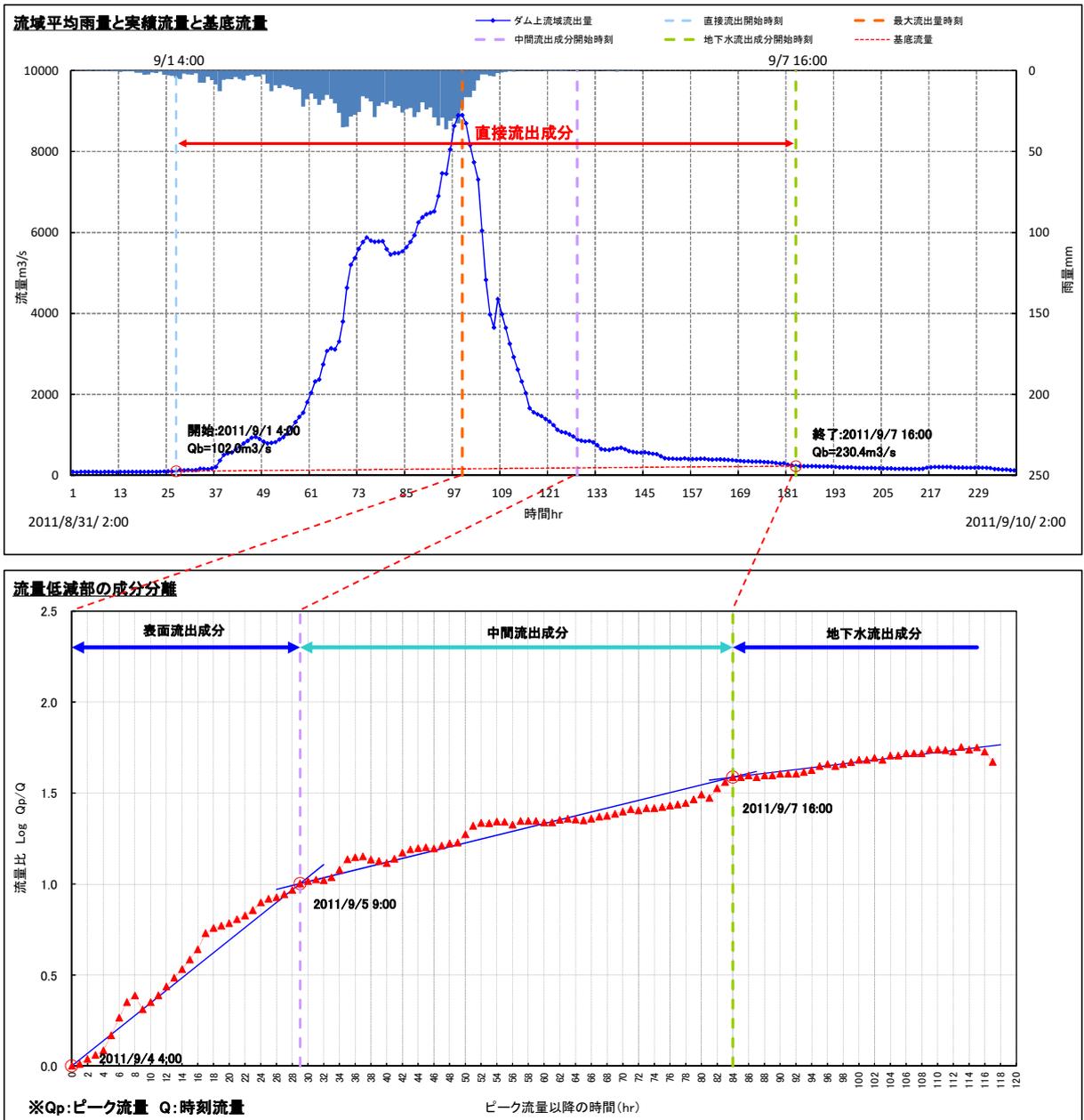


図 1-20(1) 成分分離の事例 (二津野ダム地点 : H23.09.02 洪水)

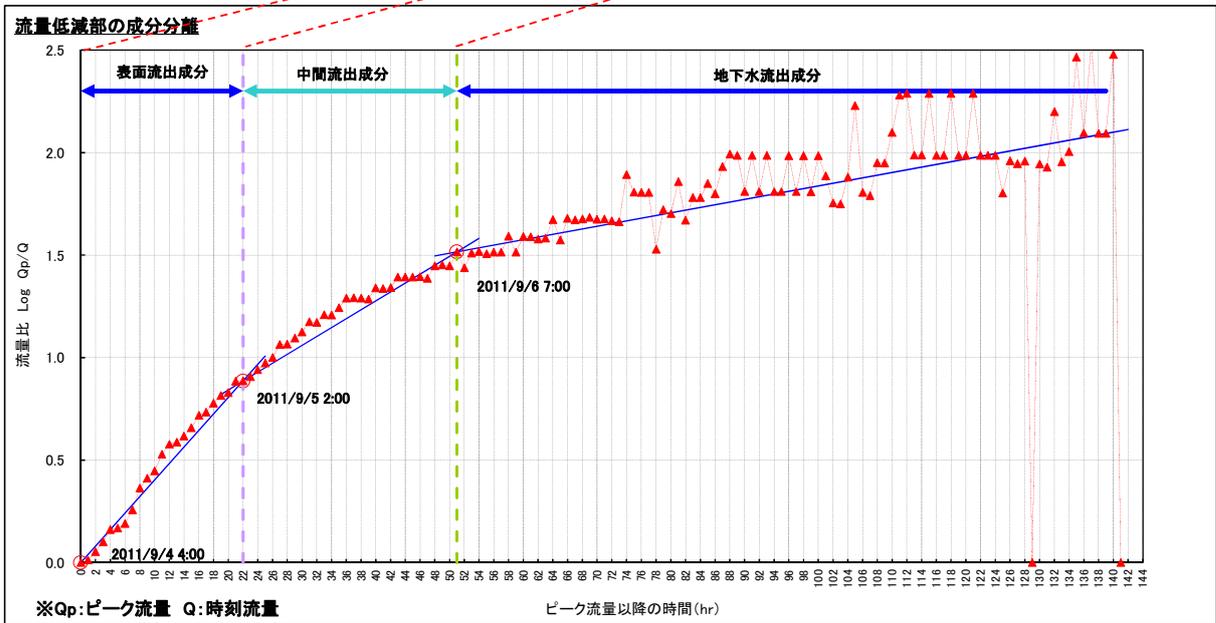
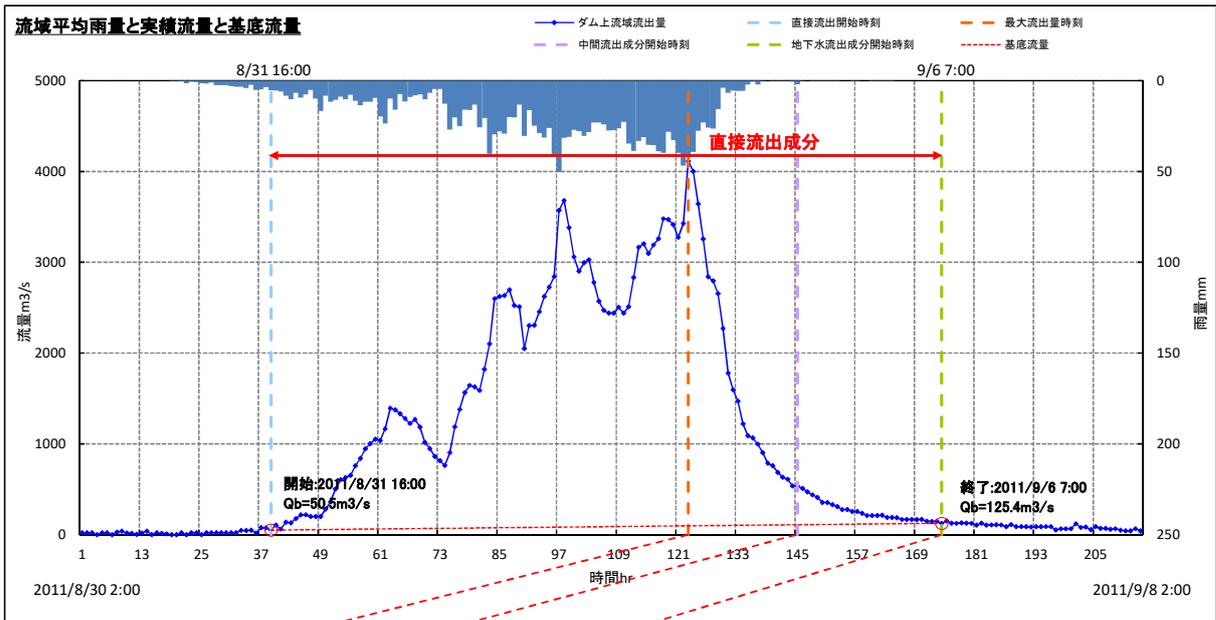


図 1-20 (2) 成分分離の事例 (池原ダム地点 : H23. 09. 02 洪水)

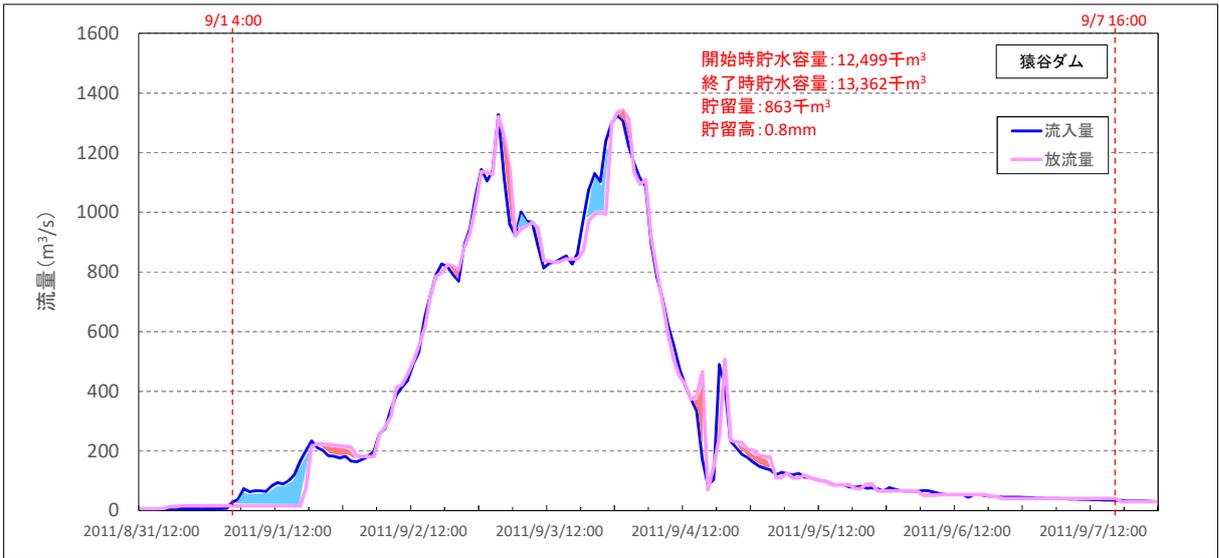


図 1-20 (3) ダム貯留高算定事例 (猿谷ダム地点 : H23.09.02 洪水)

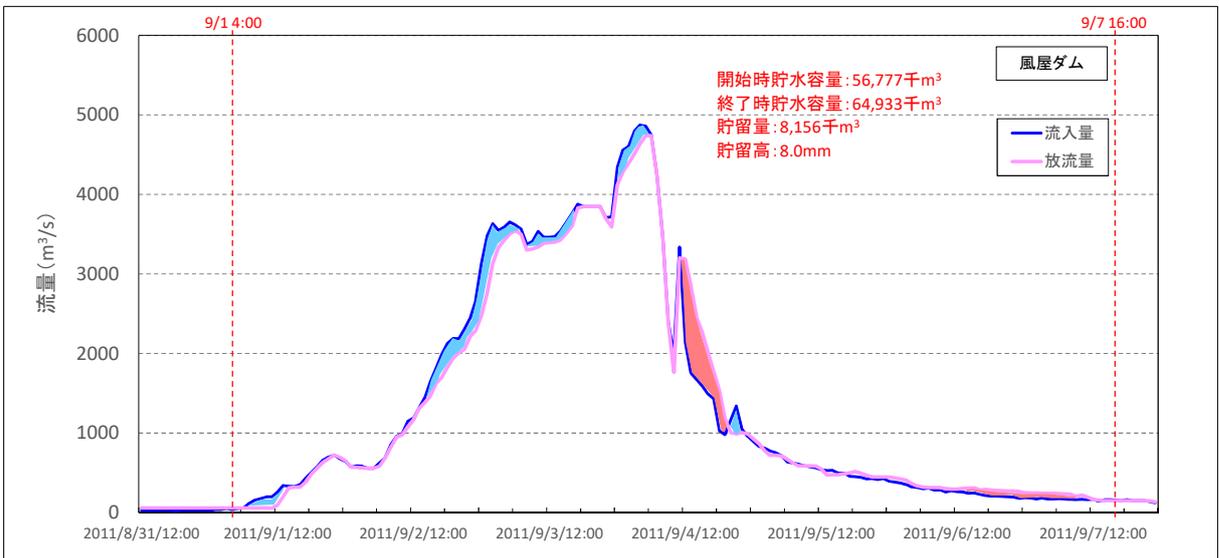


図 1-20 (4) ダム貯留高算定事例 (風屋ダム地点 : H23.09.02 洪水)

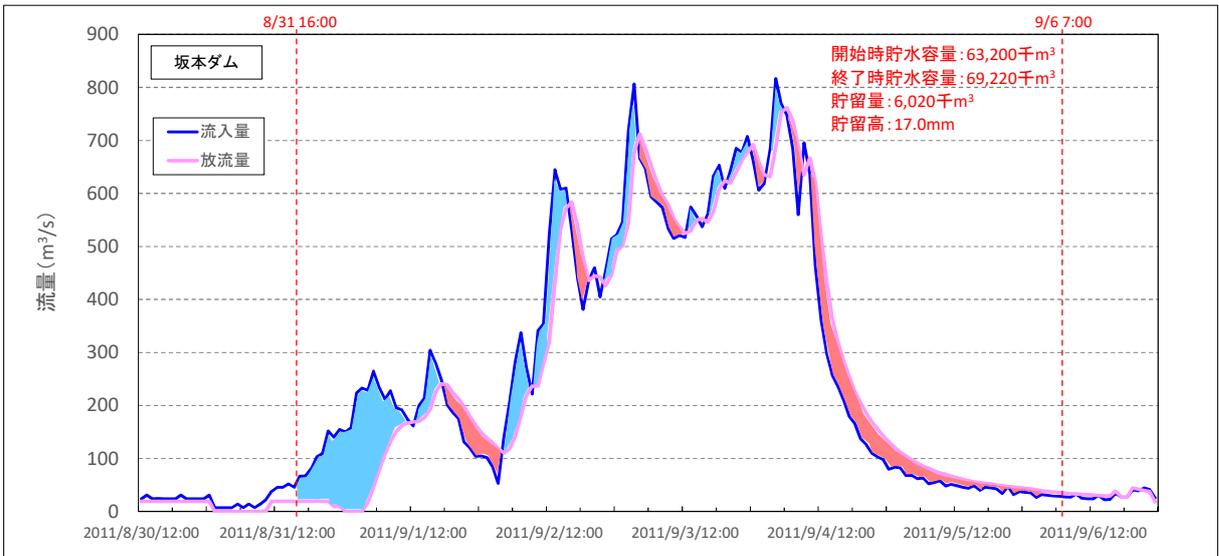


図 1-20 (5) ダム貯留高算定事例 (坂本ダム地点 : H23.09.02 洪水)

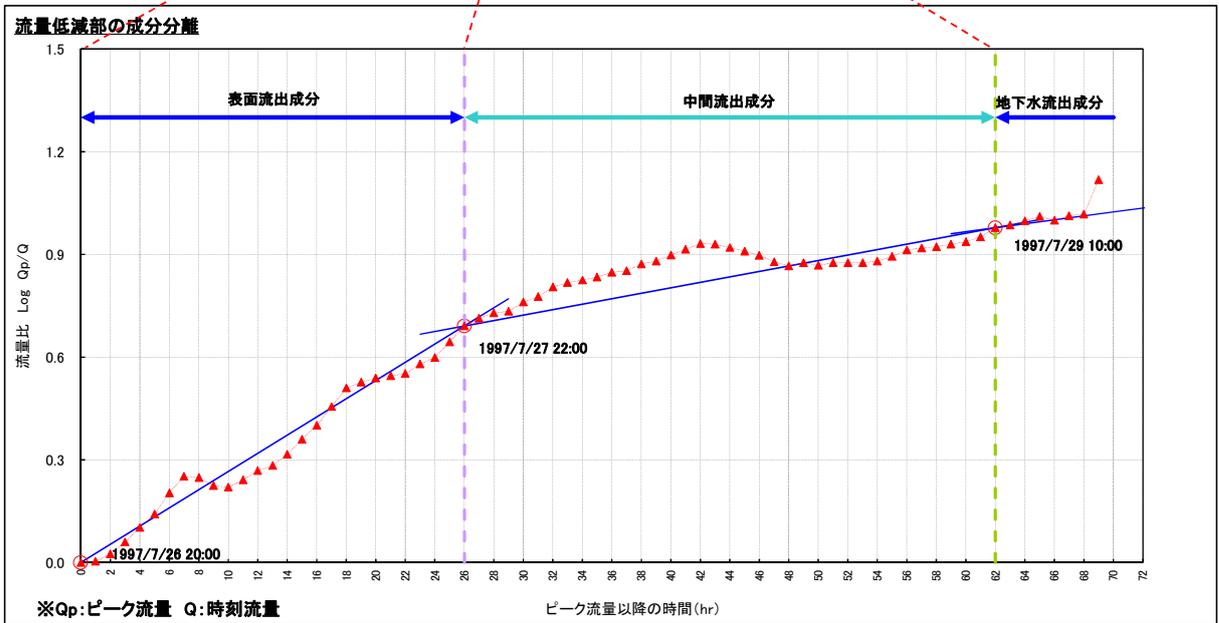
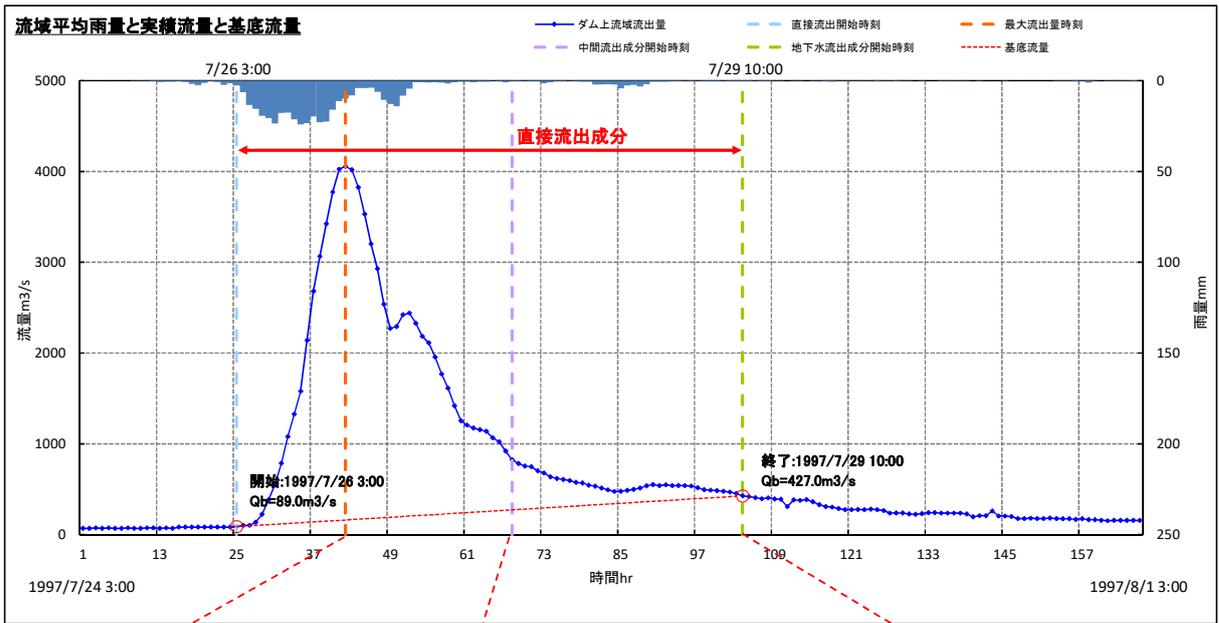


図 1-20(6) 成分分離の事例 (二津野ダム地点 : H09.07.25 洪水)

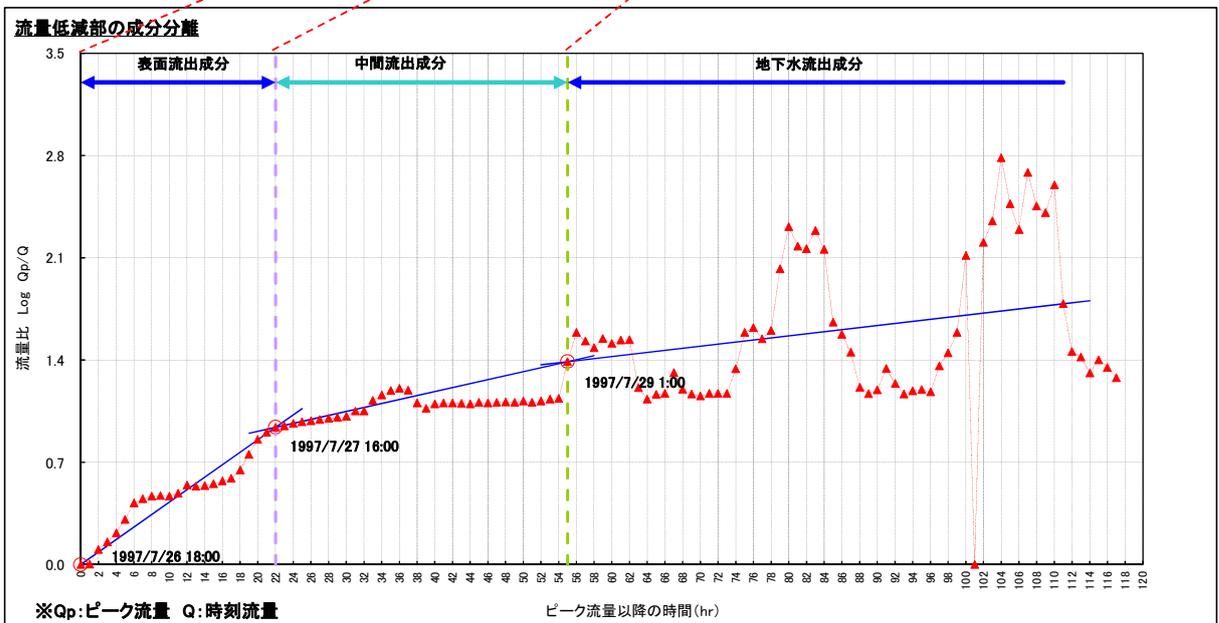
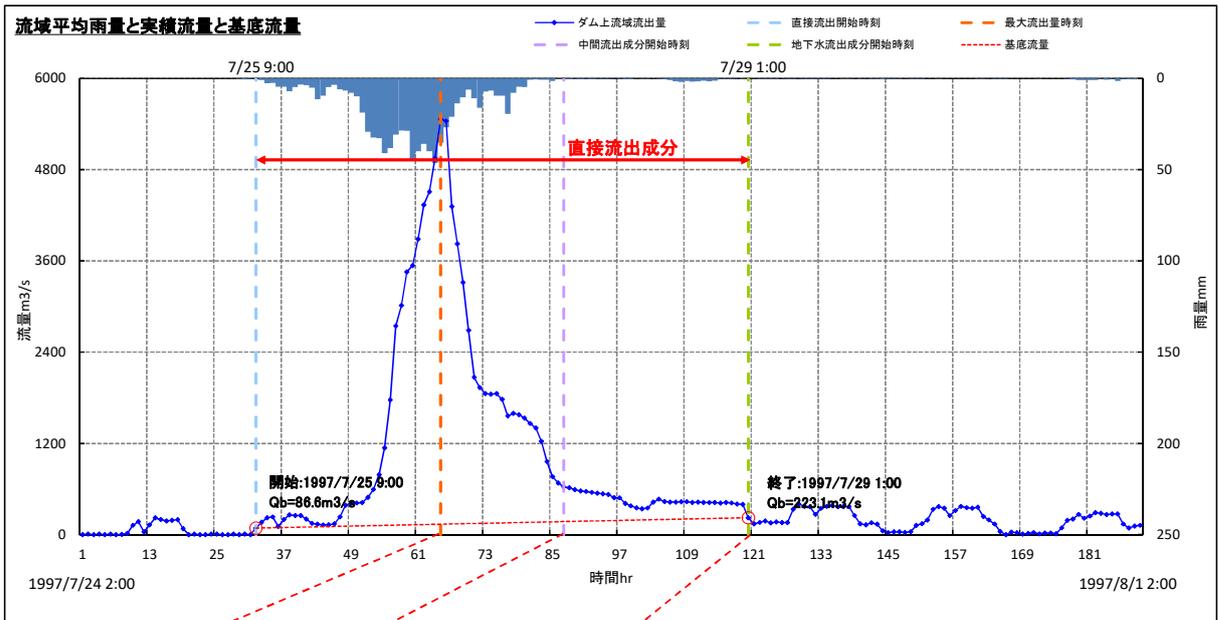


図 1-20(7) 成分分離の事例 (七色ダム地点 : H09.07.25 洪水)

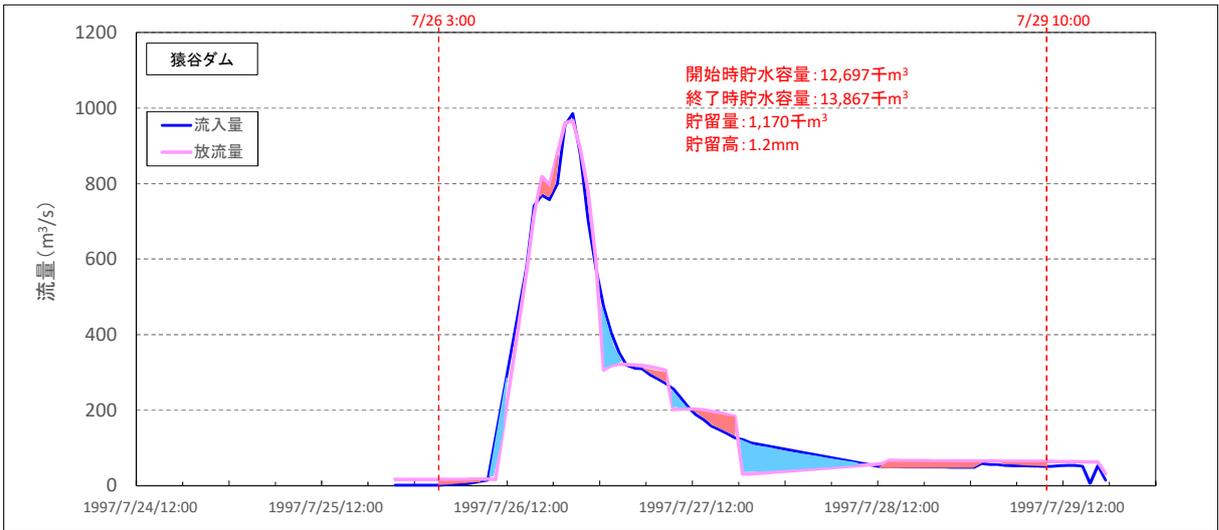


図 1-20(8) ダム貯留高算定事例 (猿谷ダム地点 : H09. 07. 25 洪水)

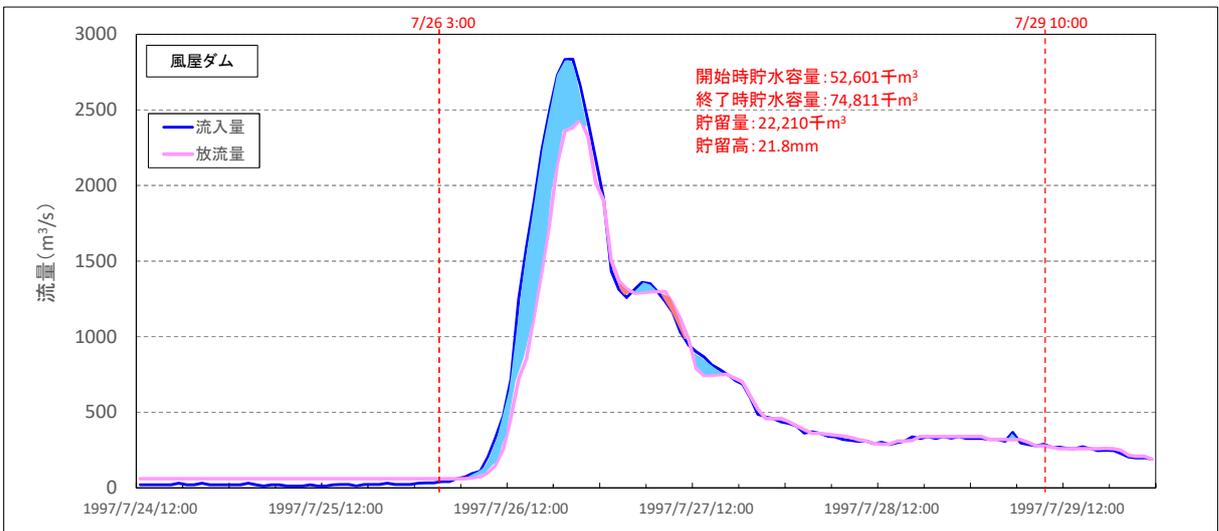


図 1-20(9) ダム貯留高算定事例 (風屋ダム地点 : H09. 07. 25 洪水)

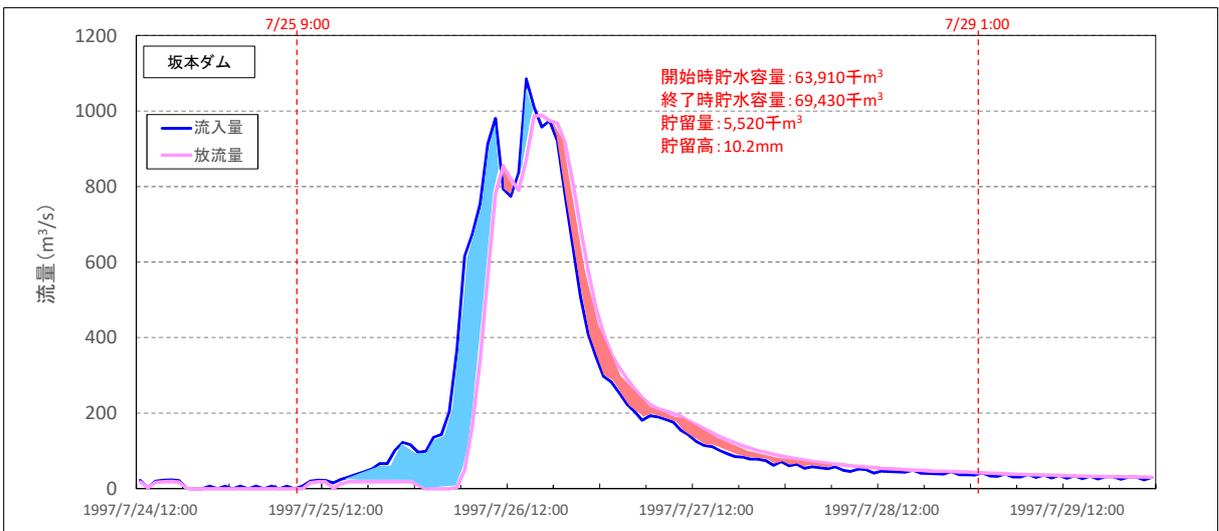


図 1-20(10) ダム貯留高算定事例 (坂本ダム地点 : H09. 07. 25 洪水)

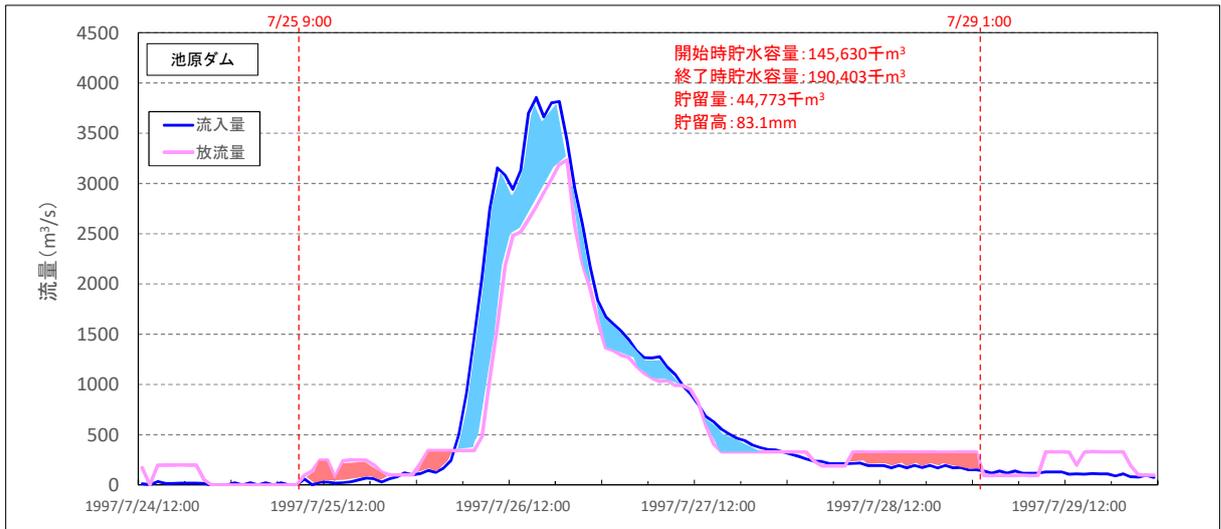


図 1-20(11) ダム貯留高算定事例 (池原ダム地点 : H09.07.25 洪水)

表 1-5 流出成分の分離による総降雨量・総流出高の算定結果

No.	洪水名	十津川流域			北山川流域		
		地点名	総降雨量 (mm)	総流出高 (mm)	地点名	総降雨量 (mm)	総流出高 (mm)
1	S430727	二津野	467.9	357.0	七色	1204.7	924.8
2	H020918	二津野	606.3	472.4	池原	815.3	699.6
3	H060928	二津野	274.2	163.4	七色	607.5	493.5
4	H090725	二津野	425.9	311.6	七色	816.0	698.0
5	H130820	二津野	330.5	211.6	七色	680.7	582.1
6	H190713	二津野	447.8	327.4	七色	385.1	327.2
7	H200918	二津野	91.0	33.2	七色	258.0	131.1
8	H211006	二津野	165.7	101.3	七色	228.4	164.8
9	H221008	二津野	98.2	37.8	七色	218.5	125.1
10	H230718	二津野	510.0	390.5	七色	844.8	736.5
11	H230902	二津野	1267.4	1173.8	池原	1964.6	1898.1
12	H230920	二津野	409.4	269.9	七色	570.7	440.1
13	H240618	二津野	268.8	177.2	七色	247.1	194.7
14	H250914	二津野	393.5	287.9	七色	469.5	419.0
15	H260808	二津野	531.3	441.1	七色	571.3	447.9
16	H270715	二津野	462.0	373.1	七色	666.5	566.0
17	H280919	二津野	184.2	107.5	七色	90.5	44.8

※各ダムが位置する十津川流域及び北山川流域の中流域は、地形的に変わらないこと及び、流出計算の目的が下流基準地点の流出量を求めることであることより、各中流域の最下流地点（十津川流域：二津野ダム地点、北山川流域：七色ダム地点）を検討対象地点とした。

※なお、雨量の精度により Rsa がマイナスになるケース、検討対象洪水のダム地点データが上流ダムの影響を受け流出成分の分離が困難である場合は、上流ダム地点（猿谷ダム、風屋ダム、坂本ダム、池原ダム）を検討対象地点とした。

④ 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。各ダム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、二津野ダム及び七色ダム地点における成分分離では、猿谷ダム、風屋ダム、坂本ダム、池原ダム等で調節された貯留高をそれぞれ二津野ダム及び七色ダムの実績流入量に加算した結果を用いて行った。貯留量は、洪水期間において各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 検討地点は、二津野ダム及び七色ダムの計 2 地点（検討が困難な場合は上流ダムを検討地点とする）とし、その上流域の総降雨量 R(mm) と総流出高 q(mm) から f1、Rsa を算出した。総降雨量 R(mm) と総流出高 q(mm) 関係図は、十津川流域（二津野ダム）及び北山川流域（七色ダム）の 2 つに分類し整理した。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。

また、二津野ダム、七色ダムより下流の十津川と北山川の合流点より下流では、f1、Rsa の検討地点がないため、地質や降雨特性が類似する北山川流域の定数を採用するものとする。

なお、後述の流域定数 K、P、T1 の検討においても、同様とした。

表 1-6 計画 f1、Rsa 検討結果

流域	f1	Rsa
十津川流域	0.6	290mm
北山川流域	0.6	290mm
十津川、北山川 合流点下流	0.6	290mm

※Rsa は 10mm 単位で切り上げた値

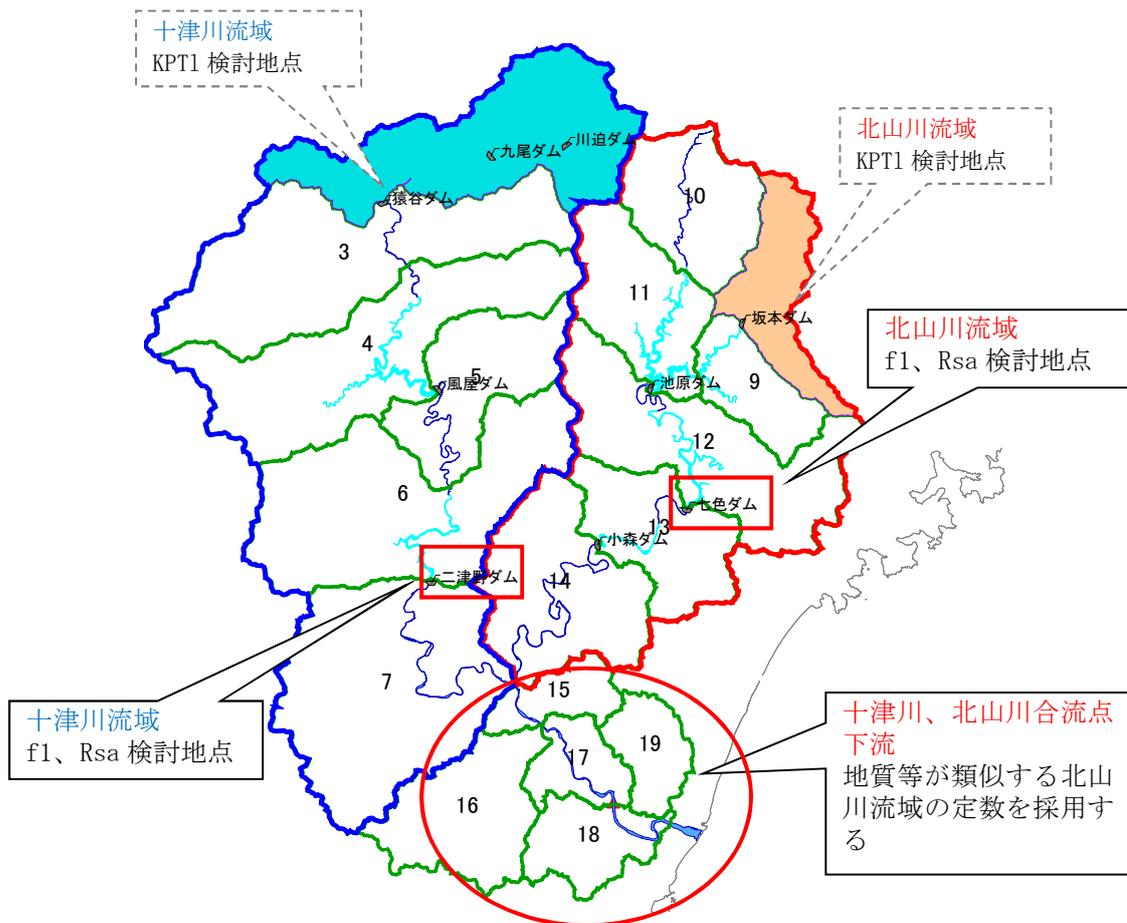
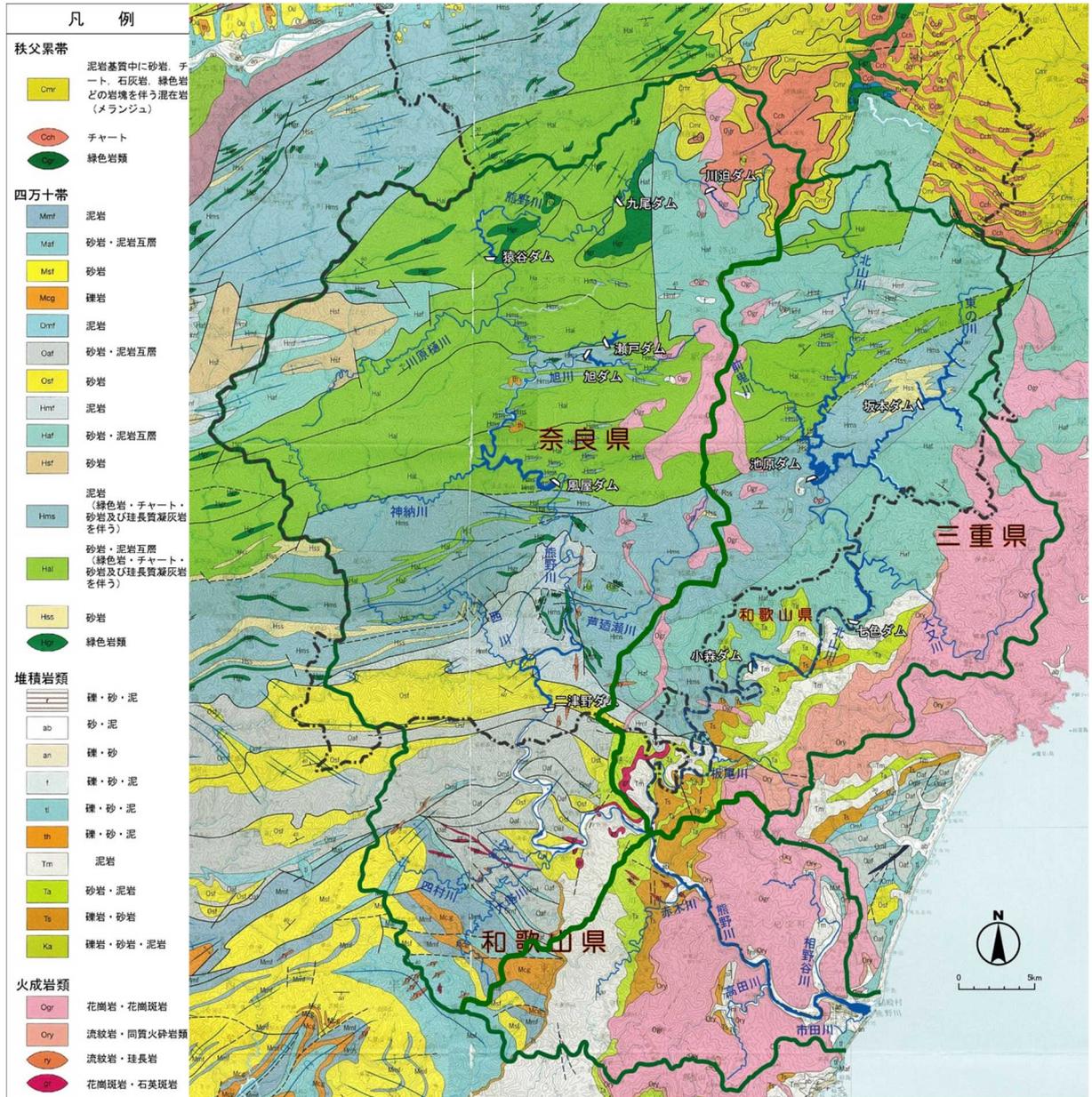


図 1-21 f1、Rsa 検討の流域分類範囲

熊野川流域の地質は、流域全域には四万十帯が広く分布しており、また、合流点下流部には火成岩類が分布している。十津川流域は、ほぼ四万十帯で構成されているのに対し、北山川流域の東側には火成岩類が分布するなど合流点下流部と共通する特徴がある。

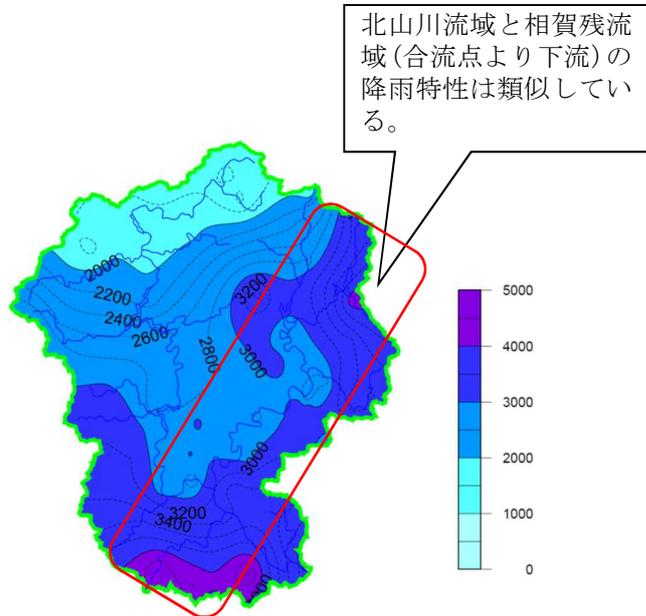


流域の地質は、流域北部に秩父累帯、中央部に四万十帯が広く分布し、風化が進み崩壊箇所が多く見られる。流域南部には、新期花崗岩類の火成岩類や熊野層群の堆積岩類が分布し、川沿いには特徴的な柱状節理が見られる。

出典：「近畿地方土木地質図」／近畿地方土木地質図編纂委員会（2003）

図 1-22 熊野川流域の地質

熊野川流域の降雨特性は、年間降水量分布図（1987年-2016年の平均値）を見ると十津川流域に比べ、北山川流域と合流点より下流域の降水量が多い特徴が見られ、主要洪水においても、その傾向は類似している。



年間降水量分布図(1987年-2016年の平均値)

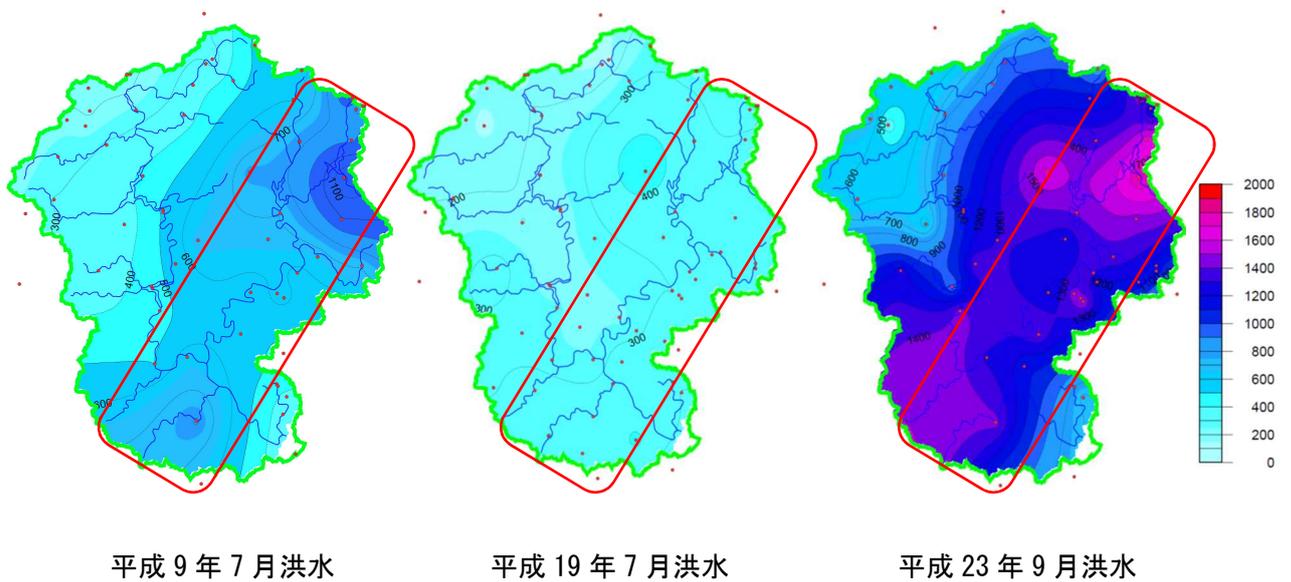


図 1-23 熊野川流域の降雨特性図

Rsa=281mm

f1=0.6

$Rsa \cdot (1-f1) = 112.4$

総降雨量と総流出高の差の平均値 112.3

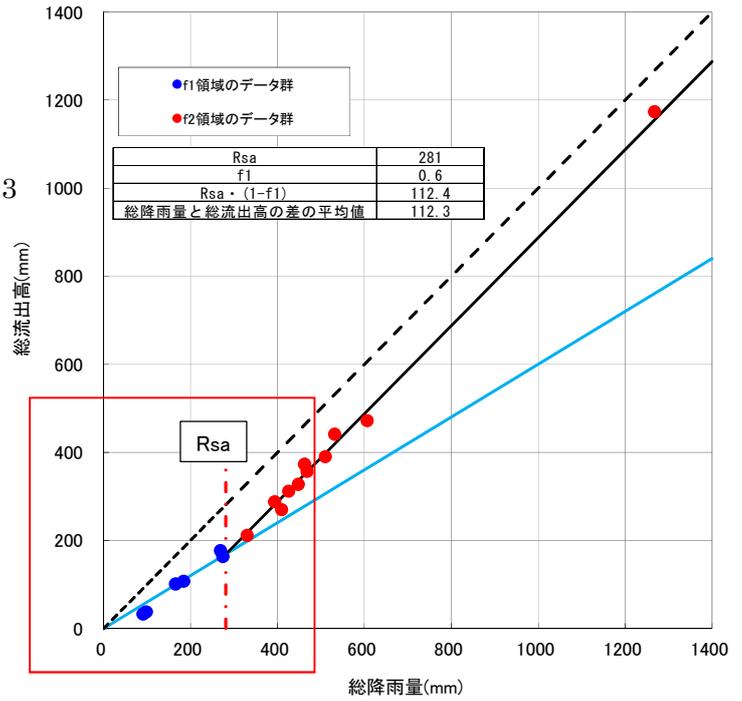
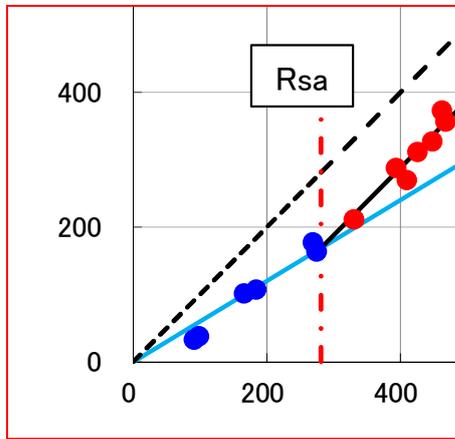


図 1-24 総降雨量と総流出高の関係（十津川流域）

Rsa=284mm

f1=0.6

$Rsa \cdot (1-f1) = 113.6$

総降雨量と総流出高の差の平均値 113.6

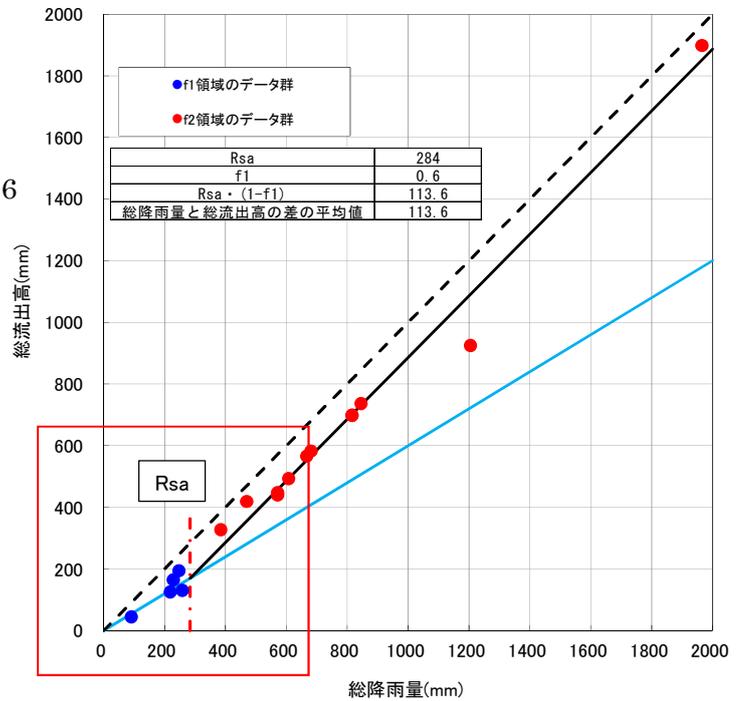
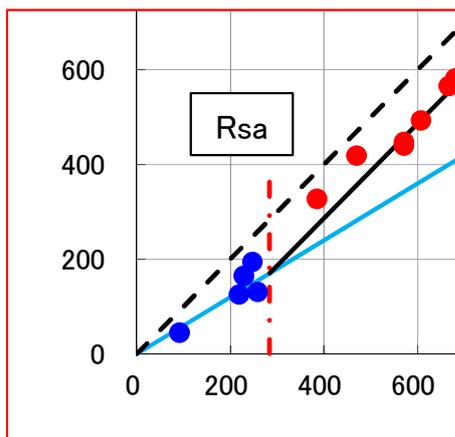


図 1-25 総降雨量と総流出高の関係（北山川流域）

表 1-7 総降雨量 R と総流出高 q の集計表（十津川流域）

No.	洪水名	十津川流域						
		地点名	総降雨量 R (mm)	総流出高 q (mm)	飽和雨量 Rsa (mm)	基底流量 開始時Qb1 ($m^3/s/km^2$)	基底流量 終了時Qb2 ($m^3/s/km^2$)	基底流量 平均Qbave ($m^3/s/km^2$)
1	S430727	二津野	467.9	357.0	277.2	0.09	0.12	0.10
2	H020918	二津野	606.3	472.4	334.9	0.01	0.14	0.08
3	H060928	二津野	274.2	163.4	277.0	0.07	0.47	0.27
4	H090725	二津野	425.9	311.6	285.8	0.09	0.42	0.25
5	H130820	二津野	330.5	211.6	297.2	0.05	0.26	0.16
6	H190713	二津野	447.8	327.4	300.9	0.09	0.21	0.15
7	H200918	二津野	91.0	33.2	144.5	0.00	0.05	0.02
8	H211006	二津野	165.7	101.3	161.0	0.08	0.22	0.15
9	H221008	二津野	98.2	37.8	151.1	0.04	0.07	0.06
10	H230718	二津野	510.0	390.5	298.9	0.02	0.46	0.24
11	H230902	二津野	1267.4	1173.8	234.1	0.10	0.23	0.16
12	H230920	二津野	409.4	269.9	348.6	0.08	0.16	0.12
13	H240618	二津野	268.8	177.2	228.9	0.10	0.27	0.18
14	H250914	二津野	393.5	287.9	263.9	0.01	0.35	0.18
15	H260808	二津野	531.3	441.1	225.6	0.02	0.40	0.21
16	H270715	二津野	462.0	373.1	222.3	0.09	0.54	0.31
17	H280919	二津野	184.2	107.5	191.7	0.03	0.20	0.11
							平均	0.16

※各ダムが位置する十津川流域の中流域は、地形的に変わらないこと及び、流出計算の目的が下流基準地点の流出量を求めることであることより、中流域の最下流地点である二津野ダム地点を検討対象地点とした。

※なお、雨量の精度により Rsa がマイナスになるケース、検討対象洪水のダム地点データが上流ダムの影響を受け流出成分の分離が困難である場合は、上流ダム地点（猿谷ダム、風屋ダム）を検討対象地点とした。

表 1-8 総降雨量 R と総流出高 q の集計表（北山川流域）

No.	洪水名	北山川流域						
		地点名	総降雨量 R (mm)	総流出高 q (mm)	飽和雨量 Rsa (mm)	基底流量 開始時Qb1 ($m^3/s/km^2$)	基底流量 終了時Qb2 ($m^3/s/km^2$)	基底流量 平均Qbave ($m^3/s/km^2$)
1	S430727	七色	1204.7	924.8	699.7	0.02	0.62	0.32
2	H020918	池原	815.3	699.6	289.2	0.05	0.18	0.12
3	H060928	七色	607.5	493.5	285.0	0.02	0.17	0.09
4	H090725	七色	816.0	698.0	295.0	0.16	0.41	0.29
5	H130820	七色	680.7	582.1	246.4	0.04	0.10	0.07
6	H190713	七色	385.1	327.2	144.5	0.05	0.19	0.12
7	H200918	七色	258.0	131.1	317.3	0.05	0.07	0.06
8	H211006	七色	228.4	164.8	159.0	0.05	0.18	0.12
9	H221008	七色	218.5	125.1	233.6	0.04	0.13	0.08
10	H230718	七色	844.8	736.5	270.8	0.03	0.20	0.12
11	H230902	池原	1964.6	1898.1	166.2	0.14	0.35	0.25
12	H230920	七色	570.7	440.1	326.3	0.12	0.40	0.26
13	H240618	七色	247.1	194.7	131.0	0.04	0.40	0.22
14	H250914	七色	469.5	419.0	126.3	0.05	0.10	0.07
15	H260808	七色	571.3	447.9	308.5	0.02	0.32	0.17
16	H270715	七色	666.5	566.0	251.4	0.06	0.50	0.28
17	H280919	七色	90.5	44.8	114.2	0.04	0.10	0.07
							平均	0.16

※各ダムが位置する北山川流域の中流域は、地形的に変わらないこと及び、流出計算の目的が下流基準地点の流出量を求めることであることより、中流域の最下流地点である七色ダム地点を検討対象地点とした。

※なお、雨量の精度により Rsa がマイナスになるケース、検討対象洪水のダム地点データが上流ダムの影響を受け流出成分の分離が困難である場合は、上流ダム地点（坂本ダム、池原ダム）を検討対象地点とした。

2) K、P、T1 の設定

① 代表地点における K、P、T1 の算出

流出計算に用いる K、P、T1 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で行う必要がある。しかし、熊野川流域にはダムが多く存在し、自然流況を把握可能な地点が少ないことから、十津川流域の上流域に位置する猿谷ダム及び北山川流域の最上流部に位置する坂本ダムにおいて定数を設定し、流路延長や勾配などの地形特性を考慮した関係式から下流の定数設定を行った。

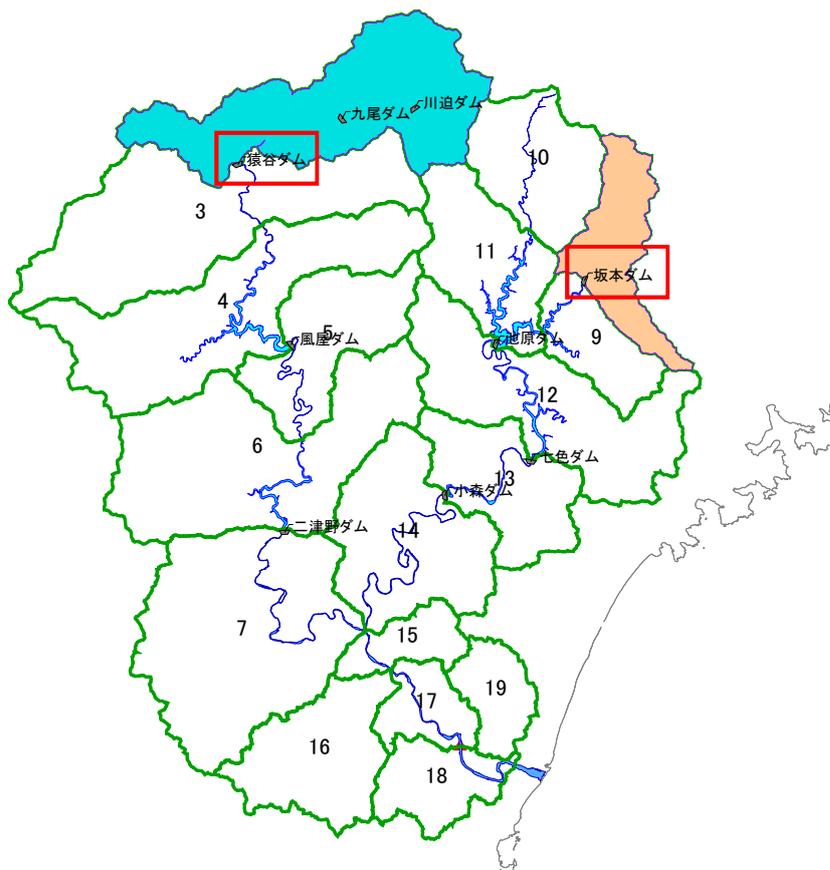


図 1-26 K、P、T1 検討地点（猿谷ダム、坂本ダム地点）

高水検討の定数設定においては計画規模相当のピーク流量を対象とすることから、K、P、T1 は過去洪水の中で流量規模が大きい降雨量と流出量との関係から得ることが望ましい。

このため、各対象地点における実績ピーク流入量の上位 5 洪水のデータを用いて、K、P、T1 を算定した。

K、P については、流域の斜面勾配や土地利用等に大きく起因し、過去の実績洪水を基に概ね推定することができることから、各地点において最大流量を記録した洪水の定数を用いる。

T1 については、T1 は各小流域における流末での流出時間に影響するものであり、基準地点等のピーク流量はこれらの合流のタイミング (T1 の組合わせ) によって定まることから、対象洪水の平均値を用いることとした。

各地点における対象洪水を整理した結果は表 1-9 に示すとおりである。

表 1-9 (1) K、P、T1 の検討対象洪水一覧 (猿谷ダム地点)

No.	洪水名	実績ピーク 流入量(m ³ /s)	順位
1	S400913	1194.4	4
2	H020918	1630.5	1
4	H161019	1174.2	5
5	H230902	1327.8	3
5	H250914	1372.7	2

表 1-9 (2) K、P、T1 の検討対象洪水一覧 (坂本ダム地点)

No.	洪水名	実績ピーク 流入量(m ³ /s)	順位
1	S460829	1148.0	5
2	H020918	1405.9	1
3	H060928	1326.6	3
4	H130820	1185.7	4
5	H250914	1341.3	2

K、P、Tl はダム地点の流量と流域平均雨量を用いて、貯留高－流出高関係図から解析を行うことで算出した。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、Tl を少しずつ変化させ、最もループが小さくなる Tl を求めた。求めた Tl 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。^{5),6)}

貯留高 s 及び流出高 q は、以下の式にて算出した。

$$s_{(t)} = \sum_{T=0}^{T=t} r_{ave} \times f - \sum_{T=0}^{T=t} q$$

$$q = \frac{3.6}{A}(Q - Q_b)$$

s : 貯留高(mm)

r_{ave} : 流域平均時間雨量(mm/hr)

q : 1時間の直接流出高(mm/hr)

f : 直接流出開始後の累積降雨が R_{sa} に達するまでは f_1 、達した後は 1.0

Q : 実績流量(m^3/s)

Q_b : 基底流量(m^3/s)

A : 流域面積(km^2)

代表地点において、K、P、Tl を算出した結果を表 1-10、表 1-11、図 1-27、図 1-28 に示す。

表 1-10 K、P、Tl の設定結果

地点	定数設定結果		
	K	P	Tl (hr)
猿谷ダム	34.617	0.385	1.47
坂本ダム	26.275	0.414	0.60

表 1-11 (1) 流域定数 K, P, Tl の設定結果 (猿谷ダム地点)

洪水名	実績ピーク 流入量(m ³ /s)	順位	K	P	Tl(hr)	備考
S400913	1194.4	4	21.237	0.527	0.0	正ループを描けないため検討不能
H020918	1630.5	1	34.617	0.385	1.8	既往最大流入量
H161019	1174.2	5	31.554	0.332	2.0	
H230902	1327.8	3	-	-	-	ループが狭まらないため検討不能
H250914	1372.7	2	42.055	0.292	0.6	
実績ピーク流入量最大洪水			34.617	0.385		H020918洪水
対象洪水の平均値					1.47	

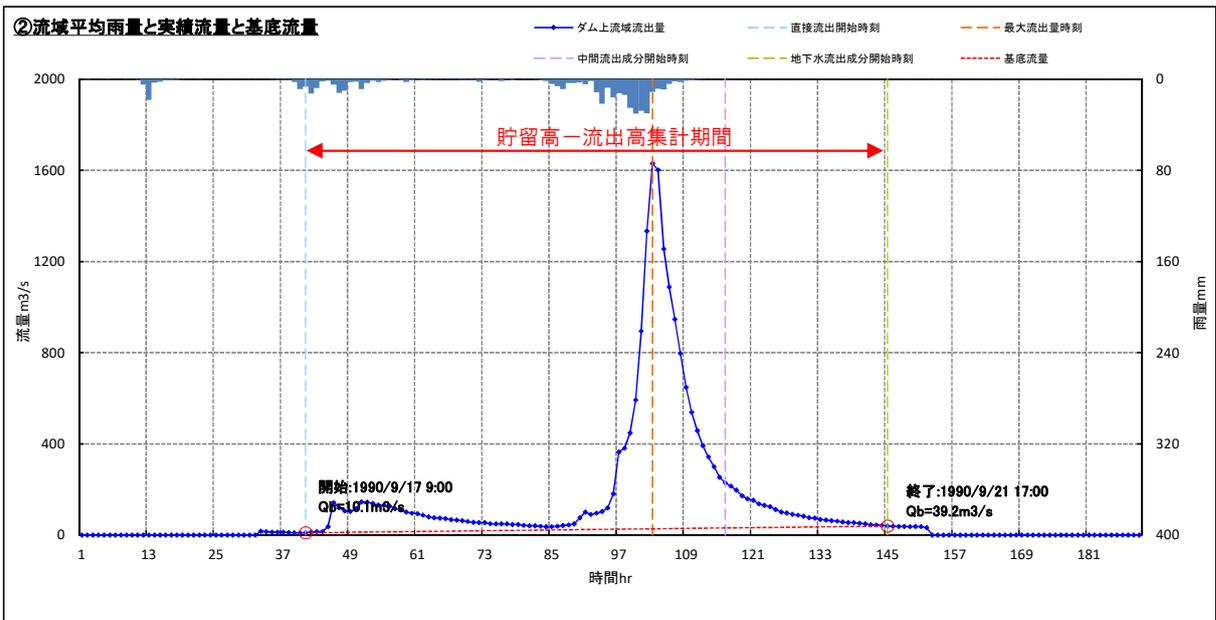
 : 今回検討における採用値

表 1-11 (2) 流域定数 K, P, Tl の設定結果 (坂本ダム地点)

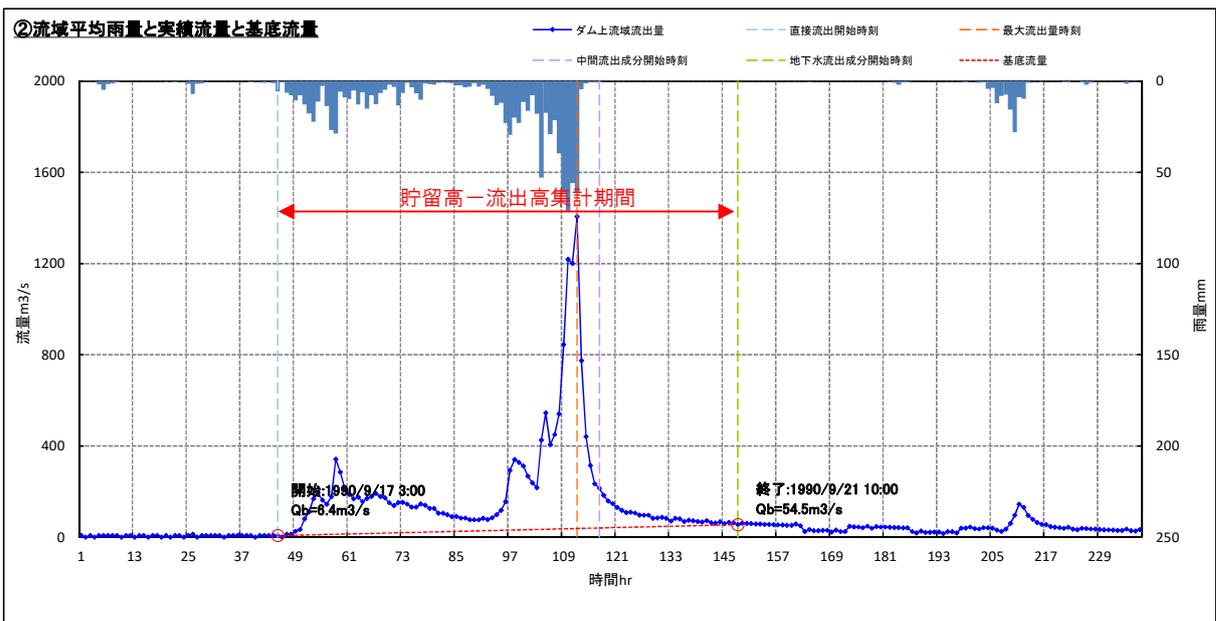
洪水名	実績ピーク 流入量(m ³ /s)	順位	K	P	Tl(hr)	備考
S460829	1148.0	5	16.439	0.434	1.0	
H020918	1405.9	1	26.275	0.414	0.6	既往最大流入量
H060928	1326.6	3	57.980	0.209	0.2	
H130820	1185.7	4	-	-	-	ループが狭まらないため検討不能
H250914	1341.3	2	52.210	0.163	0.6	
実績ピーク流入量最大洪水			26.275	0.414		H020918洪水
対象洪水の平均値					0.60	

 : 今回検討における採用値

流域定数 K、P については、できるだけ規模の大きな洪水の値を用いることが望ましいことから、既往最大の流入量であった H02.09.18 洪水で定まる定数を採用する。また、流域の遅れ時間 Tl は、定数検討が可能であった洪水の平均値を用いるものとする。



参考図(1) 流域定数 K、P 設定洪水の実績降雨波形 (猿谷ダム地点 : H02. 09. 18)



参考図(2) 流域定数 K、P 設定洪水の実績降雨波形 (坂本ダム地点 : H02. 09. 18)

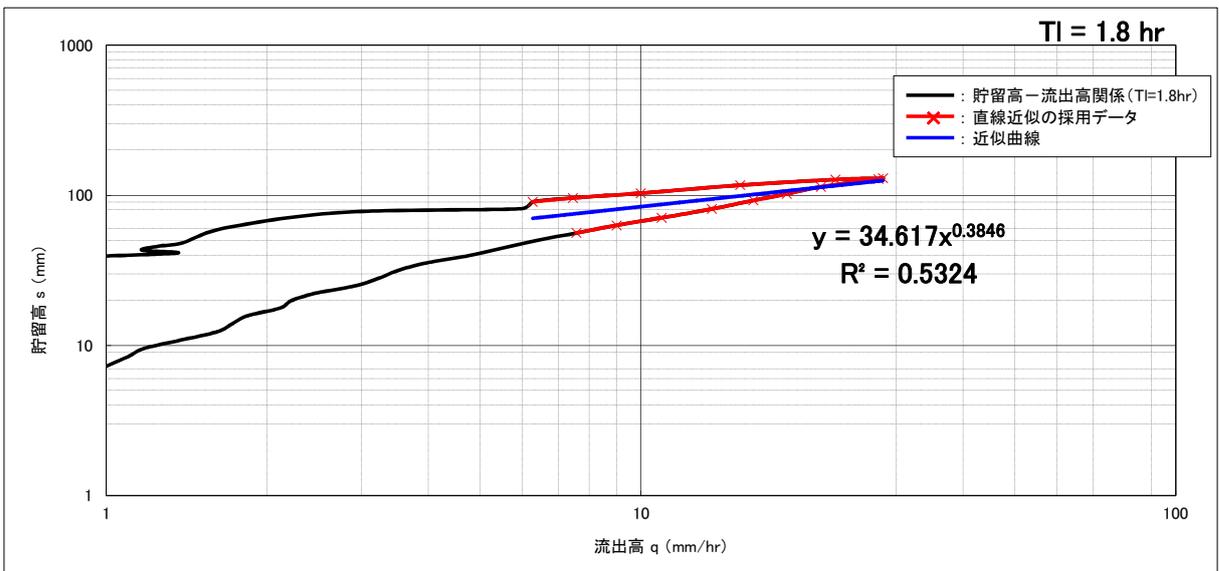
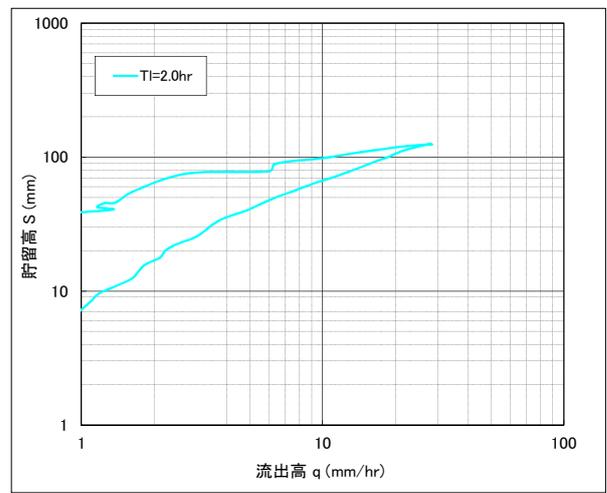
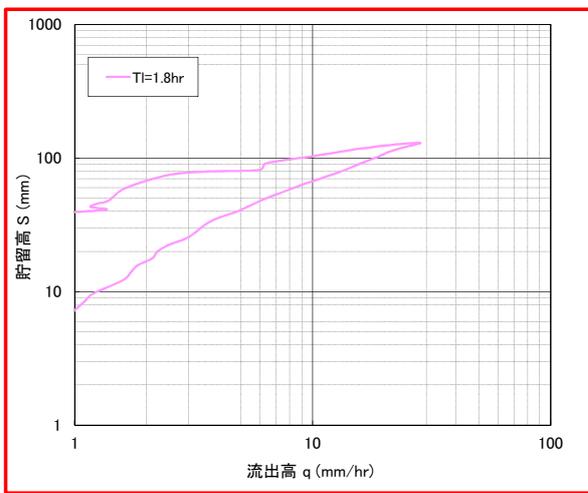
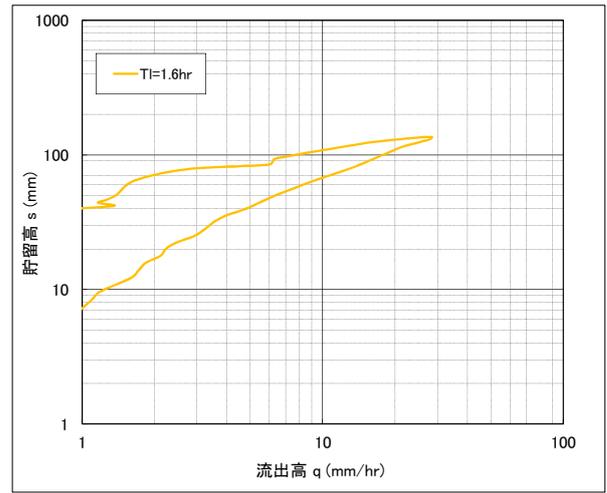
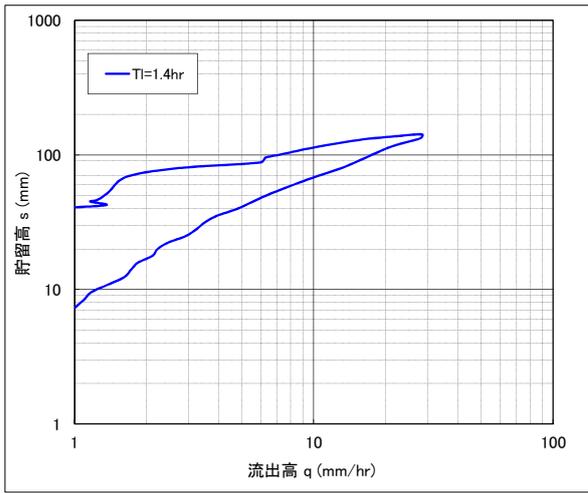


図 1-27 貯留高一流出高関係図 (猿谷ダム地点 : H02.09.18)

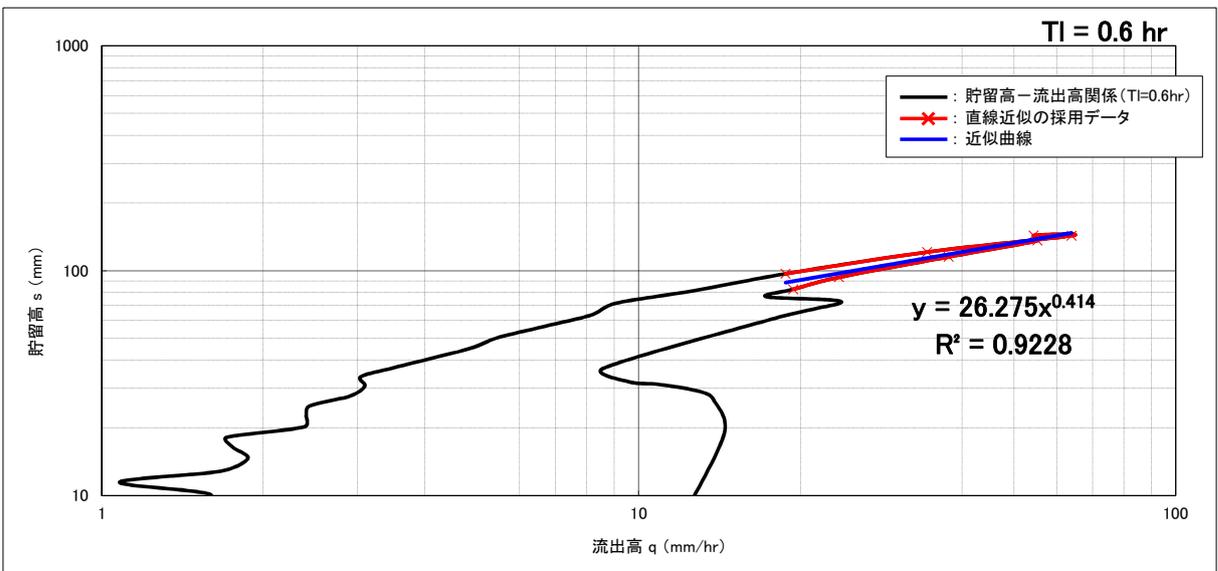
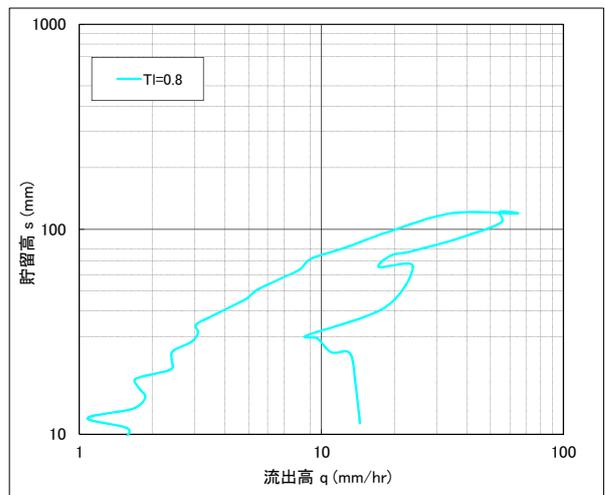
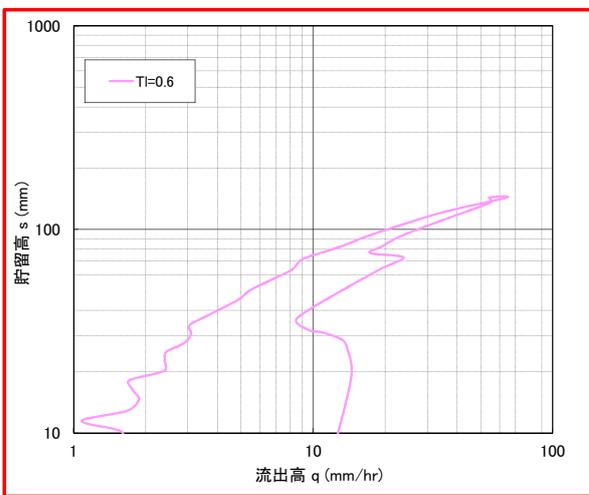
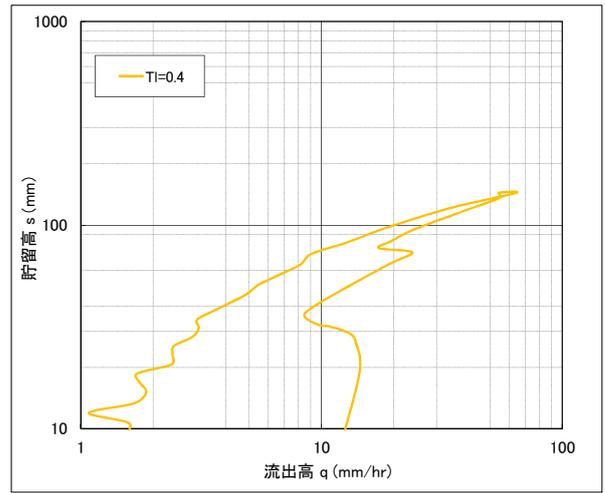
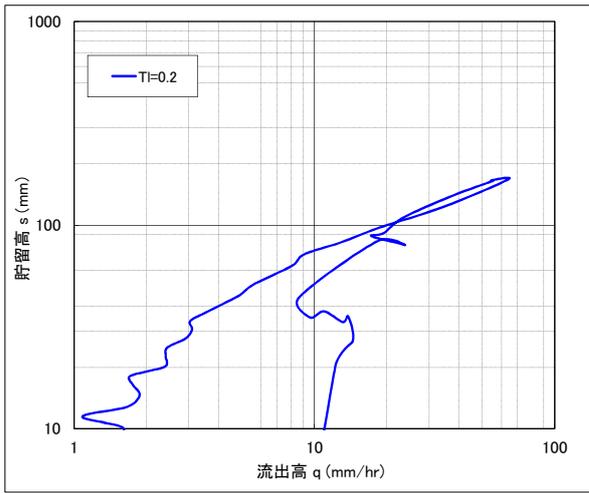


図 1-28 貯留高—流出高関係図 (坂本ダム地点 : H02.09.18)

② 各小流域における K、P、T1 の設定

① にて設定した代表地点流域では各々に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設定した。上記以外の小流域の K 値を求める際には、リザーブ定数を用いた経験式の考え方を利用した。具体的には経験式（式 3-1）の定数 α を、平成 2 年 9 月洪水時の猿谷ダム及び坂本ダム地点で算出した K 値（表 1-12）を利用し各々求め、十津川流域及び北山川流域における経験式を設定した（式 3-2、式 3-3）。設定した両式及び各小流域の流域勾配 I、流路長 L から、各小流域の K 値を算出した。

流域定数 P については、猿谷ダムにて検討した値（表 1-10）を十津川流域に、坂本ダムにて検討した値（表 1-10）を北山川流域、合流点より下流に一様に採用した。

各小流域の T1 は、猿谷ダムにて検討した値（表 1-10）を十津川流域の各小流域の流路長比により設定し、坂本ダムにて検討した値（表 1-10）を北山川流域及び合流点下流域の各小流域の流路長比により設定し、適用した。

【リザーブの式】

$$K = \alpha \times C \times I^{-1/3} \times L^{1/3} \quad \dots \text{式 3-1}$$

α : 定数 ※木村は、利根川流域などの事例から $\alpha = 43.4$ を提案している。⁷⁾

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

以上の考えから、猿谷ダム、坂本ダムの定数検討結果より設定した K 値ならびに、猿谷ダムと坂本ダムの地形情報（勾配 I、流路長 L）から、リザーブ定数を用いた経験式と同様の式を下記のように整理した。

表 1-12 代表地点（猿谷ダム、坂本ダム）における定数設定結果

	流域番号	C	L (km)	I	K	α
猿谷ダム	1,2	0.12	43.0	0.0093	34.617	17.317
坂本ダム	8	0.12	17.1	0.0315	26.275	26.841

【設定した式】

猿谷ダム地点（十津川流域）： $K = 17.317 \times C \times I^{-1/3} \times L^{1/3} \quad \dots \text{式 3-2}$

坂本ダム地点（北山川流域）： $K = 26.841 \times C \times I^{-1/3} \times L^{1/3} \quad \dots \text{式 3-3}$

- ・猿谷ダム地点にて検討した関係式（式 3-2）は、十津川流域に適用し、坂本ダム地点にて検討した関係式（式 3-3）は、北山川流域に適用する。十津川と北山川合流後は、地質等が類似する北山川流域の関係式（式 3-3）を適用する。

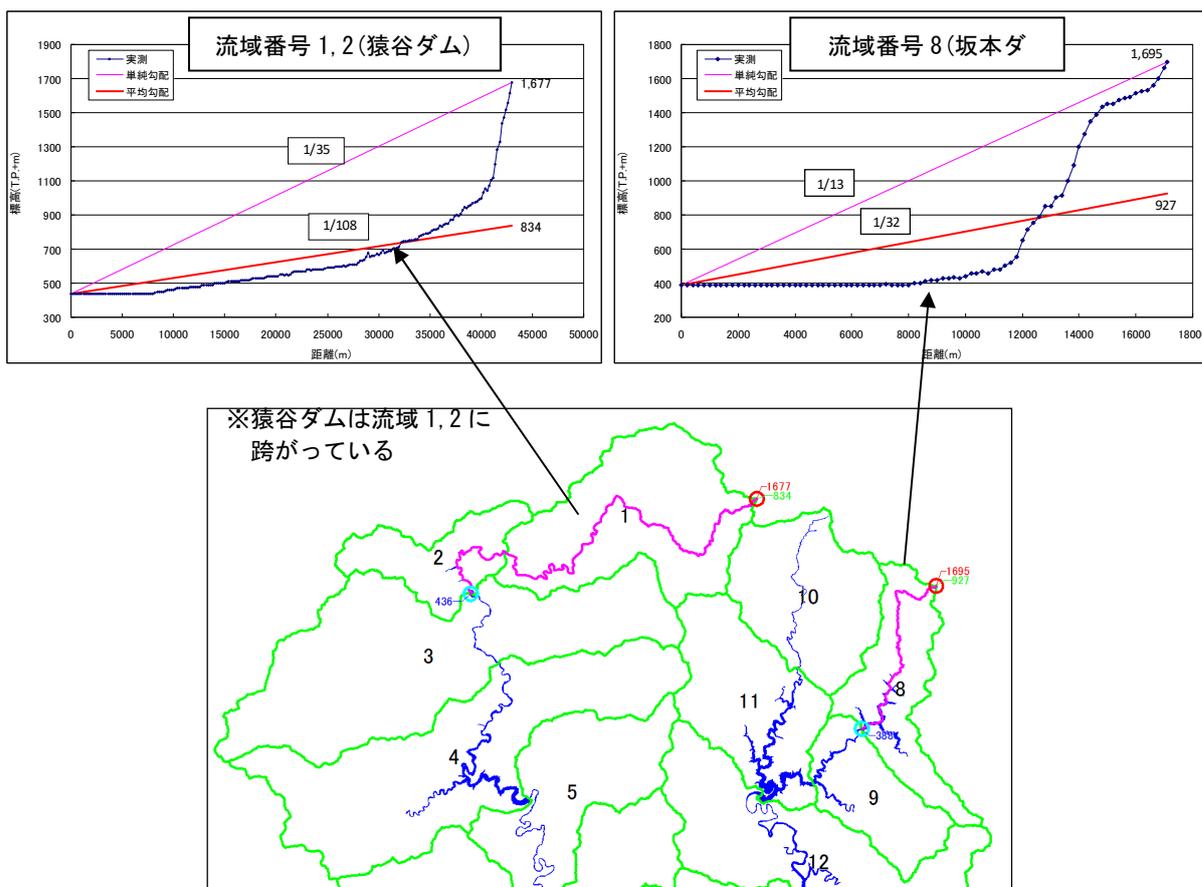


図 1-29 K, P, TI 検討地点と流路勾配 I、流路長 L

上記の式を用いて、それぞれの小流域における K 値を検討するために、流域の勾配 I、流路長 L を整理した。

なお、熊野川の小流域の地形特性をできるだけ詳細に反映させるため、次の項目に留意した。

- ・流域勾配は、最遠点の最高点と流末の最低点標高の単純平均ではなく、流路沿いの平均流域勾配とした (図 1-30 参照)。
- ・小流域内でそれぞれ左右岸流域に支川があり、片方の流域では、流域を代表できない場合は、左右岸それぞれ定数検討をし、平均値を採用した。
- ・各小流域の流域下端はダム地点となっている場所があるが、その場合、水の流れの勾配が重要であると考え、ダム湖の水位をもって設定した。

a) 小流域の流域平均勾配の算定

流域定数設定における流域の勾配 I は、流路長経路の地形を調査し、平均的な勾配を算定することにより地形特性を反映することとした。下記にその考え方を流域 1 の事例にて示す。図 1-33 に計測結果を示す。

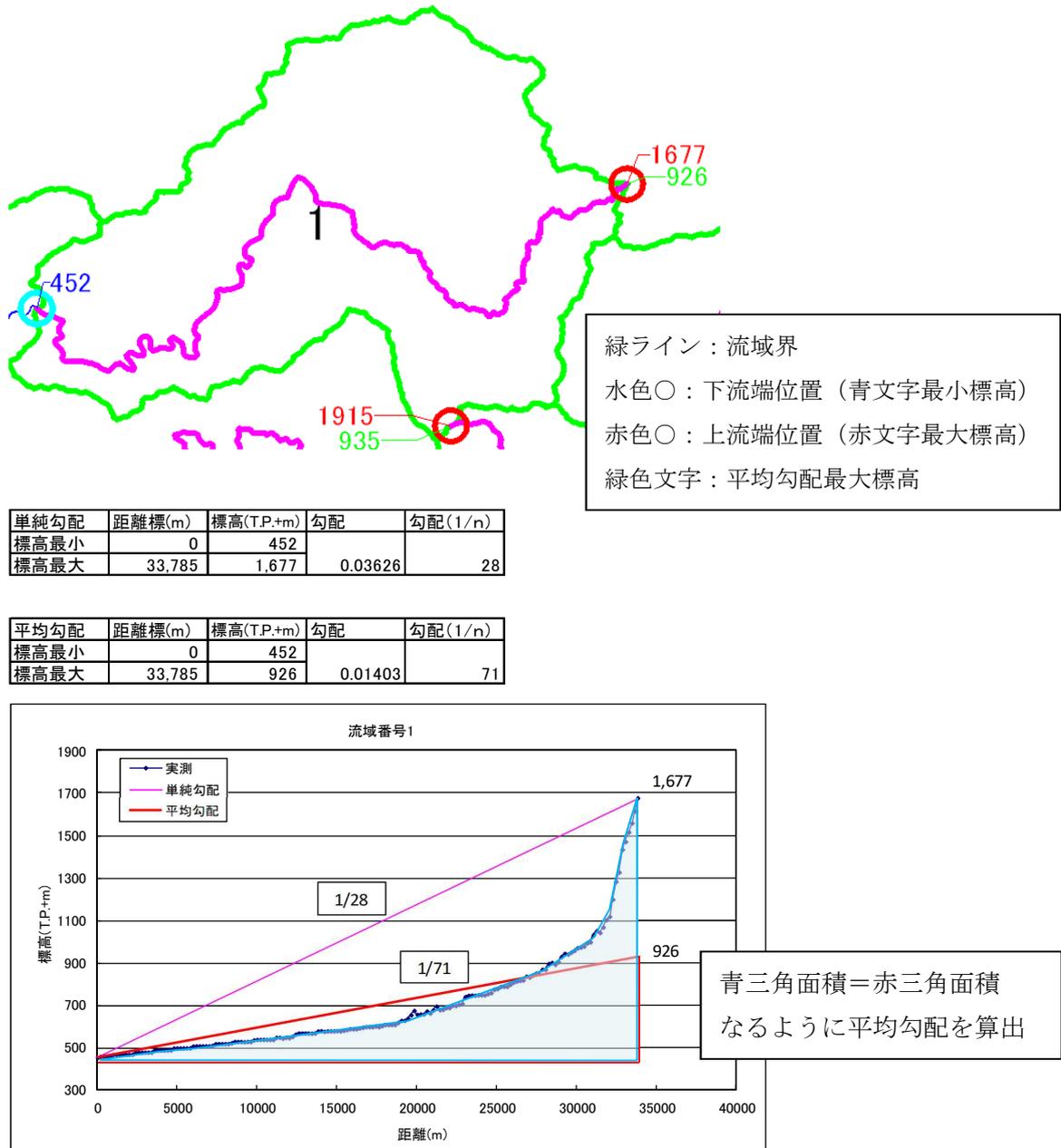


図 1-30 流域 1 の流域平均勾配算出例

b) 流域の左右岸特性

熊野川の流域分割は、支川を複数含む流域分割となっているため、流域定数を設定する流域の勾配が、流域の特性を代表していない場合が見受けられる。また、一つの勾配にて流域全体を表現することが困難である。例えば、流域3の流域の左右岸では平均勾配が大きく異なっている。

流域3の右岸は流路長が長く、標高差が小さい。左岸は流路長が短く、標高差が大きい特性があり、最も長い流路長で代表させると右岸側の特性のみの表現となる。

そこで、このように左右岸の差が生じることから、左右岸別にK値を定め、流域面積比によりK値の平均値を求めるものとする。

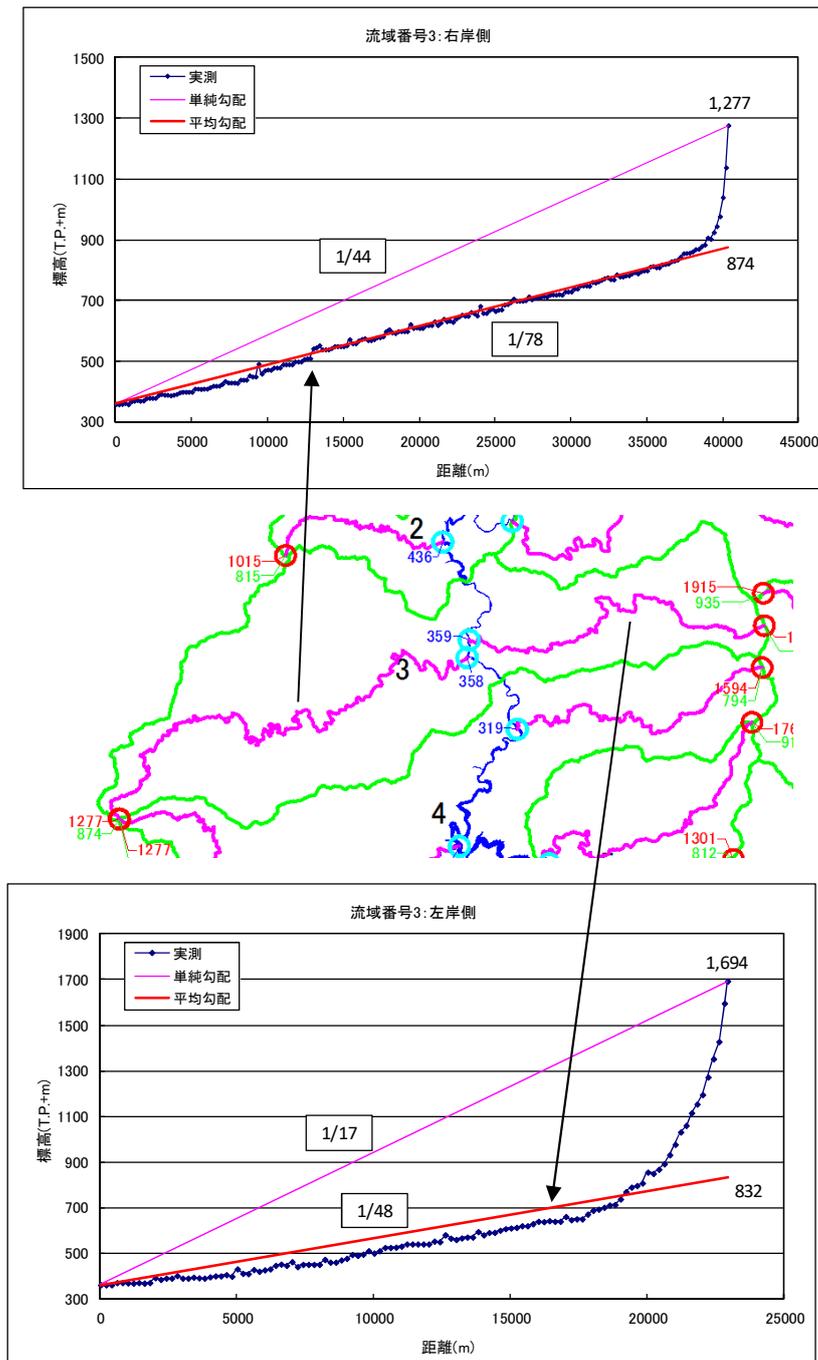
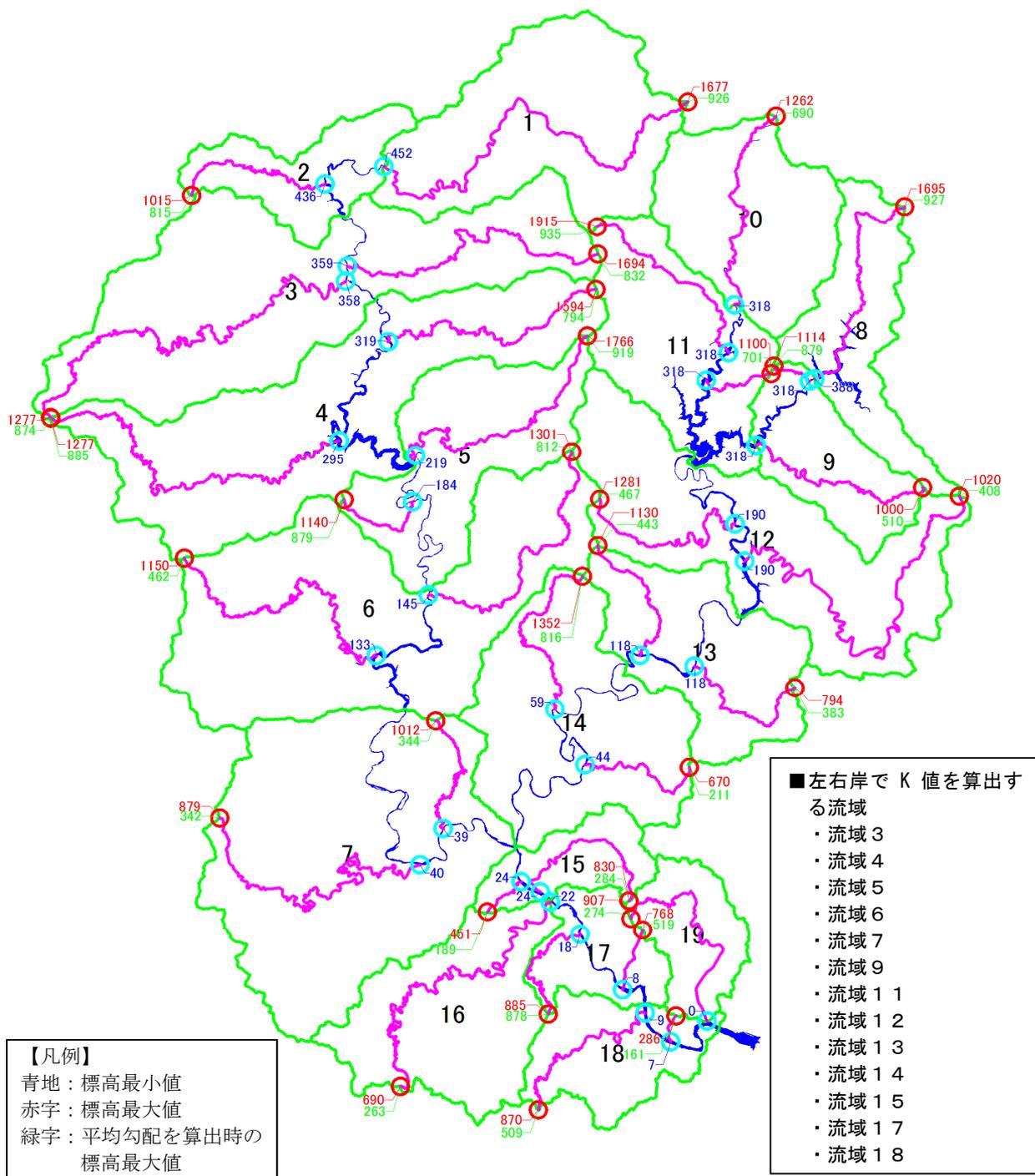


図 1-31 流域3の左右岸流域平均勾配による特性比較



※流域 2（猿谷ダム）の左岸は、河川がないため、片岸検討とした。
 ※流域 1、流域 10、流域 8 は、上流端であるために本川の流路長とした。
 ※流域 16 は、支川赤木川流域のみの流域界であるために、左右岸の分けを行っていない。
 ※流域 19 は、支川相野谷川流域のみの流域界であるために、左右岸の分けを行っていない。

図 1-32 流域流路延長計測位置（左右岸の分け有り）（赤線：流路長）

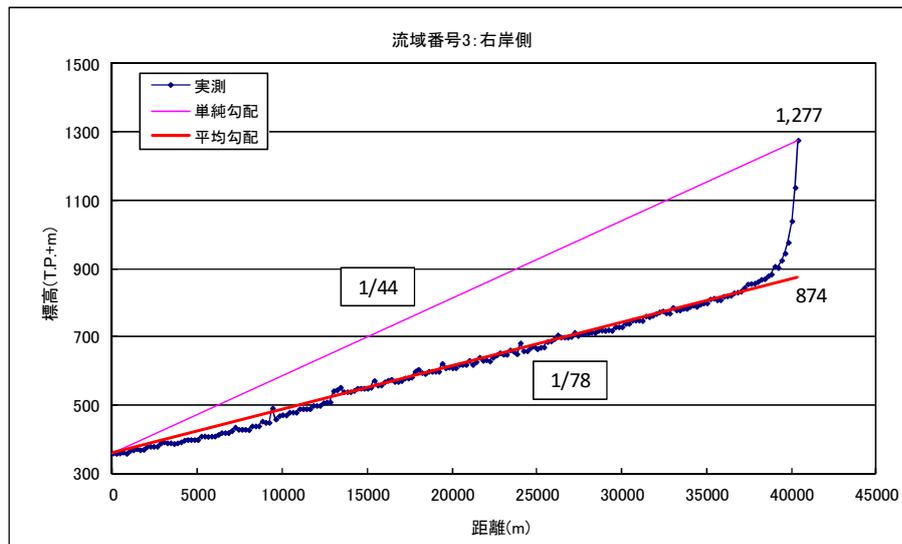
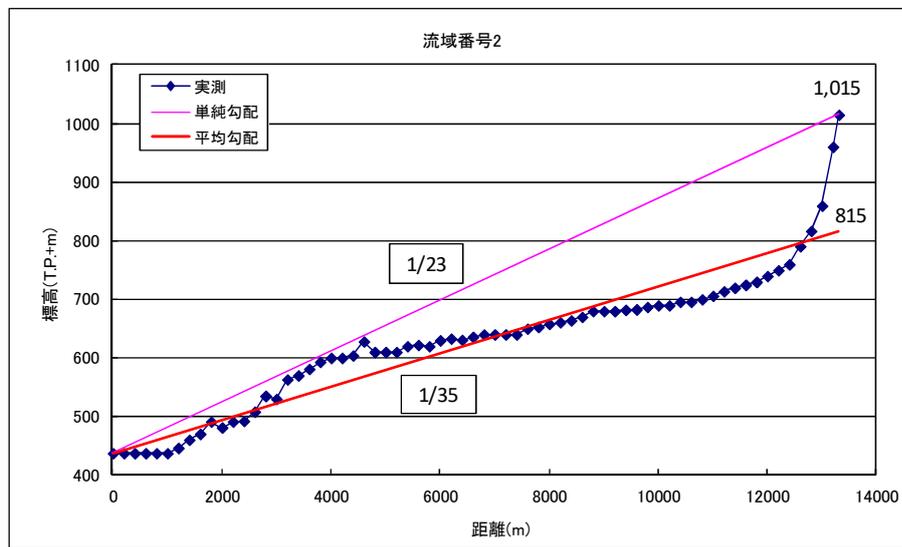
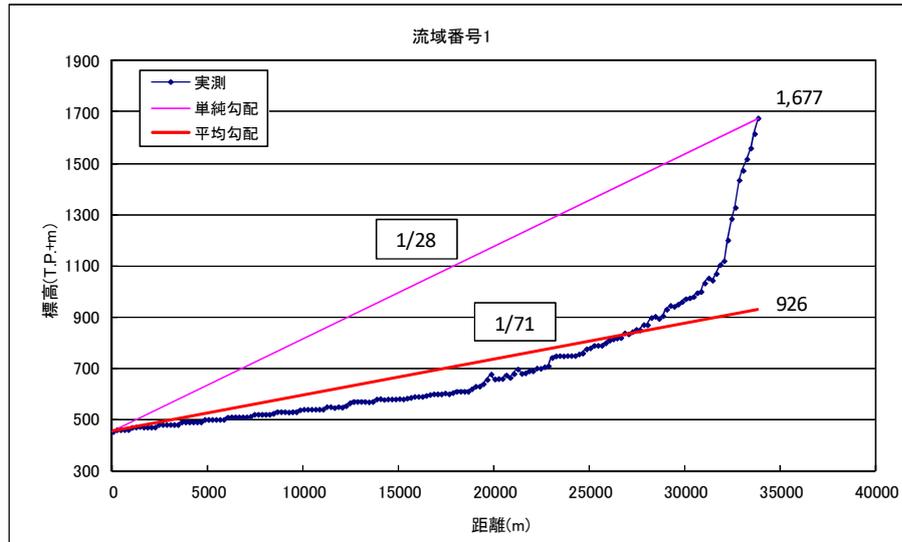


図 1-33 (1) 流域流路勾配

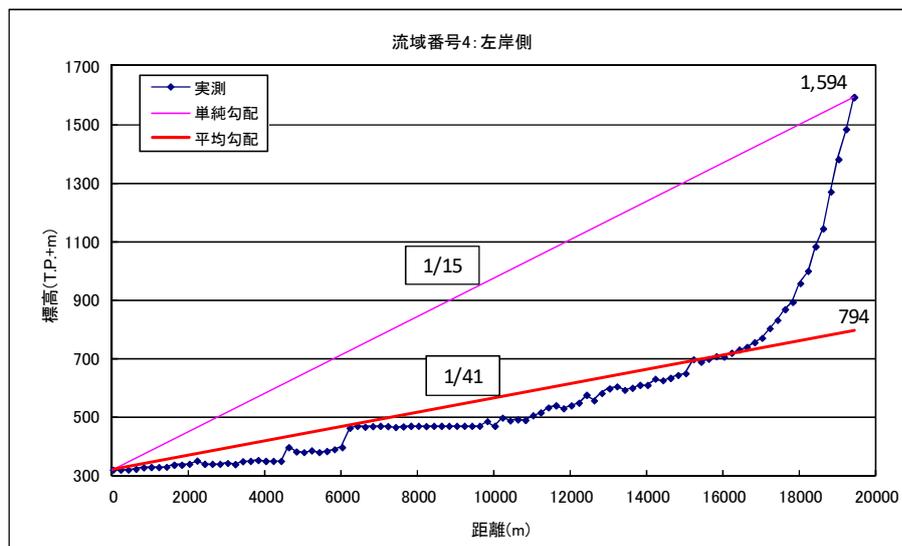
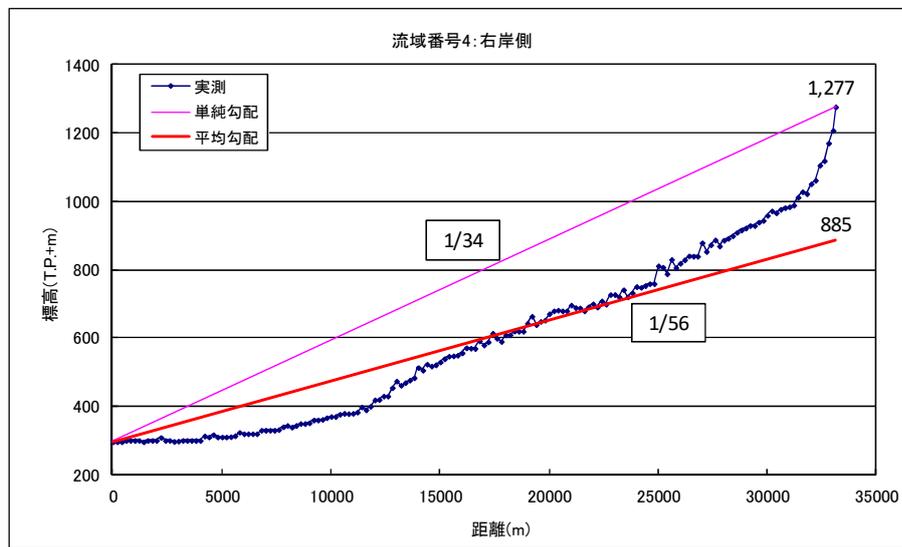
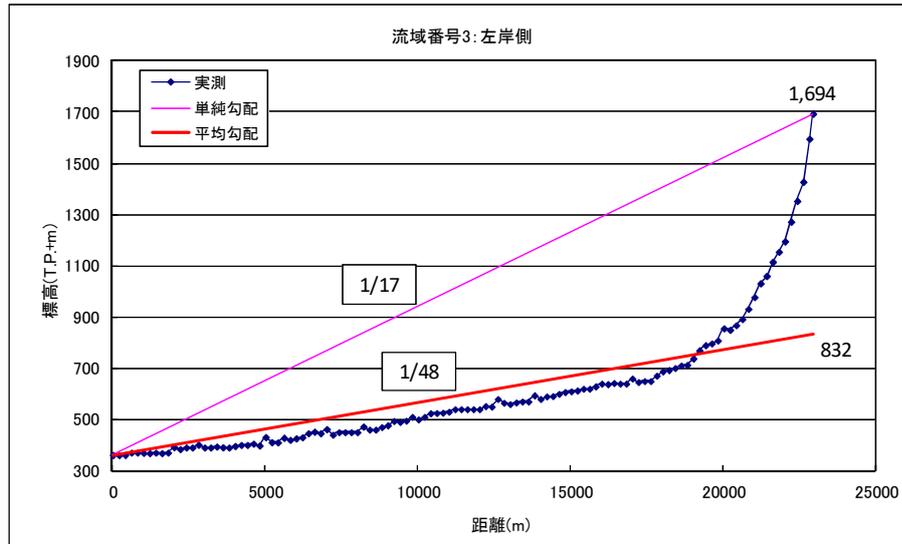


図 1-33 (2) 流域流路勾配

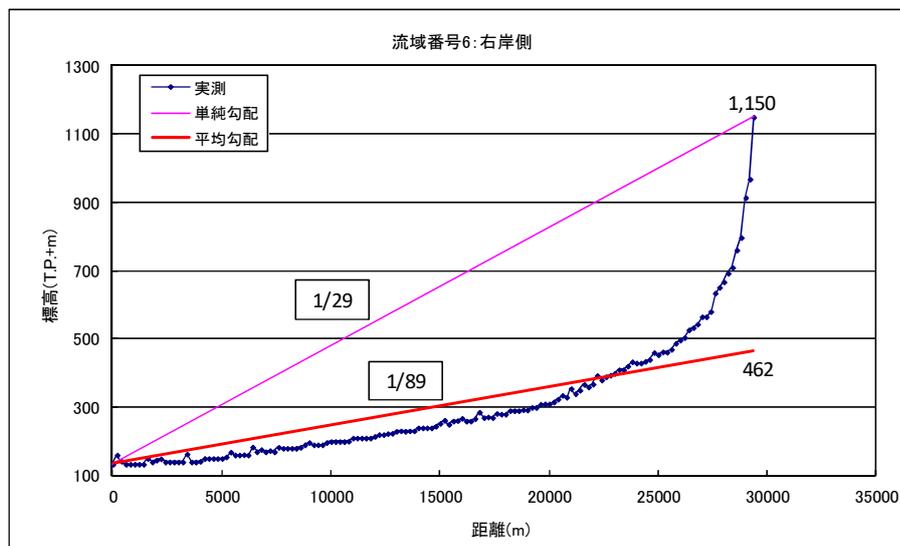
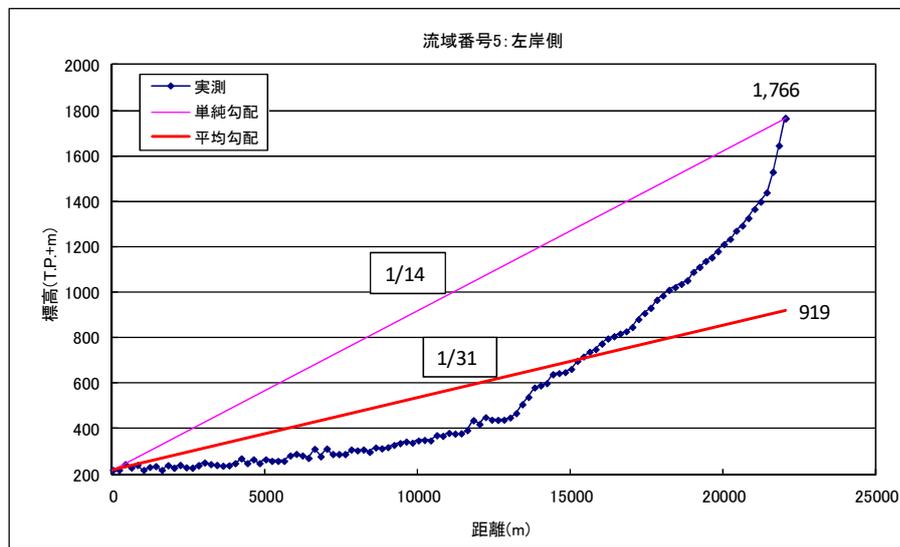
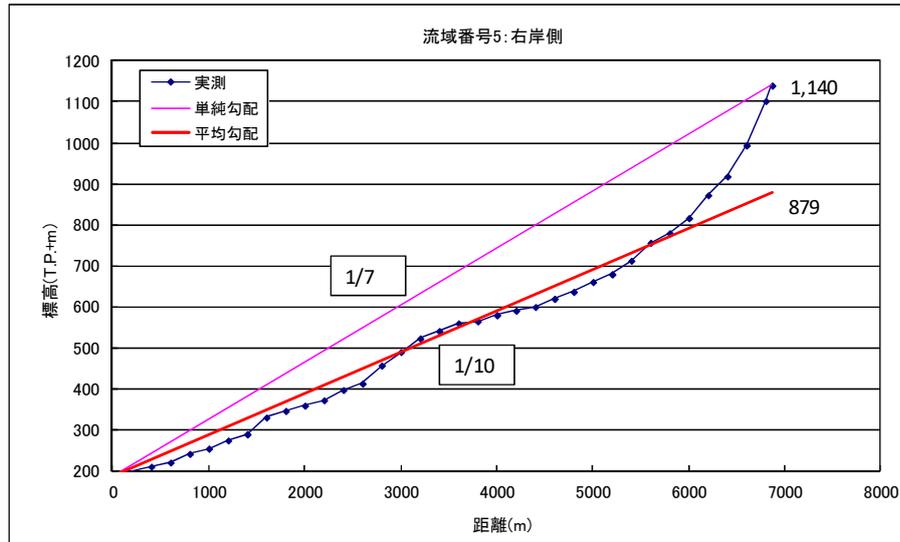


図 1-33 (3) 流域流路勾配

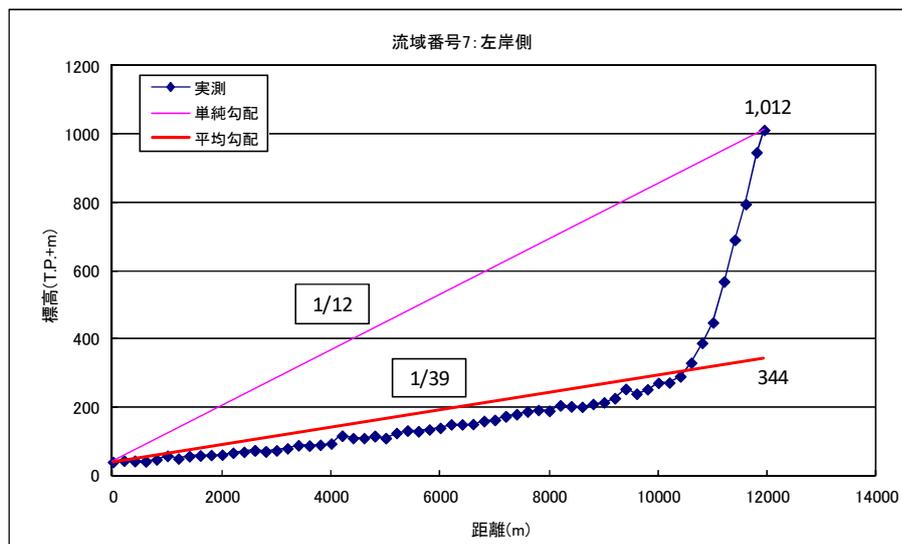
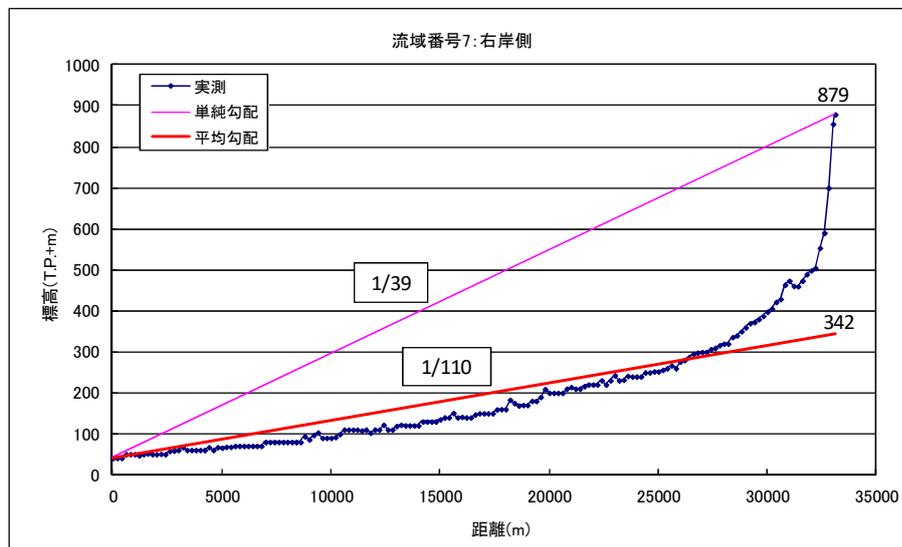
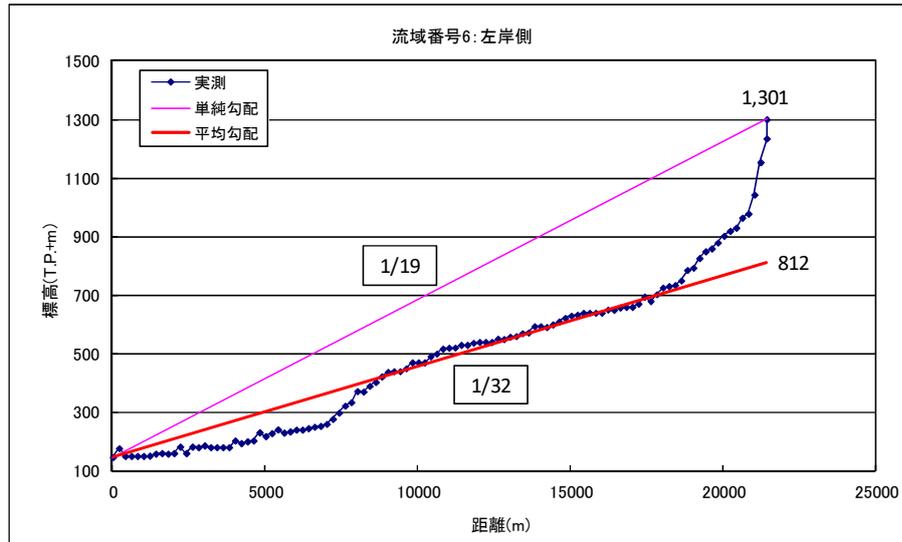


図 1-33 (4) 流域流路勾配

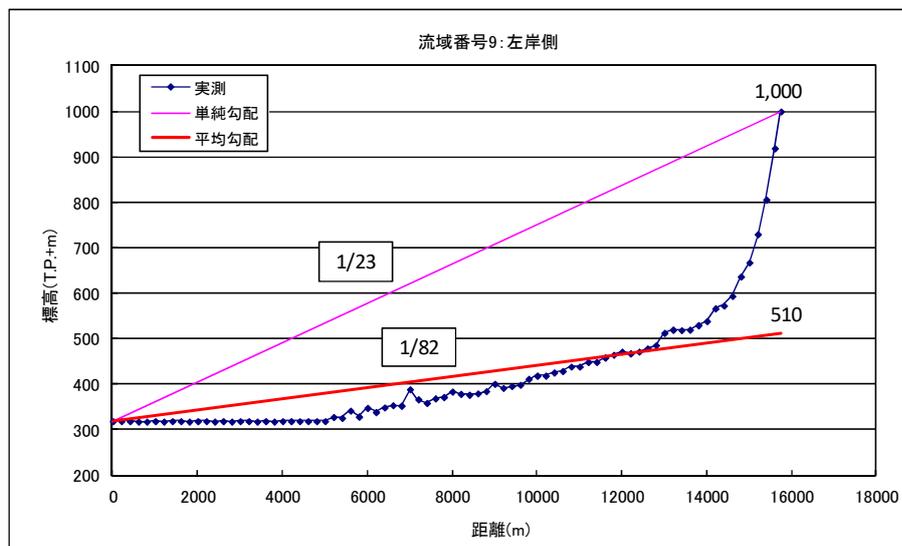
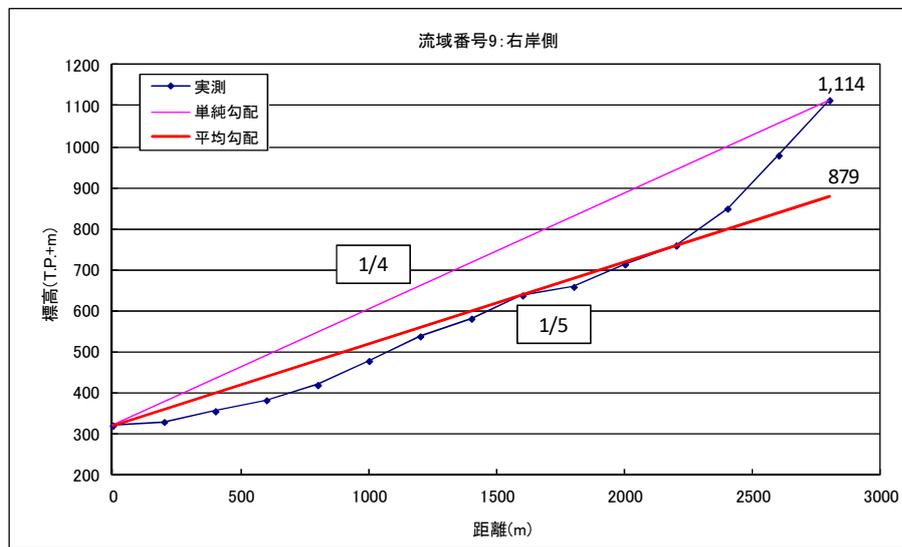
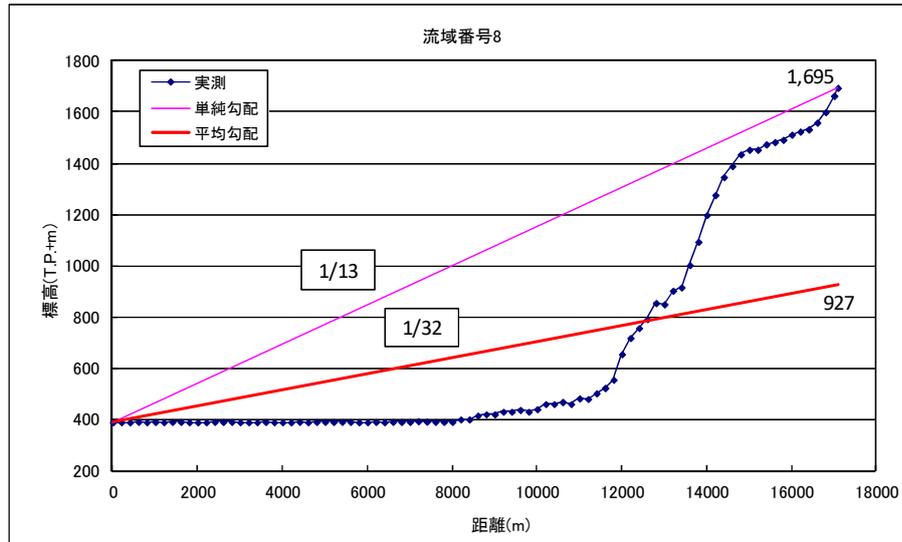


図 1-33 (5) 流域流路勾配

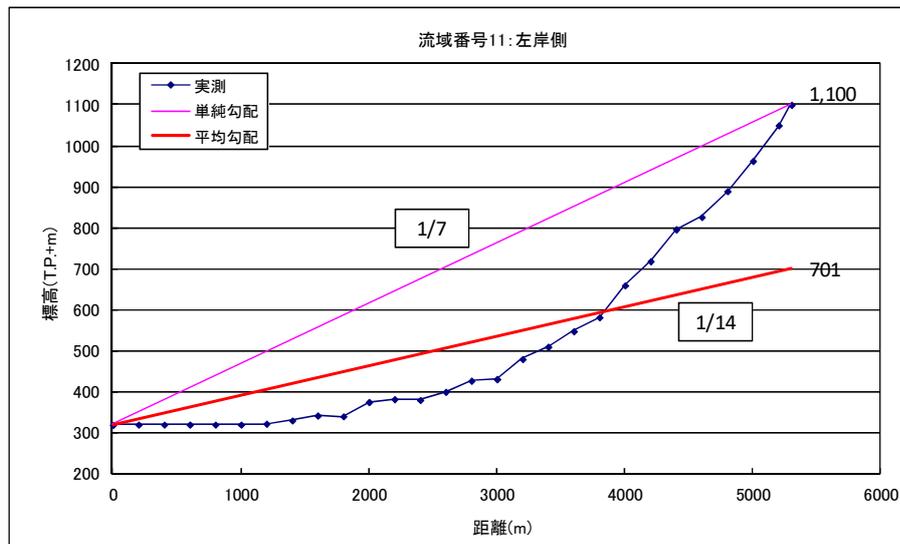
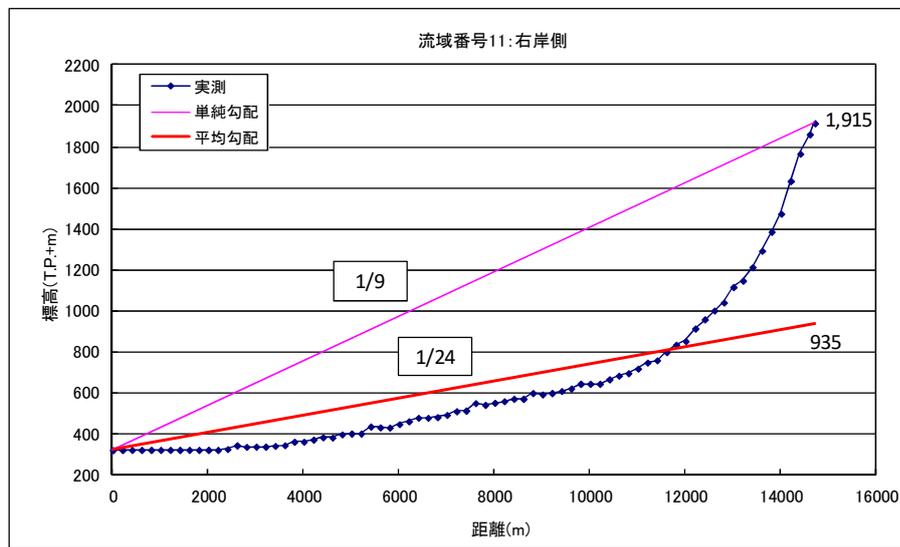
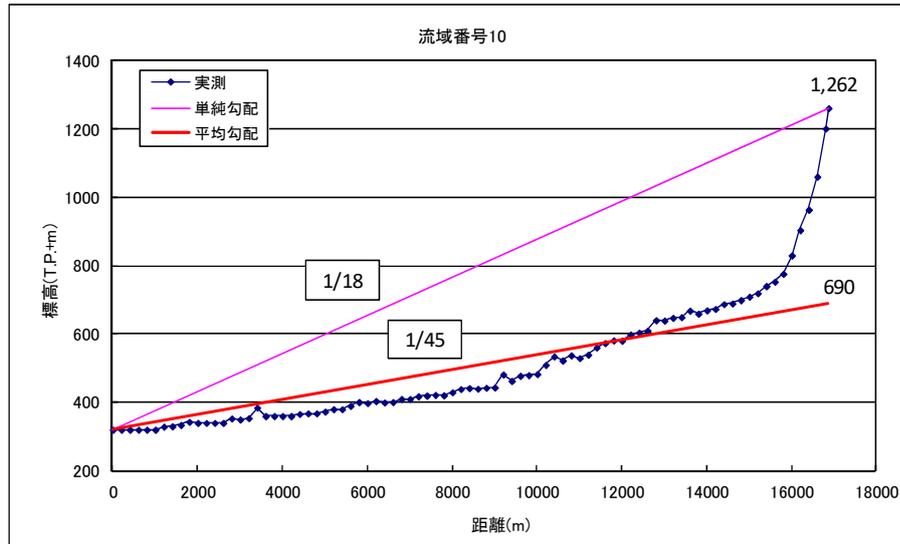


図 1-33 (6) 流域流路勾配

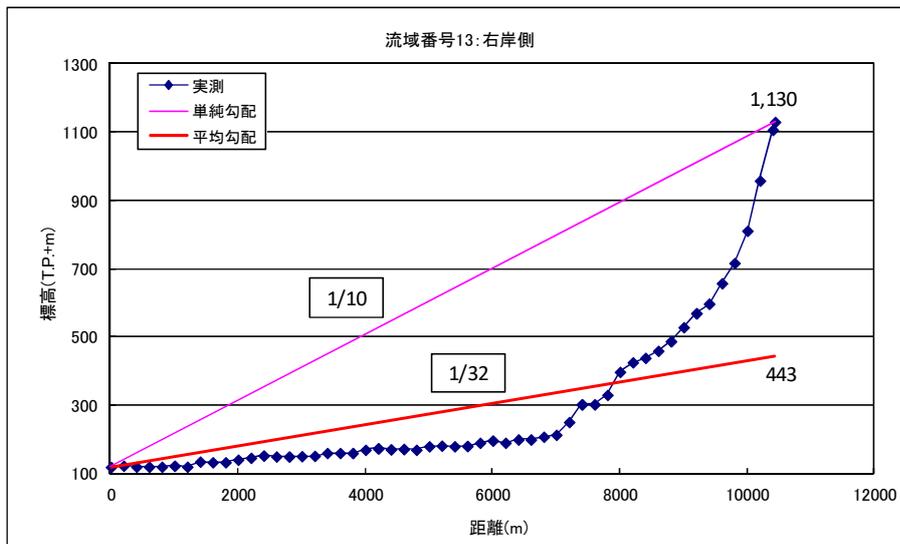
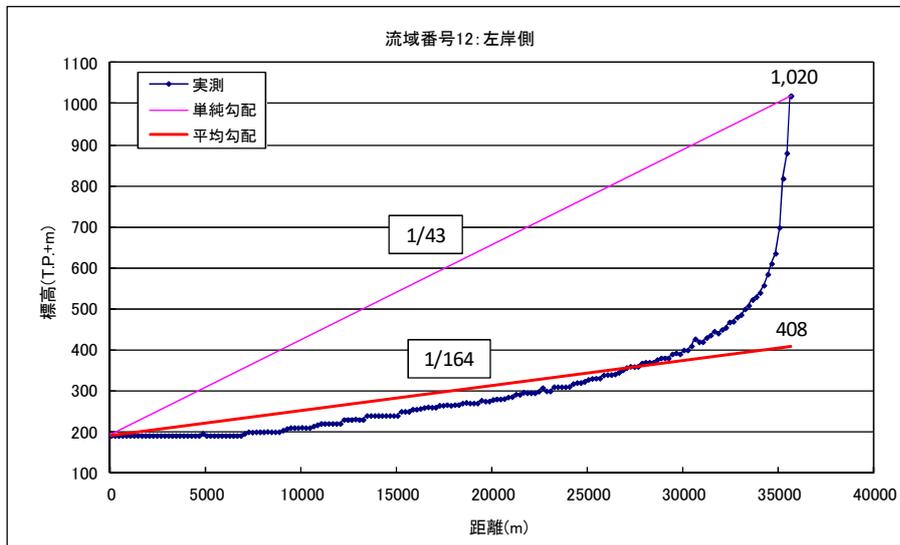
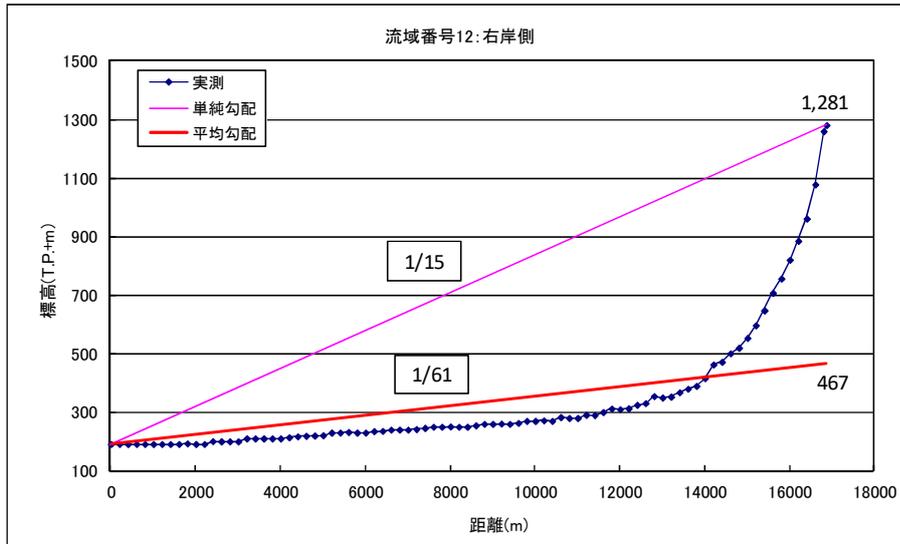


図 1-33 (7) 流域流路勾配

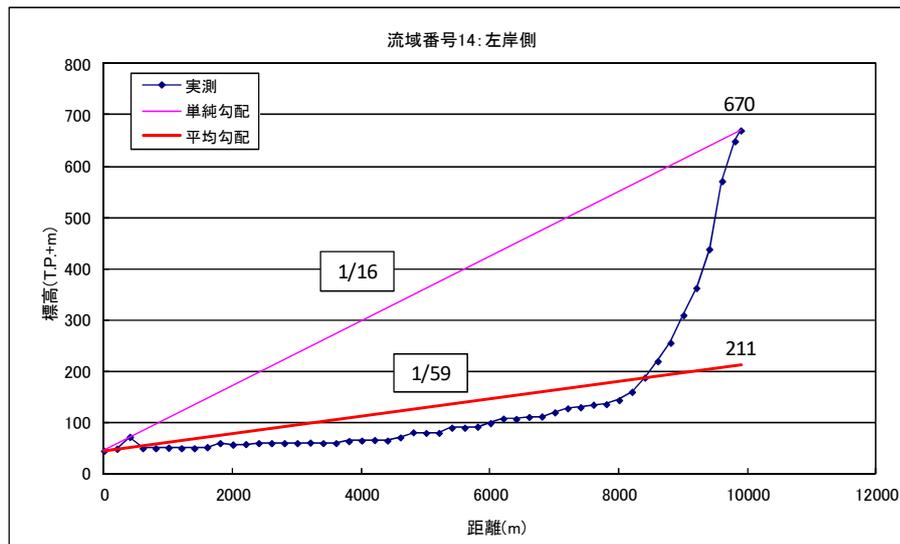
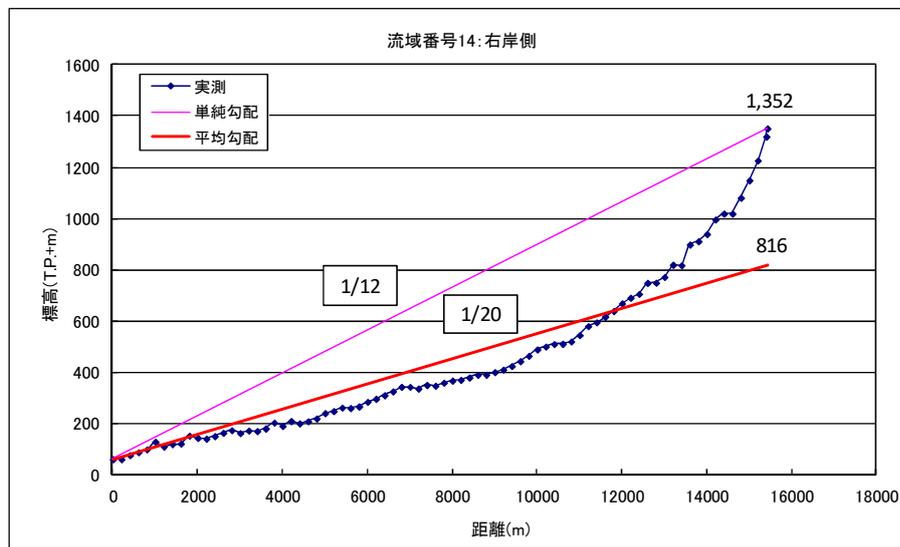
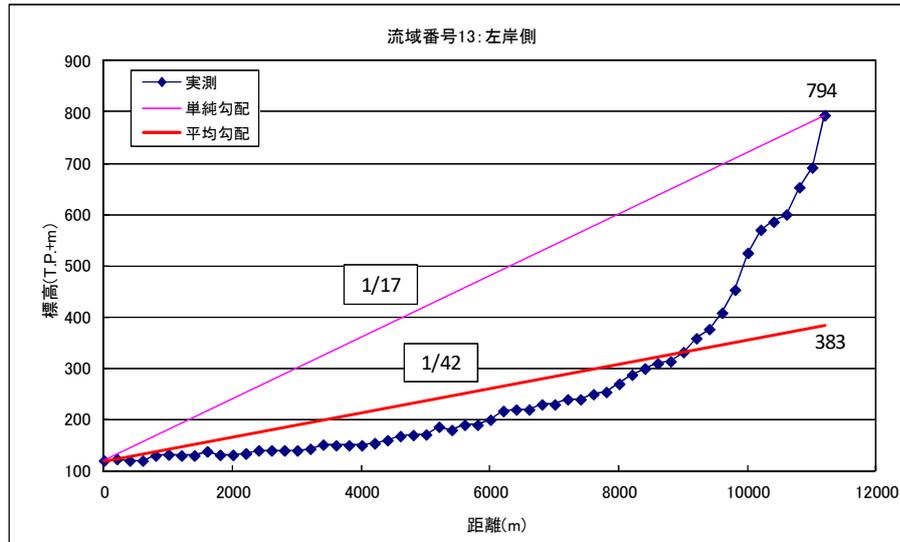


図 1-33 (8) 流域流路勾配

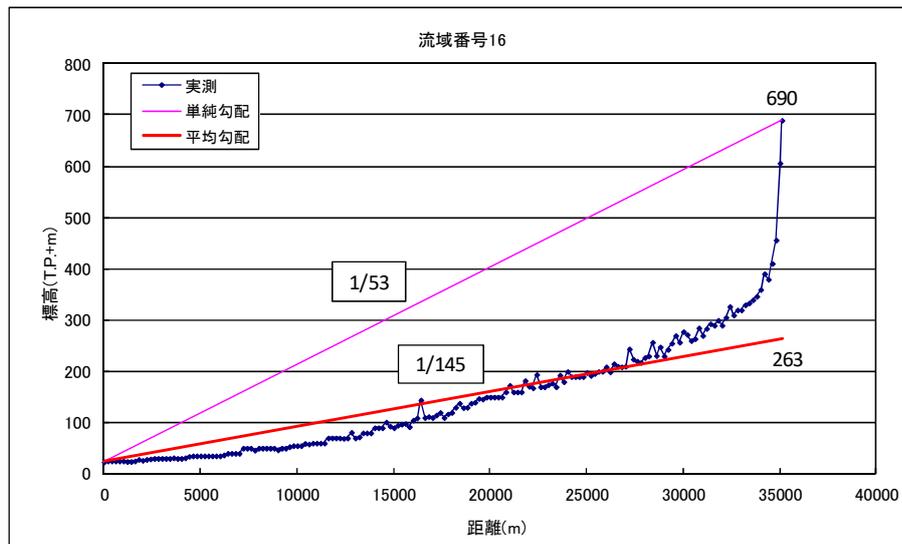
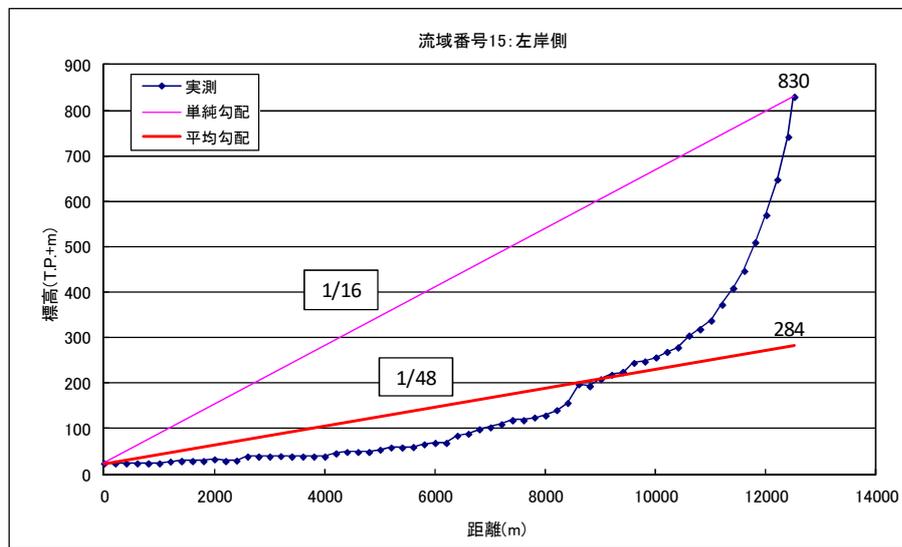
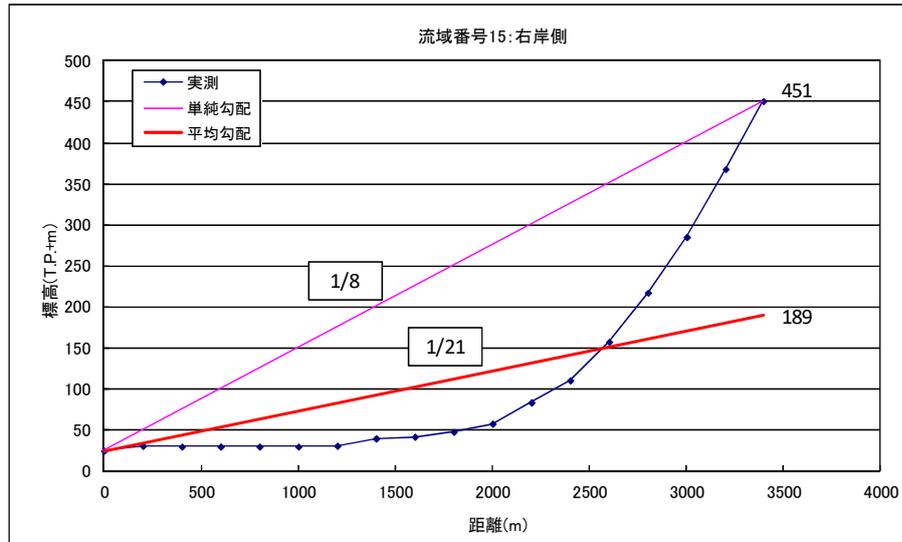


図 1-33 (9) 流域流路勾配

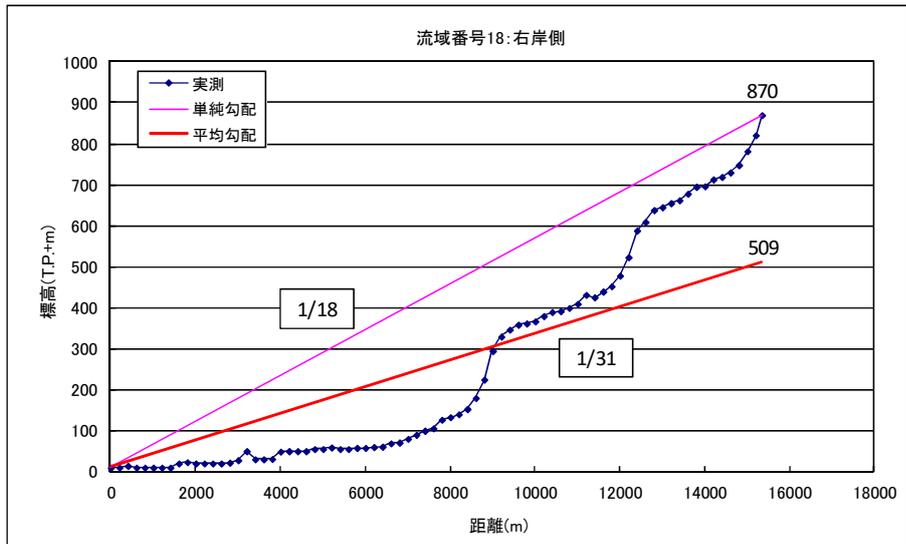
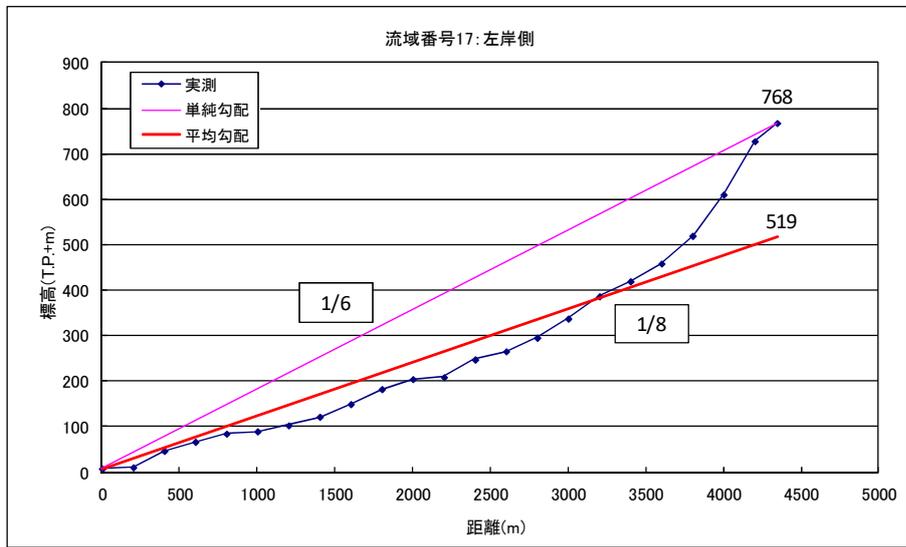
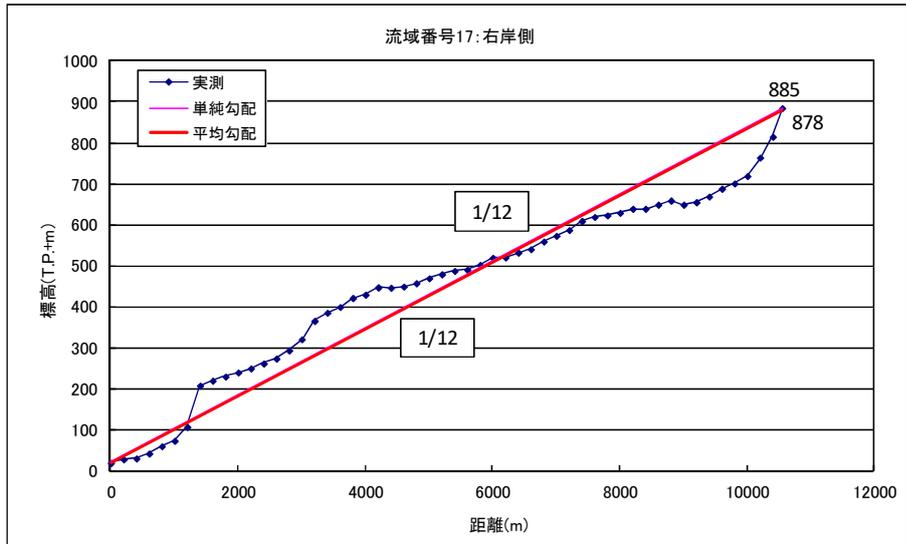


図 1-33 (10) 流域流路勾配

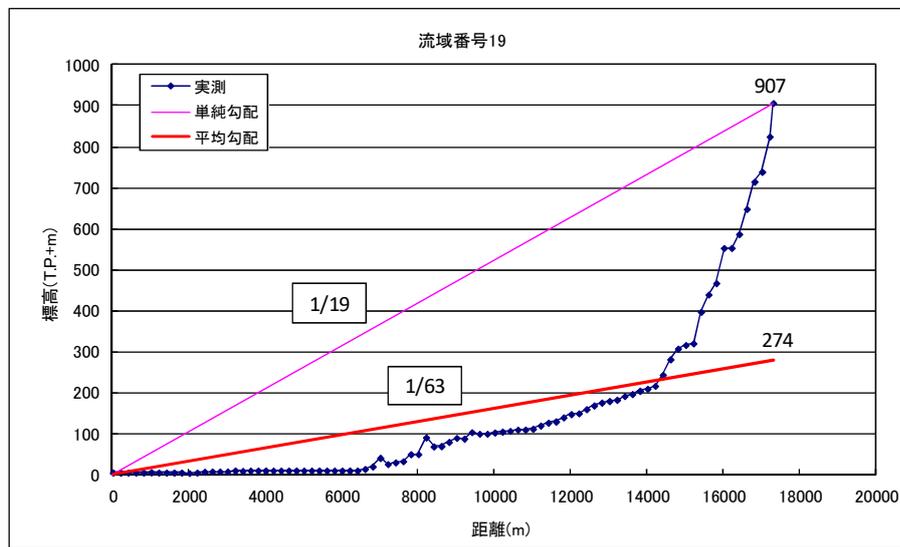
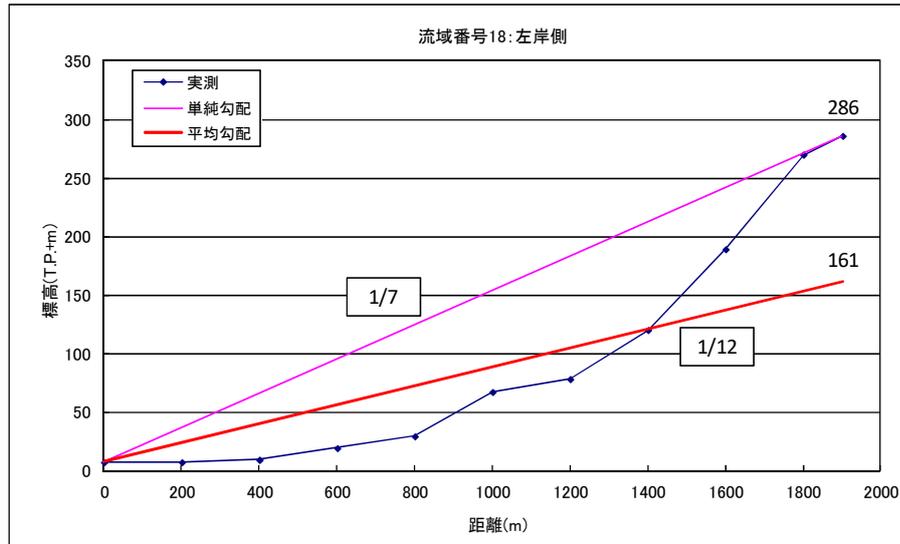


図 1-33 (11) 流域流路勾配

c) 各小流域のK、P、Tlの設定

各小流域の地形特性(図 1-33)を基に設定した各小流域のK、P、Tlを表 1-13に示す。

表 1-13 流域定数算出結果(算出過程)

河川名	流域番号	面積(km ²)		流路長(km)	標高(高)TP(m)	標高(低)TP(m)	標高差(m)	勾配1/I	C	K	K(平均値)	P	Tl(hr)	Tl(hr)(平均値)
十津川	1	161.0	161.0	33.8	926	452	474	71	0.12	27.88	27.88	0.385	1.16	1.16
	2	42.7	42.7	13.3	815	436	379	35	0.12	16.12	16.12	0.385	0.45	0.45
	3-1	239.7	165.8	40.4	874	358	516	78	0.12	30.48	27.71	0.385	1.38	1.20
	3-2		73.9	22.9	832	359	473	48	0.12	21.49			0.78	
	4-1	217.2	139.8	33.1	885	295	590	56	0.12	25.56	23.30	0.385	1.13	0.97
	4-2		77.4	19.4	794	319	475	41	0.12	19.22			0.66	
	5-1	110.2	23.0	6.9	879	184	695	10	0.12	8.50	16.31	0.385	0.24	0.64
	5-2		87.2	22.0	919	219	700	31	0.12	18.37			0.75	
	6-1	245.8	154.4	29.4	462	133	329	89	0.12	28.66	24.82	0.385	1.01	0.90
	6-2		91.4	21.4	812	145	667	32	0.12	18.32			0.73	
	7-1	255.4	208.5	33.1	342	40	302	110	0.12	31.95	29.04	0.385	1.13	1.00
	7-2		46.9	11.9	344	39	305	39	0.12	16.10			0.41	
北山川	8	77.0	77.0	17.1	927	388	539	32	0.12	26.28	26.28	0.414	0.60	0.60
	9-1	75.8	10.8	2.8	879	318	561	5	0.12	7.76	31.14	0.414	0.10	0.49
	9-2		65.0	15.7	510	318	192	82	0.12	35.03			0.55	
	10	101.9	101.9	16.9	690	318	372	45	0.12	29.50	29.50	0.414	0.59	0.59
	11-1	99.3	72.3	14.7	935	318	617	24	0.12	22.71	20.20	0.414	0.52	0.43
	11-2		27.0	5.3	701	318	383	14	0.12	13.47			0.19	
	12-1	185.0	76.1	16.9	467	190	277	61	0.12	32.53	47.52	0.414	0.59	0.98
	12-2		108.9	35.6	408	190	218	164	0.12	58.00			1.25	
	13-1	102.0	41.8	10.4	443	118	325	32	0.12	22.31	23.96	0.414	0.36	0.38
	13-2		60.2	11.2	383	118	265	42	0.12	25.10			0.39	
	14-1	137.0	75.4	15.4	816	59	757	20	0.12	21.88	24.16	0.414	0.54	0.45
	14-2		61.6	9.9	211	44	167	59	0.12	26.95			0.35	
熊野川	15-1	39.0	8.5	3.4	189	24	165	21	0.12	13.29	24.14	0.414	0.12	0.37
	15-2		30.5	12.5	284	24	260	48	0.12	27.19			0.44	
	16	110.3	110.3	35.1	263	22	241	145	0.12	55.40	55.40	0.414	1.23	1.23
	17-1	51.7	22.8	10.5	878	18	860	12	0.12	16.24	13.13	0.414	0.37	0.25
	17-2		28.9	4.3	519	8	511	8	0.12	10.66			0.15	
	18-1	45.4	40.6	15.3	509	9	500	31	0.12	25.02	23.35	0.414	0.54	0.49
	18-2		4.8	1.9	161	7	154	12	0.12	9.21			0.07	
19	45.6	45.6	17.3	274	0	274	63	0.12	33.20	33.20	0.414	0.61	0.61	

熊野川流域における流域定数設定一覧表を表 1-14 に示す。

表 1-14 熊野川流域における流域定数一覧表

流域番号	流域面積 A (km ²)	K	P	遅滞時間 Tl (hr)	f1	f2	Rsa (mm)
1	161.00	27.88	0.385	1.16	0.6	1.0	290.0
2	42.70	16.12	0.385	0.45	0.6	1.0	290.0
3	239.70	27.71	0.385	1.20	0.6	1.0	290.0
4	217.20	23.30	0.385	0.97	0.6	1.0	290.0
5	110.20	16.31	0.385	0.64	0.6	1.0	290.0
6	245.80	24.82	0.385	0.90	0.6	1.0	290.0
7	255.40	29.04	0.385	1.00	0.6	1.0	290.0
8	77.00	26.28	0.414	0.60	0.6	1.0	290.0
9	75.80	31.14	0.414	0.49	0.6	1.0	290.0
10	101.90	29.50	0.414	0.59	0.6	1.0	290.0
11	99.30	20.20	0.414	0.43	0.6	1.0	290.0
12	185.00	47.52	0.414	0.98	0.6	1.0	290.0
13	102.00	23.96	0.414	0.38	0.6	1.0	290.0
14	137.00	24.16	0.414	0.45	0.6	1.0	290.0
15	39.04	24.14	0.414	0.37	0.6	1.0	290.0
16	110.30	55.40	0.414	1.23	0.6	1.0	290.0
17	51.66	13.13	0.414	0.25	0.6	1.0	290.0
18	45.40	23.35	0.414	0.49	0.6	1.0	290.0
19	45.60	33.20	0.414	0.61	0.6	1.0	290.0
合計	2342.00						

(2) 河道定数の設定

河道定数 K、P は、熊野川流域における小流域間に設定された A 河道～H 河道において、任意の流量 Q に対応する貯留量 S との関係から算出した。貯留量 S の算定では、河道範囲を限定せず氾濫を考慮した流量と貯留量の間係を算定した。

また、河道の遅滞時間 T1 は、定流の貯留関数と洪水流の貯留関数の関係から算出した。

表 1-15 対象河道一覧

河道No.	河川名	河道区間	河道延長 (km)
A河道	十津川	川原樋川合流点～長殿地点	105.6～114.2km
B河道	十津川	風屋ダム～大津呂	65.4～83.4km
C河道	十津川	二津野ダム～十津川下流端	24.4～48.8km
D河道	北山川	小森ダム～北山川下流端	0.2～30.4km
E河道	熊野川	十津川、北山川合流点～赤木川合流点	19.6～24.0km
F河道	熊野川	赤木川合流点～相賀	10.2～19.4km
G河道	熊野川	相賀～成川	2.4～10.15km
H河道	相野谷川	相野谷川	0.0～5.7km

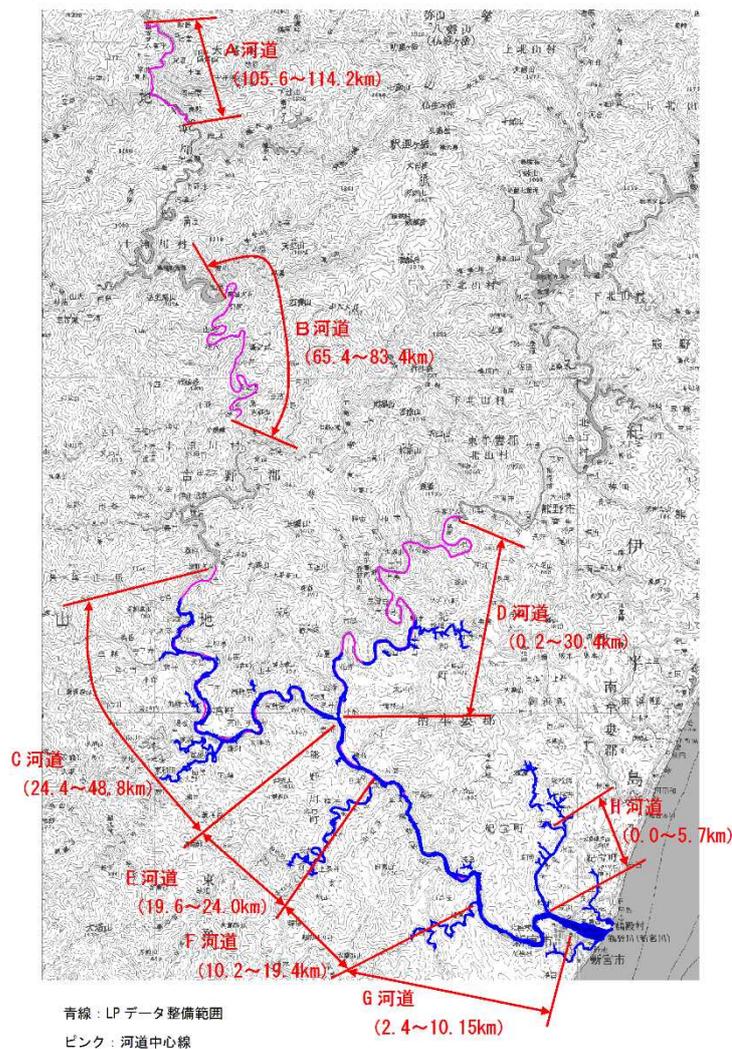
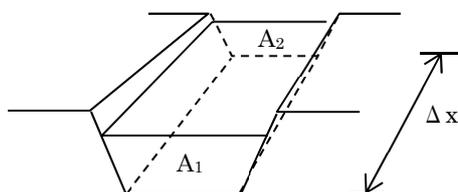


図 1-34 対象河道位置図

1) 河道定数 K、P の設定

河道 A～河道 H について、複数の流量規模に対して不等流計算を実施し、各流量における流積を用いて河道の S～Q 関係を算定した。

以下の表 1-16、図 1-35 に流量 Q と貯留量 S を示す。



$$V = \frac{1}{2}(A_1 + A_2) \cdot \Delta x$$

$$S = V / 3,600$$

A_1, A_2 : 任意の流量における流積(m²) , Δx : 区間距離(m)

図 1-35 貯留量 S の考え方

表 1-16 A 河道から H 河道における S-Q 関係一覧表 (現況河道)

十津川							
A 河道		B 河道		C 河道		E 河道	
流量 (m ³ /s)	貯留量 (m ³ /3, 600)	流量 (m ³ /s)	貯留量 (m ³ /3, 600)	流量 (m ³ /s)	貯留量 (m ³ /3, 600)	流量 (m ³ /s)	貯留量 (m ³ /3, 600)
720	680.17	1,140	2221.51	1,540	5319.70	3,800	2195.29
1,440	1110.80	2,280	3503.47	3,080	8670.18	7,600	3963.01
2,160	1475.29	3,420	4602.01	4,620	11782.46	11,400	5711.15
2,880	1800.80	4,560	5600.88	6,160	14747.98	15,200	7503.98
3,600	2107.31	5,700	6540.82	7,700	17647.14	19,000	9097.34
4,320	2397.64	6,840	7435.64	9,240	20316.99	22,800	10614.60
5,040	2674.55	7,980	8300.65	10,780	22908.01	26,600	12083.65
5,690	2910.64	9,000	9053.81	12,160	25184.87	30,000	13358.28

北山川		熊野川				相野谷川	
D 河道		F 河道		G 河道		H 河道	
流量 (m ³ /s)	貯留量 (m ³ /3, 600)	流量 (m ³ /s)	貯留量 (m ³ /3, 600)	流量 (m ³ /s)	貯留量 (m ³ /3, 600)	流量 (m ³ /s)	貯留量 (m ³ /3, 600)
1,960	7062.71	3,800	3772.22	3,800	3904.20	103	140.02
3,920	11046.93	7,600	6006.68	7,600	5623.21	207	219.03
5,880	14418.96	11,400	8025.75	11,400	7140.26	310	291.57
7,840	17494.90	15,200	10039.66	15,200	8448.61	413	359.43
9,800	20395.37	19,000	11823.74	19,000	9662.43	516	485.07
11,760	23147.96	22,800	13531.96	22,800	10792.96	620	586.67
13,720	25812.34	26,600	15147.99	26,600	11923.82	723	733.53
15,480	28155.38	30,000	16535.84	30,000	12819.28	816	871.38

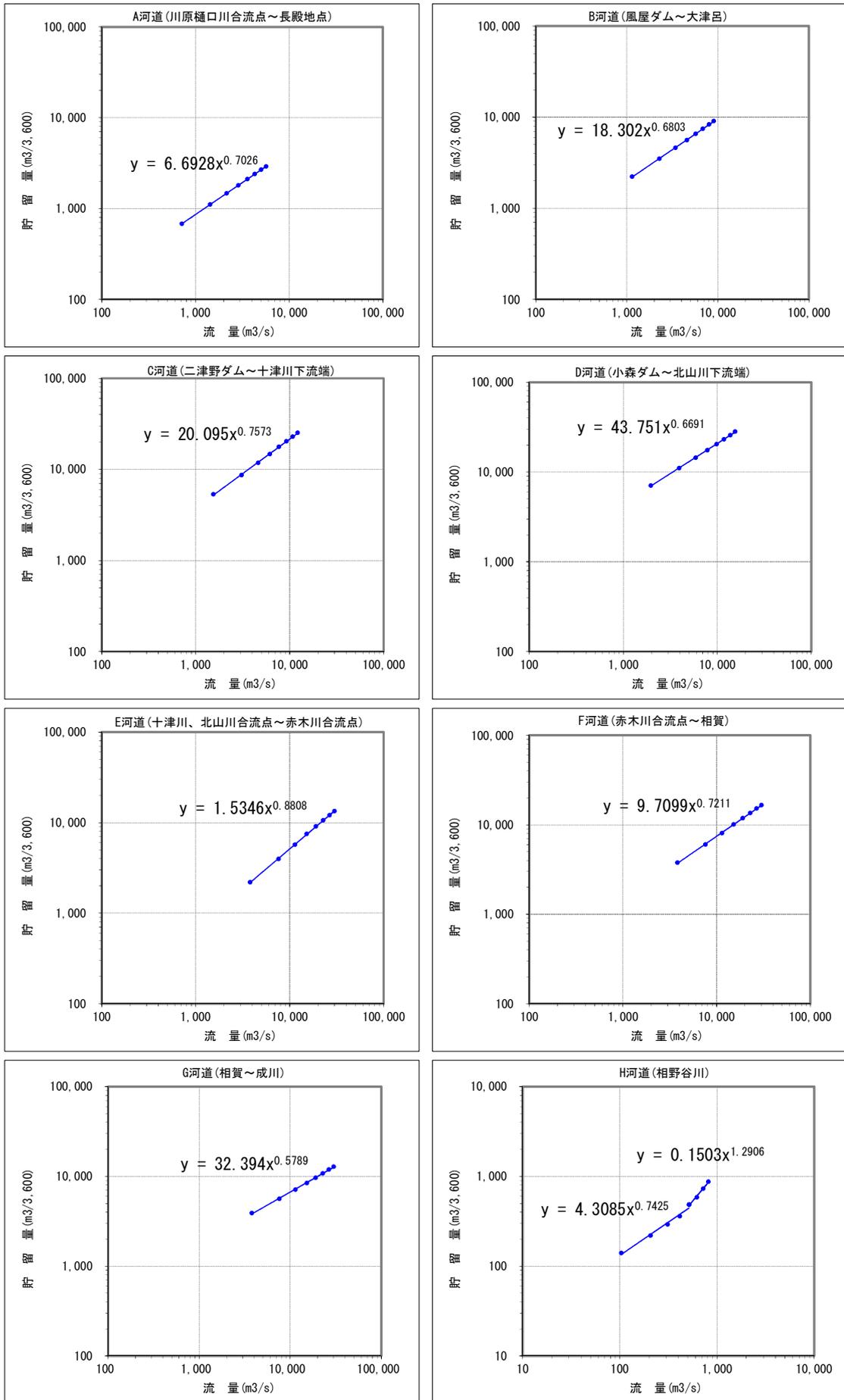


図 1-36 A河道からH河道におけるS-Q関係図 (現況河道)

上記の流量 Q と貯留量 S の関係から、河道定数 K、P を算定した。
以下の表 1-17 に各河道の河道定数 K、P を示す。

表 1-17 河道定数 K、P 設定結果（現況河道）

河道No.	河川名	河道区間	S=kQ ^p	
			k	P
A	十津川	川原樋川合流点～長殿地点	6.693	0.703
B	十津川	風屋ダム～大津呂	18.302	0.680
C	十津川	二津野ダム～十津川下流端	20.095	0.757
D	北山川	小森ダム～北山川下流端	43.751	0.669
E	熊野川	十津川、北山川合流点～赤木川合流点	1.535	0.881
F	熊野川	赤木川合流点～相賀	9.710	0.721
G	熊野川	相賀～成川	32.394	0.579
H	相野谷川	相野谷川 計画流量規模以下	4.309	0.743
		相野谷川 計画流量規模以上	0.150	1.291

2) 河道定数 T1 の設定

河道の遅滞時間 T1 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。考え方は次のとおりである。

木村によれば、河川の定流の貯留水量と流量から定流の貯留関数を次のように定めている。⁸⁾

$$\varphi_s = K_s \cdot Q^{-0.4}$$

$$K_s = 0.185n^{0.6} \cdot L \cdot b^{0.4} \cdot I^{-0.3}$$

ここに、Q : 流量(m³/s)

n : 粗度係数(m·sec 単位)

L : 流路延長(km)

b : 河幅(m) (河道の断面を長方形として仮定)

I : 勾配 (無次元)

一方で、定流の貯留関数 φ_s と洪水流の貯留関数 φ の間には、次式の関係が近似的にあることを示している。

$$\varphi_s = \varphi + T_1 \quad \text{ここに、} T_1 : \text{河道の遅滞時間}$$

ここで、次のような仮定を行う

仮定① : 洪水流の貯留関数 φ は、流量 Q の-0.5 乗に比例する

$$\text{洪水時貯留関数 } \varphi = K' \cdot Q^{-0.5}$$

仮定② : 定流の貯留関数 φ_s と洪水流の貯留関数の関係は図 1-37 のとおりであり、 Q_{min} に対応する点で交わる。

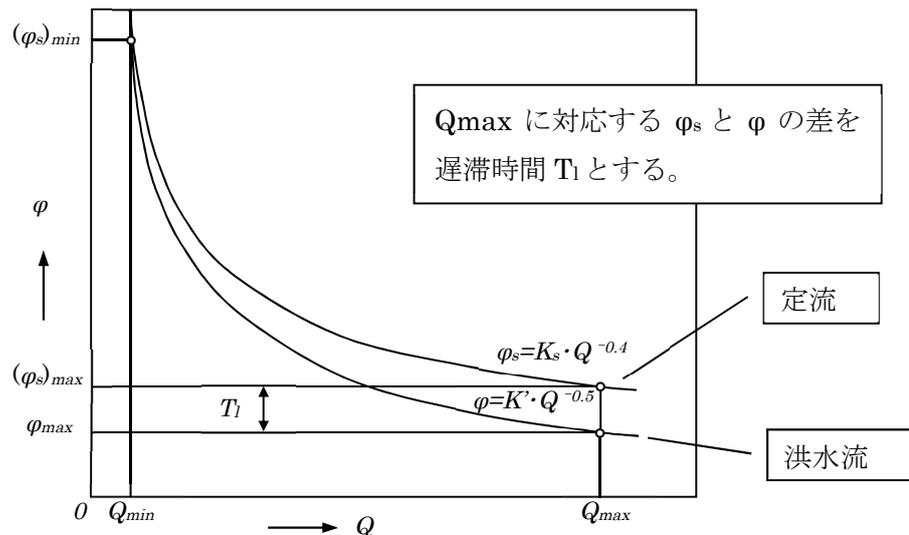


図 1-37 定流の貯留関数 φ_s と洪水流の貯留関数 φ の関係

木村は、遅滞時間について理論的な計算が出来ず、また、経験的な推定式も得られていないため、利根川、鬼怒川の洪水解析で、下記の理由から上記のような仮定を行う方法を採用した。

- ・経験的に貯留関数について求めたPに相当する指数は、0.4~0.5(平均0.45程度)であること判っているので、 ϕ はQの-0.55乗程度に比例するのが妥当。これを-0.5乗と近似。
 - ・ Q_{min} を大きく変えても図1-37の関係は変わらない。
 - ・ Q_{max} を大きく変えてもT1の値はほとんど変わらない。
- 熊野川における遅滞時間の推定も同様の手法を用いるものとした。

熊野川では、 Q_{min} を相賀地点(2,251km²)平均低水流量程度(Q=約60m³/s)とし、 Q_{max} を平成23年(2011年)9月台風12号洪水時の相賀地点ピーク流量(24,000m³/s)とした。

定流の貯留関数と洪水時の貯留関数が Q_{min} で交わることから、定流時の ϕ_s とともに洪水時の定数K'($\phi_s(Q_{min})=\phi(Q_{min})$)を求めることができる。

K'を求めることが出来れば、 Q_{max} による貯留関数 ϕ を計算することができ、 Q_{max} による定流時の貯留関数 ϕ_s との差分を求めることにより、遅滞時間T1が算出することができる。

定流時の ϕ_s を求めるためにKsを構成する、粗度係数n、流路長L、河幅bを各河道モデルで設定を行った。河幅bは、木村は河道を長方形として仮定しているが、熊野川では不等流計算の河積A/径深Rにより各断面における河幅を求め、河道モデル区間での平均値を河道モデルの河幅とした。粗度係数nは、平成23年(2011年)9月台風12号洪水流量(相賀24,000m³/s)の平均粗度係数(0.0km~11.2km区間平均)を採用した。

河道の遅滞時間T1を設定した結果を表1-18に示す。

表 1-18 河道モデルの遅滞時間T1の設定結果(現況河道)

河道モデル	河道延長(km)	平均勾配1/n	平均川幅b(m)	粗度係数n ^{注1)}	Q_{min} (m ³ /s) ^{注2)}	Q_{max} (m ³ /s) ^{注3)}	Ks	ϕ_s (min)	ϕ_s (max)	K'	ϕ (min)	ϕ (max)	T1(hr)
A河道	8.6	193	129	0.049	8	3,300	8.82	3.84	0.35	10.86	3.84	0.19	0.16
B河道	18.0	299	129	0.049	15	5,800	21.06	7.13	0.66	27.61	7.13	0.36	0.30
C河道	24.4	441	362	0.049	30	12,000	48.47	12.43	1.13	68.11	12.43	0.62	0.51
D河道	30.2	590	215	0.049	28	11,000	53.15	14.02	1.29	74.17	14.02	0.71	0.58
E河道	4.4	702	480	0.049	58	23,000	11.25	2.22	0.20	16.88	2.22	0.11	0.09
F河道	9.2	945	352	0.049	60	24,000	22.72	4.42	0.40	34.21	4.42	0.22	0.18
G河道	7.8	259	311	0.049	63	25,000	12.35	2.35	0.22	18.69	2.35	0.12	0.10
H河道	5.7	1,059	112	0.049	2	840	9.21	6.98	0.62	9.87	6.98	0.34	0.28

注1) 粗度係数は、既往最大流量流下時の推定粗度係数を使用(直轄区間より上流は、直轄区間の平均粗度係数を使用)

注2) 最小流量は、基準地点相賀における平均低水流量(S36~H25)を最大流量時の区間流量比で算定

注3) 最大流量は、既往最大流量である平成23年9月台風12号時による計算流量

ダム湖に関しては、K、Pを設定していない。当該流域のダムは、利水ダムであることから $Q_{in}=Q_{out}$ とする操作を行うダムであることを考えると、ダム湖区間は貯留量を考慮せず、遅滞時間のみとするべきであると考え、遅滞時間のみとした。

貯水池内の洪水伝播特性は、波動の伝播速度は河川と湛水池の間の遷移領域で遅くなり、湛水池領域で見掛け上急激に速くなる。これは、洪水流入により長波の速度 \sqrt{gh} で湛水池領域を伝播する波動がダム地点の一部を越流し、一部は反射して波動の往復による重ね合わせが起こり、湛水池領域の水面がほぼ水平状態で昇降するためである。一方流量の伝播速度は自然河道の場合より遅くなり、ダム地点で流量と波動のピークの位相が一致する。⁹⁾

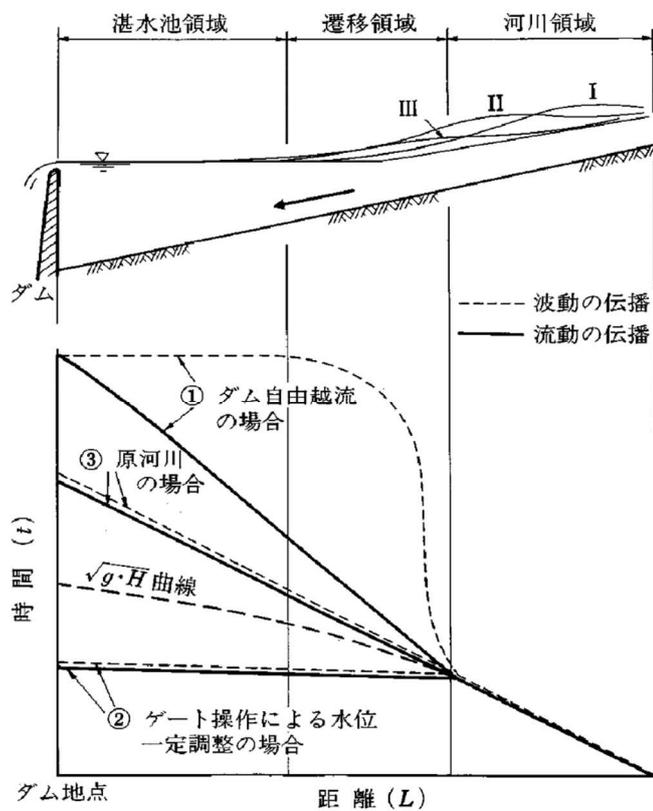


図 1-38 貯水池内の洪水の伝播

ダム湖の遅滞時間 T1 は、以下の式にて算出した。

なお、ダム湖の平均流速は波速 (\sqrt{gh}) に比べ十分に小さく無視できるものとし、0 とした。

$$T1 = \frac{L}{u + \sqrt{gh}}$$

ここに、T1 : ダム湖の遅滞時間(sec)

L : 貯水池の長さ(m)

u : 断面平均流速(m/s) (=0)

g : 重力加速度(m/s²)

h : 貯水池平均水深(m)

ダム湖の遅滞時間 T1 を設定した結果を表 1-19 に示す。

表 1-19 ダム湖モデルの定数設定

No.	ダム湖区間	距離 L (m)	ダム地点水深 H H=HWL-基盤高 (m)	平均水深 h h=ΔH/2 (m)	伝達速度 \sqrt{gh} (m/s)	遅滞時間 T1	
						(sec)	(hr)
1	猿谷ダム	8,760	71.0	35.5	18.7	470	0.13
2	風屋ダム	22,020	96.5	48.3	21.7	1,013	0.28
3	二津野ダム	14,040	71.5	35.8	18.7	750	0.21
4	池原ダム	15,760	108.0	54.0	23.0	685	0.19
5	七色ダム	21,750	57.0	28.5	16.7	1,301	0.36
6	小森ダム	13,400	29.0	14.5	11.9	1,124	0.31

(3) 利水ダムの活用のためのモデル改良

新宮川水系には、前述に示した利水ダム以外に、最上流部、支川にも利水ダムが設置されている。これらの治水活用を評価出来るように、新たに流域分割を行い、流出解析モデルに加えた。

流出解析モデルに追加した利水ダムは、川迫ダム、九尾ダム、瀬戸ダム、旭ダムの4ダムである。

図 1-39 に流域分割図、図 1-40 に流出モデル図を示す。

新たに追加した流域の流域定数は、当初モデルの分割前の流域定数と同じとした。

河道モデルは、変更箇所はない。

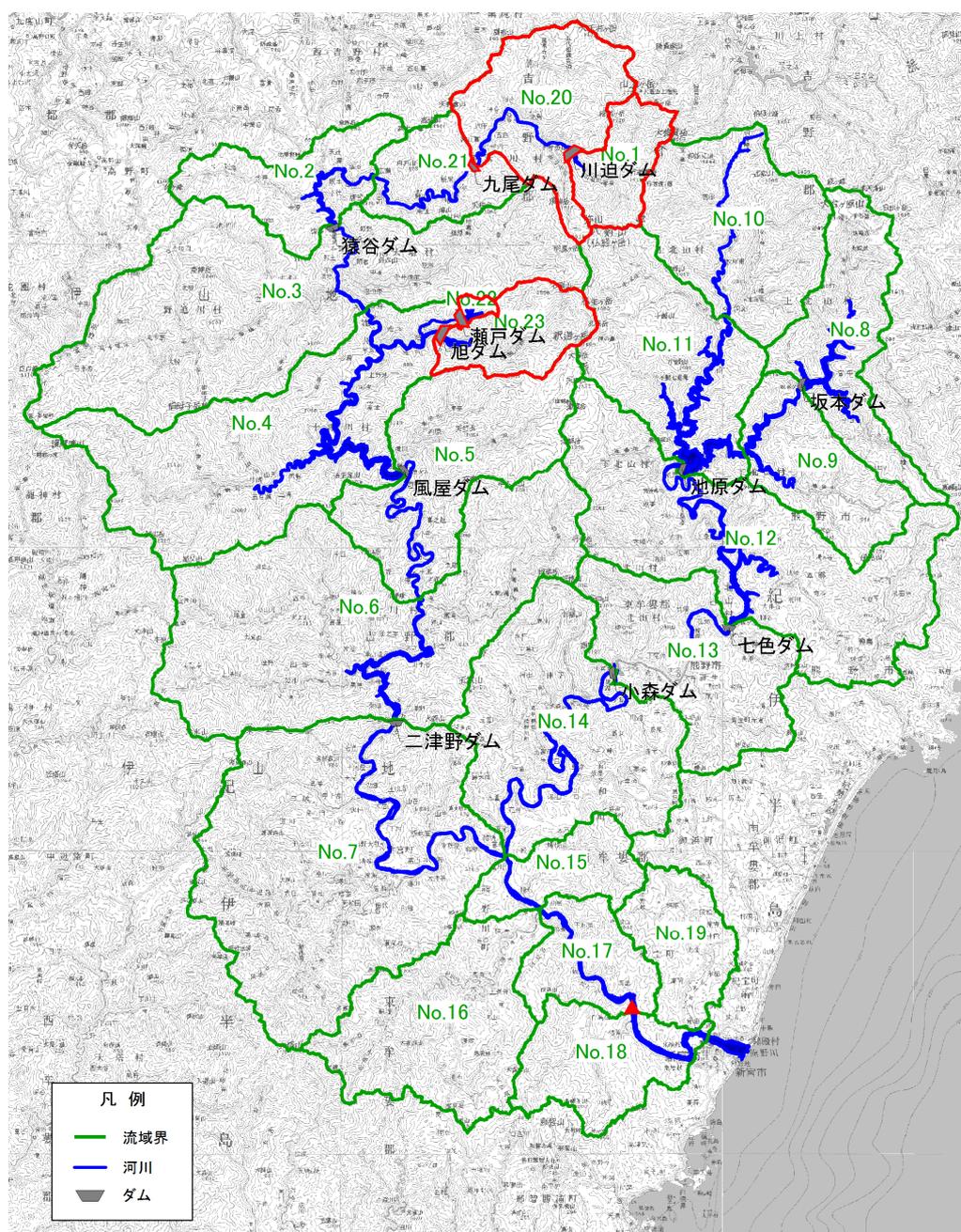


図 1-39 流域分割図

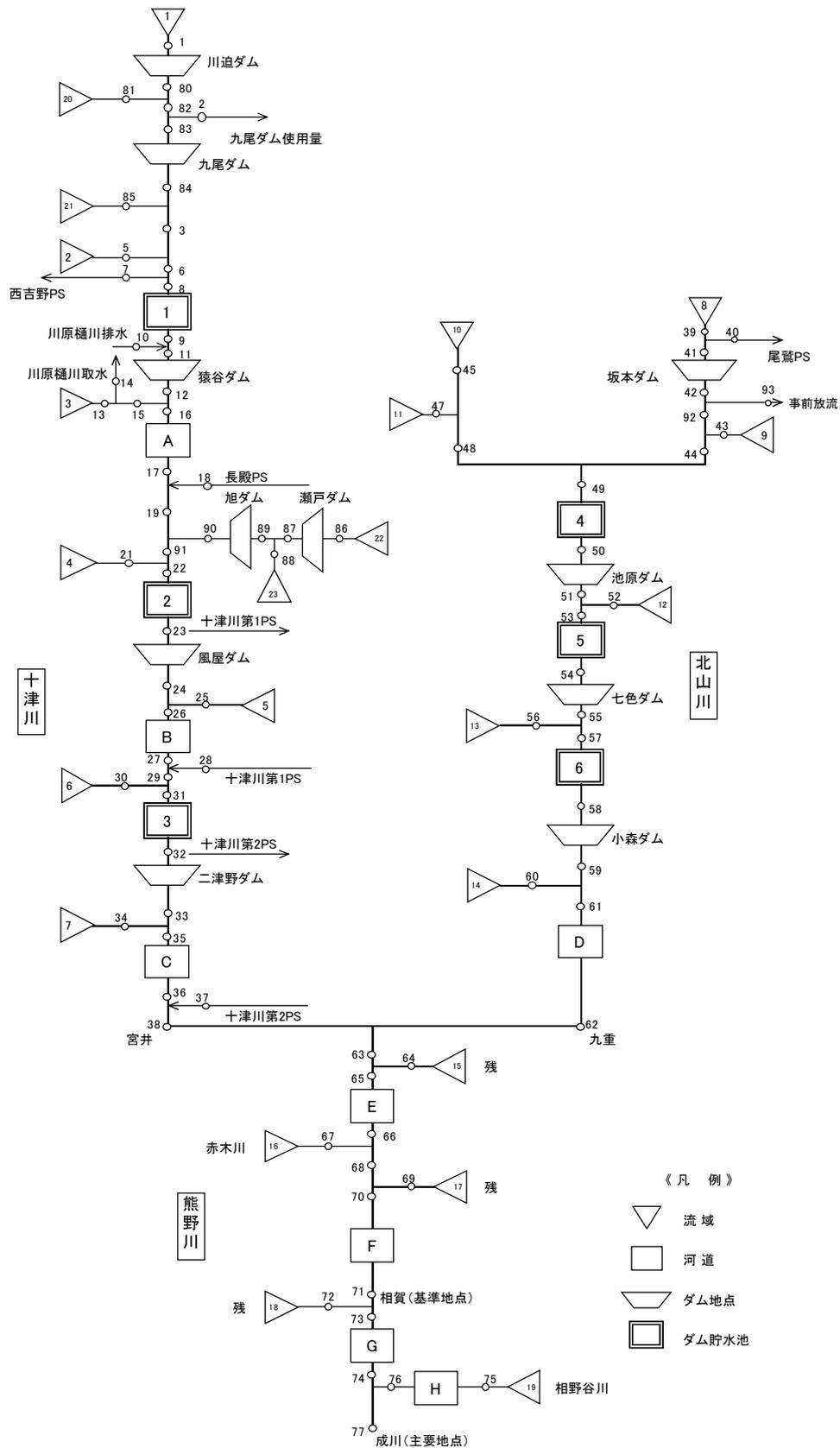


図 1-40 流域モデル図

(4) 流出解析による実績再現結果

前節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。

再現計算は表 1-20 に示す 3 洪水を対象とした。

対象理由を以下に示す。

- 平成 9 年(1997 年)7 月洪水：従前の河川整備方針、整備計画にて流量を定めていた洪水
- 平成 19 年(2007 年)7 月洪水：相賀地点の流量観測値が得られている洪水
- 平成 23 年(2011 年)9 月洪水：既往最大の洪水

表 1-20 検証対象洪水一覧

No.	洪水名	相賀地点 流域平均 24hr 雨量 (mm)
1	H090725	470
2	H190713	263
3	H230902	714

(5) 流出解析に用いる定数

前述に整理した流域定数、河道定数を表 1-21、表 1-22 に再掲する。

また、実績再現に用いる Rsa 及び基底流量 Qb は洪水毎に 35 頁に示す方法で定めた。

各洪水の Rsa と Qb を表 1-23 に示す。

表 1-21 流域定数

流域番号	流域名	流域面積 A (km ²)	K	P	遅滞時間 Tl (hr)	f1	f2	Rsa (mm)
1	広瀬地点上流域	161.00	27.88	0.385	1.16	0.6	1.0	290.0
2	猿谷ダム残流域	42.70	16.12	0.385	0.45	0.6	1.0	290.0
3	長殿地点残流域	239.70	27.71	0.385	1.20	0.6	1.0	290.0
4	風屋ダム残流域	217.20	23.30	0.385	0.97	0.6	1.0	290.0
5	滝川流域	110.20	16.31	0.385	0.64	0.6	1.0	290.0
6	二津野ダム残流域	245.80	24.82	0.385	0.90	0.6	1.0	290.0
7	宮井地点残流域	255.40	29.04	0.385	1.00	0.6	1.0	290.0
8	坂本ダム地点	77.00	26.28	0.414	0.60	0.6	1.0	290.0
9	備後川流域	75.80	31.14	0.414	0.49	0.6	1.0	290.0
10	河合地点上流域	101.90	29.50	0.414	0.59	0.6	1.0	290.0
11	池原ダム残流域	99.30	20.20	0.414	0.43	0.6	1.0	290.0
12	七色ダム残流域	185.00	47.52	0.414	0.98	0.6	1.0	290.0
13	小森ダム残流域	102.00	23.96	0.414	0.38	0.6	1.0	290.0
14	九重地点残流域	137.00	24.16	0.414	0.45	0.6	1.0	290.0
15	赤木川合流点残流域	39.04	24.14	0.414	0.37	0.6	1.0	290.0
16	赤木川流域	110.30	55.40	0.414	1.23	0.6	1.0	290.0
17	相賀地点残流域	51.66	13.13	0.414	0.25	0.6	1.0	290.0
18	成川地点残流域	45.40	23.35	0.414	0.49	0.6	1.0	290.0
19	相野谷川流域	45.60	33.20	0.414	0.61	0.6	1.0	290.0
合計	合計	2342.00						

表 1-22 河道定数

河道No.	河川名	河道区間	S=kQ ^p		Tl(hr)
			k	P	
A	十津川	川原樋川合流点～長殿地点	6.693	0.703	0.16
B	十津川	風屋ダム～大津呂	18.302	0.680	0.30
C	十津川	二津野ダム～十津川下流端	20.095	0.757	0.51
D	北山川	小森ダム～北山川下流端	43.751	0.669	0.58
E	熊野川	十津川、北山川合流点～赤木川合流点	1.535	0.881	0.09
F	熊野川	赤木川合流点～相賀	9.710	0.721	0.18
G	熊野川	相賀～成川	32.394	0.579	0.10
H	相野谷川	相野谷川 計画流量規模以下	4.309	0.743	0.28
		相野谷川 計画流量規模以上	0.150	1.291	
1	十津川	猿谷ダム	—	—	0.13
2	十津川	風屋ダム	—	—	0.28
3	十津川	二津野ダム	—	—	0.21
4	北山川	池原ダム	—	—	0.19
5	北山川	七色ダム	—	—	0.36
6	北山川	小森ダム	—	—	0.31

表 1-23 検証対象洪水の Rsa、Qb 設定一覧表

No.	洪水名	Rsa (mm)			Qb (m ³ /s/km ²)		
		十津川流域	北山川流域	合流点下流	十津川流域	北山川流域	合流点下流
1	H090725	286	295	295	0.25	0.29	0.29
2	H190713	301	145	145	0.15	0.12	0.12
3	H230902	234	166	166	0.16	0.25	0.25

(6) 検証対象洪水の再現計算結果

前項までに設定した定数を用いて、表 1-20 に示す 3 洪水について、再現計算を実施した。再現計算結果を図 1-41～図 1-43 に示す。

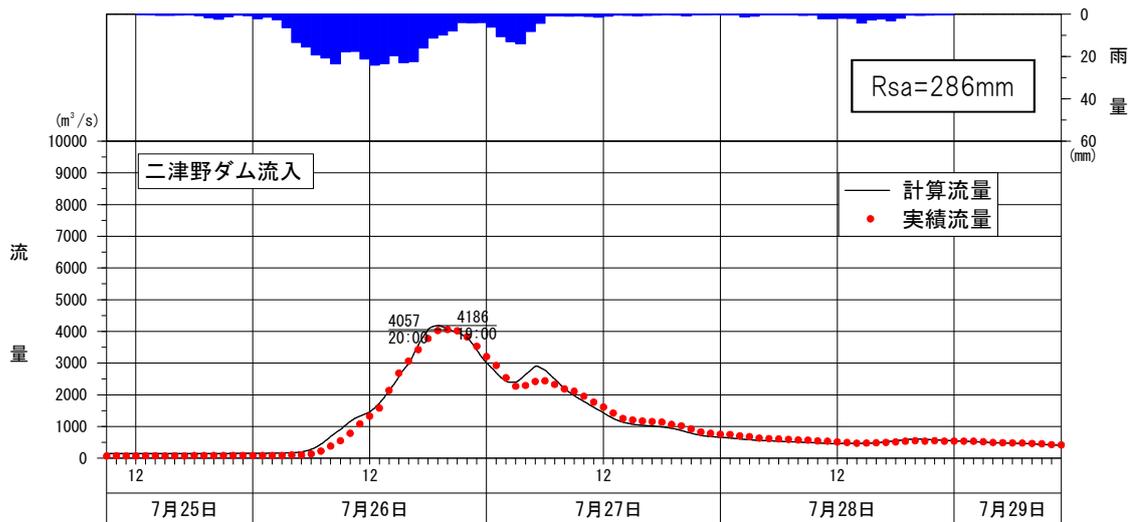
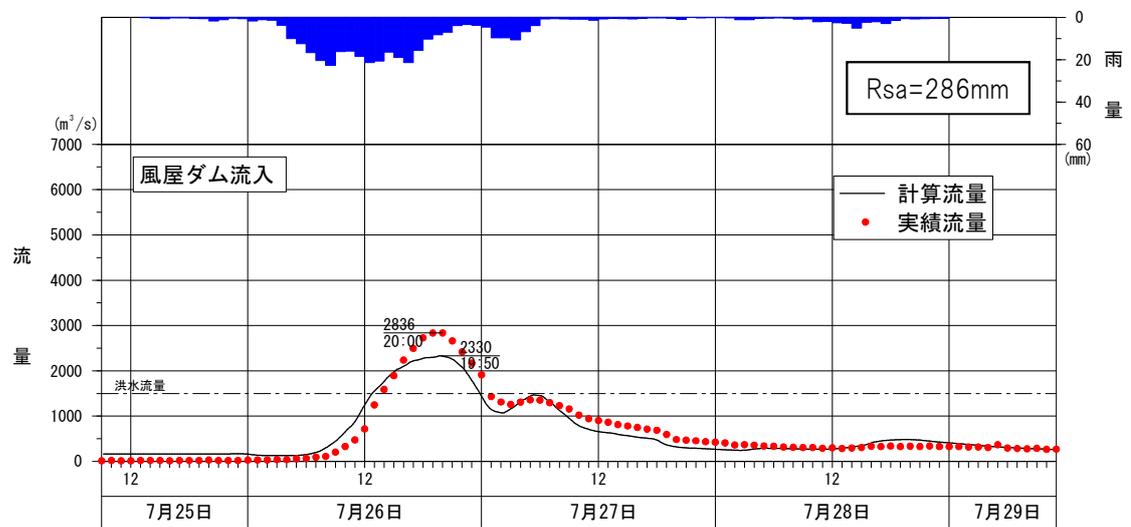
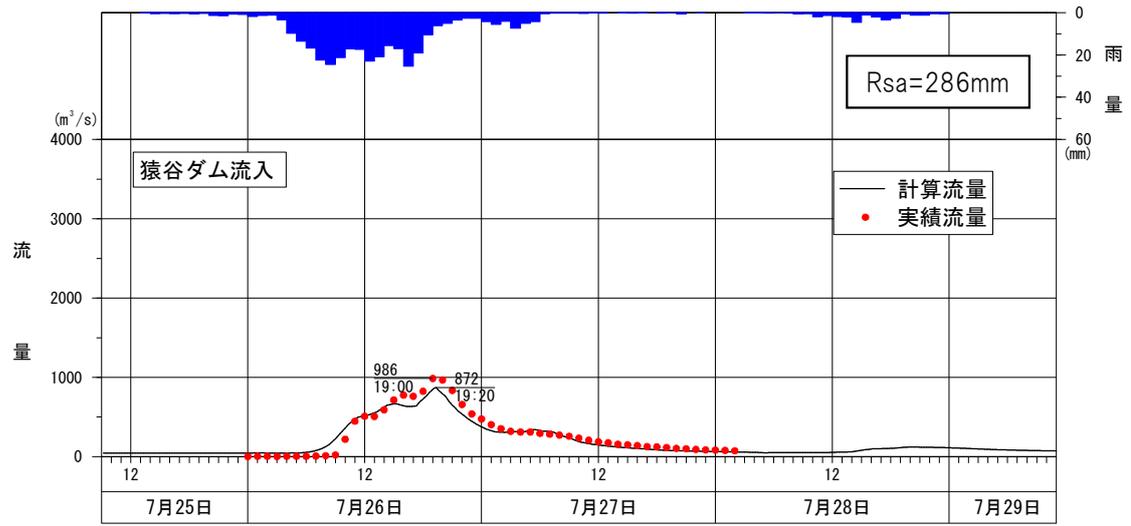


図 1-41 (1) 実績再現計算結果 (H09.07.25 洪水)

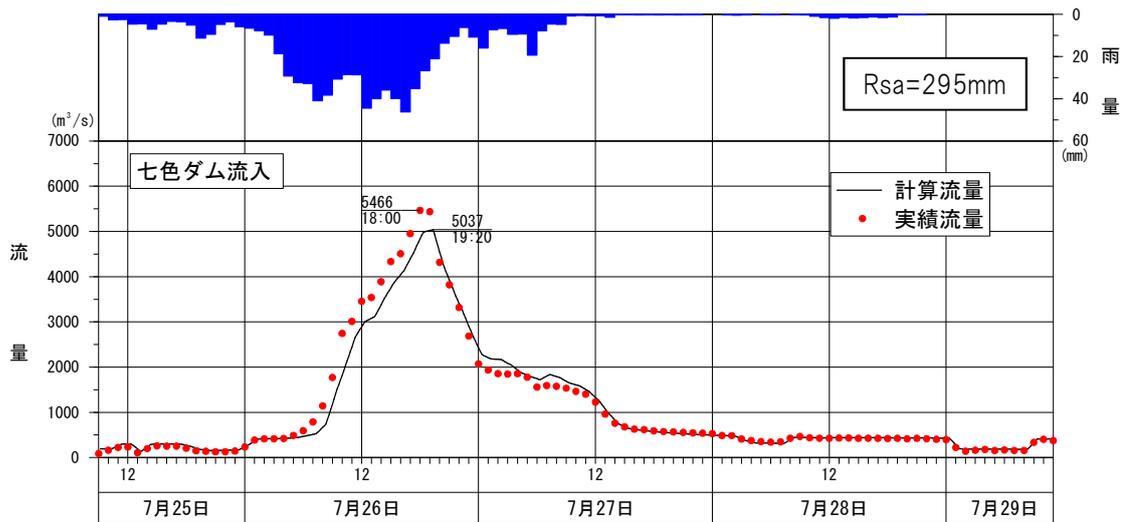
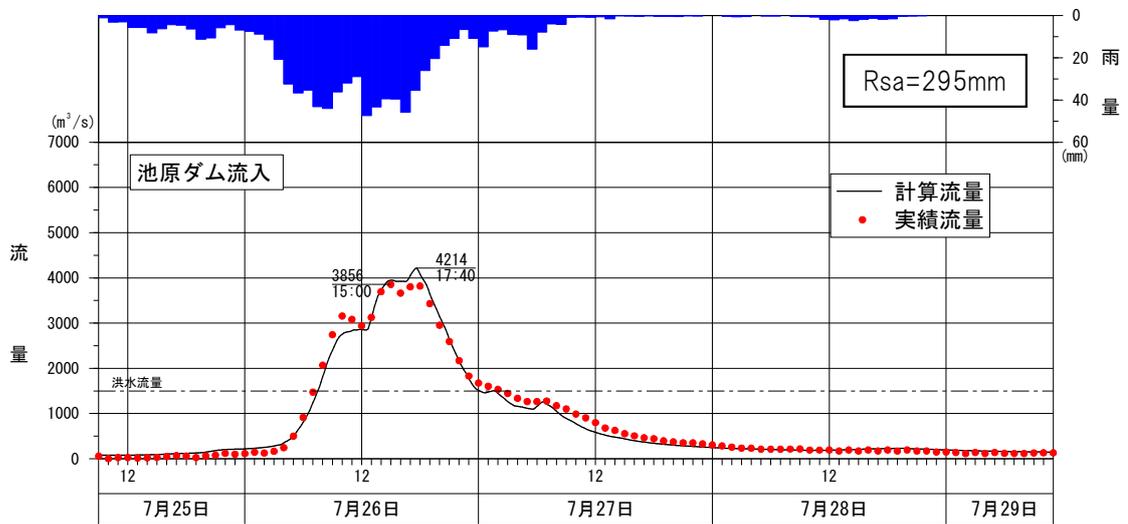
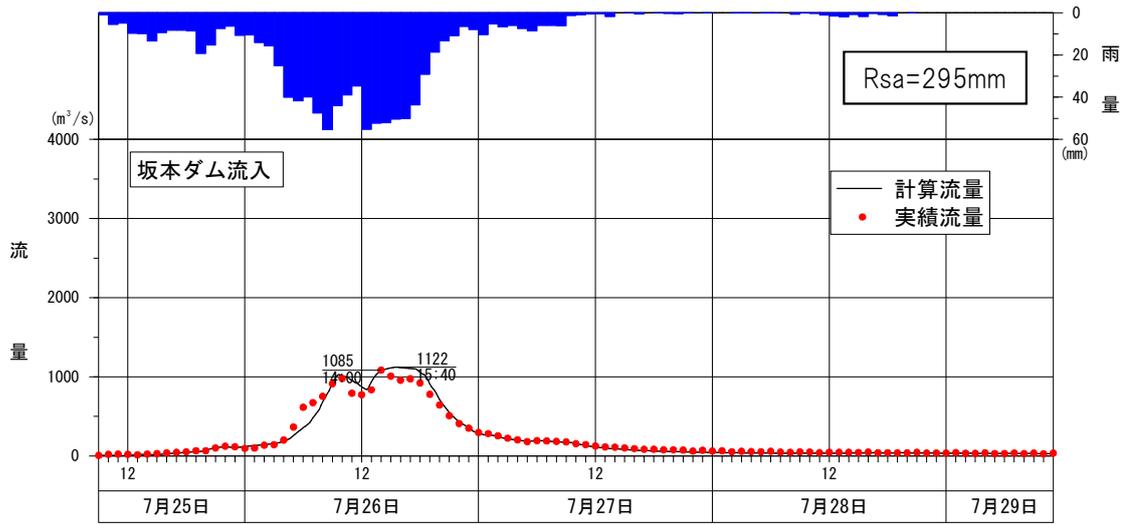


図 1-41 (2) 実績再現計算結果 (H09.07.25 洪水)

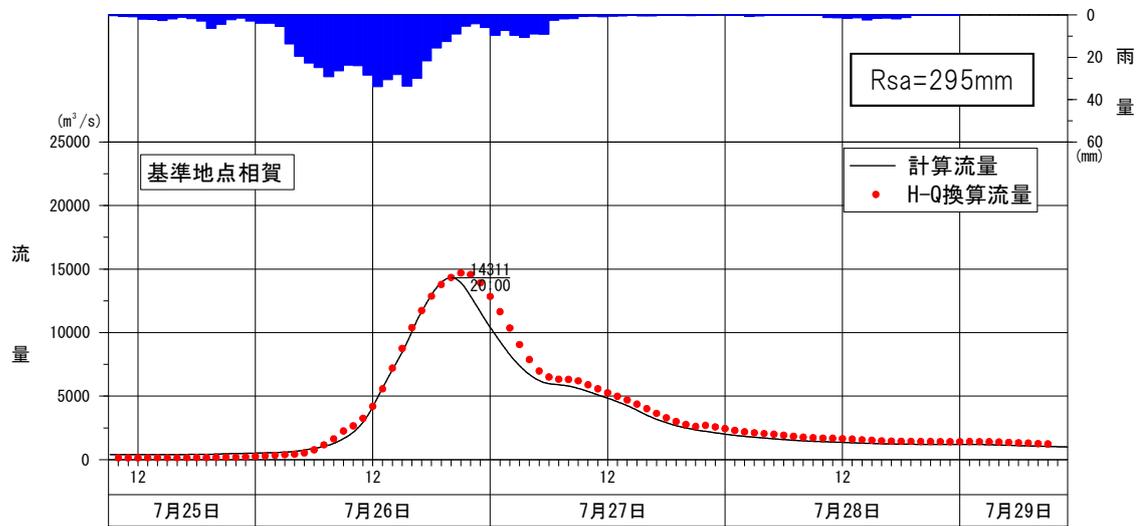
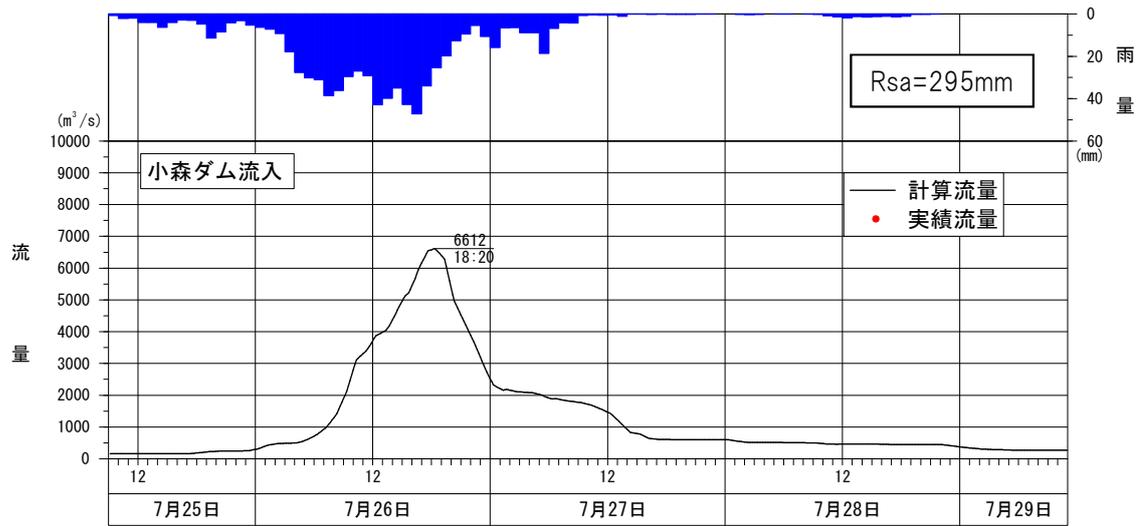


図 1-41 (3) 実績再現計算結果 (H09.07.25 洪水)

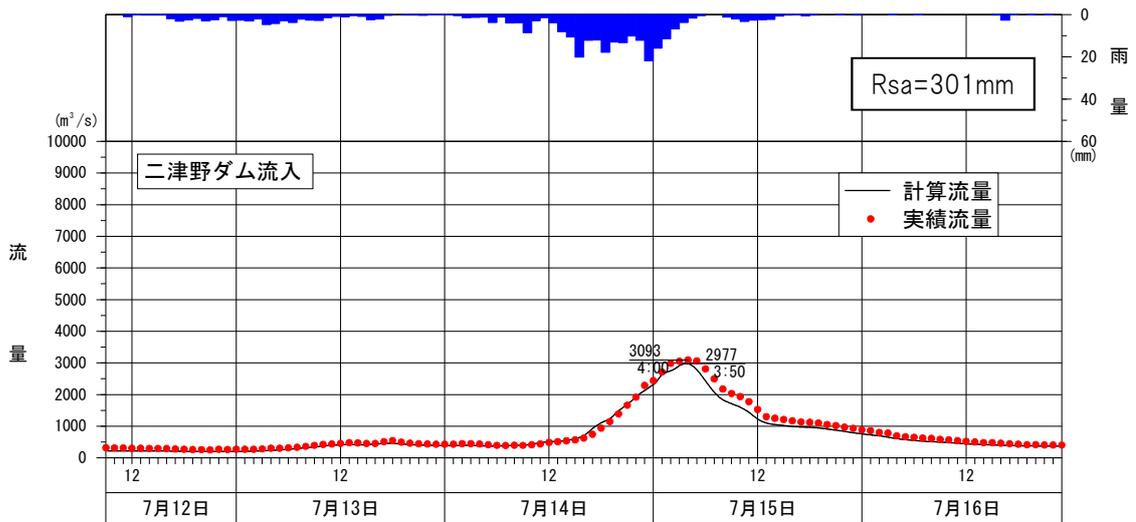
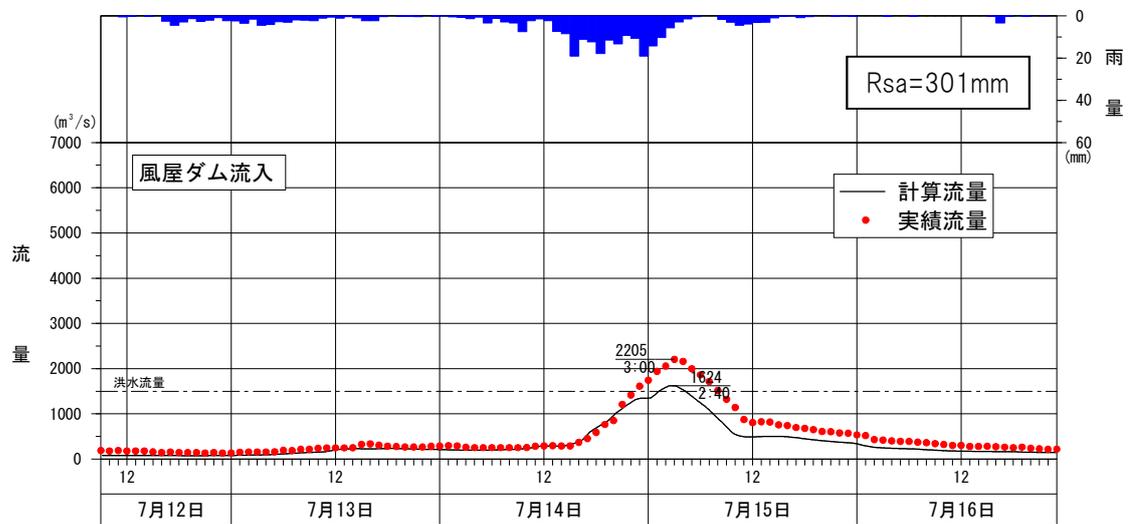
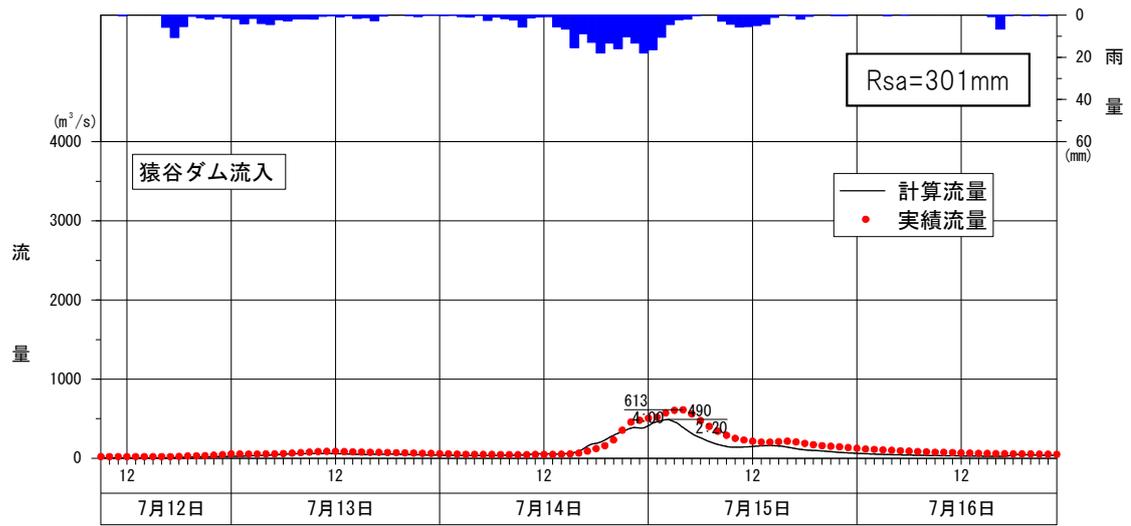


図 1-42 (1) 実績再現計算結果 (H19.07.13 洪水)

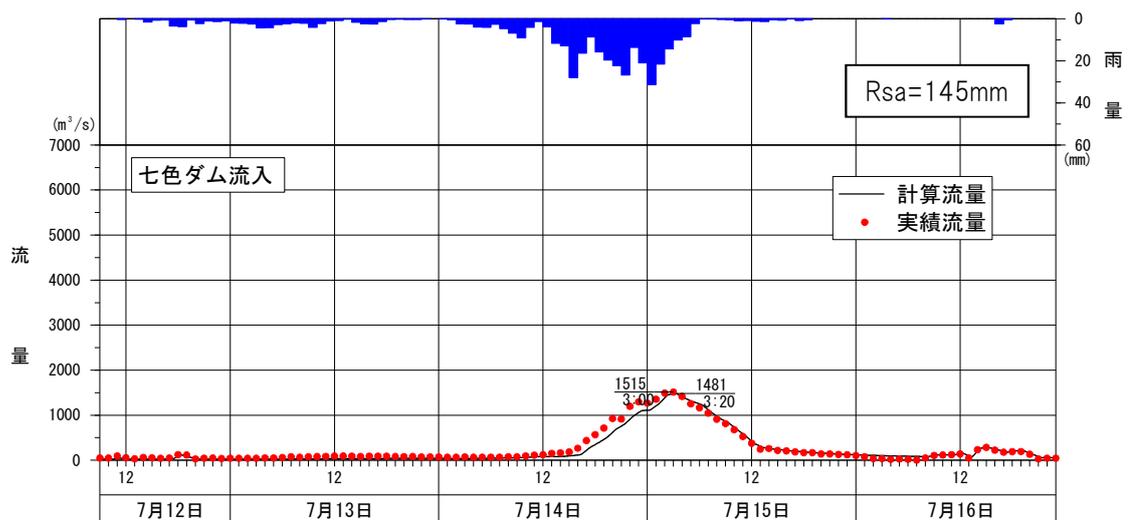
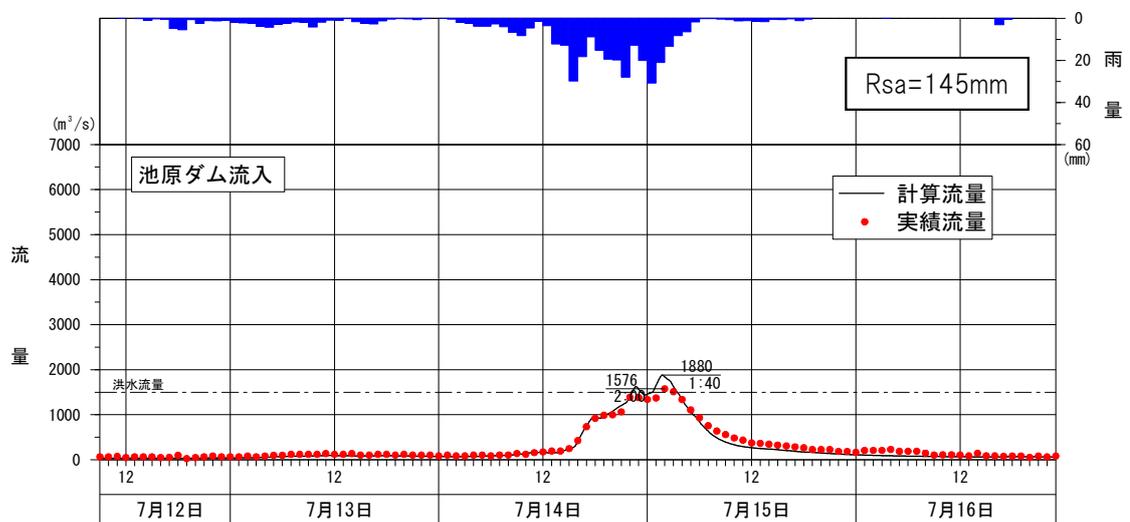
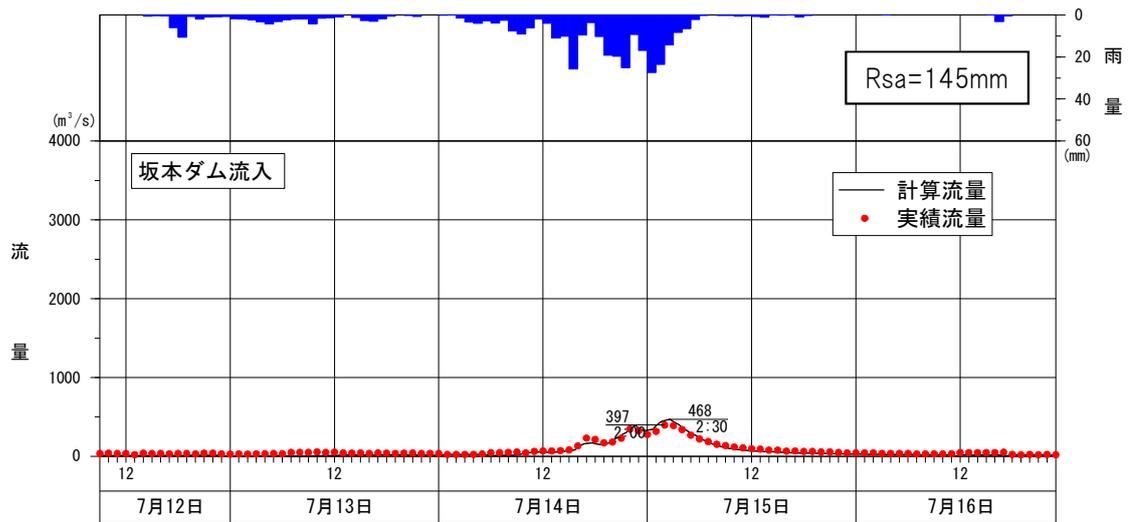


図 1-42 (2) 実績再現計算結果 (H19.07.13 洪水)

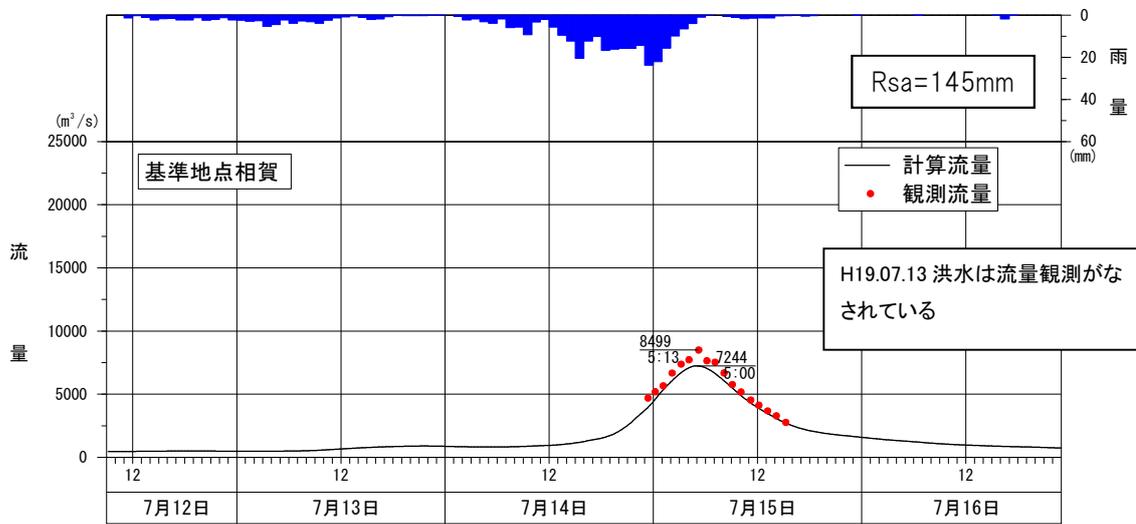
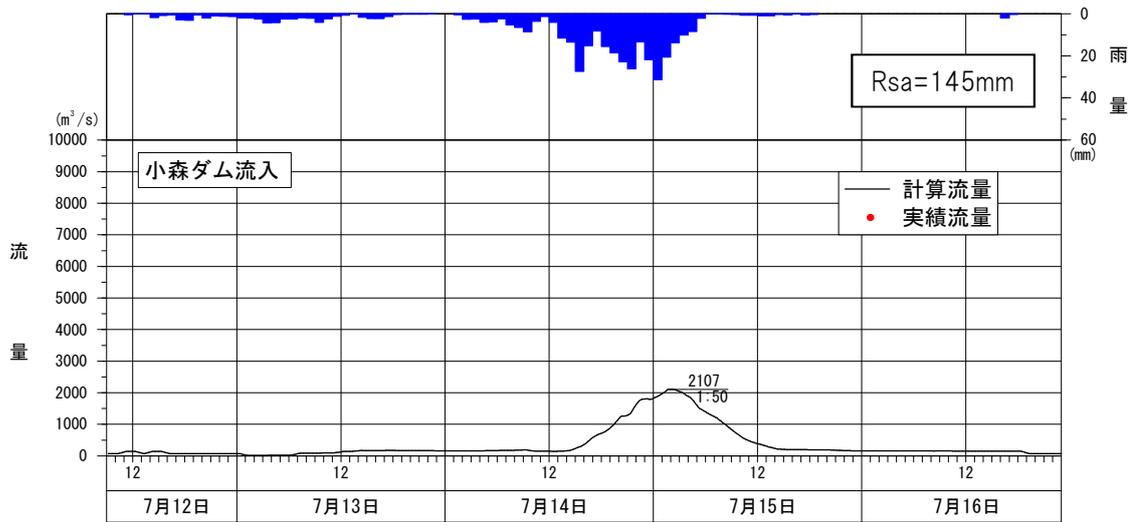


図 1-42 (3) 実績再現計算結果 (H19.07.13 洪水)

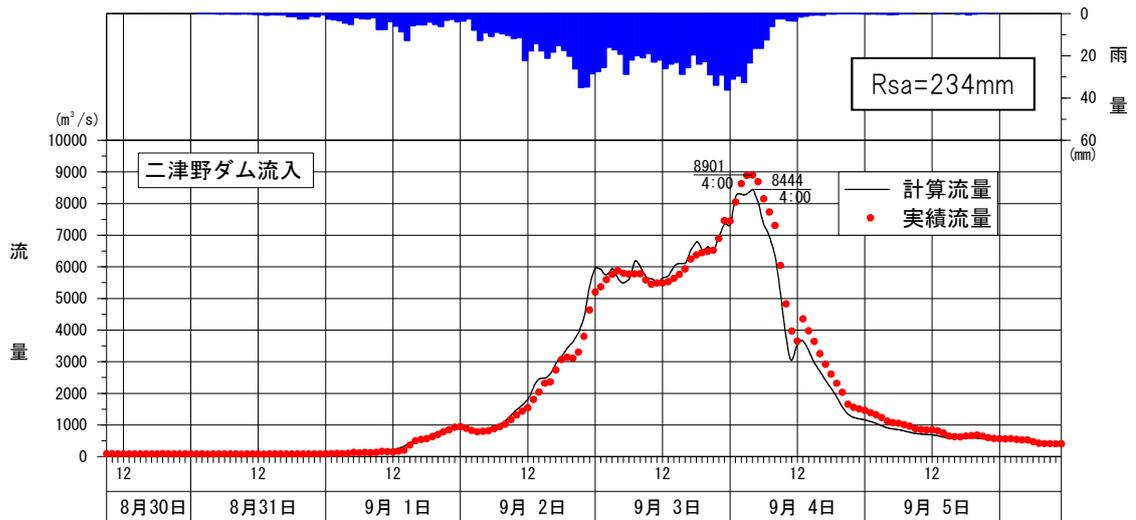
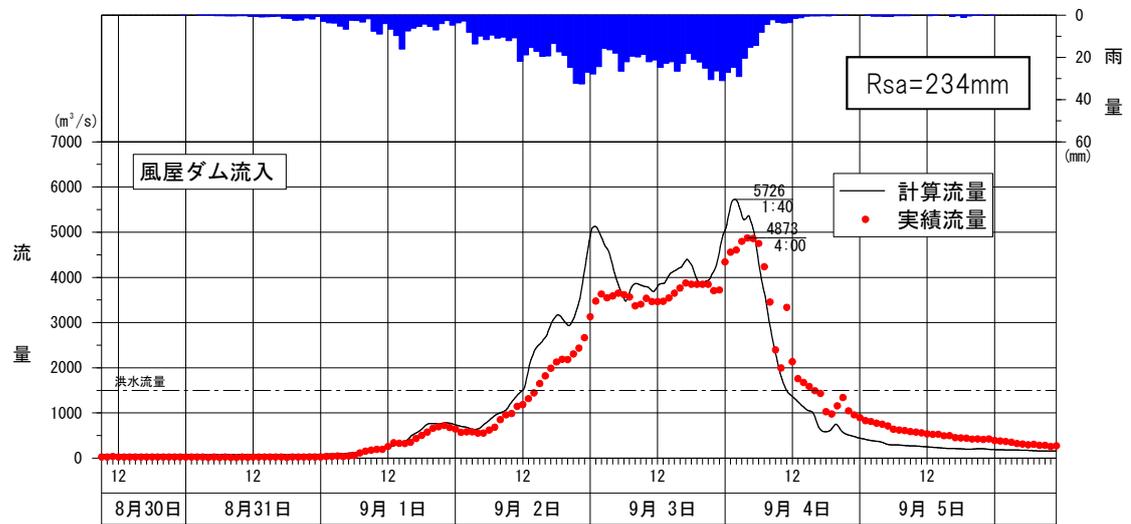
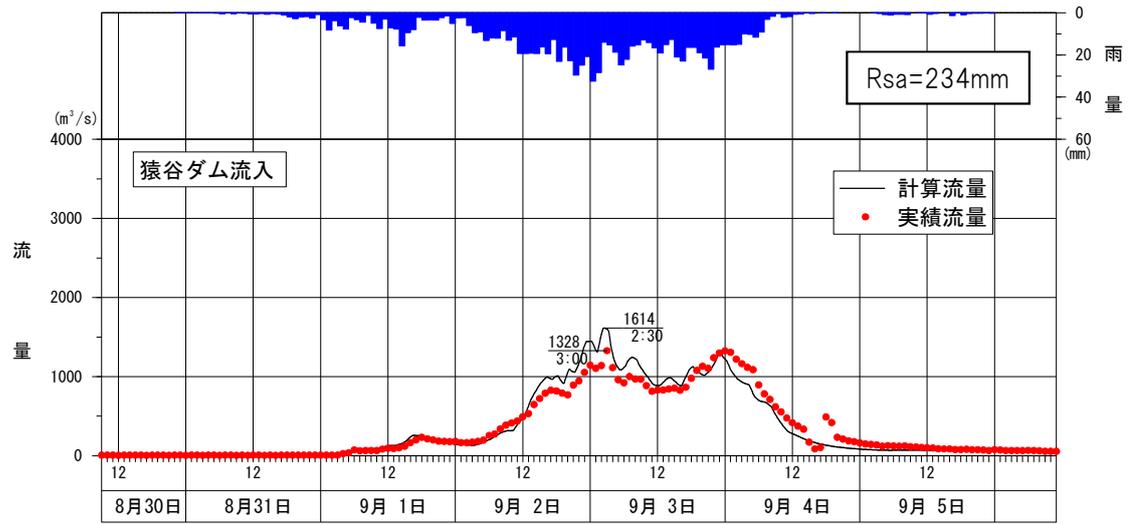


図 1-43 (1) 実績再現計算結果 (H23. 09. 02 洪水)

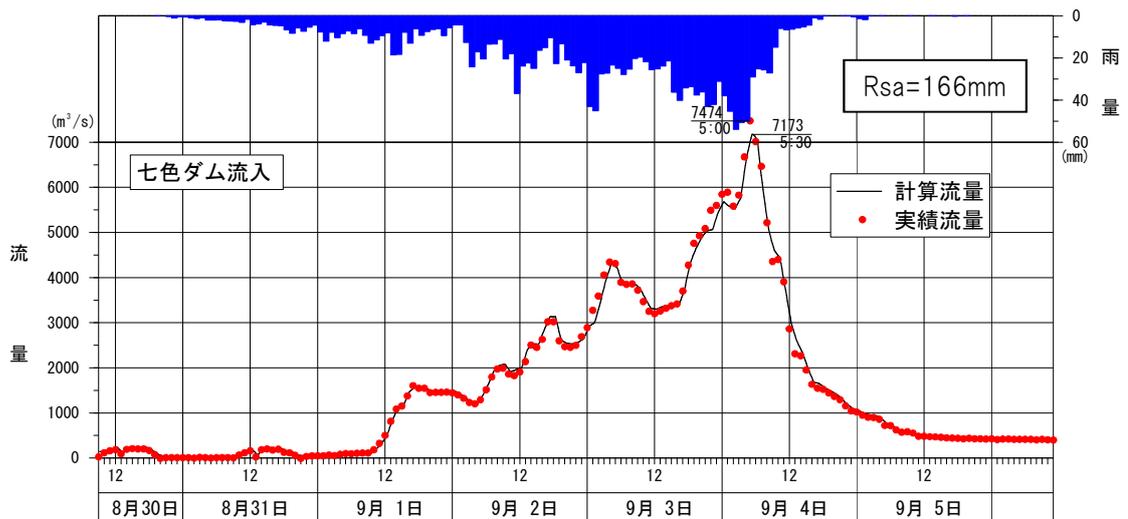
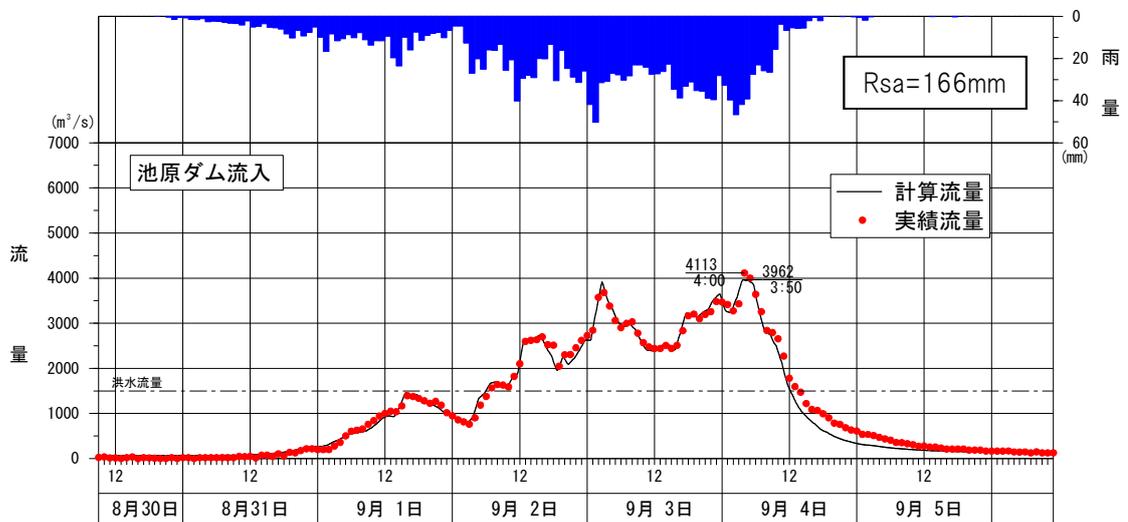
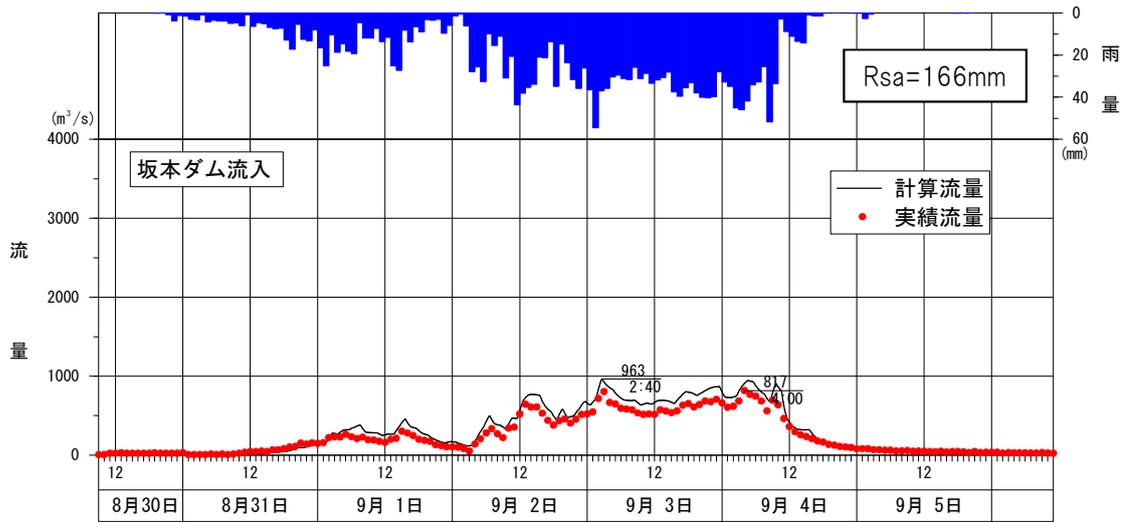


図 1-43 (2) 実績再現計算結果 (H23.09.02 洪水)

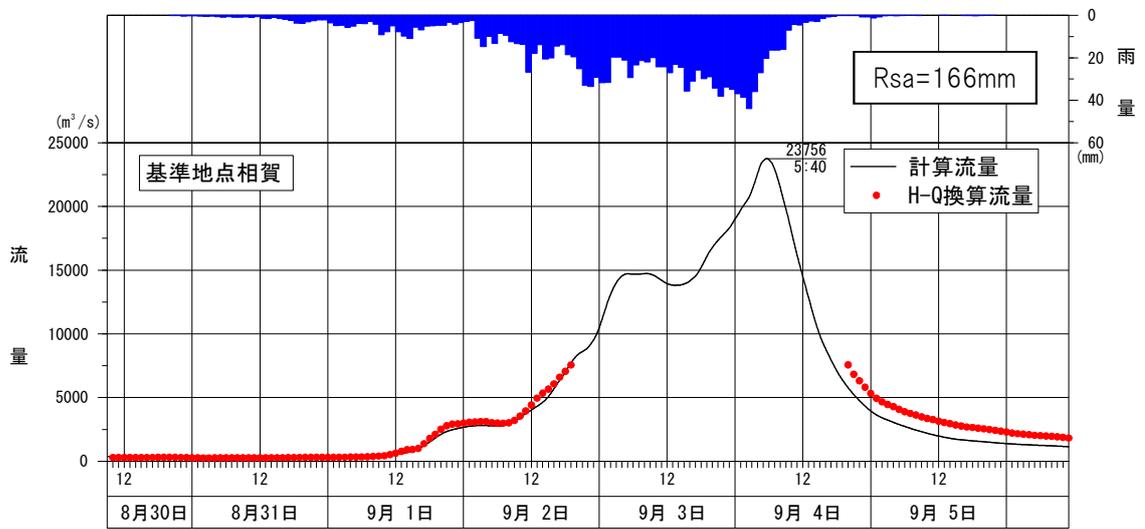
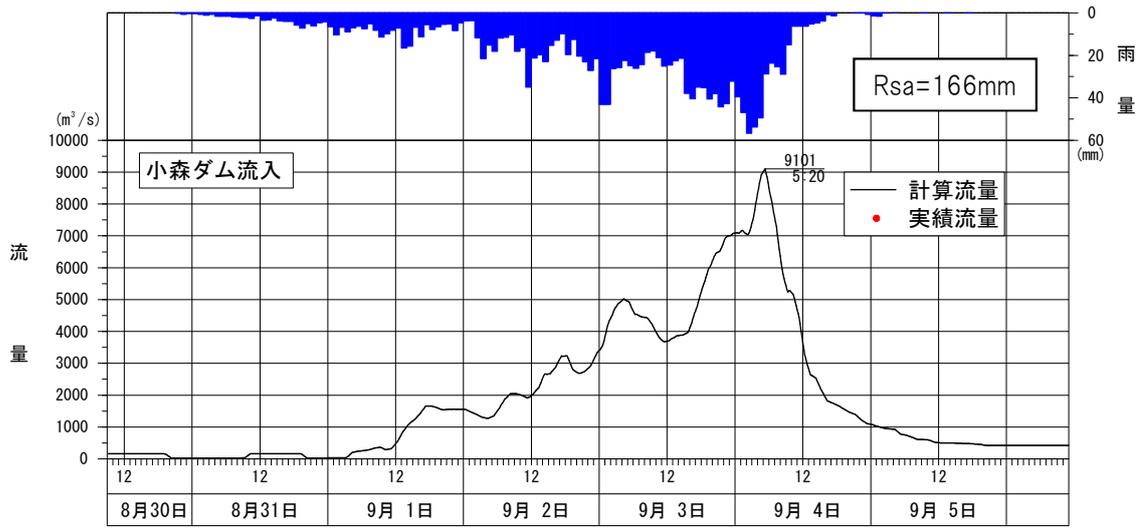


図 1-43 (3) 実績再現計算結果 (H23.09.02 洪水)

(7) 平成 23 年 (2011 年) 9 月台風 12 号洪水の流出計算結果

二津野ダム、七色ダムの下流残流域をモデル化した流出解析モデルを用いて、モデルの上流端に両ダムの実績放流量を与え、相賀地点流量を算出した結果、平成 23 年 (2011 年) 9 月台風 12 号洪水の実績流量は、 $23,800\text{m}^3/\text{s}$ であった。

また、ダムによる洪水調節がなかった場合の相賀地点流量として、熊野川全流域を対象とした流出解析を行い、算出した結果、 $24,300\text{m}^3/\text{s}$ であった。

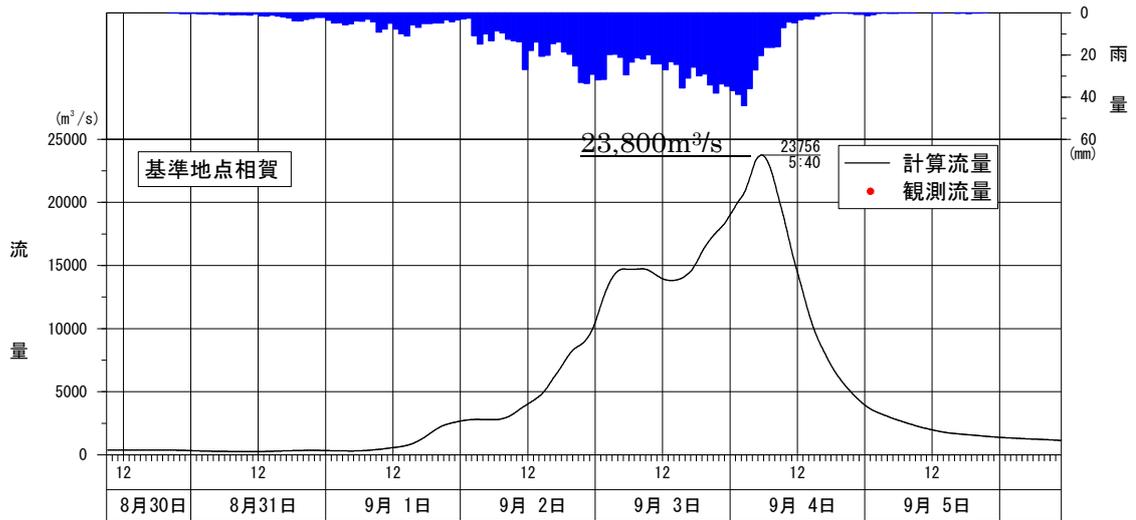


図 1-44 平成 23 年(2011 年)9 月台風 12 号洪水の計算結果 (実績再現)
(二津野ダム・七色ダム実績放流量+残流域の流出解析)

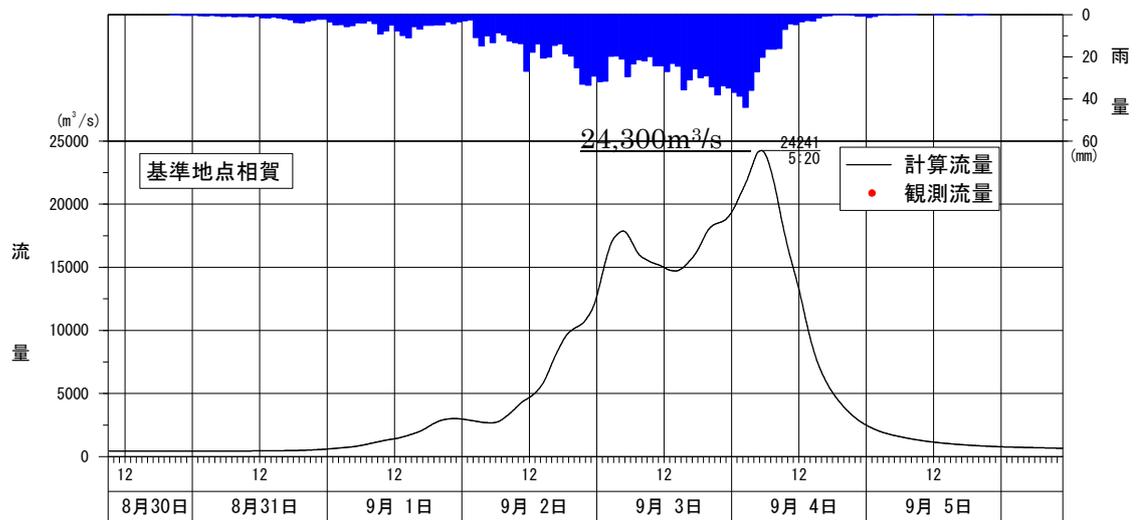


図 1-45 平成 23 年(2011 年)9 月台風 12 号洪水の計算結果(洪水調節がない場合)
(全流域の流出解析)

1.6 基本高水のピーク流量の設定

1.6.1 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。

- ・ 現行計画基本高水のピーク流量
- ・ 雨量データによる確率（24時間）（S40～R1）
- ・ アンサンブル予測降雨波形を用いた流量
- ・ 既往最大洪水の流量

なお、流出計算における利水ダムの操作の取り扱いとして、風屋ダム及び池原ダムについては、操作規程にしたがい、洪水時（流入量が $1,500\text{m}^3/\text{s}$ 以上）における放流措置をとるものとする。

- ① 洪水時に至った時以後 30 分間においては、 $1,500\text{m}^3/\text{s}$ を放流する。
- ② ①に規定する時間が経過した時からダムのすべての洪水吐ゲートが全開となるまでの間は、30 分前に生じた流入量に相当する流量を放流する。
- ③ ②に規定する時間が経過した時から流入量が最大となった時を経て流入量と放流量が等しくなるまでの間においては、すべてのゲートを全開とした時の放流量を放流する。
- ④ ③に規定する時間が経過した時から、洪水時が経過するまでの間においては、流入量に相当する流量を放流する。

1.6.2 計画規模の設定

計画規模については、現計画の 1/100 を踏襲するものとする。

1.6.3 熊野川流域の対象降雨の降雨継続時間の設定

(1) 対象降雨の降雨継続時間の設定の考え方

熊野川流域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 n 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。

(2) 洪水到達時間

洪水到達時間は、①Kinematic Wave 法に基づく式、及び②角屋の式を用いて算定した。

対象洪水は、過去洪水（昭和 40 年（1965 年）～令和元年（2019 年））のうち、基準地点相賀において実績流量規模の上位 10 洪水とした。

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。図 1-46 に示すように、実績のハイトグラフとハイドログラフを用いて、ピーク流量生起時刻以前の雨量がピーク流量生起時刻（ t_p ）の雨量と同じになる時刻（ τ_p ）により $T_p = t_p - \tau_p$ として推定する。ここで、 T_p は洪水到達時間、 τ_p はピーク流量を発生する特性曲線の上流端での出発時刻、 t_p はその特性曲線の下流端への到達時間、 r_e は $\tau_p \sim t_p$ 間の平均有効降雨強度、 q_p はピーク流量である。

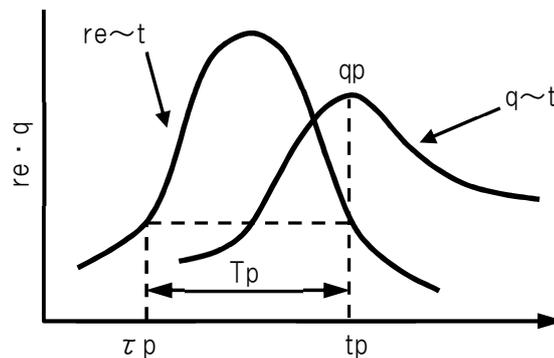


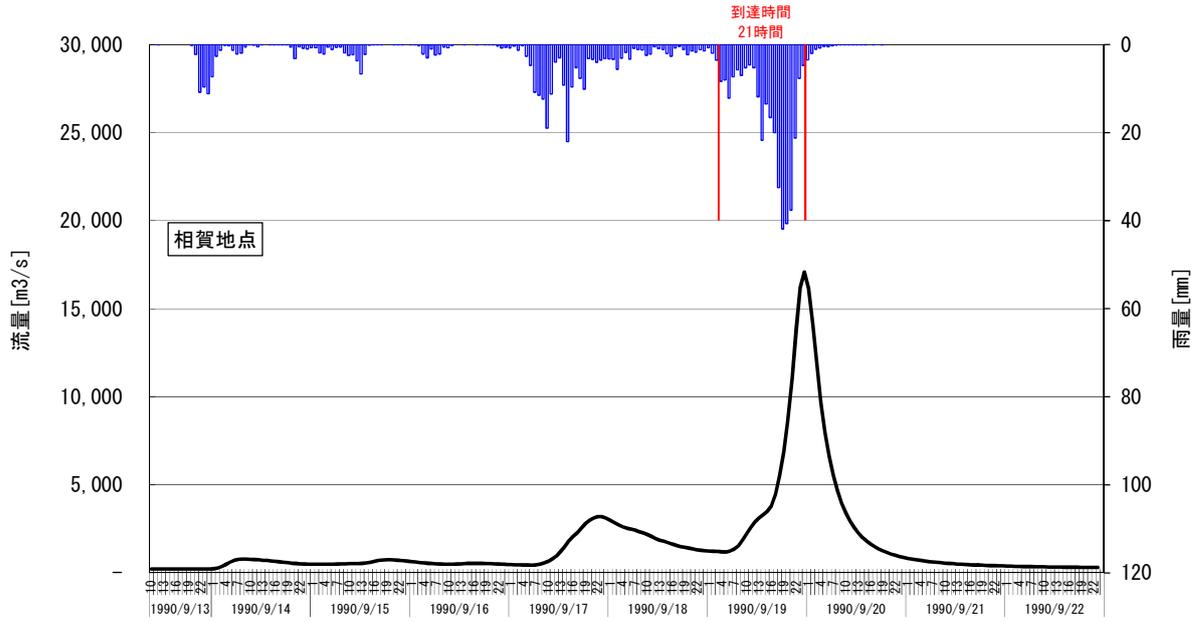
図 1-46 Kinematic Wave 法による T_p の定義

Kinematic Wave 法による洪水到達時間は、15～32 時間、平均 22 時間となった。

表 1-24 Kinematic Wave 法による洪水到達時間

洪水 No.	洪水	① 到達時間 (hr)	② 到達時間内降雨量 (mm)	②/① 到達時間内降雨強度 (mm/hr)
1	H020918	21	333.95	15.90
2	H060928	26	391.07	15.04
3	H090725	17	418.71	24.63
4	H130820	15	377.91	25.19
5	H230718	22	465.65	21.17
6	H230902	32	933.51	29.17
7	H250914	15	351.90	23.46
8	H270715	16	362.62	22.66
9	H291021	27	395.45	14.65
10	H300820	26	359.97	13.85
	計	217	4,390.74	20.23
	平均	21.7	439.07	20.23

■ H020918 洪水



■ H060928 洪水

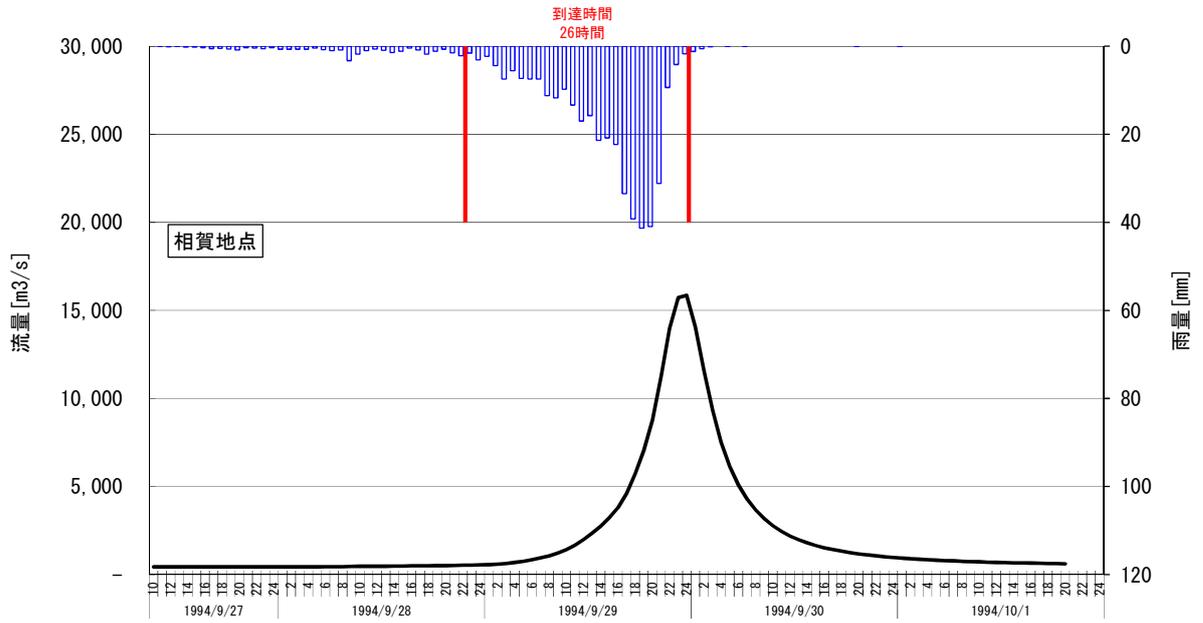
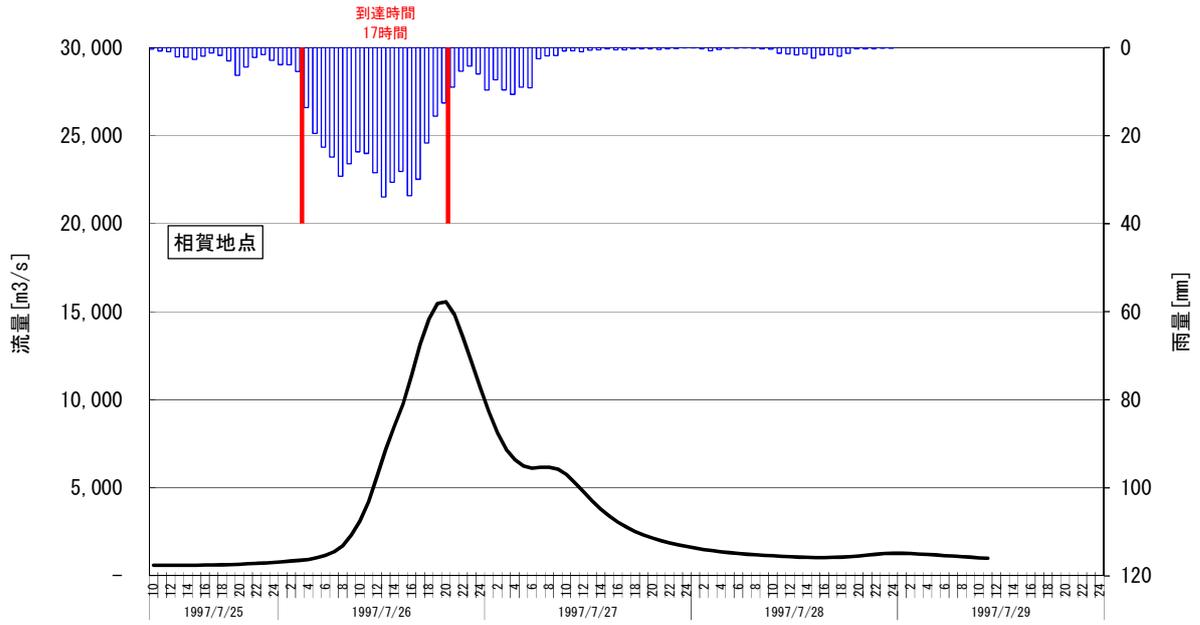


図 1-47(1) Kinematic Wave 法による洪水到達時間

■H090725 洪水



■H130820 洪水

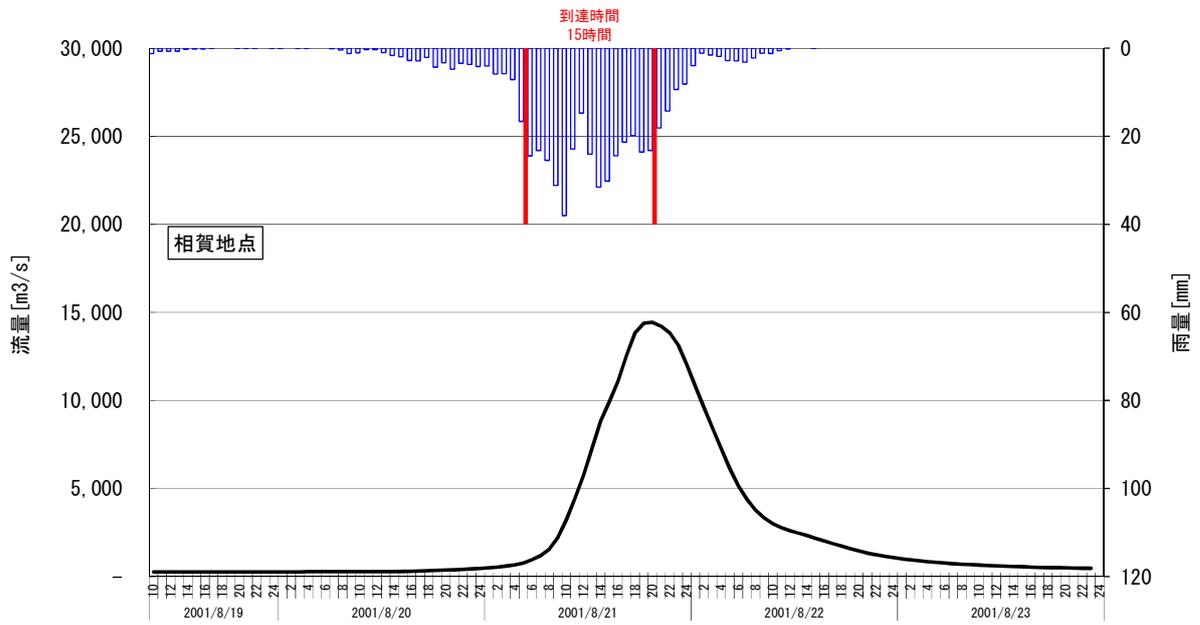
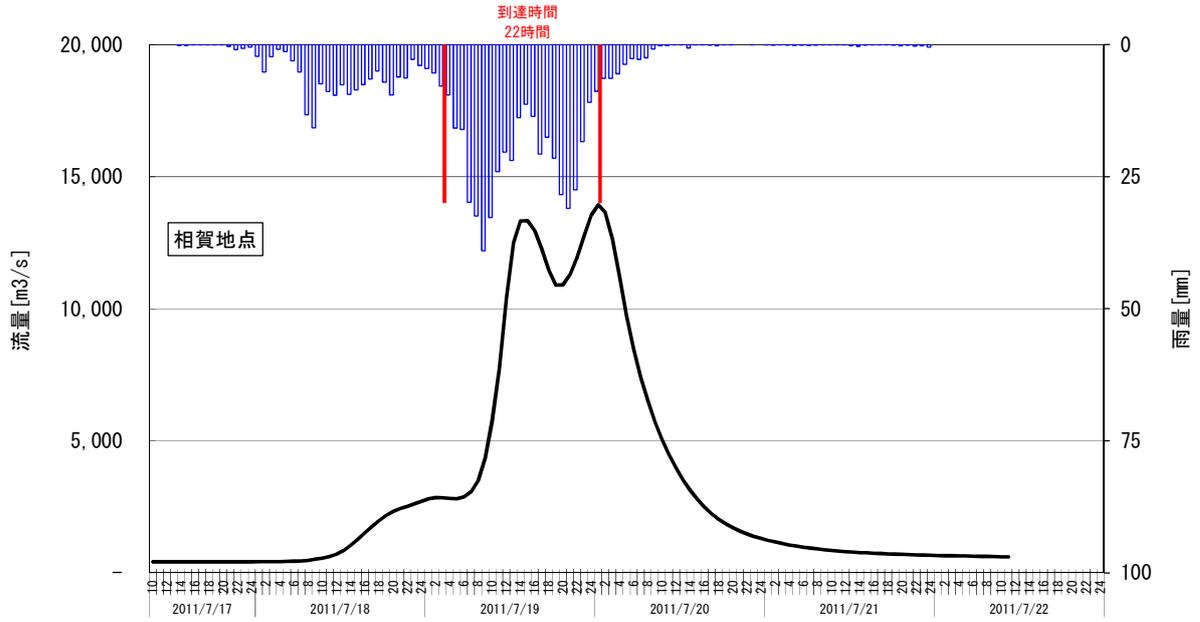


図 1-47(2) Kinematic Wave 法による洪水到達時間

■ H230718 洪水



■ H230902 洪水

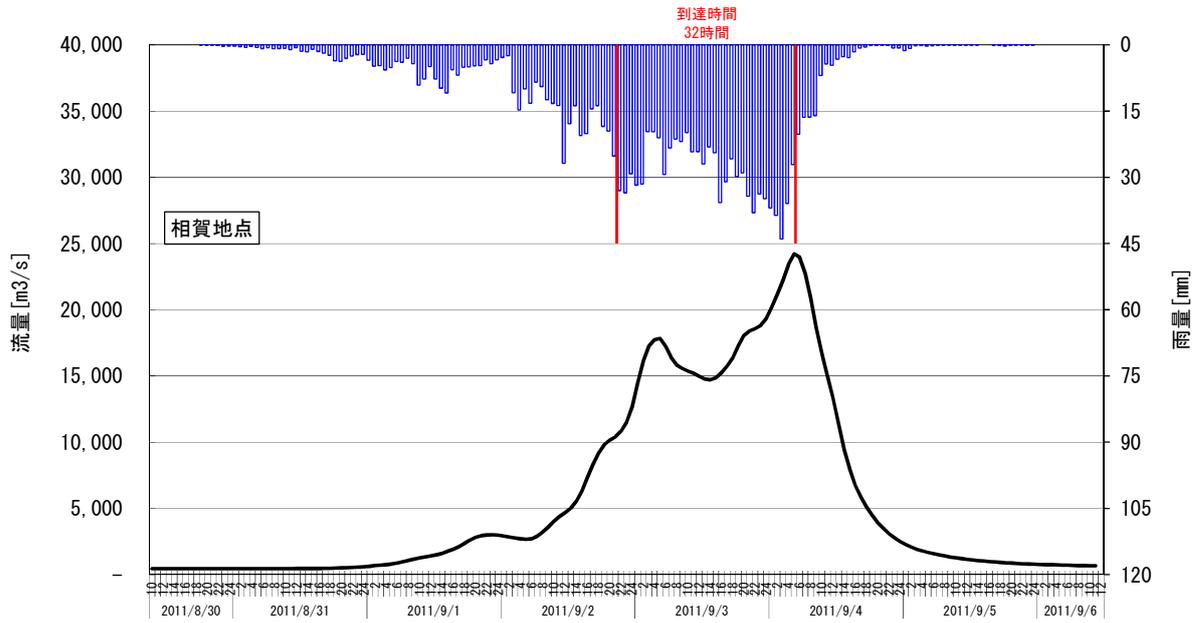
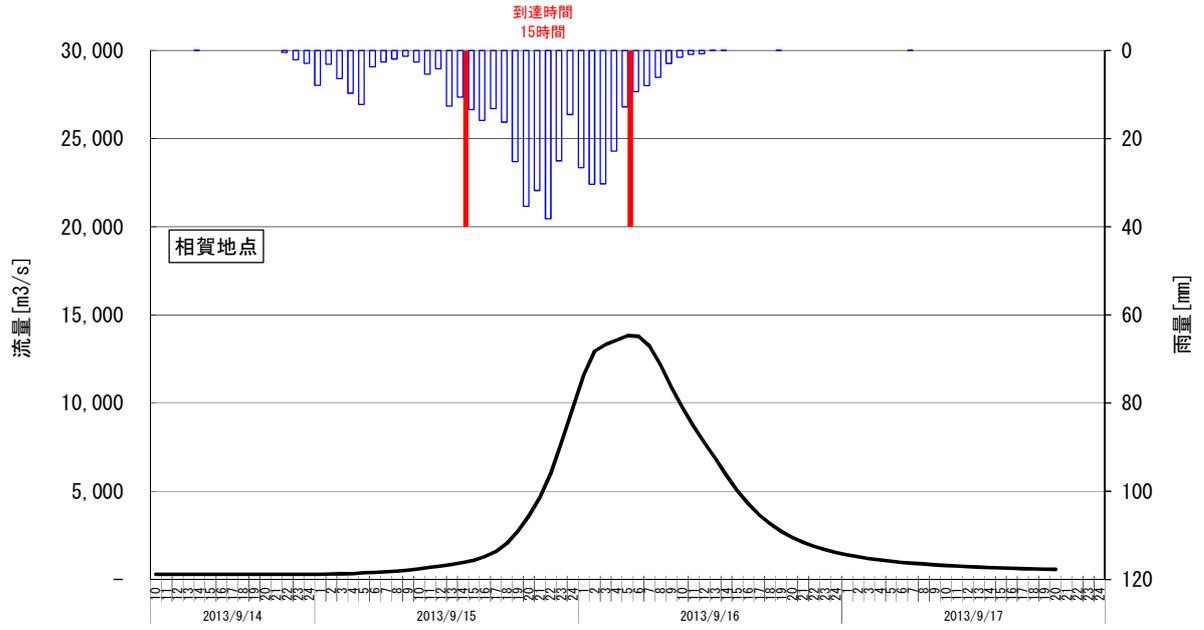


図 1-47(3) Kinematic Wave 法による洪水到達時間

■ H250914 洪水



■ H270715 洪水

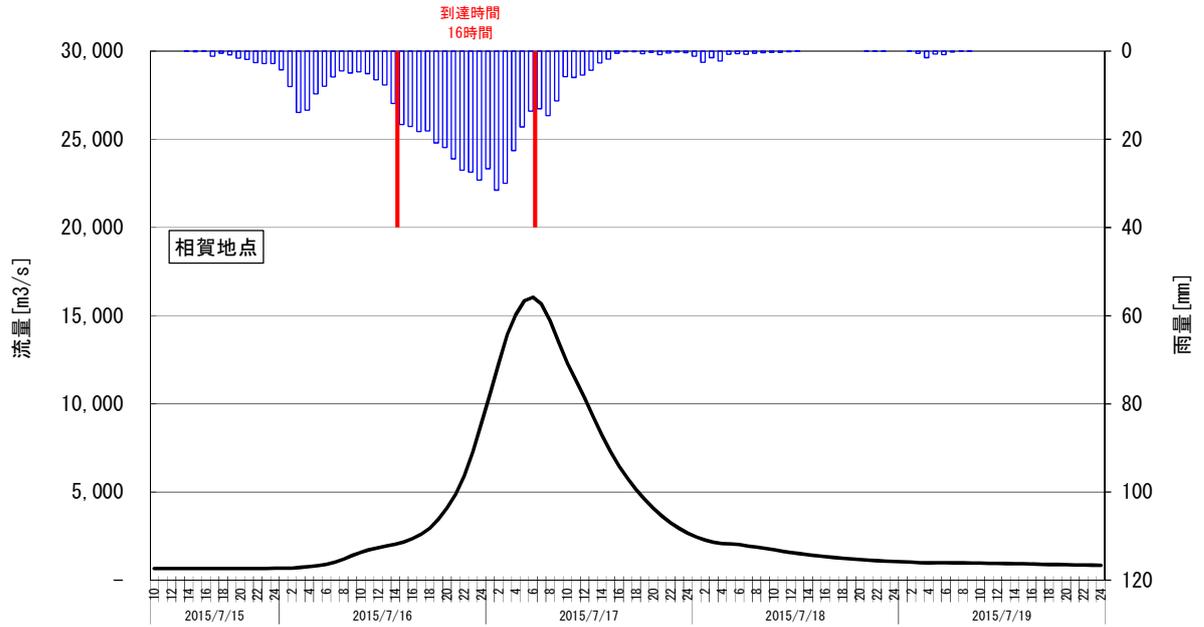
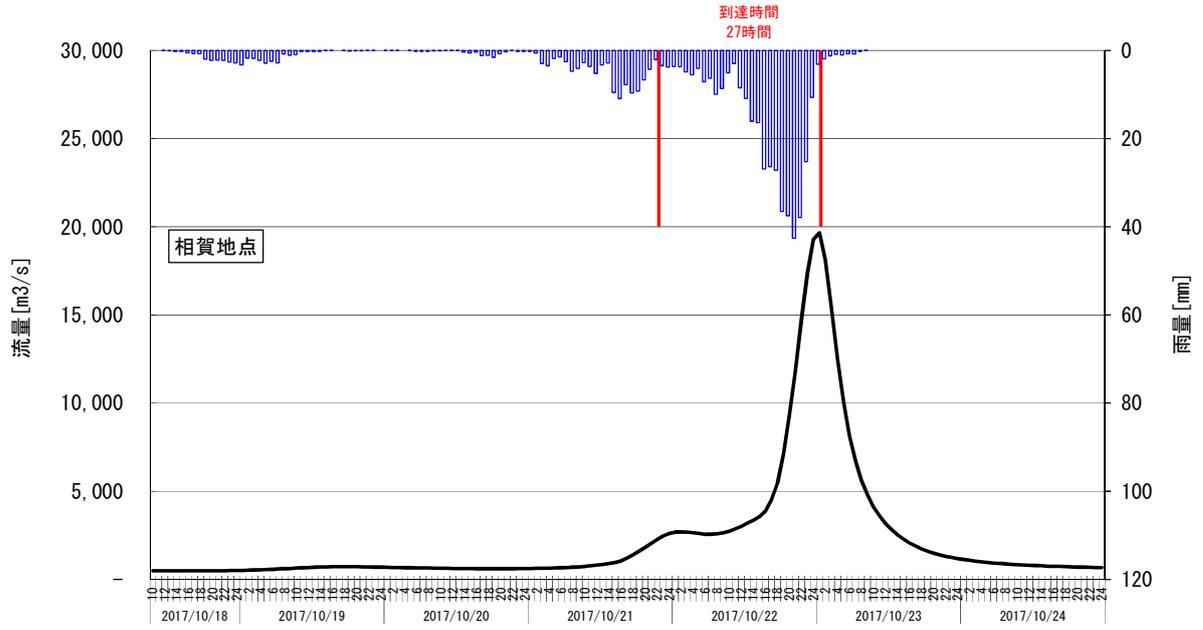


図 1-47(4) Kinematic Wave 法による洪水到達時間

■ H291021 洪水



■ H300820 洪水

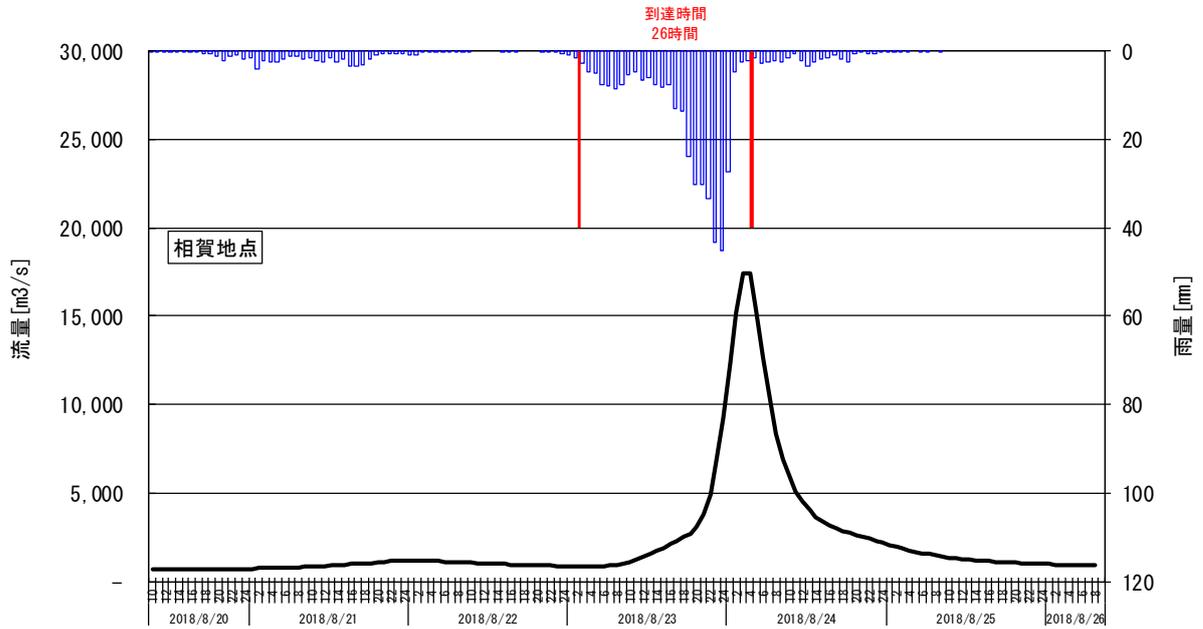


図 1-47(5) Kinematic Wave 法による洪水到達時間

2) 角屋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。

$$T_p = C A^{0.22} r_e^{-0.35}$$

ここで、 T_p は時間 (min)、 A は流域面積 (km^2)、 r_e は時間当たりの雨量 (mm/hr)、 C は流域特性を表す係数であり、丘陵山林地域の場合は $C=290$ 、放牧地の場合は $C=190\sim 210$ 、粗造成宅地の場合は $C=190\sim 120$ 、市街化地域の場合は $C=160\sim 190$ である。

熊野川流域の現況土地利用は、山地の占める割合が多いことから、流域特性を表す定数 C は、概ね 290 に近いと判断できる。

角屋の式は、洪水到達時間内の平均有効雨量強度が決まらなると洪水到達時間が算定できないが、洪水到達時間内の平均雨量強度を明確に定めるのは困難であるため、上記で設定した Kinematic Wave 法による洪水到達時間内雨量強度を想定し、洪水到達時間の範囲を定めた。

角屋式による洪水到達時間は、8.1～10.5時間、平均9.3時間となった。

表 1-25 角屋式による洪水到達時間

洪水 No.	洪水	到達時間 (hr)	到達時間内降雨強度 (mm/hr)	角屋式による洪水到達時間 (hr)
1	H020918	21	15.90	10.0
2	H060928	26	15.04	10.2
3	H090725	17	24.63	8.6
4	H130820	15	25.19	8.5
5	H230718	22	21.17	9.1
6	H230902	32	29.17	8.1
7	H250914	15	23.46	8.8
8	H270715	16	22.66	8.9
9	H291021	27	14.65	10.3
10	H300820	26	13.85	10.5
	最小	15.0	13.85	8.1
	最大	32.0	29.17	10.5
	平均	21.7	20.57	9.3

(3) ピーク流量と雨量相関について

ここでは、昭和40年（1965年）から平成29年（2017年）までの53年間で基準地点相賀において年最大流量を記録した洪水を対象に、ピーク流量とピーク流量生起時刻から遡る短時間雨量との相関関係、ピーク流量生起時刻前で最大となる短時間雨量との相関関係の整理を行った。なお、短時間雨量については、1～3、6、9、12、15、18、24、36、48時間雨量を対象とした。

この結果、ピーク流量との相関性が高い短時間降雨は概ね6時間以上であることが示された。

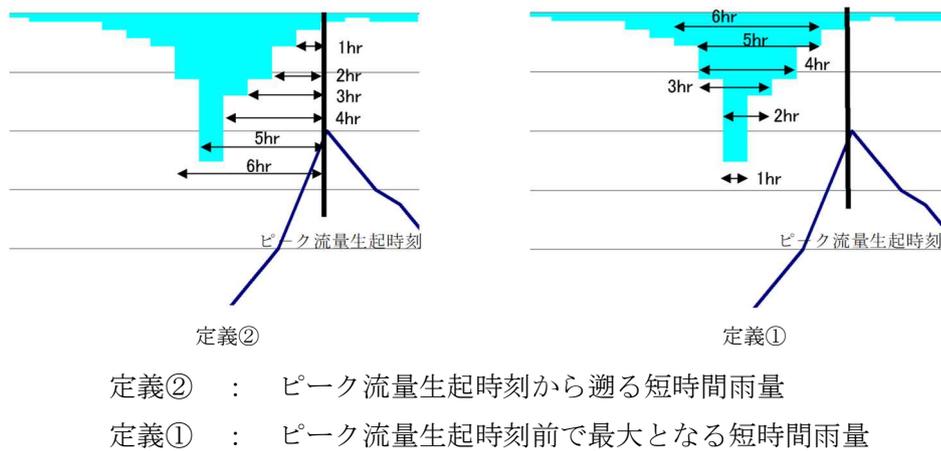


図 1-48 ピーク流量と雨量相関の定義

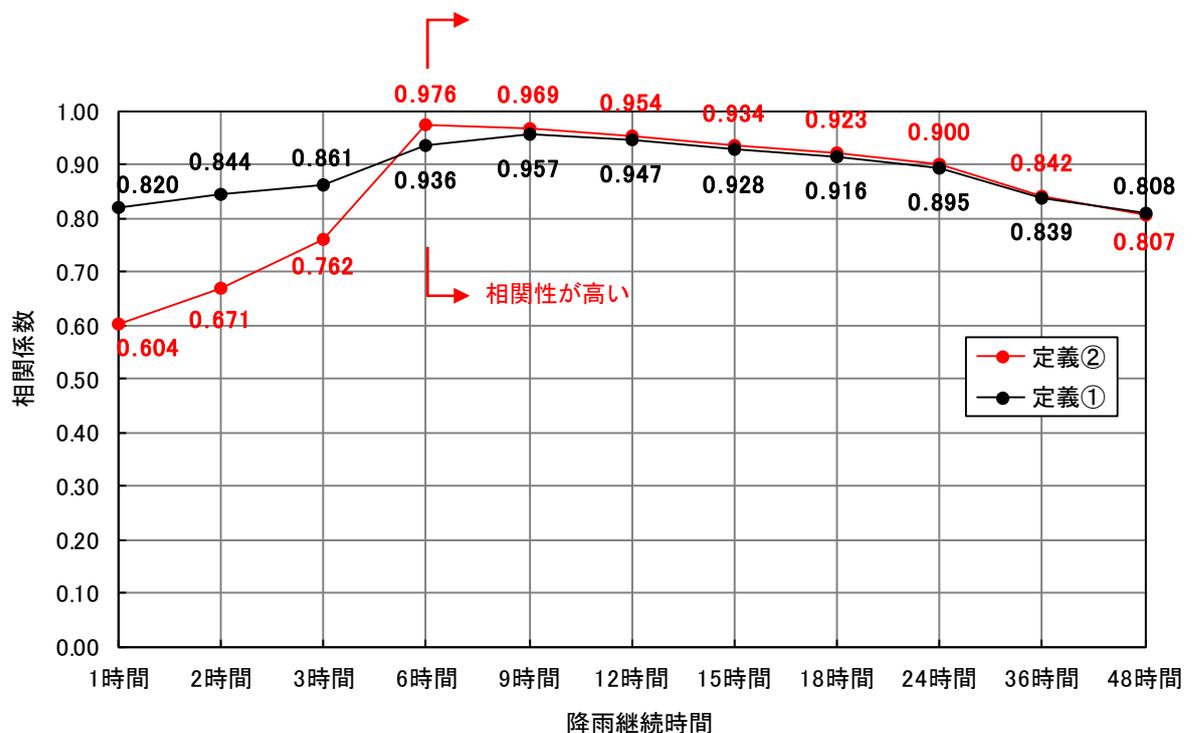


図 1-49 ピーク流量と雨量との相関関係

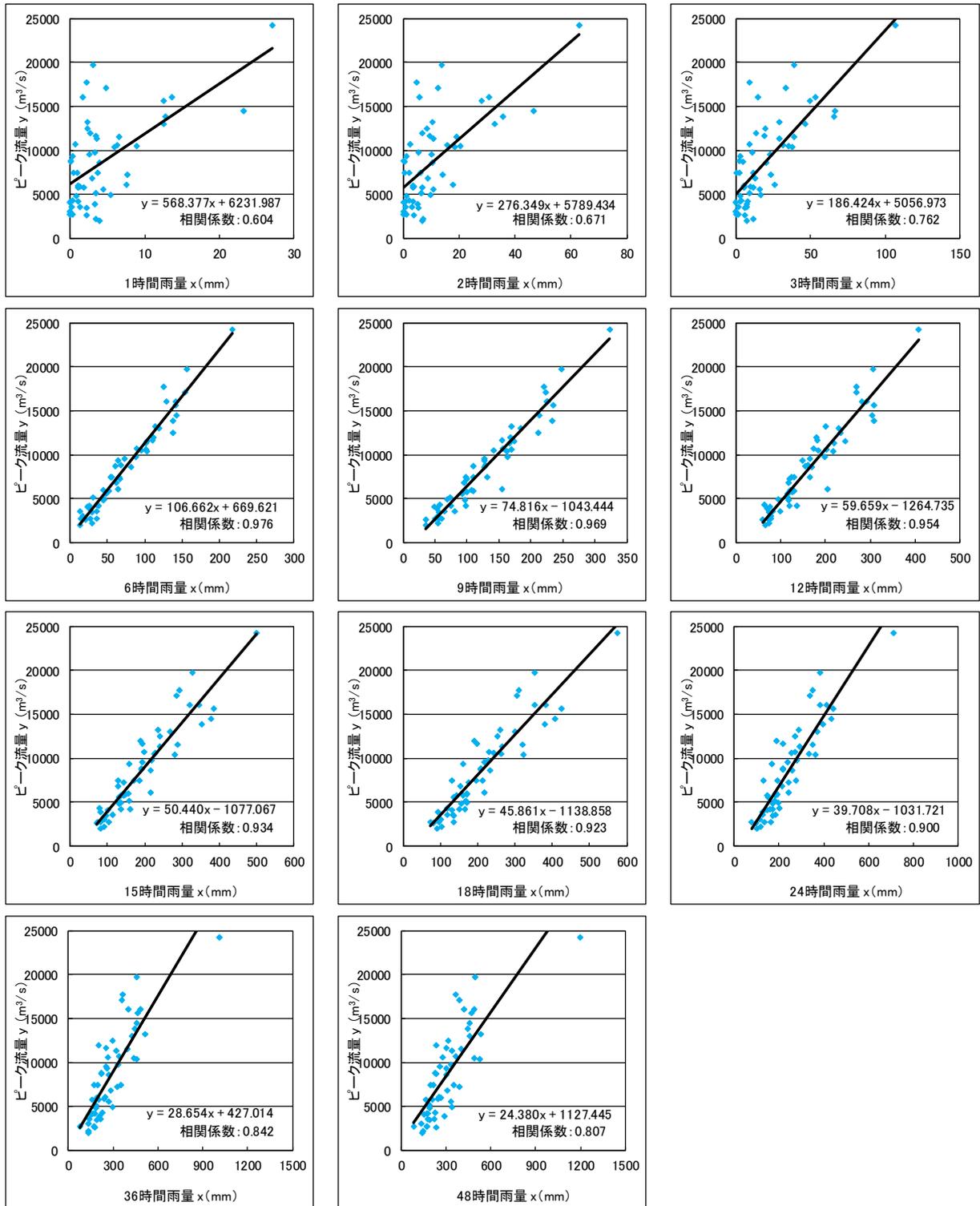


図 1-50 (1) ピーク流量と雨量との相関関係
(ピーク流量生起時刻から遡る短時間雨量)

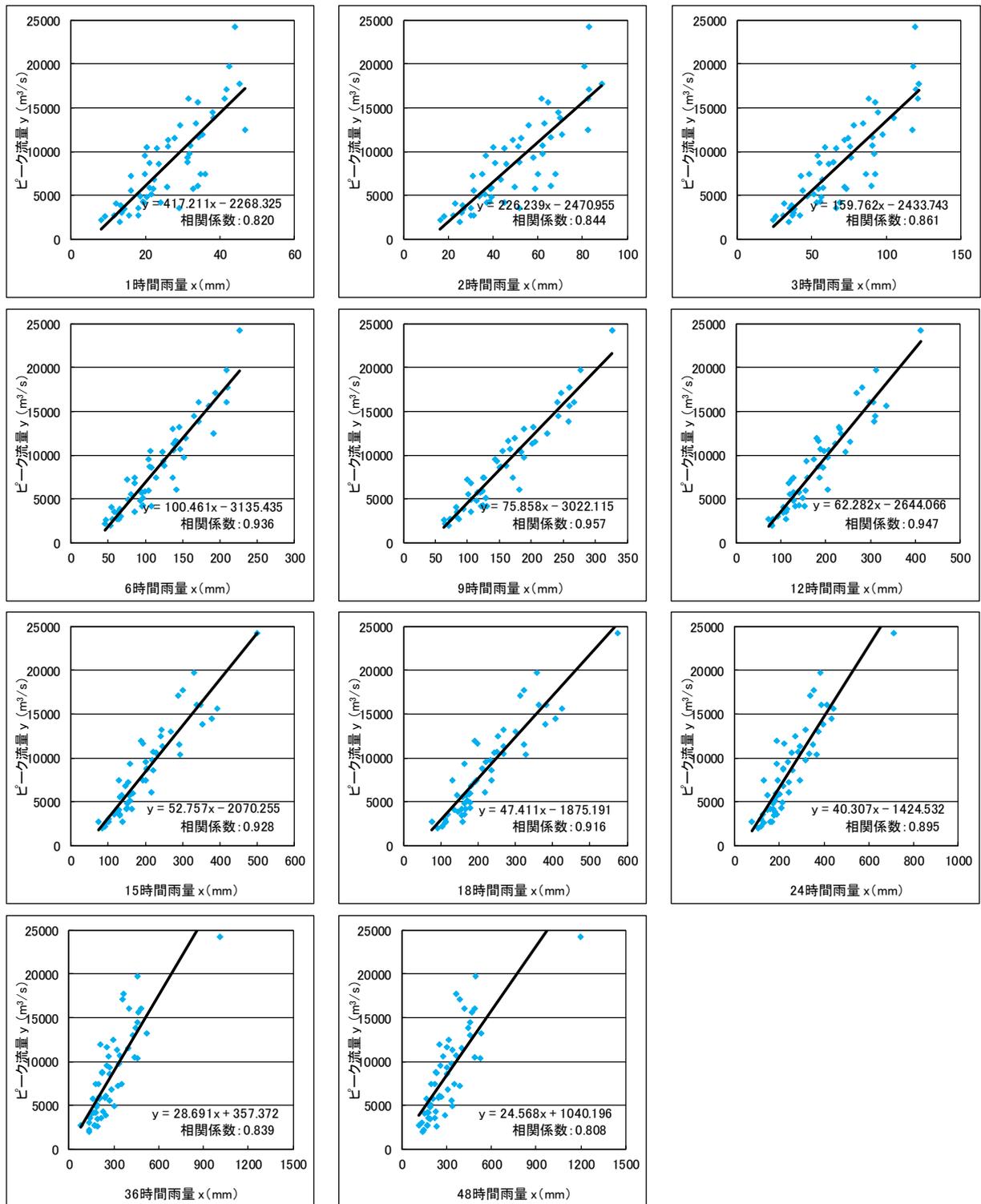


図 1-50 (2) ピーク流量と雨量との相関関係
(ピーク流量生起時刻前で最大となる短時間雨量)

表 1-26 (1) ピーク流量と雨量との関係
(ピーク流量生起時刻から遡る短時間雨量)

洪水 No.	洪水名	流量 (m ³ /s)	雨量(mm)											
			1時間	2時間	3時間	6時間	9時間	12時間	15時間	18時間	24時間	36時間	48時間	
1	S400913	11,656	3.50	9.43	19.59	110.54	154.68	182.67	193.04	197.17	217.47	252.16	298.44	
2	S410822	3,574	1.32	2.97	7.26	35.89	64.84	84.14	113.03	133.51	185.19	216.51	220.65	
3	S420821	4,794	0.79	1.21	3.30	44.44	96.34	117.73	130.91	154.32	171.66	181.34	190.40	
4	S430727	10,433	5.91	18.40	38.16	102.43	161.24	218.76	280.37	322.54	364.84	454.96	526.49	
5	S440709	3,529	0.19	0.83	1.67	13.76	80.41	99.52	114.68	117.34	126.92	137.53	176.99	
6	S450704	10,613	6.34	15.62	31.50	102.11	169.63	203.16	228.60	242.98	257.38	266.40	273.41	
7	S460829	11,363	3.56	10.84	29.11	101.36	166.90	221.14	241.46	264.57	295.53	322.70	337.11	
8	S470915	11,964	2.68	6.66	13.86	111.91	167.88	180.89	188.12	190.79	190.95	200.24	233.02	
9	S480814	4,955	5.49	9.77	16.82	45.33	68.42	94.77	135.25	169.47	197.73	298.02	334.59	
10	S490706	9,555	2.62	9.96	23.03	72.81	127.21	165.56	193.54	218.31	240.67	252.29	253.37	
11	S500821	13,002	12.49	32.51	47.04	118.96	184.03	230.67	269.34	300.37	373.85	428.85	456.53	
12	S510908	3,452	2.26	5.44	6.58	29.07	55.25	75.02	96.54	135.10	174.48	190.08	190.70	
13	S520908	2,583	2.23	3.85	6.52	20.58	35.74	59.97	70.51	80.90	98.16	178.92	230.48	
14	S530622	2,009	3.92	6.83	7.53	13.57	35.25	67.33	82.82	90.15	101.69	133.57	135.88	
15	S541017	10,678	0.74	2.48	9.47	88.80	155.45	175.51	199.15	231.18	273.92	336.83	362.47	
16	S550909	3,845	3.29	4.97	7.69	25.46	52.44	71.11	82.63	94.03	126.59	211.56	286.11	
17	S561021	2,175	3.44	7.06	11.97	30.22	54.26	75.81	90.32	103.88	118.95	133.75	141.26	
18	S570801	9,793	3.38	5.45	11.06	87.85	162.62	199.33	217.32	227.93	283.42	332.80	333.27	
19	S580815	5,842	1.29	3.84	10.21	52.16	109.27	131.62	148.13	169.17	196.02	241.33	241.33	
20	S590728	5,163	3.45	6.59	9.64	30.66	72.64	115.87	159.40	168.48	184.00	184.91	188.25	
21	S600629	5,943	1.05	3.57	5.48	44.23	106.56	122.80	155.54	171.12	186.19	190.23	261.45	
22	S610711	5,779	1.89	6.69	11.81	50.09	98.77	127.50	136.23	142.54	150.64	158.52	164.91	
23	S621015	4,207	1.04	3.50	8.06	37.95	98.33	137.26	161.23	166.62	173.36	176.83	177.07	
24	S630924	8,795	0.15	0.15	2.60	67.58	128.31	162.32	191.16	206.80	219.20	222.69	223.46	
25	H010826	6,071	7.53	17.62	26.38	65.03	155.13	206.40	215.44	217.77	243.29	247.86	248.81	
26	H020918	17,086	4.80	12.51	33.77	153.93	223.03	270.09	285.30	305.30	340.24	357.58	386.56	
27	H030917	8,663	0.04	0.35	4.74	60.10	109.77	155.74	190.14	208.74	218.36	219.66	232.89	
28	H040818	7,221	7.72	13.93	23.59	66.70	98.76	120.13	144.93	175.86	243.06	328.76	387.48	
29	H050907	7,471	0.43	0.51	0.60	54.44	109.02	124.42	129.10	129.91	131.13	171.16	212.25	
30	H060928	16,051	1.66	5.82	15.17	128.60	223.59	281.56	321.63	352.00	386.45	402.92	415.21	
31	H070511	4,260	0.30	2.14	3.95	35.65	57.26	64.37	79.48	117.38	204.11	224.47	224.47	
32	H080315	2,699	0.01	0.01	0.39	14.20	56.48	72.63	73.71	74.39	76.70	76.72	83.27	
33	H090725	15,622	12.57	28.17	49.85	141.54	234.58	308.71	385.50	424.15	443.20	466.60	466.60	
34	H100921	9,308	0.34	1.14	2.88	64.91	127.10	149.30	159.86	160.68	168.87	256.31	297.83	
35	H110628	4,133	0.03	0.03	0.04	23.91	49.13	77.63	101.48	129.80	146.88	150.11	150.11	
36	H120910	7,482	3.76	6.15	12.06	55.72	97.31	131.92	170.81	213.40	279.13	351.41	351.98	
37	H130820	14,455	23.22	46.78	66.61	142.50	212.76	304.77	377.91	407.43	433.33	456.18	456.84	
38	H140827	5,522	4.41	10.67	16.32	48.01	91.96	117.37	131.76	136.29	153.95	268.64	331.47	
39	H150807	11,545	6.63	19.18	39.00	102.70	173.84	245.07	287.06	318.60	351.87	397.99	398.19	
40	H161019	12,538	2.31	8.52	20.01	137.77	211.80	235.53	240.32	252.61	271.59	295.17	309.50	
41	H170905	6,819	2.99	8.64	12.87	61.82	94.49	117.83	128.78	153.39	214.06	283.47	305.27	
42	H180410	3,019	0.00	0.05	0.12	16.93	55.03	79.39	92.24	101.50	117.34	131.98	134.54	
43	H190713	8,557	3.96	10.48	20.37	81.78	127.57	170.63	215.61	232.77	262.59	272.03	297.76	
44	H200918	2,778	0.07	0.25	0.77	27.39	50.58	79.64	104.30	134.36	167.32	170.36	170.36	
45	H211006	5,814	1.07	3.39	5.89	49.26	93.20	120.72	143.97	160.75	187.35	200.11	203.88	
46	H221008	2,708	0.32	1.28	2.20	35.31	60.20	72.40	80.75	95.42	137.53	168.42	168.42	
47	H230902	24,241	27.08	63.02	106.99	217.43	323.57	408.29	499.48	573.82	714.02	1010.62	1194.97	
48	H240618	7,479	0.99	2.11	2.49	65.31	131.52	166.65	186.06	195.88	196.38	196.38	196.38	
49	H250914	13,851	12.83	35.69	65.94	137.44	232.48	309.33	351.90	379.32	397.11	442.08	442.10	
50	H260808	13,186	2.30	10.50	29.59	114.04	169.35	201.67	236.30	260.21	290.96	513.87	532.87	
51	H270715	16,062	13.63	30.83	53.39	141.59	225.30	292.45	345.99	382.22	413.98	483.81	485.63	
52	H280829	4,244	0.09	0.77	3.10	26.31	74.47	121.40	136.16	150.92	159.43	165.20	170.58	
53	H291021	19,755	3.12	13.78	39.02	157.07	247.23	306.61	328.97	352.71	384.52	458.58	495.41	
54	H300820	17,773	2.25	4.75	9.59	125.43	219.21	269.43	292.96	310.43	352.42	363.13	363.69	
55	R010812	10,488	8.97	20.25	35.52	95.00	141.82	185.26	226.91	263.61	334.97	439.43	488.87	
相関係数			0.604	0.671	0.762	0.976	0.969	0.954	0.934	0.923	0.900	0.842	0.807	

表 1-26 (2) ピーク流量と雨量との関係
(ピーク流量生起時刻前で最大となる短時間雨量)

洪水 No.	洪水名	流量 (m ³ /s)	雨量(mm)											
			1時間	2時間	3時間	6時間	9時間	12時間	15時間	18時間	24時間	36時間	48時間	
1	S400913	11.656	34.29	65.90	90.95	140.24	163.08	183.85	193.04	197.17	221.78	252.18	298.44	
2	S410822	3,574	18.09	30.12	35.31	58.11	82.98	106.23	131.18	162.98	191.45	216.51	221.53	
3	S420821	4,794	20.42	39.10	56.49	93.04	114.43	129.06	151.02	162.48	173.83	183.15	190.40	
4	S430727	10,433	23.07	44.94	66.70	123.08	183.45	245.30	292.90	326.91	370.11	454.96	526.49	
5	S440709	3,529	29.15	51.56	66.65	85.76	105.58	113.01	115.93	119.33	130.08	140.89	178.37	
6	S450704	10,613	26.03	51.42	75.73	138.13	180.14	207.15	228.60	242.98	257.38	266.40	273.41	
7	S460829	11,363	26.00	48.84	72.25	138.14	200.90	221.76	246.48	266.51	295.53	322.70	337.11	
8	S470915	11,964	35.38	70.65	98.05	154.02	172.82	180.89	188.12	190.79	190.95	210.45	252.16	
9	S480814	4,955	18.61	33.59	47.47	76.68	104.86	129.67	152.65	176.93	215.06	303.80	334.59	
10	S490706	9,555	19.82	36.75	54.40	104.18	142.53	175.34	200.74	219.61	242.00	252.29	253.37	
11	S500821	13,002	29.21	55.88	78.46	136.99	188.17	231.67	269.34	300.37	375.29	428.85	456.53	
12	S510908	3,452	14.44	26.68	38.56	61.34	82.86	106.03	130.76	154.42	178.92	190.08	190.70	
13	S520908	2,583	9.20	18.03	25.90	47.19	62.85	81.33	94.83	111.64	132.32	188.27	230.48	
14	S530622	2,009	13.02	25.22	35.04	53.76	70.20	80.21	84.65	90.15	107.35	133.57	135.88	
15	S541017	10,678	32.13	61.84	90.99	145.98	166.04	189.68	221.71	250.46	284.04	340.02	362.47	
16	S550909	3,845	13.33	26.30	36.99	65.57	93.80	113.49	125.91	145.60	180.52	245.23	286.11	
17	S561021	2,175	8.16	16.20	24.18	45.59	63.84	79.14	92.02	103.88	118.95	133.75	141.26	
18	S570801	9,793	31.80	62.09	91.91	151.56	188.27	206.26	219.20	231.94	317.84	332.80	333.27	
19	S580815	5,842	21.10	39.21	58.17	99.18	122.06	138.81	160.02	174.38	203.89	241.33	241.33	
20	S590728	5,163	21.65	36.24	51.64	96.94	128.74	149.76	159.45	170.18	184.00	184.91	188.25	
21	S600629	5,943	25.95	49.58	72.47	104.11	123.15	156.37	167.15	178.02	186.19	204.94	261.45	
22	S610711	5,779	22.20	38.64	54.93	95.83	115.73	129.78	136.37	142.54	150.64	158.52	164.91	
23	S621015	4,207	23.97	44.91	68.88	107.76	129.61	153.17	162.72	166.62	173.46	176.83	177.07	
24	S630924	8,795	31.41	51.60	64.98	125.71	159.72	188.56	204.20	210.10	219.67	222.70	228.46	
25	H010826	6,071	33.95	65.82	90.10	141.37	180.02	206.40	215.44	217.77	243.29	247.86	248.81	
26	H020918	17,086	41.87	82.54	120.16	193.95	245.74	270.55	287.50	313.06	340.24	357.58	386.56	
27	H030917	8,663	21.05	40.76	55.36	105.03	151.00	185.40	204.00	211.90	218.59	219.66	232.89	
28	H040818	7,221	16.06	30.91	43.11	75.17	99.87	123.99	152.66	190.43	243.06	328.76	387.48	
29	H050907	7,471	34.81	59.94	86.32	114.83	123.82	128.50	129.31	130.50	131.13	174.48	220.83	
30	H060928	16,051	41.34	82.26	121.50	208.42	266.39	306.46	338.75	360.91	387.90	402.92	415.21	
31	H070511	4,260	19.48	38.23	56.11	97.30	124.63	141.93	150.60	179.05	210.07	224.47	224.47	
32	H080315	2,699	15.51	29.98	42.28	64.52	72.24	73.68	74.00	76.64	76.70	76.72	114.23	
33	H090725	15,622	33.97	64.58	93.04	184.73	258.86	335.65	392.47	424.15	443.20	466.60	466.60	
34	H100921	9,308	31.28	57.98	76.40	124.22	146.42	156.98	159.86	163.62	191.76	271.74	299.77	
35	H110628	4,133	12.25	23.19	31.88	54.26	81.61	105.89	129.76	136.77	148.18	150.11	150.11	
36	H120910	7,482	19.97	34.90	48.43	85.25	125.81	160.67	201.34	236.25	293.02	351.41	351.98	
37	H130820	14,455	37.98	69.15	94.64	165.15	242.33	311.30	377.91	407.43	433.33	456.18	456.84	
38	H140827	5,522	16.09	31.15	44.07	80.19	101.05	120.66	132.30	158.62	185.34	268.64	331.47	
39	H150807	11,545	27.78	52.34	74.98	142.37	206.07	254.48	289.88	323.12	351.87	397.99	398.19	
40	H161019	12,538	46.82	82.50	117.76	191.79	223.63	235.53	240.76	252.61	271.59	295.69	309.50	
41	H170905	6,819	22.39	43.32	57.45	85.35	104.96	119.20	145.08	181.54	219.79	284.06	308.31	
42	H180410	3,019	13.69	26.07	38.10	66.34	82.69	93.69	101.96	110.22	120.78	134.35	134.54	
43	H190713	8,557	23.71	45.81	61.41	107.78	150.26	195.24	221.19	234.82	262.59	272.03	298.19	
44	H200918	2,778	11.58	22.13	31.34	56.07	85.85	111.39	139.34	158.93	167.83	170.36	170.36	
45	H211006	5,814	32.76	58.52	73.80	93.78	120.42	140.62	155.28	167.76	189.56	200.11	203.88	
46	H221008	2,708	18.05	31.50	37.28	61.91	72.96	82.69	100.73	113.23	162.65	168.42	168.42	
47	H230902	24,241	43.97	82.60	119.53	226.25	325.50	412.22	499.48	573.82	714.02	1010.62	1194.97	
48	H240618	7,479	36.03	67.79	92.86	137.16	170.42	186.68	193.39	195.88	196.38	196.38	196.38	
49	H250914	13,851	38.17	69.97	105.35	171.89	257.37	309.74	351.90	379.32	397.11	442.08	442.10	
50	H260808	13,186	33.50	62.80	84.45	145.82	201.90	230.57	243.12	266.56	318.45	521.75	532.87	
51	H270715	16,062	31.52	61.49	88.20	171.91	240.81	298.03	348.99	382.22	413.98	483.81	485.63	
52	H280829	4,244	19.70	37.09	53.61	95.09	120.98	133.06	147.82	154.57	160.12	166.01	170.62	
53	H291021	19,755	42.60	80.52	118.05	208.21	276.75	314.37	330.96	355.96	385.08	458.77	495.41	
54	H300820	17,773	45.14	88.49	121.88	209.62	259.84	283.37	300.90	322.51	355.22	363.13	363.69	
55	R010812	10,488	20.35	40.05	59.48	106.30	155.29	197.65	230.69	267.39	334.97	439.43	488.87	
相関係数			0.820	0.844	0.861	0.936	0.957	0.947	0.928	0.916	0.895	0.839	0.808	

(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/hr の降雨の継続時間及び強い降雨強度である時間 10mm/hr の降雨の継続時間の集計を行った。なお、継続時間の集計は相賀地点流域平均雨量を対象に行うものとする。

対象洪水は、過去洪水（昭和 40 年（1965 年）～令和元年（2019 年））のうち、基準地点相賀において実績流量規模の上位 10 洪水とした。

以下に集計した結果を示す。この結果、5mm/hr 以上の継続時間の平均値は 26 時間、10mm/hr 以上の継続時間の平均値は 18 時間程度となり、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、概ね 24 時間でカバーできることが分かる。

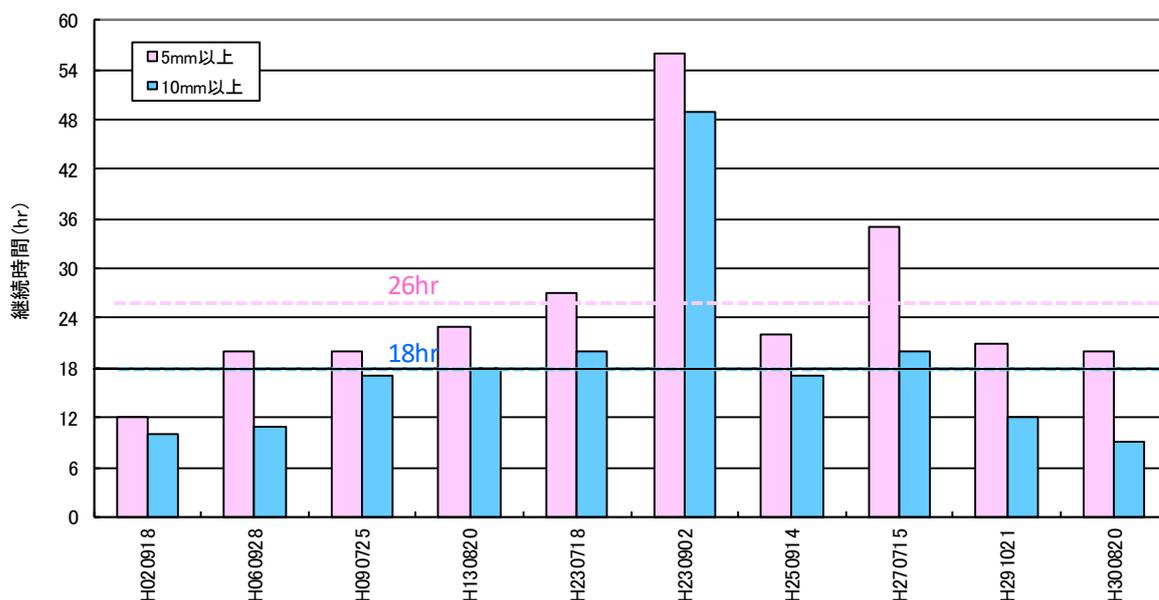


図 1-51 強い降雨強度の継続時間（相賀上流域平均雨量）

表 1-27 強度の強い降雨の継続時間

洪水 No.	洪水	ピーク流量 (ダム戻し) (m ³ /s)	継続時間(hr)		流量順位
			5mm以上	10mm以上	
1	H020918	17,086	12	10	4
2	H060928	16,051	20	11	6
3	H090725	15,622	20	17	7
4	H130820	14,455	23	18	8
5	H230718	13,928	27	20	9
6	H230902	24,241	56	49	1
7	H250914	13,851	22	17	10
8	H270715	16,062	35	20	5
9	H291021	19,755	21	12	2
10	H300820	17,773	20	9	3
平均			26	18	

※1mm/hr未満が6時間以上で独立と見なした.

(5) 対象降雨の降雨継続時間の設定

時間雨量データの存在する昭和40年（1965年）から令和元年（2019年）（55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、対象降雨の降雨時間は24時間と設定した。

表 1-28 対象降雨の降雨継続時間の検討結果

Kinematic Wave 法による洪水の到達時間	15～32 時間、平均 22 時間
角屋式による洪水の到達時間	8.1～10.5 時間、平均 9.3 時間
相賀ピーク流量と相関の高い短時間雨量	ピーク流量と相関の高い短時間雨量は 6 時間を超えると相関が高い。
強い降雨強度の継続時間	5mm 以上で平均 26 時間、10mm 以上で平均 18 時間程度。概ね 24 時間でカバーできる。

1.6.4 基本高水の検討

既定計画策定後に計画を超過する洪水が発生したこと、また、気候変動の影響は既に顕在化し、今後も気候変動による将来の降雨量の増加等が想定されることから、気候変動の影響を踏まえ、

- (1) 降雨量変化倍率を考慮した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

から総合的に判断し基本高水のピーク流量を設定する

【参考】流量データによる確率からの検討

昭和40年(1965年)～平成22年(2010年)の46年間の流量データを対象に、水文解析に一般的に用いられる確率分布モデルによる1/100相当の流量は、 $19,100\text{m}^3/\text{s}$ ～ $26,100\text{m}^3/\text{s}$ と推定される。なお、既定計画で定めた基本高水のピーク流量 $19,000\text{m}^3/\text{s}$ は確率流量値の範囲から外れている。

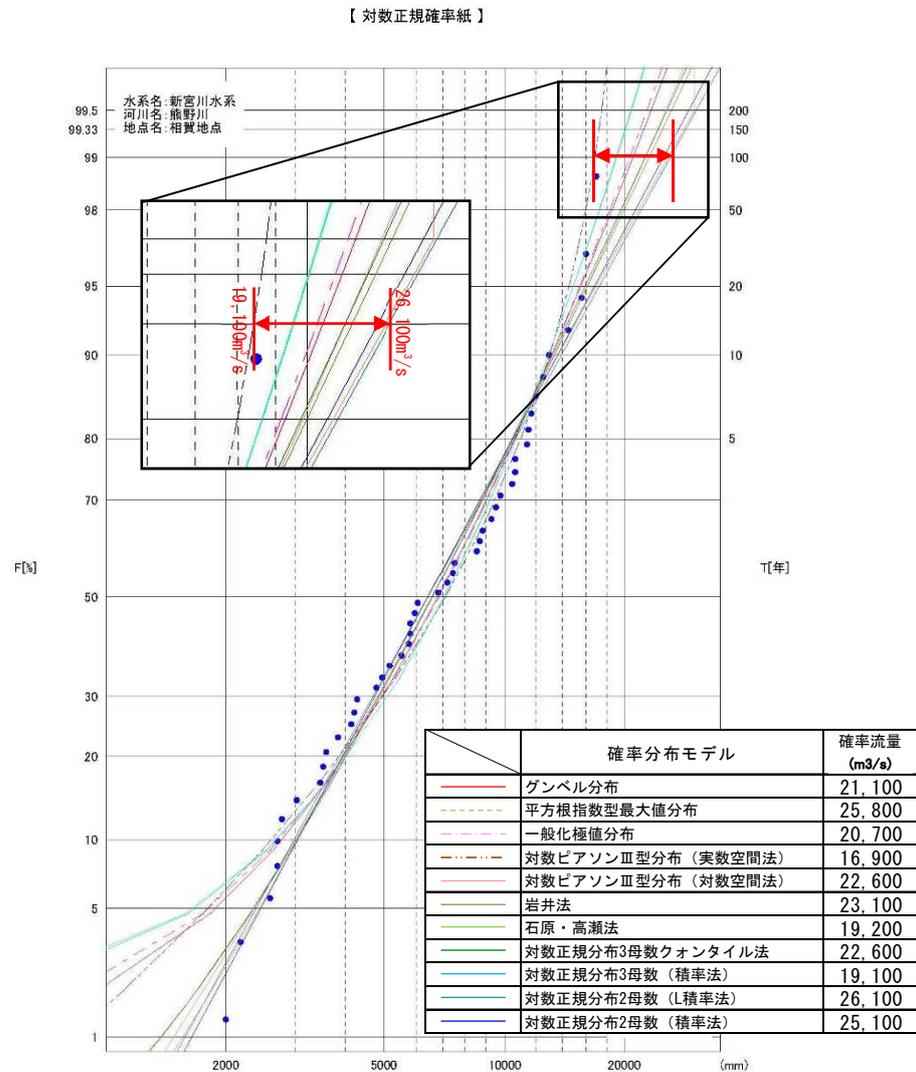


図 1-52 基準地点相賀における流量確率評価図
(昭和40年(1965年)～平成22年(2010年):46力年)

(1) 降雨量変化倍率を考慮した雨量データによる確率からの検討

1) 計画規模の設定

熊野川においては、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、既定計画と同様の 1/100 とした。

2) 対象降雨の降雨量の設定

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に着眼して 24 時間を採用した。なお、継続時間が長い平成 23 年 9 月洪水は既往洪水の検討として別途の取り扱いとする。昭和 40 年～平成 22 年までの 46 年間の年最大 24 時間雨量を確率処理し、1/100 確率規模の降雨量を基準地点相賀で 499mm とし、気候変動による降雨量の増加を考慮し、1.1 倍の 549mm に決定した。

表 1-29 1/100 確率規模降雨量

	1/100	気候変動後	備考
相賀地点	499mm/24hr ※確率雨量	549mm/24hr (確率雨量の 1.1 倍)	確率手法 SLSC0.04 以下 Jackknife 推定誤差最小

表 1-30 相賀地点 24 時間雨量 1/100 確率評価結果

確率分布	計算手法		基準地点相賀			備考
			SLSC	確率1/100 24時間雨量 (mm)	Jackknife 推定誤差	
分布極値型	一般化極値分布	Gev	0.028	553.7	62.3	
	グンベル分布	Gumbel	0.029	516.4	45.5	
	平方根指数型最大値分布	SqrtEt	0.028	576.7	58.5	
分布ガン型マ	対数ピアソンⅢ型分布(実数空間法)	LP3Rs	0.029	498.3	41.1	採用
	対数ピアソンⅢ型分布(対数空間法)	LogP3	0.024	537.5	60.3	
対数正規分布型	岩井法	Iwai	0.024	523.1	54.4	
	石原・高瀬法	IshiTaka	0.025	514.0	44.2	
	対数正規分布3母数(SladeⅡ)クォンタイル法	LN3Q	0.025	513.2	48.0	
	対数正規分布3母数(SladeⅡ)	LN3PM	0.025	512.2	43.9	
	対数正規分布2母数(SladeⅠ, L積率法)	LN2LM	0.025	513.2	56.4	
	対数正規分布2母数(SladeⅠ, 積率法)	LN2PM	0.025	508.3	52.0	
	対数正規分布4母数(SladeⅣ, 積率法)	LN4PM	—	—	—	

注：時間雨量の統計範囲は昭和 40 年～平成 22 年

SLSC ≤ 0.040 の計算手法の中で Jackknife 推定誤差が最小になる確率雨量を採用

—：標本と分布モデルとの適合性が明らかに良くないと判断される場合、すなわち母数推定を行う際に標本を標準変量に変換した値の歪係数が 0.3 より大きい場合は当該分布モデルには不適合とみなして” — ”とした。

【参考】近年降雨の気候変動の影響等の確認

雨量標本に経年的変化の確認として「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」とどめ、定常の水文統計解析により確率雨量を算定等も併せて実施した。

Mann-Kendall 検定（定常／非定常性を確認）は、S40～H22 および雨量データを一年ずつ追加し、S40～R1 までのデータを対象とした検定である。

新宮川水系では、非定常性が確認されなかったが、近年降雨までデータ延伸した結果、定常の確率分布モデルの安定性が大きく低下したため、確率雨量の算定は困難と判断した。

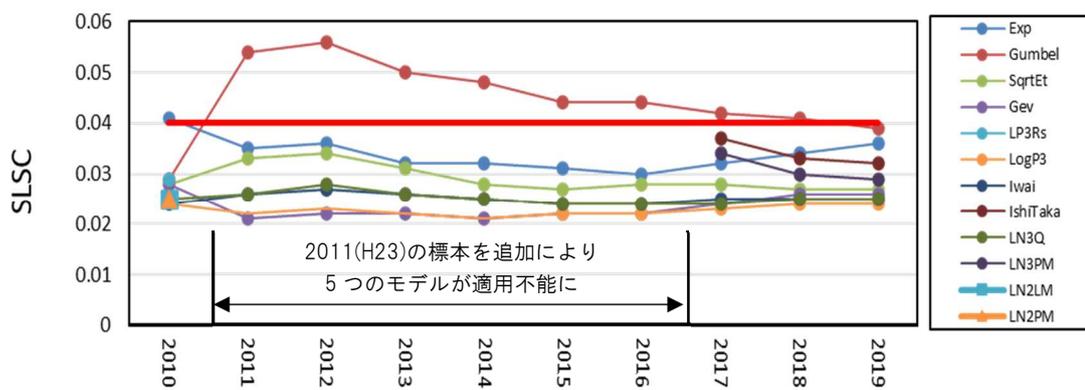


図 1-53 標本の追加による SLSC の推移

表 1-31 相賀地点上流域平均年最大 24 時間雨量

No.	相賀地点上流域平均雨量	
	年月日	24h雨量(mm)
1	S400916	221.8
2	S410815	237.1
3	S420821	173.8
4	S430728	370.1
5	S440625	165.1
6	S450705	260.2
7	S460830	295.5
8	S470916	194.5
9	S480815	215.0
10	S490706	243.6
11	S500822	375.3
12	S510908	178.9
13	S521116	143.5
14	S530802	115.6
15	S541018	284.0
16	S550910	180.5
17	S561021	119.0
18	S570731	317.8
19	S580816	203.9
20	S590728	200.4
21	S600630	186.8
22	S610712	150.7
23	S621016	173.5
24	S630924	219.7
25	H010826	259.6
26	H020919	343.1
27	H030918	218.6
28	H040818	248.7
29	H050809	199.2
30	H060929	387.9
31	H070511	210.1
32	H080814	101.3
33	H090726	469.8
34	H100921	191.8
35	H110629	148.2
36	H120911	293.0
37	H130821	467.2
38	H140827	185.3
39	H150808	351.9
40	H160804	358.0
41	H170906	219.8
42	H181004	140.7
43	H190714	262.6
44	H200918	167.8
45	H211007	189.5
46	H221008	162.7

表 1-32 熊野川流域時間雨量確率計算結果
(昭和 40 年(1965 年)～平成 22 年(2010 年))

(単位:mm)

項目	熊野川 基準地点:相賀(A=2,251km ²) (24時間)												精度の良い手法群の平均値	
	毎年値													
	一般化極値分布 Gev	グンベル分布 Gumbel	平方根指数型最大値分布 SqrtEt	対数ピアソンⅢ型分布(実数空間法) LP3Rs	対数ピアソンⅢ型分布(対数空間法) LogP3	岩井法 Iwai	石原・高瀬法 IshiTaka	対数正規分布3母数(SladeⅡ)クォンタイル法 LN3Q	対数正規分布3母数(SladeⅡ) LN3PM	対数正規分布2母数(SladeⅠ,積率法) LN2LM	対数正規分布2母数(SladeⅠ,積率法) LN2PM	対数正規分布4母数(SladeⅣ,積率法) LN4PM		
標本数	46												—	
最大値	469.8												—	
確率規模	1/2	215.8	220.1	214.7	222.2	217.4	218.5	219.5	219.1	219.8	220.2	220.2	—	218.9
	1/3	252.2	257.6	251.8	260.5	254.4	255.7	256.6	255.7	257.1	257.6	257.1	—	256.0
	1/5	294.8	299.4	296.1	301.9	296.8	297.6	298.1	296.7	298.5	299.1	298.1	—	297.9
	1/10	351.3	352.0	356.2	352.1	351.7	351.0	350.2	348.5	350.3	351.0	349.1	—	351.2
	1/20	409.1	402.4	418.6	398.4	406.2	402.8	400.1	398.4	399.8	400.5	397.9	—	403.1
	1/30	444.0	431.3	456.6	424.3	438.5	432.9	428.8	427.3	428.2	429.0	425.8	—	433.3
	1/50	489.3	467.6	506.2	456.2	479.8	471.0	464.9	463.7	463.9	464.8	460.9	—	471.7
	1/80	532.6	500.7	553.6	484.9	518.7	506.3	498.2	497.2	496.6	497.6	493.0	—	507.2
	1/100	553.7	516.4	576.7	498.3	537.5	523.1	514.0	513.2	512.2	513.2	508.3	—	524.2
	1/150	593.0	544.9	619.8	522.5	572.2	554.0	542.9	542.5	540.6	541.6	536.2	—	555.5
	1/200	621.7	565.1	651.2	539.4	597.4	576.1	563.5	563.4	560.8	561.9	556.0	—	577.9
	1/400	693.7	613.7	729.7	579.9	659.8	630.3	613.7	614.4	609.9	611.2	604.2	—	632.8
	1/500	717.8	629.4	755.9	592.8	680.5	648.0	630.1	631.0	625.9	627.2	619.9	—	650.8
	1/600	737.8	642.2	777.5	603.3	697.7	662.5	643.5	644.7	639.0	640.4	632.7	—	665.6
1/700	755.0	653.0	796.1	612.1	712.3	674.9	654.9	656.3	650.2	651.5	643.6	—	678.2	
1/800	770.1	662.3	812.3	619.8	725.2	685.7	664.8	666.4	659.8	661.2	653.1	—	689.2	
1/900	783.5	670.6	826.8	626.5	736.6	695.3	673.6	675.3	668.4	669.8	661.5	—	698.9	
1/1000	795.6	677.9	839.8	632.5	746.8	703.9	681.4	683.3	676.1	677.5	669.0	—	707.6	
SLSC	0.028	0.029	0.028	0.029	0.024	0.024	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	—	—	
SLSCH	0.054	0.055	0.054	0.065	0.053	0.056	0.058	0.059	0.059	0.059	0.061	—	—	
相関係数(X)	0.988	0.990	0.986	0.989	0.990	0.990	0.990	0.991	0.990	0.99	0.99	—	—	
相関係数(Y)	0.996	0.994	0.997	0.992	0.996	0.995	0.994	0.995	0.994	0.994	0.994	—	—	
推定誤差	62.3	45.5	58.5	41.1	60.3	54.4	44.2	48.0	43.9	56.4	52.0	—	—	

■:精度の良い手法(SLSC≦0.04)

■:Jackknife推定誤差が最小となる手法

■:計画雨量採用値

—:標本と分布モデルとの適合性が明らかに良くないと判断される場合、すなわち母数推定を行う際に標本を標準変量に変換した値の歪係数が0.3より大きい場合は該当分布モデルには不適合とみなして“—”とした。

【対数正規確率紙】

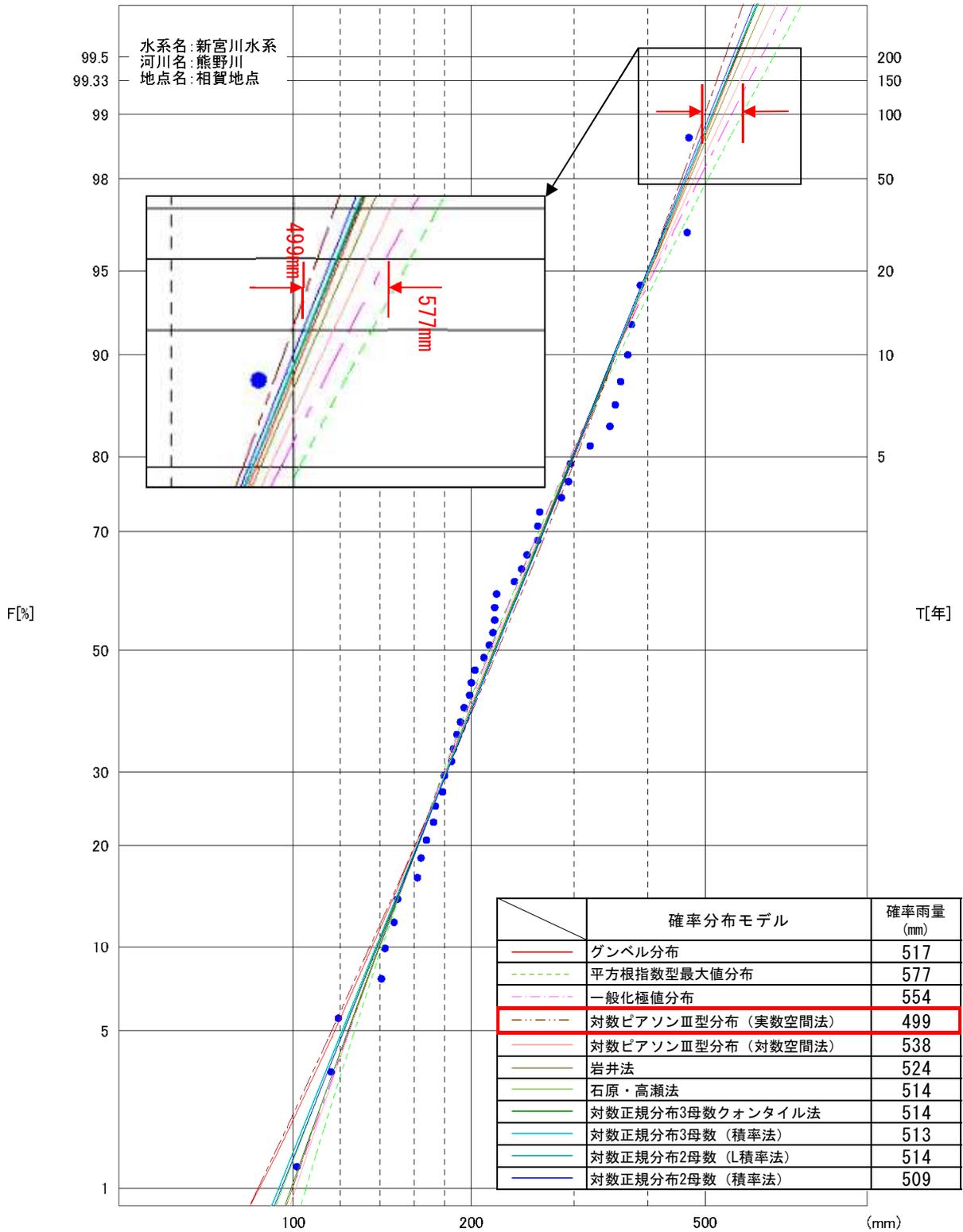


図 1-54 相賀地点 24 時間雨量確率評価図
(昭和 40 年 (1965 年) ~平成 22 年 (2010 年) : 46 力年)

3) 主要洪水における 1/100 規模の降雨量への引伸しと流出計算

熊野川においては、流域の過去の主要洪水における降雨波形を気候変動考慮した 1/100 確率規模の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出した。

主要洪水の選定は、令和元年までの相賀地点における年上位 5 降雨を収集し、相賀地点で比較的大きな流量を生起した洪水（相賀地点年最大流量の平均値程度以上）、かつ基準地点相賀のピーク流量生起時刻前後の最大 24 時間雨量の引き伸ばし率が 2 倍以下の 23 洪水を選定した。

なお、対象降雨の選定は、相賀地点で比較的大きな流量を生起した洪水（相賀地点年最大流量の平均値程度以上）、かつ拡大後雨量の時間分布、地域分の確率評価が棄却基準（1/500 雨量）を超過している洪水を棄却とし、9 洪水とした。

なお、平成 23 年（2011 年）9 月 2 日洪水は 24 時間雨量が 1/100 規模を超えていることから、実績降雨（引き伸ばし率 1 倍）を採用するものとした。

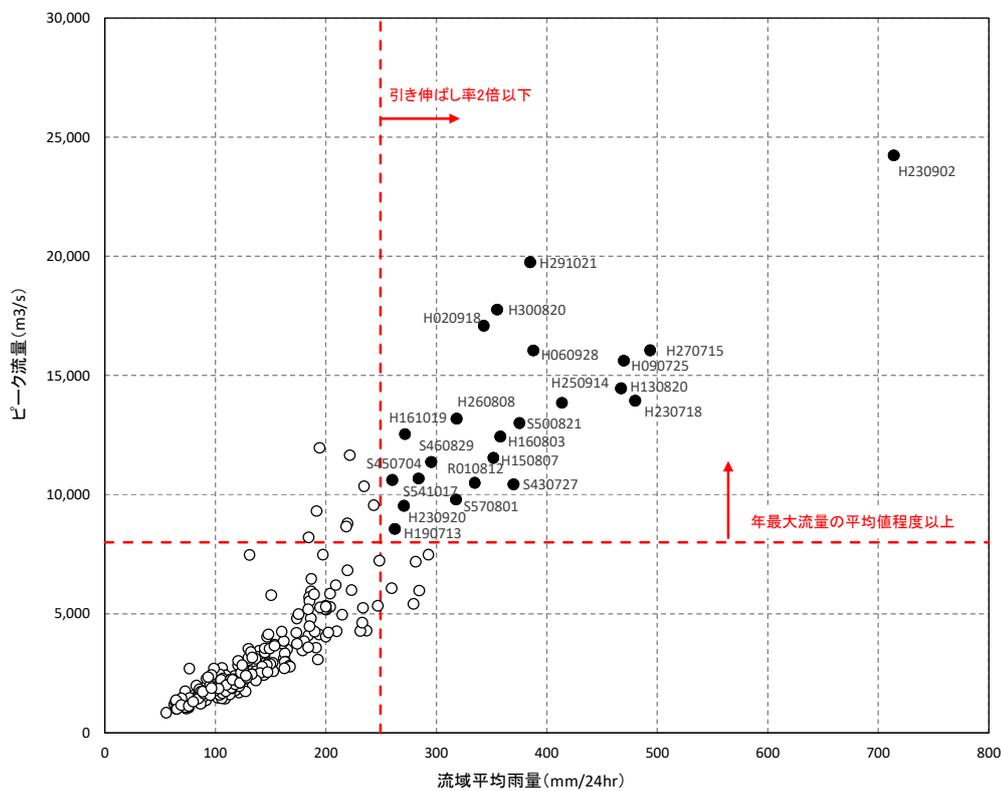


図 1-55 対象洪水の選定結果（相賀地点）

表 1-33 ピーク流量一覧（相賀地点）

洪水名	相賀上流域平均			相賀地点 ピーク流量 (m ³ /s)	備考
	実績雨量 24hr (mm)	対象降雨の降 雨量 24hr (mm)	拡大率		
S430727	370.1	549.0	1.483	19,600	
S450704	260.2	549.0	2.110	24,000	棄却
S460829	295.5	549.0	1.858	23,400	
S500821	375.3	549.0	1.463	19,500	棄却
S541017	284.0	549.0	1.933	26,600	棄却
S570801	317.8	549.0	1.728	23,000	
H020918	343.1	549.0	1.600	31,000	棄却
H060928	387.9	549.0	1.415	25,900	棄却
H090725	469.8	549.0	1.169	18,900	
H130820	467.2	549.0	1.175	17,900	
H150807	351.9	549.0	1.560	19,600	棄却
H160803	358.0	549.0	1.534	18,600	
H161019	271.6	549.0	2.021	33,900	棄却
H190713	262.6	549.0	2.091	22,600	
H230718	479.9	549.0	1.144	16,200	
H230902	714.0	549.0	1.000	24,200	
H230920	270.7	549.0	2.028	31,500	棄却
H250914	413.9	549.0	1.326	18,800	棄却
H260808	318.4	549.0	1.724	14,800	棄却
H270715	439.6	549.0	1.249	19,800	
H291021	385.1	549.0	1.426	29,700	棄却
H300820	355.2	549.0	1.546	29,700	棄却
R010812	334.9	549.0	1.639	18,400	棄却

※100m³/s 未満の端数については、切り上げるものとした。

※拡大後雨量の時間分布、地域分布の確率評価が棄却基準（1/500 雨量）を超過している洪水を棄却とした。

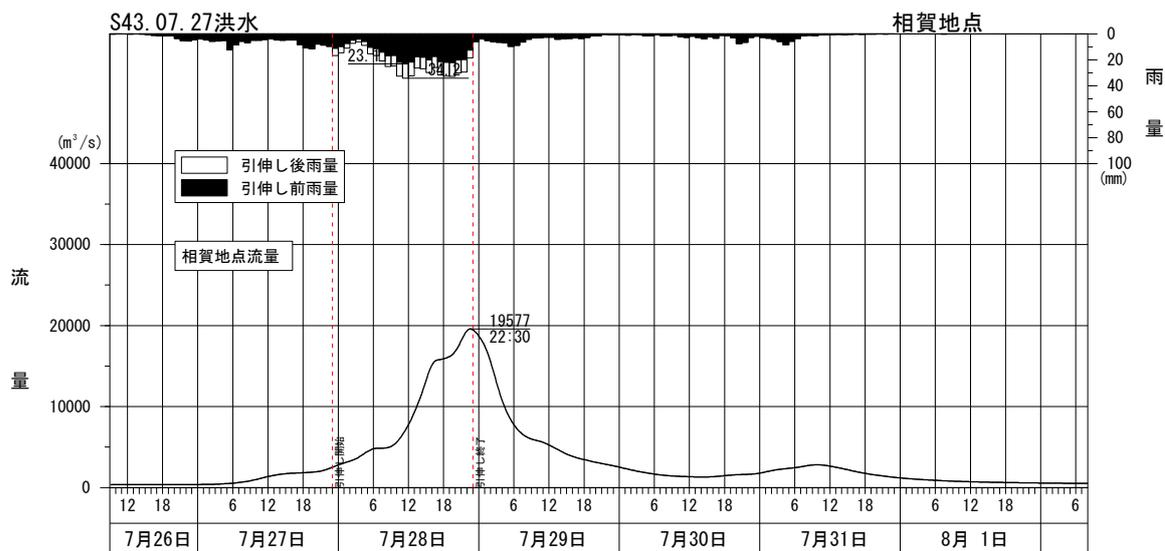


図 1-56 (1) 対象降雨の降雨 24hr 拡大による流出計算結果 (S43.07.27 洪水)

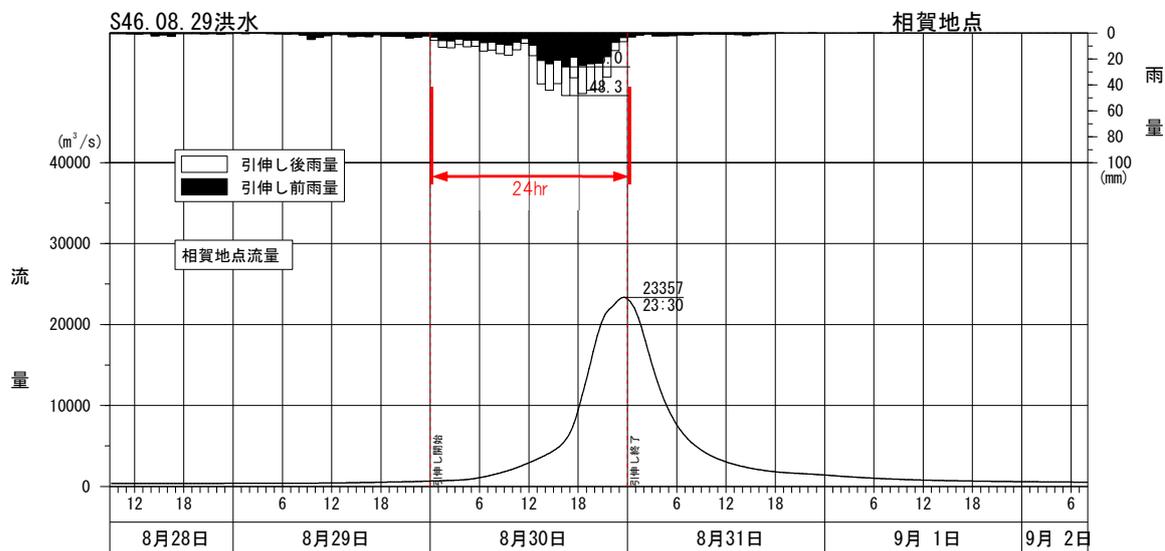


図 1-56 (2) 対象降雨の降雨 24hr 拡大による流出計算結果 (S46.08.29 洪水)

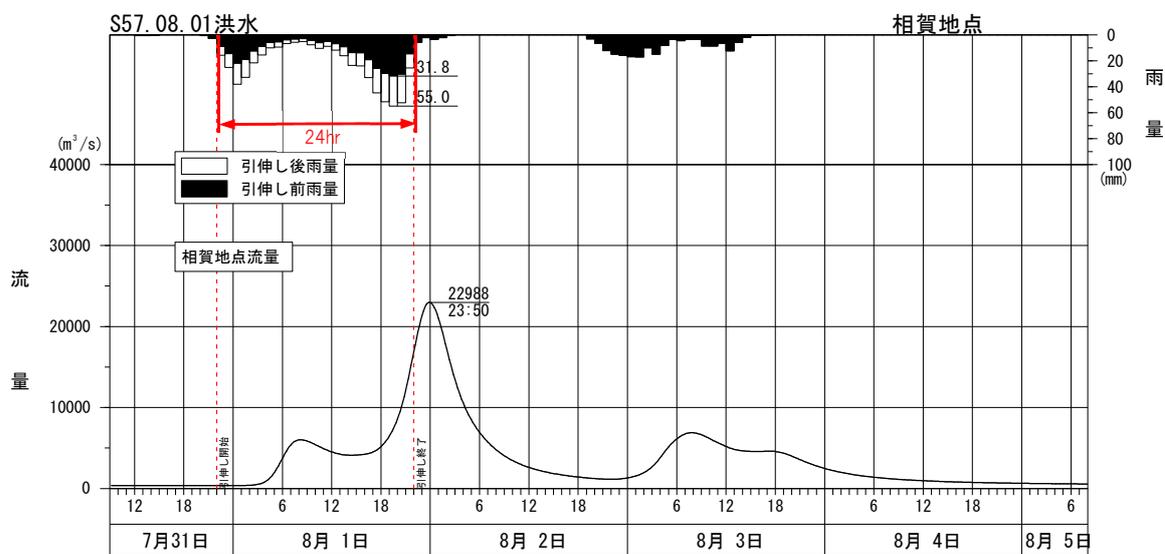


図 1-56 (3) 対象降雨の降雨 24hr 拡大による流出計算結果 (S57.08.01 洪水)

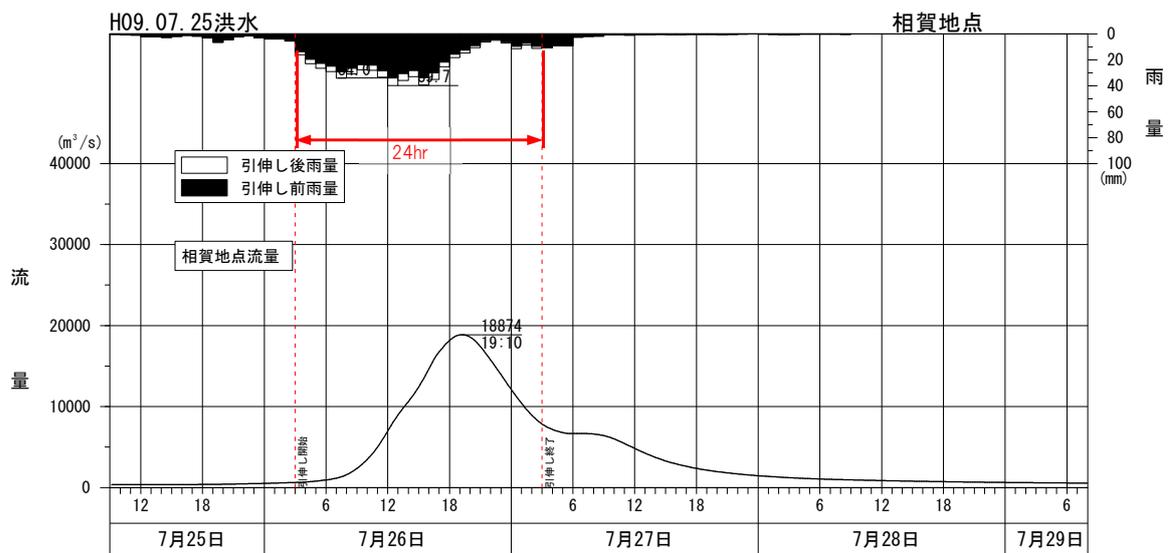


図 1-56 (4) 対象降雨の降雨 24hr 拡大による流出計算結果 (H09.07.25 洪水)

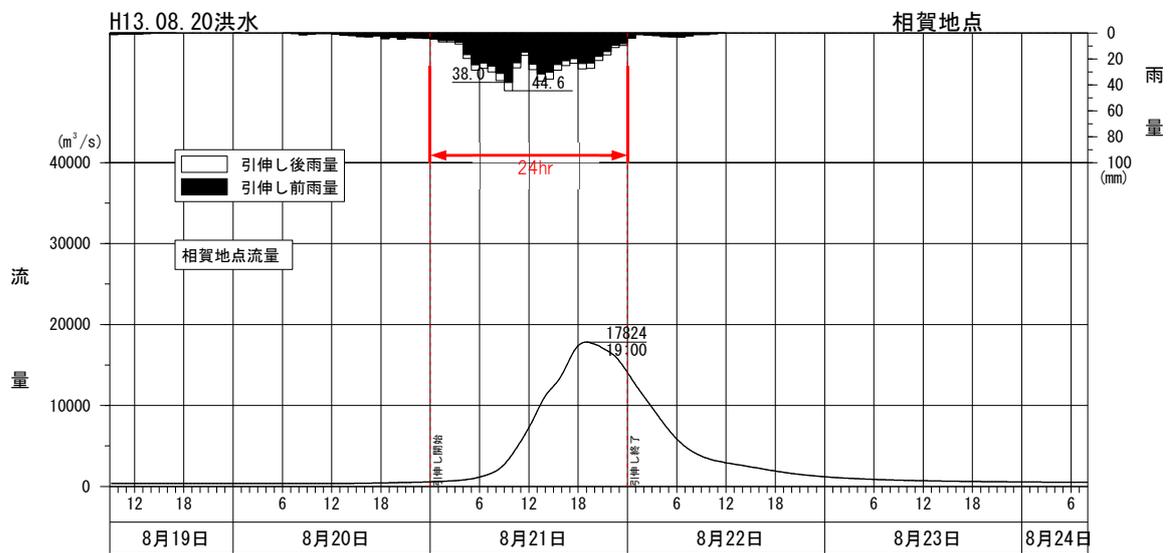


図 1-56 (5) 対象降雨の降雨 24hr 拡大による流出計算結果 (H13.08.20 洪水)

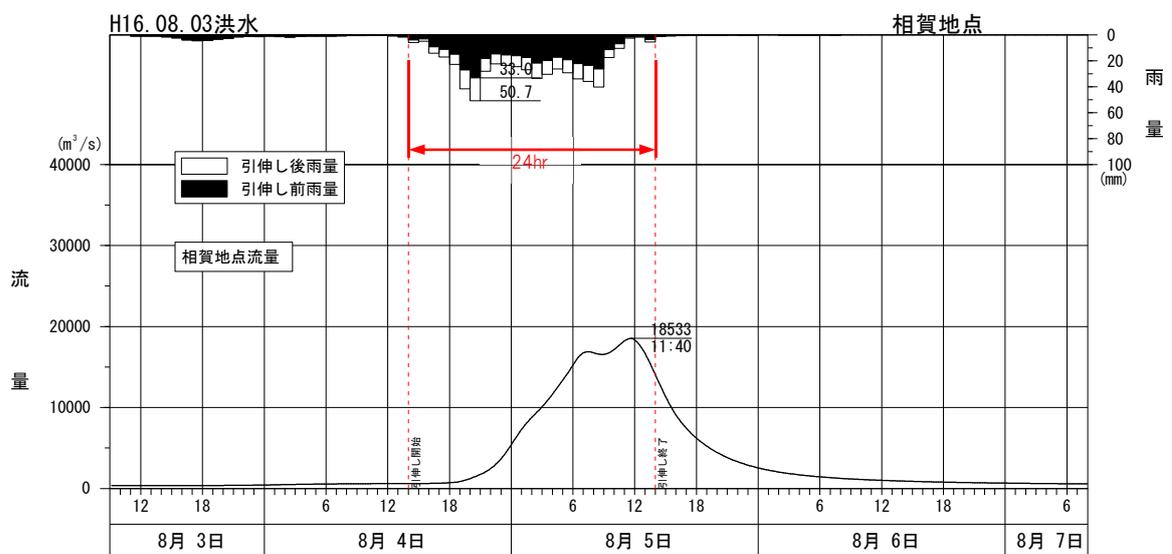


図 1-56 (6) 対象降雨の降雨 24hr 拡大による流出計算結果 (H16.08.03 洪水)

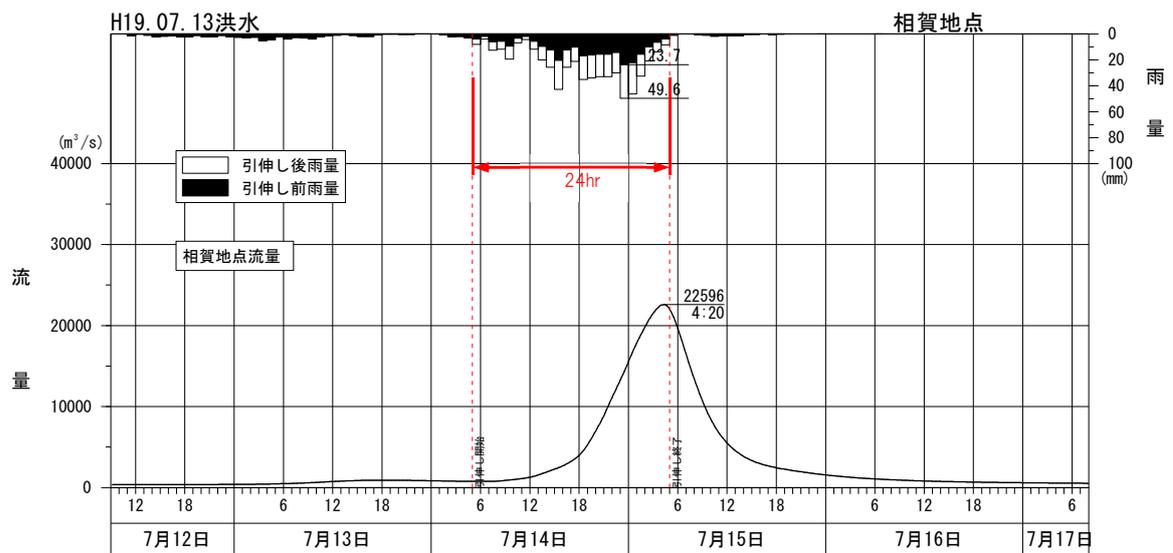


図 1-56 (7) 対象降雨の降雨 24hr 拡大による流出計算結果 (H19.07.13 洪水)

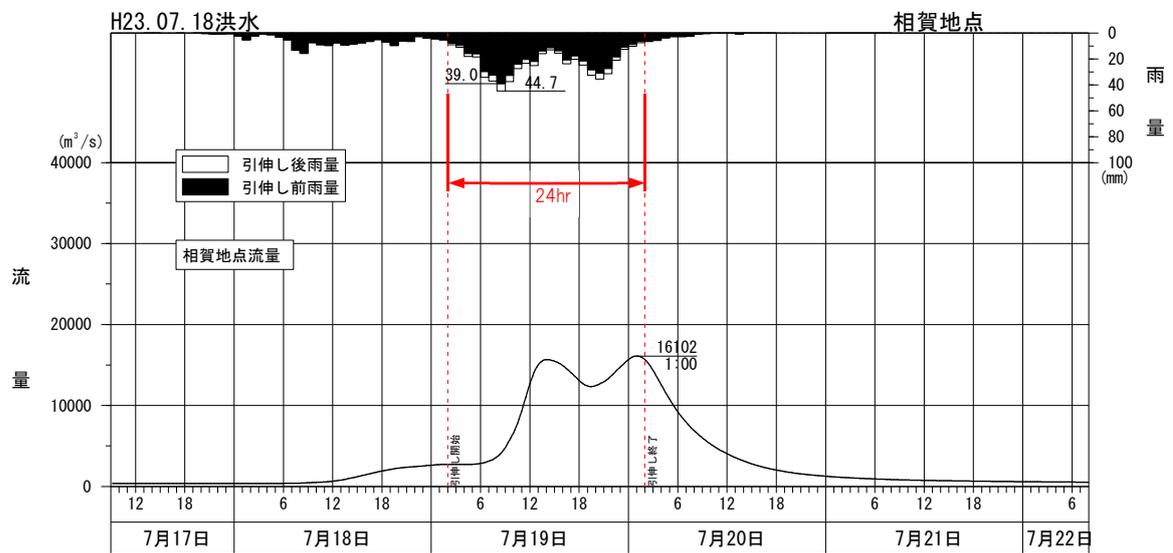


図 1-56 (8) 対象降雨の降雨 24hr 拡大による流出計算結果 (H23.07.18 洪水)

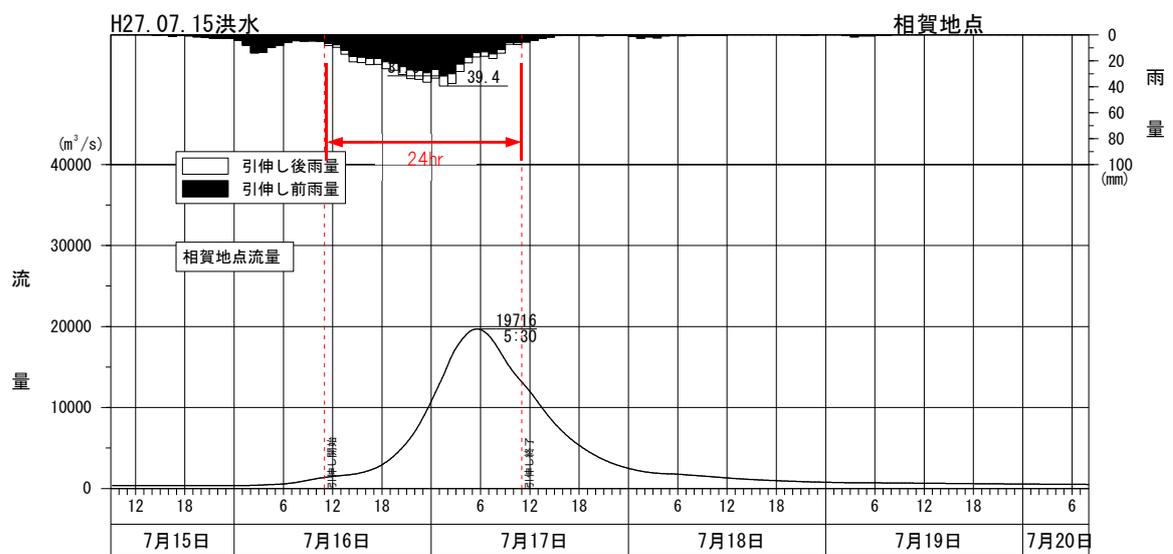


図 1-56 (9) 対象降雨の降雨 24hr 拡大による流出計算結果 (H27.07.15 洪水)

4) 対象降雨の地域分布及び時間分布の検討

【地域分布の評価について】

地域分布の検討では、各地域における年最大 24 時間雨量を用いて確率評価を行い、地域分布の評価方法は、主要 23 洪水における相賀上流域の最大 24 時間雨量と同時刻帯の雨量を拡大して行った。

なお、棄却基準は 1/500 とした。

① 対象地域の設定

対象降雨の降雨の引き伸ばしについて、小流域への過度な引き伸ばしが設定されていないか確認を行う。検討対象地域は、過去の洪水から概ね十津川流域、北山川流域、相賀～合流点残流域（合流点下流域）とした 3 分割流域（中流域）での降雨パターンの違いが見られることから下図に示す 3 地域について検討した。

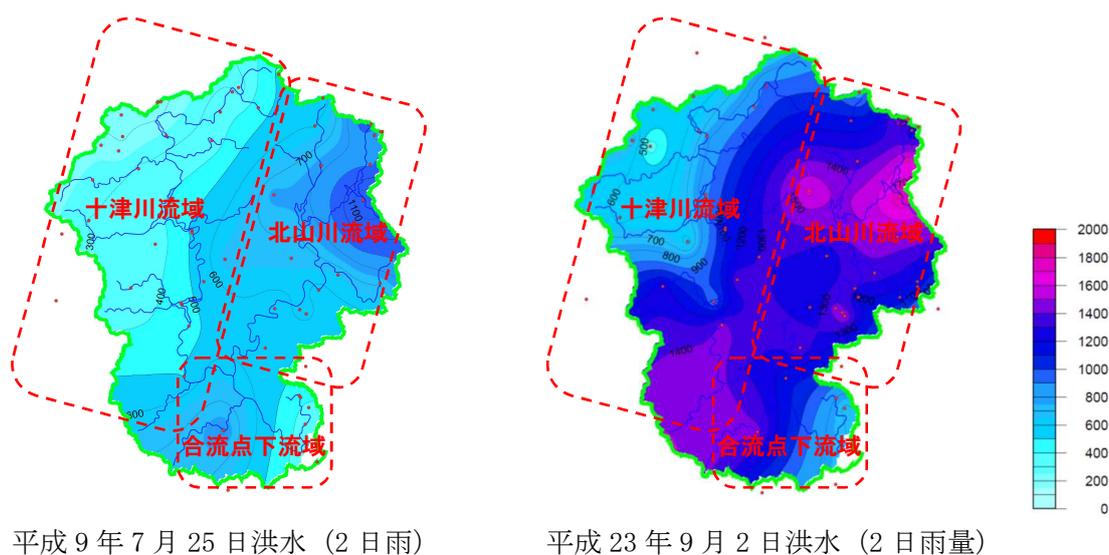
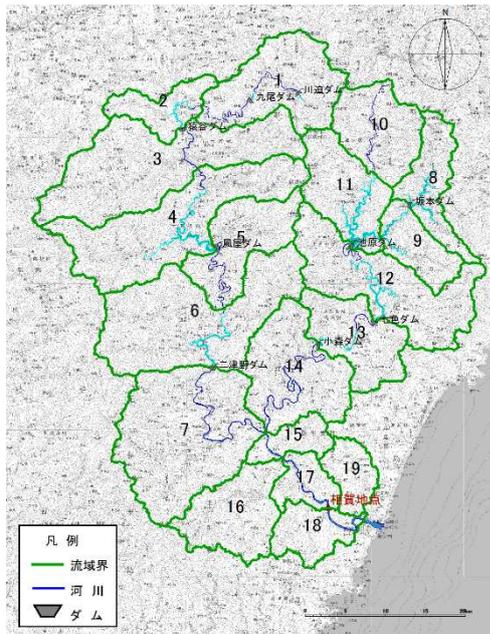


図 1-57 熊野川流域における降雨分布



流域番号	中流域	小流域	流域面積 (km ²)
1	十津川流域	広瀬地点残流域	161.0
2		猿谷ダム残流域	42.7
3		長殿地点残流域	239.7
4		風屋ダム残流域	217.2
5		滝川流域	110.2
6		二津野ダム残流域	245.8
7		宮井地点残流域	255.4
8	北山川流域	坂本ダム地点	77.0
9		備後川流域	75.8
10		河合地点上流域	101.9
11		池原ダム残流域	99.3
12		七色ダム残流域	185.0
13		小森ダム残流域	102.0
14		九重地点残流域	137.0
15	相賀	赤木川合流点残流域	39.0
16	合流点残流域	赤木川流域	110.3
17		相賀地点残流域	51.7
18		成川地点残流域	45.4
19		相野谷川流域	45.6
		合計	2342.0

図 1-58 熊野川流域分割図

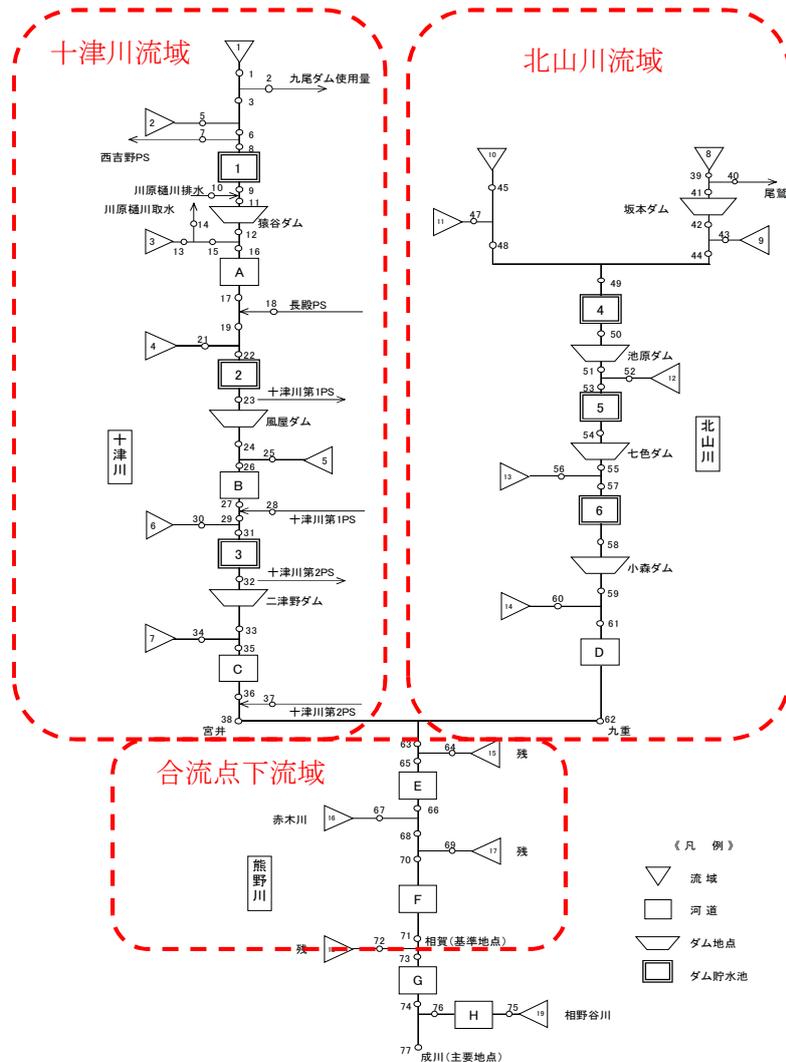


図 1-59 地域分布の検討地区（モデル図）

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する。確率雨量の算定は、表 1-35 で整理した平成 22 年 (2010 年) までの各中流域の年最大 24 時間雨量について、確率計算を行い、各計算手法の中で $SLSC \leq 0.04$ になる確率雨量を採用し、1/500 規模で Jackknife 推定誤差が最小になる分布モデルの確率雨量を採用した。

表 1-34 (1) 24 時間雨量 1/500 確率評価結果 (十津川流域)

確率分布	計算手法		十津川流域			備考
			SLSC	確率1/500 24時間雨量 (mm)	Jackknife 推定誤差 1/500	
分布型 極値	一般化極値分布	Gev	0.022	511.0	80.0	
	グンベル分布	Gumbel	0.022	512.6	43.9	
	平方根指数型最大値分布	SqrtEt	0.029	623.5	60.3	
分布型 ガンマ	対数ピアソンⅢ型分布(実数空間法)	LP3R _S	0.024	460.8	42.4	採用
	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	0.019	515.3	63.6	
	石原・高瀬法	IshiTaka	0.021	487.4	46.0	
	対数正規分布3母数(SladeⅡ)クオンタイル法	LN3Q	0.020	503.5	61.9	
	対数正規分布3母数(SladeⅡ)	LN3PM	0.021	484.8	45.2	
	対数正規分布2母数(SladeⅠ, L積率法)	LN2LM	0.020	509.3	56.8	
	対数正規分布2母数(SladeⅠ, 積率法)	LN2PM	0.020	500.0	52.2	
	対数正規分布4母数(SladeⅣ, 積率法)	LN4PM	—	—	—	

注：時間雨量の統計範囲は昭和 40 年～平成 22 年

SLSC \leq 0.040 の計算手法の中で Jackknife 推定誤差が最小になる確率雨量を採用

—：標本と分布モデルとの適合性が明らかに良くないと判断される場合、すなわち母数推定を行う際に標本を標準変量に変換した値の歪係数が 0.3 より大きい場合は当該分布モデルには不適合とみなして” — ”とした。

表 1-34 (2) 24 時間雨量 1/500 確率評価結果 (北山川流域)

確率分布	計算手法		北山川流域			備考
			SLSC	確率1/500 24時間雨量 (mm)	Jackknife 推定誤差 1/500	
分布極値型	一般化極値分布	Gev	0.027	956.2	167.5	
	グンベル分布	Gumbel	0.027	843.8	81.9	
	平方根指数型最大値分布	SqrtEt	0.030	1063.4	123.5	
分布型マ	対数ピアソンⅢ型分布(実数空間法)	LP3R _s	0.031	774.4	76.9	採用
	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	0.027	893.6	117.7	
	石原・高瀬法	IshiTaka	0.027	835.8	85.2	
	対数正規分布3母数(SladeⅡ)クオンタイル法	LN3Q	0.028	822.5	96.1	
	対数正規分布3母数(SladeⅡ)	LN3PM	0.028	830.2	84.1	
	対数正規分布2母数(SladeⅠ, L積率法)	LN2LM	0.027	879.2	122.9	
	対数正規分布2母数(SladeⅠ, 積率法)	LN2PM	0.027	871.7	113.1	
	対数正規分布4母数(SladeⅣ, 積率法)	LN4PM	—	—	—	

注：時間雨量の統計範囲は昭和 40 年～平成 22 年

SLSC ≤ 0.040 の計算手法の中で Jackknife 推定誤差が最小になる確率雨量を採用

－：標本と分布モデルとの適合性が明らかに良くないと判断される場合、すなわち母数推定を行う際に標本を標準変量に変換した値の歪係数が 0.3 より大きい場合は当該分布モデルには不適合とみなして”－”とした。

表 1-34 (3) 24 時間雨量 1/500 確率評価結果 (相賀～合流点残流域)

確率分布	計算手法		相賀～合流点残流域			備考
			SLSC	確率1/500 24時間雨量 (mm)	Jackknife 推定誤差 1/500	
分布極値型	一般化極値分布	Gev	0.031	827.0	248.6	
	グンベル分布	Gumbel	0.041	763.4	89.9	
	平方根指数型最大値分布	SqrtEt	0.027	961.6	116.0	
分布型マ	対数ピアソンⅢ型分布(実数空間法)	LP3R _s	—	—	—	
	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	—	—	—	
	石原・高瀬法	IshiTaka	—	—	—	
	対数正規分布3母数(SladeⅡ)クオンタイル法	LN3Q	0.026	777.9	179.8	
	対数正規分布3母数(SladeⅡ)	LN3PM	—	—	—	
	対数正規分布2母数(SladeⅠ, L積率法)	LN2LM	0.026	762.8	105.4	採用
	対数正規分布2母数(SladeⅠ, 積率法)	LN2PM	0.025	767.6	107.1	
	対数正規分布4母数(SladeⅣ, 積率法)	LN4PM	—	—	—	

注：時間雨量の統計範囲は昭和 40 年～平成 22 年

SLSC ≤ 0.040 の計算手法の中で Jackknife 推定誤差が最小になる確率雨量を採用

－：標本と分布モデルとの適合性が明らかに良くないと判断される場合、すなわち母数推定を行う際に標本を標準変量に変換した値の歪係数が 0.3 より大きい場合は当該分布モデルには不適合とみなして”－”とした。

表 1-35 年最大 24 時間雨量（中流域）

No.	年	流域平均24h雨量(mm)		
		十津川流域	北山川流域	相賀～合流点 残流域
1	S40	205.6	255.4	226.7
2	S41	191.5	305.4	270.4
3	S42	116.9	263.4	282.9
4	S43	282.8	504.0	408.1
5	S44	144.0	198.6	238.0
6	S45	200.1	354.4	279.1
7	S46	238.4	395.2	318.0
8	S47	189.1	217.9	196.6
9	S48	216.2	217.6	214.4
10	S49	190.2	350.9	267.0
11	S50	356.3	424.2	318.7
12	S51	177.3	213.3	146.2
13	S52	122.0	192.0	299.5
14	S53	111.3	131.9	157.2
15	S54	222.7	360.2	377.5
16	S55	159.4	214.6	209.9
17	S56	128.9	158.1	291.8
18	S57	240.7	458.6	288.0
19	S58	159.3	310.3	230.7
20	S59	157.6	282.1	190.2
21	S60	150.2	236.1	354.5
22	S61	195.4	119.2	140.2
23	S62	141.8	205.9	249.8
24	S63	205.6	281.2	255.4
25	H01	227.6	290.0	353.6
26	H02	307.5	425.5	374.2
27	H03	162.9	274.0	400.8
28	H04	217.7	323.3	229.2
29	H05	182.1	235.5	177.4
30	H06	297.1	514.0	484.6
31	H07	173.2	277.8	319.8
32	H08	96.9	112.9	106.6
33	H09	380.9	600.5	570.8
34	H10	181.3	219.3	310.0
35	H11	134.2	185.2	196.6
36	H12	248.2	380.3	259.0
37	H13	334.9	620.1	718.8
38	H14	176.2	236.8	246.0
39	H15	329.1	389.7	361.0
40	H16	249.6	533.9	374.3
41	H17	227.5	220.0	190.7
42	H18	127.2	183.9	198.0
43	H19	228.4	301.9	330.1
44	H20	101.4	277.1	165.4
45	H21	168.5	213.9	246.8
46	H22	111.3	224.5	293.6

表 1-36 (1) 十津川流域時間雨量確率計算結果
(昭和40年(1965年)～平成22年(2010年))

(単位:mm)

項目		熊野川 十津川流域(A=1,272km ²) (24時間)												精度の良い手法群の平均値
		毎年値												
		一般化極値分布	グンベル分布	平方根指数型最大値分布	対数ピアソンⅢ型分布(実数空間法)	対数ピアソンⅢ型分布(対数空間法)	岩井法	石原・高瀬法	対数正規分布3母数(SladeⅡ)クォンタイル法	対数正規分布3母数(SladeⅡ)	対数正規分布2母数(SladeⅠ, L積率法)	対数正規分布2母数(SladeⅠ, 積率法)	対数正規分布4母数(SladeⅣ, 積率法)	
GeV		Gumbel	SqrtEt	LP3Rs	LogP3	Iwai	IshiTaka	LN3Q	LN3PM	LN2LM	LN2PM	LN4PM		
標本数		46												—
確率規模	1/2	187.7	187.6	183.7	190.9	—	187.4	189.1	187.8	189.3	188.4	188.4	—	188.0
	1/3	217.5	217.4	214.1	221.2	—	217.2	218.7	217.1	219.0	218.6	218.0	—	217.9
	1/5	250.7	250.6	250.3	253.2	—	250.4	250.8	249.7	251.1	251.9	250.6	—	250.9
	1/10	292.3	292.3	299.4	291.1	—	292.0	290.1	290.2	290.2	293.3	290.9	—	292.2
	1/20	332.2	332.3	350.2	325.2	—	331.9	326.8	328.7	326.6	326.6	329.1	—	331.6
	1/30	355.1	355.3	381.0	344.0	—	354.9	347.6	350.8	347.2	355.0	350.9	—	354.2
	1/50	383.7	384.1	421.3	366.8	—	383.7	373.4	378.4	372.6	383.1	378.0	—	382.5
	1/80	409.8	410.4	459.7	387.0	—	410.2	396.9	403.8	395.8	408.7	402.9	—	408.5
	1/100	422.2	422.9	478.5	396.4	—	422.9	408.0	415.8	406.7	420.9	414.6	—	420.9
	1/150	444.7	445.5	513.4	413.1	—	445.9	428.0	437.7	426.4	443.0	436.0	—	443.4
	1/200	460.6	461.6	538.8	424.7	—	462.3	442.2	453.4	440.4	458.8	451.2	—	459.4
	1/400	498.8	500.2	602.3	452.1	—	502.3	476.4	491.2	473.9	497.0	488.1	—	498.2
	1/500	511.0	512.6	623.5	460.8	—	515.3	487.4	503.5	484.8	509.3	500.0	—	510.8
	1/600	521.1	522.7	641.0	467.8	—	526.0	496.5	513.6	493.6	519.5	509.7	—	521.2
	1/700	529.5	531.3	656.0	473.7	—	535.1	504.1	522.2	501.1	528.1	518.0	—	529.9
	1/800	536.9	538.7	669.1	478.7	—	543.0	510.7	529.6	507.6	535.5	525.2	—	537.5
	1/900	543.4	545.3	680.8	483.2	—	549.9	516.6	536.2	513.3	542.2	531.6	—	544.3
	1/1000	549.1	551.2	691.3	487.1	—	556.2	521.8	542.1	518.4	548.1	537.3	—	550.3
SLSC		0.022	0.022	0.029	0.024	—	0.019	0.021	0.020	0.021	0.020	0.020	—	—
SLSCH		0.043	0.043	0.055	0.050	—	0.040	0.045	0.042	0.045	0.041	0.042	—	—
相関係数(X)		0.994	0.994	0.986	0.993	—	0.994	0.994	0.994	0.994	0.994	0.994	—	—
相関係数(Y)		0.998	0.998	0.996	0.998	—	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	—	—
推定誤差1/500		80.0	43.9	60.3	42.4	—	63.6	46.0	61.9	45.2	56.8	52.2	—	—

 : 精度の良い手法(SLSC ≤ 0.04)
 : Jackknife推定誤差が最小となる手法
 : 計画雨量採用値
 —: 標本と分布モデルとの適合性が明らかによくないと判断される場合、すなわち母数推定を行う際に標本を標準変数に変換した値の歪係数が0.3より大きい場合は該当分布モデルには不適合とみなして“—”とした。

表 1-36 (2) 北山川流域時間雨量確率計算結果
(昭和40年(1965年)～平成22年(2010年))

(単位:mm)

項目		熊野川 北山川流域(A=778km ²) (24時間)												精度の良い手法群の平均値
		毎年値												
		一般化極値分布	グンベル分布	平方根指数型最大値分布	対数ピアソンⅢ型分布(実数空間法)	対数ピアソンⅢ型分布(対数空間法)	岩井法	石原・高瀬法	対数正規分布3母数(SladeⅡ)クォンタイル法	対数正規分布3母数(SladeⅡ)	対数正規分布2母数(SladeⅠ, L積率法)	対数正規分布2母数(SladeⅠ, 積率法)	対数正規分布4母数(SladeⅣ, 積率法)	
GeV		Gumbel	SqrtEt	LP3Rs	LogP3	Iwai	IshiTaka	LN3Q	LN3PM	LN2LM	LN2PM	LN4PM		
標本数		46												—
確率規模	1/2	271.7	277.2	269.6	280.4	—	274.1	277.1	277.5	277.5	275.2	275.2	—	275.6
	1/3	322.2	329.2	322.4	333.9	—	326.1	328.7	328.4	329.3	327.5	327.0	—	327.5
	1/5	381.1	387.0	386.2	391.4	—	385.5	385.9	384.6	386.5	386.5	386.6	—	386.0
	1/10	459.0	459.8	473.4	460.3	—	461.6	457.3	454.6	457.5	461.6	459.8	—	460.5
	1/20	538.2	529.5	564.5	522.9	—	536.0	525.4	521.1	525.1	534.5	531.9	—	532.9
	1/30	585.9	569.6	620.2	557.6	—	579.5	564.6	559.2	563.7	576.9	573.7	—	575.1
	1/50	647.6	619.8	693.1	599.7	—	634.6	613.5	606.9	612.0	630.4	626.5	—	628.4
	1/80	706.4	665.7	763.1	637.2	—	685.9	658.5	650.6	656.3	680.0	675.5	—	677.9
	1/100	735.0	687.5	797.3	654.6	—	710.5	679.9	671.4	677.4	703.7	698.8	—	701.6
	1/150	788.2	726.9	861.1	685.7	—	755.6	718.8	709.2	715.6	741.7	741.6	—	745.0
	1/200	827.0	754.9	907.7	707.3	—	788.0	746.6	736.1	742.8	778.2	772.3	—	776.1
	1/400	923.9	822.2	1024.5	758.3	—	867.6	813.9	801.3	808.8	854.4	847.2	—	852.2
	1/500	956.2	843.8	1063.4	774.4	—	893.6	835.8	822.5	830.2	879.2	871.7	—	877.1
	1/600	983.1	861.5	1095.8	787.4	—	915.1	853.8	839.9	847.8	899.7	891.9	—	897.6
	1/700	1006.0	876.4	1123.4	798.4	—	933.4	869.0	854.6	862.7	917.1	909.0	—	915.0
	1/800	1026.2	889.4	1147.7	807.8	—	949.4	882.3	867.4	875.6	932.3	923.9	—	930.2
	1/900	1044.1	900.8	1169.2	816.1	—	963.5	894.0	878.7	887.1	945.7	937.1	—	943.6
	1/1000	1060.3	911.0	1188.7	823.5	—	976.2	904.5	888.8	897.3	957.8	949.0	—	955.7
SLSC		0.027	0.027	0.030	0.031	—	0.027	0.027	0.028	0.028	0.027	0.027	—	—
SLSCH		0.047	0.046	0.052	0.056	—	0.042	0.049	0.052	0.049	0.043	0.044	—	—
相関係数(X)		0.989	0.991	0.986	0.991	—	0.991	0.992	0.991	0.991	0.992	0.992	—	—
相関係数(Y)		0.995	0.993	0.995	0.991	—	0.994	0.993	0.993	0.993	0.994	0.994	—	—
推定誤差1/500		167.5	81.9	123.5	76.9	—	117.7	85.2	96.1	84.1	122.9	113.1	—	—

 : 精度の良い手法(SLSC ≤ 0.04)
 : Jackknife推定誤差が最小となる手法
 : 計画雨量採用値
 —: 標本と分布モデルとの適合性が明らかによくないと判断される場合、すなわち母数推定を行う際に標本を標準変数に変換した値の歪係数が0.3より大きい場合は該当分布モデルには不適合とみなして“—”とした。

表 1-36 (3) 相賀～合流点残流域時間雨量確率計算結果
(昭和40年(1965年)～平成22年(2010年))

(単位:mm)

項目		熊野川 相賀～合流点残流域(A=201km ²) (24時間)												
		毎年値												
		一般化極値分布	グンベル分布	平方根指数型最大値分布	対数ピアソンⅢ型分布(実数空間法)	対数ピアソンⅢ型分布(対数空間法)	岩井法	石原・高瀬法	対数正規分布3母数(SladeⅡ)クォンタイル法	対数正規分布3母数(SladeⅡ)	対数正規分布2母数(SladeⅠ,Ⅱ積率法)	対数正規分布2母数(SladeⅠ,Ⅱ積率法)	対数正規分布4母数(SladeⅣ,Ⅴ積率法)	精度の良い手法群の平均値
Gev	Gumbel	SqrtEt	LP3Rs	LogP3	Iwai	IshiTaka	LN3Q	LN3PM	LN2LM	LN2PM	LN4PM			
標本数		46												
確率規模	1/2	264.1	267.3	261.3	—	—	—	—	265.5	—	266.6	266.6	—	264.8
	1/3	308.8	312.8	308.8	—	—	—	—	310.9	—	312.1	312.4	—	310.6
	1/5	360.1	363.5	365.6	—	—	—	—	361.9	—	362.6	363.3	—	362.7
	1/10	426.9	427.1	443.1	—	—	—	—	426.3	—	425.8	427.0	—	429.8
	1/20	493.5	488.2	523.7	—	—	—	—	488.4	—	486.2	487.9	—	495.9
	1/30	532.9	523.4	572.9	—	—	—	—	524.3	—	521.0	523.0	—	534.8
	1/50	583.5	567.3	637.1	—	—	—	—	569.5	—	564.5	567.0	—	584.3
	1/80	631.0	607.5	698.6	—	—	—	—	611.3	—	604.6	607.5	—	630.6
	1/100	653.9	626.5	728.6	—	—	—	—	631.2	—	623.6	626.8	—	652.8
	1/150	696.2	661.1	784.6	—	—	—	—	667.6	—	658.3	661.9	—	693.7
	1/200	726.8	685.6	825.4	—	—	—	—	693.7	—	683.1	686.9	—	723.2
	1/400	802.1	744.5	927.5	—	—	—	—	757.2	—	743.3	747.8	—	795.6
1/500	827.0	763.4	961.6	—	—	—	—	777.9	—	762.8	767.6	—	819.4	
1/600	847.5	778.9	989.8	—	—	—	—	795.0	—	778.9	783.9	—	839.0	
1/700	865.0	792.0	1014.0	—	—	—	—	809.4	—	792.5	797.7	—	855.7	
1/800	880.3	803.3	1035.1	—	—	—	—	822.0	—	804.4	809.7	—	870.3	
1/900	893.8	813.3	1053.9	—	—	—	—	833.2	—	814.9	820.3	—	883.2	
1/1000	906.0	822.3	1070.9	—	—	—	—	843.2	—	824.3	829.8	—	894.8	
SLSC		0.031	0.041	0.027	—	—	—	—	0.026	—	0.026	0.025	—	—
SLSCH		0.060	0.083	0.048	—	—	—	—	0.060	—	0.064	0.063	—	—
相関係数(X)		0.988	0.983	0.991	—	—	—	—	0.984	—	0.983	0.983	—	—
相関係数(Y)		0.998	0.998	0.996	—	—	—	—	0.998	—	0.998	0.998	—	—
推定誤差1/500		248.6	89.9	116.0	—	—	—	—	179.8	—	105.4	107.1	—	—

 : 精度の良い手法 (SLSC ≤ 0.04)
 : Jackknife推定誤差が最小となる手法
 : 計画雨量採用値

—: 標本と分布モデルとの適合性が明らかによくないと判断される場合、すなわち母数推定を行う際に標本を標準変量に変換した値の歪係数が0.3より大きい場合は該当分布モデルには不適合とみなして“—”とした。

【 対数正規確率紙 】

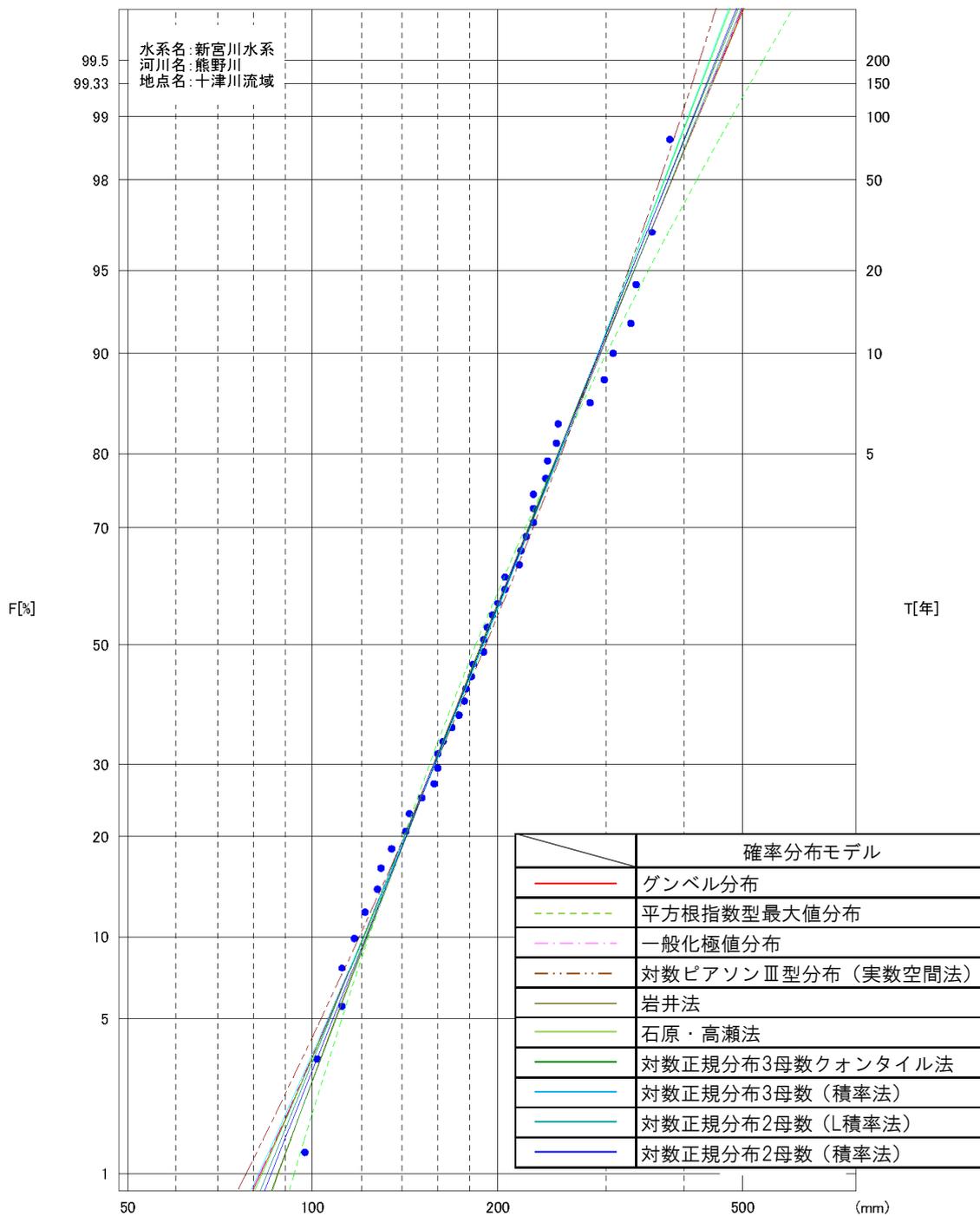


図 1-60 (1) 雨量確率評価図 (十津川流域、24 時間、昭和 40 年 (1965 年) ~平成 22 年 (2010 年))

【対数正規確率紙】

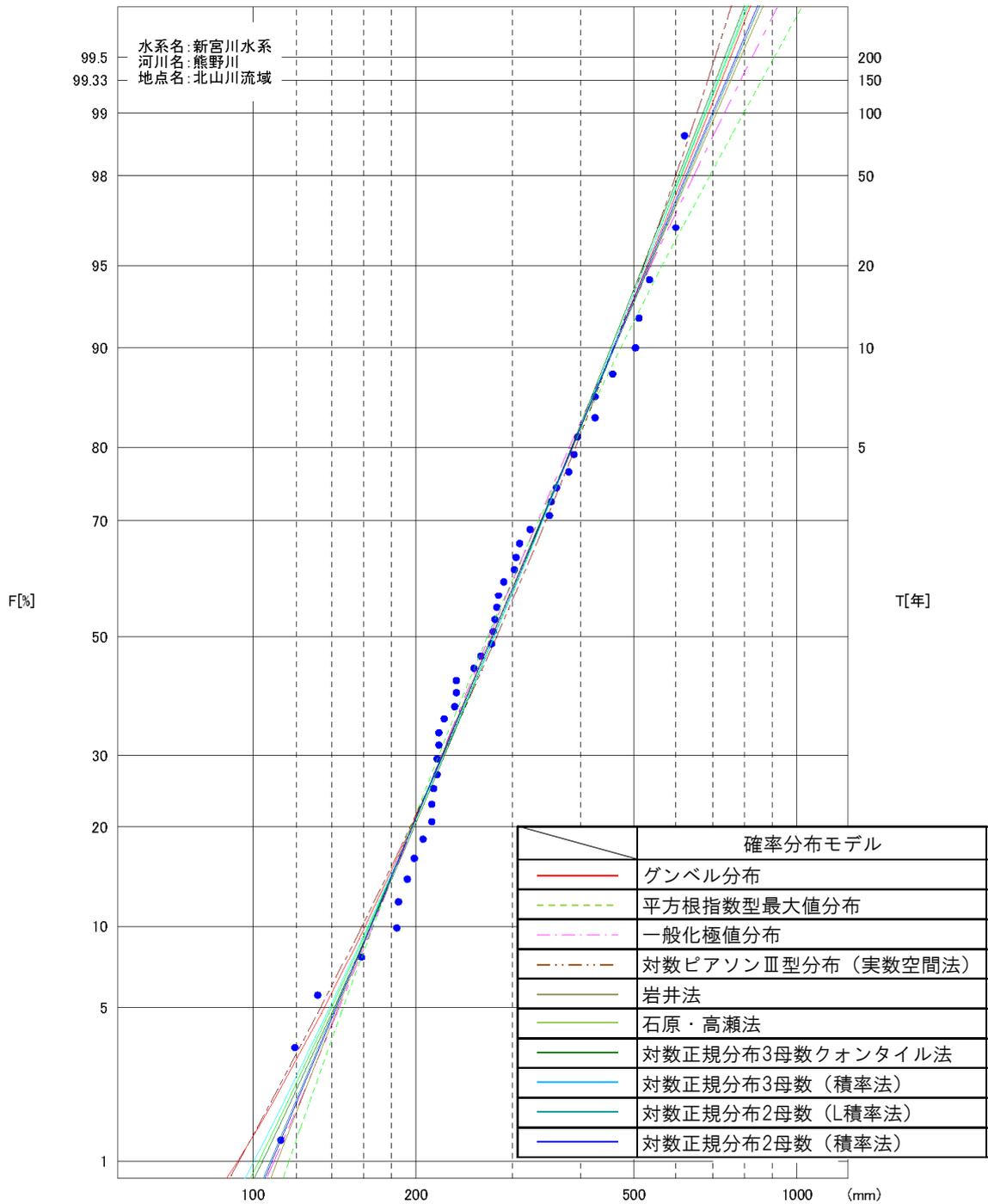


図 1-60 (2) 雨量確率評価図 (北山川流域、24 時間、昭和 40 年 (1965 年) ~平成 22 年 (2010 年))

【対数正規確率紙】

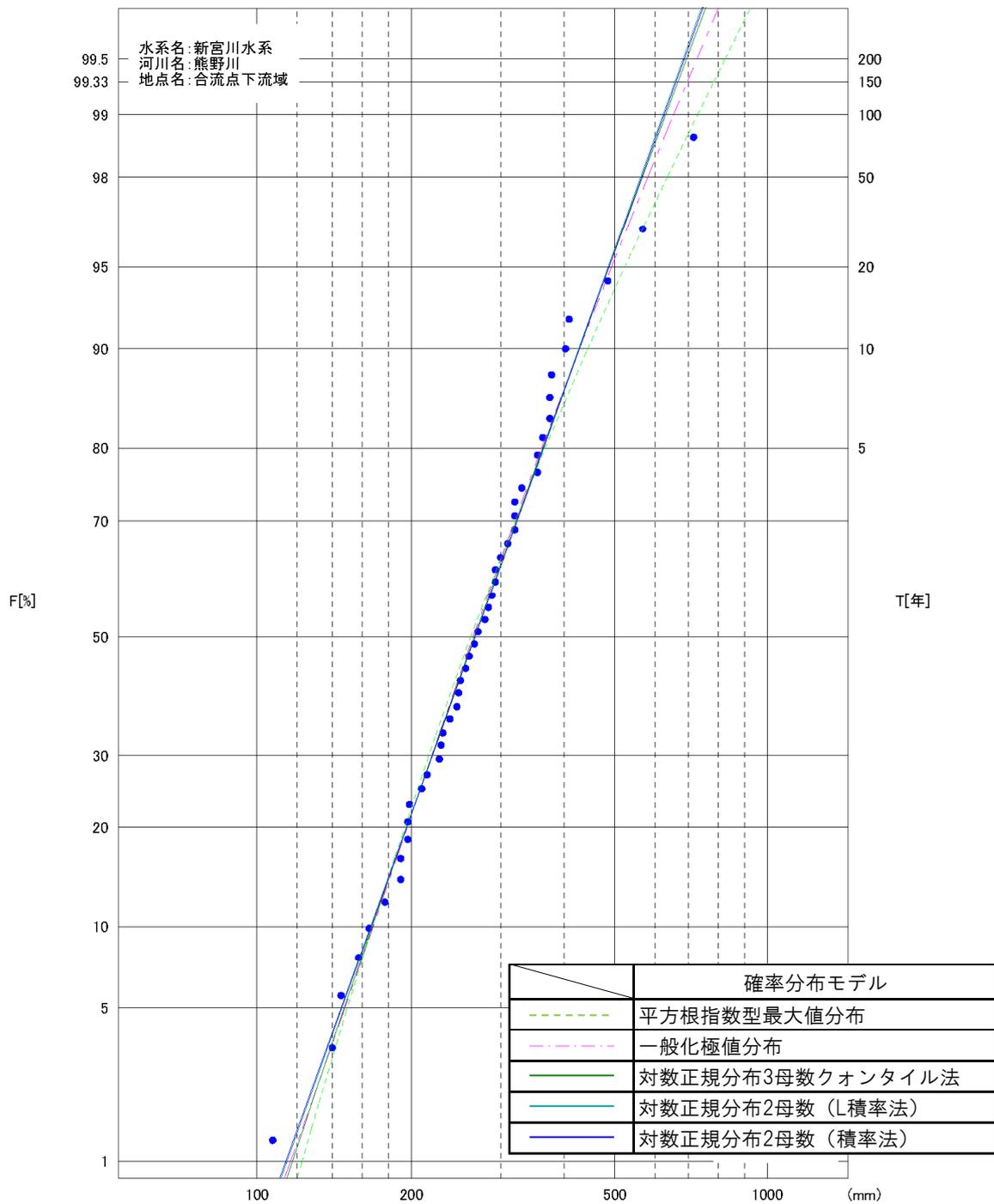


図 1-60 (3) 雨量確率評価図 (合流点下流域、24 時間、昭和 40 年 (1965 年) ~平成 22 年 (2010 年))

③ 対象地域の雨量評価（確率雨量 499mm/24hr）

相賀地点の24時間雨量が最大となる時間帯（降雨継続時間帯）における、主要23洪水の各中流域平均24時間雨量が、基準地点拡大率によって異常な引き伸ばしとなっていないかを、拡大後降雨の確率評価より確認した。

確率評価の結果、表1-37より7洪水が棄却される。

表 1-37 地域分布による拡大後降雨の確率評価表（中流域）

No.	洪水名	計画降雨継続時間内(24h)の実績雨量(mm)			基準地点 相賀 拡大率	拡大後雨量(mm)			棄却 洪水
		十津川流域	北山川流域	相賀～合流点 残流域		十津川流域	北山川流域	相賀～合流点 残流域	
1	S430727	282.8	504.0	404.9	1.348	381.2	679.5	545.9	
2	S450704	200.1	353.8	278.4	1.918	383.7	678.6	533.8	
3	S460829	238.4	395.2	271.0	1.689	402.6	667.4	457.7	
4	S500821	354.3	424.2	318.7	1.330	471.1	564.0	423.7	×
5	S541017	222.7	360.2	377.5	1.757	391.3	632.9	663.3	
6	S570801	236.5	458.6	288.0	1.570	371.3	720.1	452.2	
7	H020918	307.5	424.8	251.8	1.454	447.3	617.8	366.3	
8	H060928	295.6	514.0	484.1	1.286	380.2	661.2	622.8	
9	H090725	376.5	598.0	563.8	1.062	399.9	635.2	598.8	
10	H130820	334.8	619.7	714.1	1.068	357.6	661.9	762.7	
11	H150807	327.6	389.7	359.0	1.418	464.5	552.6	509.0	×
12	H160803	249.1	533.9	367.2	1.394	347.2	744.1	511.8	
13	H161019	249.7	299.1	304.0	1.837	458.7	549.5	558.6	
14	H190713	228.2	301.9	328.1	1.900	433.7	573.7	623.5	
15	H230718	379.1	603.1	641.7	1.040	394.1	627.1	667.2	
16	H230902	639.6	814.9	794.4	1.000	639.6	814.9	794.4	×
17	H230920	217.1	353.6	288.9	1.843	400.3	651.8	532.5	
18	H250914	388.9	438.4	477.6	1.206	468.8	528.5	575.8	×
19	H260808	306.1	345.3	292.8	1.567	479.7	541.1	458.8	×
20	H270715	391.1	498.2	520.5	1.135	443.9	565.5	590.8	
21	H291021	337.1	417.4	563.8	1.296	436.8	540.9	730.6	
22	H300820	342.1	381.7	335.9	1.405	480.5	536.3	471.8	×
23	R010812	330.7	352.7	293.0	1.490	492.7	525.5	436.5	×
棄却基準値 【1/500】		—	—	—	—	460.8	774.4	762.8	

※ 基準地点相賀拡大率は、相賀地点1/100確率規模降雨量499mm/24hrに対する拡大率である。

※ 拡大後雨量の確率評価が棄却基準値(1/500雨量)を超過しているため棄却

※ 1/500雨量は、SLSC \leq 0.04以下かつJackknife推定誤差が最小となる手法の値による

【時間分布の評価について】

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。

なお、棄却基準は 1/500 とした。

① 対象時間の設定

時間分布の評価は、洪水到達時間の最小値が 8 時間程度であることや 6 時間以上で相関が高まることを考慮し、『6 時間』を短時間雨量として確認した。また、対象降雨の継続時間である 24 時間の 1/2 である『12 時間』短時間雨量として確認した。

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する。確率雨量の算定は、表 1-39 で整理したの平成 22 年(2010 年)までの年最大時間雨量について、確率計算を行い、各計算手法の中で $SLSC \leq 0.04$ になる確率雨量を採用し、1/500 規模で Jackknife 推定誤差が最小になる分布モデルの確率雨量を採用した。

表 1-38 (1) 相賀地点 6 時間雨量 1/500 確率評価結果

確率分布	計算手法		基準地点相賀			備考
			SLSC	確率1/500 6時間雨量 (mm)	Jackknife 推定誤差 1/500	
分布極値型	一般化極値分布	Gev	0.025	273.2	39.0	
	グンベル分布	Gumbel	0.027	291.6	22.5	
	平方根指数型最大値分布	SqrtEt	0.037	361.3	34.0	
分布ガン型マ	対数ピアソンⅢ型分布(実数空間法)	LP3R _S	0.029	245.3	22.1	採用
	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	283.4	42.3	
	石原・高瀬法	IshiTaka	0.025	262.6	23.2	
	対数正規分布3母数(SladeⅡ)クォンタイル法	LN3Q	0.024	288.5	37.3	
	対数正規分布3母数(SladeⅡ)	LN3PM	0.025	261.5	22.7	
	対数正規分布2母数(SladeⅠ, L積率法)	LN2LM	0.023	294.9	30.7	
	対数正規分布2母数(SladeⅠ, 積率法)	LN2PM	0.023	288	28.3	
	対数正規分布4母数(SladeⅣ, 積率法)	LN4PM	—	—	—	

注：時間雨量の統計範囲は昭和 40 年（1965 年）～平成 22 年（2010 年）

SLSC ≤ 0.040 の計算手法の中で Jackknife 推定誤差が最小になる確率雨量を採用

－：標本と分布モデルとの適合性が明らかに良くないと判断される場合、すなわち母数推定を行う際に標本を標準変量に変換した値の歪係数が 0.3 より大きい場合は当該分布モデルには不適合とみなして”－”とした。

表 1-38 (2) 相賀地点 12 時間雨量 1/500 確率評価結果

確率分布	計算手法		基準地点相賀			備考
			SLSC	確率1/500 12時間雨量 (mm)	Jackknife 推定誤差	
分布極値	一般化極値分布	Gev	0.023	492.5	87.2	
	グンベル分布	Gumbel	0.023	448.7	40.3	採用
	平方根指数型最大値分布	SqrtEt	0.025	537.6	61.0	
分布型マ	対数ピアソンⅢ型分布(実数空間法)	LP3R _s	0.028	412.6	41.1	
	対数ピアソンⅢ型分布(対数空間法)	LogP3	0.021	477.4	72.7	
対数正規分布型	岩井法	Iwai	0.021	480.3	66.6	
	石原・高瀬法	IshiTaka	0.023	438.7	45.2	
	対数正規分布3母数(SladeⅡ)クオンタイル法	LN3Q	0.023	443.6	55.8	
	対数正規分布3母数(SladeⅡ)	LN3PM	0.024	436	44.5	
	対数正規分布2母数(SladeⅠ, L積率法)	LN2LM	0.022	448.7	54.1	
	対数正規分布2母数(SladeⅠ, 積率法)	LN2PM	0.023	440.5	50.1	
	対数正規分布4母数(SladeⅣ, 積率法)	LN4PM	—	—	—	

注：時間雨量の統計範囲は昭和 40 年（1965 年）～平成 22 年（2010 年）

SLSC ≤ 0.040 の計算手法の中で Jackknife 推定誤差が最小になる確率雨量を採用

—：標本と分布モデルとの適合性が明らかに良くないと判断される場合、すなわち母数推定を行う際に標本を標準変量に変換した値の歪係数が 0.3 より大きい場合は当該分布モデルには不適合とみなして” — ”とした。

表 1-39 相賀地点上流域平均年最大短時間雨量

No.	年	相賀地点上流域平均雨量(mm)	
		6h	12h
1	S40	140.2	183.9
2	S41	85.0	132.3
3	S42	93.0	129.1
4	S43	123.1	245.3
5	S44	107.3	135.7
6	S45	138.1	207.1
7	S46	152.2	221.8
8	S47	154.0	180.9
9	S48	76.7	129.7
10	S49	104.2	175.3
11	S50	137.0	231.7
12	S51	61.3	106.0
13	S52	73.9	115.2
14	S53	53.8	80.2
15	S54	146.0	189.7
16	S55	105.0	115.0
17	S56	72.8	95.4
18	S57	151.6	206.3
19	S58	99.2	138.8
20	S59	97.0	149.8
21	S60	104.1	156.4
22	S61	95.8	129.8
23	S62	107.8	153.2
24	S63	125.7	188.6
25	H01	141.4	206.4
26	H02	194.0	270.6
27	H03	105.0	185.4
28	H04	86.6	127.9
29	H05	114.8	128.7
30	H06	208.4	306.4
31	H07	118.3	167.1
32	H08	64.5	73.7
33	H09	184.7	335.7
34	H10	124.2	157.0
35	H11	59.8	105.9
36	H12	85.3	160.7
37	H13	165.2	311.3
38	H14	88.4	120.6
39	H15	142.4	254.5
40	H16	191.8	241.8
41	H17	85.4	119.2
42	H18	70.1	111.2
43	H19	107.8	195.3
44	H20	56.1	111.4
45	H21	93.8	140.6
46	H22	65.3	101.9

表 1-40 (1) 熊野川流域時間雨量確率計算結果 (昭和 40 年 (1965 年) ~平成 22 年 (2010 年))

(単位:mm)

項目	熊野川 基準地点:相賀(A=2,251km ²) (6時間)													
	毎年値													
	一般化極値分布	グンベル分布	平方根指数型最大値分布	対数ピアソンⅢ型分布(実数空間法)	対数ピアソンⅢ型分布(対数空間法)	岩井法	石原・高瀬法	対数正規分布3母数(SladeⅡ)クオンタイル法	対数正規分布3母数(SladeⅡ)	対数正規分布2母数(SladeⅠ, L積率法)	対数正規分布2母数(SladeⅠ, 積率法)	対数正規分布4母数(SladeⅣ, 積率法)	精度の良い手法群の平均値	
	Gev	Gumbel	SqrtEt	LP3Rs	LogP3	Iwai	IshiTaka	LN3Q	LN3PM	LN2LM	LN2PM	LN4PM		
標本数	46													
確率規模	1/2	106.5	105.4	103.2	108.4	—	106.0	107.6	105.5	107.7	105.8	105.8	—	106.2
	1/3	123.8	122.5	120.9	125.8	—	123.1	124.5	122.5	124.6	123.3	122.9	—	123.4
	1/5	142.5	141.5	142.1	143.7	—	141.8	142.3	141.3	142.4	142.7	141.8	—	142.2
	1/10	165.3	165.4	170.8	164.1	—	164.9	163.5	164.7	163.5	167.0	165.2	—	165.4
	1/20	186.4	188.3	200.5	181.7	—	186.6	182.8	187.0	182.7	190.0	187.5	—	187.4
	1/30	198.3	201.5	218.7	191.1	—	199.0	193.6	199.8	193.4	203.3	200.2	—	199.9
	1/50	212.7	218.0	242.3	202.3	—	214.4	206.7	215.8	206.3	219.9	216.2	—	215.5
	1/80	225.7	233.1	264.9	212.0	—	228.5	218.4	230.5	218.0	235.1	230.7	—	229.7
	1/100	231.7	240.2	275.9	216.4	—	235.2	223.9	237.5	223.4	242.3	237.7	—	236.4
	1/150	242.5	253.2	296.5	224.1	—	247.3	233.8	250.3	233.2	255.4	250.3	—	248.7
	1/200	250.0	262.3	311.4	229.4	—	255.9	240.8	259.3	240.0	264.8	259.2	—	257.3
	1/400	267.6	284.4	348.9	241.6	—	276.7	257.3	281.3	256.3	287.6	281.0	—	278.3
	1/500	273.2	291.6	361.3	245.3	—	283.4	262.6	288.5	261.5	294.9	288.0	—	285.0
	1/600	277.7	297.4	371.7	248.4	—	288.9	266.9	294.3	265.8	301.0	293.8	—	290.6
	1/700	281.4	302.3	380.5	250.9	—	293.6	270.5	299.3	269.3	306.1	298.7	—	295.3
1/800	284.7	306.5	388.2	253.0	—	297.6	273.6	303.6	272.4	310.6	302.9	—	299.3	
1/900	287.5	310.3	395.1	254.9	—	301.2	276.4	307.5	275.1	314.6	306.7	—	302.9	
1/1000	290.0	313.6	401.3	256.6	—	304.4	278.8	310.9	277.5	318.1	310.1	—	306.1	
SLSCH	0.025	0.027	0.037	0.029	—	0.023	0.025	0.024	0.025	0.023	0.023	—	—	
SLSCH	0.047	0.051	0.071	0.053	—	0.047	0.049	0.048	0.049	0.047	0.047	—	—	
相関係数(X)	0.993	0.991	0.978	0.994	—	0.992	0.993	0.991	0.993	0.992	0.992	—	—	
相関係数(Y)	0.997	0.997	0.995	0.996	—	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997	—	—	
推定誤差	39.0	22.5	34.0	22.1	—	42.3	23.2	37.3	22.7	30.7	28.3	—	—	

緑色:精度の良い手法(SLSCH≦0.04)

紫色:Jackknife推定誤差が最小となる手法

赤色:計画雨量採用値

—:標本と分布モデルとの適合性が明らかによくないと判断される場合、すなわち母数推定を行う際に標本を標準変量に変換した値の歪係数が0.3より大きい場合は該当分布モデルには不適合とみなして“—”とした。

表 1-40 (2) 熊野川流域時間雨量確率計算結果 (昭和 40 年 (1965 年) ~平成 22 年 (2010 年))

(単位:mm)

項目	熊野川 基準地点:相賀(A=2,251km ²) (12時間)													
	毎年値													
	一般化極値分布	グンベル分布	平方根指数型最大値分布	対数ピアソンⅢ型分布(実数空間法)	対数ピアソンⅢ型分布(対数空間法)	岩井法	石原・高瀬法	対数正規分布3母数(SladeⅡ)クオンタイル法	対数正規分布3母数(SladeⅡ)	対数正規分布2母数(SladeⅠ, L積率法)	対数正規分布2母数(SladeⅠ, 積率法)	対数正規分布4母数(SladeⅣ, 積率法)	精度の良い手法群の平均値	
	Gev	Gumbel	SqrtEt	LP3Rs	LogP3	Iwai	IshiTaka	LN3Q	LN3PM	LN2LM	LN2PM	LN4PM		
標本数	46													
確率規模	1/2	155.4	157.6	153.8	159.6	156.1	155.5	157.9	157.3	158.1	157.8	157.8	—	157.0
	1/3	181.5	184.3	180.1	186.8	182.3	182.1	184.3	183.2	184.6	184.5	184.0	—	183.4
	1/5	211.7	214.0	211.5	215.9	212.3	212.6	213.4	212.2	213.7	214.2	213.0	—	213.1
	1/10	251.1	251.4	254.2	250.8	250.8	252.0	249.6	248.5	249.7	251.3	249.2	—	250.8
	1/20	290.7	287.2	298.5	282.6	288.9	290.8	283.9	283.3	283.7	286.7	283.7	—	287.3
	1/30	314.3	307.8	325.4	300.3	311.3	313.6	303.5	303.4	303.1	307.1	303.5	—	308.5
	1/50	344.7	333.6	360.6	321.9	339.9	342.6	328.1	328.5	327.3	332.6	328.3	—	335.3
	1/80	373.3	357.2	394.2	341.1	366.7	369.7	350.5	351.7	349.5	356.1	351.0	—	360.1
	1/100	387.1	368.4	410.6	350.1	379.7	382.7	361.2	362.7	360.0	367.2	361.8	—	372.0
	1/150	412.8	388.6	441.1	366.2	403.5	406.7	380.6	382.9	379.0	387.5	381.5	—	393.7
	1/200	431.3	403.0	463.4	377.5	420.7	423.9	394.4	397.2	392.6	402.0	395.5	—	409.2
	1/400	477.3	437.6	519.0	404.2	463.4	466.3	427.9	432.2	425.3	437.2	429.5	—	447.3
	1/500	492.5	448.7	537.6	412.6	477.4	480.3	438.7	443.6	436.0	448.7	440.5	—	459.7
	1/600	505.1	457.8	552.9	419.5	489.1	491.8	447.6	452.9	444.7	458.1	449.6	—	469.9
	1/700	515.9	465.5	566.1	425.3	499.0	501.6	455.1	460.8	452.0	466.0	457.3	—	478.6
1/800	525.3	472.1	577.6	430.3	507.7	510.1	461.7	467.7	458.4	473.0	463.9	—	486.2	
1/900	533.6	478.0	587.8	434.7	515.4	517.7	467.5	473.8	464.1	479.1	469.8	—	492.9	
1/1000	541.1	483.2	597.0	438.6	522.4	524.5	472.7	479.3	469.2	484.6	475.1	—	498.9	
SLSCH	0.023	0.023	0.025	0.028	0.021	0.021	0.023	0.023	0.024	0.022	0.023	—	—	
SLSCH	0.042	0.038	0.048	0.041	0.037	0.036	0.038	0.040	0.038	0.035	0.039	—	—	
相関係数(X)	0.992	0.994	0.989	0.993	0.993	0.993	0.994	0.994	0.994	0.994	0.994	—	—	
相関係数(Y)	0.996	0.995	0.997	0.994	0.996	0.996	0.995	0.996	0.995	0.995	0.995	—	—	
推定誤差1/500	87.2	40.3	61.0	41.1	72.7	66.6	45.2	55.8	44.5	54.1	50.1	—	—	

緑色:精度の良い手法(SLSCH≦0.04)

紫色:Jackknife推定誤差が最小となる手法

赤色:計画雨量採用値

—:標本と分布モデルとの適合性が明らかによくないと判断される場合、すなわち母数推定を行う際に標本を標準変量に変換した値の歪係数が0.3より大きい場合は該当分布モデルには不適合とみなして“—”とした。

【 対数正規確率紙 】

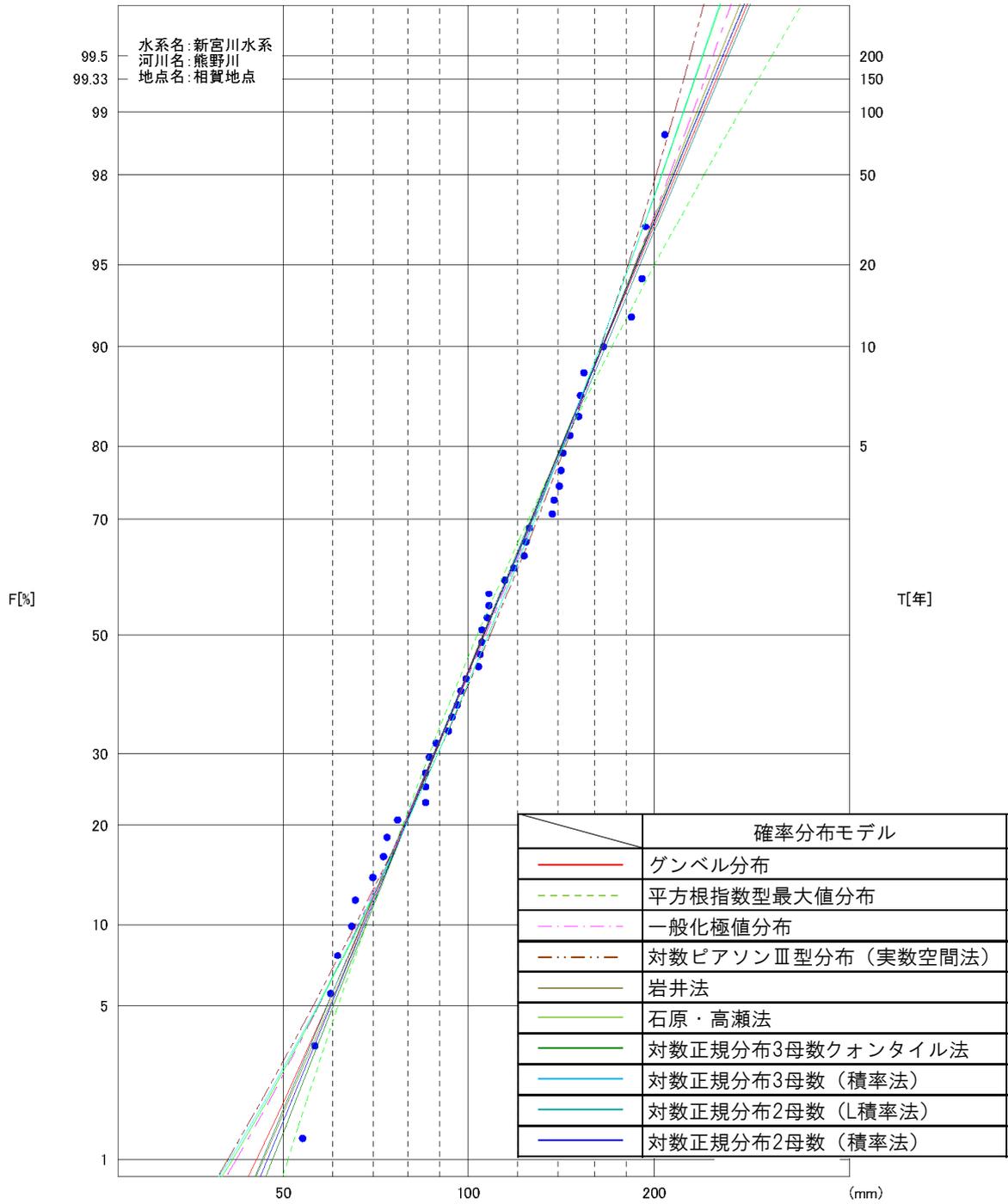


図 1-61 (1) 雨量確率評価図 (相賀地点、6 時間、昭和 40 年 (1965 年) ~平成 22 年 (2010 年))

【 対数正規確率紙 】

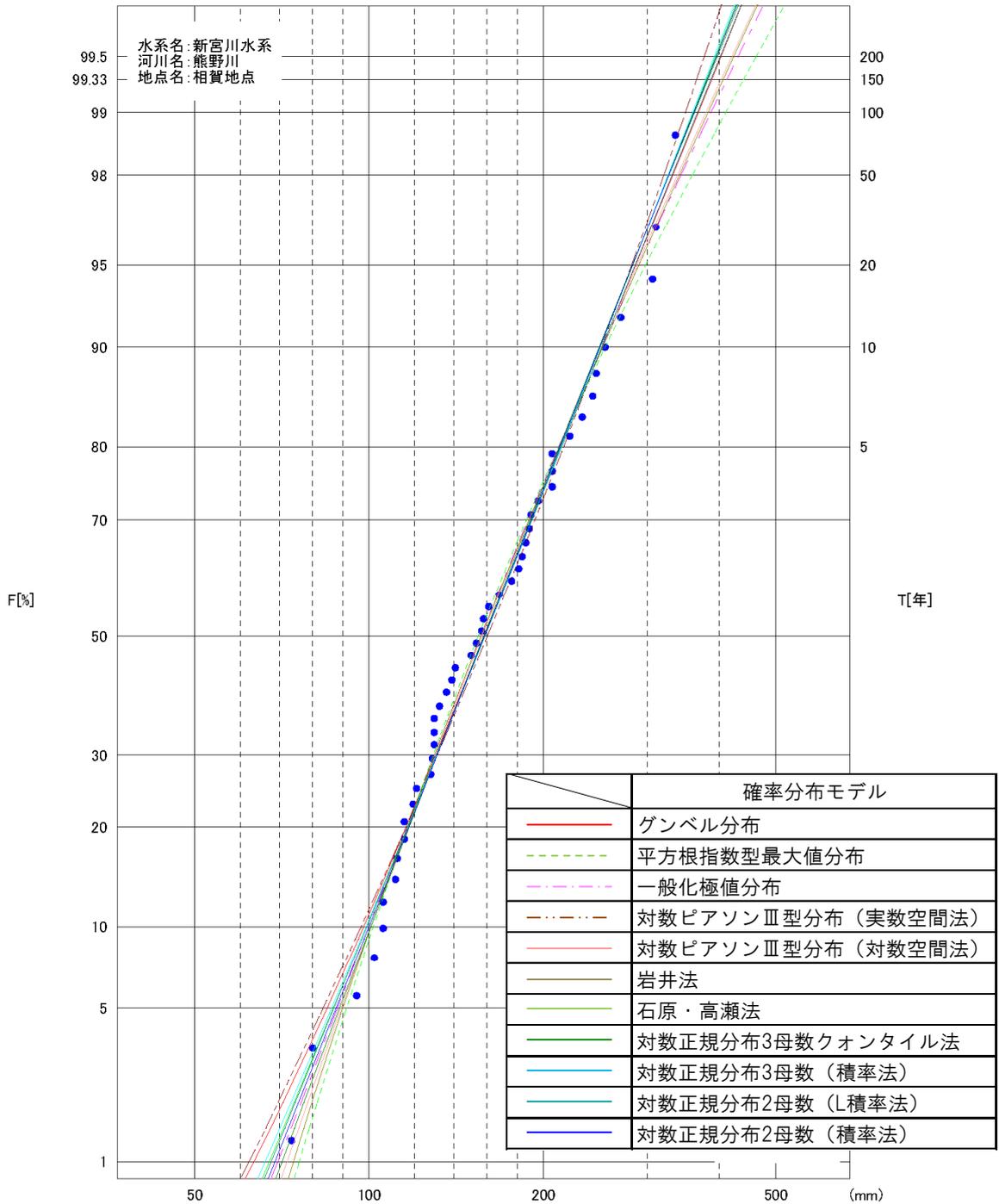


図 1-61 (2) 雨量確率評価図 (相賀地点、12 時間、昭和 40 年 (1965 年) ~平成 22 年 (2010 年))

③ 時間分布の雨量評価（確率雨量 499mm/24hr）

相賀地点の24時間雨量が最大となる時間帯（降雨継続時間帯）における、主要23洪水の短時間雨量（6時間、12時間）が、基準地点拡大率によって異常な引き伸ばしとなっていないかを、拡大後降雨の確率評価より確認した。確率評価の結果、表1-41よりの8洪水が参考値となる。

表 1-41 相賀地点 短時間降雨確率評価表

No.	洪水名	基準地点相賀実績雨量(mm)		基準地点相賀拡大率	拡大後雨量(mm)		棄却洪水
		6h	12h		6h	12h	
1	S430727	123.1	245.3	1.348	165.9	330.7	
2	S450704	138.1	207.2	1.918	264.9	397.3	×
3	S460829	138.1	221.8	1.689	233.3	374.5	
4	S500821	137.0	231.7	1.330	182.1	308.0	
5	S541017	146.0	189.7	1.757	256.5	333.3	×
6	S570801	151.6	206.3	1.570	238.0	323.9	
7	H020918	194.0	270.6	1.454	282.1	393.5	×
8	H060928	208.4	306.5	1.286	268.1	394.2	×
9	H090725	184.7	335.7	1.062	196.2	356.5	
10	H130820	165.2	311.3	1.068	176.4	332.5	
11	H150807	142.4	254.5	1.418	201.9	360.9	
12	H160803	127.8	241.8	1.394	178.2	337.0	
13	H161019	191.8	235.5	1.837	352.4	432.7	×
14	H190713	107.8	195.2	1.900	204.8	371.0	
15	H230718	178.6	277.6	1.040	185.7	288.7	
16	H230902	226.3	412.2	1.000	226.3	412.2	
17	H230920	152.0	216.9	1.843	280.1	399.9	×
18	H250914	171.9	309.7	1.206	207.2	373.4	
19	H260808	140.3	210.8	1.567	219.8	330.3	
20	H270715	171.9	298.0	1.135	195.1	338.3	
21	H291021	208.2	314.4	1.296	269.8	407.4	×
22	H300820	209.6	283.4	1.405	294.5	398.1	×
23	R010812	106.3	197.7	1.490	158.4	294.5	
棄却基準値【1/500】		—	—	—	246.0	449.0	

※ 基準地点相賀拡大率は、相賀地点1/100確率規模雨量499mm/24hrに対する拡大率である。

※ 拡大後雨量の確率評価が棄却基準値(1/500雨量)を超過しているため棄却

※ 1/500雨量は、SLSC \leq 0.04以下かつJackknife推定誤差が最小となる手法の値による

【対象降雨の地域分布及び時間分布による評価結果（確率雨量 499mm/24hr）】

1/100 規模確率雨量 499mm/24hr に対して、対象降雨の地域分布及び時間分布による評価を行った結果、以下に示す 14 洪水が短時間降雨あるいは中流域において、著しい引き伸ばしとなっていることを確認した。

表 1-42 基本高水のピーク流量一覧（確率雨量 499mm/24hr）

No.	洪水名	相賀上流域平均			相賀地点 ピーク流量 (m ³ /s)	成川地点 ピーク流量 (m ³ /s)	時間分布 雨量(mm)		地域分布 雨量(mm)			棄却 洪水	備考
		実績雨量 24hr(mm)	計画雨量 24hr(mm)	拡大率			6h	12h	十津川流域	北山川流域	相賀～合流点 残流域		
1	S430727	370.1	499.0	1.348	17,700	18,300	165.9	330.7	381.2	679.5	545.9		
2	S450704	260.2	499.0	1.918	20,800	21,400	264.9	397.3	383.7	678.6	533.8	×	
3	S460829	295.5	499.0	1.689	20,700	21,300	233.3	374.5	402.6	667.4	457.7		
4	S500821	375.3	499.0	1.330	17,400	17,800	182.1	308.0	471.1	564.0	423.7	×	
5	S541017	284.0	499.0	1.757	23,300	23,800	256.5	333.3	391.3	632.9	663.3	×	
6	S570801	317.8	499.0	1.570	19,800	20,100	238.0	323.9	371.3	720.1	452.2		
7	H020918	343.1	499.0	1.454	27,800	28,100	282.1	393.5	447.3	617.8	366.3	×	
8	H060928	387.9	499.0	1.286	22,800	23,100	268.1	394.2	380.2	661.2	622.8	×	
9	H090725	469.8	499.0	1.062	16,700	17,100	196.2	356.5	399.9	635.2	598.8		
10	H130820	467.2	499.0	1.068	15,800	16,800	176.4	332.5	357.6	661.9	762.7		
11	H150807	351.9	499.0	1.418	17,300	17,800	201.9	360.9	464.5	552.6	509.0	×	
12	H160803	358.0	499.0	1.394	16,600	16,700	178.2	337.0	347.2	744.1	511.8		
13	H161019	271.6	499.0	1.837	29,300	29,600	352.4	432.7	458.7	549.5	558.6	×	
14	H190713	262.6	499.0	1.900	20,100	20,800	204.8	371.0	433.7	573.7	623.5		
15	H230718	479.9	499.0	1.040	14,500	14,900	185.7	288.7	394.1	627.1	667.2		
16	H230902	714.0	714.0※実績	1.000	24,200	25,700	226.3	412.2	639.6	814.9	794.4	×	
17	H230920	270.7	499.0	1.843	27,900	28,300	280.1	399.9	400.3	651.8	532.5	×	
18	H250914	413.9	499.0	1.206	16,700	17,200	207.2	373.4	468.8	528.5	575.8	×	
19	H260808	318.4	499.0	1.567	14,000	14,300	219.8	330.3	479.7	541.1	458.8	×	
20	H270715	439.6	499.0	1.135	17,600	18,000	195.1	338.3	443.9	565.5	590.8		
21	H291021	385.1	499.0	1.296	26,500	27,800	269.8	407.4	436.8	540.9	730.6	×	
22	H300820	355.2	499.0	1.405	26,100	26,300	294.5	398.1	480.5	536.3	471.8	×	
23	R010812	334.9	499.0	1.490	16,600	16,900	158.4	294.5	492.7	525.5	436.5	×	
棄却基準値 【1/500】							246.0	449.0	460.8	774.4	762.8		

※ 拡大後雨量の確率評価が棄却基準値(1/500雨量)を超過しているため棄却

※ 1/500雨量は、SLSC≦0.04以下かつJackknife推定誤差が最小となる手法の値による

※100m³/s 未満の端数については、切り上げるものとした。

【対象降雨の地域分布及び時間分布による評価結果（確率雨量 549mm/24hr）】

気候変動対応として、1/100 確率雨量 499mm に降雨の変化倍率（1.1 倍）を乗じた値を計画規模の降雨量（将来気候）とし、549mm を採用する。

気候変動前（従来）の主要洪水を対象に、1/100 確率 24 時間雨量となるような引き伸ばし降雨波形を作成し、見直した流出計算モデルにより流出計算を行い、基準地点相賀において 14,800～33,900m³/s となる

このうち気候変動前（従来）の検討において、短時間雨量あるいは小流域が著しい引き伸ばしとなり、棄却された洪水に対して、アンサンブル予測降雨波形による検討に用いたアンサンブル波形の時空間分布の比率（短時間雨量 or 小流域雨量／継続時間内の流域平均雨量）（表 1-45 参照）を求め、その最大比率を用い、将来起こり得るかチェックした結果、最大比率を下回る洪水（S54.10 型洪水）については、参考波形とする。

カバー率 100%となる流量は、S46.8 型洪水の 23,400m³/s である。

表 1-43 基本高水のピーク流量一覧（確率雨量 549mm/24hr）

No.	洪水名	相賀上流域平均			相賀地点 ピーク流量 (m ³ /s)	成川地点 ピーク流量 (m ³ /s)	時間分布 比率		地域分布 比率			棄却 洪水	備考
		実績雨量 24hr(mm)	計画雨量 24hr(mm)	拡大率			6h	12h	十津川流域	北山川流域	相賀～合流点 残流域		
1	S430727	370.1	549.0	1.483	19,600	20,300							
2	S450704	260.2	549.0	2.110	24,000	24,600	0.531	0.796	0.769	1.360	1.070	×	
3	S460829	295.5	549.0	1.858	23,400	24,000							
4	S500821	375.3	549.0	1.463	19,500	20,100	0.365	0.617	0.944	1.130	0.849	×	
5	S541017	284.0	549.0	1.933	26,600	27,100	0.514	0.668	0.784	1.268	1.329	●	
6	S570801	317.8	549.0	1.728	23,000	23,300							
7	H020918	343.1	549.0	1.600	31,000	31,400	0.565	0.789	0.896	1.238	0.734	×	
8	H060928	387.9	549.0	1.415	25,900	26,200	0.537	0.790	0.762	1.325	1.248	×	
9	H090725	469.8	549.0	1.169	18,900	19,400							
10	H130820	467.2	549.0	1.175	17,900	18,900							
11	H150807	351.9	549.0	1.560	19,600	20,300	0.405	0.723	0.931	1.107	1.020	×	
12	H160803	358.0	549.0	1.534	18,600	18,700							
13	H161019	271.6	549.0	2.021	33,900	34,300	0.706	0.867	0.919	1.101	1.119	×	
14	H190713	262.6	549.0	2.091	22,600	23,500							
15	H230718	479.9	549.0	1.144	16,200	16,600							
16	H230902	714.0	714.0※実績	1.000	24,200	25,700	0.412	0.751	1.165	1.484	1.447	×	
17	H230920	270.7	549.0	2.028	31,500	32,100	0.561	0.801	0.802	1.306	1.067	×	
18	H250914	413.9	549.0	1.326	18,800	19,400	0.415	0.748	0.940	1.059	1.154	×	
19	H260808	318.4	549.0	1.724	14,800	15,000	0.441	0.662	0.961	1.084	0.919	×	
20	H270715	439.6	549.0	1.249	19,800	20,200							
21	H291021	385.1	549.0	1.426	29,700	31,300	0.541	0.816	0.875	1.084	1.464	×	
22	H300820	355.2	549.0	1.546	29,700	29,900	0.590	0.798	0.963	1.075	0.946	×	
23	R010812	334.9	549.0	1.639	18,400	18,800	0.317	0.590	0.987	1.053	0.875	×	
将来起こり得るか チェック アンサンブル波形の最大 比率							0.581	0.785	0.845	1.411	1.446		

※ 拡大後雨量の確率評価が棄却基準値(1/500雨量)を超過しているため棄却。アンサンブル波形による時空間分布の最大比率も超過しているため棄却

※100m³/s 未満の端数については、切り上げるものとした。

(2) アンサンブル予測降雨波形を用いた検討

1) アンサンブル予測降雨波形の抽出方法

d2PDF(将来実験：30年×6SST×2摂動)、過去実験(30年×12摂動)の年最大雨量標本(360年)抽出し、流出解析を行った。

例えば、著しい引き伸ばし等によって降雨波形を歪めることがないように、計画対象降雨の降雨量近傍の洪水より10洪水を抽出した。

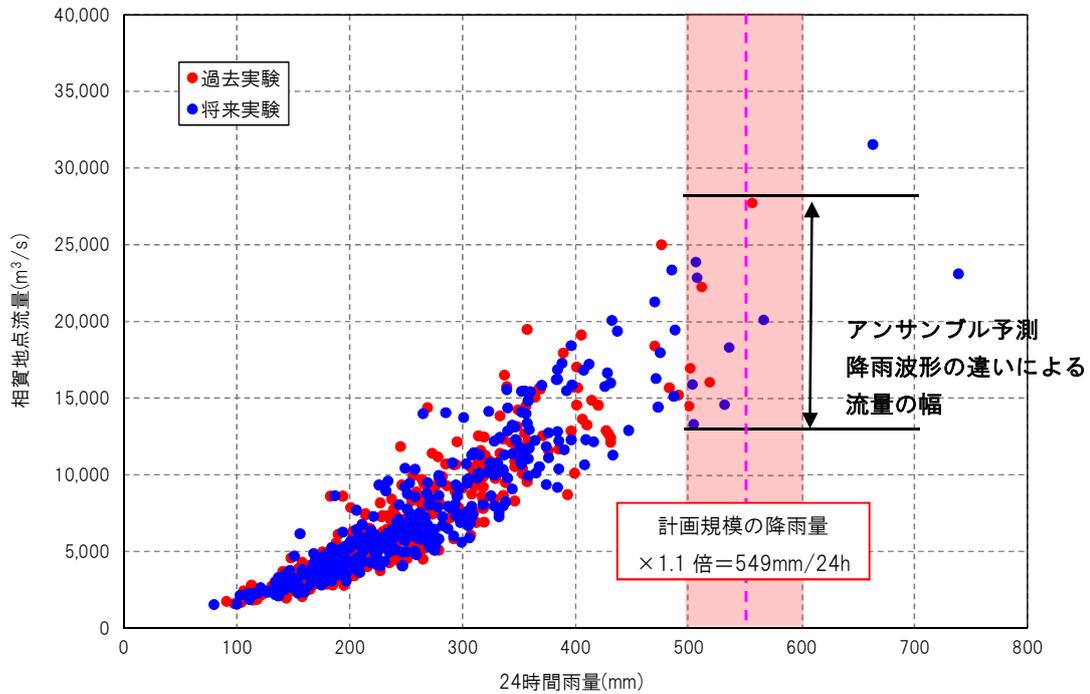


図 1-62 アンサンブル予測雨量波形による相賀地点流量

2) 抽出した予測降雨波形群による降雨量調整後の流量

抽出されたアンサンブル予測降雨波形の降雨量を気候変動後の1/100規模雨量549mm/24hrになるように引き縮め、引伸しの調整を行う。

調整したアンサンブル予測降雨波形を用いて、流出解析により相賀地点ピーク流量を算定する。

これによる相賀地点における1/100規模の流量は約14,800m³/s～27,400m³/sと推定される。

表 1-44 アンサンブル予測雨量波形によるピーク流量一覧（相賀地点）

洪水名	相賀地点 24時間雨量 (mm)	気候変動後 1/100雨量 (mm)	拡大率	相賀地点 ピーク流量 (m ³ /s)	気象 要因	
将来実験						
HFB_2K_GF_m105_2067	20670806	504.7	549.0	1.088	26,600	台風
HFB_2K_GF_m105_2070	20700731	502.3		1.093	14,800	その他
HFB_2K_HA_m101_2074	20740722	564.0		0.973	19,500	台風
HFB_2K_MI_m105_2089	20890904	503.2		1.091	17,600	台風
HFB_2K_MP_m101_2073	20730717	506.4		1.084	25,600	台風
HFB_2K_MR_m101_2066	20660720	529.4		1.037	15,400	台風
HFB_2K_MR_m105_2072	20720725	536.2		1.024	18,900	台風
過去実験						
HPB_m002_1997	19970812	554.0	549.0	0.991	27,400	前線
HPB_m003_1999	19990812	512.2		1.072	24,200	台風
HPB_m022_2008	20080825	516.6		1.063	17,400	前線

※100m³/s未満の端数については、切り上げるものとした。

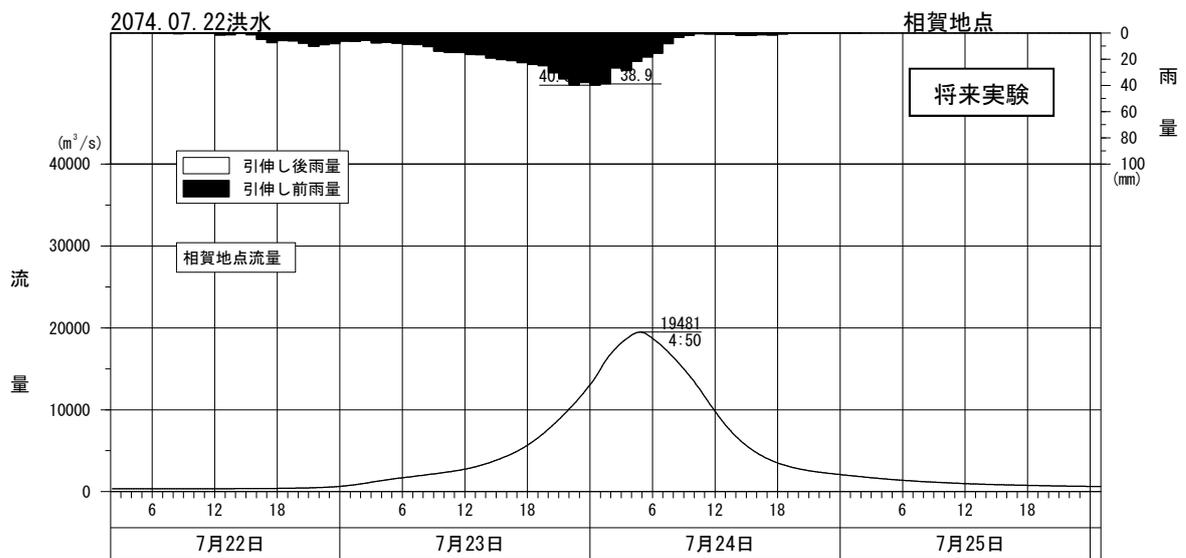
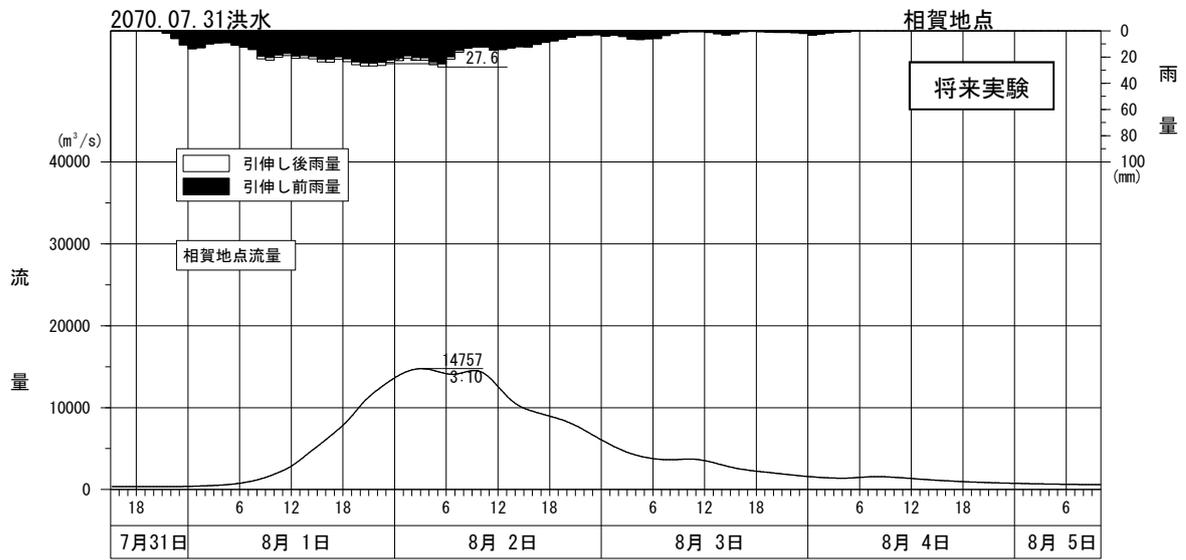
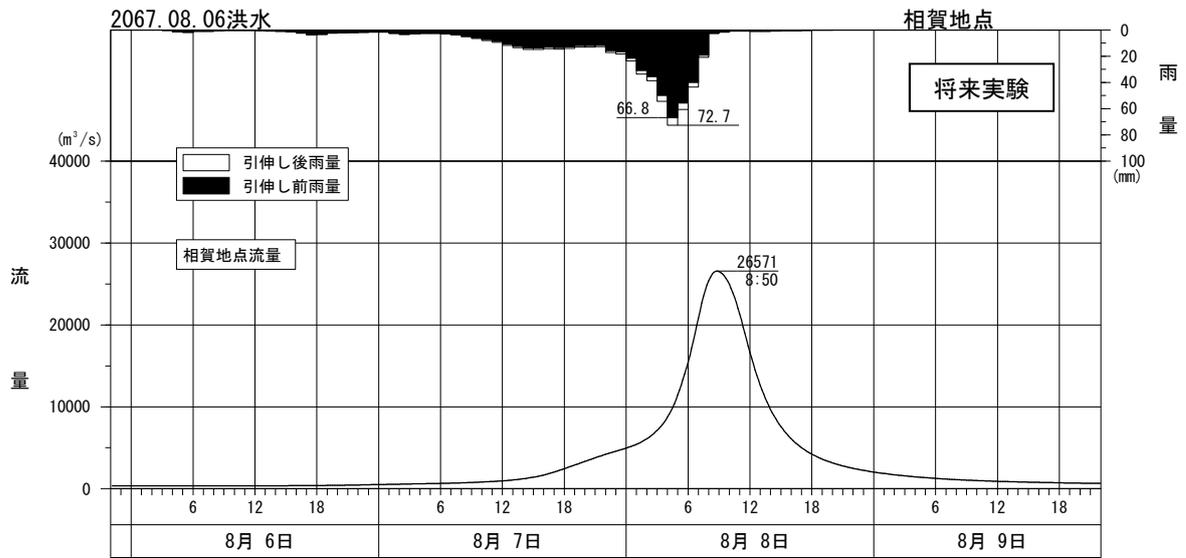


図 1-63 (1) アンサンブル予測雨量による流出計算結果 (549mm)

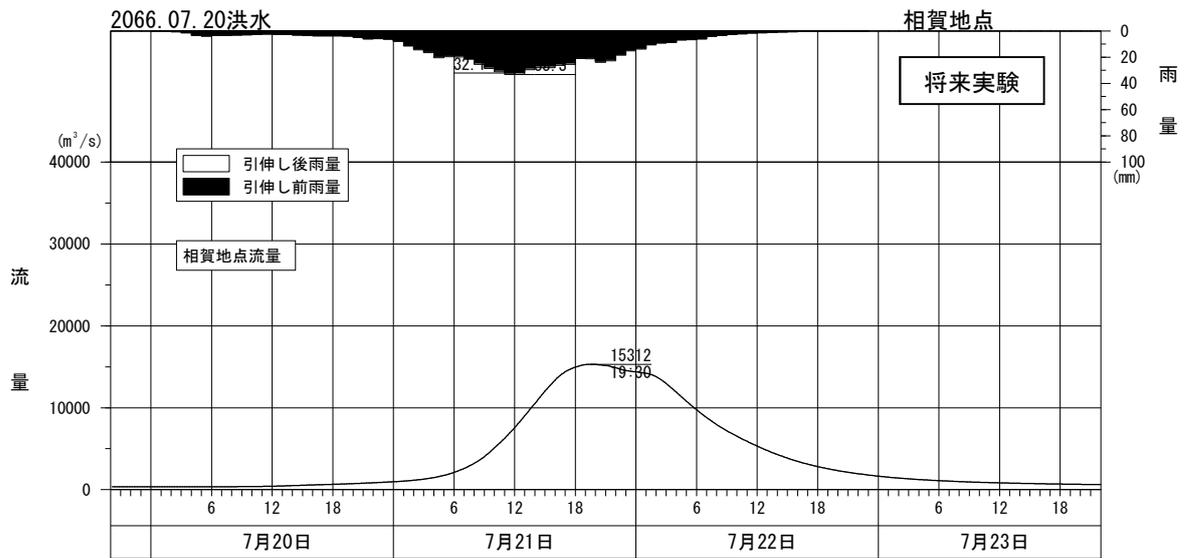
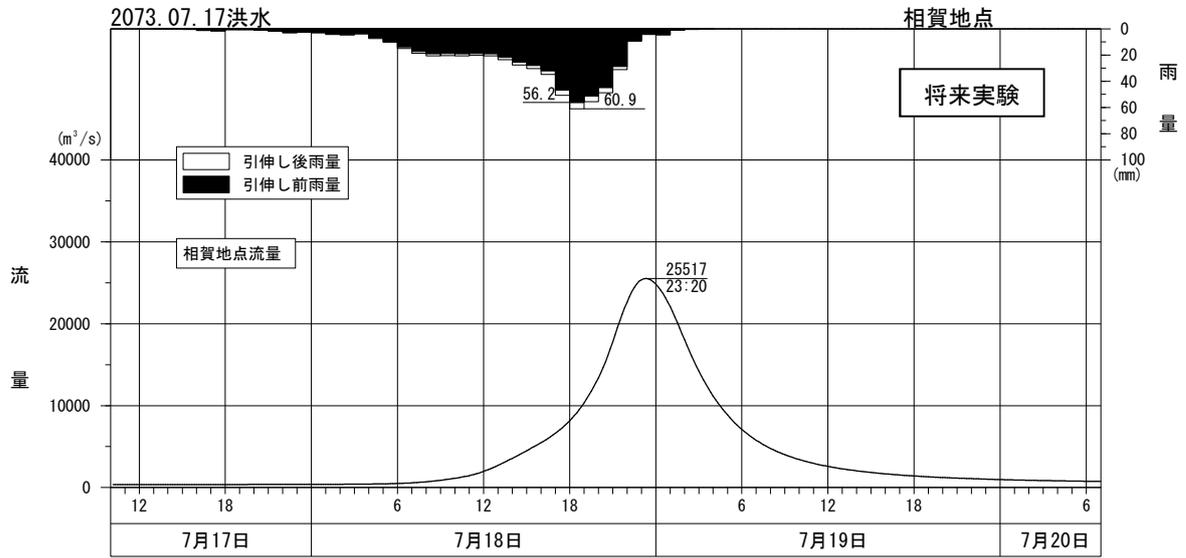
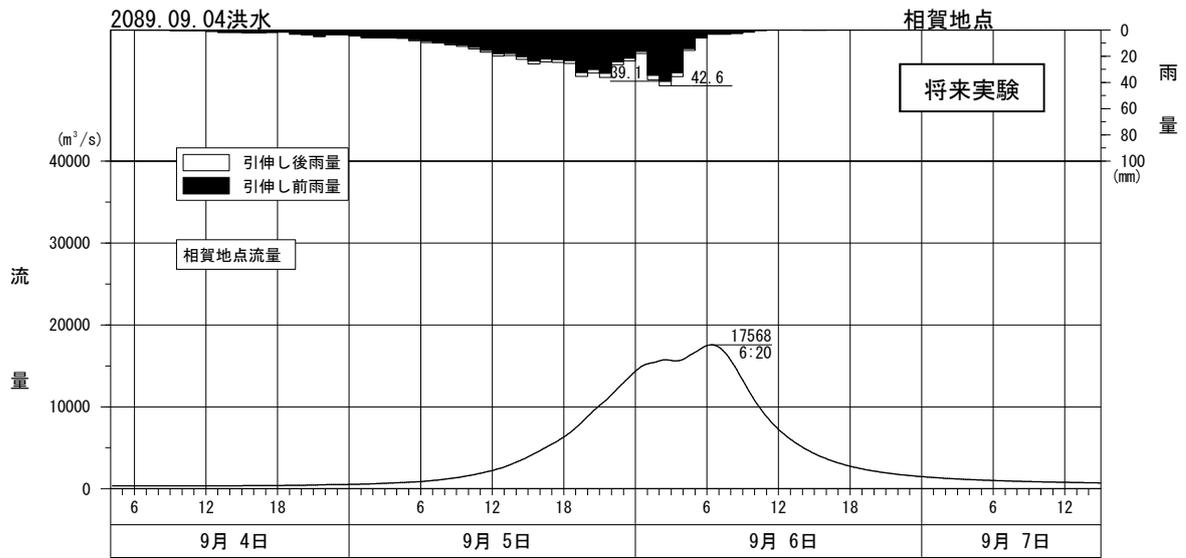


図 1-63 (2) アンサンブル予測雨量による流出計算結果 (549mm)

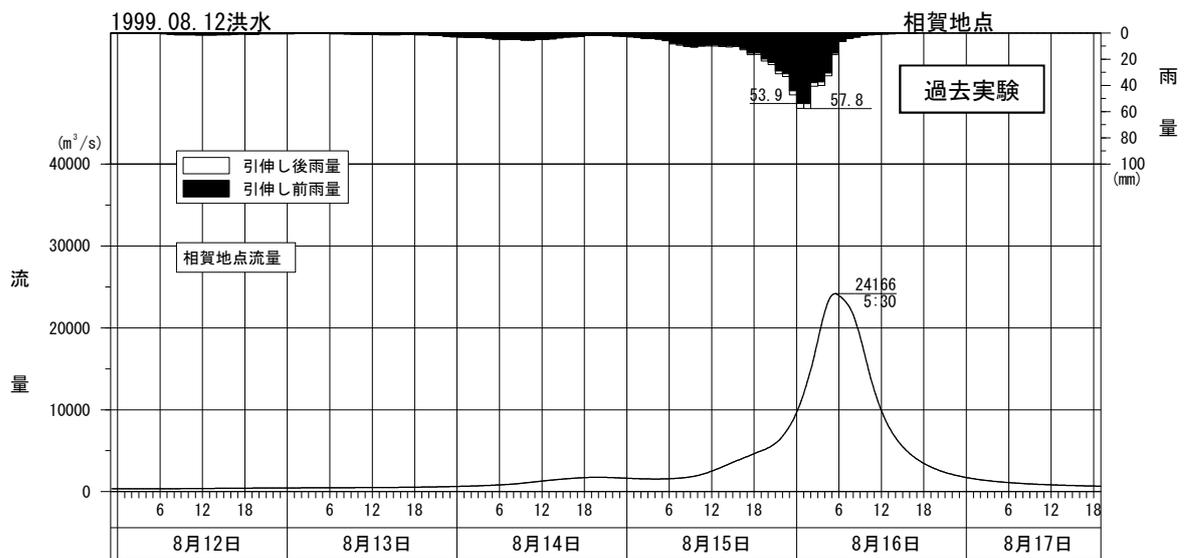
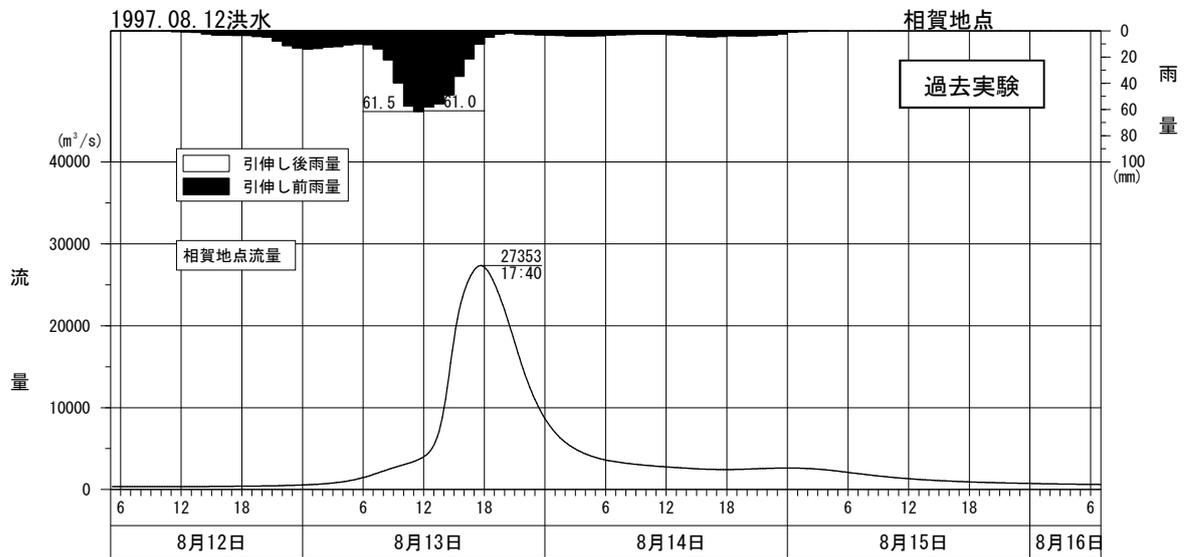
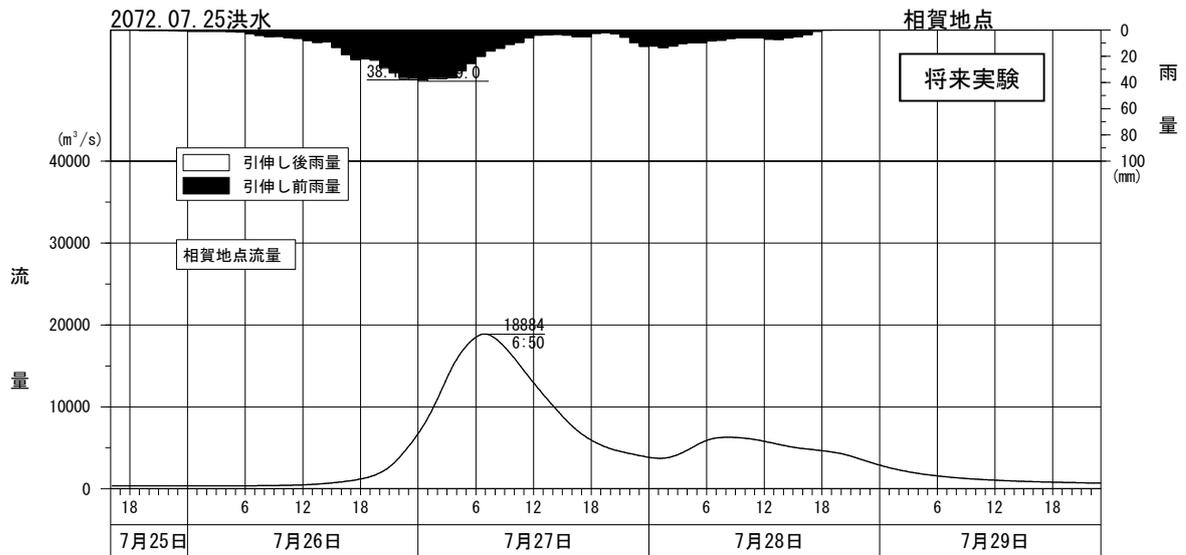


図 1-63 (3) アンサンブル予測雨量による流出計算結果 (549mm)

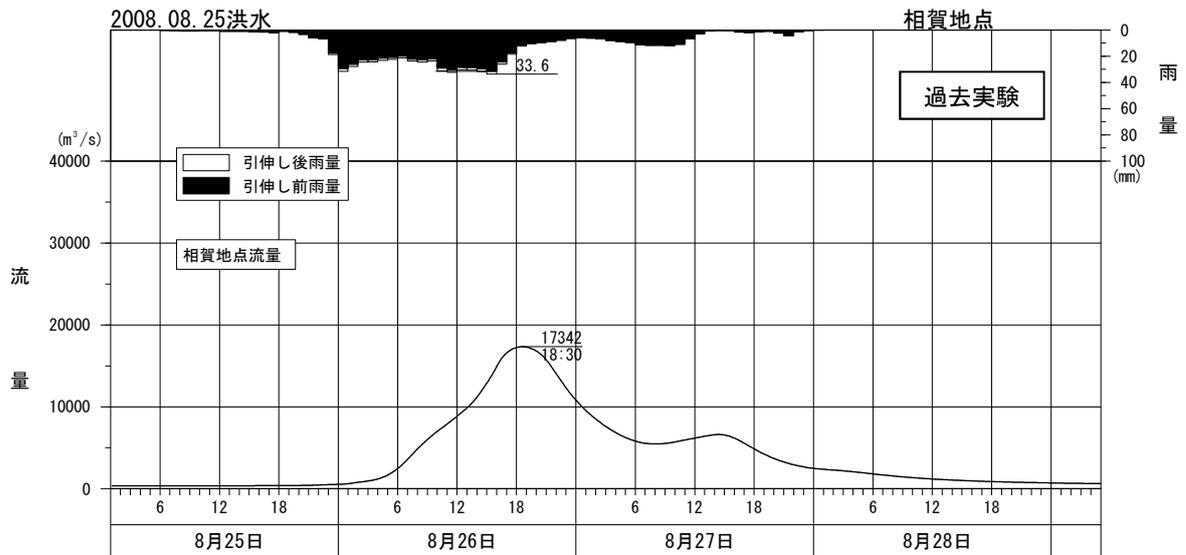


図 1-63 (4) アンサンブル予測雨量による流出計算結果 (549mm)

3) アンサンブル予測降雨波形の時空間分布の比率

「アンサンブル予測降雨波形による検討」に用いたアンサンブル波形の時空間分布の比率（短時間雨量 or 小流域雨量／継続時間内の流域平均雨量）をアンサンブル波形ごとに求め、その最大比率を整理した。

この比率は、気候変動後の 1/100 確率降雨量 549mm/24hr に拡大した主要洪水の将来起こりうる可能性の検証に用いる。

表 1-43 にて棄却されている洪水に対して、アンサンブル予測から推定される時間分布、地域分布の流量比（基準地点流量と小流域の比率）以内に収まる洪水として、昭和 54 年（1979 年）10 月洪水を抽出した。

表 1-45 アンサンブル予測降雨波形を時空間分布の比率

ケース	洪水名	流域平均雨量(mm)										相賀地点24時間雨量との比率					
		相賀地点			十津川流域	北山川流域	合流点下流域	相賀地点			十津川流域	北山川流域	合流点下流域				
		24時間雨量	6時間雨量	12時間雨量	24時間雨量	24時間雨量	24時間雨量	6時間雨量	12時間雨量	24時間雨量	24時間雨量	24時間雨量	24時間雨量	24時間雨量	24時間雨量	24時間雨量	
将来実験	20670806	504.7	279.3	376.4	392.5	653.7	637.9	0.553	0.746	0.778	1.295	1.264					
	20700731	502.3	140.8	270.6	423.2	600.6	622.7	0.280	0.539	0.843	1.196	1.240					
	20740722	564.0	222.6	372.2	460.2	711.5	650.0	0.395	0.660	0.816	1.261	1.152					
	20890904	503.2	169.2	332.5	366.1	669.5	727.5	0.336	0.661	0.727	1.330	1.446					
	20730717	506.4	260.1	392.2	376.5	677.6	666.4	0.514	0.775	0.743	1.338	1.316					
	20660720	529.4	176.7	319.2	445.2	669.4	519.6	0.334	0.603	0.841	1.265	0.982					
過去実験	20720725	536.2	219.6	380.1	425.8	670.6	714.4	0.410	0.709	0.794	1.251	1.332					
	19970812	554.0	321.9	434.9	467.4	781.8	220.6	0.581	0.785	0.844	1.411	0.398					
	19990812	512.2	258.1	390.8	423.7	629.7	617.8	0.504	0.763	0.827	1.229	1.206					
	20080825	516.6	178.2	311.3	436.7	640.1	544.4	0.345	0.603	0.845	1.239	1.054					
最大比率																	
0.581 0.785 0.845 1.411 1.446																	

4) 主要洪水群に不足する降雨パターンの確認

将来実験アンサンブル予測雨量を用いて、熊野川流域（5 流域）に対する降雨分布の変化についてクラスター分析に基づき、表 1-43 の主要洪水を評価したところクラスター 1（均質降雨型）～クラスター 3（池原上下流域多雨型）であるとされた。

主要洪水に含まれないクラスター 4（上流域多雨型）とクラスター 5（合流点下流域集中型）に該当する降雨波形を将来実験アンサンブル予測から 2 洪水を抽出する。抽出した洪水の降雨波形を気候変動考慮した 1/100 確率規模の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出した。

また、将来実験アンサンブル予測雨量を用いて、熊野川流域（5 流域）に対する降雨分布の変化についてクラスター分析を行った。このクラスター分析に基づき、表 4-2 の主要洪水を評価したところクラスター 1（均質降雨型）～クラスター 3（池原上下流域多雨型）であるとされた。主要洪水に含まれないクラスター 4（上流域多雨型）とクラスター 5（合流点下流域集中型）に該当する降雨波形を将来実験アンサンブル予測から 2 洪水を抽出する。

抽出した洪水の降雨波形を気候変動考慮した 1/100 確率規模の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出した。

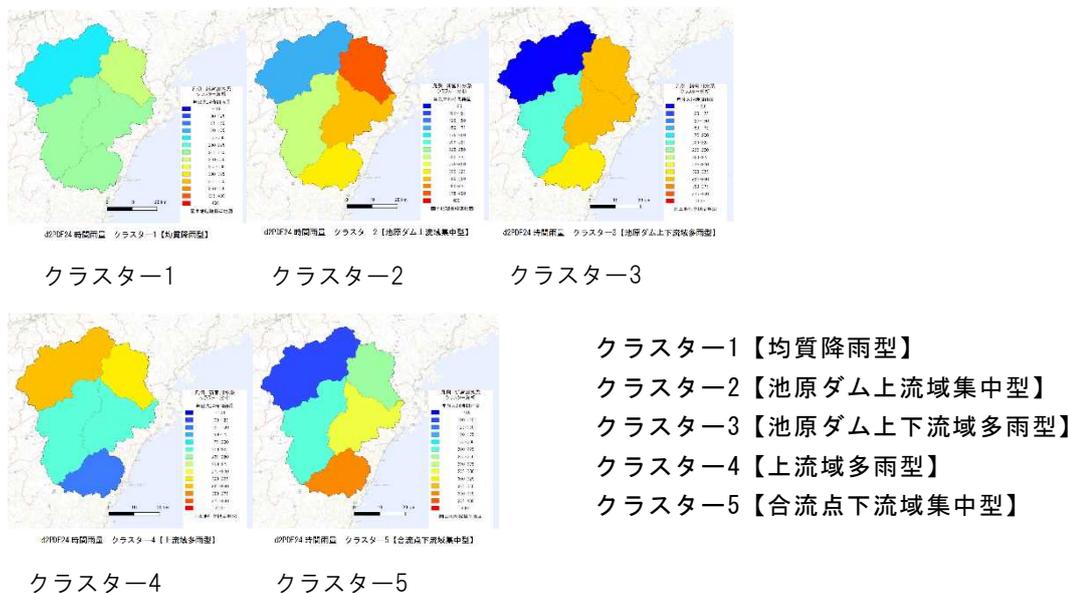


図 1-64 将来実験アンサンブル予測雨量による熊野川クラスター分析結果

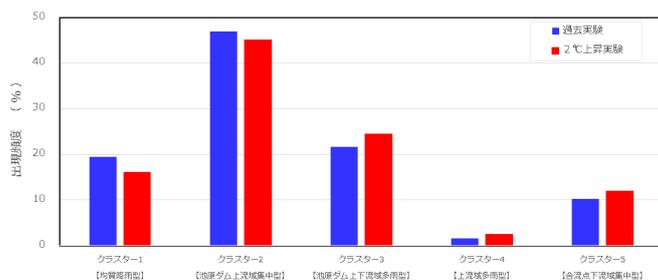


図 1-65 アンサンブル降雨波形の出現頻度（クラスター毎）

表 1-46 熊野川主要洪水波形のクラスター分析による評価

洪水名	相賀上流域平均			相賀地点 ピーク流量 (m^3/s)	クラスター 番号
	実績雨量 24hr (mm)	計画雨量 24hr (mm)	拡大率		
S43.07	370.1	549.0	1.483	19,600	2
S46.08	295.5	549.0	1.858	23,400	2
S57.08	317.8	549.0	1.728	23,000	2
H09.07	469.8	549.0	1.169	18,900	2
H13.08	467.2	549.0	1.175	17,900	3
H16.08	358.0	549.0	1.534	18,600	3
H19.07	262.6	549.0	2.091	22,600	1
H23.07	479.9	549.0	1.144	16,200	3
H27.07	439.6	549.0	1.249	19,800	1

※ $100m^3/s$ 未満の端数については、切り上げるものとした。

表 1-47 棄却洪水の内、将来降雨として起こりうると想定される降雨波形

洪水名	相賀上流域平均			相賀地点 ピーク流量 (m^3/s)	クラスター 番号
	実績雨量 24hr (mm)	計画雨量 24hr (mm)	拡大率		
S54.10	284.0	549.0	1.933	26,600	3

※ $100m^3/s$ 未満の端数については、切り上げるものとした。

※表 4-2 にて棄却された降雨波形の内、将来実験アンサンブル予測雨量による流量比(相賀地点と小流域)以内におさまる洪水を抽出した。

表 1-48 クラスター分析により主要洪水群に不足する降雨波形

洪水名	相賀上流域平均			相賀地点 ピーク流量 (m^3/s)	クラスター 番号
	実績雨量 24hr (mm)	計画雨量 24hr (mm)	拡大率		
20760717	385.4	549.0	1.424	18,400	4
20860929	374.4	549.0	1.466	18,700	5

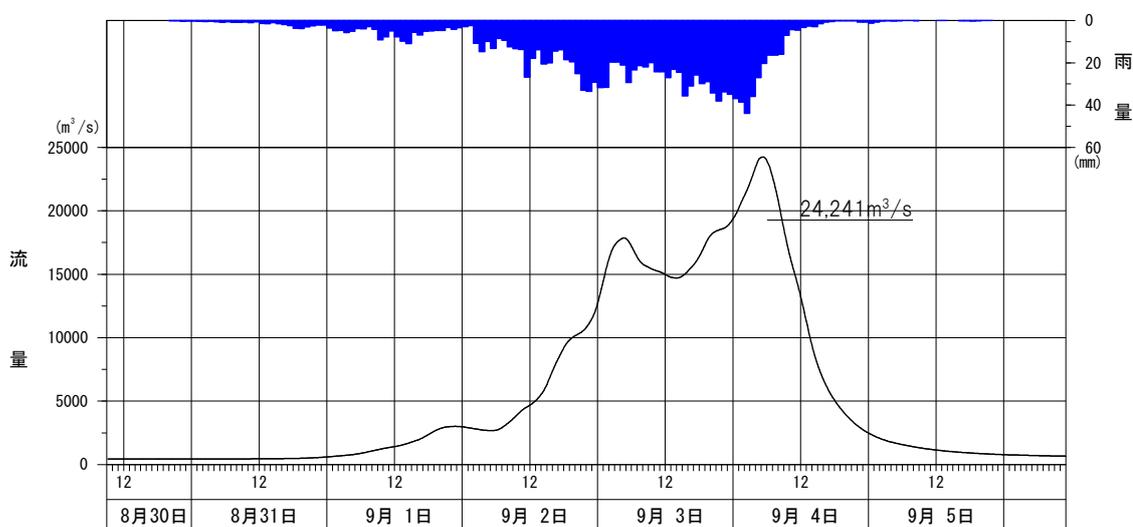
※ $100m^3/s$ 未満の端数については、切り上げるものとした。

※クラスター分析による表 4-2 の主要洪水を分類し、主要洪水群に対し不足するクラスター 4、5 に分類される洪水を将来実験アンサンブル予測降雨波形から抽出した。

(3) 既往洪水からの検討

熊野川流域における歴史的洪水は、明治22年(1889年)8月に発生した十津川水害が著名であり、この洪水により十津川筋の村は壊滅的な被害が生じ、下流新宮市も広範囲に浸水被害が生じている。しかし、この洪水により十津川筋に多くの天然ダムが発生し、連続して決壊する天然ダム、決壊まで時間を要した天然ダムなどがあった。

次に記録が残っている洪水では、昭和34年(1959年)9月の伊勢湾台風による洪水が著名であり、基準地点相賀の流量は約 $19,000\text{m}^3/\text{s}$ と推定される。また、近年に甚大な被害をもたらした平成23年(2011年)9月の台風12号では、流出解析により流量を計算した結果、基準地点相賀の流量は約 $24,000\text{m}^3/\text{s}$ と推定される。



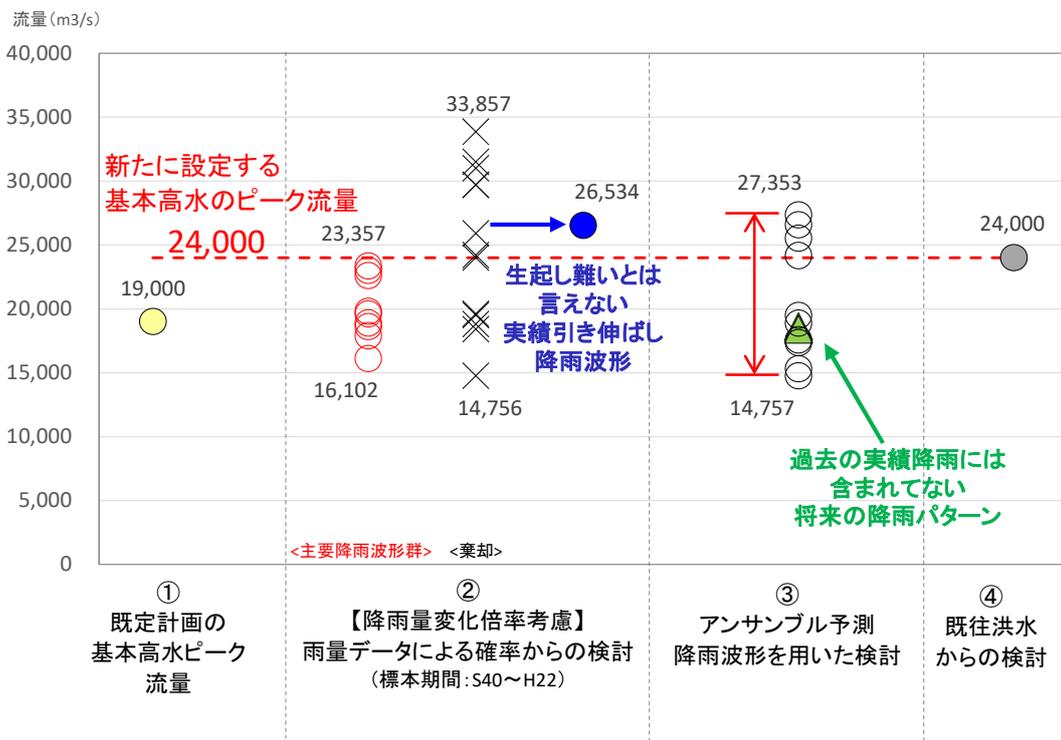
※観測流量については、相賀水位観測所の観測機器が水没し、流量観測を行えなかった。

図 1-66 平成23年(2011年)9月洪水推定結果(基準地点相賀)

(4) 気候変動を考慮した基本高水のピーク流量の検証

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°C上昇相当) を想定した将来の降雨量の変化倍率 1.1 倍 (549mm) 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雨量あるいは中流域が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の 24,000m³/s を、基準地点相賀における基本高水のピーク流量とした。

なお、平成 23 年 (2011 年) 9 月洪水は、気候変動後の計画降雨量 549mm を超過しているが、実際近年生じている出水であるため、実績 (拡大率 1.0 倍) にて基本高水流量対象洪水として採用する。



※●・▲は整備途上の上下流、本支川のバランスのチェック等に活用

【参考】水防法に基づく想定最大降雨

・雨量：937mm/24h (1/1000 確率) ・基準地点流量：32,000m³/s (H23.9 型)

【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°C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将来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 (549mm/24h) 近傍の 10 洪水を抽出
 - ：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°C 上昇) のアンサンブル降雨波形
 - ▲：過去の実績降雨 (主要降雨波形群) には含まれていない、将来増加すると想定される降雨パターン

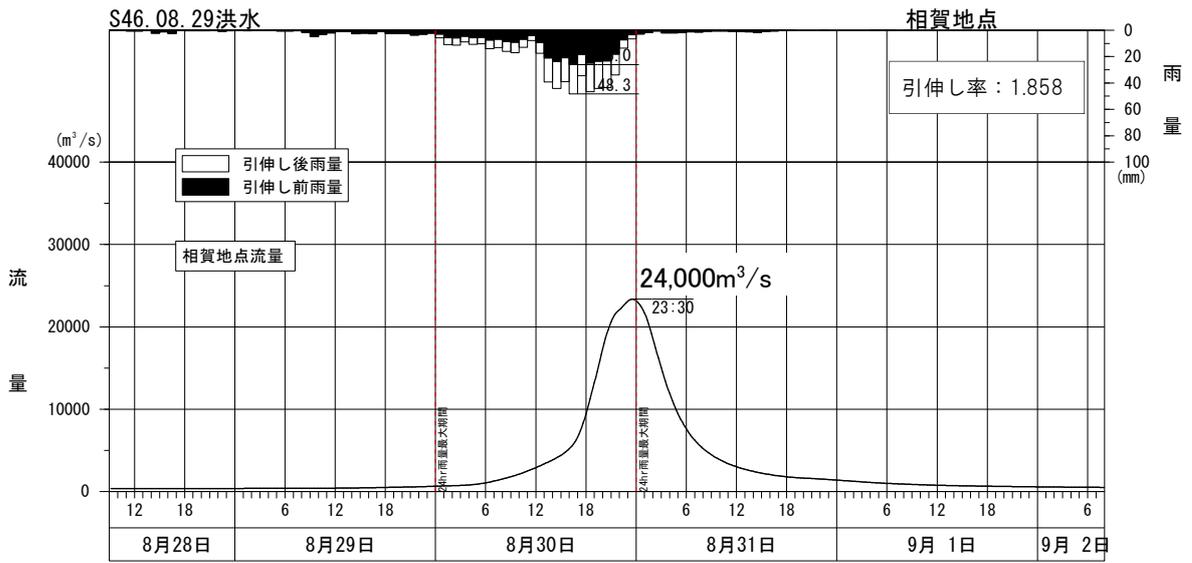
図 1-67 基本高水の設定に係る総合判断図

表 1-49 気候変動を考慮したピーク流量一覧（相賀地点）

洪水名	拡大率	相賀地点 ピーク流量 (m ³ /s)
S430727	1.483	20,000
S460829	1.858	24,000
S570801	1.728	23,000
H090725	1.169	19,000
H130820	1.175	18,000
H160803	1.534	19,000
H190713	2.091	23,000
H230718	1.144	17,000
H230902	1.000	24,000
H270715	1.249	20,000

※流量は1,000m³/s まるめで記載している。

S46.8 洪水 549mm/24h



H23.9 洪水 714mm/24h

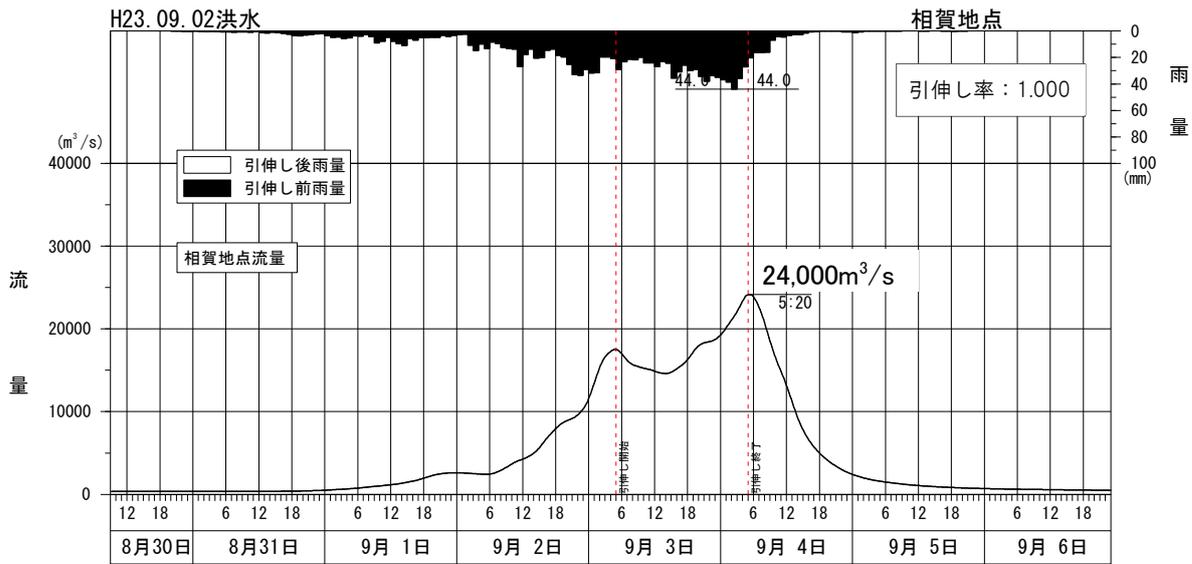


図 1-68 基本高水決定 相賀基準点流量波形

2. 高水処理計画

熊野川の既定計画における高水処理は、基準地点相賀における基本高水のピーク流量の $19,000\text{m}^3/\text{s}$ に対し、全量を河道で処理する計画としている。

今回、平成 23 年（2011 年）9 月台風 12 号洪水や気候変動の影響による水災害リスクの増大等を踏まえ、新たに基準地点相賀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 $19,000\text{m}^3/\text{s}$ を $24,000\text{m}^3/\text{s}$ に変更することとした。

熊野川では古くから堤防整備が行われており、基準地点相賀下流の新宮市街部区間（要堤防区間）においては、全区間計画高水位以上の高さで整備されているとともに、既定計画に合わせて多くの橋梁が架けられている。また、新宮市街部の堤防背後地には世界遺産に登録された熊野速玉大社があるほか、観光ホテルや家屋が密集している。

このため、新宮市街部の堤防嵩上げ等による社会的影響及び、河道掘削による河川環境の改変や将来河道の維持を考慮すると、河道で処理可能な流量は基準地点相賀において、 $23,000\text{m}^3/\text{s}$ である。

また、利水ダムの事前放流の効果として、降雨の予測など不確実性はあるが、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の低減効果を試算した結果、洪水パターンによっては大きな効果があることを確認している。一方、H23.9 洪水のパターンは洪水期間が長いことから、ピーク流量の低減効果が小さいが、更なる流量低減のため、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への変更、放流設備の改造等により、洪水調節機能を強化できる可能性を踏まえ、 $23,000\text{m}^3/\text{s}$ までの低減を見込むこととする。また、利水ダムによる流量低減効果は、様々な降雨規模に対し、直轄区間のみならず、上流域の浸水被害軽減を図ることが可能。以上を踏まえ、高水処理計画上の洪水調節施設等としては、既存ダムの有効利用を図ることにより、 $1,000\text{m}^3/\text{s}$ の洪水調節が可能であることから、基準地点相賀の計画高水流量を $23,000\text{m}^3/\text{s}$ とする。

3. 計画高水流量

熊野川の計画高水流量は、基準地点相賀において $23,000\text{m}^3/\text{s}$ とし、各主要地点の計画高水流量は、主要洪水の降雨波形群を用いて得られる通過流量の最大値を示す値から設定している。各地点の計画高水流量は以下のとおりとする。

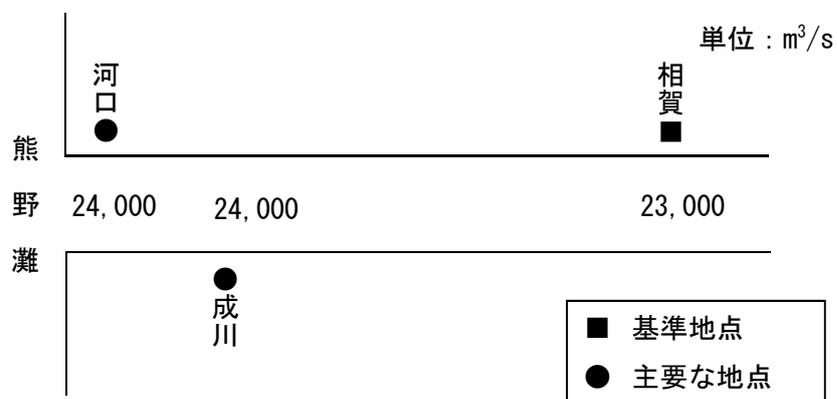


図 3-1 熊野川計画高水流量図

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 直轄管理区間の堤防は、完成堤防・暫定堤防を合わせると全区間で概成していること。
- ② 計画高水位を上げることは、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 主要な地点における計画高水位及び川幅一覧表

河川名	地点名	※1) 河口からの距離(km)	計画高水位 T. P. (m)	川幅 (m)
熊野川	相賀	10.6km	※2) —	—
	成川	2.3km	※3) 8.17	420
	河口	0.2km	※4) 2.50	680

注) T. P. 東京湾中等潮位

※1 基点からの距離

※2・3 人口・資産の集積する上流に位置する成川地点は、感潮区間であり流量観測が困難なため、基準地点でなく主要地点とし、計画高水位と川幅を設定している。流量観測が可能で、成川地点と流量相関が良い相賀地点を基準地点としている。相賀地点は山間部であり沿川に防御対象施設がないため、計画高水位は設定していない。

※4 計画高潮位

【参考】気候変動の影響検討（河口水位）

IPCC のレポートでは、2100 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。

新宮川水系では、流下能力評価の算定条件として、砂州高から河口の出発水位

を設定しているが、仮に海面水位が上昇しても、出発水位の値に影響がない。(図4-1 参照)

さらに、仮に砂州高が上昇 (RCP2.6 シナリオの平均値 43cm) したとしても、おおむねH.W.L以下になっていることを不等流計算にて確認した。

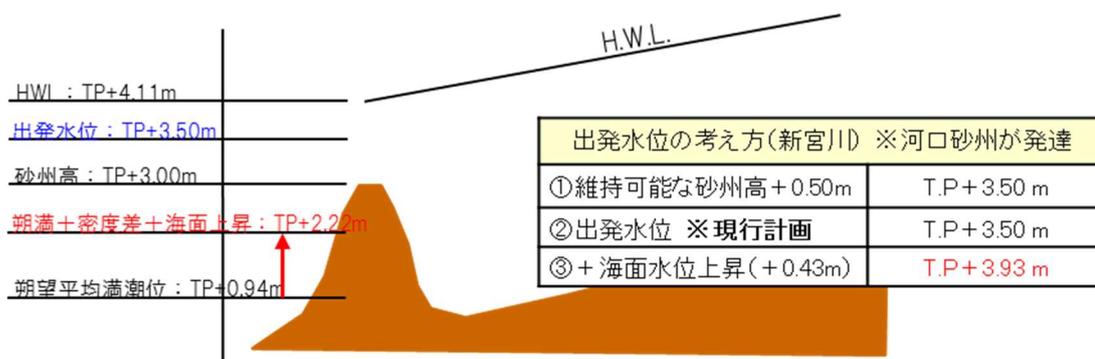


図 4-1 熊野川河口部の高さ関係模式図

5. 河川管理施設等の整備の状況

新宮川水系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

堤防整備の現状（令和2年（2020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

水系名	計画堤防断面	今後整備が必要な区間
新宮川	16.1km (71.9%)	6.3km (28.1%)

(2) 洪水調節施設

- ・完成施設 : なし
- ・残りの必要容量 : 概ね 250,000 千 m³～260,000 千 m³

(3) 排水機場等

- ・河川管理施設 : 17.1m³/s（市田川）
15.0m³/s（相野谷川）
※国管理区間の施設のみである。

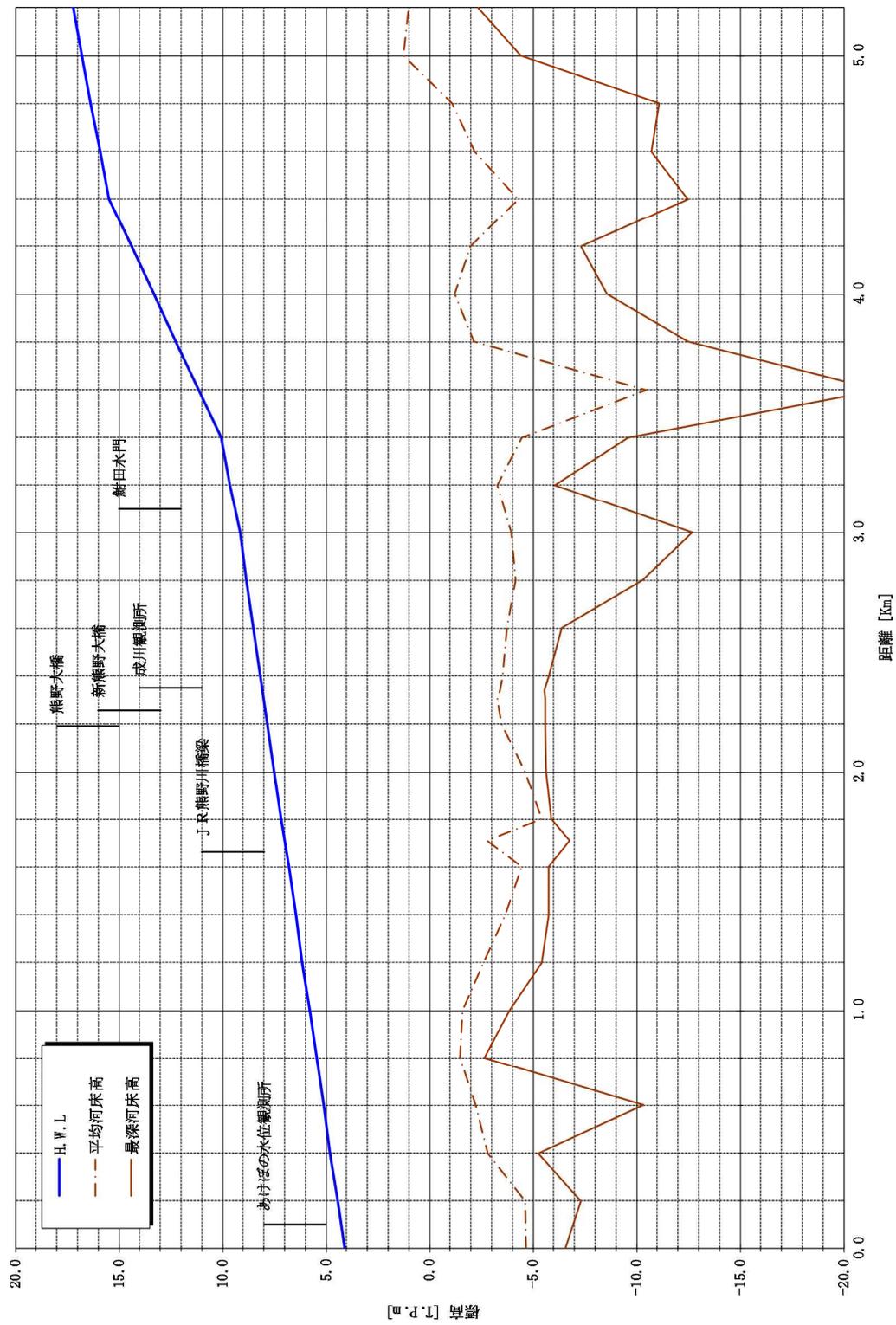


図 5-1 計画縦断面図 (熊野川)

計画高水位 (T.P.m)	4.112	5.798	7.492	9.152	13.315	16.774
平均河床高 (T.P.m)	-4.673	-1.594	-4.607	-3.936	-1.201	1.245
最深河床高 (T.P.m)	-6.570	-3.850	-5.650	-12.700	-8.560	-4.430
距離標 (kp)	0.0k	1.0k	2.0k	3.0k	4.0k	5.0k