

円山川水系河川整備基本方針

基本高水等に関する資料（案）

令和 年 月

国土交通省 水管理・国土保全局

目 次

1 基本高水の検討.....	2
1-1 工事実施基本計画.....	2
1-2 河川整備基本方針.....	2
1-3 河川整備基本方針策定後の状況.....	3
1-4 流出解析モデルの構築.....	4
1-5 基本高水のピーク流量の設定.....	83
1-6 対象降雨の継続時間の設定.....	83
1-7 河川の整備の目標となる洪水の規模及び対象降雨の降雨量の設定.....	95
1-8 主要降雨波形の設定.....	99
1-9 対象降雨の地域分布及び時間分布の検討.....	101
1-10 主要洪水における降雨量（気候変動考慮）の引き伸ばしと流出計算.....	106
1-11 アンサンブル予測降雨波形による検討.....	111
1-12 既往洪水からの検討.....	119
1-13 総合的判断による基本高水のピーク流量の決定.....	120
2 高水処理計画.....	122
3 計画高水流量.....	123
4 河道計画.....	124
5 河川管理施設等の整備の状況.....	126
(1) 堤防.....	126
(2) 洪水調節施設.....	126
(3) 排水機場等.....	126

1 基本高水の検討

1-1 工事実施基本計画

昭和63年（1988年）3月に策改定された円山川水系工事実施基本計画における計画規模は、流域の社会的・経済的な重要性を総合的に勘案して1/100と設定し、基準地点「立野」において、基本高水のピーク流量を $6,400\text{m}^3/\text{s}$ とし、河道への配分流量を $5,400\text{m}^3/\text{s}$ と定めている。

- ① 昭和41年（1966年）7月に定められた工事実施基本計画は、昭和35年（1960年）に定められた計画を踏襲していたが、昭和34年（1959年）の伊勢湾台風により甚大な被害が発生したことや、流域内の発展、但馬地方の中核である豊岡市を貫流している等、円山川水系における流域の重要度及び流域規模（想定氾濫区域内面積、人口、資産額等）の状況を勘案して、計画の規模を1/100と設定。
- ② 計画降雨継続時間は、主要洪水の降雨時間分布をみると2日にわたって降っている事から2日を採用した。各年最大2日雨量を確率処理し、1/100確率規模の計画降雨量を $327\text{mm}/2\text{日}$ と設定。
- ③ 流域の代表的降雨分布特性を有する7洪水により、貯留関数法による流出計算モデルを構築した。
- ④ 流域の代表的降雨分布特性を有する10降雨波形を計画降雨量まで引き伸ばし、構築した貯留関数法での流出計算モデルにて流出量を算出した。
- ⑤ 基本高水のピーク流量は、計画降雨量の10降雨波形による流出計算結果から、基準地点において、最大値となる波形での流出量より、立野地点で $6,400\text{m}^3/\text{s}$ に決定。

1-2 河川整備基本方針

平成9年（1997年）の河川法改正を受け、下記に示す手法により円山川水系工事実施基本計画で策定された基本高水のピーク流量を検証した結果、基本方針においても、基準地点立野の基本高水のピーク流量を $6,400\text{m}^3/\text{s}$ とし、平成20年（2008年）1月に円山川水系河川整備基本方針を策定した。

(1) 年最大雨量と年最大流量の経年変化

既定計画を改訂した昭和63年（1988年）以降、計画を変更するような大きな洪水、降雨は発生していない。平成2年（1990年）に計画2日雨量を上回る降雨が発生しているが、二山降雨のため、ピーク流量は約 $3,100\text{m}^3/\text{s}$ であり、計画の変更を必要とするような洪水ではなかった。

(2) 流量確率評価による検証

昭和32年（1957年）から平成17年（2005年）までの49年間の流量データを用いた流量確率から検討した結果、基準地点立野における1/100規模の流量は約 $4,560\sim 6,450\text{m}^3/\text{s}$ と推定される。

(3) 雨量確率評価による検証

2日雨量を基準地点立野において1/100規模の雨量に引き伸ばし、流出解析を行った結果、立野地点の流量は約 $2,400\sim 6,400\text{m}^3/\text{s}$ と推定される。

(4) 歴史的洪水による検証

明治40年（1907年）8月洪水における洪水流量の推定を行った結果、立野地点での流量は、 $6,400\text{m}^3/\text{s}$ 程度と推定される。

1-3 河川整備基本方針策定後の状況

平成20年（2008年）1月に河川整備基本方針（以降、既定計画という）を策定以降、基本高水のピーク流量 $6,400\text{m}^3/\text{s}$ を上回る洪水は発生していない。

なお、平成30年（2018年）には、計画2日雨量と同程度の洪水が発生している。

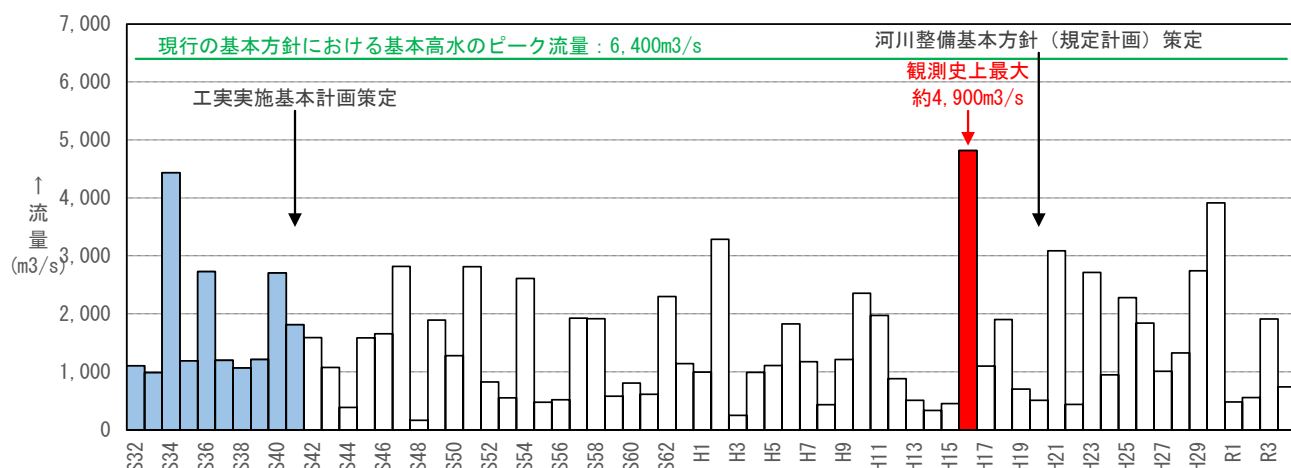


図 1-1 年最大流量（基準地点立野）

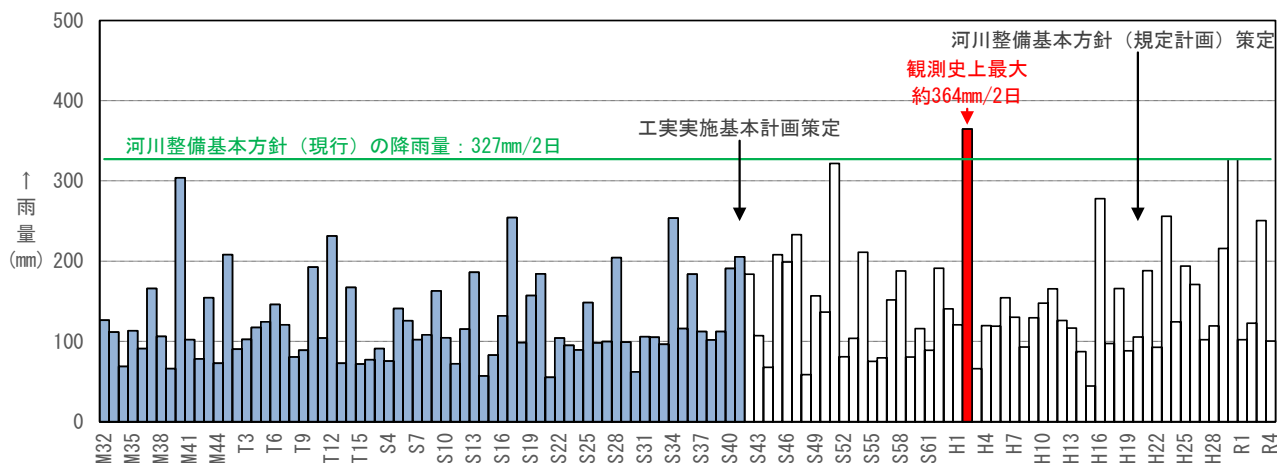


図 1-2 年最大2日雨量（基準地点立野上流流域平均雨量）

1-4 流出解析モデルの構築

1-4-1 モデルの概要

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。

貯留関数法の基礎式は次に示す。

なお、円山川流域の土地利用状況としては、既定計画の策定当時と比較して、土地利用の大きな変化は見られないが、利水ダム等の貯留による流量低減効果を適切に反映するため、ダム位置で流域を新たに分割し、流出計算モデルに反映させた。

【流域の基礎式】

流域の貯留関数及び連続方程式は、それぞれ下式で表される。

$$\frac{ds}{dt} = f(t) \cdot r(t) - q_{(t+T_l)} \quad (\text{式 1-1})$$

$$s(t) = K \cdot q_{(t+T_l)}^P \quad (\text{式 1-2})$$

$$q(t) = \frac{3.6 \cdot Q(t)}{A} \quad (\text{式 1-3})$$

ただし、

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

$$R_0 < \sum r(t) < R_0 + R_{sa} \quad \text{の場合} \quad f(t) = f_1$$

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

ここで、

$$R_{sa} = \frac{(R_{sum} - \frac{Q_{sum}}{1000 \cdot A})}{(1 - f_1)} \quad (\text{式 1-4})$$

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。

$$Q_{ca(t)} = \frac{q(t) \cdot A}{3.6} + Q_{b(t)} \quad (\text{式 1-5})$$

ここで、

$S(t)$ ：貯留高【mm】、 $f(t)$ ：流入係数【無次元】、 $r(t)$ ：流域平均降雨強度【mm/h】

*1

$q(t)$ ：直接流出高【mm/h】、 T_l ：遅滞時間【mm/h】、 K ：定数、 P ：定数

$Q(t)$ ：直接流出強度【m³/s】、 A ：流域面積【km²】

$\sum r(t)$ ：降雨の降り始めから該当時刻までの流出平均降雨強度の和

R_0 ：初期損失雨量【mm】、 R_{sa} ：飽和雨量【mm】、 R_{sum} ：総降雨量【mm】^{*2}

Q_{sum} ：総直接流出量、 f_1 ：一次流出率【無次元】、 $Q_{ca(t)}$ ：流域からの流出量【m³/s】

$Q_{b(t)}$ ：基底流量【m³/s】

*1 地点観測雨量からテューセン分割を用いて計算された流域平均時間雨量。
初期損失雨量分も含む。

*2 降り始めからの雨量より初期損失雨量を控除したもの。

を表す。

【河道の基礎式】

河道区間の貯留関数及び連続方程式は、それぞれ下式で表される。

$$S_{l(t)} = K \cdot Q_{l(t)}^P - T_l \cdot Q_{l(t)} \quad (\text{式 1-6})$$

$$\frac{dS_{l(t)}}{dt} = I_{(t)} - Q_{l(t)} \quad (\text{式 1-7})$$

$$Q_{l(t)} = Q_{(t+T_l)} \quad (\text{式 1-8})$$

$S_{l(t)}$: みかけの貯留量 【(m³/s)・h】、 $Q_{l(t)}$: 遅滞時間 T_l を考慮した流出量 【m³/s】
 $Q_{(t)}$: 流出量 【m³/s】、 $I_{(t)}$: 流入量 【m³/s】、 T_l : 遅滞時間 【h】、 K : 定数、 P : 定数

1-4-2 流域及び河道分割

図 1-3に流域分割図、図 1-4に流出モデル模式図、表 1-1及び表 1-2に貯留関数における流域・河道モデル分割諸元を示す。

流出モデルは、以下の考え方をもとに流域、河道の分割を行い、流域は25分割（図 1-3参照）、河道は14分割とした。

- ・ 基準地点、主要な地点、主要支川
- ・ 洪水調節施設
- ・ 内水地区、自然流出域
- ・ 降雨特性及び流出特性
- ・ 全体的な流域分割面積のバランス
- ・ 各流域の面積は流域での貯留関数適用性に無理の生じない流域面積である“100km²前後”
- ・ 河道は本川、支川での貯留量が大きい区間及び、上流部において河床勾配が大きく貯留量は小さいものの、河道延長による遅れが見込まれる区間

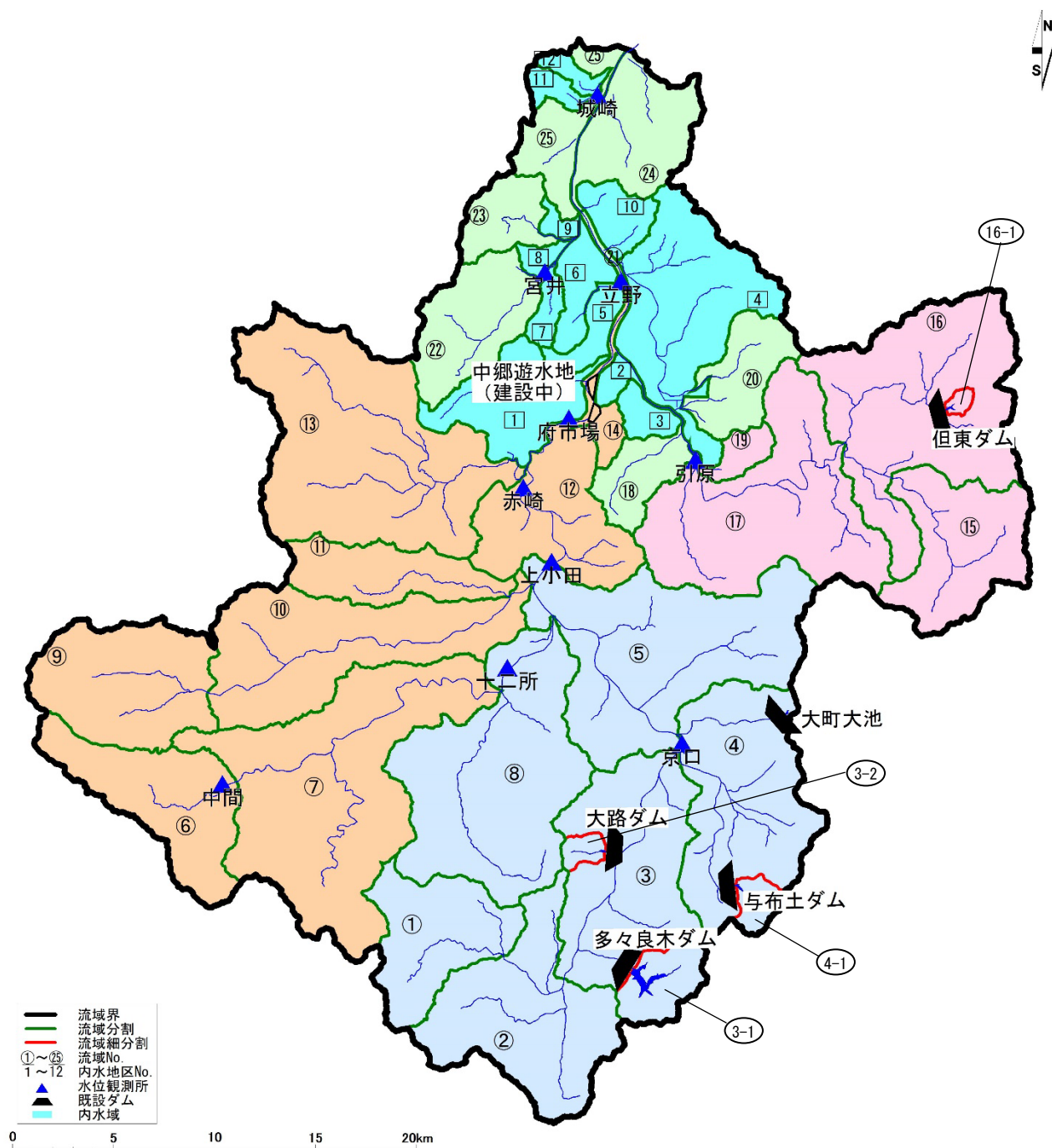


図 1-3 円山川流域分割図

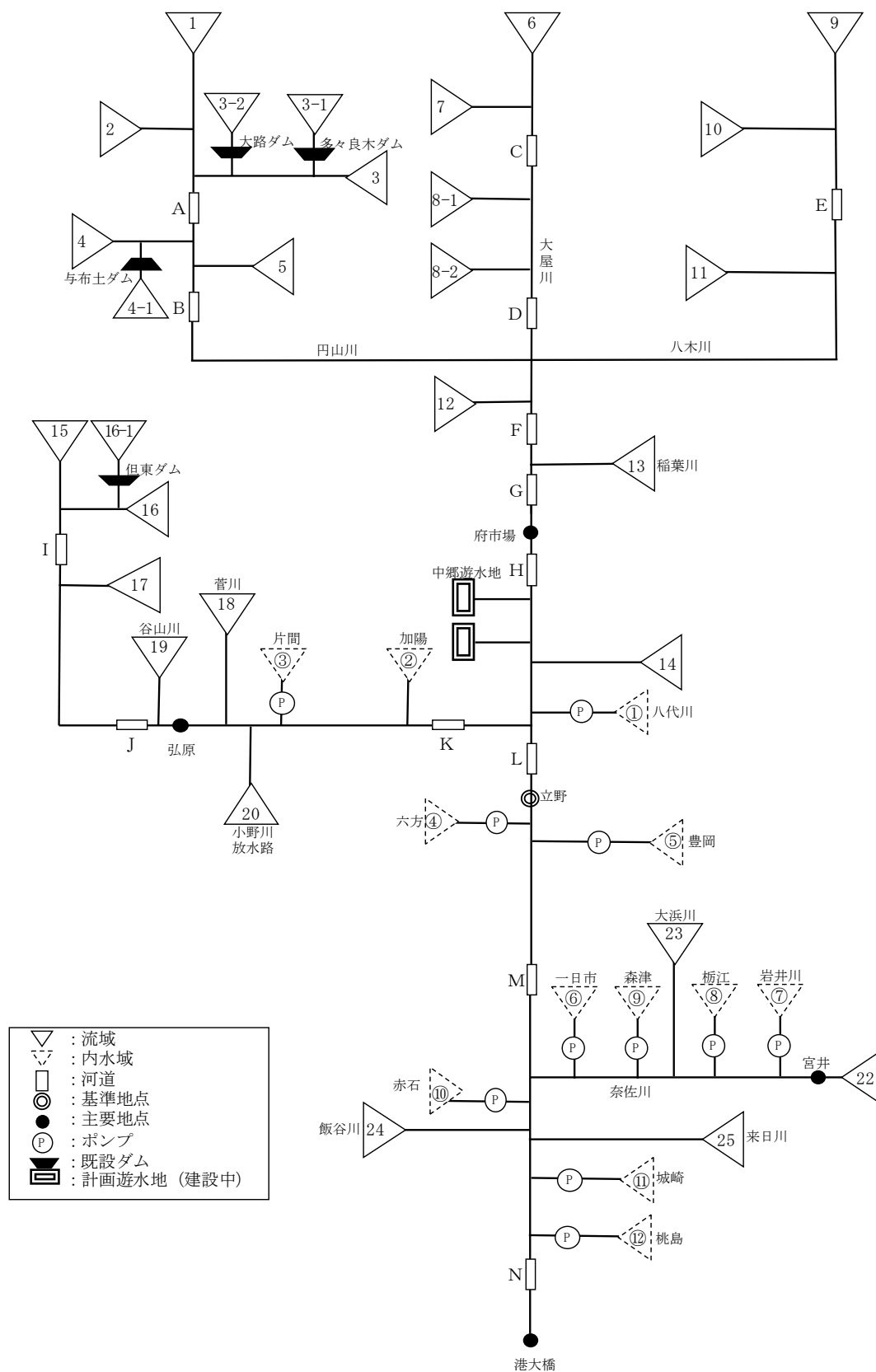


図 1-4 流出解析モデル模式図

表 1-1 モデル分割諸元表

河川名	流域 No	流域名	流域面積 (km ²)	基準地点・主要地点等	摘要
円山川	1	本川上流域	35.9		
	2		58.9		
	3		76.8	多々良木ダム、大路ダム	
	4		66.1	与布土ダム	
	5		90.5		
	6	大屋川流域	43.2		
	7		104.7		
	8		83.7		
	9	八木川流域	46.1		
	10		67.6		
	11		26.5		
	12	本川中流域	36.4	主要地点：府市場	
	13		100.6		
	14		33.9		
出石川	15	出石川流域	40.1		
	16		83.3	但東ダム	
	17		71.3	主要地点：弘原	
	18		24.5		
	19		5.3		
	20	本川下流域	67.2		
円山川下流	21		17.7	基準地点：立野	
奈佐川	22	奈佐川流域	36.6	主要地点：宮井	
	23		16.5		
円山川下流	24	本川下流域	41.3		
	25		25.3		
-		全流域（河口）	1300.00		

表 1-2 流域・河道モデル分割諸元（河道）

河川名	河道 番号	河道区間	区間延長 (km)
円山川	A	神子畑川～和田山	14.3
	B	和田山～上小田	13.0
大屋川	C	横行～養父町	12.9
	D	養父町～本川合流点	12.4
八木川	E	須賀ノ山～本川合流点	18.5
円山川	F	上小田～稲葉川合流点	6.6
	G	稲葉川合流点～府市場	6.2
	H	府市場～出石川合流点	5.0
出石川	I	但馬川～出合市場	4.5
	J	出合市場～弘原	11.0
	K	弘原～出石川合流点	7.5
円山川	L	出石川合流点～立野	3.4
	M	立野～奈佐川合流点	4.0
	N	奈佐川合流点～港大橋	9.0

1-4-3 定数の設定

(1) 流域定数の設定

1) f_1 、 R_{sa} の設定

a) 定数設定の考え方

有効降雨定数 (f_1 、 R_{sa}) の設定は、過去から流量データが存在する基準地点：立野、主要地点：弘原、宮井地点を対象として、実績流量のハイドログラフをもとに流出成分を直接流出成分（表面流出成分と中間流出成分）と間接流出成分（地下水流出成分）に分離し、各洪水の総直接流出高を算定した上で、 f_1 、 R_{sa} を求める。

検討フローは、以下に示すとおりである。

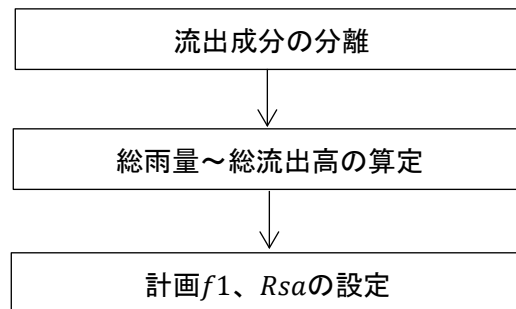


図 1-5 検討フロー

b) 流域定数解析洪水

流域定数の設定に当たっては、近年の約30年間（平成2年（1990年）～令和4年（2022年））のデータの中から、立野地点の流量が比較的大きい洪水（以下「流域定数解析洪水」という。）を用いた。具体的には、立野地点の年最大流量の平均値に相当する $1,500\text{m}^3/\text{s}$ を上回る洪水が18洪水あり、これらを用いた。

流域定数解析洪水一覧表を表 1-3に示す。

表 1-3 流域定数解析洪水一覧表

洪水 No.	降雨年月	生起要因	立野雨量 (mm)			立野地点		
			2日	12時間	総雨量	実績ピーク流 量 (m^3/s)	氾濫戻しピー ク流量 (m^3/s)	総流出高 (mm)
1	H2. 9. 20	台風19号	364	165	333	3,064	3,287	292
2	H6. 9. 30	台風26号	154	121	133	1,721	1,824	69
3	H10. 9. 25	前線	148	88	139	1,652	1,652	99
4	H10. 10. 18	前線・台風10号	138	100	108	2,212	2,356	69
5	H11. 6. 30	低気圧・梅雨前線	125	114	77	1,848	1,973	68
6	H16. 10. 20	台風23号	278	206	214	4,127	4,817	167
7	H18. 7. 19	梅雨前線	166	91	148	1,828	1,902	100
8	H21. 8. 10	台風9号	188	138	159	3,089	3,089	120
9	H23. 9. 3	台風12号	256	116	234	2,759	2,759	173
10	H23. 9. 21	台風15号	202	89	182	2,128	2,128	115
11	H25. 9. 4	低気圧・前線	149	100	125	1,990	1,990	84
12	H25. 9. 16	台風18号	194	119	155	2,279	2,279	128
13	H26. 10. 14	台風19号	171	126	143	1,839	1,839	89
14	H29. 9. 18	低気圧・台風18号	174	167	105	2,741	2,741	90
15	H29. 10. 23	前線・台風21号	216	124	183	2,615	2,615	142
16	H30. 7. 7	前線・台風7号	327	167	393	3,914	3,914	287
17	H30. 10. 1	台風24号	192	95	159	2,377	2,377	99
18	R3. 8. 15	前線	250	94	248	1,912	1,912	144

※氾濫戻し流量とは、2段S-Qにより氾濫を考慮した河道定数を設定し、氾濫の生じた出水の再現計算を実施したうえで、河道定数のみ氾濫が生じなかった場合の値に修正し、氾濫未考慮の流量を計算で推定したもの。

c) 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 f_1 、 R_{sa} 検討地点を対象に、ハイドログラフの低減部の指数低減性を利用する方法によって、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。

この成分分離の概念を図 1-6に示し、各洪水における成分分離の事例を図 1-7に示す。成分分離については、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。円山川では、流域の95%が自然地形（森林・水田等）であることから（図 1-8参照）、表面流出成分のほかに、側方浸透流（中間流出成分）、地下水流出成分に別れて流出過程をとると想定される。従って、円山川ではピーク流量時点以降の流量変化を基本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、洪水の立ち上がり以前の洪水は初期損失雨量として取り扱い、総雨量に含めないものとして整理した。

各洪水で成分分離を行った結果を表 1-4に示す。

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(R_0)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 R_0 分の雨量を控除して総降雨量を求める。

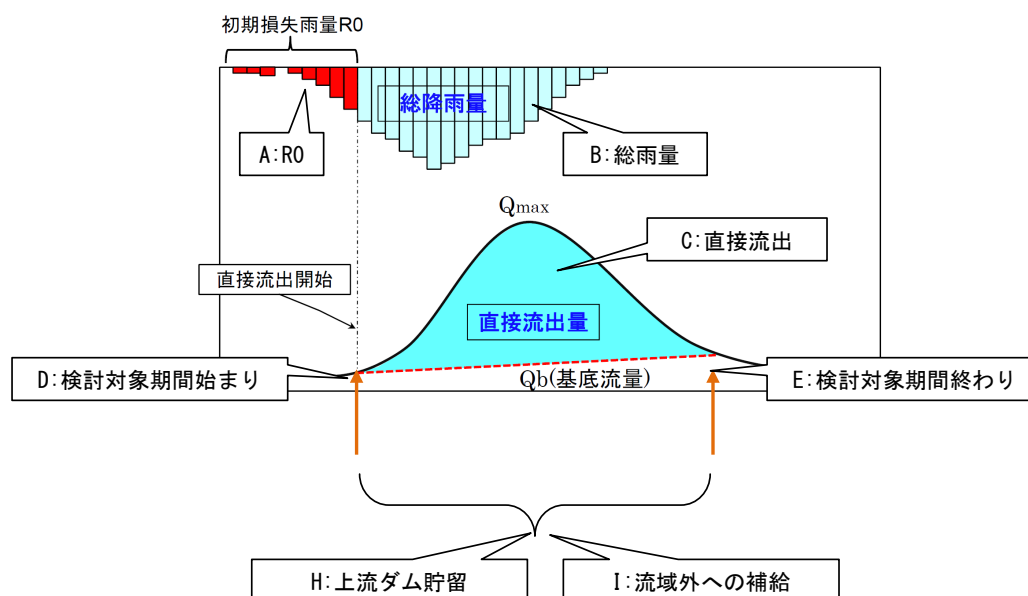


図 1-6 成分分離の概念図

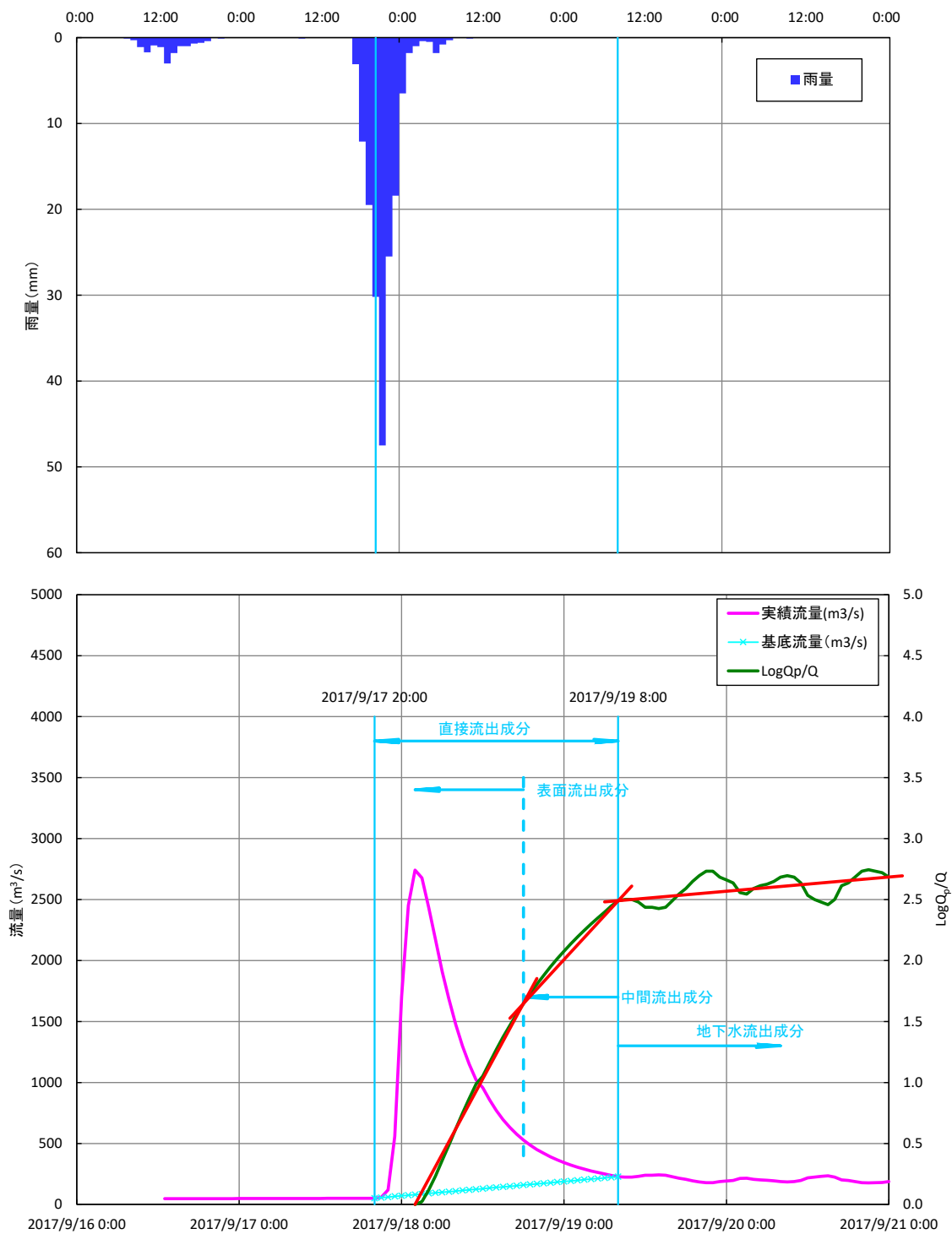


図 1-7 (1) 成分分離結果 (立野地点 : H29.9洪水)

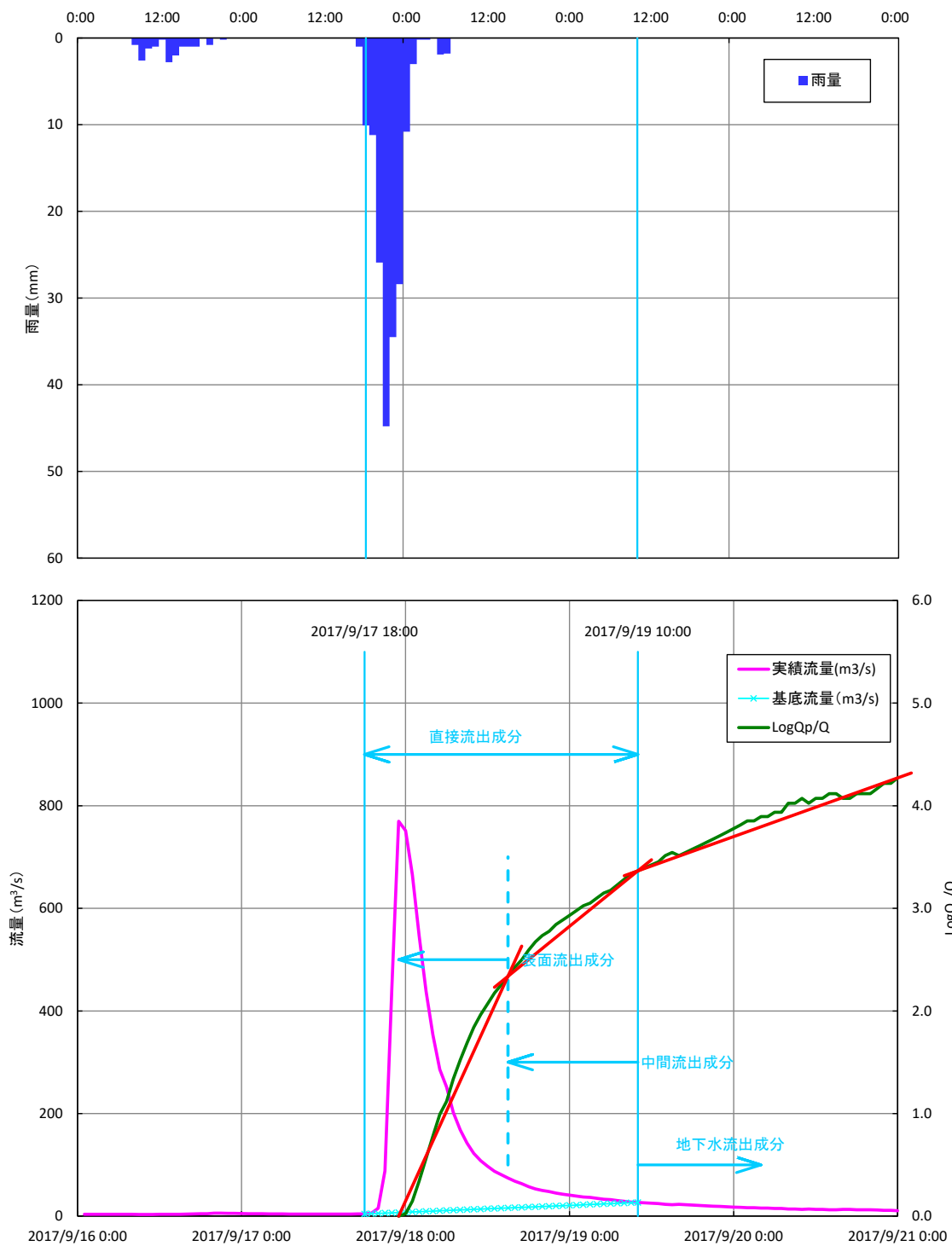


図 1-7 (2) 成分分離結果 (弘原地点 : H29. 9洪水)

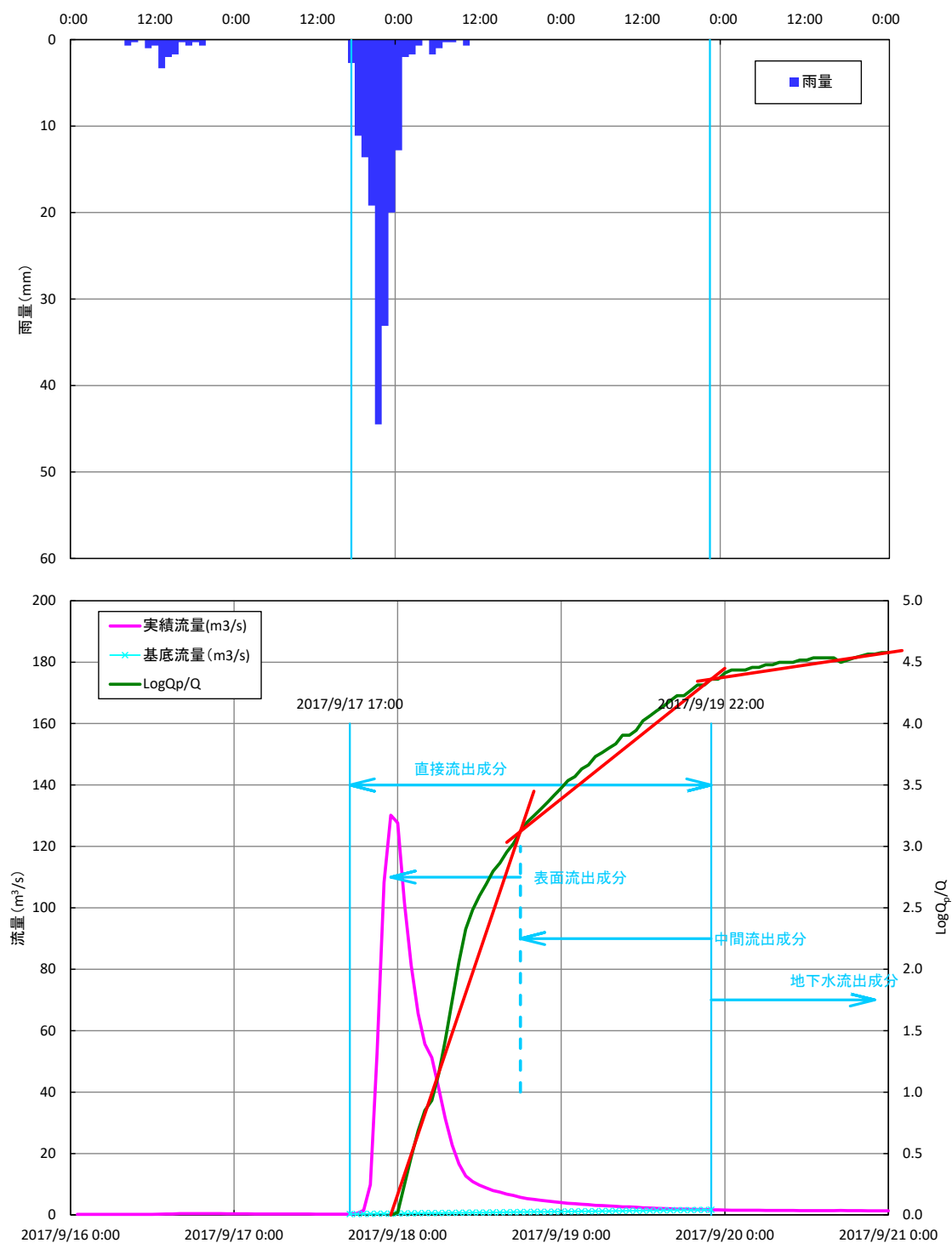


図 1-7 (3) 成分分離結果 (宮井地点 : H29.9洪水)

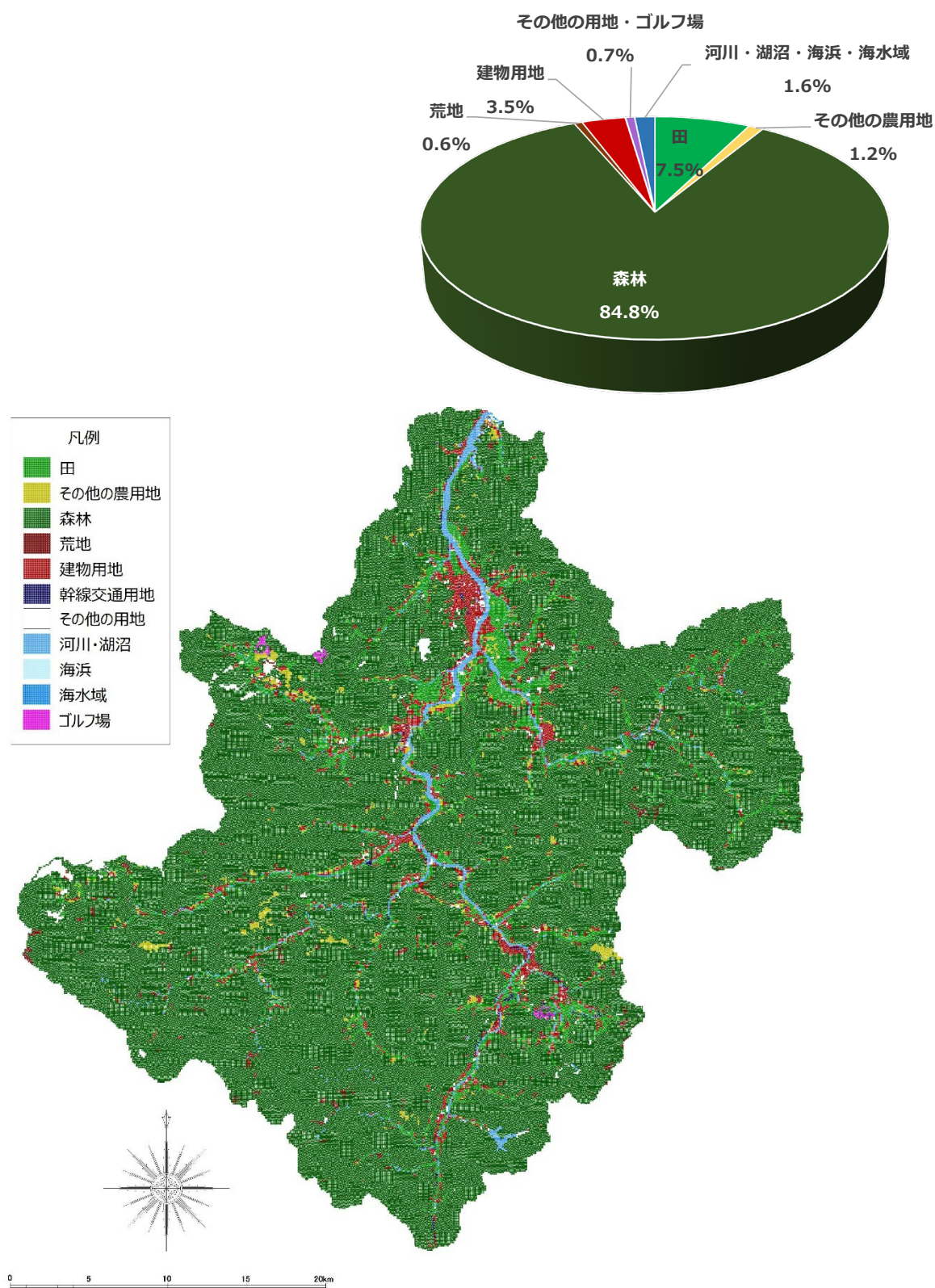


図 1-8 土地利用図、面積

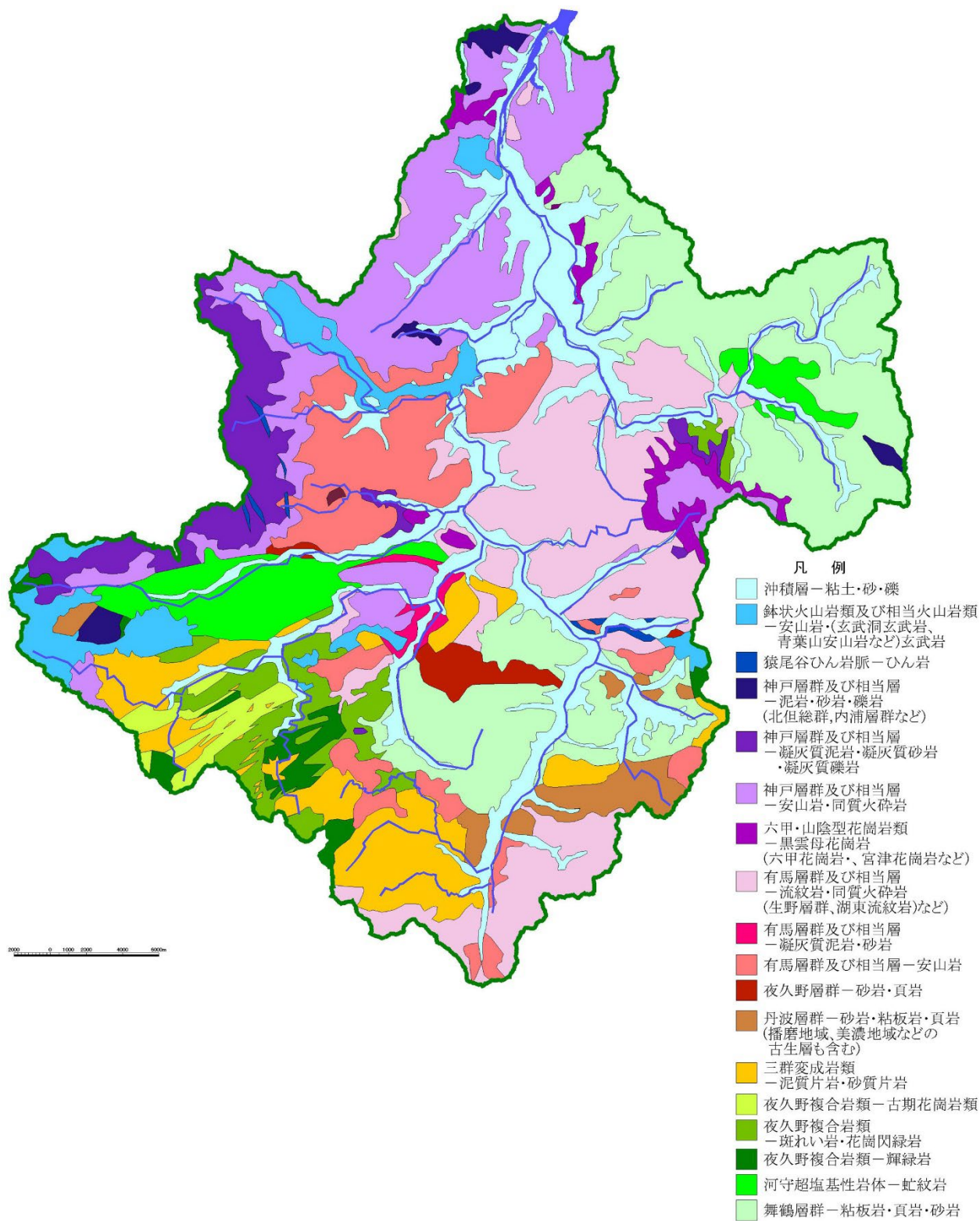


図 1-9 円山川流域地質図

表 1-4 総雨量～総流出高算定結果

No.	洪水名	立野 A=1115.3km ²		弘原 A=200.0km ²		宮井 A=36.6km ²	
		総雨量 (mm)	総流出高 (mm)	総雨量 (mm)	総流出高 (mm)	総雨量 (mm)	総流出高 (mm)
1	H2. 9. 20	333	292	402	252	384	290
2	H6. 9. 30	133	69	100	45	152	104
3	H10. 9. 25	139	99	118	54	162	154
4	H10. 10. 18	108	69	134	56	113	99
5	H11. 6. 30	77	68	81	42	-	-
6	H16. 10. 20	214	167	284	170	-	-
7	H18. 7. 19	148	100	-	-	246	162
8	H21. 8. 10	159	120	195	149	131	84
9	H23. 9. 3	234	173	183	82	142	94
10	H23. 9. 21	182	115	246	131	280	216
11	H25. 9. 4	125	84	123	84	119	83
12	H25. 9. 16	155	128	172	125	173	149
13	H26. 10. 14	143	89	169	97	151	99
14	H29. 9. 18	105	90	163	108	163	98
15	H29. 10. 23	183	142	237	187	230	177
16	H30. 7. 7	393	287	376	295	345	272
17	H30. 10. 1	159	99	166	138	202	143
18	R3. 8. 15	248	144	249	146	266	155

※：-は、実績値に欠測あり

d) 初期損失雨量の設定

初期損失雨量は、a) にて設定した立野、弘原、宮井地点（以下「 f_1 等解析地点」という。）において、流域定数解析洪水毎に求めた。具体的には、 f_1 等解析地点の上流域における流域平均時間雨量のハイトグラフにおいて、直接流出開始以前の時間雨量の和を求めて当該地点の初期損失雨量とした。

各小流域の初期損失雨量は、流域定数解析洪水毎に設定することとし、 f_1 等解析地点の上流にある19小流域については、 f_1 等解析地点で求めた当該洪水における初期損失雨量を、当該最上流地点の上流にある小流域の初期損失雨量とした。その他、出石川流域の弘原地点下流の2流域については弘原地点で求めた初期損失雨量、その他4流域については宮井地点で求めた初期損失雨量とした。

e) f_1 、 R_{sa} の検討

流出率 f_1 及び飽和雨量 R_{sa} は次に述べる方法により算出を行った。

- ① c) にて設定した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。
- ② R_{sa} を仮定して、総雨量が R_{sa} 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 f_1 としたときに、総雨量が R_{sa} 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 $R_{sa} \times (1 - f_1)$ となることを満足するよう、 R_{sa} を変化させて平均的な R_{sa} を算出。
- ③ 累加雨量が飽和雨量を上回った後の流出率（飽和流出率）は、1とする。

f_1 、 R_{sa} 検討地点はa) にて設定した立野、弘原、宮井地点とした。

総降雨量 R 【mm】と総流出高 q 【mm】関係図（図 1-10）をもとに設定した f_1 、 R_{sa} は表 1-5に示すとおりである。各洪水の再現にあたっては、 f_1 は本検討により得られた計画 f_1 を使用し、 R_{sa} は各洪水で検討した数値を採用する。

表 1-5 計画 f_1 、 R_{sa} 設定結果

地点	f_1	R_{sa}	備考
立野	0.65	140mm	
弘原	0.50	140mm	
宮井	0.65	150mm	

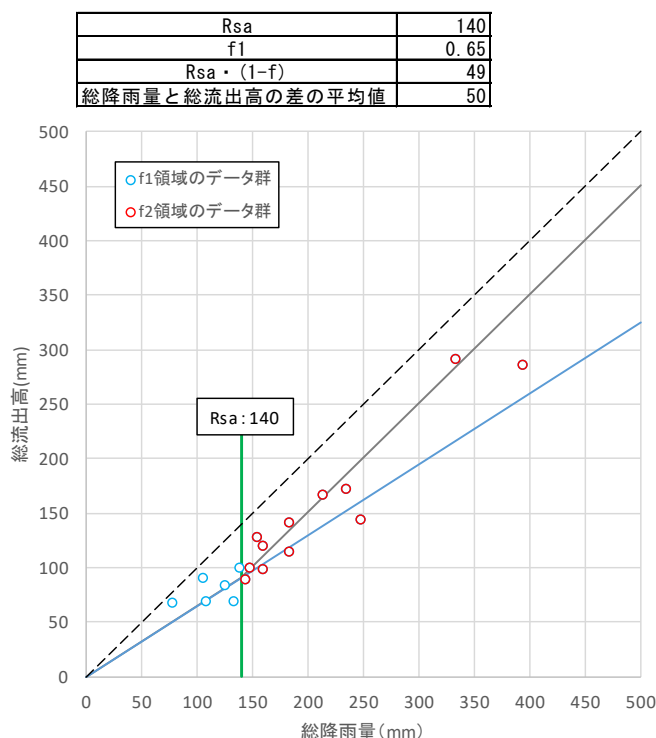


図 1-10 (1) 総雨量と総流出高の関係（立野地点）

Rsa	140
f1	0.50
$Rsa \cdot (1-f)$	70
総降雨量と総流出高の差の平均値	73

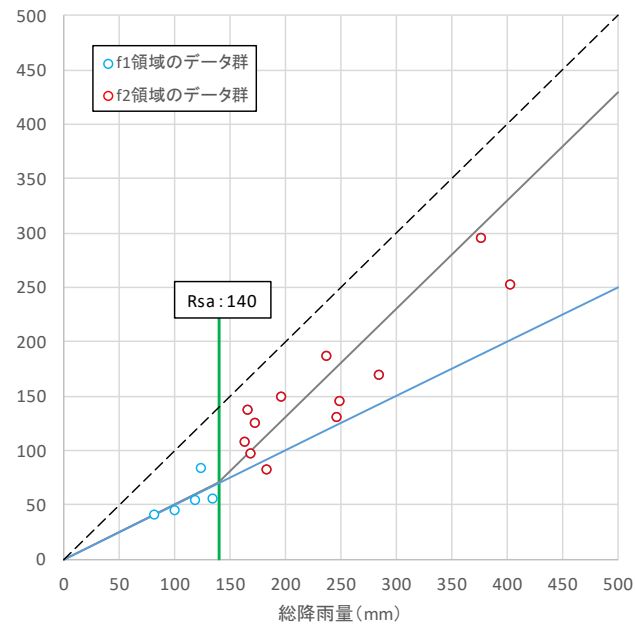


図 1-10 (2) 総降雨量と総流出高の関係（弘原地点）

Rsa	150
f1	0.65
$Rsa \cdot (1-f)$	53
総降雨量と総流出高の差の平均値	58

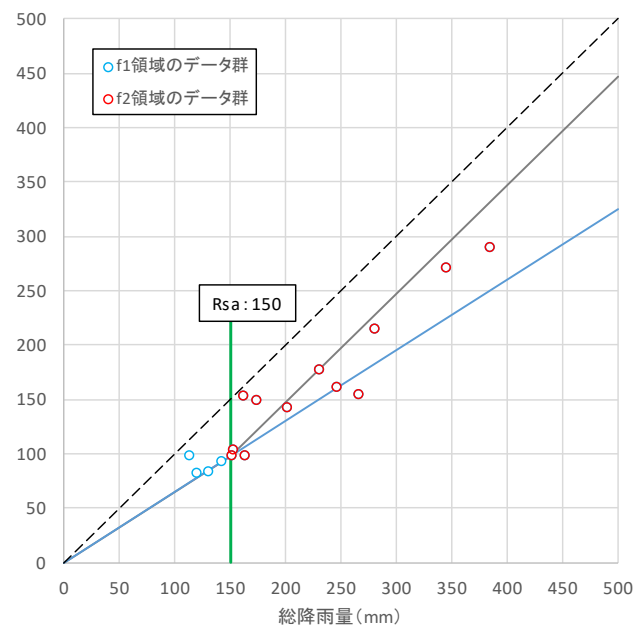


図 1-10 (3) 総降雨量と総流出高の関係（宮井地点）

2) K 、 P 、 Tl の設定

a) 代表地点における K 、 P 、 Tl の算出

K 、 P 、 Tl は、観測流量や上流域平均雨量が揃っており、上流に貯留施設等が無く自然流況の把握が可能な地点（立野、弘原、宮井地点）を対象に検討を行った。対象洪水は、近年の主要実績洪水（H21洪水、H23洪水、H29洪水、H30洪水）について検討した。

K 、 P については、以下の理由から、各地点において、原則として最大流量を記録した洪水の定数を用い、 Tl については、対象洪水の平均値を用いた。

- ✓ 流域の斜面勾配や土地利用等に大きく起因する K 、 P は過去の実績洪水を基に概ね推定することができる。
- ✓ しかし、 Tl 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（ Tl の組み合わせ）によって定まることから、一概に決定することは困難である。

K 、 P 、 Tl は代表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。

$$s(t) = \sum_{T=0}^{T=t} r_{ave} \times f - \sum_{T=0}^{T=t} q \quad (\text{式 1-9})$$

$$q = \frac{3.6}{A}(Q - Q_b) \quad (\text{式 1-10})$$

s ：貯留高【mm】、 r_{ave} ：流域平均時間雨量【mm/h】

q ：1時間の直接流出高【mm/h】

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【m³/s】、 Q_b ：基底流量【m³/s】

A ：流域面積【km²】

代表地点において K 、 P 、 Tl を算出した結果を表 1-6、に図 1-11示す。

表 1-6 (1) K、P、Tlの設定結果

地点	定数設定結果			備考
	K	P	Tl (分)	
立野	38.27	0.400	225	
弘原	28.14	0.374	60	
宮井	15.45	0.600	15	

表 1-6 (2) 流域定数 (K、P、Tl) 設定結果

<立野地点>

No	洪水年月日	実績流量		定数設定ケース別 対象洪水		流域定数			備考
		ピーク流量 (m^3/s)	順位	A	B	K	P	Tl (分)	
1	H21. 8. 10	3,089	2		○	22.07	0.574	240	
2	H23. 9. 3	2,759	3		○	32.79	0.340	300	
3	H29. 9. 18	2,741	4		○	34.97	0.438	180	
4	H30. 7. 7	3,914	1	○	○	38.27	0.400	180	
ケースA：実績ピーク流量最大洪水における流域定数						38.27	0.400	180	H30. 7. 7洪水
ケースB：対象全洪水の流域定数の平均値						32.02	0.438	225	
：今回検討における採用値									

<弘原地点>

No	洪水年月日	実績流量		定数設定ケース別 対象洪水		流域定数			備考
		ピーク流量 (m^3/s)	順位	A	B	K	P	Tl (分)	
1	H21. 8. 10	880	1	○	○	28.14	0.374	60	
2	H23. 9. 3	286	4		○	48.79	0.228	60	
3	H29. 9. 18	770	3		○	15.52	0.581	60	
4	H30. 7. 7	839	2		○	34.22	0.449	60	
ケースA：実績ピーク流量最大洪水における流域定数						28.14	0.374	60	H21. 8. 10洪水
ケースB：対象全洪水の流域定数の平均値						31.67	0.408	60	
：今回検討における採用値									

<宮井地点>

No	洪水年月日	実績流量		定数設定ケース別 対象洪水		流域定数			備考
		ピーク流量 (m^3/s)	順位	A	B	K	P	Tl (分)	
1	H21. 8. 10	57	3		○	10.40	0.578	60	
2	H23. 9. 3	40	4		○	31.76	0.307	0	
3	H29. 9. 18	130	1	○	○	15.45	0.600	0	
4	H30. 7. 7	119	2		○	25.53	0.485	0	
ケースA：実績ピーク流量最大洪水における流域定数						15.45	0.600	0	H29. 9. 18洪水
ケースB：対象全洪水の流域定数の平均値						20.78	0.492	15	
：今回検討における採用値									

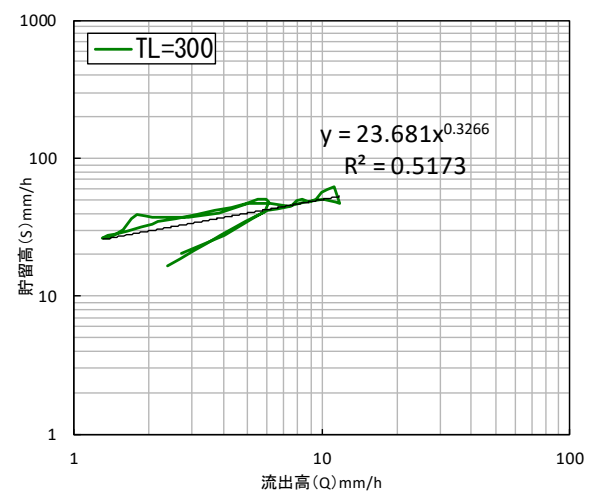
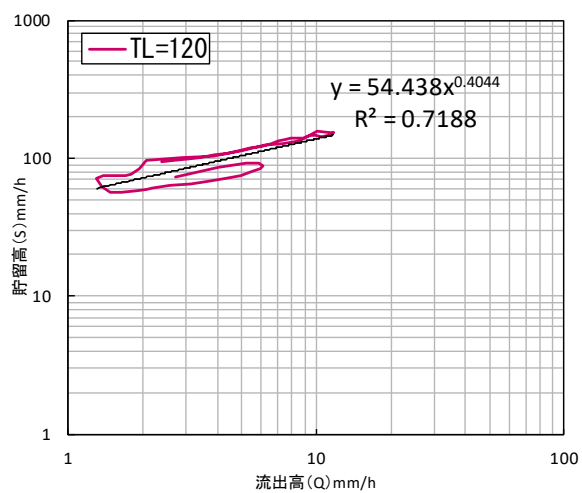
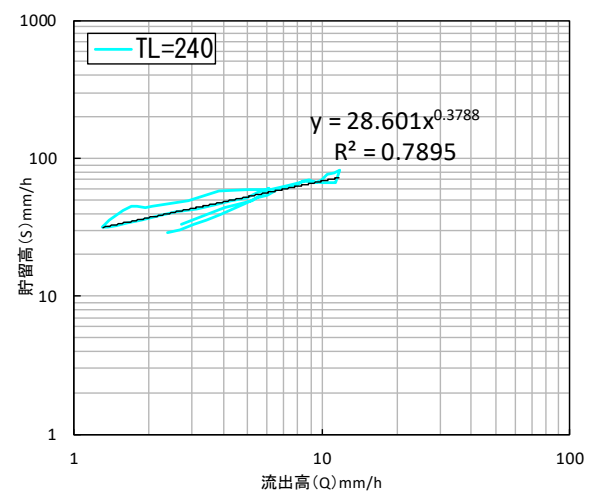
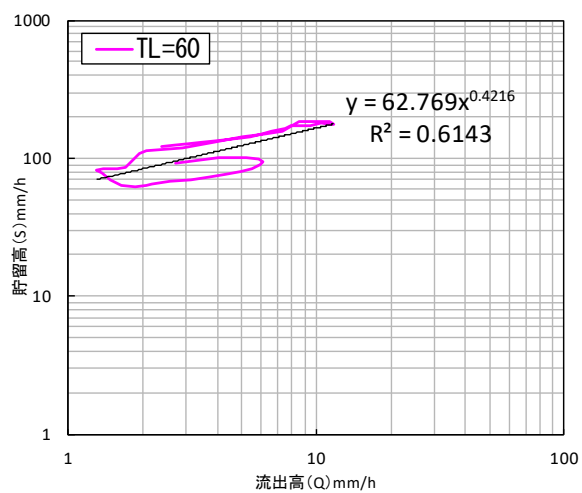
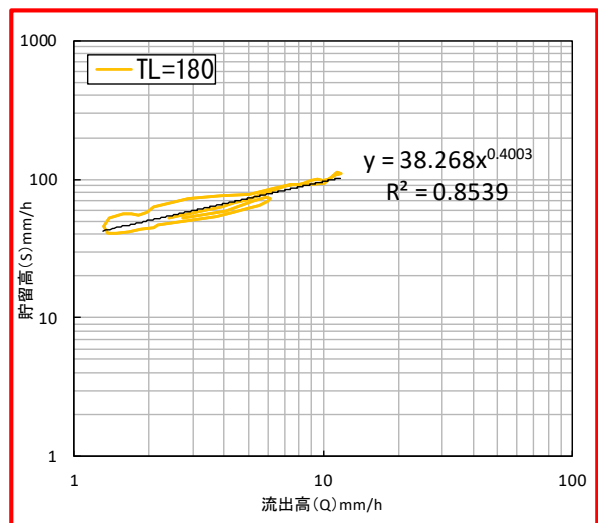
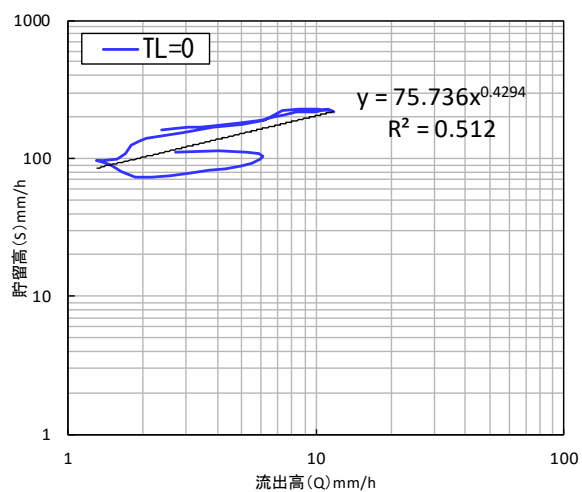


図 1-11 (1) 流出高と貯留高の関係 (立野地点：平成30年7月洪水)

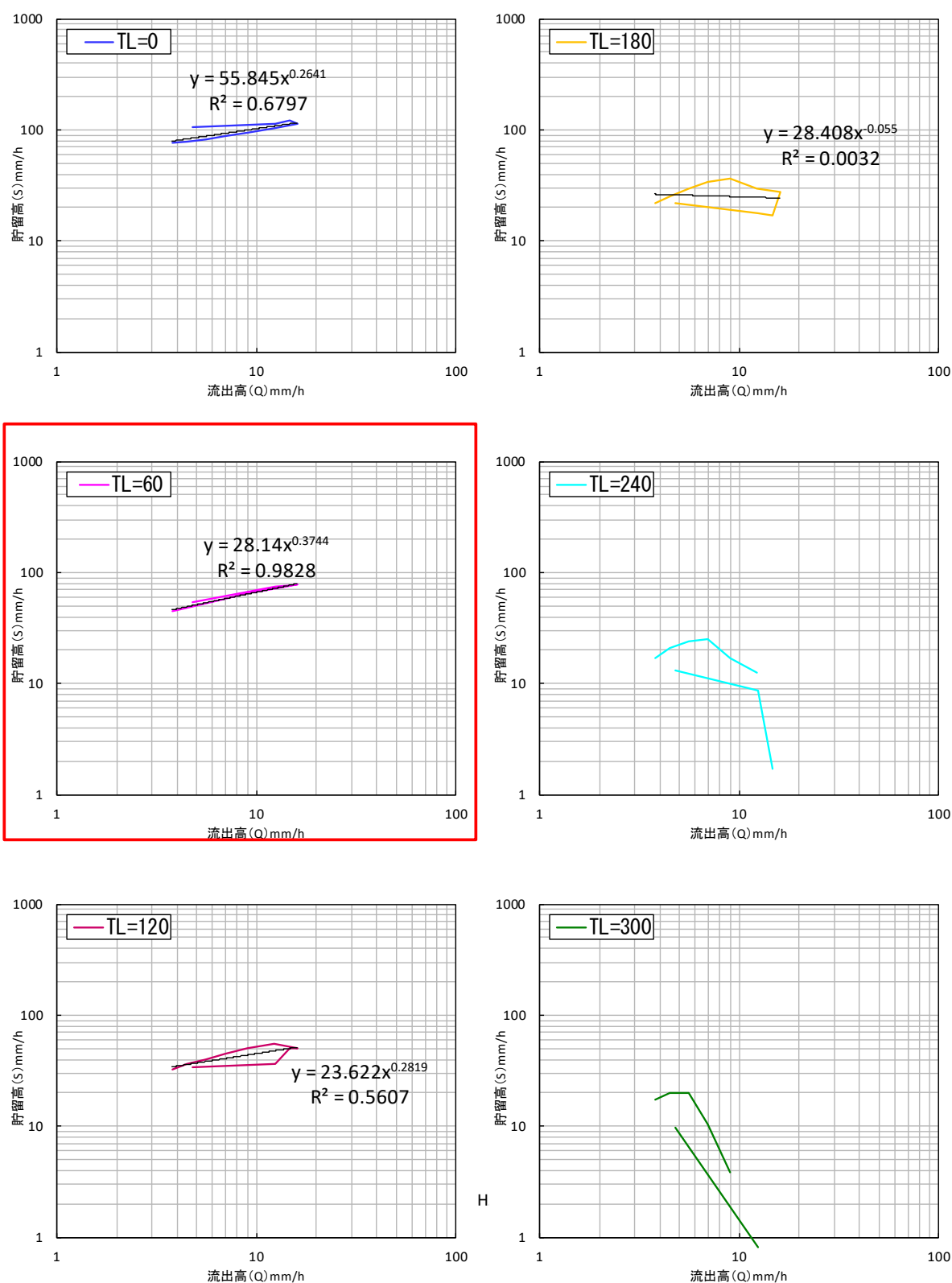


図 1-11 (2) 流出高と貯留高の関係（弘原地点：平成21年8月洪水）

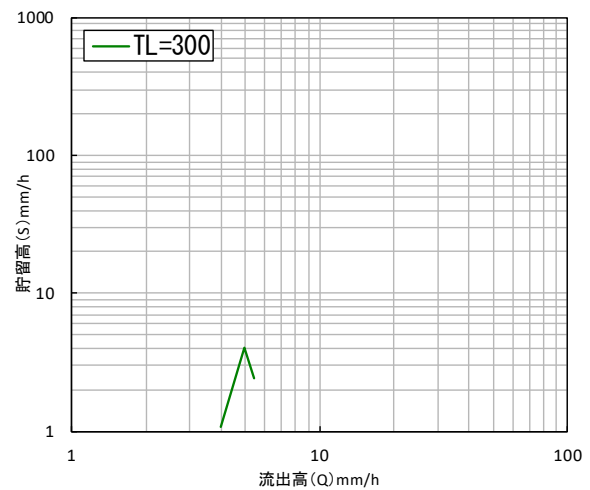
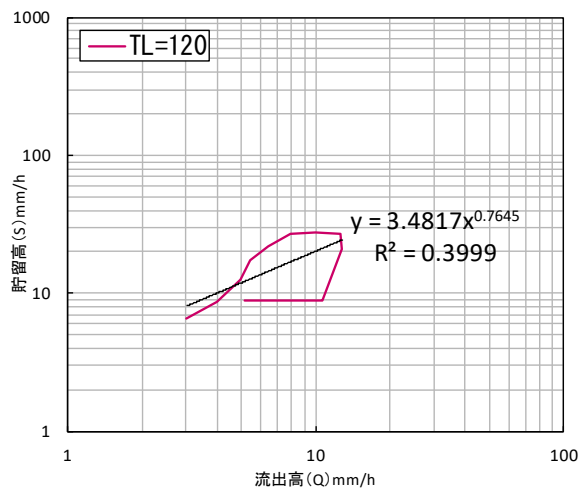
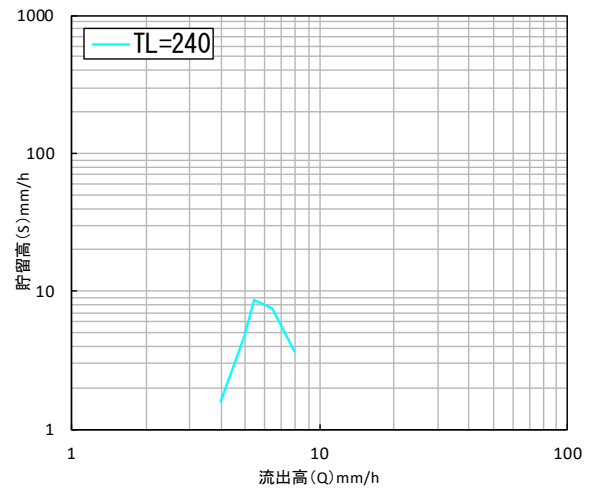
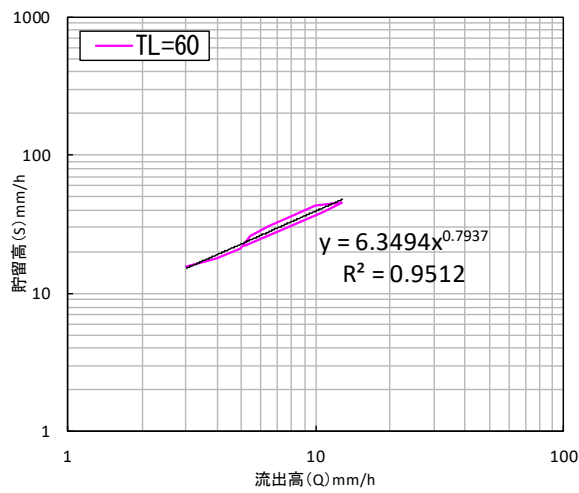
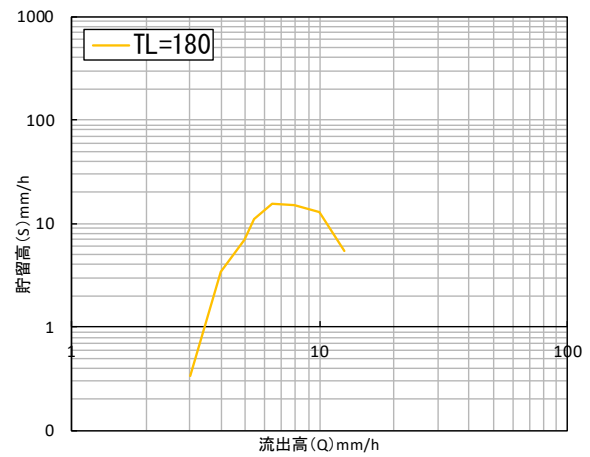
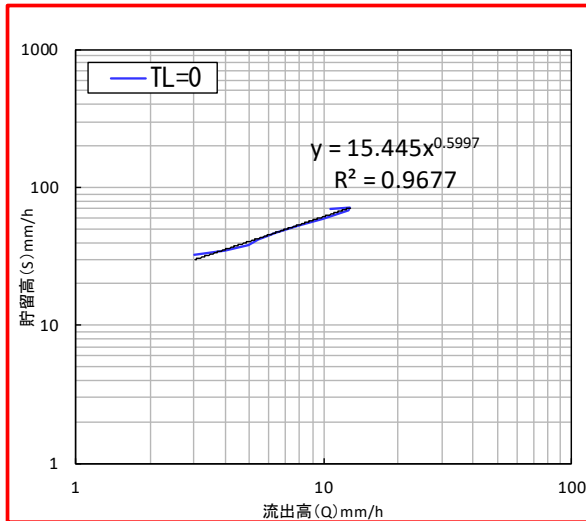


図 1-11 (3) 流出高と貯留高の関係 (宮井地点：平成29年9月洪水)

b) 各小流域におけるK、P、TIの設定

a) にて設定した代表地点流域では各々の地点における実績雨量と実績流量の関係から流域定数を設定した。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 1-11)の定数 α を、各代表地点で算出したK値(表 1-7)を利用し各々求めた。設定した α 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、各地点で検討した値(表 1-6)を各流域に一様に採用した。

なお、円山川下流域については、地質状況等から奈佐川流域の値を適用した。

各小流域のTIは、各地点にて検討した値を各流域の各小流域の流路長比により設定した。

【リザーブの式】

$$K = \alpha \times C \times I^{-1/3} \times L^{1/3} \quad (\text{式 1-11})$$

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

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

表 1-7 代表地点における定数設定結果

地点	C	L (km)	I	K	α
立野	0.113	9.877	0.0331	38.27	50.49
弘原	0.116	9.211	0.0215	28.14	32.21
宮井	0.118	9.175	0.0157	15.45	15.72

【設定した式】

立野地点 : $K = 50.49 \times C \times I^{-1/3} \times L^{1/3}$ (式 1-12)

弘原地点 : $K = 32.21 \times C \times I^{-1/3} \times L^{1/3}$ (式 1-13)

宮井地点 : $K = 15.72 \times C \times I^{-1/3} \times L^{1/3}$ (式 1-14)

各流域の流域粗度、流域勾配、流路長は、以下の考え方にて設定した。

【流域粗度・・・表 1-8～表 1-9参照】

- ・ 流域内の土地利用を整理し、係数(自然流域 : 0.12、都市流域 : 0.012)を乗じて算出
- ・ 土地利用状況は、国土数値情報土地利用細分メッシュ(平成28年度)より整理
- ・ 自然流域、都市流域の分類は以下のとおりとした
 自然流域・・・水面、山林、水田、原野・畑
 都市流域・・・建物用地、道路、鉄道

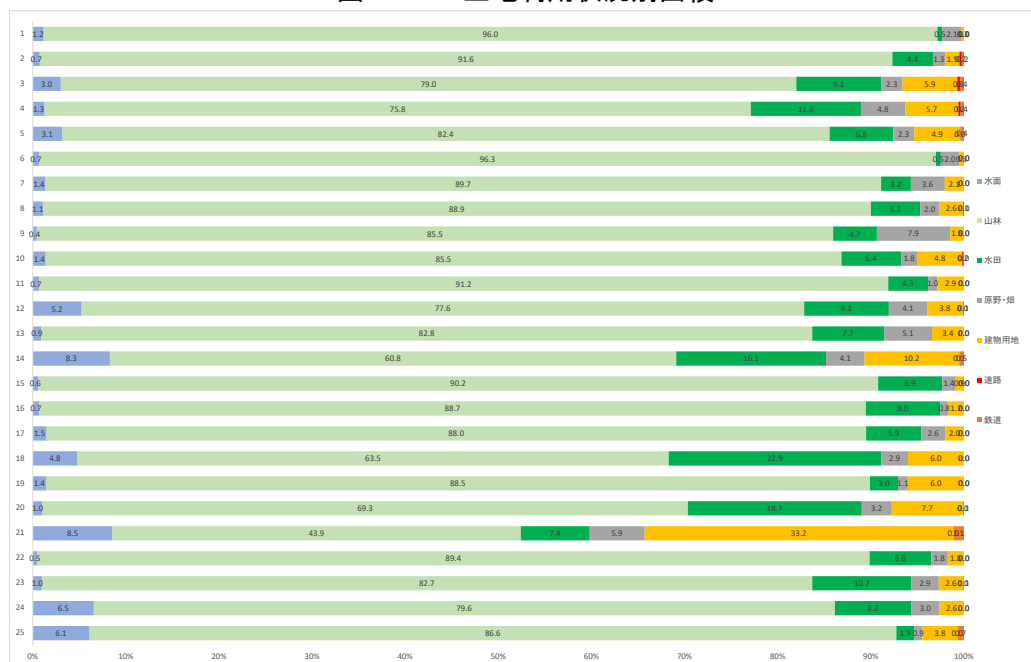
表 1-8 土地利用状況別面積及び流域粗度Cの算定結果

流域名	流域面積 (km ²)	水面	山林	水田	原野・畑	宅地市街地			流域粗度 C
		0.000	0.120	0.120	0.120	建物用地	道路	鉄道	
		0.000	0.120	0.120	0.120	0.012	0.012	0.012	
立野 上流域	1162.6	2.0	83.6	7.8	2.8	3.7	0.1	0.1	0.113
弘原 上流域	200.0	1.0	88.9	6.0	1.5	2.7	0.0	0.0	0.116
宮井 上流域	36.6	0.5	89.4	6.6	1.8	1.8	0.0	0.0	0.118

表 1-9 土地利用状況別面積及び流域粗度Cの算定結果

流域 No	流域名	流域面積 (km ²)	水面	山林	水田	原野・畑	宅地市街地			流域粗度 C
			0.000	0.120	0.120	0.120	建物用地	道路	鉄道	
			0.000	0.120	0.120	0.120	0.012	0.012	0.012	
1	本川 上流域	35.9	1.2	96.0	0.5	2.1	0.3	0.0	0.0	0.118
2		58.9	0.7	91.6	4.4	1.3	1.5	0.2	0.2	0.117
3		76.8	3.0	79.0	9.1	2.3	5.9	0.3	0.4	0.109
4		66.1	1.3	75.8	11.8	4.8	5.7	0.2	0.4	0.112
5		90.5	3.1	82.4	6.8	2.3	4.9	0.0	0.4	0.110
6	大屋川 流域	43.2	0.7	96.3	0.5	2.0	0.5	0.0	0.0	0.119
7		104.7	1.4	89.7	3.2	3.6	2.1	0.0	0.0	0.116
8		83.7	1.1	88.9	5.3	2.0	2.6	0.1	0.0	0.116
9	八木川 流域	46.1	0.4	85.5	4.7	7.9	1.5	0.0	0.0	0.118
10		67.6	1.4	85.5	6.4	1.8	4.8	0.2	0.0	0.113
11		26.5	0.7	91.2	4.3	1.0	2.9	0.0	0.0	0.116
12	本川 中流域	36.4	5.2	77.6	9.1	4.1	3.8	0.0	0.1	0.109
13		100.6	0.9	82.8	7.7	5.1	3.4	0.0	0.0	0.115
14		33.9	8.3	60.8	16.1	4.1	10.2	0.0	0.5	0.099
15	出石川 流域	40.1	0.6	90.2	6.9	1.4	0.9	0.0	0.0	0.118
16		83.3	0.7	88.7	8.0	0.8	1.7	0.0	0.0	0.117
17		71.3	1.5	88.0	5.9	2.6	2.0	0.0	0.0	0.116
18		24.5	4.8	63.5	22.9	2.9	6.0	0.0	0.0	0.108
19		5.3	1.4	88.5	3.0	1.1	6.0	0.0	0.0	0.112
20	本川	67.2	1.0	69.3	18.7	3.2	7.7	0.0	0.1	0.110
21	下流域	17.7	8.5	43.9	7.4	5.9	33.2	0.0	1.1	0.073
22	奈佐川	36.6	0.5	89.4	6.6	1.8	1.8	0.0	0.0	0.118
23	流域	16.5	1.0	82.7	10.7	2.9	2.6	0.0	0.1	0.116
24	本川	41.3	6.5	79.6	8.2	3.0	2.6	0.0	0.0	0.109
25	下流域	25.3	6.1	86.6	1.9	0.9	3.8	0.0	0.7	0.108

図 1-12 土地利用状況別面積



【流域勾配、流路長・・・図 1-13～図 1-14、表 1-10～表 1-12参照】

- ・ 代表地点上流域における小流域毎に流域上流端から末端までの延長（流路長）及び地盤高を計測（なお地盤高は、基盤地図情報の10mメッシュ地盤高をもとに、河道付近の地盤高を計測）
- ・ 流域勾配は、計測した地盤高をもとに、図 1-13の考え方にて平均的な勾配を算出
- ・ 上記作業を行い、流域面積比にて代表地点までの平均延長、平均勾配を算出（表 1-10～表 1-12）

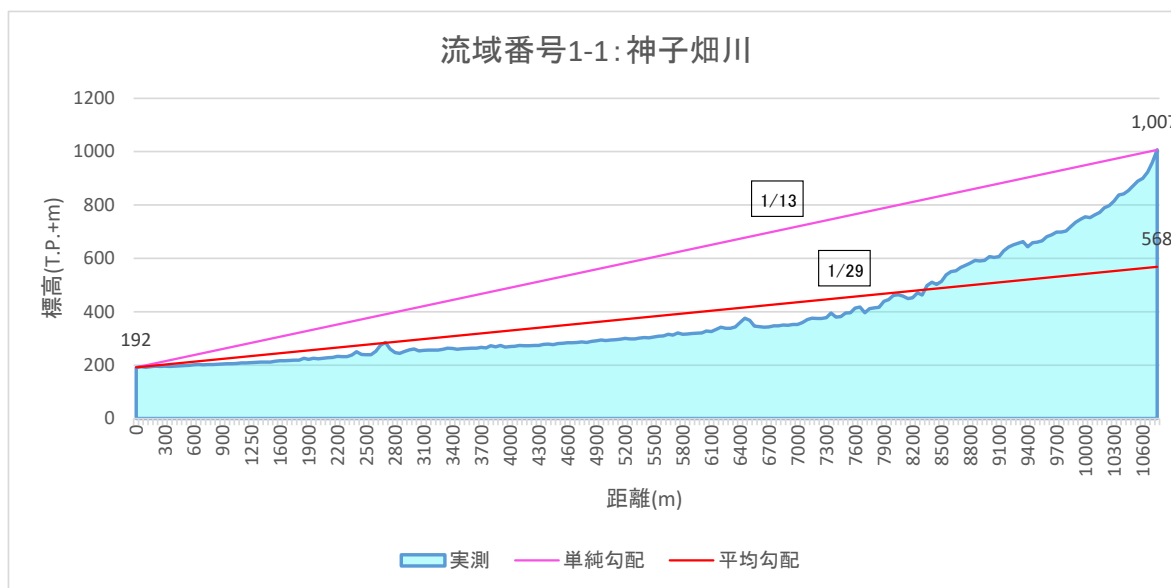


図 1-13 (1) 流域平均勾配の設定結果（流域1-1）

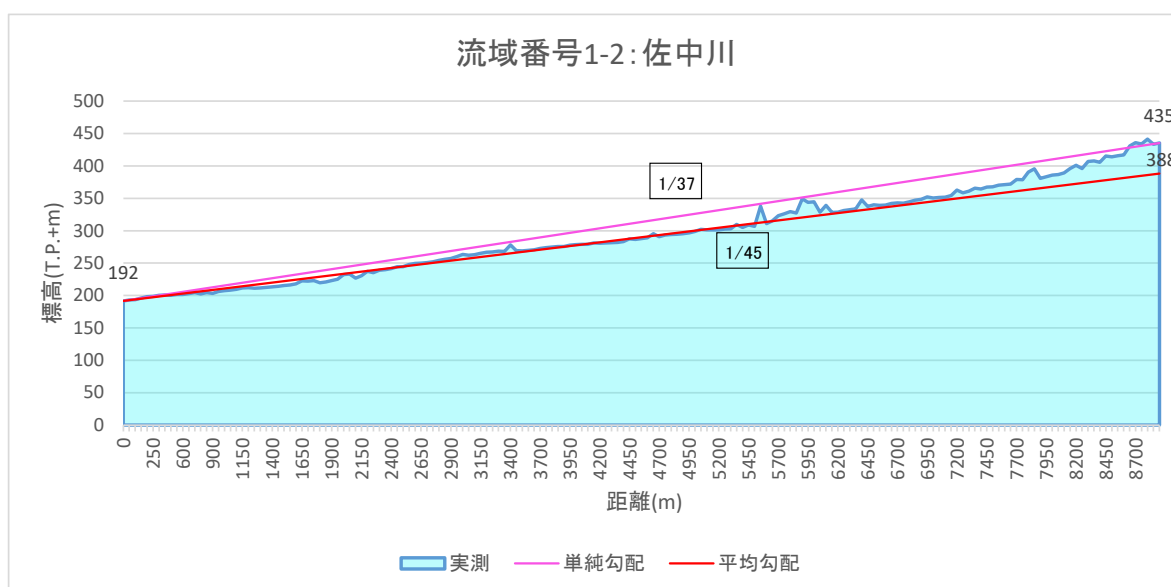


図 1-13 (2) 流域平均勾配の設定結果（流域1-2）

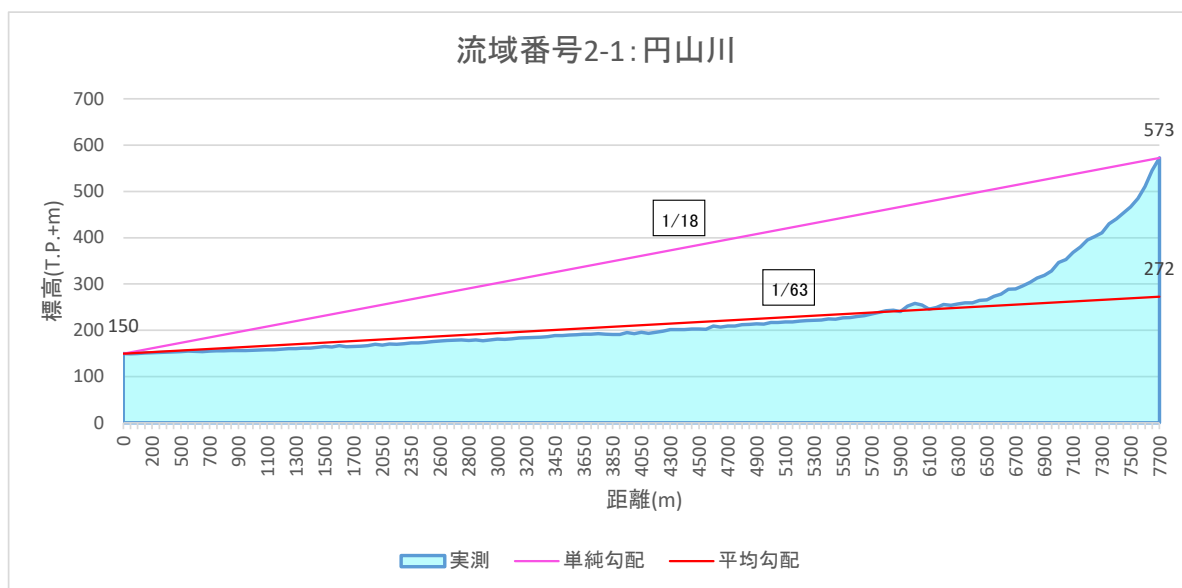


図 1-13 (3) 流域平均勾配の設定結果 (流域2-1)

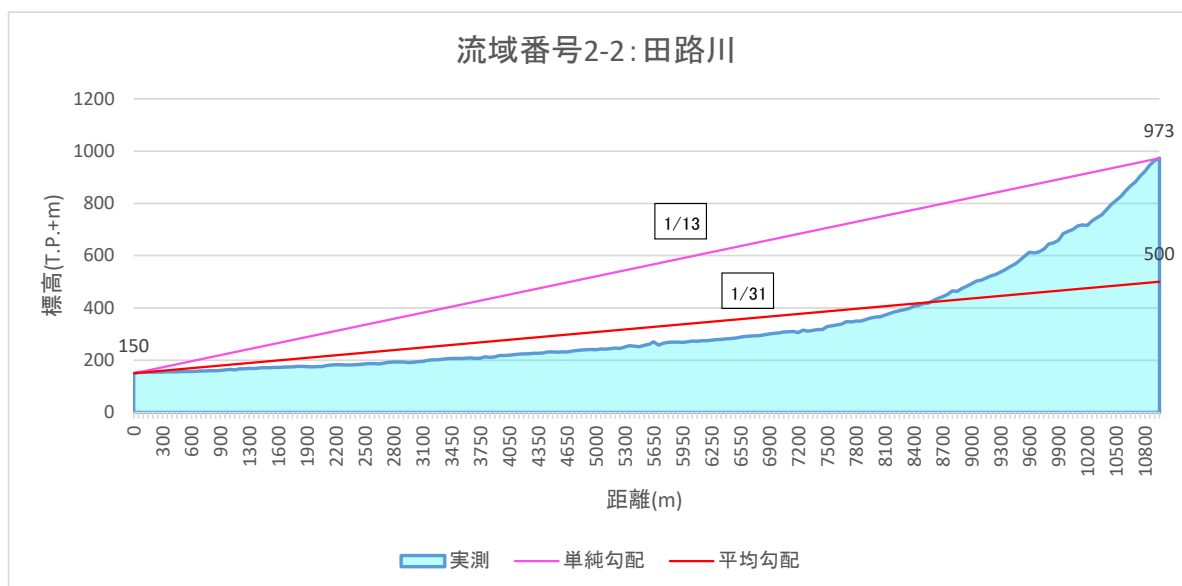


図 1-13 (4) 流域平均勾配の設定結果 (流域2-2)

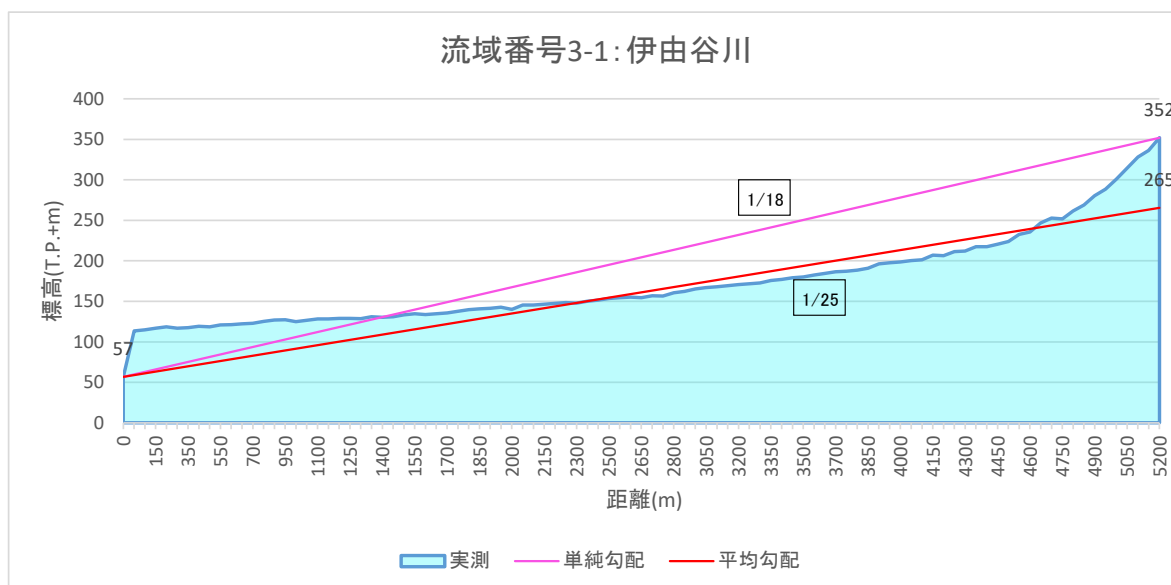


図 1-13 (5) 流域平均勾配の設定結果 (流域3-1)

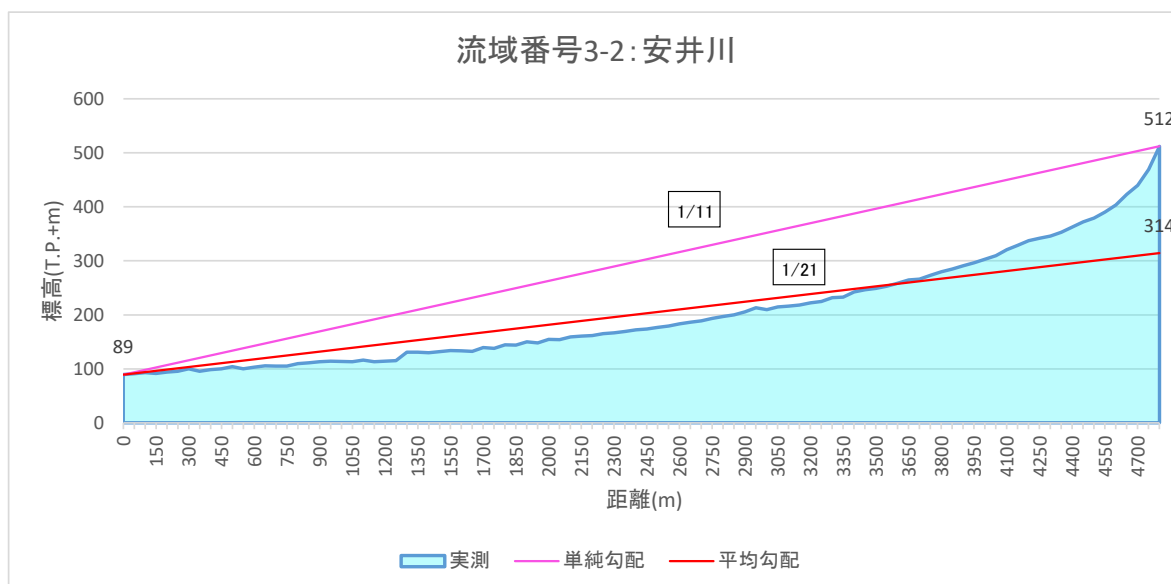


図 1-13 (6) 流域平均勾配の設定結果 (流域3-2)

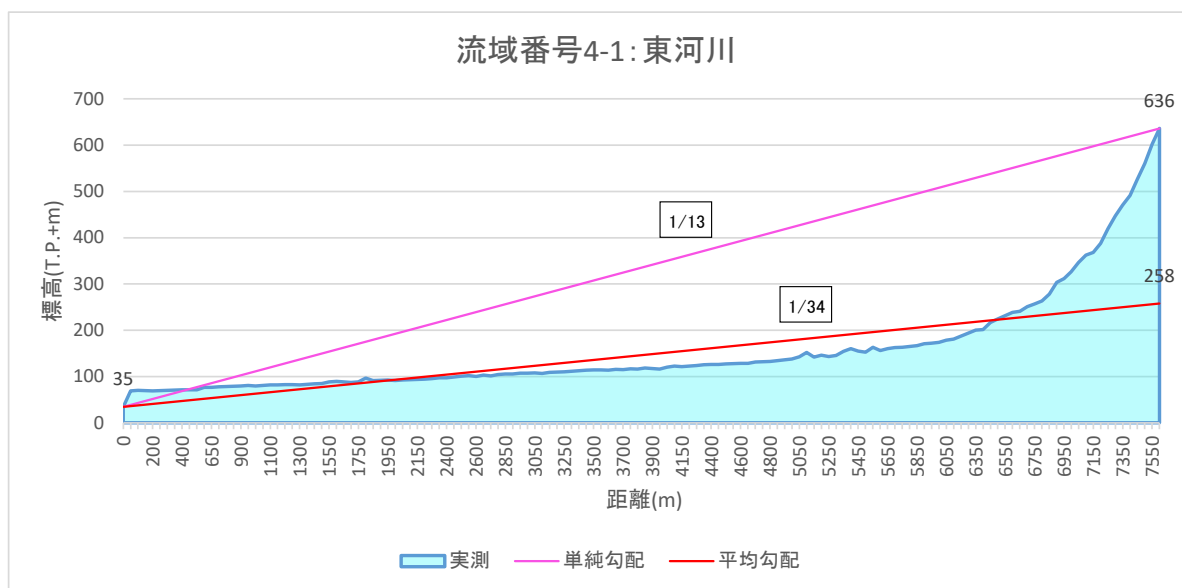


図 1-13 (7) 流域平均勾配の設定結果 (流域4-1)

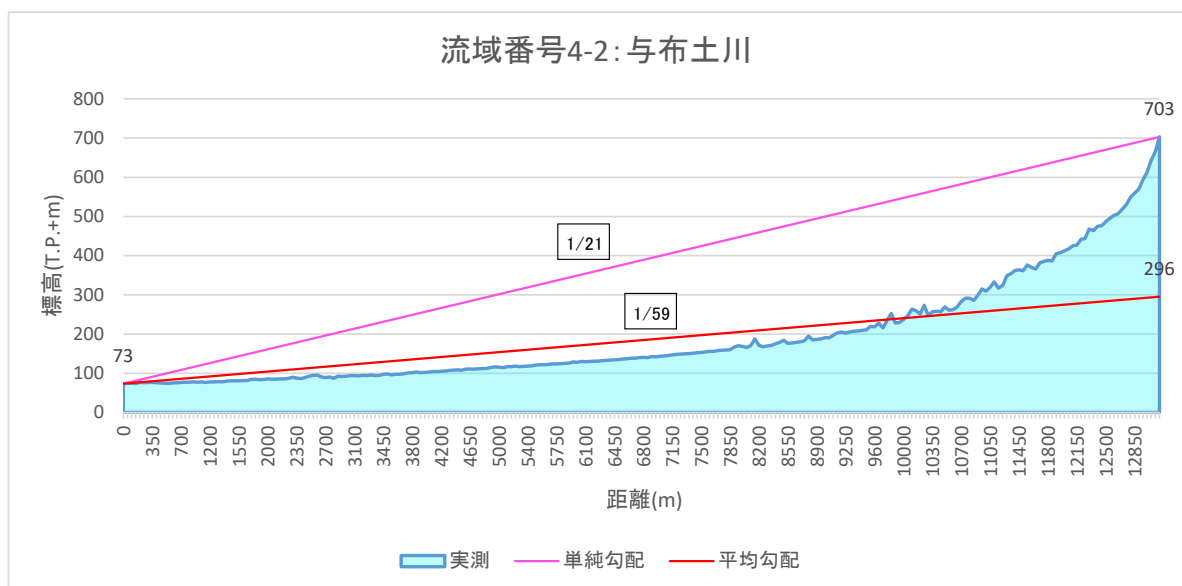


図 1-13 (8) 流域平均勾配の設定結果 (流域4-2)

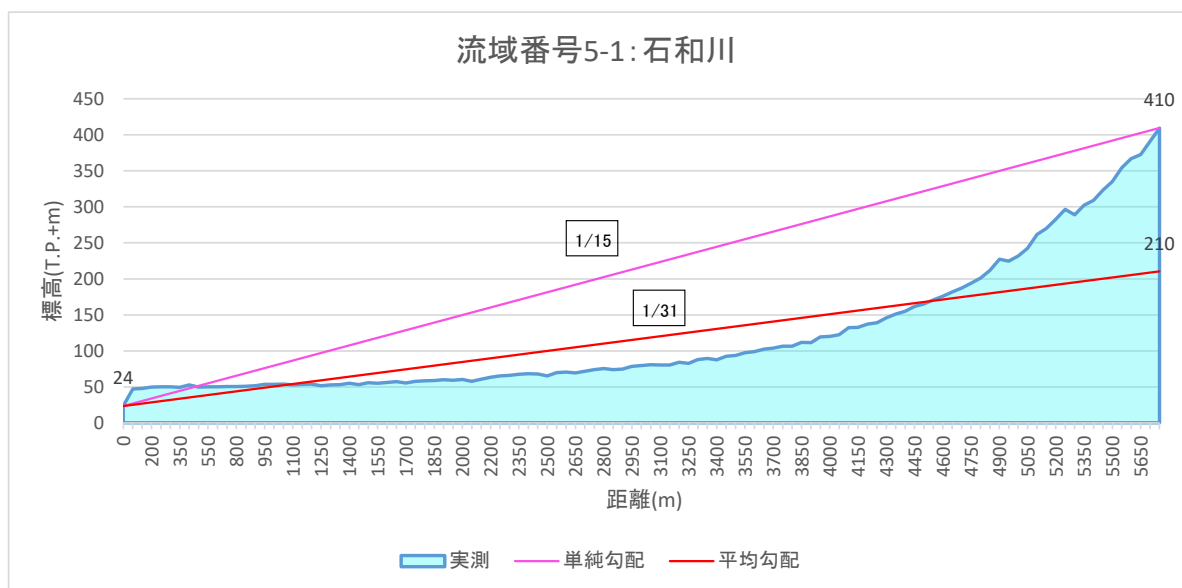


図 1-13 (9) 流域平均勾配の設定結果 (流域5-1)

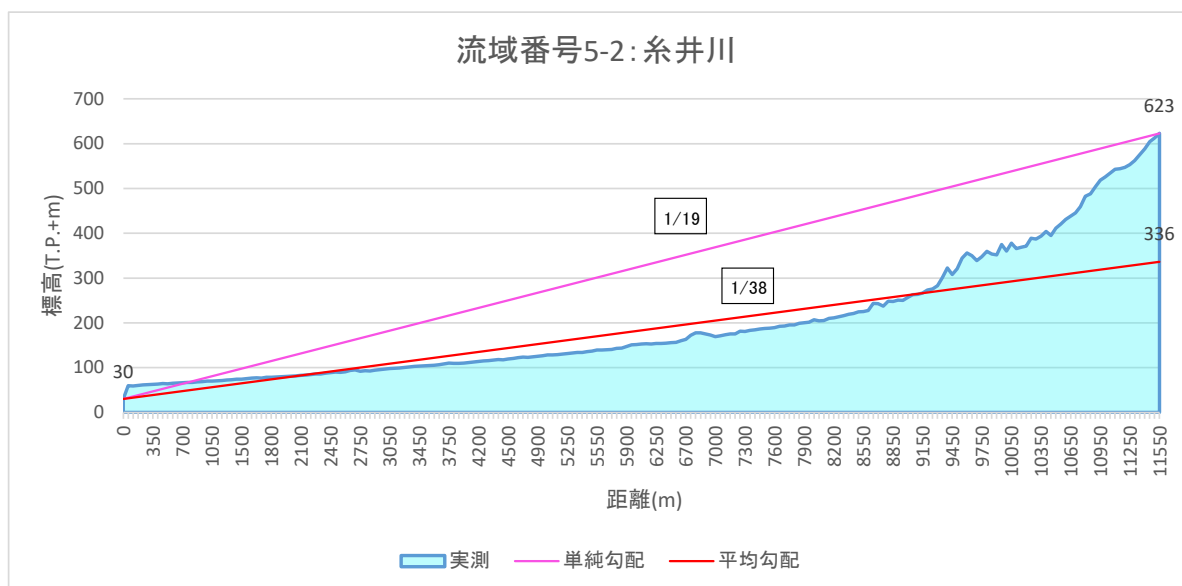


図 1-13 (10) 流域平均勾配の設定結果 (流域5-2)

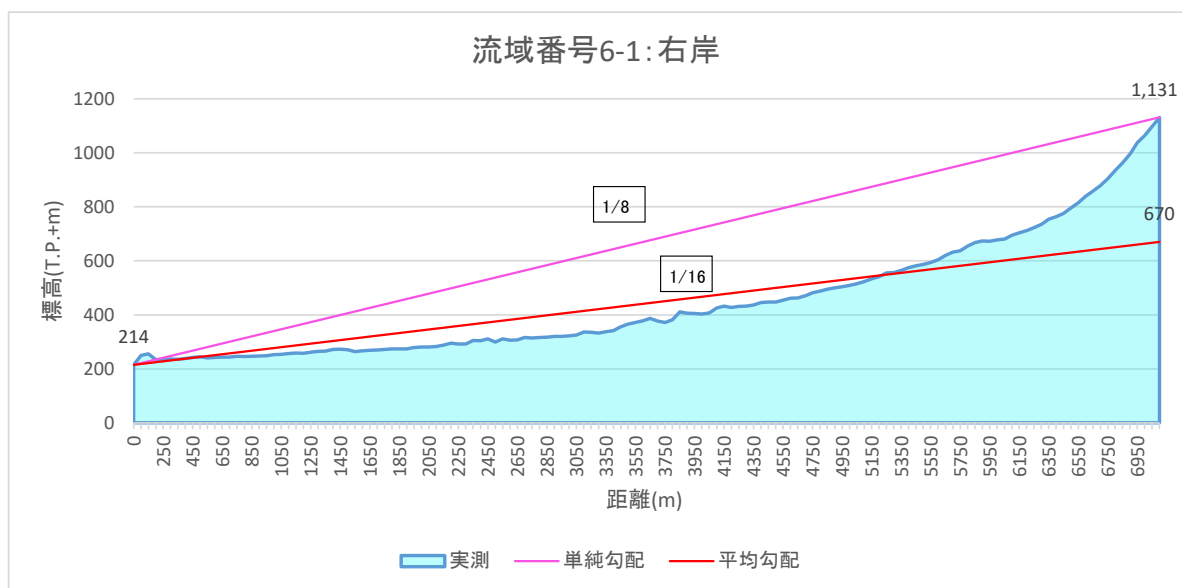


図 1-13 (11) 流域平均勾配の設定結果 (流域6-1)

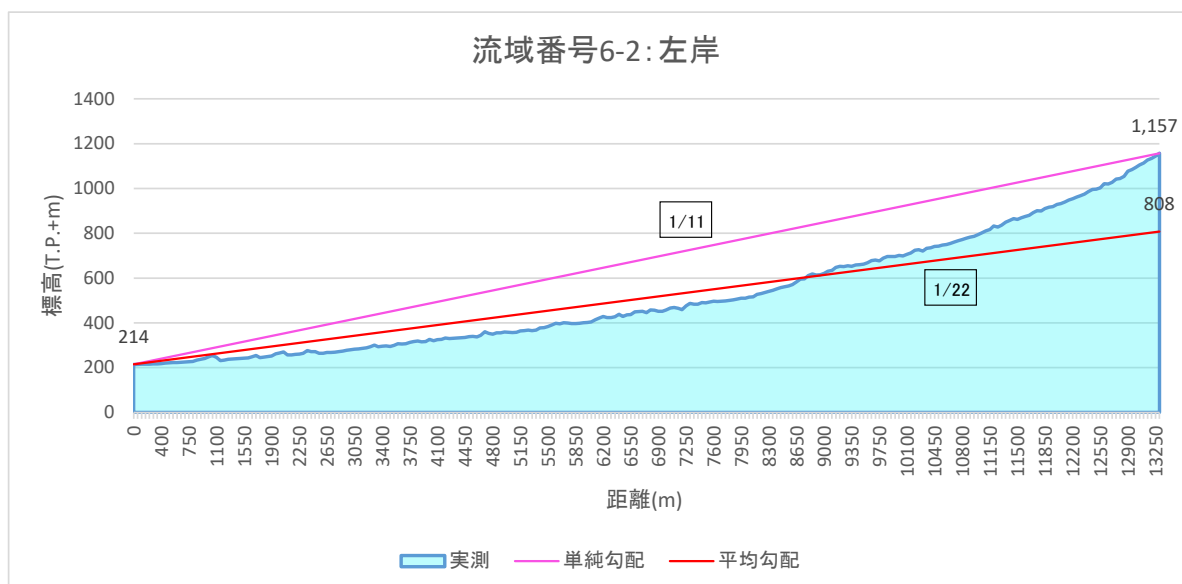


図 1-13 (12) 流域平均勾配の設定結果 (流域6-2)

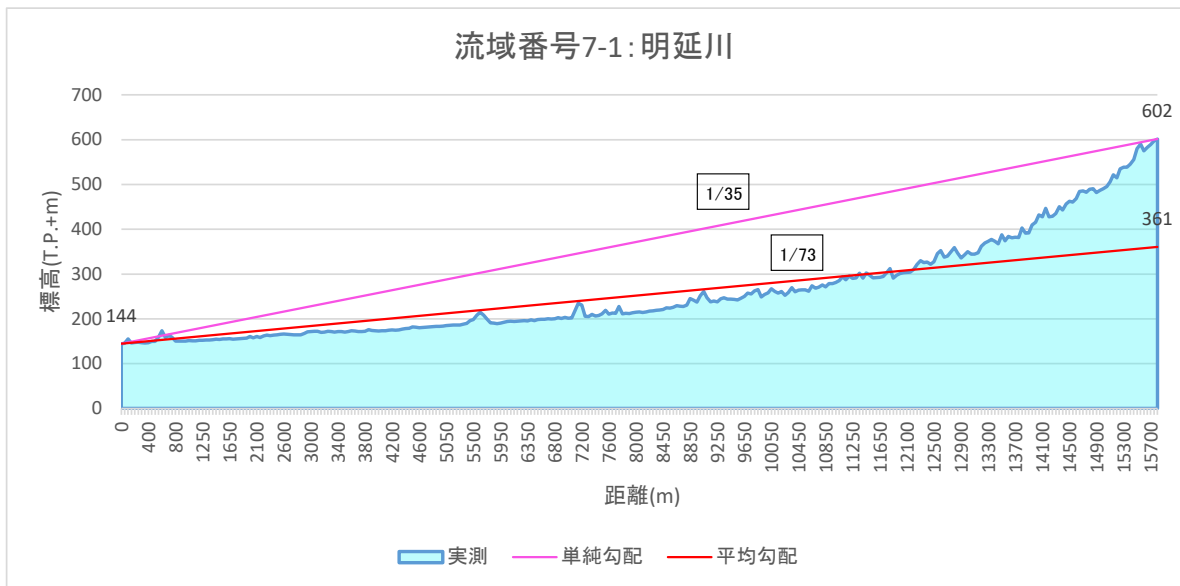


図 1-13 (13) 流域平均勾配の設定結果 (流域7-1)

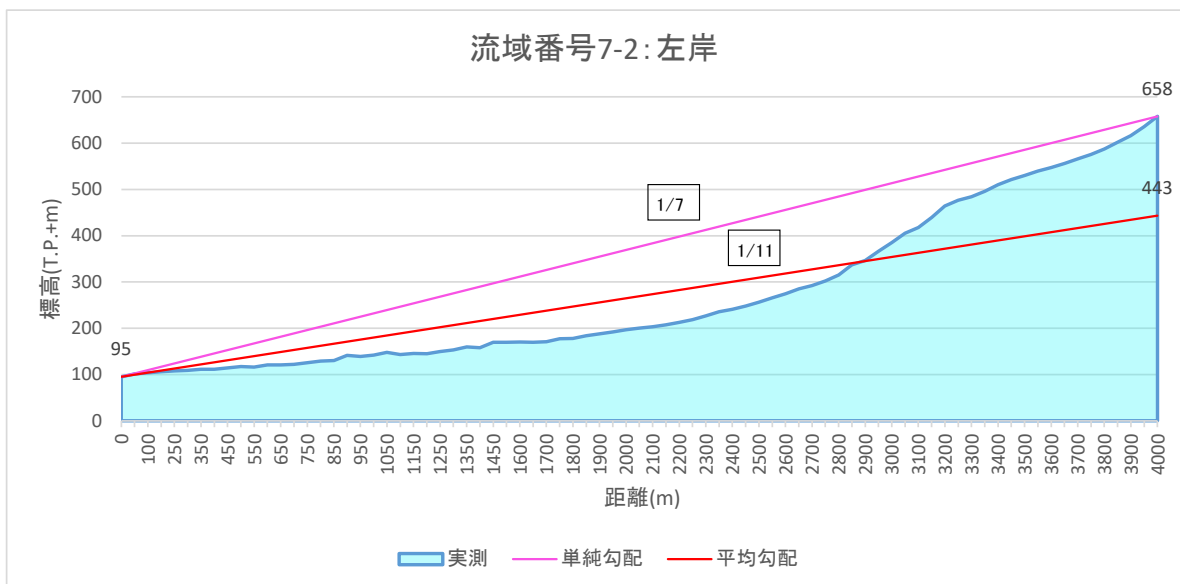


図 1-13 (14) 流域平均勾配の設定結果 (流域7-2)

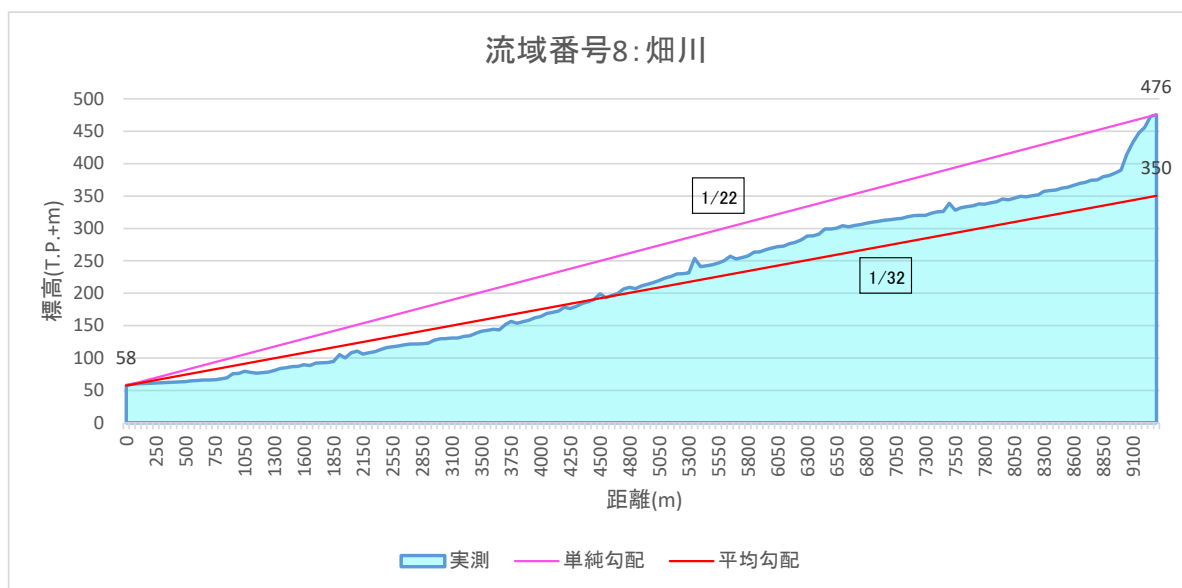


図 1-13 (15) 流域平均勾配の設定結果 (流域8)

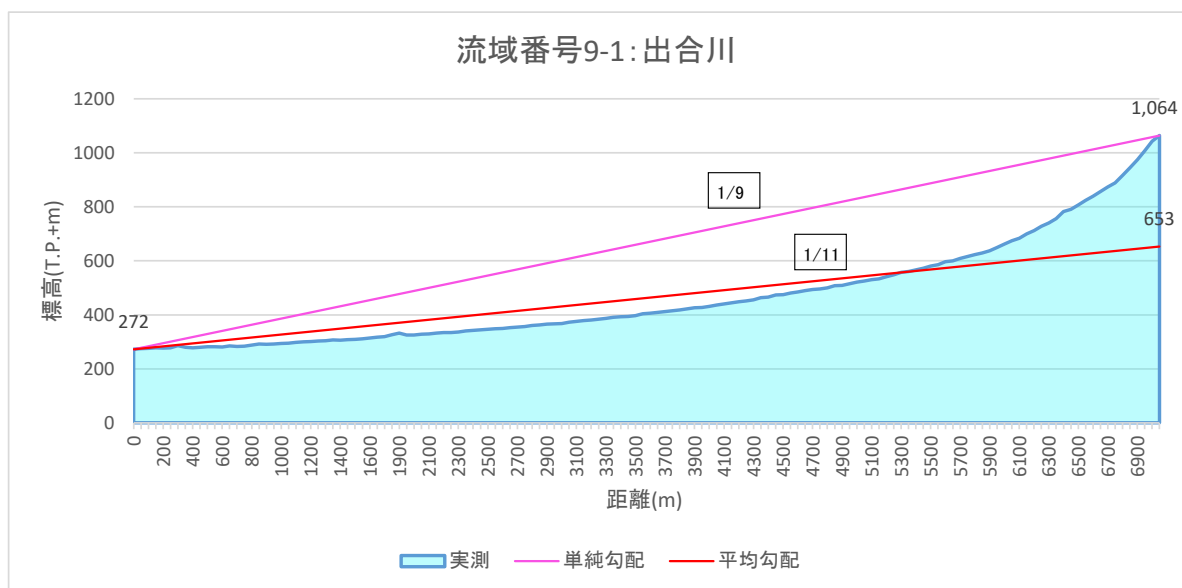


図 1-13 (16) 流域平均勾配の設定結果 (流域9-1)

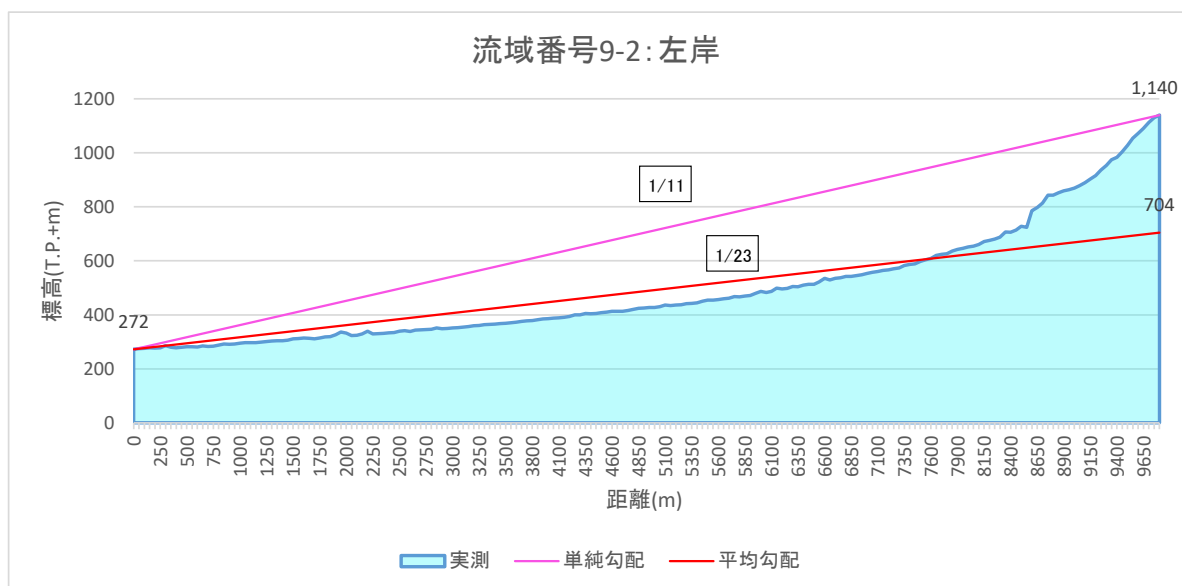


図 1-13 (17) 流域平均勾配の設定結果 (流域9-2)

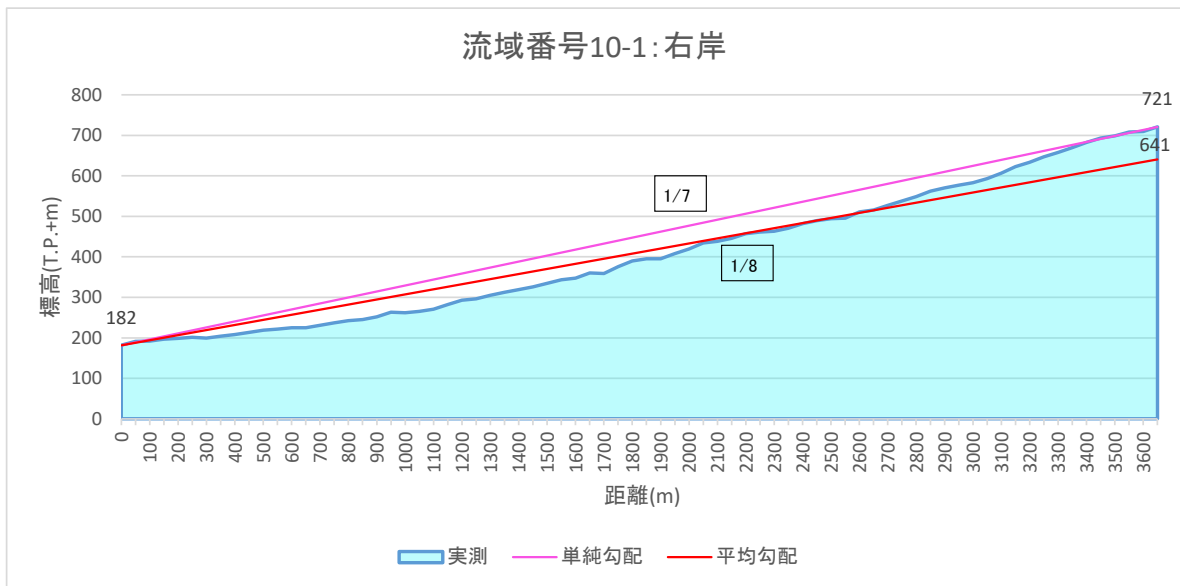


図 1-13 (18) 流域平均勾配の設定結果 (流域10-1)

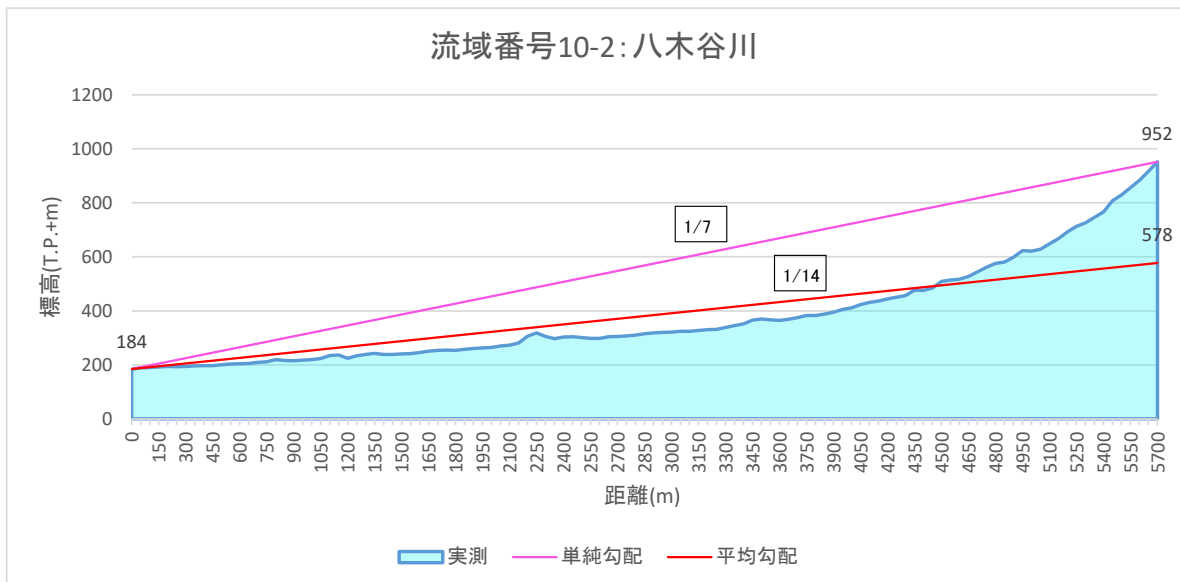


図 1-13 (19) 流域平均勾配の設定結果 (流域10-2)

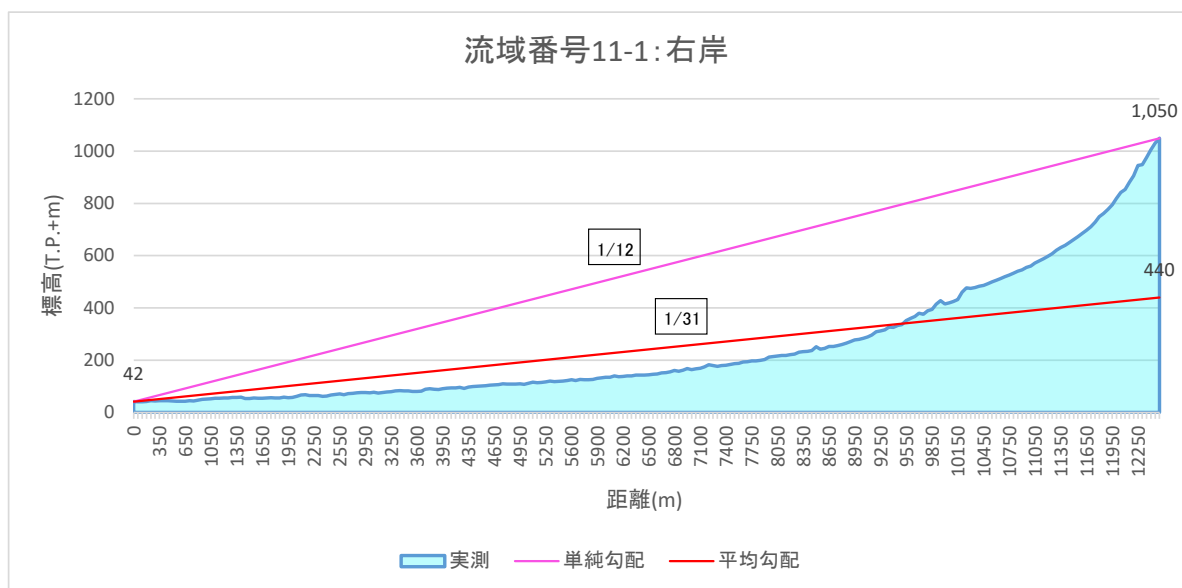


図 1-13 (20) 流域平均勾配の設定結果 (流域11-1)

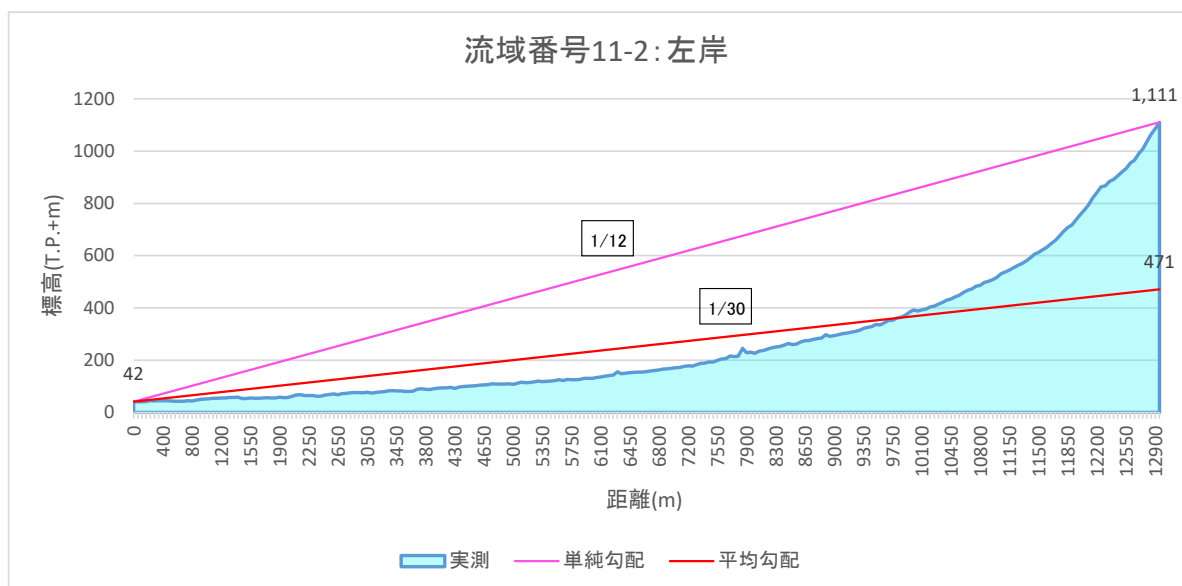


図 1-13 (21) 流域平均勾配の設定結果 (流域11-2)

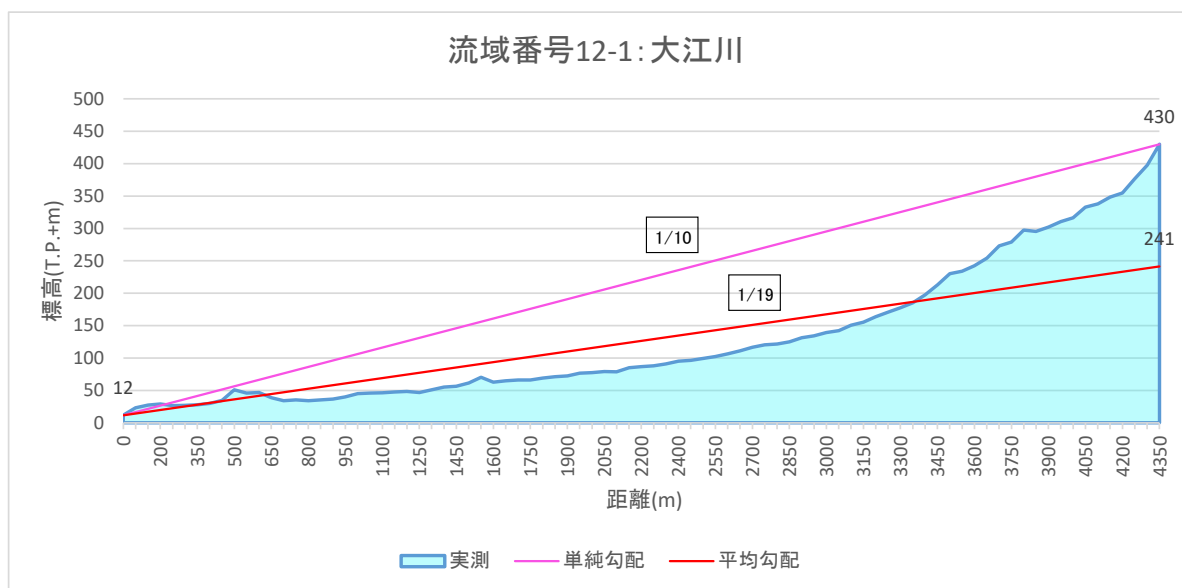


図 1-13 (22) 流域平均勾配の設定結果 (流域12-1)

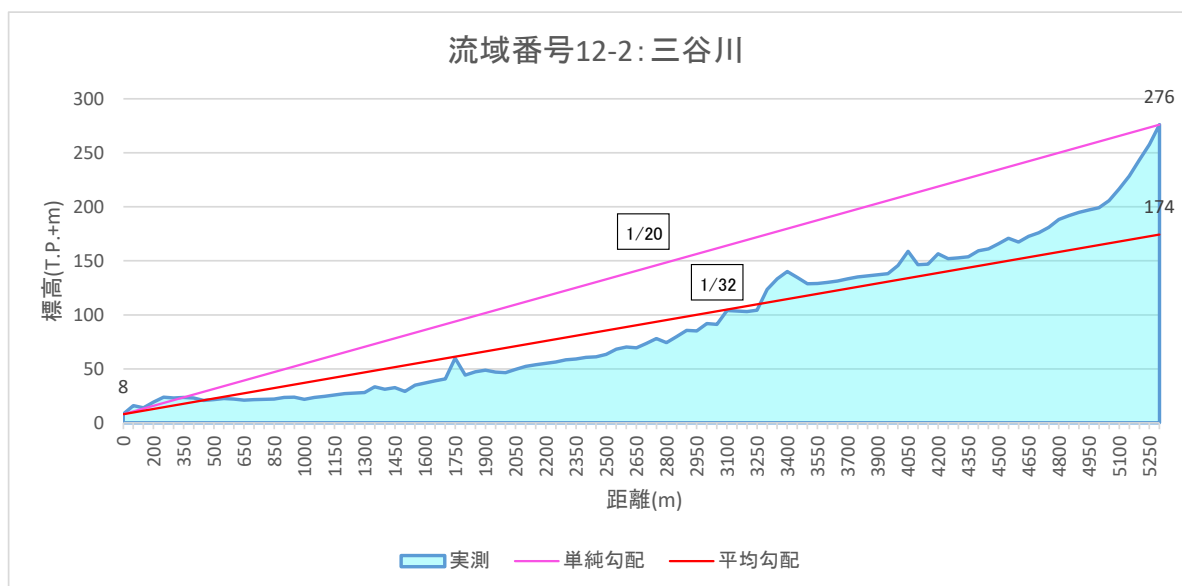


図 1-13 (23) 流域平均勾配の設定結果 (流域12-2)

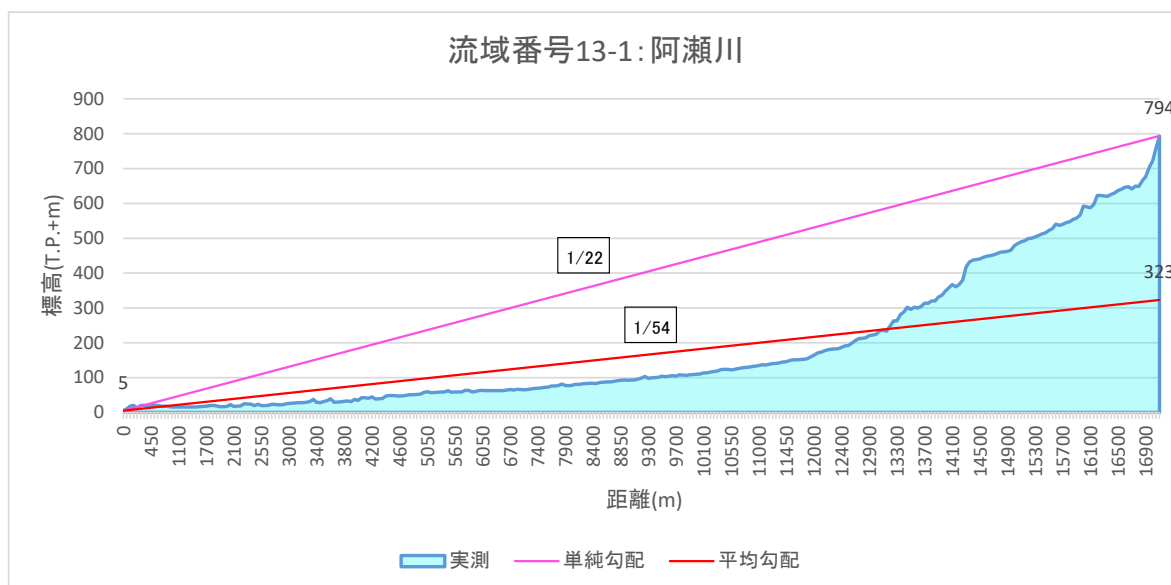


図 1-13 (24) 流域平均勾配の設定結果 (流域13-1)

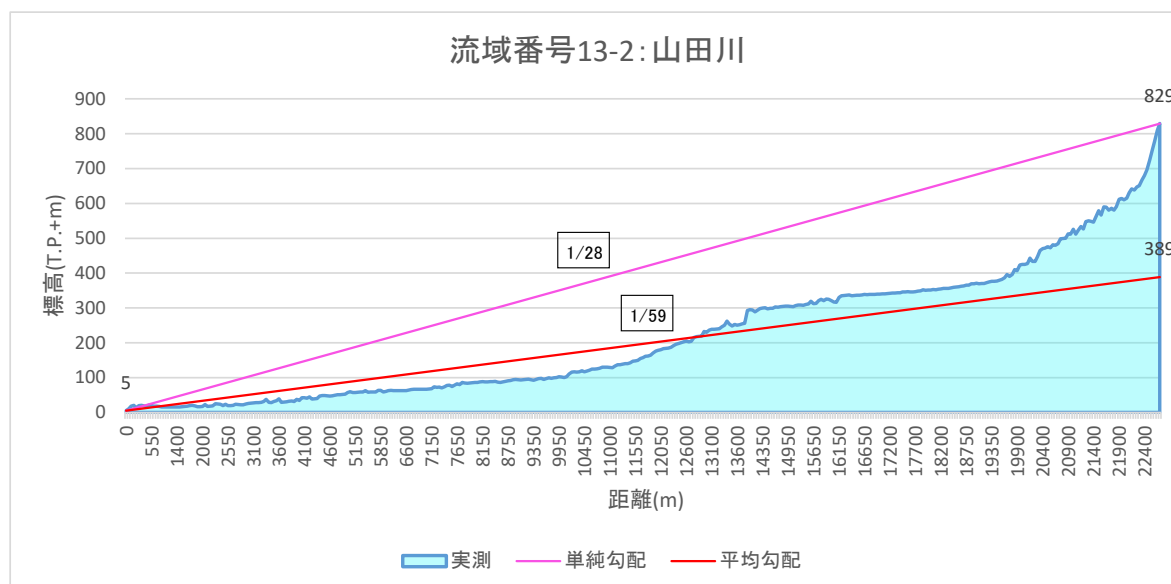


図 1-13 (25) 流域平均勾配の設定結果 (流域13-2)

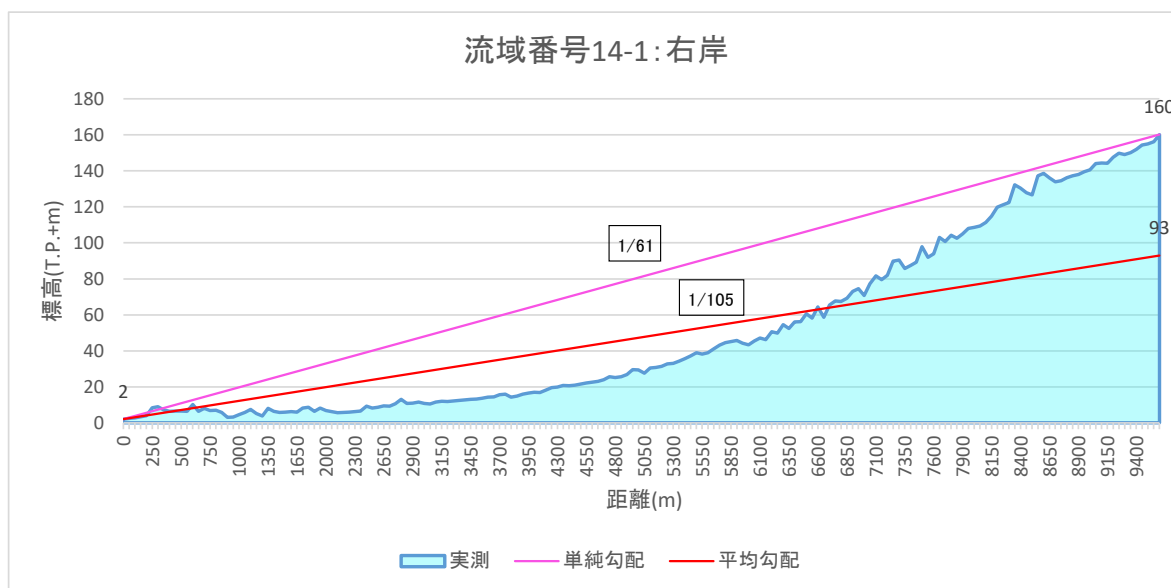


図 1-13 (26) 流域平均勾配の設定結果 (流域14-1)

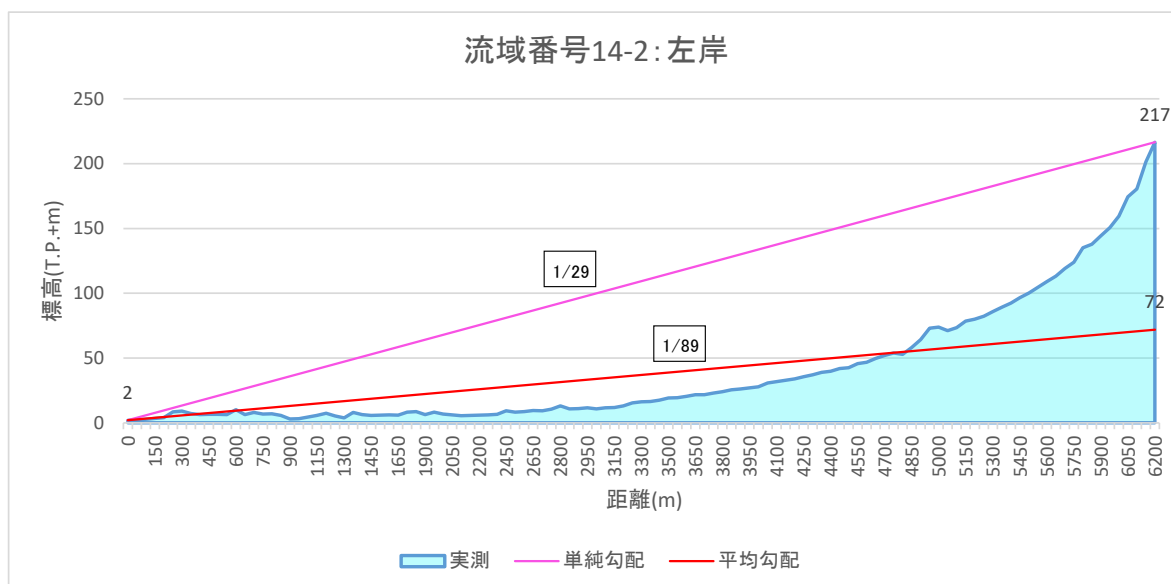


図 1-13 (27) 流域平均勾配の設定結果 (流域14-2)

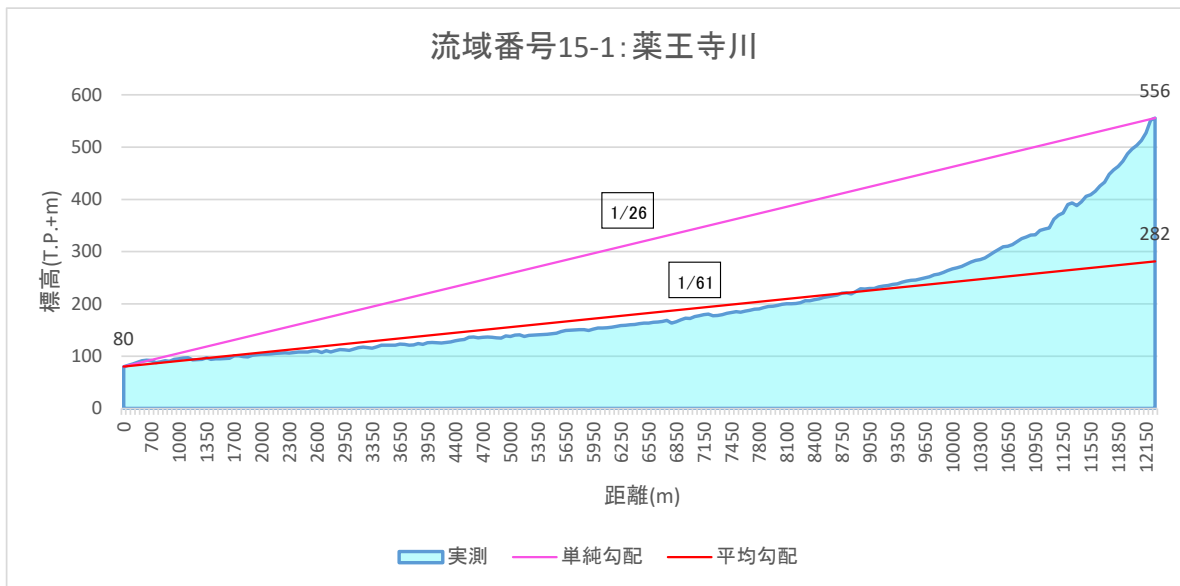


図 1-13 (28) 流域平均勾配の設定結果 (流域15-1)

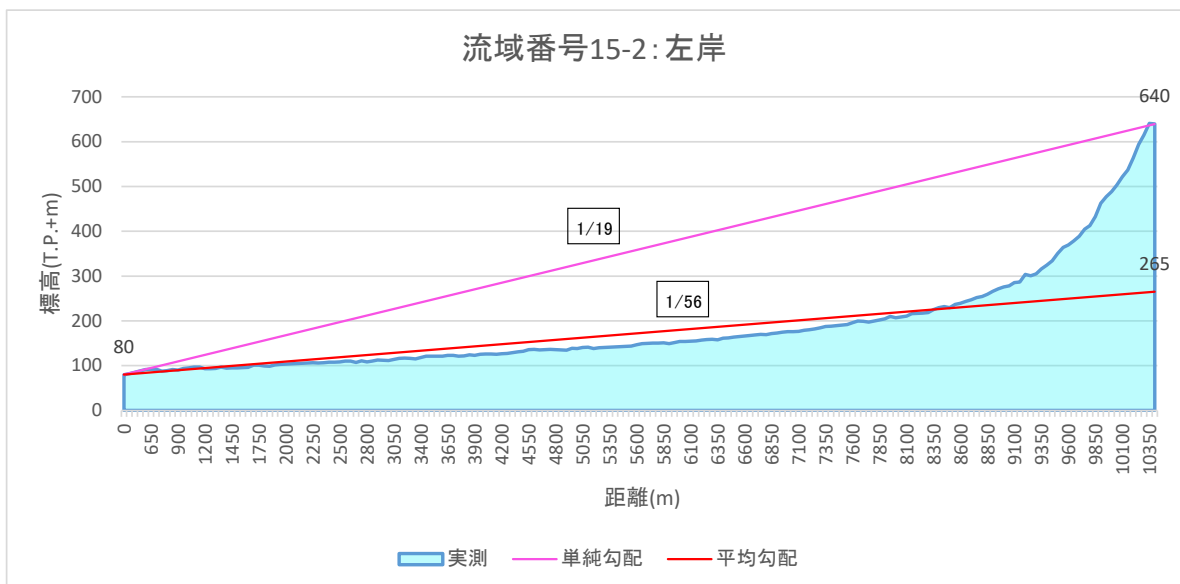


図 1-13 (29) 流域平均勾配の設定結果 (流域15-2)

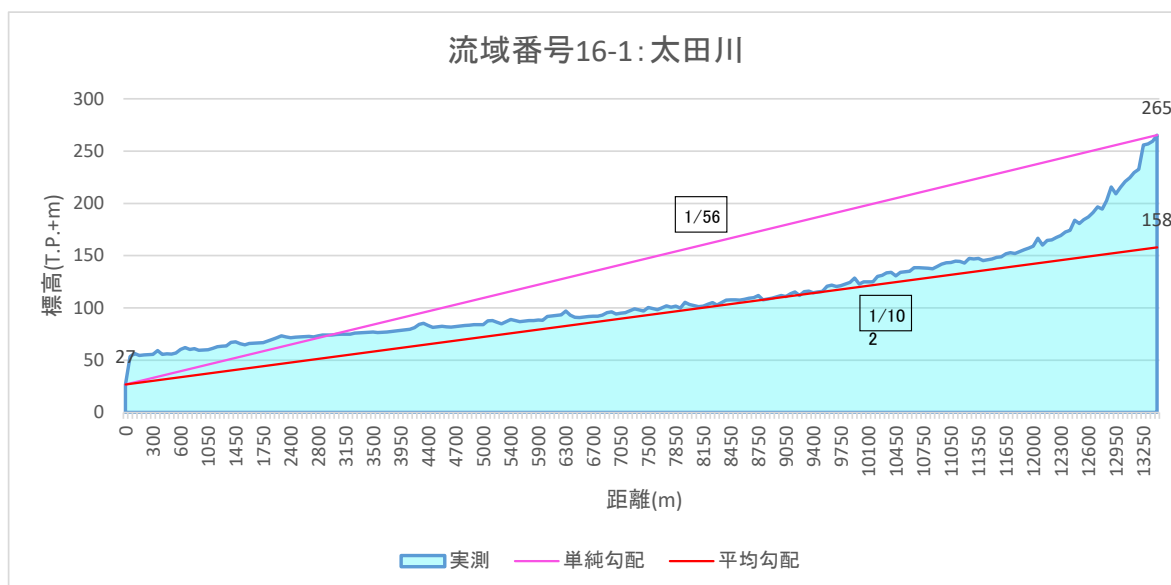


図 1-13 (30) 流域平均勾配の設定結果 (流域16-1)

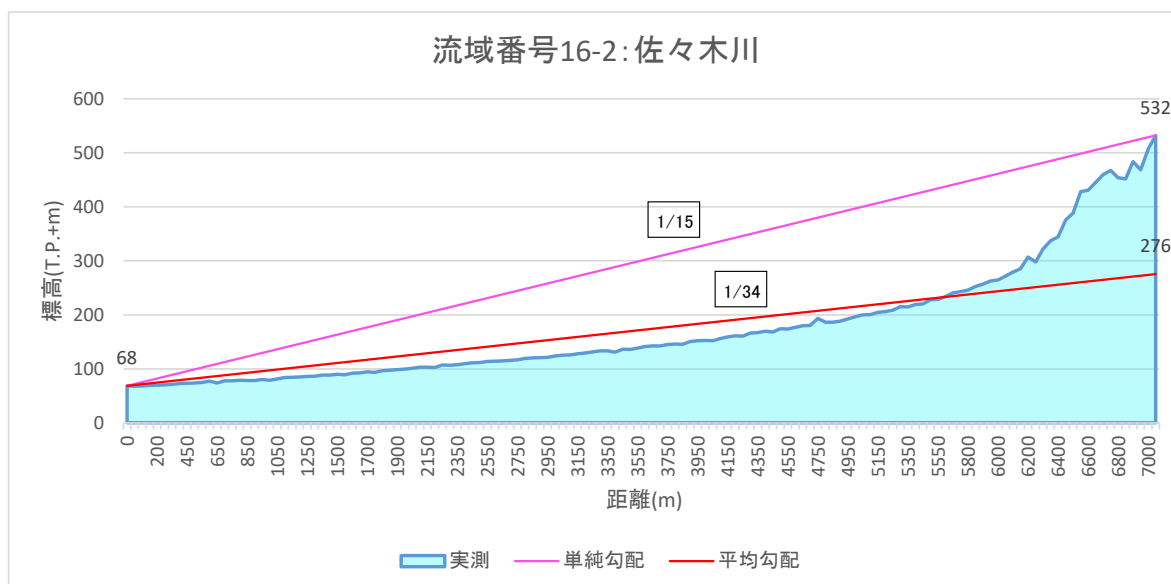


図 1-13 (31) 流域平均勾配の設定結果 (流域16-2)

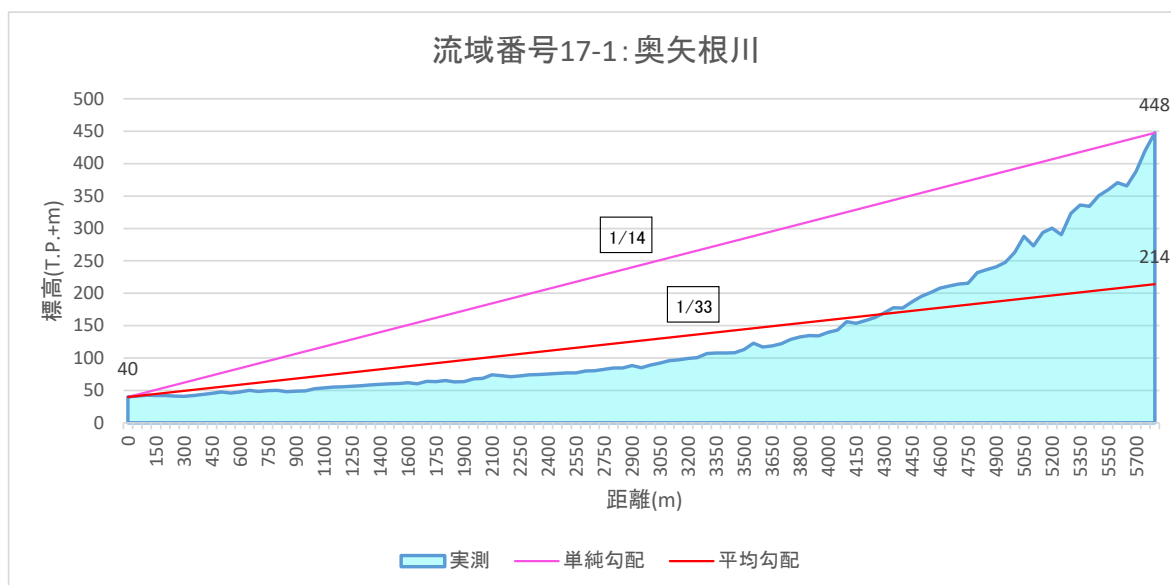


図 1-13 (32) 流域平均勾配の設定結果 (流域17-1)

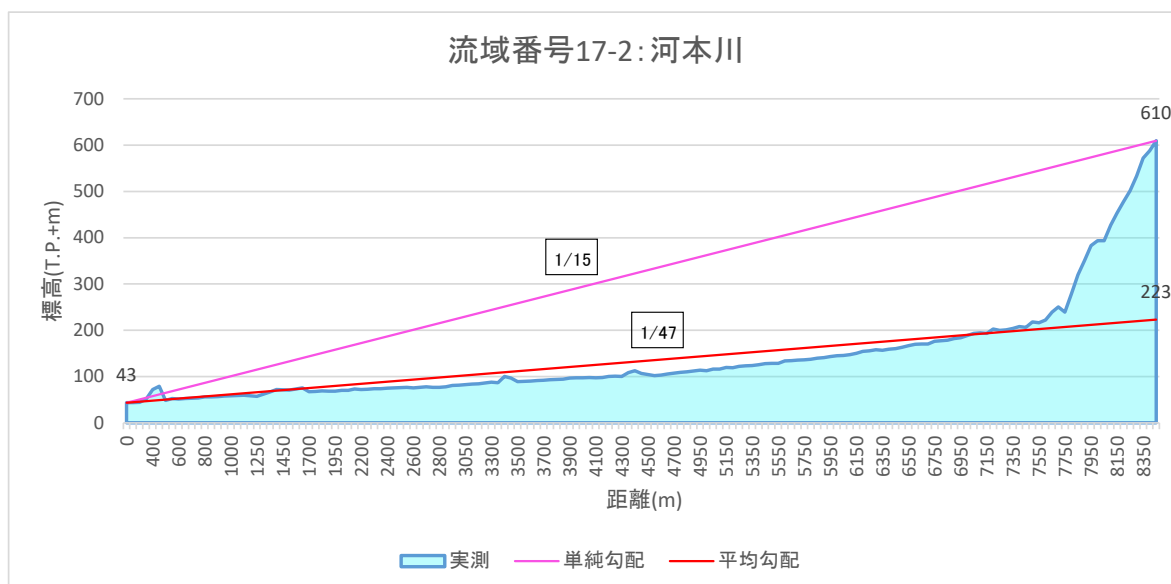


図 1-13 (33) 流域平均勾配の設定結果 (流域17-2)

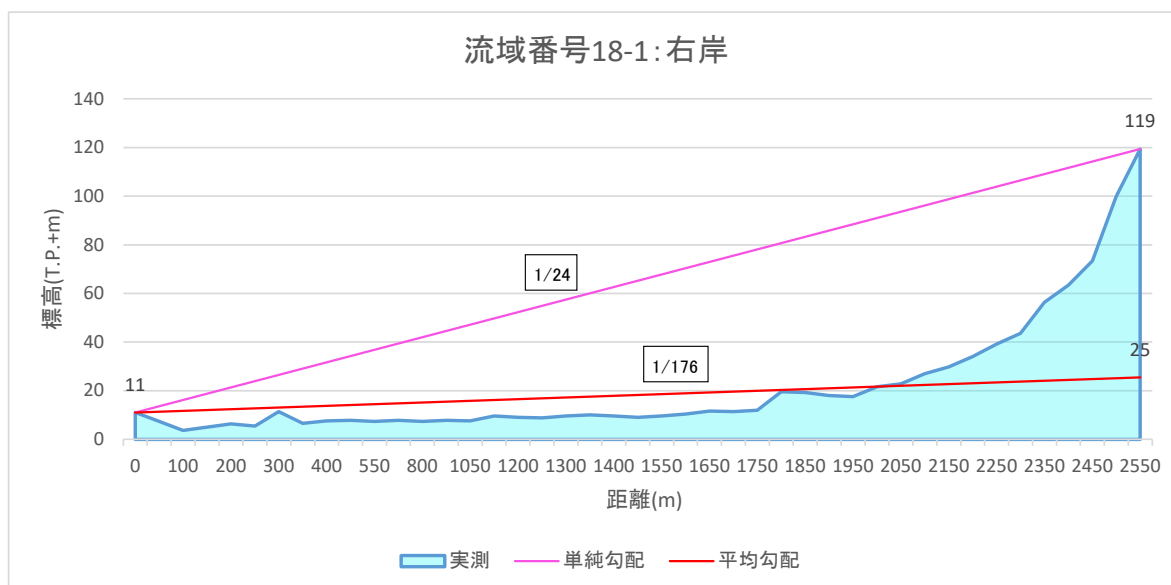


図 1-13 (34) 流域平均勾配の設定結果 (流域18-1)

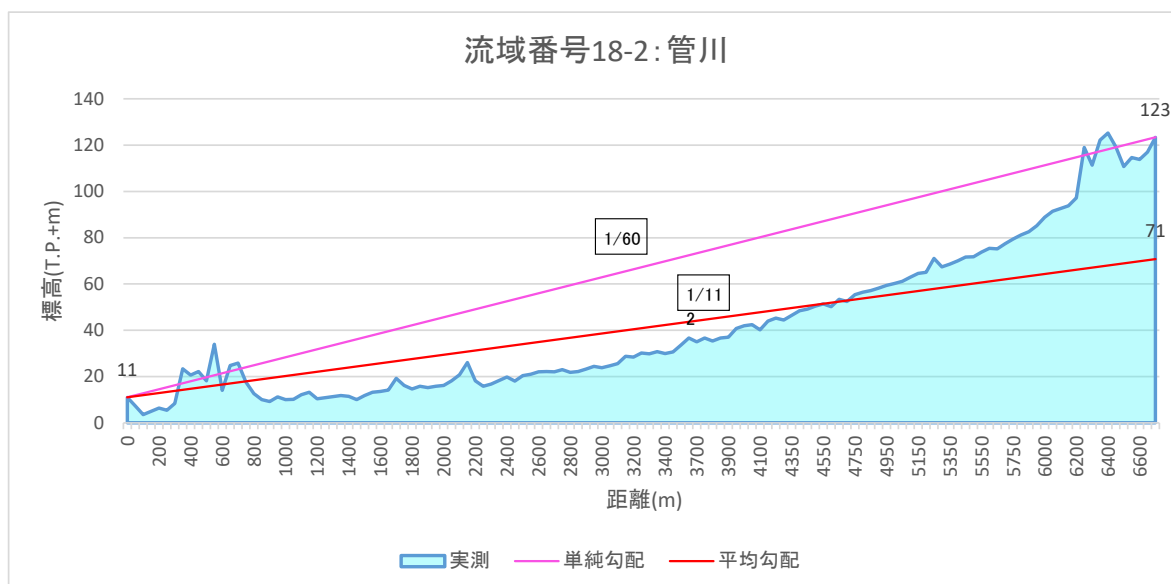


図 1-13 (35) 流域平均勾配の設定結果 (流域18-2)

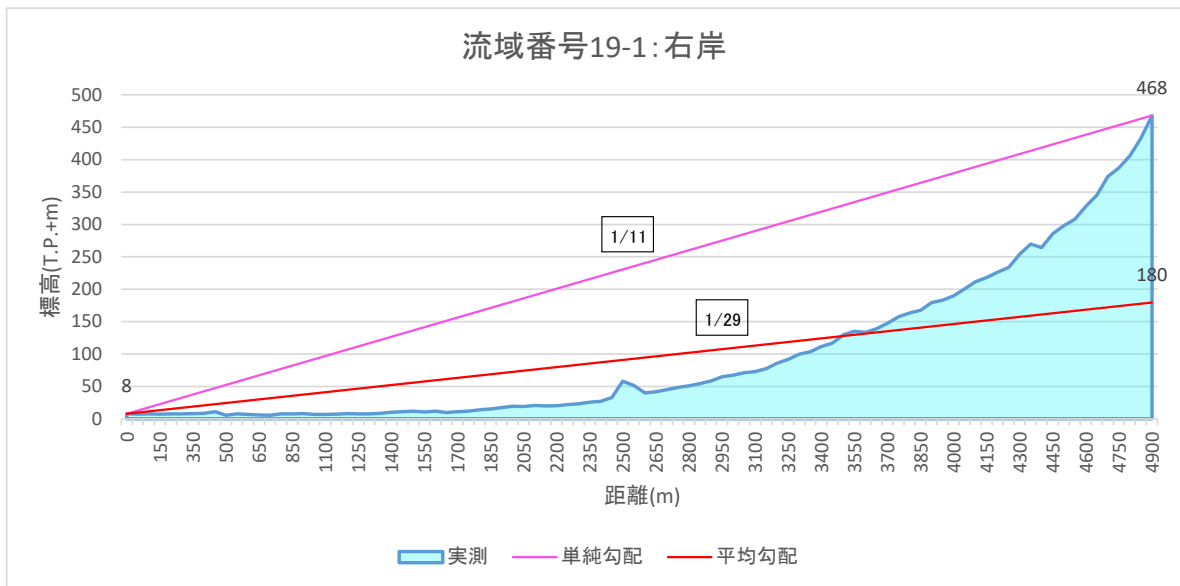


図 1-13 (36) 流域平均勾配の設定結果 (流域19-1)

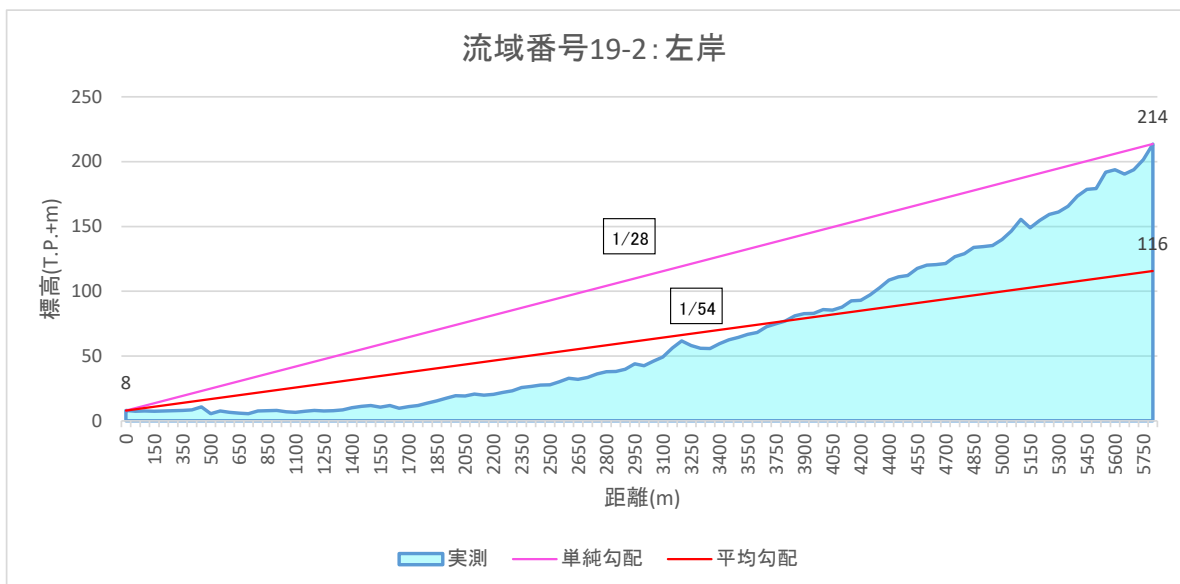


図 1-13 (37) 流域平均勾配の設定結果 (流域19-2)

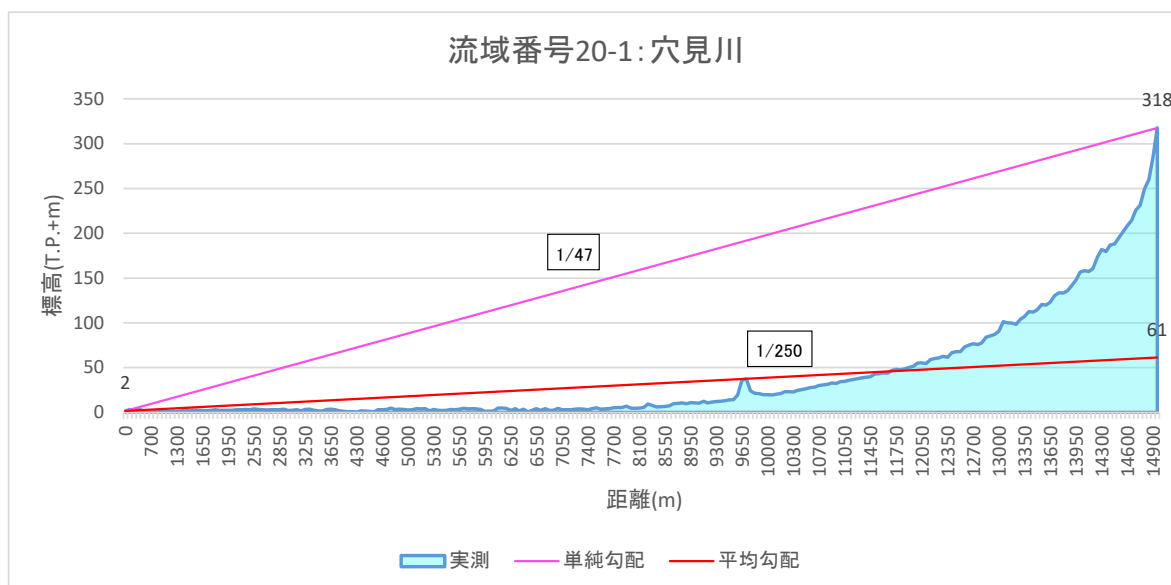


図 1-13 (38) 流域平均勾配の設定結果 (流域20-1)

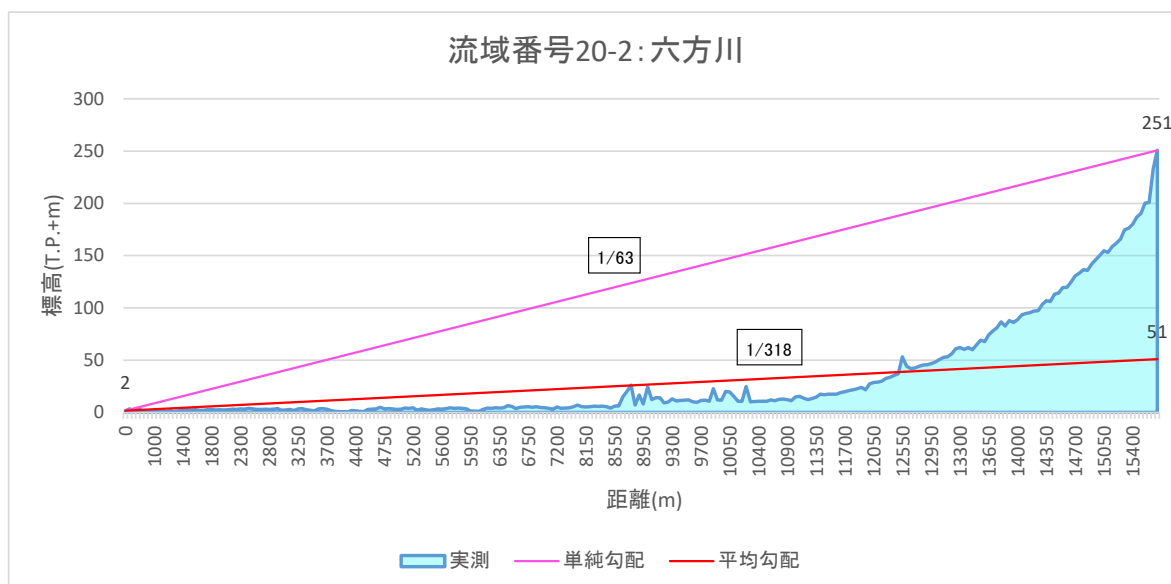


図 1-13 (39) 流域平均勾配の設定結果 (流域20-2)

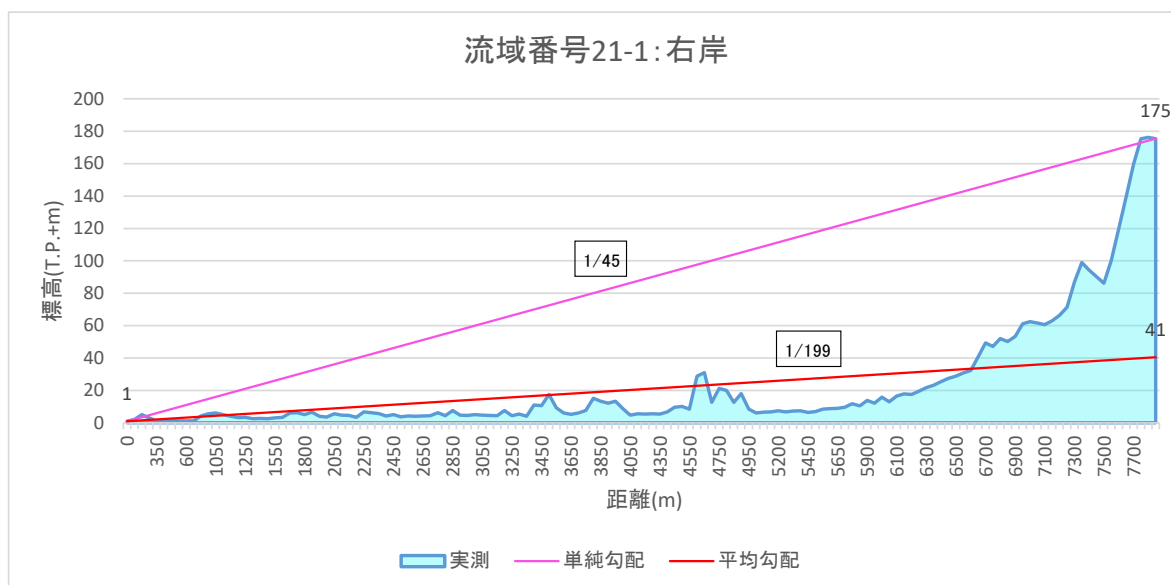


図 1-13 (40) 流域平均勾配の設定結果 (流域21-1)

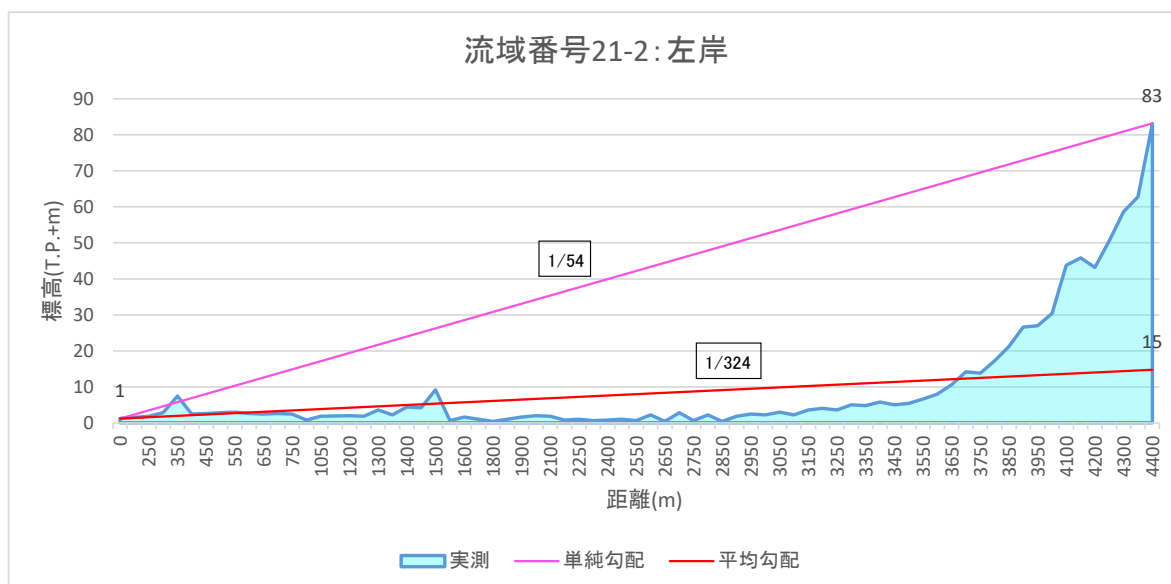


図 1-13 (41) 流域平均勾配の設定結果 (流域21-2)

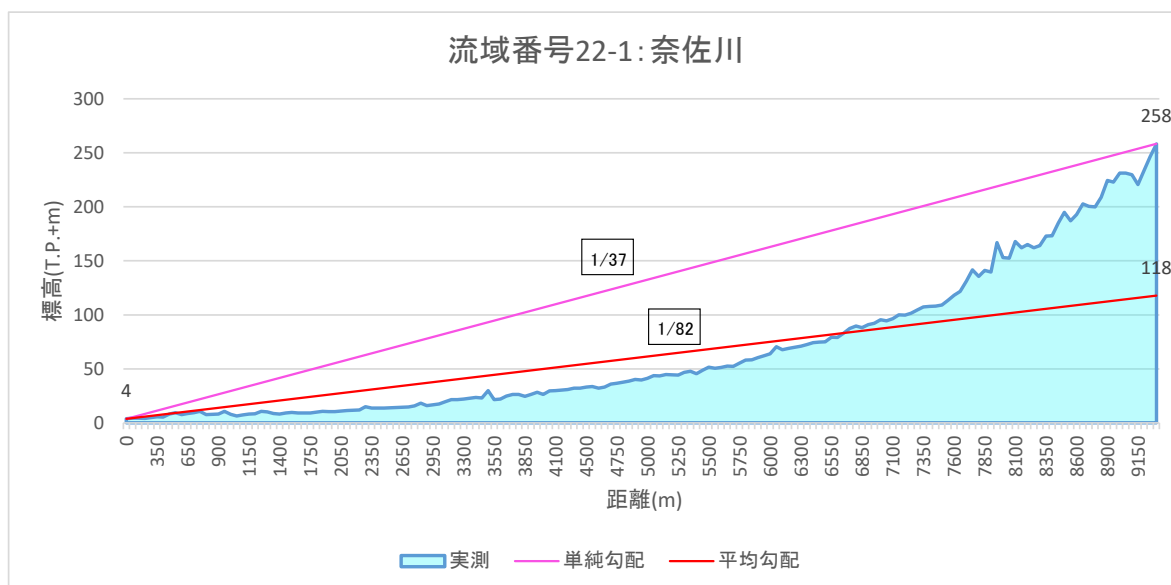


図 1-13 (42) 流域平均勾配の設定結果 (流域22-1)

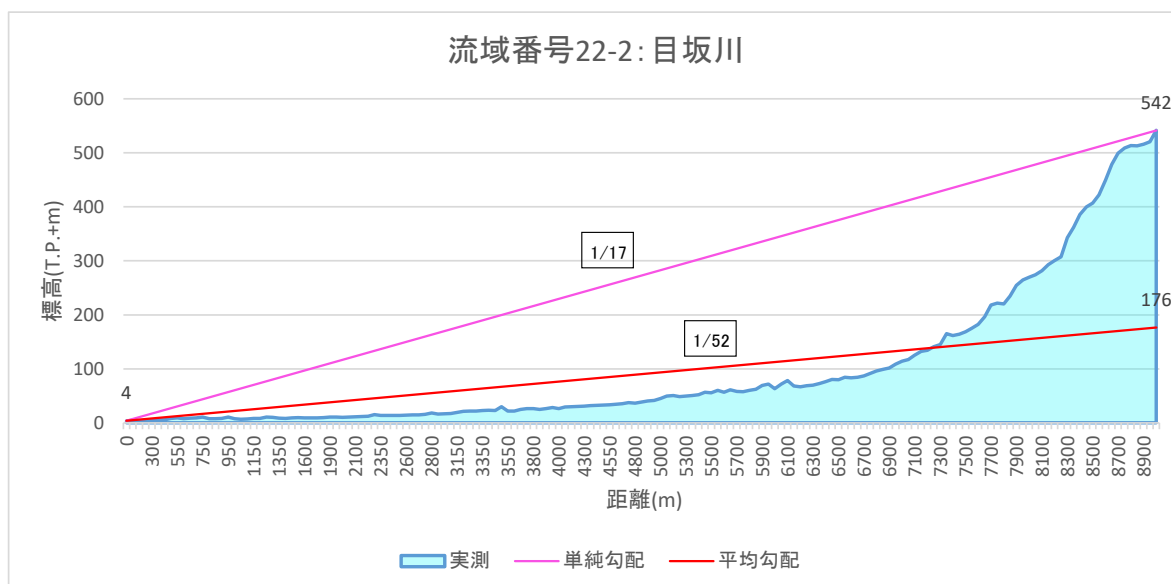


図 1-13 (43) 流域平均勾配の設定結果 (流域22-2)

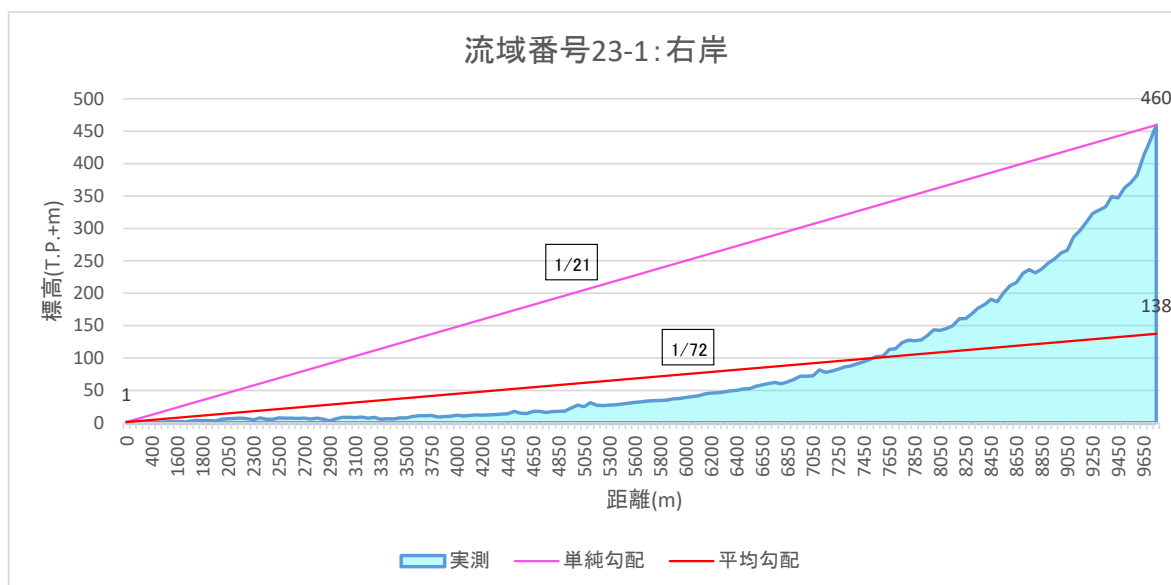


図 1-13 (44) 流域平均勾配の設定結果 (流域23-1)

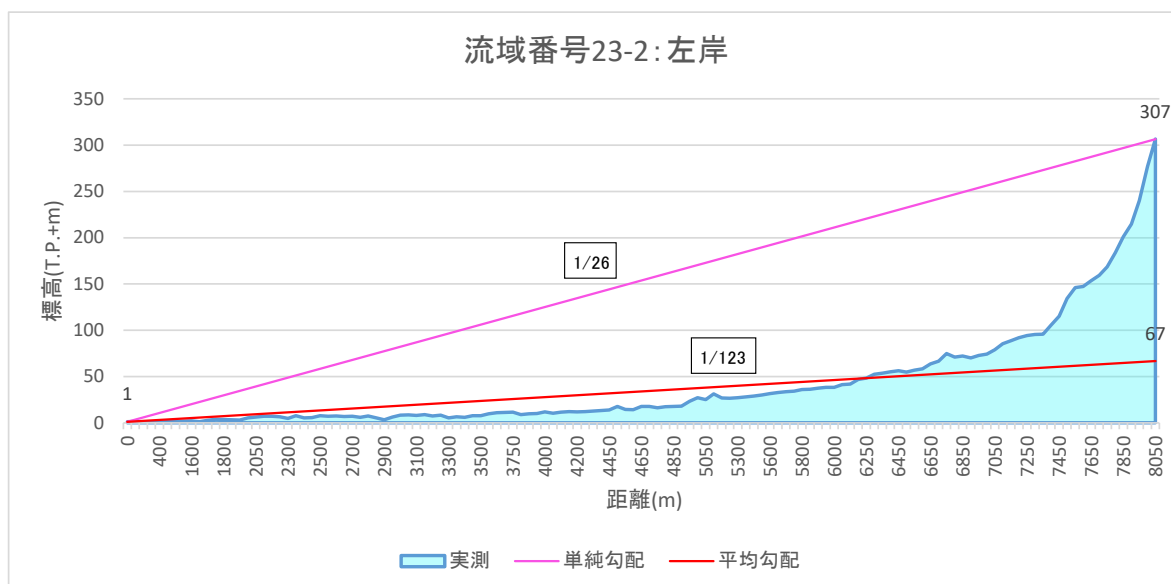


図 1-13 (45) 流域平均勾配の設定結果 (流域23-2)

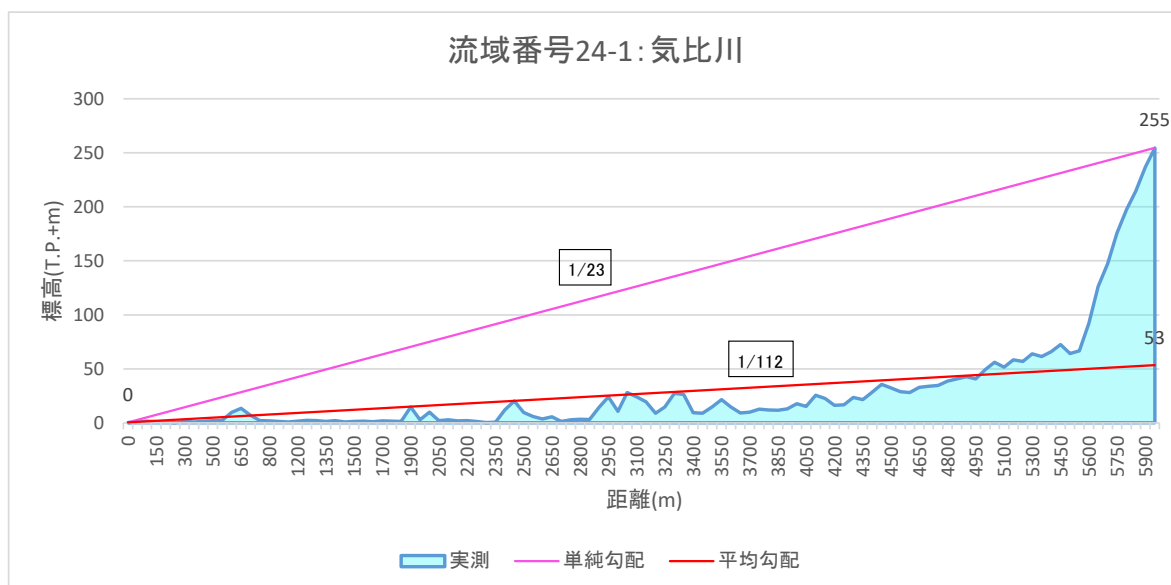


図 1-13 (46) 流域平均勾配の設定結果 (流域24-1)

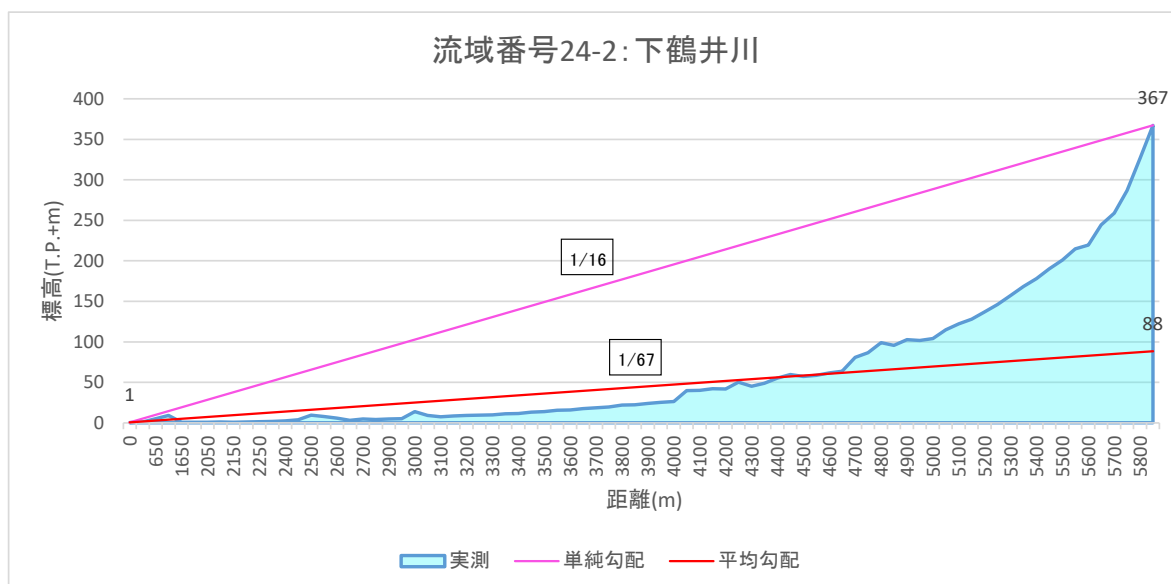


図 1-13 (47) 流域平均勾配の設定結果 (流域24-2)

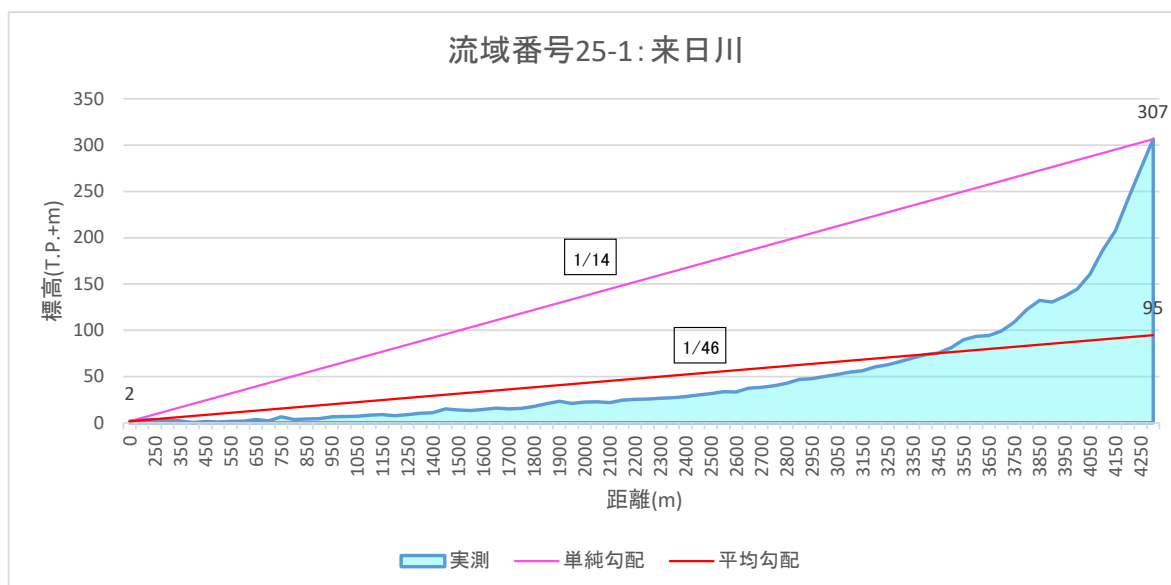


図 1-13 (48) 流域平均勾配の設定結果 (流域25-1)

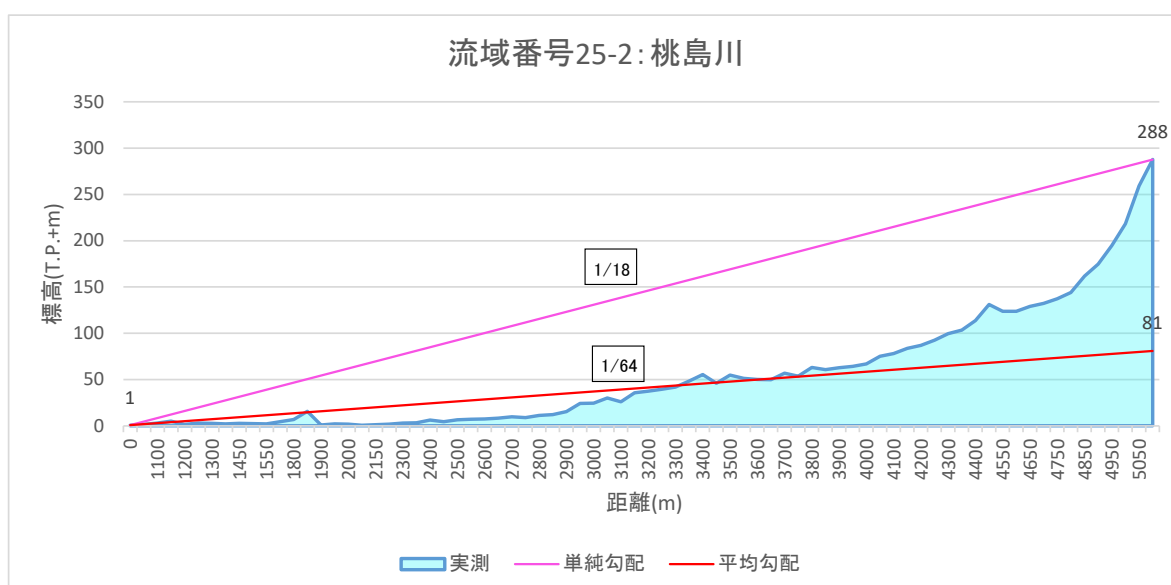


図 1-13 (49) 流域平均勾配の設定結果 (流域25-2)

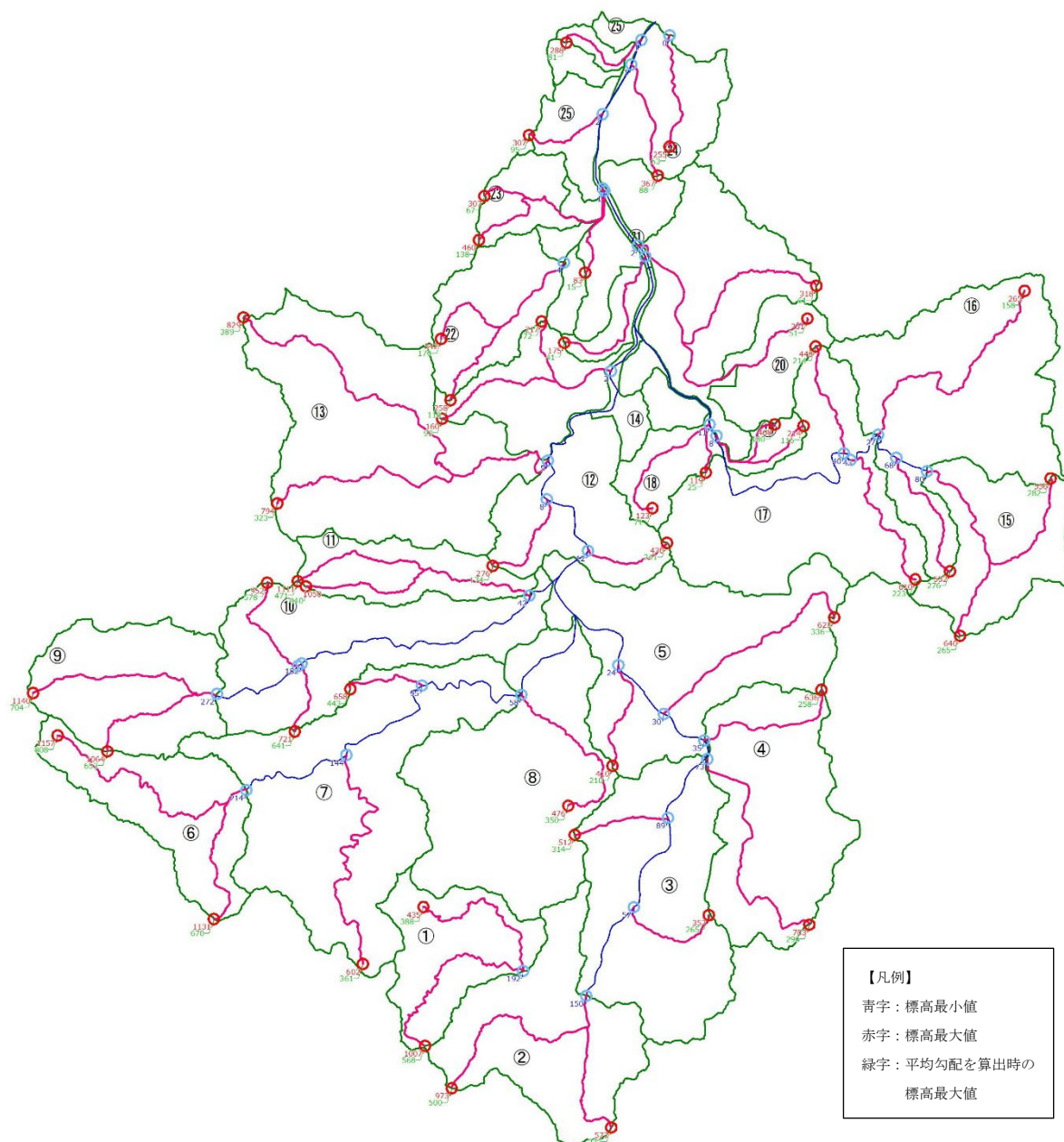


図 1-14 流域平均勾配の設定例（赤線：流路長）

表 1-10 河道延長、平均勾配算定結果（各流域～立野地点）

流域番号	流域面積 (km ²)		右岸左岸	河道延長 (km)			平均勾配1/I		
	①面積A	②合計 (Σ①)		③延長 L	④L×A (③×①)	河道延長 (Σ④/②)	⑤勾配 1/I	⑥I×A (1/⑤×①)	平均勾配1/I (1/Σ⑥/②)
1-1	35.9	1162.6	右岸	10.8	385.9	9.9	29	1.2379	30
1-2	35.9		左岸	8.9	319.5		45	0.7978	
2-1	58.91		右岸	7.7	453.6		63	0.9351	
2-2	58.91		左岸	11.0	645.1		31	1.9003	
3-1	76.79		右岸	5.2	399.3		25	3.0716	
3-2	76.79		左岸	4.8	368.6		21	3.6567	
4-1	66.08		右岸	7.6	502.2		34	1.9435	
4-2	66.08		左岸	13.2	869.0		59	1.1200	
5-1	90.52		右岸	5.8	520.5		31	2.9200	
5-2	90.52		左岸	11.6	1045.5		38	2.3821	
6-1	43.2		右岸	7.1	306.7		16	2.7000	
6-2	43.2		左岸	13.3	574.6		22	1.9636	
7-1	104.7		右岸	15.8	1654.3		73	1.4342	
7-2	104.7		左岸	4.0	418.8		11	9.5182	
8	83.7		右岸	9.3	778.4		32	2.6156	
9-1	46.1		右岸	7.1	325.0		19	2.4263	
9-2	46.1		左岸	9.8	451.8		23	2.0043	
10-1	67.62		右岸	3.7	246.8		8	8.4525	
10-2	67.62		左岸	5.7	385.4		14	4.8300	
11-1	26.48		右岸	12.5	331.0		31	0.8542	
11-2	26.48		左岸	13.0	342.9		30	0.8827	
12-1	36.4		右岸	4.4	158.3		19	1.9158	
12-2	36.4		左岸	5.3	192.9		32	1.1375	
13-1	100.6		右岸	17.1	1720.3		54	1.8630	
13-2	100.6		左岸	22.7	2283.6		59	1.7051	
14-1	33.85		右岸	9.6	325.0		105	0.3224	
14-2	33.85		左岸	6.2	209.9		89	0.3803	
15-1	40.1		右岸	12.3	491.2		61	0.6574	
15-2	40.1		左岸	10.4	417.0		56	0.7161	
16-1	83.3		右岸	13.4	1116.2		102	0.8167	
16-2	83.3		左岸	7.1	587.3		34	2.4500	
17-1	71.3		右岸	5.8	413.5		33	2.1606	
17-2	71.3		左岸	8.5	602.5		47	1.5170	
18-1	24.54		右岸	2.6	62.6		176	0.1394	
18-2	24.54		左岸	6.7	164.4		112	0.2191	
19-1	5.29		右岸	4.9	25.9		29	0.1824	
19-2	5.29		左岸	5.8	30.7		54	0.0980	
20-1	67.22		右岸	15.0	1004.9		250	0.2689	
20-2	67.22		左岸	15.7	1055.4		318	0.2114	

表 1-11 河道延長、平均勾配算定結果（各流域～弘原地点）

流域番号	流域面積 (km ²)		右岸左岸	河道延長 (km)			平均勾配1/I		
	①面積A	②合計 (Σ①)		③延長 L	④L×A (③×①)	河道延長 (Σ④/②)	⑤勾配 1/I	⑥I×A (1/⑤×①)	平均勾配1/I (1/Σ⑥/②)
15-1	40.1	199.99	右岸	12.3	491.2	9.2	61	0.6574	47
15-2	40.1		左岸	10.4	417.0		56	0.7161	
16-1	83.3		右岸	13.4	1116.2		102	0.8167	
16-2	83.3		左岸	7.1	587.3		34	2.4500	
17-1	71.3		右岸	5.8	413.5		33	2.1606	
17-2	71.3		左岸	8.5	602.5		47	1.5170	
19-1	5.29		右岸	4.9	25.9		29	0.1824	
19-2	5.29		左岸	5.8	30.7		54	0.0980	

表 1-12 河道延長、平均勾配算定結果（各流域～宮井地点）

流域番号	流域面積 (km ²)		右岸左岸	河道延長 (km)			平均勾配1/I		
	①面積A	②合計 (Σ①)		③延長 L	④L×A (③×①)	河道延長 (Σ④/②)	⑤勾配 1/I	⑥I×A (1/⑤×①)	平均勾配1/I (1/Σ⑥/②)
22-1	36.6	36.6	右岸	9.4	342.2	9.2	82	0.4463	64
22-2	36.6		左岸	9.0	329.4		52	0.7038	

小流域におけるK、P、TIの算定結果を表 1-13に示す。

表 1-13 流域定数設定結果一覧表

流域名	流域 番号	流域面積 (km ²)	右左岸	流路長 (km)	標高(高) TP(m)	標高(低) TP(m)	標高差 (m)	平均勾配 1/I	C	α	流域L (km)	流域TI (分)	K	K (平均値)	P	TI (分)	TI(分) (平均値)
円山川	1-1	35.9	右岸	10.8	1007	192	815	29	0.118	50.49	49.8	225	40.51	42.27	0.400	50	40
	1-2	35.9	左岸	8.9	435	192	243	45	0.118	50.49	49.8	225	44.04		0.400	40	
	2-1	58.91	右岸	7.7	573	150	423	63	0.117	50.49	49.8	225	46.38	43.78	0.400	30	40
	2-2	58.91	左岸	11.0	973	150	823	31	0.117	50.49	49.8	225	41.18		0.400	50	
	3-1	76.79	右岸	5.2	352	57	295	25	0.109	50.49	49.8	225	27.95	26.81	0.400	20	20
	3-2	76.79	左岸	4.8	512	89	423	21	0.109	50.49	49.8	225	25.67		0.400	20	
	4-1	66.08	右岸	7.6	636	35	601	34	0.112	50.49	49.8	225	35.92	43.86	0.400	30	40
	4-2	66.08	左岸	13.2	703	73	630	59	0.112	50.49	49.8	225	51.81		0.400	60	
	5-1	90.52	右岸	5.8	410	24	386	31	0.110	50.49	49.8	225	31.39	36.89	0.400	30	40
	5-2	90.52	左岸	11.6	623	30	593	38	0.110	50.49	49.8	225	42.39		0.400	50	
	6-1	43.2	右岸	7.1	1131	214	917	16	0.119	50.49	49.8	225	29.01	34.39	0.400	30	40
	6-2	43.2	左岸	13.3	1157	214	943	22	0.119	50.49	49.8	225	39.77		0.400	60	
	7-1	104.7	右岸	15.8	602	144	458	73	0.116	50.49	49.8	225	61.49	41.10	0.400	70	40
	7-2	104.7	左岸	4.0	658	95	563	11	0.116	50.49	49.8	225	20.70		0.400	20	
	8	83.7	右岸	9.3	476	58	418	32	0.116	50.49	49.8	225	39.05	39.05	0.400	40	40
	9-1	46.1	右岸	7.1	1064	272	792	19	0.118	50.49	49.8	225	30.46		0.400	30	30
	9-2	46.1	左岸	9.8	1140	272	868	23	0.118	50.49	49.8	225	36.23	21.06	0.400	40	
	10-1	67.62	右岸	3.7	721	182	539	8	0.113	50.49	49.8	225	17.56		0.400	20	20
	10-2	67.62	左岸	5.7	952	184	768	14	0.113	50.49	49.8	225	24.56		0.400	30	
	11-1	26.48	右岸	12.5	1050	42	1008	31	0.116	50.49	49.8	225	42.72	42.74	0.400	60	60
	11-2	26.48	左岸	13.0	1111	42	1069	30	0.116	50.49	49.8	225	42.76		0.400	60	
	12-1	36.4	右岸	4.4	430	12	418	19	0.109	50.49	49.8	225	24.07	27.33	0.400	20	20
	12-2	36.4	左岸	5.3	276	8	268	32	0.109	50.49	49.8	225	30.59		0.400	20	
	13-1	100.6	右岸	17.1	794	5	789	54	0.115	50.49	49.8	225	56.65	60.38	0.400	80	90
	13-2	100.6	左岸	22.7	829	5	824	59	0.115	50.49	49.8	225	64.12		0.400	100	
	14-1	33.85	右岸	9.6	160	2	158	105	0.099	50.49	49.8	225	49.89	45.35	0.400	40	30
	14-2	33.85	左岸	6.2	217	2	215	89	0.099	50.49	49.8	225	40.81		0.400	30	
出石川	15-1	40.1	右岸	12.3	556	80	476	61	0.118	32.21	28.0	60	34.59	33.21	0.374	30	20
	15-2	40.1	左岸	10.4	640	80	560	56	0.118	32.21	28.0	60	31.83		0.374	20	
	16-1	83.3	右岸	13.4	265	27	238	102	0.117	32.21	28.0	60	41.94	32.71	0.374	30	20
	16-2	83.3	左岸	7.1	532	68	464	34	0.117	32.21	28.0	60	23.48		0.374	20	
	17-1	71.3	右岸	5.8	448	40	408	33	0.116	32.21	28.0	60	21.54	24.51	0.374	10	10
	17-2	71.3	左岸	8.5	610	43	567	47	0.116	32.21	28.0	60	27.48		0.374	20	
	18-1	24.54	右岸	2.6	119	11	108	176	0.108	32.21	28.0	60	26.57	29.05	0.374	10	10
	18-2	24.54	左岸	6.7	123	11	112	112	0.108	32.21	28.0	60	31.54		0.374	10	
	19-1	5.29	右岸	4.9	468	8	460	29	0.112	32.21	28.0	60	18.79	21.62	0.374	10	10
	19-2	5.29	左岸	5.8	214	8	206	54	0.112	32.21	28.0	60	24.45		0.374	10	
	20-1	67.22	右岸	15.0	318	2	316	250	0.110	32.21	28.0	60	55.17	57.97	0.374	30	30
	20-2	67.22	左岸	15.7	251	2	249	318	0.110	32.21	28.0	60	60.76		0.374	30	
円山川 下流	21-1	17.7	右岸	7.9	175	1	174	199	0.073	15.72	9.2	15	13.27	13.07	0.600	10	10
	21-2	17.7	左岸	4.4	83	1	82	324	0.073	15.72	9.2	15	12.87		0.600	10	
奈佐川	22-1	36.6	右岸	9.4	258	4	254	82	0.118	15.72	9.2	15	16.91	15.63	0.600	20	10
	22-2	36.6	左岸	9.0	542	4	538	52	0.118	15.72	9.2	15	14.35		0.600	10	
	23-1	16.5	右岸	9.8	460	1	459	72	0.116	15.72	9.2	15	16.20	17.18	0.600	20	10
円山川 下流	23-2	16.5	左岸	3.07	307	1	306	123	0.116	15.72	9.2	15	18.17		0.600	10	
	24-1	41.3	右岸	6.0	255	0	255	112	0.109	15.72	9.2	15	15.01	13.79	0.600	10	10
	24-2	41.3	左岸	5.9	367	1	366	67	0.109	15.72	9.2	15	12.58		0.600	10	
	25-1	25.3	右岸	4.3	307	2	305	46	0.108	15.72	9.2	15	9.88	10.78	0.600	10	10
	25-2	25.3	左岸	5.1	288	1	287	64	0.108	15.72	9.2	15	11.68		0.600	10	

3) 基底流量の設定

計画の基底流量は実績洪水波形の立上がり時の流量とし、計画に用いる基底流量は、低水の流量観測を実施している府市場観測所と弘原観測所の平均的な値 ($0.05\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$) を各細分割流域に与えた。

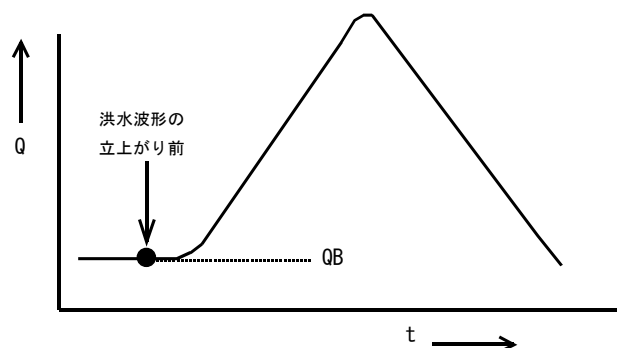


図 1-15 基底流量の設定方法

表 1-14 実績洪水の立ち上がり流量

洪水年月日		府市場	弘原	備考
H21. 8. 10		20	8	
H23. 9. 3		23	8	
H23. 9. 21		76	26	
H25. 9. 4		9	22	
H25. 9. 16		—	10	
H29. 9. 17		10	—	
H29. 10. 22		61	—	
平均 流量	流量	33	15	
	比流量	0.040	0.074	

4) 流域定数の設定結果

流域定数の設定結果を表 1-15に示す。なお、将来の土地利用が不明なため、将来の流域定数（計画定数）は現況定数と同一とした。

表 1-15 流域定数の設定結果

流域名	流域No.	流域面積A (km ²)			貯留関数		遅滞時間 Tl (分)	一次流出率 f ₁	飽和雨量 Rsa (mm)	基底流量 (m ³ /s)
		合計	自然流出域	内水流域	K	P				
本川 上流域	1	35.90	35.90	0.00	42.27	0.400	40.0	0.65	140.0	1.8
	2	58.91	58.91	0.00	43.78	0.400	40.0	0.65	140.0	2.9
	3	76.79	76.79	0.00	26.81	0.400	20.0	0.65	140.0	3.8
	4	66.08	66.08	0.00	43.86	0.400	40.0	0.65	140.0	3.3
	5	90.52	90.52	0.00	36.89	0.400	40.0	0.65	140.0	4.5
大屋川 流域	6	43.20	43.20	0.00	34.39	0.400	40.0	0.65	140.0	2.2
	7	104.70	104.70	0.00	41.10	0.400	40.0	0.65	140.0	5.2
	8	83.70	83.70	0.00	39.05	0.400	40.0	0.65	140.0	4.2
八木川 流域	9	46.10	46.10	0.00	33.34	0.400	30.0	0.65	140.0	2.3
	10	67.62	67.62	0.00	21.06	0.400	20.0	0.65	140.0	3.4
	11	26.48	26.48	0.00	42.74	0.400	60.0	0.65	140.0	1.3
本川 中流域	12	36.40	36.40	0.00	27.33	0.400	20.0	0.65	140.0	1.8
	13	100.60	100.60	0.00	60.38	0.400	90.0	0.65	140.0	5.0
	14	33.85	10.40	23.45	45.35	0.400	30.0	0.65	140.0	1.7
出石川 流域	15	40.10	40.10	0.00	33.21	0.374	20.0	0.50	140.0	2.0
	16	83.30	83.30	0.00	32.71	0.374	20.0	0.50	140.0	4.2
	17	71.30	71.30	0.00	24.51	0.374	10.0	0.50	140.0	3.6
	18	22.00	13.90	8.10	29.05	0.374	10.0	0.50	140.0	1.1
	19	5.29	5.29	0.00	21.62	0.374	10.0	0.50	140.0	0.3
	20	69.76	18.71	51.05	57.97	0.374	30.0	0.50	140.0	3.5
本川 下流域	21	17.70	0.00	17.70	13.07	0.600	10.0	0.65	150.0	0.9
奈佐川 流域	22	36.60	36.60	0.00	15.63	0.600	10.0	0.65	150.0	1.8
	23	16.50	7.54	8.96	17.18	0.600	10.0	0.65	150.0	0.8
本川 下流域	24	41.30	31.59	9.71	13.79	0.600	10.0	0.65	150.0	2.1
	25	25.30	17.90	7.40	10.78	0.600	10.0	0.65	150.0	1.3

(2) 河道定数の設定

1) 河道定数 (K、P) の設定

a) 現況定数の設定方法

現況定数 (K、P、*tl*) は、平成16年 (2004年) 時点の河道をベースに上流部の貯留量の小さい区間は不等流計算を用い、河道の貯留が無視できない区間は不定流計算を用いて流量(*Q*)～貯留量(*S*)の関係を算定し、設定した。なお、現況定数は、流量がある一定量以上になると氾濫、越水が発生するため、各河道時点の改修状況を踏まえた氾濫定数を設定した。

b) 計法定数の設定方法

計法定数は、既定計画河道の断面をもとに、上流部は不等流計算、直轄区間は不定流計算を用いて設定した。

○ $S = \frac{V}{3600}$ (*V*: 各流量に対応した河道内のボリューム【 m^3 】) の関係であり、*V*は以下の方法で求めた。

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

A: 河道の各断面における断面積【 m^2 】、*L*: 河道の各断面間の延長【*m*】

c) 河道定数 (K、P) の設定結果

河道定数の設定結果を表 1-16～表 1-19に示す。

表 1-16 河道定数一覧 (平成16年10月時点)

河川名	河道番号	河 道 区 間	区間延長 (km)	貯留関数		遅滞時間 <i>tl</i> (分)	氾濫開始流量 <i>Q</i> (m ³ /s)	越水開始流量 <i>Q</i> (m ³ /s)	備考
				K	P				
円山川	A	神子畑川～和田山	14.3	14.08	0.72	10.0			
	B	和田山～上小田	13.0	17.94	0.65	10.0			
大屋川	C	横行～養父町	12.9	14.40	0.60	10.0			
	D	養父町～本川合流点	12.4	19.30	0.60	10.0			
八木川	E	須賀ノ山～本川合流点	18.5	16.00	0.60	10.0			
円山川	F	上小田～稲葉川合流点	6.6	5.51	0.70	5.0	1,000未満	3,500	氾濫・越水河道
				1.20	0.91	5.0	1,000以上		
	G	稲葉川合流点～府市場	6.2	4.99	0.72	5.0	2,000未満		氾濫河道
				1.10	0.91	5.0	2,000以上		
	H	府市場～出石川合流点	5.0	10.31	0.69	5.0	460未満	3,400	氾濫・越水河道
				1.70	0.99	5.0	460以上		
出石川	I	但馬川～出合市場	4.5	7.00	0.60	5.0			
	J	出合市場～弘原	11.0	18.60	0.60	10.0			
	K	弘原～出石川合流点	7.5	2.26	0.97	10.0		750	越水河道
円山川	L	出石川合流点～立野	3.4	23.81	0.53	10.0			
	M	立野～奈佐川合流点	4.0	51.36	0.42	10.0	700未満	4,000	氾濫・越水河道
				20.48	0.56	10.0	700以上		
	N	奈佐川合流点～港大橋	9.0	83.20	0.65	20.0	1,150未満		氾濫河道
				90.77	0.48	20.0	1,150以上		

表 1-17 河道定数一覧（平成21年～平成23年時点）

河川名	河道番号	河 道 区 間	区間延長 (km)	貯留関数		遅滞時間 t _l (分)	氾濫開始流量 Q(m ³ /s)	越水開始流量 Q(m ³ /s)	備考
				K	P				
円山川	A	神子畑川～和田山	14.3	14.08	0.72	10.0			
	B	和田山～上小田	13.0	17.94	0.65	10.0			
大屋川	C	横行～養父町	12.9	14.40	0.60	10.0			
	D	養父町～本川合流点	12.4	19.30	0.60	10.0			
八木川	E	須賀ノ山～本川合流点	18.5	16.00	0.60	10.0			
円山川	F	上小田～稲葉川合流点	6.6	5.51	0.70	5.0	1,000未満	3,500	氾濫・越水河道
				1.20	0.91	5.0	1,000以上		
	G	稲葉川合流点～府市場	6.2	4.99	0.72	5.0	2,000未満		氾濫河道
				1.10	0.91	5.0	2,000以上		
	H	府市場～出石川合流点	5.0	10.31	0.69	5.0			
出石川	I	但馬川～出合市場	4.5	7.00	0.60	5.0			
	J	出合市場～弘原	11.0	18.60	0.60	10.0			
	K	弘原～出石川合流点	7.5	2.26	0.97	10.0			
円山川	L	出石川合流点～立野	3.4	23.81	0.53	10.0			
	M	立野～奈佐川合流点	4.0	51.36	0.42	10.0			
	N	奈佐川合流点～港大橋	9.0	83.20	0.65	20.0	1,150未満		氾濫河道
				90.77	0.48	20.0	1,150以上		

表 1-18 河道定数一覧（平成25年～現時点）

河川名	河道番号	河 道 区 間	区間延長 (km)	貯留関数		遅滞時間 t _l (分)	氾濫開始流量 Q(m ³ /s)	越水開始流量 Q(m ³ /s)	備考
				K	P				
円山川	A	神子畑川～和田山	14.3	14.08	0.72	10.0			
	B	和田山～上小田	13.0	17.94	0.65	10.0			
大屋川	C	横行～養父町	12.9	14.40	0.60	10.0			
	D	養父町～本川合流点	12.4	19.30	0.60	10.0			
八木川	E	須賀ノ山～本川合流点	18.5	16.00	0.60	10.0			
円山川	F	上小田～稲葉川合流点	6.6	5.51	0.70	5.0			
	G	稲葉川合流点～府市場	6.2	4.99	0.72	5.0			
	H	府市場～出石川合流点	5.0	10.31	0.69	5.0			
出石川	I	但馬川～出合市場	4.5	7.00	0.60	5.0			
	J	出合市場～弘原	11.0	18.60	0.60	10.0			
	K	弘原～出石川合流点	7.5	2.26	0.97	10.0			
円山川	L	出石川合流点～立野	3.4	23.81	0.53	10.0			
	M	立野～奈佐川合流点	4.0	51.36	0.42	10.0			
	N	奈佐川合流点～港大橋	9.0	83.20	0.65	20.0			

表 1-19 河道定数一覧（計画）

河川名	河道番号	河 道 区 間	区間延長 (km)	貯留関数		遅滞時間 t _l (分)	氾濫開始流量 Q(m ³ /s)	越水開始流量 Q(m ³ /s)	備考
				K	P				
円山川	A	神子畑川～和田山	14.3	12.69	0.67	10.0			
	B	和田山～上小田	13.0	14.64	0.62	10.0			
大屋川	C	横行～養父町	12.9	2.75	0.63	10.0			
	D	養父町～本川合流点	12.4	10.33	0.62	10.0			
八木川	E	須賀ノ山～本川合流点	18.5	9.52	0.64	10.0			
円山川	F	上小田～稲葉川合流点	6.6	13.55	0.57	5.0			
	G	稲葉川合流点～府市場	6.2	22.82	0.62	5.0			
	H	府市場～出石川合流点	5.0	24.54	0.56	5.0			
出石川	I	但馬川～出合市場	4.5	9.78	0.58	5.0			
	J	出合市場～弘原	11.0	11.44	0.66	10.0			
	K	弘原～出石川合流点	7.5	18.32	0.56	10.0			
円山川	L	出石川合流点～立野	3.4	24.30	0.57	10.0			
	M	立野～奈佐川合流点	4.0	30.42	0.61	10.0			
	N	奈佐川合流点～港大橋	9.0	68.80	0.57	20.0			

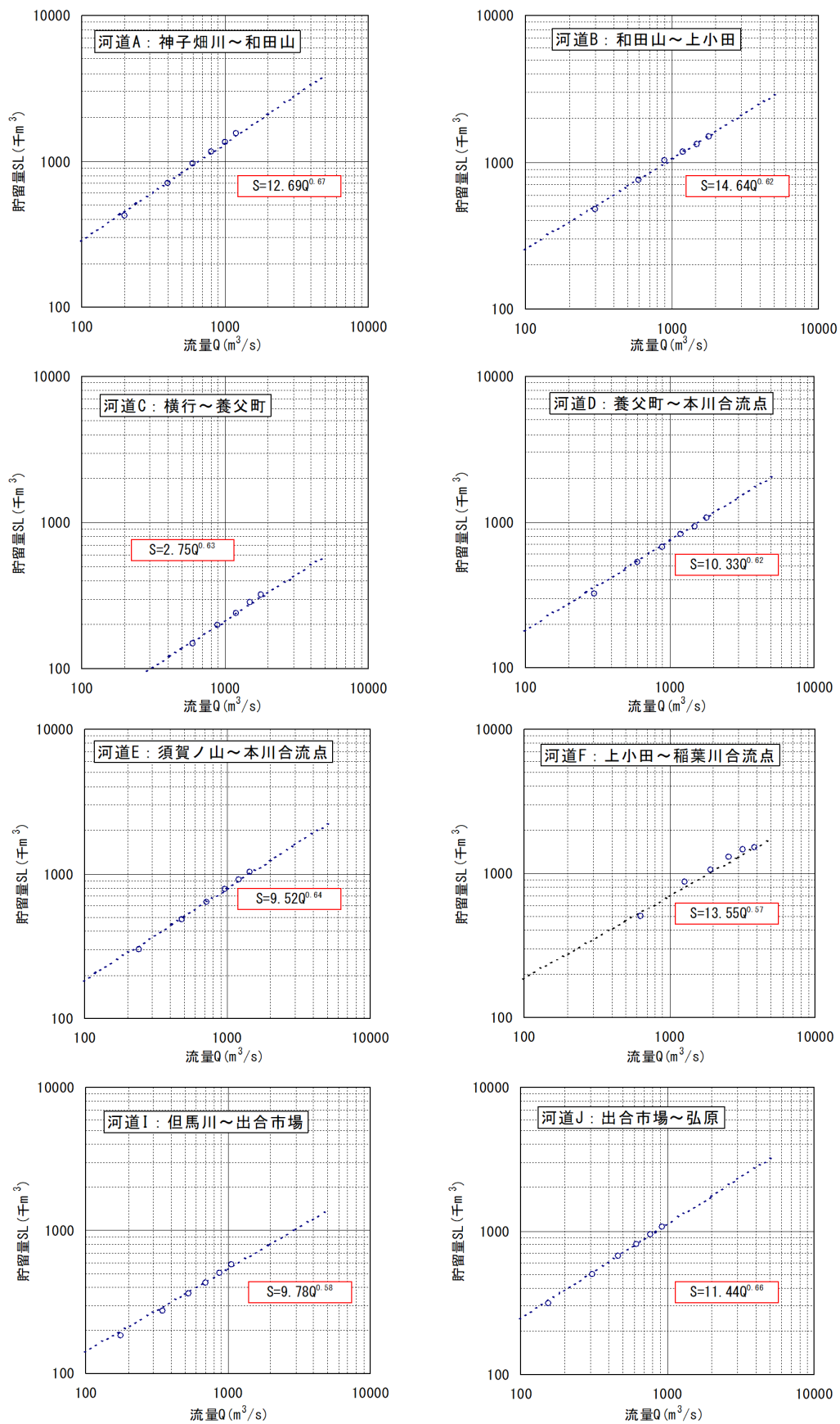


図 1-16 (1) $S \sim Q$ 関係 (計画河道、不等流計算区間)

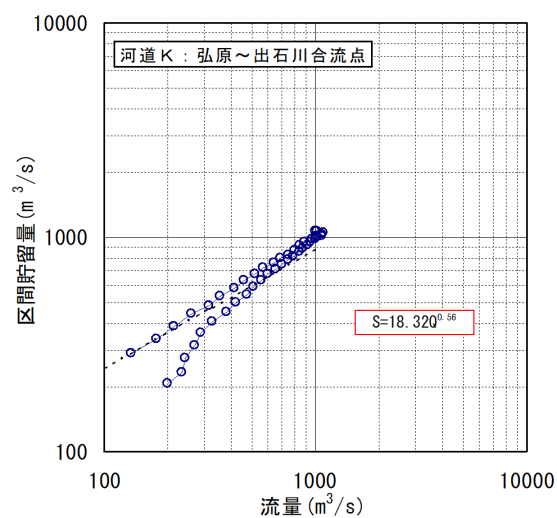
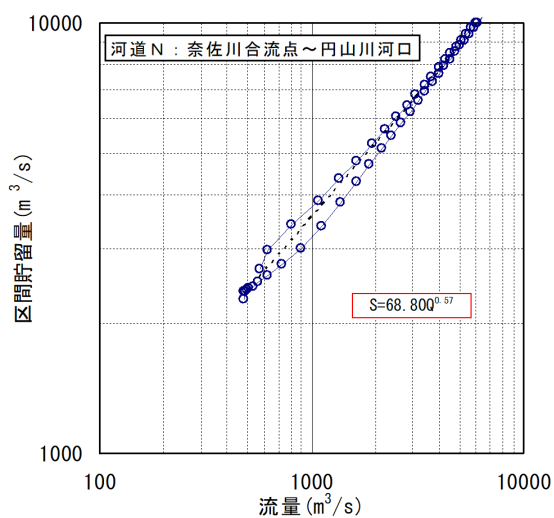
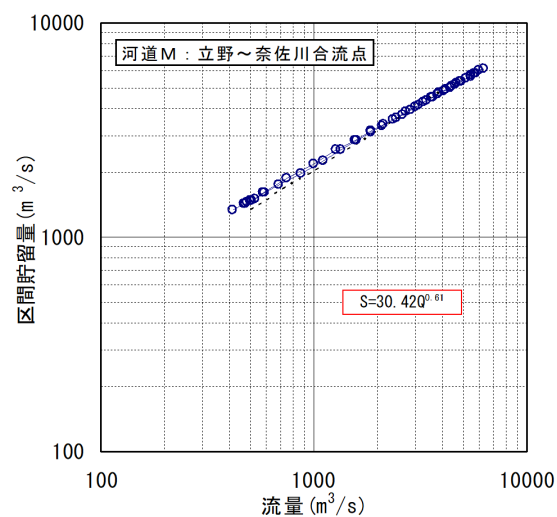
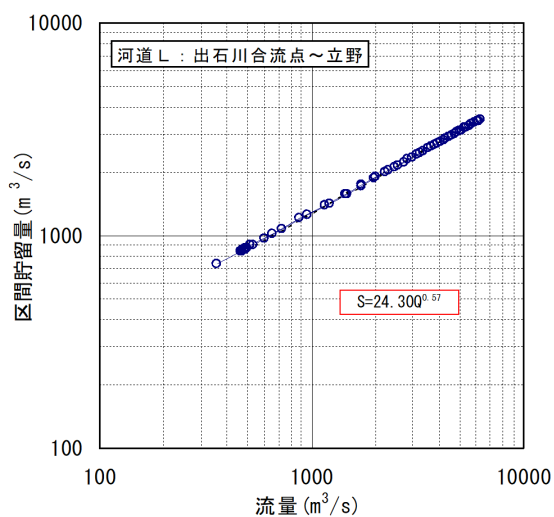
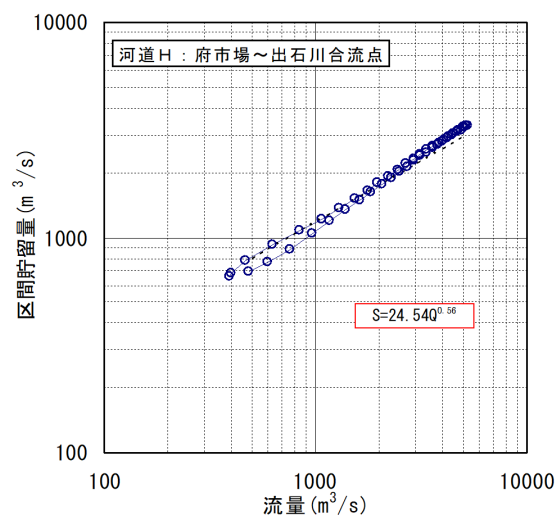
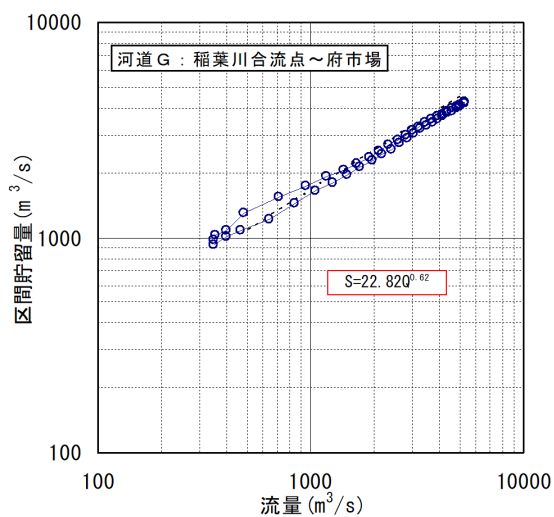


図 1-16 (2) $S \sim Q$ 関係 (計画河道、不等流計算区間)

表 1-20 (1) S~Q関係算定結果 (計画河道、不等流計算区間)

A河道		延長 : 14.3k	河川名 : 円山川		
流量 Q (m ³ /s)	貯留量 S (千m ³)	平均流速 V (m/s)	遅れ時間 (hr)	みかけ貯留量 SL (千m ³)	
200	1020	2.9	0.83	423	
400	1702	3.4	0.69	705	
600	2302	3.8	0.63	951	
800	2783	4.2	0.57	1154	
1000	3260	4.5	0.53	1353	
1200	3735	4.7	0.51	1550	

B河道		延長 : 13.0k	河川名 : 円山川		
流量 Q (m ³ /s)	貯留量 S (千m ³)	平均流速 V (m/s)	遅れ時間 (hr)	みかけ貯留量 SL (千m ³)	
300	1295	2.9	0.75	481	
600	2174	3.3	0.66	757	
900	2809	3.9	0.55	1022	
1200	3529	4.0	0.55	1169	
1500	4077	4.3	0.51	1330	
1800	4671	4.4	0.49	1496	

C河道		延長 : 12.9k	河川名 : 大屋川		
流量 Q (m ³ /s)	貯留量 S (千m ³)	平均流速 V (m/s)	遅れ時間 (hr)	みかけ貯留量 SL (千m ³)	
300	762	3.5	0.62	93	
600	1360	3.8	0.56	149	
900	1797	4.4	0.49	197	
1200	2194	4.8	0.45	241	
1500	2561	5.1	0.42	281	
1800	2909	5.4	0.40	319	

D河道		延長 : 12.4k	河川名 : 大屋川		
流量 Q (m ³ /s)	貯留量 S (千m ³)	平均流速 V (m/s)	遅れ時間 (hr)	みかけ貯留量 SL (千m ³)	
300	1021	3.2	0.65	321	
600	1761	3.6	0.57	525	
900	2354	4.0	0.52	664	
1200	2869	4.3	0.48	815	
1500	3418	4.5	0.46	932	
1800	3812	4.9	0.42	1067	

表 1-20 (2) S~Q関係算定結果 (計画河道、不等流計算区間)

E河道		延長 : 18.5k	河川名 : 八木川		
流量 Q (m ³ /s)	貯留量 S (千m ³)	平均流速 V (m/s)	遅れ時間 (hr)	みかけ貯留量 SL (千m ³)	
240	836	5.0	0.62	301	
480	1344	6.2	0.50	482	
720	1777	7.0	0.44	636	
960	2170	7.6	0.40	776	
1200	2537	8.2	0.38	907	
1440	2883	8.6	0.36	1030	

F河道		延長 : 6.6k	河川名 : 円山川		
流量 Q (m ³ /s)	貯留量 S (千m ³)	平均流速 V (m/s)	遅れ時間 (hr)	みかけ貯留量 SL (千m ³)	
640	1457	2.7	0.41	506	
1280	2540	3.0	0.36	872	
1920	3442	3.2	0.34	1058	
2560	4211	3.5	0.32	1305	
3200	4973	3.6	0.31	1453	
3840	6039	3.4	0.33	1515	

I河道		延長 : 4.5k	河川名 : 出石川		
流量 Q (m ³ /s)	貯留量 S (千m ³)	平均流速 V (m/s)	遅れ時間 (hr)	みかけ貯留量 SL (千m ³)	
176	384	2.4	0.32	182	
352	587	3.0	0.25	275	
528	764	3.5	0.21	358	
704	917	3.9	0.19	428	
880	1070	4.2	0.18	501	
1056	1228	4.4	0.17	575	

J河道		延長 : 11.0k	河川名 : 出石川		
流量 Q (m ³ /s)	貯留量 S (千m ³)	平均流速 V (m/s)	遅れ時間 (hr)	みかけ貯留量 SL (千m ³)	
154	746	2.3	0.79	310	
308	1186	2.9	0.62	497	
461	1571	3.4	0.55	666	
615	1923	3.7	0.50	811	
769	2248	3.9	0.47	945	
923	2541	4.1	0.44	1068	

2) 河道定数 (TL) の設定

a) TLの設定方法

河道の遅滞時間TLは、定流の貯留関数と洪水流の貯留関数の関係から求めた。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。

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

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

ここに、 Q ：流量 (m^3/s)

n ：粗度係数 ($\text{m} \cdot \text{sec}$ 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。

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

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。

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

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 1-17のとおりであり、 Q_{min} に対応する点で交わる。

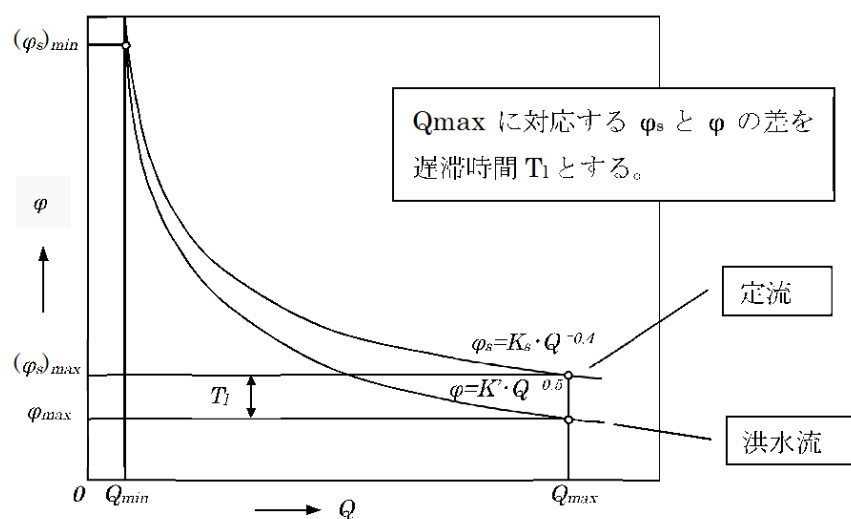


図 1-17 定流の貯留関数 φ_s と洪水流の貯留関数 φ の関係

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、 $0.4\sim 0.5$ （平均 0.45 程度）であることが判っているので、 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 1-17の関係は変わらない。
- ・ Q_{max} を大きく変えても TI の値はほとんど変わらない。

円山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。

円山川では、 Q_{min} を立野地点（ $1,115\text{km}^2$ ）平均低水流量程度（ $Q=\text{約}106\text{m}^3/\text{s}$ ）とし、 Q_{max} を平成16年（2004年）10月台風23号洪水時の立野地点ピーク流量（ $4,900\text{m}^3/\text{s}$ ）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 をもとに洪水時の定数 K' （ $\phi_s(Q_{min})=\phi(Q_{min})$ ）を求めることが出来る。

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 TI を算出することができる。

定流時の ϕ_s を求めるために K_s 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、円山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。

河道の遅滞時間 TI を設定した結果を表 1-21に示す。

表 1-21 河道モデルの遅滞時間 TI の設定結果

河川名	河道番号	河道区間	区間延長 (km)	平均勾配 1/n	平均川幅 b (m)	粗度係数 n	Q_{min} (m^3/s)	Q_{max} (m^3/s)	K_s	ϕ_s (min)	ϕ_s (max)	K'	ϕ (min)	ϕ (max)	TI (hr)
円山川	A	神子畑川～和田山	14.3	1/194	34.2	0.035	21	950	7.09	2.11	0.46	9.59	2.11	0.31	10.00
	B	和田山～上小田	13.0	1/329	53.4	0.035	32	1500	8.96	2.23	0.48	12.68	2.23	0.33	10.00
	C	横行～養父町	12.9	1/120	23.2	0.040	13	600	5.12	1.84	0.40	6.61	1.84	0.27	10.00
大屋川	D	養父町～本川合流点	12.4	1/191	47.0	0.035	24	1100	6.93	1.95	0.42	9.52	1.95	0.29	10.00
	E	須賀ノ山～本川合流点	18.5	1/97	20.7	0.038	18	850	6.38	1.99	0.43	8.54	1.99	0.29	10.00
八木川	F	上小田～稲葉川合流点	6.6	1/434	110.1	0.035	78	3600	6.62	1.16	0.25	10.24	1.16	0.17	5.00
	G	稲葉川合流点～府市場	6.2	1/620	77.6	0.036	89	4100	6.12	1.02	0.22	9.59	1.02	0.15	5.00
円山川	H	府市場～出石川合流点	5.0	1/780	48.5	0.036	89	4100	4.38	0.73	0.16	6.86	0.73	0.11	5.00
	I	但馬川～出合市場	4.5	1/114	13.9	0.035	14	650	1.32	0.46	0.10	1.72	0.46	0.07	5.00
出石川	J	出合市場～弘原	11.0	1/312	37.4	0.030	22	1000	5.92	1.73	0.37	8.04	1.73	0.25	10.00
	K	弘原～出石川合流点	7.5	1/1200	54.5	0.030	25	1150	7.03	1.94	0.42	9.69	1.94	0.29	10.00
円山川	L	出石川合流点～立野	3.4	1/9000	128.5	0.035	106	4900	9.01	1.40	0.30	14.37	1.40	0.21	10.00
	M	立野～奈佐川合流点	4.0	1/9000	162.9	0.035	106	4900	11.66	1.81	0.39	18.59	1.81	0.27	10.00
	N	奈佐川合流点～港大橋	9.0	1/9000	316.4	0.030	110	5100	31.19	4.75	1.03	49.93	4.75	0.70	20.00

1-4-4 内水域のモデル化

(1) 内水排除の考え方

1) 現況モデル

既設排水機場のポンプ排水量を与えるものとし、排水機場の無い内水地区からの流出はないものとする。

2) 計画モデル

河川整備基本方針検討時に1/30確率降雨に対し床上浸水防御を目標とし、内水解析を行い算出した将来計画排水量を設定した。

(2) 内水排水量

各排水機場の現況及び計画排水量及び位置は表 1-22、図 1-18のとおりである。

表 1-22 現況及び計画排水量一覧

内水流域 No.	内水流域名	面積(km ³)	排水機場名	所管	既設ポンプ (m ³ /s)	現行計画 方針ポンプ (m ³ /s)
①	八代川	23.45	八代排水機場	国	33	62
②	加陽	2.78	—	—	—	1
③	片間	5.35	—	—	—	23
④	六方川	47.30	六方排水機場	国	30	92
			六方川排水機場	兵庫県	18	
⑤	豊岡	10.27	豊岡排水機場	国	15	56
⑥	一日市	7.46	八条排水機場	国	10	23
			一日市排水機場	豊岡市	5.21	
⑦	岩井川	4.50	—	—	—	—
⑧	栢江	2.13	—	—	—	6
⑨	森津	2.32	—	—	—	3
⑩	赤石	9.71	赤石排水機場	豊岡市	2.81	23
			田鶴野排水機場	兵庫県	3.8	
⑪	城崎	4.30	城崎排水機場	国	23	23
⑫	桃島川	3.20	—	—	3	9
合計		122.77	合計	—	143.82	321

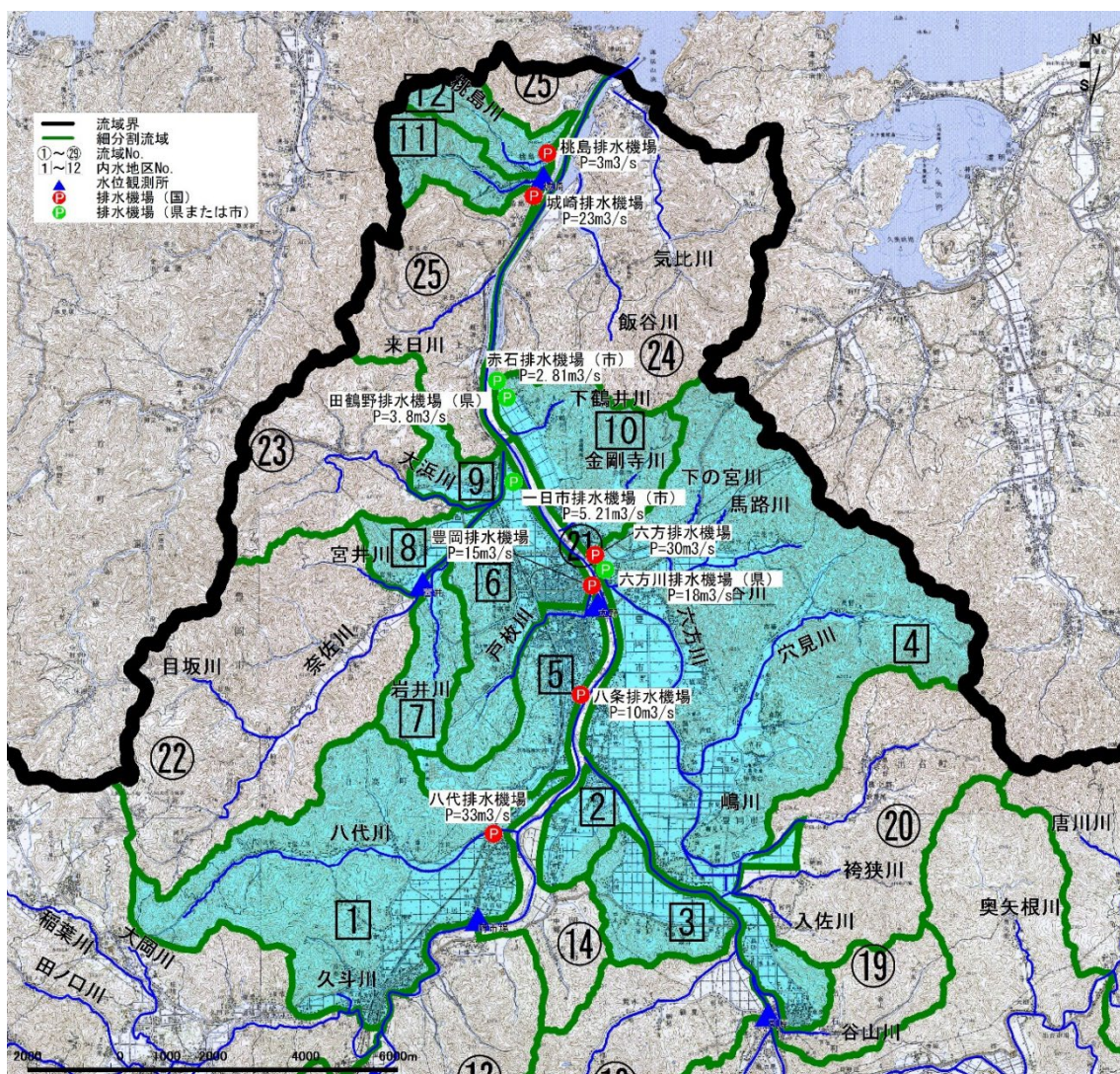


図 1-18 排水機場位置図（現況）

(3) 内水排除の計算方法

内水排除計算は次に示す方法で行う。

- ①内水地区への流入量は貯留関数法により算定する。
- ②洪水初期においては、内水域への流入量がポンプ規模以下の時は、流入量をそのまま河道へ排水する。
- ③内水域への流入量がポンプ規模以上の時は、ポンプの排水能力分だけ河道へ排水する。

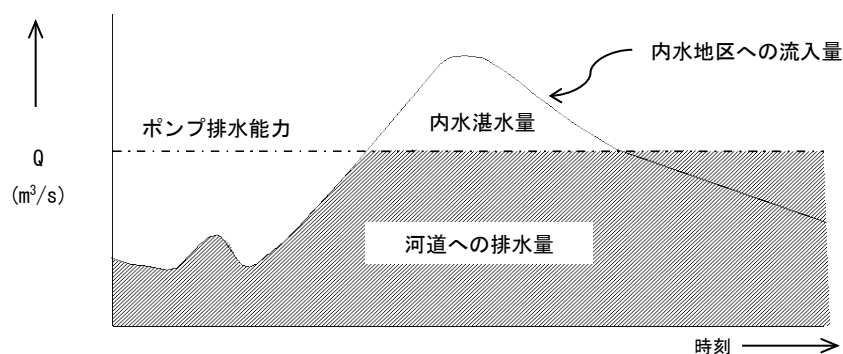


図 1-19 内水排除計算概念図

1-4-5 流出モデルの妥当性検証

(1) 検証対象洪水

流出計算モデルの再現性の検討に当たっては、河川改修等の進捗等を考慮して、平成16年（2004年）以降の洪水の中から上位4洪水（以下「再現性検討洪水」という。）とした。

再現性検討洪水は次のとおりである。

表 1-23 検証洪水一覧

洪水 No.	降雨年月	生起要因	立野2日 雨量 (mm)	立野12時間 雨量 (mm)	立野地点 実績流量 (m ³ /s)	備考
1	H21. 8. 10	台風9号	188	138	3,089	
2	H23. 9. 3	台風12号	256	116	2,759	
3	H29. 9. 17	台風18号	174	167	2,741	
4	H30. 7. 7	前線・台風7号	327	167	3,914	

検証地点は表 1-24に示すとおりとする。

表 1-24 検証地点一覧

河川名	地点名	河口からの 位置 (km)	流域面積 (km ²)	備考
円山川	上小田	31.70	700	指定区間
円山川	府市場	21.30	837	
出石川	弘原	24.20	200	
円山川	立野	13.00	1,115	
奈佐川	宮井	12.65	37	

(2) 解析条件

流出計算は、新たな流出計算モデルを用いて行う。

ここで、各小流域の流域面積、 f_1 、 K 、 P 、 T_l と各河道の K 、 P 、 T_l は全ての再現性検討洪水で同じ値とし、 R_{sa} 、基底流量は再現性検討洪水ごとに求めた値とした。

(3) 実績再現計算結果

検証計算に用いた各洪水の R_{sa} を表 1-25、検証計算結果を図 1-20～図 1-23に示す。

また、検証誤差評価を表 1-26に示し、誤差の絶対値が0.2以上の場合は網掛けをしている。

検証結果を整理すると以下のとおりである。

- ・ 新モデルによる流出計算結果は、現行モデルを用いて算定した結果に比べ、全ての洪水で、波形の再現性が向上しており、弘原、立野、宮井地点では、すべての洪水で誤差の絶対値が0.2以下となっており、再現性が高い。なお、上小田については、下流の府市場や立野地点よりピーク流量が多い場合が実績流量の精度が悪いと考えられるため、検証においては重要視していない。

表 1-25 検証 R_{sa} 一覧

洪水 No.	降雨年月	生起要因	Rsa			備考
			円山川上中流域	出石川流域	奈佐川・円山川 下流域	
1	H21. 8. 10	台風9号	50	65	80	
2	H23. 9. 3	台風12号	100	130	100	
3	H29. 9. 17	台風18号	90	100	150	
4	H30. 7. 7	前線・台風7号	100	100	150	
	計画定数	—	140	140	150	

波形全体の流量誤差、ボリューム誤差、ピーク流量誤差の評価は次式を用いた。

① 流出波形の誤差： E_w

$$E_w = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{Q_o(i) - Q_c(i)}{Q_o(i)} \right)^2$$

② 流出ボリューム誤差： E_v

$$E_v = \frac{\sum_{i=1}^n Q_o(i) - \sum_{i=1}^n Q_c(i)}{\sum_{i=1}^n Q_o(i)}$$

③ ピーク流量誤差： E_p

$$E_p = \frac{Q_{op} - Q_{cp}}{Q_{op}}$$

ここに、 E : 誤差

$Q_o(i)$: i 時の実測流量

$Q_c(i)$: i 時の計算流量

Q_{op} : 実測ピーク流量

Q_{cp} : 計算ピーク流量

n : 計算時間数

表 1-26 検証計算結果および誤差評価

地点	項目	H21. 8	H23. 9	H29. 9	H30. 7
上小田	実績流量 (m ³ /s)	4423	2432	2749	3563
	計算流量 (m ³ /s)	2447	2353	1982	2673
	① 流量波形の誤差	0.117	0.041	0.181	0.037
	② 流出ボリューム誤差	0.144	-0.003	-0.007	0.076
	③ ピーク流量誤差	0.447	0.033	0.279	0.250
府市場	実績流量 (m ³ /s)	2926	2792	2735	3139
	計算流量 (m ³ /s)	2499	2568	2204	3036
	① 流量波形の誤差	0.097	0.085	0.315	0.043
	② 流出ボリューム誤差	0.160	0.123	0.020	0.006
	③ ピーク流量誤差	0.146	0.080	0.194	0.033
弘原	実績流量 (m ³ /s)	880	286	770	839
	計算流量 (m ³ /s)	915	300	798	882
	① 流量波形の誤差	0.069	0.026	0.072	0.050
	② 流出ボリューム誤差	0.004	0.037	0.038	0.059
	③ ピーク流量誤差	-0.039	-0.047	-0.037	-0.052
立野	実績流量 (m ³ /s)	3089	2715	2741	3914
	計算流量 (m ³ /s)	3191	2691	2795	3911
	① 流量波形の誤差	0.057	0.033	0.082	0.006
	② 流出ボリューム誤差	0.078	-0.025	0.031	-0.023
	③ ピーク流量誤差	-0.033	0.009	-0.019	0.001
宮井	実績流量 (m ³ /s)	57	40	130	119
	計算流量 (m ³ /s)	57	44	134	134
	① 流量波形の誤差	0.080	0.142	0.192	0.082
	② 流出ボリューム誤差	-0.106	-0.109	-0.159	0.047
	③ ピーク流量誤差	-0.005	-0.081	-0.033	-0.130

誤差の絶対値が0.2以上の場合

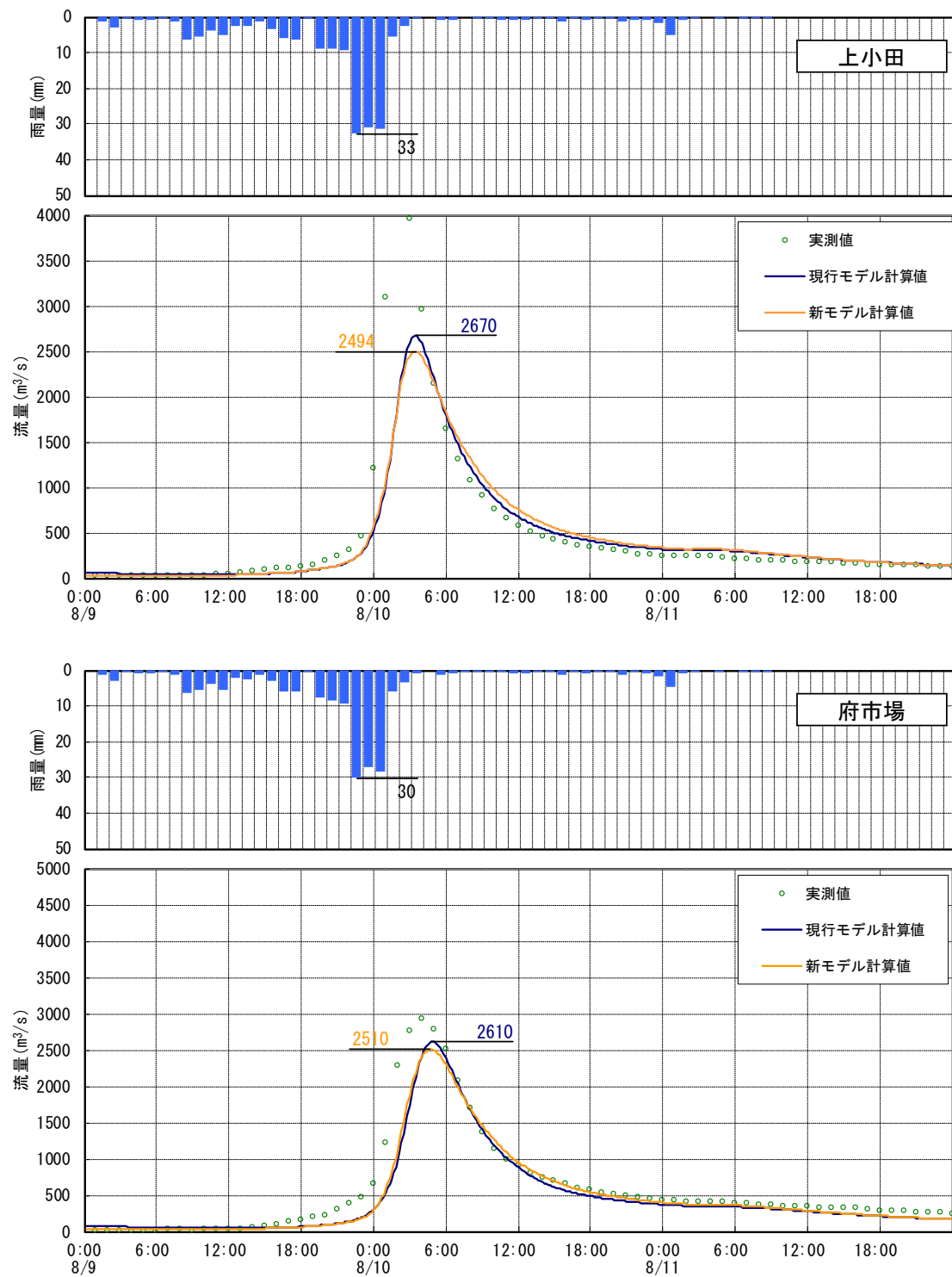


図 1-20 (1) 検証計算結果 (平成21年8月洪水)

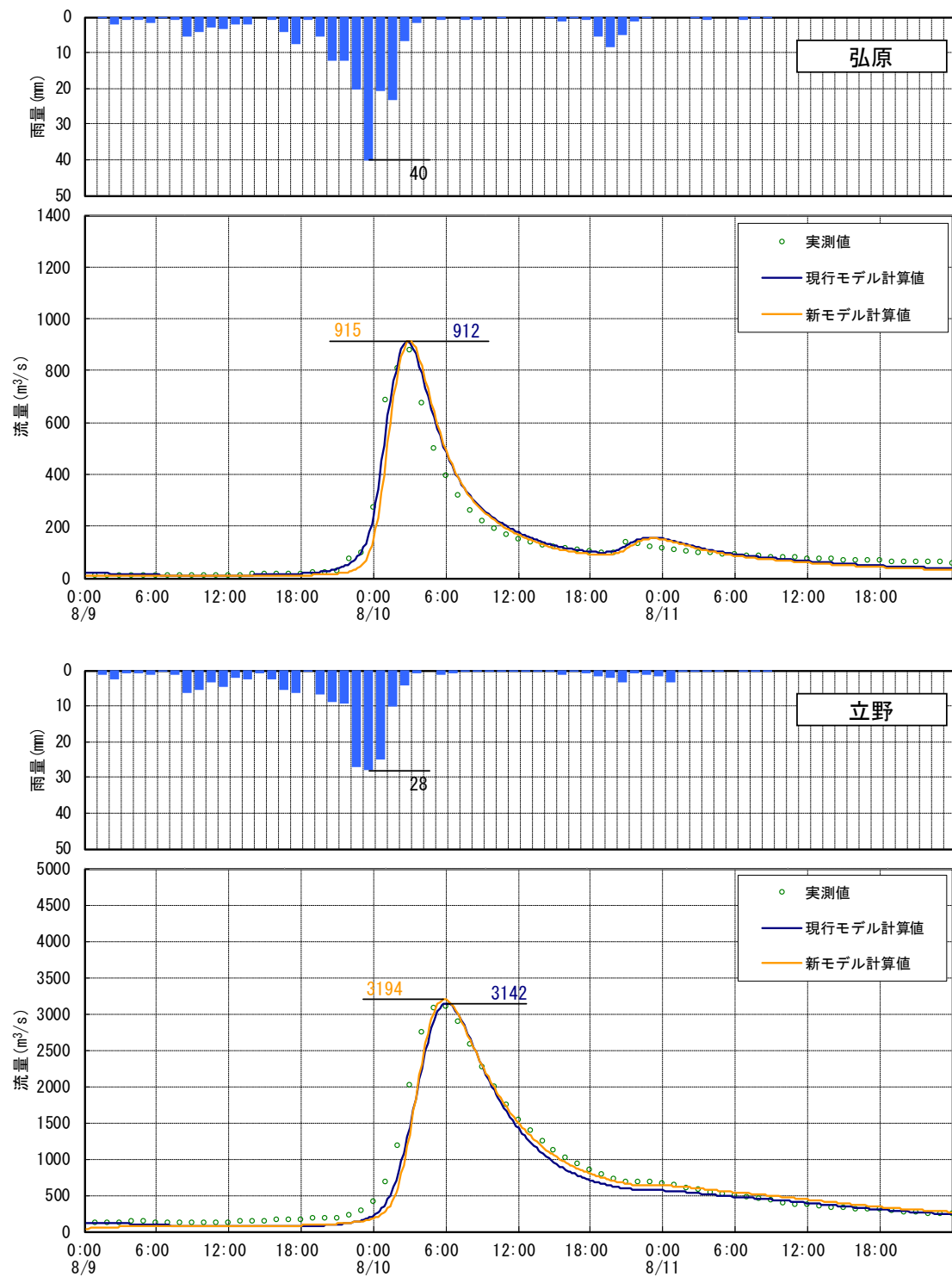


図 1-20 (2) 検証計算結果 (平成21年8月洪水)

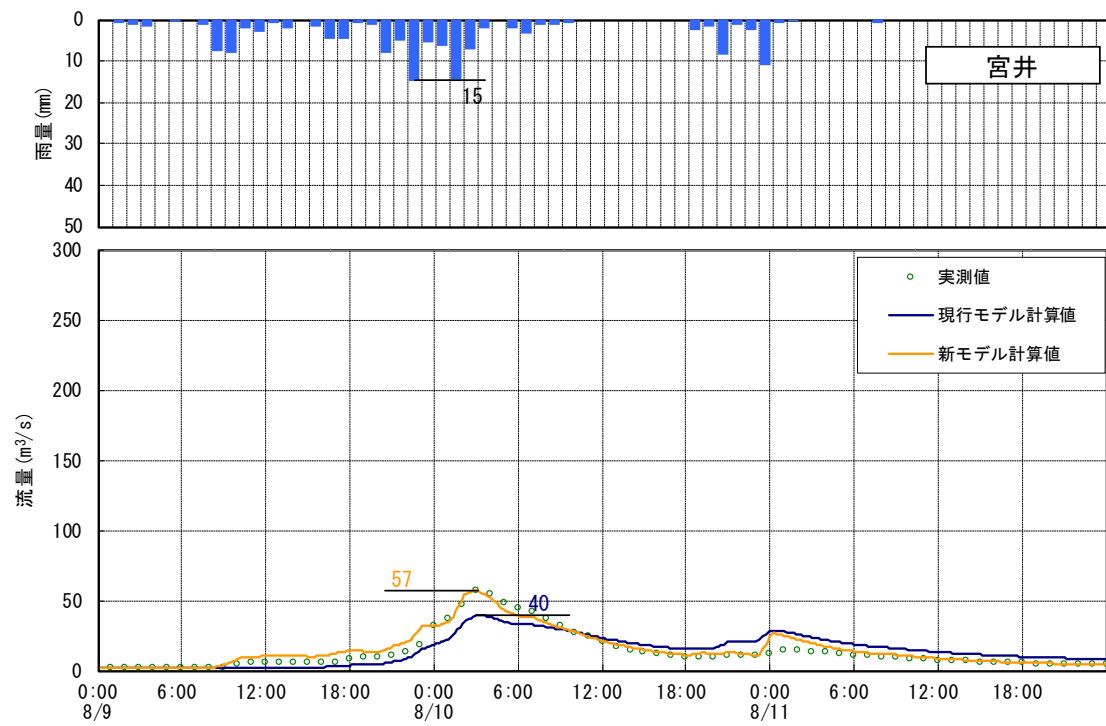


図 1-20 (3) 検証計算結果 (平成21年8月洪水)

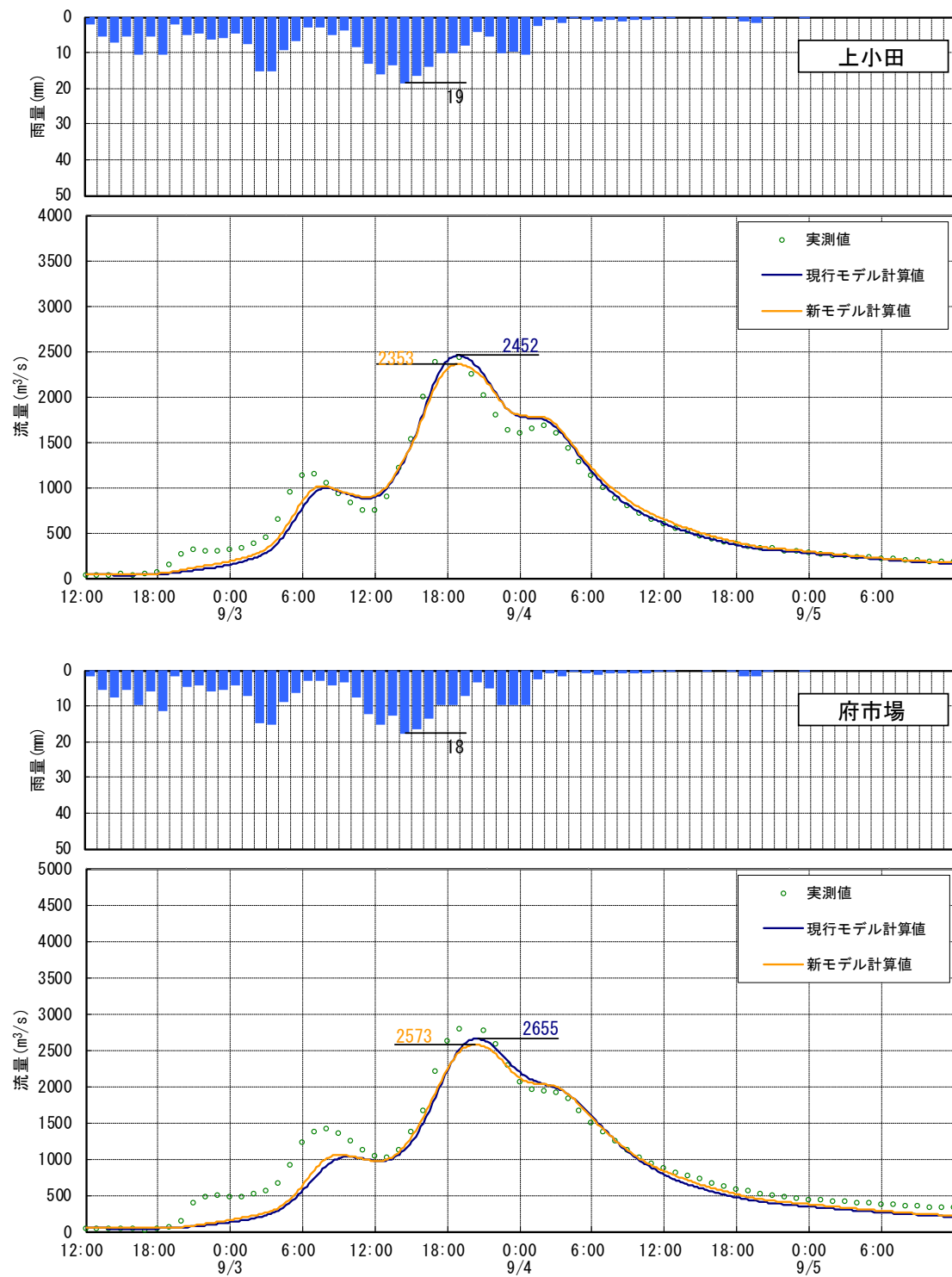


図 1-21 (1) 検証計算結果 (平成23年9月洪水)

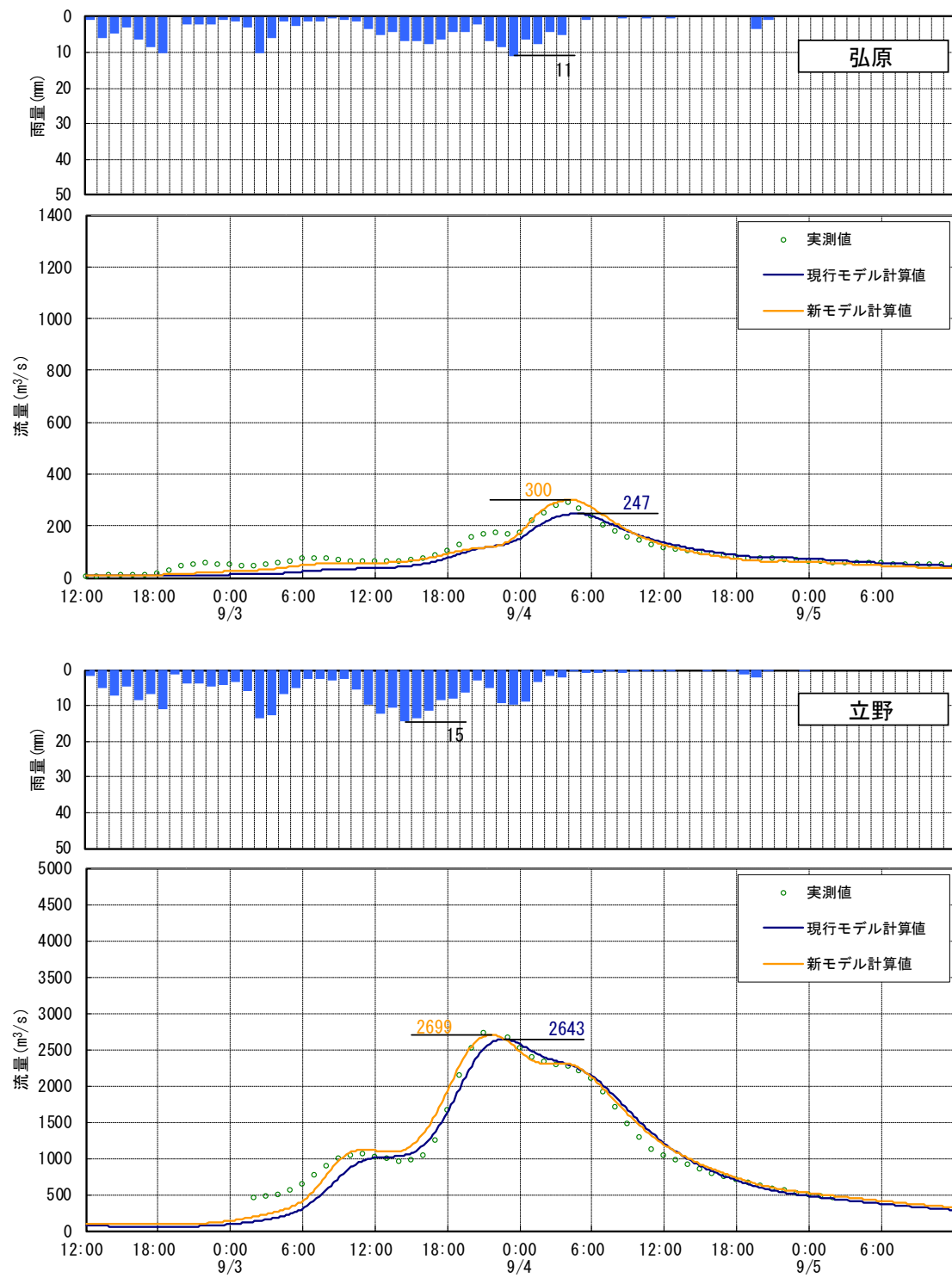


図 1-21 (2) 検証計算結果 (平成23年9月洪水)

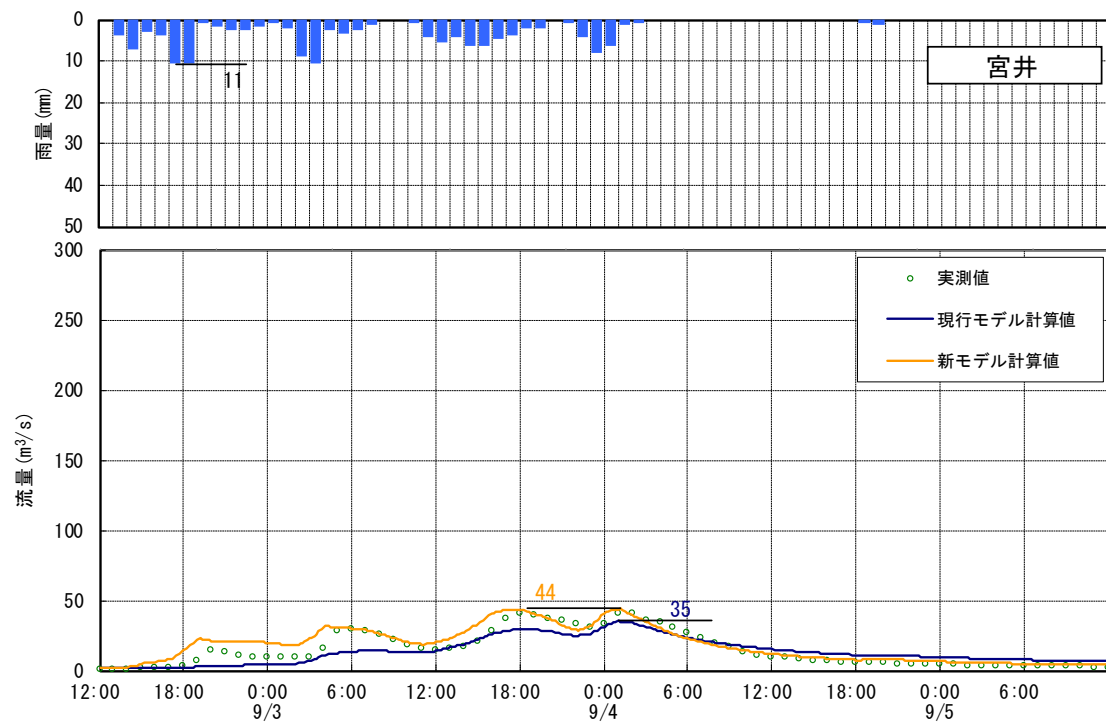


図 1-21 (3) 検証計算結果 (平成23年9月洪水)

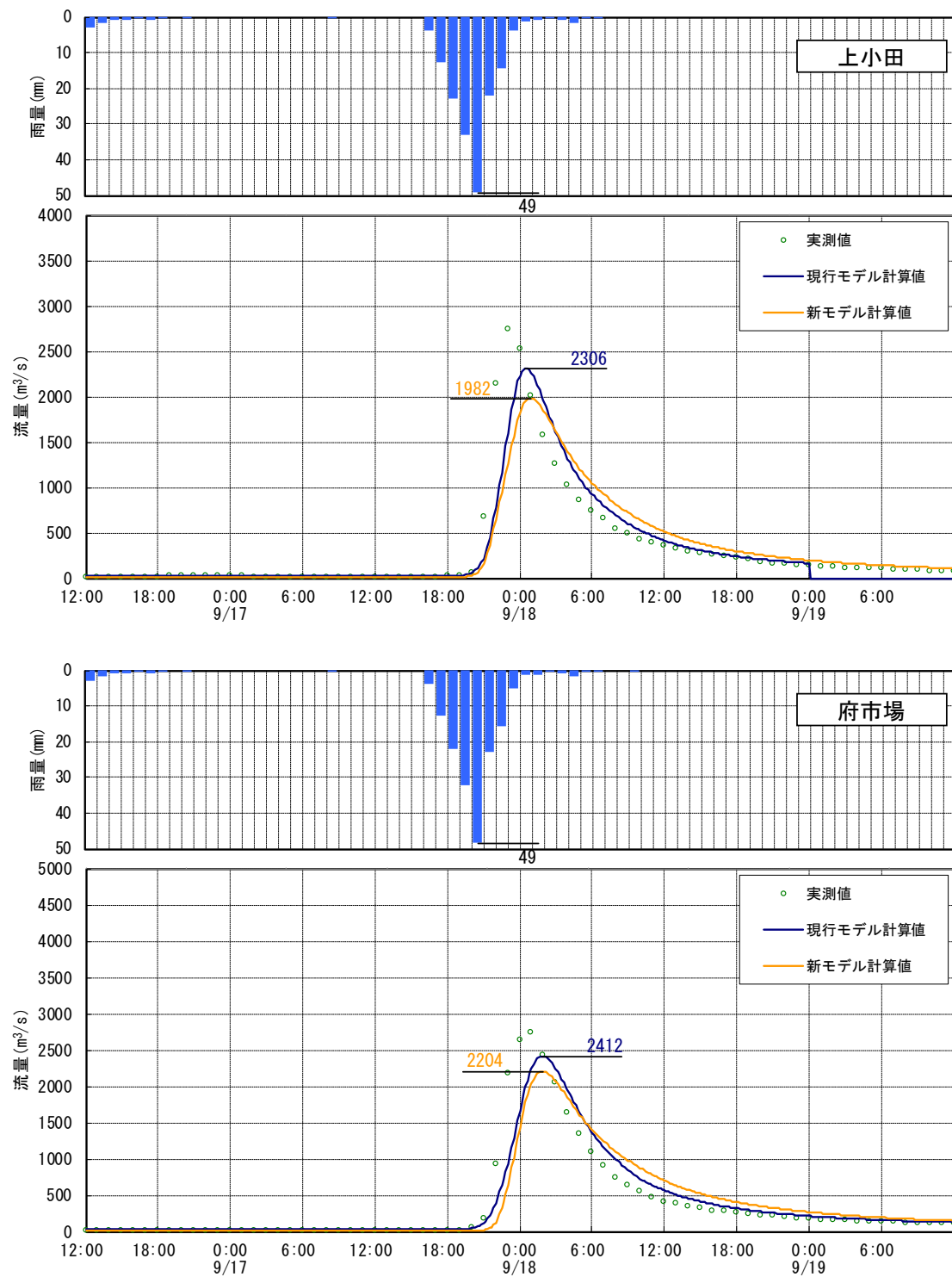


図 1-22 (1) 検証計算結果 (平成29年9月洪水)

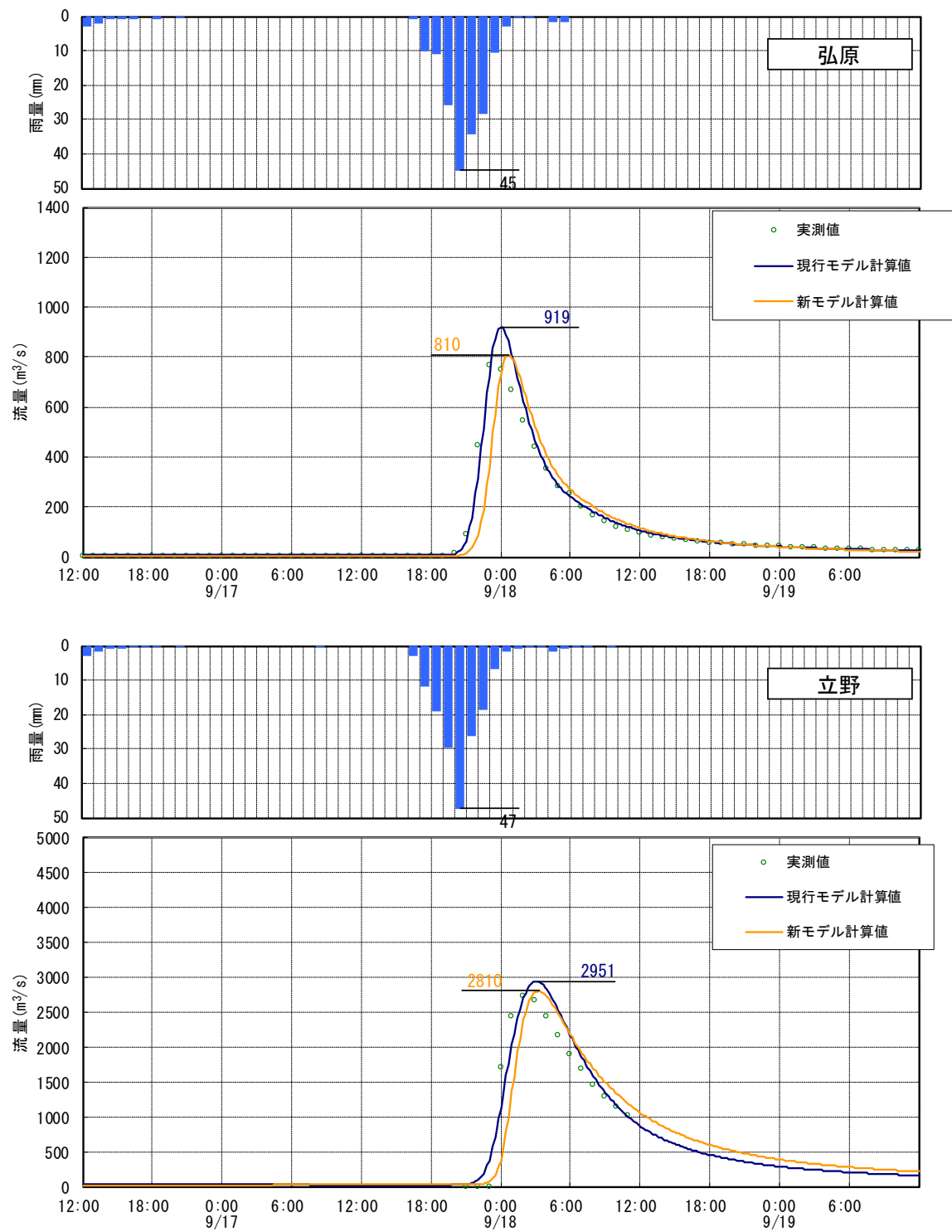


図 1-22 (2) 検証計算結果 (平成29年9月洪水)

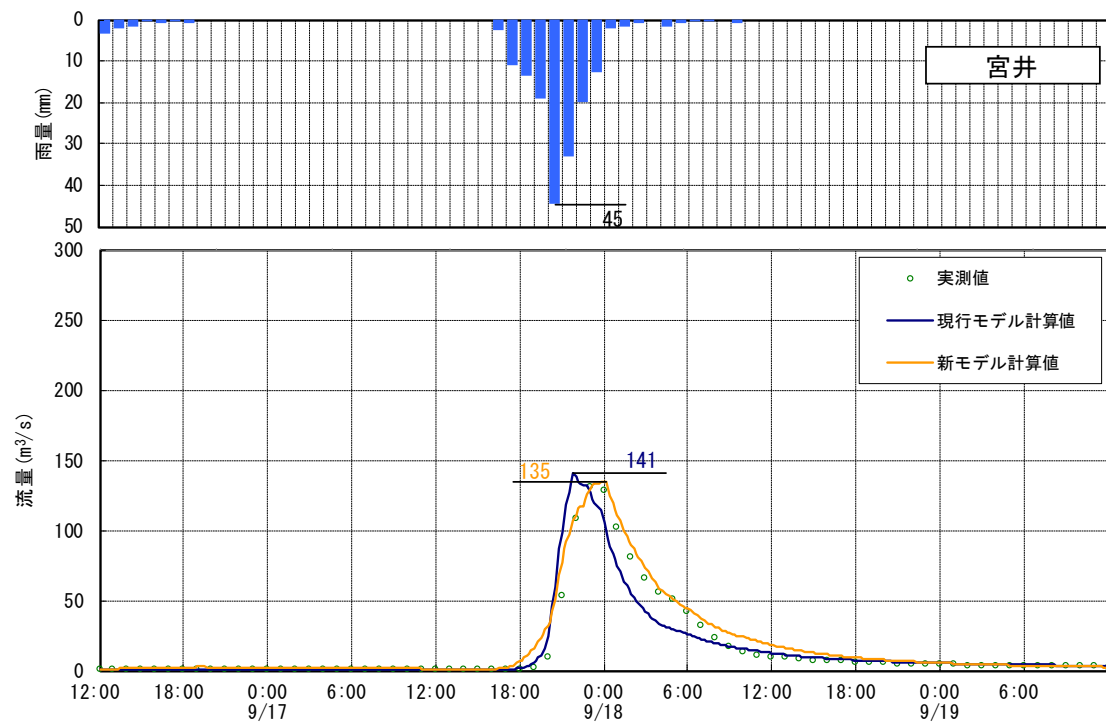


図 1-22 (3) 検証計算結果 (平成29年9月洪水)

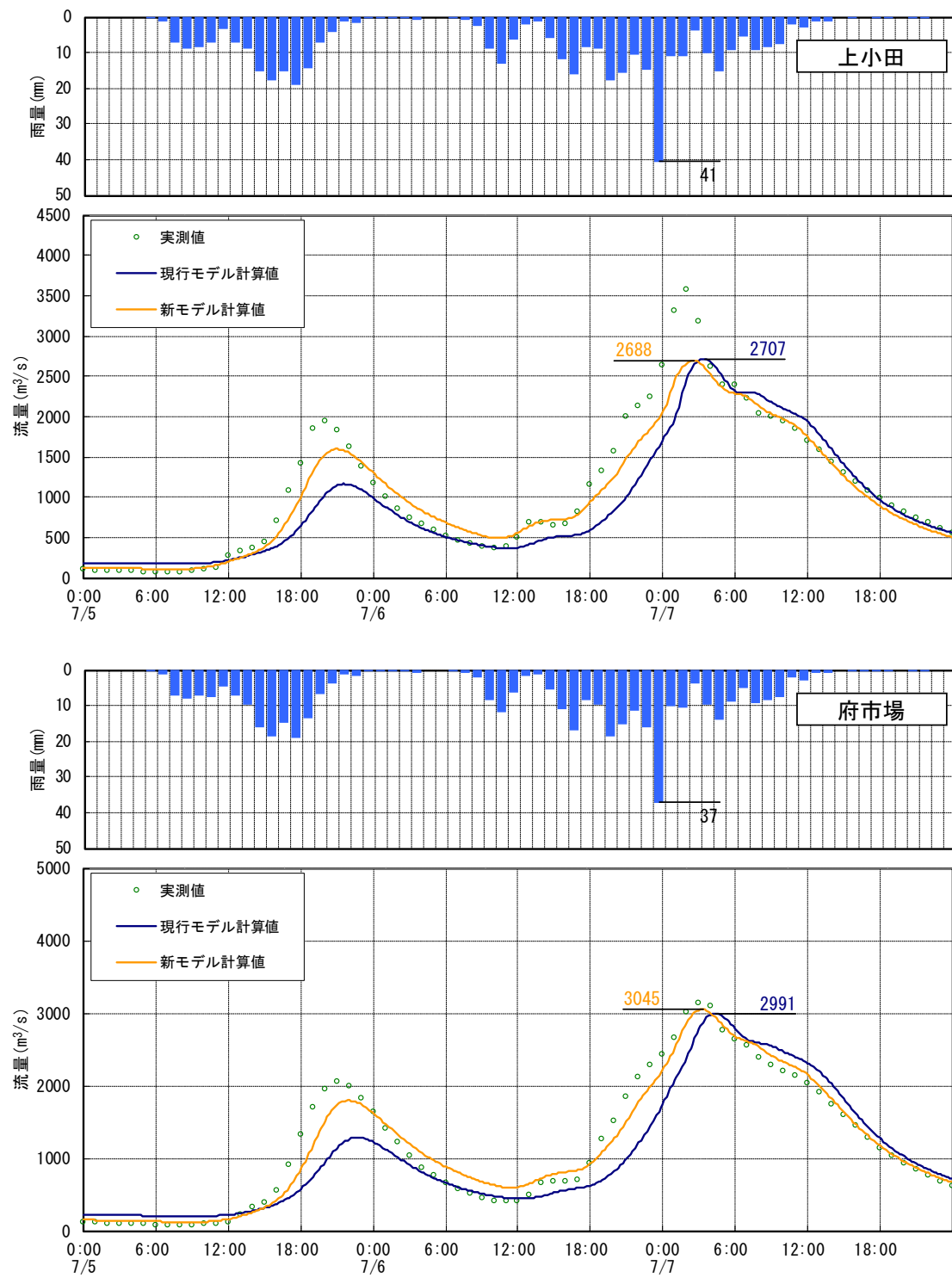


図 1-23 (1) 検証計算結果 (平成30年7月洪水)

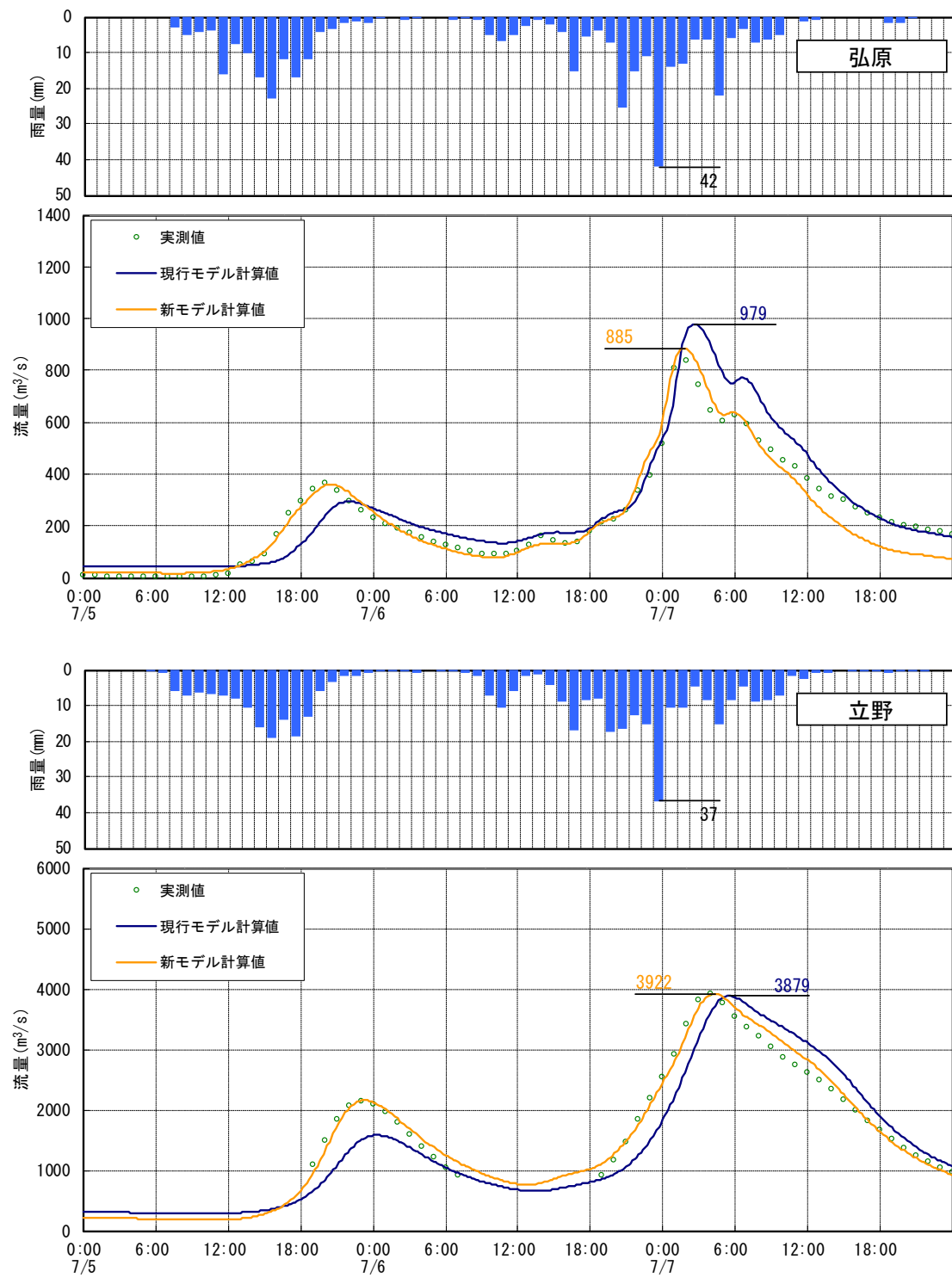


図 1-23 (2) 検証計算結果 (平成30年7月洪水)

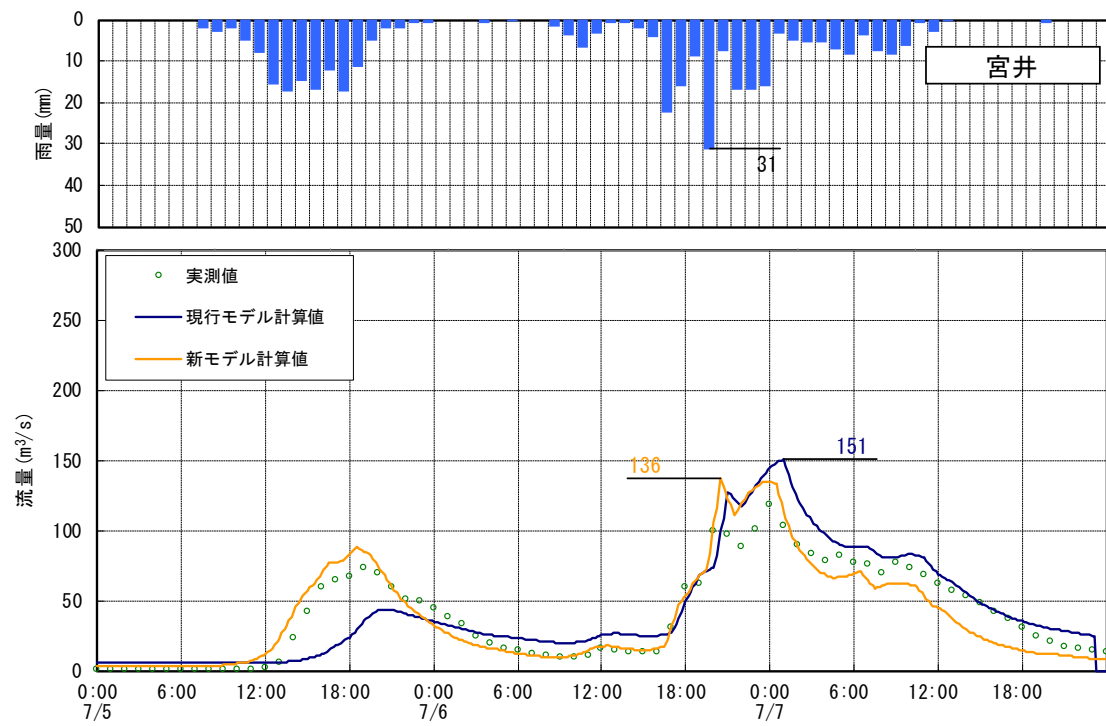


図 1-23 (3) 検証計算結果 (平成30年7月洪水)

1-5 基本高水のピーク流量の設定

1-5-1 基本高水のピーク流量設定の考え方

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

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

1-5-2 計画規模の設定

既定計画策定時と流域の重要度等に大きな変化がないことから、既定計画と同様に計画規模を1/100とした。

1-6 対象降雨の継続時間の設定

1-6-1 対象降雨の継続時間設定の考え方

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

1-6-2 洪水到達時間

洪水到達時間は、以下に示す1)Kinematic 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、時間流量の存在する過去洪水（昭和32年（1957年）～令和4年（2022年））のうち、基準地点立野のピーク流量の上位10洪水を選定した。

表 1-27 降雨継続時間の検討対象洪水一覧

No.	降雨年月日	要因	ピーク雨量		ピーク流量	
			雨量 (mm)	時刻	流量 (m^3/s)	時刻
1	S47. 7. 12	梅雨前線	20	11日 20時	2,786	12日 5時
2	S51. 9. 10	前線・台風17号	16	10日 14時	2,595	10日 21時
3	S54. 10. 19	台風20号	20	19日 8時	2,461	19日 14時
4	H 2. 9. 20	台風19号	20	19日 23時	3,064	20日 3時
5	H16. 10. 20	台風23号	29	20日 17時	4,127	20日 21時
6	H21. 8. 10	台風9号	29	10日 0時	3,089	10日 6時
7	H23. 9. 3	台風12号	15	3日 15時	2,759	3日 22時
8	H29. 9. 18	低気圧・台風18号	48	17日 21時	2,741	18日 2時
9	H29. 10. 23	前線・台風21号	15	22日 21時	2,615	23日 3時
10	H30. 7. 7	前線・台風7号	37	7日 0時	3,914	7日 4時

(1) Kinematic Wave法に基づく洪水到達時間

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

その結果、Kinematic Wave法による洪水到達時間は、9～28時間（平均13時間）となる。

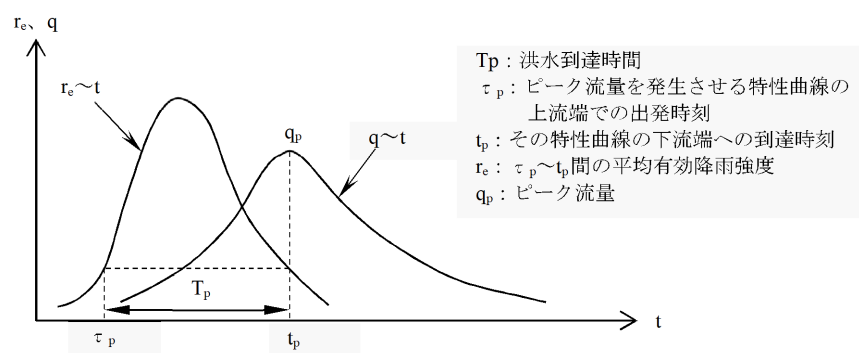


図 1-24 Kinematic Wave法による洪水到達時間 (T_p) の定義

表 1-28 Kinematic Wave法による洪水到達時間の算定結果

No.	降雨年月日	要因	ピーク流量			降り始め		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)
			流量 (m^3/s)	生起時刻	有効 降雨強度	時刻	有効 降雨強度			
1	S47. 7. 12	梅雨前線	2,786	12日 5時	0.7	11日 15時	1.0	14.0	125.0	8.9
2	S51. 9. 10	前線・台風17号	2,595	10日 21時	5.3	9日 17時	5.7	28.0	232.9	8.3
3	S54. 10. 19	台風20号	2,461	19日 14時	3.5	19日 5時	2.2	9.0	87.9	9.8
4	H 2. 9. 20	台風19号	3,064	20日 3時	4.1	19日 13時	1.0	14.0	168.9	12.1
5	H16. 10. 20	台風23号	4,127	20日 21時	7.2	20日 10時	4.5	11.0	201.7	18.3
6	H21. 8. 10	台風9号	3,089	10日 6時	1.0	9日 19時	0.0	11.0	125.0	11.4
7	H23. 9. 3	台風12号	2,759	3日 22時	5.3	3日 10時	2.7	12.0	112.5	9.4
8	H29. 9. 18	低気圧・台風18号	2,741	18日 2時	1.0	17日 16時	0.0	10.0	165.6	16.6
9	H29. 10. 23	前線・台風21号	2,615	23日 3時	8.2	22日 16時	7.7	11.0	116.6	10.6
10	H30. 7. 7	前線・台風7号	3,914	7日 4時	8.8	6日 19時	8.3	9.0	133.1	14.8
平均値			—	—	—	—	—	12.9	146.9	12.0

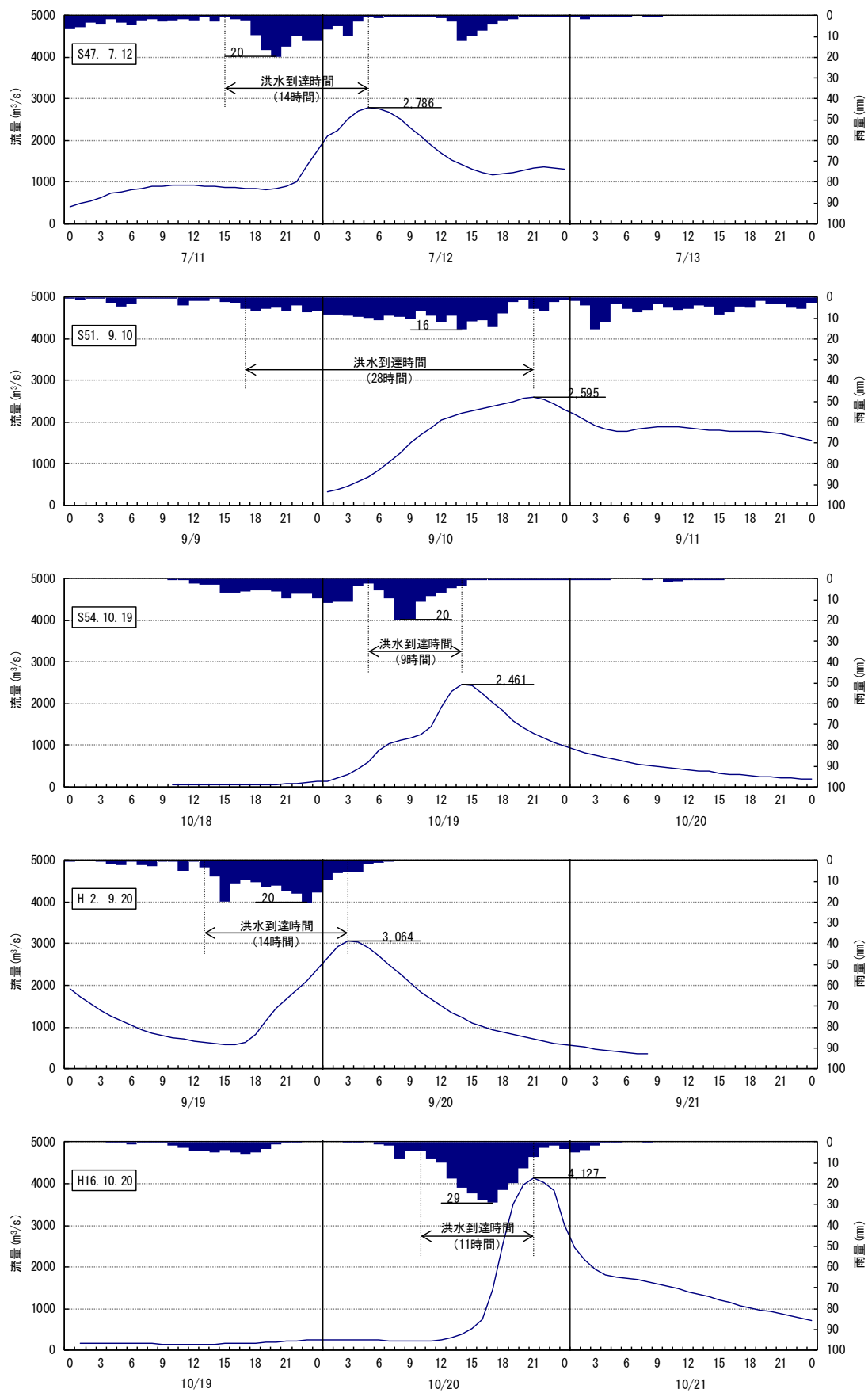


図 1-25 (1) Kinematic Wave法による洪水到達時間確認結果

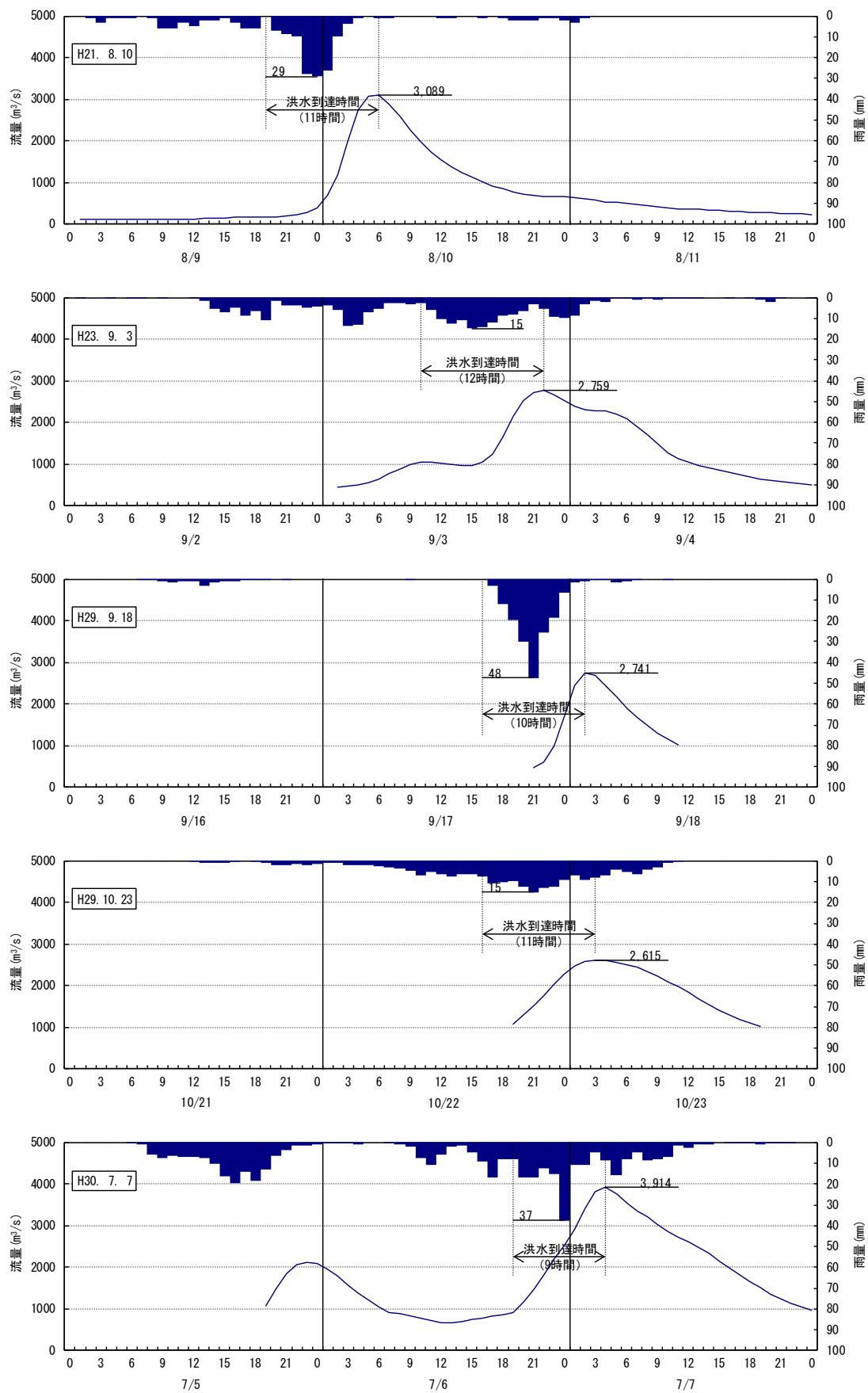


図 1-25 (2) Kinematic Wave法による洪水到達時間確認結果

(2) 角屋の式を用いた洪水到達時間の算定

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。

$$\text{洪水到達時間（分）の算定式} : T_p = CA^{0.22}r_e^{-0.35}$$

ここで、 T_p は時間【m】、 A は流域面積【km²】、 r_e は時間当たりの雨量【mm/h】、 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。

円山川流域の現況土地利用は、国土数値情報の土地利用細分メッシュデータをもとに算定すると下表に示すとおりであり、流域特性を表す定数 C は271になる。

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、前項で設定した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。

その結果、角屋の式による洪水到達時間は、8～10時間（平均9時間）となる。

表 1-29 流域特性の算定結果

地点名		地目別C値及び面積(km ²)				C値	備考
		山林	放牧地	宅地	市街地		
立野	C値	290.0	200.0	105.0	75.0	271.0	
	面積	946.3	112.4	38.5	18.2		

表 1-30 洪水到達時間の算定結果（立野地点）

No.	降雨年月日	要因	ピーク流量			到達時間内降雨強度 (mm/hr)	KW法による洪水到達時間 (hr)	角屋式による洪水到達時間 (hr)
			流量 (m ³ /s)	時刻	有効降雨強度			
1	S47. 7. 12	梅雨前線	2,786	12日 5時	0.7	8.9	14.0	9.8
2	S51. 9. 10	前線・台風17号	2,595	10日 21時	5.3	8.3	28.0	10.1
3	S54. 10. 19	台風20号	2,461	19日 14時	3.5	9.8	9.0	9.5
4	H 2. 9. 20	台風19号	3,064	20日 3時	4.1	12.1	14.0	8.8
5	H16. 10. 20	台風23号	4,127	20日 21時	7.2	18.3	11.0	7.6
6	H21. 8. 10	台風9号	3,089	10日 6時	1.0	11.4	11.0	9.0
7	H23. 9. 3	台風12号	2,759	3日 22時	5.3	9.4	12.0	9.7
8	H29. 9. 18	低気圧・台風18号	2,741	18日 2時	1.0	16.6	10.0	7.9
9	H29. 10. 23	前線・台風21号	2,615	23日 3時	8.2	10.6	11.0	9.3
10	H30. 7. 7	前線・台風7号	3,914	7日 4時	8.8	14.8	9.0	8.2
平均値			—	—	—	12.0	12.9	9.0

1-6-3 ピーク流量と短時間雨量の相関

ここでは、昭和40年（1965年）から平成30年（2018年）までの53年間で基準地点立野において年最大流量を記録した洪水を対象に、①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係数、②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係数の整理を行った。なお、短時間雨量については、1、2、3、6、9、12、15、18、24、36、48時間雨量とした。

この結果、短時間雨量が6時間を超えるとピーク流量と相関が高くなった。

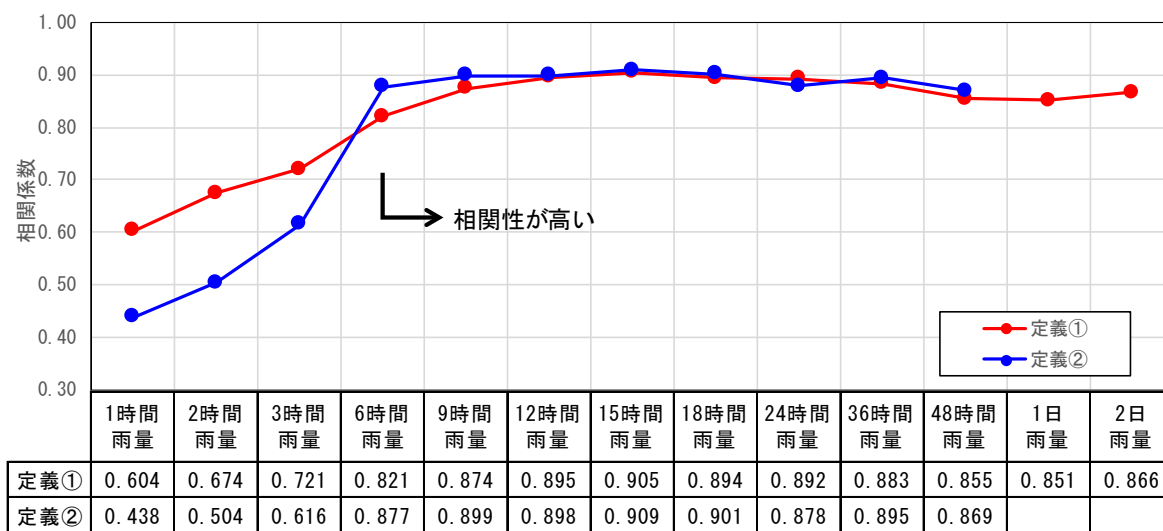
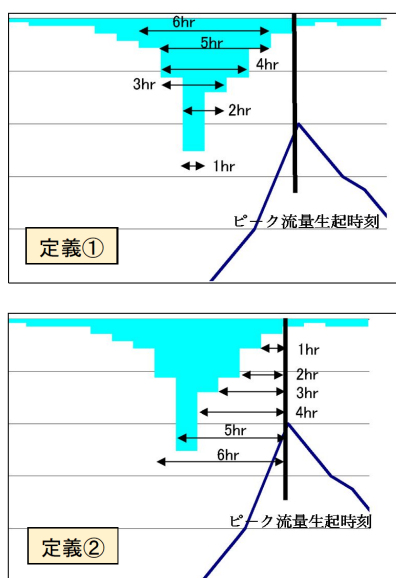


図 1-26 立野地点ピーク流量と降雨継続時間の相関図

<参考> 短時間雨量の求め方（概要図）



定義① : ピーク流量生起時刻前で最大となる短時間雨量

定義② : ピーク流量生起時刻から遡る短時間雨量

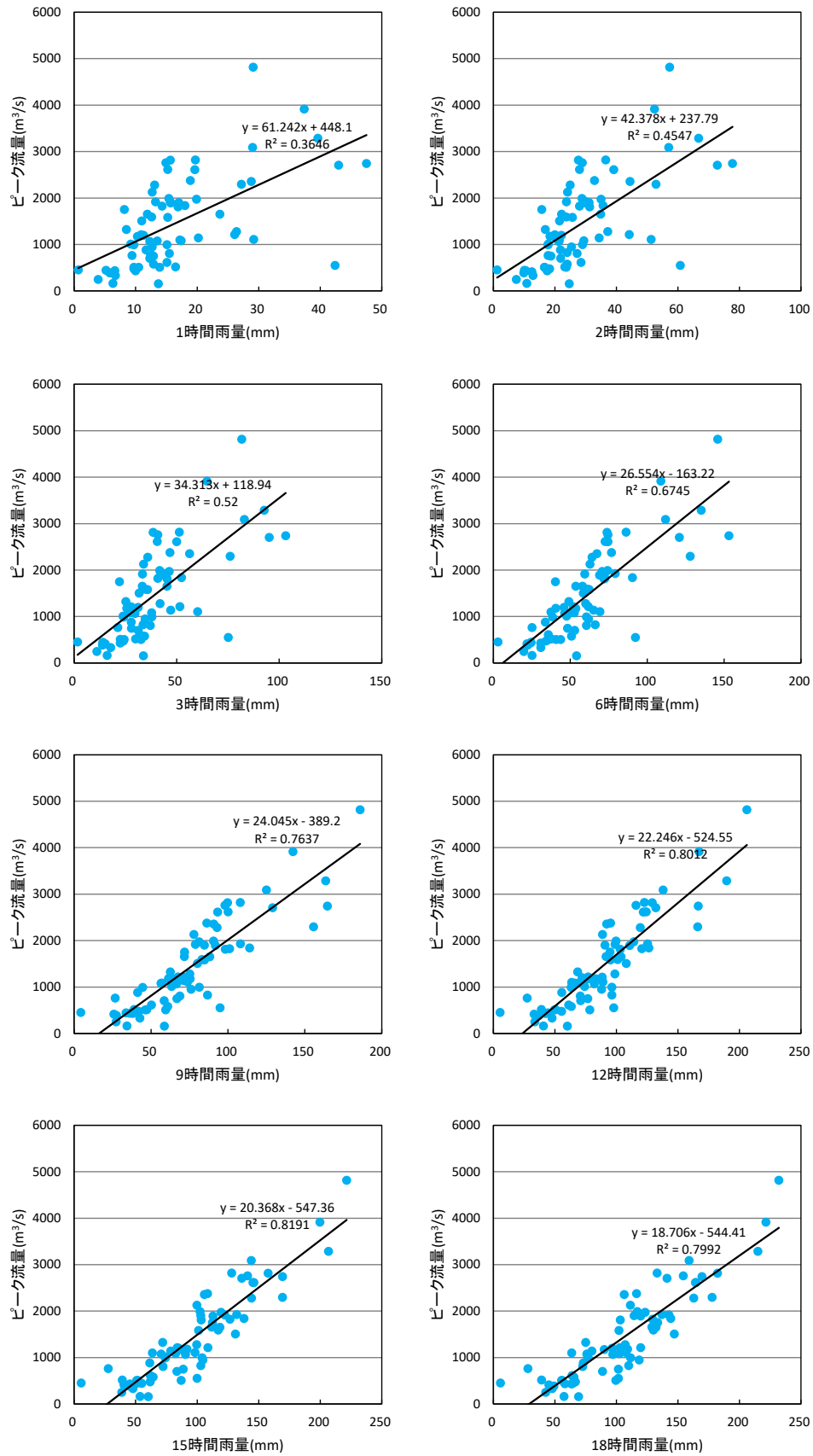


図 1-27 (1) ピーク流量と雨量の相関関係
(定義①：ピーク流量生起時刻前で最大となる短時間雨量)

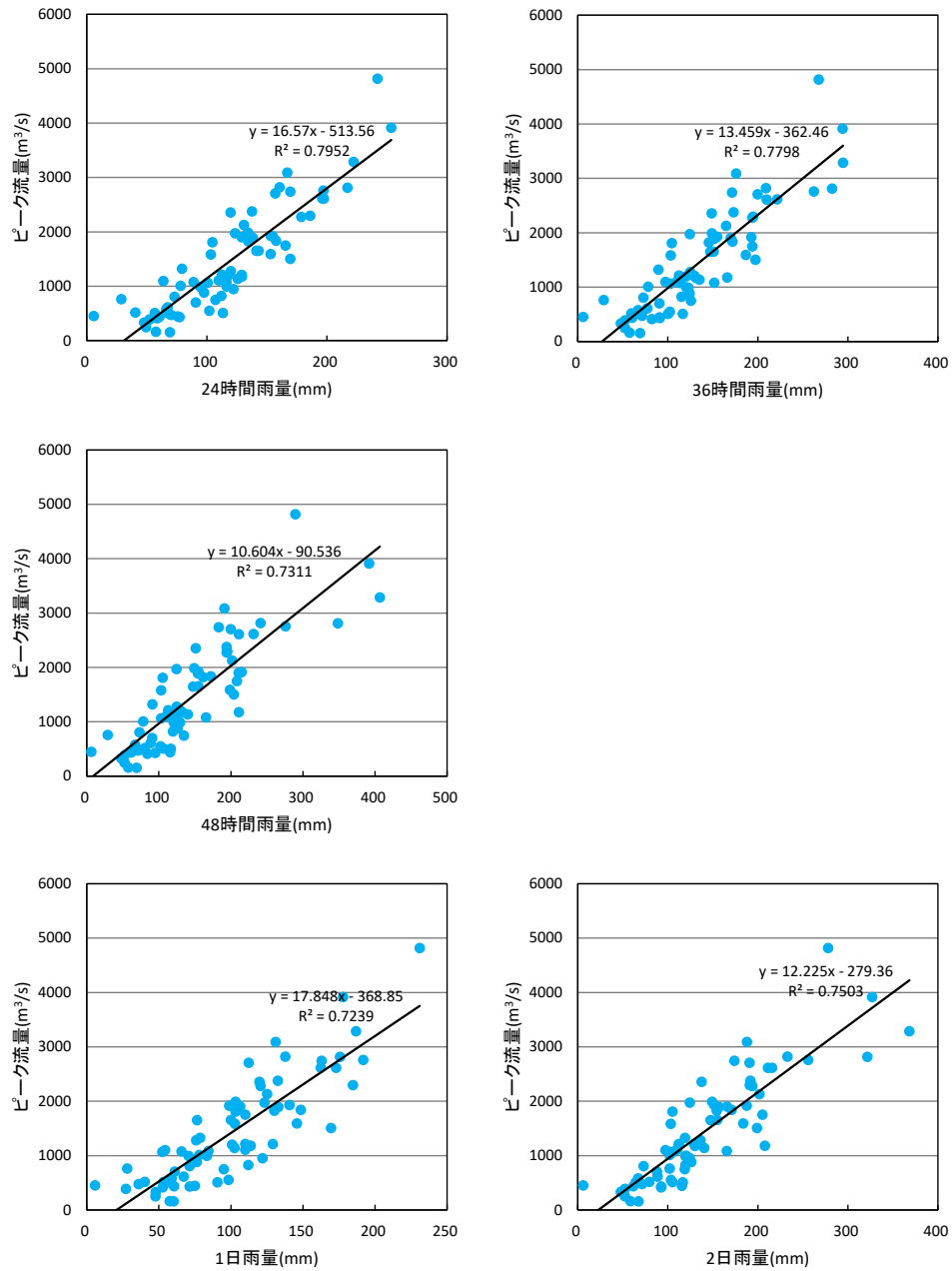


図 1-27 (2) ピーク流量と雨量の相関関係
(定義①：ピーク流量生起時刻前で最大となる短時間雨量)

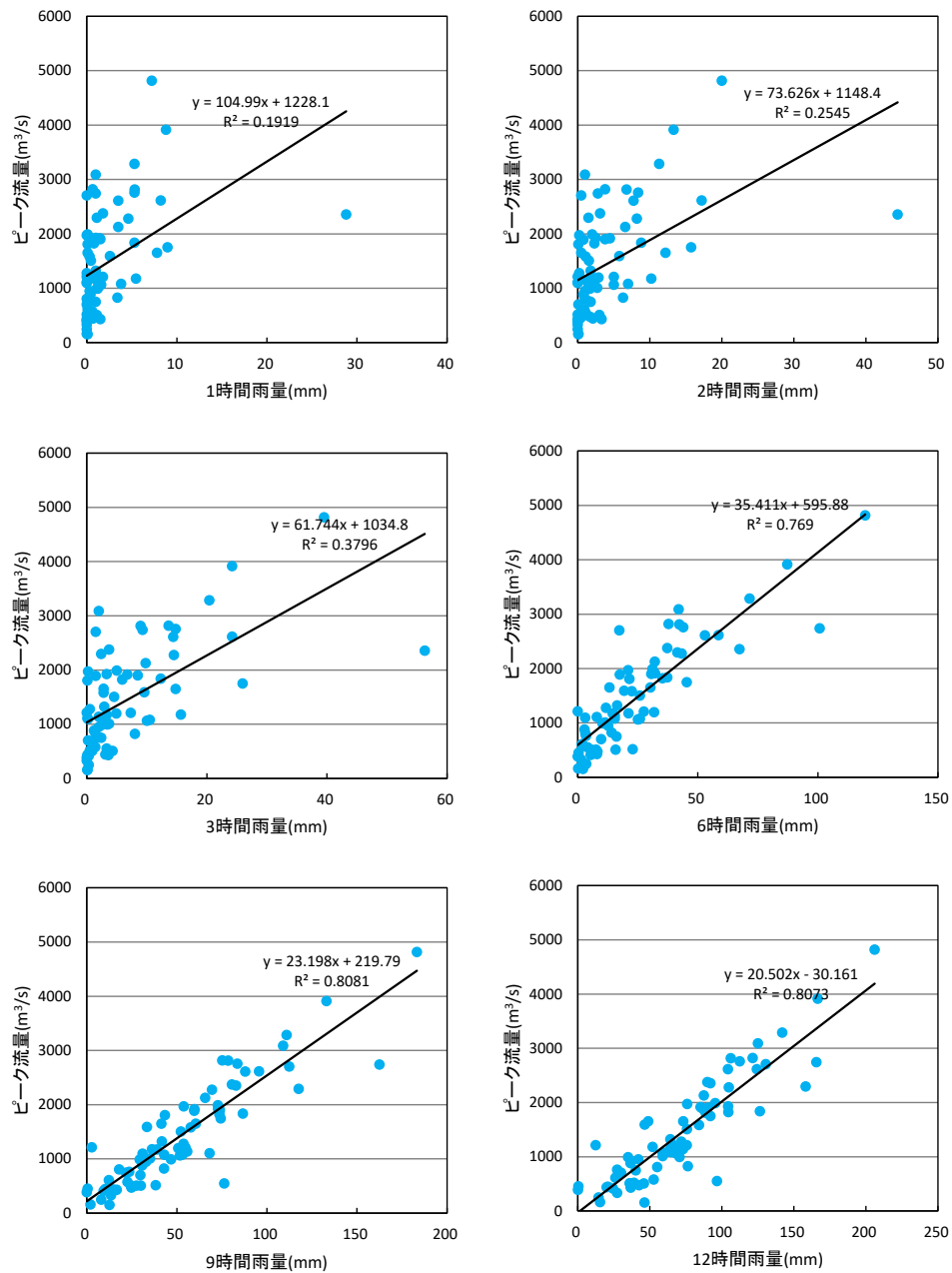


図 1-27 (3) ピーク流量と雨量の相関関係
(定義②：ピーク流量生起時刻から遡る短時間雨量)

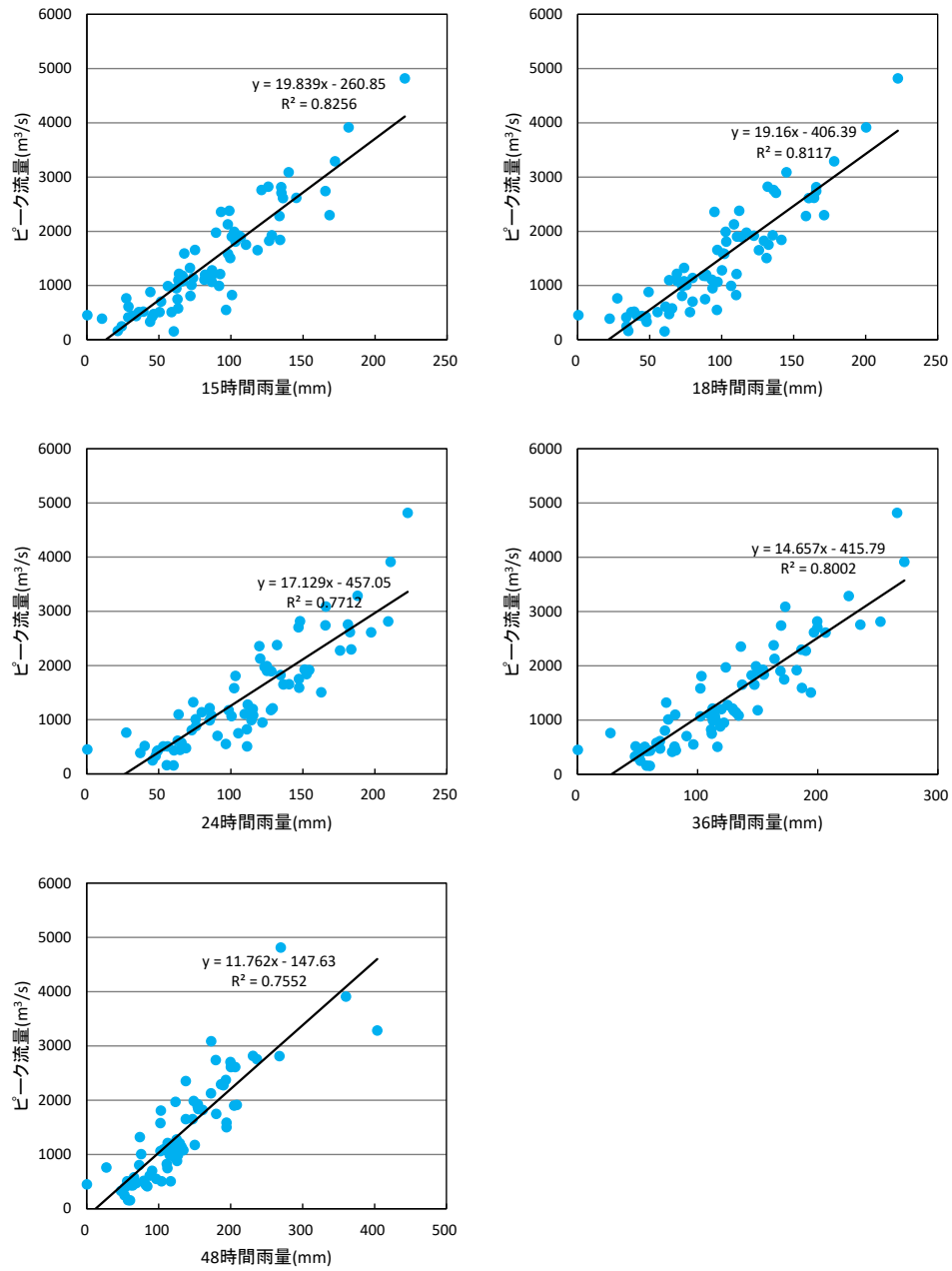


図 1-27 (4) ピーク流量と雨量の相関関係
(定義②：ピーク流量生起時刻から遡る短時間雨量)

1-6-4 強い降雨強度の継続時間

ここでは強い降雨強度（5mm/h及び10mm/h）の継続時間を整理した。

対象洪水は、洪水到達時間算定に用いた立野地点のピーク流量の上位10洪水とした。

その結果、主要洪水における降雨量5mm/hの継続時間の平均値は11時間、降雨量10mm/hの継続時間の平均値は5時間となり、洪水のピーク流量を形成している強い降雨強度の継続時間は、おおむね12時間でカバーできることがわかる。

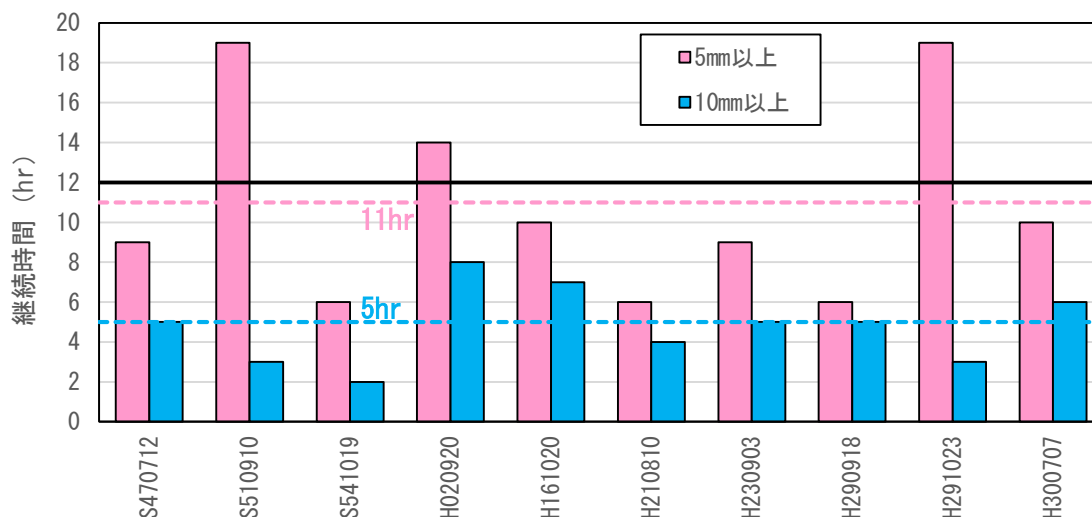


図 1-28 強い降雨強度の継続時間（立野上流流域平均雨量）

表 1-31 強い降雨強度の継続時間一覧（立野上流流域平均雨量）

No.	降雨年月日	要因	降雨継続時間 (hr)	
			5mm以上	10mm以上
1	S47. 7. 12	梅雨前線	9	5
2	S51. 9. 10	前線・台風17号	19	3
3	S54. 10. 19	台風20号	6	2
4	H 2. 9. 20	台風19号	14	8
5	H16. 10. 20	台風23号	10	7
6	H21. 8. 10	台風9号	6	4
7	H23. 9. 3	台風12号	9	5
8	H29. 9. 18	低気圧・台風18号	6	5
9	H29. 10. 23	前線・台風21号	19	3
10	H30. 7. 7	前線・台風7号	10	6
平均値			11	5

1-6-5 対象降雨の降雨継続時間の設定

時間雨量データが存在する昭和32年（1957年）から令和4年（2022年）までの66年間の主要な洪水を対象に、以下に示す洪水継続時間やピーク流量との相関等から総合的に判断して、対象降雨の降雨継続時間は、基準地点立野で12時間と設定した。

表 1-32 各指標により算出した対象降雨の降雨継続時間の検討結果

項目	立野
① Kinematic Wave法による洪水の到達時間	9～28時間（平均12.9時間）
② 角屋式による洪水の到達時間	8.2～10.1時間（平均9.0時間）
③ 強い降雨強度の継続時間	5mm以上 6～19時間（平均11時間） 10mm以上 2～8時間（平均5時間）
④ ピーク流量と n 時間雨量との相関から見た必要な降雨の継続時間	ピーク流量と相関の高い短時間雨量の時間帯は、定義①、定義②共に6時間以上となる
評価	上記①～④を総合的に判断すると 12時間

1-7 河川の整備の目標となる洪水の規模及び対象降雨の降雨量の設定

1-7-1 計画規模の降雨量の設定

雨量標本に関しては、時間雨量データが存在する昭和32年（1957年）からとし、過去実験の期間が平成22年（2010年）までであることを踏まえ、既定計画から雨量標本のデータ延伸を一律に平成22年（2010年）までとした（表 1-34）。平成22年（2010年）までの雨量標本を用い、定常の水文統計解析により確率雨量を算定し、これに降雨量変化倍率を乗じた値を計画対象降雨の降雨量とする。

昭和32年（1957年）～平成22年（2010年）までの54年間の年最大12時間雨量を確率処理し、適合度の基準を満足し、安定性の良好な確率分布モデルを用い1/100対象降雨の降雨量を基準地点立野で212.2mmと決定した。

表 1-33 基準地点立野 12時間雨量 1/100確率算定結果

表		円山川 立野 確率計算結果 (12時間雨量: S32年～H22年)												(単位: mm)			
項 目		立野地点12時間雨量												適合度の良い手法による 平均値			
		毎 年 値															
		一般化極値分布	グンベル分布	指数分布	平方根指数型 最大値分布	対数ピアソン Ⅲ型分布		対数正規分布 (岩井法)	対数正規分布 (石原・高瀬 法)	対数正規分布 (ノントラ法)	3母数 対数正規分布 (橋本法)	2母数 対数正規分布 (L橋本法)	2母数 対数正規分布 (橋本法)	4母数 対数正規分布 (橋本法)			
		GEV	Gumbel	Exp	SQRTET	LP3(Rs)	LogP3	LN1wai	IsiTaka	LN3(Q)	LN3(PM)	LN2(LM)	LN2(PM)	LN4(PM)	単純平均	小数点以下 切上げ	
標本数		54															
最大値		186.1															
確 率	1/2	88.1	86.4	80.0	84.1	87.9	87.4	87.6	87.2	87.0	87.3	85.5	85.5	—	87.0	87.0	
	1/3	104.3	102.3	96.7	101.8	104.4	104.0	103.7	103.1	103.1	103.3	102.2	102.2	—	103.3	104.0	
	1/5	121.6	120.1	117.8	123.3	121.9	121.7	121.1	120.5	120.7	120.6	121.3	121.1	—	121.1	122.0	
	1/10	142.2	142.4	146.3	152.7	142.5	142.9	142.1	141.7	142.3	141.7	145.6	145.4	—	142.9	143.0	
	1/20	160.9	163.8	174.9	183.6	160.8	162.1	161.6	161.5	162.5	161.3	169.3	169.0	—	163.3	164.0	
	1/30	171.1	176.1	191.6	202.5	170.8	172.7	172.5	172.7	174.1	172.4	183.2	182.8	—	174.8	175.0	
	1/50	183.5	191.5	212.7	227.3	182.7	185.6	186.1	186.6	188.4	186.1	200.7	200.2	—	189.1	190.0	
	1/70	191.3	201.6	226.5	244.3	190.3	193.8	194.8	195.6	197.7	195.0	212.4	211.8	—	198.4	199.0	
規 模	1/80	194.4	205.6	232.0	251.1	193.2	197.1	198.3	199.2	201.4	198.6	217.0	216.4	—	202.1	203.0	
	1/100	199.4	212.2	241.2	262.8	198.1	202.4	204.0	205.2	207.6	204.4	224.8	224.1	—	208.2	209.0	
	1/150	208.3	224.4	257.9	284.6	206.7	211.9	214.4	216.0	218.7	215.0	239.1	238.4	—	219.3	220.0	
	1/200	214.4	232.9	269.8	300.5	212.6	218.5	221.8	223.6	226.7	222.5	249.4	248.6	—	227.1	228.0	
	1/300	222.8	245.0	286.5	323.6	220.7	227.6	232.1	234.4	237.8	233.1	264.0	263.1	—	238.1	239.0	
	1/400	228.6	253.6	298.4	340.5	226.3	234.0	239.4	242.0	245.8	240.5	274.6	273.6	—	245.8	246.0	
	1/500	233.0	260.2	307.6	353.8	230.6	238.9	245.0	247.9	252.0	246.3	282.8	281.7	—	251.8	252.0	
	1/1000	246.1	280.8	336.1	396.8	243.6	253.8	262.6	266.4	271.2	264.4	308.9	307.6	—	270.5	271.0	
推 定 誤 差	1/12000	287.8	354.7	438.6	569.3	285.9	304.4	326.1	333.9	342.0	330.1	408.9	406.9	—	338.1	339.0	
	S L S C	0.028	0.024	0.051	0.041	0.027	0.027	0.025	0.026	0.026	0.026	0.031	0.031	—			
	S L S C H	0.053	0.039	0.062	0.074	0.054	0.050	0.047	0.046	0.046	0.047	0.051	0.051	—			
	相関係数(X)	0.992	0.993	0.969	0.983	0.992	0.993	0.993	0.993	0.993	0.993	0.991	0.991	—			
	相関係数(Y)	0.996	0.994	0.932	0.988	0.995	0.995	0.995	0.995	0.994	0.995	0.992	0.992	—			
	推定誤差	27.8	17.0	20.3	20.9	22.6	25.2	26.1	22.6	22.4	22.3	22.0	21.0	—			
	1/2	4.6	4.8	4.8	5.0	5.0	5.4	5.4	5.1	4.7	5.1	4.8	4.8	—			
	1/3	5.3	5.7	5.8	5.5	5.9	6.0	5.8	5.9	5.5	5.9	5.5	5.6	—			
	1/5	7.0	7.2	7.4	6.8	7.3	7.1	7.0	7.1	7.0	7.1	7.0	7.0	—			
	1/10	9.8	9.4	9.8	9.7	9.7	9.6	9.9	9.5	9.7	9.5	9.6	9.5	—			
	1/20	12.8	11.6	12.7	14.0	12.8	13.3	14.0	12.7	13.0	12.7	12.8	12.5	—			
	1/30	14.7	13.0	14.6	17.0	15.0	15.9	16.7	14.9	15.1	14.8	14.9	14.5	—			
	1/50	17.1	14.7	17.1	21.3	18.0	19.6	20.5	18.0	18.1	17.8	17.8	17.1	—			
	1/70	18.6	15.8	18.9	24.4	20.2	22.2	23.2	20.2	20.1	19.9	19.8	18.9	—			
	1/80	19.3	16.3	19.6	25.6	21.1	23.3	24.3	21.1	21.0	20.8	20.6	19.7	—			
	1/100	20.3	17.0	20.9	27.8	22.6	25.2	26.1	22.6	22.4	22.3	22.0	21.0	—			
	1/150	22.2	18.4	23.2	31.9	25.5	28.7	29.7	25.6	25.1	25.1	24.6	23.4	—			
	1/200	23.6	19.4	25.0	34.9	27.6	31.4	32.3	27.8	27.2	27.2	26.6	25.2	—			
	1/300	25.5	20.7	27.5	39.4	30.8	35.3	36.1	31.1	30.1	30.4	29.4	27.8	—			
	1/400	26.9	21.7	29.4	42.6	33.1	38.2	38.9	33.5	32.3	32.7	31.5	29.8	—			
	1/500	27.9	22.5	30.9	45.2	35.0	40.5	41.1	35.4	34.0	34.5	33.2	31.3	—			
	1/1000	31.2	24.8	35.7	53.5	41.0	48.0	48.3	41.7	39.7	40.5	38.7	36.4	—			
	1/12000	43.1	33.4	55.9	85.5	64.8	78.4	77.8	67.9	62.9	65.3	61.6	57.5	—			
	1/	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			

: 精度の良い手法(SLSC≦0.04)

: jackknife推定誤差が最小となる手法

: W=1/100採用値

：精度の良い手法(SLSC≤0.04)

：jackknife-推定誤差が最小となる手法

：W=1/100採用値

【 対数正規確率紙 】

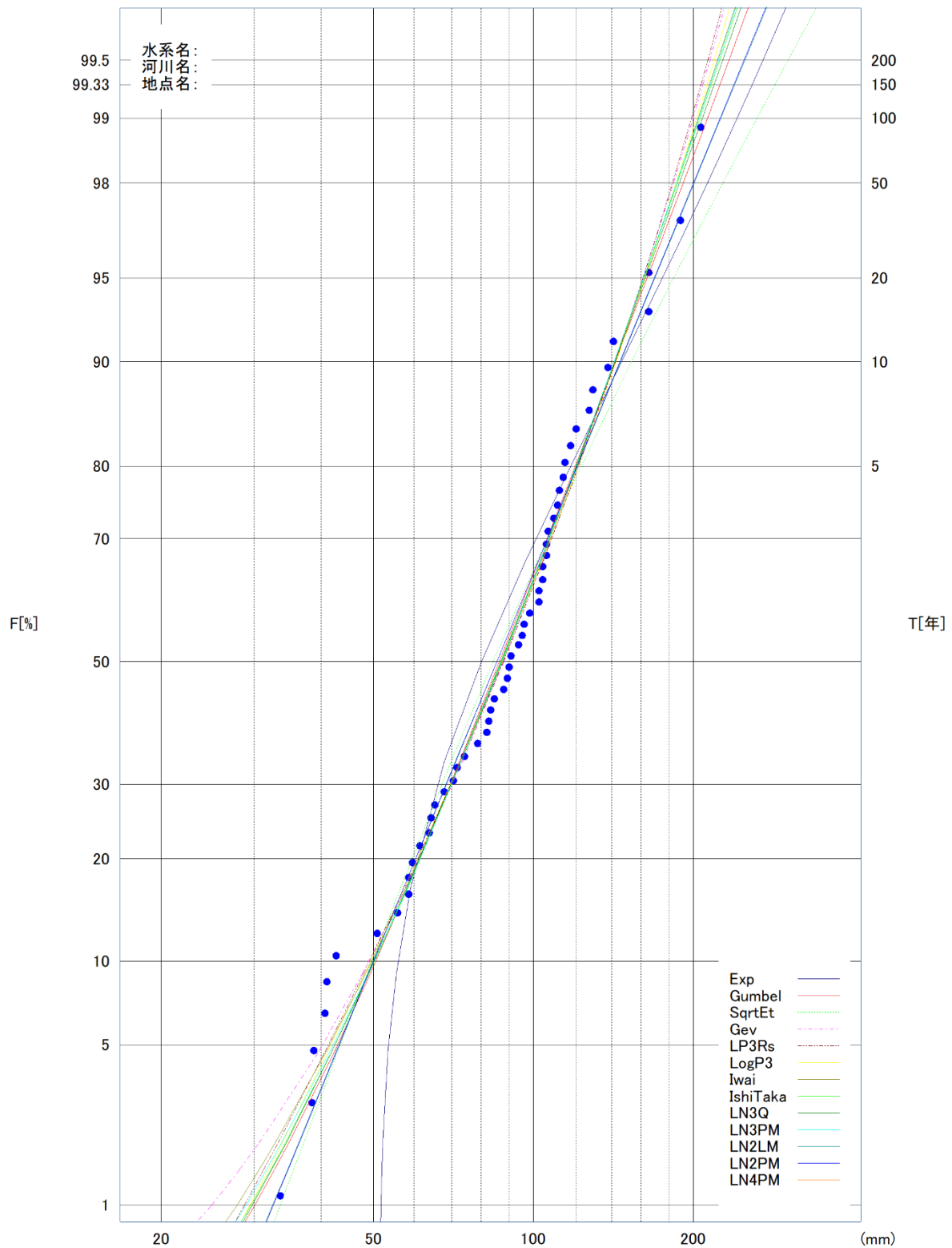


図 1-29 立野地点における雨量確率計算結果
(基準地点立野 12時間雨量 昭和32年(1957年)～平成22年(2010年): 54年間)

表 1-34 年最大12時間雨量一覧（基準地点立野）

1	s32	65.4	50	34	H02	165.3	5
2	s33	58.4	58	35	H03	33.6	66
3	s34	189.1	2	36	H04	82.4	41
4	s35	105.6	22	37	H05	89.1	36
5	s36	109.6	20	38	H06	120.6	12
6	s37	72.1	47	39	H07	90.3	35
7	s38	82.1	42	40	H08	84.2	39
8	s39	93.7	33	41	H09	114.3	17
9	s40	142.0	7	42	H10	88.0	37
10	s41	102.3	27	43	H11	114.3	16
11	s42	105.5	23	44	H12	55.6	59
12	s43	67.9	49	45	H13	78.4	43
13	s44	58.4	57	46	H14	64.0	53
14	s45	111.9	18	47	H15	38.4	65
15	s46	106.4	21	48	H16	206.0	1
16	s47	127.7	10	49	H17	64.5	52
17	s48	40.7	63	50	H18	90.8	34
18	s49	110.8	19	51	H19	41.0	62
19	s50	98.8	28	52	H20	50.8	60
20	s51	129.0	9	53	H21	138.0	8
21	s52	95.1	30	54	H22	59.5	56
22	s53	104.4	24	55	H23	116.0	15
23	s54	117.9	14	56	H24	88.0	38
24	s55	42.8	61	57	H25	119.4	13
25	s56	38.6	64	58	H26	126.4	11
26	s57	104.4	25	59	H27	74.2	46
27	s58	102.4	26	60	H28	93.8	32
28	s59	83.5	40	61	H29	166.5	4
29	s60	70.9	48	62	H30	167.1	3
30	s61	61.2	55	63	R01	63.6	54
31	s62	164.3	6	64	R02	77.3	44
32	s63	74.5	45	65	R03	93.9	31
33	H01	96.4	29	66	R04	65.4	51

また、気候変動の影響を考慮した対象降雨の降雨量として、基準地点立野の1/100降雨量の212.2mm/12hに降雨量変化倍率1.1倍を乗じて得られた233mm/12hを採用した。

表 1-35 1/100確率規模降雨量（基準地点立野）

	立野	備考
1/100確率雨量 (S32-H22標本)	212mm/12h	確率手法SLSC0.04以下 Jackknife推定誤差最小値
気候変動を 考慮した降雨量	233mm/12h	212.2mm/12h×降雨量変化倍率1.1

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

(1) Mann-Kendall検定（定常／非定常性を確認）

昭和32年（1957年）～平成22年（2010年）および雨量データを一年ずつ追加し、令和4年（2022年）までのデータを対象とした検定結果を確認。

⇒非定常性は確認されなかったため、近年降雨までデータ延伸を実施。

(2) 近年降雨までデータ延伸を実施

非定常性が確認されなかったことから、最新年（令和4年（2022年））まで時間雨量データを延伸し、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確率雨量から、適合度の基準を満足し、安定性の良好な確率分布モデルを用いて1/100確率雨量を算定。

⇒令和4年（2022年）までの雨量データを用いた場合の基準地点立野1/100確率雨量は213.9mm/12hとなり、データ延伸による確率雨量に大きな差は確認されない。

1-8 主要降雨波形の設定

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

計画対象洪水の選定にあたっては、基準地点立野のピーク流量が氾濫注意水位相当流量以上、かつ基準地点立野上流域の降雨継続時間（12時間）内雨量の引き伸ばし率が2倍以下となる15洪水を選定した。

選定した洪水を対象に、基準地点立野の1/100確率12時間雨量（ $212\text{mm} \times 1.1$ ） 233mm となるよう引き伸ばし降雨波形を作成し、流出計算を行ったところ、基準地点立野におけるピーク流量は $4,600 \sim 8,500\text{m}^3/\text{s}$ となる（表 1-36）。

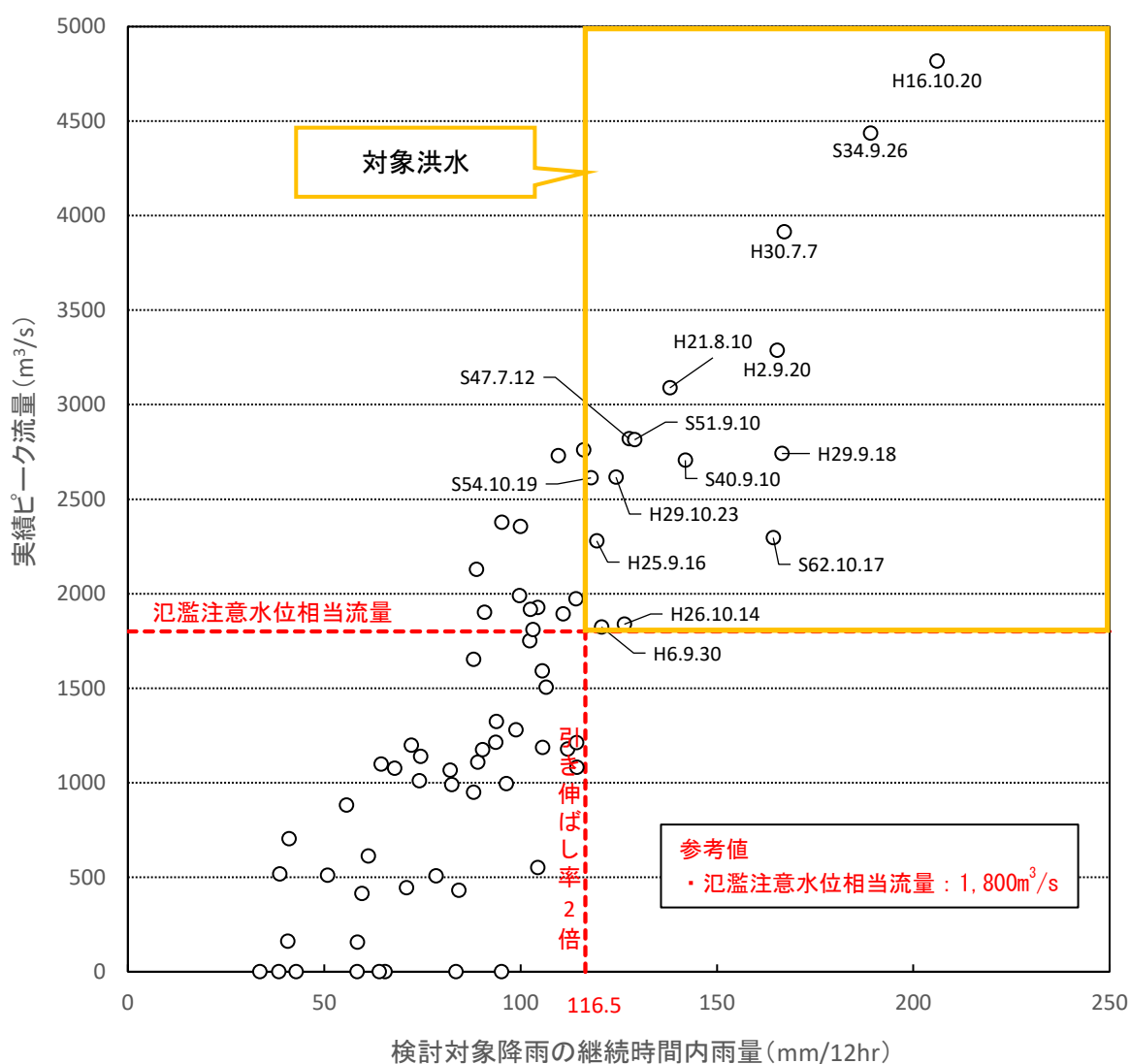


図 1-30 対象洪水の選定結果（基準地点立野）

表 1-36 選定洪水のピーク流量一覧（基準地点立野）

洪水 No.	降雨年月	生起要因	立野2日 雨量 (mm)	立野12時 間 雨量 (mm)	拡大率 1/100 212mm	拡大率 1/100 (2℃上昇) 233mm	立野地点 実績流量 (m ³ /s)	気候変動考慮 立野地点 ピーク流量 (m ³ /s)	地域分布	降雨 波形
1	S34. 9. 26	伊勢湾台風	253	189	1. 122	1. 233	4, 435	5, 613	本川下流型	
2	S40. 9. 10	台風23号	191	142	1. 493	1. 641	2, 706	8, 479	本川下流型	
3	S47. 7. 12	梅雨前線	233	128	1. 656	1. 820	2, 819	6, 032	本川上流型	
4	S51. 9. 10	前線・台風17号	322	129	1. 643	1. 806	2, 814	6, 254	全流域型	
5	S54. 10. 19	台風20号	211	118	1. 797	1. 975	2, 612	6, 803	全流域型	
6	S62. 10. 17	台風19号	191	164	1. 293	1. 421	2, 296	5, 401	全流域型	
7	H2. 9. 20	台風19号	364	165	1. 285	1. 412	3, 287	6, 321	全流域型	
8	H6. 9. 30	台風26号	154	121	1. 752	1. 926	1, 721	5, 045	大屋川・八木川型	
9	H16. 10. 20	台風23号	278	206	1. 029	1. 131	4, 817	6, 023	全流域型	
10	H21. 8. 10	台風9号	188	138	1. 536	1. 688	3, 089	7, 062	本川下流型	
11	H25. 9. 16	台風18号	194	119	1. 782	1. 958	2, 279	5, 164	全流域型	
12	H26. 10. 14	台風19号	171	126	1. 683	1. 849	1, 839	4, 556	全流域型	
13	H29. 9. 18	低気圧・台風18号	174	167	1. 269	1. 395	2, 741	5, 436	全流域型	
14	H29. 10. 23	前線・台風21号	216	124	1. 710	1. 879	2, 615	5, 156	全流域型	
15	H30. 7. 7	前線・台風7号	327	167	1. 269	1. 395	3, 914	7, 227	大屋川・八木川型	

1-9 対象降雨の地域分布及び時間分布の検討

1-9-1 考え方

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

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

1-9-2 棄却基準の設定

時間分布及び地域分布の異常な降雨として、1/500以上の降雨をその判断基準とした。（実績降雨も考慮し、地域、時間分布の棄却基準を総合的に判断）

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

1-9-3 地域分布の評価について

(1) 対象地域の選定

対象地域は、図 1-31に示す通りであり、以下に示す4流域を選定した。

- ① 本川上流域
- ② 大屋川・八木川・稲葉川流域
- ③ 出石川流域
- ④ 本川下流域

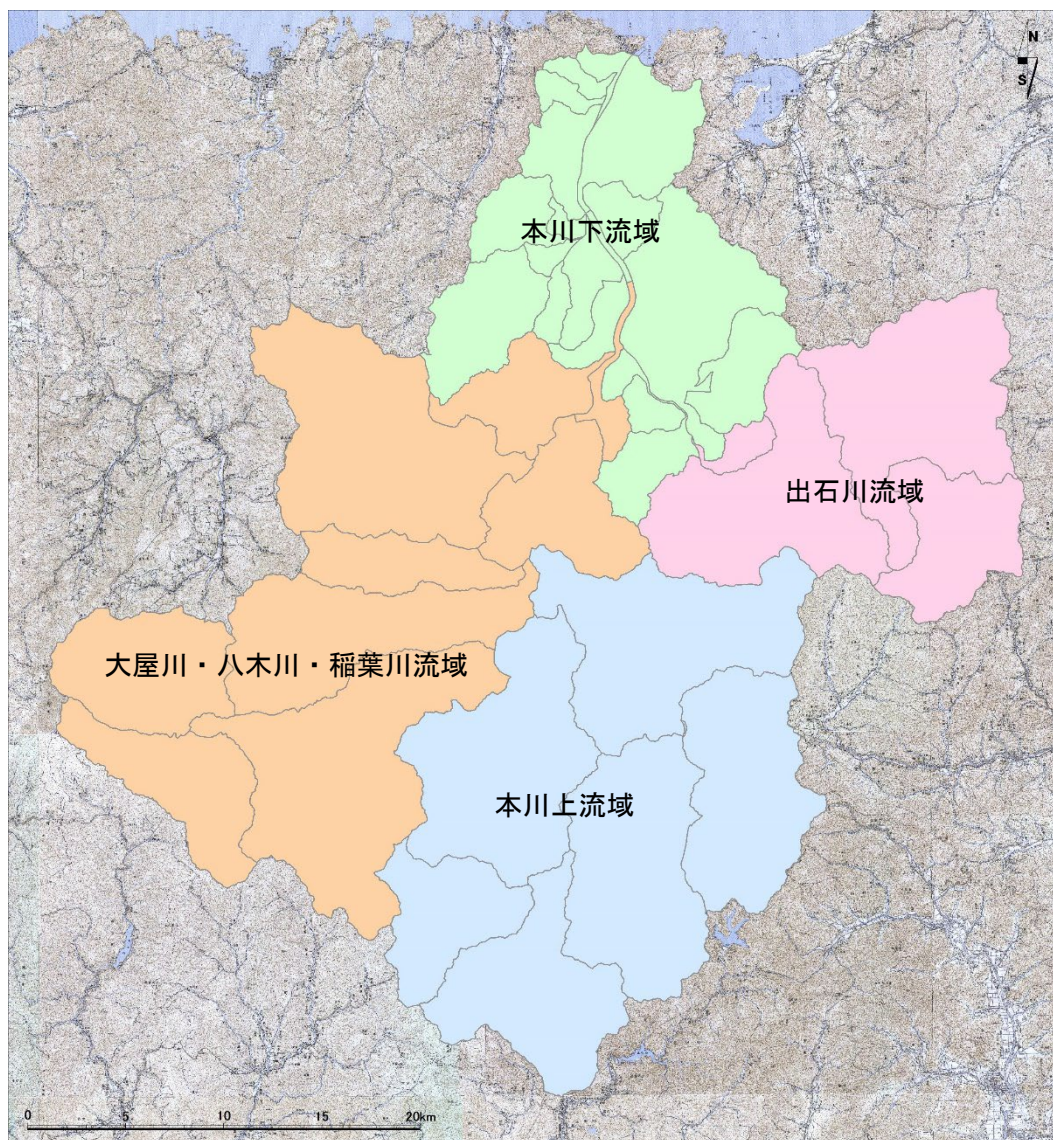


図 1-31 検討対象地域位置図

(2) 棄却基準値の選定

各選定地域における棄却基準値を設定した。確率雨量の算定は、昭和32年（1957年）～平成22年（2010年）までの各流域の年最大24時間雨量について確率計算を行い、各確率分布モデルの中で $SLSC \leq 0.04$ かつJackknife推定誤差が最小となる確率分布モデルの確率雨量を採用した。

(3) 地域分布の雨量評価

前項にて選定した地域について、拡大後雨量の異常性評価を確認する。なお、対象の時間は基準地点立野における12時間雨量が最大となる時間帯（降雨継続時間帯）とする。

各地域の拡大後雨量及び1/500雨量は表 1-37に示すとおりであり、4洪水が棄却となる。

表 1-37 地域分布の評価結果

No	洪水年月日	実績12時間雨量(mm)	降雨倍率	拡大後雨量				棄却洪水
				本川上流域	大屋川・八木・稲葉川流域	出石川流域	本川下流域	
1	S34. 9. 26	189	1. 122	217	227	180	230	
2	S40. 9. 10	142	1. 493	234	207	191	227	×
3	S47. 7. 12	128	1. 656	241	183	178	156	×
4	S51. 9. 10	129	1. 643	219	216	196	251	
5	S54. 10. 19	118	1. 797	207	235	236	251	
6	S62. 10. 17	164	1. 293	220	215	212	187	
7	H2. 9. 20	165	1. 285	249	259	229	248	×
8	H6. 9. 30	121	1. 752	211	232	191	193	
9	H16. 10. 20	206	1. 029	194	207	252	209	
10	H21. 8. 10	138	1. 536	246	170	234	125	×
11	H25. 9. 16	119	1. 782	210	217	222	225	
12	H26. 10. 14	126	1. 683	205	219	226	187	
13	H29. 9. 18	167	1. 269	201	223	216	195	
14	H29. 10. 23	124	1. 710	162	259	240	205	
15	H30. 7. 7	167	1. 269	207	234	217	196	
1/500確率雨量				234	268	280	259	

：確率1/500以上

1-9-4 時間分布の評価

(1) 対象時間の選定

対象時間は、洪水到達時間と計画降雨継続時間から設定した。(表 1-38)

角屋式による洪水到達時間が9時間であることから、9時間を短時間雨量として設定した。また、計画降雨継続時間12時間の1/2程度である6時間雨量を短時間雨量として設定した。

表 1-38 対象時間の設定

基準地点	対象時間
立野	6時間、9時間

(2) 棄却基準値の選定

対象時間における棄却基準値を設定した。確率雨量の算定は、昭和32年(1957年)～平成22年(2010年)までの年最大時間雨量について確率計算を行い、各計算手法の中で $SLSC \leq 0.04$ かつJackknife推定誤差が最小となる確率分布モデルにおける1/500確率雨量を採用した。(実績降雨も考慮し、地域、時間分布の棄却基準を総合的に判断)

(3) 時間分布の雨量評価

設定した棄却基準値をもとに、拡大後雨量の異常性評価を確認した。

対象時間6時間、9時間の拡大後雨量及び1/500雨量は以下に示すとおりであり、棄却洪水なしとなる。

表 1-39 時間分布の評価結果

No	洪水年月日	実績12時間雨量(mm)	降雨倍率	拡大後雨量		棄却洪水
				6時間	9時間	
1	S34. 9. 26	189	1. 122	140	178	
2	S40. 9. 10	142	1. 493	184	204	
3	S47. 7. 12	128	1. 656	143	179	
4	S51. 9. 10	129	1. 643	121	164	
5	S54. 10. 19	118	1. 797	134	168	
6	S62. 10. 17	164	1. 293	166	202	
7	H2. 9. 20	165	1. 285	171	209	
8	H6. 9. 30	121	1. 752	127	177	
9	H16. 10. 20	206	1. 029	150	192	
10	H21. 8. 10	138	1. 536	170	192	
11	H25. 9. 16	119	1. 782	114	166	
12	H26. 10. 14	126	1. 683	152	192	
13	H29. 9. 18	167	1. 269	195	209	
14	H29. 10. 23	124	1. 710	125	171	
15	H30. 7. 7	167	1. 269	139	181	
1/500確率雨量				196	224	

：確率1/500以上

1-10 主要洪水における降雨量（気候変動考慮）の引き伸ばしと流出計算

主要洪水を対象に、1/100規模（1.1倍）12時間雨量となるように引き伸ばし降雨波形を作成した後、流出計算を行うと基準地点立野において4,600m³/s～7,300m³/sとなる。

なお、短時間に降雨が集中する洪水や降雨の範囲が著しく偏った洪水については参考値とした。

表 1-40 ピーク流量一覧時間分布の評価結果

No.	洪水 年月日	生起要因	基準地点立野			基準地点立野 基本高水の ピーク流量 (m ³ /s)	棄却理由
			実績雨量 (mm/12hr)	拡大率	計画規模の 降雨量 × 1.1倍 (mm/12hr)		
1	S34. 9. 26	伊勢湾台風	189. 0	1. 233	233	5, 613	
2	S40. 9. 10	台風23号	142. 0	1. 641	233	8, 479	地域分布
3	S47. 7. 12	梅雨前線	128. 0	1. 820	233	6, 032	地域分布
4	S51. 9. 10	前線・台風17号	129. 0	1. 806	233	6, 254	
5	S54. 10. 19	台風20号	118. 0	1. 975	233	6, 803	
6	S62. 10. 17	台風19号	164. 0	1. 421	233	5, 401	
7	H2. 9. 20	台風19号	165. 0	1. 412	233	6, 321	地域分布
8	H6. 9. 30	台風26号	121. 0	1. 926	233	5, 045	
9	H16. 10. 20	台風23号	206. 0	1. 131	233	6, 023	
10	H21. 8. 10	台風9号	138. 0	1. 688	233	7, 062	地域分布
11	H25. 9. 16	台風18号	119. 0	1. 958	233	5, 164	
12	H26. 10. 14	台風19号	126. 0	1. 849	233	4, 556	
13	H29. 9. 18	低気圧・台風18号	167. 0	1. 395	233	5, 436	
14	H29. 10. 23	前線・台風21号	124. 0	1. 879	233	5, 156	
15	H30. 7. 7	前線・台風7号	167. 0	1. 395	233	7, 227	

※短時間雨量あるいは小流域が著しい引き伸ばしとなっている洪水は棄却（グレーの網掛け）

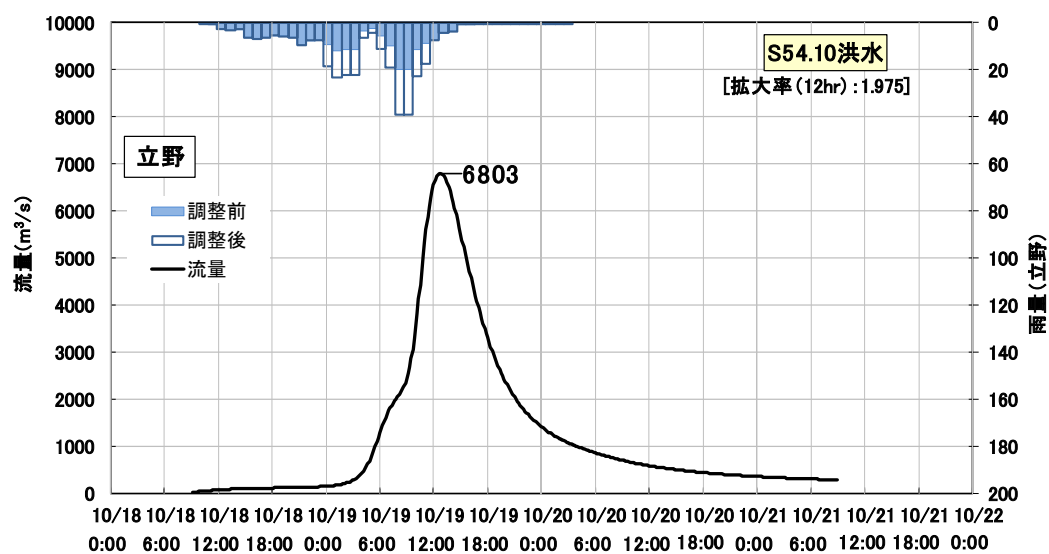
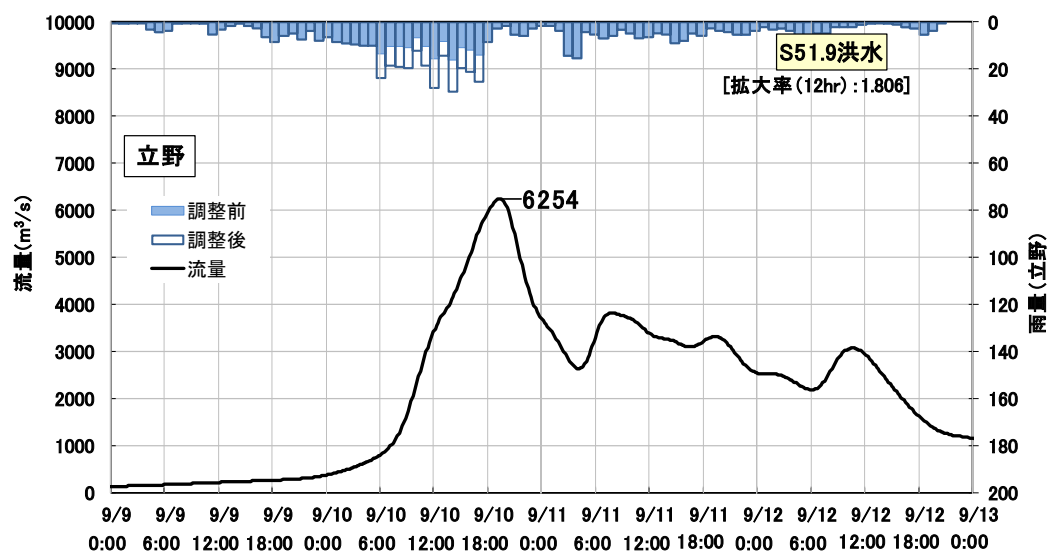
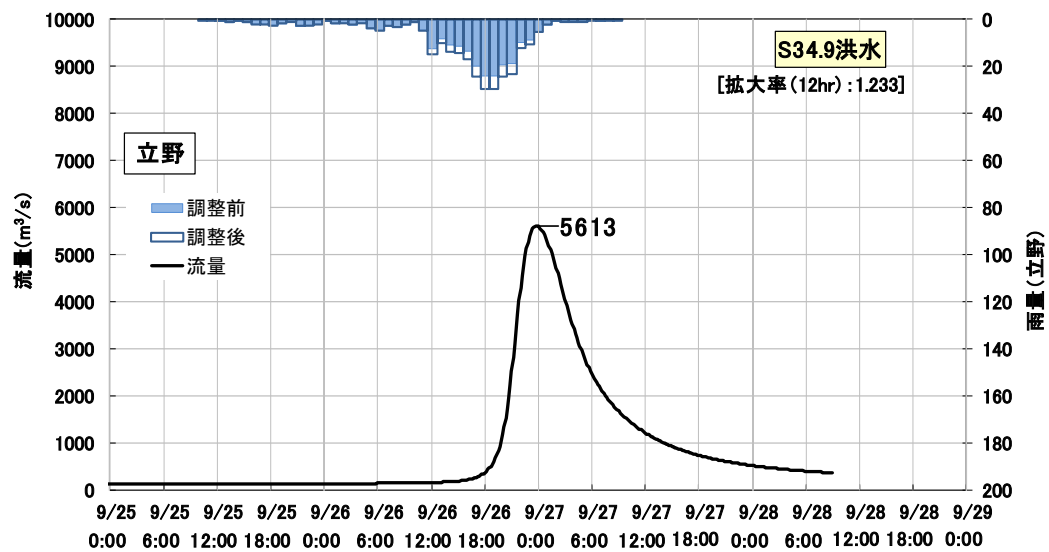


図 1-32 (1) 基本高水ハイドロ (円山川：立野 本川W=1/100 降雨量変化倍率1.1倍後)

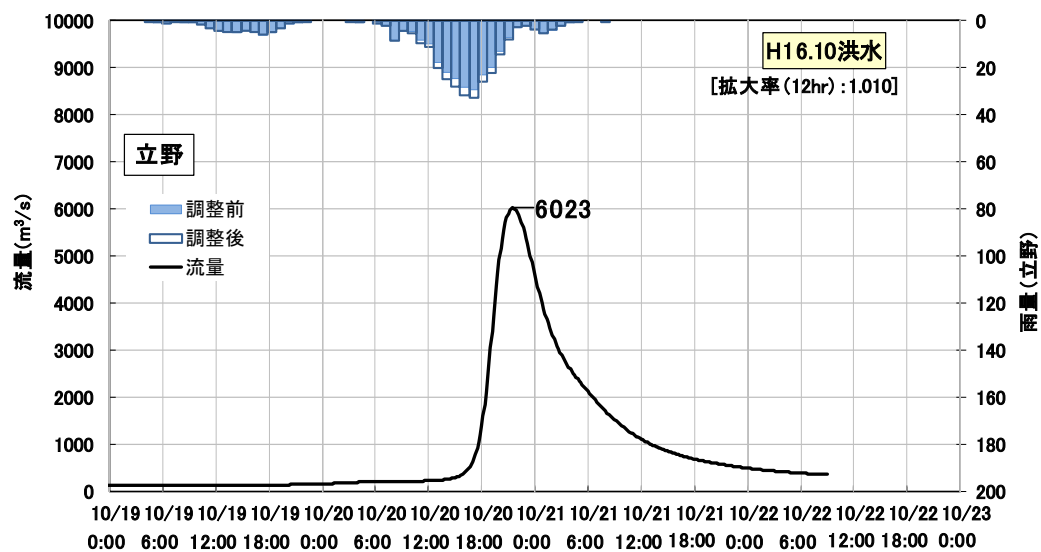
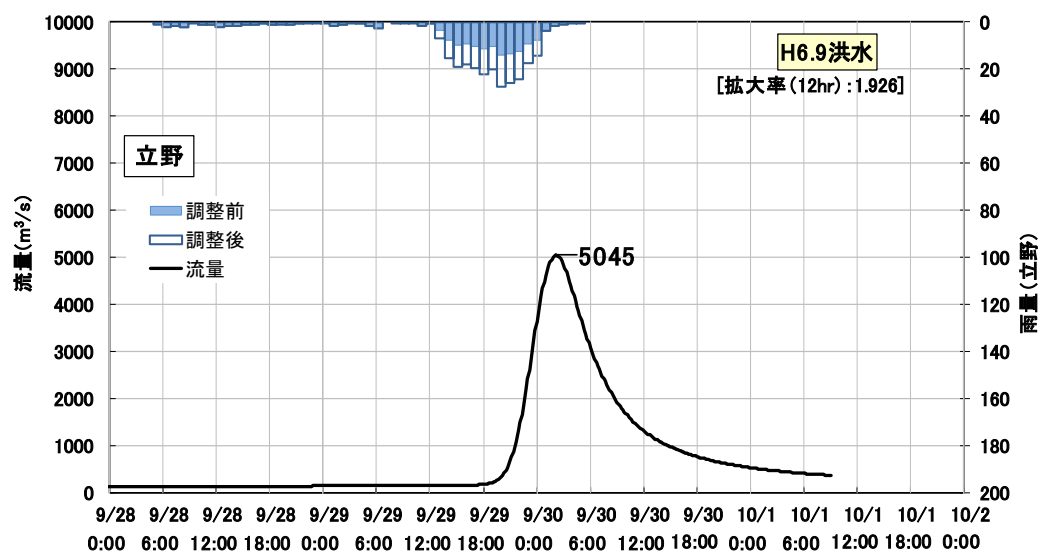
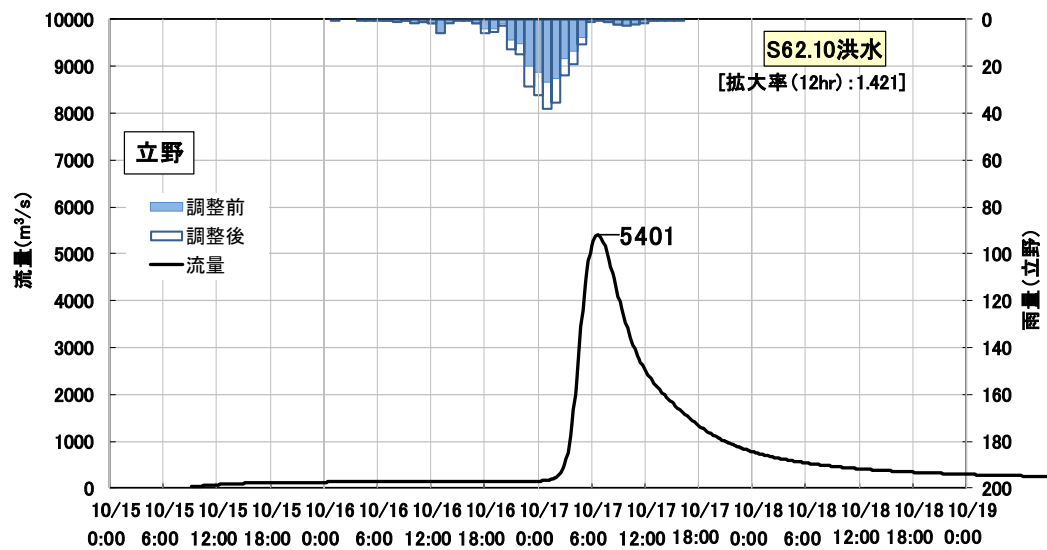


図 1-32 (2) 基本高水ハイドロ(円山川:立野 本川 $W=1/100$ 降雨量変化倍率1.1倍後)

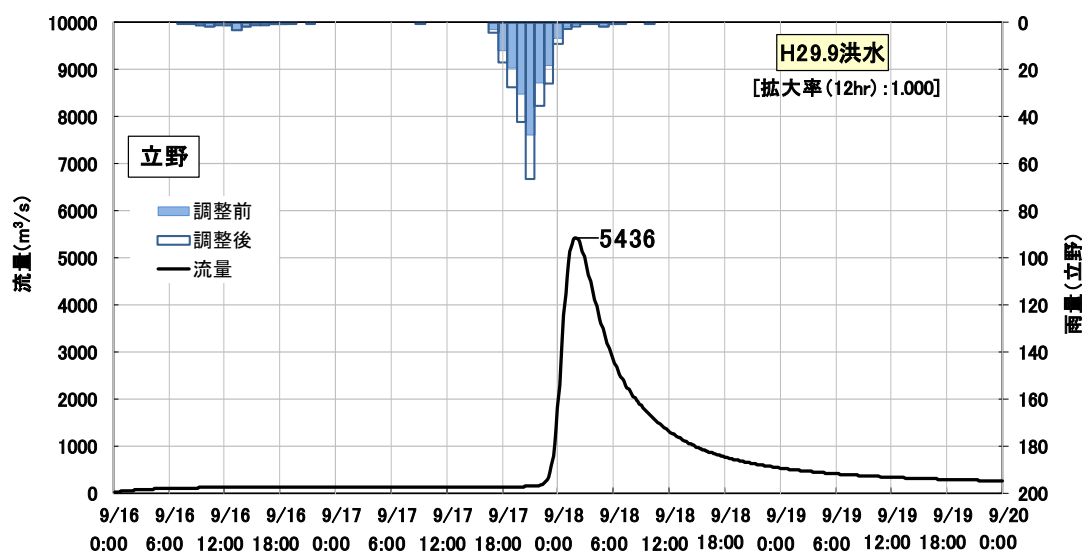
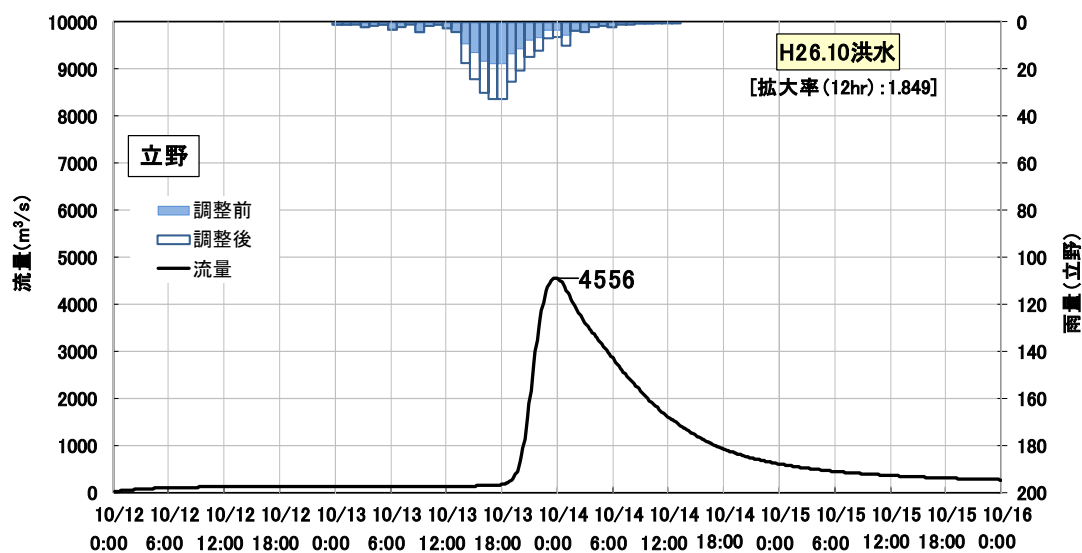
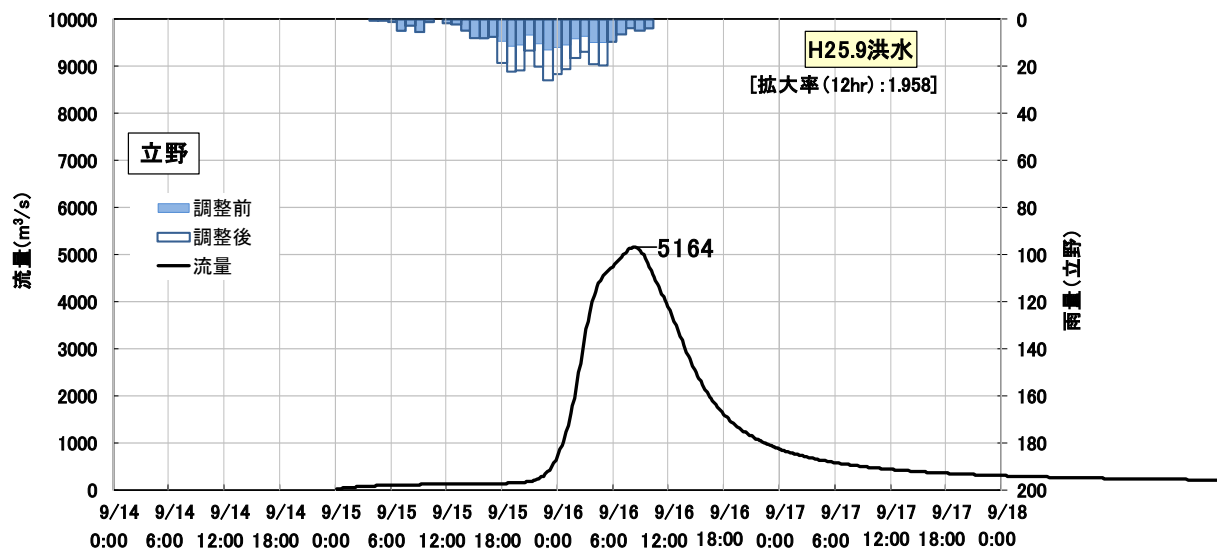


図 1-32 (3) 基本高水ハイドロ (円山川：立野 本川 $W=1/100$ 降雨量変化倍率1.1倍後)

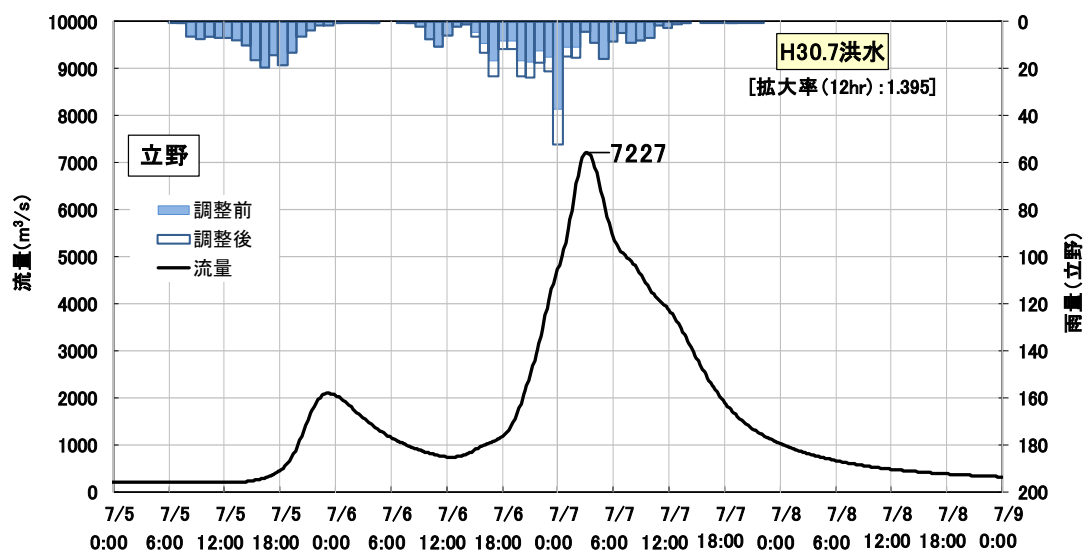
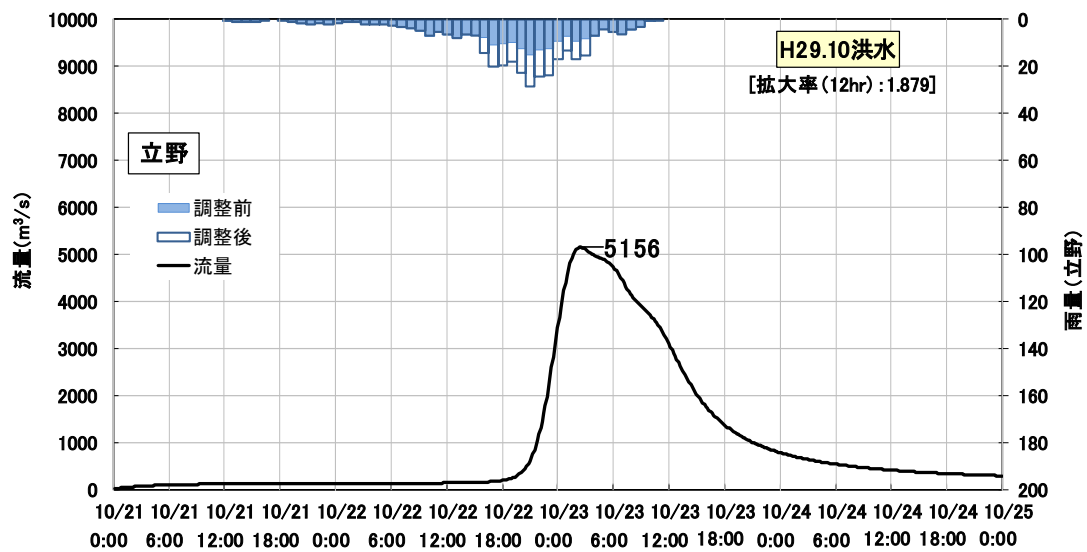


図 1-32 (4) 基本高水ハイドロ (円山川：立野 本川W=1/100 降雨量変化倍率1.1倍後)

1-11 アンサンブル予測降雨波形による検討

1-11-1 アンサンブル予測降雨波形による流出計算

4℃上昇のシナリオRCP8.5における近未来の気候（2℃上昇時：およそ2040年頃、世界平均の地上気温が産業革命当時と比べて2℃上昇）を前提として、文部科学省「SI-CAT気候変動適応技術社会実装プログラム※」において整備・公表された解像度5kmにダウンスケーリングされたアンサンブル実験により得られたアンサンブル将来予測降雨波形（以下、d2PDF）から求めた、現在気候及び将来気候の年最大流域平均雨量標本から計画対象降雨の降雨量232.1mm/12hの10%の範囲内に入る17洪水のうち、最大・最小のピーク流量を含む様々な洪水波形10洪水を抽出し、中央集中や複数の降雨ピーク（2山、3山）がある波形等、様々なタイプの降雨波形を含んでいることを確認した。

また、抽出した洪水の降雨波形を気候変動考慮した1/100確率規模の12時間雨量233mmまで調整し、流出計算モデルにより流出量を算出した結果、約4,500m³/sから8,100m³/sの範囲となる。

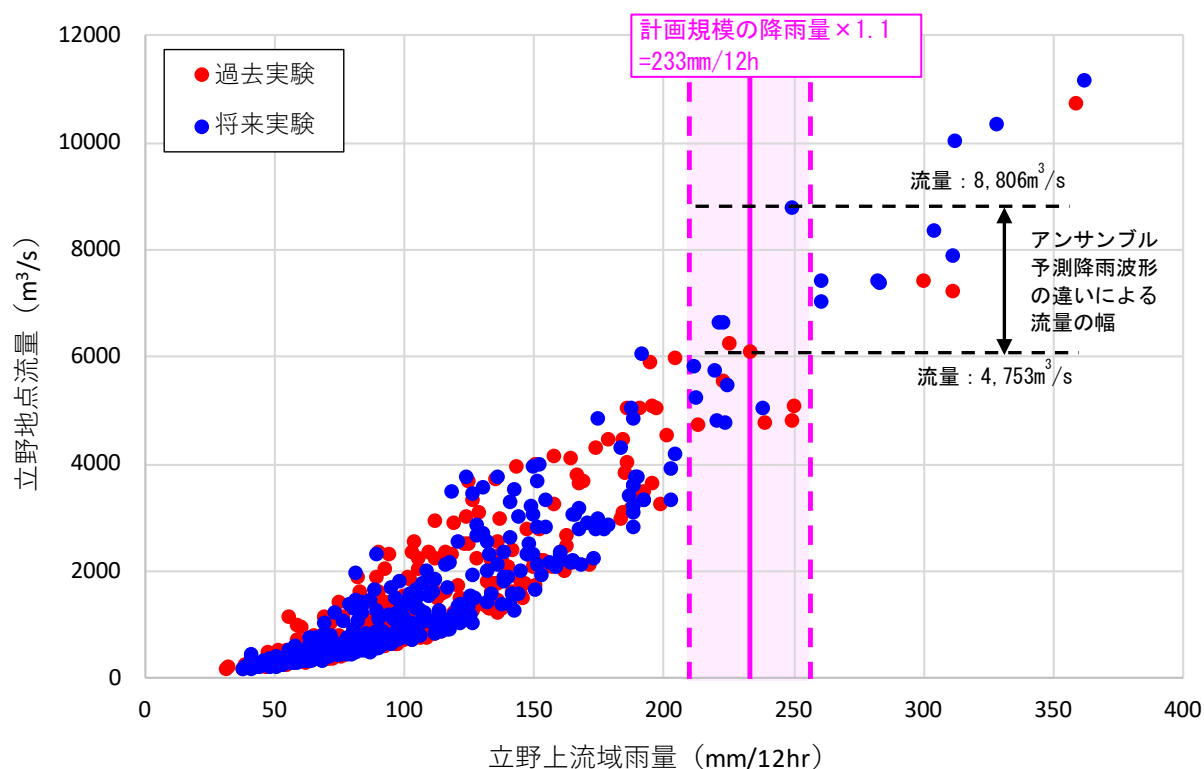


図 1-33 アンサンブル予測降雨波形からの抽出

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

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

表 1-41 アンサンブル予測降雨波形のピーク流量一覧（立野地点）

洪水名			基準地点立野 12時間雨量 (mm/12hr)	計画降雨量 (気候変動考慮) (mm/12hr)	拡大率	基準地点立野 ピーク流量 (m ³ /s)
将来実験	CC_m101	20770805	238.3	233	0.978	4,862
	MI_m105	20830811	249.3		0.935	8,040
	MI_m105	20861007	212.3		1.098	5,785
	MI_m105	20890904	219.9		1.060	5,304
	MR_m105	20770724	221.3		1.053	7,044
過去実験	HPB_m001	19840909	222.4	233	1.048	5,829
	HPB_m001	19890911	225.4		1.034	6,560
	HPB_m001	19910818	238.7		0.976	4,632
	HPB_m008	19940914	248.9		0.936	4,444
	HPB_m021	20090910	233.0		1.000	6,108

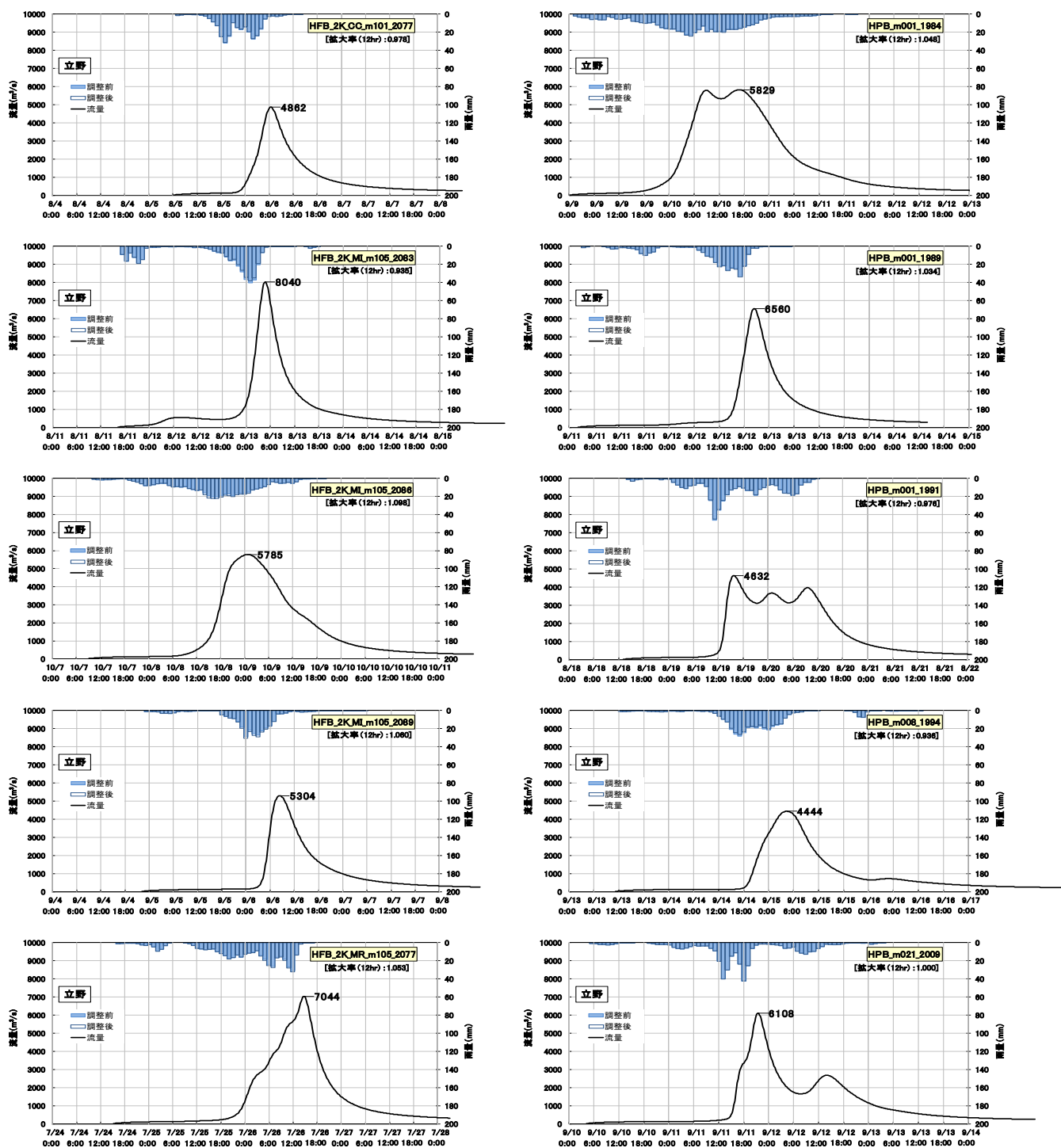


図 1-34 抽出した予測降雨波形群によるハイドログラフ（立野地点、過去実験）

1-11-2 棄却された実績引き伸ばし降雨における発生の可能性検討

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

その結果、棄却した4洪水のうち、アンサンブル予測降雨から推定される時間分布、地域分布の雨量比（基準地点流量と小流域の比率）以内に収まる洪水として、昭和47年（1972年）7月洪水を棄却せず、参考波形として活用する。

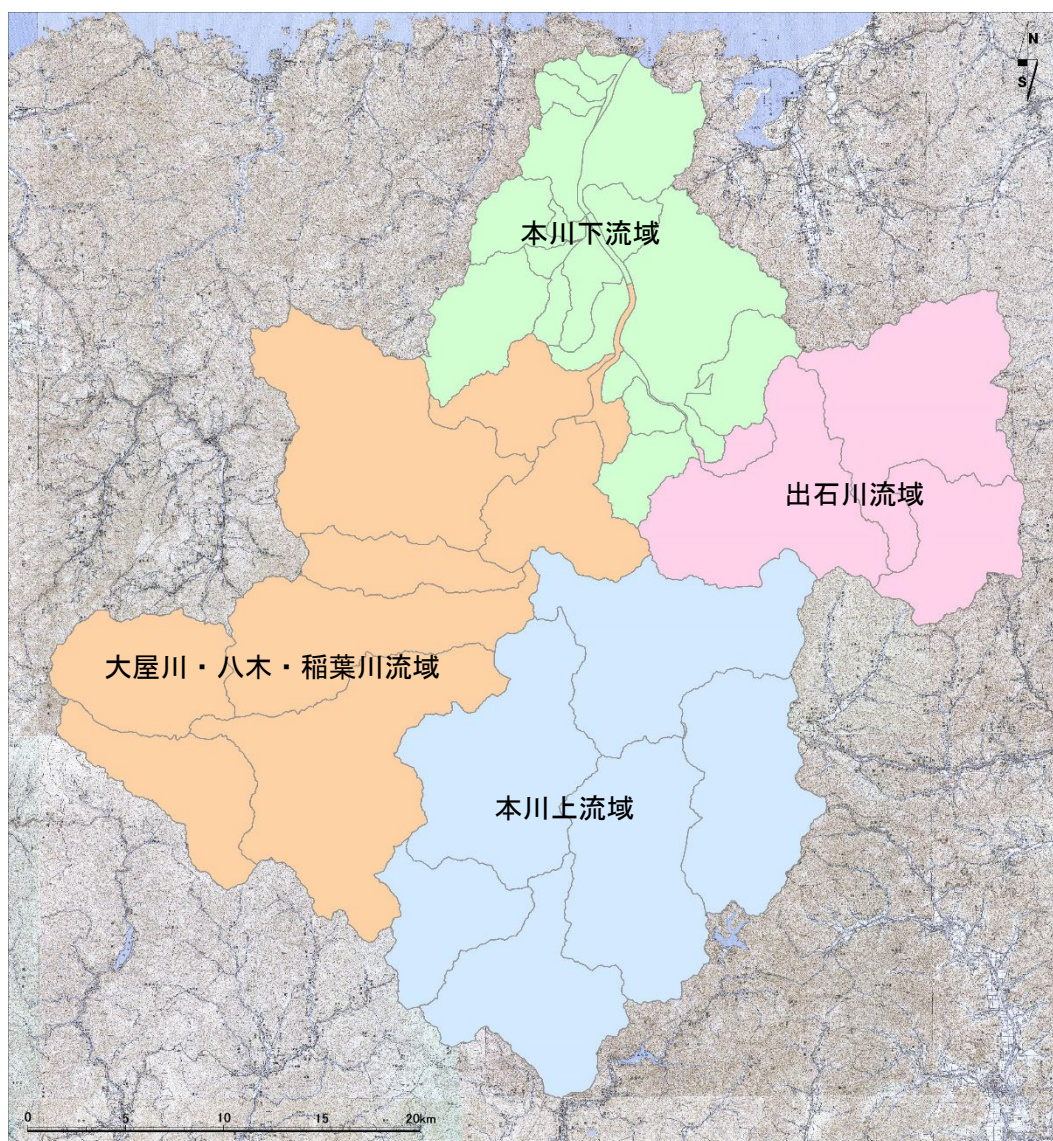


図 1-35 空間分布のチェック

(1) 地域分布のチェック

d2PDF（将来気候）から計画規模の降雨量近傍（12時間雨量が対象降雨の降雨量の近傍17降雨の内、将来気候の10降雨）のアンサンブル降雨波形を抽出し、各波形について、継続時間内の小流域の流域平均雨量／基準地点流域平均雨量を求めた。

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

その結果、棄却した4洪水のうち3洪水は、実績引き伸ばし降雨波形の比率がアンサンブル予測降雨波形による比率を上回り、アンサンブル予測降雨波形と比較しても生起し難いことを確認した。

表 1-42 雨量の比率（アンサンブル予測降雨波形）

洪水			立野 上流域 平均	本川 上流域 (411.9km ²)		大屋川・八木・ 稲葉川 流域 (388.7km ²)		出石川 流域 (224.5km ²)		本川 下流域 (274.9km ²)	
項目	d2PDF アンサンブル	年月日	① 予測雨量 (mm/12hr)	② 予測雨量 (mm/12hr)	②/① 比率	③ 予測雨量 (mm/12hr)	③/① 比率	④ 予測雨量 (mm/12hr)	④/① 比率	⑤ 予測雨量 (mm/12hr)	⑤/① 比率
将来実験	CC_m101	20770805	238.3	249.1	1.05	228.3	0.96	251.4	1.05	229.0	0.96
	GF_m105	20710802	223.1	236.5	1.06	268.8	1.20	168.4	0.75	151.7	0.68
	HA_m101	20680910	223.9	233.4	1.04	256.5	1.15	178.9	0.80	204.5	0.91
	MI_m105	20830811	249.3	299.9	1.20	270.1	1.08	179.7	0.72	176.2	0.71
	MI_m105	20860817	211.4	291.4	1.38	145.3	0.69	218.1	1.03	112.9	0.53
	MI_m105	20861007	212.3	205.7	0.97	221.8	1.04	212.7	1.00	226.6	1.07
	MI_m105	20890904	219.9	280.4	1.28	208.6	0.95	166.3	0.76	133.9	0.61
	MP_m105	20630913	219.8	239.2	1.09	209.2	0.95	205.3	0.93	225.0	1.02
	MR_m105	20770724	221.3	228.3	1.03	235.4	1.06	203.5	0.92	210.5	0.95
	MR_m105	20850915	223.0	268.1	1.20	185.6	0.83	222.5	1.00	171.7	0.77

：比率の最大値

表 1-43 雨量の比率（棄却した引き伸ばし降雨波形）

洪水年月日				立野上流域平均			本川 上流域 (411.9km ²)		大屋川・八木・稲葉川 流域 (388.7km ²)		出石川 流域 (224.5km ²)		本川 下流域 (274.9km ²)	
				実績雨量 (mm/12hr)	計画雨量 (mm/12hr)	拡大率	拡大後 雨量 (mm/12hr)	立野 雨量に対 する比率	拡大後 雨量 (mm/12hr)	立野 雨量に対 する比率	拡大後 雨量 (mm/12hr)	立野 雨量に対 する比率	拡大後 雨量 (mm/12hr)	立野 雨量に対 する比率
S.	40.	9.	10	142.0	212	1.493	234.0	1.10	207.0	0.98	191.0	0.90	227.0	1.07
S.	47.	7.	12	128.0	212	1.656	241.0	1.14	183.0	0.86	178.0	0.84	156.0	0.74
H.	2.	9.	20	165.0	212	1.285	249.0	1.17	259.0	1.22	229.0	1.08	248.0	1.17
H.	21.	8.	10	138.0	212	1.536	246.0	1.16	170.0	0.80	234.0	1.10	125.0	0.59

：アンサンブル降雨波形と比較しても生起し難いと判断

(2) 時間分布のチェック

d2PDF（将来気候）から計画規模の降雨量近傍（12時間雨量が対象降雨の降雨量の近傍17降雨の内、将来気候の10降雨）のアンサンブル降雨波形を抽出し、各降雨波形について、対象降雨の継続時間内雨量に対する短時間雨量の比率を求めた。

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

その結果、棄却した4洪水のうち3洪水は、実績引き伸ばし降雨波形の比率がアンサンブル予測降雨波形による比率を上回り、アンサンブル予測降雨波形と比較しても生起し難いことを確認した。

表 1-44 雨量の比率（アンサンブル予測降雨波形）

洪水			立野上流域平均		
項目	d2PDF アンサンブル	年月日	①12時間 予測雨量 (mm/12hr)	②6時間 予測雨量 (mm/6hr)	比率 ②/①
将来実験	CC_m101	20770805	238.3	123.1	0.52
	GF_m105	20710802	223.1	157.3	0.71
	HA_m101	20680910	223.9	115.5	0.52
	ML_m105	20830811	249.3	183.9	0.74
	ML_m105	20860817	211.4	168.1	0.80
	ML_m105	20861007	212.3	113.4	0.53
	ML_m105	20890904	219.9	145.1	0.66
	MP_m105	20630913	219.8	136.8	0.62
	MR_m105	20770724	221.3	132.8	0.60
	MR_m105	20850915	223.0	172.6	0.77

：比率の最大値

表 1-45 雨量の比率（棄却した引き伸ばし降雨波形）

洪水年月日				立野上流域平均				
				実績雨量 (mm/12hr)	① 計画雨量 (mm/12hr)	拡大率	② 6時間拡大後 雨量 (mm/6hr)	②/① 比率
S.	40.	9.	9	142.0	212	1.493	191.1	0.90
S.	47.	7.	12	128.0	212	1.656	142.8	0.67
H.	2.	9.	20	165.0	212	1.285	171.3	0.81
H.	21.	8.	10	138.0	212	1.536	170.0	0.80

：アンサンブル降雨波形と比較しても生起し難いと判断

1-11-3 主要洪水群に不足する降雨パターンの確認

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

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

波形パターンの解析にはクラスター分析を用いた。アンサンブル予測から得られた将来予測波形群360波形と過去実験波形360波形の計720波形を対象に、流域全体の総雨量に対する各流域の寄与率を算出し、ユークリッド距離を指標としてワード法により4つのクラスターに分類した。

立野地点で選定された計画対象降雨波形について、クラスター分析を行った結果、立野地点ではクラスター1～クラスター4が含まれており、起こりうる様々な波形パターンを網羅できていることを確認した。

表 1-46 主要15降雨の降雨パターンの確認

No.	洪水名	要因	クラスター分類	実績12時間雨量(mm/12hr)		
				本川上流域	大屋川・八木・稲葉川流域	出石川・本川下流域
1	S34. 9. 26	伊勢湾台風	3	176.1	183.4	185.8
2	S40. 9. 10	台風23号	1	221.4	109.7	96.4
3	S47. 7. 12	梅雨前線	2	143.1	115.9	86.3
4	S51. 9. 10	前線・台風17号	4	132.6	126.9	156.2
5	S54. 10. 19	台風20号	3	119.1	130.2	133.2
6	S62. 10. 17	台風19号	4	168.5	162.6	150.8
7	H2. 9. 20	台風19号	4	209.5	174.6	177.4
8	H6. 9. 30	台風26号	3	120.2	131.9	104.0
9	H16. 10. 20	台風23号	3	181.9	191.4	227.6
10	H21. 8. 10	台風9号	1	161.5	108.1	119.6
11	H25. 9. 16	台風18号	3	117.7	122.3	125.7
12	H26. 10. 14	台風19号	3	121.5	128.3	123.2
13	H29. 9. 18	低気圧・台風18号	3	158.3	173.2	161.5
14	H29. 10. 23	前線・台風21号	3	94.7	146.8	130.6
15	H30. 7. 7	前線・台風7号	3	162.7	181.3	158.4

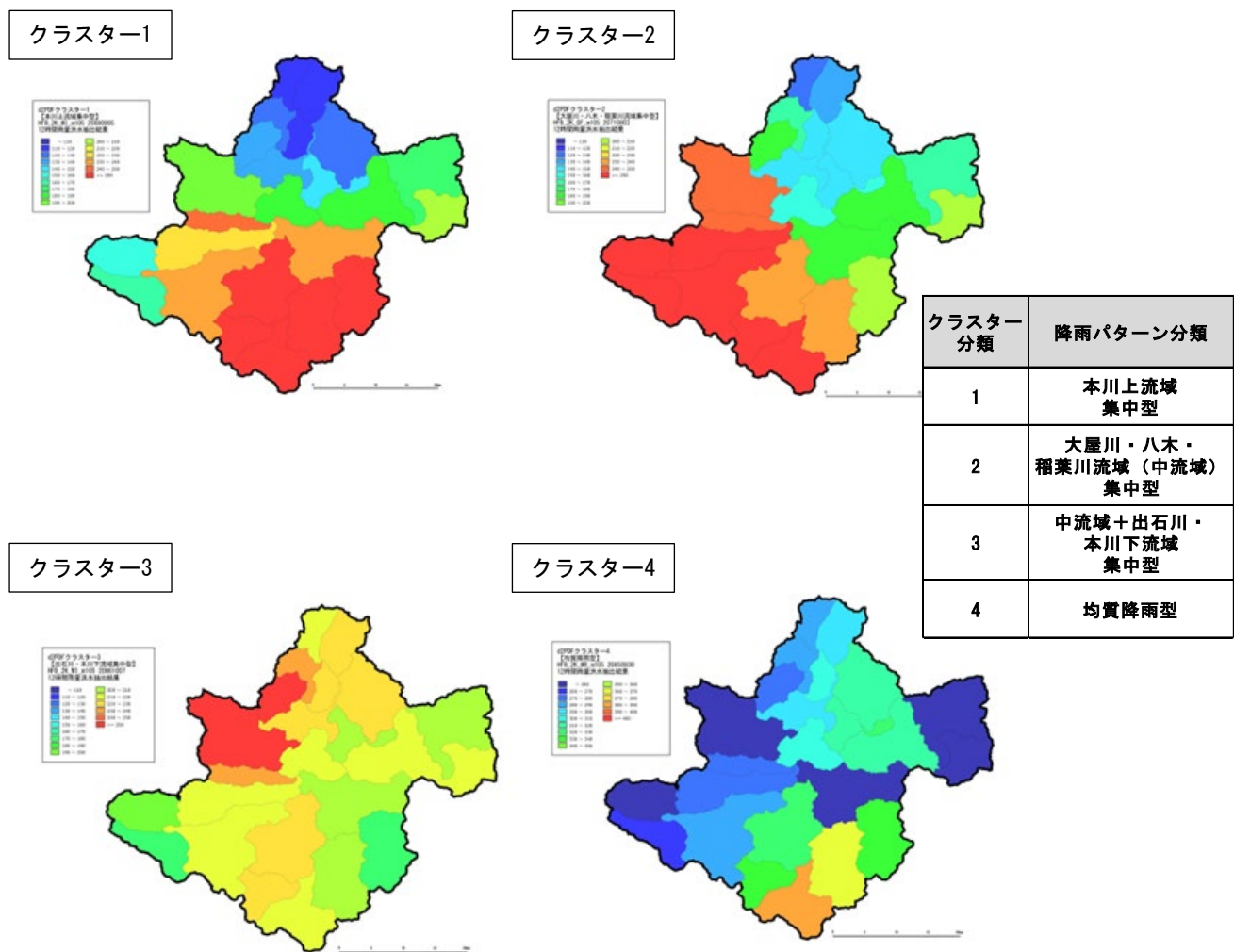


図 1-36 アンサンブル予測降雨による降雨分布のクラスター分析結果

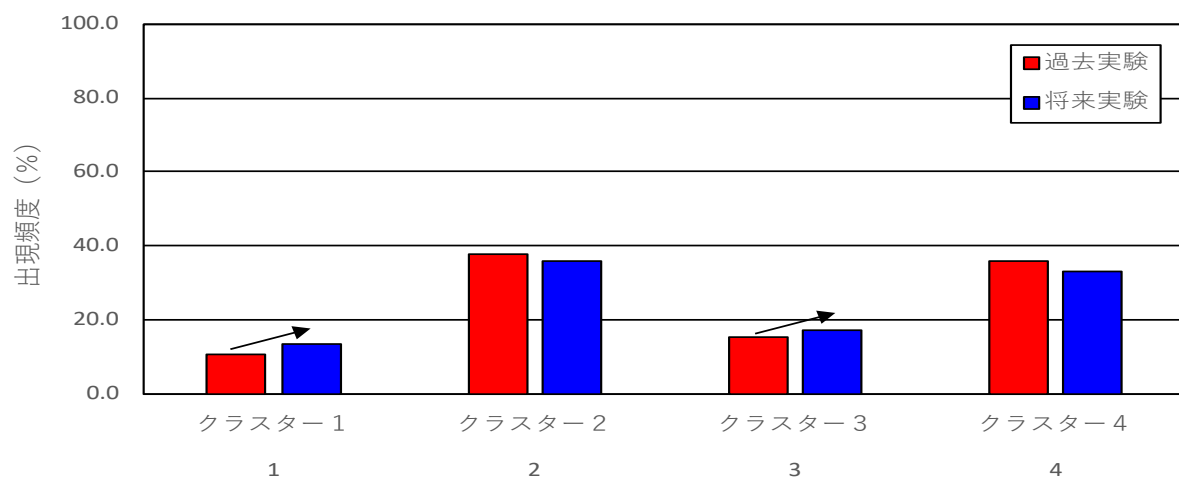


図 1-37 円山川流域におけるアンサンブル予測降雨の出現頻度（クラスターごと）

1-12 既往洪水からの検討

円山川流域の実績流量及び時間雨量が存在するのは昭和32年以降であり、立野地点で観測史上最大流量となる洪水は平成16年10月洪水（台風23号）である。

一方、日雨量資料が存在する明治32年から昭和31年までの期間で2日雨量が最大となる洪水は明治40年8月洪水であり、「豊岡市史」、「円山川治水沿革誌」による水位資料、水害被害額からも最大となっている。このため、明治40年8月洪水を歴史的洪水として選定し、実績流量の推定を行った。

明治40年8月洪水は、時間雨量が観測されていないため、流域内に時間雨量が存在する昭和32年以降の台風性降雨の中から経路と降雨量が近似した時間雨量パターン（昭和34年9月洪水）を用いて明治40年8月洪水の流域平均時間雨量を作成し、流出モデルを用いて実績流量（氾濫戻し流量）を推定すると基準地点立野で $6,400\text{m}^3/\text{s}$ と推定された。

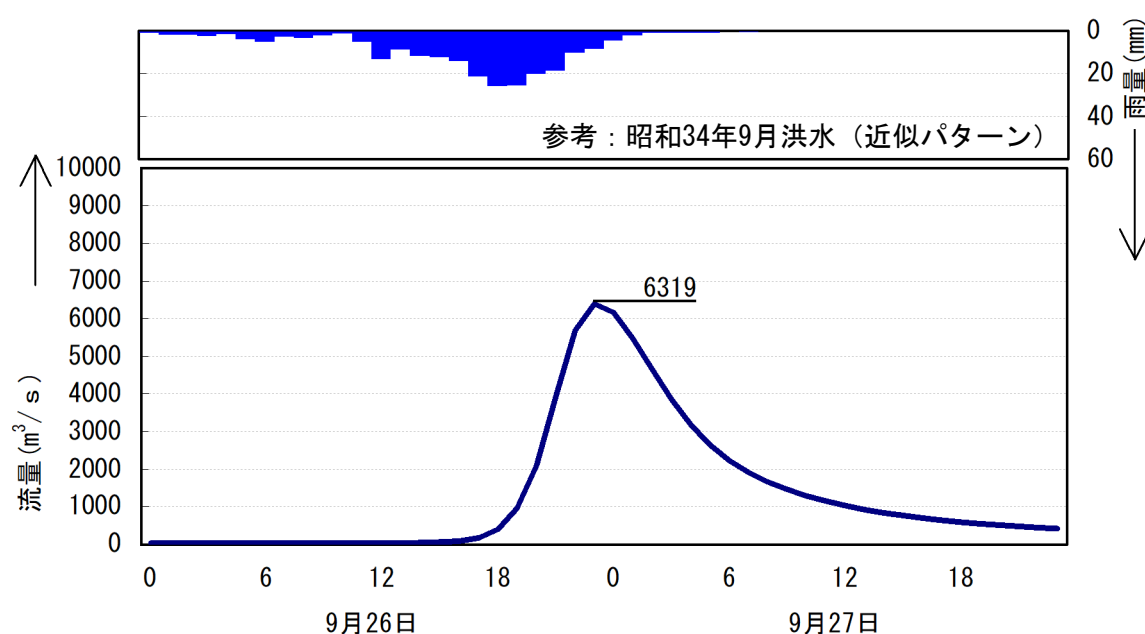
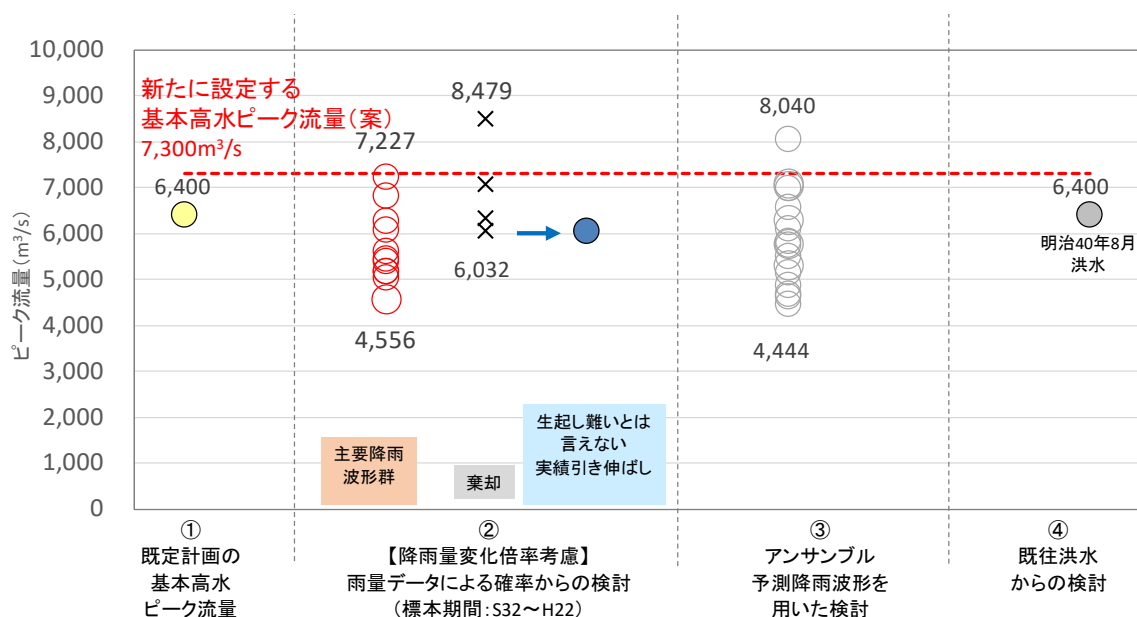


図 1-38 明治40年（1907年）8月洪水の推定流量ハイドログラフ
（基準地点立野）

1-13 総合的判断による基本高水のピーク流量の決定

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

その結果、円山川水系における基本高水のピーク流量は、基準地点立野において7,300m³/sと設定する。



【凡例】

- ②雨量データによる確率からの検討：降雨量変化倍率（2℃上昇時の降雨量の変化倍率1.1倍）を考慮した検討
 - ×：短時間・小流域において著しい引き伸ばしとなっている洪水
 - ：棄却された洪水（×）のうちアンサンブル予測降雨波形（将来予測）の時空間分布から見て将来起こり得ると判断された洪水
- ③アンサンブル予測降雨波形を用いた検討：気候変動予測モデルによる現在気候（1980～2010年）及び将来気候（2℃上昇）のアンサンブル降雨波形
 - ：対象降雨の降雨量（233mm/12h）の±10%に含まれる洪水
- ④既往洪水からの検討：歴史洪水 明治40年8月洪水の再現流量

図 1-39 基本高水の設定に係る総合的判断

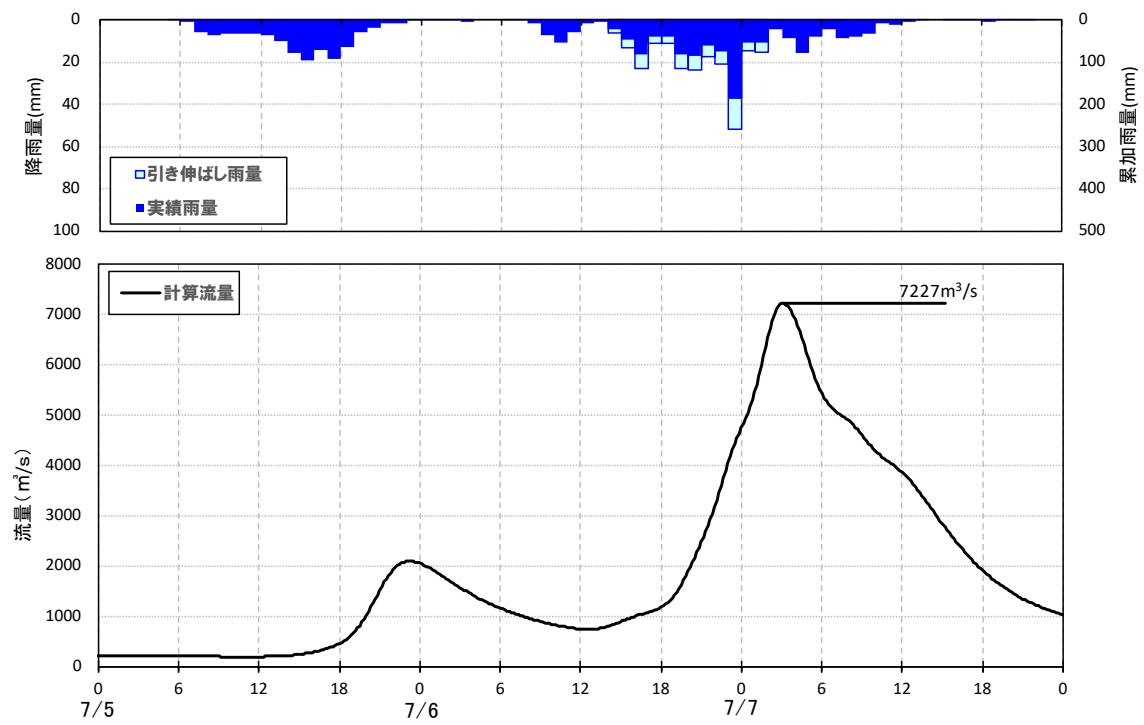


図 1-40 基本高水ピーク流量決定のハイドログラフ（平成30年7月洪水）

2 高水処理計画

円山川の既定高水処理計画は、基準地点立野における基本高水のピーク流量 $6,500\text{m}^3/\text{s}$ に対し、洪水処理施設により $900\text{m}^3/\text{s}$ を調節し、 $5,600\text{m}^3/\text{s}$ を河道で処理する計画としている。

今回、気候変動による降雨量への影響を踏まえ、新たに基準地点立野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 $6,500\text{m}^3/\text{s}$ を $7,300\text{m}^3/\text{s}$ に変更する計画とした。

洪水外力の増大や治水に対する流域の意識の高まりも踏まえつつ、環境・利用の確保や改善も図る河道計画を検討するとともに、これまでも行ってきた円山川らしい治水・環境・利用が調和した川づくりを目指す。

これらを踏まえ、河道配分の検討を実施した。現在の流下能力最小地点は下流の7.6k付近の下鶴井地区であり、下鶴井地区の大規模なワンド、支川流入部、シラウオ産卵場を残置し、まとまったヨシ原を自然再生計画で目標としている約10ha確保できる $5,600\text{m}^3/\text{s}$ 河道が最適である。

このため、高水処理計画は、河道への配分流量を $5,600\text{m}^3/\text{s}$ とし、既存ダムの事前放流により確保可能な容量を活用した洪水調節を見込んだ上で、新たな洪水調節機能の確保により、対応することとした。

3 計画高水流量

円山川の計画高水流量は、立野地点において $5,600\text{m}^3/\text{s}$ とし、各主要な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た。各地点の計画高水流量は以下のとおりとする。

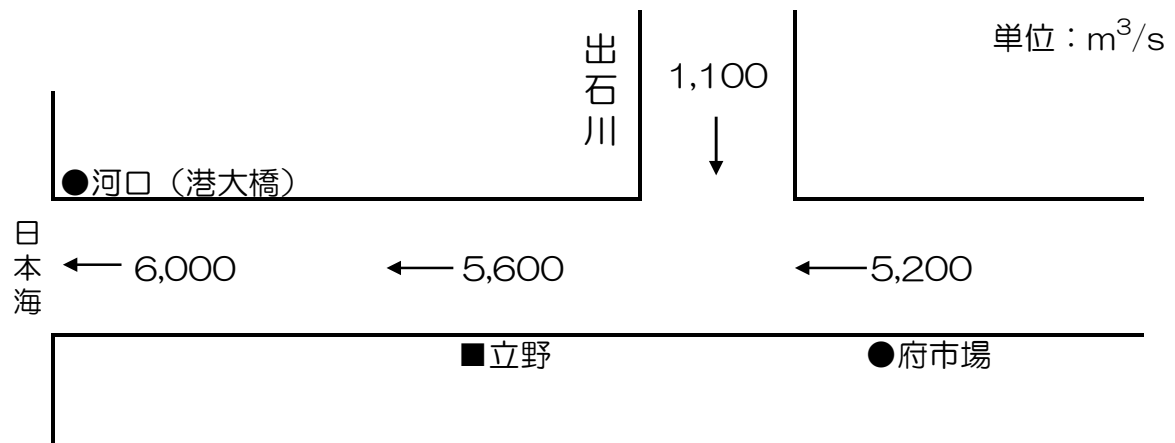


図 3-1 円山川計画高水流量図

4 河道計画

河道計画は、以下の理由により現況の縦断勾配を重視し、流下能力が不足する区間については、河川環境等に配慮しながら必要な河積(洪水を安全に流下させるための断面)を確保する。

- ①直轄管理区間の堤防は約83%が概成（完成・暫定）している。
- ②堤防沿いに豊岡市街地等の家屋が連担していること。
- ③計画高水位を全川にわたって大幅に上げるとは、破堤時における被害を増大させるとともに、堤内地の内水被害を助長させること。
- ④既定計画の計画高水位に基づいて、道路橋、樋門等の多くの構造物が完成していること。
- ⑤多様な動植物の生息・生育環境を有しており、円山川の流れが生み出す良好な河川景観となっていること。

計画縦断図を図 5-1に示すとともに、主要な地点における計画高水位、及びおおむねの川幅を表 4-1に示す。

表 4-1 主要な地点における計画高水位及び川幅一覧表

河川名	地点名	河口からの距離 (km)	計画高水位 T. P. (m)	川幅 (m)
円山川	府市場	21, 4	12.98	380
	立野	13, 0	8.17	300
	河口 (港大橋)	1, 0	2.30	340

注) T. P. 東京湾中等潮位

気候変動を考慮した計画高潮位の設定をした。

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、RCP8.5（4℃上昇に相当）で0.61-1.10mとされている。

2℃上昇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。

表 4-2 気候変動による海面上昇について（IPCC試算）

シナリオ	1986～2005年に対する2100年における平均海面水位の予測上昇量範囲（m）	
	第五次評価報告書	SROCC
RCP2.6	0.26-0.55	0.29-0.59
RCP8.5	0.45-0.82	0.61-1.10

朔望平均満潮位による出発水位（気候変動による海面上昇考慮）を試算した。

①朔望平均満潮位+密度差：T.P+0.71m

②気候変動による海面上昇量：2℃上昇シナリオの平均値で0.43m

③上記の①+②：T.P+1.41m

仮に出発水位T.P+0.71mが2℃上昇シナリオの気候変動による水位上昇の平均値0.43mまで上昇した条件で計画高水流下時の河道水位を確認した。

上記の場合、0.4k～0.6k地点のH.W.L.を約14cm超過するが概ねH.W.L.で流下可能である。また、河口部は海岸部の堤防整備としてT.P.+2.0mで整備が予定されており、その高さ以下での流下が可能である。

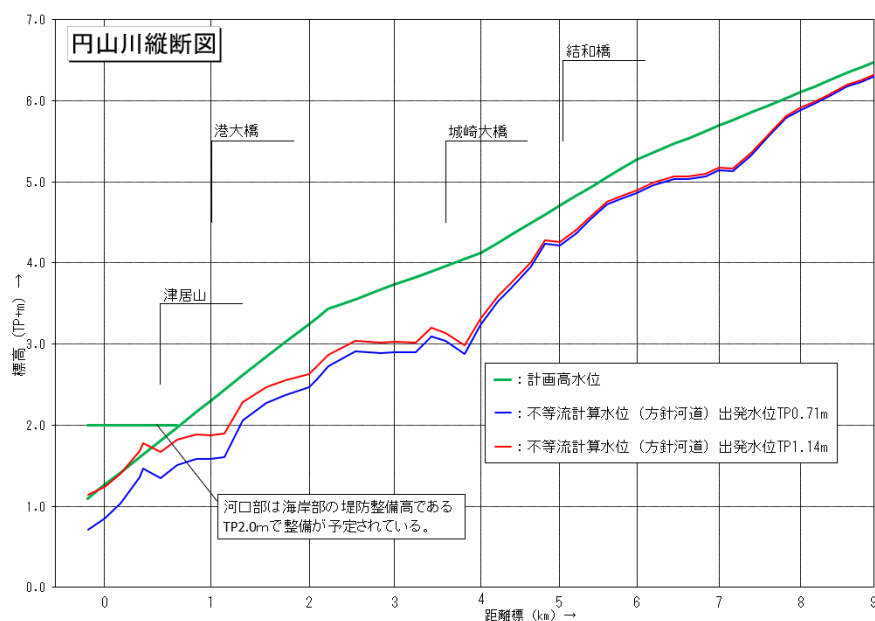


図 4-1 円山川河口水位の検証河道水位

5 河川管理施設等の整備の状況

円山川における河川管理施設等の整備状況は下記のとおりである。

(1) 堤防

堤防整備の現状（令和5年（2023年）3月現在）は下表のとおりである。

表 5-1 堤防整備の状況

大臣管理 区間延長 (km)	施行令2条7号 区間延長 (km)	堤防延長(km)			
		堤防必要 区間	計画断面 堤防区間	暫定堤防 区間	無堤防 区間
39.0	5.0	74.6	1.9	60.3	12.4

(2) 洪水調節施設

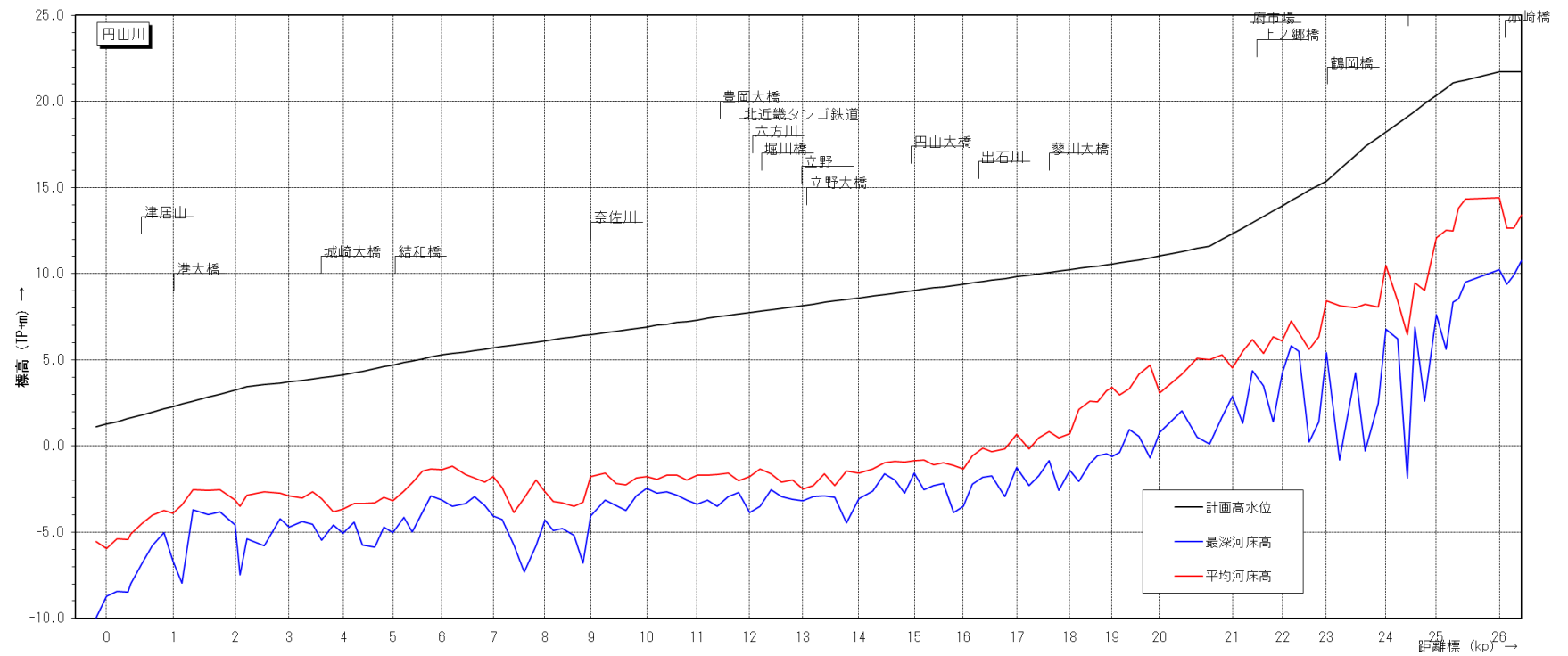
- ・ 完成施設 : なし
- ・ 事業中施設 : 2,700千m³
- ・ 残りの必要容量 : おおむね36,000千m³

(3) 排水機場等

排水機場等の河川管理施設の現状（令和5年（2023年）3月現在）は下表のとおりである。

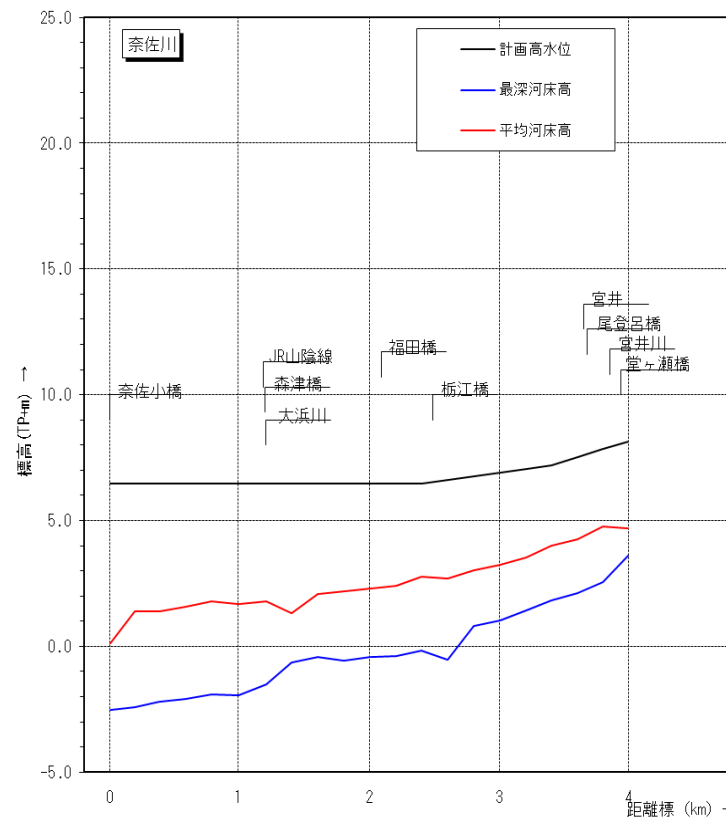
表 5-2 大臣管理区間の河川管理施設の状況

堰・床固め	排水機場	樋門樋管
0	5	29



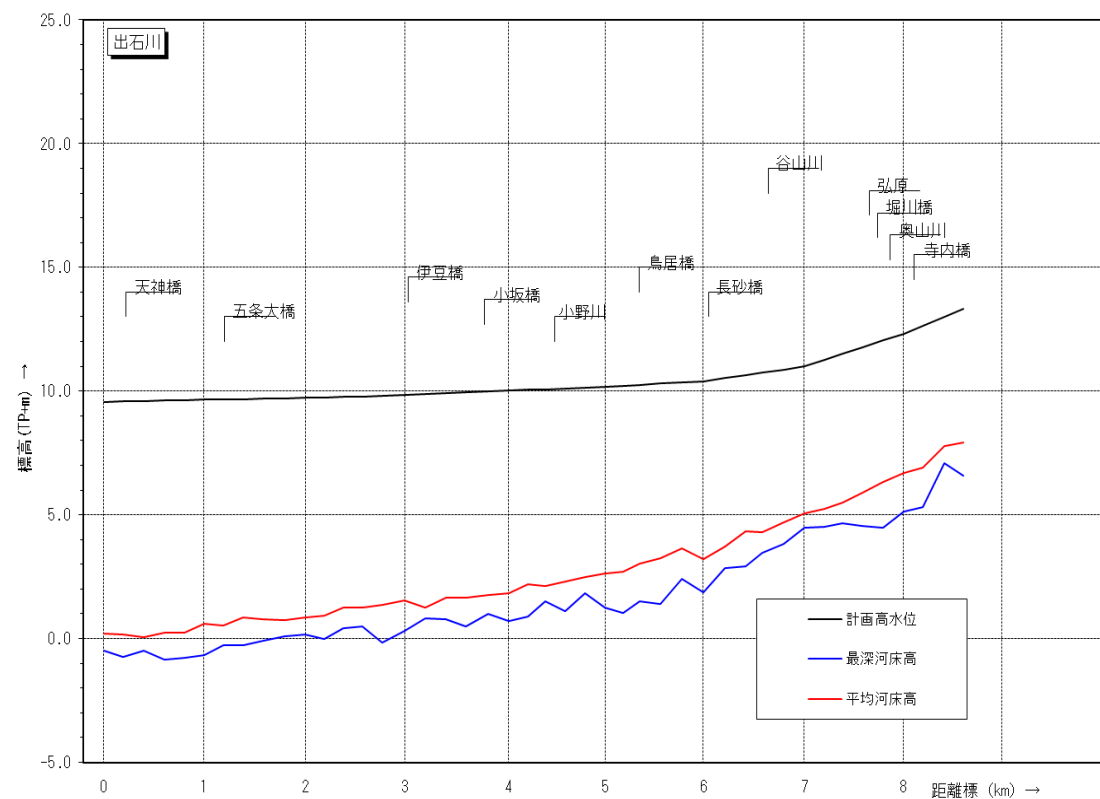
計画高水位 (T. P. m)	1.260	3.249	4.120	5.624	6.473	7.915	9.552	10.620	11.466	12.978	15.140	16.876	20.771	21.252	21.700
平均河床高 (T. P. m)	-5.962	-2.530	-3.648	-2.077	-1.765	-2.106	-0.131	2.952	5.102	5.384	6.343	8.006	12.514	14.313	13.390
最新河床高 (T. P. m)	-8.735	-4.590	-5.085	-4.055	-4.049	-2.540	-1.822	-0.349	0.532	4.386	1.415	4.246	5.627	9.501	10.763
距離標	0.0k	2.0k	4.0k	6.8k	9.0k	12.4k	16.4k	19.2k	20.4k	21.4k	22.8k	23.4k	25.2k	25.8k	26.6k

図 5-1 (1) 円山川縦断面図



計画高水位 (T. P. m)	6.482	6.482	6.482	6.803	7.182	8.150
平均河床高 (T. P. m)	0.126	1.677	2.782	3.231	4.001	4.703
最新河床高 (T. P. m)	-2.535	-1.933	-0.161	1.026	1.834	3.599
距離標	0.0k	1.0k	2.4k	3.0k	3.4k	4.0k

図 5-1 (2) 奈佐川縦断面図



計画高水位 (T. P. m)	9.560	9.800	10.180	10.400	11.000	12.324	13.331
平均河床高 (T. P. m)	0.204	1.371	2.638	3.202	5.060	6.691	7.924
最新河床高 (T. P. m)	-0.483	-0.156	1.256	1.877	4.492	5.149	6.594
距離標	0.0k	2.8k	5.0k	6.0k	7.0k	8.0k	8.6k

図 5-1 (3) 出石川縦断図