

小丸川水系河川整備基本方針

基本高水等に関する資料(案)

令和 年 月

国土交通省 水管理・国土保全局

目 次

1. 基本高水の検討	1
1-1 工事实施基本計画	1
1-2 河川整備基本方針	1
1-3 河川整備基本方針策定後の状況	3
1-4 基本高水ピーク流量の設定	4
1-5 対象降雨の継続時間の設定	5
1-6 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	14
1-7 流出計算モデルの設定	18
1-8 主要降雨波形の設定	28
1-9 対象降雨の地域分布及び時間分布の検討	30
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	35
1-11 アンサンブル予測降雨波形による検討	41
1-12 既往洪水からの検討	55
1-13 総合的判断による基本高水のピーク流量の決定	56
2. 高水処理計画	58
3. 計画高水流量	59
4. 河道計画	60
5. 河川管理施設等の整備の状況	63

1. 基本高水の検討

1-1 工事実施基本計画

昭和42年(1967年)12月に策定された小丸川水系工事実施基本計画では、水系に甚大な被害をもたらした「昭和25年9月洪水」を対象洪水とし、基準地点「高城」において基本高水のピーク流量を3,600m³/sと定め、洪水調節施設で600m³/sを調節し、計画高水流量を3,000m³/sと定めている。

基本高水のピーク流量である「昭和25年9月洪水」のピーク流量は合理式により算定され、決定されている。(計画規模の明記は無いが、当時の2日雨量評価で概ね1/80の流量である。)

1-2 河川整備基本方針

平成9年(1997年)の河川法改正を受け、下記に示す様々な手法による検討の結果について総合的に判断し、基準地点高城における基本高水のピーク流量を5,700m³/sとし、平成20年(2008年)3月に河川整備基本方針(以降、「既定計画」という)を策定した。

(1) 計画規模の設定

小丸川水系における流域の重要度及び流域の規模(流域面積、想定氾濫区域内面積、人口、資産等)等の状況を勘案し、計画規模を1/100とした。

(2) 基準地点の設定

水理・水文資料が十分整備されていること等から工事実施基本計画を踏襲し、高城地点に設定した。

(3) 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(統計期間:昭和35年(1960年)~平成18年(2006年)の47年間、ダム戻し流量)を用いた確率流量から検証した結果、高城地点における1/100確率規模の流量は、約4,830m³/s~約6,040m³/sとなった。結果を表 1-2-1に示す。

表 1-2-1 1/100確率流量(高城地点)

確率分布モデル	流量(m ³ /s)
一般化極値分布	5,600
グンベル分布	5,130
指数分布	5,910
平方根指数型最大値分布	6,040
対数ピアソンⅢ型分布	4,830
対数正規分布(岩井法)	5,310
対数正規分布(石原・高瀬法)	5,150
対数正規分布(クオンタイル法)	5,830
3母数対数正規分布(積率法)	5,130
2母数対数正規分布(L積率法)	5,870
2母数対数正規分布(積率法)	5,740

(4) 時間雨量データによる確率からの検討

① 計画降雨継続時間の検討

計画降雨継続時間は、角屋式による洪水の到達時間等に着目して9時間を採用した。

② 計画降雨の検討

計画規模1/100の計画降雨量は、昭和35年(1960年)から平成18年(2006年)までの47年間の計画降雨継続時間内雨量を確率処理し、現在一般的に用いられている確率降雨モデルの適合度であるSLSCが0.04以下となる手法の平均値をもとに高城地点上流447mm/9時間を採用した。

③ 流出計算モデルの設定

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。

④ 主要洪水における1/100規模の降雨量への引き伸ばしと流出計算

流域の過去の主要洪水における降雨波形を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定した。結果を表 1-2-2に示す。

表 1-2-2 ピーク流量一覧(高城地点)

洪水名	計画降雨量(9hr)
	高城地点 ピーク流量(m ³ /s)
S43.9.24	5,600
S46.8.5	5,510
S46.8.30	5,070
S57.8.27	5,690
H9.9.16	6,480
H15.8.8	6,090
H16.8.30	5,420
H16.10.20	6,260
H17.9.6	6,120

⑤ 既往最大洪水からの検討

既往最大洪水として大正13年8月洪水を対象とし、等流計算により痕跡水位の流量を推算した。その結果、既往最大洪水の流量は5,800m³/sと推定した。

⑥ 全ての時間雨量が1/100となるモデル降雨波形を用いた検討

主要な実績降雨群の波形を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、流出計算を行った結果、高城地点における1/100確率規模の流量を約5,200m³/s～約6,400m³/sと推定した。

1-3 河川整備基本方針策定後の状況

平成20年(2008年)3月の既定計画策定以降、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。年最大流量を図 1-3-1に、年最大流域平均雨量を図 1-3-2に示す。

【基準地点高城】

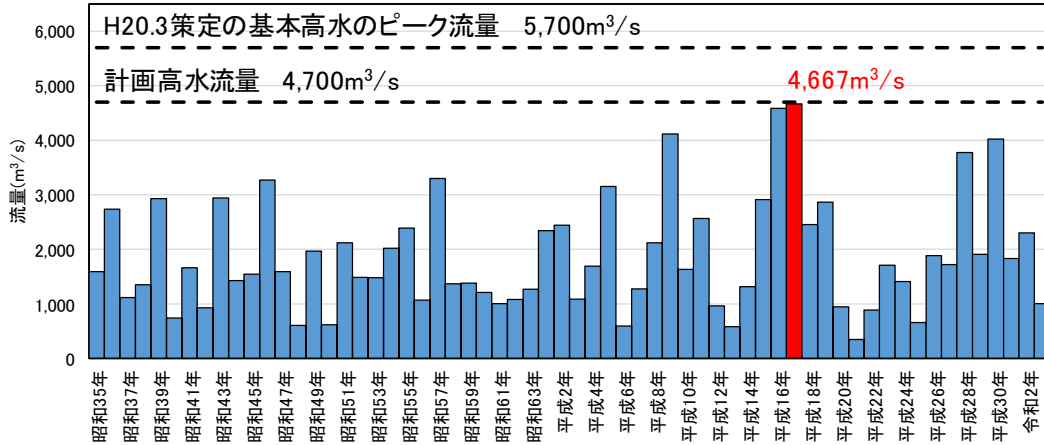


図 1-3-1 年最大流量 (基準地点高城)

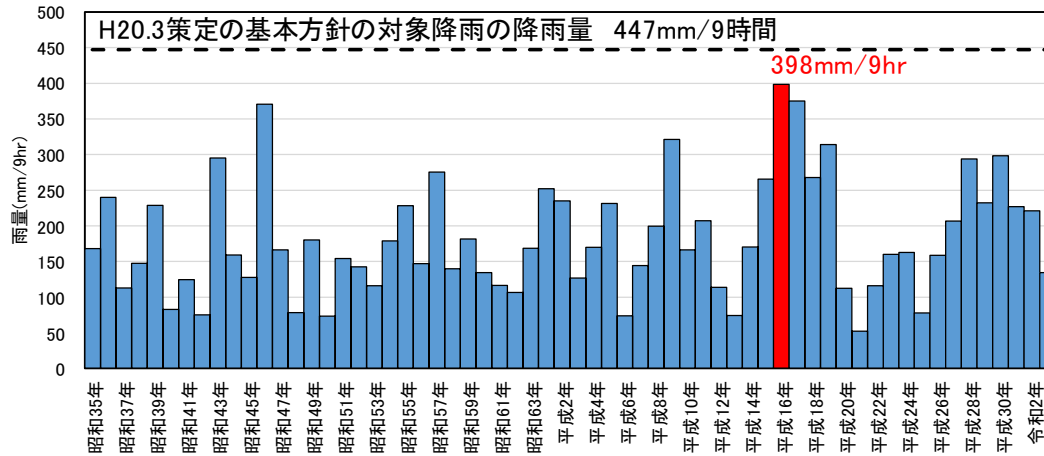


図 1-3-2 年最大流域平均雨量 (基準地点高城上流域)

1-4 基本高水ピーク流量の設定

1-4-1 基本高水ピーク流量設定の考え方

気候変動の影響が既に顕在化していること、今後も気候変動による降雨量の増加が想定されることを踏まえ、

- (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

について検討を実施し、総合的に判断した上で基本高水のピーク流量を設定する。

1-4-2 計画規模の設定

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

1-5 対象降雨の継続時間の設定

1-5-1 対象降雨の継続時間設定の考え方

小丸川流域における対象降雨の降雨継続時間は、①洪水到達時間、②ピーク流量と短時間雨量との相関関係及び③強い降雨強度の継続時間を整理して設定した。

1-5-2 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することとした。

なお、対象洪水は、小丸川高城地点における過去洪水(昭和35年(1960年)～令和3年(2021年))のうち、基準地点高城の実績流量の上位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。

(2)角屋の式による洪水の到達時間

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

(1)及び(2)の計算結果を表 1-5-1に示し、洪水ごとのKinematic Wave法による洪水到達時間の検討結果を図 1-5-1に示す。

【基準地点高城】

Kinematic Wave法 5～12時間 (平均9時間)

角屋式 4.9～5.7時間 (平均5.2時間)

表 1-5-1 洪水到達時間の算定結果 (基準地点高城)

NO	降雨年月日	ピーク流量		Kinematic Wave法 算定結果 (hr)	角屋の式	
		流量 (m ³ /s)	生起時刻		平均有効 降雨強度 (mm/hr)	算定結果 (hr)
1	S 43 . 9 . 23	2,938	9/24 22:00	12	22.2	5.7
2	S 46 . 8 . 27	3,268	8/29 24:00	5	38.9	4.9
3	S 57 . 8 . 25	3,298	8/27 2:00	8	27.8	5.5
4	H 5 . 9 . 2	3,155	9/3 21:00	11	28.1	5.6
5	H 9 . 9 . 14	4,116	9/16 14:00	11	34.2	5.1
6	H 16 . 8 . 28	4,586	8/30 12:00	7	38.7	4.9
7	H 16 . 10 . 18	3,723	10/20 11:00	10	34.6	5.1
8	H 17 . 9 . 4	4,667	9/6 11:00	11	35.3	5.0
9	H 28 . 9 . 19	3,774	9/20 6:00	8	35.2	5.1
10	H 30 . 9 . 29	4,021	9/30 15:00	8	30.4	5.3
平均値		-	-	9	-	5.2

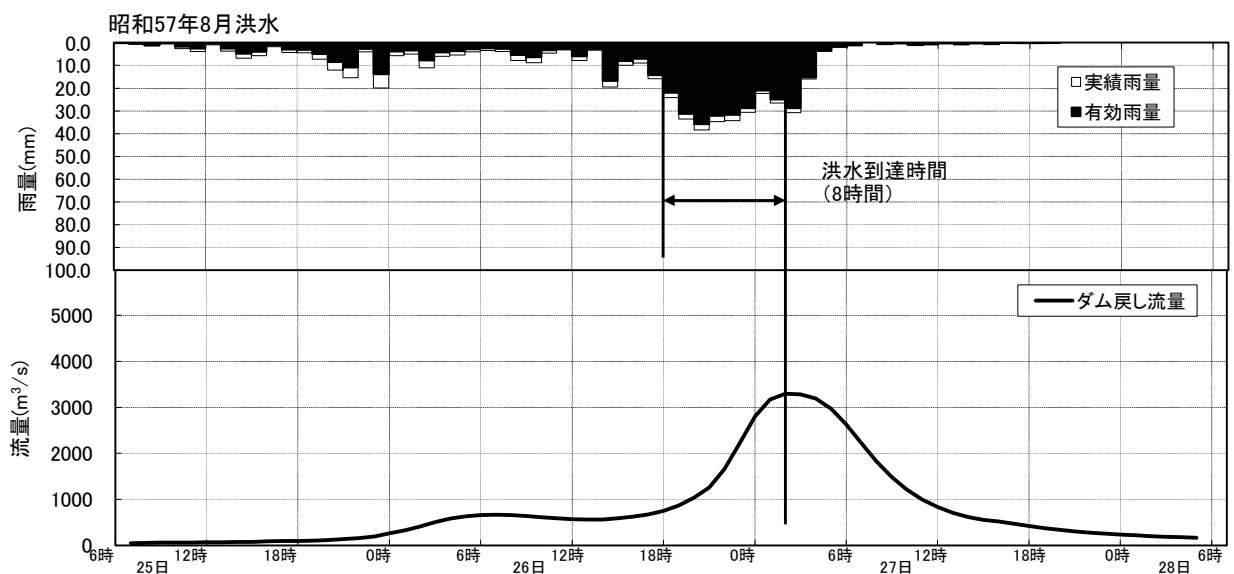
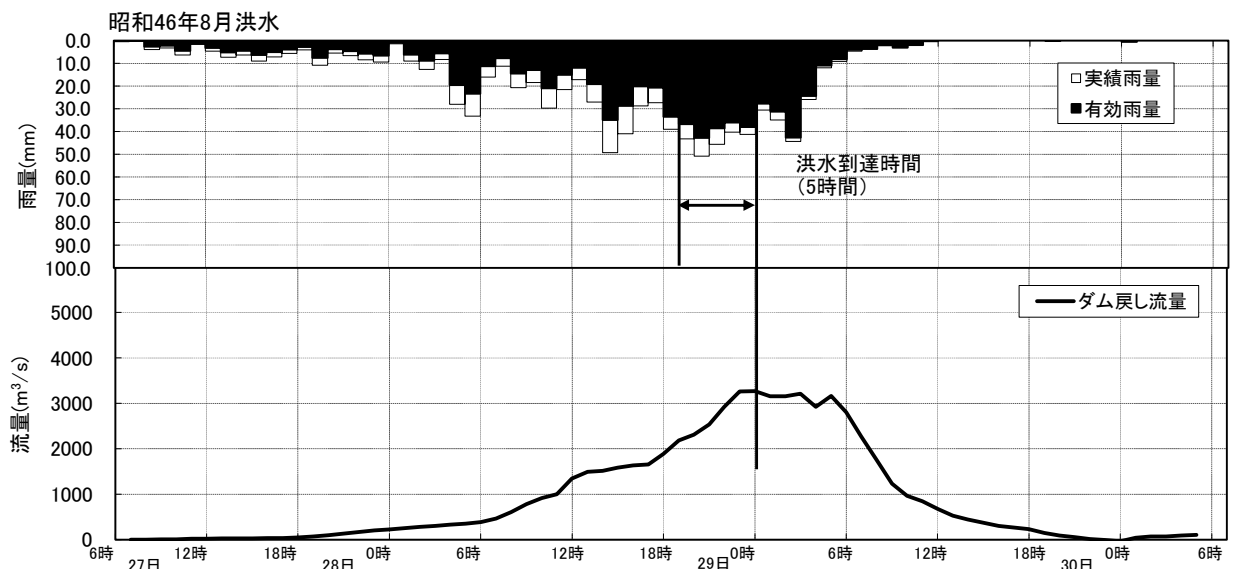
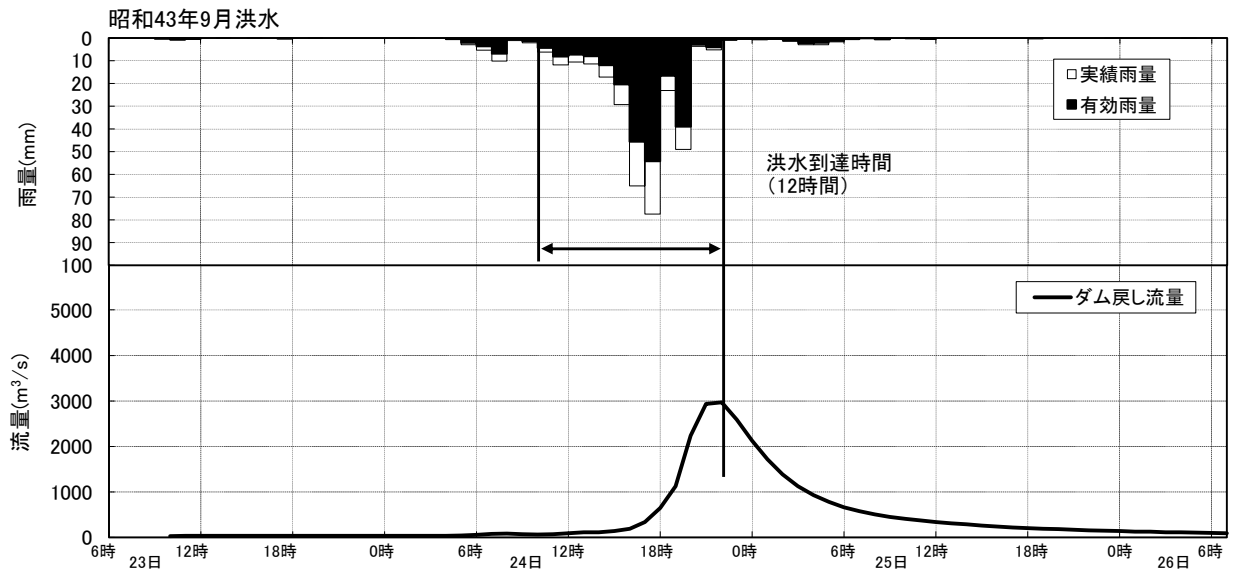


図 1-5-1(1) Kinematic Wave法による洪水到達時間 (基準地点高城)

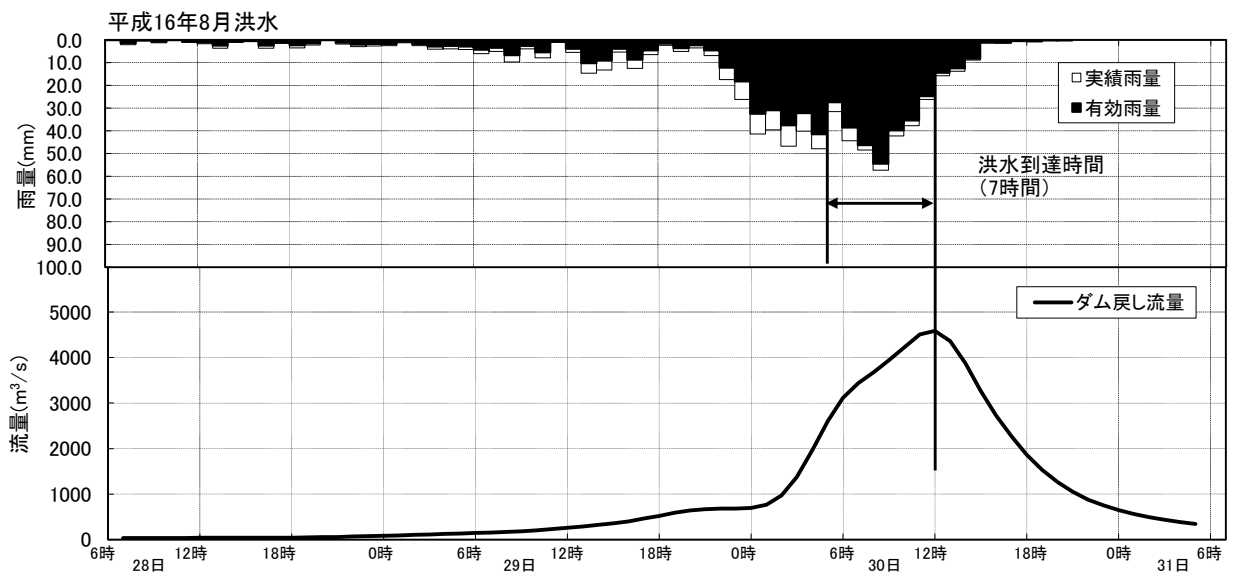
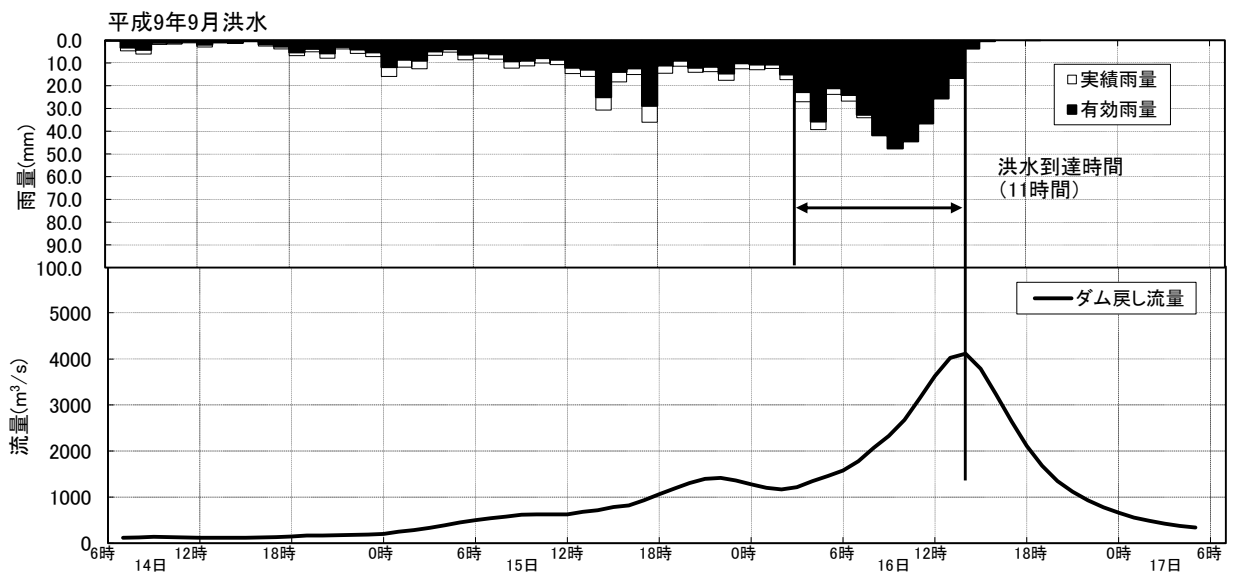
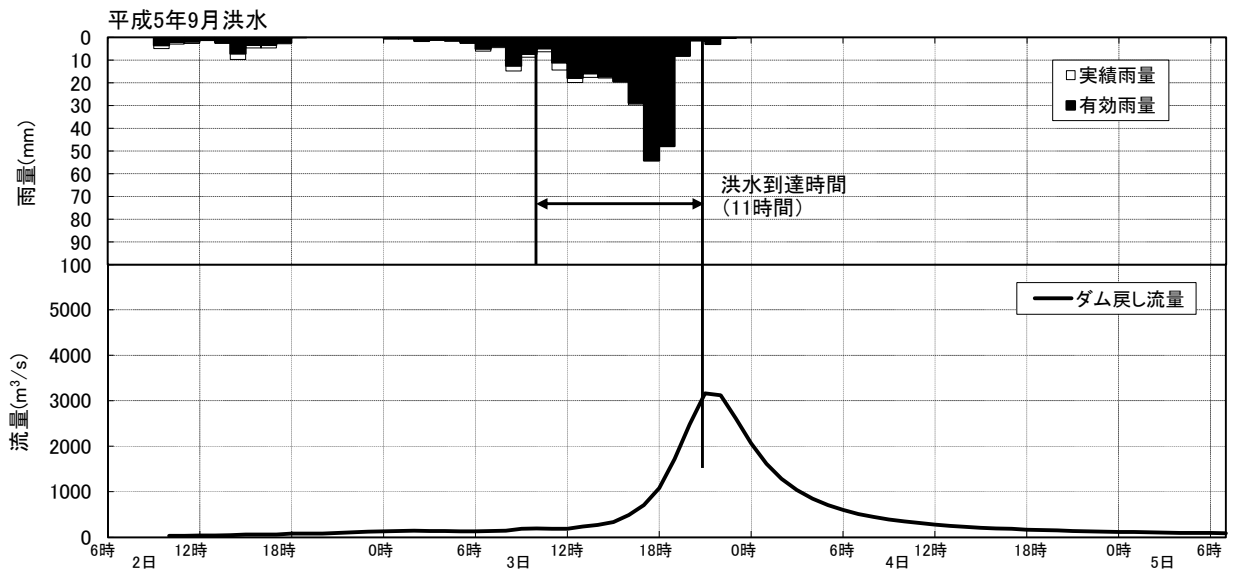


図 1-5-1(2) Kinematic Wave法による洪水到達時間 (基準地点高城)

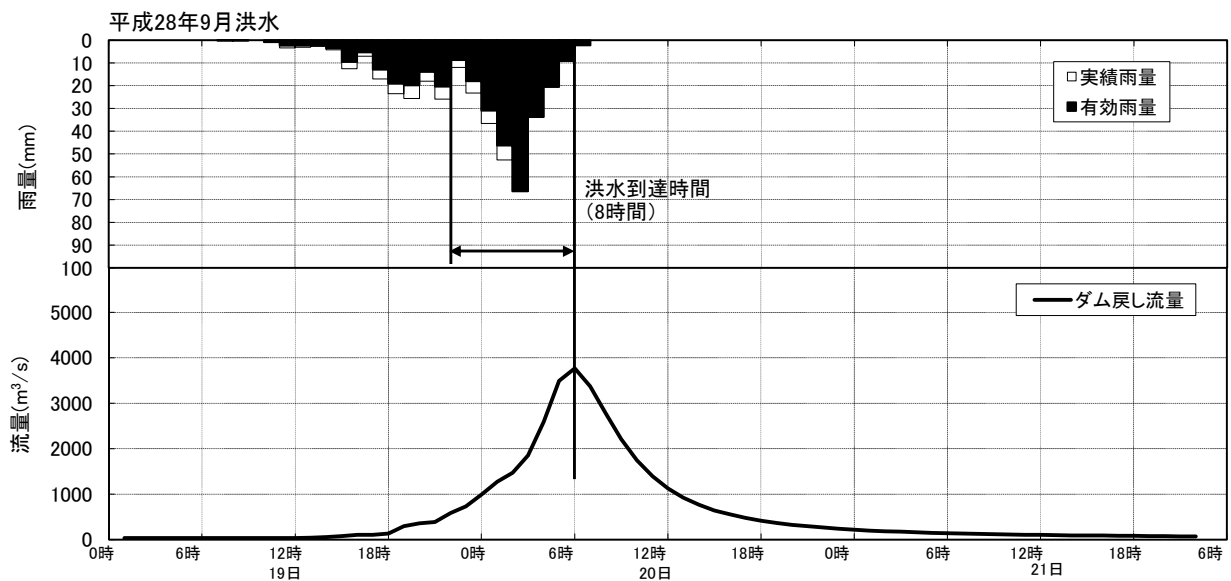
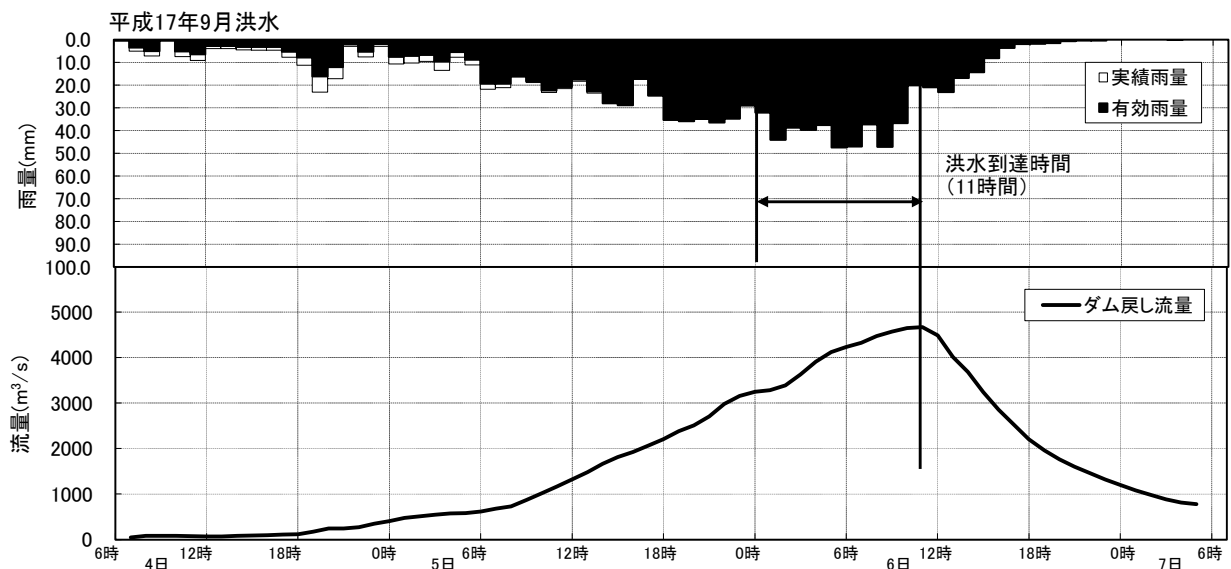
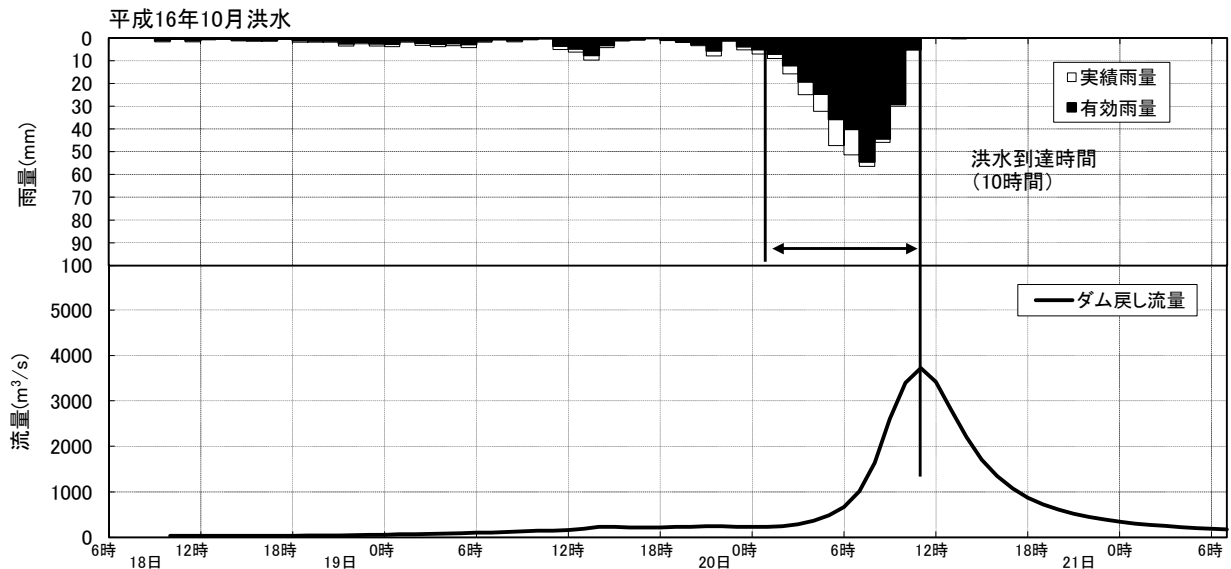


図 1-5-1 (3) Kinematic Wave法による洪水到達時間 (基準地点高城)

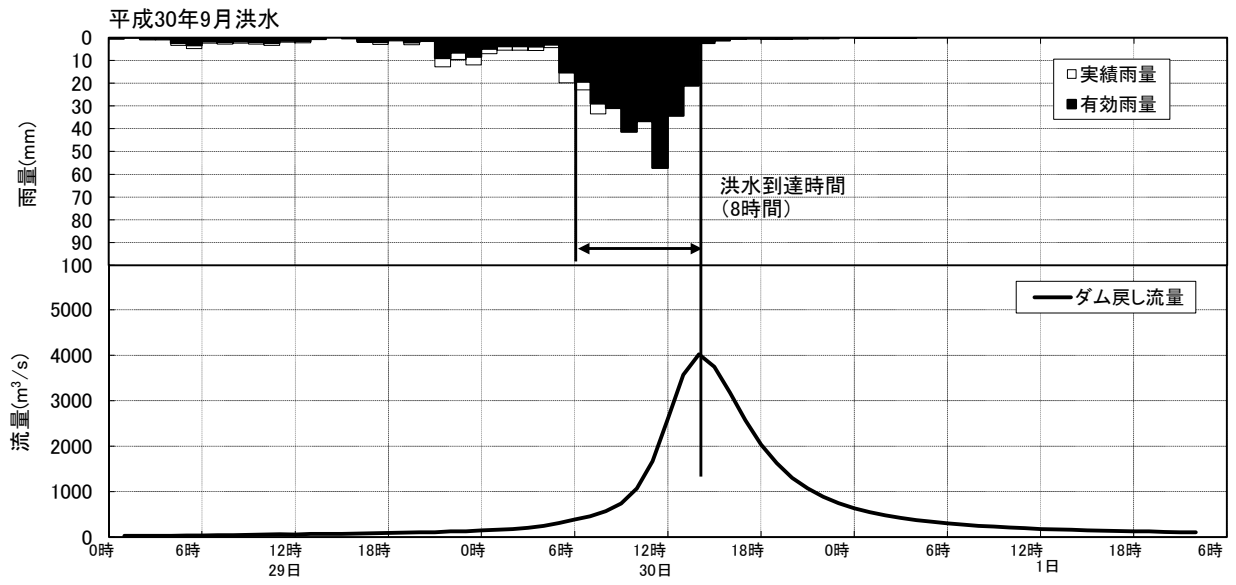


図 1-5-1(4) Kinematic Wave法による洪水到達時間 (基準地点高城)

1-5-3 ピーク流量と短時間雨量の相関

昭和35年(1960年)～令和3年(2021年)の62年間において基準地点高城で各年の年最大流量を記録した洪水を対象に、ピーク流量と短時間雨量(1、3、6、9、12、15、18、24、36、48時間雨量)との相関関係を整理した。

その結果、基準地点高城では9時間でピーク流量と短時間雨量の相関係数が高くなっている。この検討結果を図 1-5-2に示す。また、定義①によるピーク流量と流域平均時間雨量の相関図を図 1-5-3に示し、定義②によるピーク流量と流域平均時間雨量の相関図を図 1-5-4に示す。

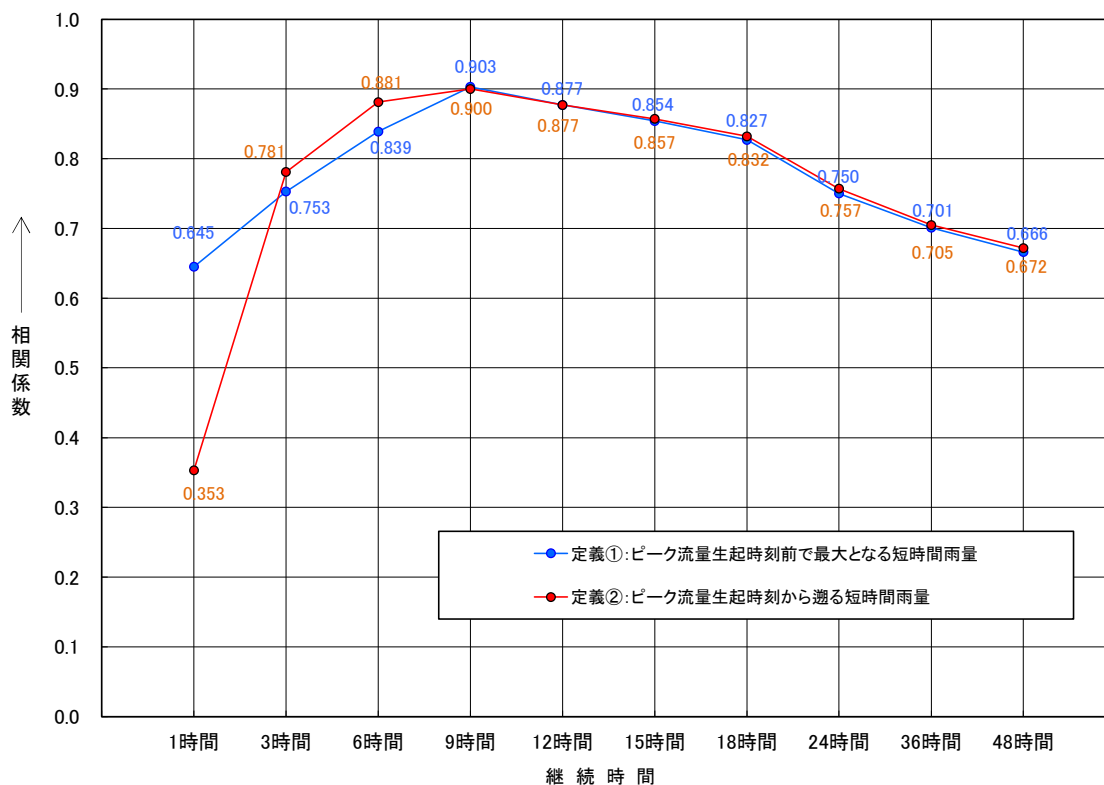


図 1-5-2 基準地点高城ピーク流量と降雨継続時間の相関図

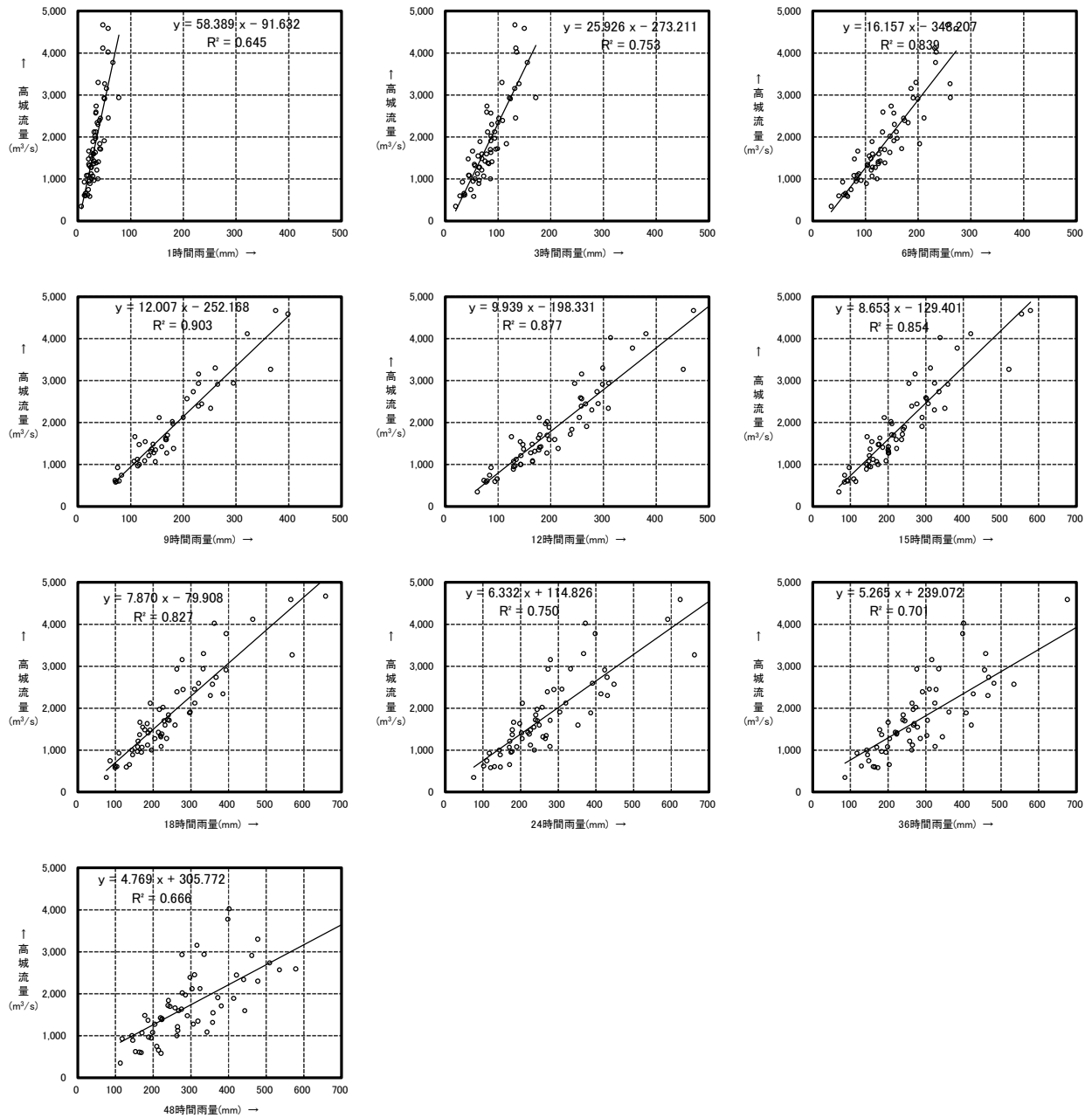


図 1-5-3 ピーク流量と流域平均時間雨量の相関図（基準地点高城）【定義①】

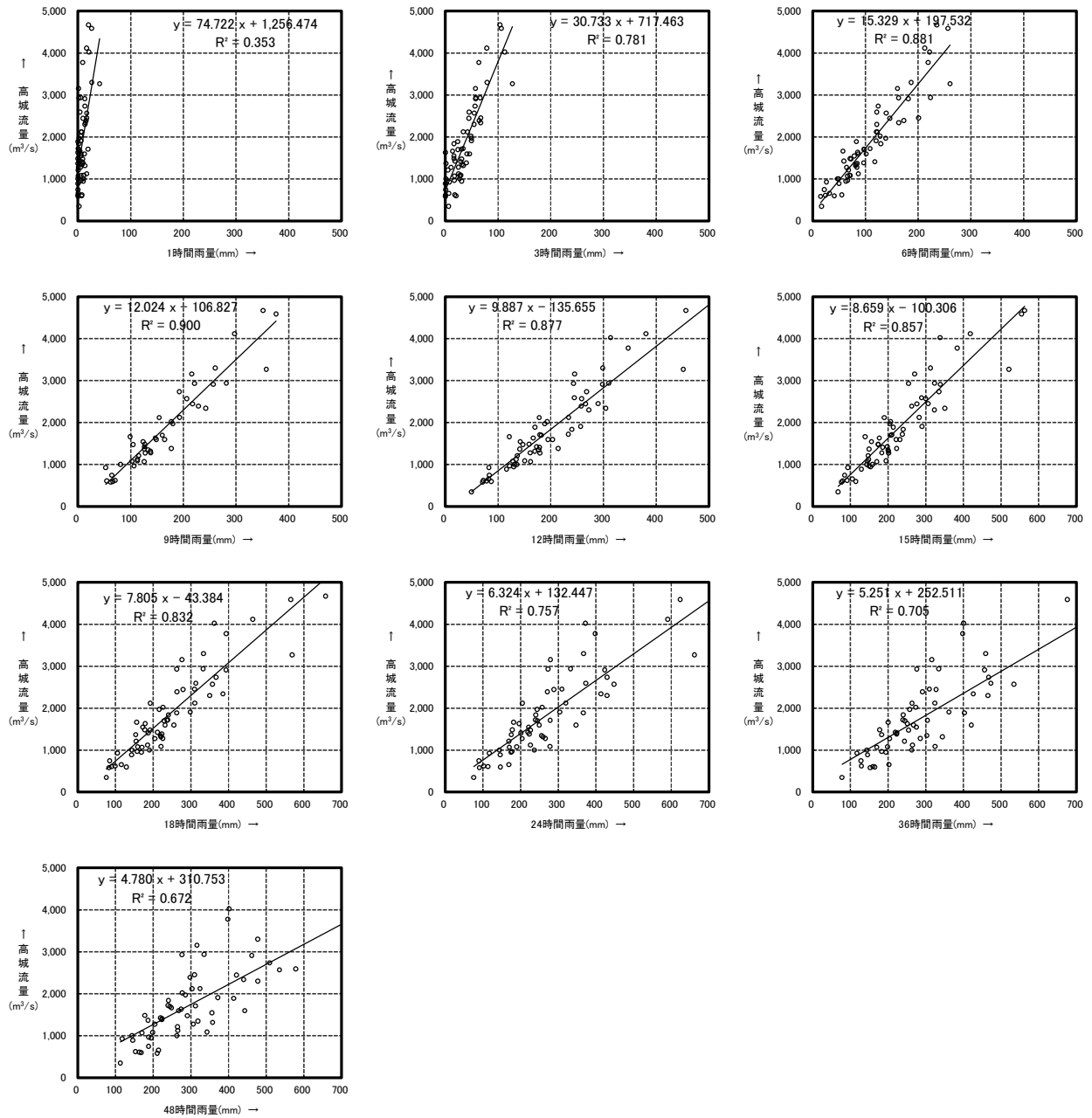


図 1-5-4 ピーク流量と流域平均時間雨量の相関図（基準地点高城）【定義②】

1-5-4 強い降雨強度の継続時間

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

対象洪水は、過去洪水（昭和35年(1960年)～令和3年(2021年)）のうち、基準地点高城における実績流量の上位10洪水とした。

【基準地点高城】

主要洪水における降雨強度5mm/hrの継続時間の平均値は20時間、降雨強度10mm/hrの継続時間の平均値は16時間となる。結果を図1-5-5に示す。

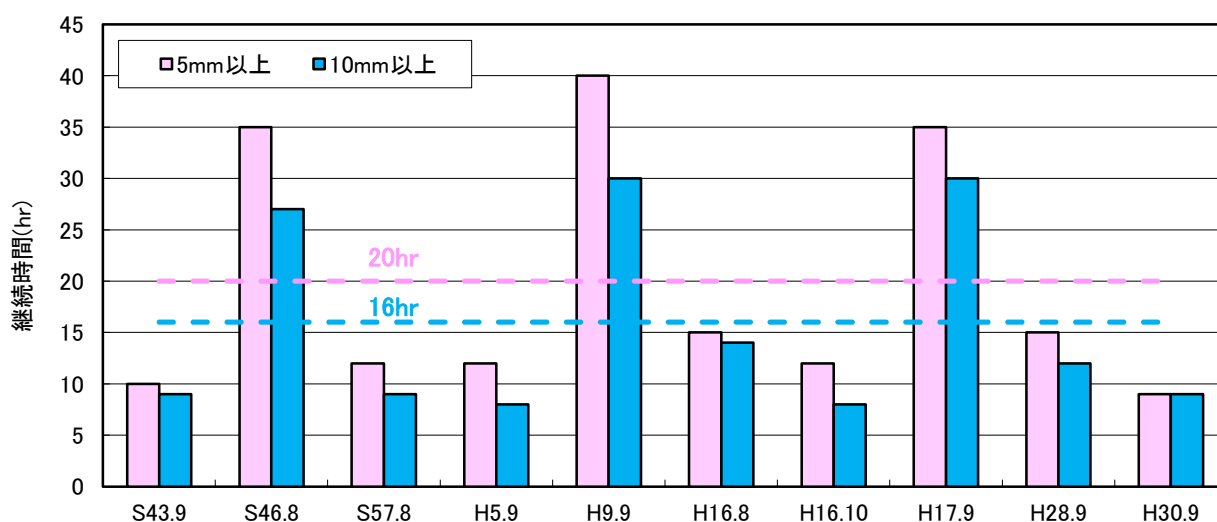


図 1-5-5 強い降雨強度の継続時間（基準地点高城上流域平均雨量）

1-5-5 対象降雨の降雨継続時間の設定

時間雨量が観測され始めた昭和35年(1960年)から令和3年(2021年)までの雨量資料(62年間)を整理し、小丸川の降雨特性、ピーク流量との相関から総合的に判断して、下記の理由により対象降雨の降雨継続時間は9時間と設定した。

【基準地点高城】

- 洪水到達時間の検討において、Kinematic Wave法では5～12時間（平均9時間）、角屋式では4.9～5.7時間（平均5.2時間）となる。
- ピーク流量と短時間雨量の相関は、9時間の雨量において実績ピーク流量との相関係数が高い。

1-6 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

1-6-1 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との相関、強い降雨強度の継続時間等から総合的に判断した結果、既定計画と同様に9時間とした。

対象降雨の降雨量は、降雨量変化倍率の算定に用いている過去実績の期間が平成22年(2010年)までであることを踏まえ、既定計画からの雨量標本のデータ延伸は平成22年(2010年)までにとどめ、平成22年(2010年)までの雨量標本を用いて定常の水文統計解析により1/100確率雨量を算定し、これに降雨量変化倍率を乗じた値とする。

基準地点高城の1/100確率雨量は、昭和35年(1960年)～平成22年(2010年)の51年間の各年最大9時間雨量を確率処理し、適合度の基準を満足し、安定性の良好な確率分布モデルによる432.7mm/9hrと決定した。雨量確率計算結果を表1-6-1、図1-6-1、各年最大9時間雨量を表1-6-2に示す。

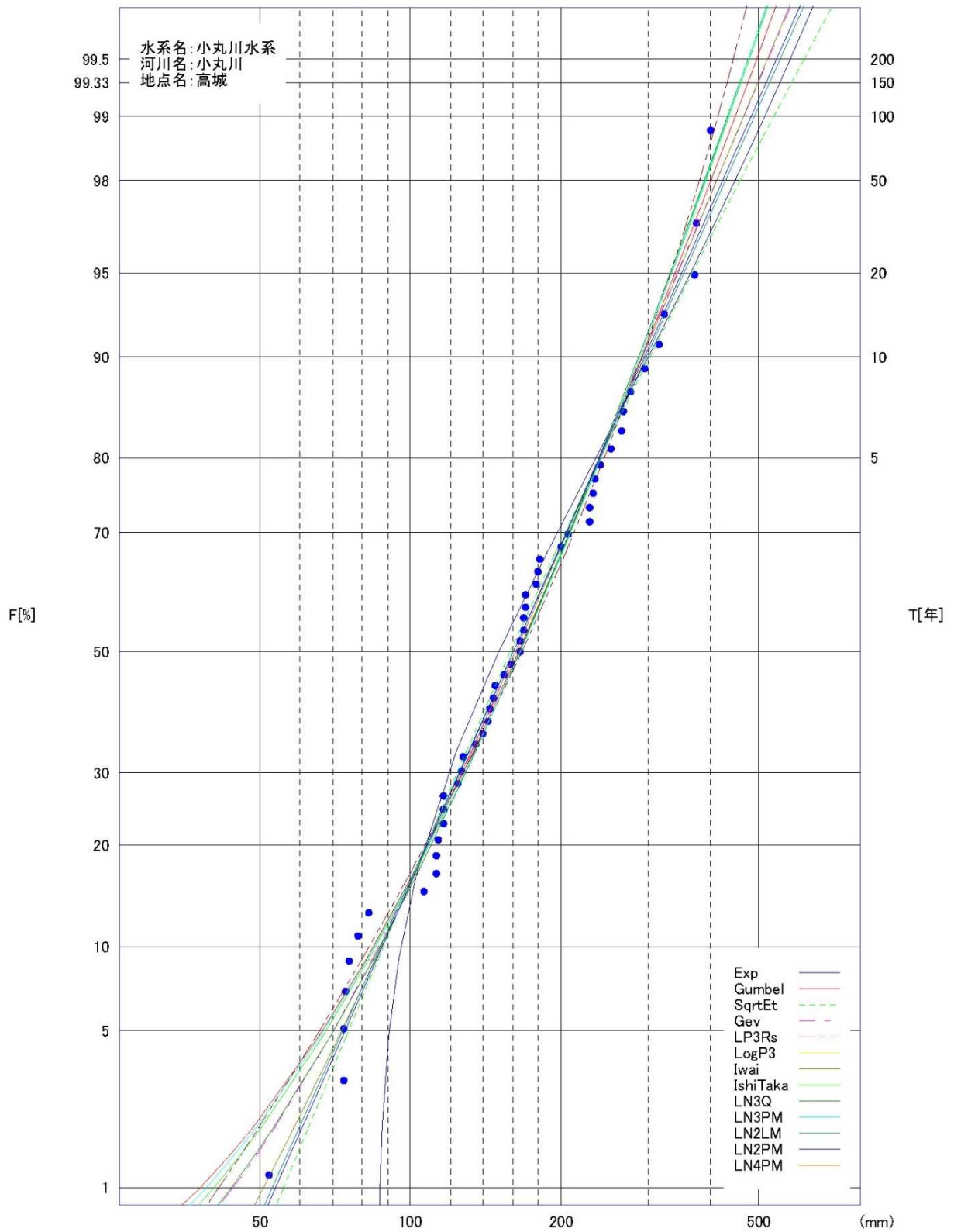
表 1-6-1 基準地点高城 9時間雨量 1/100確率計算結果

項 目		小丸川水系小丸川 高城地点												
		毎年値資料 (S35~H22)												
		GEV	Gumbel	Exp	SQRTET	LP3 (Rs)	LogP3	LN1wai	IshiTaka	LN3 (Q)	LN3 (PM)	LN2 (LM)	LN2 (PM)	LN4 (PM)
確 率 模	1/2	162.3	164.5	150.1	158.2	-	-	162.1	165.6	165.3	165.9	160.6	160.6	-
	1/3	197.7	200.3	187.7	194.9	-	-	197.9	201.2	200.3	201.6	197.3	196.8	-
	1/5	238.0	240.3	235.1	239.6	-	-	238.9	240.2	238.8	240.6	240.2	238.9	-
	1/10	290.3	290.5	299.3	301.4	-	-	291.6	288.3	286.3	288.4	296.5	294.0	-
	1/20	342.1	338.6	363.6	366.4	-	-	343.3	333.5	331.2	333.2	352.7	349.0	-
	1/30	372.6	366.3	401.2	406.4	-	-	373.6	359.3	356.8	358.7	386.1	381.6	-
	1/50	411.6	400.9	448.5	459.1	-	-	412.0	391.4	388.8	390.3	428.9	423.3	-
	1/80	448.0	432.6	492.1	509.7	-	-	447.9	420.6	418.0	419.1	469.2	462.5	-
	1/100	465.6	447.6	512.8	534.6	-	-	465.1	434.5	431.8	432.7	488.6	481.4	-
	1/150	497.9	474.8	550.3	581.0	-	-	496.6	459.6	456.9	457.4	524.6	516.3	-
	1/200	521.1	494.1	577.0	615.0	-	-	519.3	477.5	474.8	474.9	550.6	541.5	-
1/400	578.2	540.5	641.3	700.5	-	-	575.1	520.6	518.0	517.1	614.9	604.0	-	
1/500	597.0	555.5	661.9	729.0	-	-	593.4	534.5	532.0	530.8	636.2	624.6	-	
X-COR (99%)	0.991	0.992	0.977	0.982	-	-	0.991	0.992	0.992	0.992	0.989	0.989	-	
P-COR (99%)	0.996	0.995	0.963	0.996	-	-	0.996	0.995	0.995	0.995	0.996	0.996	-	
SLSC (99%)	0.026	0.026	0.044	0.033	-	-	0.025	0.027	0.027	0.027	0.025	0.026	-	
推定誤差	52.6	39.0	46.2	54.1	-	-	56.1	35.9	58.2	35.6	58.2	54.1	-	

単位 : mm

■ : SLSC>0.040の手法

□ : SLSC≤0.040の手法のうちJackKnife推定誤差の小さい手法



※SLSC \leq 0.04、Jackknife 推定誤差最小となる確率分布モデルを採用

図 1-6-1 雨量確率計算結果
(基準地点高城 9時間雨量 昭和35年(1960年)～平成22年(2010年))

表 1-6-2 年最大9時間雨量一覽

No.	西曆	年	洪水名	9時間雨量 (mm)
				高城地点
1	1960	S35	S35. 8. 27	168. 0
2	1961	S36	S36. 10. 25	240. 0
3	1962	S37	S37. 7. 30	113. 0
4	1963	S38	S39. 9. 23	147. 3
5	1964	S39	S39. 9. 23	228. 8
6	1965	S40	S40. 6. 25	82. 7
7	1966	S41	S41. 8. 12	124. 3
8	1967	S42	S42. 7. 24	75. 2
9	1968	S43	S43. 9. 23	295. 0
10	1969	S44	S44. 10. 20	159. 0
11	1970	S45	S45. 8. 25	127. 6
12	1971	S46	S46. 8. 27	370. 5
13	1972	S47	S47. 7. 17	166. 4
14	1973	S48	S48. 7. 22	78. 3
15	1974	S49	S49. 9. 7	180. 4
16	1975	S50	S50. 7. 28	73. 6
17	1976	S51	S51. 9. 7	154. 2
18	1977	S52	S52. 8. 23	142. 5
19	1978	S53	S53. 7. 26	116. 2
20	1979	S54	S54. 9. 27	179. 2
21	1980	S55	S55. 10. 12	228. 5
22	1981	S56	S56. 7. 30	147. 0
23	1982	S57	S57. 8. 24	275. 4
24	1983	S58	S58. 3. 29	140. 0
25	1984	S59	S59. 8. 25	181. 5

No.	西曆	年	洪水名	9時間雨量 (mm)
				高城地点
26	1985	S60	S60. 8. 29	134. 7
27	1986	S61	S61. 8. 25	116. 3
28	1987	S62	S62. 10. 9	106. 5
29	1988	S63	S63. 5. 3	168. 5
30	1989	H1	H1. 7. 25	251. 8
31	1990	H2	H2. 10. 5	234. 9
32	1991	H3	H3. 8. 19	126. 8
33	1992	H4	H4. 8. 7	169. 8
34	1993	H5	H5. 8. 7	231. 4
35	1994	H6	H6. 8. 11	73. 8
36	1995	H7	H7. 9. 21	144. 1
37	1996	H8	H8. 7. 17	199. 8
38	1997	H9	H9. 9. 13	321. 4
39	1998	H10	H10. 10. 15	166. 4
40	1999	H11	H11. 7. 25	207. 0
41	2000	H12	H12. 9. 11	113. 8
42	2001	H13	H13. 7. 5	74. 1
43	2002	H14	H14. 7. 25	170. 5
44	2003	H15	H15. 8. 6	265. 3
45	2004	H16	H16. 8. 27	398. 4
46	2005	H17	H17. 9. 3	375. 1
47	2006	H18	H18. 8. 17	267. 7
48	2007	H19	H19. 8. 2	314. 1
49	2008	H20	H20. 9. 18	112. 3
50	2009	H21	H21. 7. 25	52. 2
51	2010	H22	H22. 6. 25	116. 1

基準地点高城における対象降雨の降雨量は、1/100確率雨量432.7mm/9hrに降雨量変化倍率1.1倍を乗じた476mm/9hrに設定した。結果を表1-6-3に示す。

表 1-6-3 1/100確率規模降雨量（基準地点高城）

項目	高城	備考
1/100 確率雨量 (S35~H22 標本)	432.7mm/9hr	確率手法 SLSC \leq 0.04 Jackknife 推定誤差最小
気候変動を 考慮した降雨量	476mm/9hr	432.7mm/9hr \times 降雨量変化倍率 1.1

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

【基準地点高城】

1. Mann-Kendall検定（定常/非定常性を確認）

昭和35年(1960年)～平成22年(2010年)の雨量データに1年ずつ雨量データを追加し、令和3年(2021年)までのデータを対象とした検定結果を確認

⇒非定常性が確認されなかったため、近年降雨までデータ延伸を実施

2. 近年降雨までデータ延伸を実施

非定常性が確認されなかったことから、最新年(令和3年(2021年))まで時間雨量データを延伸し、水文解析に一般に用いられる確率分布モデルによる1/100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3年(2021年)までの雨量データを用いた場合の基準地点高城1/100確率雨量は418mm/9hr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。

1-7 流出計算モデルの設定

降雨を流量ハイドログラフに変換するための流出計算モデル（貯留関数法）については、既定計画策定以降の流域の土地利用状況に大きな変化がないことから、近年洪水における再現性を確認し、既定計画策定に用いた流出計算モデルを踏襲することとした。

1-7-1 モデルの概要

貯留関数法の基礎式を次に示す。

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

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

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

ただし、

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

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

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

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

ここで、

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

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

$Q(t)$ ：直接流出強度(m^3/s)、 A ：流域面積(km^2)、 f_1 ：一次流出率

$Q_{ca}(t)$ ：流域からの流出量(m^3/s)、 $Q_b(t)$ ：基底流量(m^3/s)

を表す。

河道区間の貯留関数及び連続方程式は、それぞれ下式で表される。

$$s_l(t) = K \cdot Q_l(t)^P - Tl \cdot Q_l(t)$$

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

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

$s_l(t)$ ：みかけの河道貯留量($(m^3/s) \cdot hr$)

Q_l ：遅滞時間を考慮した流出量(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)

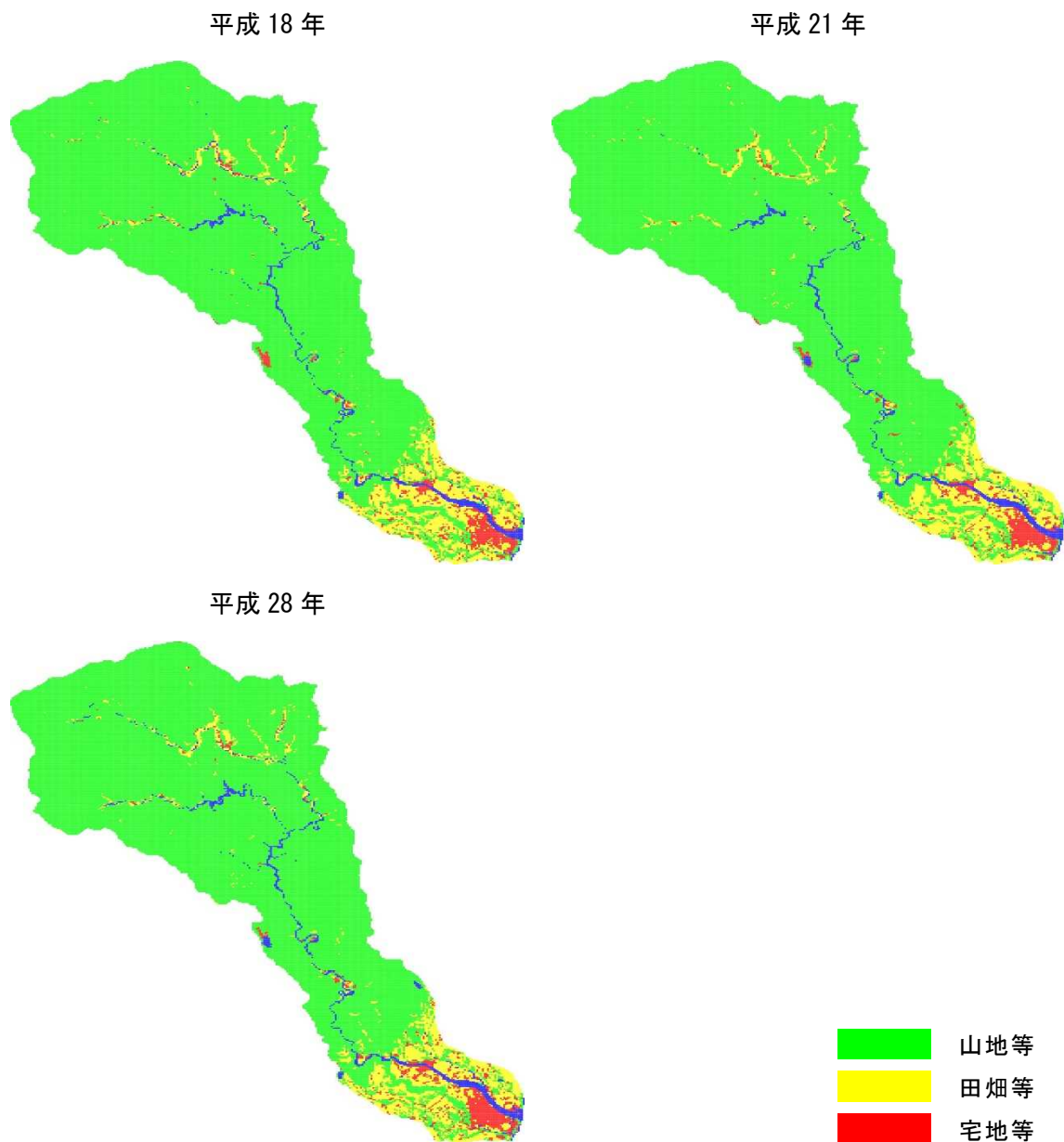
K ：定数、 P ：定数

1-7-2 流域の状況

小丸川流域の土地利用状況としては、山地等が約9割、田畑等と宅地等が約1割となっている。結果は表1-7-1、図1-7-1に示すとおりであり、市街地の分布についても、近年、大きな変化はみられない。

表 1-7-1 小丸川流域の土地利用状況の変化

年	山地等	田畑等	宅地等
平成18年	87.1%	10.0%	2.9%
平成21年	87.1%	10.1%	2.8%
平成28年	87.1%	9.8%	3.1%



※「国土数値情報 土地利用細分メッシュデータ」より

図 1-7-1 土地利用状況の変化

1-7-3 流出計算モデルの近年洪水による確認

基本高水の検討に当たり、既定計画策定以降に発生した洪水を含め、実績の雨量・流量データをもとに流出計算モデル（貯留関数法）の妥当性を確認した。

その際、主要な実績洪水を用いて再現計算を行い、流出計算モデルの再現性を確認した。

近年発生した3洪水（実績流量上位3洪水の主要降雨波形）を対象に、既定計画の流出計算モデルによる再現性を確認した。洪水再現計算結果を図1-7-2～1-7-4に示す。

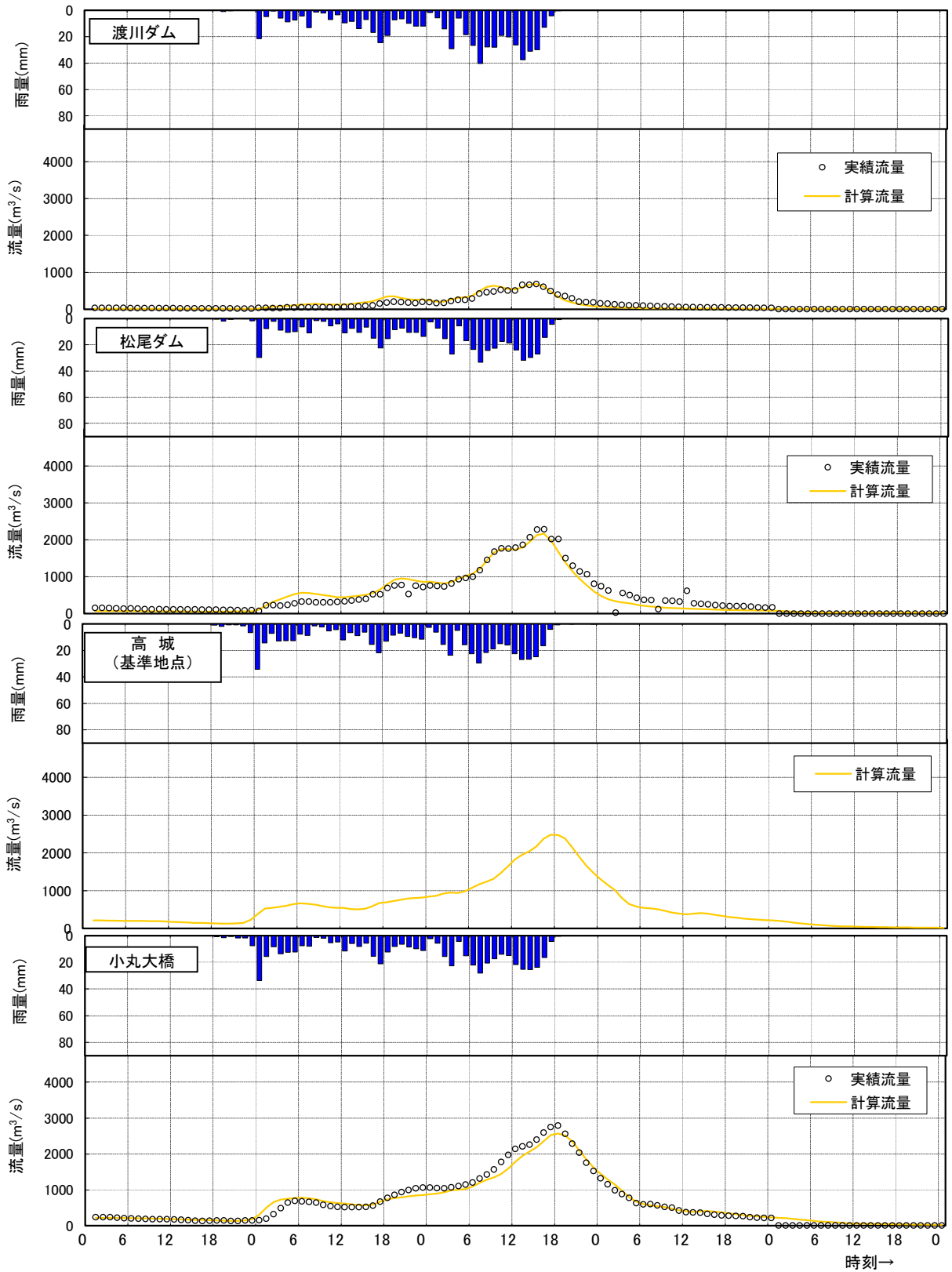


図 1-7-2 平成19年7月洪水再現計算結果

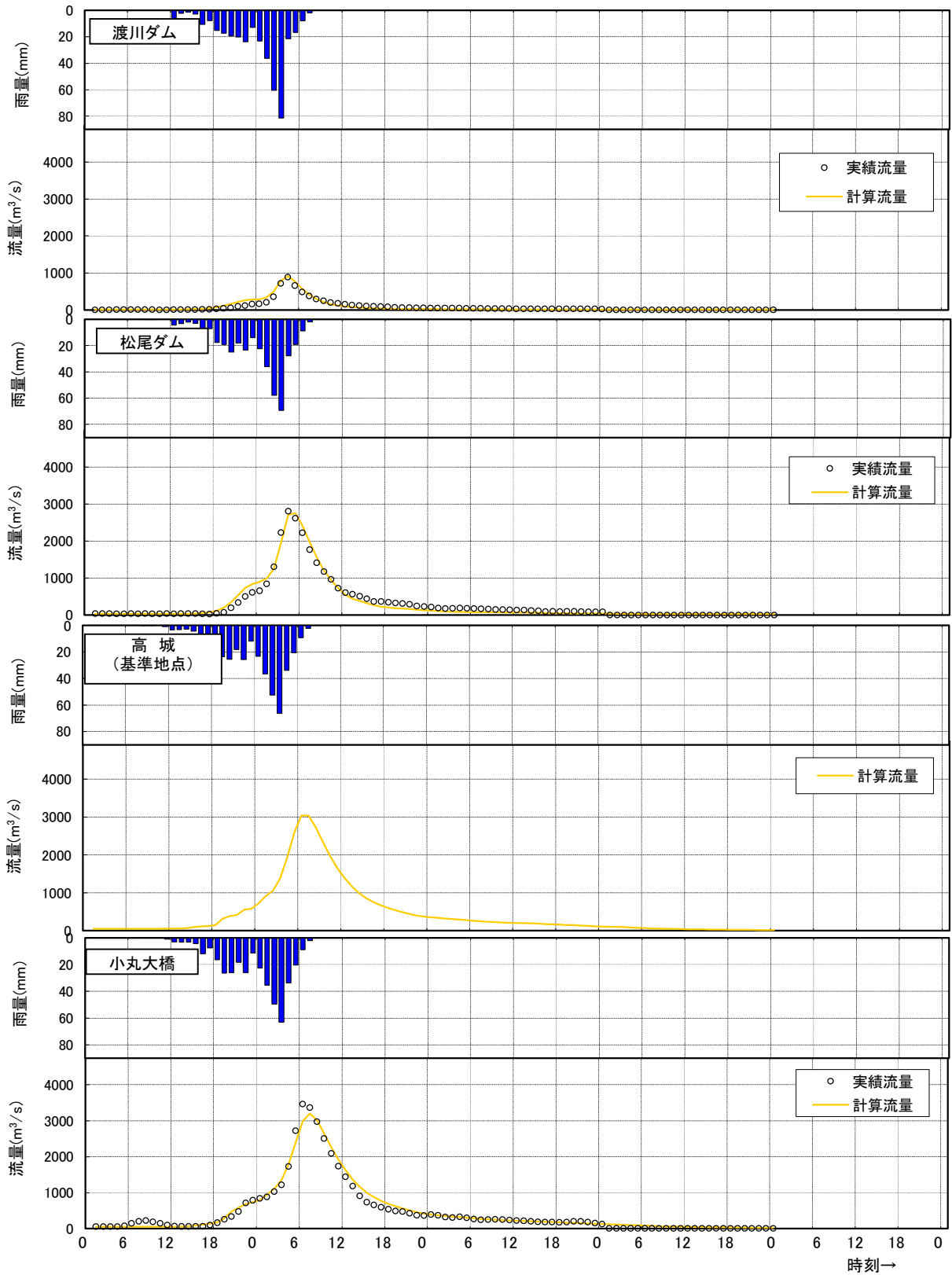


図 1-7-3 平成28年9月洪水再現計算結果

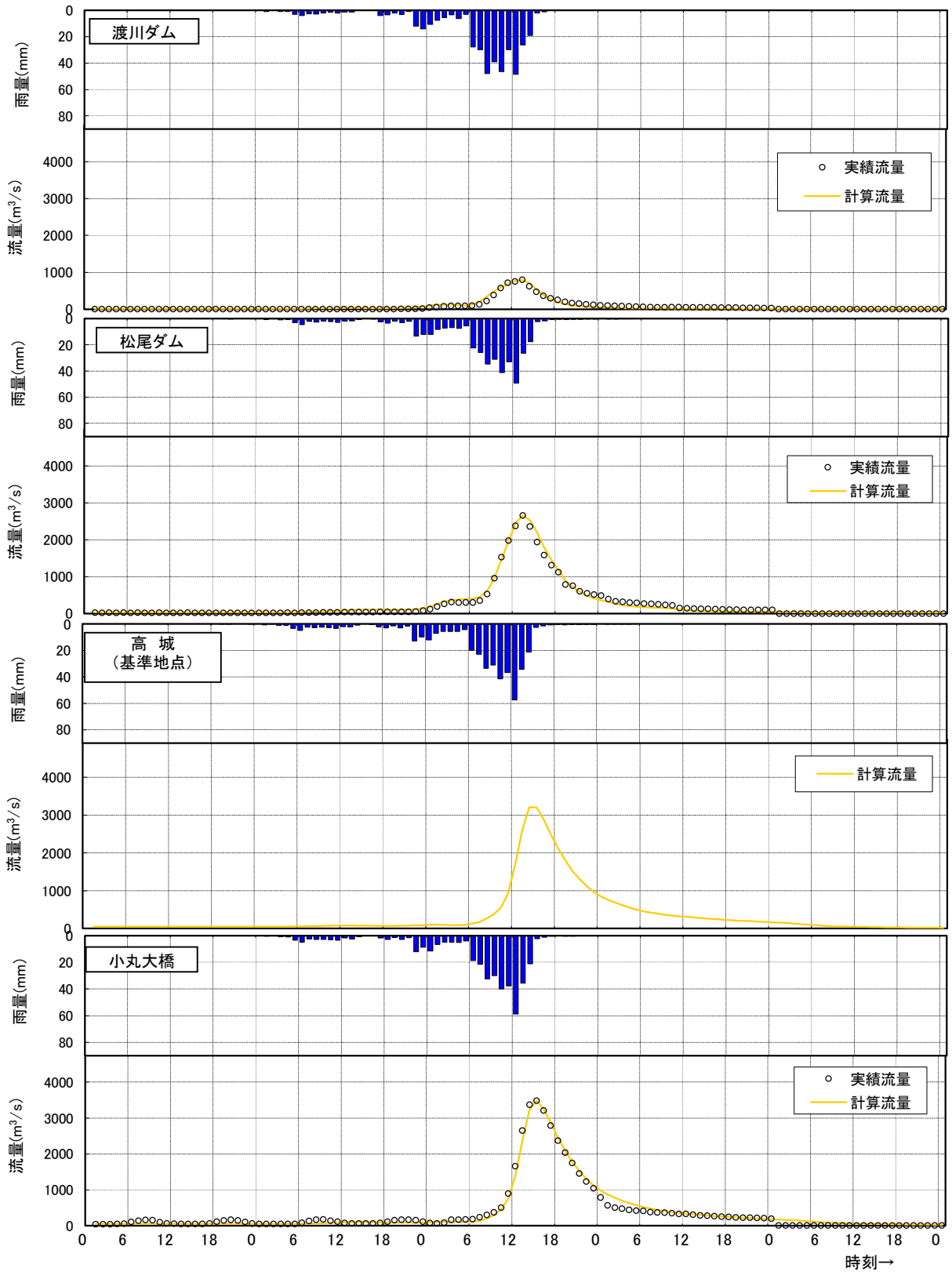


図 1-7-4 平成30年9月洪水再現計算結果

1-7-4 モデル分割

流域分割は、基準地点、主要支川、流量観測地点及びダム地点を考慮して行っている。

流出解析モデル図を図1-7-5、流域分割図を図1-7-6、流域及び河道の分割一覧やモデル定数を表1-7-2～1-7-5に示す。

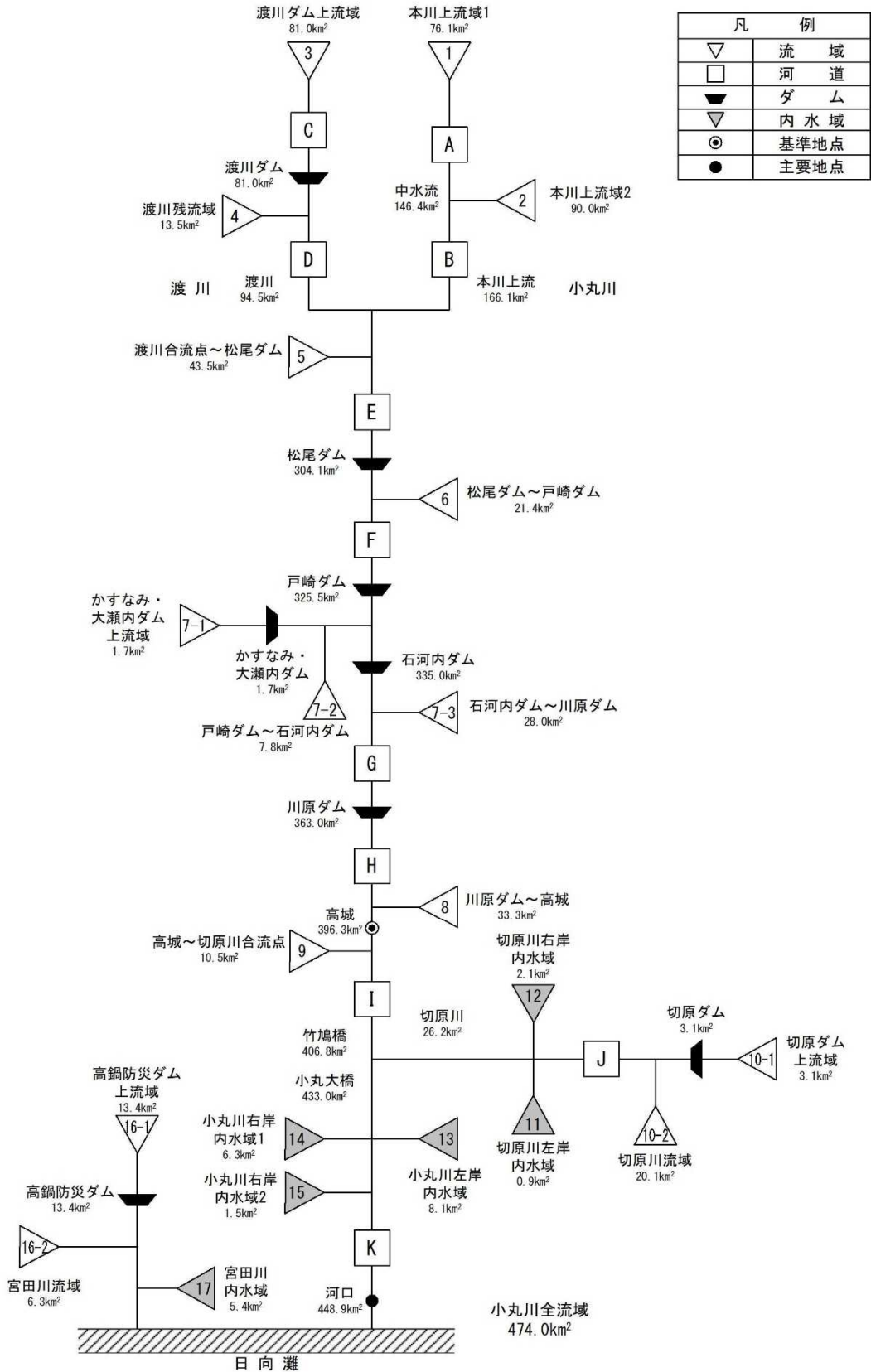


図 1-7-5 小丸川水系流出解析モデル図

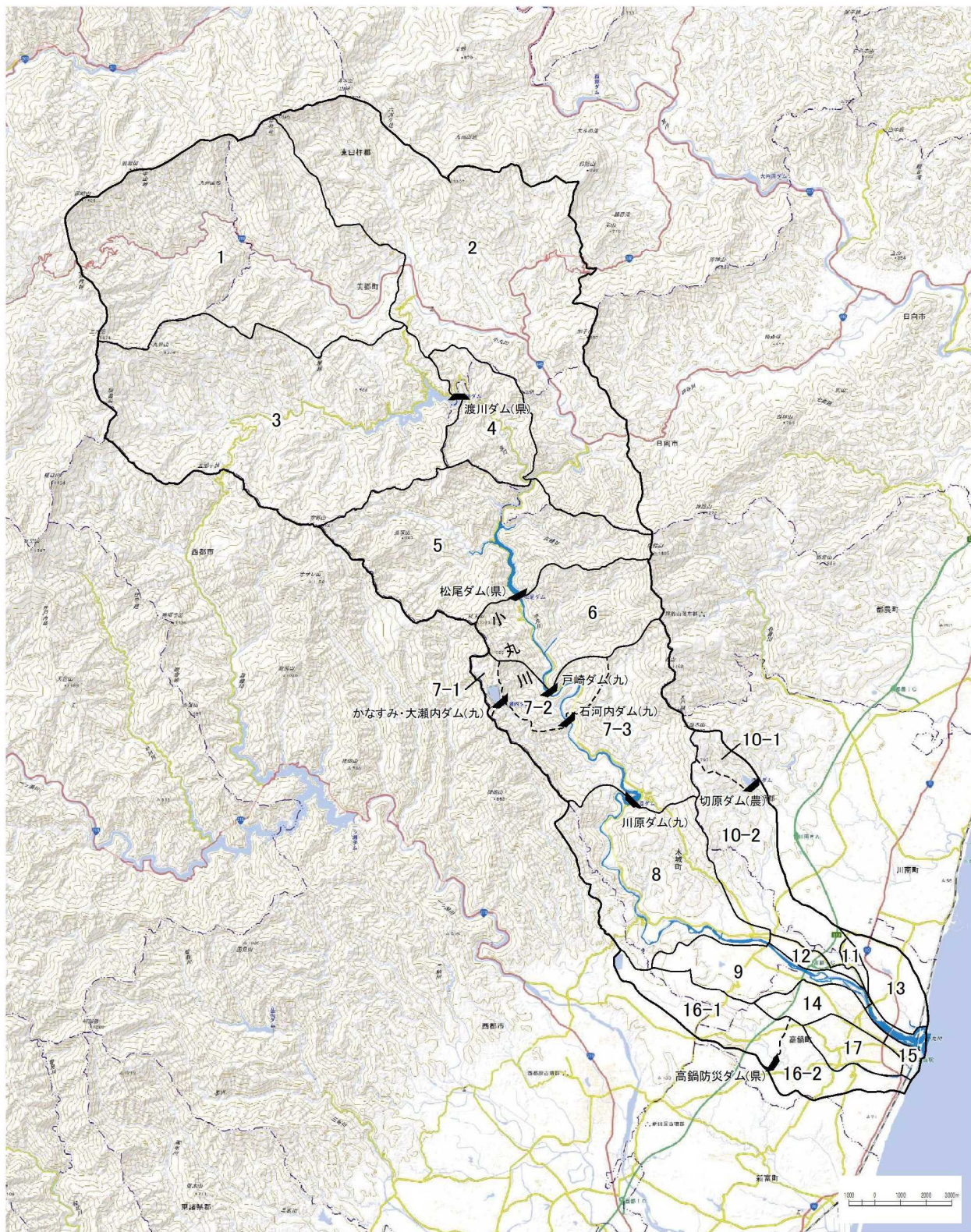


図 1-7-6 小丸川水系流域分割図

表 1-7-2 流域分割一覧表

No.	流域名	流域面積 A (km ²)
1	本川上流域1	76.1
2	本川上流域2	90.0
3	渡川ダム上流域	81.0
4	渡川残流域	13.5
5	渡川合流点～松尾ダム	43.5
6	松尾ダム～戸崎ダム	21.4
7-1	かすなみ・大瀬内ダム上流域	1.7
7-2	戸崎ダム～石河内ダム	7.8
7-3	石河内ダム～川原ダム	28.0
8	川原ダム～高城	33.3
9	高城～切原川合流点	10.5
10-1	切原ダム上流域	3.1
10-2	切原川流域	20.1
11	切原川左岸内水域	0.9
12	切原川右岸内水域	2.1
13	小丸川左岸内水域	8.1
14	小丸川右岸内水域1	6.3
15	小丸川右岸内水域2	1.5
16-1	高鍋防災ダム上流域	13.4
16-2	宮田川流域	6.3
17	宮田川内水域	5.4

表 1-7-3 河道分割一覧表

河道 No.	河道区間	河道延長L (km)
A	新屋敷～中水流	8.8
B	中水流～渡川合流点	17.4
C	下古園～渡川ダム	7.1
D	渡川ダム～本川合流点	8.1
E	渡川合流点～松尾ダム	6.3
F	松尾ダム～戸崎ダム	4.7
G	戸崎ダム～川原ダム	8.6
H	川原ダム～高城	14.8
I	高城～小丸大橋	4.9
J	切原川中流～本川合流点	14.8
K	小丸大橋～河口	5.6

表 1-7-4 流域定数一覧表

No.	流域名	流域面積 A (km ²)	K	P	TL (hr)
1	本川上流域1	76.1	8.3	0.6	0.4
2	本川上流域2	90.0	10.4	0.6	0.3
3	渡川ダム上流域	81.0	10.8	0.6	0.3
4	渡川残流域	13.5	6.6	0.6	0.0
5	渡川合流点～松尾ダム	43.5	15.5	0.6	0.0
6	松尾ダム～戸崎ダム	21.4	11.7	0.6	0.0
7-1	かすなみ・大瀬内ダム上流域	1.7	13.1	0.6	0.0
7-2	戸崎ダム～石河内ダム	7.8	13.1	0.6	0.0
7-3	石河内ダム～川原ダム	28.0	13.1	0.6	0.0
8	川原ダム～高城	33.3	7.0	0.6	0.1
9	高城～切原川合流点	10.5	17.0	0.6	0.0
10-1	切原ダム上流域	3.1	9.6	0.6	0.0
10-2	切原川流域	20.1	9.6	0.6	0.0
11	切原川左岸内水域	0.9	9.1	0.6	0.0
12	切原川右岸内水域	2.1	53.4	0.6	0.0
13	小丸川左岸内水域	8.1	50.9	0.6	0.0
14	小丸川右岸内水域1	6.3	35.0	0.6	0.0
15	小丸川右岸内水域2	1.5	14.1	0.6	0.0
16-1	高鍋防災ダム上流域	13.4	9.4	0.6	0.2
16-2	宮田川流域	6.3	9.4	0.6	0.0
17	宮田川内水域	5.4	15.2	0.6	0.0

表 1-7-5 河道定数一覧表

河道No.	河川名	河道区間	河道延長L (km)	K	P	TL (hr)
A	小丸川	新屋敷～中水流	8.8	5.17	0.707	0.1
B	小丸川	中水流～渡川合流点	17.4	16.49	0.624	0.2
C	小丸川	下古園～渡川ダム	7.1	5.52	0.679	0.1
D	渡川	渡川ダム～本川合流点	8.1	6.17	0.683	0.1
E	渡川	渡川合流点～松尾ダム	6.3	7.31	0.652	0.1
F	小丸川	松尾ダム～戸崎ダム	4.7	60.76	0.339	0.0
G	小丸川	戸崎ダム～川原ダム	8.6	57.68	0.481	0.1
H	小丸川	川原ダム～高城	14.8	25.25	0.632	0.2
I	小丸川	高城～小丸大橋	4.9	18.53	0.601	0.1
J	切原川	切原川中流～本川合流点	14.8	4.35	0.737	0.1
K	小丸川	小丸大橋～河口	5.6	23.34	0.418	0.1

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。

基本高水の設定に用いる対象降雨波形群は、対象流域において大規模洪水が生起し得る様々な降雨パターンを含んでいる必要があることから、基準地点高城のピーク流量が氾濫注意水位相当流量以上、かつ基準地点上流域の降雨継続時間（9時間）内雨量の引き伸ばし率が2倍以下となる23洪水を選定した。選定結果を図1-8-1に示す。

選定した洪水を対象に、基準地点高城の1/100確率9時間雨量476mm（432.7mm×1.1）となるよう引き伸ばし降雨波形を作成し流出計算を行った結果、基準地点高城において5,000m³/s～8,400m³/sとなる。結果を表1-8-1に示す。

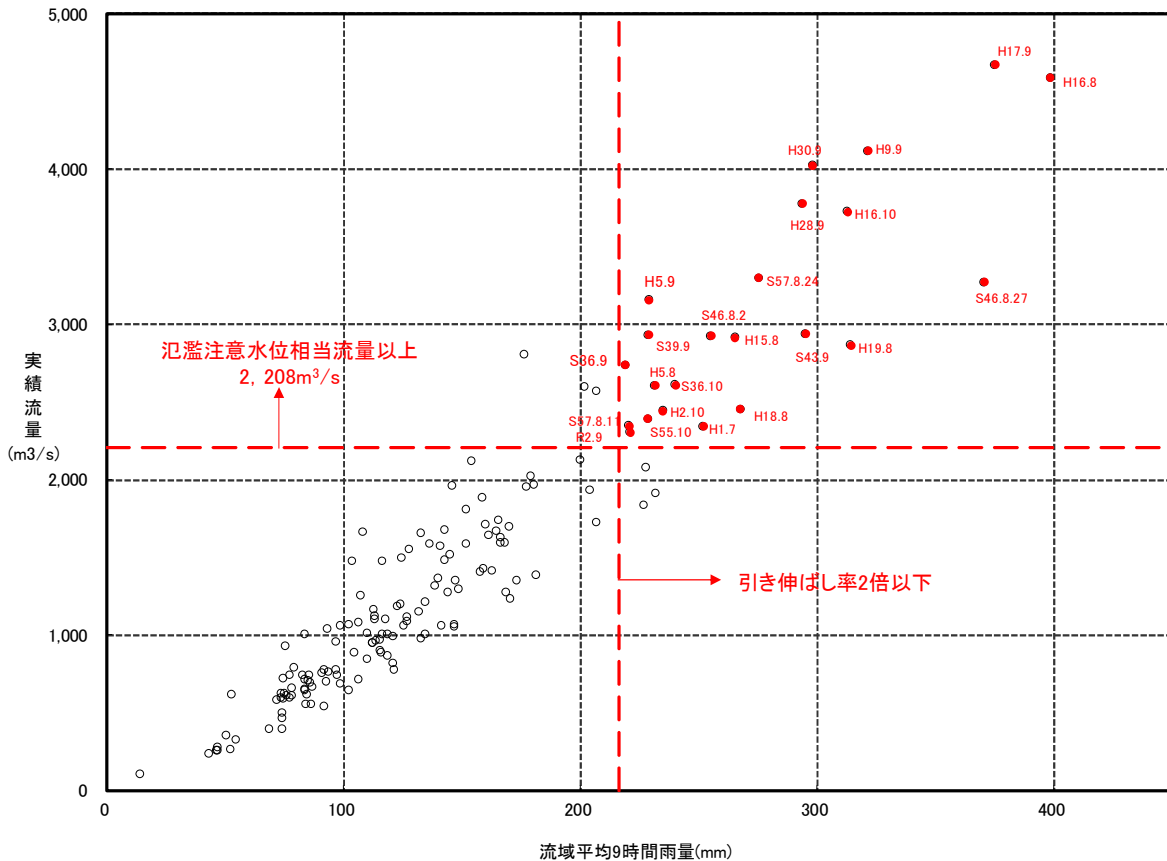


図 1-8-1 対象洪水の選定（基準地点高城）

表 1-8-1 選定洪水のピーク流量一覧（基準地点高城）

No	洪水名	高城上流域平均			高城地点 ピーク流量 (m ³ /s)
		9時間雨量 (mm)	1/100確率雨量 (mm) × 1.1	拡大率	
1	S36.9洪水	219.0	476	2.174	5,805
2	S36.10洪水	240.0	476	1.983	5,869
3	S39.9洪水	228.8	476	2.080	7,278
4	S43.9洪水	295.0	476	1.614	5,810
5	S46.8.2洪水	255.1	476	1.866	5,961
6	S46.8.27洪水	370.5	476	1.285	5,155
7	S55.10洪水	228.5	476	2.083	5,663
8	S57.8.11洪水	220.6	476	2.158	5,861
9	S57.8.24洪水	275.4	476	1.728	5,674
10	H1.7洪水	251.8	476	1.890	4,929
11	H2.10洪水	234.9	476	2.026	6,305
12	H5.8洪水	231.4	476	2.057	6,077
13	H5.9洪水	228.9	476	2.080	8,328
14	H9.9洪水	321.4	476	1.481	6,400
15	H15.8洪水	265.3	476	1.794	6,422
16	H16.8洪水	398.4	476	1.195	5,458
17	H16.10洪水	312.8	476	1.522	6,710
18	H17.9洪水	375.1	476	1.269	6,114
19	H18.8洪水	267.7	476	1.778	5,100
20	H19.8洪水	314.1	476	1.515	5,310
21	H28.9洪水	293.8	476	1.620	7,472
22	H30.9洪水	298.0	476	1.597	7,117
23	R2.9洪水	221.0	476	2.154	5,488

※100m³/sの端数については、切り上げるものとした

※拡大率：「9時間雨量(mm)」と「1/100確率雨量×1.1」との比率

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

1-9-2 棄却基準の設定

地域分布及び時間分布の異常な降雨として、1/500以上の降雨をその判断基準とした。

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

1-9-3 地域分布の評価について

(1) 対象地域の設定

対象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。

小丸川流域において、上流域、中流域、下流域を対象地域として設定した。検討対象地域位置図を図1-9-1に示す。

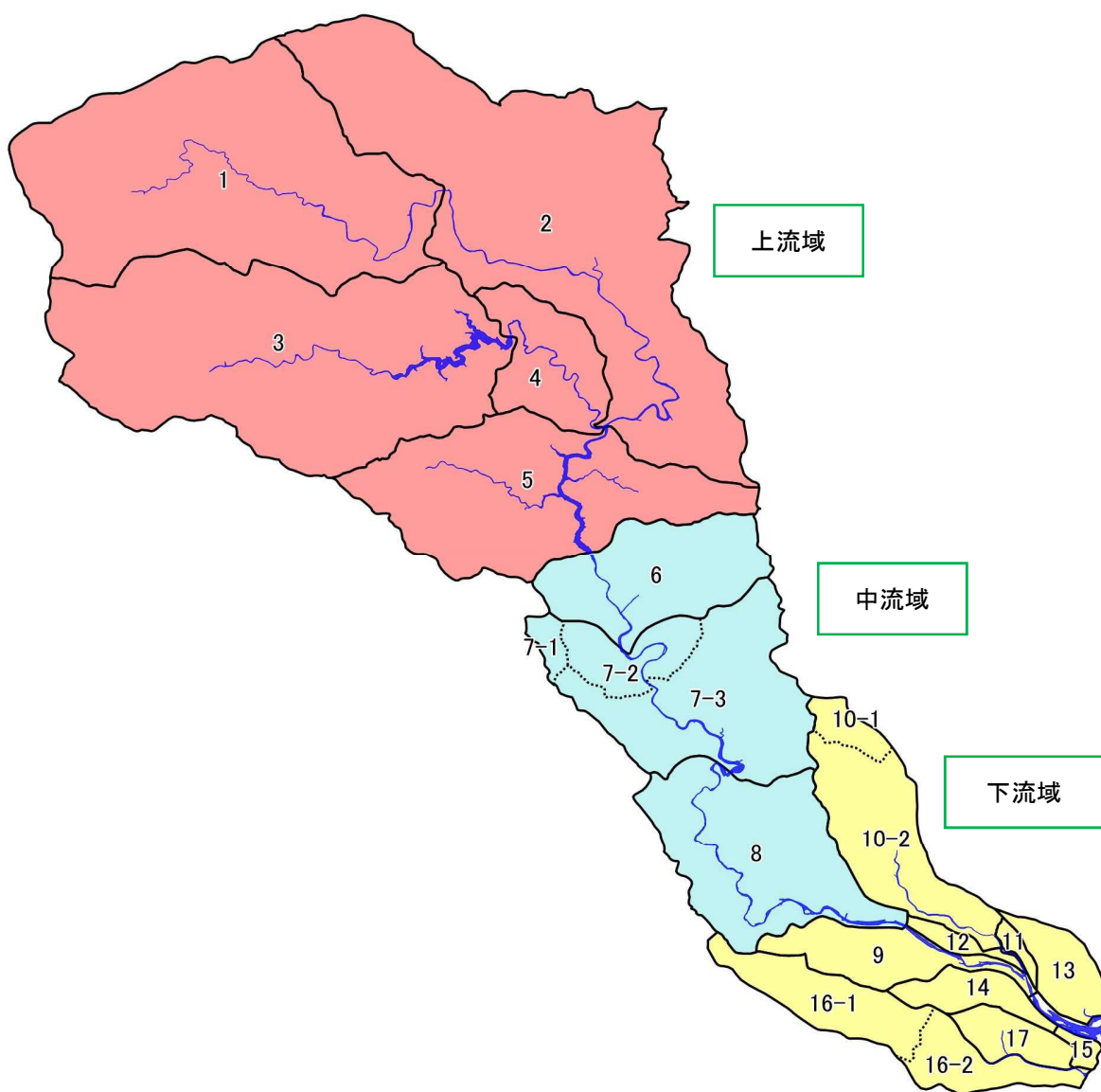


図 1-9-1 検討対象地域位置図

(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する。確率雨量の算定は、昭和35年(1960年)～平成22年(2010年)の各流域の各年最大9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を評価する。

各地域の拡大後雨量及び1/500雨量は表 1-9-1に示すとおりであり、3洪水が棄却される。

表 1-9-1 地域分布による拡大後降雨の確率評価表

No	洪水名	計画降雨継続時間内(9hr)の実績			基準地点 高城 拡大率	拡大後雨量(mm)			棄却 洪水
		小丸川 上流域	小丸川 中流域	小丸川 下流域		小丸川 上流域	小丸川 中流域	小丸川 下流域	
1	S36.9洪水	245.5	164.9	51.9	1.976	485.1	325.8	102.6	
2	S36.10洪水	247.5	216.7	173.5	1.803	446.2	390.7	312.8	
3	S39.9洪水	232.0	212.2	124.8	1.891	438.7	401.3	236.0	
4	S43.9洪水	312.6	236.9	191.5	1.467	458.6	347.5	280.9	
5	S46.8.2洪水	301.6	142.9	75.8	1.696	511.5	242.4	128.6	
6	S46.8.27洪水	406.4	259.2	101.3	1.168	474.7	302.7	118.3	
7	S55.10洪水	244.4	187.0	126.1	1.894	462.9	354.2	238.8	
8	S57.8.11洪水	193.9	309.6	143.6	1.961	380.2	607.1	281.6	×
9	S57.8.24洪水	273.9	274.0	149.8	1.571	430.3	430.5	235.3	
10	H1.7洪水	274.3	177.8	86.1	1.718	471.2	305.5	147.9	
11	H2.10洪水	239.2	222.2	176.8	1.842	440.6	409.3	325.7	
12	H5.8洪水	254.7	152.3	95.9	1.870	476.3	284.8	179.3	
13	H5.9洪水	248.9	167.6	95.4	1.890	470.4	316.8	180.3	
14	H9.9洪水	352.5	219.7	139.0	1.346	474.5	295.7	187.1	
15	H15.8洪水	275.9	241.2	164.4	1.631	450.0	393.4	268.1	
16	H16.8洪水	415.2	342.6	74.4	1.086	450.9	372.1	80.8	
17	H16.10洪水	308.9	326.1	221.9	1.383	427.2	451.0	306.9	
18	H17.9洪水	426.5	246.5	135.9	1.154	492.2	284.5	156.8	
19	H18.8洪水	243.3	353.8	258.8	1.616	393.2	571.7	418.2	×
20	H19.8洪水	301.6	357.1	301.5	1.378	415.6	492.1	415.5	
21	H28.9洪水	294.2	294.8	272.2	1.473	433.4	434.2	401.0	
22	H30.9洪水	281.6	354.2	336.0	1.452	408.9	514.3	487.9	×
23	R2.9洪水	257.5	149.7	143.6	1.958	504.2	293.1	281.2	
棄却基準値【1/500】		—	—	—	—	592.3	504.7	426.2	

※ 基準地点高城拡大率は、基準地点高城1/100確率降雨量433mm/9hrに対する実績9時間雨量との拡大率である

※ 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

1-9-4 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した。

(1) 対象時間の選定

対象時間は、洪水到達時間と1/2洪水到達時間から設定した。なお、洪水到達時間は角屋の式による洪水到達時間の平均値が5～6時間であることから、「6時間」とした。対象時間を表1-9-2に示す。

表 1-9-2 対象時間の設定

基準地点	時間分布棄却基準（短時間雨量）として設定	
高城	3hr	6hr

(2) 棄却基準値の選定

対象時間における棄却基準値を設定する。確率雨量の算定は、昭和35年(1960年)～平成22年(2010年)の各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推定誤差が最小になる確率分布モデルの1/500確率雨量を採用した。

(3) 時間分布の雨量評価

前項にて設定した棄却基準値をもとに、著しい引き伸ばしとっていないかを確認する。
各時間の拡大後雨量及び1/500雨量は表 1-9-3に示すとおりであり、5洪水が棄却される。

表 1-9-3 基準地点高城 短時間降雨確率評価表

No	洪水名	基準地点高城実績雨量 (mm)		基準地点高城 継続時間内 (9hr)	拡大率	拡大後雨量 (mm)		棄却 洪水
		3hr	6hr			3hr	6hr	
1	S36.9洪水	79.1	148.6	219.0	1.976	156.3	293.6	
2	S36.10洪水	101.9	185.7	240.0	1.803	183.7	334.8	
3	S39.9洪水	121.9	190.4	228.8	1.891	230.5	360.0	×
4	S43.9洪水	171.8	261.1	295.0	1.467	252.0	383.0	×
5	S46.8.2洪水	98.8	187.2	255.1	1.696	167.6	317.5	
6	S46.8.27洪水	139.9	260.5	370.5	1.168	163.4	304.3	
7	S55.10洪水	108.7	174.6	228.5	1.894	205.9	330.7	
8	S57.8.11洪水	97.0	157.0	220.6	1.961	190.2	307.9	
9	S57.8.24洪水	107.4	195.8	275.4	1.571	168.7	307.6	
10	H1.7洪水	99.9	180.8	251.8	1.718	171.6	310.6	
11	H2.10洪水	101.7	172.7	234.9	1.842	187.3	318.1	
12	H5.8洪水	97.9	174.5	231.4	1.870	183.1	326.3	
13	H5.9洪水	131.6	186.5	228.9	1.890	248.7	352.5	×
14	H9.9洪水	133.9	231.3	321.4	1.346	180.2	311.3	
15	H15.8洪水	123.6	199.1	265.3	1.631	201.6	324.7	
16	H16.8洪水	150.1	271.9	398.4	1.086	163.0	295.3	
17	H16.10洪水	155.1	263.0	312.8	1.383	214.5	363.7	
18	H17.9洪水	131.9	255.8	375.1	1.154	152.2	295.2	
19	H18.8洪水	133.3	211.4	267.7	1.616	215.4	341.6	
20	H19.8洪水	158.5	253.6	314.1	1.378	218.4	349.5	×
21	H28.9洪水	155.8	233.5	293.8	1.473	229.5	343.9	×
22	H30.9洪水	135.4	234.1	298.0	1.452	196.6	339.9	
23	R2.9洪水	88.2	155.3	221.0	1.958	172.7	304.1	
棄却基準値【1/500】		—	—	—	—	215.9	367.7	

※ 基準地点高城拡大率は、基準地点高城1/100確率降雨量433mm/9hrに対する実績9時間雨量との拡大率である

※ 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、SLSG \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

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）9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高城のピーク流量は5,000m³/s～6,800m³/sとなる。ピーク流量一覧を表1-10-1、基本高水ハイドログラフを図1-10-1に示す。

表 1-10-1 ピーク流量一覧（高城地点）

No	洪水年月日	実績雨量 (mm/9hr)	計画規模 の降雨量 × 1.1倍 (mm/9hr)	拡大率	高城地点 ピーク流量 (m ³ /s)	棄却
1	S 36 9 12	219.0	476	2.174	5,805	
2	S 36 10 25	240.0	476	1.983	5,869	
3	S 39 9 23	228.8	476	2.080	7,278	時間分布
4	S 43 9 23	295.0	476	1.614	5,810	時間分布
5	S 46 8 2	255.1	476	1.866	5,961	
6	S 46 8 27	370.5	476	1.285	5,155	
7	S 55 10 12	228.5	476	2.083	5,663	
8	S 57 8 11	220.6	476	2.158	5,861	地域分布
9	S 57 8 24	275.4	476	1.728	5,674	
10	H 1 7 25	251.8	476	1.890	4,929	
11	H 2 10 5	234.9	476	2.026	6,305	
12	H 5 8 7	231.4	476	2.057	6,077	
13	H 5 9 2	228.9	476	2.080	8,328	時間分布
14	H 9 9 13	321.4	476	1.481	6,400	
15	H 15 8 6	265.3	476	1.794	6,422	
16	H 16 8 27	398.4	476	1.195	5,458	
17	H 16 10 18	312.8	476	1.522	6,710	
18	H 17 9 3	375.1	476	1.269	6,114	
19	H 18 8 17	267.7	476	1.778	5,100	地域分布
20	H 19 8 2	314.1	476	1.515	5,310	時間分布
21	H 28 9 20	293.8	476	1.620	7,472	時間分布
22	H 30 9 30	298.0	476	1.597	7,117	地域分布
23	R 2 9 7	221.0	476	2.154	5,488	

※100m³/sの端数については、切り上げるものとした。

※グレー着色：短時間雨量あるいは小流域が著しい引伸ばしとなっている洪水

※拡大率：「9時間雨量(mm)」と「1/100確率降雨量×1.1」との比率

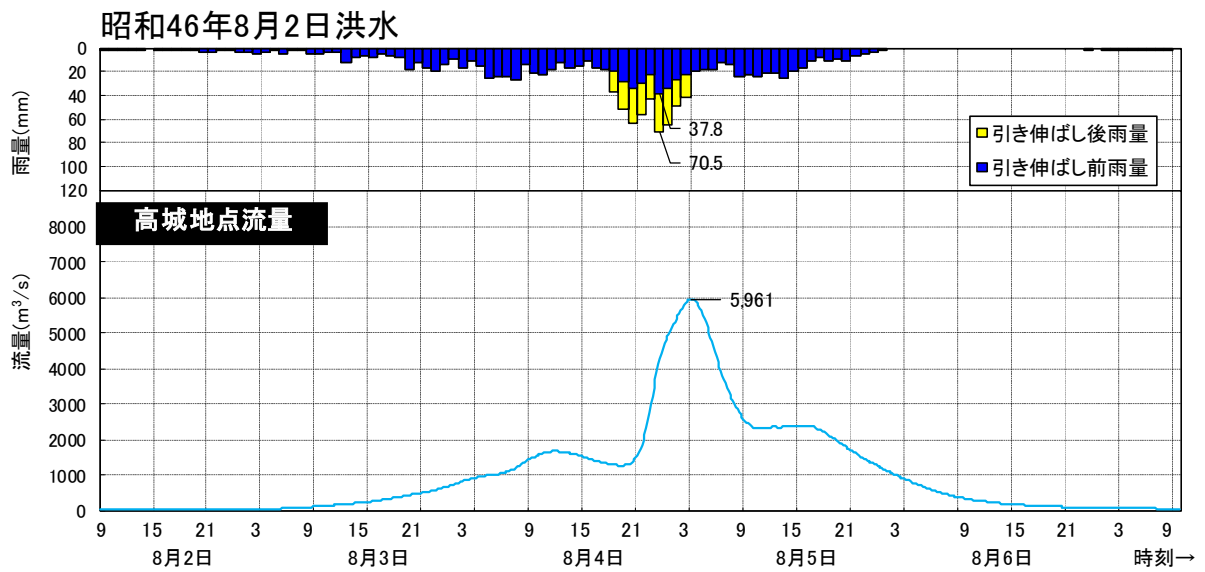
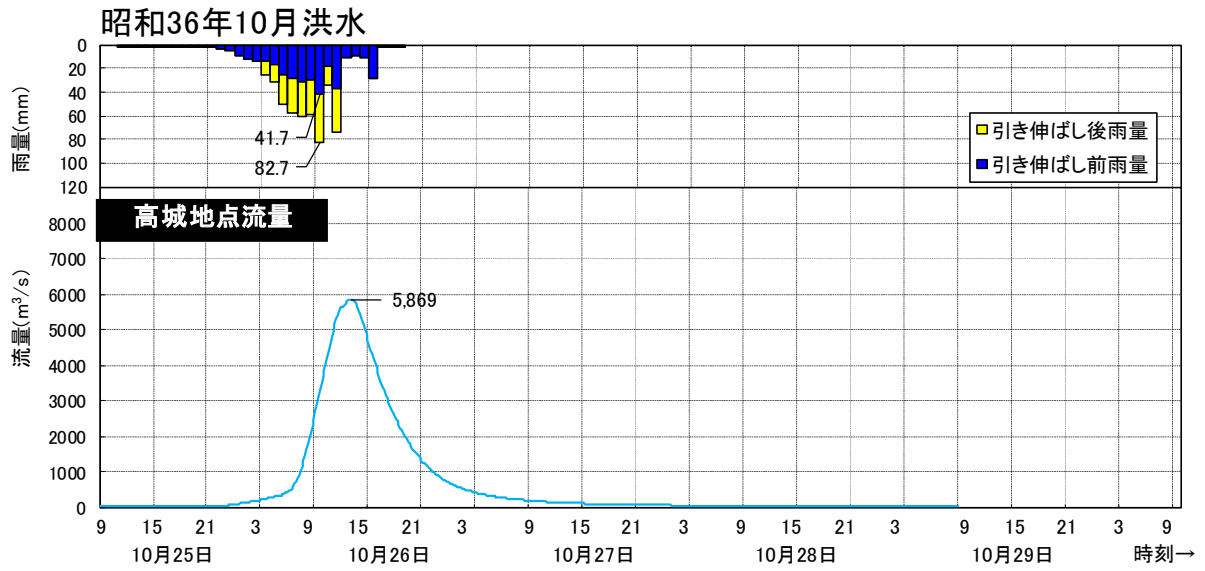
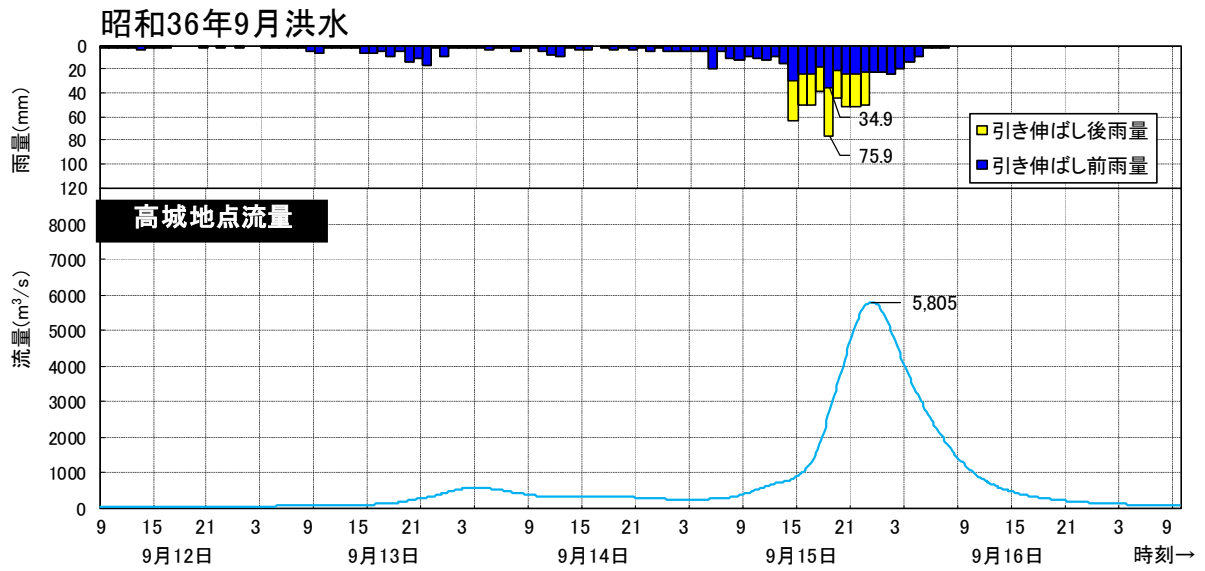


図 1-10-1(1) 基本高水ハイドログラフ

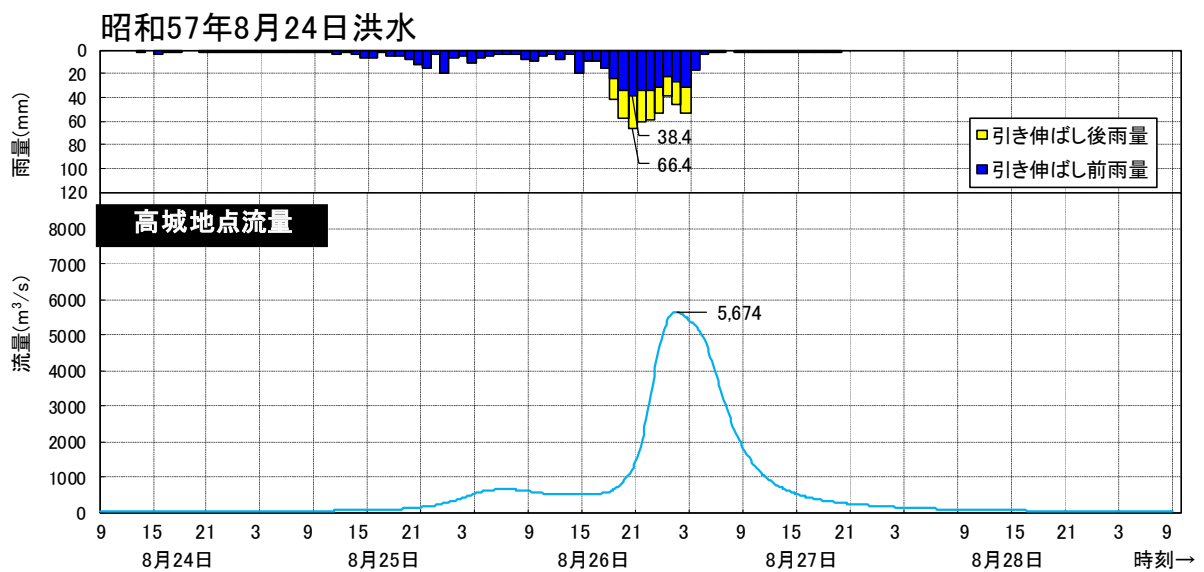
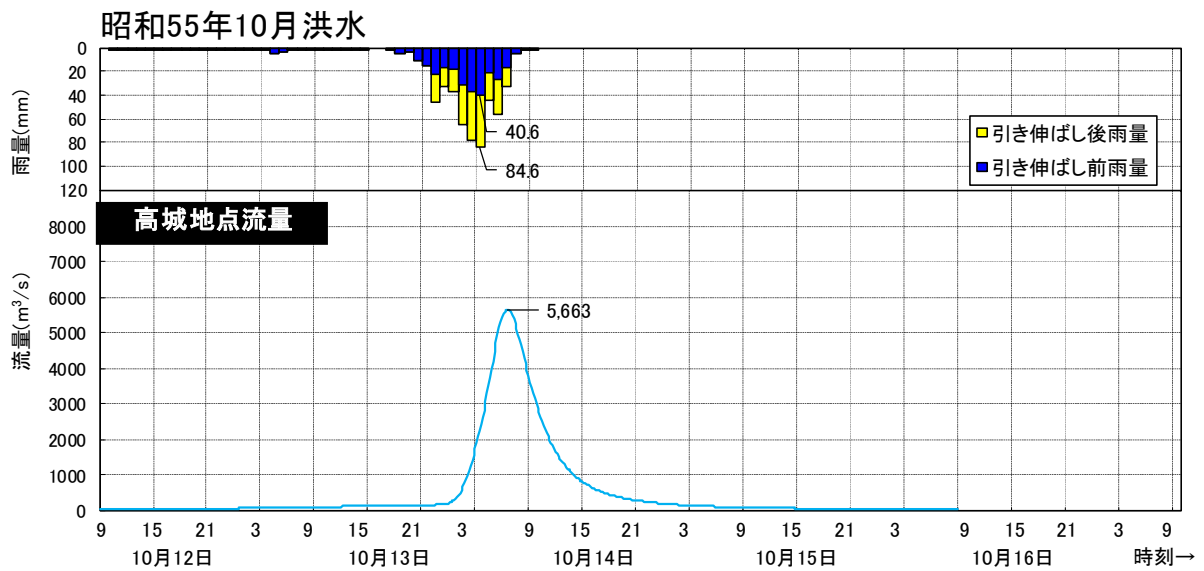
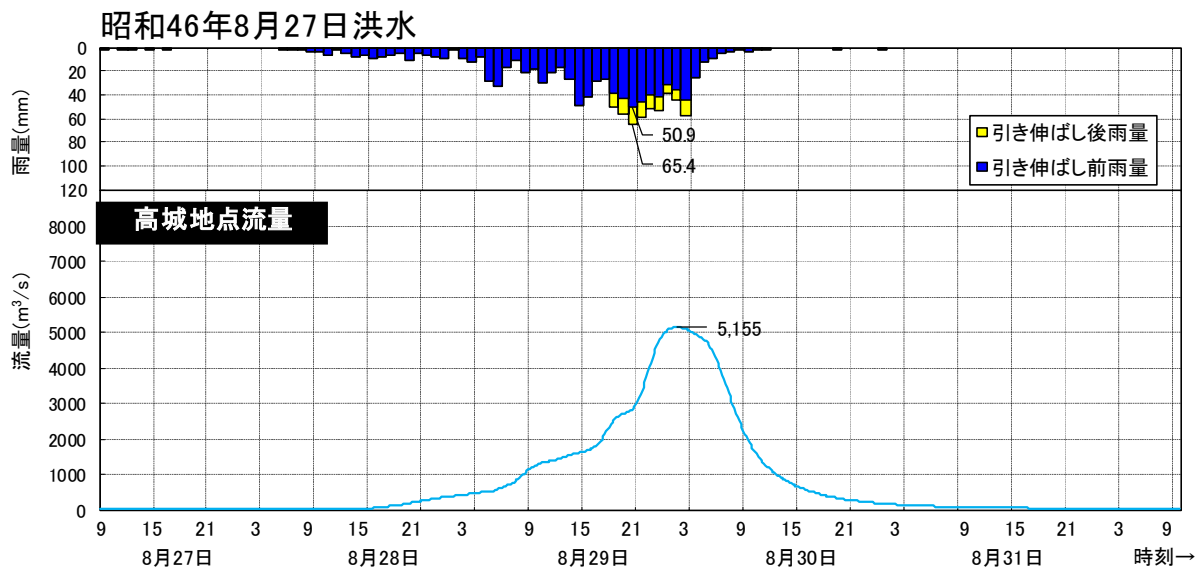


図 1-10-1(2) 基本高水ハイドログラフ

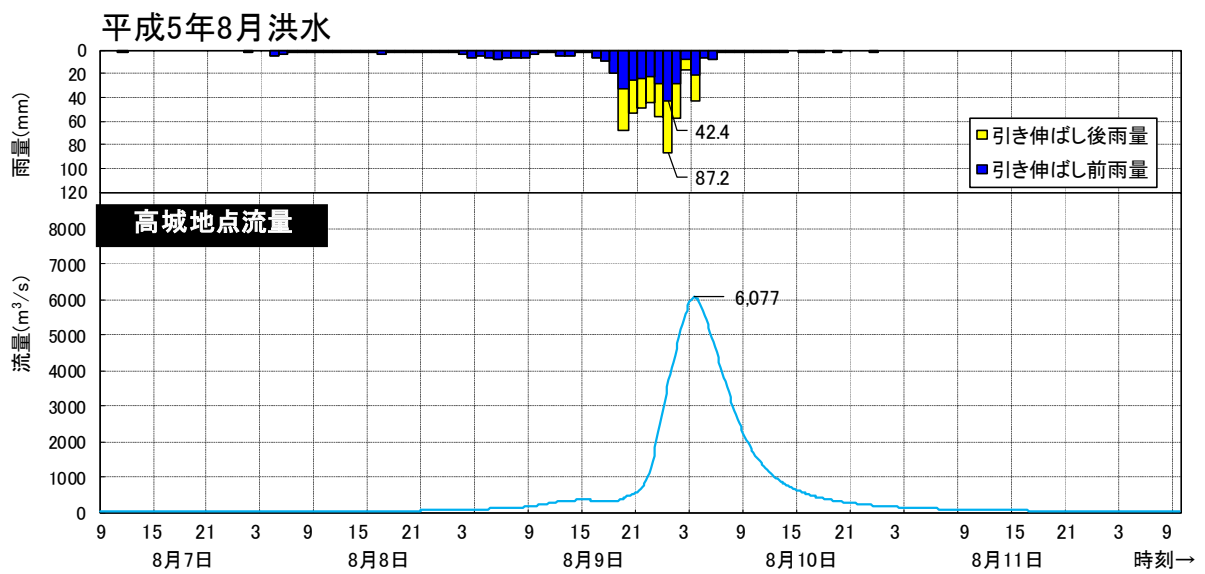
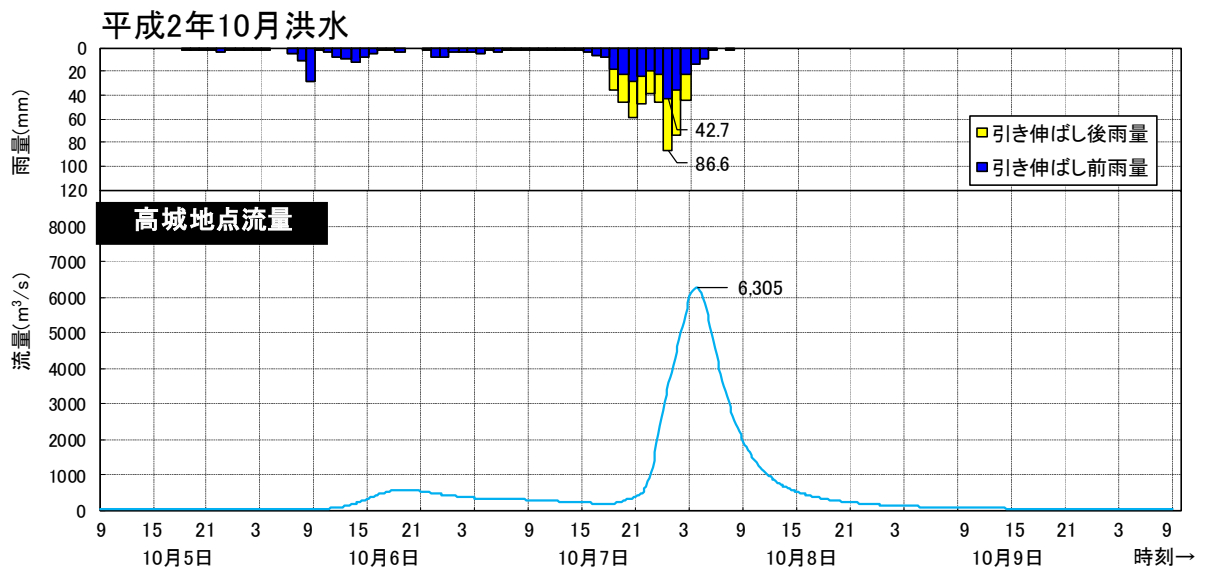
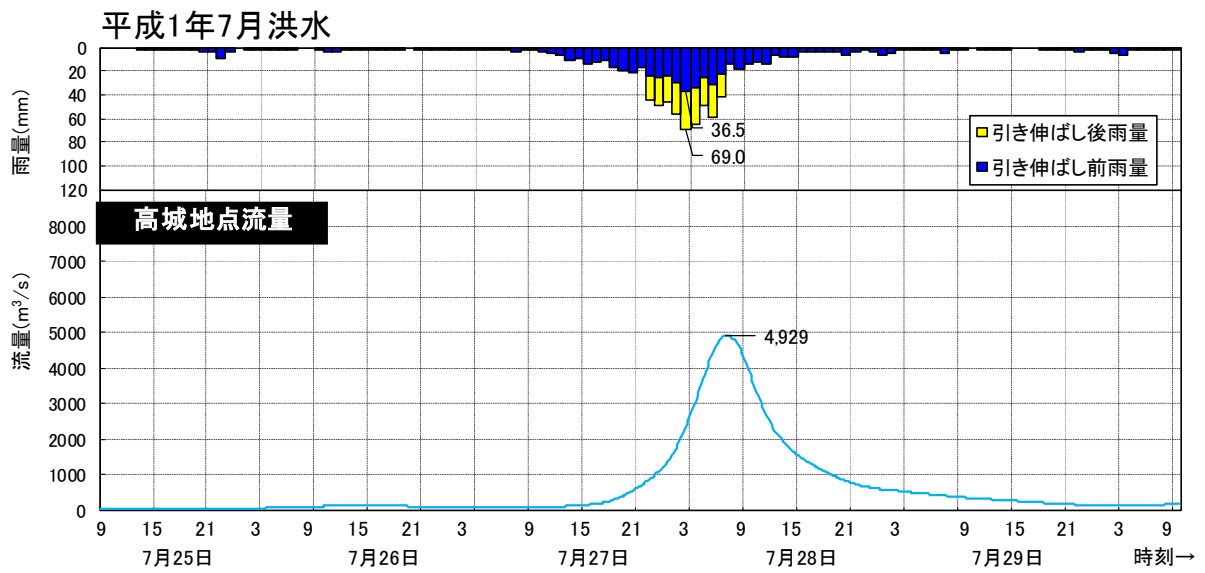


図 1-10-1(3) 基本高水ハイドログラフ

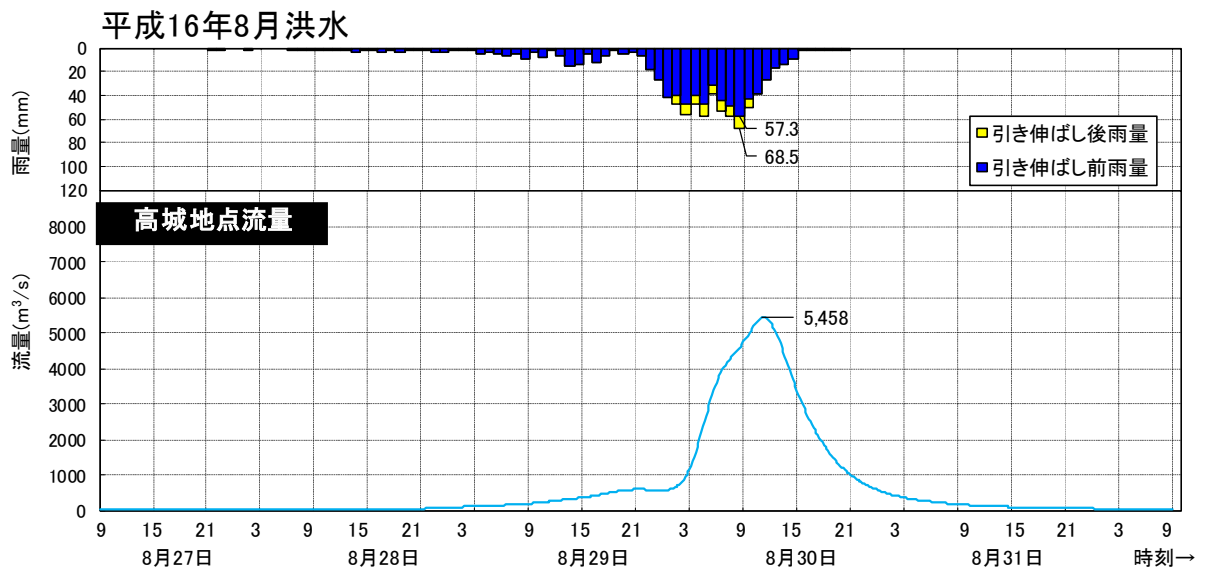
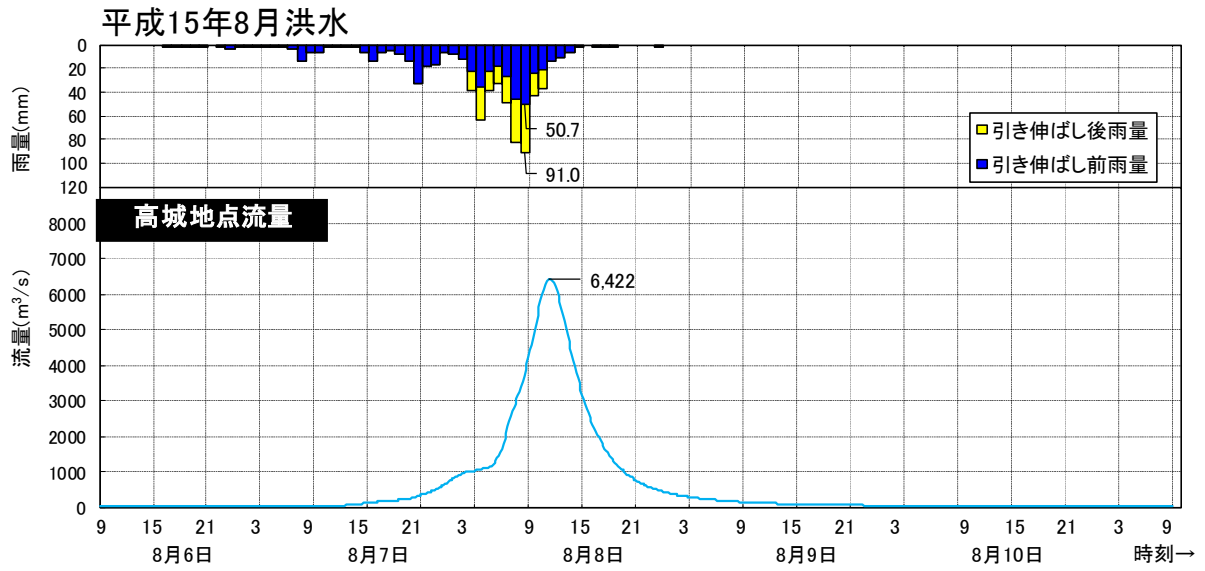
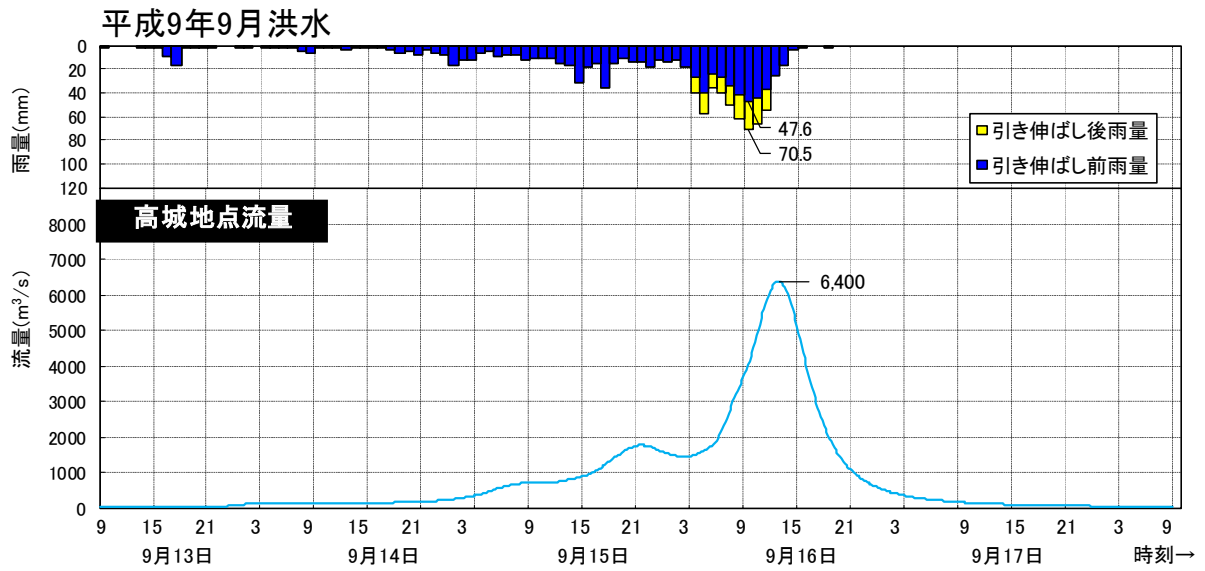


図 1-10-1(4) 基本高水ハイドログラフ

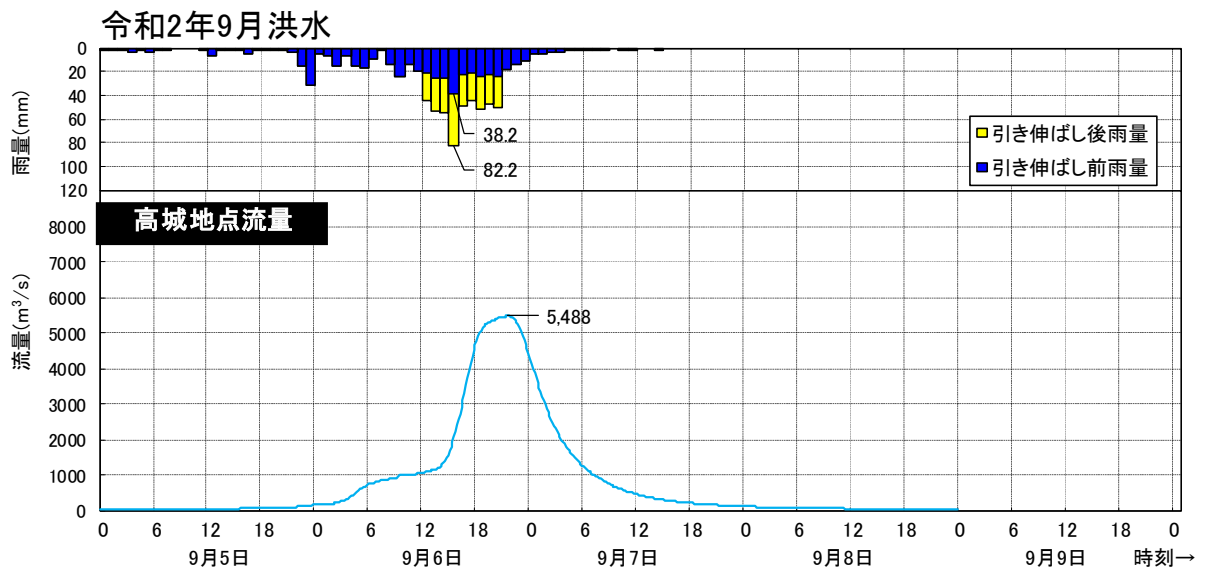
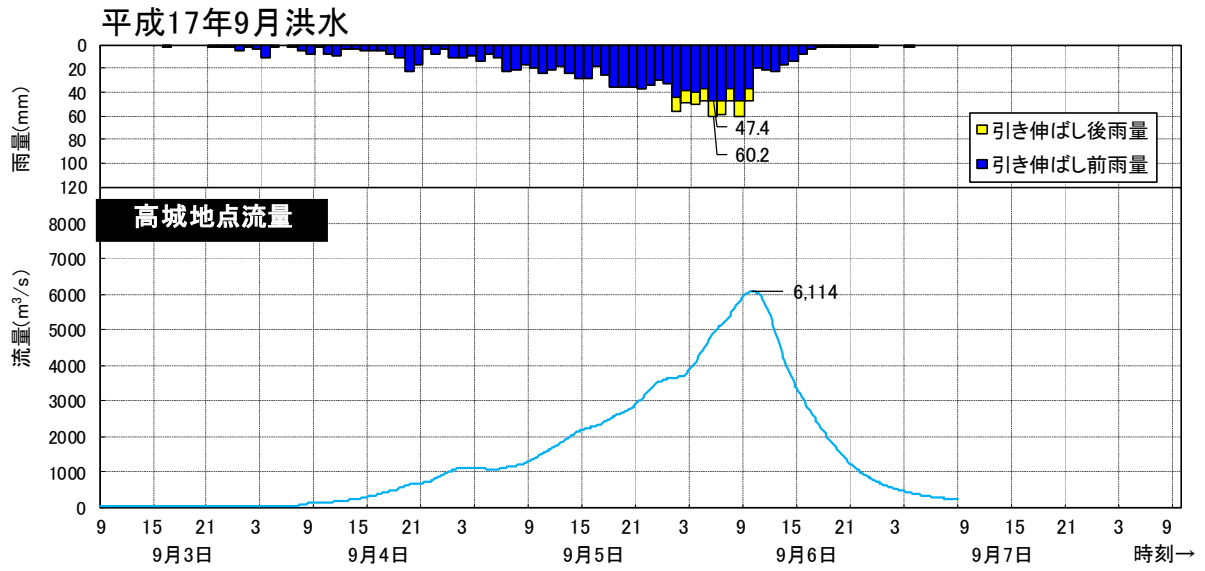
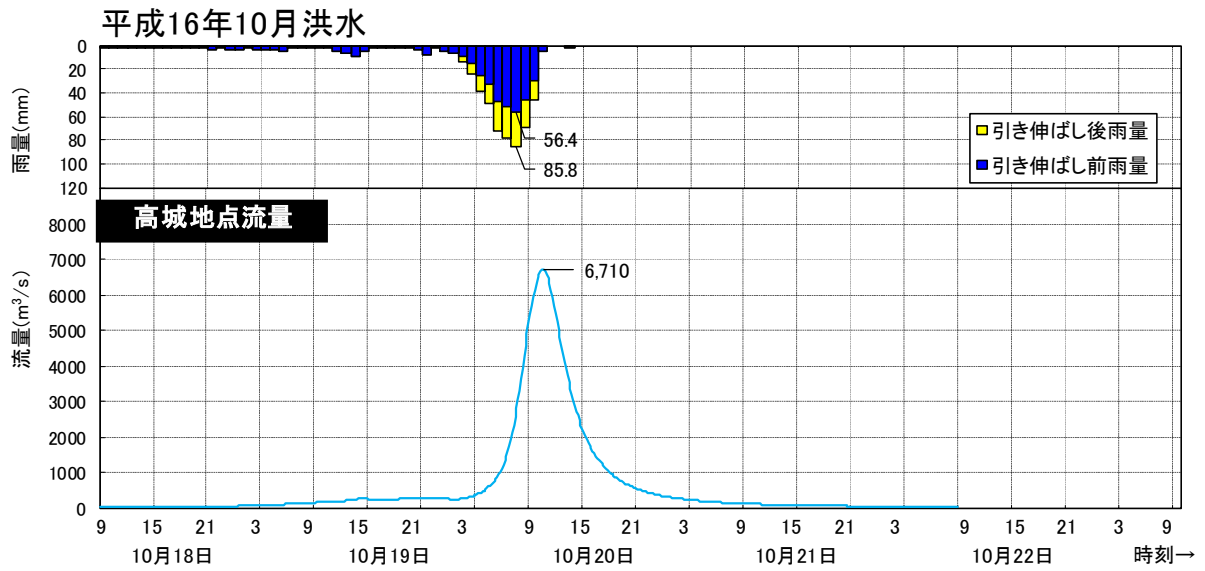


図 1-10-1(5) 基本高水ハイドログラフ

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°C上昇のシナリオRCP8.5における近未来の気候(2°C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°C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高城地点における対象降雨の降雨量(476mm/9時間)に近い15洪水(10洪水の抽出であると、将来実験が3降雨しか抽出されなかったため、15洪水を対象とした)を抽出した。抽出した洪水は、中央集中や複数の降雨ピークがある波形等、様々なタイプの降雨波形を含んでいることを確認した。

また、抽出した洪水の降雨波形を、気候変動を考慮した1/100確率規模の9時間雨量476mm(基準地点高城)に調整し、流出計算モデルにより流出量を算出した結果、高城地点のピーク流量は約5,500m³/s~8,000m³/sと推定される。

アンサンブル予測降雨波形からの抽出結果を図1-11-1、アンサンブル予測降雨波形のピーク流量を表1-11-1、抽出した予測降雨波形のヒドログラフを図1-11-2に示す。

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

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

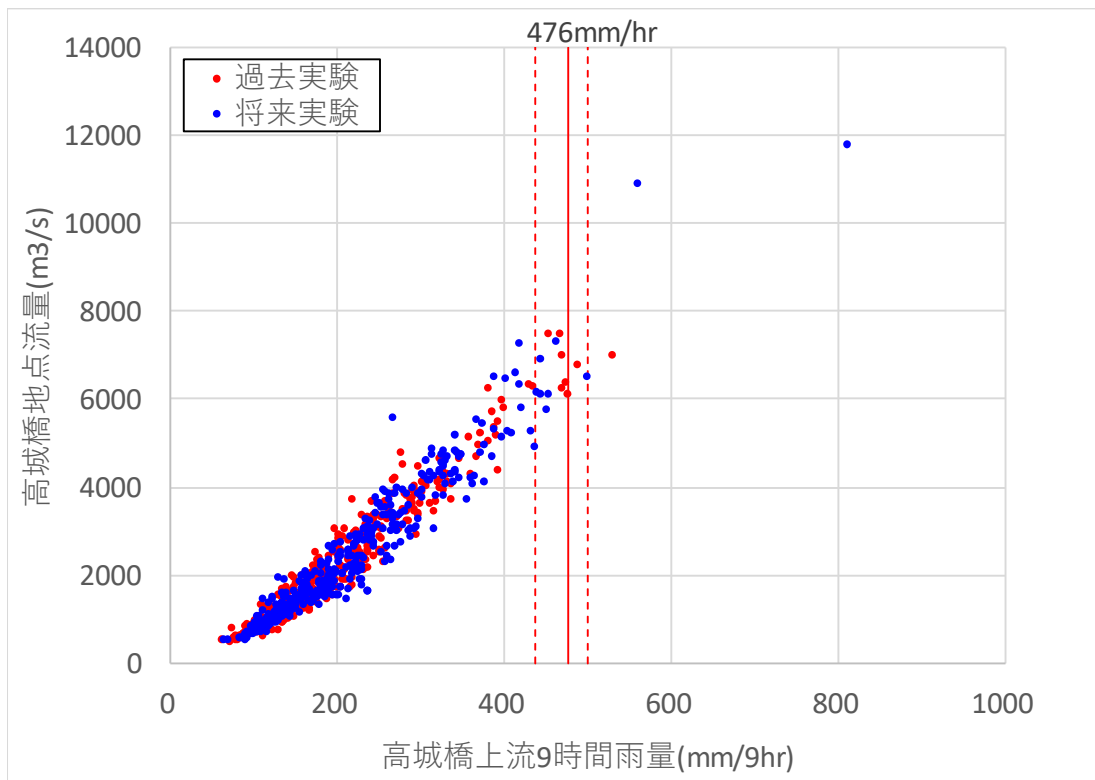


図 1-11-1 アンサンブル予測降雨波形からの抽出（高城地点）

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

表 1-11-1 アンサンブル予測降雨波形のピーク流量一覧（高城地点）

洪水名		高城地点 9時間雨量 (mm)	気候変動後 1/100雨量 (mm)	拡大率	高城橋地点 ピーク流量 (m ³ /s)
将来実験	HFB_2K_MI_m101	2071090106	452.5	1.052	6,446
	HFB_2K_MP_m105	2075091211	463.4	1.027	7,522
	HFB_2K_GF_m101	2081081319	500.4	0.951	6,175
	HFB_2K_MI_m105	2070081614	436.3	1.091	5,476
	HFB_2K_MI_m105	2063081201	439.1	1.084	6,722
	HFB_2K_GF_m105	2081071916	443.6	1.073	7,612
	HFB_2K_MR_m101	2061080803	444.0	1.072	6,587
	HFB_2K_CC_m105	2083082303	452.1	1.053	6,137
過去実験	HPB_m001	1989072118	454.0	1.048	7,911
	HPB_m005	1997081107	468.2	1.017	7,630
	HPB_m001	1990082508	468.7	1.016	7,156
	HPB_m001	1984090909	469.1	1.015	6,356
	HPB_m021	2002072408	474.2	1.004	6,407
	HPB_m022	1994072509	477.0	0.998	6,096
	HPB_m001	2010090705	488.4	0.975	6,577

※拡大率：「9時間雨量」と「計画降雨量」との比率

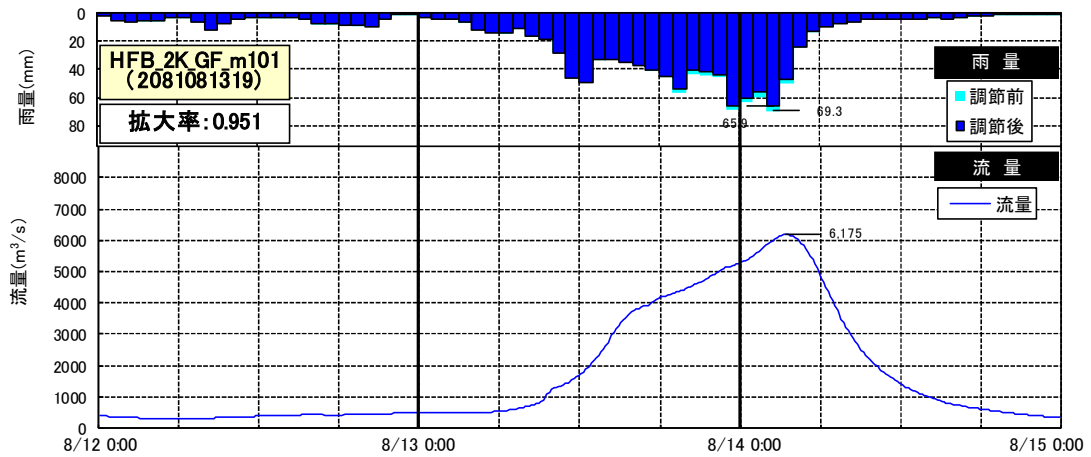
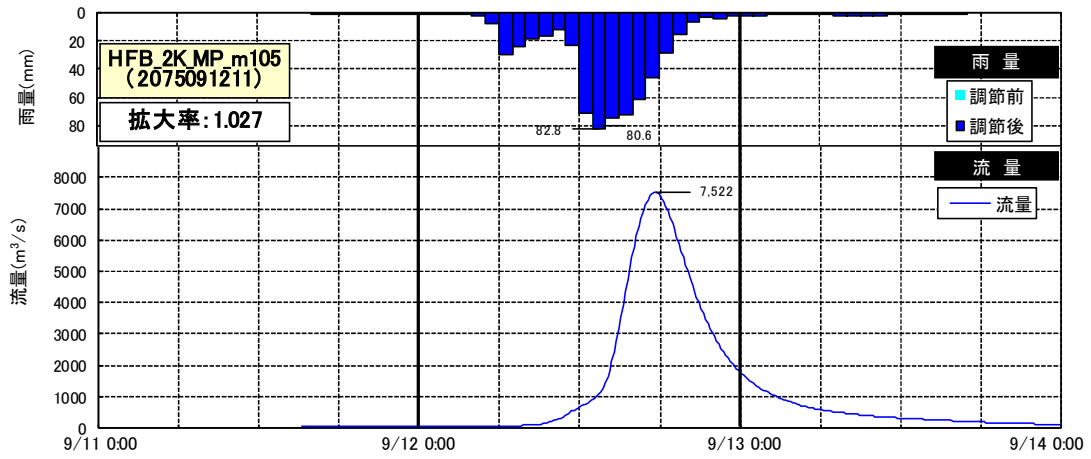
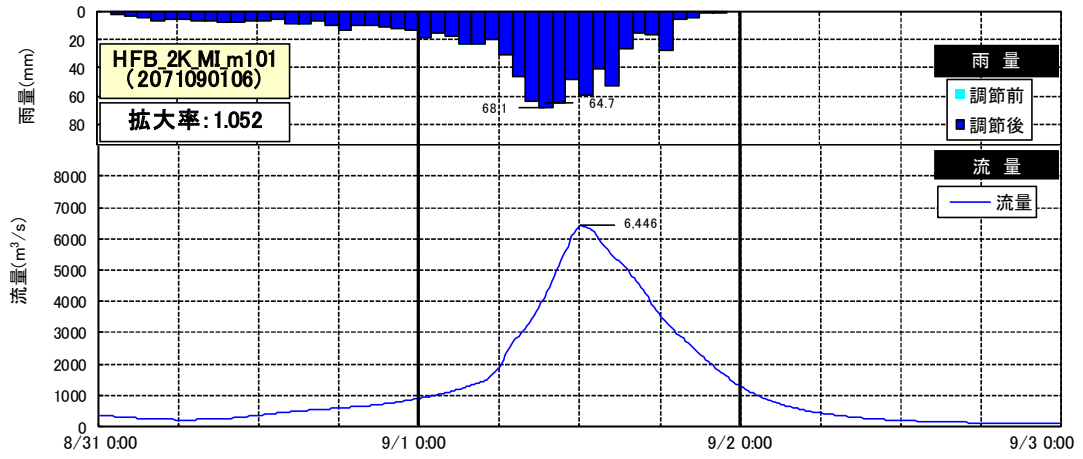


図 1-11-2(1) 抽出した予測降雨波形のハイドログラフ (高城地点)

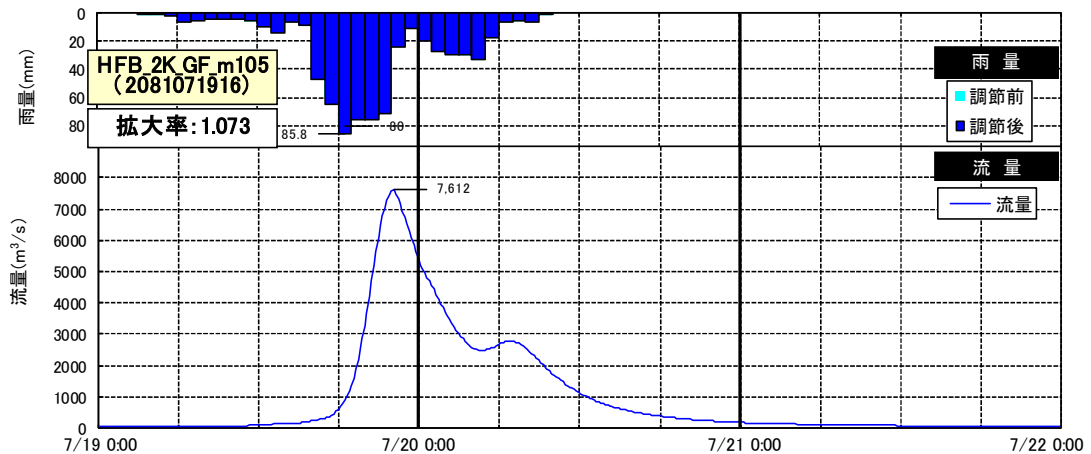
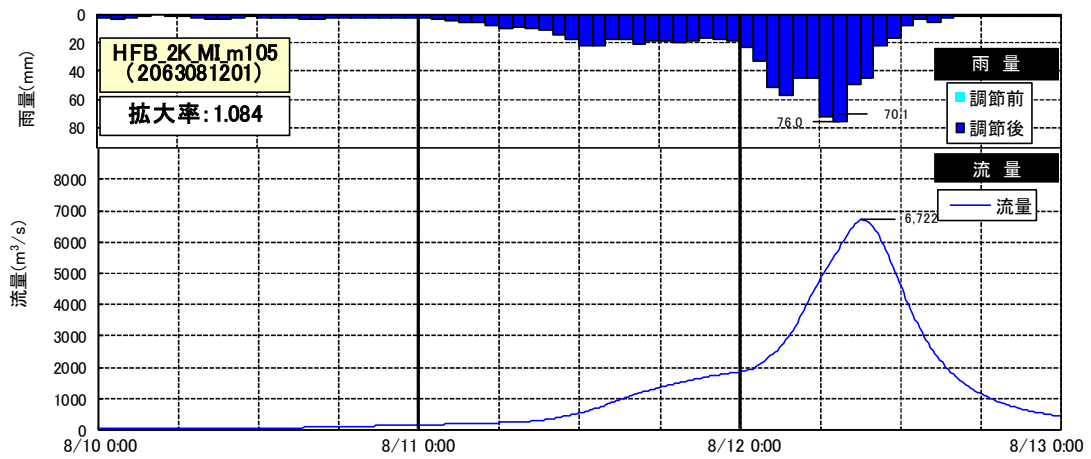
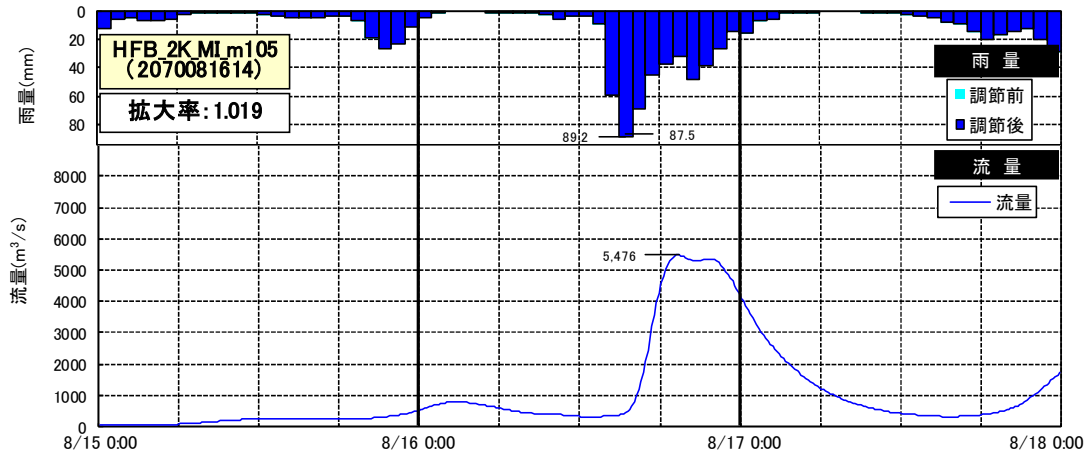


図 1-11-2 (2) 抽出した予測降雨波形のヒドログラフ (高城地点)

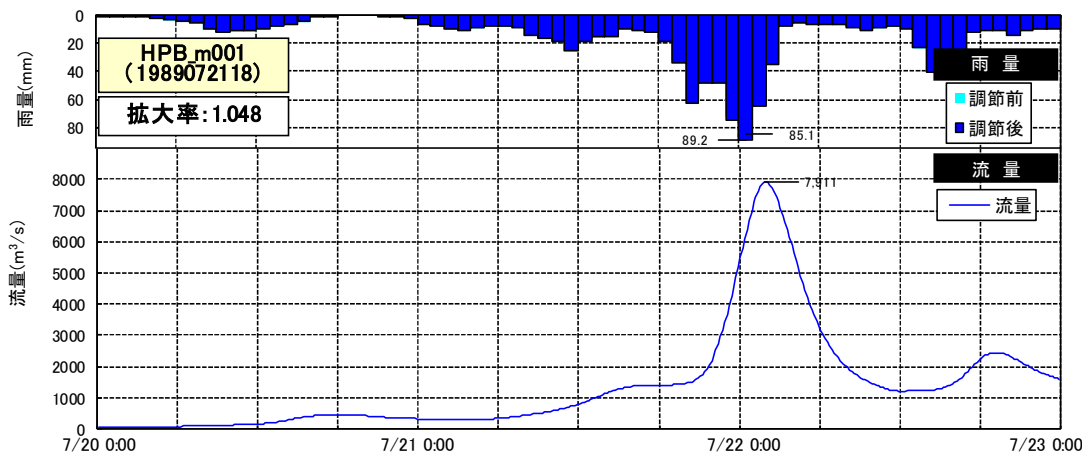
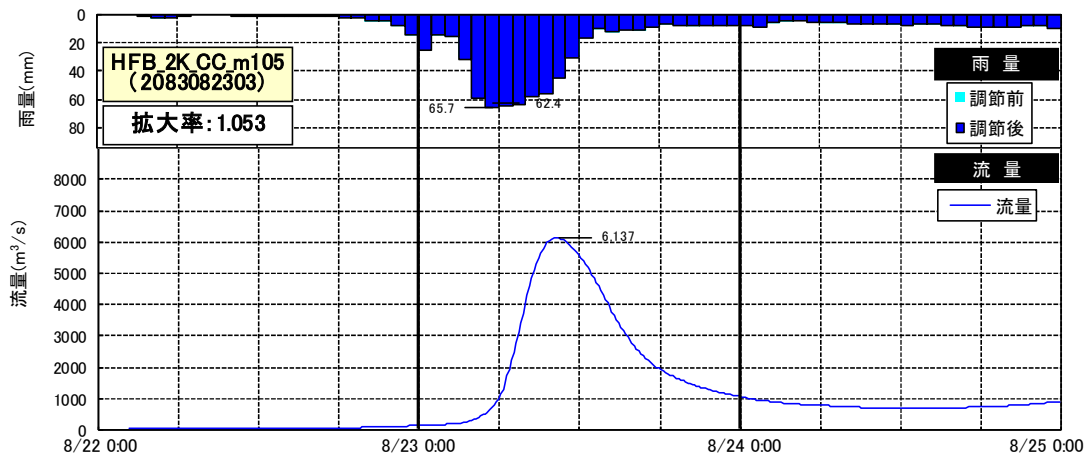
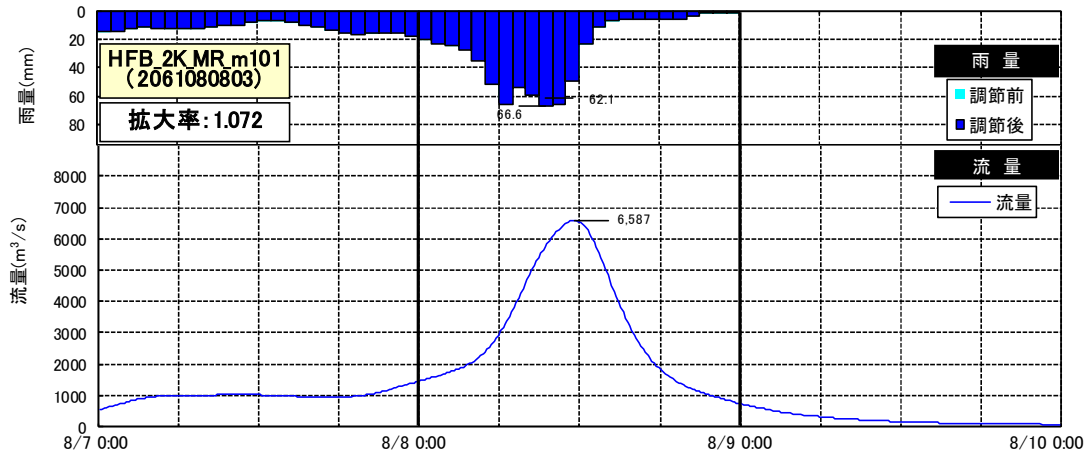


図 1-11-2 (3) 抽出した予測降雨波形のハイドログラフ (高城地点)

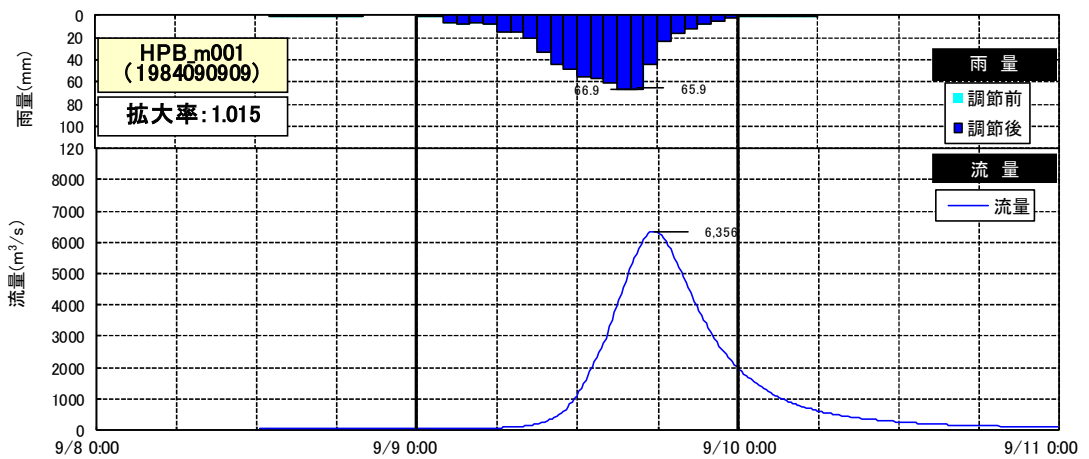
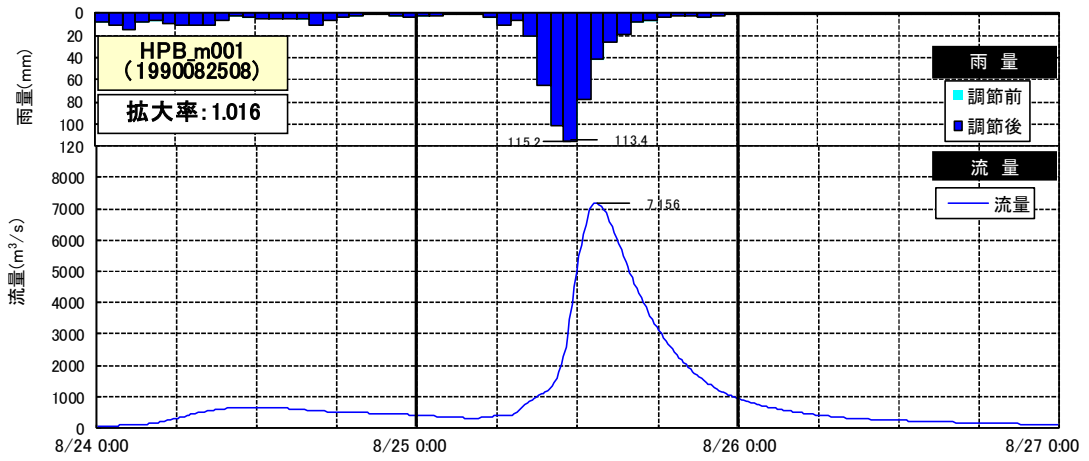
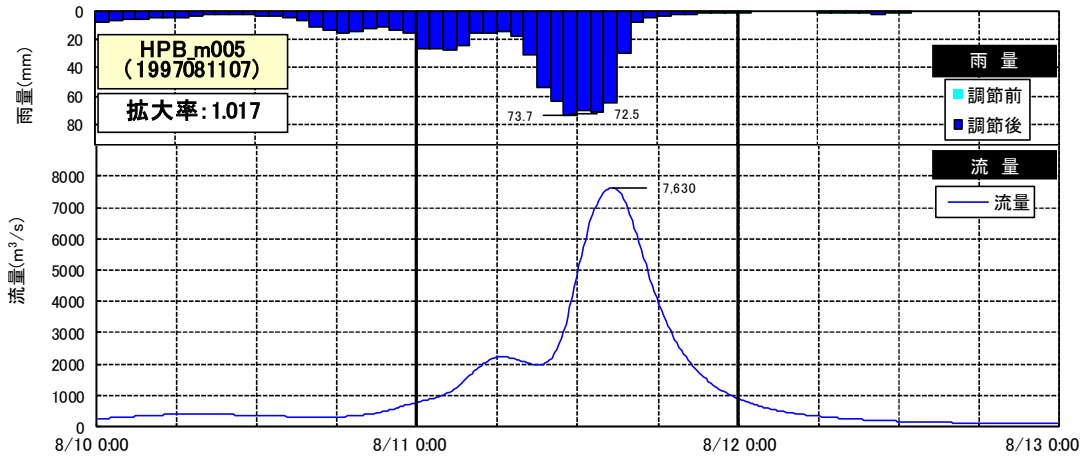


図 1-11-2 (4) 抽出した予測降雨波形のヒドログラフ (高城地点)

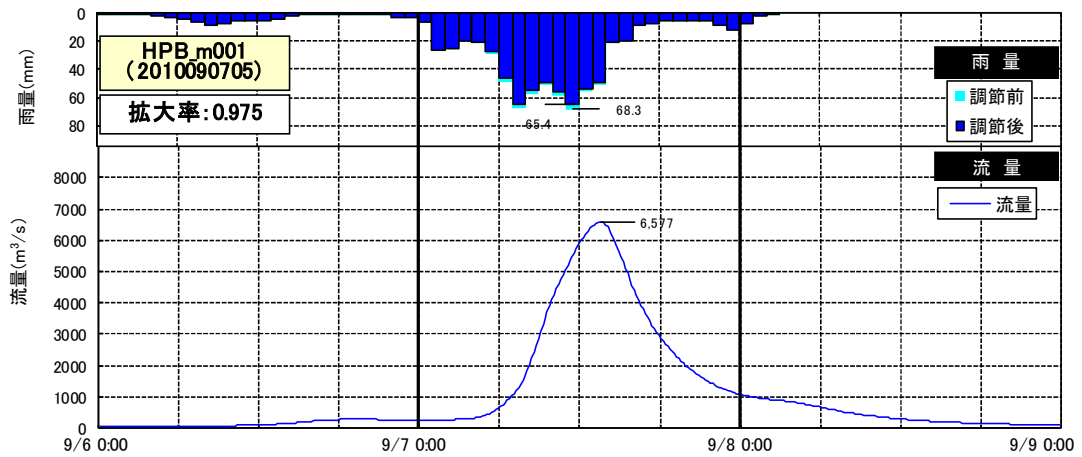
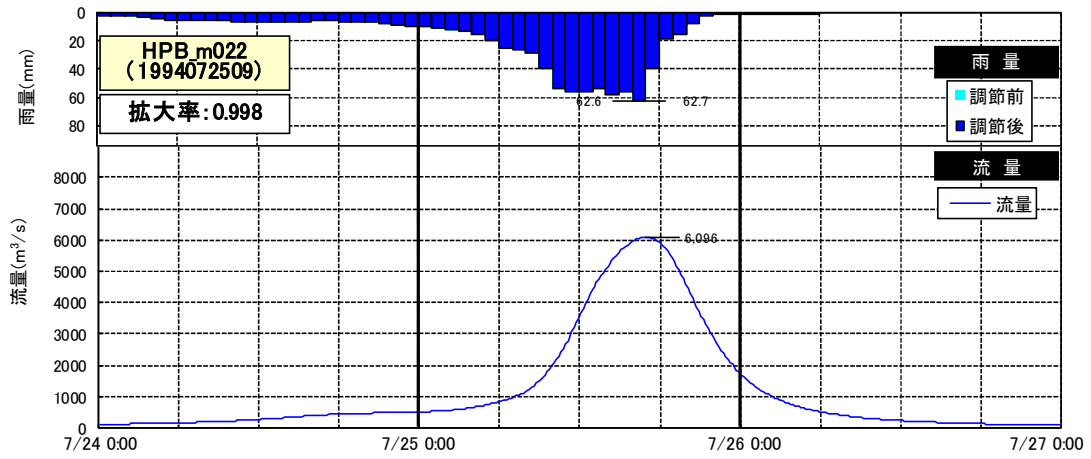
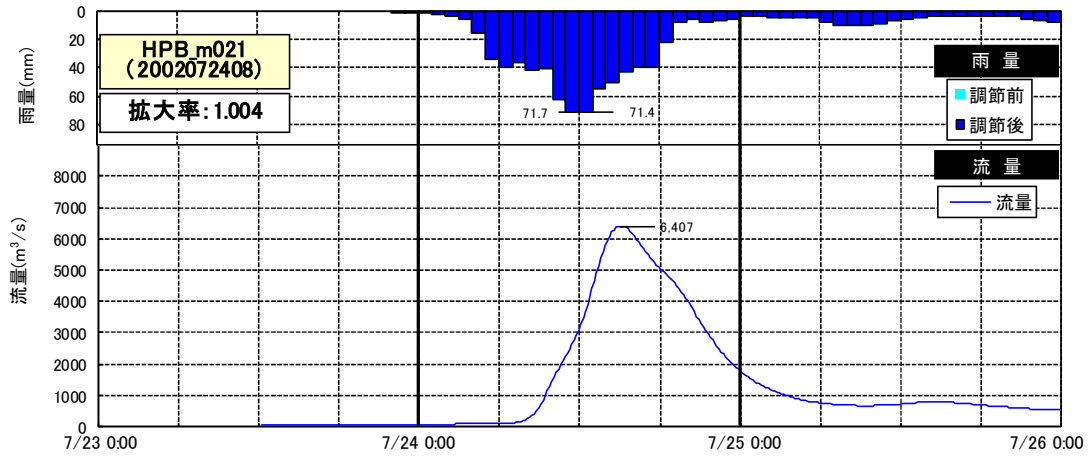


図 1-11-2 (5) 抽出した予測降雨波形のハイドログラフ (高城地点)

1-11-2 棄却された実績引き伸ばし降雨における発生の可能性検討

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

その結果、図1-11-3に示す地域分布で棄却した3洪水について、アンサンブル予測降雨波形から推定される地域分布の雨量比（基準地点上流域と小流域の雨量比の比率）に収まるため、生起する可能性があると判断した。

また、時間分布で棄却した5洪水については、時間分布の雨量比（9時間雨量と短時間雨量の比率）以下に収まらないため、いずれも生起し難いと判断した。

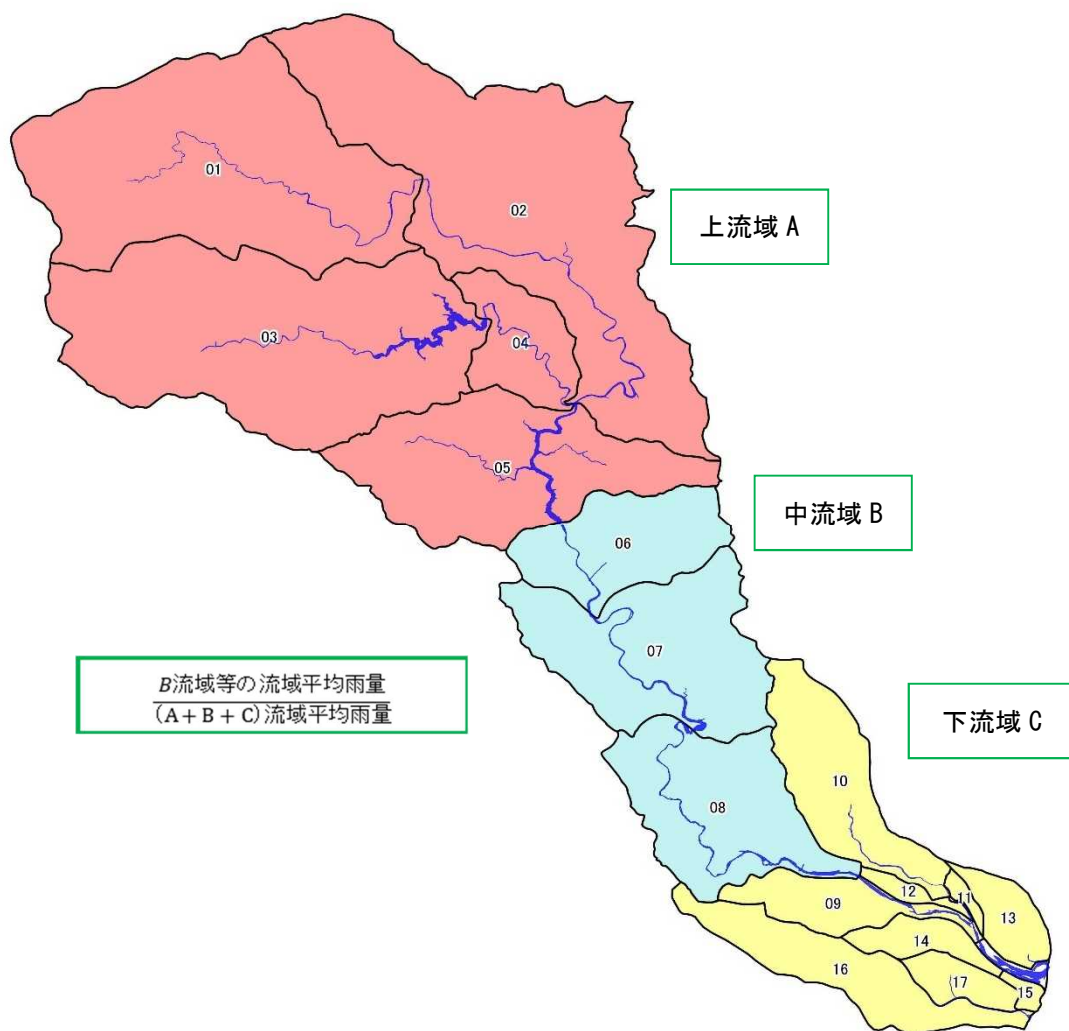


図 1-11-3 流域分布のチェック

(1) 地域分布のチェック

d2PDF（将来気候）から対象降雨の降雨量近傍のアンサンブル予測降雨波形を抽出し、各波形について「基準地点上流域の流域平均雨量に対する小流域の流域平均雨量の比率」（小流域の流域平均雨量/基準地点上流域平均雨量）を表1-11-2に示すとおり求める。また、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する。

その結果、高城地点で棄却した3洪水（昭和57年8月11日洪水、平成18年8月17日洪水、平成30年9月洪水）は、表1-11-3に示すとおり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たため、生起する可能性がある判断した。

表 1-11-2 雨量の比率（アンサンブル予測降雨波形）

d2PDFアンサンブル 洪水名		高城上流域 (396.3km ²)	小丸川上流域 (304.1km ²)		小丸川中流域 (92.2km ²)		小丸川下流域 (77.7km ²)	
		予測雨量① (mm/9hr)	予測雨量② (mm/9hr)	②/①	予測雨量③ (mm/9hr)	③/①	予測雨量④ (mm/9hr)	④/①
HFB_2K_MI_m101	2071090106	452.5	372.8	0.82	718.5	1.59	554.9	1.23
HFB_2K_MP_m105	2075091211	463.4	517.5	1.12	276.6	0.60	78.4	0.17
HFB_2K_GF_m101	2081081319	500.4	488.0	0.98	539.8	1.08	297.8	0.60
HFB_2K_MI_m105	2070081614	436.3	458.9	1.05	356.4	0.82	109.3	0.25
HFB_2K_MI_m105	2063081201	439.1	421.2	0.96	494.1	1.13	292.4	0.67
HFB_2K_GF_m105	2081071916	443.6	416.4	0.94	532.1	1.20	526.9	1.19
HFB_2K_MR_m101	2061080803	444.0	456.2	1.03	399.1	0.90	213.3	0.48
HFB_2K_CC_m105	2083082303	452.1	554.8	1.23	111.8	0.25	73.2	0.16

：最大比率

表 1-11-3 雨量の比率（棄却した引き伸ばし降雨波形）

棄却した洪水				高城上流域 (396.3km ²)			小丸川上流域 (304.1km ²)		小丸川中流域 (92.2km ²)		小丸川下流域 (77.7km ²)		
				No	洪水年月日			実績雨量 (mm/9hr)	計画雨量① (mm/9hr)	拡大率	拡大後雨量② (mm/9hr)	②/①	拡大後雨量③ (mm/9hr)
8	S	57	8	11	220.6	476	2.158	418.5	0.88	668.2	1.40	309.9	0.65
19	H	18	8	17	267.7	476	1.778	432.7	0.91	629.2	1.32	460.3	0.97
22	H	30	9	30	298.2	476	1.597	449.6	0.94	565.5	1.19	536.5	1.13

(2) 時間分布のチェック

d2PDF（将来気候）から対象降雨の降雨量近傍のアンサンブル予測降雨波形を抽出し、各波形について「対象降雨の継続時間内雨量に対する短時間雨量の比率」（短時間（例えば洪水到達時間やその1/2時間）の流域平均雨量/継続時間内の流域平均雨量）を表1-11-4に示すとおり求める。

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

その結果、高城地点で棄却した5洪水は、表1-11-5に示すとおり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 1-11-4 雨量の比率（アンサンブル予測降雨波形）

d2PDFアンサンブル 洪水名		高城上流域 (396.3km ²)				
		予測雨量① (mm/9hr)	予測雨量② (mm/3hr)	②/①	予測雨量③ (mm/6hr)	③/①
HFB_2K_MI_m101	2071090106	452.5	187.6	0.41	334.0	0.74
HFB_2K_MP_m105	2075091211	463.4	172.5	0.37	377.0	0.81
HFB_2K_GF_m101	2081081319	500.4	191.9	0.38	356.2	0.71
HFB_2K_MI_m105	2070081614	436.3	213.1	0.49	325.2	0.75
HFB_2K_MI_m105	2063081201	439.1	183.0	0.42	321.2	0.73
HFB_2K_GF_m105	2081071916	443.6	221.5	0.50	393.0	0.89
HFB_2K_MR_m101	2061080803	444.0	179.1	0.40	339.7	0.77
HFB_2K_CC_m105	2083082303	452.1	184.4	0.41	349.7	0.77

：最大比率

表 1-11-5 雨量の比率（棄却した引き伸ばし降雨波形）

棄却した洪水				高城上流域 (396.3km ²)							
No	洪水年月日			実績雨量 (mm/9hr)	計画雨量① (mm/9hr)	拡大率	拡大後雨量② (mm/3hr)	②/①	拡大後雨量③ (mm/6hr)	③/①	
3	S	39	9	23	228.8	476	2.081	253.7	0.53	396.2	0.83
4	S	43	9	23	295.0	476	1.614	277.3	0.58	421.4	0.89
13	H	5	9	2	228.9	476	2.080	273.7	0.57	387.9	0.81
20	H	19	8	2	314.5	476	1.514	239.9	0.50	383.9	0.81
21	H	28	9	20	294.3	476	1.618	252.0	0.53	377.7	0.79

1-11-3 主要洪水群に不足する降雨パターンの確認

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

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

波形パターンの解析にはクラスター分析を用いた。アンサンブル予測から得られた将来予測波形群360波形と過去実験波形360波形の計720波形を対象に、流域全体の総雨量に対する各流域の寄与率を算出し、ユークリッド距離を指標としてウォード法により図1-11-4に示す5つのクラスターに分類した。

高城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は表1-11-7に示すとおりであり、高城地点ではクラスター1～クラスター4と評価された。

過去の実績の主要洪水群には小丸川下流域集中型のクラスター5の降雨波形は無いが、過去実験・将来実験では表1-11-6に示すとおり8降雨のみ発生している。ただし、図1-11-5に示すとおり発生頻度も低く、また、計画降雨まで拡大する場合には拡大率が2倍以上となることから、追加しないものとした。

表 1-11-6 クラスター5のアンサンブル降雨波形

洪水名		上流域 (mm/9hr)	中流域 (mm/9hr)	下流域 (mm/9hr)	高城 (mm/9hr)	計画雨量 (1.1倍前) 432.7mm/9hr 拡大率	
将来実験	HFB_2K_CC_m105	2065071518	84.1	309.3	437.1	136.1	3.766
	HFB_2K_GF_m101	2086041207	138.5	323.6	375.3	181.1	2.958
	HFB_2K_MI_m105	2067072022	72.6	181.2	362.1	97.4	3.007
	HFB_2K_MI_m105	2068092314	92.5	210.5	387	119.4	3.179
	HFB_2K_MP_m101	2065060321	33.4	355.6	209.7	108.1	2.389
過去実験	HPB_m003	2001081900	46.1	343.7	210.3	114.9	4.443
	HPB_m004	2005083101	100.6	300.6	351.8	146.3	3.624
	HPB_m010	2005081805	106	271.2	376.6	143.9	4.003

表 1-11-7 主要洪水のクラスター分析結果

No	洪水年月日	クラスター番号	備考
1	S36. 9. 12	2	
2	S36. 10. 25	3	
3	S39. 9. 23	3	棄却洪水
4	S43. 9. 23	3	棄却洪水
5	S46. 8. 2	2	
6	S46. 8. 27	2	
7	S55. 10. 12	3	
8	S57. 8. 11	1	
9	S57. 8. 24	3	
10	H1. 7. 25	2	
11	H2. 10. 5	1	
12	H5. 8. 7	2	
13	H5. 9. 2	2	棄却洪水
14	H9. 9. 13	2	
15	H15. 8. 6	3	
16	H16. 8. 27	2	
17	H16. 10. 18	1	
18	H17. 9. 3	2	
19	H18. 8. 17	4	
20	H19. 8. 2	1	棄却洪水
21	H28. 9. 20	1	棄却洪水
22	H30. 9. 30	1	
23	R2. 9. 7	2	

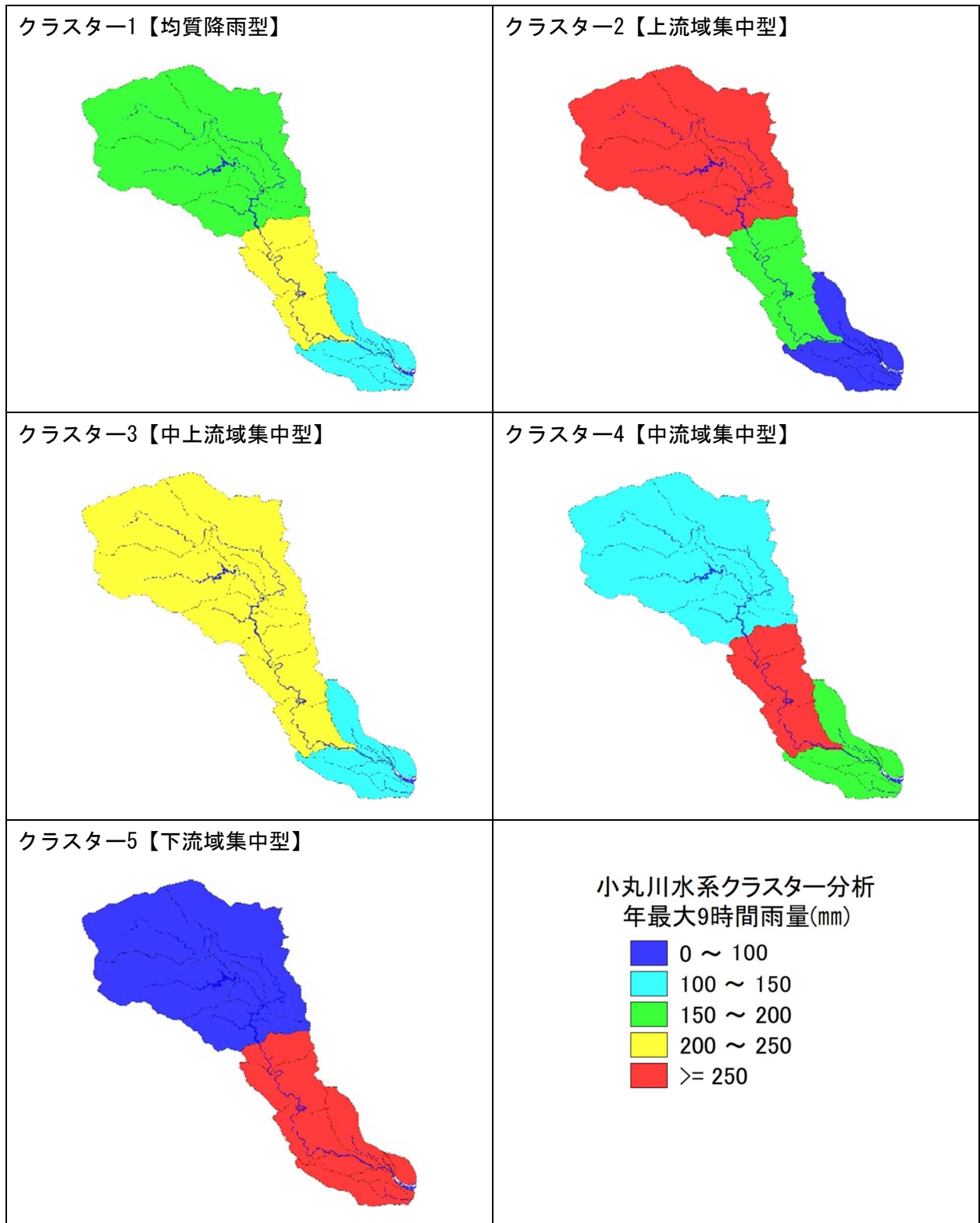


図 1-11-4 小丸川流域における将来実験アンサンブル予測降雨のクラスター分析結果

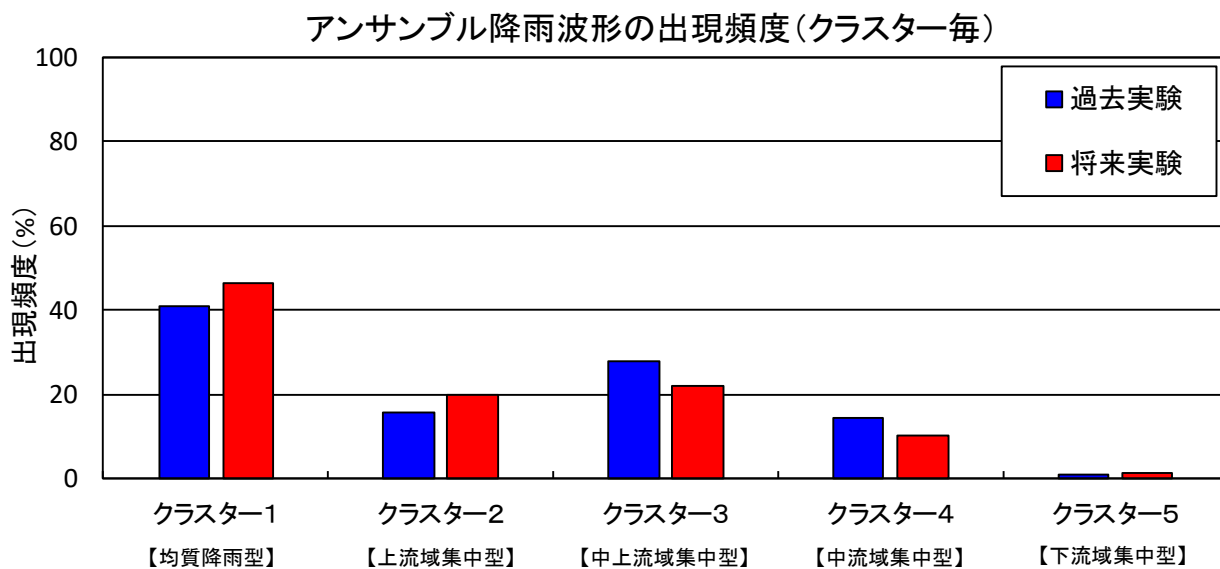


図 1-11-5 小丸川流域におけるアンサンブル予測降雨の出現頻度 (クラスターごと)

1-12 既往洪水からの検討

過去に最も甚大な被害をもたらした平成17年9月洪水では、図1-12-1に示すとおり、基準地点高城の流量は約4,700 m^3/s (ダム戻し流量)と推定される。

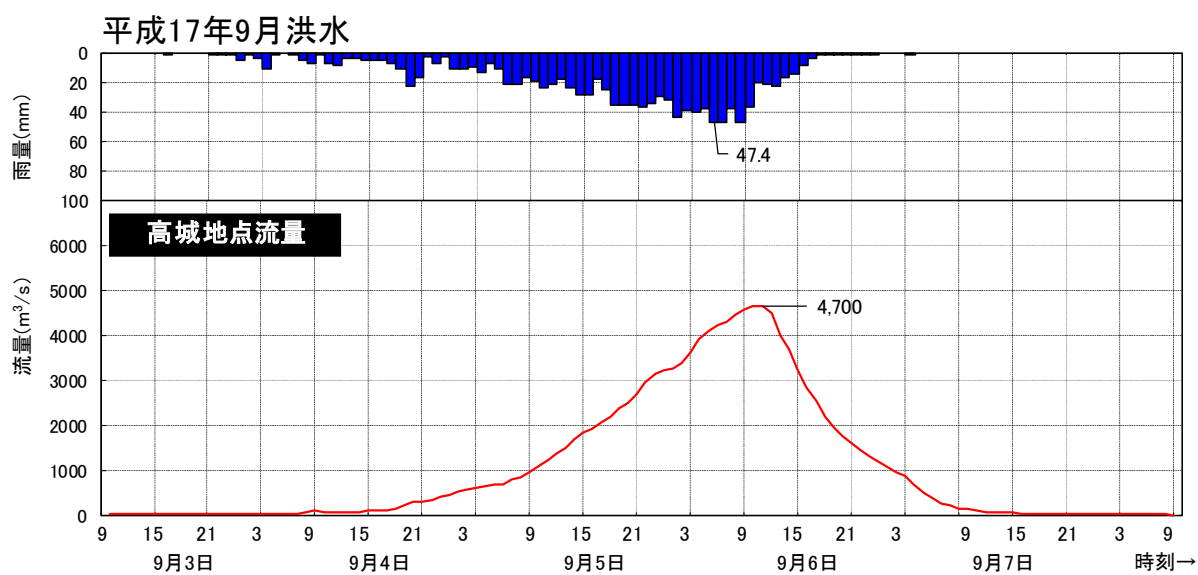
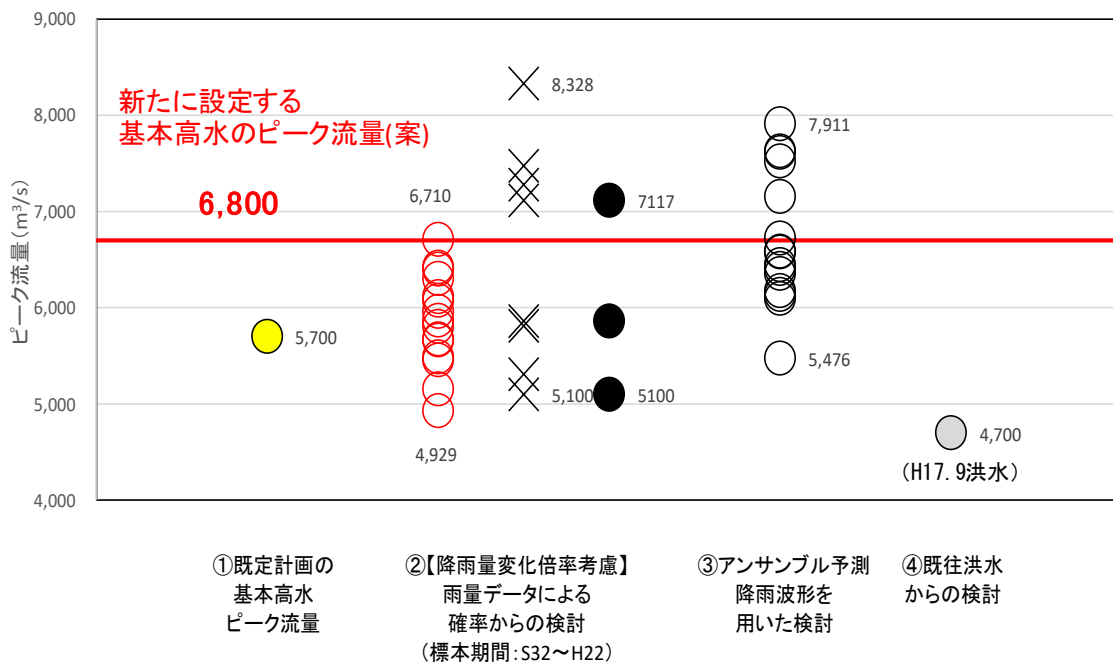


図 1-12-1 平成17年9月洪水の推定結果 (基準地点高城)

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小流域において著しい引き伸ばしとなっている洪水を除き最大となる流量を基本高水のピーク流量として決定した。

その結果、小丸川水系における基本高水のピーク流量は、基準地点高城で6,800m³/sとなる。結果を図1-13-1～1-13-2に示す。



×：地域分布、時間分布から著しい引き伸ばしとなっていると考えられる洪水

【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降雨
 - ：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（476mm/9hr）に近い15洪水を抽出
 - ：気候変動予測モデルによる現在気候（1980年～2011年）および将来気候（2℃上昇）のアンサンブル降雨波形

図 1-13-1 基本高水の設定に係る総合的判断（基準地点高城）

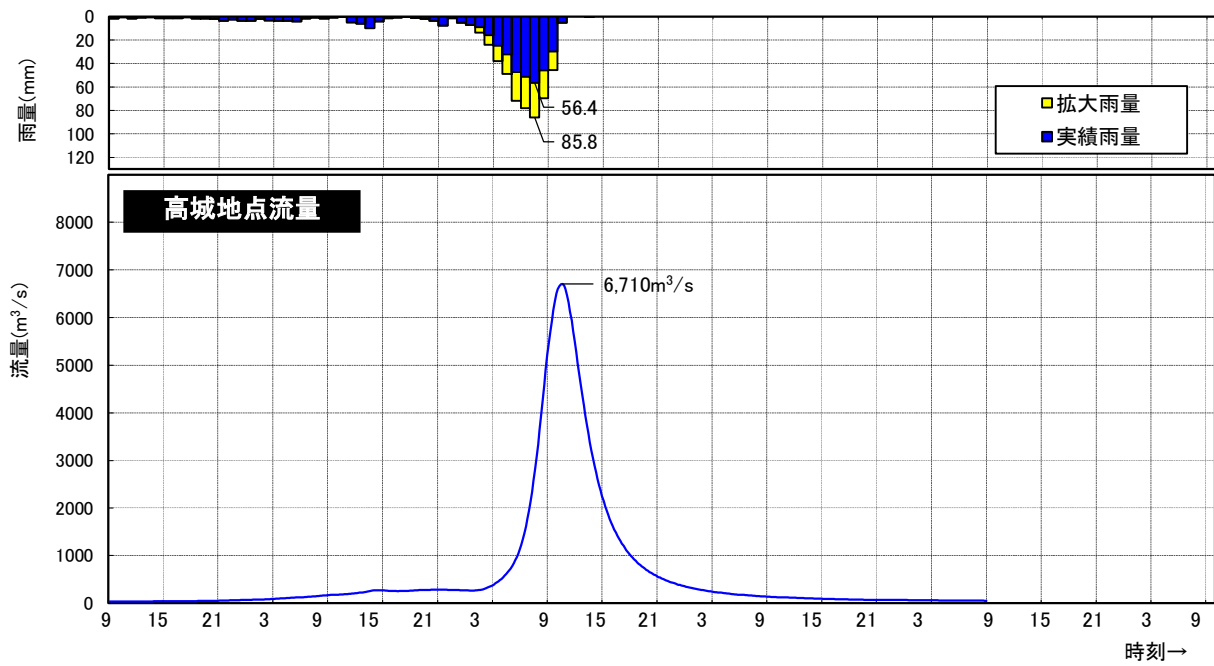


図 1-13-2 基本高水のピーク流量ハイドログラフ (平成16年10月洪水：高城)

2. 高水処理計画

小丸川の既定高水処理計画は、基準地点高城における基本高水のピーク流量 $5,700\text{m}^3/\text{s}$ に対し、洪水処理施設により $1,000\text{m}^3/\text{s}$ を調節し、 $4,700\text{m}^3/\text{s}$ 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、新たに基準地点高城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 $5,700\text{m}^3/\text{s}$ を $6,800\text{m}^3/\text{s}$ に変更する計画とした。

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

外力の増大に対応した河道計画を検討するにあたり、小丸川における高速流の発生により、河岸侵食等の課題や高速流抑制に配慮した河道計画とするため、流下能力が不足する区間において、河道断面拡大の検討を実施し、 $5,100\text{m}^3/\text{s}$ の流下可能断面の確保が可能である。

このため、高水処理計画は、河道への配分流量を $5,100\text{m}^3/\text{s}$ とし、将来的な予測技術の向上も踏まえ、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

小丸川の計画高水流量は、高城地点において $5,100\text{m}^3/\text{s}$ 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図3-1のとおりとする。

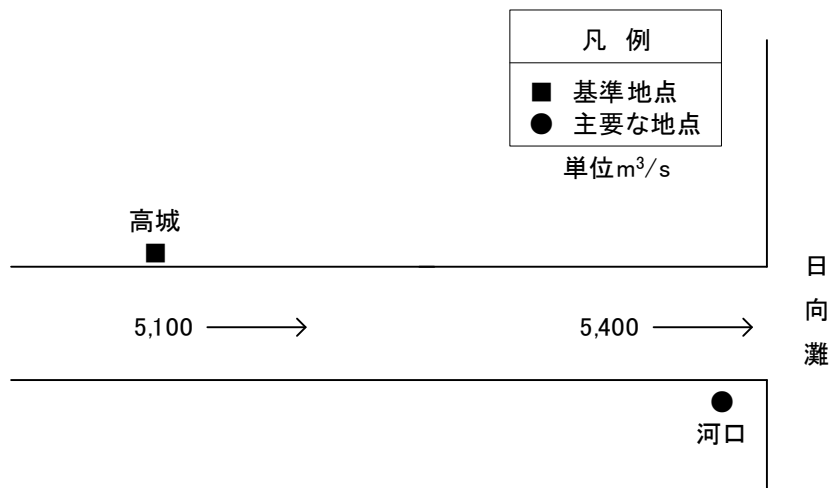


図 3-1 小丸川計画高水流量図

4. 河道計画

河道計画は、以下の理由により縦断勾配を尊重し、流下能力が不足する区間については、周辺の社会的影響や河川環境等に配慮しながら必要な河積（洪水を安全に流下させるための断面）を確保する。

- ① 大臣管理区間の堤防は全川で概成していること。
- ② 堤防防護に必要な高水敷幅を確保する等の必要な対策を行うこと。
- ③ 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。
- ④ 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。
- ⑤ 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概ねの川幅一覧表

河川名	地点名	※1 河口又は合流点からの距離 (km)	計画高水位 T. P. (m)	川幅 (m)
小丸川	高城	7.6	13.90	200
	河口	0.0	3.00	1,100

(注) T. P. : 東京湾中等潮位

※1 : 基点からの距離

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+0.93m

・朔望平均満潮位：T.P+0.87m（出典：気象庁^{※1}）

・密度差：0.06m（（河口部平均水深：約2.18m^{※2}）×2.5%）

※1 小丸川河口近傍の「宮崎港」にて整理している大淀川における値

※2 小丸川0k2の平均河床高～朔望平均満潮位間

② 気候変動による海面上昇量：RCP2.6シナリオの平均値で0.43m

③ 上記の①+②：T.P.+1.36m（<現行出発水位：T.P+2.95m）

以上より、気候変動による海面上昇量を考慮した出発水位T.P+1.36mは、痕跡水位の最高値から設定される現行出発水位T.P+2.95mに対して、1.59m低い値であり、気候変動により海面上昇した場合も小丸川の出発水位に影響はないことを確認した。気候変動による海面上昇量を考慮した出発水位での河道水位を図4-1に示す。

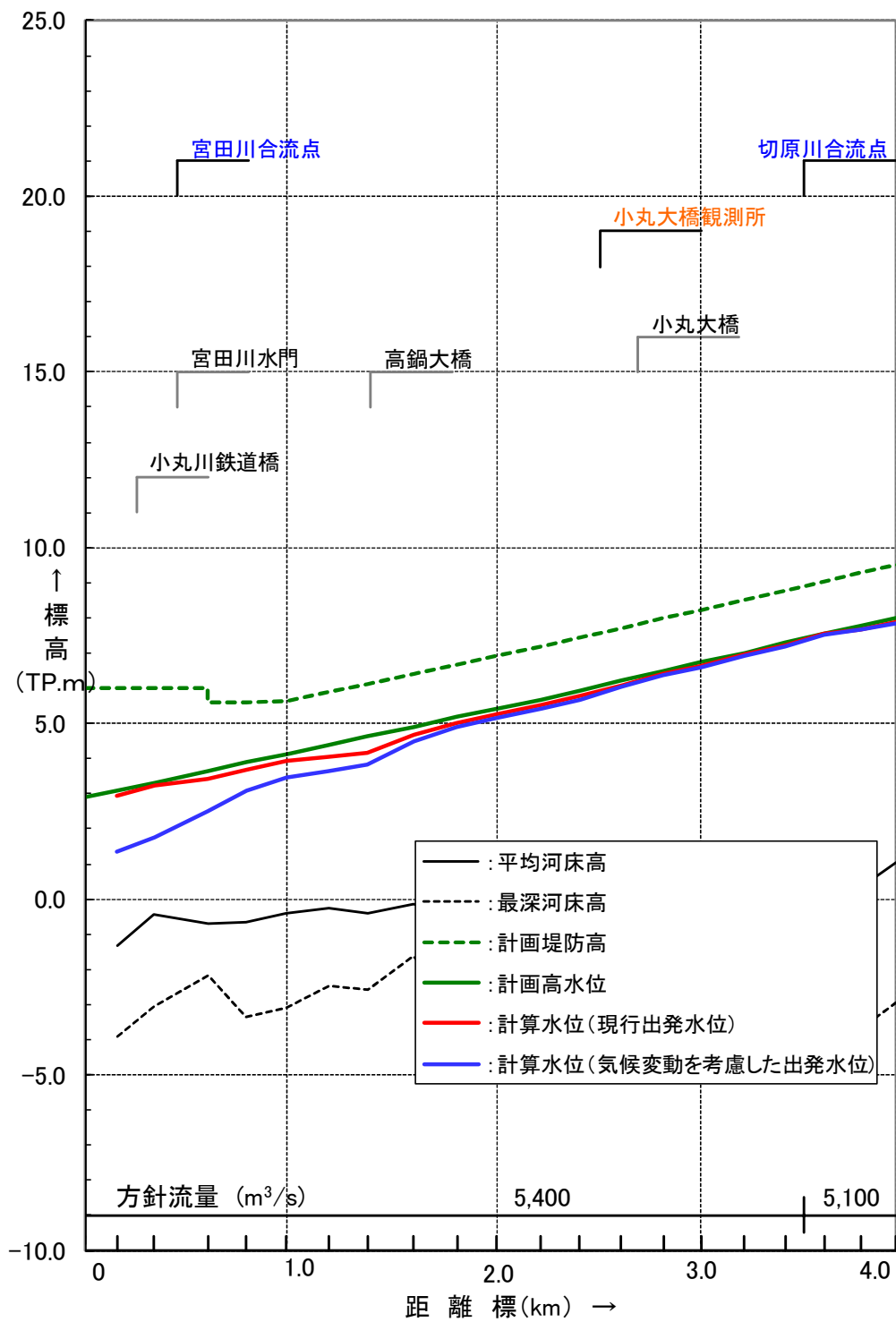


図 4-1 気候変動による海面上昇量を考慮した出発水位での河道水位

5. 河川管理施設等の整備の状況

(1) 堤防

堤防整備の現状（令和4年(2022年)3月現在）は表5-1のとおりである。

表 5-1 堤防整備の状況

水系名	計画堤防断面	今後整備が必要な区間
小丸川	18.0 km (95.6%)	0.8 km (4.4%)

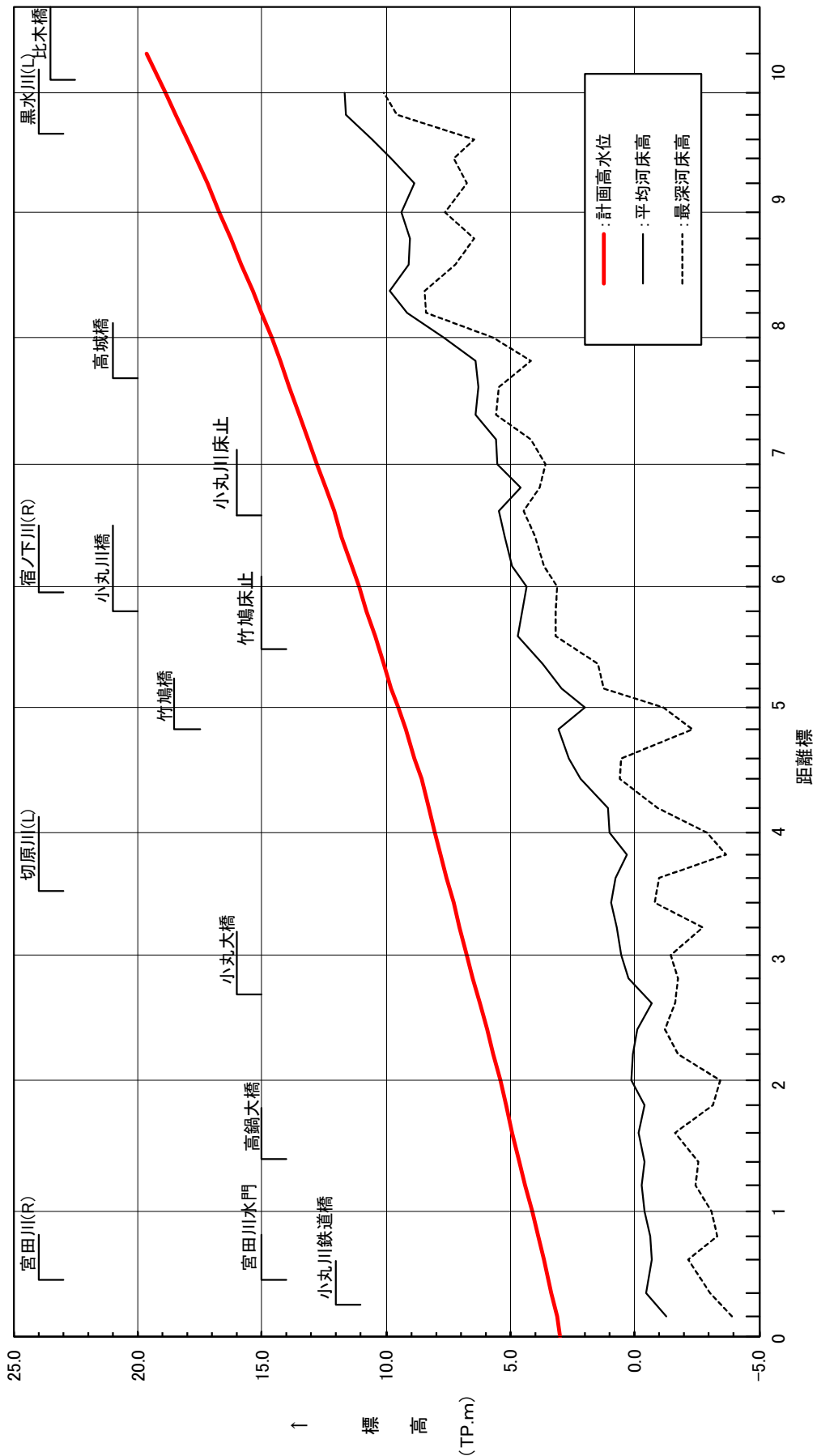
(2) 洪水調節施設

- ・完成施設 : 渡川ダム（治水容量：10,300千 m^3 ）
松尾ダム（治水容量：10,842千 m^3 ）
- ・残りの必要容量 : 概ね42,457千 m^3

(3) 排水機場等

- ・河川管理施設 : 3.9 m^3/s
- ・許可工作物 : 0.0 m^3/s

※大臣管理区間のみである。



計画高水位(T.P.m)	3.09	4.13	5.42	6.74	8.01	9.52	11.11	12.78	14.60	16.71	18.89
平均河床高(T.P.m)	-1.31	-0.41	0.11	0.57	1.02	2.02	4.34	5.50	7.71	9.37	11.69
最深河床高(T.P.m)	-3.92	-3.08	-3.47	-1.46	-2.95	-1.16	3.13	3.57	5.71	7.60	10.09
距離標(km)	0.2k	1.0k	2.0k	3.0k	4.0k	5.0k	6.0k	7.0k	8.0k	9.0k	10.0k

図 5-1 小丸川計画縦断面図