

加古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 工事実施基本計画.....	1
1.2 河川整備基本方針.....	1
1.3 河川整備基本方針策定後の状況.....	2
1.4 新たな流出解析モデルの構築.....	3
1.5 基本高水のピーク流量の設定.....	49
1.6 降雨継続時間の妥当性確認・変更.....	50
1.7 河川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.....	66
1.8 主要降雨波形の設定.....	70
1.9 対象降雨の地域分布及び時間分布の検討.....	72
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.....	76
1.11 アンサンブル予測降雨波形を用いた検討.....	78
1.12 既往洪水からの検討.....	86
1.13 総合判断による基本高水のピーク流量の決定.....	87
2. 高水処理計画	88
3. 計画高水流量	89
4. 河道計画	90
5. 河川管理施設等の整備状況.....	91

1. 基本高水の検討

1.1 工事実施基本計画

昭和 58 年（1982 年）に改訂した工事実施基本計画では、基準地点「国包」において基本高水のピーク流量を $9,000\text{m}^3/\text{s}$ と定めている。

① 計画規模の設定

既往洪水による被害状況や流域における産業の発展、人口及び資産の増大、土地利用の高度化等を総合的に勘案して 1/150 と設定した。

② 対象降雨量の設定

対象降雨継続時間は実績降雨の継続時間を考慮して 2 日を採用し、明治 32 年（1899 年）～昭和 52 年（1977 年）（79 年間）の年最大流域平均 2 日雨量を確率処理した 1/150 確率規模の降雨量から対象降雨量を国包地点で $271\text{mm}/2$ 日と決定した。

③ 流出モデルの設定

降雨をハイドログラフに変換するための流出計算モデル（貯留関数法）を作成し、流域の過去の主要洪水における降雨分布特性により、モデルの定数（ $K \cdot P$ ）を同定した。

④ 主要洪水における計画雨量への引伸ばしと流出計算

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

⑤ 基本高水のピーク流量の決定

基本高水のピーク流量は、上記流出計算結果から、昭和 37 年（1962 年）6 月降雨パターンを採用し、国包地点 $9,000\text{m}^3/\text{s}$ と決定した。

1.2 河川整備基本方針

工事実施基本計画を策定以降、下記に示す様々な手法により、基本高水のピーク流量を検証した結果、基準地点の国包基本高水のピーク流量を $9,000\text{m}^3/\text{s}$ とし、河川整備基本方針を平成 20 年（2008 年）9 月に計画を策定した。

① 対象降雨量の検証

工事実施基本計画の策定以降、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。明治 32 年（1899 年）～平成 18 年（2006 年）の 108 か年による 1/150 確率規模の 2 日雨量を検証した結果、 $250 \sim 313\text{mm}$ となり規定対象降雨量（ $271\text{mm}/2$ 日）が範囲内であることを確認した。

② 流量確率の検証

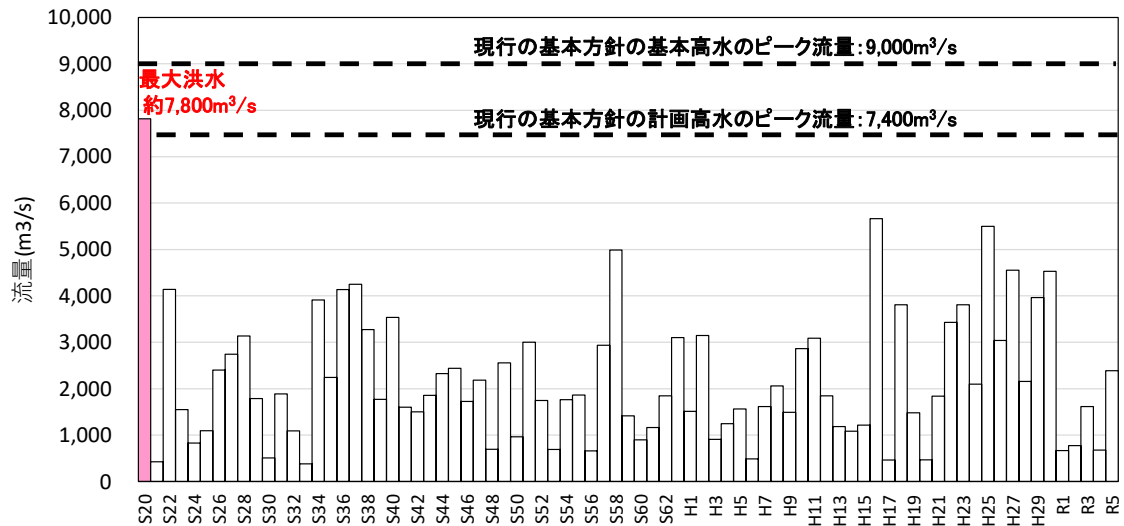
昭和 20 年（1945 年）～平成 18 年（2006 年）の 61 か年による 1/150 確率規模の流量を検証した結果、 $6,900\text{m}^3/\text{s} \sim 9,200\text{m}^3/\text{s}$ となり既定計画流量（ $9,000\text{m}^3/\text{s}$ ）が範囲内であることを確認した。

③ 既往洪水による検証

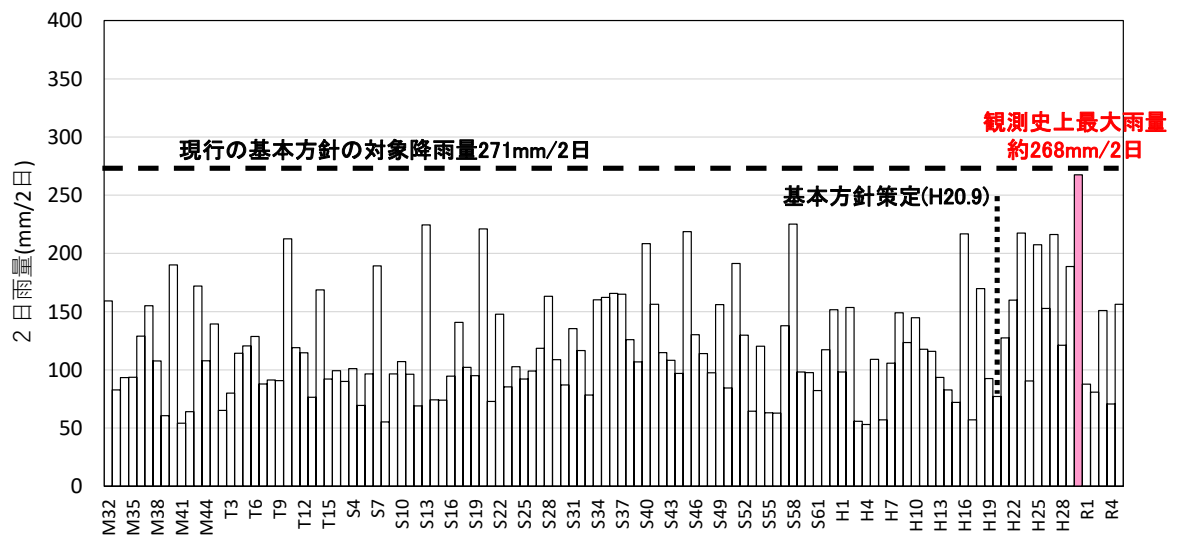
文献等（被害、雨量の記録）により、加古川の既往最大洪水として、昭和 20 年（1945 年）10 月洪水（阿久根台風）を選定し、国包地点のピーク流量が $7,800\text{m}^3/\text{s} \sim 9,050\text{m}^3/\text{s}$ であったと推定された。

1.3 河川整備基本方針策定後の状況

平成 20 年（2008 年）9 月に河川整備基本方針を策定以降、国包地点で基本高水のピーク流量 $9,000\text{m}^3/\text{s}$ を上回る洪水は発生していない。



図一 1.3.1 年最大流量（基準地点国包）



図一 1.3.2 年最大2日雨量（基準地点国包流域平均雨量）

1.4 新たな流出解析モデルの構築

降雨をハイドログラフに変換するために流出計算モデル（貯留関数法）を作成し、流域の過去の主要洪水における降雨分布特性により、モデルの定数（ K, P ）を同定した。

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

1.4.1 モデルの概要

貯留関数法の基礎式は次のとおりである。

【流域の基礎式】

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

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

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

ただし、

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

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

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

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

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

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

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

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

$Q(t)$ ：直接流出強度 (m³/s), A ：流域面積 (km²),

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

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

Q_{sum} ：総直接流出量 (m³), $f1$ ：一次流出率, $Q_{ca}(t)$ ：流域からの流出量 (m³/s)

$Q_b(t)$ ：基底流量 (m³/s)

【河道の基礎式】

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

$$\frac{dS_t(t)}{dt} = I(t) - Q_t(t)$$

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

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

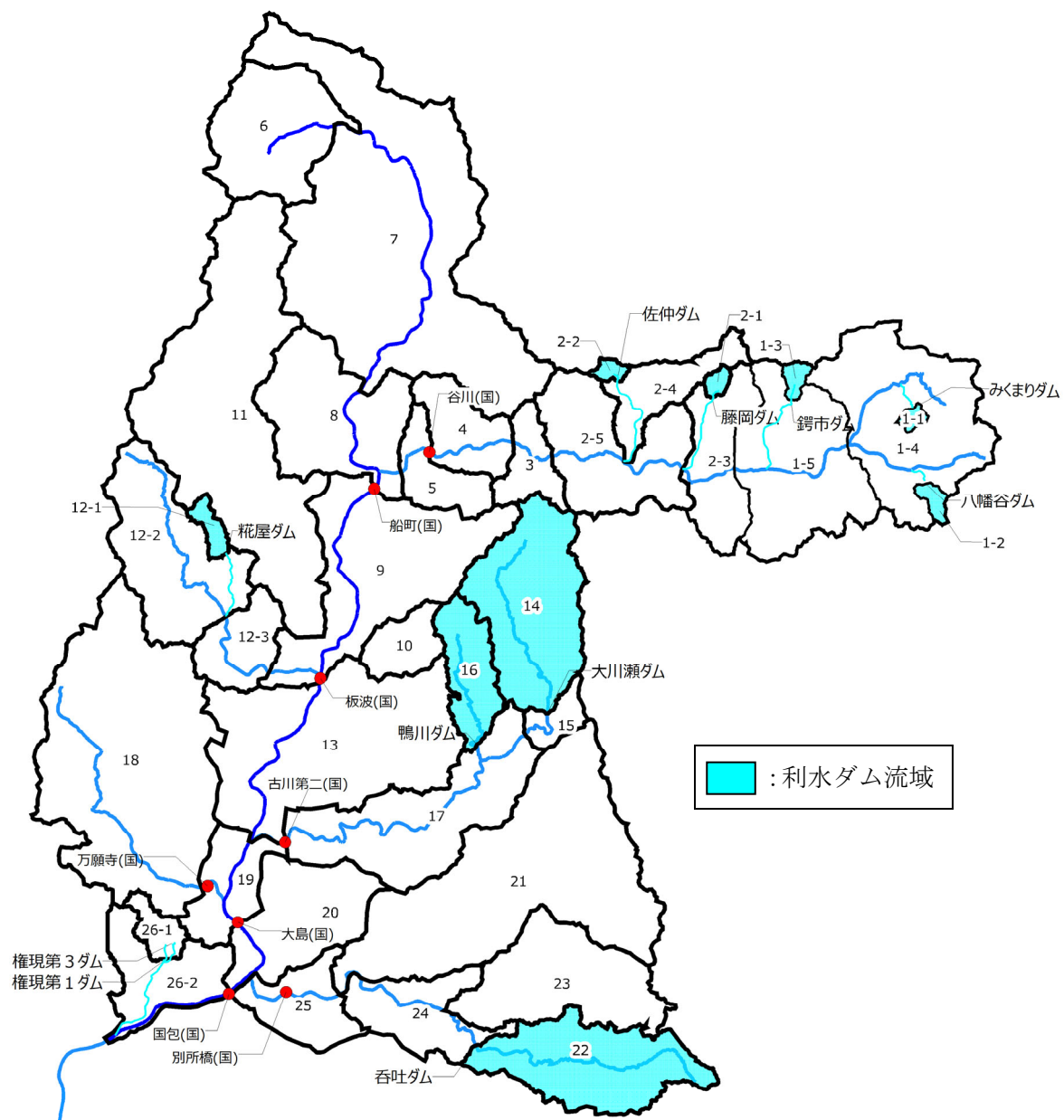
$Q(t)$: 流出量 (m^3/s), $I(t)$: 流入量 (m^3/s), Tl : 遅滞時間 (h),

K : 定数, P : 定数

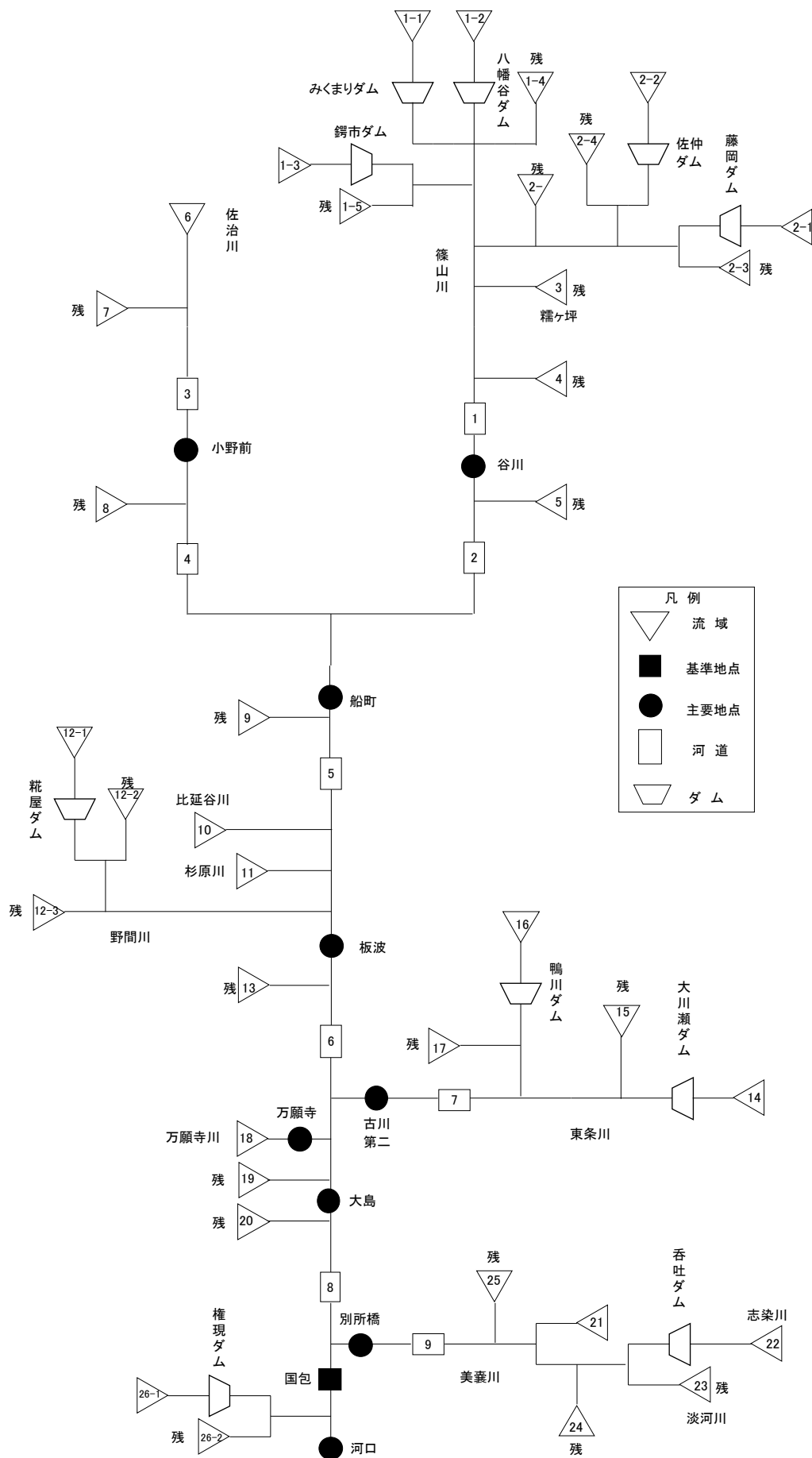
1.4.2 流域分割の細分化

加古川流域には多く利水ダムがあり、現在、洪水調節は実施されていないが、今後利水ダムの事前放流が検討されることを想定し、既存モデルにて流域分割されていた吞吐ダム、大川瀬ダムに加えて分割するものとした。また、西川（7.2k 右支川）流域は国包地点より下流に流入し、流量配分に影響がないことから既存モデルでモデル化されていない。しかし、西川の流入により国包下流区間の流量配分に実際に影響がないかを確認することは重要であると考え、本検討では流域分割を既存モデルの 24 分割から 37 分割に変更した。

細分化した流域は勾配の急峻な山地であるため、流出の遅れは生じないとして新たに河道モデルは追加せず、河道は既往モデルと同様 9 分割とした。図ー 1.4.2 に流出モデル図を示す。



図－ 1.4.1 流域分割図



図－ 1.4.2 流出モデル図

表ー 1.4.1 モデル分割諸元表

流域番号	流域面積 (km ²)	河川	基準地点・主要地点
1-1	1.7	篠山川	
1-2	2.5		
1-3	2.7		
1-4	72.5		
1-5	62.3		
2-1	1.9		
2-2	2.0		
2-3	29.0		
2-4	20.1		
2-5	47.8		
3	12.0		
4	25.5		谷川
5	18.0		
6	43.5	佐治川	
7	179.9		小野前
8	60.6		
9	74.7	加古川	
10	10.0		
11	142.9		
12-1	3.8		
12-2	58.5		
12-3	21.3		板波
13	91.3		
14	60.0	東条川	
15	8.2		
16	19.2		
17	69.4		
18	149.4	万願寺川	万願寺
19	29.8	加古川	
20	53.5		国包
21	128.0	美囊川	
22	49.8		
23	53.3		
24	28.6		
25	22.3		
26-1	6.5	加古川	
26-2	30.0		

1.4.3 定数の設定

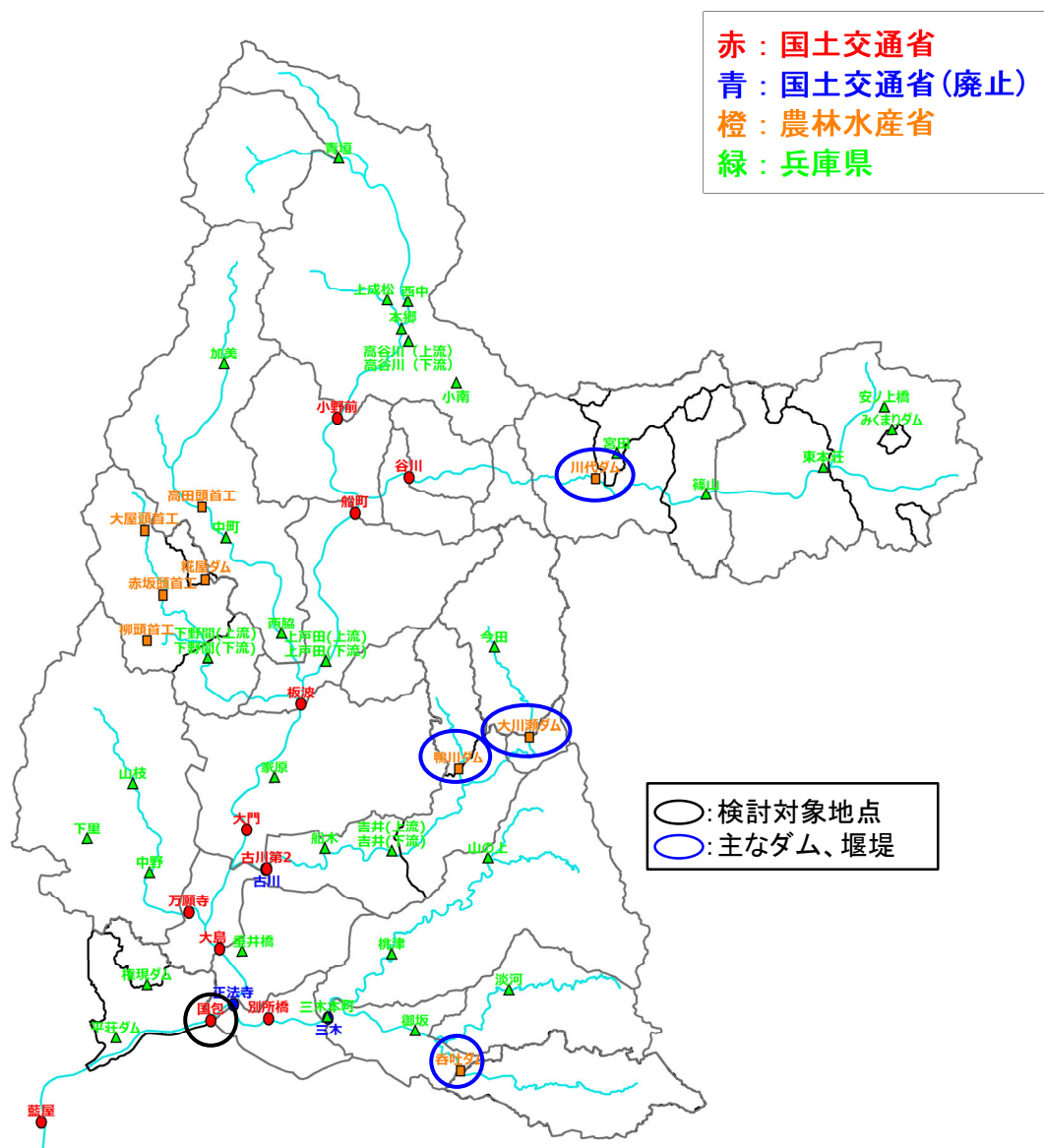
(1) 流域定数の設定

1) $f1$, Rsa の設定

① 定数設定の考え方

加古川流域における $f1$ 、 Rsa の検討は、過去からのデータが豊富に存在する基準点国包で行うこととした。

検討にあたっては、各洪水のハイドログラフから基底流出と表面流出の成分分離を行い、国包地点の総降雨量と総流出高の関係を整理し、 $f1$ 、 Rsa の設定を行った。

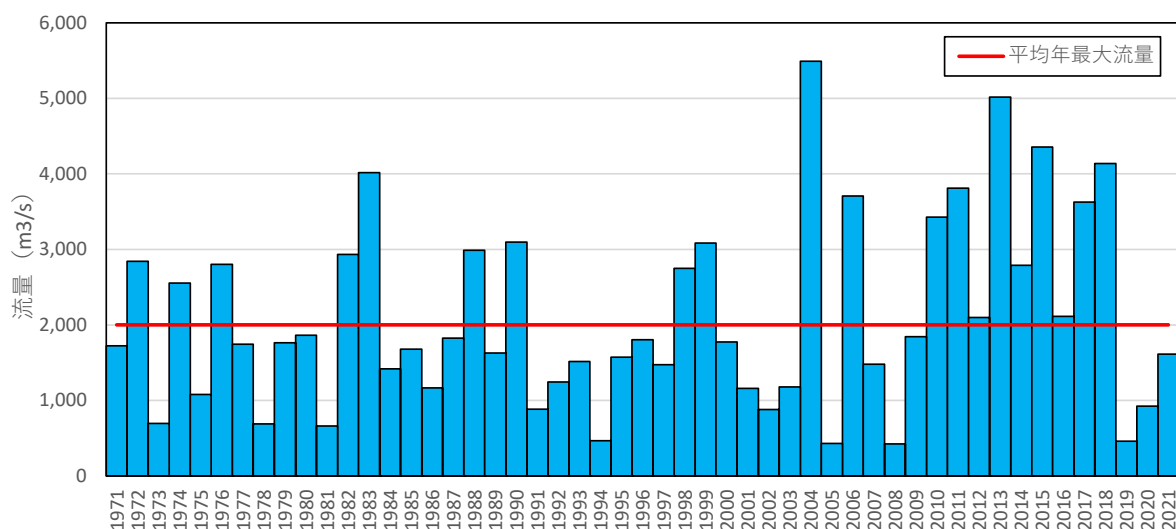


図－ 1.4.3 水位・流量観測所位置図

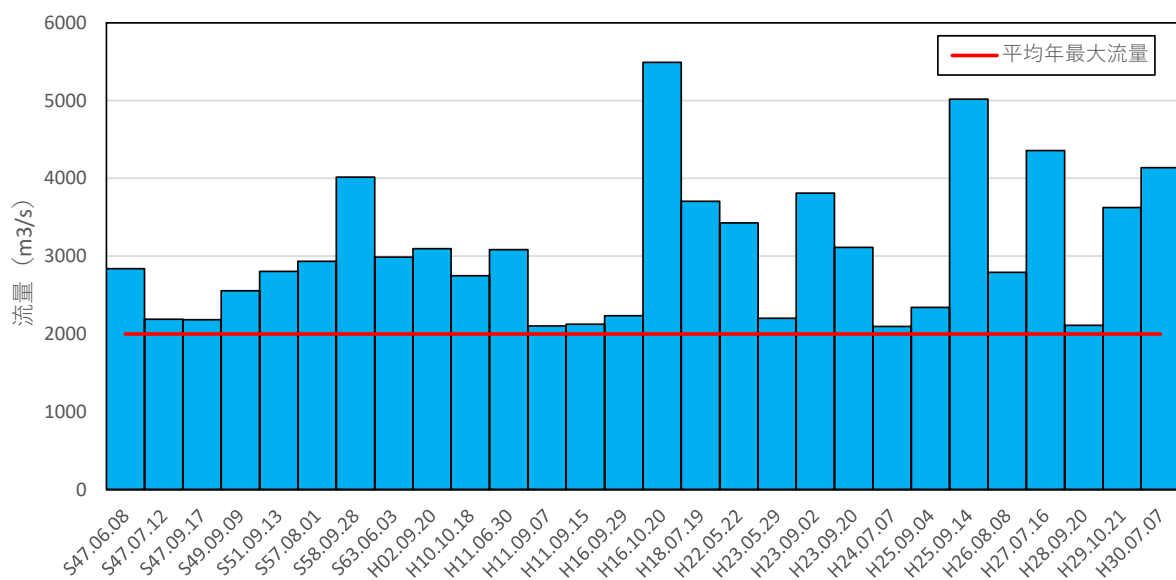
② 検討対象洪水の選定

f1、Rsa の検討では、各洪水の総降雨量－総流出高の関係から、流出率が1となる雨量（飽和雨量）を求める必要がある。そのためには、総降雨量－総流出高の大きな洪水及び比較的小さな洪水を選定する必要があることから、基準地点国包において実績ピーク流量が平均年最大流量（約 2,000m³/s）以上となる洪水を選定した。

検討対象洪水群を表－ 1.4.2 に示す。



図－ 1.4.4 国包地点の年最大流量



図－ 1.4.5 国包地点における平均年最大流量以上となる洪水のピーク流量

表－ 1. 4. 2 定数検証対象洪水

No.	年	洪水名	洪水要因	国包流量 (m3/s)	流量 順位
2	昭和47年	S47.06.08	梅雨前線	2840	15
3	昭和47年	S47.07.12	梅雨前線	2192	23
4	昭和47年	S47.09.17	台風20号	2182	24
5	昭和49年	S49.09.09	台風18号	2554	19
6	昭和51年	S51.09.13	前線、台風17号	2802	16
10	昭和57年	S57.08.01	台風10号	2935	14
11	昭和58年	S58.09.28	秋雨前線	4015	5
16	昭和63年	S63.06.03	寒冷前線	2988	13
18	平成2年	H02.09.20	台風19号	3096	11
23	平成10年	H10.10.18	台風10号	2749	18
24	平成11年	H11.06.30	梅雨前線	3084	12
25	平成11年	H11.09.07	集中豪雨	2103	27
26	平成11年	H11.09.15	台風16号	2126	25
29	平成16年	H16.09.29	台風21号	2233	21
30	平成16年	H16.10.20	台風23号	5492	1
31	平成18年	H18.07.19	不明	3705	7
34	平成22年	H22.05.22	低気圧	3427	9
37	平成23年	H23.05.29	不明	2199	22
38	平成23年	H23.09.02	台風12号	3810	6
39	平成23年	H23.09.20	不明	3113	10
40	平成24年	H24.07.07	不明	2098	28
42	平成25年	H25.09.04	不明	2341	20
43	平成25年	H25.09.14	台風18号	5019	2
44	平成26年	H26.08.08	台風11号	2791	17
45	平成27年	H27.07.16	台風11号	4357	3
46	平成28年	H28.09.20	不明	2111	26
48	平成29年	H29.10.21	台風21号	3627	8
49	平成30年	H30.07.07	梅雨前線	4137	4

③ 流出成分の分離

流域定数の設定を行う上で、実績流量のハイドログラフをもとに流出成分を分離し、流域定数解析等の洪水ごとに $f1$ 、 Rsa 検討地点のハイドログラフについて、ハイドログラフの低減部の指数低減性を利用する方法によって、直接流出成分と間接流出成分の分離を行い、各時刻の直接流出と基底流量を求めた（図－ 1.4.6 参照）。

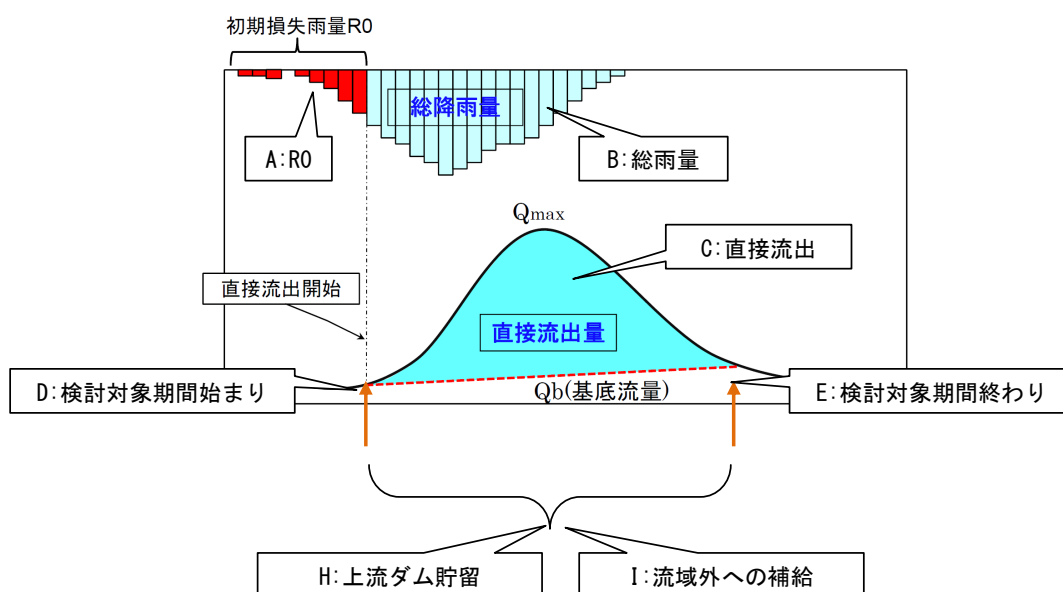
なお、雨量の精度により Rsa がマイナスになるケース、検討対象洪水の流出成分の分離が困難である場合は、対象流域の算定結果を集計から外すこととした。

加古川は、流域の 80%以上を山地が占めており（図－ 1.4.7 参照）、流出過程はおおよそ山地斜面における流出メカニズムに従うと想定される。山地斜面における流出過程は、それが生起する場の違いにより表面流出、中間流出、地下水流出に大別される。一般的に、ハイドログラフの低減部を片対数紙に描き、2 本又は 3 本の直線で近似すると、2 本の場合はその折れ点、3 本の場合には洪水の終わりから 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。今回は、ピーク以降の流量を 3 本の直線で分離した洪水の終わりから 1 つ目の折れ点を直接流出の終了点とした。流量上位 3 洪水の成分分離の事例を図－ 1.4.8(1)～(4)に示す。

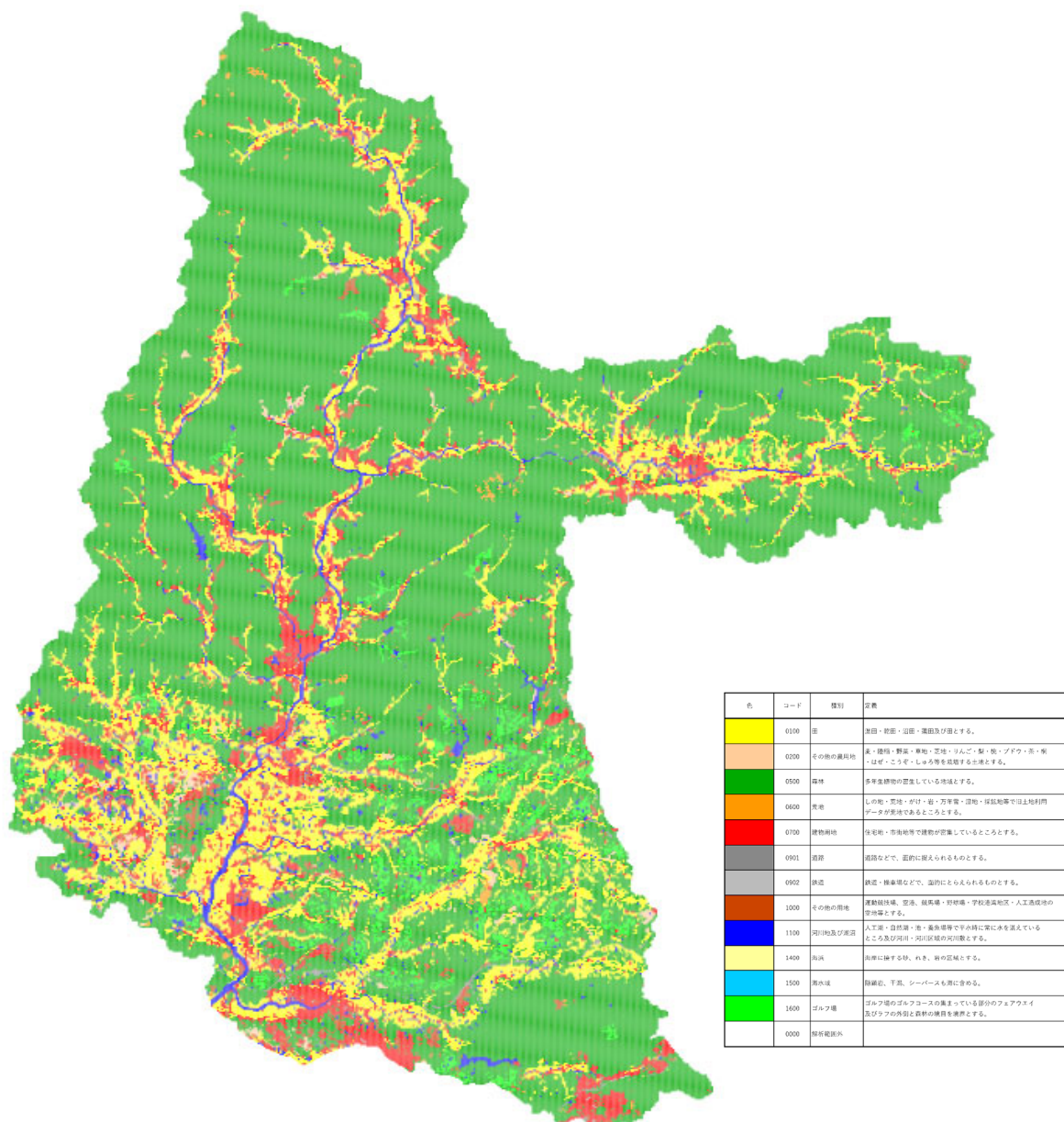
初期損失雨量の設定については洪水の立ち上がりを定め、それ以前の洪水は初期損失雨量として取り扱い、総降雨量に含めないものとして整理した。

なお、加古川流域には治水ダムは存在しないが、洪水によっては利水ダムで貯留されている場合があるため、ダム下流における $f1$ 、 Rsa の検討では、検討期間の上流ダムの貯留量を流域面積で除してダム貯留高として整理し、下流の流出高に加えて、ダムの影響を考慮した（図－ 1.4.9 参照）。

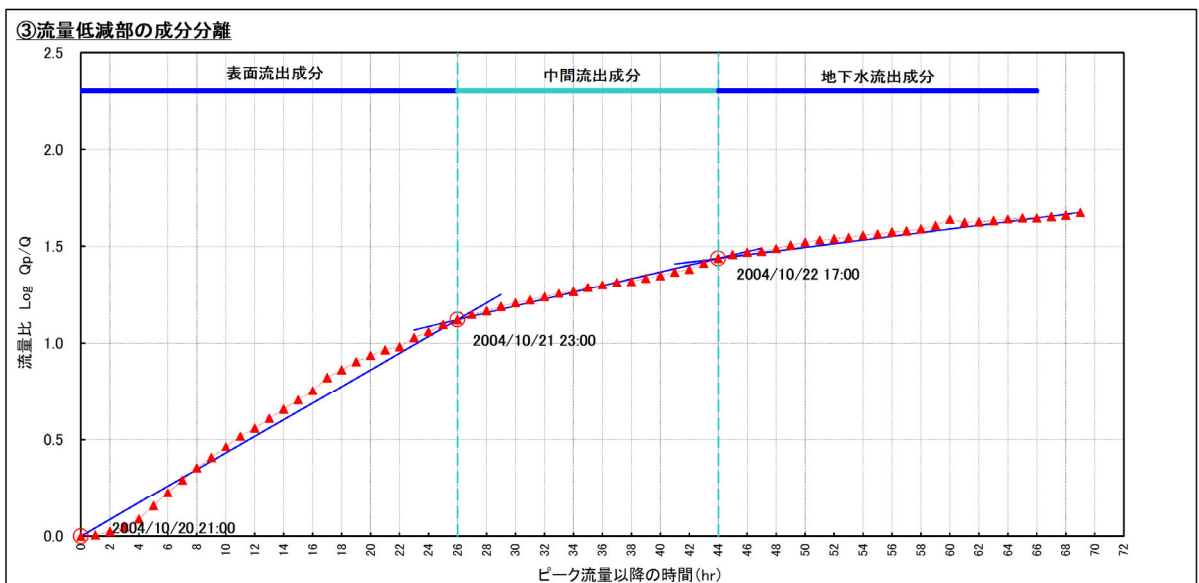
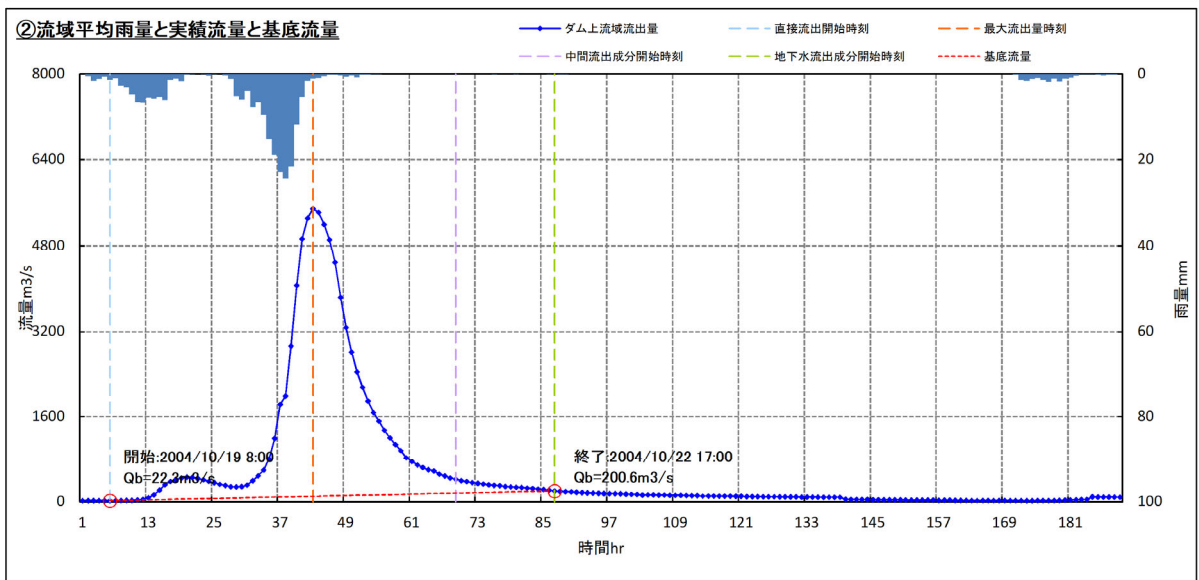
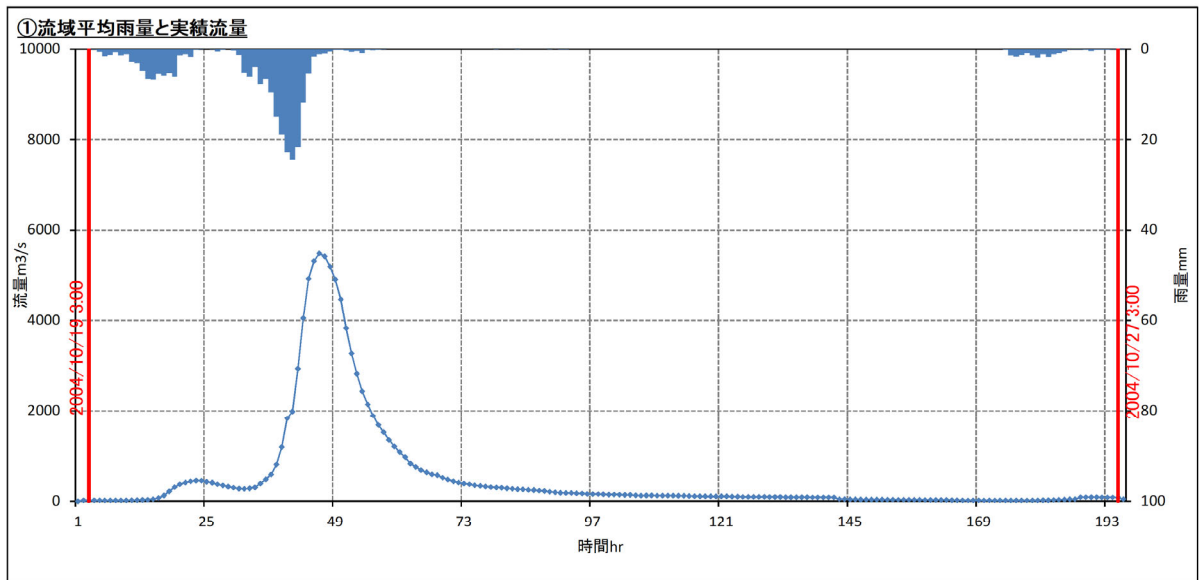
$f1$ 等解析地点ごとに、流域定数解析洪水ごとに、直接流出開始以前の降雨を初期損失雨量($R0$)と設定。各 $f1$ 等解析地点における各流域定数解析洪水において、降り始めから $R0$ 分の雨量を控除して総降雨量を求める。



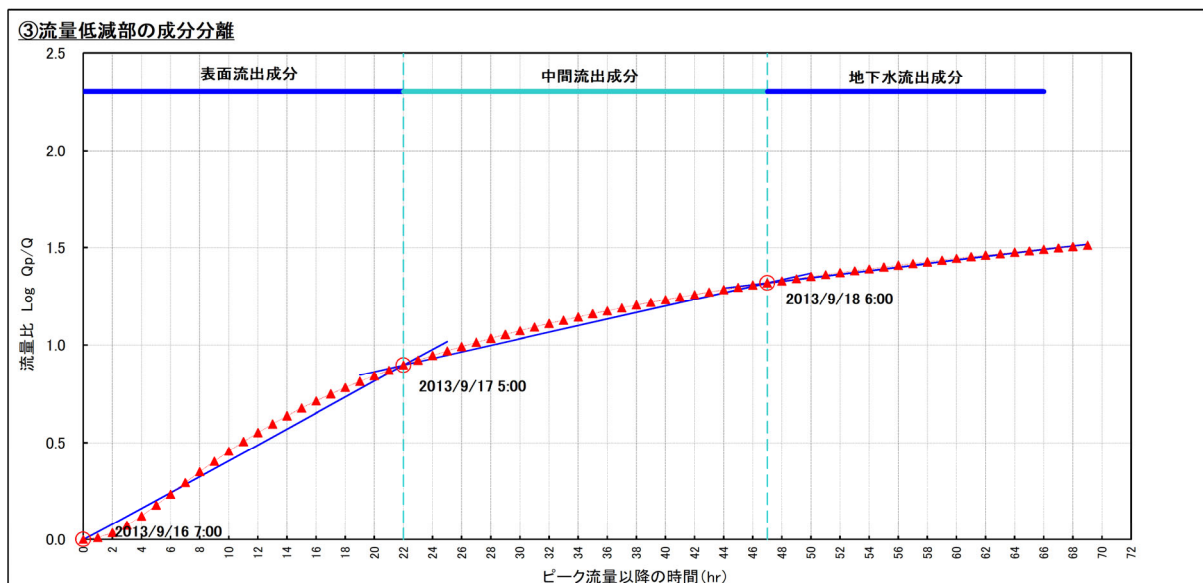
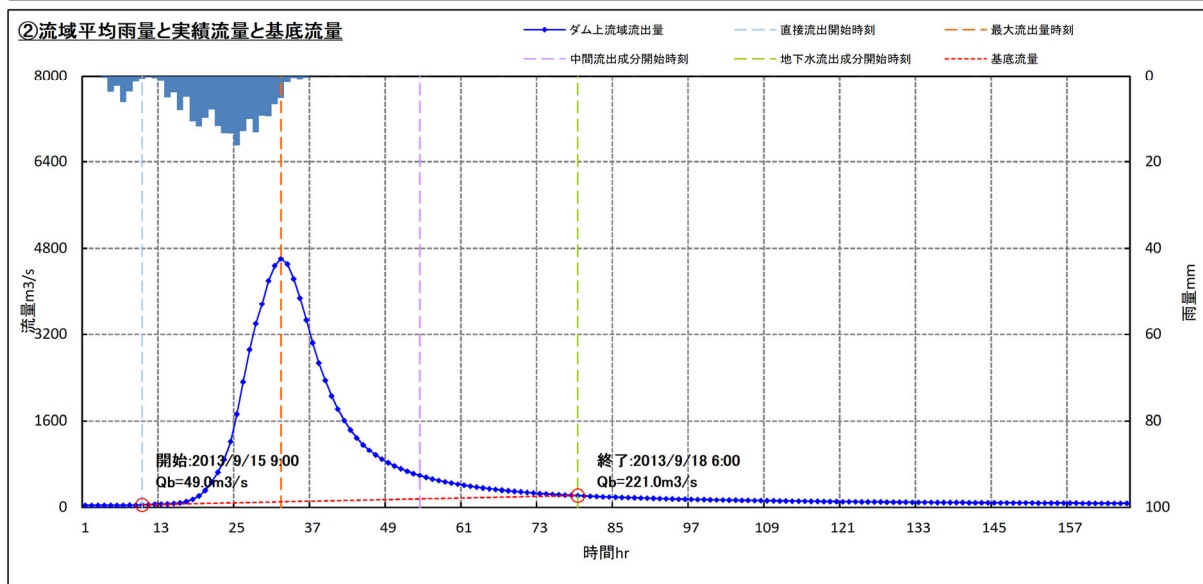
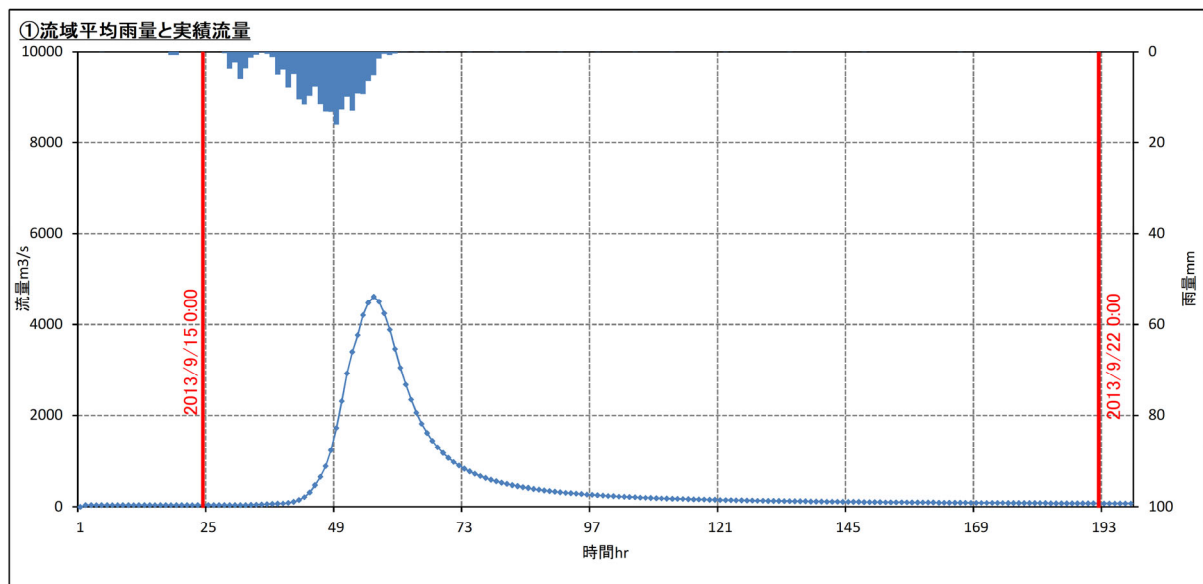
図－ 1.4.6 成分分離の概念図



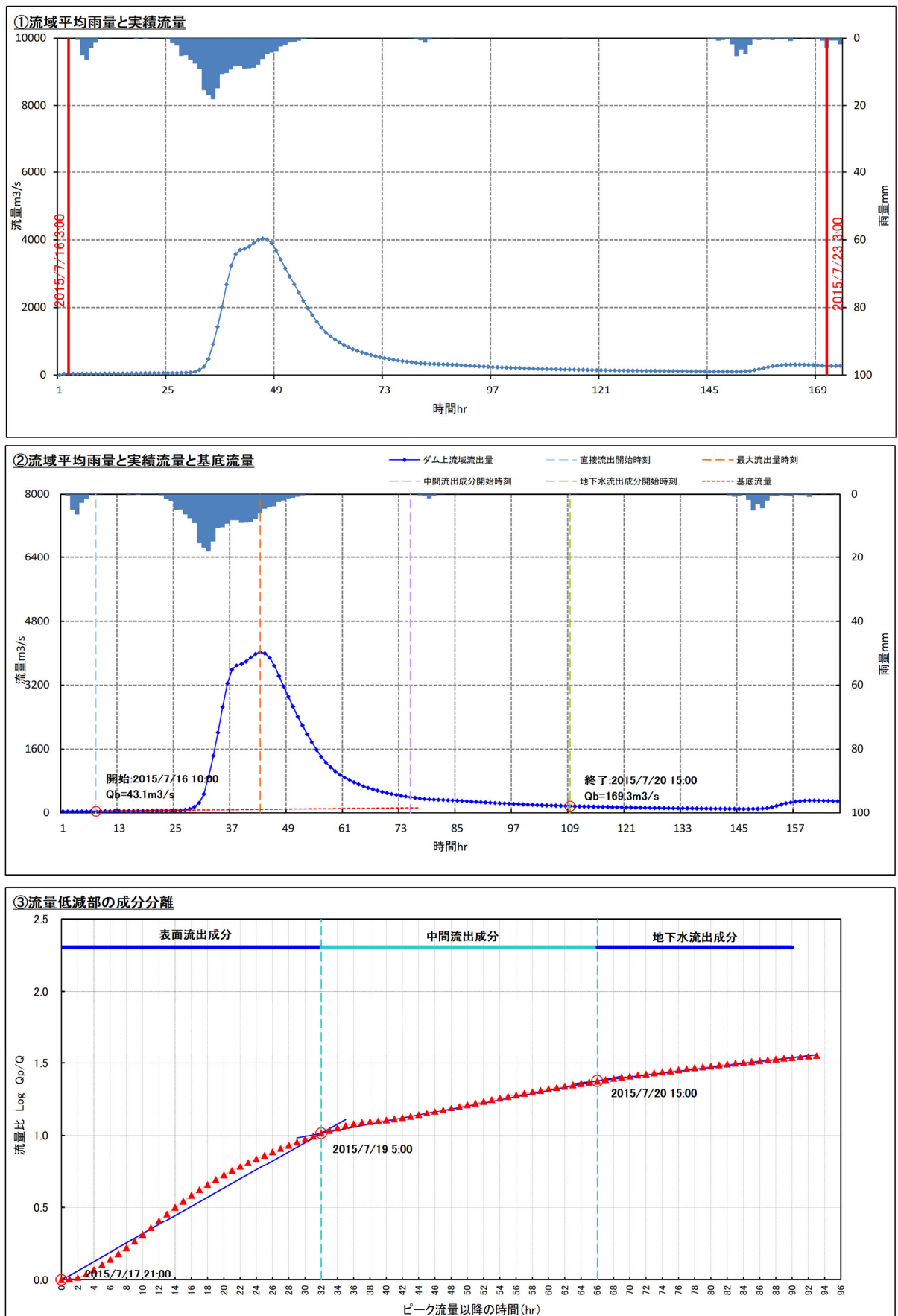
図一 1.4.7 土地利用図（※国土数値情報 R3 より整理）



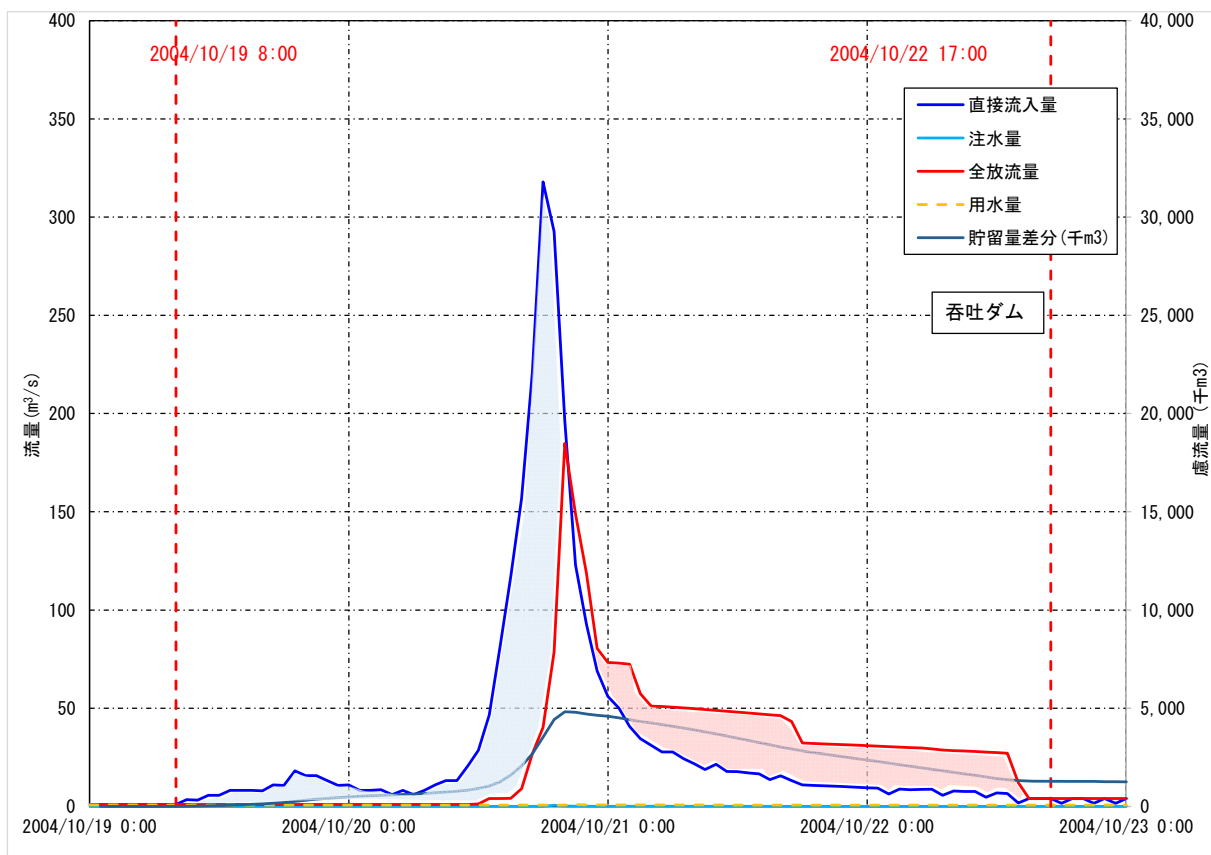
図－ 1.4.8(1) 成分分離の事例（国包地点：H16.10.20 洪水）



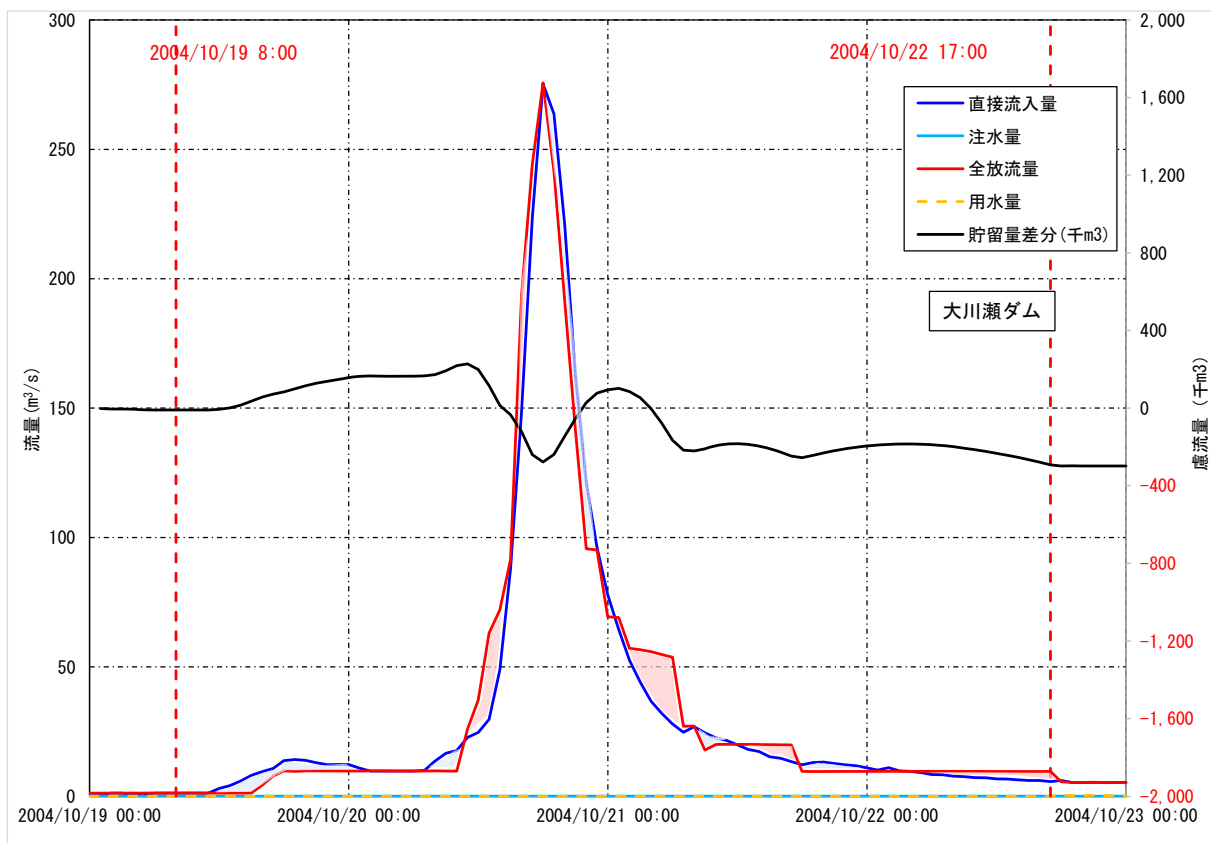
図－ 1.4.10(2) 成分分離の事例（国包地点：H25.9.14洪水）



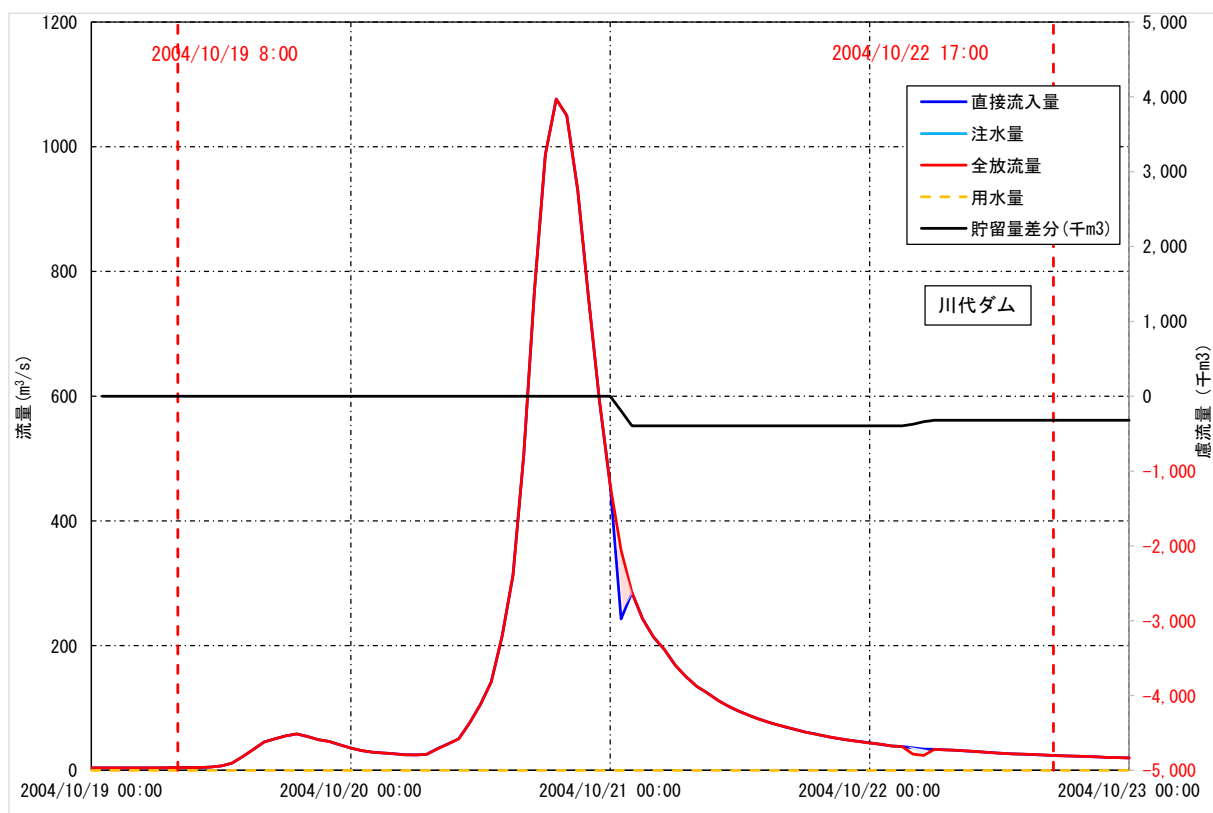
図一 1.4.10(3) 成分分離の事例（国包地点：H27.7.16 洪水）



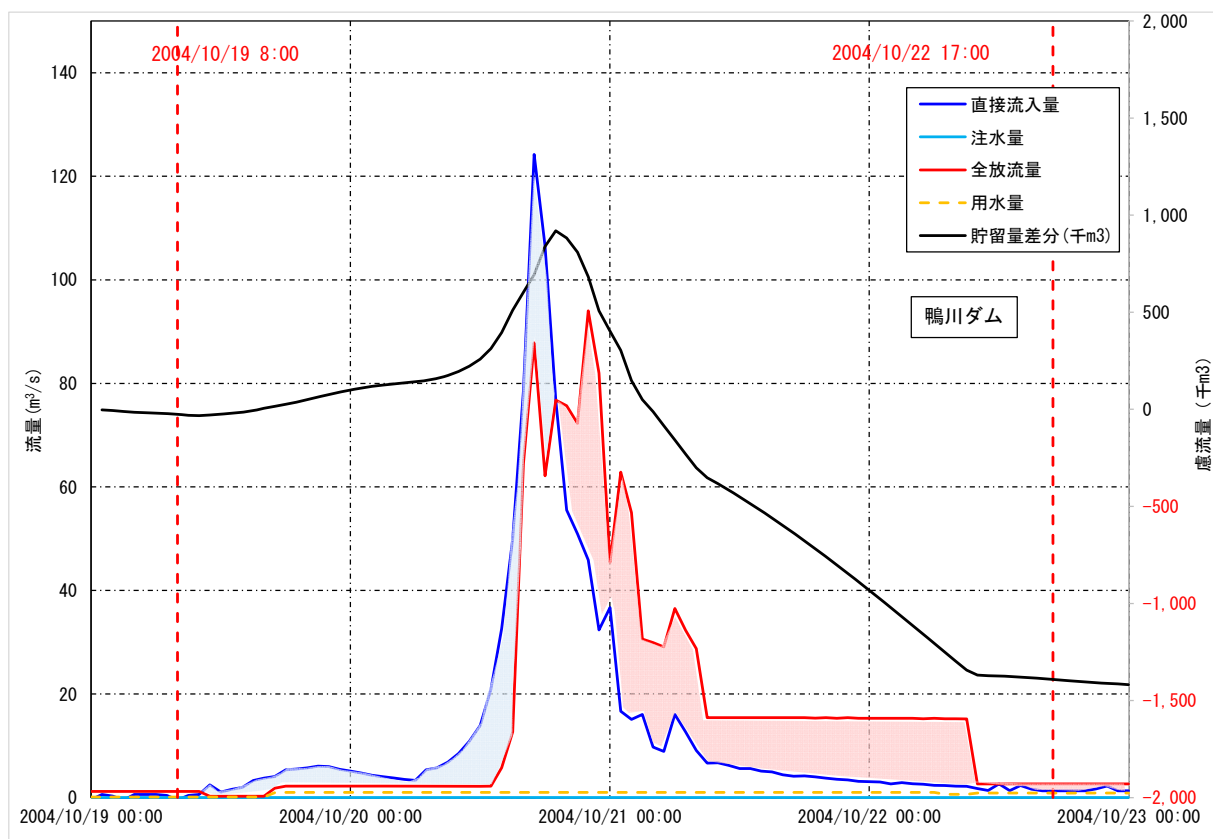
図一 1.4.9(1) ダム貯留高算定事例 (吞吐ダム地点 : H16.10.20 洪水)



図一 1.4.11(2) ダム貯留高算定事例 (大川瀬ダム地点 : H16.10.20 洪水)



図一 1.4.11 (3) ダム貯留高算定事例 (川代ダム地点 : H16.10.20 洪水)

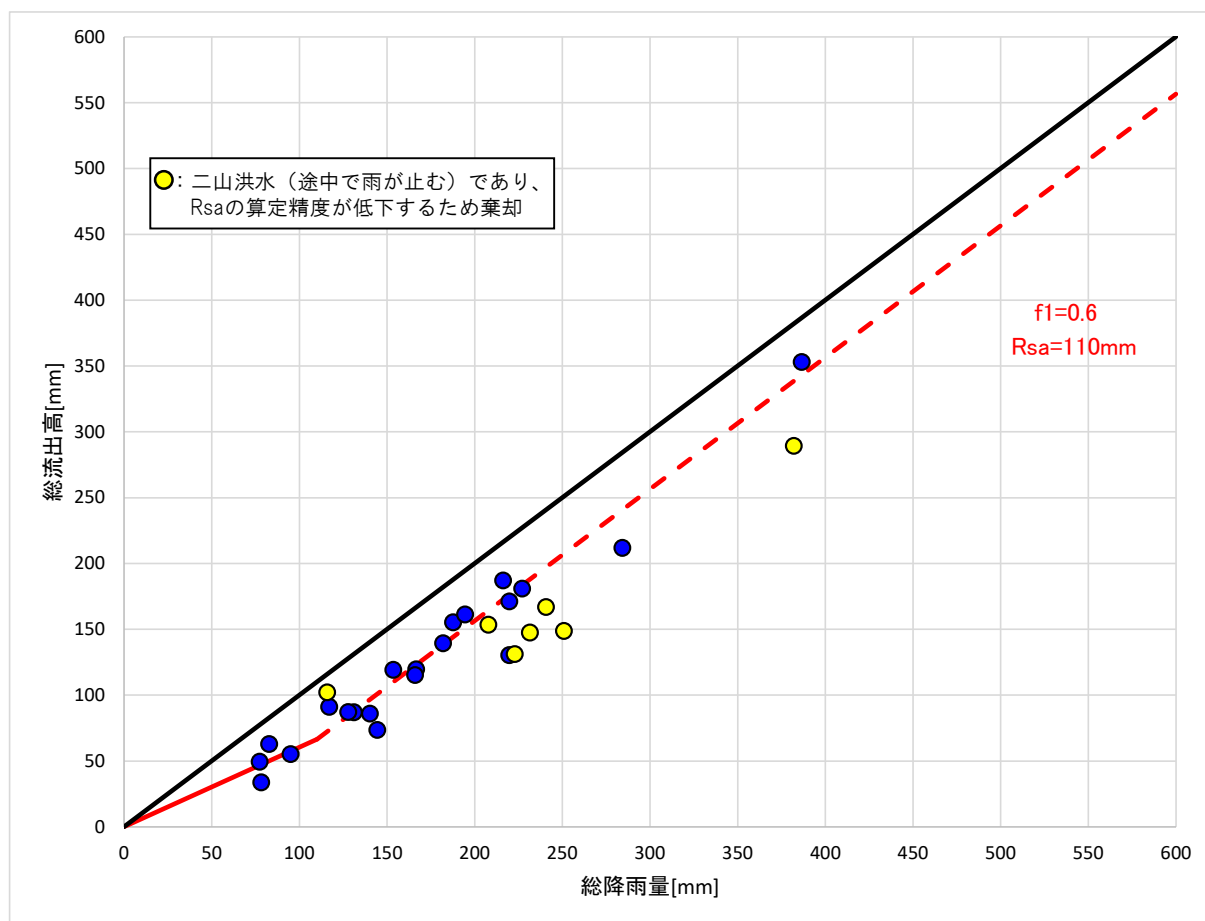


図一 1.4.11 (4) ダム貯留高算定事例 (鴨川ダム地点 : H16.10.20 洪水)

④ 計画 $f1$ 、 Rsa の検討

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

$f1$ 、 Rsa 検討地点は国包地点とし、その上流域の総降雨量 R (mm) と総流出高 q (mm) から $f1$ 、 Rsa を算出した。各洪水の再現にあたっては、 $f1$ は本検討により得られた計画 $f1$ を使用し、 Rsa は各洪水で検討した数値を採用した。



表－ 1. 4. 3 総降雨量 R と総流出高 q の集計表（国包地点）

NO.	洪水名	総降雨量 R (mm)	総流出高 q (mm)	飽和雨量 Rsa (mm)	基底流量 開始時Qb1 ($\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$)	基底流量 終了時Qb2 ($\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$)	基底流量 平均Qbave ($\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$)
1	S47.06.08	82.7	63.0	49.8	0.02	0.08	0.05
2	S47.09.17	132.1	75.1	143.8	0.03	0.14	0.08
3	S49.09.09	131.1	87.1	111.1	0.02	0.12	0.07
4	S57.08.01	116.3	91.2	63.5	0.03	0.14	0.08
5	S58.09.28	219.8	130.2	226.2	0.05	0.19	0.12
6	S63.06.03	153.5	119.2	86.7	0.02	0.12	0.07
7	H10.10.18	166.5	119.8	118.0	0.02	0.13	0.08
8	H11.09.07	77.2	49.5	70.1	0.01	0.11	0.06
9	H11.09.15	95.0	55.2	100.4	0.02	0.10	0.06
10	H16.09.29	127.8	87.2	102.4	0.02	0.10	0.06
11	H16.10.20	219.8	179.4	101.9	0.01	0.12	0.07
12	H22.05.22	166.0	115.3	127.8	0.02	0.15	0.09
13	H23.05.29	140.2	86.1	136.6	0.02	0.16	0.09
14	H23.09.02	207.8	153.6	136.9	0.03	0.07	0.05
15	H24.07.07	78.2	33.8	112.2	0.02	0.13	0.08
16	H25.09.14	187.6	156.0	79.9	0.03	0.13	0.08
17	H27.07.16	216.2	187.2	73.2	0.03	0.10	0.06
18	H29.10.21	181.9	139.6	106.8	0.02	0.14	0.08
19	H30.07.07	386.6	353.2	84.2	0.05	0.14	0.10
						平均	0.08

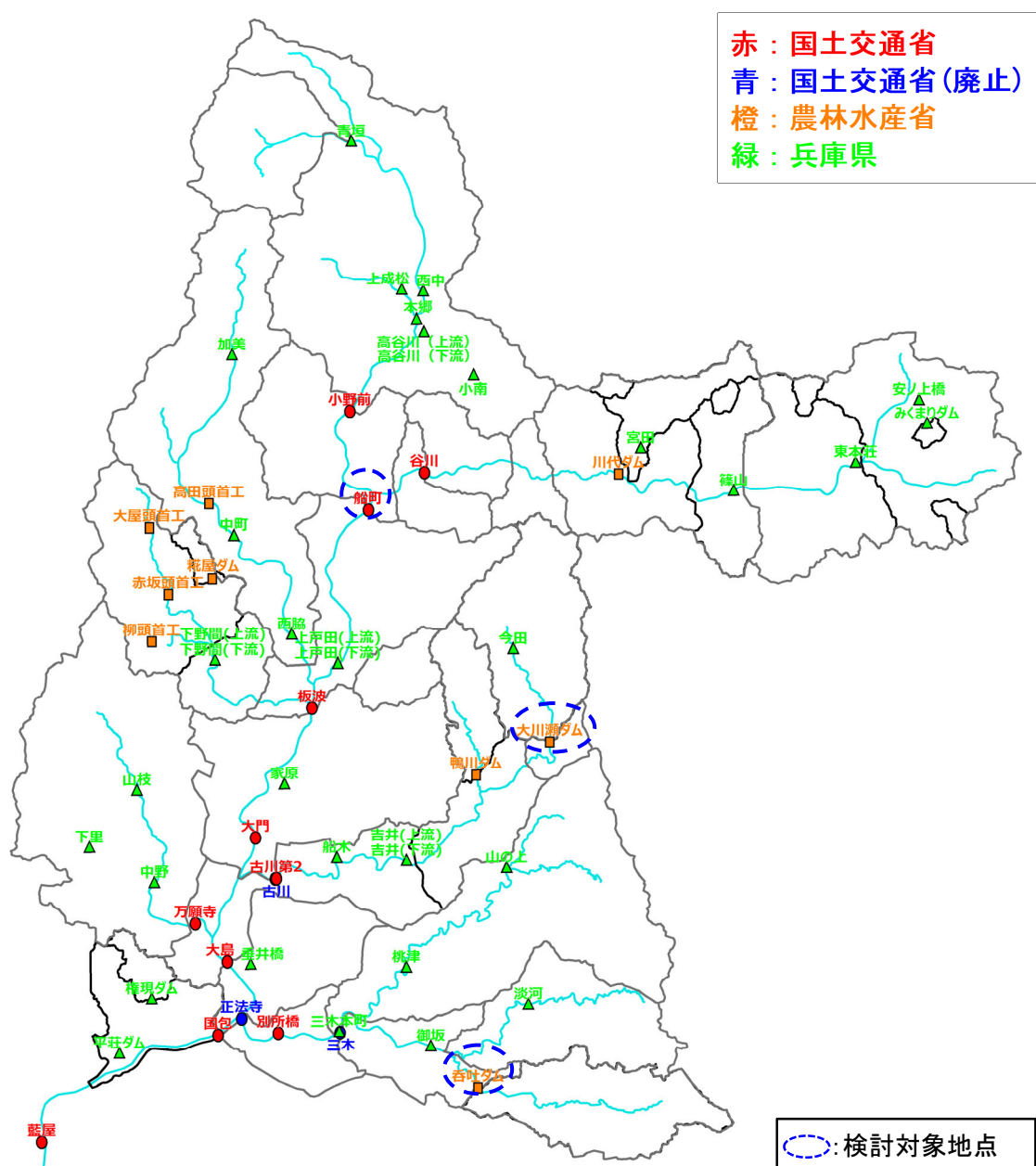
2) K、P、TL の設定

① K、P、T1 の検討地点

流出計算に用いる K、P、T1 の設定は、上流域の降雨量と当該地点での流出量の関係が把握可能な地点で行う必要がある。加古川流域では図－ 1.4.13 に示した地点において流量観測が行われている。加古川において、自然流況が把握可能な地点である大川瀬ダム、吞吐ダム地点で K、P、T1 を算定した。

なお、佐治川の小野前地点は観測期間が平成 3 年（1991 年）～平成 15 年（2003 年）と短いため、算定地点から棄却し、代わりに船町地点を検討地点とした。

その他の小流域においては、3 地点で算定した定数を用いて、流路延長や勾配などの地形特性を考慮した関係式から定数設定を行った。



図－ 1.4.13 K、P、T1 検討地点

② 代表地点における K、P、Tl 検討対象洪水

高水検討の定数設定においては計画規模相当のピーク流量を対象とすることから、K、P、Tl は過去洪水の中で流量規模が大きい降雨量と流出量との関係から得ることが望ましい。このため、各対象地点における実績ピーク流入量の上位 5 洪水程度のデータを用いて、K、P、Tl を算定した。

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

Tl については、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 の組合わせ）によって定まることから、対象洪水の平均値を用いることとした。

各地点における対象洪水を整理した結果は表－ 1.4.4 に示すとおりである。

表－ 1.4.4(1) K、P、TL の検討対象洪水一覧（大川瀬ダム地点）

洪水名	実績ピーク 流入量(m ³ /s)	順位	K	P	Tl(hr)	備考
H080828	395.5	1	58.302	0.195	1.4	既往最大流入量
H161020	275.4	2	28.647	0.136	3.2	
H300707	203.4	3	—	—	—	ループを描けないため検討不能
H260810	187.1	4	52.223	0.158	1.4	
H220524	183.6	5	38.135	0.114	2.2	
実績ピーク流入量最大洪水			58.302	0.195		H080828洪水
対象洪水の平均値					2.05	

表－ 1.4.4(2) K、P、TL の検討対象洪水一覧（吞吐ダム地点）

洪水名	実績ピーク 流入量(m ³ /s)	順位	K	P	Tl(hr)	備考
H260810	373.4	1	30.235	0.250	1.2	既往最大流入量
H161020	318.0	2	23.973	0.108	1.4	
H300824	302.3	3	—	—	—	ループを描けないため検討不能
H250916	293.9	4	—	—	—	ループを描けないため検討不能
H270717	280.4	5	—	—	—	ループを描けないため検討不能
実績ピーク流入量最大洪水			30.235	0.250		H260808洪水
対象洪水の平均値					1.30	

表－ 1.4.4(3) K、P、TL の検討対象洪水一覧（船町地点）

洪水名	実績ピーク 流入量(m ³ /s)	順位	K	P	Tl(hr)	備考
H161020	2721.5	1	30.304	0.331	3.0	上流域で越水していたため棄却
H020920	2415.7	2	6.726	0.978	2.2	上流域で越水していたため棄却
H300707	2241.0	3	—	—	—	ループを描けないため検討不能
H291022	2091.3	4	12.272	0.631	3.8	
H250916	2022.8	5	40.061	0.163	3.4	
実績ピーク流入量最大洪水			12.272	0.631		H291022洪水
対象洪水の平均値					3.60	

③ 代表地点における K、P、Tl の算出

K、P、Tl はダム地点の流量と流域平均雨量を用いて、貯留高－流出高関係図から解析を行うことで算出した。具体的には貯留高と流出高を両対数でプロットして貯留高－流出高関係図を作成し、Tl を少しずつ変化させ、最もループが小さくなる Tl を求めた。求めた Tl によって両対数でプロットした貯留高－流出高関係図を直線近似し、切片を K、傾きを P とした。貯留高 s 及び流出高 q は、以下の式にて算出した。

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

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

s : 貯留高 (mm)

r_{ave} : 流域平均時間雨量 (mm/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 $f1$ 、達した後は 1.0

Q : 実績流量 (m^3/s)

Q_b : 基底流量 (m^3/s)

A : 流域面積 (km^2)

代表地点において、K、P、Tl を算出した結果を表－ 1.4.5 に示す。

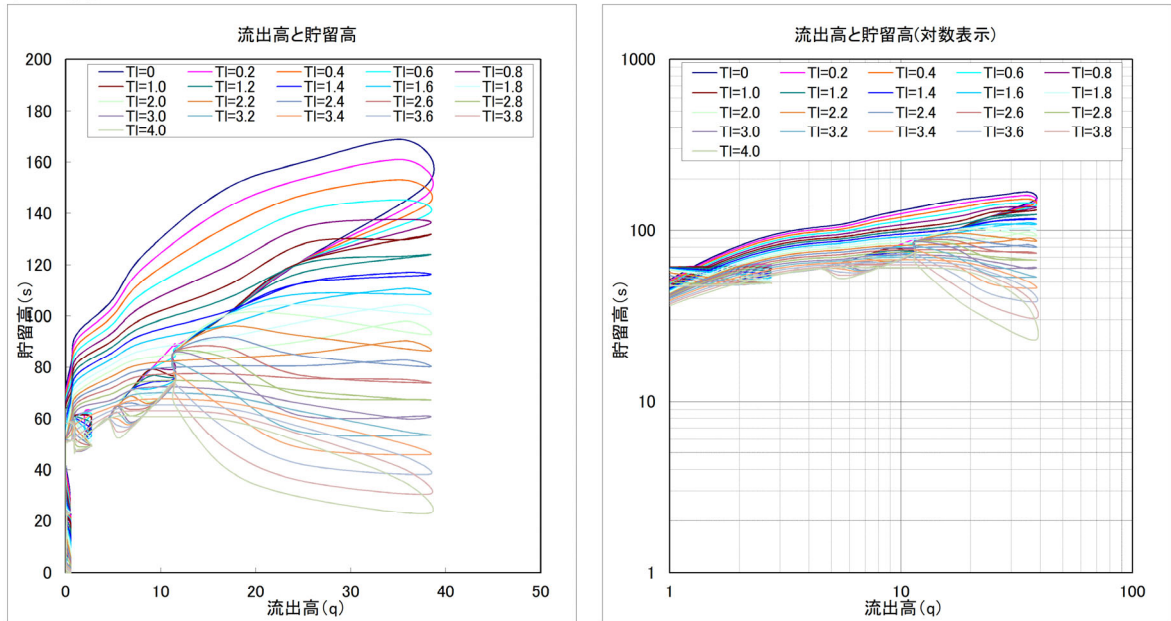
大川瀬ダム・吞吐ダム地点の流域定数 K、P については、できるだけ規模の大きな洪水の値を用いることが望ましいことから、既往最大の流入量であった平成 8 年 (1996 年) 洪水・平成 26 年 (2014 年) 7 月 10 日洪水で定まる定数を採用した。船町地点は、平成 16 年 (2004 年) 10 月 20 日洪水及び平成 2 年 (1990 年) 9 月 20 日洪水は地点上流で越水しており、平成 30 年 (2018 年) 7 月 7 日洪水はループが描けないため、平成 29 年 (2017 年) 10 月 22 日洪水で定まる定数を採用した。

また、流域の遅れ時間 Tl は、定数検討が可能であった洪水の平均値を用いるものとする。

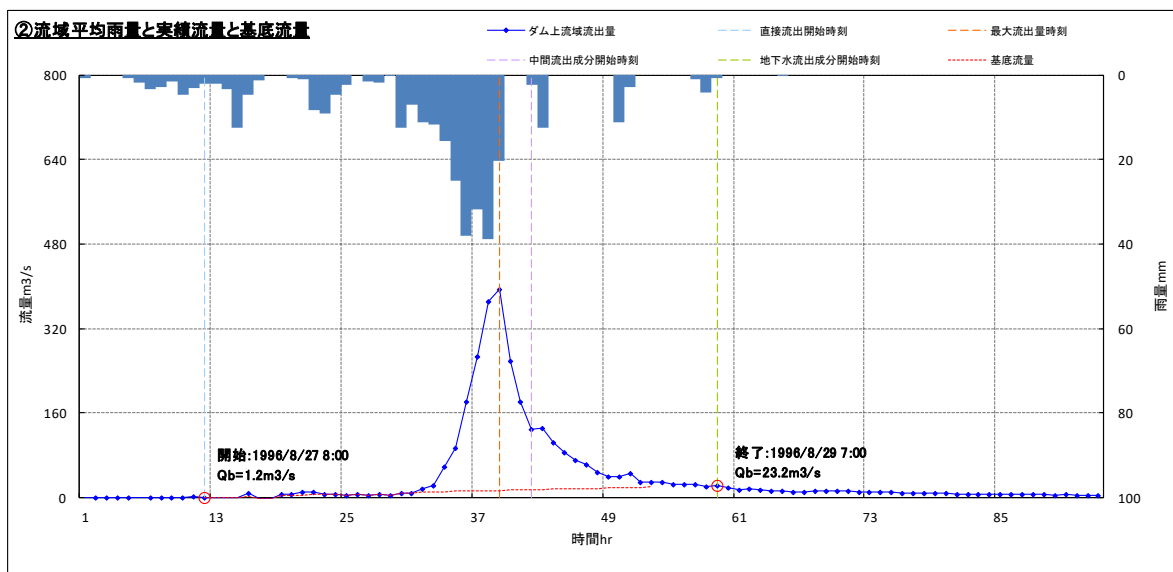
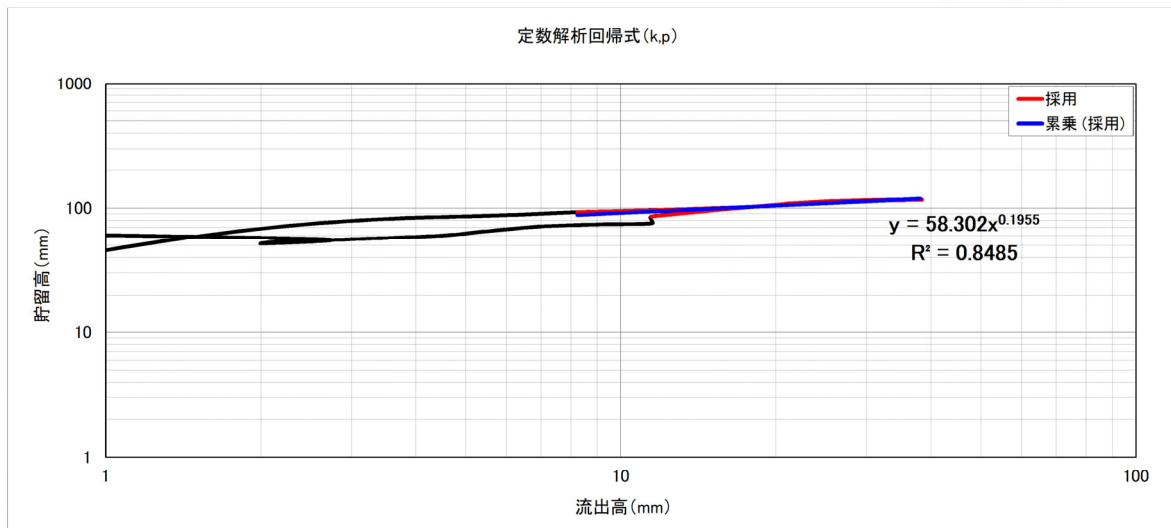
表－ 1.4.5 K、P、Tl の設定結果

地点	K	P	Tl
大川瀬ダム	58.30	0.20	2.05
吞吐ダム	30.23	0.25	1.30
船町	12.27	0.63	3.80

大川瀬ダム H8.8.28

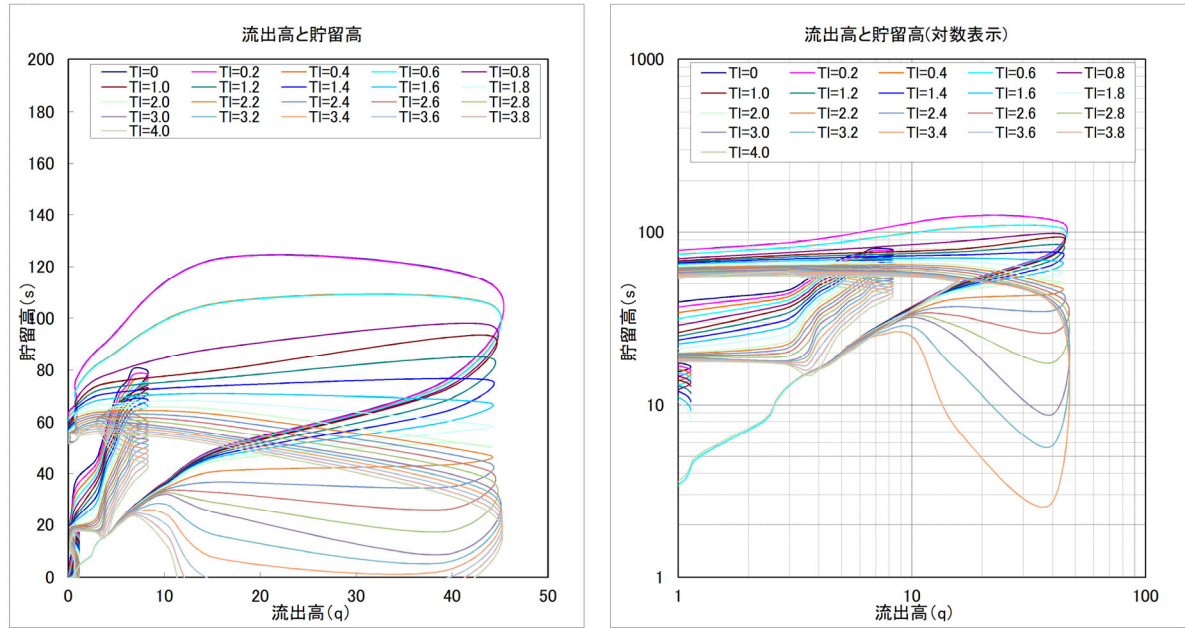


TI= 1.4 hr

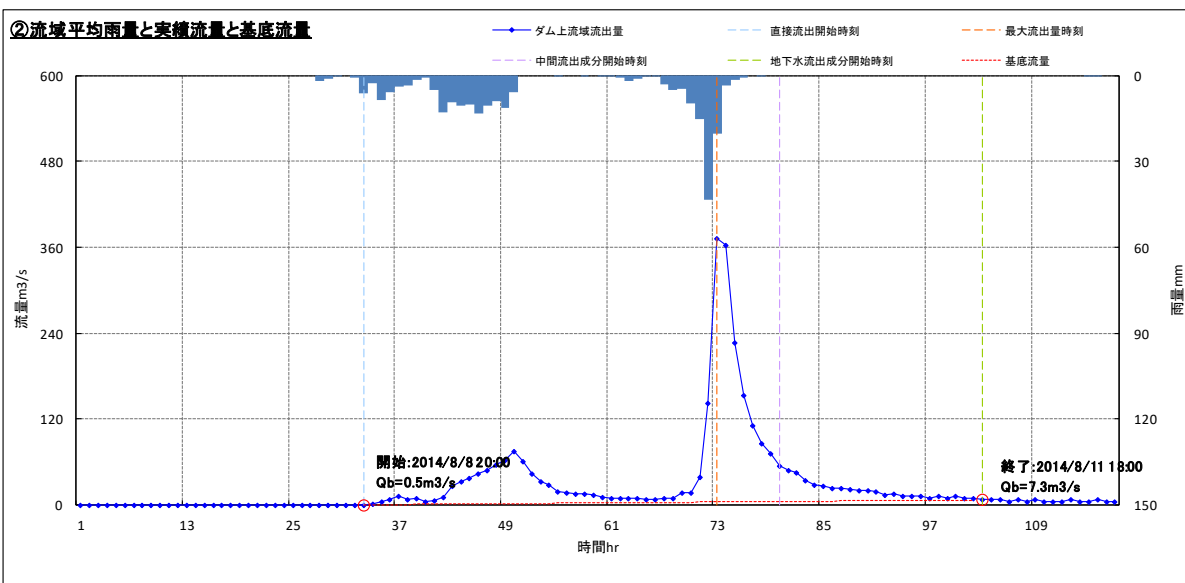
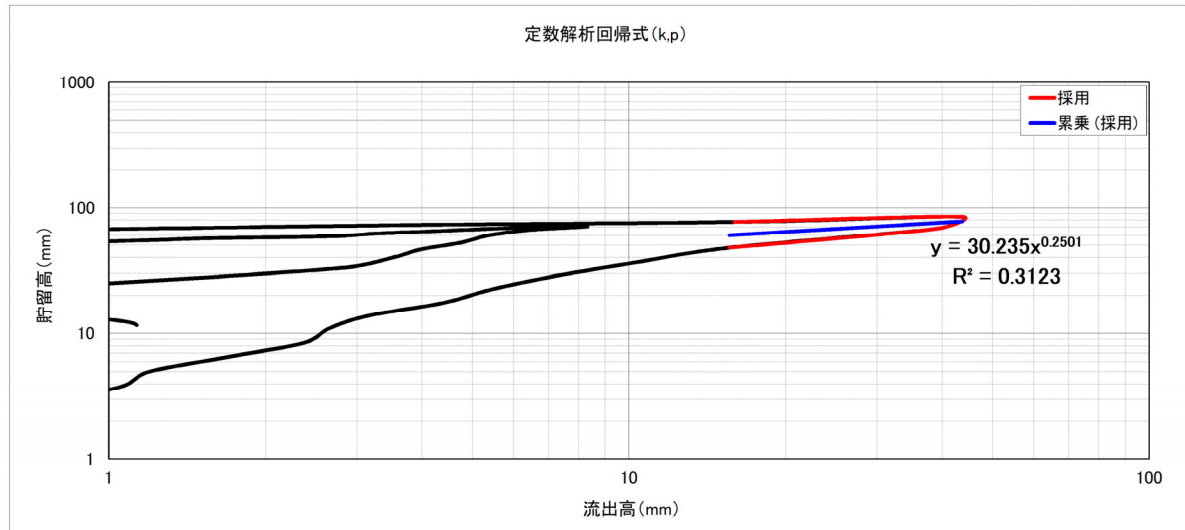


図－ 1.4.14 貯留高－流出高関係図（大川瀬ダム地点：H08.08.28洪水）

吞吐ダム H26.8.10



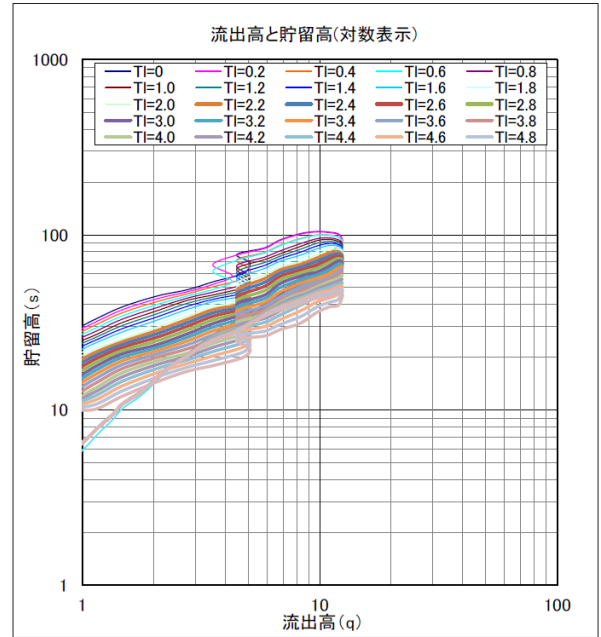
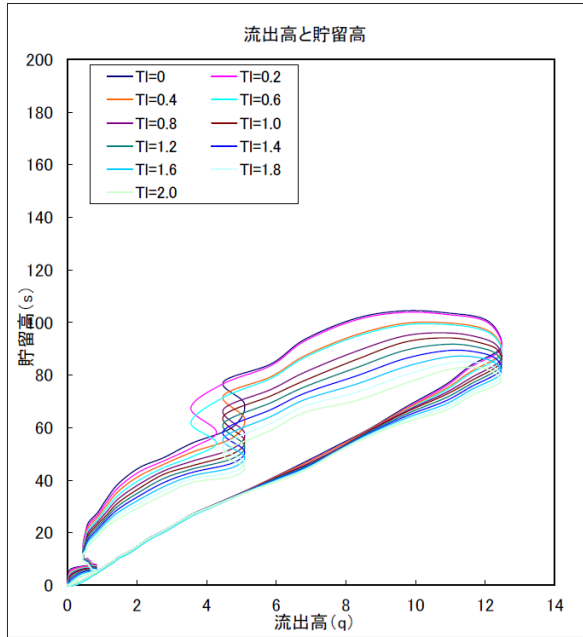
TI= 1.2 hr



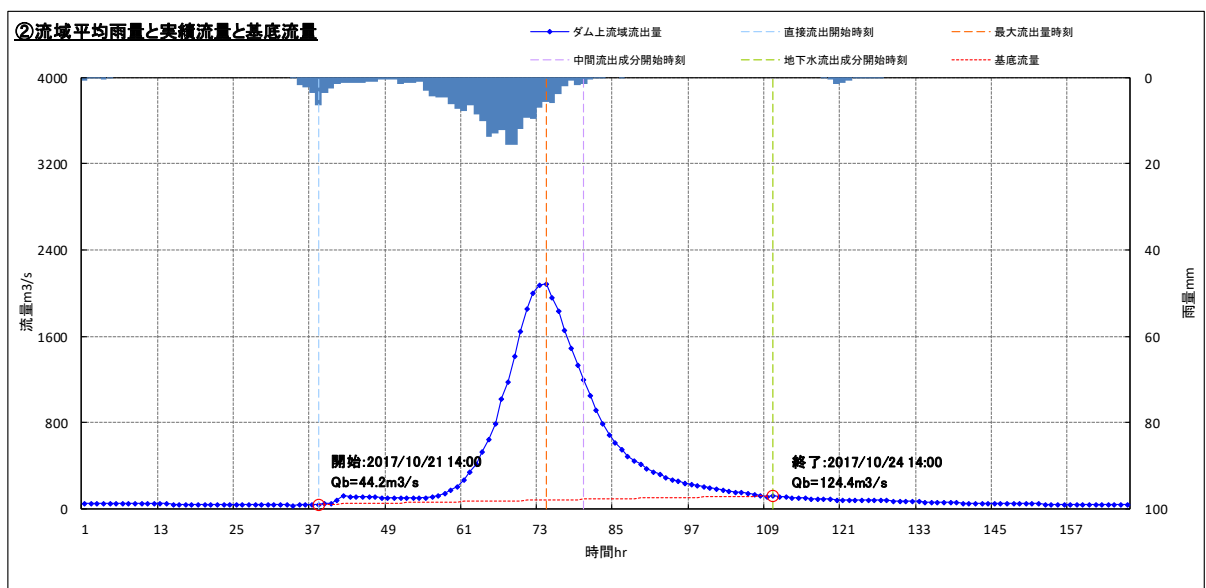
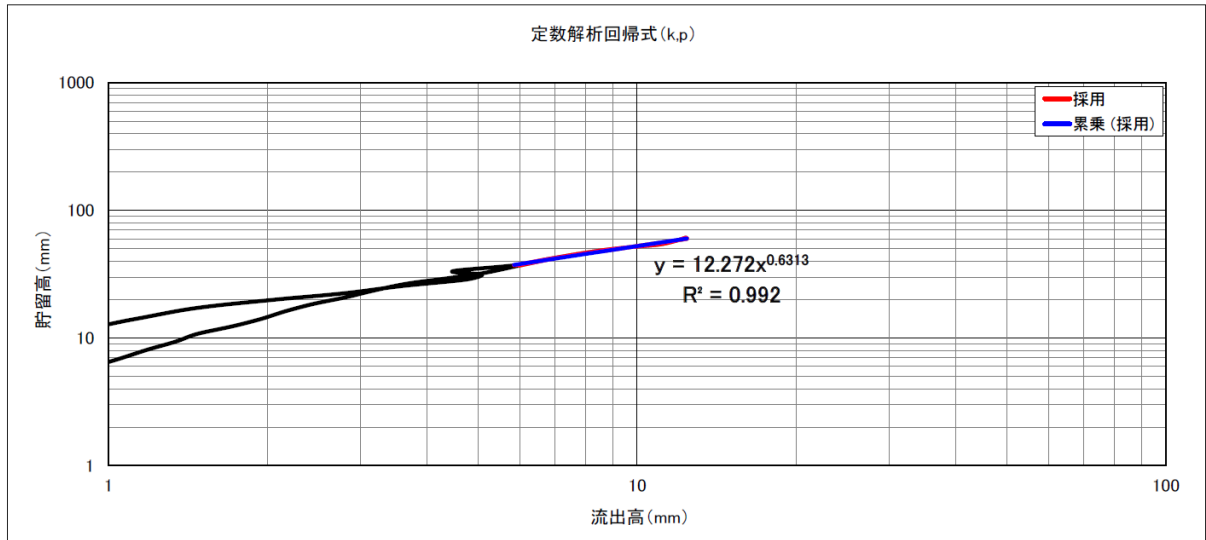
図一 1.4.15 貯留高－流出高関係図 (吞吐ダム地点: H26.08.10 洪水)

船町

H29.10.22



TI= 3.8 hr



図一 1.4.16 貯留高一流出高関係図 (船町地点 : H23.09.02 洪水)

④ 各小流域における K、P、Tl の設定

前項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、P、Tl 値を求める際には、以下の考え方をを用いることとした。

- ・ K 値はリザーブ定数を用いた経験式の考え方を利用する。
- ・ 代表地点より上流に位置する小流域は、代表地点のリザーブ式を用い、代表地点より下流に位置する小流域は、地質特性から最適なりザーブ式を選定して K 値を算定する。
- ・ P 値は、値算定に用いた代表地点の値を一様に採用する。
- ・ Tl 値は、代表地点と小流域の流路長比により算定する。

【リザーブの式】

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

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

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

表ー 1.4.6 代表地点における定数設定結果

地点	C	L (km)	I	K	P	Tl	α
大川瀬ダム	0.115	16.3	0.0080	58.30	0.20	2.05	40.05
吞吐ダム	0.101	17.7	0.0108	30.23	0.25	1.30	25.38
船町	0.112	39.4	0.0031	12.27	0.63	3.80	4.72

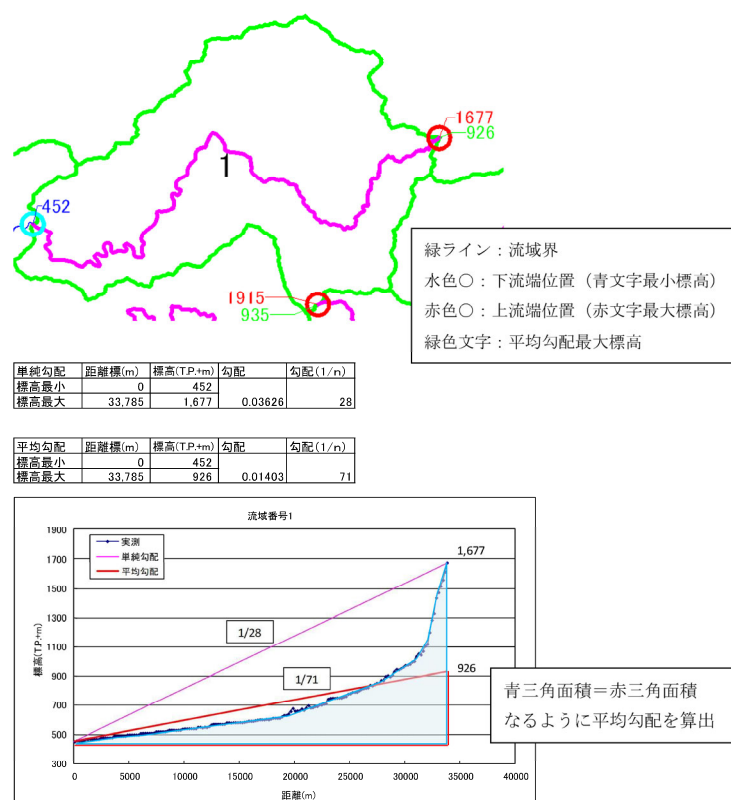
代表地点上流域の流域粗度、流域勾配、流路長は、以下の考え方にて設定した。

【流域粗度・・・図－ 1.4.19、表－ 1.4.8 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（令和 3 年（2021 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
- ・船町地点は船町上流域の土地利用別面積より面積加重平均で流域粗度を算出した。

【流域勾配、流路長・・・図－ 1.4.16 参照】

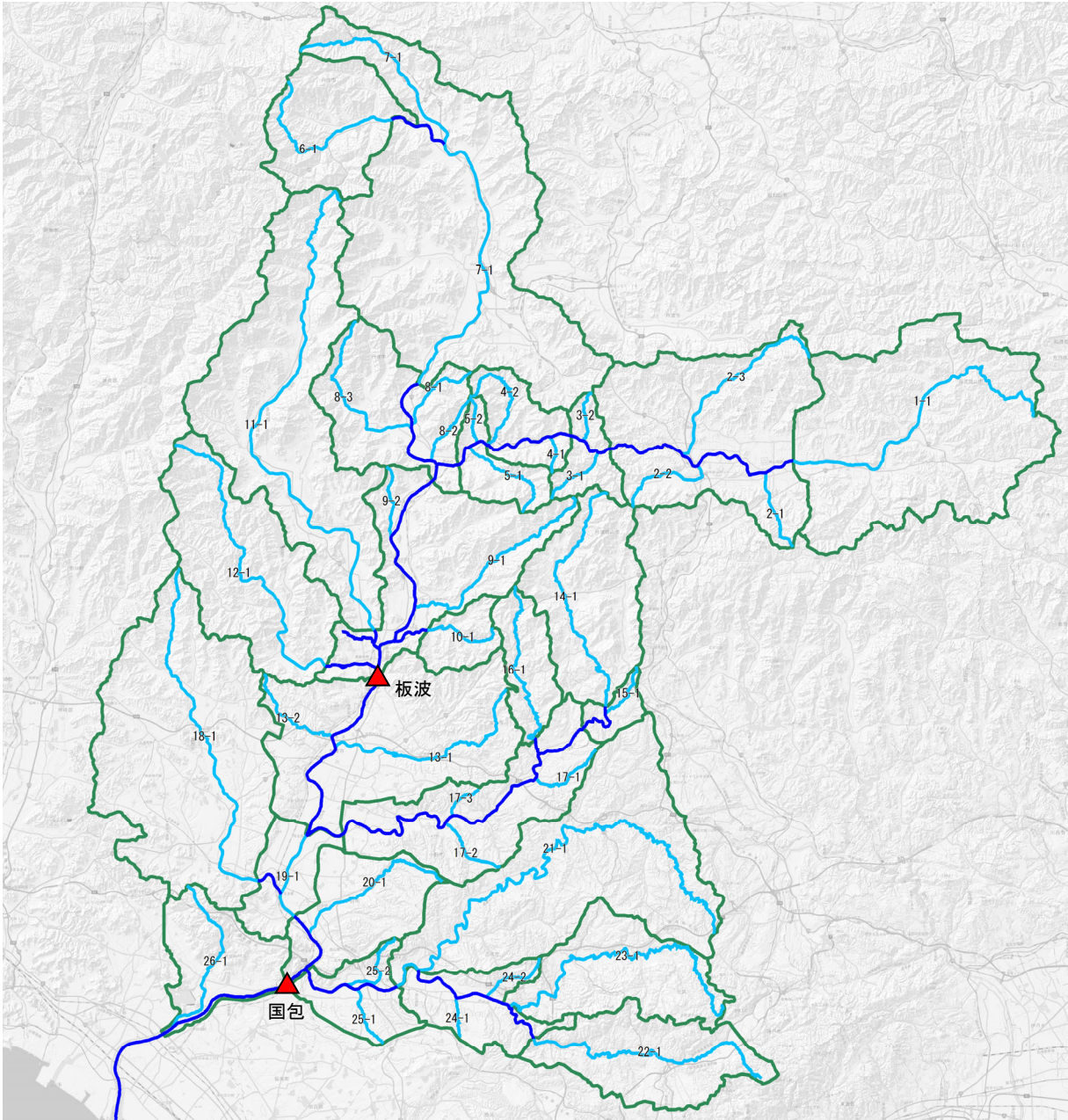
- ・代表地点上流域における小流域毎に流域上流端から末端までの延長（流路長）及び地盤高を計測（なお地盤高は、基盤地図情報の 10m メッシュ地盤高をもとに、河道付近の地盤高を計測）
- ・小流域内でそれぞれ左右岸流域に支川があり、片方の流域では、流域を代表できない場合は、左右岸それぞれ K 値を定め、流域面積比により K 値の平均値を求めるものとする。
- ・流域勾配は、計測した地盤高をもとに、図－ 1.4.15 の考え方にて平均的な勾配を算出
- ・上記作業を行い、流域面積比にて代表地点までの平均延長、平均勾配を算出（表－ 1.4.7 参照）



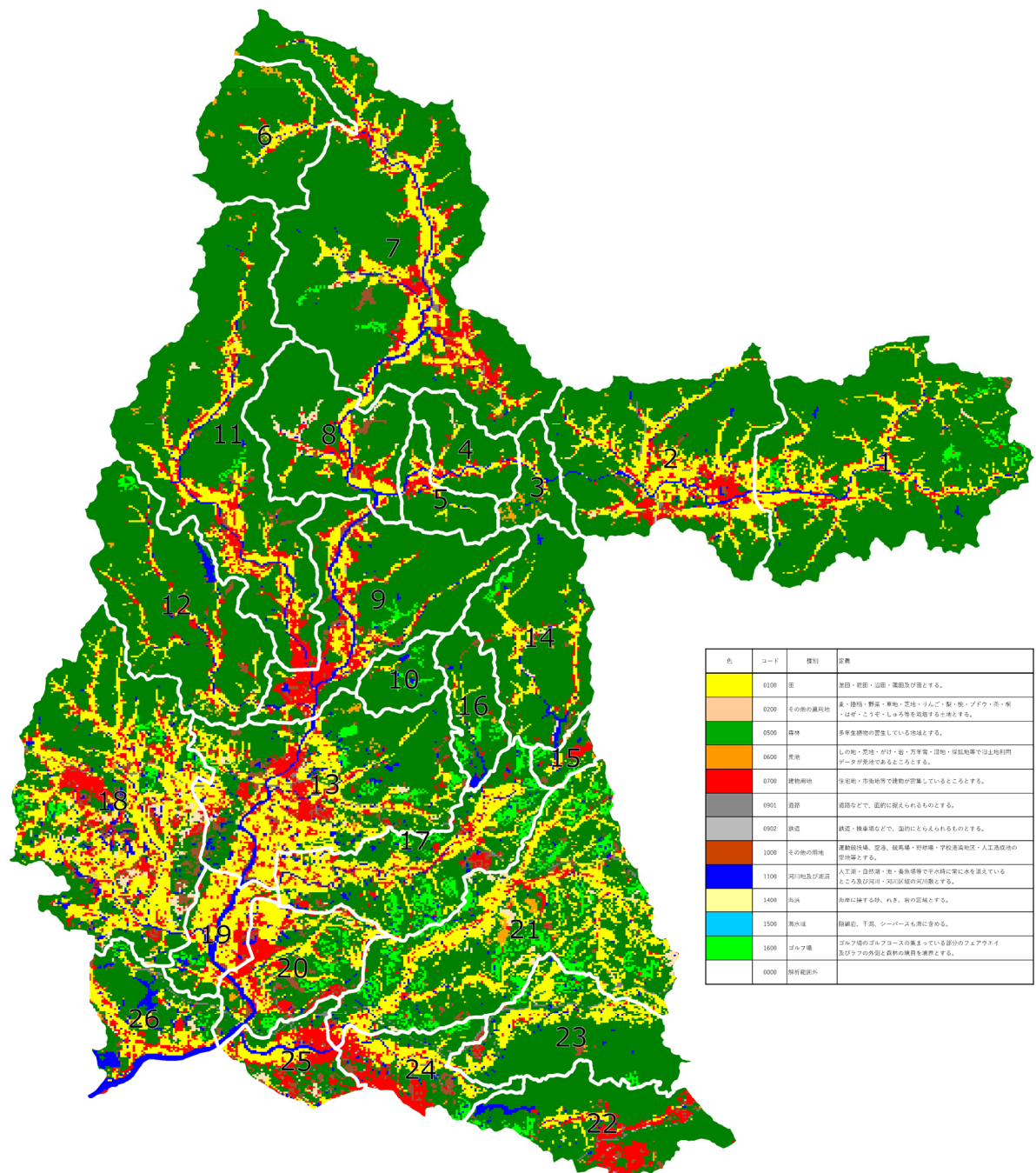
図－ 1.4.15 流域平均勾配算出例

表一 1.4.7 河道延長、平均勾配算出結果（小流域）

流域No	流域面積 A (km ²)	Σ A (km ²)	流路長 L (km)	L × A	Σ L × A / Σ A	勾配I	I × A	Σ I × A / Σ A
1-1	141.7	141.7	20.5	2904.9	20.5	0.0045	0.6417	0.0045
2-1	12.8	100.8	5.1	65.4	10.4	0.0267	0.3419	0.0144
2-2	19.9		6.4	127.4		0.0192	0.3818	
2-3	68.1		12.5	850.9		0.0107	0.7292	
3-1	7.9	12.0	4.2	33.3	3.9	0.0397	0.3147	0.0417
3-2	4.1		3.2	13.1		0.0454	0.1851	
4-1	7.3	25.5	2.3	16.8	6.3	0.0954	0.6966	0.0399
4-2	18.2		7.9	143.8		0.0176	0.3205	
5-1	13.7	18.0	6.7	91.7	5.8	0.0238	0.3261	0.0339
5-2	4.3		3.1	13.4		0.0658	0.2844	
6-1	43.5	43.5	11.4	495.9	11.4	0.0251	1.0927	0.0251
7-1	179.9	179.9	30.3	5451.0	30.3	0.0037	0.6690	0.0037
8-1	9.4	60.6	5.5	51.6	8.9	0.0209	0.1965	0.0230
8-2	9.9		4.4	43.7		0.0271	0.2692	
8-3	41.3		10.8	445.8		0.0225	0.9271	
9-1	50.9	74.7	13.6	692.7	10.7	0.0165	0.8411	0.0178
9-2	23.8		4.5	106.9		0.0207	0.4909	
10-1	10.0	10.0	5.1	51.0	5.1	0.0185	0.1855	0.0185
11-1	142.9	142.9	33.9	4844.3	33.9	0.0060	0.8601	0.0060
12-1	83.6	83.6	20.7	1730.5	20.7	0.0085	0.7069	0.0085
13-1	64.6	91.3	14.6	943.4	12.3	0.0082	0.5325	0.0093
13-2	26.7		6.6	176.1		0.0119	0.3188	
14-1	60.0	60.0	16.3	978.0	16.3	0.0080	0.4796	0.0080
15-1	8.2	8.2	3.8	31.2	3.8	0.0237	0.1940	0.0237
16-1	19.2	19.2	11.5	220.8	11.5	0.0095	0.1833	0.0095
17-1	15.7	69.4	5.0	78.3	3.9	0.0175	0.2738	0.0207
17-2	27.5		4.7	129.5		0.0187	0.5144	
17-3	26.2		2.4	62.8		0.0248	0.6484	
18-1	149.4	149.4	22.4	3346.6	22.4	0.0049	0.7349	0.0049
19-1	29.8	29.8	5.4	160.9	5.4	0.0016	0.0480	0.0016
20-1	53.5	53.5	10.5	561.8	10.5	0.0116	0.6209	0.0116
21-1	128.0	128.0	38.8	4966.4	38.8	0.0029	0.3708	0.0029
22-1	49.8	49.8	17.7	881.5	17.7	0.0108	0.5377	0.0108
23-1	53.3	53.3	23.1	1231.2	23.1	0.0097	0.5151	0.0097
24-1	18.1	28.6	2.3	41.5	3.0	0.0210	0.3791	0.0223
24-2	10.5		4.3	45.3		0.0245	0.2581	
25-1	15.0	22.3	4.0	60.0	4.4	0.0144	0.2160	0.0136
25-2	7.3		5.2	38.0		0.0119	0.0872	
26-1	36.5	36.5	10.9	398.3	10.9	0.0048	0.1741	0.0048



图— 1.4.16 加古川水系流域比較分割図



図一 1.4.19 加古川流域土地利用図

表一 1.4.8 土地利用状況別面積及び流域粗度の算定結果

流域No	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	
1	141.7	2.0	111.9	19.9	3.4	4.6	0.0	0.0	0.115
2	100.8	2.1	67.2	20.3	2.0	8.4	0.6	0.1	0.108
3	12.0	0.2	10.3	0.5	0.7	0.2	0.0	0.0	0.116
4	25.5	0.4	21.3	1.8	0.5	1.2	0.0	0.3	0.112
5	18.0	0.4	14.7	1.4	0.3	1.1	0.0	0.1	0.110
6	43.5	0.2	38.6	2.7	1.2	0.7	0.0	0.0	0.118
7	179.9	3.6	133.9	23.9	5.4	12.5	0.4	0.2	0.110
8	60.6	1.4	47.3	5.0	3.3	3.5	0.0	0.1	0.111
9	74.7	3.1	50.9	8.5	2.8	9.2	0.1	0.3	0.101
10	10.0	0.2	9.0	0.2	0.6	0.0	0.0	0.0	0.117
11	142.9	2.7	109.6	16.5	3.4	10.7	0.0	0.0	0.110
12	83.6	1.8	70.9	5.9	1.9	3.1	0.0	0.0	0.113
13	91.3	4.7	44.0	24.1	7.2	10.2	1.0	0.2	0.100
14	60.0	1.1	49.8	5.2	2.2	1.7	0.0	0.0	0.115
15	8.2	0.2	5.2	0.6	1.2	0.9	0.1	0.0	0.104
16	21.7	0.8	18.0	0.9	1.7	0.3	0.0	0.0	0.114
17	66.9	2.8	31.8	17.9	8.7	5.3	0.3	0.0	0.106
18	149.4	6.3	65.3	45.6	13.4	17.9	0.6	0.3	0.101
19	29.8	2.8	6.9	12.7	1.6	5.5	0.0	0.3	0.088
20	53.5	3.2	20.1	13.8	7.0	8.9	0.4	0.1	0.094
21	128.0	1.9	68.9	32.4	18.8	5.1	0.9	0.0	0.113
22	49.8	1.2	36.7	2.1	2.4	6.9	0.4	0.2	0.101
23	53.3	0.8	38.8	10.0	2.2	0.8	0.7	0.0	0.115
24	28.6	0.8	12.2	5.6	2.9	6.4	0.6	0.1	0.090
25	22.3	1.3	7.9	4.1	2.3	6.0	0.6	0.0	0.081
26	36.5	6.0	17.4	7.0	2.4	3.3	0.5	0.0	0.089
船町上流※	582.0	10.4	445.3	75.6	16.8	32.1	1.0	0.8	0.112

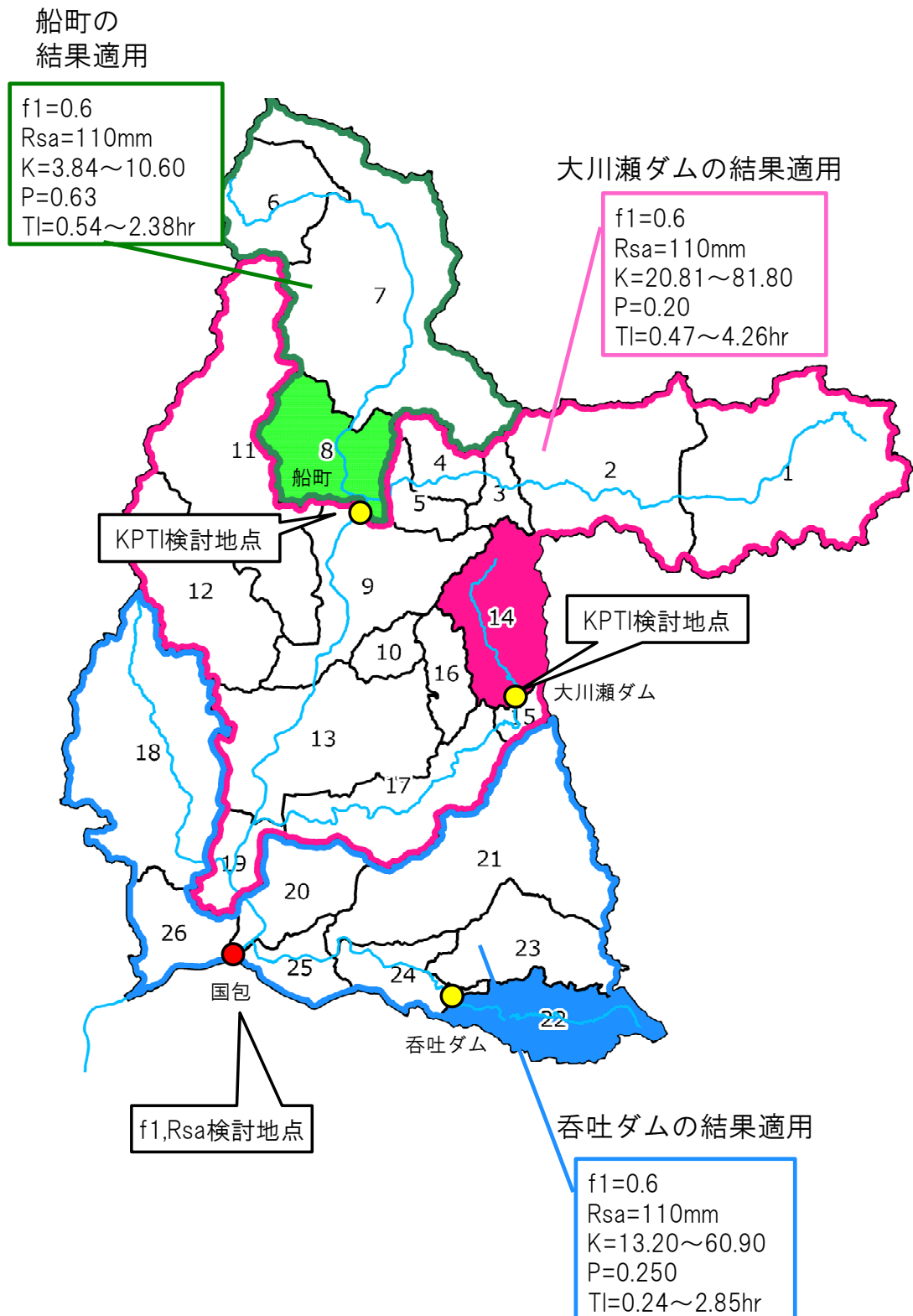
※船町上流域は流域1～8

3) 各小流域の K、P、Tl の設定

設定した確証流域の K、P、Tl を表－ 1.4.9 に示す。

表－ 1.4.9 加古川流域における流域定数一覧表

流域番号	流域面積 (km ²)	K	P	遅滞時間Tl(分)	備考
1-1	1.7	76.09	0.195	2.58	大川瀬ダムのリザーブ定数を適用
1-2	2.5				
1-3	2.7				
1-4	72.5				
1-5	62.3				
2-1	1.9	38.64	0.195	1.01	
2-2	2.0				
2-3	29.0				
2-4	20.1				
2-5	47.8				
3	12.0	20.98	0.195	0.47	
4	25.5	24.17	0.195	0.64	
5	18.0	24.53	0.195	0.62	
6	43.5	4.27	0.631	1.10	船町のリザーブ定数を適用
7	179.9	10.42	0.631	2.92	
8	60.6	3.82	0.631	0.66	
9	74.7	34.24	0.195	1.14	大川瀬ダムのリザーブ定数を適用
10	10.0	30.58	0.195	0.64	
11	142.9	78.11	0.195	4.26	
12-1	3.8	61.21	0.195	2.60	
12-2	58.5				
12-3	21.3				
13	91.3	44.05	0.195	1.33	
14	60.0	58.30	0.195	2.05	
15	8.2	22.71	0.195	0.48	
16	19.2	48.56	0.195	1.45	
17	69.4	24.29	0.195	0.51	
18	149.4	42.63	0.250	1.65	吞吐ダムのリザーブ定数を適用
19	29.8	52.47	0.195	0.68	大川瀬ダムのリザーブ定数を適用
20	53.5	23.02	0.250	0.77	吞吐ダムのリザーブ定数を適用
21	128.0	68.17	0.250	2.85	
22	49.8	30.23	0.250	1.30	
23	53.3	39.04	0.250	1.70	
24	28.6	11.75	0.250	0.24	
25	22.3	14.09	0.250	0.34	
26-1	6.5	29.81	0.250	0.80	
26-2	30.0				



図ー 1. 4. 18 加古川流域における流域定数の設定状況

(2) 河道定数の設定

河道定数 K 、 P は、加古川流域における小流域間に設定された 1 河道～9 河道において、任意の流量 Q に対応する貯留量 S との関係から算出した。

貯留効果が大きいと思われる区間においては、不等流計算によって河道の S - Q 関係を求め、 K 、 P を設定した。

また、河道の遅滞時間 T_I 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。

表－ 1.4.10 対象河道一覧

河道 No	河川名	河道区間
1	篠山川	流域 3 最下流～谷川
2	篠山川	谷川～佐治川合流点
3	佐治川	流域 6 最下流～小野前
4	佐治川	小野前～船町
5	加古川	船町～板波
6	加古川	板波～東条川合流点
7	東条川	流域 15 最下流～東条川合流点
8	加古川	東条川合流点～国包
9	美の川	三木～美の川合流点

1) K 、 P の設定

表－ 1.4.10 に示した 1 河道～9 河道について、次に示す 2 つの対象河道に適用する河道定数 (K 、 P) を設定した。

①検証用河道（現況河道）

モデル検証用の定数として設定。

②計画河道

基本高水のピーク流量等算定用の定数として設定。

各河道において不等流計算を実施し、 S - Q 関係を整理した結果は表－ 1.4.11、表－ 1.4.12、図－ 1.4.19、図－ 1.4.20 に示す通りである。 S - Q 関係から、 $K \cdot P$ を設定した結果は表－ 1.4.13、表－ 1.4.14 に示す。

表一 1.4.11 S-Q 關係一覽表（現況河道）

1河道		2河道		3河道	
流量 Q (m ³ /s)	貯留量 S (m ³ /s)	流量 Q (m ³ /s)	貯留量 S (m ³ /s)	流量 Q (m ³ /s)	貯留量 S (m ³ /s)
200	147	200	135	110	429
400	226	400	205	220	699
600	294	600	262	330	940
800	354	800	314	440	1,152
1,000	410	1,000	361	550	1,342
1,200	463	1,200	404	660	1,516
1,400	514	1,400	445	770	1,677
1,600	562	1,600	485	880	1,828
1,800	607	1,800	526	990	1,973
2,000	650	2,000	563	1,100	2,113
				1,320	2,376
				1,540	2,622
				1,760	2,858

4河道		5河道		6河道	
流量 Q (m ³ /s)	貯留量 S (m ³ /s)	流量 Q (m ³ /s)	貯留量 S (m ³ /s)	流量 Q (m ³ /s)	貯留量 S (m ³ /s)
150	225	520	1,157	640	880
300	365	1,040	1,711	1,280	1,344
450	489	1,560	2,179	1,920	1,728
600	589	2,080	2,615	2,560	2,082
750	680	2,600	3,008	3,200	2,403
900	765	3,120	3,370	3,840	2,706
1,050	846	3,640	3,713	4,480	2,997
1,200	923	4,160	4,021	5,120	3,273
1,350	996	4,680	4,329	5,760	3,537
1,500	1,066	5,200	4,624	6,400	3,788
1,800	1,196	6,240	5,179	7,680	4,252
2,100	1,319	7,280	5,699	8,960	4,681
2,400	1,436	8,320	6,193	10,240	5,076

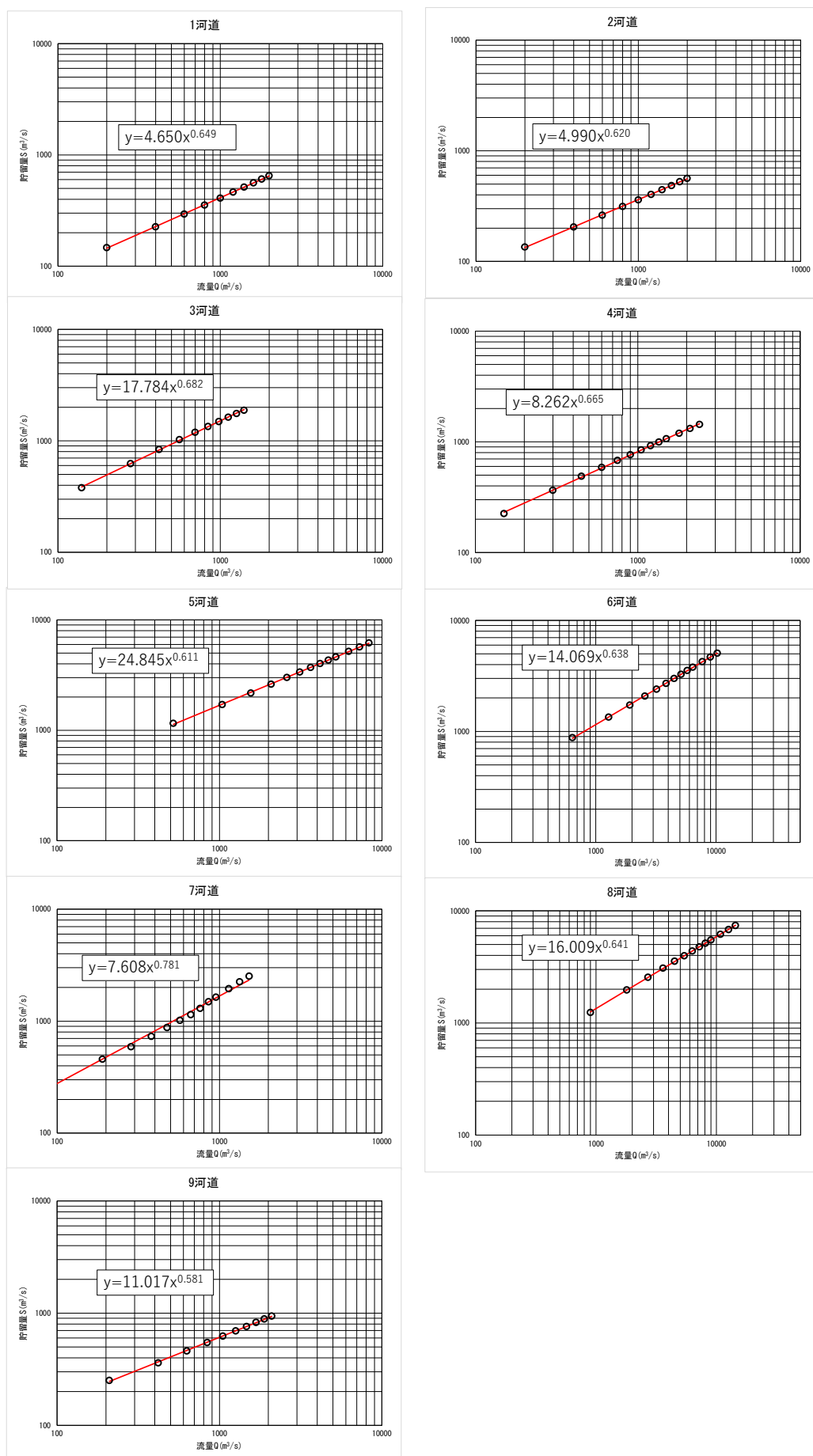
7河道		8河道		9河道	
流量 Q (m ³ /s)	貯留量 S (m ³ /s)	流量 Q (m ³ /s)	貯留量 S (m ³ /s)	流量 Q (m ³ /s)	貯留量 S (m ³ /s)
95	307	900	1,240	210	251
190	457	1,800	1,970	420	360
285	591	2,700	2,553	630	461
380	731	3,600	3,079	840	547
475	877	4,500	3,555	1,050	624
570	1,017	5,400	3,969	1,260	694
665	1,144	6,300	4,378	1,470	760
760	1,300	7,200	4,766	1,680	828
855	1,492	8,100	5,138	1,890	887
950	1,637	9,000	5,495	2,100	943
1,140	1,951	10,800	6,174		
1,330	2,250	12,600	6,804		
1,520	2,520	14,400	7,401		

表一 1.4.12 S-Q 關係一覽表 (計畫河道)

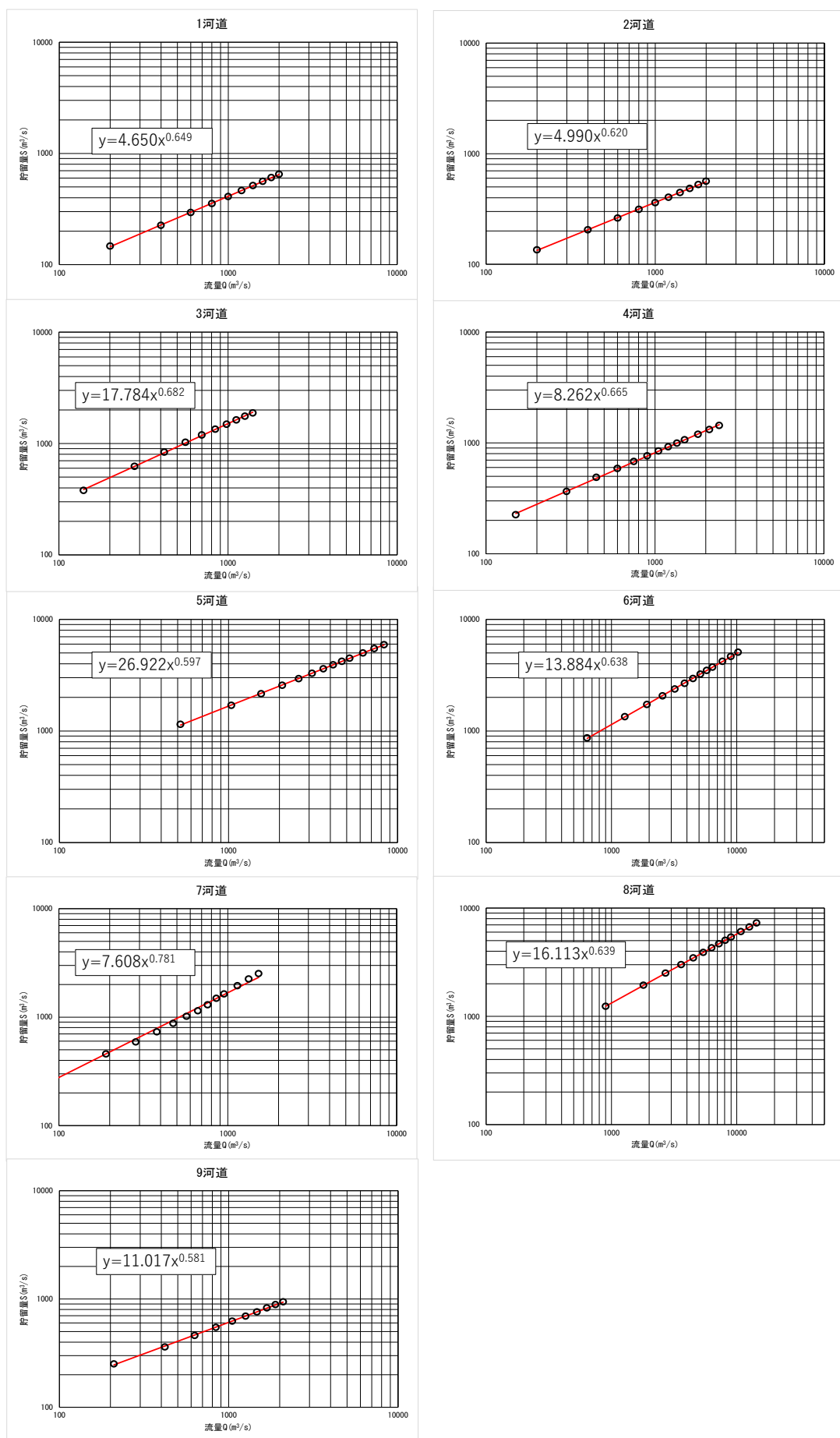
1河道		2河道		3河道	
流量 $Q (m^3/s)$	貯留量 $S (m^3/s)$	流量 $Q (m^3/s)$	貯留量 $S (m^3/s)$	流量 $Q (m^3/s)$	貯留量 $S (m^3/s)$
200	147	200	135	110	429
400	226	400	205	220	699
600	294	600	262	330	940
800	354	800	314	440	1,152
1,000	410	1,000	361	550	1,342
1,200	463	1,200	404	660	1,516
1,400	514	1,400	445	770	1,677
1,600	562	1,600	485	880	1,828
1,800	607	1,800	526	990	1,973
2,000	650	2,000	563	1,100	2,113
				1,320	2,376
				1,540	2,622
				1,760	2,858

4河道		5河道		6河道	
流量 $Q (m^3/s)$	貯留量 $S (m^3/s)$	流量 $Q (m^3/s)$	貯留量 $S (m^3/s)$	流量 $Q (m^3/s)$	貯留量 $S (m^3/s)$
150	225	520	1,147	640	865
300	365	1,040	1,695	1,280	1,343
450	489	1,560	2,157	1,920	1,727
600	589	2,080	2,568	2,560	2,064
750	680	2,600	2,942	3,200	2,377
900	765	3,120	3,288	3,840	2,674
1,050	846	3,640	3,610	4,480	2,956
1,200	923	4,160	3,917	5,120	3,227
1,350	996	4,680	4,206	5,760	3,486
1,500	1,066	5,200	4,483	6,400	3,736
1,800	1,196	6,240	4,999	7,680	4,209
2,100	1,319	7,280	5,478	8,960	4,653
2,400	1,436	8,320	5,934	10,240	5,071

7河道		8河道		9河道	
流量 $Q (m^3/s)$	貯留量 $S (m^3/s)$	流量 $Q (m^3/s)$	貯留量 $S (m^3/s)$	流量 $Q (m^3/s)$	貯留量 $S (m^3/s)$
95	307	900	1,237	210	251
190	457	1,800	1,939	420	360
285	591	2,700	2,508	630	461
380	731	3,600	3,006	840	547
475	877	4,500	3,468	1,050	624
570	1,017	5,400	3,896	1,260	694
665	1,144	6,300	4,298	1,470	760
760	1,300	7,200	4,679	1,680	828
855	1,492	8,100	5,046	1,890	887
950	1,637	9,000	5,399	2,100	943
1,140	1,951	10,800	6,067		
1,330	2,250	12,600	6,694		
1,520	2,520	14,400	7,285		



図一 1.4.19 S-Q 関係図（現況河道）



図一 1.4.20 S-Q 関係図 (計画河道)

表－ 1. 4. 13 河道定数 K, P 設定結果（現況河道）

河道NO	河川名	河道区間	河道モデル定数	
			K	P
1	篠山川	流域3最下流～谷川	4. 650	0. 649
2	篠山川	谷川～合流点	4. 990	0. 620
3	佐治川	流域6最下流～小野前	17. 784	0. 682
4	佐治川	小野前～船町	8. 262	0. 665
5	加古川	船町～板波	24. 845	0. 611
6	加古川	板波～東条川合流点	14. 069	0. 638
7	東条川	流域15最下流～合流点	7. 608	0. 781
8	加古川	東条川合流点～国包	16. 009	0. 641
9	美嚢川	三木～合流点	11. 017	0. 581

表－ 1. 4. 14 河道定数 K, P 設定結果（計画河道）

河道NO	河川名	河道区間	河道モデル定数	
			K	P
1	篠山川	流域3最下流～谷川	4. 650	0. 649
2	篠山川	谷川～合流点	4. 990	0. 620
3	佐治川	流域6最下流～小野前	17. 784	0. 682
4	佐治川	小野前～船町	8. 262	0. 665
5	加古川	船町～板波	26. 922	0. 597
6	加古川	板波～東条川合流点	13. 884	0. 638
7	東条川	流域15最下流～合流点	7. 608	0. 781
8	加古川	東条川合流点～国包	16. 113	0. 639
9	美嚢川	三木～合流点	11. 017	0. 581

2) 河道定数 Tl の設定

河道の遅滞時間は、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。(参考文献：水文研究資料貯留関数法 工学博士 木村俊晃 河鍋書店)

木村俊晃工学博士によれば、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【m³/s】

n： 粗度係数

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

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。

$$\varphi_s = \varphi + Tl$$

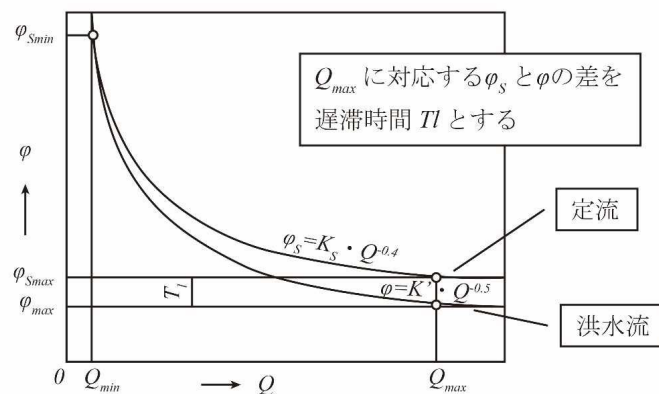
ここに、Tl： 河道の遅滞時間

ここで、次のような仮定を行う。

仮定①： 洪水流の貯留関数 φ は、流量 Q の-0.5 乗に比例する。

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

仮定②: 定流の貯留関数 φ_s と洪水流の貯留関数 φ の関係は図－ 1.4.21 のとおりであり、 Q_{min} に対応する点で交わる。



図－ 1.4.21 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前頁のような仮定を行う方法を採用した。

- ・経験的に貯留関数について求めた P に相当する指数は、0.4～ 0.5（平均 0.45 程度）であることが判っているので、 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－ 1.4.21 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。

加古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。

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 をもとに洪水時の定数 K' （ $\phi_s(Q_{min}) = \phi(Q_{min})$ ）を求めることができる。

K' を求めることが出来れば、 Q_{max} による貯留関数 ϕ を計算することができ、 Q_{max} による定流時の貯留関数 ϕ_s との差分を求めることにより、遅滞時間 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、加古川では不等流計算で用いた河道断面から河幅を求め、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－ 1.4.15 に示す。

表－ 1.4.15 遅れ時間の設定結果

河道モデル	河道延長 (km)	平均勾配 1/n	平均川幅 b (m)	粗度係数 n	流域面積 (km ²)	定流		洪水流		定流			洪水流			TI (hr)
						Q_{min} (m ³ /s)	Q_{max} (m ³ /s)	K_s		ϕ_s (min)	ϕ_s (max)	K'	ϕ (min)	ϕ (max)		
1河道	5.3	150	89	0.040	280	2.5	1,202	3.80		2.63	0.22	4.173	2.63	0.12		0.10
2河道	3.8	340	124	0.040	298	2.7	1,280	3.97		2.67	0.23	4.380	2.67	0.12		0.10
3河道	21.7	430	98	0.035	223	2.0	959	20.74		15.67	1.33	22.239	15.67	0.72		0.61
4河道	6.4	1000	108	0.035	284	2.6	1,220	8.20		5.63	0.48	9.011	5.63	0.26		0.22
5河道	15.6	500	151	0.035	657	5.9	2,820	18.47		9.07	0.77	22.065	9.07	0.42		0.35
6河道	11.0	600	159	0.034	985	8.9	4,227	13.86		5.79	0.49	17.237	5.79	0.27		0.23
7河道	23.5	300	71	0.030	157	1.4	673	16.14		14.06	1.19	16.713	14.06	0.64		0.55
8河道	11.2	1000	238	0.034	1374	12.4	5,900	19.32		7.06	0.60	24.845	7.06	0.32		0.28
9河道	6.6	330	165	0.030	282	2.5	1,211	6.53		4.50	0.38	7.173	4.50	0.21		0.18

注1) 最小流量は、基準地点国包における平均低水流量12.4m³/sを各河川上流の流域面積比で設定。

注2) 最大流量は、基準地点国包における平成16年10月洪水（5900m³/s）を各河川上流の流域面積比で設定。

1.4.4 実績洪水再現による流出解析モデルの精度検証

(1) 検証対象洪水

前節までに設定した定数を用いて、既往洪水時の雨量データを用い、再現計算を実施した。対象とする洪水は、基準地点国包において近年比較的大きな流量が発生した 5 洪水とした。

表－ 1.4.16 検証対象洪水一覧

洪水名	洪水要因	国包地点 ピーク流量(m^3/s)	流量順位
H16.10.20	台風 23 号	5,492	1
H23.09.04	台風 12 号	3,810	6
H25.09.15	台風 18 号	5,019	2
H27.07.17	台風 11 号	4,357	3
H30.07.07	梅雨前線	4,137	4

※流量第 5 位の S58.9 洪水は流量観測データが乏しいため対象外とした。

また、再現計算に用いる飽和雨量 R_{sa} 及び基底流量 Q_b は、洪水毎に設定した。

各洪水の R_{sa} 及び Q_b を表－ 1.4.17 に示す。

表－ 1.4.17 検証対象洪水の R_{sa} 、 Q_b 設定一覧表

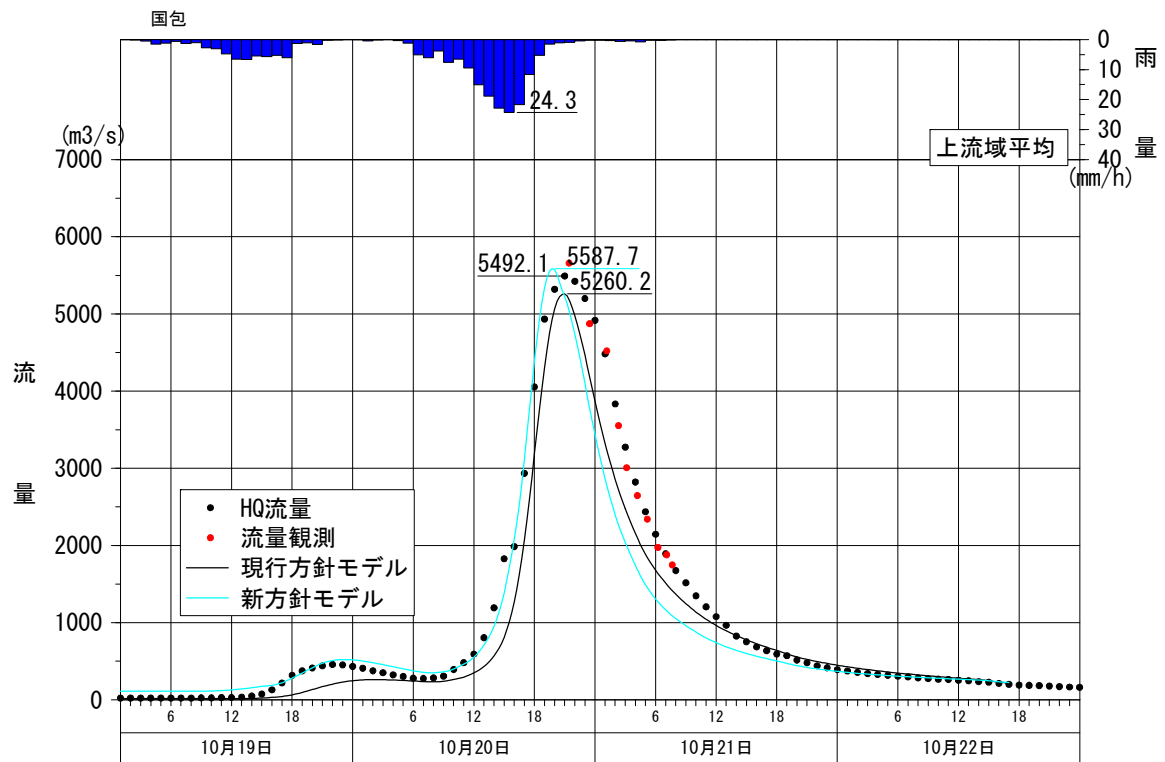
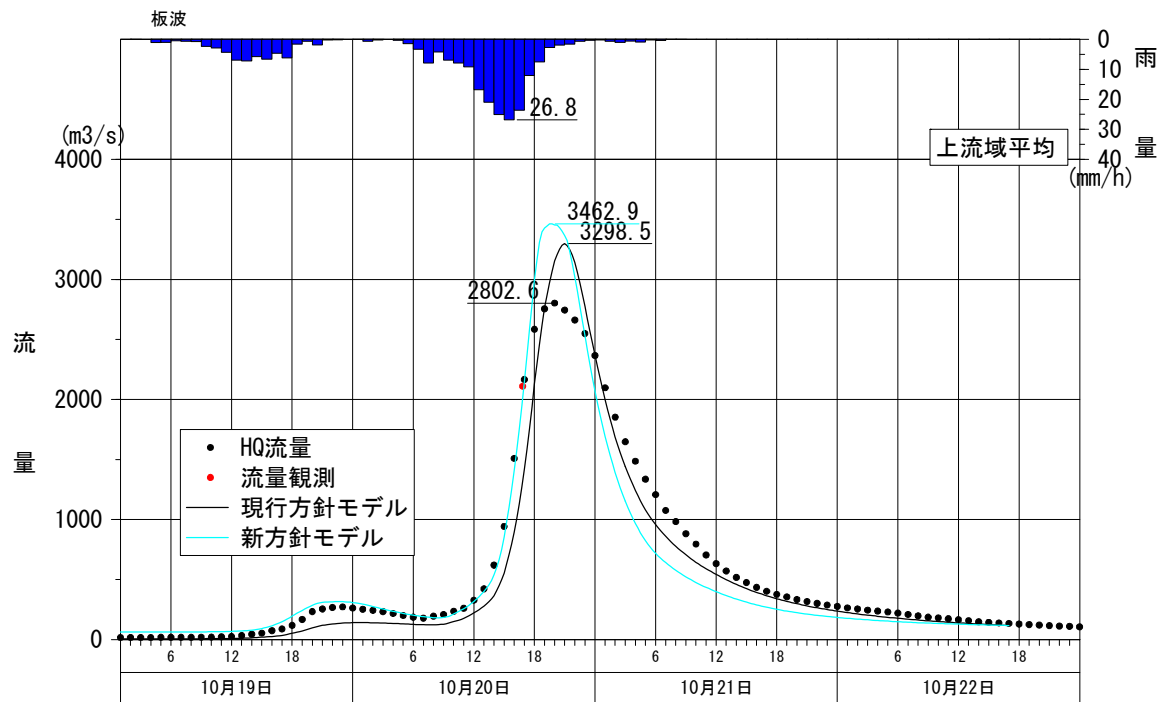
洪水名	R_{sa} (mm)	Q_b (m^3/s)
H16.10.20	101.93	0.07
H23.09.04	136.92	0.05
H25.09.15	79.90	0.08
H27.07.17	73.18	0.06
H30.07.07	84.23	0.10

(2) 再現計算結果

再現計算結果を図－ 1.4.23 に示す。

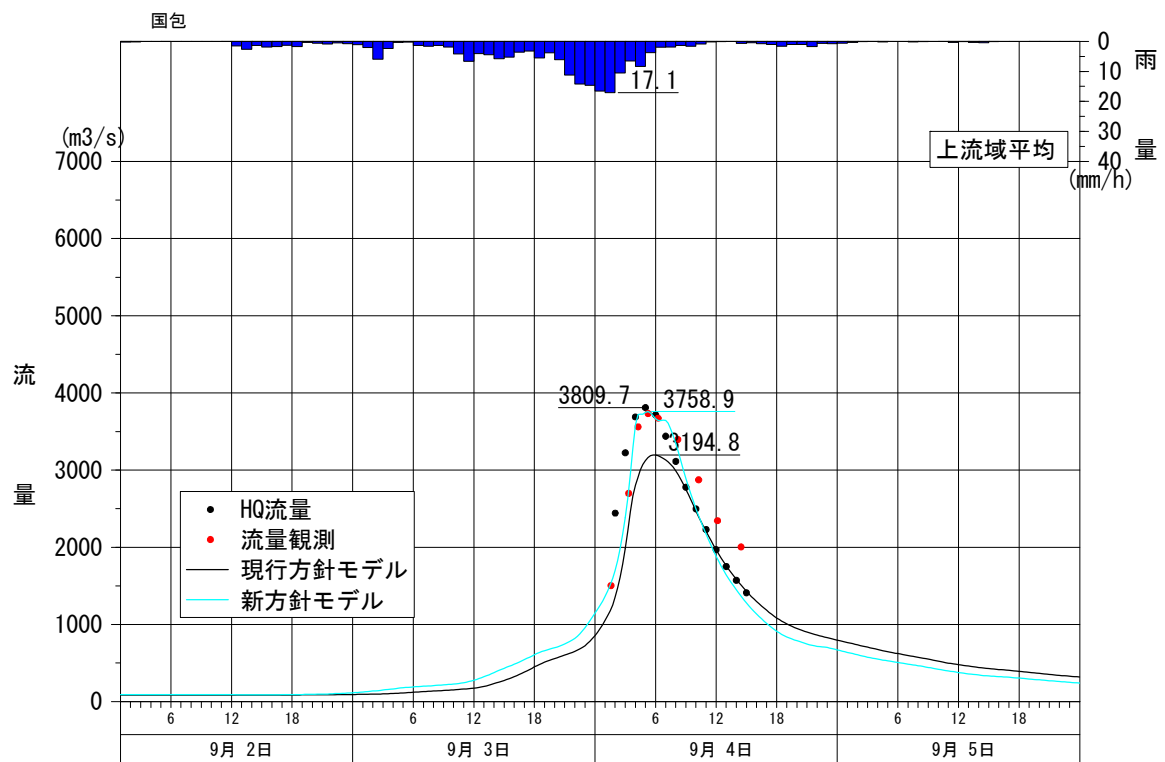
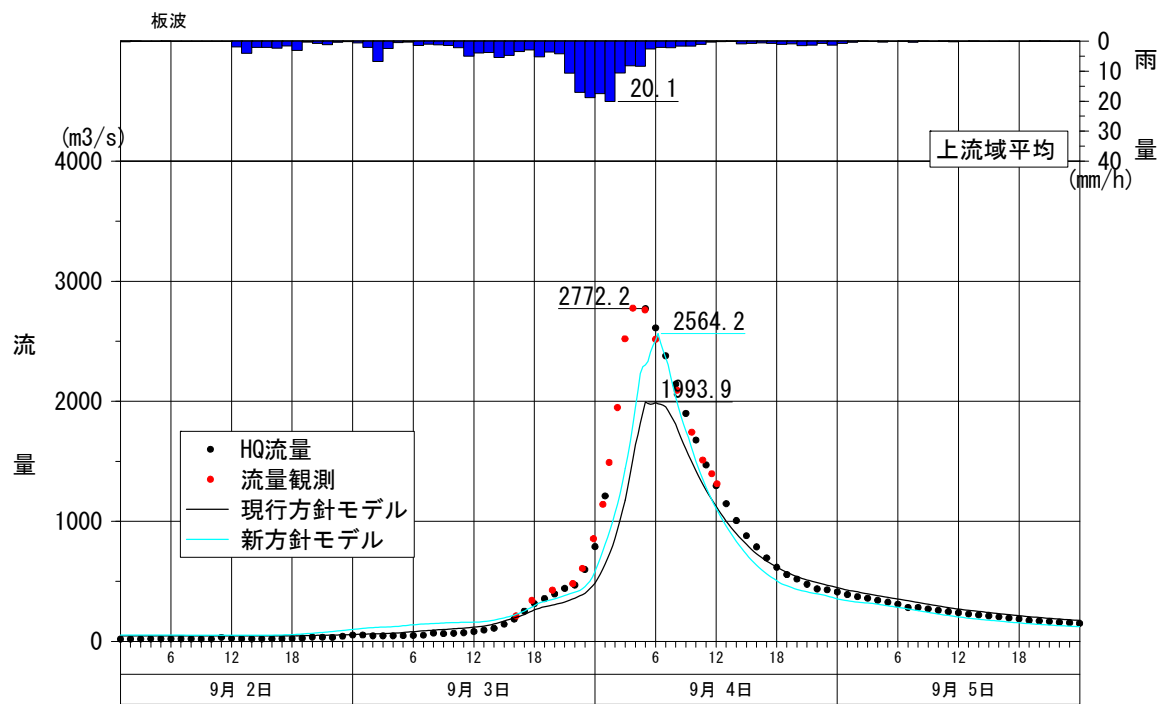


図一 1.4.22 板波付近浸水区域 (H16.10.20 洪水)



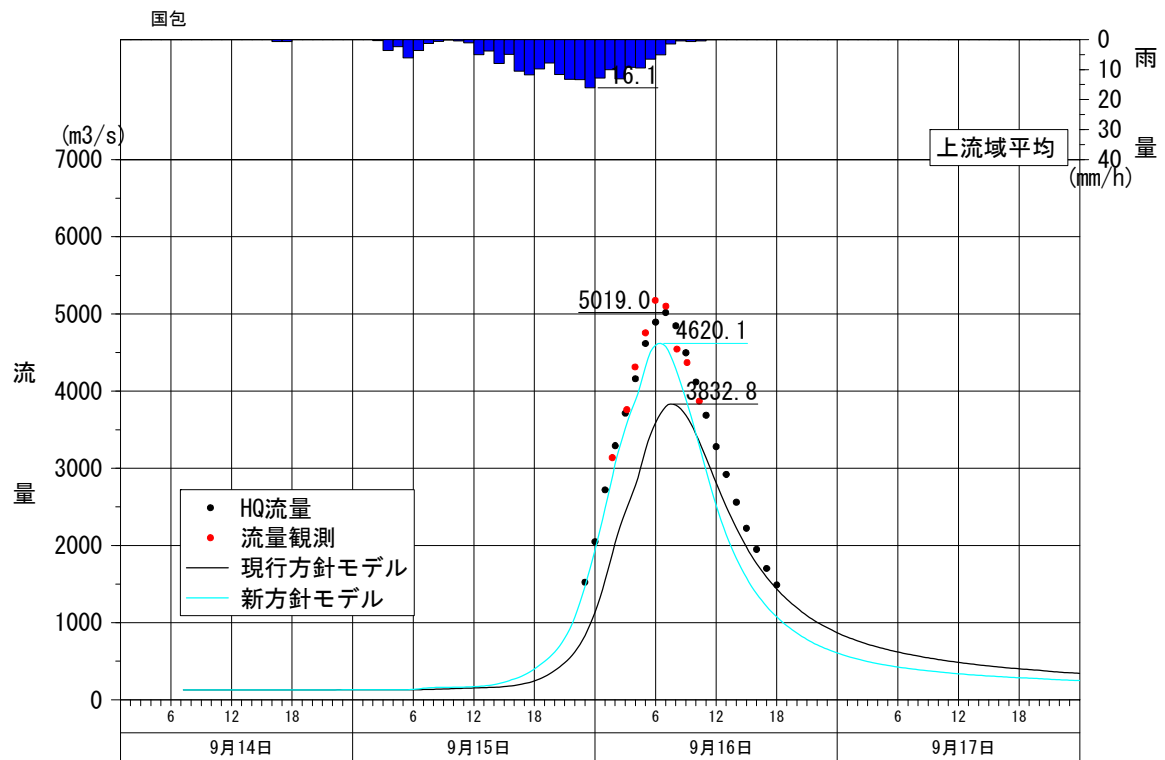
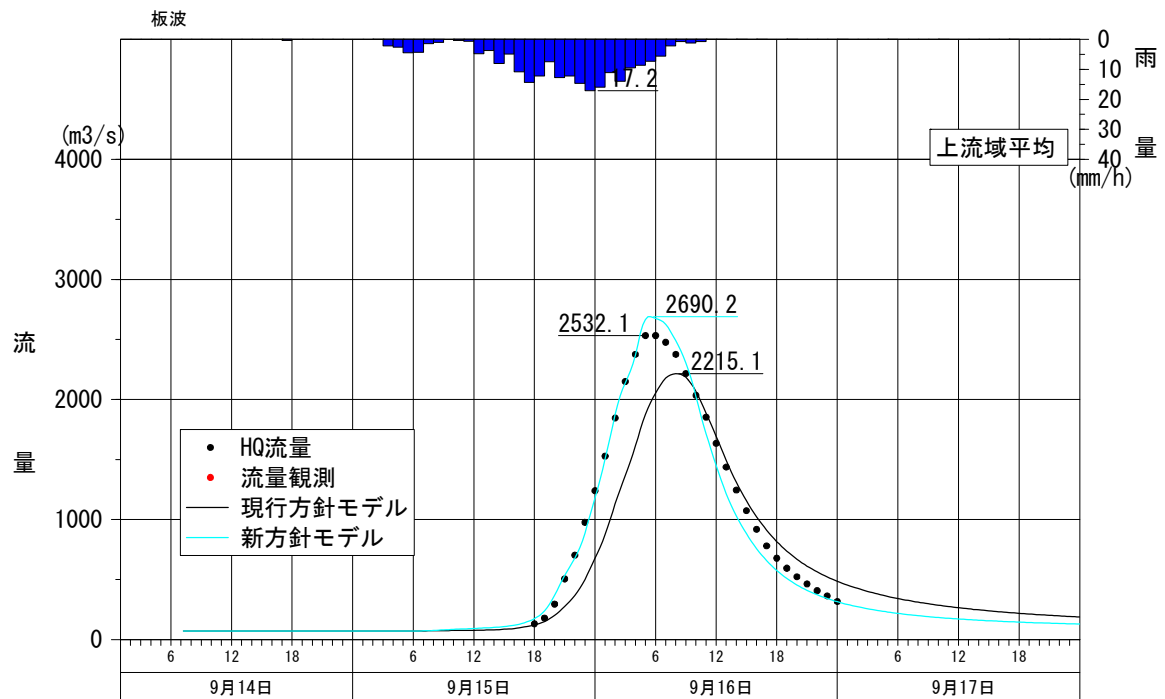
H161020実績

図一 1.4.23(1) 実績再現計算結果 (H16. 10. 20 洪水)



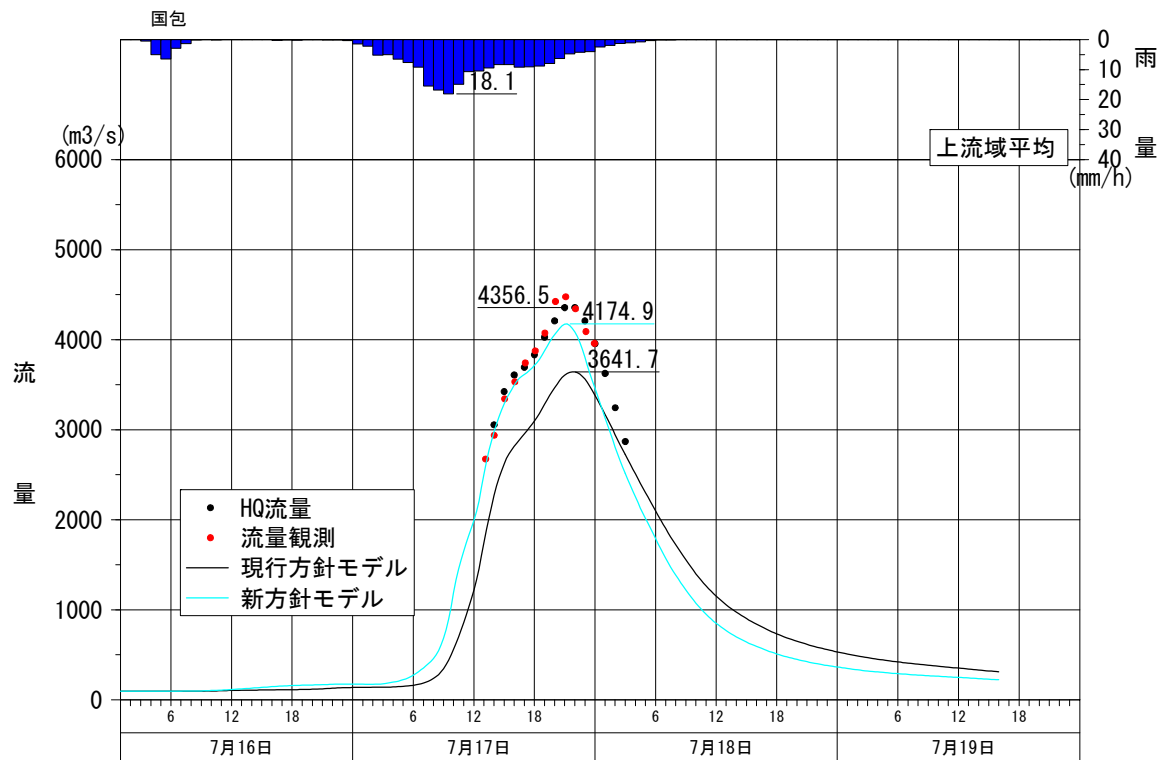
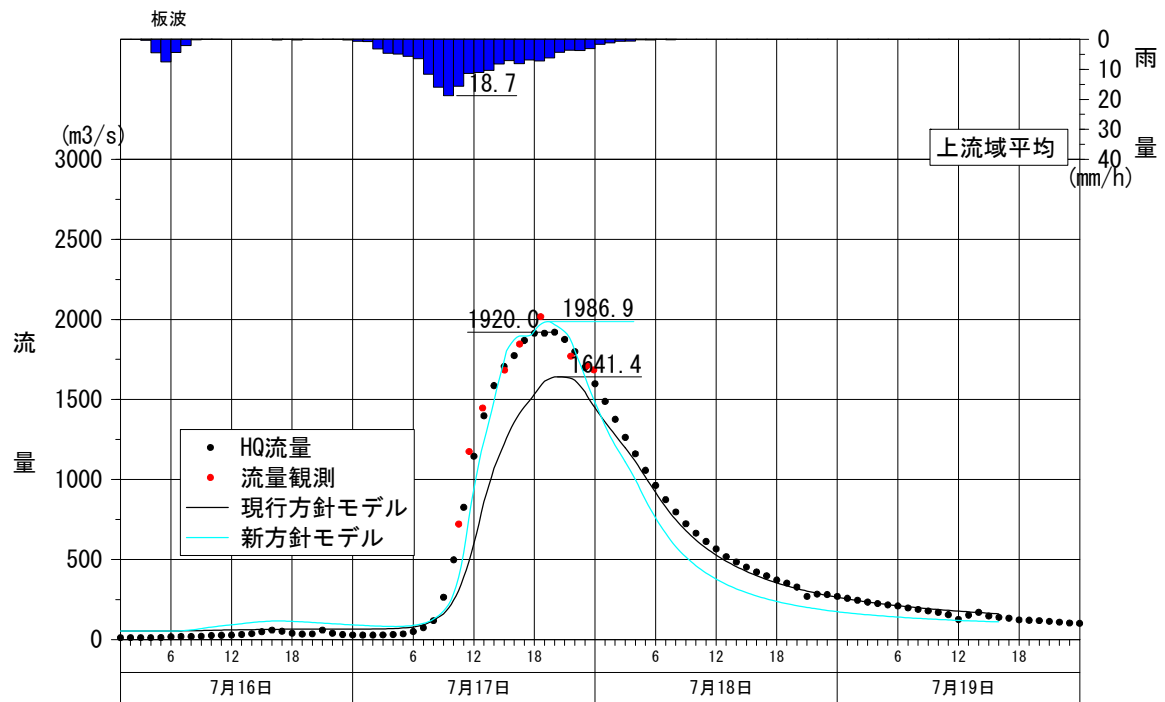
H230904実績

図－ 1. 4. 23 (2) 実績再現計算結果 (H23. 09. 4 洪水)



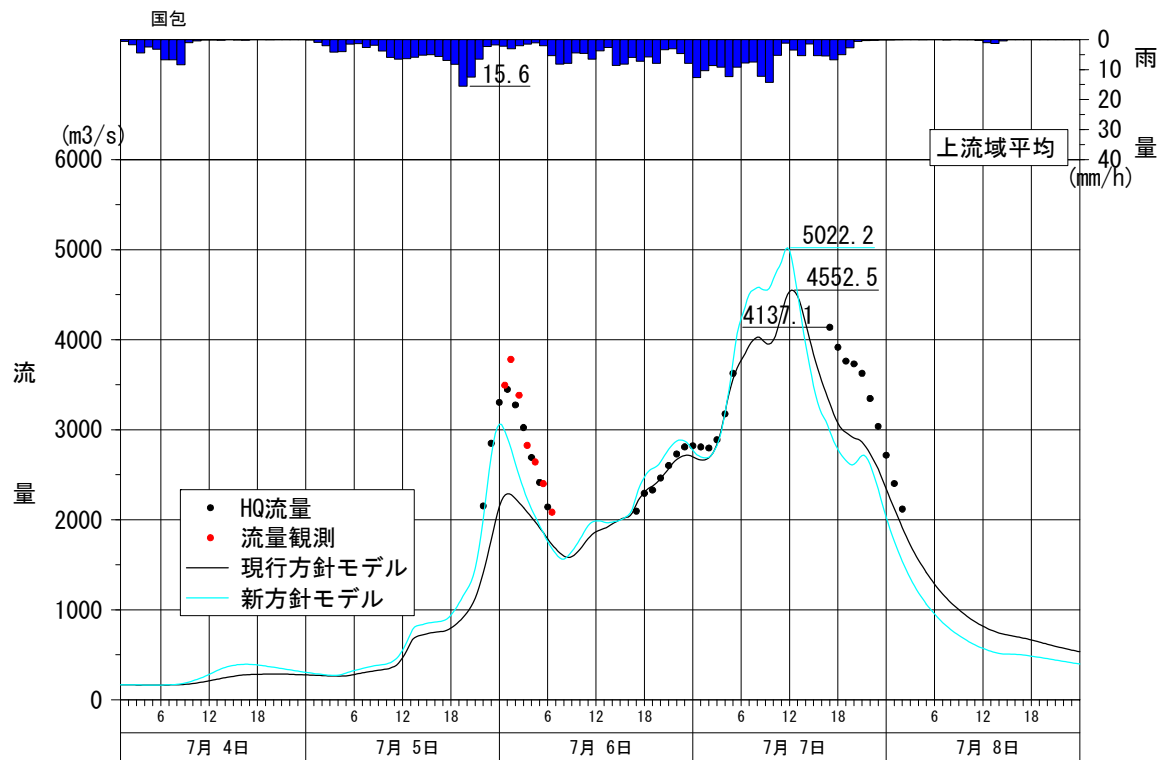
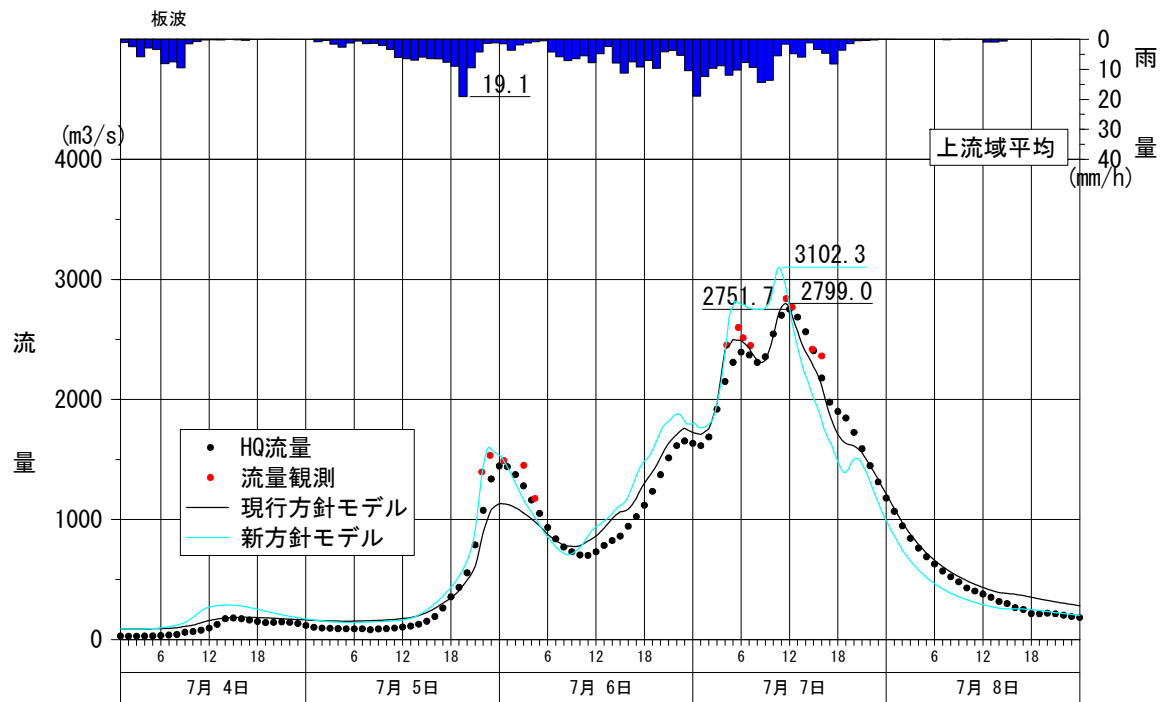
H250915実績

図一 1.4.23(3) 実績再現計算結果 (H25.09.15洪水)



H270716実績

図一 1.4.23(4) 実績再現計算結果 (H27.07.17 洪水)



H300707実績

図一 1.4.23(5) 実績再現計算結果 (H30.07.06 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、設定した。

- (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

規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、規定計画の 1/150 を踏襲するものとした。

1.6 降雨継続時間の妥当性確認・変更

1.6.1 対象降雨の継続時間設定の考え方

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

1.6.2 洪水到達時間

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

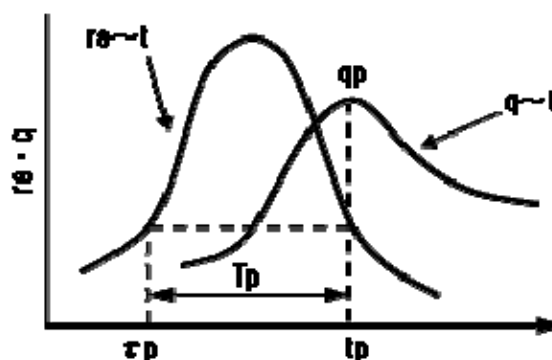
対象洪水は、過去洪水（昭和 46 年（1971 年）～令和 4 年（2022 年））のうち、基準点国包における実績流量規模の上位 10 洪水とした（表－ 1.6.1 参照）。

表－ 1.6.1 検討対象洪水（国包）

年		国包流量 洪水名	国包流量 洪水要因	国包流量 (m3/s)	流量 順位
2004	平成16年	H16.10.20	台風23号	5492	1
2013	平成25年	H25.09.16	台風18号	5019	2
2015	平成27年	H27.07.17	台風11号	4357	3
2018	平成30年	H30.07.07	梅雨前線	4137	4
1983	昭和58年	S58.09.28	秋雨前線	4015	5
2011	平成23年	H23.09.04	台風12号	3810	6
2006	平成18年	H18.07.19	不明	3705	7
2017	平成29年	H29.10.23	台風21号	3627	8
2010	平成22年	H22.05.24	低気圧	3427	9
2011	平成23年	H23.09.20	不明	3113	10

(1) Kinematic Wave 法による洪水の到達時間

Kinematic Wave 法は矩形斜面上の表面流に Kinematic Wave 理論を適用して洪水到達時間を導く手法である。図－ 1.6.1 に示すように、実績のハイエトグラフとハイドログラフを用いて、ピーク流量生起時刻以前の雨量がピーク流量生起時刻 (t_p) の雨量と同じになる時刻 (τ_p) により $T_p = t_p - \tau_p$ として推定する。ここで、 T_p は洪水到達時間、 τ_p はピーク流量を発生する特性曲線の上流端での出発時刻、 t_p はその特性曲線の下流端への到達時間、 r_e は $\tau_p \sim t_p$ 間の平均有効降雨強度、 q_p はピーク流量である。



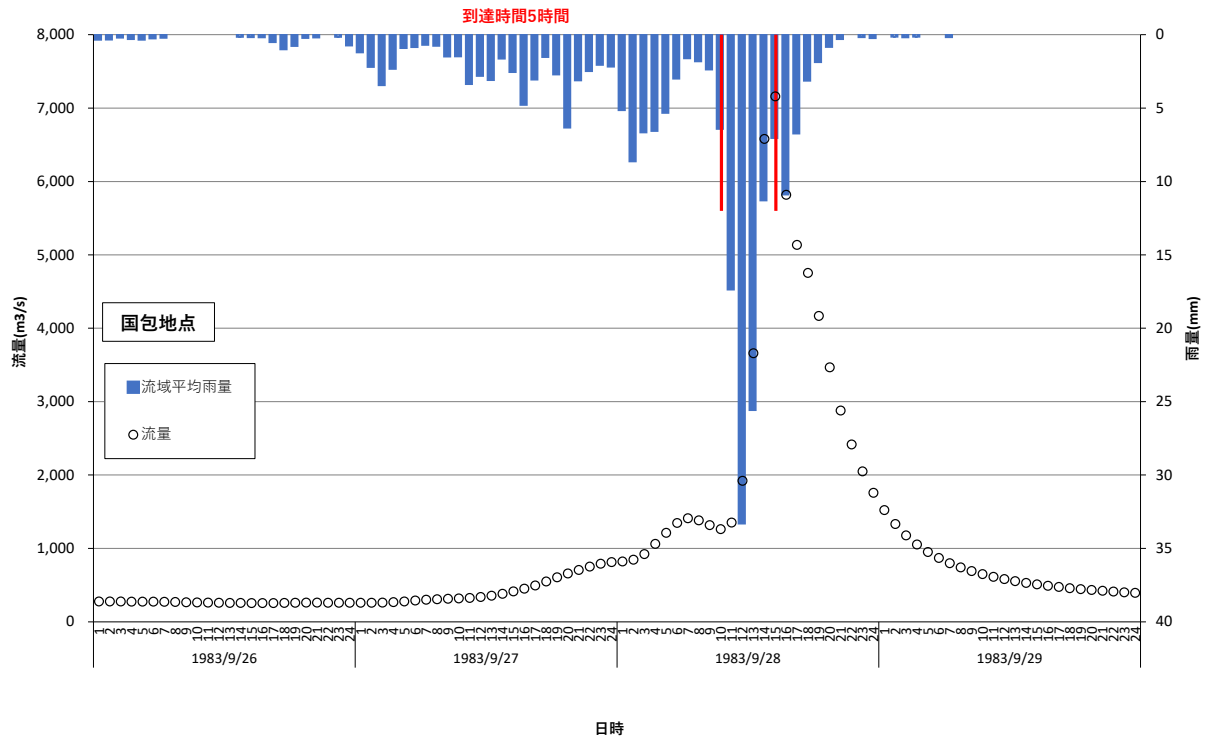
図－ 1.6.1 Kinematic Wave 法による T_p の定義

Kinematic Wave 法による洪水到達時間は、国包地点で 5～34 時間、平均 13 時間となった。

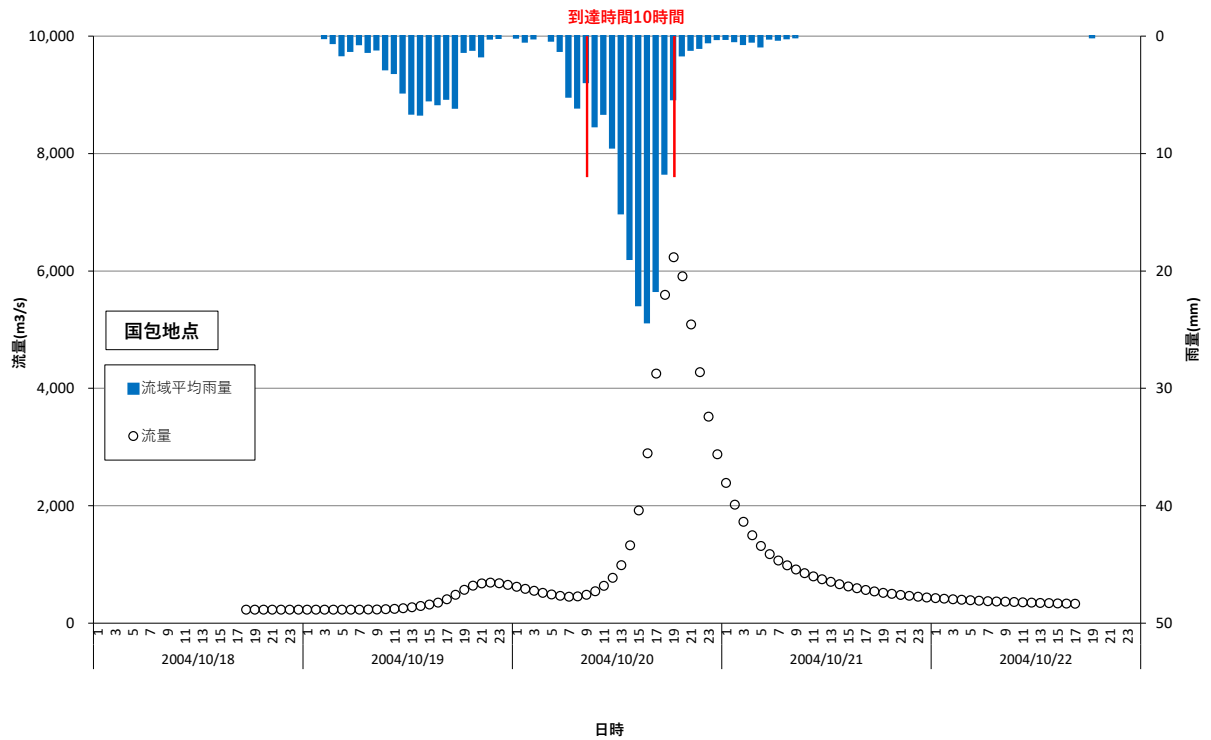
表－ 1. 6. 2 Kinematic Wave 法による洪水到達時間（国包地点）

洪水 No.	洪水名	① 到達時間 (hr)	② 到達時間内降雨量 (mm)	②/① 到達時間内降雨強度 (mm/hr)
1	S58.09.28	5	94.05	18.8
2	H16.10.20	10	143.18	14.3
3	H18.7.19	7	69.30	9.9
4	H22.5.24	34	167.34	4.9
5	H23.9.4	8	99.21	12.4
6	H23.9.20	11	120.95	11.0
7	H25.9.16	14	155.27	11.1
8	H27.7.17	17	177.30	10.4
9	H29.10.23	10	92.05	9.2
10	H30.7.7	12	117.45	9.8
平均		12.8	123.61	11.2

※ハイトグラフ：流域平均雨量（国包地点上流）
 流量ハイドログラフ：計算流量

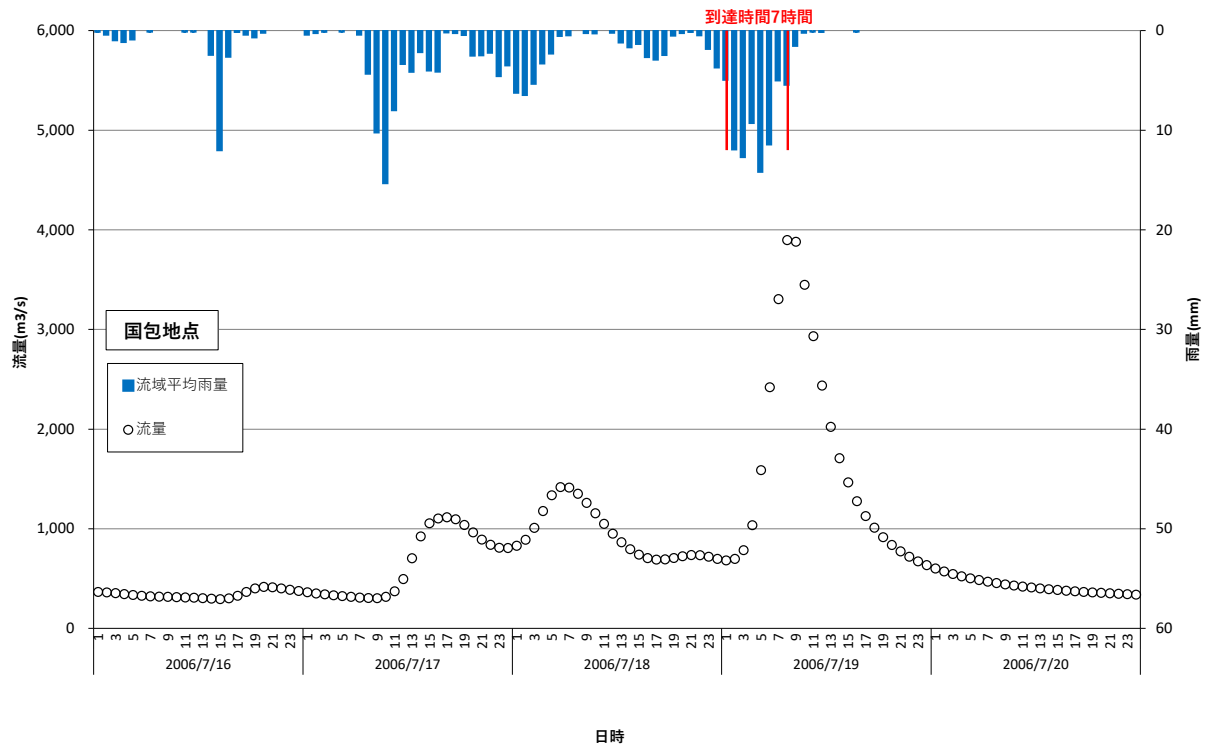


図－ 1.6.2(1) Kinematic Wave 法による洪水到達時間（国包地点 S580928 洪水）

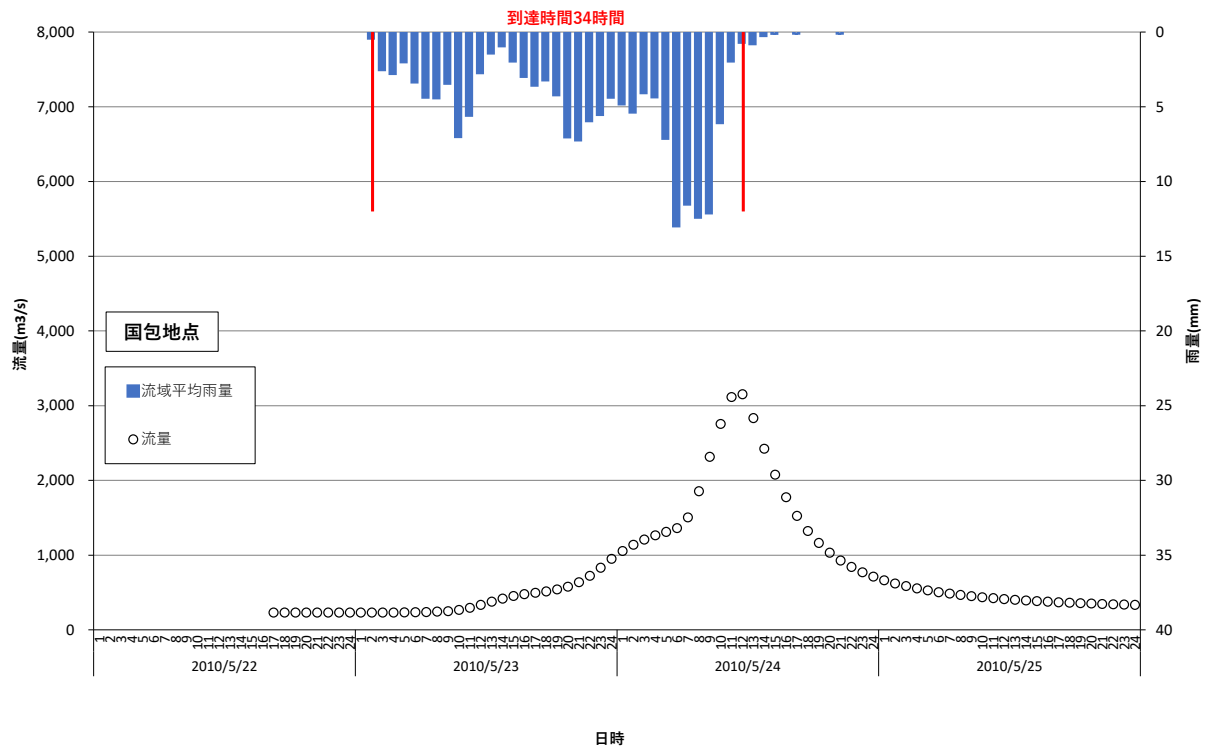


図－ 1.6.2(2) Kinematic Wave 法による洪水到達時間（国包地点 H161020 洪水）

※ハイトグラフ：流域平均雨量（国包地点上流）
 流量ハイドログラフ：計算流量

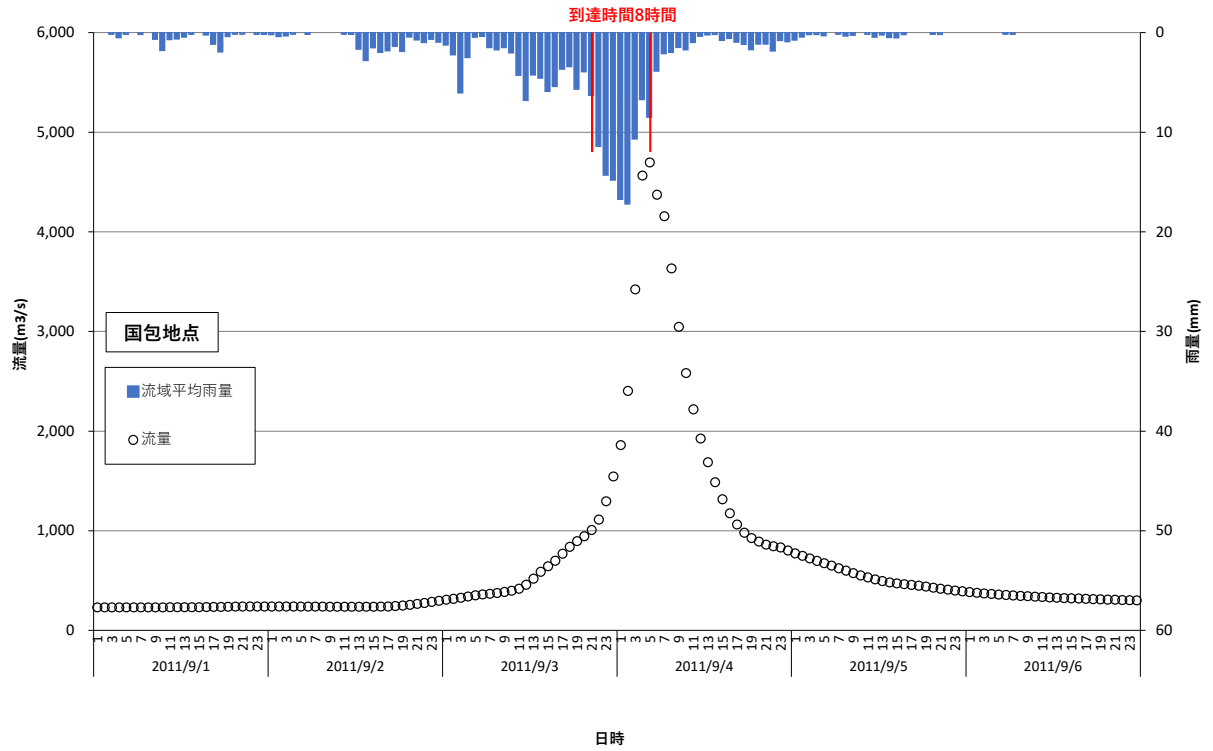


図－ 1.6.2(3) Kinematic Wave 法による洪水到達時間（国包地点 H180719 洪水）

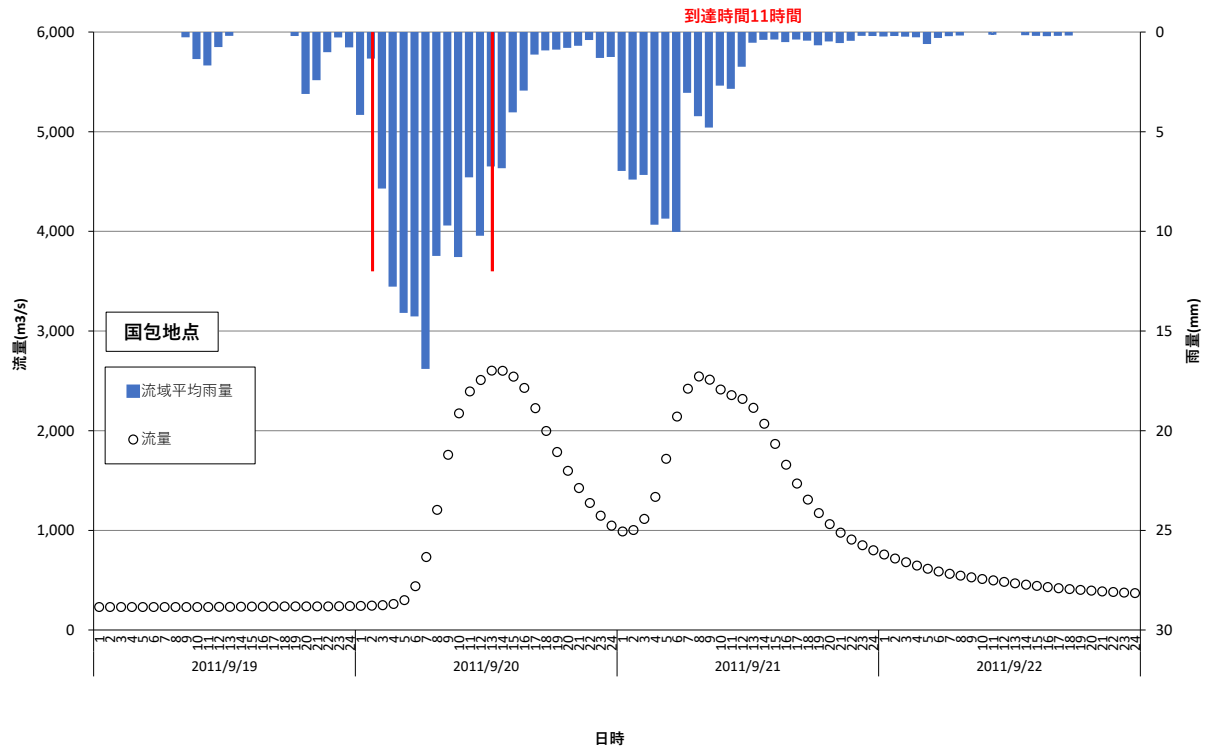


図－ 1.6.2(4) Kinematic Wave 法による洪水到達時間（国包地点 H220524 洪水）

※ハイトグラフ：流域平均雨量（国包地点上流）
 流量ハイドログラフ：計算流量

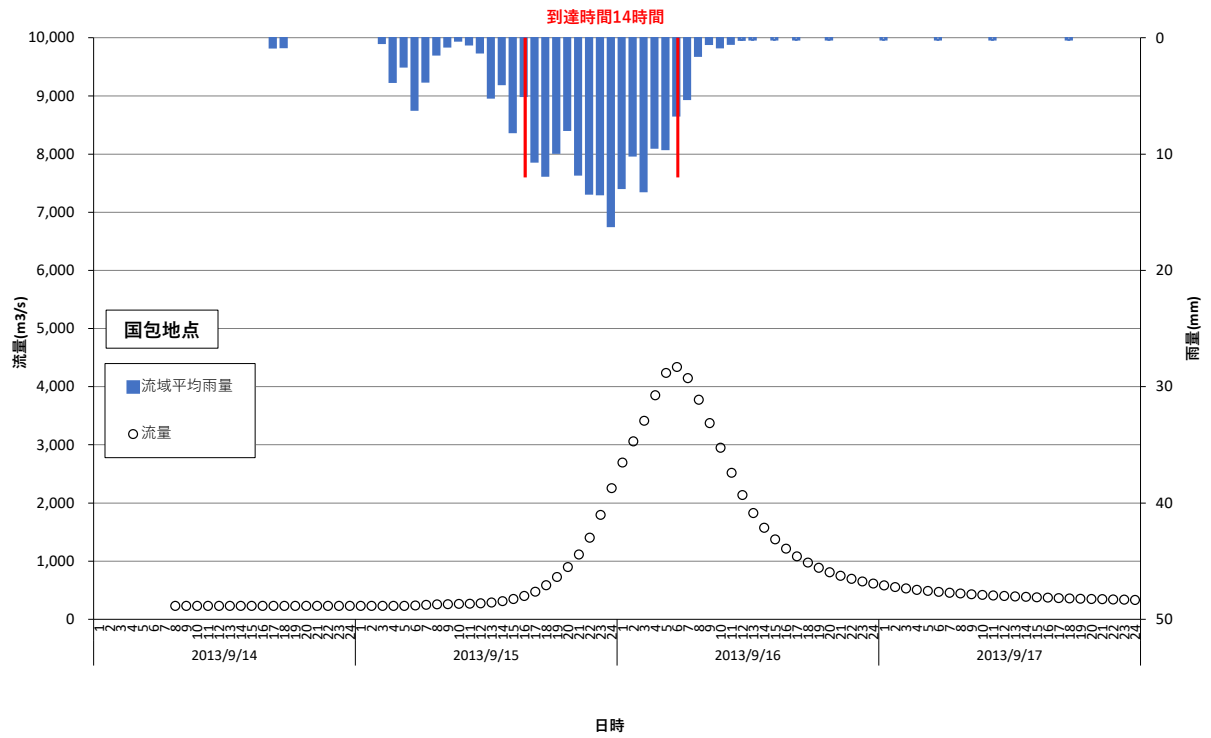


図－ 1.6.2(5) Kinematic Wave 法による洪水到達時間（国包地点 H230904 洪水）

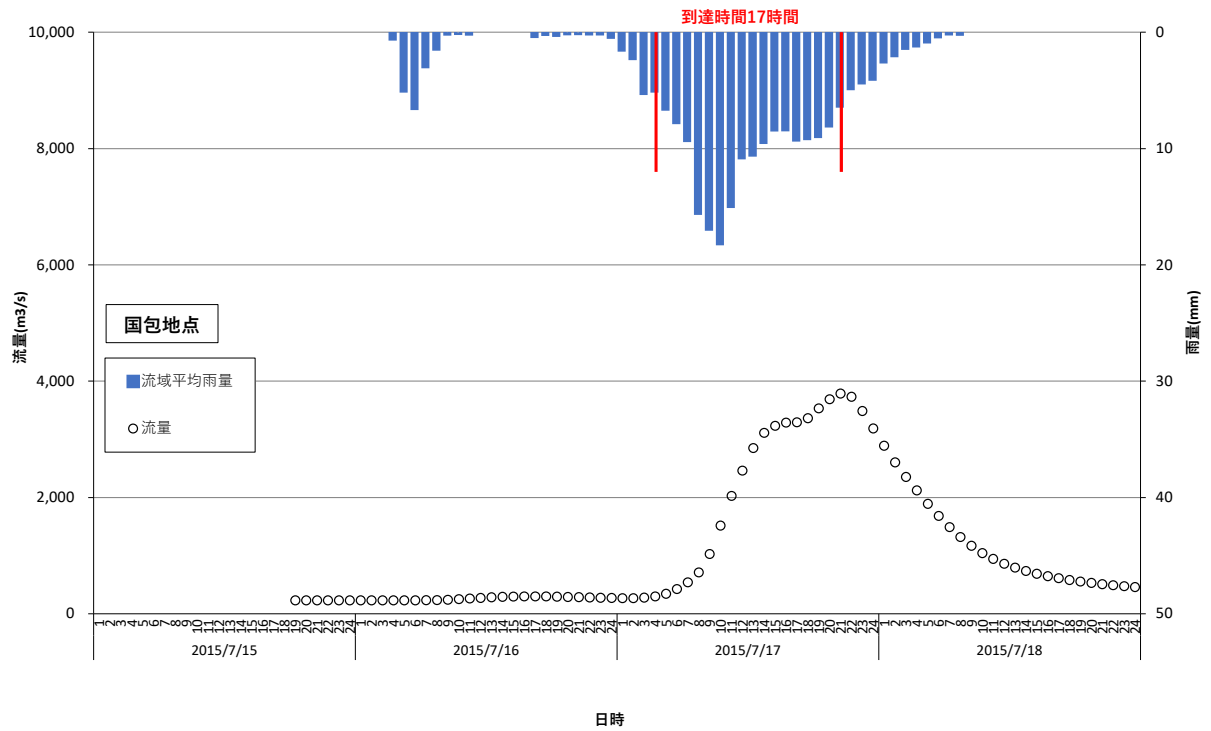


図－ 1.6.2(6) Kinematic Wave 法による洪水到達時間（国包地点 H230920 洪水）

※ハイトグラフ：流域平均雨量（国包地点上流）
 流量ハイドログラフ：計算流量

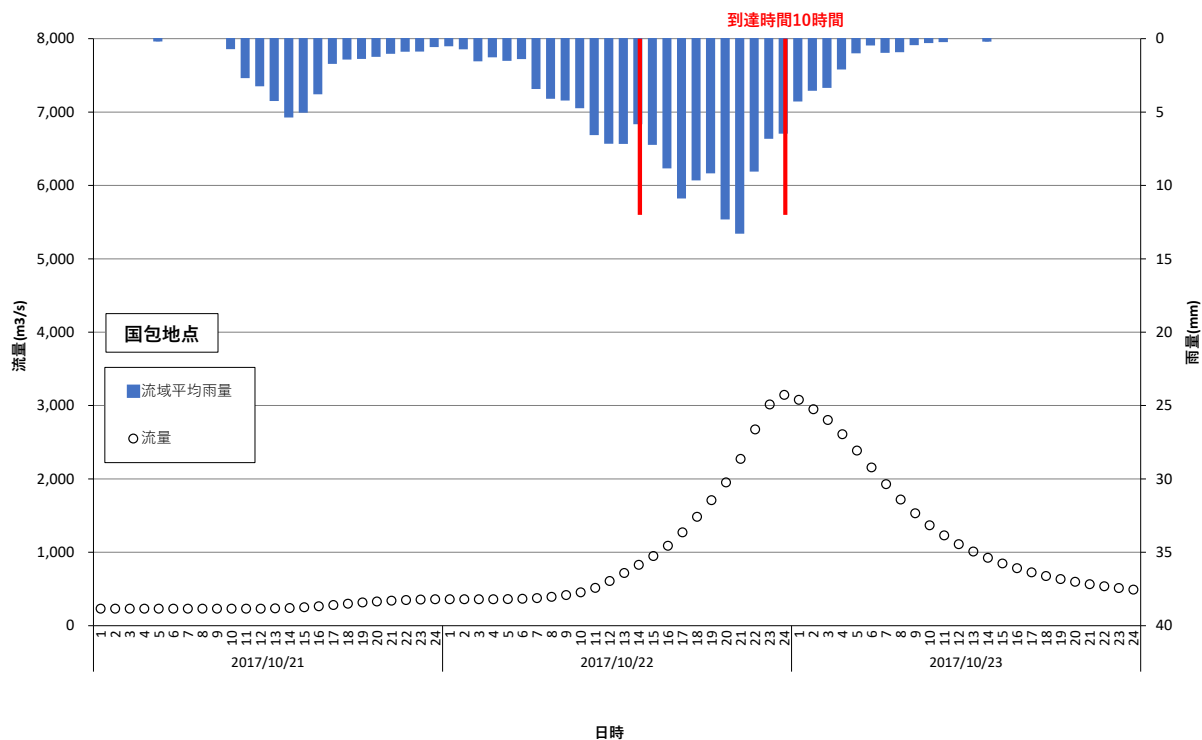


図－ 1.6.2(7) Kinematic Wave 法による洪水到達時間（国包地点 H250916 洪水）

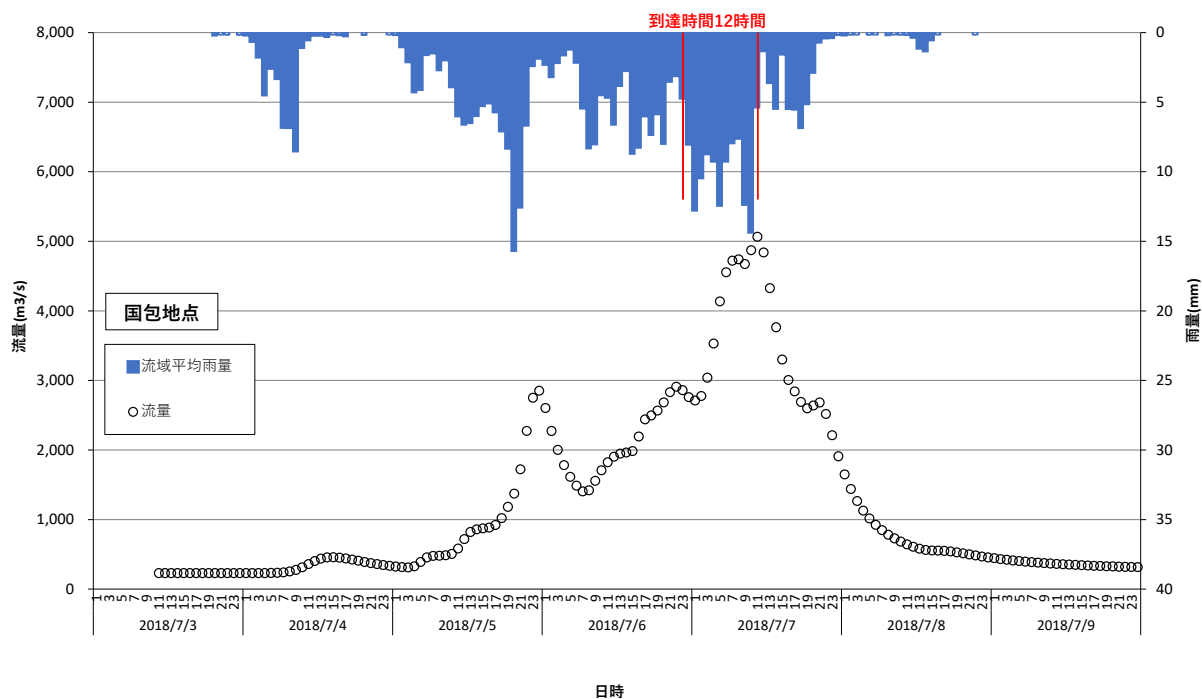


図－ 1.6.2(8) Kinematic Wave 法による洪水到達時間（国包地点 H270717 洪水）

※ハイトグラフ：流域平均雨量（国包地点上流）
 流量ハイドログラフ：計算流量



図－ 1.6.2(9) Kinematic Wave 法による洪水到達時間（国包地点 H290917 洪水）



図－ 1.6.2(10) Kinematic Wave 法による洪水到達時間（国包地点 H300706 洪水）

(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。

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

ここで、 T_p は時間 (min)、 A は流域面積 (km^2)、 r_e は時間当たりの雨量 (mm/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。

加古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記に示す通りであり、流域特性を表す定数 C は国包：248 となる。

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、上記で設定した Kinematic Wave 法による洪水到達時間内雨量強度を想定し、洪水到達時間の範囲を定めた。

その結果、角屋の式による洪水到達時間は、国包地点で 7.6～12.1 時間、平均 9.3 時間となった。

表－ 1.6.3 流域特性 C の算定結果（国包上流）

	C	面積割合 (%)
兵陵山林地域	290	0.68
放牧地・ゴルフ場	200	0.21
粗造成宅地	105	－
市街化地域	75	0.11
	$C =$	248

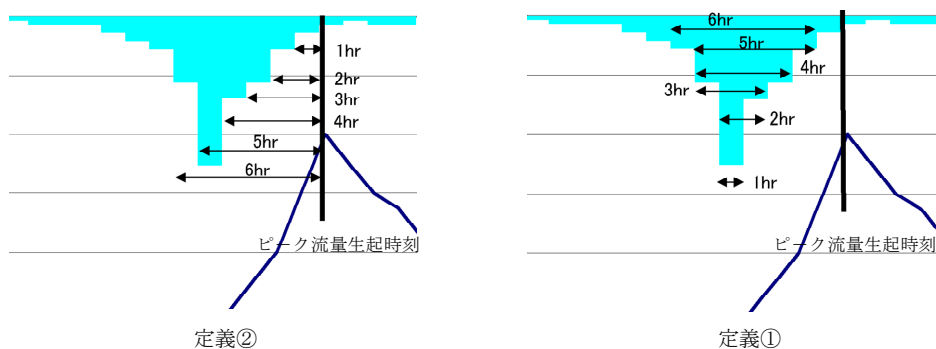
表－ 1.6.4 角屋の式による洪水到達時間（国包地点）

洪水 No.	洪水	到達時間 (hr)	到達時間内降雨強度 (mm/hr)	角屋式による洪水到達時間 (hr)
1	S58.9.28	5	18.81	7.6
2	H16.10.20	10	14.32	8.3
3	H18.7.19	7	9.90	9.5
4	H22.5.24	34	4.92	12.1
5	H23.9.4	8	12.40	8.7
6	H23.9.20	11	11.00	9.1
7	H25.9.16	14	11.09	9.1
8	H27.7.17	17	10.43	9.3
9	H29.10.23	10	9.21	9.7
10	H30.7.7	12	9.79	9.5
最小		5	4.92	7.6
最大		34	18.81	12.1
平均		12.8	11.19	9.3

1.6.3 ピーク流量と短時間雨量の相関について

ここでは、昭和36年（1961年）から令和4年（2022年）までの62年間で基準地点国包において年最大流量を記録した洪水を対象に、ピーク流量とピーク流量生起時刻から遡る短時間雨量との相関関係、ピーク流量生起時刻前で最大となる短時間雨量との相関関係の整理を行った。なお、短時間雨量については、1～3、6、9、12、15、18、24、36、48時間雨量を対象とした。

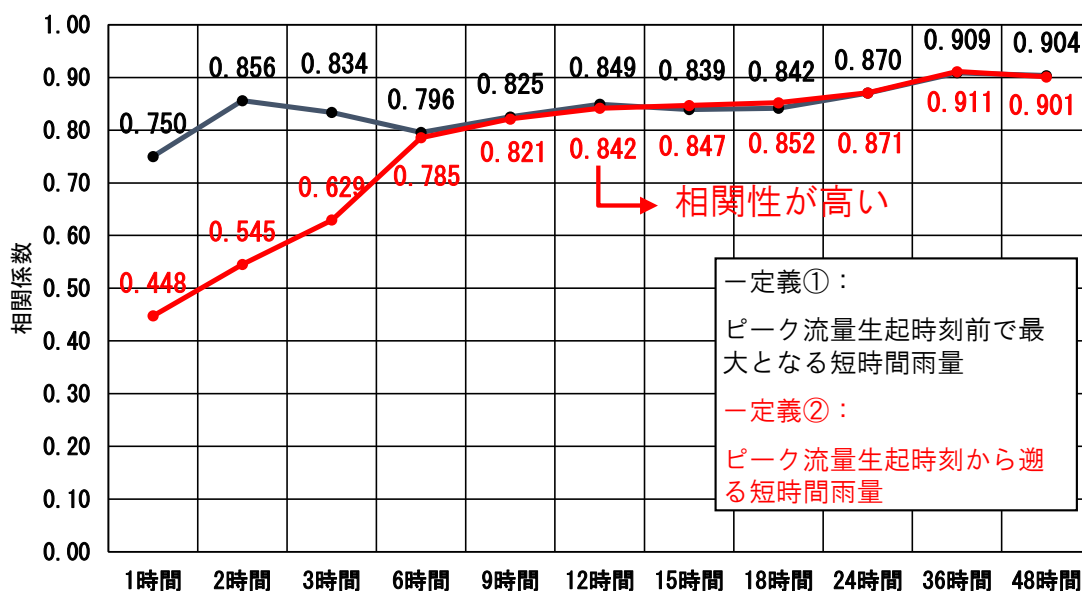
その結果、短時間雨量が12時間を超えるとピーク流量との相関が高くなることが示された。



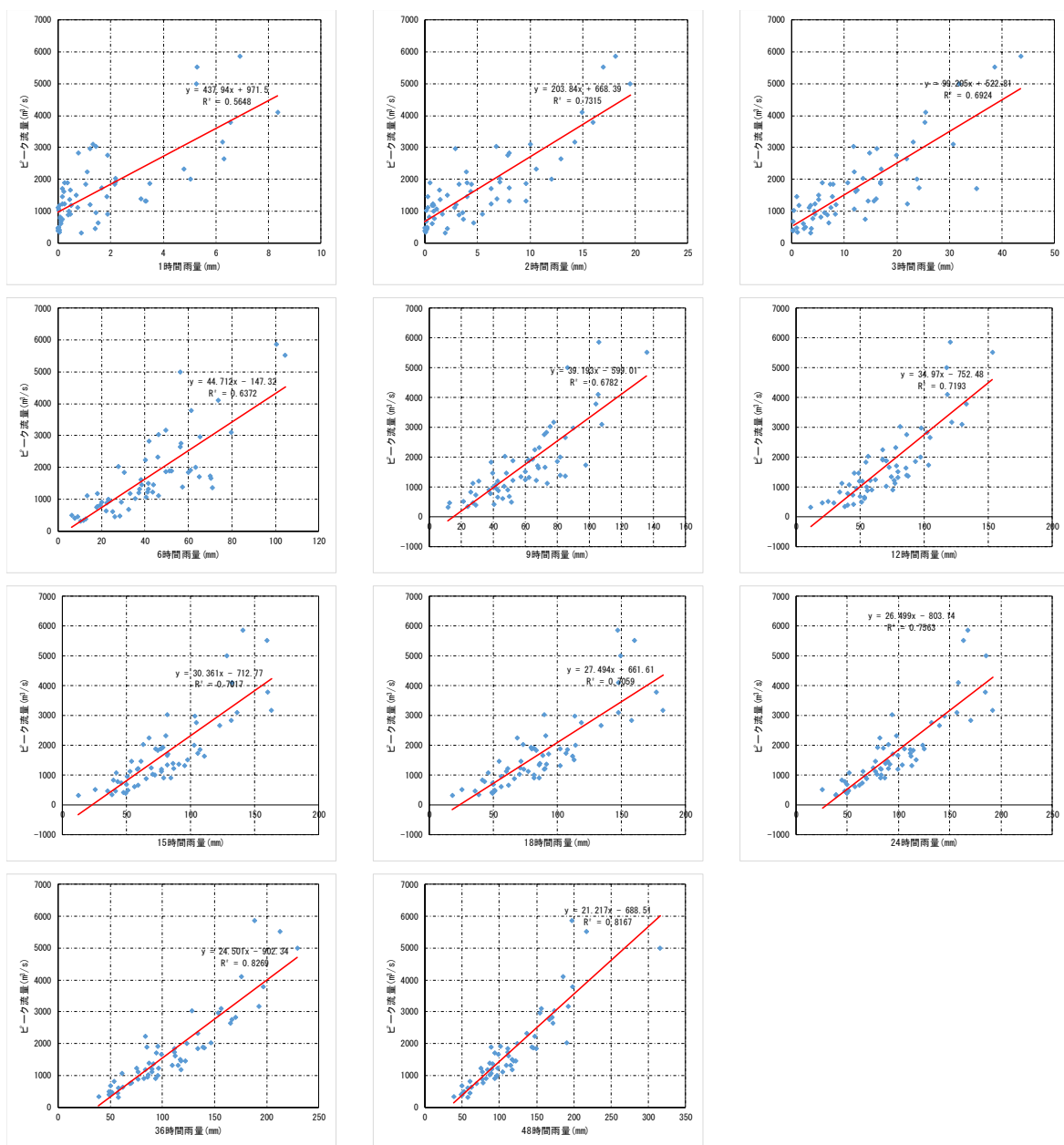
定義②：ピーク流量生起時刻から遡る短時間雨量

定義①：ピーク流量生起時刻前で最大となる短時間雨量

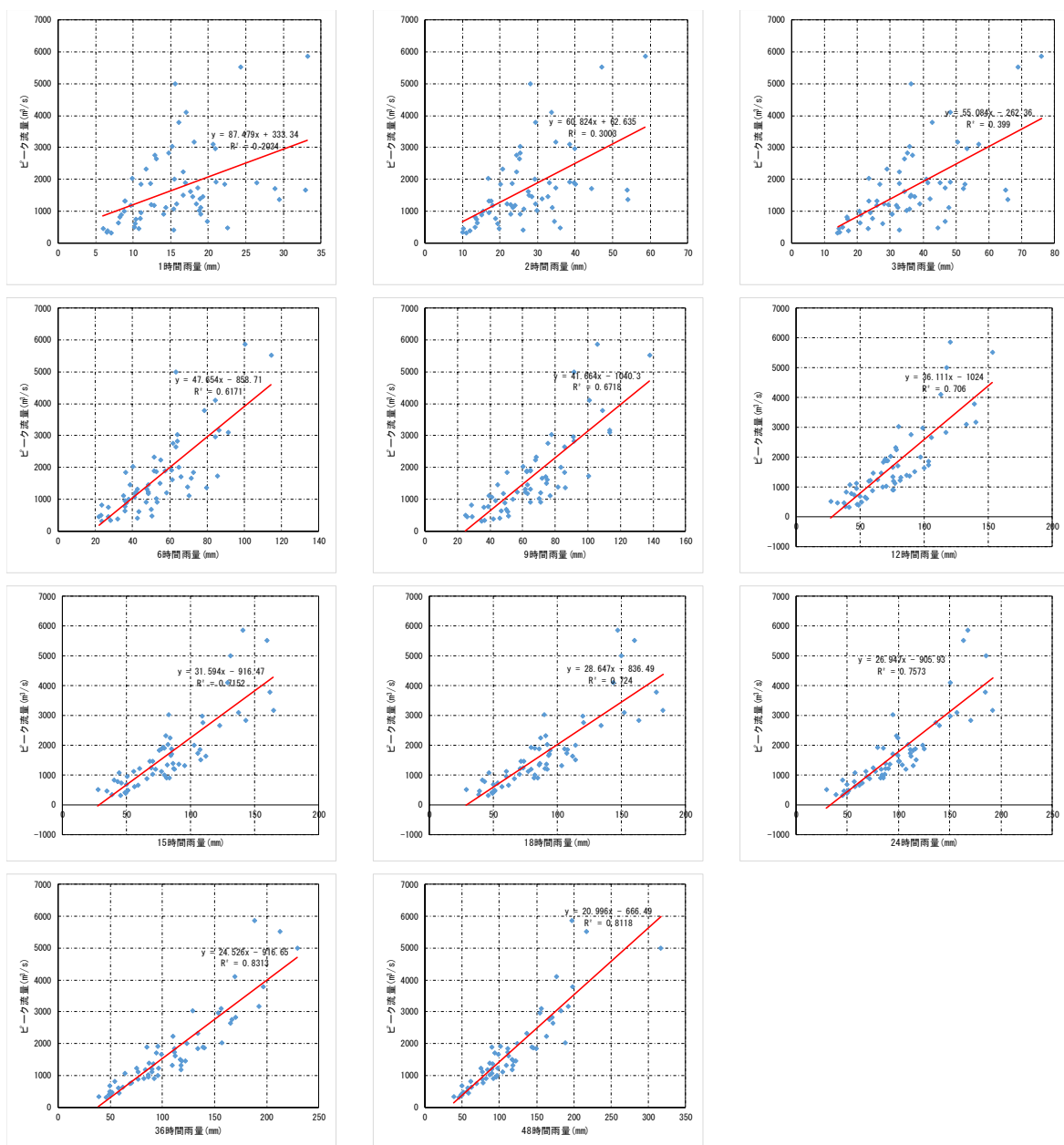
図ー 1.6.3 ピーク流量と雨量相関の定義



図ー 1.6.4 国包地点のピーク流量と雨量との相関関係



図ー 1.6.5 国包地点のピーク流量と雨量との相関関係 (①ピーク流量生起時刻前で最大となる短時間雨量)



図一 1.6.6 国包地点のピーク流量と雨量との相関関係 (②ピーク流量生起時刻から遡る短時間雨量)

表ー 1.6.5 国包地点のピーク流量と雨量との関係

(①ピーク流量生起時刻前で最大となる短時間雨量)

No.	洪水名	流量 (m ³ /s)	雨量 (mm)											
			1時間	2時間	3時間	6時間	9時間	12時間	15時間	18時間	24時間	36時間	48時間	
1	S360627	1388.10	3.15	6.83	16.05	57.33	81.60	86.20	86.42	86.42	87.26	87.26	87.26	
2	S370609	3101.94	1.33	10.04	30.69	79.69	107.41	129.62	136.38	147.61	156.60	156.60	156.60	
3	S380603	1923.45	2.18	7.14	16.87	60.97	64.62	67.43	78.16	79.54	79.75	95.70	101.60	
4	S390924	1655.22	0.47	1.38	12.52	70.20	72.09	72.83	81.74	88.68	99.01	99.06	99.06	
5	S400914	2822.46	0.77	8.05	14.82	41.88	73.29	102.44	131.68	157.60	170.46	170.46	170.46	
6	S410917	1839.69	2.15	4.46	7.86	30.45	38.57	54.66	74.52	83.35	113.98	134.07	149.21	
7	S421027	1326.32	3.35	9.63	15.67	41.54	62.30	79.72	95.34	102.31	113.10	115.20	115.20	
8	S430828	1227.28	0.25	0.79	4.40	43.40	52.13	57.74	58.81	61.51	82.05	96.31	97.83	
9	S440708	1183.11	0.51	0.80	1.40	33.26	42.73	49.44	58.28	73.81	83.17	83.58	83.58	
10	S450614	2027.43	2.18	7.16	13.57	27.95	47.27	56.32	62.96	73.51	90.32	146.32	190.54	
11	S460829	1332.49	3.31	8.00	14.50	37.53	57.13	74.61	82.03	85.95	103.80	109.38	109.40	
12	S470608	1702.11	0.16	6.32	35.19	64.89	67.75	78.30	82.39	92.85	94.09	94.09	94.09	
13	S481013	1212.91	1.22	3.01	8.40	37.13	66.54	76.68	87.07	90.11	90.15	90.15	90.15	
14	S490908	2967.84	1.22	2.90	16.19	65.18	89.84	97.75	103.45	113.47	144.84	153.83	153.86	
15	S500707	481.84	0.00	0.00	0.94	28.48	51.31	51.34	51.34	51.34	51.34	51.34	51.34	
16	S510913	1113.37	0.00	0.31	3.35	46.31	73.60	77.07	77.09	77.09	77.11	77.11	77.11	
17	S521116	645.30	1.53	4.65	7.11	22.11	42.87	53.44	59.09	61.91	62.11	62.11	62.11	
18	S530622	313.14	0.90	1.91	3.57	10.55	11.61	11.66	12.50	18.11	38.74	57.74	57.98	
19	S540629	1890.06	0.36	3.99	10.60	52.08	61.70	67.42	77.09	81.64	85.07	85.23	88.67	
20	S550831	824.82	0.09	0.45	5.48	19.39	25.95	33.87	39.76	41.45	44.97	53.98	60.92	
21	S560627	511.18	0.04	0.24	2.62	6.25	21.49	24.78	25.41	25.50	25.61	48.98	52.52	
22	S570801	1996.91	5.05	12.02	23.76	63.25	81.82	96.94	102.82	113.90	123.39	123.66	123.66	
23	S580927	5851.92	6.93	18.11	43.58	100.36	105.83	120.39	140.49	146.86	167.70	188.29	197.63	
24	S590627	741.03	0.17	3.64	14.00	17.63	29.03	44.27	46.00	49.52	64.30	68.83	69.79	
25	S600628	415.56	0.05	0.12	0.29	7.80	40.54	44.69	47.98	49.07	49.16	49.16	49.16	
26	S610721	771.03	0.08	0.88	4.02	17.99	38.23	40.42	43.04	43.04	47.67	70.38	77.96	
27	S621016	1730.15	1.66	8.03	24.27	70.07	97.69	103.43	105.68	106.98	111.59	111.64	111.64	
28	S630602	1871.37	3.49	9.60	16.89	49.69	62.00	70.36	76.77	102.15	124.85	140.10	145.22	
29	H010902	997.55	0.41	0.82	4.31	23.08	40.09	55.35	71.83	81.80	83.15	95.26	96.97	
30	H020920	1848.01	1.05	3.23	7.31	60.02	80.10	93.23	107.06	107.68	111.37	111.37	111.37	
31	H030705	464.22	0.00	0.22	3.80	26.13	27.30	29.67	41.22	50.99	51.06	51.06	51.06	
32	H040820	954.16	1.44	3.60	6.30	23.73	41.74	46.91	50.55	56.07	67.75	85.58	95.29	
33	H050814	884.66	0.38	3.24	6.76	22.43	43.37	55.85	65.16	66.48	69.06	76.99	77.61	
34	H060412	378.26	0.00	0.00	0.30	12.91	28.91	40.52	49.40	49.54	49.54	49.54	49.54	
35	H070511	1187.96	0.06	0.72	3.60	18.22	30.88	51.77	76.93	89.75	99.58	117.71	117.71	
36	H080827	2326.88	4.78	10.62	16.97	46.03	68.40	77.85	80.78	91.01	97.82	134.08	136.42	
37	H090805	1014.28	0.02	0.14	0.47	35.53	46.58	70.58	70.65	70.65	78.66	86.54	86.54	
38	H101017	1888.65	0.25	0.48	5.81	51.08	52.19	70.57	72.87	80.10	105.58	138.66	143.92	
39	H110629	1502.98	0.69	2.17	5.16	41.48	59.99	79.70	97.56	113.11	117.10	117.10	117.10	
40	H121101	1449.78	0.16	0.25	1.04	38.53	39.35	45.70	61.07	71.48	77.32	118.09	119.64	
41	H130619	909.59	1.88	5.45	8.33	20.16	37.26	59.08	84.31	85.69	86.76	93.70	93.70	
42	H140709	909.04	0.48	1.68	4.38	29.25	49.22	75.46	79.02	81.56	82.48	82.48	82.48	
43	H150713	604.92	0.10	0.67	2.22	25.26	45.67	53.18	56.04	56.29	57.81	57.83	57.83	
44	H161020	5519.66	5.29	16.92	38.55	104.59	135.55	153.00	159.59	160.11	163.08	212.70	216.64	
45	H170703	452.88	1.40	2.18	2.37	9.21	12.96	20.62	34.99	35.66	47.54	57.11	60.90	
46	H180719	3029.95	1.44	6.78	11.70	46.30	75.60	81.34	81.96	89.69	93.94	128.13	173.97	
47	H190713	1124.87	0.76	2.87	7.46	13.29	27.45	35.56	52.63	60.14	65.39	89.68	104.71	
48	H200921	688.34	0.11	0.11	0.30	32.61	49.98	49.98	49.98	49.98	49.98	49.98	49.98	
49	H210801	1461.48	1.85	4.03	7.71	43.77	47.96	48.92	53.86	54.73	89.50	121.82	121.82	
50	H220523	2760.52	1.87	7.86	19.90	56.56	71.86	86.18	104.65	118.86	131.95	167.06	167.06	
51	H230903	4108.90	8.35	14.94	25.48	73.78	105.36	117.97	132.54	147.72	158.30	176.13	185.30	
52	H240707	1241.65	0.18	6.27	22.07	41.34	59.75	62.03	69.00	71.22	74.96	75.08	75.08	
53	H250915	3780.38	6.56	16.01	25.32	61.17	103.84	133.02	160.17	177.03	184.29	196.68	198.07	
54	H260808	1367.31	0.44	1.43	5.07	70.91	84.74	87.51	90.92	91.12	91.23	91.32	91.32	
55	H270717	3177.71	6.26	14.23	23.11	49.65	77.84	121.55	163.10	182.30	191.57	192.20	192.20	
56	H280920	2237.45	1.11	3.94	11.89	40.13	65.92	67.50	67.50	68.69	81.48	83.51	147.59	
57	H291022	2656.77	6.30	12.95	21.84	56.10	84.98	104.70	122.63	133.85	139.78	165.28	171.43	
58	H300706	4991.48	5.27	19.54	31.81	56.34	86.47	117.45	128.52	149.41	184.98	229.25	315.93	
59	R010911	348.27	0.06	0.10	1.15	11.89	24.15	38.00	38.85	38.86	38.86	38.86	38.86	
60	R020708	1077.78	0.04	1.11	11.96	40.44	41.18	41.56	42.26	46.02	51.50	61.45	89.15	
61	R030707	1628.73	0.21	4.39	12.22	38.19	68.25	85.90	110.42	111.97	112.11	112.18	112.18	
62	R040704	810.25	1.34	2.06	2.16	2.81	37.29	49.69	51.12	51.12	51.12	51.12	51.12	
相関係数			0.750	0.856	0.834	0.796	0.825	0.849	0.839	0.842	0.870	0.909	0.904	

表ー 1.6.6 国包地点のピーク流量と雨量との関係(②ピーク流量生起時刻から遡る短時間雨量)

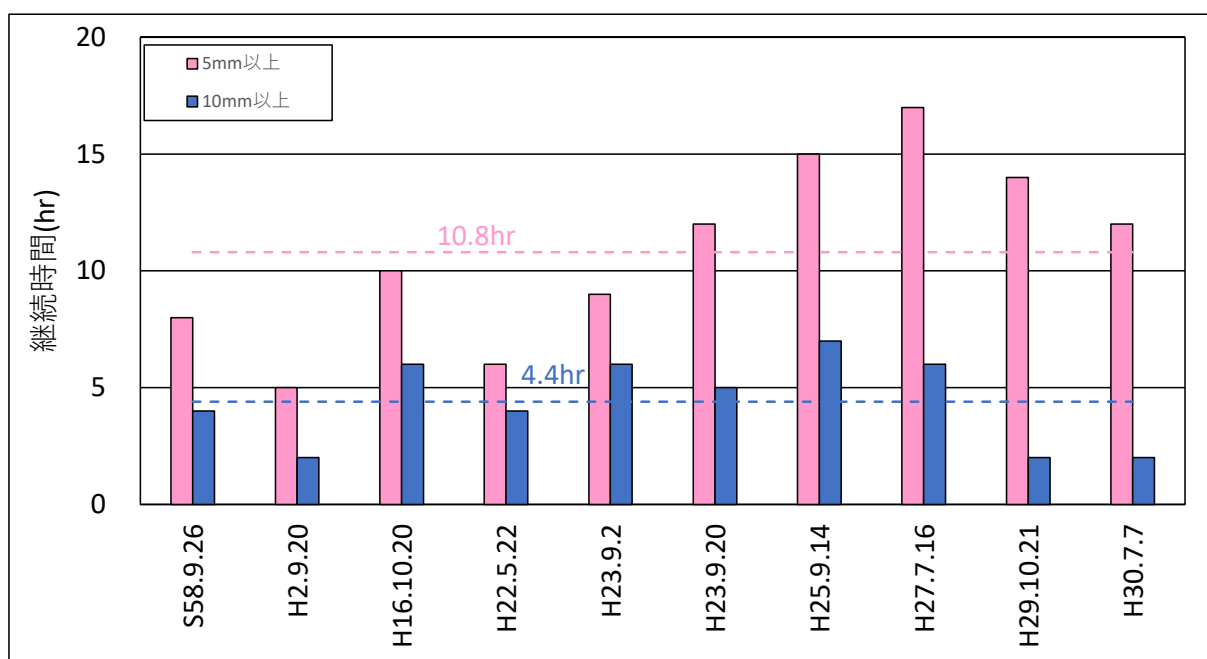
No.	洪水名	流量 (m ³ /s)	雨量 (mm)											
			1時間	2時間	3時間	6時間	9時間	12時間	15時間	18時間	24時間	36時間	48時間	
1	S360627	1388.10	18.93	31.18	42.00	69.55	81.60	86.20	86.42	86.42	87.26	87.26	87.26	
2	S370609	3101.94	20.65	38.55	56.86	91.28	113.48	132.58	137.43	152.09	156.60	156.60	156.60	
3	S380603	1923.45	21.05	38.51	48.24	60.97	64.62	69.97	78.16	79.54	79.75	95.70	101.60	
4	S390924	1655.22	32.97	53.86	65.00	71.35	72.09	75.30	84.49	92.98	99.01	99.06	99.06	
5	S400914	2822.46	14.71	25.39	35.10	64.27	91.53	116.86	142.78	163.31	170.46	170.46	170.46	
6	S410917	1839.69	11.03	20.12	26.79	36.25	50.28	67.90	75.49	94.22	113.98	134.07	149.21	
7	S421027	1326.32	8.96	17.62	25.92	47.73	64.96	81.76	95.34	103.51	114.17	118.17	118.17	
8	S430828	1227.28	18.43	29.41	39.00	48.34	56.90	57.97	60.03	71.25	87.23	96.63	97.83	
9	S440708	1183.11	12.82	23.95	31.86	41.33	48.04	56.88	72.41	79.32	83.17	83.58	83.58	
10	S450614	2027.43	9.86	16.78	23.43	40.22	60.50	73.94	82.11	91.77	109.01	156.63	188.74	
11	S460829	1332.49	8.88	17.06	23.56	42.63	61.54	75.47	82.03	85.95	103.80	109.38	109.40	
12	S470608	1702.11	28.87	44.37	52.28	66.00	73.94	79.35	84.88	93.85	94.09	94.09	94.09	
13	S481013	1212.91	12.40	22.77	29.41	58.14	71.04	81.34	87.07	90.11	90.15	90.15	90.15	
14	S490908	2967.84	20.92	39.96	53.25	84.37	91.09	98.92	108.87	119.53	150.49	153.83	153.86	
15	S500707	481.84	22.56	36.11	44.54	50.46	51.31	51.34	51.34	51.34	51.34	51.34	51.34	
16	S510913	1113.37	19.03	33.97	47.80	70.25	76.69	77.09	77.09	77.09	77.11	77.11	77.11	
17	S521116	645.30	8.00	14.01	20.76	35.90	47.07	53.93	59.09	61.91	62.11	62.11	62.11	
18	S530622	313.14	7.05	11.05	13.97	23.65	35.00	41.34	45.19	45.75	45.75	45.99	45.99	
19	S540629	1890.06	17.00	33.10	41.48	57.33	62.49	69.30	79.59	82.50	85.07	85.23	90.02	
20	S550831	824.82	8.27	13.30	16.73	23.36	28.68	38.95	40.38	41.55	45.15	54.57	61.82	
21	S560627	511.18	10.17	13.34	15.60	23.07	24.97	27.09	27.77	28.71	29.60	49.84	56.49	
22	S570801	1996.91	15.48	29.24	40.98	64.78	83.60	96.94	102.82	113.90	123.39	123.66	123.66	
23	S580927	5851.92	33.21	58.68	75.94	100.36	105.83	120.39	140.49	146.86	167.70	188.29	197.63	
24	S590627	741.03	10.36	13.83	17.16	26.98	36.37	45.52	46.07	53.23	64.56	68.83	69.79	
25	S600628	415.56	15.36	26.18	32.87	42.62	46.14	47.70	48.78	49.11	49.16	49.16	49.16	
26	S610721	771.03	10.98	18.83	24.56	35.94	39.01	42.93	43.04	43.04	56.78	70.38	77.96	
27	S621016	1730.15	18.64	34.88	46.66	85.44	100.60	103.49	105.68	107.20	111.59	111.75	111.75	
28	S630602	1871.37	12.33	23.17	32.80	52.93	62.38	70.36	85.26	105.84	124.85	140.10	145.22	
29	H010902	997.55	8.82	15.45	20.59	38.02	54.20	67.52	79.35	82.40	83.50	95.62	96.97	
30	H020920	1848.01	22.18	40.11	52.71	72.79	85.92	103.59	107.06	107.77	111.37	111.37	111.37	
31	H030705	464.22	10.78	19.69	23.27	26.84	29.02	37.42	50.41	51.01	51.08	51.08	51.08	
32	H040820	954.16	11.09	17.03	24.00	35.91	43.27	46.91	50.55	60.02	68.77	86.47	95.29	
33	H050814	884.66	8.43	15.21	20.94	36.61	49.09	59.54	65.71	66.48	71.42	76.99	77.61	
34	H060412	378.26	6.60	11.95	17.30	32.01	42.19	49.10	49.54	49.54	49.54	49.54	49.54	
35	H070511	1187.96	9.67	18.01	25.88	48.52	62.78	76.18	87.48	92.16	107.47	117.71	117.71	
36	H080827	2326.88	11.76	20.77	29.06	51.43	68.40	77.85	80.78	91.01	98.18	134.08	136.42	
37	H090805	1014.28	18.80	29.89	35.06	52.77	70.11	70.63	70.65	70.66	86.40	86.54	86.54	
38	H101017	1888.65	26.45	39.78	45.27	51.67	64.76	71.41	77.43	85.85	116.38	139.18	143.92	
39	H110629	1502.98	16.66	27.73	36.32	54.83	74.54	92.40	107.95	114.31	117.10	117.10	117.10	
40	H121101	1449.78	17.95	32.68	37.49	38.53	44.66	60.03	70.44	73.76	100.63	118.48	119.64	
41	H130619	909.59	18.97	22.92	30.65	53.28	64.67	75.98	83.63	84.73	84.90	91.82	91.82	
42	H140709	909.04	14.06	25.42	30.51	47.12	71.08	75.79	81.08	81.56	82.48	82.48	82.48	
43	H150713	604.92	10.25	19.40	27.64	43.45	50.96	55.33	56.04	56.53	57.81	57.83	57.83	
44	H161020	5519.66	24.30	47.14	68.77	114.32	137.87	153.00	159.59	160.11	163.08	212.70	216.64	
45	H170703	452.88	5.98	10.23	14.37	22.03	25.78	32.62	34.58	39.21	47.20	58.56	58.89	
46	H180719	3029.95	15.22	25.41	35.87	63.96	77.77	79.95	82.87	89.49	94.25	129.07	182.67	
47	H190713	1124.87	14.32	23.49	32.36	35.33	39.34	47.27	55.92	60.14	68.42	90.11	104.71	
48	H200921	688.34	19.83	34.56	46.80	49.87	49.87	49.87	49.87	49.87	49.87	49.87	49.87	
49	H210801	1461.48	19.32	28.41	36.06	48.44	62.90	66.44	67.94	71.74	99.89	121.82	121.82	
50	H220523	2760.52	12.90	24.37	36.66	61.73	75.27	89.76	109.73	120.48	136.52	167.06	167.06	
51	H230903	4108.90	17.06	33.64	48.30	84.27	100.81	113.16	128.61	143.52	150.28	169.46	176.95	
52	H240707	1241.65	15.80	21.89	28.15	41.89	61.77	63.79	69.05	73.41	74.96	75.08	75.08	
53	H250915	3780.38	16.07	29.40	42.67	78.52	108.91	139.27	161.60	177.03	184.29	196.68	198.07	
54	H260808	1367.31	29.43	54.12	65.84	79.67	86.11	88.66	90.92	91.12	91.23	91.32	91.32	
55	H270717	3177.71	18.10	34.95	50.43	86.51	113.45	139.99	164.52	182.30	191.57	192.20	192.20	
56	H280920	2237.45	16.71	24.47	32.75	55.14	67.93	78.09	84.13	86.71	99.27	109.94	163.19	
57	H291022	2656.77	13.11	25.25	34.26	63.36	85.75	105.38	122.63	133.85	139.78	165.28	171.43	
58	H300706	4991.48	15.58	28.04	36.27	63.41	91.56	117.45	131.14	150.05	184.98	229.25	316.57	
59	R010911	348.27	6.45	9.99	14.70	28.14	36.85	38.79	38.85	38.86	38.86	38.86	38.86	
60	R020708	1077.78	15.44	26.29	35.81	41.10	41.28	41.86	44.46	46.53	57.37	64.24	89.48	
61	R030707	1628.73	17.62	27.55	34.39	61.35	74.93	99.64	111.73	111.97	112.11	112.18	112.18	
62	R040704	810.25	16.41	27.44	35.09	46.88	48.53	49.69	51.12	51.12	51.12	51.12	51.12	
相関係数			0.448	0.545	0.629	0.785	0.821	0.842	0.847	0.852	0.871	0.911	0.901	

1.6.4 強い降雨強度の継続時間

比較的強い降雨強度である時間 5mm/hr の降雨の継続時間及び強い降雨強度である時間 10mm/hr の降雨の継続時間の集計を行った。なお、継続時間の集計は国包地点流域平均雨量を対象に行うものとする。

対象洪水は、過去洪水（昭和 46 年～令和 4 年）のうち、基準点国包において実績流量規模の上位 10 洪水とした。

以下に集計した結果を示す。この結果、国包地点では 5.0mm/hr 以上の継続時間の平均値は 10.8 時間、10mm/hr 以上の継続時間の平均値は 4.4 時間程度となり、洪水のピーク流量を形成している強い降雨強度の継続時間は、概ね 15 時間でカバーできることが分かる



図－ 1.6.7 強い降雨強度の継続時間（国包上流域平均雨量）

1.6.5 対象降雨の降雨継続時間の設定

加古川の降雨継続時間は、上記の検討結果をもとに総合的に判断した結果、国包地点で既定計画の2日から18時間に変更した。

表－ 1.6.7 降雨継続時間の検討結果

	国包
Kinematic Wave法による 洪水の到達時間	5～34 時間、平均 13 時間
角屋の式による 洪水の到達時間	7.6～12.1 時間、平均 9.3 時間
ピーク流量と 相関の高い短時間雨量	ピーク流量と相関の高い短時間雨量は 12 時間を超えると相関が高い。
強い降雨強度の 継続時間	5mm 以上で平均 10.8 時間、10mm 以上で平均 4.4 時間程度。概ね 15 時間でカバーできる。

1.7 河川整備の目標となる洪水の規模及び対象降雨の降雨量の設定

1.7.1 対象降雨の降雨量の設定

対象降雨の継続時間は、KinematicWave 法及び角屋の式等による洪水の到達時間、短時間雨量と洪水ピーク流量の相関、強い降雨強度の継続時間から総合的に判断した結果、18 時間とした。

なお、降雨量変化倍率の算定に用いている過去実験の期間が平成 22 年（2010 年）までであることを踏まえ、既定計画から雨量標本のデータ延伸を一律に平成 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、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した。

昭和 36 年（1961 年）～平成 22 年（2010 年）までの 50 年間の年最大 18 時間雨量を確率処理し、適合度の基準を満足し、安定性の良好な確率分布モデルを用い、基準地点国包で 1/150 対象降雨で 172.2mm と決定した。

表－ 1.7.1 基準地点国包 18 時間雨量 1/150 確率算定結果

流域：国包18H													
	極値分布			指数分布	対数ピアソンⅢ型分布		岩井法	石原・高瀬法	対数正規分布				
	グンベル分布	平方根指数型 最大値分布	一般化極値 分布		対数ピアソン Ⅲ型分布 (実数空間法)	対数ピアソン Ⅲ型分布 (対数空間法)			対数正規分布 3母数 クォンタイル法	対数正規分布 3母数 (積率法)	対数正規分布 2母数 (L積率法)	対数正規分布 2母数 (積率法)	
	Gumbel	SqrtEt	Gev		Exp	LP3Rs			LogP3	Iwai	IshiTaka	LN3Q	LN3PM
SLSC(99%)	0.038	0.044	0.041	0.058	0.030	—	—	0.033	0.035	0.032	0.031	0.031	

確率水文量													
確率年	Gumbel	SqrtEt	Gev	Exp	LP3Rs	LogP3	Iwai	IshiTaka	LN3Q	LN3PM	LN2LM	LN2PM	採用値
2	84.4	83.1	85.3	79.5	85.4	—	—	84.7	86.5	84.8	84.8	84.8	86.5
3	96.6	96.6	97.7	92.3	98.0	—	—	97.0	98.7	97.1	97.3	97.4	98.7
5	110.2	112.7	111.1	108.4	111.4	—	—	110.5	111.2	110.6	111.0	111.1	111.2
10	127.3	134.4	127.2	130.3	127.5	—	—	127.1	125.8	127.1	127.8	127.9	125.8
20	143.7	156.9	142.1	152.2	142.2	—	—	142.8	138.9	142.7	143.5	143.7	138.9
30	153.2	170.6	150.4	165.1	150.5	—	—	151.7	146.0	151.5	152.4	152.7	146.0
50	165.0	188.4	160.5	181.2	160.5	—	—	162.8	154.6	162.5	163.5	163.9	154.6
80	175.8	205.5	169.5	196.1	169.5	—	—	173.0	162.3	172.5	173.6	174.0	162.3
100	180.9	213.8	173.7	203.1	173.8	—	—	177.8	165.9	177.2	178.4	178.8	165.9
150	190.2	229.2	181.1	215.9	181.4	—	—	186.5	172.2	185.7	187.1	187.5	172.2
200	196.8	240.4	186.3	225.0	186.7	—	—	192.7	176.7	191.8	193.2	193.7	176.7
400	212.6	268.5	198.4	246.9	199.4	—	—	207.6	187.1	206.5	208.1	208.6	187.1
500	217.7	277.9	202.2	254.0	203.4	—	—	212.5	190.5	211.2	212.8	213.4	190.5

SLSC≤0.04

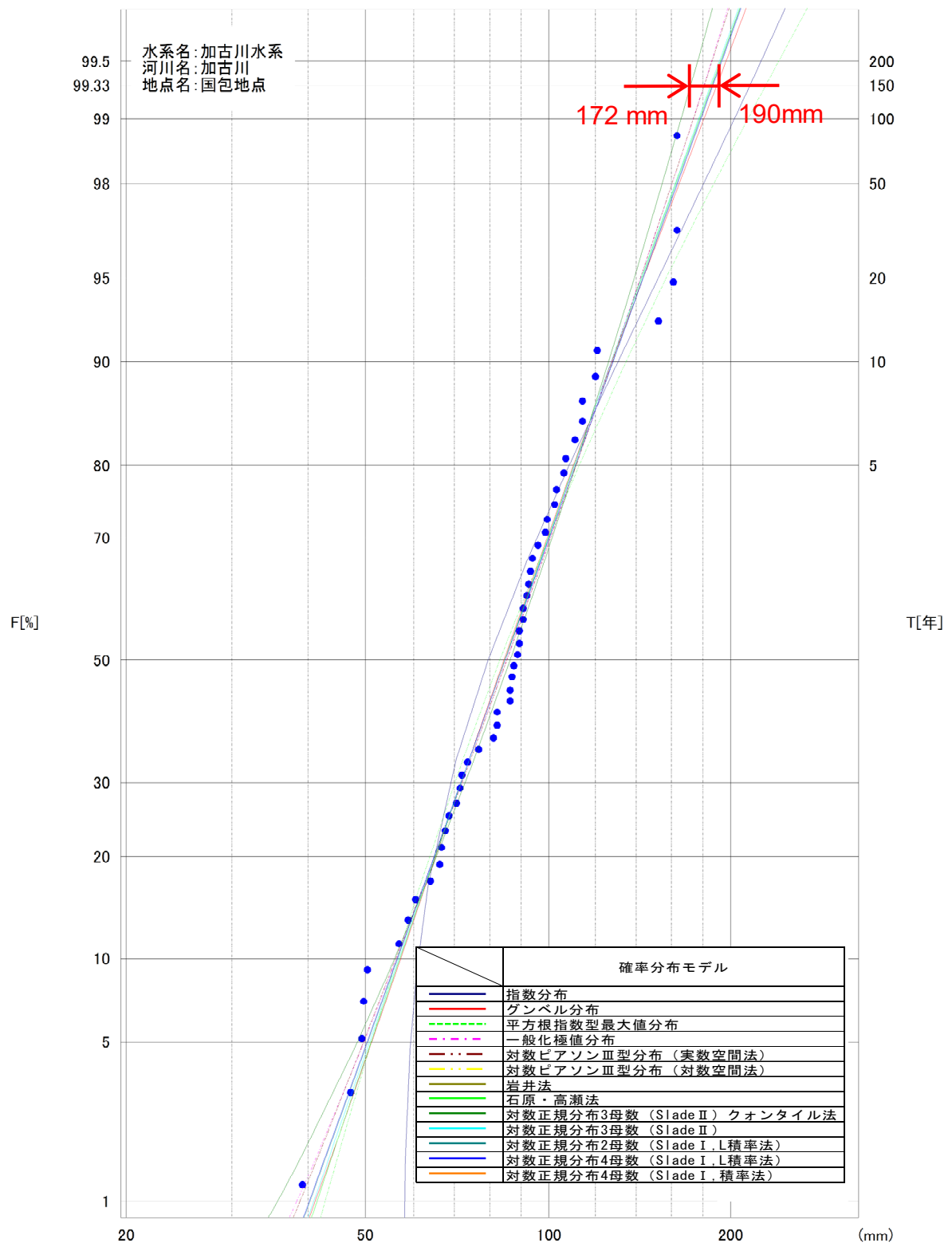
JK-推定誤差値													
確率年	Gumbel	SqrtEt	Gev	Exp	LP3Rs	LogP3	Iwai	IshiTaka	LN3Q	LN3PM	LN2LM	LN2PM	最小値
2	3.8	3.8	3.7	3.6	4.0	—	—	4.0	4.2	4.0	3.8	3.8	3.8
3	4.6	4.5	4.2	4.3	4.9	—	—	4.8	5.0	4.8	4.5	4.5	4.5
5	5.9	5.8	5.5	5.7	6.1	—	—	6.0	6.0	6.0	5.8	5.7	5.7
10	7.8	8.0	8.0	8.1	7.8	—	—	7.7	7.2	7.7	7.8	7.6	7.2
20	9.7	10.5	11.4	10.7	9.5	—	—	9.6	8.7	9.6	10.1	9.8	8.7
30	10.8	12.1	13.8	12.3	10.6	—	—	10.8	9.7	10.8	11.6	11.1	9.7
50	12.3	14.3	17.2	14.3	12.1	—	—	12.5	11.0	12.4	13.4	12.9	11.0
80	13.6	16.5	20.6	16.2	13.5	—	—	14.2	12.4	14.1	15.2	14.6	12.4
100	14.3	17.5	22.4	17.0	14.2	—	—	15.0	13.0	14.9	16.1	15.4	13.0
150	15.4	19.5	25.7	18.7	15.6	—	—	16.7	14.4	16.5	17.8	17.0	14.4
200	16.2	21.0	28.1	19.8	16.6	—	—	17.9	15.3	17.7	19.0	18.1	15.3
400	18.2	24.8	34.5	22.6	19.3	—	—	21.0	17.9	20.7	21.9	20.8	17.9
500	18.9	26.1	36.6	23.5	20.2	—	—	22.1	18.7	21.7	22.9	21.8	18.7

— 算定不可

SLSC≤0.04

採用値

推定誤差最小



図－ 1. 7. 1 国包地点における雨量確率計算結果
(基準地点国包 18 時間雨量 昭和 36 年 (1961 年) ～平成 22 年 (2010 年) : 50 年間)

表一 1.7.2 年最大 18 時間雨量一覽（基準地点国包）

N0	西曆	洪水年月日			18時間雨量(mm)
1	1961	S36年	6月	27日	88.0
2	1962	S37年	6月	9日	152.1
3	1963	S38年	6月	3日	81.4
4	1964	S39年	9月	24日	93.0
5	1965	S40年	9月	14日	163.3
6	1966	S41年	9月	18日	94.2
7	1967	S42年	10月	27日	103.5
8	1968	S43年	8月	28日	71.3
9	1969	S44年	6月	25日	89.7
10	1970	S45年	8月	14日	93.7
11	1971	S46年	8月	30日	86.7
12	1972	S47年	9月	16日	102.8
13	1973	S48年	10月	13日	90.7
14	1974	S49年	9月	8日	119.5
15	1975	S50年	8月	22日	67.7
16	1976	S51年	9月	8日	95.9
17	1977	S52年	9月	8日	66.1
18	1978	S53年	9月	15日	58.6
19	1979	S54年	10月	18日	86.8
20	1980	S55年	9月	7日	47.2
21	1981	S56年	5月	17日	50.2
22	1982	S57年	8月	1日	113.9
23	1983	S58年	9月	28日	160.9
24	1984	S59年	5月	1日	68.6
25	1985	S60年	6月	25日	88.9
26	1986	S61年	3月	22日	49.3
27	1987	S62年	10月	16日	107.2
28	1988	S63年	6月	2日	105.8
29	1989	H1年	9月	2日	82.4
30	1990	H2年	9月	19日	110.5
31	1991	H3年	9月	30日	64.0
32	1992	H4年	6月	23日	70.6
33	1993	H5年	8月	14日	66.5
34	1994	H6年	4月	12日	49.6
35	1995	H7年	5月	11日	92.2
36	1996	H8年	8月	28日	99.8
37	1997	H9年	7月	26日	91.1
38	1998	H10年	9月	22日	98.9
39	1999	H11年	6月	29日	114.3
40	2000	H12年	11月	1日	73.8
41	2001	H13年	6月	19日	87.4
42	2002	H14年	7月	9日	82.1
43	2003	H15年	7月	13日	56.5
44	2004	H16年	10月	20日	163.3
45	2005	H17年	7月	3日	39.2
46	2006	H18年	7月	18日	89.7
47	2007	H19年	7月	14日	60.1
48	2008	H20年	9月	21日	76.7
49	2009	H21年	8月	1日	71.7
50	2010	H22年	5月	23日	120.5

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、基準地点国包の 1/150 降雨量の 172.2mm/18h に降雨量変化倍率 1.1 倍を乗じて得られた 189.4mm/18h を採用した。

表－ 1.7.3 確率規模降雨量

	国包 (1/150)	備考
確率雨量 (S36-H22 標本)	172.2mm/18h	確率手法 SLSC0.04 以下 Jackknife 推定誤差最小
気候変動を 考慮した降雨量	189.4mm/18h	確率雨量×降雨量変化倍率 1.1

【参考】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確率雨量を算定。なお、確率雨量は、S36-H22 標本で採用した確率分布モデルと同様のモデルを用いて算定した。

⇒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国包 1/150 確率雨量は 199.1mm/18h となり、データ延伸による確率降雨量の増加が確認できたものの大きな差はない。

表－ 1.7.4 R4 年までデータを延伸した確率規模降雨量

	国包 (1/150)	備考
確率雨量 (S36-R4 標本)	199.1mm/18h	確率手法 SLSC0.04 以下 Jackknife 推定誤差最小
気候変動を 考慮した降雨量	219.0mm/18h	確率雨量×降雨量変化倍率 1.1

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、対象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対象降雨波形を設定した。

国包地点の計画対象洪水の選定にあたっては、昭和36年（1961年）～令和4年（2022年）までの基準地点国包のピーク流量が避難判断水位相当流量（ $3,300\text{m}^3/\text{s}$ ）以上、かつ基準地点上流域の降雨継続時間（18時間）内雨量の引き伸ばし率が2倍以下（1.1倍する前の確率雨量）となる12洪水を選定した。

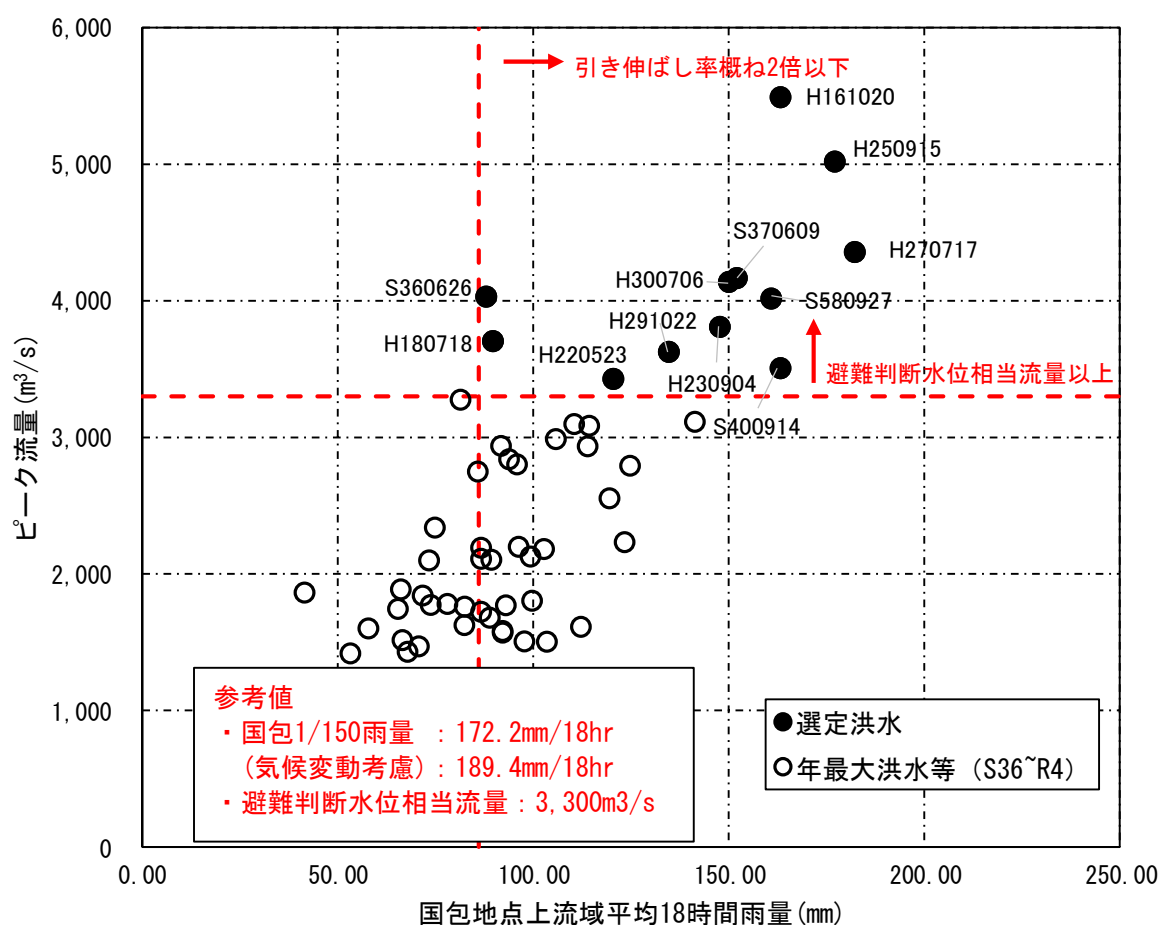


図- 1.8.1 対象洪水の選定結果（国包地点）

表－ 1.8.1 一次選定降雨一覧表（国包地点）

No.	洪水名	実績18時間 雨量 (mm)	①1/150降雨 気候変動無し 拡大率 (172.2mm/18hr) S36～H22標本	②1/150降雨 気候変動あり 拡大率 (①×1.1) (189.4mm/18hr)	基準点国包 ピーク流量 (m ³ /s)	判定
1	S360626	87.97	1.96	2.15	4,032	○
2	S370609	152.11	1.13	1.25	4,166	○
3	S400914	163.31	1.05	1.16	3,506	○
4	S580927	160.91	1.07	1.18	4,015	○
5	H161020	163.31	1.05	1.16	5,492	○
6	H180718	89.70	1.92	2.11	3,705	○
7	H220523	120.48	1.43	1.57	3,427	○
8	H230904	147.74	1.17	1.28	3,810	○
9	H250915	177.16	0.97	1.07	5,019	○
10	H270717	182.29	0.94	1.04	4,357	○
11	H291022	134.70	1.28	1.41	3,627	○
12	H300706	150.04	1.15	1.26	4,137	○

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、実績降雨波形を対象降雨波形として採用するには、確率水文量への引き伸ばしによって異常な降雨になっていないか十分にチェックする必要がある。

従って、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、対象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対象降雨波形を設定した。

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）

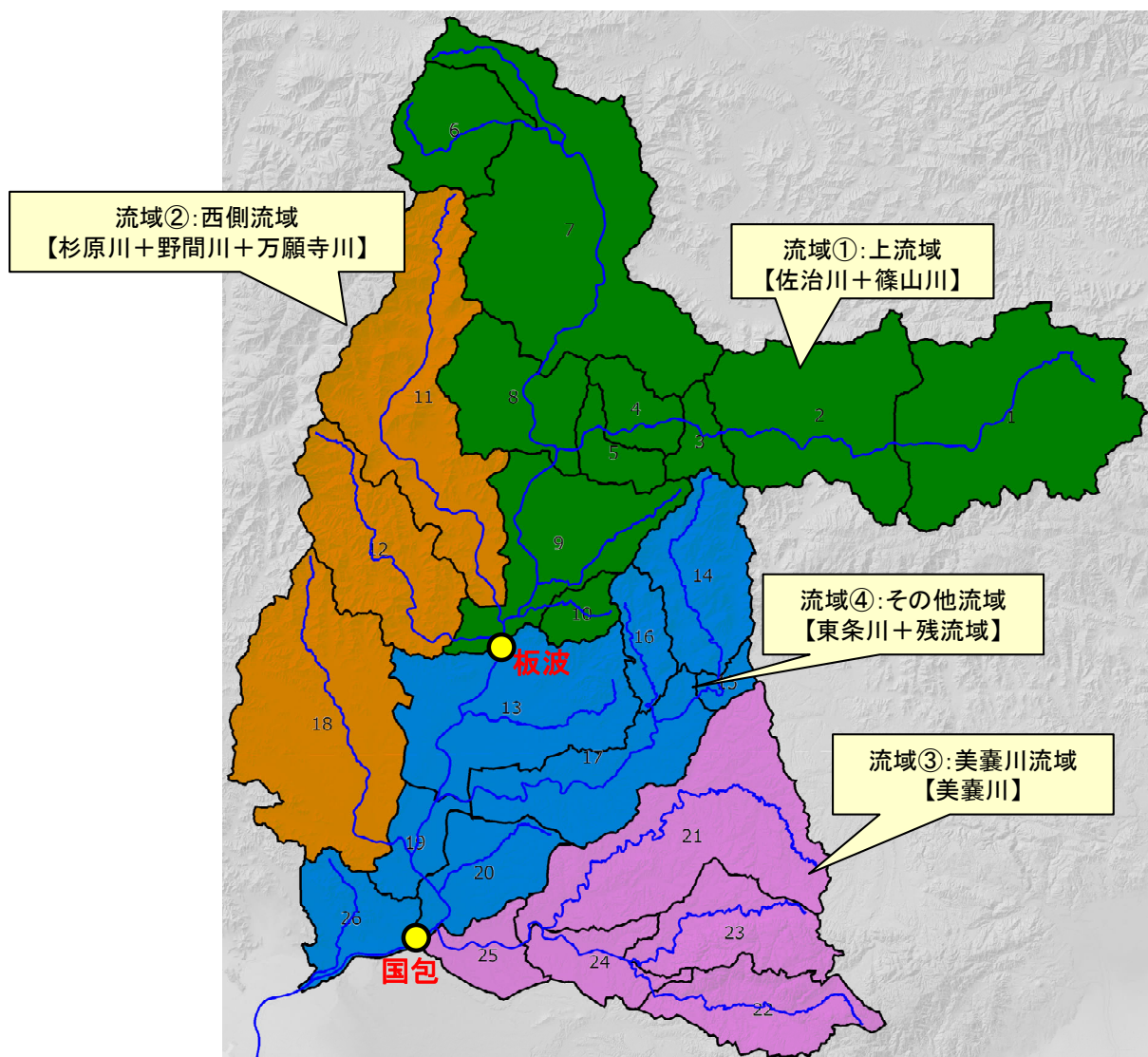
なお、引伸ばし後の降雨量は気候変動による降雨量の増大を考慮しない雨量（降雨量変化倍率を乗じる前の雨量）とした。

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－ 1.9.1 に示す通りであり、以下に示す 4 流域を選定した。

- ①上流域（佐治川・篠山川流域）
- ②西側流域（杉原川・野間川・万願寺川）
- ③その他流域（東条川・残留域）
- ④美囊川流域



図－ 1.9.1 検討対象地域位置図

(2) 対象地域の雨量評価

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した。なお、対象の時間は基準地点国包における18時間雨量が最大となる時間帯（降雨継続時間帯）とした。

国包地点における各地域の拡大後雨量及び1/500雨量は表－1.9.1 地域分布の評価結果（国包地点）に示すとおりであり、12洪水中3洪水が棄却となる。

表－1.9.1 地域分布の評価結果（国包地点）

No.	洪水名	国包上流域 18時間雨量 (mm/18hr)	引伸ばし倍率 (172.2mm/18hr) S36～H22標本	国包1/150 18時間引き伸ばし (mm/18hr)				判定
				篠山川 佐治川流域	西側流域	東条川＋ 残流域	美の川 流域	
1	S360626	88.0	1.957	169.1	211.8	241.6	45.1	×
2	S370609	152.1	1.132	190.2	178.0	154.3	142.7	○
3	S400914	163.3	1.054	177.1	160.4	183.4	163.3	○
4	S580927	160.9	1.070	192.5	138.3	202.2	135.8	○
5	H161020	163.3	1.054	199.0	146.7	145.4	174.4	○
6	H180718	89.7	1.920	180.9	175.6	169.7	150.9	○
7	H220523	120.5	1.429	175.6	205.0	160.8	133.8	○
8	H230904	147.7	1.166	148.0	267.6	152.6	129.0	×
9	H250915	177.2	0.972	194.2	153.4	139.2	189.5	○
10	H270717	182.3	0.945	143.7	181.2	184.8	218.0	×
11	H291022	134.7	1.278	207.4	127.2	143.8	186.2	○
12	H300706	150.0	1.148	194.4	182.9	128.8	168.8	○
棄却基準値 【1/500年確率雨量】		—	—	251.4	235.2	225.0	215.6	

拡大後雨量の確率評価が棄却基準(1/500雨量)を超過しているため棄却
1/500雨量はSLSC≤0.04かつJackknife推定誤差が最小となる手法の値

1.9.4 時間分布の評価について

(1) 対象時間の選定

対象時間の考え方については、以下のとおりとした。

・短時間降雨による棄却基準は角屋の式から得られる洪水到達時間の平均が 9.3 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。

(2) 時間分布の雨量評価

前項にて選定した短時間雨量について、拡大後雨量の異常性評価を確認する。

各時間の拡大後雨量及び 1/500 雨量は表－ 1.9.2 時間分布の評価結果（国包地点）に示すとおりであり、棄却される洪水は存在しない。

表－ 1.9.2 時間分布の評価結果（国包地点）

No.	洪水名	国包上流域 18時間雨量 (mm/18hr)	引伸ばし倍率 (172.2mm/18hr) S36～H22標本	国包1/150	判定
				9時間雨量	
1	S360626	88.0	1.957	159.7	○
2	S370609	152.1	1.132	128.5	○
3	S400914	163.3	1.054	96.5	○
4	S580927	160.9	1.070	129.2	○
5	H161020	163.3	1.054	145.3	○
6	H180718	89.7	1.920	149.3	○
7	H220523	120.5	1.429	107.6	○
8	H230904	147.7	1.166	122.9	○
9	H250915	177.2	0.972	105.9	○
10	H270717	182.3	0.945	107.2	○
11	H291022	134.7	1.278	109.6	○
12	H300706	150.0	1.148	105.1	○
棄却基準値 【1/500年確率雨】		—	—	165.2	

拡大後雨量の確率評価が棄却基準 (1/500雨量) を超過しているため棄
1/500雨量はSLSC≤0.04かつJackknife推定誤差が最小となる手法の値

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

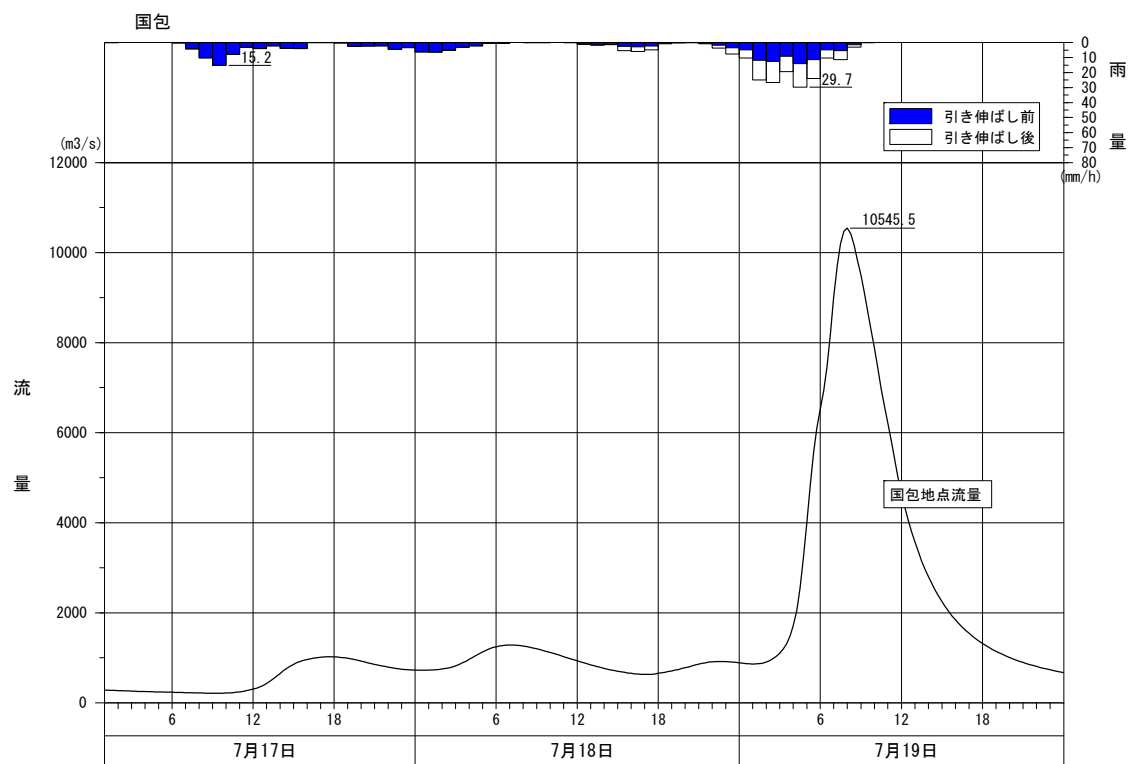
主要洪水を対象に、国包 1/150 規模（1.1 倍）となるように引き伸ばし形を作成した後、流出計算を行った。その結果、国包地点では $4,000\text{m}^3/\text{s}$ ～ $10,600\text{m}^3/\text{s}$ となる。

表－ 1.10.1 各地点における基本高水のピーク流量

地点名	国包
流量 (m^3/s)	10,600

表－ 1.10.2 基本高水のピーク流量（国包 1/150）算定結果

No.	洪水名	国包地点 実績雨量 (mm/18hr)	拡大率 (気候変動 考慮前)	計画雨量 × 1.1 倍 (mm/18hr)	基準地点国包 基本高水ピーク 流量 (m^3/s)	棄却理由
1	S360626	88.0	1.96	189.4	10,111	地域分布※
2	S370609	152.1	1.13	189.4	5,189	
3	S400914	163.3	1.05	189.4	3,912	
4	S580927	160.9	1.07	189.4	7,656	
5	H161020	163.3	1.05	189.4	7,221	
6	H180718	89.7	1.92	189.4	10,546	
7	H220523	120.5	1.43	189.4	6,334	
8	H230904	147.7	1.17	189.4	6,381	地域分布※
9	H250915	177.2	0.97	189.4	4,614	
10	H270717	182.3	0.94	189.4	3,962	地域分布※
11	H291022	134.7	1.28	189.4	4,919	
12	H300706	150.0	1.15	189.4	6,339	



H180718型

図ー 1. 10. 1 H18. 07. 18 洪水 基本高水ハイドロ（国包 W=1/150 降雨量変化倍率 1. 1 倍後）

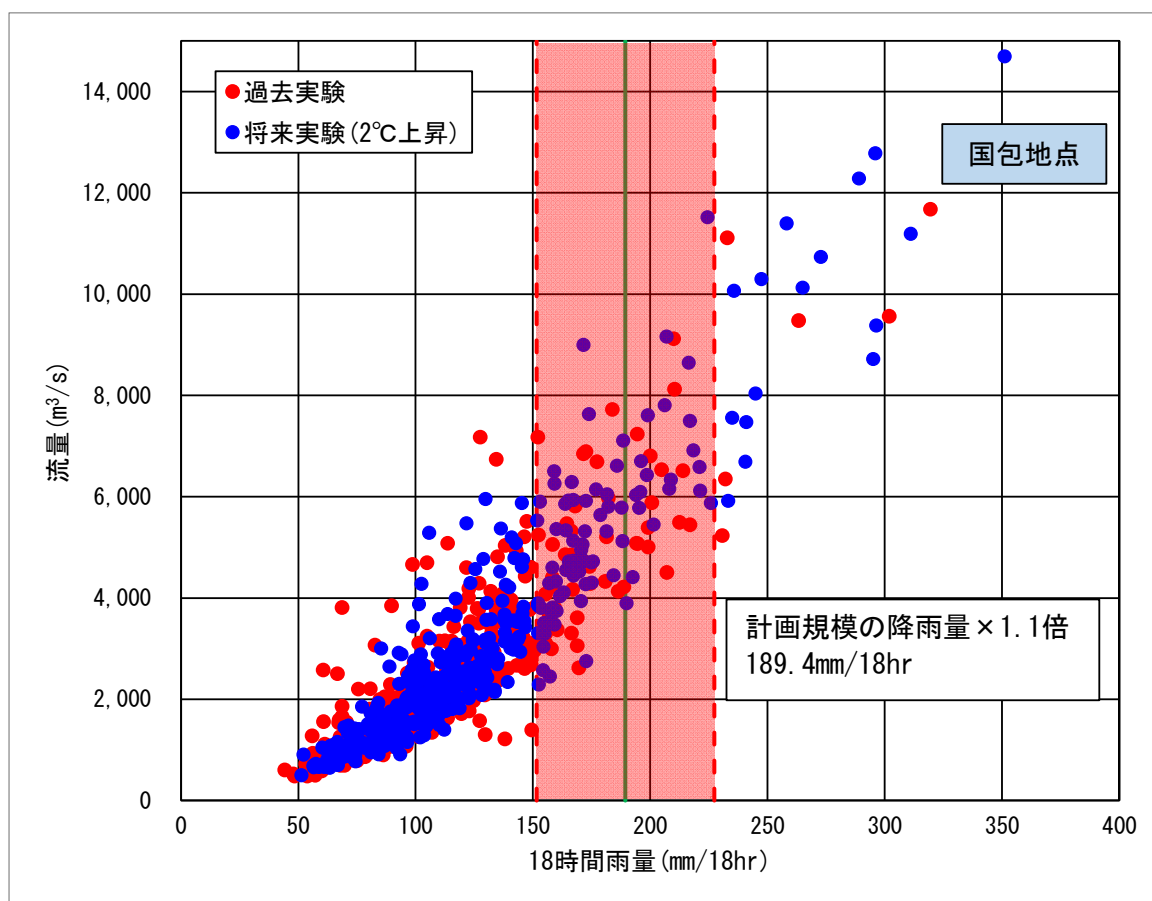
1.11 アンサンブル予測降雨波形を用いた検討

1.11.1 アンサンブル予測降雨波形による流出計算

4℃上昇のシナリオ RCP8.5 における近未来の気候（2℃上昇時：およそ 2040 年頃、世界平均の地上気温が産業革命当時と比べて 2℃上昇）を前提として、文部科学省「SI-CAT 気候変動適応技術社会実装プログラム※」において整備・公表された解像度 5km にダウンスケーリングされたアンサンブル実験により得られたアンサンブル将来予測降雨波形（以下、d2PDF）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 189.4mm/18h（国包）の 20%の範囲内に入る 10 洪水を抽出した。

抽出した 10 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。

国包地点において、抽出した洪水の降雨波形を気候変動考慮した 1/150 確率規模の 18 時間雨量 189.4mm 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 3,200m³/s から 11,100m³/s の範囲となる。



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

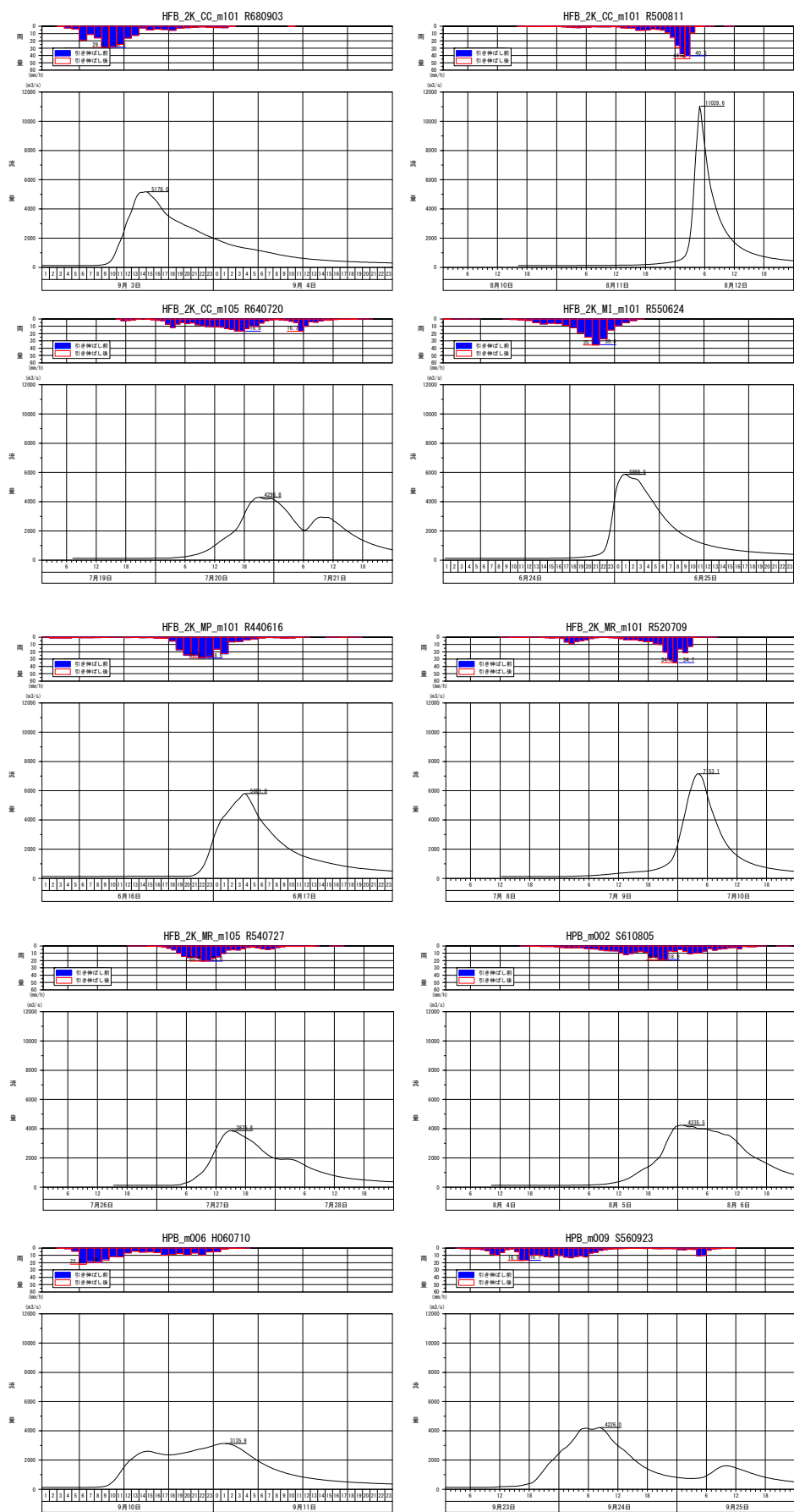
図－ 1.11.1 アンサンブル予測降雨波形からの抽出（国包地点）

※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

表ー 1.11.1 アンサンブル予測降雨波形のピーク流量一覧（国包地点）

洪水名		国包地点 18時間雨量 (mm)	気候変動後 1/150雨量 (mm)	拡大率 (国包地点対象)	国包地点 ピーク流量 (m ³ /s)
将来実験					
HFB_2K_CC_m101	R680903	188.2	189.4	1.006	5,178
HFB_2K_CC_m101	R500811	171.5		1.104	11,040
HFB_2K_CC_m105	R640720	192.6		0.984	4,297
HFB_2K_MI_m101	R550624	187.8		1.008	5,867
HFB_2K_MP_m101	R440616	194.0		0.976	5,802
HFB_2K_MR_m101	R520709	188.6		1.004	7,153
HFB_2K_MR_m105	R540727	190.0		0.997	3,876
過去実験					
HPB_m002	S610805	188.8	189.4	1.003	4,236
HPB_m006	H060910	169.6		1.117	3,136
HPB_m009	S560923	186.4		1.016	4,226

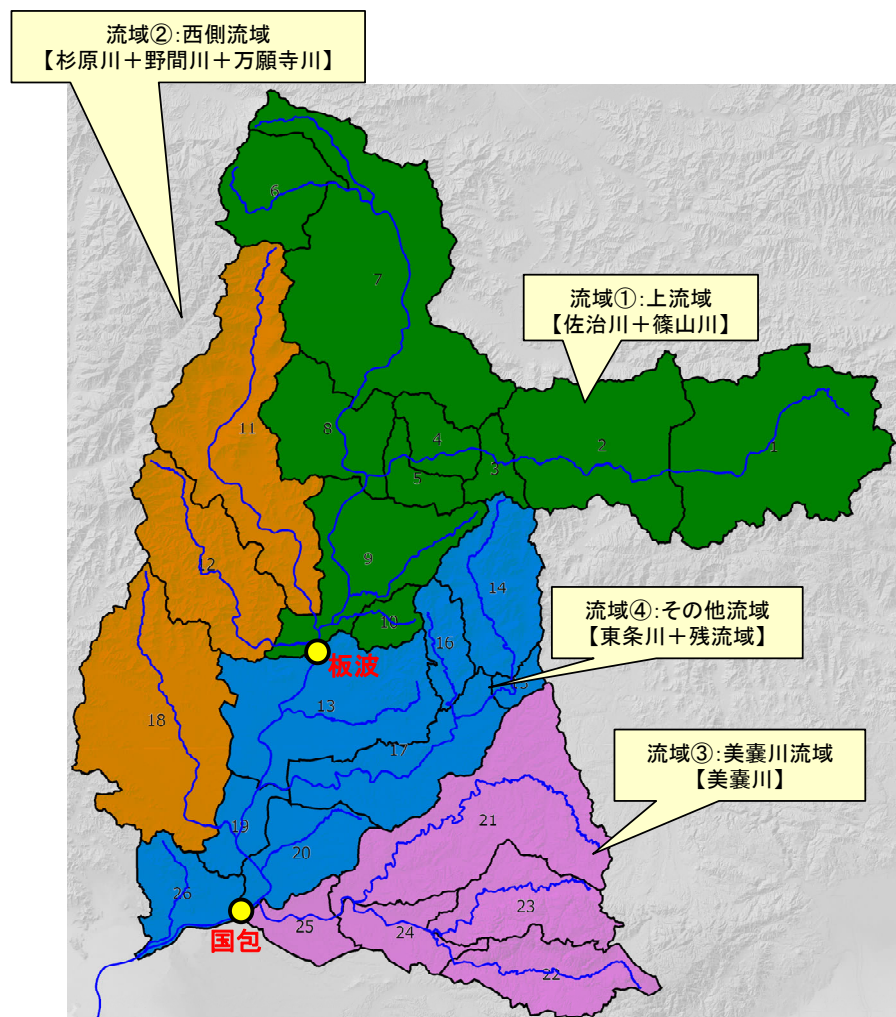


図ー 1.11.2 抽出した予測降雨波形群によるハイドログラフ（国包地点）

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した。

その結果、国包地点では棄却した3洪水のうち2洪水が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ため、棄却洪水とした。



図ー 1.11.3 空間分布のチェック

(1) 空間分布のチェック

d2PDF（将来気候）から計画規模の降雨量近傍（5 洪水）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る（各小流域の基準地点流域全体に対する雨量の比率）。

1.9.3 で棄却対象となった降雨波形に対しても同様に比率を求め、国包地点で 2 洪水の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から大きく逸脱していることを確認した。

表－ 1.11.2 国包地点の雨量の比率（アンサンブル将来予測降雨波形）

予測降雨波形			国包 上流域 平均	篠山川佐治川流域		西側流域		東条川+残留域		美の川下流域		W150 国包ピーク 流量 (m^3/s)
項目	d2PDF アンサンブル	洪水名	予測雨量 ($\text{mm}/18\text{hr}$)	予測雨量 ($\text{mm}/18\text{hr}$)	国包雨量に 対する比率	予測雨量 ($\text{mm}/18\text{hr}$)	国包雨量に 対する比率	予測雨量 ($\text{mm}/18\text{hr}$)	国包雨量に 対する比率	予測雨量 ($\text{mm}/18\text{hr}$)	国包雨量に 対する比率	
将来実験	HFB_2K_CC_m101	R680903	188.2	164.5	0.874	230.2	1.223	246.0	1.307	121.1	0.644	5.178
	HFB_2K_CC_m105	R640720	192.6	200.8	1.043	269.2	1.398	168.8	0.877	128.1	0.665	4.297
	HFB_2K_MI_m101	R550624	187.8	208.4	1.110	206.8	1.101	159.5	0.849	147.3	0.784	5.867
	HFB_2K_MR_m101	R520709	188.6	173.3	0.919	208.0	1.103	178.7	0.947	211.0	1.119	7.153
	HFB_2K_MR_m105	R540727	190.0	139.8	0.736	263.8	1.389	175.4	0.923	246.1	1.296	3.876

■：最大比率

表－ 1.11.3 国包地点の雨量の比率（空間分布で棄却された降雨波形）

棄却した 洪水波形	実績降雨量 ($\text{mm}/18\text{hr}$)	計画降雨量 ($\text{mm}/18\text{hr}$)	拡大率	篠山川佐治川流域		西側流域		東条川+残留域		美の川下流域		W150 国包ピーク 流量 (m^3/s)
				拡大後雨量	国包雨量に 対する比率	拡大後雨量	国包雨量に 対する比率	拡大後雨量	国包雨量に 対する比率	拡大後雨量	国包雨量に 対する比率	
S360626	88.0	189.4	2.153	186.0	0.982	233.0	1.230	265.7	1.403	49.6	0.262	10.111
H230904	147.7	189.4	1.282	162.7	0.859	294.3	1.554	167.8	0.886	140.6	0.742	6.381
H270717	182.3	189.4	1.039	158.1	0.834	198.7	1.049	202.7	1.070	238.8	1.261	3.962

■：棄却となる比率

(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（5 洪水）のアンサンブル降雨波形を抽出し、各波形について、短時間（例えば洪水到達時間やその 1/2 の時間）の流域平均雨量／継続時間内の流域平均雨量を求める（短時間雨量と継続時間雨量との比率）。

1.9.4 で棄却対象となった降雨波形に対しても同様に比率を求め、国包地点で 2 洪水の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から大きく逸脱していることを確認した。

表－ 1.11.4 国包地点の雨量の比率（アンサンブル予測降雨波形 将来気候）

予測降雨波形			国包上流域平均		
項目	d2PDF アンサンブル	洪水名	①24時間 予測雨量 (mm/18hr)	③9時間 予測雨量 (mm/9hr)	比率③/①
将来実験	HFB_2K_CC_m101	R680903	188.2	158.7	0.843
	HFB_2K_CC_m105	R640720	192.6	118.5	0.615
	HFB_2K_MI_m101	R550624	187.8	157.7	0.840
	HFB_2K_MR_m101	R520709	188.6	161.4	0.856
	HFB_2K_MR_m105	R540727	190.0	146.4	0.771

■：最大比率

表－ 1.11.5 国包地点の雨量の比率（時間分布で棄却された降雨波形）

棄却した 洪水波形	実績降雨量 (mm/18hr)	① 計画降雨量 (mm/18hr)	拡大率	③ 拡大後雨量 (mm/9hr)	比率③/①
S360626	88.0	189.4	2.153	175.7	0.928
H230904	147.7	189.4	1.282	135.1	0.713
H270717	182.3	189.4	1.039	117.9	0.622

■：棄却となる比率

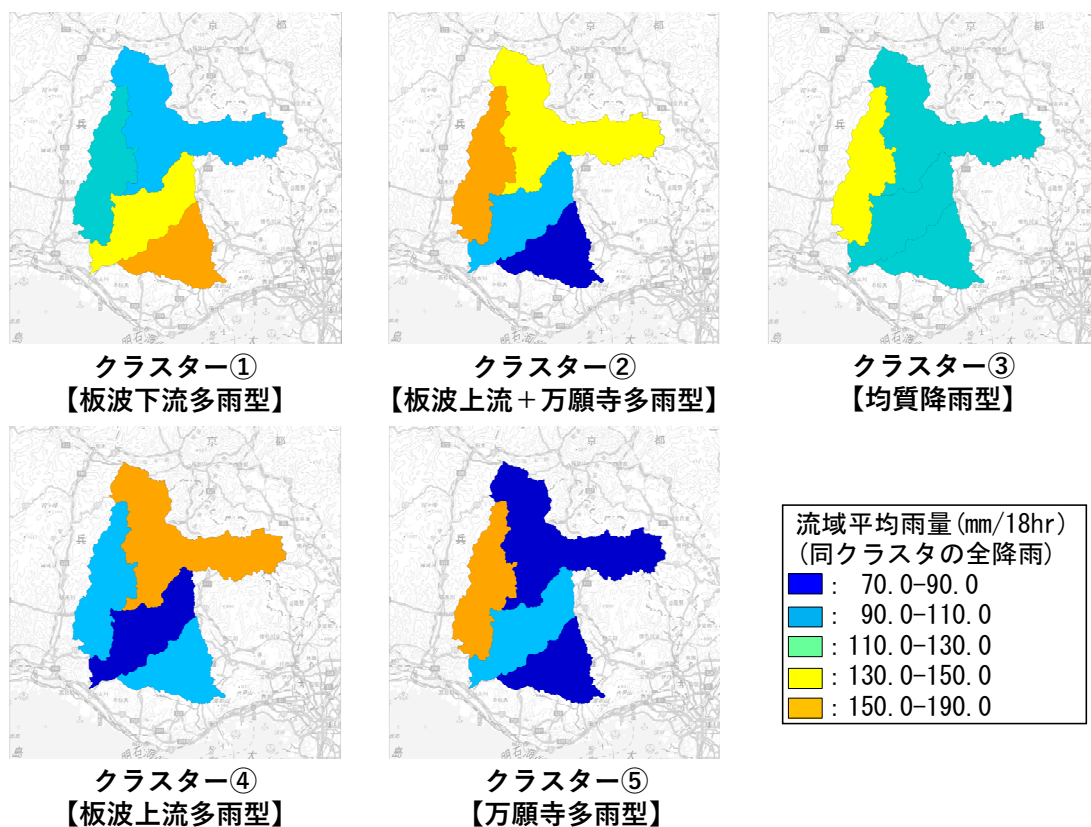
1.11.3 主要降雨群に不足する降雨パターンの確認

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。

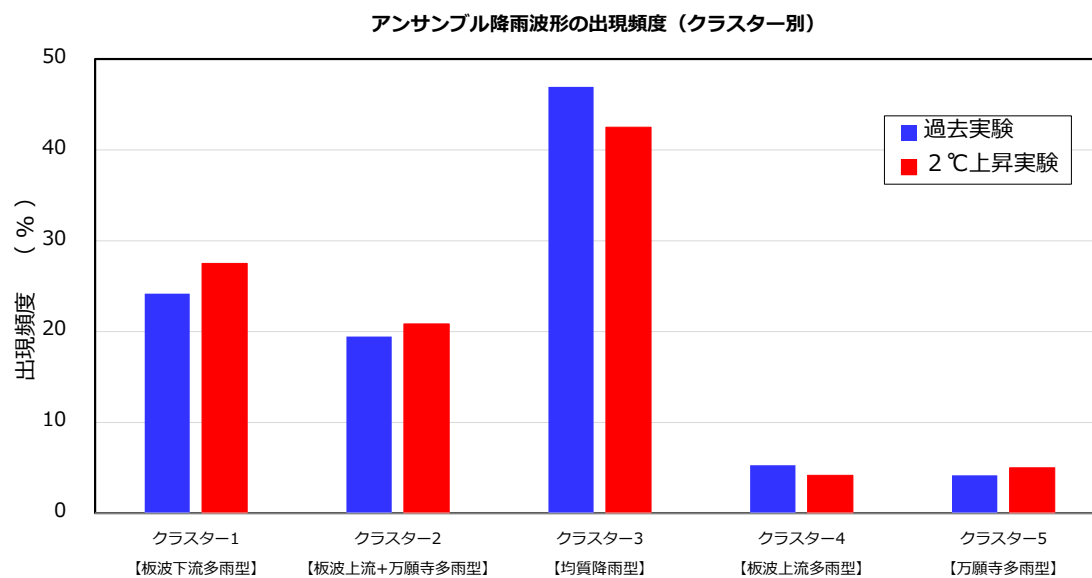
このため、気候変動等による降雨特性の変化によって、追加すべき降雨波形が無いかを確認するため、アンサンブル将来予測降雨波形を用いて空間分布のクラスター分析を行い、将来発生頻度が高まるものの計画対象の実績降雨波形が含まれていないクラスターの確認を実施した。

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 5 つのクラスターに分類した（図－ 1.11.4 参照）。

国包地点で選定された主要降雨波形について、クラスター分析を行った結果、国包地点ではクラスター1,2,3,4,5 と評価され、主要降雨波形に不足する降雨パターンは存在しなかった（表－ 1.11.6 参照）。



図ー 1.11.4 来実験アンサンブル予測降雨による加古川クラスター分析結果



図ー 1.11.5 アンサンブル降雨波形の出現頻度（クラスター毎）

表ー 1.11.6 国包地点主要洪水波形のクラスター分析による評価

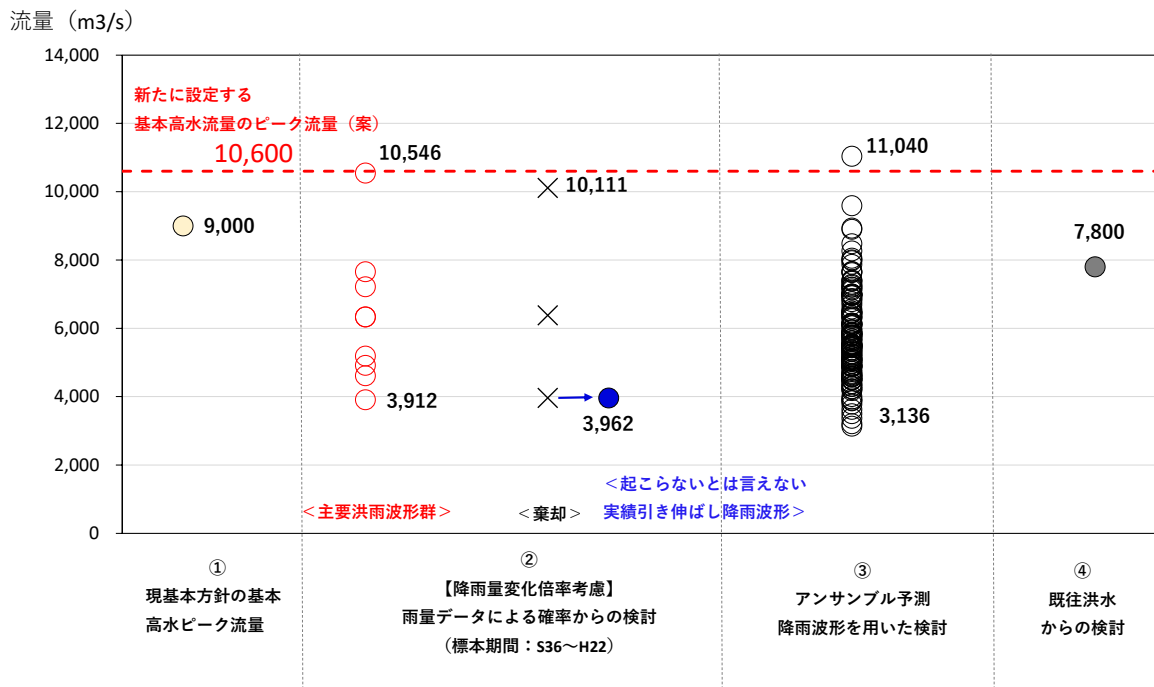
No.	洪水名	国包上流域平均			国包地点 ピーク流量 (m^3/s)	クラス タ 分類
		実績雨量 ($\text{mm}/18\text{hr}$)	計画降雨量 ($\text{mm}/18\text{hr}$)	拡大率		
主要洪水群						
1	S360626	88.0	189.4	2.153	10,200	2
2	S370609	152.1	189.4	1.245	5,200	3
3	S400914	163.3	189.4	1.160	4,000	3
4	S580927	160.9	189.4	1.177	7,700	3
5	H161020	163.3	189.4	1.160	7,300	3
6	H180718	89.7	189.4	2.112	10,600	3
7	H220523	120.5	189.4	1.572	6,400	3
8	H230904	147.7	189.4	1.282	6,400	5
9	H250915	177.2	189.4	1.069	4,700	3
10	H270717	182.3	189.4	1.039	4,000	1
11	H291022	134.7	189.4	1.406	5,000	4
12	H300706	150.0	189.4	1.262	6,400	3

1.12 既往洪水からの検討

国包地点で既往最大洪水となる昭和 20 年（1945 年）10 月洪水は $7800\text{m}^3/\text{s}$ と推定された。

1.13 総合判断による基本高水のピーク流量の決定

気候変動を考慮した雨量データによる確率からの検討、アンサンブル予測降雨波形を用いた検討、既往洪水からの検討から総合的に判断した結果、国包地点で計画規模 1/150 の流量は $10,600\text{m}^3/\text{s}$ 程度であった。加古川水系における基本高水のピーク流量は、基準地点国包地点において $10,600\text{m}^3/\text{s}$ と設定する。



【凡例】

- ②雨量データによる確率からの検討：降雨量変化倍率（ 2°C 上昇時の降雨量の変化倍率 1.1 倍）を考慮した検討
- ×：短時間・小流域において著しい引き伸ばしとなっている洪水
- ：棄却された洪水（×）のうち、アンサンブル予測降雨波形（過去実験、将来予測）の時空間分布から見て将来生起し難いとは言えないと判断された洪水
- ③アンサンブル予測降雨波形を用いた検討：計画対象降雨の降雨量（ $189.4\text{mm}/18\text{h}$ ）近傍 $\pm 20\%$ の洪水を抽出
- ：気候変動予測モデルによる現在気候（1980～2010 年）及び将来気候（ 2°C 上昇）のアンサンブル降雨波形

図－ 1.13.1 基本高水の設定に関する総合判断（基準地点：国包地点）

2. 高水処理計画

加古川の既定高水処理計画は、基準地点国包における基本高水のピーク流量の $9,000\text{m}^3/\text{s}$ に対し洪水調節施設により $1,600\text{m}^3/\text{s}$ を調節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、新たに基準地点国包では、基本高水のピーク流量の $10,600\text{m}^3/\text{s}$ に対し洪水調節施設により $2,900\text{m}^3/\text{s}$ を調節する計画に変更することとした。

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群を用いた。

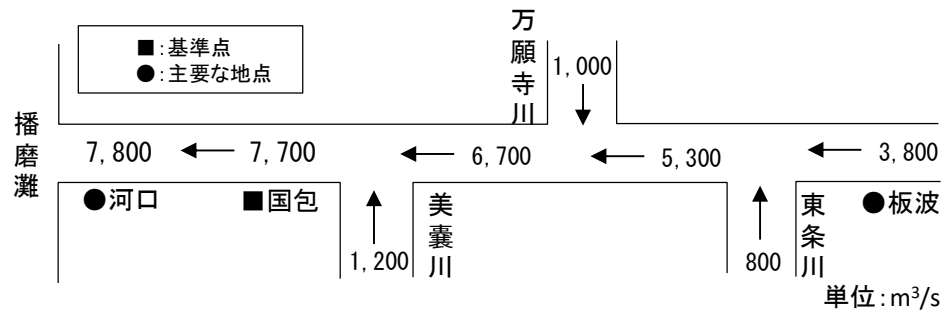
加古川下流では、塩生植物群落等の生息する良好な干潟環境が形成されており低水路の大規模な拡幅は困難である。また、左右岸ともに市街地が形成されており、川幅を拡幅するための引堤は地域社会への影響が大きく困難である。

これらを踏まえ、基準地点国包では河口干潟の保全に配慮しながら、 $7,700\text{m}^3/\text{s}$ の流下可能な断面を確保する。また、板波地点では闘竜灘の河川景観に配慮しながら $3,800\text{m}^3/\text{s}$ の流下可能な断面を確保する。

高水処理計画は、既存施設の有効活用を考慮しつつも、新たな洪水調節施設の確保により、対応する。

3. 計画高水流量

加古川の計画高水流量は、基準地点国包において $7,700\text{m}^3/\text{s}$ 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通りとする。



図－ 3.1 計画高水流量配分図

4. 河道計画

河道計画は、以下の理由により、現況河道法線の縦断計画を重視し、流下能力が不足する区間については、周辺の社会影響や河川環境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）を確保した。

①加古川の下流は塩生植物群落等の生息する良好な干潟環境が形成されており低水路の大幅な拡幅は困難である。また、左右岸ともに市街地が形成されており、川幅を拡幅するための引堤は地域社会への影響が大きく困難である。

②中流部では「闘龍灘」とよばれる露岩を呈する特異な河川景観が存在し、兵庫県レッドデータブック地形、地質でBランクに指定されている。

計画縦断図を図－ 5.1～図－ 5.3 に示すとともに、主要な地点における計画高水位及び概ねの川幅を表－ 4.1 に示す。

表－ 4.1 主要な地点における計画高水位と概ねの川幅

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)
加古川	板 波	37. 6	52. 08	160
	国 包	14. 2	18. 26	320
	河 口 (藍屋)	1. 5	※ ² 3. 00	470
東条川	古川第二	1. 9	36. 87	100
万願寺川	万願寺	1. 5	29. 34	100

※ 1 : 基点からの距離

※ 2 : 計画高潮位

5. 河川管理施設等の整備状況

加古川における河川管理施設等の整備の現状は以下のとおりである。

(1) 堤防

堤防の整備の現状（令和6年（2024年）3月末現在）は下表のとおりである。

表ー 5.1 堤防整備の現状

	延長(km)
計画断面堤防	36.7(48.9%)
暫定堤防	34.0(45.3%)
暫々定堤防 (無堤防区間含む)	4.4(5.8%)
堤防必要区間	75.1

(2) 洪水調節施設

完成施設 : なし

事業中施設 : なし

残りの必要容量 : 概ね 76,000 千 m³

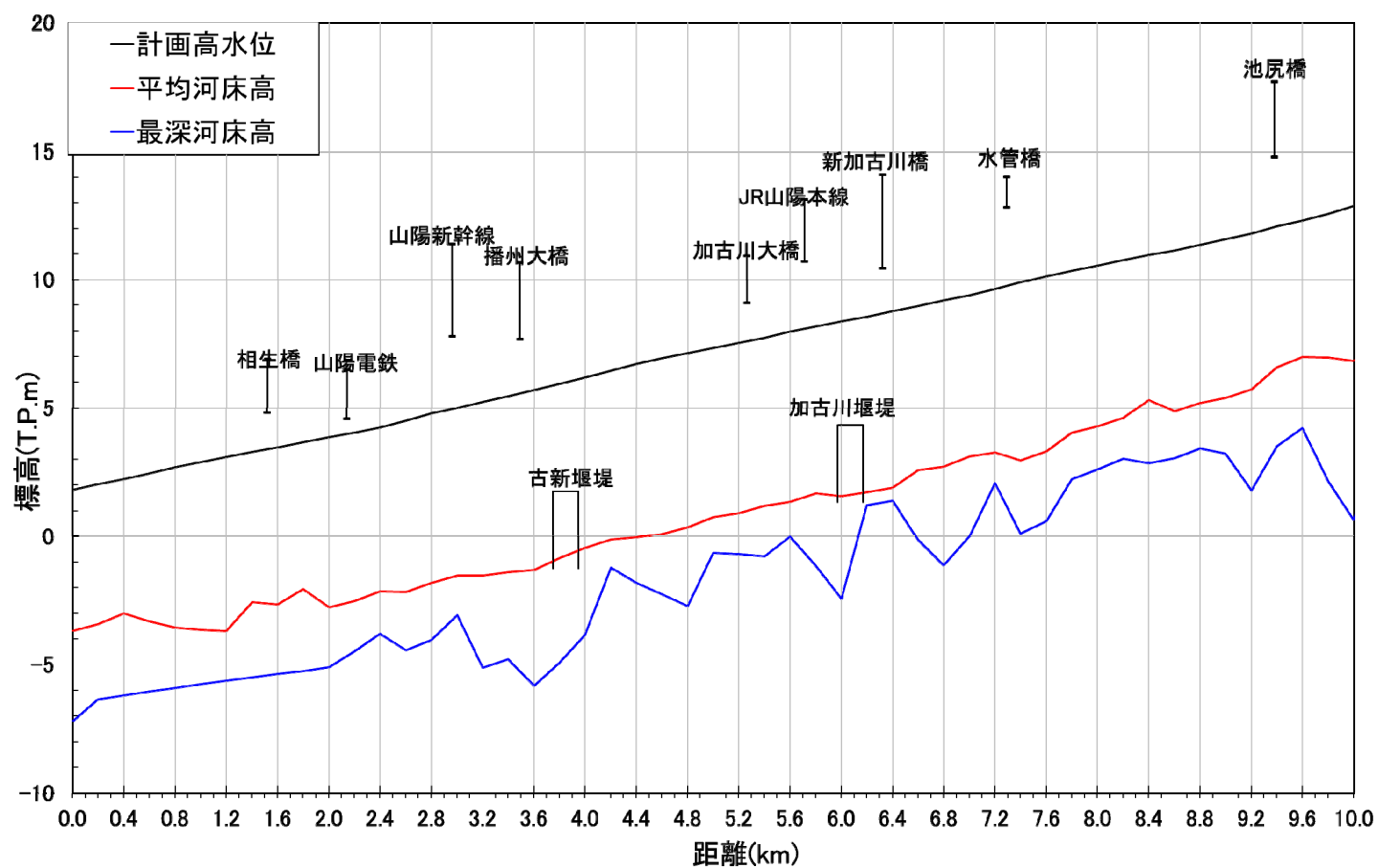
(3) 主な河川管理施設

水門 : 1 箇所

樋門樋管 : 66 箇所

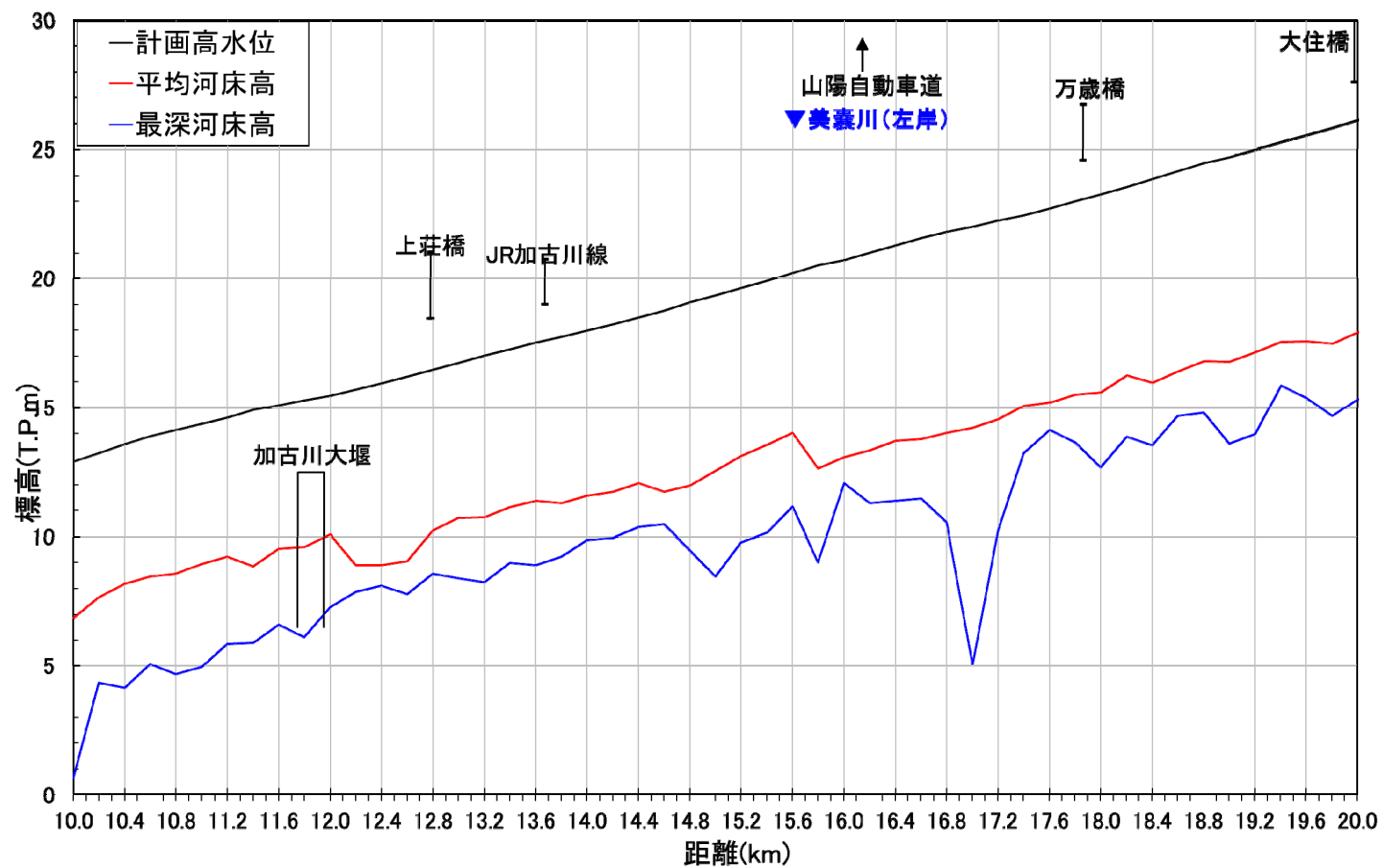
堰 : 6 箇所

床固 : 2 箇所



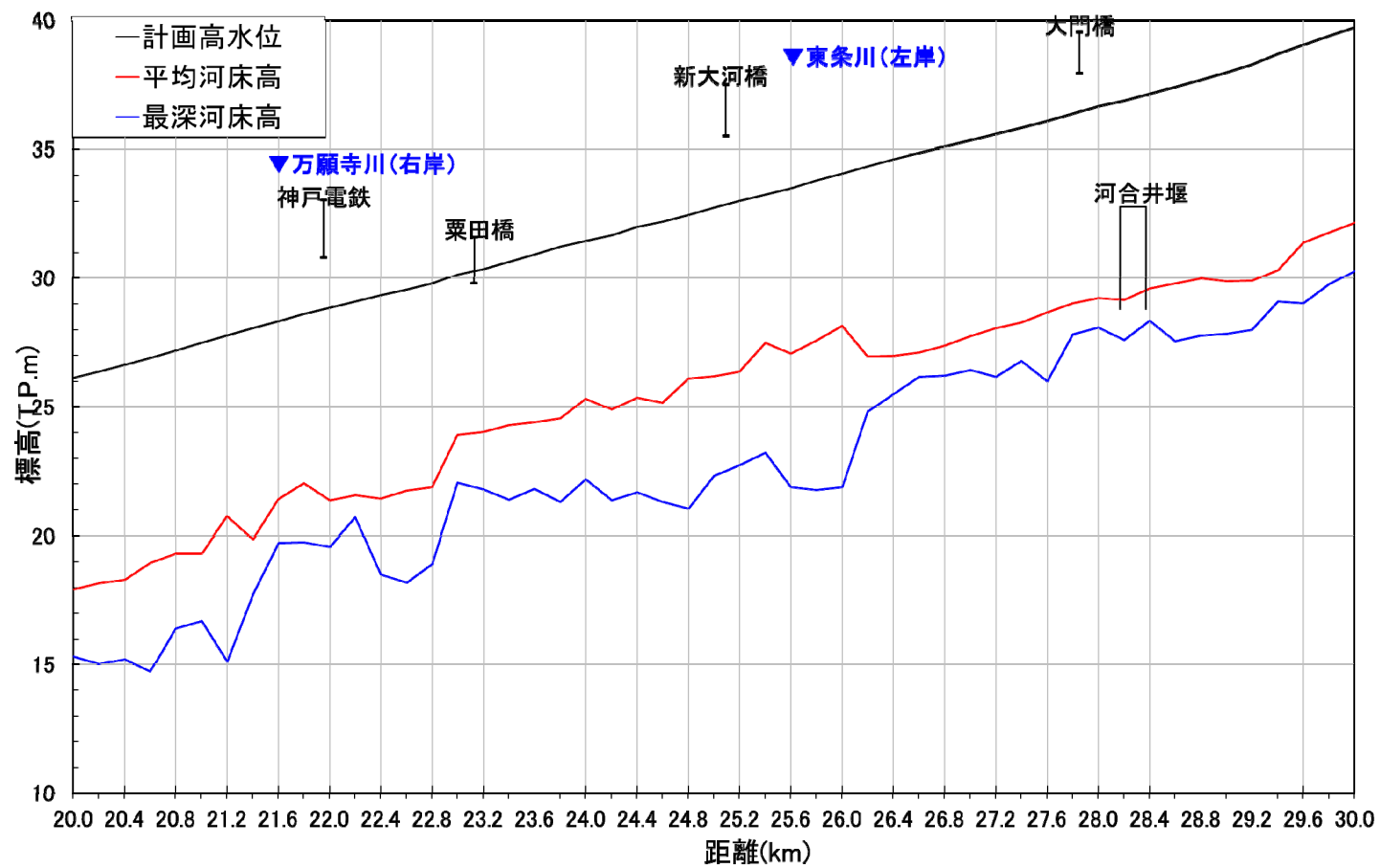
計画高水位(TP.m)	1.81	3.86	6.18	8.36	10.55	12.88
平均河床高(TP.m)	-3.70	-2.76	-0.46	1.57	4.28	6.84
最深河床高(TP.m)	-7.23	-5.11	-3.85	-2.45	2.59	0.65
距離標	0.0k	2.0k	4.0k	6.0k	8.0k	10.0k

図一 5.1(1) 加古川縦断図



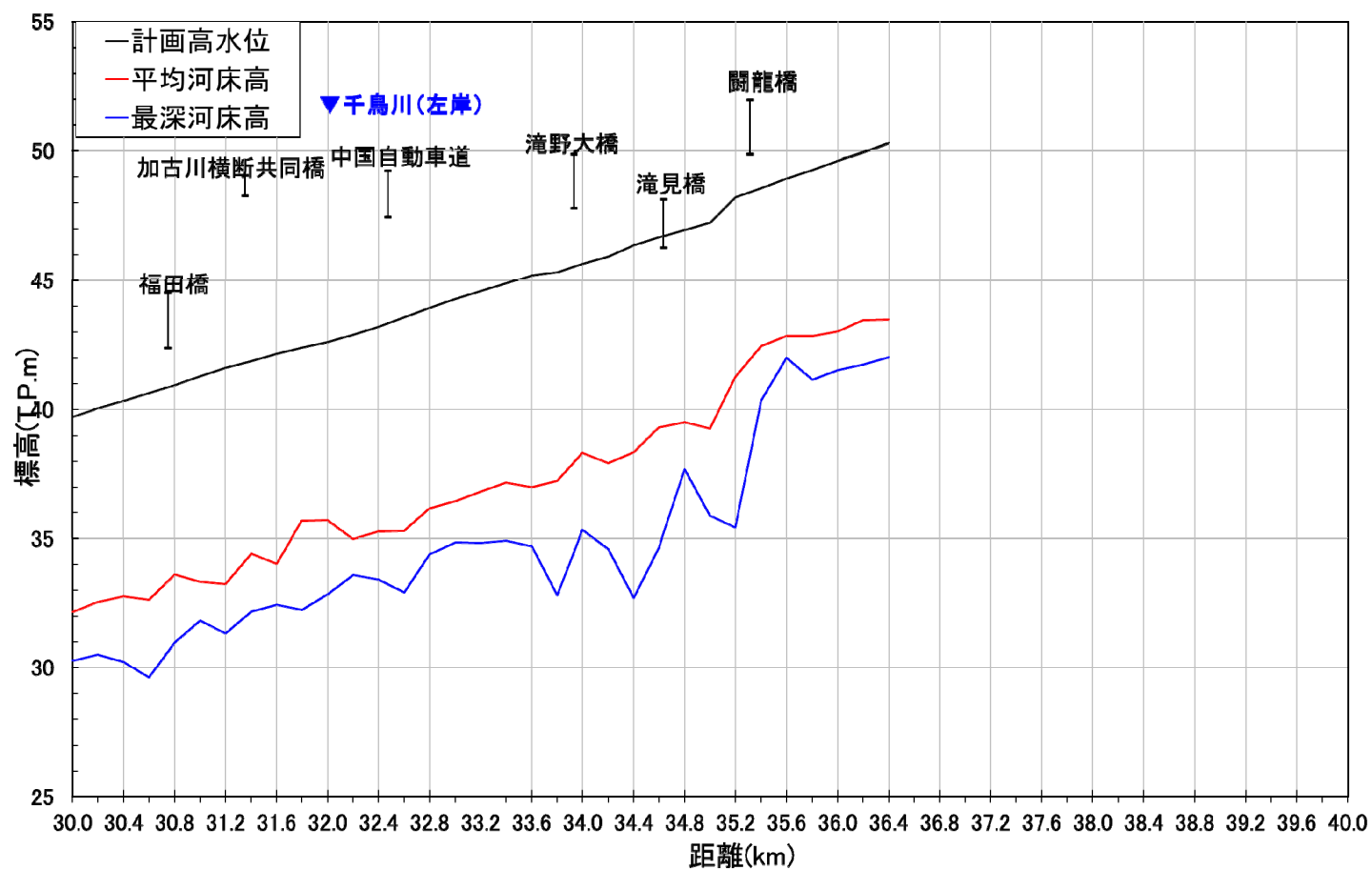
計画高水位(TP.m)	12.88	15.47	17.99	20.74	23.27	26.12
平均河床高(TP.m)	6.84	10.08	11.57	13.08	15.58	17.93
最深河床高(TP.m)	0.65	7.27	9.87	12.05	12.67	15.32
距離標	10.0k	12.0k	14.0k	16.0k	18.0k	20.0k

図一 5.1(2) 加古川縦断面図

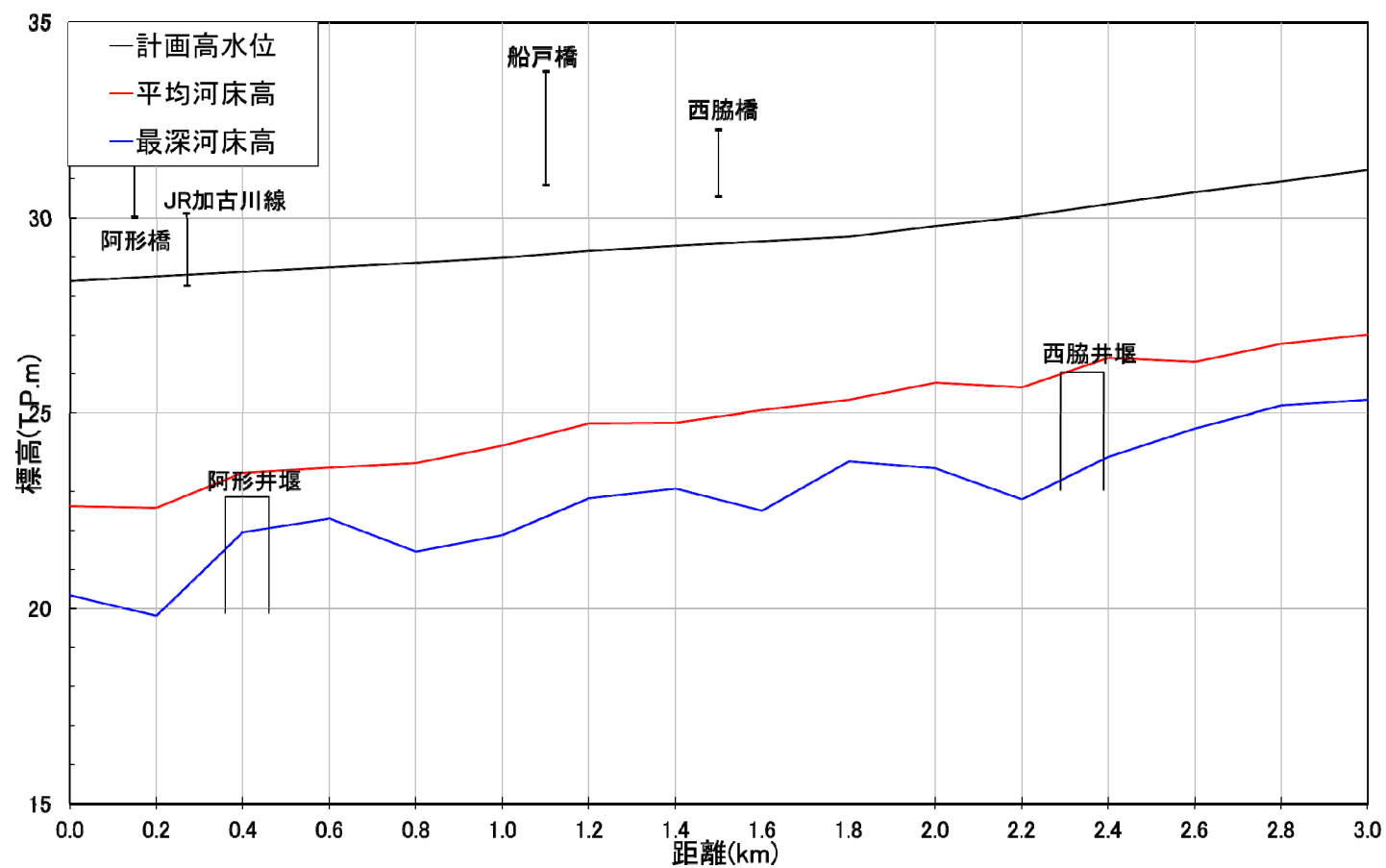


計画高水位(TP.m)	26.12	28.84	31.46	34.06	36.65	39.72
平均河床高(TP.m)	17.93	21.37	25.31	28.14	29.21	32.16
最深河床高(TP.m)	15.32	19.57	22.17	21.88	28.07	30.27
距離標	20.0k	22.0k	24.0k	26.0k	28.0k	30.0k

図－ 5.1 (3) 加古川縦断図

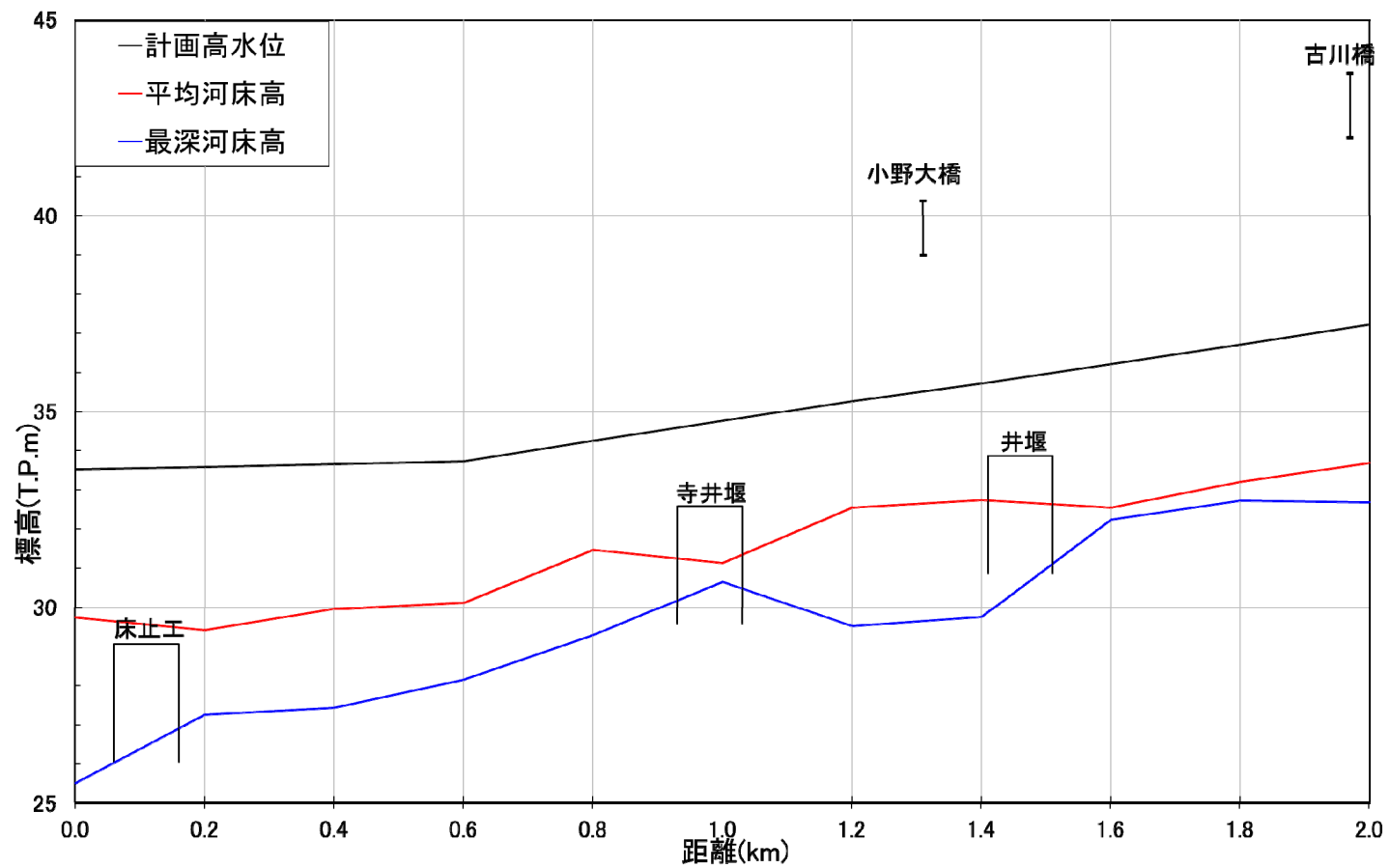


図一 5.1(4) 加古川縦断図



計画高水位(TP.m)	28.38	28.99	29.80	31.22
平均河床高(TP.m)	22.62	24.18	25.77	27.01
最深河床高(TP.m)	20.35	21.88	23.59	25.34
距離標	0.0k	1.0k	2.0k	3.0k

図一 5.2 万願寺川縦断図



計画高水位(TP.m)	33.52	34.76	37.21
平均河床高(TP.m)	29.73	31.13	33.67
最深河床高(TP.m)	25.51	30.65	32.67
距離標	0.0k	1.0k	2.0k

図－ 5.3 東条川縦断図