参考資料３－２

# 利根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 .....2

1-3　河川整備基本方針策定後の状況 .....3

1-4　流出解析モデルの構築（利根川） .....6

1-5　基本高水のピーク流量の設定の考え方（利根川） .....52

1-6　計画規模の設定（利根川） .....52

1-7　対象降雨の継続時間の設定（利根川） .....52

1-8　対象降雨の降雨量の設定（利根川） .....68

1-9　気候変動を考慮した総合確率法による検討（利根川） .....73

1-10　雨量確率法による検討（利根川） .....76

1-11　アンサンブル予測降雨波形による検討（利根川） .....88

1-12　既往洪水による検討（利根川） .....113

1-13　総合的判断による基本高水のピーク流量の決定（利根川） .....114

1-14　流出解析モデルの構築（渡良瀬川） .....115

1-15　基本高水のピーク流量設定の考え方（渡良瀬川） .....149

1-16　計画規模の設定（渡良瀬川） .....149

1-17　対象降雨の継続時間の設定（渡良瀬川） .....149

1-18　対象降雨の降雨量の設定（渡良瀬川） .....162

1-19　雨量確率法による検討（渡良瀬川） .....166

1-20　気候変動を考慮した総合確率法による検討（渡良瀬川） .....178

1-21　アンサンブル予測降雨波形による検討（渡良瀬川） .....182

1-22　既往洪水による検討（渡良瀬川） .....197

1-23　総合的判断による基本高水のピーク流量の決定（渡良瀬川） .....198

1-24　流出解析モデルの構築（鬼怒川）.....199
1-25　基本高水のピーク流量設定の考え方（鬼怒川）.....227
1-26　計画規模の設定（鬼怒川）.....227
1-27　対象降雨の継続時間の設定（鬼怒川）.....227
1-28　対象降雨の降雨量の設定（鬼怒川）.....245
1-29　雨量確率法による検討（鬼怒川）.....250
1-30　気候変動を考慮した総合確率法による検討（鬼怒川）.....264
1-31　アンサンブル予測降雨波形による検討（鬼怒川）.....268
1-32　既往洪水による検討（鬼怒川）.....290
1-33　総合的判断による基本高水のピーク流量の決定（鬼怒川）.....291
1-34　流出解析モデルの構築（小貝川）.....292
1-35　基本高水のピーク流量設定の考え方（小貝川）.....305
1-36　計画規模の設定（小貝川）.....305
1-37　対象降雨の継続時間の設定（小貝川）.....305
1-38　対象降雨の降雨量の設定（小貝川）.....332
1-39　雨量確率法による検討（小貝川）.....337
1-40　総合確率法による検討（小貝川）.....354
1-41　アンサンブル予測降雨波形による検討（小貝川）.....357
1-42　既往洪水による検討（小貝川）.....379
1-43　総合的判断による基本高水のピーク流量の決定（小貝川）.....380
2 高水処理計画.....382
3 計画高水流量.....383
4 河道計画.....386
4-1　（参考）気候変動の影響による河口出発水位の検討.....393

5 河川管理施設等の整備の現状 ..... 398

6 その他主要な河川の検討 ..... 399

6-1 計画規模の設定（烏川） ..... 399

6-2 対象降雨の継続時間の設定（烏川） ..... 399

6-3 対象降雨の降雨量の設定（烏川） ..... 399

6-4 雨量確率法による検討（烏川） ..... 403

6-5 高水処理計画 ..... 410

6-6 計画高水流量 ..... 411

6-7 計画規模の設定（霞ヶ浦） ..... 412

6-8 対象降雨の継続時間の設定（霞ヶ浦） ..... 412

6-9 対象降雨の降雨量の設定（霞ヶ浦） ..... 414

6-10 雨量確率法による検討（霞ヶ浦） ..... 419

6-11 高水処理計画（霞ヶ浦） ..... 425

6-12 計画規模の設定（中川） ..... 426

6-13 対象降雨の継続時間の設定（中川） ..... 426

6-14 対象降雨の降雨量の設定（中川） ..... 445

6-15 雨量確率法による検討（中川） ..... 450

6-16 高水処理計画 ..... 458

6-17 計画高水流量 ..... 459

# 1　基本高水の検討

## 1-1　工事実施基本計画

昭和 40 年（1965 年）4 月に策定された利根川水系工事実施基本計画においては、既往最大洪水であった昭和 22 年 9 月カスリーン台風の実績通過流量とし、基準地点「八斗島」において、基本高水のピーク流量を 17,000 $m^3/s$ とし、河道への配分流量を 14,000 $m^3/s$ と定めた。

支川渡良瀬川においては、基準地点「高津戸」において、基本高水のピーク流量を 4,300 $m^3/s$ とし、河道への配分流量を 3,500 $m^3/s$ と定め、支川鬼怒川においては、基準地点「石井」において、基本高水のピーク流量を 5,400 $m^3/s$ とし、河道への配分流量を 3,500 $m^3/s$ とし、支川小貝川においては、基準地点「黒子」において、基本高水のピーク流量を 850 $m^3/s$ とし、これを河道に配分した。

その後、昭和 55 年（1980 年）10 月に改定された利根川水系工事実施基本計画では、洪水発生状況を考慮し、流域の社会的・経済的な重要性を総合的に勘案し計画規模 1/200 と設定し、基準地点八斗島において、基本高水のピーク流量を 22,000 $m^3/s$ と定め、洪水調節施設で 6,000 $m^3/s$ を調節し、計画高水流量を 16,000 $m^3/s$ と定めた。

支川においては、流域の社会的・経済的な重要性を総合的に勘案し計画規模 1/100 と設定し、渡良瀬川においては、基準地点高津戸において、基本高水のピーク流量を 4,600 $m^3/s$ とし、河道への配分流量を 3,500 $m^3/s$ と定め、鬼怒川においては、基準地点石井において、基本高水のピーク流量を 8,800 $m^3/s$ とし、河道への配分流量を 6,200 $m^3/s$ と定め、小貝川においては、基準地点黒子において、基本高水のピーク流量を 1,300 $m^3/s$ とし、これを河道に配分したが、昭和 61 年 8 月洪水により小貝川が決壊し、昭和 62 年（1987 年）8 月に基準地点黒子において、基本高水のピーク流量を 1,950 $m^3/s$ とし、河道への配分流量を 1,300 $m^3/s$ と定めた工事実施基本計画を改定した。

## 1-2　河川整備基本方針

平成 9 年（1997 年）の河川法改正を受け、下記に示す手法により利根川水系工事実施基本計画で策定された基本高水のピーク流量を検証した結果、基本方針においても、各河川の基本高水のピーク流量を踏襲することとし、利根川水系河川整備基本方針を平成 18 年（2006 年）2 月策定した。

### 1)　年最大降雨量と年最大流量の経年変化

既定計画を策定した昭和 55 年（1980 年）（小貝川においては昭和 62 年（1987 年）改定）以降、計画を変更するような大きな降雨、洪水は発生していない。

### 2)　流量確率評価による検証

流量確率の検討の結果、基準地点八斗島においては 20,200～30,300 $m^3/s$、基準地点高津戸においては 3,800～5,200 $m^3/s$、基準地点石井においては 7,000～9500 $m^3/s$、基準地点黒子においては 1,450～1,600 $m^3/s$ と推定された。

### 3)　既往洪水による検証

河川整備の進展を考慮し、洪水調節施設がない場合を前提とし、基準地点八斗島においては、昭和 22 年 9 月洪水（カスリーン台風）による洪水の実績降雨データを用いて検証を実施した結果、ピーク流量は約 22,000 $m^3/s$ となり、基準地点高津戸においては、昭和 22 年 9 月洪水（カスリーン台風）の実績降雨量のもとで、近年最大流量を記録した平成 10 年 9 月洪水の降雨パターンが発生した場合、ピーク流量は約 5,000 $m^3/s$ となり、基準地点石井においては、近年最大降雨量であった平成 10 年 8 月洪水の実績降雨量のもとで、近年最大流量を記録した平成 10 年 9 月洪水の降雨パターンが発生した場合、ピーク流量は約 8,800 $m^3/s$ となり、基準地点黒子においては、観測史上最大洪水は昭和 61 年 8 月洪水であり、この実績流量が基本高水のピーク流量として設定されている。

## 1-3　河川整備基本方針策定後の状況

平成 18 年（2006 年）2 月に河川整備基本方針（以降、「既定計画」という。）を策定以降、基準地点八斗島においては、令和元年（2019 年）10 月において計画高水流量である 16,500 $m^3/s$ を上回る洪水が発生し、基準地点石井においても、平成 27 年 9 月洪水において計画高水流量である 5,400 $m^3/s$ を上回る洪水が発生している。年最大流域平均雨量及び年最大流量を図 1.1 から図 1.8 に示す。

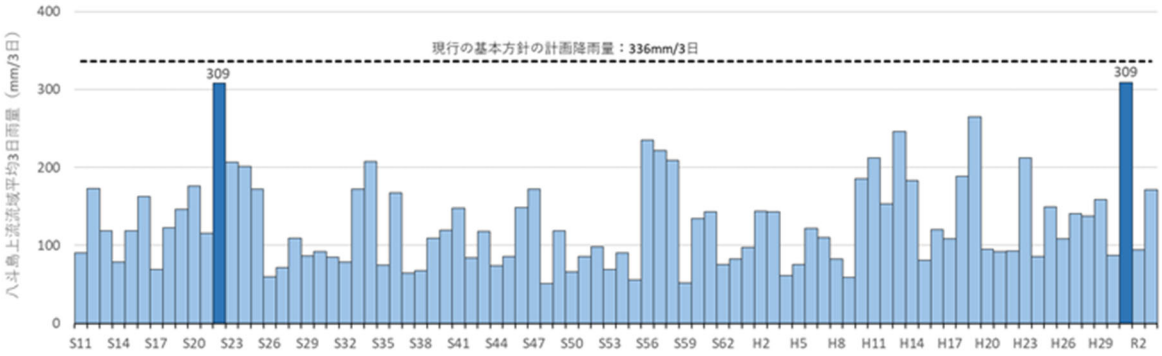



図 1.1　年最大流域平均雨量（基準地点八斗島上流域）

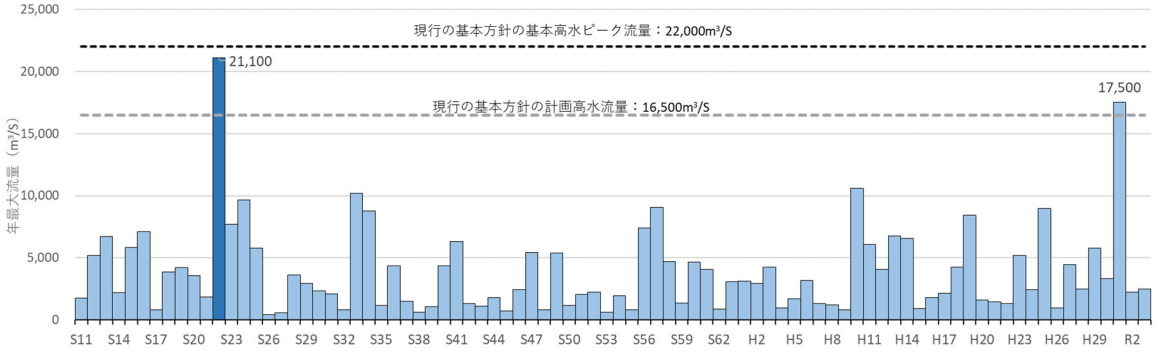



図 1.2　年最大流量（基準地点八斗島）

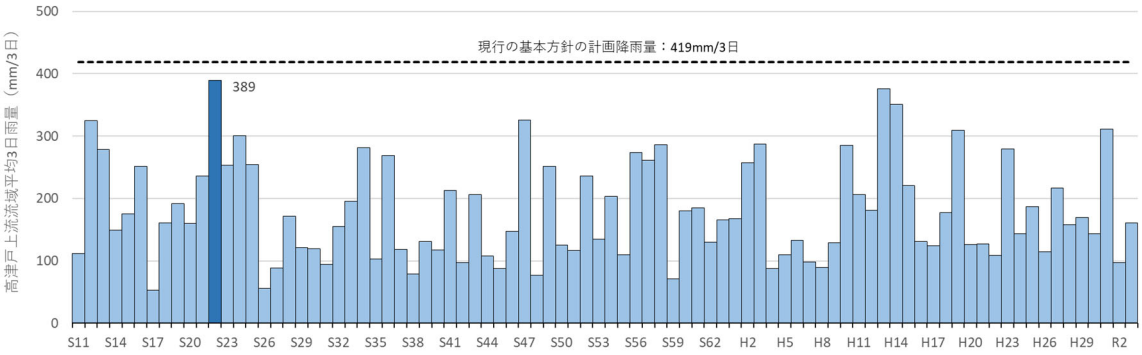



図 1.3　年最大流域平均雨量（基準地点高津戸上流域）

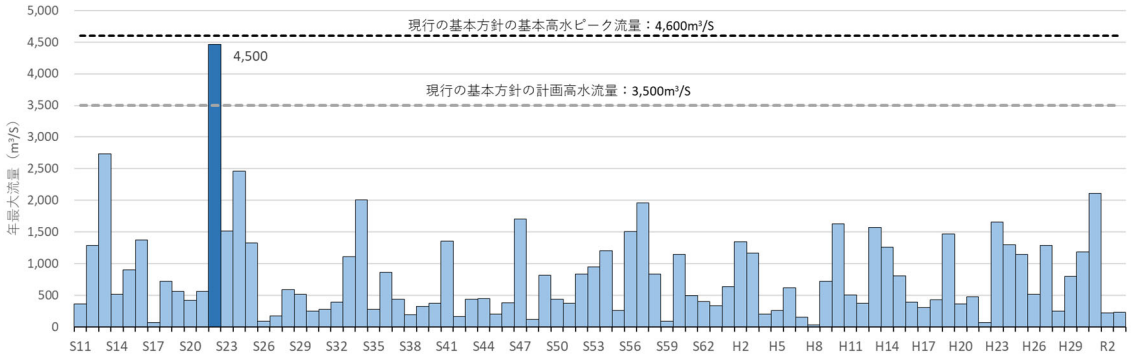



図 1.4　年最大流量（基準地点高津戸）

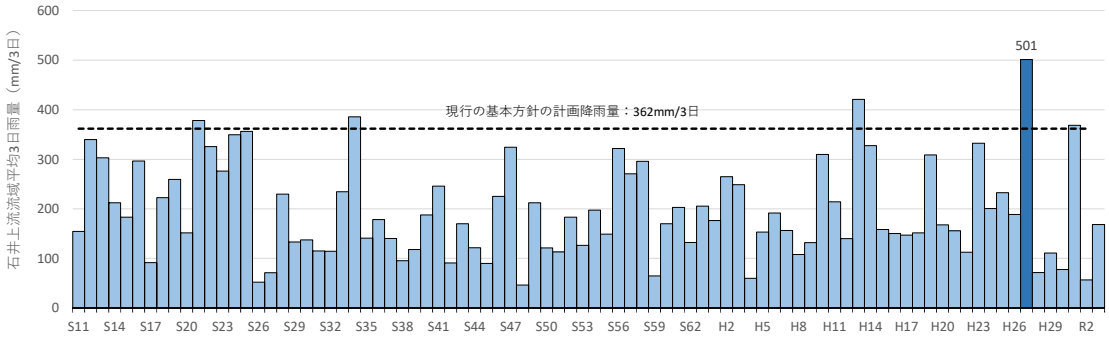



図 1.5　年最大流域平均雨量（基準地点石井上流域）

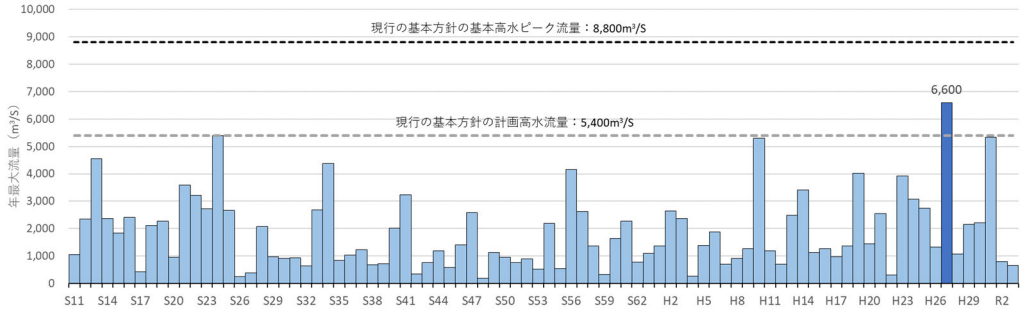



図 1.6　年最大流量（基準地点石井）

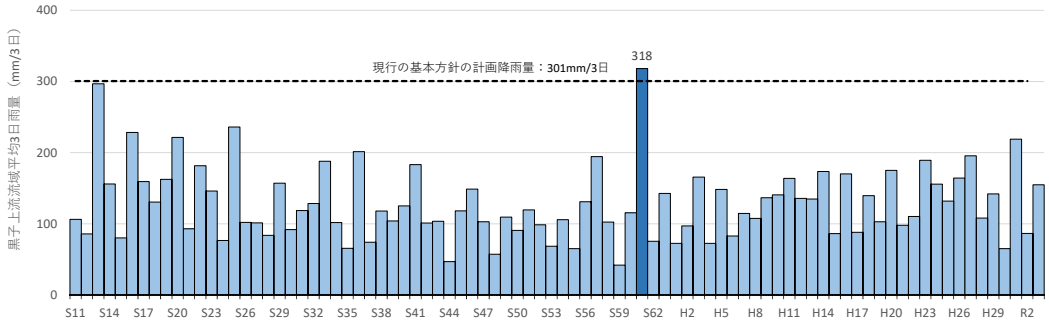



図 1.7　年最大流域平均雨量（基準地点黒子上流域）

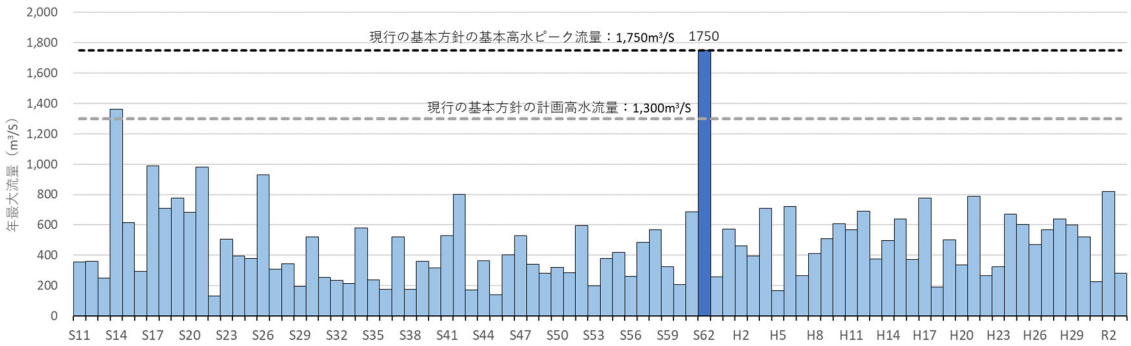



図 1.8　年最大流量（基準地点黒子）

＊現行の計画高水のピーク流量は内水参加量 200m$^3$/s を見込んだ 1,950m$^3$/s

## 1-4　流出解析モデルの構築（利根川）

八斗島上流の流出計算モデルに関しては、平成23年（2011年）の日本学術会議においてモデルの妥当性を評価いただいているところである。

気候変動を考慮した基本高水のピーク流量の設定にあたっても、このモデルを基本とし、近年最大洪水である令和元年東日本台風（台風第 19 号）の再現性を確認し、モデルの妥当性を改めて確認した。

利根川の河口から国管理区間の上流端である 186.0 k までを河道内の流下・貯留現象を詳細に表現するため、一次元不定流でモデル化した。

### 1)　モデルの概要

流出計算モデルの基礎式は次のとおりである。

#### (1)　流域の基礎式

$$\frac{ds}{dt} = f_{(t)} \bullet r_{(t)} - q_{(t+T_l)}$$

$$s_{(t)} = K \bullet q^{P}_{(t+T_l)}$$

$$q_{(t)} = \frac{3.6 \bullet Q_{(t)}}{A}$$

.

ただし、

$\sum r_{(t)} \leqq R_0$　　の場合　　$f_{(t)} = 0.0$

$R_0 < \sum r_{(t)} \leqq R_0 + R_{sa}$ の場合　　$f_{(t)} = f_1$

$\sum r_{(t)} > R_0 + R_{sa}$　　の場合　　$f_{(t)} = 1.0$

ここで、

$$R_{sa} = \frac{R_{sum} - \frac{Q_{sum}}{1000 \bullet A}}{1 - f_1}$$

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

$$Q_{ca(t)} = \frac{q_{(t)} \bullet A}{3.6} + Q_{b(t)}$$

$s_{(t)}$：貯留高【mm】、$f_{(t)}$：流入係数【無次元】、

$r_{(t)}$：流域平均降雨強度【mm/h】*1、$q_{(t)}$：直接流出高【mm/h】、

$T_l$：遅滞時間【h】、$K$：定数、$P$：定数、$Q_{(t)}$：直接流出強度【$m^3/s$】、

$A$：流域面積【$km^2$】、

$\sum r_{(t)}$：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】*2、$Q_{sum}$：総直接流出量【$m^3$】、

$f_1$：一次流出率【無次元】、$Q_{ca(t)}$：流域からの流出量【$m^3/s$】、

$Q_{b(t)}$：基底流量【$m^3/s$】

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

*2　降り始めからの雨量より初期損失雨量を控除したもの。

(2)　**河道の基礎式**

①　貯留関数法

$$S_{l(t)} = K \bullet Q_{l(t)}^{P} - T_l \bullet Q_{l(t)}$$

$$\frac{dS_{l(t)}}{dt} = I_{(t)} - Q_{l(t)}$$

$$Q_{l(t)} = Q_{(t+T_l)}$$

$S_{l(t)}$：みかけの貯留量【($m^3/s$)・h】、

$Q_{l(t)}$：遅れ時間$T_l$を考慮した流出量【$m^3/s$】、

$Q_{(t)}$：流出量【$m^3/s$】、$I_{(t)}$：流入量【$m^3/s$】、$T_l$：遅滞時間【h】、

$K$：定数、$P$：定数

②　一次元不定流計算

連続の式

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

運動方程式

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\int u^2 dA\right) + \mathrm{g}\, A\frac{\partial H}{\partial x} + \frac{T_r}{\rho} = 0$$

$$\int u^2 dA = \beta U^2 A$$

$$U = \frac{1}{n} R^{2/3} I_b^{1/2}$$

$$\frac{T_r}{\rho} = \frac{\mathrm{g}\, U^2}{A^{1/3}} \cdot \left(\sum S_i \cdot n_i^{3/2}\right)^{4/3}$$

$A$：流れの断面積【$m^2$】、$x$：流下方向に沿った座標【m】、$H$：水位【m】、

$T_r$：単位長さの河道の河床に作用する力【N/m】、

$u$：ある点での流速【m/s】、$\rho$：水の密度【kg/m$^3$】、

g ：重力加速度【m/s$^2$】、$U$：断面平均流速【m/s】、

$I_b$：河床勾配、$R(=A/S)$：径深【m】、

$S_i$：同一の粗度を有する i 番目の潤辺部の長さ【m】、

$n_i$：潤辺部での粗度係数【m$^{-1/3}$s】、$t$：時間【s】

### 2) 流域及び河道分割

流域分割は八斗島上流域を 39 分割とし、河道分割は国管理区間よりも上流の本川及び規模の大きな支川（片品川、吾妻川、烏川、神流川）を分割することとした。なお、利根川水系は集積した市街地を流下する重要な河川であることから河道の流下状況をより詳細に把握する必要があるため、国管理区間の河道は一次元不定流計算モデルとした。

流域分割図、流出計算モデル模式図、一次元不定流計算モデル模式図、貯留関数における流域・河道モデル分割諸元を図 1.9、図 1.10、図 1.11、表 1.1、表 1.2 に示す。

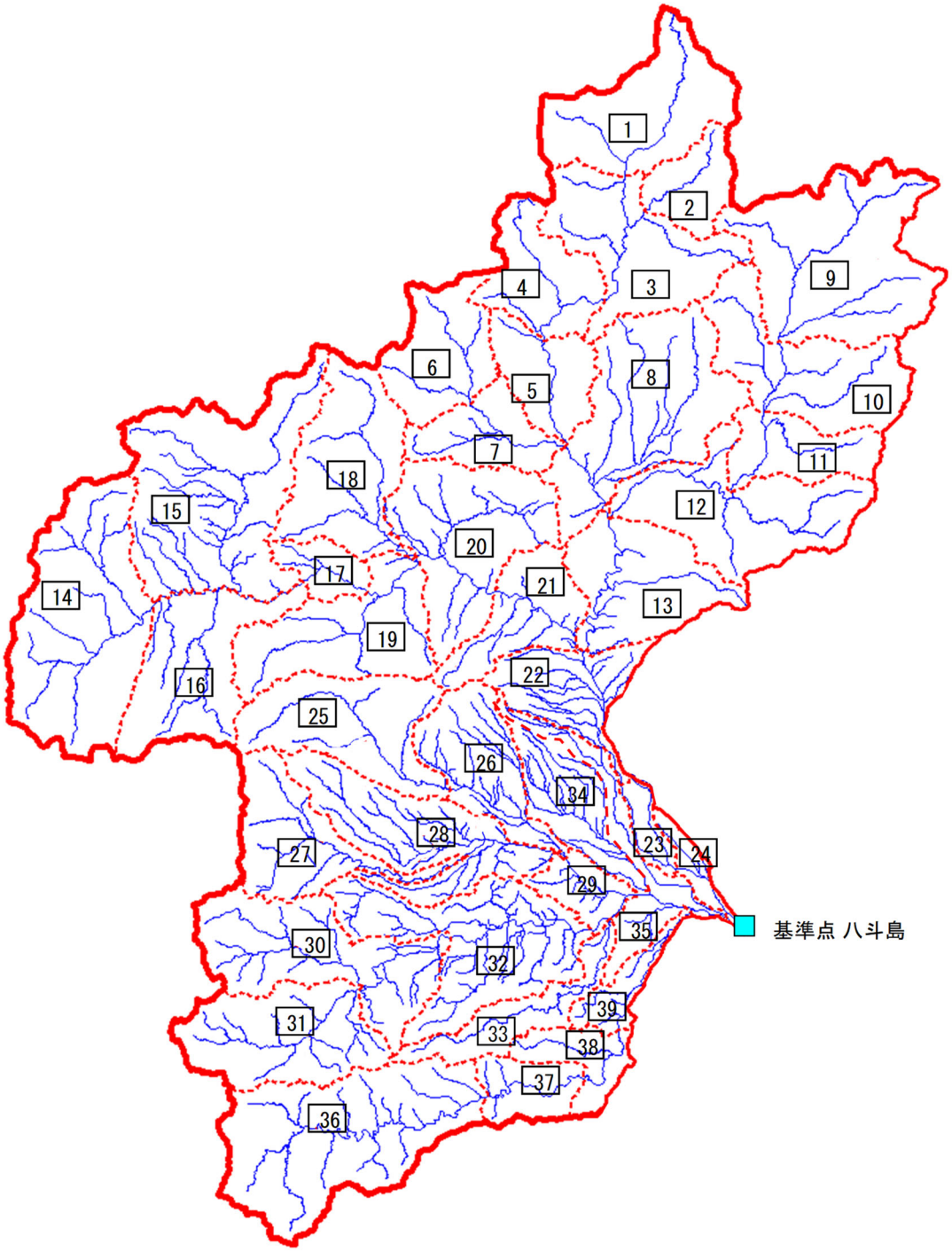



図 1.9　流域分割図（八斗島上流）

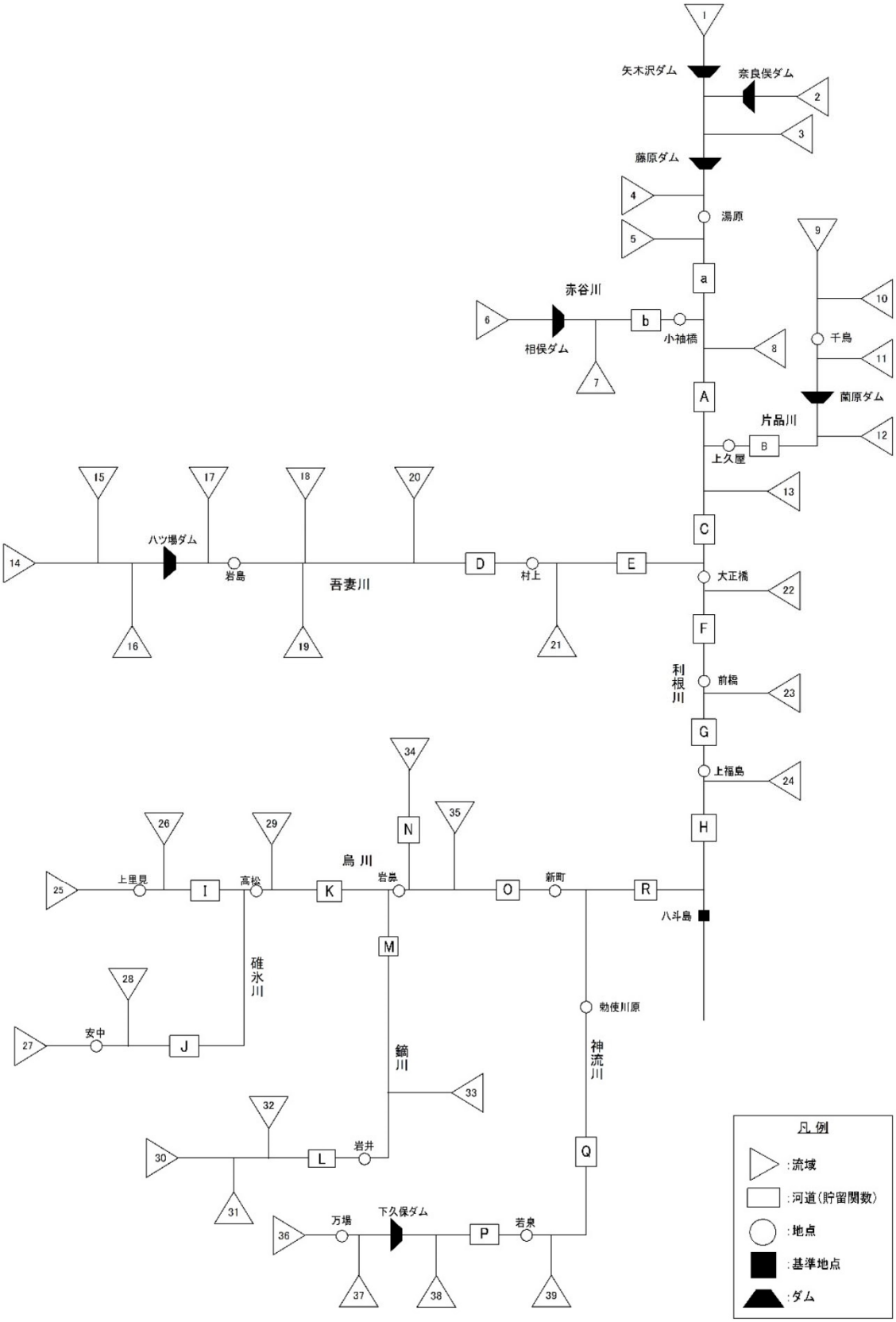



図 1.10　流出計算モデル模式図（八斗島上流）

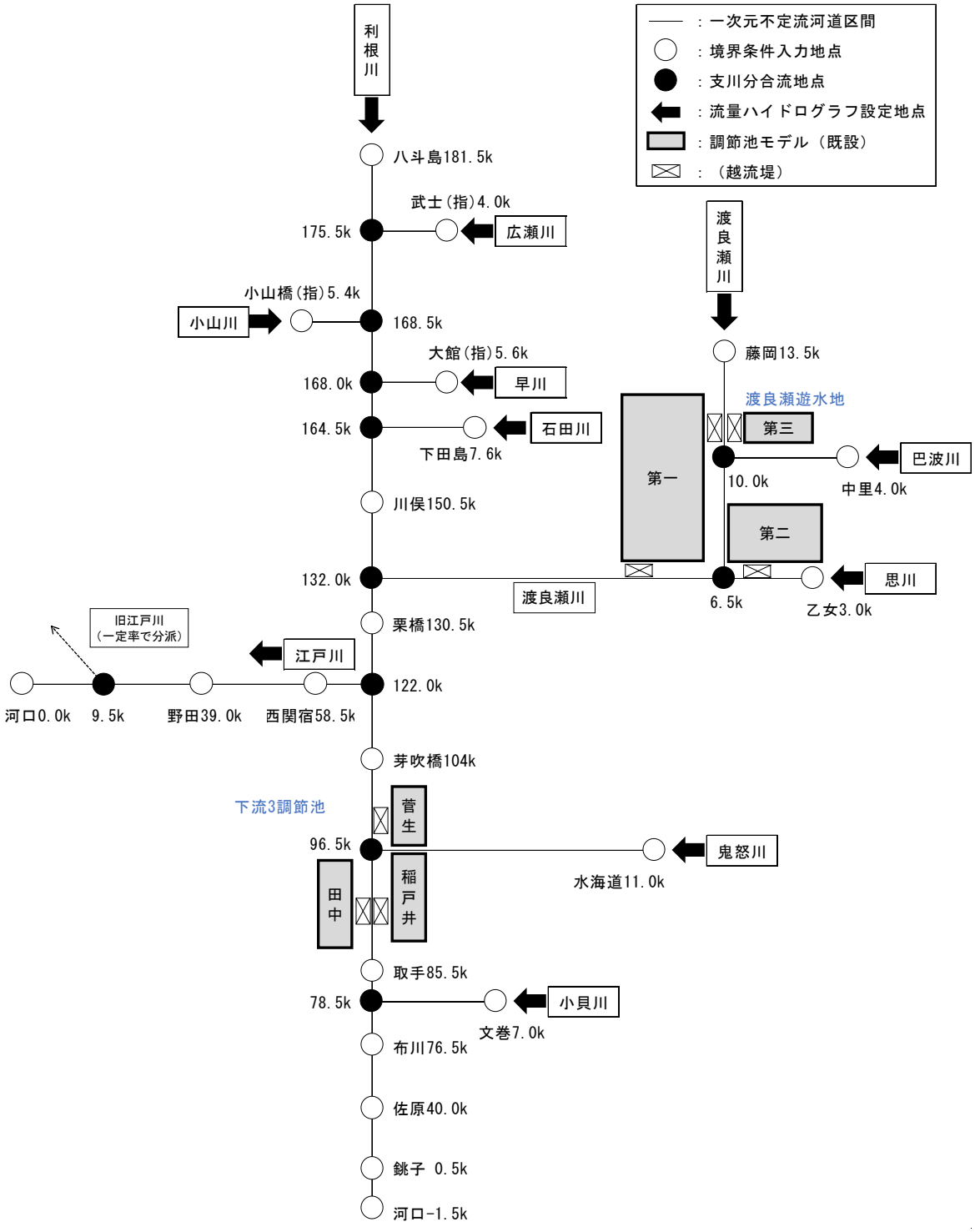



図 1.11　一次元不定流モデル模式図（八斗島下流）

表 1.1　流域・河道モデル分割諸元（利根川　流域分割）

| 流域 | 流域面積(km2) | 流域 | 流域面積(km2) | 流域 | 流域面積(km2) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 165.48 | 14 | 269.24 | 27 | 121.39 |
| 2 | 60.59 | 15 | 289.00 | 28 | 165.39 |
| 3 | 165.77 | 16 | 153.20 | 29 | 43.27 |
| 4 | 103.07 | 17 | 38.30 | 30 | 190.64 |
| 5 | 81.80 | 18 | 164.22 | 31 | 158.74 |
| 6 | 110.19 | 19 | 157.01 | 32 | 201.63 |
| 7 | 79.19 | 20 | 188.37 | 33 | 75.00 |
| 8 | 226.00 | 21 | 97.12 | 34 | 94.85 |
| 9 | 252.05 | 22 | 93.33 | 35 | 70.05 |
| 10 | 161.64 | 23 | 24.68 | 36 | 269.56 |
| 11 | 78.78 | 24 | 23.88 | 37 | 53.25 |
| 12 | 182.31 | 25 | 155.13 | 38 | 51.68 |
| 13 | 144.49 | 26 | 110.02 | 39 | 37.50 |

表 1.2　流域・河道モデル分割諸元（利根川　河道）

| No. | 河道 | 河川名 | 河道区間 |
|---|---|---|---|
| 1 | a | 利根川 | (湯原～赤谷川) |
| 2 | b | 赤谷川 | (相俣～利根川) |
| 3 | A | 利根川 | (赤谷川～片品川) |
| 4 | B | 片品川 | (薗原ダム～利根川) |
| 5 | C | 利根川 | (片品川～吾妻川) |
| 6 | D | 吾妻川 | (四万川～村上) |
| 7 | E | 吾妻川 | (村上～利根川) |
| 8 | F | 利根川 | (吾妻川～利根橋) |
| 9 | G | 利根川 | (利根橋～上福島) |
| 10 | H | 利根川 | (上福島～烏川) |
| 11 | I | 烏川 | (上里見～碓氷川) |
| 12 | J | 碓氷川 | (安中～烏川) |
| 13 | K | 烏川 | (碓氷川～鏑川) |
| 14 | L | 鏑川 | (高田川～鮎川) |
| 15 | M | 鏑川 | (鮎川～烏川) |
| 16 | N | 井野川 | (熊野橋～烏川) |
| 17 | O | 烏川 | (鏑川～神流川) |
| 18 | P | 神流川 | (下久保ダム～神流川堰) |
| 19 | Q | 神流川 | (神流川堰～烏川) |
| 20 | R | 烏川 | (神流川～利根川) |

### 3) 定数の設定

#### (1) 流域定数の設定

① 定数設定の考え方

各流域定数（$K$、$P$、$T_l$、$f_1$、$R_{sa}$）の設定に当たっては、昭和 53 年（1980 年）～平成 19 年（2007 年）のデータの中から、基準地点八斗島の流量が比較的大きい洪水（以下「流域定数解析洪水」という。）を用いて設定した。

② 流域定数解析洪水

定数設定に当たっては、昭和 53 年（1980 年）～平成 19 年（2007 年）で基準地点八斗島の年最大流量の平均値に相当する 3,500 $m^3/s$ を上回る 15 洪水及び近年最大洪水である令和元年東日本台風（台風第 19 号）について検証の対象とし、表 1.3 に洪水の一覧を示す。

なお、令和元年東日本台風（台風第 19 号）において試験湛水中であった八ッ場ダムにより洪水調節を行ったことから、このデータを追加し検討した。

表 1.3　流域定数解析洪水

| No. | 洪水名 | 基準地点<br>八斗島ピーク<br>流量($m^3/s$) | No. | 洪水名 | 基準地点<br>八斗島ピーク<br>流量($m^3/s$) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | S56.8 | 7,690 | 9 | H11.8 | 5,202 |
| 2 | S57.7 | 7,991 | 10 | H12.9 | 3,971 |
| 3 | S57.9 | 8,192 | 11 | H13.9 | 6,785 |
| 4 | S58.9 | 4,267 | 12 | H14.7 | 5,972 |
| 5 | S60.7 | 4,077 | 13 | H16.10 | 3,728 |
| 6 | S61.9 | 4,454 | 14 | H18.7 | 3,929 |
| 7 | H3.8 | 4,589 | 15 | H19.9 | 7,755 |
| 8 | H10.9 | 9,222 | 16 | R1.10 | 13,807 |

出典：水文水質データベース

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、流域定数解析洪水毎に流域定数の解析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。この成分分離の概念を図 1.12 に示し、各洪水における成分分離の事例を図 1.13 及び図 1.14 に示す。

成分分離については、ハイドログラフの低減部を片対数紙に描き、2 本または 3 本の直線で近似する。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、洪水の終わりから 1 つ目の折れ点を直接流出の終了地点とした。

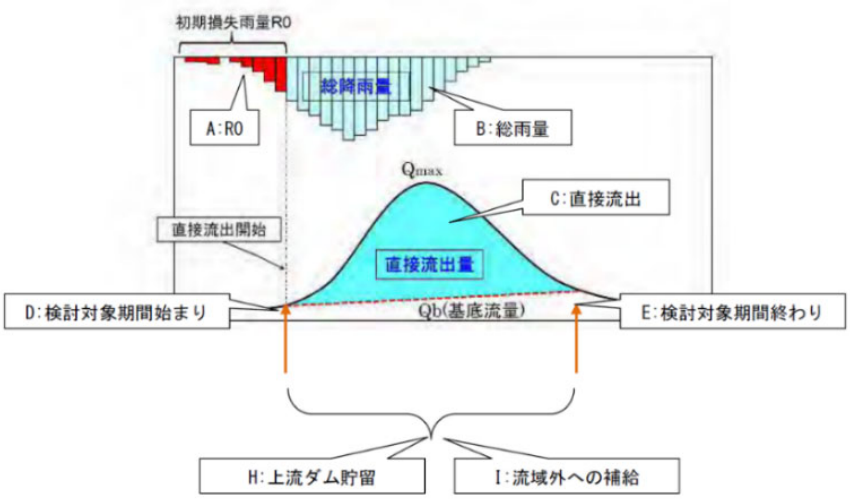



図 1.12　成分分離概念図

＜相俣ダム＞

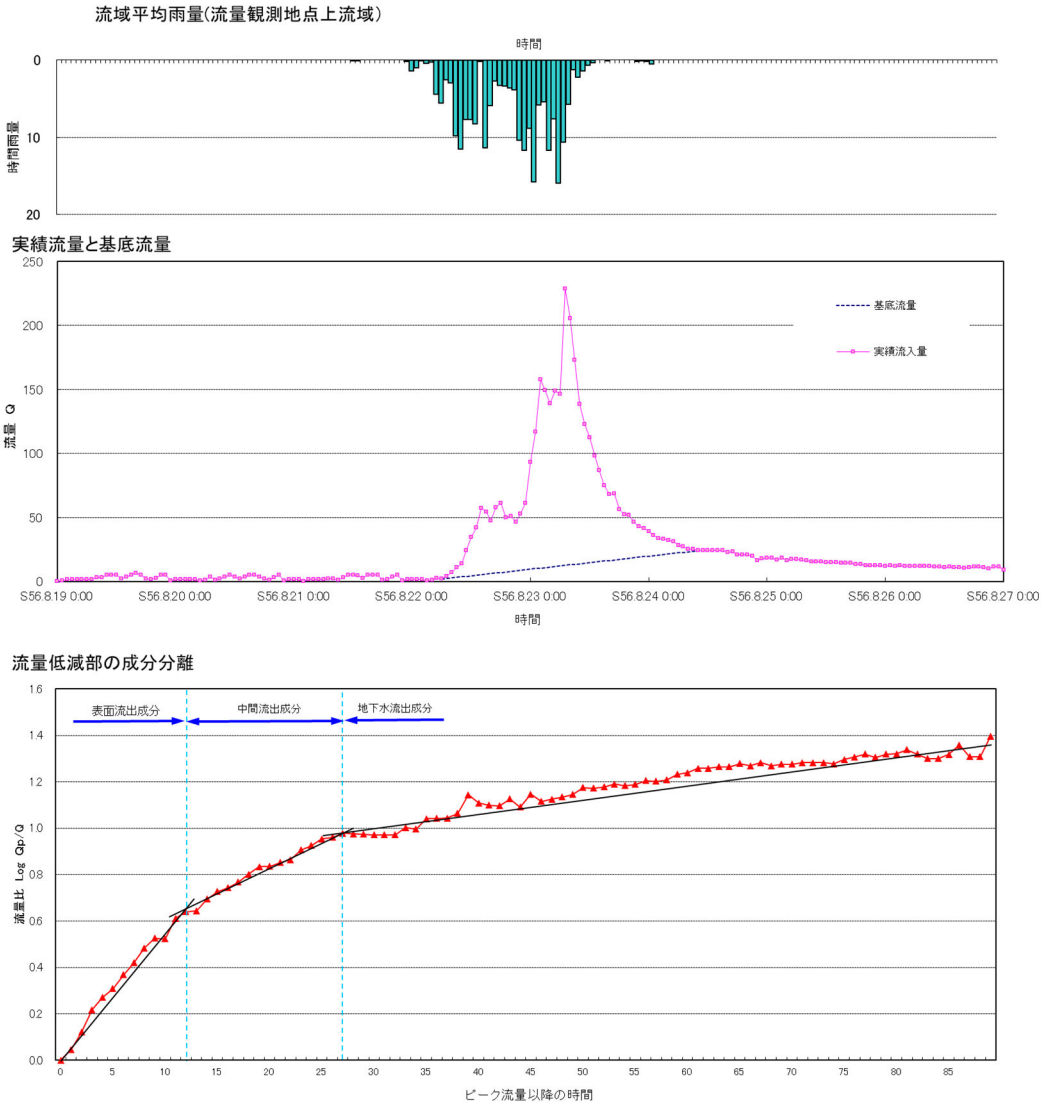



図 1.13　成分分離の事例（S56.8 洪水）

＜安中＞

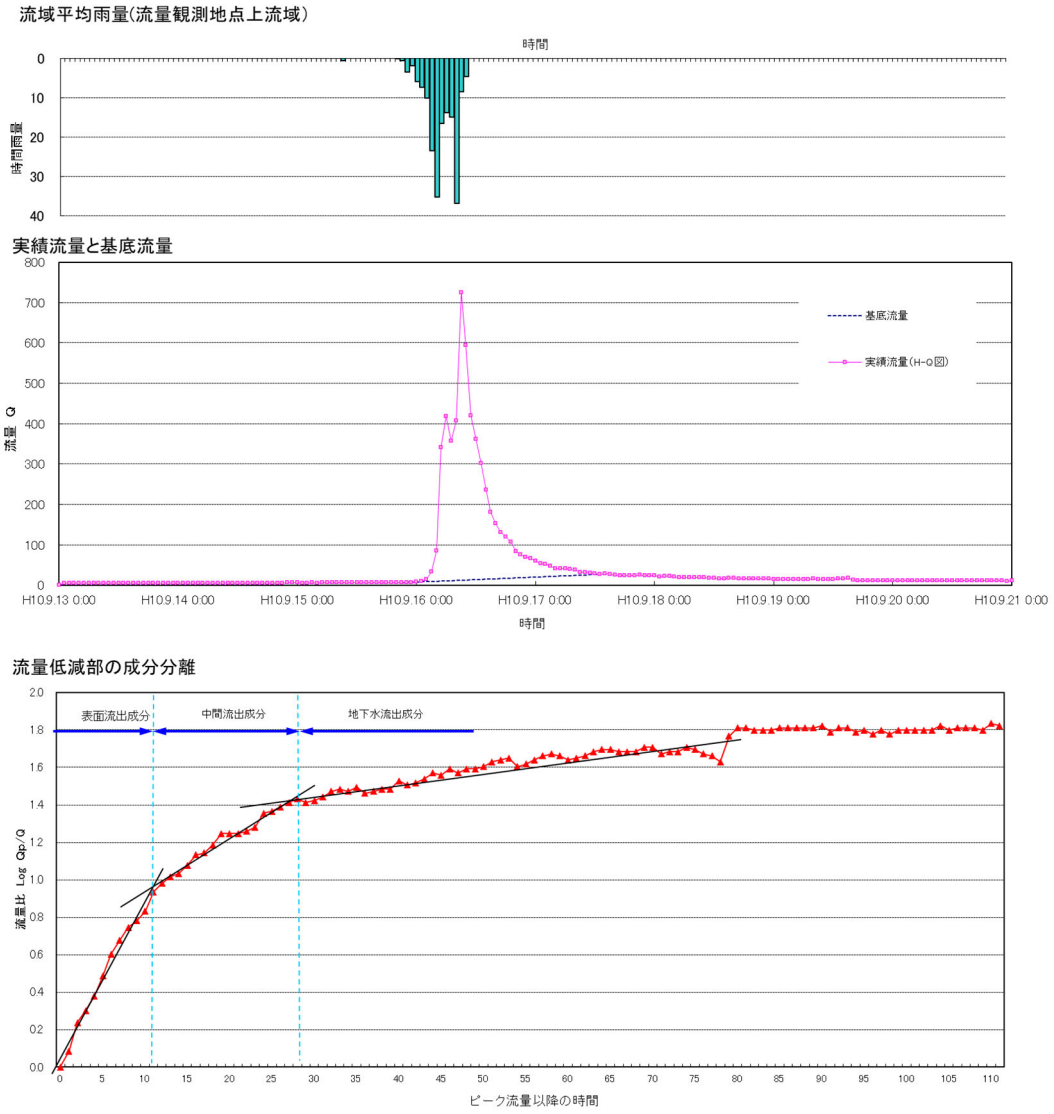



図 1.14　成分分離の事例（H10.9 洪水）

④　初期損失雨量の設定

初期損失雨量は、次に示す地点（以下「$f_1$等解析地点」という。）を選定して、流域定数解析洪水毎に求めた。具体的には、$f_1$等解析地点の上流域における流域平均時間雨量のハイエトグラフにおいて、直接流出開始以前の時間雨量の和を求めて当該地点の初期損失雨量とした。

$f_1$等解析地点（21 地点）

- 分割した小流域の下流端となる流量観測所（20 観測所）のうち、流域定数解析洪水のデータについて、$f_1$、$R_{sa}$の解析が可能なデータが存在する流量観測所地点： 小袖橋、千鳥、上久屋、岩島、村上、岩井、安中、岩鼻、上里見、高松、万場、若泉
- 分割した小流域の下流端となる既設ダム地点：矢木沢ダム、奈良俣ダム、相俣ダム、藤原ダム、薗原ダム、下久保ダム
- 流域定数解析洪水のデータについて、$f_1$、$R_{sa}$の解析が可能なデータが存在する県管理ダム地点：四万川ダム、道平川ダム、霧積ダム

各小流域の初期損失雨量は、流域定数解析洪水毎に設定することとし、$f_1$等解析地点のうち、源流に最も近い解析地点（以下「最上流地点」という。）は 9 地点あり、この上流にある 16 小流域については、最上流地点で求めた当該洪水における初期損失雨量を、当該最上流地点の上流にある小流域の初期損失雨量とした。その他の 23 小流域については、中流域毎に当該中流域に含まれるすべての$f_1$等解析地点の当該洪水における初期損失雨量の平均値を求め、当該中流域に属する小流域の初期損失雨量とした。

なお、中流域は、流出の特性を考慮して奥利根流域、吾妻川流域、烏川流域、神流川流域の 4 つとし、八斗島上流の 39 の小流域を 4 つの中流域に分けた。中流域の分割図を図 1.15 に示す。

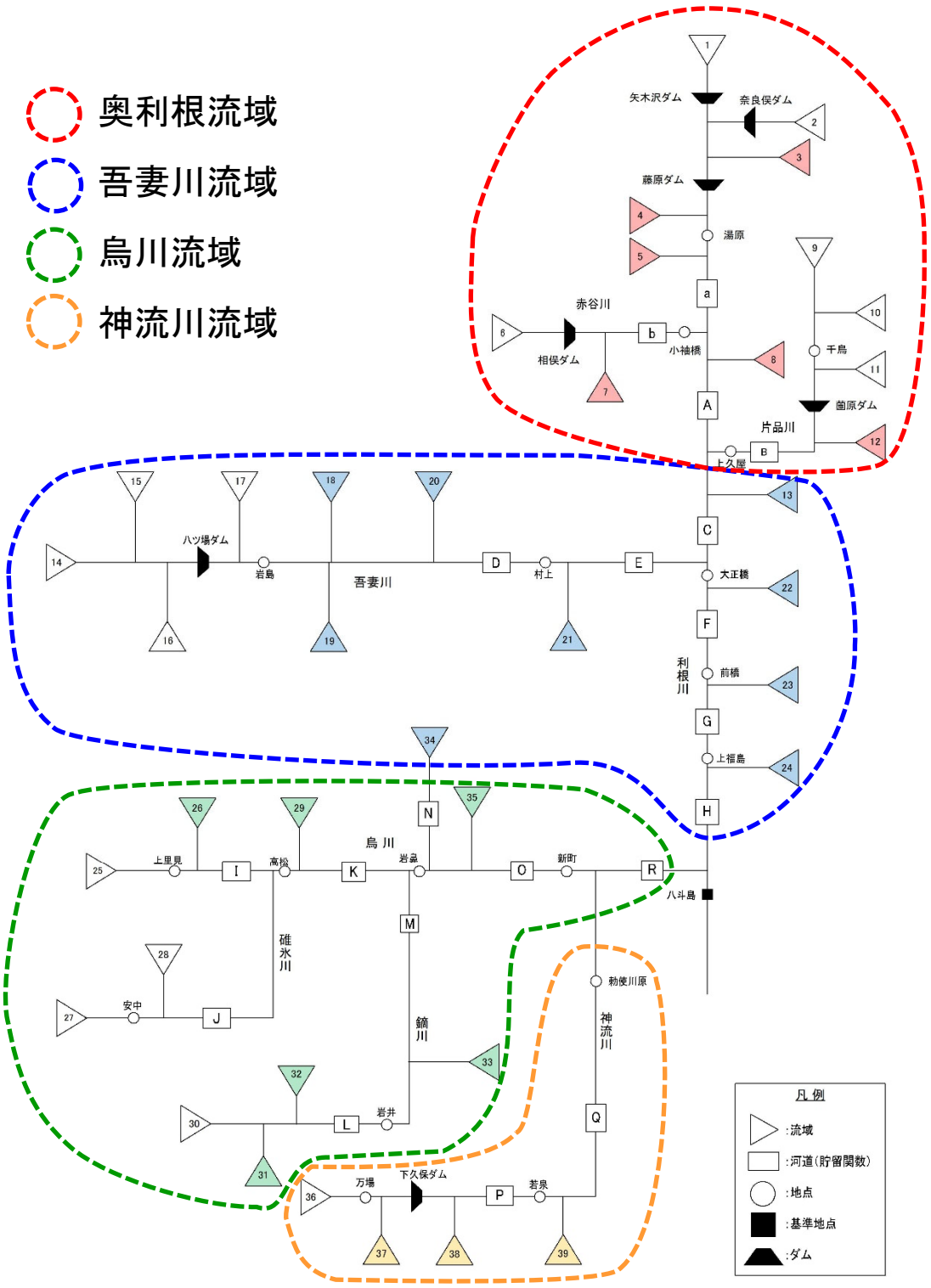

奥利根流域
吾妻川流域
烏川流域
神流川流域
矢木沢ダム
奈良俣ダム
藤原ダム
湯原
赤谷川
相俣ダム
小袖橋
千鳥
薗原ダム
片品川
上久屋
八ツ場ダム
岩島
吾妻川
村上
大正橋
利根川
前橋
上福島
烏川
上里見
高松
岩鼻
新町
八斗島
碓氷川
安中
鏑川
岩井
動使川原
神流川
万場
下久保ダム
若泉
凡例
:流域
:河道(貯留関数)
:地点
:基準地点
:ダム

図 1.15　中流域分割図

⑤ $f_1$、$R_{sa}$の設定

各小流域の$f_1$は、当該小流域が属する中流域の$f_1$とすることとし、中流域毎に$f_1$を求めた。具体的には、中流域毎に、当該中流域に含まれるすべての$f_1$等解析地点におけるすべての流域定数解析洪水の総降雨量$R_{sum}$と総直接流出高$q_{sum}$（【mm】＝$\frac{Q_{sum}}{1000 \bullet A}$）を1つの図（X軸：$R_{sum}$、Y軸：$q_{sum}$）にプロットし、ある$R_{sa}$を仮定して、総降雨量が$R_{sa}$より小さい点群について、その座標と原点を結ぶ直線の傾きの平均値を$f_1$としたときに、総降雨量が$R_{sa}$より大きい点群について、総降雨量と総直接流出高の差の平均値が$R_{sa} \bullet (1 - f_1)$となることを満足するよう、$R_{sa}$を変化させて求めた。なお、この$R_{sa}$を当該中流域の『平均的な$R_{sa}$』とし、この結果を表 1.4、プロットした図を図 1.16、図 1.17 に示す。また、洪水毎に実績の総降雨量と総直接流出高を求めることができる場合は、『洪水毎の$R_{sa}$』を求めた。

具体的には、当該地点を含む中流域の$R_{sum} - q_{sum}$図において、当該地点の当該洪水のプロットを通るように傾きが 1.0 の直線を引き、この直線と、原点を通る傾きが$f_1$の直線との交点の X 座標を、当該地点の洪水毎の$R_{sa}$とした。

各小流域の$R_{sa}$の設定に当たっては、流域定数解析洪水毎に設定することとし、最上流地点の上流にある 16 小流域については、各最上流地点で求めた当該洪水における洪水毎の$R_{sa}$を、当該最上流地点の上流にある小流域の$R_{sa}$とした。その他の 23 小流域については、中流域毎に、当該中流域に含まれるすべての最上流地点の当該洪水における洪水毎の$R_{sa}$の平均値を求め、当該中流域に属する小流域の$R_{sa}$とした。

表 1.4　計画$f_1$、$R_{sa}$設定結果

| 中流域 | 地点 | 一次損失雨量 | |
|---|---|---|---|
| | | $f_1$ | $R_{sa}$ |
| 奥利根 | 矢木沢ダム、奈良俣ダム、相俣ダム、<br>藤原ダム、薗原ダム、小袖橋、千鳥、上久屋 | 0.4 | 150 |
| 吾妻川 | 四万川ダム、岩島、村上 | 0.4 | – |
| 烏川 | 道平川ダム、霧積ダム、岩井、安中、岩鼻、上里見、高松 | 0.6 | 200 |
| 神流川 | 下久保ダム、万場、若泉 | 0.6 | 130 |

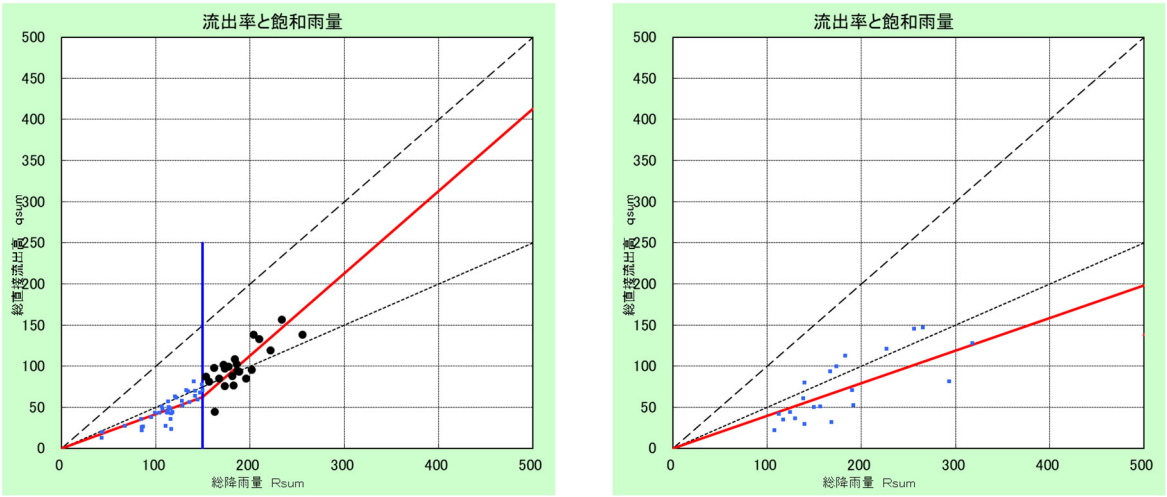



図 1.16　各洪水の総降雨量と総直接流出高の関係）

（左：奥利根流域、右：吾妻川流域）

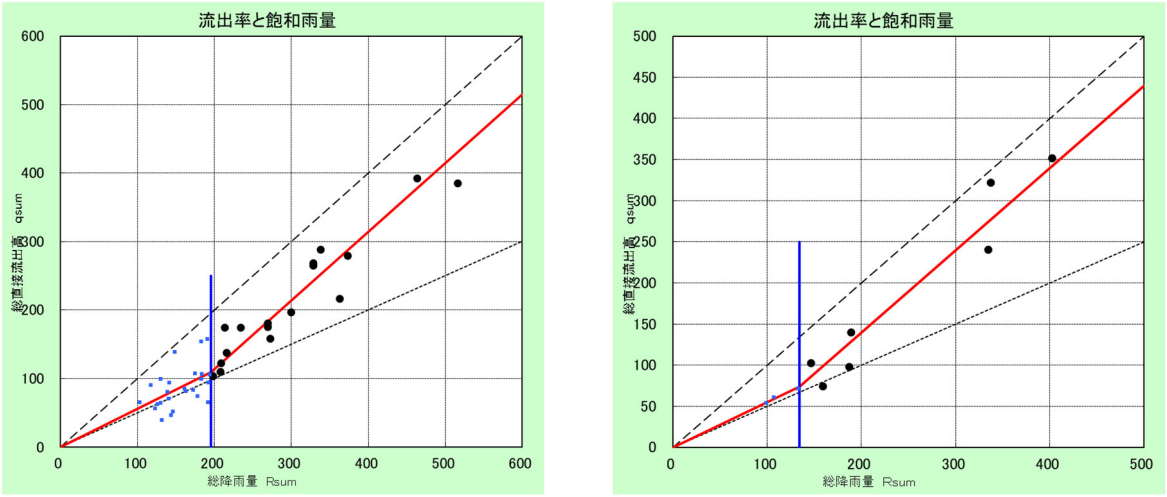



図 1.17　各洪水の総降雨量と総直接流出高の関係

（左：烏川流域、右：神流川流域）

⑥　小流域ごとの有効降雨

小流域ごとの有効降雨は、小流域ごとの流域平均時間雨量と$f_{(t)}$から、次式により求めることができる。

$$re_{(t)} = f_{(t)} \cdot r_{(t)}$$

$re_{(t)}$：流域平均有効降雨強度【mm/h】、$f_{(t)}$：流入係数【無次元】

$r_{(t)}$：流域平均降雨強度【mm/h】*1

*1　雨量観測所の観測雨量からティーセン法により求めた流域平均時間雨量。初期損失分も含む。

ここで、$R_{sa}$には初期損失雨量$R_0$が含まれないことに留意し$f_{(t)}$は次のとおりである。

| | | |
|---|---|---|
| $\sum r_{(t)} \leqq R_0$ | の場合 | $f_{(t)} = 0.0$ |
| $R_0 < \sum r_{(t)} \leqq R_0 + R_{sa}$ | の場合 | $f_{(t)} = f_1$ |
| $\sum r_{(t)} > R_0 + R_{sa}$ | の場合 | $f_{(t)} = 1.0$ |

⑦　$K$、$P$、$T_l$の設定

分割した小流域の下端となる流量観測所地点及びダム地点のうち、流域定数解析洪水データについて、$K$、$P$、$T_l$の解析が可能なデータが存在し、かつ、河道の影響を受けにくい地点（以下「$K$等解析地点」という。）が12地点（矢木沢ダム、奈良俣ダム、相俣ダム、薗原ダム、岩島、上里見、安中、万場、八ッ場ダム、四万川ダム、霧積ダム、道平川ダム）あり、これらの地点で$K$、$P$、$T_l$の解析を行った。

具体的には、$T_l$を少しずつ変えて貯留高と直接流出高を両対数でプロットして$S_{(t)} - q_{(t)}$図を作成し、最もループが小さくなる$T_l$を求めた。求めた$T_l$によって両対数でプロットした$S_{(t)} - q_{(t)}$関係を直線近似し、切片を$K$、傾きを$P$として求め、この結果を表1.5、各地点の解析結果を図1.18から図

1.35 に示す。

このようにして洪水毎、地点毎の$K$、$P$、$T_l$を求めることとし、大きな洪水における流出量の再現性を考慮して、$K$等解析地点毎に、$K$、$P$は最大流量となる洪水の値を、$T_l$は規模の大きい洪水の値の平均値をそれぞれ用いて、当該$K$等解析地点の$K$、$P$、$T_l$を求めた。$K$等解析地点の上流にある小流域については、各$K$等解析地点で求めた$K$、$P$、$T_l$を、当該$K$等解析地点の上流にある小流域の$K$、$P$、$T_l$とした。その他の小流域については、中流域毎に当該中流域に含まれる地点の平均値を求め、当該中流域に属する小流域の$K$、$P$、$T_l$とし、表 1.6 に示す。

表 1.5　K、P、$T_l$の設定結果

| 地点 | 洪水名 | K | P | $T_1$（分） |
|---|---|---|---|---|
| 矢木沢ダム | H10.9 | 7.587 | 0.528 | 30 |
| 奈良俣ダム | H10.9 | 6.252 | 0.656 | 50 |
| 相俣ダム | H14.7 | 10.591 | 0.655 | 40 |
| 薗原ダム | S57.7 | 13.487 | 0.530 | 60 |
| 薗原ダム | H10.9 | | | 120 |
| 岩島 | H13.9 | 29.321 | 0.305 | 80 |
| 岩島 | H19.9 | | | 120 |
| 四万川ダム | H11.8 | 41.157 | 0.296 | 0 |
| 上里見 | H10.9 | 29.519 | 0.428 | 30 |
| 霧積ダム | H3.8 | | | 0 |
| 霧積ダム | H19.9 | 16.686 | 0.601 | 50 |
| 安中 | H10.9 | 10.765 | 0.680 | 60 |
| 道平川ダム | H10.9 | | | 60 |
| 道平川ダム | H11.8 | 17.525 | 0.580 | 20 |
| 万場 | H11.8 | 29.976 | 0.476 | 100 |
| 万場 | H19.9 | | | 60 |
| 八ッ場ダム | R1.10 | 24.350 | 0.331 | 100 |

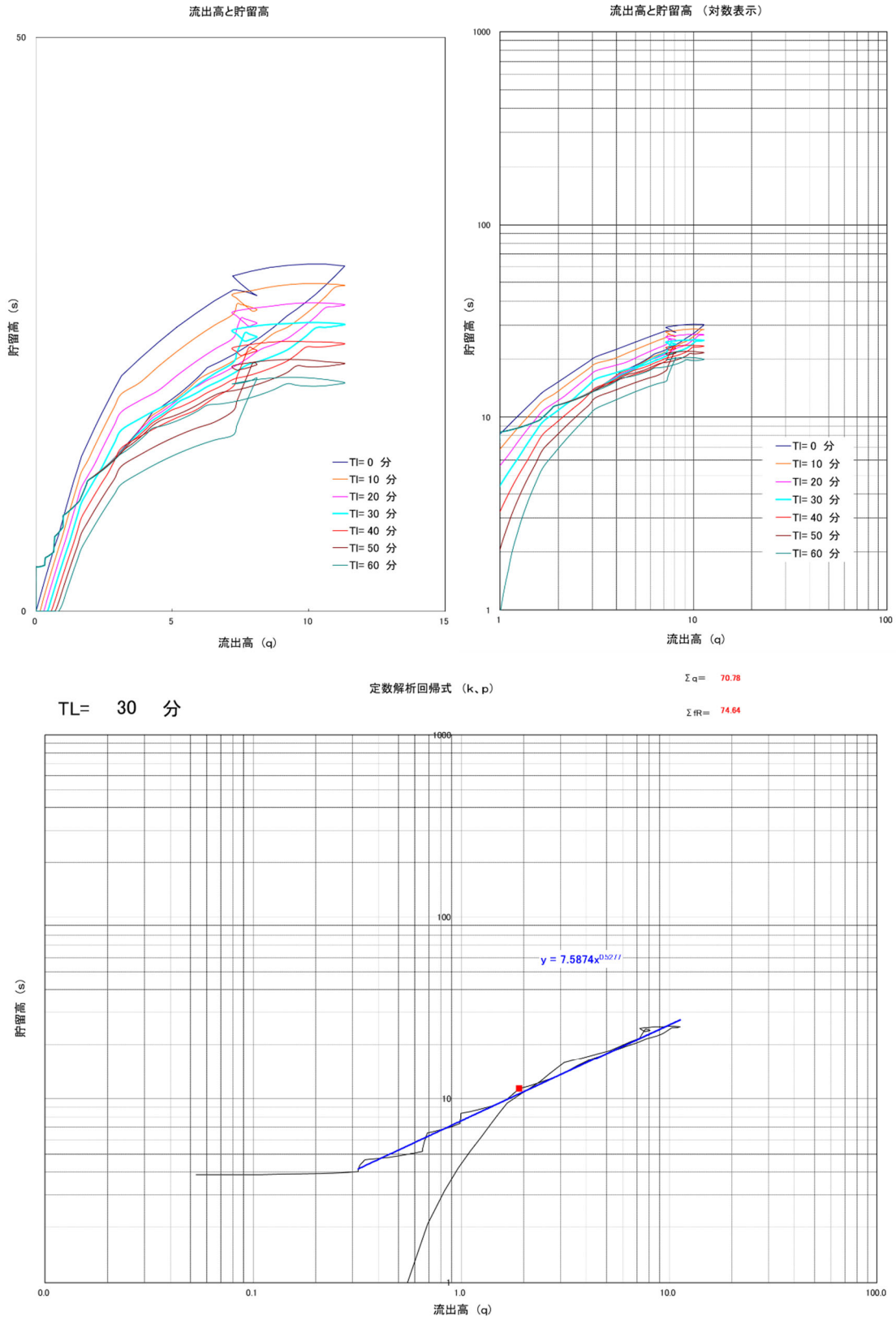



図 1.18　貯留高－流出高関係図（矢木沢ダム地点：H10.9 洪水）

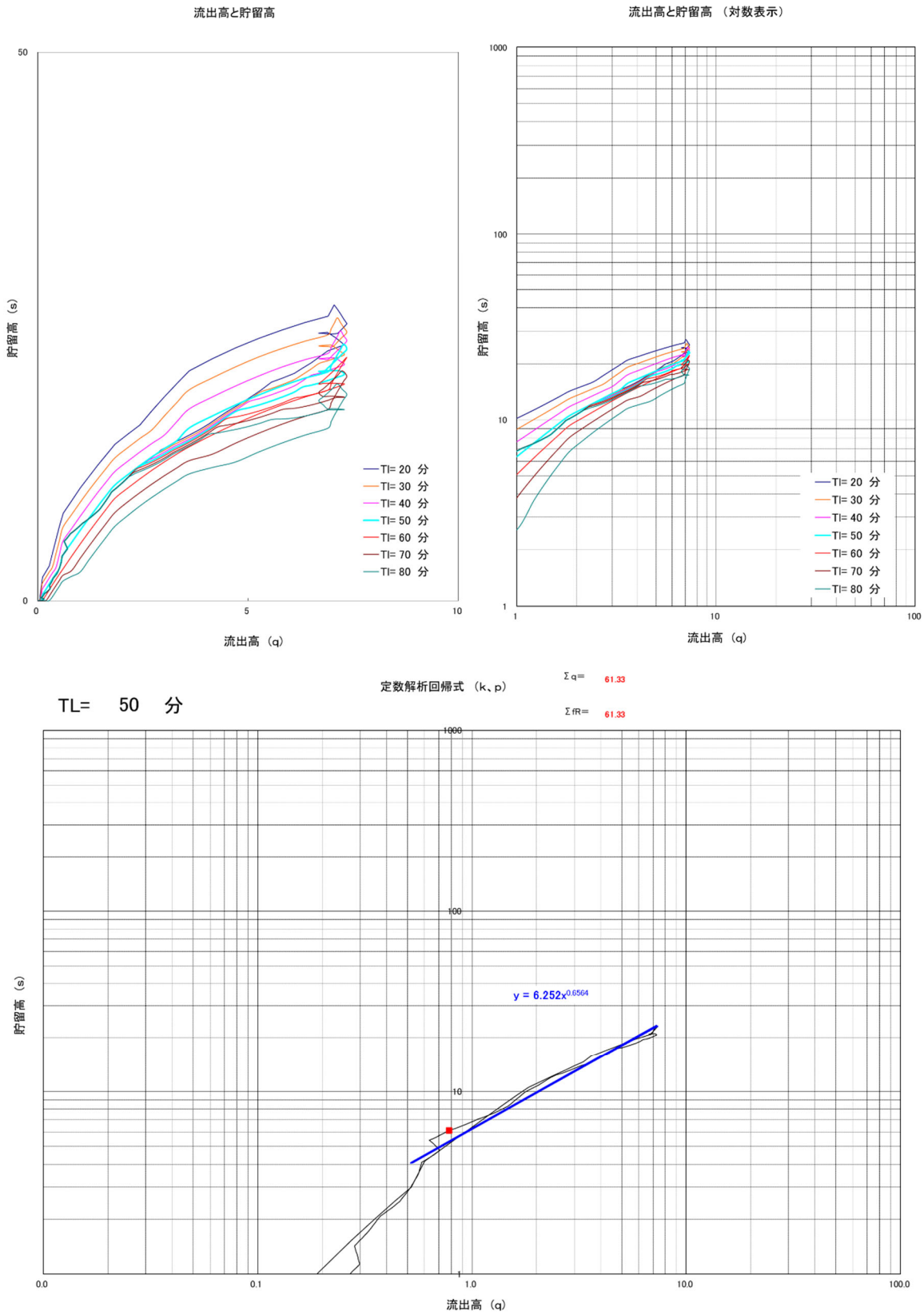



図 1.19　貯留高－流出高関係図（奈良俣ダム地点：H10.9 洪水）

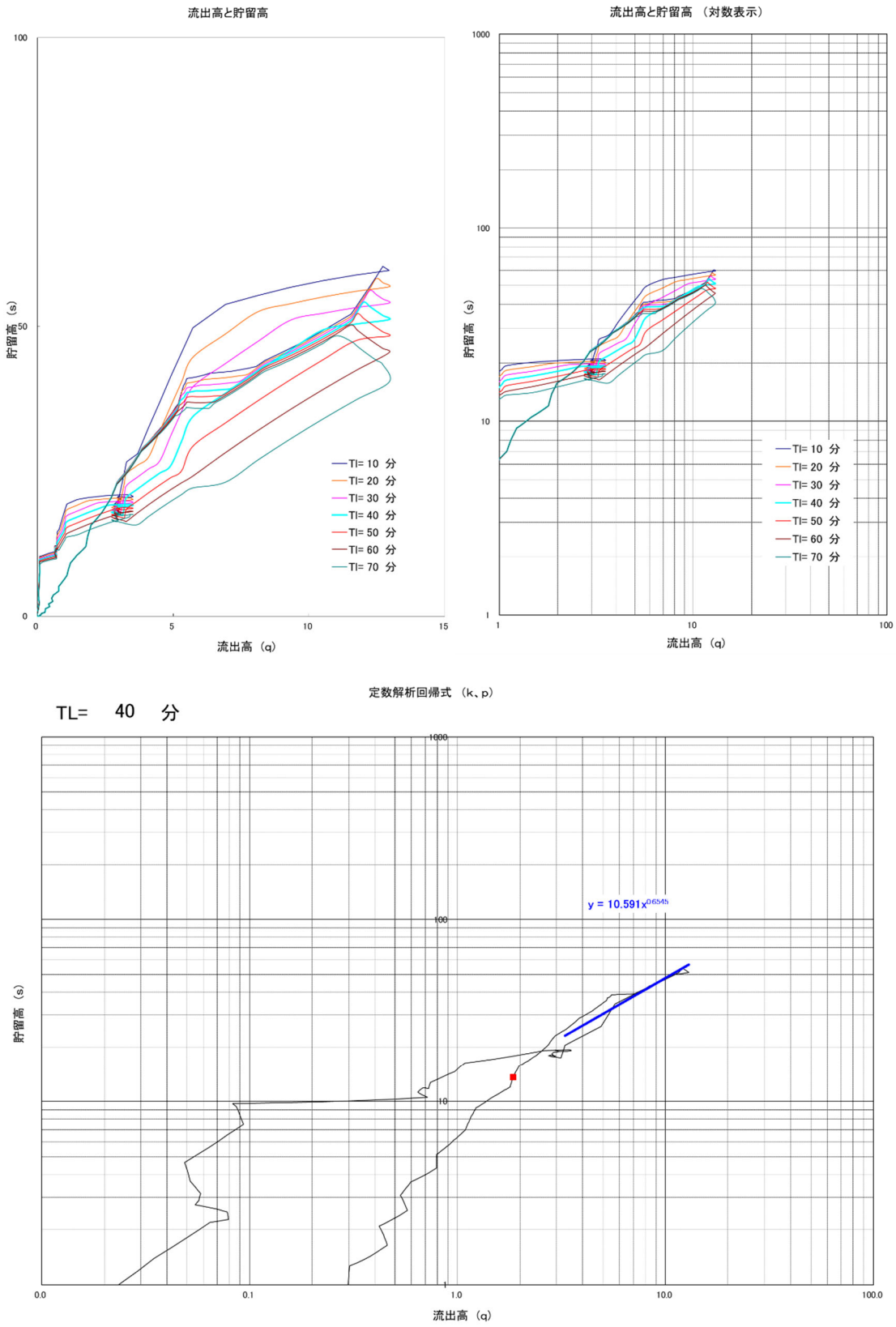



図 1.20　貯留高－流出高関係図（相俣ダム地点：H14.7 洪水）

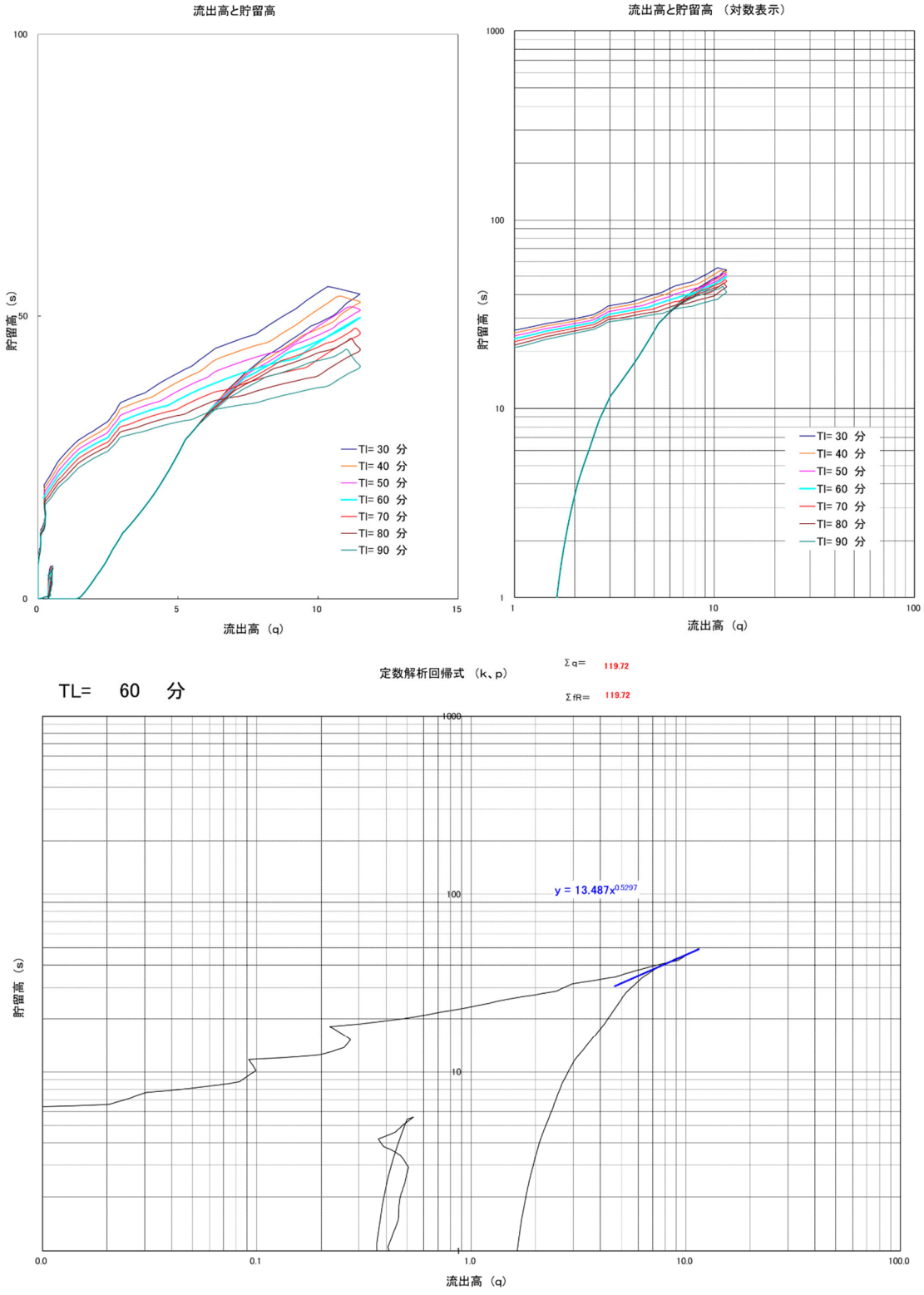



図 1.21　貯留高－流出高関係図（薗原ダム地点：S57.7 洪水）

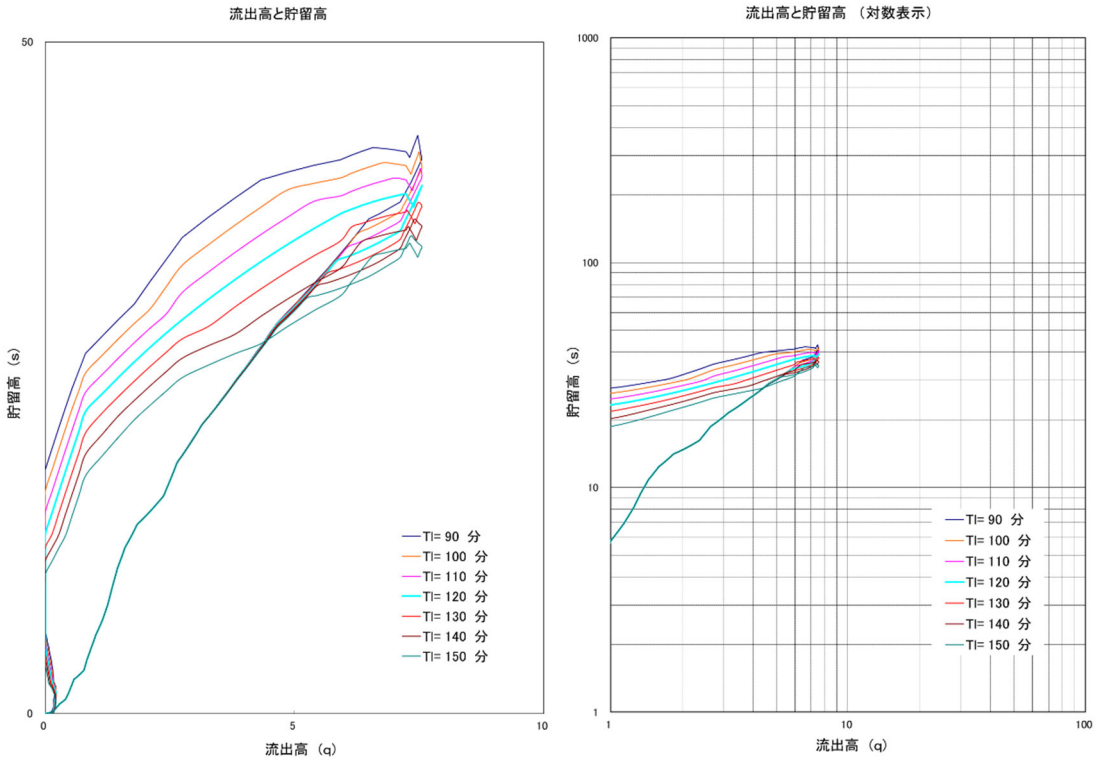



図 1.22　貯留高－流出高関係図（薗原ダム地点：H10.9 洪水）

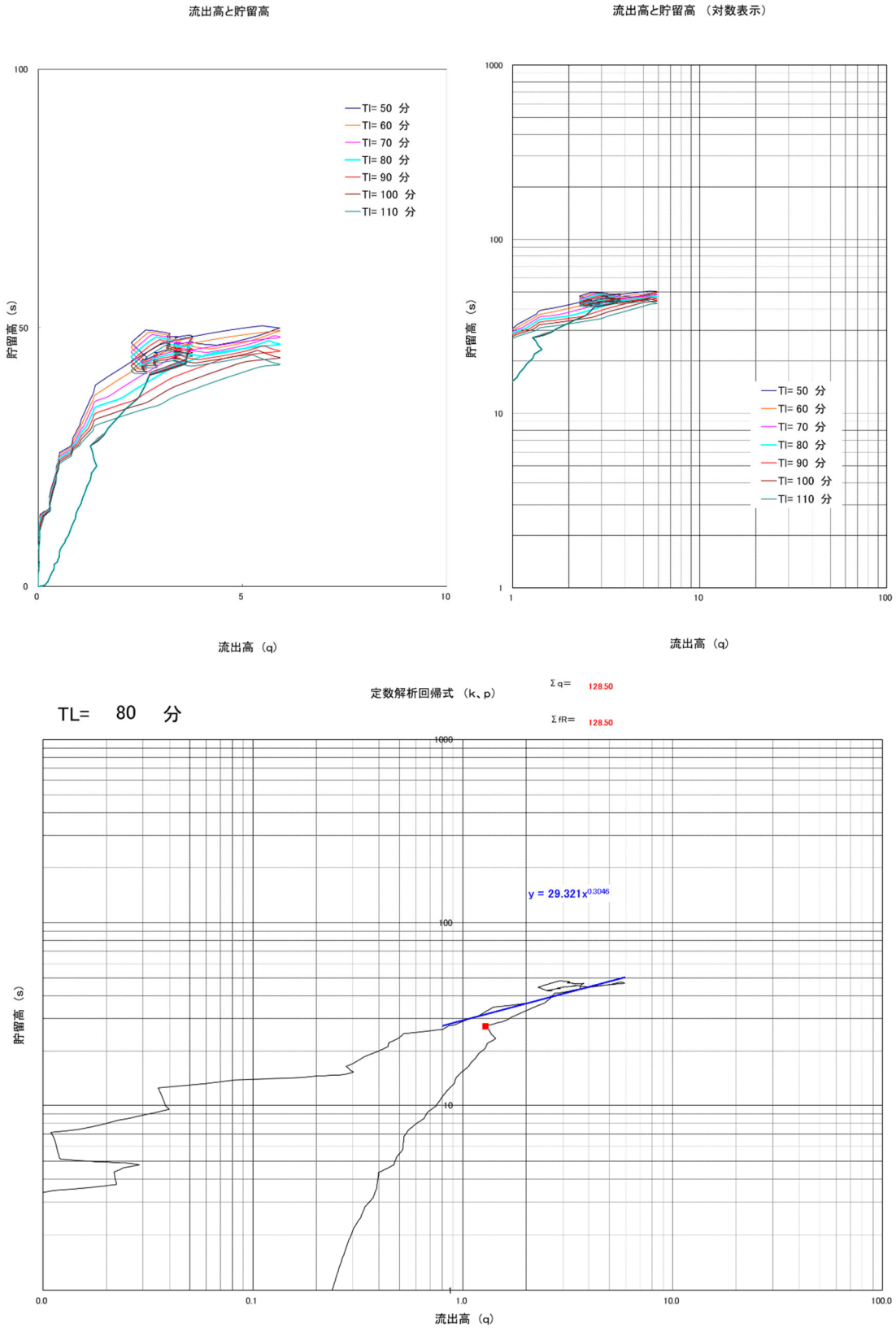



図 1.23　貯留高－流出高関係図（岩島地点：H13.9 洪水）

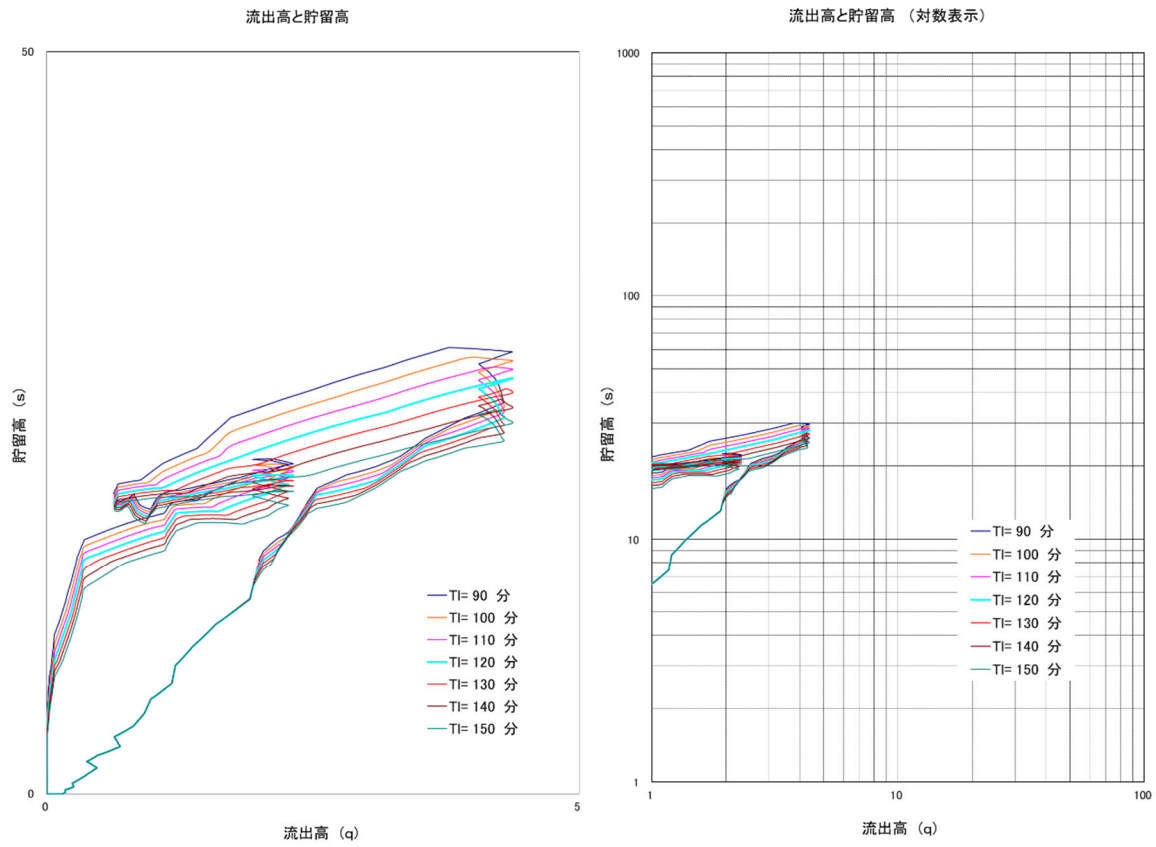



図 1.24　貯留高－流出高関係図（岩島地点：H19.9 洪水）

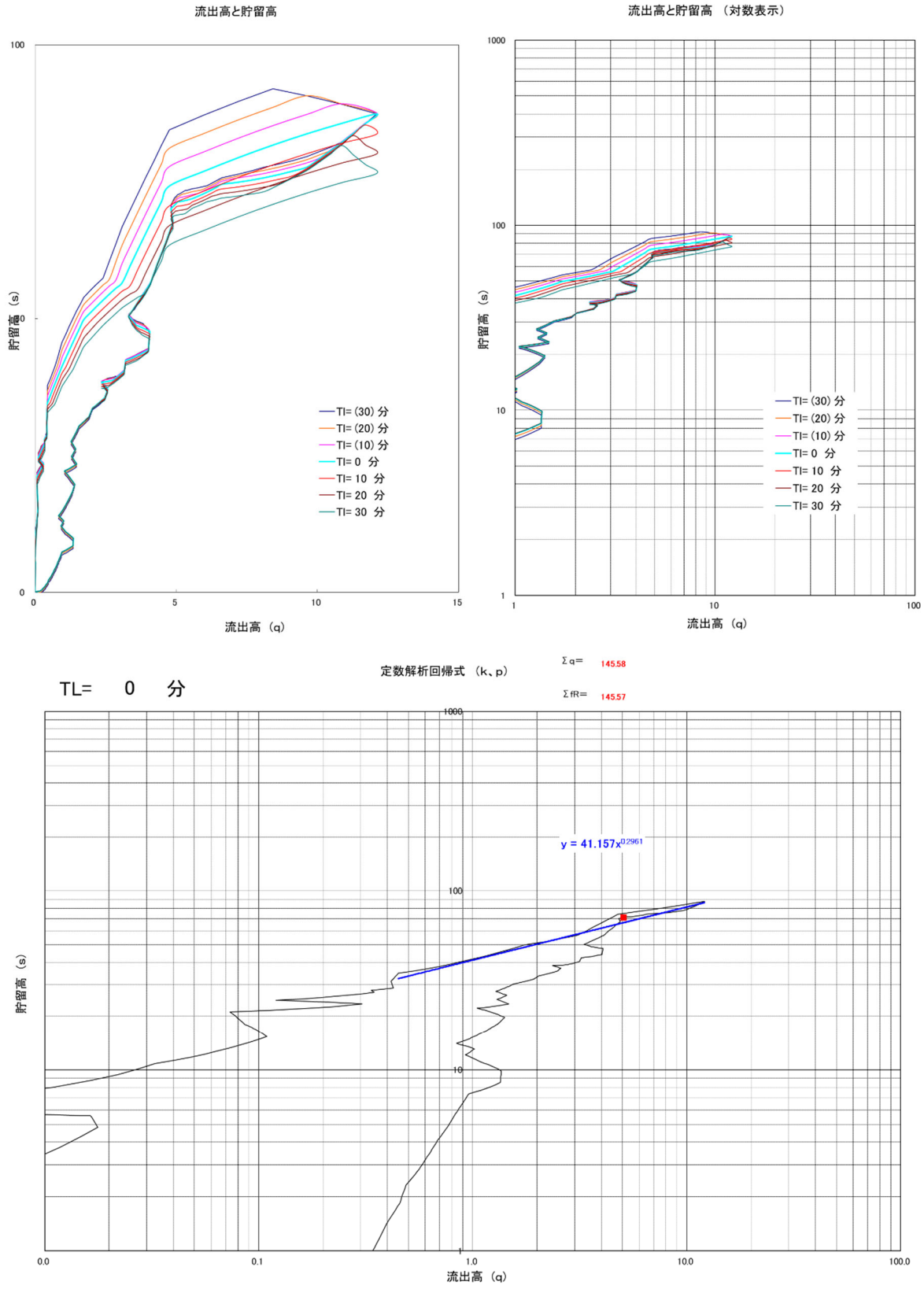



図 1.25　貯留高－流出高関係図（四万川ダム地点：H11.8 洪水）

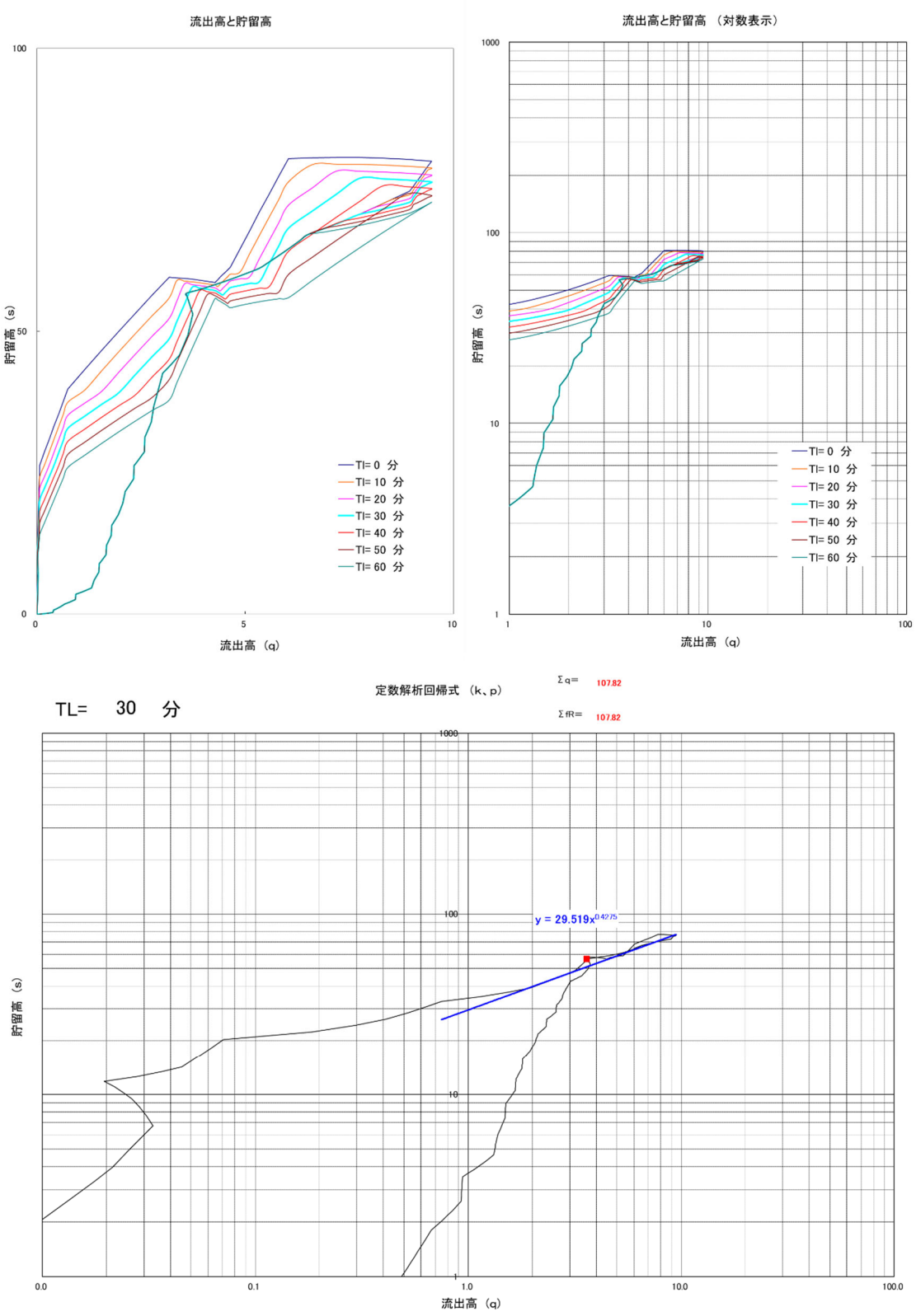



図 1.26　貯留高－流出高関係図（上里見地点：H10.9 洪水）

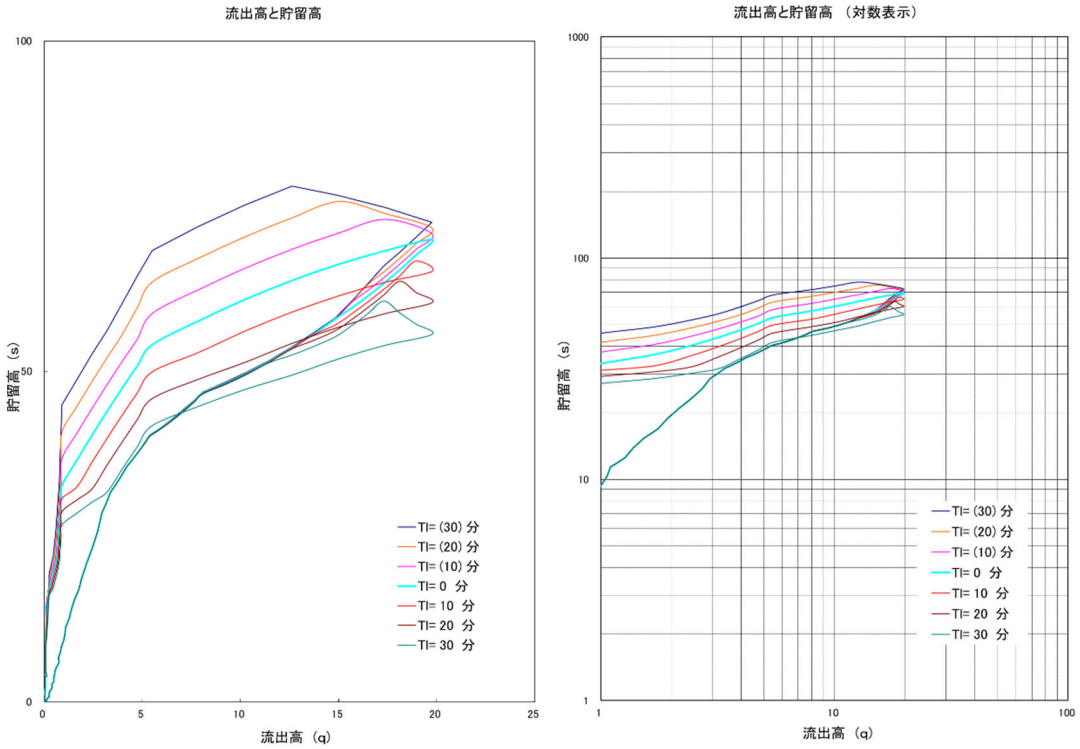



図 1.27　貯留高－流出高関係図（霧積ダム地点：H3.8 洪水）

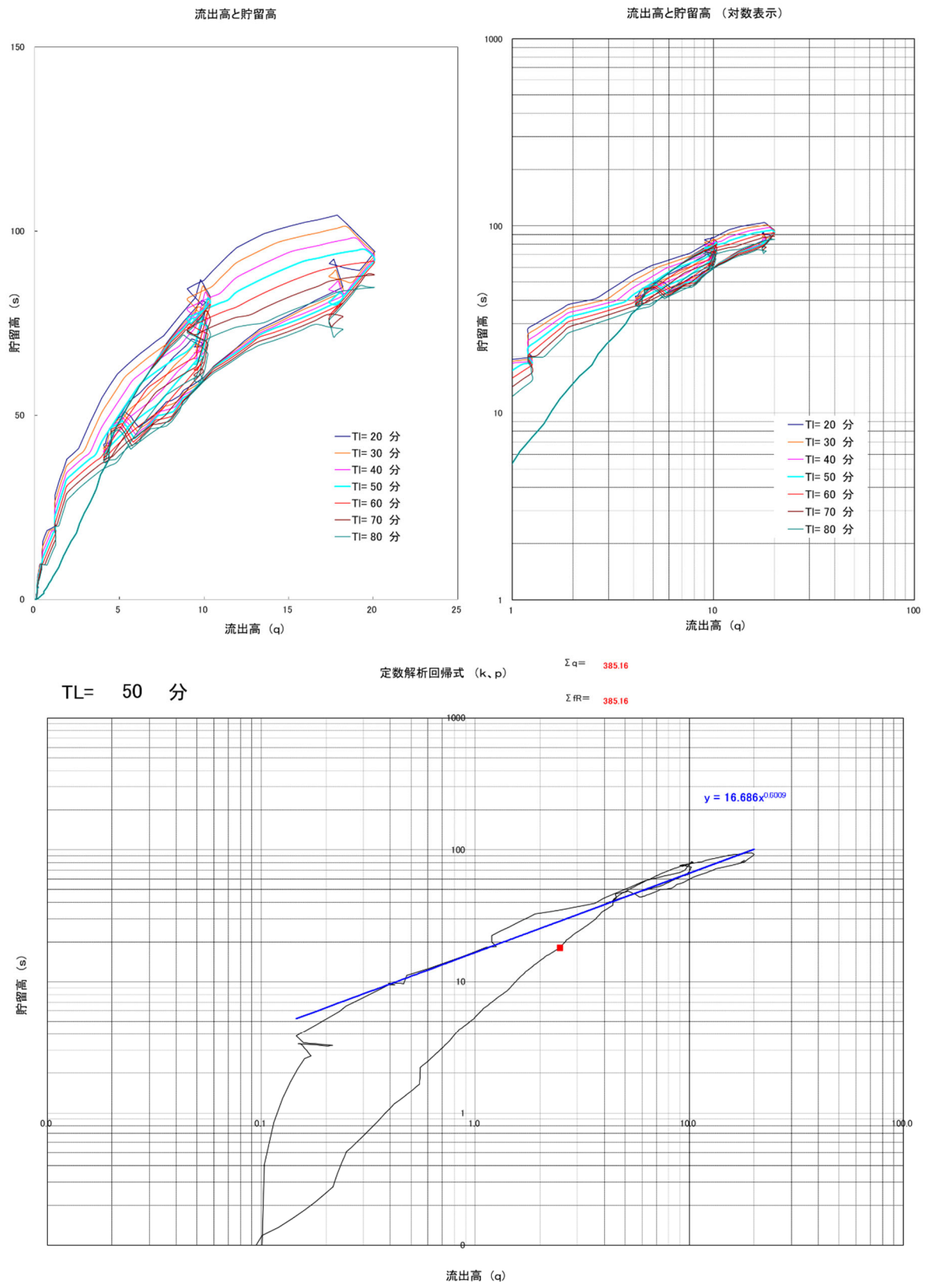



図 1.28　貯留高－流出高関係図（霧積ダム地点：H19.9 洪水）

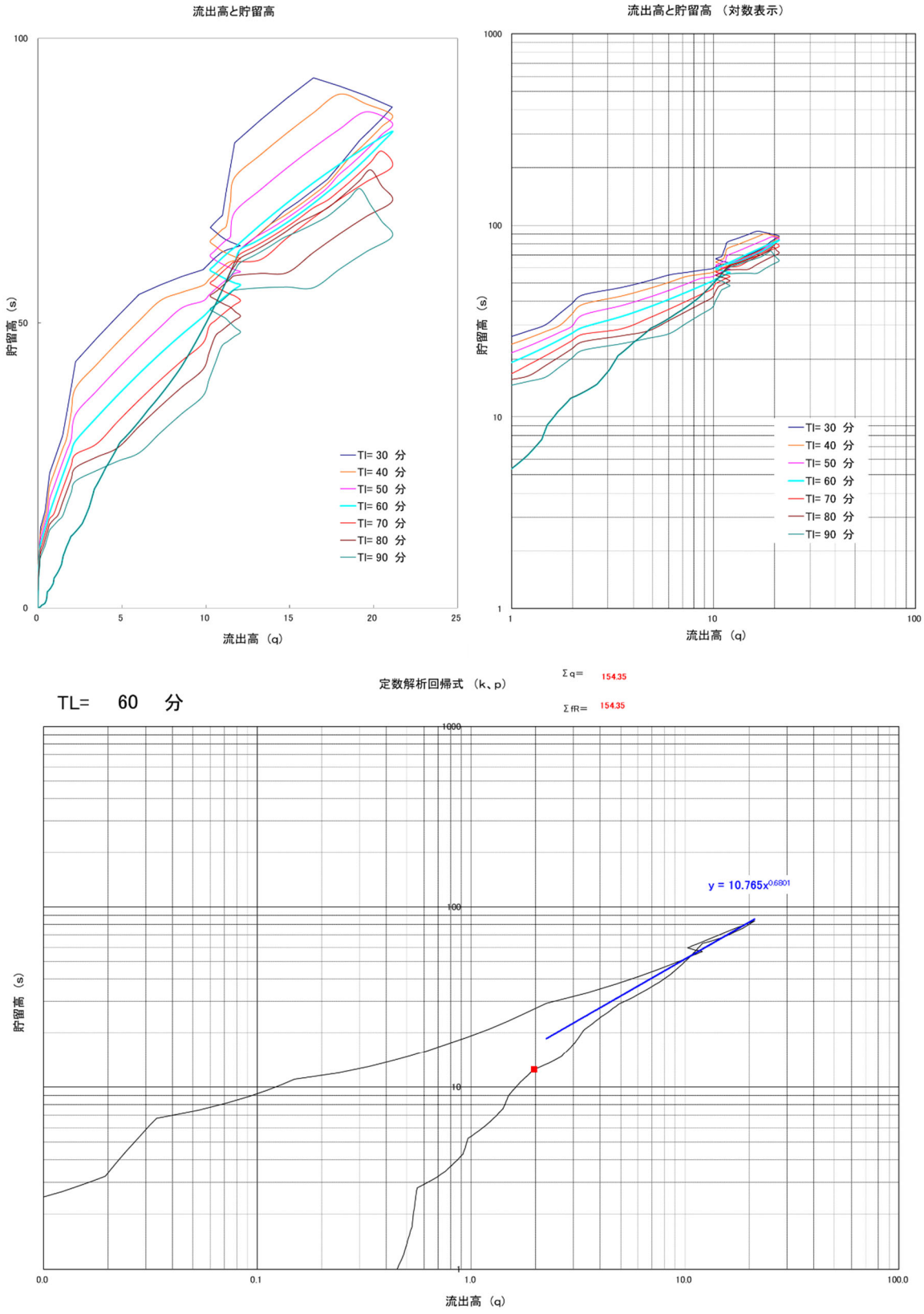



図 1.29　貯留高－流出高関係図（安中地点：H10.9 洪水）

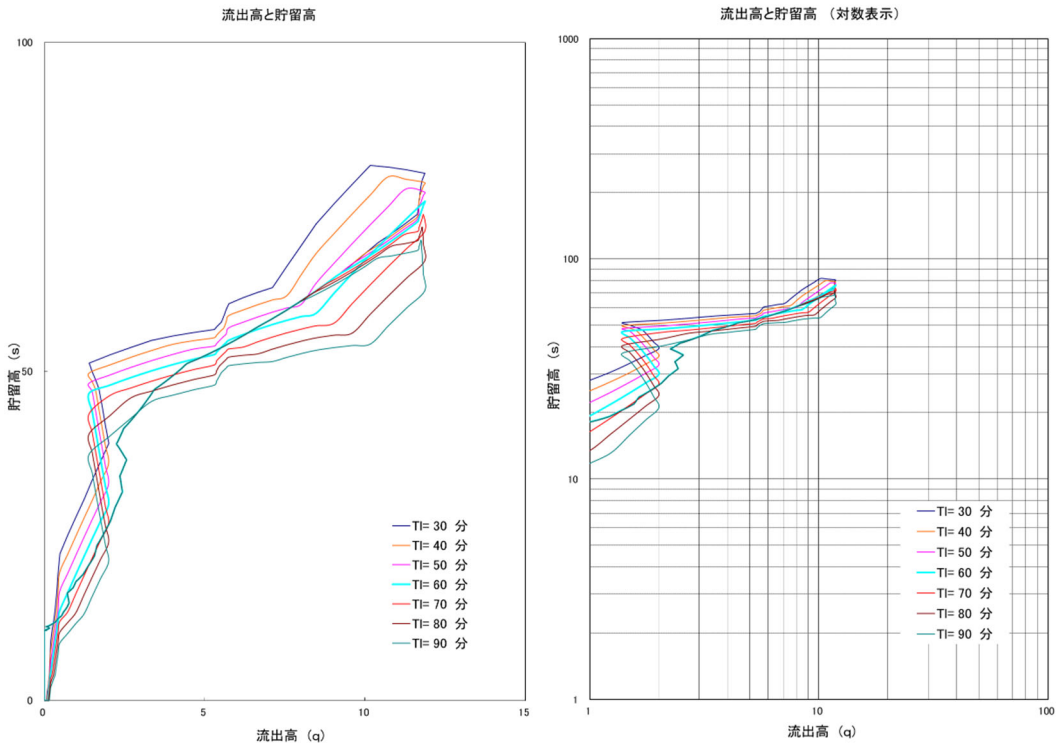



図 1.30　貯留高－流出高関係図（道平川ダム地点：H11.8 洪水）

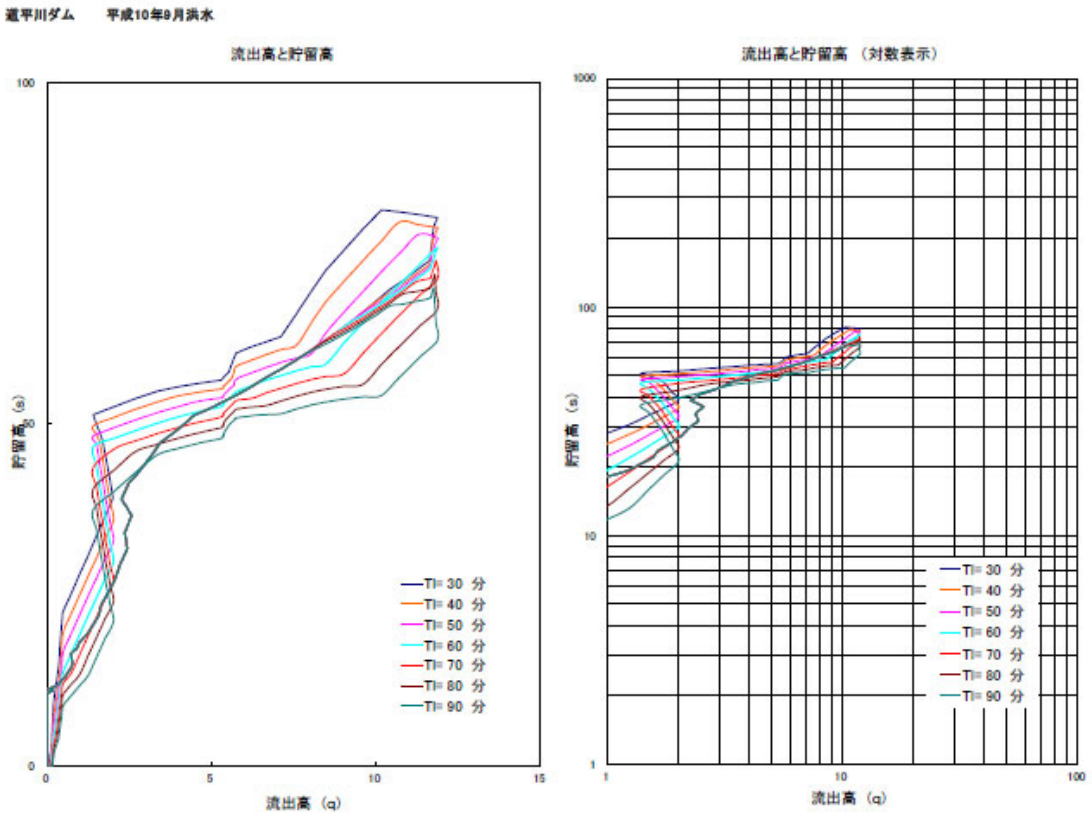



**図 1.31**　貯留高－流出高関係図（道平川ダム地点：H10.9 洪水）

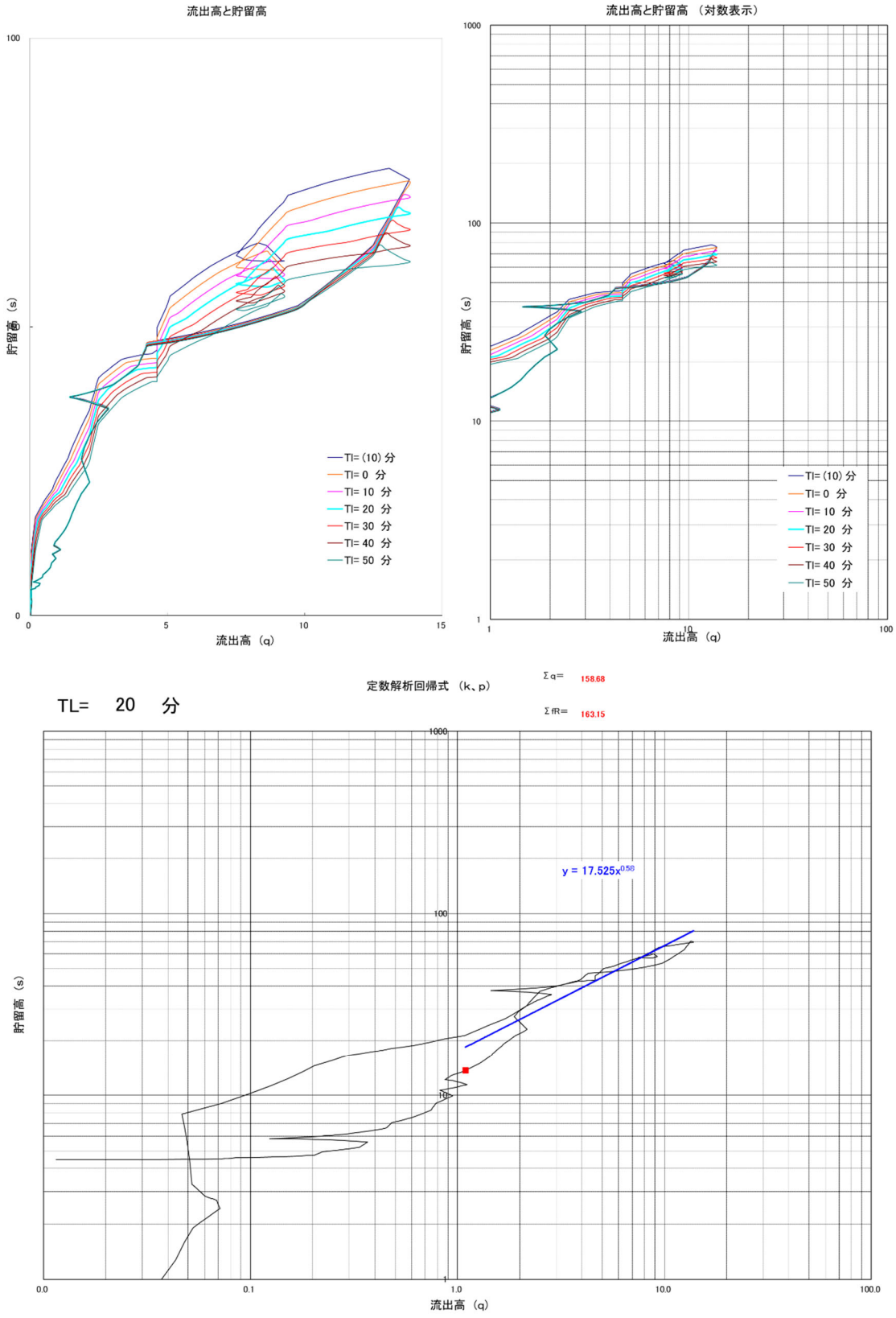



図 1.32　貯留高－流出高関係図（道平川ダム地点：H11.8 洪水）

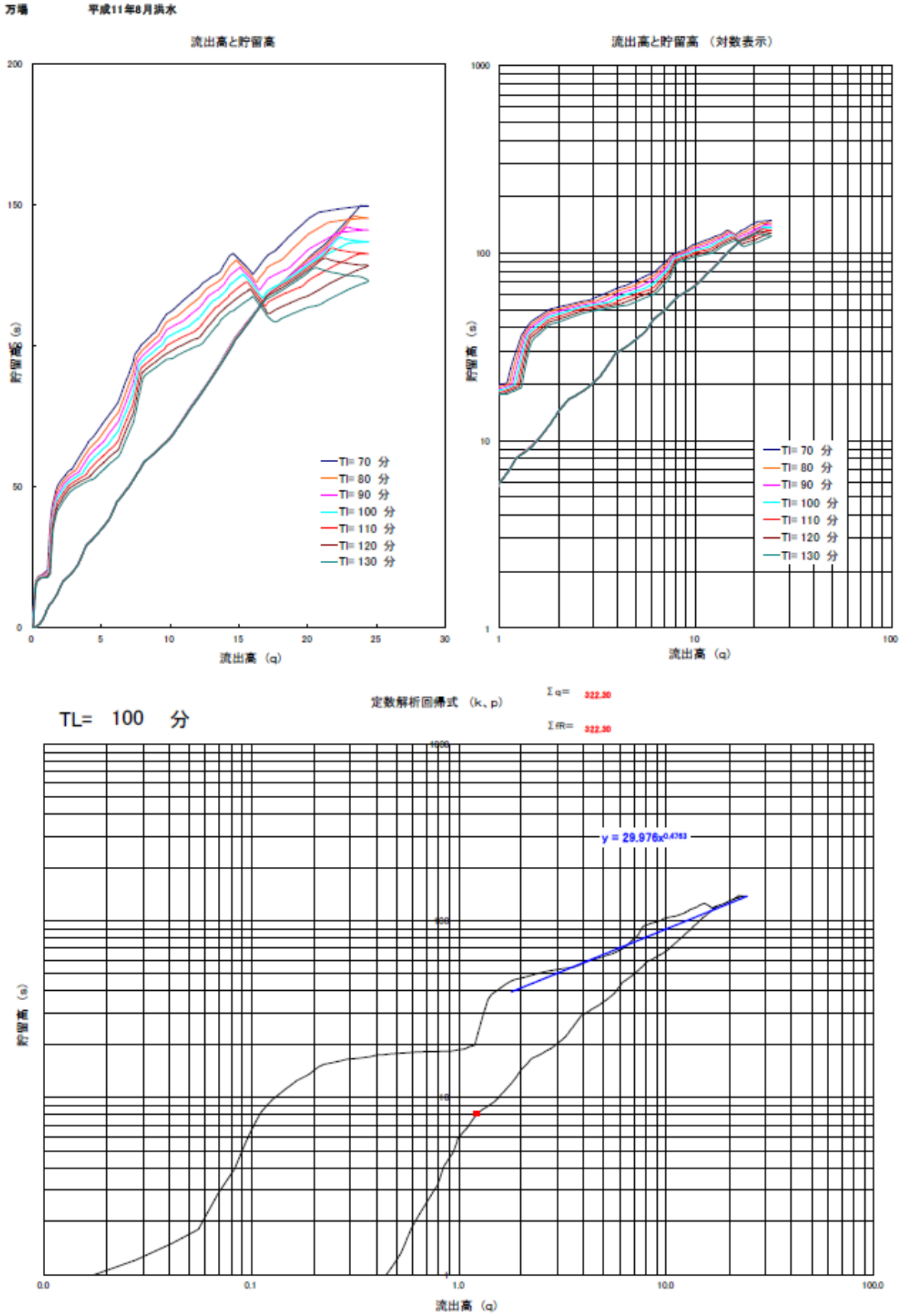



図 1.33　貯留高－流出高関係図（万場：H11.8 洪水）

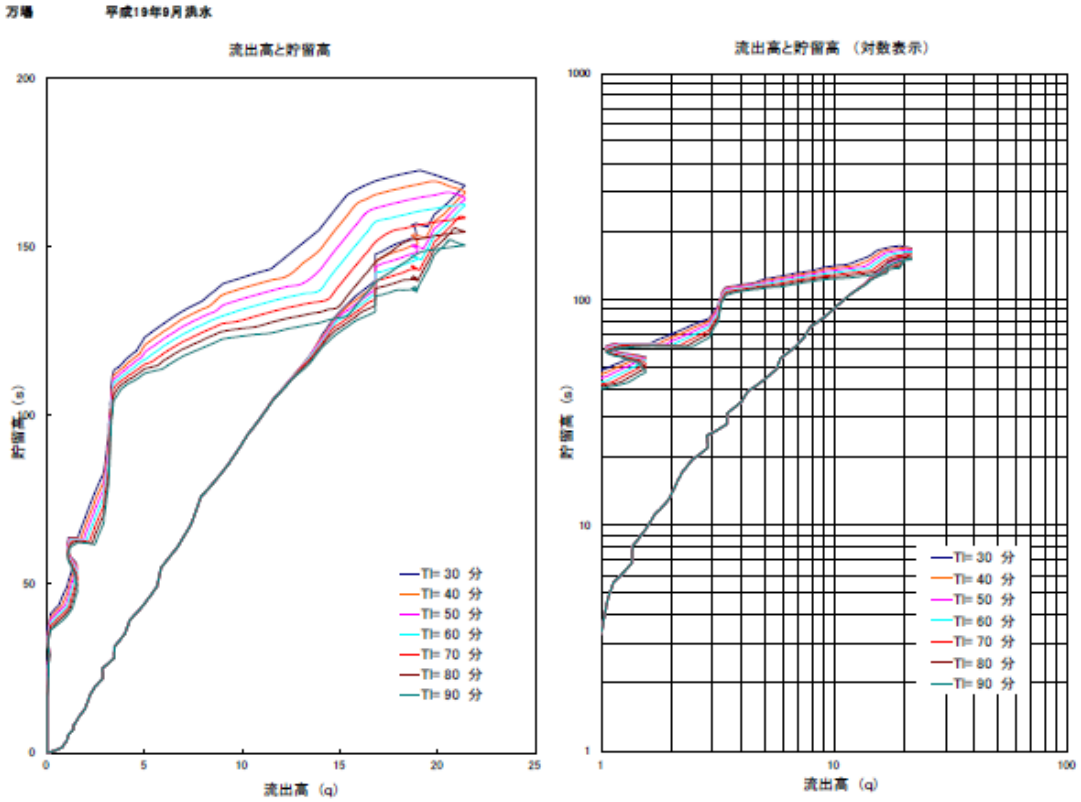



図 1.34　貯留高－流出高関係図（万場：H19.9 洪水）

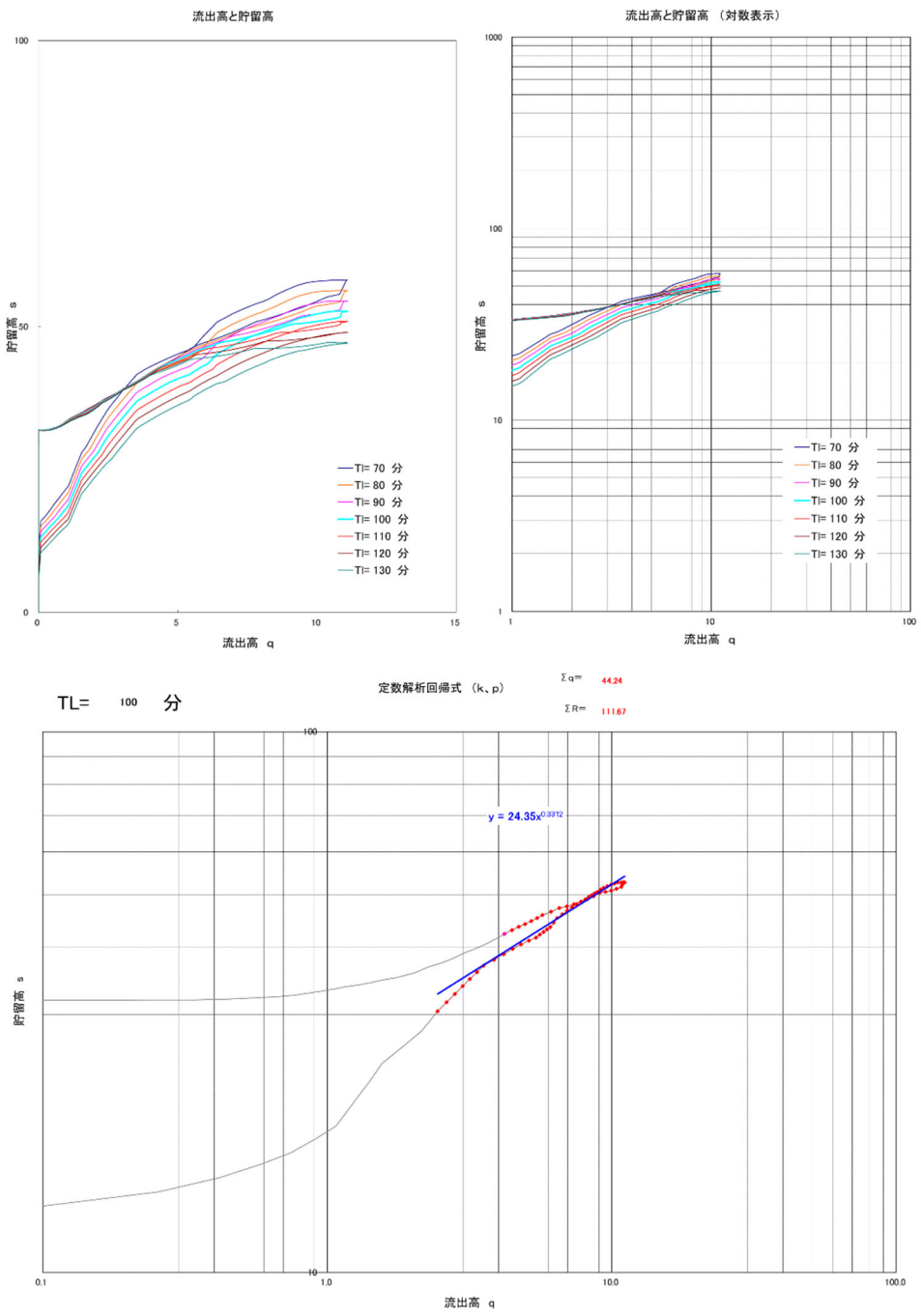



図 1.35　貯留高－流出高関係図（八ッ場：R1.10 洪水）

表 1.6　流域定数設定結果

| 流域No | 流域名 | 流域面積 | 一次流出率 | 飽和雨量 | 流入係数 | 初期損失雨量 | 遅滞時間 | 係数 | | 開始基底流量 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | A (km2) | f1 | Rsa (mm) | fsa | R0 (mm) | Tl (分) | k | p | Qb1 (m3/s) |
| 1 | 矢木沢 | 165.48 | 0.4 | 150 | 1.0 | 12.0 | 30 | 7.587 | 0.528 | 7.3 |
| 2 | 奈良俣 | 60.59 | 0.4 | 150 | 1.0 | 12.0 | 50 | 6.252 | 0.656 | 2.7 |
| 3 | 藤原 | 165.77 | 0.4 | 150 | 1.0 | 12.0 | 50 | 9.480 | 0.592 | 7.3 |
| 4 | 湯檜曽川 | 103.07 | 0.4 | 150 | 1.0 | 12.0 | 50 | 9.480 | 0.592 | 4.6 |
| 5 | 利根川残流域① | 81.80 | 0.4 | 150 | 1.0 | 12.0 | 50 | 9.480 | 0.592 | 3.6 |
| 6 | 相俣 | 110.19 | 0.4 | 150 | 1.0 | 12.0 | 40 | 10.591 | 0.655 | 4.9 |
| 7 | 赤谷川 | 79.19 | 0.4 | 150 | 1.0 | 12.0 | 50 | 9.480 | 0.592 | 3.5 |
| 8 | 薄根川等残流域 | 226.00 | 0.4 | 150 | 1.0 | 12.0 | 50 | 9.480 | 0.592 | 10.0 |
| 9 | 片品川上流 | 252.05 | 0.4 | 150 | 1.0 | 12.0 | 90 | 13.487 | 0.530 | 11.1 |
| 10 | 片品川中流 | 161.64 | 0.4 | 150 | 1.0 | 12.0 | 90 | 13.487 | 0.530 | 7.1 |
| 11 | 薗原 | 78.78 | 0.4 | 150 | 1.0 | 12.0 | 90 | 13.487 | 0.530 | 3.5 |
| 12 | 片品川下流 | 182.31 | 0.4 | 150 | 1.0 | 12.0 | 50 | 9.480 | 0.592 | 8.0 |
| 13 | 沼尾川等残流域 | 144.49 | 0.4 | — | — | 14.0 | 50 | 32.754 | 0.314 | 6.4 |
| 14 | 吾妻川上流 | 269.24 | 0.4 | — | — | 14.0 | 100 | 24.350 | 0.331 | 11.9 |
| 15 | 吾妻上流左岸 | 289.00 | 0.4 | — | — | 14.0 | 100 | 24.350 | 0.331 | 12.8 |
| 16 | 吾妻上流右岸 | 153.20 | 0.4 | — | — | 14.0 | 100 | 24.350 | 0.331 | 6.8 |
| 17 | 八ツ場下流 | 38.30 | 0.4 | — | — | 14.0 | 50 | 32.754 | 0.314 | 1.7 |
| 18 | 四万川 | 164.22 | 0.4 | — | — | 14.0 | 50 | 32.754 | 0.314 | 7.2 |
| 19 | 吾妻川中流 | 157.01 | 0.4 | — | — | 14.0 | 50 | 32.754 | 0.314 | 6.9 |
| 20 | 吾妻川下流 | 188.37 | 0.4 | — | — | 14.0 | 50 | 32.754 | 0.314 | 8.3 |
| 21 | 吾妻川残流域 | 97.12 | 0.4 | — | — | 14.0 | 50 | 32.754 | 0.314 | 4.3 |
| 22 | 利根川残流域② | 93.33 | 0.4 | — | — | 14.0 | 50 | 32.754 | 0.314 | 4.1 |
| 23 | 利根川残流域③ | 24.68 | 0.4 | — | — | 14.0 | 50 | 32.754 | 0.314 | 1.1 |
| 24 | 利根川残流域④ | 23.88 | 0.4 | — | — | 14.0 | 50 | 32.754 | 0.314 | 1.1 |
| 25 | 烏川上流 | 155.13 | 0.6 | 200 | 1.0 | 14.0 | 30 | 29.519 | 0.428 | 6.8 |
| 26 | 烏川中流 | 110.02 | 0.6 | 200 | 1.0 | 14.0 | 40 | 18.623 | 0.572 | 4.9 |
| 27 | 碓氷川上流 | 121.39 | 0.6 | 200 | 1.0 | 14.0 | 60 | 10.765 | 0.680 | 5.4 |
| 28 | 碓氷川下流 | 165.39 | 0.6 | 200 | 1.0 | 14.0 | 40 | 18.623 | 0.572 | 7.3 |
| 29 | 烏川残流域① | 43.27 | 0.6 | 200 | 1.0 | 14.0 | 40 | 18.623 | 0.572 | 1.9 |
| 30 | 鏑川上流 | 190.64 | 0.6 | 200 | 1.0 | 14.0 | 40 | 18.623 | 0.572 | 8.4 |
| 31 | 南牧川 | 158.74 | 0.6 | 200 | 1.0 | 14.0 | 40 | 18.623 | 0.572 | 7.0 |
| 32 | 鏑川下流 | 201.63 | 0.6 | 200 | 1.0 | 14.0 | 40 | 18.623 | 0.572 | 8.9 |
| 33 | 鮎川 | 75.00 | 0.6 | 200 | 1.0 | 14.0 | 40 | 18.623 | 0.572 | 3.3 |
| 34 | 井野川流域 | 94.85 | 0.4 | — | — | 14.0 | 50 | 32.754 | 0.314 | 4.2 |
| 35 | 烏川残流域② | 70.05 | 0.6 | 200 | 1.0 | 14.0 | 40 | 18.623 | 0.572 | 3.1 |
| 36 | 神流川上流 | 269.56 | 0.6 | 130 | 1.0 | 22.0 | 80 | 29.976 | 0.476 | 11.9 |
| 37 | 下久保 | 53.25 | 0.6 | 130 | 1.0 | 22.0 | 80 | 29.976 | 0.476 | 2.4 |
| 38 | 神流川下流 | 51.68 | 0.6 | 130 | 1.0 | 22.0 | 80 | 29.976 | 0.476 | 2.3 |
| 39 | 神流川残流域 | 37.50 | 0.6 | 130 | 1.0 | 22.0 | 80 | 29.976 | 0.476 | 1.7 |
| | 計 | 5,107.81 | | | | | | | | 225.5 |

(2)　**河道定数の設定**

①　貯留関数法

河道定数$K$、$P$の検討に当たっては、平成 22 年（2010 年）の測量断面を用いて、河道毎に流量規模毎の河道貯留量（$s$）を不等流計算により求め、流量と河道貯留の関係から、流域定数の検討と同様に切片を$K$、傾きを$P$として求めた。

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

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

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

河道の$T_l$については、定流の貯留関数と洪水流の貯留関数の関係から求めた。流出計算に当たっては、全ての洪水の流出計算において、このようにして求めた$K$、$P$、$T_l$を用いることとし、この結果を表 1.7 に示す。

表 1.7　河道定数設定結果

| 河道 No. | K | P | 遅滞時間 |
|---|---|---|---|
| | | | Tl（時間） |
| a | — | — | 0.217 |
| b | — | — | 0.234 |
| A | 4.476 | 0.699 | 0.165 |
| B | 12.030 | 0.665 | 0.350 |
| C | 13.878 | 0.665 | 0.273 |
| D | 7.381 | 0.663 | 0.160 |
| E | 4.966 | 0.729 | 0.180 |
| F | 4.831 | 0.797 | 0.250 |
| G | 6.405 | 0.724 | 0.170 |
| H | 6.223 | 0.681 | 0.143 |
| K | 8.039 | 0.712 | 0.281 |
| O | 12.928 | 0.627 | 0.208 |
| Q | 9.401 | 0.727 | 0.509 |
| R | 7.492 | 0.632 | 0.127 |
| N | 7.515 | 0.644 | 0.306 |
| I | 6.235 | 0.742 | 0.318 |
| J | 8.598 | 0.654 | 0.269 |
| M | 1.660 | 0.752 | 0.095 |
| L | 16.279 | 0.614 | 0.333 |
| P | 6.775 | 0.684 | 0.268 |

② 一次元不定流計算

一次元不定流計算においては、令和 2 年（2020 年）の河道データを基に、不定流計算のピーク水位が痕跡水位を再現する粗度係数を設定した。

一次元不定流計算モデルは、利根川の河口から 186.0 k までとし、モデルの上流端には、貯留関数法で求まる八斗島地点の流量を与えた。再現性の検討に当たっては、下流端には利根川河口の実績水位を出発水位として与えた。

各支川からの流入量については、支川の流出計算モデルにより算出した値を用いた。

③ 実績再現計算

前述までに設定した定数を用いて近年最大洪水となった令和元年東日本台風（台風第 19 号）について検証した。

④ 流出解析に用いる定数

各小流域の流域面積、$f_1$、$K$、$P$、$T_l$と各河道の$K$、$P$、$T_l$は、前述にて整理した値を用いる。再現計算に用いる各小流域の初期損失雨量、$R_{sa}$は洪水毎に設定した。

⑤ 検証対象洪水の再現計算結果

前項までに設定した定数を用いて、再現計算を実施した。再現計算結果を図 1.36 から図 1.39 に示す。

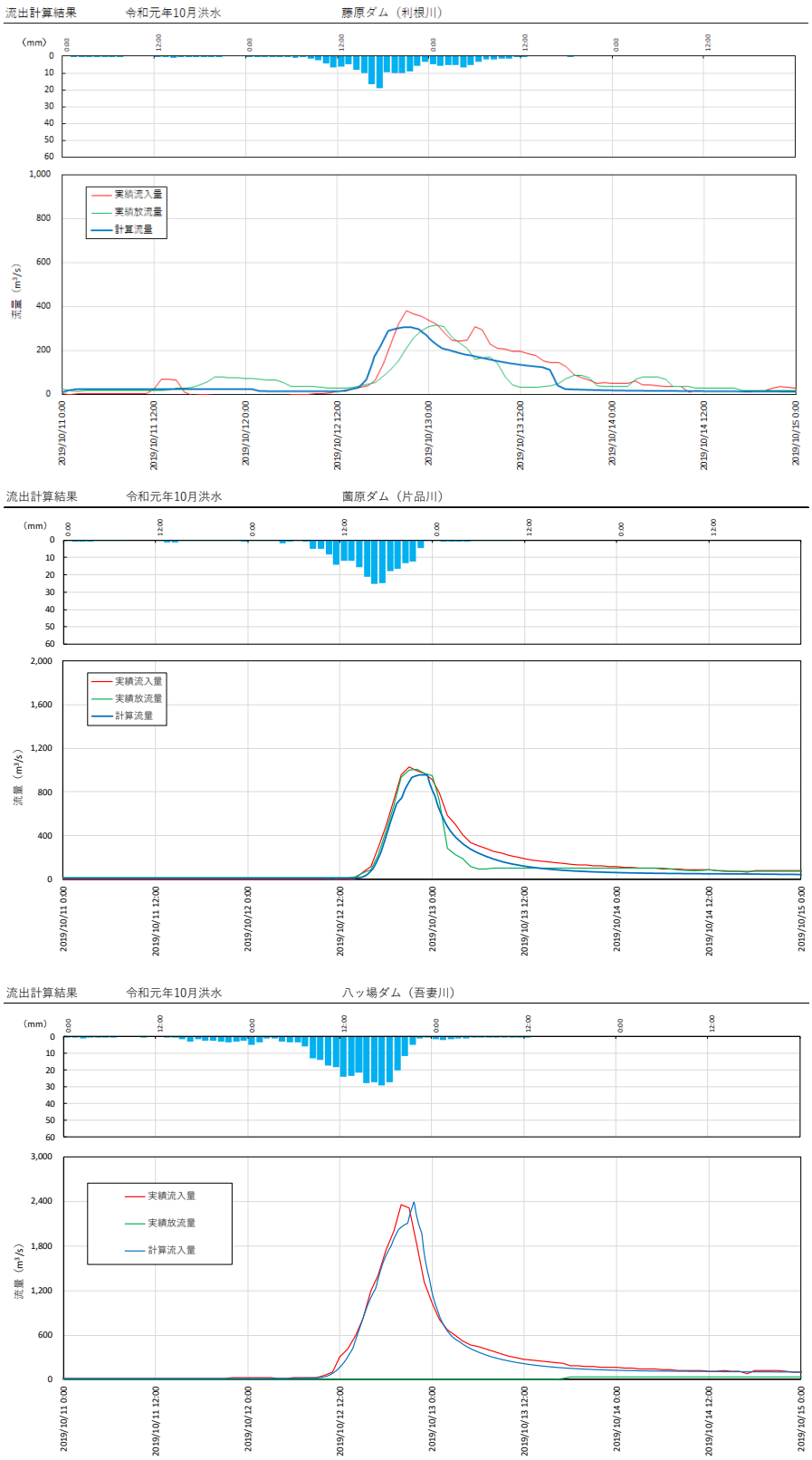



図 1.36　令和元年 10 月洪水再現計算結果（八斗島上流）

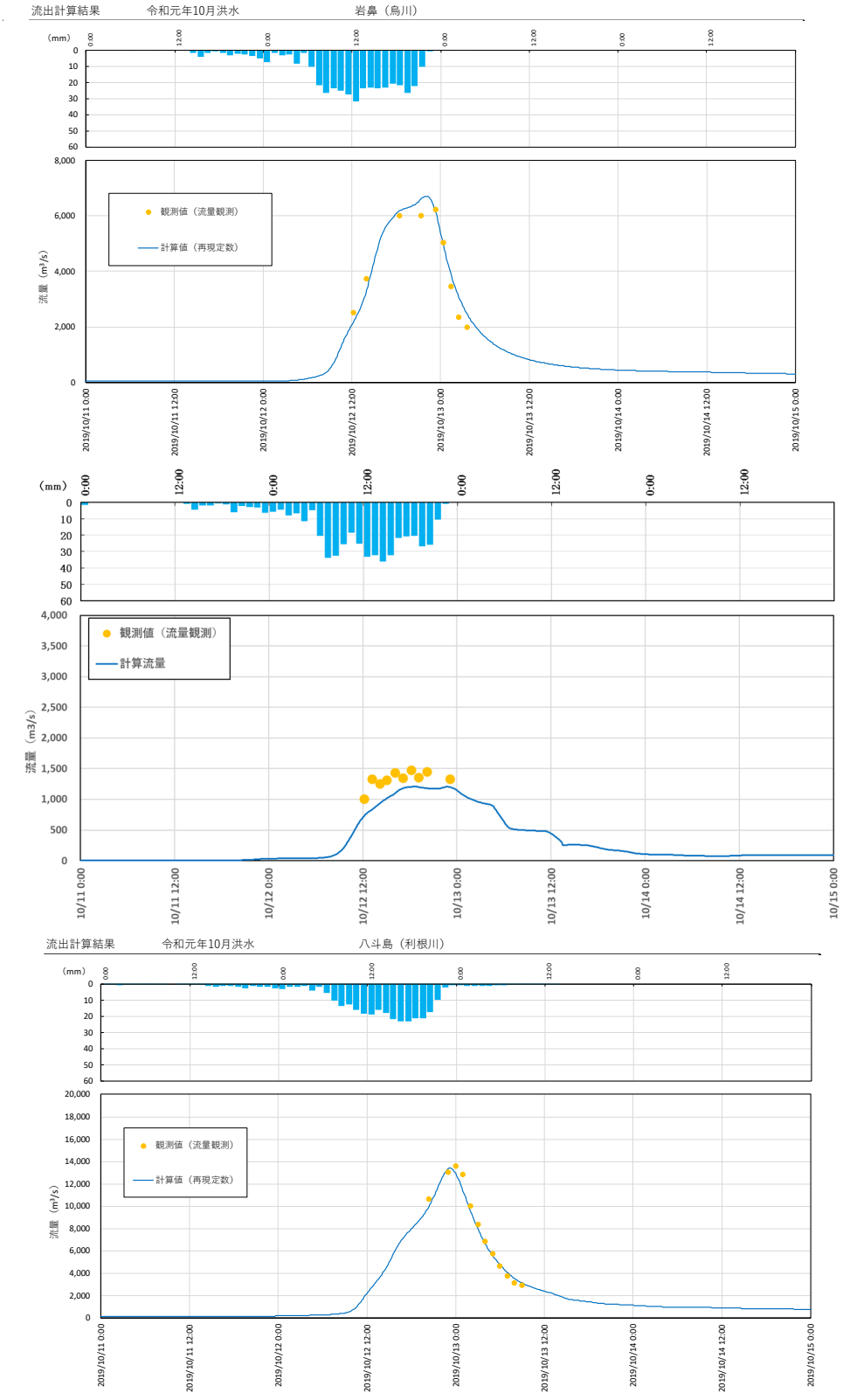
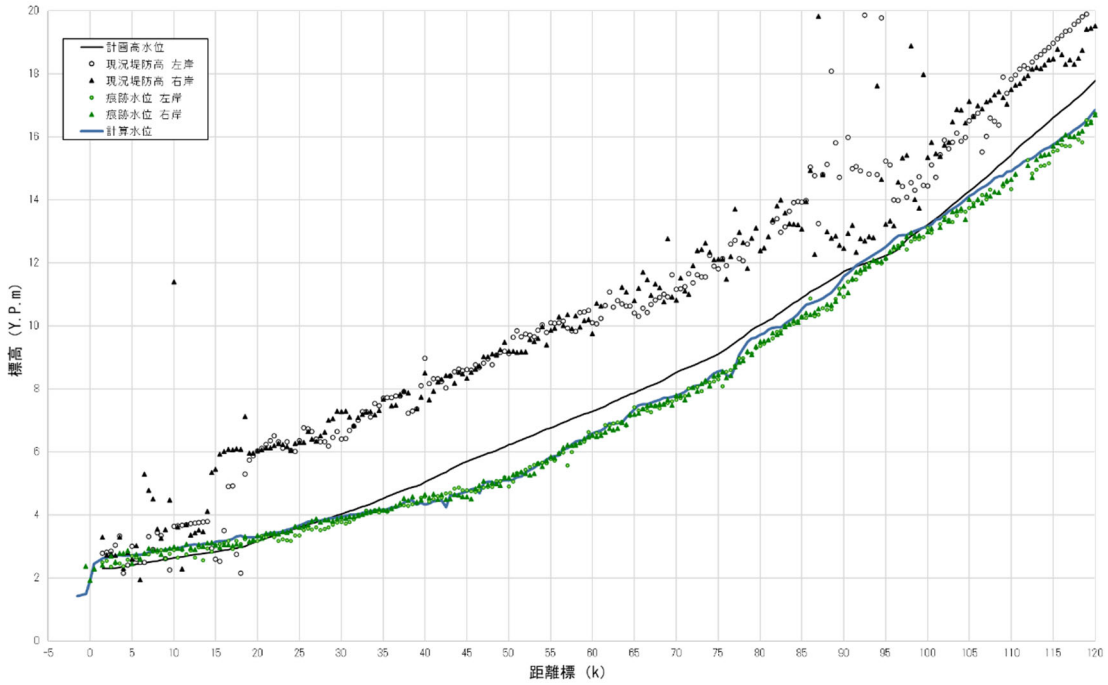



図 1.37　令和元年 10 月洪水再現計算結果（八斗島上流）



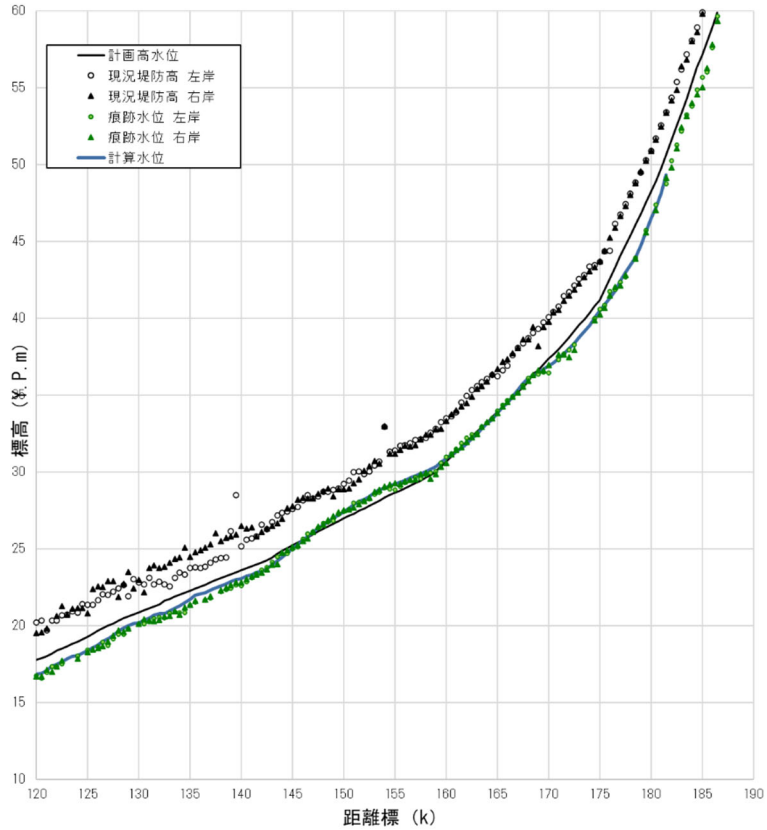




図 1.38　令和元年 10 月洪水再現計算結果（八斗島下流）

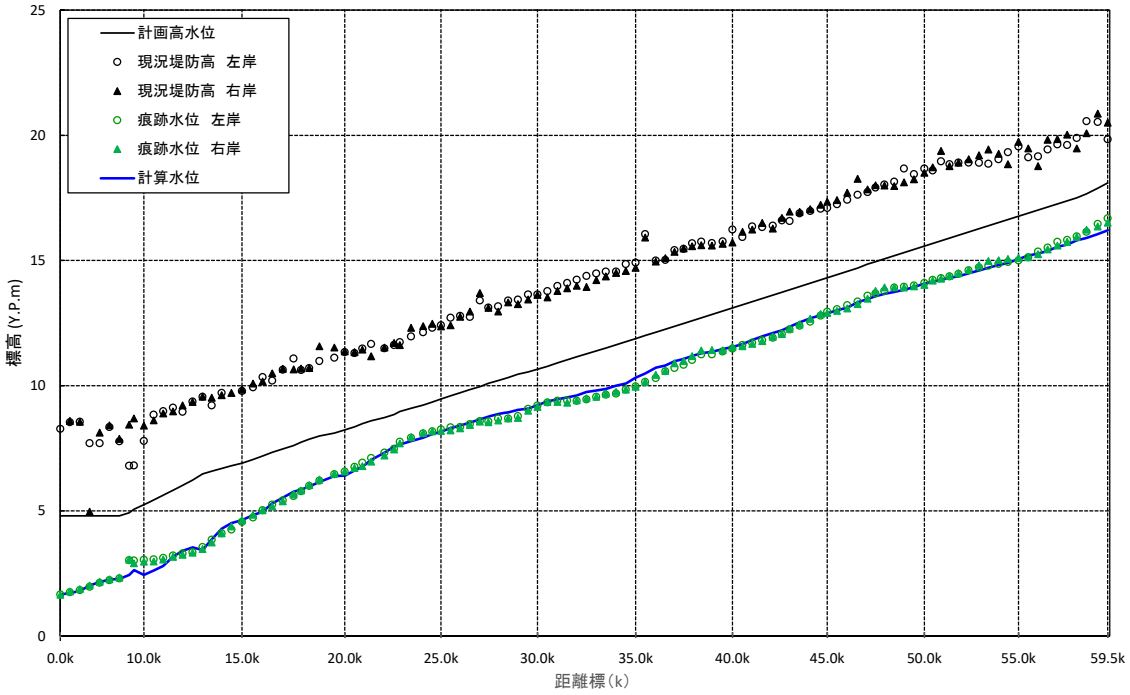



図 1.39　令和元年 10 月洪水再現計算結果（江戸川）

## 1-5　基本高水のピーク流量の設定の考え方（利根川）

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

1. 気候変動を考慮した総合確率法からの検討
2. 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
3. アンサンブル予測降雨波形を用いた検討
4. 既往洪水からの検討

## 1-6　計画規模の設定（利根川）

計画規模については、既定計画の 1/200 を踏襲するものとする。

## 1-7　対象降雨の継続時間の設定（利根川）

### 1)　対象降雨の継続時間設定の考え方

利根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、③一雨降雨による降雨継続時間を整理し設定した。

### 2)　洪水到達時間

洪水到達時間は以下に示す式を用いて算定した。対象洪水は、八斗島地点における氾濫注意水位相当の流量（6,000 $m^3/s$）以上の 15 洪水を対象とした。

#### (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。

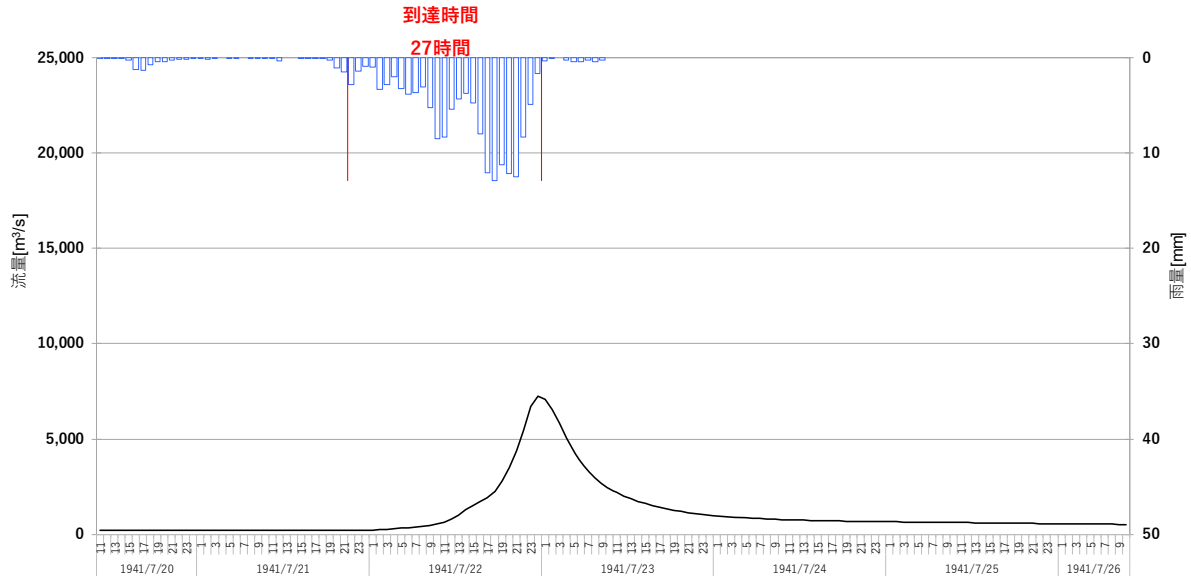
(1)及び(2)の計算結果を表 1.8 に示し、洪水毎の Kinematic Wave 法による洪水到達時間の検討結果を図 1.40 から図 1.47 に示す。

表 1.8　洪水到達時間の算定結果

| 年月日 | | 八斗島地点 | Kinematic Wave法 | 角屋式 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ピーク流量 ($m^3/s$) | 算定結果(h) | 平均有効降雨強度(mm/h) | 算定結果(h) |
| 1 | S16.7.20 | 7,300 | 27 | 6 | 15 |
| 2 | S22.9.13 | 21,100 | 27 | 11 | 12 |
| 3 | S23.9.14 | 7,800 | 29 | 7 | 14 |
| 4 | S24.8.29 | 9,800 | 24 | 7 | 13 |
| 5 | S33.9.16 | 8,200 | 28 | 6 | 15 |
| 6 | S34.8.12 | 7,000 | 50 | 4 | 16 |
| 7 | S56.8.21 | 9,000 | 28 | 8 | 13 |
| 8 | S57.7.31 | 7,700 | 34 | 6 | 14 |
| 9 | S57.9.10 | 8,200 | 54 | 4 | 17 |
| 10 | H10.9.14 | 10,100 | 17 | 11 | 12 |
| 11 | H11.8.13 | 7,500 | 21 | 7 | 13 |
| 12 | H14.7.9 | 6,500 | 41 | 4 | 16 |
| 13 | H19.9.5 | 10,100 | 37 | 6 | 14 |
| 14 | H25.9.14 | 6,700 | 18 | 7 | 13 |
| 15 | R1.10.12 | 18,500 | 28 | 10 | 12 |
| | 平均値 | － | 30.9 | － | 13.9 |

※ピーク流量は計算値を示す。

■S16.7.20 洪水




■S22.9.13 洪水

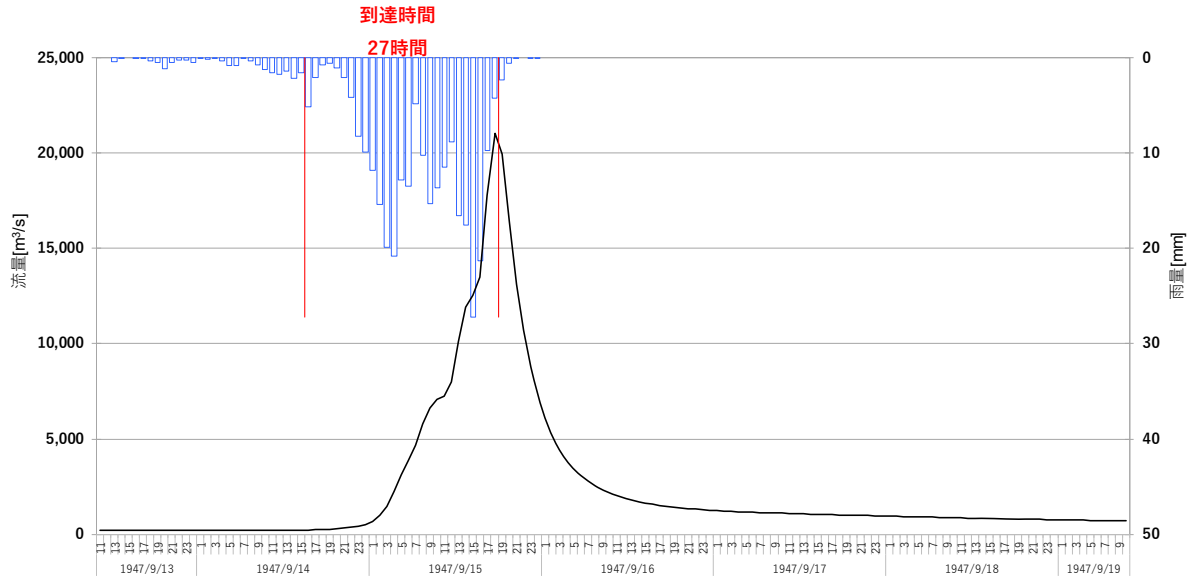
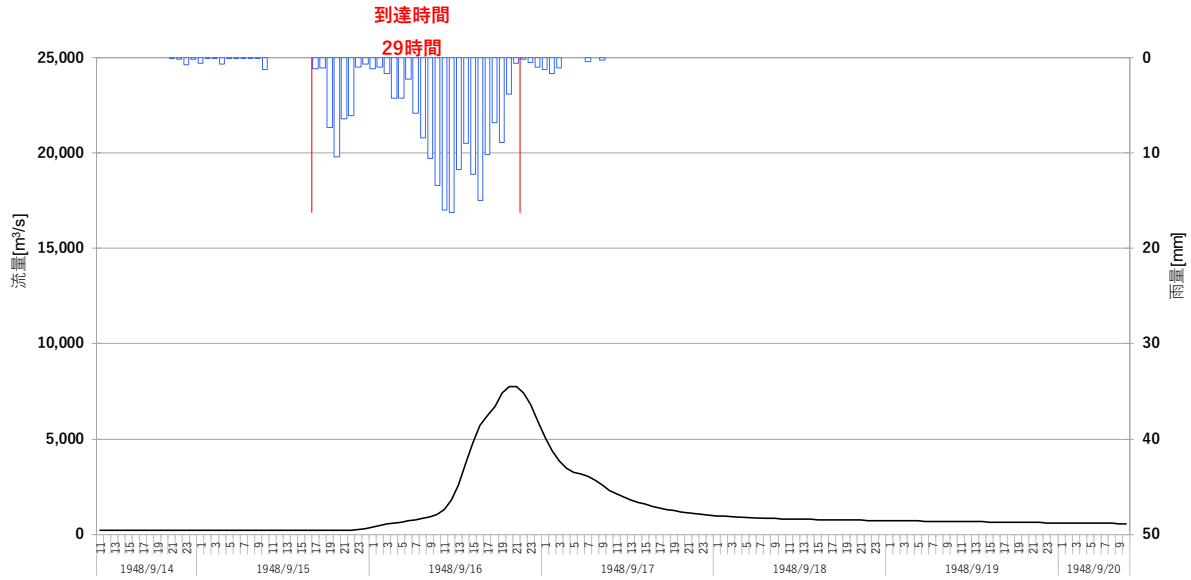



図 1.40　Kinematic Wave 法による洪水到達時間

■S23.9.14 洪水




■S24.8.29 洪水

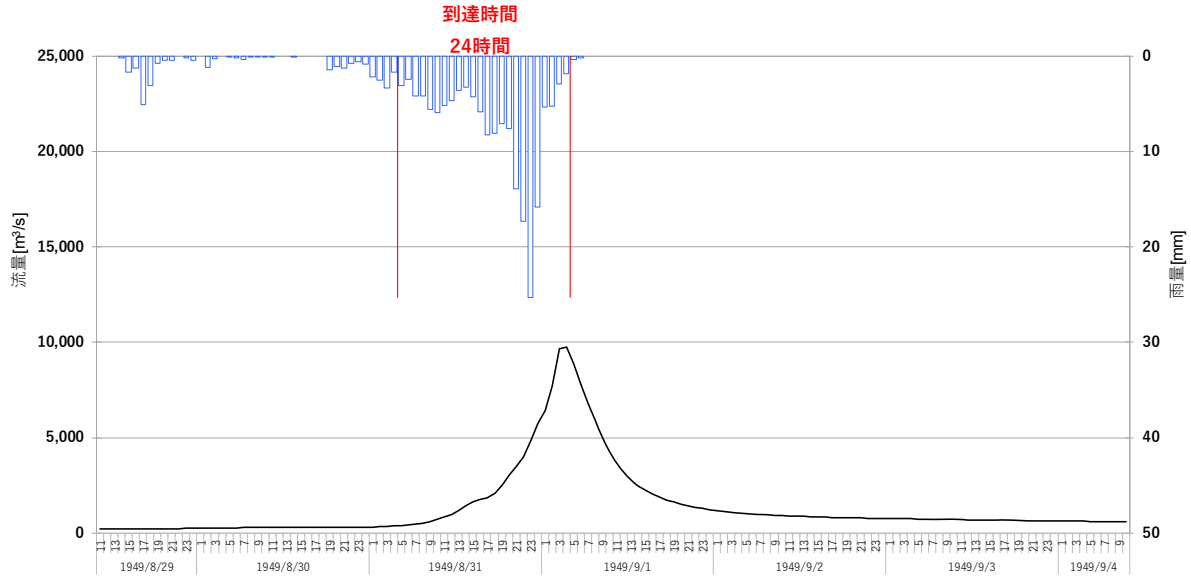
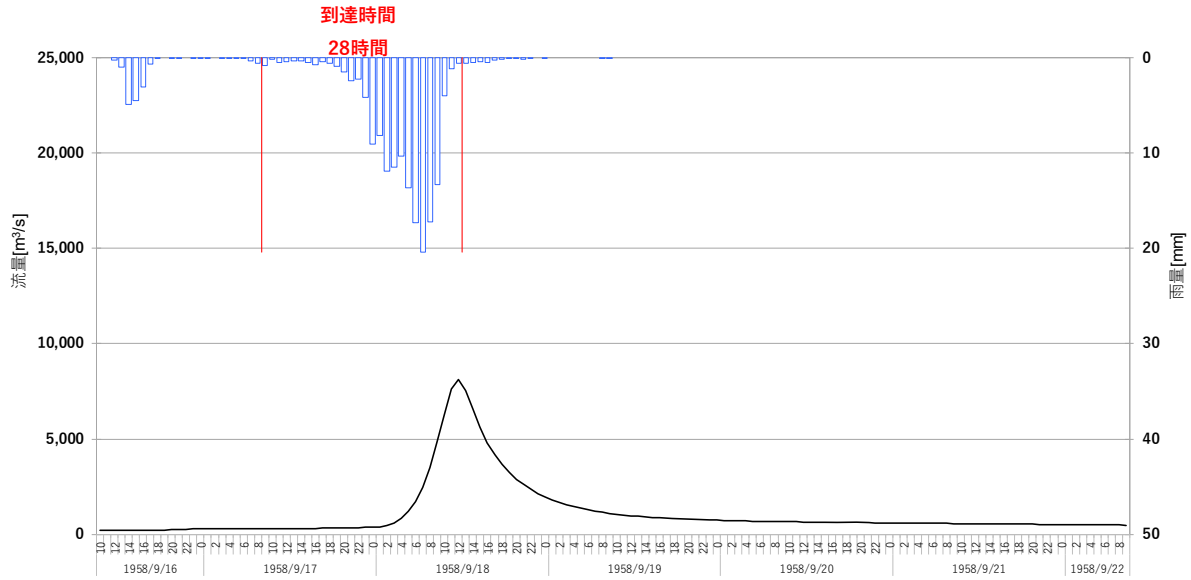



図 1.41　Kinematic Wave 法による洪水到達時間

■S33.9.16 洪水




■S34.8.12 洪水

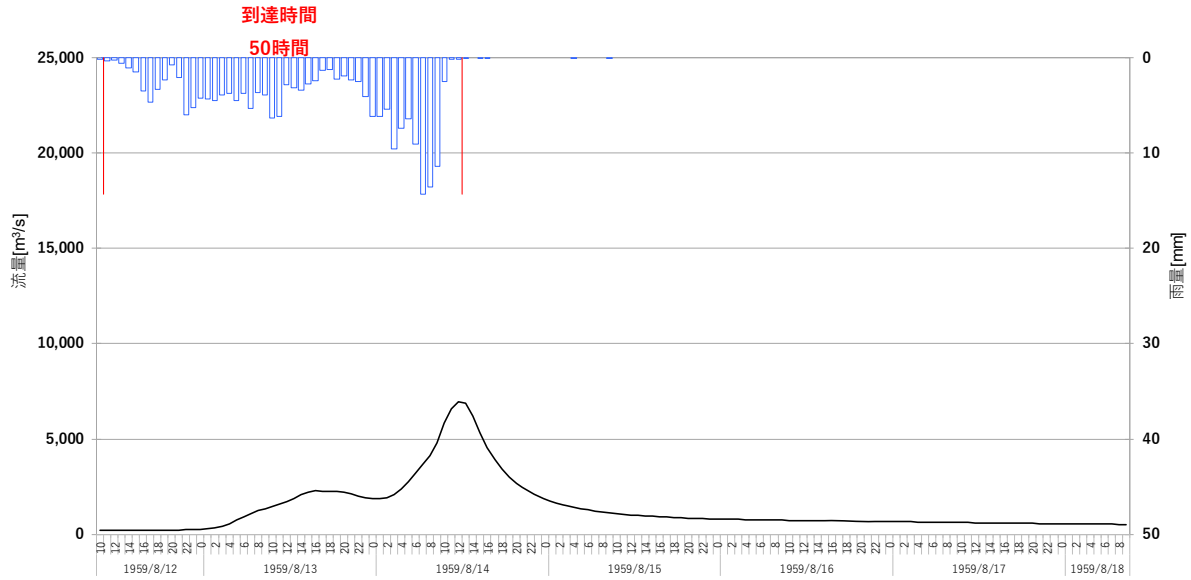
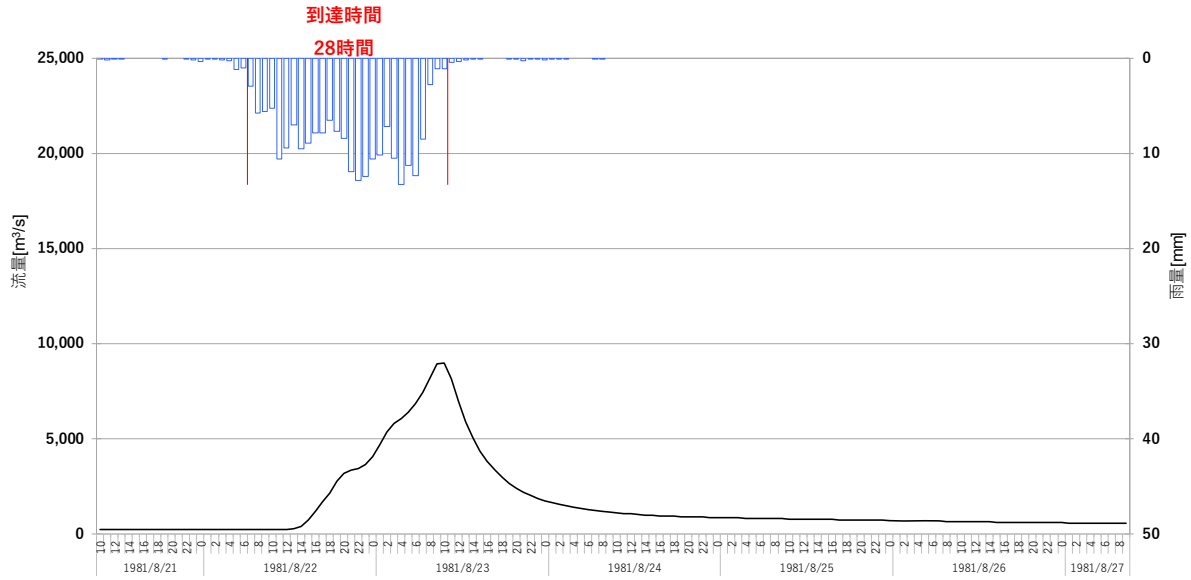



図 1.42　Kinematic Wave 法による洪水到達時間

■S56.8.21 洪水




■S57.7.31 洪水

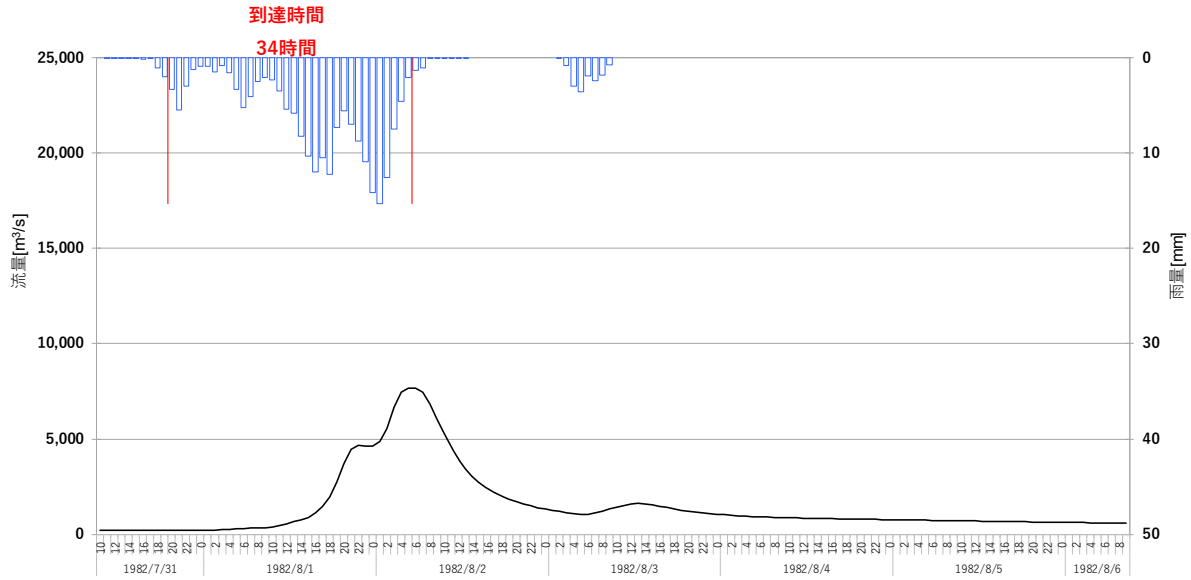
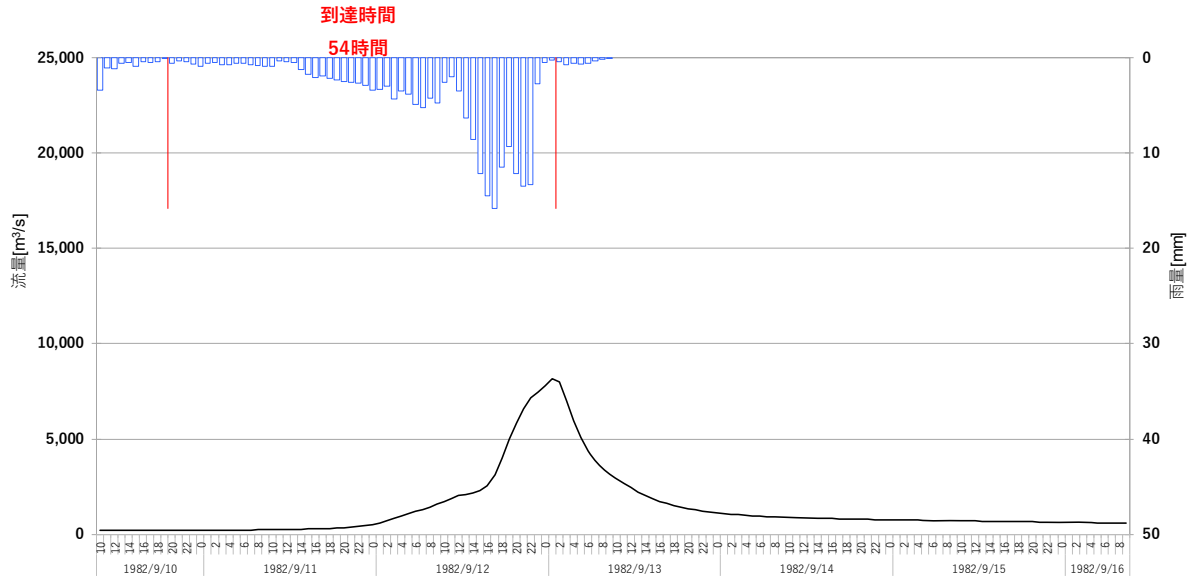



図 1.43　Kinematic Wave 法による洪水到達時間

■S57.9.10 洪水




■H10.9.14 洪水

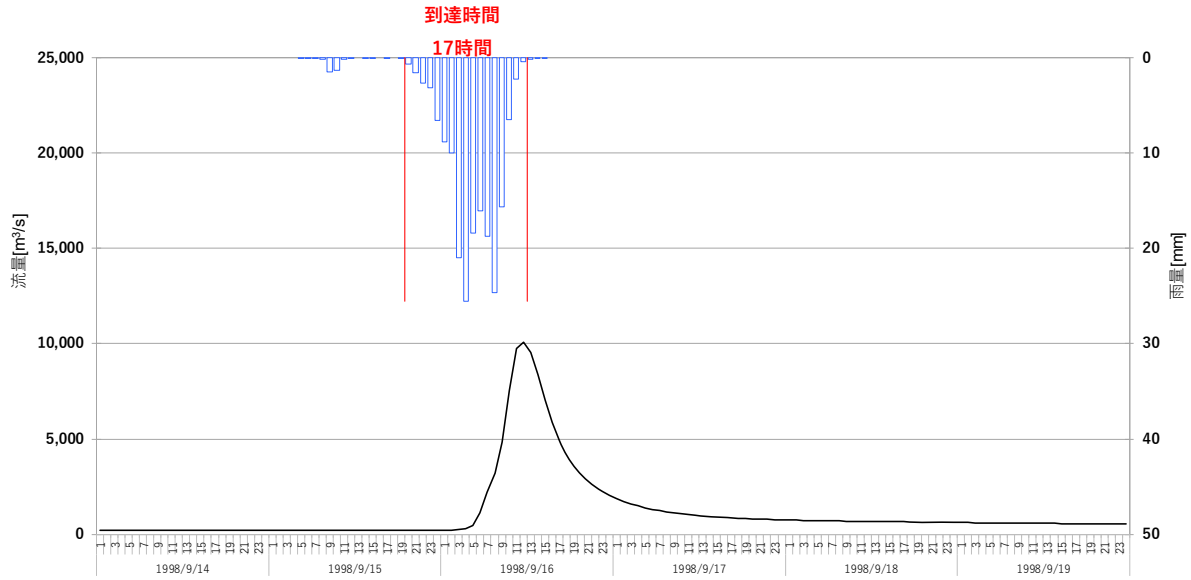
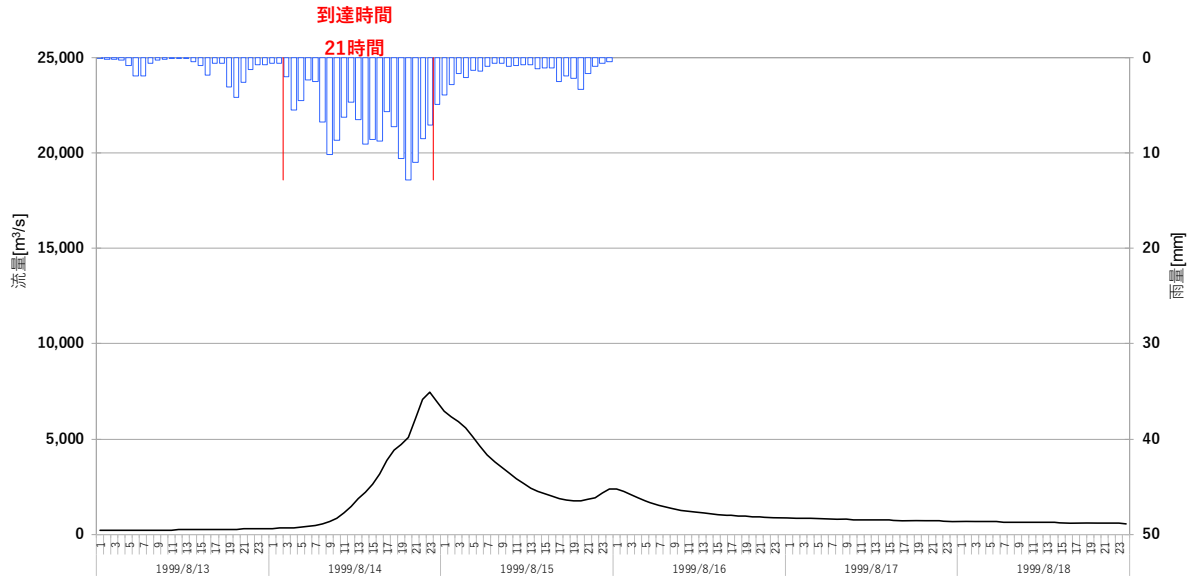



図 1.44　Kinematic Wave 法による洪水到達時間

■H11.8.13 洪水




■H14.7.9 洪水

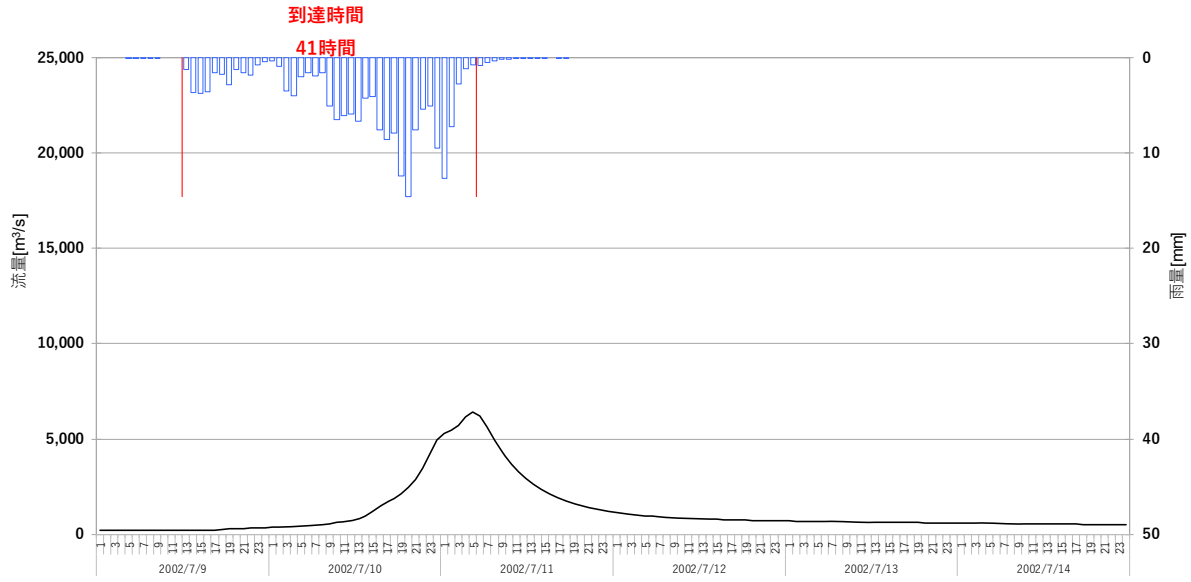
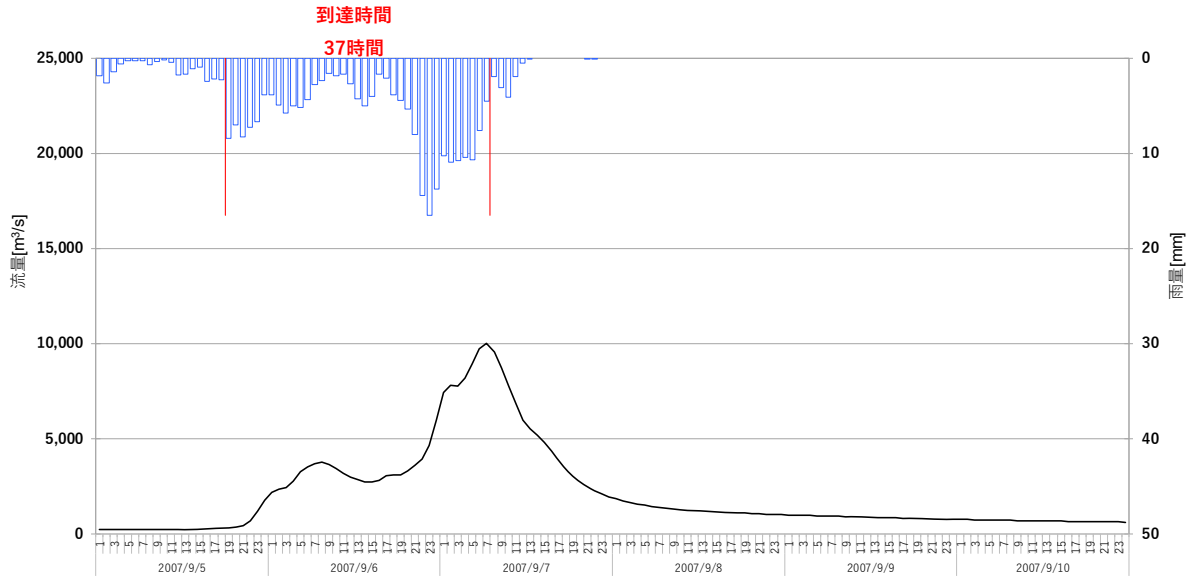



図 1.45　Kinematic Wave 法による洪水到達時間

■H19.9.5 洪水




■H25.9.14 洪水

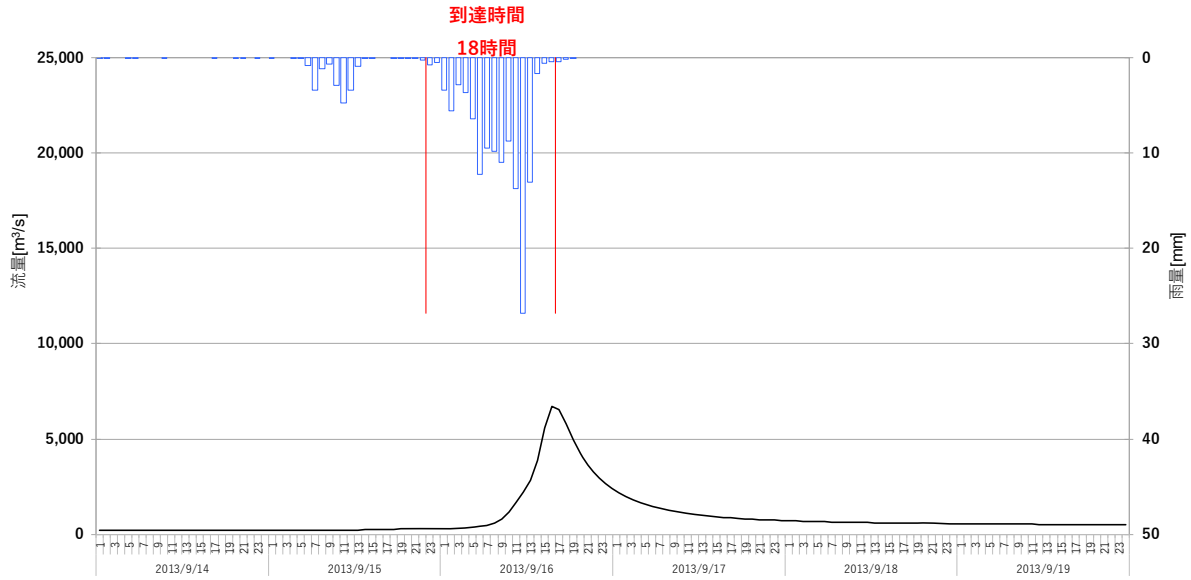



図 1.46　Kinematic Wave 法による洪水到達時間

■R1.10.12 洪水

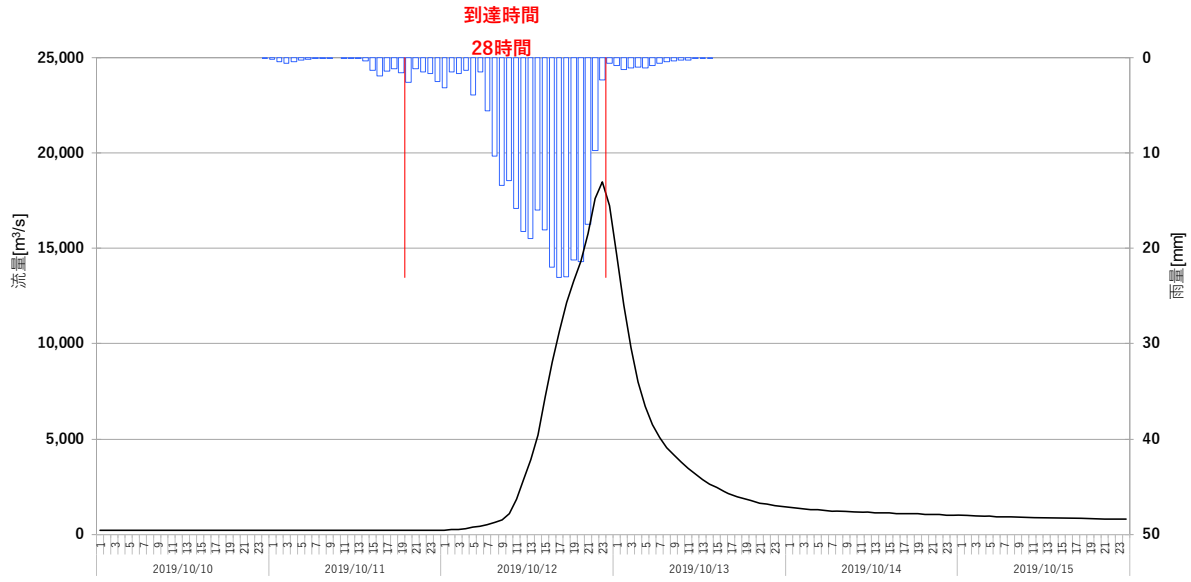



図 1.47　Kinematic Wave 法による洪水到達時間

### 3)　ピーク流量と短時間雨量の相関

昭和 11 年（1936 年）から令和元年（2019 年）までの 84 年間で基準地点八斗島上流域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（1、3、6、9、12、18、24、36、48、72 時間雨量）との相関関係の整理を行った。

その結果、基準地点八斗島では 18 時間程度において、ピーク流量と短時間雨量の相関が大きく、その時間以降では有意な差は見られない。この検討結果を図 1.48 に示す。また、定義①ピーク流量生起時刻前で最大となる短時間雨量との相関図を図 1.49 に示し、定義②ピーク流量とピーク流量生起時刻から遡る短時間雨量との相関図を図 1.50 に示す。

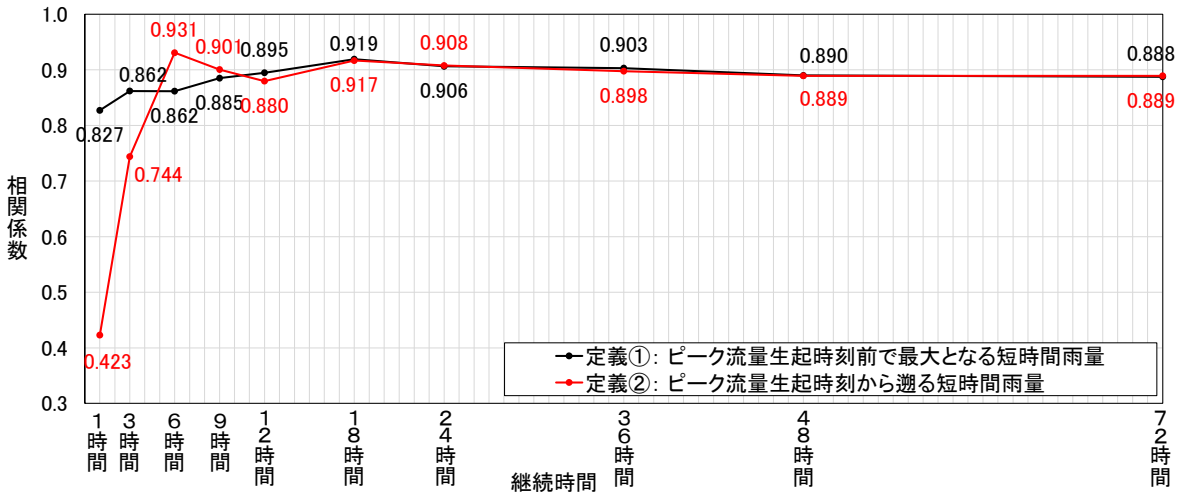



図 1.48　ピーク流量と相関の高い短時間雨量

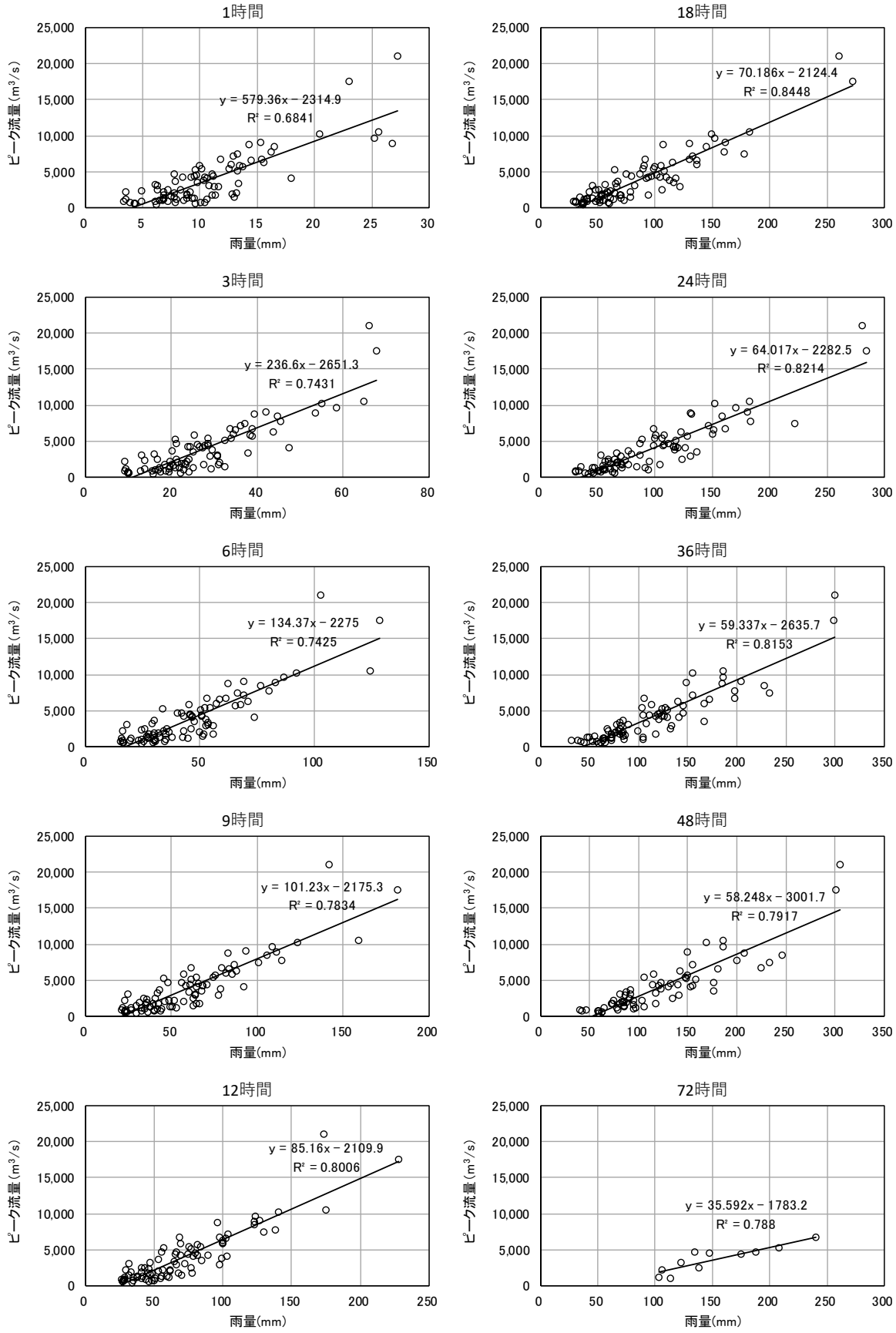



図 1.49　ピーク流量と流域平均時間雨量の相関図【定義①】

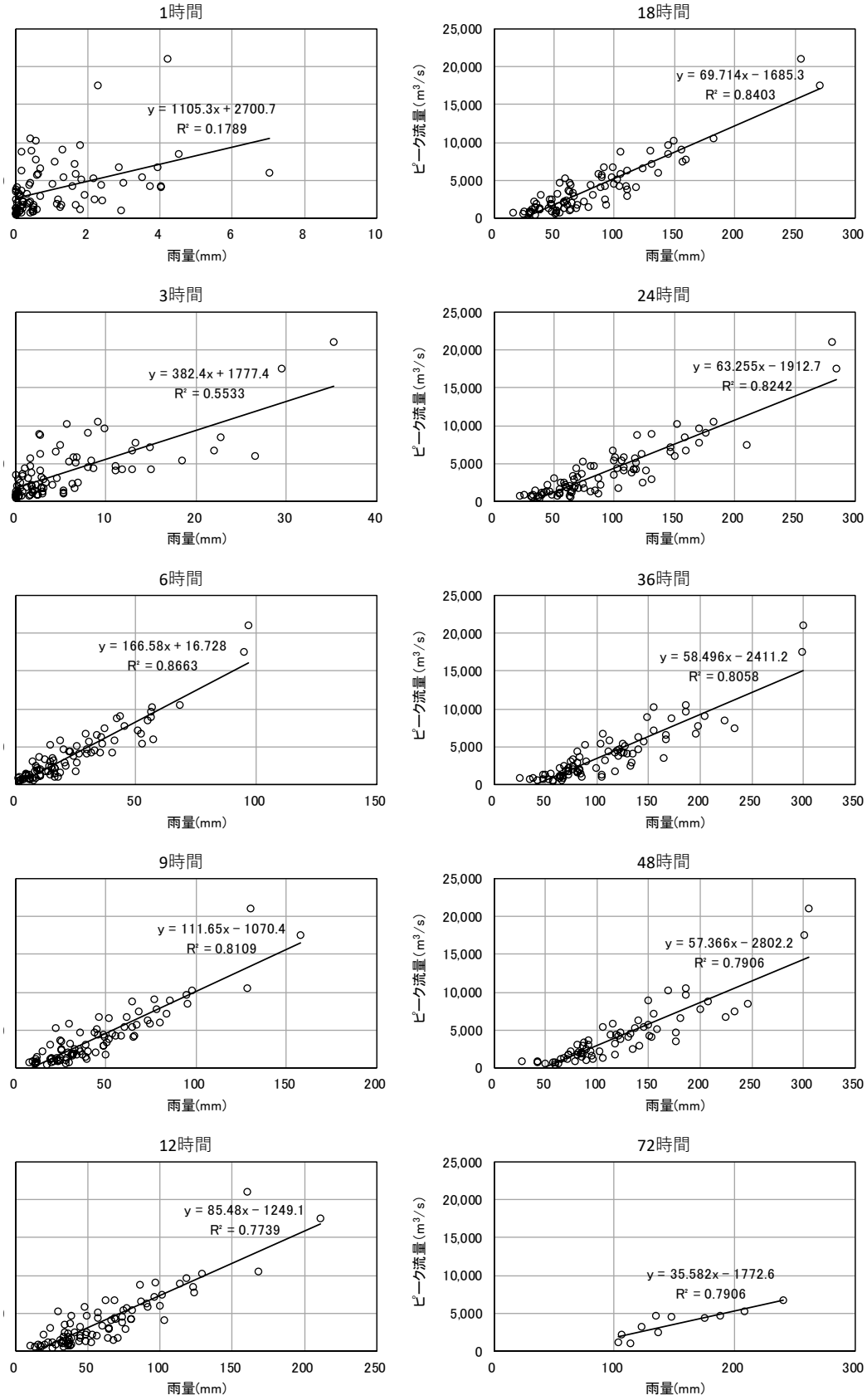



図 1.50　ピーク流量と流域平均時間雨量の相関図【定義②】

### 4)　一雨降雨による降雨継続時間

昭和 11 年（1936 年）から令和元年（2019 年）までの 84 年間で基準地点八斗島における年最大降雨を対象に一雨降雨（流域平均雨量 1.0 mm/h 以上）の分布を整理した。

その結果、継続時間 48 時間で 90 %以上の降雨をカバーし、検討結果を図 1.51 に示す。

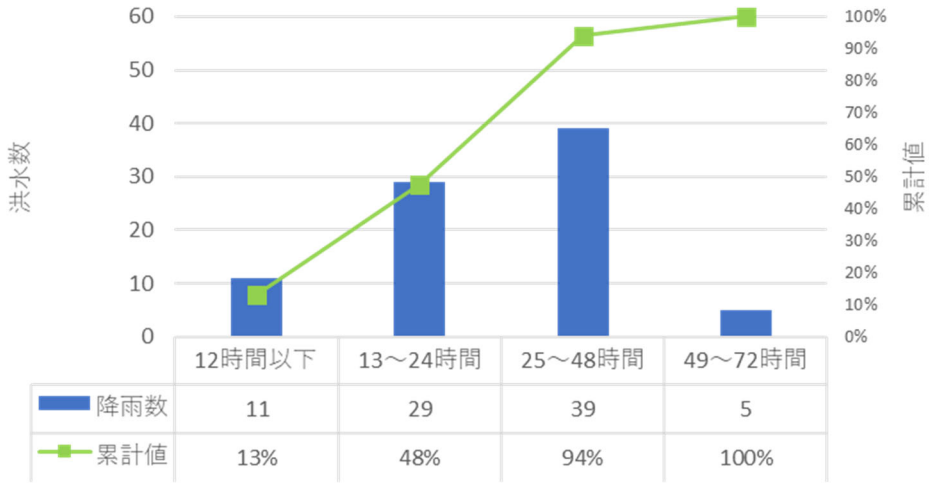



図 1.51　一雨降雨における継続時間（八斗島上流域平均雨量）

### 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 11 年（1936 年）から令和元年（2019 年）までの雨量資料（84 年間）を整理し、利根川の降雨特性、ピーク流量との相関から総合的に判断して、下記理由により対象降雨の降雨継続時間を既定計画の 3 日から 48 時間と設定した。

- 洪水到達時間の検討において、Kinematic Wave 法 17～54 時間（平均 30.9 時間）、角屋式は 12～17 時間（平均 13.9 時間）となる。
- ピーク流量と相関の高い短時間雨量は 18 時間程度において実績ピーク流量との相関が大きく、18 時間以降では有意な差は見られない。
- 一雨降雨における継続時間は 48 時間で概ねの洪水を網羅した。

## 1-8　対象降雨の降雨量の設定（利根川）

雨量標本に関しては、時間雨量データが存在する昭和11年（1936年）からとし、気候変動による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雨量標本の延伸は平成22年（2010年）までとし、一覧を表1.9に示す。

昭和 11 年（1936 年）から平成 22 年（2010 年）までの 75 年間の年最大48 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り基準地点八斗島の 1/200 確率雨量を算定した結果 325 mm/48 h と決定した。この結果を表1.10及び図1.52に示す。

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、基準地点八斗島の1/200確率雨量325 mm/48 hに降雨量変化倍率1.1倍を乗じて得られた358 mm/48 hを採用し、表1.11にまとめる。

表 1.9　年最大 48 時間雨量一覧

| No | 日付 | 雨量（mm/48h） |
|---|---|---|
| 1 | S11.9.26 | 90.5 |
| 2 | S12.7.14 | 158.7 |
| 3 | S13.8.30 | 115.4 |
| 4 | S14.8.4 | 74.3 |
| 5 | S15.8.25 | 114.8 |
| 6 | S16.7.21 | 157.1 |
| 7 | S17.8.16 | 59.9 |
| 8 | S18.10.1 | 122.8 |
| 9 | S19.10.6 | 126.5 |
| 10 | S20.10.3 | 176.0 |
| 11 | S21.7.31 | 92.9 |
| 12 | S22.9.13 | 306.6 |
| 13 | S23.9.15 | 204.3 |
| 14 | S24.8.30 | 186.4 |
| 15 | S25.7.27 | 159.2 |
| 16 | S26.6.14 | 60.0 |
| 17 | S27.6.23 | 69.1 |
| 18 | S28.9.24 | 91.4 |
| 19 | S29.9.17 | 86.0 |
| 20 | S30.9.27 | 89.6 |
| 21 | S31.9.26 | 84.8 |
| 22 | S32.7.21 | 47.6 |
| 23 | S33.9.16 | 169.2 |
| 24 | S34.8.12 | 207.3 |
| 25 | S35.8.10 | 65.9 |
| 26 | S36.6.27 | 139.6 |
| 27 | S37.7.12 | 56.2 |
| 28 | S38.6.3 | 64.3 |
| 29 | S39.7.7 | 94.4 |
| 30 | S40.9.16 | 113.9 |
| 31 | S41.6.26 | 142.4 |
| 32 | S42.7.9 | 82.0 |
| 33 | S43.7.27 | 96.6 |
| 34 | S44.8.21 | 73.1 |
| 35 | S45.6.14 | 81.0 |
| 36 | S46.8.30 | 138.8 |
| 37 | S47.9.15 | 147.5 |
| 38 | S48.6.20 | 41.9 |
| 39 | S49.8.31 | 116.3 |
| 40 | S50.7.12 | 65.5 |
| 41 | S51.7.17 | 82.6 |
| 42 | S52.8.16 | 94.3 |
| 43 | S53.9.3 | 62.4 |
| 44 | S54.10.18 | 89.0 |
| 45 | S55.7.26 | 40.3 |
| 46 | S56.8.21 | 234.8 |
| 47 | S57.7.31 | 207.4 |
| 48 | S58.8.15 | 177.7 |
| 49 | S59.7.25 | 50.4 |
| 50 | S60.6.29 | 122.8 |
| 51 | S61.9.1 | 142.5 |
| 52 | S62.9.9 | 70.2 |
| 53 | S63.9.24 | 81.4 |
| 54 | H1.8.26 | 92.6 |
| 55 | H2.8.8 | 141.7 |
| 56 | H3.8.19 | 138.0 |
| 57 | H4.5.30 | 34.6 |
| 58 | H5.8.26 | 75.3 |
| 59 | H6.9.16 | 117.6 |
| 60 | H7.9.15 | 105.7 |
| 61 | H8.9.20 | 77.7 |
| 62 | H9.6.18 | 58.6 |
| 63 | H10.9.14 | 186.0 |
| 64 | H11.8.13 | 193.2 |
| 65 | H12.9.10 | 152.8 |
| 66 | H13.9.9 | 224.9 |
| 67 | H14.7.9 | 182.9 |
| 68 | H15.9.20 | 79.8 |
| 69 | H16.10.19 | 120.2 |
| 70 | H17.7.25 | 105.3 |
| 71 | H18.7.17 | 154.5 |
| 72 | H19.9.5 | 255.7 |
| 73 | H20.8.4 | 94.4 |
| 74 | H21.10.7 | 88.1 |
| 75 | H22.6.29 | 64.1 |

# 表 1.10　基準地点八斗島　48 時間雨量　1/200 確率計算結果

毎年（年最大雨量）　　（mm/48h）

| 項目 | | 利根川　八斗島地点 | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 毎年値 | | | | | | | | | | | |
| | | 指数分布 | 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（岩井法） | 対数正規分布（石原・高瀬法） | 対数正規分布（ワオンタイル法） | 3母数対数正規分布（積率法） | 2母数対数正規分布（L積率法） | 2母数対数正規分布（積率法） |
| | | Exp | Gumbel | SQRTET | GEV | LP3Rs | LogP3 | LNIwai | IsiTaka | LN3(Q) | LN3(PM) | LN2(LM) | LN2(PM) |
| 標本数 | | 75（S11-H22） | | | | | | | | | | | |
| 確率規模 | 1/2 | 98.2 | 107.6 | 103.2 | 105.8 | 108.2 | — | 105.1 | 107.6 | 103.9 | 107.8 | 105.0 | 105.0 |
| | 1/3 | 123.0 | 131.3 | 126.8 | 129.0 | 132.7 | — | 128.6 | 131.0 | 127.5 | 131.4 | 129.0 | 128.6 |
| | 1/5 | 154.2 | 157.6 | 155.5 | 155.7 | 159.4 | — | 155.9 | 157.1 | 155.5 | 157.5 | 156.9 | 155.9 |
| | 1/10 | 196.6 | 190.8 | 195.2 | 190.6 | 191.4 | — | 191.6 | 189.6 | 192.8 | 189.8 | 193.6 | 191.7 |
| | 1/20 | 239.0 | 222.5 | 237.0 | 225.5 | 220.6 | — | 227.2 | 220.7 | 230.7 | 220.4 | 230.3 | 227.4 |
| | 1/30 | 263.8 | 240.8 | 262.6 | 246.3 | 236.7 | — | 248.2 | 238.5 | 253.3 | 238.0 | 252.0 | 248.5 |
| | 1/50 | 295.1 | 263.6 | 296.4 | 272.9 | 256.1 | — | 275.0 | 260.8 | 282.6 | 259.9 | 279.9 | 275.6 |
| | 1/80 | 323.8 | 284.5 | 328.9 | 298.1 | 273.4 | — | 300.3 | 281.3 | 310.4 | 280.0 | 306.1 | 300.9 |
| | 1/100 | 337.5 | 294.4 | 344.8 | 310.2 | 281.3 | — | 312.4 | 291.0 | 323.9 | 289.5 | 318.8 | 313.2 |
| | 1/150 | 362.3 | 312.4 | 374.6 | 332.6 | 295.5 | — | 334.9 | 308.7 | 348.9 | 306.8 | 342.2 | 335.8 |
| | 1/200 | 379.9 | 325.1 | 396.4 | 348.9 | 305.3 | — | 351.1 | 321.4 | 367.0 | 319.2 | 359.1 | 352.1 |
| | 1/400 | 422.3 | 355.8 | 451.1 | 389.0 | 328.3 | — | 391.2 | 352.1 | 412.3 | 349.0 | 401.0 | 392.5 |
| SLSC(99%) | | 0.038 | 0.019 | 0.026 | 0.020 | 0.026 | — | 0.018 | 0.022 | 0.019 | 0.023 | 0.017 | 0.018 |
| 相関係数 | X-COR | 0.984 | 0.996 | 0.989 | 0.995 | 0.996 | — | 0.995 | 0.996 | 0.993 | 0.996 | 0.995 | 0.995 |
| | P-COR | 0.975 | 0.995 | 0.997 | 0.996 | 0.995 | — | 0.997 | 0.995 | 0.997 | 0.995 | 0.997 | 0.997 |
| 推定値1/200 | | 379.9 | 325.1 | 399.5 | 346.5 | 317.1 | — | 554.3 | 319.5 | 711.0 | 316.9 | 357.1 | 351.4 |
| 推定誤差1/200 | | 29.7 | 24.6 | 35.9 | 45.5 | 36.3 | — | 38.9 | 36.0 | 66.8 | 35.1 | 37.6 | 35.5 |

推定値、推定誤差はjackknife法

SLSC≦0.04

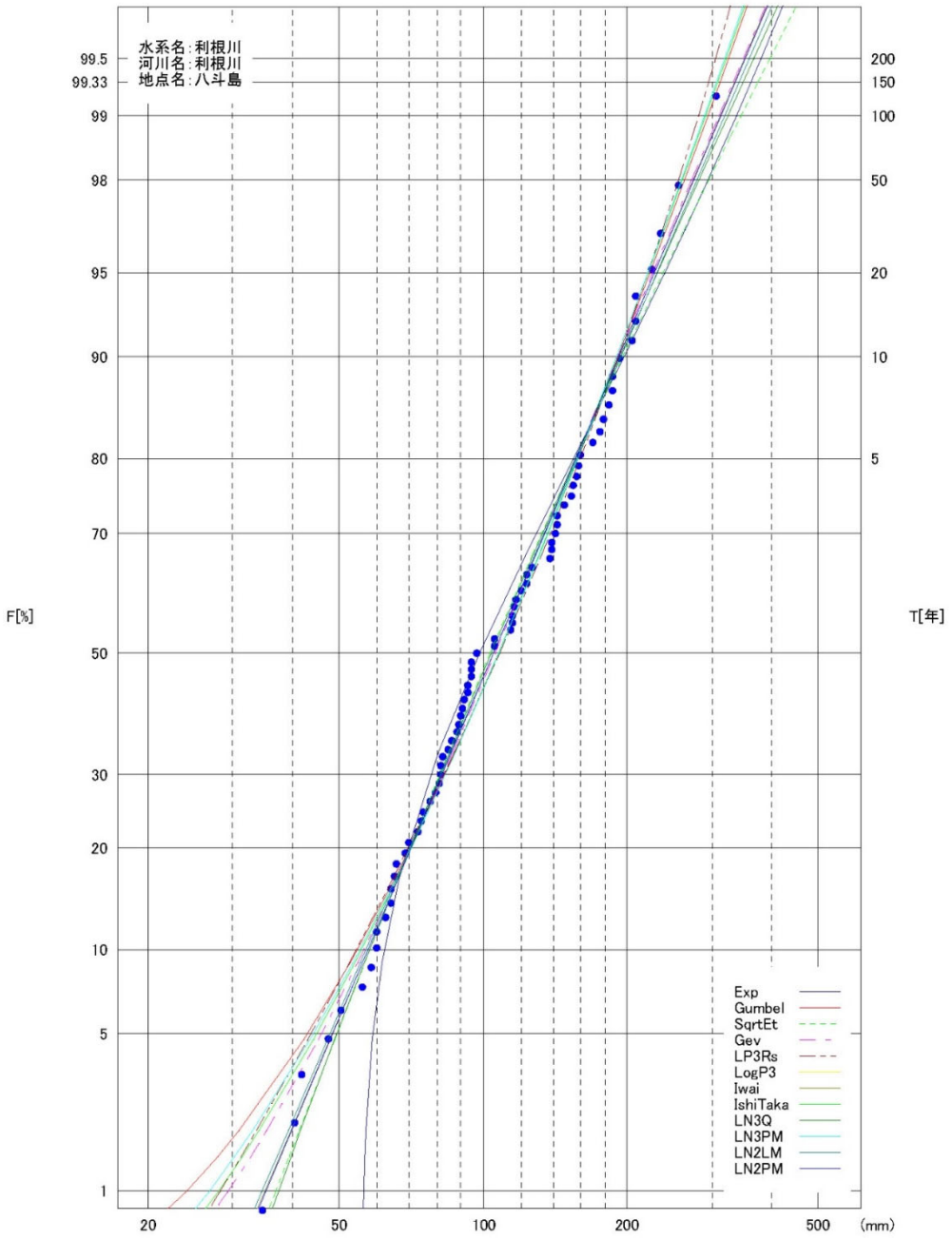



図 1.52　雨量確率計算結果

表 1.11　1/200 確率規模降雨量（基準地点八斗島）

| 項目 | 八斗島 | 備考 |
|---|---|---|
| 1/200 確率雨量<br>（S11～H22 標本） | 325 mm/48 h | 確率手法 SLSC≦0.04<br>Jackknife 推定誤差最小 |
| 気候変動を<br>考慮した降雨量 | 358 mm/48 h | 325 mm/48 h<br>×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。

### 1) Mann-Kendall 検定（定常/非定常性の確認）

昭和 11 年（1936 年）から平成 22 年（2010 年）までの雨量データに一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したが、非定常性は確認されなかったため、近年降雨までデータ延伸を実施した。

### 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た場合の Gumbel 分布による確率雨量を算定した。その結果、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八斗島 1/200 確率雨量は 329 mm/48 h となりデータ延伸による確率雨量に大きな差がないことを確認した。

## 1-9　気候変動を考慮した総合確率法による検討（利根川）

既定計画の基本高水のピーク流量は、代表洪水における降雨波形について、総雨量を任意に与えて流出計算を行うことにより得られる最大流量の生起状況を総雨量の生起状況から推算し、確率流量を算定する「総合確率法」により設定してきた。そのため、気候変動を考慮した基本高水のピーク流量の算出においても総合確率法による検討を実施した。なお、総合確率法については図 1.53 に概念図を示す。

検討にあたり、表 1.9 に示す昭和 11 年（1936 年）から平成 22 年（2010 年）までの 75 年間の年最大 48 時間雨量を記録した洪水を対象に、八斗島上流域の流域平均 48 時間雨量（$R$）が任意の 48 時間雨量（100 mm、200 mm、300 mm、400 mm、500 mm、600 mm、700 mm、800 mm、900 mm 及び 1,000 mm）となるよう各降雨波形の小流域毎の流域平均雨量の時間分布を引伸ばし（引縮め）、それぞれの任意の 48 時間雨量における各降雨波形における小流域毎の流域平均時間雨量を求め、検討の対象とする降雨波形とした。

降雨波形毎に任意の八斗島上流域の流域平均 48 時間雨量（$R$）に対するピーク流量（$Q_p$）を算出して、$R$と$Q_p$の関係を求め、図 1.54 のとおり$R$ - $Q_p$図を作成した。なお、これらの値の間の$R$と$Q_p$の関係については計算値を直線補間した。

作成した$R$ -$Q_p$図により、75 の降雨波形毎に任意の$Q_p$に対する雨量（$R_i$）を読み取り、$R_i$に降雨量変化倍率（1.1 倍）を考慮した雨量の年超過確率$P_{M(R)}$により、各$R_i$に対する年超過確率（$P_{M(Ri)}$）を算出し、任意の$Q_p$に対する年超過確率$P_{(Q_p)}$の関係を求め、$Q_p - P_{(Q_p)}$図（図 1.55）を作成した。なお、$Q_p - P_{(Q_p)}$図の作成に当たっては、$Q_p$を 500 $m^3/s$～30,000 $m^3/s$ までの 500 $m^3/s$ ピッチの値として求め、これらの値の間の$Q_p$と$P_{(Q_p)}$の関係については計算値を直線補間した。

このようにして作成した$Q_p - P_{(Q_p)}$図から、基準地点八斗島における1/200確率流量は、約26,000 m$^3$/sとなった。

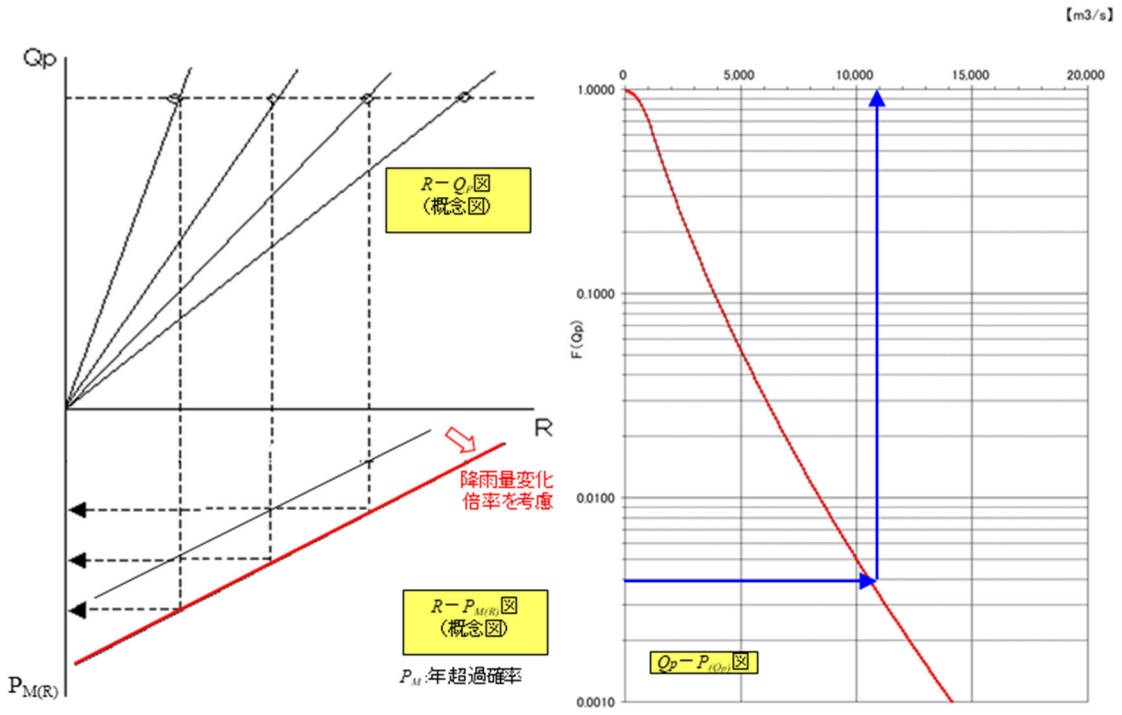



図 1.53　総合確率法概念図

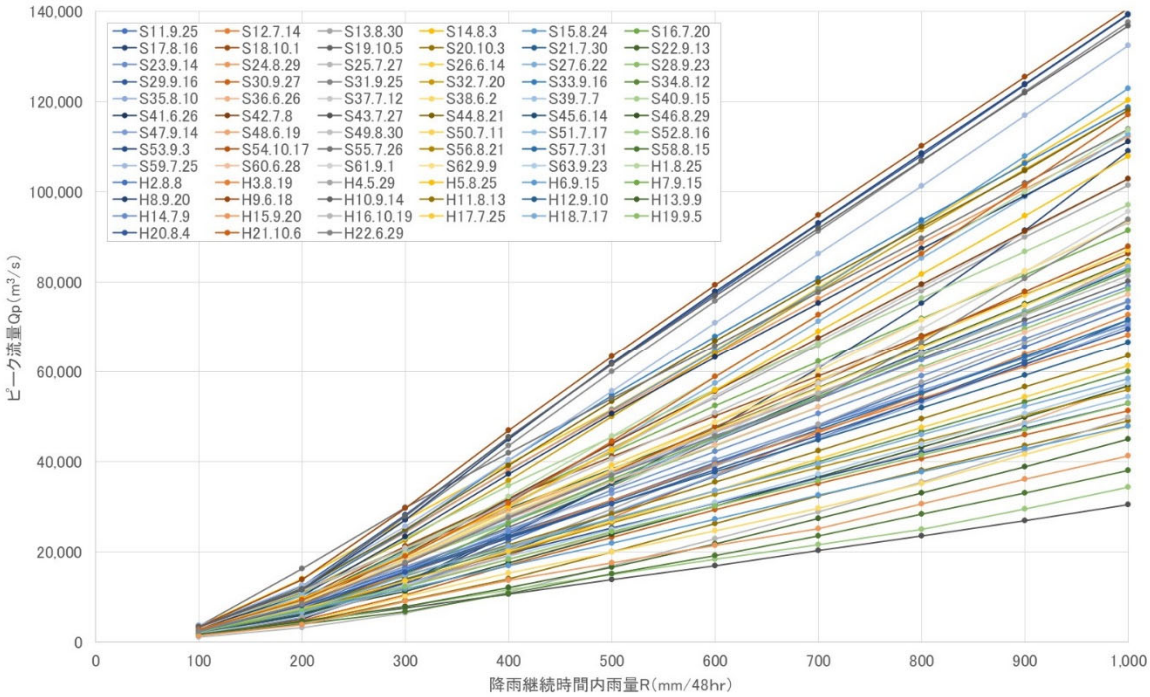



図 1.54　$R - Q_p$図

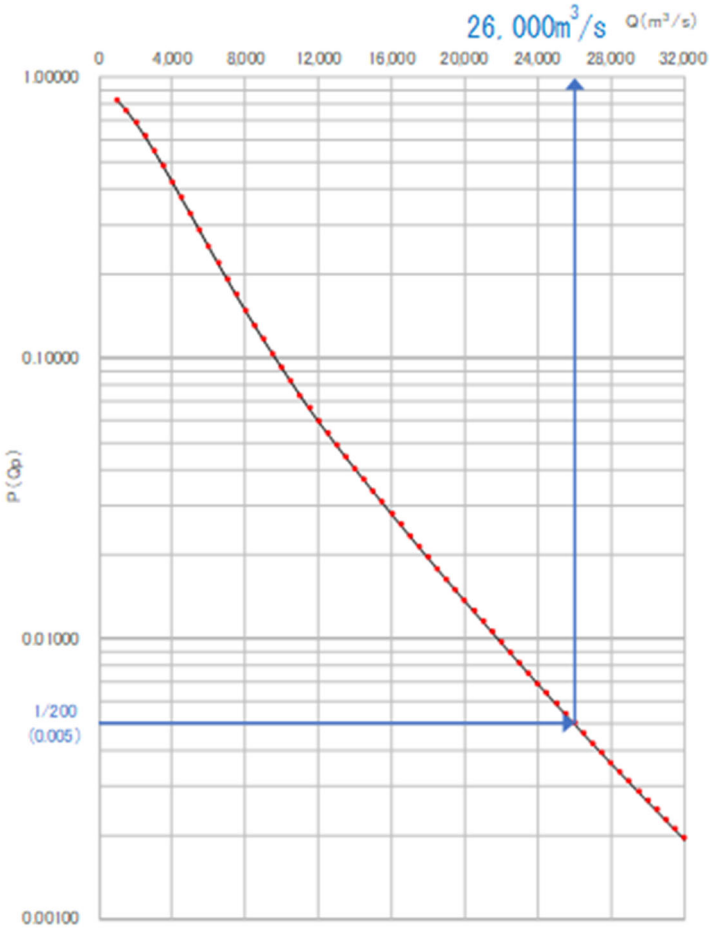

26,000m³/s
Q(m³/s)
0
4,000
8,000
12,000
16,000
20,000
24,000
28,000
32,000
1.00000
0.10000
0.01000
1/200
(0.005)
0.00100
P(Qp)

図 1.55　$Q_p - P_{(Q_p)}$図

## 1-10　雨量確率法による検討（利根川）

### 1)　主要降雨波形の選定

主要降雨波形は、令和 3 年（2021 年）までの基準地点八斗島における 48 時間雨量のうち、表 1.10 の年超過確率 1/5（158 mm/48 h）を超過し、引伸ばし率が 2 倍以下（1.1 倍する前の確率雨量）となる 16 洪水を選定した。

選定した洪水を対象に、基準地点八斗島の 1/200 確率 48 時間雨量 358 mm（325 mm×1.1）となるよう引伸ばし降雨波形を作成し流出計算を行ったところ、基準地点八斗島におけるピーク流量は 9,200 $m^3/s$～38,400 $m^3/s$ となりその結果を表 1.12 に示し、各洪水のハイドログラフを図 1.55 から図 1.58 に示す。

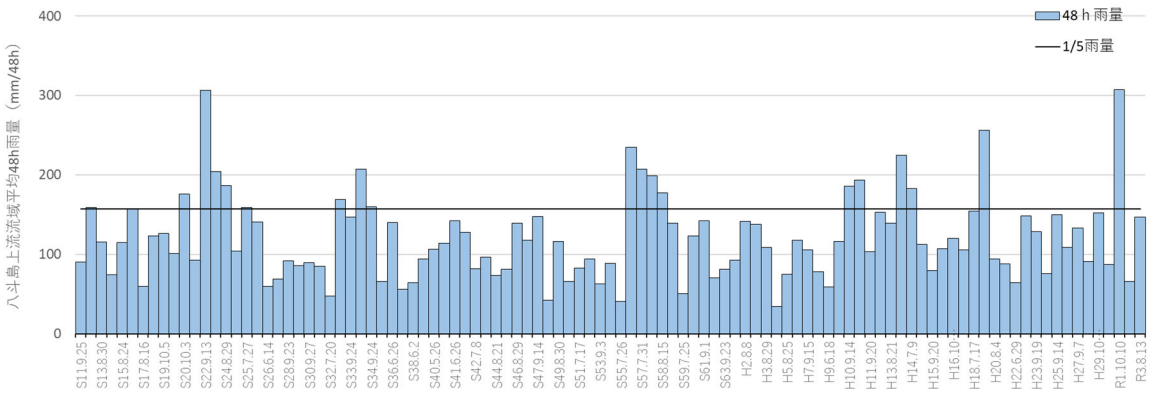



図 1.56　主要降雨波形の選定（基準地点八斗島）

表 1.12　主要降雨波形のピーク流量一覧（基準地点八斗島）

| No | 洪水名 | 八斗島地点<br>48時間雨量<br>（mm） | 計画規模<br>降雨量<br>×1.1（mm/48h） | 引伸ばし率 | 八斗島地点<br>ピーク流量<br>（$m^3/s$） |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | S20.10.3 | 176.0 | 358 | 2.03 | 12,300 |
| 2 | S22.9.13 | 306.6 | 358 | 1.17 | 26,000 |
| 3 | S23.9.14 | 204.3 | 358 | 1.75 | 23,900 |
| 4 | S24.8.29 | 186.4 | 358 | 1.92 | 32,600 |
| 5 | S33.9.16 | 169.2 | 358 | 2.11 | 33,900 |
| 6 | S34.8.12 | 207.3 | 358 | 1.72 | 18,200 |
| 7 | S56.8.21 | 234.8 | 358 | 1.52 | 17,300 |
| 8 | S57.7.31 | 207.4 | 358 | 1.72 | 20,000 |
| 9 | S57.9.10 | 199.0 | 358 | 1.80 | 23,800 |
| 10 | S58.8.15 | 177.7 | 358 | 2.01 | 9,200 |
| 11 | H10.9.14 | 186.0 | 358 | 1.92 | 38,400 |
| 12 | H11.8.13 | 193.2 | 358 | 1.85 | 18,700 |
| 13 | H13.9.9 | 224.9 | 358 | 1.59 | 10,300 |
| 14 | H14.7.9 | 182.9 | 358 | 1.96 | 20,600 |
| 15 | H19.9.5 | 255.7 | 358 | 1.40 | 15,800 |
| 16 | R1.10.10 | 307.0 | 358 | 1.16 | 23,300 |

※100 $m^3/s$ の端数については、切り上げるものとした
※引伸ばし率：「48 時間雨量(mm)」と「1/200 確率雨量×1.1」との比率
※計算流量：流出計算モデルを用いて実績降雨から算出した流量

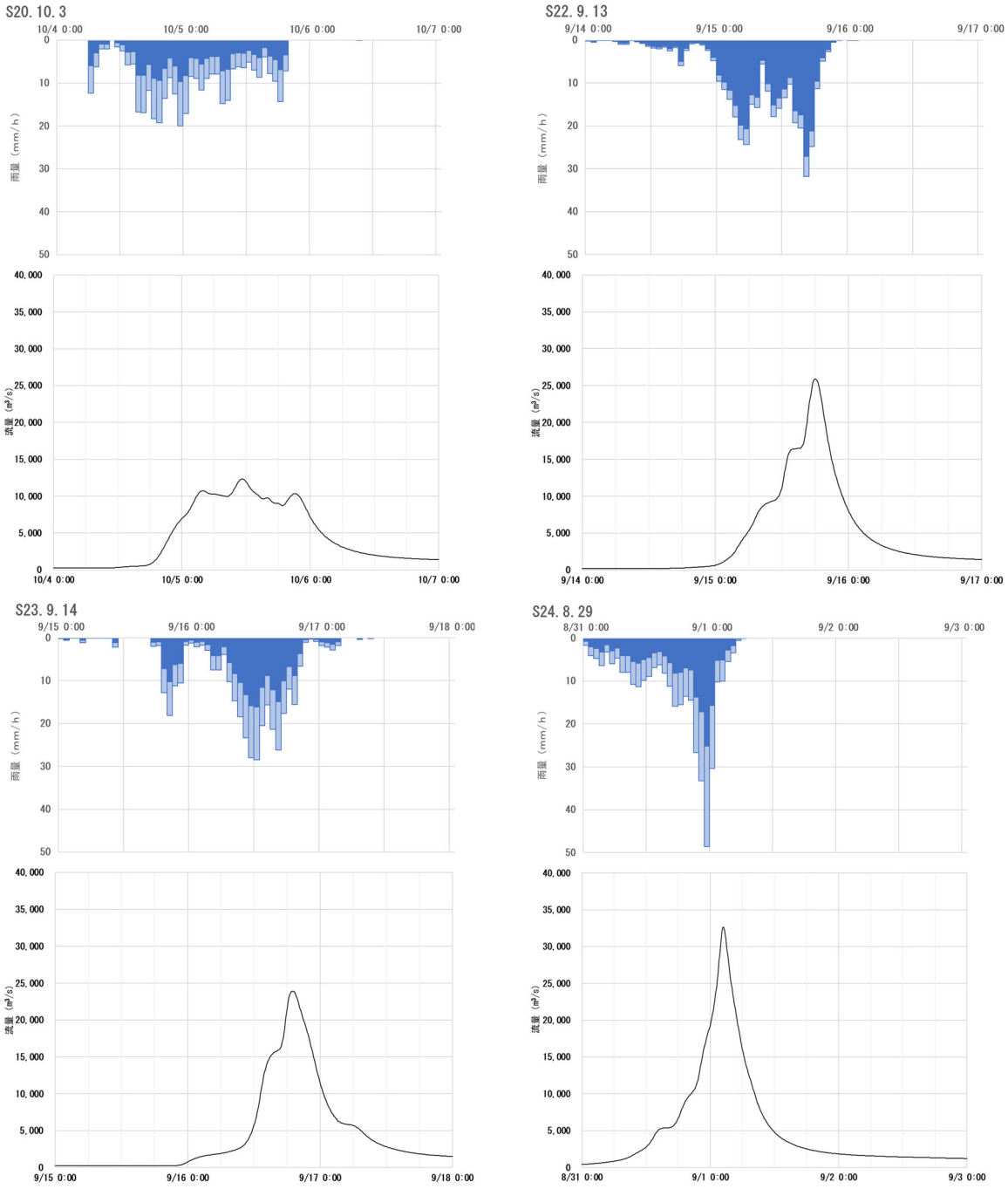



図 1.57　主要降雨波形のハイドログラフ（基準地点八斗島）

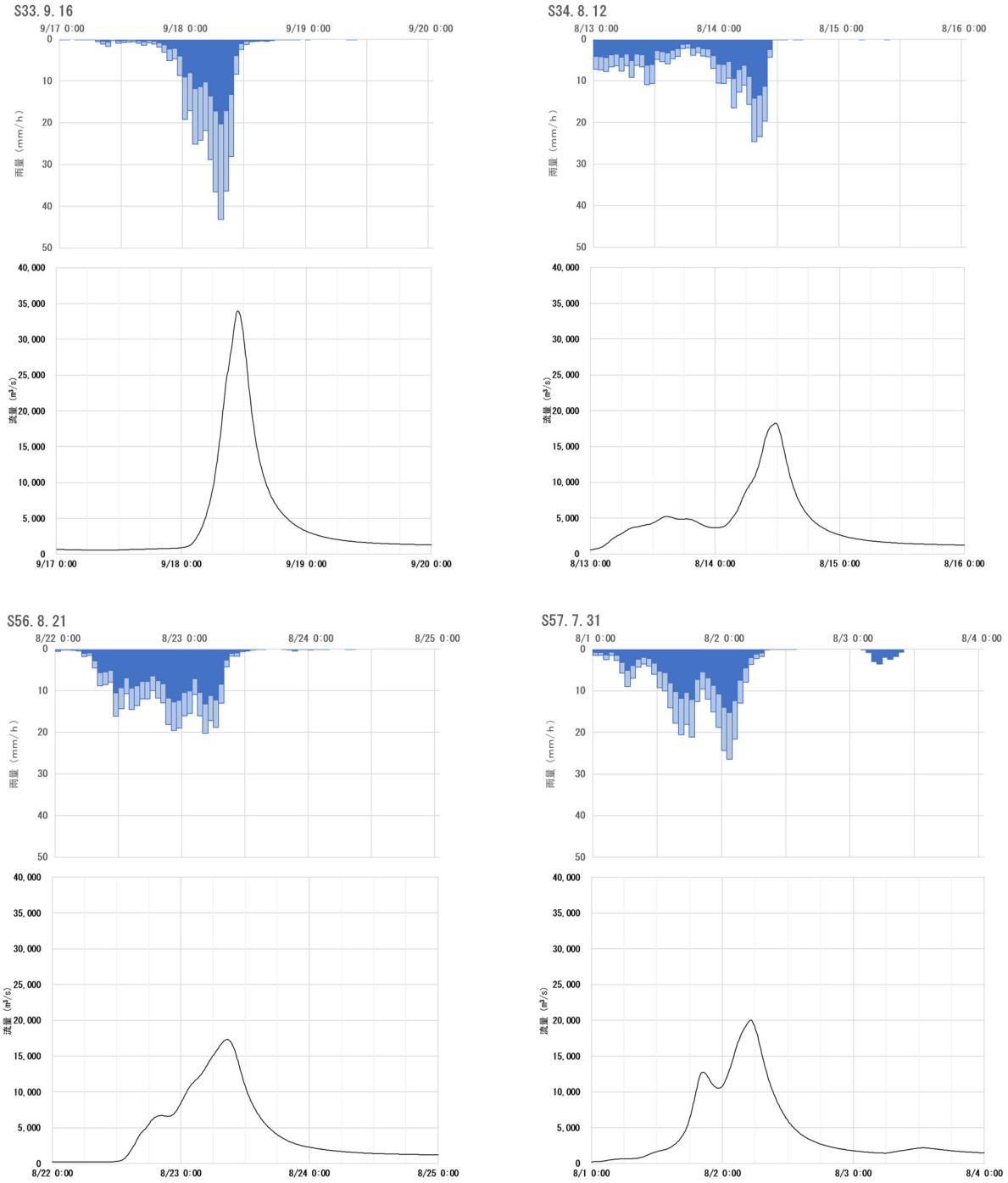



図 1.58　主要降雨波形のハイドログラフ（基準地点八斗島）

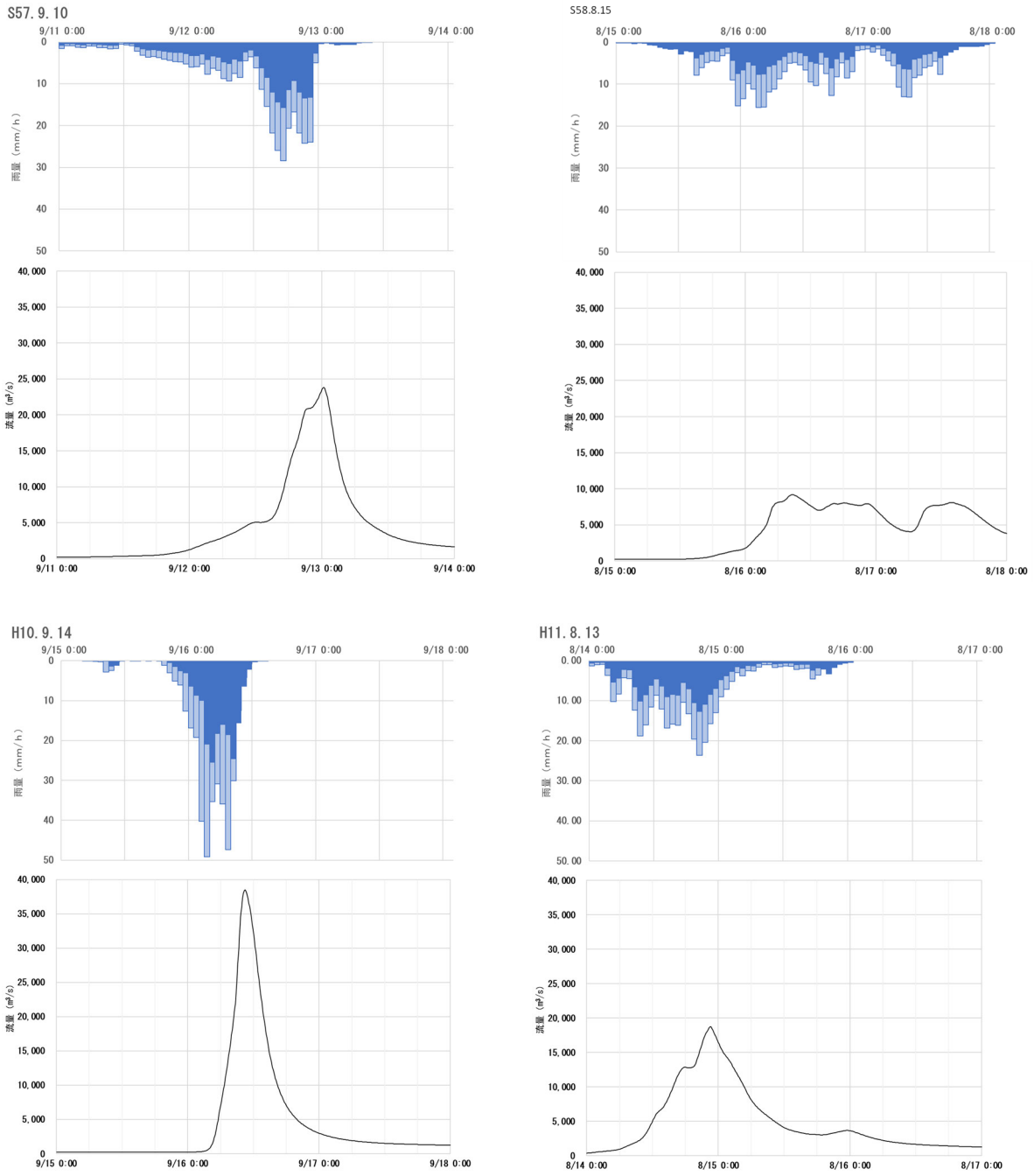



図 1.59　主要降雨波形のハイドログラフ（基準地点八斗島）

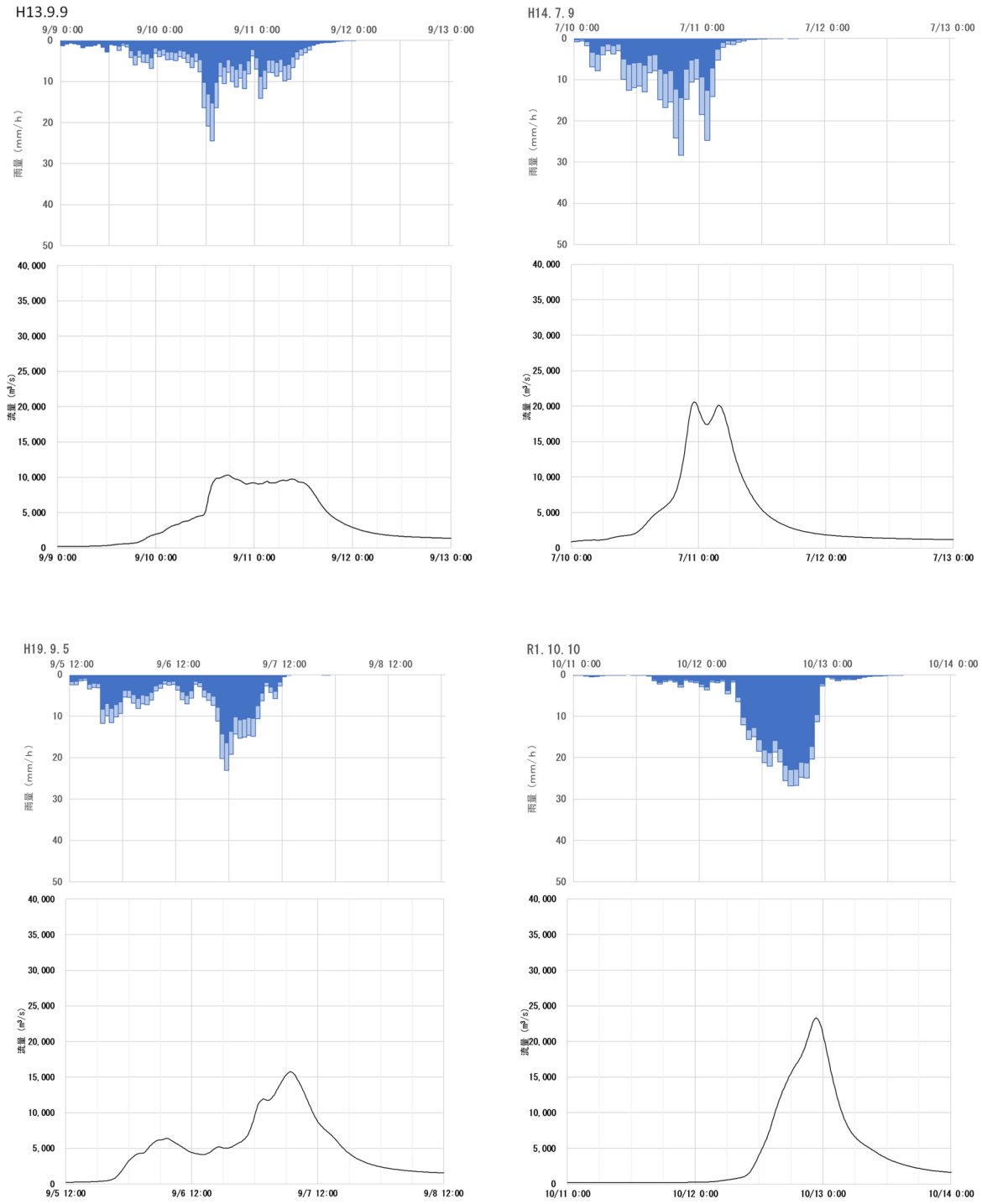



図 1.60　主要降雨波形のハイドログラフ（基準地点八斗島）

## 2)　主要降雨波形の地域分布及び時間分布の検討

### (1)　　主要降雨波形の地域分布及び時間分布の考え方

主要降雨波形において、「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」等を一律引伸ばしすると、引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、確率水文量への引伸ばしによって異常な降雨になっていないか十分にチェックする必要がある。

従って、前項で選定した洪水について、引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。

### (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。

### (3)　　地域分布の評価

①　対象地域の選定

対象地域は、以下に示す主な理由により6流域と選定した。

A：奥利根流域

主要支川片品川等の合流前であり、本川上流域のハイエトの確認用として選定

B：片品川流域

基準地点八斗島上流域の主要支川である片品川流域のハイエトの確認用として選定

C：吾妻川流域

基準地点八斗島上流域の主要支川である吾妻川流域のハイエトの確認用として選定

D：烏川流域

基準地点八斗島上流域の主要支川である烏川流域のハイエトの確認用として選定

E：神流川流域

基準地点八斗島上流域の主要支川である神流川流域のハイエトの確認用として選定

F：残流域

基準地点八斗島上流域の主要支川以外を選定

② 棄却基準値の設定

各対象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 11 年（1936 年）から平成 22 年（2010 年）までの各対象地域における年最大 48 時間雨量について確率計算を行い、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おける 1/500 確率雨量を採用した。

③ 地域分布の雨量評価

前項にて設定した地域について、引伸ばし後雨量の異常性評価を確認する。各地域の引伸ばし後雨量及び 1/500 雨量は表 1.13 に示すとおりであり、6 洪水が棄却される結果となった。

# 表 1.13　地域分布による引伸ばし後降雨の確率表

| | 洪水名 | 継続時間内降雨量(mm/48h) | 引伸ばし前 | | | | | | | 引伸ばし後 | | | | | | | 判定1/500 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 地域降雨量（mm） | | | | | | 引伸ばし率 | 地域降雨量（mm） | | | | | | | 地域分布 | | | | | | 対象降雨 |
| | | | 奥利根 | 片品川 | 吾妻川 | 烏川 | 神流川 | 残流域 | | 奥利根 | 片品川 | 吾妻川 | 烏川 | 神流川 | 残流域 | | 奥利根 | 片品川 | 吾妻川 | 烏川 | 神流川 | 残流域 | |
| | | | 48h | | | | | | | 48h | | | | | | | 48h | | | | | | |
| 1 | S20.10.3 | 176.0 | 157.7 | 152.7 | 190.6 | 179.1 | 227.6 | 150.4 | 1.85 | 291.2 | 282.1 | 351.9 | 330.8 | 420.4 | 277.7 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 2 | S22.9.13 | 306.6 | 282.8 | 300.4 | 224.6 | 360.7 | 375.2 | 380.8 | 1.06 | 299.9 | 318.5 | 238.1 | 382.4 | 397.8 | 403.7 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 3 | S23.9.14 | 204.3 | 167.7 | 202.3 | 223.5 | 217.4 | 253.8 | 167.0 | 1.59 | 266.8 | 321.9 | 355.7 | 345.9 | 403.8 | 265.7 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 4 | S24.8.29 | 186.4 | 137.7 | 245.1 | 175.1 | 200.9 | 287.3 | 86.4 | 1.74 | 240.2 | 427.5 | 305.3 | 350.5 | 501.1 | 150.7 | | ○ | | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| 5 | S33.9.16 | 169.2 | 120.9 | 161.9 | 178.6 | 196.0 | 208.4 | 140.1 | 1.92 | 232.3 | 311.0 | 343.3 | 376.6 | 400.4 | 269.2 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 6 | S34.8.12 | 207.3 | 140.9 | 185.8 | 251.7 | 204.7 | 261.3 | 223.5 | 1.57 | 220.9 | 291.4 | 394.6 | 321.0 | 409.7 | 350.5 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 7 | S56.8.21 | 234.8 | 137.8 | 214.4 | 303.6 | 262.3 | 243.1 | 189.2 | 1.38 | 190.7 | 296.8 | 420.3 | 363.2 | 336.6 | 261.9 | | ○ | ○ | | ○ | ○ | ○ | |
| 8 | S57.7.31 | 207.4 | 100.0 | 202.5 | 249.4 | 245.1 | 249.2 | 180.4 | 1.57 | 156.8 | 317.5 | 391.1 | 384.3 | 390.7 | 282.7 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 9 | S57.9.10 | 199.0 | 160.8 | 178.2 | 190.8 | 225.3 | 271.3 | 206.4 | 1.63 | 262.7 | 291.2 | 311.7 | 368.1 | 443.2 | 337.1 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 10 | S58.8.15 | 177.7 | 88.5 | 120.3 | 239.4 | 249.7 | 259.4 | 144.5 | 1.83 | 162.0 | 220.0 | 437.9 | 456.7 | 474.5 | 264.3 | | ○ | ○ | | ○ | ○ | ○ | |
| 11 | H10.9.14 | 186.0 | 151.8 | 191.6 | 194.0 | 204.2 | 196.9 | 161.5 | 1.75 | 265.4 | 334.9 | 339.1 | 356.9 | 344.1 | 282.2 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 12 | H11.8.13 | 193.2 | 75.3 | 116.2 | 231.5 | 276.2 | 331.2 | 178.0 | 1.68 | 126.7 | 195.4 | 389.5 | 464.7 | 557.3 | 299.4 | | ○ | ○ | ○ | | | ○ | |
| 13 | H13.9.9 | 224.9 | 112.8 | 231.7 | 257.6 | 265.7 | 373.4 | 135.4 | 1.45 | 163.1 | 334.9 | 372.4 | 384.0 | 539.7 | 195.8 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 14 | H14.7.9 | 182.9 | 184.5 | 213.0 | 151.8 | 187.3 | 187.9 | 207.0 | 1.78 | 327.9 | 378.6 | 269.9 | 333.0 | 333.9 | 368.0 | | | | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| 15 | H19.9.5 | 255.7 | 88.4 | 206.9 | 245.9 | 391.5 | 428.6 | 144.3 | 1.27 | 112.4 | 263.0 | 312.6 | 497.8 | 544.9 | 183.4 | | ○ | ○ | ○ | | ○ | ○ | |
| 16 | R1.10.10 | 307.0 | 180.9 | 231.7 | 315.4 | 398.3 | 482.9 | 225.3 | 1.06 | 191.6 | 245.4 | 334.0 | 421.8 | 511.5 | 238.6 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 棄却基準値 | | | | | | | | | | 318.9 | 364.6 | 403.4 | 456.9 | 553.6 | 451.5 | | | | | | | | |

※引伸ばし率は、基準地点八斗島 1/200 確率規模降雨量 325 mm/48 h に対する実績 48 時間雨量との引伸ばし率である。

※■：引延ばし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した洪水。

※1/500 雨量は、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おける値による。

### (4)　時間分布の評価

時間分布の検討では、洪水到達時間相当の短時間雨量について過度に引伸ばしがされていないか確認を行った。

① 対象時間の選定

対象時間は角屋式から得られる洪水到達時間が 12 時間から 17 時間であり、ピーク流量と短時間雨量の相関が高まる 15 時間を短時間雨量として設定した。

また、計画降雨継続時間 48 時間の 1/2 である 24 時間を短時間雨量として設定し、表 1.14 に示す。

表 1.14　対象時間の設定

| 基準地点名 | 時間分布棄却基準（短時間雨量として設定） | |
|---|---|---|
| 八斗島 | 15 h | 24 h |

② 棄却基準値の設定

各対象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 11 年（1936 年）から平成 22 年（2010 年）までの各対象地域における年最大 48 時間雨量について確率計算を行い、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おける 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、著しい引伸ばしとなっていないかを確認する。

各時間の引伸ばし後雨量及び 1/500 雨量は表 1.15 に示すとおりであり、3 洪水棄却される結果となった。

## 表 1.15　短時間降雨確率評価表

| 洪水名 | | 引伸ばし前 | | | | 引伸ばし後 | | 判定1/500 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 短時間降雨量（mm） | | 継続時間内降雨量（mm/48h） | 引伸ばし率 | 短時間降雨量（mm） | | 時間分布 | | 対象降雨 |
| | | 八斗島上流域 | | | | 八斗島上流域 | | 八斗島上流域 | | |
| | | 15h | 24h | | | 15h | 24h | 15h | 24h | |
| 1 | S20.10.3 | 98.6 | 136.3 | 176.0 | 1.85 | 182.0 | 251.8 | ○ | ○ | ○ |
| 2 | S22.9.13 | 229.2 | 282.8 | 306.6 | 1.06 | 243.0 | 299.8 | ○ | ○ | ○ |
| 3 | S23.9.14 | 150.4 | 182.9 | 204.3 | 1.59 | 239.3 | 291.0 | ○ | ○ | ○ |
| 4 | S24.8.29 | 135.6 | 170.4 | 186.4 | 1.74 | 236.4 | 297.3 | ○ | ○ | ○ |
| 5 | S33.9.16 | 147.0 | 152.8 | 169.2 | 1.92 | 282.4 | 293.7 | | ○ | |
| 6 | S34.8.12 | 102.6 | 131.8 | 207.3 | 1.57 | 160.9 | 206.7 | ○ | ○ | ○ |
| 7 | S56.8.21 | 151.7 | 221.7 | 234.8 | 1.38 | 210.0 | 307.0 | ○ | ○ | ○ |
| 8 | S57.7.31 | 147.9 | 180.8 | 207.4 | 1.57 | 231.9 | 283.4 | ○ | ○ | ○ |
| 9 | S57.9.10 | 134.0 | 168.2 | 199.0 | 1.63 | 218.9 | 274.8 | ○ | ○ | ○ |
| 10 | S58.8.15 | 75.0 | 111.5 | 177.7 | 1.83 | 137.1 | 203.9 | ○ | ○ | ○ |
| 11 | H10.9.14 | 181.4 | 182.7 | 186.0 | 1.75 | 317.1 | 319.3 | | | |
| 12 | H11.8.13 | 125.2 | 160.3 | 193.2 | 1.68 | 210.7 | 269.8 | ○ | ○ | ○ |
| 13 | H13.9.9 | 113.3 | 161.7 | 224.9 | 1.45 | 163.7 | 233.8 | ○ | ○ | ○ |
| 14 | H14.7.9 | 119.2 | 151.3 | 182.9 | 1.78 | 211.9 | 269.0 | ○ | ○ | ○ |
| 15 | H19.9.5 | 133.6 | 162.3 | 255.7 | 1.27 | 169.8 | 206.4 | ○ | ○ | ○ |
| 16 | R1.10.10 | 261.2 | 284.4 | 307.0 | 1.06 | 276.6 | 301.2 | | ○ | |
| 棄却基準値 | | | | | | 254.0 | 310.5 | | | |

※引伸ばし率は、基準地点八斗島 1/200 確率規模降雨量 325 mm/48 h に対する実績 48 時間雨量との引伸ばし率である。

※■：引伸ばし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した洪水。

※1/500 雨量は、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おける値による。

### 3) 主要降雨波形の設定（利根川）

主要降雨波形について前項で棄却された洪水を含め表 1.16 に示す。

表 1.16　主要降雨波形一覧（基準地点八斗島）

| No | 洪水名 | 八斗島地点<br>48時間雨量<br>（mm） | 計画規模<br>降雨量<br>×1.1（mm/48h） | 引伸ばし率 | 八斗島地点<br>ピーク流量<br>（$m^3/s$） | 棄却理由 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | S20.10.3 | 176.0 | 358 | 2.03 | 12,300 | |
| 2 | S22.9.13 | 306.6 | 358 | 1.17 | 26,000 | |
| 3 | S23.9.14 | 204.3 | 358 | 1.75 | 23,900 | |
| 4 | S24.8.29 | 186.4 | 358 | 1.92 | 32,600 | 地域分布 |
| 5 | S33.9.16 | 169.2 | 358 | 2.11 | 33,900 | 時間分布 |
| 6 | S34.8.12 | 207.3 | 358 | 1.72 | 18,200 | |
| 7 | S56.8.21 | 234.8 | 358 | 1.52 | 17,300 | 地域分布 |
| 8 | S57.7.31 | 207.4 | 358 | 1.72 | 20,000 | |
| 9 | S57.9.10 | 199.0 | 358 | 1.80 | 23,800 | |
| 10 | S58.8.15 | 177.7 | 358 | 2.01 | 9,200 | 地域分布 |
| 11 | H10.9.14 | 186.0 | 358 | 1.92 | 38,400 | 時間分布 |
| 12 | H11.8.13 | 193.2 | 358 | 1.85 | 18,700 | 地域分布 |
| 13 | H13.9.9 | 224.9 | 358 | 1.59 | 10,300 | |
| 14 | H14.7.9 | 182.9 | 358 | 1.96 | 20,600 | 地域分布 |
| 15 | H19.9.5 | 255.7 | 358 | 1.40 | 15,800 | 地域分布 |
| 16 | R1.10.10 | 307.0 | 358 | 1.16 | 23,300 | 時間分布 |

※100 $m^3/s$ の端数については、切り上げるものとした
※■：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
※引伸ばし率：「48 時間雨量(mm)」と「1/200 確率雨量×1.1」との比率

## 1-11　アンサンブル予測降雨波形による検討（利根川）

### 1)　アンサンブル予測降雨波形による流出計算

気候変動アンサンブルデータは、文部科学省・気候変動リスク情報創世プログラム及び海洋研究開発機構・地球シミュレータ特別推進課題において作成された地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース（d4PDF）（20 km メッシュ）であり、過去実験として 3,000 年分、将来実験として 5,400 年分（4 ℃上昇）、3,200 年分（2 ℃上昇：d2PDF）という国内でも類を見ない大量のデータで構成されており、物理的に発生し得る様々な気象パターンを想定することが可能である。

さらに、短時間・局所的な極端降雨、地形性降雨を十分に表現できるように、海洋研究開発機構のスーパーコンピュータ「地球シミュレータ」を用い、解像度（5km メッシュ）に NHRCM（気象庁の地域気候モデル）を用いて力学的ダウンスケーリング（DS）を行っている。

この解像度 5 km メッシュにダウンスケーリングされたアンサンブルデータにおけるアンサンブル予測降雨波形（d2PDF）から、計画対象降雨の降雨量 358 mm/48 h（基準地点八斗島）に近い洪水を抽出した（図 1.61）。抽出した 40 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 1/200 確率規模の 48 時間雨量 358 mm（基準地点八斗島）まで引伸ばし・引縮め、流出計算モデルにより流出量を算出した結果、表 1.17 に示すとおり約 10,700 $m^3/s$～25,800 $m^3/s$ の範囲となり、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がこの範囲に収まっていることを確認した。各洪水のハイドログラフを図 1.62 から図 1.75 に示す。

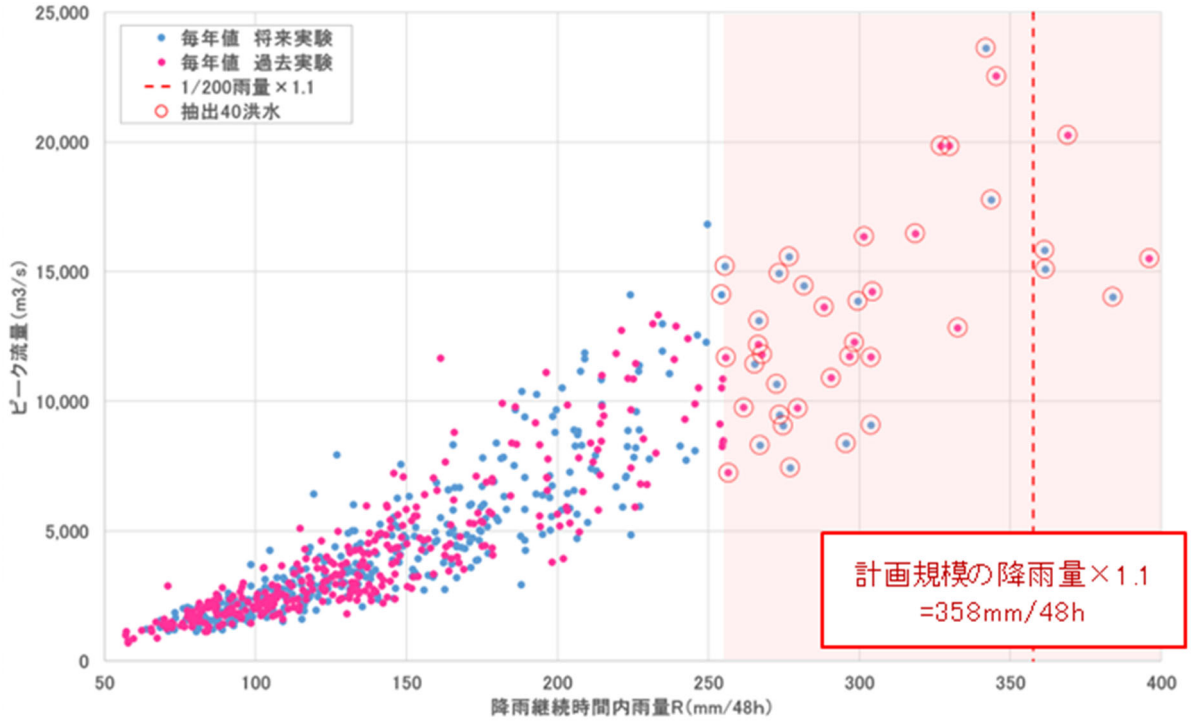



図 1.61　アンサンブル予測降雨波形からの抽出（基準地点八斗島）

表 1.17　アンサンブル予測降雨波形のピーク流量一覧（基準地点八斗島）

| | 洪水名 | 八斗島地点<br>48時間雨量<br>（mm） | 気候変動考慮後<br>1／200雨量<br>（mm） | 引伸ばし率 | 八斗島地点<br>ピーク流量<br>（$m^3/s$） |
|---|---|---|---|---|---|
| 将来実験 | HFB_2K_CC_m101_27 | 265.3 | 358 | 1.35 | 18,100 |
| | HFB_2K_CC_m101_29 | 303.7 | 358 | 1.18 | 12,000 |
| | HFB_2K_CC_m105_22 | 281.6 | 358 | 1.27 | 17,000 |
| | HFB_2K_GF_m101_25 | 299.4 | 358 | 1.19 | 18,200 |
| | HFB_2K_HA_m101_20 | 274.7 | 358 | 1.30 | 17,100 |
| | HFB_2K_HA_m101_22 | 272.6 | 358 | 1.31 | 16,000 |
| | HFB_2K_HA_m105_14 | 277.1 | 358 | 1.29 | 10,600 |
| | HFB_2K_MI_m101_13 | 255.5 | 358 | 1.40 | 25,800 |
| | HFB_2K_MI_m101_28 | 273.3 | 358 | 1.31 | 24,300 |
| | HFB_2K_MI_m105_27 | 273.5 | 358 | 1.31 | 16,600 |
| | HFB_2K_MI_m105_29 | 254.4 | 358 | 1.41 | 24,000 |
| | HFB_2K_MP_m101_13 | 361.6 | 358 | 0.99 | 15,100 |
| | HFB_2K_MP_m101_16 | 361.2 | 358 | 0.99 | 16,100 |
| | HFB_2K_MP_m101_22 | 383.8 | 358 | 0.93 | 13,100 |
| | HFB_2K_MR_m101_08 | 295.5 | 358 | 1.21 | 10,700 |
| | HFB_2K_MR_m101_10 | 343.7 | 358 | 1.04 | 20,300 |
| | HFB_2K_MR_m105_07 | 341.9 | 358 | 1.05 | 25,700 |
| | HFB_2K_MR_m105_11 | 266.7 | 358 | 1.34 | 19,000 |
| | HFB_2K_MR_m105_12 | 276.7 | 358 | 1.29 | 25,600 |
| | HFB_2K_MR_m105_17 | 267.1 | 358 | 1.34 | 12,400 |
| 過去実験 | HPB_m001_05 | 345.3 | 358 | 1.04 | 24,100 |
| | HPB_m001_08 | 318.6 | 358 | 1.12 | 20,100 |
| | HPB_m002_03 | 279.6 | 358 | 1.28 | 14,200 |
| | HPB_m002_24 | 261.7 | 358 | 1.37 | 16,100 |
| | HPB_m003_10 | 303.9 | 358 | 1.18 | 16,100 |
| | HPB_m003_13 | 327.0 | 358 | 1.09 | 23,100 |
| | HPB_m003_29 | 396.1 | 358 | 0.90 | 14,300 |
| | HPB_m004_26 | 298.3 | 358 | 1.20 | 16,200 |
| | HPB_m005_11 | 332.6 | 358 | 1.08 | 14,500 |
| | HPB_m006_22 | 256.6 | 358 | 1.39 | 11,900 |
| | HPB_m007_14 | 304.3 | 358 | 1.18 | 20,400 |
| | HPB_m008_11 | 296.8 | 358 | 1.20 | 14,800 |
| | HPB_m008_17 | 290.7 | 358 | 1.23 | 14,800 |
| | HPB_m009_07 | 369.1 | 358 | 0.97 | 19,800 |
| | HPB_m009_28 | 301.6 | 358 | 1.19 | 21,300 |
| | HPB_m010_17 | 329.8 | 358 | 1.08 | 21,900 |
| | HPB_m010_21 | 267.8 | 358 | 1.34 | 18,000 |
| | HPB_m022_08 | 288.3 | 358 | 1.24 | 18,800 |
| | HPB_m022_15 | 266.5 | 358 | 1.34 | 18,100 |
| | HPB_m022_26 | 255.8 | 358 | 1.40 | 19,100 |

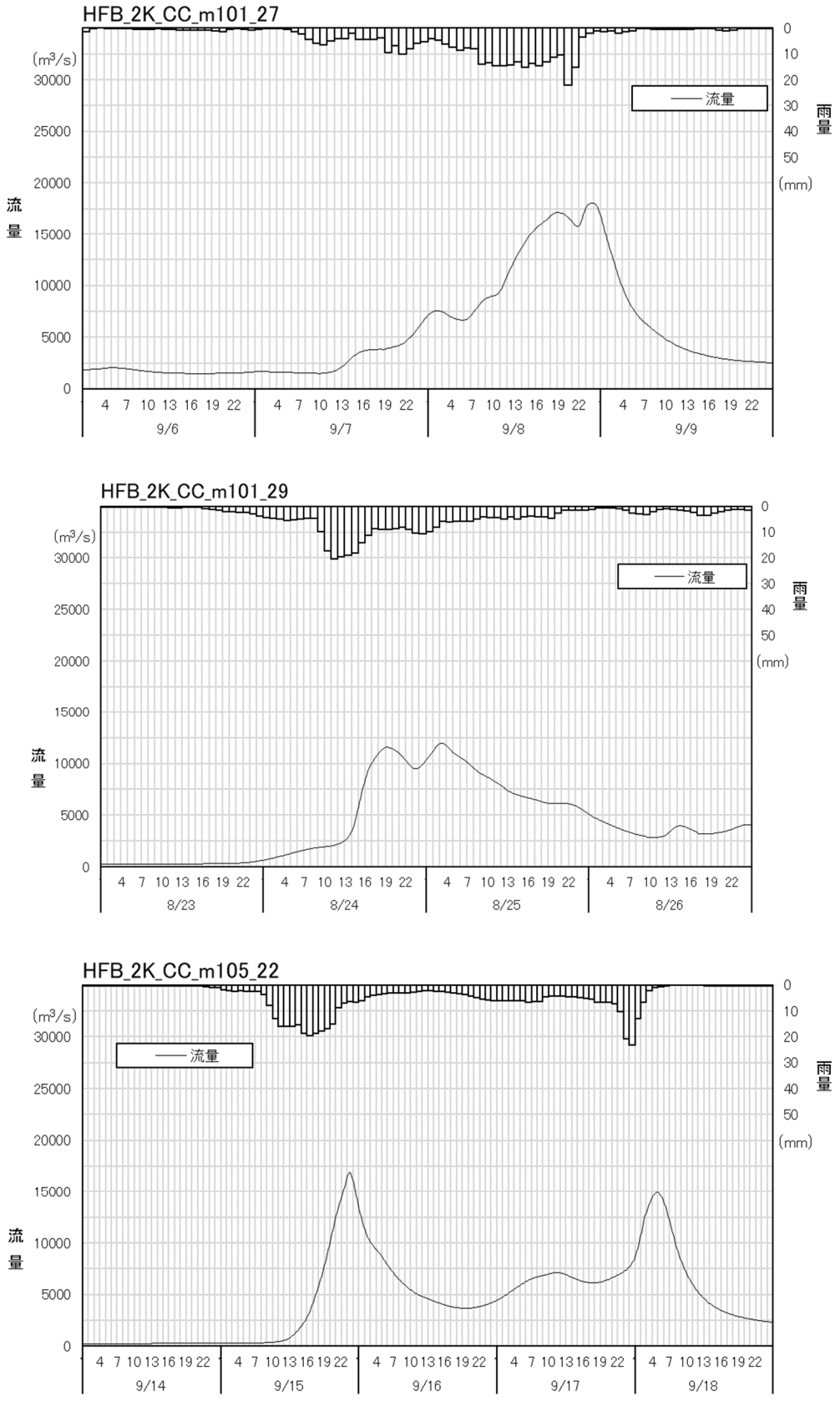



図 1.62　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地点八斗島）

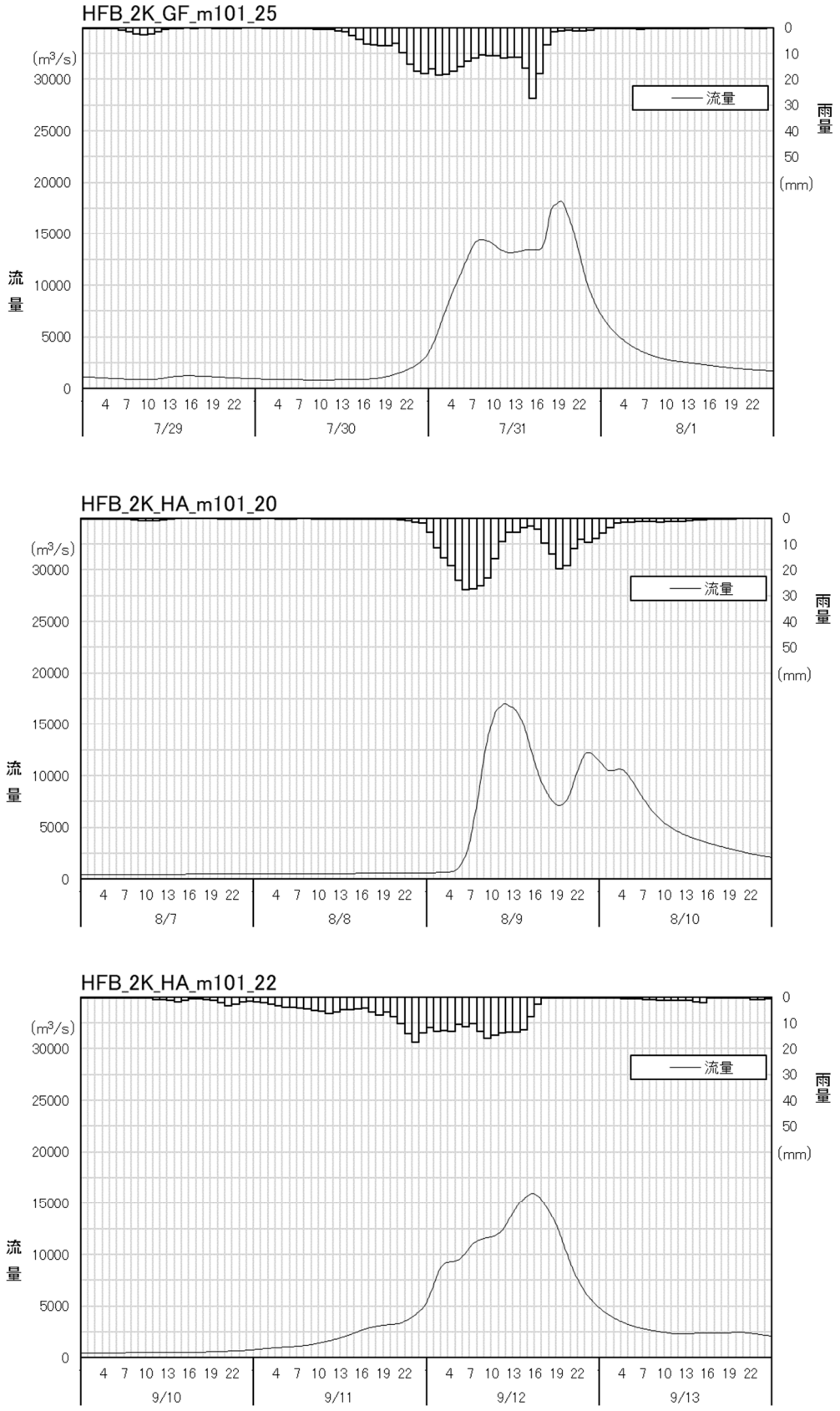



図 1.63　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地点八斗島）

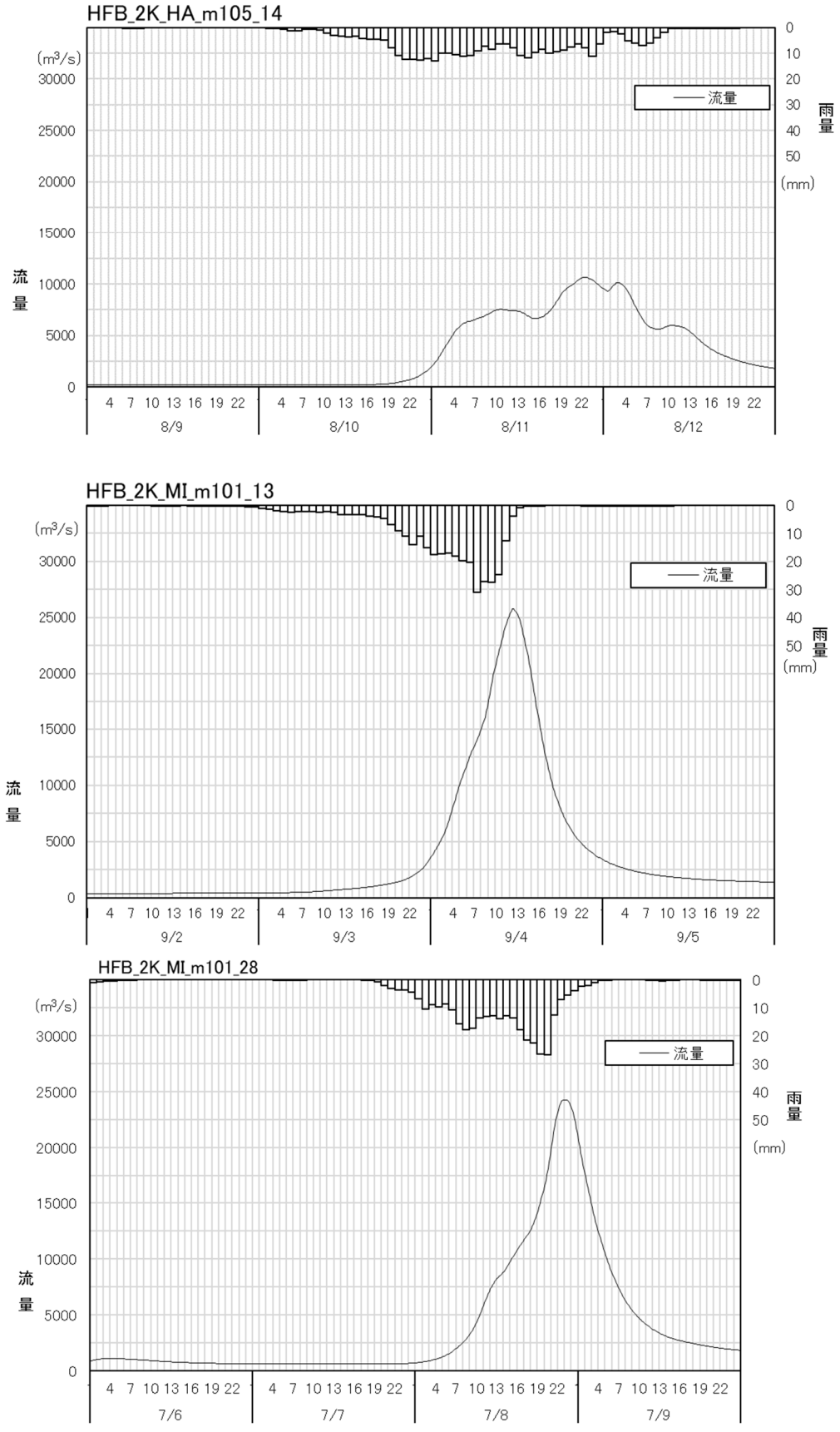



図 1.64　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地点八斗島）

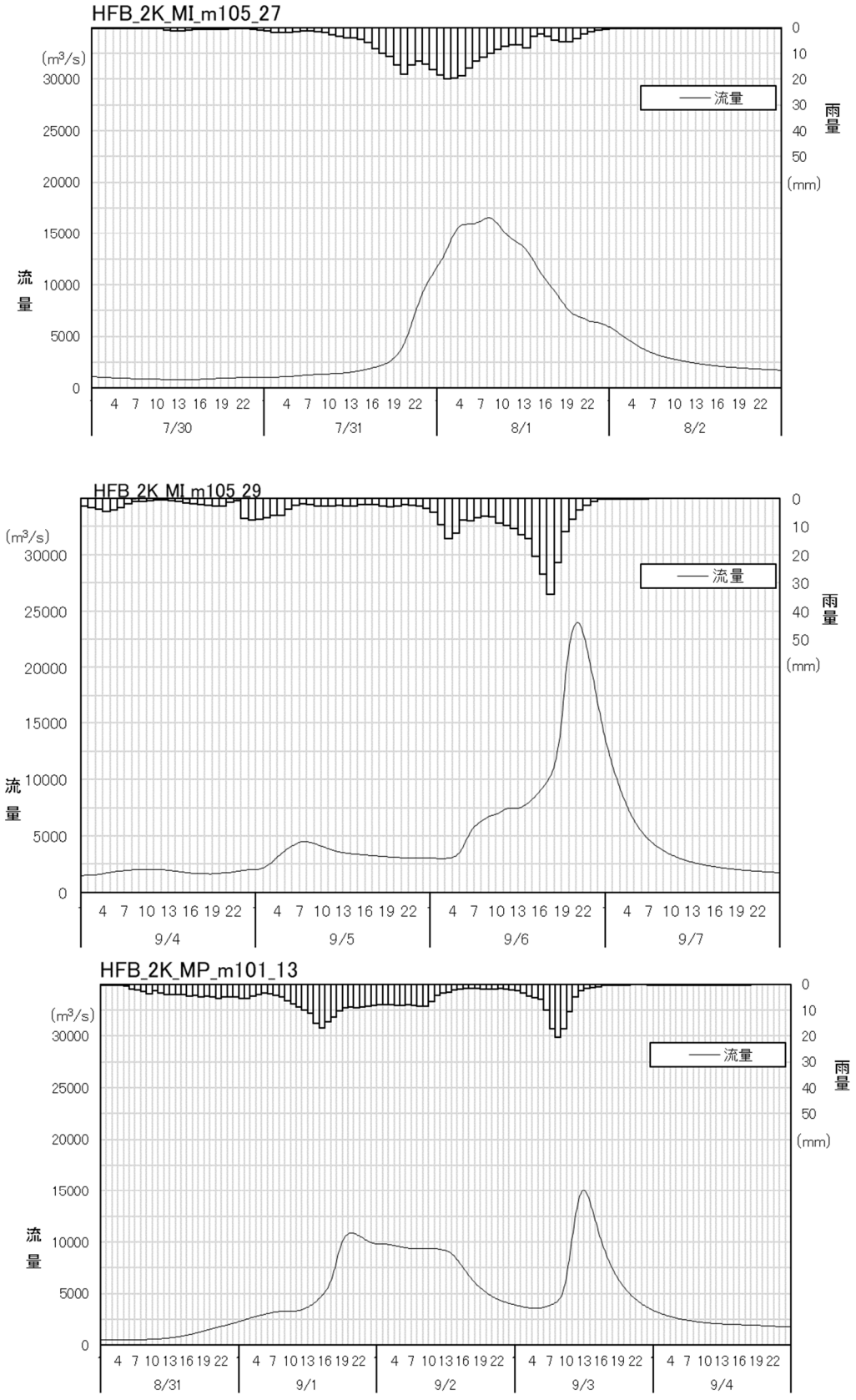



図 1.65　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地点八斗島）

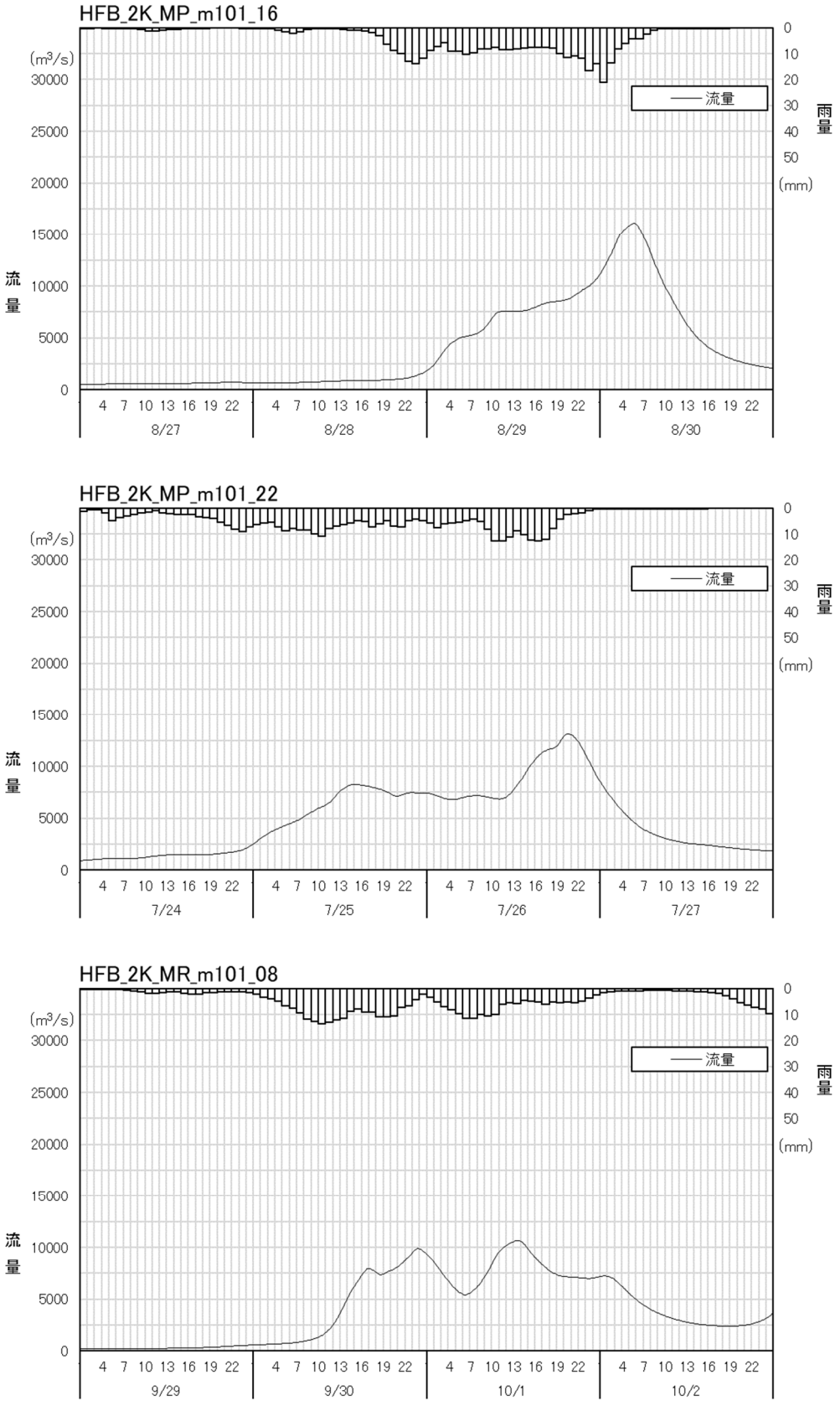



図 1.66　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地点八斗島）

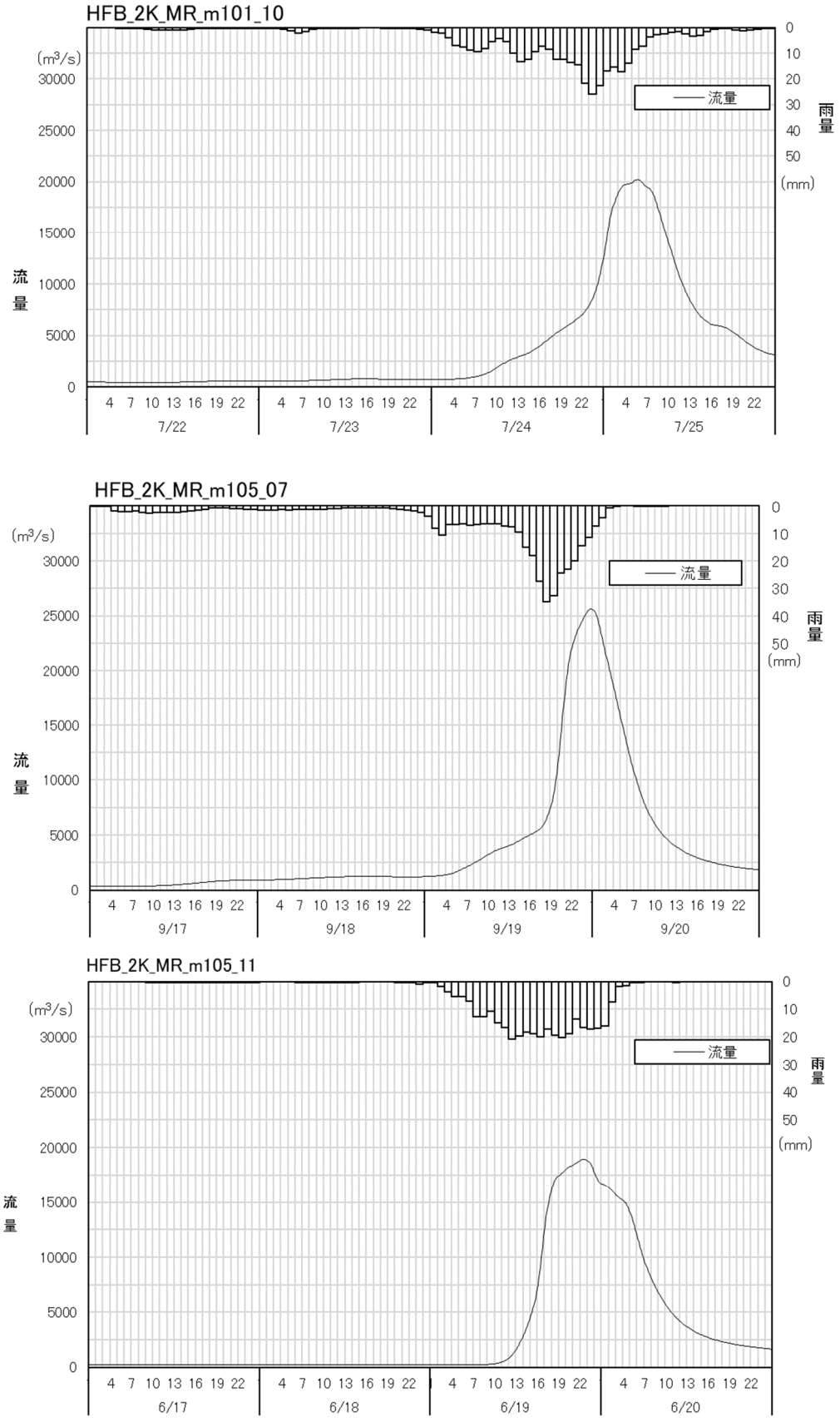



図 1.67　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地点八斗島）

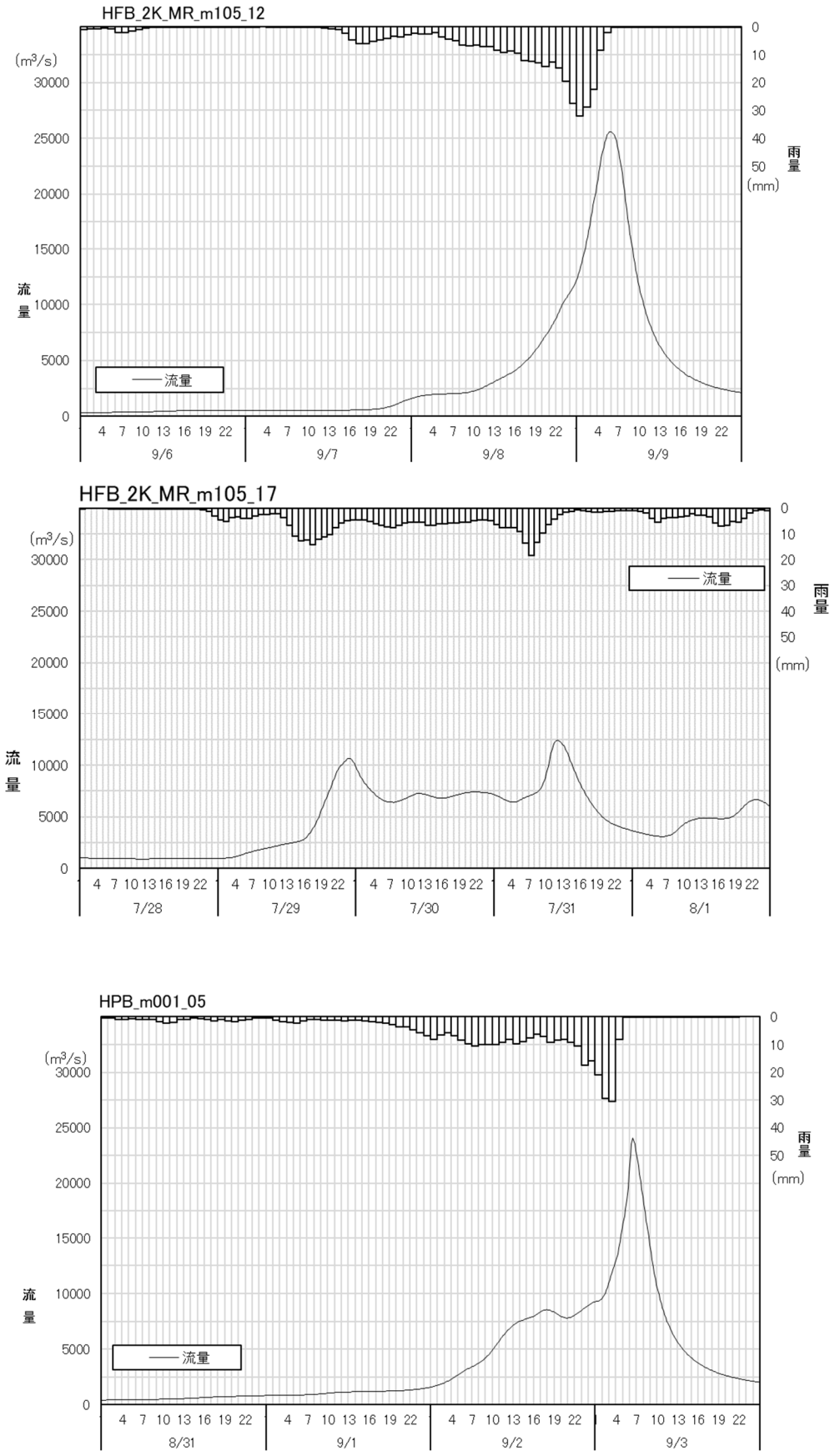



図 1.68　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地点八斗島）

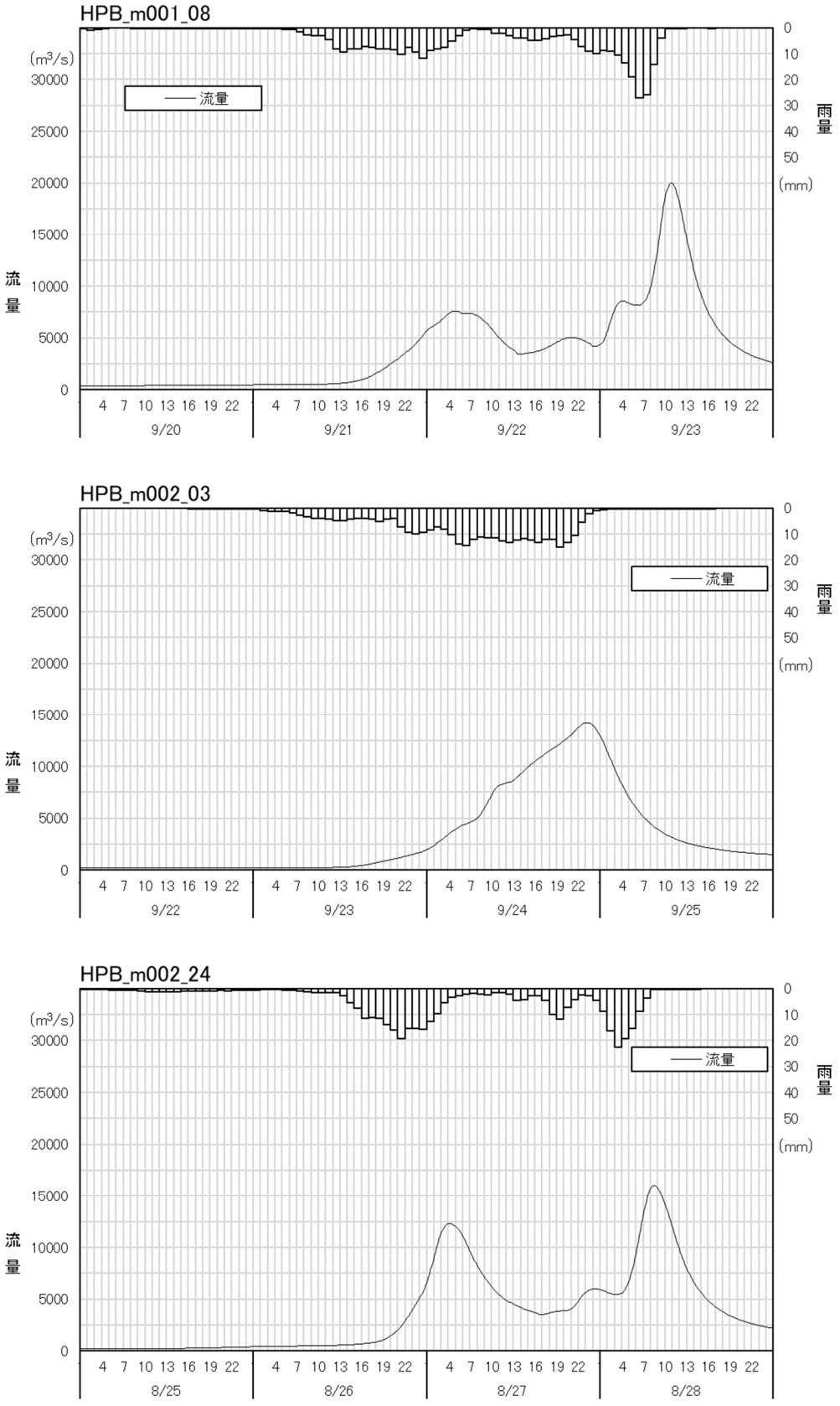



図 1.69　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地点八斗島）

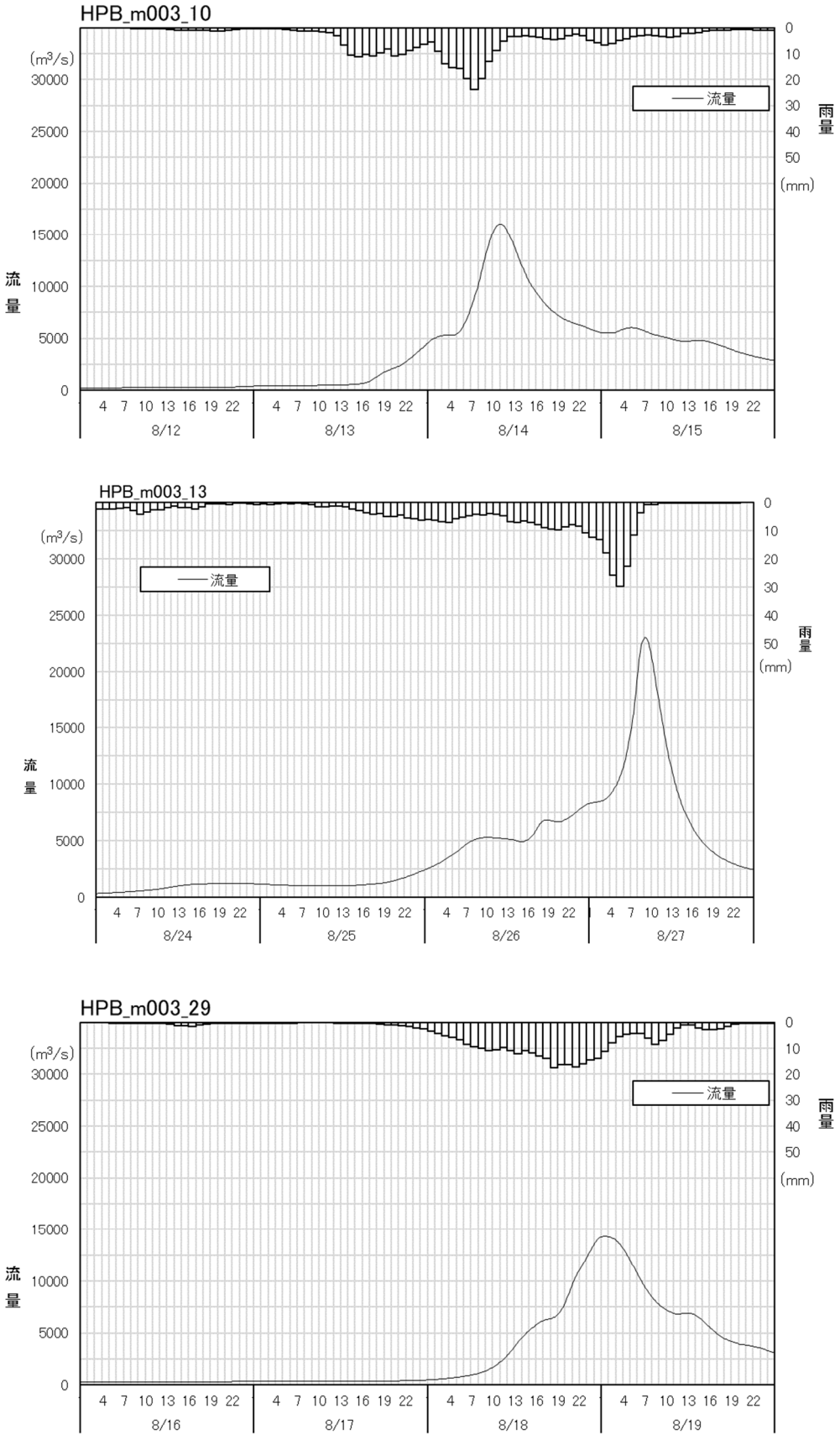



図 1.70　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地点八斗島）

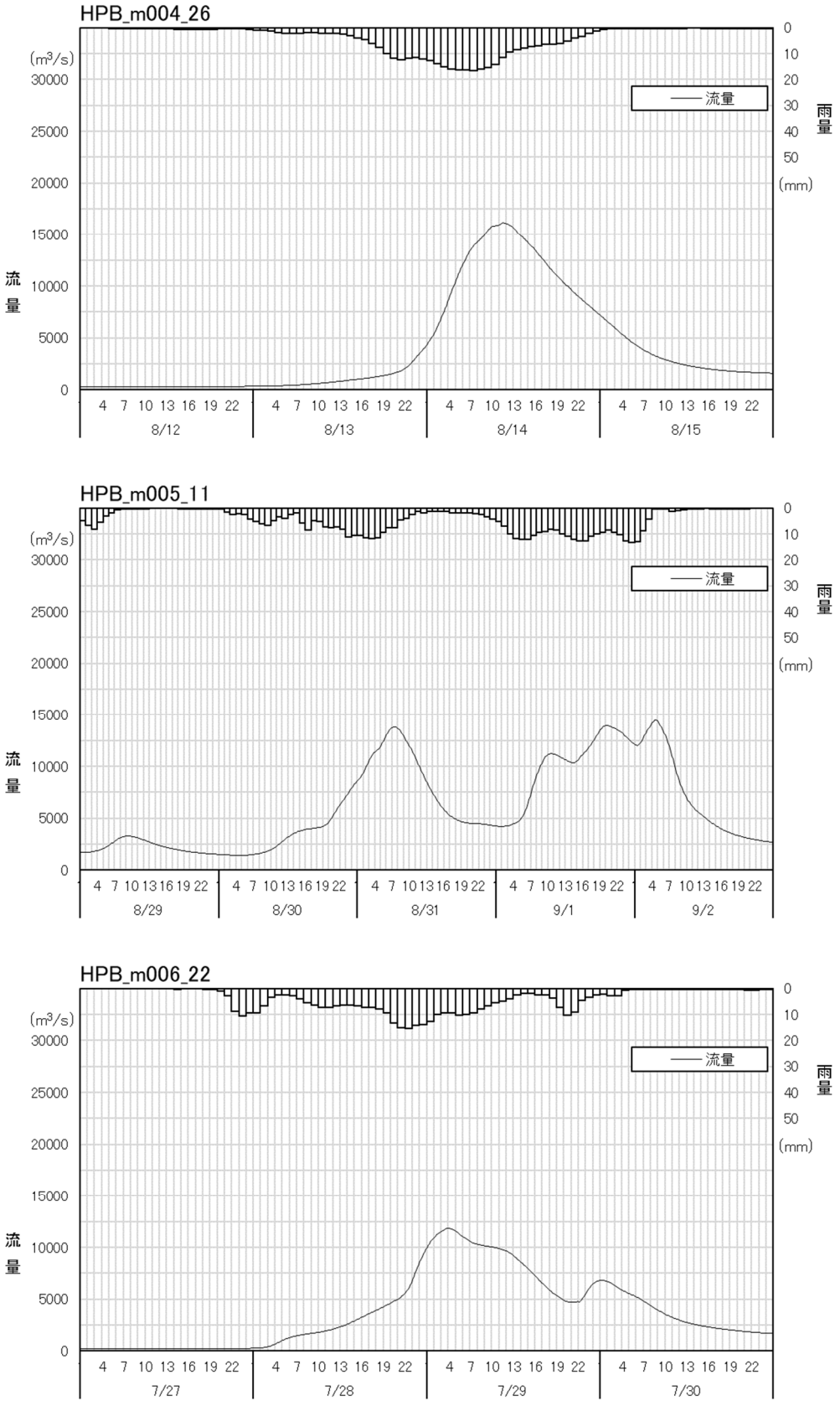



図 1.71　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地点八斗島）

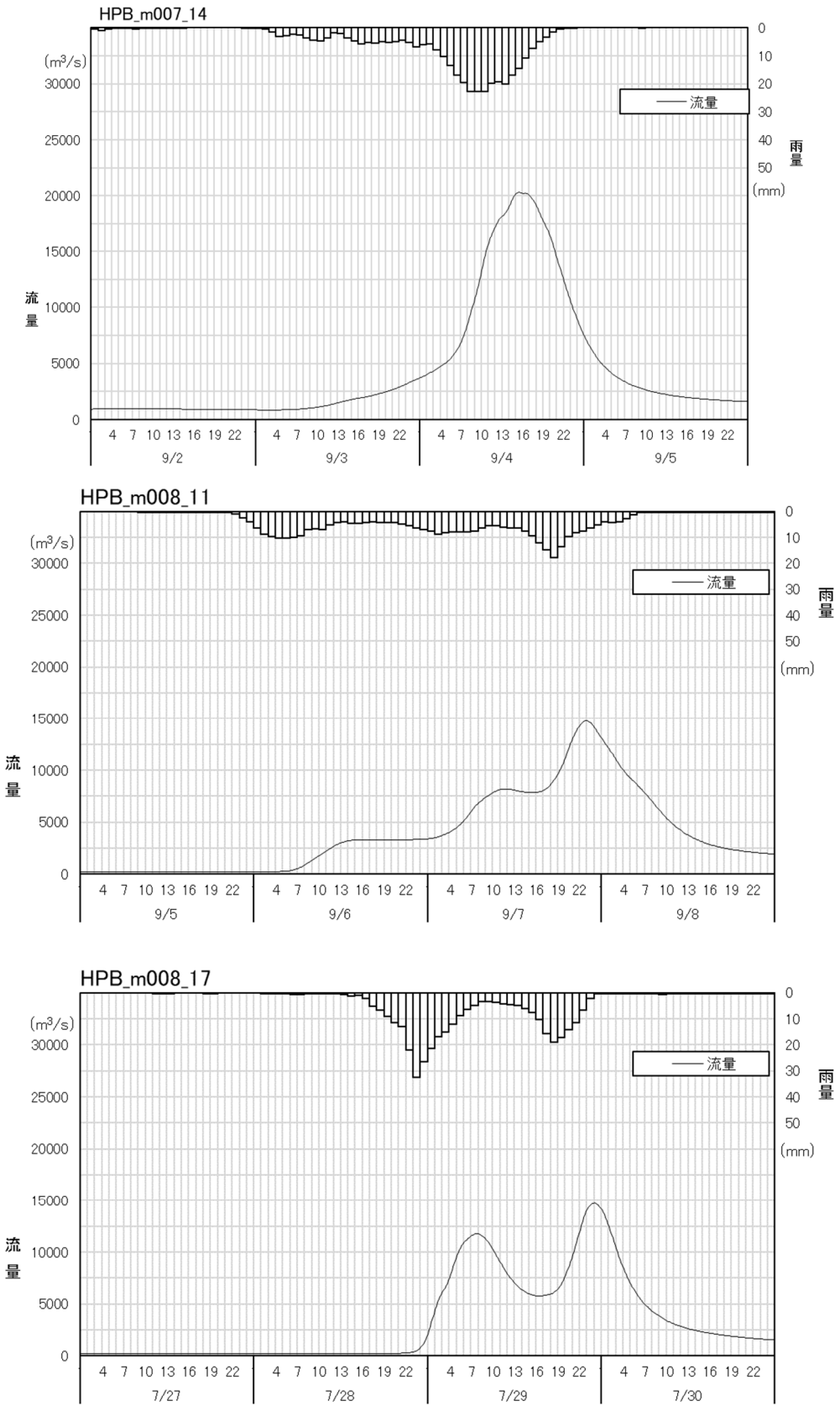



図 1.72　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地点八斗島）

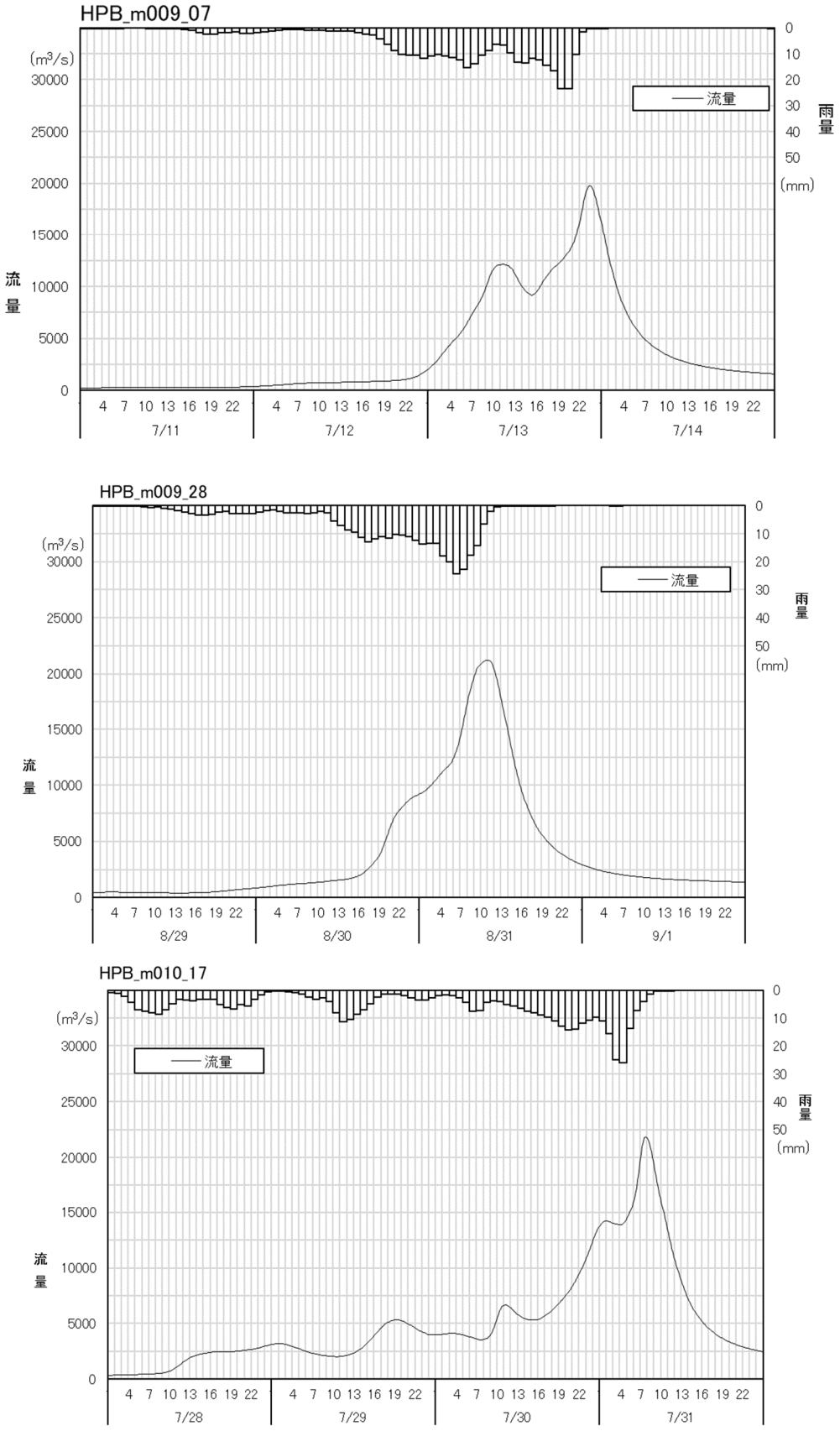



図 1.73　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地点八斗島）

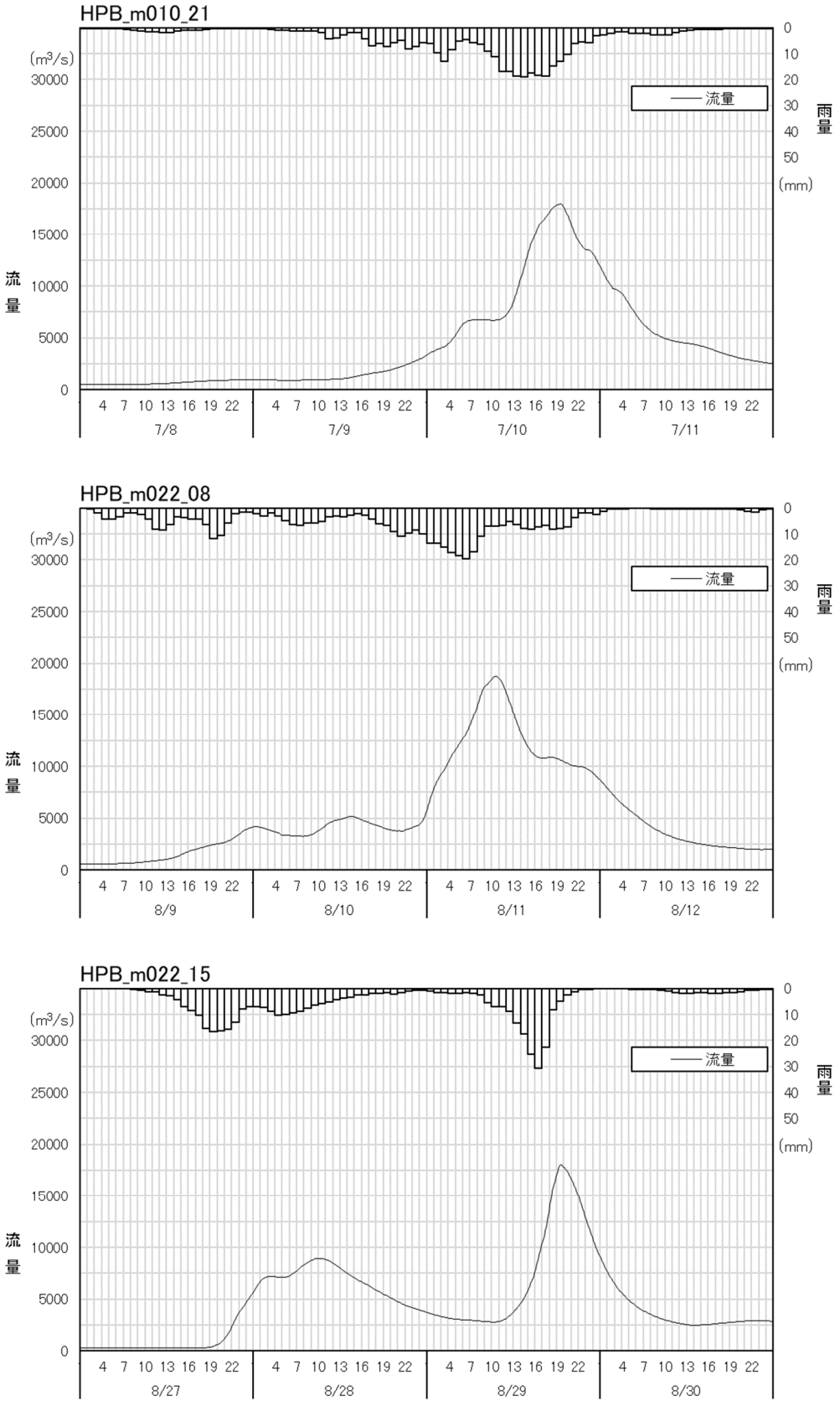



図 1.74　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地点八斗島）

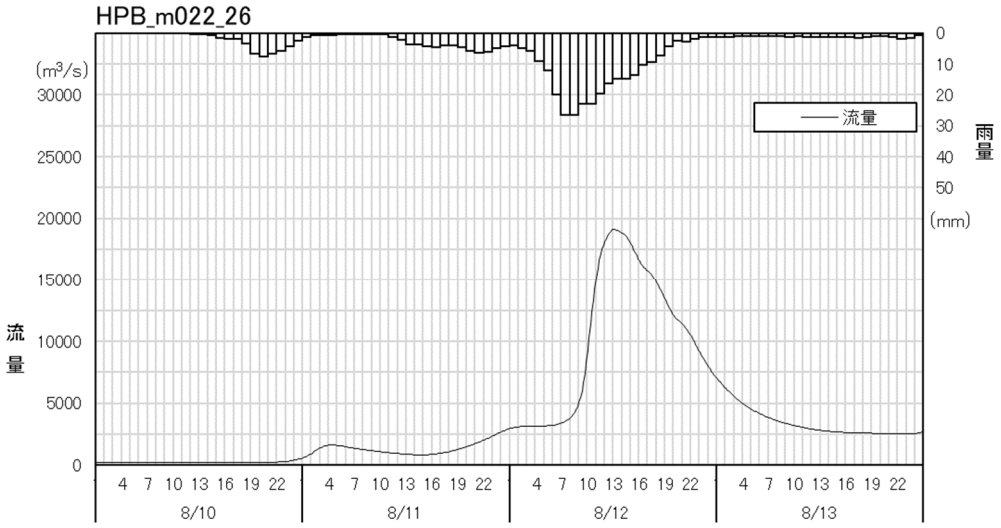



図 1.75　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地点八斗島）

### 2)　棄却された実績引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伸ばし降雨波形を、当該河川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。なお、小流域とは図 1.76 に示すとおりである。

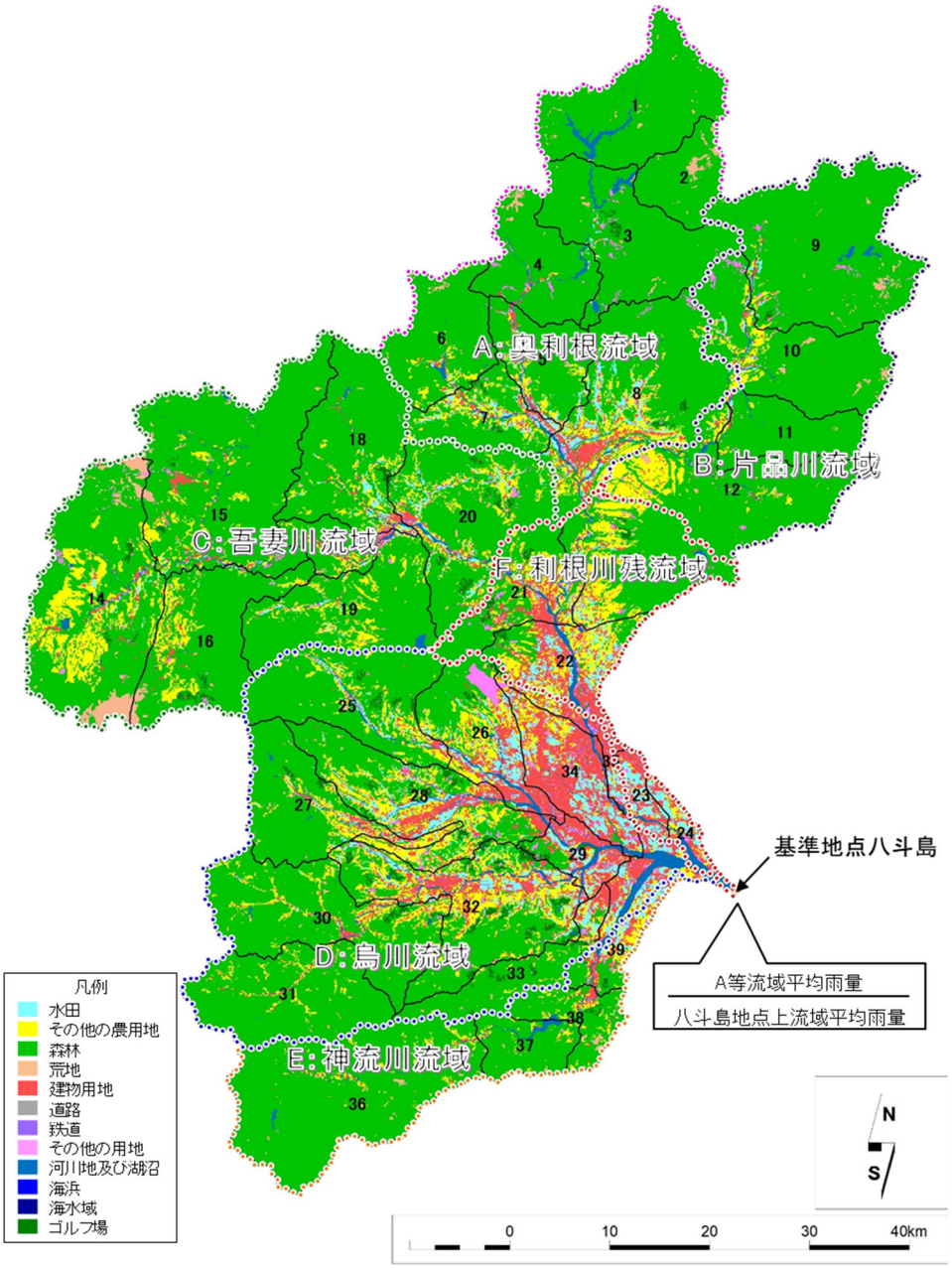

A:奥利根流域
B:片品川流域
C:吾妻川流域
F:利根川残流域
D:烏川流域
E:神流川流域
基準地点八斗島
A等流域平均雨量
八斗島地点上流域平均雨量
凡例
水田
その他の農用地
森林
荒地
建物用地
道路
鉄道
その他の用地
河川地及び湖沼
海浜
海水域
ゴルフ場
N
S
0
10
20
30
40km

図 1.76　流域分割図

### (1) 地域分布のチェック

d2PDF（将来気候）から計画規模の降雨量近傍（5 洪水）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）を求め、表 1.18 に一覧を示す。

棄却した引伸ばし降雨波形も同様に比率を求め、実績引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、生起し難いと言えないため参考波形として扱うこととする。結果は表 1.19 に示すとおりであり、地域分布により棄却した 6 洪水のうち S56.8 洪水、S58.8 洪水は参考波形として扱うこととする。

### (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（洪水到達時間やその 1/2 時間）の流域平均雨量/継続時間内の流域平均雨量）を求め、結果を表 1.20 に示す。

棄却した引伸ばし降雨波形も同様に比率を求め、実績引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、生起し難いと言えないため参考波形として扱うことする。結果は表 1.21 に示すとおりであり、時間分布により棄却した 3 洪水はアンサンブル予測降雨波形と比較しても生起し難いと判断し、棄却洪水とする。

表 1.18　雨量の比率（アンサンブル予測降雨波形）

| No | 洪水名 | 雨量 | | | | | | 比率 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 八斗島上流域48時間雨量 | 奥利根流域48時間 | 片品川流域48時間 | 吾妻川流域48時間 | 烏川流域48時間 | 神流川流域48時間 | 奥利根流域48時間 | 片品川流域48時間 | 吾妻川流域48時間 | 烏川流域48時間 | 神流川流域48時間 |
| 1 | HFB_2K_MP_m101 ① | 361.6 | 274.8 | 257.2 | 521.5 | 399.5 | 315.2 | 0.76 | 0.71 | 1.44 | 1.10 | 0.87 |
| 2 | HFB_2K_MP_m101 ② | 361.2 | 298.1 | 414.1 | 375.5 | 361.2 | 390.2 | 0.83 | 1.15 | 1.04 | 1.00 | 1.08 |
| 3 | HFB_2K_MP_m101 ③ | 383.8 | 298.3 | 351.2 | 420.0 | 435.8 | 375.6 | 0.78 | 0.92 | 1.09 | 1.14 | 0.98 |
| 4 | HFB_2K_MR_m101 | 343.7 | 304.7 | 451.4 | 326.6 | 329.3 | 268.2 | 0.89 | 1.31 | 0.95 | 0.96 | 0.78 |
| 5 | HFB_2K_MR_m105 | 341.9 | 283.8 | 336.8 | 412.6 | 341.6 | 299.3 | 0.83 | 0.99 | 1.21 | 1.00 | 0.88 |
| | | | | | | | 最大値 | 0.89 | 1.31 | 1.44 | 1.14 | 1.08 |

表 1.19　雨量の比率（棄却した引伸ばし降雨波形）

| No | 洪水名 | 雨量 | | | | | | 比率 | | | | | 判定 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 八斗島上流域48時間雨量 | 奥利根流域48時間 | 片品川流域48時間 | 吾妻川流域48時間 | 烏川流域48時間 | 神流川流域48時間 | 奥利根流域48時間 | 片品川流域48時間 | 吾妻川流域48時間 | 烏川流域48時間 | 神流川流域48時間 | |
| 1 | S24.8.29 | 325 | | 427.5 | | | | | 1.31 | | | | 棄却 |
| 2 | S56.8.21 | 325 | | | 420.3 | | | | | 1.29 | | | 参考波形 |
| 3 | S58.8.15 | 325 | | | 437.9 | | | | | 1.35 | | | 参考波形 |
| 4 | H11.8.13 | 325 | | | | 464.7 | 557.3 | | | | 1.43 | 1.71 | 棄却 |
| 5 | H14.7.9 | 325 | 327.9 | 378.6 | | | | 1.01 | 1.16 | | | | 棄却 |
| 6 | H19.9.5 | 325 | | | | 497.8 | | | | | 1.53 | | 棄却 |

表 1.20　雨量の比率（アンサンブル予測降雨波形）

| No | 洪水名 | 雨量 | | | 比率 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 八斗島上流域48時間雨量 | 八斗島上流域15時間 | 八斗島上流域24時間 | 八斗島上流域15時間 | 八斗島上流域24時間 |
| 1 | HFB_2K_MP_m101　① | 361.6 | 161.0 | 234.2 | 0.45 | 0.65 |
| 2 | HFB_2K_MP_m101　② | 361.2 | 166.4 | 246.1 | 0.46 | 0.68 |
| 3 | HFB_2K_MP_m101　③ | 383.8 | 144.0 | 200.4 | 0.38 | 0.52 |
| 4 | HFB_2K_MR_m101 | 343.7 | 215.0 | 285.9 | 0.63 | 0.83 |
| 5 | HFB_2K_MR_m105 | 341.9 | 248.3 | 310.8 | 0.73 | 0.91 |
| | | | | 最大値 | 0.73 | 0.91 |

表 1.21　雨量の比率（棄却した引伸ばし降雨波形）

| No | 洪水名 | 雨量 | | | 比率 | | 判定 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 八斗島上流域48時間雨量 | 八斗島上流域15時間 | 八斗島上流域24時間 | 八斗島上流域15時間 | 八斗島上流域24時間 | |
| 1 | S33.9.16 | 325 | 282.4 | | 0.87 | | 棄却 |
| 2 | H10.9.14 | 325 | 317.1 | 319.3 | 0.98 | 0.98 | 棄却 |
| 3 | R1.10.10 | 325 | 276.6 | | 0.85 | | 棄却 |

### 3) 主要降雨波形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主要降雨波形としてきたが、基本高水のピーク流量の設定に用いる主要降雨波形は、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。

利根川流域（八斗島地点上流域）では、アンサンブル予測降雨波形群を対象に、5 つのクラスターに分類した。

基準地点八斗島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、1、2、3 と評価された（表 1.22)。

主要降雨波形に含まれないクラスター4、 5 に該当する 2 洪水をアンサンブル予測降雨波形群の計画降雨量近傍から抽出し、気候変動を考慮した 1/200 確率規模の降雨量まで引伸ばして、流出計算モデルにより流出量を算出し基本高水のピーク流量の検討に用いることとした（表 1.23)。

なお、アンサンブル予測降雨波形群のクラスター分割には、アンサンブル予測降雨を対象に、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クラスターに分類し、図 1.77 の結果となり、出現頻度は図 1.78 に示すとおりである。

表 1.22　主要降雨波形のクラスター分析結果

| No | 洪水名 | 八斗島地点<br>48時間雨量<br>（mm） | 計画規模<br>降雨量<br>×1.1（mm/48h） | 引伸ばし率 | クラスター<br>分類 | 八斗島地点<br>ピーク流量<br>（$m^3/s$） |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | S20.10.3 | 176.0 | 358 | 2.03 | 3 | 12,300 |
| 2 | S22.9.13 | 306.6 | 358 | 1.17 | 3 | 26,000 |
| 3 | S23.9.14 | 204.3 | 358 | 1.75 | 3 | 23,900 |
| 4 | S34.8.12 | 207.3 | 358 | 1.72 | 3 | 18,200 |
| 5 | S57.7.31 | 207.4 | 358 | 1.72 | 1 | 20,000 |
| 6 | S57.9.10 | 199.0 | 358 | 1.80 | 1 | 23,800 |
| 7 | H13.9.9 | 224.9 | 358 | 1.59 | 2 | 10,300 |

表 1.23　主要降雨波形に不足する降雨波形

| No | 洪水名 | 八斗島地点 48時間雨量 (mm) | 計画規模 降雨量 ×1.1(mm/48h) | 引伸ばし率 | クラスター分類 | 八斗島地点 ピーク流量 ($m^3/s$) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | HFB_2K_MR_m101_08 | 295.5 | 358 | 1.21 | 4 | 10,700 |
| 2 | HFB_2K_MR_m105_17 | 267.1 | 358 | 1.34 | 5 | 12,400 |

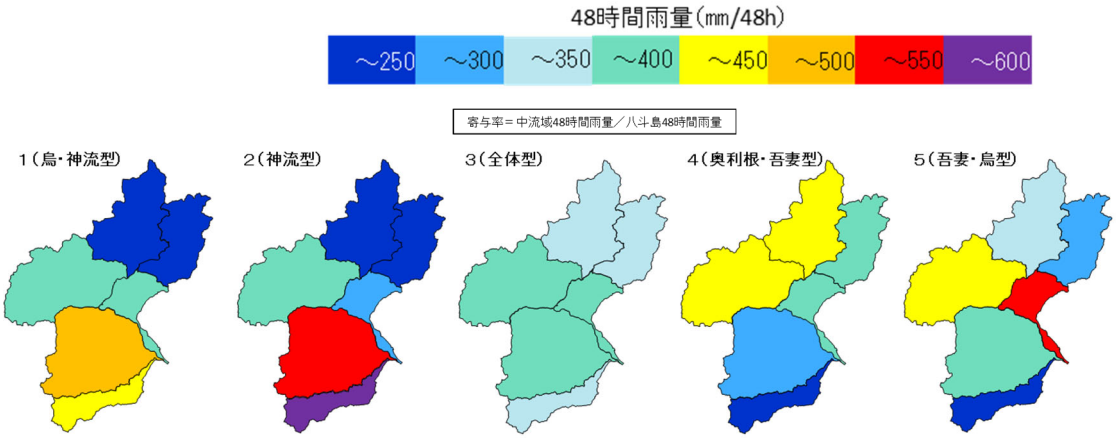



図 1.77　利根川流域における将来実験アンサンブル予測降雨のクラスター分類

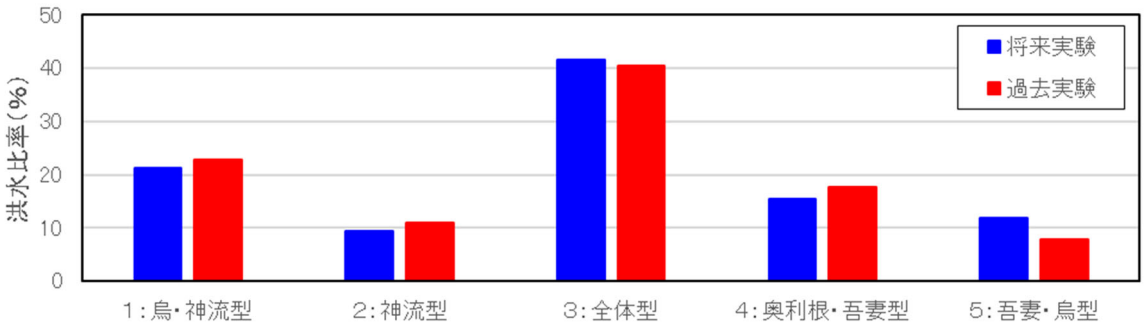



図 1.78　利根川流域におけるアンサンブル予測降雨の出現頻度

## 1-12　既往洪水による検討（利根川）

甚大な被害をもたらした昭和 22 年 9 月洪水（カスリーン台風）では、基準地点八斗島の実績流量（ダム・氾濫なしの流量）は約 21,100 ㎥/s と推定した。ハイエトグラフ及びハイドログラフを図 1.79 に示す。

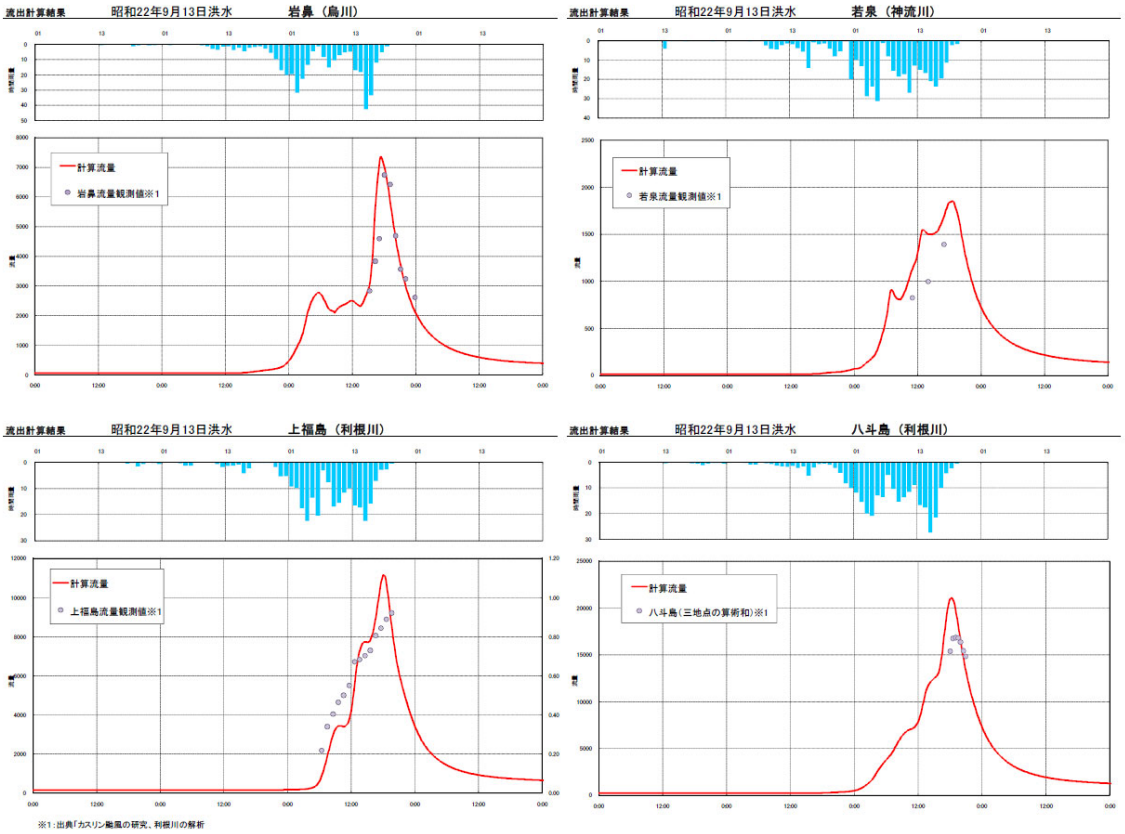
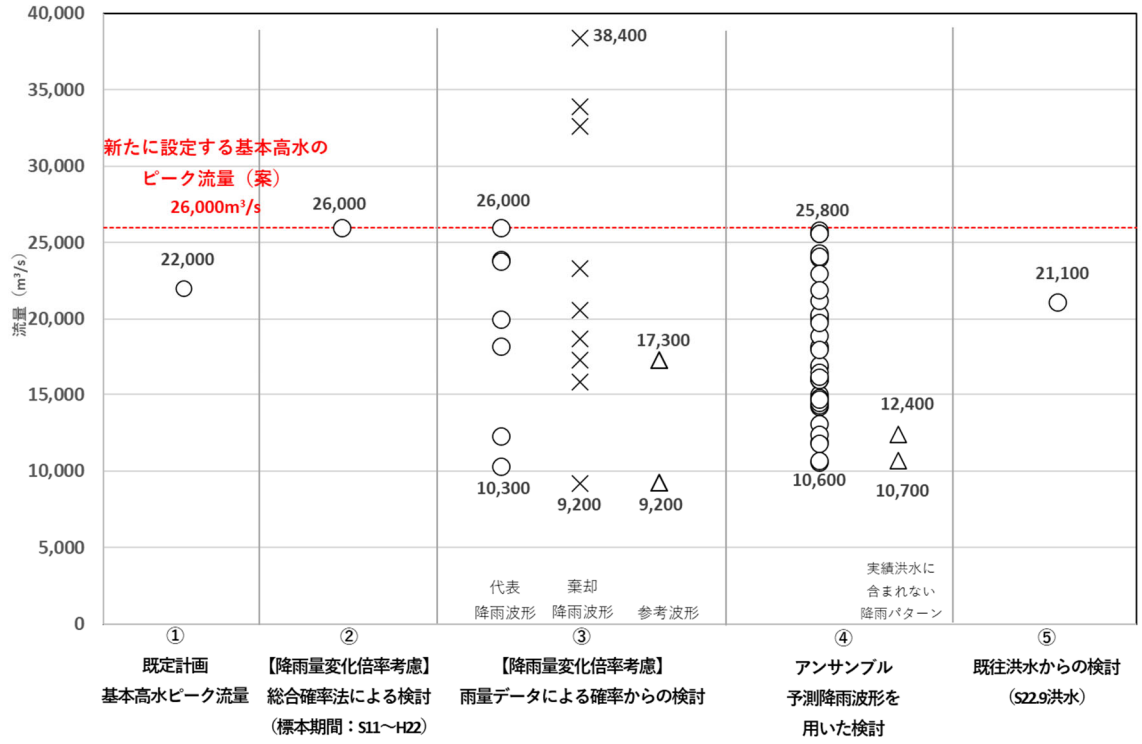



図 1.79　昭和 22 年 9 月洪水（カスリーン台風）の推定結果（基準地点八斗島）

## 1-13　総合的判断による基本高水のピーク流量の決定（利根川）

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、図 1.80 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、利根川における基本高水のピーク流量は、基準地点八斗島で 26,000 $m^3/s$ となった。




【凡例】

③雨量データによる確率からの検討：

降雨量変化倍率（2 ℃上昇時の降雨量の変化倍率 1.1 倍）を考慮した検討

○：年超過確率 1/5 以上、引伸ばし率 2 倍以下の洪水

×：時間・地域分布において著しい引伸ばしとなっている洪水

△：棄却洪水のうちアンサンブル予測降雨波形（将来・過去実験）の時空間分布から生起し難いと言えないと判断された洪水

④アンサンブル予測降雨波形を用いた検討：

将来・過去実験から様々な降雨パターンの検討

○：計画対象降雨の降雨量（358 mm/48 h）近傍の 40 洪水

△：主要降雨波形に含まれていないが、アンサンブル予測降雨波形から抽出した洪水

図 1.80　基本高水のピーク流量の設定に係る総合的判断（基準地点八斗島）

## 1-14　流出解析モデルの構築（渡良瀬川）

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、モデルの定数を同定した。また、国管理区間である 13.5 k から 56.0 k までを河道内の流下・貯留現象を詳細に表現するため、一次元不定流でモデル化した。

### 1)　モデルの概要

流出計算モデルの基礎式は次のとおりである。

#### (1)　流域の基礎式

$$\frac{ds}{dt} = f_{(t)} \bullet r_{(t)} - q_{(t+T_l)}$$

$$s_{(t)} = K \bullet q_{(t+T_l)}^{P}$$

$$q_{(t)} = \frac{3.6 \bullet Q_{(t)}}{A}$$

ただし、

$\sum r_{(t)} \leqq R_0$　　の場合　　$f_{(t)} = 0.0$

$R_0 < \sum r_{(t)} \leqq R_0 + R_{sa}$　　の場合　　$f_{(t)} = f_1$

$\sum r_{(t)} > R_0 + R_{sa}$　　の場合　　$f_{(t)} = 1.0$

ここで、

$$R_{sa} = \frac{R_{sum} - \frac{Q_{sum}}{1000 \bullet A}}{1 - f_1}$$

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

$$Q_{ca(t)} = \frac{q_{(t)} \bullet A}{3.6} + Q_{b(t)}$$

$s_{(t)}$：貯留高【mm】、$f_{(t)}$：流入係数【無次元】、

$r_{(t)}$：流域平均降雨強度【mm/h】*1、$q_{(t)}$：直接流出高【mm/h】、

$T_l$：遅滞時間【h】、$K$：定数、$P$：定数、$Q_{(t)}$：直接流出強度【$m^3/s$】、

$A$：流域面積【$km^2$】、$\sum r_{(t)}$：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】*2、

$Q_{sum}$：総直接流出量【$m^3$】、$f_1$：一次流出率【無次元】、

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

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

*2　降り始めからの雨量より初期損失雨量を控除したもの。

(2)　**河道の基礎式**

①　貯留関数法

$$S_{l(t)} = K \bullet Q_{l(t)}^{P} - T_l \bullet Q_{l(t)}$$

$$\frac{dS_{l(t)}}{dt} = I_{(t)} - Q_{l(t)}$$

$$Q_{l(t)} = Q_{(t+T_l)}$$

$S_{l(t)}$：みかけの貯留量【($m^3/s$)・h】、$Q_{l(t)}$：遅れ時間$T_l$を考慮した流出量【$m^3/s$】、

$Q_{(t)}$：流出量【$m^3/s$】、$I_{(t)}$：流入量【$m^3/s$】、$T_l$：遅滞時間【h】、$K$：定数、$P$：定数

②　一次元不定流計算

連続の式

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

運動方程式

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\int u^2 dA\right) + \mathrm{g}\, A \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{T_r}{\rho} = 0$$

$$\int u^2 dA = \beta U^2 A$$

$$U = \frac{1}{n} R^{2/3} I_b^{1/2}$$

$$\frac{T_r}{\rho} = \frac{\mathrm{g}\, U^2}{A^{1/3}} \cdot \left(\sum S_i \cdot n_i^{3/2}\right)^{4/3}$$

$A$：流れの断面積【$m^2$】、$x$：流下方向に沿った座標【m】、$H$：水位【m】、

$T_r$：単位長さの河道の河床に作用する力【N/m】

$u$：ある点での流速【m/s】、

$\rho$：水の密度【kg/m$^3$】、 $g$：重力加速度【m/s$^2$】、

$U$：断面平均流速【m/s】、

$I_b$：河床勾配、$R(=A/S)$：径深【m】、

$S_i$：同一の粗度を有する i 番目の潤辺部の長さ【m】、

$n_i$：潤辺部での粗度係数【m$^{-1/3}$s】、$t$：時間【s】

**2) 流域及び河道分割**

流域分割は渡良瀬川 13 分割とし、河道分割は国管理区間よりも上流の本川及び規模の大きな支川（桐生川、旗川、秋山川）を分割することとした。なお、渡良瀬川は集積した市街地を流下する重要な河川であることから河道の流下状況をより詳細に把握する必要があるため、国管理区間の河道は一次元不定流計算モデルとした。

流域分割図、流出計算モデル模式図、貯留関数における流域・河道モデル分割諸元を図 1.81、図 1.82、表 1.24、表 1.25 に示す。

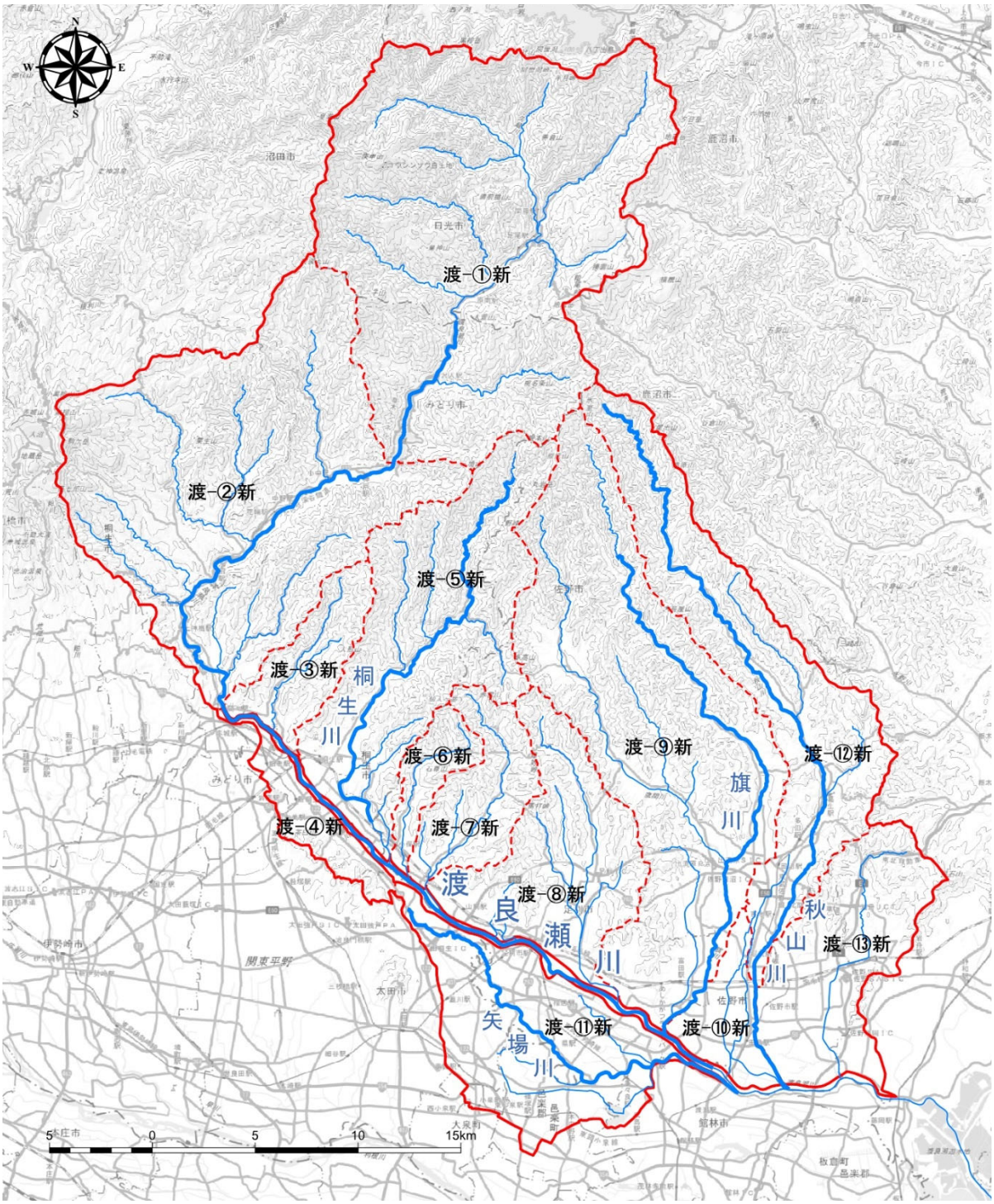

渡-①新
渡-②新
渡-③新
渡-④新
渡-⑤新
渡-⑥新
渡-⑦新
渡-⑧新
渡-⑨新
渡-⑩新
渡-⑪新
渡-⑫新
渡-⑬新
桐生川
旗川
渡良瀬川
秋山川
矢場川
N
S
W
E
0
5
10
15km

図 1.81　流域分割図

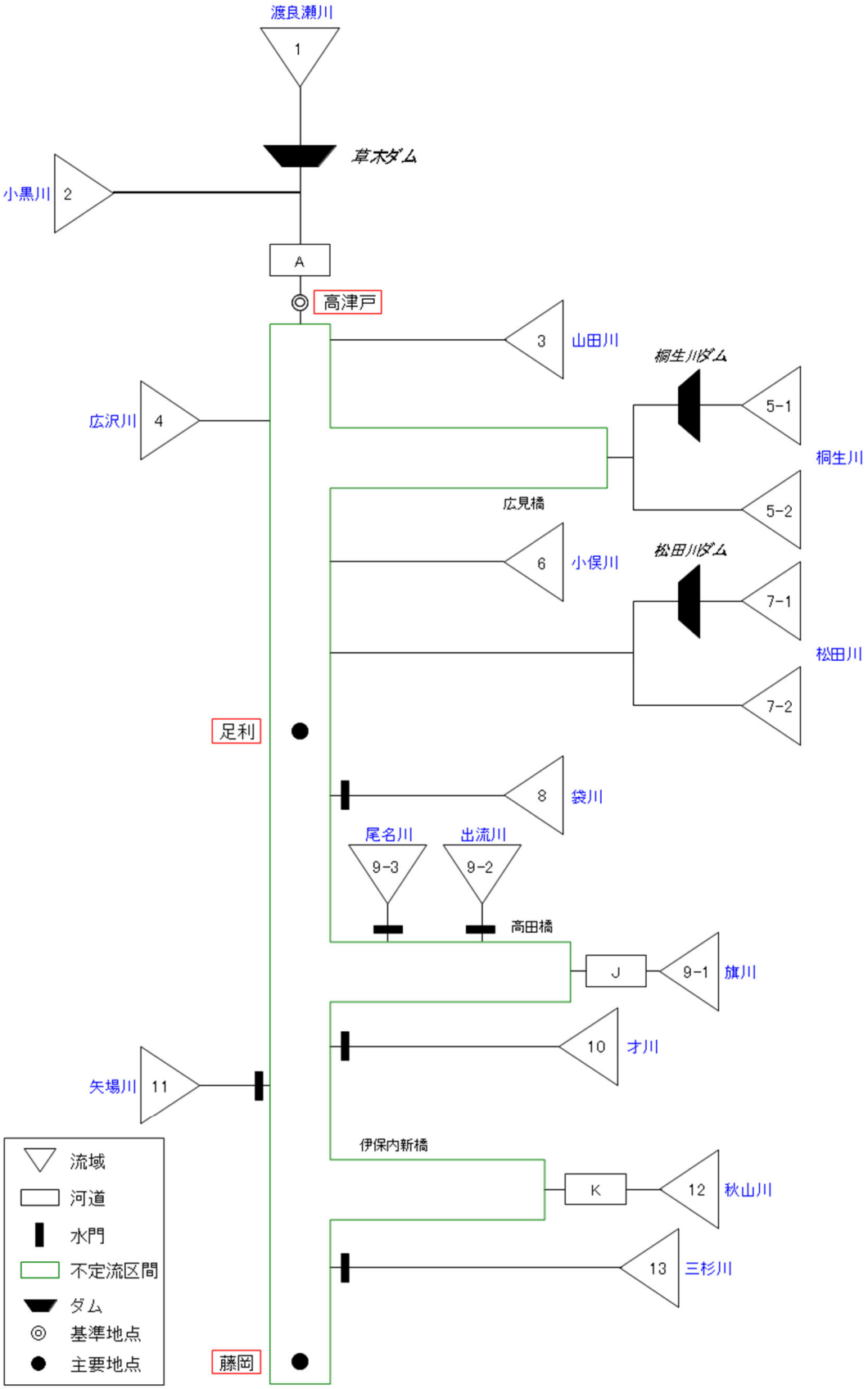



図 1.82　流出計算モデル模式図

表 1.24　流域・河道モデル分割諸元（渡良瀬川　流域分割）

| 流域 | 流域面積(km2) |
|---|---|
| 渡-①新 | 255.47 |
| 渡-②新 | 215.59 |
| 渡-③新 | 27.36 |
| 渡-④新 | 18.18 |
| 渡-⑤新 | 114.08 |
| 渡-⑥新 | 14.99 |
| 渡-⑦新 | 33.45 |
| 渡-⑧新 | 69.56 |
| 渡-⑨新 | 185.44 |
| 渡-⑩新 | 20.27 |
| 渡-⑪新 | 79.78 |
| 渡-⑫新 | 109.05 |
| 渡-⑬新 | 66.95 |

表 1.25　流域・河道モデル分割諸元（渡良瀬川　河道）

| 河道No. | 区間 |
|---|---|
| A | 渡良瀬川(草木ダム～高津戸) |
| J | 旗川 |
| K | 秋山川 |

### 3) 定数の設定

#### (1) 流域定数の設定

① 定数設定の考え方

各流域定数（$K$、$P$、$T_l$、$f_1$、$R_{sa}$）の設定に当たっては、昭和 53 年（1978 年）～平成 19 年（2007 年）のデータの中から、基準地点高津戸の流量が比較的大きい洪水を用いて設定した。

② 流域定数解析洪水

定数設定に当たっては、昭和 53 年（1978 年）～平成 27 年（2015 年）で基準地点高津戸の基準地点高津戸の年最高水位の平均値に相当する 2.52 m を上回る 25 洪水について検証の対象とし、表 1.26 に洪水の一覧を示す。

表 1.26　流域定数解析洪水

| No. | 洪水名 | 基準地点高津戸ピーク水位（m） | No. | 洪水名 | 基準地点高津戸ピーク水位（m） | No. | 洪水名 | 基準地点高津戸ピーク水位（m） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | S54.10 | 3.20 | 11 | H3.8.29 | 2.85 | 21 | H19.9 | 3.45 |
| 2 | S56.8 | 3.35 | 12 | H3.9 | 2.94 | 22 | H23.9 | 3.69 |
| 3 | S57.7 | 3.80 | 13 | H6.9 | 2.62 | 23 | H24.6 | 3.56 |
| 4 | S57.9 | 3.63 | 14 | H9.6 | 2.85 | 24 | H25.9 | 3.46 |
| 5 | S58.9 | 3.02 | 15 | H10.8 | 2.89 | 25 | H27.9 | 3.42 |
| 6 | S60.6 | 3.31 | 16 | H10.9 | 3.83 | | | |
| 7 | H1.8 | 2.82 | 17 | H13.8 | 3.82 | | | |
| 8 | H2.8 | 3.52 | 18 | H13.9 | 4.19 | | | |
| 9 | H2.9 | 3.60 | 19 | H14.7 | 4.03 | | | |
| 10 | H3.8.19 | 3.53 | 20 | H15.8 | 2.99 | | | |

出典：水文水質データベース

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、流域定数解析洪水毎に流域定数の解析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。この成分分離の概念を図 1.83 に示し、各洪水における成分分離の事例を図 1.84 から図 1.89 に示す。

成分分離については、ハイドログラフの低減部を片対数紙に描き、2 本または 3 本の直線で近似する。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、洪水の終わりから 1 つ目の折れ点を直接流出の終了地点とした。

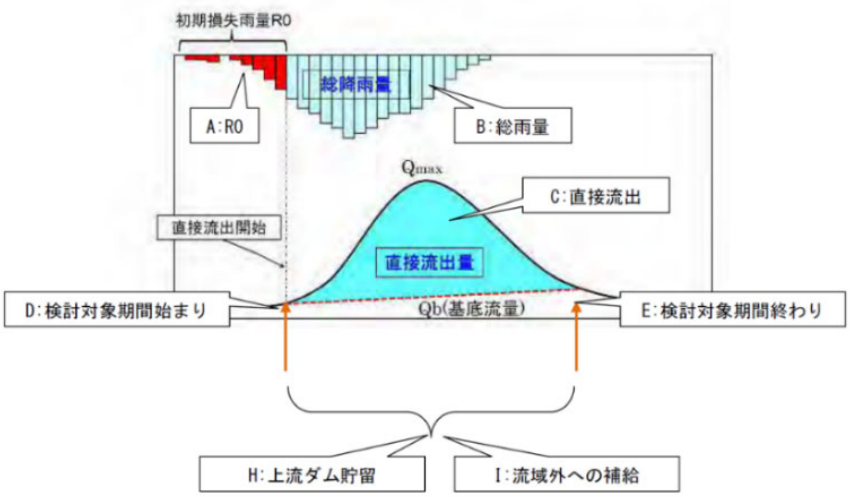



図 1.83　成分分離概念図

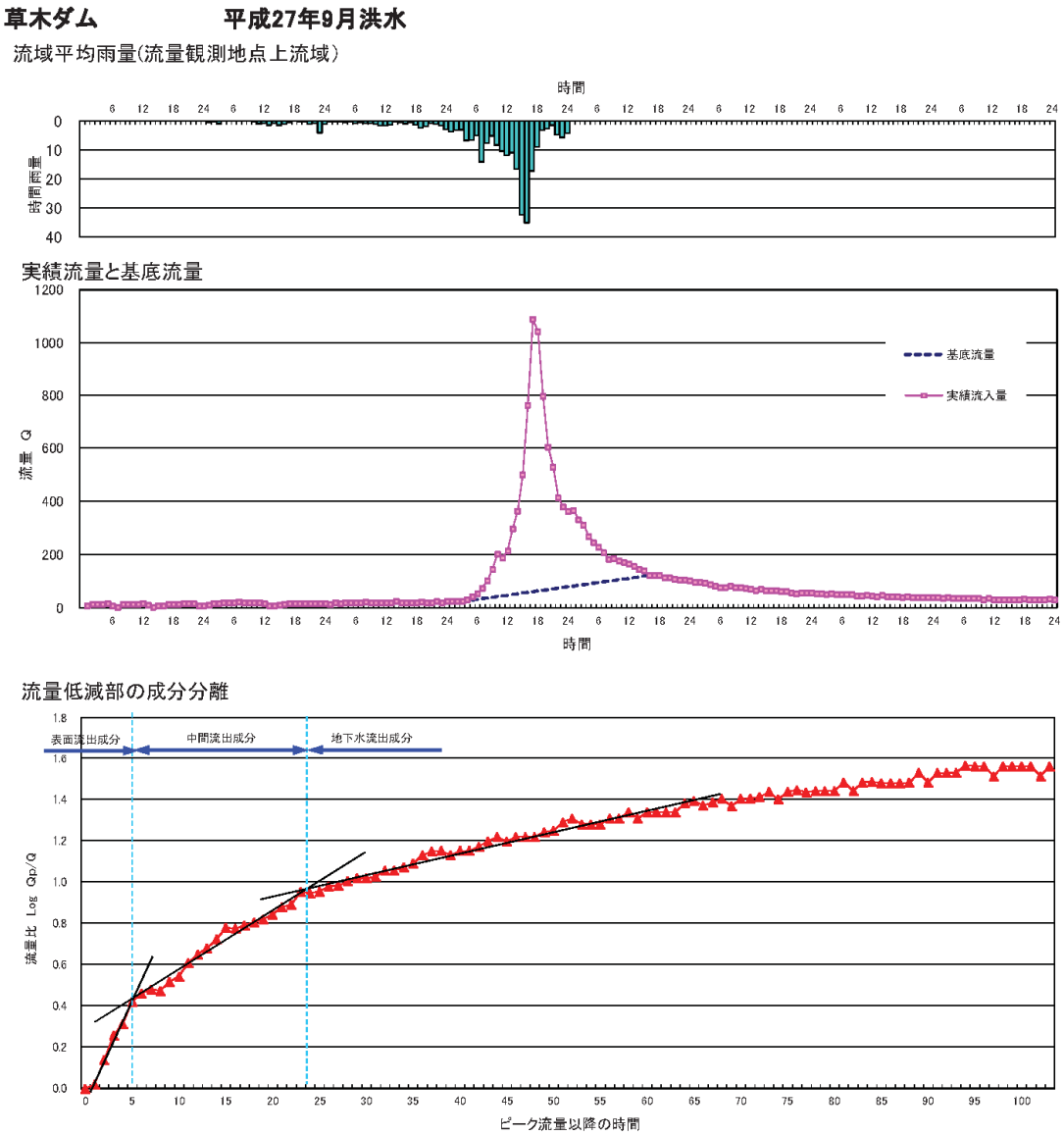
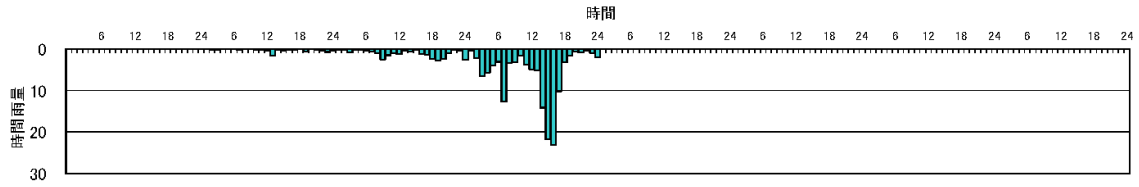


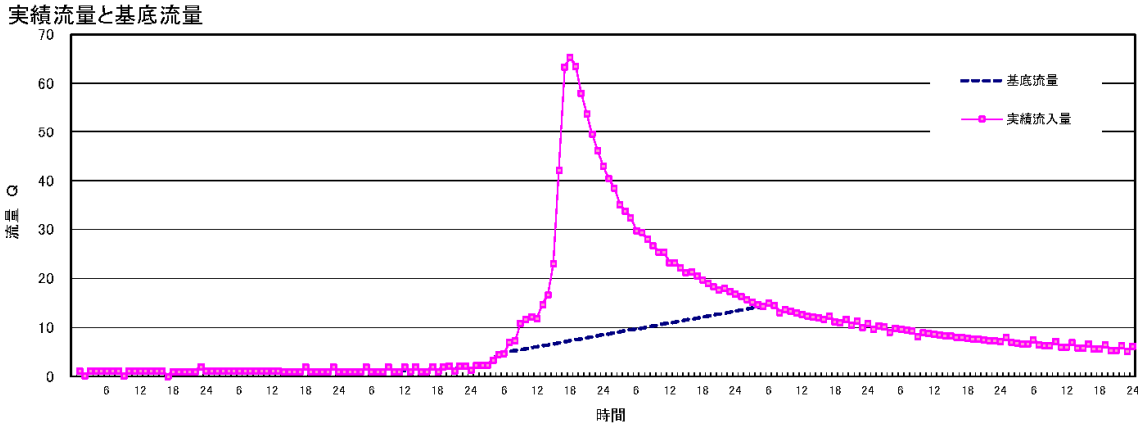

図 1.84　成分分離の事例（H27.9 洪水）

**桐生川ダム　　平成27年9月洪水**

流域平均雨量(流量観測地点上流域)




実績流量と基底流量




流量低減部の成分分離

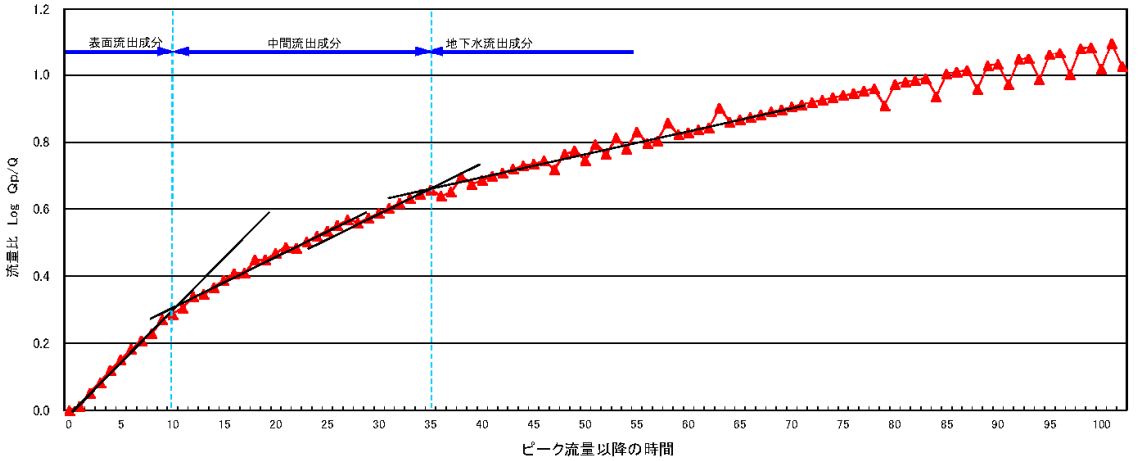



図 1.85　成分分離の事例（H27.9 洪水）

**松田川ダム　　平成27年9月洪水**

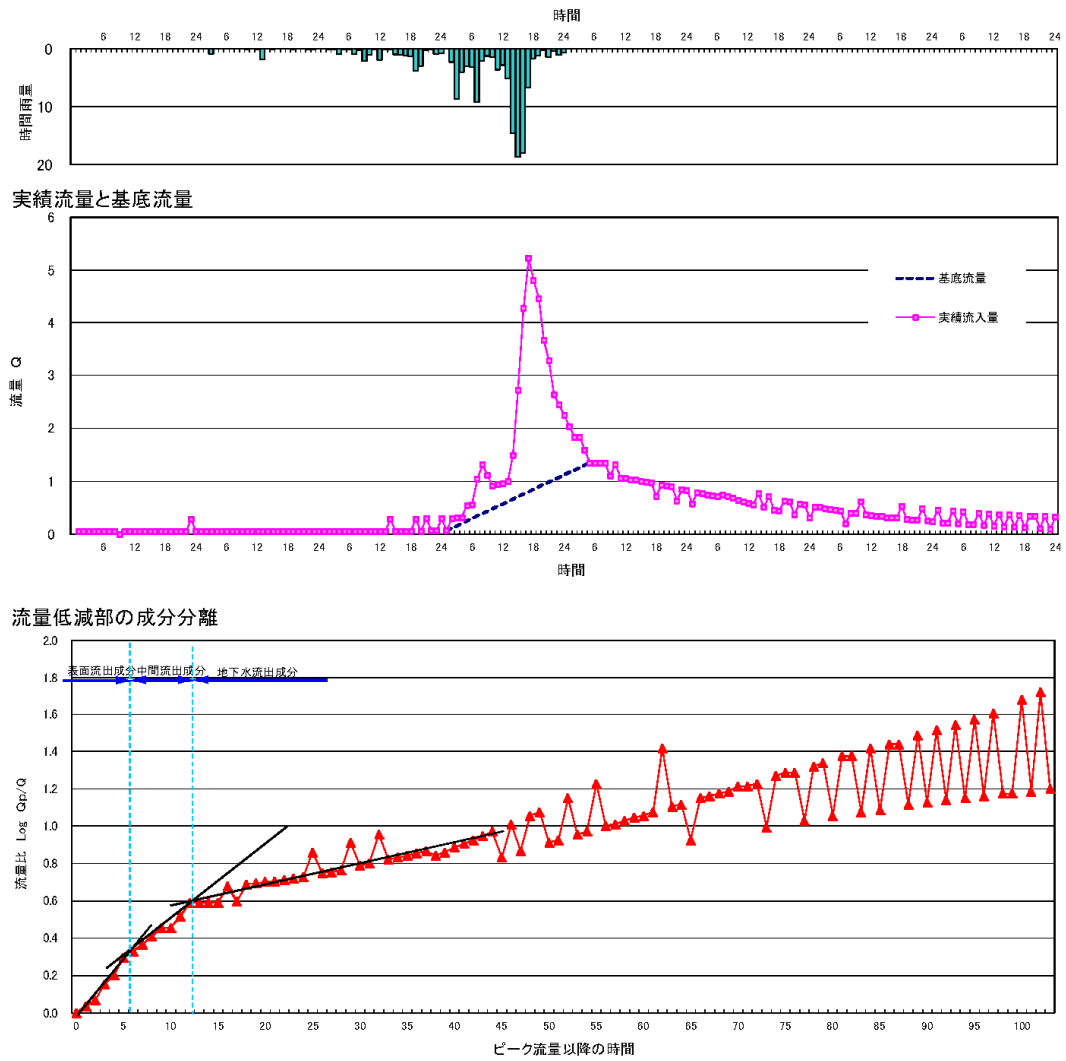
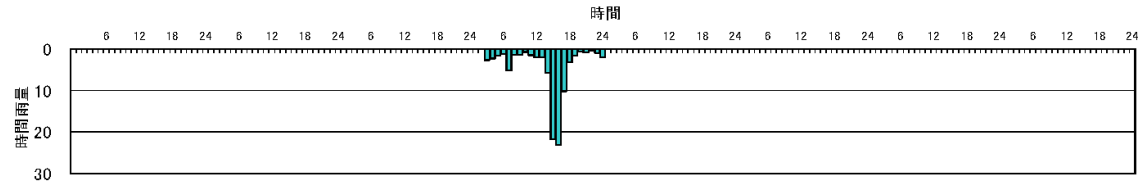


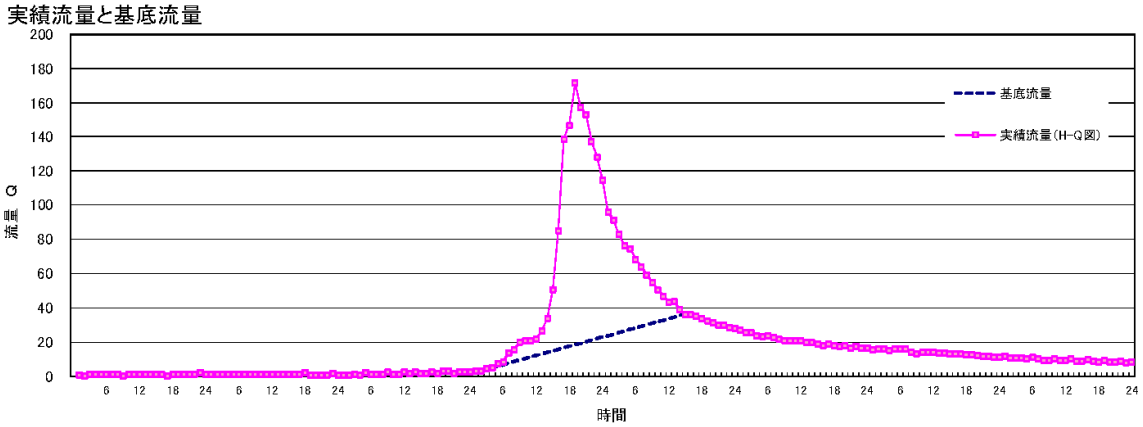

図 1.86　成分分離の事例（H27.9 洪水）

**広見橋　　平成27年9月洪水**

流域平均雨量(流量観測地点上流域)




実績流量と基底流量




流量低減部の成分分離

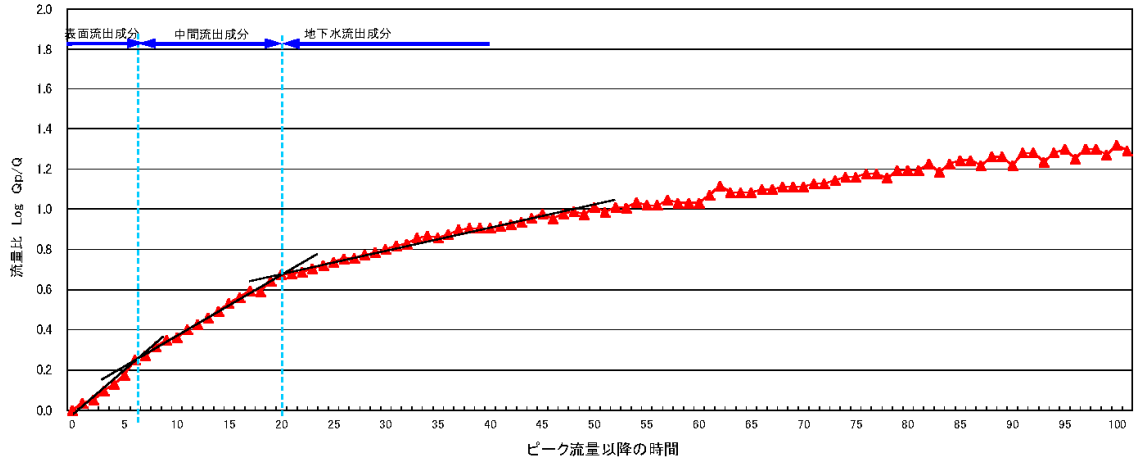



図 1.87　成分分離の事例（H27.9 洪水）

**高津戸ダム　　平成27年9月洪水**

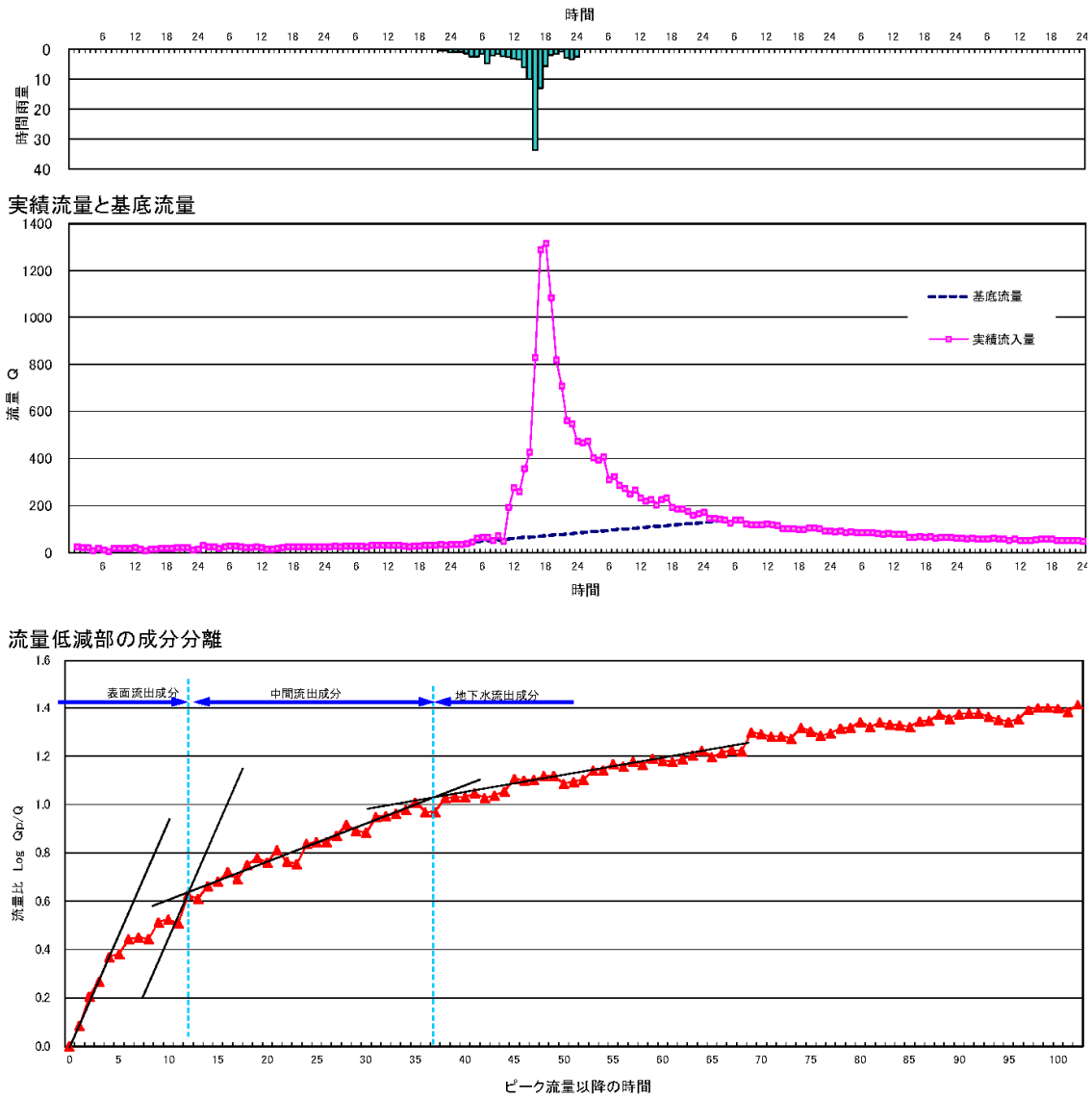



図 1.88　成分分離の事例（H27.9 洪水）

**高田橋　　平成27年9月洪水**

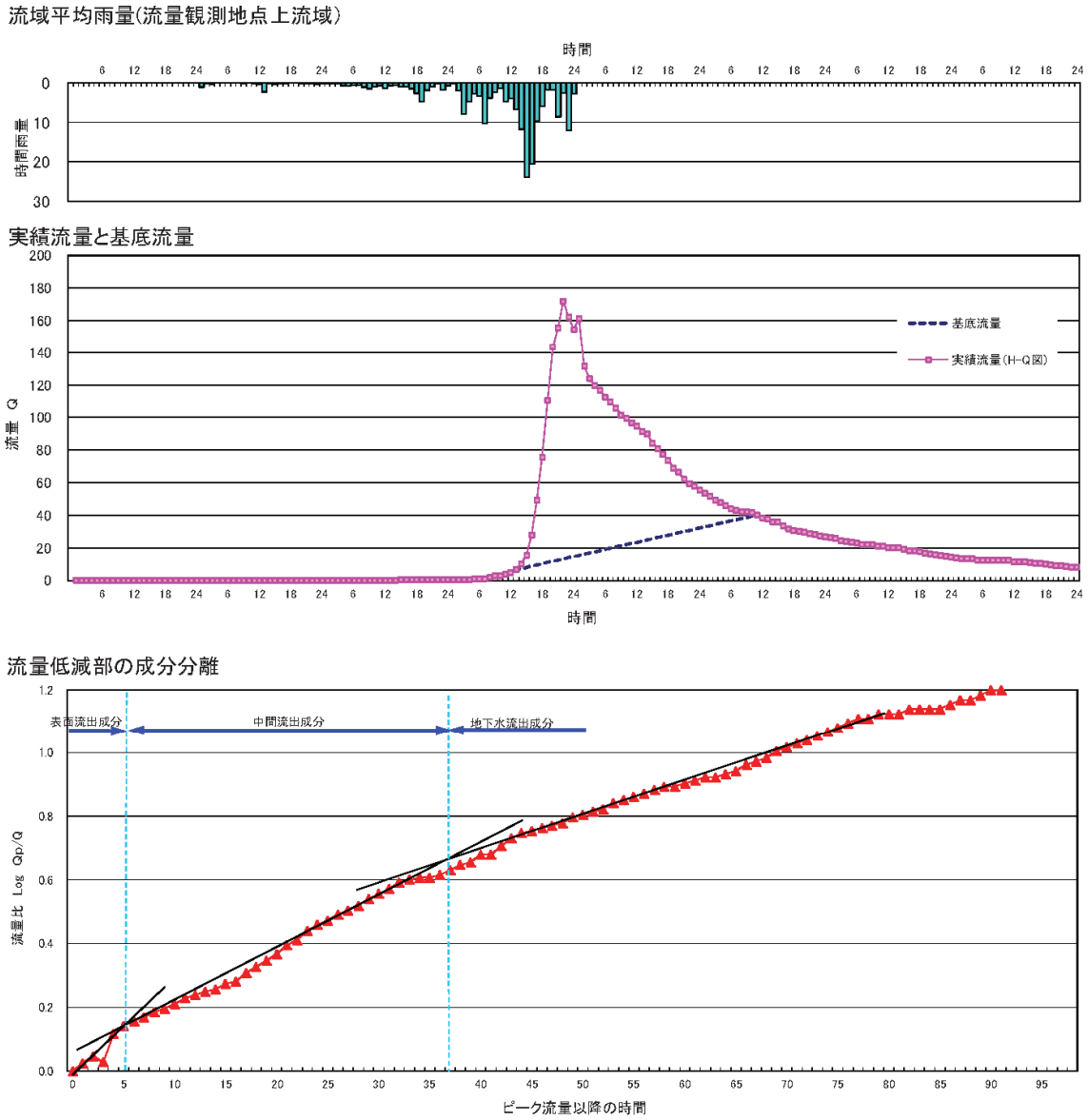



図 1.89　成分分離の事例（H27.9 洪水）

④　初期損失雨量の設定

初期損失雨量は、$f_1$等解析地点を選定して、流域定数解析洪水毎に初期損失雨量を求めた。具体的には、$f_1$等解析地点の上流域における流域平均時間雨量のハイエトグラフにおいて、直接流出開始以前の時間雨量の和を求めて当該地点の初期損失雨量とした。

$f_1$等解析地点（6 地点）

- 分割した小流域の下流端となる流量観測所（4 観測所）のうち、流域定数解析洪水のデータについて、$f_1$、$R_{sa}$の解析が可能なデータが存在する流量観測所地点： 広見橋、高田橋
- 分割した小流域の下流端となる既設ダム地点：草木ダム
- 流域定数解析洪水のデータについて、$f_1$、$R_{sa}$の解析が可能なデータが存在する県管理ダム地点：高津戸ダム、桐生川ダム、松田川ダム

各小流域の初期損失雨量は、流域定数解析洪水毎に設定することとし、$f_1$ 等解析地点のうち、河川毎に源流に最も近い 3 地点あり、この上流にある 3 小流域については、最上流地点で求めた当該洪水における初期損失雨量を、当該最上流地点の上流にある小流域の初期損失雨量とした。その他の 10 小流域については、中流域毎に当該中流域に含まれるすべての $f_1$ 等解析地点の当該洪水における初期損失雨量の平均値を求め、当該中流域に属する小流域の初期損失雨量とした。

なお、中流域は、高津戸上流域、高津戸下流域の 2 つの小流域に分けた。中流域の分割図を図 1.90 に示す。

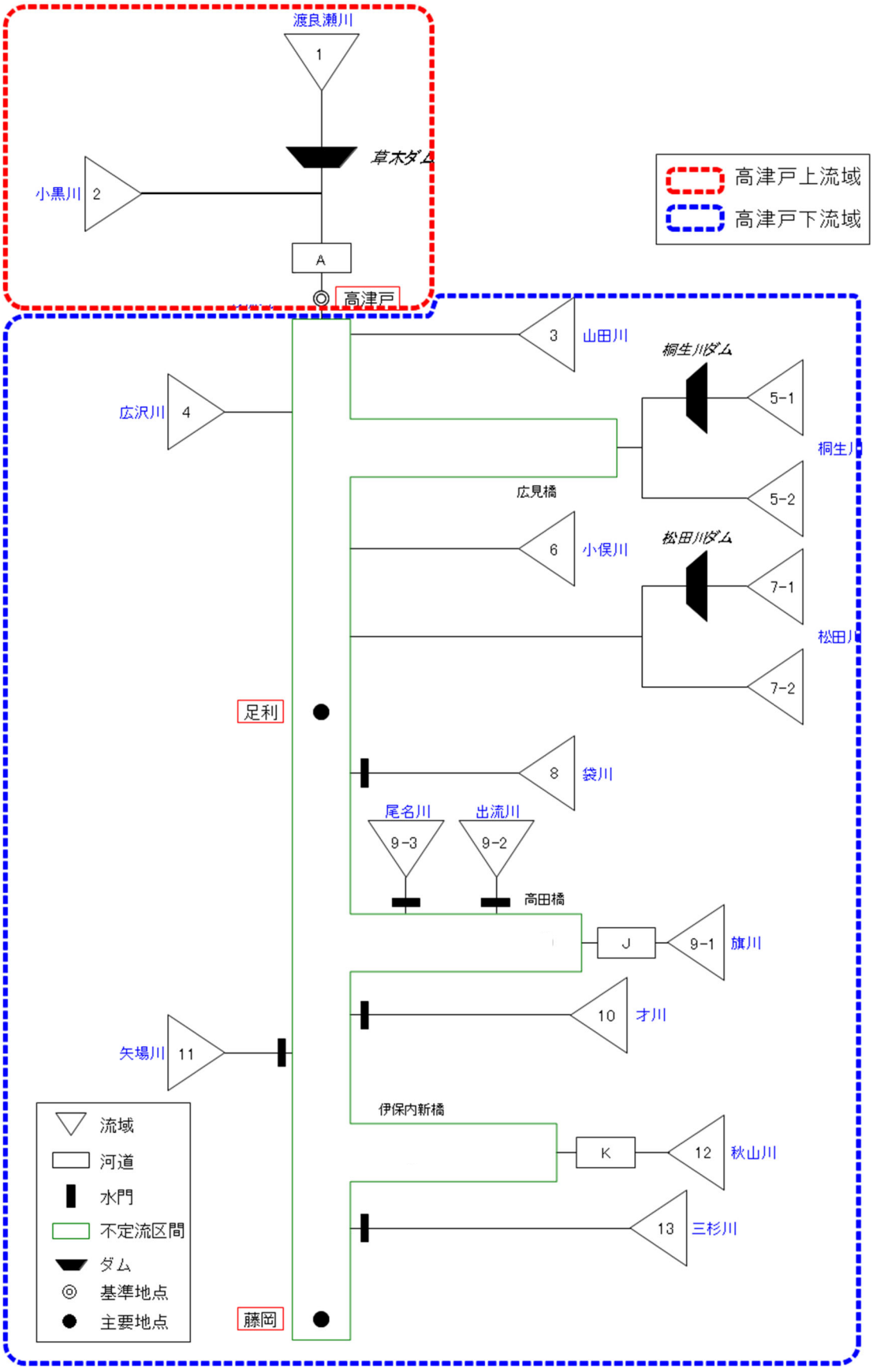

渡良瀬川
1
草木ダム
小黒川
2
A
高津戸
高津戸上流域
高津戸下流域
3
山田川
桐生川ダム
5-1
桐生川
広沢川
4
広見橋
5-2
6
小俣川
松田川ダム
7-1
松田川
7-2
足利
8
袋川
尾名川
9-3
出流川
9-2
高田橋
J
9-1
旗川
10
才川
矢場川
11
伊保内新橋
K
12
秋山川
13
三杉川
藤岡
流域
河道
水門
不定流区間
ダム
基準地点
主要地点

図 1.90　中流域分割図

⑤ $f_1$、$R_{sa}$の設定

各小流域の$f_1$は、当該小流域が属する中流域の$f_1$とすることとし、中流域毎に$f_1$を求めた。具体的には、中流域毎に、当該中流域に含まれるすべての$f_1$等解析地点におけるすべての流域定数解析洪水の総降雨量$R_{sum}$と総直接流出高$q_{sum}$（【mm】$=\frac{Q_{sum}}{1000 \bullet A}$）を1つの図（X軸：$R_{sum}$、Y軸：$q_{sum}$）にプロットし、ある$R_{sa}$を仮定して、総降雨量が$R_{sa}$より小さい点群について、その座標と原点を結ぶ直線の傾きの平均値を$f_1$としたときに、総降雨量が$R_{sa}$より大きい点群について、総降雨量と総直接流出高の差の平均値が$R_{sa} \bullet (1-f_1)$となることを満足するよう、$R_{sa}$を変化させて求めた。なお、この$R_{sa}$を当該中流域の『平均的な$R_{sa}$』とし、この結果を表 1.27　、プロットした図を図 1.91 に示す。また、洪水毎に実績の総降雨量と総直接流出高を求めることができる場合は、『洪水毎の$R_{sa}$』を求めた。

具体的には、当該地点を含む中流域の$R_{sum}-q_{sum}$図において、当該地点の当該洪水のプロットを通るように傾きが 1.0 の直線を引き、この直線と、原点を通る傾きが$f_1$の直線との交点の X 座標を、当該地点の洪水毎の$R_{sa}$とした。

各小流域の$R_{sa}$の設定に当たっては、流域定数解析洪水毎に設定することとし、最上流地点の上流にある 3 小流域については、各最上流地点で求めた当該洪水における洪水毎の$R_{sa}$を、当該最上流地点の上流にある小流域の$R_{sa}$とした。その他の 10 小流域については、中流域毎に、当該中流域に含まれるすべての最上流地点の当該洪水における洪水毎の$R_{sa}$の平均値を求め、当該中流域に属する小流域の$R_{sa}$とした。

表 1.27　計画$f_1$、$R_{sa}$設定結果

| 中流域 | 地点 | 一次損失雨量 | |
|---|---|---|---|
| | | $f_1$ | $R_{sa}$ |
| 高津戸上流 | 高津戸、草木ダム | 0.500 | 210 |
| 高津戸下流 | 広見橋、高田橋、桐生川ダム、松田川ダム | 0.500 | 140 |

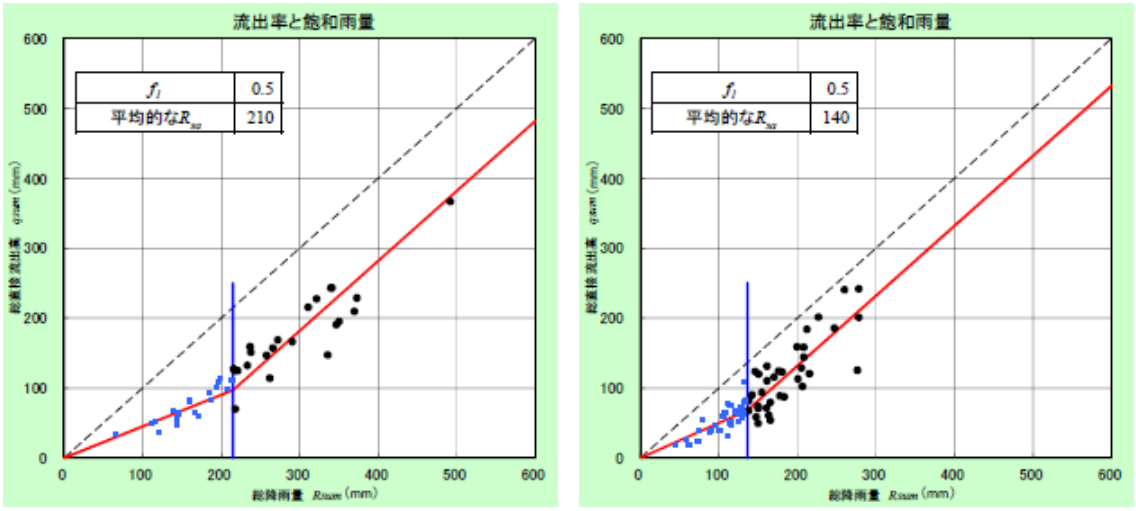



図 1.91　各洪水の総降雨量と総直接流出高の関係

（左：高津戸上流域、右：高津戸下流域）

⑥　小流域毎の有効降雨

小流域毎の有効降雨は、小流域毎の流域平均時間雨量と$f_{(t)}$から、次式により求めることができる。

$$re_{(t)} = f_{(t)} \cdot r_{(t)}$$

$re_{(t)}$：流域平均有効降雨強度【mm/h】、$f_{(t)}$：流入係数【無次元】

$r_{(t)}$：流域平均降雨強度【mm/h】*1

*1　雨量観測所の観測雨量からティーセン法により求めた流域平均時間雨量。初期損失分も含む。

ここで、$R_{sa}$には初期損失雨量$R_0$が含まれないことに留意し$f_{(t)}$は次のとおりである。

| | | |
|---|---|---|
| $\sum r_{(t)} \leqq R_0$ | の場合 | $f_{(t)} = 0.0$ |
| $R_0 < \sum r_{(t)} \leqq R_0 + R_{sa}$ | の場合 | $f_{(t)} = f_1$ |
| $\sum r_{(t)} > R_0 + R_{sa}$ | の場合 | $f_{(t)} = 1.0$ |

⑦ K、P、$T_l$の設定

分割した小流域の下流端となる流量観測所地点及びダム地点のうち、流域定数解析洪水のデータについて、$K$、$P$、$T_l$の解析が可能なデータが存在し、かつ、河道の影響を受けにくい地点（以下「$K$等解析地点」という。）が４地点（草木ダム、広見橋、桐生川ダム、松田川ダム）ありこれらの地点で$K$、$P$、$T_l$の解析を行うこととした。

各$K$等解析地点における、流域定数解析洪水毎の貯留高と直接流出高の関係を整理し、解析を行った。具体的には、$T_l$を少しずつ変えて貯留高と直接流出高を両対数でプロットして$S_{(t)} - q_{(t)}$図を作成し、最もループが小さくなる$T_l$を求めた。求めた$T_l$によって両対数でプロットした$S_{(t)} - q_{(t)}$関係を直線近似し、切片を$K$、傾きを$P$として求め、この結果を表 1.28、各地点の解析結果を図 1.92 から図 1.100 に示す。

このようにして洪水毎、地点毎の$K$、$P$、$T_l$を求めることとし、大きな洪水における流出量の再現性を考慮して、$K$等解析地点毎に、$K$、$P$は最大流量となる洪水の値を、$T_l$は規模の大きい洪水の値の平均値をそれぞれ用いて、当該$K$等解析地点の$K$、$P$、$T_l$を求めた。$K$等解析地点の上流にある小流域については、各$K$等解析地点で求めた$K$、$P$、$T_l$を、当該$K$等解析地点の上流にある小流域の$K$、$P$、$T_l$とした。その他の小流域については、中流域毎に当該中流域に含まれる地点の平均値を求め、当該中流域に属する小流域の$K$、$P$、$T_l$とし表 1.29 に示す。

表 1.28　K、P、$T_l$の設定結果

| 地点 | 洪水名 | K | P | $T_l$(分) |
|---|---|---|---|---|
| 草木ダム | S57.7 | 18.013 | 0.460 | 80 |
| 草木ダム | H10.9 | | | 20 |
| 草木ダム | H23.9 | | | 120 |
| 桐生川ダム | H3.8 | 20.718 | 0.654 | 60 |
| 桐生川ダム | H14.7 | | | 70 |
| 松田川ダム | H14.7 | 12.333 | 0.580 | 40 |
| 松田川ダム | H10.9 | | | 30 |
| 松田川ダム | H23.9 | | | 120 |
| 広見橋 | H14.7 | 16.938 | 0.683 | 40 |

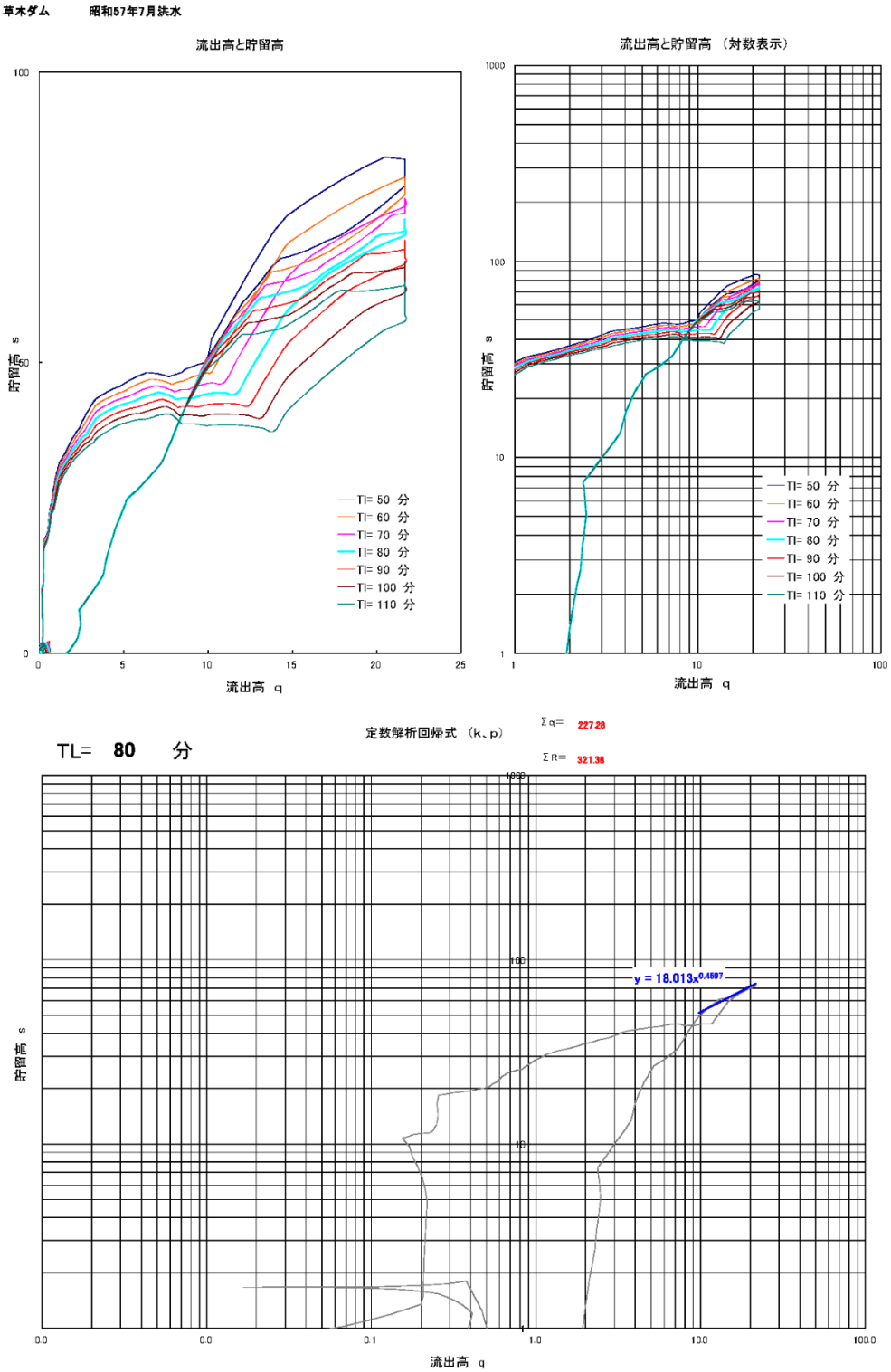



図 1.92　貯留高－流出高関係図（草木ダム地点：S57.7 洪水）

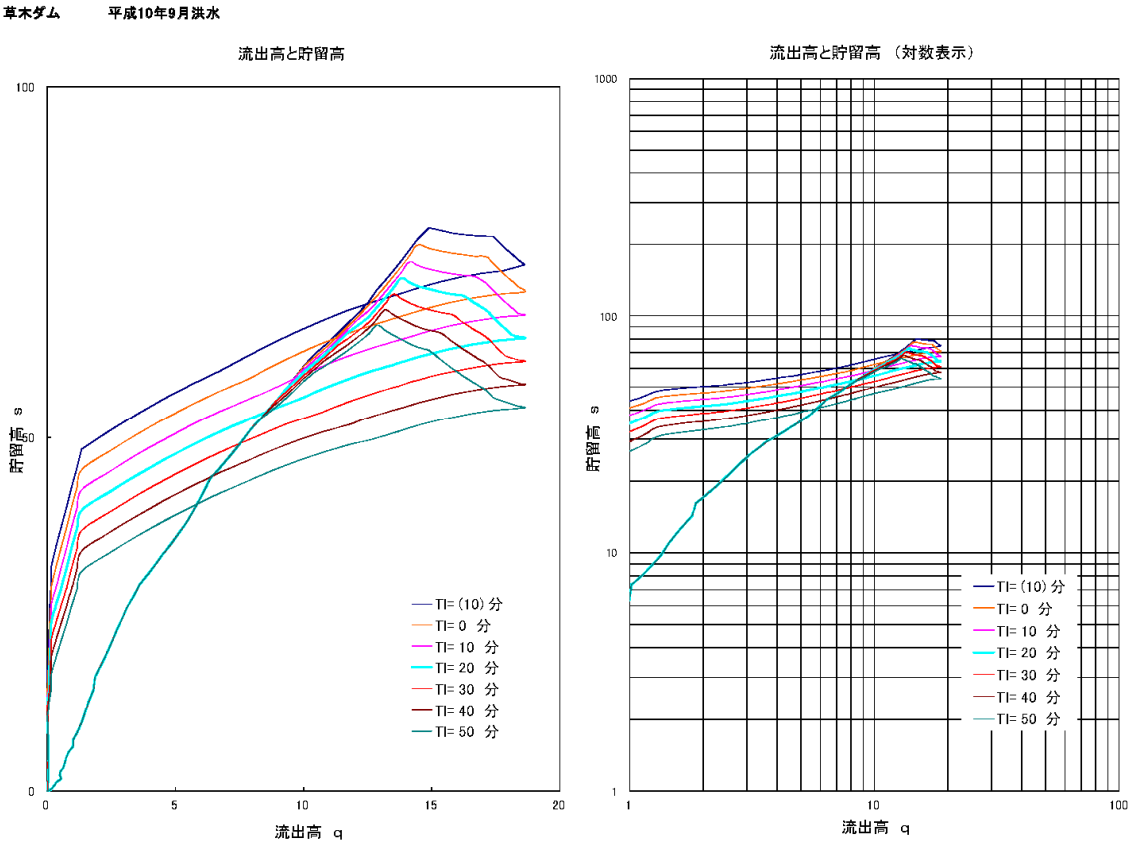



図 1.93　貯留高－流出高関係図（草木ダム地点：H10.9 洪水）

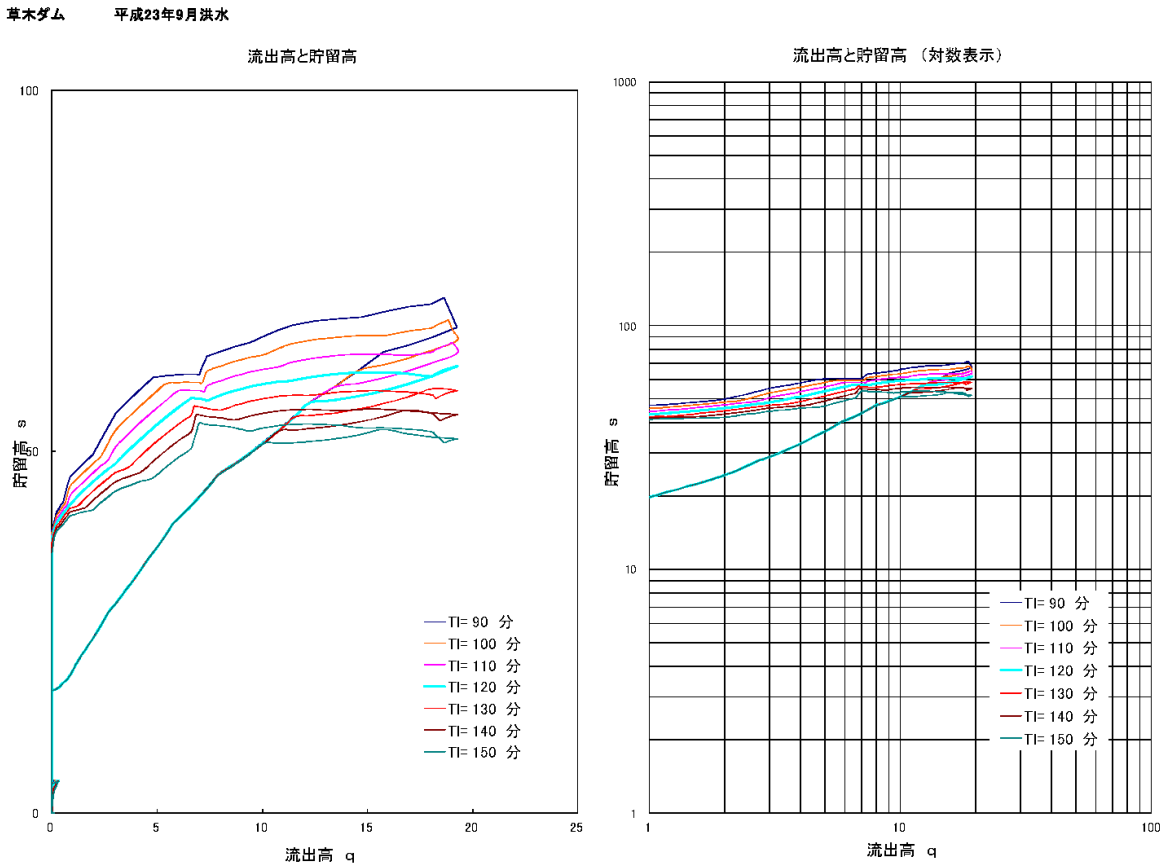



図 1.94　貯留高－流出高関係図（草木ダム地点：H23.9 洪水）

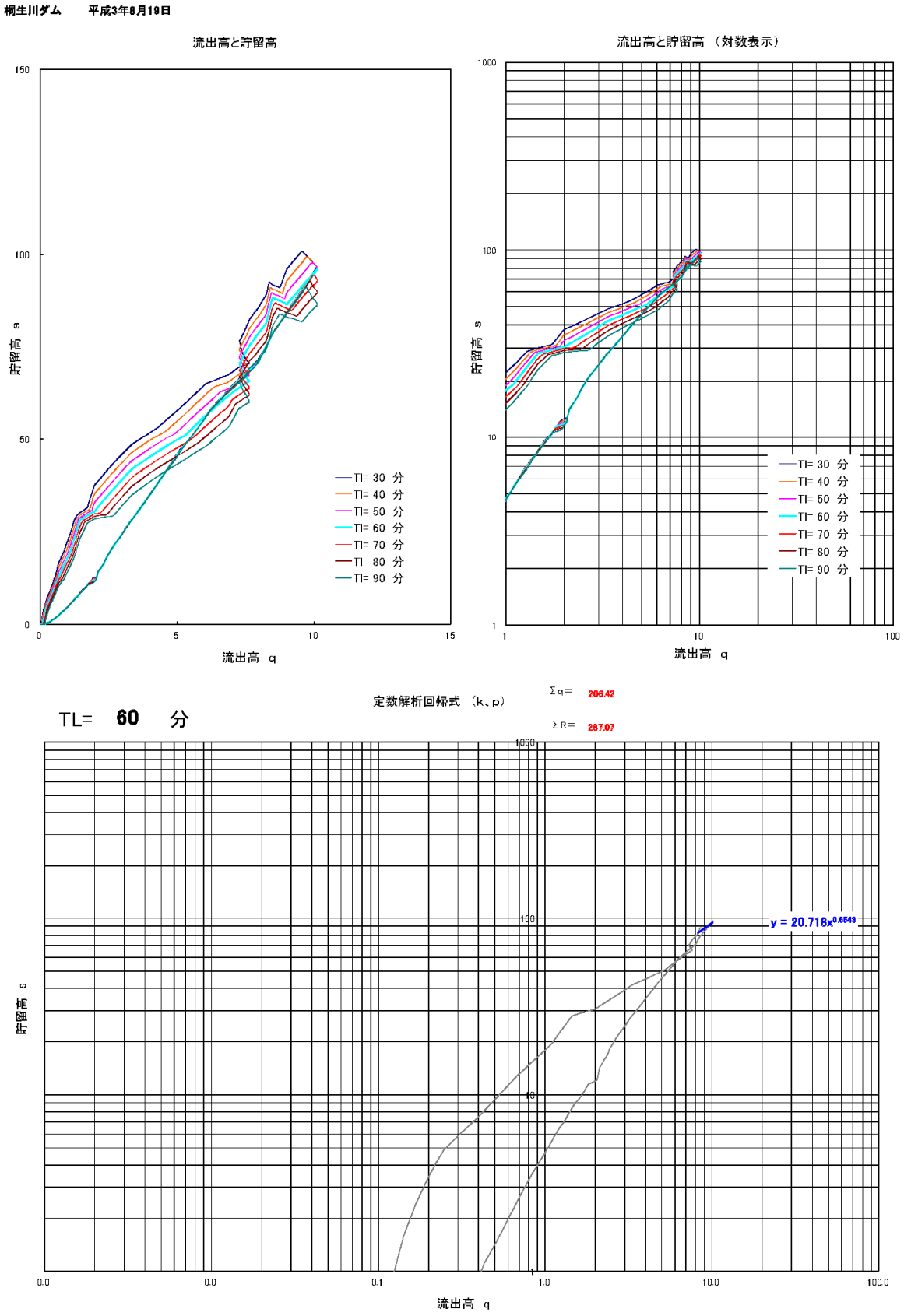



図 1.95　貯留高－流出高関係図（桐生川ダム地点：H3.8 洪水）

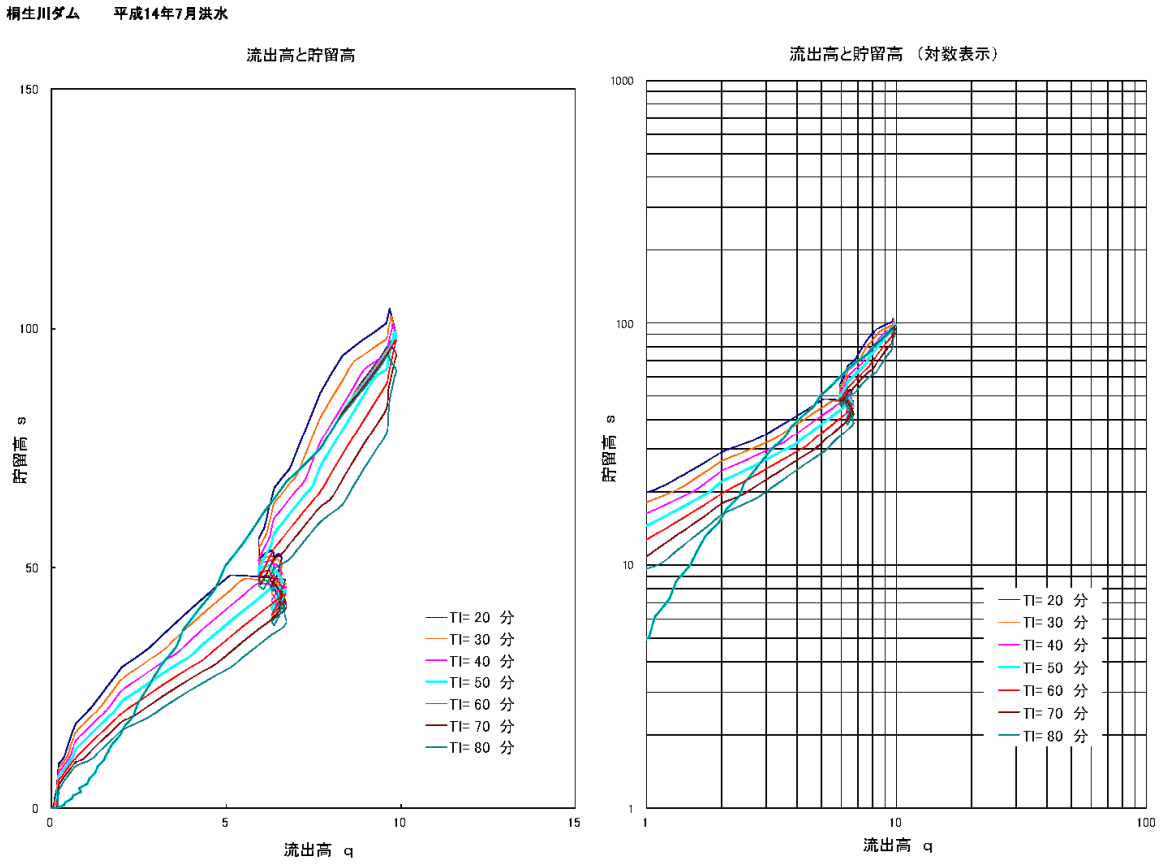



図 1.96　貯留高－流出高関係図（桐生川ダム地点：H14.7 洪水）

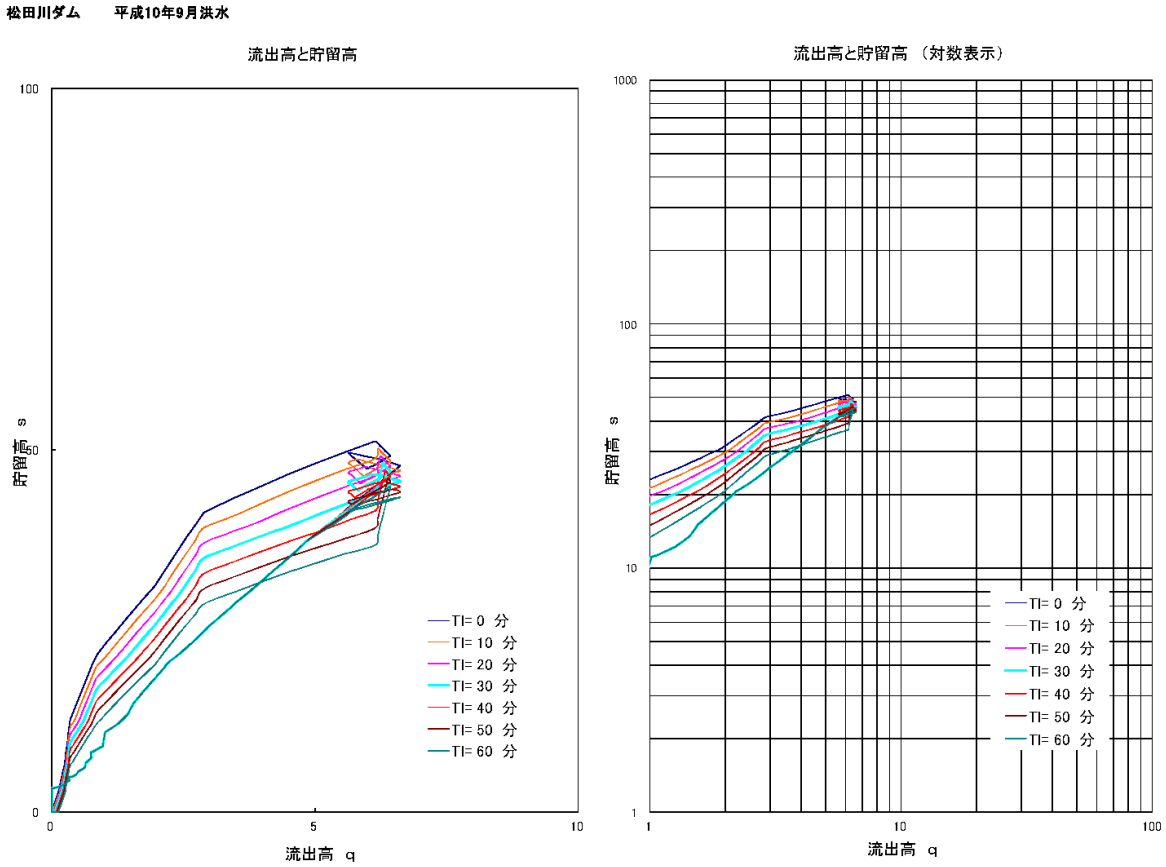



図 1.97　貯留高－流出高関係図（松田川ダム地点：H10.9 洪水）

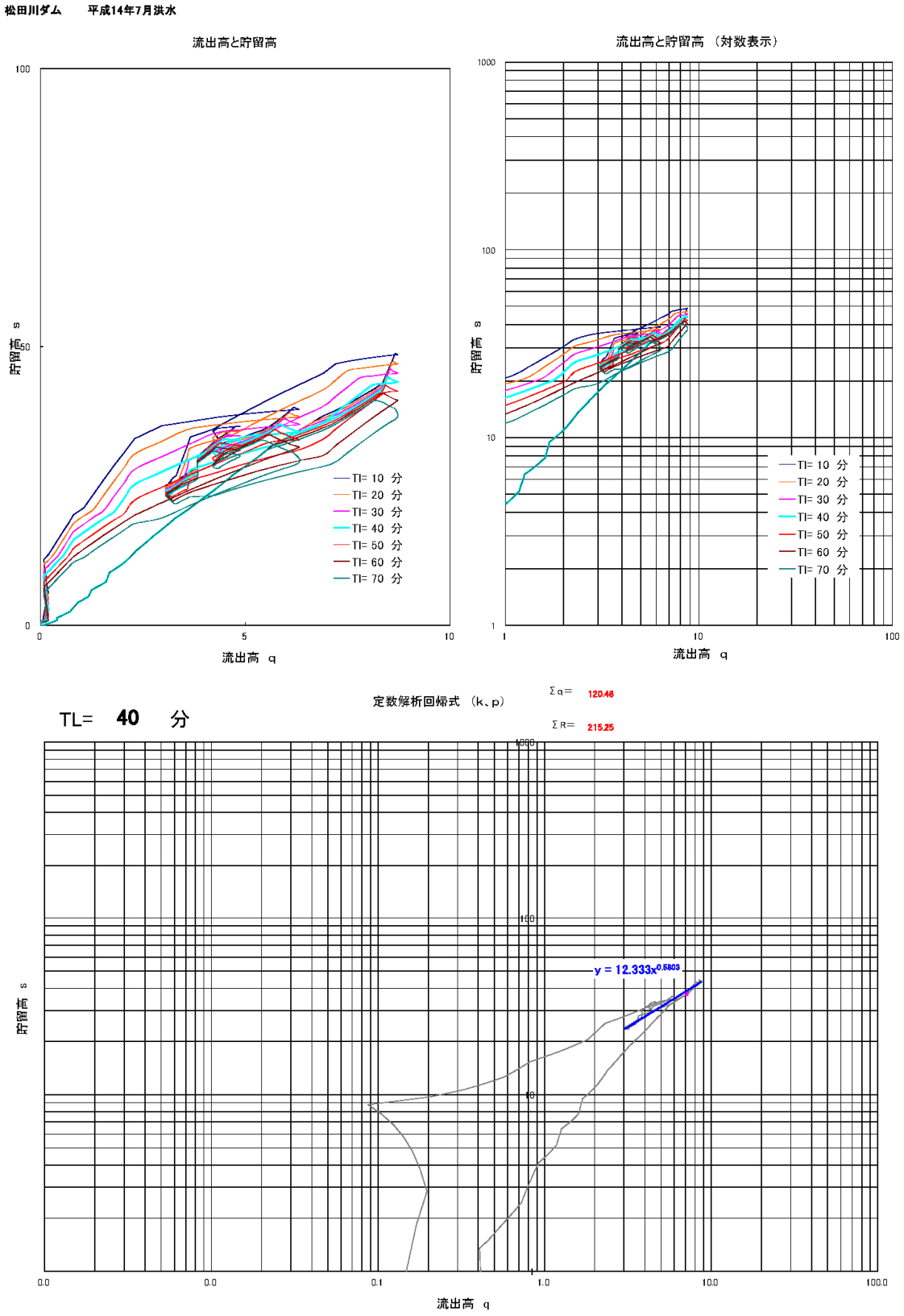



図 1.98　貯留高－流出高関係図（松田川ダム地点：H14.7 洪水）

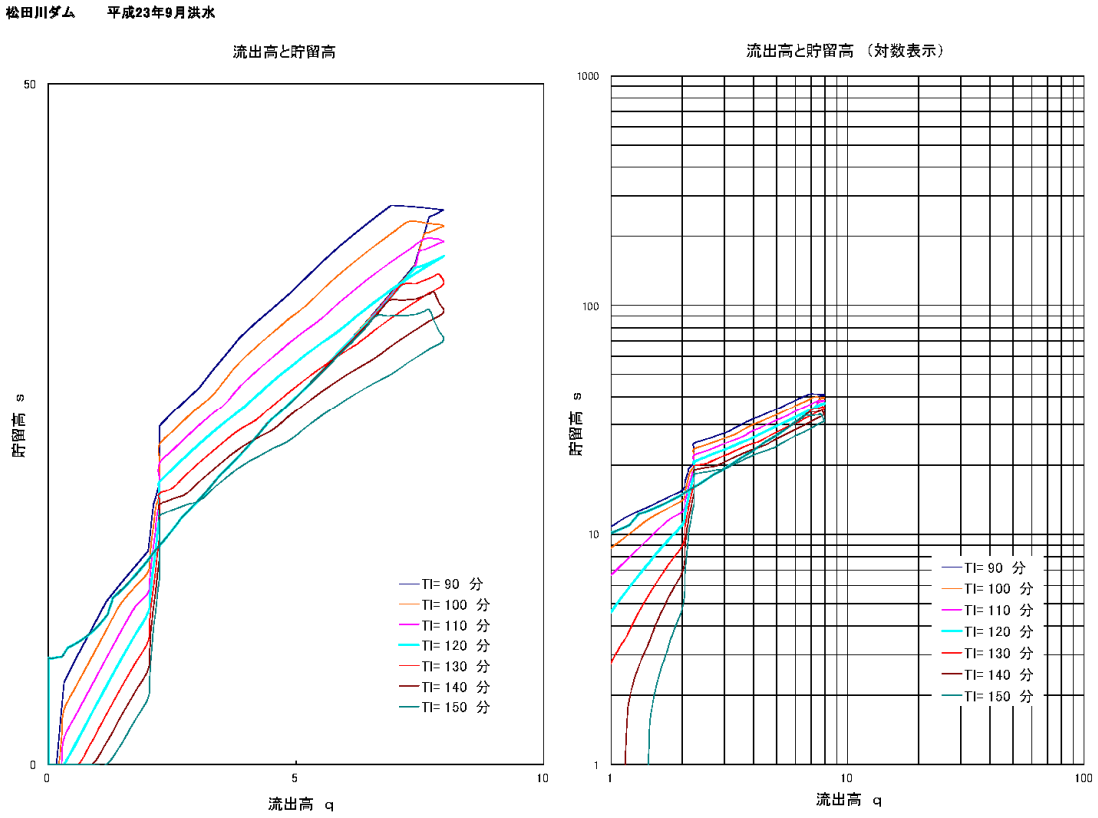



図 1.99　貯留高－流出高関係図（松田川ダム地点：H23.9 洪水）

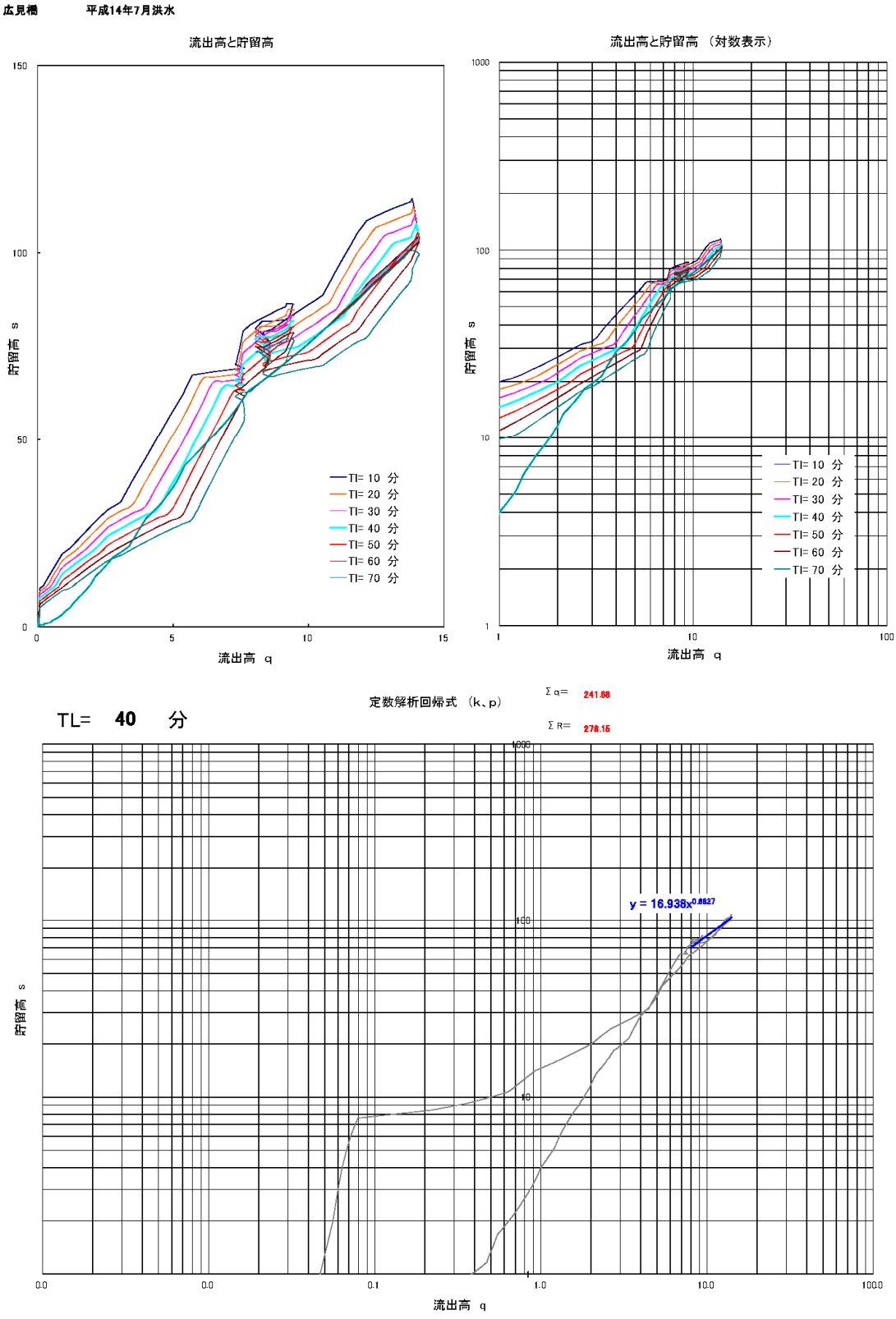



図 1.100　貯留高－流出高関係図（広見橋地点：H14.7 洪水）

表 1.29　流域定数設定結果

■流域定数

| 流域　No | 流域名 | 流域面積 | 第四紀火山岩地帯面積 | 一次流出率 | 飽和雨量 | 初期損失雨量 | 遅滞時間 | 係数 | | 開始基底流量 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | A (km2) | Av (km2) | f1 | Rsa (mm) | R0 (mm) | Tl (分) | k | p | Qb1 |
| 1 | 草木 | 255.47 | 26.15 | 0.5 | 210 | 24 | 70 | 18.013 | 0.460 | 11.484 |
| 2 | 小黒川 | 215.59 | 68.46 | 0.5 | 210 | 24 | 70 | 18.013 | 0.460 | 9.691 |
| 3 | 山田川 | 27.36 | 0.26 | 0.5 | 140 | 29 | 50 | 16.663 | 0.639 | 1.230 |
| 4 | 広沢川 | 18.18 | 0.00 | 0.5 | 140 | 29 | 50 | 16.663 | 0.639 | 0.817 |
| 5-1 | 桐生川ダム | 42.00 | 0.00 | 0.5 | 140 | 29 | 40 | 16.938 | 0.683 | 1.887 |
| 5-2 | 残流域 | 72.08 | 0.00 | 0.5 | 140 | 29 | 40 | 16.938 | 0.683 | 3.241 |
| 6 | 小俣川 | 14.99 | 0.00 | 0.5 | 140 | 29 | 50 | 16.663 | 0.639 | 0.674 |
| 7-1 | 松田川ダム | 4.00 | 0.00 | 0.5 | 140 | 29 | 50 | 16.663 | 0.639 | 0.180 |
| 7-2 | 残流域 | 29.45 | 0.00 | 0.5 | 140 | 29 | 50 | 16.663 | 0.639 | 1.324 |
| 8 | 袋川 | 69.56 | 0.00 | 0.5 | 140 | 29 | 50 | 16.663 | 0.639 | 3.127 |
| 9-1 | 旗川 | 151.54 | 0.00 | 0.5 | 140 | 29 | 50 | 16.663 | 0.639 | 6.811 |
| 9-2 | 出流川 | 21.90 | 0.00 | 0.5 | 140 | 29 | 50 | 16.663 | 0.639 | 0.984 |
| 9-3 | 尾名川 | 12.00 | 0.00 | 0.5 | 140 | 29 | 50 | 16.663 | 0.639 | 0.541 |
| 10 | 才川 | 20.27 | 0.00 | 0.5 | 140 | 29 | 50 | 16.663 | 0.639 | 0.911 |
| 11 | 矢場川 | 79.78 | 0.00 | 0.5 | 140 | 29 | 50 | 16.663 | 0.639 | 3.586 |
| 12 | 秋山川 | 109.05 | 0.00 | 0.5 | 140 | 29 | 50 | 16.663 | 0.639 | 4.902 |
| 13 | 三杉川 | 66.95 | 0.00 | 0.5 | 140 | 29 | 50 | 16.663 | 0.639 | 3.010 |

(2)　　河道定数の設定

①　貯留関数法

河道定数$K$、$P$の検討に当たっては、、平成 16 年から平成 24 年までの測量断面を用いて、河道毎に流量規模毎の河道貯留量（$s$）を不等流計算により求め、流量と河道貯留の関係から、流域定数の検討と同様に切片を$K$、傾きを$P$として求めた。

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

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

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

河道の$T_l$については、定流の貯留関数と洪水流の貯留関数の関係から求めた。流出計算に当たっては、全ての洪水の流出計算において、このようにして求めた$K$、$P$、$T_l$を用いることとし、この結果を表 1.30 に示す。

表 1.30　河道定数設定結果

■河道定数

| 河道No | 河道名 | 遅滞時間　Tl | | 係数　K | 係数　P |
|---|---|---|---|---|---|
| | | （時間） | （分） | | |
| A | 草木ダム～高津戸 | 0.441 | 26.460 | 8.880 | 0.729 |
| J | 旗川 | 0.278 | 16.680 | 5.261 | 0.751 |
| K | 秋山川 | 0.318 | 19.080 | 13.548 | 0.647 |

②　一次元不定流計算

一次元不定流計算においては、準二次元不等流計算で設定した低水路の粗度係数を基に、不定流計算のピーク水位が痕跡水位を再現する粗度係数を設定した。

一次元不定流計算は、国管理区間の 13.5k から 56.0k までをモデル化し、モデルの上流端には、貯留関数法で求まる高津戸地点の流量を与えた。また、支川秋山川、旗川、桐生川の直轄区間をモデル化し、本川同様モデル

の上流端に貯留関数で求まる各支川の流量を与えた。主要降雨波形毎のピーク流量（Qp）の算定に当たっては、下流端 13.5k に H.W.L を与えて出発水位とした。

③　実績再現の対象洪水

前述までに設定した定数を用いて、既往洪水時の雨量データを用い、再現計算を実施した。基準地点高津戸における主要な洪水として、S57.7 洪水、H10.9 洪水、H13.8 洪水、H13.9 洪水、H14.7 洪水、H23.7 洪水、R1.10 洪水を検証対象洪水とした。

④　流出解析に用いる定数

各小流域の流域面積、$f_1$、$K$、$P$、$T_l$と各河道の$K$、$P$、$T_l$は、前述にて整理した値を用いる。再現計算に用いる各小流域の初期損失雨量、$R_{sa}$、基底流量は洪水毎に設定し表 1.31 のとおりとした。

なお、各小流域の基底流量は、高津戸地点において洪水毎に流出成分の分離により求めた直接流出開始時点の流量を当該洪水の高津戸地点の基底流量の開始流量とし、小流域の開始基底流量は、高津戸地点の基底流量の開始流量を高津戸地点上流域の流域面積で除した値に、当該小流域の流域面積を乗じた値とした。

表 1.31　検証対象洪水の飽和雨量$R_{sa}$と基底流量 Qb

| 洪水 | 飽和雨量 Rsa（mm） | | | | | 基底流量 Qb（$m^3/s$） |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 草木ダム流域 | 草木ダム残流域 | 桐生川流域 | 旗川流域 | 高津戸下流域 | 高津戸 |
| S57.7 | 190 | 190 | 190 | 190 | 190 | 18.4 |
| H10.9 | 170 | 280 | 110 | 110 | 90 | 8.9 |
| H13.8 | 210 | 210 | 60 | 70 | 60 | 12.5 |
| H13.9 | 250 | 230 | 60 | 100 | 100 | 16.0 |
| H14.7 | 320 | 260 | 70 | 100 | 90 | 36.0 |
| H23.7 | 210 | 180 | 110 | 220 | 110 | 10.4 |
| R01.10 | 210 | 220 | 260 | 200 | 200 | 44.0 |

⑤　検証対象洪水の再現計算結果

前項までに設定した定数を用いて、再現計算を実施した。再現計算結果

を図 1.101 に示す。

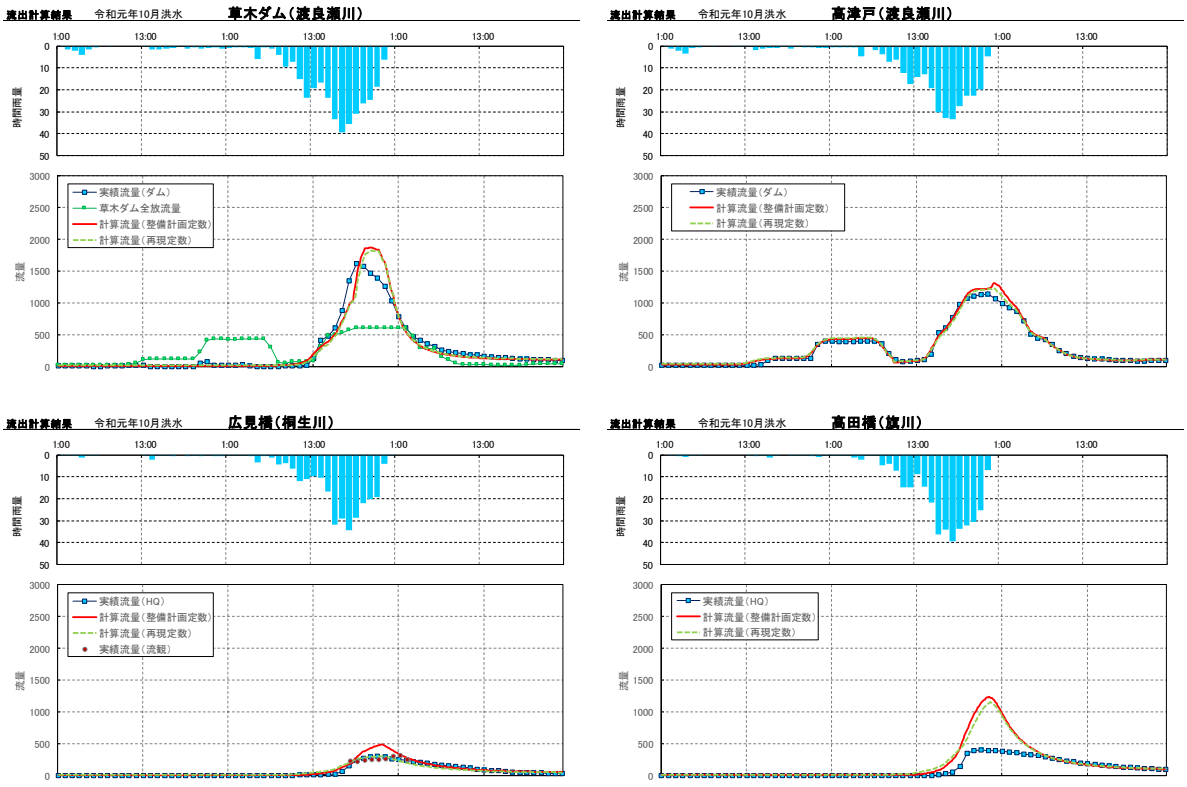



図 1.101　令和元年 10 月洪水の再現計算結果

## 1-15　基本高水のピーク流量設定の考え方（渡良瀬川）

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

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

なお、現行計画の基本高水のピーク流量が総合確率法により設定されていることから、総合確率法による確認も実施した。

## 1-16　計画規模の設定（渡良瀬川）

計画規模については、既定計画の 1/100 を踏襲するものとする。

## 1-17　対象降雨の継続時間の設定（渡良瀬川）

### 1)　対象降雨の継続時間設定の考え方

渡良瀬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強度の強い降雨の継続時間を整理し設定した。

### 2)　洪水到達時間

洪水到達時間は以下に示す式を用いて算定した。対象洪水は、高津戸地点における氾濫危険水位相当の流量（1,400 $m^3/s$）以上の 13 洪水を対象とした。

#### (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 1.32 に示し、洪水毎の Kinematic Wave 法による洪水到達時間の検討結果を図 1.102 から図 1.106 に示す。

表 1.32　洪水到達時間の算定結果

| | 年月日 | 高津戸地点<br>ピーク流量<br>($m^3/s$) | Kinematic Wave法<br>算定結果(h) | 角屋式<br>平均有効降雨<br>強度(mm/h) | 角屋式<br>算定結果(h) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | S13.8.30 | 2,800 | 22 | 12 | 6.7 |
| 2 | S22.9.13 | 4,500 | 21 | 18 | 5.8 |
| 3 | S23.9.14 | 1,600 | 15 | 15 | 6.2 |
| 4 | S24.8.30 | 2,500 | 14 | 15 | 6.2 |
| 5 | S34.8.12 | 2,100 | 16 | 8 | 7.6 |
| 6 | S47.9.14 | 1,800 | 26 | 7 | 8.2 |
| 7 | S56.8.20 | 1,600 | 25 | 11 | 7.0 |
| 8 | S57.7.31 | 2,000 | 25 | 8 | 7.6 |
| 9 | H10.9.14 | 1,700 | 13 | 16 | 6.1 |
| 10 | H13.8.21 | 1,600 | 22 | 11 | 7.0 |
| 11 | H19.9.5 | 1,500 | 12 | 18 | 5.8 |
| 12 | H23.9.19 | 1,700 | 13 | 12 | 6.6 |
| 13 | R1.10.11 | 2,200 | 14 | 17 | 5.9 |
| | 平均値 | - | 18.3 | - | 6.7 |

※ピーク流量は計算値を示す。

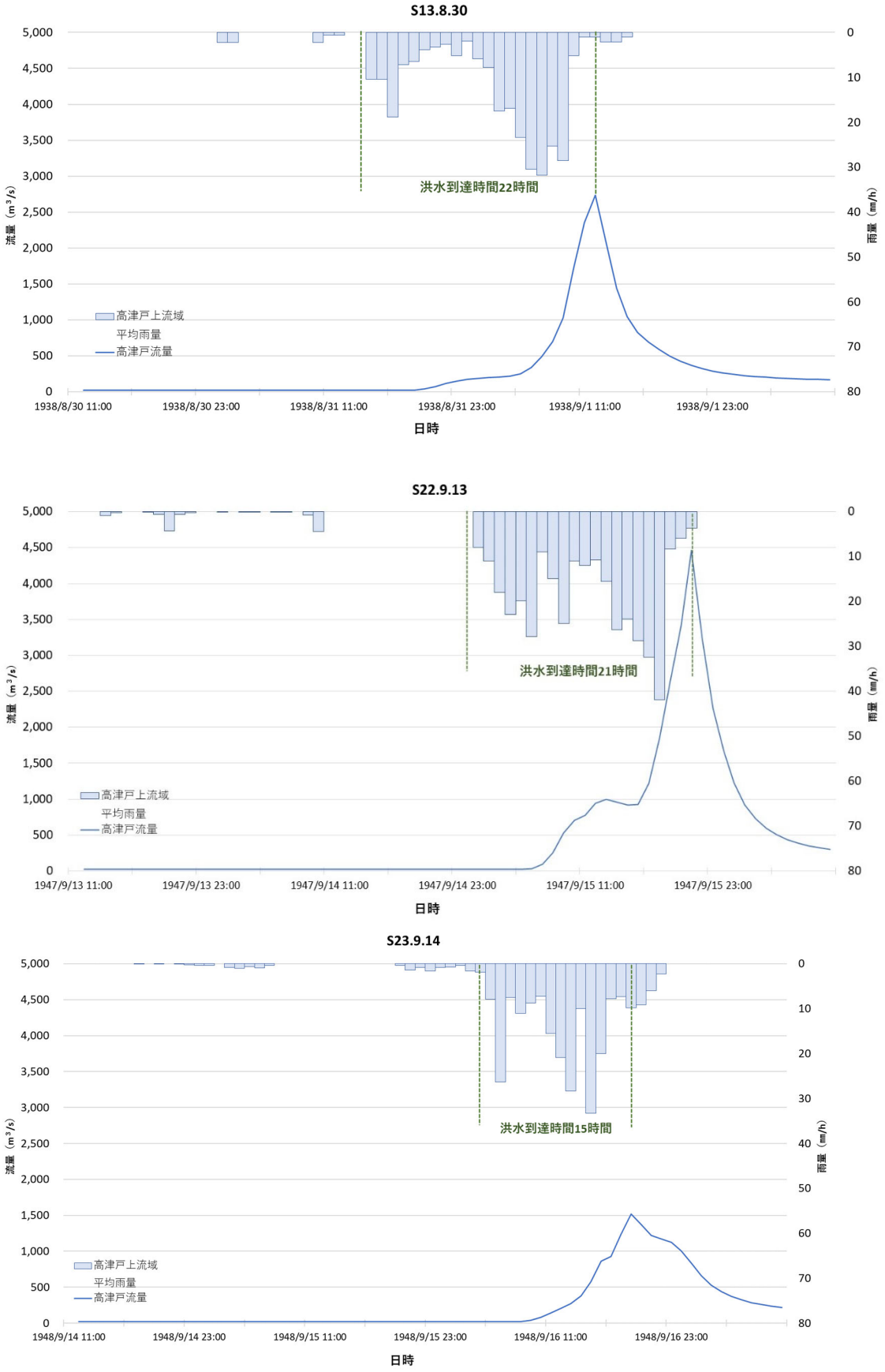



図 1.102　Kinematic Wave 法による洪水到達時間

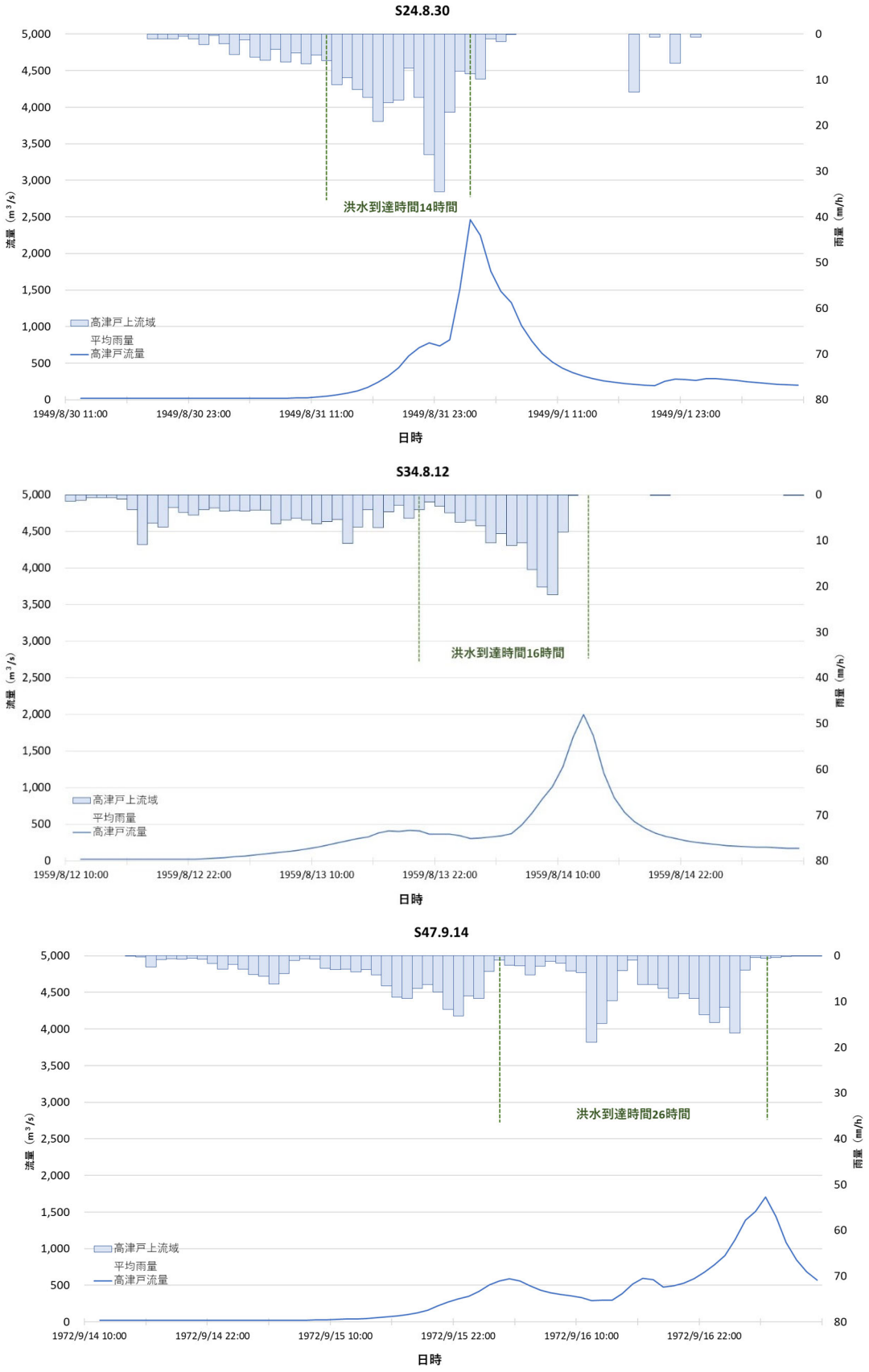
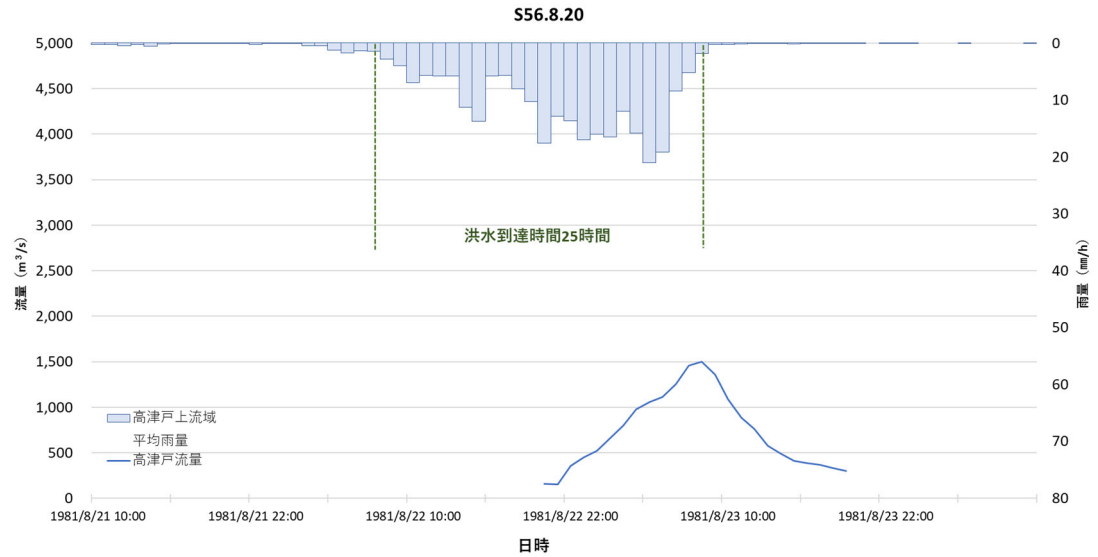
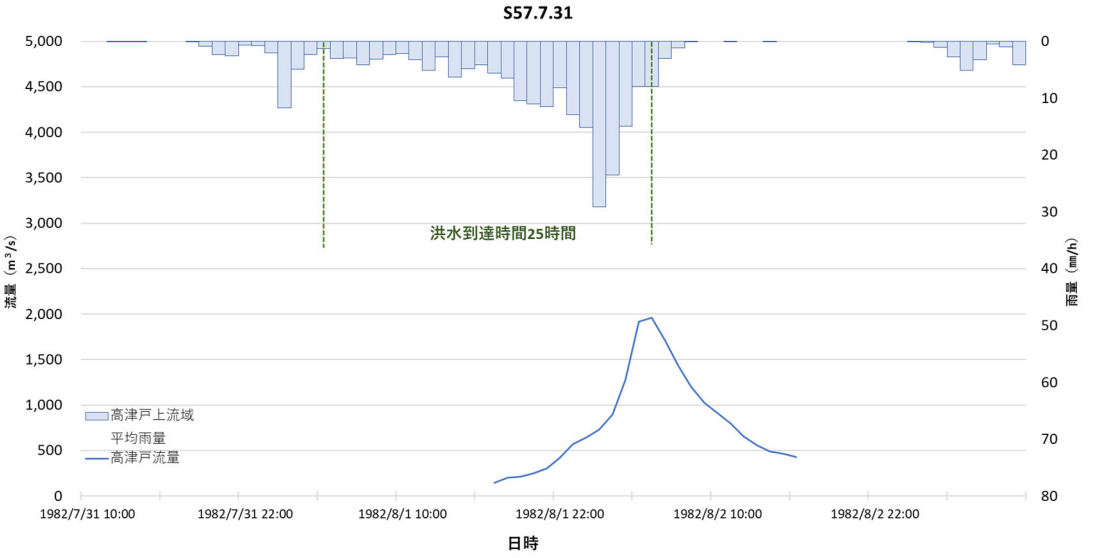



図 1.103　Kinematic Wave 法による洪水到達時間



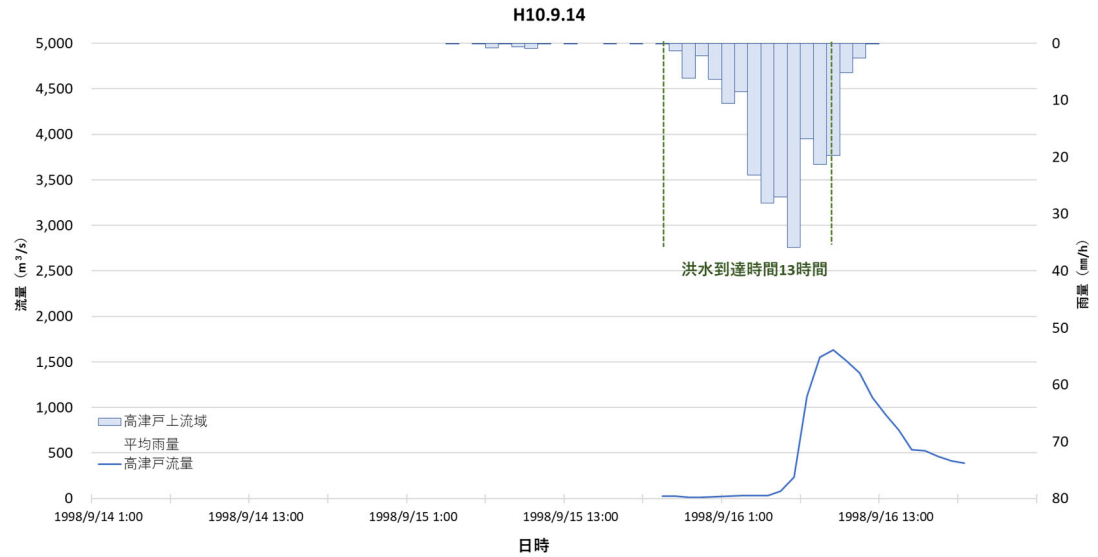




図 1.104　Kinematic Wave 法による洪水到達時間

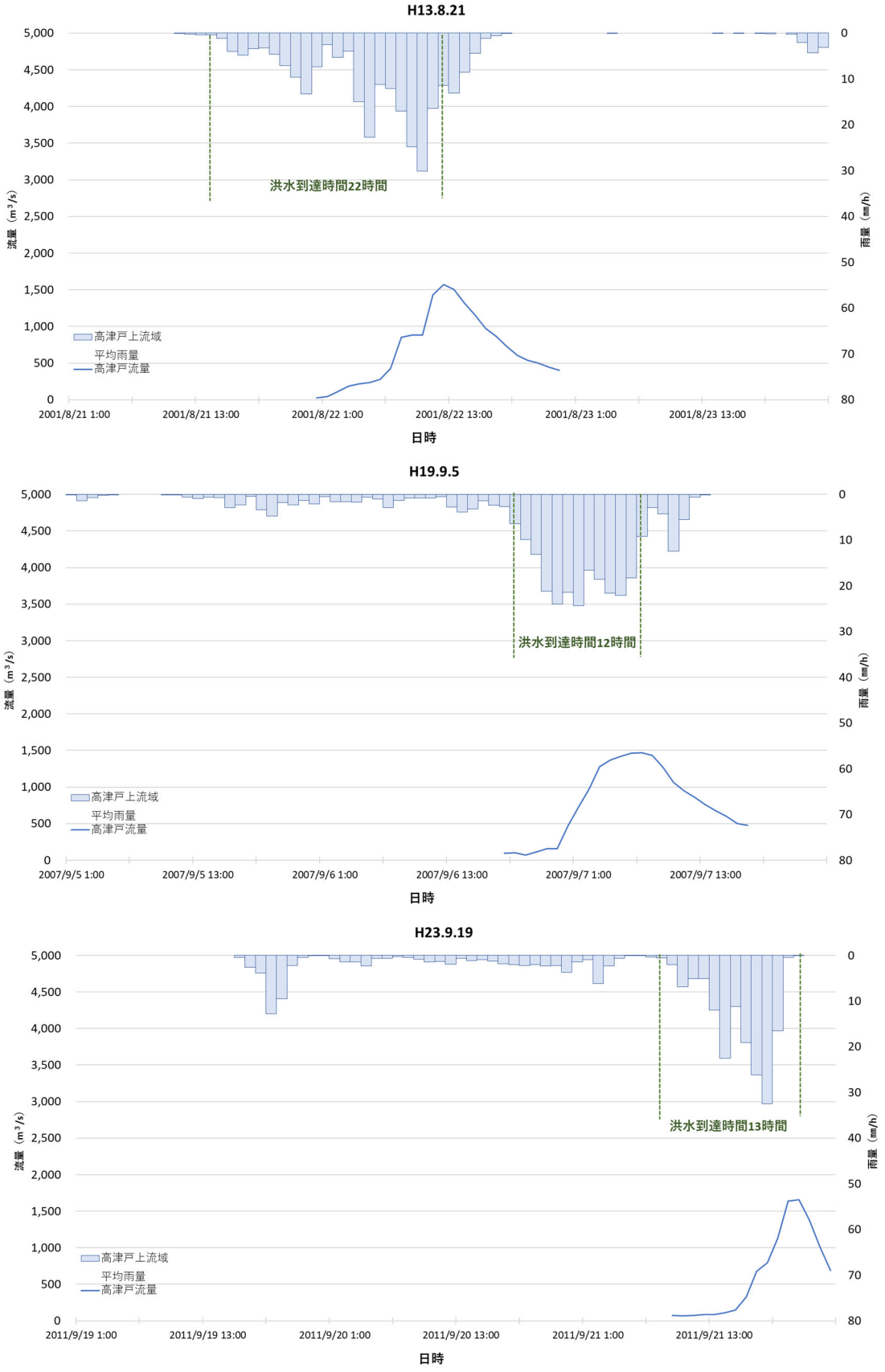



図 1.105　Kinematic Wave 法による洪水到達時間

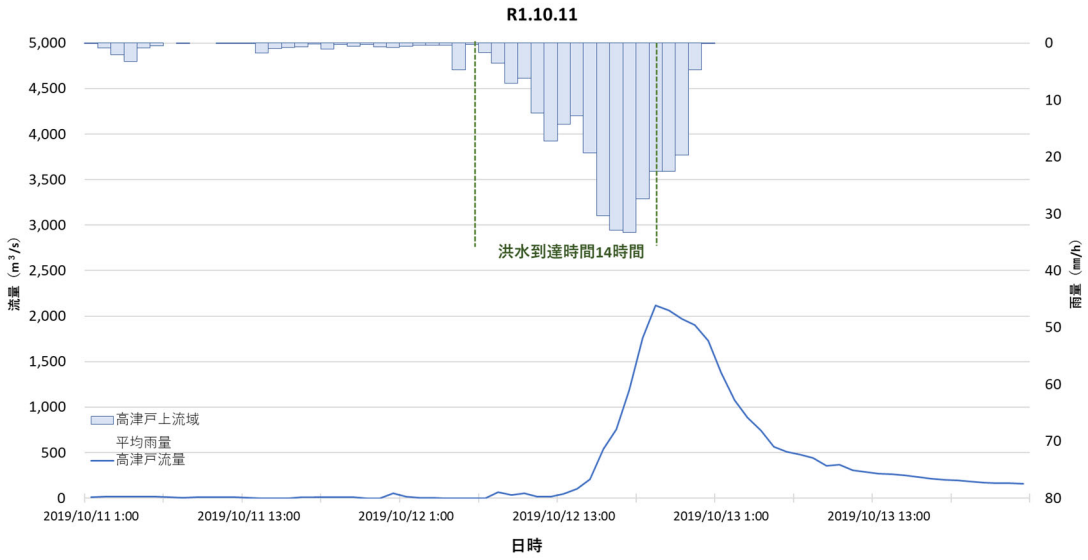



図 1.106　Kinematic Wave 法による洪水到達時間

### 3)　ピーク流量と短時間雨量の相関

昭和 11 年（1936 年）から令和 3 年（2021 年）までの 86 年間で基準地点高津戸上流域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（1、2、3、6、9、12、18、24、36、48 時間雨量）との相関関係の整理を行った。

その結果、基準地点高津戸では 18 時間程度において、ピーク流量と短時間雨量の相関が大きく、その時間以降では有意な差は見られない。この検討結果を図 1.107 に示す。また、定義①（ピーク流量生起時刻前で最大となる短時間雨量）によるピーク流量と短時間雨量の相関図を図 1.108 に示し、定義②（ピーク流量生起時刻から遡る短時間雨量）によるピーク流量と短時間雨量の相関図を図 1.109 に示す。

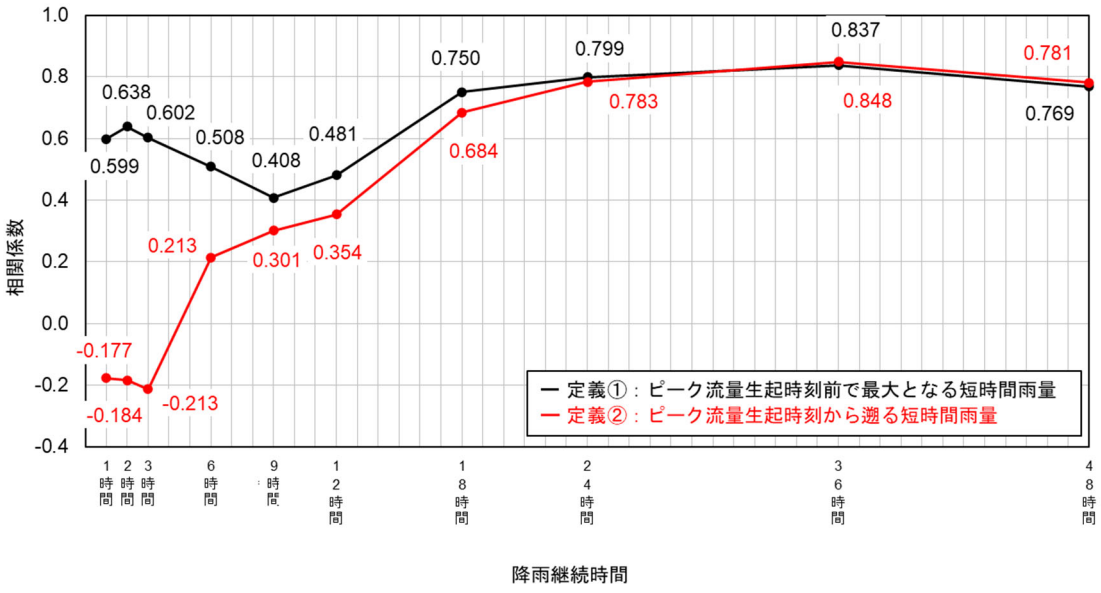



図 1.107　ピーク流量と相関の高い短時間雨量

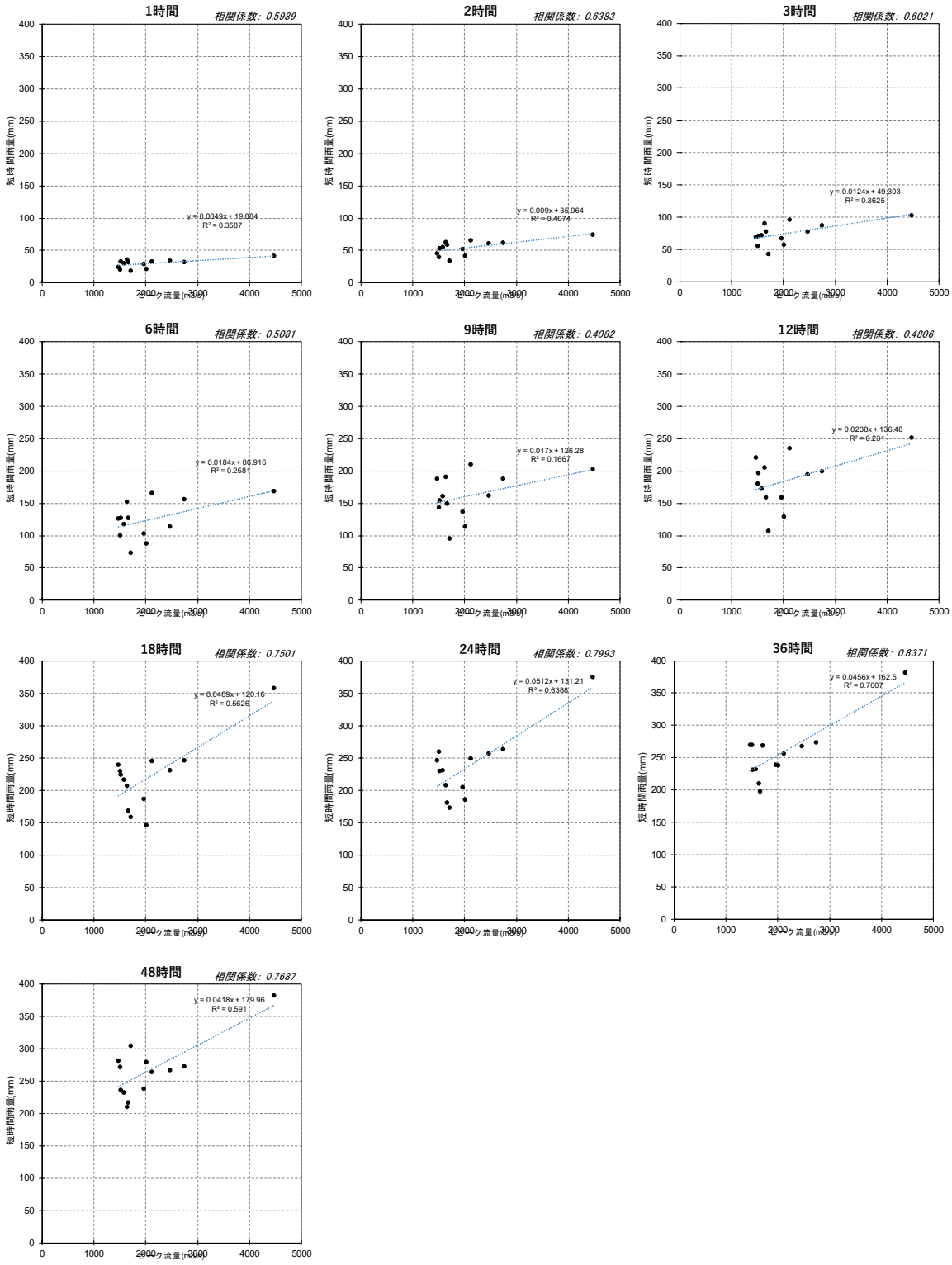



図 1.108　ピーク流量と流域平均時間雨量の相関図【定義①】

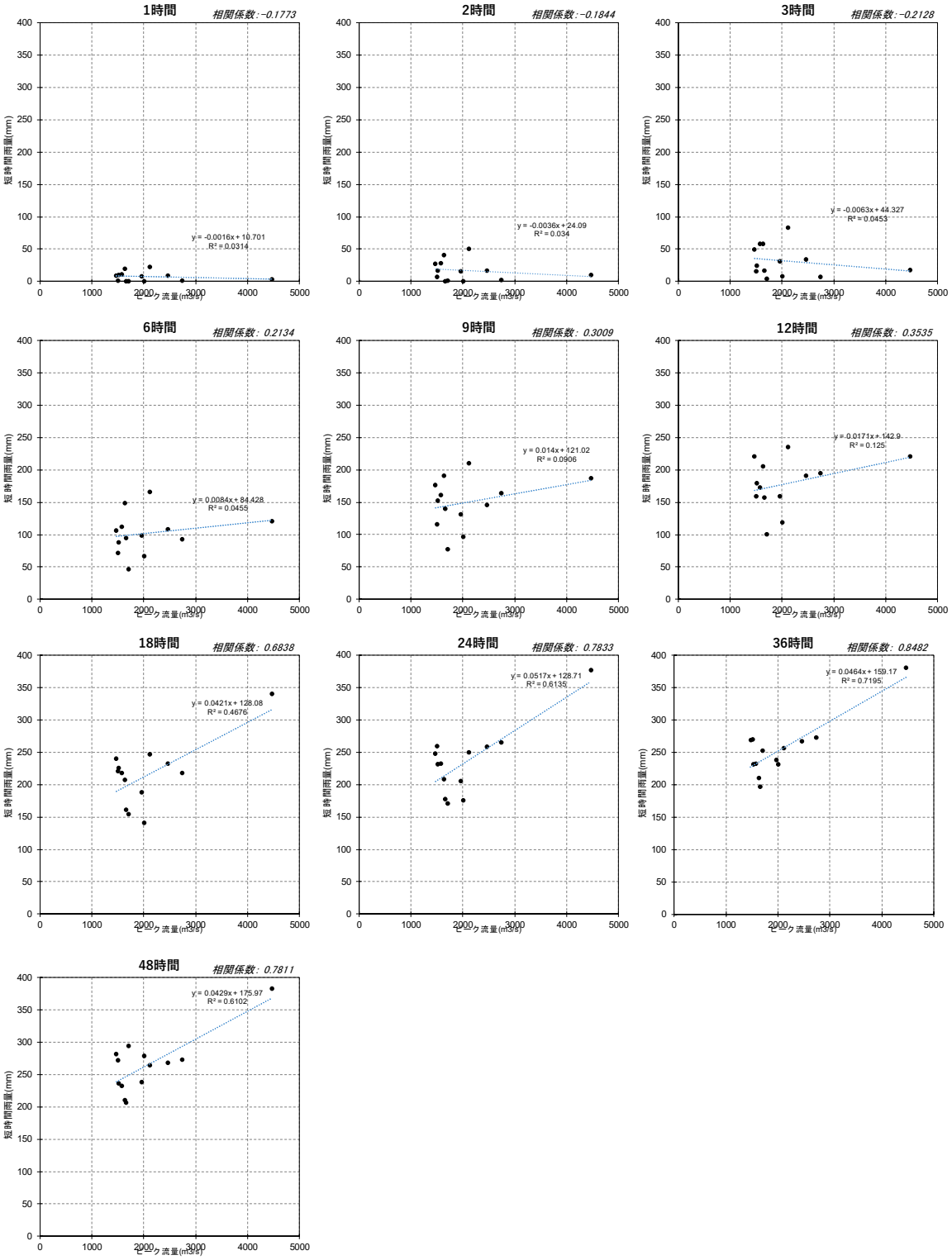



図 1.109　ピーク流量と流域平均時間雨量の相関図【定義②】

### 4)　強い降雨強度の継続時間

強い降雨強度（5 mm/h 及び 10 mm/h）の継続時間を図 1.110 に整理した。対象洪水は、基準地点高津戸における氾濫危険水位相当の実績流量 1,400 $m^3/s$ 以上の 13 洪水とした。

主要洪水における降雨量 5 mm 以上の継続時間の平均値は 14 時間、降雨量 10 mm 以上の継続時間の平均値は 7 時間となり、洪水のピーク流量を形成している強い降雨強度の継続時間は概ね 24 時間でカバー可能である。

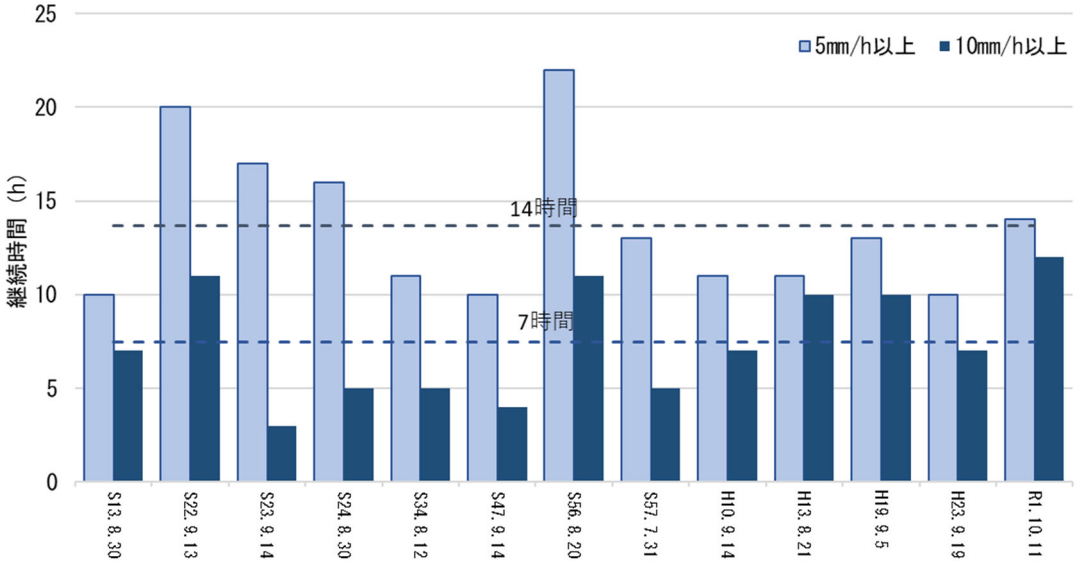



図 1.110　強い降雨強度の継続時間（高津戸上流域平均雨量）

### 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 11 年（1936 年）から令和 3 年（2021 年）までの雨量資料（84 年間）を整理し、渡良瀬川の降雨特性、ピーク流量との相関から総合的に判断して、下記理由により対象降雨の降雨継続時間を既定計画の 3 日から 24 時間と設定した。

- 洪水到達時間の検討において、Kinematic Wave 法 12～26 時間（平均 18.3 時間）、角屋式は 6～8 時間（平均 6.7 時間）となる。
- ピーク流量と相関の高い短時間雨量は 18 時間程度において実績ピーク流量との相関が大きく、18 時間以降では有意な差は見られない。
- 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 24 時間で概ねの洪水を網羅した。

## 1-18　対象降雨の降雨量の設定（渡良瀬川）

雨量標本に関しては、時間雨量データが存在する昭和11年（1936年）からとし、気候変動による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平成22年（2010年）までとし、一覧を表1.33に示す。

昭和 11 年（1936 年）から平成 22 年（2010 年）までの 75 年間の年最大 24 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り基準地点高津戸の 1/100 確率雨量を算定した結果 369 mm/24 h と決定した。この結果を表1.34及び図1.111に示す。

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、基準地点高津戸の1/100確率降雨量369 mm/24 hに降雨量変化倍率1.1倍を乗じて得られた405 mm/24 hを採用し、表1.35にまとめる。

表 1.33　年最大 24 時間雨量一覧

| No | 日付 | 雨量 (mm/24hr) | No | 日付 | 雨量 (mm/24hr) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | S11.9.25 | 102.1 | 39 | S49.8.25 | 201.5 |
| 2 | S12.7.14 | 188.1 | 40 | S50.8.15 | 82.4 |
| 3 | S13.8.30 | 269.3 | 41 | S51.9.7 | 113.9 |
| 4 | S14.8.3 | 134.0 | 42 | S52.8.16 | 156.4 |
| 5 | S15.8.24 | 136.6 | 43 | S53.7.10 | 118.4 |
| 6 | S16.7.20 | 222.0 | 44 | S54.10.17 | 166.1 |
| 7 | S17.8.16 | 38.5 | 45 | S55.9.9 | 69.3 |
| 8 | S18.10.1 | 149.1 | 46 | S56.8.20 | 260.8 |
| 9 | S19.10.5 | 154.4 | 47 | S57.7.31 | 205.9 |
| 10 | S20.10.3 | 132.8 | 48 | S58.8.15 | 141.1 |
| 11 | S21.7.30 | 108.7 | 49 | S59.4.30 | 70.3 |
| 12 | S22.9.13 | 376.8 | 50 | S60.6.28 | 143.1 |
| 13 | S23.9.14 | 246.0 | 51 | S61.9.1 | 172.3 |
| 14 | S24.8.30 | 263.7 | 52 | S62.9.9 | 101.1 |
| 15 | S25.8.3 | 175.1 | 53 | S63.8.10 | 95.6 |
| 16 | S26.6.14 | 39.7 | 54 | H01.8.25 | 141.4 |
| 17 | S27.7.12 | 45.8 | 55 | H02.8.8 | 249.6 |
| 18 | S28.9.23 | 135.0 | 56 | H03.8.19 | 273.9 |
| 19 | S29.9.16 | 96.9 | 57 | H04.5.30 | 78.4 |
| 20 | S30.9.27 | 92.7 | 58 | H05.11.12 | 109.0 |
| 21 | S31.10.28 | 71.3 | 59 | H06.5.26 | 125.0 |
| 22 | S32.7.20 | 93.8 | 60 | H07.6.12 | 41.1 |
| 23 | S33.9.16 | 188.0 | 61 | H08.6.26 | 47.2 |
| 24 | S34.8.12 | 186.2 | 62 | H09.6.18 | 121.8 |
| 25 | S35.8.10 | 91.3 | 63 | H10.9.14 | 215.3 |
| 26 | S36.6.26 | 189.4 | 64 | H11.8.13 | 128.3 |
| 27 | S37.8.24 | 91.9 | 65 | H12.9.10 | 116.5 |
| 28 | S38.10.27 | 69.9 | 66 | H13.9.9 | 271.8 |
| 29 | S39.8.20 | 107.4 | 67 | H14.7.9 | 299.7 |
| 30 | S40.9.15 | 90.1 | 68 | H15.8.8 | 211.9 |
| 31 | S41.9.22 | 184.9 | 69 | H16.10.8 | 120.1 |
| 32 | S42.9.11 | 46.1 | 70 | H17.7.24 | 106.7 |
| 33 | S43.7.27 | 125.3 | 71 | H18.12.26 | 119.4 |
| 34 | S44.8.21 | 103.9 | 72 | H19.9.5 | 268.9 |
| 35 | S45.11.18 | 82.5 | 73 | H20.5.18 | 106.9 |
| 36 | S46.8.29 | 116.3 | 74 | H21.8.8 | 119.3 |
| 37 | S47.9.14 | 173.7 | 75 | H22.5.24 | 64.8 |
| 38 | S48.5.28 | 61.9 | | | |

表 1.34　基準地点高津戸　24 時間雨量　1/100 確率計算結果

| | Exp | Gumbel | SqrtEt | Gev | LP3Rs | LogP3 | Iwai | IshiTaka | LN3Q | LN3PM | LN2LM | LN2PM | LN4PM |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| X-COR(99%) | 0.976 | 0.992 | 0.98 | 0.991 | 0.993 | 0.993 | 0.992 | 0.993 | 0.988 | 0.993 | 0.987 | 0.987 | — |
| P-COR(99%) | 0.96 | 0.996 | 0.997 | 0.997 | 0.995 | 0.997 | 0.997 | 0.996 | 0.997 | 0.995 | 0.997 | 0.997 | — |
| SLSC(99%) | 0.046 | 0.025 | 0.036 | 0.026 | 0.027 | 0.024 | 0.023 | 0.025 | 0.027 | 0.026 | 0.028 | 0.028 | — |
| 対数尤度 | −402 | −418.8 | −419.1 | −418.6 | −418.1 | −417.9 | −418.2 | −418.7 | −418.5 | −418.8 | −418.5 | −418.5 | — |
| pAIC | 807.9 | 841.5 | 842.2 | 843.1 | 842.3 | 841.9 | 842.5 | 843.3 | 842.9 | 843.5 | 841.1 | 841 | — |

| 確率水文量 | 確率年 | Exp | Gumbel | SqrtEt | Gev | LP3Rs | LogP3 | Iwai | IshiTaka | LN3Q | LN3PM | LN2LM | LN2PM | LN4PM |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2 | 117.6 | 129.7 | 124 | 128.2 | 130.7 | 128 | 128 | 130.4 | 125.2 | 130.7 | 124.9 | 124.9 | — |
| | 3 | 149.3 | 159.9 | 155.7 | 158.1 | 162.7 | 159.1 | 158.4 | 160.6 | 156 | 161 | 156.2 | 156 | — |
| | 5 | 189.2 | 193.6 | 194.7 | 192.1 | 197 | 194.1 | 192.8 | 193.7 | 192.4 | 194.1 | 193.5 | 193 | — |
| | 10 | 243.4 | 236 | 248.8 | 235.9 | 237.4 | 237.9 | 236.6 | 234.7 | 240.6 | 234.8 | 243.2 | 242.3 | — |
| | 20 | 297.7 | 276.6 | 306.2 | 279 | 273.3 | 279.5 | 279.4 | 273.3 | 289.4 | 273 | 293.8 | 292.4 | — |
| | 30 | 329.4 | 299.9 | 341.6 | 304.4 | 292.7 | 303.3 | 304.3 | 295.3 | 318.6 | 294.7 | 324.2 | 322.4 | — |
| | 50 | 369.3 | 329.1 | 388.2 | 336.6 | 315.8 | 332.8 | 335.8 | 322.7 | 356.2 | 321.7 | 363.5 | 361.2 | — |
| | 80 | 406.1 | 355.9 | 433.2 | 366.7 | 335.9 | 359.6 | 365 | 347.8 | 391.7 | 346.3 | 400.7 | 398.1 | — |
| | 100 | 423.5 | 368.5 | 455.4 | 381.1 | 345 | 372.2 | 379 | 359.7 | 409 | 357.9 | 418.8 | 415.9 | — |
| | 150 | 455.3 | 391.5 | 496.8 | 407.5 | 361.1 | 395.1 | 404.6 | 381.2 | 440.9 | 379 | 452.4 | 449.1 | — |
| | 200 | 477.8 | 407.8 | 527.1 | 426.5 | 372.1 | 411.2 | 423 | 396.5 | 464.1 | 394 | 476.9 | 473.2 | — |
| | 400 | 532 | 447 | 603.4 | 473.1 | 397.4 | 449.9 | 468.1 | 433.5 | 521.7 | 430.1 | 537.8 | 533.3 | — |
| | 500 | 549.4 | 459.6 | 629 | 488.3 | 405.2 | 462.3 | 482.8 | 445.5 | 540.9 | 441.8 | 558.1 | 553.3 | — |

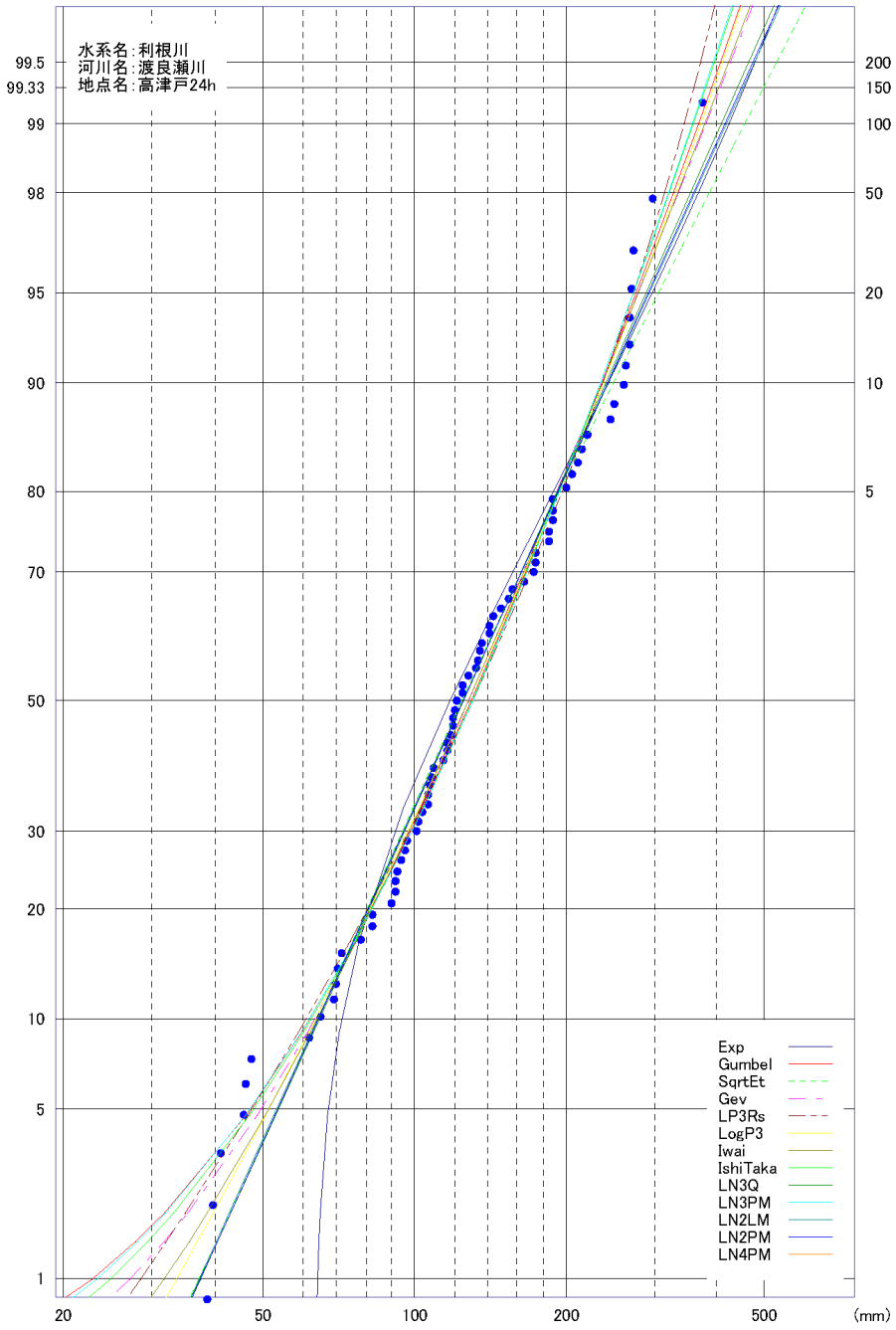



図 1.111　雨量確率計算結

表 1.35　1/100 確率規模降雨量（基準地点高津戸）

| 項目 | 高津戸 | 備考 |
|---|---|---|
| 1/100 確率雨量<br>（S11～H22 標本） | 369 mm/24 h | 確率手法 SLSC≦0.04<br>Jackknife 推定誤差最小 |
| 気候変動を<br>考慮した降雨量 | 405 mm/24 h | 369 mm/24 h<br>×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。

### 1) Mann-Kendall 検定（定常/非定常性の確認）

昭和 11 年（1936 年）から平成 22 年（2010 年）までの雨量データに一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したが、非定常性は確認されなかったため、近年降雨までデータ延伸を実施した。

### 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た場合の Gumbel 分布による確率雨量を算定した。その結果、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津戸 1/100 確率雨量は 362 mm/24 h となりデータ延伸による確率雨量に大きな差がないことを確認した。

## 1-19　雨量確率法による検討（渡良瀬川）

### 1)　主要降雨波形の選定

主要降雨波形は、令和 3 年（2021 年）までの基準地点高津戸における 24 時間雨量のうち、表 1.34 の年超過確率 1/10（236 mm/24 h）を超過し、引伸ばし率が 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。

選定した洪水を対象に、基準地点高津戸の 1/100 確率 24 時間雨量 405 mm（369 mm×1.1）となるよう引伸ばし降雨波形を作成し流出計算を行ったところ、基準地点高津戸におけるピーク流量は 2,700 $m^3/s$～5,000 $m^3/s$ となり、その結果を表 1.36 に示し各洪水のハイドログラフを図 1.113 から図 1.116 に示す。

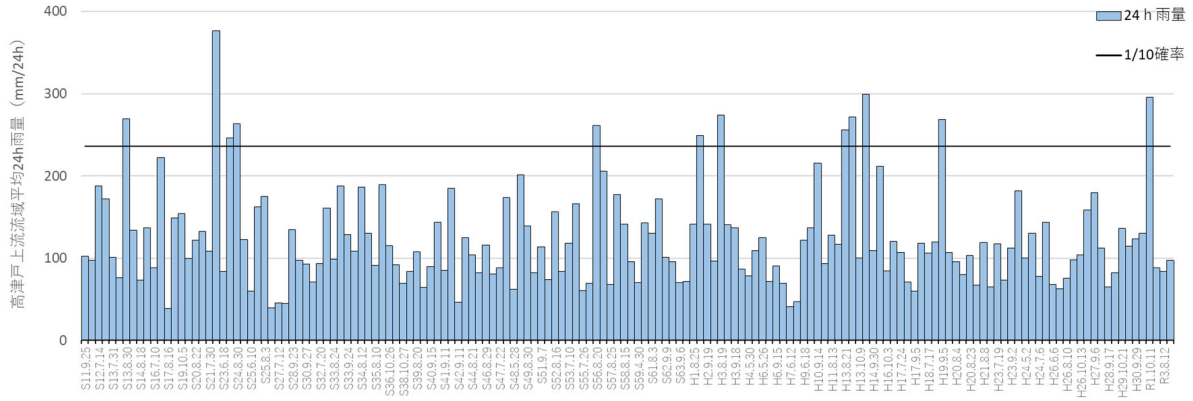



図 1.112　主要降雨波形の選定（基準地点高津戸）

表 1.36　主要降雨波形のピーク流量一覧（基準地点高津戸）

| No | 洪水名 | 高津戸地点<br>24時間雨量<br>（mm） | 計画規模降雨量<br>×1.1（mm/24h） | 引伸ばし率 | 高津戸地点<br>ピーク流量<br>（$m^3/s$） |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | S13.8.30 | 269.3 | 405 | 1.51 | 5,000 |
| 2 | S22.9.13 | 376.8 | 405 | 1.08 | 5,000 |
| 3 | S23.9.14 | 246.0 | 405 | 1.65 | 4,300 |
| 4 | S24.8.30 | 263.7 | 405 | 1.54 | 4,700 |
| 5 | S56.8.20 | 260.8 | 405 | 1.55 | 3,300 |
| 6 | H2.8.8 | 249.6 | 405 | 1.62 | 4,400 |
| 7 | H3.8.19 | 273.9 | 405 | 1.48 | 3,300 |
| 8 | H13.8.21 | 256.1 | 405 | 1.58 | 4,100 |
| 9 | H13.9.9 | 271.8 | 405 | 1.49 | 2,700 |
| 10 | H14.7.9 | 299.7 | 405 | 1.35 | 3,100 |
| 11 | H19.9.5 | 268.9 | 405 | 1.51 | 3,500 |
| 12 | R1.10.11 | 295.4 | 405 | 1.37 | 4,300 |

※100 $m^3/s$ の端数については、切り上げるものとした
※引伸ばし率：「24 時間雨量(mm)」と「1/100 確率雨量×1.1」との比率
※計算流量：流出計算モデルを用いて実績降雨から算出した流量

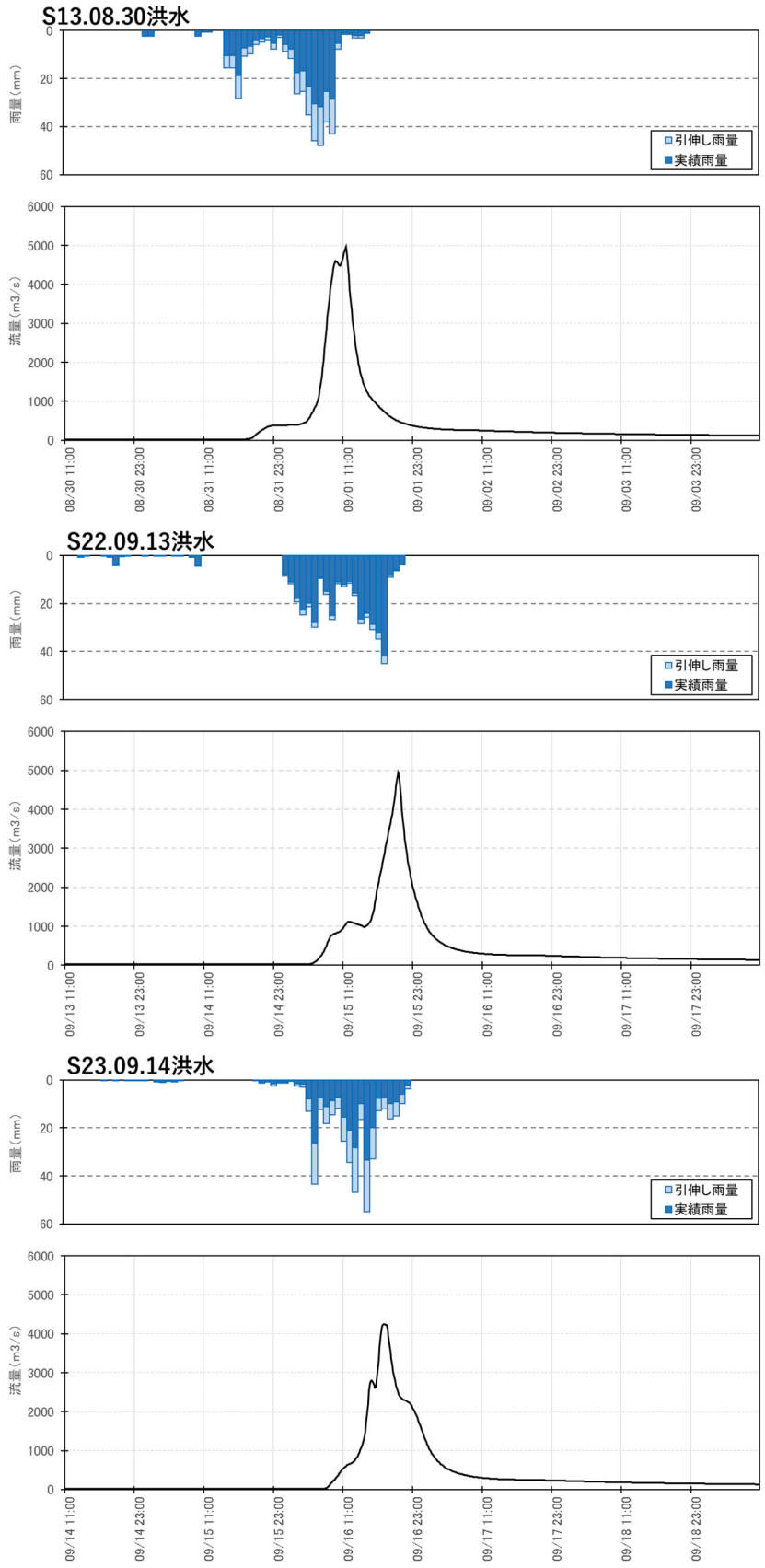



図 1.113　主要降雨波形のハイドロ（基準地点高津戸）

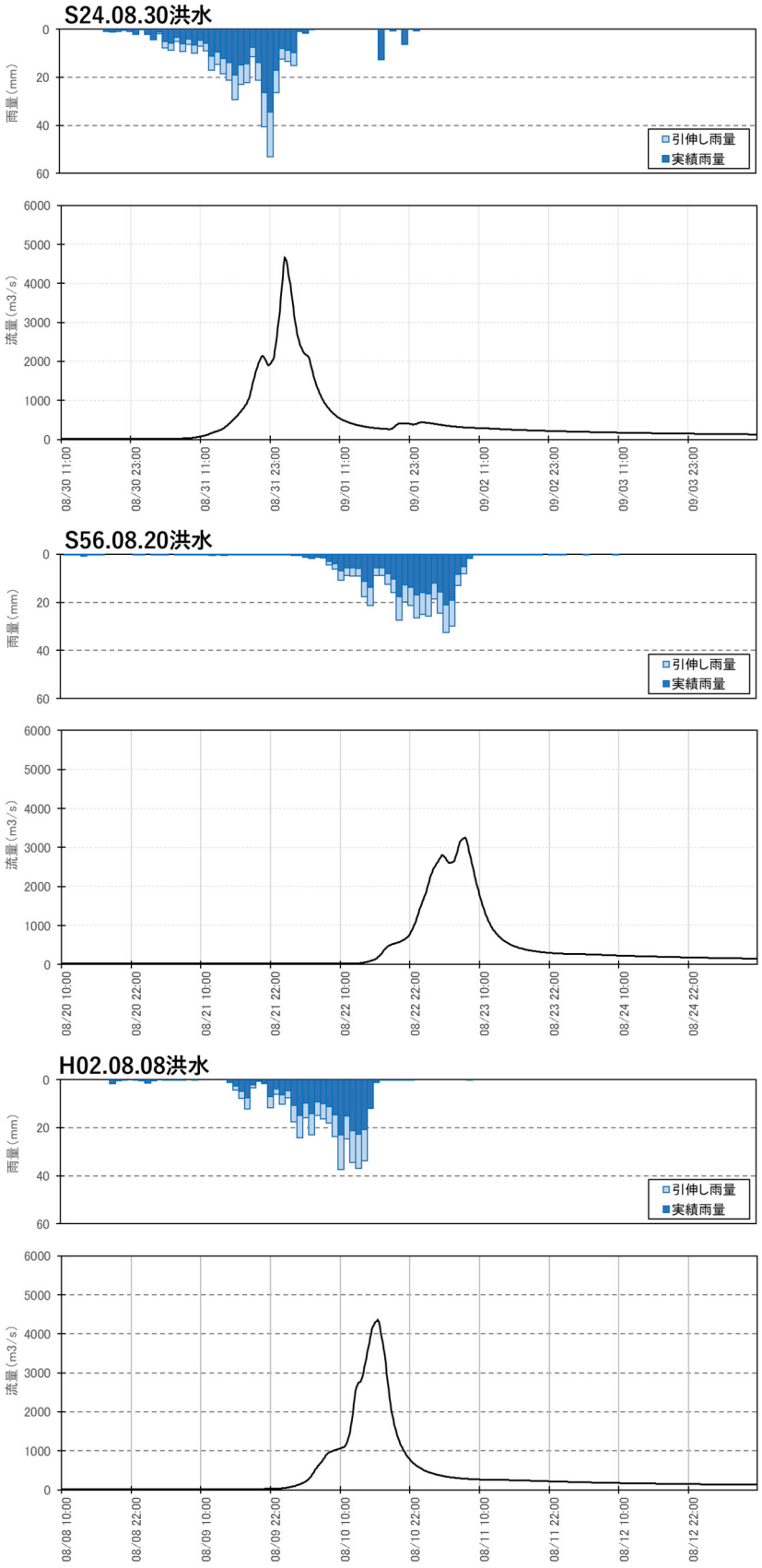



図 1.114　主要降雨波形のハイドロ（基準地点高津戸）

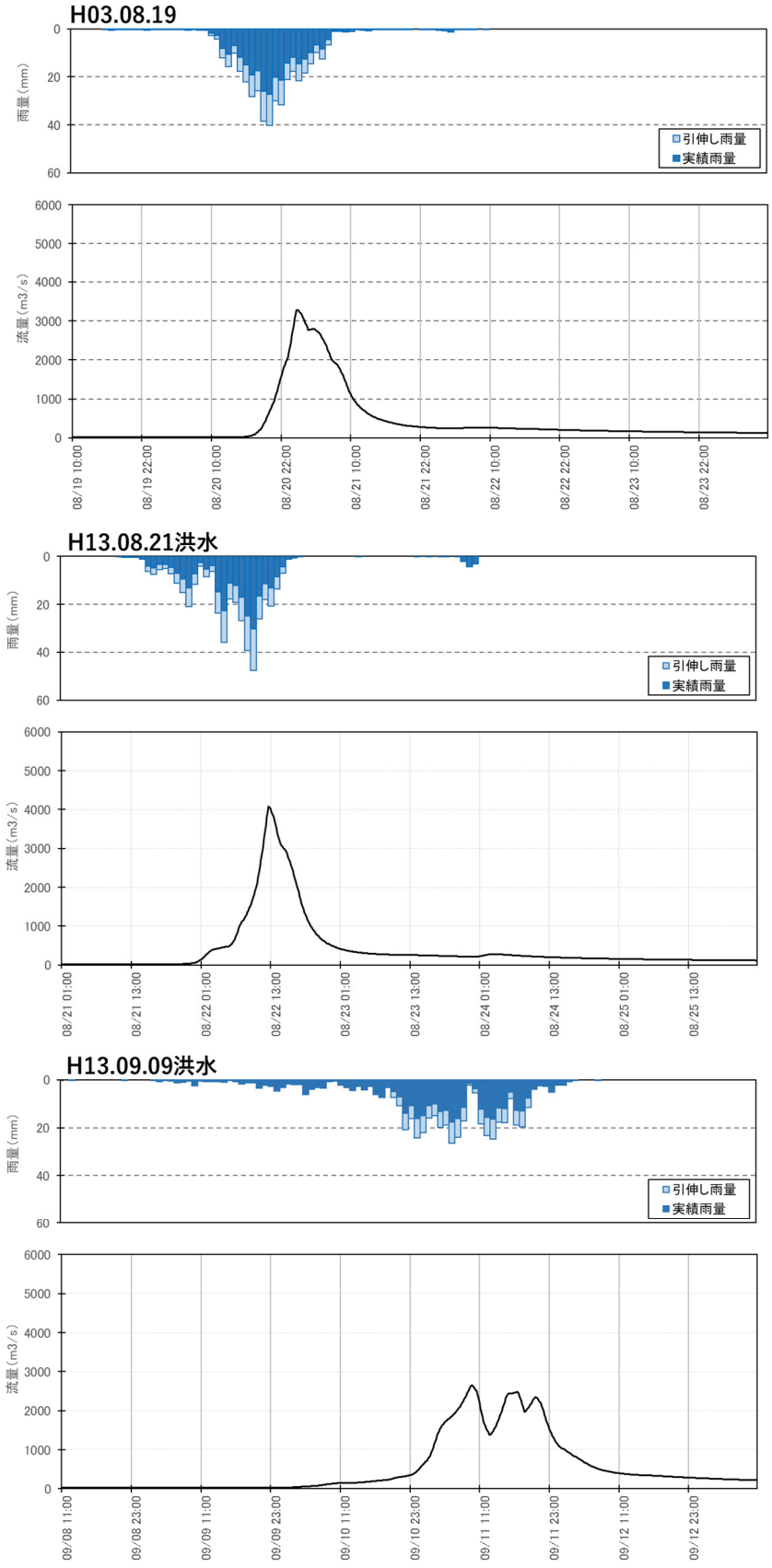



図 1.115　主要降雨波形のハイドロ（基準地点高津戸）

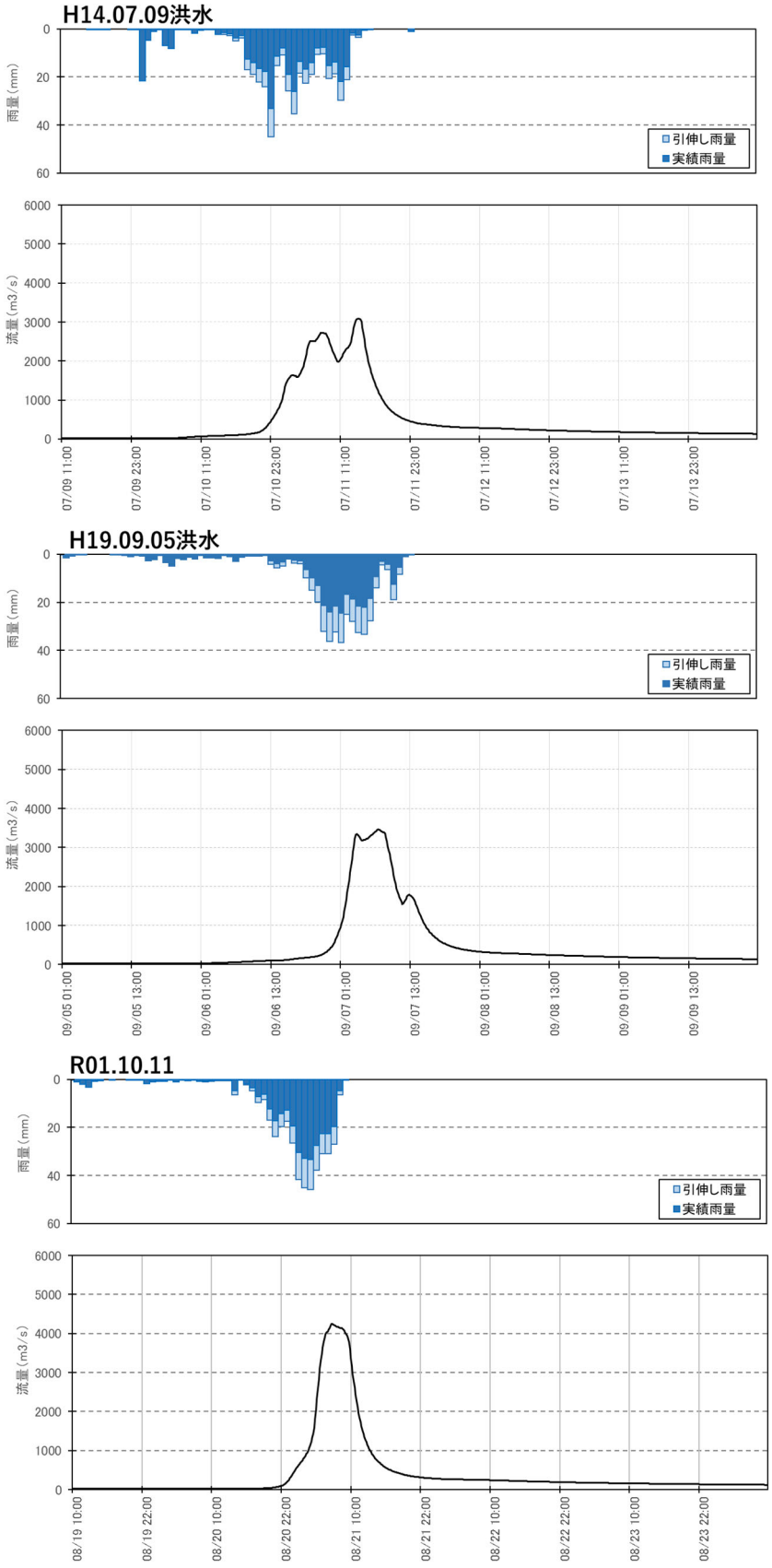



図 1.116　主要降雨波形のハイドロ（基準地点高津戸）

### 2)　主要降雨波形の地域分布及び時間分布の検討

#### (1)　　主要降雨波形の地域分布及び時間分布の検討の考え方

主要降雨波形において、「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」等を一律引伸ばしすると、引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、確率水文量への引伸ばしによって異常な降雨になっていないか十分にチェックする必要がある。

従って、前項で選定した洪水について、引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。

#### (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。

### (3) 地域分布の評価

① 対象地域の選定

対象地域は、以下に示す主な理由により 4 流域と選定した。

A：桐生川流域

主要支川桐生川流域のハイエトの確認用として選定

B：旗川流域

主要支川旗川流域のハイエトの確認用として選定

C：矢場川流域

主要支川矢場川流域のハイエトの確認用として選定

D：秋山川流域

主要支川秋山川流域のハイエトの確認用として選定

② 棄却基準値の設定

各対象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 11 年（1936 年）から平成 22 年（2010 年）までの各対象地域における年最大 24 時間雨量について確率計算を行い、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おける 1/500 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、引伸ばし後雨量の異常性評価を確認する。各地域の引伸ばし後雨量及び 1/500 雨量は表 1.37 に示すとおりであり、2 洪水が棄却される結果となった。

表 1.37　地域分布による引伸ばし後降雨の確率表

| 洪水名 | | 継続時間内降雨量（mm/24h） | 引伸ばし前 | | | | | 引伸ばし後 | | | | 判定1/500 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 地域降雨量（mm） | | | | 引伸ばし率 | 地域降雨量（mm） | | | | 地域分布 | | | | 対象降雨 |
| | | | 桐生川 | 旗川 | 矢場川 | 秋山川 | | 桐生川 | 旗川 | 矢場川 | 秋山川 | 桐生川 | 旗川 | 矢場川 | 秋山川 | |
| | | | 24h | | | | | 24h | | | | 24h | | | | |
| 1 | S13.8.30 | 269.3 | 187.3 | 194.8 | 130.7 | 209.2 | 1.37 | 256.3 | 266.5 | 178.9 | 286.3 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 2 | S22.9.13 | 376.8 | 319.5 | 230.5 | 275.4 | 208.6 | 0.98 | 312.4 | 225.4 | 269.3 | 204.0 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 3 | S23.9.14 | 246.0 | 174.9 | 185.0 | 150.1 | 201.9 | 1.50 | 262.0 | 277.2 | 224.9 | 302.5 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 4 | S24.8.30 | 263.7 | 130.2 | 110.1 | 45.0 | 124.9 | 1.40 | 181.9 | 153.8 | 62.9 | 174.5 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 5 | S56.8.20 | 260.8 | 164.3 | 145.9 | 90.3 | 168.2 | 1.41 | 232.1 | 206.1 | 127.5 | 237.6 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 6 | H2.8.8 | 249.6 | 182.2 | 198.7 | 149.2 | 198.7 | 1.48 | 269.0 | 293.4 | 220.3 | 293.4 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 7 | H3.8.19 | 273.9 | 258.1 | 243.5 | 161.2 | 238.1 | 1.35 | 347.2 | 327.5 | 216.9 | 320.3 | ○ | | ○ | ○ | |
| 8 | H13.8.21 | 256.1 | 188.3 | 145.4 | 76.3 | 170.8 | 1.44 | 270.9 | 209.3 | 109.8 | 245.8 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 9 | H13.9.9 | 271.8 | 185.3 | 164.1 | 103.3 | 177.8 | 1.36 | 251.3 | 222.5 | 140.0 | 241.1 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 10 | H14.7.9 | 299.7 | 281.6 | 209.2 | 145.1 | 167.3 | 1.23 | 346.3 | 257.3 | 178.4 | 205.7 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 11 | H19.9.5 | 268.9 | 230.9 | 173.9 | 89.6 | 174.5 | 1.37 | 316.5 | 238.3 | 122.8 | 239.1 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 12 | R1.10.11 | 295.4 | 269.3 | 332.5 | 240.1 | 388.8 | 1.25 | 336.0 | 414.8 | 299.5 | 485.0 | ○ | | ○ | | |
| 棄却基準値 | | | | | | | | 357.1 | 321.8 | 304.9 | 342.2 | | | | | |

※引伸ばし率は、基準地点高津戸 1/100 確率規模降雨量 369 mm/24 h に対する実績 24 時間雨量との引伸ばし率である。

※■：引伸ばし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した洪水。

※1/500 雨量は、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おける値による。

### (4)　時間分布の評価

時間分布の検討では、洪水到達時間相当の短時間雨量について過度に引伸ばしがされていないか確認を行った。

① 対象時間の選定

対象時間は、角屋の式から得られる洪水到達時間の平均値である 6 時間を短時間雨量と設定した。また、計画降雨継続時間 24 時間の 1/2 である 12 時間を短時間雨量と設定し、表 1.38 に示す。

表 1.38　対象時間の設定

| 基準地点名 | 時間分布棄却基準（短時間雨量として設定） | |
|---|---|---|
| 高津戸 | 6 h | 12 h |

② 棄却基準値の設定

各対象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 11 年（1936 年）から平成 22 年（2010 年）までの各対象地域における年最大 24 時間雨量について確率計算を行い、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おける 1/500 確率雨量を採用した。

③ 時間分布の雨量評価

前項に選定した棄却基準値をもとに、著しい引伸ばしとなっていないかを確認する。

各時間の引伸ばし後雨量及び 1/500 雨量は表 1.39 に示すとおりとなり、時間分布による棄却洪水はなかった。

## 表 1.39　短時間降雨確率評価表

| 洪水名 | | 引伸ばし前 | | | | 引伸ばし後 | | 判定1/500 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 短時間降雨量（mm） | | 継続時間内降雨量（mm/24h） | 引伸ばし率 | 短時間降雨量（mm） | | 時間分布 | | 対象降雨 |
| | | 高津戸上流域 | | | | 高津戸上流域 | | 高津戸上流域 | | |
| | | 6h | 12h | | | 6h | 12h | 6h | 12h | |
| 1 | S13.8.30 | 156.5 | 200.0 | 269.3 | 1.37 | 214.2 | 273.7 | ○ | ○ | ○ |
| 2 | S22.9.13 | 168.8 | 251.3 | 376.8 | 0.98 | 165.1 | 245.8 | ○ | ○ | ○ |
| 3 | S23.9.14 | 127.9 | 196.6 | 246.0 | 1.50 | 191.6 | 294.6 | ○ | ○ | ○ |
| 4 | S24.8.30 | 113.8 | 194.6 | 263.7 | 1.40 | 159.1 | 271.9 | ○ | ○ | ○ |
| 5 | S56.8.20 | 100.5 | 180.3 | 260.8 | 1.41 | 141.9 | 254.7 | ○ | ○ | ○ |
| 6 | H2.8.8 | 117.5 | 186.6 | 249.6 | 1.48 | 173.5 | 275.5 | ○ | ○ | ○ |
| 7 | H3.8.19 | 131.5 | 211.6 | 273.9 | 1.35 | 176.8 | 284.7 | ○ | ○ | ○ |
| 8 | H13.8.21 | 118.0 | 186.8 | 256.1 | 1.44 | 169.8 | 268.8 | ○ | ○ | ○ |
| 9 | H13.9.9 | 81.2 | 154.9 | 271.8 | 1.36 | 110.1 | 210.1 | ○ | ○ | ○ |
| 10 | H14.7.9 | 115.4 | 202.8 | 299.7 | 1.23 | 141.9 | 249.4 | ○ | ○ | ○ |
| 11 | H19.9.5 | 126.6 | 220.4 | 268.9 | 1.37 | 173.5 | 302.1 | ○ | ○ | ○ |
| 12 | R1.10.11 | 169.1 | 264.8 | 295.4 | 1.25 | 211.0 | 330.3 | ○ | ○ | ○ |
| 棄却基準値 | | | | | | 252.7 | 347.1 | | | |

※引伸ばし率は、基準地点高津戸 1/100 確率規模降雨量 369 mm/24 h に対する実績 24 時間雨量との引伸ばし率である。

※1/500 雨量は、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おける値による。

### 3)　主要降雨波形の設定（渡良瀬川）

主要降雨波形について前項で棄却された洪水を含め表 1.40 に示す。

表 1.40　主要降雨波形一覧（基準地点高津戸）

| No | 洪水名 | 高津戸地点<br>24時間雨量<br>（mm） | 計画規模降雨量<br>×1.1（mm/24h） | 引伸ばし率 | 高津戸地点<br>ピーク流量<br>（$m^3/s$） | 棄却理由 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | S13.8.30 | 269.3 | 405 | 1.51 | 5,000 | |
| 2 | S22.9.13 | 376.8 | 405 | 1.08 | 5,000 | |
| 3 | S23.9.14 | 246.0 | 405 | 1.65 | 4,300 | |
| 4 | S24.8.30 | 263.7 | 405 | 1.54 | 4,700 | |
| 5 | S56.8.20 | 260.8 | 405 | 1.55 | 3,300 | |
| 6 | H2.8.8 | 249.6 | 405 | 1.62 | 4,400 | |
| 7 | H3.8.19 | 273.9 | 405 | 1.48 | 3,300 | 地域分布 |
| 8 | H13.8.21 | 256.1 | 405 | 1.58 | 4,100 | |
| 9 | H13.9.9 | 271.8 | 405 | 1.49 | 2,700 | |
| 10 | H14.7.9 | 299.7 | 405 | 1.35 | 3,100 | |
| 11 | H19.9.5 | 268.9 | 405 | 1.51 | 3,500 | |
| 12 | R1.10.11 | 295.4 | 405 | 1.37 | 4,300 | 地域分布 |

※100 $m^3/s$ の端数については、切り上げるものとした
※■：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
※引伸ばし率：「24 時間雨量(mm)」と「1/100 確率雨量×1.1」との比率

## 1-20　気候変動を考慮した総合確率法による検討（渡良瀬川）

既定計画の基本高水のピーク流量は、代表洪水における降雨波形について、総雨量を任意に与えて流出計算を行うことにより得られる最大流量の生起状況を総雨量の生起状況から推算し、確率流量を算定する「総合確率法」により設定してきた。そのため、気候変動を考慮した基本高水のピーク流量の算出においても総合確率法による検討を実施した。なお総合確率法については図 1.117 に概念図を示す。

検討にあたり、表 1.33 に示す昭和 11 年（1936 年）から平成 22 年（2010 年）までの 75 年間の年最大 24 時間雨量を記録した洪水を対象に、高津戸上流域の流域平均 24 時間雨量（$R$）が任意の 24 時間雨量（100 mm、200 mm、300 mm、350 mm、400 mm、500 mm、600 mm、700 mm、800 mm、900 mm 及び 1,000 mm）となるよう各降雨波形の小流域毎の流域平均雨量の時間分布を引伸ばし（引縮め）、それぞれの任意の 24 時間雨量における各降雨波形における小流域毎の流域平均時間雨量を求め、検討の対象とする降雨波形とした。

降雨波形毎に任意の高津戸上流域の流域平均 24 時間雨量（$R$）に対するピーク流量（$Q_p$）を算出して、$R$と$Q_p$の関係を求め、図 1.118 のとおり$R$ - $Q_p$図を作成した。なお、これらの値の間の$R$と$Q_p$の関係については計算値を直線補間した。

作成した$R$ -$Q_p$図により、75 の降雨波形毎に任意の$Q_p$に対する雨量（$R_i$）を読み取り、$R_i$に降雨量変化倍率（1.1 倍）を考慮した雨量の年超過確率$P_{M(R)}$により、各$R_i$に対する年超過確率（$P_{M(Ri)}$）を算出し、任意の$Q_p$に対する年超過確率$P_{(Q_p)}$の関係を求め、$Q_p - P_{(Q_p)}$図（図 1.119）を作成した。なお、$Q_p - P_{(Q_p)}$図の作成に当たっては、$Q_p$を 500 $m^3/s$～30,000 $m^3/s$ までの 500 $m^3/s$ ピッチの値として求め、これらの値の間の$Q_p$と$P_{(Q_p)}$の関係については計算値を直線補間した。

このようにして作成した$Q_p - P_{(Q_p)}$図から、基準地点高津戸における1/100確率流量は、約4,900 $m^3/s$となった。

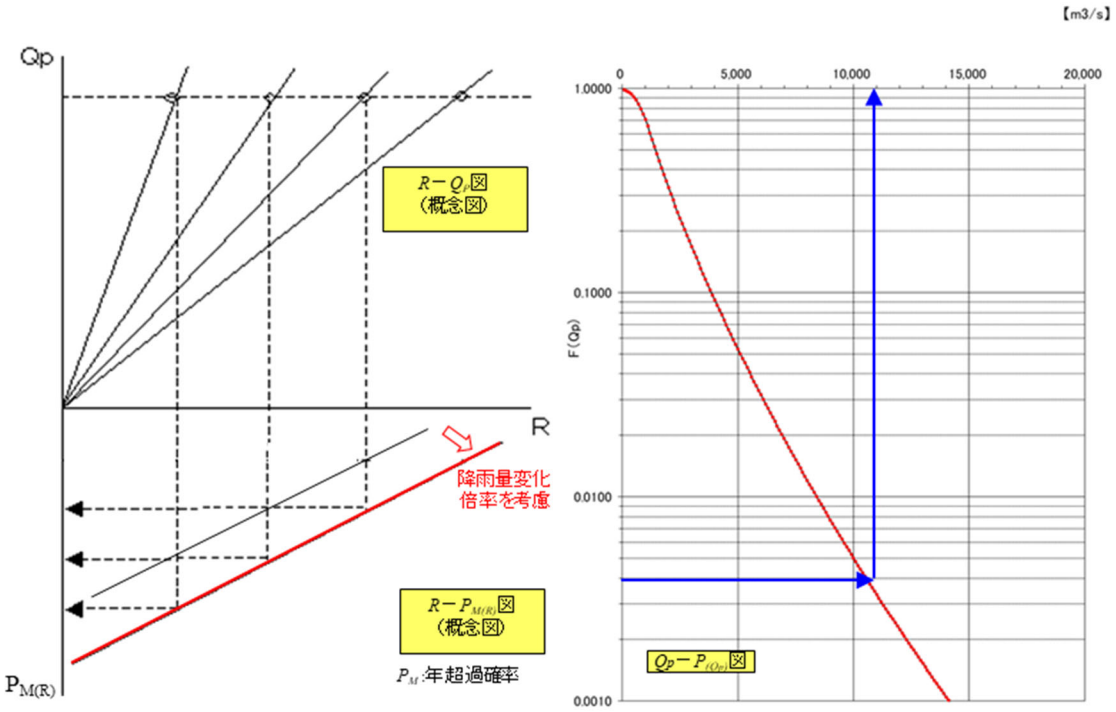



図 1.117　総合確率法概念図

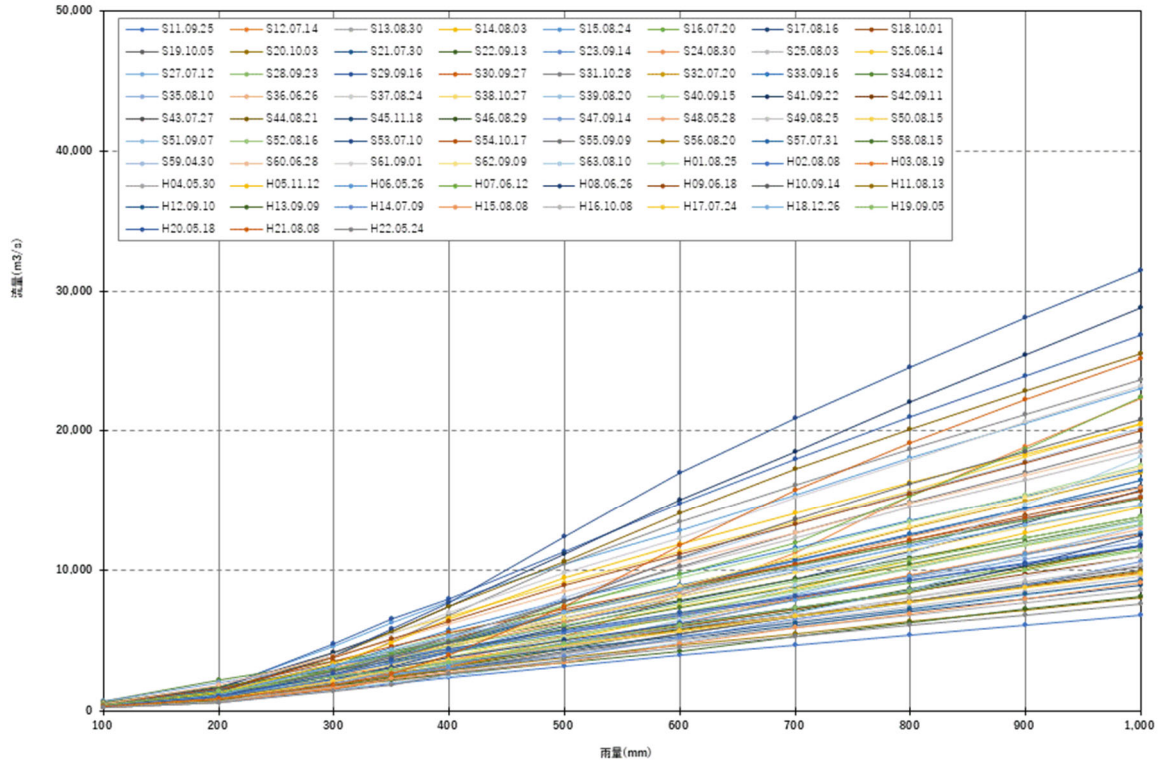

S11.09.25 S12.07.14 S13.08.30 S14.08.03 S15.08.24 S16.07.20 S17.08.16 S18.10.01
S19.10.05 S20.10.03 S21.07.30 S22.09.13 S23.09.14 S24.08.30 S25.08.03 S26.06.14
S27.07.12 S28.09.23 S29.09.16 S30.09.27 S31.10.28 S32.07.20 S33.09.16 S34.08.12
S35.08.10 S36.06.26 S37.08.24 S38.10.27 S39.08.20 S40.09.15 S41.09.22 S42.09.11
S43.07.27 S44.08.21 S45.11.18 S46.08.29 S47.09.14 S48.05.28 S49.08.25 S50.08.15
S51.09.07 S52.08.16 S53.07.10 S54.10.17 S55.09.09 S56.08.20 S57.07.31 S58.08.15
S59.04.30 S60.06.28 S61.09.01 S62.09.09 S63.08.10 H01.08.25 H02.08.08 H03.08.19
H04.05.30 H05.11.12 H06.05.26 H07.06.12 H08.06.26 H09.06.18 H10.09.14 H11.08.13
H12.09.10 H13.09.09 H14.07.09 H15.08.08 H16.10.08 H17.07.24 H18.12.26 H19.09.05
H20.05.18 H21.08.08 H22.05.24
流量(m3/s)
50.000
40.000
30.000
20.000
10.000
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1,000
雨量(mm)

図 1.118　$R$ -$Q_p$図

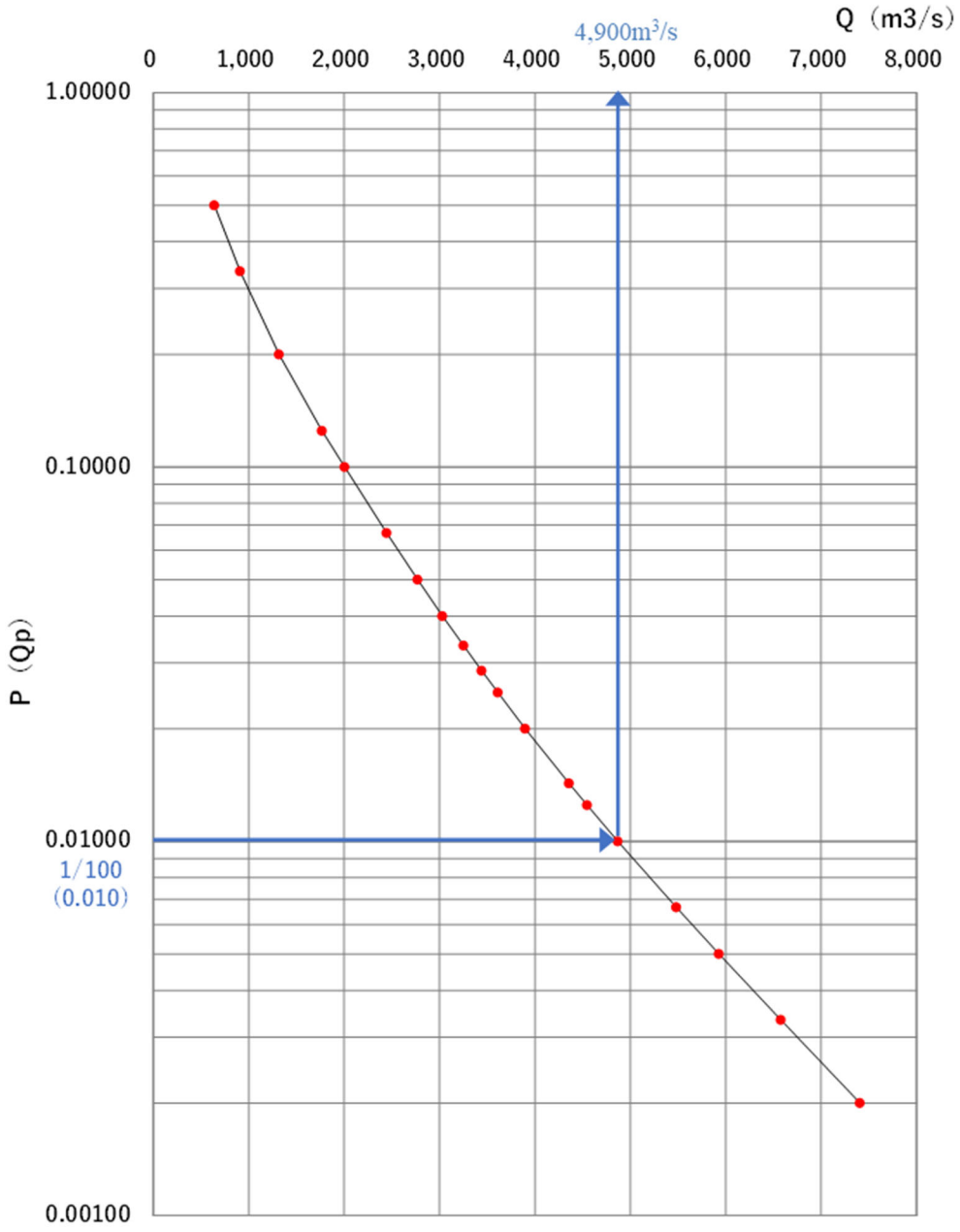



**図 1.119　$Q_p - P_{(Q_p)}$図**

## 1-21　アンサンブル予測降雨波形による検討（渡良瀬川）

### 1)　アンサンブル予測降雨波形による流出計算

気候変動アンサンブルデータは、文部科学省・気候変動リスク情報創世プログラム及び海洋研究開発機構・地球シミュレータ特別推進課題において作成された地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース（d4PDF）（20 km メッシュ）であり、過去実験として 3,000 年分、将来実験として 5,400 年分（4 ℃上昇）、3,200 年分（2 ℃上昇：d2PDF）という国内でも類を見ない大量のデータで構成されており、物理的に発生し得る様々な気象パターンを想定することが可能である。

さらに、短時間・局所的な極端降雨、地形性降雨を十分に表現できるように、海洋研究開発機構のスーパーコンピュータ「地球シミュレータ」を用い、解像度（5km メッシュ）に NHRCM（気象庁の地域気候モデル）を用いて力学的ダウンスケーリング（DS）を行っている。

この解像度 5 km メッシュにダウンスケーリングされたアンサンブルデータにおけるアンサンブル予測降雨波形（d2PDF）から、計画対象降雨の降雨量 405 mm/24 h（基準地点高津戸）に近い洪水を抽出した（図 1.120）。抽出した 40 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 24 時間雨量 405 mm（基準地点高津戸）まで引伸ばし・引縮め、流出計算モデルにより流出量を算出した結果、表 1.41 に示すとおり約 2,200～9,700 $m^3/s$ の範囲となり、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がこの範囲に収まっていることを確認した。各洪水のハイドログラフを図 1.121 から図 1.127 に示す。

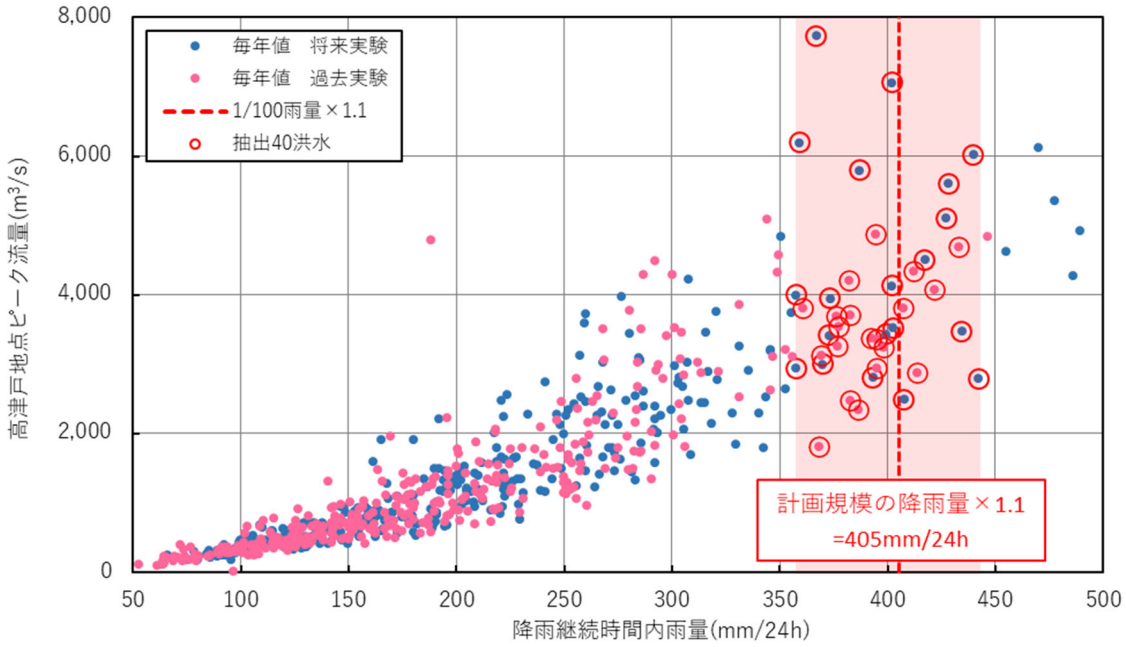



図 1.120　アンサンブル予測降雨波形からの抽出（基準地点高津戸）

表 1.41　アンサンブル予測降雨波形のピーク流量一覧（基準地点高津戸）

| | 洪水名 | 高津戸地点<br>24時間雨量<br>（mm） | 気候変動考慮後<br>1／100雨量<br>（mm） | 引伸ばし率 | 高津戸地点<br>ピーク流量<br>（$m^3/s$） |
|---|---|---|---|---|---|
| 将来実験 | HFB_2K_CC_m101_12 | 399.2 | 405 | 1.02 | 3,600 |
| | HFB_2K_CC_m105_7 | 402.4 | 405 | 1.01 | 3,600 |
| | HFB_2K_CC_m105_22 | 359.1 | 405 | 1.13 | 7,100 |
| | HFB_2K_GF_m101_24 | 357.5 | 405 | 1.13 | 3,600 |
| | HFB_2K_GF_m105_16 | 357.4 | 405 | 1.13 | 4,900 |
| | HFB_2K_HA_m101_14 | 427.1 | 405 | 0.95 | 4,800 |
| | HFB_2K_HA_m101_20 | 434.2 | 405 | 0.93 | 3,100 |
| | HFB_2K_HA_m101_26 | 417.1 | 405 | 0.97 | 4,400 |
| | HFB_2K_MI_m101_13 | 439.8 | 405 | 0.92 | 5,400 |
| | HFB_2K_MI_m101_16 | 366.8 | 405 | 1.11 | 9,700 |
| | HFB_2K_MI_m101_17 | 407.7 | 405 | 0.99 | 2,500 |
| | HFB_2K_MI_m101_28 | 387.0 | 405 | 1.05 | 6,300 |
| | HFB_2K_MI_m105_14 | 401.9 | 405 | 1.01 | 7,200 |
| | HFB_2K_MI_m105_26 | 402.0 | 405 | 1.01 | 4,200 |
| | HFB_2K_MP_m101_4 | 369.8 | 405 | 1.10 | 3,400 |
| | HFB_2K_MP_m101_22 | 428.2 | 405 | 0.95 | 5,300 |
| | HFB_2K_MR_m101_3 | 442.2 | 405 | 0.92 | 2,600 |
| | HFB_2K_MR_m101_4 | 372.7 | 405 | 1.09 | 3,800 |
| | HFB_2K_MR_m101_8 | 373.4 | 405 | 1.09 | 4,600 |
| | HFB_2K_MR_m105_11 | 393.0 | 405 | 1.03 | 3,000 |
| 過去実験 | HPB_m001_8 | 360.4 | 405 | 1.12 | 4,400 |
| | HPB_m001_14 | 413.5 | 405 | 0.98 | 2,900 |
| | HPB_m003_13 | 433.1 | 405 | 0.94 | 4,400 |
| | HPB_m003_16 | 394.6 | 405 | 1.03 | 3,600 |
| | HPB_m003_17 | 376.8 | 405 | 1.08 | 3,600 |
| | HPB_m003_29 | 368.1 | 405 | 1.10 | 2,200 |
| | HPB_m004_26 | 421.5 | 405 | 0.96 | 3,900 |
| | HPB_m005_10 | 394.4 | 405 | 1.03 | 5,100 |
| | HPB_m005_12 | 376.3 | 405 | 1.08 | 4,100 |
| | HPB_m005_16 | 392.3 | 405 | 1.03 | 3,600 |
| | HPB_m005_26 | 382.3 | 405 | 1.06 | 4,000 |
| | HPB_m006_14 | 397.9 | 405 | 1.02 | 3,400 |
| | HPB_m007_14 | 381.8 | 405 | 1.06 | 4,600 |
| | HPB_m008_18 | 394.8 | 405 | 1.03 | 3,100 |
| | HPB_m009_28 | 377.1 | 405 | 1.07 | 3,900 |
| | HPB_m010_17 | 407.1 | 405 | 1.00 | 3,800 |
| | HPB_m021_13 | 386.1 | 405 | 1.05 | 2,600 |
| | HPB_m021_19 | 382.8 | 405 | 1.06 | 2,700 |
| | HPB_m022_2 | 412.0 | 405 | 0.98 | 4,300 |
| | HPB_m022_11 | 369.4 | 405 | 1.10 | 3,700 |

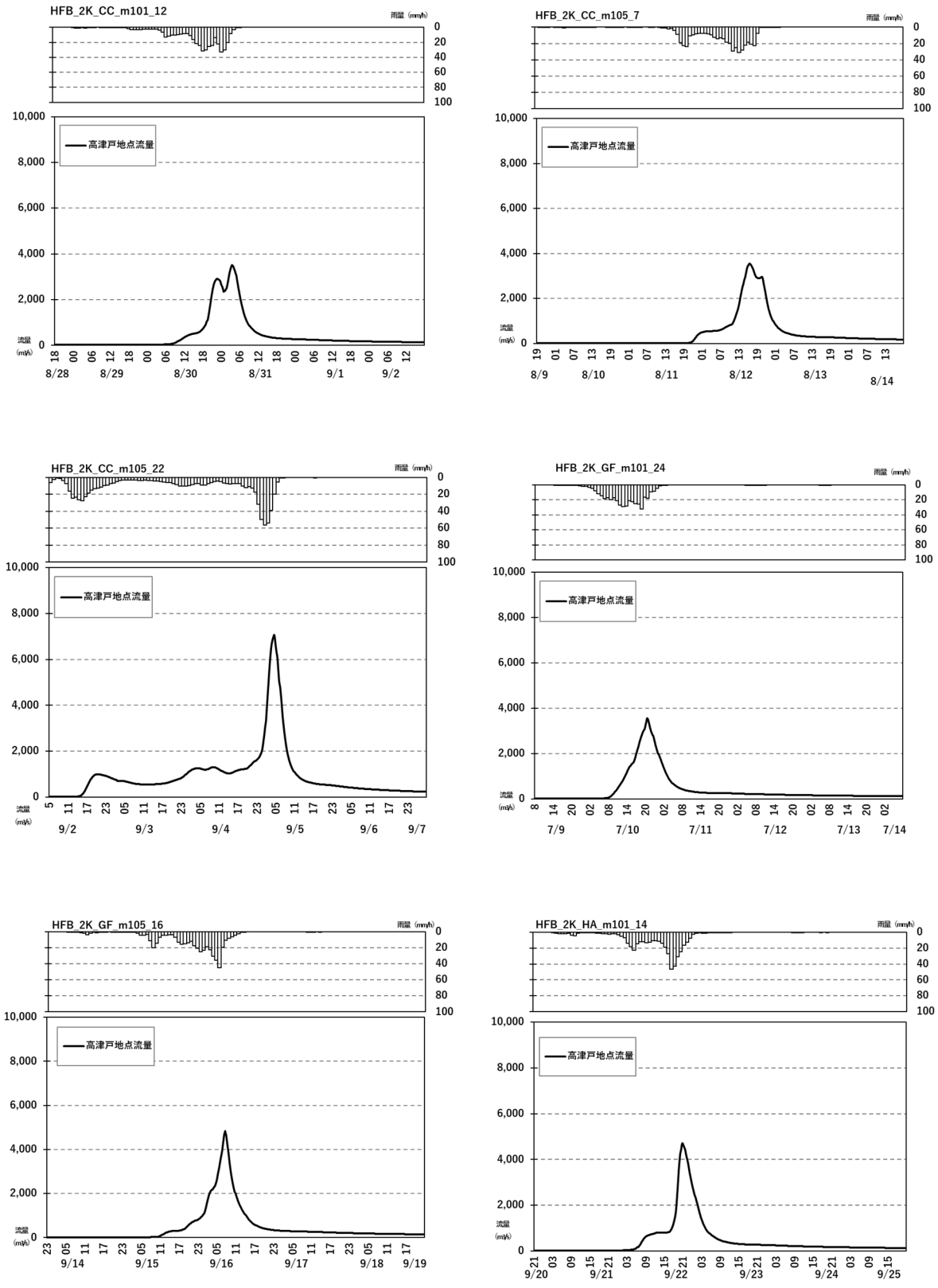



図 1.121　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地高津戸）

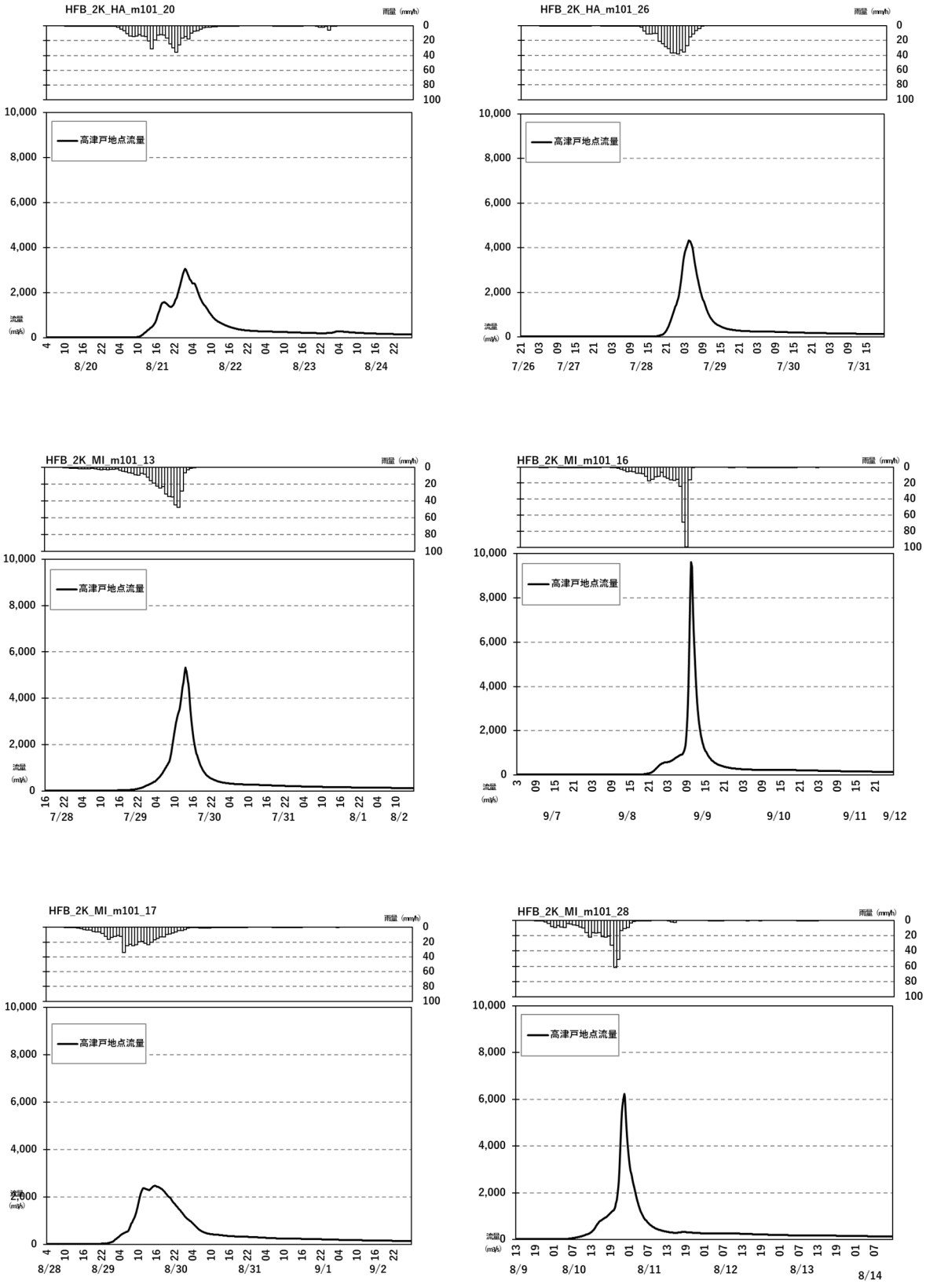



図 1.122　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地高津戸）

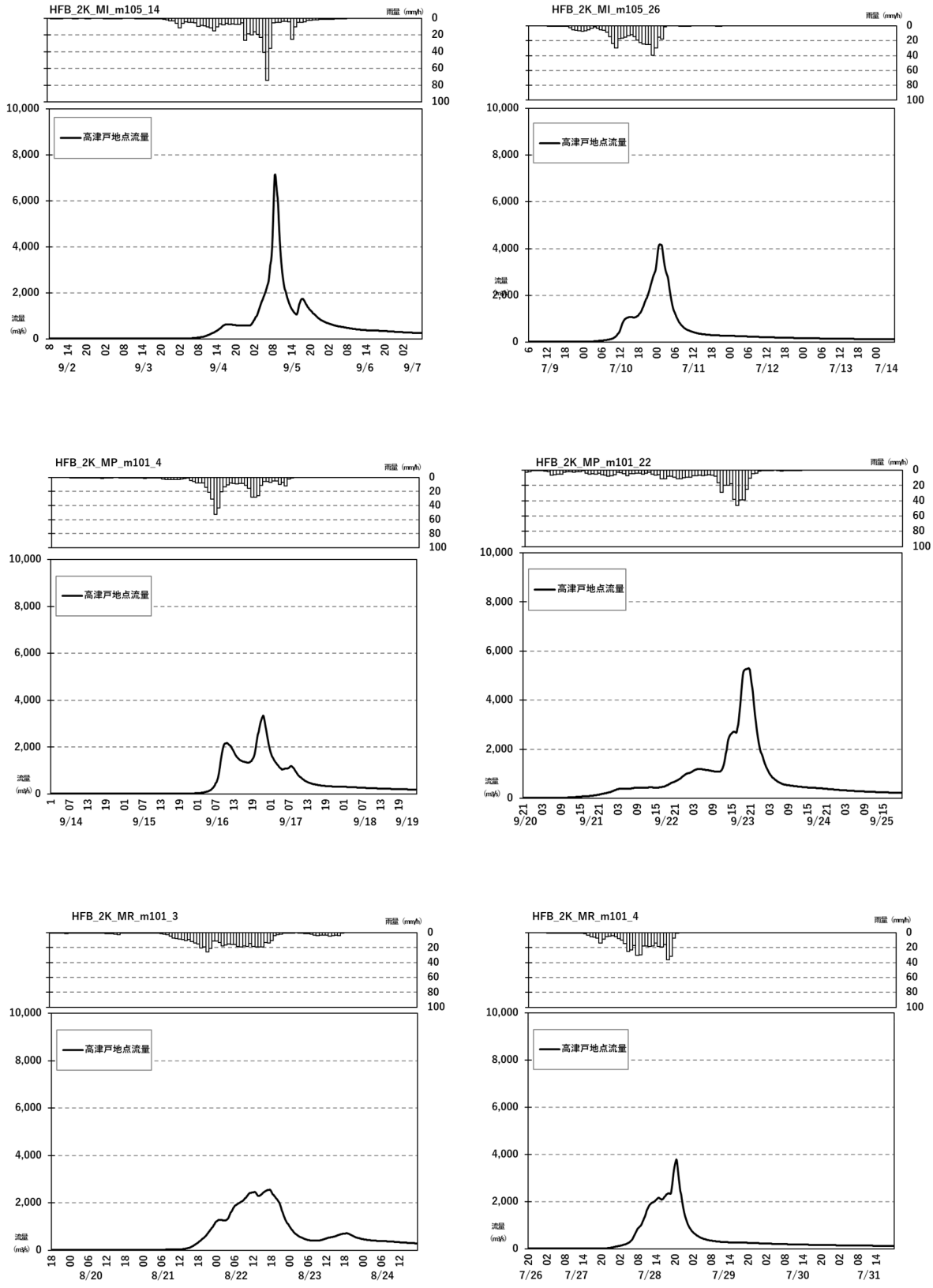



図 1.123　アンサンブル予測降雨波形抽のピーク流量（基準地点高津戸）

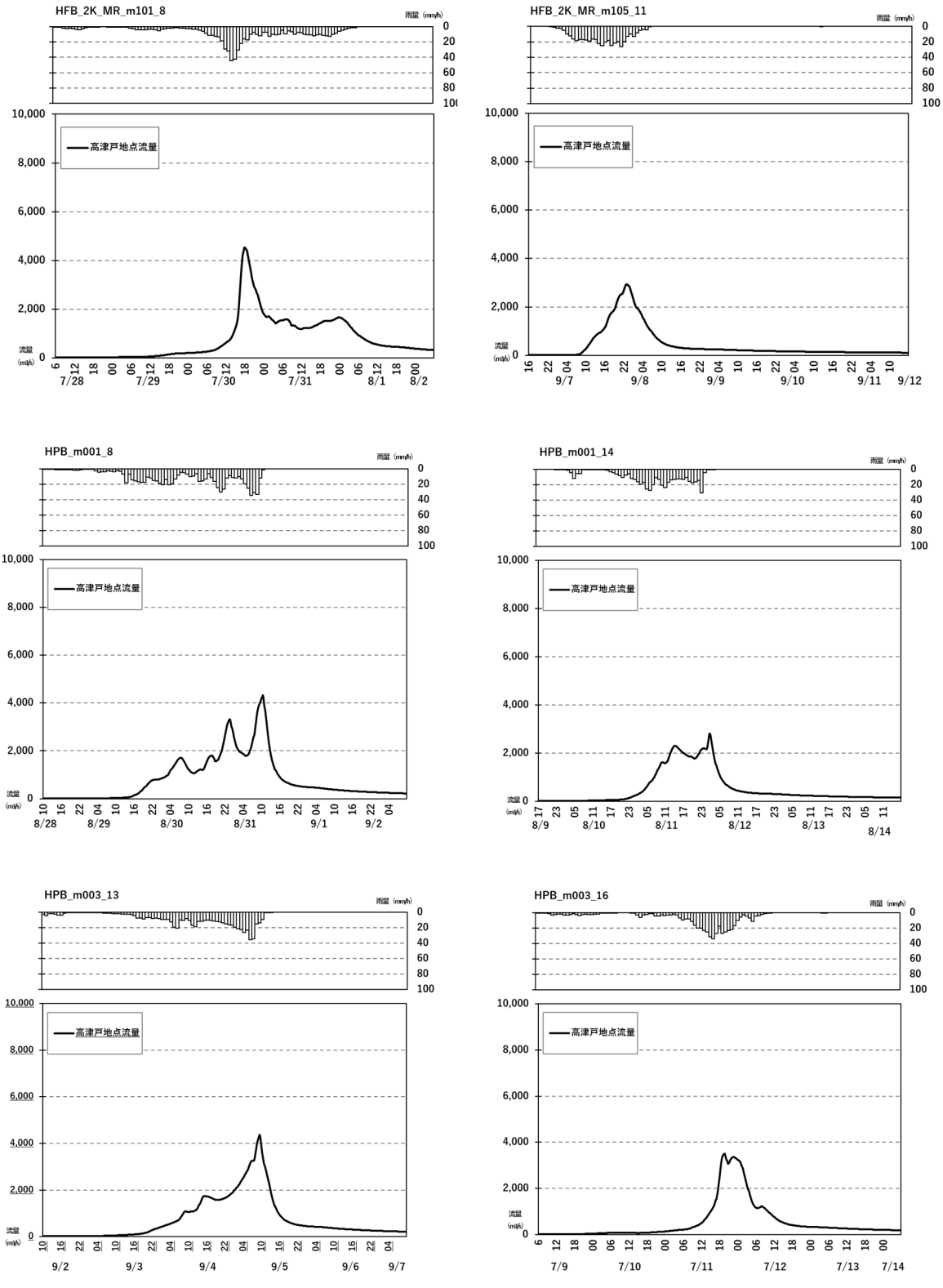



図 1.124　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地高津戸）

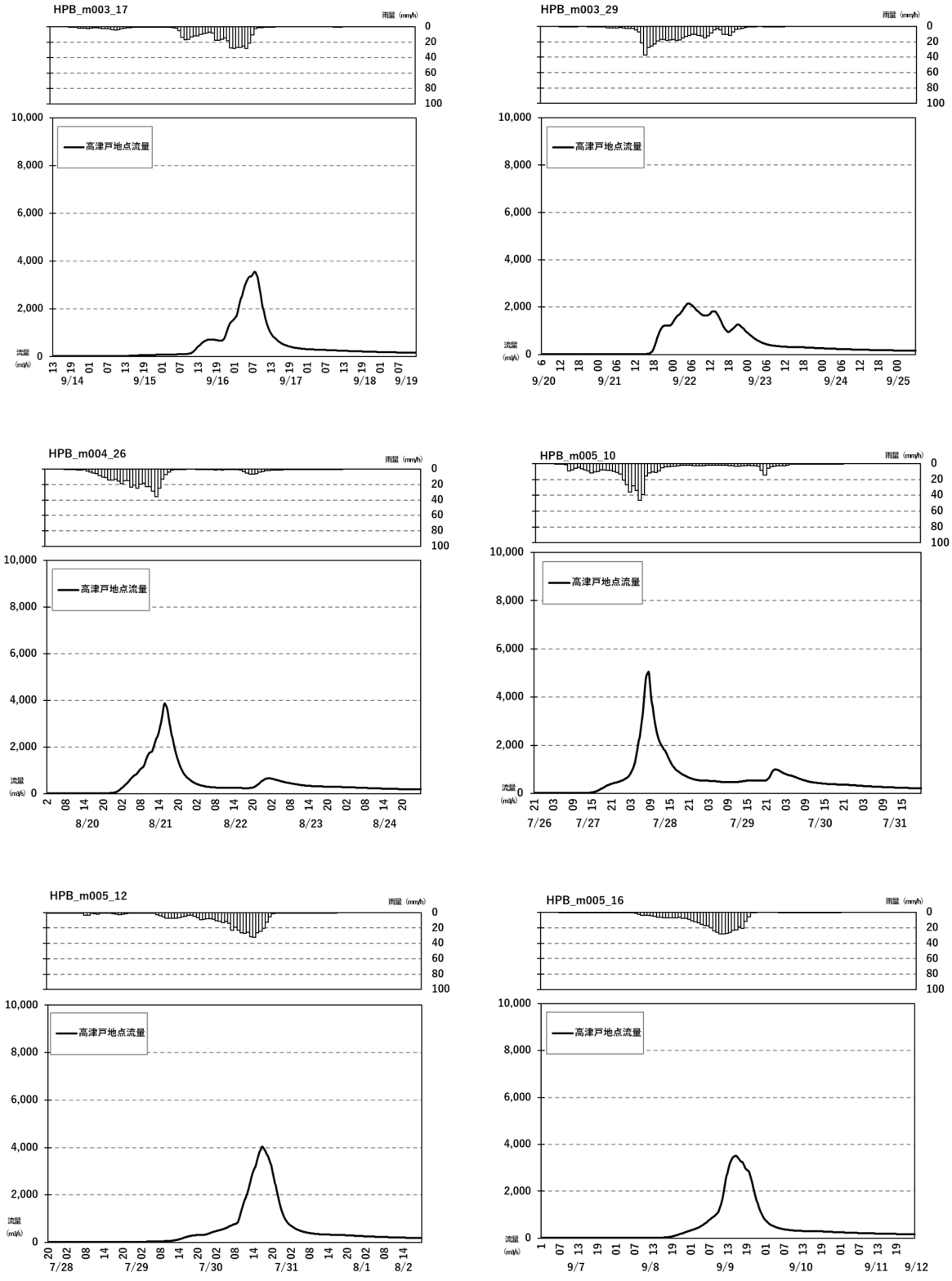



図 1.125　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地高津戸）

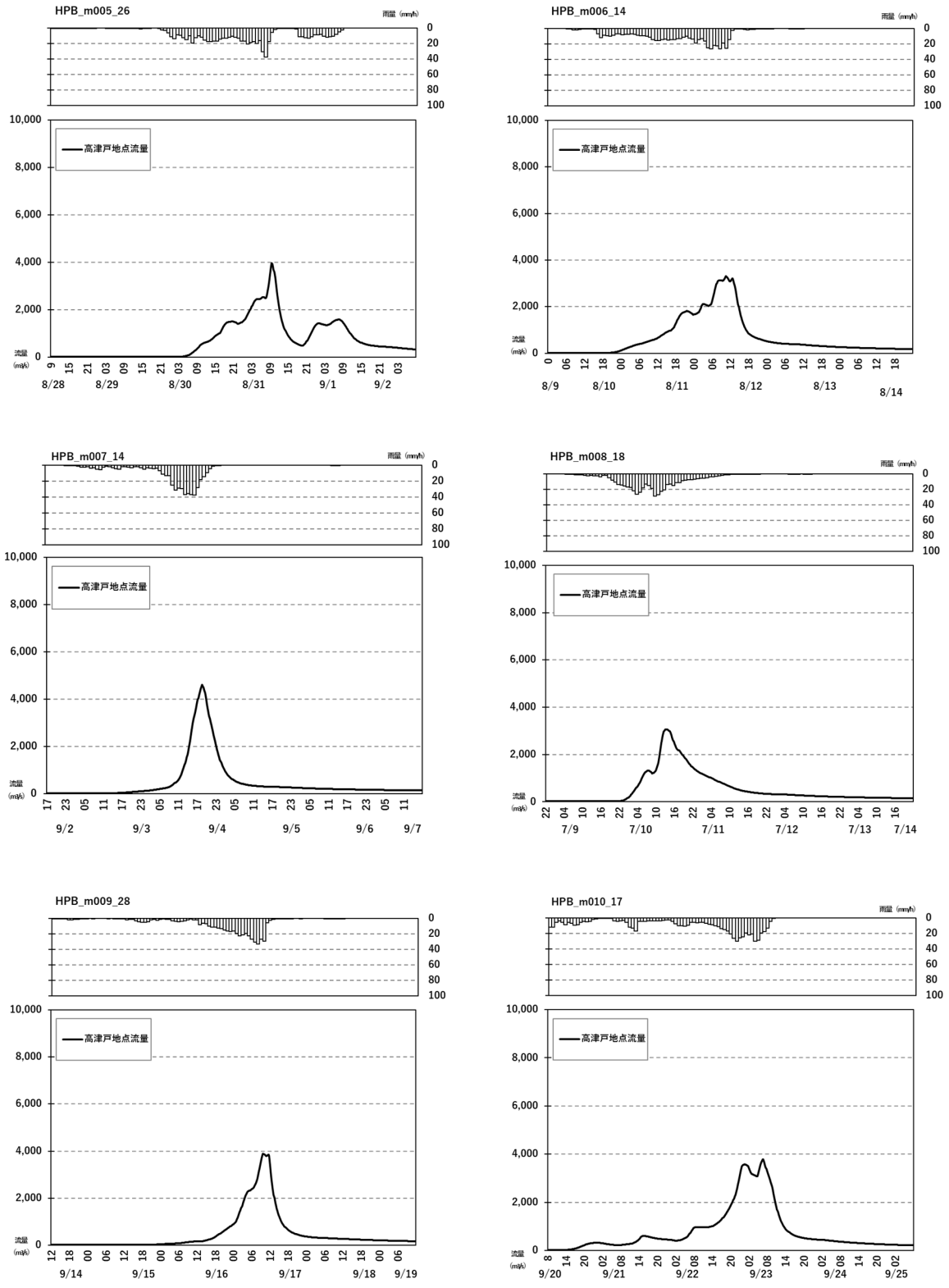



図 1.126　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地高津戸）

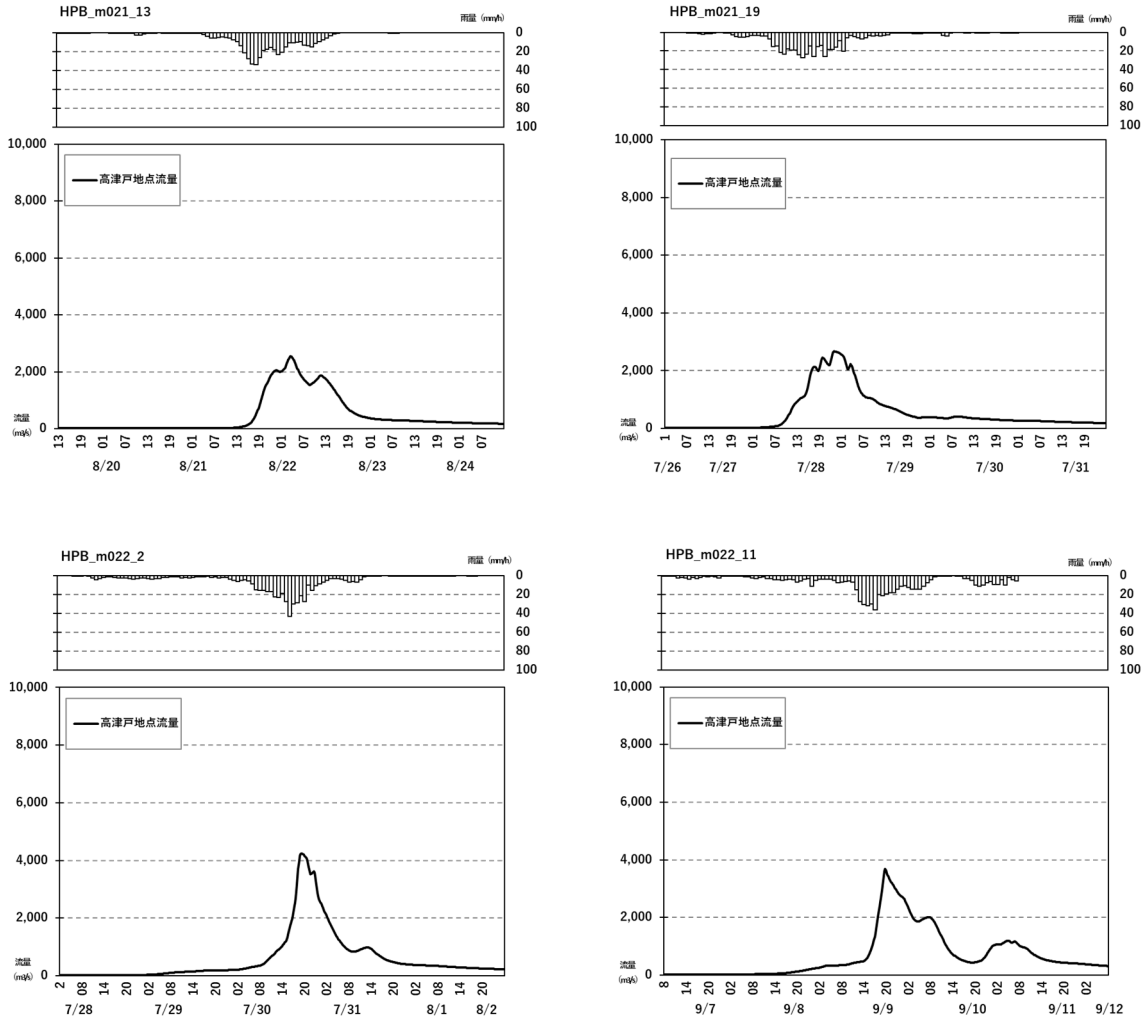



図 1.127　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地高津戸）

### 2)　棄却された実績引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伸ばし降雨波形を、当該河川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。なお、小流域とは図 1.128 に示すとおりである。

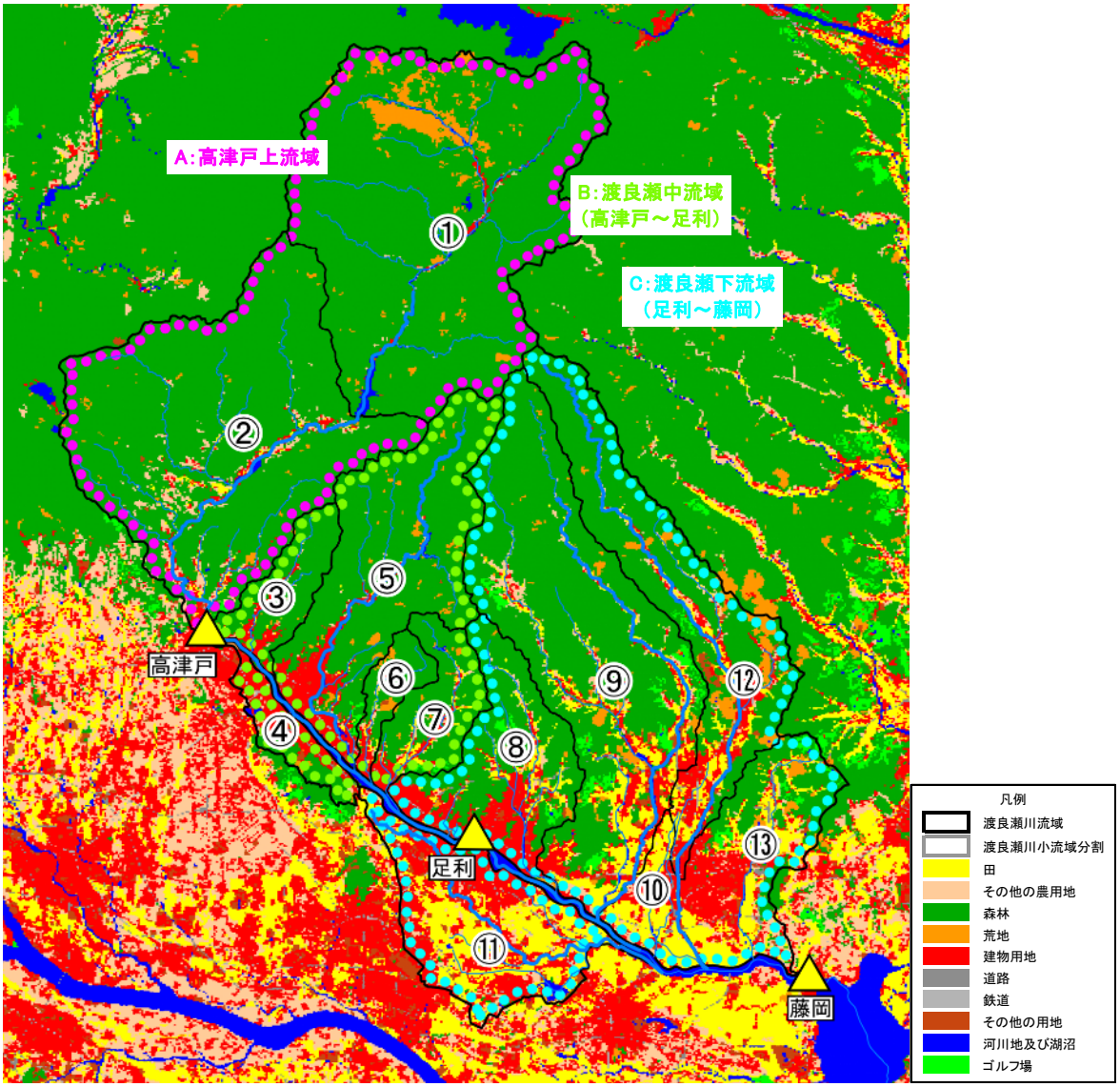



図 1.128　流域分割図

### (1)　地域分布のチェック

d2PDF（将来気候）から計画規模の降雨量近傍（5 洪水）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）を求め、表 1.42 に一覧を示す。

棄却した引伸ばし降雨波形も同様に比率を求め、実績引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、生起し難いと言えないため参考波形として扱うこととする。結果は表 1.43 に示すとおりであり、地域分布により棄却した洪水はアンサンブル予測降雨波形と比較しても生起し難いと判断し、棄却洪水とする。

表 1.42　雨量の比率（アンサンブル予測降雨波形）

| No | 洪水名 | 雨量 | | | 比率 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 高津戸上流域24時間雨量 | 渡良瀬川中流域24時間 | 渡良瀬川下流域24時間 | 渡良瀬川中流域24時間 | 渡良瀬川下流域24時間 |
| 1 | HFB_2K_CC_m101 | 399.2 | 186.0 | 150.8 | 0.47 | 0.38 |
| 2 | HFB_2K_CC_m105 | 402.4 | 235.1 | 173.7 | 0.58 | 0.43 |
| 3 | HFB_2K_MI_m101 | 407.7 | 169.6 | 142.5 | 0.42 | 0.35 |
| 4 | HFB_2K_MI_m105 | 401.9 | 349.9 | 252.7 | 0.87 | 0.63 |
| 5 | HFB_2K_MI_m105 | 402.0 | 247.1 | 254.3 | 0.61 | 0.63 |
| | | | | 最大値 | 0.87 | 0.63 |

表 1.43　雨量の比率（棄却した引伸ばし降雨波形）

| No | 洪水名 | 雨量 | | | 比率 | | 判定 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 高津戸上流域24時間雨量 | 渡良瀬川中流域24時間 | 渡良瀬川下流域24時間 | 渡良瀬川中流域24時間 | 渡良瀬川下流域24時間 | |
| 1 | H3.8.19 | 369 | 327.3 | 289.2 | 0.89 | 0.78 | 棄却 |
| 2 | R1.10.11 | 369 | 336.1 | 385.7 | 0.91 | 1.05 | 棄却 |

### 3) 主要降雨波形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主要降雨波形としてきたが、基本高水の設定に用いる主要降雨波形は、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。

渡良瀬川流域では、アンサンブル予測降雨波形群を対象に、4 つのクラスターに分類した。

基準地点高津戸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、2、4 と評価された（表 1.44)。

主要降雨波形に含まれないクラスター1、3 に該当する 2 洪水をアンサンブル予測降雨波形群の計画降雨量近傍から抽出し、気候変動を考慮した 1/100 確率規模の降雨量まで引伸ばして、流出計算モデルにより流出量を算出し基本高水のピーク流量の検討に用いることとした（　　表 1.45）

なお、アンサンブル予測降雨波形群のクラスター分割には、アンサンブル予測降雨を対象に、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クラスターに分類し、図 1.129 の結果となり、出現頻度は図 1.130 に示すとおりである。

表 1.44　主要洪水のクラスター分析結果

| No | 洪水名 | 高津戸地点 24時間雨量 (mm) | 計画規模降雨量 ×1.1(mm/24h) | 引伸ばし率 | クラスター分類 | 高津戸地点 ピーク流量 ($m^3/s$) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | S13.8.30 | 269.3 | 405 | 1.51 | 4 | 5,000 |
| 2 | S22.9.13 | 376.8 | 405 | 1.08 | 2 | 5,000 |
| 3 | S23.9.14 | 246.0 | 405 | 1.65 | 4 | 4,300 |
| 4 | S24.8.3 | 263.7 | 405 | 1.54 | 4 | 4,700 |
| 5 | S56.8.20 | 260.8 | 405 | 1.55 | 4 | 3,300 |
| 6 | H2.8.8 | 249.6 | 405 | 1.62 | 2 | 4,400 |
| 7 | H13.8.21 | 256.1 | 405 | 1.58 | 4 | 4,100 |
| 8 | H13.9.9 | 271.8 | 405 | 1.49 | 4 | 2,700 |
| 9 | H14.7.9 | 299.7 | 405 | 1.35 | 4 | 3,100 |
| 10 | H19.9.5 | 268.9 | 405 | 1.51 | 4 | 3,500 |

表 1.45　クラスター分析により主要洪水群に不足する降雨波形

| No | 洪水名 | 高津戸地点 24時間雨量 (mm) | 計画規模降雨量 ×1.1(mm/24h) | 引伸ばし率 | クラスター分類 | 高津戸地点 ピーク流量 ($m^3/s$) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | HFB_2K_GF_m105-20900717 | 318.1 | 405 | 1.27 | 1 | 2,800 |
| 2 | HPB_m010-19970731 | 407.1 | 405 | 1.00 | 3 | 3,800 |

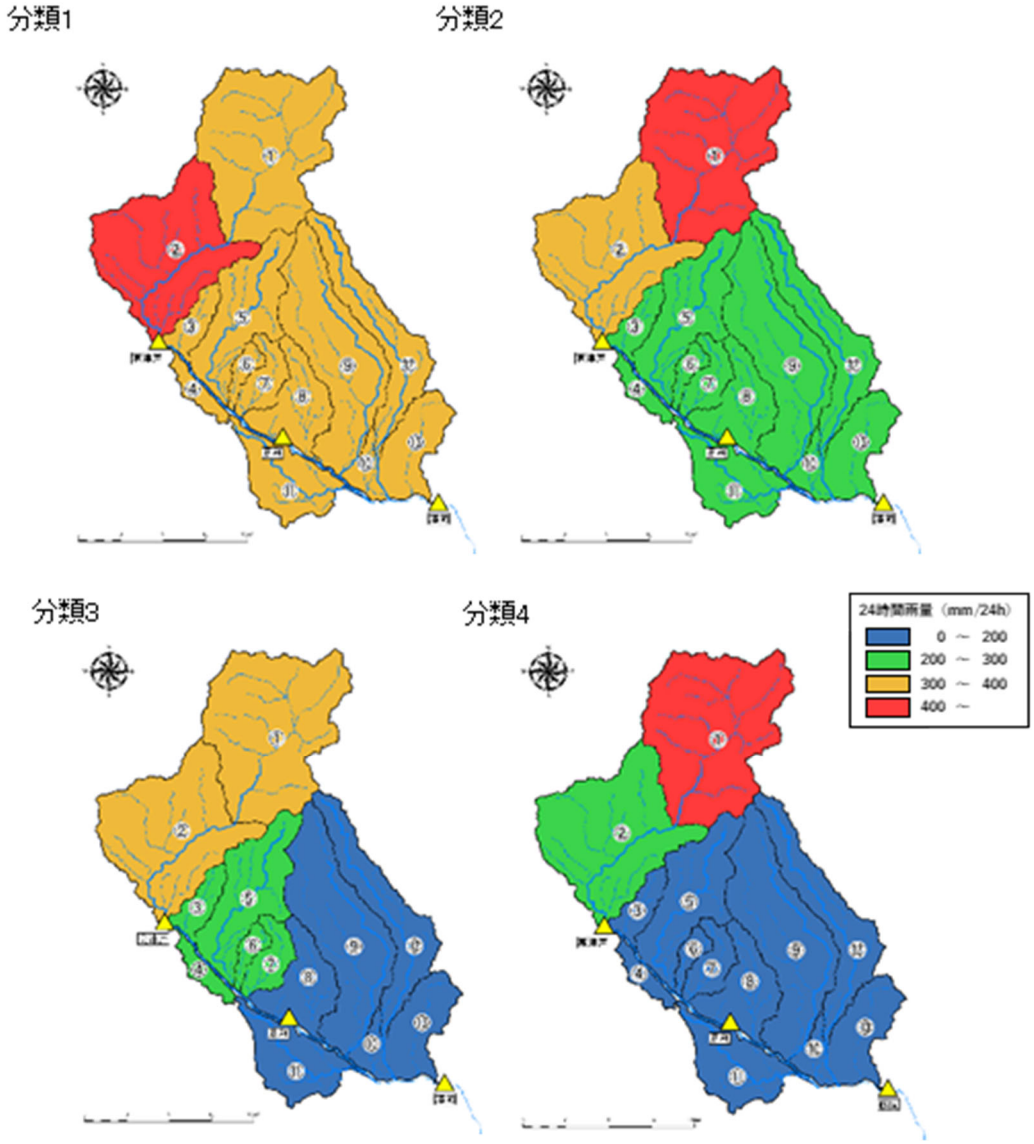



図 1.129　渡良瀬川流域における将来実験アンサンブル予測降雨クラスター分類

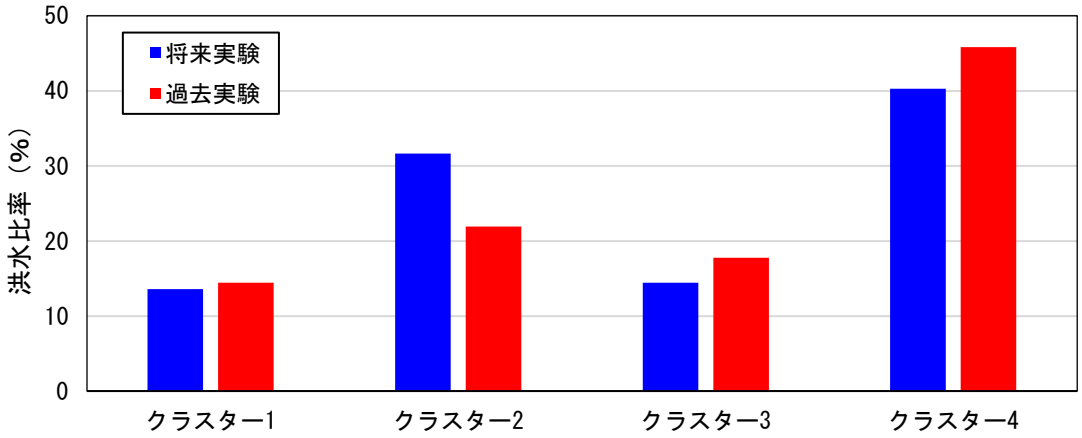



図 1.130　渡良瀬川流域におけるアンサンブル予測降雨の出現頻度

## 1-22　既往洪水による検討（渡良瀬川）

甚大な被害をもたらした昭和 22 年 9 月洪水（カスリーン台風）では、基準地点高津戸の実績流量（ダム・氾濫なしの流量）は約 4,500 ㎥/s と推定した。ハイエトグラフ及びハイエトグラフを図 1.131 に示す。

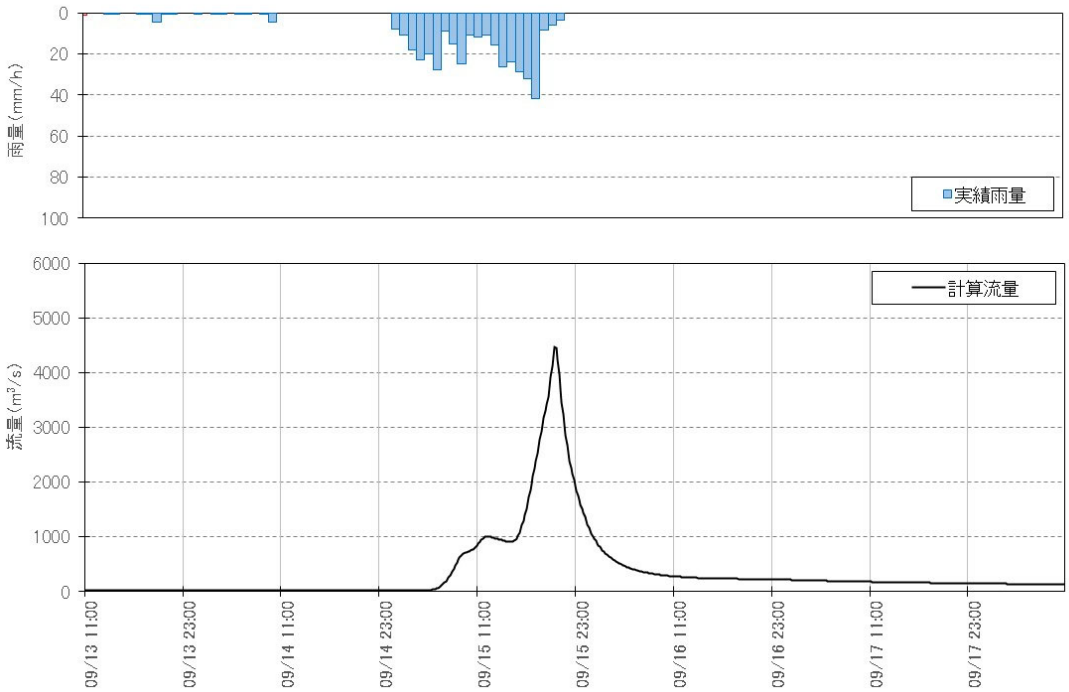
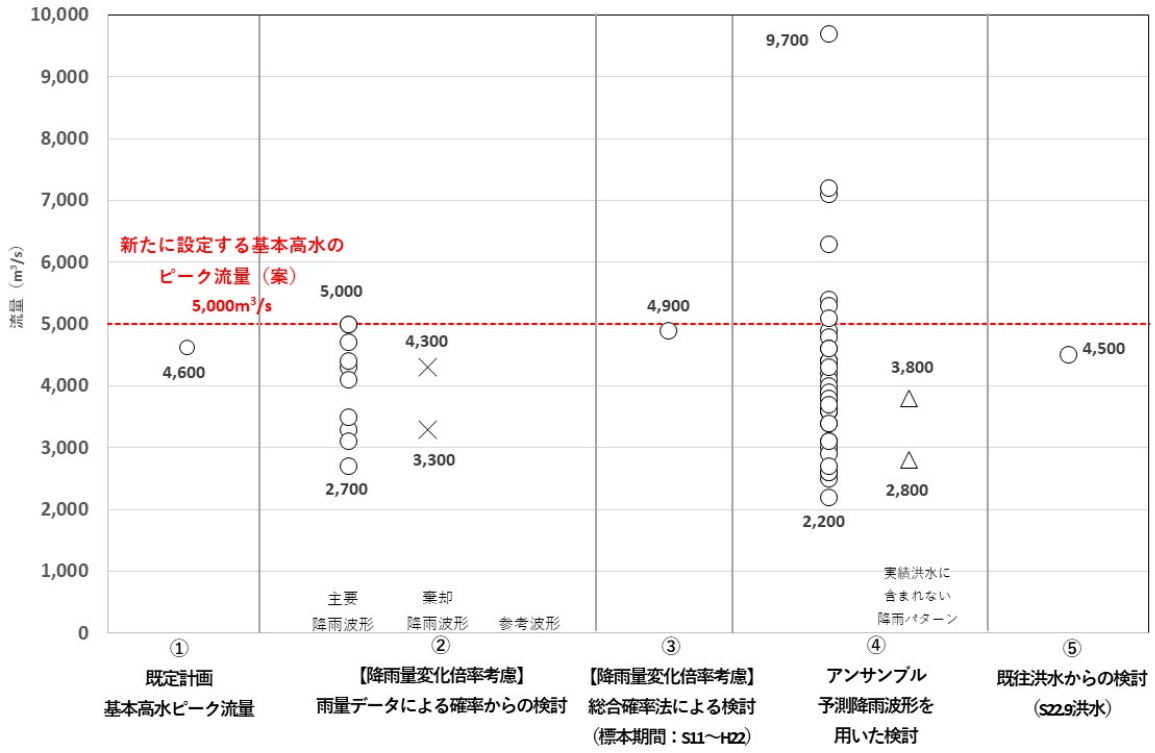



図 1.131　昭和 22 年 9 月洪水（カスリーン台風）の推定結果（基準地点高津戸）

## 1-23　総合的判断による基本高水のピーク流量の決定（渡良瀬川）

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、図 1.132 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、渡良瀬川における基本高水のピーク流量は、基準地点高津戸で 5,000 $m^3/s$ となった。




【凡例】

②雨量データによる確率からの検討：

降雨量変化倍率（2 ℃上昇時の降雨量の変化倍率 1.1 倍）を考慮した検討

○：年超過確率 1/10 以上、引伸ばし率 2 倍以下の洪水

×：時間・地域分布において著しい引伸ばしとなっている洪水

△：棄却洪水のうちアンサンブル予測降雨波形（将来・過去実験）の時空間分布から生起し難いと言えないと判断された洪水

④アンサンブル予測降雨波形を用いた検討：

将来・過去実験から様々な降雨パターンの検討

○：計画対象降雨の降雨量（405 mm/24 h）近傍の 40 洪水

△：主要降雨波形に含まれていないが、アンサンブル予測降雨波形から抽出した洪水

図 1.132　基本高水の設定に係る総合的判断（基準地点高津戸）

## 1-24　流出解析モデルの構築（鬼怒川）

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、モデルの定数を同定した。また、利根川合流点から上流端である 0.0 k から 101.5 k までを河道内の流下・貯留現象を詳細に表現するため、一次元不定流でモデル化した。

### 1)　モデルの概要

流出計算モデルの基礎式は次のとおりである。

#### (1)　流域の基礎式

$$\frac{ds}{dt} = f_{(t)} \bullet r_{(t)} - q_{(t+T_l)}$$

$$s_{(t)} = K \bullet q_{(t+T_l)}^{P}$$

$$q_{(t)} = \frac{3.6 \bullet Q_{(t)}}{A}$$

ただし、

| | | |
|---|---|---|
| $\sum r_{(t)} \leqq R_0$ | の場合 | $f_{(t)} = 0.0$ |
| $R_0 < \sum r_{(t)} \leqq R_0 + R_{sa}$ | の場合 | $f_{(t)} = f_1$ |
| $\sum r_{(t)} > R_0 + R_{sa}$ | の場合 | $f_{(t)} = 1.0$ |

ここで、

$$R_{sa} = \frac{R_{sum} - \frac{Q_{sum}}{1000 \bullet A}}{1 - f_1}$$

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

$$Q_{ca(t)} = \frac{q_{(t)} \bullet A}{3.6} + Q_{b(t)}$$

$s_{(t)}$：貯留高【mm】、$f_{(t)}$：流入係数【無次元】、

$r_{(t)}$：流域平均降雨強度【mm/h】*1、$q_{(t)}$：直接流出高【mm/h】、

$T_l$：遅滞時間【h】、$K$：定数、$P$：定数、

$Q_{(t)}$：直接流出強度【$m^3/s$】、$A$：流域面積【$km^2$】、

$\sum r_{(t)}$：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】*2、$Q_{sum}$：総直接流出量【$m^3$】、

$f_1$：一次流出率【無次元】、$Q_{ca(t)}$：流域からの流出量【$m^3/s$】、

$Q_{b(t)}$：基底流量【$m^3/s$】

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

*2　降り始めからの雨量より初期損失雨量を控除したもの。

(2)　**河道の基礎式**

①　貯留関数法

$$S_{l(t)} = K \bullet Q_{l(t)}^{P} - T_l \bullet Q_{l(t)}$$

$$\frac{dS_{l(t)}}{dt} = I_{(t)} - Q_{l(t)}$$

$$Q_{l(t)} = Q_{(t+T_l)}$$

$S_{l(t)}$：みかけの貯留量【(m3/s)・h】、

$Q_{l(t)}$：遅れ時間$T_l$を考慮した流出量【m3/s】、

$Q_{(t)}$：流出量【m3/s】、$I_{(t)}$：流入量【m3/s】、

$T_l$：遅滞時間【h】、$K$：定数、$P$：定数

②　一次元不定流計算

連続の式

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

運動方程式

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\int u^2 dA\right) + \mathrm{g}\, A \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{T_r}{\rho} = 0$$

$$\int u^2 dA = \beta U^2 A$$

$$U = \frac{1}{n} R^{2/3} I_b^{1/2}$$

$$\frac{T_r}{\rho} = \frac{\mathrm{g}\, U^2}{A^{1/3}} \cdot \left(\sum S_i \cdot n_i^{3/2}\right)^{4/3}$$

$A$：流れの断面積【m$^2$】、$x$：流下方向に沿った座標【m】、$H$：水位【m】、

$T_r$：単位長さの河道の河床に作用する力【N/m】、

$u$：ある点での流速【m/s】、

$\rho$：水の密度【kg/m$^3$】、 g ：重力加速度【m/s$^2$】、

$U$：断面平均流速【m/s】、

$I_b$：河床勾配、$R(=A/S)$：径深【m】、

$S_i$：同一の粗度を有する i 番目の潤辺部の長さ【m】、

$n_i$：潤辺部での粗度係数【m$^{-1/3}$s】、$t$：時間【s】

**2) 流域及び河道分割**

流域分割は鬼怒川流域を 10 分割とし、河道分割は国管理区間よりも上流の本川及び規模の大きな支川（男鹿川、大谷川、田川）を分割することとした。なお、鬼怒川は集積した市街地を流下する重要な河川であることから河道の流下状況をより詳細に把握する必要があるため、国管理区間の河道は一次元不定流計算モデルとした。

流域分割図、流出計算モデル模式図、貯留関数における流域・河道モデル分割諸元を図 1.133、図 1.134、表 1.46、表 1.47 に示す。

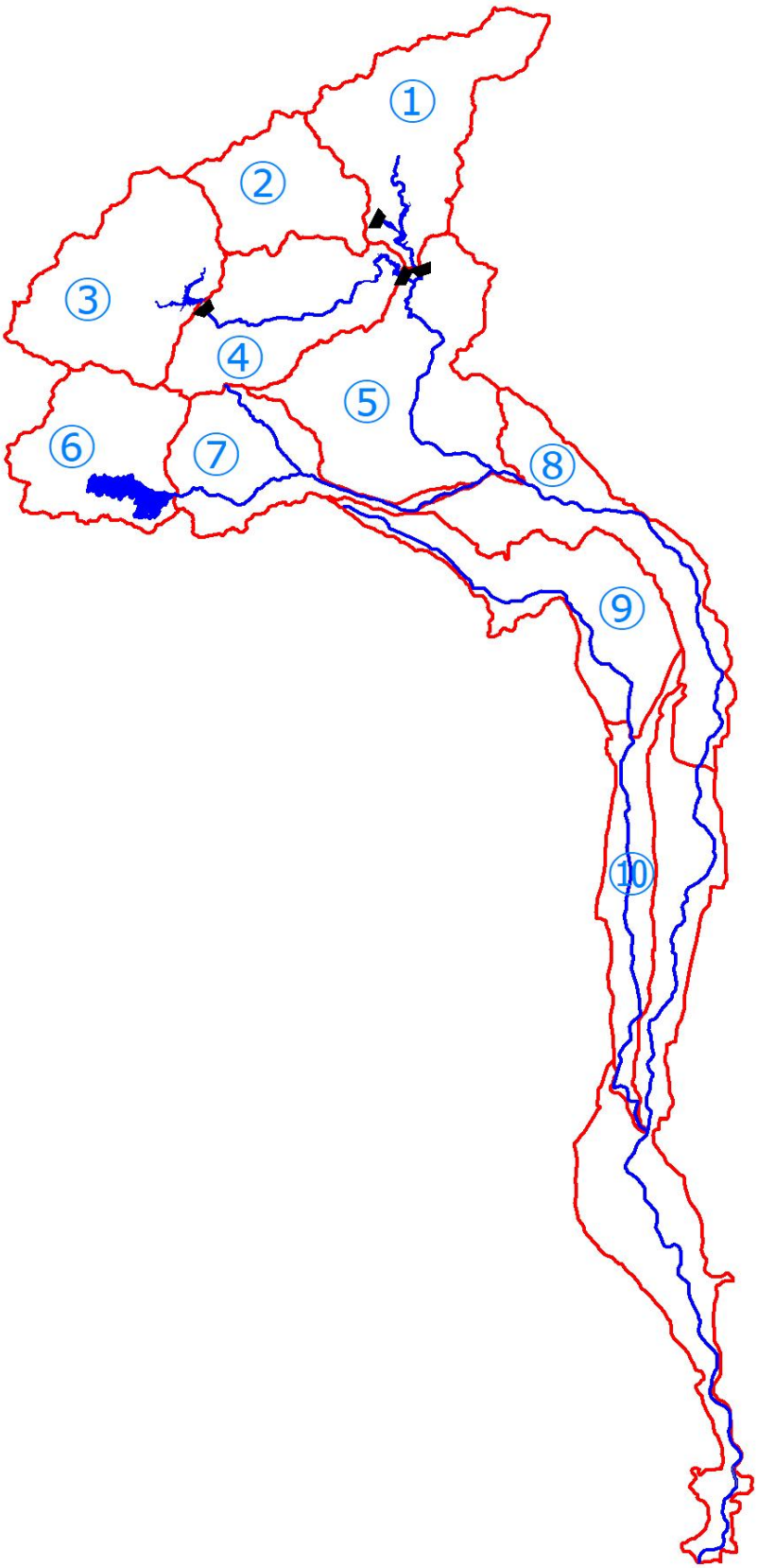



図 1.133　流域分割図

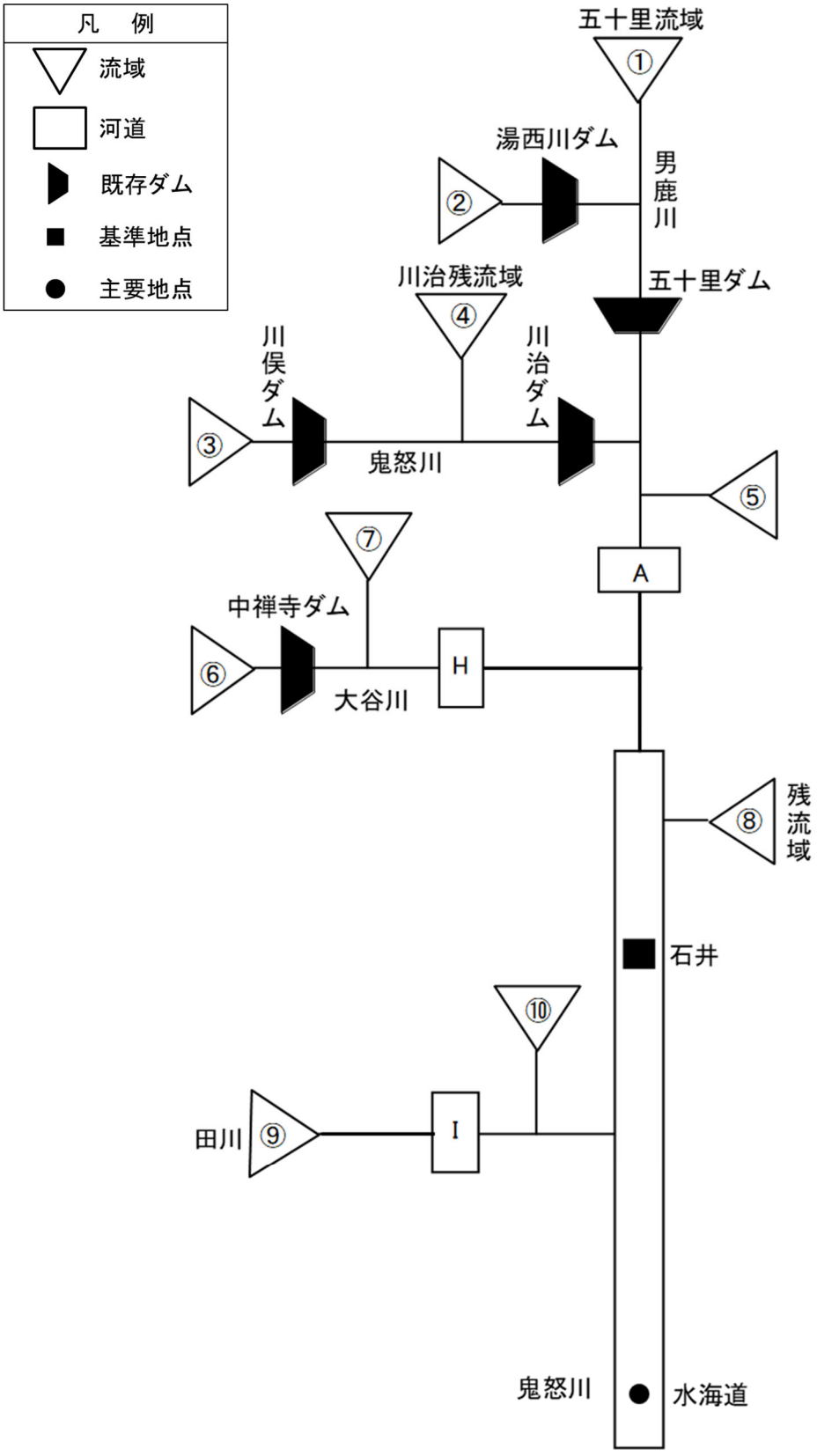



図 1.134　流出計算モデル模式図

表 1.46　流域・河道モデル分割諸元（鬼怒川　流域分割）

| 流域 | 流域面積($km^2$) |
|---|---|
| 鬼① | 171.93 |
| 鬼② | 101.80 |
| 鬼③ | 176.98 |
| 鬼④ | 144.91 |
| 鬼⑤ | 233.59 |
| 鬼⑥ | 130.12 |
| 鬼⑦ | 113.02 |
| 鬼⑧ | 175.10 |
| 鬼⑨ | 161.24 |
| 鬼⑩ | 97.97 |

表 1.47　流域・河道モデル分割諸元（鬼怒川　河道）

| 河道No | 区間 |
|---|---|
| A | 鬼怒川（男鹿川～大谷川合流点） |
| H | 大谷川（中善寺ダム～鬼怒川） |
| I | 田川（東橋～鬼怒川） |

### 3) 定数の設定

#### (1) 流域定数の設定

① 定数設定の考え方

各流域定数（$K$、$P$、$T_l$、$f_1$、$R_{sa}$）の設定に当たっては、昭和 57 年（1982 年）～平成 27 年（2015 年）のデータの中から、基準地点石井の流域定数解析洪水を用いて設定した。

② 流域定数解析洪水

定数設定に当たっては、昭和 57 年（1982 年）～平成 27 年（2015 年）水海道地点の年最大流量の平均値に相当する 1,400 $m^3/s$ を上回る 19 洪水について検証の対象とし、表 1.48 に洪水の一覧を示す。

表 1.48　流域定数解析洪水

| No. | 洪水名 | 水海道地点<br>ピーク流量<br>($m^3/s$) | No. | 洪水名 | 水海道地点<br>ピーク流量<br>($m^3/s$) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 昭和57年7月洪水 | 1,593 | 11 | 平成10年9月洪水 | 2,626 |
| 2 | 昭和57年9月洪水 | 2,330 | 12 | 平成13年8月洪水 | 1,813 |
| 3 | 昭和60年6月洪水 | 1,702 | 13 | 平成13年9月洪水 | 2,704 |
| 4 | 昭和61年8月洪水 | 2,053 | 14 | 平成14年7月洪水 | 2,765 |
| 5 | 平成2年8月洪水 | 1,844 | 15 | 平成19年9月洪水 | 2,155 |
| 6 | 平成2年9月洪水 | 1,530 | 16 | 平成23年9月洪水 | 1,709 |
| 7 | 平成2年11月洪水 | 1,511 | 17 | 平成24年5月洪水 | 1,675 |
| 8 | 平成3年8月洪水 | 1,788 | 18 | 平成25年9月洪水 | 1,404 |
| 9 | 平成3年9月洪水 | 1,769 | 19 | 平成27年9月洪水 | 3,905 |
| 10 | 平成10年8月洪水 | 2,345 | | | |

出典：水文水質データベース

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、流域定数解析洪水毎に流域定数の解析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。この成分分離の概念を図 1.135 に示し、各洪水における成分分離の事例を図 1.136 から図 1.139 に示す。

成分分離については、ハイドログラフの低減部を片対数紙に描き、2 本または 3 本の直線で近似する。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、洪水の終わりから 1 つ目の折れ点を直接流出の終了地点とした。

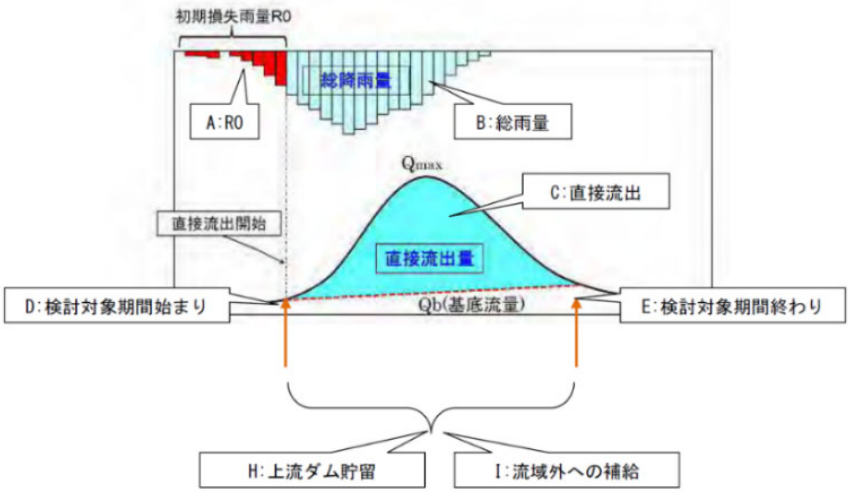



図 1.135　成分分離概念図

＜五十里ダム＞

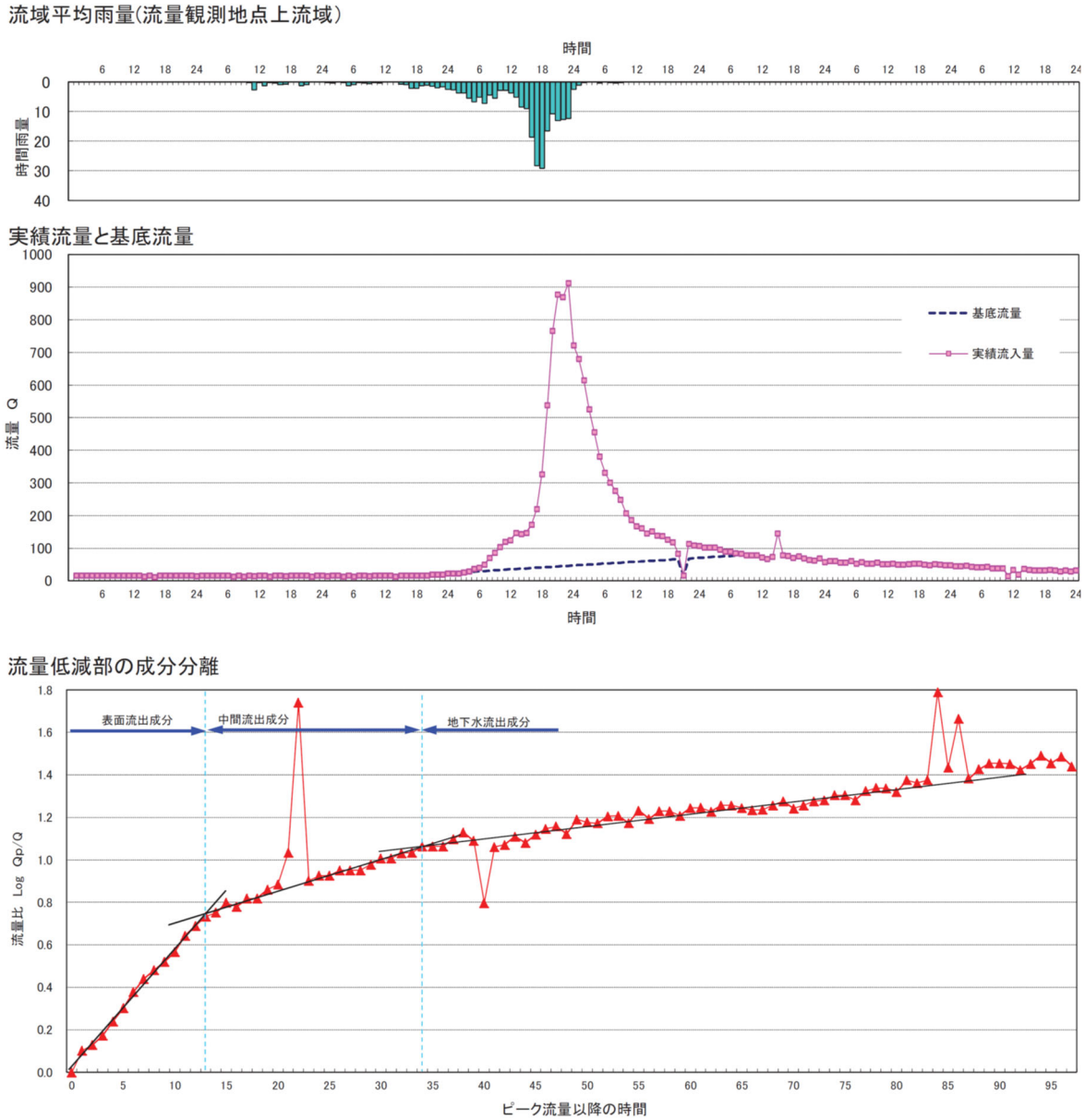



図 1.136　成分分離の事例（S57.9 洪水）

＜川俣ダム＞

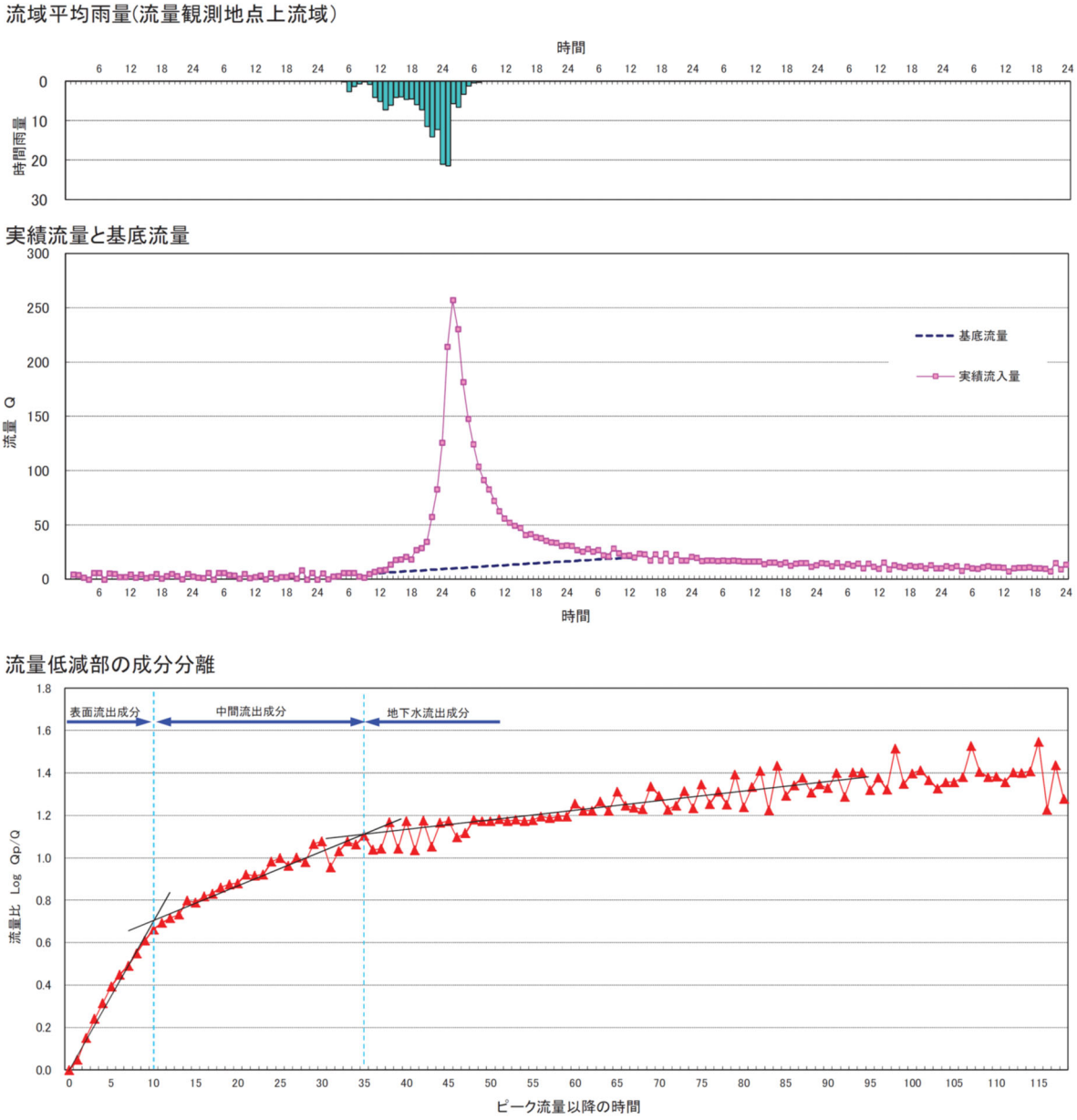



図 1.137　成分分離の事例（S61.8 洪水）

＜川治ダム＞

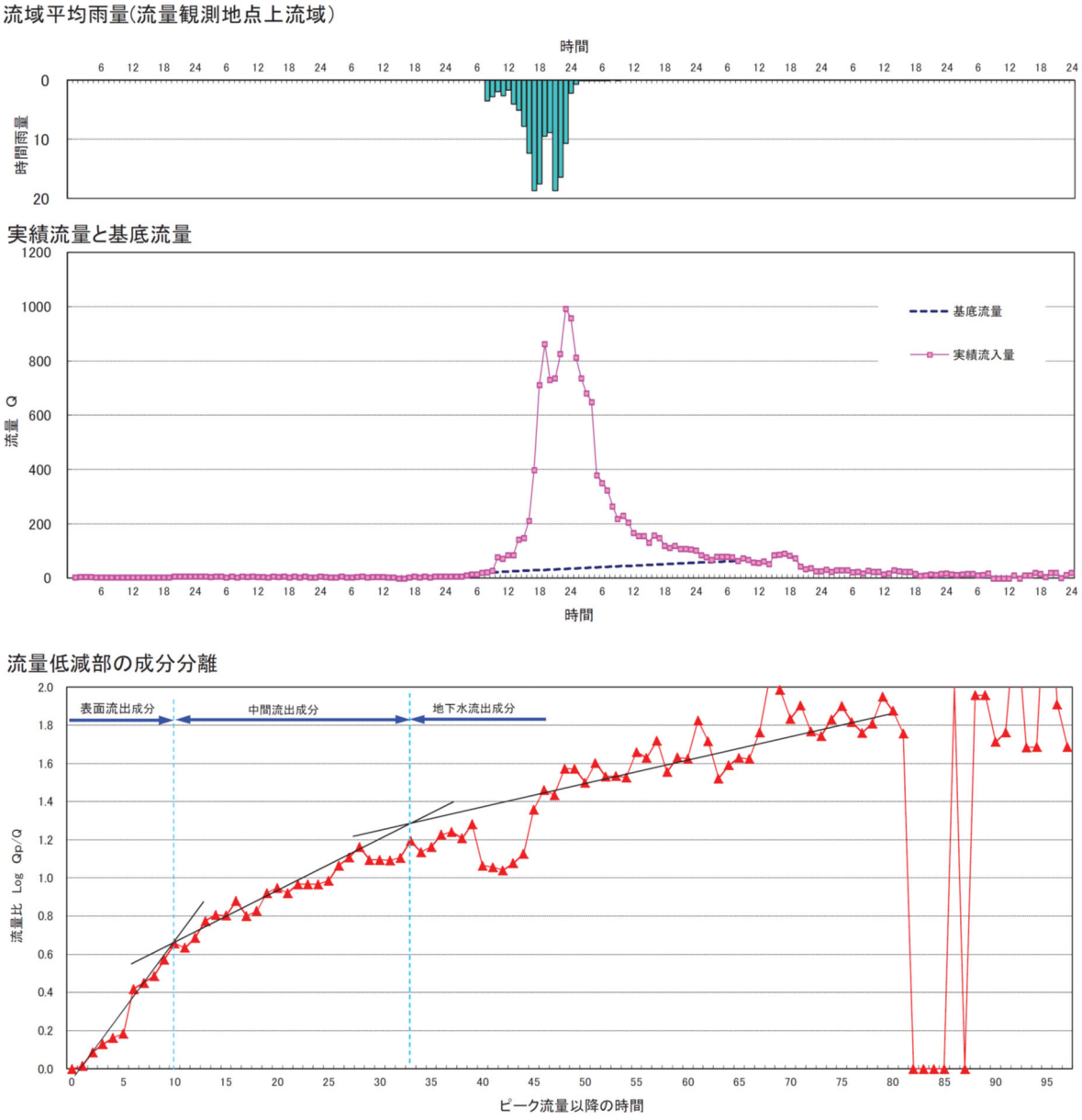



図 1.138　成分分離の事例（S57.9 洪水）

＜湯西川ダム＞

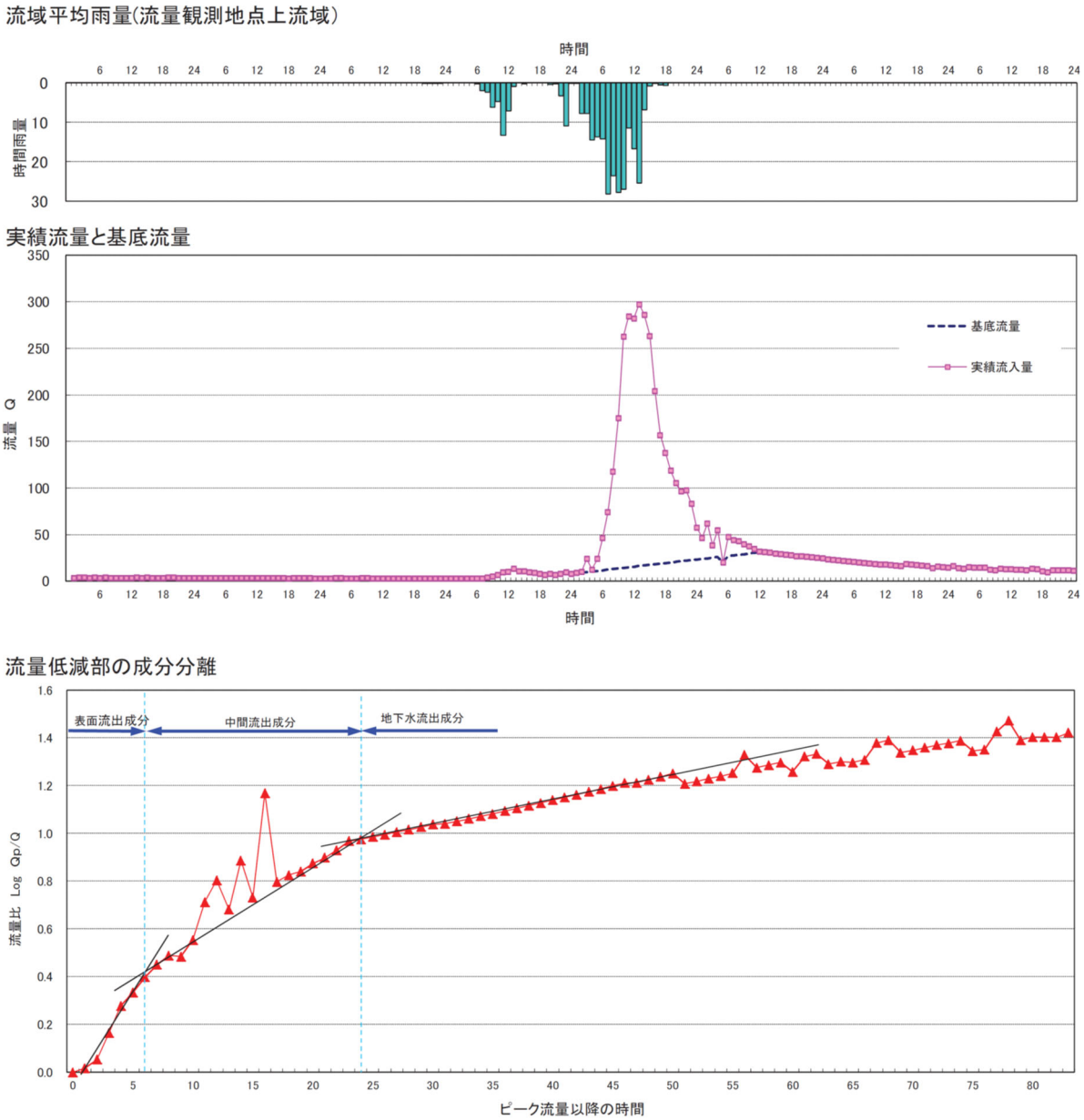



図 1.139　成分分離の事例（H25.9 洪水）

④　初期損失雨量の設定

初期損失雨量は、$f_1$等解析地点を選定して、流域定数解析洪水毎に初期損失雨量を求めた。具体的には、$f_1$等解析地点の上流域における流域平均時間雨量のハイエトグラフにおいて、直接流出開始以前の時間雨量の和を求めて当該地点の初期損失雨量とした。

$f_1$等解析地点（4 地点）

分割した小流域の下流端となる既設ダム地点：川俣ダム、川治ダム、五十里ダム、湯西川ダム

各小流域の初期損失雨量は、流域定数解析洪水毎に設定することとし、$f_1$等解析地点を中流域に適用した。

なお、中流域は、鬼怒川流域、川治・大谷流域の 2 つの流域に分けた。中流域の分割図を図 1.140 に示す。

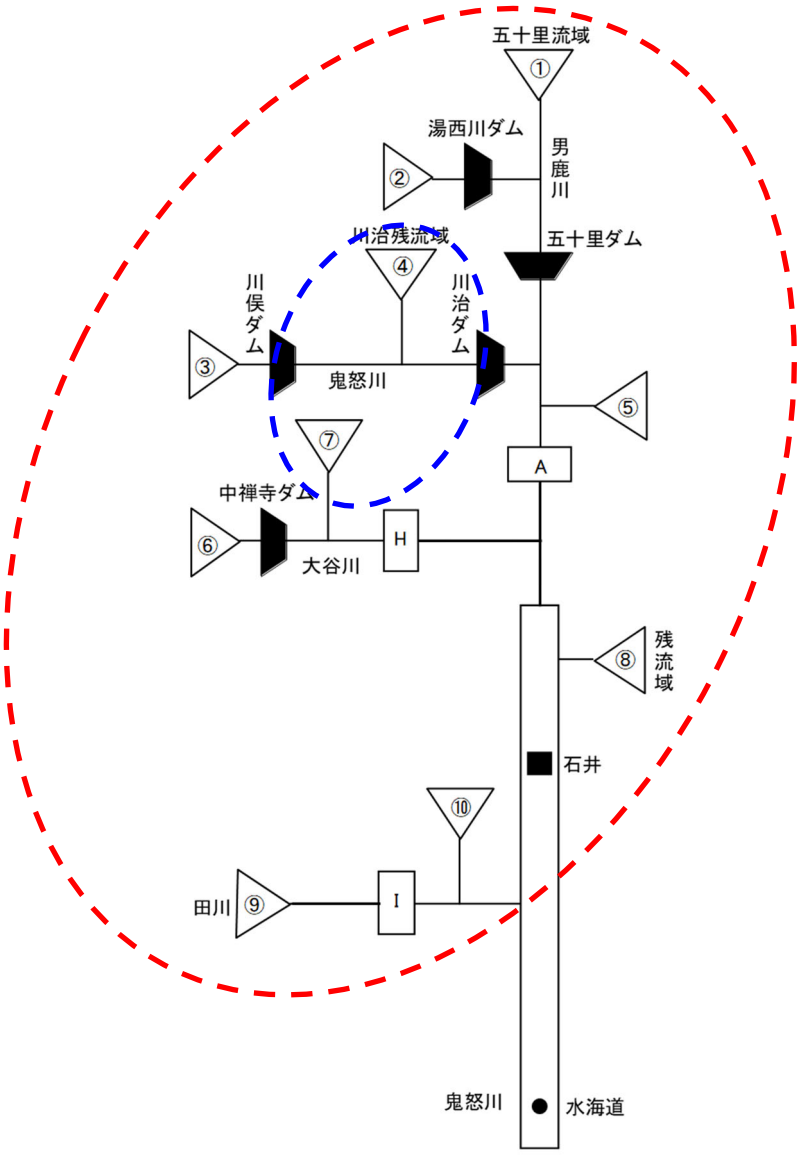



図 1.140　中流域分割図

⑤ $f_1$、$R_{sa}$の設定

各小流域の$f_1$は、当該小流域が属する中流域の$f_1$とすることとし、中流域毎に$f_1$を求めた。具体的には、中流域毎に、当該中流域に含まれるすべての$f_1$等解析地点におけるすべての流域定数解析洪水の総降雨量$R_{sum}$と総直接流出高$q_{sum}$（【mm】$=\frac{Q_{sum}}{1000 \bullet A}$）を1つの図（X軸：$R_{sum}$、Y軸：$q_{sum}$）にプロットし、ある$R_{sa}$を仮定して、総降雨量が$R_{sa}$より小さい点群について、その座標と原点を結ぶ直線の傾きの平均値を$f_1$としたときに、総降雨量が$R_{sa}$より大きい点群について、総降雨量と総直接流出高の差の平均値が$R_{sa} \bullet (1-f_1)$となることを満足するよう、$R_{sa}$を変化させて求めた。なお、この$R_{sa}$を当該中流域の『平均的な$R_{sa}$』とし、この結果を、プロットした図を図 1.141 に示す。また、洪水毎に実績の総降雨量と総直接流出高を求めることができる場合は、『洪水毎の$R_{sa}$』を求めた。

具体的には、当該地点を含む中流域の$R_{sum}-q_{sum}$図において、当該地点の当該洪水のプロットを通るように傾きが 1.0 の直線を引き、この直線と、原点を通る傾きが$f_1$の直線との交点の X 座標を、当該地点の洪水毎の$R_{sa}$とした。

各小流域の$R_{sa}$の設定に当たっては、流域定数解析洪水毎に設定することとし、最上流地点の上流にある 2 小流域については、各最上流地点で求めた当該洪水における洪水毎の$R_{sa}$を、当該最上流地点の上流にある小流域の$R_{sa}$とした。その他の8小流域については、中流域毎に、当該中流域に含まれるすべての最上流地点の当該洪水における洪水毎の$R_{sa}$の平均値を求め、当該中流域に属する小流域の$R_{sa}$とした。

表 1.49　計画$f_1$、$R_{sa}$設定結果

| 中流域 | f1 | Rsa |
|---|---|---|
| 鬼怒川流域 | 0.5 | 250 |
| 川治・大谷流域 | 0.5 | − |

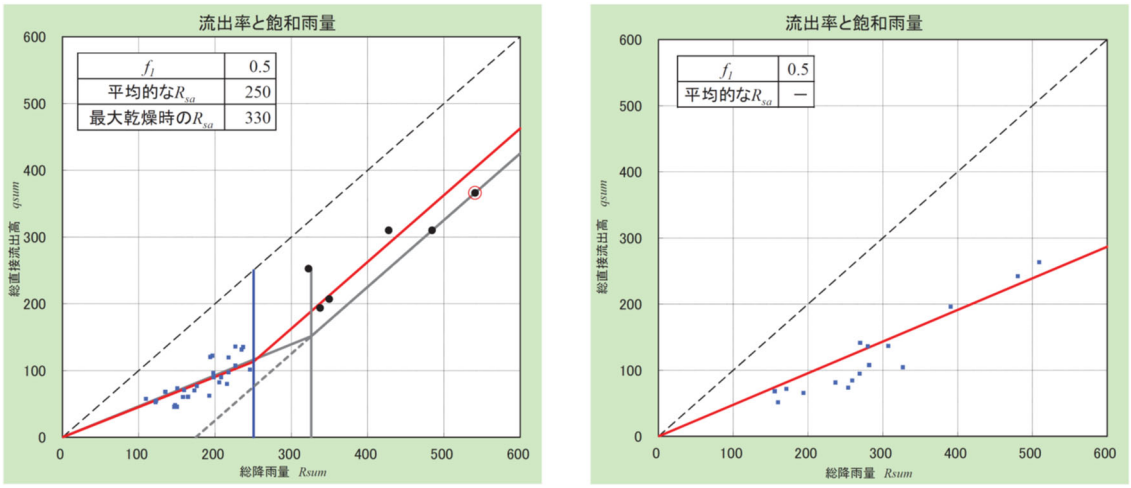



図 1.141　各洪水の総降雨量と総直接流出高の関係

（左：鬼怒川流域、右：川治・大谷流域）

⑥　小流域毎の有効降雨

小流域毎の有効降雨は、小流域毎の流域平均時間雨量と$f_{(t)}$から、次式により求めることができる。

$$re_{(t)} = f_{(t)} \cdot r_{(t)}$$

$re_{(t)}$：流域平均有効降雨強度【mm/h】、$f_{(t)}$：流入係数【無次元】

$r_{(t)}$：流域平均降雨強度【mm/h】*1

*1　雨量観測所の観測雨量からティーセン法により求めた流域平均時間雨量。初期損失分も含む。

ここで、$R_{sa}$には初期損失雨量$R_0$が含まれないことに留意し$f_{(t)}$は次のとおりである。

$\sum r_{(t)} \leqq R_0$　　の場合　　$f_{(t)} = 0.0$

$R_0 < \sum r_{(t)} \leqq R_0 + R_{sa}$　　の場合　　$f_{(t)} = f_1$

$\sum r_{(t)} > R_0 + R_{sa}$　　の場合　　$f_{(t)} = 1.0$

⑦　$K$、$P$、$T_l$の設定

分割した小流域の下流端となるダム・観測所地点のうち、$K$等解析地点を川俣ダム、湯西川ダムの 2 地点を選定し、$K$、$P$、$T_l$の解析の対象地点とした。各$K$等解析地点における、流域定数解析洪水毎の貯留高と直接流出高の関係を整理し、解析を行った。

具体的には、$T_l$を少しずつ変えて貯留高と直接流出高を両対数でプロットして$S_{(t)} - q_{(t)}$図を作成し、最もループが小さくなる$T_l$を求めた。求めた$T_l$によって両対数でプロットした$S_{(t)} - q_{(t)}$関係を直線近似し、切片を$K$、傾きを$P$として求め、この結果を表 1.50、各地点の解析結果を図 1.142 から図 1.143 に示す。

このようにして洪水毎、地点毎の$K$、$P$、$T_l$を求めることとし、大きな洪水における流出量の再現性を考慮して、$K$等解析地点毎に、$K$、$P$は最大流量となる洪水の値を、$T_l$は規模の大きい洪水の値の平均値をそれぞれ用いて、当該$K$等解析地点の$K$、$P$、$T_l$を求めた。$K$等解析地点の上流にある小流域については、各$K$等解析地点で求めた$K$、$P$、$T_l$を、当該$K$等解析地点の上流にある小流域の$K$、$P$、$T_l$とした。その他の小流域については、$K$等解析地点で求めた値から$K$、$P$、$T_l$を設定した。

具体的には、中流域毎に当該中流域に含まれる地点の平均値を求め、当該中流域に属する小流域の$K$、$P$、$T_l$とし表 1.51 に示す。

なお、中流域の一つである川治・大谷流域においては、$K$等解析地点が含まれていないため、第四紀火山岩地帯の分布や流出特性を考慮し「利根川の基本高水の検証について」（平成 23 年 9 月）における吾妻流域の平均的な$K$、$P$、$T_l$を設定した。

表 1.50　K、P、$T_l$の設定結果

| 地点 | 洪水名 | 遅滞時間 | 係数 | |
|---|---|---|---|---|
| | | Tl(分) | k | p |
| 川俣ダム | 平成10年9月洪水 | 0 | 10.312 | 0.605 |
| | 平成19年9月洪水 | 70 | | |
| 湯西川ダム | 平成27年9月洪水 | 0 | 13.588 | 0.663 |
| 川治・大谷流域 | ― | 50 | 35.239 | 0.300 |

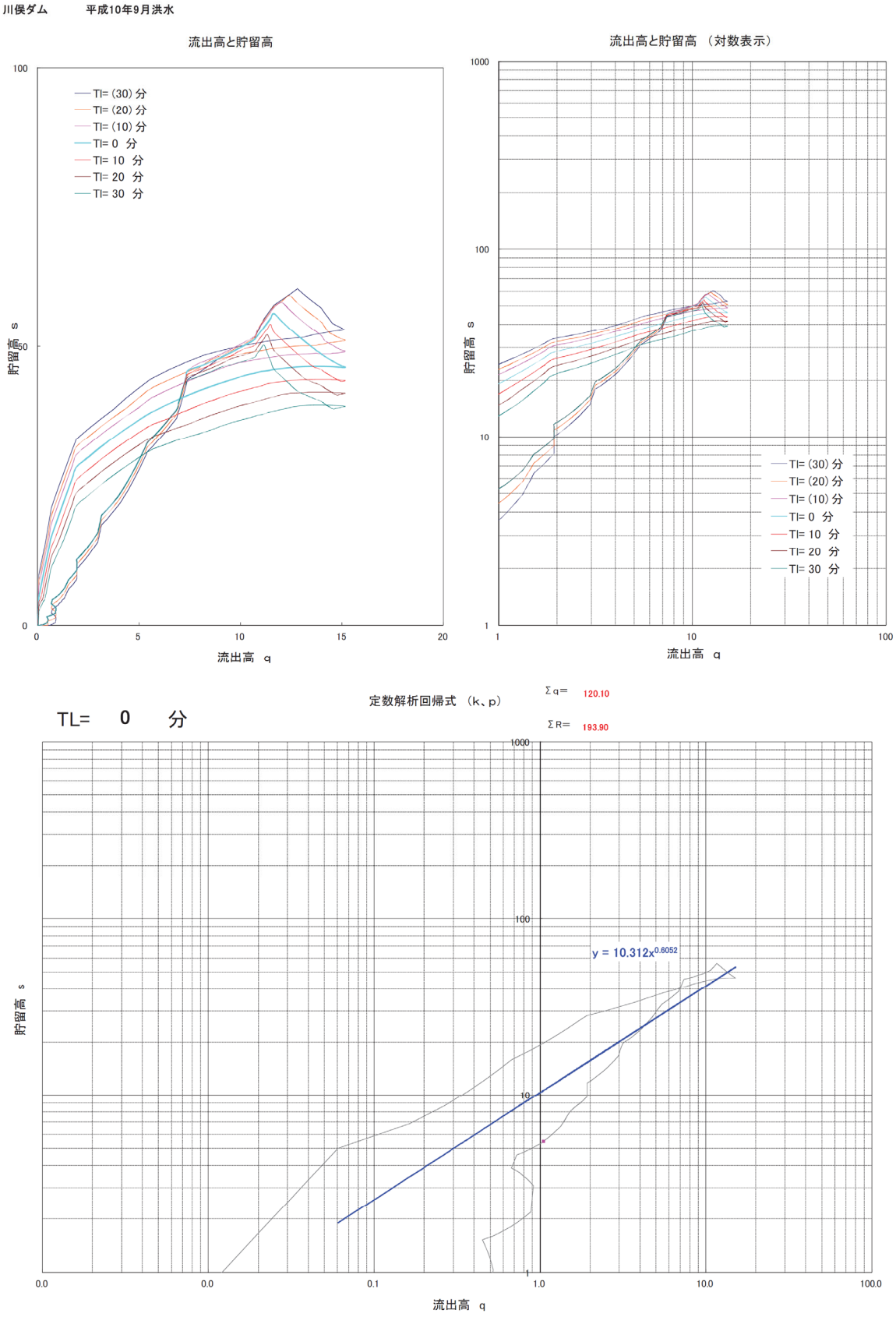



図 1.142　貯留高－流出高関係図（川俣ダム地点：H10.9 洪水）

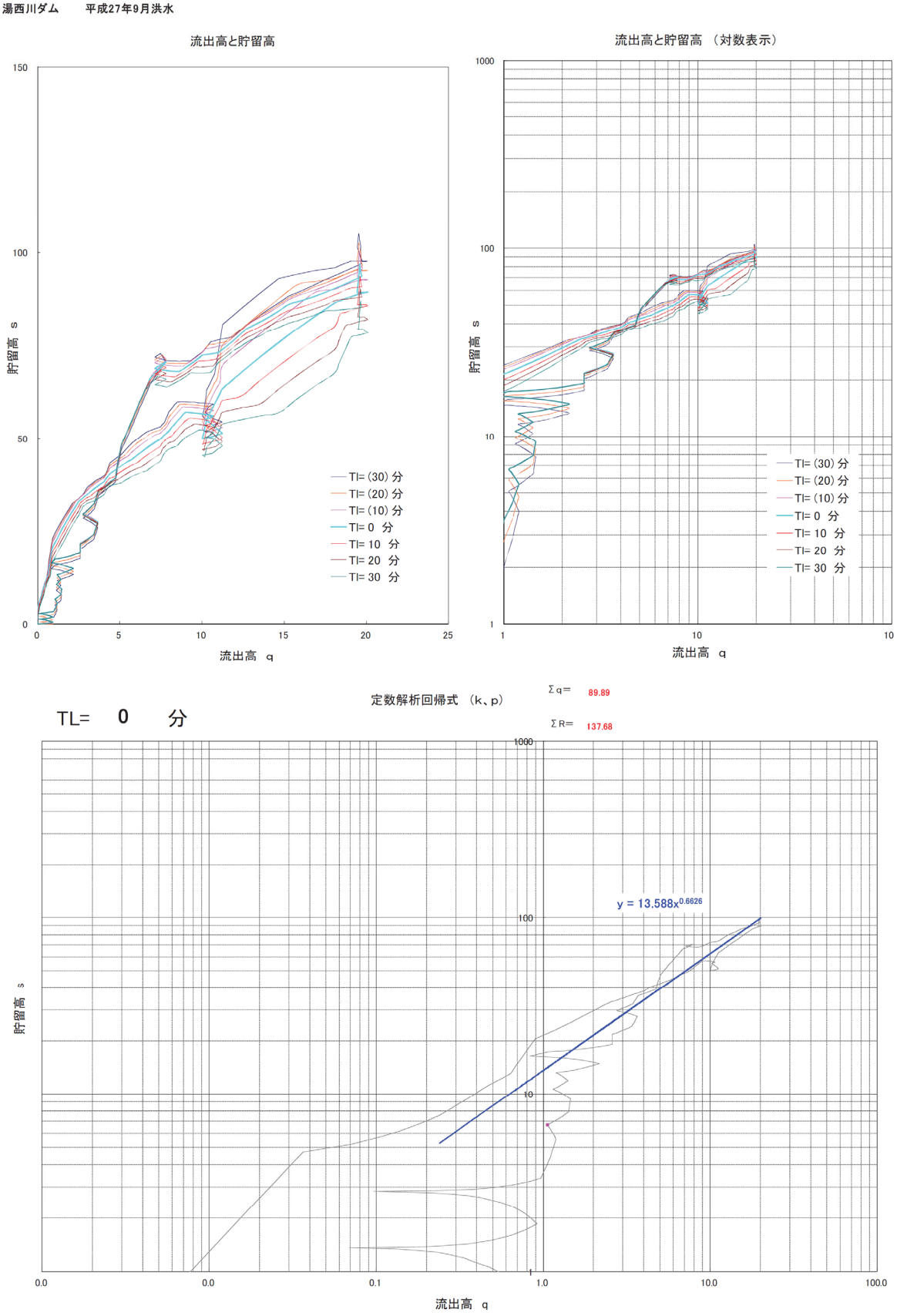



図 1.143　貯留高－流出高関係図（湯西川ダム地点：H27.9 洪水）

表 1.51　流域定数設定結果

| 流域 | 流域面積 A($km^2$) | 一次流出率 f1 | 飽和雨量 Rsa(mm) | 流入係数 fsa | 初期損失雨量 R0(mm) | 遅滞時間 Tl（分） | 係数 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | k | p |
| 鬼① | 171.93 | 0.5 | 250 | 1.0 | 23 | 20 | 11.950 | 0.634 |
| 鬼② | 101.80 | 0.5 | 250 | 1.0 | 23 | 0 | 13.588 | 0.663 |
| 鬼③ | 176.98 | 0.5 | 250 | 1.0 | 23 | 40 | 10.312 | 0.605 |
| 鬼④ | 144.91 | 0.5 | − | 1.0 | 39 | 50 | 35.239 | 0.300 |
| 鬼⑤ | 233.59 | 0.5 | 250 | 1.0 | 23 | 20 | 11.950 | 0.634 |
| 鬼⑥ | 130.12 | 0.5 | 250 | 1.0 | 23 | 20 | 11.950 | 0.634 |
| 鬼⑦ | 113.02 | 0.5 | − | 1.0 | 39 | 50 | 35.239 | 0.300 |
| 鬼⑧ | 175.10 | 0.5 | 250 | 1.0 | 23 | 20 | 11.950 | 0.634 |
| 鬼⑨ | 161.24 | 0.5 | 250 | 1.0 | 23 | 20 | 11.950 | 0.634 |
| 鬼⑩ | 97.97 | 0.5 | 250 | 1.0 | 23 | 20 | 11.950 | 0.634 |

(2)　　**河道定数の設定**

①　貯留関数法

河道定数$K$、$P$の検討に当たっては、令和 2 年（2020 年）の最新測量断面を用いて、河道毎に流量規模毎の河道貯留量（$s$）を不等流計算により求め、流量と河道貯留の関係から、流域定数の検討と同様に切片を$K$、傾きを$P$として求めた。

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

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

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

河道の$T_l$については、定流の貯留関数と洪水流の貯留関数の関係から求めた。流出計算に当たっては、全ての洪水の流出計算において、このようにして求めた$K$、$P$、$T_l$を用いることとし、この結果を表 1.52 に示す。

表 1.52　河道定数設定結果

| 河道No | K | P | Tl（分） |
|---|---|---|---|
| A | 18.999 | 0.695 | 32.10 |
| H | 10.083 | 0.656 | 19.38 |
| I | 19.630 | 0.655 | 35.52 |

②　一次元不定流計算

一次元不定流計算においては、準二次元不等流計算で設定した低水路の粗度係数を基に、不定流計算のピーク水位が痕跡水位を再現する粗度係数を設定した。

一次元不定流計算は、利根川への合流点から 101.5 k までをモデル化し、モデルの上流端には、貯留関数法で求まる佐貫地点の流量を与えた。再現

性の検討に当たっては、利根川本川の実績水位を出発水位として与えた。また、主要降雨波形毎のピーク流量（$Q_p$）の算定に当たっては、利根川合流点の計画高水位を出発水位とした。

③　実績再現の対象洪水

前述までに設定した定数を用いて、既往洪水時の雨量データを用い、再現計算を実施した。基準地点石井における主要な洪水として、H10.9 洪水と H13.9 洪水、H14.7 洪水、H19.9 洪水、H23.9 洪水、H27.9 洪水、R1.10 洪水を検証対象洪水とした。

④　流出解析に用いる定数

各小流域の流域面積、$f_1$、$K$、$P$、$T_l$と各河道の$K$、$P$、$T_l$は、前述にて整理した値を用いる。再現計算に用いる各小流域の初期損失雨量、$R_{sa}$、基底流量は洪水毎に設定し表 1.53 から表 1.55 のとおりとした。

表 1.53　検証対象洪水の飽和雨量$R_{sa}$と基底流量 Qb

| 洪水名 | 平成10年9月洪水 |
|---|---|

流域定数

| 流域No | 流域面積 | 一次流出率 | 飽和雨量 | 流入係数 | 初期損失雨量 | 遅滞時間 | 係数 | | 開始基底流量 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | A (km2) | f1 | Rsa (mm) | fsa | R0 (mm) | TI (分) | K | P | Qb1 (m3/s) |
| 1 | 171.93 | 0.5 | 180 | 1.0 | 22.0 | 20 | 11.950 | 0.634 | 16.9 |
| 2 | 101.80 | 0.5 | 180 | 1.0 | 22.0 | 0 | 13.588 | 0.663 | 10.0 |
| 3 | 176.98 | 0.5 | 150 | 1.0 | 27.0 | 40 | 10.312 | 0.605 | 14.6 |
| 4 | 144.91 | 0.5 | - | - | 36.0 | 50 | 35.239 | 0.300 | 5.8 |
| 5 | 233.59 | 0.5 | 150 | 1.0 | 40.0 | 20 | 11.950 | 0.634 | 17.2 |
| 6 | 130.12 | 0.5 | 150 | 1.0 | 40.0 | 20 | 11.950 | 0.634 | 9.6 |
| 7 | 113.02 | 0.5 | - | - | 36.0 | 50 | 35.239 | 0.300 | 8.3 |
| 8 | 175.10 | 0.5 | 150 | 1.0 | 40.0 | 20 | 11.950 | 0.634 | 12.9 |
| 9 | 161.24 | 0.5 | 150 | 1.0 | 40.0 | 20 | 11.950 | 0.634 | 11.9 |
| 10 | 97.97 | 0.5 | 150 | 1.0 | 40.0 | 20 | 11.950 | 0.634 | 7.2 |
| | 1506.66 | | | | | | | | 114.4 |

| 洪水名 | 平成13年9月洪水 |
|---|---|

流域定数

| 流域No | 流域面積 | 一次流出率 | 飽和雨量 | 流入係数 | 初期損失雨量 | 遅滞時間 | 係数 | | 開始基底流量 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | A (km2) | f1 | Rsa (mm) | fsa | R0 (mm) | TI (分) | K | P | Qb1 (m3/s) |
| 1 | 171.93 | 0.5 | 140 | 1.0 | 28.0 | 20 | 11.950 | 0.634 | 13.6 |
| 2 | 101.80 | 0.5 | 140 | 1.0 | 28.0 | 0 | 13.588 | 0.663 | 8.1 |
| 3 | 176.98 | 0.5 | 240 | 1.0 | 20.0 | 40 | 10.312 | 0.605 | 17.7 |
| 4 | 144.91 | 0.5 | - | - | 44.0 | 50 | 35.239 | 0.300 | 7.6 |
| 5 | 233.59 | 0.5 | 190 | 1.0 | 24.0 | 20 | 11.950 | 0.634 | 18.1 |
| 6 | 130.12 | 0.5 | 190 | 1.0 | 24.0 | 20 | 11.950 | 0.634 | 10.1 |
| 7 | 113.02 | 0.5 | - | - | 44.0 | 50 | 35.239 | 0.300 | 8.7 |
| 8 | 175.10 | 0.5 | 190 | 1.0 | 24.0 | 20 | 11.950 | 0.634 | 13.5 |
| 9 | 161.24 | 0.5 | 190 | 1.0 | 24.0 | 20 | 11.950 | 0.634 | 12.5 |
| 10 | 97.97 | 0.5 | 190 | 1.0 | 24.0 | 20 | 11.950 | 0.634 | 7.6 |
| | 1506.66 | | | | | | | | 117.5 |

| 洪水名 | 平成14年7月洪水 |
|---|---|

流域定数

| 流域No | 流域面積 | 一次流出率 | 飽和雨量 | 流入係数 | 初期損失雨量 | 遅滞時間 | 係数 | | 開始基底流量 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | A (km2) | f1 | Rsa (mm) | fsa | R0 (mm) | TI (分) | K | P | Qb1 (m3/s) |
| 1 | 171.93 | 0.5 | 200 | 1.0 | 17.0 | 20 | 11.950 | 0.634 | 3.1 |
| 2 | 101.80 | 0.5 | 200 | 1.0 | 17.0 | 0 | 13.588 | 0.663 | 1.9 |
| 3 | 176.98 | 0.5 | 200 | 1.0 | 32.0 | 40 | 10.312 | 0.605 | 9.5 |
| 4 | 144.91 | 0.5 | - | - | 37.0 | 50 | 35.239 | 0.300 | 0.5 |
| 5 | 233.59 | 0.5 | 200 | 1.0 | 25.0 | 20 | 11.950 | 0.634 | 5.9 |
| 6 | 130.12 | 0.5 | 200 | 1.0 | 25.0 | 20 | 11.950 | 0.634 | 3.3 |
| 7 | 113.02 | 0.5 | - | - | 37.0 | 50 | 35.239 | 0.300 | 2.8 |
| 8 | 175.10 | 0.5 | 200 | 1.0 | 25.0 | 20 | 11.950 | 0.634 | 4.4 |
| 9 | 161.24 | 0.5 | 200 | 1.0 | 25.0 | 20 | 11.950 | 0.634 | 4.0 |
| 10 | 97.97 | 0.5 | 200 | 1.0 | 25.0 | 20 | 11.950 | 0.634 | 2.5 |
| | 1506.66 | | | | | | | | 37.8 |

表 1.54　検証対象洪水の飽和雨量$R_{sa}$と基底流量 $Q_b$

| 洪水名 | 平成19年9月洪水 |
|---|---|

流域定数

| 流域No | 流域面積 | 一次流出率 | 飽和雨量 | 流入係数 | 初期損失雨量 | 遅滞時間 | 係数 | | 開始基底流量 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | A ($km_2$) | $f_1$ | $R_{sa}$ (mm) | $f_{sa}$ | $R_0$ (mm) | $T_I$ (分) | K | P | $Q_{b1}$ ($m_3/s$) |
| 1 | 171.93 | 0.5 | 170 | 1.0 | 12.0 | 20 | 11.950 | 0.634 | 1.8 |
| 2 | 101.80 | 0.5 | 170 | 1.0 | 12.0 | 0 | 13.588 | 0.663 | 1.1 |
| 3 | 176.98 | 0.5 | 270 | 1.0 | 33.0 | 40 | 10.312 | 0.605 | 11.3 |
| 4 | 144.91 | 0.5 | - | - | 34.0 | 50 | 35.239 | 0.300 | 0.4 |
| 5 | 233.59 | 0.5 | 100 | 1.0 | 22.0 | 20 | 11.950 | 0.634 | 6.0 |
| 6 | 130.12 | 0.5 | 240 | 1.0 | 22.0 | 20 | 11.950 | 0.634 | 3.3 |
| 7 | 113.02 | 0.5 | - | - | 34.0 | 50 | 35.239 | 0.300 | 2.9 |
| 8 | 175.10 | 0.5 | 100 | 1.0 | 22.0 | 20 | 11.950 | 0.634 | 4.5 |
| 9 | 161.24 | 0.5 | 240 | 1.0 | 22.0 | 20 | 11.950 | 0.634 | 4.1 |
| 10 | 97.97 | 0.5 | 240 | 1.0 | 22.0 | 20 | 11.950 | 0.634 | 2.5 |
| | 1506.66 | | | | | | | | 37.9 |

| 洪水名 | 平成23年9月洪水 |
|---|---|

流域定数

| 流域No | 流域面積 | 一次流出率 | 飽和雨量 | 流入係数 | 初期損失雨量 | 遅滞時間 | 係数 | | 開始基底流量 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | A ($km_2$) | $f_1$ | $R_{sa}$ (mm) | $f_{sa}$ | $R_0$ (mm) | $T_I$ (分) | K | P | $Q_{b1}$ ($m_3/s$) |
| 1 | 171.93 | 0.5 | 200 | 1.0 | 26.0 | 20 | 11.950 | 0.634 | 7.6 |
| 2 | 101.80 | 0.5 | 200 | 1.0 | 26.0 | 0 | 13.588 | 0.663 | 4.5 |
| 3 | 176.98 | 0.5 | 270 | 1.0 | 19.0 | 40 | 10.312 | 0.605 | 6.2 |
| 4 | 144.91 | 0.5 | - | - | 42.0 | 50 | 35.239 | 0.300 | 1.4 |
| 5 | 233.59 | 0.5 | 200 | 1.0 | 22.0 | 20 | 11.950 | 0.634 | 6.9 |
| 6 | 130.12 | 0.5 | 240 | 1.0 | 22.0 | 20 | 11.950 | 0.634 | 3.8 |
| 7 | 113.02 | 0.5 | - | - | 42.0 | 50 | 35.239 | 0.300 | 3.3 |
| 8 | 175.10 | 0.5 | 200 | 1.0 | 22.0 | 20 | 11.950 | 0.634 | 5.2 |
| 9 | 161.24 | 0.5 | 240 | 1.0 | 22.0 | 20 | 11.950 | 0.634 | 4.8 |
| 10 | 97.97 | 0.5 | 240 | 1.0 | 22.0 | 20 | 11.950 | 0.634 | 2.9 |
| | 1506.66 | | | | | | | | 46.4 |

| 洪水名 | 平成27年9月洪水 |
|---|---|

流域定数

| 流域No | 流域面積 | 一次流出率 | 飽和雨量 | 流入係数 | 初期損失雨量 | 遅滞時間 | 係数 | | 開始基底流量 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | A ($km_2$) | $f_1$ | $R_{sa}$ (mm) | $f_{sa}$ | $R_0$ (mm) | $T_I$ (分) | K | P | $Q_{b1}$ ($m_3/s$) |
| 1 | 171.93 | 0.5 | 430 | 1.0 | 29.0 | 20 | 11.950 | 0.634 | 7.0 |
| 2 | 101.80 | 0.5 | 280 | 1.0 | 33.0 | 0 | 13.588 | 0.663 | 4.4 |
| 3 | 176.98 | 0.5 | 290 | 1.0 | 14.0 | 40 | 10.312 | 0.605 | 9.6 |
| 4 | 144.91 | 0.5 | - | - | 37.0 | 50 | 35.239 | 0.300 | 5.3 |
| 5 | 233.59 | 0.5 | 200 | 1.0 | 25.0 | 20 | 11.950 | 0.634 | 10.2 |
| 6 | 130.12 | 0.5 | 280 | 1.0 | 25.0 | 20 | 11.950 | 0.634 | 5.7 |
| 7 | 113.02 | 0.5 | - | - | 37.0 | 50 | 35.239 | 0.300 | 4.9 |
| 8 | 175.10 | 0.5 | 200 | 1.0 | 25.0 | 20 | 11.950 | 0.634 | 7.6 |
| 9 | 161.24 | 0.5 | 280 | 1.0 | 25.0 | 20 | 11.950 | 0.634 | 7.0 |
| 10 | 97.97 | 0.5 | 280 | 1.0 | 25.0 | 20 | 11.950 | 0.634 | 4.3 |
| | 1506.66 | | | | | | | | 65.9 |

表 1.55　検証対象洪水の飽和雨量$R_{sa}$と基底流量 $Q_b$

| 洪水名 | 令和1年10月洪水 |
|---|---|

流域定数

| 流域No. | 流域面積 | 一次流出率 | 飽和雨量 | 流入係数 | 初期損失雨量 | 遅滞時間 | 係数 | | 開始基底流量 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $A(km^2)$ | $f_1$ | $R_{sa}(mm)$ | $f_{sa}$ | $R_0(mm)$ | $T_l$(分) | K | P | $Q_{b1}(m^3/s)$ |
| 1 | 171.93 | 0.5 | 280 | 1.0 | 25.0 | 20 | 11.950 | 0.634 | 7.3 |
| 2 | 101.80 | 0.5 | 280 | 1.0 | 25.0 | 0 | 13.588 | 0.663 | 4.3 |
| 3 | 176.98 | 0.5 | 280 | 1.0 | 25.0 | 40 | 10.312 | 0.605 | 7.5 |
| 4 | 144.91 | 0.5 | - | - | 32.0 | 50 | 35.239 | 0.300 | 6.1 |
| 5 | 233.59 | 0.5 | 280 | 1.0 | 25.0 | 20 | 11.950 | 0.634 | 9.9 |
| 6 | 130.12 | 0.5 | 280 | 1.0 | 25.0 | 20 | 11.950 | 0.634 | 5.5 |
| 7 | 113.02 | 0.5 | - | - | 32.0 | 50 | 35.239 | 0.300 | 4.8 |
| 8 | 175.10 | 0.5 | 280 | 1.0 | 25.0 | 20 | 11.950 | 0.634 | 7.4 |
| 9 | 161.24 | 0.5 | 100 | 1.0 | 25.0 | 20 | 11.950 | 0.634 | 10.6 |
| 10 | 97.97 | 0.5 | 100 | 1.0 | 25.0 | 20 | 11.950 | 0.634 | 6.4 |
| | 1506.66 | | | | | | | | 77.2 |

⑤　検証対象洪水の再現計算結果

前項までに設定した定数を用いて、再現計算を実施した。再現計算結果を図 1.144 に示す。

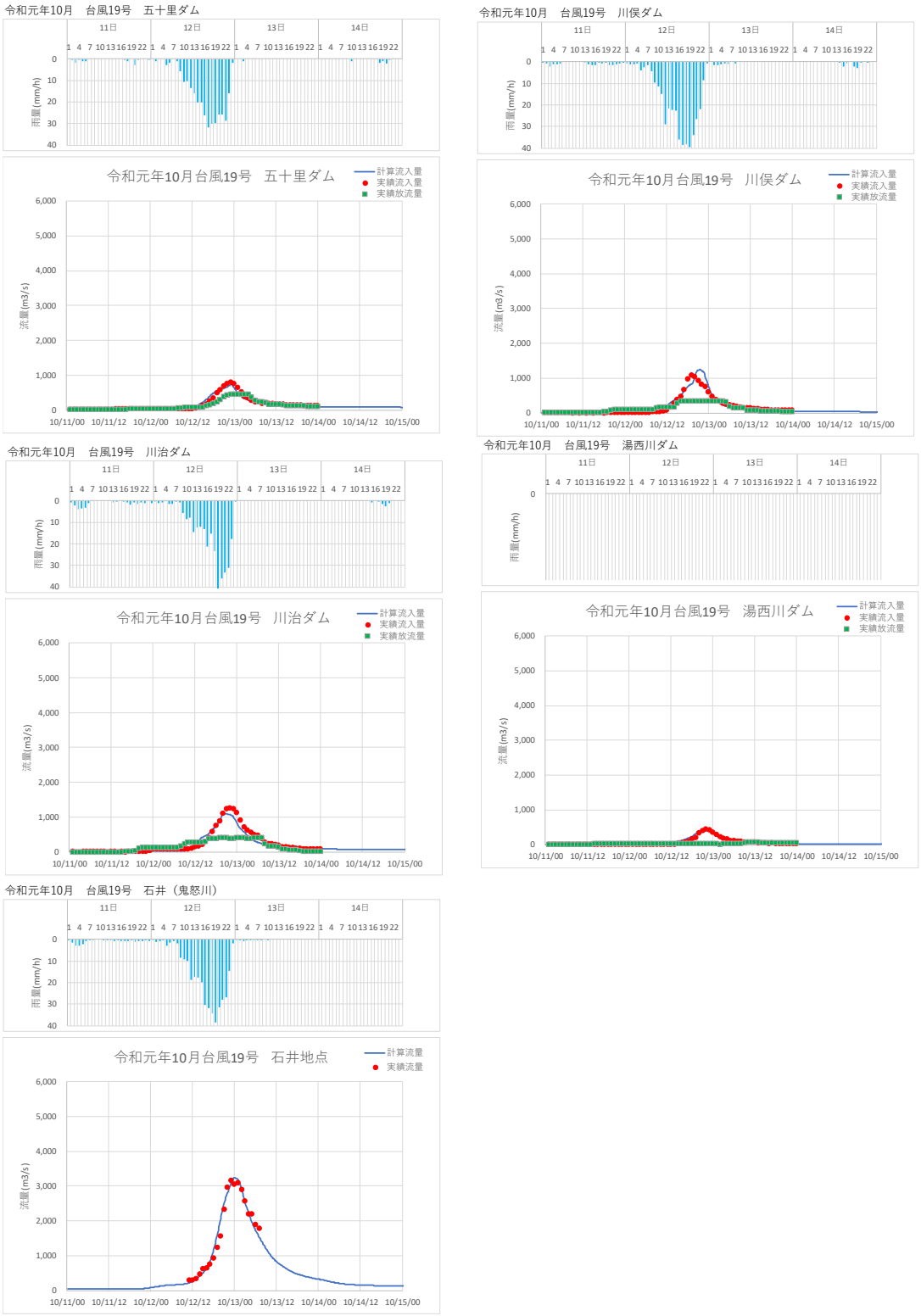



図 1.144　令和元年 10 月洪水の再現計算結果

## 1-25　基本高水のピーク流量設定の考え方（鬼怒川）

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

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

なお、現行計画の基本高水のピーク流量が総合確率法により設定されていることから、総合確率法による確認も実施した。

## 1-26　計画規模の設定（鬼怒川）

計画規模については、既定計画の 1/100 を踏襲するものとする。

## 1-27　対象降雨の継続時間の設定（鬼怒川）

### 1)　対象降雨の継続時間設定の考え方

利根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強度の強い降雨の継続時間を整理し設定した。

### 2)　洪水到達時間

洪水到達時間は以下に示す式を用いて算定した。対象洪水は、石井地点における氾濫注意水位相当の流量（2,200 $m^3/s$）以上の 33 洪水を対象とした。

#### (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 1.56 に示し、洪水毎の Kinematic Wave 法による洪水到達時間の検討結果を図 1.145 から図 1.155 に示す。

表 1.56　洪水到達時間の算定結果

| 年月日 | | 石井地点 | Kinematic Wave法 | 角屋式 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ピーク流量($m^3/s$) | 算定結果(h) | 平均有効降雨強度(mm/h) | 算定結果(h) |
| 1 | S12.9.9 | 2,300 | 29 | 8 | 10.2 |
| 2 | S13.8.30 | 4,600 | 25 | 11 | 8.9 |
| 3 | S14.8.3 | 2,400 | 11 | 15 | 8.1 |
| 4 | S16.7.20 | 2,400 | 33 | 9 | 9.8 |
| 5 | S19.10.5 | 2,300 | 13 | 13 | 8.5 |
| 6 | S21.7.30 | 3,600 | 9 | 15 | 8.1 |
| 7 | S22.9.13 | 3,200 | 20 | 15 | 8.2 |
| 8 | S23.9.14 | 2,200 | 11 | 16 | 7.9 |
| 9 | S24.8.30 | 4,200 | 12 | 18 | 7.6 |
| 10 | S25.8.2 | 2,700 | 30 | 7 | 10.5 |
| 11 | S33.9.16 | 2,700 | 23 | 10 | 9.5 |
| 12 | S34.8.12 | 4,200 | 47 | 8 | 10.1 |
| 13 | S34.9.24 | 3,100 | 27 | 8 | 10.2 |
| 14 | S41.9.22 | 3,200 | 21 | 10 | 9.3 |
| 15 | S47.9.14 | 2,600 | 12 | 11 | 9.2 |
| 16 | S54.10.17 | 2,200 | 33 | 6 | 11.3 |
| 17 | S56.8.20 | 4,200 | 25 | 13 | 8.6 |
| 18 | S57.7.31 | 2,900 | 17 | 12 | 8.9 |
| 19 | S57.9.10 | 2,600 | 29 | 8 | 10.1 |
| 20 | S61.8.3 | 2,300 | 20 | 10 | 9.4 |
| 21 | H2.8.8 | 2,600 | 20 | 12 | 8.7 |
| 22 | H3.8.19 | 2,300 | 19 | 11 | 8.9 |
| 23 | H10.8.27 | 2,300 | 8 | 9 | 9.9 |
| 24 | H10.9.14 | 3,500 | 15 | 17 | 7.7 |
| 25 | H13.8.21 | 2,500 | 11 | 14 | 8.4 |
| 26 | H13.9.8 | 2,600 | 21 | 12 | 8.8 |
| 27 | H14.7.9 | 3,400 | 26 | 11 | 9.0 |
| 28 | H19.9.5 | 2,900 | 22 | 10 | 9.3 |
| 29 | H23.9.19 | 3,400 | 17 | 12 | 8.9 |
| 30 | H24.6.18 | 2,300 | 17 | 10 | 9.3 |
| 31 | H25.9.14 | 2,700 | 16 | 11 | 9.1 |
| 32 | H27.9.8 | 7,000 | 19 | 19 | 7.5 |
| 33 | R1.10.11 | 6,100 | 17 | 20 | 7.3 |
| | 平均値 | − | 20.5 | − | 9.0 |

※ピーク流量は計算値を示す。

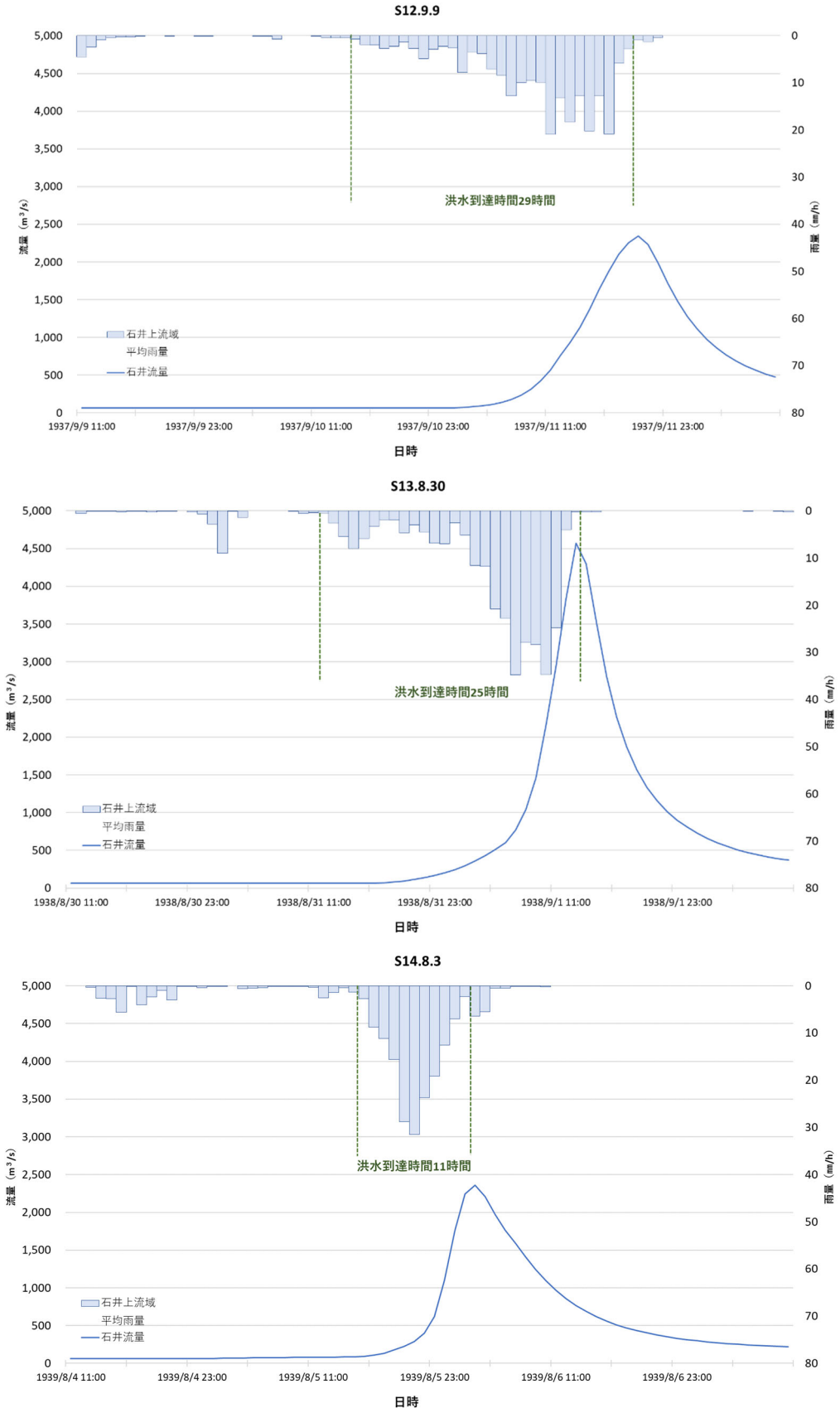



図 1.145　Kinematic Wave 法による洪水到達時間

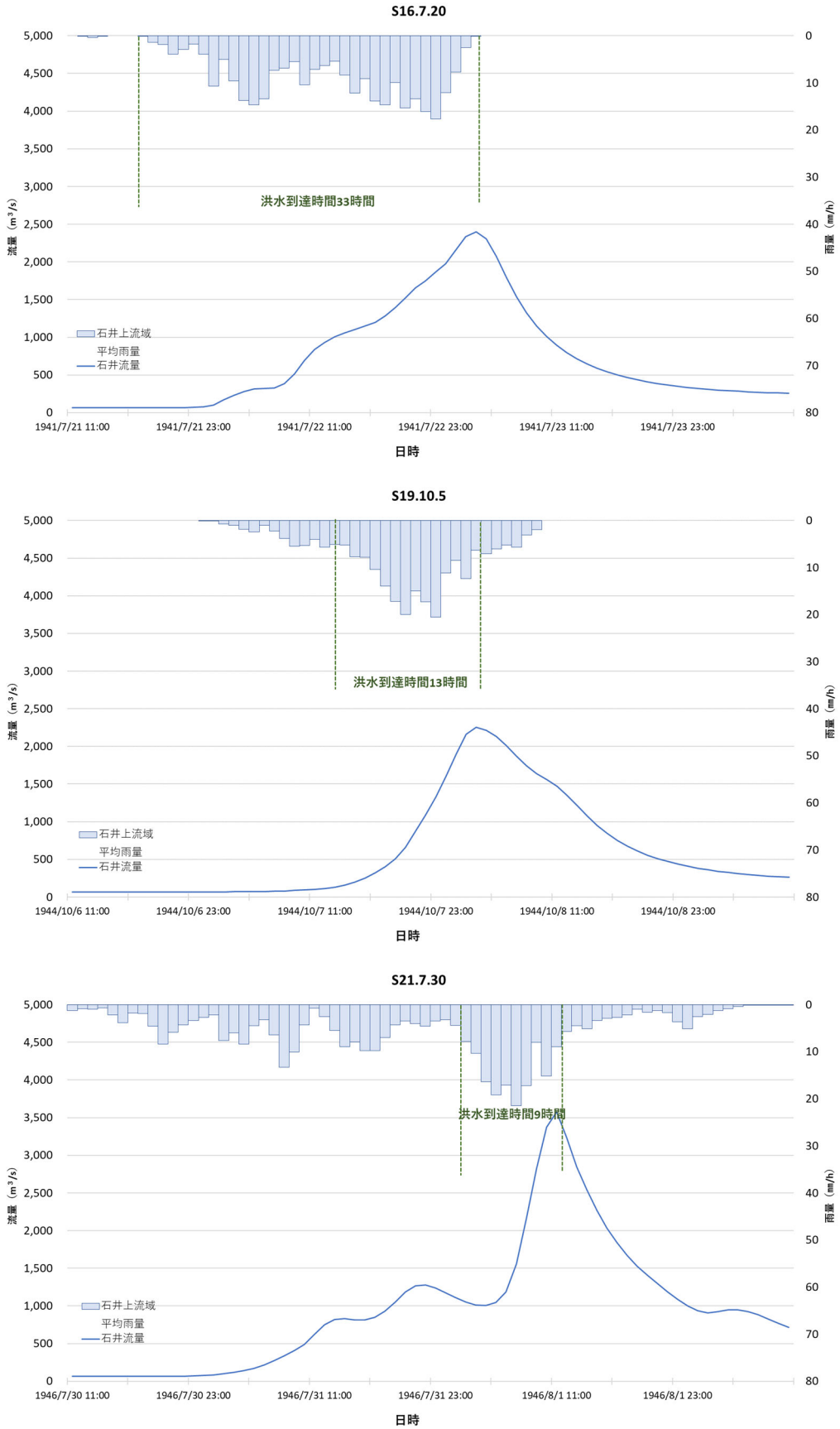



図 1.146　Kinematic Wave 法による洪水到達時間

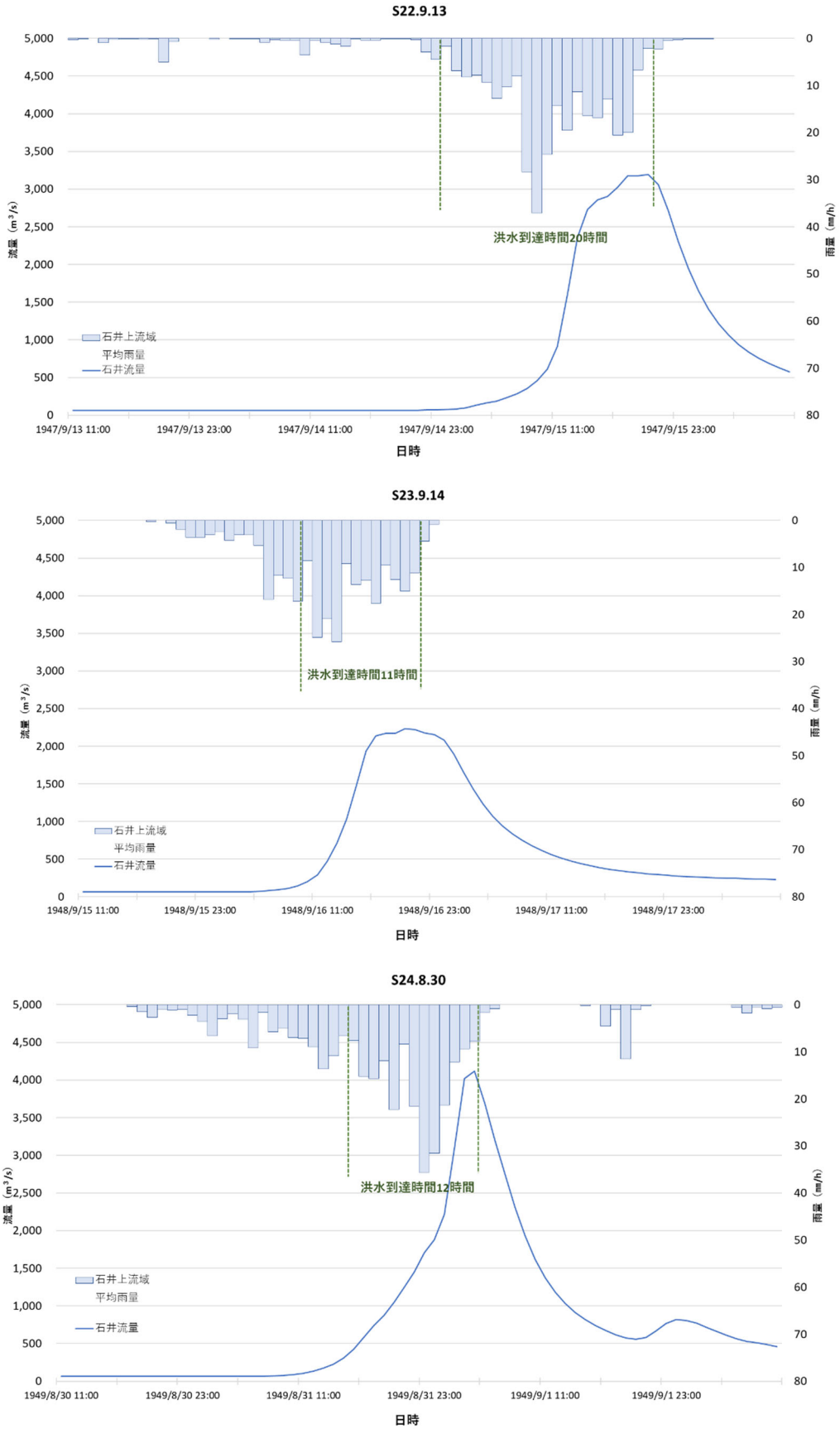



図 1.147　Kinematic Wave 法による洪水到達時間

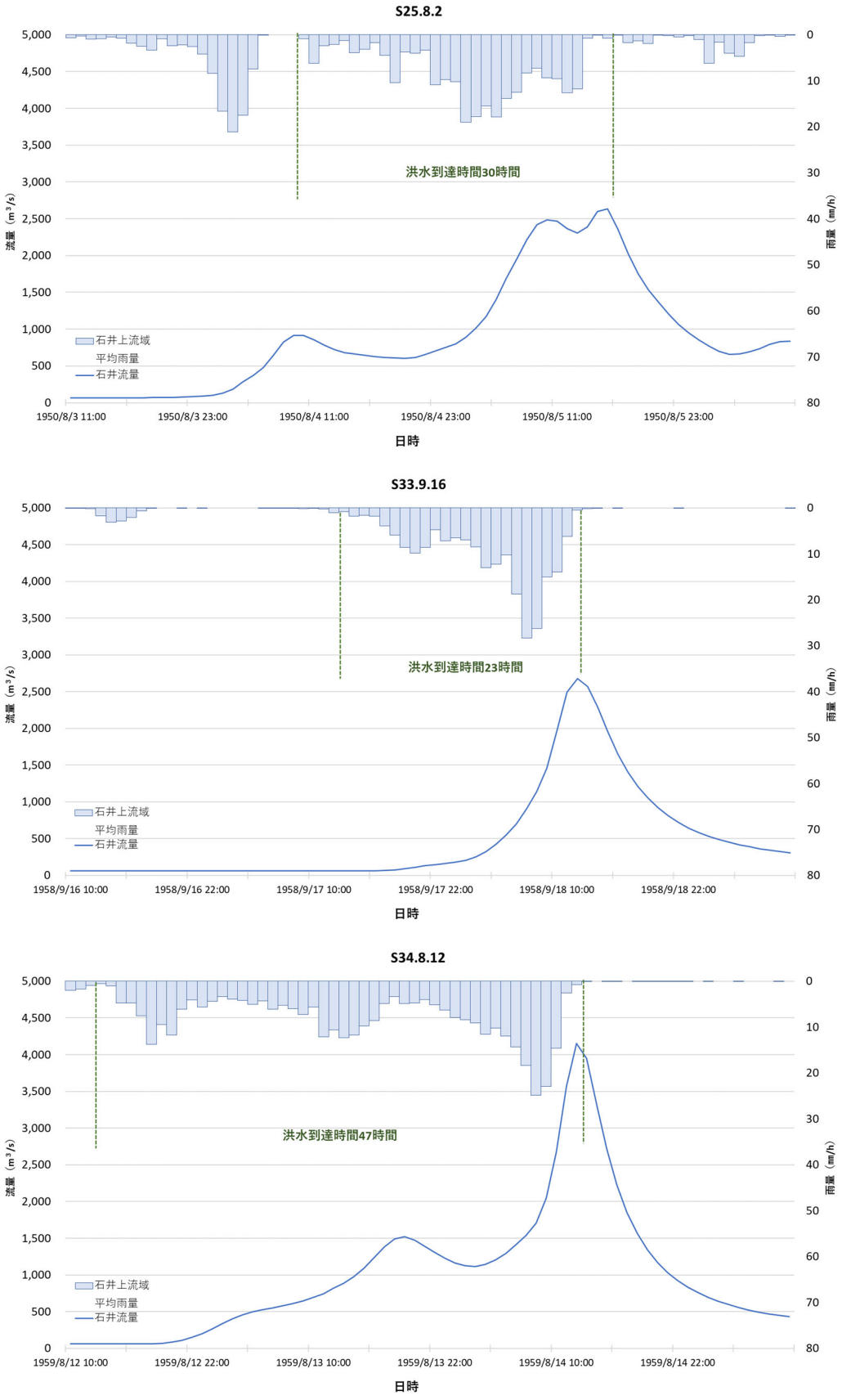



図 1.148　Kinematic Wave 法による洪水到達時間

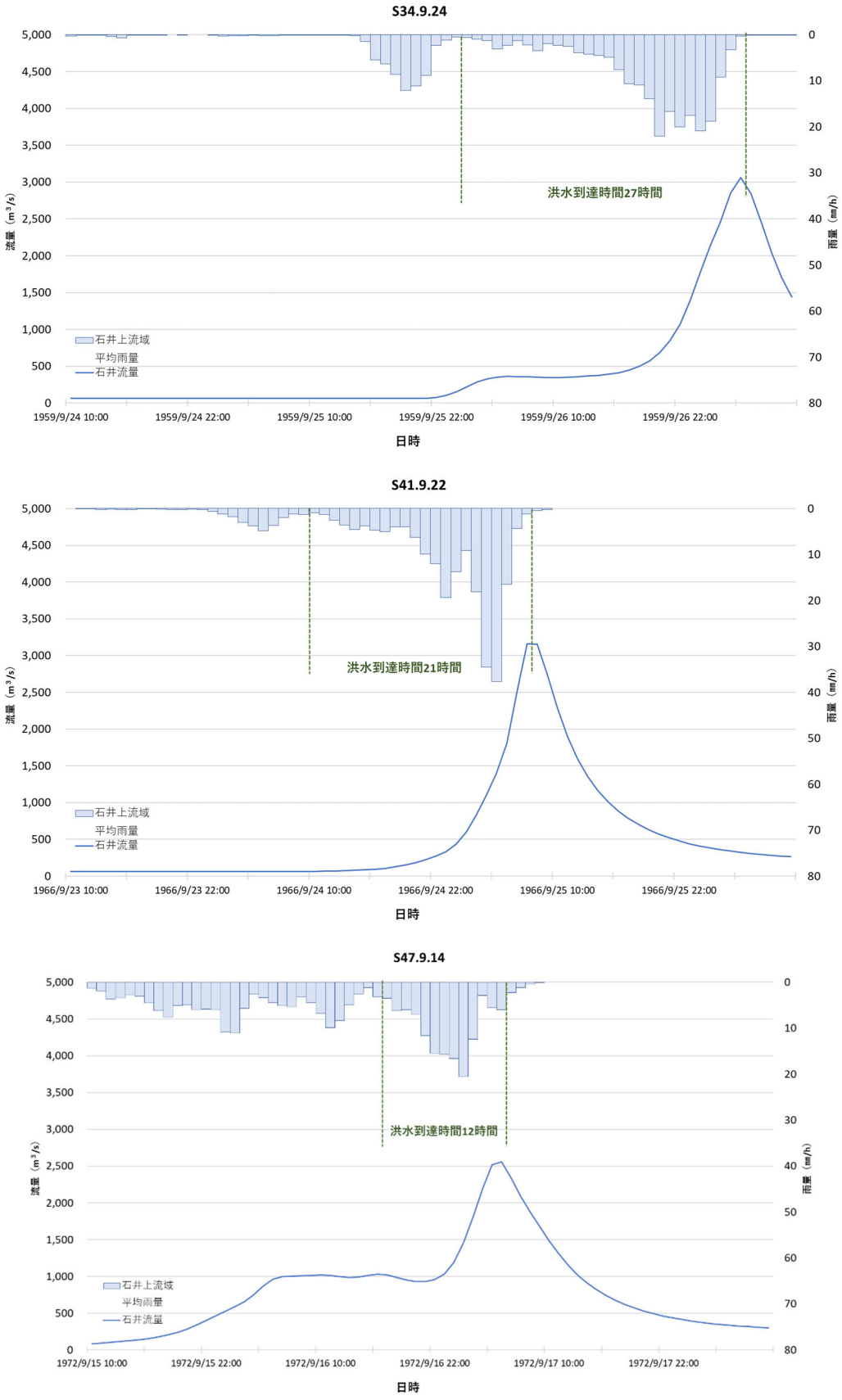



図 1.149　Kinematic Wave 法による洪水到達時間

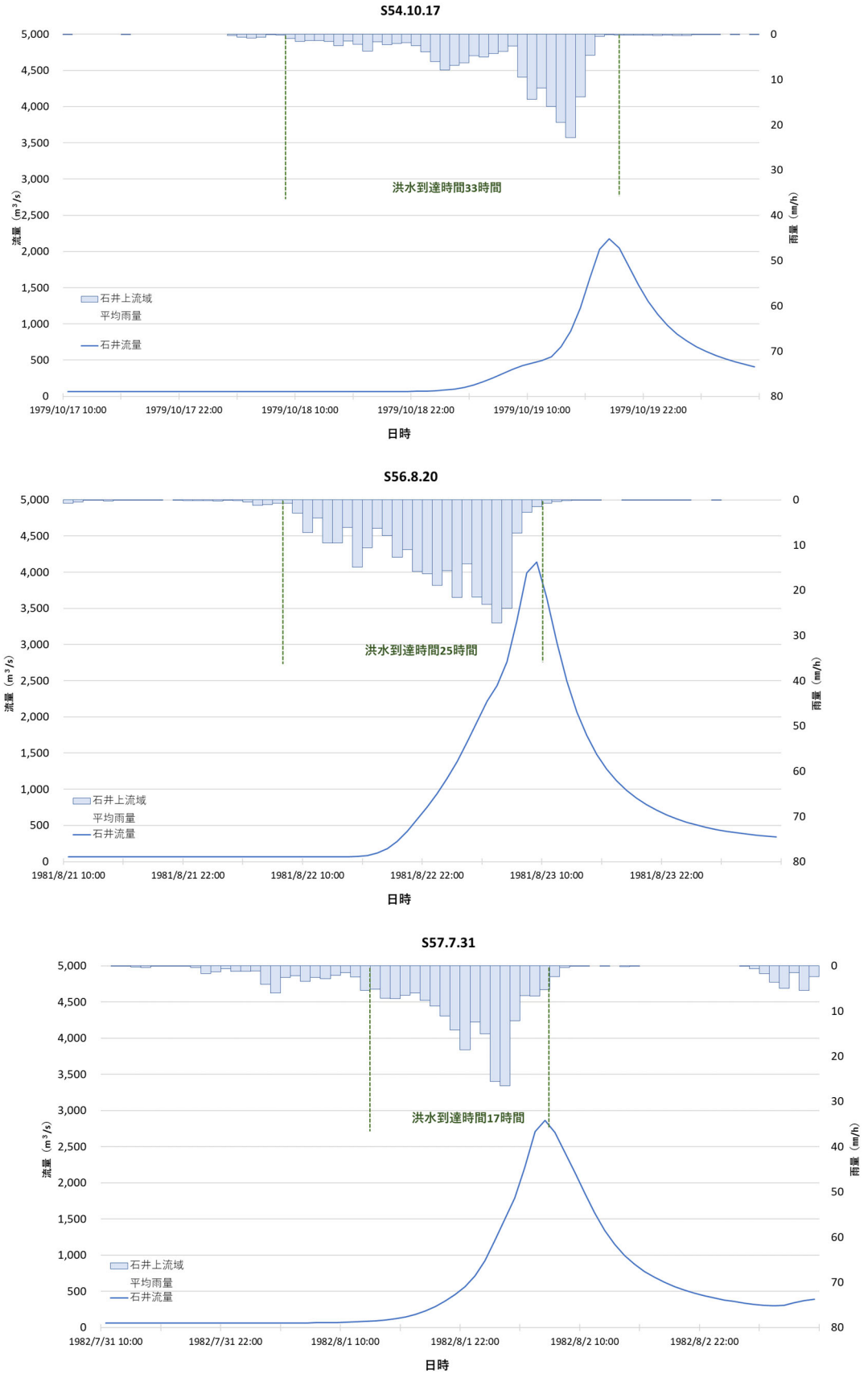



図 1.150　Kinematic Wave 法による洪水到達時間

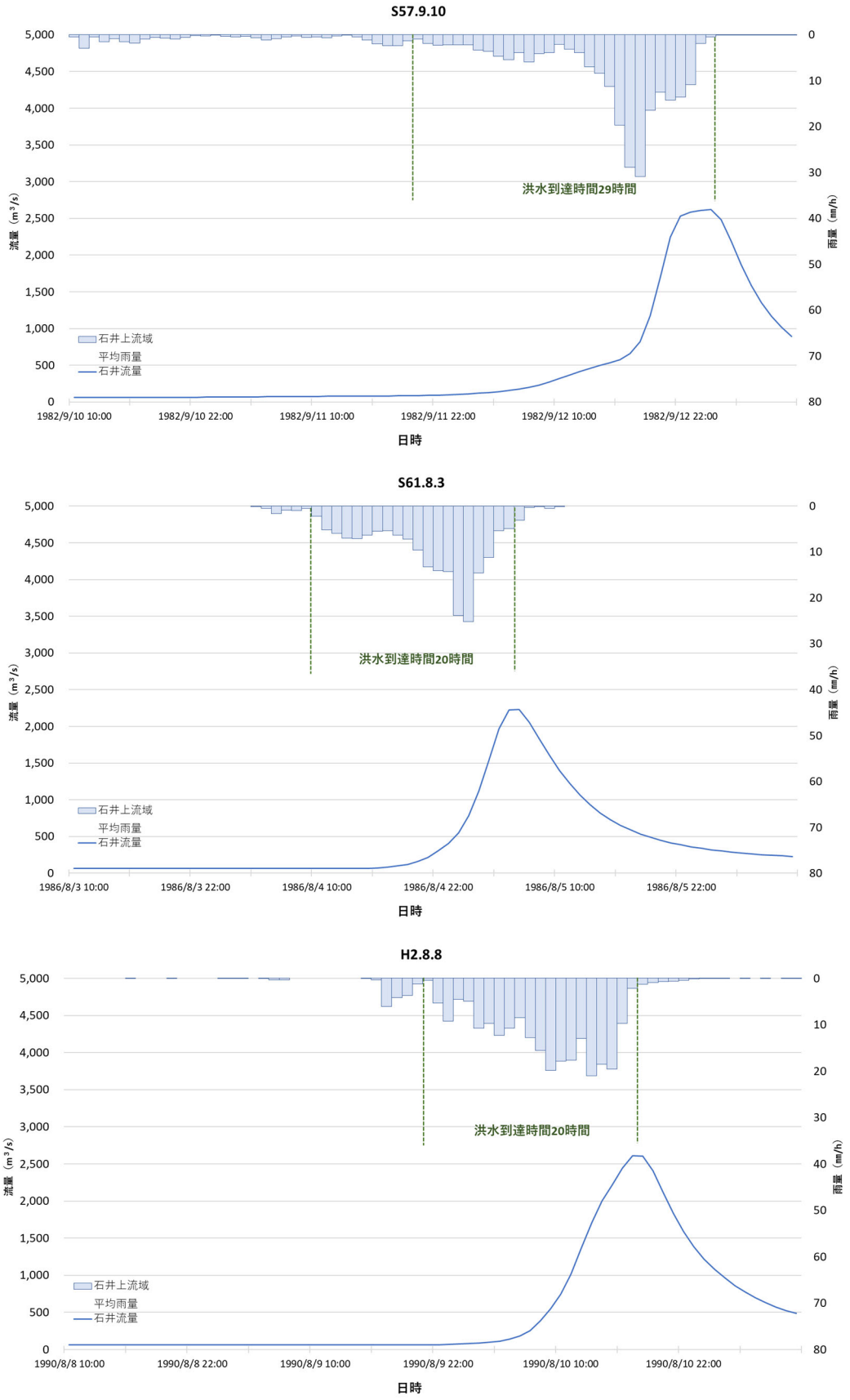



図 1.151　Kinematic Wave 法による洪水到達時間

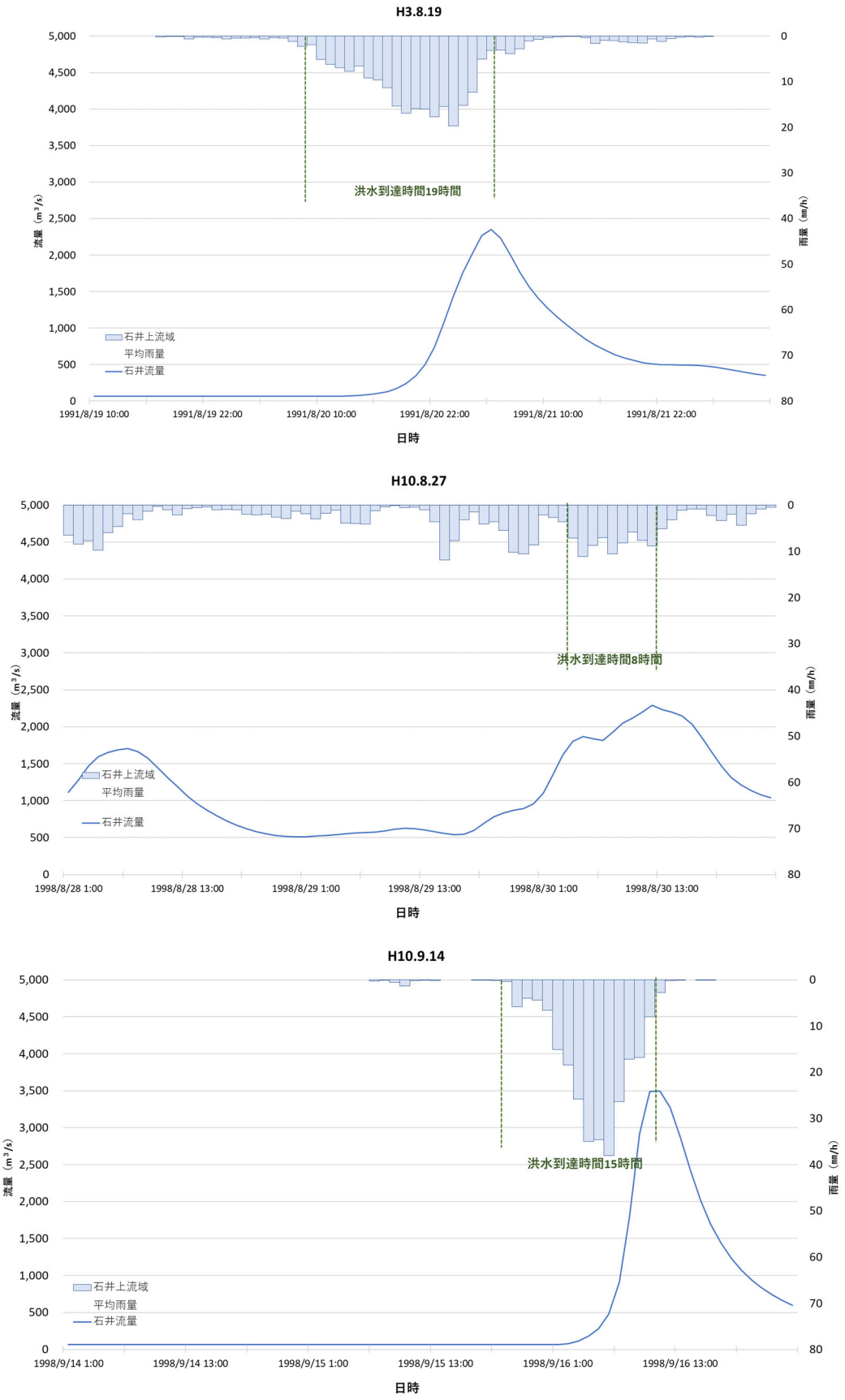



図 1.152　Kinematic Wave 法による洪水到達時間

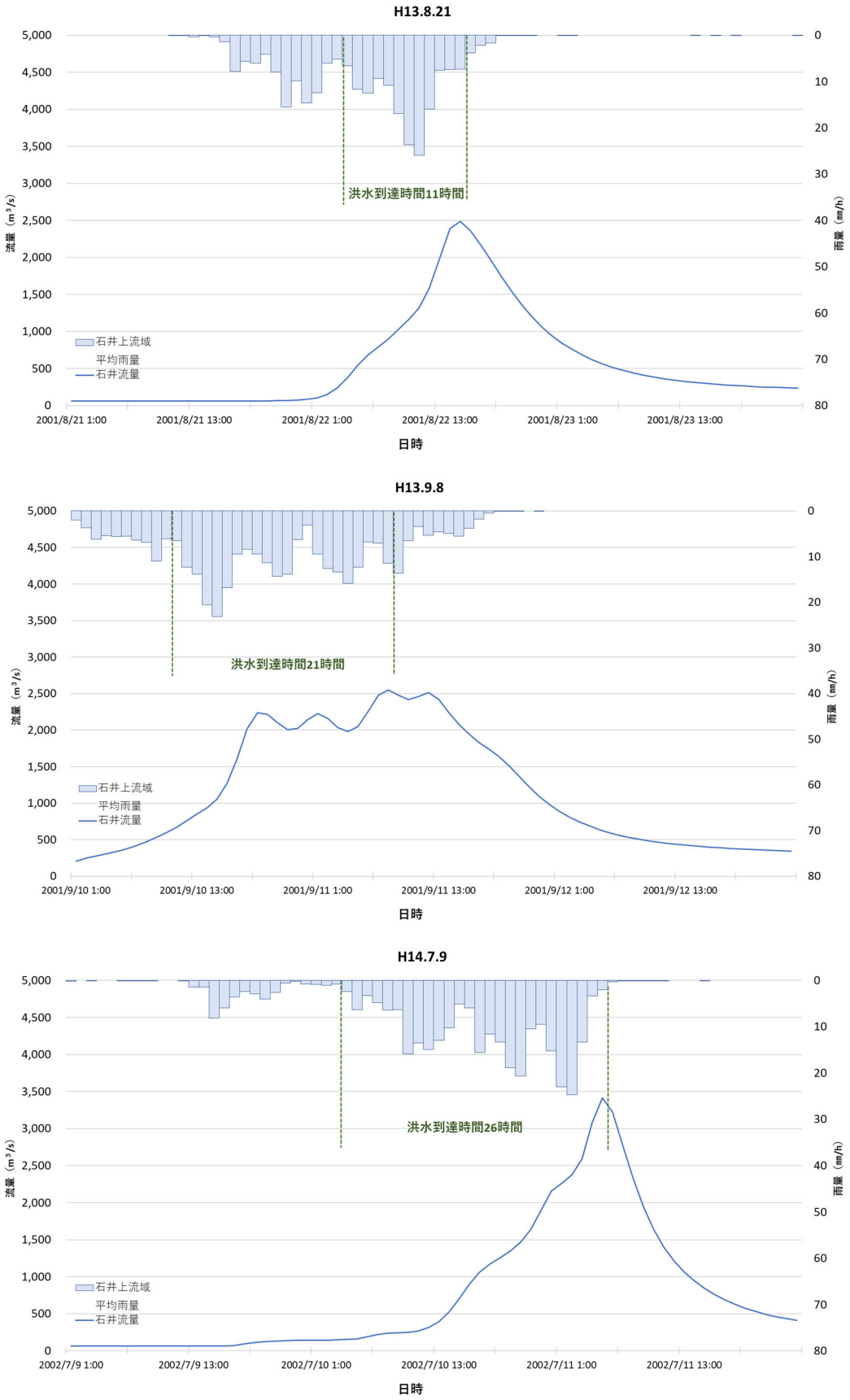



図 1.153　Kinematic Wave 法による洪水到達時間

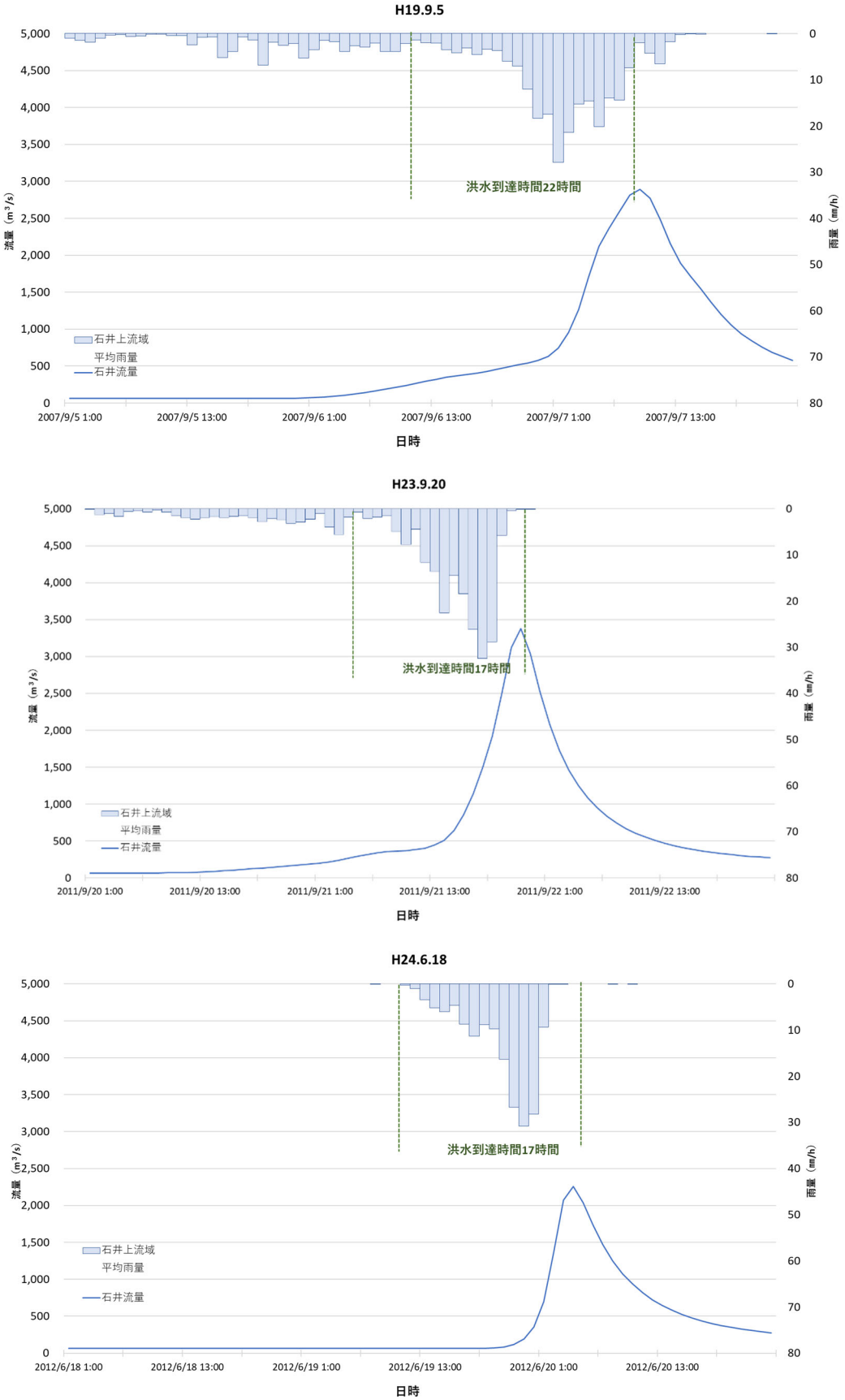



図 1.154　Kinematic Wave 法による洪水到達時間

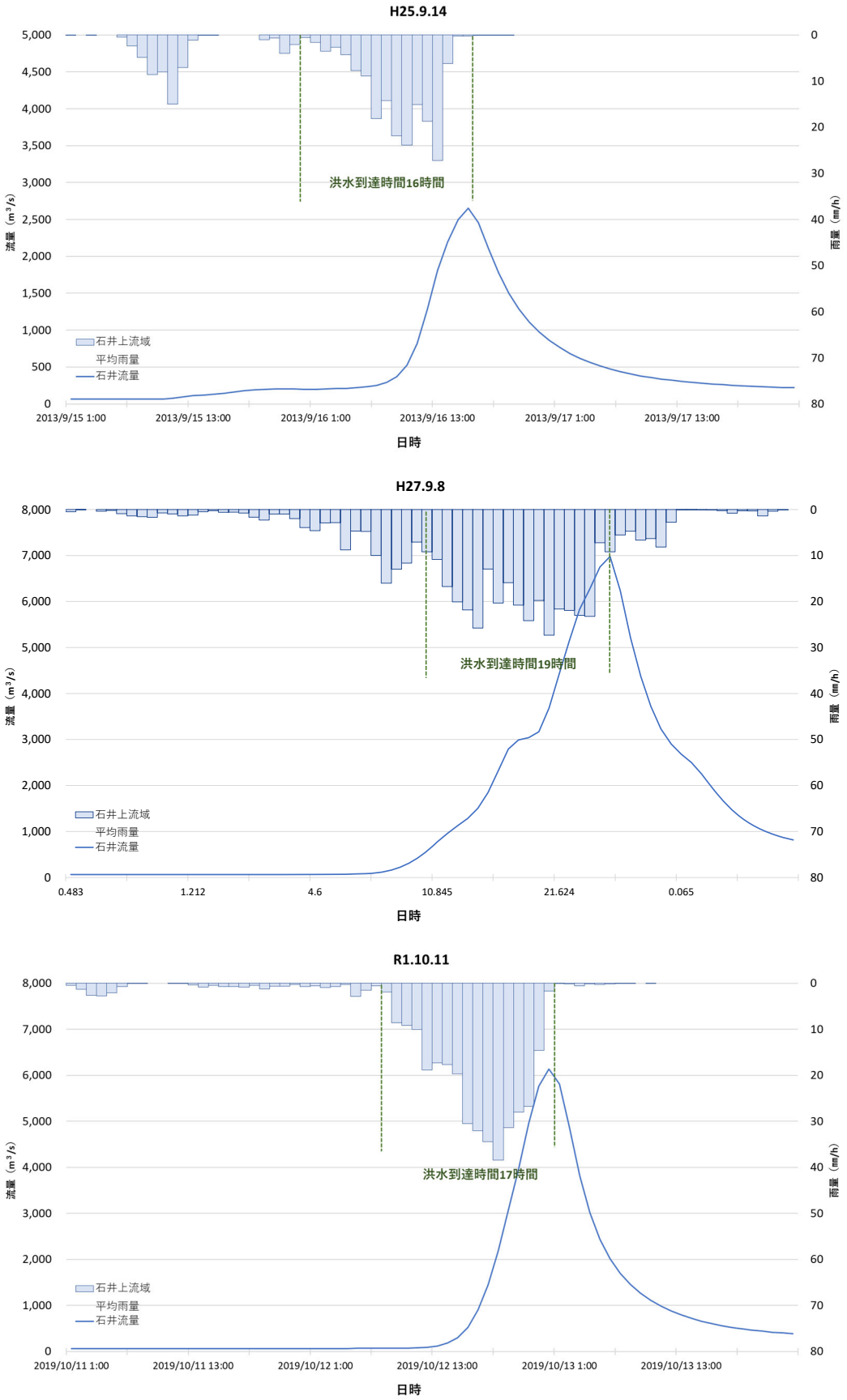



図 1.155　Kinematic Wave 法による洪水到達時間

### 3)　ピーク流量と短時間雨量の相関

昭和 11 年（1936 年）から令和 3 年（2021 年）までの 86 年間で基準地点石井上流域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（1、2、3、6、9、12、18、24、30、36、48 時間雨量）との相関関係の整理を行った。

その結果、基準地点石井では 9 時間程度において、ピーク流量と短時間雨量の相関が大きく、その時間以降では有意な差は見られない。この検討結果を図 1.156 に示す。また、定義①（ピーク流量生起時刻前で最大となる短時間雨量）によるピーク流量と短時間雨量の相関図を図 1.157 に示し、定義②（ピーク流量生起時刻から遡る短時間雨量）によるピーク流量と短時間雨量の相関図を図 1.158 に示す。

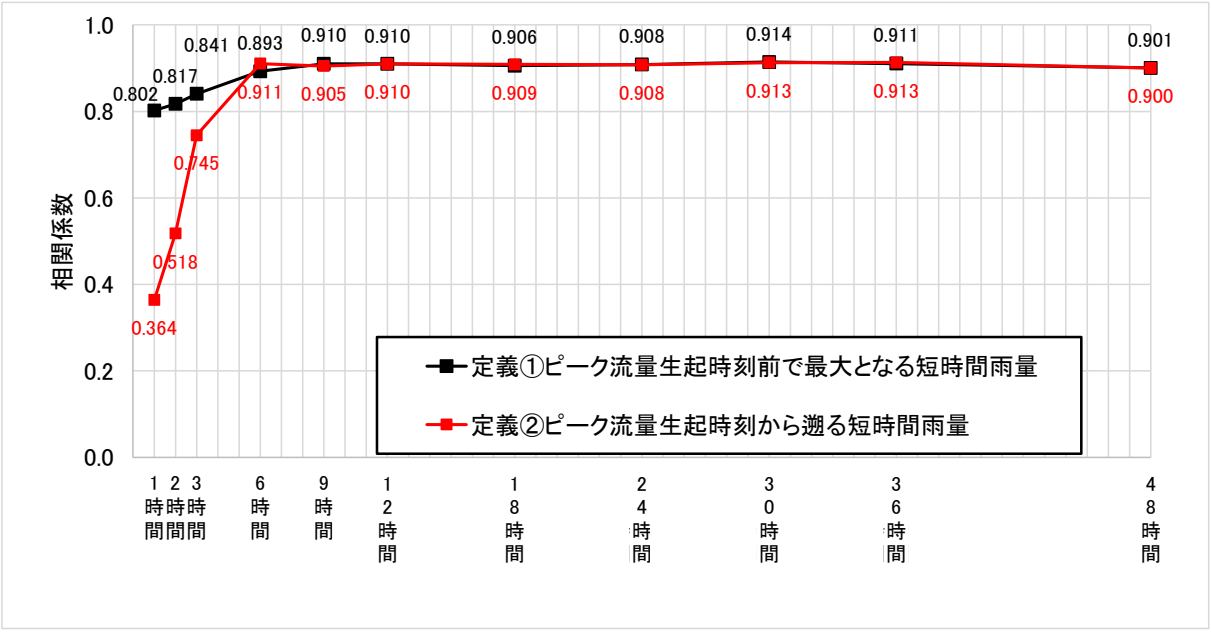



図 1.156　ピーク流量と相関の高い短時間雨量

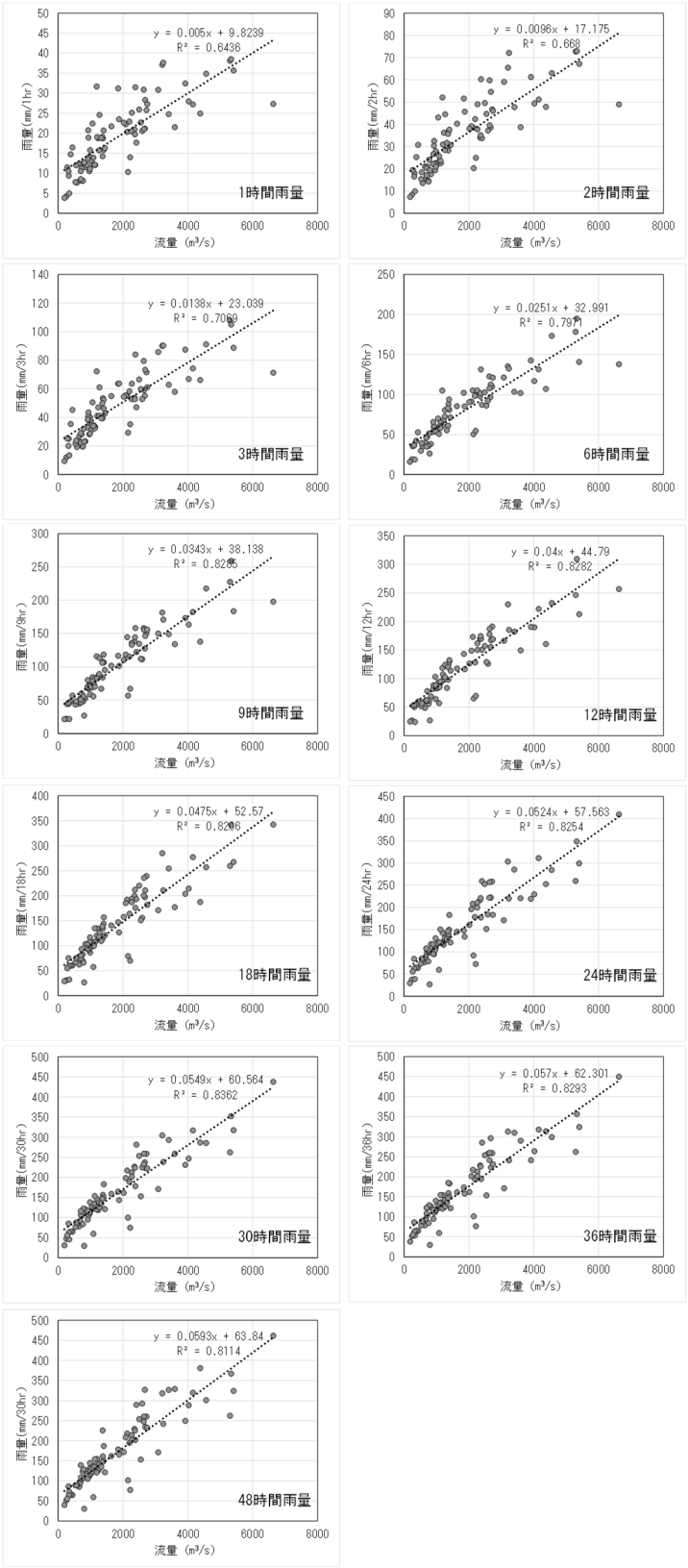



図 1.157　ピーク流量と流域平均時間雨量の相関図【定義①】

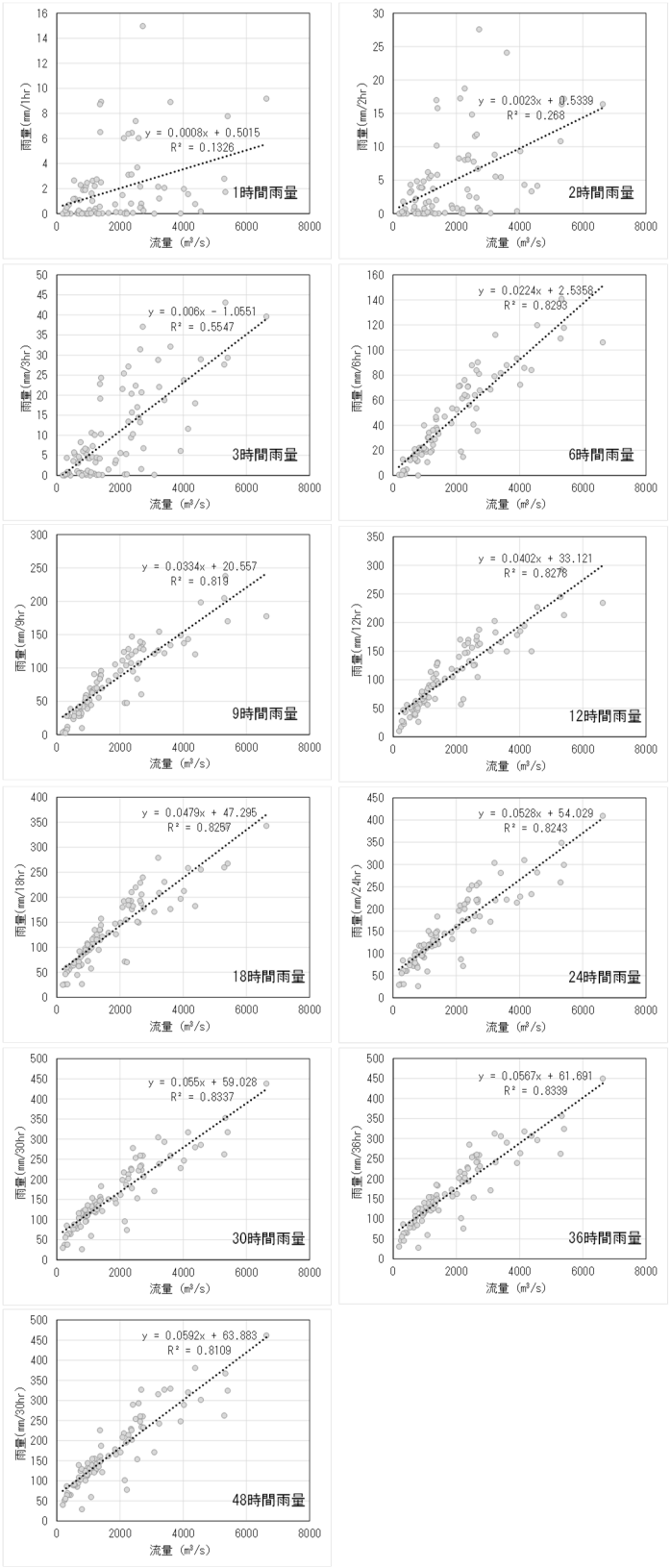



図 1.158　ピーク流量と流域平均時間雨量の相関図【定義②】

### 4)　強い降雨強度の継続時間

強い降雨強度（5 mm/h 及び 10 mm/h）の継続時間を整理した。対象洪水は、基準地点石井における氾濫注意水位相当の実績流量 2,200 $m^3/s$ 以上の 33 洪水とした。

主要洪水における降雨量 5 mm 以上の継続時間の平均値は 15 時間、降雨量 10 mm 以上の継続時間の平均値は 8 時間となり、洪水のピーク流量を形成している強い降雨強度の継続時間は概ね 24 時間でカバー可能である。

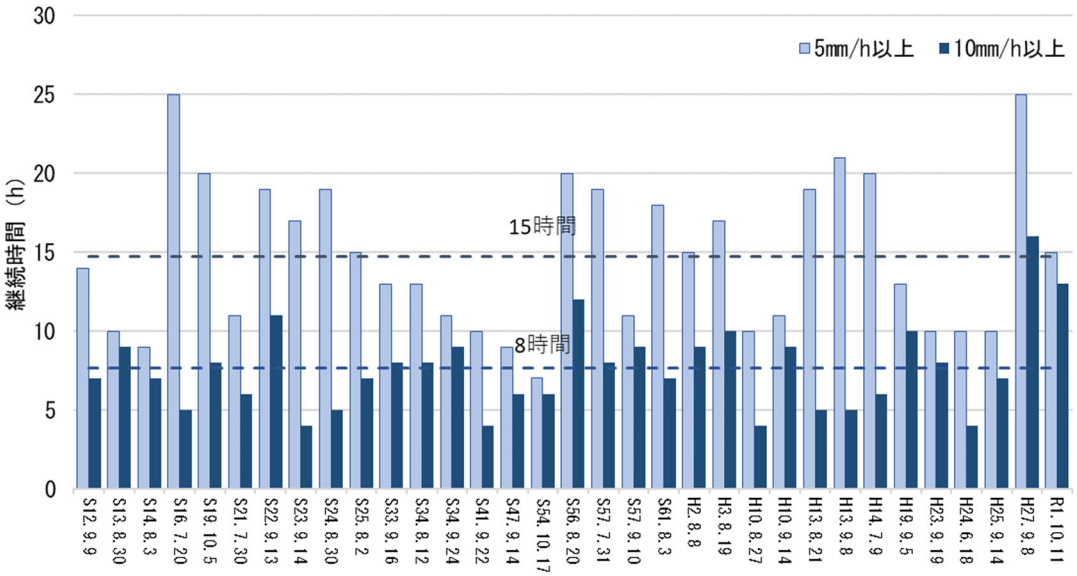



図 1.159　強い降雨強度の継続時間（石井上流域平均雨量）

### 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 11 年（1936 年）から令和 3 年（2021 年）までの雨量資料（84 年間）を整理し、鬼怒川の降雨特性、ピーク流量との相関から総合的に判断して、下記理由により対象降雨の降雨継続時間を規定計画の 3 日から 24 時間と設定した。

- 洪水到達時間の検討において、Kinematic Wave 法 8～47 時間（平均 20.5 時間）、角屋式は 7～11 時間（平均 9 時間）となる。
- ピーク流量と相関の高い短時間雨量は 9 時間程度において実績ピーク流量との相関が大きく、9 時間以降では有意な差は見られない。
- 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 24 時間で概ねの洪水を網羅した。

## 1-28　対象降雨の降雨量の設定（鬼怒川）

雨量標本に関しては、時間雨量データが存在する昭和 11 年（1936 年）からとし、気候変動による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平成 22 年（2010 年）までとし一覧を表 1.57 に示す。

昭和 11 年（1936 年）から平成 22 年（2010 年）までの 75 年間の年最大 24 時間雨量を確率処理し、適合度の基準を満足していること及び利根川本川や他の支川においては Gumbel 分布を用いていることから、水系一貫した確率分布モデルを用いた 1/100 対象降雨の降雨量を基準地点石井で 398 mm/24 h と決定した。この結果を表 1.58、図 1.160 に示す。

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、基準地点石井の 1/100 降雨量 398 mm/24 h に降雨量変化倍率 1.1 倍を乗じて得られた 437 mm/24 h を採用し、表 1.59 にまとめる。

表 1.57　年最大 24 時間雨量一覧

| No | 日付 | 雨量 (mm/24h) |
|---|---|---|
| 1 | S11.9.27 | 138.9 |
| 2 | S12.9.10 | 216.6 |
| 3 | S13.8.31 | 322.4 |
| 4 | S14.8.4 | 200.0 |
| 5 | S15.8.26 | 148.1 |
| 6 | S16.7.22 | 254.9 |
| 7 | S17.9.19 | 63.4 |
| 8 | S18.10.2 | 211.6 |
| 9 | S19.10.7 | 229.2 |
| 10 | S20.10.4 | 126.5 |
| 11 | S21.7.31 | 229.9 |
| 12 | S22.9.14 | 305.2 |
| 13 | S23.9.15 | 265.1 |
| 14 | S24.8.31 | 299.4 |
| 15 | S25.8.3 | 228.4 |
| 16 | S26.6.15 | 37.5 |
| 17 | S27.6.23 | 64.9 |
| 18 | S28.9.25 | 197.1 |
| 19 | S29.9.18 | 108.7 |
| 20 | S30.8.27 | 113.8 |
| 21 | S31.9.26 | 94.8 |
| 22 | S32.7.22 | 76.8 |
| 23 | S33.9.17 | 222.1 |
| 24 | S34.8.13 | 252.6 |
| 25 | S35.8.11 | 117.3 |
| 26 | S36.6.27 | 141.3 |
| 27 | S37.8.25 | 116.1 |
| 28 | S38.10.29 | 87.8 |
| 29 | S39.8.20 | 103.9 |
| 30 | S40.9.17 | 160.6 |
| 31 | S41.9.24 | 220.2 |
| 32 | S42.9.12 | 38.8 |
| 33 | S43.7.28 | 97.3 |
| 34 | S44.8.22 | 120.6 |
| 35 | S45.11.19 | 79.8 |
| 36 | S46.8.30 | 185.5 |
| 37 | S47.9.16 | 184.2 |
| 38 | S48.6.21 | 29.4 |

| No | 日付 | 雨量 (mm/24h) |
|---|---|---|
| 39 | S49.8.25 | 169.7 |
| 40 | S50.11.6 | 106.4 |
| 41 | S51.9.13 | 78.9 |
| 42 | S52.8.15 | 117.2 |
| 43 | S53.6.27 | 79.8 |
| 44 | S54.10.18 | 178.4 |
| 45 | S55.9.10 | 85.3 |
| 46 | S56.8.22 | 311.3 |
| 47 | S57.9.12 | 222.1 |
| 48 | S58.8.17 | 140.9 |
| 49 | S59.5.1 | 62.4 |
| 50 | S60.6.30 | 145.2 |
| 51 | S61.8.4 | 199.9 |
| 52 | S62.9.10 | 103.9 |
| 53 | S63.8.10 | 121.8 |
| 54 | H1.8.27 | 150.0 |
| 55 | H2.8.9 | 256.9 |
| 56 | H3.8.20 | 229.0 |
| 57 | H4.10.8 | 57.6 |
| 58 | H5.11.13 | 150.9 |
| 59 | H6.9.29 | 134.3 |
| 60 | H7.9.16 | 93.9 |
| 61 | H8.9.21 | 95.1 |
| 62 | H9.6.20 | 125.9 |
| 63 | H10.9.15 | 260.1 |
| 64 | H11.8.14 | 158.6 |
| 65 | H12.9.11 | 107.8 |
| 66 | H13.9.10 | 278.8 |
| 67 | H14.7.10 | 285.3 |
| 68 | H15.8.8 | 150.5 |
| 69 | H16.10.8 | 138.6 |
| 70 | H17.7.26 | 130.5 |
| 71 | H18.12.26 | 146.4 |
| 72 | H19.9.6 | 234.9 |
| 73 | H20.5.19 | 121.1 |
| 74 | H21.8.9 | 153.1 |
| 75 | H22.6.29 | 84.2 |

# 表 1.58　基準地点石井 24h 雨量 1/100 確率計算結果

| | | 鬼怒川 | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 項　目 | | 指数分布 | ｸﾞﾝﾍﾞﾙ分布 | SQRT-ET分布 | GEV分布 | 対数正規分布 | LP3分布 | 対数正規分布 | 対数正規分布 | 対数正規分布 | 対数正規分布 | 対数正規分布 | 対数正規分布 |
| | | Exp | Gumbel | SqrtEt | Gev | LP3Rs | LogP3 | Iwai | IshiTaka | LN3Q | LN3PM | LN2LM | LN2PM |
| | | | L積率法 | 最尤法 | L積率法 | 積率法 | 積率法 | 岩井法 | 石原高瀬法 | ｸｳｫﾝﾀｲﾙ法 | PWM積率法 | L積率法 | PWM積率法 |
| | 1/2 | 131.3 | 144.1 | 139.1 | 147.4 | 150.8 | 147.3 | 144.6 | 150.6 | 148.5 | 150.7 | — | — |
| | 1/5 | 207.3 | 212.0 | 220.5 | 214.9 | 219.5 | 216.9 | 213.5 | 215.1 | 213.5 | 215.2 | — | — |
| | 1/10 | 264.9 | 256.9 | 283.2 | 256.6 | 255.6 | 257.7 | 258.3 | 252.8 | 252.9 | 252.7 | — | — |
| 確 | 1/30 | 356.1 | 324.8 | 390.6 | 315.3 | 297.7 | 311.5 | 325.3 | 304.2 | 308.5 | 304.0 | — | — |
| 率 | 1/50 | 398.5 | 355.8 | 444.7 | 340.5 | 313.0 | 333.3 | 355.8 | 326.1 | 332.7 | 325.7 | — | — |
| 規 | 1/80 | 437.5 | 384.2 | 497.0 | 362.8 | 325.2 | 351.9 | 383.7 | 345.5 | 354.4 | 344.9 | — | — |
| 模 | 1/100 | 456.0 | 397.6 | 522.7 | 373.0 | 330.5 | 360.3 | 397.0 | 354.5 | 364.5 | 353.8 | — | — |
| | 1/150 | 489.6 | 422.0 | 570.7 | 391.2 | 339.3 | 374.9 | 421.1 | 370.5 | 382.6 | 369.7 | — | — |
| | 1/200 | 513.5 | 439.3 | 606.0 | 403.8 | 344.9 | 384.8 | 438.2 | 381.6 | 395.4 | 380.7 | — | — |
| | 1/400 | 571.1 | 480.9 | 694.7 | 432.9 | 357.0 | 407.1 | 479.8 | 407.8 | 425.7 | 406.6 | — | — |
| | 1/500 | 589.6 | 494.2 | 724.5 | 442.0 | 360.4 | 413.9 | 493.3 | 416.0 | 435.3 | 414.8 | — | — |
| SLSC | | 0.068 | 0.038 | 0.056 | 0.034 | 0.024 | 0.021 | 0.026 | 0.029 | 0.027 | 0.029 | — | — |
| 推定誤差 | | 26.900 | 22.800 | 44.300 | 24.500 | 17.100 | 32.800 | 24.900 | 17.000 | 22.300 | 16.900 | — | — |

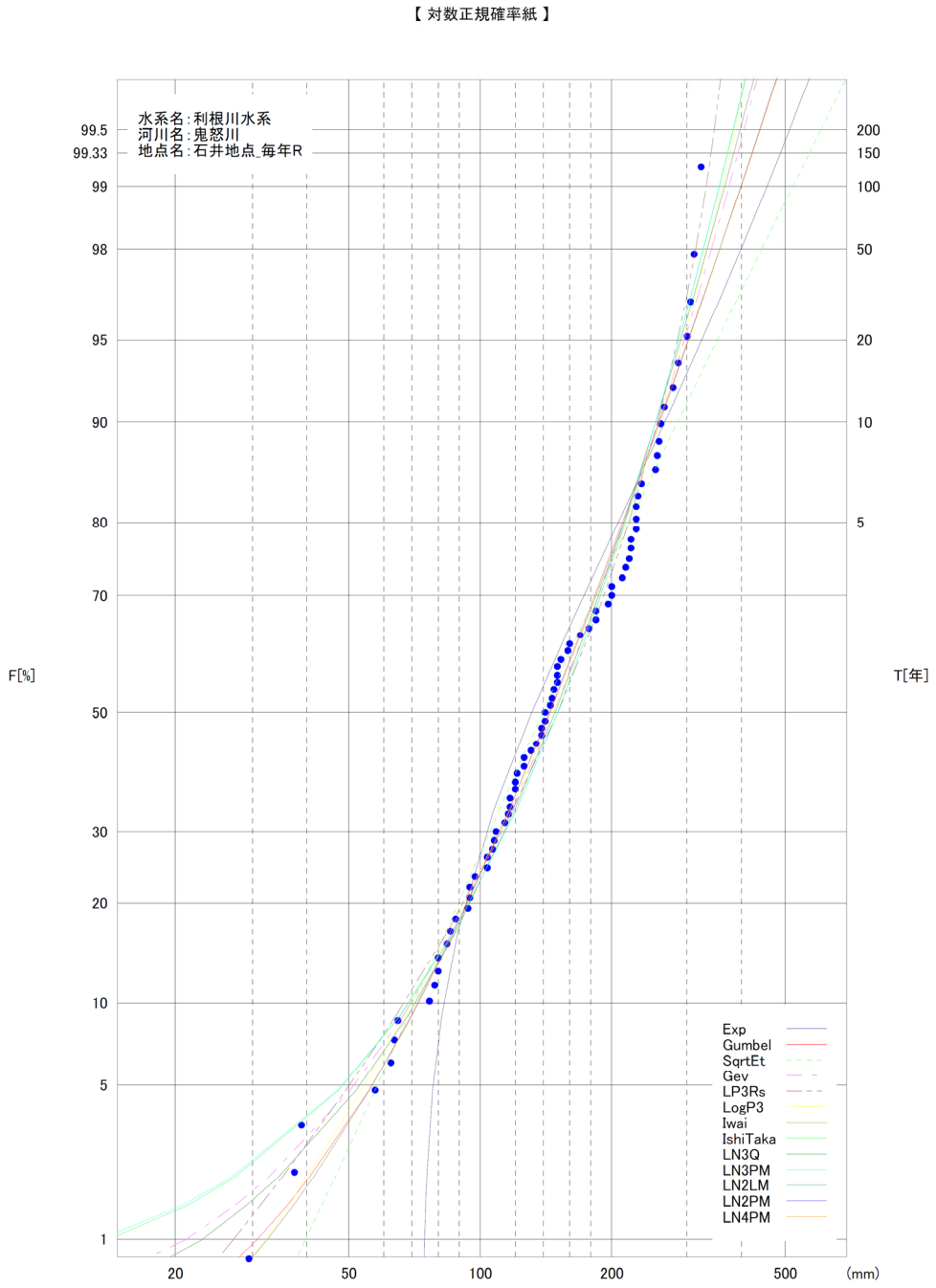



図 1.160　雨量確率計算結果

表 1.59　1/100 確率規模降雨量（基準地点石井）

| 項目 | 石井 | 備考 |
|---|---|---|
| 1/100 確率雨量<br>（S11～H22 標本） | 398 mm/24 h | 確率手法 SLSC≦0.04 |
| 気候変動を<br>考慮した降雨量 | 437 mm/24 h | 398 mm/24 h<br>×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。

### 1) Mann-Kendall 検定（定常/非定常性の確認）

昭和 11 年（1936 年）から平成 22 年（2010 年）までの雨量データに一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したが、非定常性は確認されなかったため、近年降雨までデータ延伸を実施した。

### 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た場合の Gumbel 分布による確率雨量を算定した。その結果、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石井 1/100 確率雨量は 417 mm/24 h となりデータ延伸による確率雨量に大きな差がないことを確認した。

## 1-29　雨量確率法による検討（鬼怒川）

### 1)　主要降雨波形の選定

主要降雨波形は、令和 3 年（2021 年）までの基準地点石井における 24 時間雨量のうち、表 1.58 の年超過確率 1/10（257 mm/24 h）を超過し、引伸ばし率が 2 倍以下（1.1 倍する前の確率雨量）となる 11 洪水を選定した。

選定した洪水を対象に、基準地点石井の 1/100 確率 24 時間雨量 437 mm（398 mm×1.1）となるよう引伸ばし降雨波形を作成し流出計算を行ったところ、基準地点石井におけるピーク流量は 4,700～10,500 $m^3/s$ となり、その結果を表 1.60 に示し、各洪水のハイドログラフを図 1.162 から図 1.167 に示す。

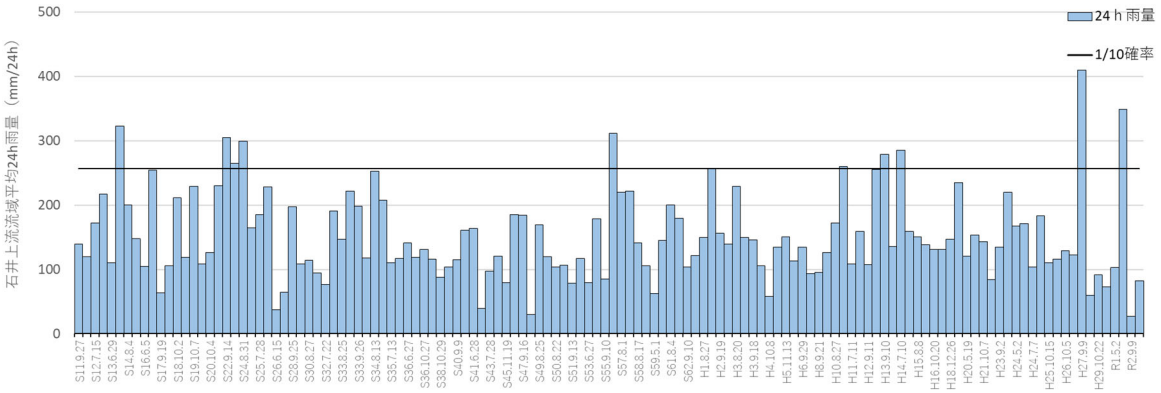



図 1.161　主要降雨波形の選定（基準地点石井）

表 1.60　主要降雨波形のピーク流量一覧（基準地点石井）

| No | 洪水名 | 石井地点<br>24時間雨量<br>（mm） | 計画規模降雨量<br>×1.1（mm/24h） | 引伸ばし率 | 石井地点<br>ピーク流量<br>（$m^3/s$） |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | S13.8.31 | 322.4 | 437 | 1.36 | 10,500 |
| 2 | S22.9.14 | 305.2 | 437 | 1.43 | 7,500 |
| 3 | S23.9.15 | 265.1 | 437 | 1.65 | 5,700 |
| 4 | S24.8.31 | 299.4 | 437 | 1.46 | 6,900 |
| 5 | S56.8.22 | 311.3 | 437 | 1.41 | 7,800 |
| 6 | H2.8.9 | 256.9 | 437 | 1.70 | 6,800 |
| 7 | H10.9.15 | 260.1 | 437 | 1.68 | 9,200 |
| 8 | H13.9.10 | 278.8 | 437 | 1.57 | 4,700 |
| 9 | H14.7.10 | 285.3 | 437 | 1.53 | 7,100 |
| 10 | H27.9.9 | 409.5 | 437 | 1.07 | 7,600 |
| 11 | R1.10.12 | 348.5 | 437 | 1.26 | 9,300 |

※$100m^3/s$ の端数については、切り上げるものとした
※引伸ばし率：「24 時間雨量(mm)」と「1/100 確率雨量×1.1」との比率
※計算流量：流出計算モデルを用いて実績降雨から算出した流量

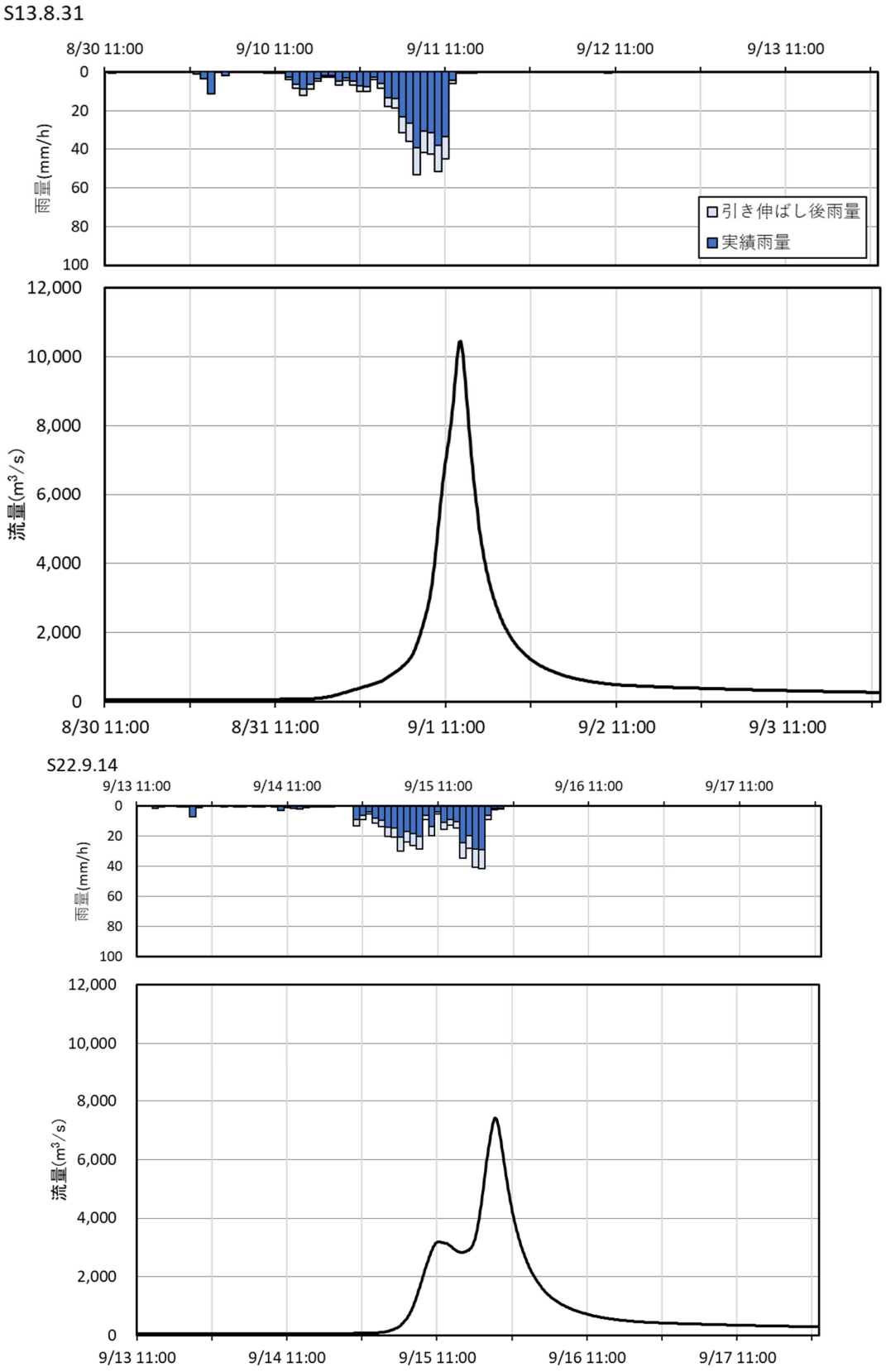



図 1.162　主要降雨波形のハイドログラフ（基準地点石井）

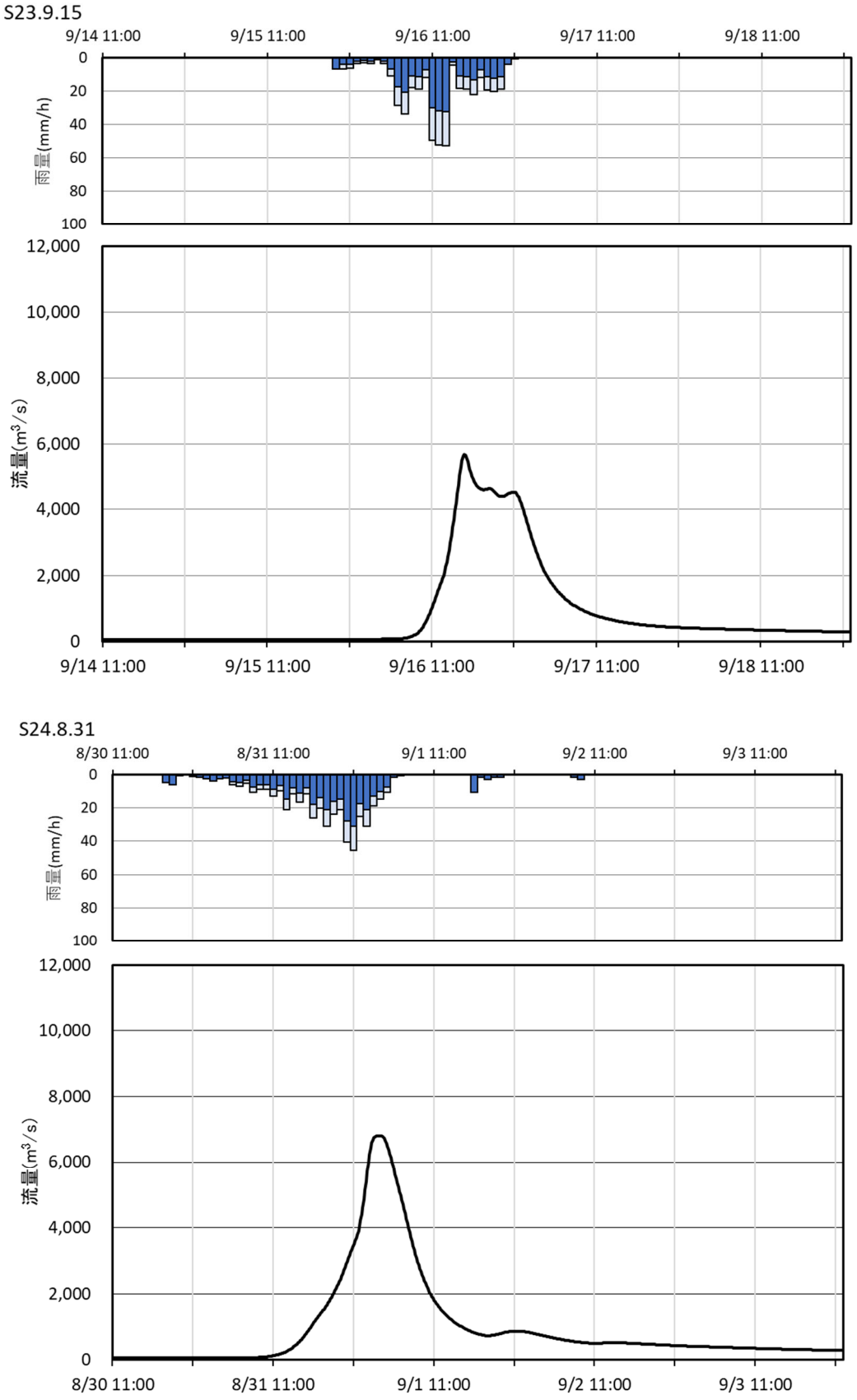



図 1.163　主要降雨波形のハイドログラフ（基準地点石井）

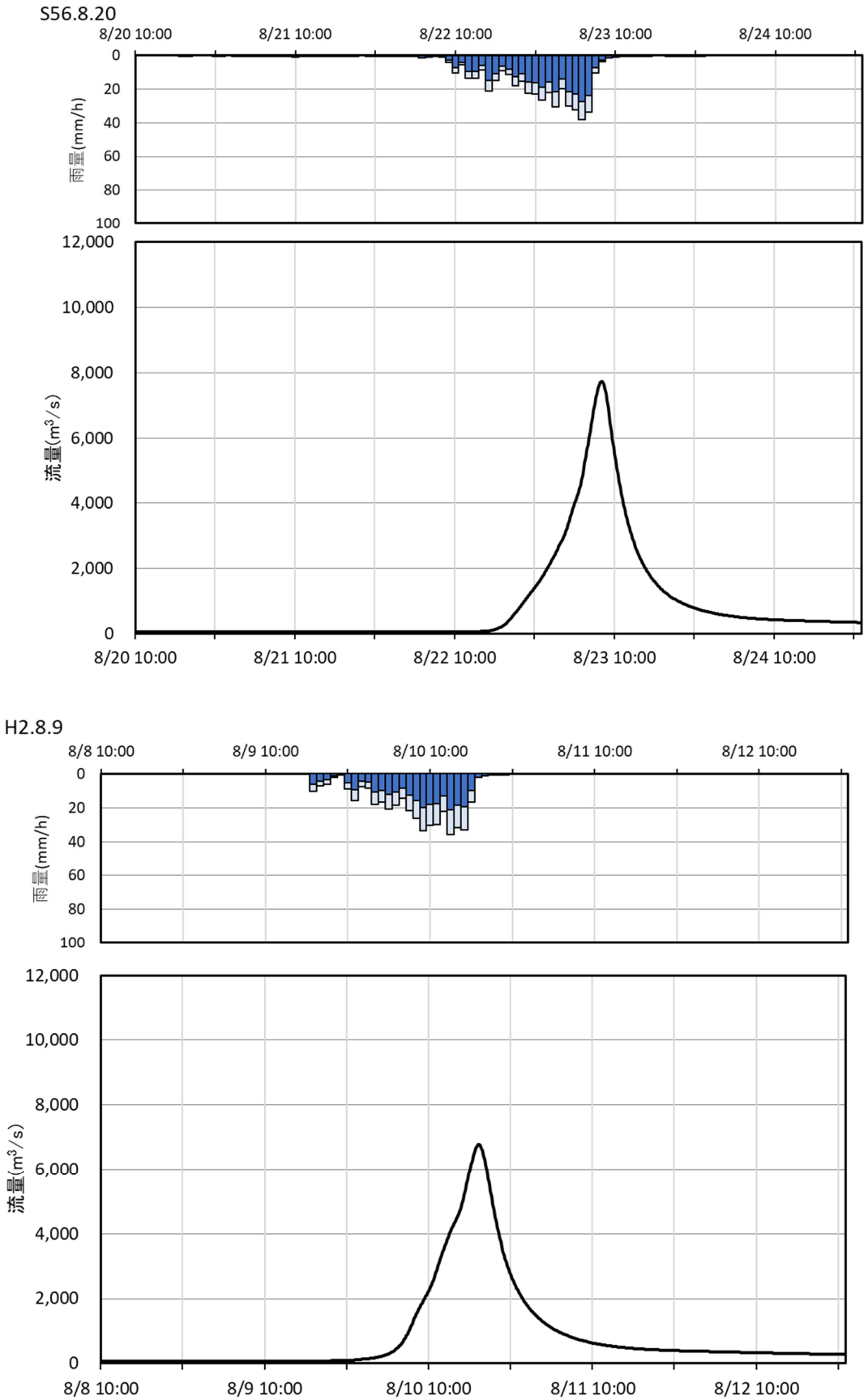



図 1.164　主要降雨波形のハイドログラフ（基準地点石井）

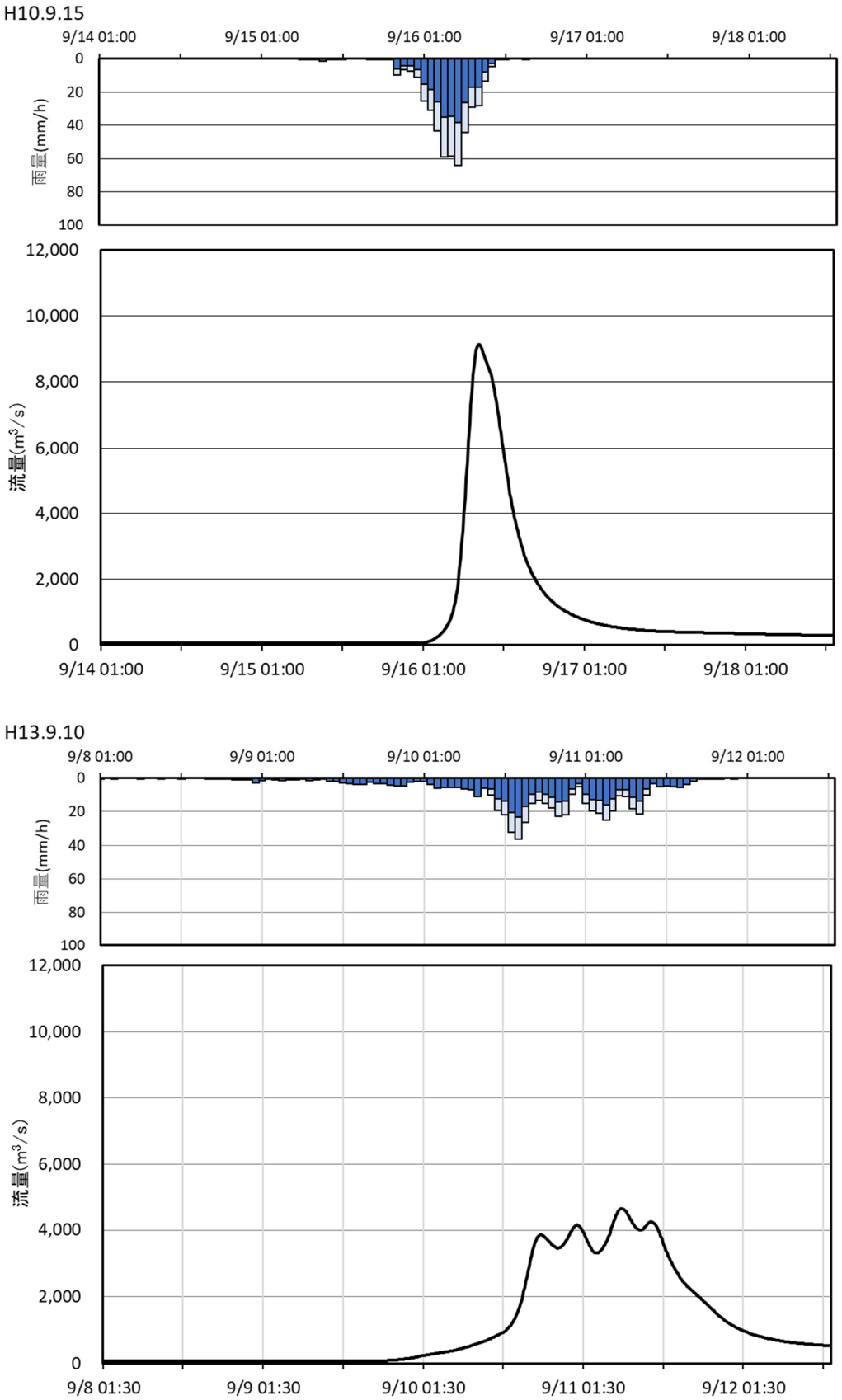



図 1.165　主要降雨波形のハイドログラフ（基準地点石井）

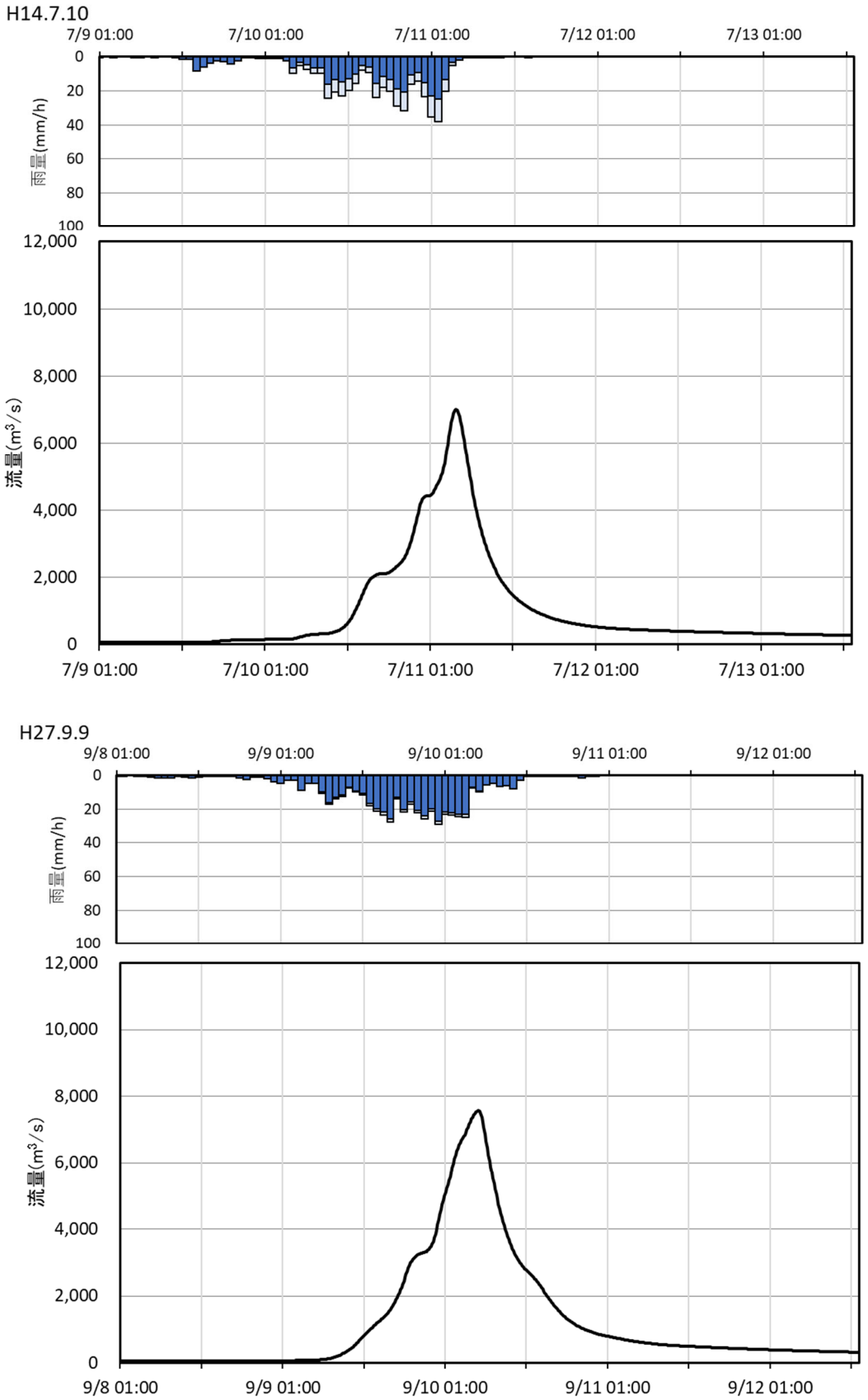



図 1.166　主要降雨波形のハイドログラフ（基準地点石井）

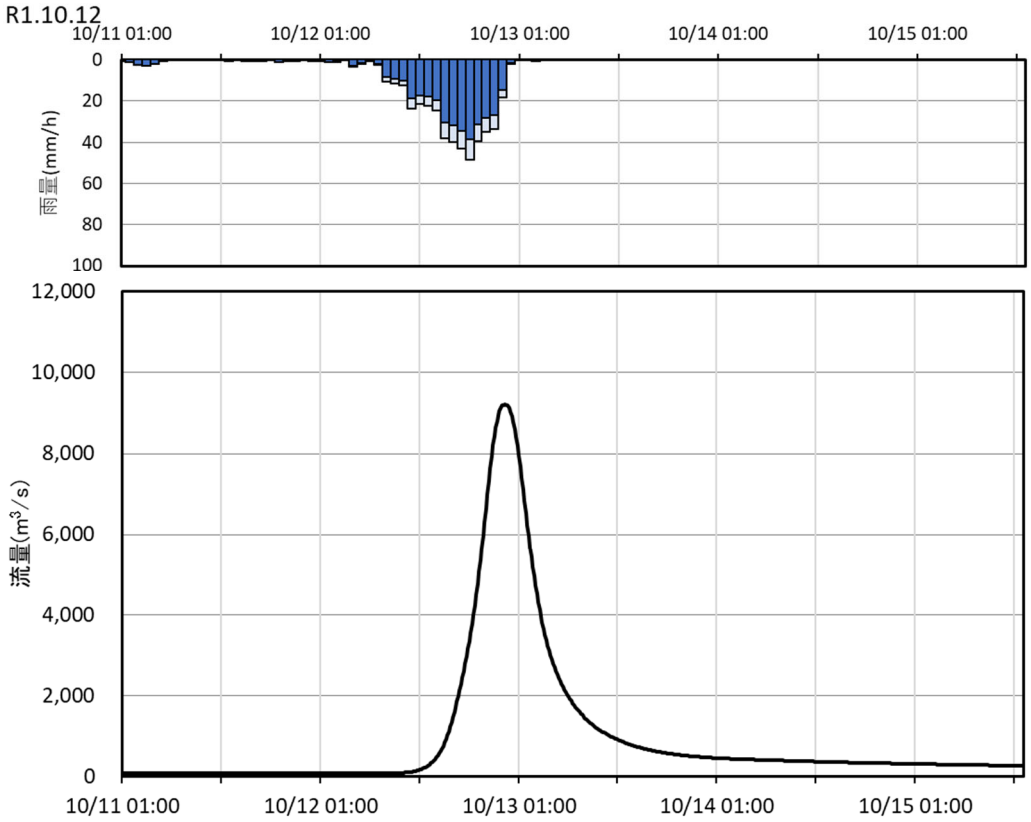



図 1.167　主要降雨波形のハイドログラフ（基準地点石井）

### 2)　主要降雨波形の地域分布及び時間分布の検討

#### (1)　　主要降雨波形の地域分布及び時間分布の検討の考え方

主要降雨波形において、「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」等を一律引伸ばしすると、引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、確率水文量への引伸ばしによって異常な降雨になっていないか十分にチェックする必要がある。

従って、前項で選定した洪水について、引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。

#### (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。

### (3)　地域分布の評価

① 対象地域の選定

対象地域は、以下に示す主な理由により 4 流域と選定した。

A：鬼怒川流域

鬼怒川の山地部ダム流域のハイエトの確認用として選定

B：男鹿川流域

主要支川男鹿川の山地部ダム流域のハイエトの確認用として選定

C：大谷川流域

主要支川の大谷川流域のハイエトの確認用として選定

D：鬼怒川下流域

主要支川大谷川合流後から基準地点石井までの平地部の流域のハイエトの確認用として選定

② 棄却基準値の設定

各対象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 11 年（1936 年）から平成 22 年（2010 年）までの各対象地域における年最大 24 時間雨量について確率計算を行い、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おける 1/500 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、引伸ばし後雨量の異常性評価を確認する。各地域の引伸ばし後雨量及び 1/500 雨量は表 1.61 に示すとおりであり、1 洪水が棄却される結果となった。

表 1.61　地域分布による引伸ばし後降雨の確率表

| 洪水名 | | 継続時間内降雨量（mm/24h） | 引伸ばし前 | | | | | 引伸ばし後 | | | | 判定1/500 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 地域降雨量（mm） | | | | 引伸ばし率 | 地域降雨量（mm） | | | | 地域分布 | | | | 対象降雨 |
| | | | 鬼怒川 | 男鹿川 | 大谷川 | 鬼怒川下流域 | | 鬼怒川 | 男鹿川 | 大谷川 | 鬼怒川下流域 | 鬼怒川 | 男鹿川 | 大谷川 | 鬼怒川下流域 | |
| | | | 24h | | | | | 24h | | | | 24h | | | | |
| 1 | S13.8.31 | 322.4 | 362.7 | 314.5 | 395.2 | 211.1 | 1.23 | 447.3 | 387.8 | 487.3 | 260.4 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 2 | S22.9.14 | 305.2 | 328.0 | 274.2 | 375.5 | 238.4 | 1.30 | 427.3 | 357.3 | 489.2 | 310.6 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 3 | S23.9.15 | 265.1 | 279.9 | 238.7 | 366.6 | 168.8 | 1.50 | 419.8 | 358.0 | 549.8 | 253.2 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 4 | S24.8.31 | 299.4 | 376.3 | 269.1 | 423.3 | 102.4 | 1.33 | 499.7 | 357.4 | 562.1 | 136.0 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 5 | S56.8.22 | 311.3 | 380.3 | 333.6 | 366.5 | 129.9 | 1.28 | 485.8 | 426.2 | 468.1 | 166.0 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 6 | H2.8.9 | 256.9 | 256.0 | 223.7 | 349.2 | 164.2 | 1.55 | 396.1 | 346.2 | 540.4 | 254.1 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 7 | H10.9.15 | 260.1 | 264.1 | 247.8 | 304.4 | 173.2 | 1.53 | 403.7 | 378.8 | 465.4 | 264.7 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 8 | H13.9.10 | 278.8 | 340.1 | 243.2 | 376.0 | 109.7 | 1.43 | 485.1 | 346.9 | 536.3 | 156.5 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 9 | H14.7.10 | 285.3 | 279.6 | 237.8 | 365.1 | 215.2 | 1.39 | 389.7 | 331.3 | 508.8 | 299.9 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 10 | H27.9.9 | 409.5 | 368.5 | 477.2 | 343.4 | 317.5 | 0.97 | 357.8 | 463.3 | 333.4 | 308.2 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 11 | R1.10.12 | 348.5 | 380.7 | 318.1 | 363.8 | 339.9 | 1.14 | 434.3 | 362.9 | 415.0 | 387.7 | ○ | ○ | ○ | | |
| 棄却基準値 | | | | | | | | 596.7 | 474.1 | 648.1 | 348.7 | | | | | |

※引伸ばし率は、基準地点石井 1/100 確率規模降雨量 398 mm/24 h に対する実績 24 時間雨量との引伸ばし率である。

※■：引伸ばし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、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おける値による。

### (4)　時間分布の評価

① 対象時間の選定

対象時間は洪水到達時間の最小値が 8 時間程度であることや、9 時間程度でピーク流量と短時間雨量の相関が高まること、角屋式による洪水到達時間が 9 時間であることから 9 時間を短時間雨量として設定した。

また、計画降雨継続時間 24 時間の 1/2 である 12 時間を短時間雨量として設定し、表 1.62 に示す。

表 1.62　対象時間の設定

| 基準地点名 | 時間分布棄却基準（短時間雨量として設定） | |
|---|---|---|
| 石井 | 9 h | 12 h |

② 棄却基準値の設定

各対象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 11 年（1936 年）から平成 22 年（2010 年）までの各対象地域における年最大 48 時間雨量について確率計算を行い、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おける 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、著しい引伸ばしとなっていないかを確認する。

各時間の引伸ばし後雨量及び 1/500 雨量は表 1.63 に示すとおりであり、1 洪水棄却される結果となった。

表 1.63　時間分布による引伸ばし後降雨の確立表

| 洪水名 | | 引伸ばし前 | | | | 引き延ばし後 | | 判定1/500 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 短時間降雨量（mm） | | 継続時間内降雨量（mm/24h） | 引伸ばし率 | 短時間降雨量（mm） | | 時間分布 | | 対象降雨 |
| | | 石井上流域 | | | | 石井上流域 | | 石井上流域 | | |
| | | 9h | 12h | | | 9h | 12h | 9h | 12h | |
| 1 | S13.8.31 | 249.1 | 265.5 | 322.4 | 1.23 | 307.19 | 327.41 | ○ | ○ | ○ |
| 2 | S22.9.14 | 148.5 | 193.3 | 305.2 | 1.30 | 193.52 | 251.87 | ○ | ○ | ○ |
| 3 | S23.9.15 | 167.5 | 199.3 | 265.1 | 1.50 | 251.28 | 298.92 | ○ | ○ | ○ |
| 4 | S24.8.31 | 181.0 | 212.7 | 299.4 | 1.33 | 240.33 | 282.49 | ○ | ○ | ○ |
| 5 | S56.8.22 | 182.4 | 222.0 | 311.3 | 1.28 | 233.00 | 283.60 | ○ | ○ | ○ |
| 6 | H2.8.9 | 155.7 | 187.2 | 256.9 | 1.55 | 240.87 | 289.75 | ○ | ○ | ○ |
| 7 | H10.9.15 | 227.5 | 246.5 | 260.1 | 1.53 | 347.76 | 376.81 | | | |
| 8 | H13.9.10 | 127.4 | 160.0 | 278.8 | 1.43 | 181.76 | 228.25 | ○ | ○ | ○ |
| 9 | H14.7.10 | 148.9 | 182.1 | 285.3 | 1.39 | 207.52 | 253.78 | ○ | ○ | ○ |
| 10 | H27.9.9 | 197.7 | 256.8 | 409.5 | 0.97 | 191.96 | 249.29 | ○ | ○ | ○ |
| 11 | R1.10.12 | 258.9 | 309.6 | 348.5 | 1.14 | 295.36 | 353.20 | ○ | ○ | ○ |

※引伸ばし率は、基準地点石井 1/100 確率規模降雨量 398 mm/24 h に対する実績 24 時間雨量との引伸ばし率である。
※■：引伸ばし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した洪水。
※1/500 雨量は、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おける値による。

### 3) 主要降雨波形の設定（鬼怒川）

主要降雨波形について前項で棄却された洪水を含め表 1.64 に示す。

表 1.64　主要降雨波形一覧（基準地点石井）

| No | 洪水名 | 石井地点 24時間雨量（mm） | 計画規模降雨量×1.1（mm/24h） | 引伸ばし率 | 石井地点 ピーク流量（$m^3/s$） | 棄却理由 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | S13.8.31 | 322.4 | 437 | 1.36 | 10,500 | |
| 2 | S22.9.14 | 305.2 | 437 | 1.43 | 7,500 | |
| 3 | S23.9.15 | 265.1 | 437 | 1.65 | 5,700 | |
| 4 | S24.8.31 | 299.4 | 437 | 1.46 | 6,900 | |
| 5 | S56.8.22 | 311.3 | 437 | 1.41 | 7,800 | |
| 6 | H2.8.9 | 256.9 | 437 | 1.70 | 6,800 | |
| 7 | H10.9.15 | 260.1 | 437 | 1.68 | 9,200 | 時間分布 |
| 8 | H13.9.10 | 278.8 | 437 | 1.57 | 4,700 | |
| 9 | H14.7.10 | 285.3 | 437 | 1.53 | 7,100 | |
| 10 | H27.9.9 | 409.5 | 437 | 1.07 | 7,600 | |
| 11 | R1.10.12 | 348.5 | 437 | 1.26 | 9,300 | 地域分布 |

※100 $m^3/s$ の端数については、切り上げるものとした
※■：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
※引伸ばし率：「24 時間雨量(mm)」と「1/100 確率雨量×1.1」との比率

## 1-30　気候変動を考慮した総合確率法による検討（鬼怒川）

既定計画の基本高水のピーク流量は、代表洪水における降雨波形について、総雨量を任意に与えて流出計算を行うことにより得られる最大流量の生起状況を総雨量の生起状況から推算し、確率流量を算定する「総合確率法」により設定してきた。そのため、気候変動を考慮した基本高水のピーク流量の算出においても総合確率法による検討を実施した。なお、総合確率法について、図 1.168 に概念図を示す。

検討にあたり、表 1.57 に示す昭和 11 年（1936 年）から平成 22 年（2010 年）までの 75 年間の年最大 24 時間雨量を記録した洪水を対象に、石井上流域の流域平均 24 時間雨量（$R$）が任意の 24 時間雨量（100 mm、200 mm、300 mm、400 mm、500 mm、600 mm、700 mm、800 mm、900 mm 及び 1,000 mm）となるよう各降雨波形の小流域毎の流域平均雨量の時間分布を引伸ばし（引縮め）、それぞれの任意の 24 時間雨量における各降雨波形における小流域毎の流域平均時間雨量を求め、検討の対象とする降雨波形とした。

降雨波形毎に任意の石井上流域の流域平均 24 時間雨量（$R$）に対するピーク流量（$Q_p$）を算出して、$R$と$Q_p$の関係を求め、図 1.169 のとおり$R$ -$Q_p$図を作成した。なお、これらの値の間の$R$と$Q_p$の関係については計算値を直線補間した。

作成した$R$ -$Q_p$図により、75 の降雨波形毎に任意の$Q_p$に対する雨量（$R_i$）を読み取り、$R_i$に降雨量変化倍率（1.1 倍）を考慮した雨量の年超過確率$P_{M(R)}$により、各$R_i$に対する年超過確率（$P_{M(Ri)}$）を算出し、任意の$Q_p$に対する年超過確率$P_{(Q_p)}$の関係を求め、$Q_p - P_{(Q_p)}$図（図 1.170）を作成した。なお、$Q_p - P_{(Q_p)}$図の作成に当たっては、$Q_p$を 100 m$^3$/s～20,000 m$^3$/s までの 100 m$^3$/s ピッチの値として求め、これらの値の間の$Q_p$と$P_{(Q_p)}$の関係については計算値を直線補間した。

このようにして作成した$Q_p - P_{(Q_p)}$図から、基準地点石井における 1/100 確率流量は、約 8,900 $m^3/s$ となった。

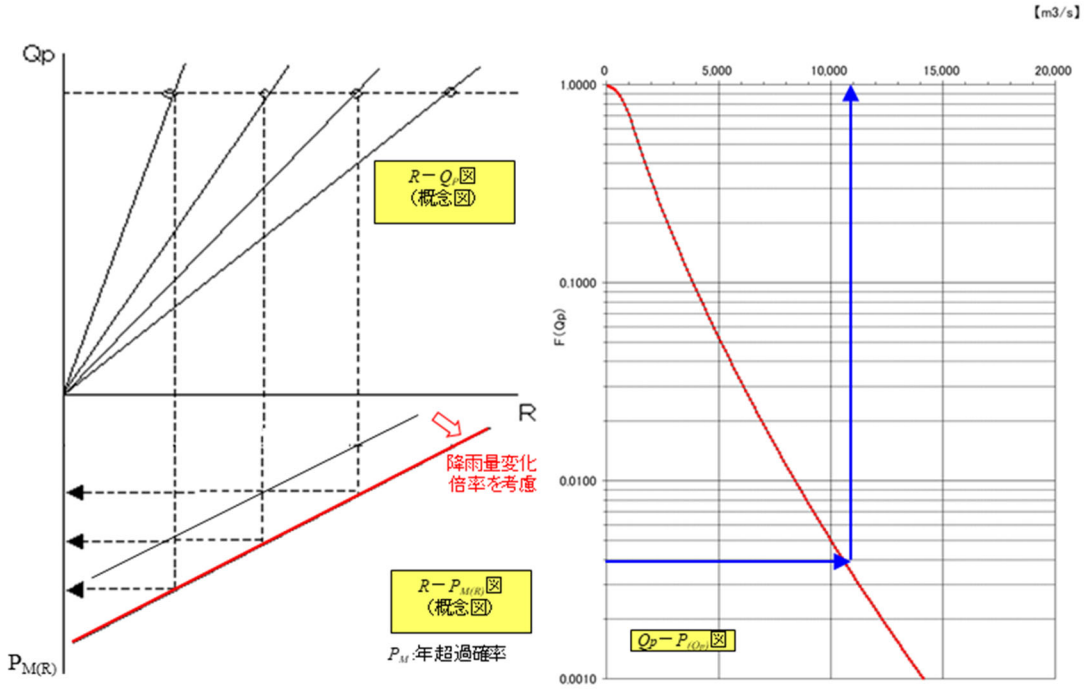



図 1.168　総合確率法概念図

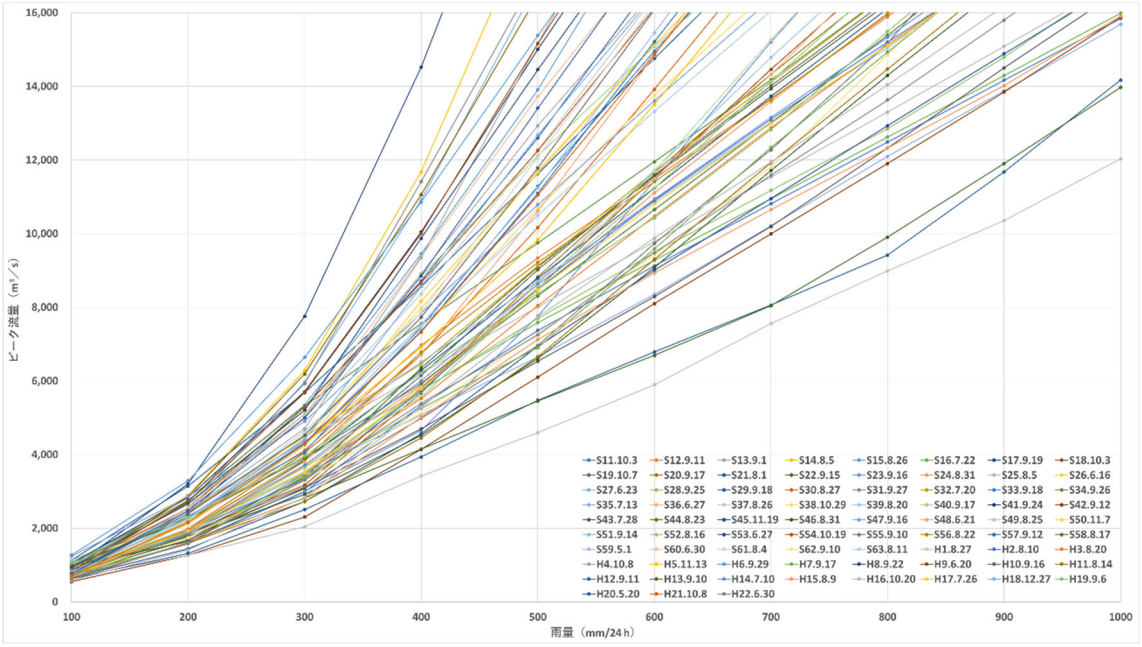



図 1.169　$R$ -$Q_p$図

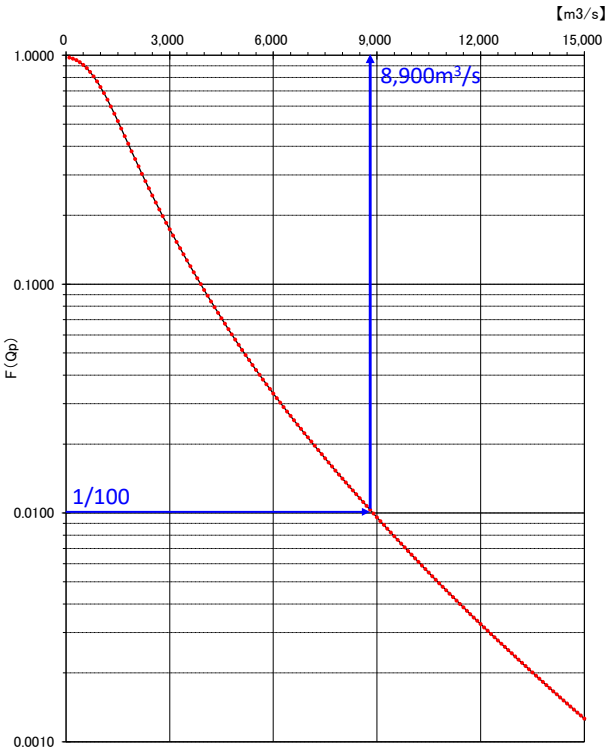



図 1.170　$Q_p - P_{(Q_p)}$図

## 1-31　アンサンブル予測降雨波形による検討（鬼怒川）

### 1)　アンサンブル予測降雨波形による流出計算

気候変動アンサンブルデータは、文部科学省・気候変動リスク情報創世プログラム及び海洋研究開発機構・地球シミュレータ特別推進課題において作成された地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース（d4PDF）（20 km メッシュ）であり、過去実験として 3,000 年分、将来実験として 5,400 年分（4 ℃上昇）、3,200 年分（2 ℃上昇：d2PDF）という国内でも類を見ない大量のデータで構成されており、物理的に発生し得る様々な気象パターンを想定することが可能である。

さらに、短時間・局所的な極端降雨、地形性降雨を十分に表現できるように、海洋研究開発機構のスーパーコンピュータ「地球シミュレータ」を用い、解像度（5 km メッシュ）に NHRCM（気象庁の地域気候モデル）を用いて力学的ダウンスケーリング（DS）を行っている。

この解像度 5 km メッシュにダウンスケーリングされたアンサンブルデータにおけるアンサンブル予測降雨波形（d2PDF）から、計画対象降雨の降雨量 437 mm/24 h（基準地点石井）に近い洪水を抽出した（図 1.171）。抽出した 40 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 24 時間雨量 437 mm（基準地点石井）まで引伸ばし・引縮め、流出計算モデルにより流出量を算出した結果、表 1.65 に示すとおり約 4,400 $m^3/s$～11,700 $m^3/s$ の範囲となり、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がこの範囲に収まっていることを確認した。各洪水のハイドログラフを図 1.172 から図 1.185 に示す。

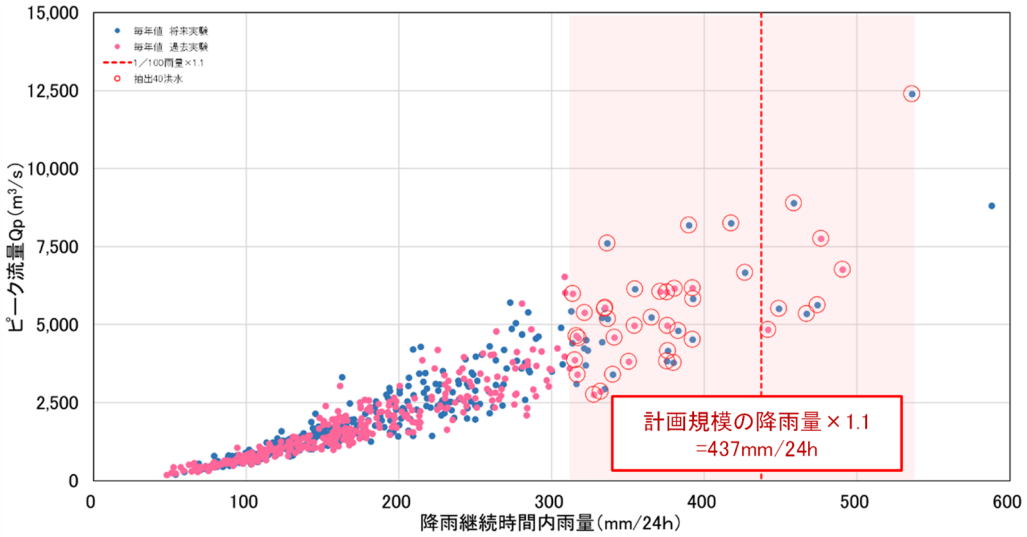



図 1.171　アンサンブル予測降雨波形からの抽出（基準地点石井）

表 1.65　アンサンブル予測降雨波形ピーク流量

| | 洪水名 | 石井地点<br>24時間雨量<br>（mm） | 気候変動考慮後<br>1／100雨量<br>（mm） | 引伸ばし率 | 石井地点<br>ピーク流量<br>（$m^3/s$） |
|---|---|---|---|---|---|
| 将来実験 | HFB_2K_MI_m101_13 | 536.0 | 437 | 0.82 | 9,100 |
| | HFB_2K_GF_m101_25 | 473.9 | | 0.92 | 5,100 |
| | HFB_2K_MR_m105_07 | 467.0 | | 0.94 | 4,900 |
| | HFB_2K_MP_m101_16 | 458.4 | | 0.95 | 8,500 |
| | HFB_2K_MI_m105_27 | 448.6 | | 0.98 | 5,400 |
| | HFB_2K_MI_m105_29 | 426.4 | | 1.03 | 7,000 |
| | HFB_2K_MR_m105_12 | 417.4 | | 1.05 | 9,000 |
| | HFB_2K_MI_m105_26 | 392.7 | | 1.11 | 7,100 |
| | HFB_2K_CC_m105_07 | 392.1 | | 1.12 | 5,600 |
| | HFB_2K_MP_m101_22 | 389.7 | | 1.12 | 9,600 |
| | HFB_2K_CC_m101_12 | 382.7 | | 1.14 | 6,000 |
| | HFB_2K_HA_m101_20 | 379.6 | | 1.15 | 4,900 |
| | HFB_2K_HA_m101_26 | 375.9 | | 1.16 | 5,500 |
| | HFB_2K_MR_m101_06 | 375.3 | | 1.17 | 4,700 |
| | HFB_2K_GF_m105_11 | 365.3 | | 1.20 | 6,700 |
| | HFB_2K_MR_m105_13 | 354.6 | | 1.23 | 8,900 |
| | HFB_2K_MI_m101_17 | 339.9 | | 1.29 | 5,000 |
| | HFB_2K_MP_m101_29 | 336.5 | | 1.30 | 8,300 |
| | HFB_2K_CC_m105_22 | 336.3 | | 1.30 | 11,700 |
| | HFB_2K_MI_m101_16 | 334.7 | | 1.31 | 9,400 |
| 過去実験 | HPB_m009_07 | 490.3 | 437 | 0.89 | 5,900 |
| | HPB_m009_28 | 476.4 | | 0.92 | 7,100 |
| | HPB_m001_14 | 441.7 | | 0.99 | 4,800 |
| | HPB_m007_14 | 392.0 | | 1.12 | 7,500 |
| | HPB_m001_29 | 380.4 | | 1.15 | 7,800 |
| | HPB_m004_26 | 375.6 | | 1.16 | 6,800 |
| | HPB_m006_22 | 375.3 | | 1.17 | 7,300 |
| | HPB_m010_17 | 370.9 | | 1.18 | 7,400 |
| | HPB_m008_22 | 354.3 | | 1.23 | 7,400 |
| | HPB_m021_19 | 350.3 | | 1.25 | 5,400 |
| | HPB_m008_17 | 341.1 | | 1.28 | 6,700 |
| | HPB_m003_13 | 334.9 | | 1.31 | 8,400 |
| | HPB_m006_17 | 332.0 | | 1.32 | 4,400 |
| | HPB_m021_13 | 327.6 | | 1.34 | 4,400 |
| | HPB_m002_24 | 321.4 | | 1.36 | 9,200 |
| | HPB_m010_22 | 317.4 | | 1.38 | 8,100 |
| | HPB_m005_26 | 316.8 | | 1.38 | 4,800 |
| | HPB_m004_11 | 316.2 | | 1.38 | 8,200 |
| | HPB_m022_11 | 315.0 | | 1.39 | 6,700 |
| | HPB_m009_11 | 313.8 | | 1.39 | 11,300 |

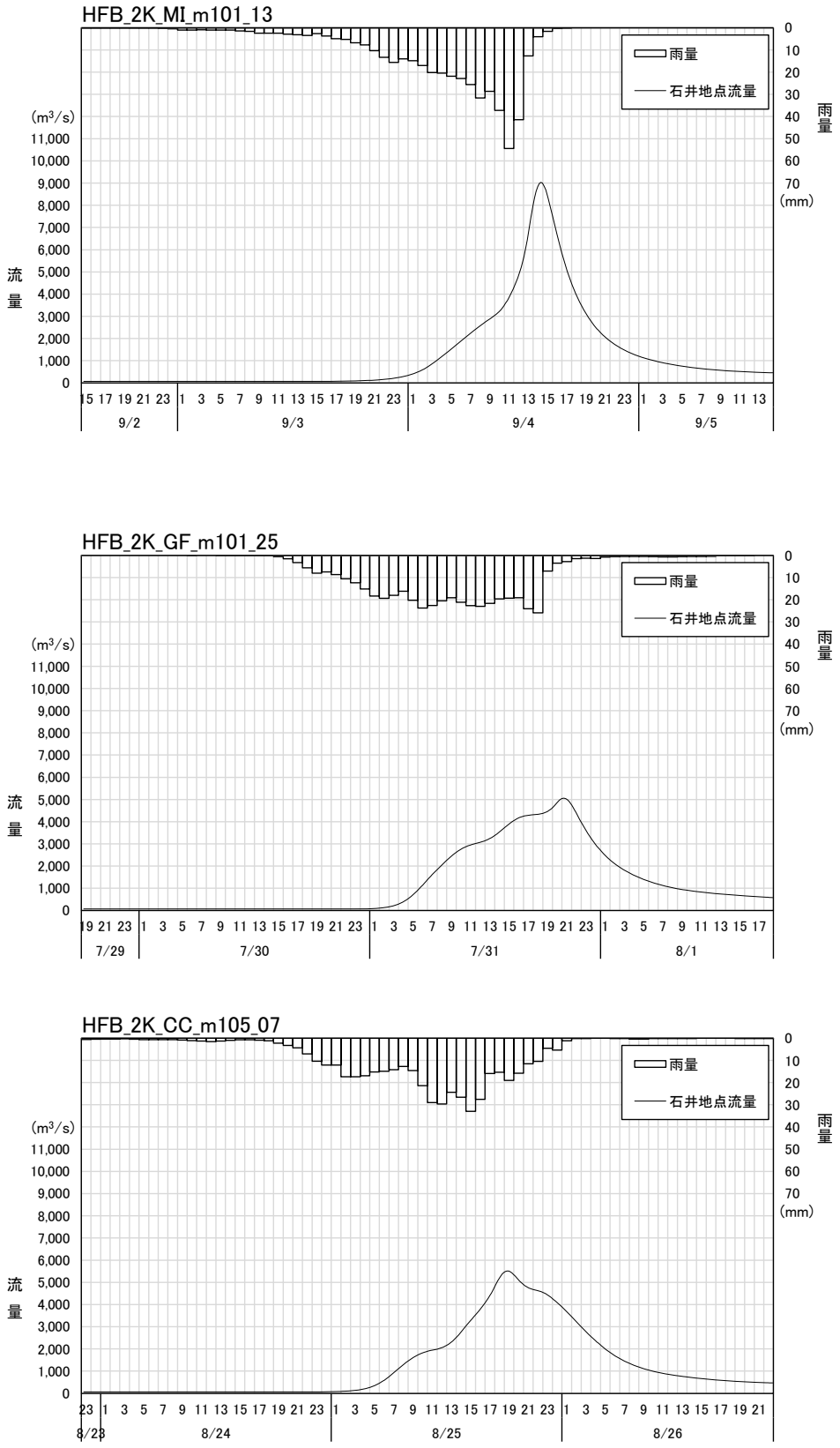



図 1.172　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地点石井）

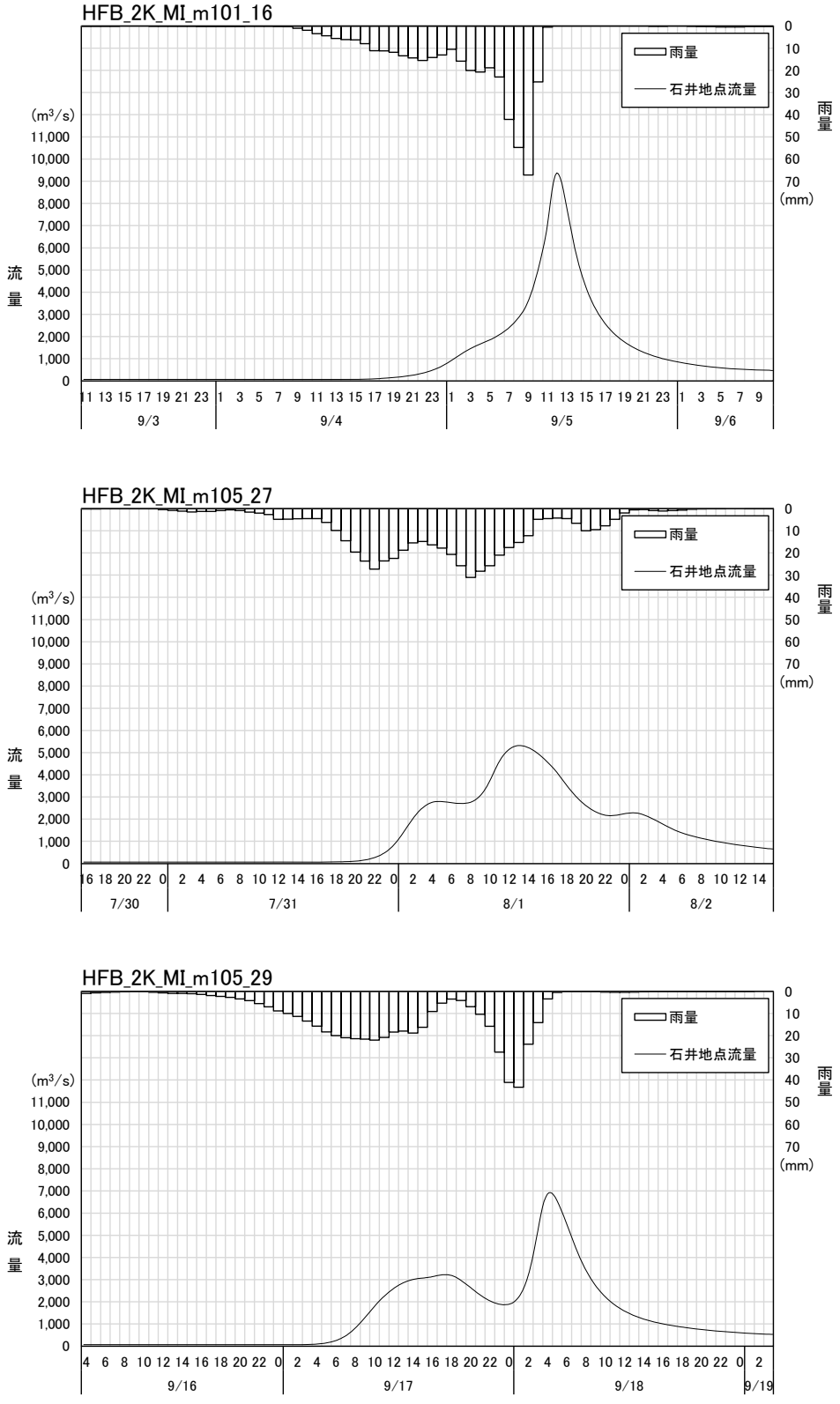



図 1.173　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地点石井）

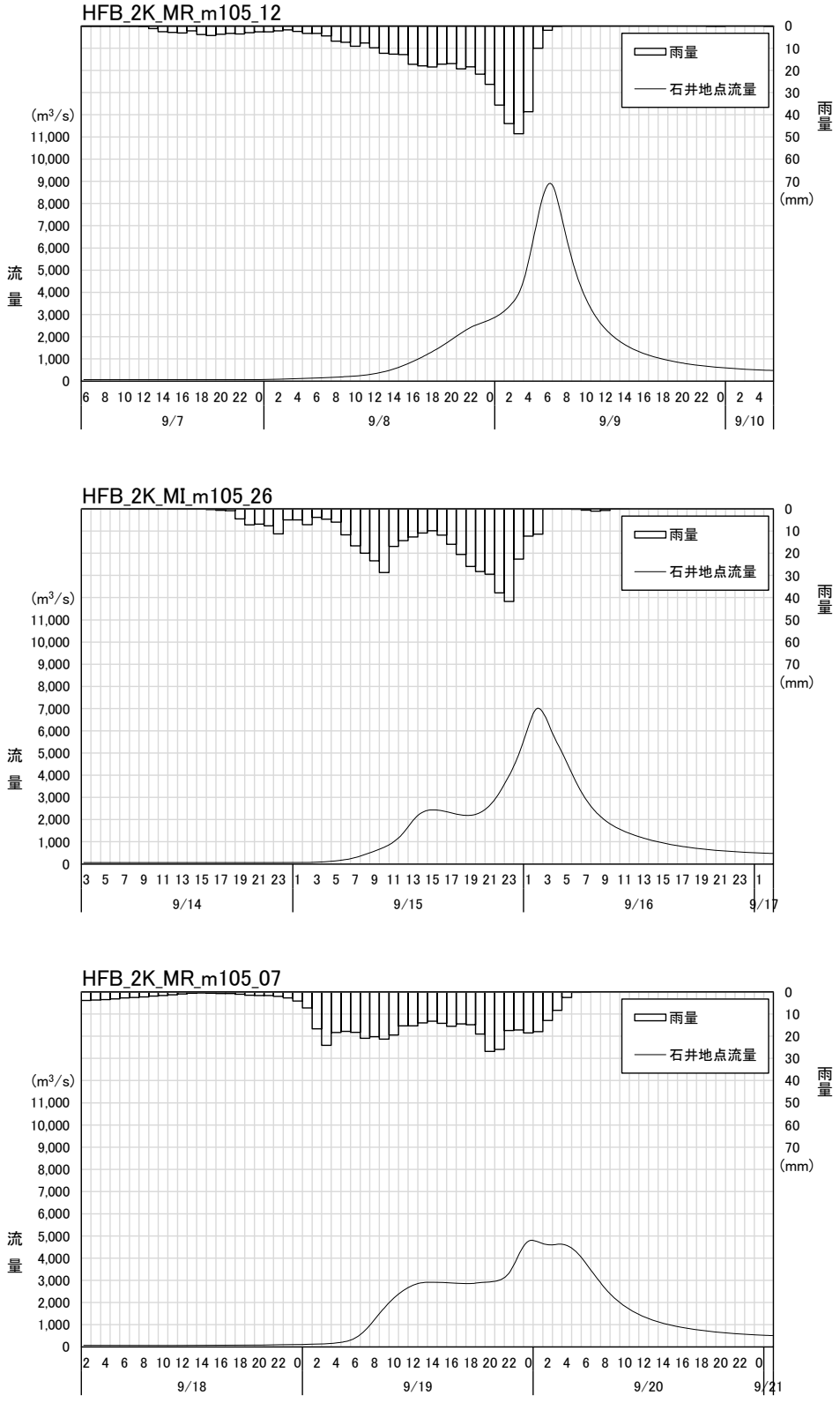



図 1.174　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地点石井）

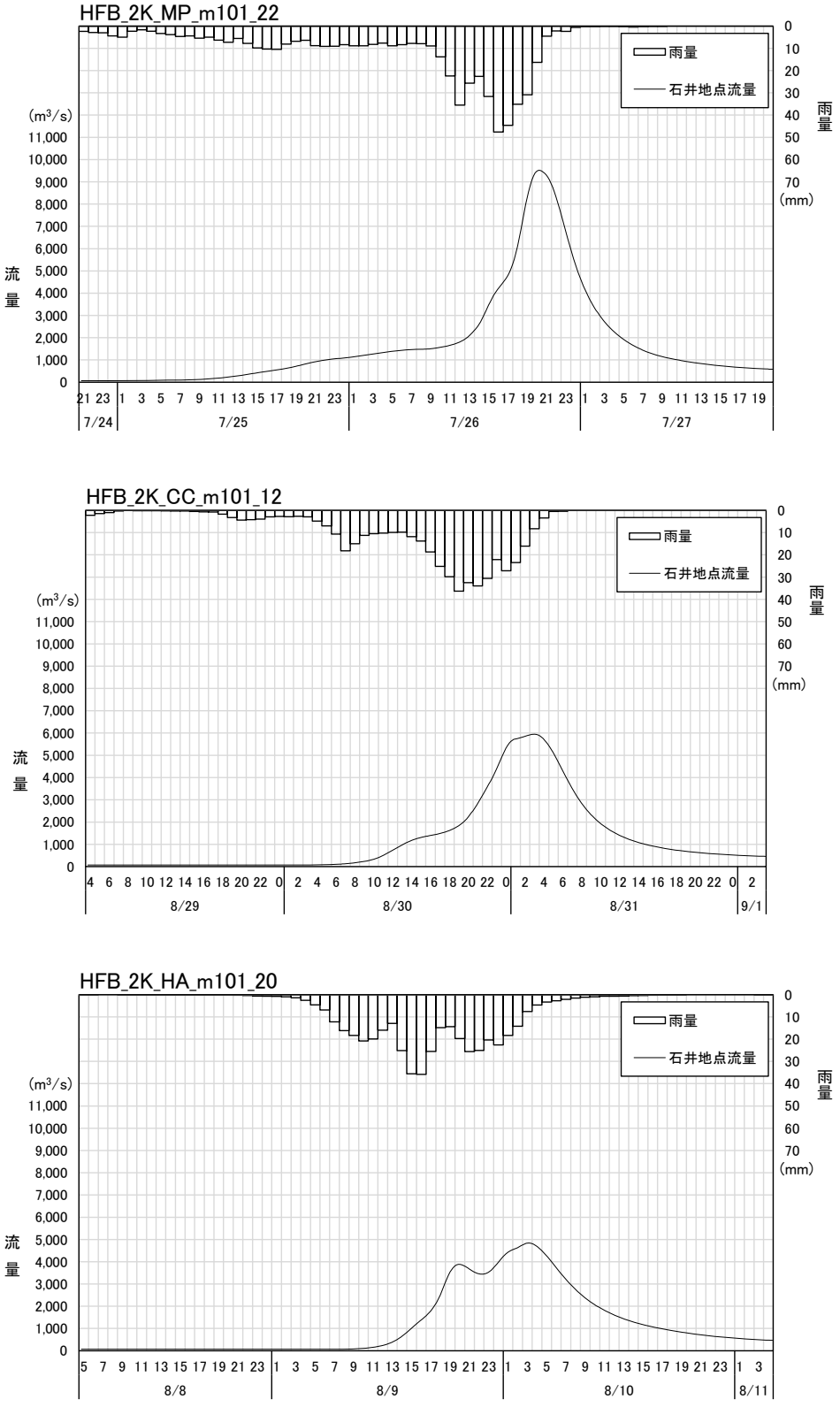



図 1.175　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地点石井）

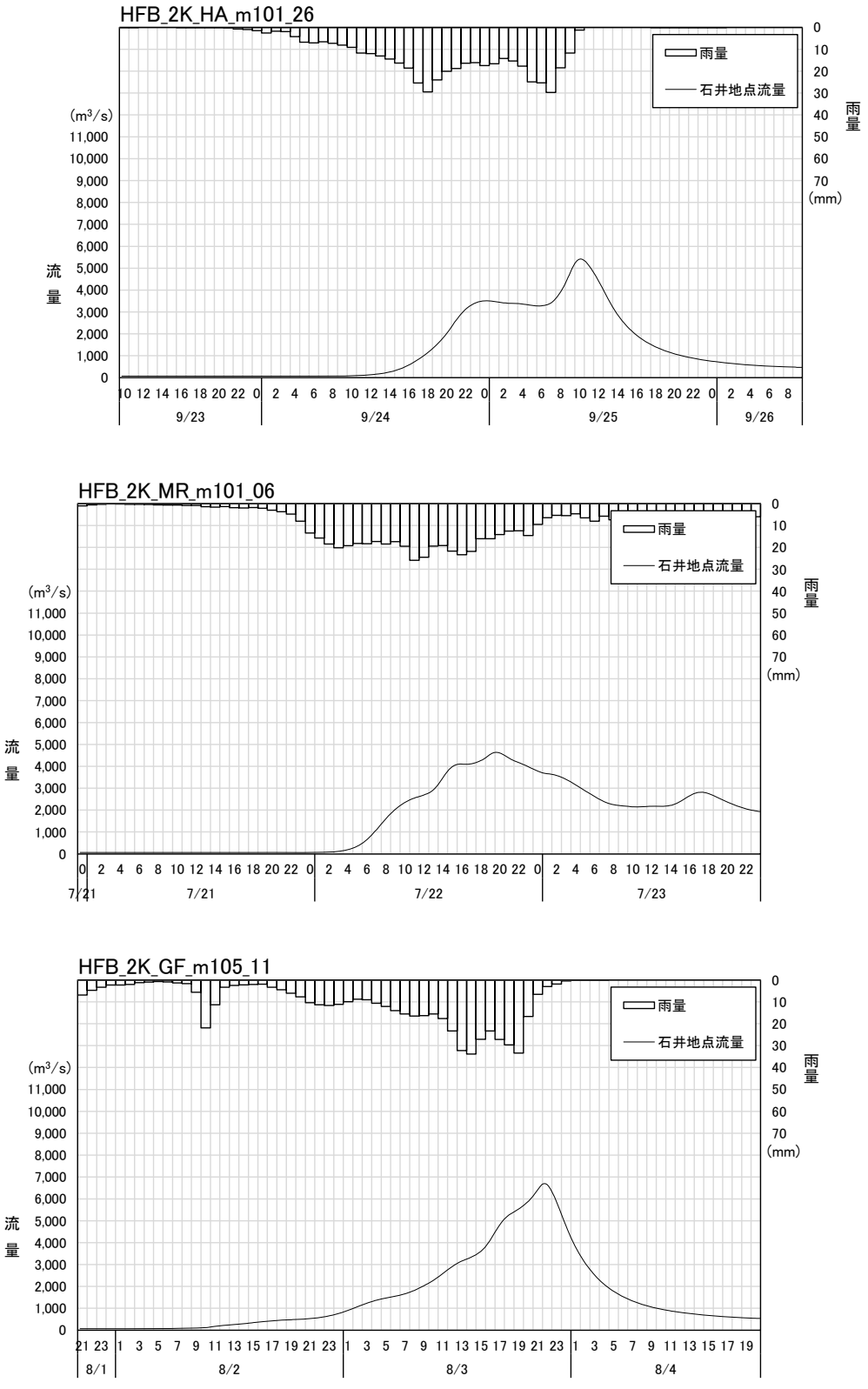



図 1.176　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地点石井）

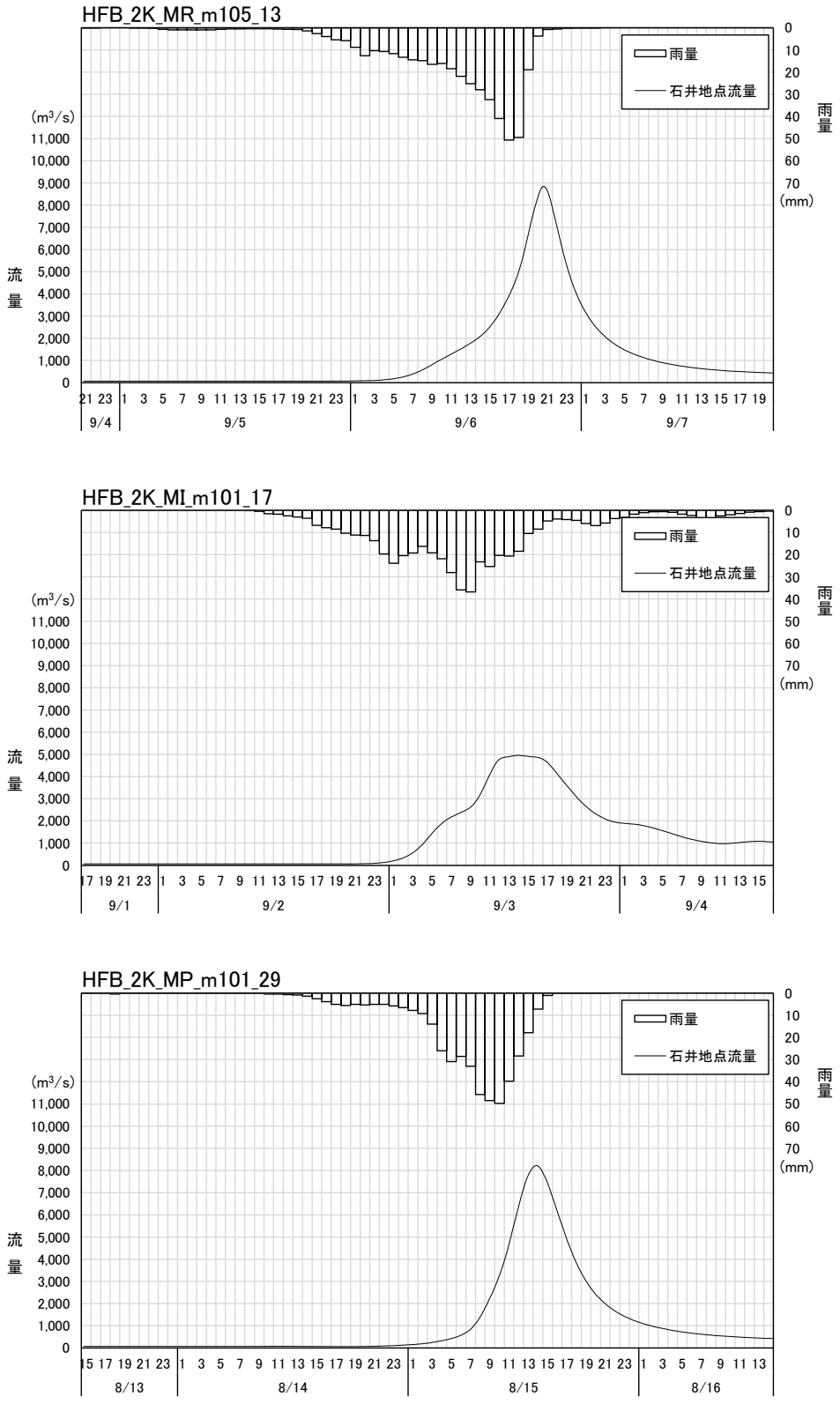



図 1.177　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地点石井）

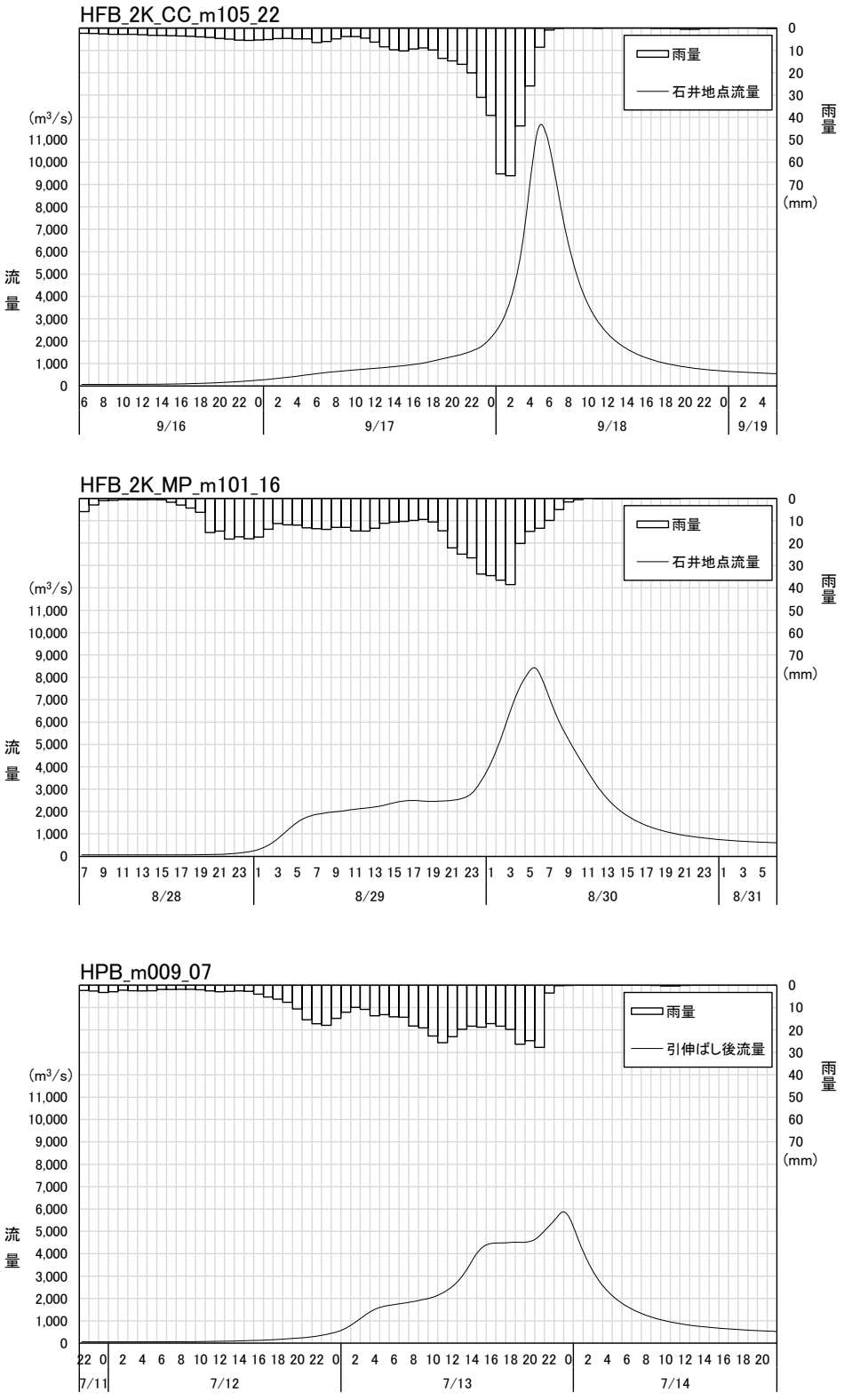



図 1.178　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地点石井）

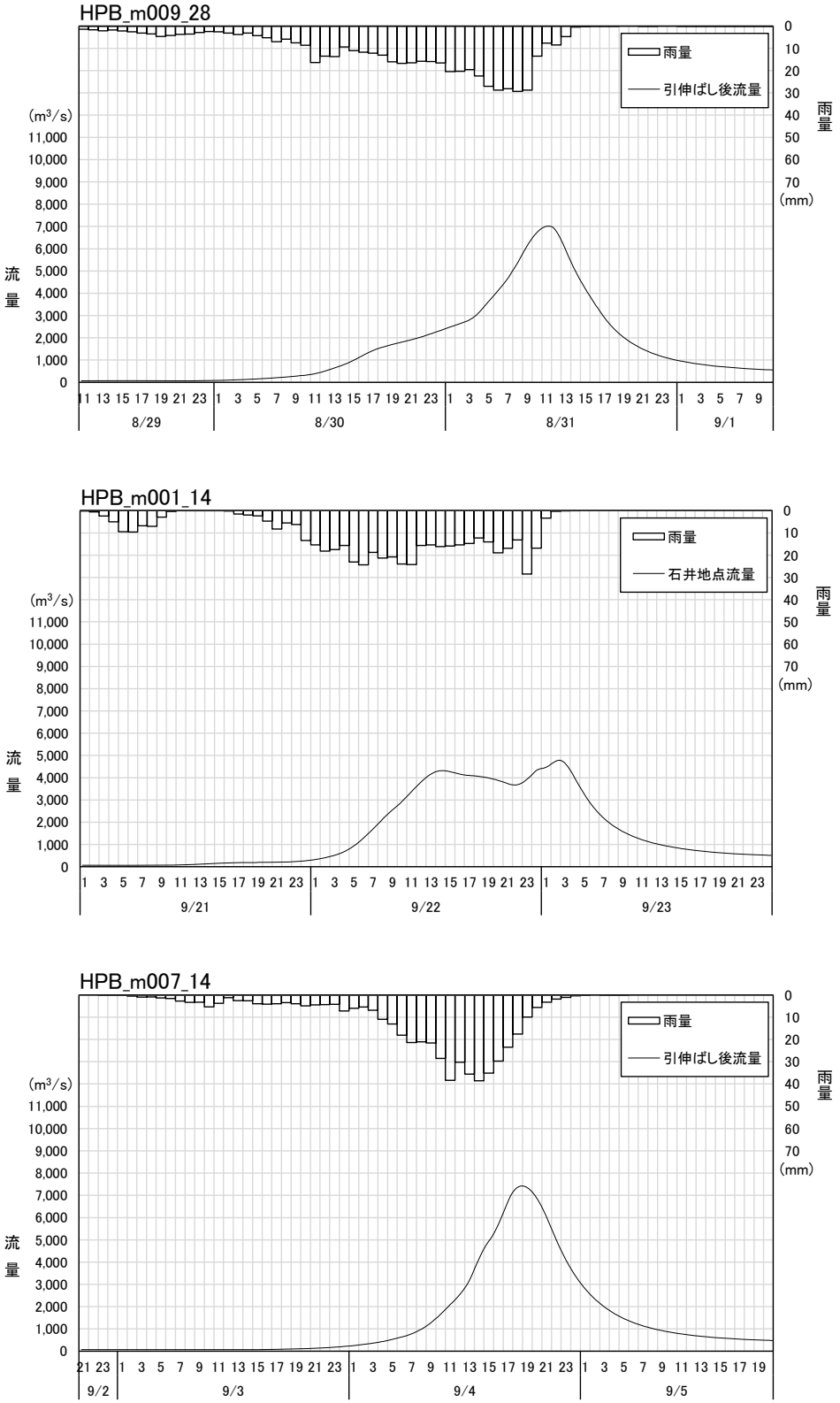



図 1.179　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地点石井）

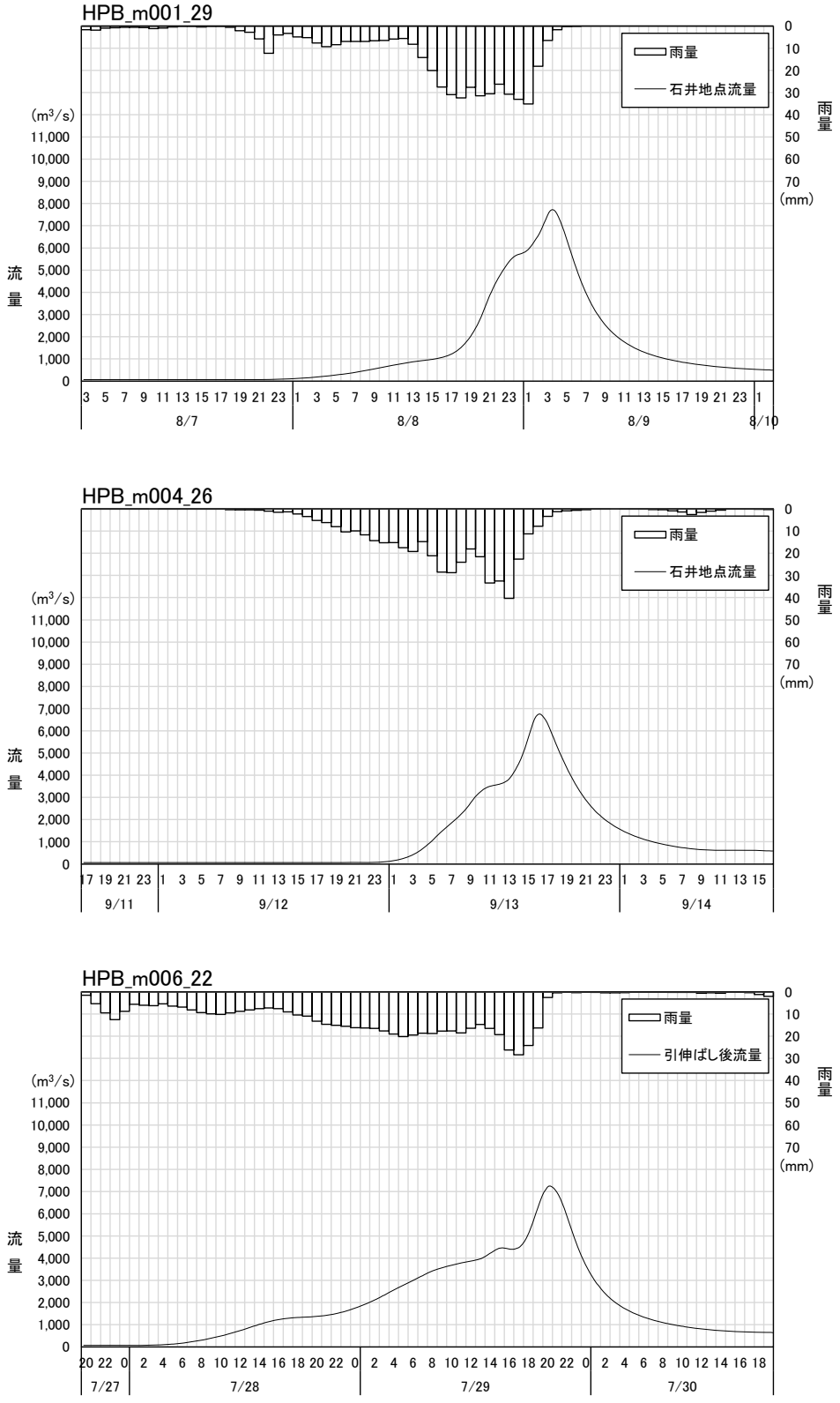



図 1.180　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地点石井）

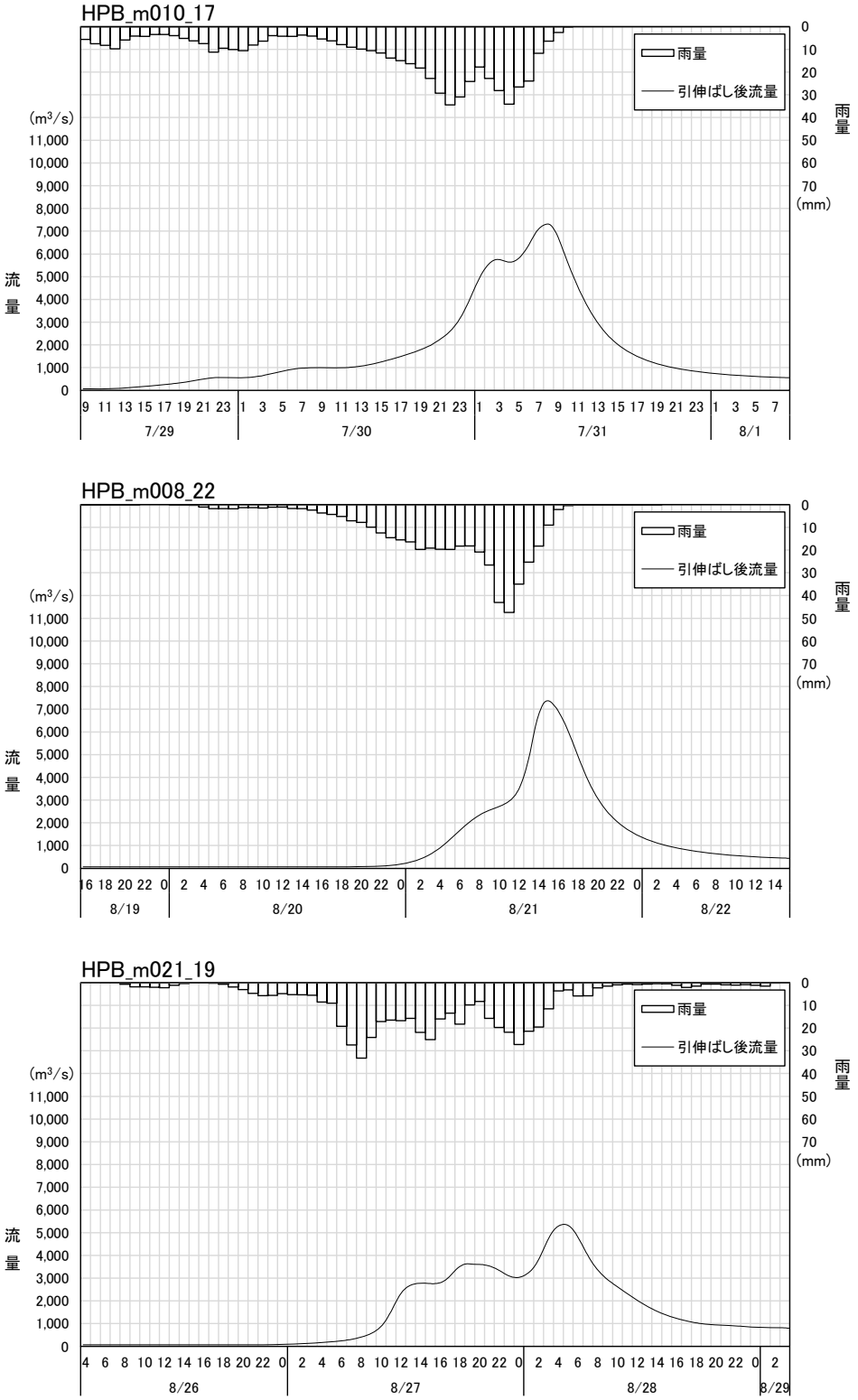



図 1.181　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地点石井）

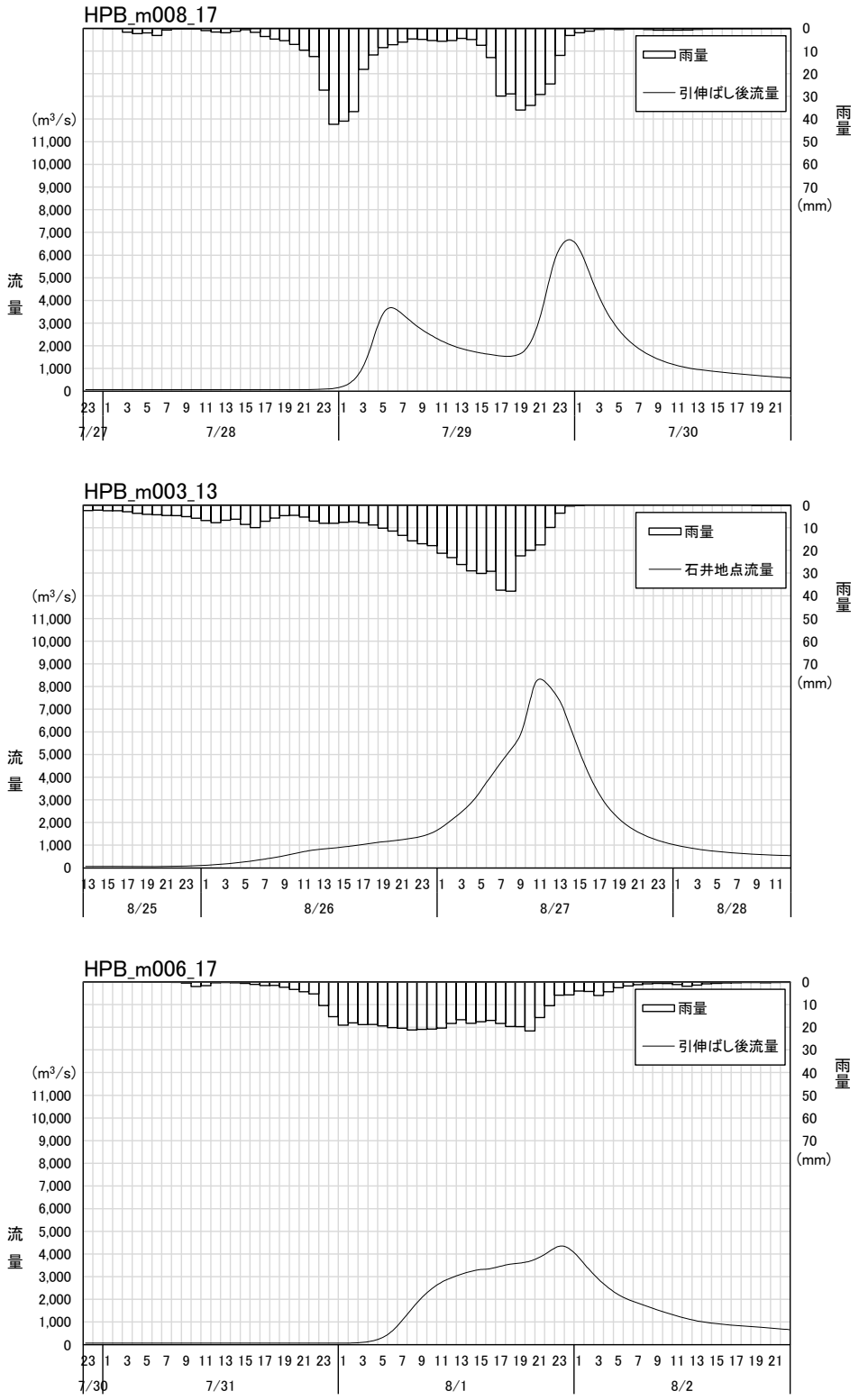



図 1.182　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地点石井）

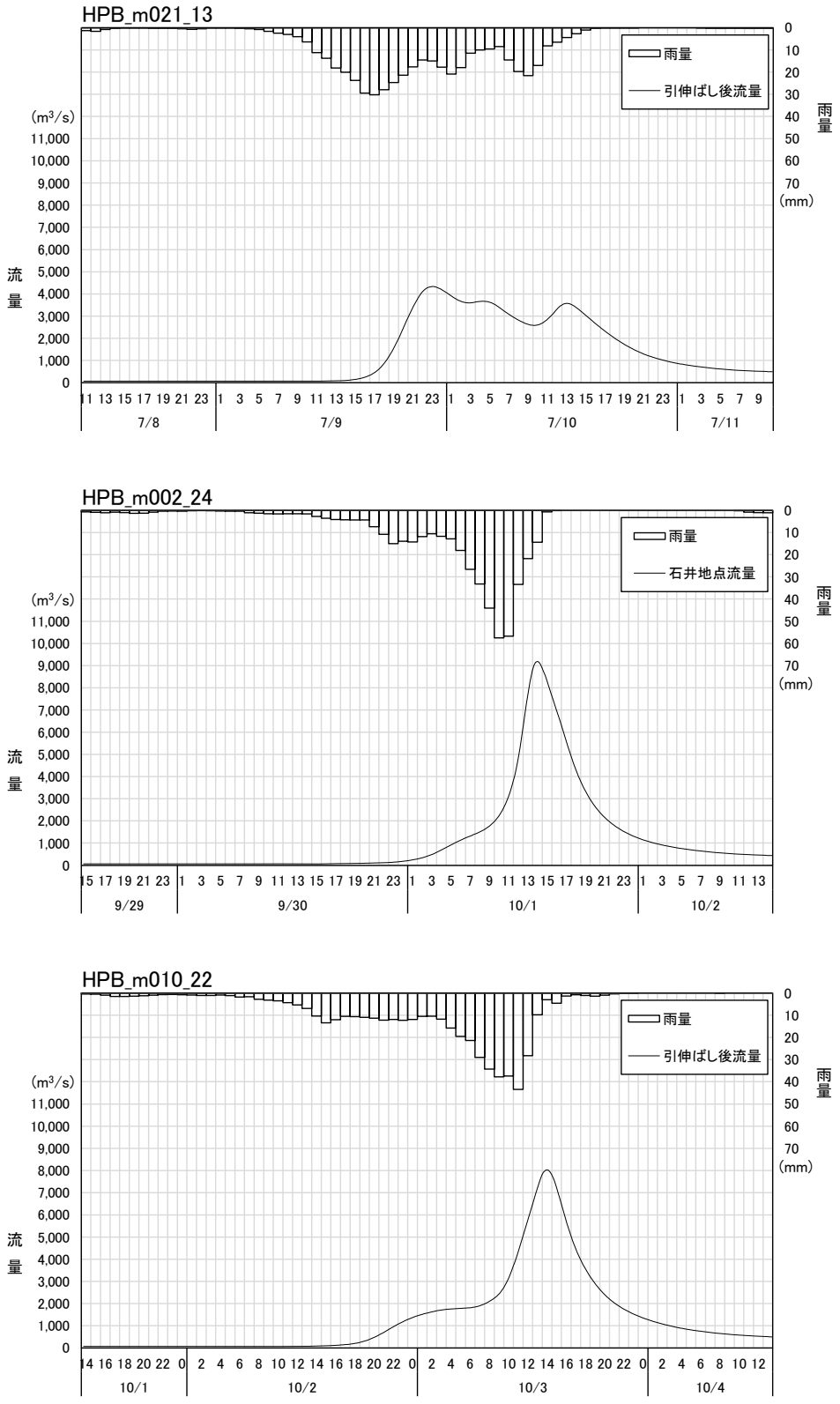



図 1.183　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地点石井）

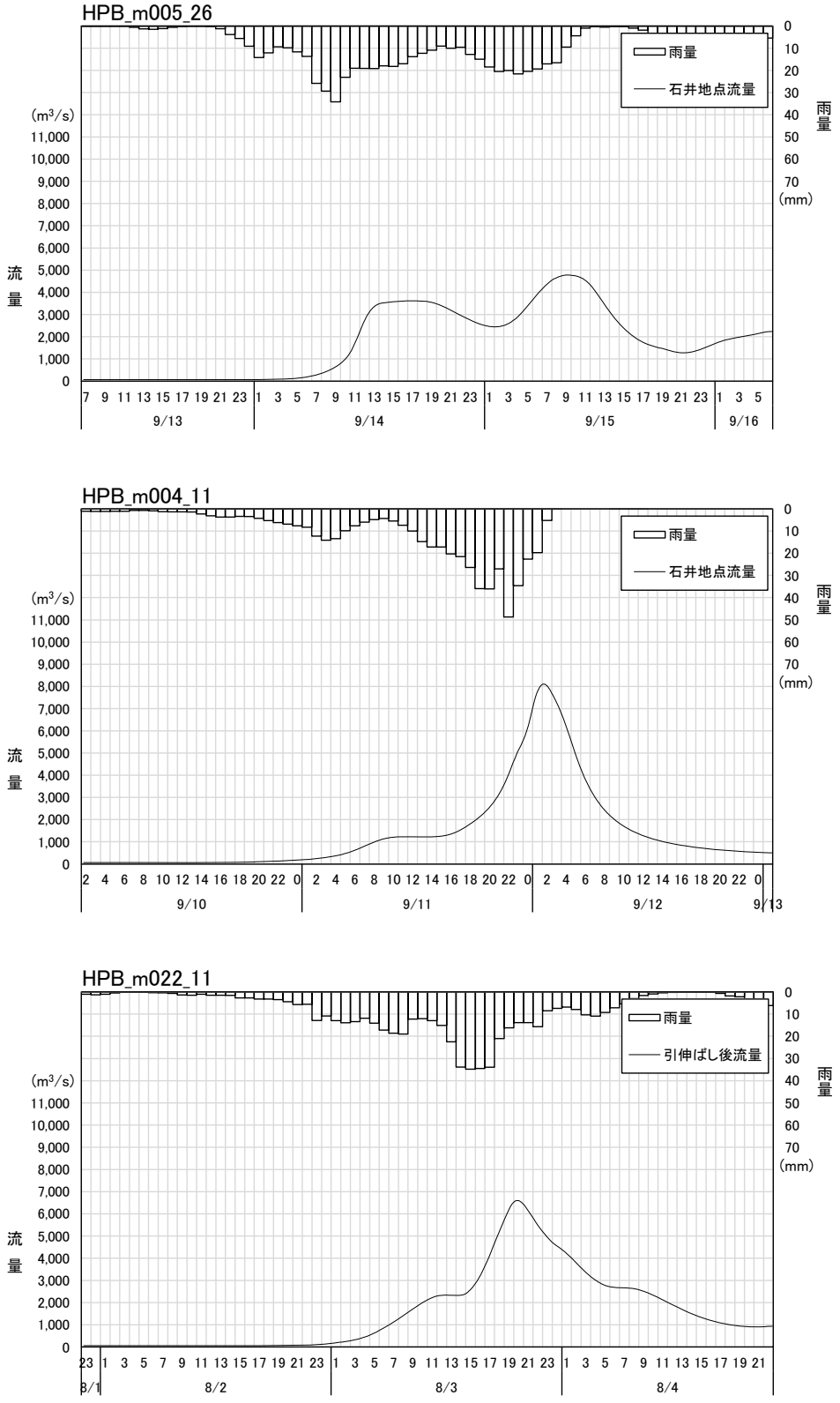



図 1.184　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地点石井）

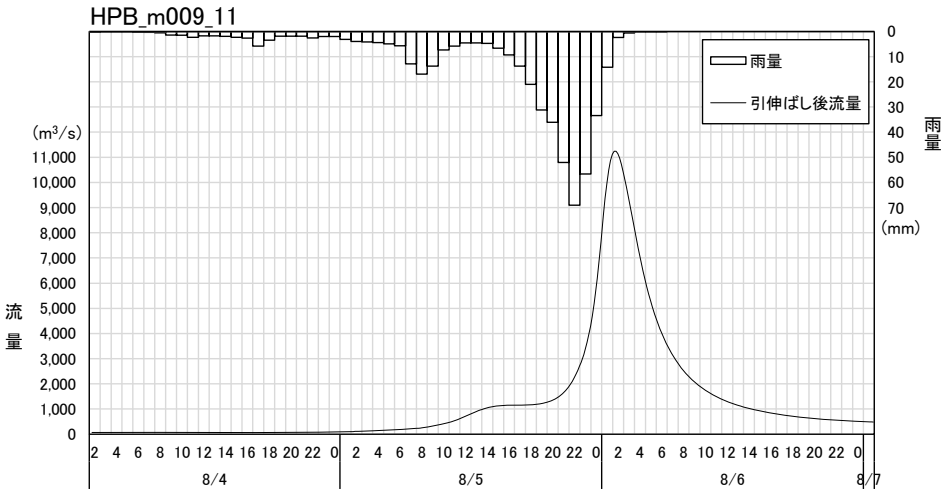



図 1.185　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地点石井）

### 2)　棄却された実績引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伸ばし降雨波形を、当該河川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。なお、小流域とは図 1.186 に示すとおりである。

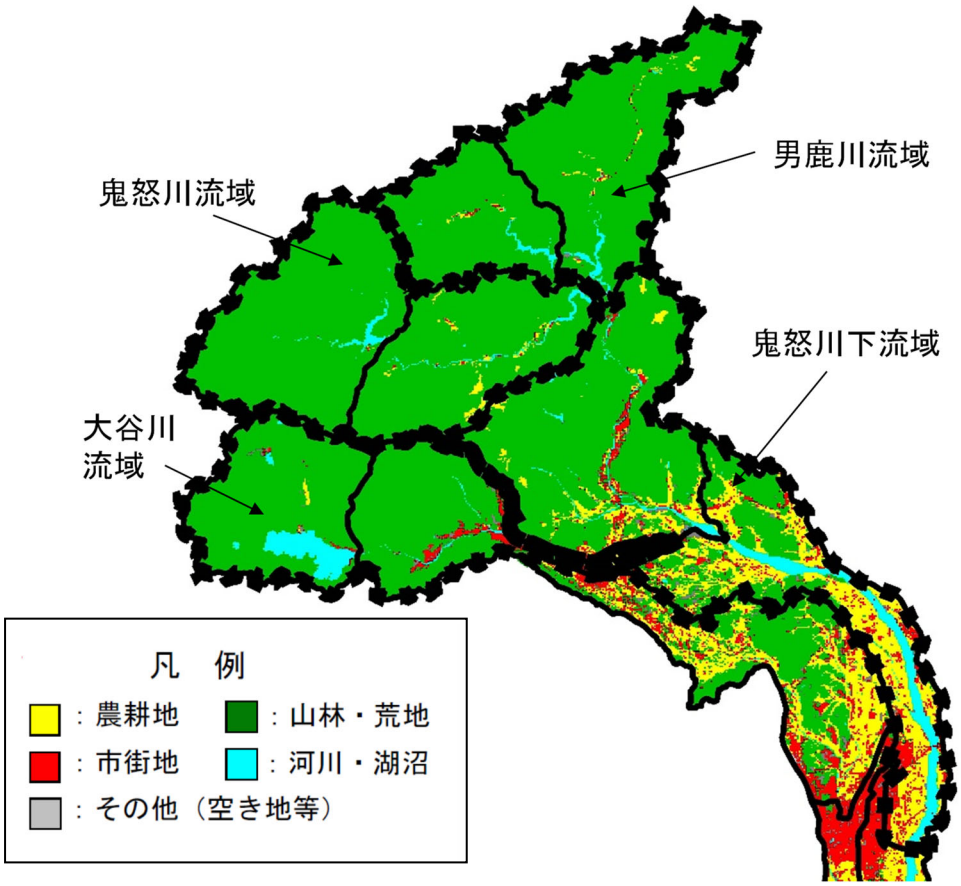



図 1.186　流域分割図

### (1) 地域分布のチェック

d2PDF（将来気候）から計画規模の降雨量近傍（5 洪水）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）を求め、表 1.66 に一覧を示す。

棄却した引伸ばし降雨波形も同様に比率を求め、実績引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、生起し難いと言えないため参考波形として扱うこととする。結果は表 1.67 に示すとおりであり、地域分布により棄却した洪水はアンサンブル予測降雨波形と比較しても生起し難いと判断し、棄却洪水とする。

### (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（洪水到達時間やその 1/2 時間）の流域平均雨量/継続時間内の流域平均雨量）を求め、結果を表 1.68 に示す。

棄却した引伸ばし降雨波形も同様に比率を求め、実績引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、生起し難いと言えないため参考波形として扱うこととする。結果は表 1.69 に示すとおりであり、時間分布により棄却した洪水はアンサンブル予測降雨波形と比較しても生起し難いと判断し、棄却洪水とする。

これら地域分布や時間分布のチェックから、棄却された 2 洪水は、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判断した。

表 1.66　雨量の比率（アンサンブル予測降雨波形）

| No | 洪水名 | 雨量 | | | | | 比率 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 石井上流域24時間 | 鬼怒川流域24時間 | 男鹿川流域24時間 | 大谷川流域24時間 | 鬼怒川下流域24時間 | 鬼怒川流域24時間 | 男鹿川流域24時間 | 大谷川流域24時間 | 鬼怒川下流域24時間 |
| 1 | HFB_2K_MI_m105_27 | 448.6 | 498.3 | 337.7 | 658.5 | 358.6 | 1.11 | 0.75 | 1.47 | 0.80 |
| 2 | HFB_2K_MI_m105_29 | 426.4 | 469.8 | 347.6 | 617.7 | 331.2 | 1.10 | 0.82 | 1.45 | 0.78 |
| 3 | HFB_2K_MP_m101_16 | 458.4 | 511.3 | 388.7 | 636.3 | 357.6 | 1.12 | 0.85 | 1.39 | 0.78 |
| 4 | HFB_2K_MR_m105_07 | 467.0 | 499.3 | 389.3 | 643.4 | 388.5 | 1.07 | 0.83 | 1.38 | 0.83 |
| 5 | HFB_2K_MR_m105_12 | 417.4 | 460.3 | 305.5 | 550.7 | 379.1 | 1.10 | 0.73 | 1.32 | 0.91 |
| | | | | | | 最大値 | 1.12 | 0.85 | 1.47 | 0.91 |

表 1.67　雨量の比率（棄却した引伸ばし降雨波形）

| No | 洪水名 | 雨量 | | | | | 比率 | | | | 判定 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 石井上流域24時間 | 鬼怒川流域24時間 | 男鹿川流域24時間 | 大谷川流域24時間 | 鬼怒川下流域24時間 | 鬼怒川流域24時間 | 男鹿川流域24時間 | 大谷川流域24時間 | 鬼怒川下流域24時間 | |
| 1 | R1.10.12 | 398 | | | | 387.8 | | | | 0.98 | 棄却 |

表 1.68　雨量の比率（アンサンブル予測降雨波形）

| No | 洪水名 | 雨量 | | | 比率 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 石井上流域24時間 | 石井上流域9時間 | 石井上流域12時間 | 石井上流域9時間 | 石井上流域12時間 |
| 1 | HFB_2K_MI_m105_27 | 448.6 | 209.5 | 269.0 | 0.47 | 0.60 |
| 2 | HFB_2K_MI_m105_29 | 426.4 | 182.5 | 226.3 | 0.43 | 0.53 |
| 3 | HFB_2K_MP_m101_16 | 458.4 | 263.9 | 304.1 | 0.58 | 0.66 |
| 4 | HFB_2K_MR_m105_07 | 467.0 | 189.2 | 237.0 | 0.41 | 0.51 |
| 5 | HFB_2K_MR_m105_12 | 417.4 | 257.4 | 308.6 | 0.62 | 0.74 |
| | | | | 最大値 | 0.62 | 0.74 |

表 1.69　雨量の比率（棄却した引伸ばし降雨波形）

| No | 洪水名 | 雨量 | | | 比率 | | 判定 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 石井上流域24時間 | 石井上流域9時間 | 石井上流域12時間 | 石井上流域9時間 | 石井上流域12時間 | |
| 1 | H10.9.15 | 398 | 347.8 | 376.9 | 0.87 | 0.95 | 棄却 |

### 3) 主要降雨波形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主要降雨波形としてきたが、基本高水のピーク流量の設定に用いる主要降雨波形は、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。

鬼怒川流域では、アンサンブル予測降雨波形群を対象に、3 つのクラスターに分類した。

基準地点石井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、1、2 と評価された（表 1.70）。

主要降雨波形に含まれないクラスター3 に該当する洪水をアンサンブル予測降雨波形群の計画降雨量近傍の降雨から調査した結果、クラスター3 に該当する降雨は存在しなかった。

なお、アンサンブル予測降雨波形群のクラスター分割には、アンサンブル予測降雨を対象に、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クラスターに分類し、図 1.187 の結果となり、出現頻度は図 1.188 に示すとおりである。

表 1.70　主要洪水のクラスター分析結果

| No | 洪水名 | 石井地点 24時間雨量（mm） | 計画規模 降雨量 ×1.1（mm/48h） | 引伸ばし率 | クラスター分類 | 石井地点 ピーク流量（$m^3/s$） |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | S13.8.31 | 322.4 | 437 | 1.36 | 1 | 10,500 |
| 2 | S22.9.14 | 305.2 | 437 | 1.43 | 1 | 7,500 |
| 3 | S23.9.15 | 265.1 | 437 | 1.65 | 1 | 5,700 |
| 4 | S24.8.31 | 299.4 | 437 | 1.46 | 1 | 6,900 |
| 5 | S56.8.22 | 311.3 | 437 | 1.41 | 1 | 7,800 |
| 6 | H2.8.9 | 256.9 | 437 | 1.70 | 1 | 6,800 |
| 7 | H13.9.10 | 278.8 | 437 | 1.57 | 1 | 4,700 |
| 8 | H14.7.10 | 285.3 | 437 | 1.53 | 1 | 7,100 |
| 9 | H27.9.9 | 409.5 | 437 | 1.07 | 2 | 7,600 |

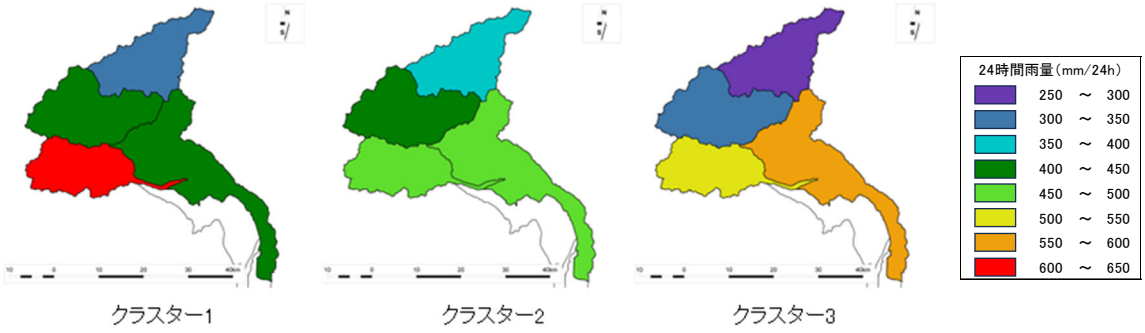



図 1.187　鬼怒川流域における将来実験アンサンブル予測降雨のクラスター分類

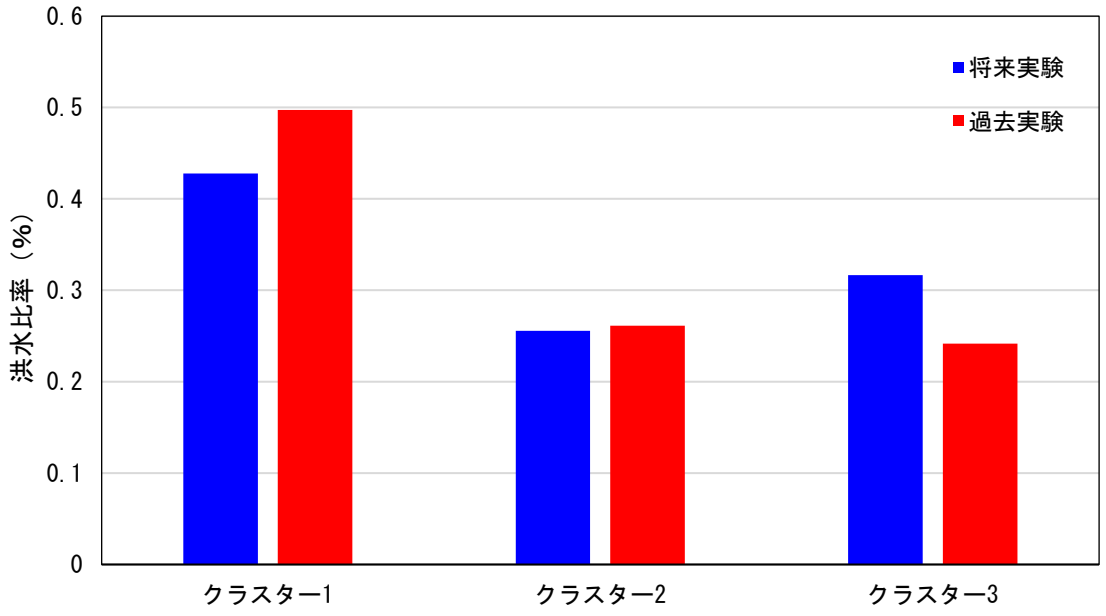



図 1.188　鬼怒川流域におけるアンサンブル予測降雨の出現頻度

## 1-32　既往洪水による検討（鬼怒川）

甚大な被害をもたらした平成 27 年 9 月洪水では、基準地点石井の実績流量（ダム・氾濫なしの流量）を約 6,600 ㎥/s と推定した。ハイエトグラフ及びハイドログラフを図 1.189 に示す。

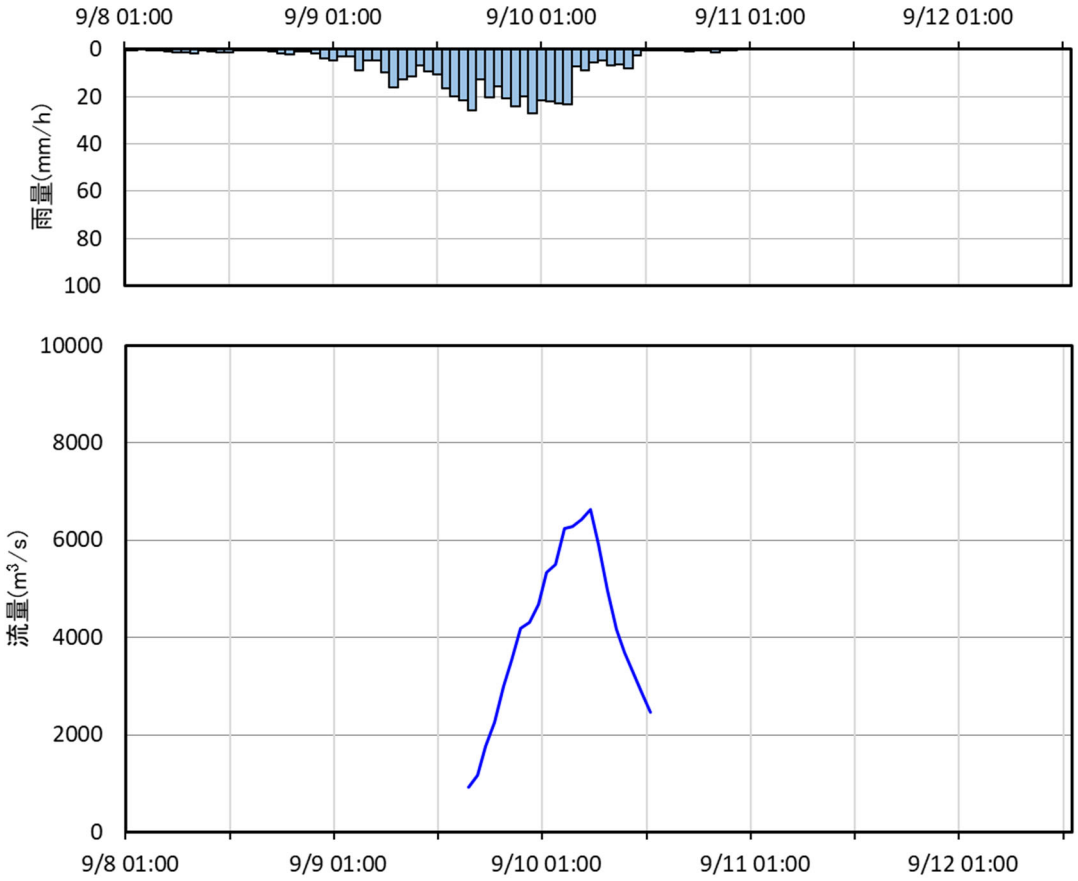
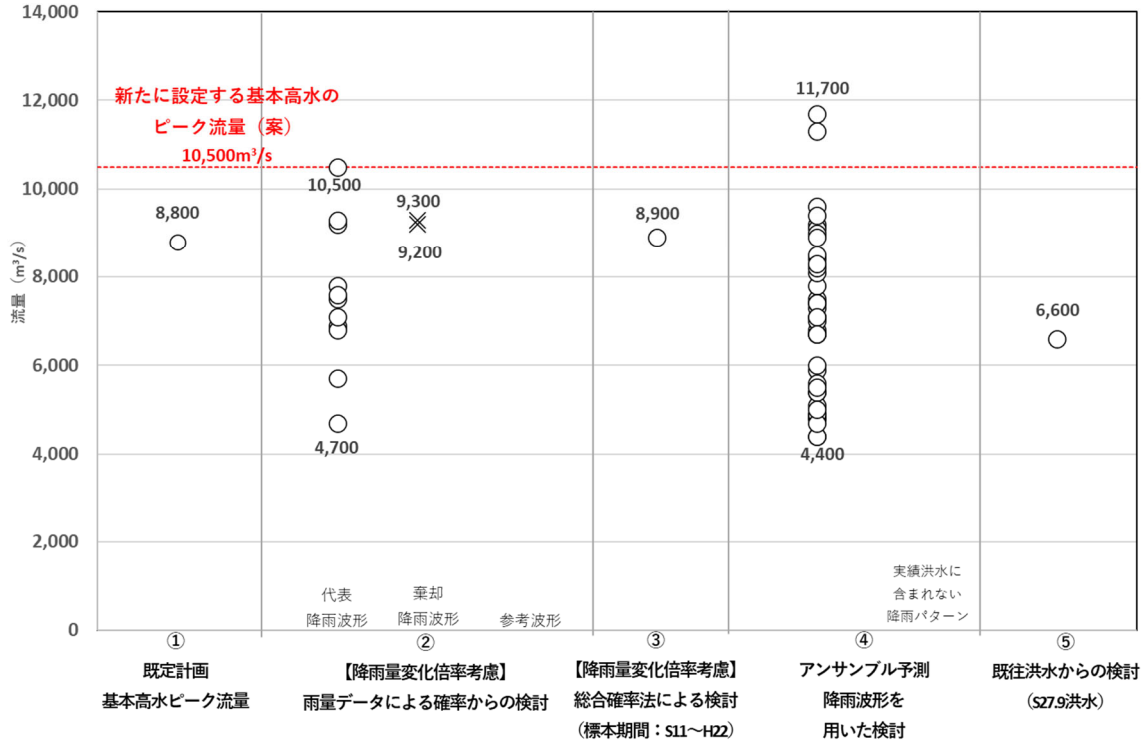



図 1.189　平成 27 年 9 月洪水の推定結果（基準地点石井）

## 1-33　総合的判断による基本高水のピーク流量の決定（鬼怒川）

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、図 1.190 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、鬼怒川における基本高水のピーク流量は、基準地点石井で 10,500 $m^3/s$ となった。




【凡例】

②雨量データによる確率からの検討：

降雨量変化倍率（2 ℃上昇時の降雨量の変化倍率 1.1 倍）を考慮した検討

○：年超過確率 1/10 以上、引伸ばし率 2 倍以下の洪水

×：時間・地域分布において著しい引伸ばしとなっている洪水

△：棄却洪水のうちアンサンブル予測降雨波形（将来・過去実験）の時空間分布から生起し難いと言えないと判断された洪水

④アンサンブル予測降雨波形を用いた検討：

将来・過去実験から様々な降雨パターンの検討

○：計画対象降雨の降雨量（437 mm/24 h）近傍の 40 洪水

△：主要降雨波形に含まれていないが、アンサンブル予測降雨波形から抽出した洪水

図 1.190　基本高水の設定に係る総合的判断（基準地点石井）

## 1-34　流出解析モデルの構築（小貝川）

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（流出関数法）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、モデルの定数を同定した。また、利根川合流点から上流端である 0.0 k から 78.15 k までを河道内の流下・貯留現象を詳細に表現するため、一次元不定流でモデル化した。

### 1)　モデルの概要

流出計算モデルの基礎式は次のとおりである。

#### (1)　流域の基礎式

$$Q_{(t)} = 0.2778 \bullet A \bullet f \bullet r(e^{-\alpha t'}(\alpha t' + 1) - e^{-\alpha t}(\alpha t + 1))$$

ただし、

$\sum r_{(t)} \leqq 90$　　の場合　　$\Sigma re = 0.091 \Sigma r(t)^{1.45}$

$\sum r_{(t)} > 90$　　の場合　　$\Sigma re = \Sigma r(t) - r_{loss}$

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。

$$Q_{ca(t)} = Q_{(t)} + Q_{b(t)}$$

$Q_{(t)}$：直接流出量【$m^3/s$】、$A$：流域面積【$km^2$】、

$\sum r_{(t)}$：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】

$r_{(t)}$：雨量【mm】*1、$re_{(t)}$：有効雨量【mm】、$r_{loss}$：損失雨量【mm】

$f$ ：流出率【無次元】

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

(2)　**河道の基礎式**

①　貯留関数法

$$S_{l(t)} = K \bullet Q_{l(t)}^{P} - T_l \bullet Q_{l(t)}$$

$$\frac{dS_{l(t)}}{dt} = I_{(t)} - Q_{l(t)}$$

$$Q_{l(t)} = Q_{(t+T_l)}$$

$S_{l(t)}$：みかけの貯留量【($m^3/s$)・h】、

$Q_{l(t)}$：遅れ時間$T_l$を考慮した流出量【$m^3/s$】、

$Q_{(t)}$：流出量【$m^3/s$】、$I_{(t)}$：流入量【$m^3/s$】、

$T_l$：遅滞時間【h】、$K$：定数、$P$：定数

②　一次元不定流計算

連続の式

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

運動方程式

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\int u^2 dA\right) + gA\frac{\partial H}{\partial x} + \frac{T_r}{\rho} = 0$$

$$\int u^2 dA = \beta U^2 A$$

$$U = \frac{1}{n} R^{2/3} I_b^{1/2}$$

$$\frac{T_r}{\rho} = \frac{g U^2}{A^{1/3}} \cdot \left(\sum S_i \cdot n_i^{3/2}\right)^{4/3}$$

$A$：流れの断面積【$m^2$】、$x$：流下方向に沿った座標【m】、$H$：水位【m】、

$T_r$：単位長さの河道の河床に作用する力【N/m】、

$u$：ある点での流速【m/s】、$\rho$：水の密度【kg/m$^3$】、

$g$：重力加速度【m/s$^2$】、$U$：断面平均流速【m/s】、

$I_b$：河床勾配、$R(=A/S)$：径深【m】、

$S_i$：同一の粗度を有するi番目の潤辺部の長さ【m】、

$n_i$：潤辺部での粗度係数【m$^{-1/3}$s】、$t$：時間【s】

### 2) 流域及び河道分割

流域分割は小貝川 7 分割とし、河道分割は国管理区間よりも上流の本川及び規模の大きな支川（五行川）を分割することとした。なお、小貝川は集積した市街地を流下する重要な河川であることから河道の流下状況をより詳細に把握する必要があるため、国管理区間の河道は一次元不定流計算モデルとした。

流域分割図、流出計算モデル模式図、流出関数における流域・河道モデル分割諸元を図 1.191、図 1.192、表 1.71、表 1.72 に示す。

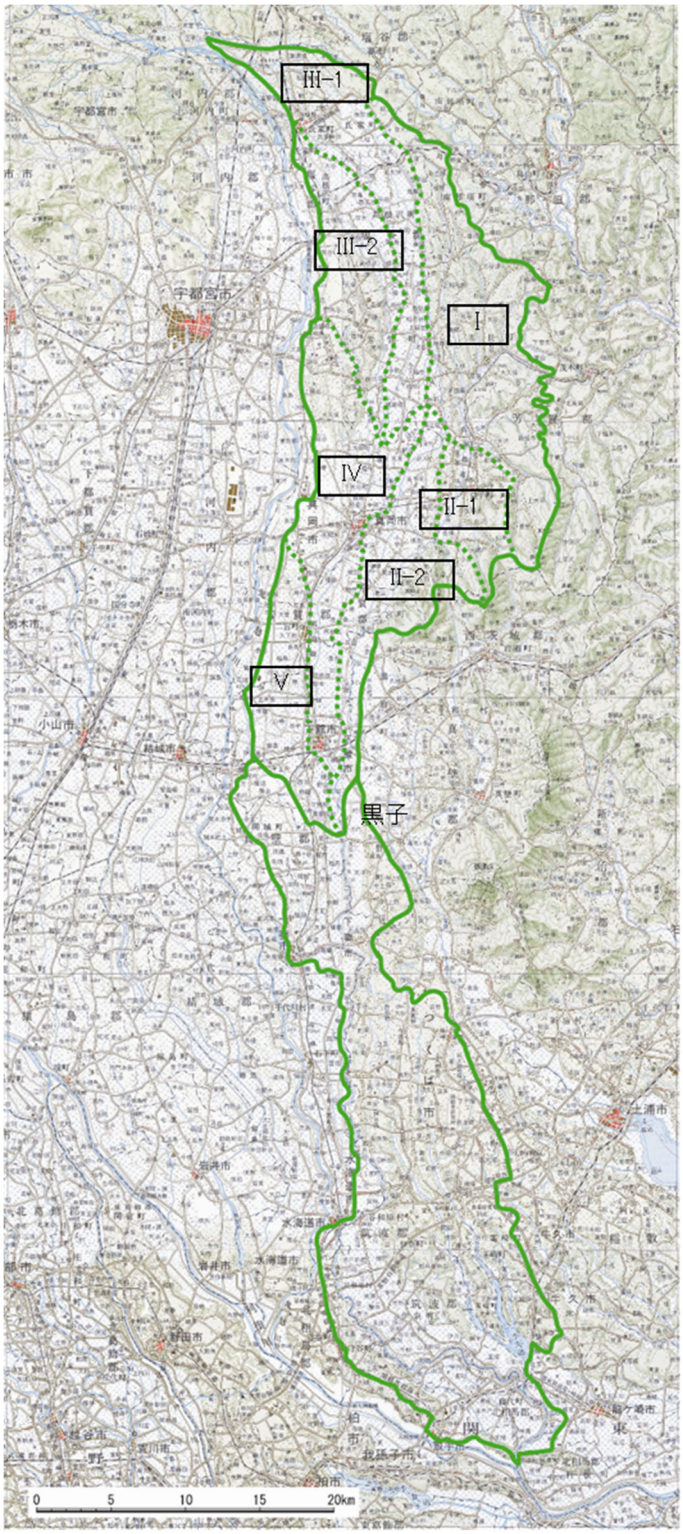



図 1.191　流域分割図（黒子上流）

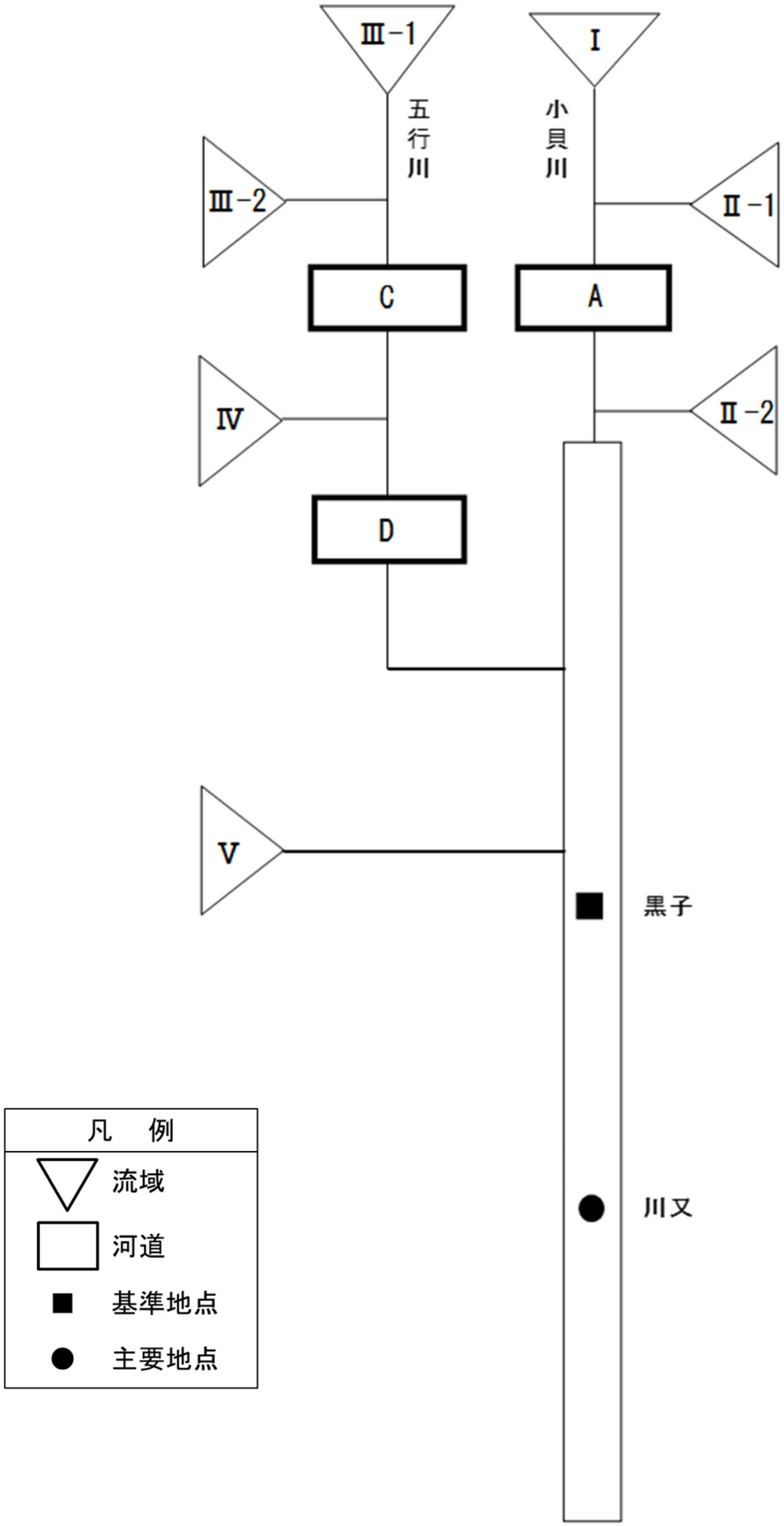



図 1.192　流出計算モデル模式図

表 1.71　流域・河道モデル分割諸元（小貝川　流域分割）

| 流域 | 流域面積($km^2$) |
|---|---|
| Ⅰ | 140.40 |
| Ⅱ-1 | 23.80 |
| Ⅱ-2 | 79.80 |
| Ⅲ-1 | 82.00 |
| Ⅲ-2 | 80.00 |
| Ⅳ | 117.00 |
| Ⅴ | 59.70 |

表 1.72　流域・河道モデル分割諸元（小貝川　河道）

| 河道No | 区間 |
|---|---|
| A | 小貝川（大羽川～国管理区間） |
| C | 五行川（野元川～桂橋） |
| D | 五行川（桂橋～小貝川） |

### 3) 定数の設定

#### (1) 流域定数の設定

① 定数設定の考え方

流域定数$\alpha$は、流域流出の遅れ時間 Tp の逆数（$\alpha$=1/Tp）とし、Tp は流域勾配、流路延長から以下の式で算定した。

$$Tp = 2.11 (L \cdot T^{-0.5})^{0.31}$$

流域定数の設定結果は、表 1.73 に示す。

表 1.73　流域定数の設定結果

| 流域 | 流域面積 A($km^2$) | 流域定数 $\alpha$ | 基底流量 Qb($m^3/s$) |
|---|---|---|---|
| Ⅰ | 140.40 | 0.093 | 3.0 |
| Ⅱ-1 | 23.80 | 0.194 | 0.7 |
| Ⅱ-2 | 79.80 | 0.194 | 2.3 |
| Ⅲ-1 | 82.00 | 0.093 | 2.0 |
| Ⅲ-2 | 80.00 | 0.093 | 2.0 |
| Ⅳ | 117.00 | 0.120 | 3.0 |
| Ⅴ | 59.70 | 0.086 | 2.0 |

② 有効降雨

有効降雨は、黒子上流の流域平均時間雨量と実績流量から算定した f を用いて以下のとおり求めた。

$\sum r_{(t)} \leqq 90$　の場合　$\Sigma re = 0.091 \Sigma r(t)^{1.45}$

$\sum r_{(t)} > 90$　の場合　$\Sigma re = \Sigma r(t) - r_{loss}$

$\sum r_{(t)}$：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】

$r_{(t)}$：雨量【mm】*1、$re_{(t)}$：有効雨量【mm】、

$r_{loss}$：損失雨量（28mm 一定値）、$f$ ：流出率【無次元】

(2) **河道定数の設定**

① 貯留関数法

河道定数$K$、$P$の検討に当たっては、最新測量断面を用いて、河道毎に流量規模毎の河道貯留量（$s$）を不等流計算により求め、流量と河道貯留の関係から、流域定数の検討と同様に切片を$K$、傾きを$P$として求めた。

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

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

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

河道の$T_l$については、定流の貯留関数と洪水流の貯留関数の関係から求めた。流出計算に当たっては、全ての洪水の流出計算において、このようにして求めた$K$、$P$、$T_l$を用いることとし、この結果を表 1.74 に示す。

表 1.74　河道定数設定結果

| 河道No | K | P | Tl（分） |
|---|---|---|---|
| A | 15.80 | 0.665 | 64.8 |
| C | 9.40 | 0.642 | 22.8 |
| D | 12.00 | 0.651 | 37.2 |

② 一次元不定流計算

一次元不定流計算においては、準二次元不等流計算で設定した低水路の粗度係数を基に、不定流計算のピーク水位が痕跡水位を再現する粗度係数

を設定した。

一次元不定流計算は、利根川への合流点から78.15 kまでをモデル化し、モデルの上流端には、貯留関数法で求まる流量を与えた。再現性の検討に当たっては、下流端には利根川合流点の実績水位を出発水位として与えた。また、主要降雨波形毎のピーク流量（$Q_p$）の算定に当たっては、利根川合流点の計画高水位を出発水位とした。

③　実績再現の対象洪水

前述までに設定した定数や既往洪水時の雨量データを用い、再現計算を実施した。基準地点黒子における主要な洪水として、H3.9 洪水、 H5.8 洪水、H16.10 洪水、H27.9 洪水、R1.10 洪水を検証対象洪水とした。

④　流出解析に用いる定数

各小流域の流域面積、定数と各河道の$K$、$P$、$T_l$は、前述にて整理した値を用いる。再現計算に用いる各小流域の初期損失雨量、基底流量は洪水毎に設定し表 1.75 のとおりとした。

なお、各小流域の基底流量は、洪水毎の黒子地点の開始流量を黒子地点上流域の流域面積で除した値に、当該小流域の流域面積を乗じた値とした。

表 1.75　検証対象洪水の飽和雨量$R_{sa}$と基底流量 Qb

| 洪水名 | 損失雨量 (mm) | 基底流量 ($m^3/s$) |
|---|---|---|
| H3.9 | 45 | 40 |
| H5.8 | 28 | 15 |
| H16.10 | 28 | 15 |
| H27.9 | 70 | 38 |
| R1.10 | 90 | 38 |

⑤　検証対象洪水の再現計算結果

前項までに設定した定数を用いて、再現計算を実施した。再現計算結果を図 1.193 に示す。

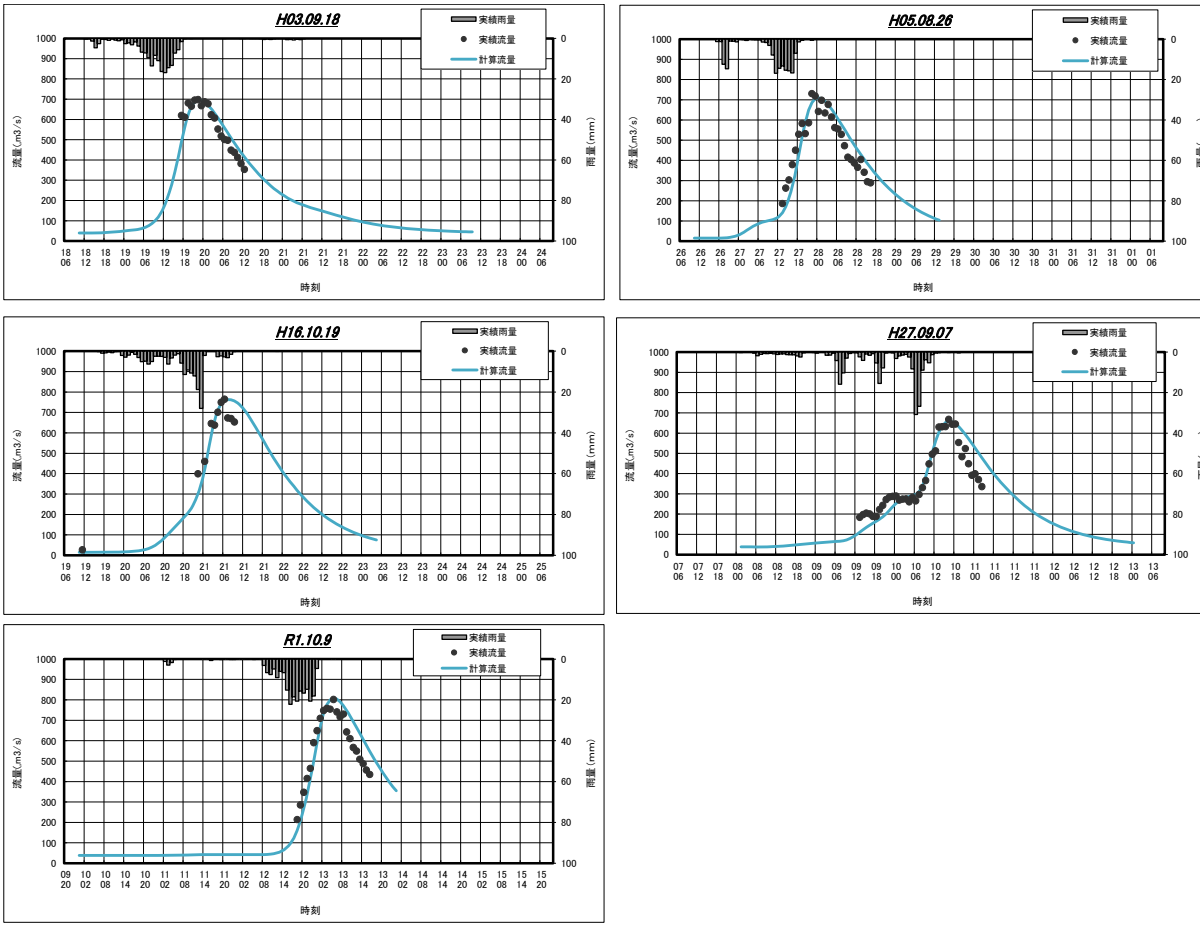



図 1.193　再現計算結果

## 1-35　基本高水のピーク流量設定の考え方（小貝川）

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

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

なお、現行計画の基本高水のピーク流量が総合確率法により設定されていることから、総合確率法による確認も実施した。

## 1-36　計画規模の設定（小貝川）

計画規模については、全国的な治水安全度の均衡も考慮し、年超過確率1/100と設定することとし、既定計画で目標とした既往最大（S61.8洪水）規模の洪水への対応を目指すことも含め、基本高水を超過する洪水に対しても、流域における対策により水位の低下や被害の最小化を図る取組を進めていく。

## 1-37　対象降雨の継続時間の設定（小貝川）

### 1)　対象降雨の継続時間設定の考え方

利根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強度の強い降雨の継続時間を整理し設定した。

### 2)　洪水到達時間

洪水到達時間は以下に示す式を用いて算定した。対象洪水は、黒子地点における氾濫注意水位相当の流量（450 $m^3/s$）以上の55洪水を対象とした。

(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 1.76 に示し、洪水毎の Kinematic Wave 法による洪水到達時間の検討結果を図 1.194 から図 1.212 に示す。

表 1.76　洪水到達時間の算定結果

| | 年月日 | 黒子地点 ピーク流量 ($m^3/s$) | Kinematic Wave法 算定結果(h) | 角屋式 平均有効降雨強度(mm/h) | 角屋式 算定結果(h) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | S13.6.27 | 1,350 | 41 | 8 | 13.8 |
| 2 | S13.8.30 | 800 | 17 | 8 | 14.0 |
| 3 | S14.8.3 | 600 | 17 | 6 | 15.4 |
| 4 | S14.8.18 | 550 | 29 | 4 | 19.2 |
| 5 | S16.7.10 | 650 | 24 | 4 | 17.8 |
| 6 | S16.7.20 | 900 | 34 | 6 | 15.0 |
| 7 | S17.9.18 | 750 | 18 | 8 | 14.1 |
| 8 | S18.10.1 | 650 | 19 | 6 | 15.2 |
| 9 | S19.10.5 | 700 | 24 | 5 | 16.2 |
| 10 | S20.10.3 | 900 | 16 | 9 | 13.5 |
| 11 | S22.9.13 | 850 | 21 | 6 | 15.2 |
| 12 | S23.9.15 | 700 | 25 | 6 | 15.5 |
| 13 | S25.6.11 | 850 | 20 | 8 | 13.6 |
| 14 | S25.7.27 | 500 | 18 | 4 | 17.4 |
| 15 | S26.7.2 | 500 | 15 | 7 | 14.7 |
| 16 | S29.9.16 | 600 | 14 | 5 | 15.9 |
| 17 | S31.9.25 | 500 | 14 | 3 | 18.5 |
| 18 | S33.7.21 | 900 | 21 | 8 | 13.9 |
| 19 | S33.9.24 | 700 | 23 | 5 | 15.9 |
| 20 | S36.6.27 | 550 | 19 | 3 | 18.9 |
| 21 | S40.5.26 | 500 | 22 | 5 | 16.9 |
| 22 | S41.6.26 | 950 | 25 | 7 | 14.4 |
| 23 | S45.11.18 | 500 | 29 | 4 | 18.3 |
| 24 | S46.8.29 | 600 | 27 | 5 | 16.4 |
| 25 | S56.10.21 | 650 | 23 | 6 | 15.6 |
| 26 | S57.9.10 | 850 | 17 | 7 | 14.6 |
| 27 | S60.6.28 | 500 | 25 | 4 | 18.0 |
| 28 | S61.8.3 | 1,750 | 27 | 12 | 12.1 |
| 29 | S63.9.23 | 600 | 16 | 5 | 16.6 |
| 30 | H3.8.19 | 600 | 28 | 4 | 17.0 |
| 31 | H3.9.18 | 800 | 23 | 6 | 14.9 |
| 32 | H5.8.25 | 750 | 18 | 6 | 15.0 |
| 33 | H7.9.16 | 500 | 29 | 3 | 18.6 |
| 34 | H8.9.21 | 500 | 23 | 5 | 16.8 |
| 35 | H10.9.14 | 700 | 18 | 7 | 14.2 |
| 36 | H11.7.12 | 700 | 21 | 6 | 15.6 |
| 37 | H12.7.7 | 500 | 20 | 5 | 15.8 |
| 38 | H13.8.10 | 500 | 21 | 5 | 15.9 |
| 39 | H13.10.9 | 600 | 29 | 5 | 16.8 |
| 40 | H14.7.9 | 700 | 25 | 5 | 16.9 |
| 41 | H16.10.8 | 500 | 32 | 4 | 18.0 |
| 42 | H16.10.19 | 800 | 15 | 7 | 14.4 |
| 43 | H18.6.15 | 500 | 26 | 4 | 17.6 |
| 44 | H18.7.17 | 500 | 35 | 3 | 20.3 |
| 45 | H18.12.26 | 600 | 23 | 5 | 16.1 |
| 46 | H20.8.28 | 700 | 19 | 7 | 14.8 |
| 47 | H23.9.19 | 900 | 25 | 7 | 14.8 |
| 48 | H24.5.2 | 650 | 27 | 5 | 16.3 |
| 49 | H25.9.14 | 550 | 15 | 7 | 14.2 |
| 50 | H26.10.5 | 800 | 33 | 5 | 16.4 |
| 51 | H27.7.16 | 550 | 20 | 6 | 15.7 |
| 52 | H27.9.8 | 850 | 17 | 6 | 15.6 |
| 53 | H28.8.21 | 500 | 18 | 5 | 15.8 |
| 54 | H29.10.21 | 600 | 15 | 4 | 17.2 |
| 55 | R1.10.11 | 1,150 | 22 | 10 | 13.0 |
| | 平均値 | - | 22.5 | - | 15.9 |

※ピーク流量は計算値を示す。

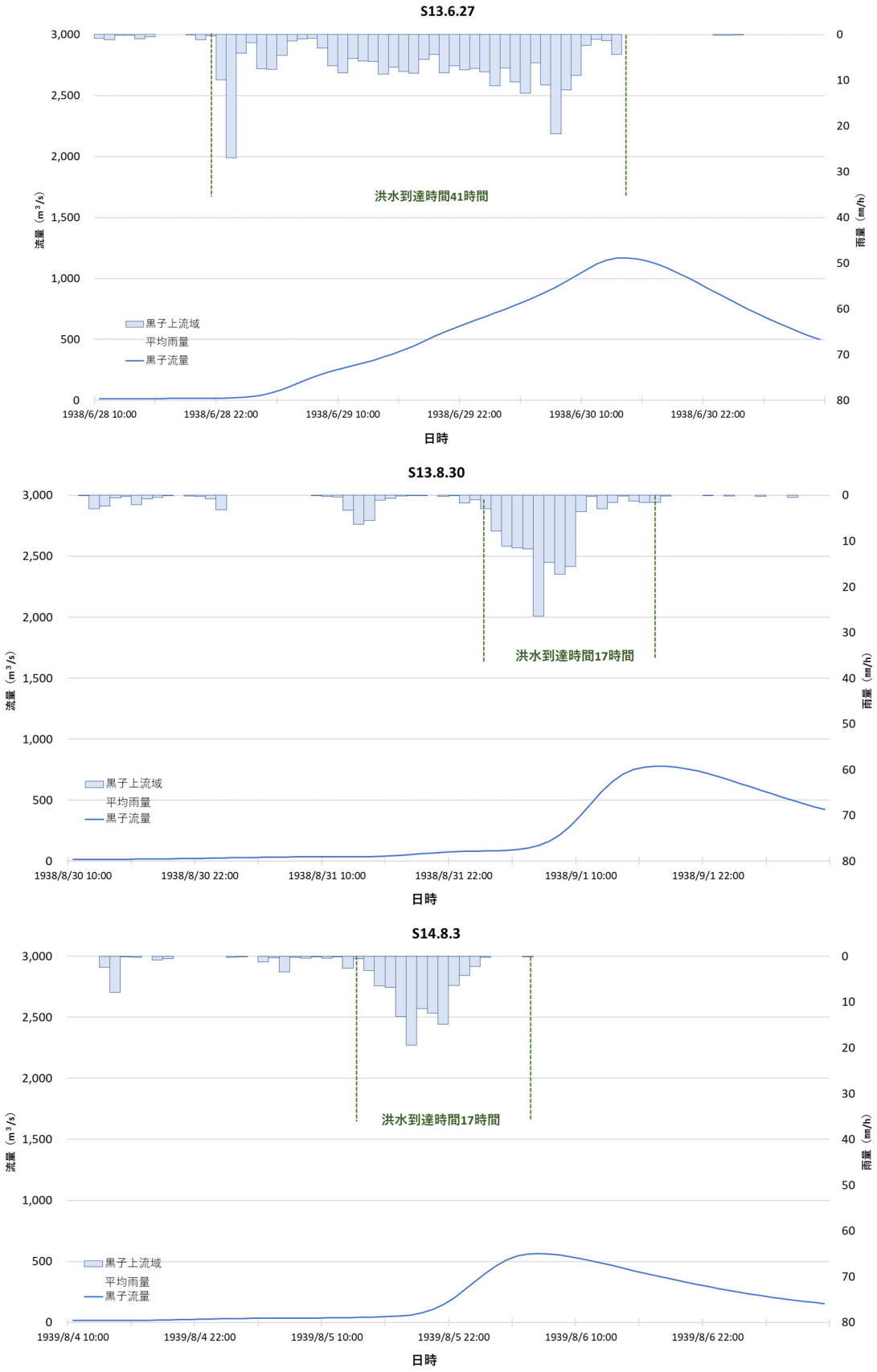



図 1.194　Kinematic Wave 法による洪水到達時間

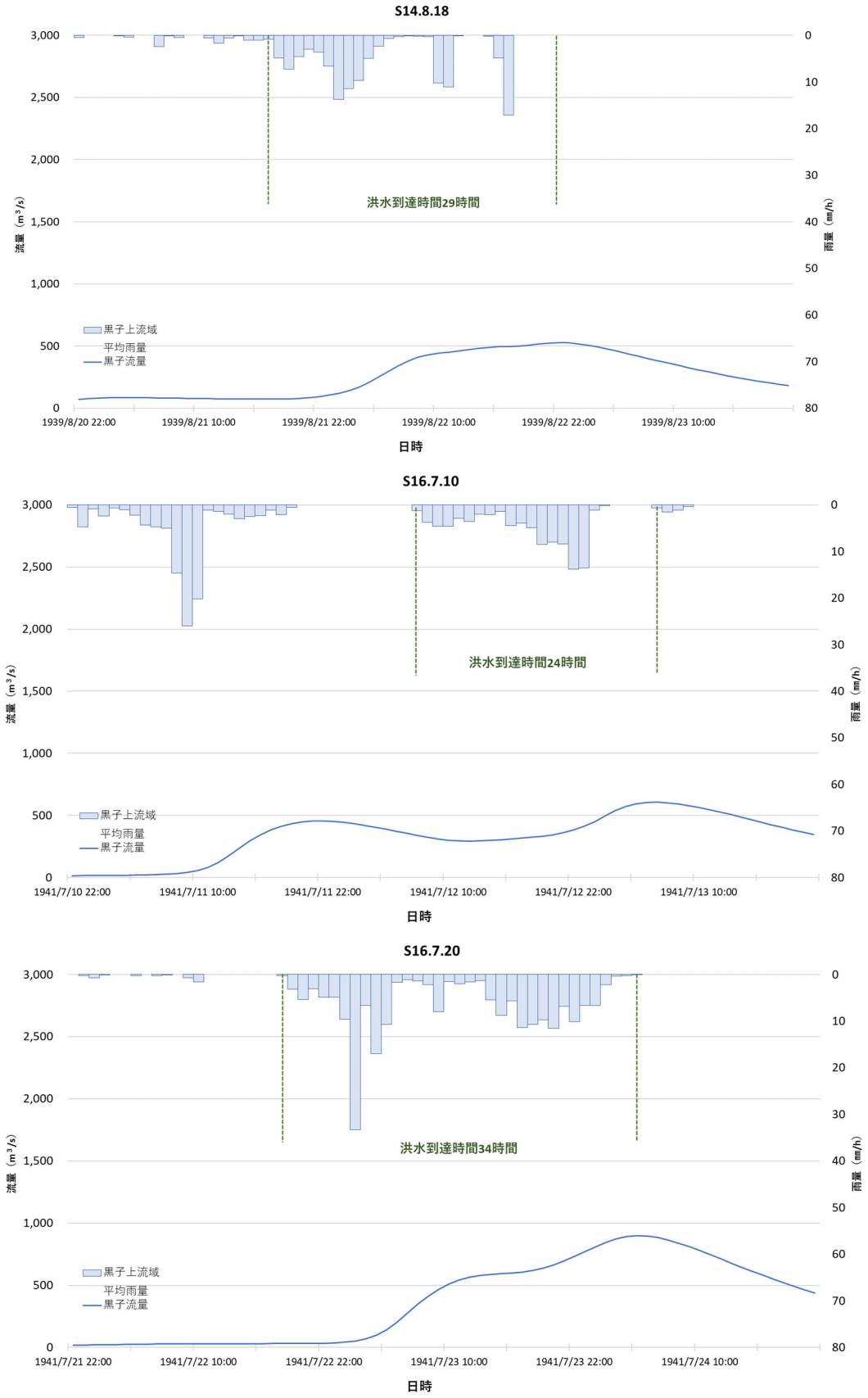



図 1.195　Kinematic Wave 法による洪水到達時間

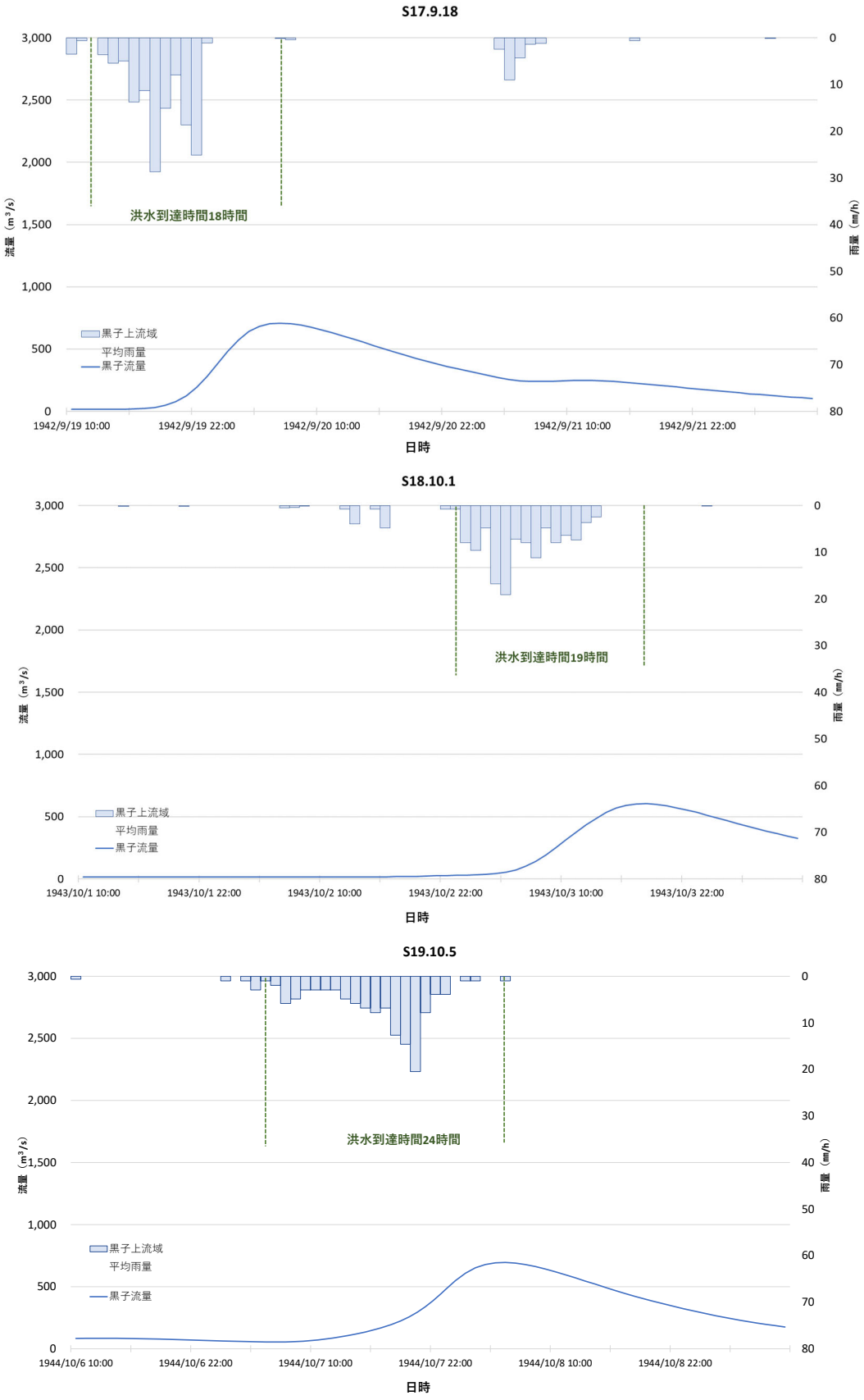



図 1.196　Kinematic Wave 法による洪水到達時間

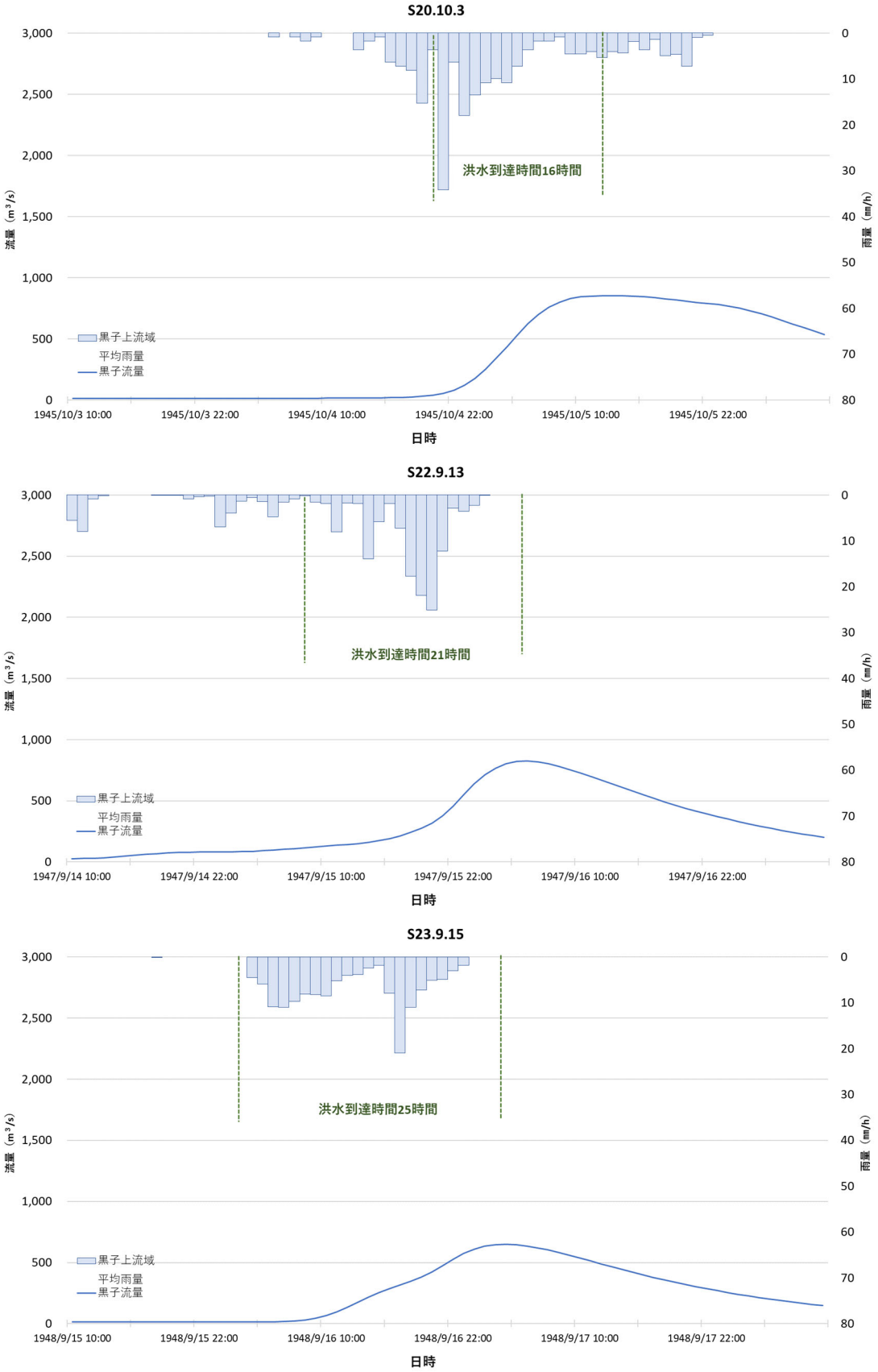



図 1.197　Kinematic Wave 法による洪水到達時間

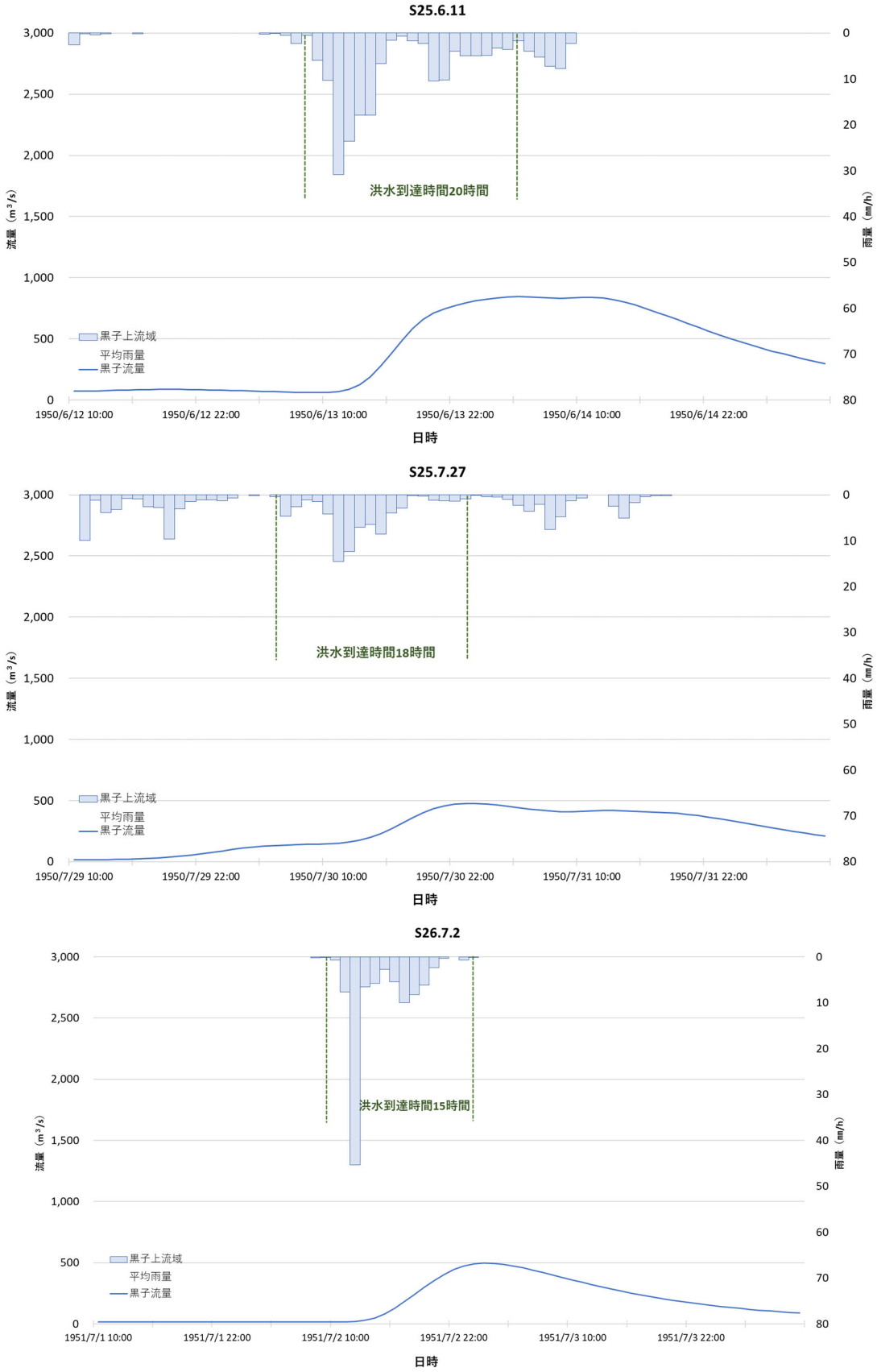



図 1.198　Kinematic Wave 法による洪水到達時間

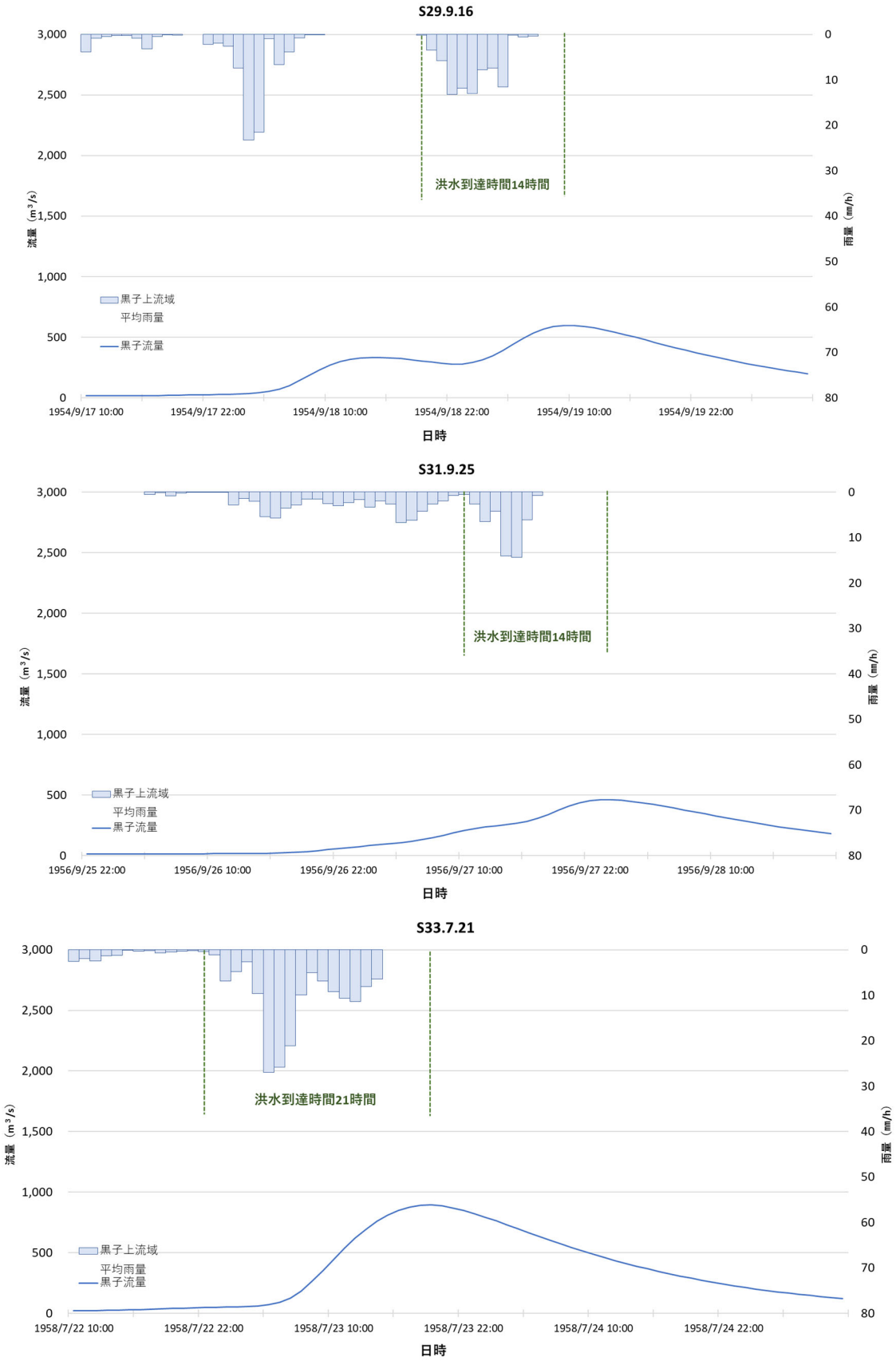



図 1.199　Kinematic Wave 法による洪水到達時間

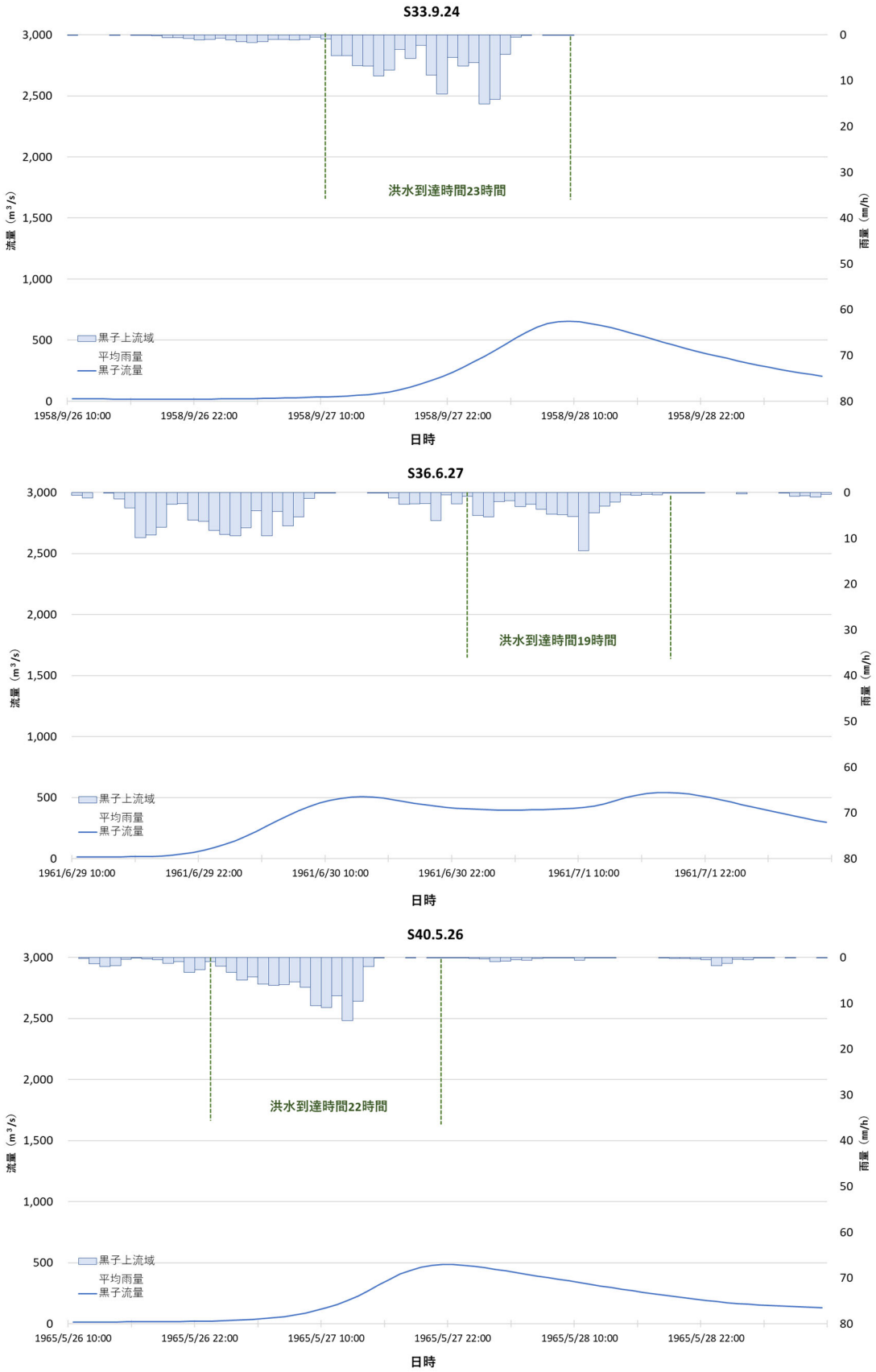



図 1.200　Kinematic Wave 法による洪水到達時間

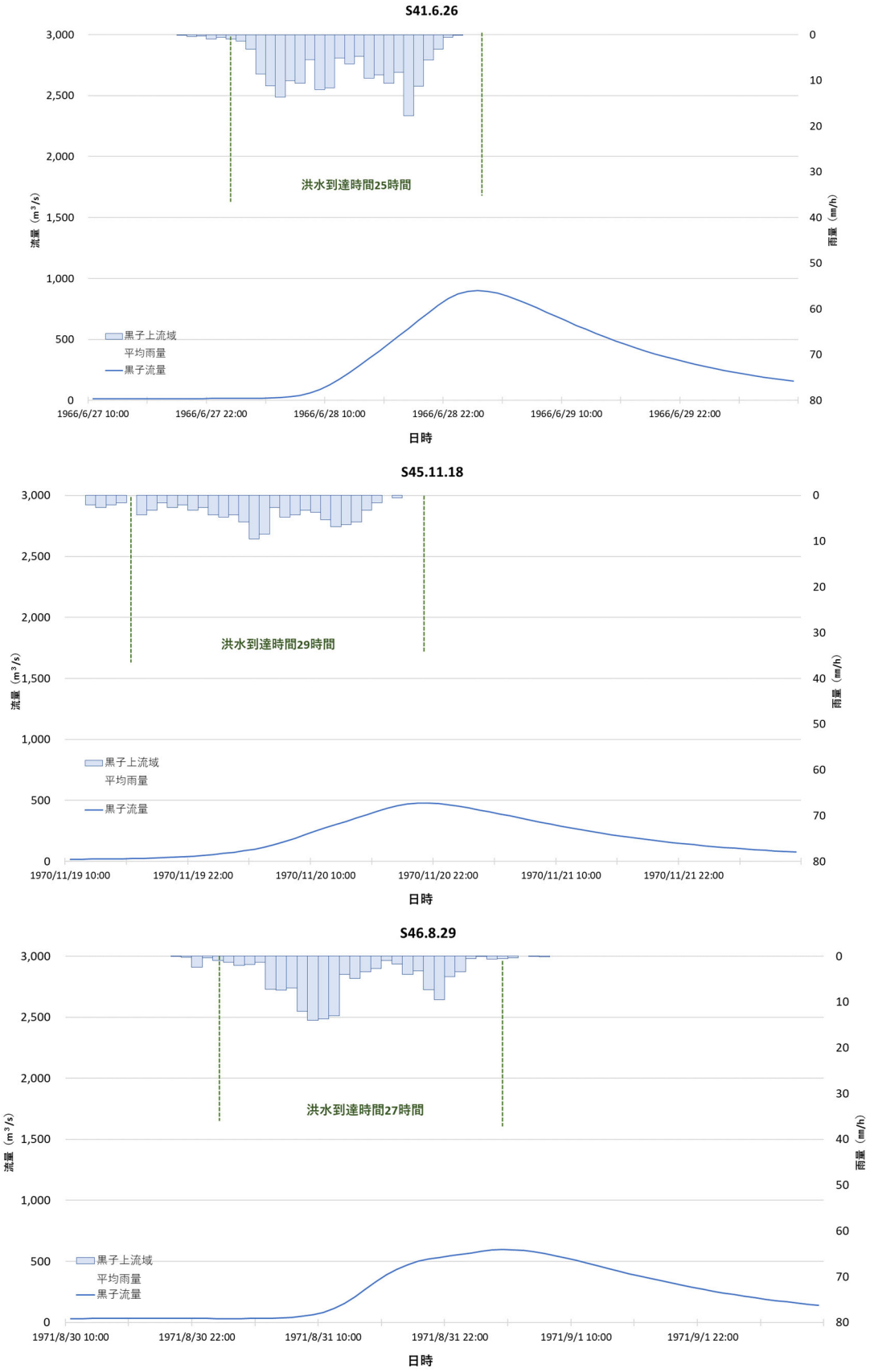



図 1.201　Kinematic Wave 法による洪水到達時間

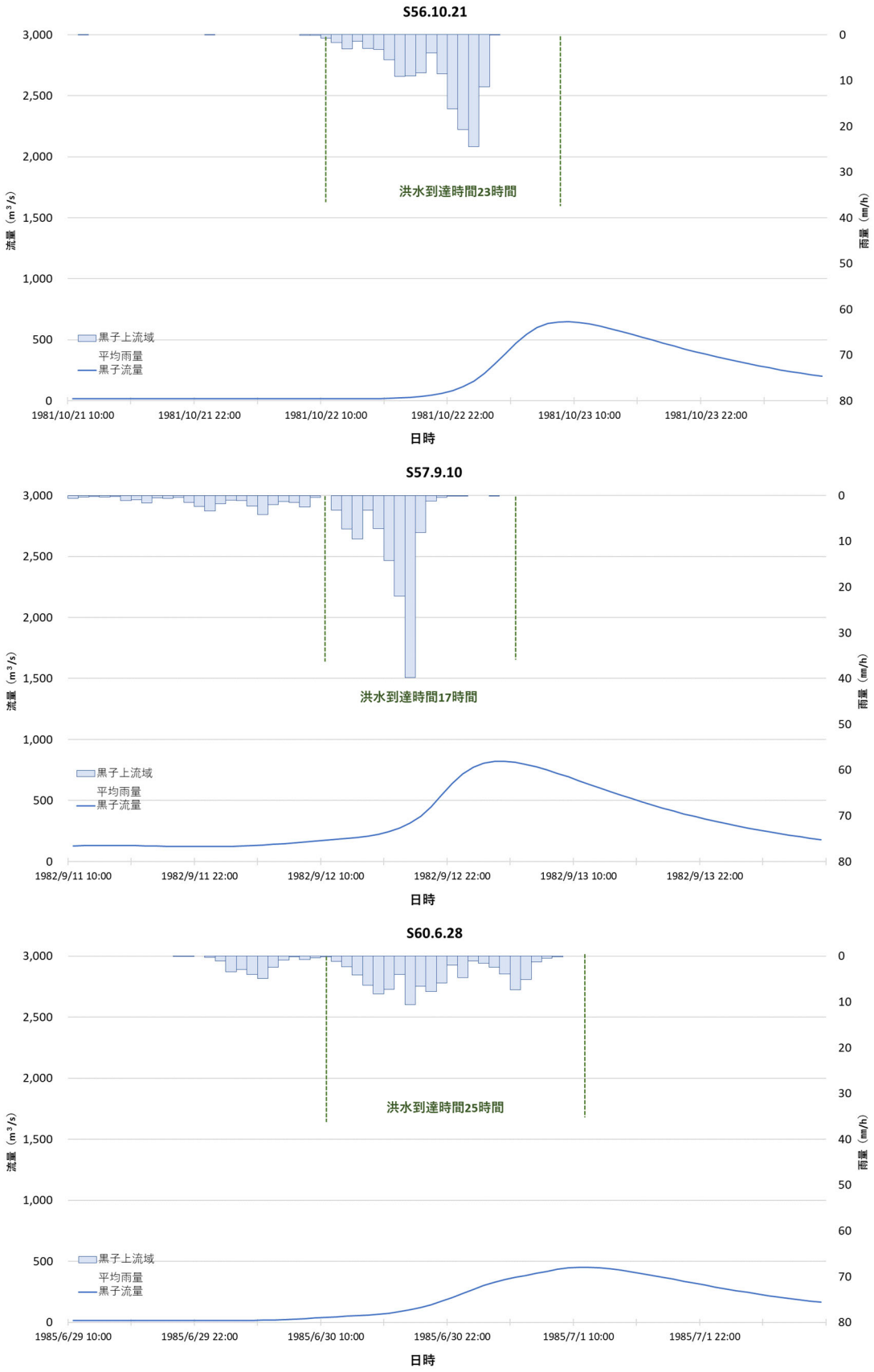



図 1.202　Kinematic Wave 法による洪水到達時間

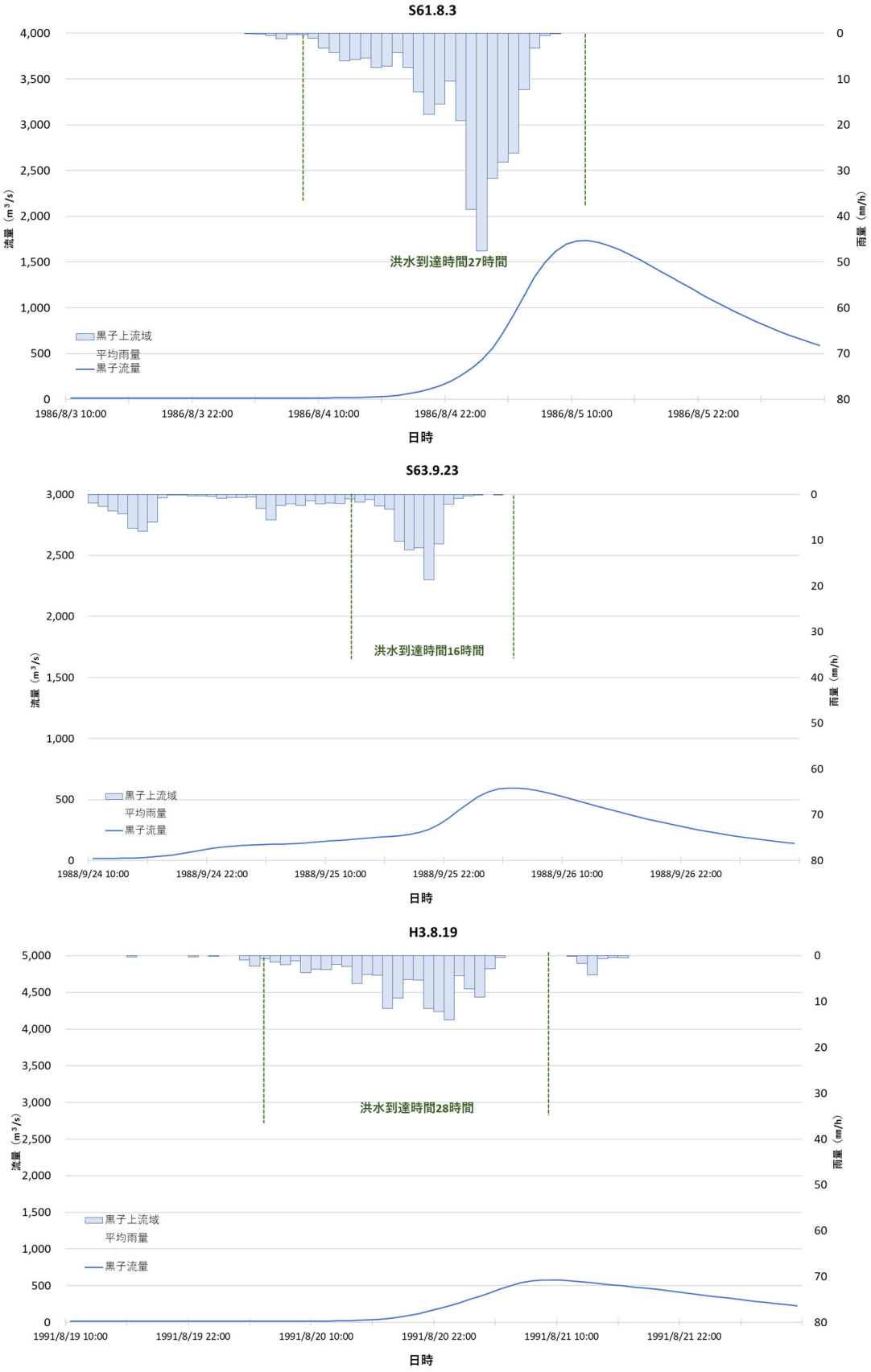



図 1.203　Kinematic Wave 法による洪水到達時間

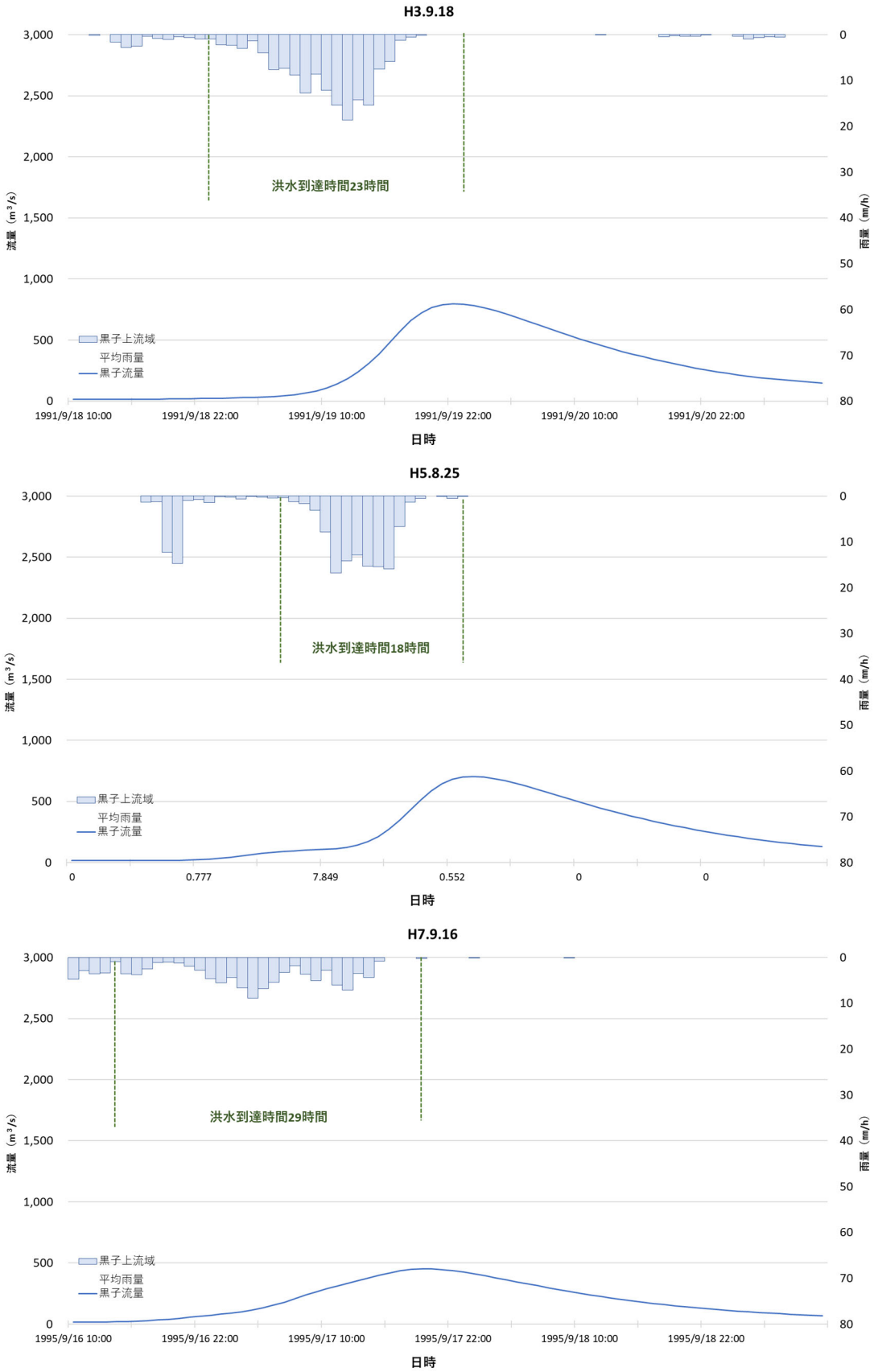



図 1.204　Kinematic Wave 法による洪水到達時間

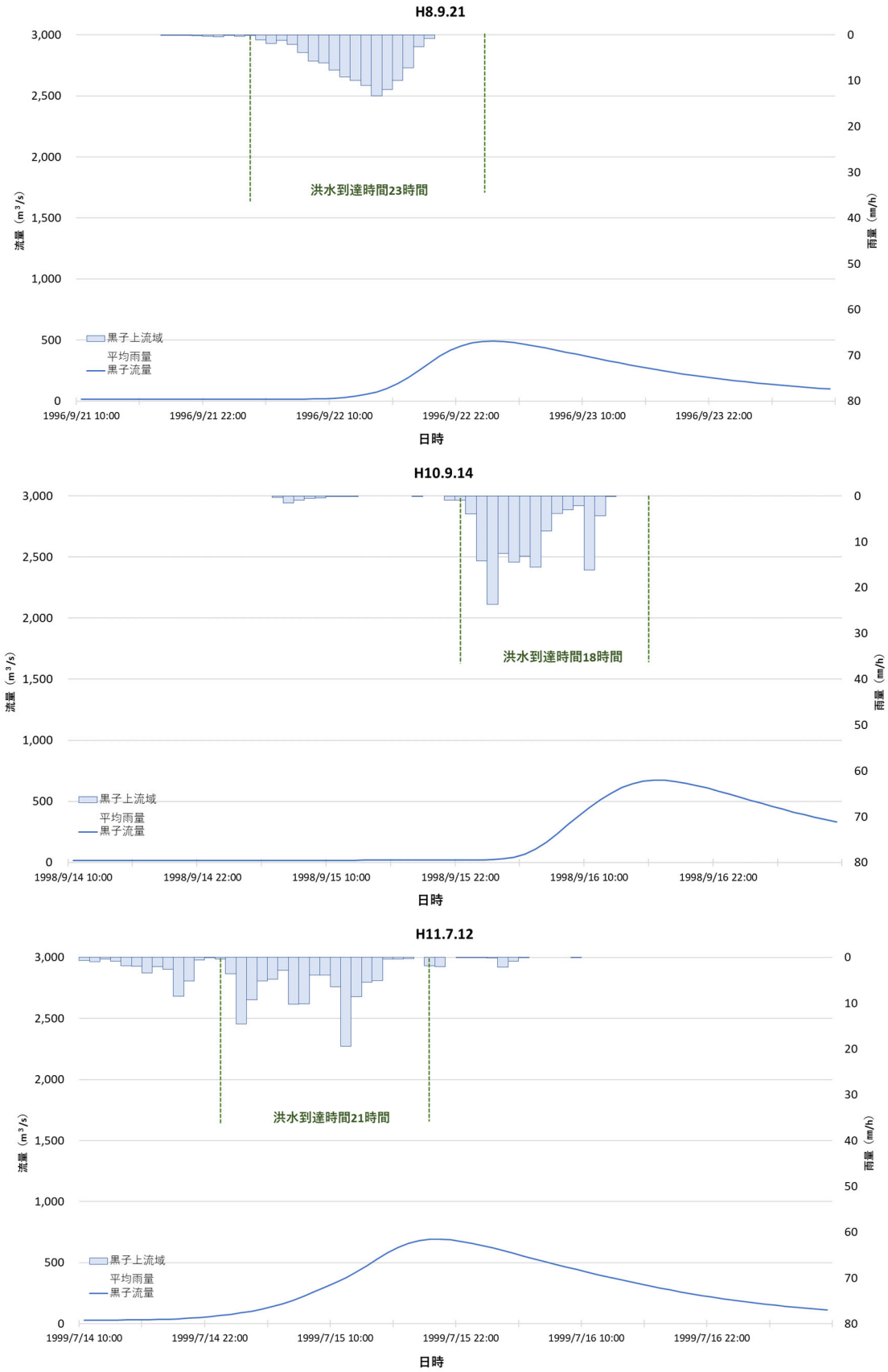



図 1.205　Kinematic Wave 法による洪水到達時間

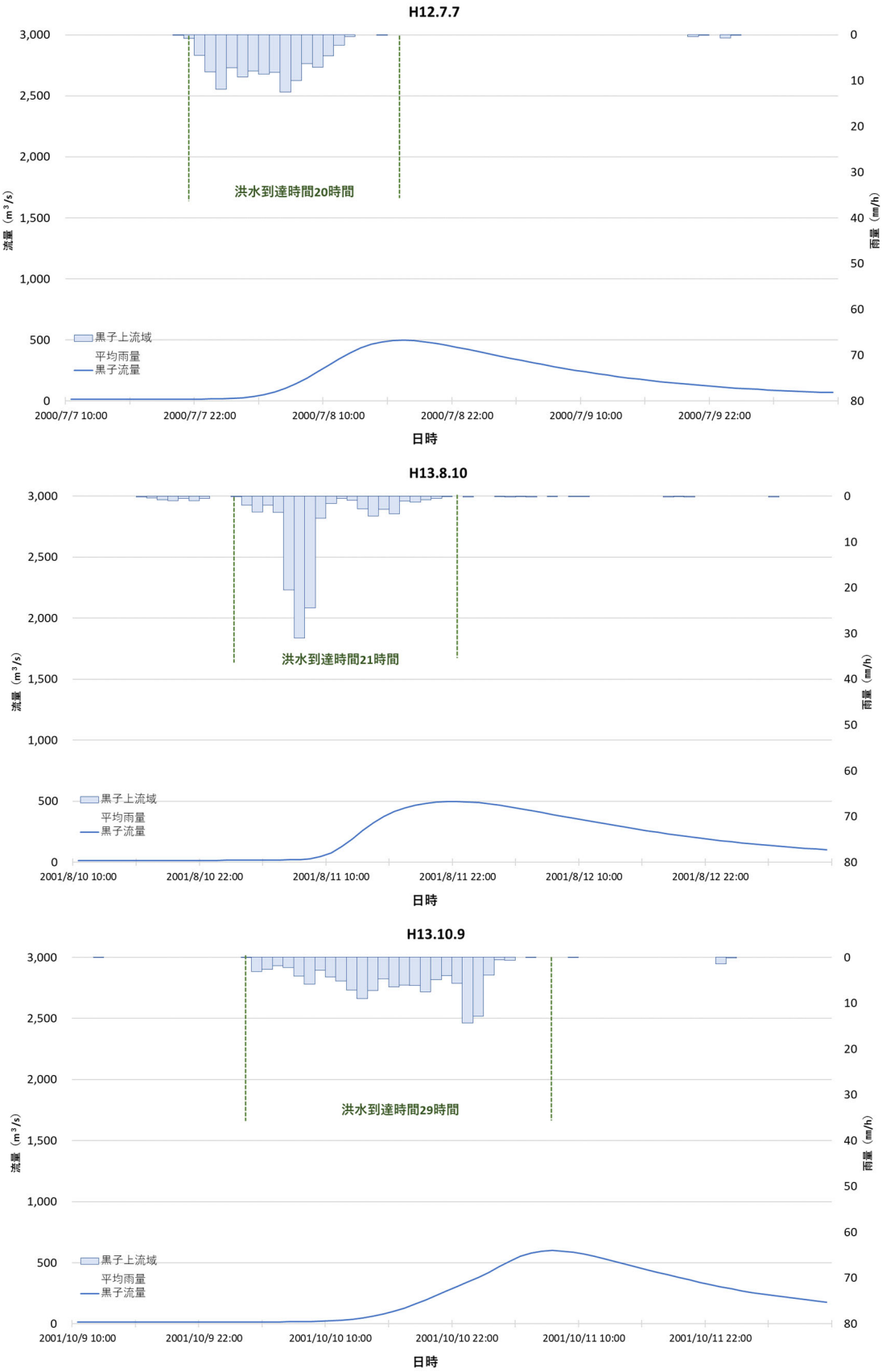



図 1.206　Kinematic Wave 法による洪水到達時間

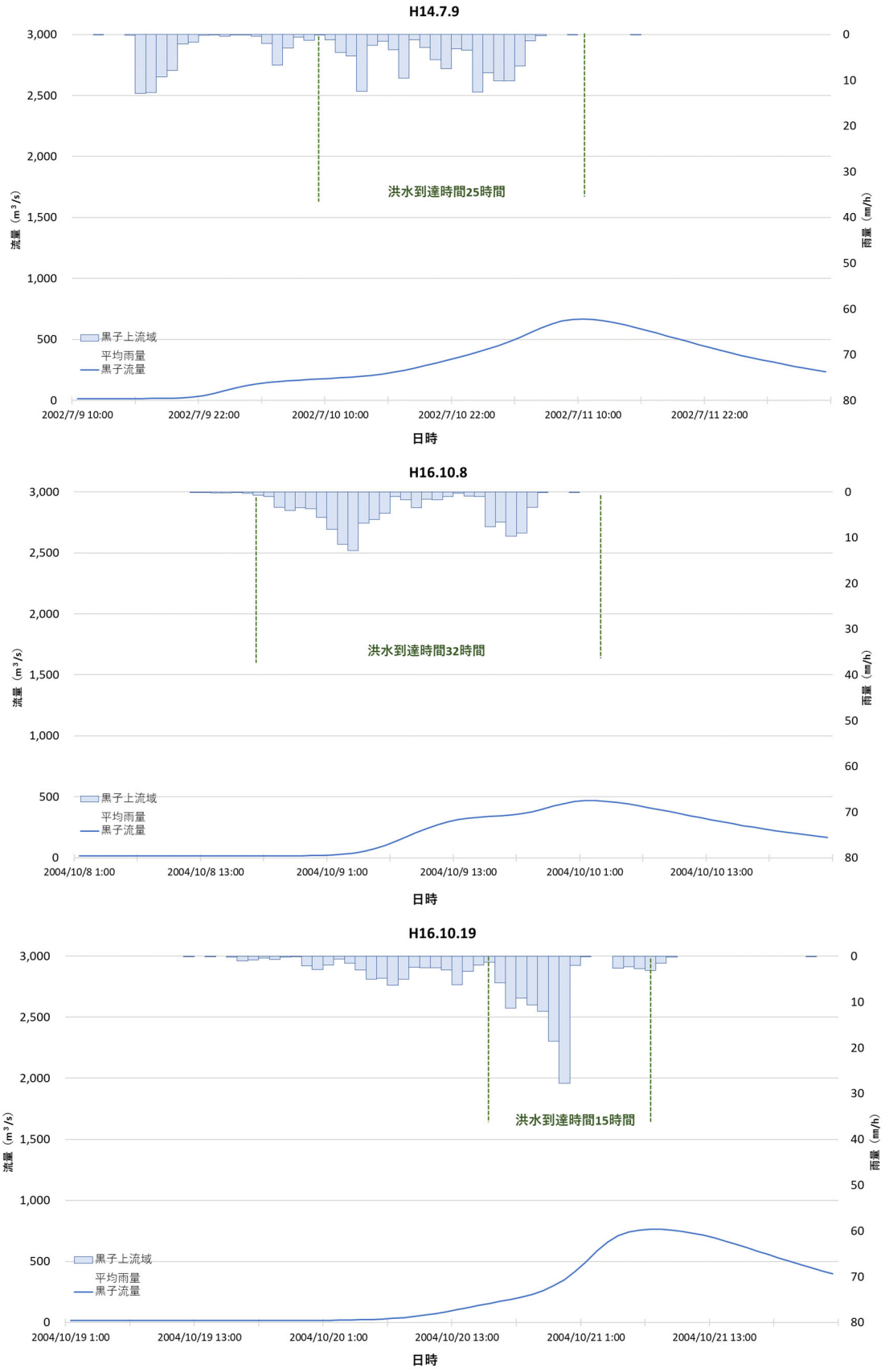



図 1.207　Kinematic Wave 法による洪水到達時間

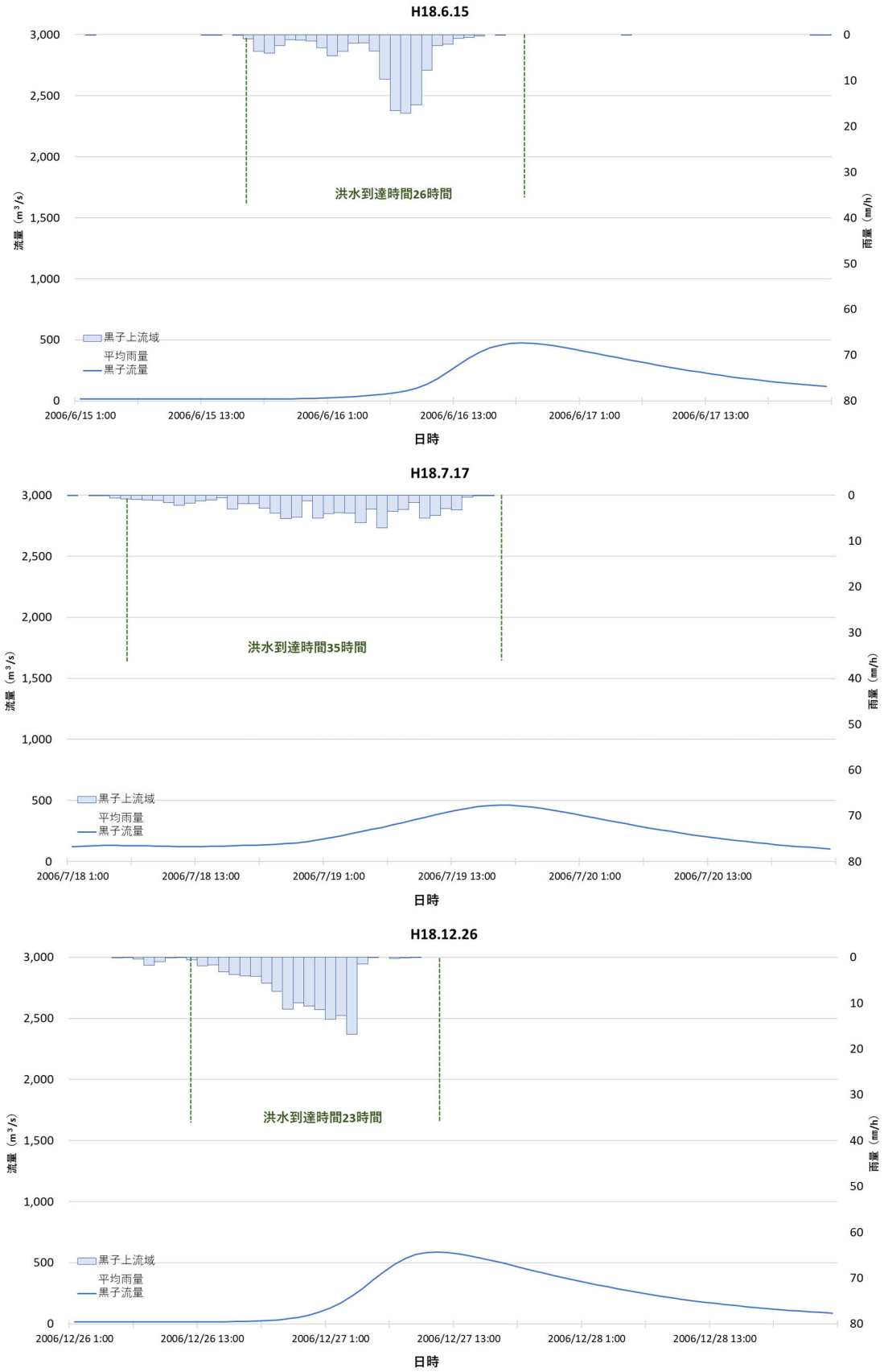



図 1.208　Kinematic Wave 法による洪水到達時間

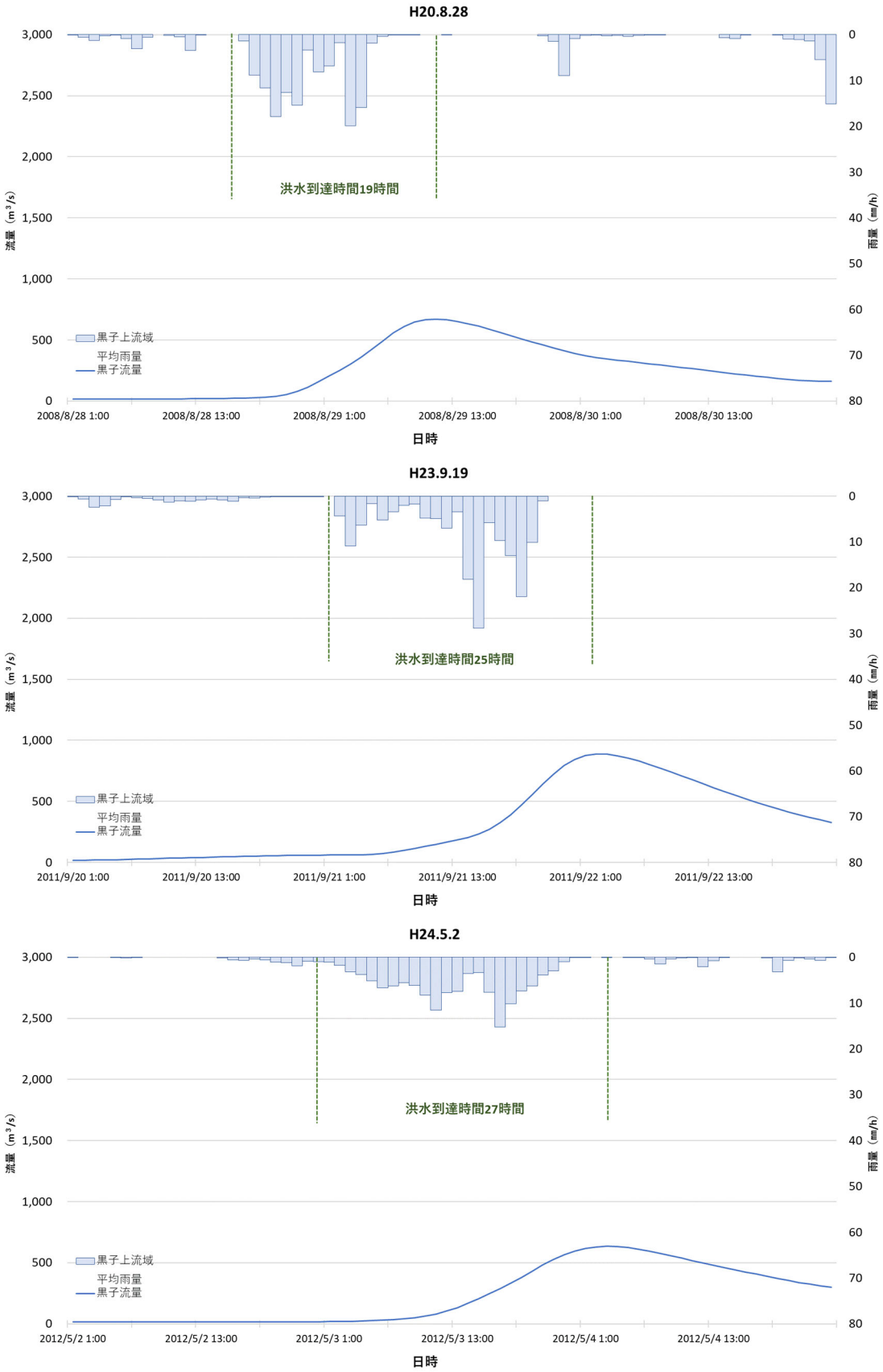



図 1.209　Kinematic Wave 法による洪水到達時間

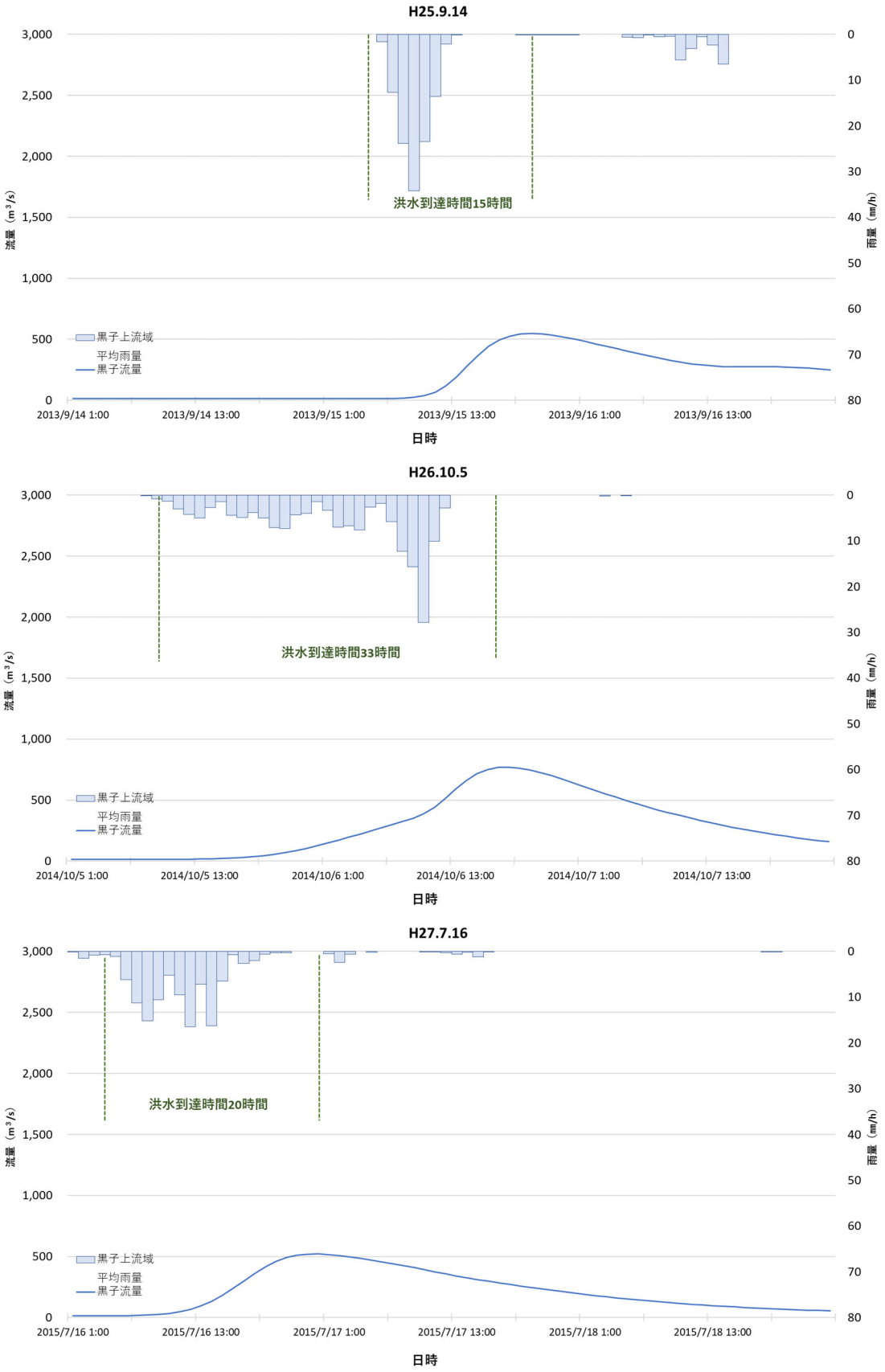



図 1.210　Kinematic Wave 法による洪水到達時間

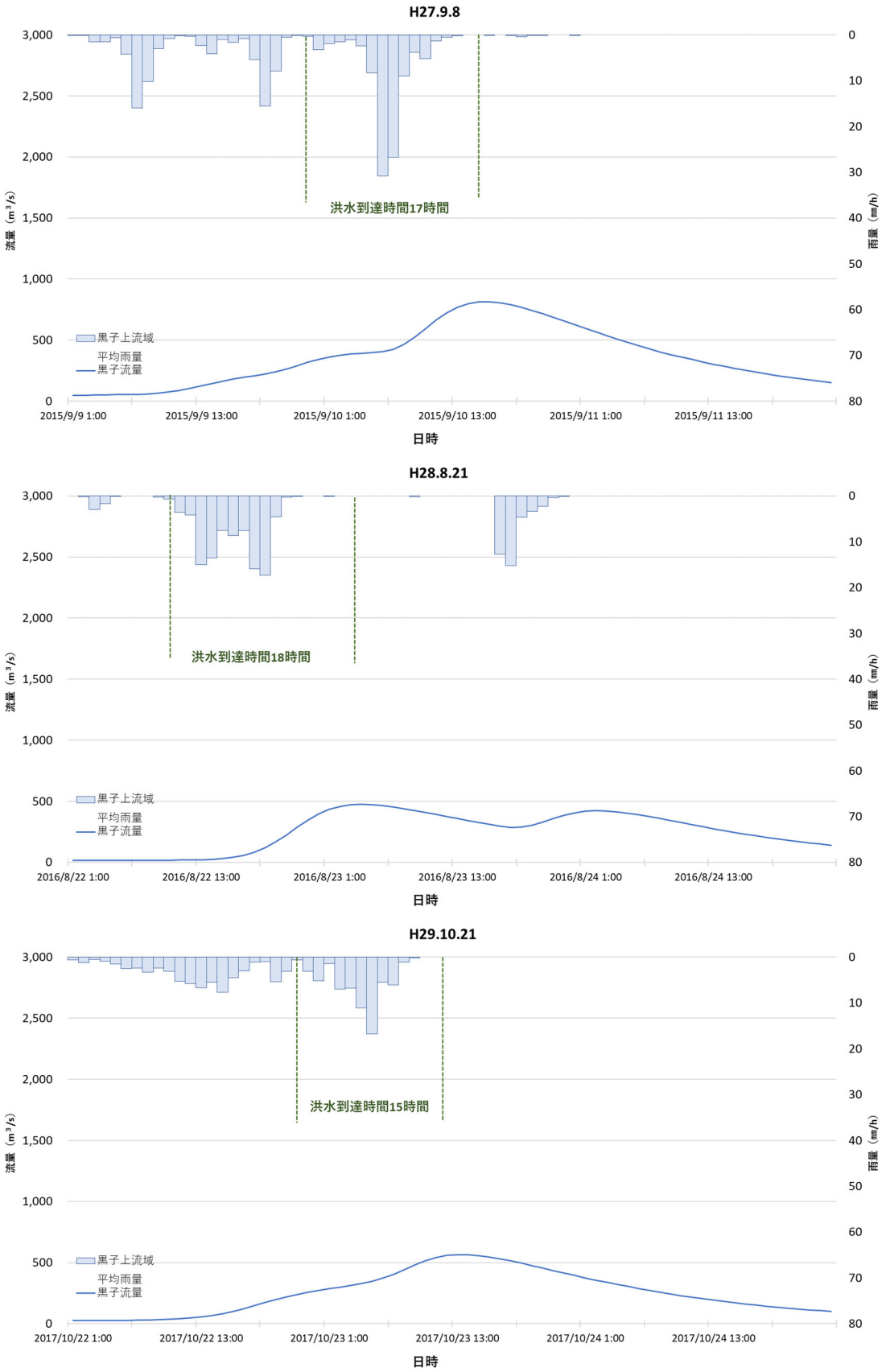



図 1.211　Kinematic Wave 法による洪水到達時間

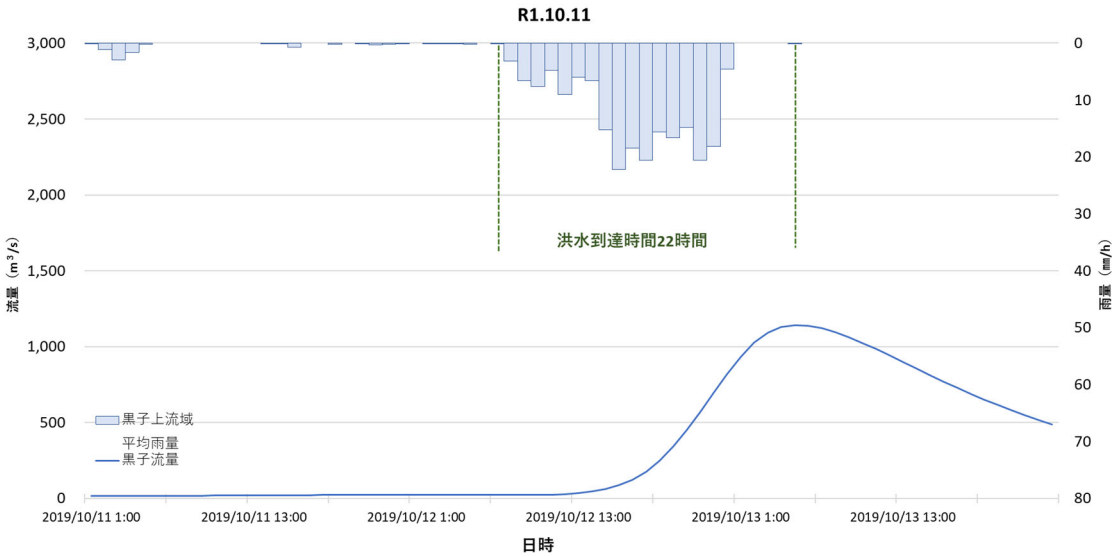



図 1.212　Kinematic Wave 法による洪水到達時間

### 3)　ピーク流量と短時間雨量の相関

昭和 11 年（1936 年）から令和 2 年（2020 年）までの 85 年間で基準地点黒子上流域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（1、2、3、6、9、12、18、24、30、36、48 時間雨量）との相関関係の整理を行った。

その結果、基準地点黒子では 24 時間程度において、ピーク流量と短時間雨量の相関が大きく、その時間以降では有意な差は見られない。この検討結果を図 1.213 に示す。また、定義①（ピーク流量生起時刻前で最大となる短時間雨量）によるピーク流量と短時間雨量の相関図を図 1.214 に示し、定義②（ピーク流量生起時刻から遡る短時間雨量）によるピーク流量と短時間雨量の相関図を図 1.215 に示す。

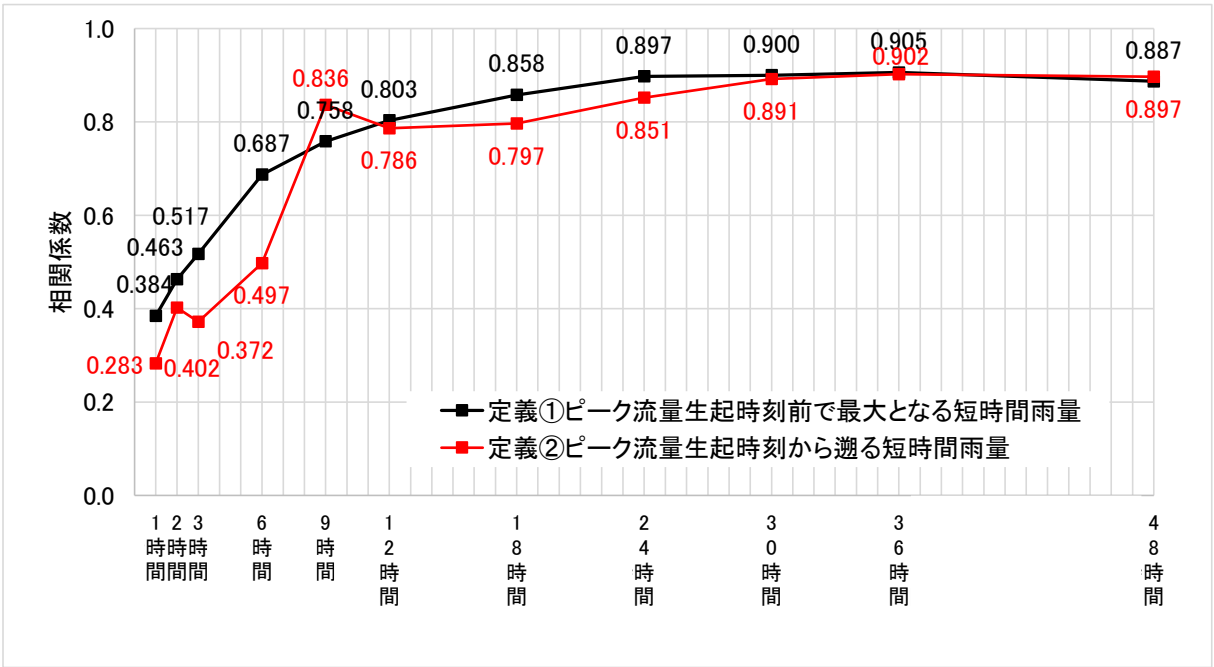



図 1.213　ピーク流量と相関の高い短時間雨量

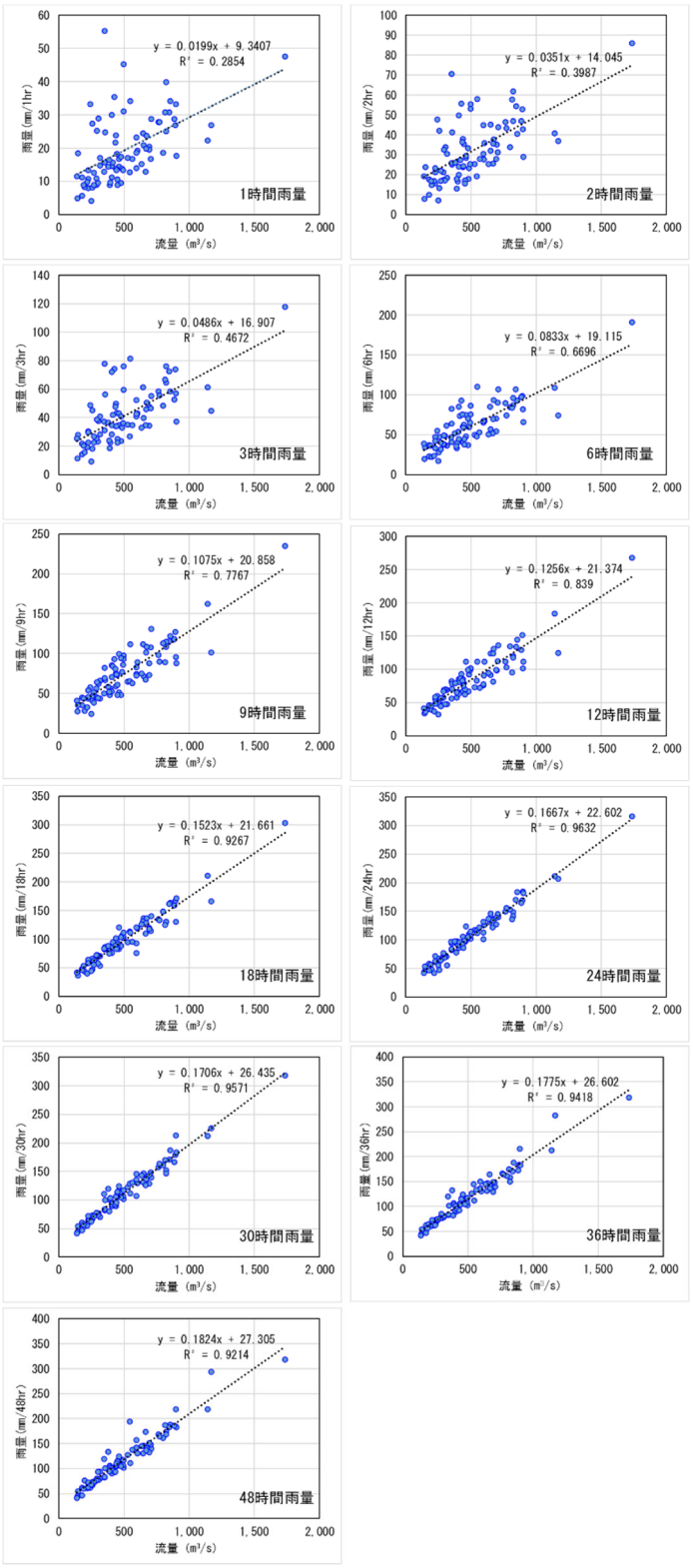



図 1.214　ピーク流量と流域平均時間雨量の相関図【定義①】

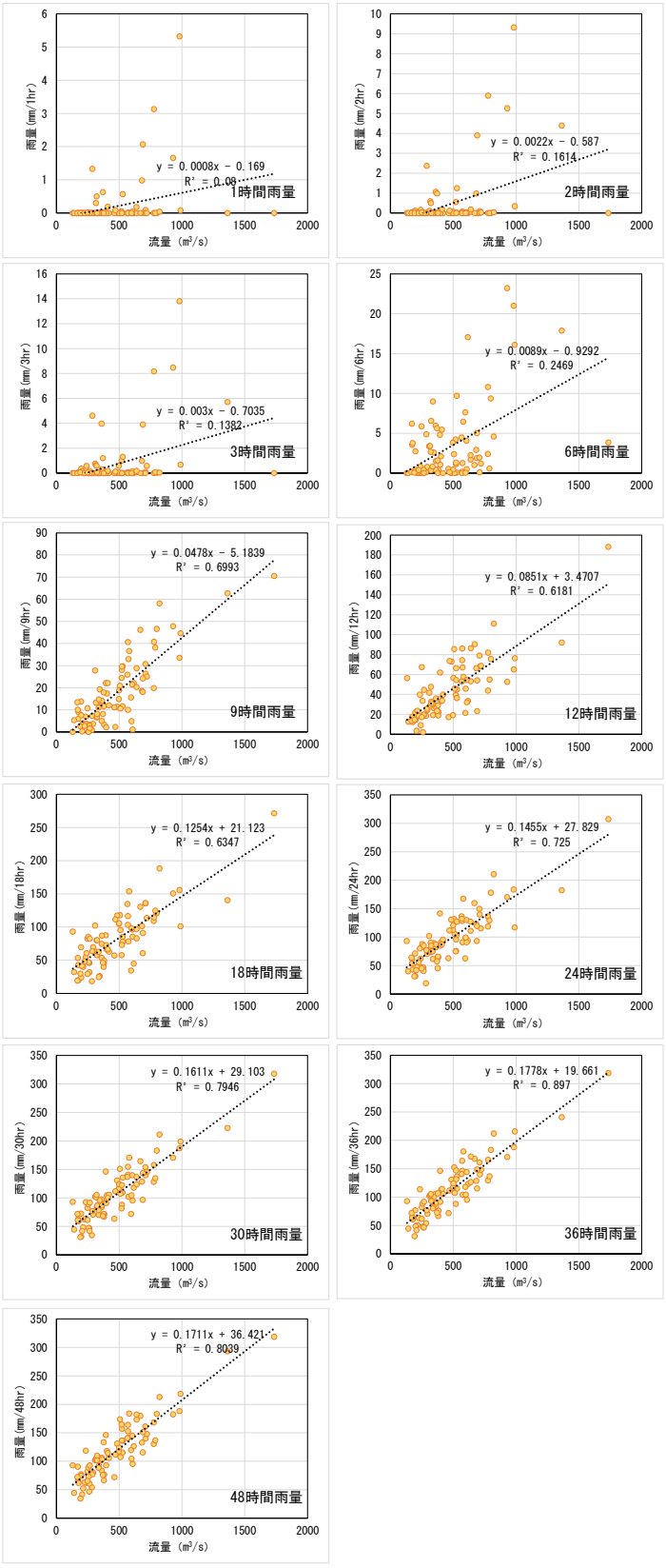



図 1.215　ピーク流量と流域平均時間雨量の相関図【定義②】

### 4)　強い降雨強度の継続時間

強い降雨強度（5 mm/h 及び 10 mm/h）の継続時間を整理した。対象洪水は、基準地点黒子における氾濫注意水位相当の実績流量 450 $m^3/s$ 以上の 55 洪水とした。

主要洪水における降雨量 5 mm 以上の継続時間の平均値は 7 時間、降雨量 10 mm 以上の継続時間の平均値は 3 時間となり、洪水のピーク流量を形成している強い降雨強度の継続時間は 24 時間でカバー可能である。

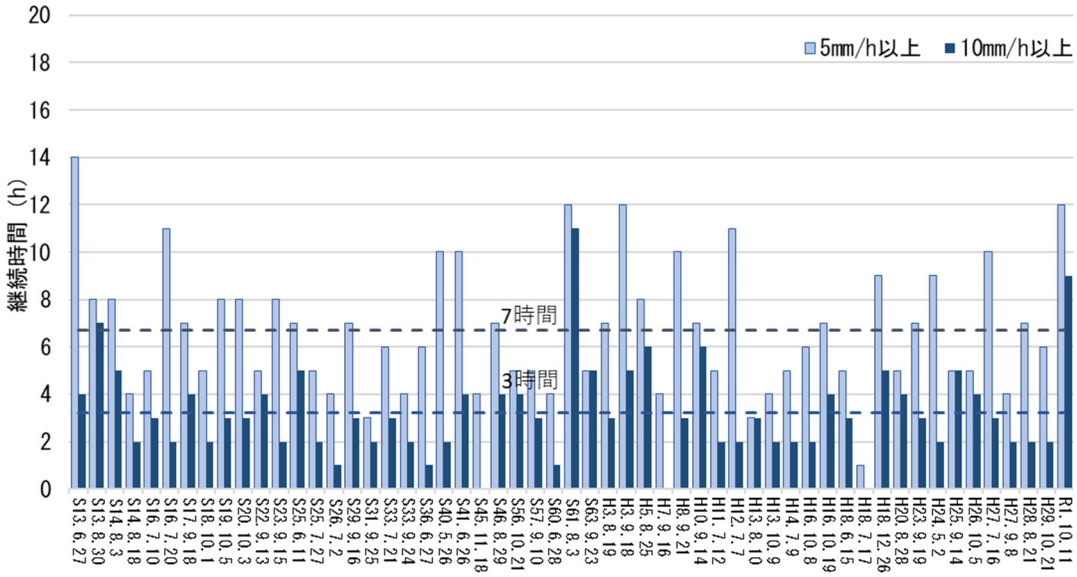



図 1.216　強い降雨強度の継続時間（黒子上流域平均雨量）

### 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 11 年（1936 年）から令和 2 年（2020 年）までの雨量資料（85 年間）を整理し、小貝川の降雨特性、ピーク流量との相関から総合的に判断して、下記理由により対象降雨の降雨継続時間は 24 時間と設定した。

- 洪水到達時間の検討において、Kinematic Wave 法 14～41 時間（平均 23 時間）、角屋式は 12～20 時間（平均 16 時間）となる。
- ピーク流量と相関の高い短時間雨量は 24 時間程度において実績ピーク流量との相関が大きく、24 時間以降では有意な差は見られない。
- 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 24 時間で洪水を網羅した。

## 1-38　対象降雨の降雨量の設定（小貝川）

雨量標本に関しては、時間雨量データが存在する昭和11年（1936年）からとし、また、気候変動による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平成22年（2010年）までとし、雨量標本の一覧を表1.77に示す。

昭和11年（1936年）から平成22年（2010年）までの75年間の年最大24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た1/100対象降雨の降雨量を基準地点黒子で249 mm/24 hと決定した。この結果を表1.78、図1.217に示す。

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、基準地点黒子の1/100降雨量249 mm/24 hに降雨量変化倍率1.1倍を乗じて得られた274 mm/24 hを採用し、表1.79にまとめる。

表 1.77　年最大 24 時間雨量一覧

| No | 日付 | 雨量 (mm/24h) |
|---|---|---|
| 1 | S11.9.27 | 93.0 |
| 2 | S12.8.31 | 82.4 |
| 3 | S13.6.29 | 235.8 |
| 4 | S14.8.19 | 117.1 |
| 5 | S15.8.26 | 70.6 |
| 6 | S16.7.22 | 184.6 |
| 7 | S17.9.19 | 140.4 |
| 8 | S18.10.2 | 125.9 |
| 9 | S19.10.7 | 126.8 |
| 10 | S20.10.4 | 187.5 |
| 11 | S21.10.6 | 93.1 |
| 12 | S22.9.15 | 148.5 |
| 13 | S23.9.16 | 146.1 |
| 14 | S24.8.31 | 72.7 |
| 15 | S25.6.13 | 191.4 |
| 16 | S26.7.2 | 102.1 |
| 17 | S27.6.23 | 93.6 |
| 18 | S28.7.19 | 72.2 |
| 19 | S29.9.18 | 112.6 |
| 20 | S30.7.7 | 88.7 |
| 21 | S31.9.26 | 98.3 |
| 22 | S32.7.20 | 75.1 |
| 23 | S33.7.22 | 169.3 |
| 24 | S34.8.12 | 62.8 |
| 25 | S35.7.13 | 61.6 |
| 26 | S36.6.26 | 116.6 |
| 27 | S37.6.10 | 57.7 |
| 28 | S38.7.2 | 83.8 |
| 29 | S39.8.20 | 97.6 |
| 30 | S40.5.26 | 109.7 |
| 31 | S41.6.27 | 181.6 |
| 32 | S42.9.13 | 55.0 |
| 33 | S43.5.28 | 87.0 |
| 34 | S44.10.25 | 44.5 |
| 35 | S45.11.19 | 104.0 |
| 36 | S46.8.31 | 131.3 |
| 37 | S47.9.16 | 68.9 |
| 38 | S48.6.20 | 53.4 |

| No | 日付 | 雨量 (mm/24h) |
|---|---|---|
| 39 | S49.9.1 | 103.7 |
| 40 | S50.7.4 | 77.1 |
| 41 | S51.6.4 | 96.6 |
| 42 | S52.8.15 | 47.9 |
| 43 | S53.5.18 | 66.8 |
| 44 | S54.10.18 | 105.8 |
| 45 | S55.7.7 | 46.7 |
| 46 | S56.10.22 | 130.9 |
| 47 | S57.9.11 | 141.7 |
| 48 | S58.9.28 | 85.9 |
| 49 | S59.5.31 | 41.9 |
| 50 | S60.6.30 | 95.5 |
| 51 | S61.8.4 | 316.3 |
| 52 | S62.8.13 | 49.1 |
| 53 | S63.9.25 | 101.0 |
| 54 | H1.8.26 | 64.1 |
| 55 | H2.8.9 | 90.2 |
| 56 | H3.9.18 | 153.0 |
| 57 | H4.10.8 | 71.6 |
| 58 | H5.8.26 | 144.5 |
| 59 | H6.8.21 | 42.0 |
| 60 | H7.9.16 | 98.1 |
| 61 | H8.9.21 | 107.3 |
| 62 | H9.5.24 | 95.5 |
| 63 | H10.9.15 | 136.7 |
| 64 | H11.7.13 | 138.4 |
| 65 | H12.7.7 | 109.9 |
| 66 | H13.10.10 | 132.3 |
| 67 | H14.7.10 | 122.1 |
| 68 | H15.8.14 | 64.6 |
| 69 | H16.10.20 | 149.6 |
| 70 | H17.7.4 | 56.0 |
| 71 | H18.12.26 | 123.6 |
| 72 | H19.9.6 | 77.8 |
| 73 | H20.8.28 | 134.0 |
| 74 | H21.10.7 | 91.8 |
| 75 | H22.9.27 | 85.8 |

表 1.78　基準地点黒子　24 時間雨量　1/100 確率計算結果

| 項　目 | | 小貝川 | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 指数分布 | ｸﾞﾝﾍﾞﾙ分布 | SQRT-ET分布 | GEV分布 | 対数正規分布 | LP3分布 | 対数正規分布 | 対数正規分布 | 対数正規分布 | 対数正規分布 | 対数正規分布 | 対数正規分布 |
| | | Exp | Gumbel<br>L積率法 | SqrtEt<br>最尤法 | Gev<br>L積率法 | LP3Rs<br>積率法 | LogP3<br>積率法 | Iwai<br>岩井法 | IshiTaka<br>石原高瀬法 | LN3Q<br>ｸｳｫﾝﾀｲﾙ法 | LN3PM<br>PWM積率法 | LN2LM<br>L積率法 | LN2PM<br>PWM積率法 |
| 確率規模 | 1/2 | 90.7 | 98.4 | 95.1 | 97.2 | — | — | 98.3 | — | — | — | 97 | 97 |
| | 1/5 | 135.9 | 138.7 | 137.9 | 137.5 | — | — | 138.1 | — | — | — | 138 | 138 |
| | 1/10 | 170.1 | 165.4 | 169.9 | 165.3 | — | — | 164.2 | — | — | — | 166 | 166 |
| | 1/30 | 224.3 | 205.7 | 224.0 | 209.1 | — | — | 203.3 | — | — | — | 209 | 208 |
| | 1/50 | 249.5 | 224.2 | 250.9 | 229.9 | — | — | 221.1 | — | — | — | 229 | 228 |
| | 1/80 | 272.7 | 241.0 | 276.8 | 249.3 | — | — | 237.5 | — | — | — | 248 | 247 |
| | 1/100 | 283.7 | 249.0 | 289.4 | 258.6 | — | — | 245.2 | — | — | — | 257 | 256 |
| | 1/150 | 303.7 | 263.5 | 313.0 | 275.8 | — | — | 259.4 | — | — | — | 273 | 272 |
| | 1/200 | 317.9 | 273.8 | 330.2 | 288.2 | — | — | 269.5 | — | — | — | 285 | 284 |
| | 1/400 | 352.1 | 298.5 | 373.5 | 318.6 | — | — | 293.9 | — | — | — | 314 | 312 |
| | 1/500 | 373.7 | 314.1 | 402.0 | 338.4 | — | — | 309.5 | — | — | — | 332.7 | 330.6 |
| SLSC | | 0.039 | 0.036 | 0.024 | 0.027 | — | — | 0.024 | — | — | — | 0.021 | 0.021 |
| 推定誤差 | | 25.500 | 21.300 | 22.100 | 41.200 | — | — | 36.700 | — | — | — | 24.100 | 24.000 |

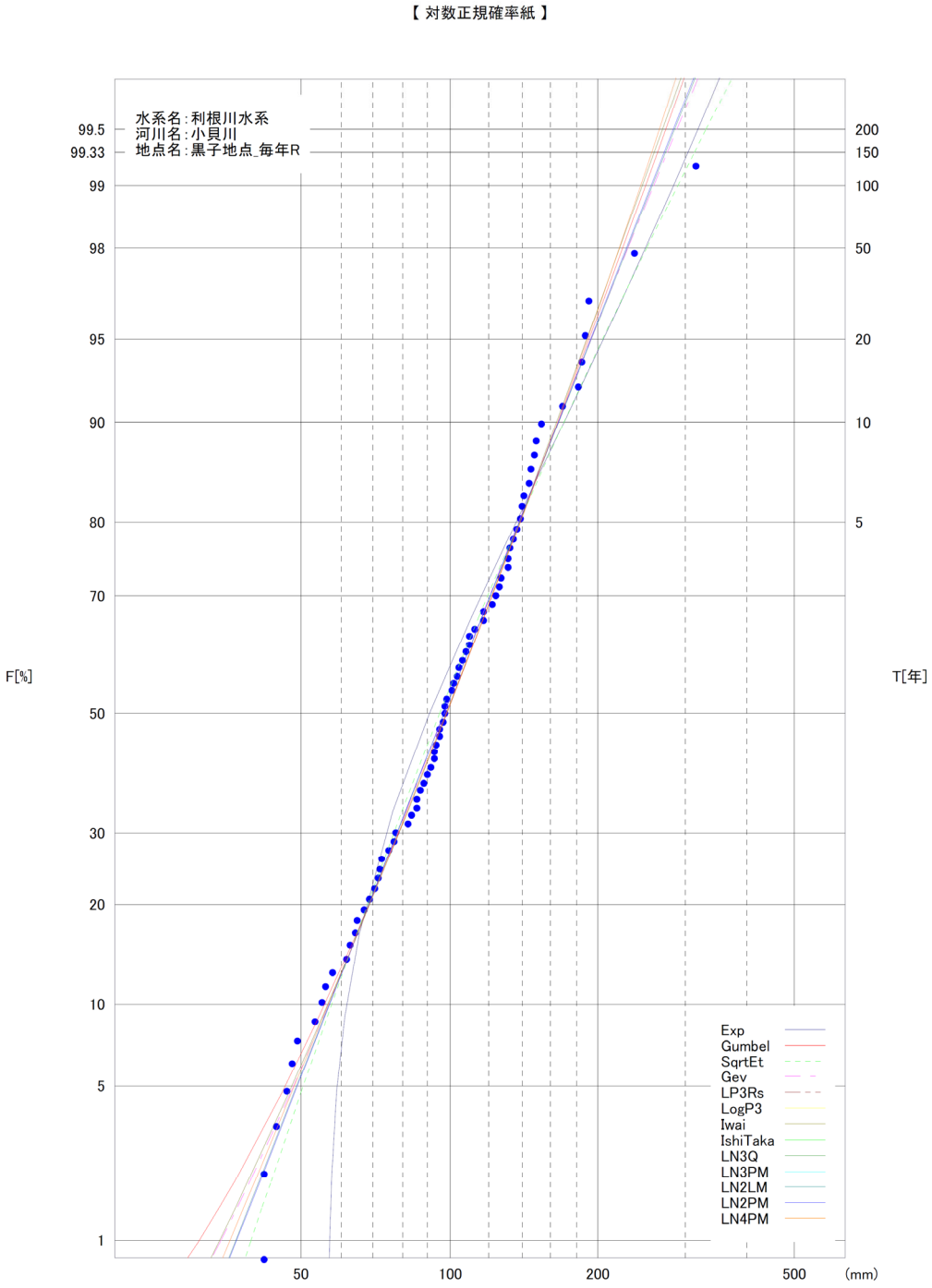



図 1.217　雨量確率計算結果

表 1.79　1/100 確率規模降雨量（基準地点黒子）

| 項目 | 黒子 | 備考 |
|---|---|---|
| 1/100 確率雨量<br>（S11～H22 標本） | 249 mm/24h | 確率手法 SLSC≦0.04<br>Jackknife 推定誤差最小 |
| 気候変動を<br>考慮した降雨量 | 274 mm/24h | 249 mm/24 h<br>×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。

### (1) Mann-Kendall 検定（定常/非定常性の確認）

昭和 11 年（1936 年）から平成 22 年（2010 年）までの雨量データに一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したが、非定常性は確認されなかったため、近年降雨までデータ延伸を実施した。

### (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た場合の Gumbel 分布による確率雨量を算定した。その結果、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黒子 1/100 確率雨量は 253 mm/24 h となりデータ延伸による確率雨量に大きな差がないことを確認した。

## 1-39　雨量確率法による検討（小貝川）

### 1)　主要降雨波形の設定

主要降雨波形は、令和 3 年（2021 年）までの基準地点黒子における 24 時間雨量のうち、表 1.78 の年超過確率 1/5（139 mm/24 h）を超過し、引伸ばし率が 2 倍以下（1.1 倍する前の確率雨量）となる 18 洪水を選定した。

選定した洪水を対象に、基準地点黒子の 1/100 確率 24 時間雨量 274 mm（249 mm×1.1）となるよう引伸ばし降雨波形を作成し流出計算を行ったところ、基準地点黒子におけるピーク流量は 1,250 $m^3/s$～1,600 $m^3/s$ となった（表 1.80）。

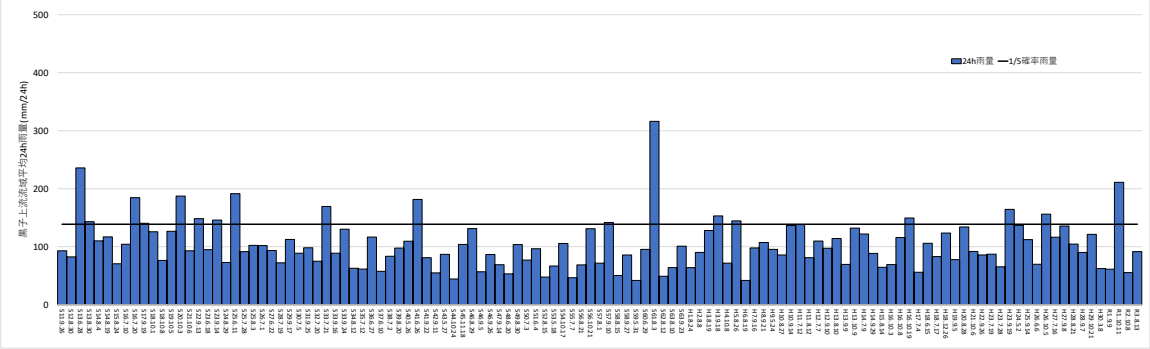


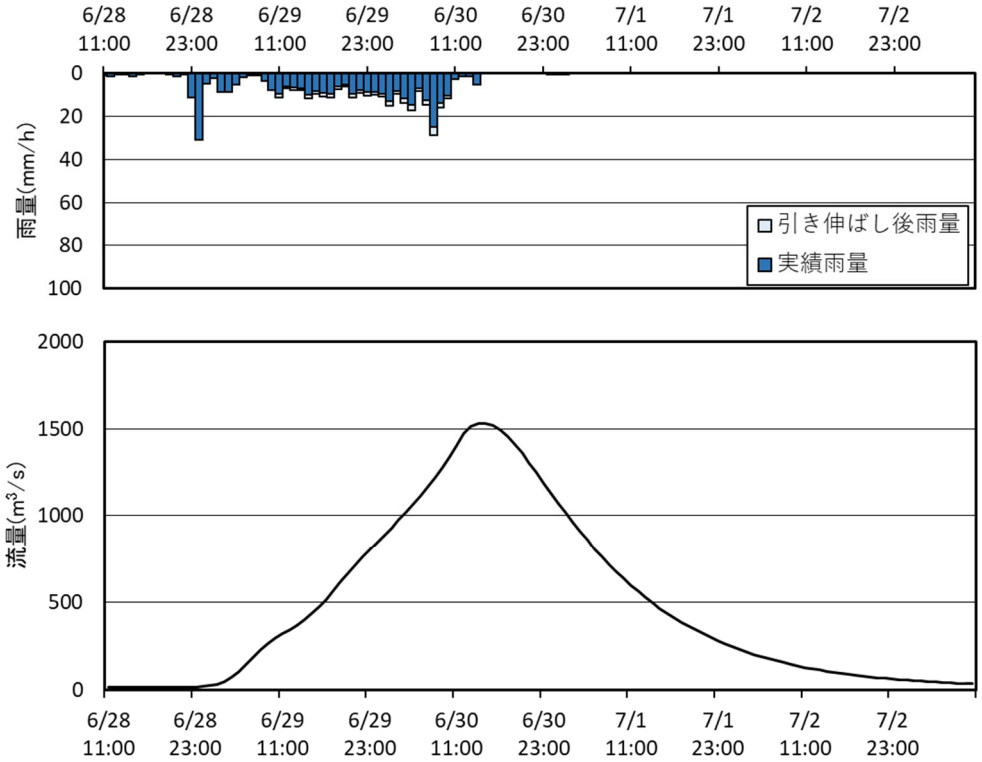

図 1.218　対象洪水の選定（基準地点黒子）

表 1.80　選定洪水のピーク流量一覧（基準地点黒子）

| No | 洪水名 | 黒子地点 | 計画規模降雨量×1.1（mm/24h） | 引伸ばし率 | 黒子地点 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 24時間雨量（mm） | | | ピーク流量（$m^3/s$） |
| 1 | S13.6.28 | 235.8 | 274 | 1.16 | 1,550 |
| 2 | S13.8.30 | 143.2 | 274 | 1.91 | 1,600 |
| 3 | S16.7.20 | 184.6 | 274 | 1.48 | 1,350 |
| 4 | S17.9.19 | 140.4 | 274 | 1.95 | 1,550 |
| 5 | S20.10.3 | 187.5 | 274 | 1.46 | 1,300 |
| 6 | S22.9.13 | 148.5 | 274 | 1.84 | 1,550 |
| 7 | S23.9.14 | 146.1 | 274 | 1.87 | 1,350 |
| 8 | S25.6.11 | 191.4 | 274 | 1.43 | 1,250 |
| 9 | S33.7.21 | 169.3 | 274 | 1.62 | 1,500 |
| 10 | S41.6.26 | 181.6 | 274 | 1.51 | 1,450 |
| 11 | S57.9.10 | 141.7 | 274 | 1.93 | 1,600 |
| 12 | S61.8.3 | 316.3 | 274 | 0.87 | 1,500 |
| 13 | H3.9.18 | 153.0 | 274 | 1.79 | 1,550 |
| 14 | H5.8.26 | 144.5 | 274 | 1.90 | 1,450 |
| 15 | H16.10.19 | 149.6 | 274 | 1.83 | 1,500 |
| 16 | H23.9.19 | 164.4 | 274 | 1.67 | 1,550 |
| 17 | H26.10.5 | 156.0 | 274 | 1.76 | 1,450 |
| 18 | R1.10.11 | 211.1 | 274 | 1.30 | 1,550 |

※50 $m^3/s$ の端数については、切り上げるものとした
※引伸ばし率：「24 時間雨量(mm)」と「1/100 確率雨量×1.1」との比率
※計算流量：流出計算モデルを用いて実績降雨から算出した流量

S13.6.28




S13.8.30

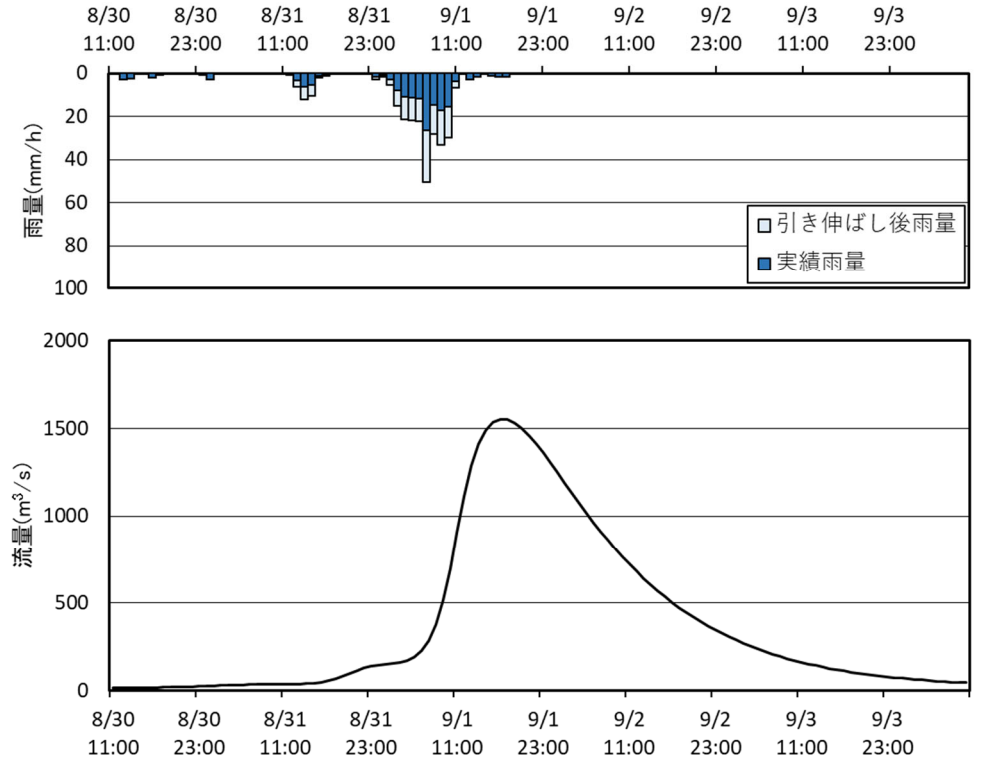
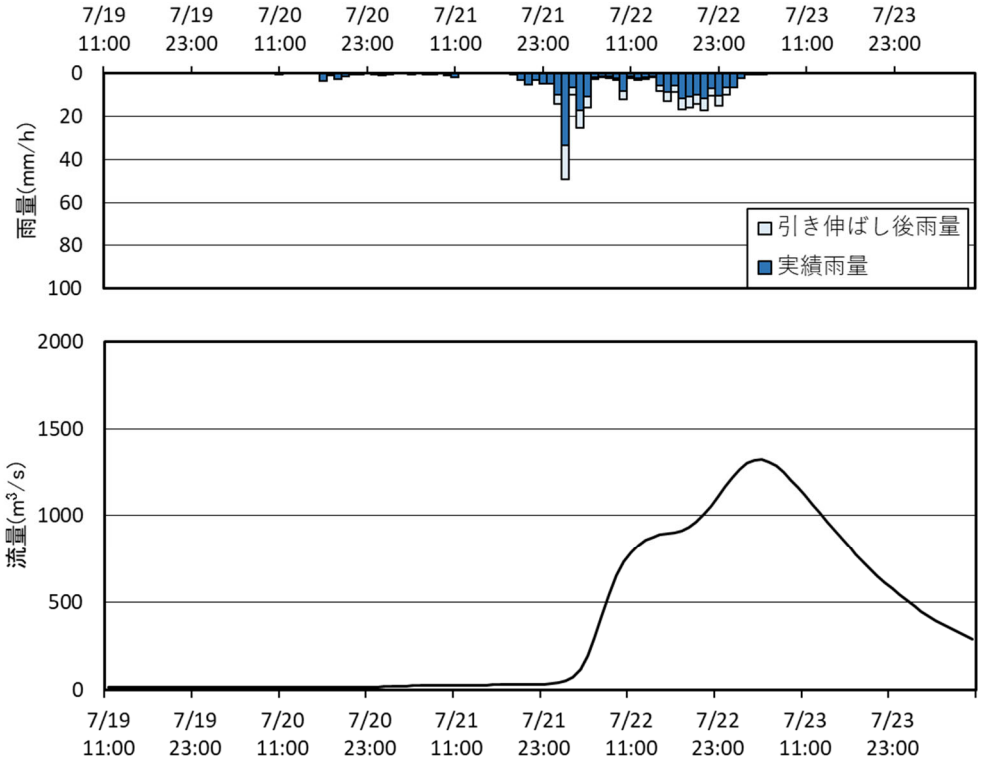



図 1.219　主要降雨波形のハイドログラフ（基準地点黒子）

S16.7.20




S17.9.19

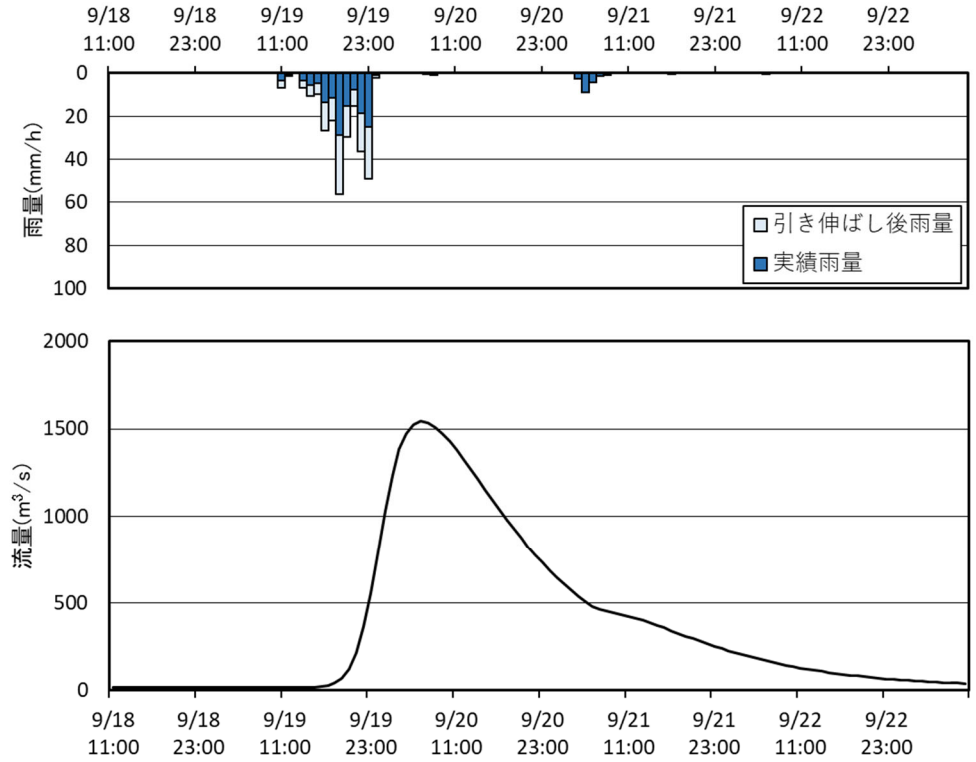
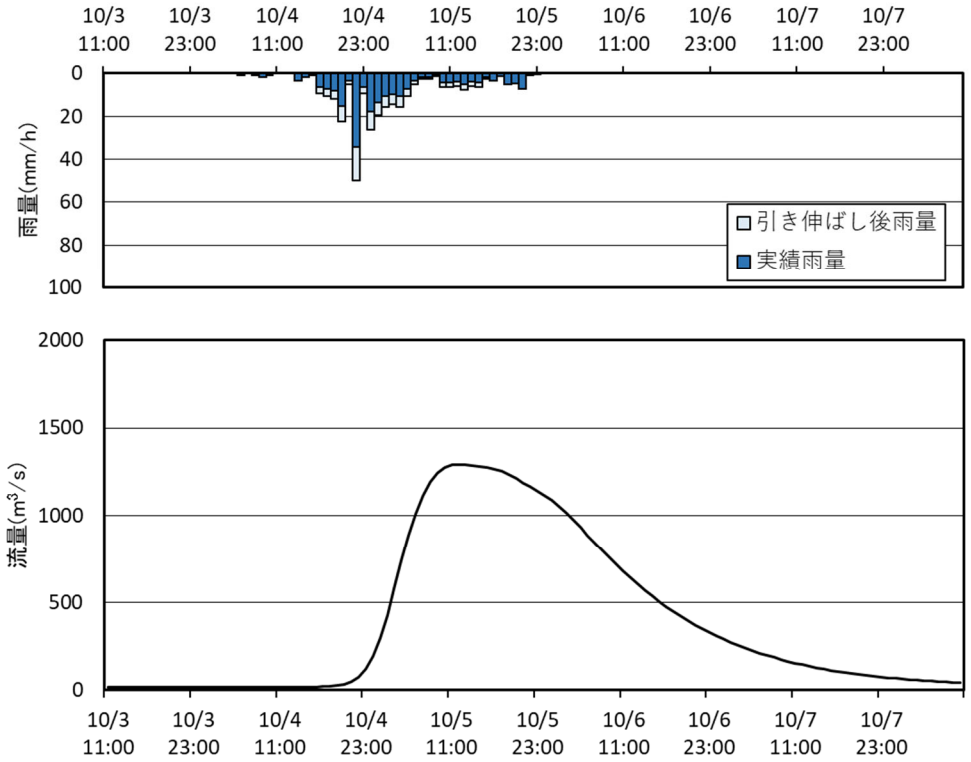



図 1.220　主要降雨波形のハイドログラフ（基準地点黒子）

S20.10.3




S22.9.13

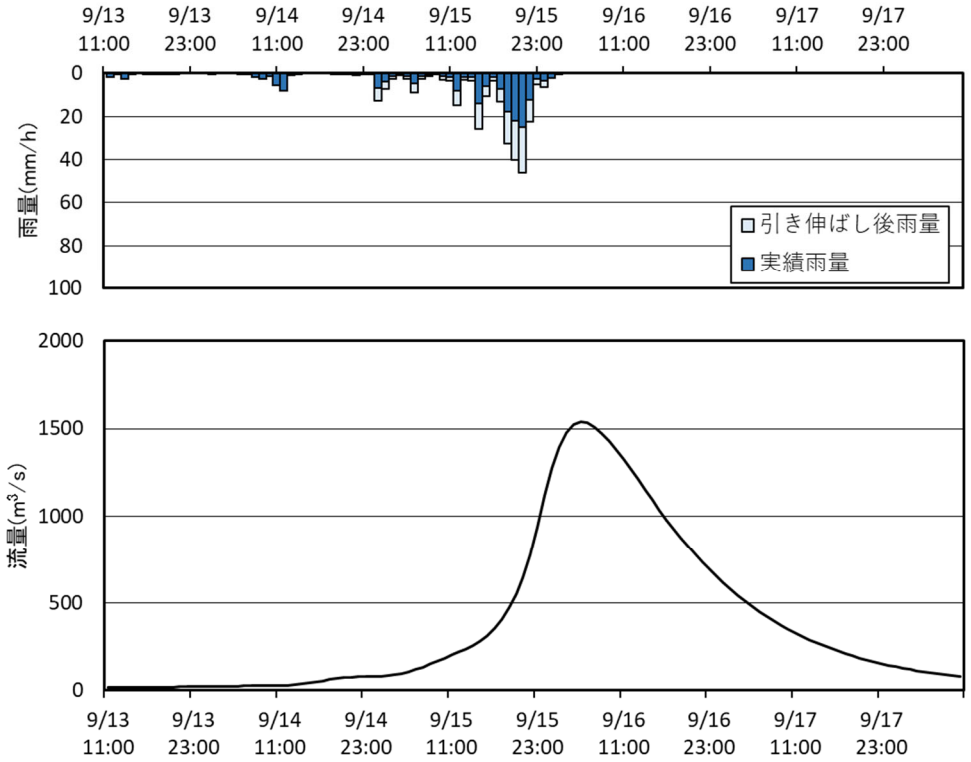
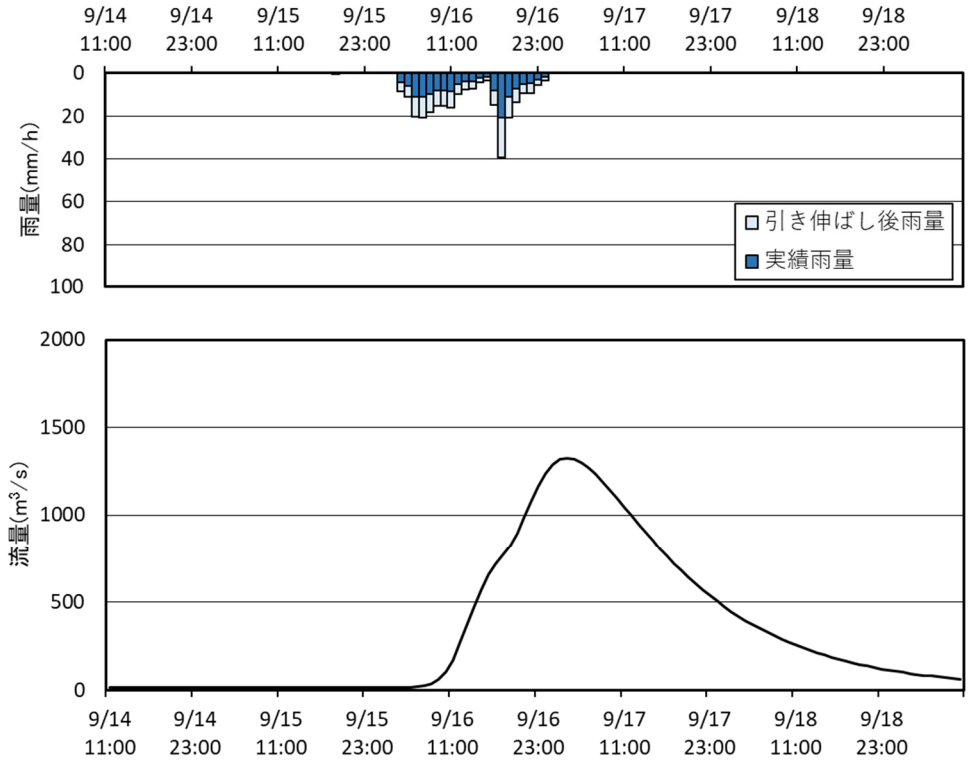



図 1.221　主要降雨波形のハイドログラフ（基準地点黒子）

S23.9.14




S25.6.11

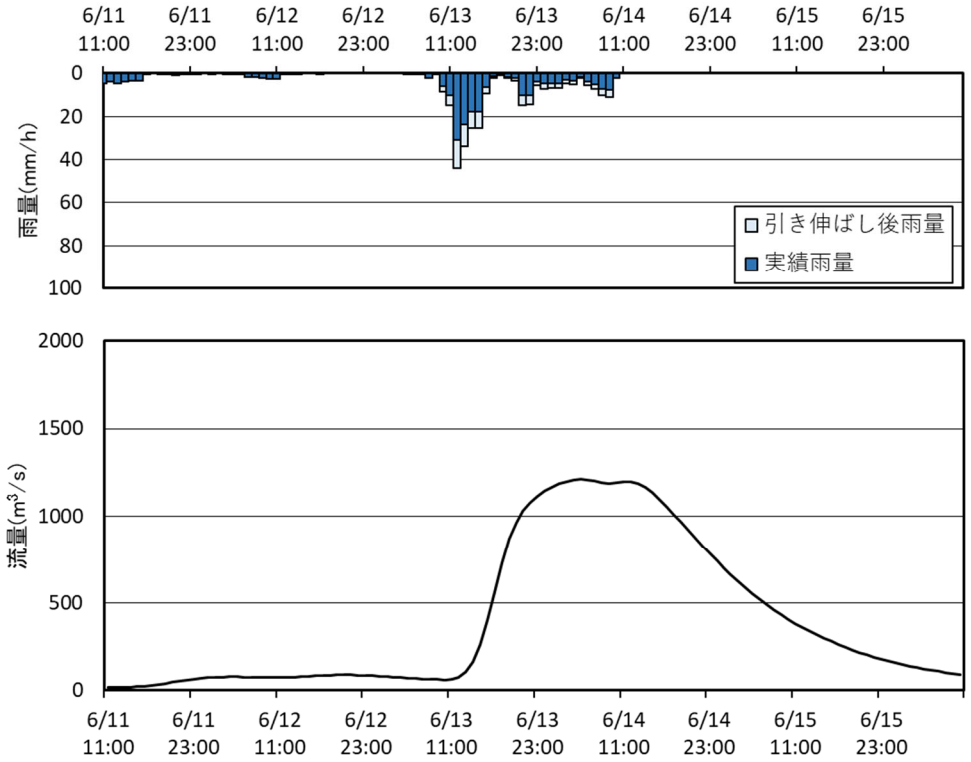
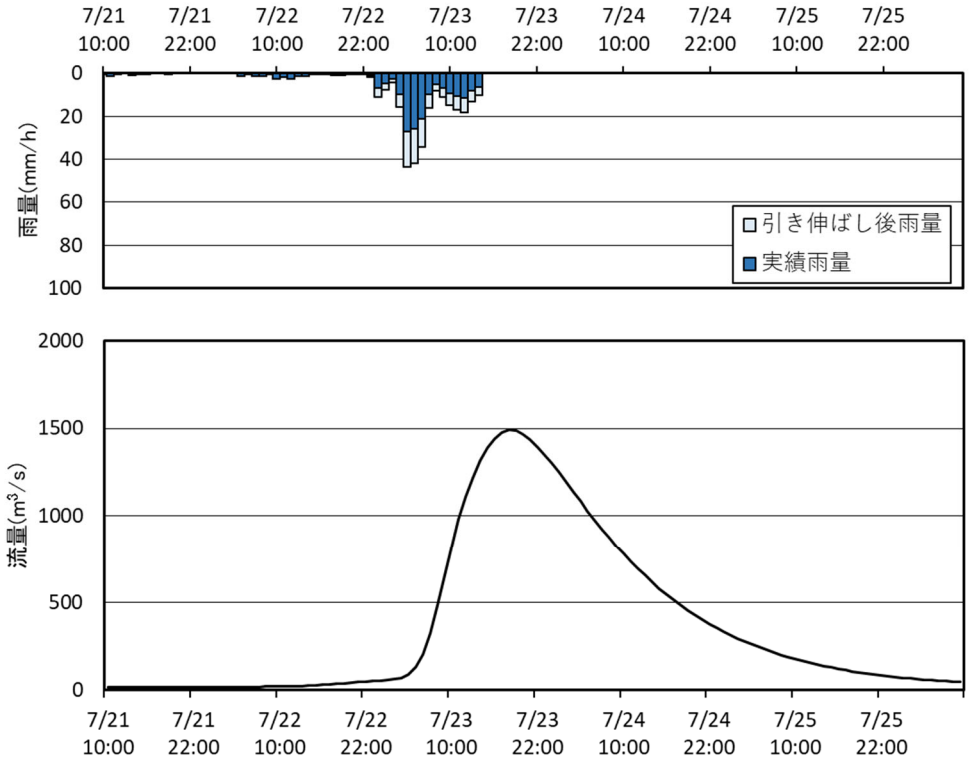



図 1.222　主要降雨波形のハイドログラフ（基準地点黒子）

S33.7.21




S41.6.26

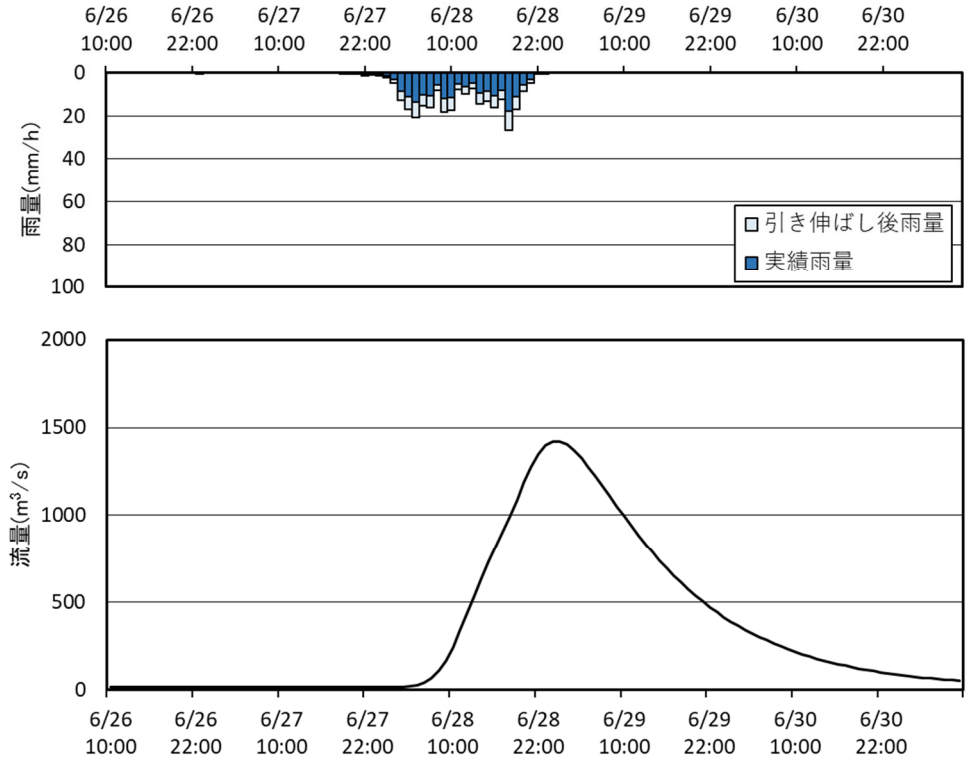
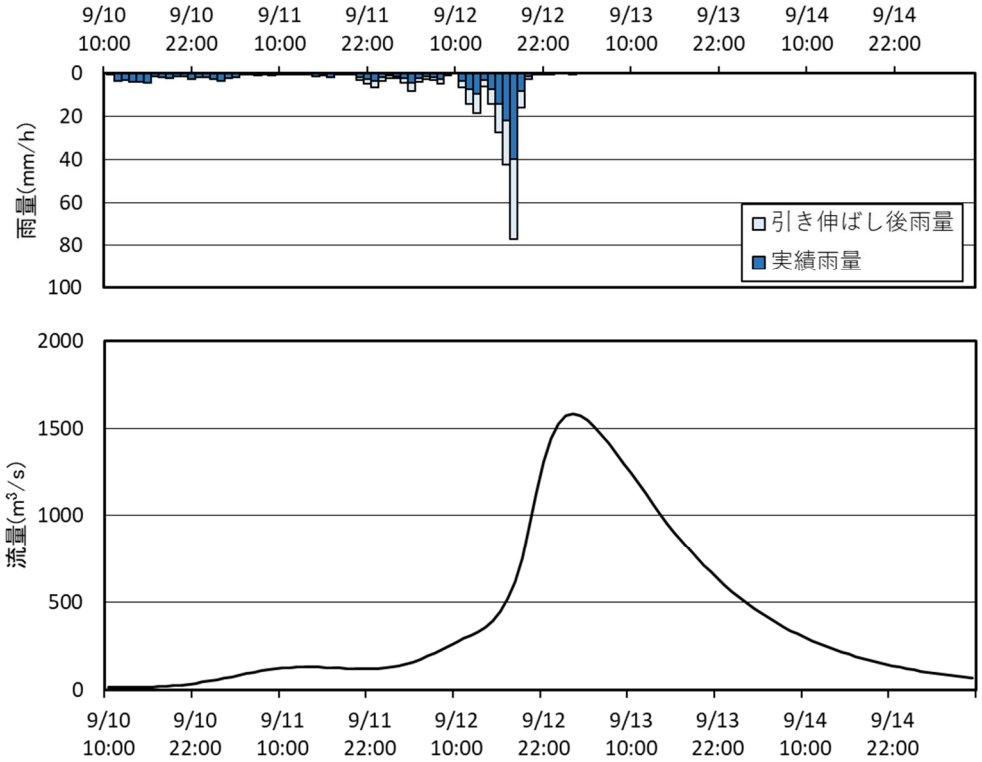



図 1.223　主要降雨波形のハイドログラフ（基準地点黒子）

S57.9.10




S61.8.3

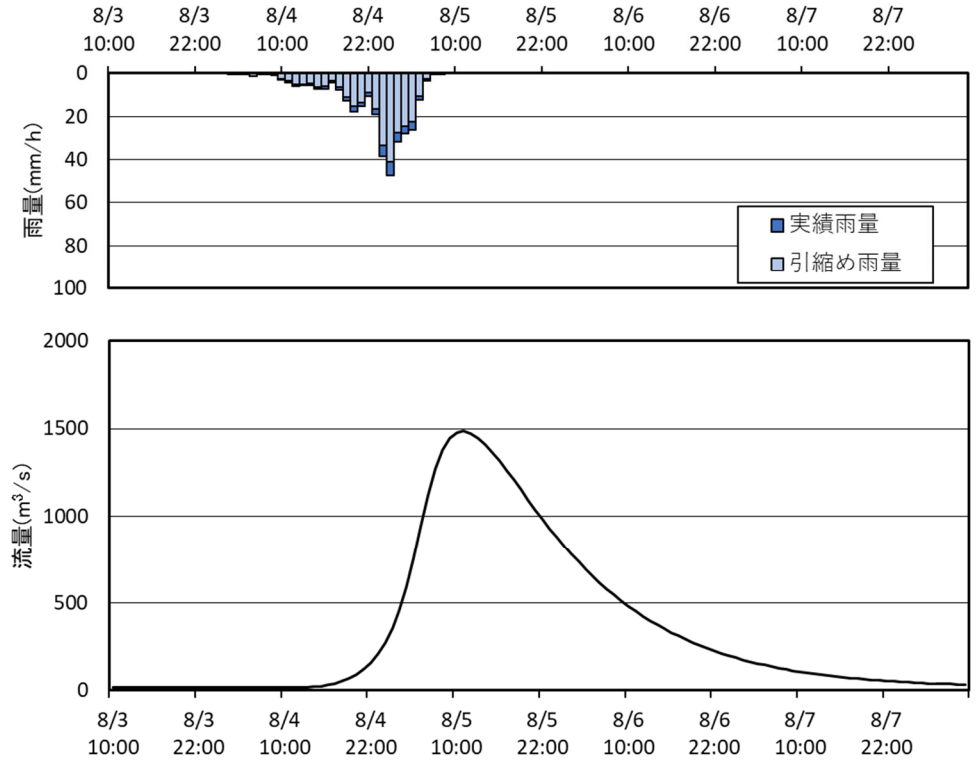
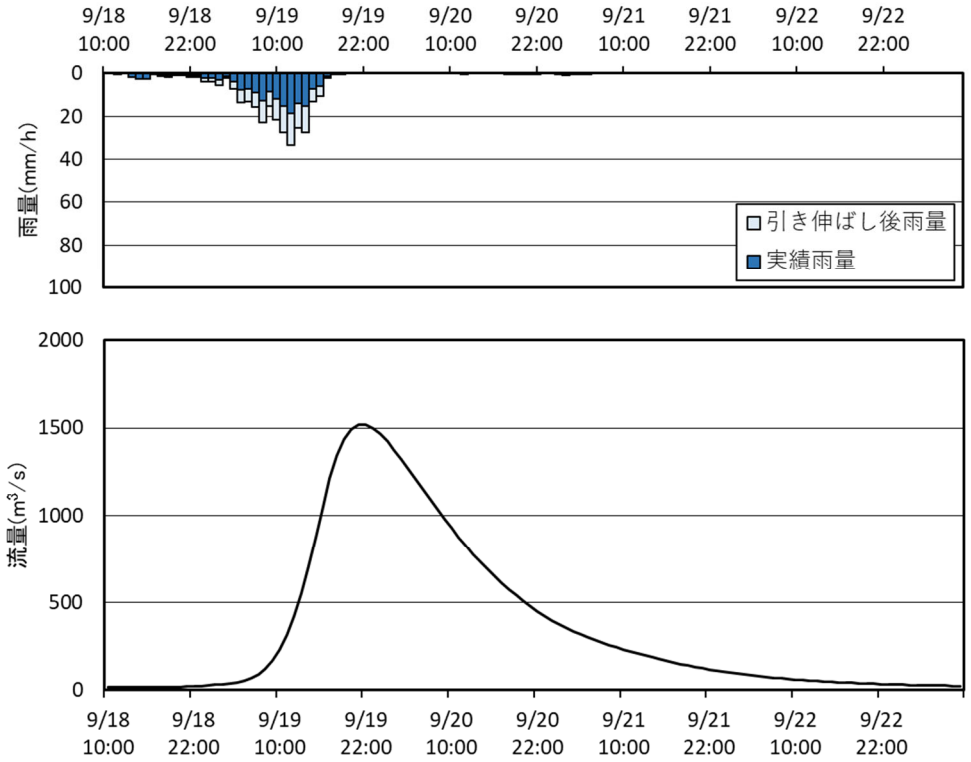



図 1.224　主要降雨波形のハイドログラフ（基準地点黒子）

H3.9.18




H5.8.26

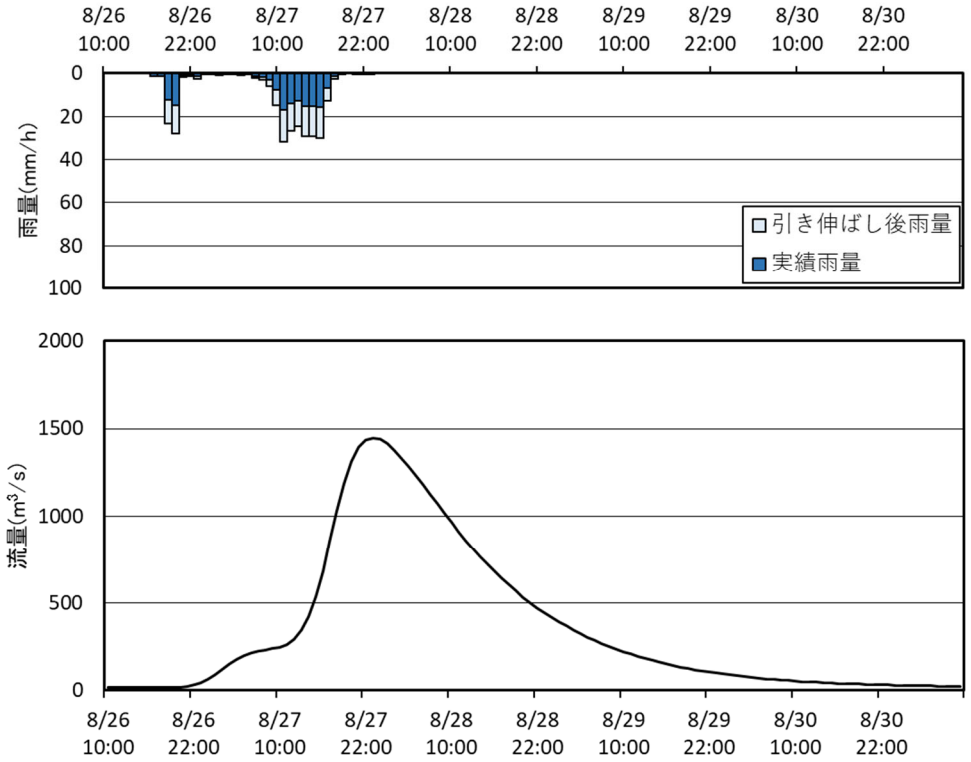
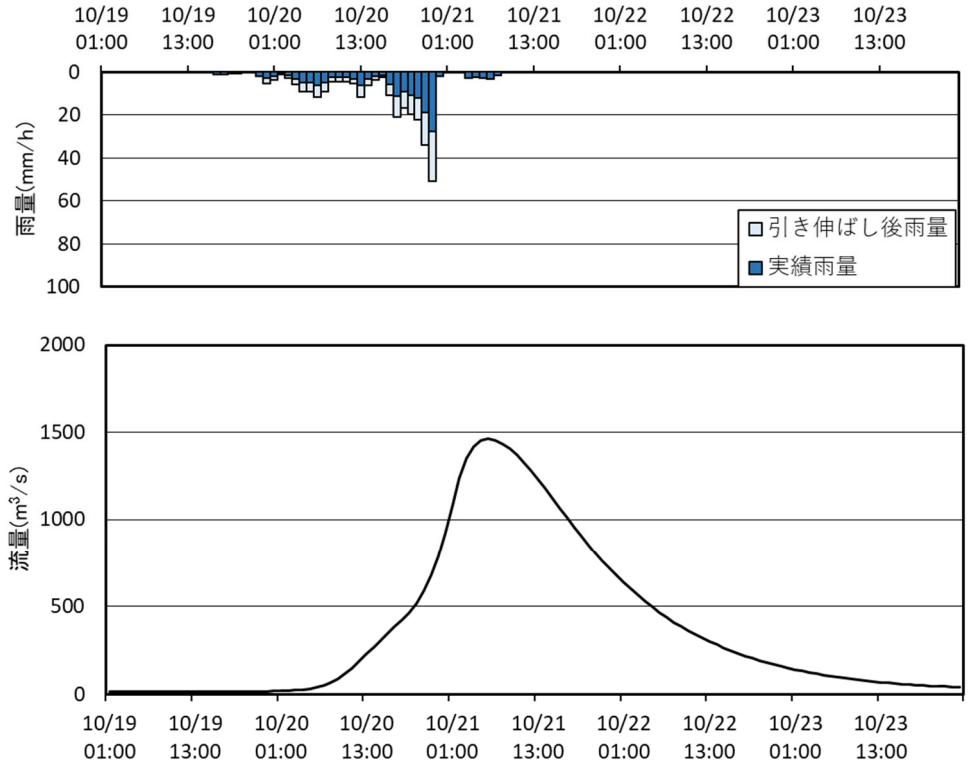



図 1.225　主要降雨波形のハイドログラフ（基準地点黒子）

H16.10.19




H23.9.19

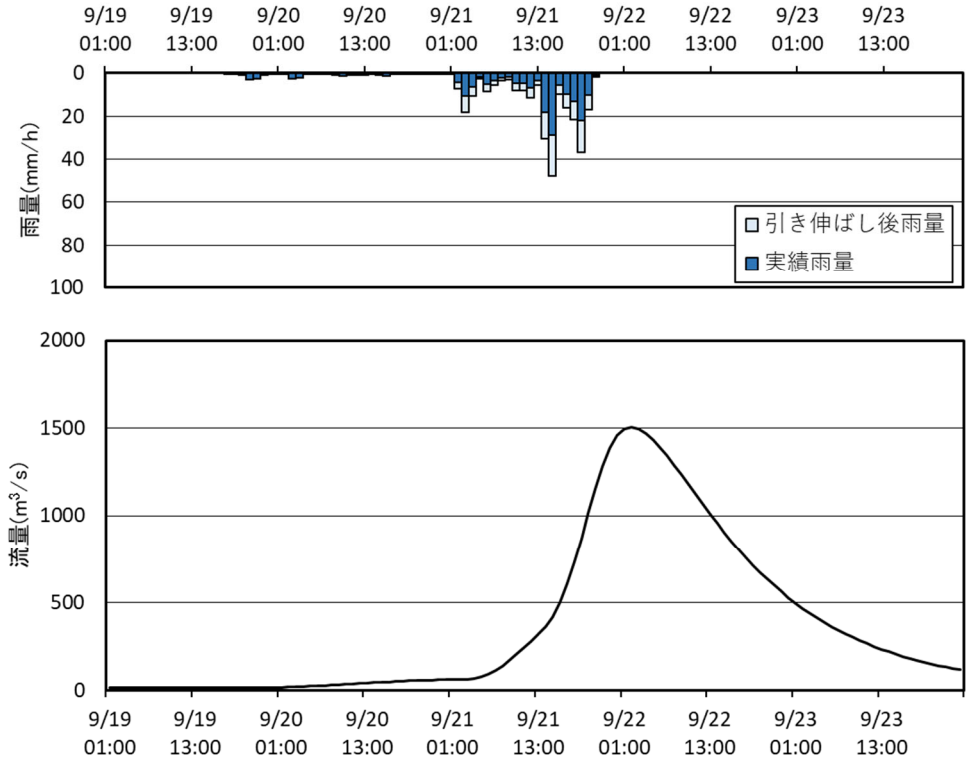
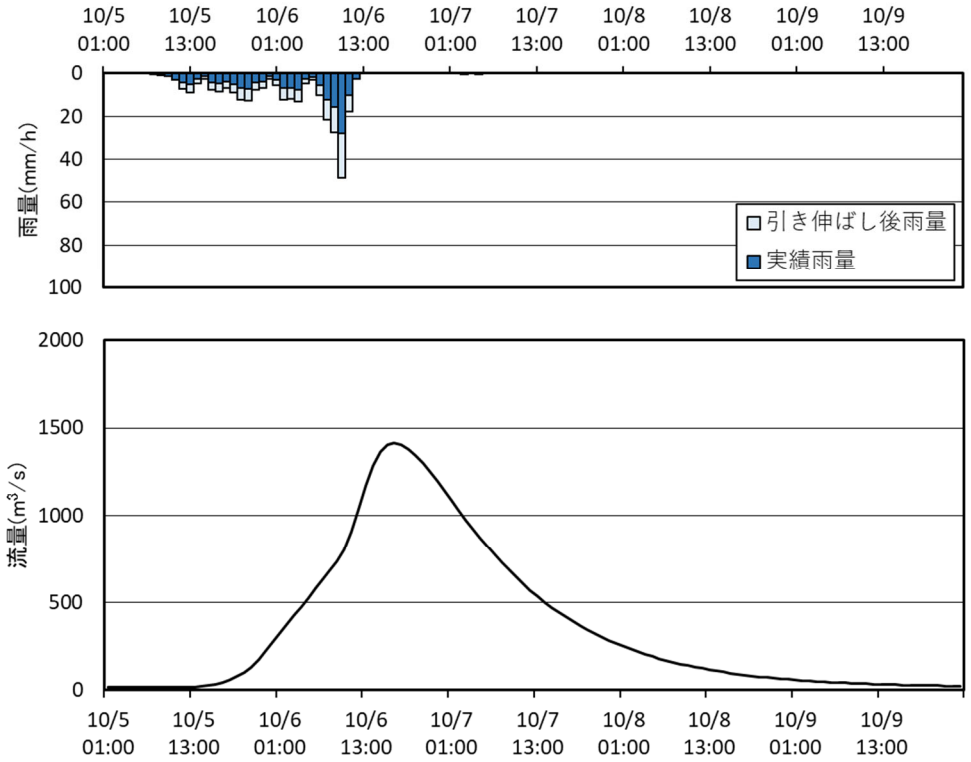



図 1.226　主要降雨波形のハイドログラフ（基準地点黒子）

H26.10.5




R1.10.11

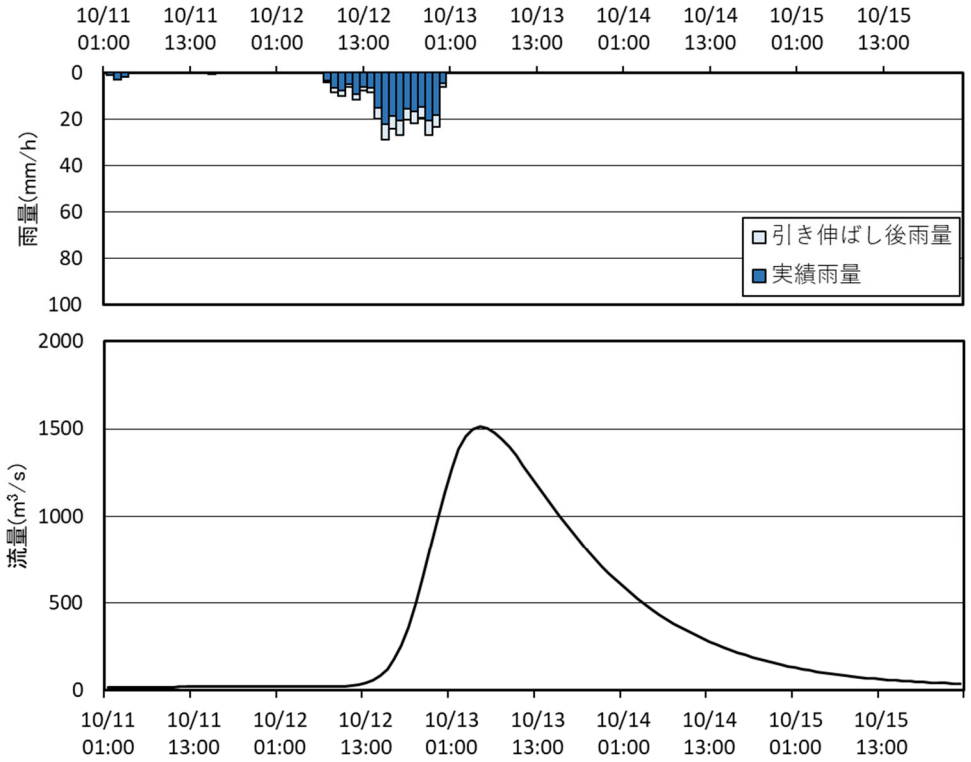



図 1.227　主要降雨波形のハイドログラフ（基準地点黒子）

## 2)　主要降雨波形の地域分布及び時間分布の検討

### (1)　　主要降雨波形の地域分布及び時間分布の検討の考え方

主要降雨波形において、「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」等を一律引伸ばしすると、引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、実績降雨波形を主要降雨波形として採用するには、確率水文量への引伸ばしによって異常な降雨になっていないか十分にチェックする必要がある。

従って、前項で選定した洪水について、引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。

### (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。

### (3)　　地域分布の評価

①　対象地域の選定

対象地域は、以下に示す主な理由により 3 流域と選定した。

A：小貝川流域

丘陵と農地が混在する小貝川流域のハイエトの確認用として選定

B：五行川流域

大部分が農地である五行川流域のハイエトの確認用として選定

C：大谷川流域

下流部の低平地で流入する大谷川流域のハイエトの確認用として選定

② 棄却基準値の設定

各対象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 11 年（1936 年）から平成 22 年（2010 年）までの各対象地域における年最大 48 時間雨量について確率計算を行い、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おける 1/500 確率雨量を採用した。

③ 地域分布の雨量評価

前項に選定した地域について、引伸ばし後雨量の異常性評価を確認する。各地域の引伸ばし後雨量及び 1/500 雨量は表 1.81 に示すとおりであり、棄却される洪水はなかった。

## 表 1.81　地域分布による引伸ばし後降雨の確率表

| 洪水名 | | 継続時間内降雨量（mm/24h） | 引伸ばし前 | | | 引伸ばし率 | 引伸ばし後 | | | 判定1/500 | | | 対象降雨 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 地域降雨量（mm） | | | | 地域降雨量（mm） | | | 地域分布 | | | |
| | | | 小貝川 | 五行川 | 大谷川 | | 小貝川 | 五行川 | 大谷川 | 小貝川 | 五行川 | 大谷川 | |
| | | | 24h | | | | 24h | | | 24h | | | |
| 1 | S13.6.28 | 235.8 | 238.0 | 235.5 | 228.5 | 1.06 | 251.3 | 248.6 | 241.3 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 2 | S13.8.30 | 143.2 | 141.0 | 143.5 | 150.7 | 1.74 | 245.2 | 249.6 | 262.1 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 3 | S16.7.20 | 184.6 | 183.6 | 184.8 | 188.2 | 1.35 | 247.6 | 249.2 | 253.8 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 4 | S17.9.19 | 140.4 | 146.0 | 139.5 | 121.5 | 1.77 | 259.0 | 247.5 | 215.6 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 5 | S20.10.3 | 187.5 | 187.5 | 187.5 | 187.6 | 1.33 | 249.0 | 249.0 | 249.1 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 6 | S22.9.13 | 148.5 | 142.3 | 149.5 | 169.2 | 1.68 | 238.6 | 250.6 | 283.8 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 7 | S23.9.14 | 146.1 | 147.2 | 149.8 | 124.5 | 1.70 | 250.9 | 255.3 | 212.2 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 8 | S25.6.11 | 191.4 | 194.5 | 183.6 | 214.3 | 1.30 | 253.2 | 239.0 | 278.9 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 9 | S33.7.21 | 169.3 | 170.7 | 167.4 | 174.6 | 1.47 | 251.0 | 246.2 | 256.7 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 10 | S41.6.26 | 181.6 | 176.6 | 174.5 | 234.9 | 1.37 | 242.2 | 239.3 | 322.1 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 11 | S57.9.10 | 141.7 | 142.0 | 147.7 | 112.7 | 1.76 | 249.5 | 259.6 | 198.1 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 12 | S61.8.3 | 316.3 | 310.2 | 314.1 | 352.3 | 0.79 | 244.2 | 247.3 | 277.4 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 13 | H3.9.18 | 153.0 | 153.5 | 153.3 | 149.2 | 1.63 | 249.9 | 249.5 | 242.8 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 14 | H5.8.26 | 144.5 | 158.9 | 134.1 | 137.0 | 1.72 | 273.8 | 231.1 | 236.2 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 15 | H16.10.19 | 149.6 | 156.3 | 140.1 | 167.1 | 1.66 | 260.0 | 233.2 | 278.0 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 16 | H23.9.19 | 164.4 | 161.5 | 174.3 | 129.9 | 1.52 | 244.6 | 264.0 | 196.8 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 17 | H26.10.5 | 156.0 | 160.4 | 146.8 | 181.2 | 1.60 | 256.0 | 234.3 | 289.1 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 18 | R1.10.11 | 211.1 | 213.7 | 217.0 | 173.0 | 1.18 | 252.0 | 256.0 | 204.1 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 棄却基準値 | | | | | | | 311.6 | 302.3 | 348.0 | | | | |

※引伸ばし率は、基準地点黒子 1/100 確率規模降雨量 249 mm/24 h に対する実績 24 時間雨量との引伸ばし率である。
※1/500 雨量は、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おける値による。

### (4)　時間分布の評価

時間分布の検討では、洪水到達時間相当の短時間雨量について過度に引伸ばしがされていないか確認を行った。

① 対象時間の選定

対象時間は 9 時間にかけてピーク流量と短時間雨量の相関が高まることから、9 時間を短時間雨量として設定した。

また、計画降雨継続時間 24 時間の 1/2 である 12 時間を短時間雨量として設定し、表 1.82 に示す。

表 1.82　対象時間の設定

| 基準地点名 | 時間分布棄却基準（短時間雨量として設定） | |
|---|---|---|
| 黒子 | 9h | 12h |

② 棄却基準の設定

各対象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 11 年（1936 年）から平成 22 年（2010 年）までの各対象地域における年最大 48 時間雨量について確率計算を行い、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おける 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、著しい引伸ばしとなっていないかを確認する。

各時間の引伸ばし後雨量及び 1/500 雨量は表 1.83 に示すとおりであり、1 洪水棄却される結果となった。

## 表 1.83　時間分布による引伸ばし後降雨の確率表

| 洪水名 | | 引伸ばし前 | | | | 引き延ばし後 | | 判定1/500 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 短時間降雨量（mm） | | 継続時間内降雨量（mm/24h） | 引伸ばし率 | 短時間降雨量（mm） | | 時間分布 | | 対象降雨 |
| | | 黒子上流域 | | | | 黒子上流域 | | 黒子上流域 | | |
| | | 9h | 12h | | | 9h | 12h | 9h | 12h | |
| 1 | S13.6.28 | 115.6 | 142.1 | 235.8 | 1.06 | 122.1 | 150.0 | ○ | ○ | ○ |
| 2 | S13.8.30 | 119.7 | 125.8 | 143.2 | 1.74 | 208.2 | 218.8 | ○ | ○ | ○ |
| 3 | S16.7.20 | 95.4 | 101.4 | 184.6 | 1.35 | 128.7 | 136.8 | ○ | ○ | ○ |
| 4 | S17.9.19 | 131.1 | 135.8 | 140.4 | 1.77 | 232.4 | 240.8 | | | |
| 5 | S20.10.3 | 122.2 | 144.6 | 187.5 | 1.33 | 162.3 | 192.1 | ○ | ○ | ○ |
| 6 | S22.9.13 | 108.5 | 120.1 | 148.5 | 1.68 | 181.8 | 201.4 | ○ | ○ | ○ |
| 7 | S23.9.14 | 72.1 | 91.7 | 146.1 | 1.70 | 122.8 | 156.3 | ○ | ○ | ○ |
| 8 | S25.6.11 | 115.8 | 133.9 | 191.4 | 1.30 | 150.6 | 174.3 | ○ | ○ | ○ |
| 9 | S33.7.21 | 127.0 | 151.3 | 169.3 | 1.47 | 186.8 | 222.5 | ○ | ○ | ○ |
| 10 | S41.6.26 | 88.3 | 111.6 | 181.6 | 1.37 | 121.1 | 153.0 | ○ | ○ | ○ |
| 11 | S57.9.10 | 114.7 | 117.7 | 141.7 | 1.76 | 201.6 | 206.8 | ○ | ○ | ○ |
| 12 | S61.8.3 | 234.9 | 267.5 | 316.3 | 0.79 | 184.9 | 210.6 | ○ | ○ | ○ |
| 13 | H3.9.18 | 113.3 | 134.2 | 153.0 | 1.63 | 184.5 | 218.4 | ○ | ○ | ○ |
| 14 | H5.8.26 | 108.1 | 112.3 | 144.5 | 1.72 | 186.3 | 193.5 | ○ | ○ | ○ |
| 15 | H16.10.19 | 98.6 | 111.0 | 149.6 | 1.66 | 164.1 | 184.7 | ○ | ○ | ○ |
| 16 | H23.9.19 | 117.9 | 129.4 | 164.4 | 1.52 | 178.7 | 196.1 | ○ | ○ | ○ |
| 17 | H26.10.5 | 90.2 | 103.2 | 156.0 | 1.60 | 144.0 | 164.7 | ○ | ○ | ○ |
| 18 | R1.10.11 | 162.3 | 183.9 | 211.1 | 1.18 | 191.4 | 216.9 | ○ | ○ | ○ |
| 棄却基準値 | | | | | | 212.6 | 239.3 | | | |

※引伸ばし率は、基準地点黒子 1/100 確率規模降雨量 249 mm/24 h に対する実績 24 時間雨量との引伸ばし率である。

※■：引伸ばし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、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おける値による。

### 3)　主要降雨波形の設定（小貝川）

主要降雨波形について前項で棄却された洪水を含め表 1.84 に示す。

表 1.84　主要降雨波形一覧（基準地点黒子）

| No | 洪水名 | 黒子地点 24時間雨量 (mm) | 計画規模降雨量 ×1.1 (mm/24h) | 引伸ばし率 | 黒子地点 ピーク流量 ($m^3/s$) | 棄却理由 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | S13.6.28 | 235.8 | 274 | 1.16 | 1,550 | |
| 2 | S13.8.30 | 143.2 | 274 | 1.91 | 1,600 | |
| 3 | S16.7.20 | 184.6 | 274 | 1.48 | 1,350 | |
| 4 | S17.9.19 | 140.4 | 274 | 1.95 | 1,550 | 時間分布 |
| 5 | S20.10.3 | 187.5 | 274 | 1.46 | 1,300 | |
| 6 | S22.9.13 | 148.5 | 274 | 1.84 | 1,550 | |
| 7 | S23.9.14 | 146.1 | 274 | 1.87 | 1,350 | |
| 8 | S25.6.11 | 191.4 | 274 | 1.43 | 1,250 | |
| 9 | S33.7.21 | 169.3 | 274 | 1.62 | 1,500 | |
| 10 | S41.6.26 | 181.6 | 274 | 1.51 | 1,450 | |
| 11 | S57.9.10 | 141.7 | 274 | 1.93 | 1,600 | |
| 12 | S61.8.3 | 316.3 | 274 | 0.87 | 1,500 | |
| 13 | H3.9.18 | 153.0 | 274 | 1.79 | 1,550 | |
| 14 | H5.8.26 | 144.5 | 274 | 1.90 | 1,450 | |
| 15 | H16.10.19 | 149.6 | 274 | 1.83 | 1,500 | |
| 16 | H23.9.19 | 164.4 | 274 | 1.67 | 1,550 | |
| 17 | H26.10.5 | 156.0 | 274 | 1.76 | 1,450 | |
| 18 | R1.10.11 | 211.1 | 274 | 1.30 | 1,550 | |

※50 $m^3/s$ の端数については、切り上げるものとした
※■：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
※引伸ばし率：「24 時間雨量(mm)」と「1/100 確率雨量×1.1」との比率

## 1-40　総合確率法による検討（小貝川）

既定計画において基本高水のピーク流量は、代表洪水における降雨波形について、総雨量を任意に与えて流出計算を行うことにより得られる最大流量の生起状況を総雨量の生起状況から推算し、確率流量を算定する「総合確率法」により設定してきた。そのため、気候変動を考慮した基本高水のピーク流量の算出においても総合確率法による検討を実施した。なお、総合確率法について、図 1.228 に概念図を示す。

実施にあたり、表 1.77 に示す昭和 11 年（1936 年）から平成 22 年（2010 年）までの 75 年間の年最大 24 時間雨量を記録した洪水を対象に、黒子上流域の流域平均 24 時間雨量（$R$）が任意の 24 時間雨量（100 mm、200 mm、300 mm、400 mm、500 mm、600 mm、700 mm、800 mm、900 mm 及び 1,000 mm）となるよう各降雨波形の小流域毎の流域平均雨量の時間分布を引伸ばし（引縮め）、それぞれの任意の 24 時間雨量における各降雨波形における小流域毎の流域平均時間雨量を求め、検討の対象とする降雨波形とした。

降雨波形毎に任意の黒子上流域の流域平均 24 時間雨量（$R$）に対するピーク流量（$Q_p$）を算出して、$R$と$Q_p$の関係を求め、図 1.229 のとおり$R$ -$Q_p$図を作成した。なお、これらの値の間の$R$と$Q_p$の関係については計算値を直線補間した。

作成した$R$ -$Q_p$図により、75 の降雨波形毎に任意の$Q_p$に対する雨量（$R_i$）を読み取り、$R_i$に降雨量変化倍率（1.1 倍）を考慮した雨量の年超過確率$P_{M(R)}$により、各$R_i$に対する年超過確率（$P_{M(Ri)}$）を算出し、任意の$Q_p$に対する年超過確率$P_{(Q_p)}$の関係を求め、$Q_p - P_{(Q_p)}$図（図 1.230）を作成した。なお、$Q_p - P_{(Q_p)}$図の作成に当たっては、$Q_p$を 100 m$^3$/s～2,000 m$^3$/s までの 100 m$^3$/s ピッチの値として求め、これらの値の間の$Q_p$と$P_{(Q_p)}$の関係については計算値を直線補間した。

このようにして作成した図 1.230 の$Q_p - P_{(Q_p)}$図から、基準地点黒子における 1/100 確率流量は、約 1,500 $m^3/s$ となった。

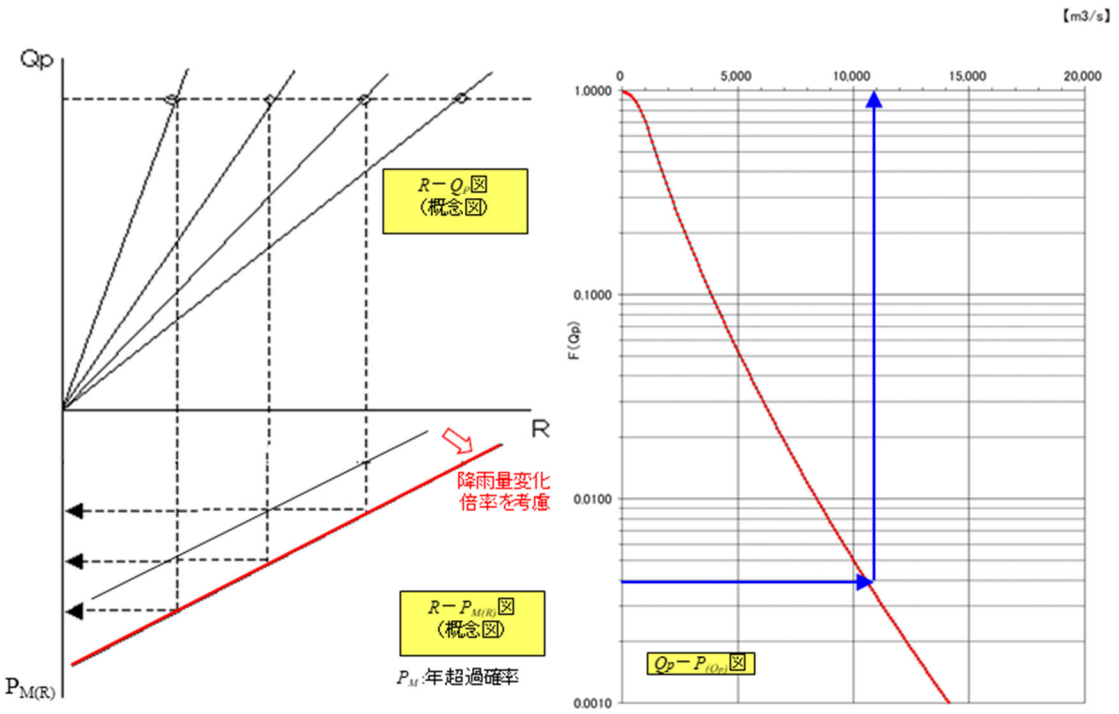



図 1.228　総合確率法概念図

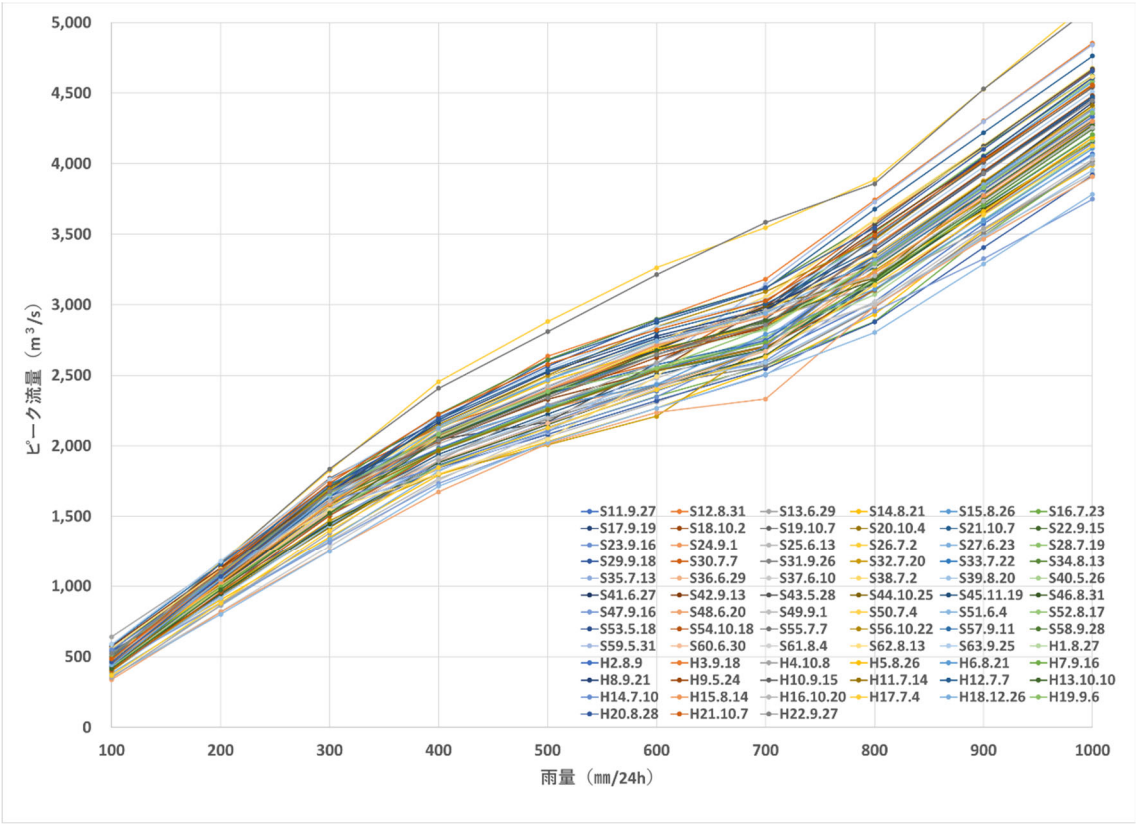



図 1.229　$R$ -$Q_p$図

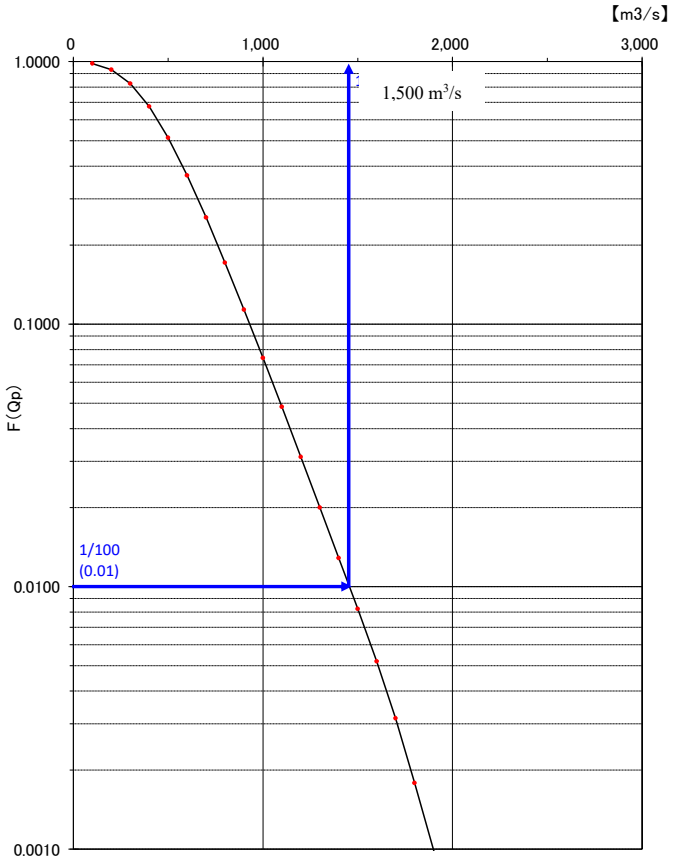



図 1.230　$Q_p - P_{(Q_p)}$図

## 1-41　アンサンブル予測降雨波形による検討（小貝川）

### 1)　アンサンブル予測降雨波形による流出計算

気候変動アンサンブルデータは、文部科学省・気候変動リスク情報創世プログラム及び海洋研究開発機構・地球シミュレータ特別推進課題において作成された地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース（d4PDF）（20 km メッシュ）であり、過去実験として 3,000 年分、将来実験として 5,400 年分（4 ℃上昇）、3,200 年分（2 ℃上昇：d2PDF）という国内でも類を見ない大量のデータで構成されており、物理的に発生し得る様々な気象パターンを想定することが可能である。

さらに、短時間・局所的な極端降雨、地形性降雨を十分に表現できるように、海洋研究開発機構のスーパーコンピュータ「地球シミュレータ」を用い、解像度（5 km メッシュ）に NHRCM（気象庁の地域気候モデル）を用いて力学的ダウンスケーリング（DS）を行っている。

この解像度 5 km メッシュにダウンスケーリングされたアンサンブルデータにおけるアンサンブル予測降雨波形（d2PDF）から、計画対象降雨の降雨量 274 mm/24 h（基準地点黒子）に近い洪水を抽出した。抽出した 40 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 24 時間雨量 274 mm（基準地点黒子）まで引伸ばし・引縮め、流出計算モデルにより流出量を算出した結果、図 1.231 及び表 1.85 に示すとおり約 1,300 $m^3/s$～1,700 $m^3/s$ の範囲となり、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が数値の範囲に収まっていることを確認した。各洪水のハイドログラフを図 1.232 から図 1.245 に示す。

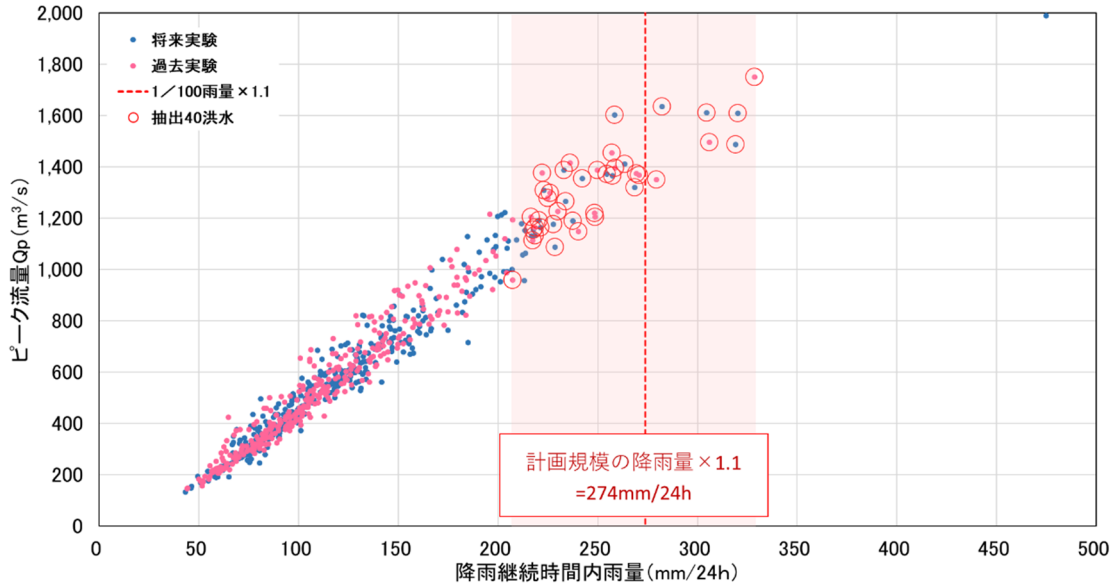



図 1.231　アンサンブル予測降雨波形からの抽出（基準地点黒子）

表 1.85　アンサンブル予測降雨波形ピーク流量

| 洪水名 | 黒子地点<br>24時間雨量<br>（mm） | 気候変動考慮後<br>1／100雨量<br>（mm） | 引伸ばし率 | 黒子地点<br>ピーク流量<br>（$m^3/s$） |
|---|---|---|---|---|
| HFB_2K_CC_m101① | 257.4 | 274 | 1.06 | 1,500 |
| HFB_2K_CC_m101② | 223.1 | 274 | 1.23 | 1,600 |
| HFB_2K_GF_m101① | 254.7 | 274 | 1.08 | 1,500 |
| HFB_2K_GF_m105① | 242.4 | 274 | 1.13 | 1,550 |
| HFB_2K_GF_m105② | 221.3 | 274 | 1.24 | 1,500 |
| HFB_2K_GF_m105③ | 304.5 | 274 | 0.90 | 1,500 |
| HFB_2K_HA_m101① | 237.5 | 274 | 1.15 | 1,400 |
| HFB_2K_MI_m101① | 227.8 | 274 | 1.20 | 1,400 |
| HFB_2K_MI_m101② | 320.3 | 274 | 0.86 | 1,400 |
| HFB_2K_MI_m105① | 319.1 | 274 | 0.86 | 1,300 |
| HFB_2K_MI_m105② | 282.2 | 274 | 0.97 | 1,600 |
| HFB_2K_MI_m105③ | 258.5 | 274 | 1.06 | 1,700 |
| HFB_2K_MP_m101① | 220.4 | 274 | 1.24 | 1,500 |
| HFB_2K_MP_m101② | 263.6 | 274 | 1.04 | 1,500 |
| HFB_2K_MP_m101③ | 268.7 | 274 | 1.02 | 1,350 |
| HFB_2K_MP_m105① | 217.7 | 274 | 1.26 | 1,500 |
| HFB_2K_MR_m101① | 233.8 | 274 | 1.17 | 1,550 |
| HFB_2K_MR_m101② | 218.6 | 274 | 1.25 | 1,500 |
| HFB_2K_MR_m105① | 228.6 | 274 | 1.20 | 1,300 |
| HFB_2K_MR_m105② | 233.2 | 274 | 1.18 | 1,650 |
| HPB_m001① | 248.6 | 274 | 1.10 | 1,350 |
| HPB_m001② | 248.4 | 274 | 1.10 | 1,350 |
| HPB_m002① | 249.7 | 274 | 1.10 | 1,550 |
| HPB_m002② | 218.5 | 274 | 1.25 | 1,500 |
| HPB_m003① | 216.5 | 274 | 1.27 | 1,550 |
| HPB_m004① | 279.5 | 274 | 0.98 | 1,350 |
| HPB_m004② | 217.5 | 274 | 1.26 | 1,400 |
| HPB_m005① | 222.0 | 274 | 1.23 | 1,700 |
| HPB_m005② | 226.2 | 274 | 1.21 | 1,600 |
| HPB_m006① | 257.1 | 274 | 1.07 | 1,550 |
| HPB_m007① | 306.0 | 274 | 0.90 | 1,350 |
| HPB_m007② | 229.9 | 274 | 1.19 | 1,500 |
| HPB_m007③ | 207.5 | 274 | 1.32 | 1,300 |
| HPB_m008① | 328.8 | 274 | 0.83 | 1,650 |
| HPB_m008② | 270.8 | 274 | 1.01 | 1,400 |
| HPB_m009① | 225.1 | 274 | 1.22 | 1,600 |
| HPB_m009② | 240.3 | 274 | 1.14 | 1,300 |
| HPB_m010① | 236.2 | 274 | 1.16 | 1,650 |
| HPB_m022① | 258.7 | 274 | 1.06 | 1,500 |
| HPB_m022② | 269.4 | 274 | 1.02 | 1,400 |

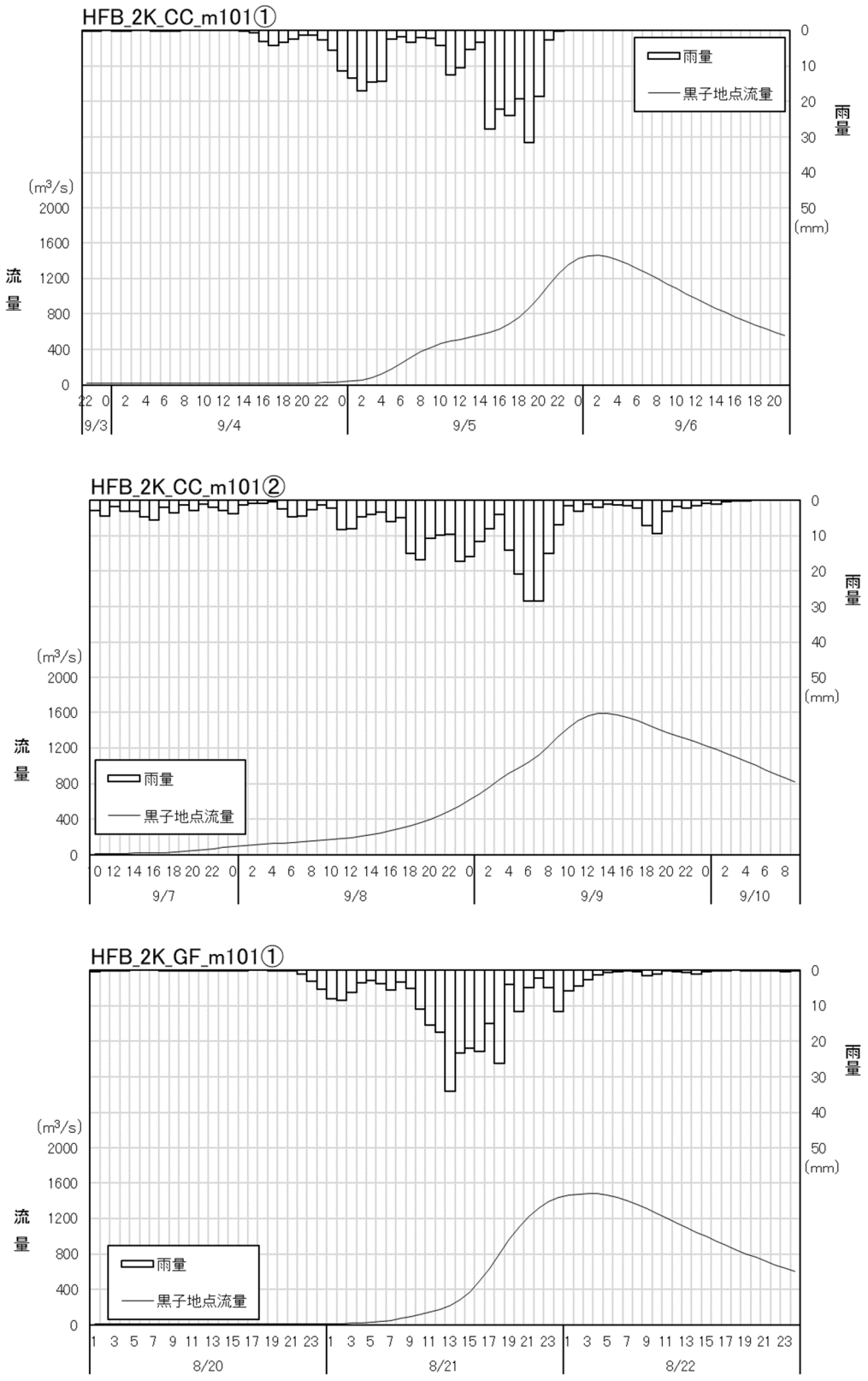



図 1.232　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地点黒子）

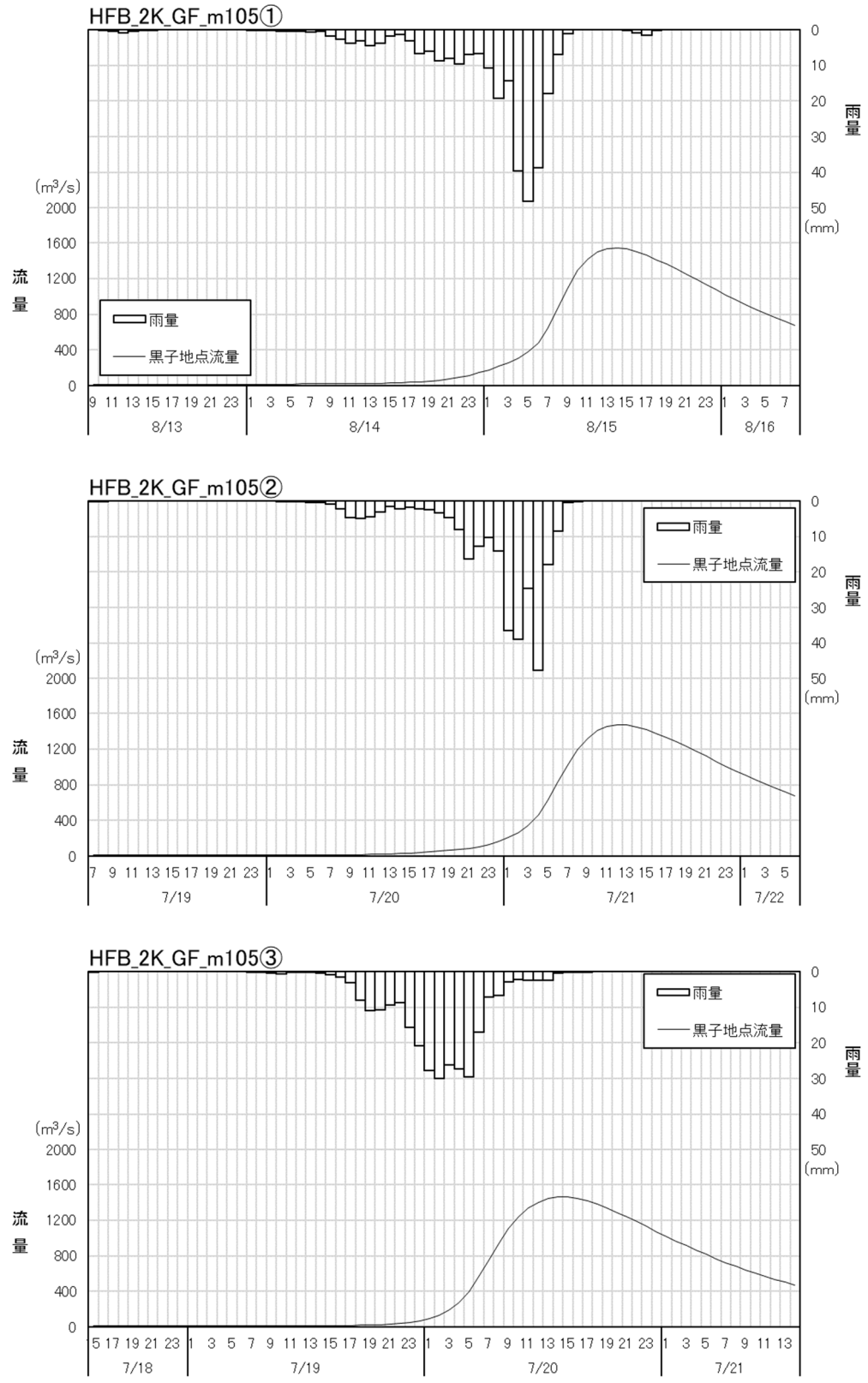



図 1.233　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地点黒子）

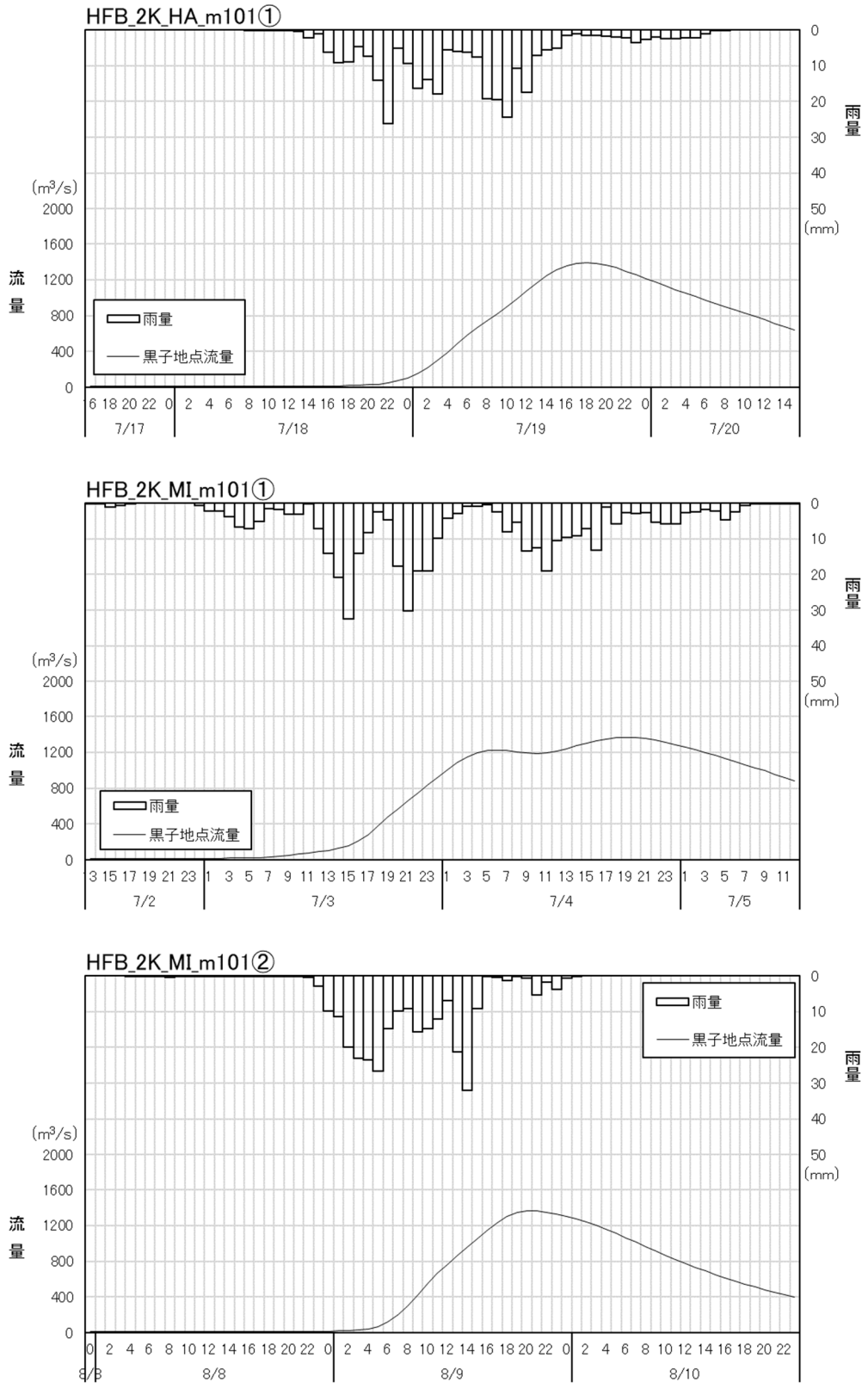



図 1.234　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地点黒子）

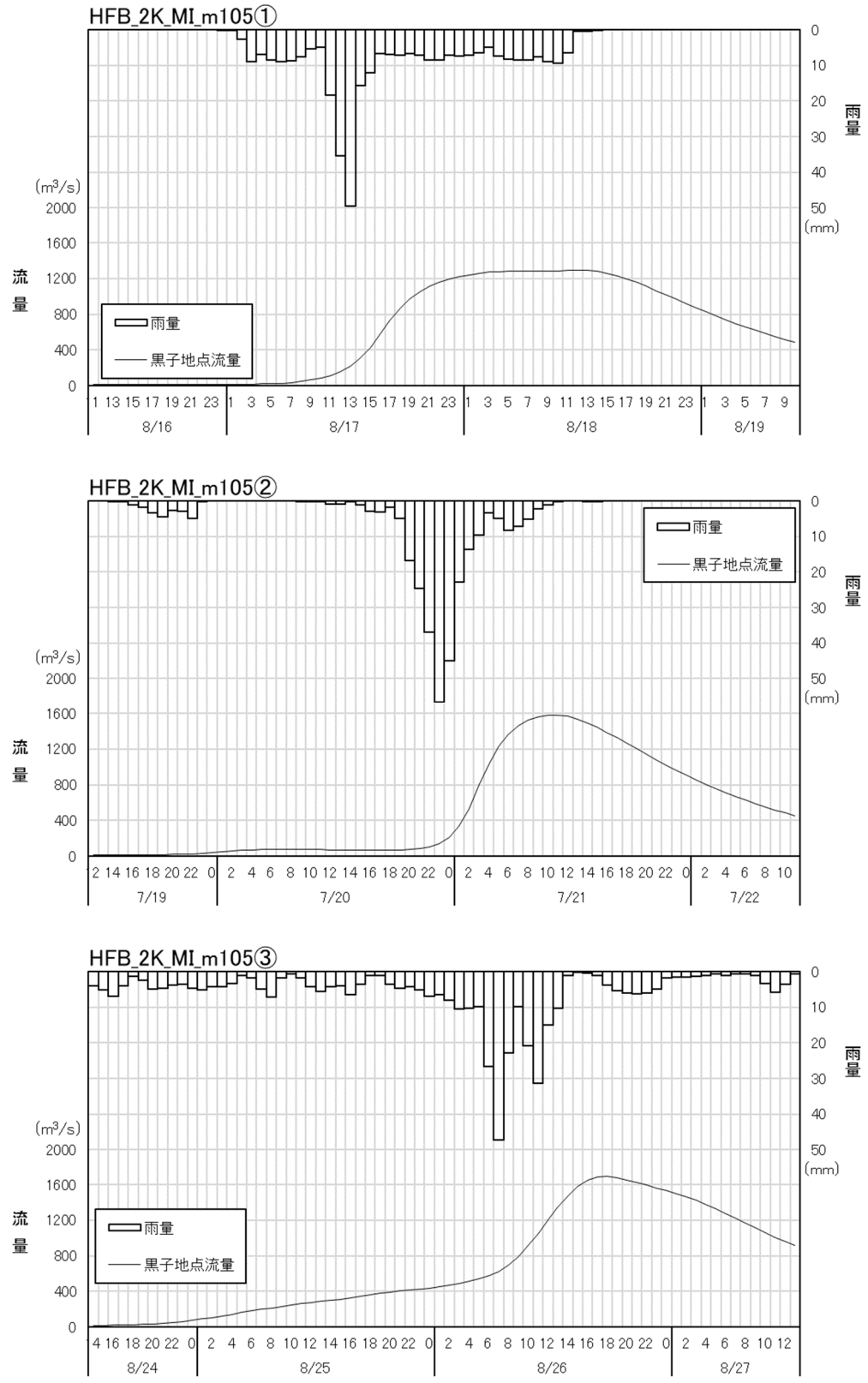



図 1.235　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地点黒子）

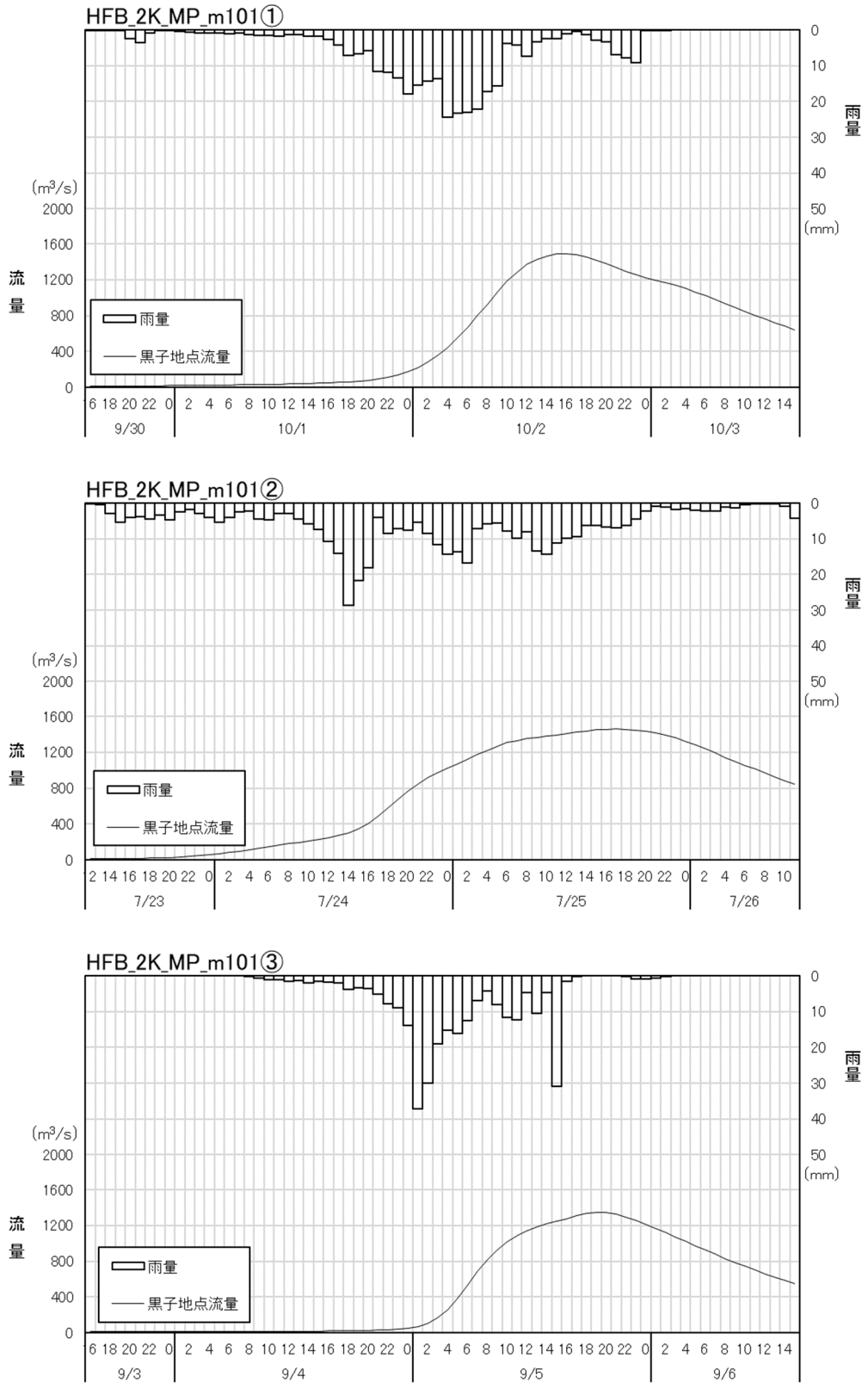



図 1.236　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地点黒子）

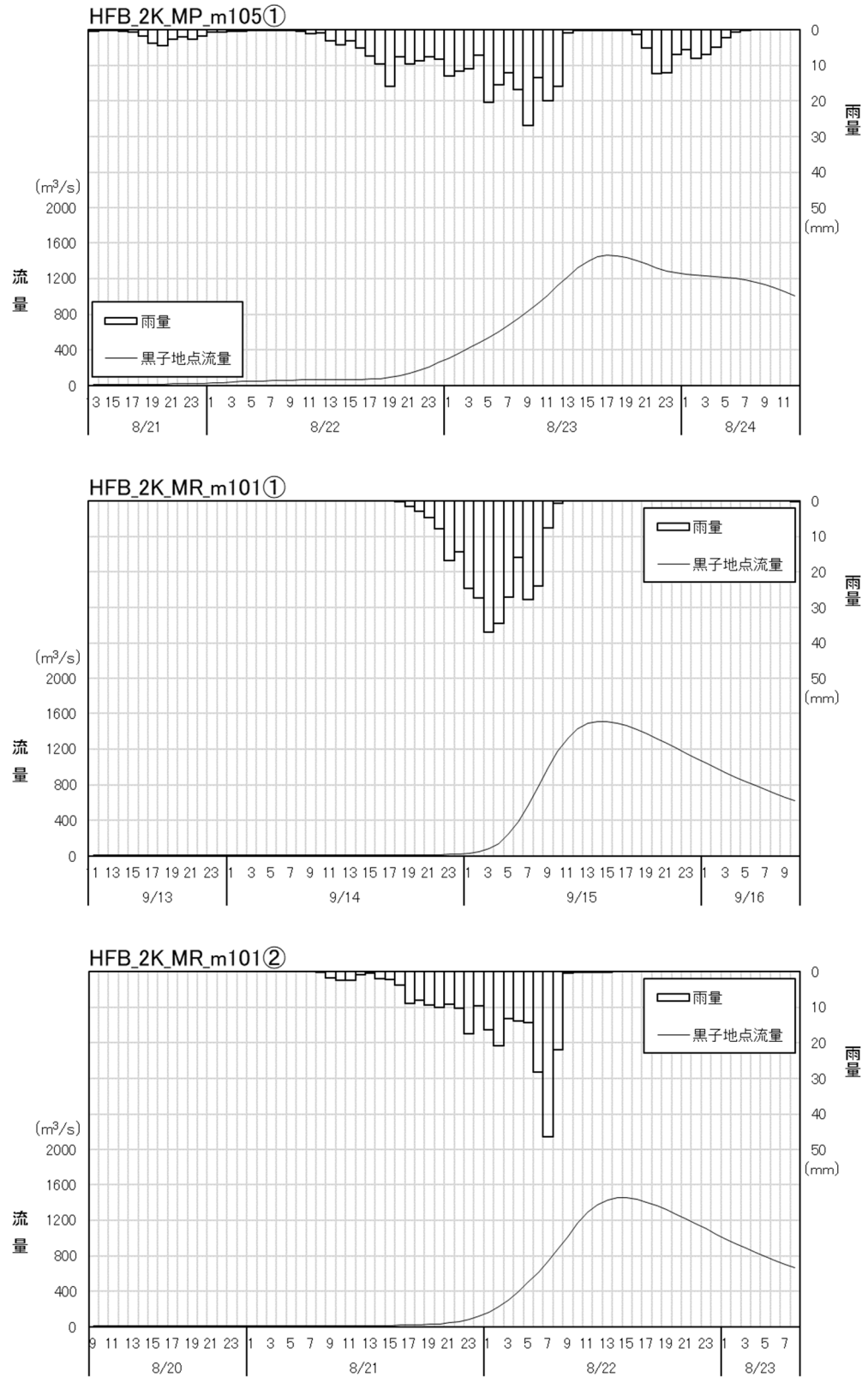



図 1.237　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地点黒子）

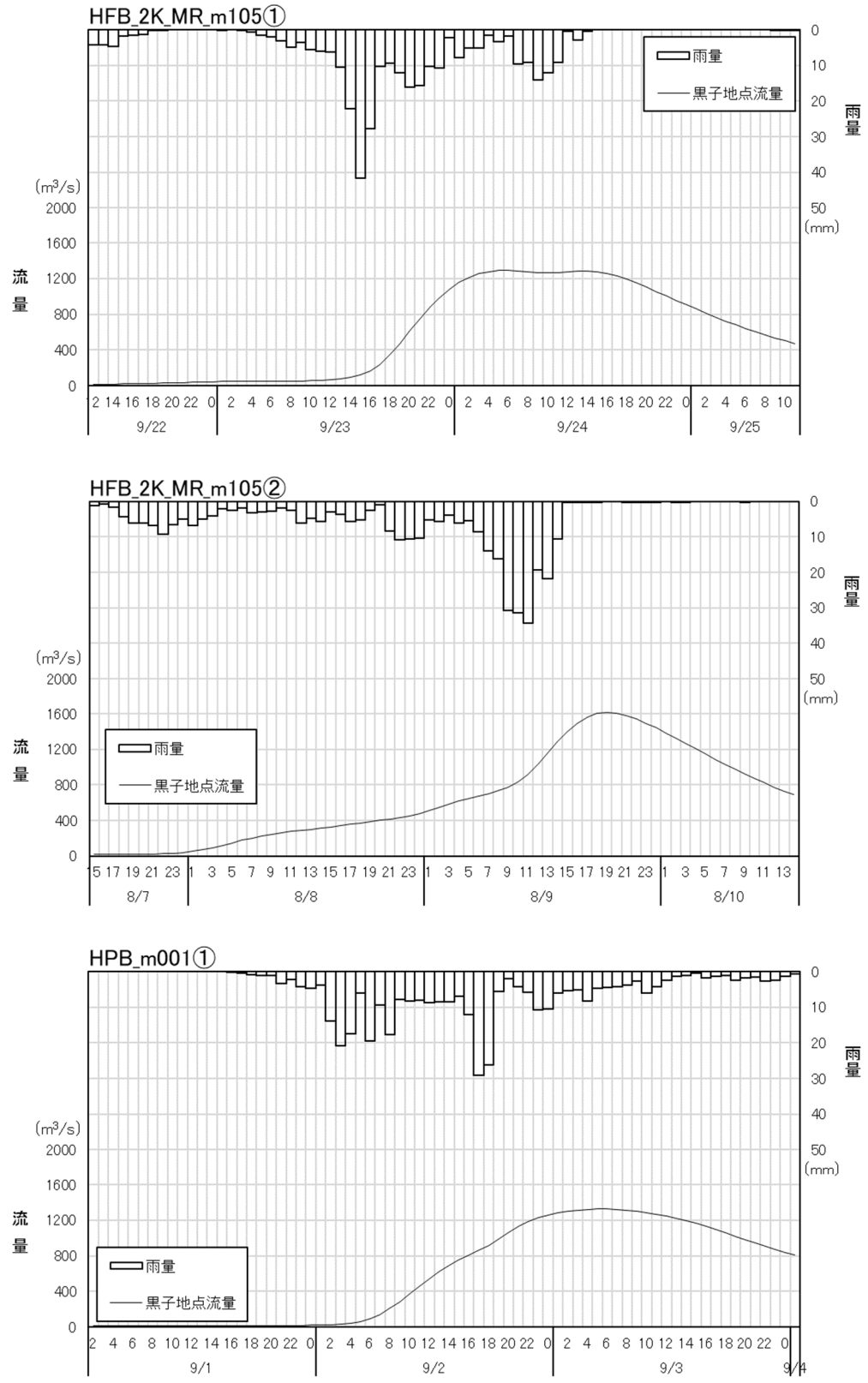



図 1.238　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地点黒子）

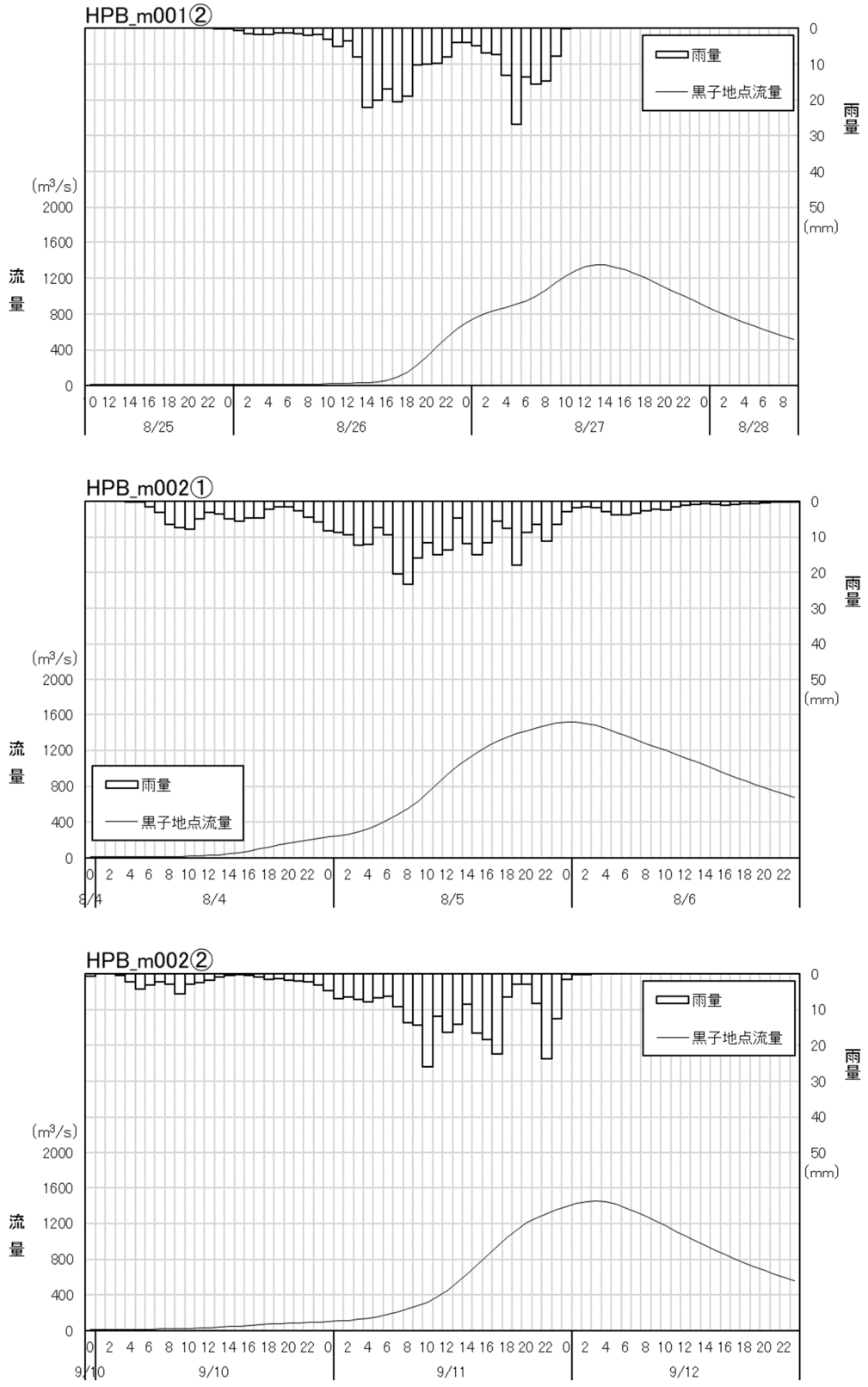



図 1.239　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地点黒子）

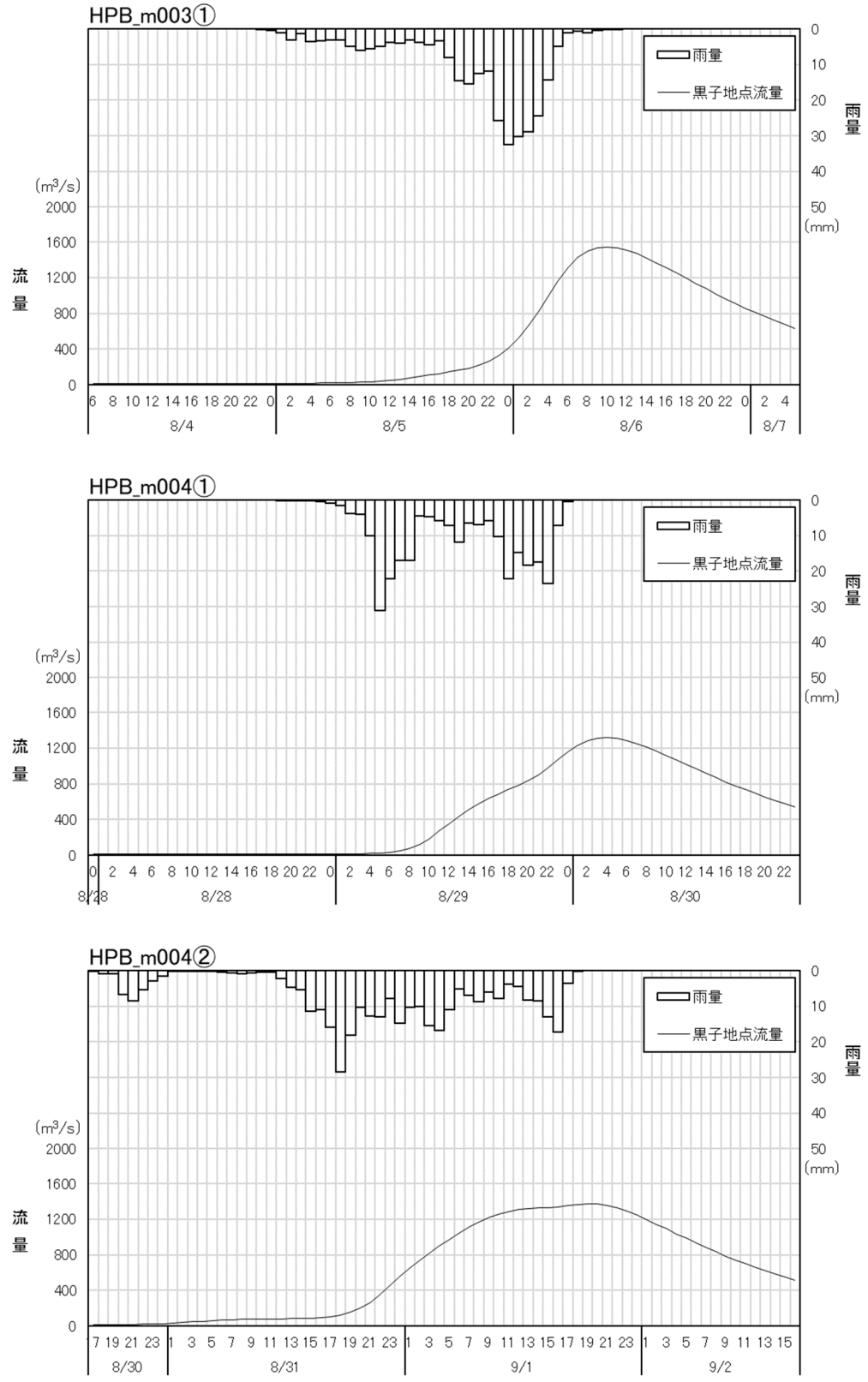



図 1.240　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地点黒子）

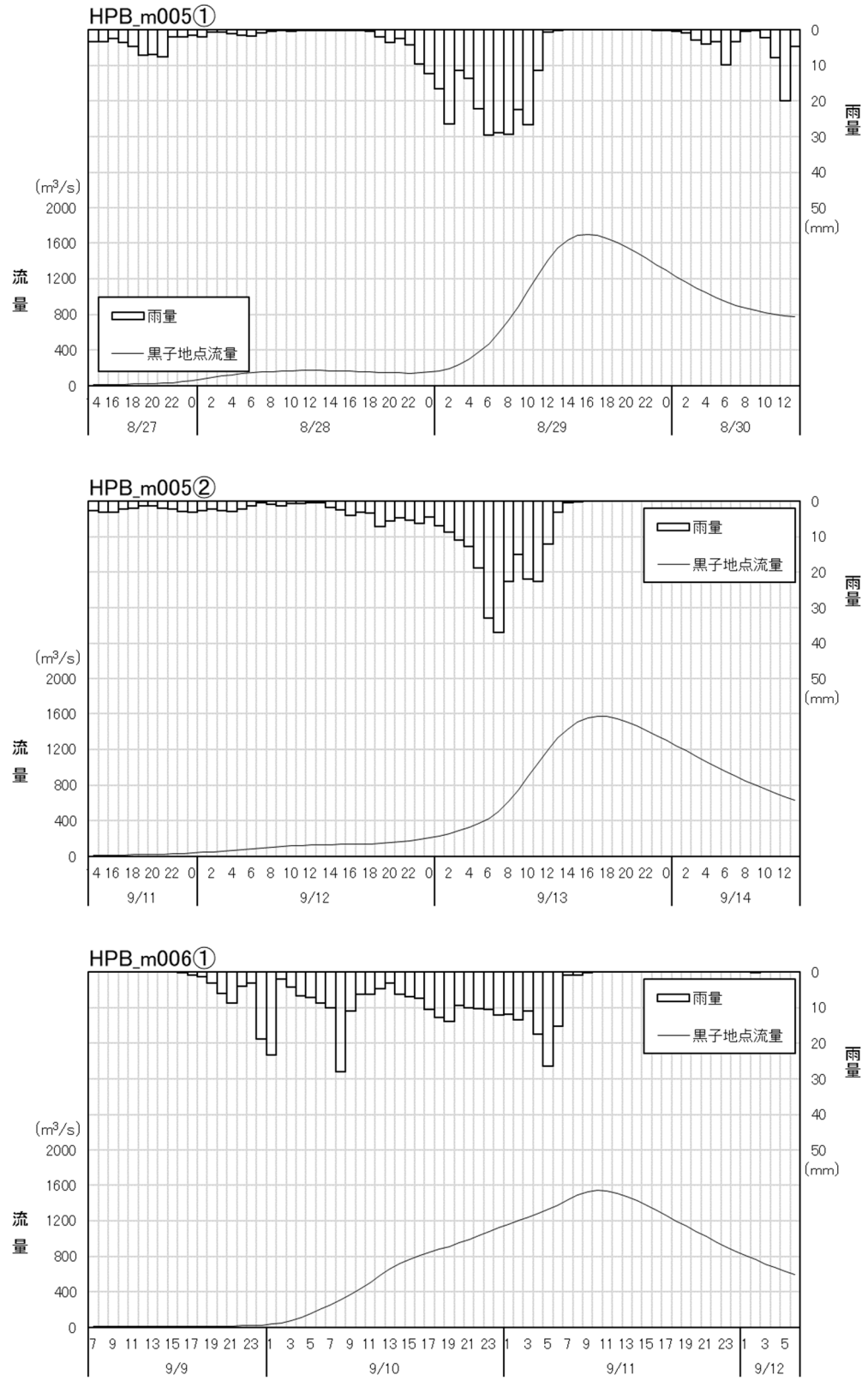



図 1.241　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地点黒子）

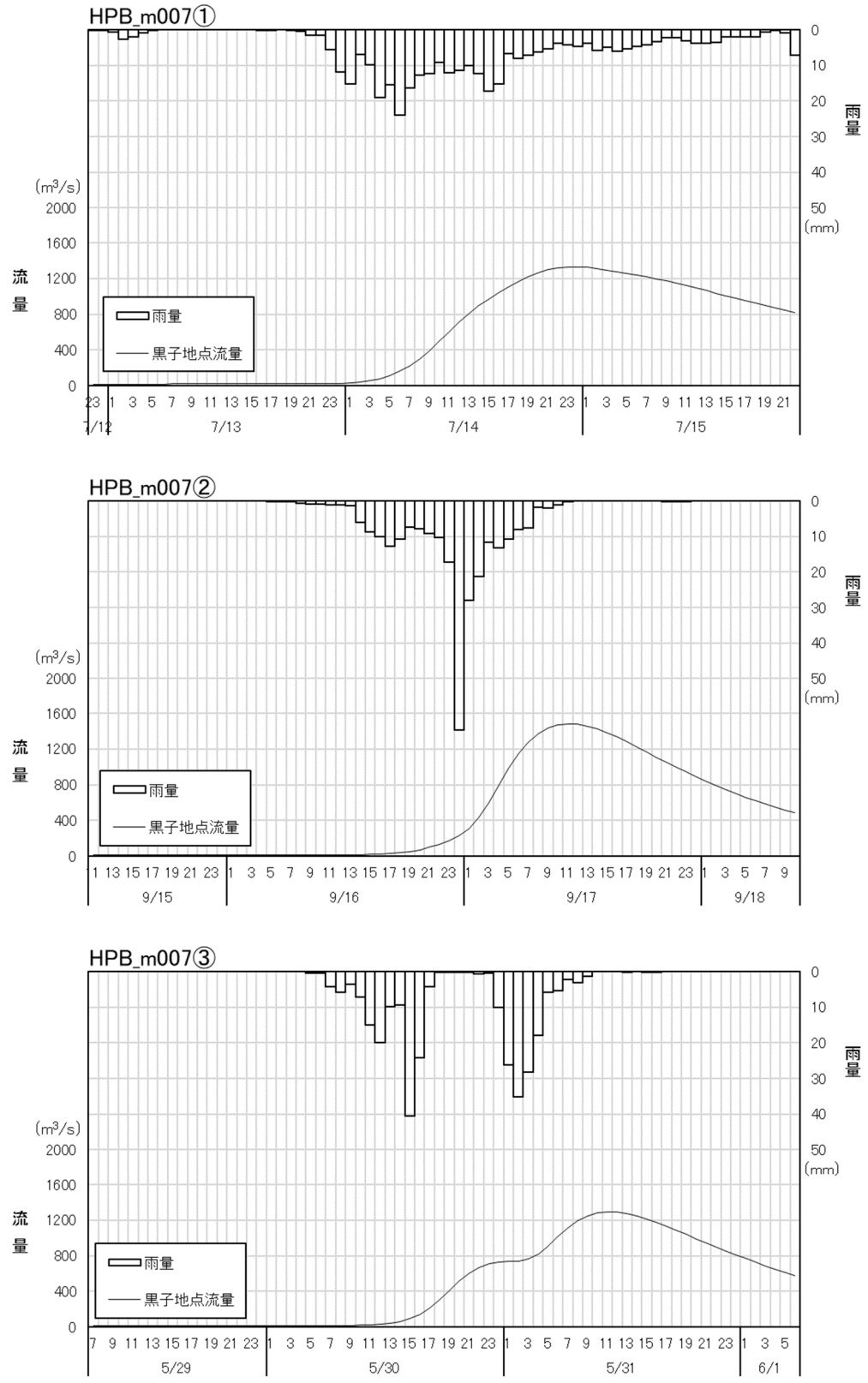



図 1.242　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地点黒子）

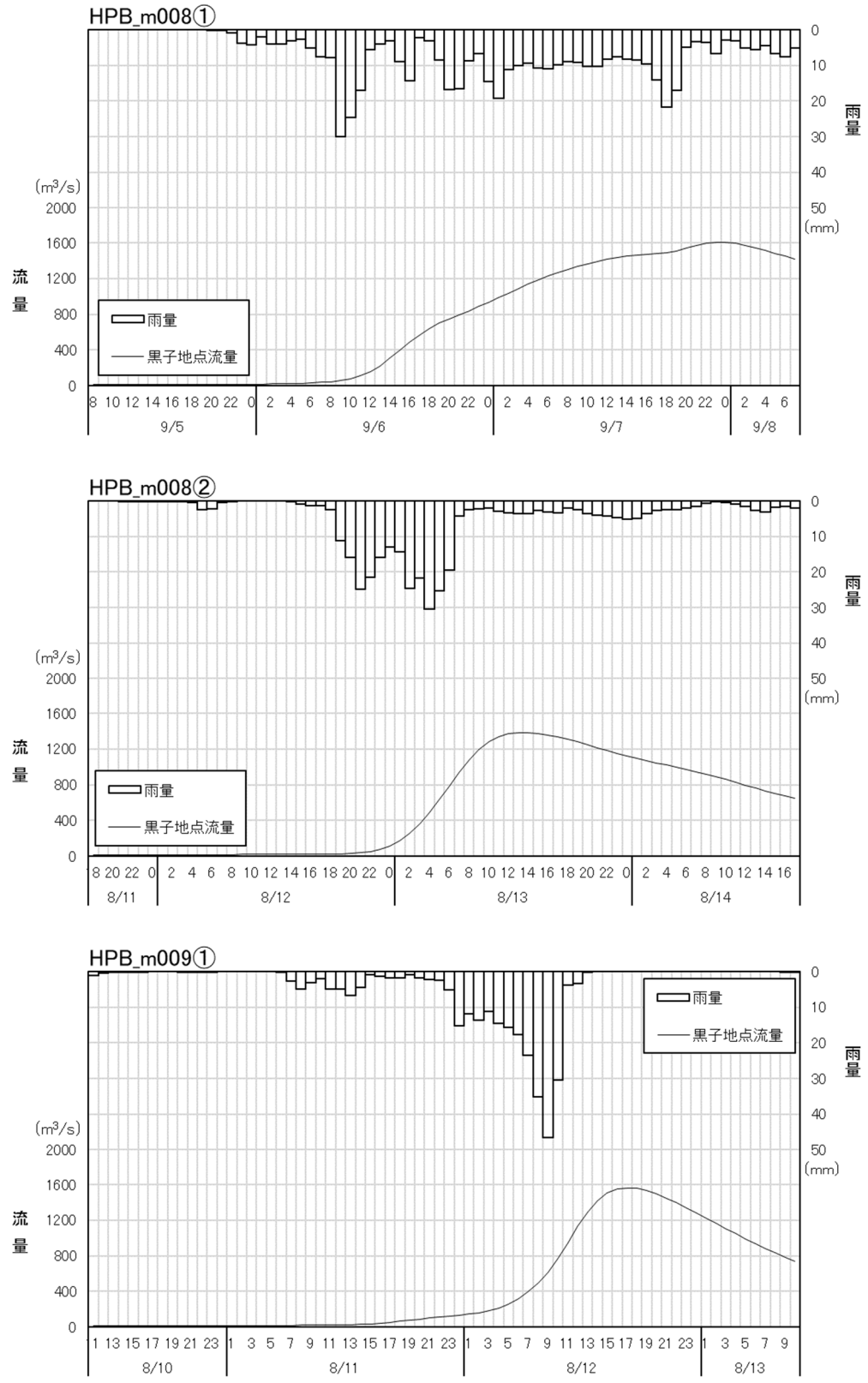



図 1.243　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地点黒子）

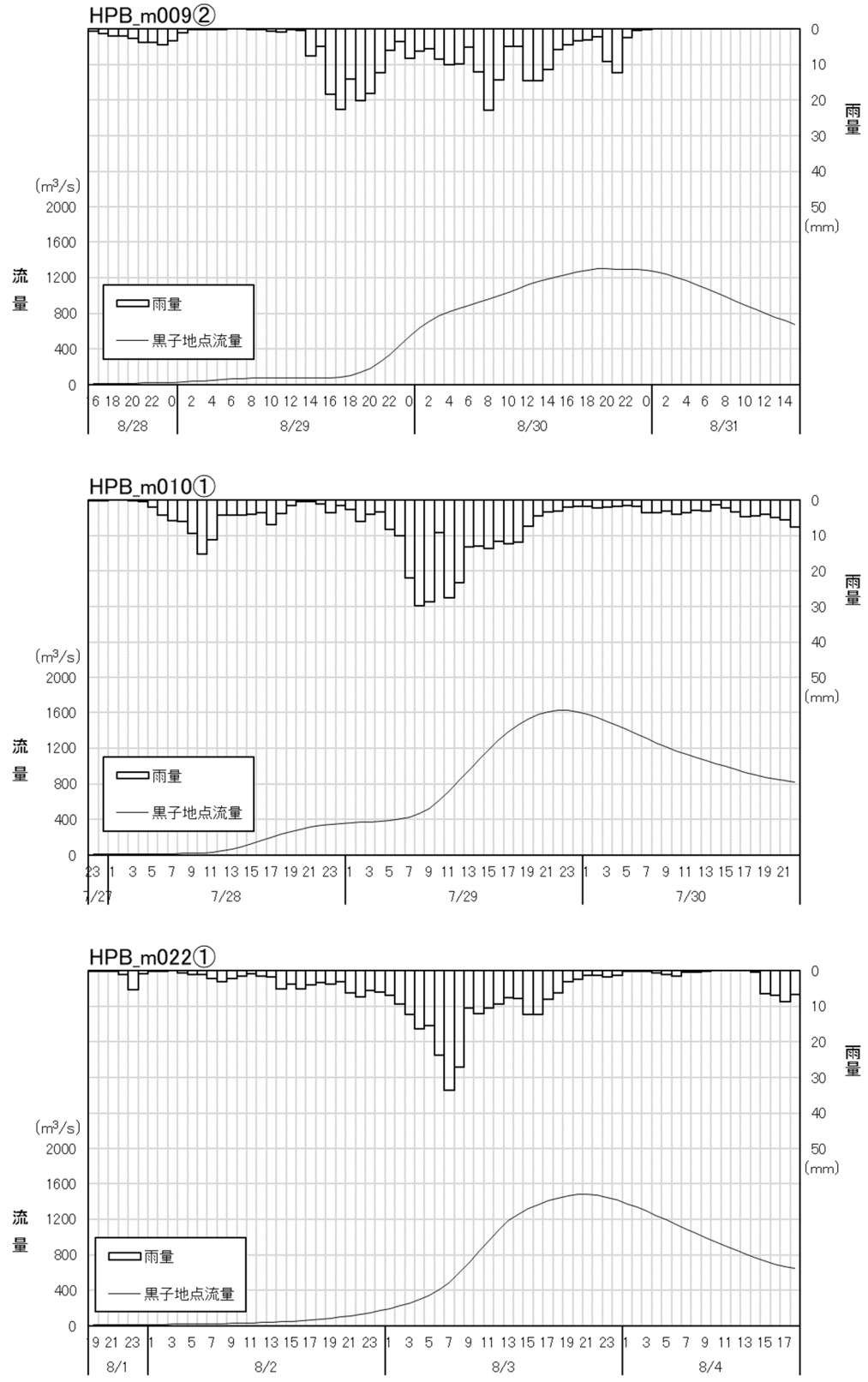



図 1.244　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地点黒子）

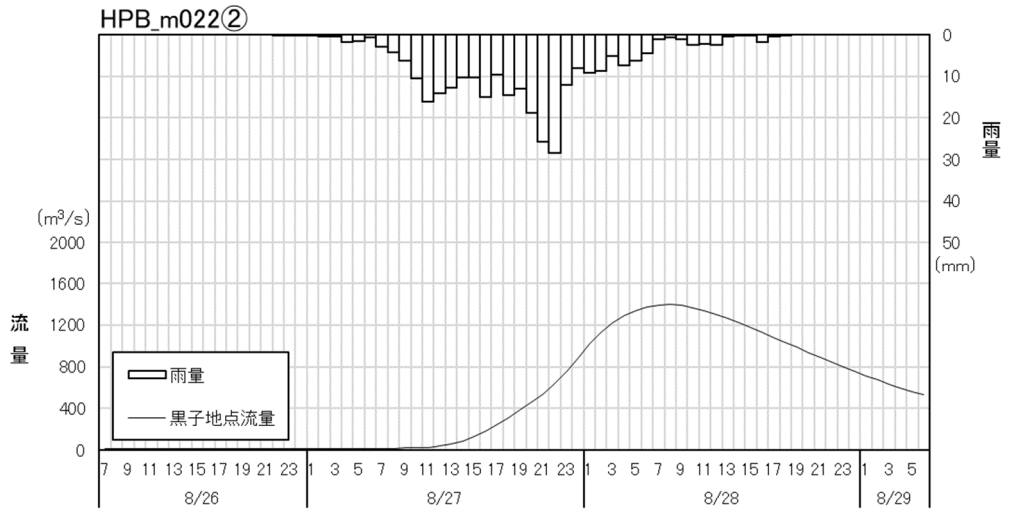



図 1.245　抽出した予測降雨波形のハイドログラフ（基準地点黒子）

### 2)　棄却された実績引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伸ばし降雨波形を、当該河川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。なお、小流域とは図 1.246 に示すとおりである。

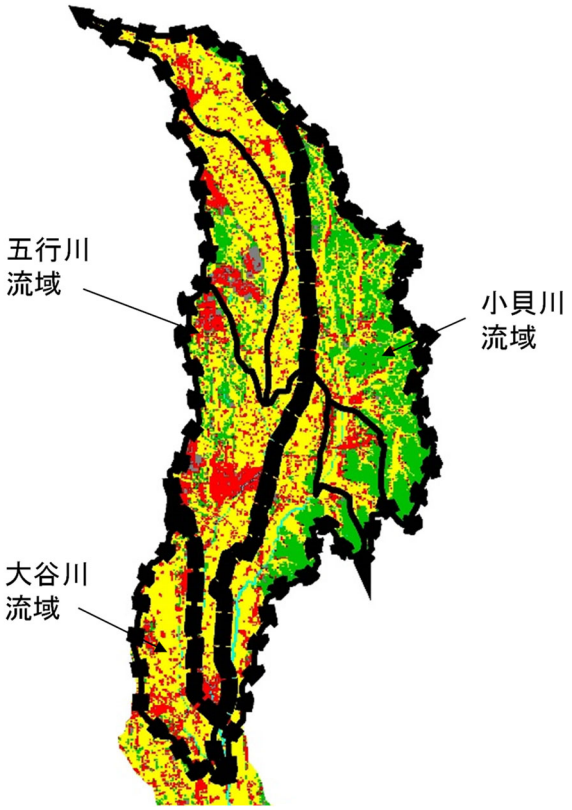



図 1.246　流域分割図

### (1)　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」（短時間到達時間やその 1/2 時間）の流域平均雨量/継続時間内の流域平均雨量）を求め、結果を表 1.86 に示す。

棄却した引伸ばし降雨波形も同様に比率を求め、実績引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、生起し難いと言えないため参考波形等して扱うこととする。結果は表 1.87 に示すとおりであり、時間分布により棄却した 1 洪水はアンサンブル予測降雨波形と比較しても生起し難いと判断し、棄却洪水とする。

表 1.86　雨量の比率（アンサンブル予測降雨波形）

| No | 洪水名 | 雨量 | | | 比率 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 黒子上流域 24時間雨量 | 黒子上流域 9時間 | 黒子上流域 12時間 | 黒子上流域 9時間 | 黒子上流域 12時間 |
| 1 | HFB_2K_CC_m101_20 | 257.4 | 152.9 | 171.3 | 0.59 | 0.67 |
| 2 | HFB_2K_MI_m105_11 | 282.2 | 237.7 | 257.2 | 0.84 | 0.91 |
| 3 | HFB_2K_MI_m105_12 | 258.5 | 182.6 | 209.7 | 0.71 | 0.81 |
| 4 | HFB_2K_MP_m101_22 | 263.6 | 116.1 | 144.1 | 0.44 | 0.55 |
| 5 | HFB_2K_MP_m101_24 | 268.7 | 157.4 | 183.3 | 0.59 | 0.68 |
| | | | | 最大値 | 0.84 | 0.91 |

表 1.87　雨量の比率（棄却した引伸ばし降雨波形）

| No | 洪水名 | 雨量 | | | 比率 | | 判定 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 黒子上流域 24時間雨量 | 黒子上流域 9時間 | 黒子上流域 12時間 | 黒子上流域 9時間 | 黒子上流域 12時間 | |
| 1 | S17.9.19 | 249 | 232.4 | 240.8 | 0.93 | 0.97 | 棄却 |

### 3) 主要降雨波形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。小貝川流域では、アンサンブル予測降雨波形群を対象に、3 のクラスターに分類した。

基準地点黒子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、1、2 と評価された（表 1.88）。

主要降雨波形に含まれないクラスター3 に該当する 2 洪水をアンサンブル予測降雨波形群の計画降雨量近傍から抽出し、気候変動を考慮した 1/100 確率規模の降雨量まで引伸ばして、流出計算モデルにより流出量を算出し基本高水流量の検討に用いることとした（表 1.89）。

なお、アンサンブル予測降雨波形群のクラスター分割には、アンサンブル予測降雨を対象に、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クラスターに分類し、図 1.247 の結果となり、出現頻度は図 1.248 に示すとおりである。

表 1.88　主要洪水のクラスター分析結果

| No | 洪水名 | 黒子地点 24時間雨量（mm） | 計画規模 降雨量 ×1.1(mm/48h) | 引伸ばし率 | クラスター分類 | 黒子地点 ピーク流量（$m^3/s$） |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | S13.6.28 | 235.8 | 274 | 1.16 | 2 | 1,550 |
| 2 | S13.8.30 | 143.2 | 274 | 1.91 | 2 | 1,600 |
| 3 | S16.7.20 | 184.6 | 274 | 1.48 | 2 | 1,350 |
| 4 | S20.10.3 | 187.5 | 274 | 1.46 | 2 | 1,300 |
| 5 | S22.9.13 | 148.5 | 274 | 1.84 | 2 | 1,550 |
| 6 | S23.9.14 | 146.1 | 274 | 1.87 | 2 | 1,350 |
| 7 | S25.6.11 | 191.4 | 274 | 1.43 | 1 | 1,250 |
| 8 | S33.7.21 | 169.3 | 274 | 1.62 | 2 | 1,500 |
| 9 | S41.6.26 | 181.6 | 274 | 1.51 | 1 | 1,450 |
| 10 | S57.9.10 | 141.7 | 274 | 1.93 | 2 | 1,600 |
| 11 | S61.8.3 | 316.3 | 274 | 0.87 | 2 | 1,500 |
| 12 | H3.9.18 | 153.0 | 274 | 1.79 | 2 | 1,550 |
| 13 | H5.8.26 | 144.5 | 274 | 1.90 | 2 | 1,450 |
| 14 | H16.10.19 | 149.6 | 274 | 1.83 | 1 | 1,500 |
| 15 | H23.9.19 | 164.4 | 274 | 1.67 | 2 | 1,550 |
| 16 | H26.10.5 | 156.0 | 274 | 1.76 | 1 | 1,450 |
| 17 | R1.10.11 | 211.1 | 274 | 1.30 | 2 | 1,550 |

表 1.89　クラスター分析により主要洪水群に不足する降雨波形

| No | 洪水名 | 黒子地点 48時間雨量（mm） | 計画規模 降雨量 ×1.1(mm/48h) | 引伸ばし率 | クラスター分類 | 黒子地点 ピーク流量（$m^3/s$） |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | HPB_m001_29 | 248.4 | 274 | 1.10 | 3 | 1,350 |
| 2 | HFB_2K_GF_m105_24 | 304.5 | 274 | 0.90 | 3 | 1,500 |

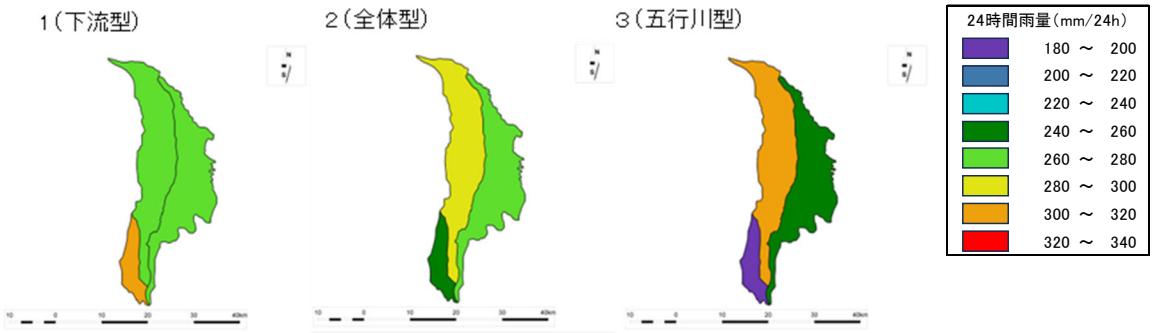



図 1.247　小貝川流域における将来実験アンサンブル予測降雨のクラスター分類

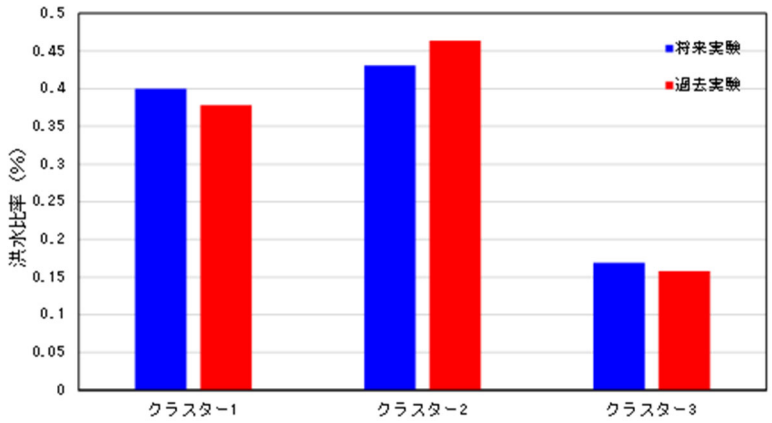



図 1.248　小貝川流域におけるアンサンブル予測降雨の出現頻度

## 1-42　既往洪水による検討（小貝川）

甚大な被害をもたらした昭和 61 年 8 月洪水では、基準地点黒子の実績流量は約 1,750 ㎥/s と推定した。ハイエトグラフ及びハイドログラフを図 1.249 に示す。

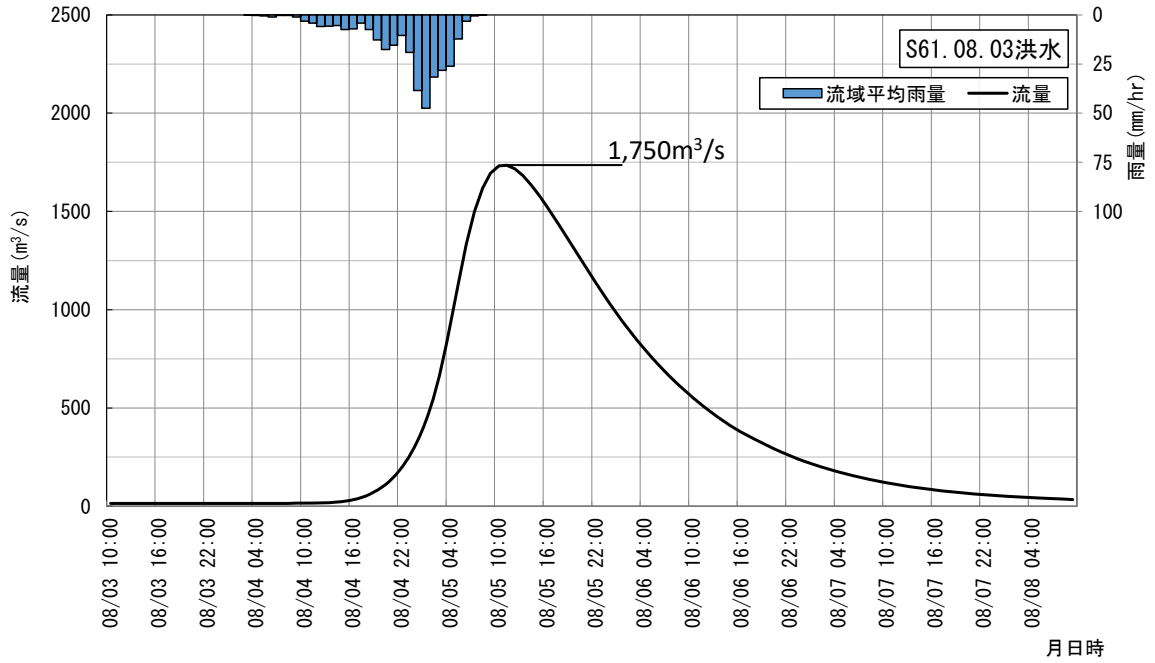



図 1.249　昭和 61 年 8 月洪水（台風第 19 号）の推定結果（基準地点黒子）

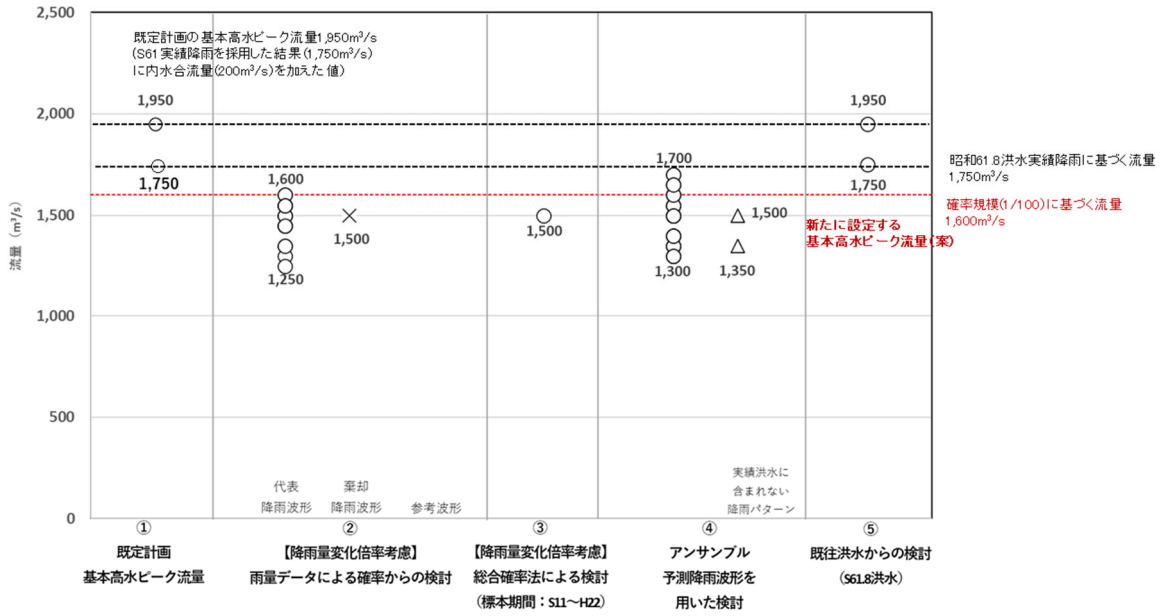
## 1-43　総合的判断による基本高水のピーク流量の決定（小貝川）

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を 1.1 倍とし、図 1.250 のように様々な手法により基本高水のピーク流量を検討した。

気候変動の影響を考慮した見直しにおいては、全水系共通して将来の降雨量増加を見込んで、河川整備の基本となる基本高水のピーク流量の見直しを図っている。

全国的な治水安全度の均衡より、小貝川においても、確率規模（1/100）に基づき定めることとし、基準地点黒子で 1,600 $m^3/s$ とした。

なお、現行方針で目標とした既往最大洪水（昭和 61 年 8 月洪水）規模も含め、基本高水を超過する洪水に対しても、流域における対策により被害の最小化を図る取組を進めていく。




【凡例】

②雨量データによる確率からの検討：

降雨量変化倍率（2 ℃上昇時の降雨量の変化倍率 1.1 倍）を考慮した検討

○：年超過確率 1/5 以上、引伸ばし率 2 倍以下の洪水

×：時間・地域分布において著しい引伸ばしとなっている洪水

△：棄却洪水のうちアンサンブル予測降雨波形（将来・過去実験）の時空間分布から生起し難いと言えないと判断された洪水

④アンサンブル予測降雨波形を用いた検討：

将来・過去実験から様々な降雨パターンの検討

○：計画対象降雨の降雨量（274 mm/24 h）近傍の 40 洪水

△：主要降雨波形に含まれていないが、アンサンブル予測降雨波形から抽出した洪水

図 1.250　基本高水の設定に係る総合的判断（基準地点黒子）

## 2　高水処理計画

既定計画の基本高水のピーク流量は、利根川の基準地点八斗島において22,000$m^3$/s、渡良瀬川の基準地点高津戸において 4,600$m^3$/s、鬼怒川の基準地点石井において 8,800$m^3$/s、小貝川の基準地点黒子において 1,950$m^3$/s である。

利根川の河川改修は既定計画の計画高水流量（八斗島 16,500 $m^3$/s、高津戸 3,500 $m^3$/s、石井 5,400 $m^3$/s、黒子 1,300 $m^3$/s）を目標に実施され、大規模な引堤を含む築堤が行われて、堤防高は概ね確保されており、既に橋梁、樋管等多くの構造物も完成している。

さらに、首都圏の社会的・経済的発展に伴い、沿川は高度な土地利用が行われている。

このような沿川の土地利用の高度化など社会的状況の変化に加え、河川の状況変化等を踏まえて、河道及び洪水調節施設の検討を行った。

検討の基本的な考え方として、より早期にかつ確実に水系全体のバランスのとれた治水安全度の向上を図る観点から、掘削等により河道の流下能力や遊水機能の増大を図ることによりできるだけ河道で対応することとし、さらに既存洪水調節の再開発による治水機能の向上など既存施設の徹底的な有効活用を図りながら洪水調節施設を整備することとする。

その結果、堤防の嵩上げや引堤による社会的影響及び大幅な河道掘削による河川環境の改変や将来河道の維持を考慮すると、八斗島 17,700 $m^3$/s、高津戸 2,800 $m^3$/s、石井 4,700 $m^3$/s、黒子 1,300 $m^3$/s であり、これらを計画高水流量とする。

# 3　計画高水流量

計画高水流量は、八斗島 17,700 $m^3/s$、高津戸 2,800 $m^3/s$、石井 4,700 $m^3/s$、黒子 1,300 $m^3/s$ とし、各主要地点の計画高水流量は、主要洪水の降雨波形群を用いて得られる通過流量の最大値を示す値から設定し図 3.1 から図 3.4 のとおりとする。

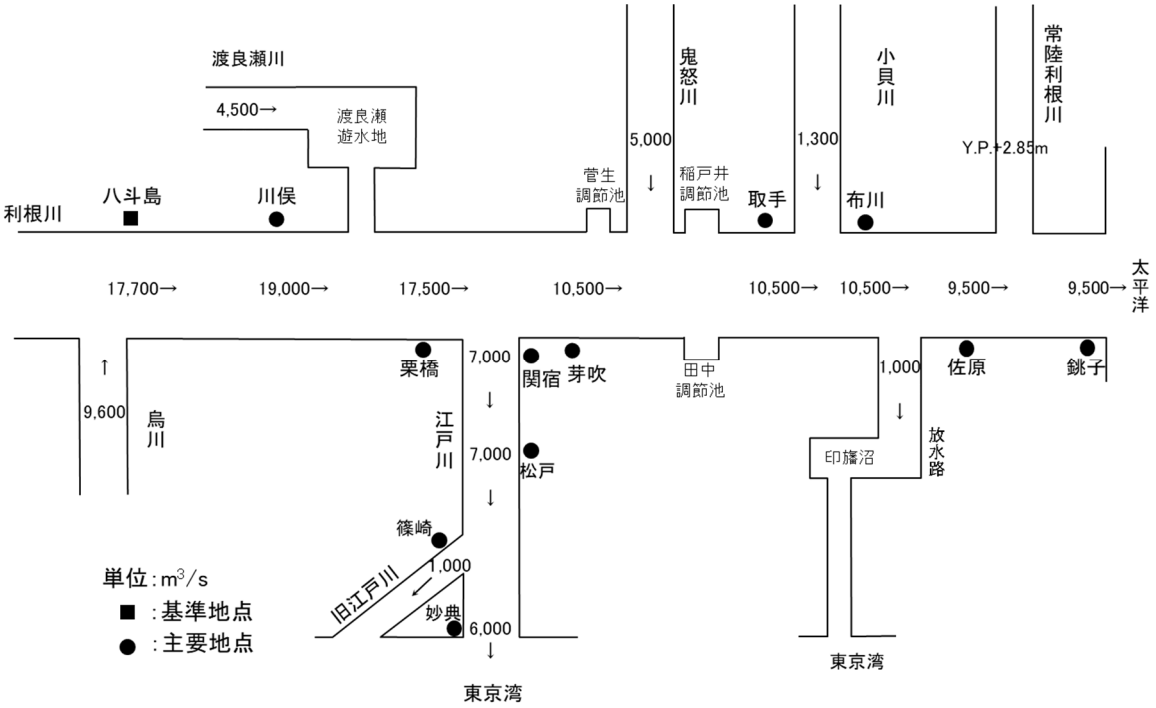



図 3.1　利根川計画高水流量配分図

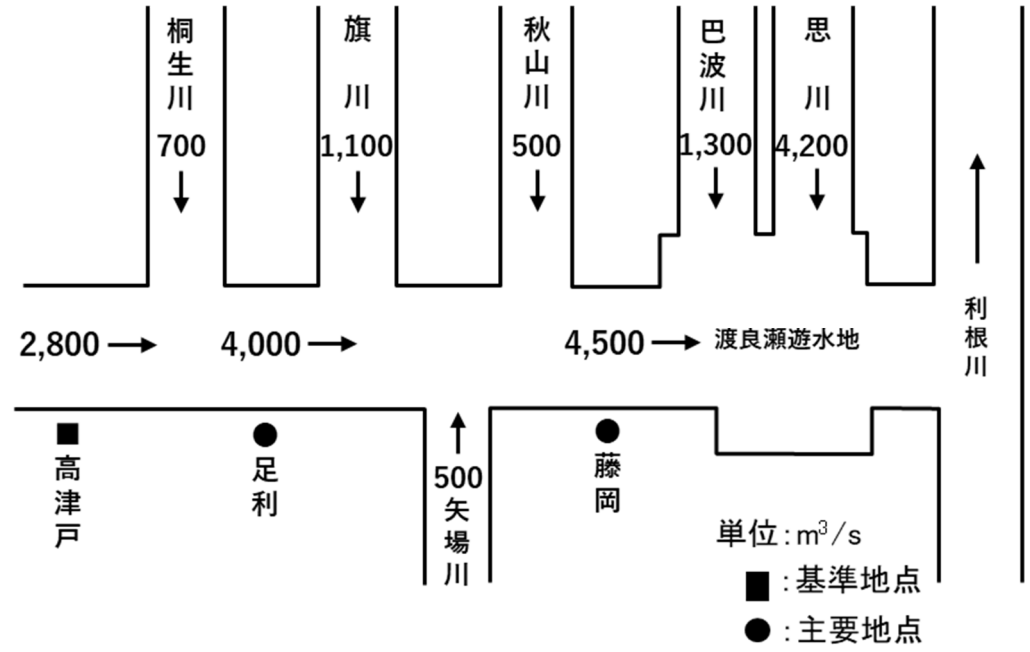



図 3.2　渡良瀬川計画高水流量配分図

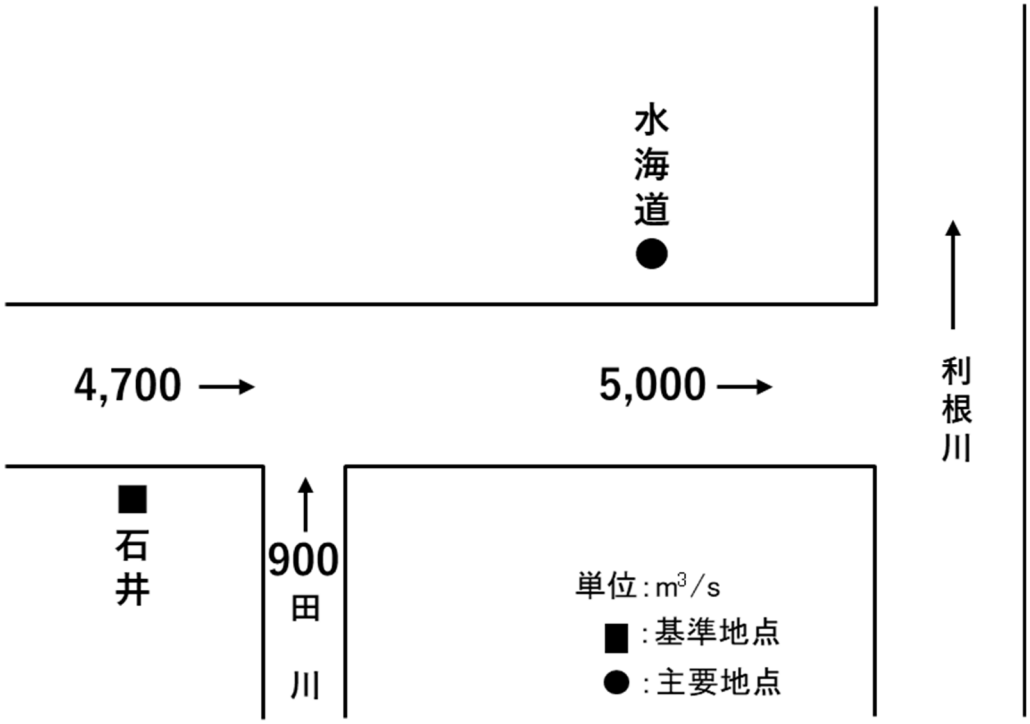



図 3.3　鬼怒川計画高水流量配分図

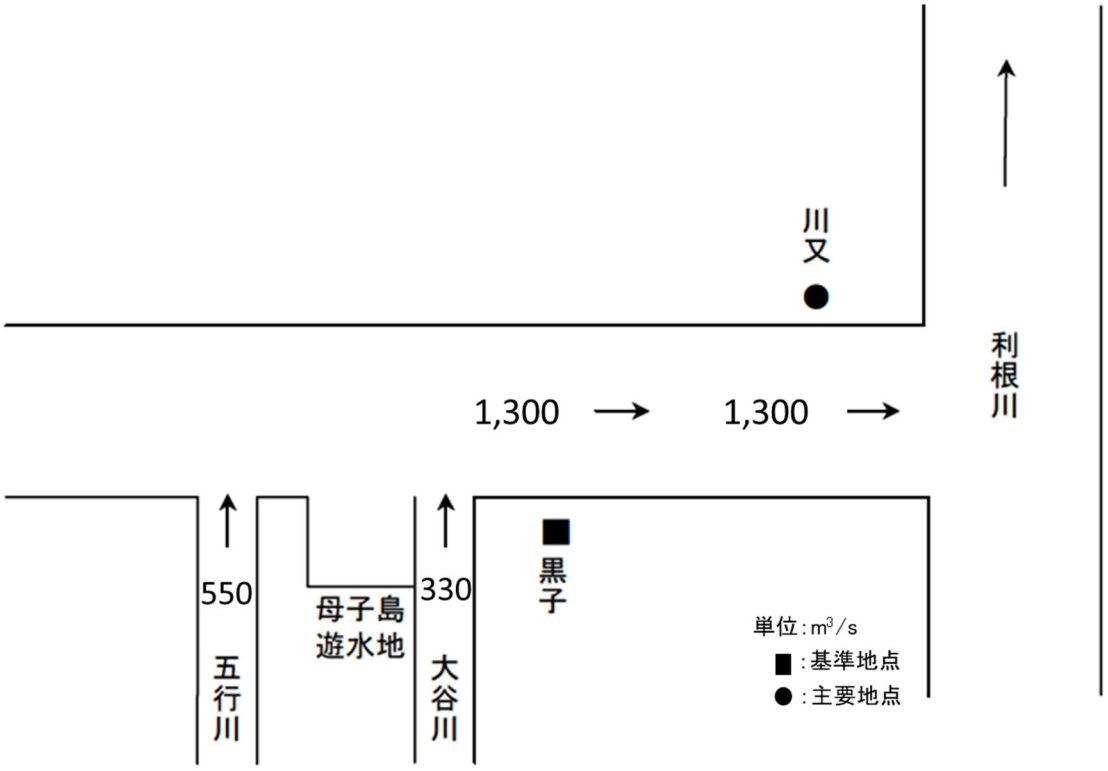



図 3.4　小貝川計画高水流量配分図

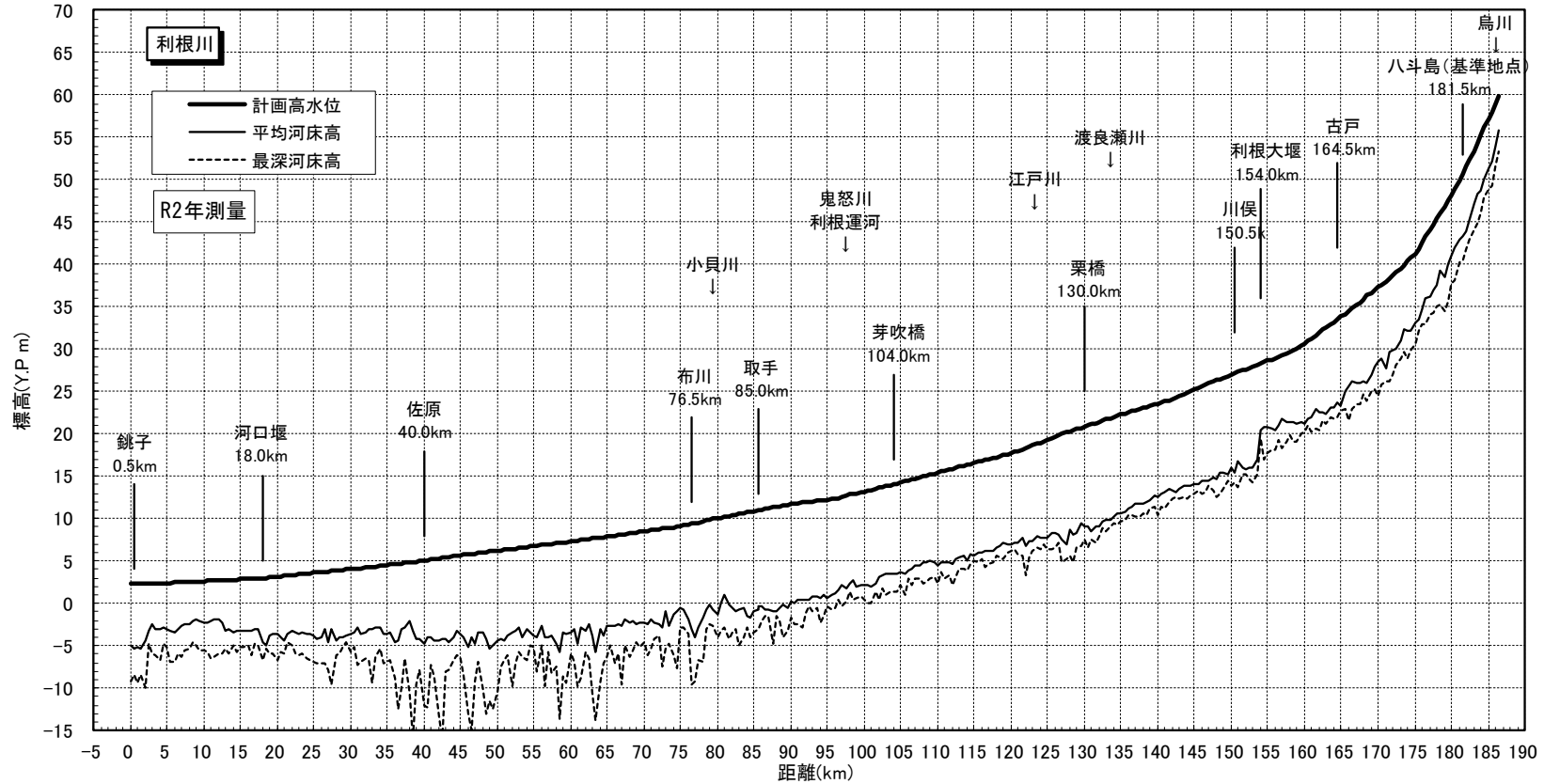
# 4　河道計画

河道計画は、以下の理由により縦断勾配を尊重し、流下能力が不足する区間においては、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 既定計画の計画高水位に対し、国管理区間の堤防は全川でほぼ完成していること。
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ることによる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。

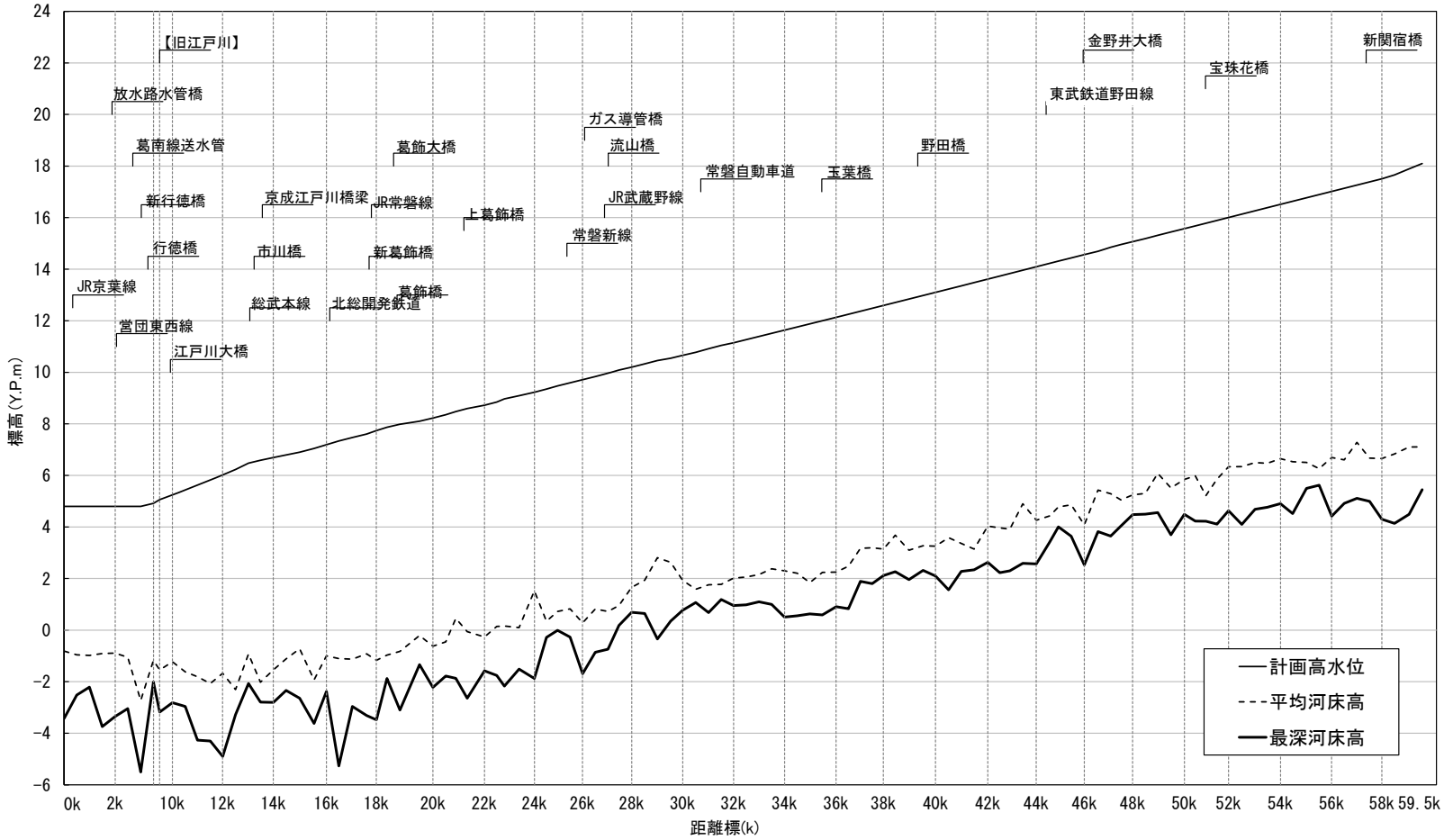
計画縦断図を図 4.1 から図 4.5、主要地点における計画高水位及び概ねの川幅を表 4.1 に示す。

※局所的に流下能力が不足する箇所については、今後の技術進展も見据えた局所的な対策も検討



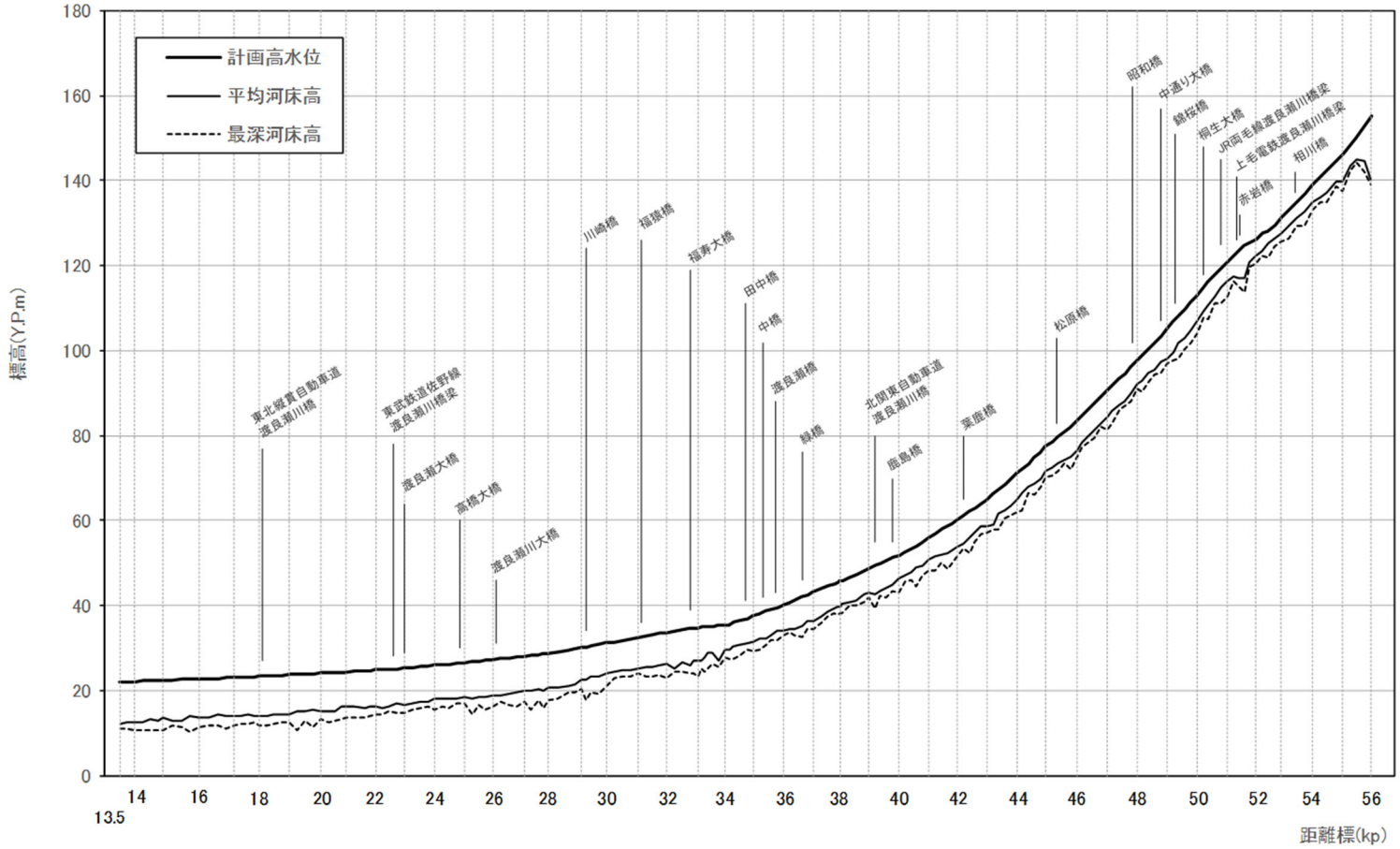

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 計画高水位 (Y.P.m) | 2.300 | 3.160 | 5.041 | 7.288 | 10.021 | 13.203 | 17.769 | 23.589 | 30.669 | 48.199 |
| 平均河床高 (Y.P.m) | −4.954 | −3.652 | −4.725 | −3.447 | −1.399 | 2.131 | 7.043 | 12.559 | 21.201 | 41.055 |
| 最深河床高 (Y.P.m) | −9.297 | −6.643 | −12.143 | −5.875 | −3.974 | 0.340 | 6.200 | 10.360 | 20.250 | 37.806 |
| 距離標 | 0.0k | 20.0k | 40.0k | 60.0k | 80.0k | 100.0k | 120.0k | 140.0k | 160.0k | 180.0k |

図 4.1　計画縦断図（利根川）



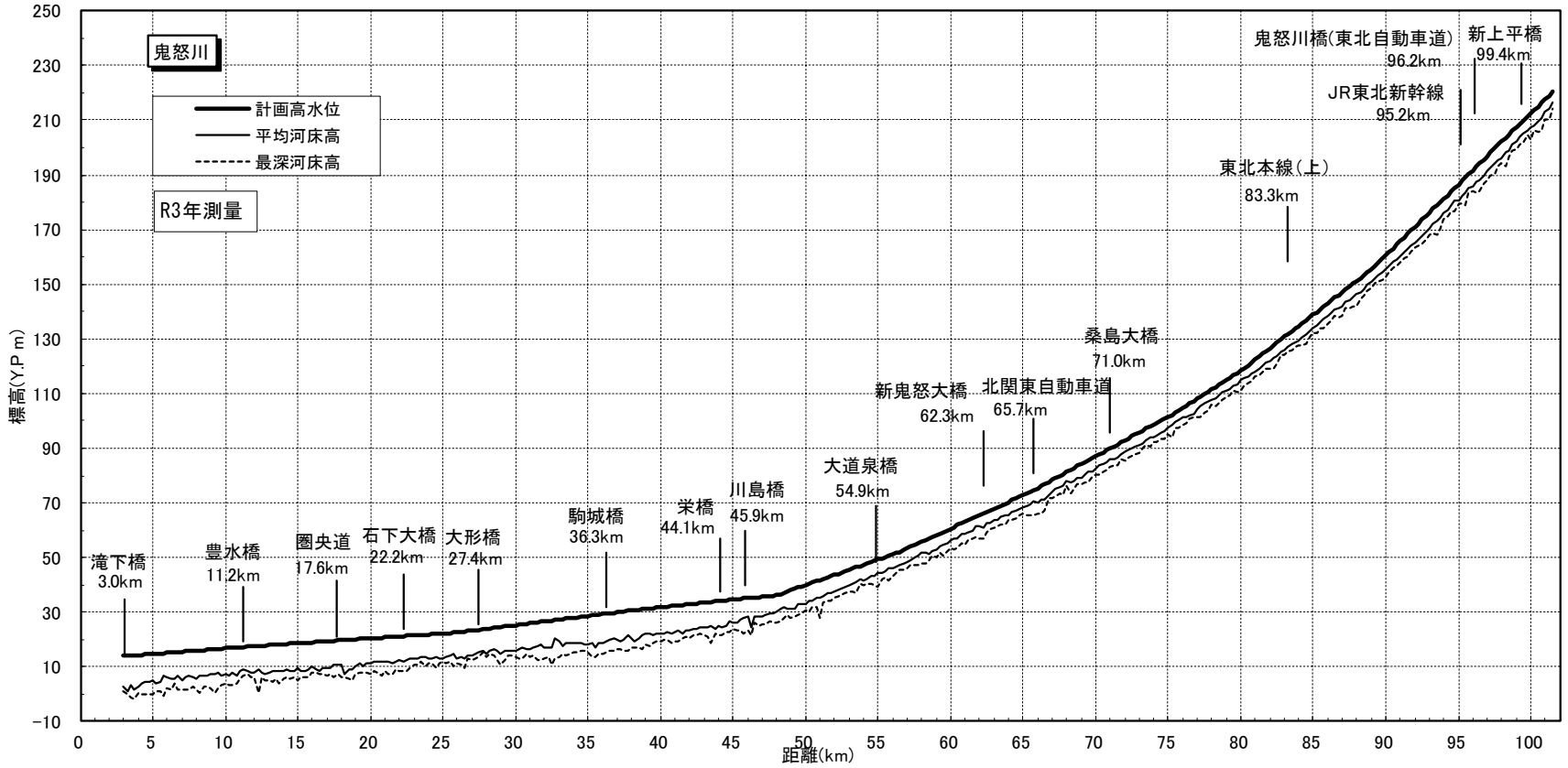

| 距離標(k) | 0 | 2 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 | 32 | 34 | 36 | 38 | 40 | 42 | 44 | 46 | 48 | 50 | 52 | 54 | 56 | 58 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 計画高水位(Y.P.m) | 4.80 | 4.80 | 5.25 | 6.02 | 6.69 | 7.19 | 7.74 | 8.23 | 8.73 | 9.23 | 9.71 | 10.20 | 10.66 | 11.15 | 11.63 | 12.13 | 12.59 | 13.10 | 13.61 | 14.09 | 14.56 | 15.07 | 15.57 | 16.01 | 16.51 | 17.02 | 17.51 |
| 平均河床高(Y.P.m) | -0.82 | -0.89 | -1.23 | -1.67 | -1.54 | -1.00 | -1.17 | -0.63 | -0.27 | 1.52 | 0.29 | 1.65 | 1.93 | 2.01 | 2.30 | 2.25 | 3.14 | 3.26 | 4.03 | 4.26 | 4.08 | 5.25 | 5.85 | 6.33 | 6.65 | 6.69 | 6.66 |
| 最深河床高(Y.P.m) | -3.43 | -3.35 | -2.81 | -4.90 | -2.80 | -2.38 | -3.48 | -2.22 | -1.58 | -1.88 | -1.69 | 0.69 | 0.77 | 0.95 | 0.51 | 0.91 | 2.12 | 2.10 | 2.63 | 2.57 | 2.53 | 4.48 | 4.49 | 4.63 | 4.91 | 4.42 | 4.30 |

図 4.2　計画縦断図（江戸川）



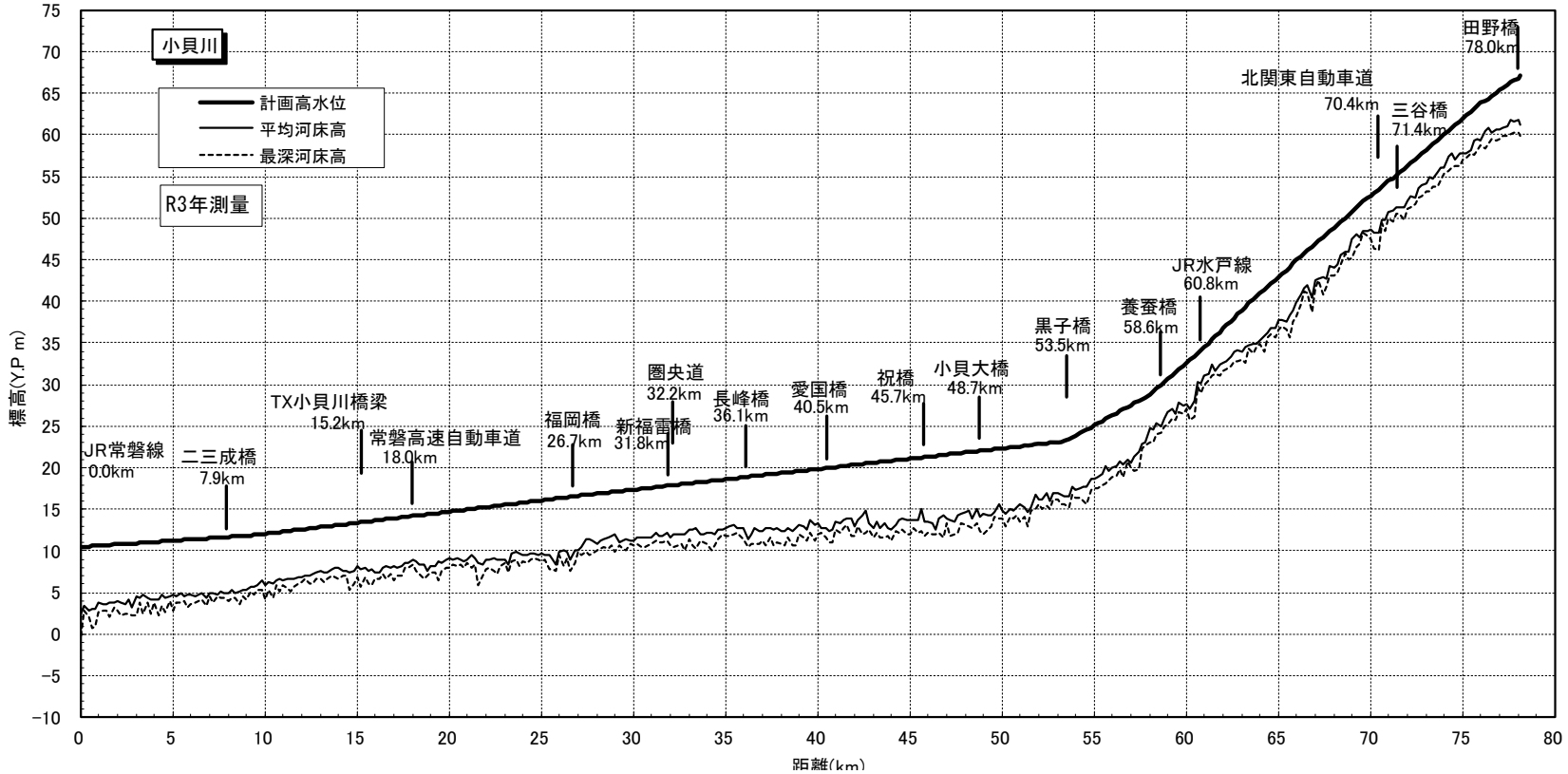

| 距離標(kp) | 13.5 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 | 32 | 34 | 36 | 38 | 40 | 42 | 44 | 46 | 48 | 50 | 52 | 54 | 56 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 計画高水位(Y.P.m) | 21.96 | 22.17 | 22.76 | 23.33 | 24.10 | 24.86 | 25.98 | 27.29 | 28.75 | 31.17 | 33.64 | 35.48 | 40.24 | 45.67 | 51.97 | 60.36 | 71.00 | 83.45 | 97.72 | 112.93 | 126.33 | 138.92 | 155.40 |
| 平均河床高(Y.P.m) | 12.18 | 12.64 | 13.75 | 13.94 | 15.26 | 16.35 | 17.95 | 18.95 | 20.59 | 23.98 | 26.26 | 29.83 | 34.27 | 39.87 | 46.21 | 53.89 | 64.94 | 76.47 | 92.02 | 107.10 | 122.31 | 135.01 | 140.26 |
| 最深河床高(Y.P.m) | 11.19 | 10.66 | 11.49 | 11.74 | 13.23 | 14.50 | 15.64 | 16.07 | 17.91 | 20.95 | 23.02 | 27.61 | 32.97 | 38.29 | 43.21 | 51.76 | 62.19 | 75.08 | 91.00 | 104.14 | 120.42 | 133.24 | 139.00 |

図 4.3　計画縦断図（渡良瀬川）




| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 計画高水位 (Y.P.m) | 13.940 | 16.840 | 20.470 | 25.310 | 31.800 | 39.980 | 60.570 | 87.090 | 118.390 | 160.570 | 212.450 |
| 平均河床高 (Y.P.m) | 2.737 | 7.620 | 11.349 | 15.733 | 22.318 | 33.089 | 56.212 | 82.478 | 115.072 | 155.633 | 207.150 |
| 最深河床高 (Y.P.m) | 0.890 | 4.100 | 7.570 | 13.660 | 19.200 | 30.550 | 53.260 | 80.060 | 111.050 | 152.450 | 203.110 |
| 距離標 | 3.0k | 10.0k | 20.0k | 30.0k | 40.0k | 50.0k | 60.0k | 70.0k | 80.0k | 90.0k | 100.0k |

図 4.4　計画縦断図（鬼怒川）




| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 計画高水位 (Y.P.m) | 10.480 | 12.042 | 14.732 | 17.365 | 19.849 | 22.323 | 32.555 | 52.694 | 66.798 |
| 平均河床高 (Y.P.m) | 2.375 | 5.969 | 9.101 | 11.325 | 13.409 | 14.833 | 27.693 | 48.622 | 61.841 |
| 最深河床高 (Y.P.m) | −0.290 | 4.261 | 8.009 | 10.702 | 12.070 | 13.836 | 27.066 | 47.384 | 60.280 |
| 距離標 | 0.0k | 10.0k | 20.0k | 30.0k | 40.0k | 50.0k | 60.0k | 70.0k | 78.0k |

図 4.5　計画縦断図（小貝川）

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 | 河口又は合流点からの距離(km) | | 計画高水位 Y.P. (m) | 川幅 (m) |
|---|---|---|---|---|---|
| 利根川 | 八斗島 | 河口から | 181.5 | 50.51 | 1,040 |
| | 川俣 | 〃 | 150.5 | 27.13 | 660 |
| | 栗橋 | 〃 | 130.4 | 20.97 | 720 |
| | 芽吹橋 | 〃 | 104.0 | 14.06 | 540 |
| | 取手 | 〃 | 85.3 | 10.92 | 1,270 |
| | 布川 | 〃 | 76.5 | 9.38 | 280 |
| | 佐原 | 〃 | 41.0 | 5.17 | 540 |
| | 銚子 | 〃 | 0.7 | 2.30 | 640 |
| 烏川 | 玉村 | 利根川合流点から | 0.0 | 55.25 | 630 |
| 渡良瀬川 | 高津戸 | 利根川合流点から | 56.0 | 154.81 | 50 |
| | 足利 | 〃 | 35.7 | 39.22 | 280 |
| | 藤岡 | 〃 | 13.0 | 21.74 | 240 |
| 鬼怒川 | 石井 | 利根川合流点から | 75.2 | 102.03 | 590 |
| | 水海道 | 〃 | 11.0 | 17.25 | 350 |
| 小貝川 | 黒子 | 利根川合流点から | 60.4 | 23.23 | 150 |
| | 川又 | 〃 | 27.9 | 14.96 | 170 |
| 霞ヶ浦（西浦） | 出島 | | | 湖水位 2.85 | |
| 霞ヶ浦（北浦） | 白浜 | | | 湖水位 2.85 | |
| 江戸川 | 関宿 | 河口から | 58.4 | 17.62 | 400 |
| | 松戸 | 〃 | 19.6 | 8.13 | 480 |
| | 妙典 | 〃 | 0.1 | ＊4.80 | 400 |
| 旧江戸川 | 篠崎 | 河口から | 9.1 | ＊4.80 | 200 |
| 中川 | 吉川 | 河口から | 30.6 | A.P.4.75 | 200 |

（注）Y.P.：堀江量水標零点高（T.P.-0.84 m）
A.P.：霊岸島量水標零点高（T.P.－1.13 m）
＊　：計画高潮位

## 4-1　（参考）気候変動の影響による河口出発水位の検討

IPCC のレポートでは、平成 22 年（2010 年）までの平均海面水位の予測上昇範囲は、RCP2.6（2℃上昇に相当）で 0.29 m ～ 0.59 m であり、RCP2.6 シナリオの気候変動による水位上昇の平均値は 0.43 m とされている。

利根川水系では、流下能力の算定条件として、朔望平均満潮位に最大偏差及び塩水による密度差を加えた値を河口の出発水位を設定している。仮に河口出発水位が上昇（RCP2.6 シナリオの平均値 43cm）した場合の流下能力への影響を試算した。

### 1)　利根川

現行の出発水位＝朔望平均満潮位＋最大偏差＋密度差

であり、各項は以下のとおりである。

朔望平均満潮位　＝Y.P.1.493m

最大偏差　　＝0.0m

密度差　　＝河口部平均水深(7.702m)× 2.5%　(水深の 2.5% )

＝0.193m

よって、現行の出発水位は以下となる。

現行の出発水位　＝Y.P.+1.493 m+0.0 m+0.193 m

＝Y.P.+1.686 m

気候変動による海面水位上昇量　＝RCP2.6 シナリオの平均値

＝0.43 m

気候変動を考慮した出発水　　＝現行の出発水位＋気候変動による海面上昇量

＝Y.P. 1.686 m　＋　0.43 m

＝Y.P. 2.116 m

＞現行出発水位：Y.P. 1.686 m

求めた出発水位をもとに流下能力を試算した結果を図 4.6 に示す。気候変動を考慮した出発水位による計算水位は H.W.L を超過する区間があるが、計画堤防高を大きく下回る結果となっている。今後、気候変動により予測される平均海面水位の上昇量等を適切に評価し、海岸保全基本計画との整合を図りながら、計画高潮位について策定する。

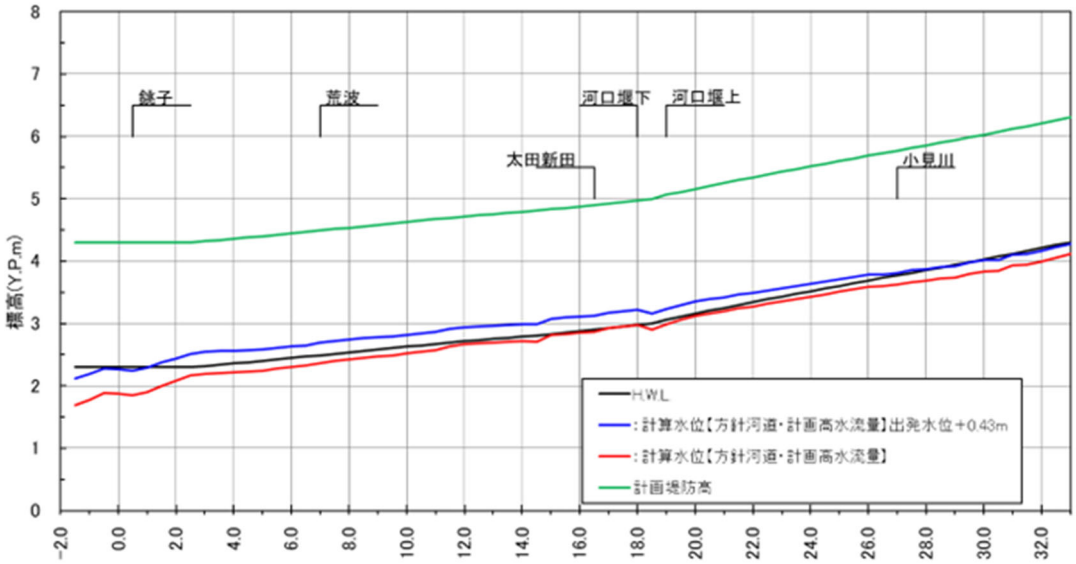



図 4.6　利根川における海面水位上昇が出発水位に与える影響　水位縦断図

### 2)　江戸川

現行の出発水位＝朔望平均満潮位＋最大偏差＋密度差

であり、各項は以下のとおりである。

朔望平均満潮位　＝Y.P.1.76 m

最大偏差　＝0.0m

密度差　＝河口部平均水深(5.1m)× 2.5%　(水深の 2.5% )

＝0.13m

よって、現行の出発水位は以下となる。

現行の出発水位　＝Y.P.+1.76 m+0.0 m+0.13 m

≒Y.P.+1.9 m

気候変動による海面水位上昇量　＝RCP2.6 シナリオの平均値

＝0.43 m

気候変動を考慮した出発水　＝現行の出発水位＋気候変動による海面上昇量

＝Y.P. 1.9 m　+　0.43 m

≒Y.P. 2.4 m

＞現行出発水位：Y.P. 1.9 m

求めた出発水位をもとに流下能力を試算した結果を図 4.7 に示す。気候変動を考慮した出発水位による計算水位においても、H.W.L を超過する区間はない結果となった。今後、計画高潮位について、気候変動により予測される平均海面水位の上昇量等を適切に評価し、海岸保全基本計画との整合を図りながら、見直しを行う。

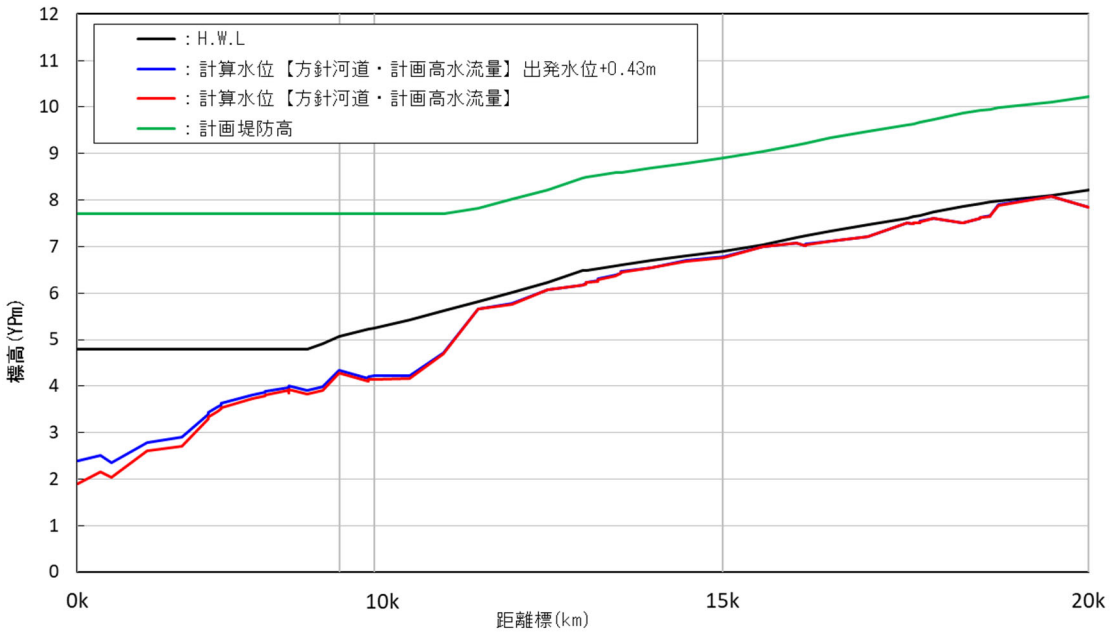



図 4.7　江戸川における海面水位上昇が出発水位に与える影響　水位縦断図

## 5　河川管理施設等の整備の現状

利根川における河川管理施設等の整備状況は下記のとおりである。

### 1)　堤防

堤防の整備状況（令和 5 年 3 月末時点）は表 5.1 のとおりである。

表 5.1　堤防整備の状況

| | 延長（m） | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 利根川 | 江戸川 | 渡良瀬川 | 鬼怒川 | 小貝川 |
| 完成堤防 | 244,229 | 105,457 | 90,482 | 140,930 | 102,420 |
| 暫定堤防 | 157,989 | 27,804 | 35,867 | 51,230 | 45,620 |
| 未施工区間 | 8,807 | 0 | 5,342 | 3,010 | 1,060 |
| 堤防不要区間 | 29,047 | 762 | 8,417 | 15,660 | 16,560 |
| 計 | 440,072 | 134,023 | 140,108 | 210,830 | 165,660 |

＊延長は、直轄管理区間（ダム管理区間を除く）の左右岸の合計である。

＊暫定堤防は、H.W.L 以上の堤防と H.W.L 未満の堤防の合計である。

### 2)　洪水調節施設

利根川水系の洪水調節施設は以下のとおりであり、このほか、指定区間において完成 15 施設、事業中 3 施設の洪水調節施設がある。

完成施設　　：　概ね　53,000 万㎥

事業中施設　　：　概ね　9,000 万㎥

残りの必要容量　：　概ね　42,000 万㎥

# 6　その他主要な河川の検討

## 6-1　計画規模の設定（烏川）

計画規模については、既定計画の 1/100 を踏襲するものとする。

## 6-2　対象降雨の継続時間の設定（烏川）

### 1)　対象降雨の継続時間設定の考え方

烏川流域における対象降雨の継続時間については、基準地点八斗島の上流に位置することを考慮し、八斗島上流域での整理を踏襲した。

### 2)　対象降雨の降雨継続時間の設定

八斗島上流域での整理を踏襲し、対象降雨の降雨継続時間は 48 時間と設定した。

## 6-3　対象降雨の降雨量の設定（烏川）

八斗島上流域の結果から 1/100 対象降雨の降雨量を基準地点である八斗島で 294 mm/48 h と決定した。この結果を表 6.17 に、グラフを図 6.22 に示す。

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、基準地点である八斗島の 1/100 降雨量 294 mm/48 h に降雨量変化倍率 1.1 倍を乗じて得られた 324 mm/48 h を採用し、表 6.18 にまとめる。

# 表 6.1　基準地点八斗島　48 時間雨量　1/100 確率計算結果

毎年（年最大雨量）　　(mm/48h)

| 項　目 | | 利根川　八斗島地点 | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 毎年値 | | | | | | | | | | | |
| | | 指数分布 | 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（岩井法） | 対数ピアソンⅢ型分布（対数空間法） | 対数正規分布（岩井法） | 対数正規分布（石原・高瀬法） | 対数正規分布（白旗法） | 3母数対数正規分布（積率法） | 2母数対数正規分布（L積率法） | 2母数対数正規分布（積率法） |
| | | Exp | Gumbel | SQRTET | GEV | LP3Rs | LogP3 | LNIwai | IsiTaka | LN3(Q) | LN3(PM) | LN2(LM) | LN2(PM) |
| 標本数 | | 75（S11-H22） | | | | | | | | | | | |
| 確率規模 | 1/2 | 98.2 | 107.6 | 103.2 | 105.8 | 108.2 | － | 105.1 | 107.6 | 103.9 | 107.8 | 105.0 | 105.0 |
| | 1/3 | 123.0 | 131.3 | 126.8 | 129.0 | 132.7 | － | 128.6 | 131.0 | 127.5 | 131.4 | 129.0 | 128.6 |
| | 1/5 | 154.2 | 157.6 | 155.5 | 155.7 | 159.4 | － | 155.9 | 157.1 | 155.5 | 157.5 | 156.9 | 155.9 |
| | 1/10 | 196.6 | 190.8 | 195.2 | 190.6 | 191.4 | － | 191.6 | 189.6 | 192.8 | 189.8 | 193.6 | 191.7 |
| | 1/20 | 239.0 | 222.5 | 237.0 | 225.5 | 220.6 | － | 227.2 | 220.7 | 230.7 | 220.4 | 230.3 | 227.4 |
| | 1/30 | 263.8 | 240.8 | 262.6 | 246.3 | 236.7 | － | 248.2 | 238.5 | 253.3 | 238.0 | 252.0 | 248.5 |
| | 1/50 | 295.1 | 263.6 | 296.4 | 272.9 | 256.1 | － | 275.0 | 260.3 | 282.6 | 259.9 | 279.9 | 275.6 |
| | 1/80 | 323.3 | 284.5 | 328.9 | 298.1 | 273.4 | － | 300.3 | 281.3 | 310.4 | 280.0 | 306.1 | 300.9 |
| | 1/100 | 337.5 | 294.4 | 344.8 | 310.2 | 281.3 | － | 312.4 | 291.0 | 323.9 | 289.5 | 318.8 | 313.2 |
| | 1/150 | 362.3 | 312.4 | 374.6 | 332.6 | 295.5 | － | 334.9 | 308.7 | 348.9 | 306.8 | 342.2 | 335.8 |
| | 1/200 | 379.9 | 325.1 | 396.4 | 348.9 | 305.3 | － | 351.1 | 321.4 | 367.0 | 319.2 | 359.1 | 352.1 |
| | 1/400 | 422.3 | 355.8 | 451.1 | 389.0 | 328.3 | － | 391.2 | 352.1 | 412.3 | 349.0 | 401.0 | 392.5 |
| ＳＬＳＣ(93%) | | 0.038 | 0.019 | 0.026 | 0.020 | 0.026 | － | 0.018 | 0.022 | 0.019 | 0.023 | 0.017 | 0.018 |
| 相関係数 | X-COR | 0.984 | 0.996 | 0.989 | 0.995 | 0.996 | － | 0.995 | 0.996 | 0.993 | 0.996 | 0.995 | 0.995 |
| | P-COR | 0.975 | 0.995 | 0.997 | 0.996 | 0.995 | － | 0.997 | 0.995 | 0.997 | 0.995 | 0.997 | 0.997 |
| 推定値1/200 | | 379.9 | 325.1 | 399.5 | 346.5 | 317.1 | － | 554.3 | 319.5 | 711.0 | 316.9 | 357.1 | 351.4 |
| 推定誤差1/200 | | 29.7 | 24.6 | 35.9 | 45.5 | 36.3 | － | 38.9 | 36.0 | 66.8 | 35.1 | 37.6 | 35.5 |

推定値、推定誤差はjackknife法

SLSC≦0.04

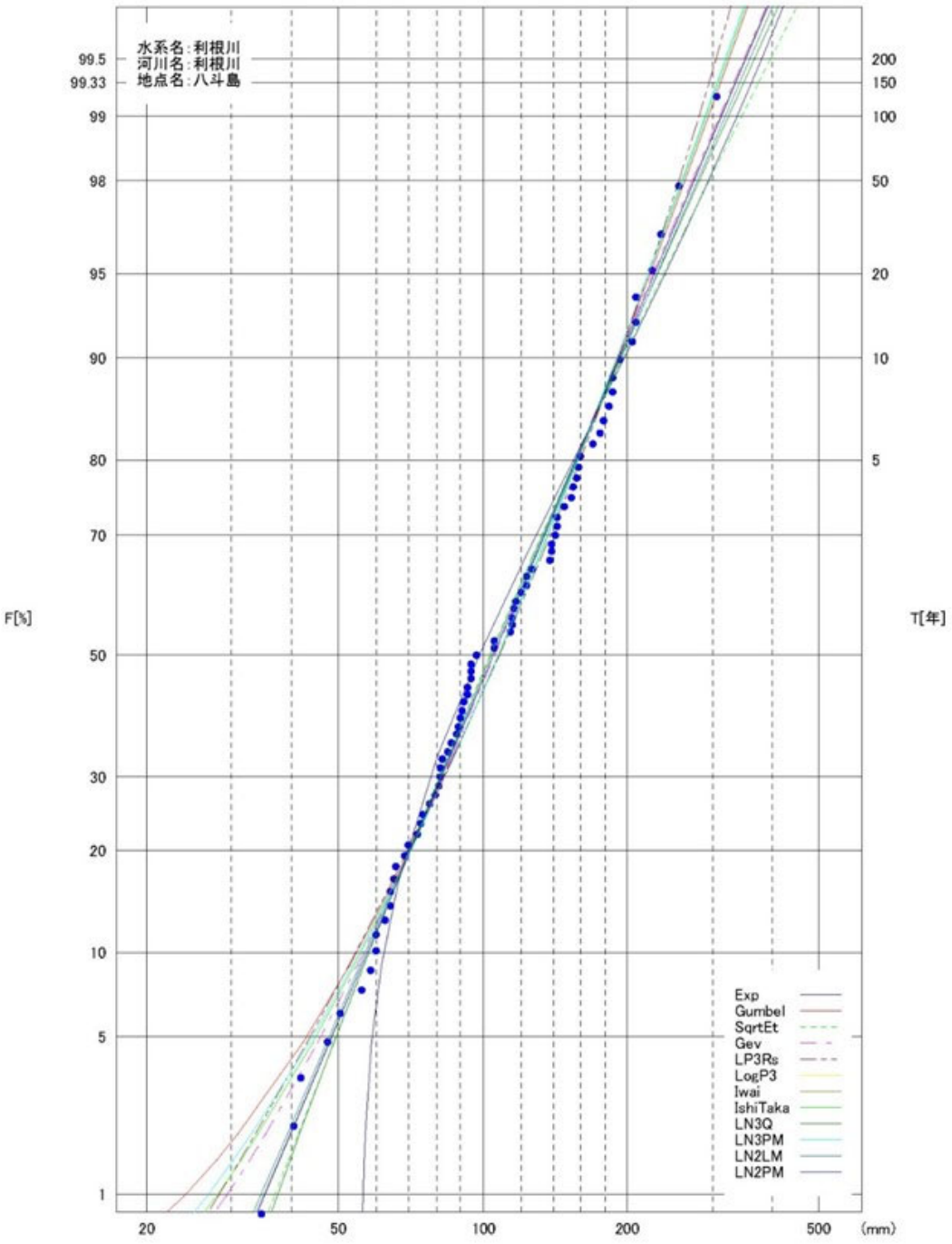



図 6.1　雨量確率計算結果

表 6.2　1/100 確率規模降雨量（基準地点八斗島）

| 項目 | 八斗島 | 備考 |
|---|---|---|
| 1/100 確率雨量<br>（S11～H22 標本） | 294 mm/48 h | 確率手法 SLSC≦0.04 |
| 気候変動を<br>考慮した降雨量 | 324 mm/48 h | 294mm/48h<br>×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。

### (1) Mann-Kendall 検定（定常/非定常性の確認）

昭和 11 年（1936 年）から平成 22 年（2010 年）までの雨量データに一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した。

⇒非定常性は確認されなかったため、近年降雨までデータ延伸を実施した。

### (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た場合の Gumbel 分布による確率雨量を算定した。

⇒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八斗島 1/100 確率雨量は 298 m/48 h となりデータ延伸による確率雨量に大きな差がないことを確認した。

## 6-4　雨量確率法による検討（烏川）

### 1)　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引伸ばしすると、引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。

検討対象洪水の選定は、令和 3 年（2021 年）までの基準地点八斗島における 48 時間雨量のうち、表 6.17 の年超過確率 1/5（158 mm/48 h）を超過し、引伸ばし率が 2 倍以下（1.1 倍する前の確率雨量）となる 20 洪水を選定した。

選定した洪水を対象に、基準地点八斗島の 1/100 確率 48 時間雨量 324 mm（294 mm×1.1）となるよう引伸ばしを行った。

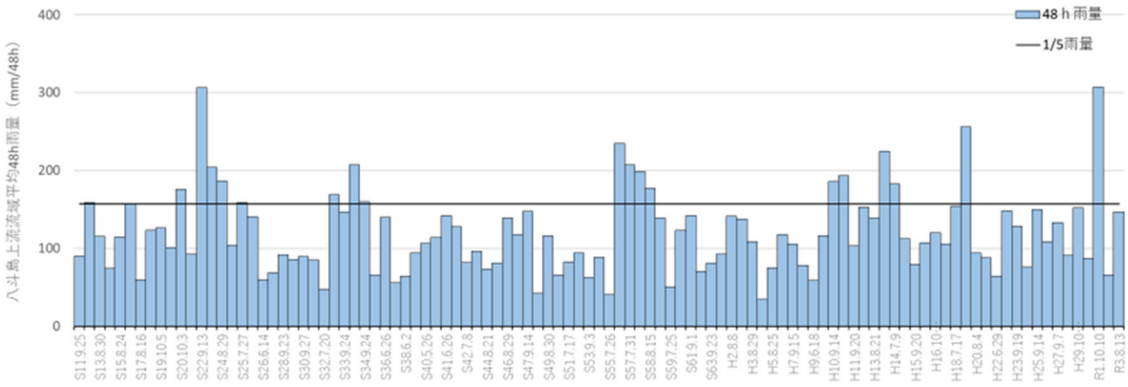



図 6.2　対象洪水の選定（基準地点八斗島）

表 6.3　選定洪水一覧（八斗島基準地点）

| No | 洪水名 | 八斗島地点 48時間雨量（mm） | 計画規模降雨量×1.1（mm/48h） | 引き伸ばし率 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | S12.7.14 | 158.7 | 324 | 2.04 |
| 2 | S16.7.20 | 157.1 | 324 | 2.06 |
| 3 | S20.10.3 | 176.0 | 324 | 1.84 |
| 4 | S22.9.13 | 306.6 | 324 | 1.06 |
| 5 | S23.9.14 | 204.3 | 324 | 1.59 |
| 6 | S24.8.29 | 186.4 | 324 | 1.74 |
| 7 | S25.7.27 | 159.2 | 324 | 2.03 |
| 8 | S33.9.16 | 169.2 | 324 | 1.91 |
| 9 | S34.8.12 | 207.3 | 324 | 1.56 |
| 10 | S34.9.24 | 159.5 | 324 | 2.03 |
| 11 | S56.8.21 | 234.8 | 324 | 1.38 |
| 12 | S57.7.31 | 207.4 | 324 | 1.56 |
| 13 | S57.9.10 | 199.0 | 324 | 1.63 |
| 14 | S58.8.15 | 177.7 | 324 | 1.82 |
| 15 | H10.9.14 | 186.0 | 324 | 1.74 |
| 16 | H11.8.13 | 193.2 | 324 | 1.68 |
| 17 | H13.9.9 | 224.9 | 324 | 1.44 |
| 18 | H14.7.9 | 182.9 | 324 | 1.77 |
| 19 | H19.9.5 | 255.7 | 324 | 1.27 |
| 20 | R1.10.10 | 307.0 | 324 | 1.05 |

※引伸ばし率：「48 時間雨量(mm)」と「1/100 確率雨量×1.1」との比率

## 2)　対象降雨の地域分布及び時間分布の検討

### (1)　　対象降雨の地域分布及び時間分布の検討の考え方

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」等を一律引伸ばしすると、引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、確率水文量への引伸ばしによって異常な降雨になっていないか十分にチェックする必要がある。

従って、前項で選定した洪水について、引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。

### (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。

### (3)　　地域分布の評価

①　対象地域の選定

対象地域は、以下に示す 2 流域を選定した。

なお、この対象流域を選定した主な理由について以下に示す。

A：烏川流域

基準地点八斗島上流域の主要支川である烏川流域のハイエトの確認用として選定

B：神流川流域

基準地点八斗島上流域の主要支川である神流川流域のハイエトの確認用として選定

② 棄却基準値の選定

各対象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 11 年（1936 年）から平成 22 年（2010 年）までの各対象地域における年最大 48 時間雨量について確率計算を行い、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おける 1/500 確率雨量を採用した。

③ 地域分布の雨量評価

前項に選定した地域について、引伸ばし後雨量の異常性評価を確認する。各地域の引伸ばし後雨量及び 1/500 雨量は表 6.20 に示すとおりであり、棄却される洪水はなかった。

表 6.4　地域分布による引伸ばし後降雨の確率表

| 洪水名 | | 継続時間内降雨量（mm/48h） | 引伸ばし前 | | | 引伸ばし後 | | 判定1/500 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 地域降雨量（mm） | | 引伸ばし率 | 地域降雨量（mm） | | 地域分布 | | 対象降雨 |
| | | | 烏川 | 神流川 | | 烏川 | 神流川 | 烏川 | 神流川 | |
| | | | 48h | | | 48h | | 48h | | |
| 2 | S12.7.14 | 158.7 | 120.9 | 115.8 | 1.86 | 224.2 | 214.9 | ○ | ○ | ○ |
| 3 | S16.7.20 | 157.1 | 219.7 | 279.7 | 1.87 | 411.7 | 524.1 | ○ | ○ | ○ |
| 4 | S20.10.3 | 176.0 | 179.1 | 227.6 | 1.67 | 299.5 | 380.7 | ○ | ○ | ○ |
| 5 | S22.9.13 | 306.6 | 360.7 | 375.2 | 0.96 | 346.3 | 360.2 | ○ | ○ | ○ |
| 6 | S23.9.14 | 204.3 | 217.4 | 253.8 | 1.44 | 313.2 | 365.6 | ○ | ○ | ○ |
| 7 | S24.8.29 | 186.4 | 200.9 | 287.3 | 1.58 | 317.4 | 453.7 | ○ | ○ | ○ |
| 8 | S25.7.27 | 159.2 | 185.3 | 181.0 | 1.85 | 342.6 | 334.7 | ○ | ○ | ○ |
| 9 | S33.9.16 | 169.2 | 196.0 | 208.4 | 1.74 | 341.1 | 362.6 | ○ | ○ | ○ |
| 10 | S34.8.12 | 207.3 | 204.7 | 261.3 | 1.42 | 290.7 | 371.0 | ○ | ○ | ○ |
| 11 | S34.9.24 | 159.5 | 163.6 | 160.0 | 1.85 | 301.9 | 295.2 | ○ | ○ | ○ |
| 12 | S56.8.21 | 234.8 | 262.3 | 243.1 | 1.25 | 328.9 | 304.8 | ○ | ○ | ○ |
| 13 | S57.7.31 | 207.4 | 245.1 | 249.2 | 1.42 | 348.0 | 353.8 | ○ | ○ | ○ |
| 14 | S57.9.10 | 199.0 | 225.3 | 271.3 | 1.48 | 333.4 | 401.3 | ○ | ○ | ○ |
| 15 | S58.8.15 | 177.7 | 249.7 | 259.4 | 1.66 | 413.5 | 429.6 | ○ | ○ | ○ |
| 16 | H10.9.14 | 186.0 | 204.2 | 196.9 | 1.58 | 323.2 | 311.6 | ○ | ○ | ○ |
| 17 | H11.8.13 | 193.2 | 276.2 | 331.2 | 1.52 | 420.8 | 504.7 | ○ | ○ | ○ |
| 18 | H13.9.9 | 224.9 | 265.7 | 373.4 | 1.31 | 347.7 | 488.7 | ○ | ○ | ○ |
| 19 | H14.7.9 | 182.9 | 187.3 | 187.9 | 1.61 | 301.5 | 302.4 | ○ | ○ | ○ |
| 20 | H19.9.5 | 255.7 | 391.5 | 428.6 | 1.15 | 450.7 | 493.5 | ○ | ○ | ○ |
| 21 | R1.10.10 | 307.0 | 398.3 | 482.9 | 0.96 | 382.0 | 463.2 | ○ | ○ | ○ |
| 棄却基準値 | | | | | | 456.9 | 553.6 | | | |

※引伸ばし率は、八斗島基準地点 1/100 確率規模降雨量 294 mm/48 h に対する実績 48 時間雨量との引伸ばし率である。

### (4)　時間分布の評価

時間分布の検討では、洪水到達時間相当の短時間雨量について過度に引伸ばしがされていないか確認を行った。

① 対象時間の選定

対象時間は、八斗島上流域における設定を踏襲し、15 時間を短時間雨量として設定した。

また、計画降雨継続時間 48 時間の 1/2 である 24 時間を短時間雨量として設定し、表 6.21 に示す。

表 6.5　対象時間の設定

| 基準地点名 | 時間分布棄却基準（短時間雨量として設定） | |
|---|---|---|
| 八斗島 | 15 h | 24 h |

② 棄却基準値の設定

各対象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 11 年（1936 年）から平成 22 年（2010 年）までの各対象地域における年最大 48 時間雨量について確率計算を行い、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おける 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、著しい引伸ばしとなっていないかを確認する。

各時間の引伸ばし後雨量及び 1/500 雨量は表 6.22 に示すとおりであり、著しい引伸ばしは確認されなかった。

表 6.6　短時間降雨確率評価表

| 洪水名 | | 引伸ばし前 | | | | 引伸ばし後 | | 判定1/500 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 短時間降雨量（mm） | | 継続時間内降雨量（mm/48h） | 引伸ばし率 | 短時間降雨量（mm） | | 時間分布 | | 対象降雨 |
| | | 八斗島上流域 | | | | 八斗島上流域 | | 八斗島上流域 | | |
| | | 15h | 24h | | | 15h | 24h | 15h | 24h | |
| 1 | S12.7.14 | 100.3 | 118.1 | 158.7 | 1.86 | 186.1 | 219.2 | ○ | ○ | ○ |
| 2 | S16.7.20 | 122.2 | 146.6 | 157.1 | 1.87 | 229.0 | 274.7 | ○ | ○ | ○ |
| 3 | S20.10.3 | 98.6 | 136.3 | 176.0 | 1.67 | 164.8 | 228.0 | ○ | ○ | ○ |
| 4 | S22.9.13 | 229.2 | 282.8 | 306.6 | 0.96 | 220.1 | 271.5 | ○ | ○ | ○ |
| 5 | S23.9.14 | 150.4 | 182.9 | 204.3 | 1.44 | 216.7 | 263.6 | ○ | ○ | ○ |
| 6 | S24.8.29 | 135.6 | 170.4 | 186.4 | 1.58 | 214.1 | 269.2 | ○ | ○ | ○ |
| 7 | S25.7.27 | 80.2 | 104.6 | 159.2 | 1.85 | 148.3 | 193.5 | ○ | ○ | ○ |
| 8 | S33.9.16 | 147.0 | 152.8 | 169.2 | 1.74 | 255.7 | 265.9 | | ○ | |
| 9 | S34.8.12 | 102.6 | 131.8 | 207.3 | 1.42 | 145.7 | 187.2 | ○ | ○ | ○ |
| 10 | S34.9.24 | 99.2 | 111.3 | 159.5 | 1.85 | 183.0 | 205.4 | ○ | ○ | ○ |
| 11 | S56.8.21 | 151.7 | 221.7 | 234.8 | 1.25 | 190.1 | 278.0 | ○ | ○ | ○ |
| 12 | S57.7.31 | 147.9 | 180.8 | 207.4 | 1.42 | 210.0 | 256.7 | ○ | ○ | ○ |
| 13 | S57.9.10 | 134.0 | 168.2 | 199.0 | 1.48 | 198.2 | 248.8 | ○ | ○ | ○ |
| 14 | S58.8.15 | 75.0 | 111.5 | 177.7 | 1.66 | 124.2 | 184.7 | ○ | ○ | ○ |
| 15 | H10.9.14 | 181.4 | 182.7 | 186.0 | 1.58 | 287.2 | 289.2 | | ○ | |
| 16 | H11.8.13 | 125.2 | 160.3 | 193.2 | 1.52 | 190.8 | 244.3 | ○ | ○ | ○ |
| 17 | H13.9.9 | 113.3 | 161.7 | 224.9 | 1.31 | 148.3 | 211.7 | ○ | ○ | ○ |
| 18 | H14.7.9 | 119.2 | 151.3 | 182.9 | 1.61 | 191.9 | 243.6 | ○ | ○ | ○ |
| 19 | H19.9.5 | 133.6 | 162.3 | 255.7 | 1.15 | 153.8 | 186.9 | ○ | ○ | ○ |
| 20 | R1.10.10 | 261.2 | 284.4 | 307.0 | 0.96 | 250.5 | 272.7 | ○ | ○ | ○ |
| 棄却基準値 | | | | | | 254.0 | 310.5 | | | |

※引伸ばし率は、八斗島基準地点 1/100 確率規模降雨量 294 mm/48 h に対する実績 48 時間雨量との引伸ばし率である。

## 6-5 高水処理計画

烏川の河川改修は既定計画の計画高水流量（玉村8,800 $m^3/s$）を目標に実施され、一部築堤を施行中の区間があるものの他の区間の堤防高は計画高水位を概ね確保している。

烏川は基準地点八斗島の上流に位置することから、洪水調節施設は基準地点八斗島に対する施設配置によるものとし、これを踏まえた河道の検討を行った。

検討の基本的な考え方として、掘削等により河道の流下能力や遊水機能の増大を図ることとした。

その結果、堤防の嵩上げや引堤による社会的影響及び大幅な河道掘削による河川環境の改変や将来河道の維持を考慮すると玉村 9,600 $m^3/s$ であり、これを計画高水流量とする。

## 6-6　計画高水流量

烏川の計画高水流量は、主要地点玉村において 9,600 ㎥/s とし、各地点の計画高水流量は図 6.24 のとおりとする。

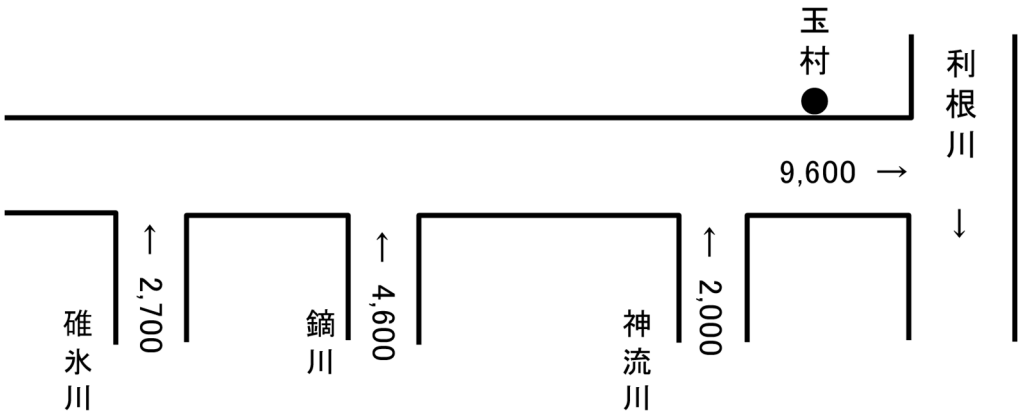



図 6.3　烏川計画高水流量配分図

## 6-7　計画規模の設定（霞ヶ浦）

計画規模については、既定計画の 1/100 を踏襲するものとする。

## 6-8　対象降雨の継続時間の設定（霞ヶ浦）

### 1)　対象降雨の継続時間設定の考え方

霞ヶ浦は洪水時に利根川本川からの逆流を受けないよう、水門により閉鎖され、閉鎖水域となるよう計画されている。このため、水門閉鎖期間の降雨は河道内に貯留されることから、他の河川と同様な計画降雨継続時間を設定することが困難であり、流域内の全ての降雨を貯留する継続時間を検討した。

### 2)　一雨降雨の継続時間

洪水継続時間の設定にあたっては、実績水位の高い 10 洪水を対象に降雨継続時間及び洪水継続時間を検討した結果、一雨降雨の継続時間は 22 時間から 148 時間となることが確認され、その結果を表 6.1 に示す。

表 6.7　一雨降雨の継続時間

| 順位 | 年月日 | 水位 | 降雨継続時間 |
|---|---|---|---|
| 1 | H03.10.12 | 2.49 | 148時間 |
| 2 | H03.09.19 | 2.30 | 86時間 |
| 3 | H16.10.09 | 2.25 | 38時間 |
| 4 | S61.08.05 | 2.05 | 29時間 |
| 5 | S46.09.08 | 1.94 | 60時間 |
| 6 | H25.10.16 | 1.92 | 22時間 |
| 7 | S60.07.01 | 1.89 | 62時間 |
| 8 | H08.09.22 | 1.88 | 25時間 |
| 9 | H16.10.21 | 1.87 | 50時間 |
| 10 | H13.10.11 | 1.86 | 35時間 |

水位単位：Y.P.+ m

### 3)　対象降雨の降雨継続時間の設定

一雨降雨の継続時間から降雨継続時間を 168 時間と設定した。

## 6-9　対象降雨の降雨量の設定（霞ヶ浦）

雨量標本に関しては、常陸川水門が建設され霞ヶ浦が現状に近い施設状態となった昭和 39 年（1964 年）からとし、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、平成 22 年（2010 年）までとし、一覧表を表 6.2 に示す。

昭和 39 年（1964 年）から平成 22 年（2010 年）までの 47 年間の年最大 168 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た 1/100 対象降雨の降雨量を霞ヶ浦で 317 mm/168 h と決定した。この結果を表 6.9、グラフを図 6.4 に示す。

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、霞ヶ浦 1/100 降雨量 317 mm/168 h に降雨量変化倍率 1.1 倍を乗じて得られた 349 mm/168 h を採用し、表 6.10 にまとめる。

表 6.8　年最大 168 時間雨量一覧

| No. | 洪水年月日 | 雨量 |
|---|---|---|
| 1 | S39.8.23 | 187.7 |
| 2 | S40.5.29 | 146.3 |
| 3 | S40.9.17 | 202.5 |
| 4 | S41.6.29 | 96.4 |
| 5 | S43.9.1 | 172.7 |
| 6 | S44.10.30 | 77.2 |
| 7 | S45.11.24 | 158.3 |
| 8 | S46.9.11 | 151.0 |
| 9 | S47.9.20 | 79.2 |
| 10 | S48.8.30 | 54.1 |
| 11 | S49.9.6 | 159.7 |
| 12 | S50.7.7 | 130.1 |
| 13 | S51.5.28 | 162.9 |
| 14 | S52.8.20 | 214.1 |
| 15 | S53.5.20 | 60.1 |
| 16 | S54.10.7 | 111.6 |
| 17 | S55.7.10 | 79.3 |
| 18 | S56.10.25 | 153.0 |
| 19 | S57.9.15 | 185.3 |
| 20 | S58.8.21 | 97.8 |
| 21 | S59.6.24 | 73.1 |
| 22 | S60.7.1 | 182.5 |
| 23 | S61.8.8 | 245.5 |
| 24 | S62.9.5 | 72.0 |
| 25 | S63.9.28 | 196.0 |
| 26 | H1.8.4 | 123.3 |
| 27 | H2.12.2 | 115.2 |
| 28 | H3.10.13 | 275.0 |
| 29 | H4.10.10 | 115.6 |
| 30 | H5.8.30 | 110.0 |
| 31 | H6.9.18 | 159.8 |
| 32 | H7.9.18 | 202.9 |
| 33 | H8.9.24 | 205.1 |
| 34 | H9.6.22 | 93.7 |
| 35 | H10.9.19 | 117.0 |
| 36 | H11.7.16 | 158.8 |
| 37 | H12.7.10 | 155.9 |
| 38 | H13.10.12 | 175.9 |
| 39 | H14.10.2 | 109.3 |
| 40 | H15.8.17 | 168.0 |
| 41 | H16.10.11 | 250.4 |
| 42 | H17.1.21 | 110.4 |
| 43 | H18.7.22 | 148.1 |
| 44 | H19.7.17 | 116.2 |
| 45 | H20.4.10 | 84.5 |
| 46 | H21.10.13 | 94.9 |
| 47 | H22.9.30 | 138.8 |

表 6.9　霞ヶ浦　168 時間雨量　1/100 確率計算結果

| | Exp | Gumbel | SqrtEt | Gev | LP3Rs | LogP3 | Iwai | IshiTaka | LN3Q | LN3PM | LN2LM | LN2PM | LN4PM | Lexp | Gp | GpExp |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| X-COR(99%) | 0.953 | 0.988 | 0.969 | 0.994 | 0.994 | 0.994 | 0.993 | 0.994 | 0.994 | 0.994 | – | – | – | – | – | – |
| P-COR(99%) | 0.944 | 0.992 | 0.989 | 0.994 | 0.995 | 0.994 | 0.993 | 0.994 | 0.994 | 0.994 | – | – | – | – | – | – |
| SLSC(99%) | 0.062 | 0.03 | 0.047 | 0.021 | 0.027 | 0.023 | 0.025 | 0.025 | 0.025 | 0.025 | – | – | – | – | – | – |
| 対数尤度 | −234.6 | −246.3 | −247.3 | −246 | −245.6 | −245.6 | −245.9 | −246.1 | −246 | −246.1 | – | – | – | – | – | – |
| pAIC | 473.1 | 496.5 | 498.7 | 498 | 497.2 | 497.3 | 497.9 | 498.2 | 498 | 498.2 | – | – | – | – | – | – |
| X-COR(50%) | 0.99 | 0.992 | 0.987 | 0.991 | 0.987 | 0.994 | 0.992 | 0.991 | 0.992 | 0.991 | – | – | – | – | – | – |
| P-COR(50%) | 0.99 | 0.992 | 0.99 | 0.991 | 0.99 | 0.994 | 0.992 | 0.992 | 0.992 | 0.992 | – | – | – | – | – | – |
| SLSC(50%) | 0.092 | 0.058 | 0.094 | 0.036 | 0.046 | 0.053 | 0.052 | 0.043 | 0.045 | 0.042 | – | – | – | – | – | – |

| 確率水文量 | 確率年 | Exp | Gumbel | SqrtEt | Gev | LP3Rs | LogP3 | Iwai | IshiTaka | LN3Q | LN3PM | LN2LM | LN2PM | LN4PM | Lexp | Gp | GpExp |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2 | 123.5 | 132.8 | 129.8 | 136.9 | 138.6 | 135.2 | 135.1 | 137.5 | 137.2 | 137.6 | – | – | – | – | – | – |
| | 3 | 147.9 | 156.1 | 155.5 | 160.8 | 162.7 | 159.2 | 158.5 | 160.5 | 160 | 160.6 | – | – | – | – | – | – |
| | 5 | 178.7 | 182.1 | 186.4 | 185.5 | 186.5 | 184.5 | 183.6 | 184.2 | 183.5 | 184.3 | – | – | – | – | – | – |
| | 10 | 220.5 | 214.8 | 228.8 | 214 | 212.2 | 214.4 | 213.9 | 211.5 | 210.8 | 211.5 | – | – | – | – | – | – |
| | 20 | 262.3 | 246.1 | 273.1 | 238.9 | 233.2 | 241.3 | 241.7 | 235.7 | 235.1 | 235.5 | – | – | – | – | – | – |
| | 30 | 286.8 | 264.1 | 300.1 | 252.2 | 243.9 | 256 | 257.3 | 248.8 | 248.4 | 248.7 | – | – | – | – | – | – |
| | 50 | 317.6 | 286.6 | 335.6 | 267.9 | 256 | 273.8 | 276.5 | 264.7 | 264.5 | 264.4 | – | – | – | – | – | – |
| | 80 | 345.9 | 307.2 | 369.6 | 281.3 | 266.1 | 289.5 | 293.9 | 278.8 | 278.8 | 278.4 | – | – | – | – | – | – |
| | 100 | 359.4 | 317 | 386.3 | 287.4 | 270.5 | 296.8 | 302 | 285.3 | 285.4 | 284.8 | – | – | – | – | – | – |
| | 150 | 383.8 | 334.7 | 417.3 | 298 | 278.1 | 309.7 | 316.7 | 296.9 | 297.2 | 296.4 | – | – | – | – | – | – |
| | 200 | 401.2 | 347.2 | 440 | 305.2 | 283.2 | 318.7 | 327.1 | 305 | 305.5 | 304.4 | – | – | – | – | – | – |
| | 400 | 443 | 377.4 | 496.8 | 321.5 | 294.4 | 339.7 | 351.9 | 324 | 324.9 | 323.2 | – | – | – | – | – | – |
| | 0 | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| | 0 | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| | 0 | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| | 0 | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| | 0 | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| | 0 | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – |

【 正規確率紙 】

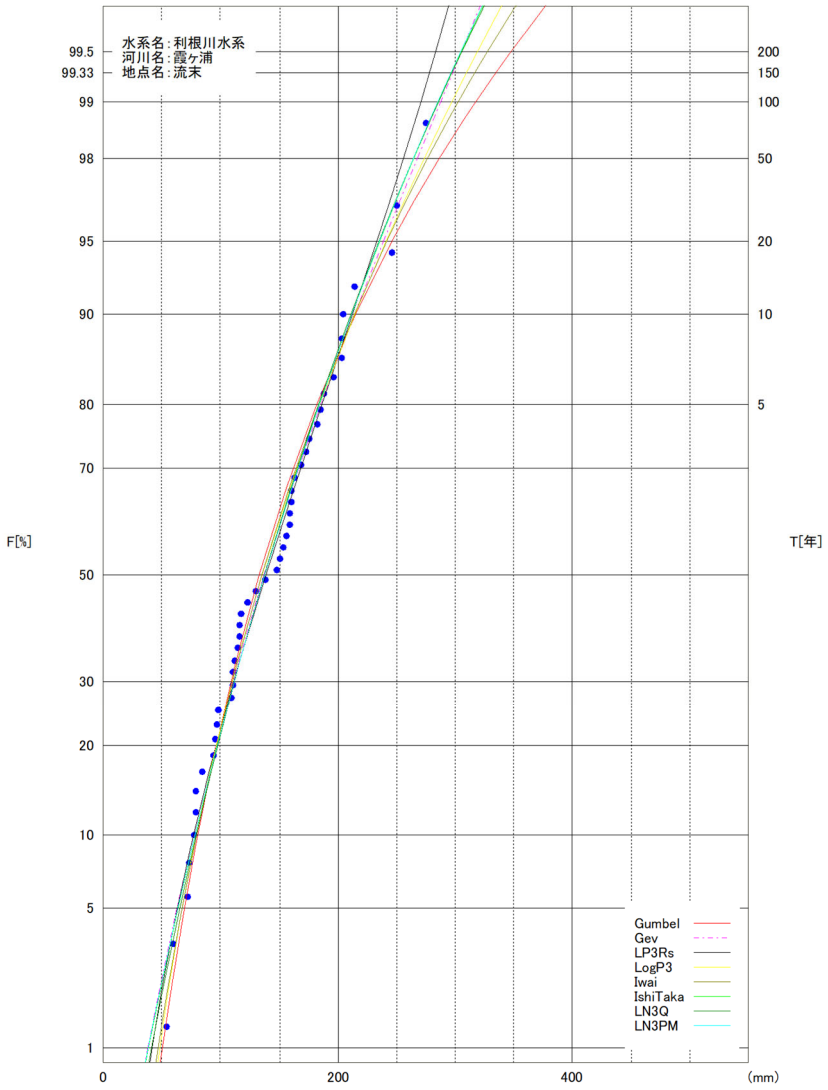



図 6.4　雨量確率計算結果

表 6.10　1/100 確率規模降雨量（霞ヶ浦）

| 項目 | 霞ヶ浦 | 備考 |
|---|---|---|
| 1/100 確率雨量<br>（S39～H22 標本） | 317 mm/168 h | 確率手法 SLSC≦0.04<br>Jackknife 推定誤差最小 |
| 気候変動を<br>考慮した降雨量 | 349 mm/168 h | 317 mm/168 h<br>×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。

**1) Mann-Kendall 検定（定常/非定常性の確認）**

昭和 11 年（1936 年）から平成 22 年（2010 年）までの雨量データに一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した。

⇒非定常性は確認されなかったため、近年降雨までデータ延伸を実施した。

**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た場合の Gumbel 分布による確率雨量を算定した。

⇒令和 3 年（2021 年）までの雨量データを用いた場合の霞ヶ浦 1/100 確率雨量は 317 mm/168 h となり、データ延伸による確率雨量に差がないことを確認した。

## 6-10　雨量確率法による検討（霞ヶ浦）

### 1)　主要降雨波形の設定

主要降雨波形は、令和 3 年までの霞ヶ浦における 168 時間雨量のうち、表 6.3 の年超過確率 1/5（182 mm/168 h）を超過し、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 13 洪水を選定した。ただし、太田新田地点の河道水位が欠測となっている洪水については除外した。

選定した洪水を対象に、霞ヶ浦の 1/100 確率 168 時間雨量 349mm（317mm×1.1）となるよう引き伸ばし降雨波形を作成した。（表 6.5）

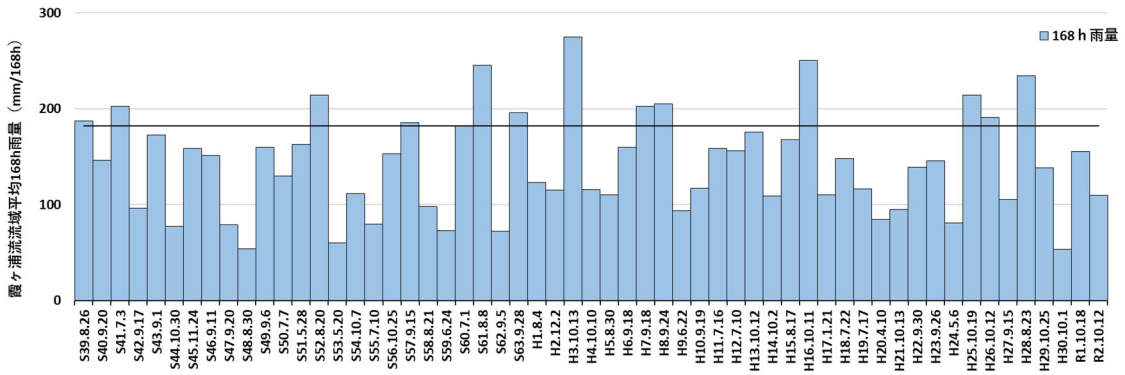



図 6.5　対象洪水の選定（霞ヶ浦）

表 6.11　選定洪水一覧（霞ヶ浦）

| No | 洪水名 | 霞ヶ浦<br>168時間雨量<br>（mm） | 計画規模降雨量<br>×1.1<br>（mm/168h） | 引伸ばし率 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | S52.8.14 | 214.1 | 349 | 1.63 |
| 2 | S57.9.12 | 185.3 | 349 | 1.88 |
| 3 | S60.7.1 | 182.5 | 349 | 1.91 |
| 4 | S61.8.5 | 245.5 | 349 | 1.42 |
| 5 | S63.9.26 | 196.0 | 349 | 1.78 |
| 6 | H3.9.19 | 221.1 | 349 | 1.58 |
| 7 | H3.10.12 | 275.0 | 349 | 1.27 |
| 8 | H7.9.17 | 202.9 | 349 | 1.72 |
| 9 | H8.9.22 | 205.1 | 349 | 1.70 |
| 10 | H16.10.9 | 250.4 | 349 | 1.39 |
| 11 | H25.10.16 | 293.9 | 349 | 1.19 |
| 12 | H26.10.6 | 190.8 | 349 | 1.83 |
| 13 | H28.8.17 | 234.4 | 349 | 1.49 |

※引伸ばし率：「168 時間雨量(mm)」と「1/100 確率雨量×1.1」との比率

## 2)　主要降雨波形の地域分布及び時間分布の検討

### (1)　主要降雨波形の地域分布及び時間分布の検討の考え方

主要降雨波形において、「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」等を一律引伸ばしすると、引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、確率水文量への引伸ばしによって異常な降雨になっていないか十分にチェックする必要がある。

従って、前項で選定した洪水について、引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。

### (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、確率規模が 1/500 以上の降雨をその判断基準とした。

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）とする。

### (3)　地域分布の評価

①　対象地域の選定

対象地域は、以下に示す 2 流域を選定した。

なお、この対象流域を選定した主な理由について以下に示す。

A：西浦流域

霞ヶ浦の本川にあたりハイエトの確認用として選定

B：北浦流域

主要支川である北浦流域のハイエトの確認用として選定

② 棄却基準値の設定

各対象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 39 年（1964 年）から平成 22 年（2010 年）までの各対象地域における年最大 168 時間雨量について確率計算を行い、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おける 1/500 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、引伸ばし後雨量の異常性評価を確認する。各地域の引伸ばし後雨量及び 1/500 雨量は表 6.12 に示すとおりであり、1 洪水が棄却される。

表 6.12　地域分布による引伸ばし後降雨の確率表

| | 洪水名 | 継続時間内降雨量（mm）168時間 | 引伸ばし前 地域降雨量（mm） 西浦 168時間雨量 | 引伸ばし前 地域降雨量（mm） 北浦 168時間雨量 | 拡大率 | 引伸ばし後 地域降雨量（mm） 西浦 168時間雨量 | 引伸ばし後 地域降雨量（mm） 北浦 168時間雨量 | 地域分布 西浦 168時間雨量 | 地域分布 北浦 168時間雨量 | 対象降雨 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | S51.5.27 | 162.9 | 164.5 | 156.5 | 1.95 | 320.7 | 305.2 | ○ | ○ | ○ |
| 2 | S52.8.14 | 214.1 | 215.9 | 206.8 | 1.48 | 319.6 | 306.1 | ○ | ○ | ○ |
| 3 | S57.9.12 | 185.3 | 190.3 | 165.7 | 1.71 | 325.4 | 283.3 | ○ | ○ | ○ |
| 4 | S60.7.1 | 182.5 | 181.8 | 185.9 | 1.74 | 316.4 | 323.5 | ○ | ○ | ○ |
| 5 | S61.8.5 | 245.5 | 248.9 | 237.3 | 1.29 | 321.1 | 306.1 | ○ | ○ | ○ |
| 6 | S63.9.26 | 196.0 | 193.6 | 207.0 | 1.62 | 313.6 | 335.3 | ○ | ○ | ○ |
| 7 | H3.9.19 | 221.1 | 218.0 | 238.7 | 1.43 | 311.7 | 341.4 | ○ | ○ | ○ |
| 8 | H3.10.12 | 275.0 | 260.5 | 332.9 | 1.15 | 299.5 | 382.8 | ○ | ○ | ○ |
| 9 | H7.9.17 | 202.9 | 192.4 | 244.9 | 1.56 | 300.1 | 382.0 | ○ | ○ | ○ |
| 10 | H8.9.22 | 205.1 | 197.2 | 238.1 | 1.55 | 305.6 | 369.1 | ○ | ○ | ○ |
| 11 | H11.7.14 | 158.8 | 162.4 | 157.6 | 2.00 | 324.8 | 315.3 | ○ | ○ | ○ |
| 12 | H13.10.11 | 175.9 | 169.3 | 202.0 | 1.80 | 304.7 | 363.7 | ○ | ○ | ○ |
| 13 | H15.8.15 | 168.0 | 167.8 | 172.5 | 1.89 | 317.2 | 325.9 | ○ | ○ | ○ |
| 14 | H16.10.9 | 250.4 | 246.2 | 270.3 | 1.27 | 312.7 | 343.3 | ○ | ○ | ○ |
| 15 | H25.10.16 | 214.1 | 270.4 | 388.0 | 1.48 | 400.1 | 574.2 | | | |
| 16 | H26.10.6 | 190.8 | 196.0 | 170.1 | 1.66 | 325.4 | 282.4 | ○ | ○ | ○ |
| 17 | H28.8.17 | 234.4 | 239.9 | 214.4 | 1.35 | 323.9 | 289.5 | ○ | ○ | ○ |
| | | | | | 1/500基準 | 376.4 | 427.4 | | | |

※引伸ばし率は、霞ヶ浦 1/100 確率規模降雨量 317 mm/168h に対する実績 168 時間雨量との引伸ばし率である。
※■：引伸ばし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、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おける値による。

### (4)　時間分布の評価

時間分布の検討では、降雨継続時間の 1/2 について過度に引伸ばしがされていないか確認を行った。

① 対象時間の選定

計画降雨継続時間 168 時間の 1/2 程度となる 72 時間を短時間雨量として設定し、表 6.13 に示す。

表 6.13　対象時間の設定

| 地点 | 時間分布棄却基準 |
|---|---|
| 霞ヶ浦 | 72h |

② 棄却基準値の設定

各対象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 39 年（1964 年）から平成 22 年（2010 年）までの各対象地域における年最大 168 時間雨量について確率計算を行い、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おける 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、著しい引伸ばしとなっていないかを確認する。

各時間の引伸ばし後雨量及び 1/500 雨量は以下に示すとおりであり、棄却される洪水はなかった（表 6.14）。

表 6.14　短時間降雨確率評価表

| | 洪水名 | 継続時間内<br>降雨量<br>(mm)<br>168時間 | 引伸ばし前<br>短時間降雨量<br>(mm)<br>72時間 | 拡大率 | 引伸ばし後<br>短時間降雨量<br>(mm)<br>72時間 | 時間分布<br>72時間 | 対象<br>降雨 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | S51.5.27 | 162.9 | 110.9 | 1.95 | 216.3 | ○ | ○ |
| 2 | S52.8.14 | 214.1 | 125.1 | 1.48 | 185.1 | ○ | ○ |
| 3 | S57.9.12 | 185.3 | 175.0 | 1.71 | 299.3 | ○ | ○ |
| 4 | S60.7.1 | 182.5 | 140.2 | 1.74 | 243.9 | ○ | ○ |
| 5 | S61.8.5 | 245.5 | 245.5 | 1.29 | 316.7 | ○ | ○ |
| 6 | S63.9.26 | 196.0 | 138.8 | 1.62 | 224.9 | ○ | ○ |
| 7 | H3.9.19 | 221.1 | 212.2 | 1.43 | 303.5 | ○ | ○ |
| 8 | H3.10.12 | 275.0 | 160.7 | 1.15 | 184.8 | ○ | ○ |
| 9 | H7.9.17 | 202.9 | 201.7 | 1.56 | 314.7 | ○ | ○ |
| 10 | H8.9.22 | 205.1 | 204.7 | 1.55 | 317.3 | ○ | ○ |
| 11 | H11.7.14 | 158.8 | 127.6 | 2.00 | 255.2 | ○ | ○ |
| 12 | H13.10.11 | 175.9 | 174.6 | 1.80 | 314.3 | ○ | ○ |
| 13 | H15.8.15 | 168.0 | 163.8 | 1.89 | 309.6 | ○ | ○ |
| 14 | H16.10.9 | 250.4 | 185.8 | 1.27 | 236.0 | ○ | ○ |
| 15 | H25.10.16 | 214.1 | 214.1 | 1.48 | 316.9 | ○ | ○ |
| 16 | H26.10.6 | 190.8 | 190.8 | 1.66 | 316.8 | ○ | ○ |
| 17 | H28.8.17 | 234.4 | 125.2 | 1.35 | 169.1 | ○ | ○ |
| | | | | 1/500基準 | 330.9 | | |

※引伸ばし率は、霞ヶ浦 1/100 確率規模降雨量 317 mm/168 h に対する実績 168 時間雨量との引伸ばし率である。

※1/500 雨量は、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おける値による。

## 6-11　高水処理計画（霞ヶ浦）

霞ヶ浦の堤防は概ね整備されており、既に樋管等多くの構造物も完成している。

河川の状況変化等を踏まえて、河道及び洪水調節施設の検討を行った。

検討の基本的な考え方として、閉鎖水域となる霞ヶ浦の水位を低下させることを検討することとし、本川との水位を確認しつつ、流下能力の改善や排水施設の設置、事前放流等により現行の計画高水位を維持することとした。

## 6-12　計画規模の設定（中川）

計画規模については、既定計画の 1/100 を踏襲するものとする。

## 6-13　対象降雨の継続時間の設定（中川）

### 1)　対象降雨の継続時間設定の考え方

中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強度の強い降雨の継続時間を整理し設定した。

### 2)　洪水到達時間

洪水到達時間は以下に示す式を用いて算定した。対象洪水は、昭和 11 年（1936 年）から令和 3 年（2021 年）までの 86 年間で主要な地点吉川上流域平均雨量 168mm/48h 以上を記録した 21 洪水を対象とした。

#### (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

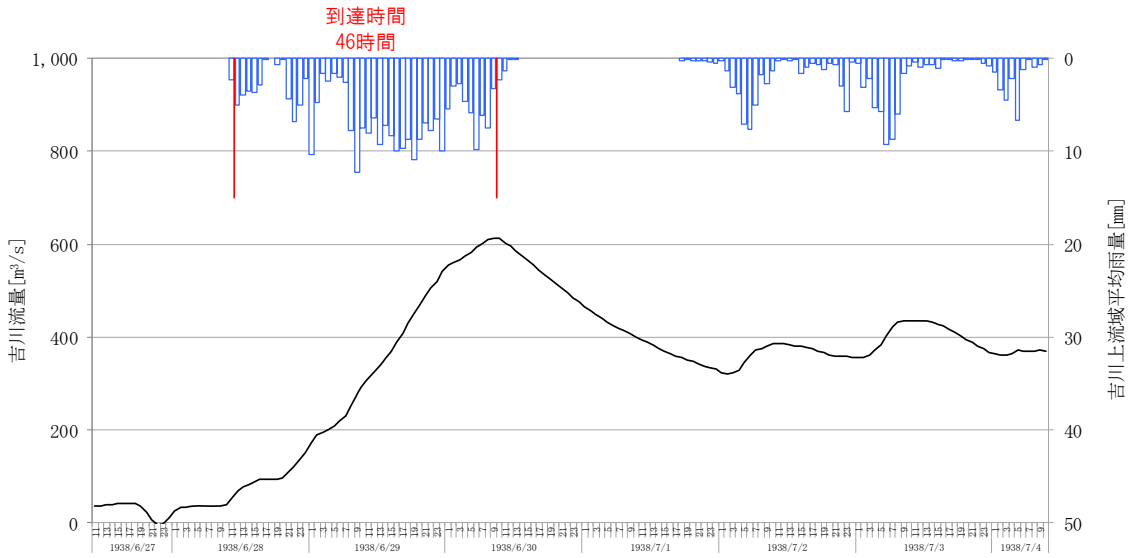
角屋の式は Kinematic Wave 理論の洪水到達時間を表す式に、河道長と地形則を考慮した式である。

(1)及び(2)の計算結果を表 6.15 に示し、洪水毎の Kinematic Wave 法による洪水到達時間の検討結果を図 6.6 から図 6.17 に示す。

表 6.15　洪水到達時間の算定結果

| 年月日 | | 吉川地点 | Kinematic Wave法 | 角屋式 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ピーク流量($m^3/s$) | 算定結果(h) | 平均有効降雨強度(mm/h) | 算定結果(h) |
| 1 | S13.6.28 | 614 | 46 | 9 | 10.8 |
| 2 | S13.8.30 | 515 | 51 | 16 | 8.9 |
| 3 | S16.7.10 | 577 | 63 | 11 | 10.2 |
| 4 | S16.7.20 | 686 | 57 | 11 | 10.1 |
| 5 | S20.10.3 | 549 | 58 | 10 | 10.4 |
| 6 | S22.9.13 | 614 | 64 | 13 | 9.6 |
| 7 | S25.7.27 | 578 | 56 | 7 | 12.0 |
| 8 | S33.9.24 | 668 | 70 | 16 | 8.9 |
| 9 | S36.6.26 | 563 | 42 | 11 | 9.9 |
| 10 | S41.6.26 | 637 | 30 | 14 | 9.3 |
| 11 | S46.8.29 | 516 | 29 | 9 | 11.0 |
| 12 | S57.9.10 | 626 | 111 | 13 | 9.6 |
| 13 | S61.8.3 | 574 | 30 | 16 | 8.9 |
| 14 | H3.9.18 | 533 | 102 | 11 | 10.2 |
| 15 | H5.8.25 | 513 | 33 | 13 | 9.6 |
| 16 | H11.8.12 | 529 | 53 | 13 | 9.4 |
| 17 | H14.7.9 | 409 | 44 | 6 | 12.3 |
| 18 | H16.10.8 | 508 | 36 | 9 | 10.7 |
| 19 | H26.6.6 | 425 | 59 | 8 | 11.2 |
| 20 | H26.10.4 | 514 | 27 | 8 | 11.0 |
| 21 | H27.9.8 | 580 | 51 | 10 | 10.3 |
| 22 | H29.10.21 | 545 | 59 | 9 | 10.7 |
| 23 | R1.10.10 | 663 | 55 | 15 | 9.0 |
| 平均値 | | － | 53.3 | － | 10.2 |

■S13.6.28 洪水




■S13.8.30 洪水

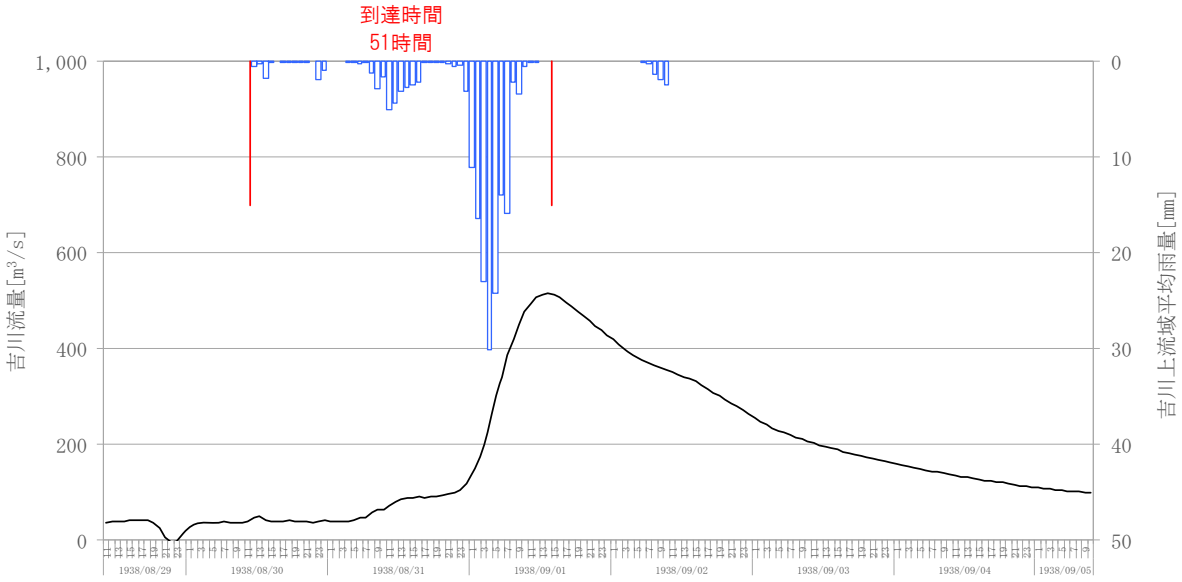
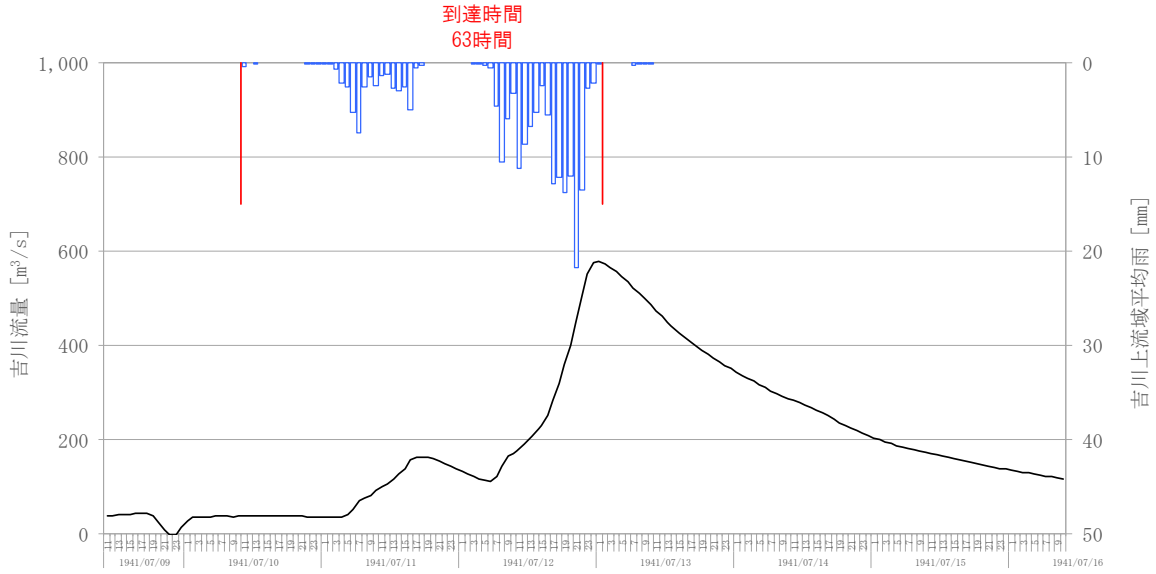



図 6.6　Kinematic Wave 法による洪水到達時

■S16.7.10 洪水




■S16.7.20 洪水

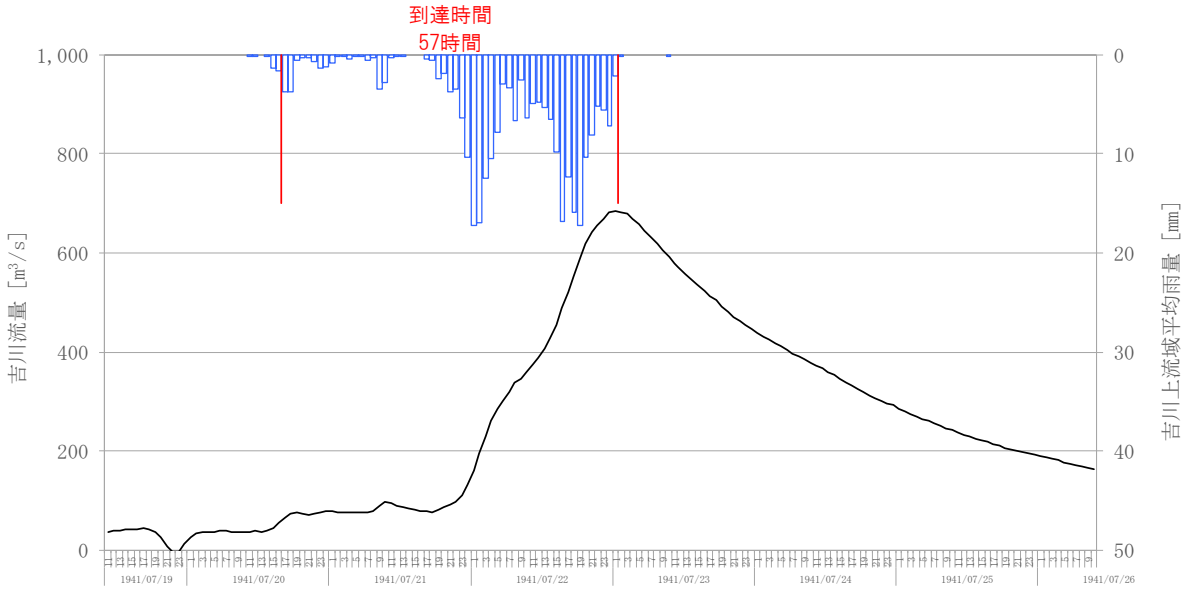
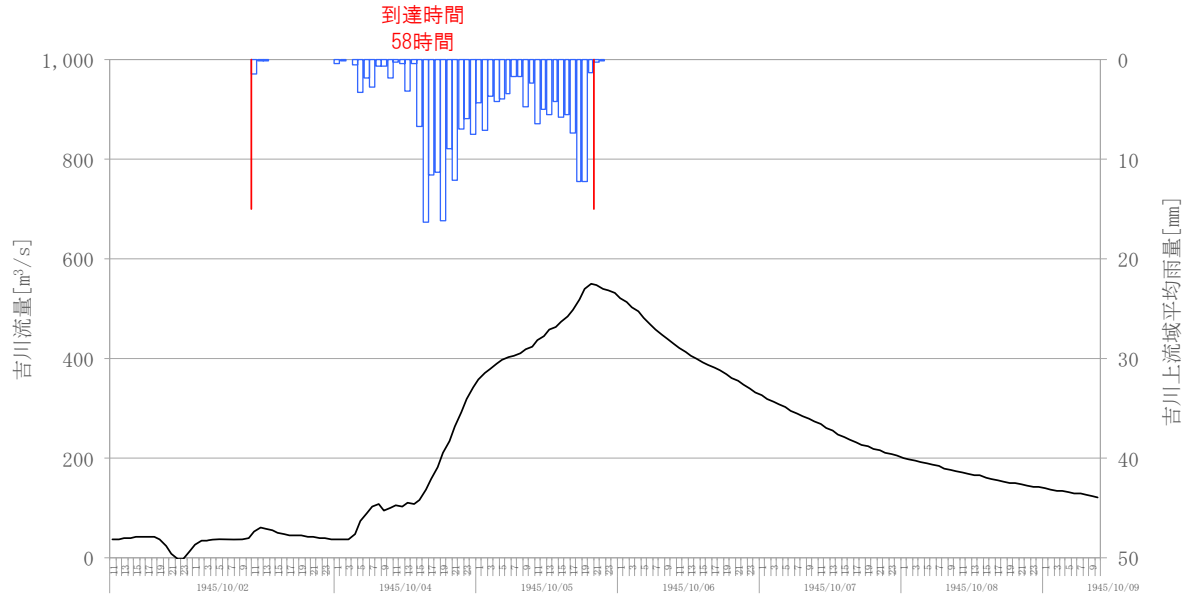



図 6.7　Kinematic Wave 法による洪水到達時

■S20.10.3 洪水




■S22.9.13 洪水

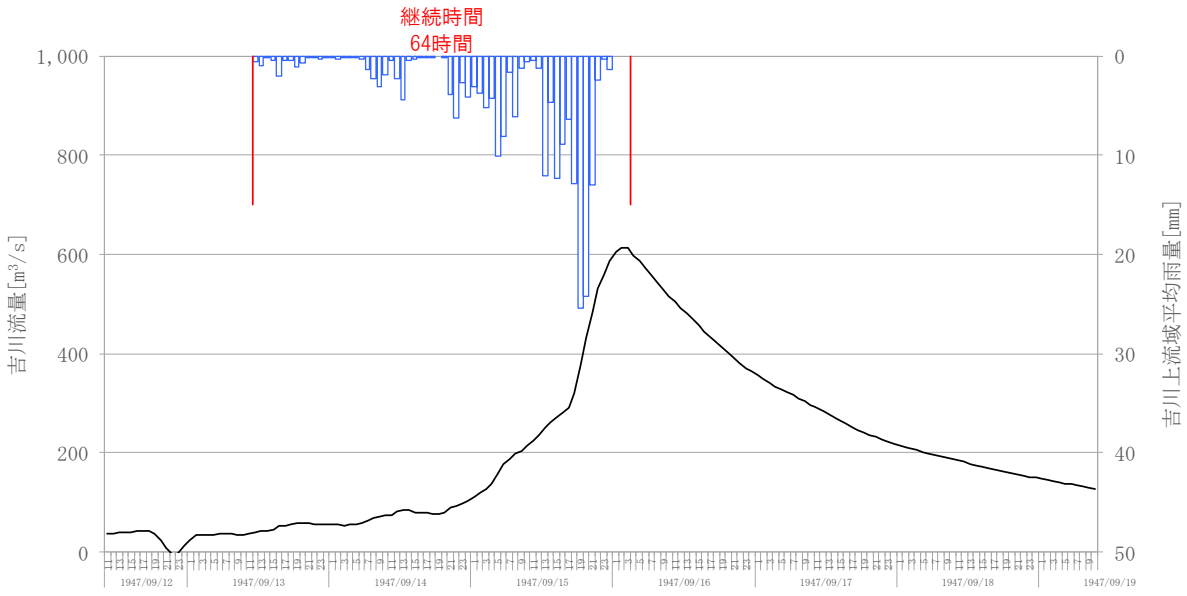
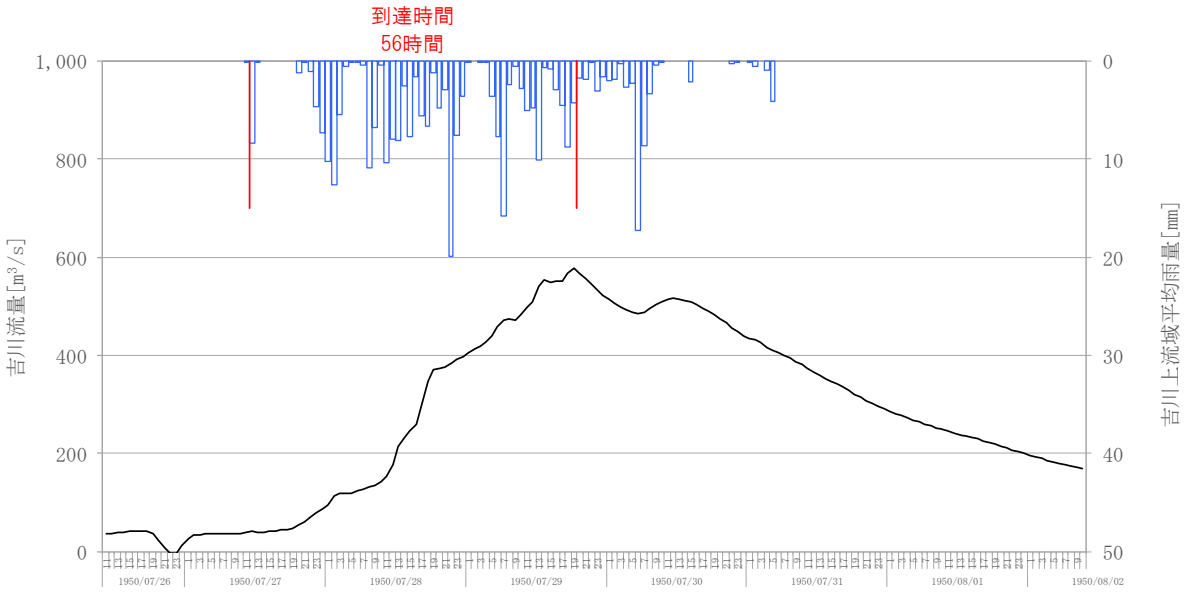



図 6.8　Kinematic Wave 法による洪水到達時

■S25.7.27 洪水




■S33.9.24 洪水

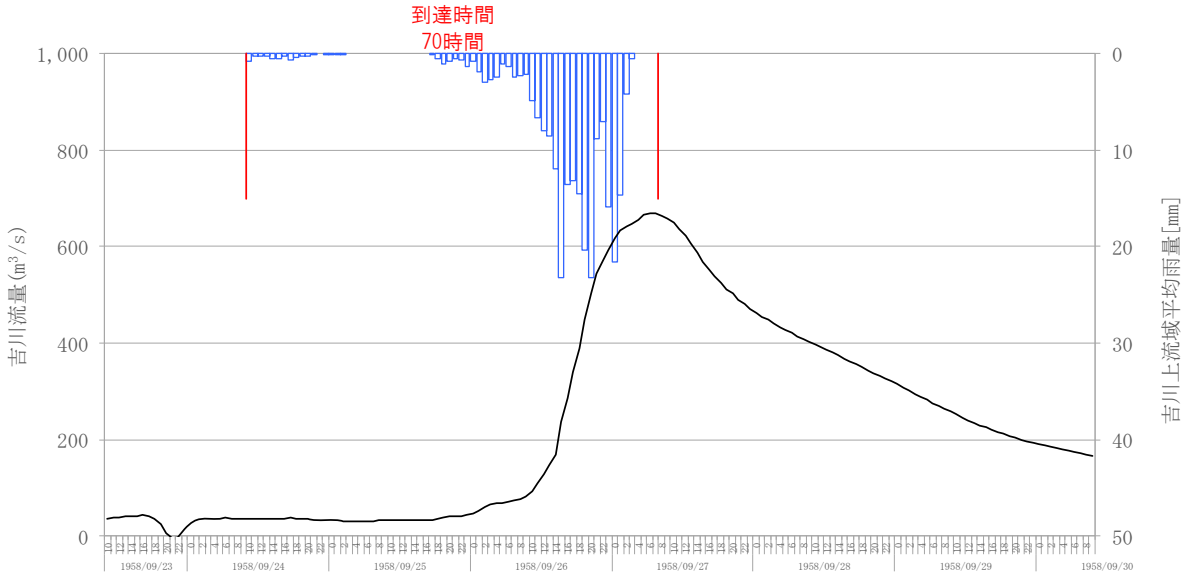
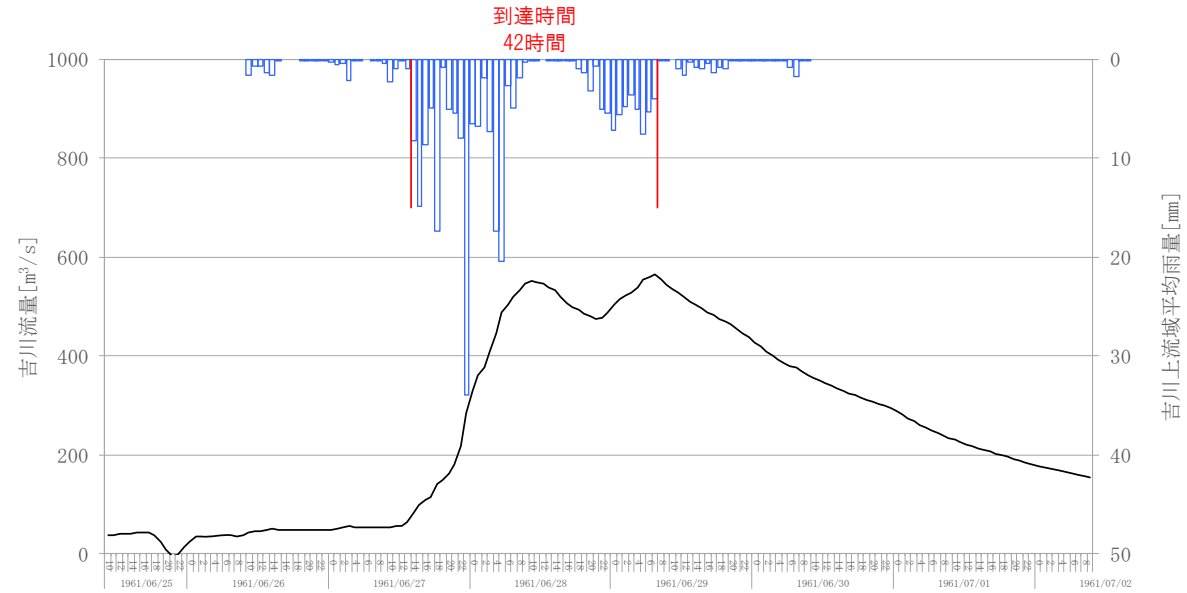



図 6.9　Kinematic Wave 法による洪水到達時

■S36.6.26 洪水




■S41.6.26 洪水

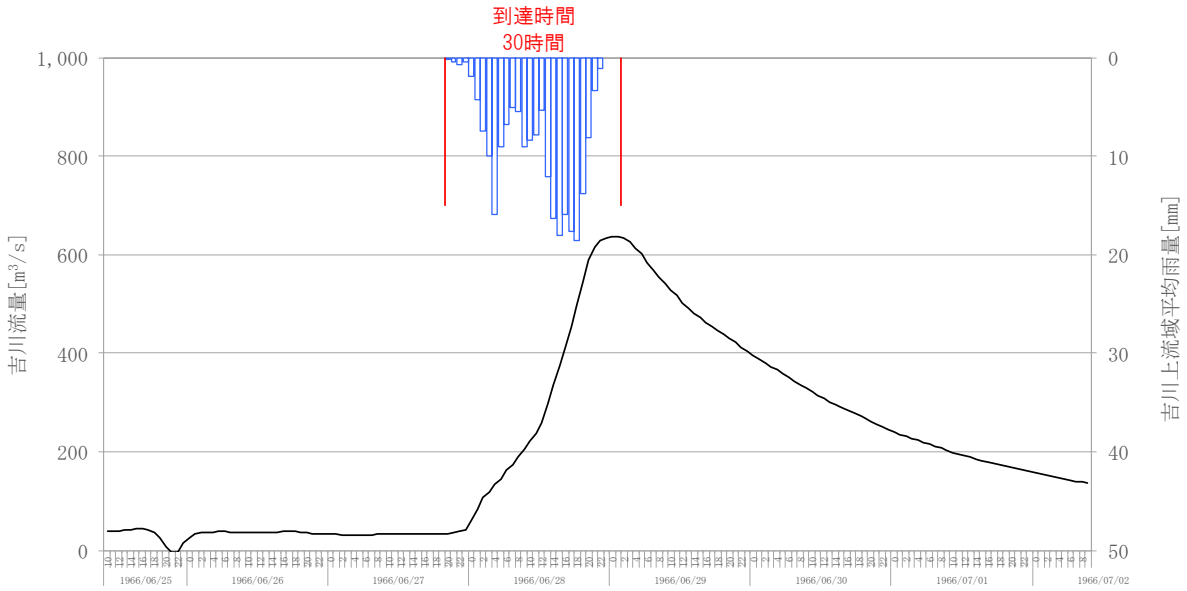
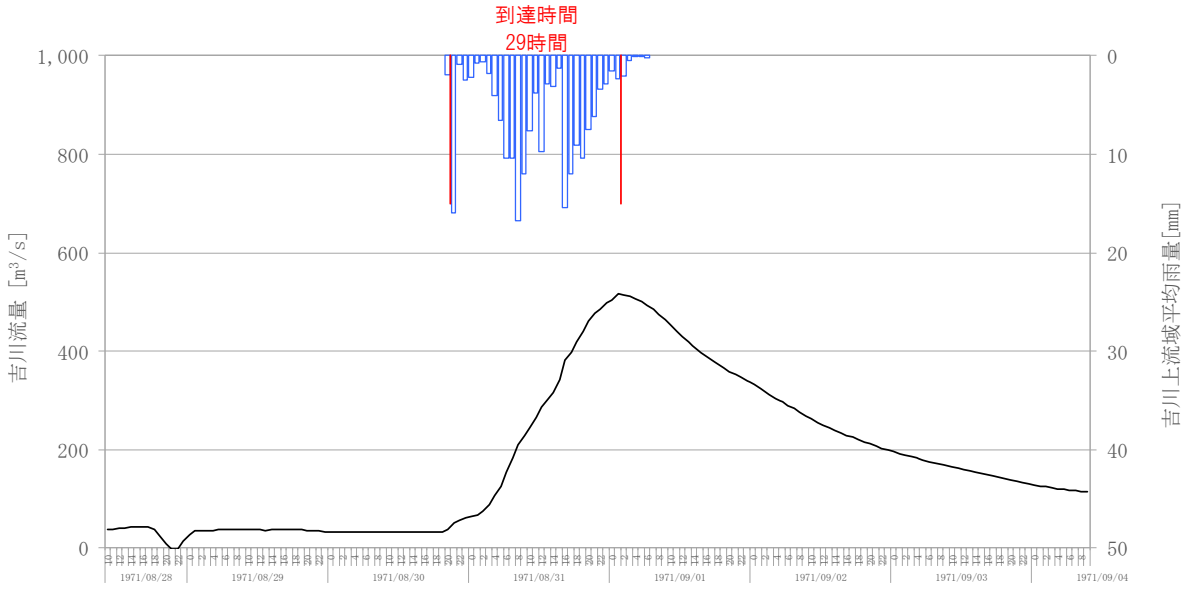



図 6.10　Kinematic Wave 法による洪水到達時

■S46.8.29 洪水




■S57.9.10 洪水

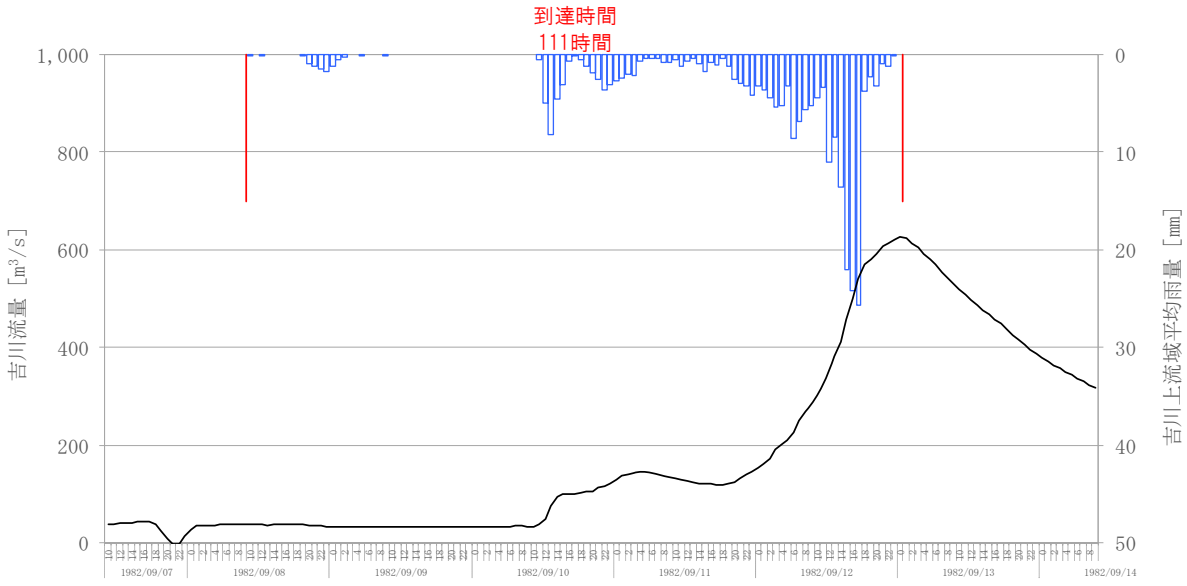
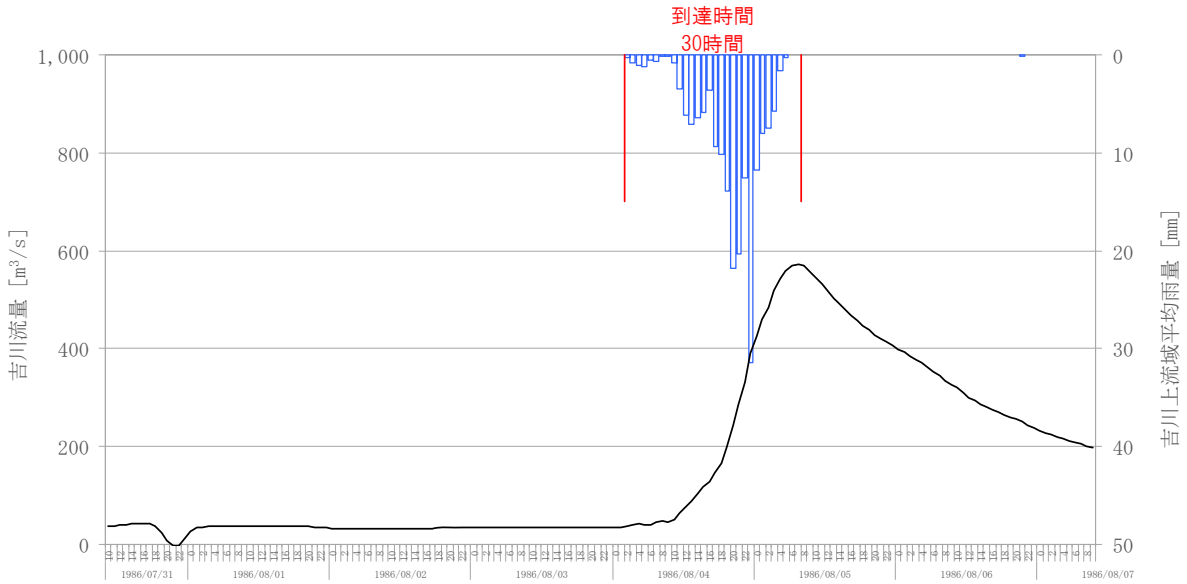



図 6.11　Kinematic Wave 法による洪水到達時

■S61.8.3 洪水




■H3.9.18 洪水

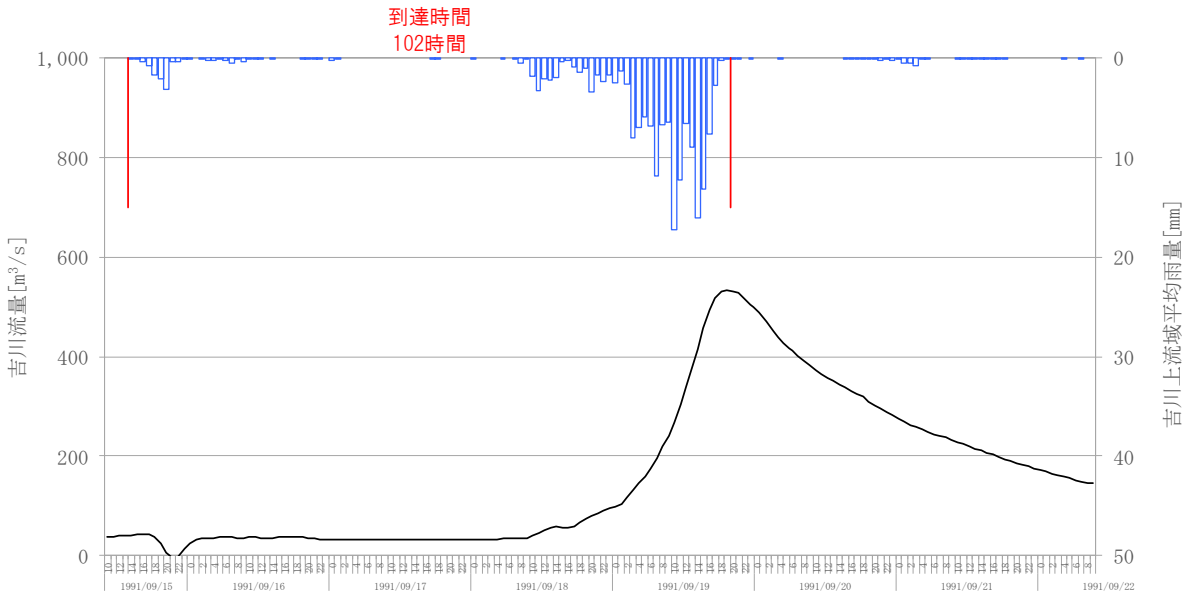
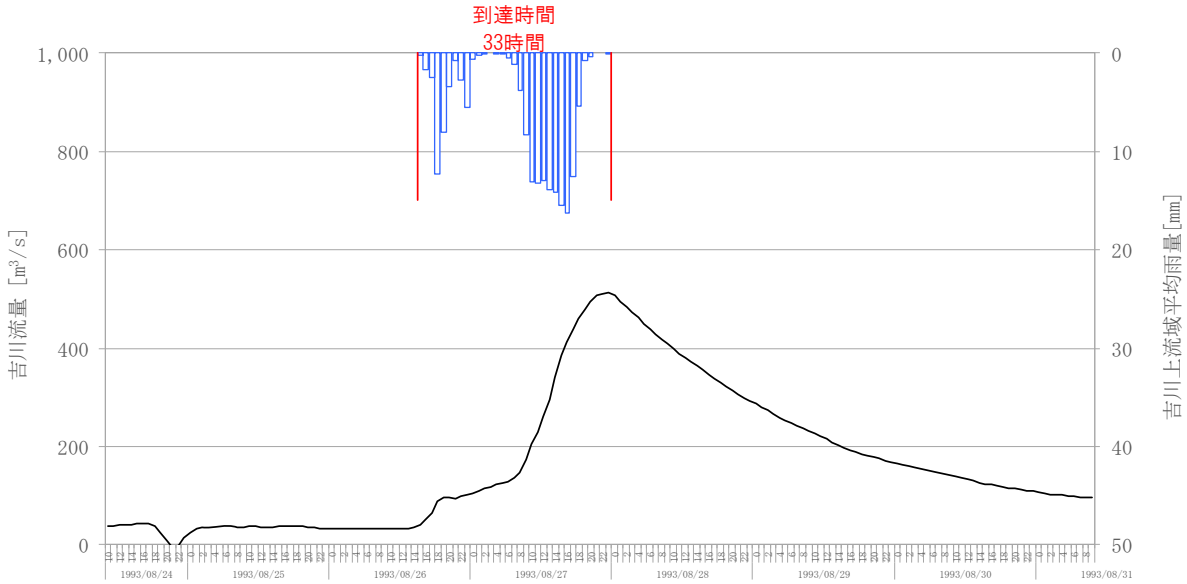



図 6.12　Kinematic Wave 法による洪水到達時

■H5.8.25 洪水




■H11.8.12 洪水

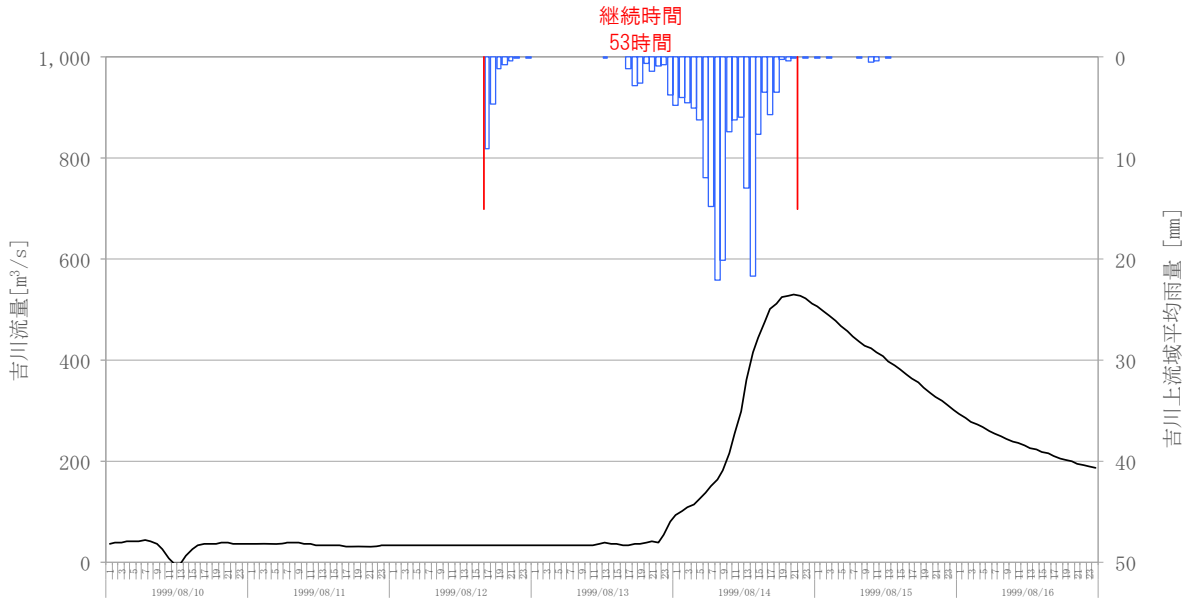
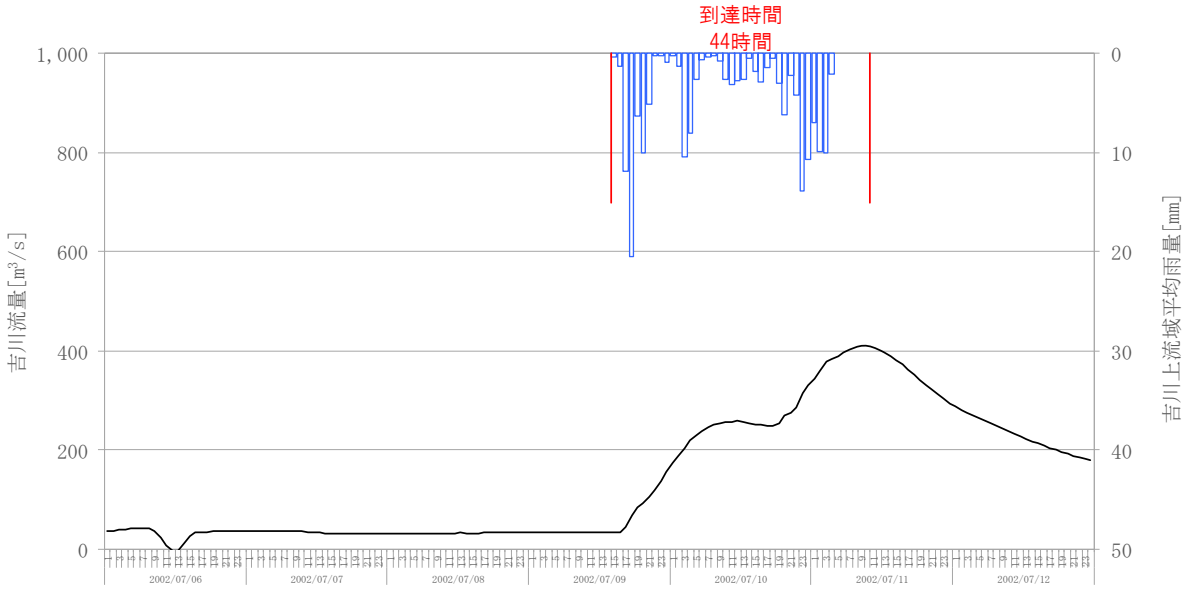



図 6.13　Kinematic Wave 法による洪水到達時

■H14.7.9 洪水




■H16.10.8 洪水

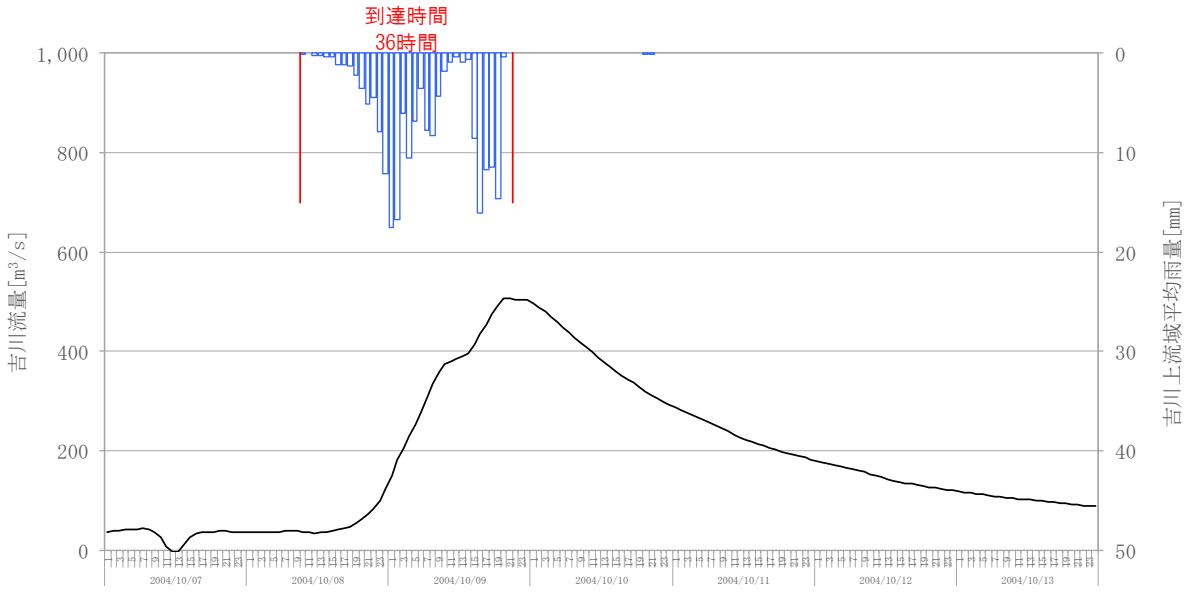
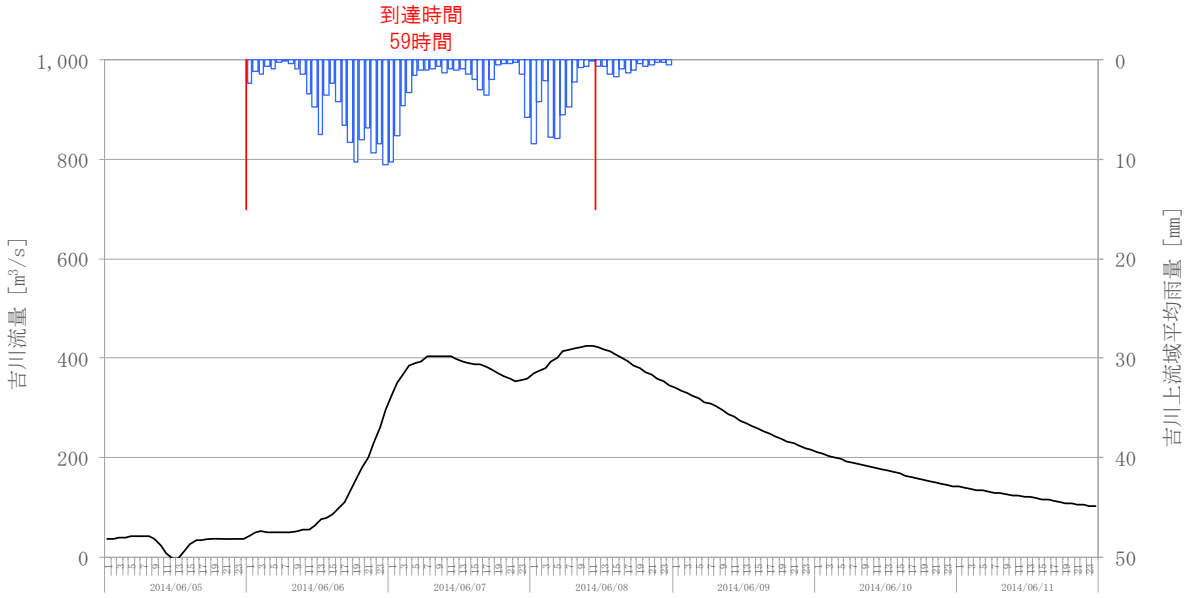



図 6.14　Kinematic Wave 法による洪水到達時

■H26.6.6 洪水




■H26.10.4 洪水

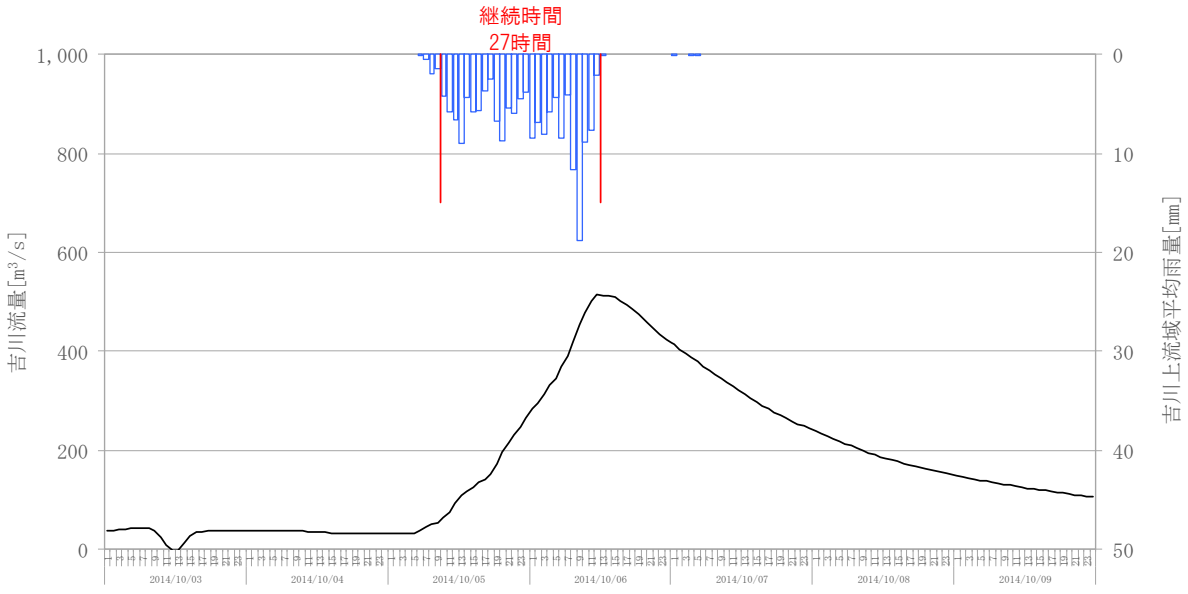
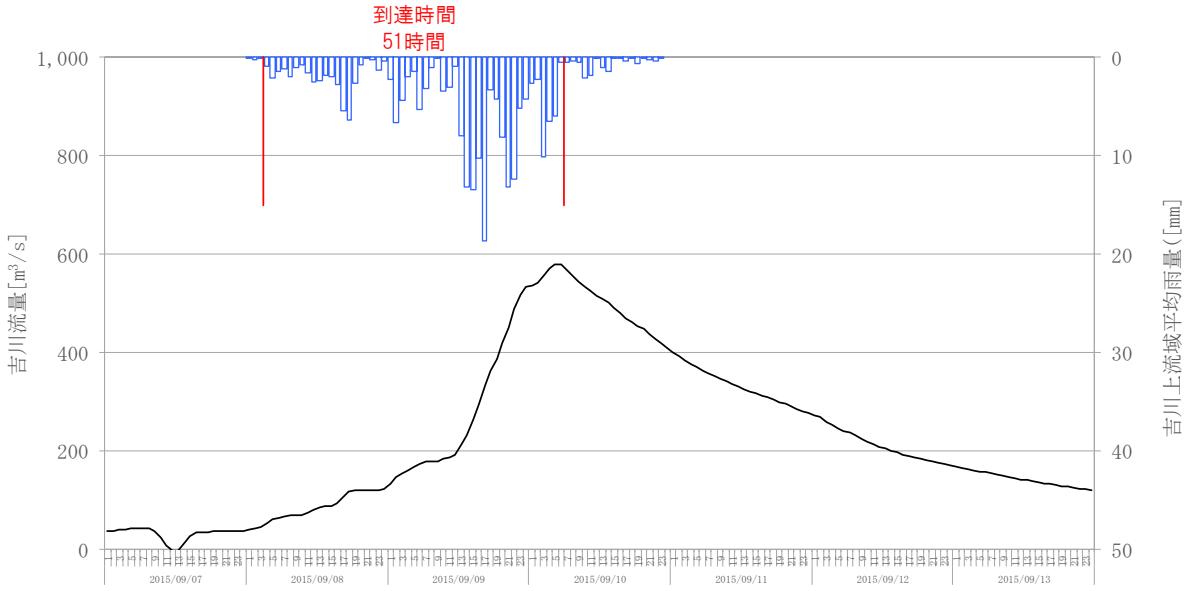



図 6.15　Kinematic Wave 法による洪水到達時

■H27.9.8 洪水




■H29.10.21 洪水

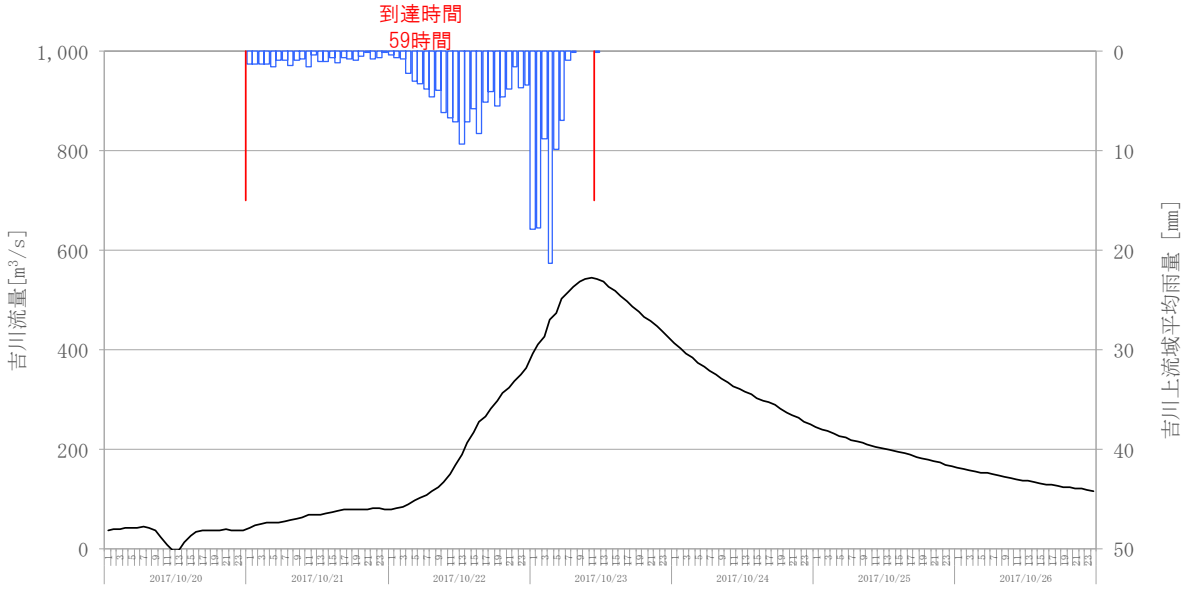



図 6.16　Kinematic Wave 法による洪水到達時

■R1.10.10 洪水

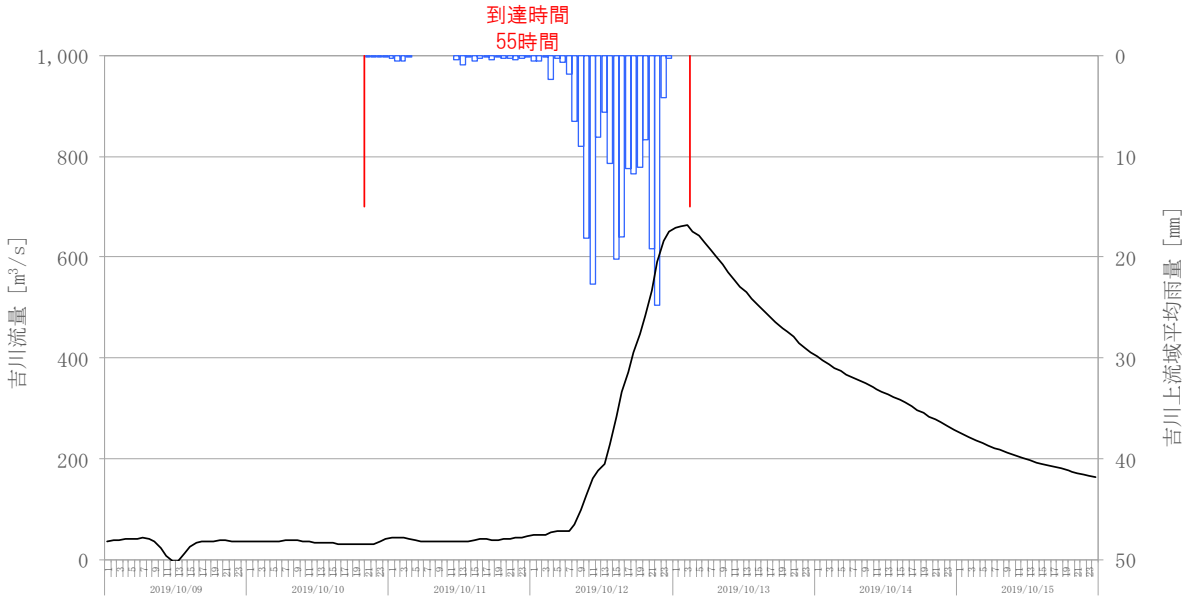



図 6.17　Kinematic Wave 法による洪水到達時

### 3)　ピーク流量と短時間雨量の相関

昭和 11 年（1936 年）から令和 3 年（2019 年）までの 84 年間で主要地点吉川上流域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（1、2、3、6、12、18、24、36、48 時間雨量）との相関関係の整理を行った。

その結果、主要地点吉川では 36 時間以上において、ピーク流量と短時間雨量の相関が大きく、その時間以降では有意な差は見られない。この検討結果を図 6.18 に示す。また、定義①によるピーク流量と短時間雨量の相関図を図 6.19 に示し、定義②によるピーク流量と短時間雨量の相関図を図 6.20 に示す。

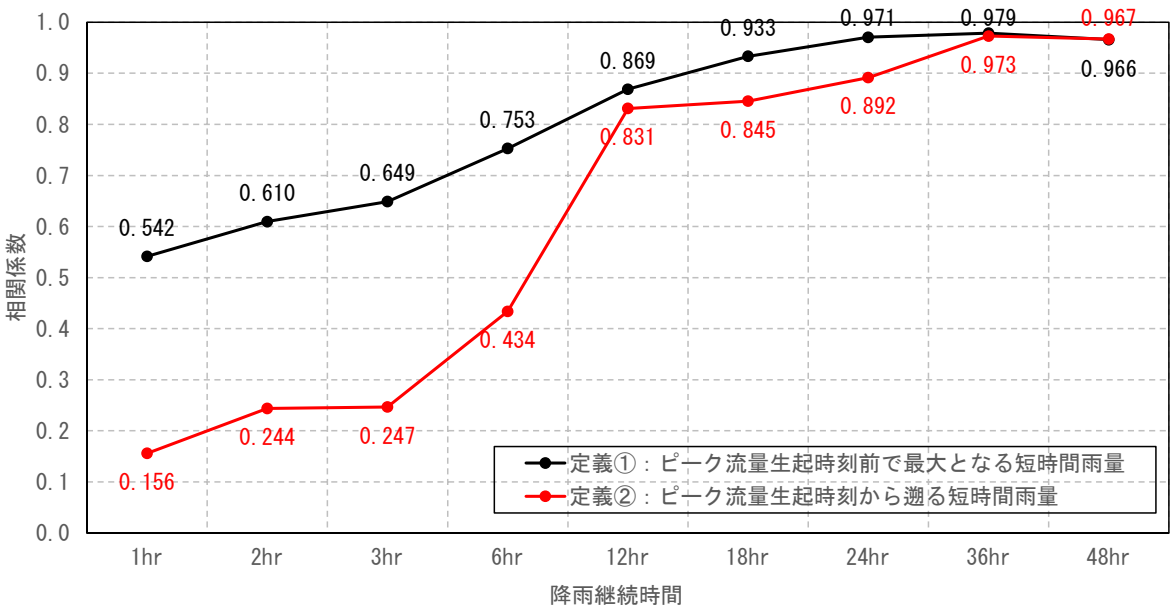



図 6.18　ピーク流量と相関の高い短時間雨量

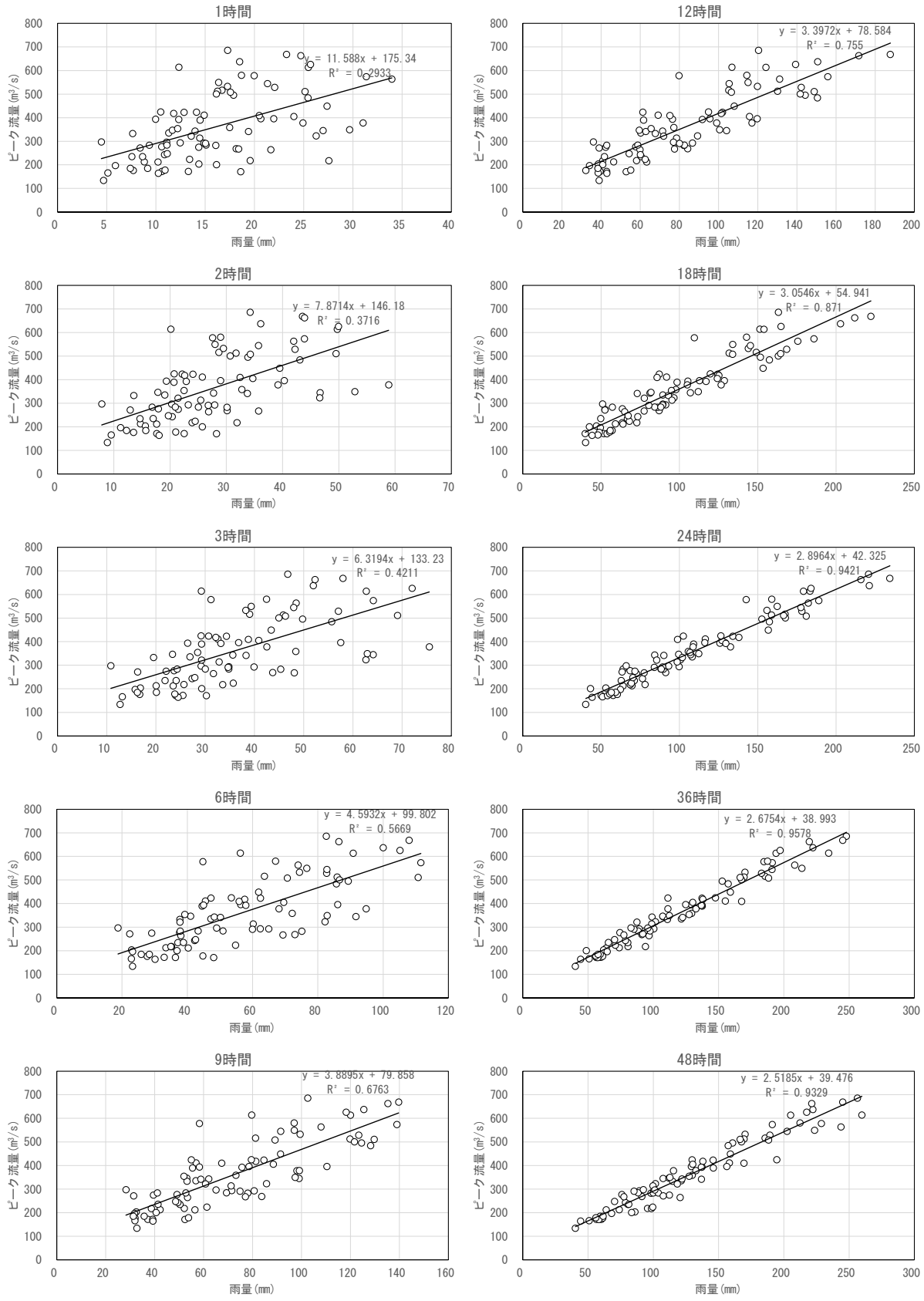



図 6.19　ピーク流量と流域平均時間雨量の相関図【定義①】

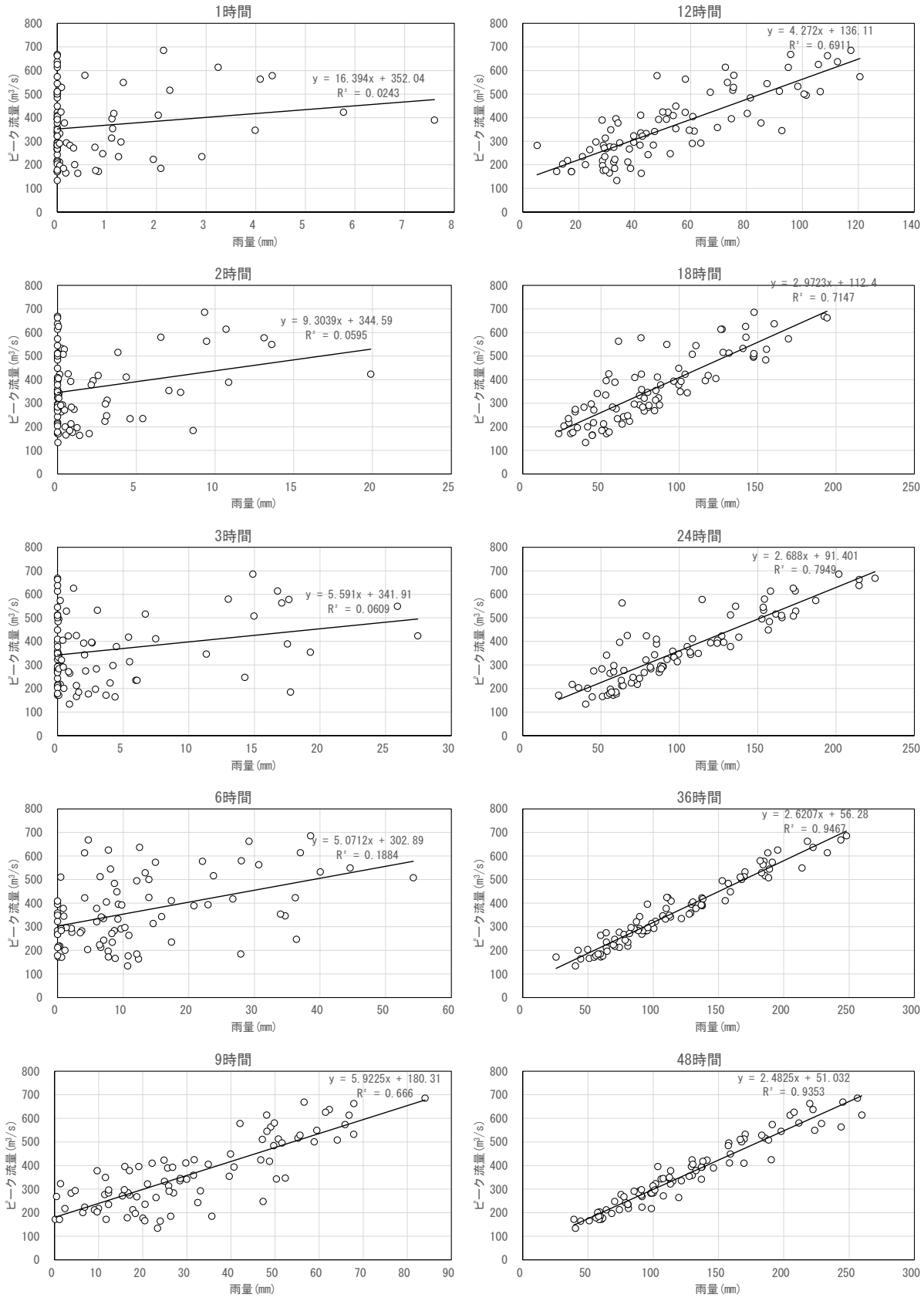
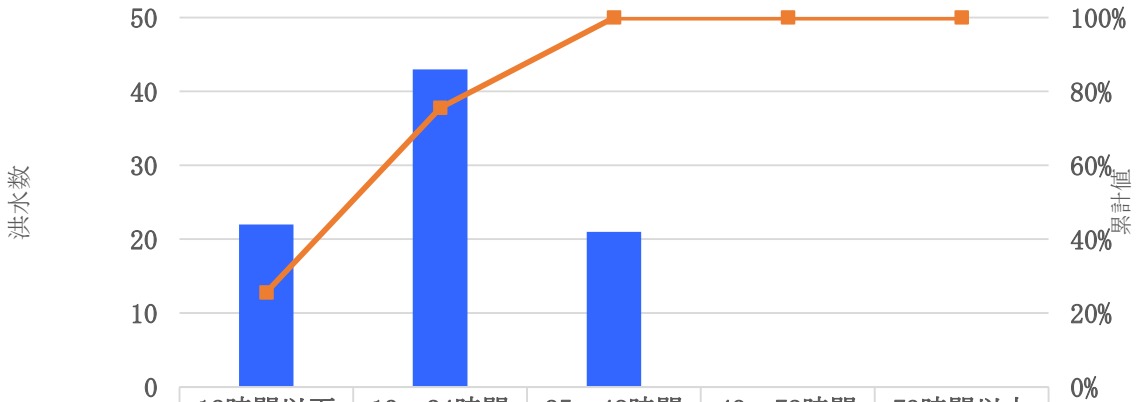



図 6.20　ピーク流量と流域平均時間雨量の相関図【定義②】

### 4)　一雨降雨による降雨継続時間

昭和 11 年（1936 年）から令和 3 年（2021 年）までの 86 年間で主要地点吉川における年最大降雨を基に一雨降雨の分布を整理した。

その結果、継続時間 48 時間で 100%以上の降雨をカバーし、検討結果を図 6.21 に示す。




| | 12時間以下 | 13～24時間 | 25～48時間 | 49～72時間 | 73時間以上 |
|---|---|---|---|---|---|
| 降雨数 | 22 | 43 | 21 | 0 | 0 |
| 累計数 | 26% | 76% | 100% | 100% | 100% |

図 6.21　強い降雨強度の継続時間（吉川上流域平均雨量）

### 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 11 年（1936 年）から令和 3 年（2021 年）までの雨量資料（86 年間）を整理し、中川の降雨特性、ピーク流量との相関から総合的に判断して、下記理由により対象降雨の降雨継続時間は 48 時間と設定した。

- 洪水到達時間の検討において、Kinematic Wave 法 27～111 時間（平均 53 時間）、角屋式は 9～12 時間（平均 10 時間）となる。
- ピーク流量と相関の高い短時間雨量は 48 時間程度において実績ピーク流量との相関が大きく、36 時間以降では有意な差は見られない。

- 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 48 時間で概ねの洪水を網羅した。
- ピーク流量に支配的な短時間雨量との関係、実績降雨における一雨降雨の継続時間等から、総合的に判断して 48 時間と設定。

## 6-14　対象降雨の降雨量の設定（中川）

降雨継続時間は、Kinematic Wave 法及び角屋式等による洪水の到達時間、短時間雨量と洪水ピーク流量の相関、降雨強度の強い降雨の継続時間から総合的に判断した結果、既定計画の 48 時間を踏襲することとした。

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（表 6.16）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 11 年（1936 年）から平成 22 年（2010 年）までの 75 年間の年最大 48 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た 1/100 対象降雨の降雨量を主要地点である吉川で 304 mm/48 h と決定した。この結果を表 6.17 に、グラフを図 6.22 に示す。

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、主要地点である吉川の 1/100 降雨量 304 mm/48 h に降雨量変化倍率 1.1 倍を乗じて得られた 334 mm/48 h を採用し、表 6.18 にまとめる。

表 6.16　年最大 48 時間雨量一覧

| No. | 日付 | 雨量（mm/48h） |
|---|---|---|
| 1 | S11.9.25 | 123.4 |
| 2 | S12.9.9 | 95.6 |
| 3 | S13.6.28 | 262.0 |
| 4 | S14.8.18 | 121.9 |
| 5 | S15.8.24 | 91.3 |
| 6 | S16.7.20 | 256.4 |
| 7 | S17.9.18 | 127.9 |
| 8 | S18.10.8 | 159.6 |
| 9 | S19.10.5 | 145.9 |
| 10 | S20.10.3 | 224.0 |
| 11 | S21.10.21 | 75.3 |
| 12 | S22.9.13 | 205.3 |
| 13 | S23.9.14 | 159.1 |
| 14 | S24.9.21 | 98.6 |
| 15 | S25.7.27 | 231.1 |
| 16 | S26.7.1 | 64.0 |
| 17 | S27.6.22 | 107.0 |
| 18 | S28.9.23 | 86.0 |
| 19 | S29.9.16 | 136.9 |
| 20 | S30.10.9 | 98.2 |
| 21 | S31.9.25 | 129.9 |
| 22 | S32.6.26 | 85.7 |
| 23 | S33.9.24 | 245.2 |
| 24 | S34.9.24 | 119.0 |
| 25 | S35.8.18 | 68.1 |
| 26 | S36.6.26 | 243.9 |
| 27 | S37.6.10 | 60.4 |
| 28 | S38.10.26 | 75.9 |
| 29 | S39.8.19 | 62.6 |
| 30 | S40.8.20 | 120.7 |
| 31 | S41.6.26 | 222.3 |
| 32 | S42.10.26 | 64.0 |
| 33 | S43.8.10 | 56.4 |
| 34 | S44.10.24 | 50.9 |
| 35 | S45.11.18 | 114.9 |
| 36 | S46.8.29 | 188.5 |
| 37 | S47.9.14 | 146.1 |
| 38 | S48.9.4 | 48.3 |

| No. | 日付 | 雨量（mm/48h） |
|---|---|---|
| 39 | S49.8.30 | 104.2 |
| 40 | S50.11.5 | 78.7 |
| 41 | S51.5.24 | 83.4 |
| 42 | S52.8.13 | 129.8 |
| 43 | S53.9.3 | 58.5 |
| 44 | S54.10.17 | 100.0 |
| 45 | S55.7.7 | 80.9 |
| 46 | S56.10.21 | 129.2 |
| 47 | S57.9.10 | 217.5 |
| 48 | S58.8.15 | 112.4 |
| 49 | S59.6.22 | 40.4 |
| 50 | S60.6.29 | 127.8 |
| 51 | S61.8.3 | 191.2 |
| 52 | S62.8.17 | 79.4 |
| 53 | S63.8.9 | 103.8 |
| 54 | H1.7.30 | 124.9 |
| 55 | H2.8.8 | 101.2 |
| 56 | H3.9.18 | 170.6 |
| 57 | H4.10.8 | 93.1 |
| 58 | H5.8.25 | 169.6 |
| 59 | H6.8.19 | 77.3 |
| 60 | H7.9.15 | 137.3 |
| 61 | H8.9.20 | 160.8 |
| 62 | H9.5.24 | 95.7 |
| 63 | H10.8.26 | 156.3 |
| 64 | H11.8.12 | 189.3 |
| 65 | H12.7.7 | 157.5 |
| 66 | H13.10.9 | 139.3 |
| 67 | H14.7.9 | 169.5 |
| 68 | H15.9.20 | 108.1 |
| 69 | H16.10.8 | 188.3 |
| 70 | H17.8.12 | 97.8 |
| 71 | H18.12.26 | 167.7 |
| 72 | H19.9.5 | 118.4 |
| 73 | H20.8.27 | 146.6 |
| 74 | H21.10.6 | 115.6 |
| 75 | H22.9.14 | 99.6 |

# 表 6.17　主要地点吉川　48 時間雨量　1/100 確率計算結果

| | Exp | Gumbel | SqrtEt | Gev | LP3Rs | LogP3 | Iwai | IshiTaka | LN3Q | LN3PM | LN2LM | LN2PM | LN4PM |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| X-COR(99%) | 0.965 | 0.99 | 0.972 | 0.991 | 0.994 | 0.991 | 0.989 | 0.992 | 0.992 | 0.992 | 0.986 | 0.986 | — |
| P-COR(99%) | 0.959 | 0.999 | 0.998 | 0.999 | 0.998 | 0.999 | 0.999 | 0.998 | 0.998 | 0.998 | 0.999 | 0.999 | — |
| SLSC(99%) | 0.055 | 0.028 | 0.04 | 0.028 | 0.023 | 0.017 | 0.019 | 0.023 | 0.021 | 0.024 | 0.02 | 0.02 | — |
| 対数尤度 | −382.9 | −400.2 | −401 | −400.3 | −400 | −399.7 | −399.9 | −400.6 | −400.3 | −400.6 | −400 | −400 | — |
| pAIC | 769.8 | 804.5 | 806 | 806.5 | 806 | 805.5 | 805.8 | 807.1 | 806.5 | 807.3 | 804.1 | 804 | — |

| 確率水文量 | 確率年 | Exp | Gumbel | SqrtEt | Gev | LP3Rs | LogP3 | Iwai | IshiTaka | LN3Q | LN3PM | LN2LM | LN2PM | LN4PM |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2 | 109.3 | 118.7 | 115 | 119.1 | 121.6 | 118.6 | 117.9 | 121.2 | 120.5 | 121.4 | 117.1 | 117.1 | — |
| | 3 | 133.9 | 142.2 | 139.7 | 142.6 | 146 | 142.4 | 141.6 | 144.6 | 143.6 | 144.8 | 141.3 | 140.9 | — |
| | 5 | 164.9 | 168.3 | 169.7 | 168.6 | 171.5 | 168.8 | 168.2 | 169.5 | 168.4 | 169.6 | 169.2 | 168.2 | — |
| | 10 | 206.9 | 201.1 | 210.9 | 201.1 | 200.7 | 201.5 | 201.9 | 199.2 | 198.4 | 199.2 | 205.1 | 203.4 | — |
| | 20 | 249 | 232.6 | 254.1 | 232 | 226 | 232.3 | 234.5 | 226.5 | 226.2 | 226.3 | 240.4 | 237.8 | — |
| | 30 | 273.5 | 250.7 | 280.6 | 249.6 | 239.5 | 249.9 | 253.4 | 241.7 | 241.8 | 241.3 | 261.1 | 258 | — |
| | 50 | 304.5 | 273.4 | 315.4 | 271.6 | 255.4 | 271.6 | 277.3 | 260.4 | 261.1 | 259.8 | 287.5 | 283.7 | — |
| | 80 | 333 | 294.1 | 348.8 | 291.6 | 269 | 291.4 | 299.3 | 277.2 | 278.5 | 276.4 | 312.1 | 307.6 | — |
| | 100 | 346.6 | 303.9 | 365.2 | 301 | 275.2 | 300.7 | 309.8 | 285 | 286.7 | 284.1 | 323.9 | 319 | — |
| | 150 | 371.2 | 321.7 | 395.8 | 318 | 286 | 317.7 | 329.1 | 299.2 | 301.6 | 298.1 | 345.7 | 340.1 | — |
| | 200 | 388.6 | 334.3 | 418.1 | 330.1 | 293.4 | 329.6 | 342.8 | 309.2 | 312 | 307.9 | 361.3 | 355.2 | — |
| | 400 | 430.6 | 364.7 | 474.3 | 358.8 | 310.2 | 358.3 | 376.5 | 333 | 337.2 | 331.3 | 399.8 | 392.5 | — |

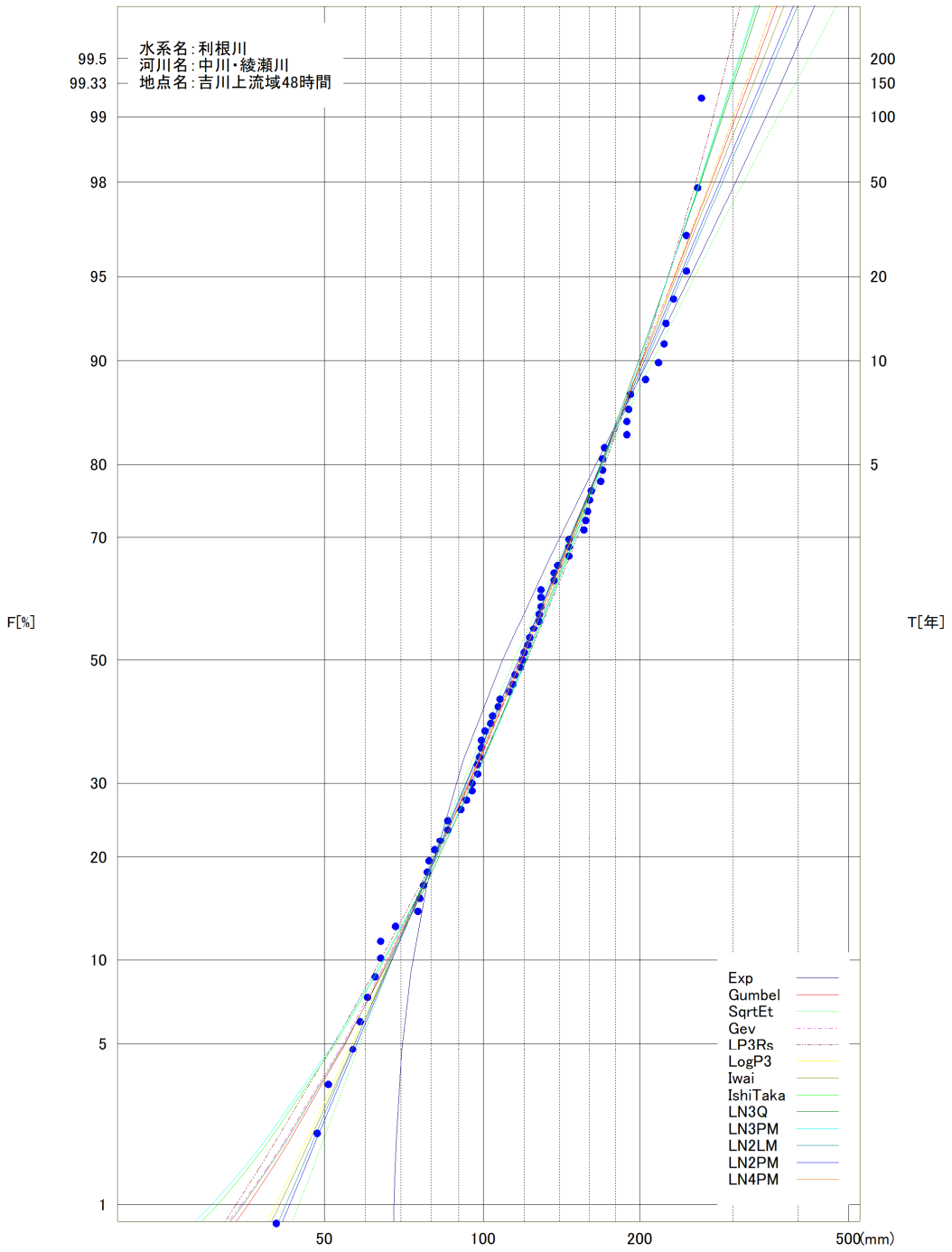



図 6.22　雨量確率計算結果

表 6.18　1/100 確率規模降雨量（主要地点吉川）

| 項目 | 吉川 | 備考 |
|---|---|---|
| 1/100 確率雨量<br>（S11～H22 標本） | 304 mm/48 h | 確率手法 SLSC≦0.04 |
| 気候変動を<br>考慮した降雨量 | 334 mm/48 h | 304mm/48h<br>×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。

### (1) Mann-Kendall 検定（定常/非定常性の確認）

昭和 11 年（1936 年）から平成 22 年（2010 年）までの雨量データに一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した。

⇒非定常性は確認されなかったため、近年降雨までデータ延伸を実施した。

### (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た場合の Gumbel 分布による確率雨量を算定した。

⇒令和 3 年（2021 年）までの雨量データを用いた場合の主要地点吉川 1/100 確率雨量は 310 m/48 h となりデータ延伸による確率雨量に大きな差がないことを確認した。

## 6-15　雨量確率法による検討（中川）

### 1)　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引伸ばしすると、引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。

検討対象洪水の選定は、令和 3 年（2021 年）までの主要地点吉川における 48 時間雨量のうち、表 6.17 の年超過確率 1/15（220 mm/48 h）を超過し、引伸ばし率が 2 倍以下（1.1 倍する前の確率雨量）となる 8 洪水を選定した。

選定した洪水を対象に、主要地点吉川の 1/100 確率 48 時間雨量 334 m（304 mm×1.1）となるよう引伸ばし、降雨波形を作成した。

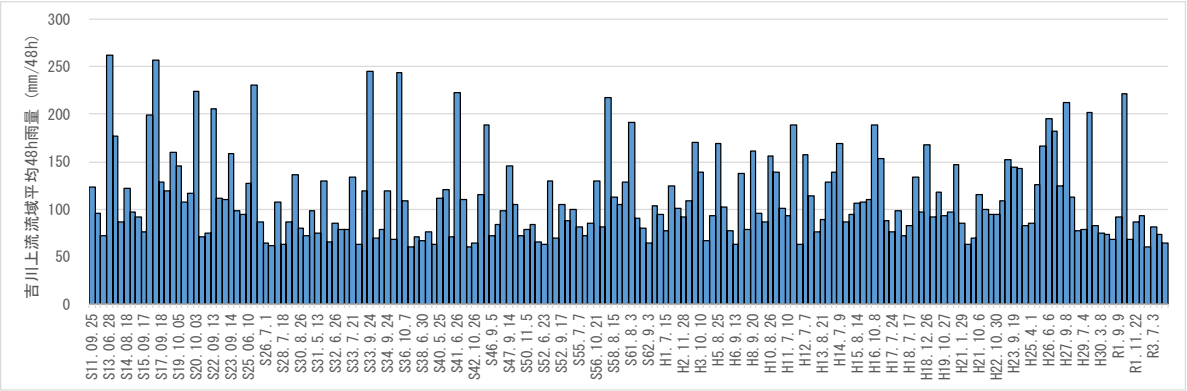



図 6.23　対象洪水の選定（主要地点吉川）

表 6.19　選定洪水一覧（吉川主要地点）

| No | 洪水名 | 吉川地点 | 計画規模降雨量 | 引伸ばし率 |
|---|---|---|---|---|
| | | 48時間雨量（mm） | ×1.1（mm/24h） | |
| 1 | S13.6.28 | 262.0 | 334 | 1.28 |
| 2 | S16.7.20 | 256.4 | 334 | 1.30 |
| 3 | S20.10.3 | 224.0 | 334 | 1.49 |
| 4 | S25.7.27 | 231.1 | 334 | 1.45 |
| 5 | S33.9.24 | 245.2 | 334 | 1.36 |
| 6 | S36.6.26 | 243.9 | 334 | 1.37 |
| 7 | S41.6.26 | 222.3 | 334 | 1.50 |
| 8 | R1.10.10 | 221.4 | 334 | 1.51 |

※引伸ばし率：「48 時間雨量(mm)」と「1/100 確率雨量×1.1」との比率

## 2)　対象降雨の地域分布及び時間分布の検討

### (1)　　対象降雨の地域分布及び時間分布の検討の考え方

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」等を一律引伸ばしすると、引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、確率水文量への引伸ばしによって異常な降雨になっていないか十分にチェックする必要がある。

従って、前項で選定した洪水について、引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。

### (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。

### (3)　　地域分布の評価

①　対象地域の選定

対象地域は、以下に示す9流域を選定した。

なお、この対象流域を選定した主な理由について以下に示す。

A：中川上流域

幸手放水路の分派前であり、本川上流域のハイエトの確認用として選定

B：中川中流域

幸手放水路の分派後から主要な地点吉川までの残流域によるハイエトの確認用として選定

C：大落古利根川流域

主要な地点吉川上流域の主要支川である大落古利根川流域のハイエトの確認用として選定

D：新方川流域

主要な地点吉川上流域の主要支川である新方川流域のハイエトの確認用として選定

E：元荒川流域

主要な地点吉川上流域の主要支川である元荒川流域のハイエトの確認用として選定

F：綾瀬川上流域

主要な地点谷古宇上流域のハイエトの確認用として選定

G：中川下流域

主要な地点吉川下流域のハイエトの確認用として選定

H：綾瀬川下流域

主要な地点谷古宇下流域のハイエトの確認用として選定

I：東京都流域

下水道整備が完了している東京都流域のハイエトの確認用として選定

② 棄却基準値の選定

各対象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

11年（1936年）から平成22年（2010年）までの各対象地域における年最大 48 時間雨量について確率計算を行い、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おける 1/500 確率雨量を採用した。

③　地域分布の雨量評価

前項に選定した地域について、引伸ばし後雨量の異常性評価を確認する。各地域の引伸ばし後雨量及び 1/500 雨量は表 6.20 に示すとおりであり、3 洪水が棄却される。

表 6.20　地域分布による引伸ばし後降雨の確率表

| | 洪水名 | 継続時間内降雨量 (mm/48h) | 地域降雨量（mm） | | | | | | | | | 拡大率 | 地域降雨量（計画雨量引き伸ばし） | | | | | | | | | 地域分布 | | | | | | | | | 対象降雨 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 中川上流48時間雨量 | 中川中流48時間雨量 | 大落古利根川48時間雨量 | 新方川48時間雨量 | 元荒川48時間雨量 | 綾瀬川上流48時間雨量 | 中川下流48時間雨量 | 綾瀬川下流48時間雨量 | 東京都48時間雨量 | | 中川上流48時間雨量 | 中川中流48時間雨量 | 大落古利根川48時間雨量 | 新方川48時間雨量 | 元荒川48時間雨量 | 綾瀬川上流48時間雨量 | 中川下流48時間雨量 | 綾瀬川下流48時間雨量 | 東京都48時間雨量 | 中川上流48時間雨量 | 中川中流48時間雨量 | 大落古利根川48時間雨量 | 新方川48時間雨量 | 元荒川48時間雨量 | 綾瀬川上流48時間雨量 | 中川下流48時間雨量 | 綾瀬川下流48時間雨量 | 東京都48時間雨量 | |
| 1 | S13.06.28 | 262.04 | 236.06 | 303.22 | 271.23 | 330.90 | 234.72 | 311.35 | 339.50 | 343.70 | 353.32 | 1.16 | 273.77 | 351.67 | 314.67 | 383.76 | 272.22 | 361.09 | 393.74 | 398.61 | 409.77 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | |
| 2 | S16.07.20 | 256.40 | 241.31 | 235.38 | 261.35 | 264.94 | 272.42 | 277.05 | 217.52 | 246.03 | 208.72 | 1.19 | 286.00 | 278.98 | 309.76 | 314.02 | 322.88 | 328.37 | 257.81 | 291.60 | 247.39 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 3 | S20.10.03 | 224.05 | 211.19 | 248.95 | 223.42 | 298.99 | 204.00 | 263.91 | 344.78 | 337.47 | 204.64 | 1.36 | 286.47 | 337.68 | 303.05 | 405.56 | 276.71 | 357.97 | 467.67 | 457.76 | 277.58 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | ○ | |
| 4 | S25.07.27 | 231.11 | 221.68 | 208.57 | 235.08 | 242.25 | 248.66 | 279.10 | 146.60 | 198.14 | 177.48 | 1.31 | 291.50 | 274.26 | 309.12 | 318.55 | 326.97 | 367.00 | 192.78 | 260.55 | 233.38 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 5 | S33.09.24 | 245.22 | 186.68 | 270.03 | 234.51 | 295.88 | 269.50 | 306.33 | 335.26 | 354.12 | 301.79 | 1.24 | 231.23 | 334.64 | 290.63 | 366.68 | 333.99 | 379.63 | 415.48 | 438.86 | 374.01 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | ○ | |
| 6 | S36.06.26 | 243.92 | 210.98 | 278.19 | 262.45 | 247.10 | 231.57 | 267.14 | 168.87 | 201.27 | 97.25 | 1.25 | 262.86 | 346.60 | 326.99 | 307.87 | 288.82 | 332.84 | 210.40 | 250.77 | 121.16 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 7 | S41.06.26 | 222.33 | 207.40 | 219.89 | 218.59 | 232.92 | 234.77 | 247.80 | 229.25 | 251.78 | 216.94 | 1.37 | 283.49 | 300.57 | 298.79 | 318.37 | 320.91 | 338.72 | 313.36 | 344.16 | 296.53 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 8 | R01.10.10 | 221.40 | 202.37 | 218.75 | 226.70 | 243.36 | 226.87 | 246.48 | 184.76 | 217.59 | 143.01 | 1.37 | 277.78 | 300.27 | 311.18 | 334.05 | 311.41 | 338.34 | 253.61 | 298.67 | 196.36 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 1/500雨量 | | | | | | | | | | | | | 342.30 | 378.20 | 384.00 | 416.40 | 393.20 | 420.70 | 399.90 | 423.00 | 382.00 | | | | | | | | | | |

※引伸ばし率は、吉川主要地点 1/100 確率規模降雨量 304 mm/48 h に対する実績 48 時間雨量との引伸ばし率である。

※■：引伸ばし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、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おける値による。

### (4)　時間分布の評価

時間分布の検討では、洪水到達時間相当の短時間雨量について過度に引伸ばしがされていないか確認を行った。

① 対象時間の選定

対象時間は、角屋式による洪水到達時間が 9 時間～12 時間であることや、6 時間～12 時間にかけてピーク流量と短時間雨量の相関が高まることから、12 時間を短時間雨量として設定した。

また、計画降雨継続時間 24 時間の 1/2 である 24 時間を短時間雨量として設定し、表 6.21 に示す。

表 6.21　対象時間の設定

| 基準地点名 | 時間分布棄却基準（短時間雨量として設定） | |
|---|---|---|
| 吉川 | 12 h | 24 h |

② 棄却基準値の設定

各対象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 11 年（1936 年）から平成 22 年（2010 年）までの各対象地域における年最大 48 時間雨量について確率計算を行い、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おける 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、著しい引伸ばしとなっていないかを確認する。

各時間の引伸ばし後雨量及び 1/500 雨量は表 6.22 に示すとおりであり、著しい引伸ばしは確認されなかった。

# 表 6.22　短時間降雨確率評価表

| No | 日時 | 引き伸ばし前 | | | | 引き伸ばし後 | | 判定1/500 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 短時間降雨量（㎜） | | 継続時間内降雨量（㎜/48h） | 拡大率 | 短時間降雨量（㎜） | | 時間分布 | | 対象降雨 |
| | | 12h | 24h | | | 12h | 24h | 12h | 24h | |
| 1 | S13.06.28 | 106.82 | 183.36 | 262.04 | 1.16 | 123.89 | 212.66 | ○ | ○ | ○ |
| 2 | S16.07.20 | 120.44 | 220.77 | 256.40 | 1.19 | 142.75 | 261.66 | ○ | ○ | ○ |
| 3 | S20.10.03 | 115.13 | 162.48 | 224.05 | 1.36 | 156.16 | 220.39 | ○ | ○ | ○ |
| 4 | S25.07.27 | 79.81 | 142.61 | 231.11 | 1.31 | 104.95 | 187.52 | ○ | ○ | ○ |
| 5 | S33.09.24 | 187.72 | 234.36 | 245.22 | 1.24 | 232.63 | 290.44 | ○ | ○ | ○ |
| 6 | S36.06.26 | 131.22 | 182.33 | 243.92 | 1.25 | 163.49 | 227.17 | ○ | ○ | ○ |
| 7 | S41.06.26 | 150.61 | 221.25 | 222.33 | 1.37 | 205.87 | 302.42 | ○ | ○ | ○ |
| 8 | R01.10.10 | 171.64 | 215.89 | 221.40 | 1.37 | 235.61 | 296.34 | ○ | ○ | ○ |
| 1/500雨量 | | | | | | 247.00 | 322.40 | － | － | － |

※引伸ばし率は、吉川主要地点 1/100 確率規模降雨量 304 mm/48 h に対する実績 48 時間雨量との引伸ばし率である。

※1/500 雨量は、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おける値による。

## 6-16　高水処理計画

中川の河川改修は既定計画の計画高水流量（吉川1,100 $m^3/s$）を目標に実施され、引堤を含む築堤が行われ、堤防高は計画高水位を概ね確保している。また、流域の地形特性から、多くの流域外への排水施設の整備が行われている。

さらに、首都圏の社会的・経済的発展に伴い、流域の５割以上が市街地である等、沿川は高度な土地利用が行われている。一方で、急速な市街化に伴い、流域では総合治水の観点から、多くの雨水流出抑制施設等の整備が行われている。

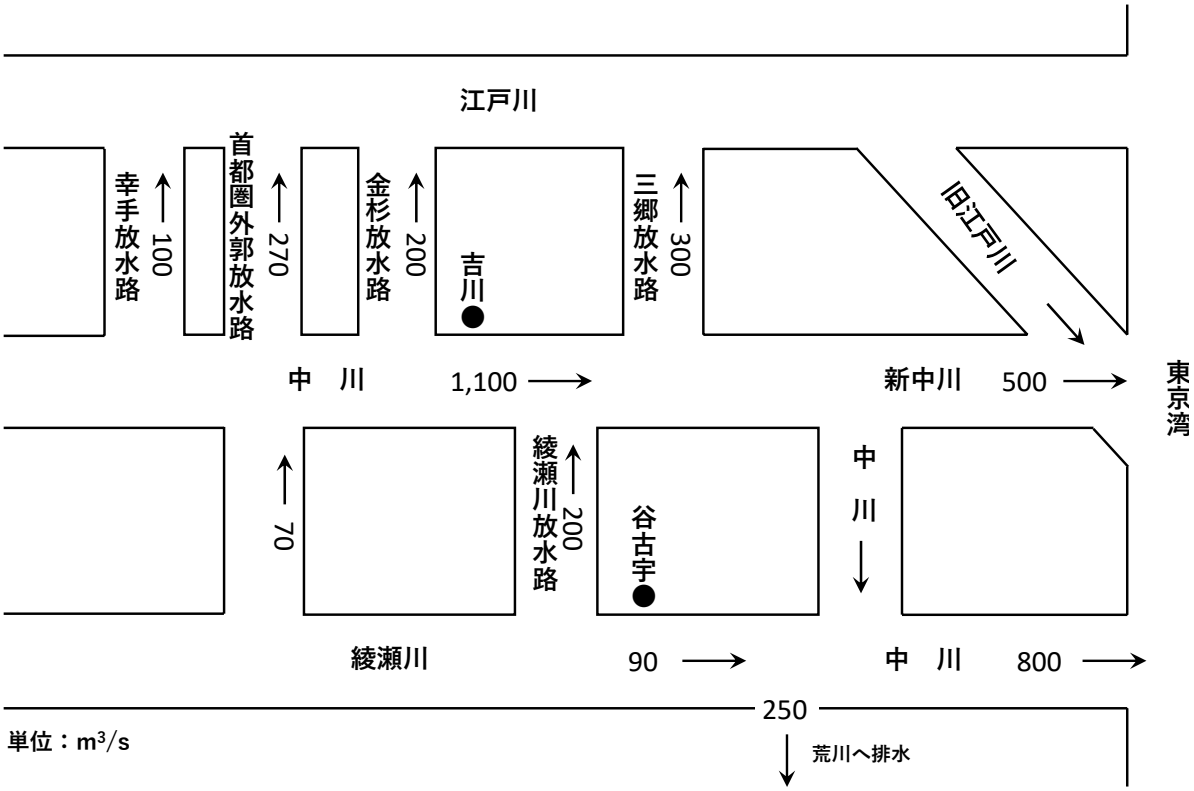
このような沿川の土地利用の高度化など社会的状況の変化に加え、河川の状況変化等を踏まえて、河道及び洪水調節施設の検討を行った。

検討の基本的な考え方として、雨水流出抑施設等、流域における対策量を踏まえた上で、より早期にかつ確実に水系全体のバランスのとれた治水安全度の向上を図る観点から、掘削等により河道の流下能力や遊水機能の増大を図ることによりできるだけ河道で対応することとし、さらに既存洪水調節の再開発による治水機能の向上など既存施設の徹底的な有効活用を図りながら洪水調節施設を整備することとする。

その結果、堤防の嵩上げや引堤による社会的影響及び大幅な河道掘削による河川環境の改変や将来河道の維持を考慮すると吉川 1,100 $m^3/s$ であり、これを計画高水流量とする。

## 6-17　計画高水流量

中川の計画高水流量は、主要地点吉川において 1,100 ㎥/s とし、各地点の計画高水流量は図 6.24 のとおりとする。




※荒川水系河川整備基本方針を変更する際、考慮する

図 6.24　中川計画高水流量配分図