

利根川の基本高水の検証について（概要）

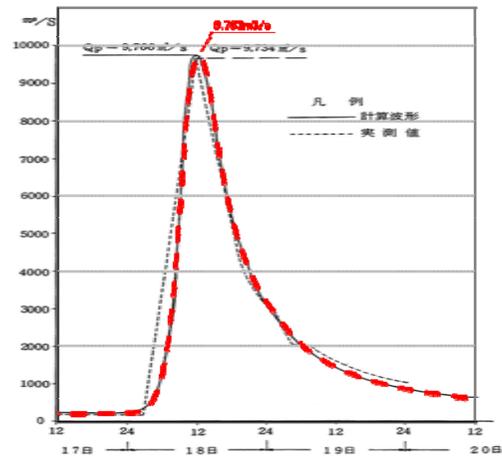
現行の流出計算モデルの問題点の整理

現行の流出計算モデルを用いた流出計算の再実施

・現行の流出計算モデルを用いて、洪水時の降雨実績から河川の流量の計算（昭和55年度工事実施基本計画改定時及び平成17年度河川整備基本方針策定時に計算）を再実施した。

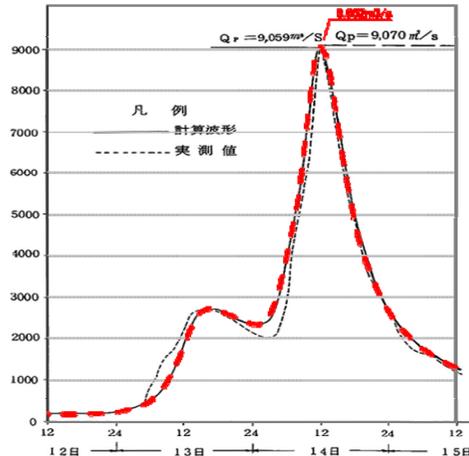
基準地点八斗島におけるハイドログラフ

(1) 昭和55年度工事実施基本計画改定時の計算



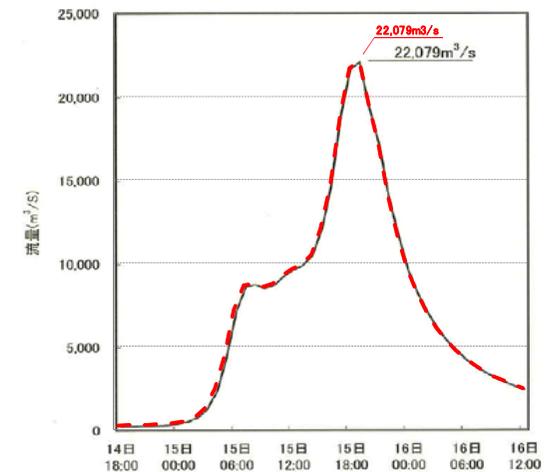
昭和33年9月洪水 流量計算結果

(過去の検討結果の図に今回の計算結果(- -)を重ねて表示)



昭和34年8月洪水 流量計算結果

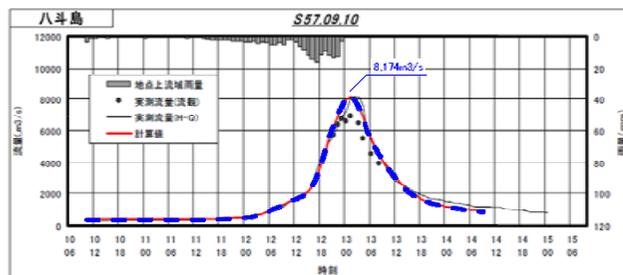
(過去の検討結果の図に今回の計算結果(- -)を重ねて表示)



昭和22年9月洪水 流量計算結果

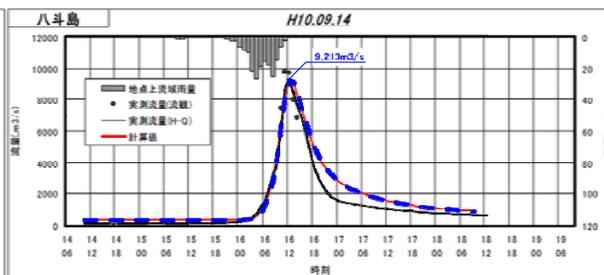
(過去の検討結果の図に今回の計算結果(- -)を重ねて表示)

(2) 平成17年度河川整備基本方針策定時の計算



昭和57年9月洪水 流量計算結果

(過去の検討結果の図に今回の計算結果(- -)を重ねて表示)



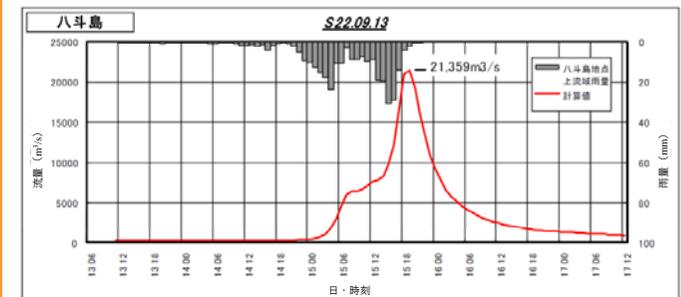
平成10年9月洪水 流量計算結果

(過去の検討結果の図に今回の計算結果(- -)を重ねて表示)

※実測流量(流観)：実際の洪水時に行った流量観測結果に基づく流量
 ※実測流量(H-Q)：実際の洪水時に観測した水位データからH-Q式によって算出した流量

観測史上最大流量について、 R_{50} を125mmに変化させた計算

・現行の流出計算モデルを用いて昭和22年9月の洪水時の降雨実績から河川の流量の計算（昭和55年度工事実施基本計画改定時に計算）を、 R_{50} を125mmに変化させて実施した。



昭和22年9月洪水 流量計算結果

現行の流出計算モデルの問題点の整理

定数の合理性についての点検等

○主要な洪水について、現行モデルにより概ね再現ができた。

○昭和22年9月洪水について、 R_{90} を48mmから125mmに変化させた結果、ピーク流量が約3%減少した。

○現行の流出計算モデルは、近年の観測が反映されておらず（明治34年～昭和49年）、雨量・流量観測地点が少なく、時刻ごとのデータの蓄積が少ないことから、近年のデータを活用する必要がある。

○流域を小流域に分割した上で、定数を設定して、雨量データからモデルにより流量を計算するものであるが、現行モデル（流域を54の小流域に分割）においては、水位・流量観測所等が下流端となるように分割している小流域が少ないことから、近年の多くの観測所のデータを用いて精度の向上を図る必要がある。

○ R_{90} について、現行のモデルによる再現計算では R_{90} の値が洪水ごとに大きく変動（昭和33年9月洪水：31.77mm、昭和34年8月洪水：65mm、昭和57年9月洪水：115mm、平成10年9月洪水：125mm）しており、この間森林面積が大きく変化していないことなどを考えると、十分に説明することが困難なことから、詳細な分析が必要である。

○現行の流出計算モデルについて、確認ができた事項及びその内容を以下に示す。

①行政文書等により確認できる事項

- ・再現計算に当たっては、当該洪水の発生時に供用を開始していた洪水調節施設について実績放流量を与え、観測史上最大流量及び総合確率法の計算に当たっては、洪水調節施設がないものと仮定し、計算を行っていた。
- ・再現計算に当たっては、河道条件を実際の堤防等の整備の状況とし、観測史上最大流量及び総合確率法の計算に当たっては、河道条件を将来的に堤防等の整備が進んだ状況とし、計算を行っていた。
- ・流出計算は、貯留関数法により、八斗島上流域について、54の小流域と19の河道に分割したモデルを用いて行っていた。
- ・現行の流出計算モデルにおいては、「利根川の基本高水の検証について 平成23年9月」の別添資料1-2に示す、小流域の流域面積、一次流出率及び流入係数、小流域の流域定数、小流域の基底流量、河道定数を用いていた。
- ・現行の流出計算モデルの定数については、昭和33年9月洪水及び昭和34年8月洪水を対象に定数解析を行い設定した。
- ・低水流量の観測結果に基づき、比流量で各流域の基底流量を設定した。
- ・利根川上流部における各高水流量観測所で得られた実測資料による貯留関数を求め、流域の勾配との関係から得られた経験式により流域の定数（ K 、 P 、 T_f ）を設定した。
- ・利根川上流部の河道における横断測量成果を用いて不等流計算を実施し、河道の $S-Q$ 関係から定数を設定した。なお、不等流計算に用いる粗度係数は、昭和33年9月、34年8月の両洪水によって算定されたものを使用した。
- ・土木研究所における全国の河川の流入係数と流域を構成する地質の関係等から流入係数を設定した。
- ・流域及び河道の勾配と T_f の関係式（経験式）により、 T_f を設定した。
- ・ R_{90} については、 R_{90} を設定した箇所において「利根川の基本高水の検証について 平成23年9月」1-1（1）（1-3）の昭和22年9月洪水の計算では48mm、昭和33年9月洪水の計算では31.77mm、昭和34年8月洪水の計算では65mm、昭和57年9月洪水の計算では115mm、平成10年9月洪水の計算では125mmというように洪水ごとに異なる R_{90} を用いて計算している。なお、観測史上最大流量の昭和22年9月洪水の計算で用いている R_{90} 48mmについては、昭和33年9月洪水及び昭和34年8月洪水の再現計算で用いた値の平均値と推定される。
- ・「利根川の基本高水の検証について 平成23年9月」の1-1の計算に用いた、小流域ごとの流域平均時間雨量は、同資料の別添資料1-4、1-6、1-10、1-12、1-14の値である。

②計算プログラム等により確認した事項

- ・初期損失雨量は考慮していない。
- ・基底流量は、洪水ごとに設定した値を当該洪水の期間中一定として計算している。
- ・流域30から48までの小流域では、小流域内の全てで流入係数を1.0としている。
- ・D、F、H、I、Ja、Jb、Kb、La、Lb、M、Nb、O及びP河道においては、それぞれある一定の水位を超えると当該河道に並列して設定している河道へも流下する。
- ・D、F、H、I、Jb、Kb、La、Lb、M、Nb、O及びP河道においては、当該河道の水位と当該河道に並列する河道内の水位の関係により、当該河道に並列する河道から当該河道へ合流する。
- ・Ja河道に並列する河道は、Jb河道に並列する河道へ流下する。
- ・I河道においては、並列する河道に分派した一部は、当該河道に合流しない。
- ・計算時間の間隔は、洪水のピーク付近は12分間隔であり、それ以外は60分間隔である。

○観測所が整備され、データが蓄積されてきていることを踏まえ、より多くの地点で流量データと計算値の適合性の検討を行うこと等により、精度の高い計算値が得られるよう、新たな流出計算モデルを構築することとする。

新たな流出計算モデルの構築

基礎式

・八斗島上流における新たな流出計算モデルで用いる貯留関数法の基礎式は、次のとおりである。

①流域の基礎式

$$\frac{ds}{dt} = f_{(t)} \cdot R_{(t)} - q_{(t+T)}$$

$$s_{(t)} = K \cdot Q_{(t+T)}^P$$

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

ただし、

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

$$R_0 < \sum R_{(t)} \leq R_0 + R_{sa} \quad \text{の場合、} \quad f_{(t)} = f_1$$

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

ここで、

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

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

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

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

$f_{(t)}$: 流域平均降雨強度 [mm/hr]⁻¹、 $q_{(t)}$: 直接流出高 [mm/hr]、

T_1 : 遅滞時間 [hr]、 K : 定数、 P : 定数、

$Q_{(t)}$: 直接流出強度 [m³/s]、 A : 流域面積 [km²]、

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

R_0 : 初期損失雨量 [mm]、 R_{sa} : 飽和雨量 [mm]、

R_{sum} : 総降雨量 [mm]²、 Q_{sum} : 総直接流出量 [m³]、

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

$Q_{b(t)}$: 基底流量 [m³/s]

*1 地点観測雨量からテ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

$$S_{(t)} = K \cdot Q_{(t)}^P - T_1 \cdot Q_{(t)}$$

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

$$Q_{(t)} = Q_{(t+T)}$$

$S_{(t)}$: みかけの貯留量 [m³/s・hr]、 $Q_{(t)}$: 遅れ時間 T_1 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_1 : 遅滞時間 [hr]、

K : 定数、 P : 定数、

流域分割

・流域分割に当たっては、流域面積のバランス、地形（勾配）や降雨の傾向、河道状況を勘案しつつ、次の（i）及び（ii）の観点等から39の小流域に分割した。

（i）観測所が整備され、データが蓄積されてきていることを踏まえ、より多くの地点で流量データと計算値の適合性の検討を行うことにより、精度の高い計算値が得られるよう、既設ダム地点、水位・流量観測所等が下流端となるように分割すること。

- 既設ダム地点 … 6箇所
- 水位・流量観測所 … 20箇所
- 水位観測所 … 3箇所
- 計 29箇所

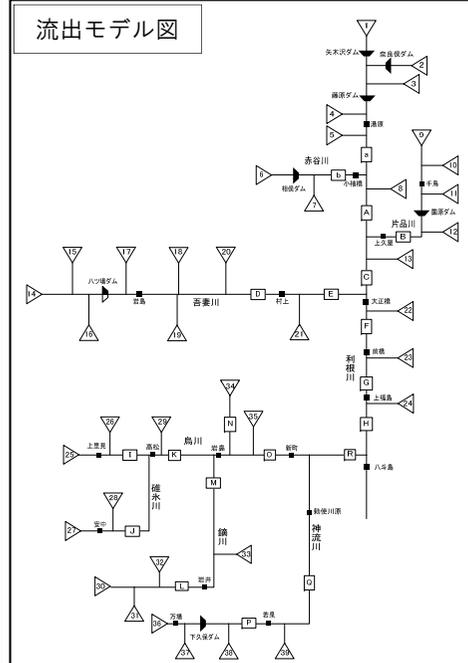
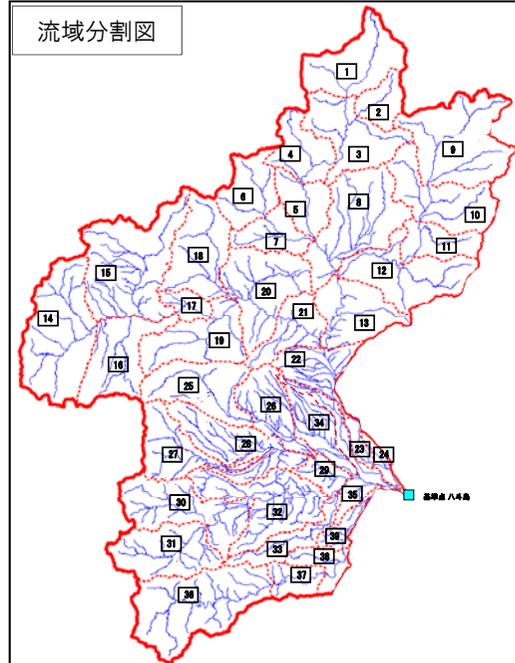
（ii）大きな支川の合流点において、本支川の流量を算出できるように、合流地点が下流端となるように分割すること。

… 18箇所

その他、ハッ塔ダム地点が下流端となるように分割。

… 2箇所

※（i）と（ii）の両方の観点で分割している小流域がある。



流域定数の設定

1) 流域定数解析洪水

・流域定数の設定に当たっては、近年30年間（昭和53年～平成19年）のデータの中から、八斗島地点の流量が比較的大きい洪水（以下「流域定数解析洪水」という。）を用いた。具体的には、八斗島地点の年最大流量の平均値に相当する3,500m³/sを上回る洪水が15洪水あり、これらを用いた。流域定数解析洪水一覧表

NO.	洪水名	八斗島地点 ピーク流量 (m ³ /s)	NO.	洪水名	八斗島地点 ピーク流量 (m ³ /s)
1	昭和56年8月洪水	7,690	9	平成11年8月洪水	5,202
2	昭和57年7月洪水	7,991	10	平成12年9月洪水	3,971
3	昭和57年9月洪水	8,192	11	平成13年9月洪水	6,785
4	昭和58年9月洪水	4,267	12	平成14年7月洪水	5,972
5	昭和60年7月洪水	4,077	13	平成16年10月洪水	3,728
6	昭和61年9月洪水	4,454	14	平成18年7月洪水	3,929
7	平成3年8月洪水	4,589	15	平成19年9月洪水	7,755
8	平成10年9月洪水	9,222			

（出典：水文学データベース）

2) 小流域ごとの流域平均時間雨量

・計画降雨継続時間は、流域面積の大きさ、実績降雨の継続時間等を考慮して3日とした。

・流域定数解析洪水の小流域ごとの流域平均時間雨量は、ティーセン法により求めた。具体的には、八斗島上流域における雨量観測所（他機関も含む。）について、当該洪水の計画降雨継続時間内の時間雨量の観測データを整理し、毎1日間（昭和53年から平成7年までの洪水は9時～翌9時、平成8年以降の洪水は0時～翌0時）に欠測がない全ての雨量観測所を用いて、1日ごとにティーセン分割を行い、小流域ごとの流域平均時間雨量を求めた。

新たな流出計算モデルの構築

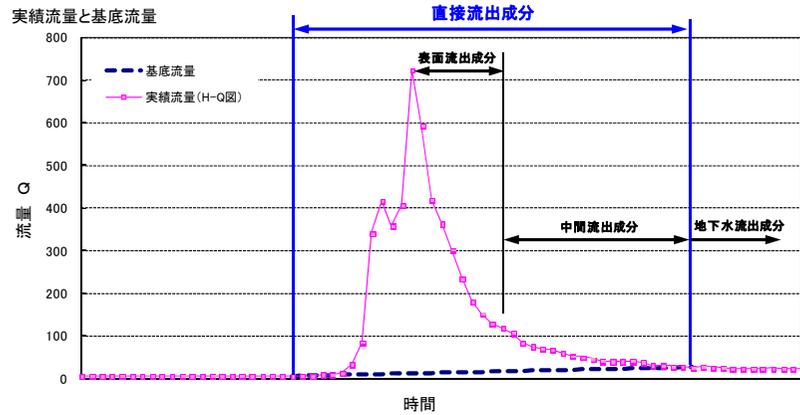
流域定数の設定

3) 流出成分の分離

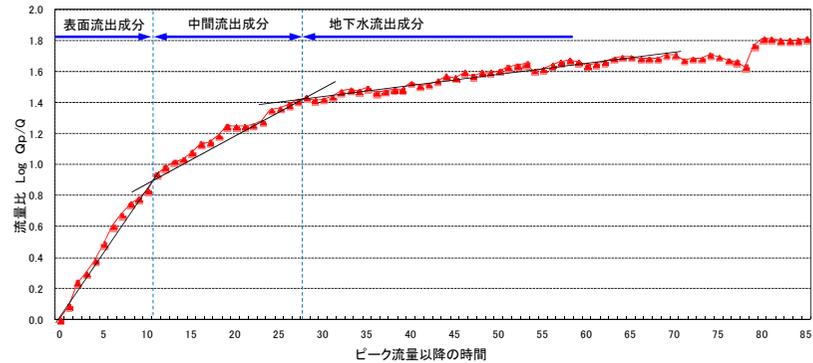
・流域定数の設定を行う上で、H-Q図から読み取った実績流量のハイドログラフをもとに流出成分を分離し、流域定数解析洪水ごとに流域定数の解析地点のハイドログラフについて、ハイドログラフの低減部の指数低減性を利用する方法によって、直接流出成分と間接流出成分の分離を行い、各時刻の直接流出量と基底流量を求めた。

・一般的に、ハイドログラフの低減部を片対数紙に描き、2本または3本の直線で近似すると、2本の場合はその折れ点、3本の場合には洪水の終わりから1つ目の折れ点が中間流出の終了時点と考えられている。今回は、ピーク以降の流量を3本の直線で分離し、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。

例) 安中地点 平成10年9月洪水

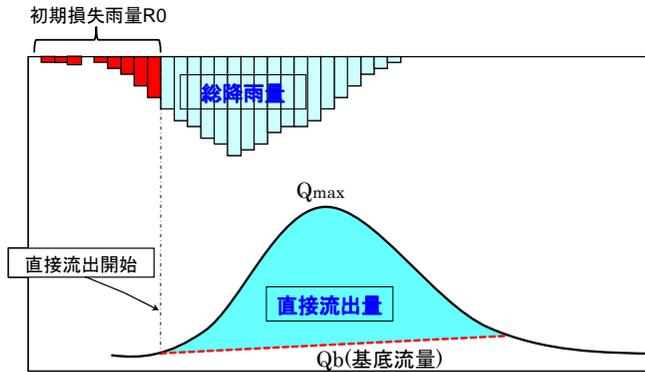


流量低減部の成分分離



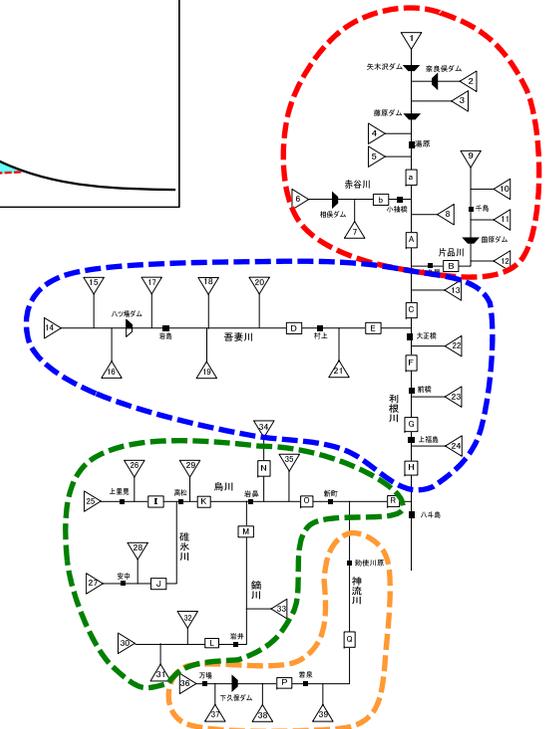
4) 初期損失雨量の設定

- ・初期損失雨量は、次に示す地点（以下「 f_i 等解析地点」という。）を選定して、各地点において流域定数解析洪水ごとに求めた。
 - f_i 等解析地点（21地点）
 - (i) 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_i 、 R_{0i} の解析が可能なデータが存在する流量観測所地点 …… 12地点
 - (ii) 分割した小流域の下流端となる既設ダム地点 …… 6地点
 - (iii) 流域定数解析洪水のデータについて、 f_i 、 R_{0i} の解析が可能なデータが存在する県管理ダム地点 …… 3地点
- ・ f_i 等解析地点において、流域定数解析洪水ごとに、初期損失雨量を求めた。具体的には、 f_i 等解析地点の上流域における流域平均雨量のハイドログラフにおいて、直接流出開始以前の時間雨量の和を求めて当該地点の初期損失雨量とした。
- ・各小流域の初期損失雨量は、流域定数解析洪水ごとに設定することとし、次のように求めた。
 - f_i 等解析地点のうち、河川ごとに源流に最も近い9地点（以下「最上流地点」という。）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、中流域ごとに、当該中流域に含まれる全ての f_i 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。



・中流域は、第四紀火山岩地帯の分布や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。

- 奥利根流域
- 吾妻川流域
- 烏川流域
- 神流川流域



新たな流出計算モデルの構築

流域定数の設定

5) f_l , R_{sa} の設定

各小流域の f_l は、当該小流域が属する中流域の f_l とすることとし、中流域ごとに f_l を求めた。

具体的には、中流域ごとに、当該中流域に含まれる全ての f_l 等解析地点における全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} を1つの図にプロットし、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_l 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 $R_{sa} \cdot (1 - f_l)$ 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} 』とした。

ここで、総降雨量が大きい点群の下限を包絡する勾配が1.0の直線と、原点を通る傾きが f_l の直線の交点を『最大乾燥状態の R_{sa} 』とする。

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、『洪水ごとの 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_l の直線との交点のX座標を、当該地点の洪水ごとの R_{sa} とした。

各小流域の R_{sa} は、流域定数解析洪水ごとに設定することとし、次のように求めた。

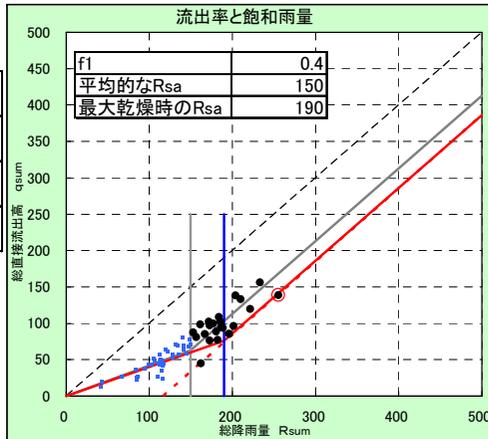
最上流地点の上流にある16小流域については、各最上流地点で求めた当該洪水における洪水ごとの R_{sa} を、当該最上流地点の上流にある小流域の R_{sa} とした。

その他の23小流域については、中流域ごとに、当該中流域に含まれる全ての最上流地点の当該洪水における洪水ごとの 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。

奥根流域

(km ²)	
流域面積	1,667
第四紀火山岩地帯	319
非第四紀火山岩地帯	1,347
第四紀占有率(%)	19.2%

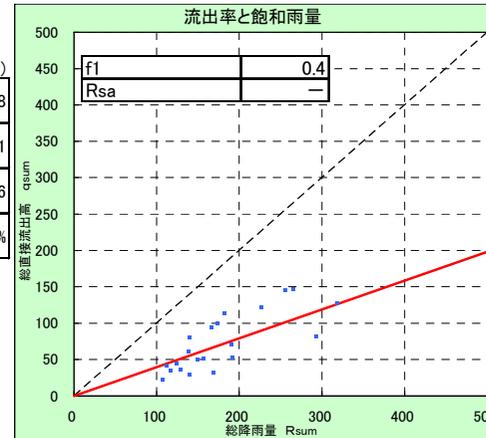
※面積は小数点以下四捨五入



吾妻川流域

(km ²)	
流域面積	1,738
第四紀火山岩地帯	1,041
非第四紀火山岩地帯	696
第四紀占有率(%)	59.9%

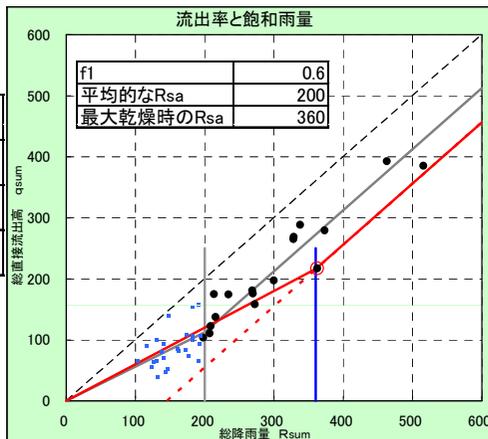
※面積は小数点以下四捨五入



鳥川流域

(km ²)	
流域面積	1,291
第四紀火山岩地帯	266
非第四紀火山岩地帯	1,025
第四紀占有率(%)	20.6%

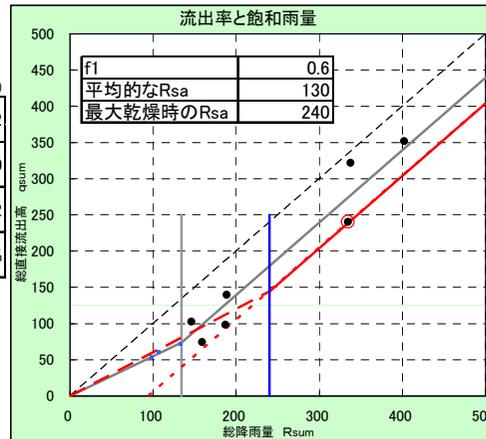
※面積は小数点以下四捨五入



神流川流域

(km ²)	
流域面積	412
第四紀火山岩地帯	0
非第四紀火山岩地帯	412
第四紀占有率(%)	0.0%

※面積は小数点以下四捨五入



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 $f_{(i)}$ から、次式により求めることができる。

$$re_{(i)} = f_{(i)} \times r_{(i)}$$

$re_{(i)}$: 流域平均有効降雨強度【mm/hr】

$f_{(i)}$: 流入係数【無次元】

$r_{(i)}$: 流域平均降雨強度【mm/hr】*1

*1 雨量観測所の観測雨量からテーゼ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、 $f_{(i)}$ は次のとおりである。

$$\sum r_{(i)} \leq R_0 \quad \text{の場合} \quad f_{(i)} = 0.0$$

$$R_0 < \sum r_{(i)} \leq R_0 + R_{sa} \quad \text{の場合} \quad f_{(i)} = f_1$$

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

新たな流出計算モデルの構築

流域定数の設定

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8地点あり、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、流域定数解析洪水ごと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 として求めた。

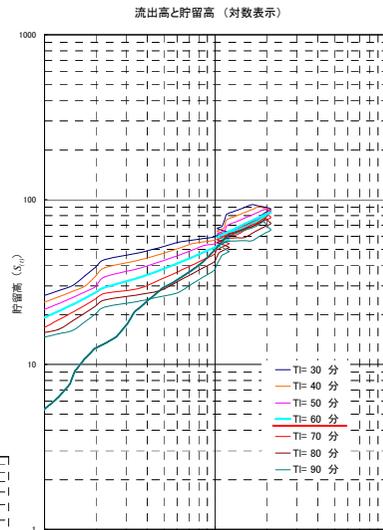
このようにして洪水ごと、地点ごとの K, P, T_l を求めることとし、大きな洪水における流出量の再現性を考慮して、 K 等解析地点ごとに、 K, P は最大流量となる洪水の値を、 T_l は規模の大きい洪水の値の平均値を、それぞれ用いて、当該 K 等解析地点 K, P, T_l を求めた。

- K 等解析地点の上流にある13の小流域については、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。

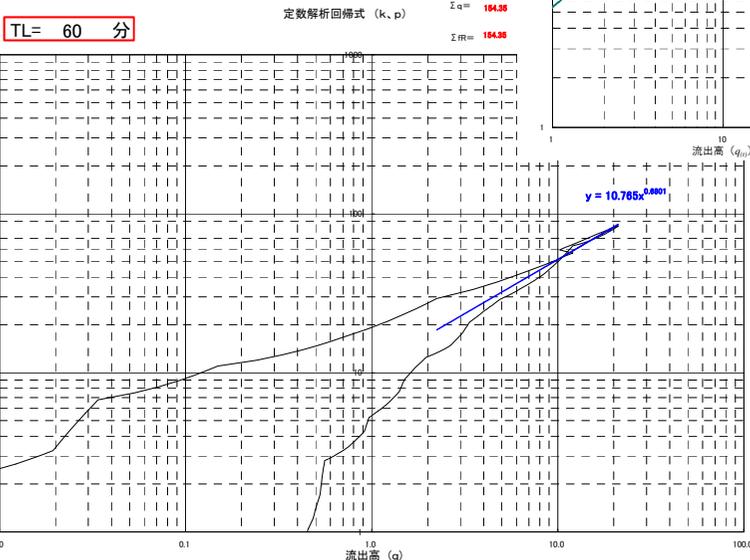
その他の26小流域については、 K 等解析地点に県管理ダム地点3地点を加えた合計11地点で求めた値から K, P, T_l を設定した（県管理ダム地点では、 K 等解析地点と同じ方法で地点ごとに K, P, T_l を求めている）。

具体的には、中流域ごとに、上記11地点のうち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 とした。

例) 安中地点 平成10年9月洪水



例) 安中地点 平成10年9月洪水



河道定数の設定

- 河道定数 K, P の検討に当たっては、平成18年から平成22年までの最新測量断面を用いて、河道ごとに流量規模ごとの河道貯留量 (s) を不等流計算により求め、流量と河道貯留の関係から、切片を K 、傾きを P として求めた。
- 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 を用いた。

設定した定数の例

流域No	流域定数										河道定数		
	流域面積 (km ²)	一次流出率	飽和雨量 (mm)	流入係数	初期損失雨量 (mm)	遅滞時間 (分)	係数		開始基底流量 (m ³ /s)	河道No.	K	P	遅滞時間 (時間)
1	165.48	0.4	150	1.0	12.0	30	7.587	0.528	7.3	a	—	—	0.217
2	60.59	0.4	150	1.0	12.0	50	6.252	0.656	2.7	b	—	—	0.234
3	165.77	0.4	150	1.0	12.0	50	9.480	0.592	7.3	A	4.476	0.699	0.165
4	103.07	0.4	150	1.0	12.0	50	9.480	0.592	4.6	B	12.030	0.665	0.350
5	81.80	0.4	150	1.0	12.0	50	9.480	0.592	3.6	C	13.878	0.665	0.273
6	110.19	0.4	150	1.0	12.0	40	10.591	0.655	4.9	D	7.381	0.663	0.160
7	79.19	0.4	150	1.0	12.0	50	9.480	0.592	3.5	E	4.966	0.729	0.180
8	226.00	0.4	150	1.0	12.0	50	9.480	0.592	10.0	F	4.831	0.797	0.250
9	252.05	0.4	150	1.0	12.0	90	13.487	0.530	11.1	G	6.405	0.724	0.170
10	161.64	0.4	150	1.0	12.0	90	13.487	0.530	7.1	H	6.223	0.681	0.143
11	78.78	0.4	150	1.0	12.0	90	13.487	0.530	3.5	K	8.039	0.712	0.281
12	182.31	0.4	150	1.0	12.0	50	9.480	0.592	8.0	O	12.928	0.627	0.208
13	144.49	0.4	—	—	14.0	50	35.239	0.300	6.4	Q	9.401	0.727	0.509
14	269.24	0.4	—	—	14.0	100	29.321	0.305	11.9	R	7.492	0.632	0.127
15	289.00	0.4	—	—	14.0	100	29.321	0.305	12.8	N	7.515	0.644	0.306
16	153.20	0.4	—	—	14.0	100	29.321	0.305	6.8	I	6.235	0.742	0.318
17	38.30	0.4	—	—	14.0	100	29.321	0.305	1.7	J	8.598	0.654	0.269
18	164.22	0.4	—	—	14.0	50	35.239	0.300	7.2	M	1.660	0.752	0.095
19	157.01	0.4	—	—	14.0	50	35.239	0.300	6.9	L	16.279	0.614	0.333
20	188.37	0.4	—	—	14.0	50	35.239	0.300	8.3	P	6.775	0.684	0.268
21	97.12	0.4	—	—	14.0	50	35.239	0.300	4.3				
22	93.33	0.4	—	—	14.0	50	35.239	0.300	4.1				
23	24.68	0.4	—	—	14.0	50	35.239	0.300	1.1				
24	23.88	0.4	—	—	14.0	50	35.239	0.300	1.1				
25	155.13	0.6	200	1.0	14.0	30	29.519	0.428	6.8				
26	110.02	0.6	200	1.0	14.0	40	18.623	0.572	4.9				
27	121.39	0.6	200	1.0	14.0	60	10.765	0.680	5.4				
28	165.39	0.6	200	1.0	14.0	40	18.623	0.572	7.3				
29	43.27	0.6	200	1.0	14.0	40	18.623	0.572	1.9				
30	190.64	0.6	200	1.0	14.0	40	18.623	0.572	8.4				
31	158.74	0.6	200	1.0	14.0	40	18.623	0.572	7.0				
32	201.63	0.6	200	1.0	14.0	40	18.623	0.572	8.9				
33	75.00	0.6	200	1.0	14.0	40	18.623	0.572	3.3				
34	94.85	0.4	—	—	14.0	50	35.239	0.300	4.2				
35	70.05	0.6	200	1.0	14.0	40	18.623	0.572	3.1				
36	269.56	0.6	130	1.0	22.0	80	29.976	0.476	11.9				
37	53.25	0.6	130	1.0	22.0	80	29.976	0.476	2.4				
38	51.68	0.6	130	1.0	22.0	80	29.976	0.476	2.3				
39	37.50	0.6	130	1.0	22.0	80	29.976	0.476	1.7				
5,107.81									225.8				

注：各小流域の初期損失雨量、 R_{sa} 、基底流量は、新たな流出計算モデルの構築で算出した平均的な値である。

新たな流出計算モデルの構築

流出計算モデルの再現性の検討

・近年30年間（昭和53年～平成19年）の流量データを対象として、八斗島地点の流量が大きい洪水（以下「再現性検討洪水」という。）を用いることとした。具体的には、八斗島地点の流量が5,000m³/sを上回る洪水が8洪水あり、これらを用いた。

（再現性検討洪水）

- | | |
|-----------|-----------|
| 昭和56年8月洪水 | 昭和57年7月洪水 |
| 昭和57年9月洪水 | 平成10年9月洪水 |
| 平成11年8月洪水 | 平成13年9月洪水 |
| 平成14年7月洪水 | 平成19年9月洪水 |

① 計算条件

1) 洪水調節施設

・再現性検討洪水発生時に供用していたダムを下流端とする小流域からの流出量 Q_{out} は、当該ダムにおける当該洪水の実績放流量とした。

2) 流出計算モデル

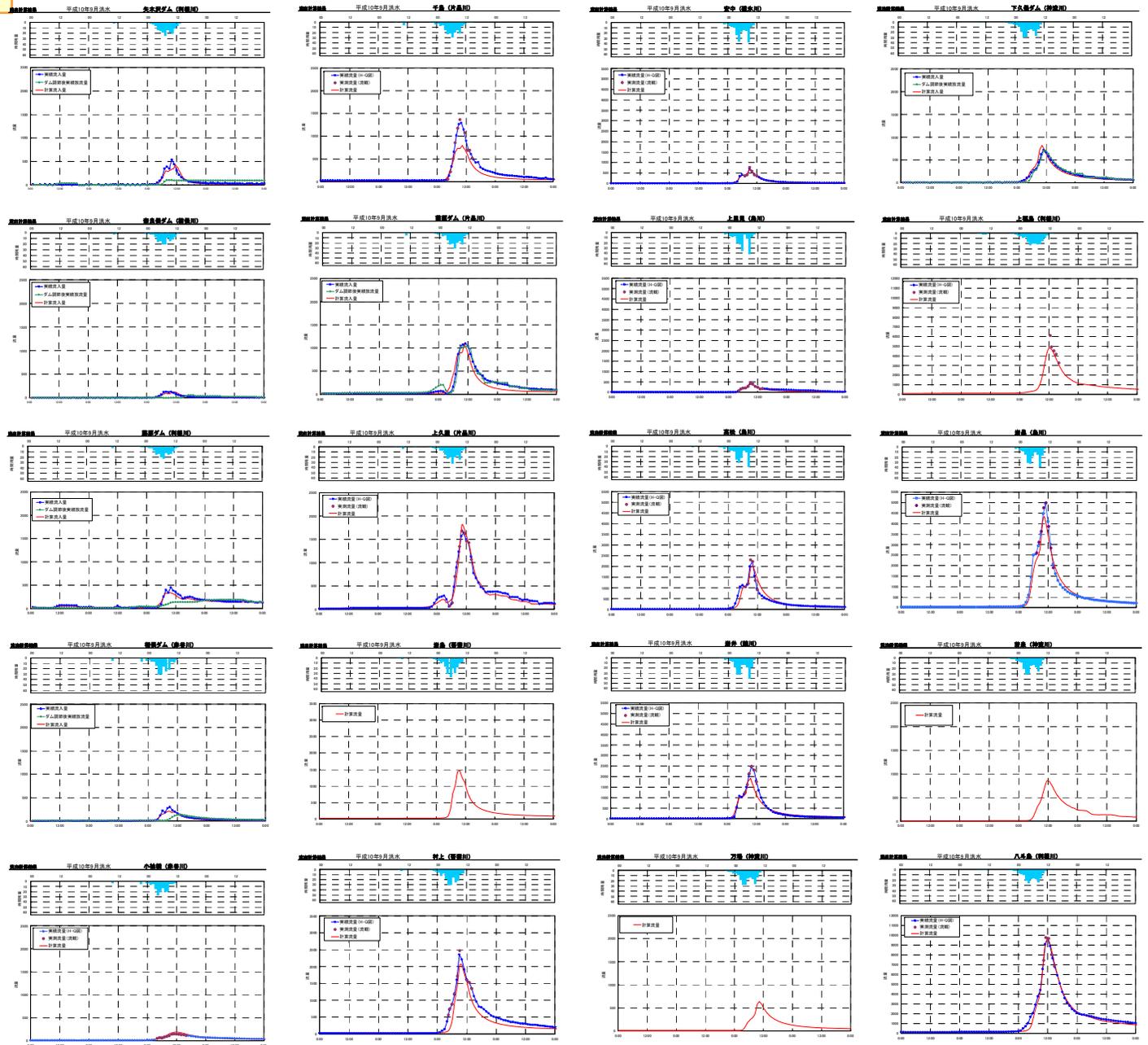
- ・流出計算は、新たな流出計算モデルを用いて行う。
- ・各小流域の流域面積、 f_i 、 K_i 、 P_i 、 T_i と各河道の K 、 P 、 T_i は全ての再現性検討洪水で同じ値とした。
- ・各小流域の初期損失雨量、 R_{0i} 、基底流量は再現性検討洪水ごとに求めた値とした。
- ・各小流域の基底流量は、八斗島地点において洪水ごとに流出成分の分離により求めた直接流出開始時点の八斗島地点の流量を、当該洪水の八斗島地点の基底流量の開始流量とした。この八斗島地点の基底流量の開始流量に八斗島上流域の流域面積における当該小流域の流域面積の割合を乗じた値を、洪水ごとの各小流域の開始基底流量とした。
- ・新たな流出計算モデルにおいては、洪水の全ての時間を10分間隔で計算した。

3) 雨量

・各再現性検討洪水の小流域ごとの流域平均時間雨量を用いた。

② 計算結果

上記の計算条件によって計算を行った。



例) 平成10年9月洪水

新たな流出計算モデルを用いた流出計算の実施

- 新たな流出計算モデルを用いて、昭和55年の工事実施基本計画改定時と同様に、観測史上最大流量と確率流量の計算を実施した。
- 観測史上最大流量（昭和22年9月洪水）については、現時点で収集可能な雨量データを収集し、雨量及び流量データの点検を行い必要に応じて修正して用いた。

観測史上最大流量

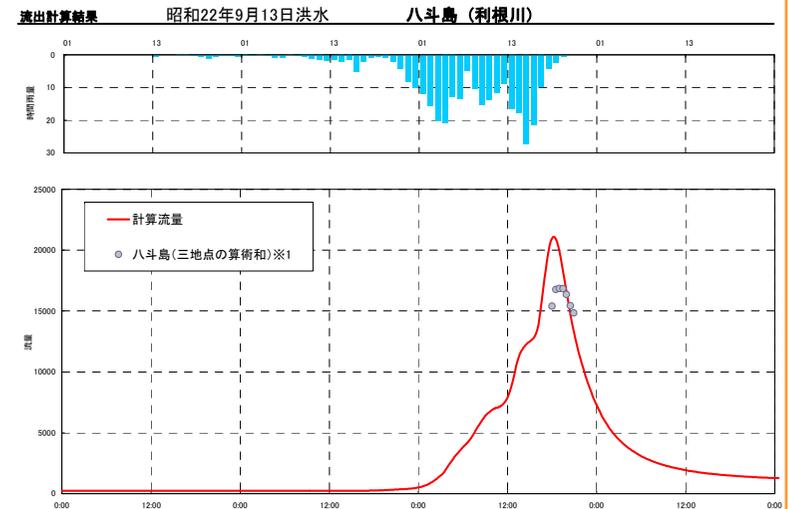
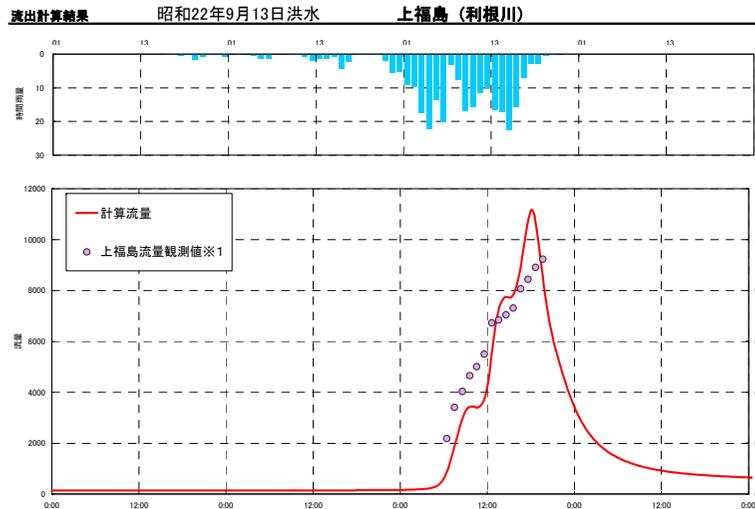
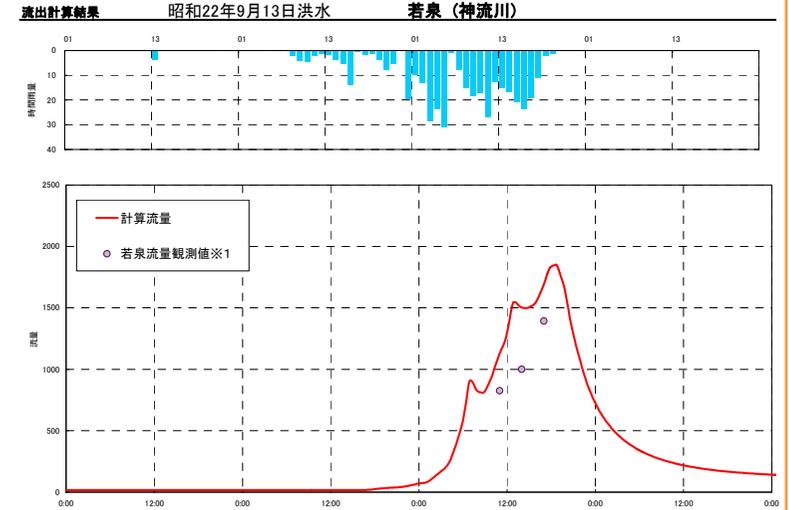
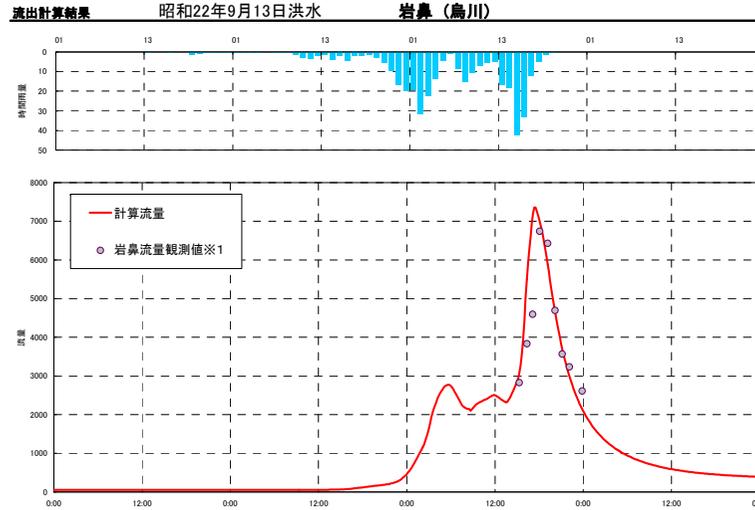
① 計算条件

- 洪水調節施設
 - 洪水調節施設がないものと仮定して計算を行う。
- 流出計算モデル
 - 流出計算は、新たな流出計算モデルを用いて行う。
 - 各小流域の流域面積、 f_j 、 K 、 P 、 T_j と各河道の K 、 P 、 T_j は「利根川の基本高水の検証について 平成23年9月」2. (3)で示した方法で求めた。
 - 各小流域の初期損失雨量、 R_{0j} 、基底流量は、新たな流出計算モデルの構築で算出した平均的な値とした。
- 雨量
 - 毎1日雨量及び同期間の24時間雨量に欠測がない全ての雨量観測所を用いて、等雨量線法により、一日ごとに、小流域ごとの流域平均日雨量を求めた。
 - 流域内の地形、谷の方向、気象条件等を勘案し、時間雨量観測所ごとに当該時間雨量観測所の観測雨量の時間分布を当てはめる区域（以下「影響区域」という。）を定め、影響区域に属する小流域の流域平均降雨強度を求め、小流域ごとの流域平均時間雨量を作成した。

② 計算結果

上記の計算条件によって計算を行い、八斗島地点におけるピーク流量は、約21,100m³/sとなった。

観測史上最大洪水の流出計算結果



※1：出典「カスリン颱風の研究」、「利根川の解析」

新たな流出計算モデルを用いた流出計算の実施

- 新たな流出計算モデルを用いて、昭和55年の工事実施基本計画改定時と同様に、観測史上最大流量と確率流量の計算を実施した。
- 確率流量（1/200確率流量）については、近年の洪水を含めて、現時点において収集可能な雨量及び流量データを収集し、雨量及び流量データの点検を行い必要に応じて修正して用いた。
- 指数分布（積率法）による試算（1,000mmまでのRを与えて Q_p -R関係を求めたもの）を以下に示す。

確率流量

① 確率降雨量の算定

- 流域平均3日雨量の算定
 - 雨量観測所のデータが入手できた大正15年から平成19年の日雨量データを用いた。
 - 昭和55年度の工事実施基本計画改定時と同様に、八斗島地点上流域の流域平均3日雨量が100mm以上となる洪水を抽出したところ、68洪水が該当した。
- 雨量確率分布の検討
 - 一般パレート分布及びその特殊形である指数分布について、最尤法、積率法、L積率法の3手法を用いて確率分布の母数推定を行った。
 - SLSC（standard least squares criterion：標準最小二乗規準）を用いて、適合度を検討したところ、全ての手法において、SLSCは0.04以下となった。
 - リサンプリング手法としてjackknife法を用いて、確率水文学の安定性を検討した。
- 確率降雨量
 - jackknife推定誤差が小さい指数分布（積率法）の1/200超過確率は346mmとなった。
 - 非毎年値の非超過確率と毎年値の非超過確率の関係から1/200年超過確率雨量を求めると、336mmとなった。

八斗島地点上流域の流域平均3日雨量が100mm以上となる68洪水（大正15年～平成19年）

no.	年月日	3日雨量(mm)	no.	年月日	3日雨量(mm)
1	S03.07.30	118.18	35	S41.09.22	132.35
2	S03.10.06	137.73	36	S43.07.27	118.21
3	S04.09.08	142.91	37	S46.08.29	148.55
4	S05.07.30	191.68	38	S46.09.05	120.91
5	S08.08.05	118.73	39	S47.09.14	172.34
6	S10.09.23	215.72	40	S49.08.30	118.83
7	S12.07.14	173.33	41	S56.08.21	235.47
8	S13.08.01	114.18	42	S57.07.31	221.59
9	S13.08.30	118.65	43	S57.09.10	213.86
10	S15.08.24	118.99	44	S58.08.15	209.60
11	S16.07.20	162.58	45	S58.09.26	139.38
12	S18.10.01	122.86	46	S60.06.28	134.23
13	S19.10.05	146.49	47	S61.09.01	142.96
14	S20.06.06	101.31	48	H02.08.08	143.65
15	S20.10.03	176.05	49	H03.08.19	143.10
16	S21.07.30	115.55	50	H03.08.29	109.30
17	S22.09.13	308.60	51	H06.09.15	122.27
18	S23.09.14	206.64	52	H06.09.27	100.07
19	S24.08.29	200.97	53	H07.09.15	110.12
20	S24.09.21	108.28	54	H10.08.28	164.10
21	S25.07.27	172.38	55	H10.09.14	186.01
22	S25.08.02	157.26	56	H11.07.12	104.72
23	S28.09.23	109.51	57	H11.08.13	212.69
24	S33.07.22	109.02	58	H11.09.20	107.84
25	S33.09.16	172.28	59	H12.09.10	153.75
26	S33.09.24	149.17	60	H13.08.21	140.04
27	S34.08.12	207.84	61	H13.09.09	246.20
28	S34.09.24	167.09	62	H14.07.09	183.15
29	S36.06.26	167.60	63	H14.09.30	112.89
30	S36.10.26	104.11	64	H16.10.08	108.94
31	S39.07.07	109.24	65	H16.10.19	120.49
32	S40.05.26	116.39	66	H17.07.25	108.57
33	S40.09.15	119.88	67	H18.07.17	189.04
34	S41.06.26	147.85	68	H19.09.05	265.40

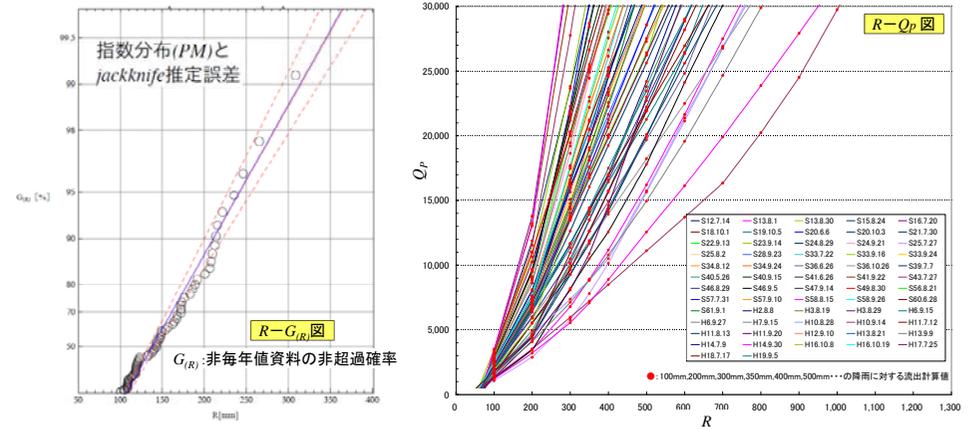
赤枠は時間雨量観測所のデータが収集できた昭和11年～平成19年までの62洪水

⑤ 確率流量の算定

・ $R-Q_p$ 図により、62の代表洪水波形ごとに任意の Q_p に対する雨量(R_i)を読み取り、雨量の年超過確率 $P_{M(R)}$ より、各 R_i に対する年超過確率 $P_{M(R_i)}$ を算出し、任意の Q_p に対する年超過確率($P_{(Q_p)}$)を次式で定義し、 Q_p と $P_{(Q_p)}$ の関係を求め、 $Q_p-P_{(Q_p)}$ 図を作成した。

$$P_{(Q_p)} = \sum_{i=1}^n \frac{P_{M(R_i)}}{n} \quad (i=1,2,\dots,n (=62))$$

・ このようにして作成した $Q_p-P_{(Q_p)}$ 図から、八斗島地点における1/200確率流量は、約22,200 m^3/s となった。



② 代表降雨波形群の選定

時間雨量観測所のデータが収集できた昭和11年から平成19年までの72年間において、流域平均3日雨量が100mm以上の洪水が62洪水あり、その降雨波形を代表降雨波形群とした。

③ 計算条件

- 洪水調節施設
 - 洪水調節施設がないものと仮定して計算を行う。
- 流出計算モデル
 - 流出計算は、新たな流出計算モデルを用いて行う。
 - 各小流域の流域面積、 f_p 、 K 、 P 、 T_t と各河道の K 、 P 、 T_t は「利根川の基本高水の検証について 平成23年9月」2. (3) で示した方法で求めた。
 - 各小流域の初期損失雨量、 R_{0p} 、基底流量は、新たな流出計算モデルの構築で算出した平均的な値とした。
- 雨量
 - 八斗島地点上流域の流域平均3日雨量(R)が任意の3日雨量(100mm、200mm、300mm、350mm、400mm、500mm、600mm、700mm、800mm、900mm及び1,000mm)となるよう、各代表降雨波形の小流域ごとの流域平均雨量の時間分布を引き伸ばし(引き縮め)、それぞれの任意の3日雨量における各代表降雨波形における小流域ごとの流域平均時間雨量を求めた。

④ 代表降雨波形ごとのピーク流量(Q_p)の算定

上記の計算条件で流出計算を行い、代表降雨波形ごとに、任意の八斗島地点上流域の流域平均3日雨量(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、 $R-Q_p$ 図を作成した。

