

## 国土交通省への要請（2011年5月6日）への回答

## 1. 現行手法について

## (1) 用いられている式

当時の関係資料が確認されていないことから、現時点では、お示しすることは困難である。

## (2) パラメータの意味・単位・推定手法

現時点で確認できることは、次の事項である。なお、当時の関係資料が確認されていないことから、具体的な計算式等をお示しすることは困難である。

- ・ 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。設定した基底流量を資料1に示す。
- ・ 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、TI）を設定した。設定した流域の定数を資料2に示す。
- ・ 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。設定した河道定数を資料3に示す。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。設定した流入係数を資料4に示す。
- ・ 流域及び河道の勾配とTIの関係式（経験式）により、TIを設定した。設定したTIを資料5に示す。
- ・ Rsaについては、Rsaを設定した箇所において第1回分科会の資料6の25ページ以降の昭和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Rsa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Rsa 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。

## (3) 解析時間間隔

現行の流出計算モデルにおいては、洪水のピーク付近は12分間隔で計算し、それ以外は60分間隔で計算していた。

## (4) 降水データ（地点数・位置・時間間隔、サブ流域平均雨量推定手法の詳細）

第1回分科会資料6の計算に用いた、小流域ごとの流域平均時間雨量は、同資料の巻

末資料 98～128 ページの値である。なお、当時の関係資料が確認されていないことから、小流域ごとの流域平均時間雨量の具体的な算出方法（算出の基となっている雨量観測所名を含む）についてお示しすることは困難である。

参考として、ダム事業の検証に当たって新たに収集し、第 1 回分科会以前に集まっていた雨量観測所の雨量データを、同資料の巻末資料 74～97 ページに添付している。また、第 2 回分科会資料 7 の雨量観測所位置図は、第 1 回分科会資料 6 巻末資料の雨量観測所を地図上にプロットしたものである。

## 2. 新手法について

### (1) 用いられている式

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。

$$ds/dt = f(t)r(t) - q(t+Tl)$$

$$s(t) = K q(t+Tl) \hat{P}$$

$$q(t) = 3.6 Q(t) / A$$

ただし、

$$\sum r(t) < R0 \quad \text{の場合} \quad f(t) = 0.0$$

$$R0 \leq \sum r(t) < R0 + Rsa \quad \text{の場合} \quad f(t) = f1$$

$$\sum r(t) \geq R0 + Rsa \quad \text{の場合} \quad f(t) = 1.0$$

ここで、

$$Rsa = (Rsum - Qsum / 1000 A) / (1 - f1)$$

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

$$Qca(t) = q(t)A / 3.6 + Qb(t)$$

$\sum r(t)$  : 降雨の降り始めから当該時刻までの総降雨量【mm】、

$s(t)$  : 貯留高【mm】、 $f(t)$  : 流入係数【無次元】、 $r(t)$  : 流域平均降雨強度【mm/hr】\*1、

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

$P$  : 定数【無次元】、 $Q(t)$  : 直接流出強度【m<sup>3</sup>/s】、 $A$  : 流域面積【km<sup>2</sup>】、

$R0$  : 初期損失雨量【mm】、 $Rsa$  : 飽和雨量【mm】、 $Rsum$  : 総降雨量【mm】\*2、

$Qsum$  : 総直接流出量【m<sup>3</sup>】、 $f1$  : 一次流出率【無次元】、 $Qca(t)$  : 流域からの流出量【m<sup>3</sup>/s】、

$Qb(t)$  : 基底流量【m<sup>3</sup>/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) サブ流域構成手法

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。

\*「要請」では「サブ流域」という用語が用いられているが、これまで提出した資料との一貫性を保つため、「小流域」という用語を用いることとする。

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、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、ハッ場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。

流域分割図及び流出モデル図を資料6に示す。

### (3) パラメータの意味・単位・推定手法

定数\*を用いている基礎式、単位は次のとおりである（再掲）。

\*「要請」では「パラメータ」という用語が用いられているが、これまで提出した資料との一貫性を保つため、「定数」という用語を用いることとする。

$$ds/dt = f(t)r(t) - q(t+Tl)$$

$$s(t) = K q(t+Tl) \hat{P}$$

$$q(t) = 3.6 Q(t) / A$$

ただし、

$$\sum r(t) < R0 \quad \text{の場合} \quad f(t) = 0.0$$

$$R0 \leq \sum r(t) < R0 + Rsa \quad \text{の場合} \quad f(t) = f1$$

$$\sum r(t) \geq R0 + Rsa \quad \text{の場合} \quad f(t) = 1.0$$

ここで、

$$Rsa = (Rsum - Qsum / 1000 A) / (1 - f1)$$

また、流域からの流出量 Qca(t)は、基底流量 Qb(t)を含めて次の式で与える。

$$Qca(t) = q(t)A / 3.6 + Qb(t)$$

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/hr】\*1、

q(t) : 直接流出高【mm/hr】、Tl : 遅滞時間【hr】、K : 定数【無次元】、

P : 定数【無次元】、Q(t) : 直接流出強度【m3/s】、A : 流域面積【km2】、

R0 : 初期損失雨量【mm】、Rsa : 飽和雨量【mm】、Rsum : 総降雨量【mm】\*2、

Qsum : 総直接流出量【m3】、f1 : 一次流出率【無次元】、Qca(t) : 流域からの流出量【m3/s】、

Qb(t) : 基底流量【m3/s】

\*1 地点観測雨量からテーゼン分割を用いて計算された流域平均時間雨量。初期損失分も含む。

\*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。

定数の設定手法は次のとおりである。

#### ①流域定数の設定

流域定数（K、P、Tl、fl、Rsa）の設定に当たっては、近年の洪水のデータを用いること等によって、より精度の高い新たな流出計算モデルの構築を行う。

##### 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 3,500m<sup>3</sup>/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を資料 7 に示す。

##### 2) 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 本の場合には第 2 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、第 2 折れ点を直接流出の終了地点とした。

実績流量と基底流量の概念図及び流量低減部の成分分離の概念図を資料 8 に示す。

##### 3) 初期損失雨量の設定

初期損失雨量は、次に示す地点（以下、「fl 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。

#### ○fl 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、fl、Rsa の解析（後述）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、fl、Rsa の解析（後述）が可能なデータが存在する県管理ダム地点 …… 3 地点

fl 等解析地点において、流域定数解析洪水ごとに、初期損失雨量を算出した。具体的には、fl 等解析地点を下流端とする小流域における流域平均時間雨量のハ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。

初期損失雨量算出の概念図を資料 9 に示す。

各小流域の初期損失雨量は、流域定数解析洪水ごとに求めることとし、次のように求めた。f1 等解析地点のうち、河川ごとに源流に最も近い9地点については、当該地点で求めた当該洪水の初期損失雨量を、当該地点の上流にある16小流域の値とした。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f1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値とした。9地点において、欠測等により初期損失雨量が求められない場合は、23小流域と同様に、中流域ごとの平均値を当該地点の上流にある小流域の値とした。また、洪水によって、中流域に属する全てのf1等解析地点で初期損失雨量が求められない場合は、当該中流域に属する全てのf1等解析地点の全ての流域定数解析洪水の初期損失雨量の平均値を、当該中流域に属する小流域の初期損失雨量とした。ここで、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。各中流域とそれぞれに属する小流域を資料10に示す。

各小流域における流域定数解析洪水のハイエトグラフにおいて、降り始めから初期損失雨量分の降雨を控除して総降雨量を求めた。

#### 4) f1、Rsa の設定

各小流域のf1は小流域が属する中流域の値とすることとし、中流域ごとにf1を求めた。

具体的には、中流域ごとに、当該中流域に属する全てのf1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Rsumと総直接流出高qsum（【mm】=Qsum/1000A）を1つの図（X軸：Rsum、Y軸：qsum）にプロットし、あるRsaを仮定して、総降雨量がRsaより小さい点群について、その座標と原点を結ぶ直線の傾きの平均値をf1としたときに、総降雨量がRsaより大きい点群について、総降雨量と総直接流出高の差の平均値がRsa(1-f1)となることを満足するよう、Rsaを変化させて求めた。なお、このRsaを当該中流域の『平均的なRsa』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f1の直線の交点を『最大乾燥状態のRsa』とする。

f1、平均的なRsa、最大乾燥状態のRsaの解析の概念図を資料11に示す。また、このようにして求めた各中流域におけるf1、平均的なRsa、最大乾燥状態のRsaを資料12に示す。

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Rsa』を求めた。

具体的には、当該地点が属する中流域のRsum-qsum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f1の直線との交点のX座標を、当該地点の洪水ごとのRsaとした。

f1等解析地点のうち、河川ごとに源流に最も近い9地点については、当該地点で求めた当該洪水のRsaを、当該地点の上流にある16小流域の値とした。その他の23小流域については、中流域ごとに、9地点の中で当該中流域に含まれる地点における

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値とした。9 地点において、欠測等により洪水ごとの  $R_{sa}$  が求められない場合は、2 3 小流域と同様に、中流域ごとの平均値を当該地点の上流にある小流域の値とした。また、洪水によって、9 地点の中で当該中流域に含まれる全ての地点で洪水ごとの  $R_{sa}$  が求められない場合は、当該中流域の平均的な  $R_{sa}$  を、当該中流域に属する小流域の  $R_{sa}$  とした。

#### 5) K、P、TI 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、TI 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、TI の解析を行うこととした。

K 等解析地点においては、実績流量を用いて解析を行うことにより K、P、TI を求めることができる。この K 等解析地点の上流には 1 3 の小流域があり、それらの K、P、TI については、次に示す方法により設定した。

流域定数解析洪水ごと、K 等解析地点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、TI 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 TI を求めた。求めた TI 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。

このようにして求めた洪水ごと、地点ごとの K、P、TI から、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、TI は規模の大きい洪水の値の平均を、それぞれ用いて、当該 K 等解析地点より上流の小流域における K、P、TI とした。

K 等解析地点より上流以外の小流域の K、P、TI 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 1 1 地点で求めた値から設定した（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、TI を求めている）。

具体的には、f1 等解析と同じ 4 つの中流域ごとに、上記 1 1 地点のうち当該中流域に含まれる地点の平均値を、それぞれの中流域に属する小流域の K、P、TI とした。

#### ②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算出し、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。

○  $s = V / 3,600$  (V : 各流量に対応した河道内のボリューム【m<sup>3</sup>】) の関係であり、V は以下の方法で算出した。

$$V = (A1 + A2) / 2 \times L1 + (A2 + A3) / 2 \times L2 + (A3 + A4) / 2 \times L3$$

A : 河道の各断面における断面積【m<sup>2</sup>】、L : 河道の各断面間の延長【m】

河道の TI 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、TI を用いた。

#### (4) 解析時間間隔

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。

#### (5) 降水データ（地点数・位置・時間間隔、サブ流域平均雨量推定手法の詳細）

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、次の方法で求めた。

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、毎一日間（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、一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。

後述する再現性検討洪水で用いた時間雨量観測所の数と位置を資料 1 3 に、各再現性検討洪水の小流域ごとのティーセン係数を資料 1 4 に、各再現性検討洪水の小流域ごとの流域平均時間雨量を資料 1 5 に、それぞれ示す。

小流域ごとの有効降雨は、流域平均時間雨量と f から、次式により求めることができる。

$$re(t) = f(t) \times r(t)$$

re(t) : 流域平均有効降雨強度【mm/hr】

f(t) : 流入係数【無次元】

r(t) : 流域平均降雨強度【mm/hr】\*1

\*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雨量。初期損失分も含む。

ここで、Rsa には初期損失雨量 R0 が含まれないことに留意し、f(t) は次のとおりである。

$$\sum r(t) < R0 \quad \text{の場合} \quad f(t) = 0.0$$

$$R0 \leq \sum r(t) < R0 + Rsa \quad \text{の場合} \quad f(t) = f1$$

$$\sum r(t) \geq R0 + Rsa \quad \text{の場合} \quad f(t) = 1.0$$

各再現性検討洪水の小流域ごとの有効降雨を資料 1 6 に示す。

#### (6) 流出計算モデルの再現性の検討（要請の 5 月 7 日追記の 2）、4) に対応）

流出計算モデルの再現性の検討\*に当たっては、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 5,000m<sup>3</sup>/s を上回る洪水が 8 洪水あり、これらを用いた。（そのため、再現性検討洪水は流域定数解析洪水の内数となる）。

再現性検討洪水は次のとおりである。

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

\*「要請」では「事後解析」という用語が用いられているが、これまで提出した資料との一貫性を保つため、「再現性の検討」という用語を用いることとする。

## ①計算条件

### 1) 洪水調節施設

再現性検討洪水のうち、昭和56年8月洪水、昭和57年7月洪水、昭和57年9月洪水については、矢木沢ダム、藤原ダム、相俣ダム、菌原ダム、下久保ダムが、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月洪水については、前述の5ダムに加えて奈良俣ダムが供用している。これらのダムを下流端とする小流域からの流出量  $Q_{ca}$  は、下久保ダムを除いて、当該ダムの当該洪水の実績放流量としている。下久保ダムについては、平成11年8月洪水、平成14年7月洪水については実績放流量を下久保ダム下流端の小流域からの流出量  $Q_{ca}$  として与えているが、他の6洪水については、資料17に示す下久保ダム操作ルールにより洪水調節計算を行って  $Q_{ca}$  を算出した。

### 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。(1)～(3)で示したとおり、貯留関数法により、八斗島上流域について、39の小流域と20の河道に分割したモデルを用いて行う。再現性検討洪水ごとに各小流域の流域面積、 $f_1$ 、初期損失雨量、 $R_{sa}$ 、 $K$ 、 $P$ 、 $TI$ 、各河道の $K$ 、 $P$ 、 $TI$ 、基底流量を資料18に示す。

ここで、(3)で示したとおり、各小流域の流域面積、 $f_1$ 、 $K$ 、 $P$ 、 $TI$ と各河道の $K$ 、 $P$ 、 $TI$ は全ての再現性検討洪水で同じ値としている(小流域の $K$ 、 $P$ 、 $TI$ は、 $K$ 等解析地点より上流の小流域については当該 $K$ 等解析地点の値とし、それ以外の小流域では中流域ごとの平均値としているため、一つの中流域内でも値が異なる場合がある)。

また、(3)で示したとおり、各小流域の初期損失雨量、 $R_{sa}$ 、基底流量は再現性検討洪水ごとに求めた値としている(小流域の初期損失雨量、 $R_{sa}$ は、 $f_1$ 等解析地点のうち、河川ごとに源流に最も近い9地点より上流の小流域については当該9地点の値とし、それ以外の小流域では中流域ごとの平均値としているため、一つの中流域内でも値が異なる場合がある)。

### 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は、(5)で示した資料15のとおりである。

また、各再現性検討洪水の小流域ごとの有効降雨は、(5)で示した資料-16のとおりである。



## ②計算結果

① 示した計算条件によって計算を行った。

その結果、ハイドログラフは資料18に示すとおりである（小流域の下流端となる流量観測所地点14地点と、小流域の下流端となるダム地点6地点の合計20地点の結果を示す）。