

新たな流出計算モデルの構築(案)について

※本資料は、第8回分科会の資料7を一部修正したものです。

なお、別添資料については、変更がないため省略しています。

平成 23 年 6 月 8 日

現在、新たな流出モデルの構築と並行して、雨量及び流量の点検を進めてきており、本資料はこれまで（平成 23 年 6 月 8 日）の雨量及び流量データの点検結果を用いて作成している。

(1) 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

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

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

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

ただし、

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

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

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

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/hr】、 $f(t)$: 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】、

$\Sigma r(t)$: 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】、

$R0$: 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。

②河道の基礎式

$$S_1(t) = K Q_1(t)^P - Tl Q_1(t)$$

$$dS_1(t)/dt = I(t) - Q_1(t)$$

$$Q_1(t) = Q(t+Tl)$$

$S_1(t)$: みかけの貯留量【(m³/s)・hr】、 $Q_1(t)$: 遅れ時間 Tl を考慮した流出量【m³/s】、

$Q(t)$: 流出量【m³/s】、 $I(t)$: 流入量【m³/s】、 Tl : 遅滞時間【hr】、

K : 定数【無次元】、 P : 定数【無次元】

(2) 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、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、八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別添資料 7-1 に示す。

(3) 定数の設定

新たな流出計算モデル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 3,500m³/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を別添資料 7-2 に示す。

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。

流域定数解析洪水ごとに用いた時間雨量観測所の名称と位置を別添資料 7-3 に、小

流域ごとのテーパー係数を別添資料 7-4 に、小流域ごとの流域平均時間雨量を別添資料 7-5 に、それぞれ示す。

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。

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別添資料 7-6 に、各地点の流域定数解析洪水ごとの流出成分の分離を別添資料 7-7 に示す。

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、「f1 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。

○f1 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、f1、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、f1、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

f1 等解析地点の位置を別添資料 7-8 に示す。

f1 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、f1 等解析地点の上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別添資料 7-9 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設定することとし、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（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 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

域の初期損失雨量とした。

最上流地点において、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、中流域ごとの当該洪水における初期損失雨量の平均値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。

また、洪水によって、中流域に含まれる全てのf1等解析地点で初期損失雨量が求められない場合は、当該中流域に含まれる全ての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別添資料7-10に示す。

各小流域における流域定数解析洪水ごとの流域平均時間雨量のハイトグラフにおいて、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。

5) f1、Rsa の設定

各小流域のf1は、当該小流域が属する中流域のf1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、当該中流域に含まれる全ての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の解析の概念図を別添資料7-11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を別添資料7-12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、当該地点を含む中流域の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。

各小流域のRsa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Rsaを、当該最上流地点の上流にある小流域のRsa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Rsaの平均値を求め、当該中流域に属する小流域のRsaとした。

最上流地点において、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、中流域ごとの当該洪水における洪水ごとの R_{sa} の平均値を当該地点の上流にある小流域の R_{sa} とした。

また、洪水によって、中流域に含まれる全ての最上流地点で洪水ごとの 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。

6) 小流域ごと有効降雨

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。

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

$re(t)$: 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 雨量観測所の観測雨量からテュ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。

$$\Sigma r(t) < R_0 \quad \text{の場合} \quad f(t) = 0.0$$

$$R_0 \leq \Sigma r(t) < R_0 + R_{sa} \quad \text{の場合} \quad f(t) = f_1$$

$$\Sigma r(t) \geq R_0 + R_{sa} \quad \text{の場合} \quad f(t) = 1.0$$

各再現性検討洪水の小流域ごとの有効降雨を別添資料 7-13 に示す。

7) 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。

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、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値を、それぞれ用いて、当該 K 等解析地点の K、P、TI を求めた。

K 等解析地点の上流にある 1 3 の小流域については、各 K 等解析地点で求めた K、P、TI を、当該 K 等解析地点の上流にある小流域の K、P、TI とした。

その他の 2 6 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 1 1 地点で求めた値から K、P、Tl 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、Tl を求めている）。具体的には、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求め、当該中流域に属する小流域の K、P、Tl 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。各河道の横断図を別添資料 7-14 に示す。

- $s=V/3,600$ (V: 各流量に対応した河道内のボリューム【m³】) の関係であり、V は以下の方法で求めた。

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

A: 河道の各断面における断面積【m²】、L: 河道の各断面間の延長【m】

河道の Tl 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、Tl を用いた。

(4) 流出計算モデルの再現性の検討

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 5,000m³/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

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、菌原ダム及び下久保ダムが、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た。

これらのダムを下流端とする小流域からの流出量は、当該ダムにおける当該洪水の実績放流量とした。各ダムの実績流入量及び実績放流量を再現性検討洪水ごとに別添資料 7-15 に示す。

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。各小流域の流域面積、 $f1$ 、初期損失雨量、 Rsa 、 K 、 P 、 Tl 、基底流量、各河道の K 、 P 、 Tl を再現性検討洪水ごとに別添資料7-15に示す。

ここで、各小流域の流域面積、 $f1$ 、 K 、 P 、 Tl と各河道の K 、 P 、 Tl は全ての再現性検討洪水で同じ値としており、(3)で示した方法で求めた。

また、各小流域の初期損失雨量、 Rsa 、基底流量は再現性検討洪水ごとに求めた値としており、各小流域の初期損失雨量と Rsa は(3)で示した方法で求めた。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。

なお、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は、(3)①2)で示した別添資料7-5において、再現性検討洪水に該当する洪水のものである。

また、各再現性検討洪水の小流域ごとの有効降雨は、(3)①6)で示した別添資料7-13において、再現性検討洪水に該当する洪水のものである。

② 計算結果

上記①で示した計算条件によって計算を行った。

その結果、ハイドログラフは別添資料7-15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)。