

中小河川計画の手引き(案)

～洪水防御計画を中心として～

平成11年9月

中小河川計画検討会

中小河川計画検討会

広島大学	工学部		教授	福岡 捷二
建設省	河川局	治水課	沿川整備対策官	上総 周平
		河川環境課	建設専門官	折敷 秀雄
		防災・海岸課	建設専門官	大平 一典
建設省	土木研究所	河川部	河川研究室長	藤田 光一
			都市河川研究室長	末次 忠司
			水文研究室長	金木 誠
		環境部	河川環境研究室長	島谷 幸宏
北海道	建設部	河川課	主任	小林 敏克
群馬県	土木部	河川課	次長	町田光之輔
京都府	土木建築部	河川課	計画係長	吉見 重則
宮崎県	土木建築部	河川課	河川係長	井上 康志
	(財)リバーフロント整備センター		研究第二部次長	池内 幸司
事務局	建設省河川局治水課		課長補佐	佐藤 哲也
	(財)国土開発技術研究センター		調整係長	畠中 泰彦
			調査第一部	田中 茂信
				宇賀 和夫
				湧川 勝己
				岩船 保
				玉田 浩一

(役職は平成 11 年 3 月時点)

連絡先：(財)国土開発技術研究センター
 調査第一部 湧川、小池
 (TEL:03-3503-0393)

3.3 降雨から流量への変換

降雨から流量への変換にあたっては、流域の規模および流量観測資料の有無や計画対象施設の種類、内水河川の扱い等の計画条件、将来の土地利用の変化や河道改修による流出特性の変化等を考慮して適切な流出計算手法を採用する。

(1) 中小河川の流出計算手法の選択方針

① 流域の規模

流域の空間スケール(ほぼ同じ雨量が降っていると思われる面積)よりも河川の流域面積が小さい場合には、合理式を用いて簡易にピーク流量を算出してもそれほど大きな問題は生じない。その目安となる河川の流域面積は河川砂防技術基準では、流域面積が 200km^2 以下とされているが、レーダ雨量計をもとに調査した結果¹⁾等の文献を基に、降雨時間・地域分布の一様性が保たれる流域の規模を整理すると 50km^2 程度未満となる。

流域規模がこの規模より大きい河川において合理式を適用する場合には、既往洪水における降雨量の時空間分布や流出係数等の検証を行っておく必要がある。

② 洪水調節施設の有無および内水河川の扱い

洪水調節施設を検討する場合や内水処理計画を検討する場合には、ハイドログラフが必要となる。ハイドログラフの作成方法としては、貯留関数法、準線形貯留型モデルもしくは特性曲線法等の流量観測値による検証可能な流出計算手法によるのが妥当と考えられる。流量観測値が得られない河川においても、内水河川では湛水位資料からの検証も可能であり、各流出計算手法の標準的な定数を設定することにより適用可能である。

また、合理式の適用が可能な流域規模では、合成合理式を採用することもできる。

③ 将来の流出特性の変化

将来の土地利用変化等による流出特性の変化については、中小河川ではその影響が大きいため、流出計算に反映させる必要がある。合理式を適用する場合には、基本的に流出係数を将来的に想定される土地利用をもとに設定することとし、洪水到達時間の変化に対しても対応可能であることが望まれる。この場合、確率降雨強度式の適用にあたって、到達時間内降雨強度が変化することとなる。

一方、合理式以外の流出計算手法による場合には、流域定数の設定において地目別の土地利用変化を考慮するモデルが用意されており、流出特性の変化を表現することが可能である。また、河道の物理特性を河道モデルとして流出計算モデルに組込むことにより、河道改修による流出変化を考慮することも可能である。

(2) 流出計算手法の特色

中小河川の流出計算手法として、一般に以下の方法が用いられている。

- 1) 合理式法
- 2) 合成合理式
- 3) 貯留関数法
- 4) 準線形貯留型モデル
- 5) 特性曲線法(等価粗度法)

なお、この他に低平地の流出解析において、内水氾濫を考慮した氾濫流出モデル（氾濫不定流モデル）がある。この場合も通常は流域流出については上記流出計算手法が用いられ、河道追跡を行う水理モデルを付加したものであるから、ここでは詳細にはふれない。

① 合理式

合理式は、高水計画上ピーク流量のみを設定すれば良い場合に最も簡便な方法である。また土地利用の変化は流出係数により表現することが可能である。合理式の適用河川は、基本的に流量観測値がなく上流に洪水調節施設が存在しない河川とし、流域面積50km²未満程度が目安となる。

② 合成合理式

合成合理式は、基本的に洪水到達時間(tc)毎のハイドログラフを作成し、tc毎の合理式によるピーク流量を連ねてハイドログラフを作成するものである。

合成合理式の適用河川は、合理式の適用が可能な河川でハイドログラフの算出が必要な場合に用いることができる。なお、合成合理式の考え方には、通常の合理式と同様に流量検討地点の上流を単流域として扱う方法と、流出モデルのように流域分割を行い河道の遅れ時間を考慮して合成ハイドログラフを算定する方法がある。

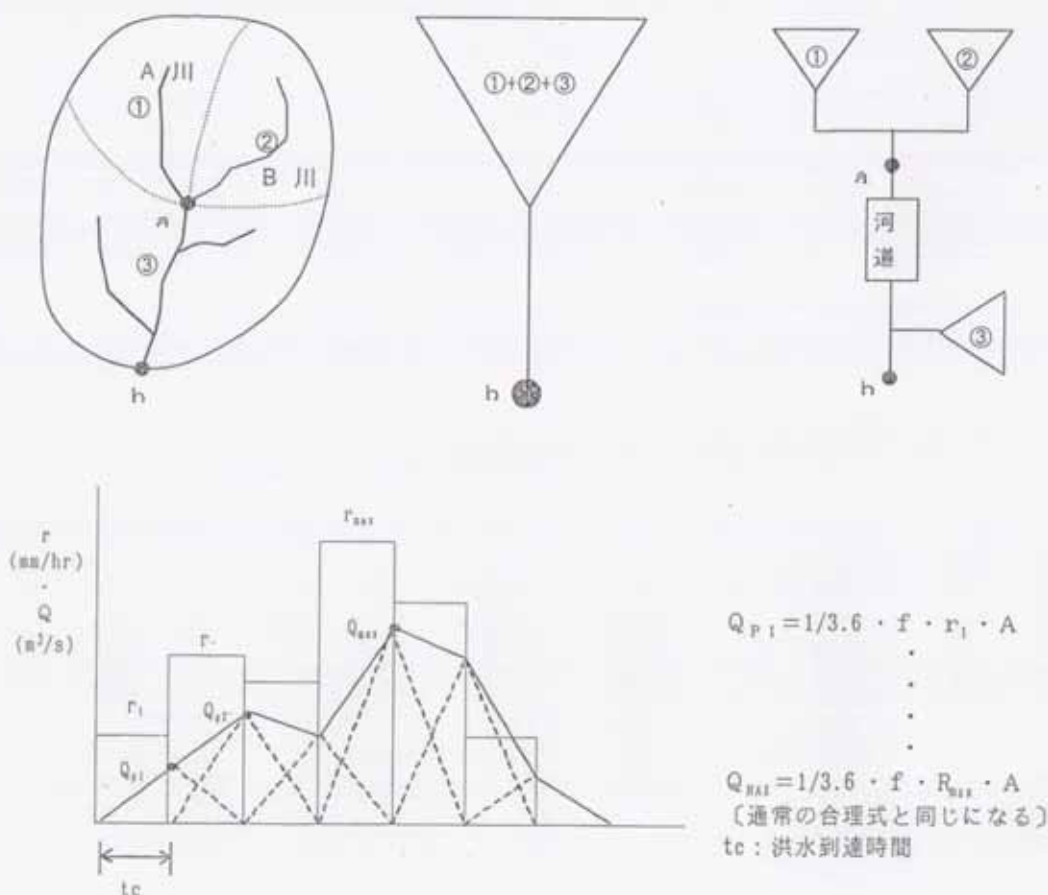


図-3.3.1 合成合理式の計算方法

③ 貯留関数法

貯留関数法は、流域の貯留現象が顕著であり、山地流域が卓越するような河川において全国的にも広く適用されている。貯留関数を使用する場合には、定数の同定を行うための流量観測が実施されていることが前提となる。定数の初期設定にあたっては、利根川式等の経験式を用いる方法が提案されているが、リザーブ定数や等価粗度を用いた方法等を用いた場合、土地利用変化による流出特性の変化を表現することが可能である。

④ 準線形貯留型モデル

準線形貯留型モデルは、土地利用の地目毎の計算結果を合成する方法であるため、将来的に流域内の開発が予想され、大幅な土地利用の変化があり、かつ、流域内に雨水貯留・浸透といった流域対策等を検討する河川で多く用いられている。この計算手法では土地利用別に標準的な定数を用いることで、高水流量の検討を行うことができるが、実測流量による定数の検証を行うことが望ましい。適切に流域分割がなされれば、モデルや定数設定上の巧拙による差異が少ないが、山地部のように貯留効果の高い流域では、低減部の流出波形がシャープすぎて再現性に劣る場合がある。

⑤ 特性曲線法（等価粗度法）

特性曲線法は、準線形貯留型モデル同様、将来的に流域内の開発が予想され、土地利用の変化があるような場合に適用例が多い。この計算手法でも土地利用別に標準的な定数を用いることで流量の検討を行うことができるが、実測流量による定数の検証を行うことが望ましい。ただし、本方法は他の方法に比べ、流域分割の大きさや斜面長の取り方等の巧拙により、流出計算の精度が変動し易い。

以上の流出計算手法の適用の参考として、表-3.3.1に中小河川に採用する際の各手法の特色、長所、短所を整理した。

表-3.3.1 中小河川に適用される流出計算手法の比較

手 法		適用と特色	長 所	短 所
線形モデル	合理式	合理式の特色は流域の最速点から考慮地点まで雨水が流下集中した時に最大流量が生ずると考え、その時間を洪水到達時間と呼んでいる。中小河川でよく用いられている。	ピーク流量算出が最も簡便であり、適用例が多い。	ハイドログラフを求めることができないので、ダム等の貯留施設の計画には用いることができない。また、実測値との検証についても困難である。流域面積が大きくなると適用が困難である。
	合成合理式	合理式のピーク流量を重ねて結合したものであり、ハイドログラフが作成できる。	簡易にハイドログラフが作成できる。	ハイドログラフの項以外、同上。
非線形モデル	貯留関数法	貯留高と流出高との間に比較的簡易な式で非線形性を表現した手法で、日本のほとんどの一級河川で使用されている。10 km ² ～数100km ² 程度の流域で適用（単流域として）されている。 土地利用の変化を考慮した方法も提案されている。	一級河川での適用例が多く、特に山地が多く割合を占める流域での適合度が良い。 定数検証は主にK, T1の修正で済み、比較的容易である。また、流域分割、流出系統作成の巧拙があまり問題にならない方法である。	実用的であるが、定数について水理学的裏付けが弱い。小出水の際の定数を用いた場合、大出水の再現性に問題がある。一般に平地や都市域での適合度に劣る。
	準線形貯留型モデル	合理式の到達時間内降雨強度の考え方を取り入れ、非線形性を表現した各地目毎の指数単位図である。降雨流出の非線形性が扱え、流域の開発等の地目変更に伴う流出変化が扱えることから、開発が著しい流域で適用例が多くなっている。	地目毎の流出計算結果を合成しており、地目の改変や地目毎の貯留、浸透対策等の効果を扱うことが可能である。流域治水を扱う河川に適用性が高い。流域分割や流出系統の作成のしかたの巧拙は特性曲線法ほど精度に影響しない。	計画論的に有効なモデルであるが反面実績の再現性に難点がある場合がある。地目別定数Cについての総合化の程度に問題を残す。 山地部のように貯留効果が大きいところでは、特に低減部再現性に難点がある。
	特性曲線法 (等価粗度法)	流域を幾つかの矩形斜面と流路が組み合わされたものと見なし、雨水流を水理学的に追跡した計算手法である。	流域の性状を等価粗度で表すところが特徴的で、流域開発の変化を反映させることができる。比較的表面流が卓越する都市域について適合度が高い。	定数の構成要素が多く、かつそれぞれの要素を比較的高い精度で求める必要があり、手間がかかる。流域分割や流出系統作成のしかたの巧拙により精度が問題となる。

また、貯留関数法では、遅滞時間 Tl という概念を用いて、流域の貯留量 S と流出量 q の関係を一価の関数に置き変えているが、この Tl の設定法として全国山地河川の資料を用いた以下のような経験式が示されている（山地河川の経験式による方法）。

$$\begin{cases} Tl = 0.0470L - 0.56 & (L > 11.9 \text{ km}) \\ Tl = 0.0 & (L \leq 11.9 \text{ km}) \end{cases}$$

ここに、 Tl : 流域の遅滞時間 (hr)

L : 流域最遠点 (流域界) から懸案地点までの距離 (km)

ただし、中小河川の分割流域では、上記式では $Tl = 0.0$ となることが多いことから、以下のように Manning の式を用いた kinematic wave 理論による洪水流の伝播速度 w を用いて計算することも考えられる（洪水伝播速度の式による方法）。

$$Tl = \frac{L}{w}$$

$$w = \frac{5}{3}v, \quad v = \frac{1}{n}R^{2/3}i^{1/2}$$

ここに、 v は平均流速 (m/s)、 R は径深、 i は流域最遠点 (流域界) から懸案地点の標高差を流路長 (L) で割ったもの、 n は Manning の粗度係数である。

② 河道定数

河道の貯留効果を表現する場合、河道の貯留関数法を用いる。河道の貯留量は基本的には不等流計算により、貯留量 S ($m^3 \cdot hr$) と流出量 Q (m^3/s) の関係を図-3.6.7 のように両対数紙上にプロットし、最小二乗法により貯留関数式 $S = KQ^P$ の定数 K 、 P を設定する。

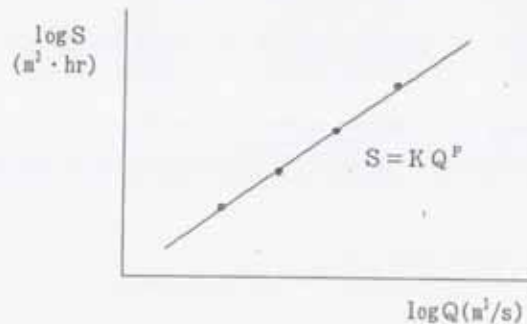


図-3.6.7 貯留関数法の河道定数の設定

河道の遅れ時間 Tl については、以下の経験式が提案されている（河道 Tl の経験式）。

$$Tl = 736 \times 10^{-4} \times L \times I^{-1/2} \text{ (hr)}$$

ここに、 L : 河道延長、 I : 河道平均勾配

なお、河道断面が詳細に得られない場合には、河道諸元を簡略化して扱う以下のような経験式が提案されている（利根川の経験式）。

$$K' = 0.185 \cdot L \cdot B^{0.4} \cdot (I^{-1})^{0.3} \cdot n^{0.6}$$

$$K = 1.67 \cdot K'$$

$$P = 0.6$$

$$Tl = 0.00165 \cdot L \cdot I^{-0.6}$$

- ここに、L：河道延長(km)
 B：河道平均幅(m)
 I：河道勾配
 n：粗度係数

③ 有効降雨

一般に貯留関数法の有効降雨は、一次流出率(f_1)と飽和雨量(R_{s1})を用いて表現される。基本高水算定にあたっての有効降雨は、定数検証における R_{s1} の検証値をもとに設定することが基本であるが、定数の初期設定においては、表-3.6.3に示す値を目安として面積加重平均により算定する手法が多く用いられている。

表-3.6.3 一次流出率(f_1)～飽和雨量(R_{s1})

	自然流域	都市流域
f_1	0.5	
R_{s1} (mm)	100	50

(2) 準線形貯留型モデル

① 流域定数

当該手法では次式で示される洪水到達時間 t_c の式中のCの値を設定する。

$$t_c = C \cdot A^{0.22} \cdot r_e^{-0.35}$$

- ここに、 r_e ：有効降雨強度 (mm/hr)
 C：土地利用に応じた定数
 A：流域面積 (km²)

この時、土地利用ごとに表-3.6.4に示す標準的なC値を用いる。

表-3.6.4 土地利用形態別のC値の標準値

土地利用区分	土地利用形態	C
水田		1,000
山林		290
畑	丘陵、放牧地、公園、ゴルフ場、畑地	210
市街地	1° 区画割、道路整備ができるが、相当裸地面積が残る。排水路整備済み。	240
	2° 道路整備がかなり進む、下水道整備不十分	200
	3° 舗装されるべき面積の50%以上が舗装され、下水路整備もほぼ十分。	110
	4° 舗装されるべき面積の舗装完了、下水道整備完了	50

* 橋本他 土地利用を評価する流出モデル，土木技術資料，1977による

② 河道定数

準線形貯留型モデルでは、一般には貯留関数法の河道モデルが使われるが、後述のkinematic wave法によることもある。

③ 有効降雨

有効降雨モデルは、対象流域に同一の降雨があってもその損失雨量は各種異なることを前提にし、土地利用状況ごとに表-3.6.5に示す値を用いて設定する。

表-3.6.5 $f_1 \sim R_{11} \sim f_{11}$ の標準値

土地利用	f_1	R_{11}	f_{11}
水田	0.0	50.0	1.0
畑地	0.15	300.0	0.6
山林	0.25	150.0	1.0
市街地	1°	0.6	55.0
	2°	0.7	55.0
	3°	0.8	55.0
	4°	0.9	55.0

* 橋本他 土地利用を評価する流出モデル, 土木技術資料, 1977 による

(3) 特性曲線法

① 流域定数

当該手法に用いる斜面定数 K_s, P_s は次式で示される (流域斜面定数の式)。

$$K_s = \left(\frac{N}{\sqrt{I}} \right)^{P_s}$$

$$P_s = 0.6$$

ここに、 K_s, P_s : 斜面の定数 (添字 s は斜面を示す)

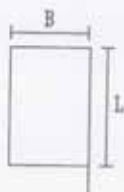
N : 斜面の粗度係数

I : 斜面平均勾配 (斜面の平均高低差を斜面幅 B で割ったもの)

B : 流域を矩形にモデル化した場合の斜面幅 (m)



斜面の模式図



片側斜面の場合
流域面積 $A = B \cdot L$



両側斜面の場合
流域面積 $A = 2B \cdot L$

この時、土地利用ごとに表-3.6.6に示す標準的な等価粗度係数 N 値を用いる。

表-3.6.6 等価粗度係数 (N)

土地利用形態		標準値
水面		0.0
水田		2.0
山林		0.7
丘陵・放牧地・公園・ゴルフ場・畑地		0.3
市街地		0.03
市街地 程度化	1° 区間割道路整備ができるが相当緑地面積が残る。排水路整備済	0.1
	2° 道路舗装がかなり進む。下水路整備不十分	0.05
	3° 舗装されるべき面積の50%以上が舗装され、下水路整備もほぼ十分	0.01
	4° 舗装されるべき面積の舗装、下水路整備完了	0.005

* 橋本他 土地利用を評価する流出モデル, 土木技術資料, 1977 による