

小流域における損失項を含む貯留関数法の総合化

開発土木研究所

正会員 佐々木靖博

北海道河川防災研究センター

フェロー 星 清

開発土木研究所

正会員 井出 康郎

1. はじめに

貯留関数法では、事前に基底流出の分離及びそれに伴う流出率の算定が必要である。したがって、逐次予測の観点から洪水流出解析を行う際には、観測水文量を直接取り込むことができるモデルがあれば、より実用的であると考えられる。本報告では、「損失」という考えを取り入れ、観測雨量を直接入力する流出計算モデルを北海道内の既往洪水資料に適用してモデル定数の最適化を行い、貯留関数法の総合化を図った。

2. 貯留関数モデル

本報告では、図-1 に示すタンクを考え、次式の貯留関数法を採用する。

$$\begin{cases} \frac{ds}{dt} = r - q - b + q_0 & (1) & b = \alpha q & (3) \\ s = k_1 q^{p_1} + k_2 \frac{d}{dt}(q^{p_2}) & (2) & q_0 = q_B \exp(-\lambda t) & (4) \end{cases}$$

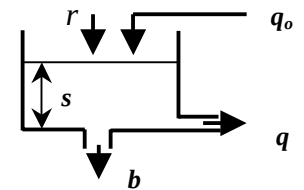


図-1 流出モデル

ここに、 s : 貯留高(mm)、 r : 観測雨量(mm/h)、 q : 観測流出高(mm/h)、 b : 損失高(mm/h)、 q_0 : 基底流出高(mm/h)、 q_B : 初期流出高(mm/h)、 k_1, k_2 : 貯留係数、 α : 損失係数、 p_1, p_2 : 貯留指数、 λ : 減水係数

上式において表面流にマニング則を想定すると、 $p_1 = 0.6$ 、 $p_2 = 0.4648$ に近似できることが知られている¹⁾。基底流出高 q_0 は、流域内の初期貯留量を考慮するために導入した。 λ はハイドログラフ減水部の標準通減曲線から得られる流域に固有な値であるが、北海道内の河川における佐藤ら²⁾の解析結果を基に、本報告では、 $\lambda = 0.019$ に固定した。モデル定数 k_1 と k_2 については、既往研究成果³⁾から次の関数形を仮定する。

$$k_1 = c_1 A^{0.24}, \quad k_2 = c_2 k_1^2 (\bar{r})^{-0.2648} \quad (5)$$

ここに、 A : 流域面積(km²)、 $\bar{r}$: 平均雨量強度(mm/h)、 c_1, c_2 : 未知定数

なお、 α については $c_3 = 1 + \alpha$ として扱う。以上により、本報告での未知定数は、 c_1, c_2, c_3 の3個となる。これらの最適値を同定して、採用モデルの検証を行い、貯留関数モデルの総合化を図る。

表-1 水文資料数

No.	流域名	洪水数
1	釧路川	19
2	後志利別川	47
3	沙流川	13
4	十勝川	31
5	渚滑川	15
6	常呂川	5
7	尻別川	12
8	石狩川	35
9	天塩川	17
10	鶴 川	4
11	網走川	2
12	湧別川	4
13	留萌川	31
計		235

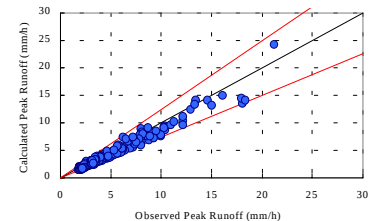


図-2 計算・実績ピーク流出高の比較

北海道内一級河川13水系において、昭和 36 年から平成 10 年までに観測された比流量 0.5 (m³/sec/km²) 以上の洪水資料を用いた。さらに本報告では、総合化モデルとしての各定数の特性を知る目的でピーク流出高の計算値と実測値の相対誤差を 25%以下とし、河道効果の影響を避けるため流域面積が 400km² 以下となる 235 例に限定した。流域毎の水文資料数を表-1 に示す。モデル定数の最適化はニュートン法による。ピーク流出高の計算値と実績値の比較を図-2 に示す。流出解析結果はピーク部に課題を残したが、流域の大小に関わらず、ハイドログラフの立ち上がり部及び減衰部の適合度はとくに良好であった。後志利別川を代表例として、図-3 に示す。

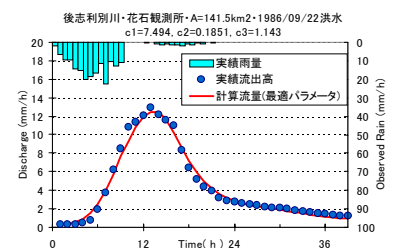


図-3 解析事例・後志利別川

キーワード：洪水流出、損失、貯留関数法、総合化

連絡先：北海道札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目、TEL.(011)841-1111(ex273)、FAX.(011)820-4246

次に、モデル定数 c_1 、 c_2 、 c_3 の特性について述べる。表-2、3から、それぞれ約8割のデータが「平均値±標準偏差」の範囲に含まれており、定数が狭い範囲に集中していることが確認された。また、表-4により定数間の相関係数が低いことから、定数は互いに独立性を有している降雨および流域規模に依存していないパラメータであるといえる。

今、各定数について、表-2に示される全流域の平均値 μ をその代表値として利用すれば、式(6)のようにモデル定数の総合化が図られる。これにより、水文資料に乏しい流域においても流出解析が可能となる。

$$k_1=12.08A^{0.24}, k_2=0.154 k_1^2 (\bar{r})^{-0.2648}, c_3=1.590 \tag{6}$$

4．総合化パラメータによる推定精度

流域特性などの影響を除くため対象流域を後志利別川一流域とし、式(6)の総合化パラメータを用いて「平均値±標準偏差($\mu \pm \sigma$)」による実績値との比較を行った。また、後志利別川流域における最適化パラメータの平均値及びその標準偏差($\mu_s \pm \sigma_s$)を用いた式(7)の総合化パラメータによる比較も同時に行った。結果を図-4～6及び表-5に示す。

$$k_1=9.150A^{0.24}, k_2=0.167 k_1^2 (\bar{r})^{-0.2648}, c_3=1.412 \tag{7}$$

なお、 J_{RE} は観測流量 q_{si}^* と計算流量 q_{si} の相対誤差であり、次式で計算される。

$$J_{RE} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|q_{si}^* - q_{si}|}{q_{si}^*} \tag{8}$$

結果として、総合化パラメータを用いて後志利別川の流出解析を行う場合には、次のことがいえる。流量すなわちハイドロの形状としては、全流域での平均値 μ 及び、後志利別川流域での平均値 μ_s による差は見られず、計算値が実績値よりも平均で約30%小さく計算される「誤差」があった。ピーク流出高については、 μ による結果は約36%、 μ_s による結果はその2/3である約24%であり、流域での平均値 μ_s を総合化パラメータに用いて後志利別川の流出解析を行う方が誤差を小さく納められることが確かめられた。また、 $\mu \pm \sigma$ 及び、 $\mu_s \pm \sigma_s$ による比較検討結果によると、ピーク流出高、ハイドロの形状ともに $\mu_s \pm \sigma_s$ の方が誤差の範囲が小さく、その範囲は、 $\mu_s \pm \sigma_s$ を用いた場合に、ピーク流出高で24%～38%、ハイドロの形状で30%～56%となることが表-5及び図-4、6によって確認できる。

5．おわりに

本報告では、損失項を含む貯留関数モデルの総合化と普遍化を試みた。後志利別川を対象流域とし、観測水量量との誤差について検討を行った結果、後志利

表 - 5 相対誤差統計表（後志利別川流域）

パラメータ同定対象流域		全流域(標本数235)			後志利別川流域(標本数47)		
後志利別川 採用パラメータ別 相対誤差 基礎統計表	最適化 パラメータ	総合化パ ラメータ (μ)	総合化パ ラメータ ($\mu-\sigma$)	総合化パ ラメータ ($\mu+\sigma$)	総合化パ ラメータ (μ_s)	総合化パ ラメータ ($\mu_s-\sigma_s$)	総合化パ ラメータ ($\mu_s+\sigma_s$)
ピーク 流出高	平均	0.151	0.363	0.369	0.631	0.237	0.242
	標準偏差	0.068	0.159	0.327	0.104	0.128	0.240
	分散	0.005	0.025	0.107	0.011	0.016	0.058
流量 (J_E)	平均	0.192	0.288	0.950	0.396	0.305	0.559
	標準偏差	0.077	0.104	0.470	0.112	0.136	0.327
	分散	0.006	0.011	0.221	0.013	0.019	0.107

参考文献

- 1)星 清・山岡勲:雨水流法と貯留関数法との相互関係, 第26回水理講演会論文集, pp.273-278, 1982.
- 2)佐藤力信・嵯峨 浩・馬場仁志・星 清:損失機構を含む貯留関数法を応用したタンクモデルの提案, 土木学会北海道支部論文報告集, 第55号(B), pp.32-33, 1999.
- 3)佐々木靖博・星 清・井出康郎・松木賢治:北海道における損失項を含む総合化貯留関数法,土木学会北海道支部論文報告集, 第56号(B), pp.210-215, 2000.

表-2 モデル定数統計表

パラメータ	c_1	c_2	c_3
標本数	235	235	235
平均	12.082	0.154	1.590
標準偏差 (σ)	5.112	0.122	0.812
最小値	2.694	0.004	0.647
中央値 Me	11.122	0.126	1.329
最大値	41.066	0.925	5.908
範囲	38.361	0.920	5.261
歪度	1.703	2.296	2.563
変動係数	0.423	0.787	0.511

表-3 定数の集中度合い

	c_1	c_2	c_3
$\mu \pm \sigma$ 以内の標本数	178	191	207
全データに占める割合	0.757	0.813	0.881

表 - 4 定数の相関係数

	c_1	c_2	c_3
c_1	1.000	-0.415	0.361
c_2	-0.415	1.000	-0.168
c_3	0.361	-0.168	1.000

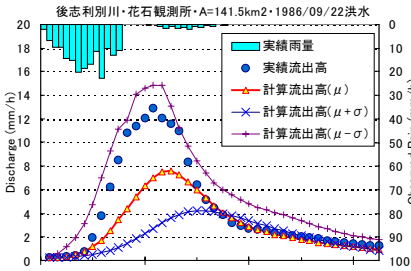


図-4 流出高の比較
後志利別川($\mu \pm \sigma$)

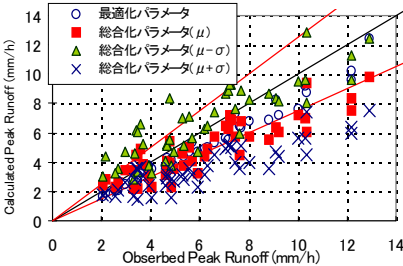


図-5 ピーク流出高の比較
後志利別川 ($\mu \pm \sigma$)

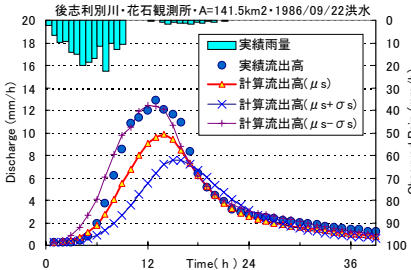


図-6 流出高の比較
後志利別川($\mu_s \pm \sigma_s$)