

# 損失機構を取り入れた総合貯留関数法の試み

開発土木研究所環境水工部河川研究室 正会員 馬場 仁志\*  
開発土木研究所 正会員 星 清

## 1. はじめに

従来的一般化貯留関数法では、流出解析の前に基底流出の分離およびそれともなう流出率の算定が必要である。最近、貯留関数法に損失機構を考慮したモデルの開発も行われている<sup>1)</sup>。

今回提案する貯留関数モデルでは、貯留量～流量の二価性を考慮し、さらに損失機構を加味した場合の適合性の検討を行う。入力系に実績雨量を直接利用するため、有効降雨量の推定を必要としない。

## 2. 損失機構を取り入れた貯留関数モデル

損失機構を扱わない貯留関数としては、以下の非線形二価関数モデルが実現現象との適合性において優れていることが明らかにされている<sup>2)</sup>。

$$s = k_1 q^{p_1} + k_2 \frac{d}{dt}(q^{p_2}) \quad (1)$$

$$\frac{ds}{dt} = r_e - q \quad (2)$$

ここに、 $s$ :貯留高(mm)、 $q$ :流出高(mm/h)、 $r_e$ :有効雨量( $r_e = r \times f$ ,  $f$ :流出率,  $r$ :観測雨量 mm/h)、 $k_1, k_2, p_1, p_2$ :モデルパラメータである。(2)式において、 $r_e$ に代えて、 $r$ を直接用いるとともに、損失項 $p$ を加えると、(3)と(4)式で表現される。

$$\frac{ds}{dt} = r - q - p \quad (3)$$

$$p = \alpha q \quad (4)$$

これを(2)式と比較すると、貯留に対する調整を、インプット側からアウトプット側に変更したものとも言える。 $p$ (損失高, mm/h)については、実現現象において蒸発散・浸透・森林内の葉面貯留などが含まれるため、正確な物理モデルとしてはきわめて複雑な形式となる必要があるが、今回は、単純な線形項を導入した上で、当モデルの有用性について検討することとした。

モデルパラメータについては、 $k_1, k_2, p_1, p_2$ に $\alpha$ を加えて、5個の同定が必要であるが、(1)、(2)式において、表面流にマニング則を想定する場合、 $p_1 = 0.6$ 、 $p_2 = 0.465$ となることが知られている。 $k_1, k_2$ は等価粗度、流域勾配及び平均雨量強度の関数で与えられるが、これらの値は水理的に不明確であり、実測水文資料による同定の結果、これらのパラメータ変動が大きいことから、 $k_1, k_2, \alpha$ の3個を未知パラメータとして同定する。

## 3. 実測データへの適用

モデルの適用性を確認するために、北海道内において流域規模の異なる数河川、および林地の浸透能が大きいために損失が極めて大きな山地小流域の実測データを用いて流出解析を行った。モデルパラメータの最適化は、ニュートン法による。

- 石狩川(大流域): ①昭和56年8月上旬洪水
- 鶴川(中流域): ②平成6年夏季洪水
- 輪厚川(小流域): ③~⑤1972~1986年の出水
- 豊平川上流(山地森林域): ⑥平成8年夏季の斜面流観測結果

石狩川の適用例を図-1に示す。従来法( $f=0.647$ )に比較して、特に立ち上がり部分と低減部で適合性が改良された。鶴川、輪厚川についても、いずれも従来法より適合性が高まった。

浸透による損失が極めて大きい豊平川上流の森林内(極小流域)においては、損失項の係数 $\alpha=34$ で、良好な計算結果を示すことがわかった。図-2に示す点線は、観測地内を単一土壌層の斜面とした二次元不飽和浸透解析による流出計算結果であり、実測値に見られる小降雨時の全量損失やハイドロ低減部の急激な流出の減衰が表現できなかった<sup>3)</sup>。今回のモデルでは、急激な流出の低減部も良く計算されており、実現現象により近い結果が得られた。

キーワード: 流出解析 貯留関数 損失機構

\*連絡先: 062 札幌市豊平区平岸1条3丁目開発土木研究所河川研究室 tel:011-841-1111 fax:011-820-4246 email:hb-srt@nisiq.net

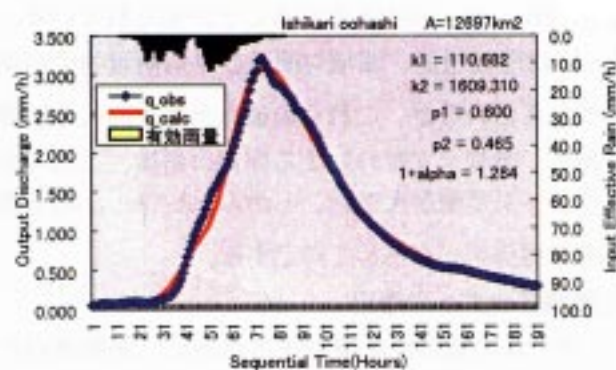
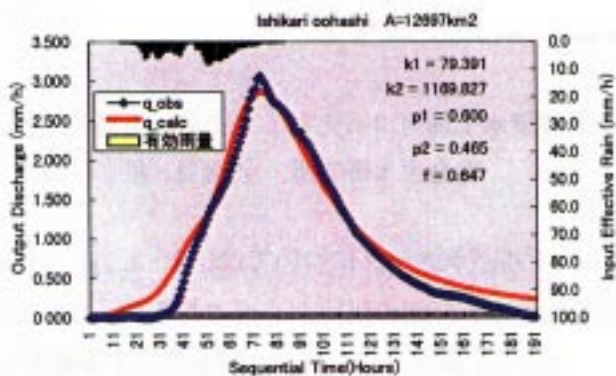


図-1 従来法(上)と当モデル(下)の比較

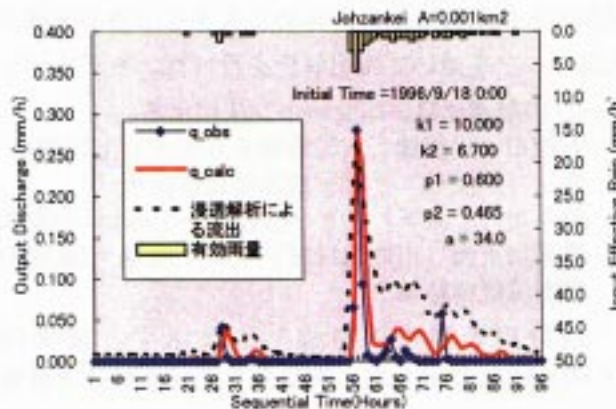


図-2 損失の大きな林地での流出例

次に、パラメータ  $k_1, k_2$  の安定性について図-1に示した例を用いて検討した。

経験的に、最適化した  $k_1, k_2$  は基底流出除去の仕方および計算に使用するデータ時間によって常に変動しており、このことが実時間予測に貯留関数を用いる際の問題点であった。損失を考慮するモデルでは、 $k_1$  についてハイドロ低減部で安定している。また、 $k_1, k_2$  の最適値は流出率を用いた場合よりも損失率を用いた場合の方が高めにになっている(図-3)。また、図-4に示される  $k_1 = 14.43A^{0.129}$  は、損失機構を考慮した総合貯留係数であり、基底流出分離と流出率算定法により求めた北海道内 99 洪水データから得られる総合貯留係数  $k_1 = 4.57A^{0.24}$  に

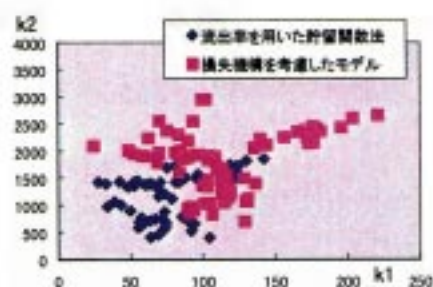


図-3  $k_1, k_2$  の最適値分布

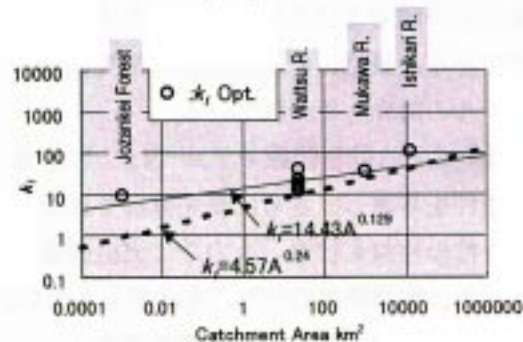


図-4 最適値  $k_1$  と流域面積の関係

比べると、若干大きくなっているが、物理的な意味合いは現在のところ不明である。

#### 4. 結果と考察

- 損失機構を組み入れた総合貯留関数モデルを構築した結果、実データへの適合性が高まった。
- 損失機構を含むパラメータの最適化が、流出モデルの中に組み込まれたため、基底流出分離の設定次第で流出率に変化するモデルに比較して、恣意性が排除され、客観的な作業が可能となった。
- 損失が極めて大きい流域においても損失成分の分離計算が最適化された。

#### 5. おわりに

今回提案したモデルは、損失項を単純な線形一価の関数としたが、実現象をより忠実に再現するためには、非線形とすることや中間流出をモデル化することが必要と考えられる。今後の課題として、それらのモデル化と、物理的なパラメータの意味の解明が残されている。

① 田中敦、藤田睦博、清水康行：損失機構を含む貯留関数法に関する研究、土木学会北海道支部論文報告集第53号(B), pp.54~59, 1997

② 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

③ 市川嘉輝：山地斜面からの流出過程について、第40回北海道開発局技術研究発表会発表概要集(3), pp.99~104, 1997