

損失項を考慮した貯留関数法の一般化

GENERALIZATION OF STORAGE ROUTING MODEL WITH LOSS MECHANISMS

園山 裕士¹・星 清²・井出 康郎³

Hiroshi SONOYAMA, Kiyoshi HOSHI and Yasuro IDE

¹正会員 独立行政法人北海道開発土木研究所 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号)

²フェロー会員 工博 財団法人北海道河川防災研究センター (〒060-0061 札幌市中央区南1西1)

³正会員 独立行政法人北海道開発土木研究所 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号)

It is desirable to directly use the observed rainfall and discharge in the rainfall-runoff process. The present study proposes a new storage routing model which can accommodate the loss mechanisms and groundwater flow component. The three parameters involved in the runoff model are optimized, using the Newton-Raphson method in which the sensitivity coefficients (first derivatives) are analytically derived.

The proposed model is applied to 264 historical flood data in the rivers with drainage areas being less than 400 km² where the rainfall-runoff process on the overland flow plane appears to be predominant over the channel-flow process. The simulation results demonstrate that the computed hydrographs are in good agreement with the observed ones and the model performance is fairly good over a wide range of drainage areas in river basins. Finally, optimized coefficients are synthesized for the estimation of hydrographs in ungauged river basins.

Keywords: Flood runoff, loss mechanisms, storage routing model

1. はじめに

わが国の治水対策は、築堤や河道拡幅等の河川改修を進めることにより、流域に降った雨水を川に集めて、海まで安全に流すことを基本として行われてきた。しかし、近年、都市化による土地利用の激変や日本各地で集中豪雨により、人命・資産に多大な被害を及ぼす災害が多発しており、地域によっては河川改修中心の治水対策に限界が生ずるようになった。そうした背景の下、今までの様なハード面を主とした治水対策から、ソフト面を加え両立させる必要性がより一層強調されるようになった。

しかし、住民への情報提供(洪水予警報等)の基になる流出解析においては、特に中小河川において水文資料が不足していること等から流出解析例が少なく、また流域特性及び降雨特性と流出特性の関連が体系化されていないという問題がある。

従来の多くの貯留関数法は、入力に有効雨量を用いる方法が採られており、観測雨量から有効雨量への分離過

程で多くの時間を要すること、過去の洪水解析例を基にする等の問題があるため、降雨から流出までの時間が短く水文資料の少ない小流域において洪水期間中に有効雨量を求めることが困難であった。

本研究では、降雨のうち浸透等により遅くなった流出等を「損失」として表すことで、観測雨量をそのまま入力して流出量を算出することができ、過去のデータの乏しい小流域においても解析が可能となる一般化された貯留関数の構築を目的とし、佐々木ら¹⁾の研究に引き続き解析を行ったものである。

佐々木ら¹⁾は損失項を含む貯留関数モデルを北海道の既往洪水資料に適用し、モデル定数の最適化を行い、貯留関数法の総合化を試みた。その結果、北海道での適応性が良好であり、北海道においてモデルパラメータの総合化が図られた。本研究ではモデルの一般化を図るため全国の洪水データについて解析をし、適用性の検討を行ったものである。

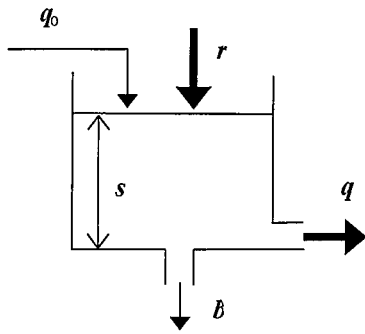


図-1 流出モデル

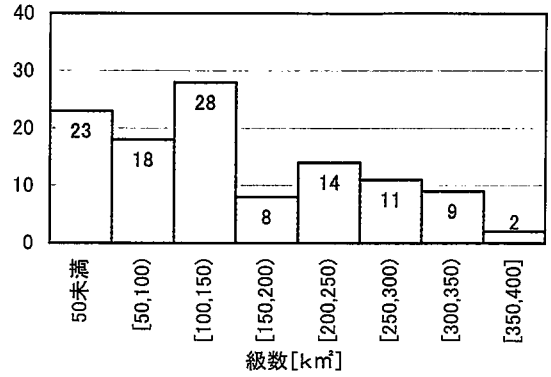


図-2 流域面積度数分布

2. 貯留関数モデル

本研究においては、図-1 に示すタンクモデルを考え、次式の貯留関数を採用する。

$$\frac{ds}{dt} = r - q - b + q_0 \quad (1)$$

$$s = k_1 q^{p_1} + k_2 \frac{d}{dt} (q^{p_2}) \quad (2)$$

$$b = \alpha q \quad (3)$$

$$q_0 = q_B \exp(-\lambda t) \quad (4)$$

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]、q₀:地下水流出高[mm/h]、q_B:初期流出高[mm/h]、k₁, k₂:貯留係数、α:損失係数、p₁, p₂:貯留指数、λ:減水係数

(2)式に示される貯留方程式は Kinematic wave 法の解を集中化したもので、表面流に Manning 則を用いることにより、モデル定数は以下のように変換される³⁾。

$$\begin{cases} k_1 = c_1 A^{0.24} \\ k_2 = c_2 k_1^2 (\bar{r})^{-0.2648} \\ c_3 = 1 + \alpha \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} p_1 = 0.6 \\ p_2 = 0.4648 \end{cases} \quad (6)$$

ここに、A:流域面積[km²]、 \bar{r} :平均雨量強度[mm/h]、c₁, c₂, c₃:未知定数

(4)式は先行降雨による地下水流出を表しており、初期貯留量を考慮するために入力している。本報告においては、北海道による解析結果より⁴⁾ λ=0.019 として固定した。

尚、上式についての詳細は、参考文献 1) を参照されたい。

3. 解析データについて

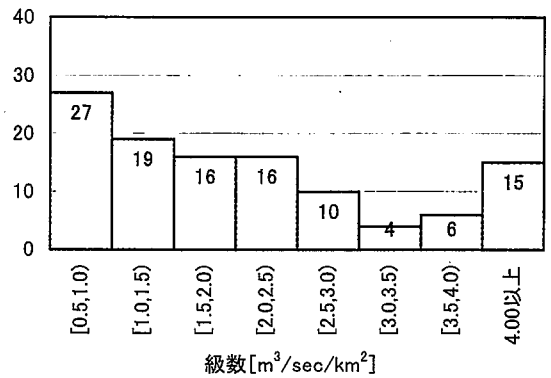


図-3 比流量度数分布

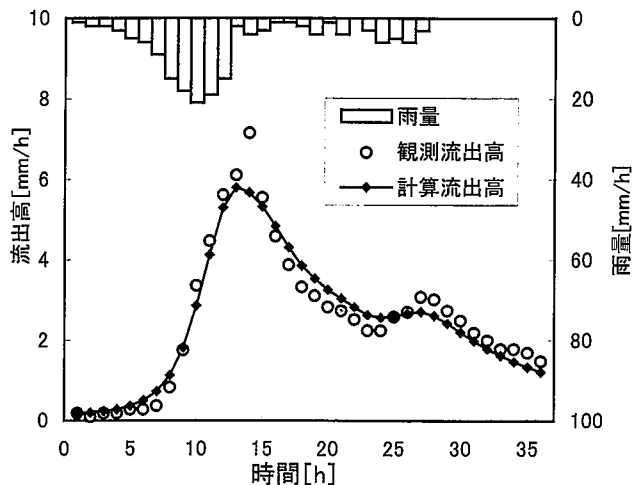
表-1 各ブロックデータ数

ブロック	地方	データ数
I	北海道地方	14
II	東北地方・関東地方・北陸地方	24
III	中部地方・近畿地方	11
IV	中国地方	51
V	四国地方・九州地方	13
合計		113
北海道データ ¹⁾	北海道河川	210
	北海道ダム	25
合計		235

本研究では北海道以外での適応性を検討するため流域の浸透の違いによる影響を抑えることを目的とし、流域の大半が山地であると推定されるダムの洪水データを用いて解析を行った。

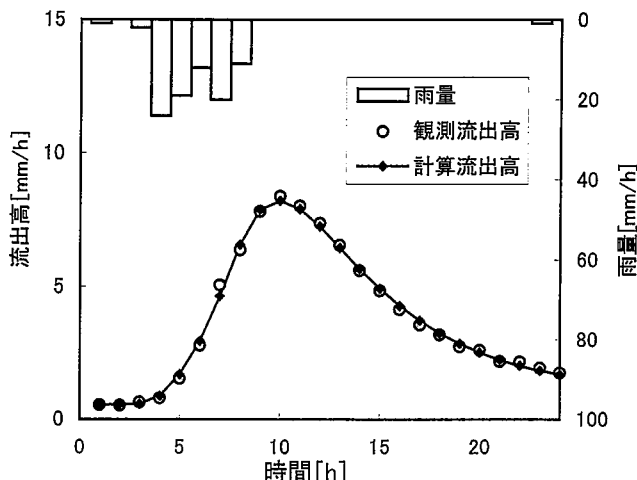
全国のダムの管理所において測定された既往洪水データ 264 ケースについて、上記モデルを用いて解析を行った。解析データの内、比流量 0.5 以上、流域面積 400km² 以下、ピーク比流量相対誤差 25%以下の 113 ケースについて検討を行った。流域面積と比流量の度数分布を図-2, 3 に示す。

洪水データ数が地方ごとにかかなりの差があるため、隣接する地方を1つのブロックとし、表-1の5つのブロックに集計した。



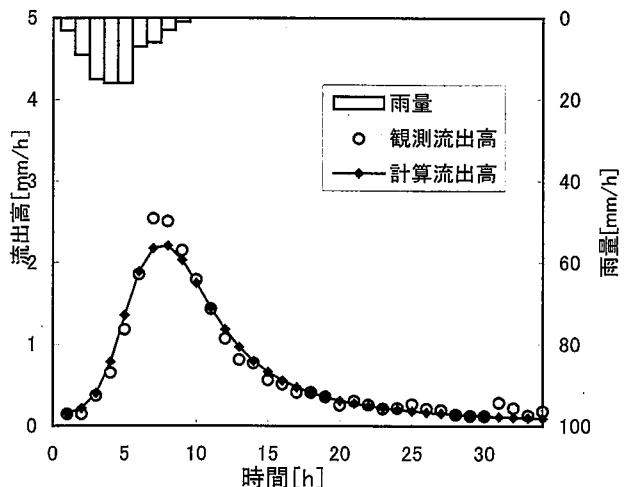
Aダム 平成11年10月2日洪

図-4 ブロック I 解析例



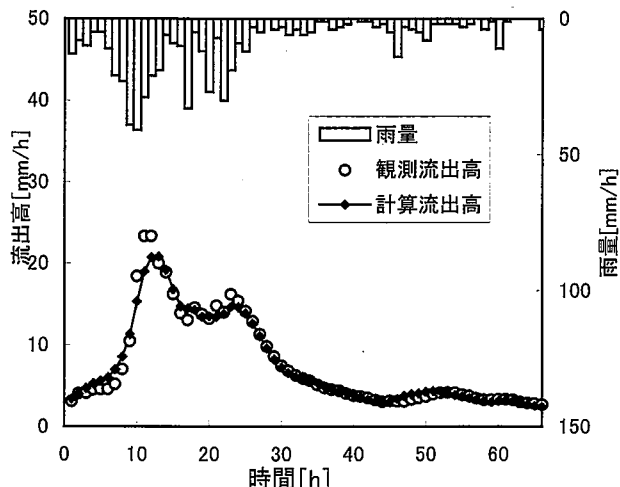
Dダム 平成11年度6月29日 洪水

図-7 ブロックIV 解析例



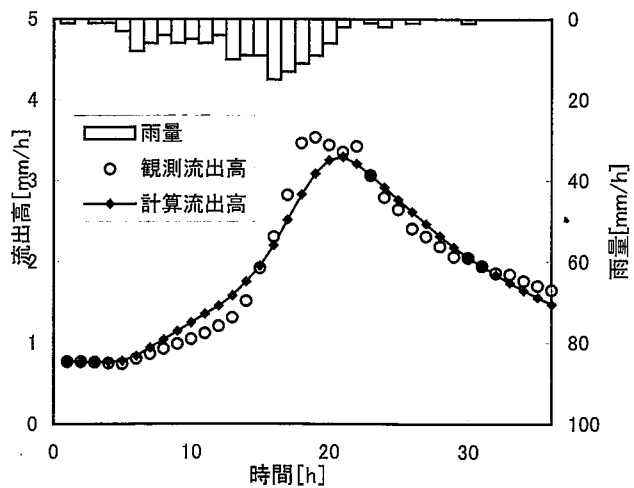
Bダム 平成11年9月15日洪水

図-5 ブロック II 解析例



Eダム 平成11年7月27日洪水

図-9 ブロック V 解析例



Cダム 平成11年6月30日 洪水

図-6 ブロック III 解析例

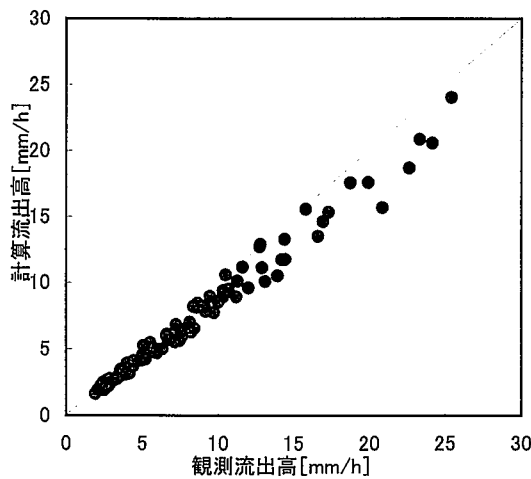


図-10 計算・実績ピーク流出高の比較

4. 解析結果

解析結果は図-4~9のグラフが示すように、全国的に既往洪水データと計算結果がよく合う良好な結果が得られた。さらに、全国ダムデータの解析により求めた3つのパラメータについて平均・標準偏差をとり、比較対象として北海道データ¹⁾の結果を加え表2で示した。すべてのブロックに共通して、3つのパラメータとも平均・標準偏差ともよく似た値であり、また全国ダムデータと北海道データを比較すると3つのパラメータともほぼ同じ値であることから、本研究で使用したモデルが、北海道外の小流域においても適応可能であることが示された。

解析結果の評価方法としてピーク流出高のみの相対誤差 J_{PE} と時間ごとの相対誤差の平均値 J_{RE} を用いた。以下に式を示す。

$$J_{PE} = \frac{|q_p^* - q_p|}{q_p^*} \quad (7)$$

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

ここに、 q_p^* : 実測ピーク流出高[mm/h]、 q_p : 計算ピーク流出高[mm/h]、 q_{si}^* : 実測流出高[mm/h]、 q_{si} : 計算流出高[mm/h]、 N : 流量データ数

表-3に全国ダムの相対誤差の平均・標準偏差を、北海道データ¹⁾の結果を加えて示した。

良好な結果が得られた北海道データよりもさらに良い結果となり、このことから本研究でのモデルの適応性の高さが示されている。特に J_{RE} については標準偏差が北海道データの約半分の値になっており、ハイドログラフの適応性が高いことが分かる。これは前述のダムデータが一樣の流域特性を持っていることが解析結果に反映されているためであると推定される。

5. まとめ

本研究で用いた流出モデルが、北海道内だけでなく全国の小流域に適応できることが示された。これにより、流出量データの乏しい中小河川流域においても雨量から流出量が容易に推定でき、星ら⁶⁾の流域流出・河道追跡併用モデルを用いることにより大流域での適用が可能となり、河川計画策定や洪水対策に活用できることが期待される。

今後は、さらに既往洪水データの収集を行い、特に市街地を含む中小河川への適応性を検討し、流出モデルの信頼性向上に努めると共に、流出モデルに改良を加えることで推定精度の向上を図っていきたいと考える。

表-2 パラメータ集計

ブロック	データ数	統計	c_1	c_2	c_3
I	14	平均	11.997	0.144	1.869
		標準偏差	6.134	0.118	0.740
II	24	平均	10.194	0.093	2.215
		標準偏差	3.965	0.082	0.801
III	11	平均	12.662	0.114	2.028
		標準偏差	3.884	0.080	0.998
IV	51	平均	10.784	0.183	1.753
		標準偏差	4.840	0.158	0.481
V	13	平均	10.821	0.164	1.398
		標準偏差	3.262	0.113	0.404
全国ダム	113	平均	11.081	0.147	1.845
		標準偏差	4.667	0.134	0.693
北海道データ ¹⁾	235	平均	12.082	0.154	1.590
		標準偏差	5.112	0.112	0.812

表-3 相対誤差の比較

		J_{PE}	J_{RE}
全国ダム	平均	0.128	0.165
	標準偏差	0.068	0.078
北海道データ ¹⁾	平均	0.135	0.170
	標準偏差	0.077	0.146

謝辞：最後に本研究をまとめるにあたり、洪水データを提供していただいた各地方整備局等の関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 佐々木靖博・星 清・井出康郎：損失項を含む総合化貯留関数法の精度評価，河川技術に関する論文集，第6巻，pp 303-308, 2000.
- 2) 馬場仁志・星 清・橋本識秀：損失機構を組み合わせた貯留関数モデルの総合化，水工学論文集，第43巻，pp 1085-1090, 1999.
- 3) 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. 273-78, 1982.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) 星 清・馬場仁志・橋本識秀：流域・河道系洪水追跡のための貯留関数法の開発，河川技術に関する論文集，第6巻，pp297-302, 2000.

(2001. 4. 16 受付)