

2 段タンク型貯留関数法による流出解析と河道追跡計算

（株）リブテック

（財）北海道河川防災研究センター
北海道工業大学○正 員 松木賢治
フェロー 星 清
フェロー 橋本誠秀

1. はじめに

流出解析を行う際、流域面積が小さい時は斜面系流出が卓越して河道系は無視できると考えられるため、流域全体を単流域として扱い、貯留関数モデルを適用することが多い。しかしながら、流域面積が大きくなると、河道による降雨の遅れなど、河道効果が無視できない。そのため、流出モデルに河道モデルを組み込む必要があり、kinematic wave 法を集中化した貯留関数法が流域系及び河道系を含む洪水追跡に適用できるモデルが開発されている^{1,2)}。

そこで、本報告では2段タンク型貯留関数モデルを用いた流域流出・河道追跡モデルで、全観測流量を対象に流域流出モデル定数の最適同定を行う方法を提案する。本手法の特徴は、同定するモデル定数は1段目タンクの3個であるが、1段目タンクの定数は2段目タンクからの流出量にも影響を及ぼすため、地下水流出に対する感度係数を取り込むところにある。また、地下水流出成分の分離時定数(T_c)は流域固有の値であるため、基準点における T_c の値を分割流域の流出解析に適用している。

2. 流出計算法

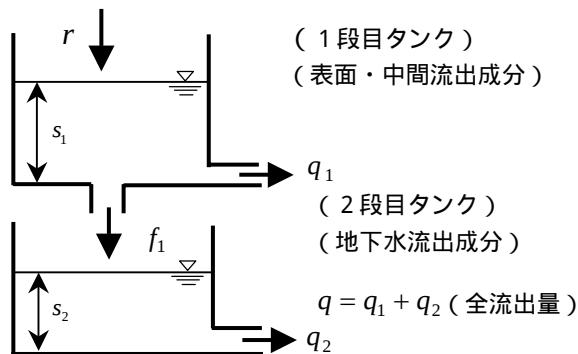


図-1 2段タンク型貯留関数流出モデル

2.1 分割流域流出モデル

分割流域における流出モデルは、図-1に示す2段タンク型モデルとし、貯留関数法を適用する。

1段目タンクの非線形モデルは次式で表される。

$$\frac{ds_1}{dt} = r - q_1 - f_1, \quad s_1 = k_{11}q_1^{p_1} + k_{12}\frac{d}{dt}(q_1^{p_2}) \quad (1)$$

ここに、 s_1 : 1段目タンク貯留高[mm]、 r : 観測雨量[mm/h]、 q_1 : 表面・中間流出高[mm/h]、 $f_1 = k_{13}q_1$: 1段目タンクから2段目タンクへの浸透供給量[mm/h]、 k_{11}, k_{12} : 貯留係数、 k_{13} : 浸透係数、 p_1, p_2 : 貯留指数

モデル定数 p_1 と p_2 に関しては、表面流にマニング則を想定すると、 $p_1 = 0.6, p_2 = 0.4648$ となる。モデル定数 k_{11} と k_{12} については、既往研究成果から次の関数形を仮定する。

$$k_{11} = c_{11}A^{0.24}, \quad k_{12} = c_{12}k_{11}^2(\bar{r})^{-0.2648}, \quad k_{13} = c_{13} - 1 \quad (2)$$

ここに、 A : 流域面積[km²]、 $\bar{r}$: 平均雨量強度[mm/h]、 c_{11}, c_{12}, c_{13} : 未知定数

次に2段目タンクは、地下水流出成分を次式の線形モデルで表現した。

$$\frac{ds_2}{dt} = f_1 - q_2, \quad s_2 = k_{21}q_2 + k_{22}\frac{dq_2}{dt} \quad (3)$$

ここに、 s_2 : 2段目タンク貯留高[mm]、 k_{21}, k_{22} : 貯留係数、 q_2 : 地下水流出高[mm/h]

全流出高 q は、1段目（表面・中間流出成分）の流出高 q_1 と2段目（地下水流出成分）の流出高 q_2 の和で求められる。また、感度係数の算定は、本報告モデルの特徴として、全流出量に対するモデル定数の最適化を図ることがあげられるため、 $c_{11}, c_{12}, c_{13} (=k_{13}+1)$ に関して全流出量の感度係数を求めることが必要となる。全流量の感度係数は1段目タンクからの流出量に関する感度係数と2段目タンクからの流出量に関する感度係数の和で求められる。2段タンク型モデルの流出計算法については既に詳しく説明されているので、参考文献3)と4)を参照されたい。

2.2 河道追跡モデル

河道追跡モデルは、kinematic wave 方程式を貯留関数モデルに集中化することによって次式で表現される。

$$s_s = k_3q_s^{p_3} + k_4\frac{d}{dt}(q_s^{p_4}), \quad \frac{ds_s}{dt} = q_0 - q_s \quad (4)$$

$$a_s = \alpha q_s^m, \quad s_s = \int_0^L a_s(x, t) dx \quad (5)$$

ここに、 s_s : 河道貯留量[m³]、 q_0 : 河道流入量[m³/s]、 q_s : 河道流出量[m³/s]、 a_s : 河道断面積[m²]、 L : 河道長[m]、 k_3, k_4, p_3, p_4 : モデル定数、 α, m : 河道定数

本手法では、計算精度の劣化を防ぐために上式を無次元化し、線形化近似によって解いている。ここで、河道追跡のための6個のモデル定数($k_3, k_4, p_3, p_4, \alpha, m$)は既知となる。また、河道モデルでは、流出量だけでなく流域モデルで算出された感度係数に関しても、下流に逐次伝達させていく必要がある。これらの方法については、参考文献1)に詳しく説明されているので参照されたい。

キーワード: 貯留関数法、河道追跡、地下水流出成分、数学的最適化

連絡先: 〒065-0018 札幌市東区北18条東1丁目3-3 TEL 011-722-0483 FAX 011-722-0487

4．既往洪水データにおける再現計算例⁵⁾

既往洪水への適用例として、指定河川・標津川合流点（流域面積：657 km²）における昭和54年10月20日洪水の再現を試みた。

分離時定数 T_c は既往4洪水を解析した平均値³⁾を用いて $T_c=95.40\text{hrs}$ とした。また、 $\delta=2.1$ とする。

分割流域の流域面積を表-1、河道定数を表-2、流域・河道網を図-2に示す。ここで、誤差はピーク誤差 (J_{PE}) 及びハイドログラフ相対誤差 (J_{RE}) を定義して、それぞれ式(6)を用いて算定した。

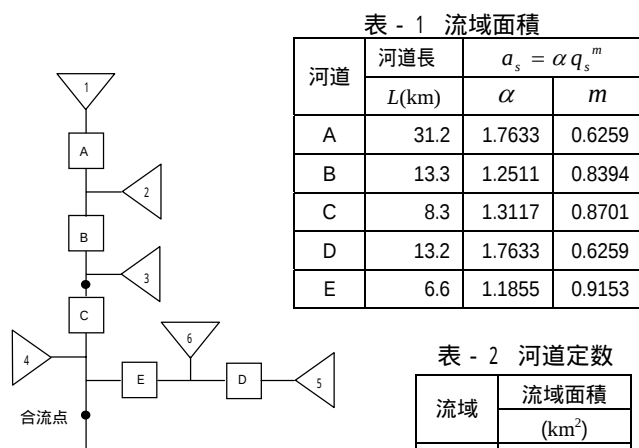


図-2 標津川流域図

表-1 流域面積

河道	河道長	$a_s = \alpha q_s^m$	
	$L(\text{km})$	α	m
A	31.2	1.7633	0.6259
B	13.3	1.2511	0.8394
C	8.3	1.3117	0.8701
D	13.2	1.7633	0.6259
E	6.6	1.1855	0.9153

表-2 河道定数

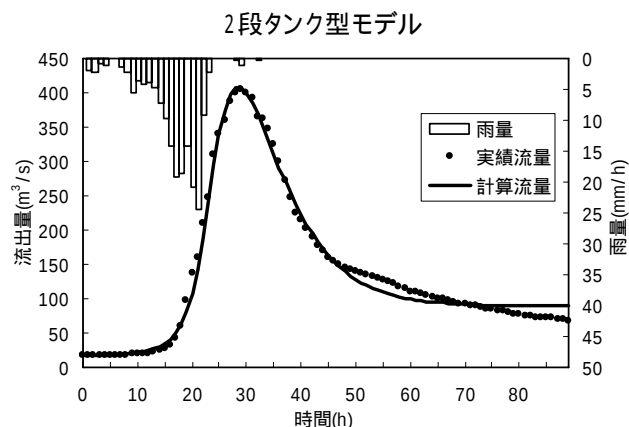
流域	流域面積 (km ²)
1	153.7
2	205.4
3	51.8
4	47.1
5	51.5
6	147.5
合計	657.0

$$\left\{ \begin{array}{l} J_{PE} = \frac{|q_p^* - q_p|}{q_p^*} \\ J_{RE} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|q_{si}^* - q_{si}|}{q_{si}^*} \end{array} \right. \quad (6)$$

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

表-3 モデル定数同定値と誤差の比較 (S54.10.20 洪水)

	モデル定数同定値			誤差	
	C_{11}	C_{12}	C_{13}	J_{PE}	J_{RE}
1 段タンク型	32.716	0.044	2.325	0.088	0.117
2 段タンク型	24.172	0.129	3.615	0.005	0.090



1 段タンク型貯留関数法と本報告で提案した手法による計算結果を比較した。モデル定数の同定値及び誤差を表-3に、再現結果を図-3にて比較する。

再現精度は、1 段タンク型モデルの場合、単流域で計算した場合と同様にピーク流量が低く再現されている。一方、2 段タンク型モデルでは、ピーク流量も大きくなり、減衰部も含め再現精度が良い結果となった。

5．おわりに

従来の2 段タンク型モデルの解法では、基準点における観測流量を2 成分に分け、モデル定数の最適同定を表面・中間流出成分のみに関係して行ってきた。また、2 段目タンクのモデル定数は T_c 、 δ 及び分割流域の流域面積の関数として決定論的に与えられていた。この手法によると、とくにピーク流量の再現精度が優れているが、流域モデルを河道追跡モデルと組み合わせると、その特徴があまり活かされず、減衰部の再現性も良くなかった。

本報告では、河道追跡モデルに流域流出計算法である2 段タンク型モデルを組み合わせ、観測ハイドログラフ全体の形状に対して最適化計算を行うモデルを検討した。その結果、ピーク流量及びハイドロ全体の再現精度の向上がみられた。

参考文献

- 1) (財)北海道河川防災研究センター・研究所 編集・発行：一般化貯留関数法による流域流出解析・河道洪水追跡実用計算法，152p，2001.
- 2) 中津川 誠・星 清・橋本 識秀：成分分離に基づく流域・河道追跡のための貯留関数モデルの同定，水工学論文集，第46巻，土木学会，pp.151-156，2002.
- 3) (財)北海道河川防災研究センター・研究所 編集・発行：単一流域を対象とした貯留関数法の精度比較，189p，2002.
- 4) 秋田 大輔・星 清：2 段タンク型貯留関数の最適化比較，(財)北海道河川防災研究センター・研究所紀要(XIV)，pp.249-282，2003.
- 5) 松木 賢治・星 清・橋本 識秀：2 段タンク型貯留関数法を用いた流域・河道追跡計算の改良，土木学会北海道支部論文報告集，第60号，pp.276-279，2004.

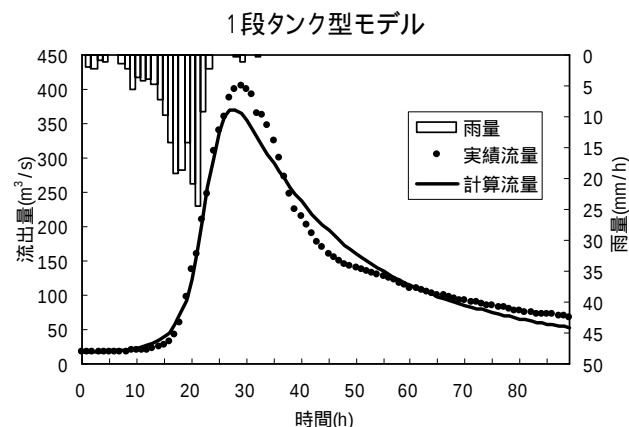


図-3 標津川 昭和54年10月20日洪水 再現結果