

2 段タンク型貯留関数法の最適化比較

(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 秋田大輔
フェロー 星 清
フェロー 橋本識秀

1. はじめに

近年、事前に有効雨量の算出を必要としない損失機構を考慮した流出解析モデルが提案されている。しかしながら、損失機構を持つ1段タンク型貯留関数モデルでは、初期段階での流量の立ち上がりが多い洪水例においては、ピーク流量の再現性が悪いケースが多い。

その再現性を改善する方法として、日野・長谷部によって提案された「フィルター成分分離法」¹⁾を用い、流出成分を客観的に「表面・中間流出成分」と「地下水流出成分」に分離する2段タンク型貯留関数モデルを採用する。

本報告では、地下水流出成分のモデル定数を上段からの浸透に関わる未知係数の関数とした場合の全流出量による最適化を試み、既往方法との比較検討を行う(図-1参照)。

2. 流出計算モデル

本報告では1段目タンクを表面・中間流出成分の再現に有効な次式の非線形モデルとする。

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

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 : 貯留指数とし、1段目の損失 f_1 は浸透供給量として、すべて2段目タンクへの入力とした。また、 p_1 と p_2 については表面流にマニング則を用い、以下の値に固定した。 $p_1 = 0.6$ 、 $p_2 = 0.4648$

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

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

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

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

2段目タンクのモデル定数は、「フィルター成分分離法」と1段目タンクの関連性により、近似的に次式で与えられることが知られている²⁾。

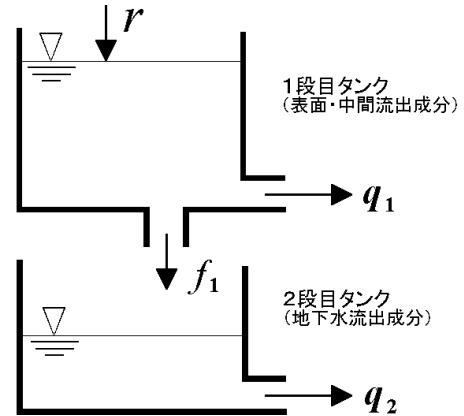


図-1 2段タンク型貯留関数モデル

$$k_{21} = c_1 k_{22}, \quad k_{22} = k_{13} / c_0 = (c_{13} - 1) / c_0 \\ c_0 = (\delta / T_c)^2, \quad c_1 = \delta^2 / T_c \quad (4)$$

ここに、 T_c : 分離時定数、 δ : 減衰係数、 $c_{13} = k_{13} + 1$
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 を合計して全流出高 q とする。

$$q = q_1 + q_2 \quad (5)$$

3. 精度比較の評価方法

本報告での提案手法が既往の手法に比べてどのくらい精度が向上するかを検討するために、園山等による手法²⁾との比較を行う。

園山等による手法では、分離された表面・中間流出成分のモデル定数のみが、地下水流出成分とは独立に最適化された。本報告モデルでは、表面・中間流出成分のモデル定数の地下水流出成分に及ぼす影響(感度係数)を考慮して、全流出量を用いて定数の最適化を行った。

評価関数としては、次のピーク相対誤差(J_{PE})とハイドログラフ相対誤差(J_{RE})を用いる。

$$J_{PE} = \frac{|q_p^* - q_p|}{q_p^*}, \quad J_{RE} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|q_{si}^* - q_{si}|}{q_{si}^*} \quad (13)$$

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

なお、詳しい最適化方法については、文献³⁾を参照されたい。

4. 実流域への適用

本報告では、後志利別川の今金観測所(流域面積

キーワード: 貯留関数法、地下水流出成分、フィルター成分分離法、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 ともえビル TEL 011-722-0483 FAX 011-722-0487

361. 40km²) における洪水例 14 ケースを対象に流出計算を行った。 T_c の値は、モデル定数 c_{13} が地下水流出量に大きく影響を及ぼすことから、文献 4) に示される今金観測所地点におけるの平均値 53.25 を固定値として採用した。また $\delta=2.1$ を用いた

表 - 1 に解析結果を示す。ピーク相対誤差は半数のケースで、ハイドログラフ相対誤差ではすべてのケースで本報告モデルが良好な結果が得られた。改善要因としては、 T_c の値の初期値を与えて、定数 c_{13} の最適値探索を行っており、浸透供給量と地下水流出量が自動調整され、全流出量が計算されたためであると考えられる。

一般に流出解析を行う場合、ハイドログラフの低減部から求められる T_c の値は個人差が現れやすく、経験の浅い技術者にとっては決定するのが難しい。また、短期間に複数のピークを持つ洪水が発生する場合、的確な T_c の値を求めることは極めて困難である。 T_c の値は、地下水流出特性を規定する重要なモデル定数であり、河川流域毎にある一定範囲の値をとるものと想定される。表 - 1 に示したように、 T_c の値として、過去の洪水例の平均値を用いて解析を行うことが最良選択な方法と考えられる。その結果、本報告モデルの方がより実用的であるといえる。

また、ハイドログラフ形状から、本報告モデルは降雨継続時間が長く、ピーク流量に至るまでの時間が長い場合や、ピーク継続時間が長い場合において高精度の再現性が得られることを確認した(図 - 2 と図 - 3 参照)。

5. 今後の課題

園山等によって提案された手法²⁾を河道追跡モデルに適用した場合⁵⁾、ピーク近傍で比較的精度よい再現性が得られているが、上昇部と下降部において精度が低い例が多い。その改善策として、全流出量での最適化が必要であると考えられる。今後、本報告で提案したモデルの洪水予測システム及び河道追跡モデルへの適用性とその有効性を検討して行きたい。

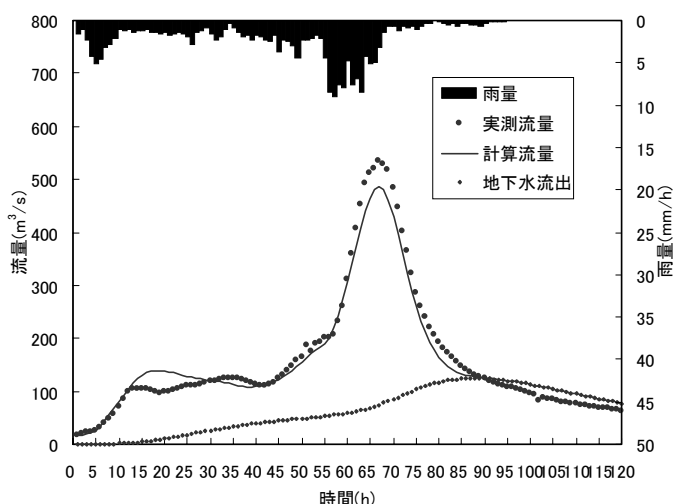
また、園山等モデルにおいても十分な再現性を得られており、計算が簡易であり収束性も良い。そのため、単流域への適用においては有効だと考えられる。最後に、本研究を進めるにあたり、洪水資料を提供していただいた北海道開発局及び(独)北海道開発土木研究所・環境水工部に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日野・長谷部:水文流出解析, 森北出版, 254p., 1985.
- 2) 園山・星・橋本: 実用的 2 段タンク型貯留関数法の提案, 土木学会北海道支部論文報告集, 第 58 号, pp.336-339, 2002.
- 3) (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.
- 4) (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.
- 5) 中津川・星・橋本: 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 号, pp.151-156, 2002.

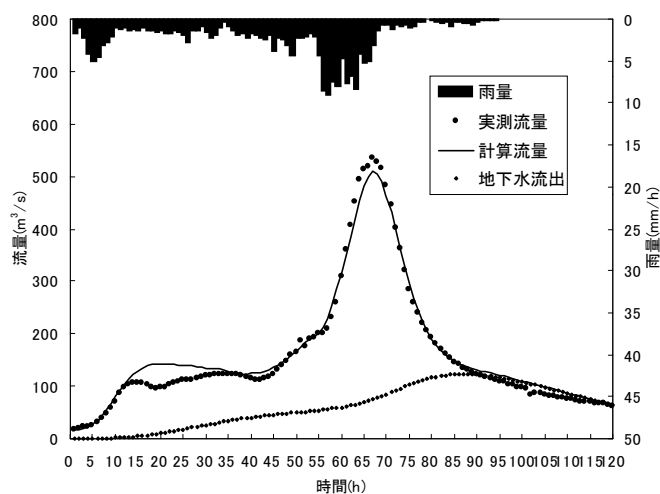
表 - 1 解析結果

	平均値 $T_c=53.25$ を用いた解析結果			
	園山等モデル		本報告モデル	
	J_{PE}	J_{RE}	J_{PE}	J_{RE}
S36	0.063	0.246	0.006	0.206
S38	0.061	0.210	0.061	0.196
S41	0.144	0.435	0.143	0.391
S42	0.268	0.309	0.284	0.284
S44	0.022	0.222	0.012	0.203
S49	0.027	0.137	0.024	0.131
S50	0.148	0.074	0.155	0.071
S53	0.136	0.130	0.183	0.114
S54	0.039	0.189	0.061	0.176
S55	0.089	0.132	0.047	0.111
S56	0.063	0.495	0.150	0.305
S58	0.161	0.135	0.156	0.134
S62	0.177	0.255	0.197	0.240
H1	0.229	0.386	0.239	0.332



$c_{11}=4.270$, $c_{12}=0.750$, $c_{13}=1.920$

図 - 2 園山等モデルによる流出解析結果
(今金地点・昭和 55 年)



$c_{11}=4.700$, $c_{12}=0.620$, $c_{13}=1.710$

図 - 3 本報告モデルによる流出解析結果
(今金地点・昭和 55 年)