

10 分間隔水文量の一般化貯留関数法の誘導

Storage function method for hydrological data of 10 minutes interval

北海学園大学工学部 ○学生員 後藤明夫 (Akio Gotoh)
 北海学園大学工学部 正員 嵯峨 浩 (Hiroshi Saga)

1. はじめに

一般化貯留関数法は、通称「星モデル」と呼ばれ、実用的な流出解析モデルとして広く運用に供されている。特に、国土交通省北海道開発局ではカルマン・フィルター理論と組み合わせた洪水予測システムが構築され、治水管理上重要な役割を担っている。ただし、この一般化貯留関数法は降雨量・流出量が1時間単位の場合を前提として導き出されたため、他の時間間隔の水文量に対して適用できるか疑問視されていた。

最近のゲリラ豪雨に代表されるように、集中的に降る豪雨に対しては、より短い時間間隔で洪水予測を行うことが不可欠となっている。本報告は10分間隔の水文データを扱うことが可能な一般化貯留関数法を誘導したものである。今回は有効降雨を用いた一般化貯留関数法で検討したが、損失項を含む貯留関数法にも応用可能である。

2. 10分単位の総合貯留関数法

kinematic wave を無次元化し、矩形降雨に対する kinematic wave を集中化すると貯留量～流量曲線($S \sim Q$ 曲線)の理論解は(1)式のようにになる¹⁾。

$$S(T) = \begin{cases} \frac{m}{m+1} Q^{1/m} + \frac{(R-Q)}{m(m-1)R^2} Q^{(2-m)/m} \frac{dQ}{dT} & (0 \leq T < T_c) \\ \frac{m}{m+1} Q^{1/m} & (T_c \leq T < T_r) \\ \frac{m}{m+1} Q^{1/m} + \frac{\{R(m-1)+Q\}(R+Q)}{m^3(m+1)R^2} Q^{(2-2m)/m} \frac{dQ}{dT} & (T_r \leq T) \end{cases} \quad \dots (1)$$

ここに、 $S(T)$ ：貯留量、 R ：降雨量、 Q ：流量、 T ：時間、 T_c ：到達時間、 T_r ：降雨継続時間、 m ：斜面流動定数で、全て無次元量である。

(2)式は星²⁾が提案した貯留方程式であり、未知パラメータ K_{11} 、 p_1 は(1)式との比較により(3)式のようになる。

$$S = K_{11} Q^{p_1} + K_{12} \frac{d}{dT} (Q^{p_2}) \quad \dots (2)$$

$$\begin{cases} K_{11} = m/(m+1) \\ p_1 = 1/m \end{cases} \quad \dots (3)$$

K_{12} 、 p_2 は、矩形降雨波形での kinematic wave 理論解から数値計算により最適化している。その結果は次式である。

$$\begin{cases} K_{12} = 0.1m^{0.2} \\ p_2 = 1/m^{3/2} \end{cases} \quad \dots (4)$$

星は最適化された未知パラメータを用いて、定数 m が1.0～2.0までの範囲で、一般化貯留関数法によるハイドログラフと kinematic wave による理論解とを比較して、実用上十分な精度で一致することを確認している。

これまで無次元領域で式を展開していたので、有次元化を行う。星は[m-sec]単位で表現されていた式を[mm-hr]単位に変換している。その結果を以下に示す。

(5)式は[m-sec]単位の貯留方程式で、(6)式が[mm-hr]単位に変換された結果である。

$$s_A = K_{11} \left(\frac{L}{\alpha} \right)^{1/m} \bar{r}^{(1/m-p_1)} q_A^{p_1} + K_{12} \left(\frac{L}{\alpha} \right)^{2/m} \bar{r}^{(2/m-1-p_2)} \frac{d}{dt} (q_A^{p_2}) \quad (5)$$

$$\begin{aligned} s_h/10^3 &= K_{11} (L/\alpha)^{1/m} [\bar{r}_h/(10^3 \times 3.6 \times 10^3)]^{1/m-p_1} [q_h/(10^3 \times 3.6 \times 10^3)]^{p_1} \\ &+ K_{12} (L/\alpha)^{2/m} [\bar{r}_h/10^3 \times 3.6 \times 10^3]^{2/m-1-p_2} \frac{1}{3.6 \times 10^3} \frac{d}{dt_h} [q_h/(10^3 \times 3.6 \times 10^3)]^{p_2} \end{aligned} \quad \dots (6)$$

ここに、 s_A ：貯留高(m)、 L ：斜面長(m)、 $\bar{r}$ ：平均有効雨量強度(m/s)、 q_A ：流出高(m/s)、 s_h ：貯留高(mm)、 $\bar{r}_h$ ：平均有効雨量強度(mm/hr)、 q_h ：流出高(mm/hr)、 t_h ：時間(hr)、 α ：m-sec 単位の定数、 K_{11} 、 K_{12} 、 p_1 、 p_2 ：パラメータ

以上の結果より次式が求まる。

$$\begin{cases} k_{11} = 2.8235 f_c A^{0.24} \\ k_{12} = 0.2835 k_{11}^2 (\bar{r})^{-0.2648} \\ p_1 = 0.6 \\ p_2 = 0.4648 \\ f_c = (n/\sqrt{i})^{0.6} \end{cases} \quad \dots (7)$$

以上が[mm-hr]単位の一般化貯留関数法の未知パラメータである。

(8)式は[mm-10min]単位に変換した貯留方程式であり、未知パラメータは(9)式で表される。

$$\begin{aligned} s_m/10^3 &= K_{11} (L/\alpha)^{1/m} [\bar{r}_m/(10^3 \times 0.6 \times 10^3)]^{1/m-p_1} [q_m/(10^3 \times 0.6 \times 10^3)]^{p_1} \\ &+ K_{12} (L/\alpha)^{2/m} [\bar{r}_m/10^3 \times 0.6 \times 10^3]^{2/m-1-p_2} \frac{1}{0.6 \times 10^3} \frac{d}{dt_m} [q_m/(10^3 \times 0.6 \times 10^3)]^{p_2} \end{aligned} \quad \dots (8)$$

ここに、 s_m ：貯留高(mm)、 $\bar{r}_m$ ：平均有効雨量強度(mm/10min)、 q_m ：流出高(mm/10min)、 t_m ：時間(10min)、 α ：m-sec 単位の定数、 K_{11} 、 K_{12} 、 p_1 、 p_2 ：パラメータ

$$\begin{cases} k_{11} = 8.2733 f_c A^{0.24} \\ k_{12} = 0.2835 k_{11}^2 (\bar{r})^{-0.2648} \\ p_1 = 0.6 \\ p_2 = 0.4648 \\ f_c = (n/\sqrt{i})^{0.6} \end{cases} \quad \cdots (9)$$

3. 流出解析結果

(1)使用した水文データ

10 分間隔の降雨および流出高データは、著者らが設置しているオカバルシ川流出試験地で観測されたものである。流出試験地の概要を以下に記す。

オカバルシ川は札幌市近郊の真簾峠付近にその源を発し、北流して豊平川右岸に合流する溪流河川である。この河川は砂防河川に指定されており、昭和 56 年 8 月には土石流や多量の土砂を含んだ洪水氾濫により、死傷者や家屋損壊の被害を出した暴れ川である。

流域面積は 3.42km^2 で、雨量計および水位計は標高 207m の地点に設置されており、観測は自動観測で行われている。源流部は標高 370m で流量観測地点まで標高差 163m を約 3km の河道長で一気に下っている。上流部ではゴルフ場やスキー場、霊園等の一部が流域内に含まれるが、流域の 90%以上を自然林が占める。また、源流部は 500m 級の山々が連なっており、崩壊等

による土砂生産が多く、砂防ダムが複数個設置されている。

(2)計算結果

(9)式で求めたパラメータを使って流出解析を行い、モデルの検証を行った。同定すべきパラメータは f_c のみで数学的最適化手法³⁾を用いた。出水の時期、規模および解析結果の RMSE を表-1 に示す。また、計算結果を図-1 に示す。オカバルシ川は応答が速い流域で、ハイドログラフの高周波成分を再現できていない部分もあるが、実用上十分な精度であると思われる。

表-1 出水規模と計算誤差

出水例	出水時期	平均雨量強度 (mm/10min)	RMSE
1	2003 年 8 月 9 日	0.108171	0.0206
2	2003 年 9 月 13 日	0.126943	0.0070
3	2006 年 7 月 12 日	0.054221	0.0054
4	2006 年 10 月 7 日	0.110041	0.0117

4. おわりに

オカバルシ川流出試験地の水文観測では、北海道開発局札幌河川事務所および(財)聖山会・藤野聖山園に多大なる御協力を頂いた。ここに記して謝意を表す。

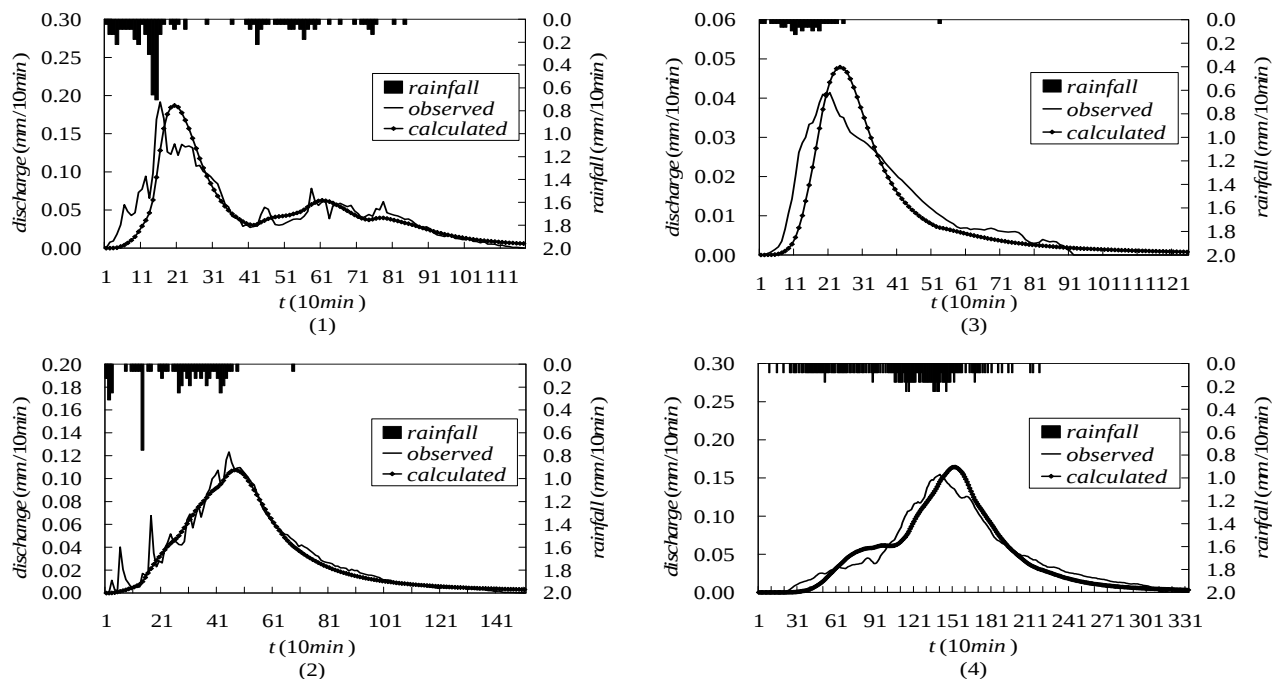


図-1 流出解析結果

参考文献

- 1) Eagleson, P.S.: *Dynamic Hydrology*, McGraw-Hill Book Co., 1970.
- 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, 土木学会, 1982.
- 3) (財)北海道河川防災研究センター・研究所: 実践流出解析ゼミ, 講義テキスト編, 2006.
- 4) 北海道開発局土木試験所河川研究室: 実用的な洪水流出計算法, 1978.
- 5) 星 清・野田 徹: 一般化貯留関数法のパラメータ同定, 土木学会北海道支部論文報告集, 第 37 号, pp.237-242, 1981.