

(32)

誤差を付加した流出量に対する都市貯留関数 (USF) モデルパラメータの同定

東京都建設局 高崎忠勝, 石原成幸
 首都大学東京 河村明, 天口英雄

1. はじめに

降雨流出モデルのパラメータは大域的探索法を用いることで観測値の再現性を重視した同定値を得ることができるが、パラメータ同定値は観測値に含まれる誤差の影響を受ける。特に観測値が少ない場合には観測値に含まれる誤差の影響が大きくなると考えられる。本研究では都市貯留関数 (USF) モデル¹⁾に従う仮想流域を対象に、誤差を付加した観測値に対するパラメータ同定を2つの誤差評価関数を用いて行い、パラメータ同定値と真値の違いを確認する。

2. 流出量作成とパラメータ同定

式(1)~(4)の USF モデルによるパラメータによって与えられる仮想流域を対象とする。モデルパラメータの真値を、 $k_1=50, k_2=500, k_3=0.005, p_1=0.5, p_2=0.5, z=5, \alpha=0.5$, 合流式下水道による最大雨水排水量 q_{Rmax} を 0.05mm/min に設定する。

$$s = k_1(Q + q_R)^{p_1} + k_2(d/dt)(Q + q_R)^{p_2} \quad (1)$$

$$ds/dt = R + I - E - O - Q - q_R - q_l \quad (2)$$

$$q_l = \begin{cases} k_3(s - z) & (s \geq z) \\ 0 & (s < z) \end{cases} \quad (3)$$

$$q_R = \begin{cases} \alpha(Q + q_R - Q_o) & (\alpha(Q + q_R - Q_o) < q_{Rmax}) \\ q_R = q_{Rmax} & (\alpha(Q + q_R - Q_o) \geq q_{Rmax}) \end{cases} \quad (4)$$

ここに、 s : 総貯留高(mm), t : 時間(min), Q : 河川流出量(mm/min), q_R : 合流式下水道による流域外への雨水排水量(mm/min), q_{Rmax} : 最大雨水排水量(mm/min), q_l : 地下水関連損失量(mm/min), I : 都市特有の流入量・流域外からの地下水流入(mm/min), E : 蒸発散量 (mm/min), O : 取水量(mm/min), Q_o : 初期河川流出量(mm/min), α : 下水道排出係数, z : 浸透孔高(mm), k_1, k_2, k_3, p_1, p_2 : モデルパラメータ。

図1に示すように USF モデルに中央集中波形の降雨波形に対する計算流出量を真値とし、これに観測雑音 $N(0, \sigma^2)$ を加えたものを観測値とする。 σ^2 は流出量真値の30%とし、真値と同じで観測値が異なる5ケースを作成する。モデルパラメータ ($k_1, k_2, k_3, p_1, p_2, z, \alpha$) の同定を、式(5)の RMSE, 式(6)の χ^2 の誤差評価関数をそれぞれ単独に用いる場合と式(7)の妥協計画法²⁾により2つの誤差評価関数を用いる場合について行う。

$$f_1 = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (q_{obs} - q_{cal})^2} \quad (5)$$

$$f_2 = \frac{1}{N} \sum \frac{(q_{obs} - q_{cal})^2}{q_{obs}} \quad (6)$$

$$\text{minimize}_{x \in X} = \left[\sum \left(\frac{f_i(x) - f_i^{\min}}{f_i^{\max} - f_i^{\min}} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (7)$$

ここに、 q_{obs} : 流出量観測値, q_{cal} : 流出量計算値, σ_y : 流出量観測値の標準偏差, f_i^{\min} : パレート最適解における f_i の最小値, f_i^{\max} : パレート最適解における f_i の最大値。

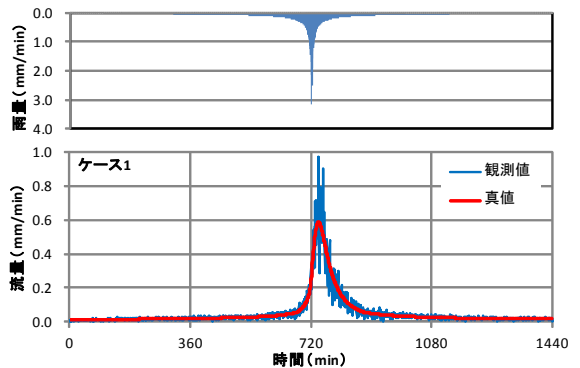


図1 流出量観測値 (ケース1)

3. パラメータ同定結果

パラメータ同定値について真値との違いの程度を式(8)の指標値を用いて評価を行う。指標値は全てのパラメータ同定値が真値と等しい場合に0となり、同定値と真値の違いに応じて値が大きくなる。

$$\text{指標値} = \sum \left| 1 - \frac{V_{ide}}{V_{tru}} \right| \quad (8)$$

ここに、 V_{ide} ： i 番目のパラメータの同定値、 V_{tru} ： i 番目のパラメータの真値。

図2にパラメータ同定値と指標値を示す。 $RMSE$ 、 χ^2 をそれぞれ単独で用いた場合と2つの誤差評価関数を用いた場合ではパラメータ同定値が異なっており、指標値について5ケースの平均をみると2つの誤差評価関数を用いたものが最も良い評価となっている。1つの誤差評価関数による同定値が真値と大きく異なるケース2やケース4において、2つの誤差評価関数を用いた同定値では真値との違いが抑えられている。

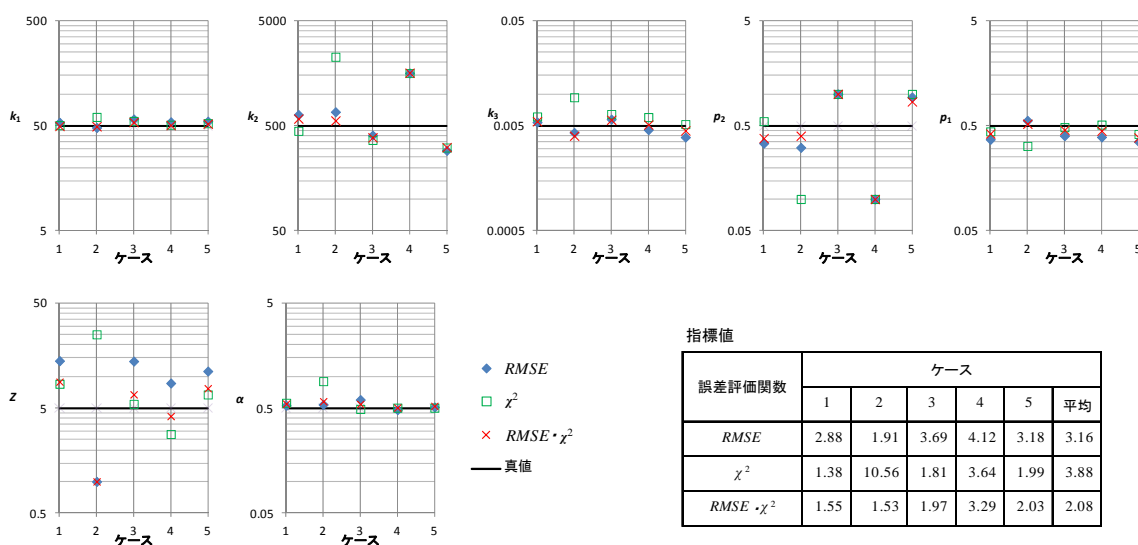


図2 パラメータ同定結果

4. まとめ

仮想流域を対象に誤差を付加したデータに対して2種類の誤差評価関数を用いてパラメータ同定を行い同定値と真値を比較した。2つの誤差評価関数を用いた同定は1つの誤差評価関数を用いた場合に比べて良好なパラメータを得た。複数の誤差評価関数を組み合わせてパラメータ同定を行うことで観測値に含まれる誤差の影響を小さく抑えることが可能だと思われる。

参考文献

- 1) 高崎忠勝, 河村明, 天口英雄: 都市の流出機構を考慮した新たな貯留関数モデルの提案, 土木学会論文集 B, Vol.65, No.3, pp.217-230, 2009.
- 2) 田中丸治哉, 藤原洋一: 妥協計画法による流出モデル定数の多目的最適化, 農業土木学会論文集, No.241, pp.107~115, 2006.

キーワード: 誤差評価関数, 妥協計画法, USF モデル