

(18)

カルマンフィルターを用いた USF モデルによる洪水流出計算

東京都土木技術支援・人材育成センター 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

短期間の河川改修が困難である都市中小河川においては浸水被害の軽減に向けて実時間洪水予測は有効な手法だと考えられる。著者らは都市中小河川の実時間洪水予測に適した集中型概念モデルである USF モデル (Urban Storage Function model) を提案し、実流域においてその適用性を検証している¹⁾。本研究では、実時間予測手法であるカルマンフィルター²⁾を用いた USF モデルにより集中豪雨時の都市中小河川の洪水流出計算を行い、本手法の予測特性を検討する。

2. USF モデルへのカルマンフィルターの実装

式(1)~(4)で表される USF モデルによる河川流出量 Q の計算は次のように行う。式(5), (6)の変数変換によって式(1)~(3)から得られる連立常微分方程式を数値的に解くことで Q と q_R の合計値を算定し、式(4)より q_R を求め Q を得る。

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

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

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

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

$$x_1 = (Q + q_R)^{p_2} \quad (5)$$

$$x_2 = (d/dt)(Q + q_R)^{p_2} \quad (6)$$

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。

USF モデルにおける同定すべき未知パラメータは $k_1, k_2, k_3, p_1, p_2, z, \alpha$ の 7 個であるが、河川流出量が大きくなった場合、 z, α の 2 つのパラメータは河川流出量の計算に寄与しない。そこで、ここではカルマンフィルターにおいて推定すべき状態量は x_1, x_2 および k_1, k_2, k_3, p_1, p_2 とする。また、カルマンフィルターの計算は Q と q_R の合計値を求めるものとし、参照する観測値についても Q_o, α, q_{Rmax} および観測流出量から算定した河川流出量と q_R の合計値とする。

3. 計算条件

対象とした流域は、図 1 に示す荒川水系神田川の upstream に位置する久我山橋 (流域面積 3.4km²) と向陽橋 (流域面積 7.7km²) である。降雨は 2007 年 7 月 29 日の集中豪雨であり、この時の久我山橋流域の 60 分間最大雨量は 2007 年~2009 年において最大である。雨量および河川水位は東京都水防災総合情報システムの 1 分値データを用い、観測流出量は流量観測による水位流量曲線を用いて水位データから算出した。初期パラメータは 2003 年~2006 年の 8 洪水データから同定した表 1 の値を用いた¹⁾。2 地点の最大雨水排水量



図 1 対象流域

表 1 初期パラメータ

	k_1	k_2	k_3	p_1	p_2	Z	α
久我山橋	42.3	393	0.0073	0.435	0.322	4.1	0.429
向陽橋	45.7	666	0.0058	0.340	0.309	4.8	0.441

q_{Rmax} は $0.033\text{mm}/\text{min}$ とし、降水量以外の流入成分 I は久我山橋 $0.0008/\text{min}$ 、向陽橋 $0.0012\text{mm}/\text{min}$ とし、取水水量 O と蒸発散量 E は 2 地点共に $0\text{mm}/\text{min}$ とした。河川流出量の計算は、降雨開始時から 1 分毎に観測流出量を参照し、 k_1, k_2, k_3, p_1, p_2 の値を更新しながら各時刻において 5 分後までの予測計算を行った。なお、カルマンフィルターの計算では全ての時刻において観測雑音の共分散行列を $0.01^2(\text{mm}/\text{h})^2$ とした。

4. 計算結果

図 2 にカルマンフィルターを用いた 1 分後・5 分後の予測計算および初期パラメータによる計算結果を示す。図の流出量は河川流出量を示している。カルマンフィルターを用いた 1 分後予測のヒドログラフをみると 2 地点共に計算期間を通して観測流出量に極めて近い計算値となっており、初期パラメータによる計算より大幅に再現性が向上している。5 分後予測のヒドログラフは 1 分後予測のものとは異なったものとなり観測流出量との違いが大きくなる。しかし、a)久我山橋の 13 時 30 分から 14 時 30 分の河川流出量や b)向陽橋の 14 時 30 分から 15 時 30 分の河川流出量についてみると初期パラメータによる計算と比べて再現性が大幅に改善している。

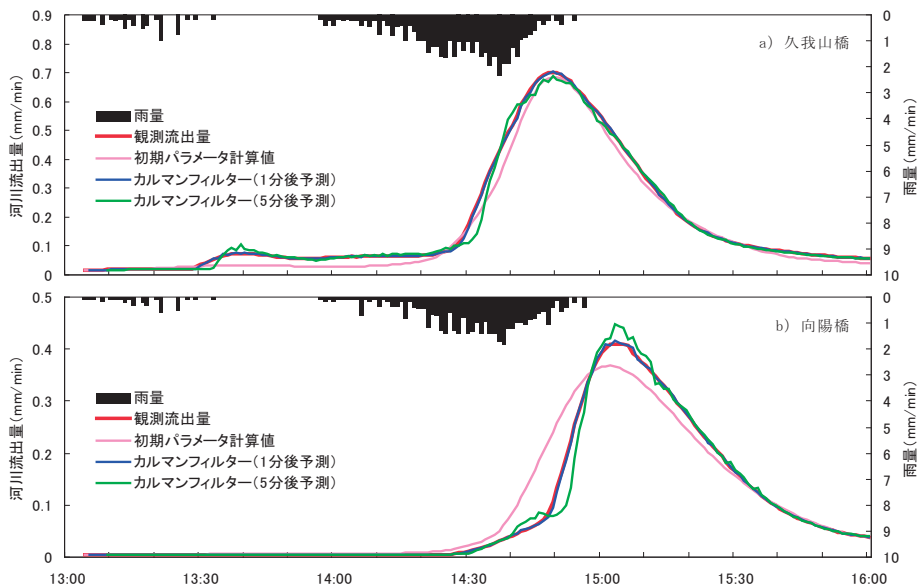


図 2 2 地点の予測流出量

5. まとめ

カルマンフィルターを用いた USF モデルにより神田川上流域における 2007 年 7 月 29 日の集中豪雨時の洪水流出計算を行った。計算の結果、オフライン同定で得られたパラメータによる河川流出量に対してカルマンフィルターを用いることにより短時間の予測について精度改善が期待できることを確認した。

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) 河村明: 貯留関数法を用いたカルマンフィルターによる洪水流出の実時間予測, 水理公式集例題プログラム集 CD-ROM 版, 土木学会, pp.1.12.1-1.12.26, 2001.

キーワード: USF モデル, カルマンフィルター