

同期加減算処理によるダム貯水池流入量の推定

石川工業高等専門学校 正員 ○鈴木 洋之 豊橋技術科学大学 野口 健太郎
北海道大学大学院 正員 長谷川 和義 北海道開発土木研究所 正員 石田 享平

1. はじめに

ダム流入量は静水位から換算された貯留量の時間変化量を基に推定されるため、流入量の推定精度は静水位の推定精度に大きく依存する。しかし、水面振動に起因するノイズが計測水位に含まれることから、静水位を精度よく推定するのは難しい。鈴木ら¹⁾はこれらノイズを除去するディジタルフィルタの開発によって流入量推定精度の向上を行ってきた。しかし、ノイズとなる水面振動の周期が未知の場合、この手法の適用は困難となる。また、野口ら²⁾は信号処理の分野で同期加減算処理 (Synchronous Addition/Subtraction Processing=以下SAS法と略す) を用いた時系列からのトレンド推定法を検討している。このトレンドは静水位の時系列に相当する情報である。本稿ではSAS法を流入量の推定問題へ適用することを試みる。

2. SAS法による静水位推定²⁾

短い時間における計測水位の離散信号は次式で表現できると考えられる。

$$h(n) = DC + \sum_{i=1}^r A_i \cos(\omega_i n), \quad \omega_i = \frac{2\pi}{T_i} \Delta t \quad (1)$$

ここで、 DC =直流成分、 A_i =振幅、 ω_i =角周波数、 T_i =周期、 Δt =データ時間間隔、 $n=0,1,2,\dots$ である。ただし、 $i=1$ および $i \neq 1$ の周期成分はそれぞれこの時間内の静水位変動と水面振動を表す。一般に流量変動に伴う静水位変動の周期はノイズとなる水面振動の周期と比べて非常に大きい。また、 $\omega_1 \approx 0$ と考えられることから、 $A_1 \cos(\omega_1 n) \approx A_1$ となるので次式を得る。

$$h(n) = DC + A_1 + \sum_{i=2}^r A_i \cos(\omega_i n) = Tr + \sum_{i=2}^r A_i \cos(\omega_i n) \quad (2)$$

すなわち、推定時間内での静水位変動は式(2)の $Tr (=DC+A_1)$ で表される。式(2)の計測水位信号に変調角周波数 ω_c で周波数シフト処理を施すと次式を得る。

$$\begin{aligned} x(n) &= h(n) \cos(\omega_c n) \\ &= Tr \cdot \cos(\omega_c n) + \\ &\quad \sum_{i=2}^r \frac{A_i}{2} \{ \cos(\omega_i + \omega_c)n + \cos(\omega_i - \omega_c)n \} \quad (3) \\ &\quad \text{where } \omega_c = \frac{2\pi}{T_c} \Delta t \end{aligned}$$

ただし、 $x(n)$ =変調された計測水位の信号、 T_c =変調角周波数 ω_c を与える周期である。周波数シフト処理によってトレンド Tr はこれを振幅とした周期 T_c の $\cos$ 波

に変換される。さらに式(3)から Tr を推定するにあたって、次式の加減算処理を行う。

$$Y = \sum_{n=0}^{M-1} \{ x(4n) - x(4n+2) \} \quad (4)$$

ただし、 Y =累積値、 M =累積回数である。ここで、 T_c を $4\Delta t$ とすれば、式(4)のサンプリング時間間隔(= $4\Delta t$)と T_c が同期(一致)することから、 Y は式(3)で振幅 Tr を有する $\cos$ 成分の極値を交互に加減算して得られる累積値となる。また、 $\cos(\omega_c n)$ は $T_c=4\Delta t$ であるため、 $+1$ と -1 を交互に取ることから、 Y は次式で表される。

$$Y = 2 \cdot M \cdot Tr \quad (5)$$

以後、 M 回の累積計算に必要なデータ時間長を処理時間と呼ぶ。式(5)は静水位 Tr が累積値 Y を累積回数 M の2倍で除すことで推定できることを示している。本来のSAS法による推定では、推定信号の周期とサンプリング間隔を同期させる必要があるため、SAS法をそのまま適用することで長周期として扱われるトレンド成分をリアルタイムに推定することはできない。しかし、式(3)に示したように周波数シフト処理を導入してダム操作が要求するリアルタイム推定を実現したことが本手法の大きな特徴である。

3. 流入量計算

ダム流入量はSAS法で得られた推定静水位を用いて次式に示す連続式で計算される。

$$\begin{aligned} Q_{in}(t) &= \frac{dV}{dt} + Q_{out}(t) \\ &= \frac{V(t) - V(t-1)}{\Delta t} + Q_{out}(t) \quad (6) \end{aligned}$$

ただし、 $Q_{in}(t)$ =推定流入量、 V =貯留量、 Q_{out} =放流量、 t =時刻である。

4. SAS法の実貯水池への適用

本研究ではSAS法を1800秒の処理時間で適用した。また、SAS法で推定された静水位に生じる推定誤差²⁾を原因として推定流入量に不連続が現れた。このため、SAS法の推定結果に対して180秒の移動平均で推定誤差を除去した結果を推定静水位にすることとした。解析の対象とした洪水は定山溪ダムで記録された降雨出水(98.9.16 12:00-98.9.17 9:00:CASE1)と融

キーワード：ダム流入量、静水位推定、同期加減算処理

連絡先：〒929-0392 石川県河北郡津幡町北中条, Tel 076-288-8172, Fax 076-288-8171

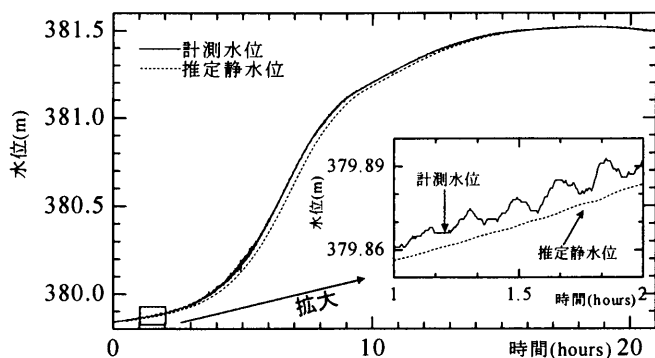


図-1 推定静水位 (98.9.16 12:00-98.9.17 9:00:CASE1)

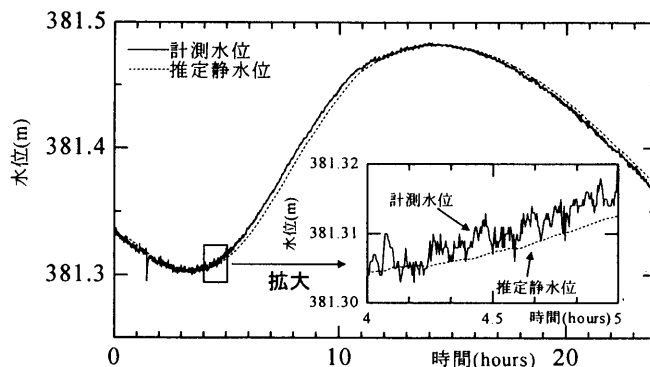


図-2 推定静水位 (96.5.29 9:00-96.5.30 9:00:CASE2)

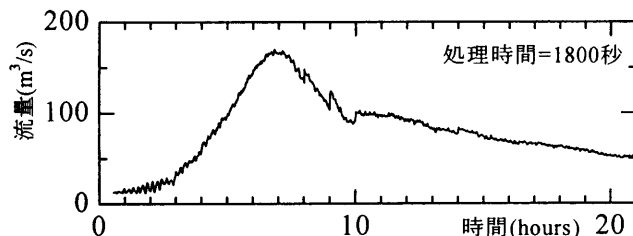


図-3 SAS法による推定流入量 (CASE1)

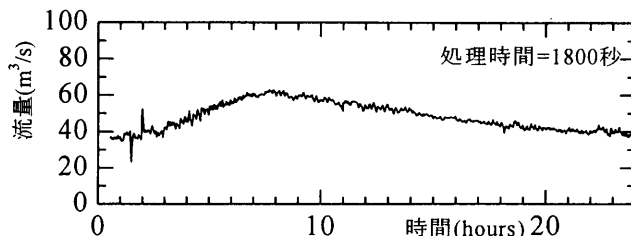


図-4 SAS法による推定流入量 (CASE2)

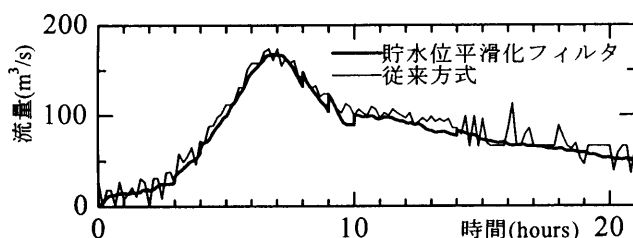


図-5 貯水位平滑化フィルタと従来方式による推定流入量 (CASE1)

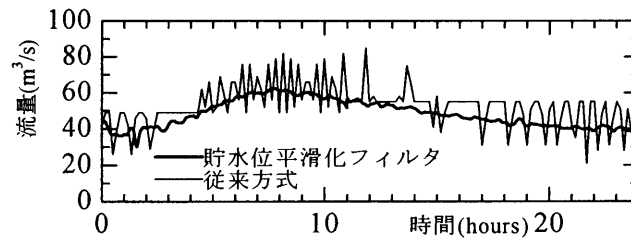


図-6 貯水位平滑化フィルタと従来方式による推定流入量 (CASE2)

雪出水 (96.5.29 9:00-96.5.30 9:00:CASE2) である。

図-1・図-2にそれぞれCASE1・CASE2の計測水位とSAS法による推定静水位を示す。ただし、図-1・図-2中にある図は各時系列の一部を拡大したものである。図-1・図-2から処理による遅れ時間が生じるものの、振動の見られないトレンドが推定されていることを確認できる。SAS法は処理時間内でトレンド T_r の平均値を求めるため、処理時間の半分の遅れ時間が出力に生じる。すなわち、本解析で得た推定静水位にはSAS法による900秒と180秒移動平均による90秒の遅れ時間が生じている。これらの推定静水位から式(6)で算定した流入量を図-3・図-4に示す。水位変動の形が全く異なる両ケースの流入量をSAS法により同等の精度で推定できることが図-3・図-4で確認できる。また、図-5・図-6は貯水位平滑化フィルタ¹⁾と従来方式²⁾で推定した各ケースの流入量である。従来方式と比べた場合、SAS法では両ケース共に振動の抑えられた推定流入量が得られている。従来法は水位をcm単位で扱うため、水位変化の小さい融雪出水の推定が難しいことから、特にCASE2では大きな改善が見られる。また、貯水位平滑化フィルタと比較した場合、SAS法では両ケース共に推定流

入量の振動幅がやや大きい。貯水池に生じるセイシュは周期が長くなると式(1)に与えた静水位の条件に近い変動となるため、セイシュの一部が静水位として推定されることで流入量の振動が生じている。

5. おわりに

本研究では水位の変動が全く異なる融雪出水と降雨出水に対してSAS法による流入量推定を試みた。SAS法では水位変動の形に影響を受けない安定した推定精度で流入量の推定が可能であることを確認できたと考えている。今後、長周期セイシュの推定静水位への影響を明確にすることが必要である。

本研究は文部省科学研究費補助金（課題番号14750434）の援助を受けて行われたものの一部である。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 鈴木洋之, 長谷川和義, 藤田睦博, 石田享平, 岩崎政司: デジタルフィルタを用いたダム貯水池への流入量推定手法の開発, 土木学会論文集, No. 628/II-55, pp. 1-19, 2001.
- 2) 野口健太郎, 鈴木洋之, 田所嘉昭: 周波数シフトと同期加減算処理を用いたトレンド成分の推定, 電子情報通信学会論文誌A, Vol. J86-A, no. 3, pp. 317-319, 2003.
- 3) 石田享平: ダム貯水池への流入量推定の精度向上に関する研究, 北海道大学博士論文, 2000.