

同期加減算処理を応用したダム貯水池流入量推定の検討

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

ダム貯水池への流入量は静水位を貯留量に変換し、その時間変化量から推定されるため、静水位の計測精度が流入量の推定精度に大きく反映する。しかし、計測貯水位には種々の誤差が含まれるため、流入量の推定精度が問題化することがある。鈴木ら¹⁾はディジタルフィルタを用いた水位平滑化法によって流入量推定精度の向上を試みてきた。しかし、この方法はセリシュ周期が未知の場合は適用できない問題がある。これに対して、野口ら²⁾は信号処理理論の分野で時系列からトレンド成分を直接推定する方法をシミュレーションによって検討している。ここで推定されているトレンドは鈴木ら¹⁾が求めている静水位の変動に相当する情報である。本研究は野口ら²⁾の方法を流入量の推定問題へ応用して適用性と問題点を明らかにすることを目的とする。

2. 同期加減算処理による静水位推定法の原理²⁾

ある程度短い時間であれば、計測水位は次式で表現できると仮定する。

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

ここで、 DC =直流成分、 A_i =振幅、 ω_i =角周波数、 T_i =周期、 Δt =データ時間間隔である。ただし、 $i=1$ の周期成分はこの時間内のトレンド成分を表す非常に長い周期を表し、 $i \neq 1$ の周期はノイズとなる水面変動に起因すると考える。一般に流量の変動周期は水面変動の周期と比べて非常に大きいと考えられるので $A_1 \cos(\omega_1 n) = A_1$ を仮定すると式(1)は次式となる。

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

式(2)における $DC + A_1$ が推定に要する時間でのトレンド（静水位）となる。式(2)の入力信号（計測水位）に対して変調周波数 ω_c で周波数シフトを行う。

$$\begin{aligned} x(n) &= h(n) \cos(\omega_c n) \\ &= (DC + A_1) \cos(\omega_c n) + \\ &\quad \sum_{i=2}^r \frac{A_i}{2} \{ \cos(\omega_i + \omega_c)n + \cos(\omega_i - \omega_c)n \} \quad (3) \\ \text{where } \omega_c &= \frac{2\pi}{T_c} \Delta t \end{aligned}$$

ただし、 $x(n)$ は変調された水位データを表す。式(3)から周期 T_c の信号成分の振幅が推定できれば静水位

を知ることができる。この変調信号に対して同期加減算処理によって静水位推定を行う。はじめに次式に示すサンプリングを行う。

$$Y = x(4n) - x(4n+2) \quad (4)$$

この時、 $T_c = 4\Delta t$ とすれば、式(4)のサンプリング時間間隔(= $4\Delta t$)と T_c が一致（同期）する。この同期した状態で Y の累積を計算すると式(3)のトレンド成分を振幅とする $\cos(\omega_c n)$ の周期成分の極値が交互に加減算される。また、 $\cos(\omega_c n)$ は $T_c = 4\Delta t$ であるため $+1, -1$ を交互にとることを考慮すると累積値 Y は次式に示すようになる。

$$\sum_{n=0}^{M-1} Y = \sum_{n=0}^{M-1} \{ x(4n) - x(4n+2) \} = 2M(DC + A_1) \quad (5)$$

ただし、 M は累積回数であり、 M 回の累積を計算するのに必要なデータ時間長を処理時間と称することにする。式(5)から求めるべきトレンド成分（静水位）は Y を $2M$ で除すことで求められる。本研究で採用した同期加減算処理は本来推定しようとする周期の信号とサンプリング間隔が一致（同期）する必要があるため、長い周期で表現されるトレンドの推定には非常に長い処理時間を必要とする。しかし、式(3)で示したように周波数シフトの処理を施すことで推定に必要とする時間の短縮を図ったことが大きな特徴であり、現時刻流入量の推定が求められるダム操作の要求に応じられる手法となっている。

3. 流入量計算法

ダム流入量は前節で示した方法で得られた推定静水位を用いて次式に示す連続式を用いて推定する。

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

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. 実貯水池での流入量推定への適用

本研究では同期加減算処理を行う処理時間を1200秒、1800秒の2ケースで行った。同期加減算処理によるトレンドの推定では推定誤差が生じることが示されており²⁾、この静水位推定誤差が推定流量の不

連続を引き起こすことから、同期加減算処理を行った後、180秒の単純移動平均を施して更に平滑化した結果を平滑水位にすることとした。

図-1に洪水時に定山溪ダムで計測された計測水位および処理時間1200秒(CASE1)と1800秒(CASE2)の同期加減算処理によって計測水位を平滑化した結果を示す。図-1の中にある図は図-1の1時間から2時間の間を拡大したものであり、計測水位が平滑化されているのが分かる。同期加減算処理では処理時間における平均の振幅(式(2)の $DC+A_1$)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、図-1に示した平滑水位には同期加減算処理によってCASE1で600秒、CASE2で900秒の遅れ時間が生じ、さらに両ケースともに180秒の移動平均処理により90秒の遅れ時間が生じている。

図-2は図-1に示した平滑水位から式(6)を用いて推定した流入量と鈴木ら¹⁾が提案した貯水位平滑化フィルタを用いて推定した流量の比較を行ったものである。ただし、貯水位平滑化フィルタによる推定流量には900秒の遅れ時間が生じており、同期加減算処理で求めた流量(CASE2)とほぼ同じ遅れ時間となっている。図-2において同期加減算処理および貯水位平滑化フィルタで求めた推定流量を比較すると、CASE1・CASE2ともに同様の洪水波形が得られている。しかし同期加減算処理で求められた推定流量は貯水位平滑化フィルタで求められた推定流量と比較してやや大きく振動しているのが分かる。

図-3は図-2に示した同期加減算処理で求めた推定流量2ケースと貯水位平滑化フィルタで求めた推定流量を1時間から2時間の間で取り出して拡大したものである。推定流量の振動は約10分周期であり、その変動幅が約10(m^3/s)となっているのが図-3で確認できる。定山溪ダム貯水池では周期10分のセイシュが第1モードとして存在することが確認されており¹⁾、この流量の振動はセイシュによる水面振動が反映したものと解釈できる。すなわち、本手法は式(2)において $\cos(\omega_1 n) \div 1$ を満たす成分を静水位とする簡単な仮定の下でトレンドを求めるために周期10分のセイシュによる信号がこの条件に近くなりトレンドとして推定された結果と考えられる。また、処理時間が長くなると流量の振動幅は小さくなるが、これは式(5)の M が大きくなることで長時間の移動平均を施すのと同様の効果が得られるためである。

このような同期加減算処理の性質から現時点では、貯水池規模が小さくセイシュ最長周期がそれほど長くない貯水池であれば本手法が適用できる可能性があると言えよう。

5. おわりに

本研究では流入量推定問題に同期加減算処理の適用を試みた。今後、同期加減算処理においてどの程度の周期をもつ振動成分がトレンドと見なされるかを明確にすること、および処理時間の違いが推定結果に与える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。

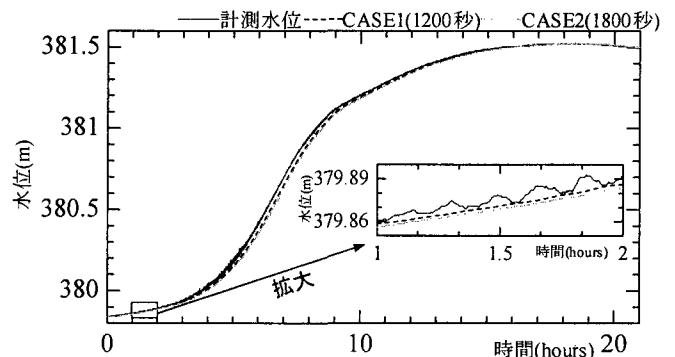


図-1 推定静水位 (98.9.16 12:00-98.9.17 9:00)

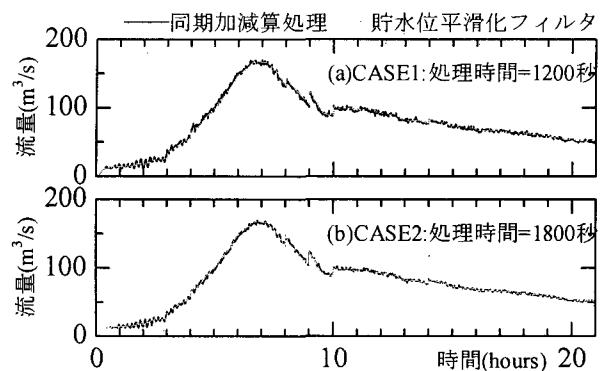


図-2 推定流入量 (98.9.16 12:00-98.9.17 9:00)

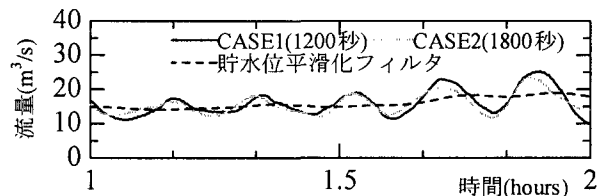


図-3 推定流入量 (1hour-2hoursで拡大)

参考文献

- 1) 鈴木洋之, 長谷川和義, 藤田陸博, 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検出の検討, 電子情報通信学会総合大会, A-4-65, 2002. 3