

ディジタルフィルタと貯留型流出モデルで推定されたダム流入量の比較

石川工業高等専門学校 正会員 鈴木洋之

石川工業高等専門学校 学生員○河田悦子

1. はじめに

ダム貯水池への流入量の推定はダム管理上の重要な技術である。流入量は静水位の情報から推定されるため、計測される水位データ中のノイズを原因とした流入量の推定精度の劣化がダム管理上の支障となる。鈴木ら¹⁾はこの問題の解決策にディジタルフィルタを用いた流入量推定法を提案しているものの、本手法には洪水が実際より遅く推定される「遅れ時間」が生じるなどの問題も残っている。また、フィルタ理論を用いて水位情報のみから流入量を推定する手法では更なる精度の向上は難しいと考えられ、精度向上のためには入力情報を増やすことが必要である。ここでダム流入量を規定する現象が降雨—流出過程であることを考えれば、降雨量は流入量推定の有効な入力情報になりうる。本報告は流出モデルによる計算流量とディジタルフィルタによる推定流量の比較から水位情報と降雨情報を併用した流入量推定法の構築の可能性を示すことを目的とする。

2. ディジタルフィルタによる流量推定法

鈴木ら¹⁾はディジタルフィルタを用いてダム貯水池の計測水位時系列から風波・セイシュ等の水面振動に起因するノイズを除去した静水位を推定した後、この静水位から流入量を算定する手法を提案している。本手法では流入量推定に特に問題となる振幅が大きくかつ周期が長い第1から第3モードまでのセイシュを任意の周期成分を濾波する特性を持つノッチフィルタ（以下NF）で除去した後、第3モードセイシュ周期より短い周期成分を短周期成分を濾波する特性を持つローパスフィルタ（以下LPF）で除去している。このように3種類のNFと1種類のLPFを直列に接続したフィルタ全体を貯水位平滑化フィルタと呼んでいる。各フィルタはリアルタイム処理に有利となるように再帰型フィルタとなっている。また、貯水池に生じるセイシュ周期とフィルタ位相特性に由来する「遅れ時間」の許容量を定めれば容易にこれらフィルタの計算が可能である。

3. 2段タンクモデルによる流出解析

本稿では流出モデルとして佐藤・嵯峨ら²⁾に提案された2段タンクモデル（図-1）を採用した。このモ

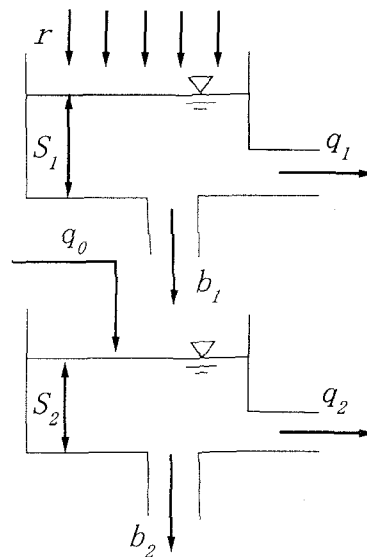


図-1 タンクモデル

デルの基礎式は式(1)から式(8)で与えられる。

$$\frac{dS_1}{dt} = r - q_1 - b_1 \quad (1)$$

$$S_1 = k_{11}q_1^{p_1} + k_{12} \frac{d}{dt}(q_1^{p_2}) \quad (2)$$

$$b_1 = \alpha_1 q_1 \quad (3)$$

$$\frac{dS_2}{dt} = b_1 - q_2 - b_2 + q_0 \quad (4)$$

$$S_2 = k_2 q_2 \quad (5)$$

$$b_2 = \alpha_2 q_2 \quad (6)$$

$$q = q_1 + q_2 \quad (7)$$

$$q_0 = Q_B \exp(-\lambda t) \quad (8)$$

ただし、 $S_1 \cdot S_2$ =貯留高、 r =降雨量、 $q_1 \cdot q_2$ =流出高、 $b_1 \cdot b_2$ =浸透量、 $k_{11} \cdot k_{12} \cdot k_2 \cdot c_1 \cdot c_2$ =モデルパラメータ、 Q_B =初期流量である。本モデルでは表面流出を表す上段タンクが非線形2価の星モデル³⁾、下段タンクが線形タンクとなっている。

本モデルの数値解法には変数変換した基礎式にTaylor展開による局所線形化を施して得た一階線形ベクトル微分方程式を差分化する方法⁴⁾を用いた。モデルパラメータ $p_1 \cdot p_2$ は星ら⁴⁾の解析結果に従って、それぞれ0.6と0.4648とした。また、モデルが若干異なるものの佐々木ら⁵⁾が $\lambda=0.019$ とした解析で良好な結果を得ていることから、 λ は0.019で固定した。さらにパラメータ $k_{11} \cdot k_{12} \cdot k_2 \cdot c_1 \cdot c_2$ は星⁶⁾に提案された感度係数を用いたニュートン法による繰り返し計算で同定した。ただし、ニュートン法では観測流量と

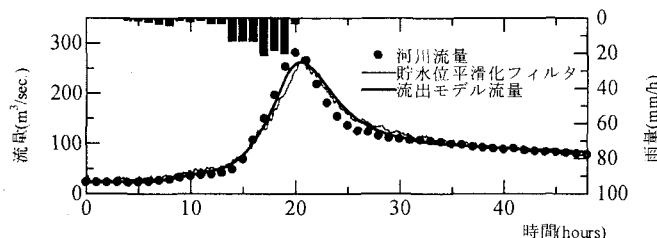


図-2 流出モデルと貯水位平滑化フィルタによるダム流入量の比較(Case1)

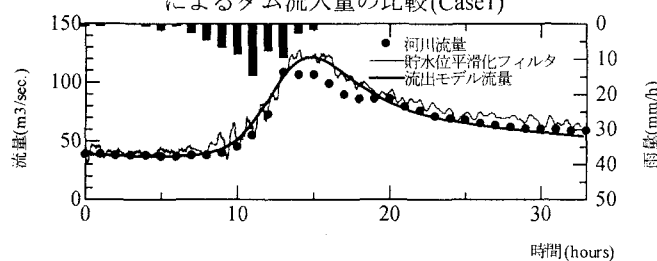


図-3 流出モデルと貯水位平滑化フィルタによるダム流入量の比較(Case2)

計算流量の差の二乗和が最小となる評価関数を与えた。

4. 計算結果と考察

本研究は金山ダム流域を対象に行う。ニュートン法に用いる観測流量にはダム直上流で計測された河川流量を用いた。対象とした洪水は金山ダムで98年9月16日0:00～98年9月17日24:00(Case1)と98年9月22日15:00～98年9月23日24:00(Case2)に記録されたものである。各ケースの洪水に対して流出モデルで計算された流入量と20分の遅れ時間を設定した貯水位平滑化フィルタによる推定流入量およびダム直上流で計測された河川流量を比較した結果が図-2・図-3である。ただし、貯水位平滑化フィルタによる流量は設定した遅れ時間分の時間を早めてプロットされている。これらの図で特にピーク時刻とピーク流量に注目すると、流出モデルによる計算流量が観測流量である河川流量よりも貯水位平滑化フィルタによる推定流量に近い形になることは注目すべき点である。貯水位平滑化フィルタによる推定流量には計測水位に含まれるノイズに起因した誤差が生じるものの、 $H-Q$ 曲線には無い真値の保障性があるため、その洪水波形は河川流量よりも真値に近いと考えられる。流出モデルによる計算流量が貯水位平滑化フィルタによる推定流量に近い形になることはこの真値の保障性を反映した結果であろう。このため特にピーク流量とピーク時刻をフィルタは精度良く捉えていると考えられる。またパラメータ同定の際に、誤差を含むと予想される $H-Q$ 曲線による河川流量を観測流量として5個のパラメータを同定する厳

表-1 パラメータの同定結果

パラメータ	k_{11}	k_{12}	k_2	c_1	c_2
Case1	61.03	181.89	201.06	10.07	1.90
Case2	58.93	139.90	179.99	15.01	3.98

しい計算条件下でこのような結果が得られたことは流出モデルが準最適解に陥ることの少ない安定したシステムを有する結果とも解釈できる。

一般に流入量を規定する現象である降雨-流出過程では降雨が流量に反映するまでに時間遅れがあるため、降雨量は流入量推定の事前情報になり得る。すなわち、従来からの水位情報の他に降雨情報を流入量推定に用いれば、更なる推定精度の向上が期待される。降雨量を流量推定に用いるには降雨-流量の変換系の確定が必要であり、本タンクモデルはこのような流量推定法への応用に耐えうる精度を持つ降雨-流量変換系であると考えている。表-1に各ケースの洪水に対して同定されたパラメータの値を示す。 k_{11} の値は両ケースともに同程度であるが、それ以外のパラメータにはばらつきがある。この原因には大きなダム流域を単流域としたこと、降雨の時間変動特性が異なることなどが挙げられる。出水毎にパラメータが変化することは実際の流入量推定法の構築では各パラメータを時変量として扱う必要性を示している。

5. おわりに

現在はカルマンフィルタを応用して、降雨情報と水位情報を併用できるダム流入量推定法の構築を進めており、これも含めて発表したいと考えている。

6. 謝辞

本研究は科学研究費補助金(課題番号14750434)の援助を受けたものの一部である。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 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. 677/ II -55, pp1-20, 2001.
- 佐藤力信, 嵯峨浩, 馬場仁志, 星清: 損失機構を含む貯留関数法を応用したタンクモデルの提案, 土木学会北海道支部論文報告集, 第55号(B), pp32-35, 1998.
- 星清, 山岡勲: 雨水流法と貯留関数法との相互関係, 第26回水理公演会論文集, 第43巻, pp. 273-278, 1982.
- 星清: やさしい微分方程式の数値解放, 土木試験所月報, No. 395, pp. 29-38, 1986.
- 佐々木靖博, 星清, 井出康郎, 松木賢治: 北海道における損失項を含む総合化貯留関数法, 土木学会北海道支部論文集, 第56号(B), pp. 210-215, 2000.
- 星清: やさしい数学的最適化手法, 土木試験所月報, No. 398, pp. 26-35, 1986.