

ダム流域への分布型実時間流入量予測モデルの適用

(株) ニュージェック 正員 藤田 暁 関西電力(株) 上坂 薫
京都大学工学研究科 正員 椎葉充晴 京都大学防災研究所 正員 立川康人
京都大学防災研究所 正員 市川 温

1. はじめに 出水時に、ダム上下流で被害を発生させることなく洪水吐ゲートを適切・確実に操作するためには、数時間先までの流入量を精度よく予測することが要求される。一方、気象レーダーをはじめとする気象観測施設や通信施設等が整備されるにつれ、ダムでは、流域内の時空間的にきめこまかな降雨情報をリアルタイムで受信できるようになってきており、短時間先の雨量を予測する技術も向上しつつある。本稿では、そのような降雨に関する高度な情報を有効に活用でき、また、あわせて地形の空間分布特性も考慮できるよう、分布型の降雨流出モデル¹⁾をベースにした実時間ダム流入量予測モデルを構築し、その適用性を検討した。

2. 手法の概要 河道の流れの計算を、椎葉²⁾による河道網集中型 kinematic wave モデルで行う。さらに、カルマンフィルターの理論を適用し、流量の観測値により河道の流れの状態を推定しながら、計算を進めることとする。河道への横流入量は、山腹斜面における降雨の流出を別途計算して求めるが、この山腹斜面の計算ではカルマンフィルターによる状態の推定を行わず、決定論的に計算を行う。雨量の情報は、観測値の他に、数時間先までの予測雨量の情報も随時得られるものとし、それを用いて、数時間先までの斜面からの流出量、および河川の流量を計算する。

3. 河道網集中型 kinematic wave モデル²⁾ 河道網集中型 kinematic wave モデルでは、対象流域の河道網を部分流域ごとに区切り、以下の二つの仮定に基づいて各部分流域内の河道の流れをモデル化する。

① 河道では、流量と通水断面積の間に指数法則が成り立つとする。河道区分 i の、上流から x の距離の地点における時刻 t の通水断面積 $A_i(x, t)$ と

流量 $Q_i(x, t)$ の間には、

$$A_i(x, t) = K_i Q_i(x, t)^{P_i} \quad (1)$$

なる関係があるとする。ただし、ここで河道区分とは、部分流域内の河道網を合流点等において区分したものであり、 K_i 、 P_i は、河道区分 i に固有の定数とする。

② 部分流域内の河道網における流量の値は、河道に沿う距離とともに直線的に変化するものとする。この流量の空間的な変化率は、部分流域内で一律であるとし、これを $q_0(t)$ と書くことにすると、 $Q_i(x, t)$ は次のように書ける。

$$Q_i(x, t) = Q_i(0, t) + q_0(t)x \quad (2)$$

上の②の仮定を置くと、部分流域内の河道網の各地点における流量はすべて、その部分流域の流入口の流量と流量変化率 $q_0(t)$ とを用いて表わすことができる。さらに①の仮定から、各地点の通水断面積も流入口流量と $q_0(t)$ により表すことができ、その通水断面積を河道に沿って積分すると、部分流域内の河道網の総水量（河道内貯留量 $S(t)$ ）を表すことができる。一方、河道内貯留量 $S(t)$ の増減は、部分流域の流入口、流出口の流量の収支によるので、その関係を連続式として書き表す。流入口の流量が既知であれば、連続式を満たすような $q_0(t)$ を計算することができ、 $q_0(t)$ から部分流域の流出口の流量も求まるので、最上流の部分流域から順に計算することにより、流域全域の時々刻々の流量を求められる。

4. カルマンフィルターの導入 上記の計算では、各部分流域での連続式を、部分流域流入口の流量と流量変化率 $q_0(t)$ に関する式として書き表わすこととしている。しかし、部分流域流入口の流量は、それよりも上流に位置する部分流域の $q_0(t)$ を用いて表わすことができるので、各部分流域の連続式はすべて、 $q_{0,1}(t), \dots, q_{0,N}(t)$ (N は部分流域の数) に関する式と

キーワード： 実時間流出予測、分布型流出モデル、カルマンフィルター

連絡先： (株) ニュージェック 〒542-0082 大阪市中央区島之内1-20-19 TEL 06-6245-4901 FAX 06-6245-4710

して書き表わせることとなる。

カルマンフィルターの理論を導入するにあたっては、 $q_0(t) = [q_{0,1}(t), \dots, q_{0,N}(t)]^T$ を状態ベクトルとして扱い、また、上記の各部分流域の連続式にシステムノイズ項を付加して状態方程式とする。

システムノイズは各部分流域ごとに付加するものとするが、互いに空間的な相関を持ち（部分流域間の距離が近いほど相関が高い）、時間的にも指数関数的な相関を持つ有色ノイズ³⁾を用いるものとする。

状態方程式の時間微分を離散化し、Taylor 展開の2次以上の項を無視して線形化する。その式を用いての状態の予測更新、および観測に伴う観測更新は、カルマンフィルターの理論に基づく計算手法の一つである Reduced Rank Square Root (RRSQRT) フィルター³⁾を用いる。これは、状態ベクトルの推定誤差共分散行列をランクの低い行列で近似することにより、計算量を大幅に軽減する手法である。

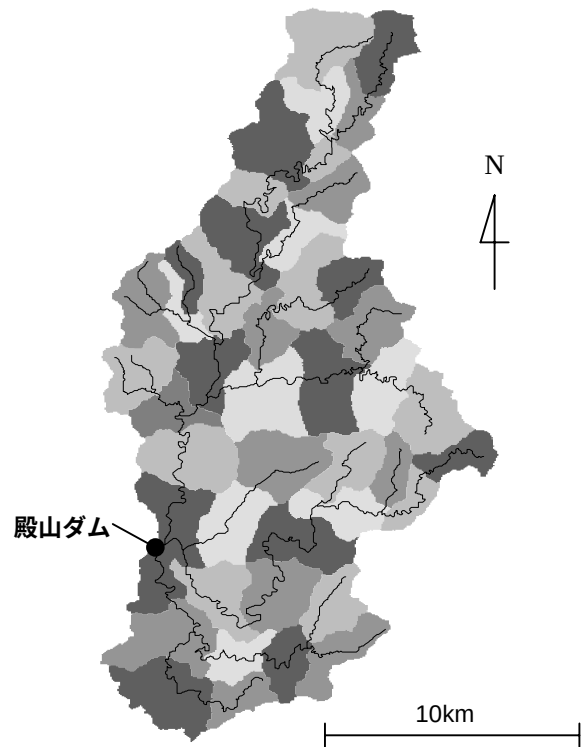


図-1 対象流域の部分流域への分割

5. ダム流域への適用 紀伊半島日置川水系の関西電力殿山ダム流域（294km²）を対象とした。図-1のように、対象流域を44の部分流域に分割し、予測シミュレーションを行なった。河道の流れの状態を観測更新する際に用いる観測値としてダムの流入量を利用し、雨量は、ティーセン法により流域内の5ヶ所の雨量計の雨量から各部分流域毎の雨量を求めて与えた。予測流量を計算する際には雨量の予測値が必要となるが、シミュレーションでは、観測された実績雨量を予測雨量として用いるものとする。

なお、雨量から河道横流入量を算出するため、まず、飽和雨量と一次流出率の概念により有効降雨を求め、さらに市川ら⁴⁾の集中化された表面流・中間流統合型 kinematic wave モデルを用いて山腹斜面の流れを計算している。

計算結果例を図-2に示す。図より、本稿に示した流入量予測手法が有効であることがうかがわれる。

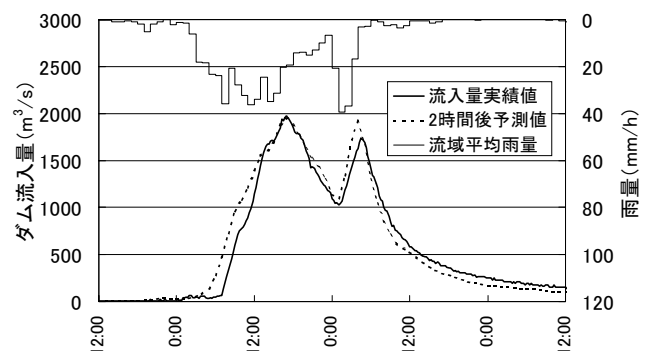


図-2 計算結果（ダム流入量）

6. 終わりに 以上、分布型の流出モデルをベースに、カルマンフィルターを用いた実時間流出予測モデルを構築し、ダム流域への適用を試みた。今後、より多くの降雨事例について計算を行い、また、他の流域への展開も図り、モデルの適用性の検討をさらに進めたい。

参考文献

- 1) 藤田・角田・椎葉・立川・市川：ダム流域への分布型流出モデルの適用，土木学会第54回年次学術講演会，第2部，1999.
- 2) 椎葉・立川・市川：流域地形の新たな表現形式とその流出モデリングシステムとの統合，京都大学水文研究グループ研究資料 No.1, 1998.
- 3) 椎葉・立川・ローレンソン：河道網系水理モデルを用いた水位流量の実時間予測，土木学会第54回年次学術講演会，第2部，1999.
- 4) 市川・小椋・立川・椎葉・宝：数値地形情報と定常状態の仮定を用いた山腹斜面系流出モデルの集中化，水工学論文集第44巻，2000.