

都市域の洪水流出モデルに関する研究

京都大学工学部	正 員	高棟琢馬	京都大学工学部	正 員	椎葉充晴
岐阜大学工学部	正 員	宝 馨	河川情報センター	正 員	上林好之
大 阪 府	正 員	○丸川幸治	清 水 建 設	正 員	青山晋一

1. はじめに

本研究の目的は、都市域における実時間洪水流出予測システムを構築することである。

庄内川の支川の矢田川流域(110km²)において、複数の水位観測所の情報を利用すべく流域を分割し、斜面モデルに貯留関数法、河道モデルに水位関数法を適用する。水位関数法は貯留量及び流出量とともに水位の関数として表すことにより、流域の状態空間表現を可能とするものであり、水位流量曲線の求められていない河川においては特に有用であると思われる。

また、御在所レーダシステムの面的な降雨観測情報を利用し、分割流域ごとに、細密数値情報による土地利用状況の評価を生かした有効降雨モデルを作成することによって、降雨と土地利用形態の空間的分布を考慮する。

あわせて有効降雨モデルのパラメタに導入した洪水初期の土湿不足量 SMD (Soil Moisture Deficit) を時々刻々の観測情報から推定することにより、適切な有効降雨成分の分離を行なう。

本稿では、流出モデルの構築と実時間洪水流出予測の理論について説明する。

なお筆者らは昨年すでに、より簡単な単一入力・単一出力系の貯留関数法流出モデルを構築し、Kalman のフィルタリング・予測理論を応用した実時間流出予測システム¹⁾²⁾によって得られる予測の平均値系列と予測誤差について、その適合度と妥当性を検討している³⁾。流出モデルについては、これと比較する。

2. 流出モデルの構築

個々の分割流域は、有効降雨モデル、斜面モデル、河道モデルから構成されるとする。

(1) 有効降雨モデル

分割流域の土地利用特性と、洪水初期の土湿状態を表現できるモデルとする。

流域を河川・市街・公園緑地・田畑・山林の5つの容器とし、降雨が溜り容器から溢れた分を有効降雨とするモデルを考える。洪水初期の土湿状態は初期貯留で表す。図1は少し雨が降った状態である。

(2) 斜面モデル

貯留関数法を適用する。

$$\begin{cases} \frac{ds}{dt} = r_s - q_s \\ s = K q_s^P \end{cases}$$

ここに、 s は斜面の見かけの貯留高[mm]、 r_s は有効降雨強度[mm/hr]、 q_s は直接流出高[mm/hr]である。斜面モデルの出力が河道モデルの入力となる。

(3) 河道モデル

水位関数法を適用する。

$$\begin{cases} \frac{dS}{dt} = Q_{in} - Q_o \\ S = \alpha H_o^\beta \\ Q_o = \alpha H_o^2 + \beta H_o \end{cases}$$

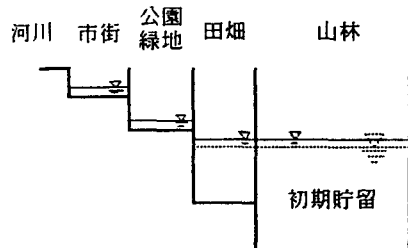


図1

ここに、 S は河道の見かけの貯留量 $[m^3]$ 、 Q_{in} は入力 $[m^3/hr]$ 、 Q_o は直接流出量 $[m^3/hr]$ 、 H_o は有効水位 $[m]$ である。有効水位とは、水位から洪水初期の水位を減じたものである。なお、定常状態では $\beta = 1$ である。

矢田川流域は図2のようにモデル化される。斜面モデルのパラメタ p のみ0.6と固定し、上流から順にモデルパラメタを同定した結果 β は1に近い値であったので、最終的に1と固定して他のパラメタを再度同定した。遅滞時間は0とした。

1985年から1989年の7洪水を再現したが、昨年のモデルとくらべてモデルの向上が見られた。一例として1988年6月27日から28日の洪水時の猪子石観測所のハイドログラフを図3に示す。図中実線が観測流量、一点鎖線が昨年の計算流量、破線が本モデルの計算流量を表す。この図には立ち上がり部の改善が顕著に表れており、これは洪水初期の土湿状態を考慮したためと思われる。

3. 実時間洪水流出予測

洪水予測の処理の流れを簡単に示す。まず、降雨の予測値と、時間的・空間的な相関を考慮した共分散行列を入力すると予測更新が行われ、 $m\Delta T$ 時間先までの水位予測値と空間的な共分散行列が出力される。時間が進み、 ΔT 後の水位観測値が得られると、その値を用いてKalmanフィルタにより状態量の推定値と、その共分散行列が得られる。

なお、予測流量と観測流量の差の主因となるモデル誤差と観測誤差を補償するノイズ項として、システムノイズ行列 w 、観測ノイズ行列 v をそれぞれ導入する。ノイズは状態量の大きさに比例するよう乗算的に与え、その大きさは各々の共分散行列 P_w 、 P_v によって規定する。

状態方程式、観測方程式は次のようになる。

$$\text{状態方程式} : \frac{dx}{dt} = Lx(t) + Mu + N + Fw(t)$$

$$\text{観測方程式} : y_k = \Psi x_k + Gv_k$$

$$x = [s^1 s^2 s^3 s^4 C^1 C^2 C^3 C^4 D_o^1 D_o^2 D_o^3 D_o^4]^T$$

$$u = [r_{k+1}^1 \cdots r_{k+m}^1 r_{k+1}^2 \cdots r_{k+m}^2 r_{k+1}^3 \cdots r_{k+m}^3 r_{k+1}^4 \cdots r_{k+m}^4]^T$$

$$y = [H_o^1 H_o^2 H_o^3 H_o^4]^T$$

ここに、 s は斜面の見かけの貯留高 $[mm]$ 、 C は河道の見かけの貯留量 $[m^3]$ 、 D_o は洪水初期の土湿不足量 $[mm]$ 、 r_{k+i} は $i-1 \sim i$ ステップ先の予測降雨強度 $[mm/hr]$ 、 H_o は有効水位 $[m]$ である。右肩の数字は流域を表す。

参考文献 1) 高棹・椎葉・宝：貯留モデルによる実時間流出予測に関する基礎的研究，京都大学防災研究所年報，第25号B-2，1982，pp.245-267. 2) 高棹・椎葉・宝：リアルタイム洪水予測のソフトシステム，第21回自然災害科学総合シンポジウム講演要旨集，1984，pp.303-306. 3) 高棹・椎葉・宝・上林・丸川・青山：平成2年度関西支部年次学術講演概要集

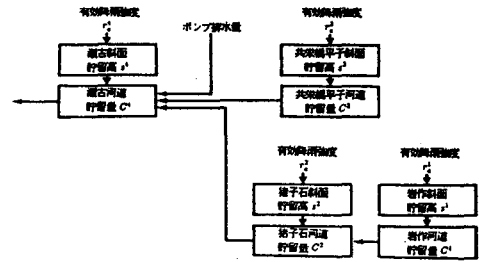


図2

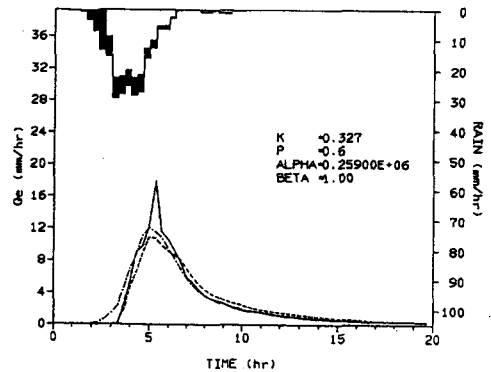


図3