

## 構造的モデリングを用いた分布型降雨流出モデルの構築

中央大学大学院	学生員	岡部 真人	中央大学	正会員	加藤 拓磨
中央大学大学院	学生員	呉 修一	中央大学大学院	正会員	原 信彦
中央大学大学院	フェロー会員	江花 亮	中央大学	フェロー会員	山田 正

### 1. はじめに

本論文は従来の分布定数系流出モデルと比べてより普遍的かつ容易に様々なモデルの組み込み・統合が可能な統合型洪水予測手法の構築を目的とし分布型流出モデルを回路図として表現する新しい降雨流出計算手法の提案を行う。本手法の特徴は、各要素モデルに対して回路図を用いた表現を試み誰にでも容易に降雨流出計算が実行可能な分布型流出計算手法の基盤を提供する。

### 2. 分布型流出モデルの回路図を用いた表現

本論文で対象とするものは分布定数系理論であり、各種流出素過程を空間的に取り扱う。本論文で表現する降雨流出過程の概念図を図-1に、降雨流出過程の模式図を図-2に示す。図-2のように一つの斜面、河道といった要素モデル毎に一つのブロックを用いて表現を行い、それらを直接連結することで図-2と同義な回路図を作成する。計算では回路図の上位に降雨を与えるブロックを個別に回路図として表現しすべての斜面ブロックの上位に配置することで降雨を与える。流出高を算出するためにはそのためのブロックを回路図の一番末端に配置することで求められる。その一例を図-3に示す。

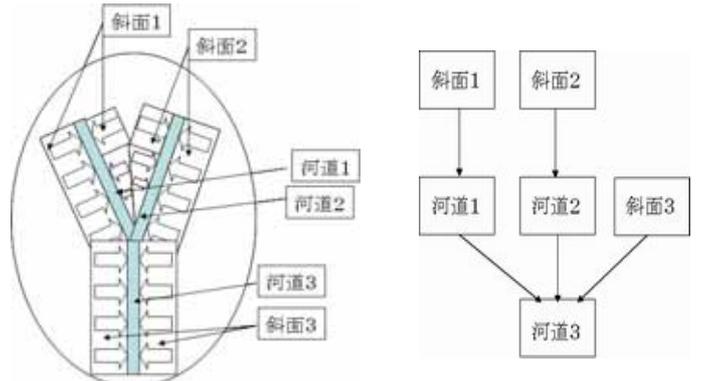


図-1 降雨流出過程の概念図

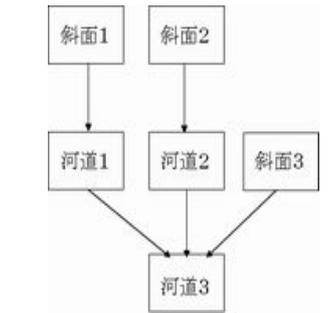


図-2 降雨流出過程の模式図

### 3. 回路図を用いた降雨流出モデルの構築例

ここでは実際に降雨流出モデルを構築していく過程とその結果を示す。著者ら<sup>2)</sup>は従来から山地流域における降雨流出計算手法の提案を行っている。以下にその理論の概要を記す。一般化した断面平均流速の式を連続式に代入し整理すると表面流に関するkinematic wave方程式が得られ、さらに斜面長は実地形上の斜面長に比べ十分短いものとする流出高に関する常微分方程式(1)式を得る。

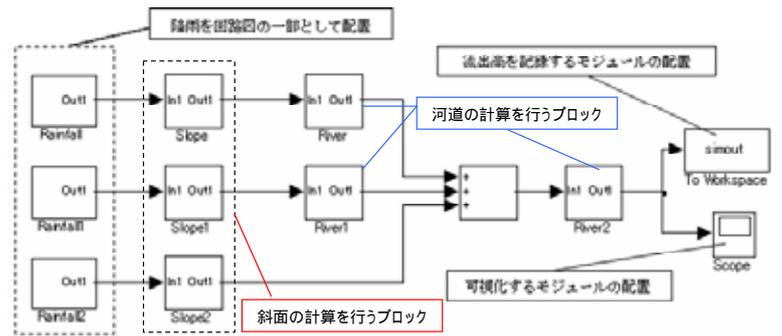


図-3 降雨流出モデルの表現の一例

また、 $q_s(t)$ : 単位幅流量[mm<sup>2</sup>/h],  $r(t)$ : 有効降雨強度[mm/h],  $m$ : 流出パラメータ(抵抗則),  $i$ : 斜面勾配,  $D$ : 表層土層厚[mm],  $\gamma$ : 土壌の透水性を表す無次元パラメータ,  $k_s$ : 飽和透水係数[mm/h],  $w$ : 有効空隙率である。斜面流下方向流れを表面流として扱う場合はManning則をとり,  $m=2/3$  の値を用い, 地下水流として扱う場合は飽和ダルシー則をとり,  $m=0$  の値を用いる。河道における降雨流出の基礎式も同様に表現される。断面平均流速に関しては Manning 則で表現されまた連続式より Kinematic Wave 方程式が得られる。また斜面同様の近似をおこなうと流出高に関する常微分方程式(2)式を得る。

$$\frac{dq_{r*}}{dt} = a_0 q_{r*}^{\beta_r} (r(t) - q_{r*}) \quad (1) \quad \text{ただし } a_0 = aL^{\beta_r-1} = (m+1)\alpha^{\frac{1}{m+1}}L^{\frac{-1}{m+1}}, \quad \beta_r = \frac{m}{m+1}, \quad \alpha = \frac{k_s i}{D^{\gamma-1} w^{\gamma}}, \quad \gamma = m+1$$

$$\text{ただし } a_{0r} = a_r L_r^{\beta_r-1} = (m_r+1)\alpha_r^{\frac{1}{m_r+1}}L_r^{\frac{-1}{m_r+1}}, \quad \beta_r = \frac{m_r}{m_r+1}, \quad a_r = (m_r+1)\alpha_r^{\frac{1}{m_r+1}}$$

ここに、 $h_r$ : 水深[m],  $q_r$ : 単位幅流量[m<sup>2</sup>/s],  $B$ : 河道幅[m],  $i_r$ : 河道勾配,  $n_r$ : Manningの粗度係数であり、

マンニング則を用いていることから $m_r=2/3$ となる。添字 $r$ は河道を表す。以上が著者らの理論の概要である。

上記の斜面の基礎方程式(1)と河道の基礎方程式(2)をそれぞれモジュールとして組み立てたうえでこのモジュールを組み合わせて単一の河道の両側に長さ一様の矩形斜面を有する単純な流域を回路図で表現すると図-4のように表現される。この回路ブロックが計算する河道長を短くしそれらを繋ぎ合わせる回路図を作成すると図-5、図-6のようになる。実際に作成した回路図を用いて降雨流出計算を行う。単一斜面を想定し、降雨を与え、土壌・地形特性としては斜面に関して表層土層厚 $D=15\text{cm}$ 、飽和透水係数 $k_s=0.001\text{cm/s}$ 、有効空隙率 $w=0.42$ 、斜面勾配 $i=1/9$ とし斜面長を $L=10\text{m}$ として計算を行った。河道に関しては河道勾配 $i_r=1/50$ 、マンニングの粗度係数 $n_r=0.03$ 、河道幅 $1\text{m}$ の河道を想定し河道長 $L_r=100\text{m}$ として計算を行った。入力降雨としては降雨継続時間3時間、最大降雨強度 $30\text{mm/h}$ の単峰性降雨を与えた。計算結果を図-7、図-8、図-9示す。このように斜面末端および河道末端での流出高を簡易に求めることができる。

4. まとめ

本論文は分布型流出モデルを回路図として表現する降雨流出計算手法の提案を行ったものである。これにより従来の分布型流出計算手法に比べて容易にモデル統合が可能となることを示し、斜面や河道を細かく分割し分布させた状態での計算が可能であることを示した。

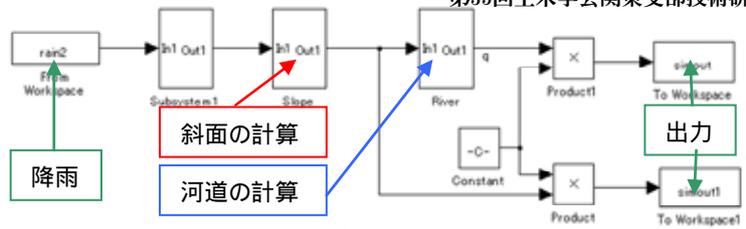


図-7 図-6を組み合わせた降雨流出モデル

図-4 単一斜面単一河道からなる降雨流出モデル

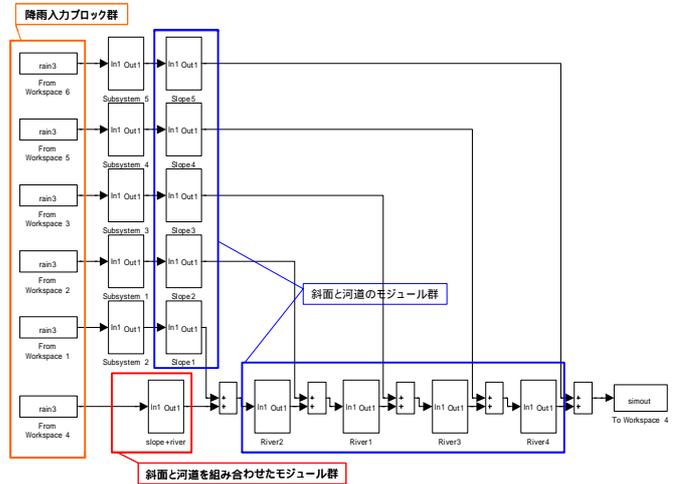


図-5 河道を五分割したモデル

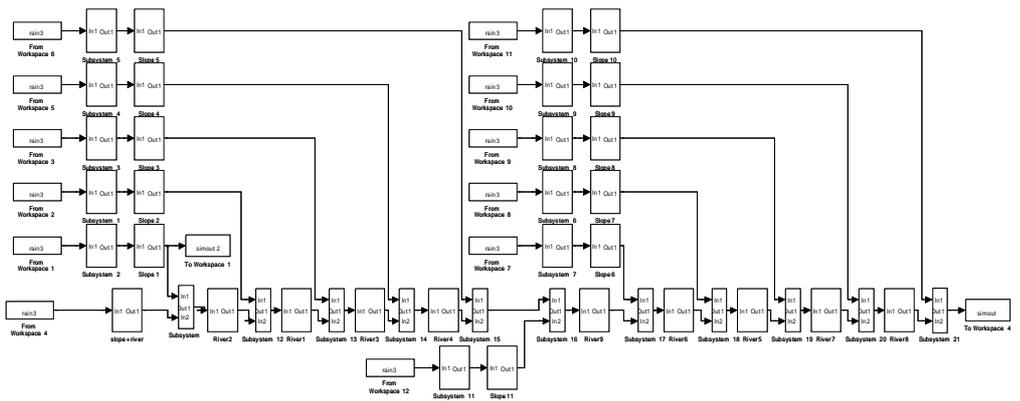


図-6 河道を十分割したモデル

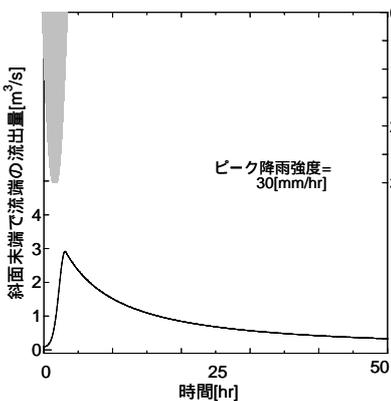


図-7 斜面末端での流出高

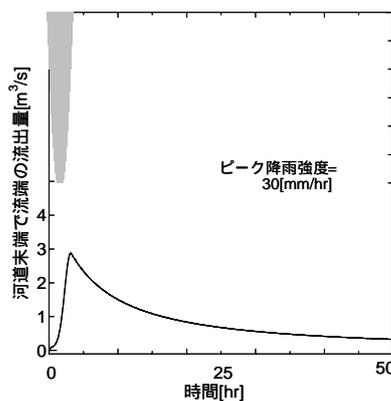


図-8 五分割河道末端での流出高

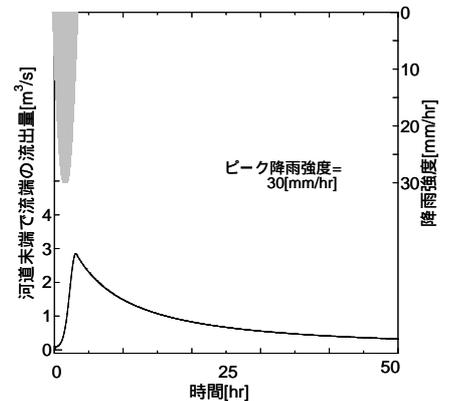


図-9 十分割河道末端での流出高

参考文献

1) 呉修一, 山田正: 降雨流出における斜面と河道の効果に関する研究, 水工学論文集, Vol.50, p.57, 2006