

回路図の組み合わせによる新しい分布定数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
中央大学大学院 学生員 呉 修一
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さらにその回路図を組み合わせることで水理学、水文学等の専門知識を有さない人々に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と回路図のみで実行可能な降雨流出計算

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-1と同義な回路図を作成する。ここで本論文における回路図の構築に関してMathworks社のMATLABおよびSimulinkを用いている。

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。降雨流出計算は回路図を組み立てるだけで実行可能となる。その一例を図-3に示す。

3. 回路図を組み合わせ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²⁾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。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。

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

また、 $q_*(t)$: 単位幅流量[mm²/h], $r(t)$: 有効降雨強度[mm/h], α : 流出特性を表すパラメータ, γ : 土壌の透水性を表す無次元パラメータである。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マニング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。

$$\frac{dq_{r*}}{dt} = a_{0r} q_{r*}^{\beta_r} \left(\frac{2q_{s*}(t) \cdot L}{B} - q_{r*} \right) \quad (2), \text{ただし } a_{0r} = a_r I_r^{\beta_r-1} = (m_r+1)\alpha_r^{\frac{1}{m_r+1}} L_r^{\frac{-1}{m_r+1}}, \quad \beta_r = \frac{m_r}{m_r+1}, \quad a_r = (m_r+1)\alpha_r^{\frac{1}{m_r+1}}$$

ここに, h_r : 水深[m], q_r : 単位幅流量[m²/s], B : 河道幅[m], i_r : 河道勾配, n_r : マニングの粗度係数であり,

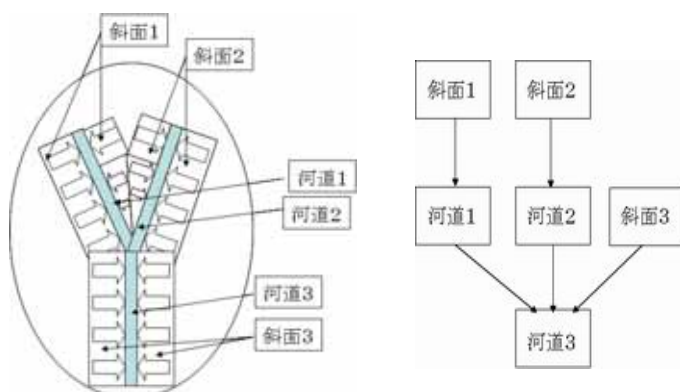


図-1 降雨流出過程の概念図



図-2 降雨流出過程の模式図

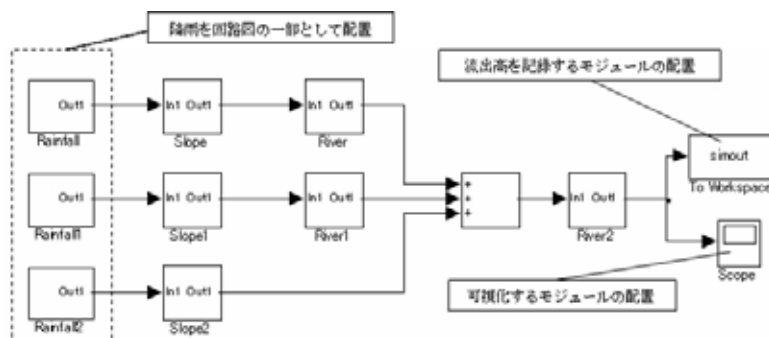


図-3 降雨流出モデルの表現の一例

キーワード 分布定数系降雨流出モデル, 回路図, モデル,

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学大学院 TEL 03-3817-7409 E-mail: masato_okabe@civil.chuo-u.ac.jp

マ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．

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ると図
 -4,5のように表現される．このモ
 ジュールを組み合わせることで単一の河
 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

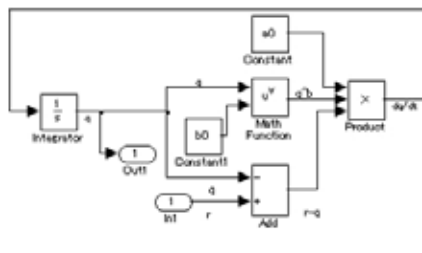


図-4 斜面の基礎方程式の回路図

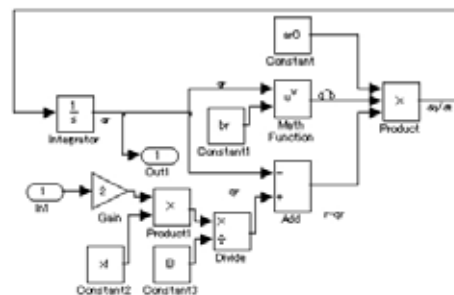


図-5 河道の基礎方程式の回路図

すると図-6のように表現される．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 $i_r=1/100$ ，マニングの

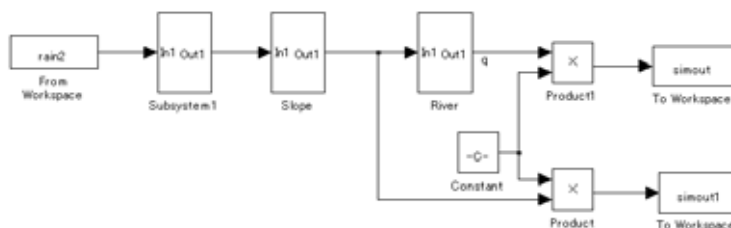


図-6 斜面の回路および河道の回路を組み合わせた降雨流出モデル

粗度係数 $n_r=0.03$ ，河道幅5
 mの河道を想定し河道長 $L_r=$
 1kmとして計算を行った．
 入力降雨としては降雨継
 続時間5時間，降雨強度10m
 m/hの総降雨量50mmの降
 雨を与えた．計算結果を図
 -7，図-8に示す．このよう
 に斜面末端および河道末
 端での流出高を回路を組
 み合わせることで実際の

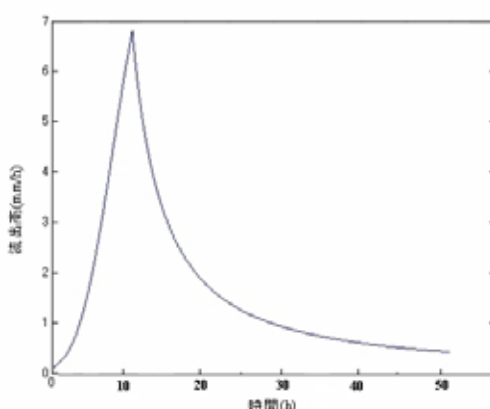


図-7 斜面末端での流出高の時系列

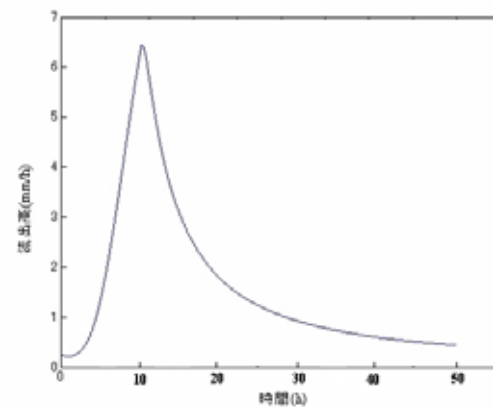


図-8 河道末端での流出高の時系列

計算過程を全く触れることなく計算が可能となる．これによ
 り，回路図を用いた流出計算では異なるモジュールを回路図
 に組み替えることで異なる手法・モデルの流出計算を行い比
 較することが可能となる．図-9は図-6の回路図を用いた拡張
 例の一つである．回路図を用いることで各々の回路を結線す
 るのみで拡張が完了し，複雑なモデル機構を容易に統合し計
 算が行える．

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新しい
 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
 となることを示した．また，モデルを回路図として組み立て
 ることでモジュール化しているので，回路図の組み立てさえ
 実行すれば新規のモデル・手法の組み込みが有機的に可能となる事を示した．

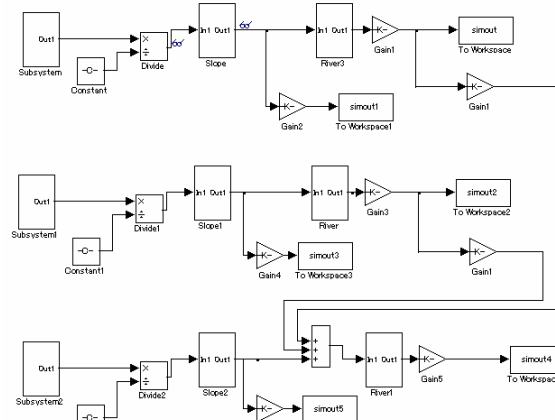


図-9 図-6を組み合わせて拡張したモデルの一例

参考文献

- 1) 小葉竹重機, 石原安雄: タンクモデルおよび集中面積図を利用した洪水流出モデルの総合化, 土木学会論文報告集, No.337, pp.129-135, 1983
- 2) 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
- 3) Mohammad Nuruzzaman: Modeling and Simulation In SIMULINK for Engineers and Scientists, authorhouse, 2004
- 4) James B. Dabney, Thomas L. Harman: Mastering SIMULINK, PERSON Prentice Hall, 2004