

回路図を用いた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

降雨流出計算手法はこれまでに多くのものが提案されており、分布定数系流出モデルとして流域全体の水文素過程を様々な手法、モデルで表現しそれらを統合した形式での降雨流出計算が行われている。本論文は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、あらかじめ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モジュール化した上でそれらを組み合わせることによって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。また様々なモジュールを個別に用意することで異なる手法や独自で開発されたモデルの有機的な統合を可能とする。

2. 分布型流出モデルの回路図を用いた表現

現在提案されている流出モデルとしては、集中定数系流出モデルと分布定数系流出モデルに大別される。本研究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社製の数値解析ソフトウェア

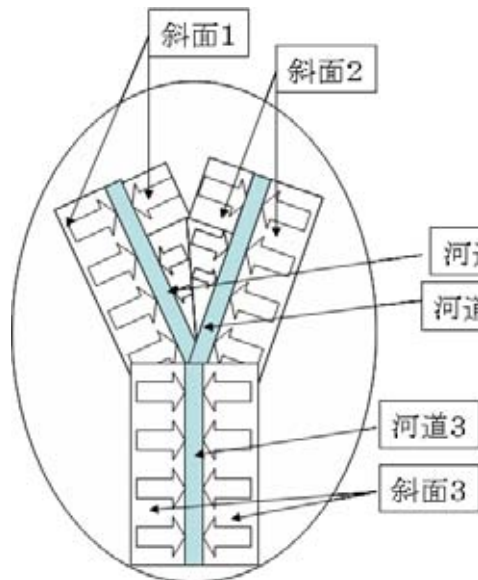


図-1 降雨流出過程の概念図

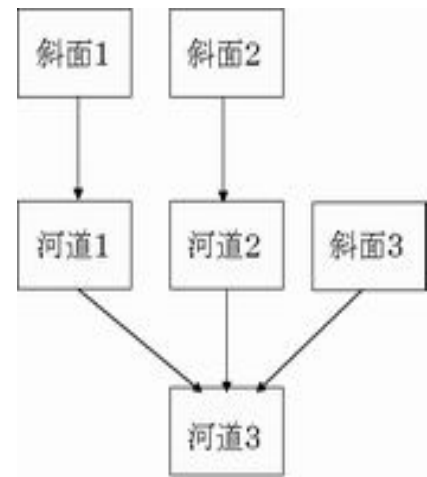


図-2 降雨流出過程の模式図

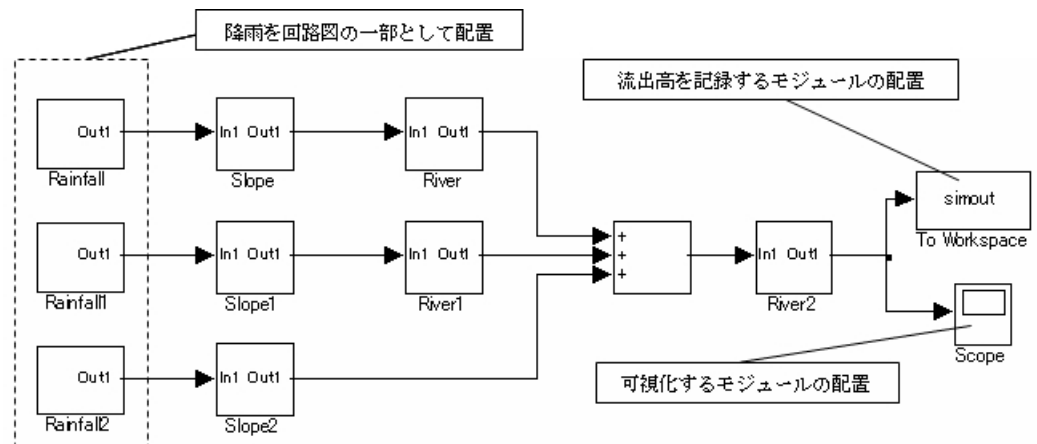


図-3 降雨流出モデルの表現の一例

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 T E L 03-3817-7409 E-mail : masato_okabe@civil.chuo-u.ac.jp

パッケージ MATLAB(Ver.2006a)に含まれる MATLAB(Ver.7.2)および Simulink(Ver.6.4)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．その一例を図-3 に示す．

3．回路図を用いたモジュールの定義

要素モデル図-4 の一つのモデルブロックの中は図-5 に示されるような回路図として表現される．これを一つのモジュールとして定義する．本論文では，計算機のプログラミング言語の分野で提唱された概念であるオブジェクト指向という考えに基づきユーザーが実際に，モジュールを水文素過程の構造

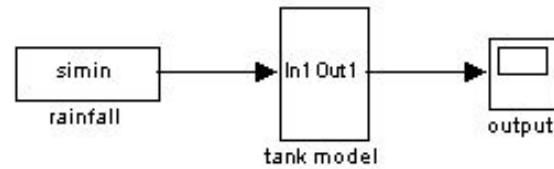


図-4 要素モデルの一例

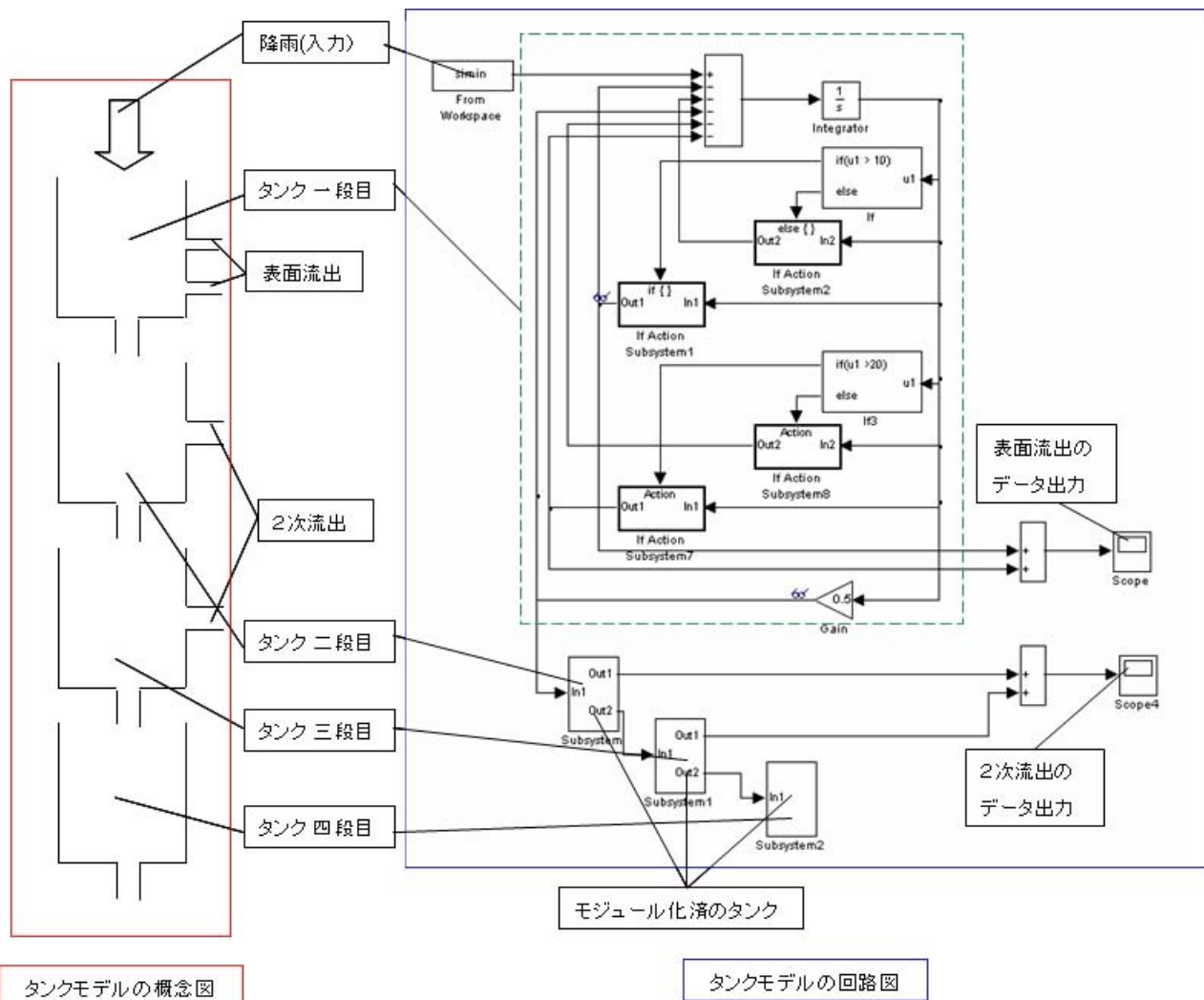


図-5 タンクモデルの概念図とタンクモデルの回路図および内部の比較

に応じて構成することで全体のモデル構築が可能となるようにしている．全体のモデルを修正する場合においても修正する箇所のモジュールを画面上で実際に交換することで完了する．図-4 および図-5 のモジュールは著者が組み立てたものであるがモジュールは誰にでも容易に組み立て組み込むことが可能である．図-5 は赤枠で囲まれたタンクモデルの概念図と青枠で囲まれた回路図を用いて表現したタンクモデルとそのモジュール内部の比較である．四段あるタンクのうち一段目のタンクは緑破線枠内の回路図として表現される．緑破線

枠内の回路の表現には if else 型の分岐を行うブロックを用いて横流出を表現する．一段目には横流出が 2 箇所あるのでそれぞれに分岐ブロックを用いている．二段目，三段目および四段目のタンクも同様の回路図で構成されている．この上で一段目以外のタンクの回路図はタンク一つ一つをモジュール化して表現している．図-5 ではモジュールに Subsystem という名前をつけているがモジュールにつける名前は任意である．概念図で表されている表面流出による流出高，2 次流出による流出高は回路図内では演算回路から分岐する形で可視化モジュールに接続され，流出高が表現される．図-5 の回路図のモジュール群をさらにひとつのモジュールにすることで，図-4 のような一要素モデルとして回路に組み込むことが可能となる．

4．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．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．

$$\frac{dq_*}{dt} = a_0 q_*^\beta (r(t) - q_*) \quad (1)$$

ただし $a_0 = aL^{\beta-1} = (m+1)\alpha^{\frac{1}{m+1}}L^{\frac{-1}{m+1}}$ ， $\beta = \frac{m}{m+1}$ ，

$$\alpha = \frac{k_s i}{D^{\gamma-1} w^\gamma}, \quad \gamma = m+1$$

また， $q_*(t)$ ：単位幅流量[mm²/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]， γ ：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， $m=0$ の値を用い流出形態の相違を表現する．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．

$$\frac{dq_{r*}}{dt} = a_{0r} q_{r*}^{\beta_r} \left(\frac{2q_{s*}(t) \cdot L}{B} - q_{r*} \right) \quad (2)$$

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

$$\beta_r = \frac{m_r}{m_r+1}, \quad a_r = (m_r+1)\alpha_r^{\frac{1}{m_r+1}}$$

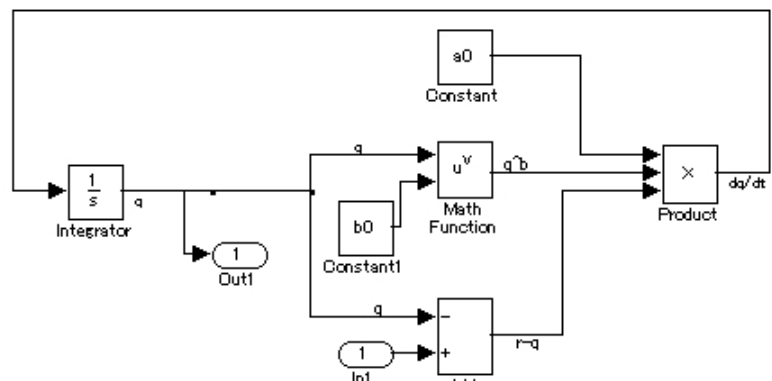


図-6 斜面の基礎方程式の回路図

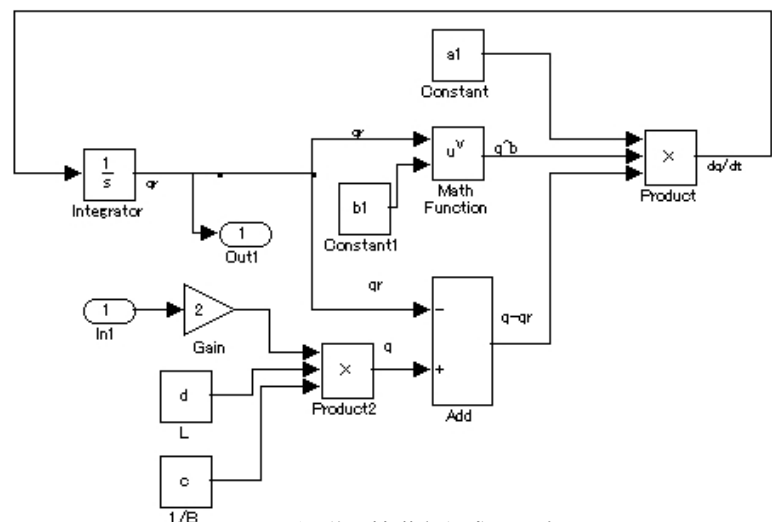


図-7 河道の基礎方程式の回路図

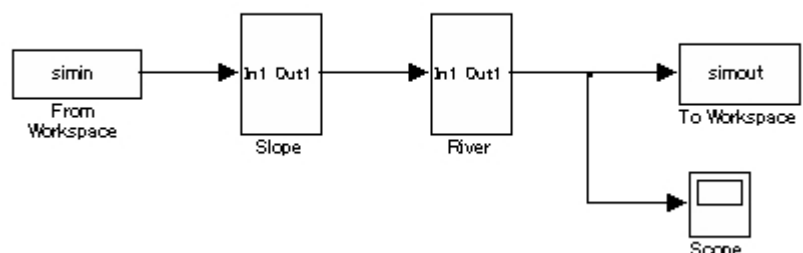


図-8 図-6，図-7を組み合わせた降雨流出モデル

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 ：マンニングの粗度係数であり，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ると図-6，7のように表現される．このモジュールを組み合わせさ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-8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 $i_r=1/100$ ，マンニングの粗度係数 $n_r=0.03$ ，河道幅5mの河道を想定し河道長 $L_r=1\text{km}$ 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10mm/hの総降雨量50mmの降雨を与えた．計算結果を図-9，図-10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簡易に求めることができる．このような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，図-10に示したようなグラフによる表現は回路図の中にモジュールと同様に出力用のモジュールを追加することで得られる．

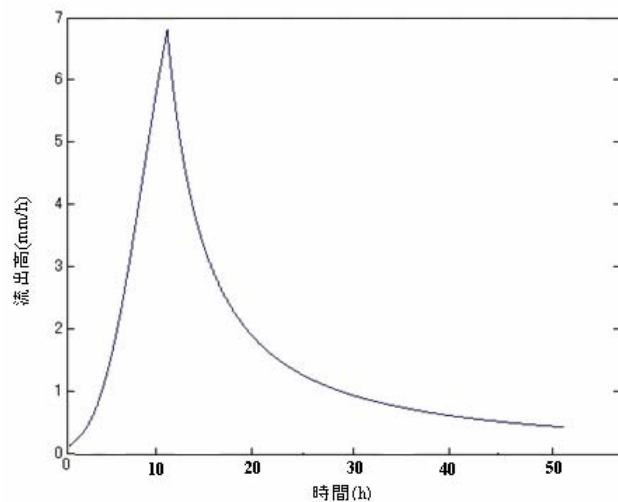


図-9 斜面末端での流出高の時系列

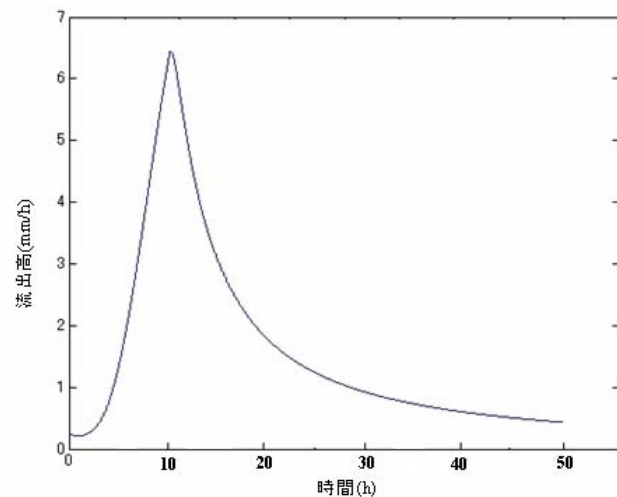


図-10 河道末端での流出高の時系列

5. 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．

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, pp.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