

鉛直浸透機構を考慮した降雨流出モデルのロバスト性に関する基礎的研究

中央大学 学生会員 ○諸岡 良優
中央大学 フェロー会員 山田 正

1. はじめに

2015年9月関東・東北豪雨や2016年8月北海道豪など日本全国で多くの洪水被害が発生している昨今において、既存の河川計画や水防施設を評価するにあたって評価精度の高い降雨流出モデルによる再現計算を行うことが重要であり、多くの研究が行われている。流出現象は流域土壌内の構造の複雑性に起因しており、その解明は難しい問題であるが、降雨流出過程を物理的に説明でき、且つ再現精度が高い計算手法の確立には継続的な研究が必要であると考えられる。また、一般に降雨流出モデルには複数のパラメータが存在し、流域・洪水イベント毎に変動するため、普遍的にハイドログラフを再現することが困難である。本研究では、吉見・山田によって提案された鉛直浸透機構を考慮した降雨流出モデル¹⁾について、複数の洪水イベントからパラメータを同定し、モデルのロバスト性の検証を行った。

2. 鉛直浸透機構を考慮した単一斜面における降雨流出モデルの概要

山田は従来から流域の最小スケールを単一斜面とし、斜面流下方向流れを Kinematic Wave として単一斜面における一般化した降雨流出の基礎式を導出している。山地流域における降雨流出の直接流出は様々な流出形態をとるため、吉見・山田は以下に示す斜面多層流れを考慮した降雨流出モデルを提案した。山腹斜面が複数の層で構成されるとみなし、 n 層目における鉛直浸透について考える。 $n-1$ 層から n 層目への浸透量 V_{n-1} ($=b_{n-1}S_{n-1}$) と n 層目から $n+1$ 層目への浸透量 V_n ($=b_nS_n$)、及び各層における流出に寄与する雨量（流出に寄与する降雨量）の連続関係から(1)式を得る。ここで、各層の流出に寄与する降雨量は(2)式に示すように土層内水位 s_n が各層の保水力 h_{nm} を超えた時点で発生するとする。また、鉛直方向への浸透量 V_n は土層内水位 s_n に比例するものとする。さらに、(2)式中の r_{nm} を(3)式の基礎式に斜面流出に寄与する降雨として与えることで一連の斜面計算を行う。この鉛直浸透機構は、降

$$\frac{ds_n}{dt} = V_{n-1} - r_{nm} - V_n \quad (1)$$

$$\begin{cases} r_{nm} = 0 & (s_n < h_{nm}) \\ r_{nm} = a_{nm}(s_n - h_{nm}) & (s_n \geq h_{nm}) \end{cases} \quad (2)$$

$$V_n = b_n s_n \quad (3)$$

$$\frac{dq_{nm}}{dt} = \alpha_{nm} q_{nm}^{\beta_{nm}} (r_{nm} - q_{nm}) \quad (4)$$

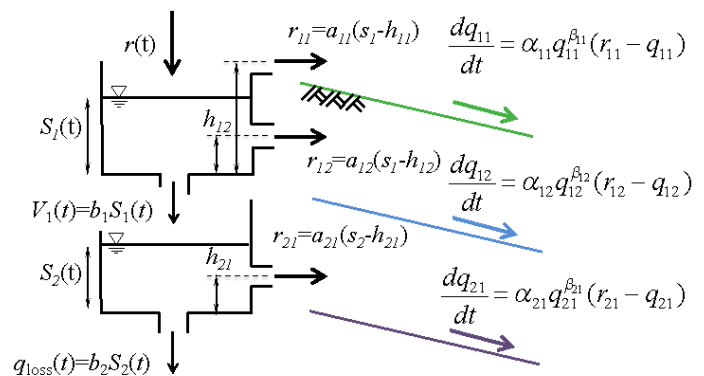


図-1 鉛直浸透機構を考慮した流出計算手法の概念図

雨が流出に寄与するまでの遅れ時間や損失雨量を表現することが出来る。本研究では2段3層構造のモデル（パラメータ数：14）を対象に検討を行う。ここに、 n ：層数、 m ：各層における側方成分の数である。例えば、流出高 q_{21} は「表層から数えて2層目の上から1つ目の流出成分」である。また、 s_n ：各層の土壌内水位[mm]、 a_{nm} 、 b_n ：各側方成分、浸透成分の比例定数[1/hour]、 h_{nm} ：流出成分発生の閾値[mm]、 r_{nm} ：有効降雨量[mm/hour]、 V_n ：鉛直浸透量[mm/hour]である。本モデルの概念図を図-1に示す。

キーワード 降雨流出モデル、鉛直浸透機構、パラメータ、ロバスト性

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学大学院理工学研究科 TEL 03-3817-1805

3. 対象流域と洪水イベント

解析の対象とする流域は利根川水系渡良瀬川流域の上流に位置する草木ダム流域（流域面積 254km²）であり、対象降雨イベントは草木ダム流域における過去の 19 洪水とした。14 の流出パラメータは各イベントにおける解析対象時間内の実測流入量と計算流入量の差を目的関数とした非線形最小自乗法により同定を行った。

4. 解析結果と考察

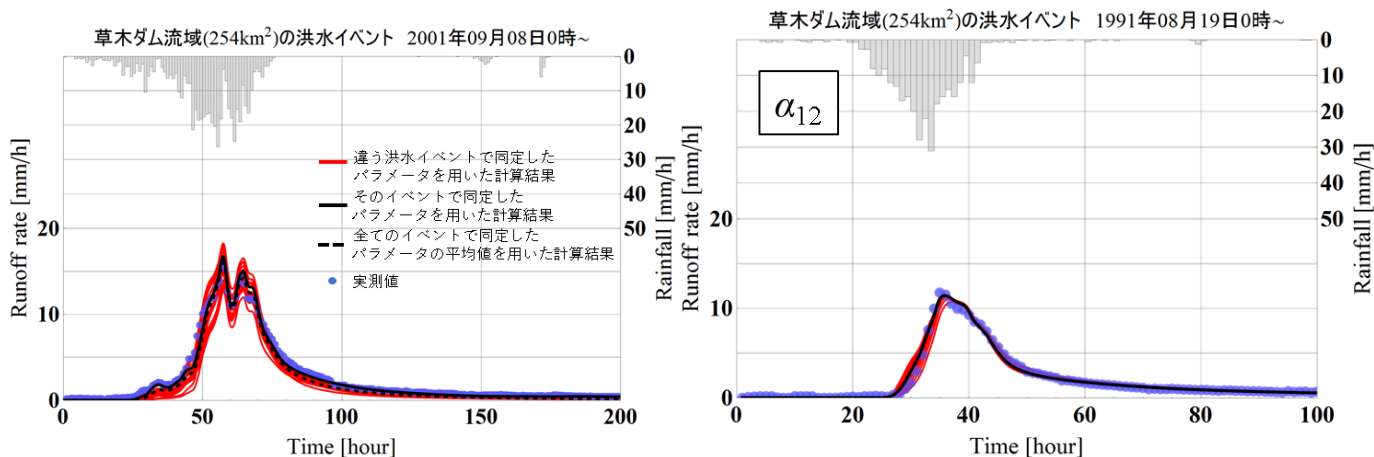


図-2 各パラメータによる再現計算結果

図-4 変動係数の大きなパラメータの感度分析結果

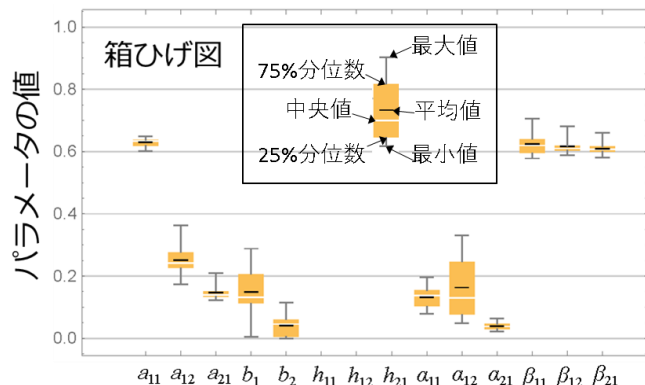
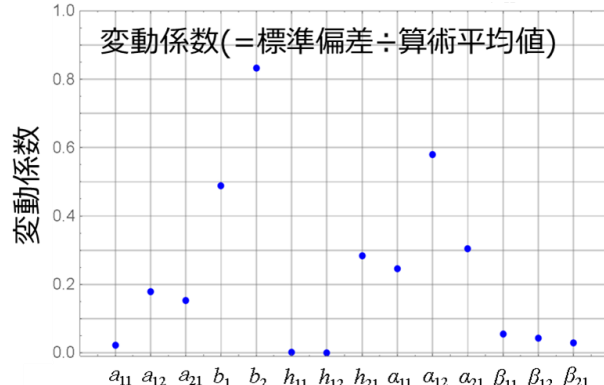


図-3 同定したパラメータの箱ひげ図、及び変動係数



19 洪水それぞれで同定した最適なパラメータを用いて、他の洪水ハイドログラフを再現した。各洪水イベントで同定した最適なパラメータと他の洪水イベントで同定した最適なパラメータ、及び 19 イベントそれぞれで同定したパラメータの平均値を用いた再現計算結果の一例を図-2 に示す。他の洪水イベントで同定したパラメータを用いて再現計算を行うとパラメータセットによって洪水ハイドログラフが幅をとるが、複数の洪水イベントで同定したパラメータの平均値を用いると、どの洪水イベントにおいても実測値を概ね再現できることが分かった。次に、鉛直浸透機構を考慮した降雨流出モデルにおける 14 のパラメータについてその感度分析を行った。19 イベントで同定したパラメータの箱ひげ図、及び変動係数(=標準偏差÷算術平均値)を図-3 に示す。変動係数の大きい b_n , b_n , a_n についてそれぞれ ± 5 , 10 , 20 , 30 , 40 , 50% を加えたパラメータを用いて流出解析を行った結果を図-4 に示す。変動係数の大きなパラメータの値を増減させても洪水ハイドログラフに大きな変化がないことが分かった。以上より、鉛直浸透機構を考慮した降雨流出モデルはロバストなモデルであることが分かった。

5. まとめ

本研究では鉛直浸透機構を考慮した降雨流出モデルのロバスト性について検証を行った。今後、複数の流域で同様の検討を行い、流域特性についてのロバスト性を検証する必要があると考える。

【参考文献】

- 1) 吉見和紘・山田正：鉛直浸透機構を考慮した流出計算手法の長短期流出解析への適用，土木学会論文集 B1（水工学），Vol.70，No.4，I_367-I_372，2014