

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の基礎的検討

諸岡 良優^{1*}・山田 正²

¹中央大学大学院理工学研究科都市環境学専攻（〒112-8551東京都文京区春日1-13-27）

²中央大学理工学部都市環境学科（〒112-8551東京都文京区春日1-13-27）

* E-mail: a10.pn4b@g.chuo-u.ac.jp

流出現象は流域土壌内の構造の複雑さに起因しているため、その解明は難しい問題である。一般に降雨流出モデルには複数のパラメータが存在し、流域や洪水イベント毎にその値が変動するため、普遍的に洪水ハイドログラフを再現することは困難である。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について、複数の洪水イベントから同定したパラメータを用いた再現計算を行うことで鉛直浸透機構を考慮した降雨流出モデルのロバスト性の検証を行った。

Key Words : lumped model, vertical infiltration, multi-layer flow, parameter, robustness

1. はじめに

2015年9月関東・東北豪雨や2016年8月北海道豪雨など、近年の日本において甚大な洪水被害が頻発している。このような洪水を予測するためには流出モデルを用いて過去の洪水を精度良く再現できることが重要であるが、流出現象は流域土壌内の構造の複雑さに起因しており、その解明は難しい問題である。一般に降雨流出モデルには複数のパラメータが存在し、流域や洪水イベント毎にその値が変動するため、普遍的に洪水ハイドログラフを再現することは困難である。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について、複数の洪水イベントからパラメータを同定し、本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¹⁾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²⁾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(4)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。

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

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

$$V_n = b_ns_n \quad (3)$$

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

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_1 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

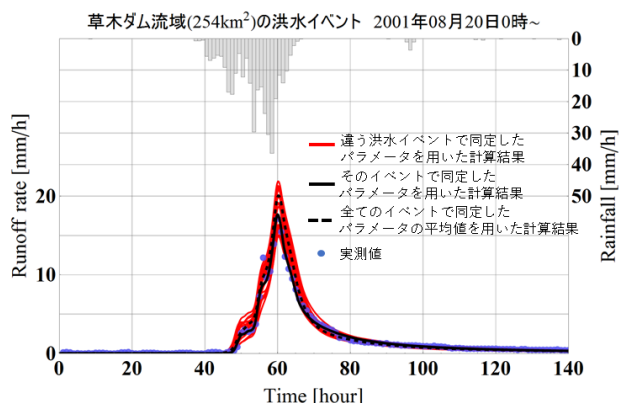


図-1 19洪水イベントから同定したパラメータを用いた再現計算結果の一例（草木ダム流域）

た、 s_n ：各層の土壌内水位[mm]， a_m ， b_n ：各側方成分，浸透成分の比例定数[1/hour]， h_m ：流出成分発生の閾値[mm]， r_m ：有効降雨量[mm/hour]， V_n ：鉛直浸透量[mm/hour]である。

3. 対象流域と対象洪水イベント

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

草木ダム流域における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-1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。また、変動係数が大きな値となった 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、

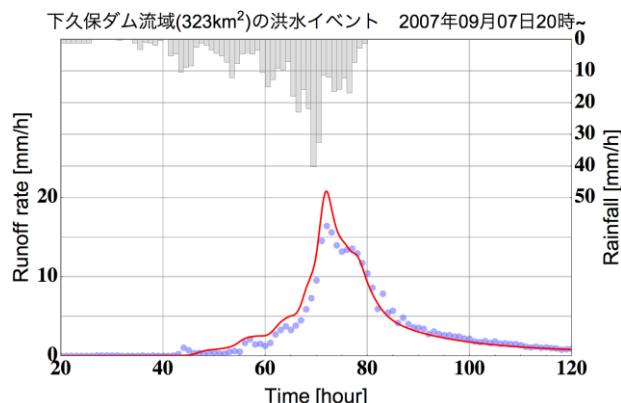


図-2 草木ダム流域で同定したパラメータを用いた再現計算結果の一例（下久保ダム流域）

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。

次に、利根川水系神流川流域の上流に位置する下久保ダム流域（流域面積323 km²）において、草木ダム流域の19洪水イベントで同定したパラメータの平均値を用いて再現計算を行った一例を図-2に示す。違う流域で同定したパラメータを用いた再現計算でも、洪水ハイドログラフを概ね再現できることが分かった。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同一流域の複数洪水イベントで検証を行った。今後、複数の別の流域で同様の検討を行い、本モデルのロバスト性の検証を行う予定である。

謝辞：本研究の一部は、文部科学省科学技術研究費補助金（基盤A，課題番号26249072）の支援を受けて実施された。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 山田正：山地流出の非線形性に関する研究，土木学会水工学論文集，Vol. 47，pp. 259-264，2003.
- 2) 吉見和紘，山田正：鉛直浸透機構を考慮した降雨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.