

鉛直浸透機構を考慮した斜面多層流出計算手法に関する研究

中央大学 学生員 ○吉見 和紘
 中央大学 学生員 山上 訓広
 中央大学 フェロー会員 山田 正

1. はじめに

降雨流出モデルは、降雨流出過程を表現出来ること
 河川流量や水位を適切に再現できることが重要である。
 本研究では、洪水ハイドログラフのピーク値及び通減
 部を同時に高い精度で再現するため、表面流及び中間
 流からなる既存の流出解析手法の鉛直浸透機構に、山
 田が理論的に導出した非線形貯留型モデルを組み込み、
 斜面内多層流れを考慮した降雨流出モデルを構築した。

2. 土壌地形特性に基づく流出計算手法の概要

従来から山田¹⁾は、連続式と一般化した運動則から単
 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。これにより、斜面流下方向流れに関して飽和・
 不飽和側方流を対象とする場合、土壌・地形特性から
 流出パラメータを決定し降雨流出計算を行う事が可能
 である。

呉ら²⁾は、この基礎式と山田が提案している
 Grenn-Ampt 理論に基づく鉛直浸透式を用いて、表面流、
 鉛直浸透流、飽和・不飽和側方流を考慮した降雨流出
 計算手法を提案している。また、この流出計算手法は
 降雨強度 $r(t)$ を有効降雨強度としている。本研究では、
 山田らが提案している保水能の理論により決定してい
 る。これらの詳細は参考文献²⁾を参照されたい。

3. 実流域への適用とハイドログラフの再現性

既往の研究^{1),2)}において、既存モデルの再現性につい
 て十分に検証されてきたが、二峰性の洪水や降雨強度
 が瞬間的に大きくなる洪水、長く雨が降り続く洪水で
 は、ハイドログラフの全体的な波形や通減部において
 実測値と計算値が一致しない傾向にある。二峰性の洪
 水イベントにおいて、このような傾向が見られる理由
 として、降雨が長く降り続き土壌が飽和した状態で主
 要な降雨イベントを迎えている点、主要な降雨イベン
 トの降雨強度は、瞬間的に強くなっている点が考えら
 れる。

4. 斜面内多層流れを考慮した降雨流出計算手法の
提案

(1) 提案する流出解析手法の概要

斜面における降雨流出経路としては、表面流、飽和
 側方流、不飽和側方流、地下水流等があり、大規模出
 水もしくは斜面深層の流れを考慮した流出計算を行う
 ためには、斜面内流れを多層構造として扱う必要があ
 る。そこで著者らは、山田が理論的に導出した非線形

貯留型モデルを流出計算手法の鉛直浸透機構に組み込
 み、新しい流出計算手法を提案する。

非線形貯留型モデルは、各層からの流出量を河川流
 とする(もしくは河道計算の入力とする)のが一般的で
 あるが、本研究での非線形貯留型モデルの位置づけは
 あくまでも鉛直浸透機構を表現するものであり、降雨
 が流出に寄与するまでの遅れ時間や損失雨量の表現に
 用いる事とする。各層への浸透量は、山田らが提案し
 てきた単一斜面における降雨流出の基礎式に入力され
 る。

これにより、鉛直方向に多層構造をとる斜面流出計
 算が表現される。また、既往モデルでは、入力降雨を
 有効降雨としていたため、実降雨に対して有効降雨を
 決定する前処理を行う必要があった。しかし、最下層
 にも鉛直浸透機構を設けることでこの問題が解決され、
 流出孔からの流出量の総和を有効降雨量として表現す
 る事が可能となった。

第 n 層における降雨流出計算手法

$$\begin{aligned} \frac{ds_n}{dt} &= V_{n-1} - r_{nm} - V_n \\ \frac{dq_{nm}}{dt} &= \alpha_{nm} q_{nm}^{\beta_{nm}} (r_{nm} - q_{nm}) \\ \left\{ \begin{array}{l} r_{nm} = 0 \quad (s_n \leq h_{nm}) \\ r_{nm} = a_{nm} (s_n - h_{nm}) \quad (s_n \geq h_{nm}) \end{array} \right. \quad (1) \\ q_{Loss} &= V_n = b_n s_n \end{aligned}$$

ここに、 n : 対象とする土層、 m : 各層における流出成
 成分数である。また、 r : 各層から斜面計算への流出量
 [mm/h]、 s_n : 各層の貯留高[mm]、 a_{nm} 、 b_n : 各層の通
 減率に関する比例定数[1/h]、 h_{nm} : 流出成分発生の閾値
 [mm]、 q_{Loss} (最下層のみ) $=V_n$: 各層からの鉛直浸透量
 [mm/h]である。 α_{nm} 、 β_{nm} は(7)式中のパラメータ a_0 、 β
 にそれぞれ対応する。以上が、降雨流出現象における鉛
 直浸透機構に非線形貯留型モデルを用いた流出計算手
 法の概要である。このように、鉛直浸透機構に準線形
 貯留型モデルを導入することにより、単一斜面におけ
 る降雨流出の基礎式を斜面内 n 層の多層流れを表現
 可能となった。また、最下層底部に流出孔を設けるこ
 とにより損失雨量を表現し、入力降雨として有効降雨
 ではなく実測降雨を与えることが可能となった。

(2) 各流出成分の流出特性

推定結果及び各 Type の違いを図-1 に示す。左から
 Type-A、Type-B、Type-C の結果である。ハイトグラ

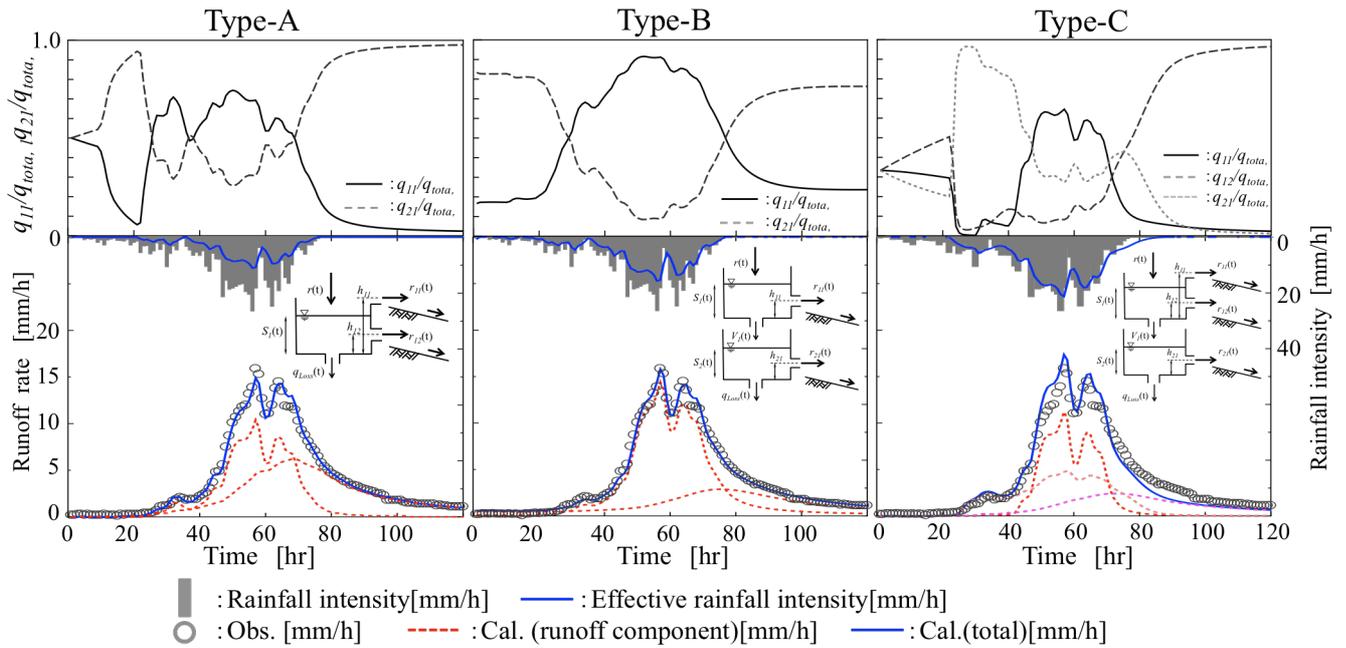


図-1 Type-A, B, Cにおいて推定されたハイドログラフ, 総流出量に対する各流出成分の時系列及び各 Type の流出機構の概念図.

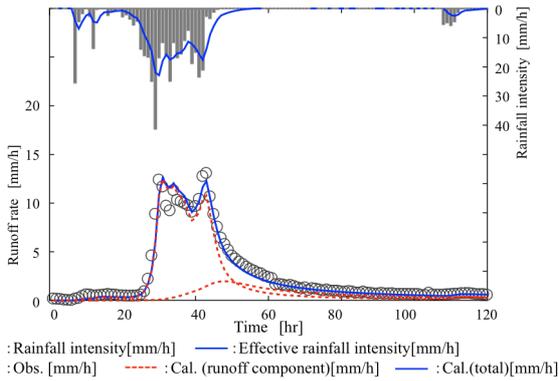


図-2 パラメータの平均値を用いた Type-B における再現計算の結果.

に重なる青い実線は有効降雨を表しており、中間流出孔からの総流出量である。Type-Cでは、Type-A,Bより流出孔が1つ多い構造となっている。ピーク付近の流出成分に着目すると、1層目の上の流出孔から流出が最も多く、次いで2層目の流出孔からの流出が多い。また、ハイドログラフの立ち上りは2層目の流出孔からの流出量が卓越している。これは実現象で考えると、土中に浸透した雨が貯留されていた土壌内の水分を押し出すような機構が考えられる。ハイドログラフの形状に着目すると、一つ目のピーク値及び逓減部の再現性が良くない。これは推定した際の各パラメータの初期値設定が問題であると考えられる。

(3) 再現計算結果

検証した5つの洪水において推定されたパラメータの平均値を取り、それを流域の最適なパラメータとして再現計算を行った。一例としてType-Bの再現計算結果を図-2に示す。

再現計算を行った洪水は、ハイドログラフの形状が2峰性であり、既存モデルでは再現の難しい洪水の一つである。ハイドログラフの適合度は立ち上り、ピーク値、逓減部の全ての部分で極めて良好である。以上より本流域における流出解析ではType-B程度の構造を考えれば、十分に実際の流出現象を再現できる事を示した。

5. まとめ

本研究は、単一斜面における降雨流出の基礎式に非線形貯留型モデルの鉛直浸透機構を取り込み、斜面内多層流れを考慮した降雨流出計算手法を提案したものである。ここで得られた知見を以下に示す。

- (1)山田が理論的に導出した非線形貯留型モデルを降雨流出過程の鉛直浸透機構に用いることにより、斜面内多層流れを考慮した降雨流出計算手法を提案した。
- (2)雨量損失を考慮した非線形貯留型モデルを鉛直浸透機構に取り込む事により、既存流出モデルの入力降雨を有効降雨ではなく実測降雨とすることが可能となった。
- (3)Type-A,B,Cの3タイプの鉛直浸透機構を組み込んだ流出計算手法を検証した結果、Type-Bの再現計算において、ハイドログラフの立ち上り、ピーク値、逓減部の再現性が極めて良好である事を示した。

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) 呉修一, 山田正, 吉川秀夫:表面流の発生機構を考慮した斜面多層降雨流出計算手法に関する研究, 土木学会水工学講演会, Vol.49,pp.169-174,2005.