

飽和-不飽和浸透流モデルによる富里ダム流出試験地の流出特性の解明

Estimation of Runoff Characteristics in the Tomisato Dam Experimental Basin based on Saturated-Unsaturated Flow

北見工業大学大学院 ○学生員 椎名秀典 (Hidenori Shiina)
 北見工業大学工学部 正員 早川 博 (Hiroshi Hayakawa)
 北見工業大学工学部 正員 内島邦秀 (Kunihide Uchijima)

1. はじめに

富里ダム流出試験地は、冬季間の積雪量が少なく寒さの厳しい少雪寒冷地である北海道東部地域において、流域の土壤が凍結する融雪流出特性の解明を目的に設けられた。これまでの研究から、本試験地の降雨流出特性は、流域土壤の湿潤状態によって、降雨のピーク時刻に比して1~2時間遅れの流出量の第1ピークに加えて12時間以上遅れる第2ピークが生起することが特徴的である^{1,2)}。4段タンクモデルによる流出解析によると、この特徴的な出水現象は第2段タンクに土壤水分構造³⁾—土壤水分量を一時的に蓄える保水タンクで海外の雨期・乾期がある半乾燥地帯で利用される—を別途付加することによって良好に再現され、土壤水分特性とタンクモデルのパラメータの関係が明らかになってきた⁴⁾。

本研究は、このような特徴的な出水特性をもつ流域土壤中の土中水挙動を明らかにするために飽和-不飽和浸透流モデルを適用し、さらに物理的意味が明確でないといわれるタンクモデルのパラメータの特性について検討を加える。

2. 飽和-不飽和浸透流モデル

本研究の飽和-不飽和浸透流モデルは、白木⁵⁾が提案した2次元のRichards式をコントロールボリューム法で有限差分化し、計算上の水収支誤差を取り除くための修正Picard法、さらにコントロールボリューム境界での透水係数の算定法に上流法を適用する手法に則している。この手法は従来の手法に比して空間刻みを粗くできる利点があり、実流域に適用する場合に有利である。

富里ダム流出試験地は、流域面積0.084(km²)の山地小流域で約28度の急勾配斜面をもつV字谷の流域である。

表-1 飽和-不飽和浸透流の計算パラメータ

	飽和透水係数(cm/s)		土壤条件
	鉛直方向	斜面方向	
ks 1	0.02	0.6	ψ m(cm) -40
ks 2	0.007	0.14	
ks 3	0.007	0.014	σ 1.5
ks 4	0.00007	0.00007	$\theta_s - \theta_r$ 0.33

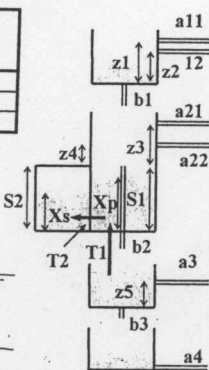
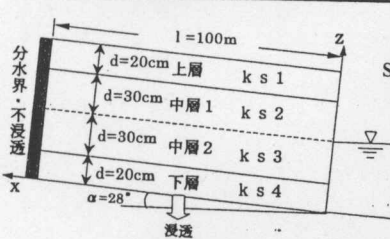


図-1 2次元断面斜面 図-2 直列4段タンクモデル

表-2 タンクモデルの計算パラメータ

出水年月日	a 11	a 12	b 1	a 21	a 22	b 2	a 3	b 3	z 1
'93/10/23	0.08	0.06	0.35	0.05	0.05	0.2	0.07	0.02	5
'94/9/20	0.1	0.1	0.5	0.1	0.1	0.2	0.09	0.04	5
出水年月日	z 2	z 3	z 4	z 5	xs	s 1	s 2	k 1	k 2
'93/10/23	0	40	5	0	55	200	200	0.1	0.2
'94/9/20	0	40	5	0	40	200	200	0.1	0.2

土壤の構成は表層15~20(cm)が腐植土などからなるA₀層、その下に50~70(cm)厚のA層、粘土を含む層が続き、B層の下は基岩が現れる。基岩はかなり脆弱で亀裂も見られ、不浸透層とは考え難い。また、B層は河道近傍で厚く、斜面部ではほとんどない地点もある⁶⁾。このような流域の状況を勘案して、本研究では図-1に示すような透水係数の大きく異なる、上・中・下層の3層からなり、その下の基岩部は若干の浸透を認める2次元断面斜面を想定した。また、斜面下流端の境界条件として、地下水位面を中層に設定し、地下水位より上を中層1、下を中層2とした。この区分は従来の研究で良好な再現結果を得ている4段タンクモデル(図-2)の各段タンクにはほぼ対応するもので、上層が第1段タンク、中層1が第2段タンク、中層2が第3段タンク、下層が第4段タンクに対応するものと考えられる。土壤の物理特性量である $\theta - \phi$ 、 $K - \phi$ 関係(ここで、 K :透水係数、 θ :体積含水率、 ϕ :圧力水頭)は白木と同様の関係式を用い、試験地の実測値⁶⁾に合わせて係数を決定する。表-1は土壤の特性諸量を示している。なお、計算の空間刻み幅は $\Delta z = 10(\text{cm})$ 、 $\Delta x = 200(\text{cm})$ 、時間刻みは $\Delta t = 1(\text{sec})$ として計算した。

3. 解析結果と考察

本試験地における降雨流出の典型的な例として、図-3は流出量の第2ピークが明確に生起していない1993年10月23日における出水例である。図-4は第2ピークが生起している1994年9月20日の出水例で、20日の出水では第2ピークは生起していないものの、続く25日の出水時には第2ピーク(図中矢印)が生起している。

飽和-不飽和浸透流モデルは、この特徴的な流出特性を示す出水時の土中水の挙動を把握するため、1993年10月23日の出水を対象に各層の飽和透水係数 K_s を試行錯誤的に決定した。実流域に飽和-不飽和浸透流モデルを適用する場合には、八田⁷⁾も指摘しているように、透水係数を室内実験の値より1オーダー程度大きくし、斜面流下方向の透水係数も鉛直方向より5~10倍大きくすることが知られている。本試験地のA層の室内実験値 K_s は約0.01(cm/s)で、中層はこの値に近く、A₀層に相当

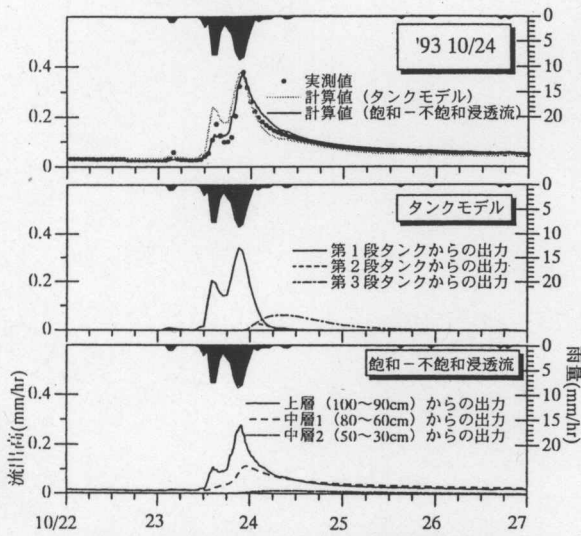


図-3 1993年10月23日の出水例と計算値

する上層はこれよりかなり大きな値をとり、逆にB層に相当する下層はかなり小さな値をとると考え、表-1のように透水係数を定めた。

図-3に併記している計算結果のハイドログラフは観測値をかなりよく再現しているようである。タンクモデルとの流出成分の比較は、第1段タンクと上層の流出成分は同程度であるが、第3段タンクと中層2からの流出成分がかなり異なっている。この結果から、流出量の第1ピークは上層内を浸透する早い成分で構成されていることが、飽和-不飽和浸透流モデルからも判断できる。

次に、この透水係数を1994年9月20日の出水に適用した結果が図-4に併記されているが、計算結果は観測値をうまく再現していない。タンクモデルにおいて2次ピークを形成する第3段タンク流出成分を比較すると、やはり中層2からの流出成分が異なっている。飽和-不飽和浸透流モデルによって本試験地の特徴である流出量の第2ピークを再現するには、第3段タンクの流出成分に近い流出特性を示す必要がある。中層2からの成分を増加させるため、斜面流下方向の透水係数 $Ks3$ を $0.07(\text{cm/s})$ (鉛直方向の10倍)として計算した結果が図-5である。中層2からの成分は増加したものの、明確な第2ピークを形成するまでには至っていない。また、この成分の遞減部は遅く、その結果、計算ハイドログラフの遞減部は緩やかになり観測値との対応が悪い。飽和-不飽和浸透流モデルではタンクモデルの土壌水分構造に相当する部分をどのように想定すればよいのか、今後の大きな課題である。

4. おわりに

本研究は、本試験地の特徴的な流出特性である流出量の第2ピークを示す場合の土中水挙動を明らかにするため、飽和-不飽和浸透流モデルによる流出解析を行った。観測ハイドログラフを良好に再現するタンクモデルと比較しながら解析を進めたが、現段階では満足すべき結果は得られていない。今回は各層の透水係数が斜面方向に一律な3層からなる2次元断面斜面を想定して解析を

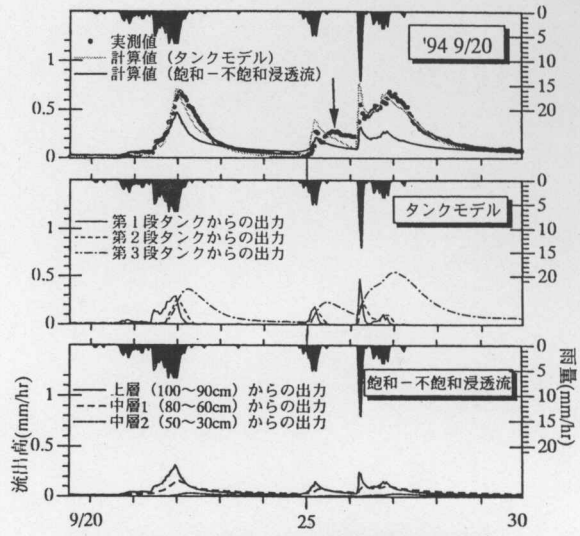


図-4 1994年9月20日の出水例と計算値

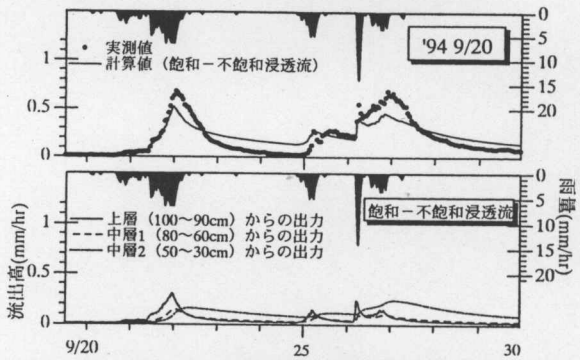


図-5 1993年10月23日の出水例と計算値

[中層2の斜面方向透水係数 $Ks3=0.07(\text{cm/s})$]

進めた。しかし、実斜面では斜面下流の河道部と斜面上部の尾根付近では透水係数や土層厚も同じではないので、この点を考慮するとともに、タンクモデルの土壌水分構造に相当する部分の表現も合わせて検討し、タンクモデルパラメータの物理的な意味を明らかにしていく予定である。

参考文献

- 1) 早川博, 内島邦秀: 富里ダム流出試験地の流出特性について, 土木学会北海道支部論文報告集, 第50号, pp.324~329, 1994.
- 2) 早川博, 内島邦秀: 富里ダム流出試験地の流出特性について(第2報), 土木学会北海道支部論文報告集, 第51号, pp.60~63, 1995.
- 3) 菅原正巳: 続・流出解析法, 水文学講座別巻, 共立出版, 1979.
- 4) 早川博, 松本隆志, 内島邦秀: 富里ダム流出試験地の流出特性について(第3報), 土木学会北海道支部論文報告集(A), 第55号, pp.40-45, 1999.
- 5) 白木克繁: 山腹斜面を対象とした粗い空間刻みによる浸透数値計算法の提示, 水文・水資源学会誌, Vol.6, No.6, pp.586-602, 1998.
- 6) 椎名秀典, 林和宏: 富里ダム流域における不飽和浸透特性, 苫小牧高専平成9年度卒業研究, 1998.
- 7) 八田茂実: 山地流域における流出過程のモデル化とその応用に関する研究, 北海道大学博士論文, 1998.