

II - 27

不飽和浸透解析による土壌保水能に関する基礎的研究

東北大学大学院 学生会員 ○高橋雅之
東北大学大学院 正 会 員 風間 総
東北大学大学院 フェロー 沢本正樹

1. はじめに

気候変動による降水量への影響、人口増加や経済発展による水需要の増加に対して、日本でのダムの役割は治水・利水の面でより重要となってきた。環境面の配慮から、ダム計画の立案以前に森林土壌の保水能力が最大限発揮されているかを評価する必要がある。森林土壌における既往の研究では土壌のヒステリシス効果は考慮されておらず、農業土木の分野では二次元モデルや斜面モデルでの議論には至っていない¹⁾。

本研究では流域規模での基礎的研究として、Takahashi et al.²⁾が構築した Richards の方程式に基づく不飽和浸透モデルを用いた解析と浸透実験の結果を比較することで斜面でのヒステリシス効果による浸透量への影響について検証することを目的とする。

2. 浸透実験

2-1 実験装置

本研究で用いた実験装置は、図 1 に示すような長さ $l=1.5\text{m}$ 、高さ $h=0.5\text{m}$ 、幅 $B=0.2\text{m}$ の長方形水槽である。土層厚 $d=0.3\text{m}$ で、試料には豊浦標準砂を用いた。勾配 α は台秤 A、B の高さを調節することで $0\sim 30^\circ$ まで変化可能である。装置左端の流出面はフィルターになっており、ここからの流出量を測定する。

2-2 実験方法

2-1 で述べた浸透実験装置を用いて以下の手順で流出量を測定した。

- ① 土壌をほぼ飽和状態にし、2 時間排水させた状態を定常状態にする。
- ② 定常状態後の 10 分間、表面に一樣降水させ、1 分毎に流出量と装置全体の重量を計測する。
- ③ 以降の 50 分間は降水なしで、同様に 1 分毎の流出量と装置全体の重量を計測し、定常状態後から合計 1 時間の流出量の変化をグラフにする。

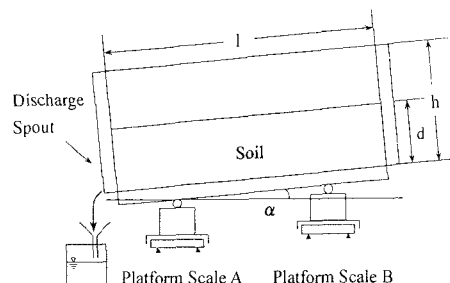


図 1 浸透実験装置の概要

なお、降水は $0.5, 1.0, 2.0\text{mm/min}$ の 3 種類、勾配は $0, 5, 10, 15^\circ$ の 4 種類で、合計 12 種類の実験を行った。

3. 数値実験

3-1 実験概要

Takahashi et al.²⁾が構築したモデルを用いて、ヒステリシスを考慮した場合としない場合でそれぞれ 12 ケース、合計 24 ケースの数値実験を行った。数値実験に用いた降水量以外のモデルおよび土壌パラメータを表 1 に示す。なお、各実験とも計算開始時の圧力水頭は地表面と地下水面が一致するような静水圧分布とした。

実験では蒸発散量を与えず、降水量は浸透実験と同様に与えた。なお、土壌パラメータ ($K_{sx}, K_{sz}, \psi_0, \theta_s, \theta_r, \beta$) は竹下ら³⁾の測定結果に基づいて設定した。数値解析では 1 分毎の流出量を出力し、降水開始から合計 1 時間の流出量の変化をグラフにした。

3-2 最適ヒステリシスパラメータ

土壌ヒステリシスを表現するためにはヒステリシス幅 ψ_h およびヒステリシス基準値 ψ_{0s} の 2 つのパラメータが必要である。本研究では、数値実験の結果を浸透実験により得られた流出ハイドログラフとキャリブレーションすることで $\psi_h=0.15\text{m}$ 、 $\psi_{0s}=-0.35\text{m}$ を最適ヒステリシスパラメータとして選定した。

表1 モデルパラメータ

Name of Parameter	Value of Parameter
n_x	30
n_z	20
Δx (m)	0.050
Δz (m)	0.015
K_{sx} (cm/sec)	2.56×10^{-2}
K_{sz} (cm/sec)	2.56×10^{-2}
ψ_0 (m)	-0.25
θ_s	0.41
θ_i	0.00
β	3.0

4. 結果と考察

3.2 で選定したパラメータを用いた解析結果と浸透実験で得られた流出ハイドログラフの比較を図2から図4に示す。いずれの図でも、ヒステリシスを考慮した場合の解析結果の方がしなやかな場合に比べて実測値と良い一致を示している。特にピーク流量およびピーク後の流量の低減速度において良い結果を示している。また、すべての図における流量の立ち上がりについては、実測値よりもヒステリシスを考慮した計算値の方が遅くなっていることが分かる。数値解析におけるヒステリシスの判定には1タイムステップ余計に要している。つまり時刻 $n-1$ と n における圧力水頭の変動量から乾燥・湿潤過程を判定しているために、例えば $n+1$ で圧力水頭が増加しても $n-1$ と n における圧力水頭の変動量が減少しているならば乾燥過程となってしまう。

5. まとめ

本研究では最適ヒステリシスパラメータを算定し、それを用いた数値解析と浸透実験の結果を比較・検討した。選定したパラメータはキャリブレーションを行ったケースにおいては良好な結果を得たが、異なったケースにおいては今後さらに検証を行う必要がある。

謝辞

本研究は河川環境管理財団の援助を受けた。ここに謝意を表します。

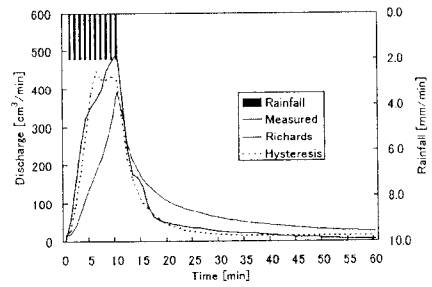


図2 ハイドログラフ ($\alpha = 0^\circ, r = 2.0 \text{ mm/min}$)

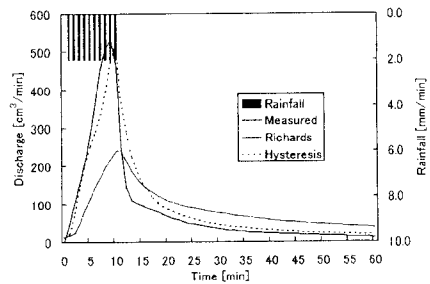


図3 ハイドログラフ ($\alpha = 5^\circ, r = 2.0 \text{ mm/min}$)

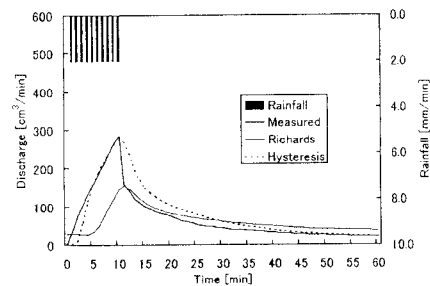


図4 ハイドログラフ ($\alpha = 10^\circ, r = 2.0 \text{ mm/min}$)

参考文献

- 1) 粟生田忠雄・吉田昭治：ヒステリシスを考慮した土壌-植物-大気連続系の土壌水分動態モデル，水文・水資源学会誌，第8巻3号，pp.322-334，1995。
- 2) Takahashi, M., Kazama, S. and Sawamoto, M.: The Model of Unsaturated Infiltration Analysis considering Hysteresis Effect, 10th International Symposium on Flow Visualization, pp.145, 2002.
- 3) 竹下祐二・河野伊一郎：不飽和浸透特性の推定方法とその適用について，地盤と建設，Vol.11, No.1, 1993.