

Diskin-Nazimov 雨水浸透モデルの非線形化の可能性

○藤村和正 (明星大学)

1. はじめに

浸透現象は、雨水を表面流出と地下水流出に分けるプロセスであり、降水、流出、蒸発散とともに水循環系の重要な素過程である。1939年、Hortonは、浸透能より降雨強度が高い条件において浸透能は指数関数的に減少する経験式を提案した。しかし、実際の降雨の浸透現象は、常に変化する降雨強度に対して浸透能も変化する。そこで、Smith¹⁾やMein and Larson²⁾は定常の降雨強度を考慮した浸透能式を示した。その後、Diskin and Nazimov³⁾は非定常降雨から浸透能を算定する雨水浸透モデルを提案した。このモデルは表層土壌水分量と浸透能の関係を単純な線形式で表現している。筆者らは、モデルの検証を散水浸透実験によって行い⁴⁾、洪水流出解析や水循環解析に適用してきた。しかし、最近国内で発生する豪雨による甚大な自然災害を鑑みると、流出解析を高精度で実行できる環境が必要があり、そこに雨水浸透解析の重要性がある。そこで本研究では、Diskin-Nazimovの浸透能式の非線形化を行い、過去の散水浸透実験値に適用し、その結果について考察することを目的とする。

2. Diskin-Nazimov の浸透能式の概要

表層土壌中に存在する水分量は雨水を起源としている。水分量の多寡により浸透能は決まり、土壌中に水分貯留量が多いと浸透能は低く、水分貯留量が少ないと浸透能は高い。この水分貯留量と浸透能のS-f関係をDiskin and Nazimovは単純な線形式で表した(図1)。さらに、表層土壌中の水分量が下層の土壌や岩盤に移動する降下浸透現象を水分貯留量と降下浸透量のS-g関係も線形式で表現している。式中のパラメータ、初期浸透能 f_0 、終期浸透能 f_c と表層水分貯留量 S_{ma} は土壌固有の値である。このようにDiskin-Nazimovの浸透式は、合理的な考え方に基づき、線形式により簡潔に表現している。

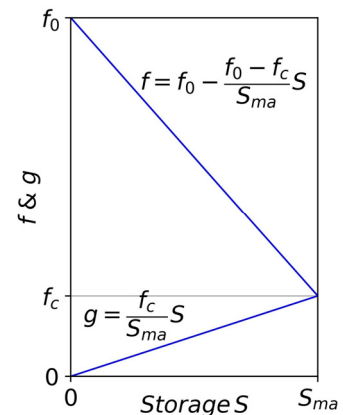


図1 貯留量S-浸透能f及び貯留量S-降下浸透量gの関係が線形的なDiskin-Nazimovモデル

3. 非線形化した浸透能式の提案

浸透能式を線形式から非線形式に改良できれば多様な解析値が得られ、より忠実に浸透現象を表現できる可能性がある。本研究ではDiskin-Nazimovの貯留量-浸透能の概念を基本とし、様々な非線形式のうち指数関数式と対数関数式により浸透能式を表す。まず、浸透能と貯留量の最小値、 f_{mi} と S_{mi} の設定が必要である。線形式では両者の最小値は0であるが、非線形式の場合0は設定ができない。そこで0の近傍を最小値と見なし、それぞれ f_{mi} と S_{mi} で表す。次に、非線形式は平面上の2点(S_{mi}, f_0)と(S_{ma}, f_c)を通過することを条件とする。なお、 S_{ma} は表層土壌が貯留できる水分量の最大値である。この2点通過の条件から非線形式のパラメータが決定でき、浸透能式を非線形式で表すことが可能となる。貯留量-降下浸透量式の場合も同様である。このようにして得た指数関数型の浸透能式と降下浸透

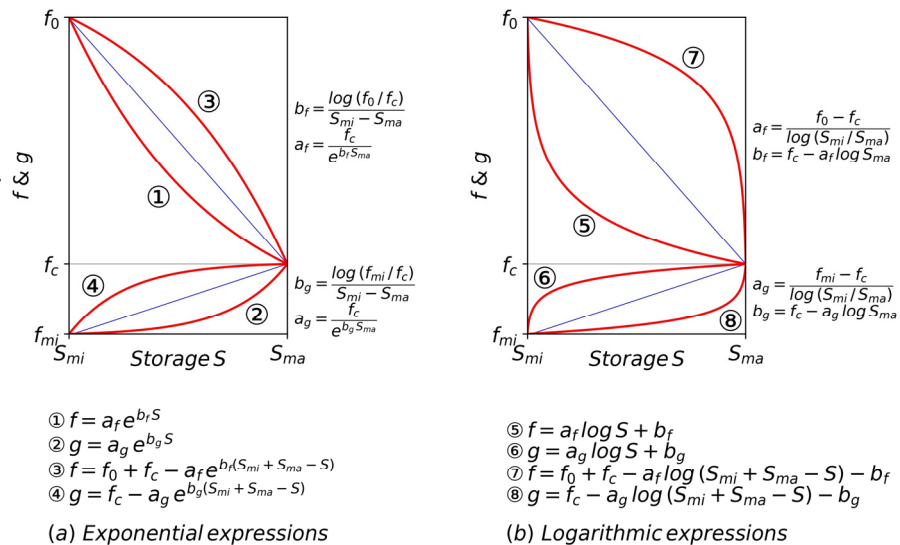


図2 貯留量-浸透能関係を線形化したDiskin-Nazimovモデル

量式は図 2 (a) の①曲線、②曲線であり、対数関数型については図 2 (b) の⑤曲線、⑥曲線である。これらの式を上下左右に反転すると新たな非線形式が得られ、①、②、⑤、⑥曲線の反転式がそれぞれ③、④、⑦、⑧曲線である。なお、図 2 に表記している a_f 、 b_f 、 a_g 、 b_g は非線形式のパラメータである。

4. 散水浸透実験値への適用

筆者らが過去に実施した散水浸透実験⁴⁾に非線形化した浸透能式を適用させる。散水浸透実験は 1999 年 8 月 18 日から 3 日間、東京都立大学（現・首都大学東京）構内の雑草伐採裸地の 3 地点において表 1 に示す散水条件で実施した。解析には非線形化した浸透能式として、①、③式の指数関数型と⑤、⑦式の対数関数型を用いた。浸透パラメータ f_0 、 f_c 、 S_m の値を逐次変化させ解析を行う。 f_{mi} と S_{mi} の値は実現象では 0 と見なせる値としてそれぞれ 0.01 を設定した。誤差評価指標には Nash 指数と平均二乗誤差 RSME を用いる。解析は、①、③、⑤、⑦式全ての浸透能式で実行可能であり、誤差評価値が最良となる f_0 、 f_c 、 S_m 値を決定した。解析結果として、指数関数反転式③式は比較的良好な結果を示した。誤差評価値の NSE 値は 0.656 ~ 0.872、RMSE 値は 4.85 ~ 6.32 であり、線形式の解析結果が NSE 値は 0.651 ~ 0.774、RMSE 値は 4.91 ~ 8.82 であることから、再現性は線形式より若干向上している。図 3 にその浸透能グラフを表す。目視による確認でも解析値はおおよそ実測値を再現している。

5. おわりに

本研究により得られた成果は、1) Diskin-Nazimov の概念に基づき、浸透能式は非線形の指数関数式および対数関数式として表現できることを示した。2) 指数関数式と対数関数式の浸透能式およびその上下左右反転式を散水浸透実験値に適用し解析を行ったところ、解析実行を確認した。3) 指数関数反転型の浸透能式は妥当な解析結果を示し、線形式の浸透能式より若干良好な誤差評価値を表した。本研究は Diskin-Nazimov モデルの非線形化の第一歩である。今後は他の非線形式も含めて浸透実験値への適用性を検討し、その後、流出解析の精度向上を図る考えている。

参考文献

- 1) Smith, R.E. (1972): The infiltration envelope: results from a theoretical infiltrometer. *Journal of Hydrology*, Vol.17, pp.1-21.
- 2) Mein, R.G. and Larson, C.L. (1973): Modeling infiltration during a steady rain. *Water Resources Res.*, Vol.9, No.2, pp. 384-3.
- 3) Diskin, M. H. and Nazimov, N. (1995): Linear reservoir with feedback regulated inlet as a model for the infiltration process, *J. Hydrology*, Vol.172, pp.313-330.
- 4) Fujimura, K. and Ando, Y. (2001): Analysis of infiltration capacity in upper soil layer during unsteady rainfall using a rainfall simulator. In: *Urban Drainage Modeling*, Eds. R. W. Brashear and C. Maksimovic, ASCE, pp.83-88.

表 1 散水浸透実験の散水条件

1999 年	散水状況	散水	休止	散水	休止	散水
実験 1 8 月 18 日	継続時間 (min)	60	95	60	65	60
	散水強度 (mm/h)	51.7	0	38.9	0	68.6
実験 2 8 月 19 日	継続時間 (min)	60	110	60	65	60
	散水強度 (mm/h)	50.2	0	34.3	0	34.0
実験 3 8 月 20 日	継続時間 (min)	60	105	60	50	60
	散水強度 (mm/h)	78.6	0	54.8	0	43.5

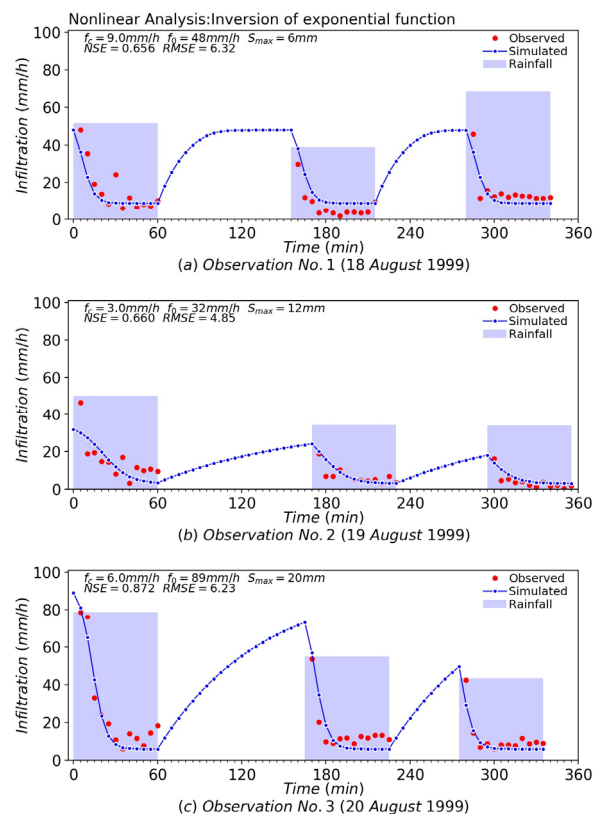


図 3 浸透能解析結果の一例