

浸透能特性とそのモデル化に関する研究

京都大学工学部 正員 青木一男
 京都大学工学部 正員 嘉門雅史
 京都大学工学部 学生員 ○浅野陽一

1. はじめに

土中への雨水浸透現象は、山腹斜面の崩壊現象、不圧地下水のかん養量、および地下水変動などに大きく関わっており、雨水の浸透特性を明らかにすることは土質工学において重要な課題の一つであるといえる。雨水浸透現象を解析的に明らかにする場合、地表面での境界条件となる浸透能は重要な項目の一つとなるが、浸透能特性は不飽和浸透理論に従うためその挙動が複雑で、十分に評価されているとはいえない。また、浸透能の原位置における測定は、冠水型試験などの浸透能試験によって数多くなされているが、得られたデータを適切に評価する方法も確立されてはいない。そこで本研究では、浸透能特性を明らかにするため、不飽和浸透理論に基づいた有限要素法による数値解析を用いて浸透能試験のシミュレーションを行うことにより、浸透能に対する種々の影響因子を評価することを試みた。

2. 浸透能試験シミュレーションの手法

シミュレーションの対象として地表面に10cm冠水させる冠水型浸透能試験を考え、均質な地盤における鉛直1次元不飽和浸透として解析を行った。不飽和浸透の基礎式としては Richards¹⁾の式を用い、有限要素法により地表面から地下水面までの各節点での圧力水頭を求めることにより、地表面からの浸透強度を求めた。境界条件は、地表面において10cmの圧力水頭を与え、地下水面における圧力水頭をゼロとした。また初期条件は後述のように様々に設定した。

与えられた境界条件と初期条件のもとで圧力水頭の変化を求めるには、不飽和透水係数と比水分容量の値が既知でなければならない。体積含水率-圧力水頭の関係ならびに不飽和透水係数-圧力水頭の関係は、種々のモデルが提案されているが、本研究では次に示すような Van Genuchten²⁾の式を用いた。

$$Se = \left(\frac{1}{1 + |\alpha \psi|^n} \right)^{1-1/n} \quad (1), \quad kr = Se^{1/2} \{1 - (1 - Se^{1/n})^n\}^2 \quad (2)$$

$$Se = (\theta - \theta_r) / (\theta_s - \theta_r) \quad (3)$$

ここで、Se: 飽和度、 θ : 体積含水率、 θ_s : 飽和体積含水率、 θ_r : 最小含水量、 ψ : 圧力水頭、kr: 飽和透水係数 k_s に対する不飽和透水係数の比、 α , n : 係数である。

水分特性曲線は、排水過程と湿潤過程の間にヒステリシスを生じると言われるが、本研究では、ヒステリシスを無視した一価関数として取り扱った。

3. シミュレーションの設定条件

浸透能に影響を与える因子としては様々のものが考えられるが、地下水位、初期含水状態、不飽和浸透特性を取り上げ、その評価を試みた。設定した条件は、地下水位として地表面下 1m, 3m, 5m の3種、初期含水状態として、晴天が続いた後の気乾状態、1mm/day の定常降雨があったときの定常状態、10mm/day の定常降雨があったときの定常状態の3種、不飽和浸透特性として実測値によるサンプル³⁾を3種のそれぞれである。用いた不飽和浸透特性のパラメータを

表-1 に示す。

表-1 試料の種類と Van Genuchten 式のパラメーター

サンプル 番号	分 類	k_s (cm/sec)	α (cm ⁻¹)	n	θ_s	θ_r
No.1	細 砂	4.000×10^{-3}	0.0242	1.5476	0.410	0.0
No.2	標準砂	2.084×10^{-2}	0.0522	5.6784	0.300	0.0
No.3	シラス	1.000×10^{-4}	0.0589	1.3480	0.600	0.0

4. シミュレーション結果と考察

図-1に地下水位を変化させたときの浸透能曲線を示す。初期浸透能は地下水位が低下するほど大きくなるが、その影響は地

Kazuo AOKI, Masashi KAMON, Yoichi ASANO

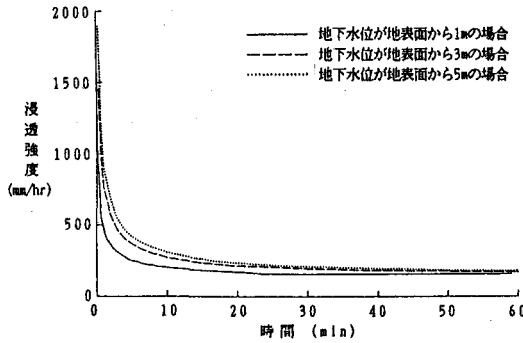


図-1 地下水位が浸透能に及ぼす影響

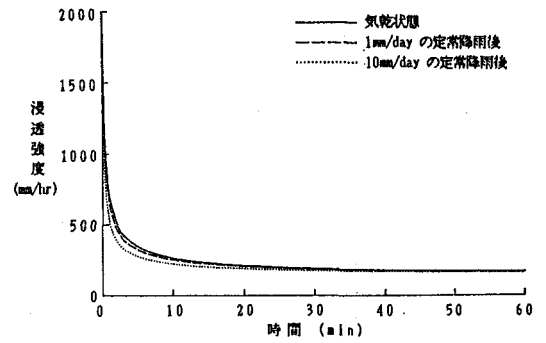


図-2 初期含水状態が浸透能に及ぼす影響

地下水位が低下するほど小さくなっており、地下水位が地表面下 3m 以下となるとその影響はほとんど生じないと推定される。図-2に初期含水状態を変化させたときの浸透能曲線を示す。気乾状態、1mm/day の定常降雨後、10mm/day の定常降雨後の順に初期浸透能が低下したが、違いはわずかである。また、地下水位、初期含水状態はいずれも最終浸透能には影響を与えないことがわかる。図-3に不飽和浸透特性を変化させたときの浸透能曲線を示す。サンプル No.2, No.1, No.3 の順に浸透能が大となり、不飽和浸透特性によって浸透能曲線が大きく異なった。表-1 から考えて、浸透能の違いに支配的な影響を与えているのは k_s であると推定される。

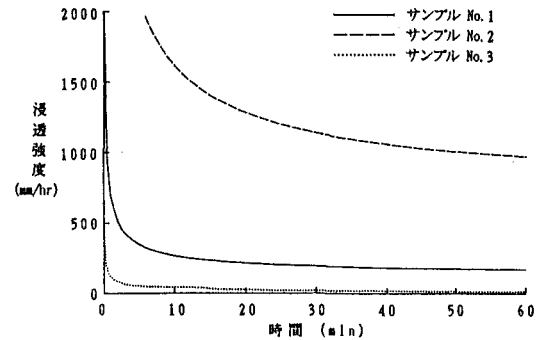


図-3 不飽和浸透特性が浸透能に及ぼす影響

また図-4は、初期含水状態を変化させたときの浸潤域の進行の時間的变化を示すものである。初期含水状態が、10mm/day の定常降雨後、1mm/day の定常降雨後、気乾状態の順に浸潤域の進行が早くなっており、初期の浸透能の低下も早く生じることがわかる。最終浸透能は初期含水状態に影響されないが、これは、浸透能は地表面付近の含水状態によって決定され、浸潤域の進行に差が生じても、地表面付近の含水状態はほぼ等しい状態に至ることを示している。

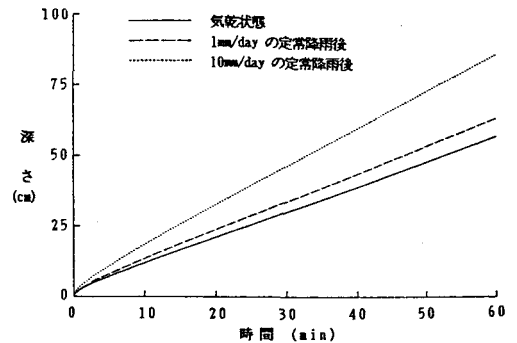


図-4 初期含水状態が浸潤域の時間的变化に及ぼす影響

5. おわりに

本研究で得られたシミュレーション結果は、従来の浸透能の実測データと比較して定性的にはほぼ一致しており、本研究で用いたシミュレーション手法の妥当性を示している。

参考文献 1) Richards, L. A. : Capillary condition of liquid through porous mediums, Physics, Vol.1, pp.318-333, 1931. 2) Van Genuchten, M. Th. : A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils, Soil Sci. Soc. Am. J., Vol.144, pp.892-898, 1980. 3) 西垣誠, 楠見和紀: 不飽和土の浸透特性の評価に関する考察, 不飽和土の工学的性質研究の現状シンポジウム論文集, pp.179-186, 1987.