

II-71

不飽和土壌における透水性の評価について

室蘭工業大学大学院 学生員 熊谷 恭人
室蘭工業大学工学部 正員 藤間 聡

1. はじめに

著者らは、1988年から流出試験地を設けて各種水文観測を行い、土壌パラメーターが降雨流出現象に大きな影響を与えることを定性的に確認した。また数値計算では、定常パラメーターを用いた場合、実流出現象を再現するのは困難であり、非定常パラメーターを用いた解析が必要であるという結論を得た。本研究では土壌の非定常パラメーターである不飽和透水係数の測定および水分特性曲線と不飽和透水係数の関係について報告するものである。

2. 実験試料

対象とする流出試験地は、室蘭工業大学より北西500m地点の丘陵斜面地で流域面積0.029km²、南北の谷と河道部分より構成される(図1)。流域の土層構造は表層土(A₀₀層)、有機質土層(A₀層)、火山灰層(A₁層)の3層から形成され、実験試料は中流域で、それぞれA₀、A₁層の不攪乱試料を採取して用いた。

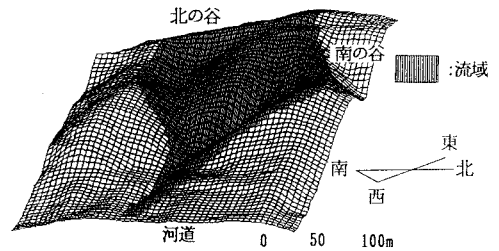


図1. 流域概要

3. 不飽和透水係数の測定

不飽和透水係数の測定は、図2に示す定常加圧式不飽和透水試験器を用いた。この装置は、試料に一定の正圧を作用させながら、適当な水頭差で水を流すことによって、疑似不飽和浸透流を発生させるものである。不飽和透水係数 k は Δz 間の圧力差 Δh と流出量 Q を用いて、(1)式により求められる。

$$k = - \frac{Q}{(\Delta h / \Delta z) + 1} \quad (1)$$

実験は55~15~55cmH₂Oの正圧を10cm刻みに作用させ、これを1サイクルとして各正圧における不飽和透水係数を算出した。図3はサクション $\psi = 45$ cmにおけるA₀層の不飽和透水係数の時間変動であり、不飽和透水係数 k は、圧力を作用させてから数時間の間、流量 Q と圧力差 Δh が安定しないために減少

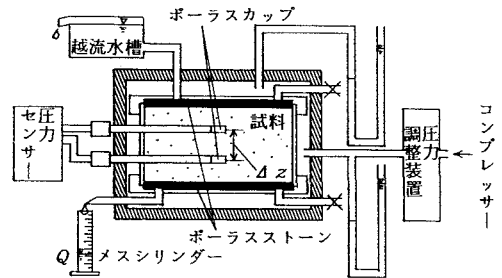


図2. 不飽和透水試験器

する傾向を示す。このため、所定の圧力における不飽和透水係数 k は約5~20時間後の安定した時点の値をとる。加圧式不飽和透水試験器は、土に作用させる正圧がサクションと等価であるため任意サクションの不飽和透水係数が測定可能となる。しかし、同サクションでの水分量は測定できないため、他の実験で水分特性曲線を求めて推定しなければならない。

4. 水分特性曲線の測定

水分特性曲線は、低サクションで精度良く実験法の簡単な土柱法により求めた。図4は土柱法で

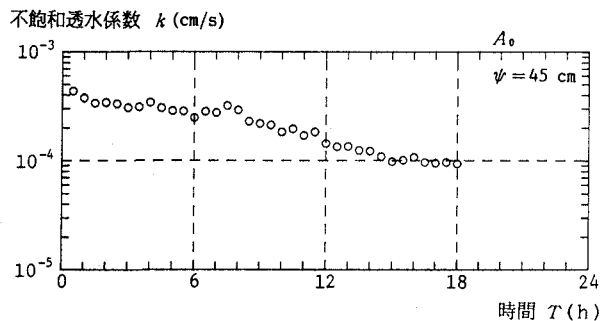


図3. 時間-不飽和透水係数図

求めた A_0 、 A_1 層の水分特性曲線である。 A_0 、 A_1 層とも、吸水過程と排水過程の間で明確なヒステリシスが現れる。またサクシオン20~100cmH₂Oの範囲で A_0 層のヒステリシスが、 A_1 層と比較して大きく現れるのが特徴的である。同図と不飽和透水試験の結果から任意サクシオンの不飽和透水係数と水分量がある程度推定できる。

5. 水分特性曲線による不飽和透水係数の推定

加圧式不飽和透水試験は1サイクルで150時間以上の時間を要し、また圧力調整のために常時実験操置を操作しなければならない。しかも低サクシオン程、実験が難しいため不飽和から飽和への境界部における透水係数の測定が非常に困難である。この困難を克服するため、本研究では水分特性曲線から不飽和透水係数を推定する。推定式としてVan Genuchten 式を用いる。

Van Genuchtenは、有効飽和度 S_e —サクシオン ψ 間に次式が成立することを実験的に見いだした。

$$S_e = \{1 / [1 + (\alpha |\psi|)^n]\}^m \quad (2)$$

$$\text{ここに、} S_e = (\theta - \theta_r) / (\theta_s - \theta_r) \quad (3)$$

また、 α 、 n は定数、 $m = 1 - 1/n$ 、 θ は体積含水率、 θ_r は残留体積含水率、 θ_s は飽和体積含水率である。(2)、(3)式中のパラメーター α 、 n 、 θ_r 、 θ_s をPowell法で最適同定化し、水分特性曲線を求めたものが図4の実・破線である。同図よりVan Genuchten 式が本流域の土壤の水分特性曲線を正確に再現していることがわかる。また、この同定したそれぞれのパラメーターを用いて(4)式により不飽和透水係数の推定を行う。

$$k = k_s \frac{\{1 - (\alpha \psi)^{n-1} [1 + (\alpha \psi)^n]^{-m}\}^2}{[1 + (\alpha \psi)^n]^{m/2}} \quad (4)$$

ここに、 k_s は飽和透水係数である。図5の実・破線は(4)式に A_0 、 A_1 層の飽和透水係数それぞれ 1.46×10^{-3} 、 2.68×10^{-3} を代入し計算したものであり、黒丸、黒四角は不飽和透水係数の実験値である。同図より計算値は、ほぼ実験値を補完するかたちで表され、長時間の不飽和透水試験の実験を複数回も行う必要なく測定が簡単な水分特性曲線から不飽和透水係数の推定が可能である。

6. まとめ

これらの結果を要約すると、①定常加圧式不飽和透水試験器は任意サクシオンにおける不飽和透水係数を測定できるが、水分量は測定できない。②任意サクシオンの不飽和透水係数と水分量の関係は土柱法で水分特性曲線を求めることによって、ある程度算出できる。③Van Genuchten 式は本流出試験地の土壤の水分特性曲線を適確に表現しうる。④水分特性曲線からVan Genuchten 式を用いて不飽和透水係数の推定を行える。

以上、 A_0 、 A_1 層の不飽和透水試験と水分特性曲線の測定より不飽和透水係数について検討した。結果の④は、今後の数値計算で有効に用いることが可能であることを示す。今後は、この結果をもとにした数値計算および不飽和透水係数の実験データ収集を行う所存である。

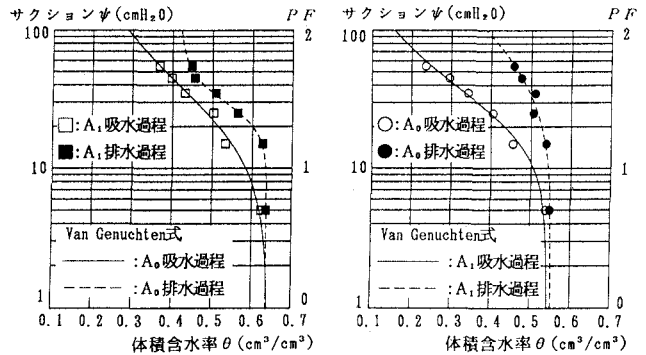


図4. 水分特性曲線

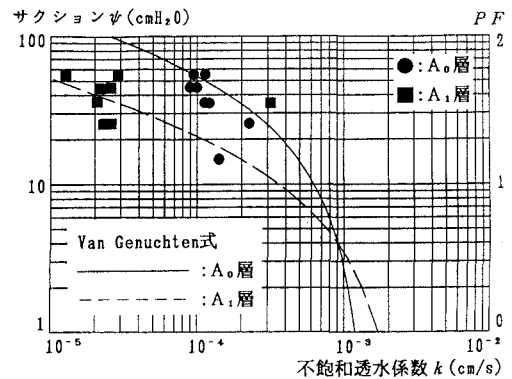


図5. 不飽和透水係数