

II-95 毛管モデルによる不飽和透水係数の評価

東京大学土木工学科 正員 玉井 信行  
 東京大学土木工学科 正員 浅枝 隆  
 東京大学大学院 学生員 ○田中 靖治

1. はじめに

不飽和浸透現象に対しては、従来は主に地下水流を拡散型方程式で扱い、その拡散係数にあたる透水係数は、吸引圧力の関数である体積含水率 $\theta$ の関数として経験的に求め、力学的な力の釣り合いから生ずる水粒子の空隙中の流れ方などの物理面はブラックボックスとした扱いがなされてきた。本研究は、筆者等が第40回年講において提案した多孔質媒体の空隙を毛細管で近似するモデルを用い流出特性を求め、従来の不飽和透水係数に関し経験的に求められた性質と比較し、不飽和浸透流の力学機構について検討を行なったものである。

2. 毛管モデルの考え方

多孔質媒体の空隙を多数の毛管でモデル化することにより、不飽和浸透現象をシミュレーションし、与えられた体積含水率に対する不飽和透水係数を求めることを試みた。このモデルにおいては、毛管の径が対数正規分布するものと仮定し、媒体中の体積含水率の初期値は各毛管にあらかじめ与える水柱により模擬させるものとした。なお、各毛管にはどの水平断面においても飽和度がほぼ一樣になるように水柱を分布させることにした。その時、水柱の長さ及び水柱の間隔などは乱数を用いて適当に分散させた。ただし臨界長以上の長さを持つ水柱は存在しないと考えられるため、水柱の長さは最大のものでもその水柱の入っている毛管の径に対する臨界長を越えないものとする。ここで臨界長とは、鉛直に立てられた毛管内の水柱が表面張力のために静止し得る最長の長さのことである<sup>1)</sup>。そして毛管より成る多孔質媒体の上面に圧力を与えて、毛管内に存在する水柱の落下特性を追跡した。その際、媒体上面に付加される圧力は毛管上部にかかる圧力で置き換えた。このシミュレーションにおいて不飽和透水係数は、適当な深さに検査断面をとり、その断面より流出する水の量から次式により計算した。

$$k = Q / \{ A (1 + l / \rho g) \} \dots (1)$$

ただし、 $Q$ は断面積 $A$ を $t$ 秒間に通過する流量であり、 $l$ は毛管内の圧力勾配、 $\rho$ は水の密度、 $g$ は重力加速度である。

3. 不飽和透水係数の算出

河西ら(1986)が用いた砂O、砂Sに対する実験及びWatson(1966)の砂に対する実験のそれぞれに対して、毛管モデルにより不飽和透水係数を算出した。砂粒子の粒径は、実験に用いられた試料の状態に近づけるために、河西らの砂Oでは0.074 ~ 1.0mm、砂Sでは0.074 ~ 0.5mm、Watsonの砂では0.15 ~ 0.30mmの範囲に全粒子の99.73%の粒子が収まるように対数正規分布させた。また、毛管の半径は図1に示されるように、粒径の等しい4つの砂粒子にとり囲まれたすき間の中に毛管がすっぽり入るように一本の毛管の半径を定めた。つまり、毛管をとり囲む砂粒子の半径が $R$ のとき、毛管の半径 $a$ は $a = (\sqrt{2}-1)R$ となる。

また、与える圧力、初期体積含水率等の条件は実験条件と同一にした。ただし、Watsonの実験は加圧式ではなかったため、シミュレーションにおいては適当な圧力を想定した。

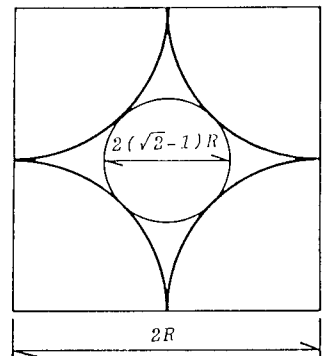


図1 毛管径の定義

これら3種類の砂のそれぞれについて、いろいろな体積含水率に対して毛管モデルにより算出した不飽和透水係数と、同一条件において実験から求めた不飽和透水係数を比較したものが、図2及び図3である。

なお、図の中の直線は

$$k = A \theta^m \dots (2)$$

という式でべき乗回帰計算をおこなったものであり、実線が実験値、一点鎖線が計算値にたいするもので定数A, mの値は表1に示す通りである。

4. 考察

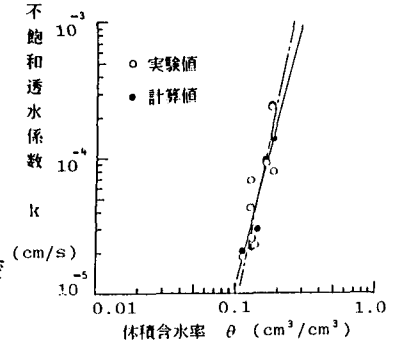
本解析により得られた不飽和透水係数の値は図2, 3及び表1にみられるようにWatson, 河西らによる実験値と値は多少異なっているもののほぼ同じ傾向を示していることがわかる。計算値が全体として実験値よりも大きい値を示している大きな原因として、現実の土中で地下水は極めて複雑な経路をとるのに対し、このモデルにおいては簡単のために水柱の進行方向を鉛直下向きにしていることが考えられる。また、実際の粒子中の間隙における粒子面の抵抗は、壁が極めて滑らかで平らな毛管におけるものより大きいと考えられ、さらに、水柱の接触角も実際の土中と毛管とでは異なっており、計算値と実験値との差はこうした差異が集約されたものと考えられる。しかしながら、モデルには経験的に定めるパラメーターを含んでいないこと、また、こうした実験においては実験条件のわずかな差から結果が大きく異なることがあることなどを考慮すると、この程度の誤差は十分許容できるものであり、このモデルで不飽和浸透流の物理的メカニズムをよく表現し得ているものと思われる。

参考文献

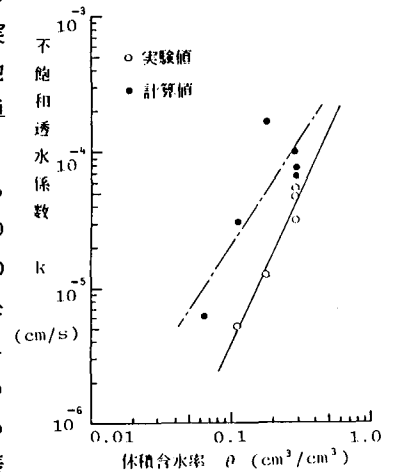
- 1) 玉井・浅枝・Jeevaraj, C.G.・田中, 第40回年講, pp.173~174, 図2 1985.
- 2) 河西基・塩崎功・中井健二, 第30回水理講演会論文集, pp.385~390, 1986.
- 3) Watson, K.K., Water Resources Res., Vol.2, No.4, pp.709~pp.715, 1966.

表1 式(2)における係数の比較

	モデル		実験
	A	m	m
河西ら(1986)			
砂S	6.836×10	1.517	2.226
砂O	0.71	4.950	4.003
Watson(1966)	33.184	4.789	4.097



(a) 砂O



(b) 砂S

河西らの実験との比較

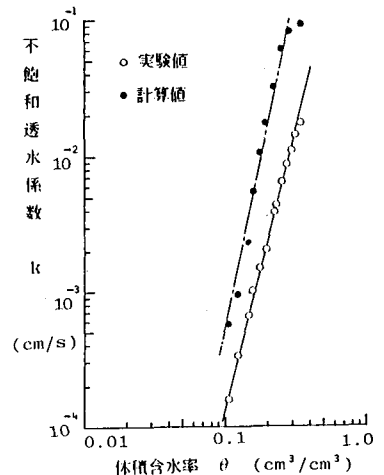


図3 Watsonの実験との比較