

III-A 286 気液二相流浸透解析における不飽和浸透特性モデルに関する検討

（財）電力中央研究所 正会員○長谷川琢磨

（財）電力中央研究所 正会員 広永 道彦

岡山大学 正会員 西垣 誠

1.はじめに

近年、廃棄物処分やCAES（圧縮空気貯蔵計画）¹⁾において、地盤内におけるガスの挙動の評価が懸案となっている。しかし、評価対象となる埋め戻し材料及岩盤の透気特性に関しては、定量的なデータが取られておらず、Brooks and Corey モデル²⁾や Klavetter モデル³⁾など不飽和浸透特性の評価モデルを用いて解析を行っているのが現状である。

このため本検討においては、気液二相流数値解析モデルによる現象の再現性と不飽和浸透特性評価モデルの適用性について検討を行った。

2.解析理論と解析モデルの検証

(1)解析理論

気液二相流解析には、中川ら²⁾により従来から検討が行われている気相、液相についてダルシー則が成立すると仮定し、各相（気相、液相）について質量保存則を適用するモデルを用いた。この基礎方程式を以下に示す。

<運動方程式>

$$U_f = - \frac{K_{fr} \cdot K_{ij}}{\mu_f} \left(\frac{\partial P_f}{\partial x_j} + \rho_f g \frac{\partial x_j}{\partial x_3} \right) \quad (1)$$

ここに、 U_f はf相の流速、 μ_f はf相の粘性係数、 K_{ij} は絶対透過係数、 K_{fr} はf相の相対透過係数、 g は重力加速度、 P_f はf相圧力、 ρ_f はf相の密度である。

<連続方程式>

$$\frac{\partial}{\partial t} n \left(\left[\frac{S_a}{\beta_a} \right] + R_s \left[\frac{S_w}{\beta_w} \right] \right) = - \frac{\partial}{\partial x} \left(\left[\frac{u_a}{\beta_a} \right] + R_v \left[\frac{u_w}{\beta_w} \right] \right) + q_a \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} n \left(\left[\frac{S_w}{\beta_w} \right] + R_w \left[\frac{S_a}{\beta_a} \right] \right) = - \frac{\partial}{\partial x} \left(\left[\frac{u_w}{\beta_w} \right] + R_w \left[\frac{u_a}{\beta_a} \right] \right) + q_w \quad (3)$$

ここに、 S は各相の飽和度、 β は構成体積率($\beta = V/V_{s0}$)、 R_s は空気の水中への融解率、 R_v は水の気化率、 n は間隙率、 q は流量である。この解析モデルにおいては、サクシヨン圧($P_c = P_g - P_w$)と体積含水率(θ)、体積含水率に対応する相対透気係数(K_{gr})、相対透水係数(K_{vr})の関係を表す不飽和浸透特性が運動、連続性を示す上で非常に重要となる。

(2)解析モデルの現象の再現性

気液二相流浸透挙動を計測した実験として Touma ら⁴⁾の実験がある。この実験では、気液二相流解析を実施するために必要な不飽和浸透特性、境界条件が与えられているため、この実験に基づいて解析モデルの検証を実施した。

Touma ら⁵⁾の実験は、図-1に示すような砂を詰めた鉛直モールドの上部に定水位を与え、下端の境界条件を大気圧解放の場合と不透気の場合について水の浸潤現象を計測している。この実験に対して、数値解析を実施した結果を図-2,3に示す。この図でプロットは実験結果、実線は解析結果を示している。図-3の結果から、空気の影響により水の浸潤が抑制されている現象が解析結果においても表現されており、本解析コードは空気と水の総合的な輸送現象（気液二相流挙動）を精度良く評価できていると考えられる。

3.不飽和浸透特性の感度解析

1で述べた項目の評価を行う上で重要になる不飽和浸透特性を検討するために、不飽和浸透特性モデルについて感度解析を実施した。ここでは、図4に示すように、厚さ5cmの水で飽和された供試体に対して、下方から空気圧を与え、空気圧の変化による上面の透気量の変化を実験と数値解析より求めた。数値解析では不飽和浸透特性モデルとして、Brooks and Coreyの提案したモデルと、Klavetterの提案したモデルを用いた。これらのモデルにより作成した不飽和浸透特性を図5に示す。

解析の結果、図-6 示す載荷圧と透気量の関係が得られ、両者の透気量の差に非常に大きな差が見られた。このため、気液二相流解析においては不飽和浸透特性の決定が、蓄圧量、漏気量の予測に非常に大きな影響を与えると考えられる。

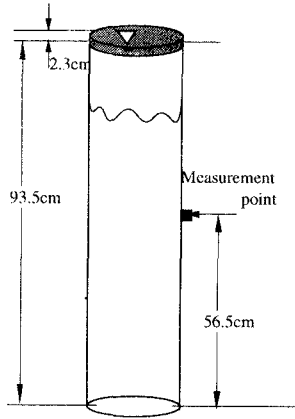


図-1 Toumaらの実験境界条件図

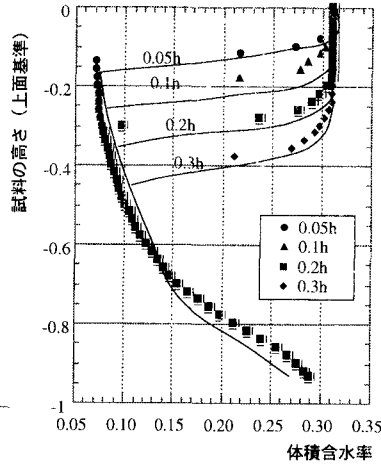


図-2 底面大気圧解放境界の解析結果

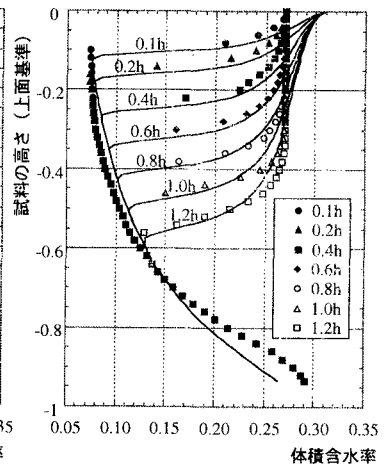


図-3 底面不透気境界条件の解析結果

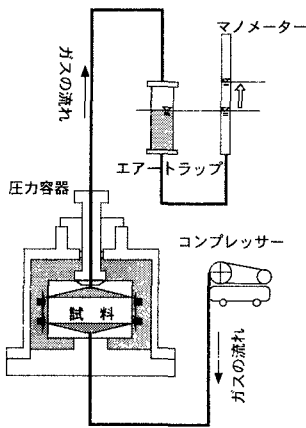


図-4 透気試験装置概要

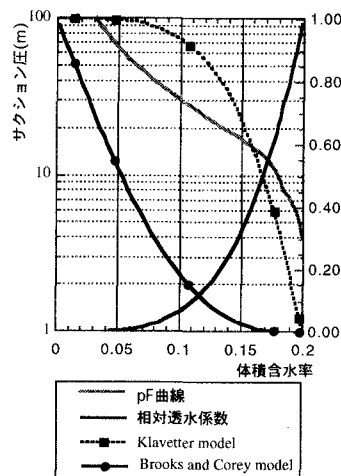


図-5 各モデルによる不飽和浸透特性

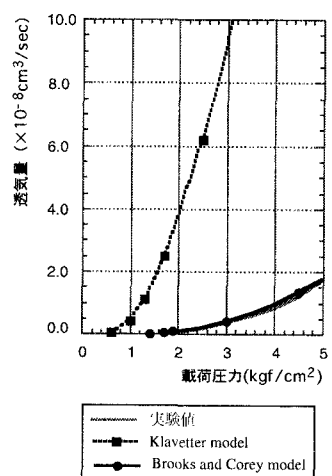


図-6 各モデルによる透気量解析結果

4.まとめ

本検討で、気液二相流浸透解析モデルにより空気が水の浸潤を抑制するような現象が表現できることが明らかとなった。また、不飽和浸透特性モデルによって数値解析解が大きく変化することが明らかとなった。

廃棄物処分場やCAESの評価に関しては、直接的に地盤内のガスの挙動を取り扱うため、不飽和浸透特性、特に相対透水係数の評価が重要になってくると考えられる。

参考文献 1)中川、駒田、宮下、村田:岩盤内圧縮空気貯蔵空洞からの漏気防止条件、土木学会論文集、第370号/III-5,pp.233-241,1986. 2) R.H.Brooks, A.T.Corey:Properties of porous media affecting fluid flow,ASCE,Vol.92,IR2,pp.61-88,1966. 3) E.A.Klavetter:Analysis expression for surface tension as a function of temperature,Sandia National Laboratories,Memo to B.S.Lamgkopf,1984. 4) J.Touma,G.Vachoud:Air and water flow in a sealed,ponded vertical soil column:Experiment and model,Soil Science,Vol.137,No.3,pp.181-187,1984.