

毛管帯への圧入空気による不飽和状態の解析

玉野総合コンサルタント（株） 正 員 西尾 俊彦
 岐阜大学工学部 正 員 宇野 尚雄 神谷 浩二
 岐阜大学大学院 学生員 寺坂 信也

1. 研究目的 不飽和状態の土では、飽和度の減少にともなって、透水性が急激に低下することが知られている。そこで、飽和した地盤内に空気を圧入することにより、飽和度を減少させ、透水性を制御する構想がある。しかし、これまでの地盤内への空気圧入による透水性制御の研究により地盤内での空気の挙動について、不飽和領域の拡大は望めていない。本報告では、地盤内での空気の挙動を二次元的に解析する手法を検討したものである。

2. 解析法 土中水の間隙水・間隙空気の挙動について、水と空気の二相系の運動の場として、次に示す二式を間隙空気と間隙水の解析基本式とする。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[k_w \frac{\partial h_w}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[k_w \left(\frac{\partial h_w}{\partial z} + I \right) \right] \quad (1)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = - \frac{\partial}{\partial x} \left(k_a \frac{\partial h_a}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left(k_a \frac{\partial h_a}{\partial z} \right) \quad (2)$$

k_w : 透水係数(cm/s)、 h_w : 圧力水頭(cm)
 k_a : 透気係数(cm/sec)、 h_a : 空気の圧力水頭(cm)
 θ : 体積含水率

式(1)、(2)を差分近似し、水・空気の差分方程式をつなぐ条件として「サクシオン ($S = h_a - h_w$) が、飽和度 (Van-Genuchten) の式で与えられる」と関係することとし次式を用いる。

$$\frac{\partial \theta}{\partial S} = - (n - 1) (\theta_s - \theta_r) \alpha (\alpha S)^{n-1} [1 + (\alpha S)^n]^{-n+1} \quad (3)$$

S : サクシオン, $\alpha = 0.03$, $n = 9$

図-1に示すFLOW-CHARTに従い空気と水の二相系の二次元解析を差分法で、図-2に示すような長方形地盤(境界水位 $J=2$ の20cm高さ)に対して格子間隔 $\Delta x = 15\text{cm}$ 、 $\Delta z = 20\text{cm}$ で計算した。

計算に際しては次の3つの条件を設けた。

- A) 空気圧変化計算に対応した空気量の変化は、間隙水量(飽和度)変化に対応させる。
- B) 間隙空気圧 h_a を間隙水移動の計算に強制的に加えたうえで、間隙水圧 h_w を基本式に基づいた連立解法で求める。
- C) 差分式により間隙空気圧 h_a を求めるときに用いるサクシオン S には、飽和度変化に対応し求められるサクシオンを用いる。間隙水圧 h_w を求めるときは間隙空気圧 h_a の影響を考慮に入れ発生サクシオンを用いる。

3. 解析結果 低飽和領域への空気圧入(圧入点 $(J=4, I=5)$ は水面上40cm高さ、圧入空気圧10cm水頭)、高飽和領域への空気圧入(圧入点 $(J=3, I=5)$ は水面上20cm高さ、圧入空気圧30cm水頭)の解析を行い、間隙空気圧、間

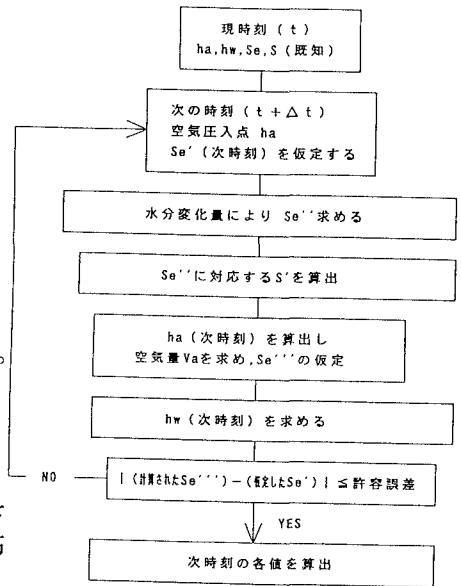


図-1 FLOW-CHART

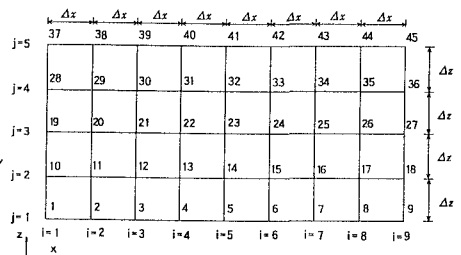


図-2 解析モデル

隙水圧, サクション, 飽和度の1分後の解析結果を図-3, 4に示す。図中の空気圧, 水圧, サクションの数値はcm水頭で, 飽和度は%でそれぞれ表した。ここで, 圧入空気圧について不飽和領域では空気が抜けやすいために低めに, 飽和領域では空気が入りにくいために高めに設定した。

1) 間隙空気圧について 図-3より圧入空気は左右方向に広がるような傾向にあることが分かる。これに対し, 図-4より飽和領域へ空気を圧入した場合空気が上部に抜けていく状況が表現されている。

2) 間隙水圧について 初期の水圧分布に対して, 間隙空気圧の変化を間隙水圧に加えることで空気圧入格子点の周りに間隙水圧のかなりの低下が表れている。

3) サクションについて 図-3, 4のいずれの場合も空気圧入点及びその上部に大きな変化が見られる。不飽和の図-3の方が空気が広く浸透しているのに対して, 飽和の図-4では圧入点近傍に限られている。

4) 飽和度について 土の水分特性として仮定した $\alpha=0.03$, $n=9$ のとき, 毛管帯の高さは約30cmに相当するため図-3では初期と大差ないが, 図-4では圧入点近傍に空気貫入部分が生ずる傾向を示している。

4.まとめ これらの解析により, 不飽和土への水・空気の連続性を考慮した二相混相流解析手法としておおむね矛盾の少ない現象の表現が得られたと考えられ, 中程度の飽和度（本研究では60%以上で透気性が0としているので60%程度）以下の不飽和領域では, 間隙の空気と水の流動がスムーズに生じ易く, シミュレートでもうまく表現されていると考えられる。しかし, 高飽和度への解析のように飽和領域に囲まれるような土中への空気の浸透に対し未だ解決すべき問題があると考えられる。

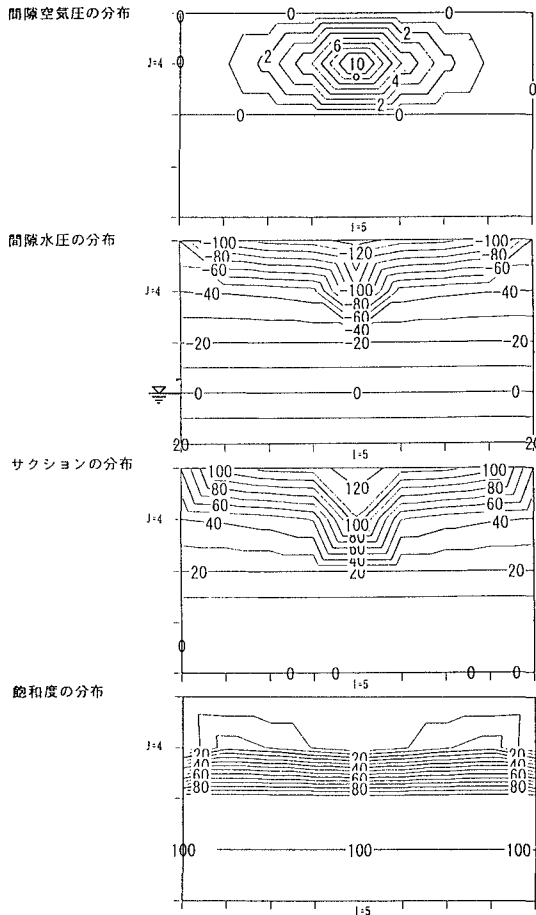


図-3 低飽和領域の解析結果

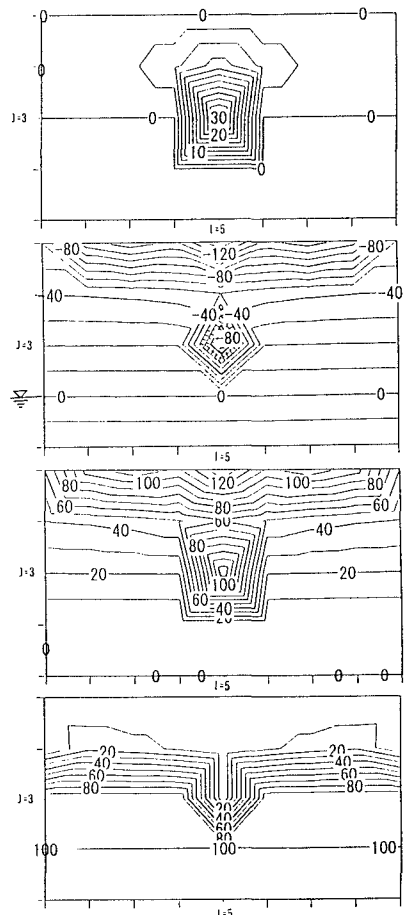


図-4 高飽和領域の解析結果