

III-375

異方性を考慮した二重間隙モデルに基づく浸透流解析

(株)フジタ 仲沢 武志、波田 光敬

1. まえがき

岩盤等では、内部の微視クラックによって材料特性に不均一で異方性を有することが一般的と考えられる。従来の有限要素法等による数値計算での浸透流解析手法において、不均一性を考慮したものに二重間隙モデルがあるが、このモデル化においても異方性の影響を考慮したものは少ない。そこで、筆者は飽和状態における異方性の影響を考慮した二重間隙モデルを提案した¹⁾。そこで、ここではそのモデルを不飽和状態も考慮できるものに拡張することを目的として、異方性を考慮した二重間隙モデルによる浸透流解析手法を提案する。本文は、その概要を若干の例題とともに示したものである。

2. 提案するモデル

ここで考える二重間隙モデルは、材料を岩質部分(母材)と微視クラック部分とに分離したモデルであり、本文では母材に不均一性や異方性はなく、材料が有する異方性は微視クラックによって構成されるものとする。支配方程式を次式に示す。

$$(k_{ij}^{(m)} \frac{\phi_{,j}^{(m)}}{\gamma_w})_{,i} - \frac{\partial}{\partial \phi^{(m)}} (c(\phi^{(m)}) + \alpha S_s^{(m)}) - \frac{\Gamma}{\rho_f} = 0 \quad (\text{母材}) \quad (1)$$

ここに、 $\phi^{(m)}$:母材中の間隙水圧 ρ_f :間隙流体の密度

$$(k_{ij}^{(c)} \frac{\phi_{,j}^{(c)}}{\gamma_w})_{,i} - \frac{\partial}{\partial \phi^{(c)}} (c(\phi^{(c)}) + \alpha S_s^{(c)}) + \frac{\Gamma}{\rho_f} = 0 \quad (\text{微視クラック}) \quad (2)$$

ここに、 $\phi^{(c)}$:微視クラック中の間隙水圧

式(1)において、母材中の流速は通常のダルシー則で表せるものとしている。また、 γ_w は水の単位体積重量、 $c(\phi)$ は比水分容量、 S_s は比貯留係数を表す。さらに、 Γ は浸透流体の層移動による漏水項であり、 α は飽和状態で1、不飽和状態でゼロとなる係数である。なお、飽和不飽和領域を考える場合、母材における透水係数は、体積含水率の関数となる。一方、微視クラックにおける透水係数 $k^{(c)}_{ij}$ は次式を用いる³⁾。

$$k_{ij}^{(c)} = \lambda \frac{g}{\mu} (P_{kk} \delta_{ij} - P_{ij}) \quad (3)$$

式(3)において、 P_{ij} は透水クラックテンソルであり、 $P_{ij} = (\sum 2ah^3 n_i n_j) / A$ と定義される。ここに、 $2a$ はクラック長さ、 n_i はクラック面法線ベクトル、 h はクラックの厚さ、 A は微視構造を平均する領域の面積を表す。さらに、 g は重力加速度、 μ は流体の動粘性係数を表す。また、 λ は比例係数であり、本文では $\lambda = P_{kk} / 12$ として計算する。ここに、 $P_{ij} = P_{ij} = \sum a^2 n_i n_j / A$ と定義している。なお、一般には微視クラック中においても不飽和の影響を考慮すべきであろうが、その点に関する考察は現時点では少ないものと考えられるため、本文では、微視クラックにおける不飽和特性は簡単のために考慮しないものとする。

3. 解析例

ここでの提案したモデルの適用性を図-1の有限要素メッシュで考える。

(1) 漏水項 Γ

本文では、漏水が微視クラックの面法線方向に卓越するものと考え、漏水項として次式を用いる。

$$\Gamma = \alpha \rho_f k_{ij}^{(m)} F_{ij} \left(-\frac{\phi_{,j}^{(m)}}{\gamma_w} - \frac{\phi_{,j}^{(c)}}{\gamma_w} \right) \quad (4)$$

ここに、 α :比例係数

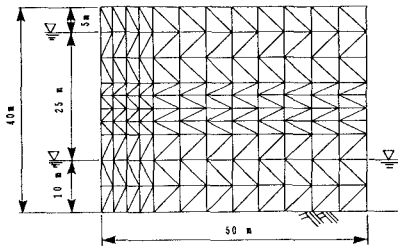


図-1 有限要素メッシュ

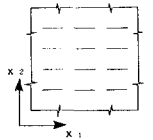


図-2 異方性模式図

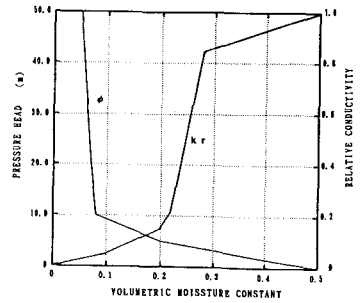
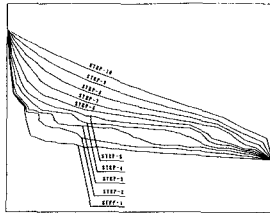


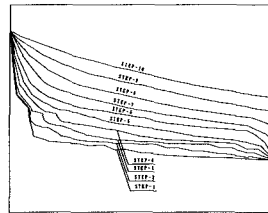
図-3 不飽和特性

表-1 材料定数

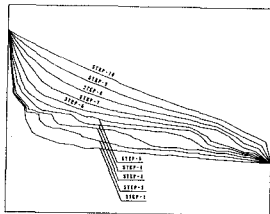
材料特性	値
母材の透水係数(m/sec)	1.0×10^{-7}
クラック密度(F_{cr})	0.1
透水クラックテンソル($F_{cr} \times m^2$)	0.05
比例係数(α)	500



(a) 母材

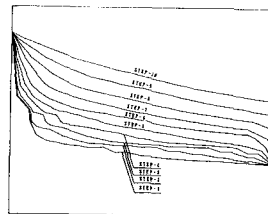


(a) 母材



(b) 微視クラック

図-4 解析結果（等方的微視構造）



(b) 微視クラック

図-5 解析結果（異方的微視構造）

表-2 解析ステップ

解析ステップ	時間($\times 10^4 sec$)
STEP-1	1
STEP-2	3
STEP-3	7
STEP-4	15
STEP-5	31
STEP-6	63
STEP-7	127
STEP-8	255
STEP-9	511
STEP-10	1000

(2) 解析例における微視構造

本文における解析例では、微視構造が等方的なものと、図-2のような異方性をもつものと考えた。なお、解析には表-1に示す材料定数を用いた。なお、提案するモデルにおいて、異方性の影響を考察の対象とし、両者の微視クラック密度は一定で等しい値を用いている。

(3) 解析結果

解析結果を図-4, 5に示す。図-4は微視構造が等方性の結果であり、図-5は異方性をもつ計算例での結果である。なお、これらの結果は自由水面上昇の様子を示したものである。また、各解析ステップは表-2に示すものである。計算における母材の不飽和特性は図-3を用いている。

図-4(a)は母材の自由水面上昇の様子を示し、図-4(b)は微視クラックでの自由水面上昇の様子を示している。これらの計算結果から、母材と微視クラックとは、ほとんど同じ挙動を示している。

一方、図-5では、母材と微視クラックとは、ほとんど同じ挙動を示しているが、図-4の結果と比較すると流出点が異方性をもつ場合のほうが高い。この傾向は、従来の浸透流解析において、異方的な透水係数を与えたものでも得られるが、二重間隙モデルの拡張によって得た解析結果が本文の特徴となる。

4. あとがき

浸透流解析手法として、二重間隙モデルを異方性が考慮できるように拡張し、若干の適用例を示した。今後、さらに現実問題へ適用したいと考えている。

参考文献

- 1) 仲沢: 異方性を考慮した二重間隙モデルの提案、土木学会第48回年次講演会 1993
- 2) 大西, 村上: 有限要素法による地盤の応力・変形を考慮した浸透流解析, 土木学会論文報告集, 第298号, 1980
- 3) Oda, M.: "Permeability tensor for discontinuous rock masses", Geotechnique, Vol. 35, No. 4, 1985