

III-631

異方性を考慮した二重間隙モデルの提案

(株)フジタ技術研究所 仲沢 武志

1. まえがき 材料内の微視クラックの影響を考慮した応力・浸透流連成解析に二重間隙モデル¹⁾が提案されている。このモデルでは、浸透流の影響が材料自体(母材)と内部の微視クラックとに分離して定式化されている。従来、このモデル化では、微視クラックによる微視構造の密度については考慮されているが、その異方性や変形への影響については充分考慮されていないものと考えられる。そこで、本文では、これらを考慮できるように二重間隙モデルの拡張を試みる。本文はその概要を示したものである。なお、ここでは飽和状態を考える。

2. 提案するモデル 応力・浸透流連成解析では、応力・変形と浸透流を連成させた方程式を解くため、以下にこれら各々の構成則について記述する。なお、本文では、微視クラックの空間分布の定量化にクラックテンソルを用いる。

(1) 応力・変形挙動に対する支配方程式 応力・変形解析については、微視クラックの影響を考慮した構成則を用いる²⁾。2次元平面問題では、結果として次式が得られている。

$$\varepsilon_{ij} = (D_{ijkl} + L_{ijkl}) \sigma_{kl} = M_{ijkl} \sigma_{kl} \quad (1)$$

ここに D_{ijkl} は母材のコンプライアンス、 L_{ijkl} はクラックテンソル F_{ij}

($F_{ij} = 2\pi \sum a^2 n_i n_j / A$)を用いて次式のように得られている。

$$L_{ijkl} = \frac{1}{4E} (F_{ik} \delta_{jl} + F_{jk} \delta_{il} + F_{il} \delta_{jk} + F_{jl} \delta_{ik}) \quad (2)$$

なお、クラックテンソルの定義において、 $2a$ はクラック長さ、 n_i はクラック面法線ベクトル、 A は微視構造を平均化する領域の面積を表す。これより、応力・変形の支配方程式は次式となる。

$$(C_{ijkl} \varepsilon_{kl} - \phi \delta_{ij}),_{,j} + \rho_s b_i = 0 \quad (3)$$

ここに、 $C_{ijmn} M_{mnkl} = (\delta_{ik} \delta_{jl} + \delta_{jk} \delta_{il})/2$ 、 ϕ は間隙水圧、 ρ_s は母材の密度を表す。なお、二重間隙モデルでは、間隙水圧 ϕ が、母材と微視クラックとに重み付き体積平均等で分離されるが、本文では、単純なモデル化として、 $\phi = \phi^{(m)} + \phi^{(c)}$ とする。ここに、 $\phi^{(m)}$ は母材間隙水圧、 $\phi^{(c)}$ は微視クラックの平均間隙水圧を表す。

(2) 浸透流に対する支配方程式 二重間隙モデルでの浸透流の支配方程式は、母材と微視クラックについて次式のように考える。

$$(\rho_f k^{(m)}_{ij} \frac{\phi^{(m)}_{,j}}{\gamma_w})_{,i} - \frac{\partial}{\partial t} (\rho_f \varepsilon^{(m)}_{ii}) - \Gamma = 0 \quad : (\text{母材}) \quad (4)$$

$$(\rho_f k^{(c)}_{ij} \frac{\phi^{(c)}_{,j}}{\gamma_w})_{,i} - \frac{\partial}{\partial t} (\rho_f \varepsilon^{(c)}_{ii}) + \Gamma = 0 \quad : (\text{微視クラック}) \quad (5)$$

式(4)、(5)において、ダマシ-則は母材・微視クラックの各々について次式を用いている。

$$v_i^{(m)} = -k^{(m)}_{ij} \frac{\phi^{(m)}_{,j}}{\gamma_w} \quad : (\text{母材}), \quad v_i^{(c)} = -k^{(c)}_{ij} \frac{\phi^{(c)}_{,j}}{\gamma_w} \quad : (\text{微視クラック}) \quad (6), (7)$$

ここに、 $\eta^{(m)} \equiv -\varepsilon^{(m)}_{ii}$ 、 $\eta^{(c)} \equiv -\varepsilon^{(c)}_{ii}$ としている。さらに、 ρ_f は水の密度、 γ_w は水の単位体積重量、 v_i は流速、 η は間隙率を表し、添字(m)は母材、(c)は微視クラック、 Γ は漏水項を表す。また、微視クラックにお

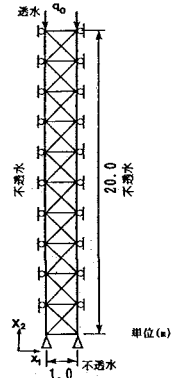


図-1 解析対象

表-1 材料定数	
弾性係数 E : tf/m ²	10000.0
ポアソン比 ν	0.3
クラック密度 F_{rr}	0.1
母材の透水係数 k : m/sec	1×10^{-8}
クラック透水係数 k_{rr} : m ²	5×10^{-12}
パラメータ λ	1/12
分布載荷応力 q_0 : tf/m ²	500

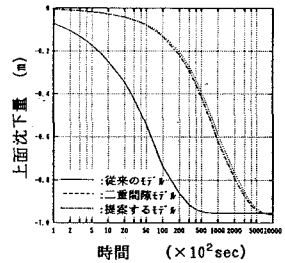


図-2 二重間隙モデルとの比較(α=1.0)

る透水係数 k_{ij} は、 $k_{ij}^{(c)} = \lambda (g/\mu) (P_{kk} \delta_{ij} - P_{ij})$ (λ は微視クラックの連結性を表すパラメータ)とする³⁾。ここに、 P_{ij} は透水に対するクラックテンソルであり、 $P_{ij} = \Sigma h^3 a_i n_j / A$ (h はクラックの厚さ)と定義されている。なお、 g は重力加速度、 μ は動粘性係数を示す。

3. 解析例 ここで提案した異方性を考慮できる二重間隙 ϵ^* の適用性を、図-1の有限要素メッシュで考える。

(1) 漏水項 本文では、漏水項として、次式を仮定する。

$$\Gamma = \alpha \rho_f k_{ij}^{(m)} F_{ij} (\phi^{(m)} - \phi^{(c)}) / \gamma_w \quad (8)$$

ここに、 α は比例係数である。(文献1)では $\alpha = 2/(\pi^2 ca)$)

式(8)は、文献1)における漏水項の異方性への1つの拡張として仮定するものである。なお、従来の二重間隙 ϵ^* における計算には、次式を用いる。

$$\Gamma = 2\pi \alpha \rho_f k^{(m)} \eta_2 (\phi^{(m)} - \phi^{(c)}) / \gamma_w \quad (9)$$

(2) 解析に用いる微視構造 ここでは、二重間隙 ϵ^* において、異方性の影響を考察の対象とするため、微視クラックの単位領域あたりの密度は一定とする。解析に用いる材料定数は表-1に示すものである。なお、従来の二重間隙 ϵ^* では、文献1)の記号において、 $\eta_1 = 0.5$, $\eta_2 = 0.016$, $\beta = 0$, $\alpha = 1.0$ とする。ここに、 η_2 としては、クラック密度($\Sigma a^2 / A = F_{rr} / 2\pi$)を用いている。

(3) 解析結果

① 従来の ϵ^* との比較 まず、従来の二重間隙 ϵ^* と比較するため、提案する ϵ^* で、等方な微視構造を計算する。図-2に解析結果を示す。ここには、従来の連成解析における結果も示してある。図-2より、ここで提案した ϵ^* は、微視構造が等方な場合、従来の二重間隙 ϵ^* にほとんど一致した計算結果が得られている。

② 提案する ϵ^* による異方性の考慮 上述したように、従来の二重間隙 ϵ^* では、微視構造の異方性を考慮することができない。そこで、ここで提案する ϵ^* によって、微視構造が異方性を示すときの計算結果を、簡単な例題で示す。ここでは、異方性を示すときの微視構造として、図-3のように微視クラックが規則的に配置するものについて考え、微視構造が等方性のものと比較する。

図-4は、図-3において $\theta = 0^\circ, 90^\circ$ さらに等方な微視構造の計算結果を示している。これより、クラック密度が同じであっても、微視構造の異方性によって得られる計算結果が異なる。なお、従来の二重間隙 ϵ^* では、これらは等しい計算結果となる。

4. あとがき

二重間隙 ϵ^* を、微視構造の変形や異方性が考慮できるように拡張し、その適用性についての概要を示した。今後、さらに現実問題に適用したいと考えている。

参考文献

- 1) 大西, 小林, 塩田: 二重間隙モデルを用いた地盤挙動に関する考察, 土木学会論文集, 第394号/III-9, 1988
- 2) 仲沢, 門田: 微視クラックによる変形を考慮した応力浸透流連成解析, 第47回土木学会年次講演会 1992
- 3) M. Oda: "Permeability tensor for discontinuous rock masses", Geotechnique, Vol. 35, No. 4, 1985

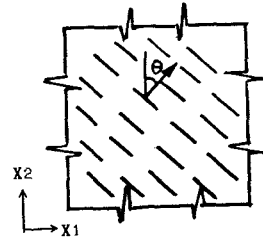
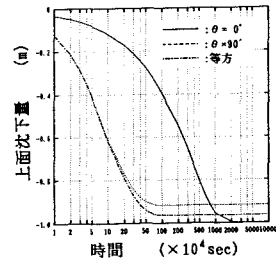
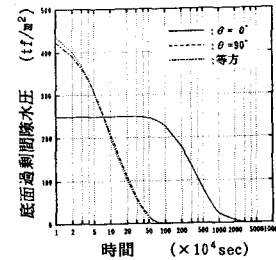


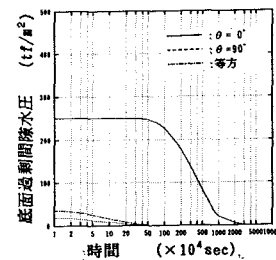
図-3 異方性模式図



(a) 上面沈下量-時間曲線



(b) 底面過剰間隙水圧-時間曲線 (母材)



(c) 底面過剰間隙水圧-時間曲線 (クラック)

図-4 提案する ϵ^* による計算結果($\alpha = 1.0$)