

異方性を考慮した二重間隙モデルによる物質移行拡散解析

(株)フジタ技術センター 正会員 仲沢 武志

1. まえがき

不均一性を考慮した地盤解析の手法として二重間隙モデル¹⁾が提案されている。この手法は、2層以上の物性からなる地盤を1度の解析で各層間の相互作用を考慮した形で定式化されている。しかし、従来のモデルでは異方性等の影響を十分に表現していないことから、筆者はこのモデルを異方性も考慮できるように拡張した浸透流解析²⁾を提案した。そこでは、地盤が母材部分と内部の微視クラックとで構成されるものと考えている。本文では、この手法を物質の移行拡散挙動の解析へ適用したモデルの概要を若干な例題とともに示す。なお、本文では遅延効果を考慮しないものとして扱う。

2. 提案するモデル

(1) 支配方程式

物質の移行拡散解析では、地盤中の流速が入力値として必要となるが、その計算方法は文献2)に基づくものとし、ここでは移行拡散モデルについて示す。地盤が母材部分とクラック部分とで構成されるものと考え、二重間隙モデルより各層内における物質の移行拡散挙動は次式のように表される。

$$\partial C^m / \partial t + v^m_i \partial C^m / \partial x_i = D^{mij} \partial^2 C / \partial x_i^2 + \Gamma \text{ (母材)} \quad (1)$$

$$\partial C^c / \partial t + v^c_i \partial C^c / \partial x_i = D^{cij} \partial^2 C / \partial x_i^2 - \Gamma \text{ (クラック)} \quad (2)$$

ここに右肩添字のmは母材を示し、cはクラックを示すものとする。また、 Γ は各層間の相互作用を表す拡散漏出項であり、物質の濃度差に比例するものと考え次式のように扱う³⁾。

$$\Gamma = \kappa (C^c - C^m) \quad (3)$$

なお、文献3)では、ここでの母材の流速を省略した定式化をしている。

(2) 分散係数

分散係数については、流速との関係が種々提案されている。本文では、母材での分散係数に次式を用いる⁴⁾。

$$D^{mij} = a_T \delta_{ij} |v^m| + (a_L - a_T) v^m_i v^m_j / |v^m| + \tau D_d \delta_{ij} \quad (4)$$

ここに、 a_T :縦分散長, a_L :横分散長, τ :屈曲度, D_d :分子拡散係数, $|v|$:流速のノルムを表す。一方、クラック部分の分散係数は、その拡散挙動の定性的性質、すなわち、クラック面に平行な方向に卓越すると考えられること等から、次式を提案する。

$$D^{cij} = |v^c| L_1 (\delta_{ij} - N_{ij}) + L_2 v^c_i v^c_j / |v^c| \quad (5)$$

ここに、 $v^c_i = v^c_i - \langle v^c_i \rangle$, $\langle \cdot \rangle$:領域内での平均化, $N_{ij} = (\sum_{k=1}^m n_i n_j) / m$, n_i :クラック面方向ベクトル, L_1, L_2 :特性長
本文では、要素内のクラック各々を対象とせず、予め平均化された微視構造を対象とする。よって、 v^c_i を計算するときの v^c_i を要素内の平均化された実流速とし、 $\langle v^c_i \rangle$ を浸透流解析から求められるダルシー流

表1 入力定数

	クラック密度	透水クラック密度(m2)	母材の透水係数(m/sec)	α	κ	a_T (m)	a_L (m)	L (m)	母材流速(m/sec)	クラック流速(m/sec)	
Case1	0.1	1.0E-7	1.0E-5	0.0	0.0	0.1	1.0	0.1	1.2E-7	5.0E-5	等方
Case2	0.1	1.0E-7	1.0E-5	0.0	0.0	0.1	1.0	0.1	1.2E-7	1.0E-4	異方
Case3	0.1	1.0E-7	1.0E-5	10.0	0.1	0.1	1.0	0.1	1.2E-7	1.0E-4	異方

キーワード：二重間隙モデル,亀裂性岩盤、異方性

〒243-0125 神奈川県厚木市小野 2025-1 TEL (046)250-7095 FAX (046)250-7139

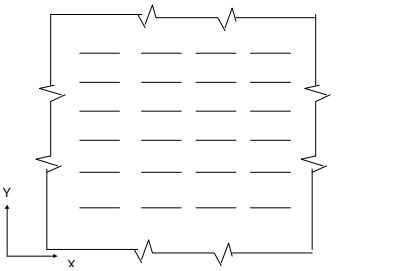


図1 異方性模式図

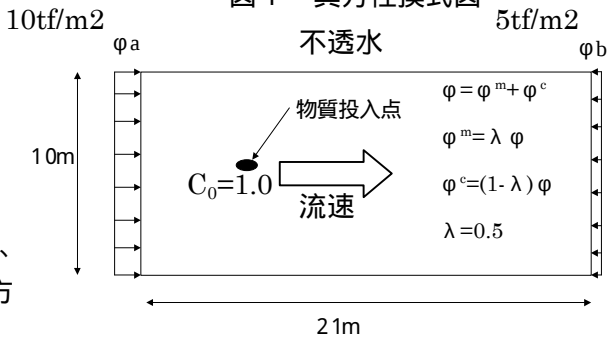
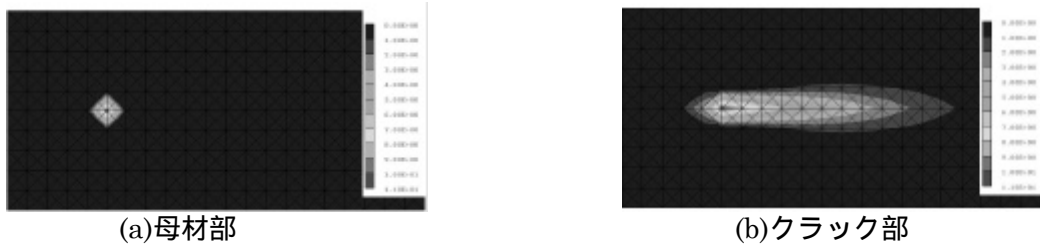
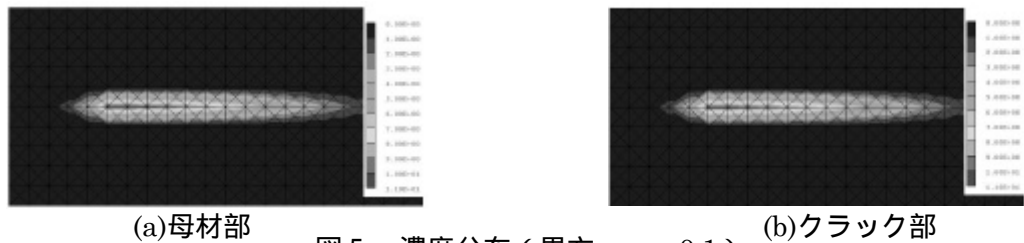


図2 解析対象

図3 濃度分布 (等方: $\kappa = 0$)図4 濃度分布 (異方: $\kappa = 0$)図5 濃度分布 (異方: $\kappa = 0.1$)

速と考える。したがって、式(5)の v_i はすでにこの段階で平均化されていることに注意する。

3. 適用例

(1) 解析対象

ここでは、提案モデルを有限要素法で計算する。解析はクラック密度を一定にして、等方な微視構造と異方性の極端な図1のような微視構造を実施した。また、相互作用の影響を把握するために、式(3)の係数 κ を変えた計算例も実施している。解析対象を図2に、入力物性値を浸透流解析における定数とともに表1に示す。なお、本文では、簡単のため $L_1=a_T, L_2=a_L$ — a_T とおいた。また、濃度の境界条件として母材・クラックともに投入点から物質が流れ込むと扱うものとした。

(2) 解析結果

同じ時間が経過した状態での解析結果を濃度分布で図3～図5に示す。クラック部分の濃度の広がり異方性は顕著に表れ、また漏出項は母材部分の濃度変化にも顕著に影響する様子が定性的に確認される。

4. あとがき

浸透流解析での解析対象に比べて、地盤中の物質移行拡散現象は時間的なスケールがかなり長期になるものと考えられる。よって、クラック部分だけでなく流速が小さい母材での移行拡散も考慮する必要があると考えたのが本文での提案内容である。ここでの解析は、水みちなどの影響も考慮できるものであるが、地下水での物質濃度だけでなく母材部分に留まる物質の存在も把握できる点に着目している。

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 / -9,1988
- 2)仲沢,波田:異方性を考慮した二重間隙モデルに基づく浸透流解析,土木学会第49回年次講演会,1994
- 3)山下:粒子追跡法による物質移行解析法の2重間隙モデルへの適用,土木学会論文集第475号 / -24,1993
- 4)J.Bear: Dynamics of Fluids in Porous Media, Dover Publications, INC, New York, 1972