

III-232

微視クラックによる変形の影響を考慮した応力・浸透流連成解析

株式会社フジタ技術研究所 正員 ○仲沢 武志、門田 俊一

1. まえがき

土質構造物や岩盤構造物の施工等において、その安定性や変形挙動を定量的に把握することは重要であるが、その際、地下水等の影響を考慮すべきことも多い。そのような目的に対する数値的な解析手法が報告されているが¹⁾、それらは、一般に材料の等方性に基づくものと考えられる。そこで、本文においては、微視クラックによる微視構造における異方性を考慮できる応力・浸透流連成解析について考察する。なお、本文においては、微視クラックによる微視構造の定量化にクラックテンソルを用いるものとし、飽和状態について考察する。

2. 基礎方程式

本文では、簡単のため、微視クラックによる微視構造は、応力・変形にのみに影響し、浸透流には影響を与えないとモデル化できる場合について考える。このような仮定の下では、有効応力に基づく応力-ひずみ関係が従来のモデル化¹⁾と変わるだけであり、基礎方程式は形式的に全く同じものとなる。そこで、まず、応力・変形に関する基礎方程式について説明し、それに基づくつり合い方程式について記述する。

(1) 微視クラックによる微視構造を考慮した弾性的構成則

微視クラックによる微視構造をクラックテンソルで定量化し、それを考慮した弾性的な構成則は、クラックテンソルを

$$F_{ij} = \frac{2\pi}{A} \sum_{\kappa} a_{\kappa}^2 n_{\kappa i} n_{\kappa j} \quad (1)$$

と定義すれば、次式のように表される。

$$\varepsilon_{ijk} = (D_{ijkl} + L_{ijkl}) \sigma_{kl} = P_{ijkl} \sigma_{kl} \quad (2)$$

ここに、 D_{ijkl} は母材のコンプライアンスであり、 L_{ijkl} は微視クラックの影響を表すコンプライアンスである。また、式(1)において、 $2a$ はクラックの長さ、 A は微視構造を平均化する領域の面積、 n_i はクラック面法線ベクトルを表す。式(2)における L_{ijkl} は、次式で与えられる²⁾。

$$L_{ijkl} = \kappa (F_{ik} \delta_{jl} + F_{jk} \delta_{il} + F_{il} \delta_{jk} + F_{jl} \delta_{ik}) \quad (3)$$

ここに、 $\kappa = 1/(4E)$ (平面応力状態)、 $\kappa = [(1-\nu)/(8G)]$ (平面ひずみ状態)である。

(2) 微視構造を考慮した構成則によるつり合い方程式

全応力に対するつり合い方程式は次式で与えられる。

$$\sigma_{ij,j} + \rho_s b_i = 0 \quad (4)$$

ここに、 σ_{ij} は全応力、 ρ_s は地盤材料の密度、 b_i は物体力である。有効応力 σ'_{ij} を、

$$\sigma_{ij} = \sigma'_{ij} - \phi \delta_{ij} \quad (5)$$

と定義し、微視構造を考慮した構成則 式(2)を有効応力について考えるものとすれば、つり合い方程式 (4)は、次式のように表される。

$$(C_{ijkl} \varepsilon_{kl} - \phi \delta_{ij})_{,j} + \rho_s b_i = 0 \quad (6)$$

ここに、 ϕ は間隙水圧を表し、 C_{ijkl} は微視クラックを考慮した弾性係数テンソルで、 $C_{ijmn} P_{mnkl} = \delta_{ik} \delta_{jl}$ である。式(6)は、従来から与えられているものと形式的には全く同じものである。これと、浸透流を表す方程式とを連立させれば、微視クラックの影響を考慮した応力・浸透流解析の解を得ることができる。

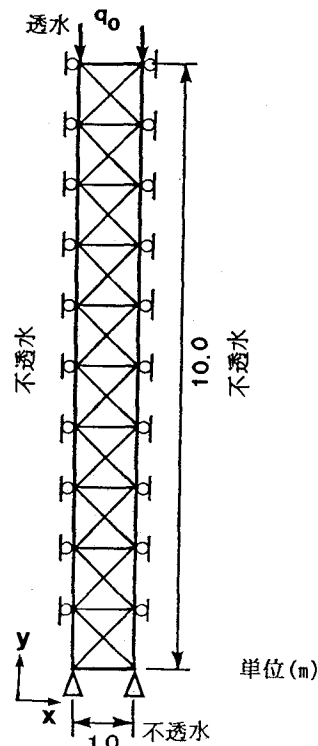


図-1 解析対象

表-1 材料定数

弾性定数 E (t/m^2)	1500
ポアソン比 ν	0.33
透水係数 k (m/sec)	1×10^{-5}
分布载荷応力 q_0 (t/m^2)	100

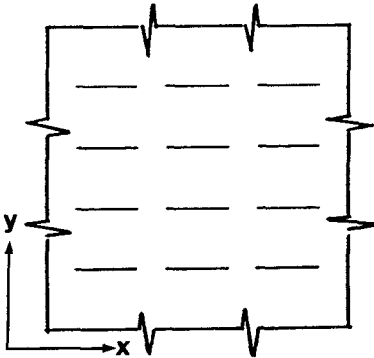
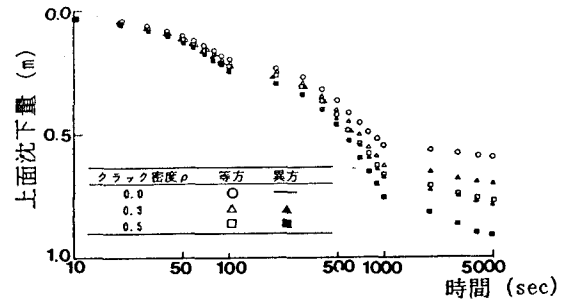
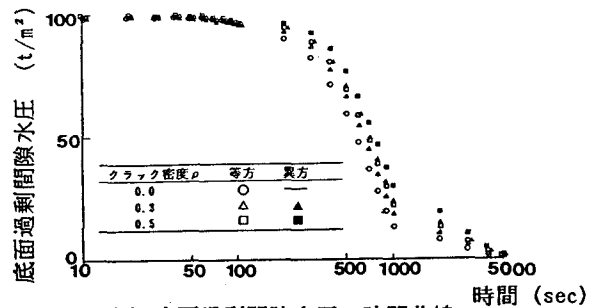


図-2 異方性模式図



(a) 上面沈下量-時間曲線



(b) 底面過剰間隙水圧-時間曲線

図-3 解析結果

3. 解析例

ここでの解析手法の適用性を、図-1のような有限要素メッシュで考える。

(1) 解析に用いる微視構造

解析は、クラック密度 ρ を、 $\rho=0$, $\rho=0.3$, $\rho=0.5$ の3ケースで考え、各クラック密度において、等方なものと、図-2のような直交異方的なものとを計算する。

(2) 解析結果

図-1に示す有限要素メッシュにおける平面ひずみ状態の解析結果を図-3に示す。なお、解析に用いた材料定数は、地盤材料を包括的に考えるものとし、表-1に示すものとした。さらに、ここでは簡単のため、式(6)における左辺第2項、すなわち、物体力の影響は考慮していない。また、時間については後退差分を用いている。図-3において、(a)は载荷上面における沈下量、(b)は底面における過剰間隙水圧を示している。これらより、本文での仮定の下では、载荷上面における沈下量は微視構造によって弾性係数が変化するため影響を受けるが、過剰間隙水圧は微視構造の影響をほとんど受けないものと考えられる。

4. あとがき

微視クラックによる微視構造を考慮した応力・浸透流連成解析について考察した。ここでは、微視構造が、応力・変形にのみ影響するものとした定式化である。微視クラックによる微視構造は、一般に異方性を示すため、浸透流にも影響するものとは考えられるが²⁾、その点についてはさらに考察を進めたいと考えている。

参考文献

- 1) 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
- 2) 仲沢、岸野、佐武：微視クラックの進展則とひずみ軟化への応用、土木学会論文集、No. 445/III-18, 1992
- 3) M.Oda: "Permeability tensor for discontinuous rock masses", Geotechnique, Vol. 35, no. 4, 1985