

ひずみ速度と透水係数が粘土の局所化現象におよぼす影響

岐阜大学 正会員 岡 二三生

岐阜大学 正会員 八嶋 厚

○(株)フジタ 正会員 小野 健司

1. まえがき

本研究では、微小ひずみの枠内で既に誘導されている岡・足立による正規圧密粘土¹⁾の弾粘塑性構成式を有限変形理論を用いて拡張し、さらに有限要素法に組み込む際の粘塑性アルゴリズムの安定性を図るため、Peirceらによる接線剛性法²⁾を用いて改良し、非排水平面ひずみ試験の数値シミュレーションを行った。

本研究の目的とするところは、ひずみ速度と透水係数の違いが、土中水およびそれに伴う粘土の挙動にどのように影響するかを検討することである。この点について、解析および実験を行い詳細な検討を行った。

2. 有限変形弾粘塑性構成式への拡張

破壊時近傍での地盤の挙動をより適切に表現するために有限変形理論を導入する。正規圧密粘土の弾粘塑性構成式についてその応力速度-ひずみ速度関係は、接線剛性法を用いると次の(1)式の様に表せる。

$$\dot{\mathbf{T}}_{ij} = \mathbf{C}_{ijkl}^{\tan} \mathbf{D}_{kl} - \mathbf{C}_{ijmn}^{\tan} \frac{\Phi_i}{1+\xi} \frac{\partial f}{\partial \mathbf{T}_{mn}} \quad (1)$$

$$\mathbf{C}_{ijkl}^{\tan} = \mathbf{C}_{ijkl}^e \mathbf{D}_{kl} - \mathbf{C}_{ijmn}^e \frac{\partial f}{\partial \mathbf{T}_{mn}} \frac{1}{1+\xi} (\theta \Delta t) \mathbf{A}_{pq} \mathbf{C}_{pqkl}^e \quad (2)$$

$$1 + \xi' = 1 + (\theta \Delta t) \left\{ \mathbf{A}_{ij} \mathbf{C}_{ijkl}^e \frac{\partial f}{\partial \mathbf{T}_{kl}} - \frac{\partial \Phi(\mathbf{F})}{\partial \mathbf{v}^p} \Phi_2(\xi) \frac{\partial f}{\partial \mathbf{T}_{pp}} \right\} \quad (3)$$

式中の $\dot{\mathbf{T}}_{ij}$ は、客観性のあるCauchy応力のJaumann rateで $\mathbf{C}_{ijmn}^{\tan}$ は弾粘塑性接線剛性マトリックスである。

3. 解析と実験結果と考察

拡張した構成式を組み込んだ有限要素プログラムを用いて、非排水平面ひずみ試験のシミュレーションを行った。表-1に材料定数、図-1に有限要素メッシュおよび実際に計算を行った領域を示す。行った解析は、ひずみ速度について3パターン {0.01, 0.1, 1.0(%/min)}、透水係数について9パターン { $1.16 \times 10^{-4} \sim 10^{-12}$ (cm/sec)}、この組み合わせによる27ケースである。図-2に軸ひずみ3%時の過剰間隙水圧分布を示す。a)図はひずみ速度を固定(0.01%/min)し、透水係数の影響を見たもので、b)図は透水係数を固定(1.16×10^{-7} cm/sec)し、ひずみ速度の影響を見たものである。この図から、透水係数については小さいほうが、ひずみ速度については速いほうが過剰間隙水圧が蓄積し、局所化現象が生じていることが確認できる。また、図-3は27ケースのみかけの軸差応力-透水係数関係をモデル化した図である。この図から、透水係数が大きく、ひずみ速度が遅いと要素間において完全排水的(水の移動を許す)挙動を示し、逆に透水係数が小さく、ひずみ速度が速いと非排水的挙動を示すことがわかる。また、非排水的挙動の方は、過剰間隙水圧の蓄積に伴う有効応力の減少の影響で、比較的応力が低くなっている。また、一定のひずみ速度で解析すると、特定の透水係数を境にその挙動が区別されることがわかる。さらに、図-4には、両挙動の代表的なものについて軸ひずみ10%時の間隙比分布を示したものである。この図を見ると、水の移動を許す場合は、せん断帯上で間隙比が低下し、供試体上下部において上昇している。つまりせん断帯から周りの部分へ水が移動していると考察できる。以上の結果をせん断帯生成過程における供試体内の水の動きとしてまとめたのが図-5である。

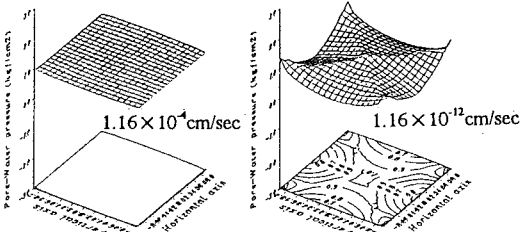
次に、以上の解析結果の妥当性を検証する意味で実験によるアプローチを行った。行った実験は、八郎潟の乱さない自然粘土を用いた非排水三軸圧縮試験 {先行圧密応力0.8kgf/cm², ひずみ速度 3.12×10^{-3} %/min} と御幣島の乱さない自然粘土を用いた非排水平面ひずみ試験 {先行圧密応力1.0kgf/cm², ひずみ速度 5.62×10^{-3} %/min} である。図-7, 8に各々の試験後の含水比分布を示す。(図-6に含水比を測定した位置を示す) この結果から、せん断帯およびせん断帯周辺における含水比が他の部分よりも低くなっていることがわかる。このことは、解析結果で述べたせん断帯から周りの部分へ水が移動しているという考察と、まさに一致する。以上、解析および実験の結果から、図-5に示したせん断帯生成過程における供試体内の水の動きに関する考察が、妥当であるという結論に至った。

参考文献

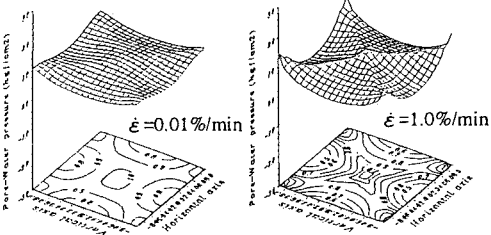
- 1) Adachi.T. and Oka.F. (1982), Constitutive equation for normally consolidated clay based on elasto-viscoplasticity, Soils and Foundations, 22(4), pp. 57~70.
- 2) Peirce.D., C.F. Shih and A.Needleman (1984), A tangent modulus method for rate dependent soils, Computer & Structures, 18(5), pp. 875~887.

表-1 材料定数

圧縮指数 λ	0.355	膨潤指数 κ	0.355
初期平均有効応力 p_0	1.0 (kgf/cm ²)	初期間隙比 e_0	2.0
粘塑性パラメータ m'	12.8	粘塑性パラメータ C	2.85×10^{-3} (1/sec)
破壊時の応力比 M^*	1.45	ポアソン比 ν	0.33



a) 透水性の影響



b) ひずみ速度の影響

図-2 過剰間隙水圧分布

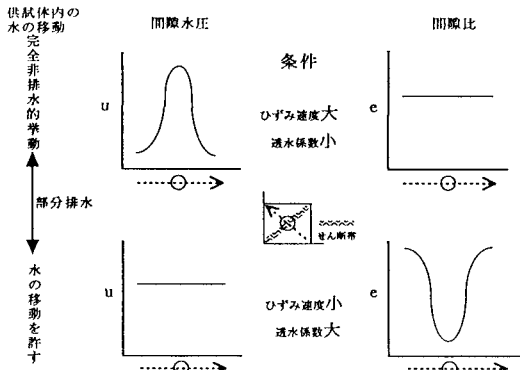


図-5 供試体内の水の動き

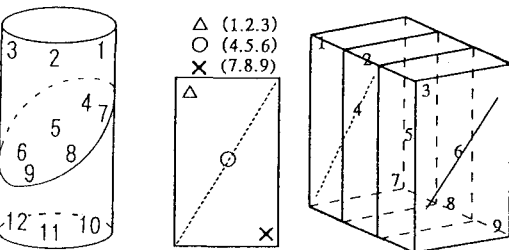


図-6 含水比測定位置

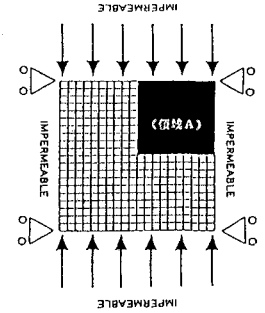


図-1 有限要素メッシュ

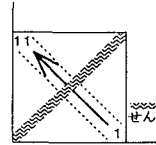


図-4 間隙比分布

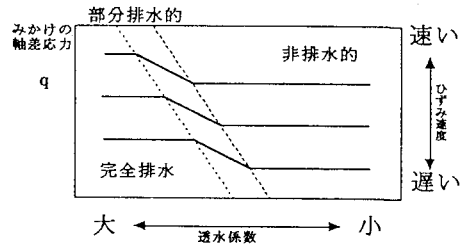


図-3 みかけの軸差応力ー透水性関係のモデル図

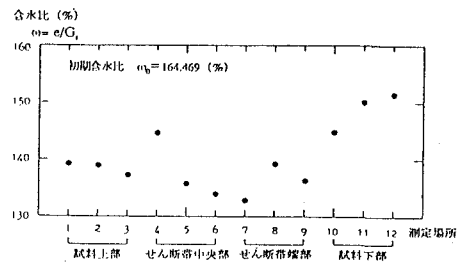


図-7 含水比分布（非排水三軸圧縮試験）

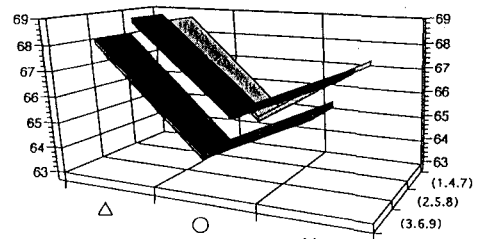


図-8 含水比分布（非排水平面ひずみ試験）