

透水性変化特性を反映させた多次元圧密変形の数値シミュレーション

鹿兒島大学工学部 学 田中嘉一
同 上 正 三隅浩二

1. はじめに 部分排水三軸試験から得られた透水性変化特性を有限要素解析プログラムに組み込んで、正規圧密粘土地盤(モデル地盤)の多次元圧密変形解析を実施している。透水係数 k が一定の場合、 $e \sim \ln k$ 直線式によって変化する場合の解析例と比較しながら、新しく提案する透水性変化モデルの解析結果について若干の考察を示した。

2. 等方圧密された正規圧密粘土地盤の変形解析

図1のプロットは、繰り返して再圧密された藤の森粘土の部分排水三軸試験より得られた透水性変化を示している¹⁾。横軸は三軸供試体の平均間隙水圧 u 、縦軸は三軸供試体の透水係数 k と既存の透水性変化則一式(1)で計算される透水係数 k' との差 $k - k'$ である。式(1)は $e \sim \ln k$ 関係の直線性より導かれており、 k' は間隙比 e のみに依存して変化する。藤の森粘土では、 $k_0 = 2.97 \times 10^{-8} \text{ cm/sec}$ 、 $e_0 = 1.16$ 、 $C_p = 0.521$ であった。

$$k' = k_0 \cdot \exp\{(e - e_0)/C_p / \ln 10\} \quad \dots (1)$$

同図中のラインは、プロットの挙動をおおざっぱに説明する新しい透水性変化則を示している。傾き $B_p = 4.68 \times 10^{-8} \text{ cm}^3/\text{kgf/sec}$ のラインは等方圧密 ($p = 0.1 \sim 2.0 \text{ kgf/cm}^2$) を被る土塊の透水性変化を、傾き $A_p = -56.3 \times 10^{-8} \text{ cm}^3/\text{kgf/sec}$ のラインは、平均主応力一定三軸圧縮せん断 ($p = 2.0 \text{ kgf/cm}^2$) を被る土塊の透水性変化をモデル化したものである。なお、傾き G_p のラインに関しては以下で詳しく述べる。

さて、図2は全応力状態と透水性変化パラメータ A_p 、 B_p 、 G_p との対応関係を示している。横軸は平均主応力、縦軸は一般化された偏差応力 $q^* = \{1.5(\eta_{ik} - \eta_{ik0})(\eta_{ik} - \eta_{ik0})\}^{0.5}$ である。図に示すように、今回は、 p 軸上の初期応力状態 ($p = 1.0 \text{ kgf/cm}^2$ 、地盤の初期条件に対応している) より、 p 軸を基準にして θ 傾いた方向に延びる応力径路上に土の状態があるときの透水性変化を、図1の傾き G_p のラインに対応させることにした。すなわち、 $\theta = 0 \text{ rad}$ では $G_p = B_p$ 、 $\theta = \pi/2$ では $p = 2.0 \text{ kgf/cm}^2$ のせん断試験結果の場合と同じと考えて $G_p = A_p$ とした。傾き G_p と θ の具体的な関係は、図3に示すように $(G_p, \theta) = (B_p, 0)$ と $(G_p, \theta) = (A_p, \pi/2)$ を直線で結んで決定した。以上の図1から図3の関係を式で表すと、結局、式(2)の透水性変化モデルが得られる。

$$k = G_p(u - u_0) + k', \quad G_p = 2(A_p - B_p)\theta/\pi + B_p \quad \dots (2)$$

ここで、 $u_0 = 0.0143 \text{ kgf/cm}^2$ を k への u の影響が生じ始める最小の u の値とした。すなわち、図1を見てわかるように、式(2)が機能するのは $u_0 \leq u$ の時とし、 $0 < u < u_0$ では式(1)のみを動員させることとした。なお、 k の値が負になったり、小さくなりすぎたりしないように、 k の最低値 $k_{min} = 1 \times 10^{-8} \text{ cm/day} \div 1 \times 10^{-14} \text{ cm/sec}$ を設定している。結局、式(2)の k は、 e 、 p 、 q^* 、 u に依存して変化する。すなわち、式(2)は間隙が減少していても透水係数が大きくなる場合を説明することができる。

図4は、モデル地盤の解析条件を示す。軸対象条件の解析であり、プログラムには、DACSAR²⁾を用いた。簡単のため地盤の初期状態は $p = 1.0 \text{ kgf/cm}^2$ に等方圧密された均質な正規圧密粘土地盤とした。降伏曲線ならびに弾塑性パラメータは文献1と同じである。

さて、図5は、荷重強度 Q/A の時系列変化と地表面中央の沈下 ρ の挙動を示している。点線は透水係数が一定で k_0 の場合、波線が式(1)の k' に従う場合、実線が式(2)の k で変化する透水性変化則を採用した解析結果である。この図より、漸増载荷中の沈下挙動は3者ともほぼ同じであるが、荷重放置時に顕著な違いが現れている。すなわち、式(2)のモデルを採用した場合の ρ は、他の2つのモデルに比べて非常に変化が少ないことがわかる。これは、図1の傾き A_p のラインの効果が有りすぎて、平均して地盤の k が小さくなりすぎたためだと思われる。また、地盤の初期状態の間隙比 e_i は、 k_0 を決めた e_0 よりも大きかったために、 $k_0 < k'$ であったため、波線と点線の違いが現れている。図6は 要素25の間隙水圧変化と地表面における側方流動 δ の変化を示している。この図からも、 $k < k_0 < k'$ の影響、すなわち、圧密進行速度の違いが見て取れる。

3. おわりに 実験結果が少なく計算例も今回の1例だけなので、式(2)のモデル化の是非の結論はまだ出せる段階ではないが、少なくとも透水性変化モデルの確立のための基本方針だけは示せたものと思っている。今後、正規圧密粘土だけでなく過圧密粘土に対しても透水性変化を調査して、モデルの完成をめざしていく所存である。この研究は、ウエスコ土木技術振興基金の助成を受けました。記して、謝意を表します。

参考文献 1) 深田宏, 三隅浩二, 前田吾朗: 等方圧密, 部分排水せん断を被る三軸供試体の透水係数変化の考察, 土木学会第52回年次学術講演会講演概要集, 第3部(A), pp. 330-331, 1997.

2) 太田秀樹, 飯塚敦: DACSAR使用マニュアル, 1983.

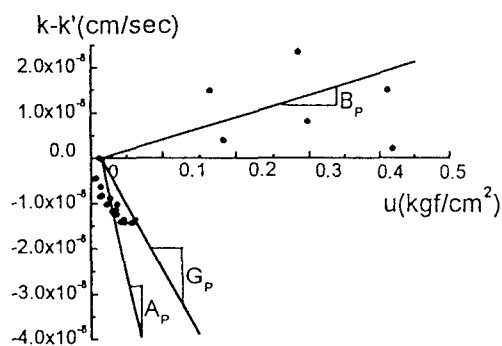


図1 透水性変化挙動のモデル化

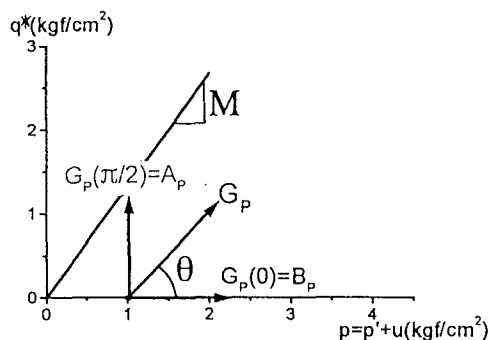


図2 全応力状態と A_p, B_p, G_p の関係

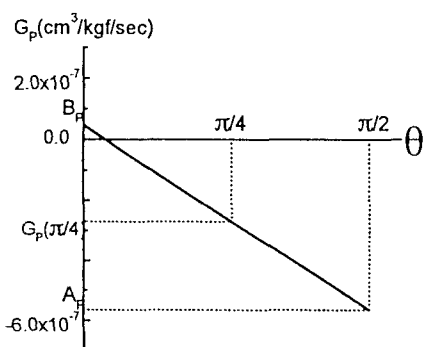


図3 透水性変化パラメータ G_p の決定

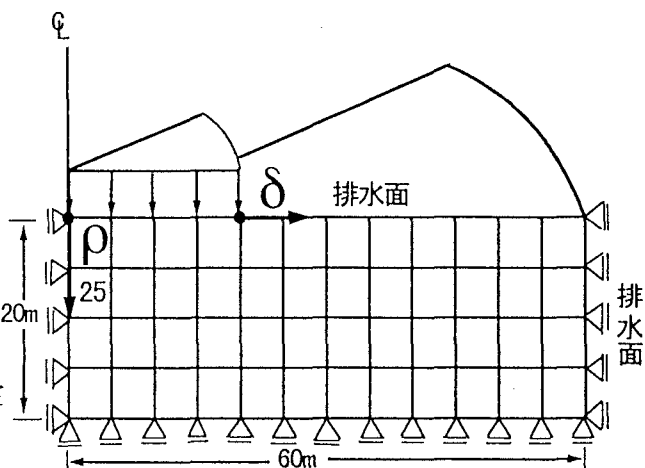


図4 モデル地盤の解析条件

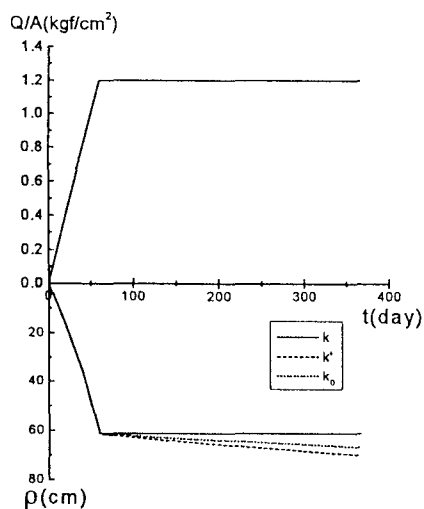


図5 荷重の変化と地表面沈下 ρ の挙動

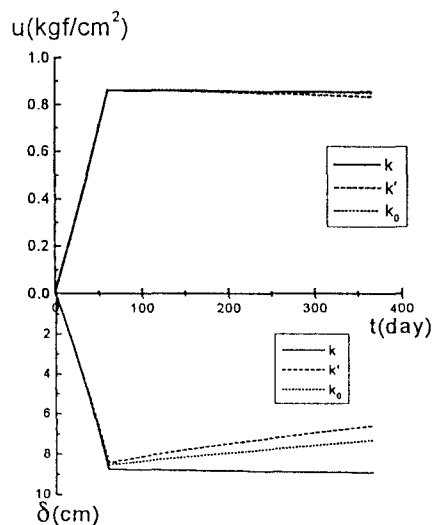


図6 要素25の水圧変化と側方流動 δ の挙動