

III-182 漸増载荷中の圧密における幾何学的非線形性の効果

名古屋大学大学院 学 野田 利弘
 名古屋大学工学部 正 浅岡 顕

1. はじめに

実際の軟弱地盤を考える時、漸増载荷中にすでに軟弱層厚の何10%もの沈下と大きなせん断変形を見ることがある。そして、道路用盛土などの局部载荷でありながら漸増载荷中に沈下～時間曲線が下に凸の形をしたりして、理解に苦しむ時がある(サンドドレン上の盛土, 道路公団武生試験盛土 1984など)。

非線形性は材料非線形と幾何学的非線形の合わさったものとして我々の目の前に現れるが、ここでは後者だけに着目して、線形弾性体の漸増载荷中の圧密の特徴を調べることにする。

2. 問題の境界条件、载荷条件その他

問題の境界条件と有限要素メッシュを図1に示す。計算では支配方程式はすべて速度型で与え、up-dated Lagrange法で計算するが、特に骨格材料は等方弾性体とし、変形速度テンソルDで表わす次の構成式を用いた。

$$\dot{T}' = \lambda (\text{tr} D) + 2\mu D \quad (1)$$

ここに有効応力速度 \dot{T}' には、Cauchy応力 T' のDienes rateを用い、材料定数(Lameの定数)は、 $\lambda=18.75$, $\mu=9.375$ とした。また、Darcy則でも等方性を仮定して、つまり材料特性はすべて最も簡単にして、客観性を満足させた。連続条件の計算上の処理は、各要素の中心に過剰間隙水圧 p を代表させる田村の方法を用いた。

増分計算に用いたステップは解析解の与えられている単純せん断問題¹⁾を計算することにより、 $\Delta t=10^{-3}$ と定めた。そして、剛性方程式に未知数として W_R (= $\dot{R}R^T, R$; 変形勾配テンソルを極分解した時の直交テンソル)を含む項があるため、これを等価な節点力とみなし荷重項に移項し、さらに各ステップ毎にイタレーションを施して T' に関する収束計算を行った。

図1に示すような応力境界値問題を考えると、図中点1と点2の間の長さも圧密変形とともに変化していくが、この2点間に荷重载荷速度 $\dot{q}=50.0$ で常に鉛直上方から時間 $300 \times \Delta t$ だけ载荷することとし、本報告ではこの载荷の仕方を漸増载荷と呼ぶこととしている。

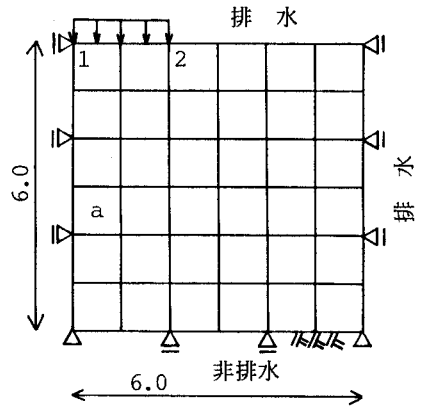


図1 境界条件と有限要素メッシュ

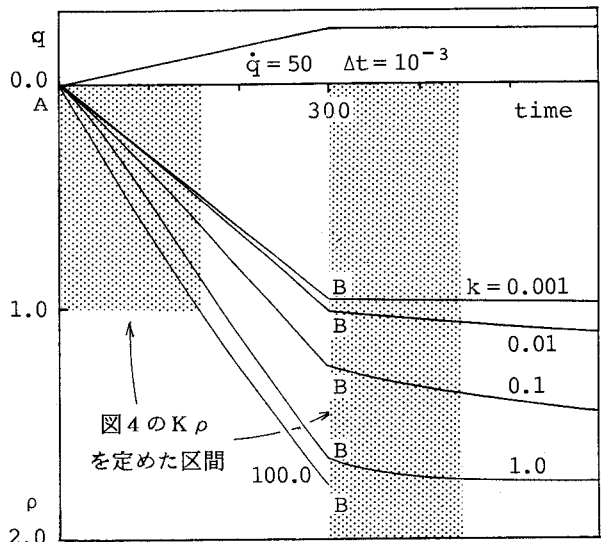


図2 盛土直下における透水係数kの違いによる沈下 ρ ～時間tの関係

3. 幾何学的非線形性の効果

①漸増载荷中の盛土中央直下(図1における点1の位置)における沈下~時間曲線(図2)の始点をA、終点をBとして透水係数 k (本来は k/γ_w , γ_w :水の単位体積重量であるが、本報告では単に透水係数 k と呼ぶことにする)によらず、A、Bを揃えて曲線の特長を図3に示す。図のように $k=0$ (非排水)の時は沈下~時間曲線はA、Bを結ぶ直線を呈する。逆に、 $k=\infty$ (完全排水)の時は、下に凸の曲線となる。 k の増大に応じて直線から上に凸になっていき、さらに k が大きくなるとB点から徐々に下に凸に移行する様子が図3に示されている。これらの曲線で下に凸を呈するものが出ることは、微小変形線形弾性圧密理論では現れない特長である。

②図3で十分明確に上に凸の形状を呈している時のみ、微小変形弾性圧密理論にもとづく区分線形近似²⁾が可能である。この区分線形近似により求めた地盤の割線骨格変形係数 $K\rho$ ($K\rho \cdot \rho_s = q$)の透水係数 k による変化を図4に示す。 $K\rho$ は漸増载荷初期に求めたが、合わせて荷重一定になってすぐの時にも求めた。多次元局所载荷での骨格変形係数 $K\rho$ の劣化の様子が見てとれる。荷重一定に達した後の $K\rho$ の劣化の様子はすでに報告した³⁾が、これと矛盾も見られないが、これらは微小変形線形弾性圧密理論からは得られない特長である。

③漸増载荷中の過剰間隙水圧(図1の要素aの中心)の挙動を $\Delta p_i \sim \Delta p_{i-1}$ の関係をプロットしたものを図5に示す。ここに、 $\Delta p_i = p_i - p_{i-1} = p(\Delta t \cdot i) - p(\Delta t \cdot i - 1)$, ($i=1, 2, \dots$)である。この図から得られる関係は荷重一定の時の $\rho_s = (\rho(\Delta t \cdot j)) \sim \rho_{j-1}$, ($j=1, 2, \dots$)の関係に相当することがわかっている。すなわち、微小変形線形弾性圧密の時、 $(\Delta p_i, \Delta p_{i-1})$ の点は図中45°線の下方向から最後に直線的に原点に向かう。このような傾向は図3中、直線ABで下に凸のカーブが現れるあたりで明確に確かめることができないのが図5からわかる。

参考文献

- 1) Dienes J.K.: On the Analysis of Rotation and Stress Rate in Deforming Bodies, ACTA MECHANICA 32, 217-232, 1979.
- 2) 浅岡, 三隅: Analysis and prediction of consolidation settlement of normally consolidated clay foundation under embankment loading, 土質工学会論文報告集, 第28巻, 第3号, pp. 35-50, 1988.
- 3) 野田, 浅岡: 線形弾性圧密変形における幾何学的非線形性の効果, 第26回土質工学研究発表会講演集掲載予定, 1991.

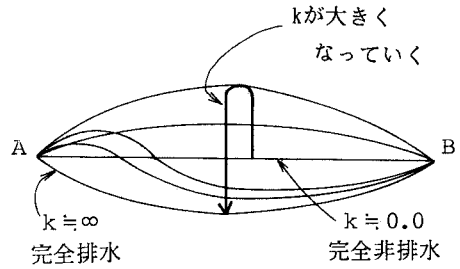


図3 沈下曲線の凸性の変化の概念図

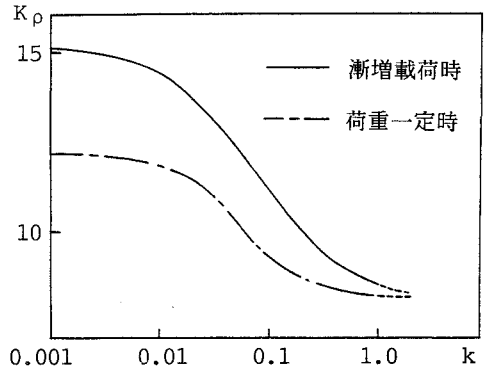


図4 割線骨格変形係数 $K\rho$ ~透水係数 k の関係

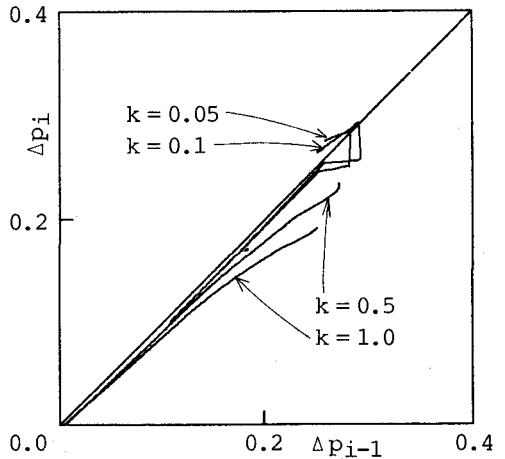


図5 $\Delta p_{i-1} \sim \Delta p_i$ の関係