

粘土の繰返し一次元圧密の評価

九州大学工学部 学○畑 成年 正 落合英俊
正 林 重徳 正 梅崎健夫
学 平田 裕

1. まえがき

繰返し一次元圧密において $f(e, \sigma', N) = 0$ の構成関係が成立することを示し、この構成関係を用いることにより静的圧密と同様な解法によって、繰返し圧密解析を実施できる手法を提案した¹⁾。本文は、この研究成果に基づいて、透水則にダルシー則を仮定した圧密解析を行い、繰返し一次元圧密における内部の応力・ひずみ状態を把握することを目的とする。加えて、実験結果との定量的な比較検討を行った。

2. 透水性(透水係数 k) について

圧密現象を評価する場合、構成則と同程度に透水則の評価法が重要である。特に、繰返し圧密とは周期的荷重のもとで载荷・除荷を繰返す圧密現象であり、粘土層内部の間隙水流れは上下方向に逆転を繰返している。そのため、静的圧密において一般に用いられるダルシー則が、繰返し圧密に適用できるかどうかは明確ではない。本評価法は繰返し応力を静的な一定応力として解析する手法¹⁾であり、ここでは透水則としてダルシー則を仮定して繰返し圧密特性として透水係数の評価に繰返し効果を導入した。これは、実験結果に基づいて、繰返し圧密では载荷直後の間隙水圧が増加した後に急激に減少する傾向にあることから初期の透水係数の値を静的のそれより大きくし、また、間隙水圧が完全に消散しないことから後半の透水係数を静的の場合より小さくするものである。このことから、繰返し圧密の透水係数(k_c)は静的圧密の透水係数(k_s)を基に、図-1に示すように繰返し効果としてパラメータ α, β を用いて(3)式のように表す。なお、静的圧密の $k_s \sim e$ 関係は実験²⁾より求めた関係である。

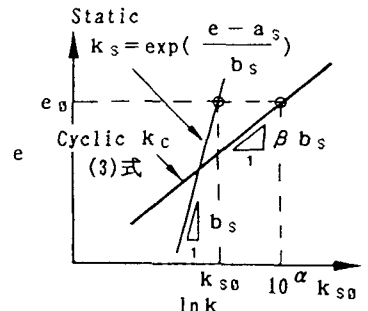


図-1 透水性の評価

3. 解析方法

3.1 基本方程式 基本方程式を以下に示す。ここで、 v は間隙水の流速、 z は深さ方向の座標である。

① 質量保存則

$$\frac{\partial v}{\partial z} = - \frac{1}{1+e} \dot{e}^* \quad (1)$$

② 透水則 (ダルシー則を仮定)

$$v = k_c \frac{\partial u}{\partial z} \quad (2)$$

③ 透水性 (透水係数 k_c)

$$k_c = \exp \left(\frac{e - \{ e_0 - b_s \ln(10^\alpha k_{s0}) \}}{\beta b_s} \right) \quad (3)$$

④ 構成関係¹⁾

$$e = \Gamma_1(T) - (C \alpha^* / 2.3) \ln N - \lambda \ln \sigma' \quad (4)$$

$$\ln \dot{e}^* = \ln A(T) - B \ln N \quad (5)$$

3.2 数値計算法 有効応力の原理($\sigma = \sigma' + u$)により式(1)~(5)を連立し、 u に関する2階の偏微分方程式を導き、差分法によって数値計算を行った。与える排水条件は片面排水であるため非排水面では三重対角行列の解法を用いて u を決定した。各時刻における応力の分布を計算する方法は次の通りである。

① ある時刻での $(e, \dot{e}^*, \sigma')$ が既知。② そのときの $\dot{e}^*$ を用いて Δt 時間後の e が解る。③ 基本方程式を解いてそのときの u を得る。④ 構成式を用いて $\dot{e}^*$ を計算する。⑤ Δt 時間後の $(e, \dot{e}^*, \sigma')$ が解ったので、次の時間ステップに進む。

4. 解析事例

4.1 解析条件 解析条件を列記すると、初期応力 $\sigma = 0.8 (\text{kgf/cm}^2)$ 、繰返し応力 $\Delta \sigma = 0.8 (\text{kgf/cm}^2)$ 、周期 $T = 50 (\text{sec})$ 、圧縮指数 $\lambda = 0.30$ 、膨潤指数 $\kappa = 0.034$ 、初期間隙比 $e_0 = 2.192$ 、層厚 $H = 2 \text{cm}$ の片面排水である。本評価法は繰返し応力を静的な一定応力として解析できる¹⁾。層厚を20分割 ($\Delta z = 1 \text{mm}$) し、計算の時間増分を

$\Delta t = 5 \text{ sec}$ として解析を行った。

4.2 透水係数 k_c の決定 図-2 は、上面の間隙水圧を制御した実験のシミュレーションであり、 $\Delta e \sim \log N$ 関係を示したものである。実験結果と解析結果を逆解析的に合わせ、繰返し圧密における透水係数 k_c を決定した ($\alpha = 3.0$, $\beta = 0.03$)。なお、 $\Delta u \sim \log N$ 関係および $e \sim \log \sigma'$ 関係においても同様に確かめた。ここで、 Δe および Δu は層全体の平均値である。

4.3 解析パラメータ 本解析ケースに用いた解析パラメータを列記すると、 $A = 0.00184$, $B = 1.27$, $\Gamma_1 = \Gamma_L = 2.23$, $C \alpha^* = 0.0262$, $k_{s0} = 4.8 \times 10^{-8}$, $a = 14.6$, $b = 0.736$, $\alpha = 3.0$, $\beta = 0.03$ である。

5. 解析結果および考察

5.1 内部挙動の把握 図-3 は $\Delta e \sim \log N$ 関係を分割要素別に示したものである。図中の層番号①～⑤は、それぞれ全層厚を排水面から5等分する位置に相当する。変形挙動は各分割要素で異なるが、最終的なひずみ量とひずみ速度の値は一致する。図-4 に分割要素別の $e \sim \log \sigma'$ 関係を示す。それぞれの経路は異なり、排水面に近い分割要素ほど有効応力の値が大きい。

5.2 実験結果との適合性 図-5 に底面における間隙水圧の消散過程と体積ひずみによる沈下曲線を示す。間隙水圧については比較的良好一致を示しているが、残留する間隙水圧を表現できていない。また、体積ひずみについては傾向は捉えているが、量的な評価は十分ではない。

6. まとめ

提案した $f(e, \sigma', N) = 0$ の構成関係を圧密解析に用いることによって、任意の粘土層における応力・ひずみ状態の変化を表現することができた。なお、繰返し応力 $\Delta \sigma$, 応力増分比 $\Delta \sigma / \sigma$ および周期 T の影響は本評価法により定性的に評価できることを別途確かめている。今後、パラメータの決定法や、繰返し圧密における透水則の評価法を確立する必要があると考えられる。

【参考文献】

- 1) 梅崎ら、平成3年度土木学会西部支部研究発表会 (投稿中)
- 2) 畑ら、第26回土質工学研究発表会 pp295～298, 1991年

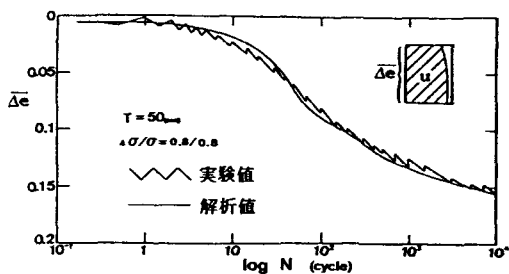


図-2 $\Delta e \sim \log N$ 関係

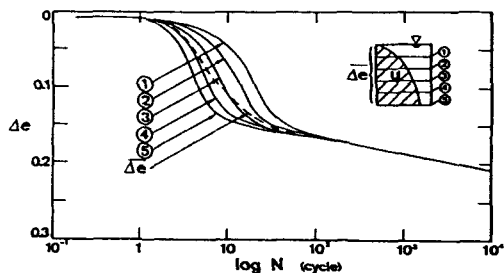


図-3 分割要素別の $\Delta e \sim \log N$ 関係

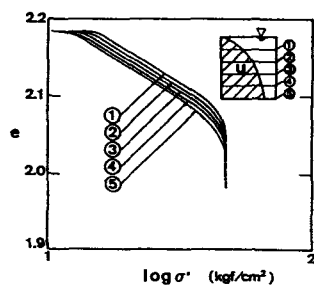


図-4 $e \sim \log \sigma'$ 関係

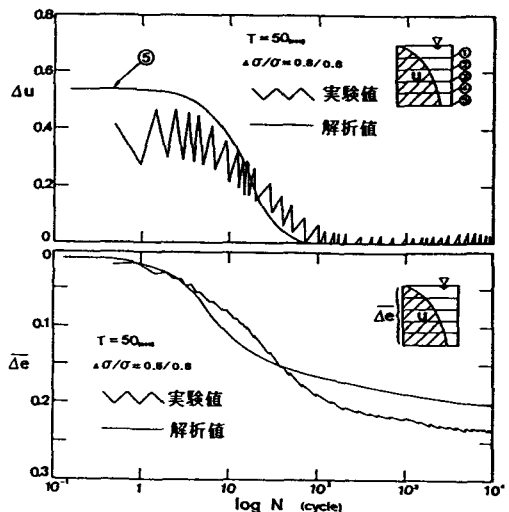


図-5 $\Delta u, \Delta e \sim \log N$ 関係