

繰返し一次元圧密における粘土骨格の構成関係

九州大学 正〇梅崎健夫 正 落合英俊
正 林 重徳 学 畑 成年
学 平田 裕

1. まえがき

繰返し応力を受ける粘土の構成関係を確立するために、繰返し応力を偏差応力成分 Δq と等方応力成分 Δp に分けて考える。このうちの等方応力成分の繰返しにより生じる圧密変形に関する有効応力と体積ひずみの関係を確立するための端緒として、粘土骨格の変形方向と水の流れの方向が鉛直方向のみである繰返し一次元圧密を対象としている。本文は、供試体の動水勾配を制御した実験の結果に基づき¹⁾、載荷時の有効応力とひずみの関係において N -一定線群が存在することを示し、 $f(e, \sigma', N) = 0$ の構成関係を提案したものである。さらに、構成関係の圧密解析への適用例を示した。

2. 繰返し圧密における構成関係

2.1 N -一定線 図-1は、載荷周期 $T=50(\text{sec})$ の繰返し一次元圧密における載荷時の間隙比 (e) と有効応力 (σ') の関係を繰返し回数 N 毎に整理したものである。初期圧密応力 σ や繰返し応力 $\Delta\sigma$ に依らず、回数が同じ点を結ぶと互いに平行で、標準圧密試験より得られた正規圧密線とほぼ等しい勾配をもつ直線群が得られる。図-2は、載荷周期 $T=5(\text{sec})$ の場合であり、載荷周期 $T=5, 10, 20, 30, 50(\text{sec})$ の場合においても同様の N -一定線が得られる。このことは、繰返し圧密において $f(e, \sigma', N) = 0$ の構成関係が成立することを示唆するものである。

2.2 構成関係の定式化 N -一定線を表す式は、 N -一定線の $\sigma' = 1 \text{ kgf/cm}^2$ に対する間隙比を Γ とすると、圧縮指数 C_c と Γ を用いて、(1)式のように表される。

$$e = \Gamma - C_c \cdot \log \sigma' \quad (1)$$

Γ と $\log N$ の関係を図-3に示す。 Γ と $\log N$ の関係は、直線関係から $\Gamma = \Gamma_L$ の値に漸近するような曲線関係へと変化する。このうち直線部分については、その傾きを C_{α}^* 、 $N=1$ に対する Γ の値を $\Gamma_1(T)$ とすると、(2)式のように表される。

$$\Gamma = \Gamma_1(T) - C_{\alpha}^* \cdot \log N \quad (2)$$

ここで、 $\Gamma_1(T)$ は $e-\sigma'$ 面上での N -一定線群の位置を規定するパラメータであり、載荷周期の関数である。また、 C_{α}^* は N -一定線の間隔を規定するパラメータであり、載荷周期に依らない。

したがって、(1)式と(2)式から繰返し圧密の構成関係は(3)式のように定式化できる。

$$e = \Gamma_1 - C_{\alpha}^* \cdot \log N - C_c \cdot \log \sigma' \quad (3)$$

なお、 $\Gamma = \Gamma_L$ から(2)式の関係式が成立する直線部分までは、間隙比の変化量が小さいので、構成関係は、近似的に(4)式のように表すことができる。

$$e = C_s \cdot \log \sigma' \quad (4)$$

ここで、 C_s は膨潤指数であり、 Γ_L は $f(e, \sigma', N) = 0$ の構成関係が成立するための限界の間隙比を規定

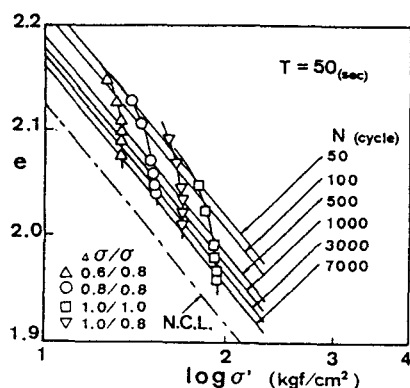


図-1 有効応力～間隙比
～繰返し回数 関係

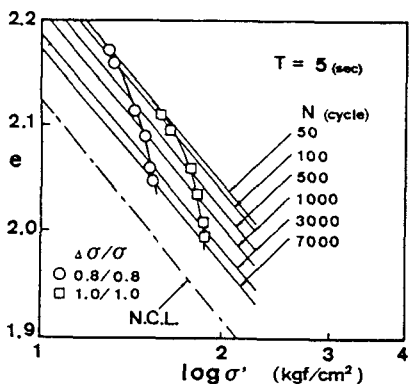


図-2 繰返し回数～ひずみ速度 関係

するパラメータであり、載荷周期に依らない。

$f(e, \sigma', N) = 0$ の構成関係におけるパラメータは、 C_0 、 Γ_1 、 Γ_2 および $C\alpha^*$ の4種類である。繰返し圧密においては、繰返し回数 N が大きくなっても過剰間隙水圧は残留し、その時の消散量は極めて小さくなる。このとき、図-1、2 の $e-\sigma'$ 面においては、有効応力はほぼ一定に保たれた状態で、ひずみが一定の速度で進行する。この状態は、図-4 に示した $\Delta e \sim \log N$ 関係の直線部分であり、直線の傾きはすべて $C\alpha^*$ に等しい。

3. 圧密解析への適用

本構成式を用いることにより繰返し圧密を静的圧密として評価する手法を提案する。図-1、2 は、繰返し回数 N における載荷時の最大有効応力と間隙比の関係を連ねることにより、擬似的に静的圧密の挙動と同様に捉えたものである。すなわち、図-5 に示すように、繰返し回数 N における載荷時の間隙比の変化量を連ねた体積変化曲線を静的圧密の場合と同様に捉え、この体積変化は繰返し最大応力を静的に負荷することによって生じる体積変化と等価であると考え。したがって、評価すべき挙動は図-5 の一点鎖線で表される。さらに、構成関係と水の流れに関する場の方程式を連立して解くために、 $f(e, \sigma', N) = 0$ の構成関係を $f(e, \sigma', \dot{e}^*) = 0$ の構成関係に置き換える。載荷回数 N と擬似ひずみ速度 $\dot{e}^*$ の関係は、応力条件に依らず一義的な関係にあり、両対数紙上で載荷周期 T 毎に互いに平行な直線として(5)式のように表される。

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

ここで、パラメータ $A(T)$ は $N=1$ のときの $\dot{e}^*$ の値であり、載荷周期の関数である。また、 B は直線の傾きであり、載荷周期に依らない。したがって、粘土骨格の構成関係として、(3)式、(4)式、(5)式を用いれば、静的圧密と同様の解法により圧密解析が実施できる。

なお、提案した構成関係を圧密解析に適用する場合には動水勾配の大きな自由水面付近の要素への適用性を厳密に検討する必要がある。ここでは、静的圧密理論に倣い、構成関係は粘土層内の全ての要素に対して成立するものと仮定している。

4. まとめ

実験結果に基づき $f(e, \sigma', N) = 0$ の構成関係を提案した。繰返し応力下の応力・ひずみ関係を評価するための硬化則としての適用を検討中である。また、構成関係の繰返し圧密解析への適用例を示した。本解析法は静的圧密の解法により繰返し圧密を解析できる。解析法の妥当性の検討は文献2)を参照されたい。

【参考文献】1) 畑ら：第26回土質工学研究発表会，pp. 295-298, 1991。

2) 畑ら：平成3年度土木工学会西部支部研究発表会（投稿中），1992。

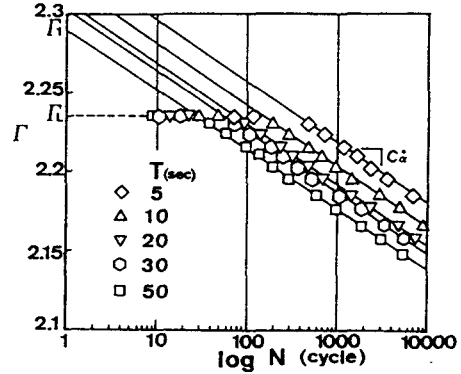


図-3 $\Gamma \sim \log N$ 関係

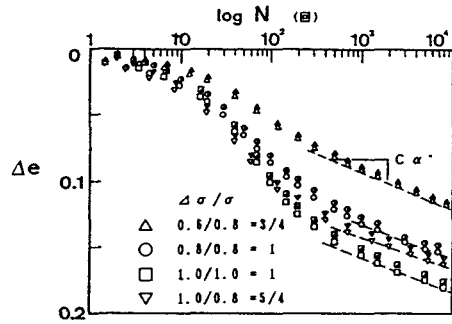


図-4 $\Delta e \sim \log N$ 関係

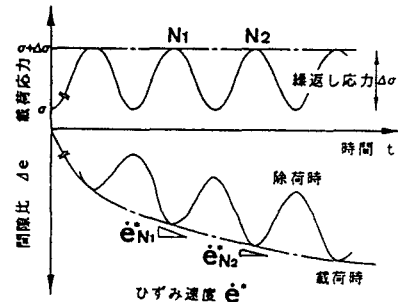


図-5 繰返し一次元圧密解析への適用