

繰返し荷重を受ける粘土の変形特性

山口大学工学部 正 員 兵動正幸 村田秀一 学生員○小浪岳治
 茨城大学工学部 正 員 安原一哉

1. まえがき 繰返し荷重を受ける粘土地盤の変形は、非排水繰返しせん断によるせん断変形と発生した間隙水圧が消散する過程の再圧密による変形から成ると考えられる^{1), 2)}。本研究は、不攪乱粘土試料を用いて非排水繰返し三軸試験を行い、粘土の変形の定量的評価を行ったものである。

2. 試料と試験方法 試験に用いた試料は、佐賀県武雄市で採取された不攪乱の有明粘土($w_L=100.7\%$, $w_p=50.5\%$, $G_s=2.656$)である。その他の物理特性を表-1に示す。供試体は直径5cm、高さ10cmに成形され、周囲にペーパードレーンを巻いて周面排水のみを許す形とし、間隙水圧を供試体下部中央において測定した。圧密はまず等方応力 $\sigma_{3c}=0.5\text{kgf/cm}^2$ を載荷し間隙水圧が消散した後、側圧一定でさらに軸差応力 0.5kgf/cm^2 ($\sigma_{1c}=1.0\text{kgf/cm}^2$)を載荷した異方応力状態で24時間行なった。このような異方圧密供試体に非排水条件下で0.1Hzの正弦波軸荷重を載荷した。さらに、繰返し載荷終了後圧密時の応力状態で上部バルブを開け再圧密を行い、間隙水圧と体積ひずみを各々測定した。

3. 繰返しせん断による変形の定量化 図-1は軸ひずみ両振幅10%に至るに必要な繰返し応力比 q_{cyc}/p_c (q_{cyc} :軸差応力振幅, p_c :圧密時の平均有効主応力)と繰返し回数 N_r の関係を両対数座標上に表したものである。このプロットを直線で近似すると次のように定式化できる。

$$R_r (=q_{cyc}/p_c) = 0.4621N_r^{-0.2507} \quad \dots (1)$$

次に、繰返し応力の圧縮側ピーク時の有効応力比 $\eta_p (=q_{cyc}/p)$ とピーク軸ひずみ ϵ_p の関係を図-2に示す。図のように、応力ピーク時の η_p と ϵ_p の間には一義的な関係が存在し、その関係は次式で表すことができる。

$$\epsilon_p = \eta_p / (3.33 - 2.22 \eta_p) \quad \dots (2)$$

ここで、次式で定義される2つのパラメータ η^* とRRを導入する。

$$\eta^* = (\eta_p - \eta_s) / (\eta_r - \eta_s) \quad \dots (3) \quad RR = \{R_r(1) - R_r(N)\} / \{R_r(1) - R\} \quad \dots (4)$$

ここに、 η_s は繰返し載荷時の全応力経路におけるピーク時の有効応力比であり、 η_r は破壊時の有効応力比である。 η_r は破壊ひずみを $\epsilon_p=10\%$ と定義すると、式(2)より $\epsilon_p=10\%$ に対応する η_r の値として評価することができる。また、 $R (=q_{cyc}/P_c)$ は繰返し応力比であり、 $R_r(1)$ は式(1)で $N=1$ に対応する強度、 $R_r(N)$ は繰返し回数 N に相当する強度である。これらのパラメータの概念は図-3、4に示す通りである。図-5はこのように定義した η^* とRRの関係を示したものである。不攪乱試料であるため若干ばらつきが見られるが、両者の間にはユニークな関係が存在し、次式で表すことができる。

$$\eta^* = RR / \{a - (a-1)RR\} \quad \dots (5)$$

ここに a は実験パラメータであり、本実験では $a=7.0$ が得られた。 η^* は任意の繰返し回数における初期および破壊に対する相対的な応力比を表すものである。その値は繰返し回数 $N=1$ では $RR=0$ となるため式(5)より $\eta^*=0$ となり、繰返し回数の増加に伴い $R_r(N)$ が減少するため式(4)に従いRRが増加し、 $RR=1$ となるまで変化する。つまり、RRと η^* は0から1まで連続的に変化するパラメータである。以上の関係を用いて各繰返し応力ピーク時における間隙水圧と軸ひずみの予測を行う。まず、任意の繰返し回数 N に対する強度が式(1)より求まり、繰返し応力比 R が既知であるとする RR の評価が式(4)を用いて行われる。これを式(5)に代入するとそれぞれの η^* が求まり、式(3)より η_p が決定される。この η_p から図-3の概念を用いて繰返し応力ピーク時の間隙水圧が求まる。さらに、 η_p を式(2)に代入することによりその繰返し回数における ϵ_p を求めることができる。以上により求められた間隙水圧比とピークひずみの予測結果と実験結果を図-6、7に示す。図のように間隙水圧と軸ひずみの予測結果は、実験結果と良好な対応となることが分かる。次に、非排水繰返し試験終了後再圧密試験を行い体積ひずみを測定した。図-8に繰返し載荷終了時の有効応力比と再圧密による体積ひずみの関係を示す。この関係は図-2と同様に破壊時の有効応力比を想定して図のような双曲線で近似できる。繰返し荷重を受ける粘土の変形は、前述の非排水繰返しせん断による変形とこの再圧密による体積変化とを重ね合わせることで評価できると考えられる。

表-1 試料の物性値

試験番号	含水比 W (%)	湿潤密度 ρ_l (g/cm ³)	間隙比 e	飽和度 Sr (%)	繰返し応力比 q_{cyc}/p_c
89C-1	137.5	1.305	3.878	94.2	0.403
89C-4	130.0	1.330	3.595	96.0	0.370
89C-5	154.8	1.1340	4.049	101.5	0.313
89C-6	129.3	1.332	3.571	96.2	0.385
89C-2	131.6	1.331	3.619	96.6	0.162

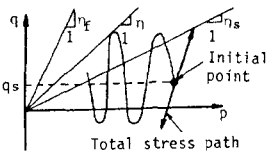


図-3 パラメータ η^* の概念

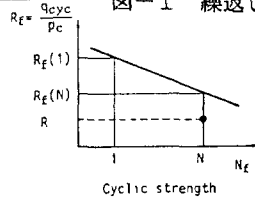


図-4 パラメータ RR の概念

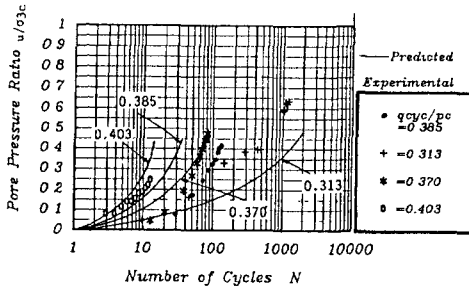


図-6 応力ピーク時の間隙水圧比の予測値と実験値

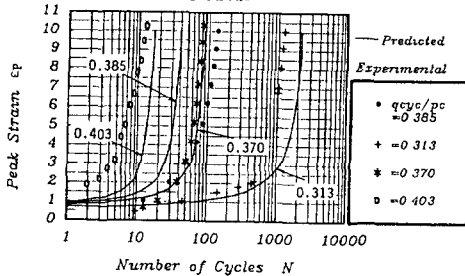


図-7 応力ピーク時の軸ひずみの予測値と実験値

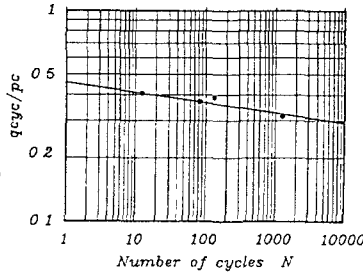


図-1 繰返しせん断強度

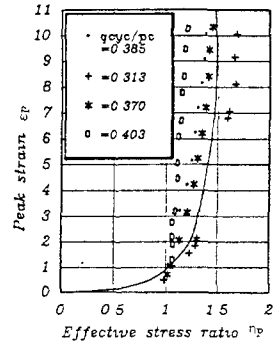


図-2 応力ピーク時の有効応力比と軸ひずみの関係

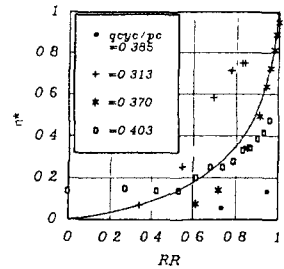


図-5 η^* と RR の関係

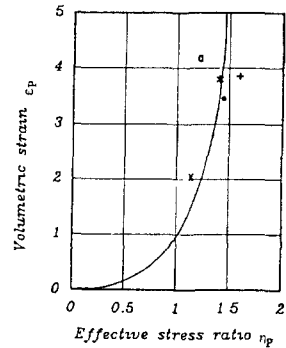


図-8 繰返し载荷終了時の有効応力比と再圧密による体積変化の関係

4. まとめ 本研究で得られた結果をまとめると以下のようになる。

1. 非排水繰返し载荷時の間隙水圧とピーク軸ひずみの予測モデルを提案し、実験結果と比較的した。
2. 非排水繰返しせん断試験終了後再圧密試験を行い、生じた体積ひずみを非排水せん断時の最終有効応力比との関係で表した。

《参考文献》

- 1) 兵動・村田・安原：部分排水状態における粘土の繰返しせん断特性，第22回土質工学研究発表会講演集，PP.617-618，1987。
- 2) 兵動・安原・村田・平尾：長期繰返しせん断を受ける粘土の間隙水圧および変形予測，土木学会論文集，第400号／Ⅲ・10，PP.151-160，1988。