

異方過圧密粘土の繰返しせん断挙動

(株) オオバ 正員 ○杉山 太宏
 山口大学工学部 正員 兵動正幸 村田 秀一 安福 規之
 三井建設㈱ 正員 山本 陽一

1. まえがき

粘土地盤は、その堆積環境から特に粘土層浅部において過圧密状態になっていることが多く、また一次元的な圧密履歴により強度の異方性を示すと同時に、斜面や構造物基礎地盤のようにあらかじめ静的なせん断応力が作用している場合が多い。そこで、本研究では著者らがこれまでに行った一連の実験^{1), 2)}の延長として、初期せん断を受ける過圧密粘土に対して非排水繰返し三軸試験を行い、得られた試験結果から特に発生する間隙水圧および軸ひずみの定量的評価を行った。また、既報で提案している軸ひずみと間隙水圧の予測モデルを応用し、試験結果との整合性について検討を行った。

2. 試料および実験方法

実験に用いた試料は、攪拌し室内で再構成した五日市粘土($G_s=2.532$, $W_L=124.2$, $I_P=72.8$)で、 0.5kgf/cm^2 まで2週間予圧密を行った後、空圧制御式繰返し三軸圧縮試験機により、表-1に示す条件で試験を実施した。圧密方法は、まず設定した過圧密比($OCR=1, 1.5, 2, 4$)を得るため各先行圧密応力 p_m まで24時間等方圧密した後、平均有効応力 $p_c=(\sigma_{1c}'+2\sigma_{3c}')/3=1\text{kgf/cm}^2$ まで十分に吸水膨張させる。次に、排水状態で初期せん断応力 $q_s=(\sigma_{1c}-\sigma_{3c})=0.6\text{kgf/cm}^2$ に至るまで、 0.2kgf/cm^2 ずつ3段階にわけて軸圧ならびに側圧を調整し、平均有効応力を一定に保ちながら異方応力状態にした。その後、非排水状態で周波数 $f=0.02\text{Hz}$ の正弦波軸荷重を側圧一定、荷重振幅一定のもとで圧縮側から繰返し載荷した。

表-1 試験条件

Test No.	p_c (kPa)	σ_{3c}' (kPa)	OCR	q_s (kPa)	q_{cyc} (kPa)	f (Hz)	W_i (%)	e_i	e_s
HRS14	100	80	1	0	83.0	0.02	80.3	2.013	1.666
HRS13	100	80	1	0	64.3	0.02	78.8	1.974	1.621
HRS15	100	80	1	0	50.1	0.02	80.2	2.000	1.656
HRS23	100	80	1.5	0	86.6	0.02	75.3	1.900	1.603
HRS24	100	80	1.5	0	64.0	0.02	80.4	2.004	1.585
HRS25	100	80	1.5	0	53.2	0.02	79.4	1.967	1.571
HRS32	100	80	2	0	153.7	0.02	79.9	1.992	1.532
HRS34	100	80	2	0	94.6	0.02	79.8	1.995	1.509
HRS35	100	80	2	0	84.5	0.02	80.4	1.981	1.512
HRS33	100	80	2	0	55.6	0.02	80.0	1.995	1.503
HRS43	50	40	4	0	82.9	0.02	75.4	1.874	1.481
HRS44	50	40	4	0	66.5	0.02	79.1	1.964	1.516
HRS45	50	40	4	0	51.3	0.02	96.6	1.955	1.507

3. ピーク軸ひずみとピーク間隙水圧の予測

繰返し応力を受ける粘土の強度特性を知り、ひずみと間隙水圧の予測を行うためにはその定量化が必要である。そこでまず破壊強度 R_f の定式化を行う。図-1は破壊をピーク軸ひずみ $\varepsilon_p=10\%$ で定義した強度線を両対数上に描いたもので、次のような近似式で表した。³⁾

$$R_f=(q_{cyc}+q_s)/p_c=0.771(\eta+1)OCR^{0.72}N^B \dots (1)$$

ここで B は、図-1に示した強度線の勾配で過圧密比との間に次式で表す関係がある。

$$B=\log OCR/(50.7\log OCR-43.7)-0.088 \dots (2)$$

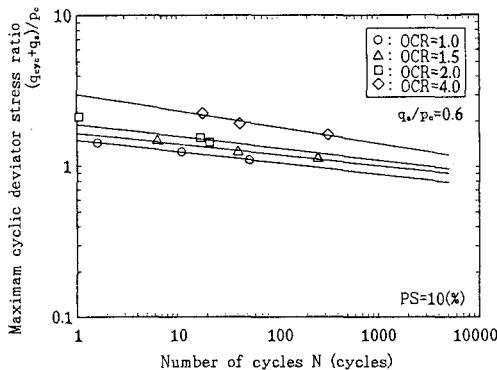


図-1 $\varepsilon_p=10\%$ で定義した繰返し破壊強度線

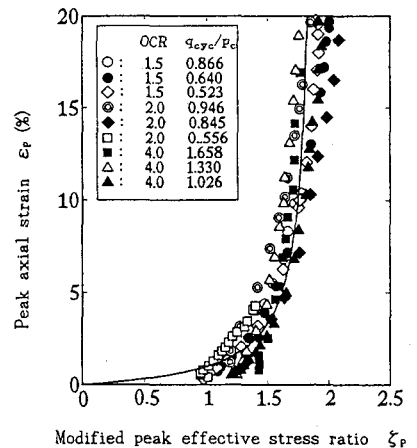


図-2 ピーク軸ひずみとピーク修正有効応力比の関係

図-2は、各サイクルにおける圧縮側ピーク時の修正有効応力比 ζ_p とピーク軸ひずみ ε_p との関係を示したものである。図から両者の間には繰返し応力、繰返し回数、過圧密比によらず一義的な関係が見いだされ、これを双曲線近似し以下の式を得た。

$$\varepsilon_p = \zeta_p / (2.1 - 1.1 \zeta_p) \quad (3)$$

次に、初期修正応力比 ζ_{s0} と破壊時の修正有効応力比 ζ_f ($\varepsilon_p=10\%$ におけるピーク修正有効応力比)の間で、任意の繰返し回数における修正有効応力比 ζ_p の相対的な位置を表す応力比 $\zeta^* = (\zeta_p - \zeta_{s0}) / (\zeta_f - \zeta_{s0})$ を定義し、その概念を示したのが図-3である。図-4はこの正規化された ζ^* と強度比 R/R_f の関係を示したものである。ここで、強度比 R/R_f は外力としての繰返し応力比 $R = (q_{cyc} + q_s) / p_c$ を式(1)で定義した繰返し破壊強度 R_f で正規化したもので、 $R/R_f \geq 1$ の時破壊状態にあることを示す安全率の逆数に相当するものである。図のように両者の間には過圧密比によらないユニークな関係が存在しこの関係を原点と座標(1,1)を通る双曲線により次式のように定式化した。

$$\zeta^* = (R/R_f) / (15 - 14R/R_f) \quad (4)$$

以上の式(1), (3), (4)を組み合わせたことにより任意の大きさの繰返し応力と繰返し回数に対する軸ひずみ両振幅の予測が可能になる。

次にピーク間隙水圧を予測するため、ピーク間隙水圧 u_p を破壊時の間隙水圧 u_f で正規化した間隙水圧比 u_p/u_f と応力比 ζ^* との関係を示したのが図-5である。この図から u_p/u_f と ζ^* の間にも過圧密比によらず一義的な関係が見いだされたので、直線で近似し次式が得られた。

$$u_p/u_f = 0.75 \zeta^* + 0.25 \quad (5)$$

式(1), (4), (5)より任意の大きさの繰返し応力と繰返し回数に対する残留間隙水圧の予測が可能になる。また破壊時の間隙水圧 u_f は、図-3に示した模式図から次のように表せる。

$$u_f = p_c - (q_{cyc} + q_s) / \zeta_f - p_r + (q_{cyc} / 3) \quad (6)$$

以上の手法で行ったピーク軸ひずみとピーク間隙水圧の予測結果の一例を図-6、図-7に示す。これらの図から予測結果は実験結果をよく表現しており、提案する予測手法の妥当性が明らかとなった。

一参考文献一

- 1) 兵動、山本他：繰返しせん断を受ける過圧密粘土の間隙水圧及び変形の評価、第26回土質工学研究発表会講演集、pp.787~790, 1991
- 2) 山本、兵動他：異方圧密された五日市粘土の非排水繰返しせん断強度について、第44回土木学会中国四国支部研究発表会講演集、1992
- 3) 杉山、兵動他：初期せん断を受ける過圧密粘土の繰返しせん断特性、第28回土質工学研究発表会講演集、投稿中

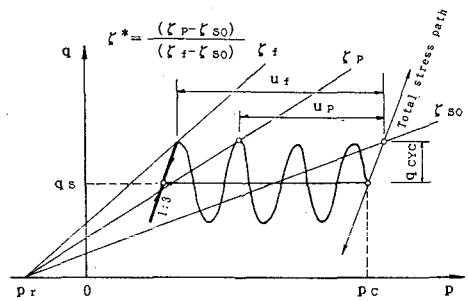


図-3 応力比 ζ^* と間隙水圧の概念図

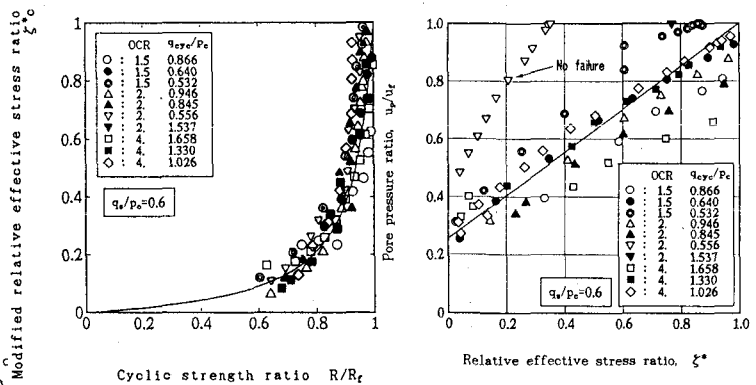


図-4 ζ^* と強度比 R/R_f の関係

図-5 ζ^* と間隙水圧比 u_p/u_f の関係

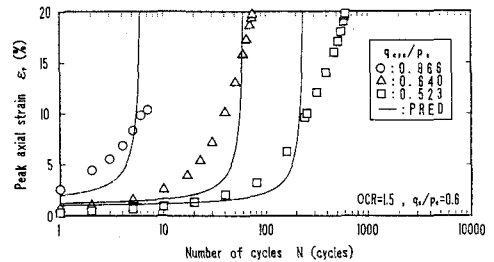


図-6 ピーク軸ひずみの実測値と予測結果

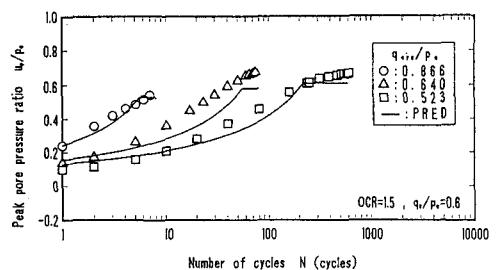


図-7 ピーク間隙水圧の実測値と予測結果