

過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

株式会社三井建設 正 員 山本 陽一
山口大学工学部 正 員 兵動 正幸
株式会社オオバ ○正 員 杉山 太宏
山口大学大学院 学生員 河田 頼治

1. まえがき

一般に粘土地盤は、長期の堆積による時間効果や侵食作用、地下水位の変動ならびに地震等の繰返し外力を受けることによりある程度の過圧密状態にあると考えられる。また近年、特に都市部における地下水の汲み上げにより、粘土層の深部が顕著な過圧密性状を示すという報告もされている。このような過圧密粘土地盤に地震、波浪、交通荷重等の繰返し外力が作用した場合のせん断挙動については、これまで盛んに研究され次第にその特性が明らかにされつつあるものの、未だ未解明の部分が多く残されている。

そこで本研究では、繰返し破壊強度について、等方応力条件下で種々の過圧密比に圧密された五日市粘土に対して非排水繰返し三軸試験を実施し、過圧密比と繰返し回数の関係に着目し検討を行った。

2. 試料および実験方法

表-1 試験条件

実験に用いた試料は、広島県五日市市より採取した五日市粘土 ($G_s=2.532$, $W_L=124.2\%$, $I_p=72.8\%$)を攪拌し粒度調整した再構成試料で、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。排水は供試体側面に巻かれたペーパードレーンを通じ上部より行い、下面において間隙水圧の測定を行った。圧密方法は、最大先行圧密応力 $p_m=200\text{kPa}$ で24時間等方圧密された後、所定の過圧密比になるよう有効圧密応力 p_c まで十分膨張させたものと、 $p_c=100\text{kPa}$ として所定の過圧密比になるよう p_m を変化させる2種類の方法により応力履歴の影響を調べた。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载荷した。

Test No.	p_c (kPa)	σ_{vc}' (kPa)	OCR	q_c (kPa)	q_{cyc} (kPa)	f (Hz)	V_v (%)	e_i	e_c
HR16	160	160	1.25	0	125.3	0.02	96.0	2.353	1.675
HR03	100	100	1.25	0	90.6	0.02	103.5	2.581	2.010
HR02	100	100	1.25	0	76.9	0.02	102.6	2.530	1.974
HR01	100	100	1.25	0	62.1	0.02	105.7	2.632	2.023
HR04	100	100	1.25	0	52.6	0.02	102.9	2.566	2.016
HR17	133	133	1.5	0	126.0	0.02	96.0	2.372	1.690
HR05	100	100	1.5	0	100.0	0.02	103.9	2.591	1.979
HR07	100	100	1.5	0	88.1	0.02	98.9	2.464	1.848
HR06	100	100	1.5	0	79.0	0.02	103.8	2.581	1.948
HR08	100	100	1.5	0	72.4	0.02	98.4	2.422	1.823
HR12	100	100	2	0	125.6	0.02	96.5	2.384	1.732
HR09	100	100	2	0	94.6	0.02	96.6	2.385	1.714
HR11	100	100	2	0	83.8	0.02	97.3	2.407	1.736
HR10	100	100	2	0	78.5	0.02	96.3	2.370	1.701
HR15	50	50	4	0	97.5	0.02	96.4	2.376	1.753
HR13	50	50	4	0	78.6	0.02	97.0	2.387	1.757
HR14	50	50	4	0	72.7	0.02	96.6	2.377	1.756
HR18	50	50	4	0	64.5	0.02	95.4	2.354	1.748

3. 実験結果と考察

図-1は、OCR=1.50の時の軸ひずみ両振幅 $DA=2, 5, 10, 15\%$ に至るに必要な繰返し応力比 q_{cyc}/p_c と繰返し回数 N の関係を調べたものである。図中の黒塗りのプロットは $p_m=200\text{kPa}$ (HR17)、白抜きのプロットは $p_c=100\text{kPa}$ (HR05~08)の結果を示している。この図からいずれの強度線においても応力履歴の影響は認められず、過圧密粘土の繰返し応力比は過圧密比に依存するようである。また、繰返し回数の増加に伴い強度線はひずみ振幅によらず収束して行き、 $N=1000$ 回ではほぼ等しい応力比になる。よって、地震など繰返し回数の少ない外力に対しては、破壊ひずみ規定の重要性が示唆される。

粘土においては間隙水圧が初期有効拘束圧に等しくならないため明確な破壊の定義ができない。そこで、本研究においては、両振幅 $DA=10\%$ ¹⁾で破壊を規定した。図-2は $DA=10\%$ に至るに必要な q_{cyc}/p_c と N の関係を過圧密比をパラメータとして示したものである。図より過圧密比の増加とともにより大きな繰返し応力比を必

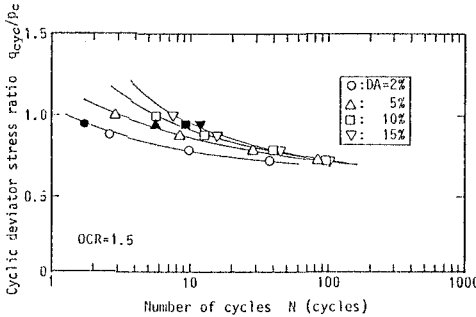


図-1 軸ひずみ両振幅 $DA=2, 5, 10, 15\%$ に至るに必要な繰返し応力比 q_{cyc}/p_c と繰返し回数 N の関係

要とすることがわかる。次に、繰返し応力比として繰返し軸差応力 q_{cyc} を最大先行圧密応力 p_m で正規化した値により、繰返し回数との関係を示したのが図-3である。OCR=1.25, 1.5の軽い過圧密履歴を受けた粘土では、正規圧密粘土と著しい違いは見られないものの、総じて過圧密比が高くなるほど繰返し応力比は小さくなっている。これは、粘土地盤が過圧密状態になると以前に有していた強度よりも低下し、より小さな繰返し外力でも地盤が破壊する可能性が増大することを意味している。図-4は、繰返し回数 $N=20$ 回で、 $DA=10\%$ に至るに必要な q_{cyc} と p_c の関係を示したものである。図から p_c が等しい時は過圧密比が高くなるほど破壊に至る応力も増加するが、 p_m が等しい時には過圧密比の増加に伴い破壊に必要な応力は減少する傾向が認められる。

次に、図-5は破壊の定義により繰返し破壊強度線を両対数上に示したものである。図から破壊強度 R_f と N の間には直線関係が認められ、次式により定式化した。

$$R_f (= q_{cyc} / p_c)_f = \kappa N^\beta \quad (1)$$

ここで、 β は等方正規圧密粘土から与えられる図の直線の勾配である。 κ は繰返し回数 $N=1$ 回における R_f の値で、図-6に示した過圧密比との間に両対数上で直線的に増加し、次式で与えられる。

$$\frac{\kappa_{(OC)}}{\kappa_{(NC)}} = OCR^\Lambda \quad (2)$$

$$\kappa_{(OC)} = \kappa_{(NC)} OCR^\Lambda$$

ここで、 Λ は定数であり、OC、NCはそれぞれ過圧密および正規圧密条件を表す。式(2)の定式化により繰返し破壊強度 R_f は次式のように書き換えられる。

$$R_f (= q_{cyc} / p_c)_f = \kappa_{(NC)} OCR^\Lambda N^\beta \quad (3)$$

式(3)により過圧密粘土の繰返し破壊強度 R_f は、過圧密比と繰返し回数の関数として表すことが可能となった。

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：土木学会第46回年次学術講演会，1991

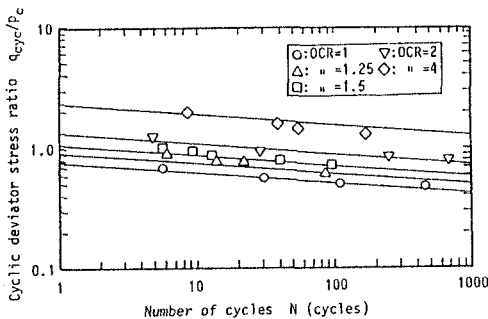


図-5 過圧密粘土の繰返し破壊強度 R_f の定量化

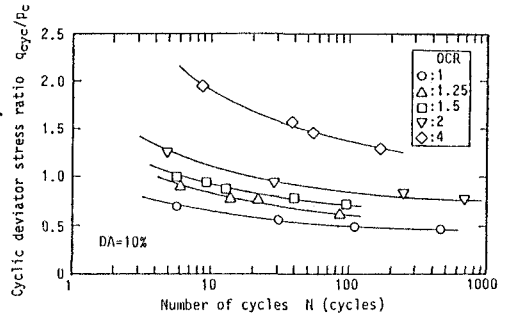


図-2 $DA=10\%$ に至るに必要な繰返し応力比 q_{cyc}/p_c と繰返し回数 N の関係

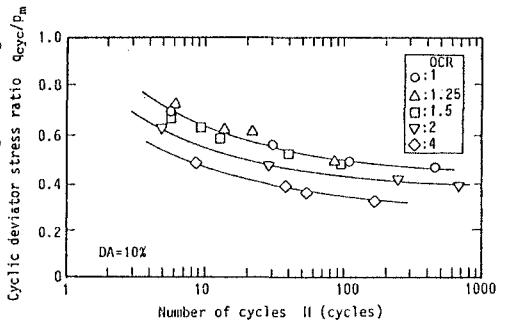


図-3 $DA=10\%$ に至るに必要な繰返し応力比 q_{cyc}/p_m と繰返し回数 N の関係

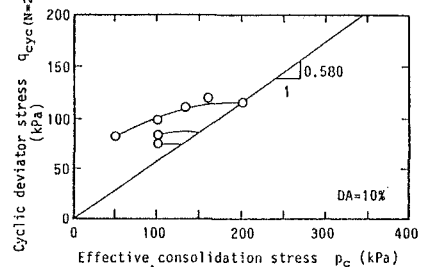


図-4 繰返し回数 $N=20$ 回で $DA=10\%$ に至るに必要な繰返し軸差応力 q_{cyc} と有効応力 p_c の関係

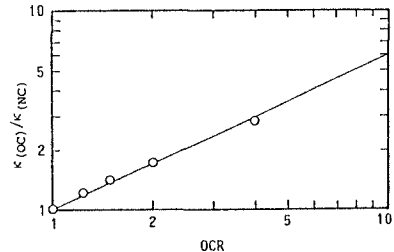


図-6 $\kappa_{(OC)}/\kappa_{(NC)}$ と過圧密比OCRの関係