

大阪大学工学部 正員 ○松井 保
同 同 阿部 信晴
同 大学院 学生員 松田 賢二

① まえがき

繰返し載荷を受ける飽和粘性土の挙動の解明には、有効応力の立場からのアプローチが必要であり、したがって信頼性の高い間隙水圧の測定が不可欠となる。筆者らは、飽和粘土の繰返し載荷時の過剰間隙水圧を精度よく測定する新たな方法として、超小型間隙水圧計を供試体中央部に埋設する方法を考案し、その信頼性を確認するとともに、飽和粘土の繰返し載荷時の間隙水圧挙動を明らかにし、その予測法を提案してきた¹⁾。その結果、繰返し載荷を受ける飽和粘土の間隙水圧及び応力経路挙動はゆるぎめの飽和砂におけるものと定性的に類似であることが明らかになった。そこで、本報告では、粘土と砂との飽和混合土を対象として、その繰返しせん断挙動を明らかにするとともに、飽和粘土及び飽和砂の挙動とも比較検討するものである。

② 試料及び実験方法

用いた試料は市販のクラウンクレイ及び豊浦標準砂である。クラウンクレイの物性は、LL: 100%, PI: 57%, 粘土分(2 μ m以下): 60%, 比重: 2.59である。供試体は、クラウンクレイのみの粘土及びクラウンクレイと標準砂を3:1, 1:1, 1:3の重量比で混合した3種類の混合土に対して、スラリー状態で十分に繰返し大型圧密装置を用いて約1.2 kgf/cm²の圧力で圧密したのち、 ϕ 50 mm $\times$ 125 mmの円柱形に成型したものである。一方、砂供試体については、モールドを用い買圧を併用することにより2種類の間隙比をもつ飽和供試体が作成された。実験した6個の供試体は表-1に示すようであり、粘土含有率をサフィックスに付けて表わすことにする。実験装置は電気油圧サーボ式振動3軸試験機で、既報のもの^{2,3)}と同一である。実験方法は、まず、供試体を有効圧密圧2 kgf/cm²で等方圧密したのち、非排水状態で平均主応力及びせん断応力振幅一定の繰返し載荷を行った。その際、応力波形及び周波数はそれぞれ正弦波及び0.5 Hzとした。飽和粘土及び混合土の供試体に加えられるせん断応力振幅 τ_a は静的非排水強度 C_u の約55%、すなわち $\tau_a/C_u \approx 0.55$ とし、相互の定量的な比較が可能となるよう配慮した。ただし、飽和砂については、供試体の作成方法も異なることから定性的な比較になろう。繰返し載荷により生じる過剰間隙水圧の測定については、飽和粘性土に対して供試体中央部に超小型間隙水圧計(ϕ 5 mm, l 13.5 mm)を埋設する方法により、また飽和砂に対して供試体端部において、それぞれ測定された。なお、バックプレッシャーは試験の初期から1 kgf/cm²加えられており、間隙圧 β 係数は、粘性土では0.99 $\pm$ 0.01、砂では0.95 $\pm$ 0.02であった。

③ 実験結果及び考察

図-1及び図-2は、それぞれ累加過剰間隙水圧 u_n 及び歪み振幅 ϵ_{p-p} と繰返し回数 N との関係を示している。ただし、過剰間隙水圧 u_n は N 回目の繰返し載荷終了時($t=0$)の値であり、有効圧密圧 σ'_0 で割って無次元化されている。これらの図に示された矢印は、繰返し載荷時にせん断応力振幅 τ_a の減少が生じた位置を示す。図-1より、過剰間隙水圧は、いずれの場合も繰返し回数の増加とともにほぼ比例的に増加し、拘束圧に近づくとともにせん断応力振幅の減少量ともなって $u_n/\sigma'_0=1$ に漸近する。ただし、築詰めの飽和砂 S_{00} では τ_a の減少が見られず、この場合30回の繰返しで拘束圧に等しくなる。飽和粘性土では、繰返し回数に対

Table 1

SPECIMEN SYMBOL		SOIL TYPE	VOID RATIO e_0	SHEAR STRESS AMPLITUDE τ_a/σ'_c
1	S_{100}	CROWN CLAY	1.46	0.145
2	S_{75}	MIXED SOIL CROWN CLAY 75% TOYOURA SAND 25%	1.04	0.168
3	S_{50}	MIXED SOIL CROWN CLAY 50% TOYOURA SAND 50%	0.73	0.175
4	S_{25}	MIXED SOIL CROWN CLAY 25% TOYOURA SAND 75%	0.49	0.181
5	S_{0L}	TOYOURA SAND (LOOSE)	0.80	0.208
6	S_{00}	TOYOURA SAND (DENSE)	0.64	0.383

する過剰間隙水圧の増加率は粘土含有率の増加とともに減少する。

図-2 から分かるように、 S_{00} を除いていずれの場合も、ひずみ振幅は繰返し初期にはあまり増加しないが、ある繰返し回数経過後に急増して Δu の減少を伴う。飽和粘性土では、粘土含有率の増加とともにひずみの急増する繰返し回数は大きくなり、その変化はよりゆるやかになり、また、その後のひずみの増加率はやや減少する傾向にある。一方、飽和砂については、ゆる詰めの場合には硬状化を生じるが、密詰めの場合には間隙水圧が拘束圧に等しくなる30回以後もひずみの急増がみられず、いわゆる cyclic mobility が生じていることが分かる。

図-3 は、飽和粘性土に対して Δu の減少が生じる繰返し回数と粘土含有率との関係を示す。この繰返し回数は供試体に破壊が近づいていることを示す一つの目安と考えられる。したがって、この図より、同一圧密圧で正規圧密されせん断応力振幅レベルの繰返しを受ける飽和粘性土では、粘土含有率の減少とともにほぼ比例的に破壊までの繰返し回数が減少することが示唆される。

以上の結果から、飽和粘性土と飽和砂の繰返しせん断挙動を差別的に比較すれば、正規圧密された飽和粘性土の繰返し載荷時の間隙水圧及びひずみ挙動は密詰め飽和砂にみられる cyclic mobility とはそのメカニズムにおいて明らかに異っており、むしろゆる詰め飽和砂の繰返し挙動に類似するものが多い。このことは、一つの土要素の間隙水圧及びひずみ挙動に着目すれば、飽和粘性土といえどもゆる詰め飽和砂と類似の現象が生じうることと意味している。しかし、このことがただちに飽和粘性土地盤が飽和砂地盤と同様な硬状化を起すことを意味しないであろう。すなわち、繰返し載荷時の地盤の挙動に着目するとき、飽和粘性土における透水性の低さや拘束圧によらない土粒子間相互作用の存在に起因する挙動の差異を考慮すべきであろう。

図-4 は、過剰間隙水圧 u_N/σ'_c と N 回目のせん断応力振幅 τ_N に対する $(N-1)$ 回載荷後の平均有効主応力 $\sigma'_{m(N-1)}$ の比 $\tau_N/\sigma'_{m(N-1)}$ との関係を示す。すでにクラウンレイクについては、両者の間に Δu に依存しない双曲線関係があり(図中の曲線)、この関係に基づき N 回目の繰返しによる間隙水圧増分 Δu_N の予測式として、次式が提案されている¹⁾。

$$\Delta u_N/\sigma'_c = \sigma'_{m(N-1)}/\sigma'_c - \alpha/(\tau_N/\sigma'_{m(N-1)} + \alpha - C) \quad (1)$$

ここに、 α 及び C はそれぞれ図-4 の双曲線の初期接線勾配の逆数及び横軸切片である。3種の混合土 (S_{75} , S_{50} , S_{25}) に対してもこの関係は成立し、式(1)により間隙水圧の予測ができるようである。

参考文献

- 1) 伊藤・松井・田中：繰返し載荷時における飽和粘土の間隙水圧挙動について、日本国土工学研究発表会，pp. 641-644，1977。
- 2) 松井・小原・伊藤：飽和粘土の動的特性に及ぼす動的応力履歴の影響，土木学会論文報告集，No. 257，1977。
- 3) Matsui, T. et al.: Cyclic stress-strain history and shear characteristics of clay, Geotechnical Engineering Division, ASCE (投稿中)。

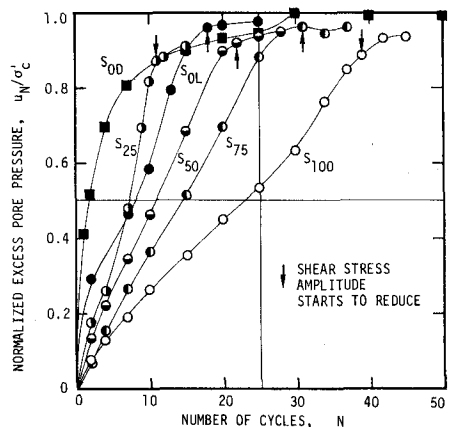


Fig. 1

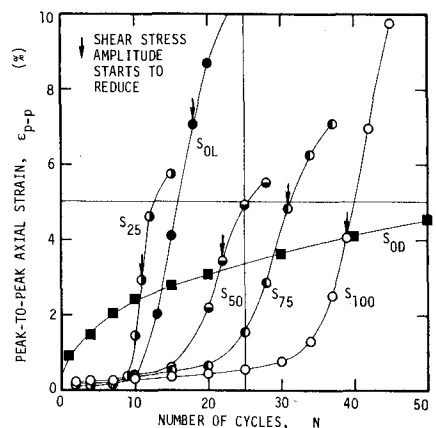


Fig. 2

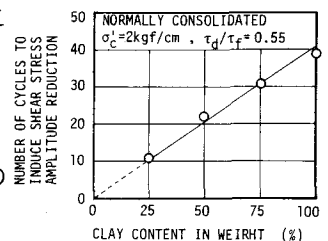


Fig. 3

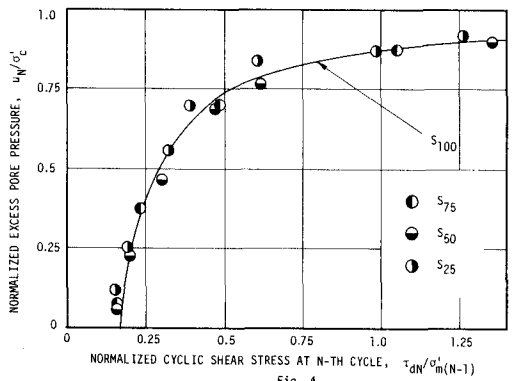


Fig. 4