

繰り返し応力を受ける粘土のせん断強さに関する実験

大阪大学工学部 正員 伊藤 富雄
同 同 松井 保
同 同 小原 秀夫

(1) まえがき

粘土地盤に地震などの振動荷重が作用すると過剰間げき水圧が上昇し、有効応力が減少するが、粘土は液状化を起しにくいので、振動荷重によって過剰間げき水圧がある程度までしか上昇せず液状化が生じない場合が多いと思われる。このような場合、繰り返し応力を受ける粘土のせん断強さを議論するには、まず発生する間げき水圧の挙動を明らかにする必要がある。本報告は、非排水状態の飽和粘土に発生する間げき水圧の繰り返し応力載荷時および載荷後の挙動に着目し、振動三軸試験機を用いて実験を行ない、若干の考察を行なったのでその結果を報告する。

(2) 実験装置の概要

使用した実験装置は電気油圧サーボ式振動三軸試験機であり、その機構系統をFig.1に示す。軸方向載荷は荷重制御およびひずみ制御の両方が可能である。したがって、これらの振動載荷のほかにも定ひずみ速度、定荷重速度、リラクゼーション、クリープなどの各試験を行なうことができる。振動波形は正弦波、三角波、矩形波およびランダム波である。最大軸荷重、最大軸変位はそれぞれ 300 kg、±10 mm、最大側圧は 7 kg/cm² であり、周波数は 0.001~10 Hz の間で、位相差は 0°~360° の間で連続的に可変である。三軸室は Fig.2 に示すように、セル内にある 3 本の支柱で上蓋が固定され、その上部の台座に軸圧検出用のロードセルが設置されている。供試体は上下部のピストンの間にセットし載荷される。供試体上部のピストンは、まさつ削減と重量軽減のためにテフロン材を使用している。三軸室を以上のごとき構造にすることにより、上部ピストンのまさつをほぼ完全に除去することができ、また、ピストンを固定した状態で供試体をセットすることができるので供試体の乱れが軽減できる利点を有する。供試体寸法は直径 50 mm、高さ 125 mm であるが、上下部両ピストンの径は、供試体の径に等しくあり、軸圧および側圧が独立に載荷できる。

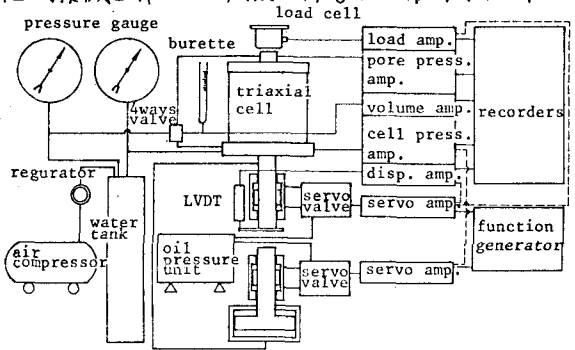


Fig.1 SCHEMATIC DIAGRAM OF TESTING SYSTEM

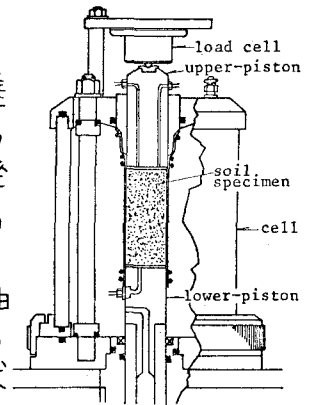


Fig.2 TRIAXIAL CELL

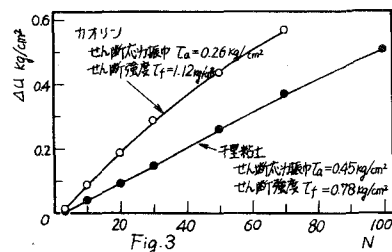
(3) 試料および実験方法

用いた試料は、カオリンと千里粘土の 2 種で、繰返し大形圧密装置で再圧密したのち、成型して供試体とした。その物性はカオリンが LL: 53%, PI: 20%, G_s: 2.69, 2 μ_s F: 60%、

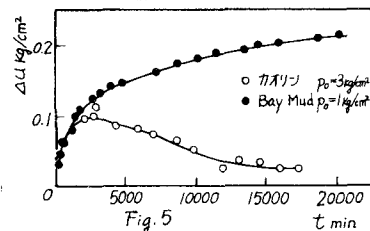
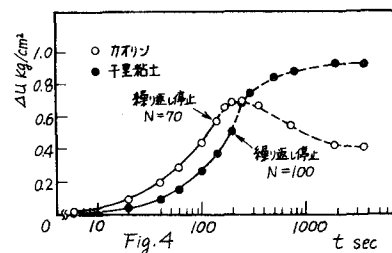
千里粘土がLL:93%, PI:55%, G_s :2.68, 2μ 以下:43%である。実験は供試体を 2.0 kg/cm^2 の等方圧で圧密したのち非排水状態で繰り返し載荷試験を行なう。繰り返し載荷は供試体に1サイクル中に圧縮と伸張が交互に加わるいわゆる平均主応力一定の応力状態で行なった。繰り返し荷重の波形は正弦波で、周波数は0.5Hz、せん断応力振幅 τ_a および繰り返し回数 N は、それぞれカオリン供試体に対して $\tau_a = 0.26\text{ kg/cm}^2$, $N = 70$ 回、千里粘土供試体に対して $\tau_a = 0.45\text{ kg/cm}^2$, $N = 100$ 回である。

(4) 実験結果および考察

Fig.3は繰り返し載荷によって上昇する間げき水圧 Δu を繰り返し回数 N に対してプロットしたものである。 N の増加に伴って間げき水圧が増大するが、その増加の割合は千里粘土の方が小さいようである。



つぎに、繰り返し載荷を停止した後の間げき水圧の経時変化をFig.4に示す。この図には繰り返し載荷中の間げき水圧の挙動もあわせて示し、横軸には繰り返し載荷開始を $t=0$ として対数時間をとっている。この図より、繰り返し載荷停止直後の間げき水圧はカオリン、千里粘土とも停止直前とほぼ同じ値で増大し、そのちカオリンではいったんピーク値に達してから徐々に減少し、千里粘土ではそのまま上昇するが、両者とも繰り返し載荷停止後約1時間でほぼ一定の間げき水圧になることが分る。またTable1より、最終的に残留する軸ひずみは非常に小さく、残留した間げき水圧は静的試験による同じ軸ひずみのときの間げき水圧よりもかなり大きな値である。したがって、残留間げき水圧の大部分は繰り返し載荷に起因するものと考えられる。



つぎに、以上のごとき間げき水圧の時間依存的な挙動について検討する。ArulanandanらがカオリンとBay Mud (LL:93%, PI:48%, 2μ 以下:75%)の等方圧密において二次圧密を停止した際に測定した間げき水圧の挙動をFig.5に示す。Fig.4,5を比較し、千里粘土とBay Mudの物性が類似していることを考慮すると、両者の挙動は全く類似していると考えられる。

したがって、この挙動が時間依存的な土粒子構造の再配列過程における間げき水圧の挙動として説明できる可能性がある。しかし、時間のスケールが非常に異なるので、本質的なメカニズムが全く類似しているかどうかはさらに検討の余地があろう。

	せん断応力振幅 τ_a kg/cm ²	残留ひずみ ϵ %	残留間げき水圧 Δu kg/cm ²	静的試験による間げき水圧 kg/cm ²
カオリン	0.26	0.23	0.41	0.16
千里粘土	0.45	0.15	0.93	0.10

Table 1

(参考文献)

Arulanandan et al: Géotech. 21-4, pp. 359-375, 1971