

大阪大学工学部

正員 伊藤 富雄

同

同 松井 保

本州四国連絡橋公団

同 ○畑 長次

1. まえがき

筆者らは、これまでに、正規圧密および過圧密の飽和粘土を対象に、非排水繰返し三軸試験を行ない、有効応力の立場から蓄積累加する過剰間げき水圧の挙動に着目し、その力学的特性に及ぼす動的応力履歴の影響を検討してきた。今回の報告では、過剰間げき水圧挙動への影響因子として拘束圧を考え、その特性を明らかにし、さらに、動的応力（ひずみ）履歴を代表するパラメーターとして繰返し載荷時の最大ひずみを考え、それが残留過剰間げき水圧やせん断強度とどのような関係にあるかを検討した。

2. 実験概要

試料および実験装置は、それぞれ従来より用いている千里粘土、電気油圧サーボ式振動三軸試験機である。実験方法は、あらかじめ繰返して予圧密した飽和粘土を、正規圧密供試体の場合には24時間圧密後、過圧密供試体の場合には24時間圧密・24時間膨潤後、非排水状態で平均主応力一定の繰返し載荷を行なう。圧密・膨潤は等方応力状態、イニシャルバックプレッシャーは1 Kg/cm²である。過圧密供試体に対しては、過圧密比の影響のみを調べるために、膨潤時の有効拘束圧力を一定（2 Kg/cm²）にしている。繰返し載荷条件のうち、せん断応力振幅 τ_d および繰返し回数 N については種々に変化させ、周波数については正規圧密供試体の場合4種類（0.02～0.5 Hz）に変化させ、過圧密供試体の場合0.5 Hzとした。なお、詳細については既報のものに述べてあるので、ここでは省略する。

3. 実験結果および考察

(1) 過剰間げき水圧挙動に対する有効拘束圧の影響

2, 3, 4 Kg/cm²の有効拘束圧 σ'_c で正規圧密した供試体に、せん断応力振幅レベル τ_d/τ_f (τ_f : 非排水せん断強度) が約0.4になるよう繰返し応力を加えた。その結果が図-1であり、蓄積累加した過剰間げき水圧 Δu を繰返し回数 N に対してプロットしてある。ただし過剰間げき水圧は σ'_c で割って無次元化しており、また、比較のため τ_d/τ_f が0.5および0.3の結果もプロットしている。この図より、有効拘束圧が異っても τ_d/τ_f が同じであれば、繰返し載荷時の $\Delta u/\sigma'_c$ は等しい繰返し回数に対してほとんど等しい値になることがわかる。したがって、繰返し載荷によって粘土の過剰間げき水圧が有効拘束圧に等しくなり液状化する場合に、そのときのせん断応力振幅レベル τ_d/τ_f は有効拘束圧に関係なく一定値になることが推測される。

(2) 残留過剰間げき水圧と最大ひずみとの関係

平均主応力一定の繰返し載荷試験では、載荷の1サイクル中に圧縮と伸張の両方のひずみが生じる。そして、繰返し回数が増えるにつれて両ひずみとも大きくなり、最終サイクルで最大となる。そこで、動的応力履歴中の最大せん断ひずみ、すなわち繰返し載荷の最終サイクルにおける大きい方のせん断ひずみを γ_{max} と書き、動的応力ひずみ履歴を考^{を代表するパラメーター}える。この γ_{max} と繰返し載荷後に残留する過剰間げき水圧 Δu との関係を図-2に示す。 $n=1$ (n : 過圧密比) すなわち正規圧密の場合のプロットは、拘束圧、周波数、せん断応力振幅、繰返し回数の異なる試験結果を含んでいるにもかかわらず、半対数紙上でかなり良い直線性を示している。また、 $n=2$ のプロットは、せん断応力振幅、繰返し回数の異なる試験結果を含んでいるが、 $n=1$ の場合と同様直線

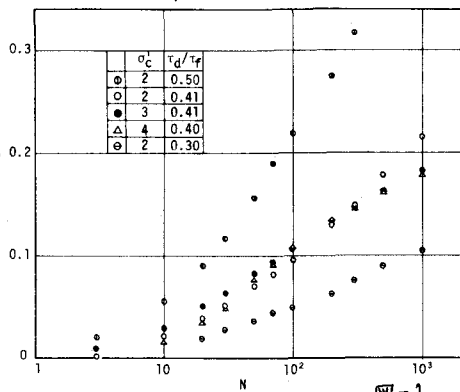


図-1

で近似され、かつ、 $n=1$ に対する直線とほぼ平行になっている。 $n=1.5, 1.75, 3, 4$ のプロットはそれぞれ1つしかないが、 $n=1$ あるいは2に対する直線と平行な破線によって ΔU_r と γ_{dmax} の関係を推定してある。このように平均主応力一定の繰返し載荷では、残留過剰間げき水圧は、過圧密比や動的応力履歴中の最大せん断ひずみとユニークな関係にあり、 n が小さくなるほど γ_{dmax} が大きくなるほど ΔU_r も大きくなっている。

図-2に示した直線と横軸との交点の値を $(\gamma_{dmax})_{\Delta U_r=0}$ と書き、 n に対してプロットすると図-3が得られる。この図より、 $(\gamma_{dmax})_{\Delta U_r=0}$ と n はほぼ直線関係にあり、 n が大きくなるほど $(\gamma_{dmax})_{\Delta U_r=0}$ は大きくなる。 $(\gamma_{dmax})_{\Delta U_r=0}$ の意味するところは、この値よりも大きなせん断ひずみを受けると正の残留過剰間げき水圧が発生し、この値よりも小さなせん断ひずみを受けても残留過剰間げき水圧は発生しないかもしくは負になるということである。図-3において正規圧密粘土では、約 10^3 以下のひずみを受けても過剰間げき水圧が残留しないことを示しているが、これはひずみが 10^3 程度まではダイレイタションが生じないことと一致している。

以上の結果から、残留過剰間げき水圧は次式により表わされる。

$$\left. \begin{aligned} \Delta U_r &= \beta \{ \ln(\gamma_{dmax}) - \ln(\gamma_{dmax})_{\Delta U_r=0} \} \\ (\gamma_{dmax})_{\Delta U_r=0} &= a n - b \end{aligned} \right\} (1)$$

ここに、 β, a, b は係数である。図-2、および3の結果から、 $\beta=0.89 \text{ kg/cm}^2$, $a=3.3 \times 10^3$, $b=2.1 \times 10^3$ と得られ、この場合の ΔU_r が γ_{dmax} の関数として推定できる。

(3) せん断強度の低下と最大ひずみの関係

正規圧密粘土が動的応力履歴を受けると1種の過圧密状態になる。動態時に破壊が生じない場合、この過圧密状態は通常の圧密履歴による過圧密状態にほぼ一致し、動的応力履歴によるせん断強度の低下はほとんど生じないが動態時に破壊を生じる場合にはせん断強度の低下が生じることをすでに明らかにした¹⁾。そこで、このような強度低下は大きなせん断ひずみを受けることによって

生じると考えられるので、動的応力(ひずみ)履歴を受けに状態のせん断強度 τ_d と同じ間げき比をもつもののせん断強度 τ_f の比 τ_d/τ_f と前述の γ_{dmax} の関係をプロットしたのが図-4である。ただし、プロットに添えた数字は繰返し回数である。 γ_{dmax} が4.5%以下の場合、この比はほとんど1に近く強度低下が生じないが、 γ_{dmax} がさらに大きくなると強度低下が生じるようになる。強度低下が顕著になる γ_{dmax} の値は、プロットが少なく明確には決められないが、千里粘土では8~9%程度であろう。比較のため、Drammen 粘土に対して行われた繰返し単純せん断試験の結果も

小さな丸印で図-4にプロットしている。この場合、 γ_{dmax} が2~3%程度になると強度低下が生じるようになっていく。したがって、粘土の種類や繰返し回数によって強度低下の生じる限界の γ_{dmax} が異なることが推測される。

<参考文献>

- 1) 松井・小原・伊藤「飽和粘土の力学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第257号(1977)
- 2) 佃・伊藤・松井「過圧密粘土に及ぼす動的応力履歴の影響」第31回土木学会年次学術講演会(1976)
- 3) Andersen, K.H. et al. "Effect of cyclic loading on clay behavior", NGI Publication, NR. 113 (1976)

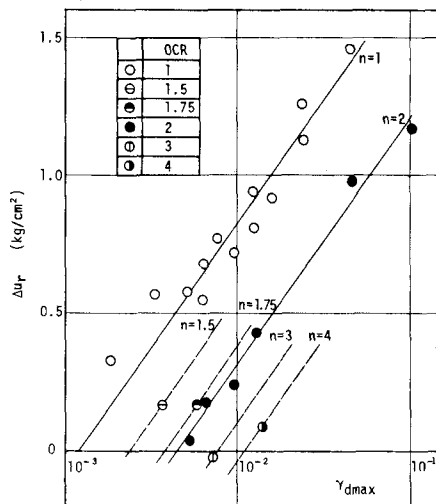


図-2

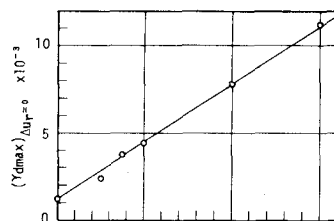


図-3

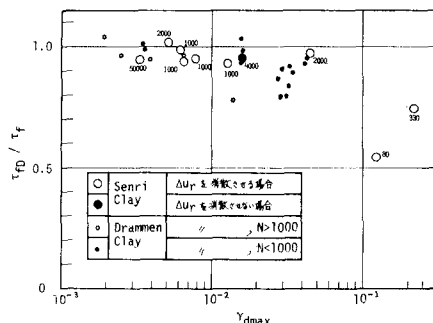


図-4