

繰り返し載荷を受ける鋭敏粘土の強度変形特性

関西大学 工学部

西田 一彦

(協)関西土質研究センター

中山 義久

大阪府庁

○ 佐竹 真爾

1. ま え が き

鋭敏比の高い沖積粘土地盤に対して、繰り返し荷重が加わった場合の変形、強度特性については不明な点が多い。そこで本研究では、大阪市東部から東大阪市に広く分布する鋭敏粘土を取り上げ、特に正規圧密領域における繰り返し載荷中の供試体の挙動を調べ、その後のせん断強度についても明らかにした。

2. 実験試料

表-1 試料の物理的性質

試料	自然含水比 $w_n(\%)$	コンシステンシー(%)		比重 G_s	間隙比 e	粒状組成(%)		
		WL	WP			砂	シルト	粘土
鋭敏粘土	67.8	76.7	26.2	2.661	1.828	5.0	45.0	47.0
	?	?	?	?	?	?	?	?
海成粘土	74.9	91.9	27.6	2.724	1.968	6.0	47.0	49.0
	67.8	88.9	44.2	2.649	1.788	1.5	37.0	61.5

本研究に用いた試料は、大阪府下における鋭敏粘土分布地域内¹⁾より採取した不攪乱試料と、泉南沖の海底地盤から採取した海成沖積粘土で、攪乱した後、再圧密した試料である。試料の物理的性質を表-1に示す。鋭敏粘土の力学的性質のうち、鋭敏比は8~20で、一軸圧縮強度 $q_u=0.5\sim1.0(\text{kgf/cm}^2)$ 、圧密降伏応力 $p_c=0.95(\text{kgf/cm}^2)$ である。

3. 実験方法

実験装置は油圧サーボ式の振動三軸試験機で、供試体は直径5cm 高さ10cmである。実験手順は図-1に示す通りである。まず有効拘束圧 $\sigma_a'=0.5, 0.95, 2.0(\text{kgf/cm}^2)$ の3通りで、24時間圧密し(①→②)、周波数0.5Hz、正弦波、応力比 r (せん断応力振幅 τ_d /有効拘束圧 σ_a')を設定し、平均主応力一定の条件で最大1000回の繰り返し載荷を行った(②→③)。載荷後のせん断強度特性を調べるため、非排水圧縮試験を実施した(③)。さらに比較のため繰り返し載荷後再圧密を行い(③→④)、非排水圧縮試験を実施した(④)。

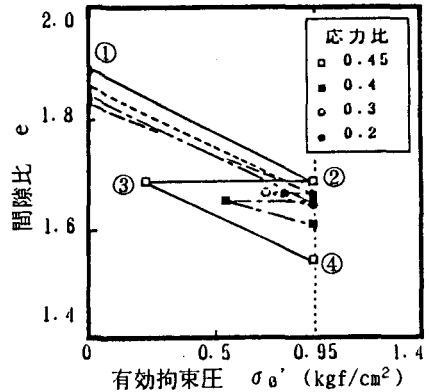


図-1 実験手順

4. 結果および考察

図-2は、正規圧密領域 $\sigma_a'=0.95\text{kgf/cm}^2$ において、繰り返し載荷によって供試体内部で消費したエネルギーの累積 W と発生過剰間隙水圧 u との関係で、ともに有効拘束圧で正規化してある。過剰間隙水圧 u は累積エネルギー W が大きくなるにしたがって増大し、繰り返し載荷中に供試体が破壊しない場合、すなわち応力比 $r=0.4$ 以下では、過剰間隙水圧 u と累積エネルギー W の間に直線関係が存在することがわかる。この直線関係は、落合ら²⁾が示したものと同様の実験式で表される。

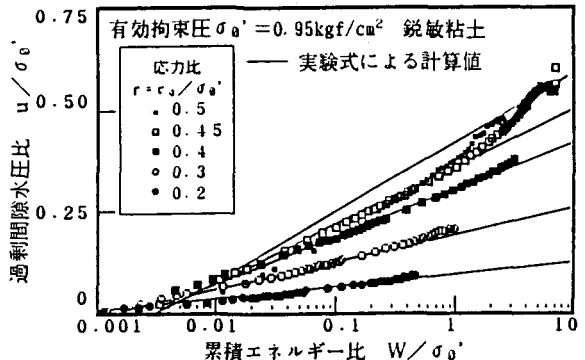


図-2 過剰間隙水圧と累積エネルギーの関係

$$u/\sigma_a' = 1.41 r^{1.60} + 0.721 r^{1.91} \log(W/\sigma_a') \dots (1)$$

図中の実線は、実験式(1)による計算値である。応力比 $r=0.45$ 以上のものは下に凸状を呈し、実験式の上側に離れ、繰り返し載荷中の観察によれば破壊に近い状態となる。

さらに実験式(1)を用いて、エネルギーの累積の経時変化を定式化することにより、発生過剰間隙水圧 u と載荷回数 N との関係式として次式が導かれる。

$$u/\sigma'_a = 1.41 r^{1.60} + 0.721 r^{1.91} \log\{0.0126 r^{1.82} N^{(0.649+1.02r)}\} \dots(2)$$

図-3は載荷回数に対する過剰間隙水圧の実測値と実験式(2)による計算値との比較である。応力比 $r=\sigma'_a/\sigma'_v$ 以下では、式(2)が実測値をうまく表している。実測値をみると、 u の発生傾向は、載荷回数初期に著しく、このような傾向は、他の有効拘束圧においても同様である。

図-4は、繰返し載荷後のせん断強度比 R と撓乱比 D_R の逆数との関係である。せん断強度比 R は次式で表される。

$$R = \frac{\text{繰返し載荷後のせん断強度}}{\text{繰返し載荷前のせん断強度}} \dots(3)$$

また撓乱比 D_R は次式により定義される。

$$D_R = \frac{\text{繰返し載荷前の有効拘束圧}}{\text{繰返し載荷後の有効拘束圧}} \dots(4)$$

再圧密を行わない場合、強度低下の割合は、繰返し載荷により発生する過剰間隙水圧が大きいほど大きい。また、松井ら⁴⁾が示したようにせん断強度比と撓乱比の間には強い相関性があり、次式に示すような相関関係が存在する。

$$R = 1 / \{a + (1-a) D_R\} \quad a = 0.802 \dots(5)$$

図中の実線は、式(5)を用いて描いたものである。

図より繰返し載荷後のせん断強度は、有効拘束圧や応力比に関係なく撓乱比によって表現できることがわかる。

一方、再圧密後の強度を検討すると、正規圧密領域すなわち $\sigma'_a/\sigma'_v=2.0$ および 0.95kgf/cm^2 では、せん断強度比 R は、 $1/D_R$ とは関係なくほぼ一定値(≈ 1)となる。これに対し、過圧密領域 $\sigma'_a/\sigma'_v=0.5\text{kgf/cm}^2$ では、再圧密を行ったものと再圧密行わないものの差は明確ではなく、両者とも繰返し載荷前の強度の9割程度となる。また比較のためにリーチングを受けていない海成粘土を用い、有効拘束圧 $\sigma'_a/\sigma'_v=0.95\text{kgf/cm}^2$ で同様な実験を実施した。この粘土は、繰返し載荷後再圧密無しの場合では、撓乱による強度低下は大きい。再圧密を行うと繰返し載荷前の強度を大きく上回っている。

以上より、本研究に用いた鋭敏粘土の繰返し載荷後のせん断強度は、過圧密領域では再圧密による強度増加の効果はあまりみられない。正規圧密領域においても、繰返し載荷前の強度を越えるには至らない。これらの原因として考えられるのは、人工的な正規圧密粘土の強度は、圧密による結合力が主であるが、鋭敏粘土の場合、その他にセメンテーション等が挙げられ、さらに、リーチングを受けているので、強度の回復力が小さいものと考えられる。よって再圧密による強度増加分が、撓乱による強度低下分によって相殺されてしまったといえる。

参考文献 1)新編 大阪地盤図:コロナ社, pp. 25-26, 1987. 2)落合英俊他3名:繰返し非排水せん断応力を受ける飽和粘土の変形特性, 第21回土質工学研究発表会講演集, pp. 669-670, 1986. 3)奥村樹郎:粘土のかく乱とサンプリング方法の改善に関する研究, 港湾技研資料, 運輸省港湾技術研究所, No. 193, p. 16, 1974. 6. 4)松井保他3名:繰返し載荷履歴を受けた飽和粘土の静的せん断特性, 第23回土質工学研究発表会, pp. 771-772, 1988.

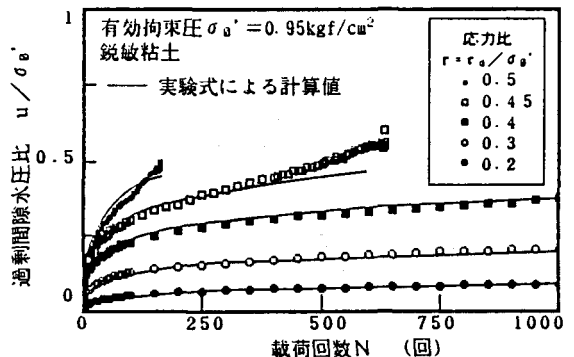


図-3 過剰間隙水圧の計算値と実測値の比較

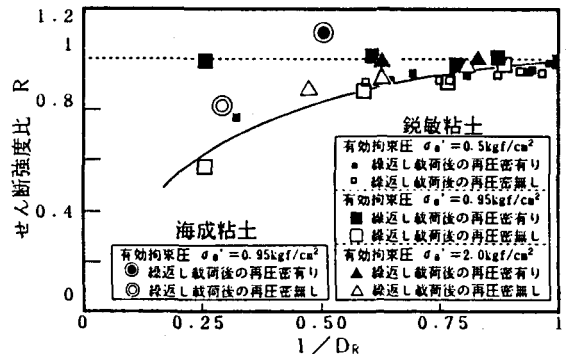


図-4 せん断強度比と撓乱比の逆数の関係