

粘土の繰返し一次元圧密における有効応力・ひずみ特性

九州大学 工学部

学○畑 成年 正 落合英俊

正 林 重徳 正 梅崎健夫

1. まえがき

繰返し圧密による地盤沈下の原因として、季節的農業水汲み上げによる地下水の変動や、海岸沿いの潮汐などが挙げられる。これは、盛土や構造物の築造などによる静的圧密現象以上に、地盤内の応力状態が大きな問題となる。本文は、繰返し一次元圧密を、静的圧密の重ね合わせとして評価するという簡便的な方法を確立するため¹⁾、圧密中の供試体内部の有効応力の制御を工夫した実験を行い、繰返し一次元圧密の有効応力・ひずみ特性を繰返し回数毎に評価し、繰返し一次元圧密における状態線²⁾の存在を示唆するものである。

2. 繰返し一次元圧密に対する基本的考え方

繰返し一次元圧密の場合、その内部では圧縮と膨潤が混在した状態であると考えられる。図-1に示すように、従来の解析結果²⁾ではそれが排水面に近い分割要素で見られる。また、今井ら³⁾による分割型静的圧密試験より得られた $e \sim \log \sigma'$ 関係においても、排水面側(上面排水)の分割要素のみが、他のものとは形状を異にしている。粘土骨格の構成則を実験的に明らかにする場合、供試体内部の応力およびひずみの状態が明確で、より要素的な実験を行うべきである。そこで、繰返し一次元圧密において排水面近くの圧縮と膨潤が混在する部分を排除、もしくはその混在の影響を極力小さくできるような実験装置を考案し、それを用いた実験結果をもとに有効応力・ひずみ特性を繰返し回数毎に評価する。

3. 実験装置および実験概要

粘土供試体内部において、排水面の影響による有効応力の極端な分布を生じさせないように、図-2に示すような実験装置を用いた。排水条件は上面排水、下面非排水で、排水面にセラミックプレート製のダミー供試体(透水係数 $k=2.0 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$, $\phi=15 \text{ mm}$, $h=7 \text{ mm}$)を設け、粘土供試体上下面での間隙水圧の差をできるだけ小さくするように工夫した。そして、供試体上面と下面の二箇所の間隙水圧(u_u および u_d)を測定した。

試料は佐賀県兵庫町で採取した有明粘土($I_p=79.2$, $W_L=118.4\%$, $G_s=2.633$)である。供試体は試料を $420 \mu\text{m}$ のふるいで裏ごしし、含水比200%で練り返したものを所定の圧力で30日間予圧密した後、 $\phi=6 \text{ cm}$, $h=2 \text{ cm}$ に切り出して作成した。その後、表-1に示すように荷重増加率一定

($\Delta\sigma/\sigma=1.0$)の荷重条件、 $\sigma'_{\text{上}}/\sigma'_{\text{下}}=1.2 \text{ kgf/cm}^2$ のもとで、静的圧密(24時間)および繰返し一次元圧密試験を行った。載荷波形は片振り正弦波で、周期は50secとした。

4. 実験結果と考察

4.1 有効応力の捉え方 図-3および図-4は、静的および繰返し一次元圧密において、供試体内部で消散している間隙水圧の分布状態を、供試体上下面で測定した値を用いて模式図化したものである。図-4の繰返し一次元圧密時において、載荷初期である $N=3 \sim 7$ (回)は装置上の問題等で供試体上面の間隙水圧がうまく測定されていないが、 $N=10$ (回)以降では静的圧密時(図-3)と同様、排水面側の影響を低減できたと考えられる。一方、松田ら⁴⁾による分割型繰返し一次元圧密試験の結果、排水面側の一分割要素を取り除いた残り

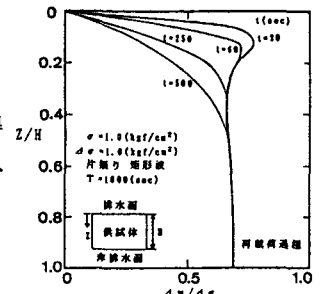


図-1 繰返し一次元圧密(載荷時)における間隙水圧分布の経時変化

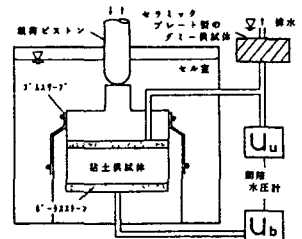


図-2 繰返し一次元圧密実験装置

表-1 試験条件
 $\Delta\sigma/\sigma = 1.0$

静的圧密	$\sigma = 0.4 \rightarrow 0.8 \rightarrow 1.6 \rightarrow 3.2$			
繰返し圧密	$\Delta\sigma = 0.8$ $\sigma = 0.8$		$\Delta\sigma = 1.0$ $\sigma = 1.0$	

上載圧: σ , 繰返し応力: $\Delta\sigma$ (kgf/cm²)

の分割要素における間隙水圧の分布状態が図-4の形状と同じような形状を示していることより、本装置においても供試体上面付近を除く間隙水圧の値はほぼ一定($u=u_b$)であるとみなせる。従って、供試体内部に発生している間隙水圧の代表値としては、下面で測定した値 u_b をそのまま用いることにし、有効応力の原理($\Delta\sigma' = \Delta\sigma - u_b$)により内部有効応力の変化を捉える。

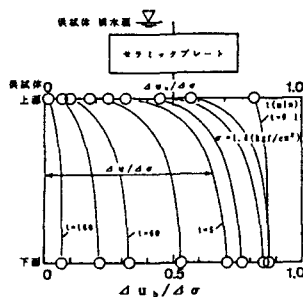


図-3 静的圧密時の間隙水圧分布

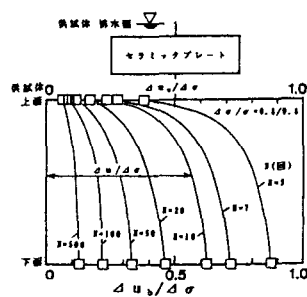


図-4 繰返し一次元圧密時の間隙水圧分布

4.2 繰返し一次元圧密におけるN一定状態線 図-5は、繰返し応力の異なる、それぞれの繰返し一次元圧密(荷重増加率 $\Delta\sigma/\sigma=1.0$)における載荷時の $e \sim \log \sigma'$ 関係を、繰返し回数 N (回)で整理したものである。プロット点は各繰返し回数を受けた粘土の応力とひずみの状態を表し、それぞれ、 $N=1000$ (回)以降においては間隙水圧をほぼ一定の値だけ残留したまま、ひずみは進行している。 N (回)が等しい状態のプロット点を結ぶと、静的圧密試験より得られた正規圧密線(勾配 $C_c=0.689$)に平行な状態線群が存在することが、十分に考えられる。

4.3 繰返し回数とひずみ速度との関係 前節におけるN一定状態線の存在より、繰返し一次元圧密において $e \sim \log \sigma' \sim N$ の構成関係が成立するのではないかと考えられる。一方、静的圧密においては今井ら⁵⁾により、 $e \sim \log \sigma' \sim \dot{\epsilon}$ (ひずみ速度)の構成関係が成立することが分かっている。

そこで、繰返し回数 N (回)とひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ ($=\Delta e / \Delta t$ (1/hr))との関係を検討したのが図-6である。それぞれの繰返し一次元圧密における各繰返し載荷回数時のひずみ速度は同回数時においてはほぼ等しく、両対数グラフ上で一本の直線に近似できる。よって、今回の応力範囲においては、 $\log N$ (回)と $\log \dot{\epsilon}$ (1/hr)とは、初期応力に無関係に、一義的な関係にあると考えられる。従って、繰返し一次元圧密の構成則を静的圧密の重ね合わせとして評価する場合、繰返し圧密時のひずみ速度を繰返し回数に置き換えることにより、より簡単なパラメータで評価できるのではないかと考えられる。

5. まとめ

粘土骨格の構成則をより要素的な実験によって明らかにするために、排水面側の影響を考慮し、供試体排水面にセラミックプレート製のダミー供試体を設けた実験装置を用いた。その結果、分割型圧密試験装置と同じような結果が得られたと考えられる。そして、繰返し一次元圧密(荷重増加率 $\Delta\sigma/\sigma=1.0$)載荷時の有効応力・ひずみ特性を繰返し回数 N (回)毎に評価した結果、N一定状態線が正規圧密線に平行に存在し、かつ、それは今回の応力範囲においては、ひずみ速度一定の状態線に置き換えられることが分かった。このことより、繰返し一次元圧密の構成則を、繰返し回数 N (回)をパラメータとして評価できるのではないかと考えられる。今後、荷重増加率の影響を検討する必要がある。

参考文献 1), 2) 林, 梅崎ら; 繰返し圧密研究委員会シンポジウム, p1-6, p61-68, 1991. 3) 今井ら; 第21回土質工学研究発表会, p191-194, 1986. 4) 松田ら; 第25回土質工学研究発表会, p391-394, 1990. 5) 今井ら; 第22回土質工学研究発表会, p217-220, 1987.

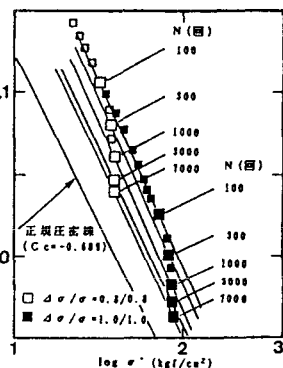


図-5 繰返し一次元圧密におけるN一定状態線

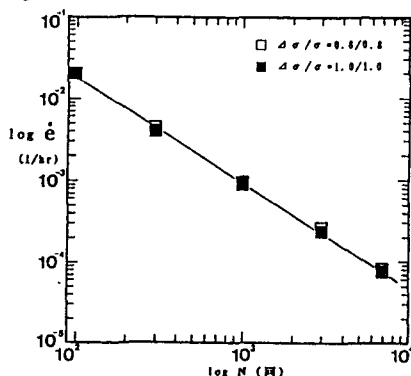


図-6 繰返し回数とひずみ速度の関係