

III-231

粘土の非排水繰返し載荷過程における可逆的なせん断ひずみについて

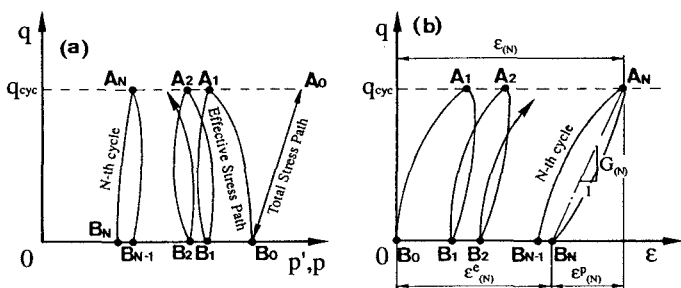
九州大学大学院 学 ○村上 哲
九州大学工学部 正 落合英俊
九州大学工学部 正 林 重徳
信州大学工学部 正 梅崎健夫

1.はじめに

粘土が非排水状態で繰返し載荷を受ける場合、ある載荷回数のサイクルでの除荷過程において可逆的なせん断ひずみがもとに戻る。このような可逆的なせん断ひずみは、繰返し応力の大きさや繰返し応力履歴などの影響を受けると考えられる。本文は、繰返し載荷中載荷点から除荷点へ移る際に回復するせん断ひずみを載荷点における弾性ひずみと考えて、その特性をせん断弾性係数により実験的に調べたことについて述べたものである。

2.可逆的なひずみの捉え方

正規圧密粘土に対して非排水状態で図-1(a)に示されるような全応力経路 A_0B_0 の繰返し応力のある周期の片振り正弦波として作用させると繰返し載荷回数の増加に伴い平均有効応力 $p' (= (\sigma'_1 + \sigma'_3)/3)$ がしだいに小さくなる。このような粘土の挙動に関して、応力～せん断ひずみ曲線を模式



化すると図-1(b)のようになる。任意 図-1.繰返し応力を受ける粘土の(a)有効応力経路、(b)応力～ひずみ曲線の載荷回数 N 回目において載荷点 A_N 点におけるせん断ひずみ $\epsilon (= 2/3(\epsilon_1 - \epsilon_3))$ 、 ϵ_1 :最大主ひずみ、 ϵ_3 :最小主ひずみを $\epsilon_{(N)}$ とする。 $\epsilon_{(N)}$ は、その弾性成分、塑性成分をそれぞれ $\epsilon_{(N)}^e$ 、 $\epsilon_{(N)}^p$ とすると、

$$\epsilon_{(N)} = \epsilon_{(N)}^e + \epsilon_{(N)}^p \quad (1)$$

と表すことができる。

除荷点 B_N 点において生じているせん断ひずみは N 回目のサイクルにおいて不可逆的なせん断ひずみであり、載荷点において生じているせん断ひずみの塑性成分 $\epsilon_{(N)}^p$ として捉えることができる。従って、載荷点において生じている弾性せん断ひずみ $\epsilon_{(N)}^e$ は、 N 回目の除荷過程において可逆的なせん断ひずみと捉えられる。

また、繰返し応力の最大偏差応力が q_{cyc} の時、せん断弾性係数 $G_{(N)}$ を次式で表す。

$$G_{(N)} = \frac{q_{cyc}}{\epsilon_{(N)}^e} \quad (2)$$

繰返し載荷過程における弾性せん断ひずみ $\epsilon_{(N)}^e$ やせん断弾性係数 $G_{(N)}$ は、繰返し応力の大きさや繰返し応力履歴等の影響を受けると考えられるが、本文では以下に示す応力パラメータ η'_{cyc} を用いて評価を行なった。

3.応力パラメータの導入

繰返し載荷を受ける粘土の挙動特性を表すために、以下に示すような応力パラメータ η'_{cyc} を導入する。

図-1(a)に示されるような全応力経路 A_0B_0 の繰返し応力が粘

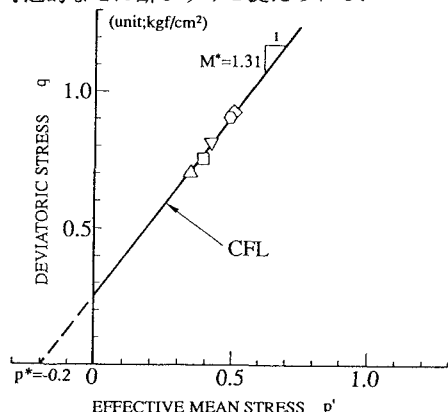


図-2.繰返し応力が作用する粘土の破壊線(CFL)

土に作用するとき、粘土が破壊に至る応力状態を $q \sim p'$ 平面をプロットすると図-2のようになる。図中、各プロットの試験条件については後述の通りである。非排水繰返し載荷を受ける粘土が破壊に至る応力状態は図-4に示されるように $q \sim p'$ 平面において一本の線分上に存在する。これを繰返し載荷を受ける粘土の破壊線(CFL)とし、CFLにより応力パラメータ η'_{cyc} を次式のように定義する。

$$\eta'_{cyc} = q / (p' - p^*) \quad (3)$$

ここで、 p' は平均有効応力、 p^* は破壊線の p' 軸切片である。¹⁾

以下、この応力パラメータ η'_{cyc} を用いて、載荷点における η'_{cyc} と(2)式で表されるせん断弾性係数 $G_{(N)}$ との関係について調べた。

4.試験および試験結果

4-1.試料および試験概要

試料は、練返しした有明粘土($p_s=2.627, w_L=98.0\%$, $I_p=53.5$)で、鉛直応力 0.5 kgf/cm^2 で28日間一次元予圧密されたものである。予圧密試料を直径5cm、高さ10cmの円柱に切出した供試体に対し、応力制御方式の繰返し三軸圧縮試験が行なわれた。飽和された供試体は、所定の圧密応力 $p_0 (= (\sigma_1 + 2\sigma_3)/3, \sigma_1 = \sigma_3 = 1.0 \text{ kgf/cm}^2)$ にて24時間等方圧密された後、非排水状態で繰返し応力 $q_{cyc} (= \sigma_1 + \Delta\sigma_1 - \sigma_3, \sigma_3 = \text{一定})$ を周波数0.02Hzの片振り正弦波として載荷回数 N_{max} 回与えられた。試験条件を表-1に示す。なお、試験中には背圧 0.2 kgf/cm^2 が負荷された。

4-2.試験結果および考察

(3)式によって定義した応力パラメータ η'_{cyc} を用いて、載荷点における η'_{cyc} と任意の載荷回数における初期の圧密応力で正規化したせん断弾性係数 $G_{(N)}/p_0$ との関係を示すと図-3のようになる。両者の関係は、繰返し応力の大きさや任意の載荷回数に対して一義的な直線関係が認められる。また $G_{(N)}/p_0 = 0$ となる η'_{cyc} の値は、図-3に示される繰返し載荷を受ける粘土の破壊線(CFL)の傾き $M^*=1.31$ に一致する。図-3に示された直線の傾きを α ($\alpha < 0$) とすると、直線の式は次のように表すことができる。

$$G_{(N)}/p_0 = \alpha (\eta'_{cyc} - M^*) \quad (4)$$

繰返し載荷過程における可逆的な弾性せん断ひずみは、繰返し応力の大きさや繰返し応力履歴の影響を受けると考えられるが、せん断弾性係数 $G_{(N)}/p_0$ と応力パラメータ η'_{cyc} との直線関係と(2)式により評価できることから、(4)式はそれらの影響要因を包括したものであると考えられる。

5.まとめ

非排水繰返し載荷過程における粘土の可逆的なせん断ひずみを載荷点における弾性せん断ひずみと考えると、任意の載荷回数におけるせん断弾性係数と載荷点における応力状態を表す応力パラメータの関係を実験結果をもとに調べた。その結果、繰返し載荷を受ける粘土の破壊線により規定された応力パラメータ η'_{cyc} とせん断弾性係数は、異なる繰返し応力の大きさや任意の載荷回数に対して一義的な直線関係が認められた。

【参考文献】

1)村上ら;非排水繰返し応力を受ける粘土の応力～ひずみ～間隙水圧特性,第28回土質工学研究発表会,(投稿中)

表-1.試験条件

p_0 (kgf/cm ²)	q_{cyc} (kgf/cm ²)	N_{max}
1.0	0.66	10000
	0.70	6750
	0.75	3330
	0.81	85
	0.91	15
	0.92	17

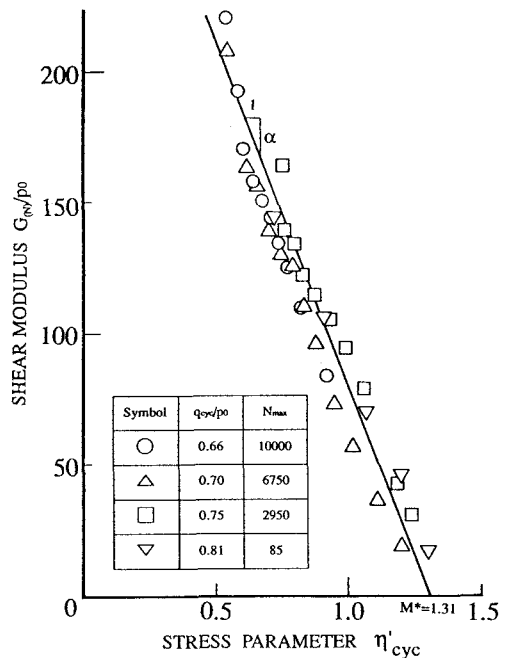


図-3.せん断弾性係数と応力パラメータ η'_{cyc} の関係