

Ⅲ-133

流動曲面履歴変数モデルの基準ひずみ速度パラメータ

大阪大学工学部 正会員 阿部 信晴  
大阪大学大学院 学生会員 〇隅 水 友 顕

1. まえがき

粘土の時間-負荷履歴依存性を統一的に表現するために流動曲面履歴変数モデル(FSHVモデル)が提案されている。このモデルでは有限の変位速度の場合が基準状態として仮定されており、この基準状態を規定する基準ひずみ速度をパラメータとして含んでいる。本報告では、FSHVモデルの基準ひずみ速度パラメータを実験結果に基づいて推定する方法を提案し、数値実験によってその適用性を検討している。

2. FSHVモデルのパラメータ

FSHVモデルの流動関数は、次式の粘性ひずみ $\dot{\epsilon}_v$ とその速度 $\dot{\epsilon}_v$ の関係(クリープ則)に基づいて誘導されている。

$$\frac{\dot{\epsilon}_v + h}{\mu} = -\ln \left( \frac{\dot{\epsilon}_v}{\dot{\epsilon}_{vr}} + \delta \right) \quad (1)$$

$\mu$ ,  $\dot{\epsilon}_{vr}$ ,  $\delta$ ,  $h$ は、基本的には粘土の微視構造に依存する量と考えられるが、ここでは $h$ を時間-負荷履歴を表現するための変数とし、 $\mu$ ,  $\dot{\epsilon}_{vr}$ ,  $\delta$ を一定値をとるパラメータとしている。これらパラメータの決定には、数値シミュレーションによるCalibration Method (trial and error iterative procedure)が用いられる。これは内部変数に関係するパラメータを実験結果(外部変数の応答)から決定することが一般に難しいためである。このため、パラメータ決定の際の初期値となる値を実験結果から適切に推定することが重要となる。以下では主として、基準ひずみ速度パラメータ $\dot{\epsilon}_{vr}$ を標準圧密試験から推定する方法について述べる。

3. パラメータの推定方法

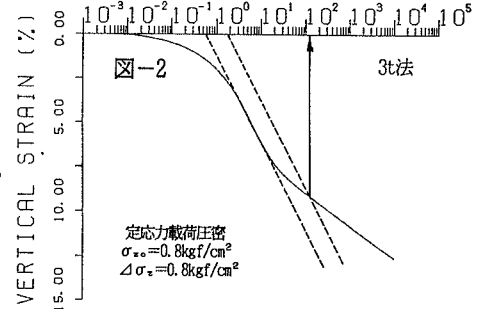
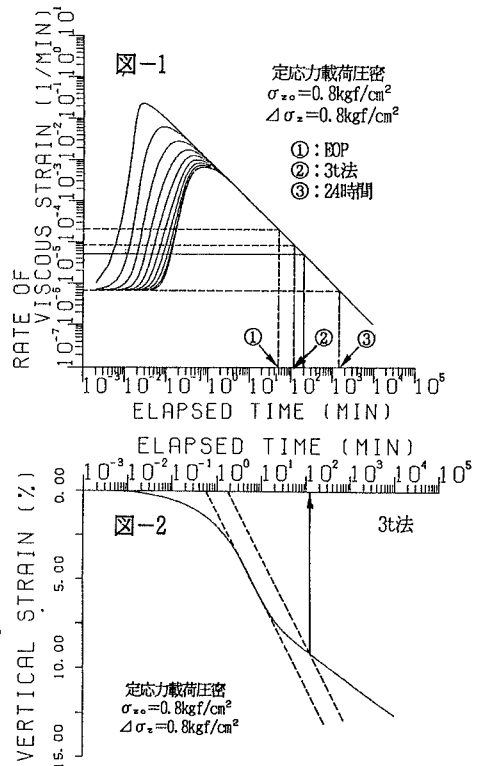
図-1は、標準圧密試験における粘性ひずみ速度と時間の関係を両対数紙上で示したものである。圧密荷重の載荷によって粘性ひずみ速度は各要素で一旦大きくなるが、時間の経過とともに小さくなっていくことが分かる。二次圧密領域では、一本の直線に沿って減少し、基準ひずみ速度 $\dot{\epsilon}_{vr}$ 以下になっていく。したがって、粘性ひずみ速度が基準ひずみ速度に等しくなる時間(基準時間 $t_r$ )を推定できれば、次式により基準ひずみ速度 $\dot{\epsilon}_{vr}$ を求めることができる。

$$\dot{\epsilon}_{vr} = \frac{\mu}{t_r} \frac{1}{\delta} \ln \left[ (1 + \delta) \left( 1 - \delta \exp \left\{ - \left( \frac{f_r - h}{\mu} \right) \right\} \right) \right] \quad (2)$$

したがって、

表-1

|                                                                   | 数値実験の値               | 推定値                   |
|-------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------------|
| Compression index $\lambda$                                       | 0.712                | 0.709                 |
| Swelling index $\kappa$                                           | 0.0478               | 0.0486                |
| Coefficient of secondary compression $\mu$                        | $1.0 \times 10^{-2}$ | $8.0 \times 10^{-3}$  |
| Reference strain rate (min <sup>-1</sup> ) $\dot{\epsilon}_{vr}$  | $5.0 \times 10^{-5}$ | $6.4 \times 10^{-5}$  |
| History parameter $h$                                             | 0.3                  | 0.3                   |
| Internal restraint strain rate $\delta$                           | $1.0 \times 10^{-5}$ | $*1.0 \times 10^{-5}$ |
| Coefficient of permeability (cm/min) $k_{so}$                     | $5.0 \times 10^{-5}$ | $*5.0 \times 10^{-5}$ |
| Permeability change index $C_k$                                   | 0.8                  | *0.8                  |
| Initial consolidation stress (kgf/cm <sup>2</sup> ) $\sigma_{so}$ | 0.1                  |                       |
| Initial void ratio $e_o$                                          | 2.68                 |                       |



$$\delta \exp\left\{-\left(\frac{f_r-h}{\mu}\right)\right\} \ll 1 \text{ のとき, } \dot{\epsilon}_{zr} = \frac{\mu}{t_r} \left[ \frac{\ln(1+\delta)}{\delta} \right] \quad (3)$$

$$\text{また, } \delta \ll 1 \text{ のとき, } \dot{\epsilon}_{zr} = \frac{\mu}{t_r} \quad (4)$$

なお, パラメータ  $\mu$  は, 標準圧密試験(正規圧密領域)の沈下～時間関係の二次圧密部分の勾配から次式により求めることができる。

$$\frac{d\epsilon_z^{vp}}{d\ln t} = t \cdot \dot{\epsilon}_z^{vp} = \mu \left[ \frac{\dot{\epsilon}_{zr}}{\mu} t Y / \left( 1 + \frac{\dot{\epsilon}_{zr}}{\mu} t Y \right) \right] \quad (5)$$

したがって,

$$\frac{\dot{\epsilon}_{zr}}{\mu} t Y \gg 1 \quad \mu = \frac{d\epsilon_z^{vp}}{d\ln t} \quad (6), \quad Y = \exp\left(\frac{f-h}{\mu}\right) \quad (7)$$

#### 4. 数値実験による適用性の検討

圧密挙動の数値シミュレーションによって求めた, 実在する粘土のパラメータと履歴変数の値を表-1に示している。これらの値を用いた圧密の数値実験結果(標準圧密試験: 圧密荷重  $\sigma_z = 0.1 \rightarrow 0.2 \rightarrow 0.4 \rightarrow 0.8 \rightarrow 1.6 \text{ kgf/cm}^2$ , 定ひずみ速度圧密試験: ひずみ速度  $\dot{\epsilon}_z = 0.01 \text{ \%}/\text{min}$ )が図-2, 3に示されている。上述の推定方法により, 図-2の沈下～時間曲線(正規圧密領域:  $0.8 \rightarrow 1.6 \text{ kgf/cm}^2$ )から(6)式により,  $\mu = 8.0 \times 10^{-3}$  が求められた。基準時間  $t_r$  を3t法により推定すると,  $t_r = 125$  分, したがって, (4)式から, 基準ひずみ速度  $\dot{\epsilon}_{zr} = 8.0 \times 10^{-3} / 125 = 6.4 \times 10^{-5} \text{ 1/min}$  となる。また, 図-3の定ひずみ速度圧密試験の応力-ひずみ関係の勾配から,  $\lambda = 0.709$  (ひずみ  $\epsilon_z > 8\%$ ),  $\kappa = 0.0486$  が得られた。これらの値は同図に示す標準圧密試験(24時間段階荷重, EOP段階荷重)の結果ともよく対応している。履歴変数  $h$  は, これらの値を用いた数値シミュレーションによる trial and error iterative procedureにより0.3と求められた。以上の推定値は表-1の右欄にまとめられている。また, これらの推定値を用いた解析結果と数値実験結果を比較したのが図-4, 5である。ほぼ妥当な推定値が得られていることが分かるが,  $\mu$  の推定値は(5)式からも分かるように, 常に小さめの値を与える。

#### 5. まとめ

基準ひずみ速度パラメータの推定法は, 基準時間  $t_r$  の採り方に依存している。図-1に基準時間  $t_r$  の採り方とパラメータの近似度の関係を示しているが, この数値実験では3t法による時間が一次圧密終了時間(最大残留間隙水圧=2%)や24時間よりもよい推定値を与えていることが分かる。この妥当性については, 今後, 実験結果に基づいて検討していきたい。

【参考文献】1)阿部・隅水: 流動曲面履歴変数モデルによる粘土の履歴依存挙動の解析, 第30回土質工学研究発表会, 平成7年。2)阿部・隅水: 流動曲面履歴変数モデルによる粘土の一次元膨潤挙動の解析, 第30回土質工学研究発表会, 平成7年。

