

飽和粘性土の三軸圧密試験における等方排水クリープ

広島大学工学部 正 員 吉國 洋  
広島大学大学院 学生員 加納誠二  
JR四国 正 員 上野智弘

1. まえがき

一次元圧密に対して構築された吉國<sup>1)</sup>の弾粘性圧密理論を三次元へ拡張するため、図1のように一般のクリープ挙動を体積クリープとせん断クリープとに分離分割して考える。等方応力状態におけるクリープにはせん断クリープが存在せず、体積クリープのみ生じ、異方応力状態におけるクリープは体積クリープとせん断クリープを合算したものと考える。本研究はその第一段階として等方応力状態での長期圧密試験を行い、体積クリープに関する基礎データを集めてそれについて検討する。

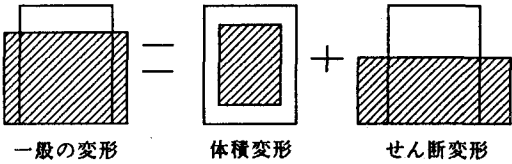


図1 クリープの分離分割の概念

2. 試験方法

三軸セルを使用して長期間（2週間以上）にわたり、圧密荷重0.8, 1.6, 3.2, 6.4 kgf/cm<sup>2</sup>(78.4, 156.8, 313.6, 627.2 kPa)の等方圧密試験を行った。試料には室内で練り返し、荷重0.5 kgf/cm<sup>2</sup>(49 kPa)で再圧密させた広島粘土（w<sub>L</sub>=111.21%, w<sub>p</sub>=42.50%, I<sub>p</sub>=68.71, G<sub>s</sub>=2.596）を使用した。従来の三軸圧密試験では供試体の体積変化を排水量から求めていたが、今回の試験ではレーザセンサーを使用して側方変位を直接的に測定し体積変化を求めた。供試体を三軸セルにセットした後、荷重0.05 kgf/cm<sup>2</sup>（4.9 kPa）の予圧密を行い、その後の最終段階までの荷重増加過程は、標準圧密試験とほぼ同様な形式とした。標準圧密試験との相違点は、各ケースとも最終荷重前の二段階をそれぞれ四分分割し、載荷時間は四分分割した段階を15分、それ以外の段階を30分としたことである。これは、最終荷重に近づくにつれて荷重増加率が後の圧密挙動に大きく影響を及ぼすため、また側面排水に伴う供試体の側面部と中心部の変化の違いをできるだけ小さくするためである。

| ケース                            | 1                                            | 2                                            | 3                                            | 4                                            | 観測時間                       |
|--------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------|
| 予圧密<br>(kgf/cm <sup>2</sup> )  |                                              | 0.05                                         |                                              |                                              |                            |
| 荷重段階<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) |                                              | ↓<br>0.1<br>↓<br>0.2                         |                                              |                                              | 30分毎                       |
|                                |                                              |                                              | ↓<br>0.4                                     | ↓<br>0.4                                     | 30分毎                       |
|                                | ↓<br>0.4<br>↓<br>0.5<br>↓<br>0.6<br>↓<br>0.7 | ↓<br>0.4<br>↓<br>0.5<br>↓<br>0.6<br>↓<br>0.7 | ↓<br>0.8<br>↓<br>1.0<br>↓<br>1.2<br>↓<br>1.4 | ↓<br>1.6<br>↓<br>2.0<br>↓<br>2.4<br>↓<br>2.8 | 15分毎                       |
|                                |                                              | ↓<br>0.8<br>↓<br>1.0<br>↓<br>1.2<br>↓<br>1.4 | ↓<br>1.6<br>↓<br>2.0<br>↓<br>2.4<br>↓<br>2.8 | ↓<br>3.2<br>↓<br>4.0<br>↓<br>4.8<br>↓<br>5.6 | 15分毎                       |
|                                |                                              |                                              |                                              |                                              |                            |
|                                |                                              |                                              |                                              |                                              |                            |
|                                |                                              |                                              |                                              |                                              |                            |
|                                |                                              |                                              |                                              |                                              |                            |
|                                |                                              |                                              |                                              |                                              |                            |
|                                |                                              |                                              |                                              |                                              |                            |
| 最終段階                           | 0.8<br>78.4                                  | 1.6<br>156.8                                 | 3.2<br>313.6                                 | 6.4<br>627.2                                 | kgf/cm <sup>2</sup><br>kPa |

荷重段階表

3. 試験結果及び考察

図2は各ケースにおける圧密曲線（e-log t 関係）である。各ケースともクリープ過程の部分が直線的で変形はとめどなく続く。つまり、等方応力下でも排水クリープが存在する。これは粘土の構造骨格が体積粘性を持つことを示し、その変形の非収束性から粘土はせん断変形だけでなく体積的にも粘性液体であると認識することができる。この図の直線部の傾きが体積二次圧密係数C<sub>av</sub>であり、C<sub>av</sub>はほぼ一定でその平均値はC<sub>av</sub>=0.0098である。また一次元長期圧密試験から得られているC<sub>a</sub>の値は、C<sub>a</sub>=0.0167であり、等方圧密試験から得られたC<sub>av</sub>よりも大きい。つまり、応力比によって体積粘性係数が異なり、応力比の影響を考慮する必要がある。また図3は等クリープ速度線を表しており、この傾きがC<sub>av</sub>であり、その値はC<sub>av</sub>=0.544で一定とみなせる。ここで、一次元圧密においてC<sub>a</sub>、C<sub>s</sub>が一定だと間隙比e、粘性係数log η、有効応力log σ'を軸にとった粘性係数平面が存在することから<sup>2)</sup>、等方圧密においてもC<sub>av</sub>、C<sub>av</sub>が一定とみなせる

ので、 $e$ 、体積粘性係数 $\log \zeta$ 、平均有効応力 $\log \sigma'_m$ を軸にとった体積粘性係数平面が存在する。 $\sigma'_m$ が一定の直線群の傾きを $C_{\zeta\sigma}$ 、 $e$ が一定の直線群の傾きを $C_{\zeta e}$ とするとこれらの傾きは $C_{av}$ 、 $C_{\beta v}$ で表され、

$$C_{\zeta e} = \frac{1}{C_{av}} \quad C_{\zeta\sigma'_m} = \frac{C_{\beta v}}{C_{av}} - 1$$

である。さらに、任意の点( $e_0$ ,  $\sigma'_m$ )の体積粘性係数 $\zeta_0$ を与えると、体積粘性係数平面の位置が決まる。

しかし、応力比が異なると $C_{av}$ 、 $C_{\beta v}$ が異なるため、その平面の位置および傾きも変化すると考えられる。そこで、体積粘性係数 $\zeta$ を $\zeta(e, \sigma'_m, q/p)$ と定義する。このように定義すると、一次元圧密の $\eta$ は $K_0=0.5$ とすると、 $\zeta(e, \sigma'_m, q/p=0.75)$ と等価であり、等方圧密においては $\zeta(e, \sigma'_m, q/p=0)$ である。今後の課題として、各応力状態での体積粘性係数平面の決定には、今後せん断変形を伴う場合の体積粘性が等方応力状態のそれとどう異なるかを、応力比 $q/p$ をパラメータにして検討する必要がある。

#### 4. まとめ

- 1) 等方圧密における圧密曲線も二次圧密過程の部分は直線的であり、応力レベルによらず平行とみなすことができる。すなわち、 $C_{av}$ 、 $C_{\beta v}$ は一定とみなせる。
- 2) 等方応力状態における排水クリープの存在は、粘土の骨格構造が体積粘性を持つことを示し、その変形の非収束性からも粘土はせん断変形だけでなく体積的にも粘性液体と認識することができる。
- 3) 一次元圧密における粘性係数平面と同様に、体積クリープにおいても体積粘性係数平面が存在し、それを定義することができる。

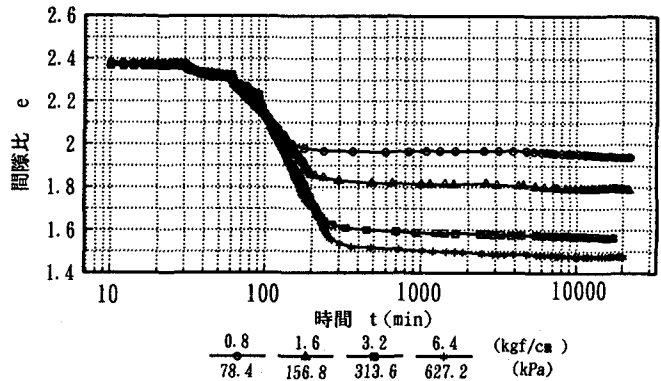


図2 圧密曲線 ( $e - \log t$ )

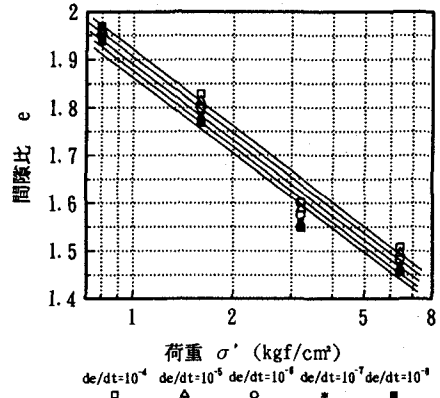


図3 等クリープ速度線群

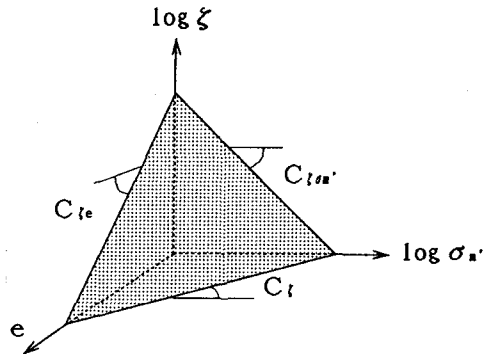


図4 体積粘性係数平面

#### 参考文献

- 1) 吉國 洋(1990): 軟弱粘土の圧密曲線と圧縮曲線に対する一つの解釈(Ⅰ), 第25回土質工学研究発表会発表講演集, PP. 307~310.
- 2) 吉國 洋(1992): 軟弱粘土の圧密曲線と圧縮曲線に対する一つの解釈(Ⅴ), 第25回土質工学研究発表会発表講演集, PP. 335~338.