

## III-215

## 軟弱粘土の圧密曲線と圧縮曲線に対する一つの解釈(VI)

広島大学 工学部 正員 吉國 洋

## 1. まえがき

定ひずみ速度圧密試験に見られる圧縮曲線の屈曲挙動は圧密降伏と呼ばれ、弾塑性体としての取扱いの根拠となっているけれど、弾粘性液体の立場に立てば、あるひずみ速度からあるひずみ速度に移行するときの過渡現象であると解釈することが出来ることを参考文献(1)に示した。ただ、そこで得られた圧縮曲線のいわゆる過圧密部に曲がり方が少なく、実際の圧縮曲線の形と幾分異なっていた。これは、参考文献(1)の解釈において、粘土のもつ遅延弾性を無視した(図-1(a))ることによって考えられるので、それを考慮すれば(図-1(b))、圧縮曲線はどのような形になるかを本論文で検討した。

## 2. レオロジー方程式と解析

図-1(b)に示す遅延弾性を持つ弾粘性液体のレオロジー方程式を導くにあたり、次の関係を設定する。

$$\sigma' = \sigma'_N = \sigma'_K \quad \dots \dots \dots ①$$

$$\sigma'_K = \sigma'_{KH} + \sigma'_{KN} \quad \dots \dots \dots ②$$

$$e = e_N + e_K \quad \dots \dots \dots ③$$

$$e_K = e_{KH} = e_{KN} \quad \dots \dots \dots ④$$

$$\sigma'_N = \eta(e, \sigma') \frac{de_N}{dt} \quad \dots \dots \dots ⑤$$

$$\sigma'_{KN} = \eta_K(e, \sigma') \frac{de_K}{dt} \quad \dots \dots \dots ⑥$$

$$d\sigma'_{KH} = \frac{1}{m_v(e, \sigma')} de_K \quad \dots \dots \dots ⑦$$

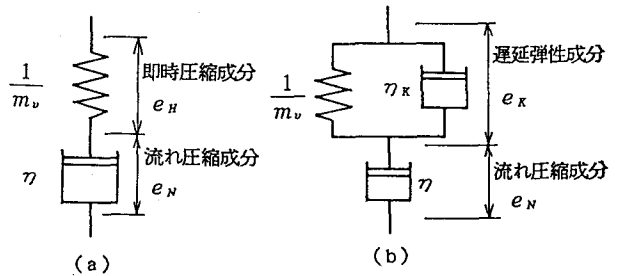


図-1 弾粘性液体のレオロジーモデル

ここに添字 $N$ は、流れ圧縮成分を、添字 $K$ は、遅延弾性成分を、添字 $KH$ および $KN$ はそれぞれ遅延弾性成分の中の弾性成分および粘性成分を表す。なお、数学的複雑さを避けるために、間隙比 $e$ は応力の増加とともに増加するものとして取扱っている。この取扱いが数学的結論に影響を与えることはない。

①と②式より

$$\sigma'_N = \sigma'_{KH} + \sigma'_{KN} \quad \dots \dots \dots ⑧$$

⑧式に⑤⑥⑦式を考慮すると

$$\eta(e, \sigma') \frac{de_N}{dt} = \int_0^{e_K} \frac{1}{m_v(e, \sigma')} de_K + \eta_K(e, \sigma') \frac{de_K}{dt} \quad \dots \dots \dots ⑨$$

ここに⑦式は、

$$\sigma'_{KH} = \int_0^{\sigma'_{KH}} d\sigma'_{KH} = \int_0^{e_K} \frac{1}{m_v(e, \sigma')} de_K \quad \dots \dots \dots ⑩$$

$$\sigma'_{KH} = 0 \text{ の時 } e_K = 0$$

と書ける。なお、先に述べたように、応力の増加に伴い間隙比は増加するとして取扱っている。

また③式を時間で微分して、⑨式左辺に持ち込めば、

$$\eta(e, \sigma') \left( \frac{de}{dt} - \frac{de_K}{dt} \right) = \int_0^{e_K} \frac{1}{m_v(e, \sigma')} de_K + \eta_K(e, \sigma') \frac{de_K}{dt} \quad \dots \dots \dots ⑪$$

整理して、

$$\frac{de}{dt} = \frac{1}{\eta(e, \sigma')} \int_0^{e_K} \frac{1}{m_v(e, \sigma')} de_K + (1 + \alpha) \frac{de_K}{dt} \quad \dots \dots \dots ⑫$$

ここに

$$\alpha(e, \sigma') = \frac{\eta_K(\sigma e, \sigma')}{\eta(e, \sigma')} \quad \dots \textcircled{13}$$

得られた⑫式は、レオロジー方程式としては不静定であるが、定ひずみ速度圧縮の場合、左辺が定数となるので、遅延弾性成分  $e_K$  だけの方程式となり静定である。

そこで⑫式の解の性格を検討するために、レオロジー係数を定数と考えると、⑫式は

$$\frac{de}{dt} = \frac{1}{\eta m_v} e_K + (1 + \alpha) \frac{de_K}{dt} \quad \dots \textcircled{14}$$

整理して

$$\frac{de_K}{dt} + \frac{1}{m_v \eta (1 + \alpha)} e_K = \frac{1}{(1 + \alpha)} \frac{de}{dt} \quad \dots \textcircled{15}$$

そこで  $\frac{de}{dt} = \text{const.}$  とすると⑮式の解は、

$$\sigma_K = m_v \eta \frac{de}{dt} + \left( e_{K0} - m_v \eta \frac{de}{dt} \right) e^{-\frac{1}{m_v \eta (1 + \alpha)} t} \quad \dots \textcircled{16}$$

①、②、⑥および⑦式より

$$\sigma' = \frac{1}{m_v} e_K + \eta_K \frac{de_K}{dt} \quad \dots \textcircled{17}$$

なので、⑮式を⑰式に代入し、整理すると

$$\sigma' = \eta \frac{de}{dt} - \frac{1}{(1 + \alpha)} \left( \eta \frac{de}{dt} - \sigma_0' \right) e^{-\frac{1}{m_v \eta (1 + \alpha)} t} \quad \dots \textcircled{18}$$

ここに  $\sigma_{K0} = \sigma_0'$  である。⑮式の関係の概略を図-2に示す。同図において、 $\alpha = 0$  は、遅延弾性のない場合であり、モデル図-1(a)の場合に相当する。 $\alpha = \infty$  は、単純粘性液体である。遅延弾性のある場合は、それらの中間にあり遅延弾性の影響は、定常状態において見られない。これは図-3に示すようにいわゆる過圧密領域において影響があり、正規領域では影響はない。

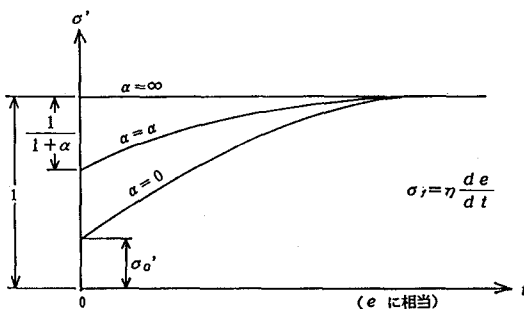


図-2 遅延弾性を持つ線形粘性液体の定ひずみ速度圧縮曲線

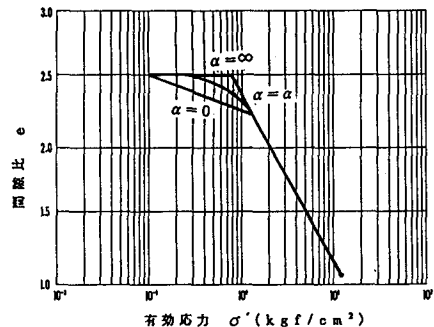


図-3 遅延弾性を持つ非線形粘性液体の定ひずみ速度圧縮曲線

### 3. あとがき

定ひずみ速度圧密試験において遅延弾性効果は、試験の初期において現れ、いわゆる正規領域における影響はほとんどないと推定される。

【参考文献】(1) 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27回土質工学研究発表会講演集。