

1. まえがき

粘性土の圧縮特性を弾粘性液体であると見做せば、軟弱粘土の圧縮と圧密に関する多々の情報を説明することができることを文献(1)に示した。また、圧縮特性を弾粘性液体と見做して圧密方程式を導き、それをもとに二次圧密のメカニズムや圧密曲線の形について文献(2)で討論し、文献(3)ではIsotche問題を検討した。今回は同じ立場に立って、等ひずみ速度圧密試験の示す挙動について検討したい。

2. 等ひずみ速度圧密試験における粘土の挙動

周知のように今日等ひずみ速度圧密試験と通称されている試験法は、等ひずみ速度圧密試験ではなくて等沈下速度圧密試験である。これは圧密現象の特異なメカニズムのために圧密進行中には決して一様なひずみ分布にならないためであるが、試料の厚さに対して良識的沈下速度であれば、あまり大きな問題を生じないものとして議論を進めたい。

等ひずみ速度圧密試験は各所で行われ、その成果が数多く報告されている。ここでは図-1に示す今井の試験結果を代表例として引用したい。等ひずみ速度圧密試験において示す粘土の圧縮挙動を同図をもとにまとめて見ると、以下のようなのである。

- 1) 等ひずみ速度での  $e \sim \log \sigma$  平面における軌跡は、屈曲点を持つ曲線となる。
- 2) その軌跡はひずみ速度によらずほぼ同じ形であるが、大きなひずみ速度を与えると、屈曲点も含め応力軸に平行に右方向に移動する。
- 3) 屈曲点を越えた軌跡群について見ると、 $e \sim \log \sigma$  平面における  $|e|$  は  $e$  の減少に伴い極めて急激に減少し、 $\log \sigma$  の増加に伴い極めて急激に増加する。

3. 弾粘性液体の示す等ひずみ速度圧縮挙動

図-2に示す弾粘性液体のレオロジー方程式は次式で表される。

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = m_v(e, \sigma) \frac{d\sigma'}{dt} + \frac{1}{\eta(e, \sigma)} \sigma' \dots \dots \dots (1)$$

ここに  $\varepsilon = \frac{-\Delta e}{1+e_0}$ 、  $m_v(e, \sigma) = \frac{d\varepsilon}{d\sigma}$ 、  $\sigma = \eta(e, \sigma) \frac{d\varepsilon}{dt}$

そして、式-1の左辺にダルシー則を考慮した連続の式を代入すれば、圧密方程式になる。しかし、「まえがき」でも述べたように、粘土層内のひずみ分布が問題とならない緩やかな沈下速度を前提にし、全体の圧縮挙動は要素の圧縮挙動に等しいとする立場に立っているので、式-1のままで検討する。

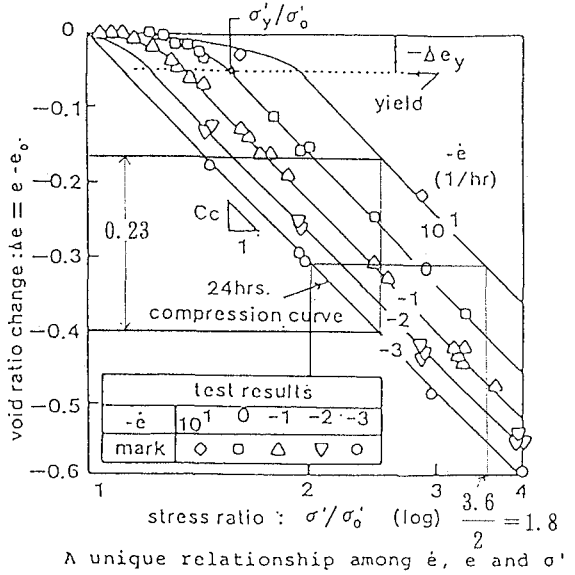


図-1 今井の等ひずみ圧密試験

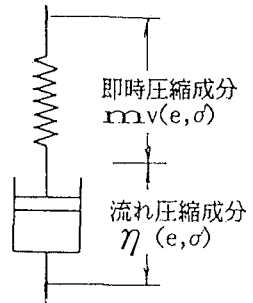


図-2 粘性液体のレオロジーモデル

式-1の右辺第1項は図-2のレオロジーモデルにおける即時圧縮成分で、右辺第2項は流れ圧縮成分である。この右辺の2項で左辺のひずみ速度を分担する。その分担割合には $m_v$ と $\eta$ の積の値が大きく関与する。式-1からも容易に理解されるように、 $m_v$ が $1/\eta$ に比して大きいと即時圧縮成分が主として負担し、その逆の場合には、流れ圧縮成分が負担することになる。分担の様子を探るために、 $e \sim \log \sigma'$ 平面における $m_v$ と $\eta$ の分布状態を調べよう。

まず、 $m_v$ について検討したい。図-3は5つのケースの圧縮除荷曲線であり、この除荷曲線が弾粘性液体における即時圧縮曲線である。同図に示す5つの除荷曲線は直線的で、 $C_c$ の傾きを持ち、互いに平行である。この性質は比較的多くの粘土についても見られる特性であり、これは次の事を意味する。

1) 
$$e = e_0 - C_c \log \frac{\sigma'}{\sigma'_0} \quad C_c \text{ は定数} \quad \dots \dots \dots (2)$$

2) 
$$m_v = \frac{d\varepsilon}{d\sigma'} = -\frac{1}{1+e_0} \cdot \frac{\partial e}{\partial \sigma'} = \frac{C_c}{1+e_0} \cdot \frac{1}{\sigma'} \quad \dots \dots \dots (3)$$

3) 
$$\frac{\partial}{\partial e} m_v = 0 \quad \dots \dots \dots (4)$$

まとめて見ると、 $m_v$ は $\sigma'$ のみの関数で、 $\sigma'$ に逆比例する。

ついで $\eta$ について検討したい。図-1において、有効応力一定のもとで、間隙比の減少によるひずみ速度の減少はそのまま $\eta$ の増加を意味し、間隙比のわずかの減少( $\Delta e = -0.23$ )に対し、 $10^4$ 倍にも増加している。また間隙比一定のもとで有効応力を増加した時のひずみ速度の増加はそのまま $\eta$ の増加にはならないが、有効応力が1.8倍程度増加する間にやはり $\eta$ は $10^4$ 倍近く減少したことになる。

以上を総合し、つぎのように推論する。クリープや除荷によって過圧密状態の粘土の $\eta$ は極めて大きく、図-2のレオロジーモデルではスプリングだけが機能する状態にあり、緩やかな即時圧縮曲線に添って圧縮が進行する。さらに低ひずみ速度試験なので、標準圧密試験に較べれば、より短時間でこの間を通過し、グッシュポットの働く時間的余裕を与えない傾向にある。そしていわゆる正規領域に入り、 $\eta$ の激しい減少とともにグッシュポットが働き始め、それは軌跡に屈曲として表れる。また大きなひずみ速度を与えることはグッシュポットの働く時間的余裕を与えず、時間依存性のないスプリングに相対的に働かせることになるので、軌跡は右方向に移動する。小さいひずみ速度を与える場合はその逆である。

4. あとがき

定ひずみ速度圧密試験で得られる $e \sim \log \sigma'$ 曲線の屈曲を降伏と捕らえ、弾粘塑性固体として一般に解釈されるけれど、弾粘性液体の挙動としても説明できる。その軌跡は式-1の解として求められ、元来屈曲した曲線で、その半対数表示がその屈曲をさらに際立たせている嫌いがある。できれば、当日説明したい。

参考文献

1) 吉國 洋:「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, pp.307~310 (1990,6) 2) 吉國 洋「同(II)」, 土木学会第45回年次学術講演会, III-104, pp.244~245 (1990,9) 3) 吉國 洋:「同(III)」, 第26回土質工学研究発表会, (1991,7) 4) Imai, G. : A Unified Theory of One-dimensional Consolidation with Creep, Proc. 12th ICSMFE Rio. pp.57(1989)

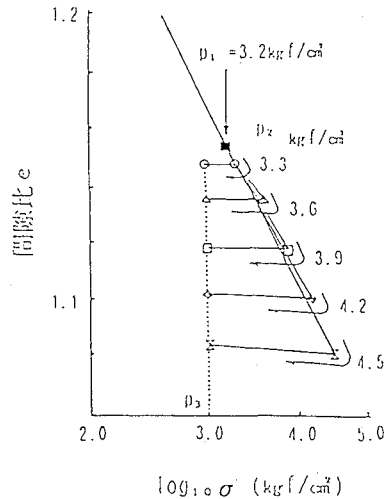


図-3 圧縮・膨張曲線