

III-156

過圧密粘土の二次圧縮係数

広島大学大学院 学生員 ○叶 正興
 広島大学工学部 正会員 森脇 武夫
 広島大学工学部 正会員 吉國 洋

1. まえがき

粘土の二次圧縮性を表わす指標として、二次圧縮係数がよく使われている。この二次圧縮係数は、段階載荷型の一次元圧密試験において、間隙水圧が消散した後の粘土の変形が時間の対数に比例して生じると考え、圧密後期のひずみ～ $\log t$ 曲線の直線部分の勾配から求められている。以下、本論文ではこれを $\log$ 則と呼ぶ。しかし、漸増（減）載荷によって載荷－除荷－再載荷の応力履歴を受けた粘土では、この二次圧縮係数をどのようにして求めれば良いか、特に、時間座標の原点をどこに取れば適当であるか、などの問題がある。

本研究では、三軸排水クリープ試験を実施し、三次元応力状態で生じるクリープ変形を体積ひずみとせん断ひずみに分けてそれぞれ考察する。また、漸増（減）載荷によって載荷－除荷－再載荷の応力履歴を受けた粘土にも適用できる二次圧縮係数の求め方を提案する。

2. 試験の方法

本試験に用いた供試体は十分に攪乱した後、約0.5kgf/cm²の鉛直圧力で一次元圧密した広島粘土試料を高さ12.5cm、直径5cmの円柱形に成形したものである。試験は図-1に示す応力経路で、まずK。条件でN点まで載荷、O'点まで除荷を行い、それから、図-1に示すような応力経路で所定の応力状態まで再載荷し、その後、応力状態を一定に保ち、粘土の排水クリープ挙動を測定した。また、載荷－除荷－再載荷のすべての過程では、間隙水圧が十分消散するような漸増（減）載荷速度を用いた。

3. 結果と考察

試験中は鉛直変位、排水量、軸圧、側圧を全て測定し、次の式に必要なパラメータを求めた。

$$p = (\sigma_1 + 2\sigma_3) / 3, \quad q = \sigma_1 - \sigma_3, \quad \nu = -100 \ln [(V_0 - \Delta V) / V_0], \quad \gamma = \varepsilon_1 - \nu / 3$$

本研究では、まず、前述の $\log$ 則が本試験の場合にも適用かどうかを調べるため、時間の原点を載荷の開始点、再載荷の開始点、および再載荷が終わった時点の3つの異なるところにとってそれぞれの体積ひずみと $\log t$ 、せん断ひずみと $\log t$ の関係で整理した。ここでは、体積ひずみと $\log t$ 関係だけを取り上げて図-2、3、4に示す。なお、これらの図ではそれぞれの時間の原点でのひずみをゼロとしている。これらの図から、次のことが分かる。

- ①載荷の開始時点を時間の座標原点とする場合には、再載荷荷重が一定になった後の体積ひずみは $\log t$ に対してほぼ直線関係にある。この直線部分の勾配によって二次圧縮係数が求められる。
- ②再載荷の開始時点を時間の座標原点をとする場合には、データのバラツキが少し大きくなるが、近似的には、再載荷荷重が一定になった後の $\nu - \log t$ 関係は直線と見なすことができる。この場合にも直線部分の勾配によって二次圧縮係数が求められる。しかし、時間の原点の違いのため、前の値とは異なる。
- ③再載荷が終わった時点を時間の座標原点とする場合の $\nu - \log t$ 関係は一部のケースを除いて明らかに直線とならない。従って二次圧縮係数をこの図より求めるは困難である。
- ④体積ひずみに関する二次圧縮係数 ($C_{\alpha\nu} = d\nu / d\log t$) の概略値は、同一のA-2に対しても載荷の開始時点を時間の座標原点とする場合に $C_{\alpha\nu} = 0.0166$ 、再載荷の開始時点を時間の座標原点をとする場合に $C_{\alpha\nu} =$

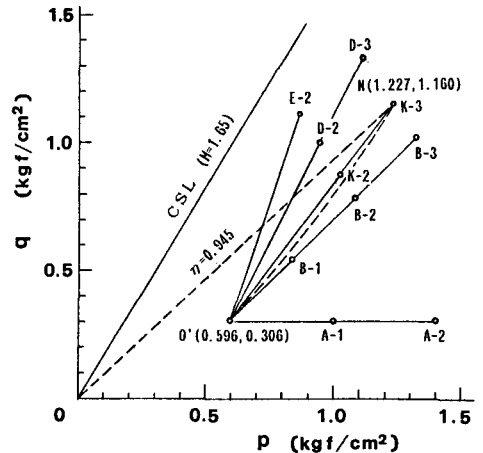


図-1 応力経路

0.0124、再載荷が終わった時点を時間の座標原点とする場合に $C_{av}=0.0085$ となり、時間の原点の取り方によって異なった値となる。

このように本試験のような漸増（減）載荷によって載荷－除荷－再載荷の応力履歴を受けた粘土に $\log$ 則をそのまま適用しようとする、データの整理の仕方によって異なった二次圧縮係数を求めることになり、二次圧縮性を表す指標としての一般性がなくなる。

そこで本研究では、一般的に式（1）で示される $\log$ 則を、式（2）のように変形して用いた。

$$\varepsilon = \varepsilon_i + C_a \log(t/t_i) \quad (1)$$

ここに、 C_a はひずみに関する二次圧縮係数であり、応力状態、粘土が今まで受けた応力履歴、初期間隙比などの関数と考えられる。 t_i は基準とする時刻であり、 ε_i は t_i における ε 値である。

$$\log \dot{\varepsilon} = \log \dot{\varepsilon}_0 - \dot{\varepsilon}/C_a \quad (2)$$

ここに、 $\dot{\varepsilon}$ はクリープ開始時からのひずみ、 $\dot{\varepsilon}_0$ はクリープ開始時のひずみ速度である。

式（2）は有効応力が一定のクリープ変形に対して、クリープ変形中のひずみ速度とひずみの関係（ $\log \dot{\varepsilon} - \varepsilon$ ）で整理すれば、傾きが $1/C_a$ の直線になることを示している。この関係を用いて時間に依存しない二次圧縮係数を求めることができる。

図-5は、A-1～2、B-1～3をこのようにして整理したものである。図中の破線は、一次元状態で得られる正規圧密粘土の二次圧縮係数 $C_{av}=0.0099$ を用いて引いたものである。この図より、時間が経過すると三次元状態でのクリープ変形も応力状態に依存せず $C_{av}=0.0099$ の直線上に乗るようである。また、クリープを開始してからこの直線上に乗るまでは、過圧密比、および応力状態などに依存するようである。

4. 結 論

- ①一次元圧密粘土のクリープ変形に使われる $\log$ 則は本研究で行ったような三次元状態にも適用できる。
- ②二次圧縮係数は、時間の原点の取り方によって異なった値となるので、クリープ変形中のひずみ速度とひずみの関係によって求めることが望ましい。
- ③過圧密粘土の二次圧縮係数は、最初は過圧密の影響を受け、過圧密比、応力状態などに依存した値となるが、時間の経過とともに過圧密の影響から脱し正規圧密粘土の値と等しくなり、応力状態に依存しないようになるとと思われる。

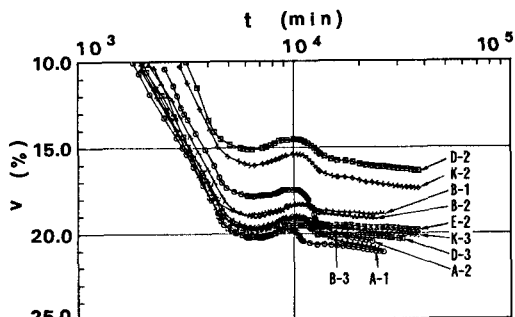


図-2 載荷の開始時点からの $v - \log t$ 関係

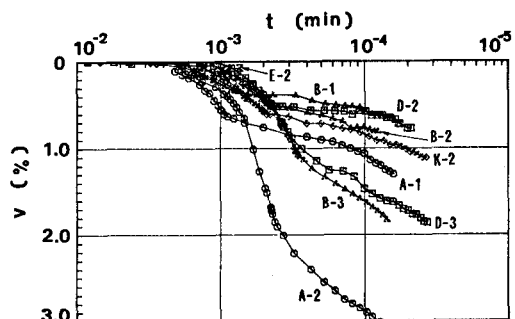


図-3 再載荷の開始時点からの $v - \log t$ 関係

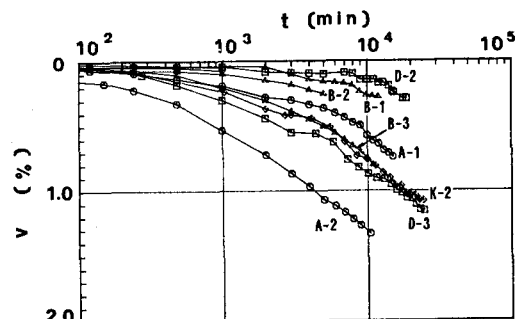


図-4 再載荷が終わった後の $v - \log t$ 関係

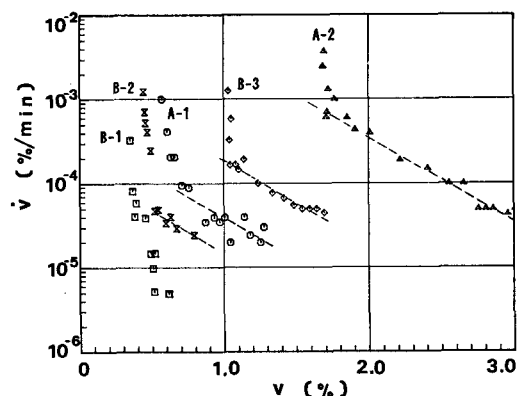


図-5 クリープ変形中の $\log \dot{v} - v$ 関係