

1. 序言

金属材料において発達した塑性論, そのなかでも塑性ひずみポテンシアルにもとづく塑性論は, 塑性ひずみポテンシアルより *Flow Rule* を用いて, 直接塑性ひずみを求めることができるため, 応力-ひずみ関係を考えるうえで有効な方法である。本論文では, 応力制御による三軸非排水せん断試験により, 塑性ひずみポテンシアル面と降伏曲面を同一とする D.C. Drucker, K.H. Roscoe の理論と対比しながら, ポテンシアル面の形状, およびポテンシアル面と降伏曲面の関係など, 粘性土への塑性論の適応性を検討する。

2. 実験試料および実験方法

本実験に用いた飽和粘土試料は乾燥栗草粘土を, 攪拌および注意深く煮沸した後, 0.5 % まで一次元圧密したもので, 凍性限界 61.2 %, 塑性限界 25.2 %, 含水比 46~50 % である。Skempton の向げき水圧係数 B 値は 0.98~0.99 で高い飽和度を示した。

図-1 に三軸室内の供試体設置状態を示す。本実験では供試体端面に十分シリコングリスを塗り応力, およびひずみ分布の不均一性の最大原因である端面マカツの軽減を計り, せん断面の向げき水圧を測定するため, 供試体中央に測定針を挿入し半導体圧力変換器を通して測定した。圧密時の排水はペーパードレンによる水平方向排水である。

実験は圧密非排水段階クリーブせん断試験で図-1 のようにセットした後 6.0 % の圧密荷重で標準等方圧密をおこない圧密終了後, 一定の軸荷重を載荷しクリーブせん断をおこなう。測定される軸ひずみおよび向げき水圧が一定とみなせる状態(平衡状態)に達したならば次の軸荷重載荷をおこなう。載荷条件は, No 2 供試体はせん断応力増加中約 0.23 % 度/段階のクリーブせん断時間は 60 分 No 3 供試体はせん断応力増加中約 0.28 % 度/段階のクリーブせん断時間は, せん断初期で 1500 分, 中期で 300~500 分, 後期で 200 分, No 5 供試体は, せん断応力増加中約 0.5 % 度/段階のクリーブせん断時間はせん断初期で 300~400 分, 後期で 1500 分程度である。

3. 実験結果および考察

図-2 に各荷重段階のせん断クリーブの最終点における応力状態より求められたせん断応力経路を示す。No 2 供試体では, 十分な向げき水圧が発生せず全応力経路に近い応力経路を示すが No 3, No 5 供試体ではより大きな向げき水圧の発生により, 全応力経路からずれが認められる。Roscoe の降伏曲面は, $\bar{\sigma} = \frac{M \cdot p}{\lambda - K}$ ($\bar{\sigma} = I + \lambda - K - \nu - \lambda \ln p'$) で与えられる。ただし $\bar{\sigma}$, ν は各々, せん断応力, 平均有効応力, 体積で λ, K, M, ν は定数である。この Roscoe の理論による応力経路を図-2 に併記する。

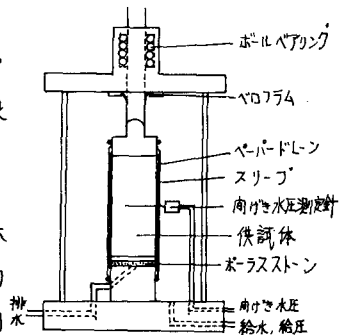


図-1 三軸室

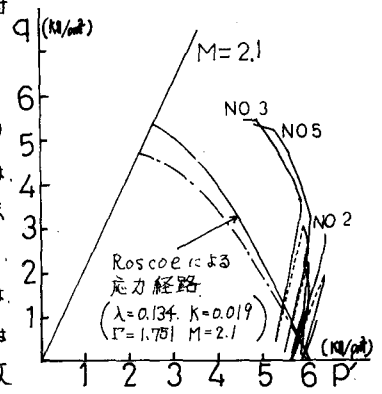


図-2 応力経路図

せん断後期では、Roscoe の理論曲線と実験結果は比較的同一の傾向を示すが、初期でかなり異なる。これは現象的には、せん断初期において向げき水圧が Roscoe の理論で期待されるほど十分発生していないことを意味する。

図-3 に各荷重段階のせん断クリープの最終変位における応力および軸ひずみより求められたせん断応力-せん断ひずみ関係を示す。No.2, No.3 供試体はほとんど同じせん断応力-せん断ひずみ関係を示す。図-3 には、Roscoe の理論による理論曲線を併記するが、実験結果はより大きなせん断ひずみを与えている。

一般に土のせん断時の体積変化 $\frac{\dot{V}}{V}$ は、平均有効応力増分 $\dot{P}$ による体積変化 $(\frac{\dot{V}}{V})_p$ とせん断変形による体積変化 $(\frac{\dot{V}}{V})_d$ との和と考えられる。非排水せん断の場合 $\frac{\dot{V}}{V} = 0$ であるから、

$$(\frac{\dot{V}}{V}) = (\frac{\dot{V}}{V})_p + (\frac{\dot{V}}{V})_d \quad \text{ie} \quad (\frac{\dot{V}}{V})_p = -(\frac{\dot{V}}{V})_d \quad (1)$$

各々の体積ひずみ増分を弾性部分と塑性部分に分離すると

$$(\frac{\dot{V}}{V})_p + (\frac{\dot{V}}{V})_p = -(\frac{\dot{V}}{V})_d - (\frac{\dot{V}}{V})_d \quad (2)$$

今“せん断変形中の弾性的な体積ひずみは圧密試験における吸水膨張線に平行に生じる”と仮定すると、

$$(\frac{\dot{V}}{V})_p = K \frac{\dot{P}}{P_v}, \quad \text{ただし } K \text{ は吸水膨張線の勾配} \quad (3)$$

更に $(\frac{\dot{V}}{V})_d = 0$ と仮定すると 塑性体積ひずみ増分は

$$(\frac{\dot{V}}{V}) = (\frac{\dot{V}}{V})_p + (\frac{\dot{V}}{V})_d = -K \frac{\dot{P}}{P_v} \quad (4)$$

で与えられる。

図-4 は No.3 供試体の応力経路に沿って測定されたせん断ひずみ増分と(4)式より計算される塑性体積ひずみ増分で形成される塑性ひずみ増分ベクトルを (P, δ) 応力空間に重ね合わせたものである。塑性ひずみポテンシャルは P 軸にほとんど平衡である。一方、応力経路が Roscoe の理論曲線をとると仮定した場合を図-5 に示す。塑性ひずみポテンシャル面は部分的に Concave なかなり変則的なポテンシャル面となる。この塑性ひずみポテンシャル面は、Roscoe の降伏曲面より C.R. Colladine の指摘に従って求められた塑性ひずみポテンシャル面とかなり異なり本実験結果に照しては、降伏曲面をそのまま塑性ひずみポテンシャル面と考えることはできない。

4 結語

今回、向げき水圧を供試体中央で測定し塑性論の適応性について検討したが、実験データが少く塑性ひずみポテンシャル面と降伏曲面の関係を数量的に扱うまでには致らなかった。これは今後に残された問題である。

参考文献: Schofield and Wroth; *Critical State Soil Mechanics*, McGraw-Hill, London
C.R. Colladine ; *Correspondence*, *Geotech. Vol. 13*, 1963

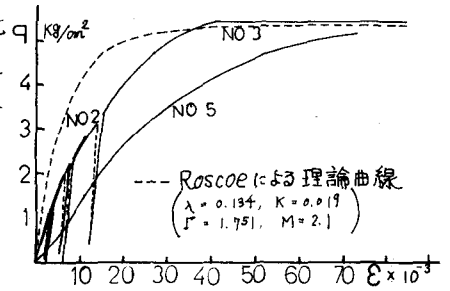


図-3 せん断応力-せん断ひずみ関係

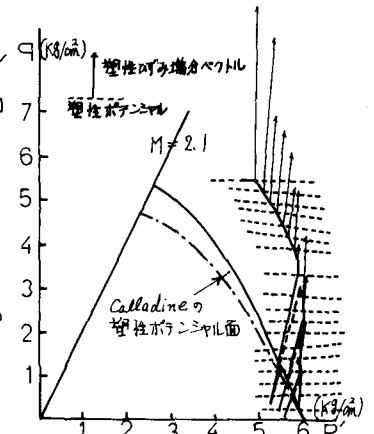


図-4 塑性ひずみベクトルと塑性ポテンシャル

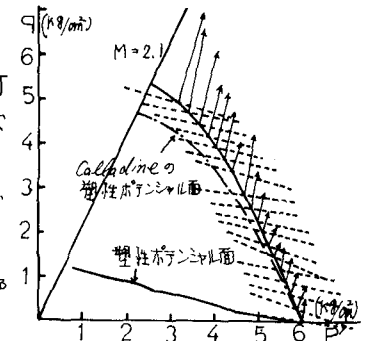


図-5 塑性ひずみベクトルと塑性ポテンシャル