

東海大学工学部 正会員 稲田 信徳  
東海大学工学部 正会員 赤石 勝  
東海大学大学院 学生員 張 惠文

1. まえがき 従来からせん断時における正規圧飽和粘土の応力-ひずみ関係およびダイレイタンスの時間効果は、非排水クリープ試験および非排水せん断試験によってそれぞれ別の立場から研究されてきた。最近では段階的に載荷する非排水せん断試験も多く利用されるようになった。<sup>1),2)</sup> 本報告では、主応力を一段階で加え非排水クリープ試験と主応力差を等時間間隔で段階的に載荷する非排水せん断試験を行い、有効応力と軸ひずみの関係を調べ、応力-ひずみ特性に与える時間効果と載荷段階の影響について考察を加えた。

2. 正規圧飽和粘土の応力-ひずみ-時間関係 側圧を一定に保ち主応力差 $\Delta\sigma$ によって非排水状態の円柱供試体に生じる過剰間ゲキ水圧の増分 $U_e$ は次式のように表示することができる。

$$U_e = \frac{1}{3}\sigma_a + D_t \cdot \sigma_a = U_m + U_d \quad \text{----- (1)}$$

ここに、 $U_m = \frac{1}{3}\sigma_a$ ：応力の増加とともに瞬間的に生じる過剰間ゲキ水圧の増分、 $U_d = D_t \cdot \sigma_a$ ：土要素のダイレイタンスに伴って生じる過剰間ゲキ水圧の増分、 $D_t$ ：ダイレイタンスに関する係数で載荷作用に依存する。

一方、供試体の軸ひずみ増分 $\epsilon_t$ を式(1)と対応させて次式で示すことができる。  $\epsilon_t = \epsilon_i + \epsilon_d$  ----- (2)

ここに、 $\epsilon_i$ ：即時ひずみで主応力差が増加した瞬間( $t=0$ )において土要素に生じる弾性的変形に伴う軸ひずみの増分、 $\epsilon_d$ ：クリープひずみで載荷後土要素に生じるダイレイタンスの進行とともに増加する塑性的変形に伴う軸ひずみの増分である。以上のように間ゲキ水圧を $U_m$ と $U_d$ に区分し、それぞれの水圧に対応する軸ひずみの量とその変化を調べることによって載荷された土要素の応力-ひずみ-時間関係を検討する。

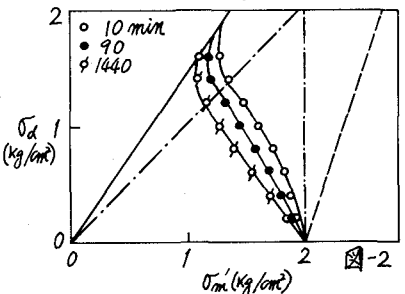
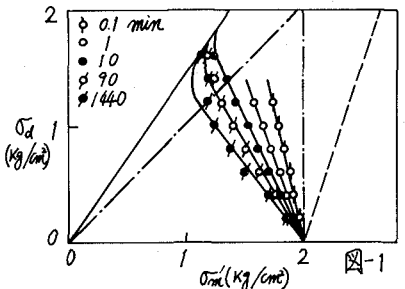
3. 試料および実験方法 本実験に用いた試料は、埼玉県越谷市草加バイパス入口地下20~30mより採取した繰返し飽和粘土である。その物理性質は $G_s: 2.67$ ,  $w_L: 74.0\%$ ,  $w_p: 33.0\%$ ,  $I_p: 41$ , 粘土分:  $59.0\%$ , シルト分:  $41\%$ である。試験は、 $2.0 \text{ kg/cm}^2$ の圧力で等方圧密した後、非排水クリープ試験および段階載荷せん断試験を行なった。

(I)非排水クリープ試験 側圧を $2.0 \text{ kg/cm}^2$ に保ち主応力差をそれぞれ $0.2 \text{ kg/cm}^2$ ごとの8段階に変化させて実験を実施した。(II)段階載荷せん断試験 非排水のもとで一定の主応力差増分 $\Delta\sigma_a = 0.2 \text{ kg/cm}^2$ を等時間間隔 $\Delta t$ で段階的に載荷する。今回の実験では、載荷の時間間隔 $\Delta t$ を10, 90, 1440 minの3種類とした。以上の各実験においては、試料および間ゲキ水圧測定系を飽和させるため、 $2.0 \text{ kg/cm}^2$ のバックプレッシャーを加えた。

#### 4. 実験結果および考察

4.1 有効応力経路 図-1は非排水クリープ試験結果から描いた有効応力経路で、図中実線で示した破壊線は通常のせん断試験から得られたものである。鎖線で示した破壊線は上限降伏応力(破壊線における偏差応力 $\sigma_a$ の約70%と仮定した)を破壊応力と考えた場合のものである。後者をクリープ破壊線と呼ぶことにする。非排水クリープ試験において載荷後一定時間を経過した時の各段階の有効応力を結んだ線はクリープ破壊線に達するまでは直線を示している。

図-2は段階載荷せん断試験結果を用いて描いた有効応力経路である。載荷時間間隔 $\Delta t$ が10 minの場合の経路は曲線を示すが、 $\Delta t$ が1440 min



になるとほぼ直線となり、図-1における非排水クリス試験の1440 minの各段階有効応力を結んだ線とほぼ一致している。

4.2 ダイレクタンシー係数 図-3はダイレクタンシー係数 $D_t$ の経時変化を示したものである。上限降伏値以内、非排水クリス試験によって得られたダイレクタンシー係数 $D_t$ は主応力差 $\sigma_a$ の大きさに関係なく、時間の対数に対してほぼ直線的に増加する。ところが、段階荷重せん断試験の荷重時間間隔 $\Delta t$ が小さい場合、ダイレクタンシー係数 $D_t$ の経時変化は非排水クリス試験とかなり異なるが、荷重時間間隔 $\Delta t$ が大きくなると( $=1440 \text{ min}$ )両者の間にその差がほとんど認められない。これらの実とはせん断速度が大きくなるほど供試体中には発生する間ゲキ水圧分布が不均一になることおよびダイレクタンシーによる間ゲキ水圧が十分に発揮されないことを示している。

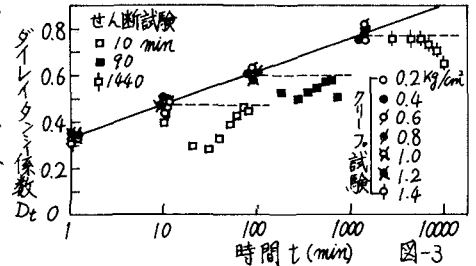


図-3

4.3  $\sigma_a \sim E_d$ 関係 非排水クリス試験で測定した軸ひずみ $E_d$ が時間とともに大きく変化しているので、軸ひずみ $E_d$ から即時ひずみ $E_i$ とクリスひずみ $E_a$ を厳密に分離することはきわめて困難である。ところが、段階荷重せん断試験の軸ひずみ $E_d$ は時間に対して増加量が小さいので、ここでは、段階荷重せん断試験における0.1 minまでの軸ひずみを即時ひずみ $E_i$ とした。図-4は段階荷重せん断試験の各段階に生ずる即時ひずみの和を主応力差に対してプロットしたものである。荷重時間間隔 $\Delta t$ の大きさにかかわらず、上限降伏応力付近までは $\sigma_a \sim E_i$ に直線性が認められる。この勾配から時間に依存しない変形係数として $E_0 = 400 \text{ kg/cm}^2$ が得られる。図-4には、非排水クリス試験の荷重後0.1 minの軸ひずみ $E_d$ を即時ひずみ $E_i$ とした場合の主応力差 $\sigma_a$ との関係もあわせてプロットした。この関係から、 $E_0 = 150 \text{ kg/cm}^2$ を得た。非排水クリス試験の軸ひずみ $E_d$ はクリスひずみ $E_a$ がかなり生じているため、小さな変形係数が得られたと思われる。

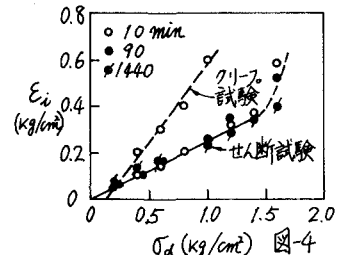


図-4

4.4  $U_d \sim E_d$ 関係 非排水クリス試験において有効応力がクリス破壊線に達するまでのクリスひずみ $E_d$ と間ゲキ水圧 $U_d$ の関係を示したのが図-5である。各クリス荷重における $E_d$ と $U_d$ の測定値はほぼ一つの曲線上に集まっており、その形状は次式で表わすことができる。

$$U_d = E_d / (a + b E_d) \quad (3)$$

なお、非排水クリス試験の有効応力経路がクリス破壊線に達すると $U_d \sim E_d$ 関係はこの曲線からはずれ、クリスひずみ $E_d$ の増加に対する発生水圧 $U_d$ の増加は著しく減少する。一方、図-6に示した段階荷重の場合の $U_d \sim E_d$ 関係を見ると、異なる荷重段階ごとに別の関係が得られ、非排水クリス試験の $U_d \sim E_d$ 関係との類似性が認められる。これは荷重速度に影響されていると思われる。

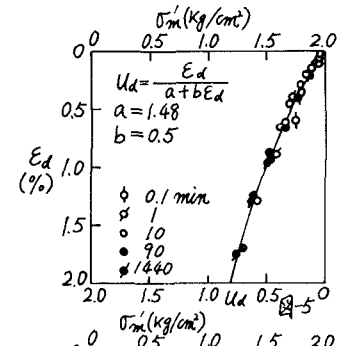


図-5

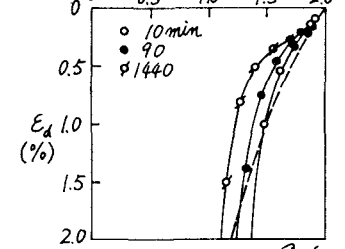


図-6

5. あとがき 一連の実験によって非排水せん断中の応力-ひずみ-時間関係および荷重段階による影響が知られたが、実験の回数が少ないので、不明な点はまだ多く残されている。今後、供試体の圧縮圧力を変えて、非排水および排水条件のもとで実験を実施して研究する予定である。

参考文献: (1) 岩崎橋本 本郷; ある軟弱不攪乱粘土のクリス試験結果について, 第10回土質工学研究発表会講演集。(2) 山口, 三田地, 北郷; 粘性土の非排水三軸クリス特性, 土木学会第31回年次学術講演会講演概要集。