

1. はじめに

不飽和土に対する従来の研究では、表層崩壊に対応する低拘束条件を対象としたものは少なく、低荷重条件を実験対象にしたとしても、せん断過程の把握が出来ない一面せん断での実験が多い。土質工学分野では、せん断中の  $\tau$  (せん断応力) -  $\gamma$  (せん断ひずみ) 関係の解釈に、弾性変形係数がよく用いられているが、「低応力条件での変形特性」と「水分条件による変形特性」について検討を行なったものは少ない。この点に着目して、著者らは低拘束条件下で実験可能な水分制御とせん断ひずみが定義できる新型単純せん断試験機を開発し、試験機の性能評価及び土質強度定数のひずみ依存性、さらに、変形過程での Bishop 式の有効性などについて検討を行っている。

本研究は、著者らによって開発された新型単純せん断試験機による実験結果を用いて、不飽和土の力学的挙動を解析するものである。解析には、ひずみ-応力関係を新たに考案された関係形に近似させ、土の弾性係数であるせん断剛性率を用い、 $\tau$ - $\gamma$  関係へのサクシオンと荷重条件依存性の検討を行った。さらに、 $\tau$ - $\gamma$  関係の近似曲線が持つパラメータを用いて、そのパラメータとサクシオン・荷重条件の関係を解釈することによって、 $\tau$ - $\gamma$  のプロセスに対する検討も行った。

2. 実験方法

新型単純せん断試験機は拘束型を基本型とし、せん断箱のサイズは断面20cm×20cm高さ15cmである。また、その下には水分制御装置として内径19.8cm、高さ50cmの塩ビ管が接続されている。せん断試料は豊浦標準砂を使用し、荷重条件は低荷重条件である25・50・75 gf/cm<sup>2</sup>の3種類を設定した。また、水分条件はせん断箱の上面を基準として、15cmH<sub>2</sub>O刻みでサクシオン0cmH<sub>2</sub>O～サクシオン60cmH<sub>2</sub>Oの範囲内で与え、せん断ひずみが20%までせん断を行なった。

3. 解析方法

せん断変形過程中的の不飽和土の力学挙動を検討するために、本研究では実験で直接えられた  $\tau$ - $\gamma$  関係をできるだけ単純な関数で近似し、近似式を微分して得られたせん断剛性率と近似式のパラメータを各荷重条件と水分条件に対応させて解析を行なった。ひずみ-応力関係の近似は土の応力-変形特性のモデル化を行なう際に用いられることが多く、一般的に双曲線関数で近似するが、本実験ではひずみが大きくなる時にも  $\tau$ =一定、とは見なせず、 $\tau=c\gamma+b$  の直線に漸近する傾向を示した。そこで、 $\tau=c\gamma+b$  の漸近線を持つ関数形としてより正確に再現させるために、新たな関数形を考案した。以下に、近似に用いた関数形を示す。

$$\tau = \frac{\gamma(c(a-c)\gamma + ab)}{(a-c)\gamma + b} \quad \text{----- (1)}$$

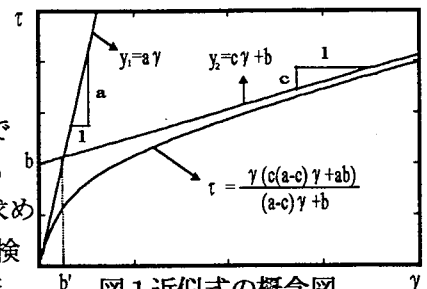


図1 近似式の概念図

ただし、 $\tau$  : せん断力,  $\gamma$  : せん断ひずみ,  $a, b, c$  : 近似パラメータ  
 一般に用いられている双曲線関数は  $\tau$  が上限値を持つが、これは式 (1) で  $c=0$  とした場合にあたり、この式に含まれる。式 (1) を  $\gamma$  に対して微分すると土の物性を表す弾性変形係数であるせん断剛性率が次の (2) 式によって求められる。さらに、せん断中の変形-応力関係に与える  $\sigma$  と  $\phi$  の影響を定性的検討するため、 $G_{tan}$  を基準化させ、 $\sigma$  と  $\phi$  が  $G$  の相対的な変動傾向に与える影響を調べる。  $G$  の基準化にあたっては、 $G_{0.1\%}(\bar{\gamma}_{=0.1\%})$  の値で各ひずみにおいて求められた  $G_{\gamma}(\bar{\gamma}_{\gamma})$  を除すことによって実現する。その値は  $G_{re}$  (相対剛性率) と定義し、式 (3) で表記する。また、近似式 (式 (1)) の各パラメータの意味は図-1 に示す。

$$G_{tan} = \frac{\partial \tau}{\partial \gamma} = \tau'(\gamma) = \frac{c(a-c)^2 \gamma^2 + 2bc(a-c)\gamma + ab^2}{((a-c)\gamma + b)^2} \quad \text{----- (2)}, \quad G_{re} = \frac{\tau'_{\gamma}}{\tau'_{\gamma=0.1\%}} \quad \text{----- (3)}$$

ただし、 $G_{tan}$ : 接線せん断剛性率,  $\tau$ : せん断応力,  $\gamma$ : せん断ひずみ,  $\bar{\gamma}_{\gamma}$ : せん断ひずみ  $\gamma$  % 時の剛性率,  $\bar{\gamma}_{=0.1\%}$ : せん断ひずみ 0.1% 時の剛性率

4. 解析結果

4.1 せん断剛性率による解析

図-2の(a)は同一水分条件での各荷重条件における相対剛性率-ひずみ関係を示したものである。本図によると、同一水分条件で、荷重条件の違いによる相対剛性率のバラツキは殆どなく、荷重条件の違いにも関わらず、変形形態はほぼ同一であることが分かる。図-2の(b)は、同一荷重条件での各水分状態における相対剛性率-ひずみ関係を示したものである。本図からは、荷重条件が同一でも水分条件の違いによって相対剛性率のひずみに対する変動過程は異なっていることが分かる。つまり、飽和状態から不飽和状態に移動していくに連れ、相対剛性率の減少が徐々に緩やかになっていくことが分かる。図-2では、水分条件はサククション  $0\text{cmH}_2\text{O}$ 、荷重条件は  $25\text{gf/cm}^2$  の場合を示しているが全条件で傾向は同一であった(図略)。

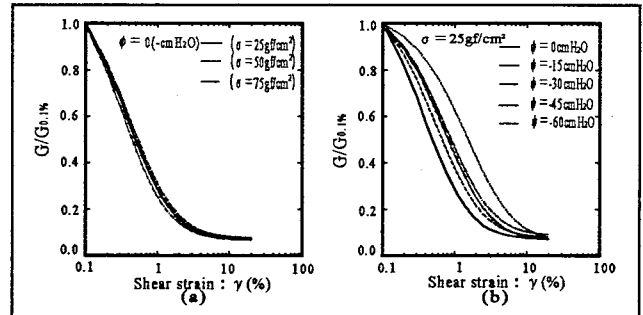


図2 相対剛性率の荷重条件と水分条件による影響

#### 4.2 近似式パラメータによる解析

式(1)の近似式が持つパラメータの意味を用いて、 $\sigma$ と $\phi$ が各パラメータに与える影響から、不飽和土の力学的挙動に対するサククションの影響を把握する。まず、各パラメータと荷重条件の関係を図-3の(a)に示す。図-3(a)によるとパラメータ a, c は $\sigma$ と比例関係にあることが分かる。これは、せん断初期と後期で $\sigma$ がせん断に対する土の抵抗を大きくすることを示す。反面、aとcの割合であるパラメータ  $c/a$  とせん断初期と後期を分けるひずみであるパラメータ  $b'$  は $\sigma$ に影響されないことを示している。これは、 $\sigma$ に対して、パラメータ a に対する c の割合が一定で、 $b'$  が一定になるので、荷重条件は土の変形過程に影響せず、前節の  $G_{re}-\gamma$  関係に荷重条件が影響していないことに対応している。

次に、各パラメータと水分条件(サククション)の関係については、図-3の(b)に示す。パラメータ a, c は、サククション  $0\text{cmH}_2\text{O}$  からサククション  $30\text{cmH}_2\text{O}$  の範囲ではバラツキがあるものの、 $\phi_{cr}$ に近いサククション  $45\text{cmH}_2\text{O}$  でピークを示す傾向がある。これは、サククションの土のせん断抵抗力に与える影響が荷重条件と同様に、せん断ひずみ初期・後期の両域で現れること、またその影響の度合いは、限界毛管水頭付近で大きく現れる傾向にあることを示唆している。一方、パラメータ  $b'$  はサククションと比例関係を示す。これは、荷重条件とは違って、サククションが土の変形過程に大きく影響していることを示している。これにより、前節述の  $G_{re}-\gamma$  関係にサククションが大きいほど、弾性係数が大きい値を示していると考えられる。

#### 5. まとめ

荷重条件と水分条件が土質強度に与える影響について  $\tau-\gamma$  関係から解析を行なった結果、

- ① 荷重条件はせん断強度には強く影響するが、せん断変形には影響しない。
- ② サククションはせん断強度に影響することと、せん断変形にも大きく影響することが明らかになった。

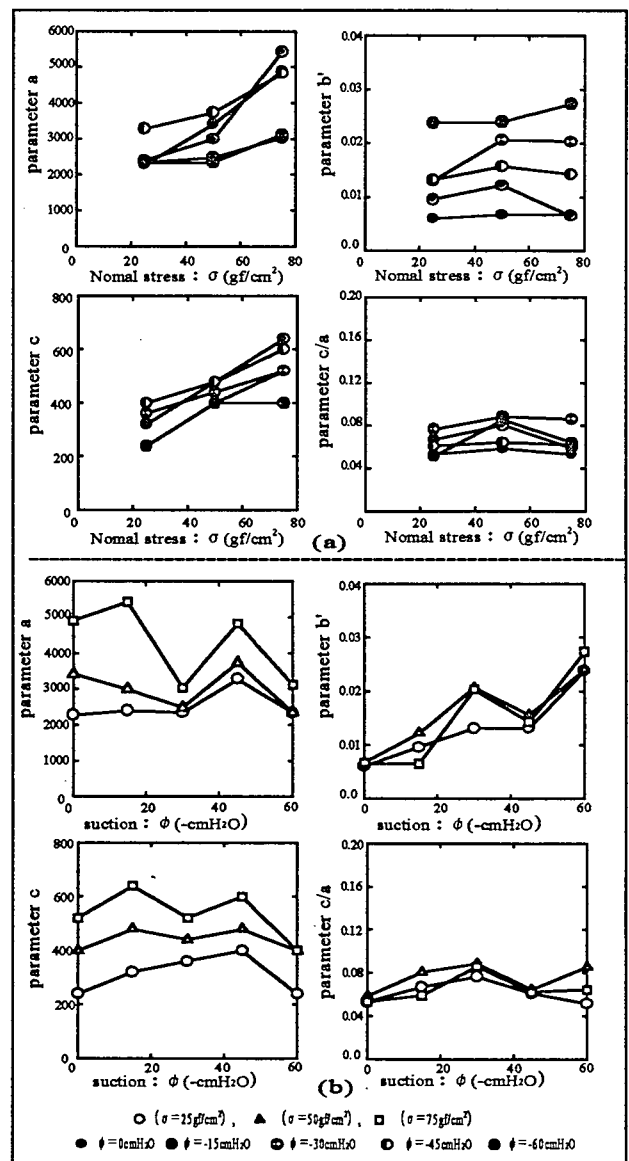


図3 近似式パラメータの荷重と水分条件による影響