

## 繰返し単純せん断を経験した土の透水性変化

中央大学 学生会員 齊藤 王二郎  
 中央大学 正会員 斎藤 邦夫  
 中央大学 正会員 石井 武司

### 1. はじめに

廃棄物処分場における遮水材や、フィルダム、河川・海岸堤防などにおいて材料となる土の透水性は重要な検討項目である。そして、それらの設計に用いられる透水係数には地震などのせん断変形による履歴を考慮する必要があると考えられる。そこで本研究では、せん断と透水を同時に実験できる単純せん断装置を用いて繰返しせん断に伴う透水係数変化を調べた。

### 2. 試験概要

【試験機】本研究で用いた単純せん断試験機は、側面をヒンジ支持の可動剛板で押さえるケンブリッジ型のものである。この試験機は図-1のAに示す部分のチューブをせん断時には体積計に接続し、透水時には変水位透水試験機に接続する事でそれぞれの試験を同時に行うことが可能である。供試体のせん断は载荷ねじによりヒンジ支持剛板の上部に加力して行う。垂直応力  $\sigma_v$  は試験機上部のペロフラムシリンダーからの推力を供試体上面に伝えて、これを面積で除して算出し、水平応力  $\sigma_h$  は三軸室に封入した空気圧により作用させた。

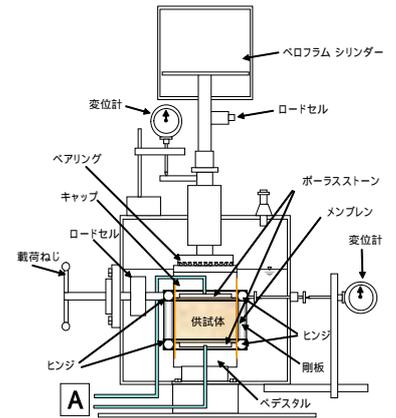


図-1 単純せん断透水試験機

【使用試料及び試験方法】試料には硅砂7号を使用した。同試料の物性値を表-1に示す。供試体は縦6cm、横6cm、高さ4cmの直方体で、目標相対密度を80%に設定し、空中落下法により作成した。供試体には、炭酸ガスを通気させた後、脱気水を通水させることで飽和状態となるよう留意した。次いで、 $B.P.=100\text{ kPa}$ 、 $\sigma_v=100\text{ kPa}$ 、 $\sigma_h=50\text{ kPa}$  の  $K_0=0.5$  条件下で30分間圧密した。その後、排水条件で単調载荷試験及び、繰返し载荷試験を行った。繰返し载荷試験では両振りせん断によりひずみレベルを、 $\pm 1, \pm 2, \pm 3\%$ の3通りとした。また、その際の繰返し回数は  $N=10$  回とし、1サイクルごとに透水試験を行った。なお、せん断ひずみ速度は両試験とも  $1.5\%/min$  程度とした。

表-1 硅砂7号の物性値

$s_s(\text{g/cm}^3)$	$e_{max}$	$e_{min}$	$D_{50}(\text{mm})$	$D_{10}(\text{mm})$	$U_c$
2.647	1.234	0.669	0.176	0.120	1.55

### 3. 試験結果と考察

【単調载荷試験結果】単純せん断試験結果と比較のために行った三軸圧縮試験結果を図-2に示す。単純せん断試験においては  $\sigma_v$  に明確なピークが見られず漸増型となった。 $\sigma_h$  に関しては2.5%付近で膨張に転じている。単純せん断試験と三軸圧縮試験を比較するために、次の(1)、(2)式を用いて内部摩擦角を求めた。求める際の応力は  $\sigma_v=2.5\%$  で基準化した。

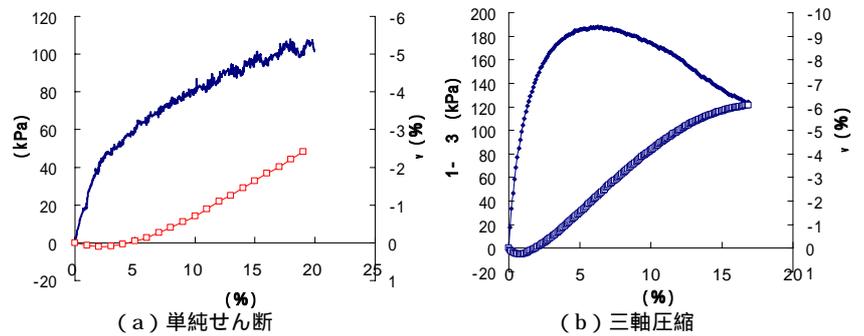


図-2  $\sigma_h$ 、 $\sigma_v$  関係

$$\text{三軸圧縮試験} \quad \sigma_d = \sin^{-1} \left( \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{(\sigma_1 + \sigma_3)} \right) \quad \dots (1)$$

$$\text{単純せん断試験} \quad \sigma_s = \sin^{-1} \left( \frac{(\sigma_v / \sigma_h)^2 + \sigma_h^2}{((\sigma_v / \sigma_h)^2 + (2\sigma_h)^2)} \right) = 1 - K_0 \quad \dots (2)$$

その結果、 $\sigma_d=35.3^\circ$ 、 $\sigma_s=28.7^\circ$  となった。

キーワード：繰返し単純せん断試験、透水係数、双曲線モデル

中央大学理工学部土木工学科 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-7 TEL03-3817-1799

【繰返しせん断透水試験結果】

試験結果の  $\sigma - \tau$  関係と  $v - \tau$  関係を図-3に示す。 $\sigma - \tau$  関係においては繰返し回数  $N$  が増すほど、若干ではあるがせん断剛性が大きくなる傾向が表れた。一方、体積変化挙動に注目すると、 $\pm 1\%$  の  $v - \tau$  関係では単調な体積収縮を示す。これに対して、 $\pm 2\%$ 、 $\pm 3\%$  では载荷中に体積収縮と体積膨張を繰り返しながら、結果的に体積収縮挙動が認められた。そして三者は共通して体積が一定値に収束する傾向を示した。ここで、体積ひずみは供試体の透水係数変化をもたらす要素であるはずなので体積ひずみについて考えてみることにする。繰返し回数が増加するにつれて体積ひずみも増加していくが、前述したように体積ひずみはある一定値に収束する有限の値である。このような現象を表す式として次式のような双曲線関数が用いられる。

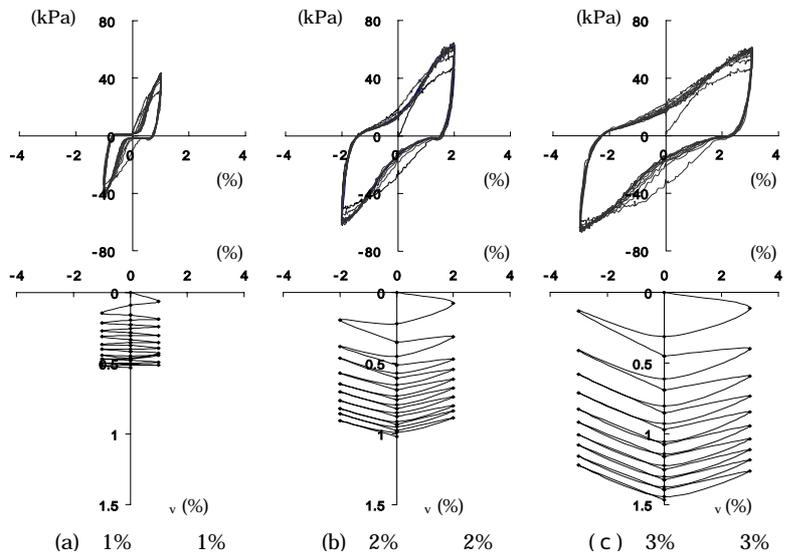


図-3  $\sigma - \tau$ 、 $v - \tau$  関係

$$(\Delta V/V) = \frac{N}{a+bN} \rightarrow \frac{N}{(\Delta V/V)} = bN + a \quad \dots (3) \quad (\Delta V/V)_{\infty} = \frac{1}{b} \quad \dots (4)$$

(3)式を用いて今回の結果を整理すると図-4 のようになる。よって、 $N$  と  $V/V$  の関係が(3)式によって近似できると言える。さらに  $N$  とした時(3)式は、体積ひずみの上限を表す(4)式となることが分かる。 $b$ は図-4におけるグラフの傾きである。それぞれのケースに対して計算した結果を表-2に示す。よって、表-2より最終体積ひずみはせん断ひずみが大きいほど大きくなることが分かった。

表 2 グラフの傾きと最終体積ひずみ

	$\pm 1\%$	$\pm 2\%$	$\pm 3\%$
$b$	1.318	0.763	0.512
$(\Delta V/V)_{\infty}$	0.759	1.311	1.952

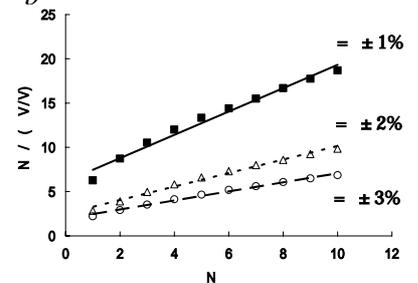


図-4 繰返し回数に対する体積ひずみ

次に以上の点を踏まえ透水係数変化について考えてみることにする。試験結果である  $k - N$  関係を図 5 に示す。 $\pm 1\%$ においてせん断開始前の透水係数が小さいのは、他の 2 ケースより圧密終了時の間隙比が小さかったためと思われる。3 ケースとも  $N$  が増加するほど透水係数が減少しているが、せん断ひずみの違いによる明確な減少傾向の差は見られなかった。しかしながら体積ひずみ同様、透水係数も  $N$  の増加に伴い一様に減少し、収束する傾向を示すことから、(2)の  $V$  を  $k$  に置き換えることで双曲線近似を行った。そのグラフを図-6 に示す。図-6 より  $\pm 2\%$ 、 $\pm 3\%$ では  $N - k/k$  の関係において双曲線近似が可能と判断できる。

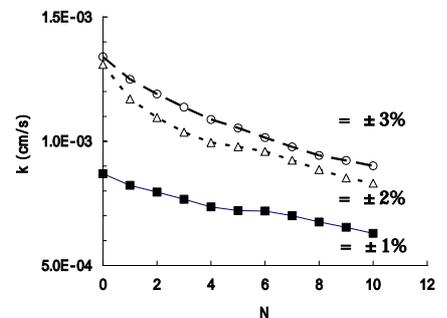


図-5  $N - k$  関係

以上、指摘した挙動より繰返し载荷を経験した土の透水係数は漸次一定に収束し、仮に繰返し効果が定量化できれば必要に応じて透水係数の大きさを特定することができる。

4. まとめ

繰返し回数と体積ひずみの関係を双曲線関数により近似できる。繰返し回数と透水係数変化の関係を双曲線近似できる可能性を示唆した。

【参考文献】岩本一平ら：繰返し単純せん断試験による砂礫の沈下特性に与える均等係数の影響（第 55 回年次学術講演概要集）八木則男：繰返しせん断による砂の体積変化と過剰間隙水圧（土木学会論文報告集、第 275 号、1978）

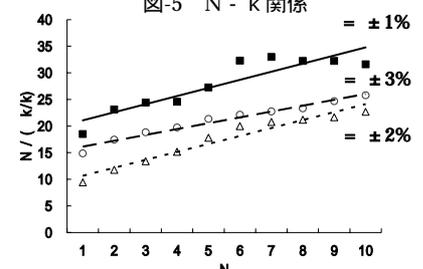


図-6 繰返し回数に対する透水係数変化