繰返し単純せん断を経験した砂の透水性変化に対する相対密度の影響

中央大学大学院　学生会員　○齊藤　王二朗
中央大学　正会員　齋藤　邦夫
中央大学　正会員　石井　武司

１．はじめに

地盤は地震や上載荷重などの影響によりせん断変形を起こす。その際に、ダイレイタンシー現象や粒子配列変化により透水性は変化する。よって、せん断に伴う透水性変化を詳細に捉えることは、例えば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、透水性を重要な検討項目として課すような場合に非常に有益であると思われる。そこで、本研究では相対密度に着目し、繰返し単純せん断を経験させた砂の透水性変化を捉えた。

２．試験概要

２．１　試験機

使用した単純せん断試験機は、ヒンジ支承付き可動剛板間にセットした矩形供試体に、剛板を介して強制的にせん断変形させる構造を有し、ケンブリッジ型に区分される。このため、当試験機ではせん断に伴い供試体の主応力方向が回転する地震時の応力変化に対応できる。せん断中の供試体断面積が変わらない点も、透水係数評価をする上で好都合である。

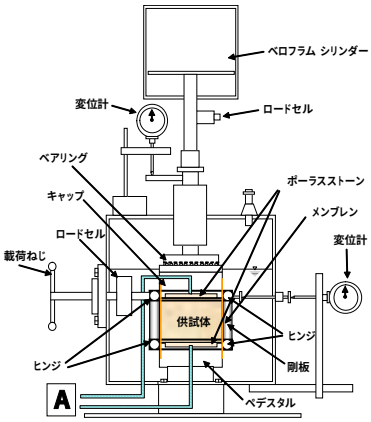

図-1　単純せん断透水試験機

当試験機は図-1 のＡの部分をせん断時には体積計に接続し、透水時には体積計と越流水槽に接続することで、それぞれの試験に対応することが可能である。供試体のせん断は、載荷ねじによりヒンジ剛板の上部に加力して行う。垂直応力σ_vは試験機上部のベロフラムシリンダーからの推力を供試体に伝え、水平応力σ_hは三軸室に封入した空気圧により作用させた。せん断力及び垂直力の測定はそれぞれのロードセルにより行い、水平・垂直変位を変位計により測定した。

２．２　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、空中落下法により作成し、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に留意した。次いで、背圧σ_B=100kPa、鉛直有効圧σ_v'=100kPa、水平有効圧σ_h'=50kPa の K_0条件下で 30 分間圧密した。その後、排水条件でせん断ひずみγ=±2%、せん断ひずみ速度 dγ/dt=1.5%/min、繰返し回数 N=10 として繰返し載荷試験と変水位透水試験を行った。試験ケースは相対密度 D_rに着目し、密詰めにおいては D_r=82%、78%、中詰めにおいては D_r=64%、53%、揺詰めにおいては Dr=40%、35%の計 6 ケース実施した。

表-1　硅砂７号の物性値

ρ_s (g/cm)^3	e_{max}	e_{min}	D_{50} (mm)	D_{10} (mm)	Uc
2.647	1.234	0.669	0.176	0.120	1.55

３．試験結果と考察

３．１　力学特性と変形特性

密詰め、中詰め、揺詰めの代表例として Dr=82%、53%、35%のτ-γ関係とε_v-γ関係を図-2 に示す。また、力学特性を把握するために、τ_d/σ_v'-D_r関係を図-3 に、G/G_0-N 関係を図-4 に示す。さらに、変形特性を把握するために、(1)式を用いて体積変化を双曲線近似したものを図-5 に、(1) 式を N→∞としたときの$(\varepsilon_v)_\infty$と D_rの関係を図-6 に示す。なお、上述したτ_dは初期載荷時のピーク強度（γ=2%時）であり、G_0は初期せん断剛性である。

$$\varepsilon_v = \frac{N}{a+bN} \rightarrow \frac{N}{\varepsilon_v} = bN + a \qquad \cdots (1)$$

キーワード　単純せん断　繰返し載荷　透水係数　相対密度
連絡先　〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 TEL: 03-3817-1812 中央大学 土木工学科 地盤環境研究室

まず力学特性について見ていくことにする。図-3より相対密度が大きくなればせん断応力比も大きくなることが分かる。つまりこれは、内部摩擦角が相対密度に比例して大きくなることを意味しており、今回の試験の妥当性を証明していると言えよう。図-4からはDrが比較的大きいものの方が、せん断剛性比が小さいことが伺える。また、繰返し回数が大きくなるほどせん断剛性比は増加する傾向を示しているが、これはせん断に伴う体積収縮による強度増加を表している。

次に変形特性について見ていく。図-5より、体積ひずみに関して(1)式の双曲線関数が適用できていると言える。さらに図-4より、最終体積ひずみはDrが大きくなるほど小さくなり、Dr=50%付近を境に収束する傾向を示すことが分かった。これには限界間隙比 e_{cr} が影響していると思われるので今後の検討課題としたい。

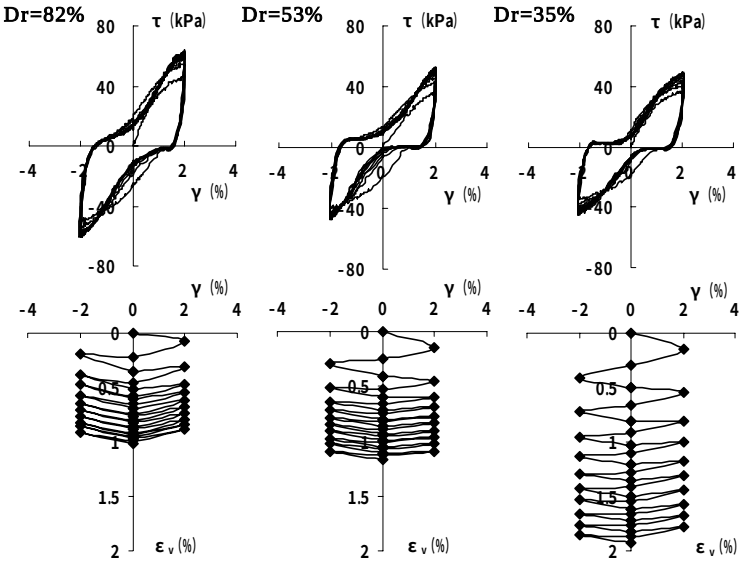

図-2　τ-γ、εv-γ関係

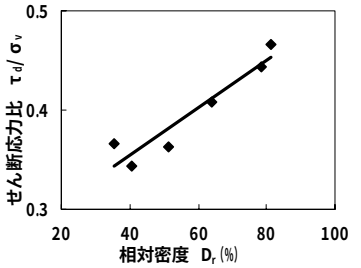

図-3　せん断応力比と相対密度の関係

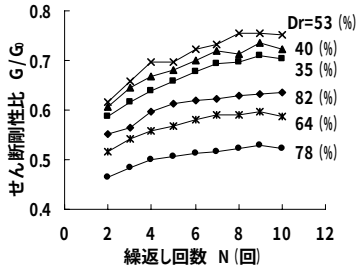

図-4　せん断剛性比と繰返し回数の関係

3．2　透水性変化特性

透水係数と繰返し回数の関係を図-7に示す。これより、Drが大きい方がN=0での透水係数は小さいが、N=10ではDrが小さい方が透水係数は小さくなっていることが分かる。ここで注目すべきは、初期相対密度が35%だったものはN=10の時点においてもDrが46%程度であるにもかかわらず、初期相対密度が82%の透水係数よりも小さくなることである。これは供試体の初期条件が、繰返し載荷後の透水係数に大きな影響を与えているものと考えられる。

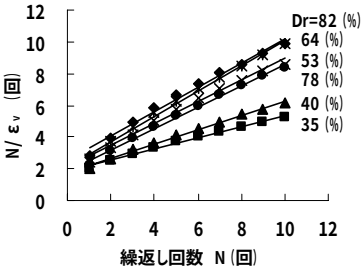

図-5　繰返し回数に対する体積ひずみ

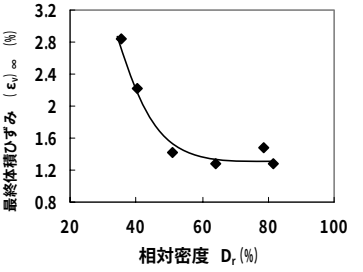

図-6　最終体積ひずみと相対密度の関係

次に、体積変化と同様にして透水係数変化の双曲線近似の可能性について検討したので、結果を図-8に示す。図から、概ね透水係数変化においても双曲線近似が可能であることが伺われる。しかしながら今回検討を進める上で、図における傾きbが1以下の場合にはN→∞における最終透水係数が負の値になるという問題が浮上した。この点に関しては今後検討を進め、問題解決に努めたい。図-9は、最終透水係数と相対密度の関係を問題が生じなかったものについてプロットしたものである。この図から、最終透水係数はDrが小さいほど減少し収束する値であると思われる。

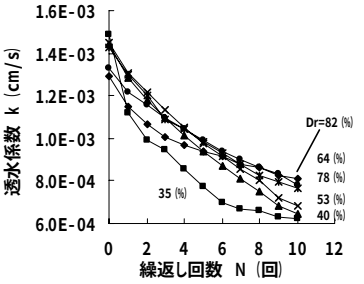

図-7　k-N関係

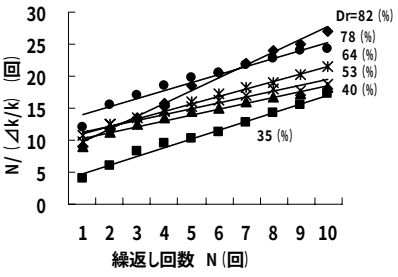

図-8　繰返し回数に対する透水係数変化

4．まとめ

初期相対密度は砂の透水性変化に影響し、初期相対密度が小さい方が透水係数変化は大きく最終透水係数は小さくなる。

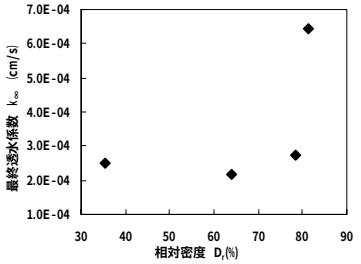

図-9　最終透水係数と相対密度の関係

参考文献：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（土木学会論文集、第275号、1978）