

III-182

大型ねじりせん断試験による砂の液状化強度

東急建設(株)技術研究所 正員 岡本 正広
同 上 正員 越智 健三

1. はじめに

単純せん断状態を再現する方法としては、SGI型、NGI型に代表される直接単純せん断試験と中空供試体をねじりせん断することによって単純せん断状態を再現するねじり単純せん断試験とがあるが、要素試験としての再現性としては、ねじりせん断試験の方が高いものがある。¹⁾ しかし、ねじりせん断試験では、供試体の直径方向のひずみ分布が非一様になるので薄肉の供試体を用いる必要がある。そのため、粒径の大きい粗粒材の実験ができるねじりせん断試験機は少ない。そこで、粒径の大きな砂礫などの試験も可能な大型(外径30cm)のねじりせん断試験機を開発した。本報告は、その試験機の概要と基礎的実験として実施した砂の非排水繰返し試験結果についての報告である。

2. 大型ねじりせん断試験機の概要

今回開発した大型のねじりせん断試験機の三軸セルおよび載荷システムは、東京大学生産技術研究所龍岡研究室で開発されたもの²⁾とほぼ同一のものである。図-1に三軸セル本体の概要を示す。本試験機の主な特徴は以下に示す通りである。

- 1) 供試体の寸法は外径30cm、内径18cmを標準としており、内・外径比 $D_i/D_o=0.6$ である。供試体高さは繰返し試験の場合30cm、静的試験の場合は60cmである。その他に $D_i/D_o=0.87$ と 0.33 の試験も可能である。
- 2) 従来の小型ねじり試験の三軸セルや載荷システムとほぼ同様の方法を採用しており、繰返し、単調載荷の両方が可能である。
- 3) 等体積単純せん断状態の再現性を高めるために、内側メンブレンのシーリング方法を改良し¹⁾、中空部分には脱気水を満たしている。
- 4) せん断時の三軸セルと載荷棒との接続が容易なように電磁クラッチを用いている。

3. 本試験装置を用いた非排水繰返しねじりせん断試験

3.1 試験方法

実験に用いた砂は豊浦標準砂($G_s=2.64$, $e_{max}=0.977$, $e_{min}=0.605$)である。供試体は空中落下法で作製した。拘束圧 $\sigma'_c=0.3\text{kgf/cm}^2$ で CO_2 を十分流した後、脱気水を満たし、その後背圧 $\sigma_{BP}=2.0\text{kgf/cm}^2$ を加え、 B 値 ≥ 0.96 とした。等方圧密は $\sigma'_{mc}=\sigma'_{vc}=\sigma'_{hc}=0.5\text{kgf/cm}^2$ で行ない、また異方圧密は $\sigma'_{vc}=\sigma'_{hc}$ で等方圧密後、鉛直荷重を増加させて $\sigma'_{mc}=(\sigma'_{vc}+2\sigma'_{hc})/3=1.0\text{kgf/cm}^2$ ($K_0=0.52e_i^{3/2}$, e_i は初期間隙比)で行なった。圧密時間は5時間とした。

せん断は供試体と中空部分を非排水状態にし、軸方向変位を拘束した平面ひずみ状態で、 0.1Hz の正弦波荷重で行なった。

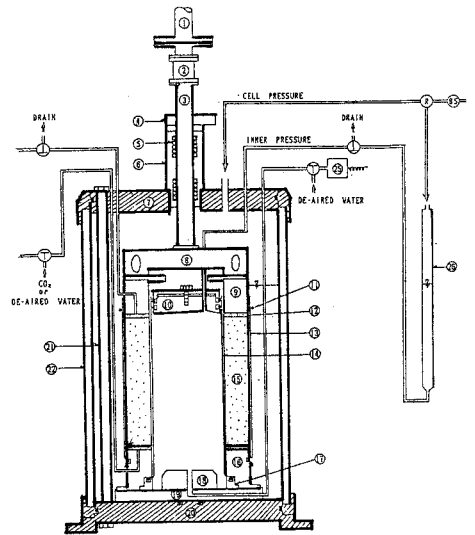


図-1 三軸セル本体の概略図

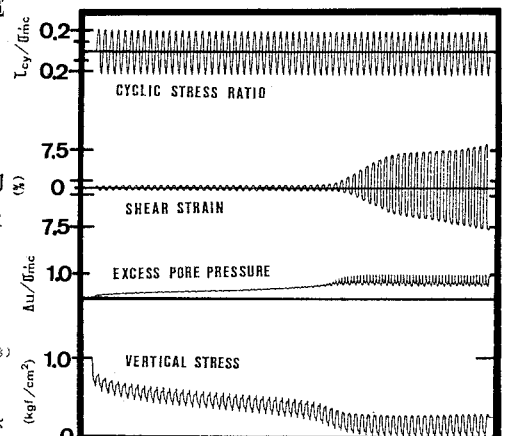


図-2 典型的な時刻歴出力結果

3.2 試験結果

図-2は、今回制作した大型ねじりせん断試験機を用いて行なった豊浦砂の非排水繰返しねじり試験の典型的な時刻歴出力結果($D_{rc}=82\%$)である。このような時刻歴出力結果をもとに以下の検討を行なった。

1) 供試体寸法がねじりせん断液化強度に及ぼす影響について

図-3は、 $D_{rc}=80\%$ において、今回実験を行なった外径30cm・内径18cmの大型供試体と外径10cm・内径6cmの小型供試体による試験結果⁴⁾を比較したものであり、異方圧密状態において両振幅3, 7.5, 15%DAが生じるときの応力比SR～繰返し回数 N_c の関係である。ここでは、そのデータは省くが、比較的緩い相対密度の $D_{rc}=60\%$ では、小型と大型の供試体の強度差はほとんど認められなかったのに対して、密な状態になると従来の小型供試体の非排水強度は、大型供試体に比べて約1.5～1.8倍($N_c=10\sim20$)程度過大評価しているようである。

2) 補正係数 C_1 について

非排水繰返し強度に及ぼすメンブレン・バネトレイション（以下M・Pと称す）の影響が大きいことから、三軸状態から単純せん断状態への補正係数 C_1 を検討するためには三軸とねじり供試体のM・Pの影響を同程度にする必要がある。

中空供試体（外径 $D_o=30\text{cm}$ ・内径 $D_i=18\text{cm}$ ）の比表面積 $4/(D_o-D_i)=1/3(\text{cm}^2/\text{cm}^3)$ と同等の比表面積比を持つ中実供試体では4/Dより直径Dは12cmとなる。そこで、今回直径 $D=10\text{cm}$ の三軸強度を $D=12\text{cm}$ の強度になるように補正した。⁵⁾

図-4には、このように求めた三軸の実験データに $C_1=(1+2K_0)/3=0.569(e_1=0.679, K_0=0.52\cdot e_1=0.353)$ の値をかけたものが石原・李の理論値⁶⁾として示してある。同図より、異方圧密の実験データと理論値とは良く一致している。

4. まとめ

等体積単純せん断状態の再現性を高め、三軸とねじり供試体のM・Pの影響を同程度にすれば、補正係数 C_1 は、石原・李の理論値 $C_1=(1+2K_0)/3$ で表わすことができるようであるが、今後、砂の種類、堆積構造等の影響についても検討する必要がある。

《謝辞》本研究を行なうにあたり、東京大学生産技術研究所龍岡文夫助教授に御指導を頂きました。また、実験に際しては武蔵工業大学大学院長谷川雅也氏（現、清水建設）に協力して頂きました。末筆ながら感謝の意を表します。

《参考文献》1)例えば、堀井宣幸他：中空ねじりによる砂の自動単純せん断試験，第22回土質工学研究発表会，昭和62年 2)例えば、龍岡文夫：土質せん断試験の理論と実際，生研セミナーテキスト 3)Okochi, Y. and Tatsuoka, F. (1984): Some Factors Affecting K_0 -Values of Sand Measured in Triaxial Cell, Soils and Foundations, Vol. 24 4)Tatsuoka, F., et al. (1986): Cyclic Undrained Triaxial and Torsional Shear of Sands for Different Sample Preparation Methods, Soils and Foundations 5)砂地盤の工学的性質の評価法に関する研究委員会：飽和豊浦砂の繰返し非排水三軸試験における変形特性に及ぼす諸要因に関する共同研究報告 6)Ishihara, K. and Li, S. (1972): Liquefaction of Saturated Sand in Triaxial Torsion Shear Test, Soils and Foundations, Vol. 12

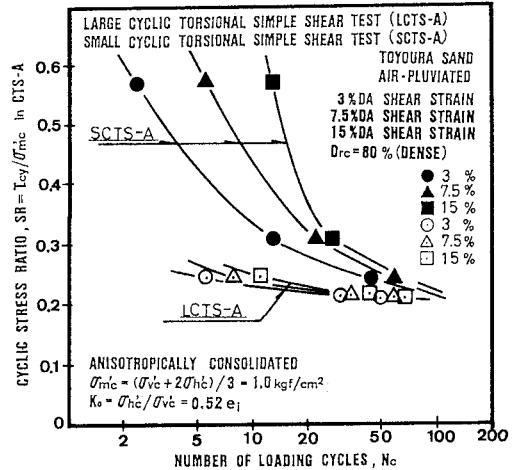


図-3 大型供試体と小型供試体の比較

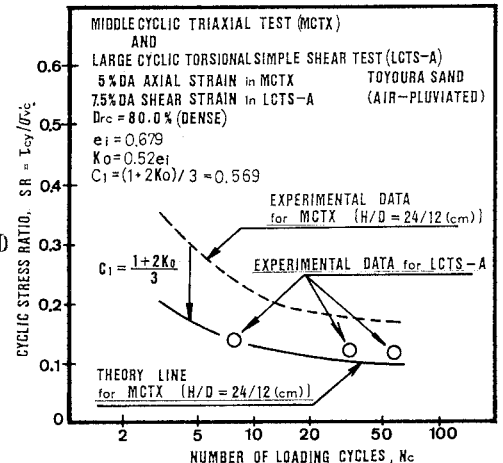


図-4 補正係数 C_1 の検討