

自動制御・計測が可能な中空ねじり試験装置の開発と適用

福岡大学 正会員○佐藤研一

福岡大学 正会員 吉田信夫

1. はじめに

これまで、著者らは中空ねじりせん断試験装置を用いて、砂の非排水せん断特性に及ぼす初期構造異方性の影響について実験を行い、その結果を報告を行っている^{1), 2)}。この中空ねじり試験装置は、供試体に軸力 W 、トルク力 T 、外圧 P_o 、内圧 P_i の4つの応力を独立に載荷することにより、せん断応力 $\tau_{\theta\phi}$ 、鉛直応力 σ_v 、半径方向応力 σ_r 、水平方向応力 σ_h を作用させ、種々の応力状態を再現することが可能な有効な試験装置の一つである。しかし、せん断中の主応力方向角や中間主応力係数をコントロールする場合、その操作が複雑となり、手動による操作が困難でかつデータの信頼性が落ちるという欠点がある。また、繰返しせん断試験のような実験では、制御が長期にわたるため自動化の必要性が生じてくる。そこで、今回新たに作成された中空ねじり試験装置において応力制御せん断方式の自動制御・計測が可能なシステムの開発を行った。ここでは、中空ねじり試験装置の特徴および制御・計測プログラムについて述べた後、繰返し試験への適用例についても述べる。

2. 実験概要

2-1 実験装置

今回新たに作成された中空ねじり試験装置を図-1に示す。本試験装置の基本的構造は、これまでに開発されている装置と同じであり、供試体上部より軸力およびトルク力、空気圧を用いた内・外圧の制御が可能なタイプである。

軸力は、ペロフラムシリンダー(2)に制御空気圧(2a)を送ることにより制御を行っている。トルク力はD/Cサーボモーター(1c)とボールネジを用いたりニアアクチュエーター(1d)を用い載荷し、モーターにおくる電圧信号により制御を行っている。この手法を用いることにより、バックラッシュのないトルク力のコントロールを可能にしている。供試体の変形量の測定は、供試体の内空部の容積変化と体積変化量を差圧計(13、14)によって計測することにより、内径の変化量を測定している。また、鉛直変位は鉛直載荷軸上部に取付けたダイヤルゲージ(17)と回転角は上部ベダスタルに取付けたナイロングヤの回転量をポテンシオメーター(12)により測定している。

供試体の形状は、図-3に示すように外径約100mm、内径約60mm、高さ約200mmで作成される。この中空円筒供試体は、ねじり力を伝達させるために、供試体上下両端部に刃付きポーラストーン(23)を使用し、メンブレンには、内・外両方ともに厚さが0.3mmのものを使用した。

2-2 自動制御・計測システム

これまでに中空ねじり試験装置は、操作の複雑性から多くの研究機関で計測・自動制御システムで行われており、その研究成果^{3), 4)}が発表されている。今回、供試体への載荷応力は、コンピュータからの命令をD/A変換器を介し、軸力 W 、トルク力 T 、外圧 P_o 、内圧 P_i の4つの応力を独立に制御される。このうち、トルク力の制御は、ドライバー(1a)を介してモーターの回転速度、回転方向を変化させることで行われる。その他は、E/P(電空)変換器(19)を用いて空気圧制御方式で行われる。計測は、動ひずみアンプ(18b)を用い、トルク力(7)、鉛直荷重(6)、外圧(8)、内圧(10)、間隙水圧(9)、軸変位(17)、ねじり変位(12)、体積変化(14)、内容積変化(13)の9項目である。このシステムに応力制御方式でせん断が可能なプログラムの開発を行い、自動制御・計測を行っている。図-2に圧密過程とせん断過程におけるメインプログラムのフローチャートを示している。ここで、せん断過程における応力経路入力については、中間主応力係数 $b=(\sigma_2-\sigma_3)/(\sigma_1-\sigma_3)$ 値、平均有効主応力 $p=(\sigma_1+\sigma_2+\sigma_3)/3$ 、鉛直軸と最大主応力方向角のなす角 α 、繰返しせん断応力 $\tau=(\sigma_1-\sigma_3)/2$ の大きさ等によって行われる。紙面の関係上、載荷応力の計算に用いた計算式は、ここでは省略するが、実験中は常に9つの計測項目からのデータを計測し、フィードバック方式より所定の応力経路上にてせん断が行われるように、軸力 W 、トルク力 T 、外圧 P_o 、内圧 P_i の4つの応力を独立に制御している。また、供試体に作用する平均的な応力やひずみの計算においてメンブレン貫入量、配管の膨張量、メンブレン張力との補正は別途行った実験により、補正を行っている。

3. 砂の液状化試験への適用

実験に用いた試料は、豊浦標準砂($G_s=2.64$, $e_{max}=0.991$, $e_{min}=0.623$)を使用して、供試体の作成と密度の調整は、空中落下法により行った。供試体作成後、炭酸ガスと脱気水を供試体に通した後、バックプレッシャー $\sigma_{ap}=98\text{kPa}$ を負荷して試料の飽和度を高め、 B 値が0.98以上になっていることを確認後、実験を行った。図-3に、供試体密度 $Dr=80\%$ 、中間主応力係数 $b=0.5$ 、平均主応力 $p=196\text{kPa}$ 、主応力方向角 $\alpha=15^\circ$ 、繰返し応力比 $\tau/p'_c=0.30$ の実験条件における非排水繰返しせん断試験結果を示す。繰返し応力は正弦波で与え、1周期約300秒を要している。結果を見るとせん断

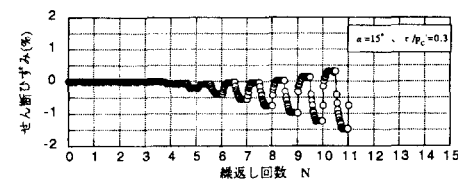
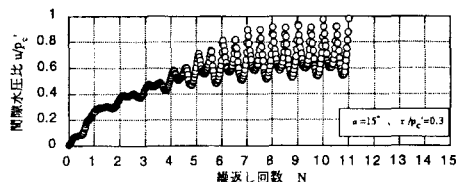
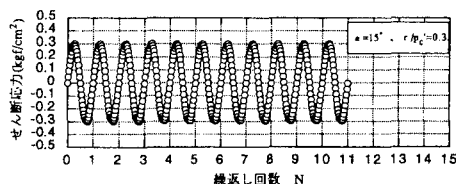
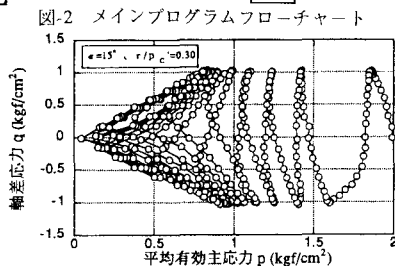
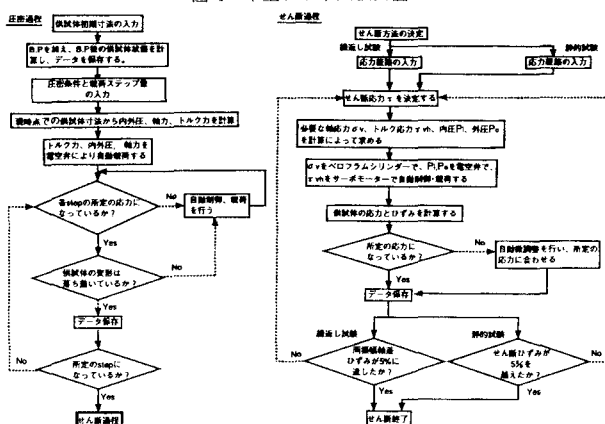
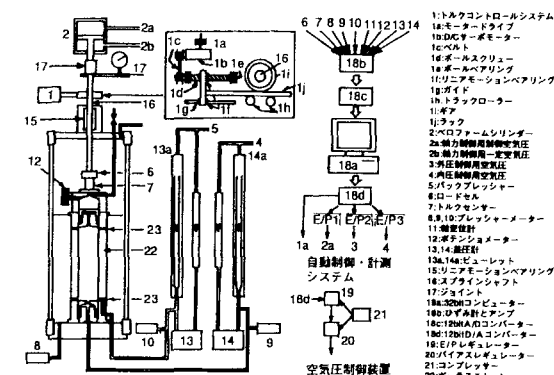


図-3 繰返しせん断試験結果

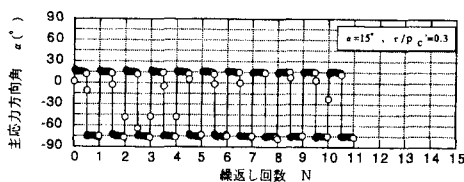
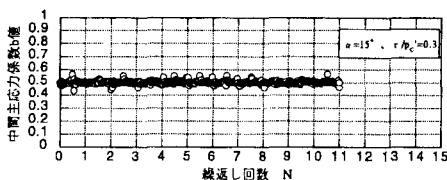


図-4 せん断中の b 値と a の変化

応力が目標の繰返し応力を満足し載荷され、それに伴い間隙水圧とせん断ひずみが発生していることが分かる。つぎに図4に繰返しせん断中の中間主応力係数の変化と主応力方向角の変化を示している。その結果、繰返しせん断中の主応力方向角と中間主応力係数は、十分に目標値を満足してせん断が行われていることが分かる。ただし、繰返し応力が0付近において、中間主応力係数のふらつきが見られる。図5に有効応力経路図を示す。有効応力経路図からも繰返し応力の載荷とともに有効応力が低下しサイクリックモビリティを示し液状化状態に達していることがうかがえる。

4.まとめ 今回新たに作製された中空ねじりせん断試験装置の導入に伴い、自動計測・制御が可能な応力制御方式によるせん断試験システムの開発を行い、その適用試験を行った。その結果、このシステムは液状化試験において適用可能なシステムであることが確認された。今後さらに実験を重ね、結果における客観性の確認も行う予定である。

参考文献 (1)Sato,K. et al.(1995):Effect of principal stress direction on undrained cyclic shear characteristics of dense sand,Proc.of IS-TOKYO'95,Vol.1,pp.295-300. (2)佐藤ら(1995):密な砂の非排水繰返しせん断挙動に及ぼす主応力方向角の影響、土木学会論文集(投稿中). (3)山下聡(1992):砂の繰返し試験に及ぼす諸因子の影響と試験結果の適用に関する研究、北海道大学学位請求論文. (4)中田ら(1994):自動制御・計測可能な中空ねじりせん断試験装置の試作とひずみ制御試験への適用、土木学会論文集, No.505/III-29, pp.329-332.