

大阪産業大学工学部 正会員 佐野 郁雄
 同 学生会員 ○野武 俊宏
 同 加茂田剛弘

1. はじめに

中空ねじりせん断試験機は、三主応力を制御できるため、任意の応力経路上で土の性質を調べることができる試験装置である。現状では、主に研究目的で使用されることが多いが、地盤工学会基準 JGS - 0550、JGS - 0551、JGS - 0543 として整備されてきており、今後は実用上も普及することが期待されている^{1) 2)}。ここでは、電気式サーボモータによるフィードバック制御を軸方向およびねじり方向に行い、内外セル圧を空気圧サーボによりフィードバック制御をすることにより、任意の経路上で各種の制御が可能な試験機を試作したので、その概要を報告する。

2. 自動化された中空ねじりせん断試験機の特徴

コンピュータを用いたフィードバック制御により軸方向、ねじり方向、三軸セル外側圧、中空内側圧、背圧などを調整している。試験機の概要を図-1に示す。

軸方向制御は、電気式サーボモータにより行われる。軸荷重、軸応力、軸変位、軸ひずみのいずれかに関して、目標値と目標値到達までの速度を設定して制御する。また、振動数と回数を設定することにより、繰返し試験も可能である。なお、直動サーボモータを採用することにより、バックラッシュを抑えてフィードバック制御が容易にできる。サーボモータは、変位拘束（変位一定条件）が容易にできるため、たとえば、繰返し载荷後に静的変位制御で破壊実験を実施することができる。

ねじり方向制御も、電気式サーボモータにより行われる。トルク、せん断応力、回転角（ポテンシオメータ、ギャップセンサー）、せん断ひずみのいずれかに関して、目標値と目標到達速度を設定することにより、任意の応力速度、せん断ひずみ速度で制御することが可能である。なお、回転サーボモータとバックラッシュを除去した減速機械によりフィードバック制御を行っているため、制御精度が向上している。電気式サーボモータでは、各種演算制御が容易であり、油圧サーボや空圧サーボシステムに比べて、構造が簡単、制御がしやすい、汚れない、騒音も少ないなど多くの長所がある。

通常、試験制御は、完全クローズドループで実施されている。しかし、軸方向、ねじり方向をオープンループに切り替えて、マニュアル制御により試験を実施することも可能である。

コンピュータによる制御間隔は、50Hzで行っている。また、A/D、D/A ボードは分解能 16 ビット（ $\pm 1/30000/\text{FS}$ ）のものを使用している。さらに、計測値に関して、30Hzで計測した値の移動平均として1秒ごとに表示させている。計測モニターとして、セル圧、中空内側圧、背圧、軸方向制御計測値、ねじり制御計測値などの時系列を取っている。また、各種算定量は、ディスプレイ上に表示されるのみでなく、計測したい時刻に適当な時間間隔で記録が可能である。

以上の計測値による制御と記録には、ウインドウズ95, 98で起動する統合ソフトLabviewを用いている。また、本試験機における各計測機器の計測範囲と分解能は表-1の通りである。

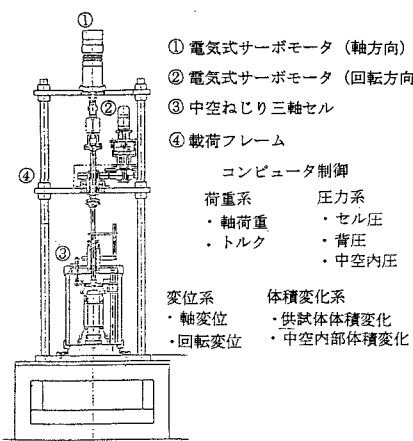


図-1 中空ねじりせん断試験機

3. 試験方法

供試体を飽和させるため、2重負圧法を用いる。今回は再構成された飽和粘土供試体（カオリン粘土、 $p_c = 100\text{kN/m}^2$ 、 $w_l = 89.3$ 、 $w_p = 31.7$ 、供試体寸法：外形 $\phi 70 \times$ 高さ 140mm （内径 $\phi 30$ ））を用いるため、 30kPa の負圧、ヘッド差 70cm 、60分程度の通水を実施する。また、供試体の予備圧密として、有効拘束圧を 20kPa に保ち、設定背圧となるまでセル圧と背圧を上昇させている。

圧密過程では、所定の目標圧力まで段階的に圧密圧力を上昇させ、3t法により圧密終了時期を予測する。各圧密段階で計測されたB値は 0.95 以上である。なお、異方圧密を行う場合には、目標値まで、軸応力制御をセル圧の圧力増加速度と連動させて応力速度一定で上昇、ある応力状態で保留して放置を繰返し行えばよい。

せん断過程では、所定の軸ひずみやねじり方向のせん断ひずみまでひずみ速度一定でせん断試験をすること、あるいは、所定の軸応力やせん断応力まで応力速度一定でせん断試験をすることが可能である。また、動的なモードを選択すると、sin波形で数Hzまでの繰返し試験が実施できる。すなわち、軸ひずみ一定の載荷試験を実施した後、その軸応力あるいは軸変位を保った状態でねじり試験が続けて容易に実施できることがわかるであろう。

今回試作した中空ねじりせん断試験機では、他に、回転変位と軸変位を完全に影響をなくすりニヤモーションベアリングの使用、セル軸ロッド部に摩擦を軽減するベアリングの使用など、各種の工夫がされている。

実験結果の一例として、図-2に等方圧密（圧密圧力 300kPa 、背圧 100kPa ）により軸荷重一定（ほぼ軸応力一定）の条件で非排水ねじりせん断試験を実施した結果を示す。概ね良好な結果が得られていることがわかる。

4. 試験上の問題点と今後の展望

現状では、応力、ひずみなど直接の計測値ではない計算値を使用したフィードバック制御をする際には、安定した制御ができない場合がある。また、拘束条件を荷重制御から変位制御に切り替える際に、若干変動する場合が見られる。以上いくつかの問題点があるが、改良を加えていきたい。今後、洪積粘土の剛性を調べるために繰返ねじり試験を実施することや正規圧密状態にある粘土の非共軸性を調べるための主応力方向を変化させた試験を実施することにより、本装置を利用していきたい。

（参考文献）

- 1) 1998年「新規制定・改正の日本工業規格（JIS）素案および地盤工学会基準（JGS）」講習会資料，pp.142-148，1998.12.
- 2) 地盤工学会基準部：新規制定の学会基準案「土のねじりせん断試験用中空円筒供試体の作成・設置方法」と「土の中空円筒供試体によるねじりせん断試験方法」について，土と基礎，Vol.45，No.12，pp.66-81.1997.

表-1 計測器の精度

計測器	計測範囲	分解能
軸荷重	1.472kN	0.0005kN
軸変位	25mm	0.002mm
トルク	1.472kN・cm	0.0005kN・cm
回転角	$\pm 30^\circ$	1' (0.005%)
回転変位	$\pm 2.5\text{mm}$	0.002mm
体積変化	せん断ひずみ	(0.0002%)
圧力計	200ml	0.1ml
	1000kPa	0.3kPa

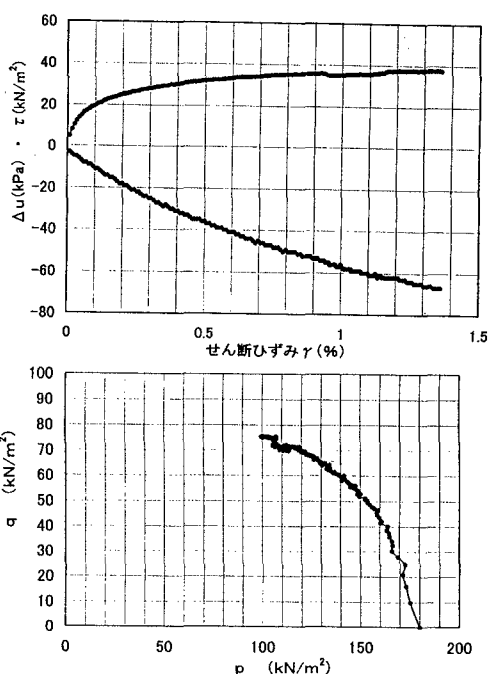


図-2 圧密非排水ねじりせん断試験

せん断応力・過剰間隙水圧-せん断ひずみ関係
平均有効応力-軸差応力 関係