

土質試験用多機能制御・計測システムの開発（その1）

独立行政法人土木研究所	正会員	桑野玲子
	正会員	○大野真希
	正会員	山内慶太
	正会員	恒岡伸幸
中央開発株式会社	正会員	王 林

1. はじめに

室内土質試験において、原地盤状態を忠実に再現し地盤材料の変形・強度特性を正確に把握するためには、多機能・高精度な土質試験装置及び複雑な载荷条件が可能な試験の完全自動制御化が必要とされる。著者らは、高速計算・制御・データサンプリングができる VC++.NET を用いて、Windows ネットワークに対応かつ制御の柔軟性がある「ステージ制御に基づくパソコンコントロールシステム」を開発した。

2. 試験装置の概要

図-1 に本自動制御システムを搭載した三軸試験装置の概要を示す。セル本体は軸の反力をセル内の支柱で支える構造になっており、装置外部の反力板が不要である。これは、ヨーロッパで普及している Bishop&Wesley 型¹⁾及び北大型セル²⁾と同様の構造で、軸载荷システムを作業台の下に置く事によって供試体のセット作業などを行いやすく、日本で多く使われている载荷台上置タイプの三軸装置よりもコンパクトである。

a) 軸方向载荷

三軸セルの下部には NKS 製の高精度なメガトルクモーターを設置し、所定の速度を得るため減速比 1/160 の変速機を使用した。モーターは、位置決めモード、速度運転モード、トルク運転モードを適宜選択できる。位置決めモードでは、一回転を 614400 分割するため、モーター $360^\circ / 614400 = 5.86 \times 10^{-4}^\circ$ の分解能を有する。これは、軸変位分解能に換算すると $1.02 \times 10^{-7} \text{mm}$ の分解能に相当する。速度運転モードでは、最高回転速度 3 rps を 4095 分割で速度調整が可能のため、軸変位速度の制御範囲は $4.580 \times 10^{-5} \sim 1.845 \times 10^{-1} \text{mm/sec}$ となる。

トルク運転モードでは、モーターの最大トルク出力 36.3Nm を 4095 分割で調整することが可能である。制御プログラムは、パソコンのシリアルポート RS232C とモーター専用ドライバユニットを介して上述した運転モードを選択することで様々な制御パターンを実現している。

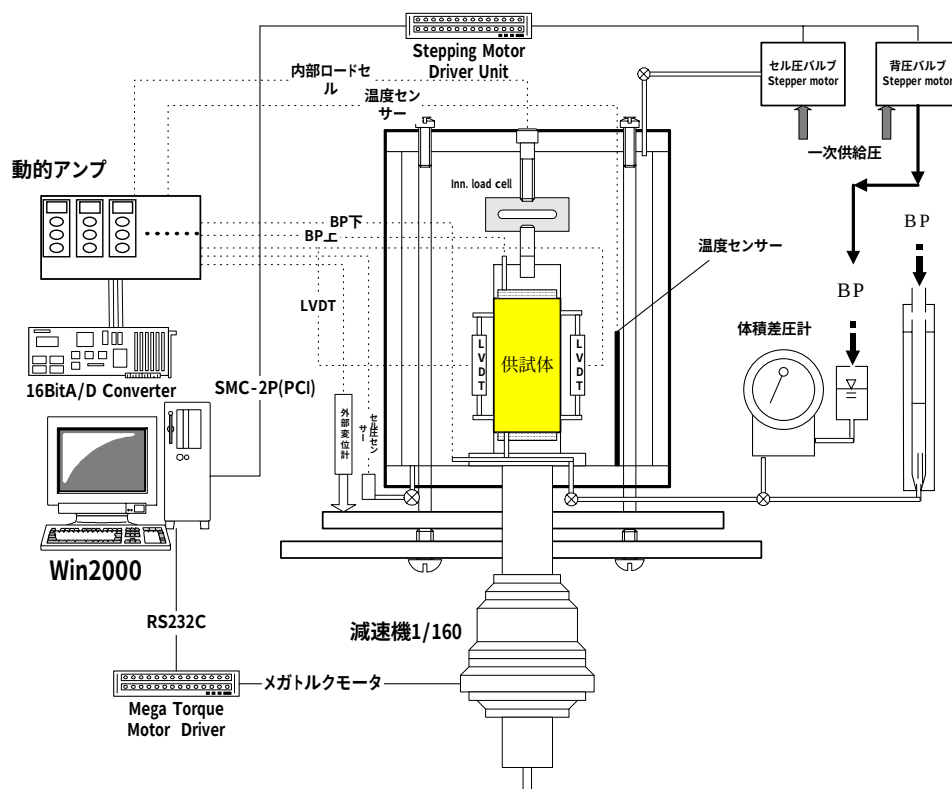


図-1. 三軸試験装置の構成

キーワード 三軸試験装置, 制御プログラム, ストレスパス試験

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 (独) 土木研究所材料地盤研究グループ TEL0298-79-6767

b) 側圧及び背圧の制御

セル圧と背圧は、手動または空気圧バルブに取り付けられた2つのUMK ステッピングモーターユニットで調整する。制御プログラムは CONTEC 製の高速モーターコントロール SMC 4P (PCI) ボードを介してモータードライブにパルス出力によりモーターを回転させて圧力の増減調整を行っている。1パルスを最小単位としてセル圧及び背圧を調整しており、検定結果より制御の精度はおおよそ 0.015kPa である。

3. 制御・計測

a) 計測システム

外部変位計と RDP 社製水浸小型 LVDT を用いて微小ひずみから大ひずみレベルまで連続的にひずみを計測する。供試体上下に接続されている圧力センサー、及び Drucker 社の小型間隙水压計を供試体中間部に設置することによって間隙水压を測定できる。体積変化測定には差圧計を用いた。さらに、セル内に設置した温度センサーで水温を計測し、温度変化が各種測定値に及ぼす影響を捉えている。これらの計測データは、ノイズフィルタ、動ひずみアンプ、16bitA/D ボードを介してパソコンに取得される。

b) 自動制御システム

基本的な三軸圧縮・伸張試験に加えて、繰返し载荷試験、 K_0 圧密試験、クリープ試験などではその都度高精度な制御が必要である。本システムでは、あらゆるストレス・ストレインパスの試験が可能のように、制御ロジックを①鉛直方向载荷（軸力、軸変位）②水平方向载荷（セル圧、側方向ひずみ）③背圧の3つに分類し、その組合せによって自在な制御を可能にした。任意に設定した最大 100 までの各制御ステージにおいて、3つの制御パターンの自由な組合せにより、複雑な試験も高精度で実施できる。さらに、自動制御中においてもステージの変更・追加が可能で、任意に手動制御モードを挿入することもでき、試験状況に応じた柔軟な対応を可能とした。制御パラメータやコントロール方法の詳細については王ら³⁾を参照されたい。

4. 本システムを応用した試験例

図-2 に本システムを応用して実施した圧密試験の間隙比-鉛直応力の関係を示す。試験料は 50kPa で予圧密したカオリンを用い、三軸セルに標準圧密セルをセットして実施した。ひずみ速度 0.1%/分 で標準圧密と同様の荷重ステップを载荷し、各ステップ間には 24 時間のクリープ時間を設けた。すなわち、標準圧密試験を模擬したものである。この試験では、速度運転モードによる一定ひずみ速度軸载荷と位置決めモードによる応力制御（クリープ時）がスムーズに連続しなくてはならない。なお、図中には標準圧密試験との

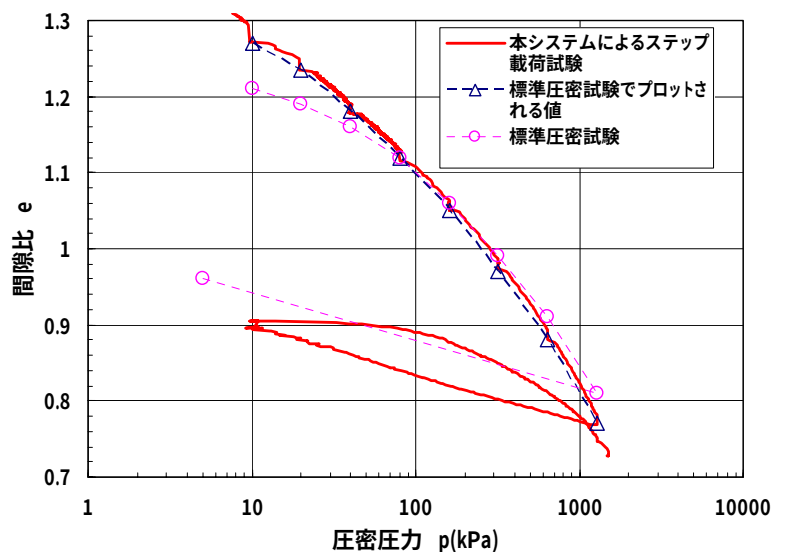


図-2. 本システムの応用例（圧密試験）

対比のため圧密圧力を全応力で表示しているが、試験時には供試体底部で間隙水压を測定しているので有効応力の測定も可能である。このように、本システムを用いると、適切にコントロールステージを設定することによって、従来の三軸試験の型に捉われない自在な試験制御が可能である。

参考文献

- 1) Bishop, A. W. and Wesley, L. D. (1976): A hydraulic triaxial apparatus for controlled stress path testing, *Geotechnique*, Vol.25, No.4, pp.657-670
- 2) 川口貴之、三田地利之、澁谷啓、佐野侑房 (2002) : 粘性土の変形特性を求めるための高精度三軸試験装置・方法の開発、土木学会論文集 No.708/III-59, pp.175-186.
- 3) 王林、桑野玲子、大野真希、山内慶太、恒岡伸幸 (2003) : 土質試験用多機能制御・計測システムの開発（その2）、土木学会第58回年次学術講演会、徳島。