



大型三主応力制御三軸試験システム
True triaxial testing system controlling three principal stresses for large-scale specimen

東京大学生産技術研究所

古閑研究室

よく締め固まった砂礫などの硬質な地盤に重要構造物を建設する場合、その施工にあたっては特に地盤の変形問題が重要視され、地盤材料の正確な変形特性を知る必要がある。そこで、礫などの粗粒土を対象として、微小・小ひずみ領域における三次元的な変形挙動を解明するために、大きな供試体の三主応力を独立制御できる三主応力制御三軸試験システムを開発した。特に中間主応力制御装置に工夫をして拘束板背後に設置することにより、小スペースで微小繰り返し载荷を含む高容量の载荷を可能にした。

システムの概要：全体システム(図1)は、三主応力制御三軸セル、中間主応力制御システム、中圧までの拘束圧制御システム(生研リーフレット No.277)、高荷重微小変位制御制御システム(生研リーフレット No.250,295)で構成されている。**三主応力制御三軸セル**(図2、写真1)は、大型供試体(σ_v 面の幅22cm、 σ_h 面の幅25cm、高さ50cm)と中間主応力制御装置付き拘束板を三軸セル内に設置できる大きさとし、ステンレス製セル(内径70cm、厚さ2cm、4箇所を観察窓付き)と直径6cmのタイロッド4本で最大拘束圧2.94MPa、最大軸荷重490kNが可能である。**中間主応力制御装置**は、10°の傾斜を付けた傾斜状载荷板と反力板の間にくさび状のブロックを上下対称に高剛性(予圧タイプ)ベアリングで固定し、この2個のくさび状ブロックを上下逆(左、右ねじ)ボールねじ(予圧タイプ)の回転によって移動させることによりボールねじと直角方向に高推力を発生させる。ボールねじは回転方向に遊びがなく自由に移動ができるジョイントを介して三軸セル上板の回転制御装置に接続し、中間主応力を高精度に制御する。この方式により载荷装置全体の厚さが最大19cmとなり三軸セル内に容易に設置することができた。 写真1 三軸セル写真

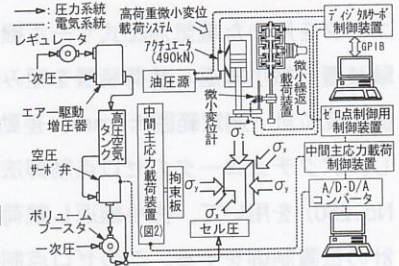


図1 三主応力制御制御システム

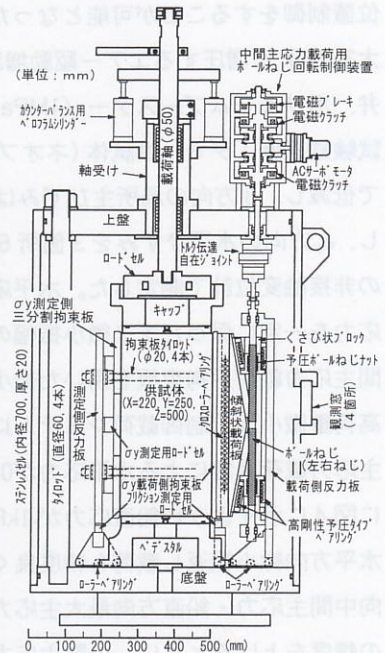
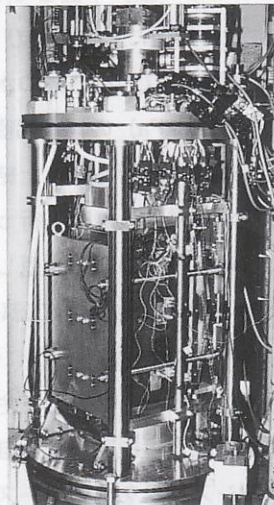


図2 三主応力制御三軸セル

傾斜状载荷板と拘束板はクロスローラベアリングで上下に移動でき、拘束板下部のロードセル（容量10kN）により拘束板にかかるフリクションも測定できるようにした。中間主応力载荷装置は载荷容量98kN、最大変位量20mm、载荷速度0.1~0.0001%/minで微小繰返し载荷が可能である。この载荷側拘束板と相対する拘束板は、高さ方向に三分割し、それぞれに中間主応力測定用ロードセル（容量60kN）を取付けて上下端面の影響のない中央部の中間主応力を測定できるようにした。载荷側拘束板同様にフリクションも測定できる。また、载荷側反力板と拘束板、測定側反力板下部はローラーベアリングによって支持し、拘束板の水平方向の変位を拘束しないようにした。高荷重微小変位制御载荷システムは、アクチュエータを用いた電気油圧式サーボ機構の高荷重・高速試験装置と微小繰返し载荷装置を組み合わせ、両者の間を微小変位計（測定範囲±6mm、差動トランス形）で接続し、アクチュエータのゼロ点制御法（生研リーフレットNo.250）を用いて、微小繰返し载荷装置でこの微小変位計の位置制御をする。このゼロ点制御法とデジタルサー

ボ制御装置によって、高荷重（490kN）で大ストローク（200mm）を極めて高分解能でアクチュエータの位置制御をすることが可能となった。拘束圧制御システムは、低圧縮空気（1MPa以下）を高圧縮空気（最大3MPa）に増圧するエア駆動増圧器（増圧比1：5）と、拘束圧を自動コントロールする空圧サーボ弁、ポリウムブスター（1MPaまでの拘束圧で使用）から成っている。

試験結果例：ダミー供試体（ネオプレンゴム）の上、下面と σ_y 面の摩擦をDow高真空シリコングリースで低減し、3方向の局所ひずみは、供試体側面において軸ひずみを上中下3箇所6個の縦LDTで測定し、 σ_y 方向の水平ひずみを3箇所6個の横LDTで、 σ_x 方向の水平ひずみは三つの高さにセットした三対の非接触変位計で測定した。水平応力一定（0kPa）のまま鉛直応力を29kPaまで载荷した地点で、水平応力を一定に保ったまま微小振幅の鉛直繰返し载荷を行った結果が図3で、鉛直応力一定（29kPa）で中間主応力载荷用拘束板を用いた微小振幅水平繰返し载荷を行った結果が図4である。図3に示すように高荷重微小変位制御载荷システムによる鉛直方向の微小繰返し载荷が精度良く行われ、このときに中間主応力载荷装置による水平応力が0.5kPa以内の変動範囲でほぼ一定に保たれている様子がわかる。同様に図4に示すように鉛直応力が1kPa以内の変動範囲で一定に保たれたまま中間主応力载荷装置による水平方向微小繰返し载荷も精度良く行われている。本大型三主応力制御三軸試験システムでは、水平方向中間主応力・鉛直方向最大主応力の微小繰返し载荷を含む自動制御が可能で、電気・油圧サーボ機構の精度を上げると共に、中間主応力制御システムを小スペースで精度良く構築することができた。

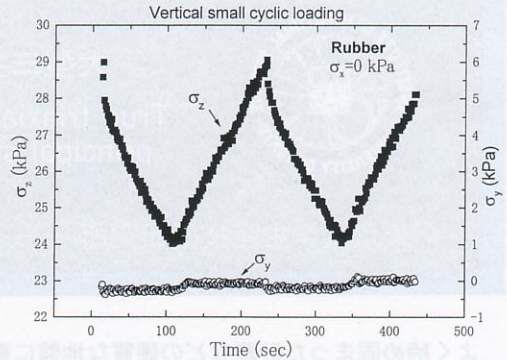


図3 微小鉛直繰返し载荷時の時刻歴

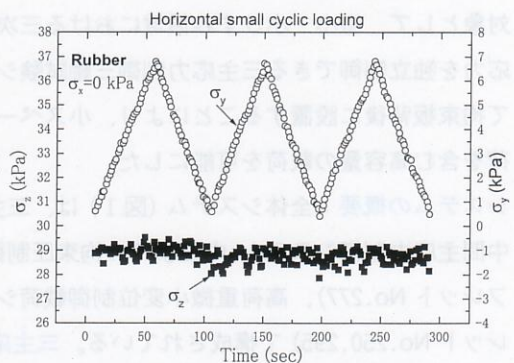


図4 微小水平繰返し载荷時の時刻歴

（執筆担当 佐藤剛司・Le Quang Anh Dan・古関潤一）