

## 二重セルを利用した不飽和土の三軸圧縮試験機の開発

三軸試験 不飽和土 体積ひずみ

複合技術研究所 正会員 石塚真記子  
鉄道総合技術研究所 正会員 大木基裕  
鉄道総合技術研究所 国際会員 小島謙一  
鉄道総合技術研究所 国際会員 館山勝

## 1. はじめに

不飽和土の三軸圧縮試験において、せん断中の「体積ひずみ」すなわち「全体積変化」を測定するために二重セルを利用した試験機を開発した。体積ひずみ測定に必要な、供試体体積変化量測定への分解能は初期体積の $\pm 0.1\%$ 、測定範囲は最大変化量まで、である。飽和土の三軸試験（CD試験）であれば供試体からの吸水・排水量を、その体積膨張・収縮に読み替えることにより、排水量から体積変化を追跡することができる。ところが、不飽和土のせん断前の供試体は、固、液、気相の3相から成り、排水・排気条件なので、水の出入りと供試体全体積の増減は線形関係になく、供試体の体積変化は別途「二重セル」などで測定する必要がある。本研究の目的は、規定の分解能、測定範囲において供試体の体積ひずみを測定することができる二重セルを開発することである。

## 2. 体積ひずみの測定

不飽和土の三軸試験の手順は、JGS 0524 「土の圧密排水（CD）三軸圧縮試験法」に準じた。Fig. 1に試験機の概略図を示す。この試験では、軸変位、セル圧、間隙水圧、間隙空気圧、軸荷重、二重セルの水頭差、供試体からの排水量をはかった。供試体は、直径50mm、高さ100mm、所定の乾燥密度、飽和度となるように、含水比調整した稲城砂を充填して作製した。

所定の寸法より、供試体の初期体積は $196.25\text{cm}^3$ であることから、分解能は初期体積の $0.1\%$ 、およそ $0.2\text{cm}^3$ 必要である。Fig. 2に二重セルの概略図を示す。これは、外セル、内セル、差圧計、から成り、外セルの水位を基準として、内セルの水位変動を差圧計1で測定する。尚、二重管ピュレットは不飽和試験でも排水量測定に使用する。

供試体の体積変化は、内セルの水位変動ではかる。ここで、内セルと外セルの水位差がないときを差圧計1のゼロ点として、内セルの水位変化量 $D_p$  (cm)、内セルの水位測定部分断面積 $A$  ( $\text{cm}^2$ )、载荷ピストン（ここではトップキャップ）の断面積 $a$  ( $\text{cm}^2$ )、供試体の軸変位量 $D_G$  (cm)は次式で算定する（Fig. 3）。

$$\Delta V = \Delta D_p \times (A - a) + \Delta D_G \times a \quad (1)$$

このようにして、体積変化量 $V$  ( $\text{cm}^3$ )、が計算できる。内セルの内径 $D_2=68.70$  mm、 $D_1=50.00$  mmより、断面積差は $(A-a) = 1742.5\text{mm}^2 = 17.4\text{cm}^2$ 、これで $0.2\text{cm}^3$ を割ると必要な分解能が水位差として得られる。以上より、水位差の分解能が $0.01\text{cm}$ 以上であれば、規定の許容範囲で体積ひずみをはかることができる。

そこで、Fig. 2に示した差圧計の分解能が水位差にして $0.01\text{cm}$ 以下を満たせばよい。差圧計の性能は、測定範囲 $0 \sim 68.94\text{cmH}_2\text{O}$ 、出力 $0.05 \sim 5.05\text{volt}$ である。データサンプリングには16bitのPCを使用している。分解能はである。よって、分解能は $0.002\text{cmH}_2\text{O/bit}$ と、求める水位差 $0.01\text{cm}$ 未満のため、規定の許容範囲で体積ひずみをはかることができることがわかった。

測定可能な最大体積変化量は、内セルの断面積が一定な範囲37mm、断面積 $17.4\text{cm}^2$ より、 $64.5\text{cm}^3$ である。加えて、内セルの断面積一定高さを最大に設定するため、トップキャップ高さ80mmの通常より長いものを用いた（通常はトップキャップ高さ50mm）。最大体積変化量まで測定するためには、Fig. 2に示したトップキャップ貫入による内セル水位上昇分、Oリングの位置、トップキャップに

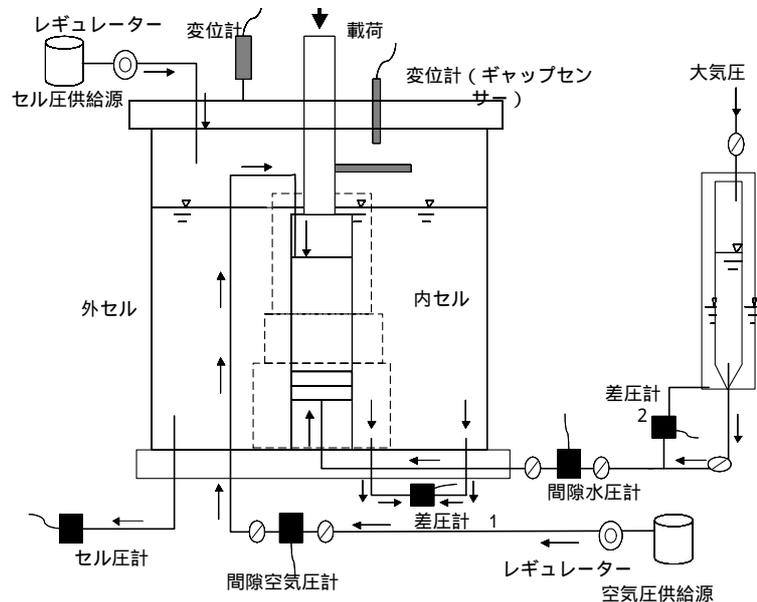


Fig. 1 不飽和土の三軸圧縮試験機概略図

かかるメンブレンの長さ，また圧密前，せん断前の内セル水位の設定にも注意が必要であった．とくに，式(1)の第2項で示されるトップキャップ貫入による内セル水位上昇は測定容量の多くを占め，トップキャップ貫入量 15 mm の場合 29.4 cm<sup>3</sup> となり，実質的に供試体の体積変化を測定することが可能な容量は 35 cm<sup>3</sup> 程度となった．

### 3. 試験中の飽和度変化測定

試験中は，供試体が不飽和状態のため，固相，液相，気相で構成されており，この体積比率から飽和度を計算することができる．ここで，固相体積  $V_s$  は供試体充填時の乾燥密度と土粒子の比重より得られ，これは試験中一定と見ることが出来る．液相体積  $V_w$  は，初期状態から試験終了までの間に吸排水によって変化するが，初期の  $V_w$  は供試体充填時の湿潤重量と含水比から（水の比重を 1 として），試験中の  $V_w$  は排水量から得られた．気相体積  $V_a$  は，二重セルではかった全体積  $V$  より固相体積  $V_s$  と液相体積  $V_w$  を差し引き， $V - V_s - V_w = V_a$  として求めた．

Fig. 3 に，せん断中の飽和度と軸ひずみの関係，全体積  $V_T$  と三相分布と軸ひずみの関係の一例を示す．これは，飽和度 80 %，締固め度 90%の密詰め供試体である．軸ひずみが増加する過程で，飽和度は低下，全体積は増加，気相体積  $V_a$  は増加している．飽和条件であれば，気相体積  $V_a$  は存在しないため液相体積  $V_w$  が増加するものと考えられるが，体積膨張に際して気相体積  $V_a$  が増加する点は不飽和試験の特徴であると考えられる．

また，試験終了後（せん断後）に供試体を炉乾燥してはかった実測含水比と試験中に追跡した排水量から計算した推定含水比と比較したところ，概ね一致した（表 1）．充填時の飽和度は含水比と供試体初期体積から，せん断前とせん断後の飽和度は試験中追跡した三相分布から計算した．

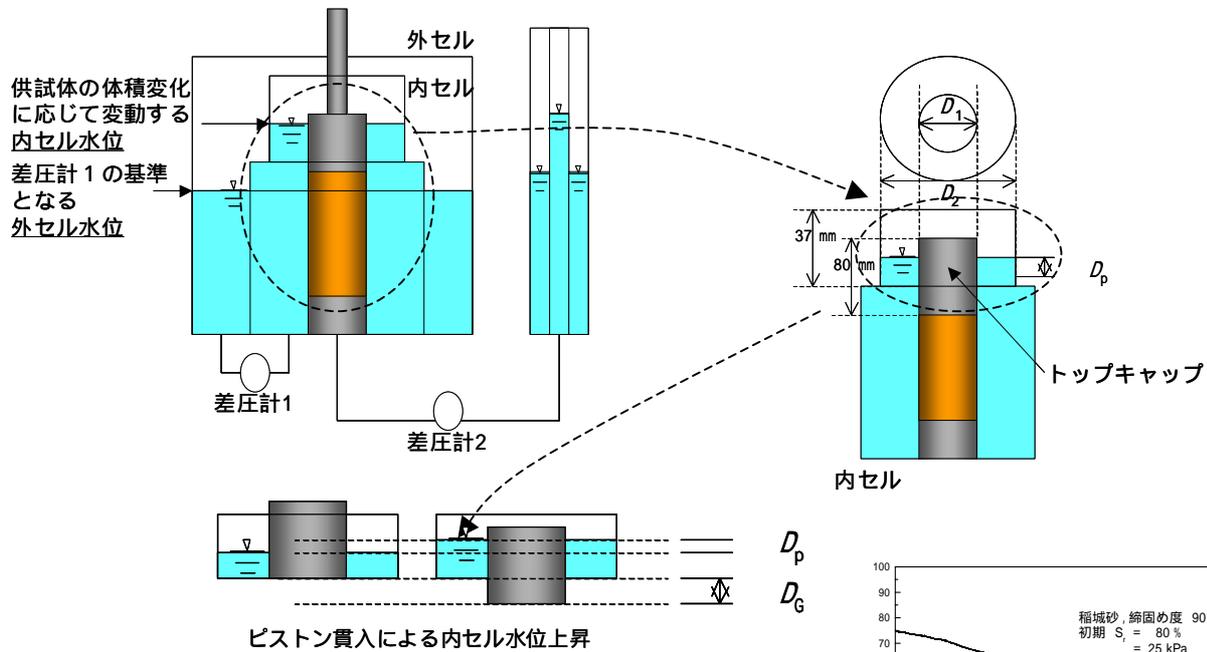


Fig. 2 二重セル

表 1 試験前後の含水比と飽和度

	推定含水比 (%)	実測含水比 (%)	飽和度 (%)
充填時		20	78
せん断前	19		75
せん断後	18	19	43

### 参考文献

地盤工学会(2000)：土質試験の方法と解説

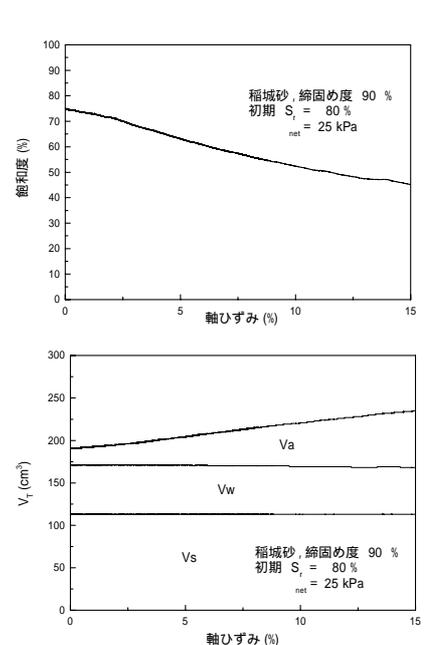


Fig. 3 せん断試験中の飽和度・三相分布変化