III-9　三次元初期応力状態を考慮した平面ひずみ試験機

日本大学大学院　学生員　○梅津 喜美夫
〃　理工学部　正員　徳江 俊秀

1、はじめに

現在，土構造物や基礎地盤の代表的な応力状態の1つを表現した試験機として，いろいろな平面ひずみ試験機が用いられ，多くの実験研究がなされている。しかし，実際の地盤内における応力は，様々な状態を示しているにもかかわらず，一般的に，このような初期応力状態を考慮した研究は，あまり行なわれていない。そこで，今回，平面ひずみ条件下の砂のせん断特性に及ぼす初期応力の影響を調べることを目的とした試験機を試作したので，その概要を紹介する。

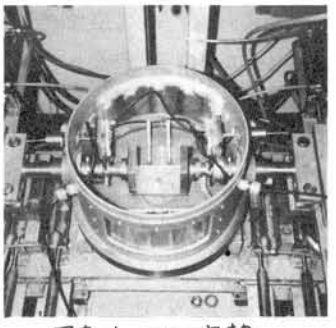

写真-1　セル内部

2、試験機の概要

今回試作した平面ひずみ試験機のセル内の全景を写真-1に，断面図を図-1に示す。また，供試体に働く各主応力の方向を，便宜的にXYZ座標系を用いて，図-2に示す。

この試験機は，図-1でわかるように，Z方向応力σ_z及びY方向応力σ_yを剛板を介してピストンで，X方向応力σ_xを空気圧でそれぞれ載荷する。ここで，σ_yの載荷機構は，左右のピストン等の摩擦が異っても絶えず等しく出来るようそれぞれ独立の機構とした。

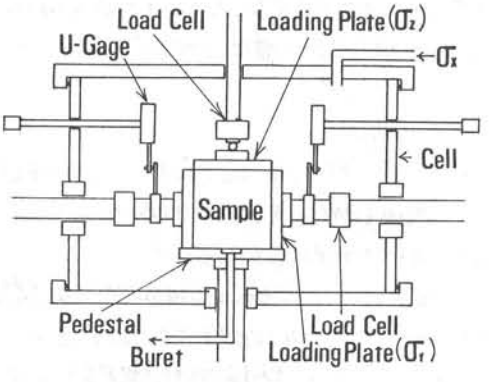

図-1　セル断面図

応力測定は，図-1に示すようにσ_zとσ_yをロードセルで行なう。このロードセルは，ピストン軸とセルとの摩擦の影響を除去するために，全てセル内に設置した。σ_xは，超精密ブルトンゲージ（最小目盛10g/cm²）で読みとられる。

ひずみ測定については，ε_zをダイヤルゲージで，ε_yをセル内のUゲージによってアンプを通して測定する。ε_xは，ε_z，ε_y及びビューレットで測定した体積ひずみε_vから算定される。ε_yの測定で用いたUゲージについては，3の(3)で述べる。

なお，この試験機は，応力制御・ひずみ制御共に可能である。次に，この試験機の特長について述べる。

3、試験機の特長

(1) 供試体

この供試体のゴムスリーブは，図-4に示すように上下左右4枚の載荷板（剛板）を包み込んで試料をシールドする。これによって，平面ひずみ試験の際，ゴムスリーブ（厚さ0.4mm）の縮みによるε_xの発生を防ぐことが出来る。また，4枚の載荷板と試料の間には，シリコングリースを塗布したテフロンシート（厚さ0.05mm）を各2枚ずつ挿入し摩擦の軽減を計った。

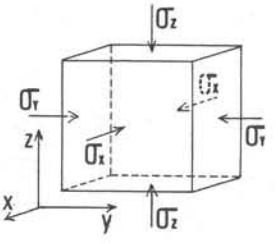

図-2 供試体方向図

このゴムスリーブの形状は，図-3(a)に示すように側圧σ_xの作用面が平面になっている。このゴム平面をモールドで押し込み凹みをつくる（図-3(b)）。この凹みの深さは，3mmである。モールドを強く押し込んだ状態で供試体を作製し，その後，側圧σ_xをかけた状態でモールドを取り外す。この時，ゴムスリーブも供

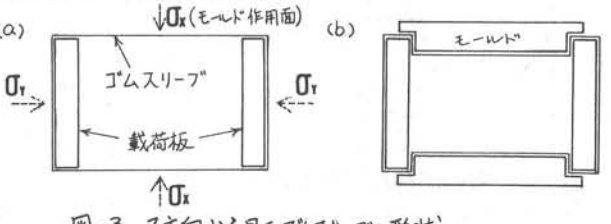

図-3　Z方向から見たゴムスリーブの形状

試体は，側圧σ_3=0.5×10²kN/m²でも十分密着し，図-3(a)のように戻りはしない。

本来，形の複雑な短形ゴムスリーブの穴空きチェックは，容易ではない。しかし，以下に述べる工夫により，供試体作製手順の流れを止めることなく容易にチェック出来た。まず，ゴムスリーブを載荷板にセットし，密閉する。そして，セル内に供試体がかくれるまで水を入れ，供試体内からの排水により，空気を逆にゴムスリーブ内に送り込み，ゴムスリーブをふくらませて，穴があいているかどうか調べる(図-4)。

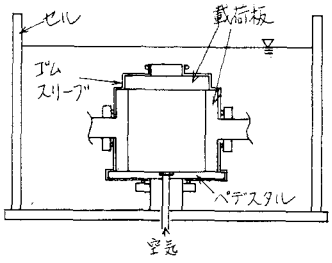

図-4 ゴムスリーブの穴空きチェック図

なお，ここで使用したモールドは，(2)で述べる初期応力によって供試体が変形するため，その変形量を見越していろいろ大きさを変える必要がある。従って，供試体の寸法は若干変化するが，所定の初期応力状態に達した時には，およそ高さ8cm，幅8cm，奥行き4.5cmとなる。

(2) 初期三次元任意応力状態の実現

この試験機では，(1)で述べたように，ゴムスリーブが4枚の載荷板を包み込んでおり，かつ，側方載荷板に引張力を加え得る構造なので，側方軸応力σ_{3a}は側方空気圧σ_3よりも小さく出来る。垂直軸応力σ_1は，ピストンと載荷板の接点が球座になっているため，側方空気圧以下には出来ない。このような機構上の特色から，原理上次のような初期応力状態が可能である。(i) $\sigma_{1a} \geq \sigma_{2a} \geq \sigma_{3a}$ (ii) $\sigma_{1a} \geq \sigma_{3a} \geq \sigma_{2a}$ (iii) $\sigma_{2a} \geq \sigma_{1a} \geq \sigma_{3a}$ (iv) $\sigma_{2a} \geq \sigma_{3a} \geq \sigma_{1a}$ (v) $\sigma_{3a} \geq \sigma_{1a} \geq \sigma_{2a}$ (vi) $\sigma_{3a} \geq \sigma_{2a} \geq \sigma_{1a}$。ここで，所定の初期応力状態に達した時に，上部載荷板がうまく左右の側方載荷板の間におさまるように，あらかじめ供試体作製時に供試体の大きさを調節しなければならない。なお，図-4でわかるように，側方載荷板がペデスタル上に載っているので，間にシリコングリースを塗布したテフロンシートを挿入し摩擦の軽減を計った。また，この試験機では段階的に所定の初期応力状態に至らせるわけだが，この過程で応力経路をいろいろ変化させることも出来る。

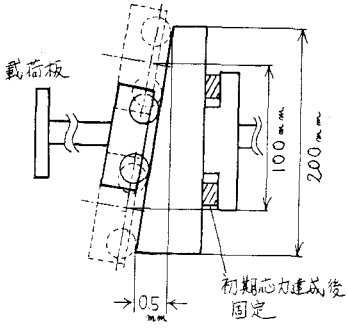

図-5 スライド機構(ε_2=0調節)

(3) 平面ひずみ制御機構

上記の初期応力達成後，変形が安定したのち，図-5に示すε_2方向変位微調整用のスライド構造を固定し，以下の方法で厳密な平面ひずみ条件の実現を計った。

平面ひずみ試験の際には，垂直応力σ_1の増加とともに，側方応力σ_3も増加する。このσ_3の増加によってロードセル自体の軸変位が生じ，平面ひずみ条件をおかしかねない。そこで，左右のロードセルの力と軸変位の関係を測定した(図-6)。実際には，この2つのロードセルの軸変位を左右のUゲージで測定し，下に述べる方法で制御調節する。Uゲージは，±0.4 mmまでの拘束板の変位を1/100 mmの精度で測定できる(図-7)。このようにしてキャッチした側方拘束板の変位を補正するための装置を示したのが，図-5でである。この スライド機構は，これを前後に最大100 mm スライドさせることにより，最大0.25 mmのε_2方向変位を調節することが出来る。これによって，実験中に生じたロードセル等の微小変位も十分調節し得る。

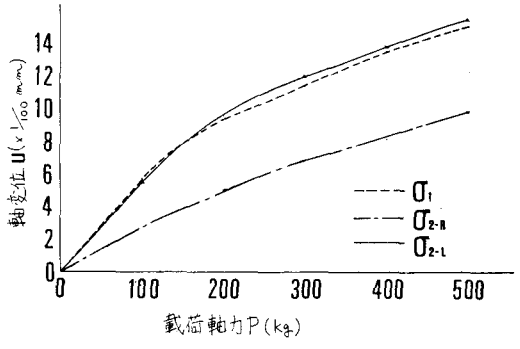

図-6 ロードセルの軸力-軸変位関係

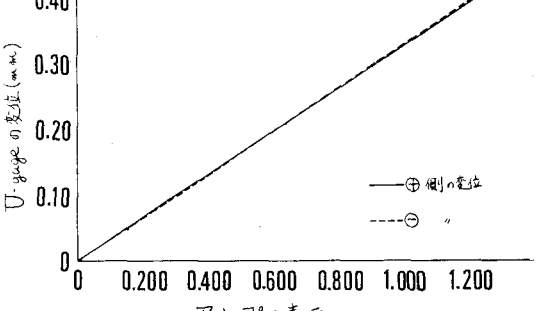

図-7 Uゲージ(右側)検定図

4. おわりに

今回試作した平面ひずみ試験の大きな特長は，初期応力状態を自由に変化させたのち，厳密な平面ひずみ状態を保ちながら，砂供試体の挙動を捉え得るということにある。今後は，このような特長を生かし，さらに改良をすすめて，データ収集に努力したい。

最後に，有益な助言を戴いた最上教授，卒論でこの試験機の作製に努力した佐藤祐一，佐々木博明両君に深く感謝します。