

東京大学生産技術研究所 正員 龍岡 丈夫
建設企画コンサルタント 正員 高居 剛
東京大学大学院 学生員 後藤 聡

図1はメンブレンとシリコングリースを用いて端面での摩擦を軽減する方法とその時に生ずるひずみの測定誤差のメカニズムを模式的に示したものであり、図2は端面にポラスストーンを用いた時の同様な図である。既報^{1,2)}の様に、図1の場合に境界で測定した軸変位の誤差 $\Delta BE = (\Delta BE)_T + (\Delta BE)_B$ (T はTop, B はBottomの意味)は次式であらわさる。

$$\Delta BE = \Delta h + \Delta t + \Delta \alpha \quad (1)$$

ここに、 Δh ：グリース層厚の平均的变化、

Δt ：メンブレン厚の平均的变化、

$\Delta \alpha$ ：端面付近の粒子の中心位置とメンブレンの平均位置の間の変位。

$\Delta h + \Delta t$ は等方圧密中には小さいが、異方応力状態では急速に大きくなる¹⁾と考えられる。供試体内からの間隙水の出入量で体積変化を測定する時の端面単位面積あたりの上下面合計の誤差(単位は長さ)は、理想的には次式であらわさよう。

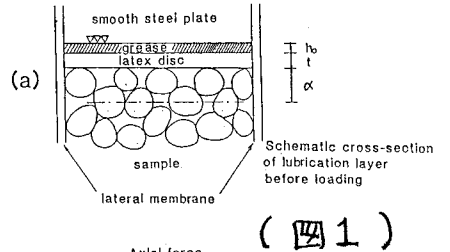
$$\begin{aligned} \Delta Vol/Area &= (\Delta Vol/Area)_T + (\Delta Vol/Area)_B \\ &\div \Delta \alpha = \Delta BE - \Delta h - \Delta t \quad (2) \end{aligned}$$

一方、図2の場合(以下 Regular endの場合と称する)は、 $\Delta h = 0, \Delta t = 0$ なので、理想的には次式が成立つてあろう。

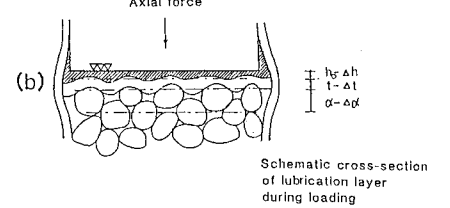
$$\Delta Vol/Area \div \Delta \alpha' = \Delta BE \quad (3)$$

拘束圧一定の三軸圧縮試験の場合、境界変位で測定された軸ひずみ $(\epsilon_a)_m$ 、体積ひずみ $(\epsilon_v)_m$ と真のひずみ $(\epsilon_a)_t, (\epsilon_v)_t$ の関係は、供試体内の変形が一様ならば、供試体高さを H として、
 $(\epsilon_a)_m = (\epsilon_a)_t + \Delta BE/H, (\epsilon_v)_m = (\epsilon_v)_t + (\Delta Vol/Area)/H$ (4)
となる。従って、 H の異なる供試体で実験することにより、 $\Delta BE, (\Delta Vol/Area)$ の値を求めることが出来る。

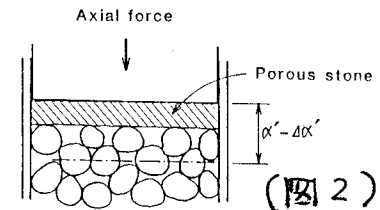
以下に示すのは、供試体内の変形が一様であるとして、既報^{1,2)}のデータと解析した結果である。実験は拘束圧 1 kgf/cm^2 の三軸圧縮試験で、砂は豊浦砂である。図3は応力比 $R = q'/s' = 1 \sim 2.5$ の間での載荷時と再載荷時に生じた $(\epsilon_a)_m$ を $1/H$ に対してプロットしたものである。(4)式からこの直線の勾配が ΔBE である。Regular endの実験は $H = 15 \text{ cm}$ の場合だけなので、 $1/H = 0$ の推定された $(\epsilon_a)_t$ の値



(図1)



h_0 - initial mean thickness of grease layer
 t - initial mean thickness of latex disc
 α - mean distance between the centers of the particles near the surface of the sample and the mean sample surface of the latex disc



(図2)

α' and $\Delta \alpha'$: mean distance between the center of the particles near the surface of the sample and the bottom surface of the cap, and its change by axial loading.

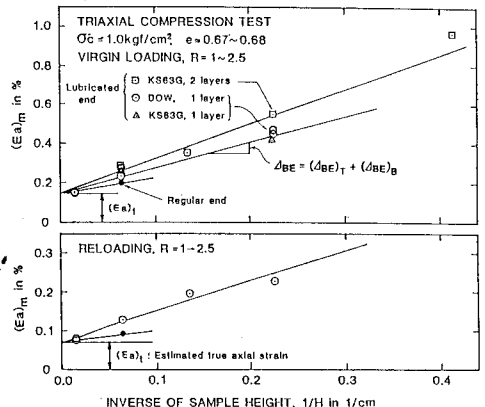


図3, (4)式に対応するデータプロット

を利用した(図3参照)。図4はこの様に求めた Δ_{BE} と $\Delta Vol/Area$ の初期載荷時における値を R に対してプロットしたものである。2 layersとは、各端面で2枚のメンブレンと2層のグリース層を用いて端面摩擦を軽減した場合である。2 layersの方が1 layer(図-1の場合)より Δ_{BE} は大きいが、 $\Delta Vol/Area$ は同じである。これは、 Δd は1, 2 layersでほぼ同じであるが、 $\Delta h + \Delta t$ は2 layersの方が1 layerより大きいことを意味している。1 layerの場合で $\Delta h + \Delta t$ がゼロでないのは、 $\Delta_{BE} > \Delta Vol/Area$ であることから推定される。Regular endでも、 Δ_{BE} と $\Delta Vol/Area$ はゼロではない。 Δ_{BE} はLubricated endの場合より小さい。これは $\Delta h + \Delta t = 0$ であるためである。 Δ_{BE} が $\Delta Vol/Area$ よりやや大きいのは(3)式が厳密には成り立たないためである。その理由の1つは、Regular endの場合は変形が必ずしも一様でないことが考えられる。

図5は再載荷時の Δ_{BE} と $\Delta Vol/Area$ を示している。どちらも初期載荷時の時よりも半減している。これは、 $\Delta h + \Delta t$, Δd , $\Delta d'$ のいずれもが減少したからである。1 layerのLubricated endの場合、 $\Delta_{BE} > \Delta Vol/Area$ であることから、再載荷時でも $\Delta h + \Delta t = 0$ ではないことが推定される。Regular endの場合は、 $\Delta_{BE} \approx \Delta Vol/Area$ であることから、(3)式は成り立っている様である。

まとめ：側圧一定(1 kgf/cm²)の三軸圧縮試験から次のことが分る。

- (1) Lubricated endでは2 layersの方が1 layerよりも軸変位の測定誤差が大きくなった。(しかし、体積ひずみ誤差は両者ほぼ等しい。従って、可能ならば2 layersは避けるべきである。
- (2) Lubricated end, Regular end共に再載荷時の軸変位、体積変化の測定誤差は初期載荷時よりも小さくなる。(しかし、 $(\varepsilon_a)_t$, $(\varepsilon_r)_t$ 自身が小さくなるので、再載荷時の方がひずみの誤差率は大きくなる。
- (3) Regular endでも境界端面で生ずる軸変位、体積変化の誤差はゼロではない。しかし軸変位誤差はLubricated endの場合よりも小さく、少なくとも $R < 3$ における変形を境界変位から測定する時は、Regular endを用いた方が誤差が小さい。
- (4) Regular endの場合の軸変位、体積変化の測定誤差の主因は図2に示す $\Delta d'$ と見られる。 $\Delta d'$ を減ずるためには、ホースストーンとキャップ、ノテスタルとのなじみを良くし、供試体の表面をなめらかに、かつ平面に仕上げる必要がある。
- (5) 以上の議論は、供試体内の変形が一様であることを前提としており、実際もキャップが回転しないようにしている。キャップが回転すると、せん断初期から変形の非一様性が著しくなると思われる。

謝辞：実験は、高木昌人氏(当時法政大学4年生)、日野努氏(大成基礎設計(株)専大生研究員)に、Mr. Andreas Natsatnaya氏(元東大研究生)に手伝っていただいた。末筆ながら感謝いたします。

参考文献：(1)高居剛ら、"三軸試験における端面摩擦除去層への粒子貫入、"第18回土質工学研究発表会、岡山、1983.6。(2)高居剛ら、"三軸試験における端面摩擦軽減層への砂粒子の貫入について、"第38回土木学会大会、(1993)

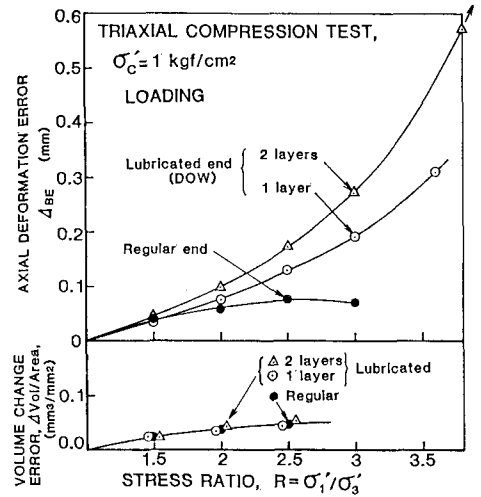


図4、載荷時の測定された Δ_{BE} と $\Delta Vol/Area$

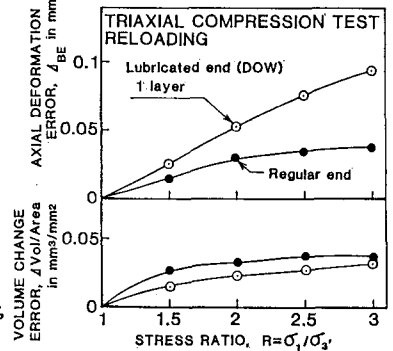


図5、 $R \approx 3.6$ から除荷し、 $R=1$ から再載荷した時の Δ_{BE} と $\Delta Vol/Area$