

## 低拘束圧下における豊浦砂の軸変位固定非排水繰返し中空ねじり試験

東京大学大学院 学生会員 ○吉田 達也  
 東京大学生産技術研究所 正会員 古関 潤一

### 1. はじめに

液状化した砂地盤の挙動を調べるために重力場における模型振動実験がしばしば行なわれている。小型の模型に作用する拘束圧は実際の地盤よりも著しく小さく、土の挙動は拘束圧の影響を受けるため、この種の実験の解析には土の低拘束圧下での物性を把握する必要がある。しかしながら、低拘束圧下での試験の実施例は限られており、特に水平模型地盤の液状化挙動をほぼ再現できる軸変位固定非排水繰返し中空ねじり試験は、低拘束圧下ではこれまで実施されていない。そこで本研究では、低拘束圧下でも精度良く試験ができる装置を用いて、数種類の拘束圧のもとでこの試験を実施した。

### 2. 実験方法

試料には豊浦砂 ( $\rho_s = 2.635\text{g/cm}^3$ ,  $e_{\max} = 0.961$ ,  $e_{\min} = 0.601$ ) を用い、外径 10cm・内径 6cm・高さ 20cm の中空円筒供試体を相対密度が 55%前後になるように空中落下法により作成した。供試体を B 値 0.95 以上に飽和させた後、表 1 に示す 4 通りの拘束圧まで圧密を行ない、軸変位を固定して非排水繰返しねじりせん断を行なった。その際、せん断ひずみ速度は 0.5%/min で一定とし、せん断応力についてはメンブレン張力を考慮したうえで振幅が一定になるように制御した。メンブレン張力の影響は次式より算出した。

$$\tau_m = 2 \cdot t_m \cdot E_m \cdot \frac{r_o^3 + r_i^3}{(r_o^3 - r_i^3) \cdot (r_o + r_i)} \cdot \gamma$$

ここで、 $\tau_m$ :メンブレン張力に起因するせん断応力、 $t_m$ :メンブレンの厚さ (=0.3mm)、 $E_m$ :メンブレンのヤング率 (=1492kPa)、 $r_o$ :供試体外径、 $r_i$ :供試体内径、 $\gamma$ :供試体に生じるせん断ひずみである。

ここで、外側のメンブレンを用いて、軸変位を固定してさらに内側の空気を密閉した状態でねじることによりメンブレン張力を測定した結果を図 1 に示す。上式による計算値とほぼ一致した値が得られた。ただし、上式はメンブレンの半径が変化しないことを前提としており、その点で試験で用いた条件とは若干異なる。

なお、今回の中空ねじり試験では、供試体に生じるせん断ひずみとして中央半径での値を用い、供試体に作用する有効応力としては供試体中央高さでの値を用いた。

さらに、ケース 3、4 の低拘束圧下での実験においては、

キーワード：液状化、繰返し中空ねじり試験、液状化強度、拘束圧依存性、メンブレンペネトレーション  
 〒153-8505 目黒区駒場 4-6-1 東京大学生産技術研究所 古関研究室 (Tel03-5452-6421, Fax03-5452-6423)

表 1 拘束圧の条件

ケース	鉛直応力 $\sigma_{v_0}'$ [kPa]	水平応力 $\sigma_{h_0}'$ [kPa]	$\frac{\sigma_{h_0}'}{\sigma_{v_0}'}$	初期有効平均主応力 $p_0' = (\sigma_{v_0}' + 2\sigma_{h_0}')/3$ [kPa]
1	98.1	98.1	1	98.1
2	98.1	49.0	0.5	65.3
3	29.4	14.7	0.5	19.6
4	9.8	4.9	0.5	6.5

\* ケース 1 は予備試験として実施

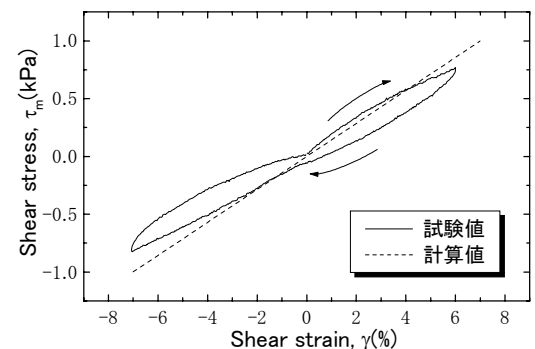


図 1 メンブレン張力に起因するせん断応力

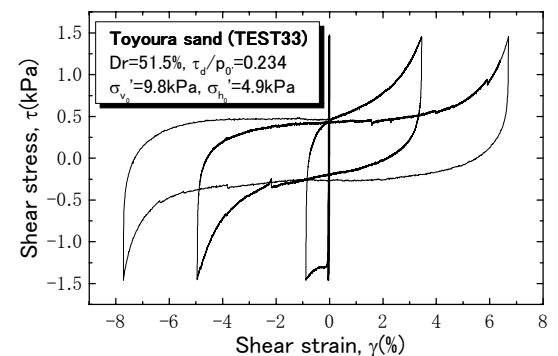


図 2 ケース 4 の応力ひずみ関係の例

通常拘束圧下での実験に比べ次のような点を工夫した。  
 (1)供試体の飽和方法には炭酸ガス法を用いることで、セル圧・背圧の変化量を最小限にした。  
 (2)U字管とデジタル負圧ゲージを利用することにより、所定の拘束圧を正確に供試体に作用させた。  
 (3)軸力載荷は、ペロフラムシリンダーでは制御精度が不十分なため、おもりを使って死荷重として作用させた。

**3. 実験結果及び考察**

実験結果の一例として、ケース4の拘束圧で繰返しせん断応力比  $\tau_d/p_0' = 0.234$  の場合の応力ひずみ関係と有効応力経路を図2、3に示す。

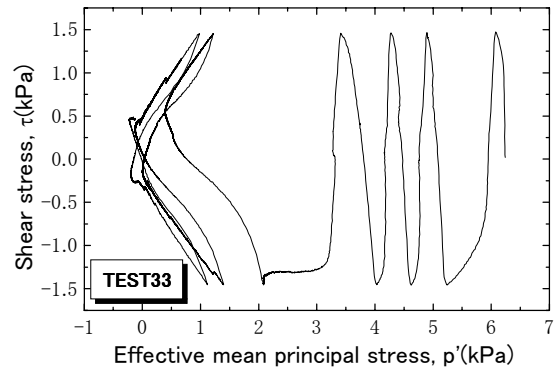


図3 ケース4の有効応力経路の例

図4は、各ケースの繰返しせん断応力比と両振幅せん断ひずみ  $\gamma_{DA} = 7.5\%$  に達するまでの繰返し回数  $N_c$  の関係である。拘束圧が低いほど液状化強度が大きくなっているのがわかる。

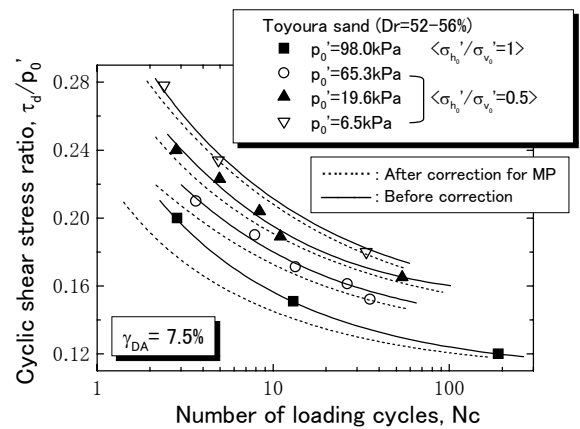


図4 液状化強度曲線

図4には、メンブレンペネトレーション(MP)に起因する除荷時の見かけの体積ひずみを文献1)に基づいて推定し、さらに文献2)で提案されている関係を用いてMPの影響を補正したときの液状化強度曲線もあわせて示す。補正を行なうことにより、どの拘束圧においても液状化強度は小さくなったが、低拘束圧ほど液状化強度が大きいという傾向は変わらなかった。

この結果を既往の研究と比較するために、繰返し回数10回で液状化するせん断応力比を初期有効平均主応力  $p_0' = 9.8 \text{ kPa}$  のときの値で正規化した「液状化強度比  $R_c$ 」と  $p_0'$  の関係を図5に示す。図中には、既往の非排水繰返し三軸試験<sup>3)</sup>と、軸応力一定の非排水繰返し中空ねじり試験<sup>4)</sup>の結果もあわせて示した。今回の軸変位拘束試験でも既往の研究とほぼ同程度の拘束圧依存性が得られた。

**4. まとめ**

(1)軸変位固定下でも、液状化強度は拘束圧が低いほど大きくなる。また、その拘束圧依存性の程度は、軸変位を固定しない既往の結果と同程度であった。  
 (2)メンブレンペネトレーションの影響を考慮して液状化強度の補正を行なったが、拘束圧依存性の傾向は変わらなかった。

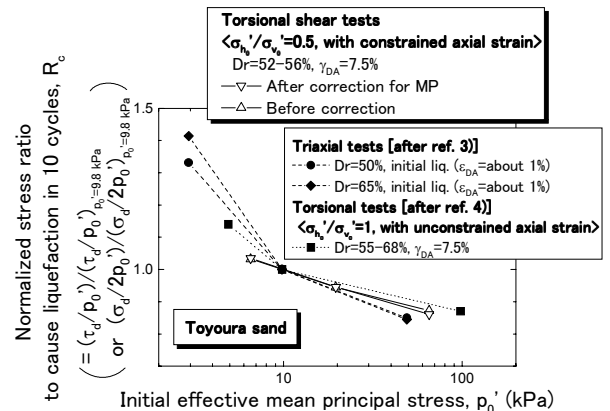


図5 液状化強度に及ぼす拘束圧の影響 [文献4)に加筆]

**参考文献**

1) Shahnazari, H. (2001) : Experimental investigation on volume change and shear deformation characteristics of sand undergoing cyclic loading, Doctor Thesis Univ. of Tokyo  
 2) Tokimatsu, K. (1990) : System compliance correction from pore pressure response in undrained cyclic triaxial tests, Soils & Foundations, Vol.30, No.2  
 3) 金谷 守 ほか (1994) : 低拘束圧下における砂の繰返し非排水せん断強度, 第29回土質工学研究発表会  
 4) 古関 潤一 ほか (2000) : 繰返し中空ねじり試験による低拘束圧下での砂の液状化特性(その2), 土木学会第55回年次学術講演会第III部門