

III-89 砂の低拘束圧領域での振動三軸試験システム

(株)フジタ 土木本部 香川 和夫
 (株)フジタ 技術研究所 福島 伸二
 (株)フジタ 技術研究所 望月 美登志

1. まえがき

地震時の地盤中の液状化層が5m以浅のことも少なくないが、この場合には地盤内の土の要素の対象とされる圧力レベルはかなり低い。しかし一般に振動三軸試験は圧密圧 $\sigma_c \geq 0.5 \text{ kgf/cm}^2$ で実施される。これは液状化抵抗を表す繰返し応力比 $R = (\sigma_a / 2 \sigma_c)$ は拘束圧の増加に対してやや減少する傾向にあり ($0.5 \leq \sigma_c \leq 2.0 \text{ kgf/cm}^2$ の試験では R はほぼ $\sigma_c^{-0.2}$ に比例するという報告がある¹⁾)、圧力レベルが高い方が試験がしやすく精度も高いこと、また安全側の結果になるなどの理由によるものと思われる。しかし地盤の深さ方向の液状化特性を詳細に検討する場合や振動台のような圧力レベルが非常に低い場合には低応力レベルでの試験が不可欠である。そこでここでは低拘束圧領域における砂の液状化強度を精度よく求めるための振動三軸試験システムの適用性について検討した結果を報告する。

2. 試験装置と試験方法

試験に使用した装置の三軸セル部を図-1に示す。供試体の寸法は高さ・直径比が $h_s/d_s = 150/75(\text{mm})$ である。この試験システムの繰返し応力載荷部の可動部分は慣性力を小さくするためと供試体に余分な偏差応力が加わらないように軽量化したキャップと載荷ロッド ($\phi 8\text{mm}$) とた (アクリル板を含めた全重量が 885gf)。また繰返し荷重の制御がしやすいように低圧型電空変換器、有効断面積が小さくかつロッドの偏心しないガイド付きベロフラムシリンダー (BFDA-50-64) そして軽量・低容量型ロードセル (容量 20kgf 重量 150gf) を使用した。軸変位は測定反力・摩擦の小さいインタクダンス式変位計を使用した。低拘束圧領域では静的三軸圧縮試験と同様に供試体の自重やメンブレンの拘束による影響が問題になる²⁾。そこで供試体の応力は供試体の中央位置で計算し、メンブレンは拘束力が小さい厚さ $t_m = 0.15\text{mm}$ のものを使用した。メンブレン拘束力の影響を考慮する場合には、これを次式で計算して圧縮側 ($P_c > 0$) では側方応力のみ、伸張側 ($P_e < 0$) では軸応力のみそれぞれ補正をした。

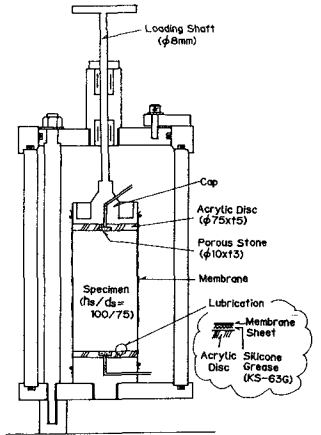


図-1 三軸セル

圧縮側 ($P_c > 0$): $\sigma_c = \sigma_c^* - \sigma_{rm}$,

$$\sigma_{rm} = 2t_m (\sigma_c^* + E_m \varepsilon_r) / d_s$$

伸張側 ($P_e < 0$): $\sigma_a = \sigma_a^* + \sigma_{am}$,

$$\sigma_{am} = 4\pi t_m E_m \varepsilon_a / d_s$$

ここで σ_c^* 、 σ_a^* はそれぞれ供試体中央位置で計算された側方応力、軸応力である。また E_m 、 t_m はメンブレンのヤング率、厚さである。試料は豊浦砂を使用し、供試体は出口寸法 $2 \times 20\text{mm}$ のロートを用いた空中落下法により作製した。背圧は $\sigma_{BP} = 1.0 \text{ kgf/cm}^2$ 、繰返し荷重の周波数は $f = 0.1\text{Hz}$ とした。

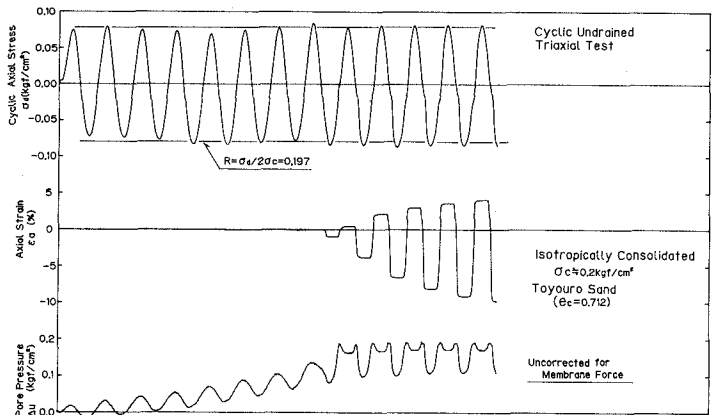


図-2 (a) 試験結果例（メンブレン力の補正なし）

3. 試験結果

図-2 (a) (b)には拘束圧 $\sigma_c \approx 0.2 \text{ kgf/cm}^2$ 、繰返し応力比 $R = \sigma_a/2\sigma_c \approx 0.2$ のメンブレン力の無補正と補正した場合それぞれの繰返しせん断中の繰返し荷重、軸変位、過剰間隙水圧の変化記録を示してある。また図-3には有効応力経路を示す。この図から低拘束圧にもかかわらず圧縮・伸張側の荷重振幅比はほぼ $0.9 \leq P_c/P_e \leq 1.1$ を満足しているが、過剰間隙水圧が上昇し変形が大きくなるとメンブレン力の影響が大きくなることがわかる。このメンブレン力の影響は変形の大きい伸張側において大きく、補正をした伸張側の荷重振幅は圧縮側に比較してかなり小さくなり圧縮・伸張の荷重振幅比が一定でなくなる。

また図-4には拘束圧 $\sigma_c \approx 0.2 \text{ kgf/cm}^2$ における試験から得られた繰返し応力比 $R = \sigma_a/2\sigma_c$ と軸ひずみ振幅 $DA = 10\%$ が生じるに必要な繰返し回数 N_c の関係を示してある。図中には拘束圧 $\sigma_c \approx 1.0 \text{ kgf/cm}^2$ における同様の関係 ($R_{1.0}$) と、Tatsuoka, F. らの報告による液状化強度の拘束圧依存式 ($R_{0.2} \propto \sigma_c^{-0.2}$) から計算した $\sigma_c \approx 0.2 \text{ kgf/cm}^2$ における $R_{0.2} = (R_{1.0}) (0.2/1.0)^{-0.2}$ の関係を示してある。液状化強度は拘束圧の低い方が大きく、繰返し回数の少ない場合には拘束圧依存式との一致度はよいが、繰返し回数が多くなると拘束圧依存性は弱くつまり液状化強度の拘束圧依存性は繰返し回数にも関係しているようである。

4. あとがき

低拘束圧領域における砂の液状化強度を精度よく調べられるように、可動部の軽量化したあるいは繰返し荷重の制御しやすいように低圧型電空変換器、ガイド付きペロフラムシリンダー、軽量・低容量型ロードセル、低反力型変位計を採用した非排水繰返し振動三軸試験システムについて述べてきた。本試験システムは試験結果はほぼ満足のゆくものであり、低拘束圧レベルでの液状化強度の拘束圧依存性を精度よく調べられるようである。

参考文献

1) Tatsuoka, F., Iwasaki, T., Tokida, K. and Kon-no, M.: Cyclic Undrained Triaxial Strength of Sampled Sand affected by Confining Pressure, Soils and Foundations, Vol. 21, No. 2, pp115-120, 1981.

2) Fukushima, S. and Tatsuoka, F.: Strength and Deformation Characteristics of Saturated Sand at Extremely Low Pressures, Soils and Foundations, Vol. 24, No. 4, pp30-48, 1984.

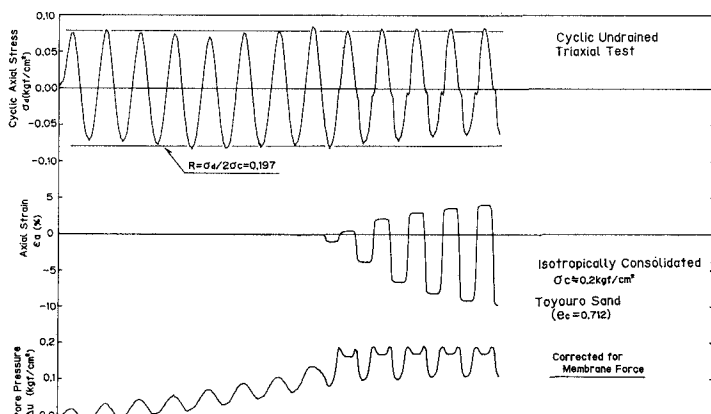


図-2 (b) 試験結果例 (メンブレン力の補正あり)

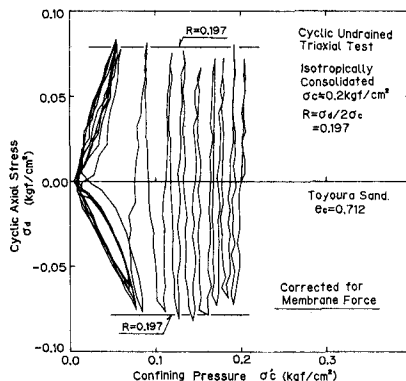


図-3 有効応力経路

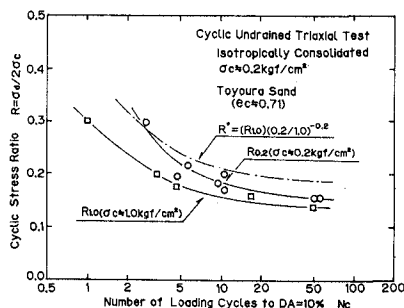


図-4 応力比～繰返し回数関係