

東京大学生産技術研究所 Oプラダン テー ジ B. S

同上

龍岡 文夫

梶谷調査工事(株)

原 勝重

1. まなびき: 大きなひずみレベルに至るまでの砂の繰返し非排水せん断挙動をシミュレーションする目的で、中空供試体(高さ 10 cm, 外径 10 cm, 内径 6 cm)を用いたねじりせん断試験における有効応力比 $(\tau_{at}/\sigma_a') \sim$ せん断ひずみ γ_{at} 関係(図-1)を繰返に調べた。その結果有効拘束圧が非常に小さくなった領域($<0.05 \text{ kgf/cm}^2$)でもなめらかな $\tau_{at}/\sigma_a' \sim \gamma_{at}$ 関係が成り立ち、このことを示唆する結果が得られた。

2. 実験方法: 豊浦砂($e_{max}=0.977, e_{min}=0.605$)を用いて空中落下法で作成し、 $\sigma_a' = \sigma_r' = 1.0 \text{ kgf/cm}^2$ で等方圧密した圧密後 $D_r = 62.9\%$ の供試体を $\dot{\gamma}_{at} = 0.5\%/min$ でひずみ制御で軸方向変位自由で非排水繰返しせん断した結果を解析する(実験法の詳細は文献(1)を参照)。前報⁽²⁾ではメンブレンに対する応力補正は τ_{at} に対してのみ行、たが、その後の検討でこれだけでは不十分であることが分かったので σ_a', σ_r' の両方についても補正を行、た。すなわち位置 z (図-1)における $\sigma_a', \sigma_r', \tau_{at}$ は次式で求めた。P, T を砂とメンブレンに供試体上端で加わる軸力とトルク、 γ' を供試体の有効自重として、

$$\sigma_a' = P/A + \gamma' z + \Delta\sigma_a, \quad \sigma_r' = \sigma_c' + \Delta\sigma_r, \quad \tau_{at} = 3T/[2\pi(r_o^3 - r_i^3)] + \Delta\tau_{at}$$

$$\Delta\sigma_a = \frac{-4E_m t_m}{3(r_o^2 - r_i^2)} \left[2(r_o + r_i)(E_{ac} + E_a) + r_o \{ (E_{omo})_o + E_{rc} + E_r \} + r_i \{ (E_{omo})_i + E_{rc} + E_r \} \right]$$

$$\Delta\sigma_r = \frac{-4E_m t_m}{3(r_o^2 - r_i^2)} \left[(E_{ac} + E_a) + (E_{omo})_o + (E_{omo})_i + E_{rc} + E_r \right], \quad \Delta\tau_{at} = -2E_m t_m \frac{(r_o^3 - r_i^3)}{(r_o^2 - r_i^2)(r_o + r_i)} \dot{\gamma}_{at}$$

t_m, E_m : メンブレンの厚さ, ヤング率, r_o, r_i : 供試体の現座外半径, 内半径, $(E_{omo})_o, (E_{omo})_i$: 供試体セット時における外, 内メンブレンの半径方向ひずみ, E_{ac}, E_a : 圧密およびせん断時の軸ひずみ, E_{rc}, E_r : 圧密およびせん断時の半径方向ひずみ, $\dot{\gamma}_{at}$: ねじりせん断ひずみ。この式の誘導では供試体半径方向ひずみ ϵ_r は r_o, r_i で等しく、又接線方向ひずみ $\epsilon_t = \epsilon_r$ と仮定している。

3. 実験結果: 図-2 に供試体の $z=5 \text{ cm}$ での $\tau_{at} \sim \sigma_a'$ 関係を示す。これに対応する τ_{at}/σ_a' と境界変位から求めた $\dot{\gamma}_{at}$ 関係を図-3(a) に示す。 $\dot{\gamma}_{at}$ が $\pm 2\%$ 以内である 6 回目の繰返し載荷までは $\tau_{at}/\sigma_a' \sim \dot{\gamma}_{at}$ 関係はきつい双曲線関係になっている⁽²⁾。しかし、7, 8 回目ではこの関係が乱れ、これは σ_a' が 0.04 kgf/cm^2 以下になった時に生じている。図-4 に 8 回目の

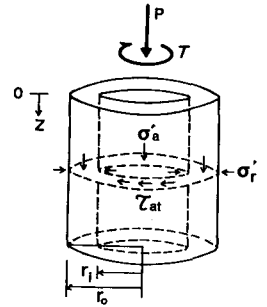


図-1. 供試体の応力状態

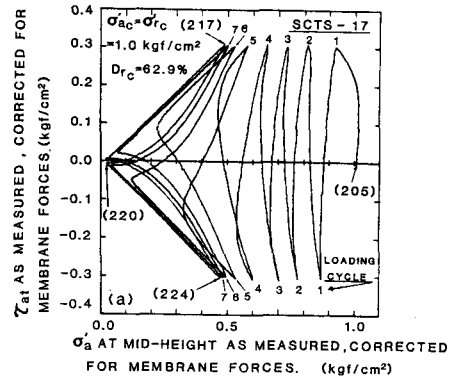
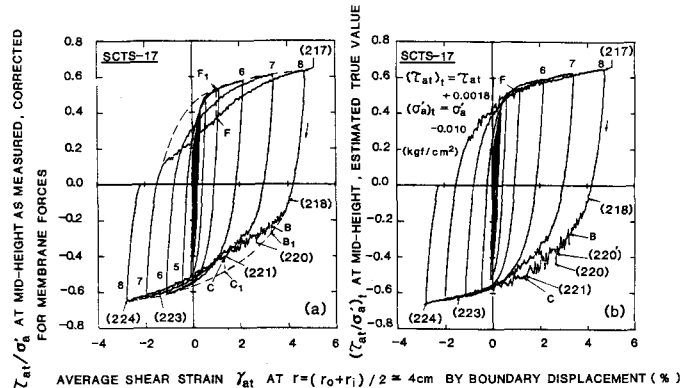


図-2. 有効応力経路

図-3. 応力比 (τ_{at}/σ_a') $\sim$ せん断ひずみ $(\dot{\gamma}_{at})$ 関係

の除荷時応力経路を拡大して示す。この原因として(1) τ_{at}, σ_a' の若干の測定誤差と(2)変形の上下方向の非一様性が考えられる。(1) τ_{at}, σ_a' の測定誤差: 図-3(a)に示す 8 回目の履歴曲線において、 σ_a' が -0.01 kgf/cm^2 , τ_{at} が $+0.0018 \text{ kgf/cm}^2$ 変化すると測定変 F, B, C はなめらかな双曲線関係(破綻線)上の点 F, B, C になる。従って、 $(\tau_{at})_t = \tau_{at} + 0.0018$ と $(\sigma_a')_t = \sigma_a' - 0.010 \text{ kgf/cm}^2$ を用いて、 $z=5 \text{ cm}$ での $(\tau_{at}/\sigma_a')_t \sim \dot{\gamma}_{at}$ 関係を求めると

図-3(b)に示すように全体として非常にちがいがな双曲線関係になる。今後、この応力値の変化分が測定誤差であるかどうか検討する必要がある。

(2) 供試体の変形の非一様性：図-4に示すように点(220)では $Z=0, 10\text{ cm}$ で τ_{at}/σ'_a は $-0.421, -0.276$ と大幅に異なり、これは Z -方向での局所ひずみが異なる原因とせらる。そこで文献(3)に示す方法で Z -方向の 1 cm 毎の供試体表面での局所ひずみを測定した。図-5(b)に示すように全体的にはひずみ分布は一様である。しかし、図-5(a)に示すように各測定点間の局所的ひずみ増分 $\Delta\gamma_{at}$ の分布は一様ではない。点(217)で $\gamma_{at}=0$ として、 $Z=1, 5, 9\text{ cm}$ での局所応力 τ_{at}/σ'_a と局所ひずみ γ_{at} の関係を求めた(図-6(a), (b))。図-6(a)は測定した τ_{at}/σ'_a 、図-6(b)は $(\tau_{at}/\sigma'_a)_t$ を用いたものである。ただし、図-3(b)、図-4において点(220)の $Z=5\text{ cm}$ での $(\tau_{at}/\sigma'_a)_t$ と σ'_a の値は平均関係からはずれているため平均関係上の点(220')における $(\tau_{at}/\sigma'_a)_t = -0.380$ と $(\sigma'_a)_t = (0.027 - 0.010)\text{ kgf/cm}^2$ を用いて $Z=1, 9\text{ cm}$ での $(\tau_{at}/\sigma'_a)_t$ を求めた。図-6、特に図-6(b)を見ると $Z=1, 5, 9\text{ cm}$ における局所的 $(\tau_{at}/\sigma'_a \sim \gamma_{at})$ 関係には差がなく、図-5(a)に見うける $\Delta\gamma_{at}$ の非一様性は τ_{at}/σ'_a の非一様性が原因ということになる。すなわち、点(218)→(220)の間では Z が小さい程 τ_{at}/σ'_a の変化も大きく $\Delta\gamma_{at}$ も大きく、点(220)→(221)の間では Z にようす τ_{at}/σ'_a の変化と $\Delta\gamma_{at}$ はほぼ一様で、点(221)→(223)の間では Z が小さい程 τ_{at}/σ'_a の変化も $\Delta\gamma_{at}$ も小さい。

4. まとめ：図-6には供試体 $1/2$ 高さ($Z=5\text{ cm}$)での τ_{at}/σ'_a と境界変位に

よる平均ひずみの関係(X印)を示してある。これと局所的 $(\tau_{at}/\sigma'_a) \sim \gamma_{at}$ 関係に差がないことは、前者を「応変形が一様、応力分布が一様」である要素の構成関係とみなしてよいことを示している。更に、この $\tau_{at}/\sigma'_a \sim \gamma_{at}$ 関係は相当小さい σ'_a の時までも双曲線関係で表現できると考えてよい。

参考文献：(1) 原、龍岡、佐藤(1984)、第19回土質工学会

第577～580、(2) フラン、原、龍岡(1985)、第20回土質工学会、(3) 原、龍岡(1984)、第39回土木学会第61～62。

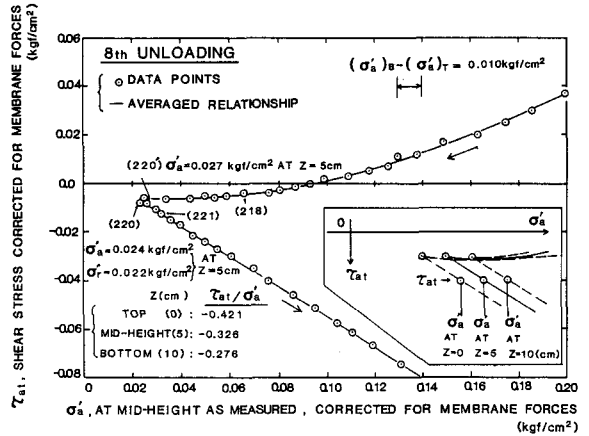


図-4. 有効応力経路の拡大図

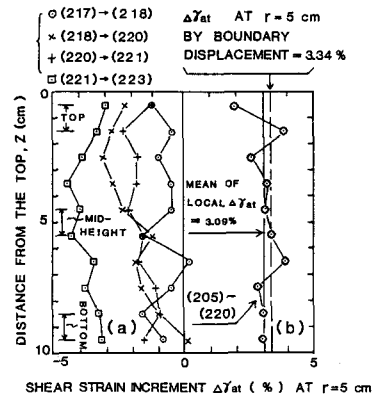


図-5. 局所ひずみ分布

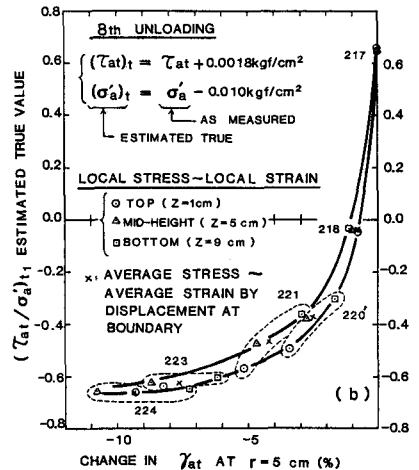
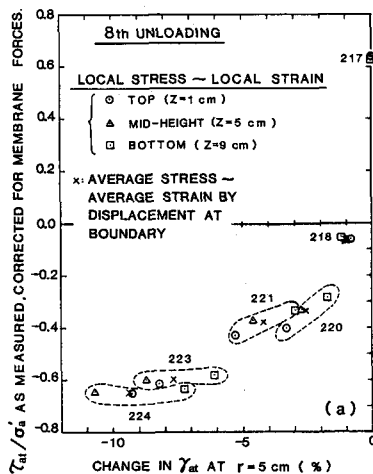


図-6. 局所応力比 (τ_{at}/σ'_a) ～局所ひずみ (γ_{at}) 関係