

III-136 繰返し載荷時の砂の応力比・ひずみ増分比関係について

東京大学生産技術研究所 正員

龍岡 文夫

〃

正員 プラダン テーラ" B.S.

1. はじめに: 砂の応力比-塑性ひずみ増分比(いわゆるストレス・ダイレイタンスー関係)は、これまで Rowe, 松岡, 小田, 徳江, 諸戸らによって詳細に検討されてきた。そこで、繰返し載荷中の関係をこれまでの研究成果を踏まえて次の2点を取り入れて定式化してみた。(1)載荷方向が反転した瞬間は応力比一定のままダイレイタンスー角 ψ が不連続的に減少する。(2)除荷時も常に塑性変形が生じ、載荷時・除荷時、繰返し回数、応力履歴等にかかわらず載荷方向と同じ向きが同一ならば同一の関係が成り立っている。

2. 繰返し非排水せん断時の挙動: 図-1は近似的に単紙せん断変形の条件(水平面上の直ひずみはゼロ)を満たしている実験の結果である¹⁾。この結果から次のことが分かる。(1)詳細に図2(a)を見ると、ピーク時($1P_+$, $1P_-$, $2P_+$, ..., $9P_+$, $9P_-$, $10P_+$)から除荷した時、負の $d\sigma'_a$ が生じていて、その絶対値はピーク時の応力比($|\tau_{at}/\sigma'_a|$)が大きい程大きい。(2)除荷時の $|d\sigma'_a|$ の値は(時に $8P_+$ 以降は)生じている $d\sigma'_a$ の大きさに比較すると非常に大きい。この時のダイレイタンスー角 ψ は負であり、その絶対値は載荷時での(たとえば $S \rightarrow 1P_+$ での)負のダイレイタンスー角 ψ の絶対値よりも大きいことを示唆している。この2点はプラダンら²⁾が行った排水繰返し三軸試験の結果とも矛盾しない。以下に述べる定式化ではこの点を踏まえている。

3. 単紙せん断時のストレス・ダイレイタンスー関係: これまでの提案された数多くのモデルの中から最も、この単紙な「ブロックすべり理論」(たとえば徳江³⁾, 諸戸⁴⁾)を用いることにした。図-2(a)に示するような単紙せん断変形を考慮。面 $a-a'$ は平均的な粒子間接触面の方向をあらわしている。この面での平均的な静摩擦角を ϕ_a であらわし、この面での応力傾角が ϕ_a である時粒子間にすべりが生ずるとする。すべりの量は不明なのでこのモデルからは $d\gamma$ の値は求められない。マクロ的な応力とひずみ増分の符号は次のように定義する。

・ τ_{at} , $d\gamma$; 反時計まわりを正(+).

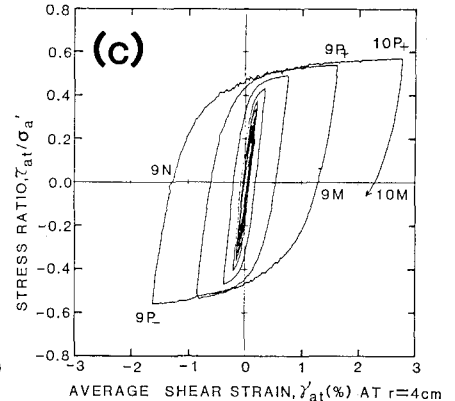
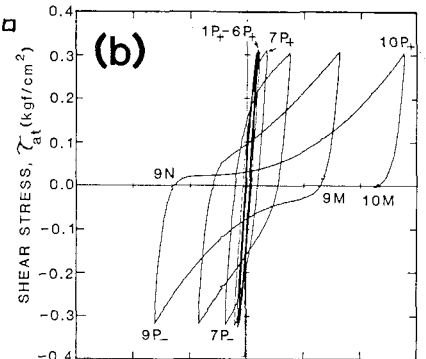
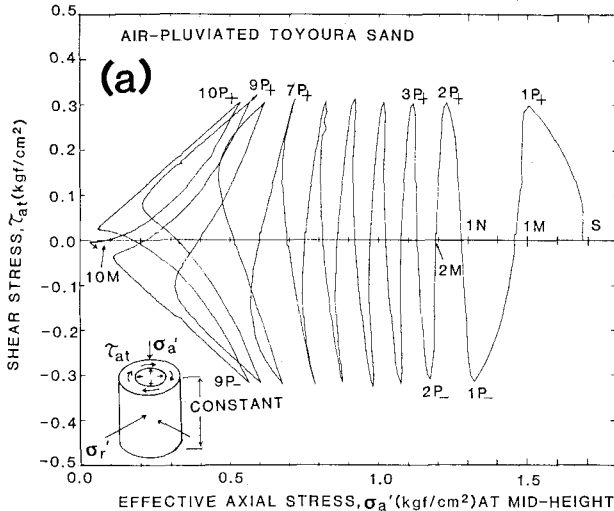


図1, $\sigma'_a = 1.689 \text{ kgf/cm}^2$, $\sigma'_r = 0.660 \text{ kgf/cm}^2$ で双方圧した $e = 0.734$ の高さ10cm, 外径10cm, 内径6cmの中空筒試体と高さ一定で非排水繰返しなじりせん断の結果(実験は原勝彦氏による)。

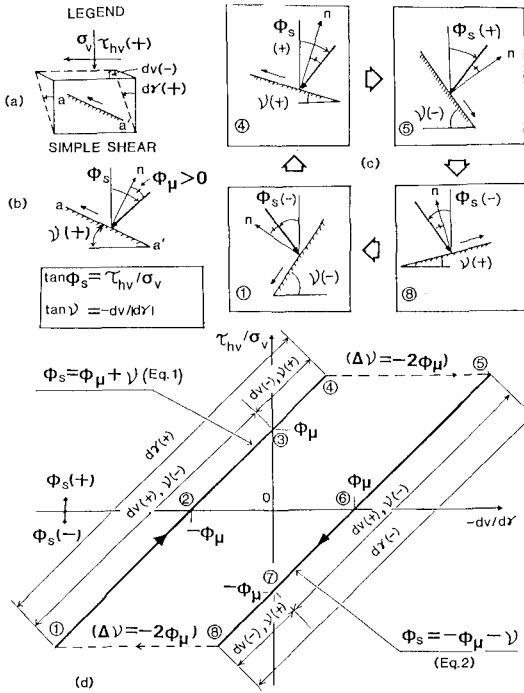


図-2 ブロックすべり理論

• $\sigma_v, d\delta$; 圧縮が正(+).

• 応力傾角 $\phi_s = \arctan(\tau_{hv}/\sigma_v)$: 時計まわり正。

なお, ϕ_s は常に正であり, タイレタンシー角 ν は $d\delta$ が正の時角になるように $\tan \nu = -d\delta/d\gamma$ で定義

する。 $d\gamma > 0$ の時のストレス・タイレタンシー関係は図-2(d)の直線①②③④であらわれ, (Eq.1)となる。ピーク④から除荷すると ϕ_s は不変のまま ν は不連続的に減少し, ⑤に移る。⑤→①→⑦→⑧ では $d\gamma < 0$ であり, ストレス・タイレタンシー関係は (Eq.2) となる。ピーク⑧から除荷すると ϕ_s は不変のまま ν が不連続的に減少する。こゝで, ①→②, ⑤→④ では τ_{hv} と $d\gamma$ の符号は逆であることに注意する必要がある。

4. 三軸圧縮伸張状態への変換: 松岡⁽⁵⁾に従い, 三軸状態では2つの2次元的すべりが生じ, 個々の2次元的すべりで主ひずみ増分を $d\epsilon_a^p/2, d\epsilon_r^p$ とする ($d\epsilon_a^p, d\epsilon_r^p$ は実際の軸ひずみ増分, $d\epsilon_r^p$ は側方ひずみ増分)。個々の2次元的すべりで伸ひ縮みのない方向の変形を図-2aの変形とみなし, 主応力軸と主ひずみ増分の同軸性を仮定すると次式が得られる。ただし, $\phi_{mob} = \arcsin\left(\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 + \sigma_3}\right)_{mob}$ である。(Eq.3)

(1) τ_{hv} と $d\gamma$ の符号が同じ時 (三軸では σ_1 と $d\epsilon_1^p$ の方向が同じ時) $\tan(\phi_\mu + \nu) = \sin \phi_{mob} \cdot \cos \nu / (1 - \sin \phi_{mob} \cdot \sin \nu)$

(2) τ_{hv} と $d\gamma$ の符号が逆の時 (三軸では σ_1 と $d\epsilon_3^p$ の方向が同じ時, たとえば図-2cの⑦の時。) 図-3を参照し,

$-\tan(\phi_\mu + \nu) = \sin \phi_{mob} \cdot \cos \nu / (1 + \sin \phi_{mob} \cdot \sin \nu)$... (Eq.4)。(Eqs.3, 4は $\tau_{hv}, d\gamma$ の符号による) こゝで, ν は次のように (2) $d\epsilon_a^p$ と $d\epsilon_r^p$ と関係づけられる (ν は塑性性である)。

(1) $d\epsilon_a^p > 0$ の時, $\sin \nu = -\frac{d\epsilon_a^p/2 + d\epsilon_r^p}{d\epsilon_a^p/2 - d\epsilon_r^p}$ (Eq.5), (2) $d\epsilon_a^p < 0$ の時, $\sin \nu = -\frac{d\epsilon_a^p/2 + d\epsilon_r^p}{d\epsilon_r^p - d\epsilon_a^p/2}$ (Eq.6)

(Eq.3)~(Eq.6)を用いて, 三軸状態での $\sigma/p' = (\sigma_a' - \sigma_r') / \frac{1}{2}(\sigma_a' + \sigma_r')$ と $-d\delta/d\gamma = -(d\epsilon_a^p + 2d\epsilon_r^p) / (d\epsilon_a^p - d\epsilon_r^p)$ 関係を $\phi_\mu = 27.1^\circ$ とて求めたのが図-4cの実線である。テ-タとの対応は悪くない。

参考文献 (1) 原勝重・龍岡夫・マサナ・J.B.S. (1985), 第20回土質工学会, H-369~372 (2) マサナ, テ-タ・J.B.S. 龍岡夫・毛利栄正 (1986), 第21回土質工学会, 講演番号207 (3) Tokue, T. (1978), Soils and Foundations, Vol.18, No.1, pp.1-10. (4) 諸戸靖史 (1986), 第21回土質工学会, 講演番号129 (5) Matsuoka, H. (1974), S and F, Vol.14, No.3, (6) Tatsuoka, F. (1985), S and F, Vol.25, No.4.

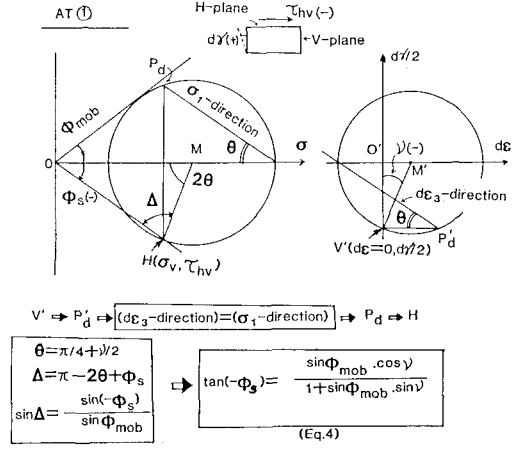


図-3, 図-2 cの⑦の状態の時の2次元すべり変形における応力とひずみ増分の状態。

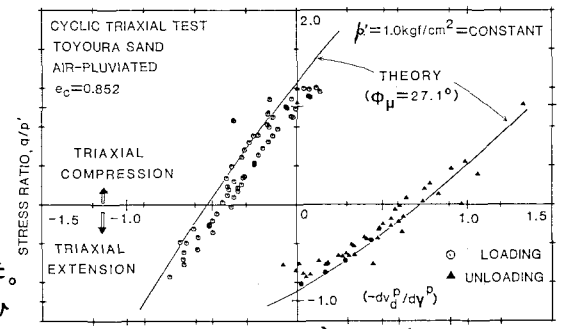


図-4, テ-タ²⁾との比較