

III-137

繰返し三軸試験における砂の変形特性について

東京大学生産技術研究所 正員 プラダン テージ B. S
同上 正員 龍岡 文夫

1. はじめに： 筆者らはすでに飽和砂の厳密な変形、強度特性を求めるための三軸載荷システム装置を開発した。このシステムを用いて平均主応力（ p' ）一定の条件下で繰返し載荷時における飽和砂の精密なストレス、ダイレタンシー関係を実験的に調べた。本報告においては上記システムを用いた平均主応力一定（ $=1.0 \text{ kgf/cm}^2$ ）条件下で片振り繰返し試験を行い、その結果について検討を加えた。

2. 試料および実験方法： 用いた砂は豊浦標準砂（ $e_{\max}=0.977, e_{\min}=0.605$ ）で空中落下法で円筒状（高さ15cm、直径7.5cm）の供試体を作成した。測定装置の詳細については文献（2）を参照されたし。載荷ひずみ速度は0.05%/minとし、載荷中に拘束圧を制御しながら平均主応力を一定に保持し片振り繰返し排水せん断試験を行なった。

3. 実験結果： 実験結果においてmembrane penetration による体積ひずみの補正およびmembrane力による応力値の補正を行なっている【文献（2）を参照】

3-1. 応力-ひずみ関係： 図-1に本実験で得られた応力経路を示した。平均主応力のバラツキは0.5%以内にあり応力制御法がかなり良いと思われる。図-2に繰返し単調載荷除荷を行なった時のせん断応力比 $\{q/p' = (\sigma_a' - \sigma_r') / (\sigma_a' + 2\sigma_r') / 3\}$ とせん断ひずみ（ $\gamma = \epsilon_a - \epsilon_r$ ）の関係を示した。種々な応力レベルより除荷（1, 3, ..., 13）あるいは再載荷（2, 4, ..., 14）過程に注目すると形成されるヒステリシスループの幅が大きくなっている。これは応力レベルが大きくなると除荷時、再載荷時の塑性変形がより卓越されることを意味している。弾性領域内では（1）ダイレタンシーが生じない、（2） $q/p' - \gamma$ 関係は直線であると仮定する。図-2を見ても分かるように除荷や再載荷部分においてある程度の弾性領域がみられる。また、図-3においてほぼ水平である部分（ $dv_d^b \approx 0$ ）が弾性領域に相当する。せん断応力比（ q/p' ）がある値（ q/p'_{m} ）（最大圧縮時点での応力比）を越えると体積ひずみ（ v ）が収縮領域から膨張領域に入る。その直後の除荷において（13→14）体積ひずみが急激に収縮している。図-3の経路（13→14）において水平部分がほとんど存在しないにもかかわらず図-2の経路（13→14）においてはある程度の直線部分が存在している。この領域内では微小なひずみの変化に対して急激な体積圧縮が生じている。また、経路（14→15）の再載荷部分にお

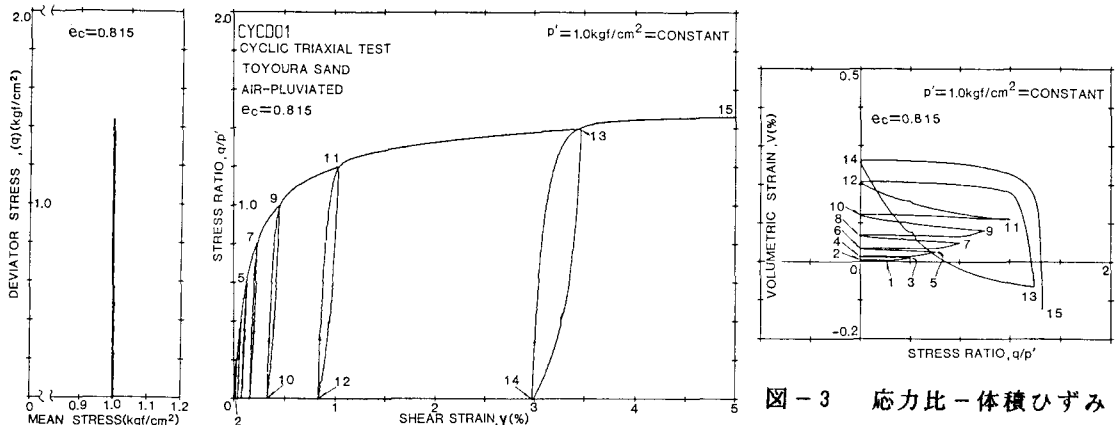


図-3 応力比-体積ひずみ
関係

図-1 有効応力経路 図-2. 応力比-せん断ひずみ関係

いて図-1,2の両方においてある程度の弾性領域の存在が見られる。図-4にひずみ径路($v-\gamma$ 関係)を示した。ATKINSONはこのひずみ径路における直線部分は弾性領域に相当すると言っている⁴⁾。しかし径路(13→14)においてひずみ径路はほとんど直線に近い。弾性領域内でダイレタンシーが生じなく、また弾性ひずみが小さいとするとひずみ径路内では弾性領域が表現出来ないはずである。上記のことより繰返し載荷中において除荷や再載荷に存在すると思われる弾性領域を実験データより解釈することは難しい。また、繰返し載荷のデータより等方硬化パラメーターや移動硬化パラメーターを求める際ある程度の仮定を設けてデータを解釈する必要があると思われる。

3-2. 応力比-ダイレタンシー関係: 図-5に応力比(q/p')-ダイレタンシー($-dv_d^p/d\gamma^p$)の関係を示した。弾性ひずみの評価は参考文献(2)を用いて行なった。参考文献(5)ではブロックすべり理論について論じ、それより繰返し三軸載荷試験において動員される摩擦角(ϕ_{mob})は式(1)→(4)に分けて整理することができる。式中において ϕ_μ はダイレタンシー角(ν)がゼロの時の摩擦角である。

(i) 載荷、再載荷過程において、
$$\sin \phi_{mob} = \tan(\phi_\mu + \nu) / \{ \tan(\phi_\mu + \nu) \cdot \sin \nu + \cos \nu \} \dots (1)$$

ここで、 $q/p' = 6 \sin \phi_{mob} / (3 - \sin \phi_{mob})$, $-dv_d^p/d\gamma^p = -4 \sin \nu / (\sin \nu - 3) \dots (2)$

(ii) 除荷過程において、
$$\sin \phi_{mob} = \tan(-\phi_\mu - \nu) / \{ \tan(-\phi_\mu - \nu) \cdot \sin(-\nu) + \cos(-\nu) \} \dots (3)$$

ここで、 $q/p' = 6 \sin \phi_{mob} / (3 - \sin \phi_{mob})$, $-dv_d^p/d\gamma^p = +4 \sin \nu / (-\sin \nu - 3) \dots (4)$

上記式を計算し、図-5に実線で示した。実験データとの対応が良いと思われる。また、図-5においてエネルギーの条件より導かれる応力比(q/p')-ダイレタンシー($-dv_d^p/d\gamma^p$)関係{式(5)}を点線で示した。

$$dv_d^p/d\gamma^p = 2/3 \cdot (M - q/p') \dots (5)$$

この式においてMは最大圧縮時点(ダイレタンシー角(ν)がゼロ)における q/p' の値であり、圧縮領域および伸張領域において異なる値を持つ。この式は圧縮領域において実験データとの対応が良いが伸張領域においてはあまり良くない(5)。

謝辞: 実験に関して農業土木試験所の毛利氏および武蔵野土質調査の木村氏に未筆ながら感謝の意を表わす。

参考文献: (1) 毛利、プラダン、龍岡; 第21回土質工学研究発表会(1986)、(2) プラダン、龍岡、毛利; 第21回土質工学研究発表会(1986)、(3) ATKINSON、J.H; GEOTECHNIQUE, 1973, (4) ATKINSON、RICHARDSON; GEOTECHNIQUE, 1985、(5) 龍岡、プラダン; 第41回土木学会(投稿中)。

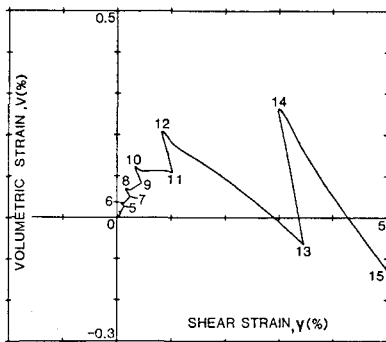


図-4 ひずみ径路 ($v-\gamma$ 関係)

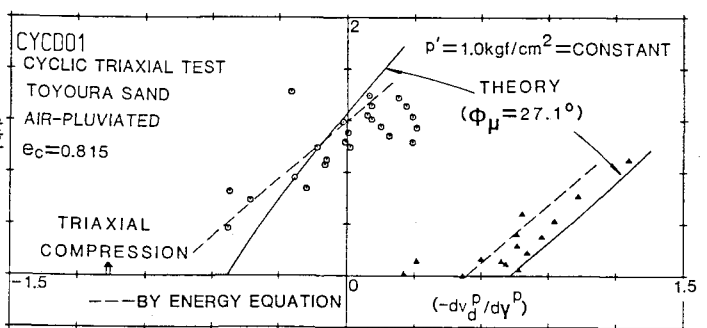


図-5 応力比-ダイレタンシー関係