

III-95

飽和砂の等体積繰返し三軸試験

西松建設(株)技術研究部 正員 ○佐藤 靖彦

東京大学生産技術研究所 正員 プラデン テージ B.S

同上 正員 龍岡 文夫

1. はじめに 繰返し載荷時の土の挙動を表現しうる構成式を検証する際、非排水試験で得られた有効応力経路を用いる場合が多い。この時等体積条件での有効応力経路と比較するべきであるが、非排水三軸・ねじり試験では Membrane Penetration (MP) が生じており、等体積条件が満足されていない。そのため、有効応力経路及び液状化強度はMPの影響を受けていることが指摘されている。時松ら¹⁾は周波数0.01HzでMPを補正した液状化試験を行い、液状化強度が低くなるという結果を得ている。山下ら²⁾は単調圧縮・伸張試験結果に対して有効応力経路に及ぼすMPの影響を解析的に検討している。ここでは、飽和砂の静的繰返し三軸試験においてMPを補正した等体積試験を行い、MPの有効応力経路への影響を実験的に検討した。

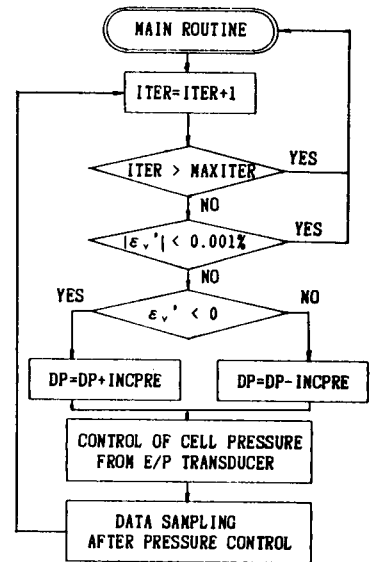
2. 試料および実験システム

試料は豊浦標準砂を使用し、空中落下法により高さ15cm、直径7.5cmの円柱供試体を作成した。載荷の軸ひずみ速度は約0.03%/minとした。載荷装置にはひずみ制御方式による応力・ひずみ径路自動制御精密三軸試験システム³⁾を使用した。等体積試験は排水バルブを開けた状態でせん断し、有効応力の変化によって生ずるMPを考慮した体積変化が所定の値となるようにパソコンとE/P変換器によって側圧を制御した。制御のフローを図-1に示す。ここで、 $\varepsilon_v' = \varepsilon_v - \varepsilon_{v0}$ であり、 ε_v' は真の体積ひずみ、 ε_v 、 ε_{v0} はそれぞれ排水量による体積ひずみ、MPによる体積ひずみである。せん断中は ε_v' の絶対値が0.001%以下になるように制御している。これは $\pm 0.006\text{cc}$ の体積変化に相当し、電子天秤で計測しているのが非常に精密な制御が可能となっている。INCPREは最小制御圧力で、0.001~0.005 kgf/cm²とした。MAXITERは最大制御回数で10回としたが、数回で制御されていた。MPの評価は豊浦砂の実験データ⁴⁾に基づき次式で行った。

$$\Delta MP = 1.703 \times 10^{-3} \times (\log_{10}(\sigma_{r0}' / \sigma_r')) \quad (\text{cc/cm}^2) \quad (1)$$

ただし、 σ_{r0}' 、 σ_r' はそれぞれ圧密後、せん断中の有効拘束圧である。

試験の一覧を表-1に示す。本システムの有用性を確認する目的で、バルブを開いて非排水($\varepsilon_v = 0$)になるように側圧を制御した非排水(バルブ開)試験を行い、通常の非排水(バルブ閉)試験と比較した。



CELL PRESSURE CONTROL ROUTINE

図-1 制御のフロー

表-1 試験一覧表

試験番号	排水条件	試験分類	間隙比 $e_{1.0}$
CYCU08	非排水 (バルブ閉)	CU-C	0.795
CYCU13	非排水 (バルブ閉)	CU-C	0.674
CYCV03	非排水 (バルブ開)	CU-O	0.809
CYCV05	非排水 (バルブ開)	CU-O	0.667
CYCV01	等体積 (MP.補正)	CV	0.806
CYCV02	等体積 (MP.補正)	CV	0.674

MP: Membrane Penetration

3. 実験結果 図-2には緩い砂（初期拘束圧 1.0 kgf/cm^2 における間隙比 $e_{1,0} \approx 0.8$ ）の非排水（CU）試験と等体積（CV）試験の有効応力経路、応力～ひずみ関係を示す。図-2(a)の CU-C試験と CU-O試験を比較すると、ほとんど同じ応力経路をたどり繰返し回数 $N_c=10$ で液状化に至っている。本システムはうまく制御されていると考えられる。

次に、図-2(c)の CV 試験では、 $N_c=4$ で有効応力が急速に減少して、液状化強度が低くなることを示している。すなわち、 $4E$ から $4E'$ では伸張状態 $d\varepsilon_a$ （軸ひずみ増分） < 0 にあり、Cyclic Mobilityの傾向が現れていない。また、図-2(a)の $N_c=2 \sim 9$ の圧縮時には応力経路が若干右に傾き有効応力は回復しているのに対し、図-2(c)ではこの様な現象は認められない。繰返し载荷を受ける供試体は変相角を越えない限り収縮するので、正の間隙水圧が発生して有効応力が減少して行くはずである。これは、明らかにMPによる排水の影響であると考えられる。図-2(b)、(d)の応力～ひずみ関係を比べると、CV試験の方がひずみの蓄積は速く、これは有効応力の変化と対応している。

図-3は密な砂（ $e_{1,0} \approx 0.67$ ）に対する CU 試験、CV試験の結果である。図-3(a)において Cyclic Mobilityに達するまでの繰返し回数は CU-C試験で $N_c=6$ 、CU-O試験で $N_c=4$ と異なっているが、大体の形状としては再現しているようである。図-3(c)の CV試験では、 $N_c=2$ で Cyclic Mobilityに達しており、有効応力の減少が顕著になっている。図-3(a)において、初期载荷時に有効応力の変化がほとんどない点と圧縮時に応力経路が右に反っている点はMPの影響と思われる。

なお、図-3(c)の傾向は $D=30 \text{ cm}$ 、 $H=60 \text{ cm}$ での非排水試験でも認められている（文献5の図19a）。
謝辞 本研究は東京大学生産技術研究所で行ったもので、実験に際し協力をいただいた佐藤剛司技官および研究室の方々に深謝の意を表します。

参考文献 1) 時松・中村・吉見：Membrane Penetrationの影響を補正した非排水せん断試験，第21回土質工学研究発表会，1986。 2) 山下・三浦・土岐：砂の非排水三軸挙動に及ぼすMembrane Penetrationの影響，土木学会第41回年次講演会，1986。 3) 毛利・フタツ・龍岡：三軸試験における応力経路の自動制御法について，第21回土質工学研究発表会，1986。 4) 後藤：小型および中型三軸せん断装置を用いた砂の変形強度に関する基礎的研究，東大修士論文，s59。 5) Tatsuoka et al.:"Some factors affecting cyclic undrained triaxial strength of sand" Soil and Foundations, Vol.26, No.3, 1986。

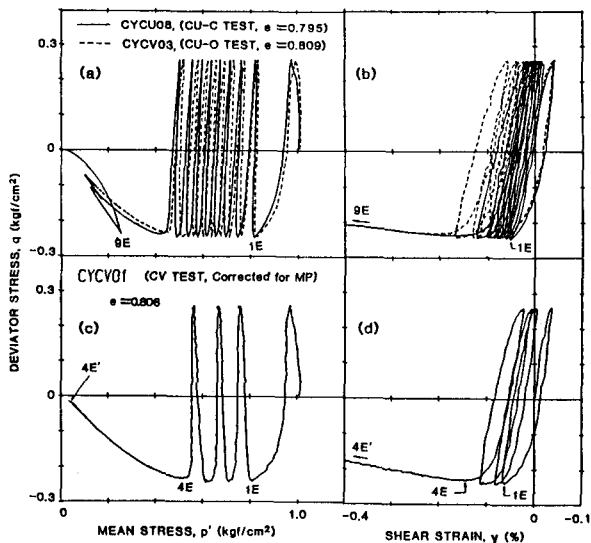


図-2 緩い砂の有効応力経路、応力～ひずみ関係

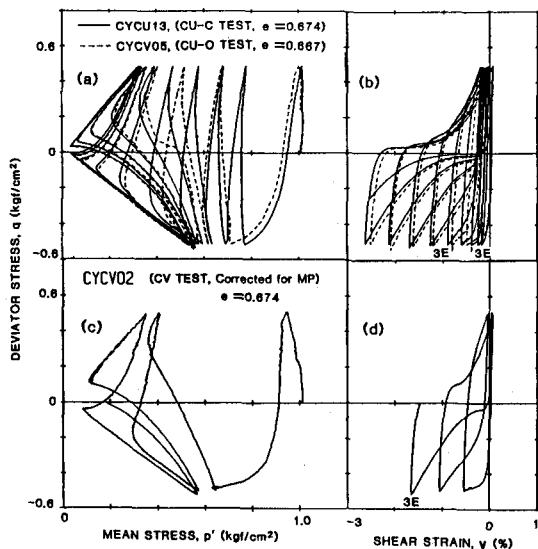


図-3 密な砂の有効応力経路、応力～ひずみ関係