

## 異なる排水せん断履歴を有する砂の単調非排水せん断挙動に関する実験的研究

名古屋大学 正会員 浅岡 顕・中野正樹・野田利弘・金田一広・山田英司 学生会員 中井健太郎  
 (株)大林組 正会員 佐々木一成

### 1. はじめに

砂のせん断挙動は密度（比体積）の影響を大きく受け<sup>1)</sup>、単調非排水せん断時にゆるい砂は軟化挙動を、密な砂は硬化挙動を顕著に示し、ゆるい砂でも密に締固められると硬化挙動を示す。しかし、その締固めの過程で、例えば、バイブレーターなどで振動を与えた場合と、三軸圧縮試験機などによって大きな軸差（せん断）応力振幅で繰返し排水せん断を与えた場合とでは、締固め後の砂供試体の密度が同じでも、その後の非排水せん断挙動が大きく異なることが明らかになってきた<sup>2)</sup>。本報告では、この排水せん断履歴（締固め履歴）が及ぼす、（その後の）砂供試体の単調非排水せん断挙動への影響について実験結果を示す。

### 2. 試験方法

軸差応力  $q$  の大きさ、圧縮側・伸張側および繰返し回数を変えながら、ゆる詰め砂供試体を様々な排水せん断で密にした後に単調非排水圧縮せん断試験を行った。ゆる詰め砂供試体は、三河珪砂6号を含水比5%に調整して Moist Placement 法で作製した（初期比体積は約2.0）。この供試体に対し、応力制御で繰返し（周期120secの正弦波）排水せん断を与えて等方応力状態にし、その後、定率ひずみ制御（1%/min）で単調「圧縮」非排水せん断を行った。なお、どの試験においても平均全応力  $p$  は一定で、以下、294kPaの結果を示す。

### 3. 圧縮側のみ・伸張側のみで片振り繰返し排水せん断を受けた砂供試体の単調非排水せん断挙動

図1~3は、 $q$  振幅196kPaの片振り繰返し排水せん断を「圧縮側」で受けた砂供試体の、単調非排水せん断試験結果である。図2( $q \sim p'$ 関係)から、繰返し排水せん断を多く受けた供試体ほど、非排水せん断初期に「弾性的」な（若干の「平均有効応力  $p'$  の増加」が見られるが） $q$  の増加（「立った挙動」）後に、 $p'$  の減少を伴う軟化挙動を示す。また、「限界状態線」に達するときの  $q$  も大きくなる。

図4~6は、振幅196kPaの片振り繰返し排水せん断を「伸張側」で受けた砂供試体の、単調非排水圧縮せん断試験結果である。図5( $q \sim p'$ 関係)から、図2と異なり、非排水せん断初期に  $p'$  の減少を伴う  $q$  の緩やかな増加（「寝た挙動」）を示すが、繰返し排水せん断を多く受けた供試体ほど、立った挙動を示す。そして、限界状態線に達するときの  $q$  も大きくなる。

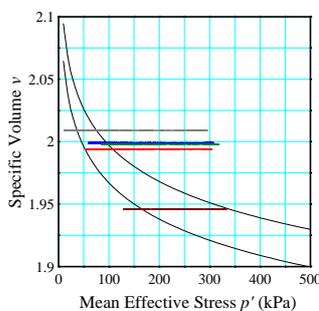


図1  $v \sim p'$  関係

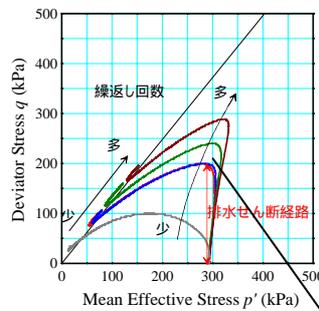


図2  $q \sim p'$  関係

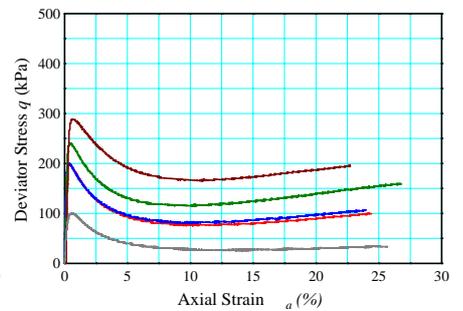


図3  $q \sim a$  関係

繰返し回数： - 0回 - 1回 - 2回 - 10回 - 150回

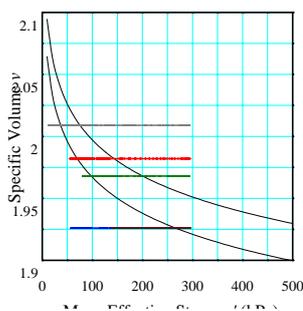


図4  $v \sim p'$  関係

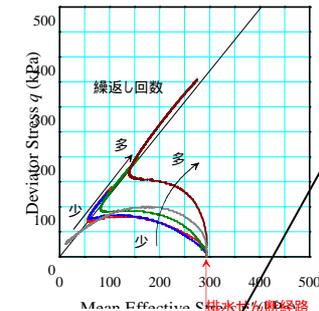


図5  $q \sim p'$  関係

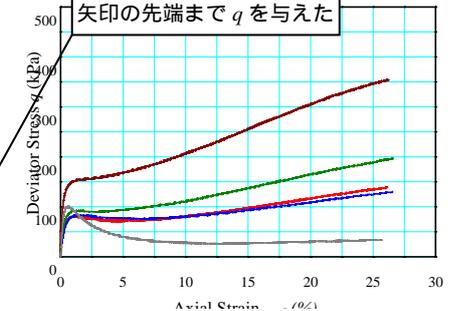


図6  $q \sim a$  関係

排水，非排水，砂，繰返し，せん断履歴

〒464-8603 名古屋市千種区不老町 名古屋大学大学院工学研究科土木工学専攻 TEL 052-789-3833 FAX 052-789-3836

両試験において、排水せん断後の比体積が同じ砂供試体、あるいは別途実施したバイブレーターで同程度に密に締められた砂供試体(詳細省略)は、非排水せん断時に限界状態線に達する  $q$  の値がほぼ同一であることから、図 2,5 で限界状態線に達する  $q$  が大きくなるのは排水せん断時に密になったためであると考えられる。一方、非排水せん断初期の有効応力パスの違いは排水せん断で発達した異方性の影響(圧縮側での繰返しでは、塑性ポテンシャル(の軸)の圧縮側への回転に伴う、圧縮側での弾性除荷域の増加)<sup>3)</sup>であると考えられる。なお、図 2 の非排水せん断時の限界状態線下側での「 $p'$ の増加」は弾性圧縮を意味するので、低応力比下で塑性膨張を許さない限り、「ひずみ」を弾性成分と塑性成分の和で与える従来の弾塑性構成式の応答では説明できない。

**4 排水せん断時に受けた軸差応力の大きさがその後の単調非排水せん断挙動に与える影響**

図 7,8 は排水せん断を 1 回だけ受けた砂供試体の単調非排水せん断試験結果であるが、排水せん断時の  $q$  の大きさを変えて試験を行っている。図 7 は「圧縮側」にそれぞれ 0,98,196,294kPa まで载荷した砂供試体の結果で、受けた軸差応力まで有効応力パスが立った挙動を示す。一方、図 8 は「伸張側」にそれぞれ 0,98,196kPa まで载荷した砂供試体の結果で、受けた軸差応力が大きいほど有効応力パスは寝た挙動を示す。

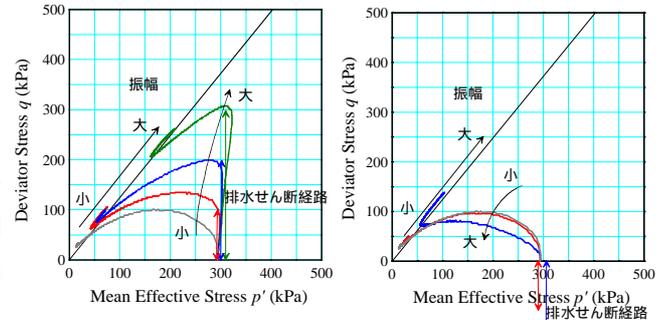


図 7  $q \sim p$  関係

図 8  $q \sim p$  関係

振幅 : - 0kPa - 98kPa - 196kPa - 294kPa

**5 両振り繰返し排水せん断を受けた砂供試体の単調非排水せん断挙動**

図 9~11 は振幅 196kPa の「両振り」繰返し排水せん断を「圧縮側」から終了した砂供試体の非排水せん断結果で、図 12~14 は「伸張側」から終了した砂供試体の結果である。繰返し回数が少ないと圧縮側から終了したものは立った挙動を、伸張側で終了したものは寝た挙動を示し、排水繰返しの終了した側の影響を受ける。

このとき、排水繰返しを重ねたものほど立った挙動を示すが、繰返し回数 10,200 回の繰返しを受けた段階では、終わった方向の影響が消え、ほぼ同じ非排水せん断挙動を示すのがわかる。

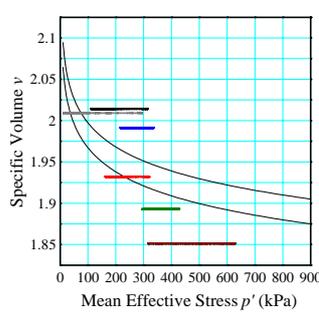


図 9  $v \sim p$  関係

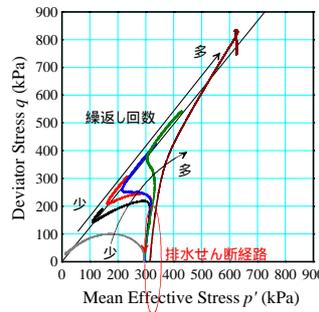


図 10  $q \sim p$  関係

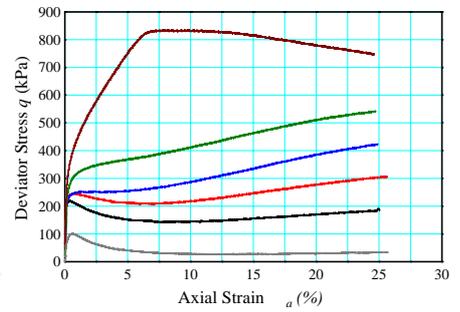


図 11  $q \sim a$  関係

繰返し回数 : - 0回 - 1回 - 2回 - 3回 - 10回 - 200回

これは、4. で述べた異方性の視点からすれば、排水繰返しを何度も受けると、あたかも異方性の軸が圧縮側にほぼ同じ傾きで傾いているかのようなになる。

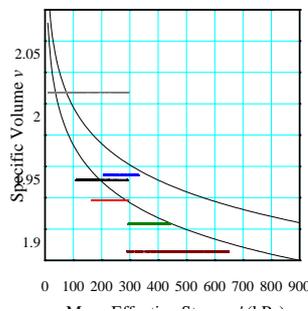


図 12  $v \sim p$  関係

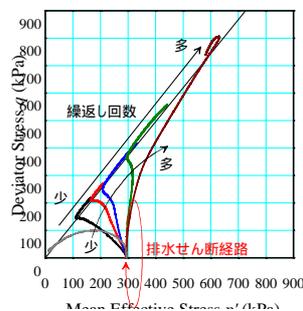


図 13  $q \sim p$  関係

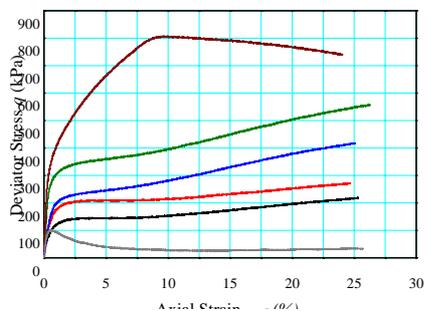


図 14  $q \sim a$  関係

**参考文献**

- 1)Yoshimine,et al.(1998):"Effect of principal stress direction ...",S&F,Vol.38,No.3,pp.131-136
- 2)A.Gajo & L.Piffer(1999):"Effect of preloading history ...",S&F,vol.39,No6,pp.43-54
- 3) 金田ら(2002):構造・過圧密・異方性の...,第 36 回地盤工学研究発表会