

間隙比の異なる飽和砂の繰返し非排水せん断挙動に関する実験的研究

名古屋大学工学部 正会員 浅岡顕・中野正樹・野田利弘・金田一広 ○学生会員 中井健太郎  
 岐阜市役所 木股雅仁

1. はじめに

飽和砂の非排水繰返しせん断試験を行なうと、サイクリックモビリティがよく観察される。本報告では、この挙動に関して、異なる初期間隙比と応力振幅の大きさの影響について述べる。

2. 初期間隙比の異なる飽和砂の両振り非排水繰返しせん断挙動

試験に用いた試料は三河珪砂 6号である。これを直径 50mm、高さ 100mm の円筒状に成型し、表 1 に示す初期間隙比を有する砂供試体に、平均応力  $p$  一定の条件で振幅 78.4kPa、周期 120sec の軸差応力  $q$  を正弦波で与え繰返し非排水せん断を行った。なお、ゆる詰め砂では高間隙比を実現するために Moist Placement 法を、それ以外では空中落下法を用いるとともに、密詰めではパイプレーターを併用して、供試体を作成している。

図 1、図 2 にゆる詰め砂の試験結果を示す。なお、図 1 には、別途実施した、ゆる詰め砂の単調非排水試験で  $q$  の増加が見られない時の「限界状態線」を併記している。以降の図には全て同じものを記す。図 1 の有効応力  $p'$  から、間隙比が大きい場合は、容易に限界状態線下側で軟化を示し、一回目の繰返しで伸張側から一気に原点付近に進んでいるのがわかる。また、1/4~2/4 周期の時点で平均有効応力  $p'$  の減少、すなわち塑性圧縮が見られ、これは、異方性を考慮する弾塑性モデル<sup>1),2)</sup>からすれば、この時点で塑性ポテンシャル面（の軸）が圧縮側へ回転しているため、比較的早期に弾性から塑性応答が変わることを示唆している。図 2 から  $q$ （の絶対値）が伸張側で急激に減少すると同時に軸ひずみが進行し、その後、圧縮側に転じてからも軸ひずみが激しく進行している。

図 3 と図 4 に中間詰め砂の試験結果を示す。図 3 より、繰返しせん断 4 周期目に伸張側で限界状態線に向かった後、原点付近に進むのがわかる。また図 4 では、サイクリックモビリティ中に軸ひずみが圧縮・伸張側ともに徐々に進行する様子が見られた。その際、軸ひずみの進み方が伸張側の方が圧縮側に比べて激しい。また、サイクリックモ

表 1 供試体の初期間隙比

試験名	初期間隙比	相対密度
Test6-Y	1.035	-0.05
Test6-C	0.862	0.38
Test6-M	0.721	0.73

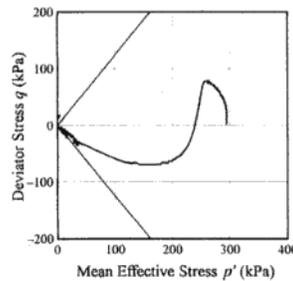


図 1  $p' \sim q$  関係 (Test6-Y)

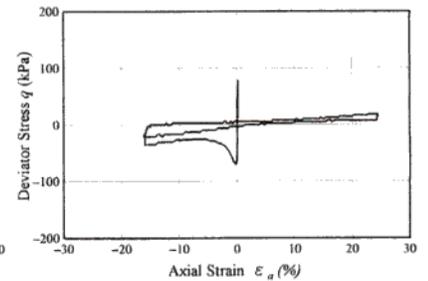


図 2  $q \sim \epsilon_a$  関係 (Test6-Y)

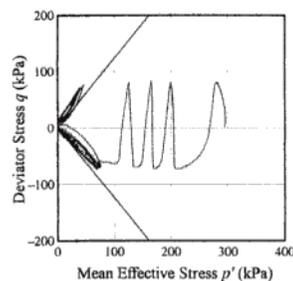


図 3  $p' \sim q$  関係 (Test6-C)

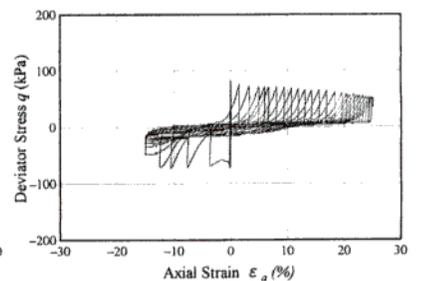


図 4  $q \sim \epsilon_a$  関係 (Test6-C)

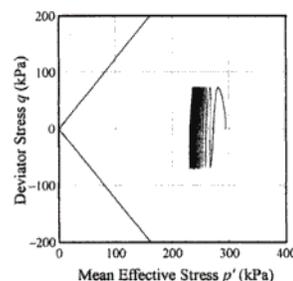


図 5  $p' \sim q$  関係 (Test6-M)

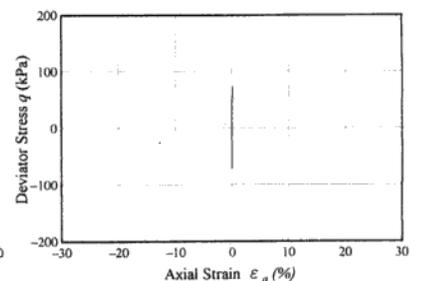


図 6  $q \sim \epsilon_a$  関係 (Test6-M)

非排水，砂，繰返し，サイクリックモビリティ，軟化

ビリティ中の有効応力パスの傾きは、圧縮側の方が伸張側に比べて急であることがわかる。4/4 周期目（伸張側）は 2/4 周期時（圧縮側）と比べて、 $p'$  の減少が小さくより弾性的であり、このことも塑性ポテンシャルの軸の圧縮側への回転を示唆している。

図 5 と図 6 に密詰め砂の試験結果を示す。図 5 より、繰返し回数が 200 回を越えているにもかかわらず、軸ひずみは進行することなく、サイクリックモビリティを示さなくなる。

以上の試験結果より、供試体は密になるにつれて、非排水せん断時に、サイクリックモビリティに到るまでの繰返し回数が増加し軸ひずみの進行も徐々に起こること、極密な砂供試体はサイクリックモビリティに到らないことがわかる。

3. 異なる応力振幅がゆる詰め砂供試体の両振り繰返し非排水せん断挙動に与える影響

以下に、2. のゆる詰め砂供試体の結果と比較するため、応力振幅が 98kPa, 58.8kPa, 34.2kPa の 3 ケースについて繰返し非排水せん断試験の結果を示す。なお、 $q$  の周期など他の条件は同一である。また、各ゆる詰め供試体の間隙比を表 2 に示しておく。

表 2 供試体の初期間隙比

試験名	初期間隙比	相対密度
Test6-98	1.025	0.03
Test6-58.8	1.014	0.00
Test6-34.3	1.013	0.00

図 7 と図 8 に応力振幅が 98kPa 時の結果を示す。繰返し回数 1 回でサイクリックモビリティを示していて、4/4~6/4 周期時のせん断で軸ひずみが伸張側、圧縮側とも大きく進行している。図 1 と図 7 と大きな違いが見られないが、与える  $q$  がやや大きいため、発生する軸ひずみの大きさも若干大きい。

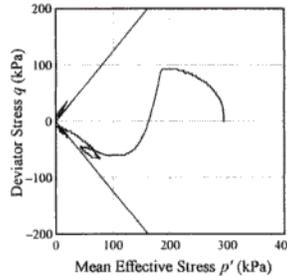


図 7  $p' \sim q$  関係 (Test6-98)

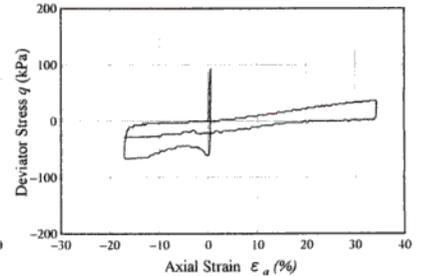


図 8  $q \sim \epsilon_a$  関係 (Test6-98)

図 9 と図 10 に応力振幅が 58.8kPa 時の試験を示す。13 周期目でサイクリックモビリティに到っている。図 10 から、ゆるい砂でも軸ひずみが一気に大きく発生するのではなく、繰返しせん断とともに徐々に進行しているのがわかる。

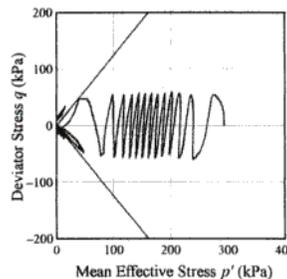


図 9  $p' \sim q$  関係 (Test6-58.8)

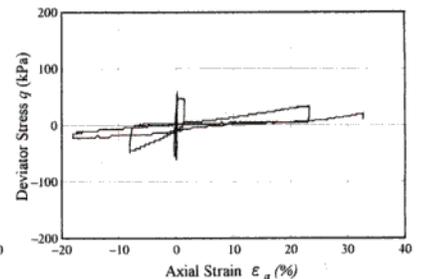


図 10  $q \sim \epsilon_a$  関係 (Test6-58.8)

図 11 と図 12 に応力振幅が 34.2kPa 時の試験を示す。ゆる詰め砂にもかかわらず何度繰返しせん断を与えても図 5、図 6 で示した密な場合と同様に、サイクリックモビリティに到達しない。文献 2) の構造概念と塑性変形に伴う構造劣化を考慮する上負荷面モデルを用いて、ゆる詰め砂を高位の構造を有するものと捉えると、低応力比では塑性的な体積圧縮は生じて、塑性的なせん断変形が生じていないことから、砂の構造劣化は塑性的なせん断変形の変化と関連付けられることを示唆している。

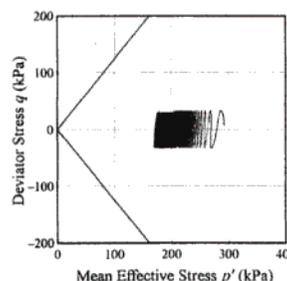


図 11  $p' \sim q$  関係 (Test6-34.2)

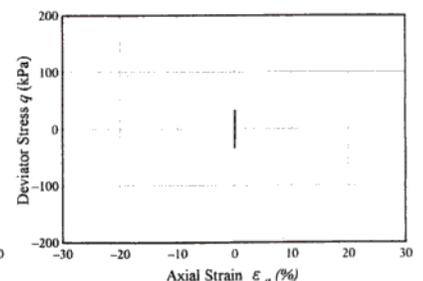


図 12  $q \sim \epsilon_a$  関係 (Test6-34.2)

以上より、与える軸差応力  $q$  が小さくなるにつれ、サイクリックモビリティに到るまでの繰返し回数が増加し、その際の軸ひずみの進み方も緩やかになるといえる。

参考文献

1) Hashiguchi & Chen (1998): "Elastoplastic Constitutive ..." Int.J. Numer. Anal. Meth. Geomech., 22, 197-227.  
 2) 金田他(2002): "構造・過圧密・異方性の 3 つの発展則を有する砂の弾塑性構成式", 第 37 回地盤工学会研究発表会