

砂の誘導異方性に関する実験的検討

名古屋工業大学 学生会員 ○大橋龍起

名古屋工業大学 正会員 中井照夫, ホサインシャヒン

東京大学 正会員 京川裕之

1. はじめに

土は過去の応力履歴に応じて粒子構造が刻々と変化し、異方的な挙動を呈する(応力誘導異方性)。これまで異方硬化則や修正応力による記述が試みられてきたが、誘導異方性の発達・消散機構は完全には説明されていない。そこで本稿では砂の排水三軸試験の結果を示し、応力履歴の違いによるせん断剛性およびストレス・ダイレイタンスー(S-D)関係に着目して、誘導異方性の発達と消散について実験的に検討した。

2. せん断履歴によって生じる誘導異方性の発達と消散

試験には、水中落下法により作成した豊浦硅砂の密詰め供試体(間隙比 $e = 0.647 \sim 0.694$)を用いた。Fig. 1の●プロットは初期応力からせん断履歴を与えずに等方圧縮した予備実験の結果であるが、軸ひずみ ϵ_a と側方ひずみ ϵ_r が概ね等しく生じることから、供試体の初期状態はほぼ等方性であると言える。全ての試験で、まず平均有効応力 $p' = 196 \text{ kPa}$ の等方応力から種々の応力経路(圧縮・伸張, 両振り)で p' 一定条件の排水三軸せん断を行い誘導異方性の発達と消散を促した後、等方圧縮载荷あるいは圧縮せん断载荷を行い、異方性の程度と方向を観察した。

まず、単調なせん断履歴の影響について検討する。Fig.1に示した6種類のプロットは、圧縮・伸張側にそれぞれ主応力比 $R = \sigma_1/\sigma_3 = 2.0, 3.0, 4.0$ まで単調に片振りせん断・除荷履歴を与えた後の等方圧縮試験の結果を示している。図より、せん断時に与えた応力比が大きいほど、最大主応力が作用した方向に固い異方性が発達している。ただし、圧縮側にせん断履歴を受けた土は、圧縮応力の増加に伴ってひずみ経路の傾きが等方的変形 ($\delta\epsilon_a = \delta\epsilon_r$) を表す 45° に近づき、等方圧縮によって誘導異方性は徐々に解消することがわかる。一方、伸張側では、異方性の明確な解消はこの応力レベルでは確認できない。

続いて、Fig.1と同様の1サイクルの片振りせん断履歴を受けた砂のその後のせん断特性について比較する。Fig.2, 3にそれぞれ圧縮側もしくは伸張側に片振りせん断履歴を与えた後の三軸圧縮せん断試験の結果を示す。Fig.2より、過去に受けた応力履歴と同一方向に再载荷される場合、载荷初期のせん断剛性が大きくなっており、特に大きい応力比のせん断履歴を受けた試料ほど大きい応力比まで異方性が解消しないことが分かる。ただし、応力比の増加に伴ってせん断変形が進行して、最終的には履歴のない単調せん断時と同様の破壊強度に至っている。このときのダイレイタンスー特性は、過去に受けた最大応力比以前では履歴の無い単調せん断時のS-D関係に比べて膨張傾向にあるが、以前に受けた最大応力比以降は履歴の無い単調载荷の結果と同じユニークなS-D関係が得られる。一方で、先に与えた応力履歴とは逆方向に载荷するケース(Fig.3)では、過去に受けた応力履歴が大きいほど、等方応力状態を跨ぐ逆振り载荷初期のせん断剛性は低下するが、上述の同一方向への再载荷時ほど剛性の変化に顕著な差は見られず、最終的な破壊強度は再载荷と同様に応力履歴に依らないことが分かる。またダイレイタンスー特性は、等方応力以前ではせん断履歴が大きいほど圧縮傾向にあるが、等方応力以降は履歴の無い単調せん断試験の結果とほぼ一致する

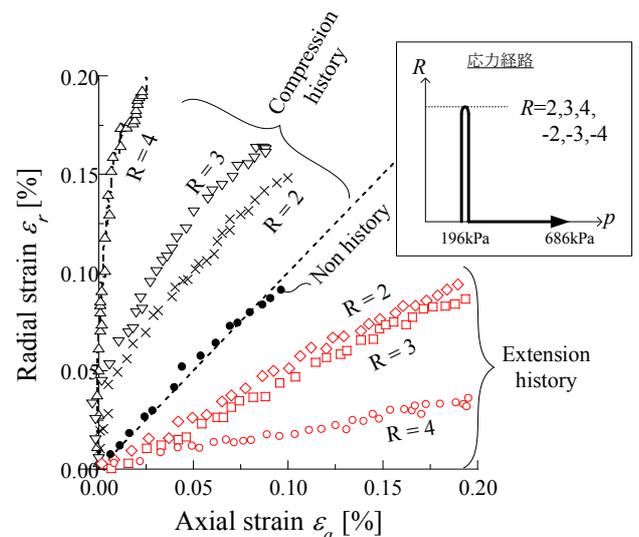


Fig.1 等方圧縮载荷試験 $\epsilon_a - \epsilon_r$ 関係

Fig.4 には両振りせん断履歴を与えた後の圧縮せん断試

キーワード 誘導異方性, 応力履歴, 排水三軸試験

連絡先 〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学 TEL 052-732-7157

験の結果を示す。また、応力履歴の無い単調荷重試験，応力履歴 $R = 4$ を与えた再荷重三軸圧縮せん断試験の結果を比較のために示す。図より，はじめに伸張側 $R = -4$ ，続いて圧縮側 $R = 4$ にせん断履歴を与えた試験 (Test R4E-R4C) と圧縮側にせん断履歴 $R = 4$ だけを与えた結果 (Test R4C) を比較すると，せん断剛性ならびに S-D 関係に大きな差は見られず，伸張側の履歴が反映されておらず，変形特性は直前の応力履歴の影響を強く受けていると考えられる。次に荷重方向を圧縮側 ($R = 4$) から伸張側 ($R = 2, 3$ or 4) に逆振り荷重履歴を与えたケース (Test R4C-2E, Test R4C-3E, Test R4C-4E) では，逆振り伸張側へのせん断応力比が大きいほど，その後の荷重ではせん断剛性は低くなり，ダイレイタンスー特性も応力履歴の無い場合 (No history) に近づいている。はじめの圧縮履歴によって発達した異方性が続く伸張側への荷重で消散していると理解できる。ただし，Fig.3 で示された伸張側への履歴を与えたケースとは異なり履歴を与えない単調荷重の結果よりもせん断剛性は大きく，ダイレイタンスー特性の変化も伸張側の履歴で圧縮側の履歴が解消していないことが分かる。

3. まとめ

①砂の誘導異方性の影響は，せん断履歴の最大応力比が大きいほど大きく，過去に経験した応力経路下では異方性の影響が明確に現れる。ただし，過去に受けていない応力経路下ではせん断履歴によらずユニークな変形挙動を呈する。

②逆振り荷重のように最大主応力方向を変化させたせん断履歴を与えると土の誘導異方性は，直前の荷重に強く影響を受けるが，それ以前の荷重で発達した誘導異方性も完全には解消されず残る。

以上の結果を踏まえ，今後は Rendulic 面外の三次元的な応力状態を制御できる三主応力制御試験機，主応力軸の回転を考慮した中空ねじり試験機を用いた排水試験から，より広範な応力履歴によって生じる誘導異方性の影響について検討を行う。

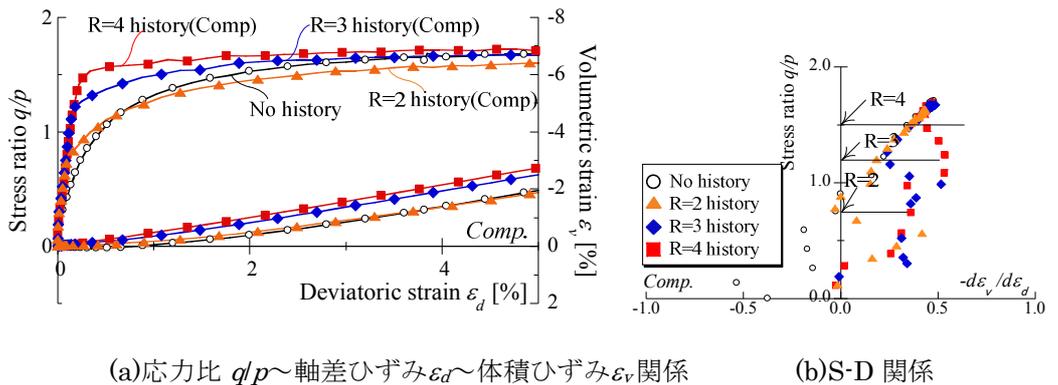


Fig.2 単調片振りせん断履歴 (圧縮) を与えた砂の三軸圧縮せん断試験

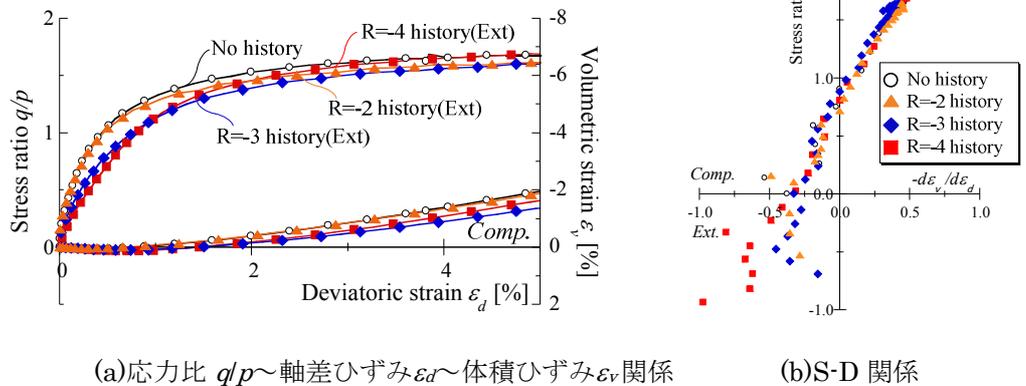


Fig.3 単調片振りせん断履歴 (伸張) を与えた砂の三軸圧縮せん断試験

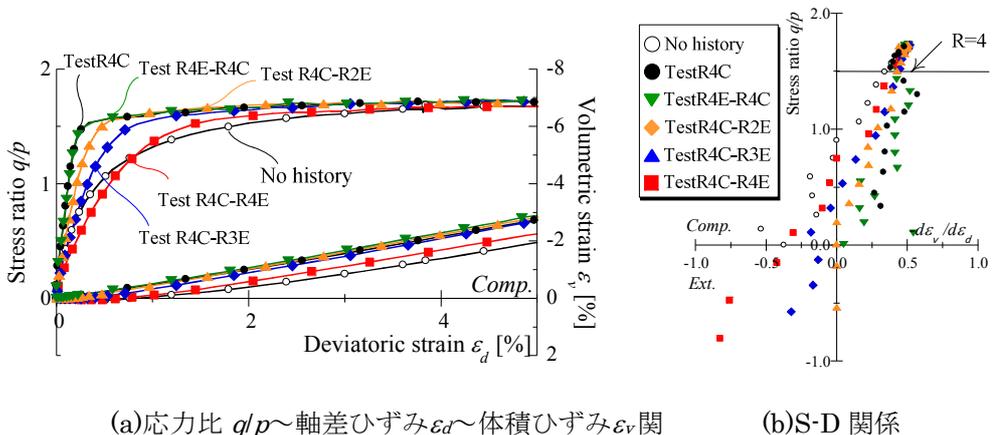


Fig.4 両振りせん断履歴を与えた砂の三軸圧縮せん断試験