

III-140 高温再圧密粘土の主応力方向回転下の変形挙動について

新日本製鐵(株) 正会員 関口 太郎
早稲田大学理工学部土木工学科 正会員 赤木 寛一

1. まえがき

従来土の構成式は、室内三軸試験を基にして構築されてきた。この場合、応力の主軸は常に同じ方向に固定されている。しかし、原地盤においては地震荷重や波浪荷重などにより、主応力方向が回転するような応力状態の変化を受ける。近年、主応力方向が回転するような応力状態下の土の挙動を調査するために、中空ねじりせん断試験機を用いた実験が行われ¹⁾、構造異方性に起因する土の非共軸性を示す結果が得られている。しかし異方性砂を用いて排水条件で実験したものが多く、粘性土の非共軸性を示した研究は少ないようである。本報告では、粘土を高温で再圧密することにより自然粘土を再現した試料と、従来通り室温で再圧密した試料を使用し、再圧密過程で構成される構造異方性が、主応力方向が回転するような応力状態下での粘性土の変形挙動に及ぼす影響を調査したものである。

2. 実験の概要

粘土は東京都三河島より採取したものをを用いた。粘土を液性限界の約2倍のスラリーにし粗粒分を除去し、圧密圧力約1kgf/cm²で再圧密した。高温再圧密試料については、再圧密時の温度を80℃で一定に保ち、セメンテーションを発達させ、年代効果を持つ粘土を作成した。同様な方法で温度約15℃で再圧密した室温再圧密粘土を作成し、構造状態の違いを調べた。試料の物理的性質を表1に示す。

表1. 試料の物理的性質

試料名	高温再圧密試料	室温再圧密試料
比重	2.747	2.730
初期含水比(%)	59.53	55.90
初期間隙比	1.578	1.481
液性限界(%)	69.11	68.21
塑性限界(%)	33.70	30.54
塑性指数	35.41	37.67

再圧密した試料を外径7cm、内径3cm、高さ10cmの中空円筒形に成形した。装置は中空ねじりせん断試験機を用い、所定の応力比、平均有効主応力になるように正規圧密領域まで異方圧密した後、排水バルブを締めて、非排水主応力方向回転せん断試験を行った。試験条件を表2に示す。せん断試験中は、応力比及び平均有効主応力を一定に保ちながら、せん断ひずみを、ひずみ速度0.005%/minで与え、生じたせん断

表2. 試験条件

供試体番号	No. 1	No. 2	No. 3
試料	高温再圧密粘土	室温再圧密粘土	高温再圧密粘土
圧密終了軸荷重(kgf/cm ²)	1.733	1.733	1.938
異方圧密側圧係数	0.538	0.538	0.429
応力比	0.300	0.300	0.400
平均有効主応力(kgf/cm ²)	1.200	1.200	1.200

応力に応じて軸方向応力と側圧を制御し、主応力方向を回転させた。このような実験では、応力径路は図2~4に示すように、正規化された応力平面上で、円を描くことになる。

3. 実験結果

図1に本実験で得られたひずみ径路の一例を示す。残りの2つのひずみ径路も同様な形であり、主応力方向の変化に無関係に直線的な径路をたどる。従来、砂を用いた実験結果ではひずみ径路が楕円形を描くことが報告されており²⁾、それとは異なる結果が得られた。ひずみ径路の傾きはひずみ増分方向を表しており、径路が直線であるということは、ひずみ増分方向が一定であることを示している。

図2~図4に、ひずみ増分ベクトル図を、与えた応力径路上に示す。応力径路は、応力比 η 一定の円を描いており、主応力方向はその縦軸から $2\alpha(\sigma')$ (軸方向から $\alpha(\sigma')$)だけ傾いている。ひずみ増分方向も、ひずみ径路と同様に、縦軸から $2\alpha(de)$ だけ傾いて表してある。ひずみ増分は単位応力変化に対するひずみの変化量で定義し、データのばらつきを防ぐため、応力径路上で、主応力方向が 5° だけ変化したときの応力変化に対するひずみ増分を求めた。

ひずみ増分方向は、主応力方向(円の半径方向)及び主応力増分方向(円の接線方向)に一致せず、非共軸性を示している。図2と図3より、主応力方向が $\alpha=0\sim40^\circ$ の区間では、高温再圧密試料のひずみ増分方向は約 26° 、室温再圧密試料は約 22° であった。ひずみ増分の大きさは、せん断初

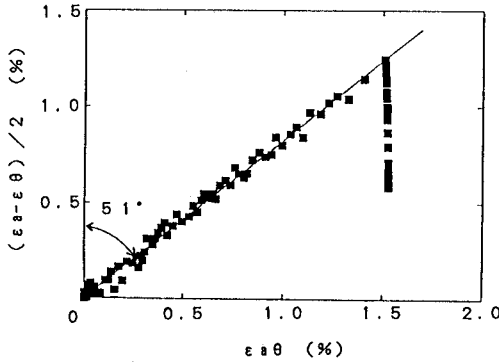


図1. ひずみ径路(高温再圧密粘土 η = 0.4)

期ではあまり差がないが、主応力方向が回転してひずみ増分方向に近づくにつれて、高温再圧密試料の方が室温再圧密試料よりも大きくなる。その最大値は、高温再圧密試料は主応力方向がひずみ増分方向と一致するあたりで生じて、その後減少するのに対し、室温再圧密試料は、 $\alpha = 40^\circ$ まで単調に増加している。これは、高温再圧密粘土の一軸圧縮試験³⁾で得られた応力～ひずみ曲線が脆性的なものになることと対応しており、高温で再圧密した過程において形成されたセメンテーションが主応力方向が回転するにつれて壊され、大きなひずみを生じ、ひずみ増分値のピークを迎えた後に減少したものと考えられる。

図2と図4に示すように、高温再圧密試料を使用した2つの実験では、応力比が0.4の試験は0.3の試験より生じたひずみ増分は、せん断初期の部分を除いては、その値が1～2(%)程度大きかったが、その発生パターンは似ており、ひずみ増分方向はほとんど一致した。したがって、同じ試料を用いて異なった応力比のもとで主応力方向を回転させると、生じるひずみは応力比が大きいほど大きくなるが、ひずみ増分方向と発生パターンは応力比によらないことが分かる。

4. まとめ

粘性土の再圧密過程中に形成される構造異方性が、主応力方向の回転をともなう応力状態下で、供試体のひずみ挙動に与える影響について調査した。その結果、主応力方向回転をともなう粘土の非排水状態でのひずみ径路は、砂の排水状態におけるひずみ径路と異なり直線的であり、非共軸性を示すことが明らかになった。また、高温再圧密試料は、室温再圧密試料と比べて、せん断の初期を除いてひずみ増分量が大きく、そのピークは主応力方向がひずみ増分方向と一致したときに生じ、高温で再圧密した際に形成された構造が、主応力方向の回転により破壊されたものと考えられる。また、同じ高温再圧密試料を用いたときには、ひずみ増分方向とひずみの発生パターンは、実験時の応力比に無関係ではほぼ同じになると思われる。

(参考文献)

1)赤木・古山：中空ねじりせん断試験による飽和粘性土の非排水単純せん断特性について

土木学会第43回年次学術講演概要集、第3部、p434～435、平成元年10月

2)三浦他：主応力軸回転下における異方性砂の変形挙動
北海道大学工学部研究報告、第128号、p1～14、昭和60年

3)土田他：高温再圧密による海成粘土の年代効果の再現
港湾技術研究所報告、第28巻、第1号、p121～147、平成元年

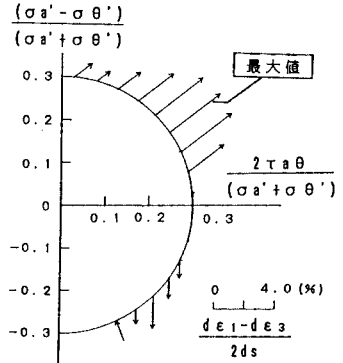


図2. ひずみ増分ベクトル図
(高温再圧密粘土 η = 0.3)

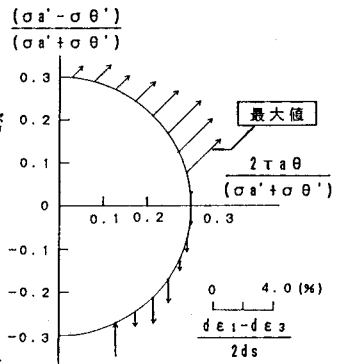


図3. ひずみ増分ベクトル図
(室温再圧密粘土 η = 0.3)

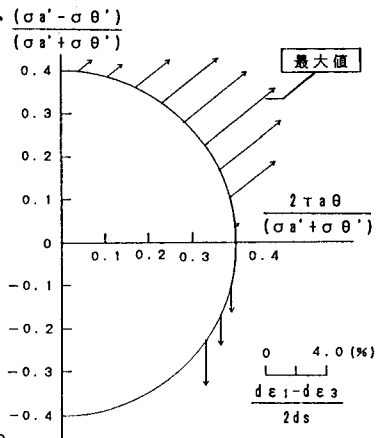


図4. ひずみ増分ベクトル図
(高温再圧密粘土 η = 0.4)