

III-356 高圧・大ひずみ時の砂のせん断挙動

東京理科大学理工学部 正会員 桑野二郎
 東京大学工学部 正会員 石原研而
 建設省（元東大大学院） 大野昌仁

1. まえがき

砂や礫のような粒状体は大きな変形を受けた時、体積一定、せん断応力一定、拘束圧一定という定常状態（Steady State）のもとで流動（フロー）を生ずると言われてきた。このようなフローに起因する地すべりが生じると、大量の土砂が相当な距離を移動する事になるため、被害は甚大なものとなってくる。そこで、色々な種類の砂を相対密度と圧力を変えて、フローが生ずる時の密度と応力状態の関係を調べてみた。また、砂の粒子破碎が、このような定常状態に及ぼす影響についても調べてみたので報告する。

2. 実験概要

本研究では、セル圧と背圧が50及び20kgf/cm²まで加えられ、密でdilativeな供試体でもキャピテーションを生じさせずにせん断が出来る高圧三軸試験装置を用いた。実験には、図1に粒度分布を示した、豊浦砂、富士川砂、浅間山砂の3種類の砂を用いた。相対密度30, 50, 70%の供試体を作製し、飽和させた後、2～15 or 25 kgf/cm²の初期拘束圧で圧密した後、非排水せん断を行った。さらに、粒子破碎を調べるために、せん断前後の粒度の変化も求めた。

3. 実験結果

相対密度30%の浅間山砂供試体の応力～ひずみ曲線を図2に示す。拘束圧が高い場合は、軸ひずみ5%付近でカーブが平坦で軸ひずみのみが増大する段階がある。その後再びカーブは勾配を増すが、最終的にはまた平坦になる。拘束圧が低い場合は、軸ひずみ5%付近で一度平坦になるという事は無かったが、20%を超えるような大ひずみの下では最終的に平坦になり、初期拘束圧に依らずほぼ同一のせん断応力を示す。有効応力経路を図3に示すが、初期拘束圧が異なっても最終的には一つの点に収束している様子が分かる。この最終状態では、平均有効主応力と軸差応力が一定であり、かつ非排水試験なので体積も一定である。よって、定常状態でフローが生じている事になる。図4は、相対密度70%の場合の有効応力経路である。この場合、5%程度のひずみで曲線が一旦平らになり、せん断応力、平均有効主応力、体積がほぼ一定のまま変形が進む“過渡的フロー状態”は見られなかった。しかし、相対密度70%の時も、大ひずみ時

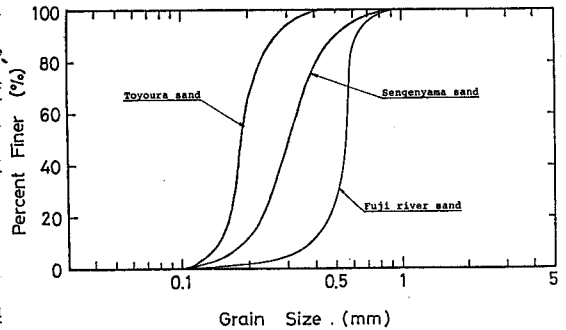


図1 試料の粒度分布

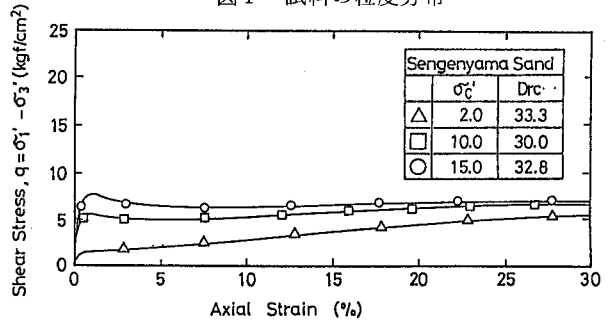


図2 浅間山砂のq～ε関係（CU試験，Dr=30%）

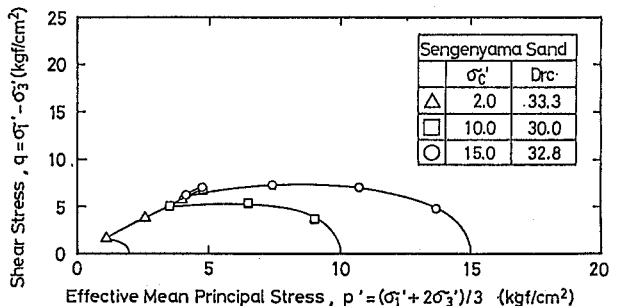


図3 浅間山砂のq～p'関係（CU試験，Dr=30%）

に得られる”最終的フロー状態”は認められ、有効応力径路は一点に収束した。2つのフロー状態の相違は、過渡的フローにおける応力状態が密度と初期拘束圧の両方に依存するのに対し、最終的フローにおける応力状態は密度にのみ依存する事にある。

次に、最終的フロー状態に着目して、この時の密度と拘束圧の関係がどのようになっているか見てみる。密度の指標としては、今回は異なる種類の試料を使用しているので、間隙比ではなく相対密度を用いた。浅間山砂について、相対密度と定常状態における平均有効主応力の関係を図5に示す。図中の白い点は圧密終了後せん断前の状態を、黒い点はせん断によって到達した定常状態をそれぞれ表す。点は、試料が収縮性を示せば左へ、膨張性を示せば右へ動く。いずれにせよ、最終的にはほぼ一直線上に乗った。豊浦砂、富士川砂についても同様にして定常状態線が得られ、図中に破線と一点鎖線で示した。

最後に、粒子破碎が定常状態に及ぼす影響を考える。粒子破碎の程度を表す指標として、破碎に消費された有効な仕事は生成された新しい表面積に比例する、と考えるRitingerの理論

$$-dW = c x^{-2} dx$$

ここで、W：せん断に使われたエネルギー

x：粒径， c：定数

を用いた。実際には、単位体積当りの値を考えた。軸ひずみ10, 20, 30%までせん断した後ふるい分けを行い求めた表面積の増加dsとせん断仕事Wsの関係を図6に示す。密度や初期拘束圧に依らず直線関係を示した。他の砂についても、図中に示したような直線が得られた。富士川砂が、同一のエネルギーに対し最も大きなdsを示し、粒子破碎を最も起こしやすいと考えられる。3種類の砂各々に固有なこれらの直線の傾きと定常状態線の傾きの関係を図7に示すが、定常状態線の傾きは、粒子破碎を生じやすい砂ほど大きい。

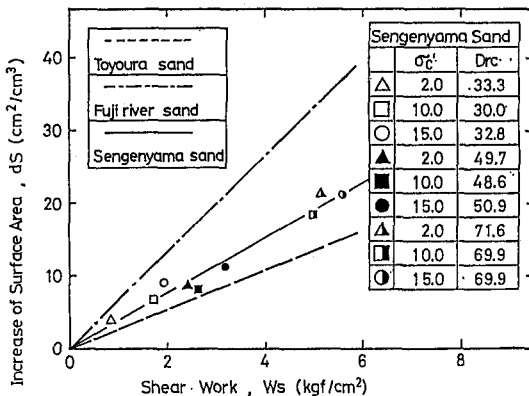


図6 せん断仕事と粒子表面積の増加

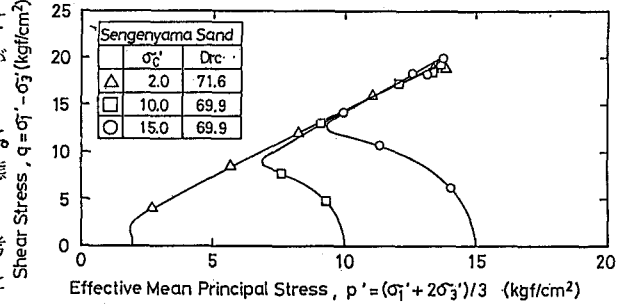


図4 浅間山砂の $q \sim p'$ 関係 (CU試験, $D_r=70\%$)

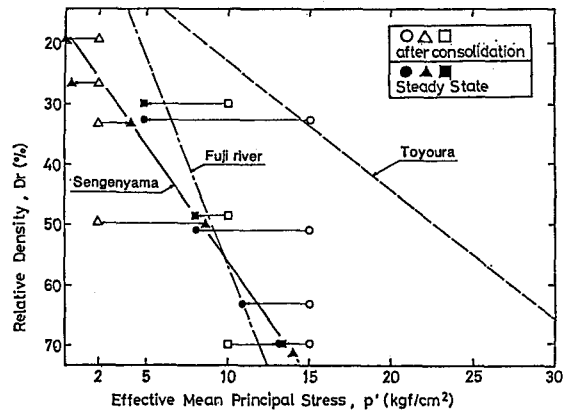


図5 定常状態線 ($D_r \sim p'$)

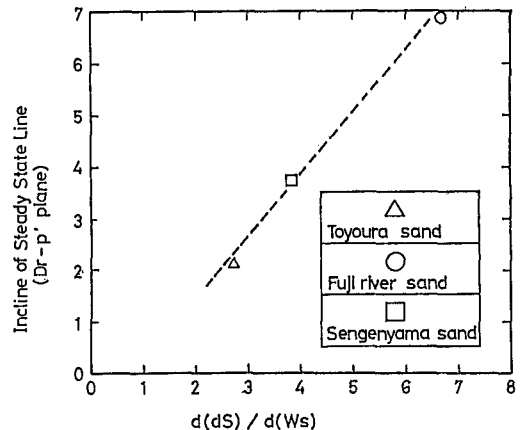


図7 定常状態線の傾き $\sim d(dS) / d(Ws)$