

砂のせん断特性に及ぼす粒度組成および粒子形状の影響

岐阜工業高等専門学校 正会員 吉村 優治

1. はじめに 砂のような粒状体のせん断性質は、その材料である砂の種類（土粒子の材質、粒度組成、粒子形状など＝一次性質のうちの基本的要素）および状態（密度、含水量、骨組構造など＝二次性質）によって決定される<sup>1)</sup>。これまでの砂のせん断特性に関する研究の多くは、豊浦標準砂などの特定の砂を用いて、密度や含水比などの状態あるいは試験条件を変化させて行われており、一次性質の独立した一因子がせん断特性に及ぼす影響についての系統的な研究は皆無に近い。そこで本研究は、一次性質のうちの粒度組成および粒子形状の違いがせん断特性にどの程度の影響を及ぼすのかを実験的に調べたものである。

2. 試料の性質と試験条件 実験に用いた試料はGlass

Beads, 豊浦標準砂, 木曽川砂および砕砂の四種類で、網ふるいを用いたふるい分けにより図-1の粒度分布になるように調整した。各試料の材質の硬さはほぼ等しく、モースの硬度ではおおそGlass Beadsが6.5, 豊浦標準砂が7, 木曽川砂が6.5, 砕砂が6.5であり、いずれも堅硬である。検討した因子は、粒度組成は平均粒径  $D_{50}$  と均等係数  $U_c$ , 粒子形状は筆者ら<sup>2)</sup>の提案している凹凸係数  $FU$  である。この  $FU$  は粒が完全球(投影断面が円)の場合に1.0で、凹凸の度合いが激しくなるほど小さくなる係数である。検討した因子と図-1の粒径加積曲線の関係をまとめると以下のようである。

因子  $D_{50}$ : ①～④ ( $D_{50}=0.202\sim1.28\text{mm}$ ) の4種類

因子  $U_c$ : ③のA～D ( $U_c=1.32\sim10$ ) の4種類

因子  $FU$ : ①で4試料 ( $FU=0.908\sim0.644$ ) の4種類

せん断試験は、ひずみ制御（ひずみ速度  $=0.25\%/min$ ）方式の拘束圧一定圧密排水(CD)三軸試験で、拘束圧は  $\sigma_c' = 49\text{kPa}$ , 背圧は  $B.P = 196\text{kPa}$  である。なお、供試体は空中落下装置を用いて  $\phi = 50\text{mm}$ ,  $h = 100\text{mm}$  に作成している。また、初期間隙比  $e_0$ , 初期相対密度  $D_{r0}$  は供試体セット時 ( $\sigma_c = 29.4\text{kPa}$ ) の状態である。

3. 試験結果および考察 図-2は代表的な軸差応力比  $q/\sigma_c'$  - 軸ひずみ  $\epsilon_a$  関係および体積ひずみ  $\epsilon_v - \epsilon_a$  関係(試料は豊浦標準砂,  $D_{50}=0.202\text{mm}$ ,  $U_c=1.32$ ,  $FU=0.745$ ) であり、いずれの試料においても従来の研究と同様に密度の増加に伴う強度, 剛性, ダイレイタンスー量の増加が顕著に見られた。なお, 本文で扱う内部摩擦角  $\phi$  は動員される最大値, 変形係  $E_{50}$  は図-2(a)において  $(q/\sigma_c')_{max}/2$  と原点を結ぶ割線勾配を意味している。

図-3～5は  $\phi$  に及ぼす各因子の影響を見るために、密詰め ( $D_{r0}=75\%$ ), 中密 ( $D_{r0}=50\%$ ), ゆる詰め ( $D_{r0}=25\%$ ) 状態の  $\phi$  と  $D_{50}$ ,  $U_c$ ,  $FU$  の関係を示したものであり、各図の  $\phi$  の比較を容易にするために縦軸スケ-

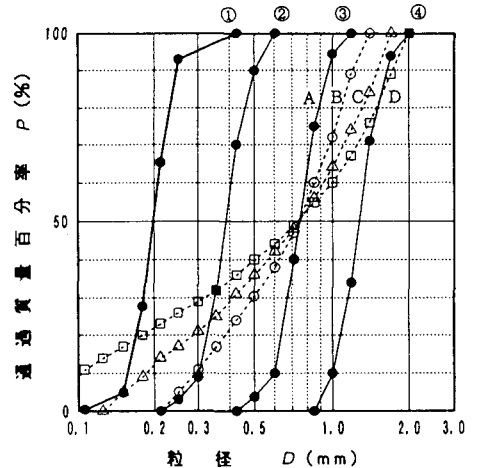
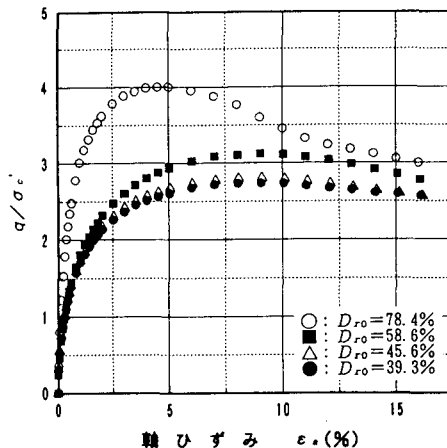
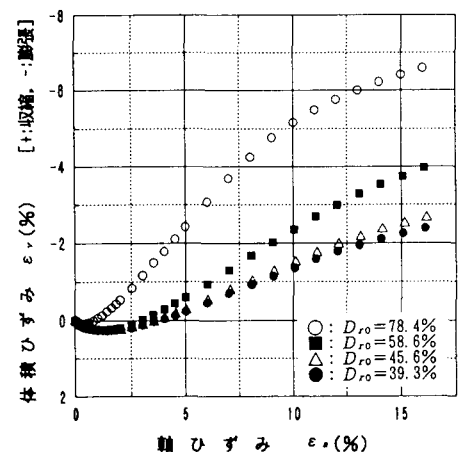


図-1 試料の粒径加積曲線



(a) 軸差応力比-軸ひずみ関係



(b) 体積ひずみ-軸ひずみ関係

図-2 代表的な実験結果(試料: 豊浦標準砂)

ルを統一してある。図-3では $D_{50}$ が0.202~1.28mmまで変化しても $\phi_d$ はわずか $2^\circ$ 程度しか変化しておらず、むしろ $D_{r0}$ の増減に伴う変化量の方が大きい。一般に、 $\phi_d$ は粒子破碎性の点から粒径が大きくなるほど小さくなるというこれ

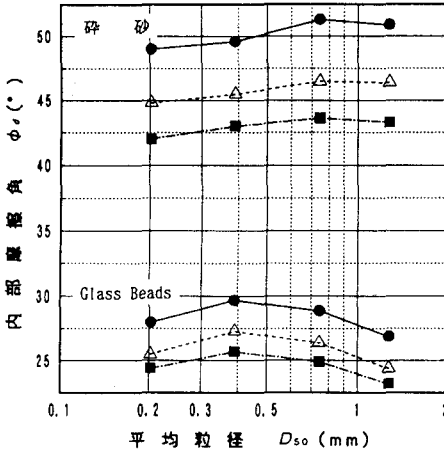


図-3 内部摩擦角と平均粒径の関係

までの報告<sup>3)4)</sup>とは必ずしも一致しないが、本実験においては試料の材質はいずれも堅硬であり、また拘束圧が49kPaであることを考えると試験中の粒子破碎はほとんど無いと考えられるので、粒状体においては粒子破碎が無ければ粒径が $\phi_d$ に及ぼす影響は極めて小さいといえる。さらに、 $\phi_d$ への粒度分布の差異の影響をみると、図-4に示すように $U_c$ が大きく粒度分布が良くなると $\phi_d$ は若干小さくなり、その傾向は密詰めになるほど顕著である。しかし、 $U_c$ が1.32~10まで変化しても $\phi_d$ は $4^\circ$ 程度しか変化しておらず、 $D_{50}$ の場合と同様にむしろ $D_{r0}$ の増減に伴う変化量の方が大きい。図-5は $FU$ が0.908~0.644まで変化したときの $\phi_d$ への影響を示したものであり、粒子形状が丸くなると $\phi_d$ は極端に減少しているのがわかる。図-3~5を比較すると、粒子形状が $\phi_d$ に及ぼす影響は $D_{50}$ 、 $U_c$ に比べてはるかに大きいことが明かである。ただし、以上の結果は相対密度 $D_{r0}$ を介して粒度組成や粒子形状の影響を検討しており、 $D_{r0}$ を揃えて異なる試料の強度を比較することが適切であるかは疑問である。

一方、全試料の変形係数 $E_{50}$ と余裕間隙比( $e_0 - e_{min}$ )の関係を示した図-6をみると、 $E_{50}$ は粒度組成や粒子形状には無関係に余裕間隙比によって一義的に定まっており、粒状体の変形特性は余裕間隙比に支配されると考えられる。

4. おわりに 今回の研究から、砂のせん断特性に及ぼす影響は粒度組成(粒径、粒度分布)よりも粒子形状の方がはるかに大きいこと、また、変形係数は余裕間隙比によって一義的に定まることが明らかになった。今後は、 $D_{r0}$ を揃えて異なる試料の強度を比較することが適切であるかどうかの検討を行いたい。

参考文献 1)三笠正人:土の工学的性質の分類表とその意義, 土と基礎, Vol. 12, No. 4, pp. 17~24, 1964. 2)吉村優治・小川正二:砂のような粒状体の簡易な定量法, 土木学会論文集III(投稿中) 3)土質工学会:ロックフィル材料の試験と設計強度, pp. 78~93, 1982. 10. 4)土質工学会:粗粒材料の変形と強度, pp. 300~322, 1986. 5.

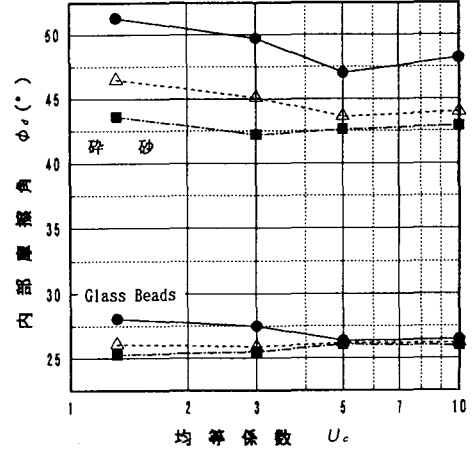


図-4 内部摩擦角と均等係数の関係

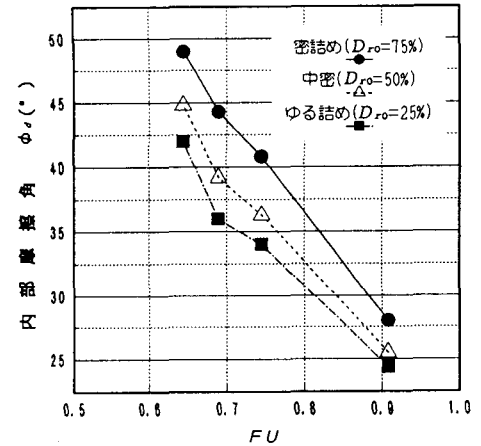


図-5 内部摩擦角とFUの関係

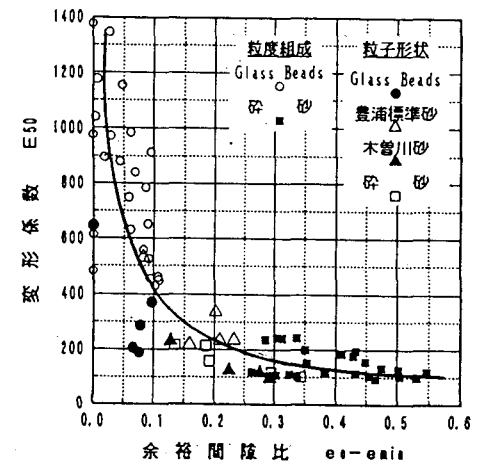


図-6 変形係数と余裕間隙比との関係