

二次元一面せん断試験による粒状材料のせん断特性に及ぼす粒度分布の影響

岐阜工業高等専門学校 国際会員 吉村優治
国土交通省中部地方整備局静岡国道事務所 小倉 睦
神戸大学大学院 国際会員 加藤正司
伊藤忠テクノソリューションズ(株) 国際会員 榊原辰雄

1. はじめに

砂のような粒状体の力学的特性は、図-1に示すように土粒子の材質、粒度組成、粒子形状などの一次性質、あるいは密度、含水量、骨組構造などの二次性質によって決定されると言われている¹⁾。筆者らはこれまでに、せん断中の粒子破碎が無視できる場合には、粒状体の内部摩擦角は粒子寸法や粒度分布にほとんど影響を受けず²⁾、粒子形状の影響が大きいこと³⁾、さらに相対密度 D_r が同程度であれば粒子形状のみから内部摩擦角の推定が可能であること⁴⁾を報告してきた。

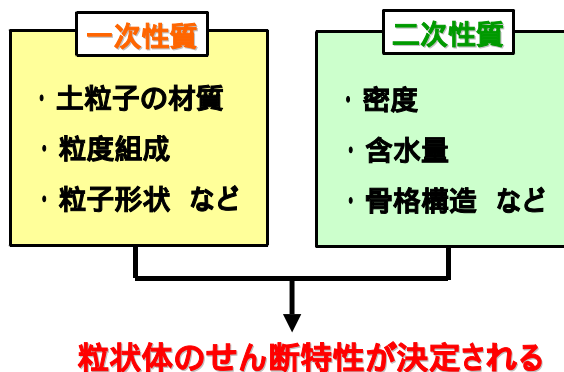


図-1 土の性質

地盤工学では粒度分布を評価する際に、縦軸に土試料全体の質量に対する通過質量百分率をとった粒径加積曲線が用いられる。筆者らの研究²⁾も同一粒子形状の試料を準備し、図-2に示すように均等係数 $U_c = 1.32 \sim 10$ となるよう4種類に配合した時の内部摩擦角（図-3）を評価したものである。しかし、図-2の粒径過積曲線の縦軸を土粒子全体の個数（ただし、個数は粒径を直径とする球として算出）に対する通過個数百分率に書き直したものが図-4であり、これらの粒度分布（通過個数百分率を縦軸にとった粒径加積曲線の個数均等係数 $U_{cn} = 1.28 \sim 1.43$ ）にはほとんど差がみられず、むしろ相似粒度であると言える。したがって、筆者らのこれまでの粒度組成（粒径、粒度分布）に関する一連の研究^{2),5)}は、粒状体内の接点などを支配すると考えられる個数割合でいえば、あまり差のない条件で試験を行ってきたことになる。

そこで本研究では、個数による粒度分布を変化させたアルミ丸棒試料を用いて、簡易一面せん断試験により粒度分布がせん断特性に及ぼす影響を検討した。

2. 実験概要

2.1 試料

実験に使用したアルミ丸棒は、表面が滑らかで長さ 50mm であり、直径 1.6, 3, 5mm の3種類を本数比で図-5に示す粒度分布になるように配合して試料とした。各試料の個数均等係数 U_{cn} は 1.42（本数比 1.6mm:3mm:5mm = 1:9:0）、3.46（本数比 1.6mm:3mm:5mm = 0:4:1）、6.28（本数比 1.6mm:3mm:5mm = 6.9:1.7:1.4）、11.6（本数比 1.6mm:3mm:5mm = 7.7:1.3:1）である。また、粒径の影響を検討するため、 U_{cn} が等しく（ $U_{cn} = 3.5$ ）、 D_{50n} （縦軸に通過個数百分率をとった際の平均粒径）が異なる3つの試料を作成した。

2.2 二次元一面せん断試験

最近、室内はもとより原位置でも簡易に粒状体のせん断強度を測定できる簡易一面せん断試験機が

開発され、この試験から求まる内部摩擦角は三軸圧縮試験結果と近い値を示すことが報告⁶⁾されている。本研究で使用する二次元一面せん断試験装置は、図-6に示すようにこの簡易一面せん断試験機に電動モーターを取り付け(図右端)、せん断速度を一定に設定できるように改良したものである。アルミ棒を緩詰めパッキングすることは難しく、本研究の全試験を通じて供試体はほぼ密詰め状態となっていると考えられる。

また、アルミ棒の二次元一面せん断試験においても内部摩擦角 ϕ への速度依存性⁷⁾、上載応力依存性⁸⁾が指摘されているので、せん断速度は0.005mm/sec程度、全実験において上載応力は17.50kN/m²に統一した。

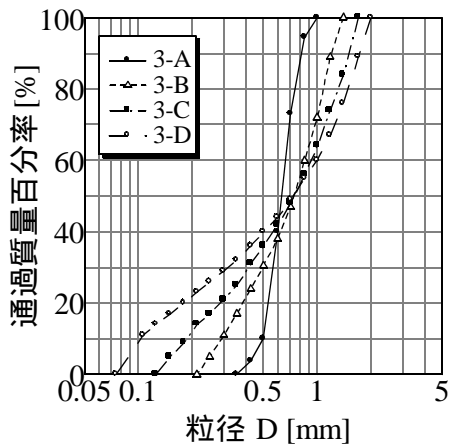


図-2 粒径加積曲線(質量)

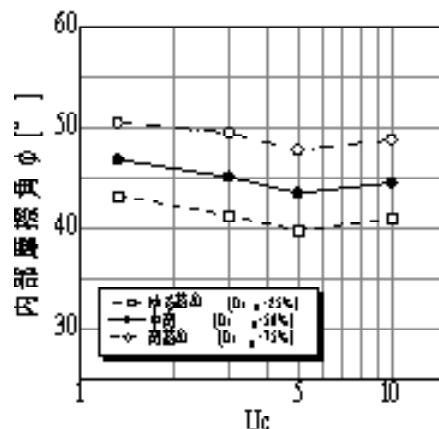


図-3 内部摩擦角とU_cの関係

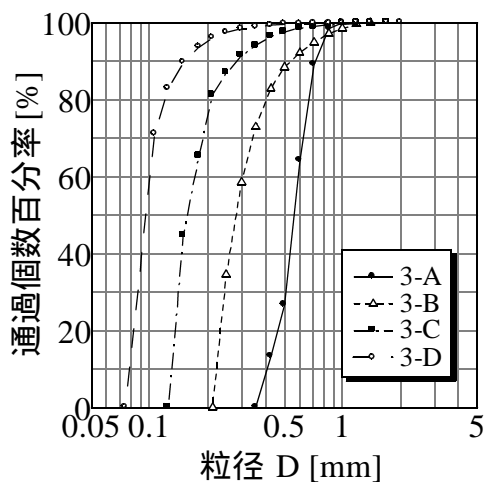


図-4 粒径加積曲線(個数)

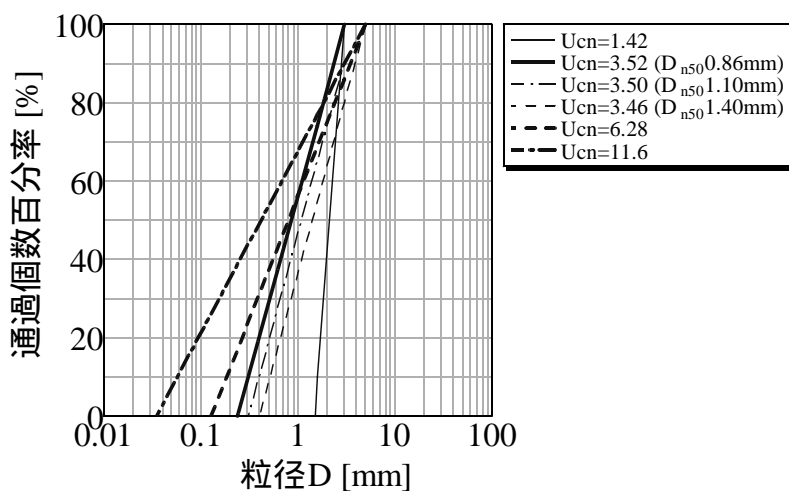


図-5 粒径加積曲線(本数)

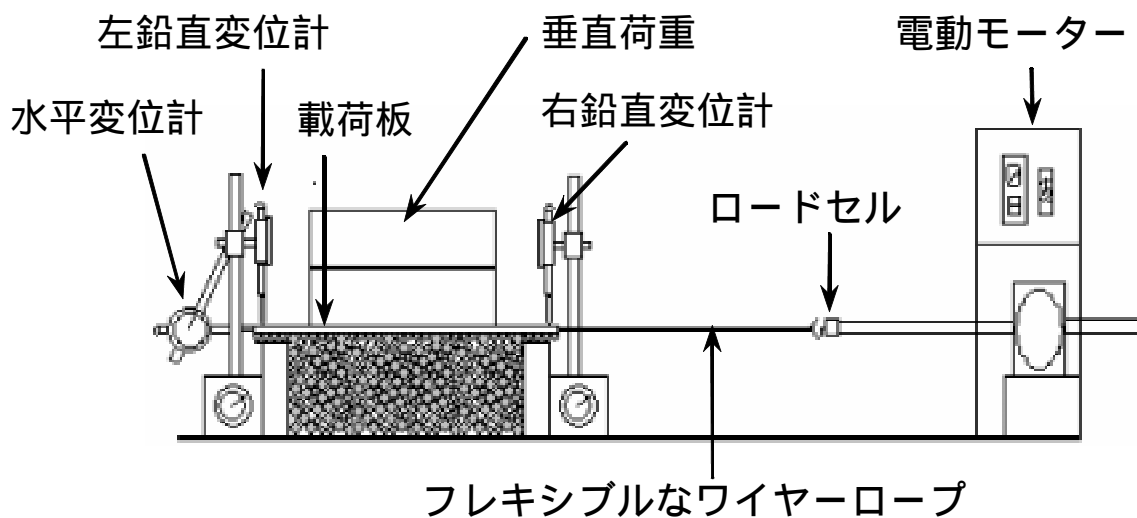


図-6 簡易一面せん断試験機

3. 実験結果および考察

図-7は各試料の二次元一面せん断試験結果の代表例を示したものである(ただし、鉛直変位は膨張を正とし、図-6のように2カ所で測定しているののでその平均値をプロットしている)。図-8は試験結果から内部摩擦角と個数均等係数 U_{cn} との関係をもとめたものであり、ばらつきは見られるものの U_{cn} の増加に伴い ϕ も増加傾向にある。また、破壊時の鉛直変位量 h_{ave} を D_{50n} で無次元化した値と U_{cn} の関係を示す図-9より、大きなせん断強度を発揮する U_{cn} の大きな試料ほどダイレイタンシーが大きいことがわかる。これらの実験事実から、個数均等係数で評価した粒度分布が良くなるほど、せん断中の鉛直変位が大きくなり、大きなせん断強度を発揮するものと推察される。また、粒径の影響を評価するために U_{cn} がほぼ等しい3つの試料について内部摩擦角を評価した。内部摩擦角と D_{50n} の関係を示す図-10より、粒径はせん断強度に影響を及ぼさないことがわかる。

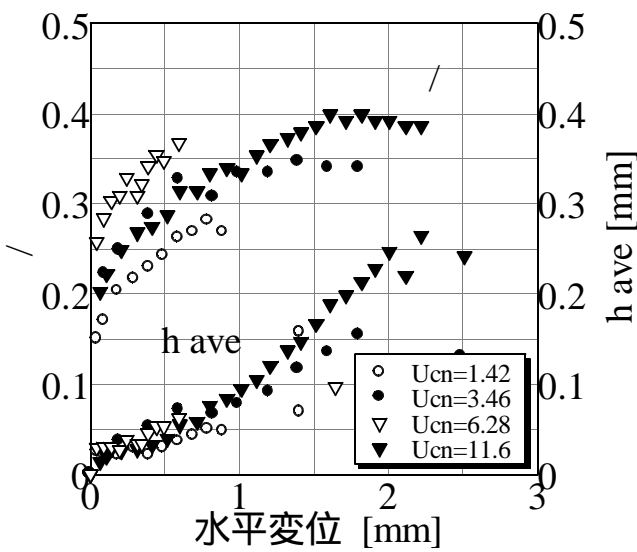


図-7 一面せん断試験結果の代表例

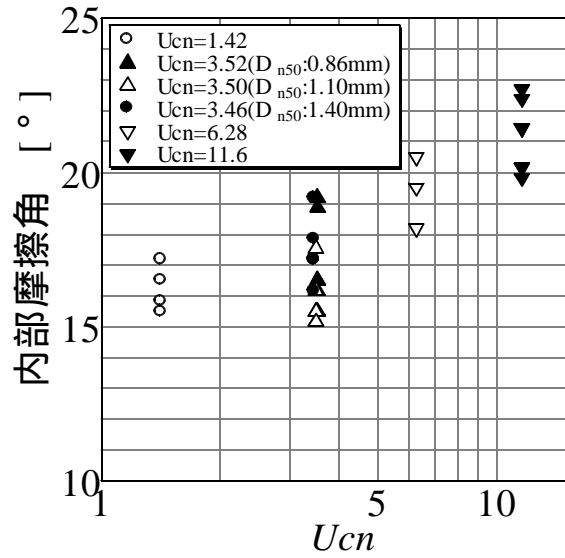


図-8 ϕ と U_{cn} の関係

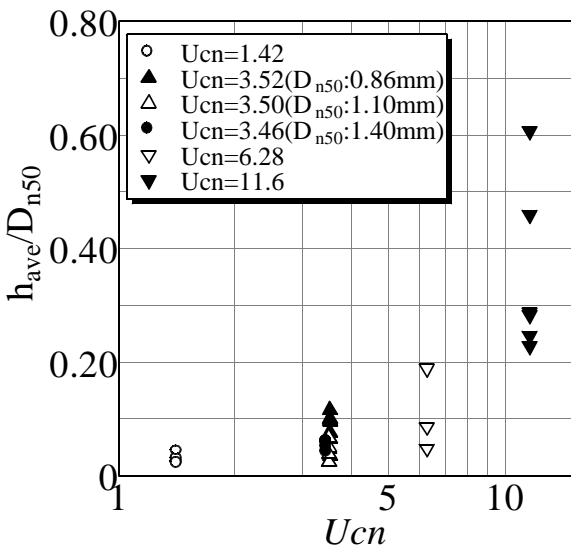


図-9 h_{ave} / D_{n50} と U_{cn} の関係

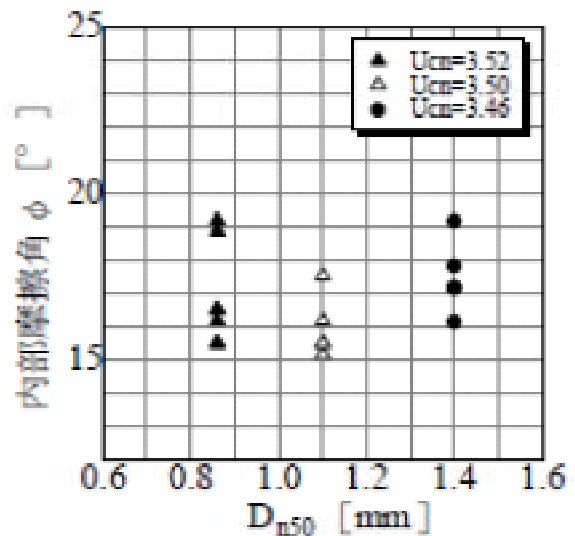


図-10 ϕ と D_{n50} の関係

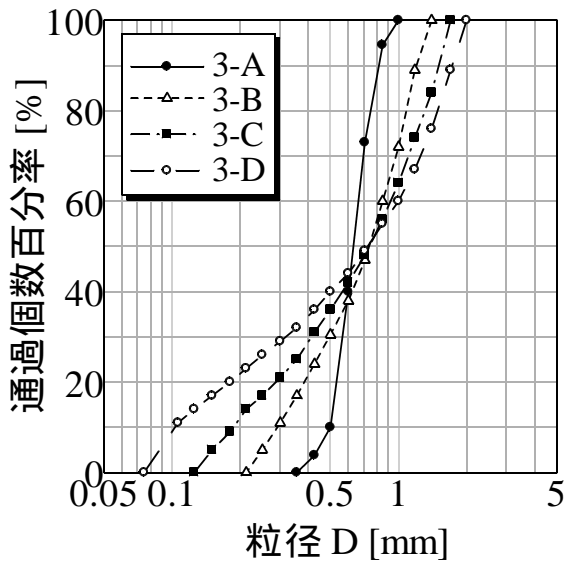


図-11 粒径過積曲線(個数)

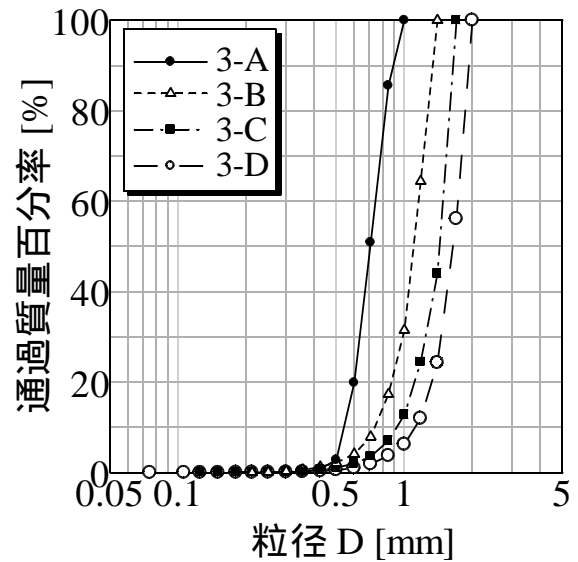


図-12 粒径過積曲線(質量)

4. おわりに

アルミ丸棒を用いた二次元一面せん断試験という限られた条件下ではあるが、粒状体の粒径過積曲線を個数通過百分率で描き、粒度分布を個数均等係数で評価すれば、内部摩擦角は粒度分布が良いほど大きくなり、せん断中のダイレイタンス量との関係とも良好な整合性がみられる結果を得た。

今後、図-11に示すように個数均等係数を $U_{cn} = 1.32 \sim 10$ となるよう個数粒度分布を変化させ、これを図-12に示すような質量で4種類に配合した試料について、筆者らがこれまでに行ってきた粒状体の粒度分布がせん断特性に及ぼす影響に関する三軸圧縮試験^{2),5)}を行う予定である。三軸圧縮試験においても、本研究と同様な結果を得れば、この図-12の均等係数にもほとんど差が見られないことから、地盤工学会で規定されている均等係数のみでは、せん断強度に影響を与える粒度配合の良否を判断できない可能性があることが示唆される。

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：粒状体の間隙比およびせん断特性に及ぼす一次性質の影響，土木学会論文集，No.487/ -26，pp.99～108，1994.3．
- 3) 吉村優治・小川正二：砂の等方圧密およびせん断特性に及ぼす粒子形状の影響，土木学会論文集，No.487/ -26，pp.187～196，1994.3．
- 4) 吉村優治・松岡元：粒子形状による粒状体の内部摩擦角の推定法，土と基礎，Vol.50，No.5，pp.20～22，2002.5．
- 5) 吉村優治：砂のような粒状体の粒子形状と一次性質，二次性質に関する研究，長岡技術科学大学博士(工学)学位論文，1994.3．
- 6) たとえば，松岡元・孫徳安・劉斯宏・西方卯左男・寺元真司：小型および大型の一面せん断試験機の簡便な改良法，土と基礎，Vol.49，No.1，pp.21～24，2001．
- 7) 吉村優治・高山純平：アルミ棒を用いた二次元一面せん断試験によるせん断特性に関する研究，岐阜工業高等専門学校紀要，第41号，pp.69～74，2006.3/1．
- 8) 池野友美：粒子表面粗度が粒状体のせん断強度に及ぼす影響に関する研究，平成11年度岐阜工業高等専門学校環境都市工学科卒業論文，2000.2．