

粒度分布に着目した粒状材料と鋼材の大変形時における摩擦特性

九州大学大学院 学○賀来 貴彦 F 落合 英俊 正 安福 規之
正 大嶺 聖 正 中島 通夫

1. はじめに

地盤材料と構造材料の相対変位で生じる摩擦特性を把握することは、杭の周面摩擦力など境界面摩擦力の評価において重要である。一般に、地盤材料と構造材料との間で摩擦力が発現するには、材料間の滑り摩擦によるものと境界面付近の地盤内滑り摩擦によるものがあることが知られている¹⁾。従って境界面摩擦力を評価するためには、地盤内部のせん断特性と関係づけてその摩擦特性を把握することが必要である。また、変形量に着目した多段階設計法を考えると²⁾、大変形までを考慮した摩擦特性を把握することが工学的に重要となる。本研究は、地盤の粒度分布の違いに着目し、リングせん断型試験装置を用いて鉛直応力一定条件でのガラスビーズと鋼材の摩擦試験及びガラスビーズのせん断試験を行い、地盤材料と鋼材の境界面で発揮される摩擦特性を検討したものである。

2. リングせん断試験と試験方法

図-1にリングせん断試験装置の概略図を示す。リングせん断試験は、連続したせん断面に無限大のせん断変位を与えることができ、大変形での特性を把握するのに適している。供試体寸法は、リングの周面摩擦の影響や半径方向のひずみの不均一性をできるだけ軽減できるよう、外径 300mm、内径 200mm、高さ 40mmとした。試験装置の構造は、载荷盤コントロールジャッキにより制御された载荷圧が载荷盤を介し供試体に鉛直圧として負荷されるシステムとなっており、ダイレイタンスーなどにより発生する供試体とリングの摩擦力は周面摩擦用ロードセルで計測され、結果としてせん断面に作用する周面摩擦力を取り除いた垂直応力を算定することができる。上部リングをトルク用ロードセルに固定し、下部リングの回転によってせん断力を発揮させる。試験条件は供試体外周の変位速度を 3.0mm/min、上下リング間の隙間を 0.15mm とし、隙間からの試料漏れを防ぐためにリング内周に Skirt を設けた。Skirt は厚さ 0.1mm の OHP フィルムをメンディングテープで固定したものである。図-2にせん断箱の断面図を示す。試料には、粒子形状が球形のガラスビーズを粒度調整したものを3種類用いた。図-3に試料の粒度分布を示す。試料と鋼材の摩擦試験では、厚さ 20mm、表面粗さ $10\mu\text{m}$ の非常に滑らかな鋼材をせん断箱の下半分に設置した。試験はいずれも定圧条件で行った。

3. 試験結果及び考察

図-4は、代表的なせん断応力比-水平変位関係を示したもので、図中の(b)は(a)のせん断初期 10mm を拡大したものである。試料と鋼材の摩擦試験の結果を太線、試料のせん断試験結果を細線で示している。試料と鋼材の摩擦試験の結果を見ると、せん断初期に線形的にせん断応力比は増加し、非常に小さな変位

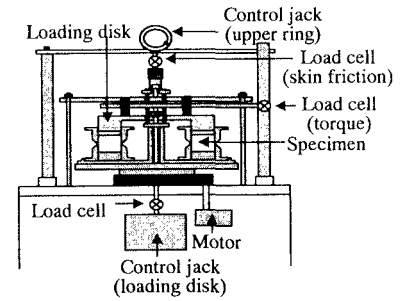


図-1 試験装置概略図

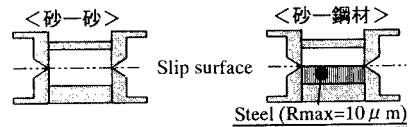


図-2 せん断箱の断面図

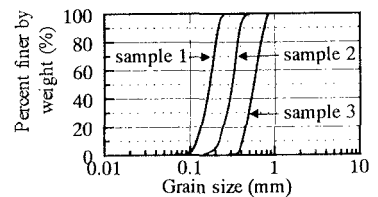


図-3 試料の粒径加積曲線

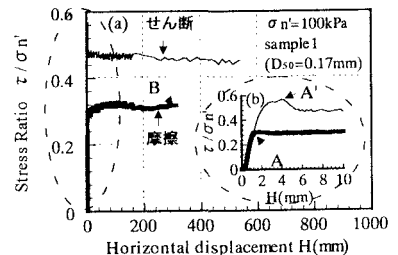


図-4 せん断応力比-水平変位関係

で折れ曲がりを示し、A 点を過ぎた後も更にせん断応力比は増加し、最大値を示した後軟化し一定の値となる。最大値を示す点を A'点とする。図-5 は、摩擦抵抗角-正規化変位関係を示している。摩擦抵抗角は、 $\phi'_d = \tan^{-1}(\tau/\sigma'_n)$ であり、正規化変位は水平変位を試料の高さ ($L=20\text{mm}$) で正規化したものである。Sample1、2、3 ともに摩擦試験から求まる ϕ'_d は、せん断試験の大変形時の ϕ' よりも 10° 程度小さな値を示している。また、試料の平均粒径が小さいものほど、大変形時における摩擦抵抗角及びせん断抵抗角はそれぞれ大きな値を示している。

A 点を滑りに対応する特性点、B 点を大変形時(残留時)の点として、それぞれにおける摩擦抵抗角-垂直応力関係を示したものが図-6 である。比較のため、豊浦砂、破碎性の顕著な Quiou 砂を用いた鋼材との摩擦試験結果も示している。ガラスビーズを用いた場合、A 点、B 点ともに ϕ'_d は垂直応力の値に関わらず一定の値を示している。豊浦砂についても同様のことが言える。一方、Quiou 砂を用いた場合、A 点、B 点ともに垂直応力の増加により ϕ'_d は小さくなることが言える。図-7 は、A 点、B 点における ϕ'_d -Dr 関係を示したものである。図-6 同様、豊浦砂、Quiou 砂を用いた鋼材との摩擦試験結果も示している。いずれの試料においても、A 点、B 点ともに ϕ'_d に及ぼす Dr の影響は見られない。図-6、図-7 より、ガラスビーズ及び豊浦砂を用いた場合、A 点と B 点の ϕ'_d に大きな差は見られないが、Quiou 砂を用いた場合には、B 点の ϕ'_d は A 点に比べかなり大きな値となっている。これは粒子の破碎性に起因すると考える。図-8 は A 点、B 点における摩擦抵抗角と試料の平均粒径の関係を示したものである。ガラスビーズを用いた場合、平均粒径が大きいものほど、 ϕ'_d は小さな値を示している。

4. 結論

本研究で得られた結果についてまとめると以下の通りである。

- 1) ガラスビーズと鋼材の摩擦試験における摩擦抵抗角は、せん断初期に急激に増加し、その後はほとんど変化せず、変形量の影響は少ない。この結果は破碎性の大きな Quiou 砂の結果とは異なるものであった。
- 2) 本研究で用いた領域でのガラスビーズと鋼材の摩擦抵抗角は、拘束圧・試料の相対密度によらずほぼ一定値である。
- 3) 本研究で用いた領域では、ガラスビーズの平均粒径が小さいものほど摩擦抵抗角は大きな値を示す。今後は、表面粗さの異なる鋼材を用いた摩擦試験を行い、表面粗さと粒度分布の相互関係が摩擦特性に及ぼす影響について検討する予定である。

【参考文献】

- 1) 岸田 英明・上杉 守道：高压下における砂-鋼材間の摩擦と粒子破碎，土と基礎，Vol.32, No.2, pp. 51-56, 1984, 2
- 2) 日下部 治：基礎構造物設計法の変遷に思う，土と基礎，Vol.48, No.9, pp.1-3, 2000, 9

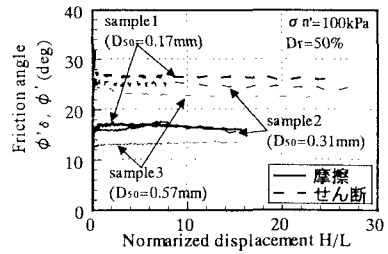


図-5 摩擦抵抗角-正規化変位関係

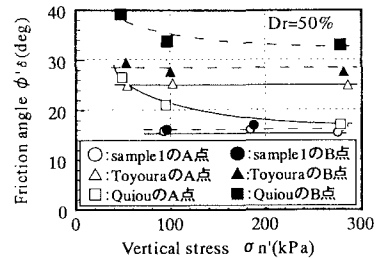


図-6 摩擦抵抗角-垂直応力関係

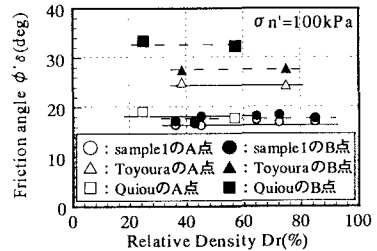


図-7 摩擦抵抗角-相対密度関係

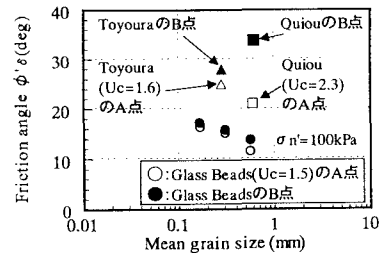


図-8 摩擦抵抗角-平均粒径関係