

拘束圧に着目した土粒子強さの異なる粒状材料と鋼材との摩擦特性

九州大学工学部 学〇戸田 理恵子

九州大学大学院 F 落合 英俊 正 安福 規之

1. はじめに 著者らは、砂と鋼材の相互作用の問題を検討してきている¹⁾。その中で、杭の周面摩擦力の発現メカニズムを明確にするためには、土粒子の破砕が砂と鋼材の摩擦特性に与える影響を検討することが工学的に重要であることを指摘した。また、構造物の設計法は、個々の構造物の変形量に着目した性能設計に移り変わってくることが予想される。例えば杭基礎の設計においては、変形量に着目した支持力の評価が求められる。この場合、精度の良い評価を行うには、残留状態に至る大変形時までの摩擦挙動を把握することが大切である。本研究では、大変形まで調べることができるリングせん断試験で、土粒子強さの異なる試料を用いることによる砂と鋼材の摩擦特性の違いについて実験的検討を行った。

2. リングせん断試験装置と試験方法 リングせん断試験は連続したせん断面に、原理的には無限大のせん断変位を与えることができ、微小変位から大変形までの特性を把握するのに適している。供試体寸法は外径 300mm、内径 200mm、高さ 40mm。試験条件は供試体中央部での変位速度を 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 0.1mm の OHP フィルムをテフロンテープで固定したものを設けた。砂と鋼材の摩擦試験では、せん断箱の下半分に厚さ 20mm の鋼材を設置した。試験では表面粗さの異なる 2 種類の鋼材を用いており、それぞれ最大粗さ $R_{max}=1\text{mm}$ 、 0.01mm である。試料には比較的強固な材料として豊浦砂を、破砕性材料として奄美砂を使用し、それぞれ土粒子強さは 100MPa、31MPa である。試験は全て相対密度 $D_r=50\%$ で行い、拘束圧を 50kPa、100kPa、300kPa、400kPa の定圧条件とした。

3. 摩擦角に影響する破砕性の違い 図.2 は 400kPa で相対的に滑らかな鋼材($R_{max}=0.01\text{mm}$)と砂との試験での摩擦角-せん断変位関係を、図.3 は図.2 中の①~④の変位の時点で供試体を 5mm の高さごとに取出して平均粒径 D_{50} を求めたものである。図.3 より豊浦砂では試験前、圧密後の①、せん断変位 $D=400\text{mm}$ の②とで平均粒径が変化していないという結果になった。これに対して奄美砂では試験前に比べて、圧密後の③で均等に粒径が小さくなり、圧密による粒子破砕が全体的に起こっていることが伺える。そして、その後のせん断変位 $D=400\text{mm}$ の④で、一番鋼材に近い層のみ D_{50} の変化が見られた。せん断中に鋼材の近傍で粒子破砕が進行していると判断できる。図.2 で、豊浦砂がせん断初期に急激に摩擦角が大きくなり、その後はほぼ一定状態に至るのに対して、奄美砂ではせん断変位と共に徐々に摩擦角が大きくなっている。この挙動を示す 1 つの理由として、せん断層内で粒子破砕が進行し、 D_{50} が徐々に小さくなるにつれて鋼材との相対粗さ R_{max}/D_{50} が大きくなり²⁾、滑りのメカニズムが変化することが考えられる。

4. ダイレクشن挙動に現れる破砕性の違い 図.4-1,2 は 400kPa で相対的に粗い鋼材($R_{max}=1\text{mm}$)と砂との試験での δ' -D 関係を、図.5 は図.4-2 中の⑤、⑥、⑦の変位で奄美砂を先程と同様に取出して D_{50} を求めた結果である。図.5 より試験前に比べて、400kPa 圧

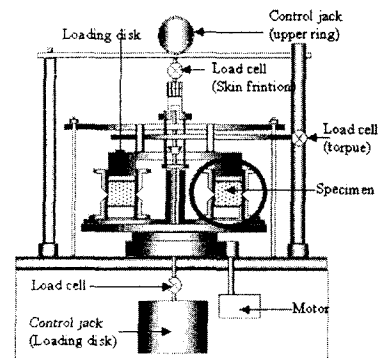
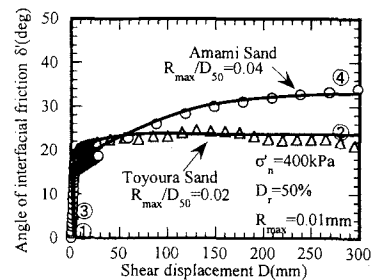
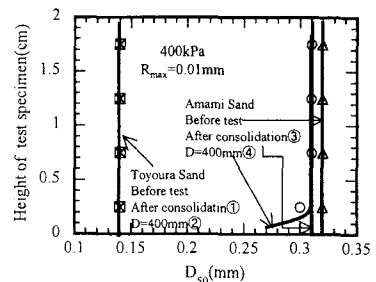


図.1 リングせん断試験装置図

図.2 δ' -D 関係図.3 供試体高さによる D_{50} の変化

密後の⑤では供試体全体で平均的に粒子破碎が起こり、その後せん断変位 $D=28\text{mm}$ の⑥まで D_{50} の変化がなく、⑤～⑥間ではせん断による粒子破碎は起こっていないと考えられる。しかしせん断変位 $D=400\text{mm}$ の⑦では、鋼材の直上 5mm の層での D_{50} が 0.3 から 0.23 に変化した。⑥～⑦の過程でせん断による粒子破碎が薄層で進行し、その破碎のために、図4-2 の⑥～⑦間で体積圧縮が生じる結果になったと考えられる。この粒子破碎の進行は、せん断面を写した写真からも確認できた。

5. 相対粗さの違いと滑りのメカニズム 図.6 は拘束圧 50kPa 、 100kPa 、 300kPa 、 400kPa 。最大粗さ R_{max} が 0.01mm 、 0.1mm 、 1.0mm の鋼材と奄美砂との摩擦試験でのピーク摩擦角 δ_p を縦軸に、ピーク摩擦角をとる時のダイレタンシー角 ω_p を横軸にとった図である。相対粗さが 0.45 、 3.2 、 4.6 のものはほぼ一直線上に並んでいるが、 0.02 、 0.05 のものはこの直線から外れる結果となった。近似的に $\delta_p = a + b\omega_p$ の関係を満足する場合と、外れる場合とでは、滑りのメカニズムが大きく異なることが想定される。図.7 は、まとめとして今回得られた結果を $\delta_p - \omega_p$ の関係、破碎性、相対粗さに着目して整理したものである。図中に $\delta - D$ 関係、 $V - D$ 関係の特徴を模式的にまとめている。

6. 結論 1) 相対粗さが大きければ、砂のせん断の場合と同様、砂と鋼材の摩擦試験においても摩擦角 δ_p とダイレタンシー角 ω_p に対して一義的な関係が存在する。2) $\delta_p - \omega_p$ の関係から滑りのメカニズムが変化する相対粗さを規定できる可能性を示した。3) 相対的に滑らかな鋼材の時に、破碎性の影響が摩擦角に顕著に現れることを示した。(図.7 a 参照) 4) 相対的に粗い鋼材の時に、ピーク後のせん断過程での体積圧縮は、破碎によって生じることを確認した。(図.7 b 参照)

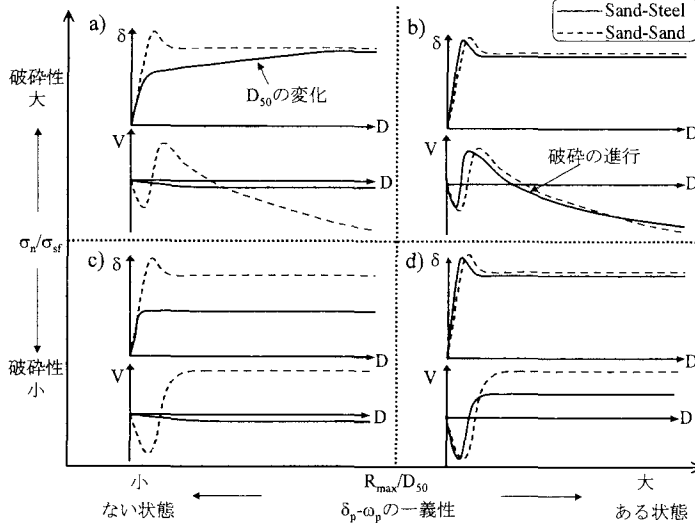


図.7 模式図

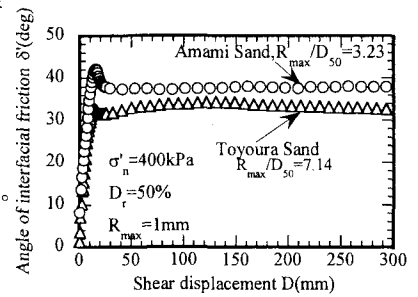


図.4-1 $\delta' - D$ 関係

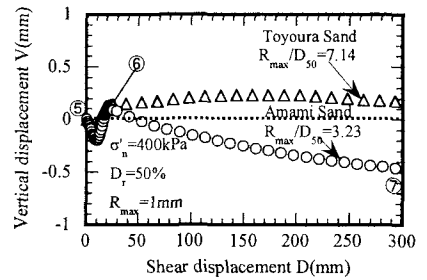


図.4-2 $V - D$ 関係

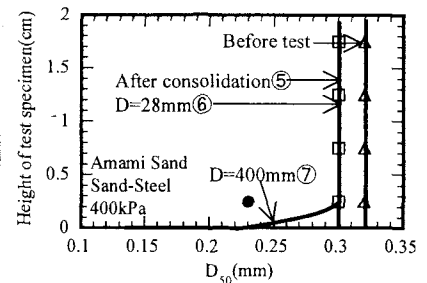


図.5 供試体高さによる D_{50} の変化

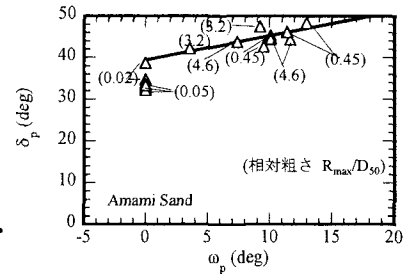


図.6 $\delta_p - \omega_p$ 関係

〔参考文献〕 1) 賀来ら：砂と鋼材の摩擦特性と破碎性の関係、平成 13 年度土木学会西部支部研究発表講演会概要集、第三部門、pp248-249、2002 2) Samuel G. Paikowsky ら：A Dual Interface for Testing Unrestricted Friction of Soil Along Solid Surfaces, GEOTECHNICAL TESTING JOURNAL, pp168-193、1995