

粒子間に結合力を有する砂の一面せん断挙動

山口大学工学部	正 員	中田幸男	兵動正幸	村田秀一
復建調査設計（株）	正 員	○小田浩司		
第一復建（株）	正 員	羽場信介		
宇部興産（株）	正 員	米田修		

1 まえがき

固結力を有する地盤は、しらす、スコリアや世界の海洋に広く分布しているカルカリアス堆積物のように堆積中の火山活動などの物理化学作用によりすでに固結力を有しているもの、また、地盤改良を目的として固化材を用いることにより固結力を有しているものが考えられる。本研究では、粒子間結合力を有する砂のせん断特性を明らかにすることを目的として、砂にセメントを混合した試料を対象に一面せん断試験を行った。比較のために、砂供体を対象とした試験も同時に行った。また、せん断面の観察を行うことにより粒子間結合力を有する砂のせん断中の内部構造の変化を明らかにするものである。

2 試料及び実験方法

試験に用いた砂は、珪砂であり、固化材としてセメント系固化材を、配合試料の分離を防ぐことを目的に混和材としてベントナイトを用いている。試料は、砂のみを考えた場合に相対密度 $Dr=70\%$ となる分量の砂と砂の乾燥質量に対して4%あるいは7%となる量のセメントを、水セメント比(W/C)が200%となる水、ベントナイト水比(B/W)が2%となるベントナイトを混合したものを用いている。供試体はその混合した試料をモールドに入れ、プレス機により締め固めを行うことで、作成した。供試体をモールドに入れたまま1日間養生した後、脱型を行い乾湿の出入りがないように密封し、14日間空气中養生を行った。なお、セメントを添加しない試料はせん断箱に試料を入れタンピング法により作成した。試験条件は圧密定圧せん断試験であり鉛直応力 $\sigma_N=50, 100, 200, 400\text{kPa}$ について行っている。

3 せん断中の内部構造の変化に対する観察

粒子間に結合力を有する砂のせん断中の内部構造の変化を明らかにするために、一面せん断時のせん断面の状態の変化を観察した。せん断中の内部構造の変化に対する観察は、せん断面付近にある粒子塊の大きさ、および粒子塊を取り除いた後のせん断面の凹凸の様子について行った。図-1に $\sigma_N = 100\text{kPa}$ におけるセメント添加量4%, 7%のせん断応力-水平変位-鉛直変位関係を示す。この図においてピーク時(C点)、軟化時(D点)、残留時(E点)の各々までせん断を行い、その都度実験を中断し、せん断面付近の観察を行った。図-2は取り出した粒子塊の平均直径 D_{av} を D_{50} で正規化した D_{av}/D_{50} と粒子塊の個数の関係を示したものである。この図よりピーク時には数個の粒子が結合した大きな粒子塊が存在しているが軟化時から残留時へと進むにつれ、大きな粒子塊がなくなりピーク時に比べ小さな粒子塊が数多く存在していることがわかる。また、ピーク状態においてはセメント添加量7%の粒子塊の方が4%のそれに比べて大きいものの、残留状態においては粒子塊の大きさは添加量に依存せず D_{50} の2倍程度までに減少していることがわかる。図-3は下箱内供試体のせん断面の様子を示したものである。このせん断面は、下箱から取り出した供試体の凸の様子を示している。上箱のそれは、下箱と比較して、明らかな変化が見られなかった。なお、せん断面の計測は供試体の端から10mm~50mmの区間を対象に行った。この図より、いずれの添加量においてもピーク時の

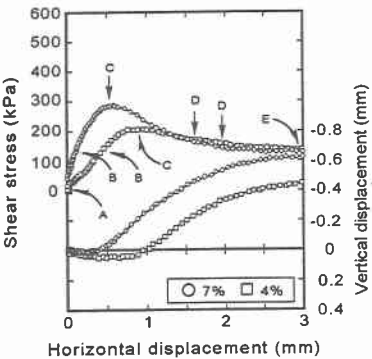


図-1 せん断応力-水平変位-鉛直変位

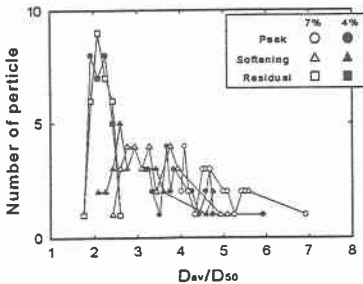


図-2 D_{av}/D_{50} と粒子の個数の関係

せん断面の凸は大きく、軟化時、残留時と進むにつれ凸が小さくなっていく様子がわかる。また、いずれの状態においてもセメント添加量 4% に比べ 7% のほうが凸の度合いが大きいこともわかる。

4 一面せん断結果

図-4 は $\sigma_N=100, 400\text{kPa}$ におけるせん断応力-水平変位-垂直変位関係を示している。この図

において、せん断応力-水平変位関係より $\sigma_N=100\text{kPa}$ では、セメント添加量が増加するに伴い、初期剛性およびピークのせん断応力は三軸試験結果²⁾と同様に増加していることが分かる。 $\sigma_N=400\text{kPa}$ の結果を見てみるとせん断初期の水平変位が 0.5mm までの挙動については $\sigma_N=100\text{kPa}$ の結果と同様セメント添加量の影響が現れている。一方、ピーク付近についてはセメント添加量 0% と 4% のせん断応力と水平変位の関係の違いは $\sigma_N=100\text{kPa}$ のそれと比べて小さいことが分かる。これは、先の観察結果を踏まえると圧密およびピークまでのせん断過程における応力変化により粒子間結合力が消失し、せん断面付近の粒子がセメントを添加しない試料の構造に近くなったためと推察される。一方、セメント添加量 7% は 4% に比べピークのせん断応力は高いことがわかる。これは、セメント添加量 7% は 4% に比べ粒子間の結合力が強いため、 $\sigma_N=400\text{kPa}$ の鉛直応力下においても粒子間結合力は消失せず、せん断面付近の内部構造が、図-2、図-3 で示したものと類似した傾向を示すものと考えられる。また、残留時のせん断応力に着目すると、いずれの拘束圧においてもセメント添加量の違いによらずほぼ同じ値を示していることがわかる。これは、残留時においては、粒子塊の大きさや凸の大きさに違いがなくなったことに起因すると考えられる。さらに、水平変位-鉛直変位関係から、セメント添加量が増加するに伴い三軸試験結果²⁾と同様に残留時の膨張量が増加していることがわかる。これは、ピーク時と軟化時に見られる添加量の違いによる粒子塊の大きさの違いによるものと考えられる。図-5 に鉛直応力とセカントアングル ϕ_s の関係を示す。この図より、いずれの添加量においても ϕ_s は、鉛直応力の増加に伴い減少していることがわかる。また、セメントを添加した試料は拘束圧の増加に伴い、セメントを添加しない試料に近づいていく傾向が認められる。

5 あとがき

本報では、粒子間に結合力を有する砂のせん断挙動を明らかにするために、セメント混合砂を対象に、一面せん断試験およびせん断面付近の粒子の観察を行い、粒子間に結合力を有する砂のせん断中の内部構造の変化について検討を行った。比較のためセメントを添加しない砂供試体を対象とした試験も行った。その結果、粒子間に結合力を有する砂のせん断中の内部構造を明らかにすることにより、ある程度、粒子間に結合力を有する砂のせん断抵抗メカニズムを把握できた。

(参考文献) 1, セメント協会編: セメント系固化材による地盤改良マニュアル-第2版, セメント協会 1994. 2, 宮北啓, 前川晴義: 三軸応力下におけるセメント安定処理砂の力学特性, 第25回土質工学研究発表会, 1990.

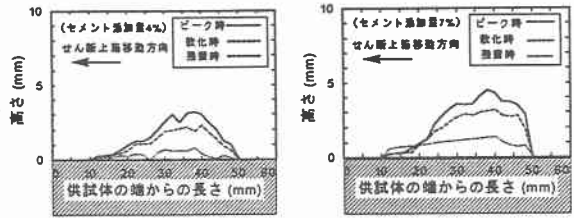


図-3 下箱内供試体のせん断面の様子

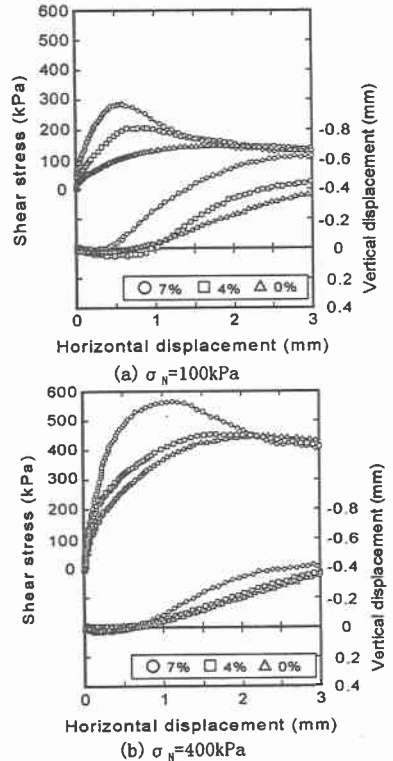


図-4 せん断応力-水平変位-垂直変位

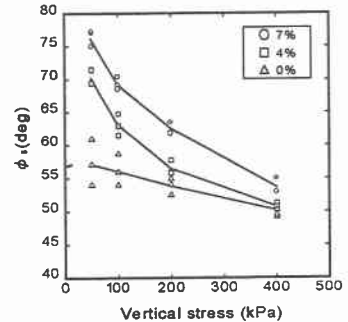


図-5 σ_N と ϕ_s の関係