

しらすの単調および繰返しせん断特性に及ぼす拘束圧の影響

山口大学工学部 正 員 兵動正幸
山口大学工学部 正 員 中田幸男
ライト工業（株）正 員 井上省吾
山口大学工学部 学生員 ○澤村仁志

1. 研究の目的 1997 年 3 月と同年 5 月に発生した鹿児島県北西部地震および第 2 鹿児島県北西部地震により、しらすの埋立地盤が噴砂などの液状化被害を受けた。近年、南九州ではウォーターフロントの開発・整備を始めとする開発が盛んに行われおり、特に水搬送工法により埋め立てられた緩いしらす地盤が多く存在しており、それらの地震時の危険性が指摘されている。本研究は、しらすの緩詰め状態に着目し、様々な拘束圧下で単調および繰返しせん断試験を行い、得られた挙動に及ぼす拘束圧の影響を調べることを目的とした。また、単調せん断試験前後の粒径加積曲線を調べ、圧密およびせん断過程における粒子破碎について検討を行った。

2. 試料および実験方法 本研究では、鹿児島県始良郡で採取したしらすの 2mm ふり通過分を試料として用いた。弱溶結火砕流であるしらす地盤は、火山ガラスを主成分とし、非常に脆弱で角張った粒子から成り、多くの軽石成分を含む破碎性土である。図-1 にしらすと比較のためシリカ系の砂である秋穂砂の粒度分布を示す。しらすは秋穂砂と比べ粗粒分から細粒分まで広く分布しており、粒度分布が良く、活性のない細粒分の割合が多い砂である。図-2 にしらすと秋穂砂の等方圧縮試験結果を示す。しらすは秋穂砂と比べ、常圧域において拘束圧の増加に対して圧縮性が高いことが特徴的である。また明確な降伏点を示さずほぼ直線的なカーブを描いているが 300kPa~1000kPa 付近で若干の折れ曲がり確認できる。本研究では、供試体を空中落下法により初期相対密度 $D_{ri}=50\%$ となるように作成し、等方圧密下で非排水状態で単調および繰返しせん断試験を行った。

3. 試験結果および考察

(1) 単調せん断特性に及ぼす拘束圧の影響

正規化した軸差応力-軸ひずみ関係を示す。図中、変相点の位置を黒プロットで示した。圧縮側において $\sigma'_c=50\text{kPa}$ では、応力・ひずみ関係は一旦ひずみ軟化挙動を示し、その後ひずみ硬化挙動に転じている。これに対し、 $\sigma'_c=100, 300, 1000\text{kPa}$ の応力・ひずみ関係においてひずみ硬化挙動を示し、 $\sigma'_c=300, 1000\text{kPa}$ において最終的に定常状態に至っている。伸張側の応力・ひずみ関係では変相点以降、軸差応力が回復しないまま定常状態に至っている。図-4 に有効応力径路を示す。これも図-3 同様、平均有効主応力を初期拘束圧で正規化したものである。 $\sigma'_c=50\text{kPa}$ の有効応力径路のみ限界応力状態を示し、その後に変相点を迎え膨張挙動に転じているが、 $\sigma'_c=100, 300, 1000\text{kPa}$ の有効応力径路の時は単調に膨張挙動を示している。また、圧縮側では $\sigma'_c=300\text{kPa}$ までは収縮挙動から膨張挙動へと転化していき、 $\sigma'_c=1000\text{kPa}$ において再び収縮挙動へと転化している。

3. 試験結果および考察

(1) 単調せん断特性に及ぼす拘束圧の影響

正規化した軸差応力-軸ひずみ関係を示す。図中、変相点の位置を黒プロットで示した。圧縮側において $\sigma'_c=50\text{kPa}$ では、応力・ひずみ関係は一旦ひずみ軟化挙動を示し、その後ひずみ硬化挙動に転じている。これに対し、 $\sigma'_c=100, 300, 1000\text{kPa}$ の応力・ひずみ関係においてひずみ硬化挙動を示し、 $\sigma'_c=300, 1000\text{kPa}$ において最終的に定常状態に至っている。伸張側の応力・ひずみ関係では変相点以降、軸差応力が回復しないまま定常状態に至っている。図-4 に有効応力径路を示す。これも図-3 同様、平均有効主応力を初期拘束圧で正規化したものである。 $\sigma'_c=50\text{kPa}$ の有効応力径路のみ限界応力状態を示し、その後に変相点を迎え膨張挙動に転じているが、 $\sigma'_c=100, 300, 1000\text{kPa}$ の有効応力径路の時は単調に膨張挙動を示している。また、圧縮側では $\sigma'_c=300\text{kPa}$ までは収縮挙動から膨張挙動へと転化していき、 $\sigma'_c=1000\text{kPa}$ において再び収縮挙動へと転化している。

(2) 繰返しせん断特性に及ぼす拘束圧の影響

図-5 に軸差応力-軸ひずみ関係を示す。 $\sigma'_c=50\text{kPa}$ の応力・ひ

図-3 に初期拘束圧 σ'_c で

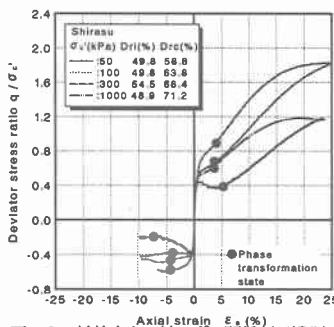


図-3 軸差応力-軸ひずみ関係（正規化）

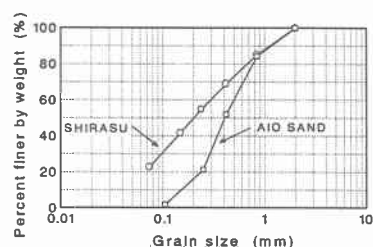


図-1 粒度分布

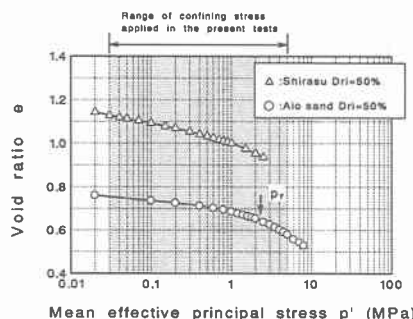


図-2 三軸等方圧縮試験結果

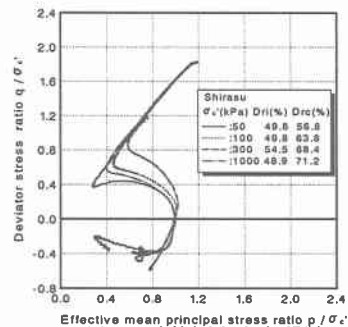


図-4 有効応力径路（正規化）

ずみ関係では、ある繰返し回数を越えると急激に軸ひずみ振幅が発生し、破壊に至っている。さらに、伸張側に劣らず圧縮側での軸ひずみ増加が著しく生じており、比較的圧縮伸張均等の軸ひずみの発達性状を表し、流動的で緩やかなカーブを描く形状を示している。これに対し、 $\sigma'_c=300\text{kPa}$ では軸ひずみ振幅が徐々に発達し、Cyclic mobility 的挙動を示している。図-6は、 $DA=5\%$ に至るに必要な繰返し応力比と繰返し回数の関係（液状化強度曲線）を示したものである。初期有効拘束圧の増加に伴い、繰返しせん断強度も増加していることが分かる。特に少ない繰返し回数においてはより顕著にみられる。これは、緩いしらす角張った粒子の弱い初期構造有しているのに対し、拘束圧の増加に伴い接触点を増し、より安定した構造へと至ったためと思われる。

(3) 粒子破碎の評価 図-7に試験前とせん断試験終了後の細粒分含有率の増加量を示す。図中、拘束圧の増加に伴い細粒分の増加量が大きくなる様子が認められる。試験前とせん断試験終了後の細粒分含有率の増加量は $\sigma'_c=600\text{kPa}$ を超えた辺りから開きが大きくなっており、せん断による粒子破碎量も増加している。また、低拘束圧域ではしらすの粒子表面の角張りが欠けたり細粒分が破碎していると考えられるが、高拘束圧になると細粒分だけでなく粗粒子も破碎しているのではないかと考えられる。

4. まとめ

(1) 非排水単調および繰返しせん断特性に及ぼす拘束圧の影響

しらすの等方圧密下における非排水単調せん断挙動は、拘束圧の増加に伴い収縮的な挙動から膨張的な挙動へと転化し、さらに高い拘束圧下では再び収縮的な挙動へと転化する。非排水繰返しせん断挙動は、低拘束圧において、通常の砂質土では見られない著しい流動変形を伴う特異な性状を表しているが、拘束圧の増加に伴い通常の砂質土が示すCyclic mobility 的な挙動へと転化している。また、繰返しせん断強度は、拘束圧の増加に伴い増加しており、この傾向は少ない繰返し回数においてより顕著にみられる。以上のことより、しらすは単調および繰返しせん断ともに顕著な拘束圧依存性を示していることがわかる。

(2) 圧密およびせん断過程における粒子破碎の様子

しらすは拘束圧の増加に伴い顕著に粒子破碎を起こしている。しかし、常圧域ではしらすの粒子表面の角張りが欠けたり、細粒分が破碎していると考えられるが、高拘束圧域では細粒分だけでなく粗粒子も破碎しているのではないかと考えられる。また、しらすは圧縮曲線に明確な降伏点は見当たらないが、拘束圧 $\sigma'_c=600\text{kPa}$ を超えた辺りから細粒分が急増しており、せん断による粒子破碎も増加する傾向にある。

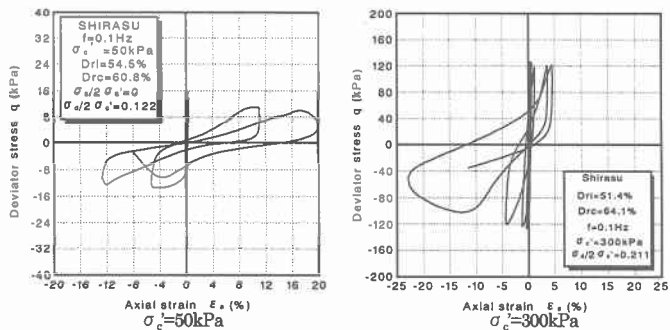


図-5 軸差応力-軸ひずみ関係

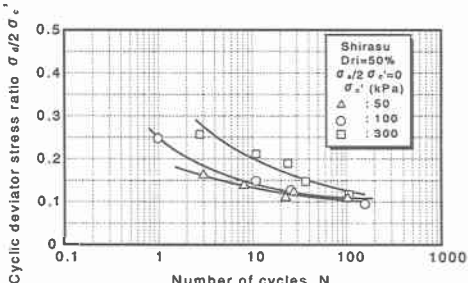


図-6 DA=5%の液状化強度曲線

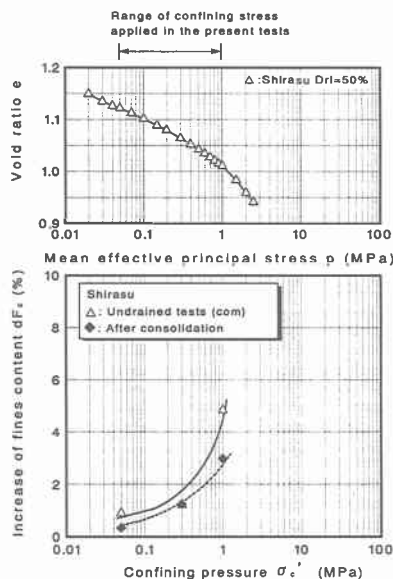


図-7 試験前とせん断試験終了後の細粒分含有率の増加量

【参考文献】 兵動、荒牧、岡林、中田、村田；破碎性土の定常状態と液状化強度

岡林、兵動、安福、村田；乱した一次しらすの非排水単調および繰返しせん断挙動