

多方向繰返しせん断が砂質土の強度特性に及ぼす影響

山口大学大学院 学生員 ○新山馨紫
山口大学大学院 正会員 篠崎晴彦
矢作建設工業(株) 正会員 岡田尚樹
復建調査設計(株) 正会員 高宮晃一
山口大学工学部 正会員 松田 博

1. まえがき

近年は土木材料としての天然砂の採取が困難な状況になり、代替材料としてリサイクル材料を土木・地盤材料へ適用するケースが増えている。ここでは、高炉水砕スラグに着目し、繰返しせん断履歴を受けた高炉水砕スラグの強度特性について多軸単純せん断試験を行い、繰返しせん断方向が強度特性に及ぼす影響について調べたので報告する。

2. 試験装置及び実験方法

実験に用いた装置は多軸単純せん断試験機である。この装置は、供試体（直径 75mm、高さ 20mm）の水平面上の直角 2 方向から独立してせん断力を負荷することができることから、実際の地盤の地震時の挙動を再現可能である。

実験は、飽和試料を所定の相対密度になるようにせん断箱に詰め、圧密応力 49kPa で予圧密した後、定体積条件のもとで繰返しせん断試験を行った。そして繰返しせん断後に圧密応力 49kPa で再圧密を行った。また、繰返しせん断によって生じる攪乱が供試体の強度に及ぼす影響を調べるために、繰返しせん断前後（予圧密後および再圧密後）において静的せん断試験（せん断ひずみ速度 1%/min）を行った。

用いた試料は高炉水砕スラグ、玄海砂及び豊浦砂である。試料の物理定数を表 - 1 に、粒径加積曲線を図 - 1 に示す。繰返しせん断波形はサイン波であり、図 - 2 に示す方法で載荷した。図 - 2 において、(a) は X 方向のみで繰返しせん断を行う一方せん断試験であり、(b) は直角 2 方向より 90° の位相差を与えて繰返しせん断を行う多方向繰返しせん断試験（多方向せん断（Gyratory shear））である。

なお、相対密度は $Dr = 70 (\pm 3) \%$ とし、繰返しせん断の周期は 2 秒とした。また、せん断ひずみ振幅は $\gamma = 0.1\% \sim 1.0\%$ の間で変化させ、繰返し回数は $n = 5$ 回とした。せん断ひずみ振幅 γ の定義としては、一方せん断(a)では、片振幅の大きさを供試体高さで除した値とし、多方向せん断(b)では、繰返しせん断中に供試体底面中央が描く円軌跡の半径を供試体高さで除した値とした。

3. 実験結果

図 - 3 は静的せん断試験時のせん断応力とせん断ひずみの関係である。ここでは、せん断ひずみが 15% の時のせん断応力をせん断強度とし、繰返しせん断履歴のない場合を τ_s 、繰返しせん断 - 再圧密後のせん断強度を τ と定義した。図中には、予圧密後の静的せん断試験の結果も併せて示している。同図より、再圧密後のせん断応力は、予圧密後のせん断応力より大きく、せん断ひずみ振幅が大きいほど大きくなっている。また、多方向せん断後の強度は一方せん断後の強度に比べてせん断応力の増加量が大きくなっている。

図 - 4 は、静的せん断中の鉛直有効応力とせん断ひずみの関係である。同図より、鉛直有効応力はせん断ひずみの増加とともに一時的に減少するが、その後増加する傾向を示す。繰返しせん断履歴がある場合の鉛直有効応力の増加量は、繰返しせん断履歴がない場合に比べて大きく、せん断ひずみ振幅が大きいほど大きい。また、多方向繰返しせん断履歴を有する場合と一方繰返しせん断履歴を有する場合を比較すると鉛直有効応力の増加量は前者が大きくなっている。

表 - 1 試料の物理定数

	ρ_s (g/cm ³)	e_{max}	e_{min}
高炉水砕スラグ	2.702	1.413	0.904
玄海砂	2.678	0.827	0.516
豊浦砂	2.637	0.991	0.630

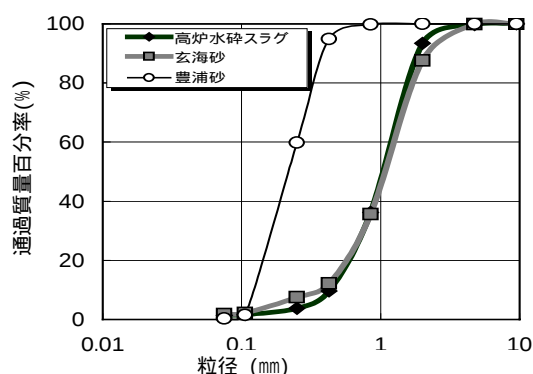


図 - 1 粒径加積曲線

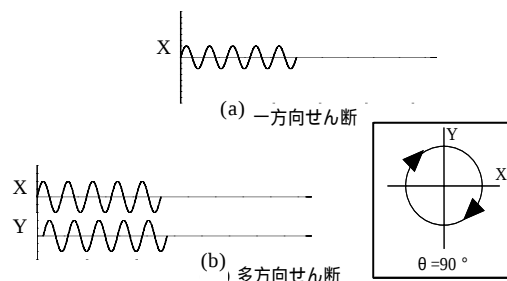


図 - 2 繰返しせん断方法

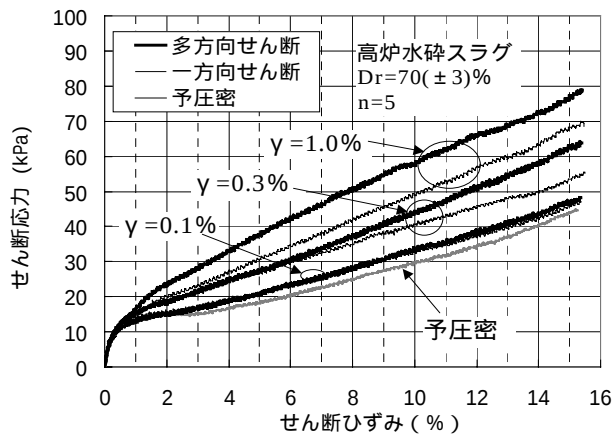


図-3 せん断応力とせん断ひずみの関係

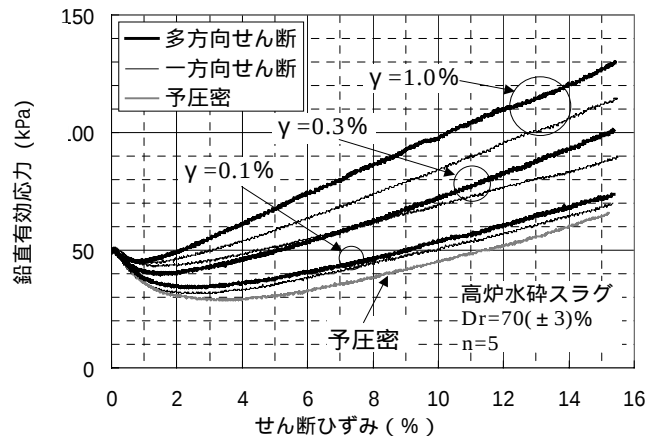


図-4 鉛直有効応力とせん断ひずみの関係

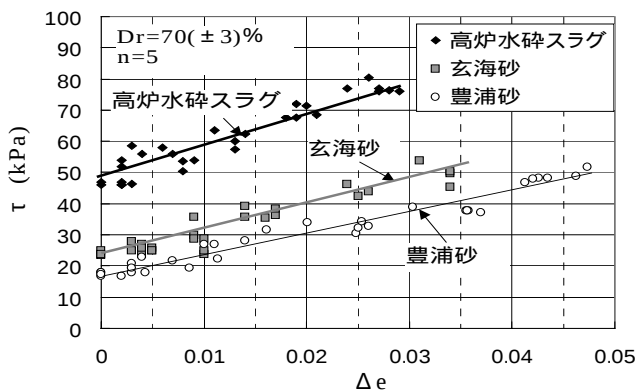
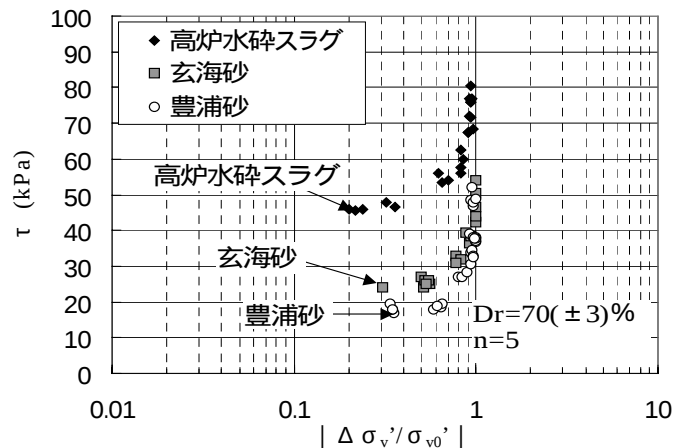
図-5 τ と Δe の関係図-6 τ と $|\Delta \sigma_v' / \sigma_{v0}'|$ の関係

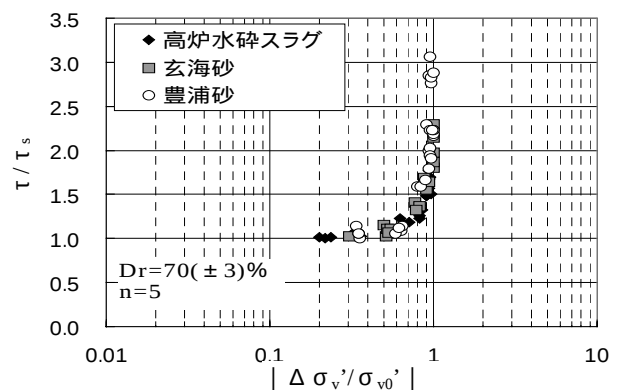
図-5は各試料のせん断強度 τ と再圧密後の間隙比の変化量 Δe の関係である。同図において $\Delta e=0$ の時、せん断強度は繰返しせん断履歴のない場合のせん断強度を意味する。同図より、いずれの試料においても Δe の増加とともにせん断強度は直線的に増加する傾向がみられる。また、いずれの Δe においても、強度は、豊浦砂<玄海砂<高炉水砕スラグとなっており、高炉水砕スラグのせん断強度は豊浦砂及び玄海砂と比べて大きいことがわかる。この理由の一つとしてインターロッキング効果が挙げられる。

図-6は各試料のせん断強度 τ と有効応力減少比 $|\Delta \sigma_v' / \sigma_{v0}'|$ の関係である。個々の試料についてみると、 $|\Delta \sigma_v' / \sigma_{v0}'|$ と τ / τ_s の間には一義的な関係が見られるが、試料によってその大きさは異なる。

図-7はせん断強度比 τ / τ_s と有効応力減少比 $|\Delta \sigma_v' / \sigma_{v0}'|$ の関係である。同図より、両者の関係は試料の違い、繰返しせん断方向の違いによらずほぼ一致しており、液状化前においては、せん断強度比 τ / τ_s は繰返しせん断中の有効応力減少比によって決まることを示している。

4. 結論

多軸単純せん断試験機を用いて多方向に繰返しせん断を受けた砂質土の繰返しせん断後の強度について調べた。その結果、高炉水砕スラグは間隙比が自然砂に比べて大きいにもかかわらず静的せん断強度が大きいこと、せん断強度比と有効応力減少比の間には、試料の違い、繰返しせん断方向の違いによらず一義的な関係があることがわかった。

図-7 τ / τ_s と $|\Delta \sigma_v' / \sigma_{v0}'|$ の関係