

研究目的 砂質土の液状化強度を求める試験として、繰返し非排水三軸試験が通常用いられるが、この試験は等方応力・軸対称条件の下で鉛直方向に圧縮・伸張荷重を繰返し載荷するもので、実際の地盤の応力・変形状態とはかなり異なる。一方、通常地盤と同様に次元圧密・平面ひずみ条件の下で、水平方向に繰返しせん断応力を与える手法としては、直接せん断試験が優れている。この目的で、繰返し一面・単純せん断試験機を試作し、これまでに両者および繰返し三軸との比較を一定振幅の繰返しせん断応力を与える応力制御試験によって行ってきた^{1),2)}。しかし、応力制御試験では、繰返しによって有効応力がゼロになってからも有効応力回復現象が生じるため、液状化現象が捉えにくく、一定の繰返しせん断応力を与える手法は、むしろ土の疲労強度を求めているとも考えられる。液状化現象とは、地震動によって土の有効応力が損失されて急激にせん断抵抗を失う現象である。この観点からは、一定振幅のせん断変位を与える変位制御の方が現象を捉えやすい。

そこで本研究では、従来の応力制御試験に加え、変位制御による繰返し一面・単純せん断試験を行い、応力制御と変位制御の比較、変位制御による一面と単純の比較を行った。

実験方法 試料は豊浦砂を用いた。試験は1998、2000年に製作し繰返し一面・単純せん断試験機（供試体直径120、層厚40mm）を用いた^{3),4)}。圧密応力 $\sigma_c=1.5\text{kgf/cm}^2$ 、繰返し応力、変位の周波数は0.025Hzである。

応力制御試験と変位制御試験の比較 代表例として、図-1に応力制御、図-2に変位制御による繰返し定体積一面せん断試験の(1)繰返し回数 N と繰返し応力振幅比 τ_r/σ_c 、有効応力比 σ'/σ_c 、せん断変位 δ の関係、(2)応力経路、(3)応力比-変位関係を示す。両図の(1)において、 τ_r/σ_c および δ が押し側(+側)、引き側(-側)で対称な正弦波となっており、繰返し試験としての対称性が保障されている。図-1の応力制御試験では、有効応力比が $\sigma'/\sigma_c=0.05$ になる頃から変位が増加して発散型の破壊となり、有効応力が一旦ゼロになってからも有効応力が回復現象が見られることが特徴的である（図(2)の応力経路参照）。一方、図-2の変位制御試験では、せん断開始直後に最も大きな τ が発生し、 σ' と共に徐々にゼロに収束し、液状化に至っている。図(3)から、繰返しによって応力比-変位曲線のループが縮まり、土の剛性が低下していく過程が見て取れる。

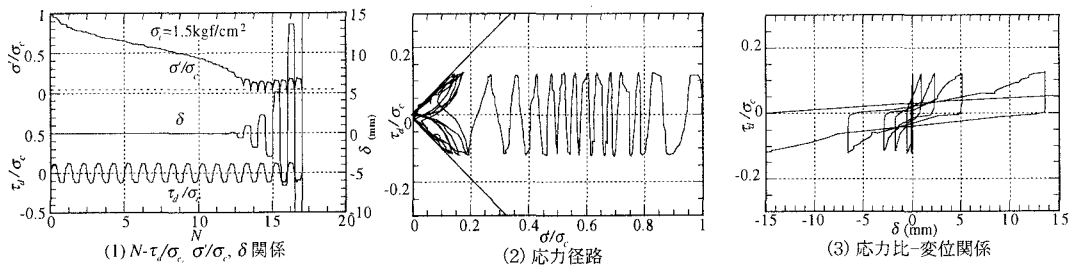


図-1 応力制御（豊浦砂、圧密後相対密度 $D_{rc}=55.0\%$ 、せん断応力振幅比 $\tau_r/\sigma_c=0.120$ ）

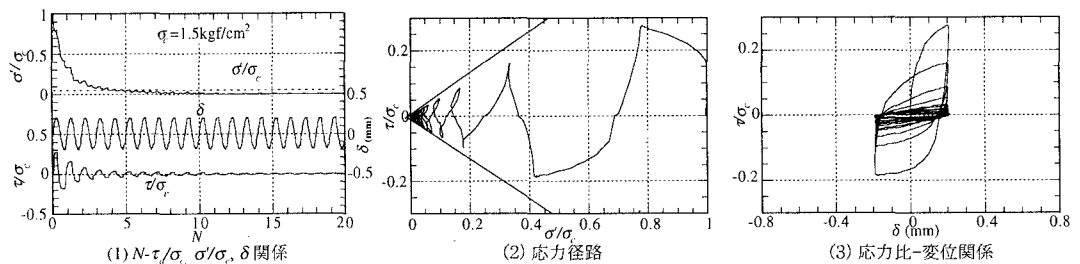


図-2 変位制御（豊浦砂、圧密後相対密度 $D_{rc}=53.9\%$ 、両振幅せん断変位 $\delta_{DA}=0.34\text{mm}$ ）

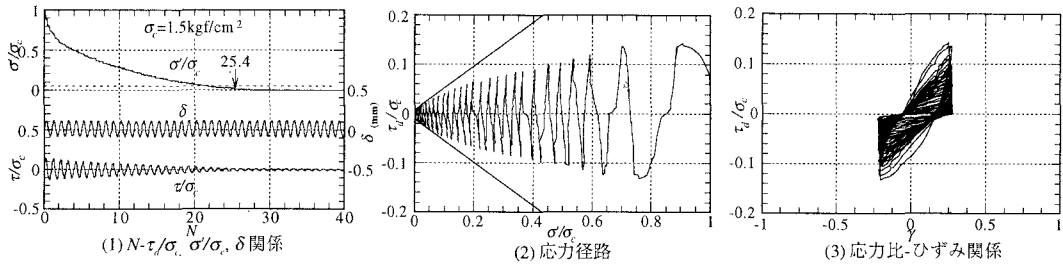


図-3 繰返し一面せん断試験 ($D_{rc}=34.9\%$ 、 $\delta_{DA}=0.215\text{mm}$) の結果

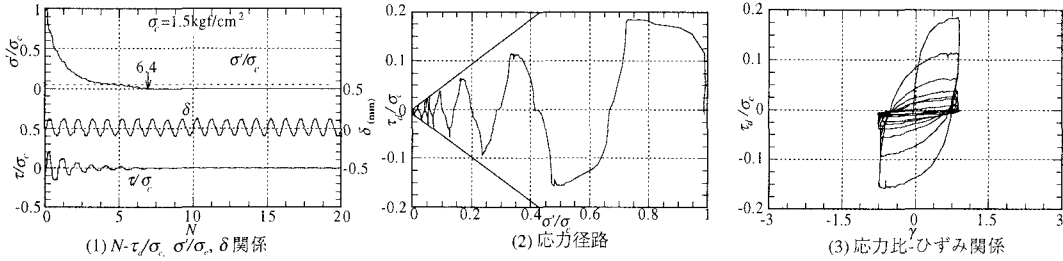


図-4 繰返し単純せん断試験 ($D_{rc}=35.8\%$ 、 $\delta_{DA}=0.195\text{mm}$) の結果

変位制御による一面と単純の比較 代表例として図-3、

4 に $D_{rc}=35\%$ 、両振幅せん断変位 $\delta_{DA}=0.2\text{mm}$ おける繰返し定体積一面、単純せん断の結果を示す。本試験では有効応力比 $\sigma'/\sigma_c=0.01$ になった時点を完全液状化と定義した(図(1)に矢印でその回数を示す)。両図の(1)より、一面の方が初期に発生する τ は大きい、 σ'/σ_c の減少は単純の方が遅いため、液状化に至る繰返し回数 N_L は単純の方が多。この傾向は、両図の(2)、(3)からもわかる。

図-5 に両試験による両振幅せん断変位 δ_{DA} と液状化時の繰返し回数 N_L の関係を示した。単純の方が N_L が多いため、液状化強度が大きく得られることになる。

図-3、4(3)の応力比-ひずみ曲線(履歴曲線)の面積は、土の塑性ひずみエネルギーとして蓄えられた損失エネルギーを表す。ここで、一面におけるせん断ひずみ γ の定義は、一面の供試体内の変形領域は供試体高さの 1/3 程度に限定されていることから ⁵⁾、 $\gamma=3\delta/H$ ($H=40\text{mm}$) としている。図-6 に正規化累積損失エネルギーと液状化時の繰返し回数 N_L で正規化した繰返し回数 N/N_L の関係を示した。一面と単純の変形性の違いを考慮すると、今度は逆に単純の方が小さくなる。これは、同じせん断ひずみに対しては単純の方が有効応力の減少が大きいためと考えられるが、今後の課題としたい。

結論 応力制御に比べて変位制御による試験は、有効応力回復現象の影響が少なく、液状化現象を捉えやすい。累積損失エネルギーの考えを用いて、変位制御による繰返し一面と単純の液状化強度を比較すると、単純の方が小さい。

参考文献 1) 大島ら：砂質土の繰返し定体積一面せん断試験と繰返し非排水三軸試験との比較，第 53 回土木学会，Ⅲ-A73，1998. 2) 大島ら：繰返し定体積一面・単純せん断による砂質土の液状化強度の比較，第 55 回土木学会，Ⅲ-A74，2000. 3) 大島ら：繰返し定体積一面せん断試験機の試作，第 33 回地盤工学会，No.35，1998 4) 大島ら：繰返し定体積単純せん断試験の試作，第 35 回地盤工学会，No. 386，2000. 5) 森本・大島：砂質土の定圧一面、単純せん断試験における強度特性と供試体変形の比較，平成 13 年関西支部年次学術講演会（投稿中）

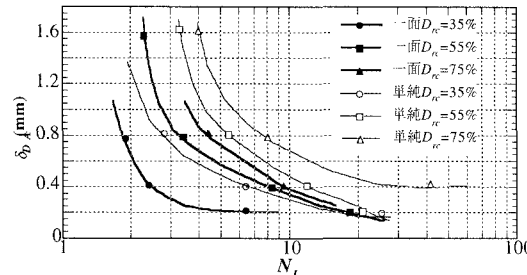


図-5 δ_{DA} と N_L の関係

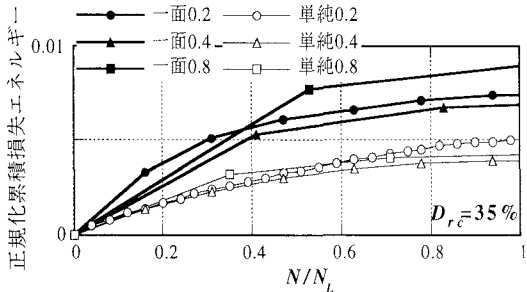


図-6 正規化累積損失エネルギーと N/N_L の関係