

繰返し定体積一面せん断試験の液状化試験への適用性に関する研究

大阪工業大学大学院 学生員 ○紙谷 恵介
 大阪工業大学 正会員 長谷川 昌弘
 地域 地盤 環境研究所 正会員 本郷 隆夫

1. 目的

現在、砂質土の液状化特性を求める試験としては繰返し非排水三軸試験が主に用いられている。しかし、この試験は、等方応力条件で鉛直方向のみに繰返し応力を与えるもので、実地盤における応力・ひずみ状態とは大きく異なっている。また、応力経路が引張側・圧縮側で対称とならない点も繰返し三軸試験の欠点と言える。

一方、一面せん断試験は、一次元圧密・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ことから実際の地盤の応力状態を再現するには優れている試験法である。

本研究では液状化を地震動によって生じるせん断力により、有効応力が減少しせん断抵抗を失う現象と捉えた。この観点から一定振幅のせん断変位を繰返し与える、変位制御による繰返し定体積一面せん断試験によって液状化強度の推定を行った。さらに、応力制御による繰返し定体積一面せん断試験および繰返し非排水三軸試験の結果の比較を行い、変位制御による繰返し定体積一面せん断試験の液状化試験への適用性を検証した。

2. 試験方法

図1に用いた試料の粒径加積曲線を表す。試料は、香川県東かがわ市で採取された真砂土、大阪工業大学周辺の旧淀川河床堆積層から採取した砂質土および豊浦標準砂を用いた。試験機は通常的一面せん断試験機を改良したもので、下面垂直力・上箱可動型で、反力板側で垂直荷重を測定する。

せん断载荷装置にはDDモータを用い、DDモータを反転させることによって繰返し定体積一面せん断試験が可能になる。供試体は直径6cm、層厚2cmで供試体の質量は突固め試験により算定し、3層締固め法により作成した。試料は所定の圧密応力 σ_c で供試体を10分圧密した後、せん断载荷を行った。

せん断過程では、変位制御試験では一定の繰返し変位を与え、応力制御試験では一定の繰返し応力を与えた。試験条件は圧密応力 $\sigma_c=100\text{kN/m}^2$ 、変位の周波数は0.025Hzとした。この試験では、定体積条件で有効応力変化を直接測定するため、間隙水圧を測定する必要がなく、飽和度によらず非排水の試験が行えるため多少の不飽和は試験結果に影響せず、飽和および最適含水比状態での強度特性を比較したが大きな違いは見られなかった。そこで、今回は最適含水比で締固めた供試体においての試験を行なった。

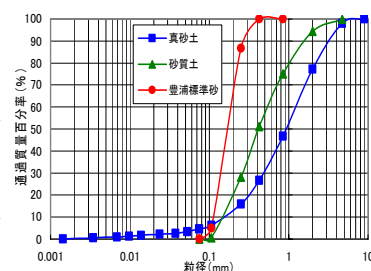


図1 粒径加積曲線

3. 変位制御試験と応力制御試験の比較

図2、図3にそれぞれ変位制御試験（標準砂 繰返し変位 $\delta=0.230\text{mm}$ ）、応力制御試験（標準砂 繰返し応力比 $\tau_d/\sigma_c=0.144$ ）の試験結果を示す。①～③はそれぞれ繰返し回数 N と有効応力比 σ'/σ_c 、応力経路、変位 δ とせん断応力比 τ_d/σ_c である。

両図の①より、応力制御試験においては、有効応力が一旦ゼロになってからも繰返し応力を与えることにより再び応力が回復するサイクリックモビリティ現象が見られる。

また、②より、変位制御では、せん断直後に押し側、引き側とも最も大きな τ が発生し、 σ' とともに徐々にゼロに収束している。また、変位制御試験、応力制御試験とも有効応力の低下は早い、押し側、引き側とも同じ勾配線に収束しており、対称性が保たれていることがわかる。

キーワード 繰返し定体積一面せん断試験、繰返し非排水三軸試験、液状化

連絡先 〒535-8585 大阪府大阪市旭区大宮 5-16-1 大阪工業大学 TEL 06-6954-4083

③より、変位制御試験では繰返し回数の増加により応力比-変位曲線のループが縮まっている。このことから、繰返し変位 δ を与えることによって次第に土の剛性が低下していく様子が見て取れる。一方、応力制御試験においても繰返しによって土の剛性が低下し、ひずみが増加していく様子がみてとれる。

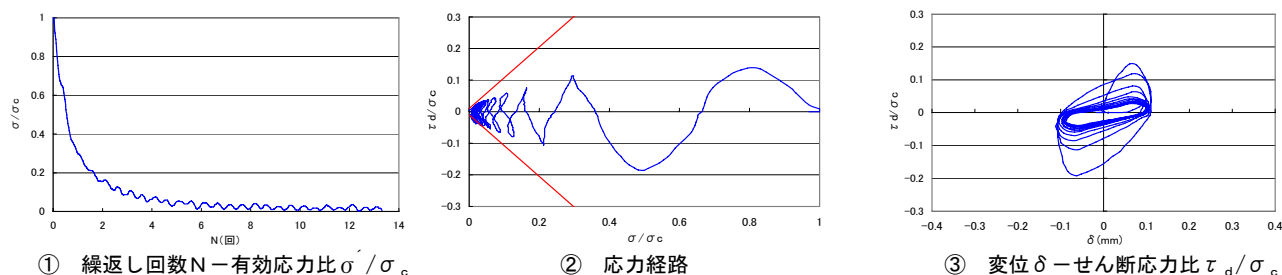


図2 変位制御試験

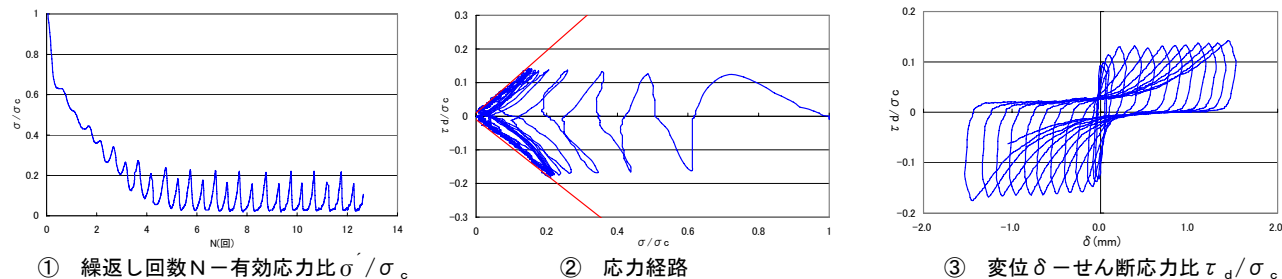


図3 応力制御試験

4. 液状化強度曲線の推定

図4は変位制御試験と応力制御試験および、繰返し三軸試験によって求められた各試料(①砂質土、②真砂土、③標準砂)の液状化強度曲線を示す。各試験法における液状化の定義は、変位制御試験・応力制御試験では $\sigma' / \sigma_c = 0.05$ 、繰返し三軸試験では過剰間隙水圧比 $u = 0.95$ とした。変位制御試験では、せん断応力が繰返しによって減少し、直接応力比を定義できないことから、 τ_d / σ_c の押し側の最大値を σ_1 、引き側の最大値を σ_2 とし、繰返し応力比を $(\sigma_1 + \sigma_2) / 2$ と定義し算定を行った。

各試料とも繰返し三軸試験と変位制御試験では変位制御試験の方が繰返し三軸試験に比べ、多少液状化強度が低く評価されているが、変位制御試験より算定した結果とほぼ一致している。また、応力制御試験では、変位制御試験、繰返し三軸試験に比べ液状化強度が低く評価されている。大島¹⁾²⁾らは、 $k_0 = 0.5$ と仮定すれば、繰返し一面せん断試験の初期平均主応力と圧密応力の比は0.67となるため、初期平均主応力で強度を整理すれば、繰返し一面せん断試験も繰返し三軸試験にはほぼ一致すると報告しており、今回の結果もほぼそれに一致する。

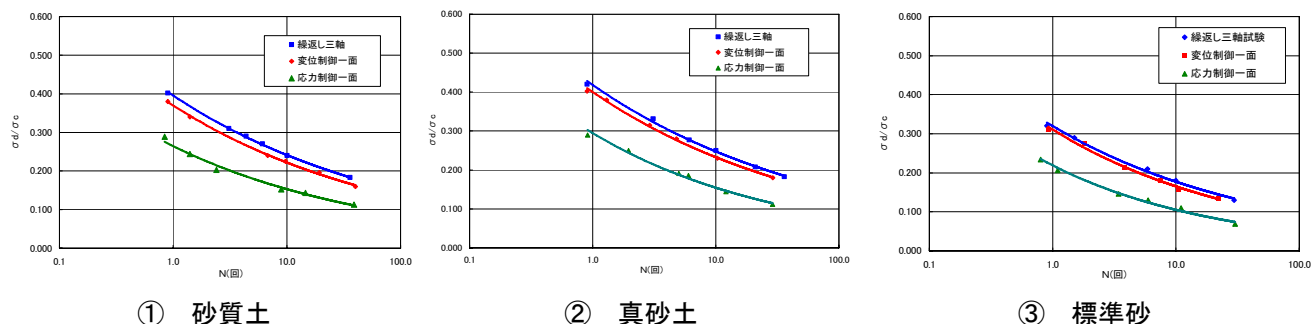


図4 各試料の液状化強度曲線

5. まとめ

変位制御試験では、せん断応力比 τ_d / σ_c の押し側の最大値を σ_1 、引き側の最大値を σ_2 とし、繰返し応力比を $(\sigma_1 + \sigma_2) / 2$ と定義し液状化強度曲線を算定すると、繰返し三軸試験の結果とほぼ一致するということがわかった。今後は他の地盤材料でも繰返し定体積一面せん断試験を行い、実用性について検討していきたい。

参考文献 1) 大島、本郷ら：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の比較、土木学会第53回年次学術講演会、III-A73, pp. 144~145, 1998. 9 2) 大島ら：変位制御繰返し定体積一面・単純せん断試験による液状化強度特性の比較、平成13年土木学会関西支部年次学術講演会、III-17-1-2, 2001