

動的載荷による減容化を模擬した圧縮土の液状化抵抗

宇都宮大学 学生会員 ○福島夏紀

宇都宮大学 正会員 海野寿康, 非会員 吉直卓也

1. 研究背景と目的

港湾整備事業における浚渫工事に伴って生じた浚渫土砂や、石炭による火力発電によって生じた石炭灰等の土砂系廃棄物の埋立処分量は年々増加している¹⁾²⁾。しかし、現状、環境問題や社会・経済的影響により新規処分場の立地が難しく、既存埋立処分場内の土砂を効率よく圧縮し減容化することが求められている³⁾。

現在、振動締め固め工法等の土砂を圧縮する効果が高い地盤改良技術が開発されているが、これらの工法は土の体積減少と密度増大が伴っているため、理論上、埋立処分場の減容化と地盤改良を両立した工法であると推測される。

本研究では、減容化と地盤改良の両立を模擬した室内試験より、土の圧縮特性や体積圧縮挙動の把握とともに、体積圧縮後の土の強度特性を求めた。

2. 用いた試料の物理特性

本研究で用いた土は、砂質土である豊浦砂、非塑性シルトである石英粉、粘性土である新潟港浚渫土の全3試料である。図-1に、粒径加積曲線と各試料の土粒子密度、塑性指数を示す。

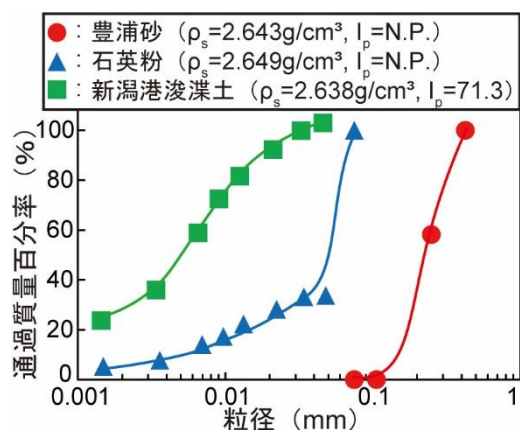


図-1 粒径加積曲線と土粒子密度，塑性指数

3. 中空ねじりせん断試験の概要

本研究では、供試体の側方応力条件が明確であることと、供試体の水平・鉛直面に共役なせん断応力を確実に作用させることができることから、中空ねじりせん断試験を用いた。供試体は中空円筒状であり、外径7cm、

内径3cm、高さ10cmである。供試体の作製方法と、圧密前と圧密後の平均乾燥密度を表-1に示す。

本研究では応力制御とひずみ制御の2種類の繰返し載荷試験を行い、応力制御ではせん断ひずみの絶対値が10%を超えた時点、ないし過剰間隙水圧比が0.95に達した時点で試験を終了した。ひずみ制御は排水条件下で行い、ひずみ振幅は豊浦砂と石英粉では $\pm 0.5\%$ 、新潟港浚渫土では $\pm 3\%$ 、波数はそれぞれ30、100回供試体に与えた。このとき、供試体の初期有効拘束圧は 50 kN/m^2 、繰返し載荷は載荷周波数 $f=0.02 \text{ Hz}$ で与えた。

本研究の試験ケースは、

【ケースA】非排水で応力制御による繰返し載荷試験

【ケースB】排水でひずみ制御による繰返し載荷30回
→非排水で応力制御による繰返し載荷試験

【ケースC】排水でひずみ制御による繰返し載荷100回
→非排水で応力制御による繰返し載荷試験

とする。ケースAでは、各試料の基準となる液状化強度特性を求めた。ケースB,Cでは、1回目に繰返し載荷をしながら排水して供試体を密実化しており、これは繰返し載荷による減容化を模擬している。密実化された供試体に対して2回目の繰返し載荷を行い、供試体の液状化強度特性を求めた。

表-1 供試体作製方法とせん断前の平均乾燥密度

試料名	供試体作製方法	平均乾燥密度	
		圧密前 $\rho_d(\text{g/cm}^3)$	圧密後 $\rho_d(\text{g/cm}^3)$
豊浦砂	空中落下法	1.43	1.43
石英粉	湿潤突き固め法	1.10	1.12
新潟港浚渫土	トリミング法	0.819	0.859

4. 試験結果

試験結果の一例として、図-2に豊浦砂のケースBにおける1回目の繰返し載荷を行ったときのせん断ひずみの時刻歴(図-2a)、せん断応力の時刻歴(図-2b)、体積ひずみの時刻歴(図-2c)、間隙比の時刻歴(図-2d)を示す。時刻歴より、排水条件下でのひずみ制御による繰返し載荷試験によりせん断中に体積圧縮し、供試体

キーワード 減容化，土砂系廃棄物，体積圧縮，繰返し載荷，液状化抵抗

連絡先 〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学地域デザイン科学部 TEL. 028-689-7041

の密度が増加しているため繰返し载荷回数の増加とともに発生するせん断応力が大きくなっている。

図-3 (a) にケースA, 図-3 (b) にケースCの2回目の繰返し载荷試験をほぼ同じ载荷回数で液状化したケースと比較した有効応力経路と過剰間隙水圧比の時刻歴を示す。ケースAではある時点で急激に有効応力が減少する一方、ケースCでは有効応力が一定の大きさに減少するもののその度に有効応力が回復し、試験終了後に残留有効応力があり、過剰間隙水圧比がゼロに戻る。この現象は、密な砂に対して発生するサイクリックモビリティ⁴⁾によるものだと考えられる。

図-4に各ケースの液状化強度曲線を示す。また、図-5にそれぞれの液状化強度比の比較を示す。豊浦砂はケースAの液状化強度比 $R_{L20}=0.19$ に対し、強度がケースBは2.6倍、ケースCは4.4倍となる。石英粉はケースAの $R_{L20}=0.07$ に対し、強度がケースBは2.7倍、ケースCは4.1倍となる。新潟港浚渫土はケースAの $R_{L20}=0.33$ に対し、強度がケースBは1.6倍、ケースCは2.0倍となり、全試料において密実化させることで液状化強度が増加する結果となった。

5. 結論

以下に本稿の結論を示す。

- I. 排水条件下でひずみ制御による繰返し载荷試験を行ったとき、供試体は体積圧縮し密度が増加する。
- II. 供試体を密実化させて繰返し载荷試験を行ったところ、密な砂に対して発生するサイクリックモビリティと同様の現象が確認された。
- III. 排水条件下でひずみ制御による繰返し载荷試験を行い体積圧縮した供試体の液状化強度は、基準の液状化強度に比べて大きく増加する。また、非塑性の土の方が、塑性がある土よりも密実化させたときの液状化強度の増加率が大きくなる。

謝辞: 本研究は、一般財団法人港湾空港総合技術センターの研究開発助成(令和2年度)(代表:海野寿康)を受けて実施したものです。

参考文献

- 1) 国土交通省: 港湾・空港等整備におけるリサイクルガイドライン(改訂)(平成30年4月)(2021年1月13日閲覧)
https://www.mlit.go.jp/kowan/kowan_fr5_000054.htm
- 2) 一般財団法人石炭エネルギーセンター「石炭灰全国実態調査報告書(平成25年度実績)」(2021年1月13日閲覧)
http://www.jcoal.or.jp/coalash7_25.pdf
- 3) 仙南地域広域行政事務組合: 最終処分場の延命化について(2021年1月13日閲覧)
https://www.az9.or.jp/eisei/cleancenter/sisetuiinkai-pdf/230926_siryo4.pdf
- 4) 吉見吉昭・福武毅芳: 地盤液状化の物理と評価・対策技術, 第1版, 東京, 技報堂出版株式会社, 2005, p.10

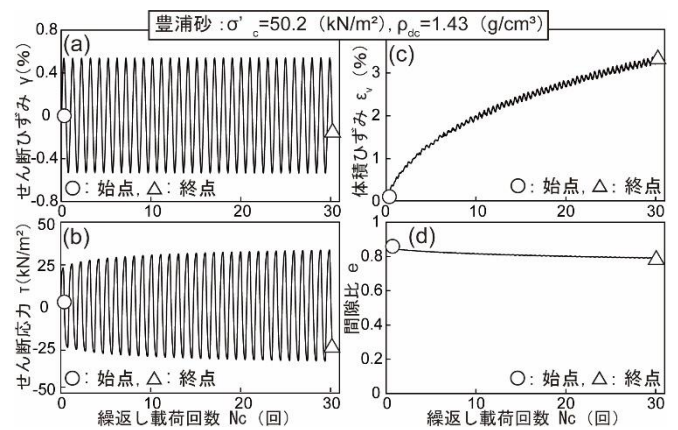
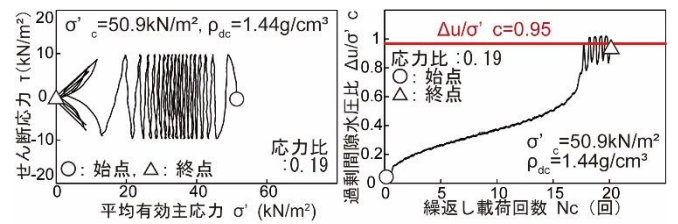
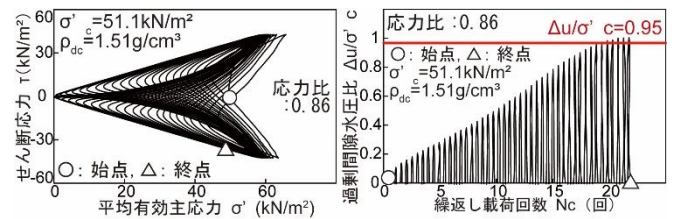


図-2 ひずみ制御(排水)による繰返し载荷試験の例



(a) 非排水応力制御



(b) 排水ひずみ制御 100 回→非排水応力制御

図-3 有効応力経路, 過剰間隙水圧比の時刻歴

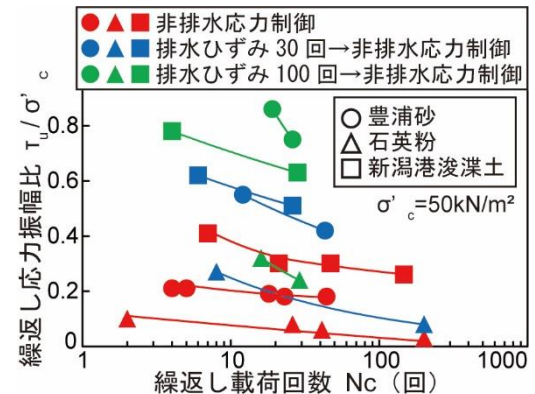


図-4 液状化強度曲線

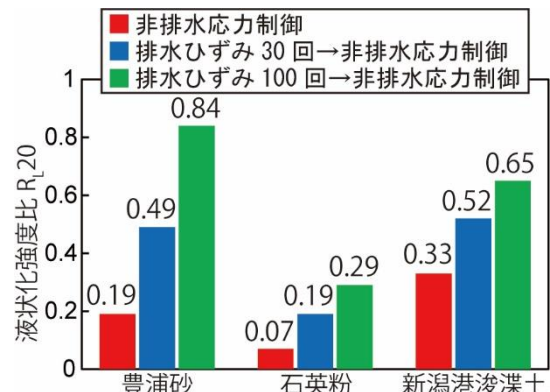


図-5 液状化強度比の比較