

# 砂の液状化強度に及ぼす応力履歴と非塑性細粒分の影響 -個別要素法による微視的考察-



Effect of anisotropic stress history on liquefaction resistance of sand with non-plastic fines: microscopic analysis using Discrete Element Method (DEM)

大塚 拓実

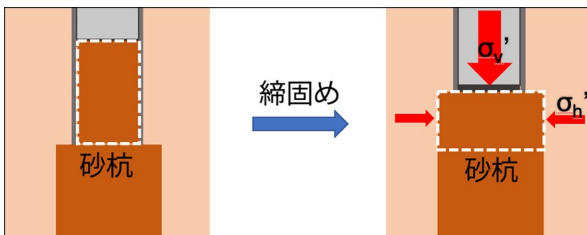
(2023年度 卒業論文概要)

東京大学 工学部 社会基盤学科 土質・地盤研究室

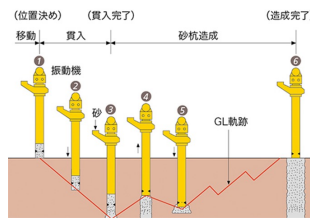
## 研究の概要

近年、大規模な地震によって液状化現象が頻発しているが、その液状化対策の一つとして、締固め砂杭工法がある。締固めによる周辺地盤の強化に関する既往研究はあるものの、砂杭のように異方過圧密履歴を受けた砂の液状化強度への影響は既往研究では未だに明らかにされていない。また、細粒分を含む建設残土からなる砂杭も用いられているが、非塑性の細粒分を含む砂杭の液状化強度は弱い傾向にあるという室内試験結果がよく知られており、砂杭の液状化強度の評価の重要性が上昇している。

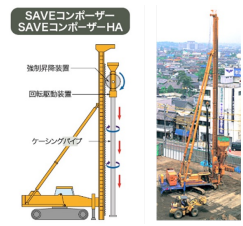
本研究では、細粒分を含む砂杭の液状化強度評価およびその因果関係の解明に向けて、粒子の挙動を計算する個別要素法(DEM)を用いた数値解析を行った。具体的には砂供試体に複数種類の応力履歴や細粒分を加えた条件で液状化を再現した解析を行い、液状化強度の変化やDEMデータ上の粒子の位置関係、接触状況进行分析することで、応力履歴の有無や細粒分の有無が及ぼす砂の液状化強度への影響を微視的観点から考察した。



異方過圧密履歴による砂杭の締固め時の模式図(橋本,2022より)



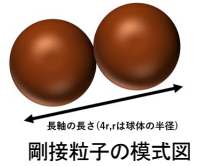
締固め砂杭工法の模式図(不動テトラより)



締固め砂杭工法の機械

## 解析手法

解析に用いる砂粒子は右の写真のように、2つの粒子を結合して1つの縦長の粒子とみなしたものとした。



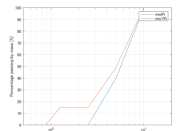
剛接粒子の模式図

また、解析に用いたアルゴリズムは右図の通りであり、鉛直方向に壁を設置して水平移動することで中空ねじり試験を再現した。



DEM解析のアルゴリズム

今回は細粒分を含まない場合と細粒分を15%含む場合の2パターンの供試体を生成し、応力履歴なし、鉛直方向120kPa、鉛直方向180kPaの3種類とした。



粒径加積曲線

## ①応力履歴による違い

下の表のように応力履歴を加えるときに、体積収縮のみが起きる小さな応力履歴(鉛直方向に120kPa)を加えた時、液状化強度が上昇する一方で、体積膨張が起きる大きな応力履歴(鉛直方向に180kPa)を加えたときは液状化強度が低下する。

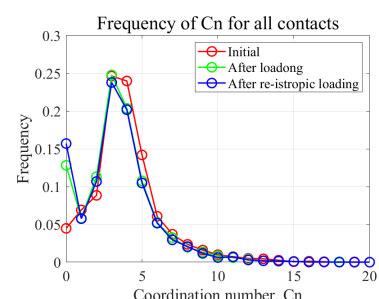
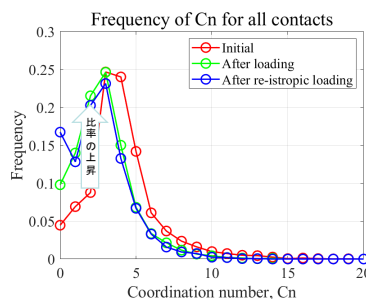
細粒分の有無	応力履歴	ダイレイタンスーの正負	液状化強度(CSR=0.3)
0%	なし	変化なし	312.5サイクル
	鉛直方向120kPa	変化なし	361サイクル
	鉛直方向180kPa	正負逆転あり	0.5サイクル
15%	なし	変化なし	72.5サイクル
	鉛直方向120kPa	変化なし	85.5サイクル
	鉛直方向180kPa	正負逆転あり	43.5サイクル時点で1.2kPa

応力履歴や細粒分による液状化強度の変化のまとめ

応力履歴付与前と付与後の接触点数を比較してみると、図のように、構造に関与する必要最低限の接触点数である接触点数2の粒子の比率が、大きな応力履歴を加えたときに上昇する一方で、小さな応力履歴だと変化はあまり見られない。このことから、応力履歴付与によって体積膨張が起きた際に液状化強度の低下が起きるのは、構造に関与する必要最低限の接触点数の増大によるものだと考えられる。

## ②細粒分含有による違い

下の表のように細粒分を加えた場合、小さな応力履歴を加えたもの同士で細粒分の有無を比較すると、応力履歴を加えない時と同様に細粒分の含有で液状化強度が低下するが、大きな応力履歴を加えたもの同士で細粒分の有無を比較すると、液状化強度が上昇する。細粒分含有によって、大きな応力履歴を加えられた供試体の液状化強度の低下が和らげられる理由としては、細粒分含有した供試体は、細粒分を含有しない供試体と比べて体積膨張度合いが低いためだと推測される。このことから、細粒分含有により液状化強度の低下を引き起こす、応力履歴による体積膨張が抑えられる。



応力履歴による接触点数の変化(左:大きな応力履歴、右:小さな応力履歴)