

超音波による細粒材料の高密度化(減容化)特性に関する研究

徳山工業高等専門学校 学生会員 ○寺本 嵩史
徳山工業高等専門学校 正会員 上 俊二
(株)安原設備工業 正会員 大内 光徳

1. 緒 言

軟弱地盤を改良する締固め工法としてサンドコンパクションパイル(SCP)工法があり、軟弱な地盤中に締まった砂の柱を構築することで良質な地盤を構築する軟弱地盤改良工法であり、複雑な地層の軟弱地盤を改良する上で有効な地盤改良工法として、陸上や海中工事で実績を残している。しかし、施工時に発生する騒音や振動が、環境へ悪影響を与えること、また、大量の浚渫土の処分場の不足が懸念されている。この状況で、社会的には環境負荷の低減が求められ、工事においても騒音、振動の低減および省エネルギーが求められ、この問題を解決するために、超音波振動を砂に直接または間接的に伝えて締固める方法が考案され、室内土槽による基礎実験が行っている。この方法を現場に活用できれば、騒音や振動を伴わない新しい施工法になると考えられる。

本研究では、超音波の出力を変化させることができる超音波照射装置を用いて、超音波による砂と、砂よりも小さい粒径を持つ細粒土の高密度化特性を調べるため実験条件を変えて実験を行い、装置のキャリブレーション試験も併せて実施した。試料には、砂を代表するケイ砂と豊浦砂、及び砂の粒径より小さい粒子を含む代表的な試料としてケイ石粉を選定し、それらの試料に対して超音波を照射する場合と照射しない場合も行った。その実験結果から間隙比と相対密度を求め、減容化率を算出した。

2. 実 験 概 要

(1) 超音波による高密度化の原理

超音波照射による粒状材料の高密度化の概念は、水中に超音波を照射しながら粒状材料を薄層に堆積させ、疎密波が水を媒体として粒状材料に伝わり個々の粒子を微小振動させる。その結果、粒子間の摩擦が減少し粒子の再配列が促され間隙が減少する。

(2) 試料

試料は豊浦砂、7号ケイ砂及びケイ石粉の3種類を用いた。豊浦砂は豊浦町で採掘された粒径0.1～0.3mmの範囲に調整された砂である。7号ケイ砂は秋吉台近くの平野山鉱山で採掘された砂である。ケイ石粉は高品位の珪石を粉碎技術と空気分級設備で加工した試料であり、細粒分を含む特徴を持っている。

(3) 実験装置

実験装置は写真-1に示す。超音波発信器とオシロスコープに接続されている。また、この超音波振動

子は上下方向に移動が可能であるため、試料に対する照射距離の調整を行う。モールドは透明アクリル

樹脂製で、内径50mm、高さ100mmのものを用い、振動子から発生する超音波は27.5kHzと設定した(共振周波数は27,497Hzとなる)。オシロスコープに記録されるピックアップ電圧からホーン先端の変位を求めることができ、超音波の強さを求めることができる。振動子変位のピークはピックアップ電圧で50Vである。

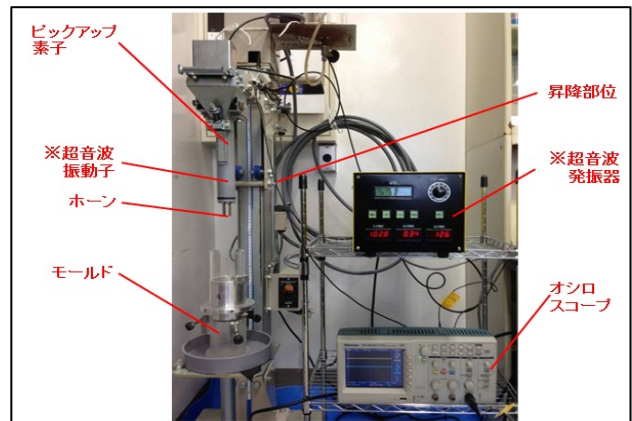


写真-1 実験装置

(4) 超音波照射距離の決定

超音波照射は、水で満たしたモールド中にホーンを下向きに水没させ、下向きに超音波を照射すると、超音波はモールドの底面で反射する(減衰することなくモールド底面に達し100%反射すると仮定する)。このとき、超音波の振幅が最大となる位置は、 $\lambda/4$ 、 $3\lambda/4$ 、 $\dots$ となる。本研究の実験では、モールドの高さの関係から、41mm($3\lambda/4$)に設定した。

(5) 実験方法

供試体は、超音波を照射しないものと、超音波を照射したものの2種類を作成した。

a) 超音波未照射(最小密度)供試体の作製方法

水を投入したモールドに試料を10mm、20mm、30mmずつ堆積するように投入する。投入後、10秒間放置する。この作業を、試料がモールドから約10mmあふれるまで繰り返し行う。モールド高さで試料をすり切り、含水比および湿潤密度を計算し、超音波未照射時の間隙比 e_0 を求める。

b) 超音波照射供試体の作製方法

a)の試料投入後、超音波を20秒間照射する。計算時には、含水比および湿潤密度を計算し、超音波照

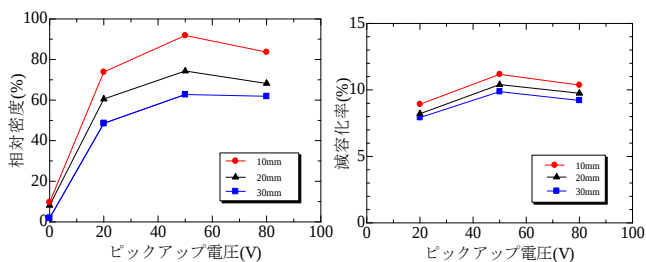


図-1 実験結果(豊浦砂)

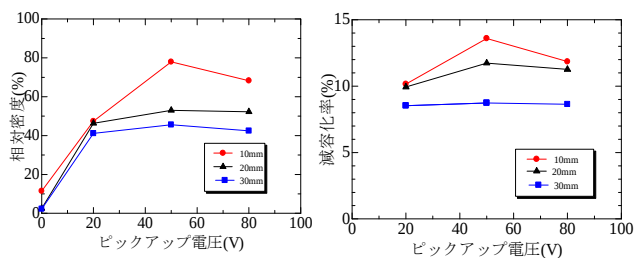


図-2 実験結果(ケイ砂)

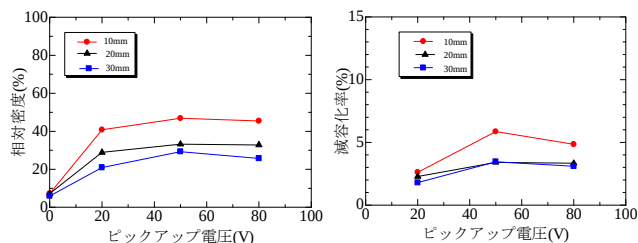


図-3 実験結果(ケイ石粉)

射後の間隙比 e と相対密度 D_r を求め、減容化率 D_v を算出する。

3. 実験結果

実験結果は図-1、図-2、図-3に示す。それぞれ左側の図は相対密度のグラフ、右側の図は減容化率のグラフを示す。相対密度の値は、ピックアップ電圧の違いにより変化があり、試料ごとに比較すると、一番粒径が大きい豊浦砂は91.815%、ケイ砂は77.954%、一番粒径が小さいケイ石粉46.853%の相対密度を得ることができた。このことにより、粒径が大きくなる(間隙比が小さくなる)ほど相対密度は大きくなることが分かる。どの試料においてもピックアップ電圧が50V、体積10mmのとき、相対密度が大きくなっている。また、超音波を照射したときの減容化率の値は、ピックアップ電圧の違いにより減容化率に変化がみられる。どの試料においてもピックアップ電圧が50V、体積厚10mmのとき、減容化率が大きくなっている。また、ケイ砂と豊浦砂を比較すると、ケイ砂の方が減容化率が大きくなっている。

ケイ石粉の相対密度と減容化率の値は豊浦砂、ケイ砂と比較して相対密度46.853%、減容化率5.859%と十分なデータ(相対密度80%以上、減容化率10%以上)は得られなかった。これは、ケイ石粉には細粒分を含む特徴を持っているため、超音波を照射する際、

試料が乱れてしまい、相対密度、減容化率が低下すると思われる。

また、昨年の実験と比較したところ、減容化率に関して、豊浦砂は0.6%の増加に対し、ケイ砂に関しては、7.7%大きくなった。これは、ケイ砂において、昨年よりも最適な条件で実験が行われたと考えられる。実験条件として昨年と違う点は照射距離、照射時間、超音波出力である。考えられる一番の要因としては、照射距離が昨年は $5\lambda/4$ に対し、本研究はより短い $3\lambda/4$ で実験を行ったため、効果が表れたのではないかと考えられる。また、昨年は電圧を超音波発生装置の出力で求めているのに対し、今年度はピックアップに伝わった電圧で求めており、昨年度の超音波発生装置の出力とは、異なる出力となっている。このため、今年度の実験で、昨年度より最適な実験条件を発見することができたと考えられる。

4. 結 言

- 1) 今回の実験条件では、最大となる超音波振動子の強さでケイ石粉で5.859%しか減容化せず、実験条件を変えていく必要がある。
- 2) 7号ケイ砂に関しては、減容率が13%を超す結果を出すことができ、実験条件で減容化が成功したと言える。
- 3) ケイ石粉に関して、今回の条件では、十分な相対密度(80%以上)や減容化率(10%以上)が得られなかった。
- 4) 粒径の小さい試料で相対密度が格段に低くなり、全ての試料において振動子変位のピークの時に最大の減容化がみられ、堆積厚が30mmに比べて10mmになると相対密度、減容率で高い値を出せることが分かった。

今後は、実験装置の周波数や電圧を変え、さまざまな条件のもとで実験を行い、それぞれの粒径に適する実験条件をみつけていく必要がある。現在行っている実験は、超音波振動子 28.0kHz(この時、共振周波数を 28,000Hz としている)を使用し、ピックアップ電圧はそれぞれ 20, 50, 80V という条件で行っている。28.0kHz の振動子と 27.5kHz の振動子で相対密度、減容化率を比較して、高密度化特性を調査する。

最終目標は、シルト(0.075~0.005mm)粒子サイズの高密度化特性を解明することであり、超音波周波数は 27.5~170kHz の振動子で実験を行う。

文 献

- 1) 大内光徳, 村上俊秀, 兵動正幸, 吉本憲正: 実用サイズによる超音波高密度砂杭の造成法に関する基礎的研究, 土木学会論文集, 2010
- 2) 大内光徳, 村上俊秀, 兵動正幸, 吉本憲正: 超音波による高密度砂杭造成に関する基礎的研究, 土木学会論文集, pp. 13~24, pp. 36~38, 2009