

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 9 月 28 日現在

機関番号：55503

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24656290

研究課題名(和文)超音波を利用した水中堆積浚渫土の減容化技術の開発

研究課題名(英文)Study on the volume reduction of the fine-grained soil by the ultrasonic wave

研究代表者

上 俊二(UE, SHUNJI)

徳山工業高等専門学校・土木建築工学科・教授

研究者番号：30124093

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：超音波照射による細粒土の水中堆積土の減容化特性を明らかにする目的で、水中を堆積中の土粒子に対して水平方向から超音波を照射する試験を試みた。粒径の異なる3種類の細粒土に対して、周波数は28kHz・40kHz・60kHz、出力電圧は100V・300V・400Vの超音波を水平方向から照射した場合の試験を行った。試料の質量、含水比を測定した後に、湿潤密度、乾燥密度、間隙比、相対密度、減容化率を算出した。その結果、水平方向から超音波を照射することで細粒土の減容化率が向上し、粒径や周波数・出力電圧の違いにより減容化が異なることが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is to clarify the volume reduction of fine-grained soils by using ultrasonic wave. Frequency uses 28kHz,40kHz,60kHz and output voltage uses 100V, 300V, 400V. About particle sizes of three different kinds of fine grained soil. Volume reduction tests was held when the ultrasonic irradiation from the horizontal direction. After the test, water content and wet density, dry density, void ratio, the relative density and volume reduction rate was calculated. It became clear that the volume reduction rate of fine soil was improved by irradiating an ultrasonic wave from horizontal direction and the characteristics of the volume reduction were different due to differences of particle size, frequency and output voltage.

研究分野：地盤工学

キーワード：超音波 細粒土 相対密度 減容化 浚渫土

1. 研究開始当初の背景

浚渫工事によって海底から掘り出された浚渫土砂は、周辺地域における埋め立て事業などへ有効活用されてきた。しかし現在は、多くの土砂処分場において浚渫土砂の受入れ容量に限界が近づいていることが問題となっており、これに代わる土砂処分場を確保すること、高含水状態にある浚渫土を減容化することにより土砂処分場の容量を確保することが緊急の課題となっている。

著者らはこれまで、超音波照射による砂の高密度化概念を適用して、超音波を水中に照射しながら粒状粒子を間接的に微小振動させ粒状材料を高密度にできる超音波供試体作製装置を開発し、装置を利用した室内実験によって超音波を照射して供試体を作製すると超音波を使わずに作製した供試体と比較して相対密度の増加が明確に認められることを確かめている。本方法を砂杭の造成方法に適用し発展させるとこれまでの研究において超音波振動体を直接締固めの対象となる粒状材料に接着させて振動を粒状材料に伝えることで超音波の減衰が大きいために一度に広範囲に対して粒状材料の締固めができないという実用化の妨げになっていた大きな問題を解決することができた。

また、室内要素試験の結果を実際の施工へスケールアップすることを見据えて、実用サイズの土槽内に超音波を照射して試料が高密度にできる超音波高密度装置と高密度化された土槽内の試料に対してポータブルコーン貫入試験が実施できる載荷装置を一組とした室内超音波土槽実験装置を試作した。この装置によって、超音波を試料に伝播させる水の量が試料の高密度化に与える影響と一度に高密度化する試料範囲が拡大した場合の超音波照射方法および超音波の照射によって高密度化した試料の相対密度とコーン貫入抵抗の関係を調べた。その結果、超音波を照射した場合は間隙比が大幅に減少し、相対密度が大幅に増大することが明らかになった。また、ポータブルコーン貫入試験が高密度砂杭の相対密度の検査に採用することも明らかになった。

本技術開発の目的は砂のような粒状材料の密度を増加させることができる超音波高密度化技術を応用して、粒径 2mm ~ 5 μ m の砂 ~ シルトに分類される水中に堆積した浚渫土の高密度化・減容化を可能にする実用化技術を研究開発することである。超音波は様々な分野で応用されているが、建設事業の分野での利用はまだ少ないように思える。

本研究で提案する超音波によるシルトなどの細粒材料の締固め技術が実用化されるようになると、従来の振動や打撃によ

る締固め工法に比べ、振動・騒音など環境負荷が低減されることやエネルギー消費が少ないため建設コストの低減につながるものと考えられる。このように、クリーンでエコな新しい粒状材料の締固め工法として建設事業の機械化の推進や建設機械及び建設機械施工に貢献できるものと考えられる。

2. 研究の目的

土砂処分場に堆積した高含水状態にある浚渫土(細粒土)の減容化が緊急の課題となっている。前述したように著者らは砂などの粒状材料を水中で超音波を照射しながら堆積させると、粒子間に働く摩擦抵抗が減少し粒子の再配列が促され、従来の打撃(振動)法に比較して短時間に締固めが完了することを明らかにしてきた。

本研究の目的はこの超音波による高密度化技術を応用して、水中に堆積した細粒土(シルト・粘土)に分類される浚渫土の高密度化(減容化)を可能にする実用化技術を研究開発することである。

本研究では砂のような粒状材料の密度を増加させることができる超音波高密度化技術を応用して、粒径 2mm ~ 5 μ m の砂 ~ シルトに分類される浚渫土の減容化を可能にする実用化技術を研究開発することを目的に、3年にわたり研究を行った。

平成 24 年度は室内試験により浚渫土(粒径 2mm ~ 5 μ m の砂 ~ シルト)の試料投入方法、試料層厚、超音波の周波数、照射出力、照射距離、波形等を定量的に変化させた基礎的実験を行い、最も合理的(最適)に高密度化(減容化)するための条件を確立することを目標とした。

平成 25 ~ 26 年度は前年度の室内試験結果をもとに、実用サイズの土槽において実験を行い、実用化へ向けての可能性を確立し、堆積した浚渫土全体の約 30%の減容化を目指すことにより、圧密期間を短縮し、圧密促進工事量の削減で工事費を削減することを目標とした。

この技術を実用化することが出来れば、従来の工法に比べ環境負荷を低減することが出来る。また、エネルギー消費が少ないため建設コストを低減することが出来るものと考えられる。

3. 研究の方法

超音波照射による砂の高密度化概念を適用して、超音波を水中に照射しながら粒状粒子を間接的に微小振動させ粒状材料を高密度にできる超音波供試体作製装置を開発し、装置を利用した室内実験によって超音波を照射して供試体を作製すると超音波を使わずに作製した供試体と比較して相対密度の増加が明確に認められることを確かめている。本方法を砂杭の造成方法に適用し発展させるとこれまでの研究において超音波振動体を直接締固めの対象となる粒状材料に接着させて振動を粒状材料に伝えることで超音波の減衰が大きいために一度に広範囲に対して粒状材料の締固めができないという実用化の妨げになっていた大きな問題を解決することができた。

本研究では砂のような粒状材料の密度を増加させることができる超音波高密度化技術を応用して、粒径 2mm~5 μ m の砂~シルトに分類される浚渫土の減容化を可能にする実用化技術を研究開発することを目的に、3年にわたり研究を行った。

平成 24 年度は、高含水比状態にある浚渫土を土砂処分場に投入する場合の超音波による高密度化(減容化)技術を実験等により確立する。前述したように対象とする浚渫土は砂と比較すると細粒分(粒径 74 μ m 以下)が多いため、水中での粒子の沈降速度が遅く、堆積後の間隙比も大きい。超音波照射時に土粒子が浮遊しないよう堆積させる技術を確認することがポイントとなる。前述した砂の超音波高密度化試験で用いた実験装置を使用し、室内試験により 3 種類の細粒材料(粒径 2mm~5 μ m の砂~シルト)の試料投入方法、試料層厚、超音波の周波数、照射出力、照射距離、波形等を定量的に変化させた基礎的実験を行い、最も合理的(最適)に高密度化(減容化)するための条件を確立する。浚渫土の粒径は 2mm~5 μ m であるため、特に細粒分(75 μ m 以下)に対する超音波の照射方法については注意が必要と考えている。粒径が小さいため水中で超音波を照射した場合、土表面付近の粒子は浮遊することが考えられる。そこで、超音波の周波数を 20kHz から 60kHz に変化させることや、超音波照射時に土粒子が浮遊しないように土表面にネット(敷布、網など)を敷設するなどの工夫を試みる。

平成 25~26 年度は、前年度の室内試験結果をもとに、超音波照射によるシルトなどの細粒土の水中堆積土の減容化特性(目標減容化率 30%)を明らかにする目的で、図-1 に示すように水中を堆積中の土粒子に対して水平方向から超音波を照射することによる室内試験を試みた。試験では、試料の種類、超音波周波数、出力電圧など

の条件を変えて実験を行い、堆積土の相対密度、減容化率の変化について明らかにした。

4. 研究成果

平成 24 年度の実験結果より試料の間隙比、相対密度、減容化率を算出し、次の知見を得た。

1) 超音波の周波数を高くする(20kHz 以上)にすることにより、シルトなどの細粒材料の減容化(高密度化)に適用できることが明らかになった。

2) 細粒材料の有効径(D_{10})と周波数、出力には相関関係があることが明らかになった。

3) 照射距離は、超音波の振幅が最大であっても波長より長くすると減容化の効果が低下することが明らかになった。

4) 超音波の波形については、間欠波にすることにより減容化特性が向上することが明らかになった。

平成 25 年度は前年度の室内試験の結果をもとに、実用サイズの土槽において実験を行い、実用化へ向けての可能性を確立し、堆積した浚渫土全体の 30%の減容化を目指すことを目標にしていたが、室内試験においてシルト以下の細粒材料の減容化率が予想より低く、昨年度に引き続き室内試験を継続して行い、次の知見を得た。

1) 超音波周波数を 20~28kHz に変化させたシルトなどの細粒材料の実験において、減容化の効果はある程度見られるものの相対密度 40%、減容化率 6%と低く改良の余地があることが明らかになった。

2) 超音波出力については何れの試料においても 50~60V が最適であることが明らかになった。

平成 26 年度は、出力電圧 100V の場合の超音波照射後の各試料 30%粒径と相対密度および減容化率の関係において、粒径の大きい豊浦砂ではいずれの周波数においても 100V の出力電圧では他試料に比べ相対密度、減容化率は増加していないが、細粒土(7号ケイ砂、ケイ石粉)では周波数 27.5kHz, 40kHz, 60kHz の順で減容化率は増加することが明らかになった。また、出力電圧 300V の場合では、相対密度は粒径の大きい豊浦砂においては減容化率については増加していないが相対密度は増加し、減容化率については出力電圧 100V に比べて各試料とも増加していることが明らかになった。特に、ケイ石粉の 27.5kHz においては減容化率 30%になることが明らかになった。

以上の結果より、超音波の照射方向を水平にすることにより水中堆積した細

粒土の減容化特性を向上させる効果があることが明らかになった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計4件)

- 1) 上俊二, 桑嶋啓治, 福田靖, 大内光徳: 超音波を利用した細粒材料の高密度化(減容化)特性に関する研究, 平成25年度地盤工学会中国支部土質工学セミナー報告会, 2013.7.13
- 2) 寺本嵩史, 上俊二, 大内光徳: 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, 平成26年度土木学会中国支部研究発表会. 2014.5.31
- 3) 寺本嵩史, 上俊二, 桑嶋啓治, 福田靖, 大内光徳: 超音波を利用した細粒材料の高密度化(減容化)特性に関する研究, 平成26年度地盤工学会中国支部土質工学セミナー報告会, 2014.8.7
- 4) 上俊二, 桑嶋啓治, 福田靖, 大内光徳: 超音波による細粒材料の減容化特性に関する研究, 第50回地盤工学研究発表会, 2015.9.2(発表予定)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

上 俊二(UE, Shunji)
徳山工業高等専門学校・土木建築
工学科・教授
研究者番号: 30124093

(2)研究分担者

()

研究者番号:

(3)連携研究者

()

研究者番号: