

パラメトリック音源による地盤改良体の形状可視化に関する基礎的研究 I

(株) 竹中土木 正会員 ○濱名 正泰, 植松 佑太, 小西 一生
(株) 東陽テクニカ 非会員 山村 祐二

1. はじめに

高圧噴射攪拌工法は、セメントスラリーを超高圧で地中に噴射し、原地盤と攪拌混合することで地盤改良体を造成する。このため、改良径は施工地盤の条件により変化する特徴がある。高圧噴射攪拌工法の出来形確認は、造成後に機械掘削による杭頭の掘り出しやチェックボーリングにより行うことが一般的である。しかし、これらの方法は部分的な計測であり、改良体の全体的な計測はできない。さらに、改良体固結後の計測となるため、改良不足があった場合の対応も遅れることとなる。この問題解決のために、高圧噴射攪拌工法の出来形確認手法として音波探査技術を用いた報告がいくつかあり¹⁾、施工中または施工直後に、3次元形状を把握できる技術として期待されている。しかし、音波探査技術による手法はあまり普及しておらず実用化されたとは言えないのが現状である。

音波探査による高圧噴射攪拌工法の出来形確認手法の課題として、①20kHz以下の低い周波数帯の音波を利用しており指向性が悪い、②改良体と地盤の境界からの音波の反射が微弱であり、反射波の特定が難しい、の2点が挙げられる。課題①および②を解決するため、著者らは、媒質の非線形現象を利用したパラメトリック音源²⁾に着目し、高圧噴射攪拌工法の改良形状を、施工中または施工直後に、把握する技術の開発を進めている。ここでは、課題①に対して、パラメトリック音源が未固結改良体の形状可視化に利用可能か検証するために行った実験について報告する。

2. パラメトリック音源²⁾

パラメトリック音源とは、大音圧の2つのわずかに周波数の異なる超音波(1次波: f_1 と f_2)を同じ方向に同時に発信し、伝搬媒質の非線形性による1次波の相互干渉により発生する2次波(1次波の差の周波数: $\Delta f = f_1 - f_2$)を利用する技術である。2次波

は、1次波の音源から発振される音波ではなく、音源から離れた空間で発生する。

パラメトリック音源により発生した2次波は、低い周波数でありながら、非常に鋭い指向性という特徴を持つ。この特徴に着目し、海洋音響分野では、古くからパラメトリック音源に関する基礎・応用研究が行われ、パラメトリックソナーとして製品化もされている(図1)。



図1. 製品化されているパラメトリックソナー

(Innomar 社の HP より)

パラメトリック音源の持つ、非常に鋭い指向性は、音波探査による出来形確認の課題①を解決する可能性を持っている。しかし、パラメトリック音源で利用する2次波が未固結改良体中で発生しなければ、出来形確認手法として用いることはできない。以上のことから、未固結改良体中におけるパラメトリック音源の2次波の発生を確認する実験を行った。

3. 実験方法

実験では既製品のパラメトリックソナー“SES2000”(Innomar社製)を使用した(図1)。SES2000は100kHz付近の超音波を1次波に利用し、4-15kHzの2次波を発生させることができる。今回の実験では、2次波の周波数は5kHzに設定した。

パラメトリック音源が改良体の形状可視化に有効であることを確かめるため、SES2000から発振されるパルス波を未固結改良体中でハイドロフォン(水中

キーワード パラメトリック音源, 音波探査, 高圧噴射攪拌工法, 出来形計測

連絡先 〒270-1395 千葉県印西市大塚1-5-1 (株)竹中土木 竹中技術研究所 TEL 0476-47-1700

マイク) により受信した。実験の概要を図 2 に、改良体の構成(重量比)を表 1 に示す。

SES2000 から発振されたパルス波を受信するため、ハイドロフォン(水中マイク)を使用し、図 2 に示す位置で計測を行った。ハイドロフォンで受信した信号が、SES2000 のパルス波であることを確認するため、パルス幅の設定を変化させた時の受信信号のパルス幅を求め設定値と比較した。さらに、ハイドロフォンの受信信号に対して、2.5kHz~7.5kHz のバンドパスフィルター(BPF)を適用し、2 次波生成の確認を行った。

表 1. 実験に使用した改良体の構成(重量比)

珪砂 6 号	普通セメント	水
6	2	2

4. 結果

SES2000 から 1m の位置におけるパルス幅設定 200μsec と 400μsec の受信波形を図 3 に示す。図 3 に示すように、SES2000 のパルス幅設定と受信波形のパルス幅は良く一致していた。図 3 のパルス幅 200μsec の受信波形に対し、BPF を適用した結果を図 4 に示す。図 4 より、ハイドロフォンで受信した受信波形のパルス幅内で、2 次波のパルス波が生成されていることがわかる。次に、SES2000 から 0.5m, 1m, 2m, 3m 離れた位置で受信した信号波形及び BPF を適用した結果、すべての位置で 2 次波のパルス波を確認できた。2 次波の振幅の P-P (ピークトゥピーク) 値は 1~3m の位置ではほぼ同じ値(0.8mV)であった(図 5)。

5. まとめ

海洋分野で活用されているパラメトリック音源が、未固結改良体に利用できるかについて基礎的な実験を行った。その結果、未固結改良体中でもパラメトリック音源による 2 次波が生成されることを確認でき、高圧噴射攪拌工法の出来形管理の技術として有効であると考えられた。

参考文献

- 1) 西尾, 足立, グエン, 榊原, 小津. 音波探査による高圧噴射攪拌工法の改良形状の確認試験. 土木学会第 31 回年次学術講演会, 2018, VI-973.
- 2) 鎌倉, 酒井, 野村. パラメトリックアレイとその特徴. 日本音響学会誌, 2018, 74. 6: 345-352.

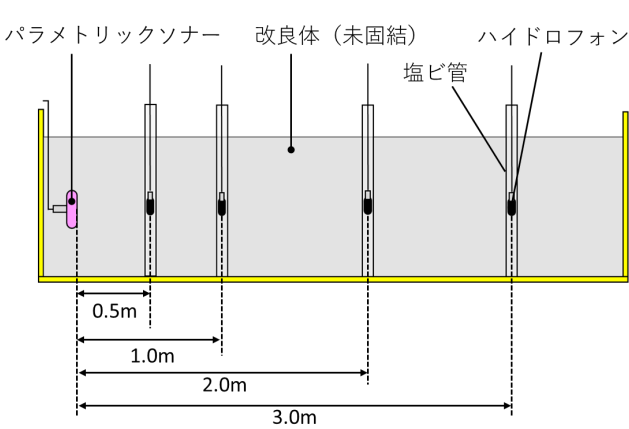


図 2. 実験模式図(断面図)

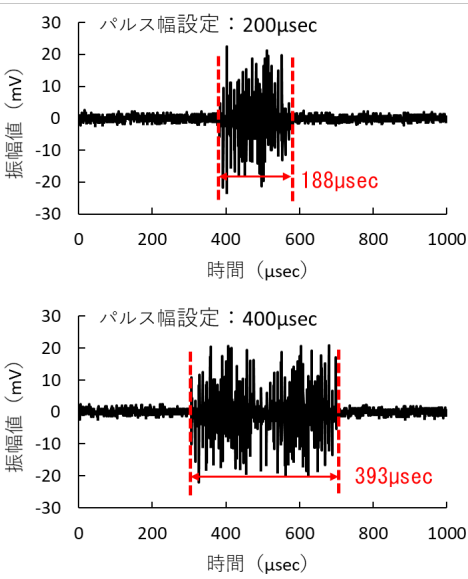


図 3. パルス幅設定と受信波形(距離 1m)

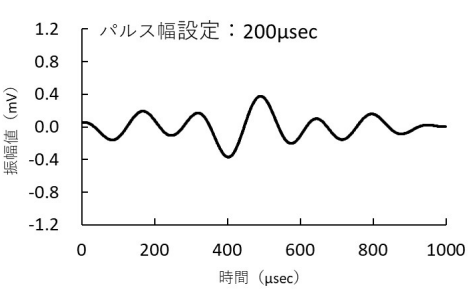


図 4. バンドパスフィルターを適用した受信波形

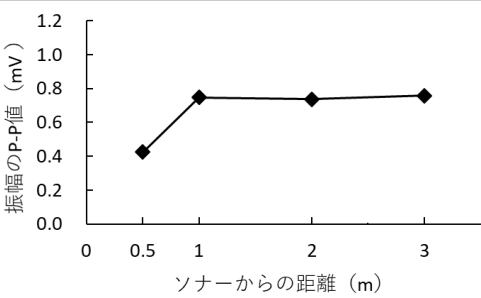


図 5. 距離ごとの 2 次波の振幅の P-P 値グラフ