

超音波振動を併用した薬液注入工法の開発（第2回現場実証実験）

三信建設工業(株)
(株)人材開発支援機構
東陽工業(株)
東興ジオテック(株)
名古屋工業大学

正会員 ○本谷 洋二
正会員 野口 好夫
石田 明人
岡田 宙
正会員 森河 由紀弘

1. はじめに

薬液注入工法は主に都市土木工事における掘削に伴う止水や地盤強化を目的とした仮設補助的な固結系地盤改良工法であり、施工機械が小型であるため施工性・適用性が高く、騒音や振動が少ないといった利点を有する。また、近年では長期耐久性をもつ薬液も開発され、既設構造物直下の基礎地盤や埋立地護岸部などにおける液状化対策や耐震補強など本設的な事例も増加している。著者らは今日までに超音波振動を併用した薬液注入工法を開発し、薬液浸透時に超音波振動を付与することにより浸透性が向上することを確認した¹⁾。そこで今回はほぼ実用レベルにまで小型化・改良された試作機2号機を用いて実大実験を行い、超音波振動が注入効果に与える影響を検討した。

2. 注入装置の概要

注入装置の概要を図-1、表-1に示す。今回開発した2号機はダブルパッカ工法の注入内管に相当するもので、上下2つのパッカ部と振動・注入部で構成される。ここで、1号機がシングルパッカであったのに対し2号機ではダブルパッカにしたことによりステップアップ・ダウン注入が可能となった。また、2号機は1号機に比べ全長は500mm長くなったものの装置外径は $\phi 136\text{mm}$ から $\phi 57\text{mm}$ まで小型化し、質量も35kgから15kgまで軽量になり、人力のみでの取り扱いが可能になった。さらに、装置外径の小口径化により注入外管もVP150からVP65までサイズダウンしたため、削孔径も小さくなり施工性・経済性が向上した。なお、注入内管の薬液吐出口は上下のパッカ間にあり、ここから注入外管内部に吐出された薬液は、圧力によって注入外管の注入孔を通じて外部地盤に浸透する。

3. 実験概要

対象地盤の柱状図を図-2、実験ケースを表-2に示す。当該箇所は過去に水田だった場所であり、改良対象はG.L.-2.0m～G.L.-4.0mにあるN値が11以下、細粒分含有率 $F_c=16\%$ の砂層であり、注入範囲の上部1m(G.L.-1.0m～G.L.-2.0m)はシルト層になっている。本実験では改良長 $L=2\text{m}$ の区間を上下2stepに分割して注入した(注入外管の注入孔深度はG.L.-2.5mおよびG.L.-3.5m)。施工方法は通常のダブルパッカ工法と同様に、まずは予め地盤内に設置した注入外管に注入内管を挿入し、一次注入を行った。そして、二次注入(浸透注入)では超音波振動を併用するケースとしないケースで注入を行った。

ここで、室内透水試験結果から超音波振動は断続的に付与した方が



図-1 超音波振動併用注入装置

表-1 超音波振動併用注入装置の概要

項目	1号機	2号機
装置外径 $\phi(\text{mm})$	136	57
装置長さ $L(\text{mm})$	1500	2000
装置質量 $w(\text{kg})$	35	15
注入外管	VP150	VP65



図-2 現地の柱状図

表-2 実験ケース

超音波振動	なし	あり (20kHz, 300W)
外管固定・シール	シールグラウト方式	
注入速度	6 L/min	
注入材	一次	セメントベントナイト
	二次	水ガラス系無機溶液型 (ゲルタイム: 60min)
注入深度	G.L.-2.0m～G.L.-4.0m	
改良長	2.0m	
注入ステップ長	1m/step (2steps)	
改良対象土量	$2.0\text{m} \times 2.0\text{m} \times 2.0\text{m} = 8.0\text{m}^3$	
注入率	40% (一次: 5%, 二次: 35%)	
計画注入量	一次	400L
	二次	2,800L
	合計	3,200L

キーワード: 超音波, 薬液注入, 地盤改良, 液状化対策, 振動

連絡先: 〒111-0052 東京都台東区柳橋 2-19-6 三信建設工業(株) 技術本部 Tel.03-5825-3707 FAX:03-5825-3757

効率的であると判断し、超音波振動の付与周期は6分（ON:2分，OFF:4分）とした。また、注入速度は事前に行った限界注入速度試験²⁾の結果をもとに、超音波振動なし・ありの両ケースともに6L/minとした。

4. 結果および考察

本実験では施工後にサンプリング調査を実施し、注入深度の上下層も含めた試料（地表面～G.L.-5.0m）にフェノールフタレイン溶液を噴霧することによって薬液の浸透状況を確認した。また、実際に現地を掘削することにより改良体の形状についても確認を行った。

図-3 に改良区間（G.L.-2.0m～G.L.-4.0m）におけるフェノールフタレイン溶液に反応した合計長さを改良長（ $L=2.0\text{m}$ ）で正規化した薬液分布率を示す。実験結果より、全体的に超音波振動ありの方が振動なしに比べて薬液分布率が高く、薬液の浸透状況が良いことが分かる。また、フェノールフタレイン溶液の反応状況を観察すると、超音波振動ありのケースでは改良深度全域で溶液に反応していることが確認できた。しかし、超音波振動なしのケースでは中心から750mm以上離れるとG.L.-2.0m～G.L.-3.0mのみが溶液に反応しており、中心から750mm以内では注入対象深度よりも深いG.L.-4.0m以深で0.4m程度の反応が見られた。以上より、超音波振動無しのケースでは薬液が削孔などによって緩んだ注入外管の下方や拘束圧が低く浸透しやすい上方へ逸走しシルト地盤をフタとして広く拡散したものと考えられる。一方で、超音波振動ありのケースでは薬液が振動なしのケースに比べて浸透しやすいため、このような現象が起きずに比較的均一に薬液が浸透したと考えられる。

図-4 にG.L.-2.5m～G.L.-4.0m付近における超音波振動ありの改良体の状況を示す。また、図-5 にG.L.-3.5m付近の改良体形状の計測結果を示し、図-6、表-3 に計測結果をもとに整理した浸透距離の頻度および統計値を示す。G.L.-3.5m付近の両ケースの面積を比較すると、振動ありのケースは振動なしのケースに比べ約1.6倍になっており、超音波によって薬液が広範囲に浸透していることが分かる。また、薬液浸透距離のバラつきを示す変動係数は、振動ありでは振動なしに比べて約半分となっており超音波によって薬液が浸透にくいところまで比較的均一に浸透し、改良体の形状も比較的理想的状態（円形）に近くなっていることが分かる。

5. まとめ

超音波振動を併用した薬液注入工法について実用レベルの試作機を開発し、浸透の改善効果について検証した。以下に得られた知見を示す。

- 1) 超音波振動によって薬液の浸透性が向上し、薬液が広範囲に広がる。
- 2) 薬液の浸透性の向上によって浸透距離のバラつきが小さくなり、改良体の形状も理想的状態に近くなる。

【謝辞】

本実験の実施にあたり、注入装置の作製にご協力くださいました本多電子(株)および原工業(株)の皆様には、感謝申し上げます。

<参考文献>

- 1)岡田・野口・本谷・石田・森河:超音波振動を併用した薬液注入工法の開発(第1回現場実証実験),第52回地盤工学研究発表会(投稿中),2017.
- 2)日本グラウト協会:耐久グラウト注入工法施工指針, pp.27-28, 2012.

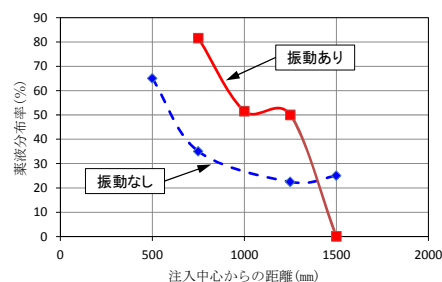


図-3 薬液分布率



図-4 改良体の状況（振動あり）

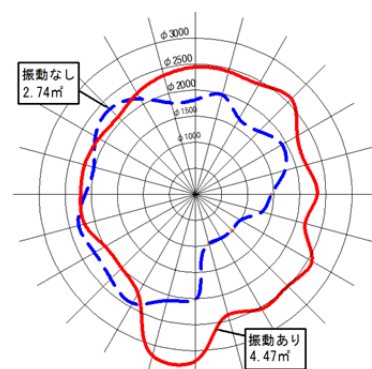


図-5 G.L.-3.5m 付近における改良体の形状

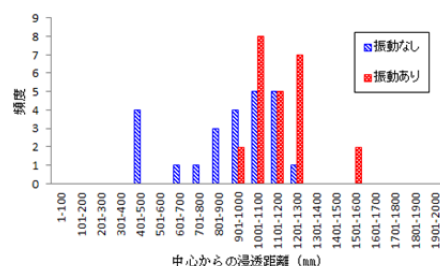


図-6 薬液の浸透距離の分布

表-3 浸透距離の分布結果の整理

超音波振動	振動なし	振動あり
データ数	24	24
改良体面積	2.74m ²	4.47m ²
最大浸透距離	1,210mm	1,600mm
最小浸透距離	490mm	1,000mm
平均値	910mm	1,186mm
中央値	975mm	1,150mm
標準偏差	229mm	150mm
変動係数	0.25	0.13