

超音波振動を併用した薬液注入工法の開発（室内実験）

名古屋工業大学 正会員 ○森河 由紀弘
 (株)人材開発支援機構 正会員 野口 好夫
 東陽工業(株) 石田 明人
 三信建設工業(株) 正会員 本谷 洋二
 東興ジオテック(株) 岡田 宙

1. はじめに

薬液等を地盤に浸透させる場合、地盤内では土粒子骨格を形成していない自由粒子が浸透流によって目詰まりを起こし、また注入源（透水面）付近では薬液の浸透に伴い周囲の泥水が連行されることにより細粒分膜が形成されてしまうため、地盤の透水性は薬液等の浸透に伴い低下する可能性がある。改良地盤の透水性が低下すると、改良範囲や改良体の品質が低下するばかりか、改良自体が困難になる可能性もある。

そこで、本研究では地盤の透水性を回復することにより、薬液の浸透範囲や改良体品質の向上が可能であると考え、超音波振動を用いた目詰まりの解消効果や注入源の洗浄効果が地盤の透水性に及ぼす影響を検討した。

2. 実験概要

図-1 に超音波発生装置を装着した透水試験機を示す。超音波発生装置は超音波振動子と超音波を増幅する振動ホーンから構成されており、注入ホースや熱電対センサーと共に透水試験機のヘッド部に取り付けられている。ここで、本試験機に装着されている超音波発生装置は本多電子(株)製のものを改良した実施工機を想定したものであり、周波数は 20kHz、出力は 300W、振動ホーンの表面から供試体（透水面）までの距離は注入外管までの距離と同等の 30mm 程度とした。



図-1 超音波発生装置を装着した透水試験機

表-1 に実験ケースを示す。本研究では砂地盤を対象とした薬液注入工法を対象としているため、本検討では全てのケースにおいて表-2 に示す珪砂 7 号を用いて長さ 0.127m の供試体を作成した。ここで、Case A は超音波振動による目詰まりの解消効果に関する検討であり、供試体の作成にはエポキシ樹脂と繊維材からなる粒子固定材を混入し、土粒子骨格を形成している粒子のみを完全に固定している。よって、浸透流に伴い透水係数が低下する原因は、土粒子骨格を形成していない自由粒子（固定されていない粒子）の目詰まりのみによるものとなる。Case B は注入源の洗浄効果に関する検討であり、透水面に細粒分膜を形成するために表-2 に示す藤森粘土の 1%溶液を水頭差 0.695m で注入した。ここで、両ケースにおいて超音波振動は表-1 に示す時間内のみに与えている。

表-1 実験ケース

実験ケース	注入圧力 ／水頭差	透水流体	締固め度 $D_r(\%)$	超音波発生時間 $t(\text{min})$
Case A-10kPa	10kPa	水道水	94.3	60 min - 120 min
Case A-50kPa	50kPa			10 min - 18 min
Case B-60-120	0.695m (定水位)	藤森粘土 泥水(1%)	97.1	60 min - 120 min
Case B-0-60			97.0	0 min - 60 min
Case B-Int 2			96.4	Interval 2 min
Case B-Int 10				(2 - 4, 6 - 8, ..., 58 - 60 min)
			95.6	Interval 10 min
				(10 - 20, 30 - 40, 50 - 60 min)

表-2 使用材料

項目				珪砂 7 号	藤森粘土
土粒子密度試験	土粒子の密度	ρ_s	g/cm^3	2.686	2.717
土の粒度試験	礫分		%	0.0	0.0
	砂分		%	94.7	6.1
	細粒分		%	5.3	93.9
	最大粒径		mm	9.5	0.850
	均等係数	U_c		1.9	4.5
	50%粒径	D_{50}	mm	0.153	0.034
土の液性限界・ 塑性限界試験	20%粒径	D_{20}	mm	0.112	0.016
	液性限界	w_L	%	NP	43.5
	塑性限界	w_p	%	NP	29.7
締固め試験 (A-a 法)	塑性指数	I_p		NP	13.8
	最大乾燥密度	$\rho_{d \max}$	g/cm^3	1.537	1.442
透水試験	最適含水比	w_{opt}	%	17.9	24.8
	透水係数	k_{15}	m/s	6.48×10^{-5}	1.49×10^{-9}

キーワード 超音波振動, 薬液注入工法, 地盤改良

連絡先 〒466-8555 愛知県名古屋市中昭和区御器所町 名古屋工業大学 16 号館 228 号室 TEL・FAX : 052-735-5438

3. 実験結果と考察

3.1. 目詰まりの解消効果が透水性に及ぼす影響

本検討では水道水を用いて注入を行い、注入圧力（動水勾配）は Case A-10kPa で 10kPa ($i=9.0$)，Case A-50kPa で 50kPa ($i=41.1$) とした。図-2 に Case A-10kPa の実験結果を示す。実験結果より、浸透流に伴う目詰まりにより超音波を与えていない 60 分間で透水性が初期値の 0.36 程度まで低下していることが分かる。ところが、超音波を与えるとその直後から透水性が大きく増加し、最大で超音波を与える直前の 3.78 倍（初期値の 1.38 倍）になった。また、超音波振動を増幅する振動ホーン付近では流体が激しく運動することにより、供試体上面（注入側）での水温は最大で 46.2℃，供試体下面（排水側）での水温は最大で 36.4℃に上昇していることが分かる。ここで、超音波を与える直前における水温（19.3℃）と供試体上面での最大水温（46.2℃）における粘性係数比は最大でも $\eta=1.75$ 程度であるため、透水性の増加は流体の温度変化に加え、目詰まりの解消効果によるものが大きいと考えられる。

図-3 に Case A-50kPa の実験結果を示す。Case A-50kPa も Case A-10kPa と同様に超音波振動による透水性の改善効果が確認できた。ここで、Case A-50kPa における温度上昇が Case A-10kPa に比べて低いのは、注入圧力が高いため流体温度が上昇しきる前に浸透されたためだと考えられる。ここで、両ケースにおいて超音波振動により透水性が初期値を超えた原因としては、飽和度を上げるために事前に透水を行っており、また同じ供試体を用いて両試験を行っているため、各試験の開始時には初期目詰まりが発生していたためだと考えられる。

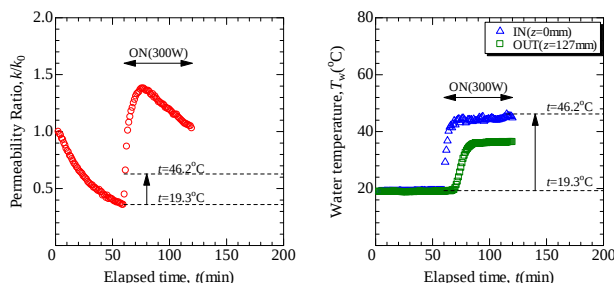


図-2 実験結果 (Case A-10kPa)

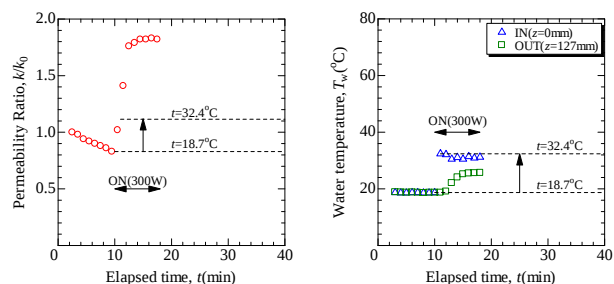


図-3 実験結果 (Case A-50kPa)

3.2. 浸透源の洗浄効果が透水性に及ぼす影響

図-4 に Case B の実験結果を示す。Case B-60-120 では超音波振動を与えていない 60 分間、透水面における細粒分膜の形成により透水性が大きく低下しているが、超音波を与えた 60 分～120 分の間は透水性が回復している。ここで、本ケースおよび Case B-0-60 においても超音波を与えている間も透水性は低下しているが、これは本検討で用いた泥水濃度が非常に高いためであり、超音波を切るとさらに透水性が低下しているため、超音波による透水性の改善効果は確認できる。また、超音波振動を 2 分間隔で与えた Case B-Int 2 や 10 分間隔で与えた Case B-Int 10 においても、超音波振動を与えることによる同様の改善効果は確認できた。

以上より、細粒分膜の形成により透水性が低下しても、超音波振動によって透水性が改善できることが分かった。

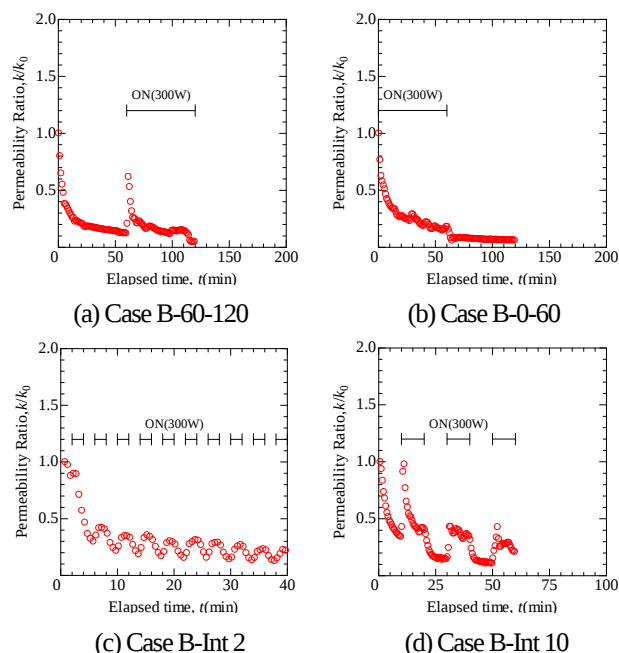


図-4 実験結果 (Case B)

4. まとめ

本研究では超音波振動を用いた目詰まりの解消効果や浸透源の洗浄効果が透水性の改善に与える影響を検討した。検討の結果、超音波には目詰まりの改善効果や注入源の洗浄効果があり、透水性の改善が可能であることが分かった。また、本検討の効果は現場での実証試験^{1) 2)}でも確認されている。

参考文献

- 岡田ら; 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, pp.713-714, 2017.
- 本谷ら; 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), 土木学会第 72 回年次学術講演会, pp.55-56, 2017.