

屈折率整合技術を用いた溶液型薬液の模型注入実験

五洋建設株式会社 正会員○吉岡保弘 正会員 林健太郎
港湾空港技術研究所 正会員 高野大樹 正会員 森川嘉之

1. 目的

近年、透明粒子の屈折率に間隙流体の屈折率を整合させることにより、土中の現象を可視化する実験手法が開発された¹⁾。しかしながら、この手法は開発されたばかりで、適切な屈折率を得るための整合流体の調整方法には無数の組み合わせがあり、実験の用途によって適切な間隙流体を選択する必要がある。今回の実験では、薬液注入による地盤の固化改良の状況を「屈折率整合」による可視化手法を用いて、再現することを試みた。最終的には、薬液注入時の土中の状況を可視化することにより、施工の品質を向上させることを目的としている。

2. 実験手法

(1)溶液型薬液注入による改良体

均質な砂に溶液型薬液を土中の一点より注入すると、ほぼ球状に浸透することが模型実験（写真-1 参照）や施工現場における改良体の掘り出し確認などにより判明している。これは、地盤内に浸透注入された場合、先に注入された薬液はあとから注入されたものに追い越されずに、浸透を続けることを意味している。

ただし、薬液が作液から固結するまでの時間（ゲルタイム）を長めにした場合、球状に浸透した薬液は過ぎに固結せず、薬液と間隙水の比重差により、土中を希釈されながら沈下し、改良体の品質が低下することも分かっている²⁾。

(2)実験方法

今回の実験では、用いる透明砂の粒度や用いる整合流体の種類を変えて、模型注入実験を行った。実験に用いた透明砂には粉碎した熔融石英であり、粗い粒径（粒径 1mm 以上 2mm 以下）のものと細かい粒径（粒径 1mm 以下）の 2 種類を使用した。間隙流体としては、表-1 に示す 3 種類のものを、薬液には 4 種類のものを使用した。実験はこれらの透明砂と整合流体、薬液を組み合わせ実施した。実験ケースを表-2 に示す。実験土槽は内径 75mm、高さ 150mm のアクリル円筒である。注入口は、3D プリンターを用いて 25 箇所吹き出し孔を均等に配置し、底面から 8cm の所に設置した。地盤の作製は、3 層に分けて行い、各 30 回突き棒で突いてしっかり締まるような状態で作製した。薬液は 100ml 作製し、うち 50ml を注入した。

表-1 実験で使用した材料特性

用途	材料	溶液種類	屈折率 (20℃)	粘性	比重	特 記
間隙溶液	パラフィン混合液	OIL	1.4585	10~20	0.86	
	グリセリン+水	水溶液		約700	1.3	
	砂糖水	水溶液		未測定	1.3	
薬液	パラフィン混合液	OIL	—	10~20	0.86	疑似薬液として着色
	エコシリカ	水溶液		1.5~2.0	約1.04	シリカ濃度:4%
	エコシリカ1.2	水溶液		未測定	約1.2	作液後、砂糖を混入
	エコシリカ1.3	水溶液		未測定	約1.3	作液後、砂糖を混入

表-2 実験ケース

CASE	地盤材料	間隙溶液	間隙溶液の種類	薬液	地盤密度 (g/cm ³)
1	粗	パラフィン混合液	OIL	エコシリカ	1.09
2	細	パラフィン混合液		エコシリカ	1.09
3	粗	パラフィン混合液		パラフィン混合液	1.11
4	粗50%+細50%	グリセリン水溶液	水溶液	エコシリカ	1.289
5	粗	グリセリン水溶液		エコシリカ1.2	1.158
6	細	砂糖水		エコシリカ1.3	—

写真-1 模型実験による改良体出来形²⁾

キーワード：透明砂、薬液注入、模型地盤

連絡先：〒329-2743 栃木県那須塩原市四区町 1534-1 五洋建設株式会社 技術研究所 0287-39-2100

3. 実験結果

CACE1 から 6 の実験結果を写真-2～7 に示す。以下に各ケースにおける着目点・考察を述べる。

① CASE1

- ・整合流体に比重の軽いパラフィン、薬液にエコシリカを使用しており、割裂状態で薬液は浸透した。
- ・注入後、徐々に希釈されながら沈下した。

② CASE2

- ・CASE1 に対して、割裂・沈下の影響を防ぐため、粒径の細かい砂を使用した。
- ・割裂注入ではなく浸透注入になったが、扁平な形状となり、注入後、薬液の沈下が生じた。
- ・最大粒径 1mm 以下の細砂を使用したため、整合流体で地盤を飽和する際、土中に気泡が多く残った。

③ CASE3

- ・整合流体と同じパラフィンにオイルステンで着色して疑似薬液として注入したところ浸透注入を実現した。
- ・注入の進行状況は確認できたが、薬液が固結しないので、固結現象を再現する実験には使用できない。

④ CASE4

- ・整合流体であるグリセリン水の充填前に CO_2 を充填したところ、気泡は劇的に少なくなった。
- ・注入にエコシリカを使用したところ、比重がグリセリンより軽いため、薬液が上昇して固結した。

⑤ CASE5

- ・薬液調合後に砂糖を添加し比重を整合流体のグリセリン水に合わせて注入したところ注入孔近辺で固結した。
- ・グリセリン水は粘性が高く、薬液と接触すると拡散現象が激しく希釈しており、注入実験には適さない。

⑥ CASE6

- ・間隙溶液に砂糖水を用いたところ、粘性・拡散現象もグリセリンに比べ小さく、浸透注入現象が再現できた。
- ・薬液で使用する水代わりに砂糖水を使ったところ、混合時に水ガラスと一部反応したが翌日には固結した。

4. おわりに

透明砂を使って、薬液注入の際の浸透注入現象の再現を試みた。熔融石英と屈折率を整合できれば、整合流体にいろいろな溶液が使用できるが、比重、拡散性、粘度が影響するため、薬液注入には砂糖水と比重を調整したエコシリカが最適であるという結果となった。このほかの実験でも目的に合わせて組み合わせの選択をすることが重要である。

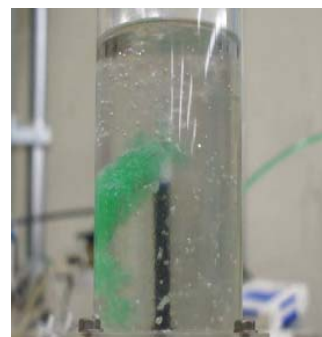


写真-2 CASE-1

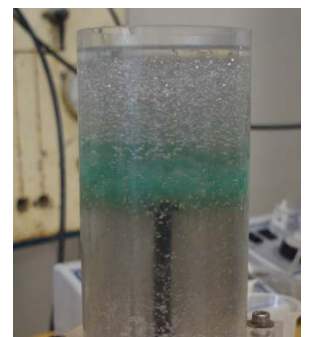


写真-3 CASE-2

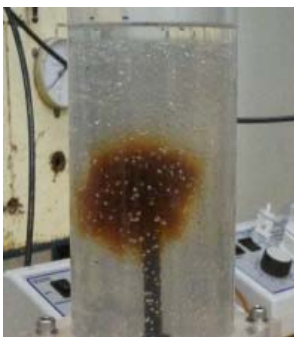


写真-4 CASE-3



写真-5 CASE-4



写真-6 CASE-5

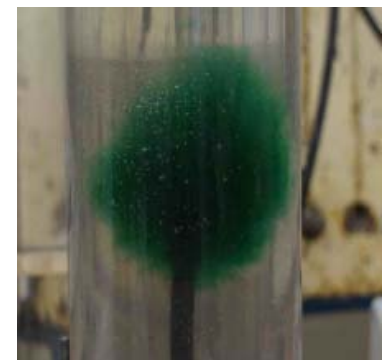


写真-7 CASE-6

参考文献：1)高野 大樹,小林 孝彰,宮田 喜壽,森川 嘉之: 粒状体の屈折率マッチング可視化技術を用いた薬液注入過程の再現実験, 第50 回地盤工学研究発表会,2015年9月,pp.1703-1704

2)林健太郎, 山崎浩之, 善功企: 溶液型薬液注入工法の施工管理方法に起因する改良土の強度低下のメカニズム, 土木学会論文集C (地圏工学), Vol.79, No4, pp.387-394, 2013