

セメントを使用しない懸濁型注入材の注入性能

ケミカルグラウト(株) 正会員 ○渡邊 陽介
早稲田大学 フェロー会員 赤木 寛一

1. はじめに

脱炭素社会に向けて、我々はCO₂を削減する地盤改良を目指し、セメントを使用しない懸濁型注入材を検討している。懸濁型注入材とした理由は、排泥の排出を抑え、排泥処理の際に発生するCO₂排出量を削減するためである。この注入材は主剤に微細な高炉水砕スラグを用い、珪酸化合物を反応剤とし、それらを混合することで硬化する。本検討では、この材料の注入性能を評価するため、円筒模擬地盤に対し次元方向の注入を行い各材料の添加量における注入性能で優位な配合を選定した。次にその選定した配合を用いて立体模擬地盤に三次元方向の注入を行い実現場に近い条件下の注入性能を確認した。

2. 試験内容

2.1 一次元注入試験

図 2.1 に注入試験の概略図を示す。小泉ら²⁾が行った「室内一次元注入試験」と同様の方法で、透明塩ビ管(VP50)1mを土槽とし、内部に空中落下法で相対密度60%となるように珪砂7号を複数回に分けて突き固め模擬地盤を作製した。模擬地盤上部および下部にはフィルター層として珪砂2号を敷き詰めた。模擬地盤作製後に間隙体積の2倍の水を通路して飽和状態にした。この時、透水係数を計測し各ケースの地盤条件に差異がないことを確認した。本試験で実施した注入材の配合ケースを表 2-1 に示す。試験は注入材を攪拌槽に投入した後、0.2MPaの一定圧力条件で注入した。注入中は注入圧力および注入速度を測定し間隙体積の1倍以上を注入するか、注入できず注入速度が30mL/min以下となった時点で注入終了とした。試験後は湿潤条件化で塩ビ管ごと改良体を気中養生した。14日経過後浸透長を確認するため塩ビ管を図 2.1 に示すよう切断し露出させた改良部に対し針貫入試験(JGS 3431)を実施し注入長を確認した。計測頻度はフィルター層と地盤の界面を0cmとし5cm間隔で行い、初めて針貫入抵抗値が0N/mmとなった点を注入長とした。なお、最初に針貫入抵抗値0N/mmを示した付近は詳細データを得るため両端1cmずつ試験を実施した。

2.2 三次元注入試験

図 2.2 に模擬地盤の概略図を示す。鋼製型枠で矩形形状(B×L×H=60cm×60cm×90cm)の土槽を組み立て、内部に空中落下法で相対密度60%、間隙率47.1%となるように君津砂を複数回に分けて突き固め、模擬地盤を作製した。併せて型枠側面に沿って排水管と土槽中心部に注入管を設置し上部には無収縮モルタルを打設した。本試験

の注入材配合は表 2-1 に示すケース 7~9 を選定した。注入設備および試験方法は一次元注入試験と同様とし注入量は16Lとした。ここで、注入量および間隙率から推定される体積は33.51 cm³であり直径に換算すると40cmである。注入試験14日後に改良体を掘り出し3Dスキャナで改良体表面を計測し体積を算出した。また、ブロックサンプリングした改良体を整形し28日養生後、一軸圧縮試験(JIS A 1216)を実施した。

3. 結果

3.1 一次元注入試験

図 3.1~3.3 に一次元注入試験結果を示す。図 3.1 より、ケース 1 に対し、ケース 2 と 3 の注入長はそれぞれ10cm低下した。図 3.2 より、ケース 3 に対しケース 4 は分注入長が向上する結果を得た。一方、分散剤濃度の高いケース 5 と 6 は注入長が低下した。図 3.3 より、分散剤濃度7%のケース7がケース1に対し注入長が向上した。これらの結果より、スラグおよび反応剤が増えると凝結作用が早まり注入性能が低下することを確認した。分散剤は、添加量次第で凝結作用を抑え注入性能を高めることが可能であるが、過剰に添加すると注入性能を低下させることがわかった。また、図 3.1~3.3 に示すいずれの配合も注入長が高まるにつれ針貫入勾配値は低下していく傾向を示した。この結果より、懸濁型注入材は注入源から詰まりながら注入されたと予想する。

3.2 三次元注入試験

表 3-1 に三次元注入試験の結果一覧を示す。3 ケースとも注入速度に変動なく、注入材も逸液なく注入できた。養生後改良体を掘り出し形状確認を行った。結果、ケース7は推定体積に対し1.44倍の改良体積であった。スラグ濃度の高いケース9はケース7に対し改良体積、平均一軸圧縮強さはやや大きくなった。ケース8はケース7より改良体積が大きく推定体積に対し1.95倍であり、形状も上部に偏りのある形状であった。また、平均一軸圧縮強さは1.2 MN/m²でその他より低い結果であった。この結果は、反応剤濃度が増加し注入性能が低下したことで注入材が進行しやすい上部に広がり、推定以上の改良範囲になったことで強度低下したと予想する。

4. まとめ

懸濁型注入材の注入性能を確認した結果、注入源から詰まりながら注入されることがわかった。ただし、配合の組み合わせで結果は大きく変わるため各性質を把握することが重要である。特に、反応剤は注入性能を低下させることを確認した。今後は改良体内部の出来形や分散剤について追及する。

キーワード 懸濁型注入材, 薬液注入工法, スラグ, 注入性能, CO₂

連絡先 〒105-0001 東京都港区虎ノ門2-2-5 共同通信会館3F ケミカルグラウト(株) TEL 03-5575-0571

表 2-1 懸濁型注入材の配合

ケース	単位	1	2	3	4	5	6	7	8	9
試験前 透水係数×10 ⁻⁴	m/s	1.2	0.9	1.2	1.1	1.4	1.5	1.2	-	-
スラグ濃度	%	5	5	6	6	6	6	5	5	6
反応剤濃度	%	8	13	8	8	8	8	8	13	8
分散剤濃度	%	2	2	2	10	15	20	7	7	7
一次元注入試験 浸透長	cm	59	48	49	69	49	21	64	-	-
一次元注入試験	-	●	●	●	●	●	●	●	-	-
三次元注入試験	-	-	-	-	-	-	-	●	●	●

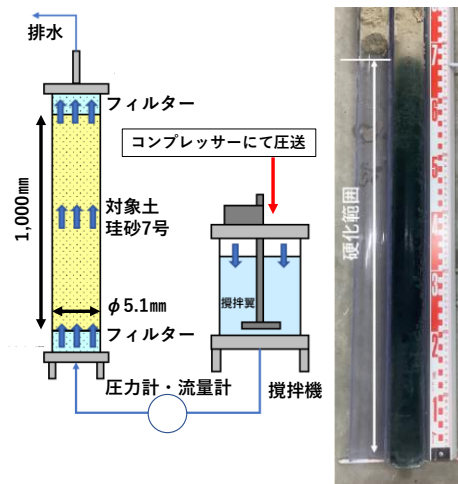


図 2.1 一次元注入試験概略図、改良体

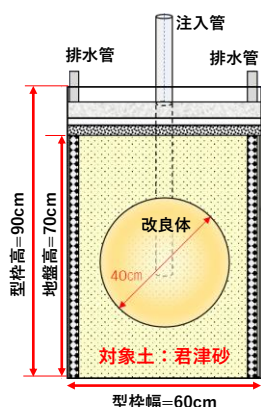


図 2.2 模擬地盤概略図

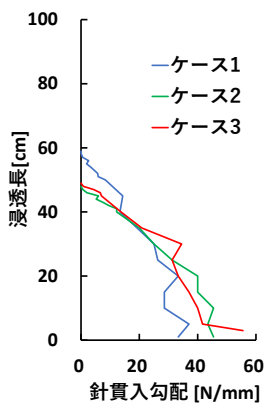


図 3.1 ケース 1, 2, 3

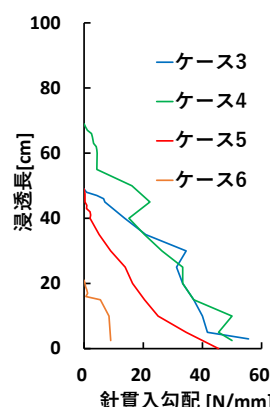


図 3.2 ケース 3, 4, 5, 6

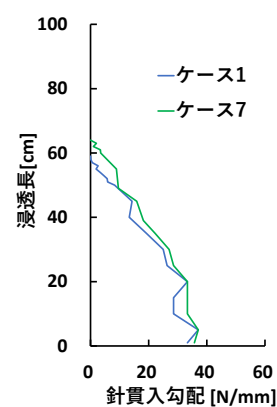


図 3.3 ケース 1, 7

表 3-1 懸濁型注入材の各配合の注入結果

配合	ケース 7	ケース 8	ケース 9
改良体積	48.1 cm ³ : 推定体積に対し 1.44 倍	65.2 cm ³ : 推定体積に対し 1.95 倍	51.4 cm ³ : 推定体積に対し 1.53 倍
強度	平均一軸圧縮強さ 2.9 MN/m ²	平均一軸圧縮強さ 1.2 MN/m ²	平均一軸圧縮強さ 3.8 MN/m ²
注入 チャート			
改良体 3D スキャン			

<参考文献>

- 1) 渡邊ら,セメントを使用しない懸濁型注入材の特性評価,第 57 回地盤工学研究発表会,2022 (投稿中)
- 2) 小泉ら,極超微粒子注入材による砂質土地盤への注入工法の開発,日本材料学会, Vol.61, No.1, p.52-57, Jan 2012