

脱炭素社会に対応した注入材の性能評価

ケミカルグラウト(株) 正会員 ○横張 光 正会員 渡邊 陽介
早稲田大学 フェロー会員 赤木 寛一 正会員 王 海龍 学生会員 中村 陸央

1.はじめに

薬液注入工法に使用する注入材は水ガラスを主剤とする溶液型とセメントなどを主剤とする懸濁型に分類される(図 1.1) ¹⁾。溶液型は有機系と無機系があり、掘削時の地盤補強や止水など、仮設利用が主な中性・酸性系やアルカリ性系、液状化対策などで実績の多い特殊中性・酸性系や特殊シリカ系に分類される。懸濁型は、緊急止水などで利用する LW などの水ガラス系や空隙充填注入などで利用する CB (セメントベントナイト) などの非水ガラス系がある。これらの注入材のうち溶液型特殊中性・酸性系は、特殊水ガラスを酸性物質で中和反応させることにより中性領域で固化することから周囲への環境負荷が少なく河川付近でも利用されるケースが多い。また、懸濁型では、これまでセメントを主剤とする注入材がほとんどであったが、脱炭素の観点から、高炉セメントを使用する材料も増えている。筆者らも注入材による脱炭素化の環境負荷低減効果に着目して高炉水砕スラグを利用したスラグ系の懸濁型注入材を検討している ²⁾。

本報告では、環境負荷低減効果の高い溶液型特殊中性・酸性系および懸濁型スラグ系の両注入材を比較する。CO₂ 排出量、配合試験のサンドゲルおよび模擬地盤に注入した改良体の強度、浸透性を検証した内容について述べる。

2.検討内容

(1)CO₂ 排出量比較

溶液型特殊中性・酸性系および懸濁型スラグ系注入材の 1 m³あたりの作液時の材料製造で発生する CO₂ 排出量を算出した。また、それらの比較対象として、懸濁型セメント系も同様の方法で算出した。特殊中性・酸性系およびスラグ系は珪酸化合物、セメント系は普通セメントが主な CO₂ 排出材料となるため、それらの材料使用量に単位 CO₂ 排出量を乗じて 1 m³あたり作液時の CO₂ 排出量を算出した。ここで、材料製造 1t における CO₂ 排出量は珪酸化合物が 341kg-CO₂/t、普通セメントは 770kg-CO₂/t³⁾とする。

(2)配合試験

表 2.1 に示す物性値の砂を相対密度が 60%になるように水中落下法でサンドゲルを作製した。溶液型はシリカ濃度 6%配合を採用した。懸濁型はスラグ濃度 6%を採用した。供試体はφ50mm×H100mm のモールド缶にて作製し、気中にて最大 28 日まで養生を行った。養生後に脱型を行い、一軸圧縮試験 (JIS A 1216) を行った。

(3)三次元注入試験

溶液型の試験として、鋼製オープンヘッドドラム (φ58.5cm×H89.0cm) を土槽とし、(2)配合試験と同じ砂を相対密度 60%になるよう空中落下法にて投入し模擬地盤を作製した。型枠側面に沿って排水管 (VP25) と土槽の中心部に注入管 (VP25) を設置し、天端には耐圧盤として無収縮モルタルを打設した。地盤作製後、排水管より水を投入し飽和状態にした。注入材はシリカ濃度 6%の特殊中性・酸性薬液をインバータで制御した三連ピストンポンプで注入速度 1L/min、注入量 16L を送液し改良体積 33.51L を想定した。

懸濁型の試験として、鉄製型枠に矩形型の土槽 (L×W×H=60cm×60cm×90cm) を組み立て、溶液型と同様の方法にて模擬地盤を作製した。注入材はスラグ濃度 6%配合でエアコンプレッサーを用いて注入圧力 0.1MPa で注入を行った。計画値は注入量、改良体体積共に溶液型と同様とした。両注入材共に注入完了後、気中にて 28 日養生を行った。養生後、体積を算出した後、改良体を寸法φ50mm×H100mm にてサンプリングし一軸圧縮強度試験を行った。

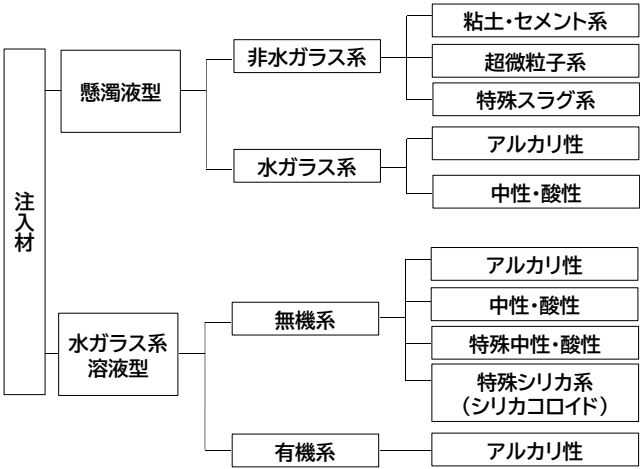


図 1.1 注入材の区分

表 2.1 使用砂の物性値

項目	単位	物性値
土粒子密度	g/cm ³	2.733
最大間隙比	-	1.130
最小間隙比	-	0.733
均等係数	-	1.77

キーワード 懸濁型注入材、薬液注入工法、針貫入試験、高炉スラグ微粉末、脱炭素社会
連絡先 〒230-0004 神奈川県横浜市鶴見区元宮 1-18-1 技術本部技術開発部 Tel : 045-574-1580

3.結果

(1)CO₂の排出量

表 3.1 に各注入材の 1 m³作液時の CO₂ 排出量を示す。特殊中性・酸性系は、セメント系に対し 37%程度の CO₂ 排出量である。スラグ系はセメント系に対して 16%程度の CO₂ 排出量であることを確認した。セメントは製造時の焼成工程により CO₂ を大量に発生することは知られている。その製造工程と添加量により、セメントを使用する注入材は特殊中性・酸性系とスラグ系に対し CO₂ を大量に排出する。よって、従来のセメント系を使用している用途で溶液型やスラグ系などの注入材を適切に選定できれば大幅な脱炭素化が可能であることが確認された。

(2)配合試験

図 3.1 に各注入材のサンドゲルの養生日数 7, 14, 28 日における一軸圧縮強さを示す。

特殊中性・酸性系は養生日数における変化はほぼなく、平均値は 0.31MN/m²であった。スラグ系は養生日数における変化が大きく、28 日で平均値は 2.73MN/m²であり、14 日と比較すると約 1.5 倍の上昇が見られた。セメント系は CO₂ 排出量で検討した配合では、28 日で 1.0MN/m²であり、スラグ系と比較して 0.5 倍以下であった。

(3)三次元注入試験

図 3.2 と図 3.3 に各注入材の改良体の全景を示す。特殊中性・酸性系は、注入速度 1L/min、注入圧力 0.05MPa 以下、注入量 15.5L、改良体積は 37.0L、サンプリングした改良体の平均一軸圧縮強さは 0.14MN/m²であった。スラグ系は注入速度 1~3L/min、注入圧力 0.1~0.2MPa、注入量 16L、改良体体積 44.0L、サンプリングした改良体の平均一軸圧縮強さは 1.0MN/m²程度であった。

配合試験や三次元注入試験の結果より、溶液型は懸濁型と比較して低圧力で注入できたことから、1つの注入箇所に対して広い改良範囲を確保することが可能であり、広範囲の地盤強化などに適していると考えられる。また、浸透を期待したい地盤への適用も検討できる。懸濁型は溶液型と比較して注入圧力より、浸透性は劣るが、高い一軸圧縮強さが得られるため、砂礫層などの注入が容易な地盤条件や、既設構造物直下などの空洞部への充填が必要な現場に適していると考えられる。

4.まとめ

注入材の中でセメントを使用せず、環境負荷低減効果の高い溶液型特殊中性・酸性系と懸濁型スラグ系の CO₂ 排出量、強度、浸透性を検証した結果、両注入材とも懸濁型セメント系と比較して大幅な CO₂ 削減が期待でき、溶液型の高浸透性と懸濁型の高強度が確認された。

＜参考文献＞

- 1) 日本グラウト協会, 耐久グラウト注入工法施工指針, P.26

- 2) 渡邊ら, セメントを使用しない懸濁型注入材の改良性能評価(その 1), 第 58 回地盤工学研究発表会, 2023(投稿中)
- 3) 日本建設業連合会, 低炭素型コンクリートの普及促進に向けて

表 3.1 各注入材の CO₂ 排出量

注入材	特殊中性 酸性系	スラグ系	セメント系
	溶液	懸濁	懸濁
主剤	特殊水ガラス	高炉水砕スラグ	普通ポルトランドセメント
主な CO ₂ 発生材料	珪酸化合物	珪酸化合物	セメント
材料製造時 CO ₂ 排出量	341 kg-CO ₂ /t	341 kg-CO ₂ /t	770 kg-CO ₂ /t
1 m ³ 作液時材料使用量	264 kg	111 kg	312.5 kg
1 m ³ 作液時 CO ₂ 排出量	90kg	38 kg	241kg
対セメント系	37%	16%	-

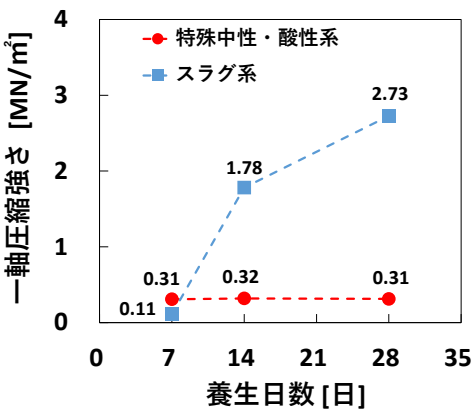


図 3.1 養生日数における一軸圧縮強さ

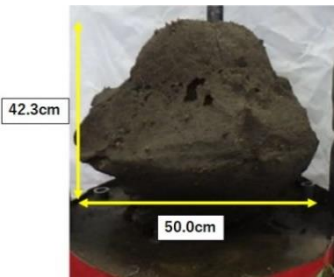


図 3.2 溶液型改良体

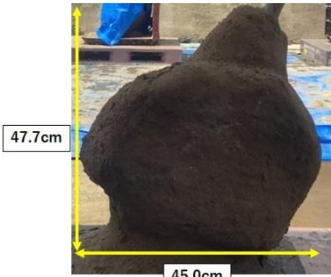


図 3.3 懸濁型改良体