

薬液ホモゲルの収縮とサンドゲルの強度発現の関連性について

薬液注入 収縮 一軸圧縮強度

早稲田大学 学生会員 ○岩崎 光紀  
 早稲田大学 国際会員 赤木 寛一  
 早稲田大学 学生会員 佐藤 友彦、小川 航平  
 ケミカルグラウト(株) 川村 淳、渡邊 陽介

1.はじめに

我が国は世界有数の地震大国として知られており、その地震による被害の原因の1つが液状化現象である。昨年の東日本大震災を筆頭に地震による液状化の被害は甚大である。既存施設直下の地盤に対して液状化対策が必要となった場合、締め固め工法のような従来の工法では、いったん既存施設を撤去して施工を行う必要があるため、このような工法が事実上不可能となる場合も多い<sup>1)</sup>。このような背景から、既存施設直下地盤に適用できる、より経済的で大規模施工が可能な液状化対策工法として注目されているのが“薬液注入工法”である。この薬液注入工法における固結砂の強度発現についてはホモゲルの収縮に着目した研究<sup>2)</sup>があるが、未解明の点が多い。ここでは、薬液ホモゲルの収縮に着目して、薬液固結砂の強度発現メカニズムについて実験的検討を行った。

2.実験内容

(1) 供試体条件

実験では表1、2に示す配合の特殊中性・酸性薬液を用いて、表3に示す硅砂4号とそれと物理的性質に近い表4のガラスビーズを用いて薬液改良供試体を作製した。また、供試体の大きさはφ5cm×10cmで、相対密度が80%となるように水中落下法によりプラモールド中の薬液に投入して作製した。なお、ゲルタイムは表1の配合が約12時間であり、表2の配合は長く(約56.5時間)設定したものである。

表1. 薬液10 当りの配合表 (配合1)

| A 液 |          | B 液 |         |
|-----|----------|-----|---------|
| 主剤  | 250 (ml) | 反応剤 | 25 (ml) |
| 水   | 650 (ml) | 添加剤 | 10 (g)  |
|     |          | 水   | 69 (ml) |

表2. 薬液10 当りの配合表 (配合2)

| A 液 |          | B 液 |          |
|-----|----------|-----|----------|
| 主剤  | 250 (ml) | 反応剤 | 30 (ml)  |
| 水   | 250 (ml) | 添加剤 | 10 (g)   |
|     |          | 水   | 464 (ml) |

表3. 硅砂4号の物理的性質

|                            |      |
|----------------------------|------|
| 土粒子密度 (g/cm <sup>3</sup> ) | 2.62 |
| 平均粒径 D <sub>50</sub> (mm)  | 0.85 |

表4. ガラスビーズの物理的性質

|                               |      |
|-------------------------------|------|
| ガラスビーズ密度 (g/cm <sup>3</sup> ) | 2.51 |
| 平均粒径 D <sub>50</sub> (mm)     | 0.85 |

(2) 実験概要

まず、表1,2に示した配合で作製した薬液ホモゲルを用いて体積変化測定を行い、その後にガラスビーズと硅砂を用いた一軸圧縮試験を実施し、強度発現に寄与していると考えられる薬液ホモゲルの体積収縮との影響を実験的に考察した。

(a) 薬液ホモゲルの体積変化測定

薬液は溶液状からゲル化物状へと変化する際に体積変化を起こす可能性があり、ゲル化に伴い水(離しょう水)が出ることが考えられる。実験手順は次のとおりである。

- 1) 薬液を、A液とB液を混合することにより作製する。また、これを薬液の基準濃度とし、薬液に水を希釈させることにより3ケースの薬液濃度(60, 80, 100%)を設定した。ここで希釈濃度 = {薬液量 / (薬液量 + 加水量)} × 100 (%) と定義する。なお、今回は配合1のみ水を希釈したケースを作製し、配合2については100%のものだけ作製した。
- 2) それぞれの濃度の薬液を容積100mlのメスフラスコの50mlまで入れる。
- 3) 薬液を入れたメスフラスコを20℃で保温状態にしたインキュベータの中に入れる。この際、水の蒸発を防ぐためにメスフラスコの上部にはふたをした。
- 4) ゲル化後、100mlの位置まで水を注ぎ、7, 14, 21, 28日経過後に水の体積を測定する。100%のものについては1日経過後の体積も測定した。
- 5) 薬液ホモゲルの収縮量は(全体の体積) - (測定した水の体積) で求めた。薬液ホモゲルの体積収縮率(%)は(収缩量) ÷ (初期に入れた薬液の量50ml) で求めた。

(b) 一軸圧縮試験

- 1) 薬液改良体(サンドゲル)を東北硅砂4号とそれに近い物性を持つガラスビーズの2種類を用いて薬液改良体を作製する。薬液の濃度は、表1と2の配合(ホモゲルの収縮試験と同じ薬液を使用)のものを100%とし、60%, 80%, 100%について改良体の作製を行う。

- 2) 経過日数7日の気中密閉養生の後、一軸圧縮試験を行い強度の現れ方に違いができていないかどうかを確認する。

3. 実験結果

(a) 薬液ホモゲルの体積変化測定

図1に薬液ホモゲルの経過日数とホモゲルの体積収縮率の関係を示す。この図から配合1と2ともに経過日数が14日目まではホモゲルの体積収縮率は顕著に増加しているという結果となっている。経過日数14日以降は配合1においては60, 80, 100%ともに体積収縮率は若干の減少もしくは一定となることが分かる。しかしながら、配合2においては体積収縮率の増加は経過日数0~14日の増加率と比べてもほぼ等しく増加し続けていることが分かる。このことから薬液ホモゲルの収縮と経過日数の関係は配合1においては経過日数14日限りまでは体積収縮率が増加し、それ以降は減少または一定する傾向が見られることが分かり、ゲルタイムを長くした配合2では経過日数28日まで体積収縮率が増加し続け、今後経過日数が経過していくことにより、いずれ一定となることが予想される。

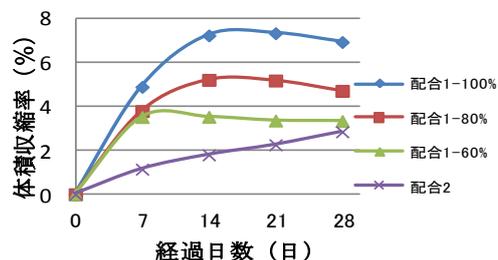


図1. 経過日数における薬液ホモゲルの収縮率

(b) 一軸圧縮試験

珪砂4号、ガラスビーズそれぞれの一軸圧縮試験の結果を表5と表6に示す。また、表5, 6の結果をグラフで図2と図3として示す。珪砂4号、ガラスビーズともに各濃度3本ずつの供試体を作製しその平均値を示した。この結果、珪砂4号とガラスビーズともに日数が経過するにつれて一軸圧縮強度はほぼ一定、またはわずかに減少する傾向があることが分かる。

表5. 珪砂4号の一軸圧縮試験結果 (kN/m<sup>2</sup>)

|          | 7日    | 14日   | 21日   | 28日   |
|----------|-------|-------|-------|-------|
| 配合1-100% | 130.4 | 128.3 | 99.9  | 106.3 |
| 配合1-80%  | 113.6 | 114.0 | 112.8 | 95.6  |
| 配合1-60%  | 83.4  | 75.9  | 70.4  | 56.3  |
| 配合2      | 133.9 | 143.7 | 128.4 | 156.4 |

表6. ガラスビーズの一軸圧縮試験結果 (kN/m<sup>2</sup>)

|          | 7日    | 14日   | 21日   | 28日  |
|----------|-------|-------|-------|------|
| 配合1-100% | 104.9 | 107.7 | 106.2 | 64.4 |
| 配合1-80%  | 70.3  | 75.8  | 90.1  | 84.5 |
| 配合1-60%  | 26.7  | 32.8  | 44.0  | 34.0 |
| 配合2      | 90.7  | 116.1 | 103.0 | 83.1 |

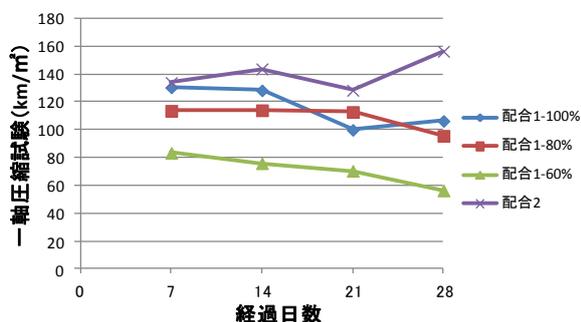


図2. 経過日数と一軸圧縮試験 (珪砂4号)

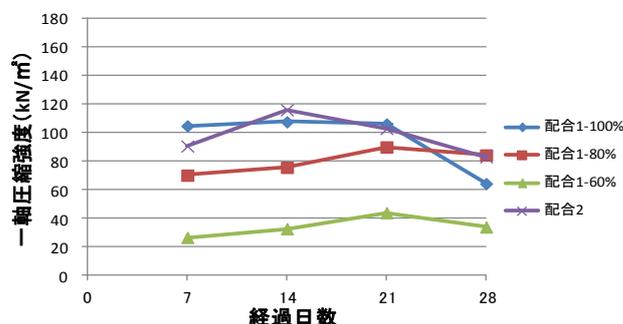


図3. 経過日数と一軸圧縮強度 (ガラスビーズ)

薬液ホモゲルの収縮試験の結果と一軸圧縮試験の結果から、ホモゲルの体積変化が顕著に生じる養生期間7日から14日に関してはサンドゲルの一軸圧縮強度の変化はあまり見られず、体積変化が安定した14日以降については、低下する結果となった。

4. まとめ

本研究は、特殊中性・酸性薬液ホモゲルの収縮とサンドゲルの強度発現の関係性について把握することを目的とした。実験的検討から得られた成果は以下の通りである。

- 1) 薬液ホモゲルは日数が経過することによって収縮するが、今回の結果では8%以内に収まっている。
- 2) 薬液ホモゲルの体積変化が顕著に生じる養生期間14日以前では、一軸圧縮強度の変化はあまり見られず、それ以降の体積収縮の安定期においては低下する傾向となった。このことは、今後検討する必要がある。
- 3) 今後、配合した薬液の条件(ゲルタイムなど)などを変えながら強度発現に寄与する原因についてホモゲルのゲル化プロセスを含めて検討する。

参考文献:1) 財団法人沿岸開発技術研究センター “浸透固化処理工法技術マニュアル” pp1. 2003

2) 末政、島田、佐々木: “低シリカ濃度の薬液を用いた改良体の強度増加メカニズム” 土木学会第61回 年次学術講演会、2006年9月