

加熱養生によるゲルの長期強度変化測定の検証

東京都市大学 学生会員 ○滝浦 駿介
 東京都市大学 正会員 末政 直晃
 強化土エンジニアリング(株) 正会員 佐々木 隆光

1. はじめに

従来、薬液注入工法は仮設的な補助工法に過ぎなかったが、近年では薬液の性能が向上¹⁾²⁾し、液状化対策などの恒久性を必要とする分野でも需要が高まり、薬液の長期耐久性が要求されるようになった。しかし、薬液の長期強度メカニズムは未だ明らかになっておらず、耐久性について検証するには長期間の歳月を必要とするため、短期間での長期耐久性の検証が急務となっている。現在では長期強度の予測を行うために温度を加えた浸水養生³⁾や、地下水の流れを模擬した流水養生⁴⁾が行われている。本研究では加熱養生を行うことにより短期試験での長期強度変化予測の可能性の検討を行っている。なお、加熱養生による促進のメカニズムは、アレニウスの化学反応速度理論に則ったものである。今回は、常温 25℃と促進 45℃、促進 55℃で養生した材令 1 日から 650 日までの供試体の強度を一軸圧縮試験で検証したので報告する。また、薬液は活性シリカコロイドとシリカゾルの二種類で実験を行った。

2. 実験条件

2-1. 注入材の特徴

本実験に使用した薬液は、濃度 29%に調整した活性シリカコロイドと濃度 6%に調整したシリカゾルである。活性シリカコロイドはイオン交換法により水ガラスの劣化要因となるアルカリを除去して得られた活性シリカをベースとしており、長期にわたりシリカの溶脱がない恒久注入材である。シリカゾルは水ガラスのアルカリを酸で中和した非アルカリ性水ガラス溶液をベースとした注入材である。活性シリカコロイドは長期に渡って高い強度を保つが、シリカゾルは経時的に強度が低下する傾向を示す。これは、ホモゲルの体積収縮によるものと考えられている。

2-2. 供試体作製方法及び養生

供試体には豊浦砂に薬液を浸透注入したサンドゲルと薬液単体をゲル化させたホモゲルの二種類を作製した。サンドゲルは相対密度が 60%となるよう、砂を直径(内径) 5cm のモールドに自由落下させ、上に重りを載せ、槌でモールド側面を叩くことで高さを 10cm に揃えた。その後、真空ポンプで脱気した薬液を浸透注入させ、ゲル化後に脱型した。ホモゲルは、浸透注入後に残った薬液をメスシリンダーで 200ml 量り、直径(内径) 5cm の容器に移し、ゲル化後に脱型した。活性シリカコロイドによる供試体の養生は常温 25℃と促進 45℃の 2 パターン、シリカゾルは常温 25℃と促進 45℃、55℃の 3 パターンで行った。

3. 実験結果

活性シリカコロイドのサンドゲルは図-1 に示すように、加熱養生した供試体の一軸圧縮強度が常温で養生したものより高い圧縮強度を発揮した。活性シリカコロイドは経時的に強度が増加する恒久グラウト材であることが確認できた。また、図-2 に示すようにホモゲル自体の圧縮強度が増加している。したがって、土粒子間のゲルの強度が増大したため、サンドゲルの圧縮強度が増大したと考えられる。活性シリカコロイドは、体積変化がほとんどない恒久グラウト材であり、図-3 に示すように養生開始初期で体積変化量が-2.50%になったがその後は安定している。図-1、図-2、

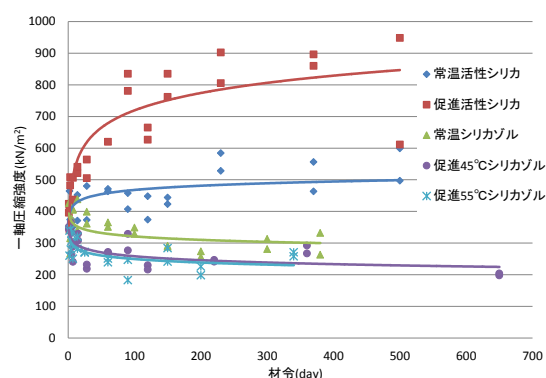


図-1 サンドゲルー軸圧縮強度

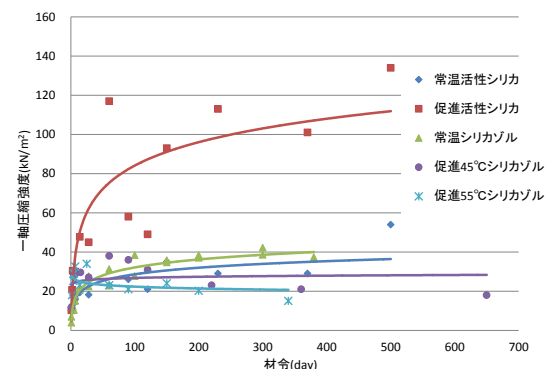


図-2 ホモゲルー軸圧縮強度

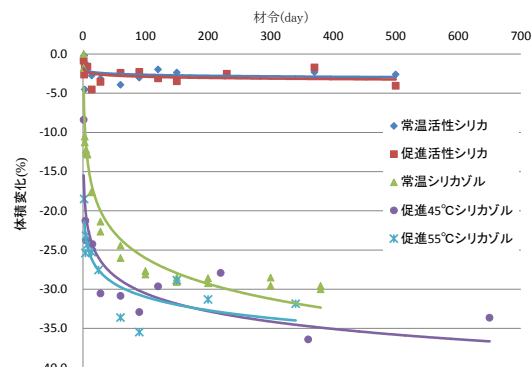


図-3 ホモゲル体積変化量

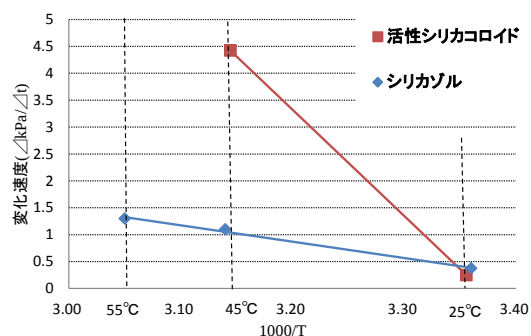


図-4 サンドゲルアレニウスプロット

図-3 を見比べると体積変化量が大きい期間で急激に強度が増加しており、体積変化量が安定してくると強度増加もなだらかな曲線になっていることが確認できる。

シリカゾルのサンドゲルは図-1 に示すように、加熱養生した供試体の一軸圧縮強度が常温で養生したものより低い強度を示した。シリカゾルは初期段階では強度が増加するものの、その後は経時的に強度が低下するグラウト材であることが確認できた。図-2 に示すようにホモゲルは初期段階では強度が増加しているが、加熱養生を行った供試体は材令 50 日以降の一軸圧縮強度はほぼ一定となる傾向を示した。図-3 は ホモゲルの体積変化量を示したグラフである。シリカゾルは体積変化が生じるグラウト材であり、加熱養生を行った供試体ほど変化量大きい。図-1、図-2、図-3 を見比べると体積変化量が大きい養生ケースほど圧縮強度が低下している。常温で養生を行った供試体は材令 200 日を過ぎてもホモゲルは圧縮強度が増加しているが、サンドゲルにおいては促進養生と同様に圧縮強度が低下している。これは土粒子間のゲルの体積収縮により土粒子間に空隙が生じ、ゲルの粘着力とゲルの拘束圧が減少、あるいは消失したことが原因として考えられる。

図-4 は化学反応の反応速度を最も端的に反映する数値である反応速度定数 K をサンドゲルの一軸圧縮強度の変化速度に置き換えることでアレニウスプロットを作成した。このグラフを用いることで促進養生を行い、強度変化を促進させ、指定した強度に達するまでの経過時間の予想が可能である³⁾。したがって、促進養生を行った供試体の圧縮強度とアレニウスプロットから算出した速度係数を用いることで強度を予測することが可能である。以上のことから図-4 から算出した速度係数を用いて、活性シリカコロイドのサンドゲルの強度予想とシリカゾルのサンドゲルの強度を予測したので図-5、図-6 にそれぞれ示す。

活性シリカコロイドのサンドゲルの予測強度は材令 14 日から 500 日の強度変化が実測値、予測値共に同様の傾向を示した。また、材令 120 日以降の圧縮強度の増加が実測値、予測値共に確認できた。

シリカゾルのサンドゲルの予測強度は、実測値と予測値に多少の誤差が生じたものの、強度変化は類似した傾向となった。

図-7 は反応速度定数 K をホモゲルの一軸圧縮強度の変化速度に置き換えることでアレニウスプロットを作成した。図-7 から算出した速度係数を用いて、活性シリカコロイドのホモゲルの強度を予想したので図-8 に示す。実測値、予測値共に強度変化が類似していることが確認できた。

4. まとめ

今回の実験において活性シリカコロイドのサンドゲル、ホモゲル、シリカゾルのサンドゲル、ホモゲル全てで加熱養生による促進効果を確認することが出来た。また、現在珪砂 6 号シリカゾル 6% で作製した供試体を養生しているのでデータが揃い次第報告する。

《参考文献》

- 1) 米倉亮三、島田俊介：薬液注入における長期耐久性の研究、土質工学会誌、「土と基礎」、Vol.40, No.12, pp.17-22, 1992
- 2) 三輪求、米倉亮三：水ガラス系グラウト材の基本的性質について、土質工学論文集, vol.34, No.3, pp.113-121, 1994
- 3) 加賀：水ガラス系注入材の安定性と注入固結砂の長期強度の予測、土木学会論文集 No.652 P195-205, 2000
- 4) 渡辺ら：流水試験を利用した薬液固結砂の長期耐久性調査について、土木学会第 67 回年次学術講演会, 2012.9

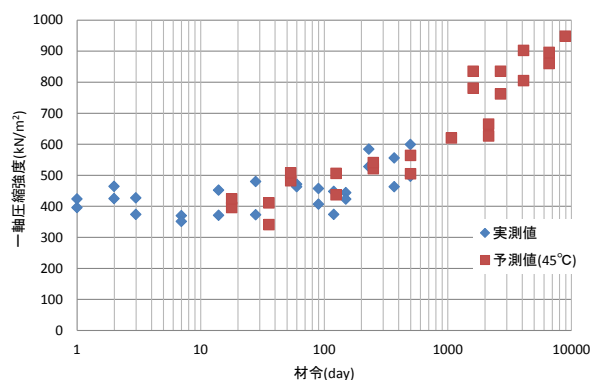


図-5 活性シリカ sand 予測強度

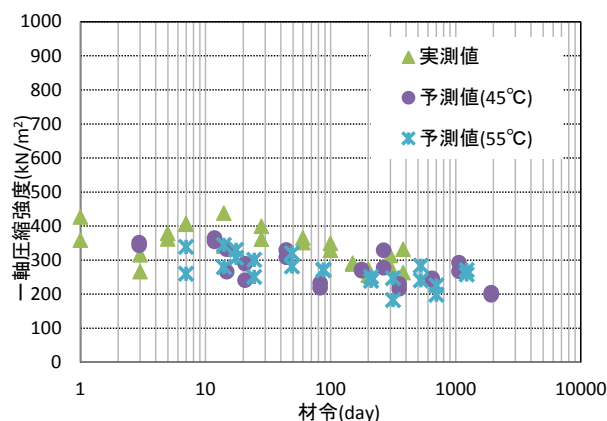


図-6 シリカゾル sand 予測強度

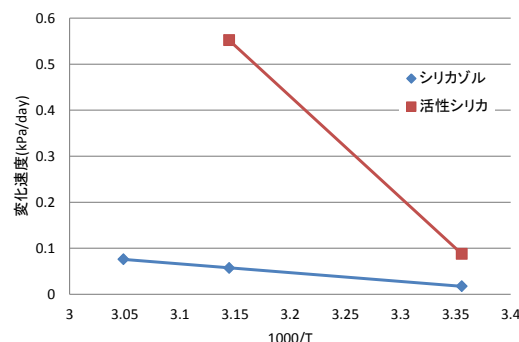


図-7 ホモゲルアレニウスプロット

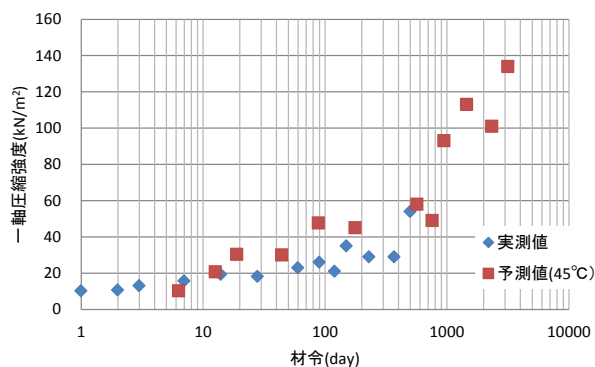


図-8 活性シリカ plane 予測強度