

薬液で固結させた砂の長期耐久性について

早稲田大学 学生会員 石田 聖一  
 早稲田大学 正会員 赤木 寛一  
 早稲田大学 学生会員 鈴木 慎一  
 早稲田大学 野中 政幸

1. まえがき

本研究では、飽和砂地盤の液状化対策に用いられる浸透型薬液注入工法を対象とする。薬液を土中に浸透注入することが地盤に与える効果としては、下記のような現象を考えることができる。土中の間隙水が薬液と置換されるため、土粒子間に薬液の粘着力が加わり、土粒子骨格が崩れにくくなり過剰間隙水圧の上昇が抑制される。そのためには、初期状態として注入地盤を一体化させるためになるべく密な状態にし、且つ固結物が長期にわたり初期性能を維持しうるような注入を行わなければならないと考えられる。ここでは、大型土槽を用いた注入実験を行い、注入固結物に対して一軸圧縮試験、シリカ溶脱率の測定、密度計算によって固結物の長期的な性能評価を試みた。

2. 実験装置・使用材料・実験方法

おり、ロッドには 5(mm)×25(mm)の注入口が四方に設けられて、そこから注入材が注入できる。試験体の上端、下端を水槽と接続し、試験体を飽和させた後、注入装置に注入材を入れ、定速注入を行った。

注入条件は拘束圧 30(kPa),注入量 4.0(l),注入速度 1.0(l/s)とする。なお、試験体に用いた試料の物性値を表 1 に、注入材として用いた二種類

の薬液の物性値を表 2 に示す。実験装置図を図 1 に示す。注入試験体は高さ 600(mm),直径 600(mm)の円柱形で、ゴムスリーブ内に水を加えながらパイプレータを使って砂を締め固めて作成した。試験体の下部からは高さ 340(mm),直径 60(mm)の円筒形のロッドが立ち上げられて次に、注入実験により形成され、所定の期間(最長 112 日間)水中養生した固結物から採取した試料とモールドで作成したサンドゲルについて一軸圧縮試験を行った。また、併せてそれぞれの注入材から作製したホモゲルを水中養生し ICP 分析によって溶脱シリカ量を計測し、その値をもとにシリカ溶脱率の計算を行った。

3. 実験結果・考察

(1)一軸圧縮強さ

それぞれの薬液による固結物の一軸圧縮強さの経時変化を図 2 図 3 に示す。図 2 のシリカゾル溶液については、サンドゲルと、注入固結物から作製した供試体の強度変化は類似した強度変化傾向を見せており、養生 28 日前後で小さなピークを作り、その後一定の一軸圧縮強さを保ちながら推移している。その関係と異なり、図 3 の水ガラス溶液については、サンドゲルと、注入固結物から作成した供試体はともに養生直後から強度は次第に減少していき、サンドゲルについては養生 112 日、注入固結物から作成した供試体については養生 14 日で供試体の作製は不可能になった。

キーワード 薬液注入,一軸圧縮強さ,シリカ溶脱率,密度

連絡先 〒169 - 8555 東京都新宿区大久保 3 - 4 - 1 - 58 - 205 TEL . 03 - 5286 - 3405

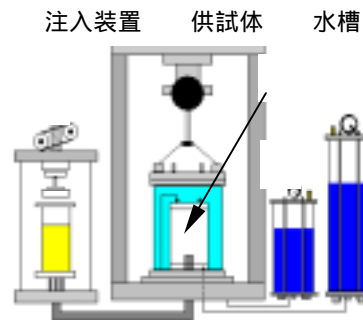


図 1 実験装置

表1 試料の物性値

試料	ケイ砂7号.8号
土粒子密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.63
乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.56
透水係数 (cm/sec)	6.99 × 10 <sup>-3</sup>
平均径(mm)	0.106
有効径(mm)	0.048

表2 試料の物性値

試料	ゲルタイム(h)	比重	ファンネル粘度(sec)
水ガラス	約3.0	1.12	25
シカガリ	約3.0~10.0	1.10	24

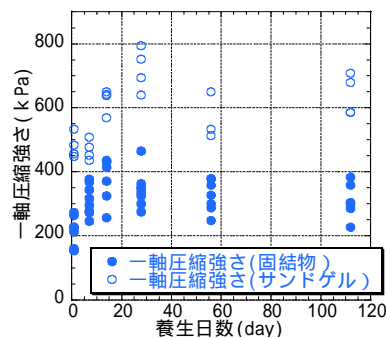


図 2 シリカゾルの養生日数と一軸圧縮強さ

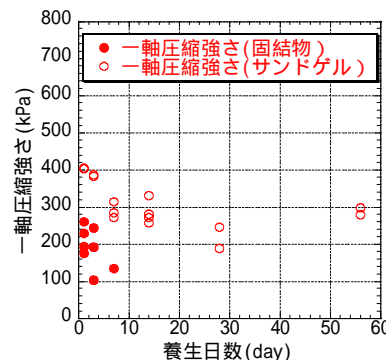


図 3 水ガラスの養生日数と一軸圧縮強さ

## (2) シリカ溶脱率

図4にシリカ溶脱率の経時変化を示す。これより、シリカゾル溶液のシリカ溶脱率はゼロに近いので、固結物強度変化は他の要因にあると考えられる。よって水ガラス溶液の強度変化とシリカ溶脱率の関係に着目する。水ガラス溶液のゲル化のメカニズムは、水ガラスの末端にあるNaを除去する反応が起こり、続いてシラノール基の間で重合縮合反応が起こり、シロキサン結合ができる。そしてシロキサン鎖が三次元的に発達し、ゲルが網目状に形成されゲル化が進行する。一般的に有機系水ガラス溶液においては、ゲルタイムの問題もあり、十分な反応材を用いることができないために未反応部分が残存してしまい、シリカの溶脱が起こると考えられる。

本研究においては、溶脱率が約5~7%で注入固結物からの供試体の作製がほぼ不可能となった。これはシリカの溶脱が起こることにより、未反応部分が流出し、それに加えて、ゲルのネットワークが破壊したためであると考えられる。やや低い溶脱率で崩壊が起こっている要因としては、固結物を屋外の水槽に直接静置しておいたため、また溶脱率が全体的に低い要因としてはホモゲルの養生水が少なく、早い段階で飽和状態に近づいてしまったためと考えられる。

## (3) 一時圧縮強さ変化と供試体密度の関係

水ガラス溶液は早い段階で崩壊してしまったため、シリカゾル溶液のみについて、固結土の一軸圧縮強さの変化を供試体密度に着目した立場から考察する。図5は、シリカゾル固結物の供試体密度の養生に伴う変化を表したものである。これより密度は養生28日まで急速に増加し、その後緩やかに減少するがほぼ一定で推移している。この傾向は、前節で述べた一軸圧縮強さについても見られ、急速に増加しピークに達した後は緩やかに強度が減少している。このことから、一軸圧縮強さと密度との間には非常に密接な関係があると考えられる。

図6は供試体密度と一軸圧縮強さの関係をまとめたものであり、ほぼ1対1の関係にあるといえる。密度の増加は、間隙を満たしているシリカゾル溶液の反応の進行に伴う体積変化によって間隙が減少し、土粒子間の結びつきが増加したために起こるものと考察することができる。

図7は、シリカゾルのホモゲル体積の経時変化を実測したものである。これより、シリカゾル薬液の反応は20日前後までに急速に行われて、ホモゲル体積は減少しているのが見て取れ、その後安定した状態に入ると思われる。その結果、間隙を満たしているシリカゾル溶液の体積収縮によって土粒子が結びつけられ、供試体密度が増加すると考えることができる。今回の結果では、固結物の密度及び一軸圧縮強さの平均値は養生14日で最大の値を示したが、その後の値の推移を見る限りにおいて、薬液反応の進展速度と密度増加は密接な関係があると判断してよい。

## 4. まとめ

水中養生後に測定した二種類の薬液固結土の強度変化特性は異なり、水ガラス固結物は養生7日後に崩壊したが、シリカゾル固結物については300kPa程の強度を保ち続けると思われる。強度変化の要因としては、水ガラス固結物に関してはシリカ溶脱率、シリカゾル固結物に関しては供試体密度が重要である。

**謝辞** 本研究の実施にあたっては、ケミカルグラウト(株)のご援助を得たことを付記し謝意を表す。

**参考文献** ・日本薬液注入協会：正しい薬液注入工法(2002)

・米倉亮三・島田俊介：薬液注入における長期耐久性の研究，土と基礎(1992)

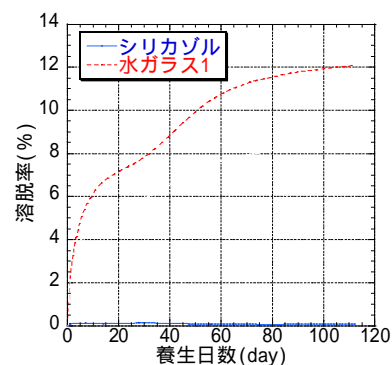


図4 養生日数とシリカ溶脱率

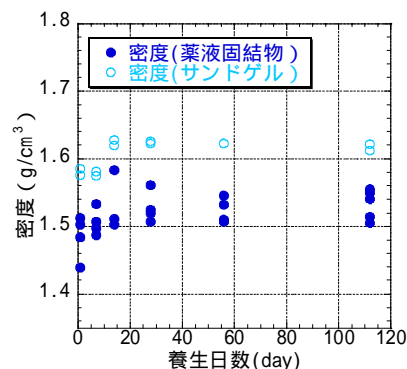


図5 シリカゾル固結物の密度の経時変化

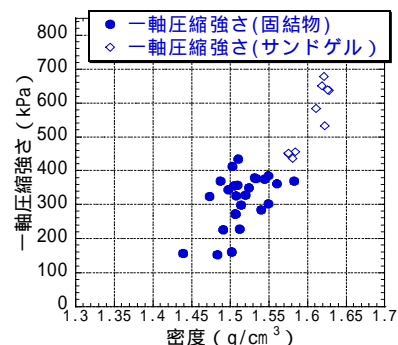


図6 密度と一軸圧縮強さ

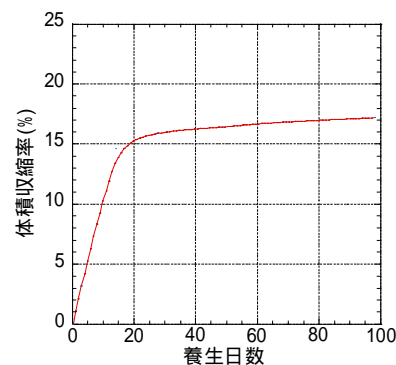


図7 ホモゲルの体積の経時変化