

## 薬液ホモゲルの体積変化が薬液固結砂の力学性状に与える影響について

薬液 ホモゲル CT スキャン

早稲田大学 学生会員 ○仲田 泰大

早稲田大学 国際会員 赤木 寛一

ケミカルグラウト(株) 正会員 川村 淳, 渡邊 陽介

## 1. はじめに

日本は世界でも有数の地震大国であり、近年日本各地で大規模な地震による被害が発生している。その中でも阪神淡路大震災や東日本大震災において、埋め立て地を中心に発生した液状化の被害は甚大なものであった。その液状化対策の工法として薬液注入工法がある。薬液注入工法とは、薬液が砂粒子間の水と置き換わりながら浸透し、地盤を固結させる工法である。この薬液注入工法における固結砂の力学性状の調査は、室内で作製したモールド供試体を用いて行われる場合が多いが、その力学性状についてはバラつきが生じることが多く、強度の発現についてはホモゲルの収縮に着目した研究<sup>1)</sup>があるが、未解明な点が多い。

ここでは、X線CTスキャンを使用し、固結砂をCTスキャンすることでその体積変化特性を詳細に調査し、薬液ホモゲルの体積変化が薬液固結砂の力学性状に与える影響を調査した。

## 2. 実験条件

使用した珪砂の物理的性質と薬液の配合をそれぞれ表1、表2に示した。また、供試体(φ5×H10 cm)は薬液浸透注入法<sup>2)</sup>により作製し、相対密度Drは80%とした。

表1 東北珪砂4号の物理的性質

土粒子密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.62
最大間隙比 e <sub>max</sub>	0.713
最小間隙比 e <sub>min</sub>	0.469
D <sub>50</sub> (mm)	0.85

表2 薬液の配合表

A液	B液
主剤 250(ml)	反応剤 23.75 (ml)
水 650 (ml)	添加剤 16.25(ml)
	水 60 (ml)

## 3. 実験概要

まず表2に示す配合の薬液ホモゲルの体積変化測定を行い、その後に薬液改良供試体についてCTスキャンを行った。実験手順を図1に示した。

## (1) 薬液ホモゲルの体積変化について

- 1) 薬液をA液とB液を混合することにより作製する。ゲルタイムは6時間である。
- 2) 薬液を容積 100ml のガラス製とプラスチック製のメスフラスコの 50ml まで入れる。(質量で測定)
- 3) 薬液を入れたガラス製とプラスチック製メスフラスコを20℃で保温状態にしたインキュベータの中に入れる。この時、水の蒸発を防ぐためにメスフラスコの上部には蓋をした。
- 4) ゲル化後、100ml の位置まで水を注ぎ、ゲルタイムの実数倍に相当する経過時間で添加した水の体積を測定する。
- 5) 薬液ホモゲルの体積変化量は、(全体の体積) - (添加した水の体積) で求めた。また、薬液ホモゲルの体積変化率(%)は(体積変化量)÷(初期に入れた薬液の量 50ml)で求めた。

## (2) マイクロ X 線 CT スキャンについて

土質供試体に対してX線CTスキャンを用いた研究例<sup>3) 4)</sup>において、地盤工学へのCTスキャンの適用が試みられている。これらによるとCTスキャンにより得られるGL値と供試体密度には相関関係があり、供試体内部の密度分布を測定する手段として、X線CTスキャンは有効であることが示されている。本研究で用いたX線CTスキャン装置を写真1に示した。このGL値(GrayLevel: X線吸収量の度合い)と密度との相関関係を利用し、薬液ホモゲルの体積変化が薬液固結砂の力学特性に及ぼす影響について検討を行った。

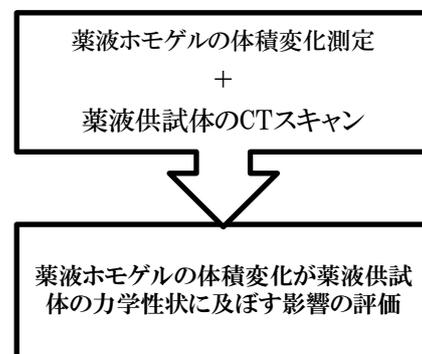


図1 実験手順



写真1 X線CTスキャン装置

#### 4. 実験結果

##### (1) 薬液ホモゲルの体積変化特性

薬液ホモゲルの体積変化測定を行った結果を図 2 に示す。図 2 より、ゲルタイムの 2.5 倍近くの経過時間まで、ホモゲルが膨張し、その後、収縮していることが分かる。また、収縮過程についてみると、ガラス製のメスフラスコで測定した場合は、体積変化率が 2% 以内に収まっているのに対し、プラスチック製の場合は、体積変化率が 10% 程度と大きい値になっていることが確認できる。この結果は、薬液ホモゲルには Si が含まれているので、ガラスとの親和性が高くガラス製メスフラスコの壁面に付着し、収縮が抑えられているためと考えられる。

##### (2) マイクロ X 線 CT スキャン試験結果



図 3 供試体横断面図

CT スキャンで得られる GL 値は対象物の密度と相関関係があり、図 3 は断面画像の一例である。この図で密度の高い固結砂供試体部分が明るく GL 値は高く、密度の低いアクリル製のモールド部分がやや暗く GL 値は低くなっている。ここでは、既往の研究をもとに GL 値が 45000 以上のボクセルを固結砂供試体とみなした。すなわち、ある供試体断面において 45000 以上のボクセルの総数をカウントしそれを供試体断面積とした。

図 4 は供試体断面積の変化から得られた体積変化率との供試体下端から上端までの分布を示したものである。体積変化率は下の式 (1) を用いて算出した。

$$\text{体積変化率} = \frac{a-b}{a} \times 100(\%) \quad (1)$$

ここで、a: 供試体断面の初期状態のボクセル数 (ゲルタイム比 1.5 の時)

b: ある経過時間におけるボクセル数

まず、図 4 よりゲルタイム比で 2.7 倍の経過時間まで供試体全体にわたって膨張し、その後収縮していることがわかる。図 5 は、供試体の断面ごとの体積変化率をゲルタイム比の経過時間ごとに表したものである。図 2 と図 5 を比較すると、ゲル化初期に膨張し、その後収縮している挙動が類似しており、薬液ホモゲルの体積変化が、固結砂の体積変化に与える影響を確認できた。また、体積変化の度合いは固結砂の方が小さく、ガラス製メスフラスコで測定した薬液ホモゲル体積変化の半分程度である。これは、砂粒子が Si を含んだ化合物であり、薬液との親和性が高いということも考えられるが、土粒子骨格の拘束効果による影響が強いと考えられる。

##### 5. 本研究のまとめ

- 1) ゲルタイム 6 時間の薬液ホモゲルの体積変化は、ゲルタイム比 2.5 倍の経過時間近くまで薬液ホモゲルが膨張し、その後収縮している。また、薬液はガラスとの親和性が高くガラス製メスフラスコの壁面に付着し、収縮率が抑えられていることが確認された。
- 2) 薬液ホモゲルの体積変化に伴い、薬液固結砂においても固結過程における体積変化が確認された。その度合いは、ホモゲルの体積変化測定結果と比較すると、ガラス製容器の値よりも小さな値であった。また、薬液固結砂の強度発現についてはバラつきが生じることが多く、強度発現のバラつきの原因と考えられる薬液固結砂の密度分布の不均一さをホモゲルの体積変化から検証していく必要がある。

謝辞：本研究の X 線 CT スキャン実施にあたり、港湾空港技術研究所、水谷氏、篠永氏のご支援、ご指導を賜ったことを記し謝意を表します。

##### 参考文献

- 1) 末政、島田ら “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 2006.9
- 2) 森、赤木ら “供試体の作製方法が薬液固結砂の性状に及ぼす影響について” 第 10 回地盤工学会関東支部発表会 2013.10
- 3) 菊池、水谷ら “マイクロフォーカス X 線 CT スキャナの地盤工学への適用性の検討” 港湾空港技術研究所資料
- 4) 高橋、川尻ら “締めめ方法がシルト質土の内部構造に及ぼす影響について” 第 46 回地盤工学研究発表会 p345-346 2011.7

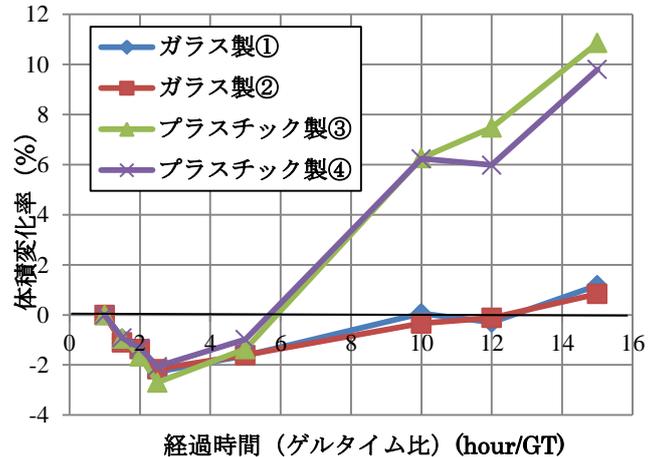


図 2 体積変化率と経過時間の関係 (ホモゲル)

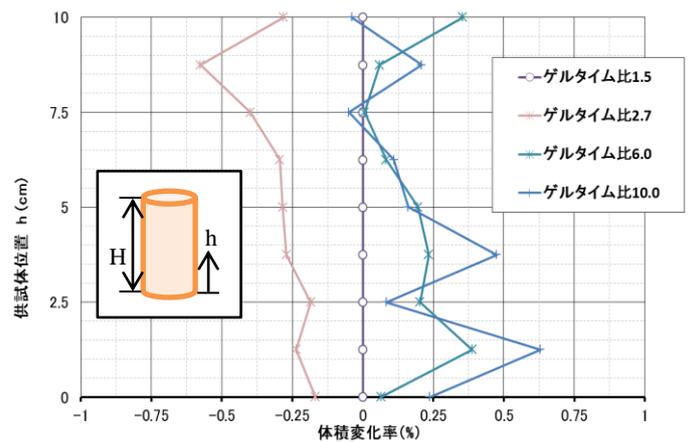


図 4 供試体位置における体積変化率の変化 (薬液固結砂)

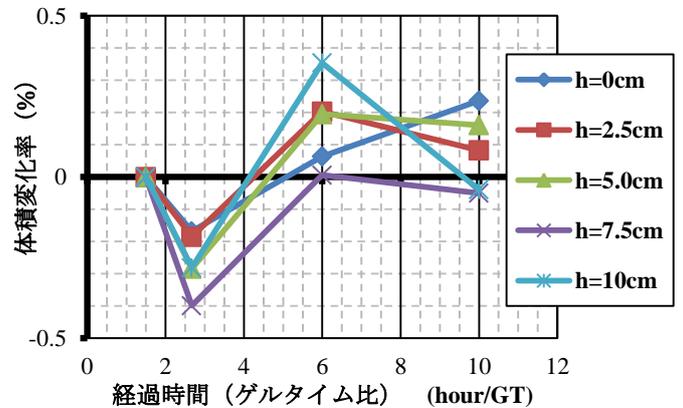


図 5 供試体体積変化率と経過時間との関係 (薬液固結砂)