

# 光ファイバーを用いたグラウト充填率のセンサリング

神戸大学大学院 学生会員 ○松浦二享 愛媛大学 正会員 安原英明  
愛媛大学 正会員 木下尚樹

## 1. 序論

日本は地震大国であるため、巨大地震に対する防災対策が必要である。近い将来に高い確率で発生するといわれている東南海・南海地震による被害想定（建物全壊）のうち、液状化被害は全被害の約 13%を占めている<sup>1)</sup>。そのため、液状化対策は喫緊の課題となっている。液状化対策として、ウレアーゼ活性による尿素加水分解作用を利用し、地盤中に炭酸カルシウムを析出させ、地盤を固化させるバイオグラウト工法の開発が実施されている。本工法では、地盤中に注入したグラウトの固化効果を確認するために炭酸カルシウムの析出率（以下、グラウト充填率）のセンサリングが必要であるが、既存のセンサリング手法ではその改良効果を詳細に確認することは困難であるため、新たなセンサリング手法の開発が必要となる。そこで、光ファイバーを用いたグラウト充填率センサリング手法の開発を目的とし、室内試験を行うことで本手法の有用性を検証する。本論では、試験結果より本手法の有用性を検証した結果を報告する。

## 2. 試験概要

図 1 に本研究で使用する試験装置の概要図を示す。本試験装置は計測点の変状を光量の変化としてモニタリングすることが可能である。前述のように、地盤中にバイオグラウトを注入すると、間隙中に白色である炭酸カルシウムが析出する。そのため、地盤内の光の反射量が増加するため、光量が増加すると考えられる。光量の変化を定量的に評価することでグラウト充填率をセンサリング可能であると考えられる。そこで、本研究では、バイオグラウト注入時、光量に影響を与えると考えられる要因（以下、パラメータ）である、相対密度、炭酸カルシウム析出率、飽和度と光量の関係を得ることを目的とし、検定試験を行う。その結果より、光量の変化からグラウト充填率を予測できる検量線を構築する。なお、本試験では砂の種類による影響を考慮するために、豊浦砂、硅砂 6 号、硅砂 8 号、黒色ガラスビーズ、白色ガラスビーズの 5 種類の試料を用いて試験を行う。その後、実際にバイオグラウトを注入することによって供試体を固化させる試験（以下、バイオグラウト注入試験）によって、構築した検量線の有用性を確認する。

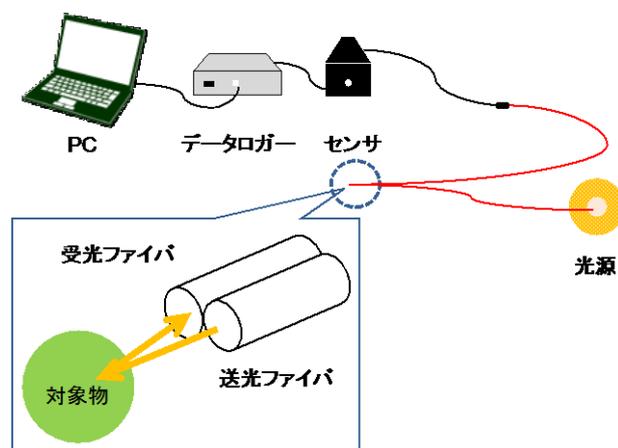


図 1 試験概要図

## 3. 試験結果

図 2 に相対密度と光量の関係を示し、図 3 に炭酸カルシウム析出率と光量の関係を示す。図 2 より、飽和度 0%と 100%の場合においても、相対密度に関わらず光量は一定であることが確認できる。つまり、相対密度の変化は光量に影響を与えないということである。また、図 3 より、飽和度 0%と 100%の場合で、ある一定の傾きをもって光量が増加していることが確認できる。つまり、炭酸カルシウム析出率に線形比例して光量は増加するということである。さらに、図 2、図 3 において、飽和度 0%と 100%の場合をそれぞれ比較すると、飽和度 100%となることで光量が低下することが確認できる。また、図 3 においては、飽和度 0%の場合の光量の増加率と 100%の場合の増加率では概ね変化がみられない。つまり、飽和度の上昇によって光量は低下するが、炭酸カルシウムの析出に対する光量の増加傾向には影響を与えないことが予想される。以上の結果より、バイオグラウト注入時、グラウト充填率に線形比例して光量は増加すると考えられる。これより、光量の変化からグラウト充填率を予測できる検量線を以下に示す。

$$R^i_{CaCO_3} = \frac{\Delta I_L}{\alpha_i}$$

$R^i_{CaCO_3}$  : 試料 i のグラウト充填率 [%],  $\Delta I_L$  : 初期光量と計測光量の差 [nW],  $\alpha_i$  : 粒状体試料 i の光量変化率 ( $\alpha_1=0.094$ ,  $\alpha_2=0.106$ ,  $\alpha_3=0.037$ ,  $\alpha_4=0.018$ ,  $\alpha_5=0.142$ ) [nW/%]である. ただし, i=1, 2, 3, 4, 5 はそれぞれ豊浦砂, 珪砂 6 号, 珪砂 8 号, 黒色ガラスビーズ, 白色ガラスビーズである.

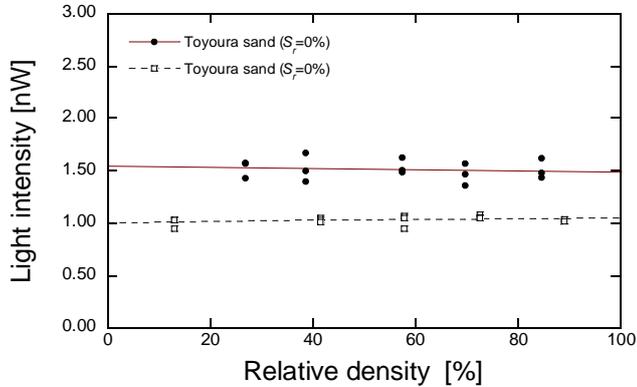


図 2 相対密度と光量の関係

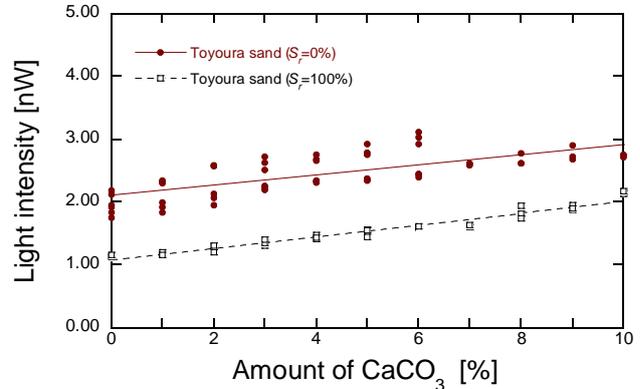


図 3 炭酸カルシウム析出率と光量の関係

次に, バイオグラウト注入試験結果について述べる. バイオグラウト注入試験は, まず試料にグラウト材を注入することにより, 供試体を作製し. 作製した供試体の光量を時系列で計測, 光量計測後の供試体のグラウト充填率を測定し, 計測した光量から検量線を用いて予測したグラウト充填率 (以下, 予測値) と実際のグラウト充填率 (以下, 試験値) を比較するという 4 工程からなる. 図 4 に光量の計測結果を示す. また, 現段階では, グラウト材注入による改良終了時を光量の変化から判断することが難しいため, 図 4 に示すように, 光量の経時変化の最大値を用いて予測値を求める. 図 4 に予測値と試験値の比較結果を示す. 図 4 より, 試験値と予測値ではばらつきが多く発生しているものの, 誤差が±50%以内に収まっているものも多く存在していることから, 現段階で構築した検量線は概ね妥当であると考えられる. しかし, より精度よくグラウト充填率を計測する必要があるため, 多点計測可能な試験装置を開発することが求められる.

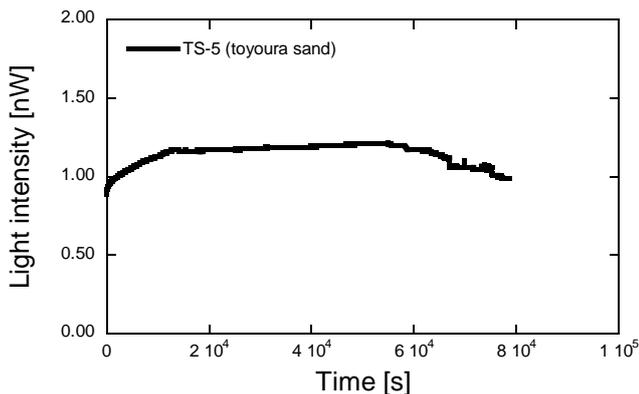


図 4 光量の経時変化

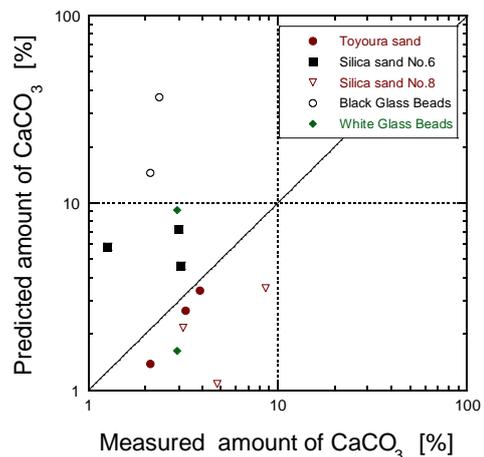


図 5 予測値と試験値の比較

#### 4. 結論

本研究では, 新たなセンシング手法開発を目的とし, 室内試験を行うことで, 光量の変化からグラウト充填率を予測する検量線を構築した. 検量線から予測したグラウト充填率には誤差が発生してしまう場合があるが, 現段階で概ね妥当であると考えられるため, 今後さらなる研究を進める必要がある.

#### 参考文献

- 1) 中央防災会議事務局: 東南海, 南海地震の被害想定について, 中央防災会議「東南海, 南海地震に関する専門調査会」(第 14 回), pp.45, 2003.