

千葉工業大学土木工学科 学生会員 ○川副 哲史 佐藤 忍
 千葉工業大学土木工学科 正会員 小宮 一仁 渡辺 勉

1. はじめに

現在、都市部のトンネル工事にはシールド工法が多用されている。しかし、最新の施工技術を持ってしても施工条件の厳しい軟弱地盤、特に N 値がゼロに近いような沖積粘性土地盤ではシールド機通過後数センチメートルの地盤沈下が発生している。わが国の正規圧密粘性土地盤を対象として、地盤沈下防止工として薬液注入工を用いた例があるが、薬液注入に伴う土の乱れによって圧密沈下が生じ、かえって逆効果であった結果も報告されている¹⁾²⁾。しかしながら欧州諸国では地下建設工事に伴う地盤沈下防止工として薬液注入が注目され、実際の地下建設工事に薬液注入が用いられて成果をあげている。

そこで本研究では、模型粘性土地盤に薬液を注入する室内実験を行い、薬液注入に伴う地盤挙動と薬液注入形態について基礎的な考察を行う。

2. 実験概要

図-1 に示す円筒形の剛な土槽 ($\phi 300\text{mm} \times 600\text{mm}$) の底部中心に薬液注入用の注入管 ($\phi 10\text{mm} \times 100\text{mm}$) を設置し、含水比 $w=90\%$ のカオリン粘土 ($w_L=56.9\%$ $w_P=30.2\%$ $I_P=26.7$ $\rho_s=2.71$) のスラリーを流し込んだ後、上下方向に移動可能な上部載荷板を用いて予備圧密を行った。上部載荷板と土槽底面は排水境界とした。カオリンスラリーの自重圧密が終了した後、 10kPa から段階的に載荷応力を増やして予備圧密を行った。

粘性土の応力履歴の違いが薬液注入後の地盤挙動に及ぼす影響を調査するために、ここでは薬液注入時の初期条件として正規圧密と過圧密の 2 つの場合について注入実験を行った。正規圧密の場合の薬液注入時の上載圧力は $p'=40\text{kPa}$ であり、過圧密の場合は、一度 $p'=80\text{kPa}$ で予備圧密を行った後 $p'=40\text{kPa}$ まで除荷して $\text{OCR}=2$ の状態とした。

注入薬液には 3 号水ガラスと水を体積比 1:1 で配合した A 液と、普通ポルトランドセメントと水とベントナイトを重量比 1:2.2:0.15 で配合した B 液を、体積比 1:1 で混合したものをを用いた。注入薬液のゲルタイムは液温 15°C で 90 秒であり、固結後 7 日間水中養生した後の一軸圧縮強さは 120kPa であった。薬液は注入ポンプに挿入する直前に混合し、ゲル化する直前に粘性土地盤に圧入した。注入時には、載荷板の隆起量を測定し注入後は沈下が終了するまで沈下量を測定しながら粘性土を放置した。沈下が終了した時点で粘性土を解体し固結した薬液の形から薬液注入形状を確認した。

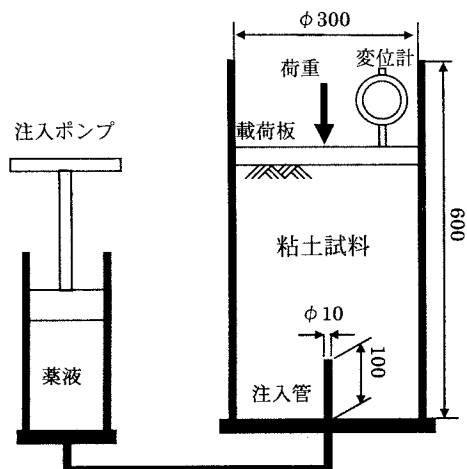


図-1 模型地盤概要図

キーワード：薬液注入、粘性土、変形、応力、沈下

連絡先：住所：〒275-8588 習志野市津田沼 2-17-1 TEL:047-478-0449 FAX:047-478-0474

3. 結果と考察

実験では、粘性土の透水係数が低いため、薬液注入形態は浸透注入にはならずすべて割裂注入となった。つまり、薬液は粘性土地盤を押し広げながら粘性土内に進行して固結した。この押し広げによって粘性土地盤には隆起が生じる。同時に薬液の周囲の地盤には過剰間隙水圧が発生し、薬液固結後はこの過剰間隙水圧の消散によって圧密が生じた。

本研究では、注入時の地盤の隆起量 d_h と注入後の圧密沈下量 d_s を用いて次の残存率 λ_c を算定し、薬液注入による地盤沈下防止効果を評価した。

$$\lambda_c = \frac{d_h - d_s}{d_h} \times 100 \quad (\%)$$

残存率が大きいほど沈下防止効果は高く、残存率が負値の場合、薬液注入後の沈下が注入時の隆起量を上回ることになる。

図-2 は注入量と残存率 λ_c の関係を示したものである。図中の値は初期状態における粘性土地盤の間隙比の値である。正規圧密粘土に注入を行った場合注入量 586cm^3 、 808cm^3 で残存率は $\lambda_c = 1.5\%$ 、 -23.4% となり、注入量が大きくなると残存率は小さくなった。残存率の値も 0 もしくはマイナスと沈下防止効果がないことが分かった。一方、過圧密粘土に注入を行った場合は 3 ケースの実験すべてで 60% 以上の残存率が得られ、またその値も注入量が増すほど大きくなり注入量 698cm^3 においては $\lambda_c = 80.1\%$ に達した。このことから過圧密粘土に対しては薬液注入による沈下防止が可能であるといえる。

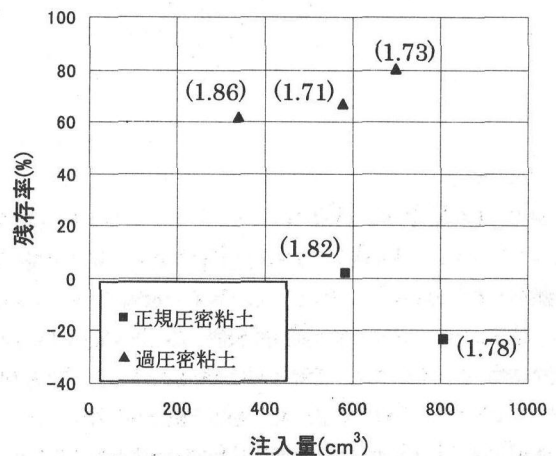


図-2 注入量と残存率との関係

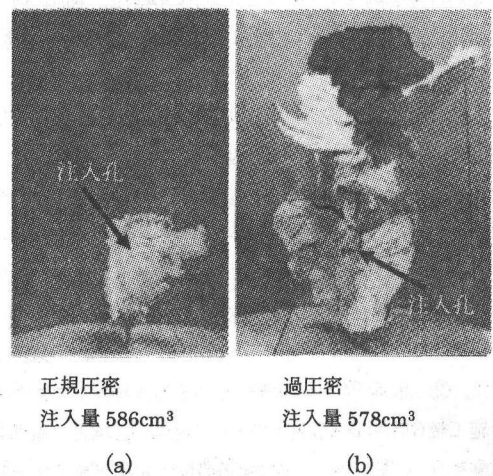


図-3 薬液の注入形状

図-3(a)は正規圧密粘土を対象にした注入量 586cm^3 の実験で得られた薬液注入形状である。薬液は注入管の周りに厚い縦板状に固結した。一方、図-3(b)は過圧密粘土を対象に行った注入量 578cm^3 の実験で得られた薬液注入形状である。薬液は注入孔の上部方向では水平に大きく羽を広げるように進展している。逆に注入孔下部には縦板状に進展していることが分かった。図-3(a)(b)の写真スケールは同じであり、両図の比較からほぼ等しい注入量にかかわらず過圧密粘土に注入した方が広範囲に薬液が進展しているという興味深い結果が得られた。

参考文献

- 1) 赤木、小宮、鈴木、山崎、森：軟弱粘性土地盤のシールド工事における二次注入に伴う地盤の変形挙動と沈下防止効果 土木学会論文集 No.511、Ⅲ・30、pp.13-21、1995
- 2) K.Komiyama, K.Soga et.al. : Soil consolidation associated with grouting during shield tunnelling in soft clayey ground *Géotechnique* Vol.51, No.10, pp.835-846, 2001