

コンペンセーショングラウチングにおける割裂注入形状と地盤沈下補修効果について

千葉工業大学大学院 学生会員 ○涌井 優
 千葉工業大学 正会員 小宮 一仁
 東亜建設工業(株) 大橋 祐

1. 目的

コンペンセーショングラウチング(地盤補修注入工法)とは、地盤内に薬液を割裂注入し、薬液の体積で地盤を押し上げ、地盤沈下を補修する工法である。

この工法では割裂脈進行に伴い、地盤内の有効応力や間隙水圧が変化し、また土の骨格構造の一部が破壊され土の乱れが生じる。非排水せん断変形によって正規圧密粘土に乱れが生じた場合、土が静止状態でも有効応力の減少に伴う正の過剰間隙水圧が生じ、体積減少(圧密沈下)が起こるとされている¹⁾。このため、日本では粘性土に薬液を割裂注入すると、注入後の土の乱れに伴う後続沈下が大きく、一般的には後続沈下量が地盤の隆起量より大きくなり、割裂注入での沈下補修は困難とされてきた。しかし最近では、薬液注入後の粘性土の地盤沈下挙動は、粘性土の応力履歴に依存している事が明らかとなり、コンペンセーショングラウチングの沈下補修メカニズムが科学的に解明されてきた²⁾。表-1にコンペンセーショングラウチングの施工事例を載せた。欧州で施工実績が上がっているのは、欧州の粘性土地盤の形成年代が古く、過圧密状態に多くあるためである。一方、日本の軟弱粘性土地盤は正規圧密状態に近いので、注入後に大きな沈下が発生してしまい沈下補修効果が得られていない。そこで、正規圧密地盤にコンペンセーショングラウチングを適用させるための基礎研究を行っている。

本報告では、コンペンセーショングラウチングでの沈下補修効果を定量的に評価する指標として、残存率 λ_c を用いる。

表-1 トンネル工事におけるコンペンセーショングラウチングの施工事例¹⁾

| 工事箇所 | 実施国 | 注入方法 | 土質 | 注入深さ | |
|------------------|--------|------|------|----------------|---------------------------------|
| ウィーン地下鉄工事 | オーストリア | 割裂注入 | 軟弱粘土 | 10m | 地盤沈下が50%低減 |
| インペリアル・オイル社研究棟防護 | カナダ | 割裂注入 | 軟弱粘土 | 7m | 薬液注入なしでは120mmと予想された最大沈下が10mmに低減 |
| ウォータールー駅防護 | イギリス | 圧入工法 | 硬質粘土 | 5m | 最大沈下量が40mmから20mmに抑制 |
| ビッグベン時計塔防護 | イギリス | 割裂注入 | 硬質粘土 | 18m | 時計塔の傾斜を制御 |
| ドックランズ・ライトウェイ工事 | イギリス | 割裂注入 | 硬質粘土 | 6.5m | 薬液注入なしでは30mmと予想された最大沈下が0mmに低減 |
| ナポリーミラノ鉄道線 高架橋防護 | イタリア | 割裂注入 | 軟弱粘土 | 12m | 薬液注入なしでは10mmと予想された最大沈下が3mmに低減 |
| 現場実験 | 日本 | 割裂注入 | 軟弱粘土 | 10.8m 11.8m | 薬液注入による隆起量を大きく上回る後続沈下が発生 |

キーワード：コンペンセーショングラウチング、薬液注入、地盤沈下、圧密、粘性土

連絡先：〒275-8588 千葉県習志野市津田沼2-17-1 千葉工業大学 TEL047(478)0449, FAX047(478)0474

薬液注入による地盤の隆起量を d_h 、注入後の地盤の沈下量を d_s として、残存率 λ_c は次式で表される。

$$\lambda_c = \frac{d_h - d_s}{d_h} \times 100 \quad (\%) \quad (1)$$

2. 実験の概要

図-1に示す実験装置を用いて薬液注入実験を行い、地盤沈下補修効果(注入による隆起と後続沈下)、割裂脈の形状、注入時に発生する過剰間隙水圧等を測定した。

実験に用いた土試料の物理特性を表-2に示す。割裂脈進行を拘束する場合は、試料を流し込む前に注入管の先端にラテックスゴム風船を設置する。注入管と地盤をモールドにセットした後、上部の載荷版を介して地盤に圧力を段階的に加え予備圧密を行う。予備圧密終了後、任意の過圧密比になるまで上載圧を除荷し薬液注入を行う。薬液注入時の載荷版の隆起量と注入後の沈下量をダイヤルゲージから読み取り、また注入時に発生する過剰間隙水圧を、モールドに設置した水圧計A, B, Cから読み取る。なお、正規圧密条件の場合は、注入前に上載圧の除荷を行わない。

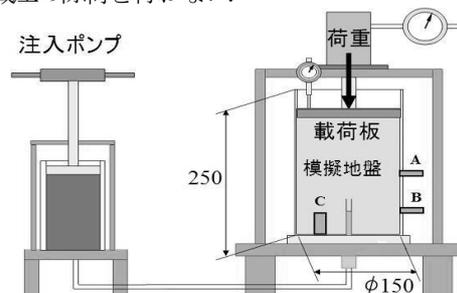


図-1 注入実験装置の概要

本実験で使用する薬液は水ガラス系 LW 薬液とし、3号水ガラスと蒸留水を体積比 1:1 で配合した A 液と、普通ポルトランドセメントと水、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 で配合した。

3. 割裂脈進行の形状について

本研究では、割裂脈を拘束した条件と拘束しない条件で注入実験を行った。割裂脈を拘束した場合の形状は、注入管付近に丸く固結した形状(図-2a)となった。一方、割裂脈進行を拘束しない場合、その形状は注入管付近に丸く固結した形状(図-2b)になる場合と、放射状型(図-2c, d)の形状になる場合があった。

4. 地盤沈下補修効果に影響する諸要因

残存率と薬液注入時に発生する過剰間隙水圧の最大値の関係を図-3, 4に示す。注入時最大過剰間隙水圧は、間隙水圧計 A, B, C で観測された水圧の最大値とした。

図-3 より、正規圧密土では、割裂脈の形状によらず、高い過剰間隙水圧が発生すると残存率が小さくなるという傾向が得られた。特に放射状型の場合では、過剰間隙水圧が高くなると残存率はほとんど 0% に近づき、沈下補修効果はなくなった。一方、薬液が丸型に割裂注入された場合では、高い過剰間隙水圧が発生しても、残存率 30%~40% 程度の沈下補修効果が得られた。

図-4 は過圧密土の実験で得られた、残存率と過剰間隙水圧の関係を示したものである。図-4 より、過圧密土では、割裂注入時に発生する過剰間隙水圧が小さくなった。これは、従来著者らが示しているように、割裂注入時のダイレイタンスーによるものである。過剰間隙水圧の発生が小さいため、全ての実験ケースにおいて 40% 程度以上の大きい残存率を示した。また、過圧密比が大きくなるにつれて発生する過剰間隙水圧は低くなり、残存率も大きくなった。

5. 結論

本研究で得られた成果を以下に示す。

- 正規圧密地盤に対するコンペンセーショングラウチングでは、割裂脈を丸型にすることにより、沈下補修効果を得ることができる。
- 過圧密地盤にコンペンセーショングラウチングを実施する場合、ダイレイタンスーにより割裂注入に伴う過剰間隙水圧が小さくなるため、OCR が大きくなると高い地盤沈下補修効果が得られる。また、割裂脈進行を拘束すると、より高い地盤沈下補修効果が得られる。

表-2 試料の物性特性

| | | |
|------|-------------------|-------------------------|
| 液性限界 | % | 18.83 |
| 塑性限界 | % | 10.97 |
| 塑性指数 | - | 7.86 |
| 密度 | g/cm ³ | 2.67 |
| 透水係数 | cm/s | 5.56 × 10 ⁻⁵ |

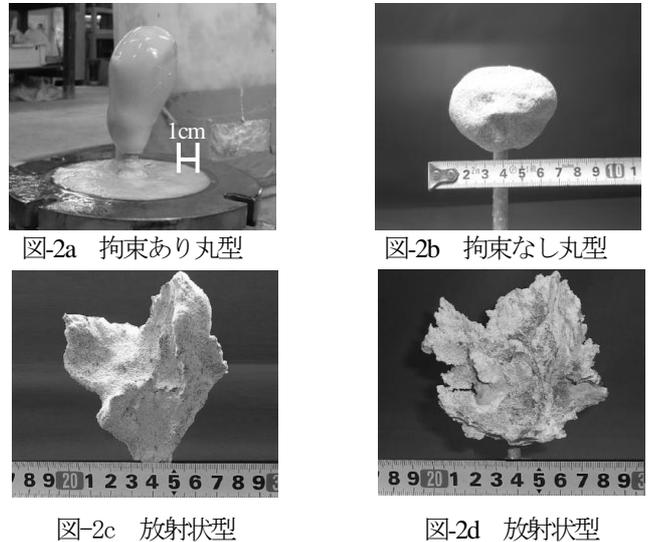


図-2 割裂脈の形状

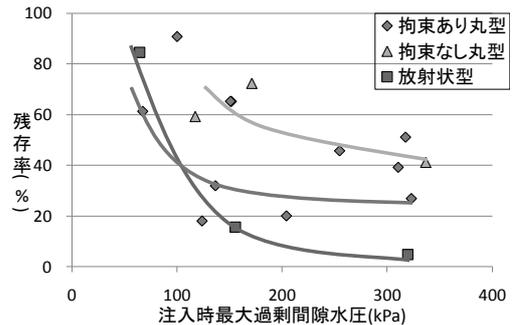


図-3 残存率と注入時最大過剰間隙水圧(OCR=1)

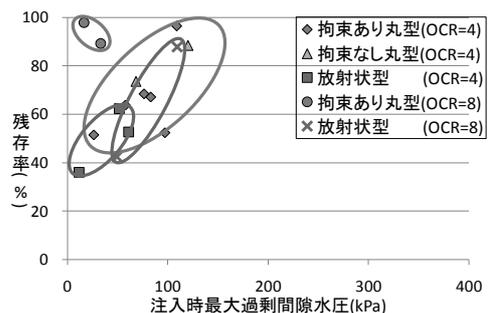


図-4 残存率と注入時最大過剰間隙水圧(過圧密比別)

参考文献

- 1) 公益社団法人地盤工学会：地盤工学・実務シリーズ 27 「薬液注入工法の理論・設計・施工」, pp.132-134, 2009
- 2) K.Komiya, K.Soga, et.al: Soil consolidation associated with grouting during shield tunneling in soft clayey ground, *Geotechnique*, Vol.51, No.10, ICE, 英国土木学会論文集 pp.835-846, 2001