

表面波探査を用いた割裂注入による改良効果の確認実験

正 ○ 長坂光泰 1* 正 今井敬介 2*
正 高田 徹 1* 正 若命善雄 1*

小規模建築物 地盤改良 注入
表面波探査

1. はじめに

近年、小規模建築物基礎の分野において、狭隘地や増築・リフォーム工事など困難な施工条件における地盤補強法が望まれている。注入工法は、小型削孔機を用いてかつ斜めにも地盤改良ができることから、既存構造物直下や狭隘地の改良などに適している。しかしながら注入工法は、改良効果確認に課題があったことから利用には注意を要していた。

以上の背景より、筆者らは、注入後に表面波探査（以下、SWE と略す）を実施し、注入後の改良効果確認実験を複数現場で実施した。本稿ではその実験結果を報告すると共に、注入工法の課題にも触れる。

2. 注入改良の効果確認手法の課題

粘性土で注入するとその注入形態は、注入圧とグラウタビリティ比の関係から必然的に割裂注入となり、注入後は、割裂脈と未固結な粘性土地盤の複合土として形成される（図1）¹⁾。

割裂注入による改良地盤では、割裂脈（注入材）が十分強固でないと改良効果が得られないことから、一般には懸濁型の材料が用いられる。割裂注入改良地盤をサウンディング（SPT, SWS, CPT など）で調査すると、貫入体が割裂脈を捉える割合によって改良効果がばらつくため評価が難しくなる。また土質試料採取だと、採取中に割裂脈が破断し、室内強度試験を可能とする試料品質が得られない。

3. 実験内容

本実験で実施した合計 9 現場の注入概要を表 1 に示す。現場は全て関東地方の粘性土地盤（宅地）で、主に擁壁埋戻し部の緩みや盛土下部が軟弱な地盤である。

注入設計は、事前に実施した SWE データ、近隣ボーリングデータなどを用いて改良土量を求め、過去の注入実績から注入率 α を設定した。表 2 に使用した注入材料の配合を示す。材料はセメント-水ガラスの瞬結型薬液で、二重管ストレーナ方式にて注入した。注入孔は、1.5~2.0 m 間隔で配置し規定量注入で管理した。

実験では、注入前後で注入範囲の 4 隅と中央部の計 5 箇所 SWE を実施し、注入後の SWE は注入後 1~3 日の養生期間を設けて行った。本実験で行った SWE は、種々

の振動数で振動可能な起振機と 2 個の検出器を用い、検出器間の距離と位相差（時間差）を測定することにより、表面波速度 V_p を求めている²⁾。

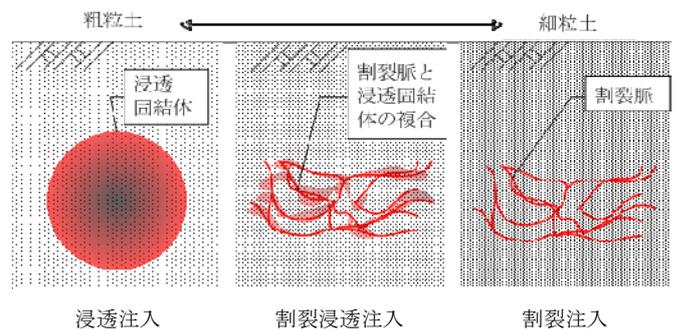


図 1 注入形態の模式図

表 1 各実験現場の注入概要

| 実験 No. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--------------|----------------------|---------|---------|---------|---------|
| 実験場所 | 神奈川県三浦市 | 神奈川県三浦市 | 東京都大田区 | 神奈川県厚木市 | 神奈川県鎌倉市 |
| 主な土質 | 粘性土 | 粘性土 | 粘性土 | 粘性土 | 粘性土 |
| 改良面積 | m ² 49.2 | 50.0 | 55.5 | 50.0 | 52.0 |
| 注入上端深度 | m 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| 注入下端深度 | m 2 | 2.5 | 2.1 | 2.9 | 5.5 |
| 注入率 α | % 4 | 5 | 5 | 5 | 6 |
| 改良土量 | m ³ 83.6 | 110.0 | 99.9 | 130.0 | 270.4 |
| 注入量 | L 3,346 | 5,500 | 4,995 | 6,500 | 16,224 |
| 実験 No. | 6 | 7 | 8 | 9 | |
| 実験場所 | 神奈川県高座郡 | 神奈川県厚木市 | 神奈川県横浜市 | 神奈川県横浜市 | |
| 主な土質 | 粘性土 | 粘性土 | 粘性土 | 粘性土 | |
| 改良面積 | m ² 56.5 | 54.0 | 81.0 | 92.0 | |
| 注入上端深度 | m 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | |
| 注入下端深度 | m 3.9 | 1.9 | 1.5 | 1.3 | |
| 注入率 α | % 5 | 5 | 4 | 8 | |
| 改良土量 | m ³ 203.4 | 86.4 | 97.2 | 92 | |
| 注入量 | L 10,170 | 4,320 | 3,888 | 7,360 | |

表 2 使用注入材 1 m³当りの配合

| A 液 (水ガラス) | | B 液 (セメント) | |
|------------|---------------------|--------------|---------------------|
| 3号珪酸ソーダ | 0.25 m ³ | 普通ポルトランドセメント | 187.5 kg |
| 水 | 0.25 m ³ | 硬化剤 | 75.0 kg |
| | | 水 | 0.40 m ³ |
| 計 | 0.50 m ³ | 計 | 0.50 m ³ |

〔備考〕 硬化剤：品名：LG-IP (石膏と消石灰の混合物)
ゲルタイム：10sec, ホモゲルの一軸圧縮強さ q_u : 5,000kN/m²

4. 実験結果と概要

図 2 に SWE 結果から推定した注入前後の粘着力 c の深度分布を示す(紙面の都合上, 5 現場のみを記す)。ここで示す $c (= q_u/2)$ の推定には, $V_r \approx V_s$ (V_s :せん断波速度 (m/s)) として式(1)を用いた。

$$q_u = 98 \cdot (V_s/134) (1/0.443) \quad (\text{kN/m}^2) \quad (1)$$

図 2 より改良範囲内での注入後の平均粘着力 (c^*) は, 注入前に比べていずれも大きくなるのがわかる。ただし図 2 の No.1, 2, 4 で見られるように, 注入下端深度よりも深い位置でも注入後の平均粘着力が注入前に比べて高まっている箇所がある。これは SWE の課題であり, 厳密には深度毎の c でなく, その深度までを均一層と仮定した平均的な c を表しているからである。

図 3 に注入範囲における全 9 現場での注入前後の粘着力の比較を示す。図を見てわかるように, 注入後の粘着力 ($c^* = 16 \sim 46 \text{ kN/m}^2$) は, 注入前の粘着力 ($c = 7 \sim 32 \text{ kN/m}^2$) に比べて, いずれも下回ることなく高い値を示し, 約 14 kN/m^2 の増加が認められた。図 3 は, 現場毎の設計用支持力に対して注入率 α を決定したため, α は各々異なるが, $\alpha = 4 \sim 8 \%$ の範囲で注入されており, 従来設計 ($\alpha = 35 \%$ 以上³⁾) よりも十分少ない注入率である。しかしながら, 注入改良効果は従来設計 ($c^* = c + 10 \text{ kN/m}^2$ ³⁾) と同様な効果が見てとれる。

5. おわりに

本実験では, 9 現場とも SWE を注入前後で実施した。SWE は, 宅盤調査の中でも経済的に優れた調査法として十分な調査実績はあるが, 先述したように深さ方向に対する調査データの信頼性について課題がある。しかし, SWE は平面的に強度を評価するため, 割裂注入地盤のような複合土の評価には適している。経済的に余裕があれば, 注入前により精度の高い CPT や室内土質試験あるいは汎用性の高い SWS を実施して, SWE で施工管理する手法も有望だと思われる。

参考文献

- 1) 地盤工学会：薬液注入工法の理論・設計・施工, 2009.
- 2) 黒須修, 藤井衛：表面波探査法によるレーリー波速度とスウェーデン式サウンディング試験結果との関係, 日本建築学会大会学術講演集, pp.1629~1630, 1993.
- 3) (社) 日本グラウト協会：薬液注入工設計資料, 2004.

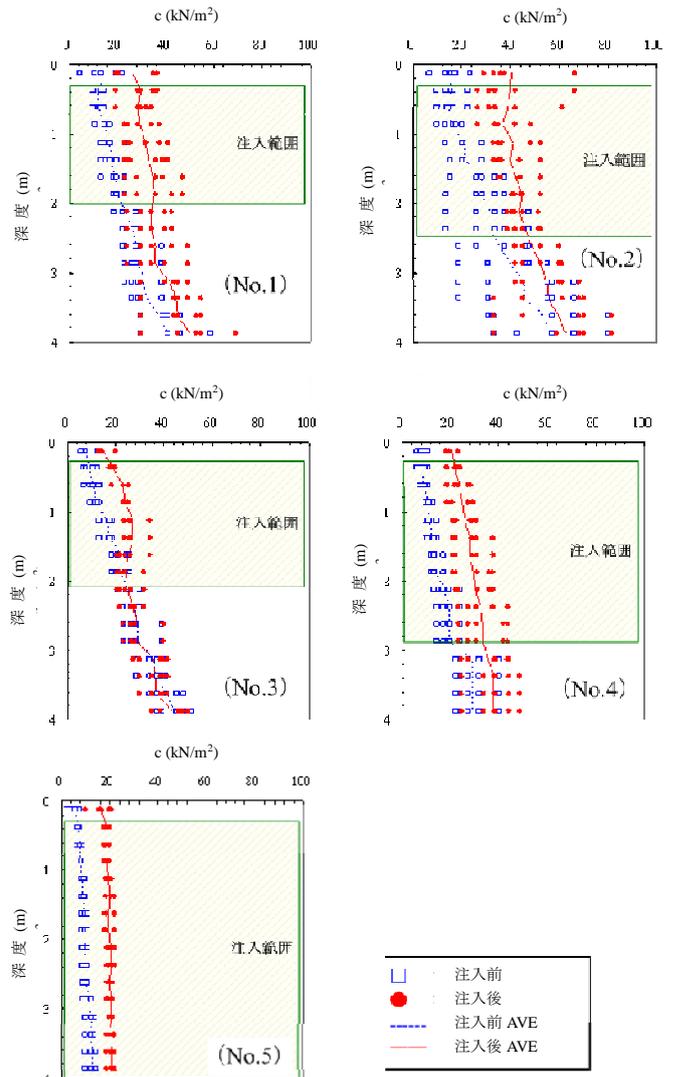


図 2 注入前後の土の粘着力の深度分布の一例

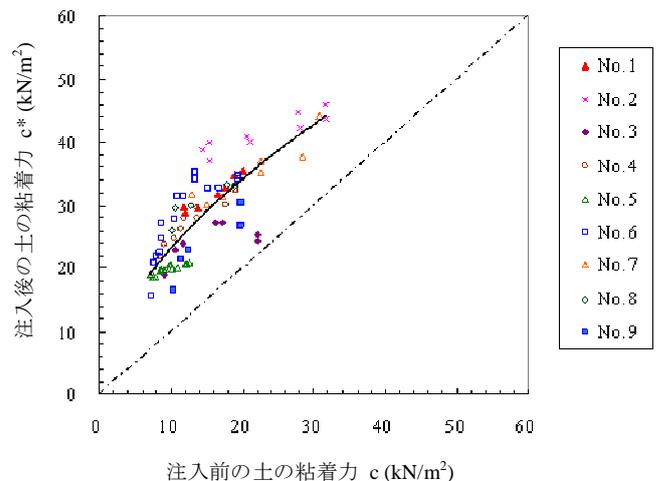


図 3 注入前後の土の粘着力の比較

*1 設計室ソイル

*2 グラウト工業

*1 Soil Design Inc.

*2 Grout Kogyo Corporation