

## 脈状改良による液状化対策効果の持続性に関する検討

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○荒木 豪, 小島 謙一, 井澤 淳  
 東日本旅客鉄道(株) 正会員 藤原 寅士良, 細井 学, 水野 弘二  
 ライト工業(株) 正会員 大西 高明, 林田 晃

## 1. はじめに

筆者らは、従来よりも低い改良率で液状化対策が可能な脈状改良工法の開発を進めている<sup>1)</sup>。本工法は、図1に示すように動的注入により脈状に薬液を割裂注入し、周辺地盤を密実化させて地盤の液状化抵抗の増加を期待するものである。これまでに自然地盤に対する施工試験を行い、施工性や改良品質の確認手法について検討を行ってきた。その結果、注入後の地盤では、 $N_d$  値や  $K_0$  値の増加が確認されている<sup>2)</sup>。本稿では、改良効果が持続的に維持されていることを確認するために、注入1年後の品質確認調査を実施したので、その結果を報告する。

## 2. 現場試験概要

本ヤードは、江戸川から東に約 100m に位置し、液状化層と考えられる有楽町砂層が地表面近くから 10m 程度堆積している。図2に事前ボーリング調査の結果を、図3に注入孔位置と注入前、注入7日後および注入1年後に実施した品質確認調査の適用位置等を示す。図2に、調査範囲の四隅のうち3箇所で調査した  $N$  値および  $N_d$  値を示しているが、いずれも同様の性状を示しており、一様な地盤が堆積していると判断できる。このうち、GL-1.5m~5.0m 付近の粘性土混じり砂層と、その下の粘性土質砂層が液状化に至る可能性のある砂質土層である。施工試験では、GL-3~6m の層厚 3m を注入範囲とし、1.5m と 2.0m の2パターンの水平方向の注入ピッチを設定し、それぞれのピッチに対し8点の注入孔とし、下端より 250mm 間隔でステップアップ施工を実施した。計画注入率(改良対象域全体の体積に対する注入薬液の体積)はいずれも 10%とし、全ての注入孔において、所定量を注入した。

注入後の品質確認調査は、注入施工完了の7日後と注入効果の持続性の確認のため、1年後に実施した。品質確認調査は、 $N_d$  値や細粒分含有率を確認可能なピエゾドライブコーン試験(以下 PDC 試験)、調査削孔時の地盤の緩みを極力抑制可能で、より精緻に  $E_{50}$  レベルの地盤剛性や静止土圧係数  $K_0$  の増加を確認できるセルフボーリングタイプの孔内水平載荷試験(以下 SB-LLT)を用いて、注入効果の経時(年)変化を確認した。

キーワード 脈状改良, 液状化対策, 静止土圧係数

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財)鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7394

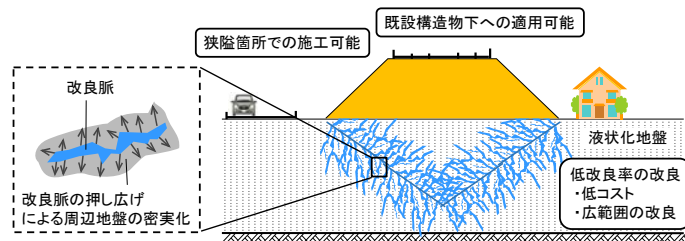


図1 狭隘な既設鉄道構造物下の脈状改良工法のイメージ

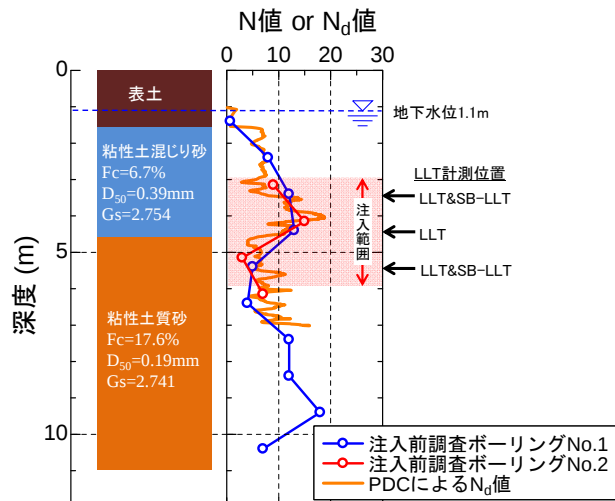


図2 土質柱状図

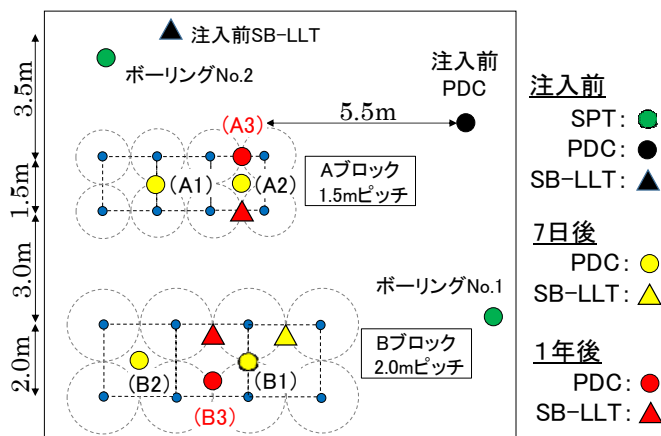


図3 注入孔位置と品質確認調査の位置

### 3. 品質確認調査結果

#### 3.1. PDC 試験

図4にPDC試験から得られた注入前、注入7日後および注入1年後の $N_d$ 値(深さ方向に0.5m間隔の平均値)を示す。脈状地盤改良では不均質な改良となるため、調査位置でバラツキが見られるが、すべての地点で $N_d$ 値の増加が確認されており、注入1年後についても注入7日後とほぼ同程度であることがわかる。

表1に $N_d$ 値から求めた有効注入率を示す。有効注入率は、実質的に密実化に寄与した注入率で、注入効果の有効性を示す指標であり、式(1)~(4)より求める。

- ① 細粒分含有率 $F_c$ を用い、式(1)より $e_{\max}$ ,  $e_{\min}$ を求める。

$$e_{\max} = 0.02F_c + 1.0, \quad e_{\min} = 0.008F_c + 0.6 \quad (1)$$

- ② 注入前の $N$ 値 $N_0$ より注入前の $e_0$ を式(2)により求める。

$$e_0 = e_{\max} - 0.21(e_{\max} - e_{\min}) \sqrt{\frac{98N_0}{69 + \sigma'_v}} \quad (2)$$

- ③ 注入後の $N$ 値 $N_1$ より注入後の $e_1$ を式(3)により求める。

$$e_1 = e_{\max} - 0.21(e_{\max} - e_{\min}) \sqrt{\frac{98N_1}{69 + \sigma'_v}} \quad (3)$$

- ④ 有効注入率 $A_{sd}$ を式(4)より求める。

$$A_{sd} = \frac{e_1 - e_0}{1 + e_0} \quad (4)$$

上記の通り、本工法は不均質な改良となるため、調査位置でバラツキが見られるが、注入1年後の有効注入率も注入7日後とほぼ同等であることを確認した。

#### 3.2. SB-LLT

図5にSB-LLTから得られた注入前、注入7日後および注入1年後の $K_0$ 値を示す。注入7日後では、Bブロックのみの調査の実施であったが、注入前の0.5から注入後は1.0程度となり、約2倍の上昇が確認されている。注入1年後では、A、Bブロックで調査を実施し、両ブロックともに1.0程度であり、1年経過しても注入効果を維持していることが確認できた。 $K_0$ の増加を液状化対策効果として取り入れることが出来れば非常に有効であり、今後も経年的な変動を確認しながら設計体系への導入を検討する予定である。

### 4. まとめ

本稿では、脈状改良工法の注入範囲内の密実効果が継続的に維持されていることを確認するために、注入1年後の品質確認調査を実施した。その結果、 $N_d$ 値、 $K_0$ 値の維持が確認された。今後も改良地盤で経年的に調査を行い、注入効果の持続性を確認していきたい。

本研究は「国土交通省 交通運輸技術開発推進制度」の助成を受けて実施致しました。

参考文献：1)井澤ら，脈状地盤改良工法による液状化対策，基礎工 Vol.43, No. 9, 2015。

2)細井ら，脈状改良地盤の現場試験施工と品質確認手法に関する検討，土木学会第70回年次学術講演会，2015。

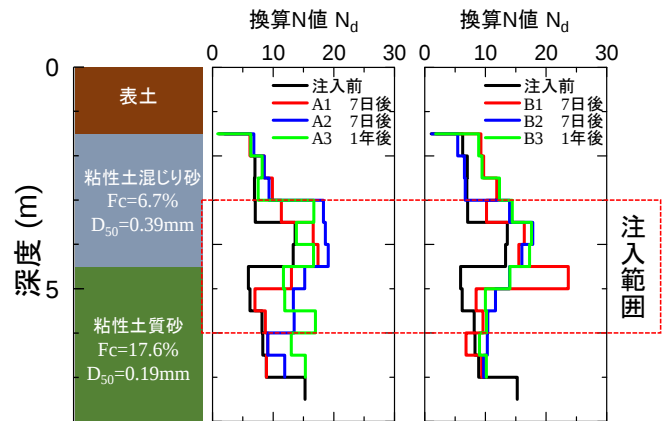


図4 PDC 試験結果

表1 有効注入率  
(a) 1.5m ピッチ

| 土質     | 深度<br>m | Nd値  |      |      |      | 有効注入率(%) |     |      |
|--------|---------|------|------|------|------|----------|-----|------|
|        |         | 注入前  | A1   | A2   | A3   | A1       | A2  | A3   |
| 粘土混じり砂 | 3.0-3.5 | 7.1  | 11.4 | 18.3 | 18.3 | 3.8      | 8.6 | 7.6  |
|        | 3.5-4.0 | 13.6 | 16.6 | 18.6 | 18.6 | 2.1      | 3.4 | 0.16 |
|        | 4.0-4.5 | 13.3 | 17.4 | 19.1 | 19.1 | 2.8      | 3.8 | 2.3  |
|        | 4.5-5.0 | 5.9  | 13.0 | 15.2 | 15.2 | 5.7      | 7.1 | 4.8  |
|        | 平均      | 10.0 | 14.6 | 17.8 | 17.8 | 3.6      | 5.7 | 3.7  |
| 粘性土質砂  | 5.0-5.5 | 6.2  | 7.0  | 13.3 | 13.3 | 0.90     | 6.5 | 5.4  |
|        | 5.5-6.0 | 8.2  | 8.7  | 13.5 | 13.5 | 0.53     | 4.5 | 7.0  |
|        | 平均      | 7.2  | 7.9  | 13.4 | 13.4 | 0.72     | 5.5 | 6.2  |

(b) 2.0m ピッチ

| 土質     | 深度<br>m | Nd値  |      |      |      | 有効注入率(%) |     |     |
|--------|---------|------|------|------|------|----------|-----|-----|
|        |         | 注入前  | B1   | B2   | B3   | B1       | B2  | B3  |
| 粘土混じり砂 | 3.0-3.5 | 7.1  | 10.2 | 14.0 | 14.4 | 2.8      | 5.7 | 6.1 |
|        | 3.5-4.0 | 13.6 | 16.4 | 17.8 | 17.6 | 2.0      | 2.9 | 2.7 |
|        | 4.0-4.5 | 13.3 | 15.5 | 16.0 | 17.3 | 1.5      | 1.9 | 2.7 |
|        | 4.5-5.0 | 5.9  | 23.7 | 14.0 | 14.0 | 11.8     | 6.3 | 6.4 |
|        | 平均      | 10.0 | 16.4 | 15.4 | 15.8 | 4.5      | 4.2 | 4.5 |
| 粘性土質砂  | 5.0-5.5 | 6.2  | 8.5  | 11.7 | 10.0 | 2.4      | 5.2 | 3.8 |
|        | 5.5-6.0 | 8.2  | 9.6  | 10.4 | 10.2 | 1.3      | 2.0 | 1.9 |
|        | 平均      | 7.2  | 9.0  | 11.0 | 10.1 | 1.9      | 3.6 | 2.8 |

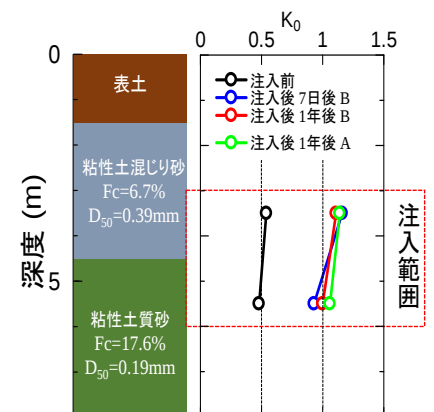


図5 SB-LLT 結果