

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

東日本旅客鉄道（株） 正会員 ○細井 学，藤原 寅士良
 （公財）鉄道総合技術研究所 正会員 井澤 淳，上田 恭平，小島 謙一，舘山 勝
 ライト工業（株） 正会員 大西 高明，林田 晃，入山 修

1. はじめに

筆者らは、動的に薬液注入を行うことで地盤内に脈状の改良体を作成し、低改良率で効率的に液状化被害の軽減が可能な脈状地盤改良工法の開発を行っている^{1)~3)}。本稿では現地試験を行い実地盤での施工確認と、改良した地盤の品質管理手法について検討した結果を報告する。

本工法は、脈状改良体の注入により周辺地盤を密実化させることで、マクロ的に地盤の液状化抵抗の増加を期待するものである。したがって、マクロ的に地盤を見た改良域全体の密実化、またはそれによる剛性の増加を評価できる手法を用いることとした。検討した品質確認手法は、①ピエゾドライブコーン試験（以降 PDC 試験， N_d 値の増加），②密度検層（密度増加），③孔内水平載荷試験（以降 LLT， E_{50} レベル剛性増加）およびセルフボーリングタイプの LLT（以降，SB-LLT， K_0 の増加）とし、実地盤に対して注入試験を実施することでその適用性を検討した。

2. 現場試験施工および品質確認手法

2.1. 現場試験概要

本試験では、現在、弊社で液状化が懸念されているため盛土の耐震補強工事を実施している常磐線金町・松戸間の施工ヤードにて、現地盤での施工確認と各種品質確認試験を行った。試験ヤードは、江戸川から数 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 程度堆積している箇所である。注入を実施した地盤は、土被り 3.0m で粘性土混じり砂層（ $F_c=6.7\%$ ， $D_{50}=0.39\text{mm}$ ）と、粘性土質砂層（ $F_c=17.6\%$ ， $D_{50}=0.19\text{mm}$ ）の 2 層である。注入試験の概要及び品質評価手法の適用範囲を図 1 に示す。改良域は GL-3～6m，注入率は 10% で行い，注入ピッチは 1.5m と 2.0m とした。

2.2. 注入中の隆起量

各孔番の施工前後と累計の変位量を表 1 に示す。注入前後と累計変位量の測定は同位置で行い，注入孔の前後 30cm の位置で 2 箇所測定し，その平均値とした。注入前後の変位量の平均は，1.5m ピッチで 15.2mm，2.0m ピッチで 16.6mm であった。また累計の変位量の平均は，1.5m ピッチで 54.3mm，2.0m ピッチで 49.4mm であった。なお，1.5m ピッチの孔番 A-6 に関しては，注入中に薬液リークが発生し，薬液が舗装下に入ったと考えられ，他孔番と比較して変位量が著しく大きくなる結果となった。図 2 に施工日数と変位量の関係を示すと，施工日数が進むにつれ変位量が大きくなっている傾向にある。また，各孔番の最大注入圧力は，0.7～2.6MPa であり，注入圧力と変位量には明確な相関は見られな

キーワード 脈状注入，ピエゾドライブコーン試験，密度検層，孔内水平載荷試験

連絡先〒151-8512 東京都渋谷区代々木二丁目 2 番 6 号 東日本旅客鉄道（株） 構造技術センター TEL 03-6276-1251

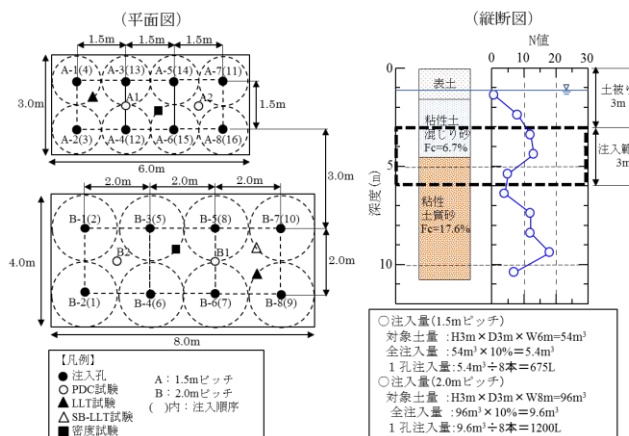


図 1 注入試験の概要，品質評価手法の位置

表 1 注入による地盤隆起量

注入日数	注入前後変位量 (mm)	累計変位量 (mm)	孔番番号
1	8.5	27	B-2
2	11	26	B-1
	9	32.5	A-2
3	10	26.5	A-1
	16	50	B-3
7	11.5	47	B-4
	19.5	62	B-6
8	30	75	B-5
	16	50.5	B-8
9	20.5	57.5	B-7
	13	48	A-7
10	6	40.5	A-4
	15	47.5	A-3
13	9	59.5	A-5
	47	98	A-6
14	12.5	81.5	A-8
平均 (1.5m)	15.2	54.3	A1~8
平均 (2.0m)	16.6	49.4	B1~8

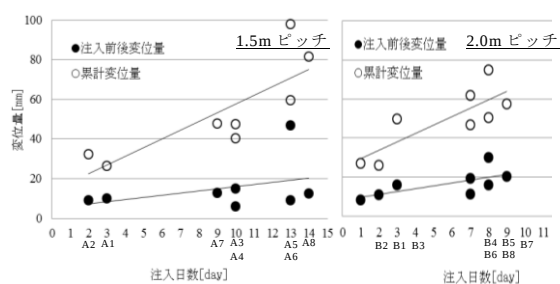


図 2 施工日数と隆起量の関係

かった。実施工における施工順序としては、先に変位量を小さく抑えたい箇所からの施工が望ましいと考えられる。

2.3. PDC 試験

図-3 に PDC 試験から得られた注入前後での N_d 値（換算 N 値）を示す。なお、深さ方向に 0.5m 間隔での N_d 値の平均値を示した。測定位置は、図-1 に示すように改良範囲の端部で 4 箇所（A1・2, B1・2）である。注入前後の N_d 値の平均値を比較すると、上部層（3.0-5.0m）では、注入前 10.0 から注入後 16.1 に対して、下部層（5.0-6.0m）では、注入前 7.2 から注入後 10.3 となり N_d 値の増加が低いことがわかる。その理由は、下層部の細粒分が多く、締固めによる剛性、強度の増加が現れにくい地盤であったことが影響したと考えられる。

2.4. 密度検層

図-4 に密度検層の結果を示す。1.5m ピッチの注入に比べて、2.0m ピッチの注入のほうが、密度増加の程度が低い傾向にある。また、PDC 試験では、下部層の改良効果が低かったが、密度検層では、1.5m ピッチでは上・下部層ともに注入前に比べて約 1.14 倍、2.0m ピッチでは、上・下部層ともに注入前に比べて約 1.06 倍と同程度であり、下部層の改良効果があった点を確認できた。PDC 試験による評価では、下部層の改良効果が低かったが、密度検層ではほぼ同程度の改良効果となった。

2.5. 孔内水平載荷試験

図-5 に孔内水平載荷試験（LLT）とセルフボーリングタイプの孔内水平載荷試験（SB-LLT）から求めた K_0 および変形係数を示す。なお、SB-LLT は 2.0m ピッチのケースのみで測定した。SB-LLT では、事前で 0.5 程度、事後で 1.0 程度と上・下部層で改良効果が確認できる。一方 LLT の上部層では、孔壁の乱れが原因と考えられる値のバラツキ、剛性の低下が見られるが、 N_d 値の上昇が上部層に比べて低かった下部層については、 K_0 および変形係数の増加が確認できる。

3. まとめ

土被り 3m を有する層厚 3m の液状化地盤に対して脈状注入工法を適用し、最終的な地表面の隆起量は、50mm 程度であった。また、PDC 試験では F_c の高い層（下部層）の N_d 値の増加が F_c の低い層（上部層）に比べて低かったが、密度検層による密度増加、LLT および SB-LLT 試験による K_0 値および変形係数の増加を確認した。 N_d 値の増加が低い場合であっても、密度検層や LLT および SB-LLT を実施することで現場の品質管理を行うことができると考えられる。1つの品質管理手法ではなく、複数を併用することが有効である。

謝辞：本研究は「国土交通省平成 26 年度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)大西ら，脈状注入工法による液状化対策の提案，第 50 回地盤工学研究発表会（投稿中），2015

2)小島ら，脈状注入による液状化対策効果の評価手法に関する検討，第 50 回地盤工学研究発表会（投稿中），2015

3)水野ら，脈状注入改良地盤の品質確認手法に関する検討，第 50 回地盤工学研究発表会（投稿中），2015

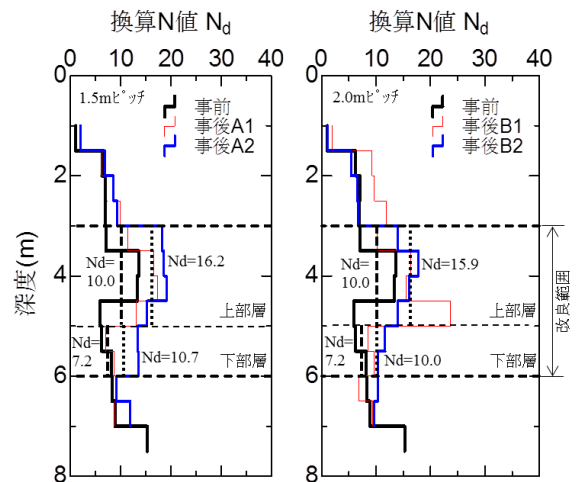


図3 事前事後の N_d 値比較

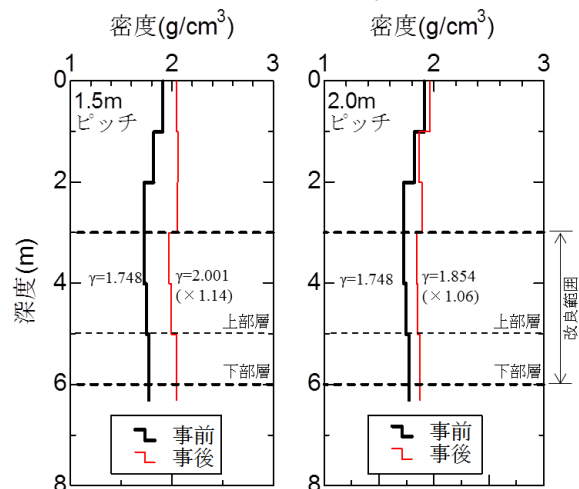


図4 密度検層結果比較

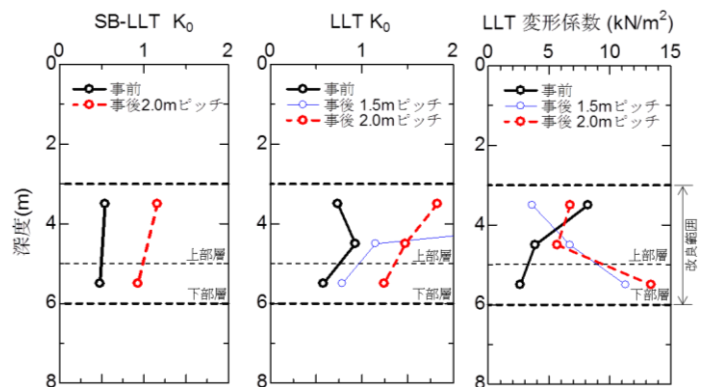


図5 LLT 試験から得られた K_0 値と変形係数比較