

交通運輸技術開発推進制度  
研究成果報告書  
(ダイジェスト版)

鉄道施設の液状化被害の軽減に向けた  
地盤改良工法の開発および実用化

平成29年3月  
(公財) 鉄道総合技術研究所

## 研究成果要約

作成年月	平成 29 年 3 月
研究テーマ名	2020 年オリンピック・パラリンピックに向けた強靱化
研究課題名（課題番号）	鉄道施設の液状化被害の軽減に向けた地盤改良工法の開発および実用化（2014-1）
研究代表者名	（公財）鉄道総合技術研究所 井澤 淳
研究期間	平成 28 年 5 月 13 日～平成 29 年 3 月 31 日
研究の目的	<p>研究代表者らは、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て周辺地盤を密実化させ、低改良率で液状化被害の軽減が可能な脈状地盤改良工法について基礎的な開発を行ってきた。本工法を実用化できれば、従来工法の 2 割程度のコストで液状化対策が可能となる。また、小型機械で実施可能なため首都圏の狭隘箇所でも適用できると共に、改良率も低いため注入量が少なく施工期間も短縮できる。したがって、低コストで短期間に液状化対策が実施でき、大規模地震時の液状化被害の軽減、首都機能の早期復旧を可能とする国土の強靱化に大きく貢献可能である。本研究では、脈状地盤改良工法について振動台実験や数値解析により液状化対策効果を定量的に評価するとともに、現場施工試験によって鉄道施設での施工性、適用性の確認を行い、設計手法を取りまとめて実用化を可能とすることを目的とする。</p>
研究成果の要旨	<ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 平成 26 年に実施した施工試験箇所において改良品質の経年変化を確認し、施工後 2 年経過した場合でも改良品質が維持されていることを確認した。</li> <li>(2) 施工を実施した箇所に多点でピエゾドライブコーン試験などの調査を適用し、品質管理方法を検討した。その結果、品質確認手法の適用は 20m 区間に 1 箇所程度でよいこと、注入圧を確認しながら注入を実施することで改良品質を確認しながら施工を進められる可能性があることを確認した。</li> <li>(3) 効率的に施工を行うことを目的とした 2 点同時注入による施工法について施工試験を実施して検討した結果、適切に施工可能であること、十分に改良効果が得られていることを確認した。</li> <li>(4) これまでの成果を設計・施工マニュアルとしてまとめ、営業線盛土直下の液状化層に対して本工法を実適用した。</li> <li>(5) 実適用箇所に対して注入前後での品質確認試験を実施し、適切な改良効果が得られていること、十分に液状化対策が出来ていることを確認した。</li> </ol>
知的財産権 取得状況	特許出願 3 件
研究成果発表実績	<p>論文発表：国内 2 件、海外 0 件          口頭発表：国内 8 件、海外 0 件          その他 : 2 件</p>

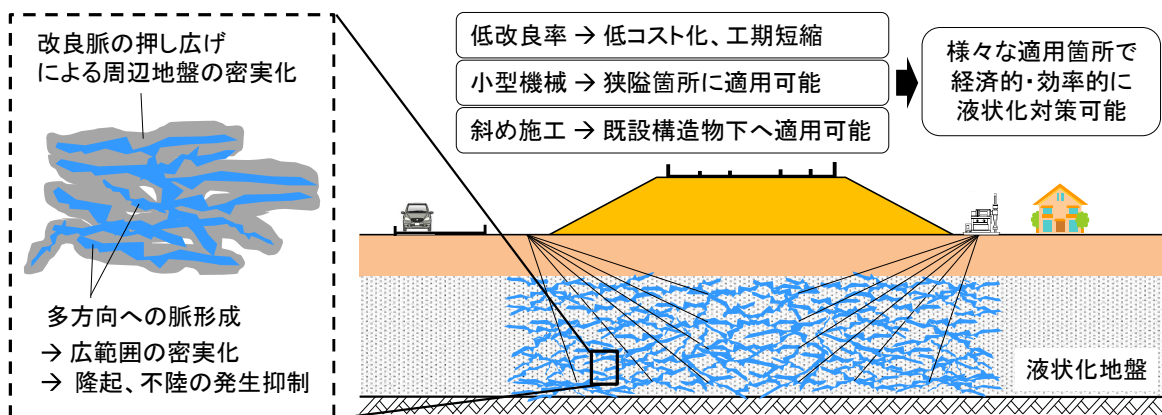
## 研究開発の目的と実施体制

### 研究開発の目的

都市機能が集中する首都圏は東京湾に流れる河川の堆積地盤や埋め立て地盤で占められているため、地震時に液状化に至る地盤が広範囲に存在している。地盤が液状化に至ると、首都機能の根幹を担う鉄道システムは大きな被害を受ける事が想定される。また、復旧にも大きな時間を要するため、首都機能の復元に多大な影響を与える。一方で、首都直下地震の発生が危惧されており、液状化による被害の軽減に向けた対策を、可能な限り広い領域に対して早急に実施する必要がある。しかしながら、従来採用されている液状化対策工法は、液状化地盤を完全に改良する高改良率を前提とした高コストの工法（改良率 30~40%、改良域 1m<sup>2</sup> 当り 4~5 万円）であるため、広範囲の領域を対象として液状化対策を実施することが困難であるのが現状である。また、大型機械を必要とする工法であるため、首都圏の狭隘な箇所へ適用には不向きである。したがって、小型の施工機械を用いて効率的かつ安価に液状化対策を実施出来る工法を開発し、早急に首都圏の広範囲の液状化対策を実施することが望まれている。

研究代表者らは、平成 24 年度より小型の施工機械を用いて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、周辺地盤を密実化させることで、低改良率（10%程度）で液状化被害の軽減が可能な脈状地盤改良工法について基礎的な検討を行ってきた。その結果、砂質土を中心とする液状化地盤に脈状改良体を作成し、密実化が可能であること、未改良地盤と比べて液状化抵抗が十分に増加することを確認してきた。本工法を実用化することが出来れば、従来工法よりも 2 割程度のコスト（改良率 10% で改良域 1m<sup>2</sup> 当り 1 万円弱）で液状化対策の実施が可能となる。また、小型機械を用いているため首都圏の狭隘な箇所でも適用できると共に、改良率も低いため注入量が少なく施工スピードも早い。したがって、首都圏の広範囲に液状化地盤を低コストで早急に改良する事が可能となり、大規模地震時の液状化被害の軽減、首都機能の早期の復旧を可能とする国土の強靱化に大きく貢献すると期待出来る。

そこで本研究では、脈状地盤改良工法について、振動台実験や数値解析により液状化対策効果を定量的に評価するとともに、現場施工試験によって鉄道施設での施工性、適用性の確認を行い、最終的に設計手法の整備までを行うことで、現場での実用化を可能とすることを目的とする。



狭隘な既設鉄道構造物下の脈状地盤改良のイメージ

## 研究実施体制

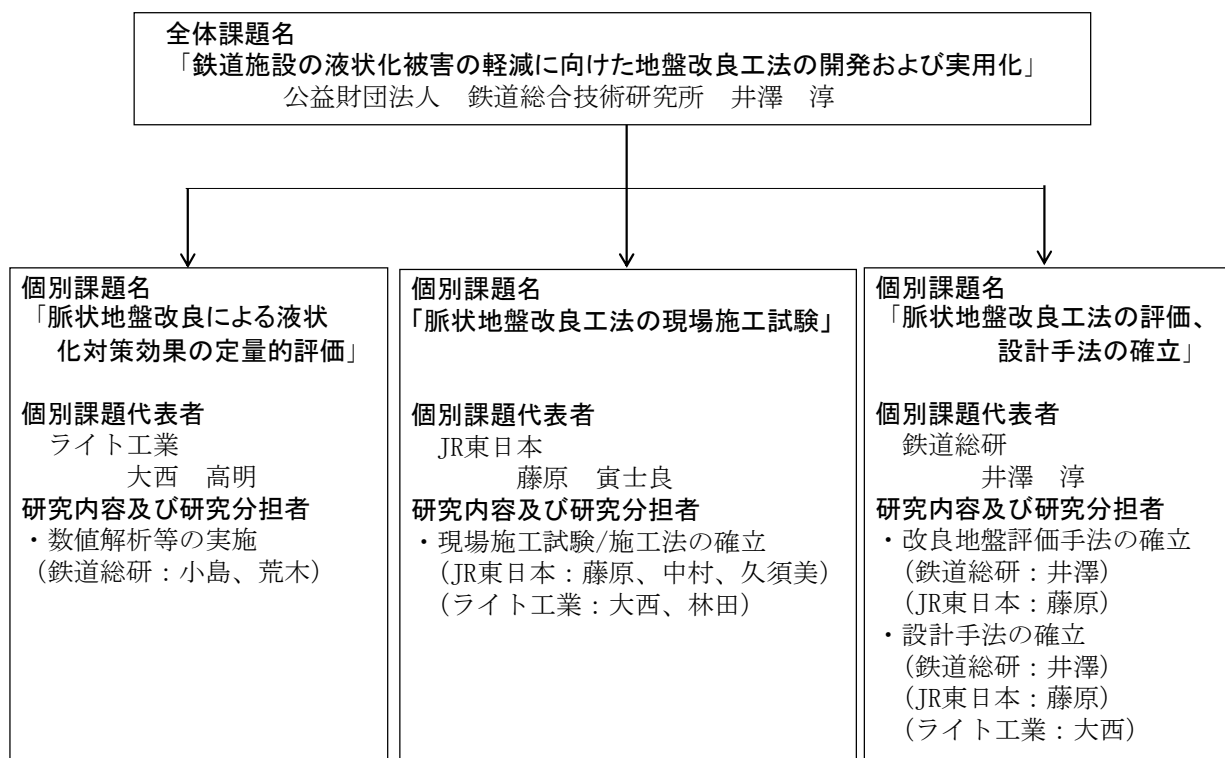
本件研究では、工法開発、評価手法の開発を経て、鉄道施設への実用化までを3年間で行うため、それぞれの分野を得意とする機関と連携して効率的に研究を進める必要がある。本研究に参画する機関は、以下に示す通り、研究を遂行するに当たってそれぞれ卓越した技術や経験、ノウハウを有している。

**鉄道総研**：鉄道構造物の設計標準を管理する研究機関として、液状化地盤の挙動評価、対策工法の評価など、多くの知見を有している。

**ライト工業**：地盤改良のパイオニアとして60年を超える技術開発とノウハウを蓄積しており、本工法で考えている「脈」を造る動的注入に関して、非常に高い技術力を有している。

**JR東日本**：首都圏に長区間の鉄道路線を有しており、鉄道施設の液状化対策の実績について多くの経験、知見を有している。

以上より、上記3機関でのグループ研究を行う事で、本研究の目的である脈状地盤改良工法の実用化までを短期間で効率的に遂行出来る。



## 研究開発成果

### 1. 序論

首都圏に広範囲に広がる液状化地盤を効率的かつ安価に対策可能な脈状地盤改良工法の実用化に向けて、①改良品質の長期持続性に関する検討（2章）、②実施工箇所品質管理方法に関する検討（3章）、③効率的な施工方法に関する検討（4章）を実施し、昨年度までの成果も含めて設計手法を検討し、設計・施工マニュアル（5章）を作成した。以下にその概要を示す。

### 2. 改良品質の長期持続性に関する検討

平成26年に実施した施工試験箇所において、改良品質の経年変化を確認するためのピエゾドライブーン試験（以降、PDC試験）ミニラムサウンディング試験（以降、mini-RAM試験）、セルフボーリングタイプの孔内水平載荷試験（以降、SB-LLT試験）を実施し、換算N値（ $N_d$ 値）や静止土圧係数（ $K_0$ ）を計測した。

本試験施工箇所では、昨年度までに施工完了から7日後と1年後に調査を実施しており、今年度、2年後の調査を実施した。図2.1に品質確認調査の適用位置等を示す。 $N_d$ 値については注入7日後と1年後にPDC試験を、注入2年後にmini-RAM試験を行い、静止土圧係数 $K_0$ は地盤の緩みを極力抑制可能でより精緻に $K_0$ 増加を確認できるSB-LLTを用いた。

図2.2に注入前、注入7日後、注入1年後および2年後の $N_d$ 値および $K_0$ 値を示す。本工法は不均質な改良となるため、 $N_d$ 値は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、2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。またいずれの時点でも、上部層（3.0-5.0m）の増加率に対して、下部層（5.0-6.0m）の増加率が低い結果となった。これは、細粒分の多い下部層では、密度増加による剛性や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。 $K_0$ 値については、注入前の0.5から注入7日後は1.0程度と約2倍の上昇が確認されていたが、注入1年後、2年後においてもその値を持続していることを確認した。

### 3. 実施工箇所の品質管理方法に関する検討

本工法の実適用にあたり、適用現場において約45m×25m区間をパイロット区間として試験施工を実施した。試験施工区間では、多数の地点でPDC試験やラムサウンディング試験（以降、RAM試験）等を適用することにより、調査の実施間隔等の品質管理手法について検討を行った。実施箇所の平面図を図3.1に示すが、注入方式に応じてA~E区間に分けて施工を実施した。E区間は注入率9%で、A~C区間は注入率の影響を考慮するため15%、10%、13%で、D区間は上部を10%、下部を13%として施工を実施した。また、図3.1に赤線で示すように、E区間では各注入孔列の左下から順に注入を行い、A~D

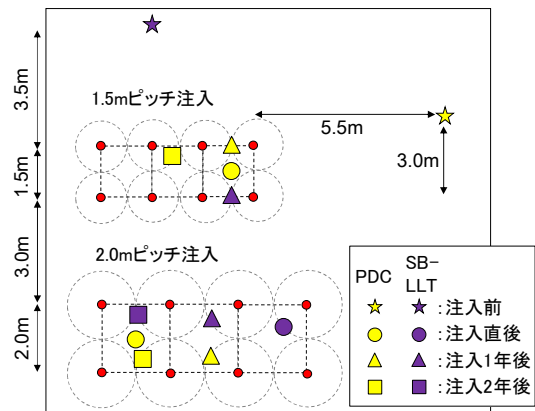


図 2.1 注入孔位置と品質確認調査の位置

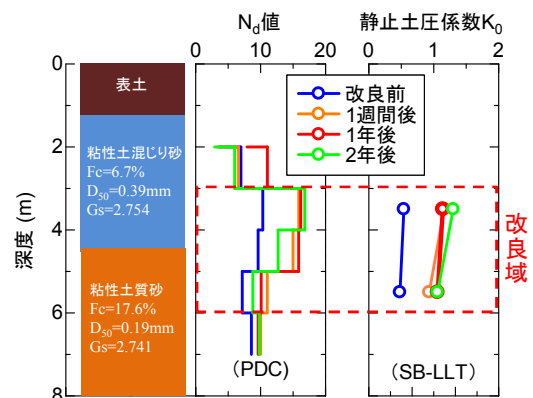


図 2.2 改良品質の経年変化（2.0mピッチ）

区間については改良範囲を囲むように注入した後、内部を注入する施工順序（以降、囲い込み施工）を採用し、その影響についても検討した。

図 3.2 に E ブロック（注入率 9%）で実施した箇所の 4 点の  $N_d$  値の結果を示す。本地点は盛土直下地盤を対象としており、PDC1 および RAM1（盛土高さ約 5m の地点）、PDC2 および RAM2（盛土高さ約 7.1m の地点）で異なる深度を改良しているが、地表面（G.L.）からの深度は 4 点でほぼ同じである。PDC 1 および RAM 1 では有効注入率がそれぞれ 1.56% および 0.55% と、PDC 2 および RAM 2 では有効注入率がそれぞれ 1.35% および -2.39% と、同等深度であっても若干異なる結果となった。逆に深度の異なる PDC 1 および 2 はほぼ同等の値を示し、RAM 1 および 2 は PDC 1 および 2 と比較して低い有効注入率となっている。これは、河川からの距離が PDC 1 と 2、RAM 1 と 2 でほぼ同じであることから、堆積状況が同様の箇所で同様の有効注入率を示したものと考えられる。昨年度までの検討から品質管理として 20m 区間に 1 本程度の調査の実施を標準として

いたが、同様の堆積条件の場合は、この方針が妥当であることを確認した。ただし、堆積条件が異なる場合は、適切に条件を把握した上で、品質管理を計画する必要がある。

E ブロックの結果は、昨年度までの施工試験等で得られた有効注入率と比較して改良品質が低く算定された。施工中の注入圧の管理状況から、注入圧力がこれまでの施工を比較して低い傾向があったため、A~D ブロックは注入量を増加させ、注入率の違いによる圧力増加や  $N_d$  値の増加の傾向についても検討した。なお、A~D ブロックでは囲い込み施工を行っている。図 3.3 に A~D 地点の改良前後の  $N_d$  値を示すが、A~C ブロックでは 9% の地点と比較して大きな  $N_d$  値の増加が見られたが、D ブロックについては、A~C と比較してあまり大きな増加は見られなかった。これらの注入試験における注入圧力と増分  $N_d$  値の関係を図 3.4 に示す。なお、注入圧力は  $N_d$  値を計測した地点の近傍にある 4 つの注入孔の平均値

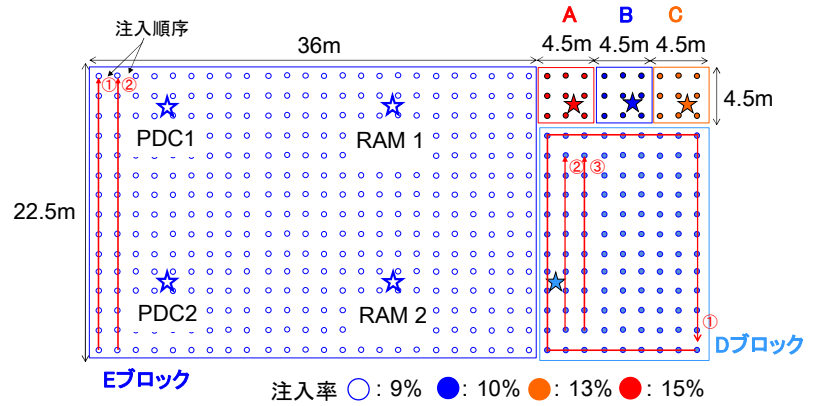


図 3.1 品質管理方法に関する施工試験箇所 平面図

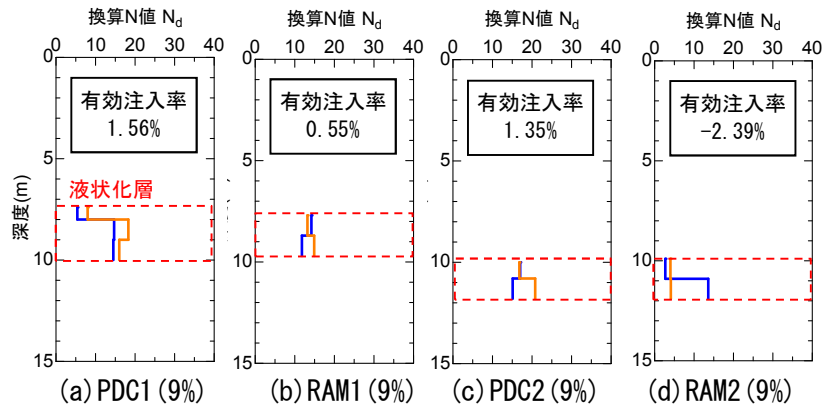


図 3.2 E ブロック（注入率 9%）の改良前後の  $N_d$  値

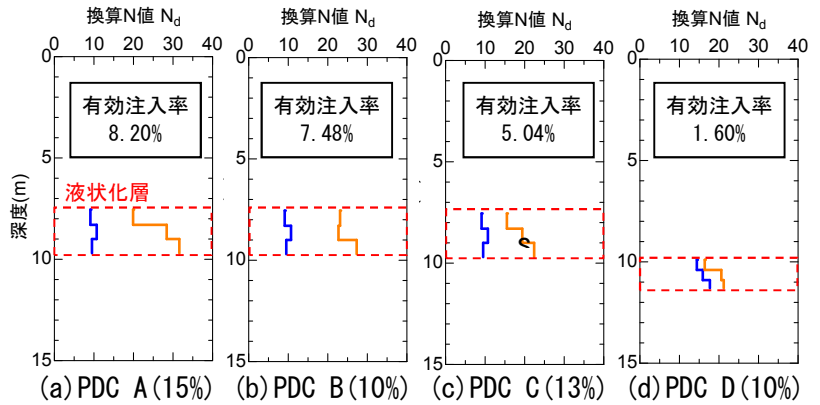


図 3.3 A~D ブロックの改良前後の  $N_d$  値

としている。これらから分かるように、注入効果高かったA~C地点は注入圧力が高く、あまり有効注入率が高くなかったEブロックでは注入圧力が低い。A~Cブロックでは狭いエリアでの囲い込み施工を行ったことが有効に作用した可能性がある。A~Cを比較すると注入率と圧力の相関は必ずしも強くないが、同等の深度の注入であれば改良品質を注入圧力と相関づけられる可能性がある。一方、Dブロックについては、注入圧力は高かったものの、有効注入率が低い結果となった。PDC DはPDC 2、RAM 2と測線に位置しており、この測線の注入深度が深かったことや、元々の  $N_d$  値が高かったため注入圧力が高いにもかかわらず有効注入率としては低い結果となったことが要因と考えられる。

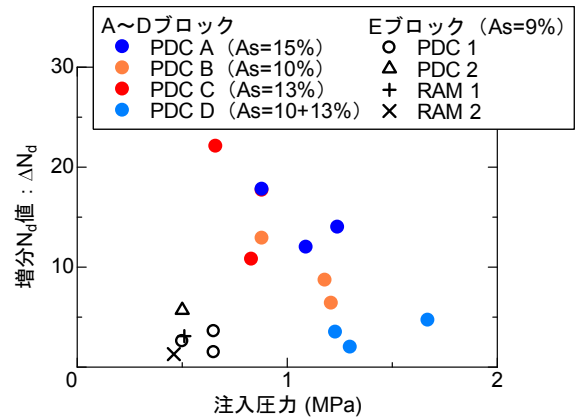


図 3.4 注入圧力と増分  $N_d$  値の関係

以上の結果から、品質確認手法の適用は、地盤の不均質性や改良深度にも影響されるが、一般的な均質地盤では 20m 区間に 1 箇所程度でよいことを改めて確認した。また、注入深さや改良前の  $N_d$  値等を勘案し、注入圧力を確認しながら注入を実施することで、改良品質を確認しながら施工を進められる可能性があることを確認した。

#### 4. 効率的な施工方法に関する検討

##### 4.1 はじめに

これまでの標準的な施工法としては、注入率 10% で注入孔 1 箇所ずつを順に注入してきたが、隣り合う注入孔で同時に注入を実施することでより効率的に締め固められること、工期を短縮できることなどが期待できる。一方で、地表面変位量が増大する可能性があることなど、適切に注入が出来るかを確認する必要がある。そこで、効率的な施工方法の検討として 2 点同時注入時の施工性と注入効果を確認するための施工試験を実施し、1 点の注入方式（標準施工）と比較検討を行った。

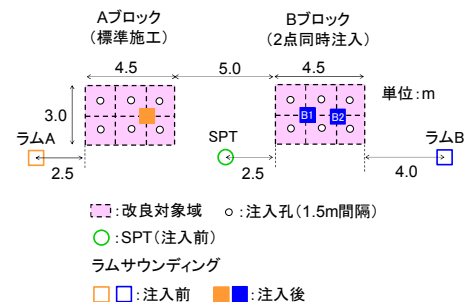


図 4.1 施工箇所平面図

##### 4.2 施工試験概要

図 4.1 に試験施工箇所の平面図と注入孔および標準貫入試験（以降、SPT 試験）、RAM 試験の実施箇所を示す。図 4.2 に改良前に実施した SPT 試験、RAM 試験結果を示すが、地表から 3.5m 程度までが埋土層、深度 9.1m 程度までが砂質シルトとシルトの互層、その下の層厚 2.6m 程度が砂質土層となっている。深度 9.1m からの砂質土層は  $N$  値が 10~23 程度で、液状化判定の結果から液状化の可能性のある層として判定されており、今回の施工試験の改良対象層とした。なお、改良対象層は表 4.1 に示すように細粒分の違いで 2 層に分けられる。

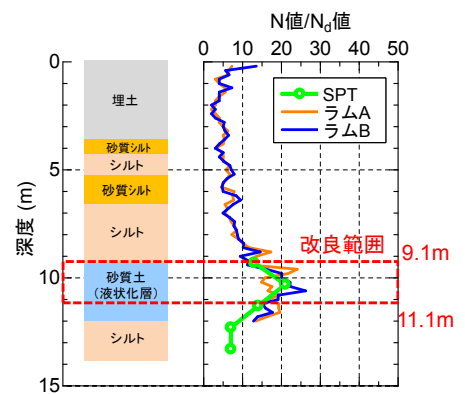


図 4.2 事前調査結果

表 4.1 改良対象層の諸元

	N 値	D <sub>50</sub>	F <sub>c</sub> (%)
9.1-9.6m	13.0	0.114	29.0
9.6-10.8m	21.0	0.287	8.1
10.8-11.7m	14.0	0.364	8.8

施工試験では図 4.1 に示すとおり A、B ブロックに分け、A ブロックは標準施工で 6 点、B ブロックは 2 点同時注入で 6 点、いずれも 1.5m ピッチで実施した。標準施工と 2 点同時施工の注入順序のイメージを図 4.3 に示すが、2 点同時注入のケースは図 4.4 に示すように施工機械 2 台を用いて同時に注入を行った。いずれのケースも注入率 10% で施工を実施し、施工中は注入孔直近で地表面変位量を計測した。

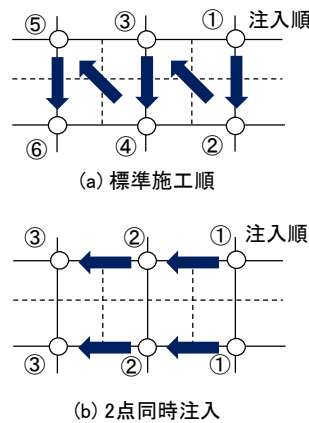


図 4.3 施工順序のイメージ



図 4.4 2 点同時注入時の施工状況

#### 4. 3 施工試験結果

##### (1) 地表面変位

図 4.5 に施工順序、変位量計測位置を、表 4.2 に施工日と実施注入量および注入圧力を示す。今回の試験施工では、地表面変位が過大となった場合でも、注入量を低減することなく、全ての注入孔で計画注入量の 100% 注入を実施した。注入圧力は 2 点同時施工の B ブロックで大きな値が発生することが予想されたが、全ての注入孔で 0.2~0.9MPa 程度であり、A ブロックとの大きな差異は無かった。なお、これまで実施してきた他の研究開発成果における自然地盤における試験施工の注入圧力と比較すると、本施工試験における注入圧力は全体的に低い傾向となった。特に注入ステップ終盤（注入改良範囲上部）の注入圧力が低い傾向にあり、これは注入改良範囲（砂質層）以浅に介在するシルト層の影響が考えられる。地表面変位の測定結果を図 4.6 に示すが、A ブロック、B ブロック共に極めて近傍の地点であっても 5mm 程度の隆起量で施工できており、2 点同時注入であっても大きなトラブルなく施工できることを確認した。なお、B-1 の点については削孔水の影響で沈下に転じるなどの不具合が生じたが、過大な変位が生じていないことを確認している。

##### (2) 改良品質

改良品質を確認するため、注入後約 20 日後に RAM 試験を実施した。なお、図 4.1 に示すように A ブロックで 1 箇所、B ブロックで 2 箇所（B-1、B-2）と

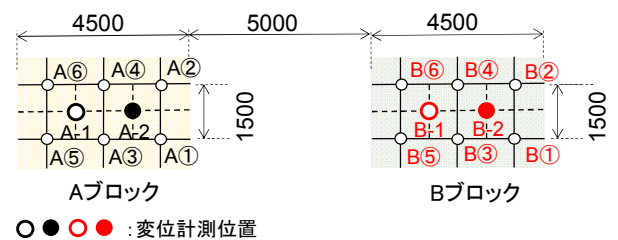


図 4.5 注入順序と変位量計測位置

表 4.2 施工時の平均流量および注入圧力

施工日	孔番	平均流量	注入圧力
1(7/27)	A①	5.9 L/min	0.2~0.4 MPa
2(7/28)	A②	6.2 L/min	0.3~0.5 MPa
	A③	6.7 L/min	0.3~0.5 MPa
3(7/29)	A④	5.9 L/min	0.3~0.7 MPa
	A⑤	6.5 L/min	0.4~0.7 MPa
4(7/30)	A⑥	6.2 L/min	0.5~0.8 MPa
	B①	6.1 L/min	0.3~0.6 MPa
5(8/1)	B②	6.1 L/min	0.4~0.9 MPa
	B③	6.1 L/min	0.3~0.7 MPa
	B④	6.0 L/min	0.4~0.7 MPa
	B⑤	6.3 L/min	0.4~0.7 MPa
	B⑥	5.9 L/min	0.4~0.7 MPa

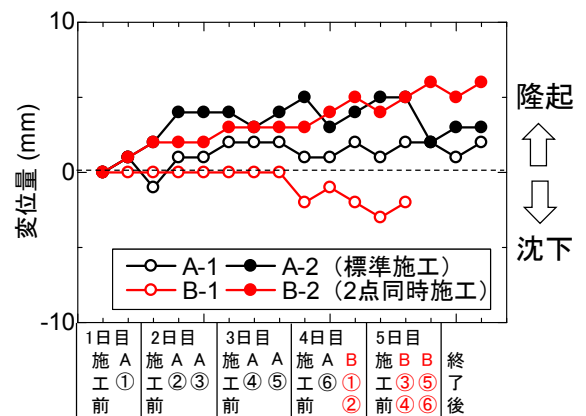


図 4.6 施工中の地表面変位量



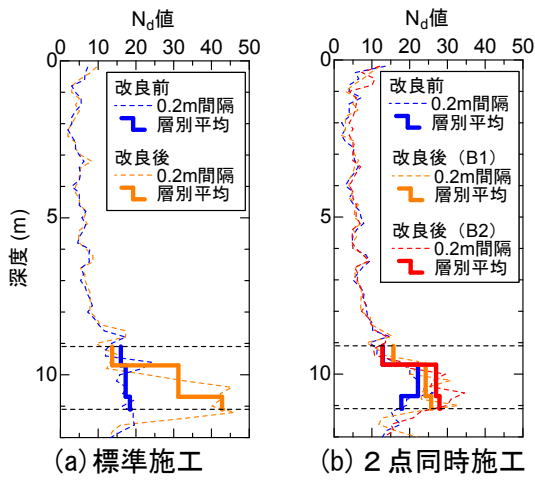


図 4.7 改良前後の  $N_d$  値

表 4.3 スペクトルⅡに対する液状化判定結果

(a) 改良前			(b) 改良後		
下面深度(m)	$N_d$ 値	$F_L$	下面深度(m)	$N_d$ 値	$F_L$
9.6	12.9	0.458	9.6	15.5	0.542
10.1	20.1	0.500	10.1	24.2	0.708
10.6	23.5	0.625	10.6	27.9	1.000
11.1	19.2	0.417	11.1	23.3	0.563
11.7	16.2	0.344	11.7	15.2	0.320
$P_L = 6.64$			$P_L = 4.71$		

した。各ブロックの注入前後の  $N_d$  値を図 4.7 に示す。A ブロックの注入後  $N_d$  値は、GL-10.2~11.1m 付近で 40 前後と非常に高くなっている。本工法の通常の改良効果を考えると過剰であることから、密実化による  $N$  値の増加だけではなく、レキまたは改良体自体を打撃した可能性が高い。なお、A ブロックの調査は 1 箇所しか行えなかったため、これ以上の考察が出来ない。B ブロックは、深度によるバラツキはあるものの、5~10 程度の  $N_d$  値の増加が確認できており、2 点同時注入を用いて適切な注入が実施出来ることを確認した。B ブロックの RAM の結果を用いて実施した改良前後での液状化判定結果を表 4.3 に示す。元々、液状化層が薄く深度も深いため事前の  $P_L$  値は 6 程度の地盤ではあったが、注入によって 5 以下となり液状化の影響の小さい地盤まで液状化程度を低減することが出来た。

### 5. 脈状地盤改良工法の設計手法に関する検討

これまでの成果を表 5.1 に示すような設計・施工マニュアルとしてまとめ、実務に適用可能な工法とした。このマニュアルを用いて、営業線盛土直下の液状化層に対して本工法を実適用した。本現場では軌道面からの鉛直削孔が困難なため、図 5.1 および図 5.2 に示すように斜めボーリングによる施工を実施した。軌道変状などの影響もなく、設計上設定した量の薬液を注入することができ、適切に施工を進められていることを確認している。本現場において実施した改良前・後の  $N_d$  値の一例を図

表 5.1 設計・施工マニュアル

(目次)

第 1 章	脈状地盤改良工法の概要
第 2 章	調査
第 3 章	設計
第 4 章	設計論
第 5 章	注入試験
第 6 章	施工
第 7 章	施工管理
第 8 章	評価

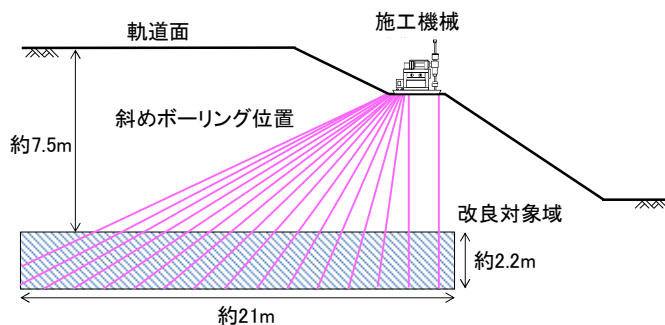


図 5.1 実適用した営業線盛土地点の施工概念図

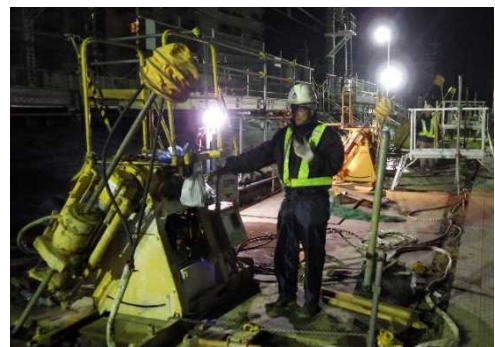


図 5.2 実適用箇所の施工状況

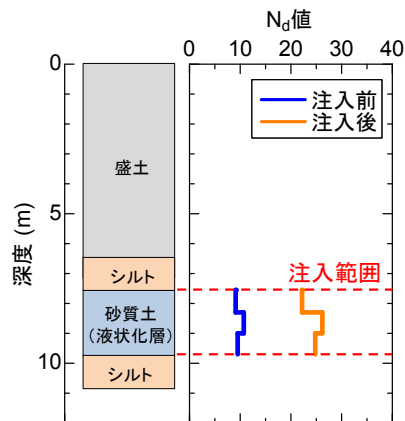


図 5.3 実適用箇所の改良品質確認結果の一例

表 5.1 実適用箇所の液状化判定結果の一例

	検討深度(m)	N <sub>d</sub> 値	F <sub>L</sub>	P <sub>L</sub>
注 入 前	7.55 - 8.30	9.10	0.375	
	8.30 - 9.00	10.7	0.375	11.3
	9.00 - 9.70	9.50	0.326	
注 入 後	7.55 - 8.30	22.2	0.834	
	8.30 - 9.00	26.2	1.042	2.0
	9.00 - 9.70	24.8	0.834	

5.3 に、この値を用いたスペクトル II に対する液状化判定結果を表 5.2 に示す。各層での F<sub>L</sub> は 1 を下回っていることから完全に液状化を抑制するものではないものの、構造物に対する液状化の影響を無視できる P<sub>L</sub>=5 以下まで液状化程度を抑制出来ている。これにより、作成した設計・施工マニュアルを用いた脈状地盤改良工法により、適切に液状化対策が可能であることを確認した。

## 6. まとめ

- (1) 平成 26 年に実施した施工試験箇所において、改良品質の経年変化を確認するためのミニラムサウンディング試験、セルフボーリングタイプの孔内水平載荷試験を実施した。その結果、施工後 2 年経過した場合でも改良品質が十分に維持されていることを確認した。
- (2) 平成 27 年度に現地施工を実施した箇所に、多点でピエゾドライブコーン試験などの調査を適用し、品質管理方法を検討した。その結果、品質確認手法の適用は 20m 区間に 1 箇所程度でよいことを改めて確認した。また、注入深さや改良前の N<sub>d</sub> 値等を勘案し、注入圧を確認しながら注入を実施することで、改良品質を確認しながら施工を進められる可能性があることを確認した。
- (3) 効率的に施工を行うことを目的とした 2 点同時注入による施工法について、施工試験を実施して検討した。その結果、2 点同時注入した場合でも地表面隆起量は 5mm 程度に抑えられ、適切に施工可能であることを確認した。また、注入前後のラムサウンディング試験の結果、N<sub>d</sub> 値が増加しており、十分に改良効果が得られていることを確認した。
- (4) これまでの成果を設計・施工マニュアルとしてまとめ、実務に適用可能な工法とした。本マニュアルを用いて、営業線盛土直下の液状化層に対して本工法を実適用した。なお、本現場では、軌道面からの鉛直削孔が出来ないため、斜めボーリングによる施工を実施した。軌道変状などの影響もなく、設計上設定した量の薬液を注入することができ、適切に施工を進められている。
- (5) (4) に述べた実適用箇所に対して注入前後での品質確認試験を実施した。注入前後のミニラムサウンディング試験の結果、適切な改良効果が得られていることを確認した。また、この結果を用いて液状化判定を実施した結果、注入後の地盤では P<sub>L</sub><5 となり、構造物に与える影響を無視できるレベルまで液状化程度が低減出来ていることを確認した。これにより、作成した設計・施工マニュアルを用いた脈状地盤改良工法により、適切に液状化対策が可能であることを確認した。

## 7. 知的財産権取得状況

特許出願 2件

- ・ 出願番号 2015-083017 (出願日 2015/04/15) 地盤の液状化対策工法
- ・ 出願番号 2016-162392 (出願日 2016/08/23) 複合式脈状地盤改良工法

## 8. 研究成果発表実績

### 1) 論文発表

国内 2件、海外 0件

- [1] 井澤 淳、大西高明、藤原寅士良、舘山 勝：脈状地盤改良工法による液状化対策、地盤工学会誌、第 64 巻、第 5 号、pp. 26-27、2016.5.
- [2] 井澤 淳、荒木 豪、小島謙一、舘山 勝、大西高明、藤原寅士良：効率的な液状化対策が可能な脈状地盤改良工法の開発、鉄道総研報告、第 30 巻、第 5 号、pp. 23-28、2016.5.

### 2) 口頭発表

国内 8件、海外 0件

- [1] 細井 学、藤原寅士良、井澤 淳、荒木 豪、大西高明、林田 晃：脈状注入による液状化対策工法の試験施工結果、第 51 回地盤工学研究発表会、2016.9.
- [2] 水野弘二、藤原寅士良、井澤 淳、荒木 豪、大西高明、林田 晃：脈状注入による液状化対策工法の注入率と算定改良率の関係、第 51 回地盤工学研究発表会、2016.9.
- [3] 荒木 豪、井澤 淳、小島謙一、上田恭平、大西高明、藤原寅士良：脈状地盤改良による液状化対策効果に関する振動台実験、第 51 回地盤工学研究発表会、2016.9.
- [4] 井澤 淳、荒木 豪、小島謙一：脈状注入による液状化対策効果の簡易評価手法、第 51 回地盤工学研究発表会、2016.9.
- [5] 荒木 豪、井澤 淳、小島謙一、大西高明、藤原寅士良、細井 学、水野弘二：脈状改良による液状化対策効果の持続性に関する検討、第 71 回年次学術講演会、2016.9.
- [6] 荒木 豪、井澤 淳、小島謙一、藤原寅士良、細井 学、水野弘二、大西高明、林田 晃：脈状注入による地盤改良効果の持続性に関する検討、第 13 回地盤工学会関東支部発表会、2016.10
- [7] 井澤 淳、小島謙一、荒木 豪、大西高明、藤原寅士良、細井 学、水野弘二：2 点同時注入による効率的な脈状注入工法の検討、第 52 回地盤工学研究発表会、2017. 7. (投稿済み)
- [8] 荒木 豪、井澤 淳、小島謙一、大西高明、藤原寅士良、細井 学、水野弘二：脈状注入による地盤改良効果の持続性に関する検討、第 52 回地盤工学研究発表会、2017. 7. (投稿済み)

### 3) その他 (研究内容報告書、機関誌発表、プレス発表等)

- ・ 井澤 淳、大西高明、藤原寅士良、舘山 勝：低コストで液状化地盤を改良する、RRR (鉄道総研月刊 PR 誌)、2017.6 (予定)
- ・ 鉄道総研プレスリリース：2017.3 (予定)

## 9. 参考文献 なし