

高圧噴射攪拌工法による矩形改良体を活用した 液状化対策工法と施工事例

コンパクト・ジオラティス工法—矩形

田屋 裕 司・島 村 淳・阿 部 宏 幸

2011年の東日本大震災を契機に南海トラフ巨大地震での被害想定が見直され、庁舎等の防災拠点整備や耐震改修等による企業のBCP対応が活性化している。この対応策の一つとして、既存建物やインフラに対し、事業を継続しながら液状化対策が可能な高圧噴射攪拌工法による格子状地盤改良工法（コンパクト・ジオラティス工法）を開発した。

コンパクト・ジオラティス工法—矩形（以下「本工法」という）は、そのコンパクト・ジオラティス工法の課題であったローコスト化を目的に開発された工法である。本稿では、本工法の概要や施工事例などについて紹介する。

キーワード：高圧噴射攪拌工法、液状化対策、矩形改良、出来形、コア強度、変動係数

1. はじめに

2011年の東北地方太平洋沖地震では、東北から関東の広範囲で地盤の液状化により多くの住宅や道路が甚大な被害を受けた。また、工場などでは建屋は無事でも周辺インフラに液状化が発生し、操業に大きな影響が生じた事例もある。今後発生が懸念される南海トラフ巨大地震の被害総額は政府推計で220兆円とも言われ、被害ゼロは不可能と考えられる中「減災」に注目が集まっている。この対応策の一つとして、既存建物やインフラに対し、事業を継続しながら液状化対策が可能なコンパクト・ジオラティス工法（以下「従来工法」という）を開発した（図—1）¹⁾。

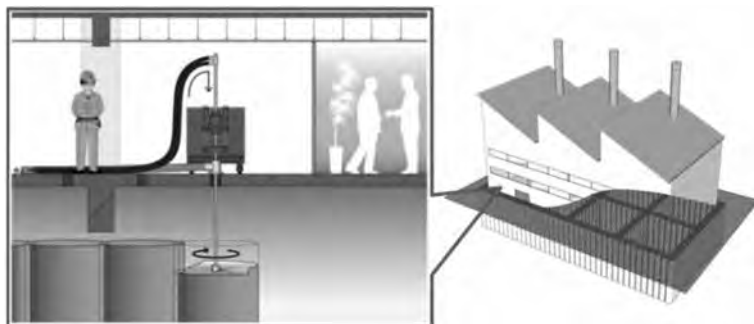
従来工法は、地中に高圧のセメントミルクを噴射・攪拌し改良体を造成する高圧噴射攪拌工法を用いて、格子状の地盤改良壁を構築する工法である。高圧噴射攪拌工法特有の小型施工機械を用いることで既存建

物・インフラへの対策を可能にしたものの、コストが高いため適用はあまり進んでいない。そこで、課題であったローコスト化を目的に本工法を開発することとした。

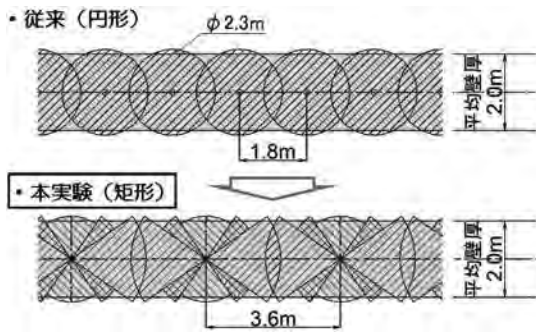
本稿では、本工法の概要、施工実験による検証、及び矩形改良体の施工事例について紹介する。

2. 工法の概要

本工法は、従来では円形を柱列状に連続配置していた改良体を矩形型にすることで、改良体の本数を削減し工期短縮・施工費削減によるコスト低減を図る工法である。従来と本工法の改良壁断面の比較を図—2に示す。従来の円形柱列では必要な格子壁厚を確保するために改良体の割付本数が多くなるのに対し、形状を矩形型にすることで割付本数を最小限（図では1/2）にすることが可能となる。



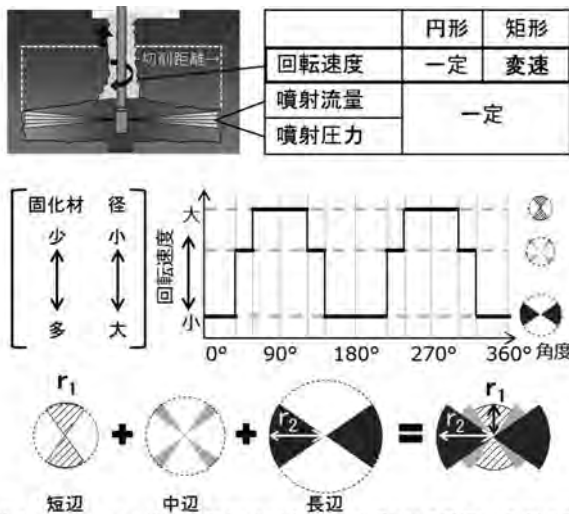
図—1 コンパクト・ジオラティス工法



図一 従来工法と本工法の改良壁断面の比較

(1) 矩形改良体の造成原理

本工法の要素技術となる矩形改良体の造成原理を図一3に示す。高圧噴射攪拌工法の切削距離(=改良径)は、一般に噴射する固化材の流量、圧力と回転速度に依存するため、同一の噴射流量・圧力ではロッドを高速で回転させると小径、低速で回転させると大径の改良体が造成される。本工法では、ロッドを1回転させる間に3段階の回転速度を使い分けることで、3種類の径の扇形を組み合わせた矩形の改良体を造成する。



※塗りつぶし・ハッチングは1回転内における各設定半径の改良範囲(=角度)を示す。

図一3 矩形改良体の造成原理

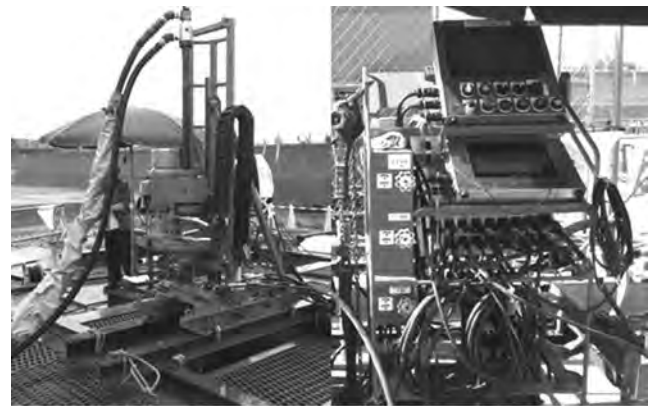
(2) 施工機械

本工法の施工機を写真一1に示す。施工機は本体(幅0.5m×奥行1.0m×高さ1.7m、重量220kg)と操作盤が分離されており、狭隘な場所であっても施工が可能である。また、噴射ロッドを1回転中の任意の角度でロスを少なく回転速度が切換え可能な制御システム、および施工状況をリアルタイムに自動記録・保存できる管理システムを付帯している²⁾。

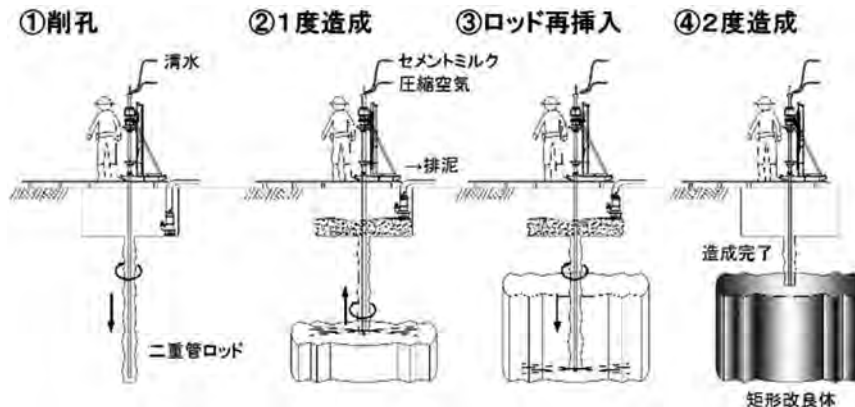
本工法では、改良体を造成する噴射装置(ノズル)の方向管理が品質確保において重要となる。そのため、噴射ロッド同士および噴流装置との接続部は、造成時に捻じれや緩みが生じない新型ロッドも開発した。

(3) 改良体の造成方法

本工法の改良体の施工手順を図一4に示す。改良体の施工は、前述した施工機と専用の二重管ロッドを用いて所定深度まで削孔を行った後、セメントミルクとエアを高圧で水平方向に噴射しながらロッドを回転・引き上げることで改良体を造成する。なお、本工法では、ばらつきの少ない改良品質を確保するため、改良深度で噴射を2回行う2度造成方式を原則としている。



写真一1 施工機(左:本体, 右:操作盤)



図一4 改良体の施工手順

(4) 特長

本工法の特長は以下の通りである。

- ①従来の円形改良体での配置間隔に対し、矩形改良体はより大きな施工間隔で配置させることができるため、改良体施工本数の削減による短工期化・ローコスト化を可能とした
- ②従来と同様に小型の施工機械を用いるため、事業を継続しながら液状化対策ができる
- ③矩形の形状が円形改良体の組合せであるため、噴射仕様（地盤の硬軟や改良径に応じた仕様）の設定において円形での実績を活用でき、矩形形状であっても出来形確保の信頼性が高い

3. 施工実験による検証

本工法の開発にあたっては、矩形改良体の施工性・施工品質を確認するため、原位置施工実験を実施した³⁾。実験場所の土質柱状図と改良深度を図一5に示す。地盤はシルト質細砂主体の埋土で地下水位はGL-1.5m程度であった。実験では、従来の円形改良体（改良径φ2.3m：2体）と矩形改良体（改良径φ2.3-2.8-4.0m：2体）のほか計7体を造成した。造成時の噴射仕様を表一1に示す。なお、設計基準強度は $F_c = 2,000 \text{ kN/m}^2$

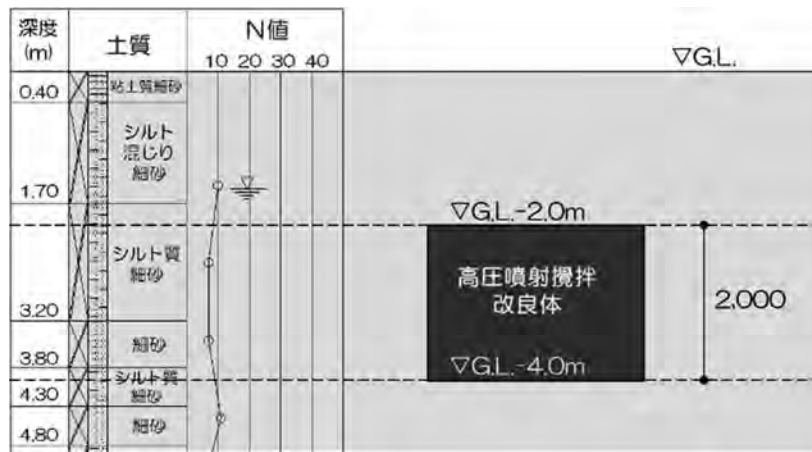
表一1 造成時の噴射仕様

CASE	円形		矩形	
	1回目	2回目	1回目	2回目
造成回数	1回目	2回目	1回目	2回目
注入材の水セメント比(%)	89			
注入材噴射量 (ℓ/分)	180		320	
圧縮空気 (Mpa)	1.05			
回転数 (rpm)	5.0	6.7	2.2 ~ 20.0	
引上速度 (分/m)	8	6	8.9	6.1

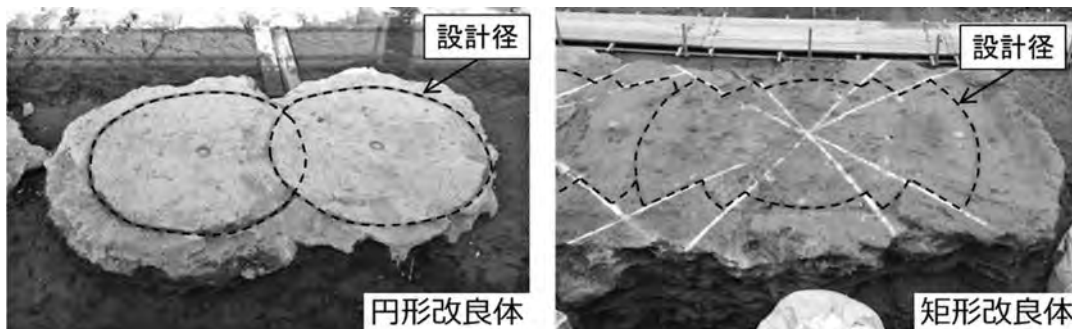
とした。

改良体の出来形を確認するため、造成後に掘出した改良体頭部の外観写真を写真一2に示す。掘出した改良体の出来形は、概ね良好な円形、矩形の形状になっていたものの、円形改良体は実測径が設計径の1.2倍以下であったのに対し、矩形は設計径の1.4倍以上で想定より大きくなる傾向がみられた。これは矩形改良体に開発した新型ロッドの損失係数に起因するもので、今後は施工実績の蓄積により解決できる課題と考えられる。

改良体の強度とばらつきを調査するために実施した鉛直コアボーリング試料の一軸圧縮試験結果を表一2に示す。日本建築センターの改良地盤指針（以下BCJ指針と称す）⁴⁾に準拠して(1)式より求めた不良率



図一5 実験場所の土質柱状図と改良深度



写真一2 改良体頭部の外観

表一 改良体コアの一軸圧縮試験結果

	円形	矩形		
		短辺	長辺	全体
検体数	31	28	27	55
平均圧縮強度 q_{ur} (kN/m ²)	4,662	3,023	4,613	3,803
標準偏差 σ (kN/m ²)	1,233	869	1,054	1,248
変動係数 V_f (%)	26.4	28.8	22.8	32.8
合格判定値 X (kN/m ²)	3,060	1,893	3,244	2,182

10%を考慮した合格判定値 X は、円形、矩形とも設計基準強度 F_c 以上であった。

$$X = q_{ur} - 1.3\sigma \tag{1}$$

ここに、 σ は一軸圧縮強度の標準偏差
強度のばらつきの指標である変動係数については、
円形が26.4%であったのに対し、矩形は32.8%となり
6%強大くなったものの、BCJ指針における規定値
45%を共に満足した。

4. 矩形改良体の施工事例

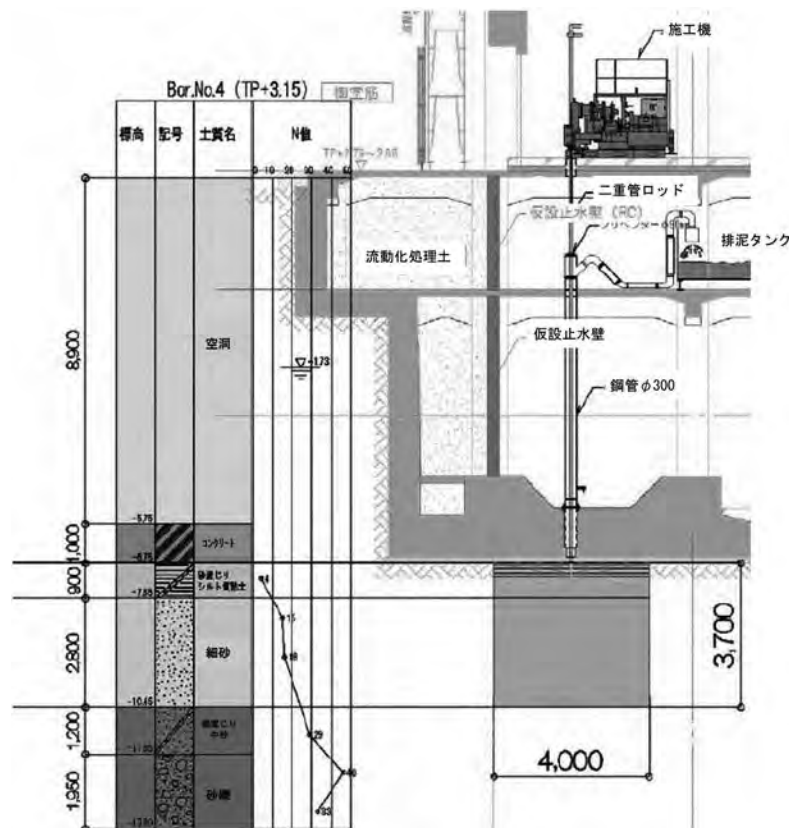
ここでは矩形改良体の施工事例として、市街地に建

つ店舗の建替工事を紹介する。本工事は、既存建物外壁の一部を保存しつつ新築建物と一体化する工事であり、矩形改良体は既存建物下地盤の支持力補強の一部として適用された。

矩形改良体の施工状況を写真一3に、施工概要図を図一6に示す。事後の品質確認は全長コアボーリングにより採取したコア供試体の一軸圧縮試験により行った。採取したコアの一例を写真一4に示す。コア試料は既存建物底版との密着性が良好であり、供試体全54本の一軸圧縮強度はすべて設計基準強度 $F_c = 2,000 \text{ kN/m}^2$ を上回る十分な強度であった。



写真一3 施工状況



図一6 施工概要図



写真—4 採取コアの一例

5. おわりに

本稿では、既存建物やインフラに対し、事業を継続しながら液状化対策が可能なコンパクト・ジオラティス工法の発展版として、矩形形状の改良体を活用して改良体本数の削減を図るコンパクト・ジオラティス工法—矩形の概要や施工事例などについて紹介した。今後も高圧噴射攪拌工法を活用しながら、顧客のニーズに対応できる技術開発を進めていく所存である。

謝 辞

最後に、本工法の開発やプロジェクト適用にご尽力頂きましたケミカルグラウト(株)の関係各位、並びに実

験や本稿のとりまとめにご協力頂いた社内関係者に深謝いたします。

JCMA

《参考文献》

- 1) 田屋裕司, 内田明彦, 本多剛: コンパクト・ジオラティス工法—居ながらできる液状化対策—, 建設機械, pp.21 ~ 24, 2016.5
- 2) 島村淳, 田中伸明, 渡辺陽介, 阿部宏幸: 矩形高圧噴射攪拌工法の開発, 第51回地盤工学研究発表会講演集, pp.1189 ~ 1190, 2016
- 3) 田屋裕司, 奥村豪悠, 内田明彦, 志田翼, 阿部宏幸, 島村淳, 小松和彦, 山中龍: 高圧噴射攪拌工法による矩形改良体の原位置施工実験, 日本建築学会技術報告集 第24巻 第56号, pp.87-92, 2018.2
- 4) 日本建築センター: 改訂版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針, 2002

【筆者紹介】

田屋 裕司 (たや ゆうじ)
 (株)竹中工務店
 技術研究所 地盤・基礎部
 主任研究員

島村 淳 (しまむら あつし)
 ケミカルグラウト(株)
 技術本部 技術開発部
 課長

阿部 宏幸 (あべ ひろゆき)
 ケミカルグラウト(株)
 工事設備部 テクノセンター
 副所長