

高圧噴射攪拌式の地盤改良による既存杭の補修・補強に関する研究  
(その2) 地盤・施工条件と改良体品質

地盤改良 高圧噴射攪拌 既存杭  
品質検査 一軸圧縮強さ 動的変形特性

正会員 ○鎌田 敏幸\* 同 久世 直哉\*\*  
同 島村 淳\* 同 楠 浩一\*\*\*  
同 井上 波彦\*\*\*\* 同 柏 尚稔\*\*\*\*\*  
同 二木 幹夫\*\*

1. はじめに

前報(その1)で述べたように、杭基礎(φ600mmのPHC杭)の補修・補強方法として高圧噴射攪拌工法を用いて、その補修・補強効果を水平載荷試験にて確認した。杭基礎周辺を高圧噴射攪拌工法にて改良した際の出来形について、筆者らの既往研究<sup>1)</sup>にて杭近傍の外周全てを改良できることを確認している。本報では、原位置地盤条件、改良条件、品質確認用改良体の強度特性、動的変形特性について確認した結果について、述べる。

2. 地盤概要と改良仕様

図1に地盤概要と改良範囲を示す。設計改良範囲は、平面1.5m×1.5m、フーチング下端から長さ6mである。改良対象土質は、N値=2の粘土質ローム層、N値=5の凝灰質粘土層、N値=2~11のシルト質細砂層の3種類である。なお、自然地下水位は、深度4.00mであった。高圧噴射攪拌式による造成は、改良体強度のばらつきの低減のために図示するよう2度施工とした。噴射流量は、片側みの噴射で260L/minとし、単位セメント量は890kg/m<sup>3</sup>とした。また、改良対象層の物理特性、力学特性を表1にまとめて示す。水平載荷試験を実施することから、原地盤の孔内水平載荷試験も実施した(表2参照)。孔内水平載荷試験は、地盤工学会基準「地盤の指標値を求めるためのプレッシャーメーター試験方法」に準拠した。

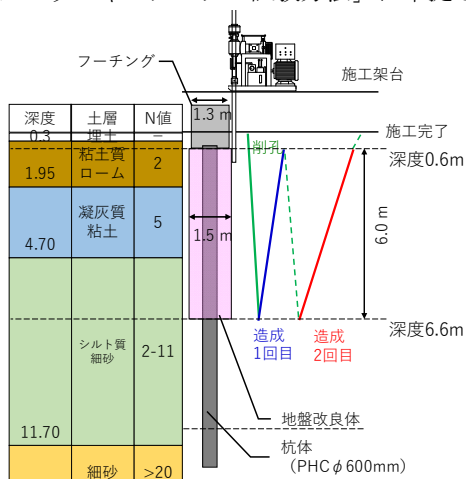


図1 土質条件、改良範囲

表1 各土層の物理・力学特性

土質		粘土質ローム	凝灰質粘土	シルト質細砂
物理特性	土粒子密度 ρs (Mg/m <sup>3</sup> )	2.659	2.651	2.726
	自然含水比 wn (%)	93.1	56.0	54.2
	細粒分含有率 Fc (%)	94.7	80.5	35.7
	液性限界 wL (%)	124.5	90.0	NP
	塑性限界 wp (%)	45.4	31.0	NP
力学特性	一軸圧縮強さ qu (kN/m <sup>2</sup> )	64.7	83.7	88.9
	変形係数 E50 (kN/m <sup>2</sup> )	2.40	4.79	8.16
	試験条件	UU	UU	CD
	三軸粘着力 cu (kN/m <sup>2</sup> )	29.1	34.6	18.2
	せん断抵抗角 φu (度)	3.4	8.8	30.0

表2 孔内水平載荷試験結果

試験対象土層	N値	測量深度 (ゾンデ中心) (m)	降伏圧力 Py (kN/m <sup>2</sup> )	変形係数 E (kN/m <sup>2</sup> )	N値との相関
			粘土質ローム	2	
凝灰質粘土	5	2.5	168.1	6,900	1,380N
シルト質細砂	3	6.2	230.1	16,000	5,330N
細砂	28	13.2	639.8	24,000	860N

表1、表2より対象とするローム層は、典型的な関東ローム層と言える。また、孔内水平載荷試験から測定・算定された変形係数Eの値は、文献<sup>2)</sup>に示されるE=700N(kN/m<sup>2</sup>)という一般的な値よりも大きな値となった。

3. コアによる強度確認

3.1 試験方法

改良体の強度は、採取したコアの一軸圧縮試験により確認した。試験方法は、JIS A 1216:2009「土の一軸圧縮試験方法」に従った。また、品質の確認は文献<sup>3)</sup>に示される検査手法Bに従い、合格判定値を式(1)により算出し、一軸圧縮強さの平均値と合格判定値を比較した。深度方向のコア採取位置は、改良体の全長である。なお、水平方向のコア採取位置は図2に示すとおりである。

$$X_L = F_c + k_b \cdot \sigma_n \tag{1}$$

ここに、 $X_L$ : 合格判定値 (kN/m<sup>2</sup>)  $F_c$ : 設計基準強度 (kN/m<sup>2</sup>)  
 $k_b$ : 合格判定係数(1.3)  $\sigma_n$ : 一軸圧縮強さの標準偏差 (kN/m<sup>2</sup>)

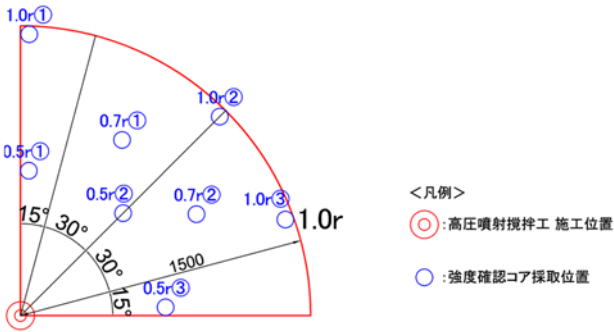


図2 コア採取位置

### 3.2 試験結果 (コア写真、 $q_u$ 、動的変形特性)

コア採取位置 1.0r①におけるコア写真を写真1に示す。コア採取率は、100%であり、1m 毎及び全長においても、改良体としての連続性の目安となるコア採取率を満足していた。



写真1 コア写真 (1.0r①)

また、コアの一軸圧縮強さの深度分布を図3に示す。図には、採取位置 (0.5 r, 0.7 r, 1.0 r) 毎の判定値 ( $q_{u,ave} - 1.3\sigma$ ) と設計基準強度  $F_c = 2,000$  (kN/m<sup>2</sup>) も併記した。さらに、各採取位置別の変動係数 ( $V_n$ ) も示す。図3より、

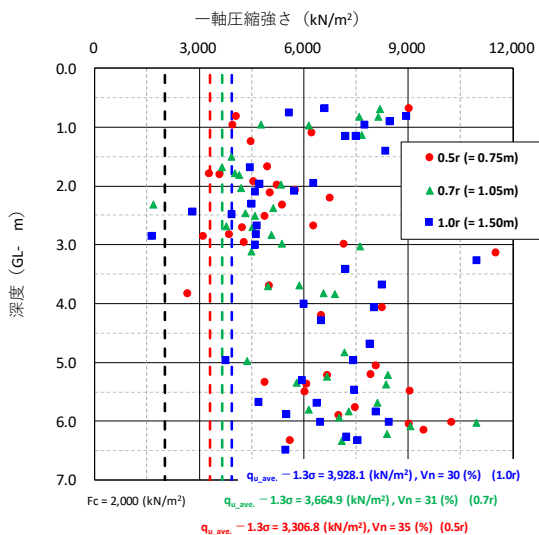


図3 コアの一軸圧縮強度の深度分布

採取位置による強度のばらつきはほとんどなく、どの採取位置においても平均強度から合格判定係数 (1.3) と標準偏差の積を引いた値は、設計基準強度を満足するものであった。全コアの変動係数は 32 % であり、各採取位置別の図中記載の変動係数と差のない値であった。また、原地盤の種別 (粘性土、砂質土) による平均強度、標準偏差、変動係数を、表3にまとめた。原地盤が粘性土層に比べると砂質土層の方が、改良体の平均強度は、約 1.3 程度高く、ばらつきも少なく一般的特徴<sup>4)</sup>と合致している。

表3 原地盤種別の違いによる改良体強度特性

採取土層	粘性土層 (深度 0.6~4.7m)	砂質土層 (深度 4.7~6.6m)
供試体数 n (本)	78	42
平均強度 $q_{u,ave}$ (kN/m <sup>2</sup> )	5,642	7,109
標準偏差 $\sigma_n$ (kN/m <sup>2</sup> )	1,922	1,652
変動係数 $V_n$ (%)	34	23
合格判定値 $X_L$ (kN/m <sup>2</sup> )	4,498	4,147

さらに、セメント改良体の動的変形特性データは既往研究において数少ないことから、凝灰質粘土層 (深度 4.0m) で繰返し単純せん断試験から求めた。得られた動的変形特性を図4に示す。履歴減衰率は、ひずみ増加に伴い徐々に増加して、ひずみ 0.1 で 5~10 % 程度<sup>3)</sup>という深層混合処理工法による改良体とほぼ同様の結果であった。

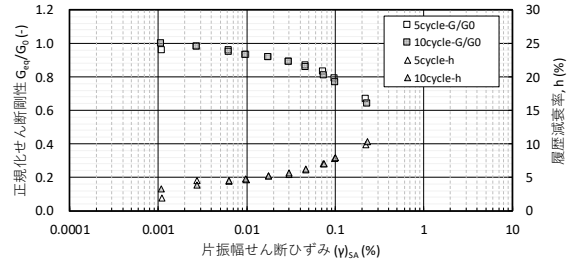


図4 改良体 (深度 4.0 m) の動的変形特性

### 4. まとめ

高圧噴射攪拌工法による既存杭の補修・補強効果を確認するための水平荷試験について、品質確認用の地盤改良体の品質を確認した。高圧噴射攪拌式の地盤改良によって築造された改良体のコア採取率から連続性を確保しており、一軸圧縮強さは設計基準強度を満足していた。

#### 【参考文献】

- 1) 田井秀迪他：高圧噴射攪拌式の地盤改良による損傷杭の補修・補強に関する研究(その2) 改良体の品質および形状確認結果, 2018年度建築学会大会(東北), pp.509-510, 2018
- 2) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説一二分冊の2-1, p.687, 2013
- 3) 日本建築センター、ベタリービング：2018年版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針, 2018
- 4) 見坊東光：高圧噴射攪拌工法の現状・課題と展望, 基礎工, 2017年6月号, pp.7-10, 2017

\* ケミカルグラウト株式会社

\*\* 一般財団法人 ベタリービングつくば建築試験センター

\*\*\* 東京大学

\*\*\*\* 国立研究開発法人 建築研究所

\*\*\*\*\* 国土交通省 国土技術政策総合研究所

\* Chemical Grouting Company

\*\* Tsukuba Building Research and Testing Laboratory, Center for Better Living

\*\*\* The University of Tokyo

\*\*\*\* Building Research Institute

\*\*\*\*\* National Institute for Land and Infrastructure Management