

狭小地向け機械式攪拌工法による格子状地盤改良の原位置施工実験

株式会社竹中土木
株式会社竹中工務店
株式会社エステック
株式会社ワイビーエム

正会員
〇野口達也
内田明彦
中馬忠司
奈須徹夫

正会員
小西一生
田屋裕司
西野良輔
川崎賢一郎

1. はじめに

東日本大震災以降、液状化被害を受けた市街地で恒久的な対策が必要とされている。現在、耐液状化格子状地盤改良工法（TOFT 工法[®]）は液状化抑止の観点で実績が多く信頼性も高いことから、国や一部の自治体において対策工法の一つとして有力視されている。従来の地盤改良機は大型であるため、狭小地が多い市街地を対象とした液状化対策への適用は困難とされてきた。そこで、従来の大型機と同等の施工品質を確保可能な小型地盤改良機（スマートコラム工法）を開発し、狭隘な市街地における液状化対策工事に適用してきた¹⁾。今回、浦安市内の地盤において、実適用に向けて、施工性を含めた施工品質を確認することを目的とした施工実験を行なった。本論では、二軸機を用いて造成した改良体の施工品質の結果について報告する。

2. 小型地盤改良機の概要

単軸機の開発後、更なる効率化を目指し単軸機を改良した二軸機を開発した。二軸機は、軸間距離を調節して、φ800～1,000mm まで対応可能である。また、二軸機の掘削能力は単軸機より大きいので有利となる。これらの機械は、狭小地とされる市街地の道路部などに適用可能と考えられる(写真-1)。



写真-1 スマートコラム工法

3. 実験の概要

施工実験を行った地盤の土質柱状図を図-1に示す。地盤は、GL-1.8m 程度までが埋土、その下部が沖積の砂質層、地下水位は GL-1.4m 程度であった。以上の地盤に対し、格子状地盤改良を想定した施工実験を実施した。試験項目を表-1に示す。改良体の仕様を表-2に示す。改良体は十分な養生期間を経た後、掘り出し調査を行い、目視確認や定量的な計測を行い改良体の一体性を実証することとした。

表-1 試験項目

区分	管理項目	検査方法
改良体品質	改良体強度	ボーリングコアによる一軸圧縮試験 (深度方向・平面方向)
	改良強度のばらつき	
改良壁の 一体性	ラップ部の強度	ラップ部コアによる一軸圧縮試験

表-2 改良体の仕様

区分	仕様
改良径	φ1,000mm×二軸
改良長(深度・平面)	11.5m・4.2m
W/C	100%
設計基準強度	1,500kN/m ²

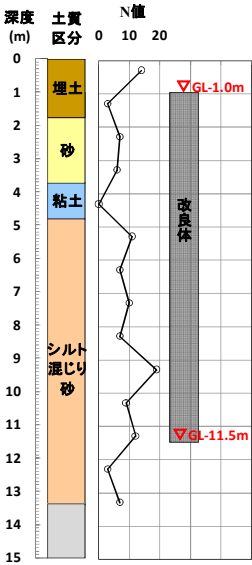


図-1 土質柱状図

4. 実験結果

本実験では施工品質について確認した。施工性については、在来の CDM 工法で規定されている羽切回数 350 回/m 以上²⁾を確保できる配合や施工速度を予備施工試験にて確認し、決定した仕様に基づき改良杭を打設した。施工品質については、圧縮強度、ばらつきについて確認を行なった。

a) 圧縮強度の平面分布

改良体頭部より深度方向に 1m以上、埋土を除く位置(GL-2m 程度)において1断面から 25 本以上のコア(直径 5cm 以上)を採取し、一軸圧縮強度試験により改良体の水平方向の均質性を確認した。コア採取箇所を図-2に示す。また試験結果を表-3に、圧縮強度の平面分布を図-3に示す。コア 42 個中 2 個を除く一軸圧縮強度および全体の変動係数ともに目標値を満足した。

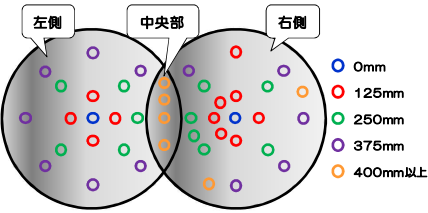


図-2 コア採取箇所

表-3 試験結果

	全体	左側	中央部	右側
一軸圧縮強度(kN/m ²)	2375	2349	2505	2418
変動係数(%)	17			
密度(g/cm ³)	1.84	1.84	1.86	1.85
含水比(%)	33	33	33	32

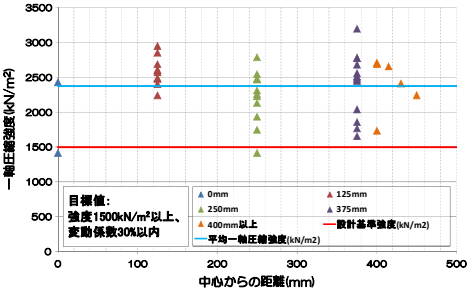


図-3 圧縮強度の平面分布

b) 圧縮強度の深度分布

全長コアボーリングにより採取したコアのうち、同一な土質とみなせる層ごとに供試体を作製し、改良体の深度方向の均質性を確認した。コアは $D/4$ (D は改良直径) の位置で採取し、一軸圧縮強度試験は改良体造成 28 日後に行った。また、深さ 1m 毎のコア採取率も確認している。試験結果を表-4 に示す。各土層において設計基準強度を上回っていることを確認した。また、変動係数についても、目標値 30%以内を満足していることを確認した。なお、貫入・引抜き速度は、原則 0.7m/min(一部の引抜き時 0.5m/min)で実施したが、N 値が 20 付近となる区間 GL-8.75~11.4m については、一定の貫入速度を維持する試験的な手法として、一時的にスラリーの吐出量を増やすことを試みた関係上、他の深度より圧縮強度が高い結果となった。

c) ラップ部の品質

機械式攪拌工法(改良径: $\phi 1,000\text{mm} \times 2$ 軸)による改良体を連続的に造成(遅延剤有無)した後(写真-2)、ラップ部に対して斜めボーリングによる品質の確認を行った。ラップ部のコア数は一接続面当り 4 個以上とした。圧縮試験はラップ部と本体部について実施し、一体性の確認をした。図-4 に採取箇所を示す。コアの密着部の状況を写真-3 に示す。図-5 に圧縮試験の結果を、また、圧縮試験後のラップ部コアの状況を写真-4 に示す。なお、ラップ品質確認試験は、試験深度の関係から、改良品質が不安定な埋土部分(不均質な土質)を含んでおり、基本的には設計基準強度を判定基準とするが、コアのせん断破壊面の状況も踏まえて総合的に判断した。

【A 杭-B 杭】ラップ面の平均圧縮強度は設計基準強度以下となっているが、採取した供試体を目視で比較すると、ラップ面以外で破壊していた。以上から遅延剤なしで翌日施工した場合でも、密着していると推察される。

【B 杭-C 杭】ラップ面の平均圧縮強度は設計基準強度を満足していた。供試体を目視で比較すると、全てにおいてラップ面以外で破壊していた。

【C 杭-D 杭】ラップ面の平均圧縮強度は設計基準強度以下であった。採取した供試体を目視で比較すると、ラップ面で破壊していることが分かる。

2 日以上期間をあけてラップ施工する場合、コールドジョイントによる密着不足が懸念され、実施工においては、遅延剤の適正な添加などによる対策が必要であると考えられる。

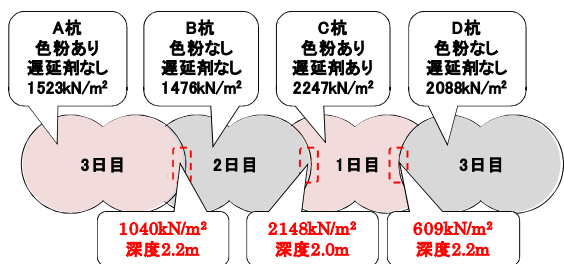


図-5 圧縮試験結果

5. おわりに

小型地盤改良機を用いた機械式攪拌工法による格子状地盤改良の原位置施工実験を実施した。施工実験では、改良体の強度が深度方向及び平面方向について所定の強度を上回ること、従来機(大型機)と同等の変動係数を満足することを確認し、改良体同士のラップ部の品質についても検証した。また、掘り出し調査により、改良体の出来形および改良品質について目視で確認した。当該地盤に適切な施工仕様を確立したことで、同様の地盤に立地する狭小地において、スマートコラム工法による施工で通常の TOFT 工法®と同等の施工品質が得られることを確認した。今後、さらに本工法のニーズが高まることに期待したい。最後に、施工実験の敷地を三井不動産レジデンシャル㈱からご提供頂き、原位置施工実験が可能になったことに感謝申し上げます。

(参考文献) 1) 小西他(2012.6): 戸建住宅地に対応した耐液状化格子状地盤改良工法, 地震時における地盤震災の課題と対策 2011 年東日本大震災の教訓と提言(第二次), 地盤工学会 2) 土木研究センター: 陸上工事における深層混合処理工法設計・施工マニュアル改訂版, 平成 16 年 3 月

表-4 試験結果

項目	土質区分	区間	値	単位
圧縮強度 (平均)	砂	1.7~3.7m	2286	kN/m²
	粘土	3.7~4.8m	2406	
	シルト混じり砂(1)	4.8~8.75m	2831	
	シルト混じり砂(2)	8.75~11.4m	6829	
変動係数	砂	1.7~3.7m	22.2	%
	粘土	3.7~4.8m	16.7	
	シルト混じり砂(1)	4.8~8.75m	27.0	
	シルト混じり砂(2)	8.75~11.4m	23.9	



写真-2 改良体の掘り出し状況

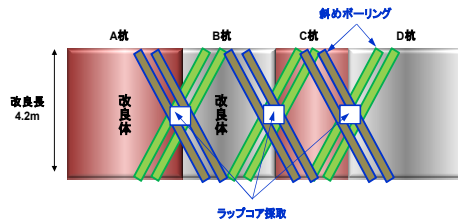
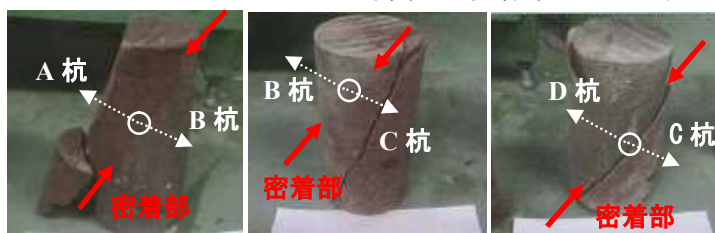


図-4 コア採取箇所



写真-3 密着部のコア外観



A 杭-B 杭

B 杭-C 杭

C 杭-D 杭

写真-4 圧縮試験後のコア外観