

4. 既設戸建住宅に適用可能な高圧噴射攪拌工法の開発

楕円状コラムの築造を可能とする Miny マルチ工法

前田建設工業株式会社
前田建設工業株式会社
株式会社ミヤマ工業

○ 川西 敦士
山内 崇寛
宮 朗

1. はじめに

東日本大震災以降、既設戸建住宅の液状化対策として、周辺道路を含めた既設戸建住宅との一体事業である市街地液状化対策事業が進められている。市街地液状化対策工法の有効な工法の1つに格子状地中壁工法¹⁾がある。格子状地中壁は深層混合処理工法（機械攪拌工法・高圧噴射攪拌工法）を用いて、既設戸建住宅の敷地境界部分と周辺道路を格子状に地中壁を築造し、地震時の地盤のせん断変形を軽減することで格子内地盤の液状化を抑制するものである。

既設戸建住宅の敷地内で格子状地中壁を築造するには、比較的施工機械がコンパクトな高圧噴射攪拌工法が不可欠である。しかし、従来工法では既設戸建住宅の狭隘な敷地内への対応は十分とは言えず、また改良体の品質が土質性状や強度に影響を受けやすいという課題もある。さらに、工事費の一部を所有者が負担する本事業では、事業成立に必要な合意を形成するために、従来工法に対して大幅なコストダウンが求められている。

このような背景を踏まえ、既設戸建住宅の敷地内で施工を可能とし、一定以上の品質を安定的に供給可能で、経済的かつ効果的な格子状地中壁工法を築造することを目的に「Miny マルチ工法」を開発・実用化した。本報では、本工法の概要、および性能確認試験について報告する。

2. 工法の特徴

本工法の主な特徴は下記の3点である。以降、各特徴の詳細について述べる。

- ① 既設戸建住宅の敷地境界の狭隘地に対応
- ② 楕円状コラムで経済的かつ効果的な格子状地中壁の築造が可能
- ③ 一定以上の品質の安定的な供給が可能

2.1 既設戸建住宅の敷地境界の狭隘地に対応

本工法は、既設戸建住宅の敷地内で施工を可能とするため、幅1m×高さ2m程度の狭隘空間で施工可能な、超小型専用マシン（本体：W60cm×D75×H163cm、重量400kg）を開発した（図-1、写真-1）。

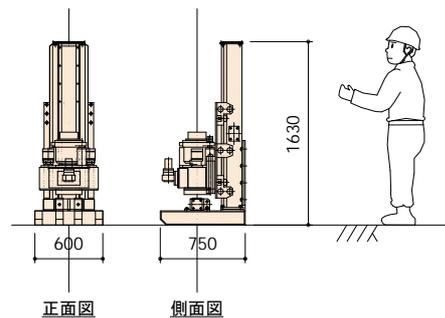


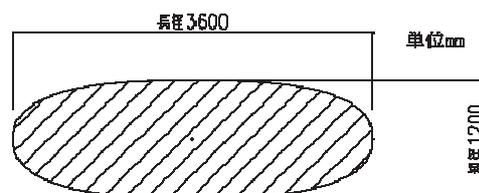
図-1 超小型施工機械



写真-1 施工のイメージ

2.2 楕円状コラムで経済的かつ効果的な格子状地中壁の築造が可能

経済的かつ効果的な格子状地中壁を構築するため、独自開発のロッド回転制御の採用により、図-2に示す新しい改良形状となる楕円状コラム改良体の築造を可能とした。



$$\text{設計後の方程式 (2.5mmの棒間)} \quad \left(\frac{x}{1800}\right)^{2.5} + \left(\frac{y}{600}\right)^{2.5} = 1$$

図-2 楕円状コラムの形状

図-3 に□-13m×13m の有効壁厚 85cm 以上、最小壁厚 60cm 以上の格子状地中壁に対し、従来の高圧噴射攪拌工法（直径 1.5m の円柱状改良を想定）との対比を示す。楕円状コラムでは施工本数を 60% 削減でき、改良体積を 20% 削減することで、大幅な工期短縮とコストダウンを可能とした。

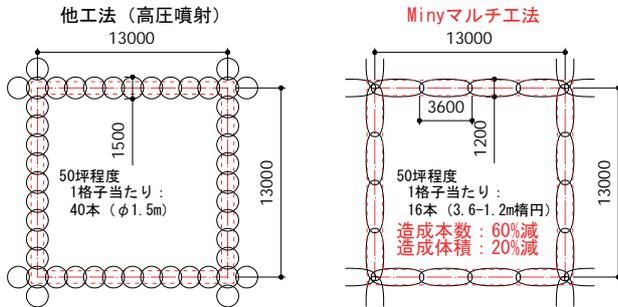


図-3 従来工法との対比

2.3 一定以上の品質の安定的な供給が可能

従来、噴射攪拌式深層混合処理工法は、改良径を造成仕様で設定されるが、水平噴射による地盤切削では、切削距離が土質性状や強度に影響を受けやすく、一定以上の改良体品質の安定的な供給について課題がある。

そこで、一定以上の改良体品質を安定的に供給するため、以下の事項を取入れた施工・品質管理を行なうことで、一定以上の改良体品質を安定的に供給することを可能とした。

(1) リアルタイム管理装置

改良体の品質確保には、専用ロッドの引上速度・揺動角度・回転速度、硬化材の流量・圧力・空気が所定の管理値を下回ることなく削孔・造成することが重要である。そこで、本工法ではリアルタイム管理装置を開発し標準装備している。リアルタイム管理装置では、造成時の上記施工管理項目をリアルタイムで表示（データ保存）および制御し、専用管理装置の画面にて一元管理することができる(図-4)。



図-4 リアルタイム管理装置画面

(2) 独自開発のリアルタイム品質確認方法

本工法では、独自開発のリアルタイム品質確認方法²⁾を社内基準で品質管理に取り入れた管理を行なうことを標準としている。コラムの出来形に関しては光ファイバー温度計による出来形確認、強度に関しては排泥を利用した塩酸溶解熱法による 28 日強度予測である。

3. 性能確認試験

3.1 基礎試験

(1) 試験目的

改良体の改良距離とジェット噴流の水平方向での回転速度は密接な関係がある。ここで、楕円状コラムの築造を行うために、噴射回転速度と改良距離の関係を確認するため現場試験を行った。

(2) 試験場所および土質条件

本実験は茨城県つくば市安食で実施した。試験場所の土質柱状図および改良範囲を図-5 に示す。

(3) 造成仕様および試験ケース

表-1 に造成仕様を示す。コラムは、ジェット噴流を両側に噴射し、ロッドを 180 度揺動することでコラムを築造し、図-6 に示す回転速度の概念のように回転速度を可変させ、表-2 に示す実験ケースでコラムの築造を行った。

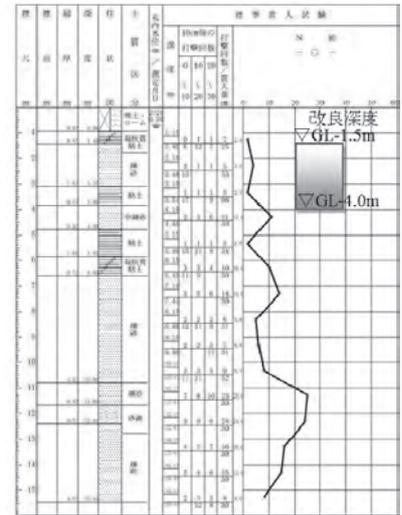


図-5 土質柱状図および改良範囲

表-1 造成仕様

項目	造成仕様
硬化材配合	配合 1 (W/C=137%)
噴射方向	両側
1 方向当りの噴射量	95ℓ/min
噴射圧力	40MPa
圧縮空気圧	0.7MPa
圧縮空気量	5.0Nm ³ /min
揺動角度	180 度*
切削回数	2 回
S T E P 高	2.5cm
m 当たりの STEP 数	40 回
回転速度	各ケースで設定 (表-2)

*両側噴射で 180 度揺動により 360 度のコラムを築造

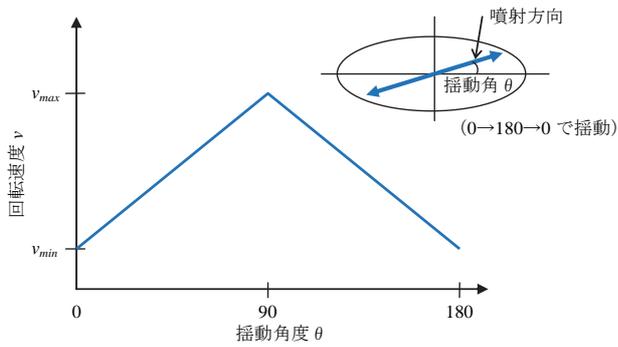


図-6 回転速度の概念図

表-2 試験ケース

ケース	最小回転速度 V_{min} (rpm)	最大回転速度 V_{max} (rpm)
CASE1	3.0	5.0
CASE2	1.5	2.5
CASE3	2.0	10.0
CASE4	3.0	10.0
CASE5	1.0	5.0
CASE6	1.5	20.0

(4) 試験結果

築造したコラムを掘起し、コラム頭部の形状測量を行った。試験結果を図-7、コラムの掘起し状況を写真-2に示す。

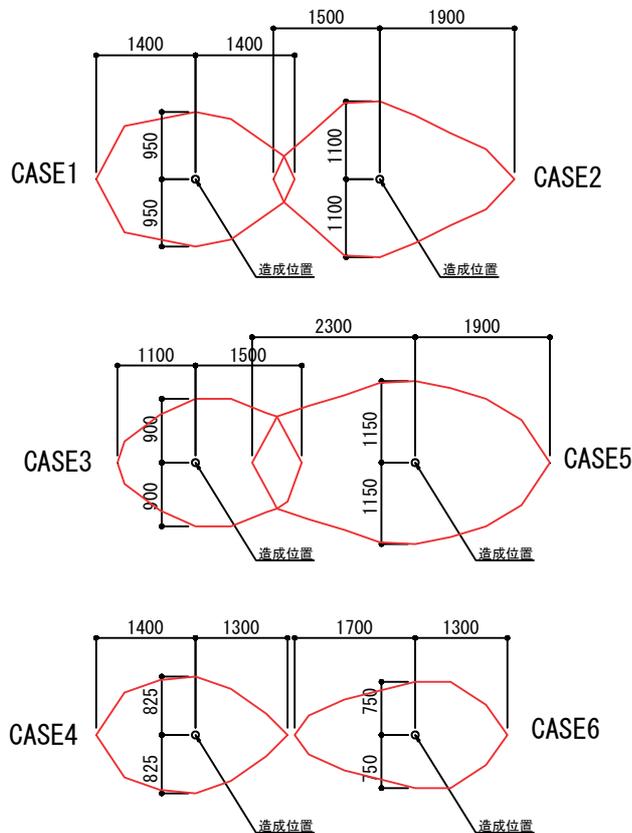


図-7 コラム頭部の形状測量結果



写真-2 コラムの掘起し状況

コラム頭部の形状測量結果を基に、図-8に示すように各ケースの造成した回転速度と改良距離で整理した。ある程度のバラつきはあるが、回転速度と改良距離に相関性があることを確認した。

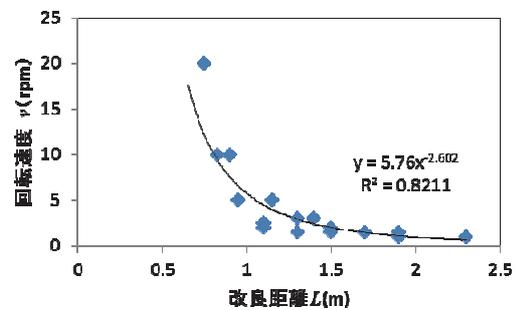


図-8 回転速度と改良距離の関係

本工法の設計とする楕円形状は図-2に示す楕円の式で、角度 θ のとき距離 L とすれば $x=L\cos\theta$, $y=L\sin\theta$ となり式(1)のとおりとなる。式(1)を図-8に示す近似式に代入して、図-9に示す楕円状コラムの築造に必要な必要回転速度と揺動角度の関係を得ることができる。つまり、コラムの出来形に関わる施工管理は、各揺動角度に対して図-9に示す必要回転速度以下で管理することで、所定の出来形に関する品質を確保できると考えられる。

$$L = \left(\left(\frac{\cos\theta}{1800} \right)^{2.5} + \left(\frac{\sin\theta}{600} \right)^{2.5} \right)^{\frac{1}{2.5}} \quad (1)$$

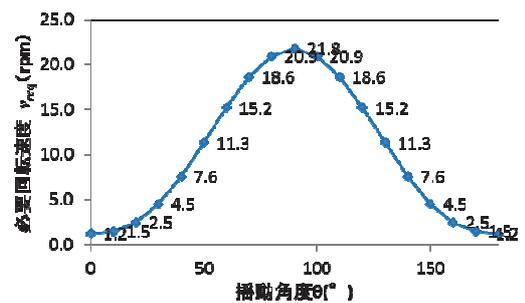


図-9 楕円状コラム築造に必要な揺動角度と回転速度の関係

3.2 性能確認試験

(1) 試験目的

本工法で築造されるコラムの性能を確認することを目的に性能確認試験を実施した。性能確認試験の実施現場一覧を表-3に示す。

表-3 性能確認試験の実施現場一覧

所在地	主な土質	N値	改良深度
茨城県つくば市	細砂	5~10	GL-1.5~15.0m
新潟県新潟市	砂	5~15	GL-1.5~4.0m
千葉県浦安市	シルト	0~3	GL-1.5~4.0m
千葉県千葉市	シルト	0~3	GL-1.5~4.0m
茨城県鹿島市	細砂	5~10	GL-1.5~4.0m

(2) 目標性能および確認方法

砂質土（細粒分含有率 $F_c \leq 50\%$ ）において、 $2,500\text{kN/m}^2$ の設計基準強度を確保する事が可能であることを目標性能とした。表-4に試験項目と確認事項を示す。

表-4 試験項目と確認事項

試験項目	試験方法	確認事項
① 抜取コア試験	コア採取率 一軸圧縮試験	コア採取率の確認、抜取コアによる変動係数の確認、抜取コアによる設計基準強度の設定
② 出来形確認試験	出来形計測	設計径の確認

(3) 抜取コア試験結果

コラム強度の安定性を確認するため、コアボーリングによりコアを採取し、コア採取率と一軸圧縮強さによる変動係数を各現場で確認した。その結果、5現場において、全長コア採取率が96.7%~97.7%、1m当たりコア採取率の最小値が95.7~96.4%であり、建築センター指針³⁾に示される全長コア採取率95%以上、1m当たりコア採取率90%以上を満足する結果であった。

抜取コアによる一軸圧縮試験で、茨城県つくば市の水平方向の抜取コアによる試験結果を図-10に示す。

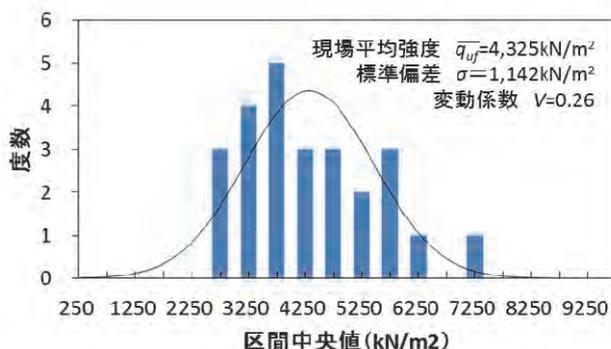


図-10 水平方向の変動係数（茨城県つくば市）

5現場において水平・深度方向の抜取コアによる一軸圧縮強度は変動係数が22~27%であり、日本建築センター指針⁴⁾に示される正規分布の適合判定（有意水準5%の χ^2 分布による判定）、および変動係数の信頼性確認（有意水準1%のF検定）の結果、設計及び検査に使用する変動係数の値として30%、設計基準強度 F_c として $2,500\text{kN/m}^2$ を採用できることを確認した。

(4) 出来形確認試験結果

千葉県浦安市の現場で掘起したコラム出来形、および設計径と実測値の比較を図-11に示す。5現場において図-2に示す設計径を満足することを確認できた。

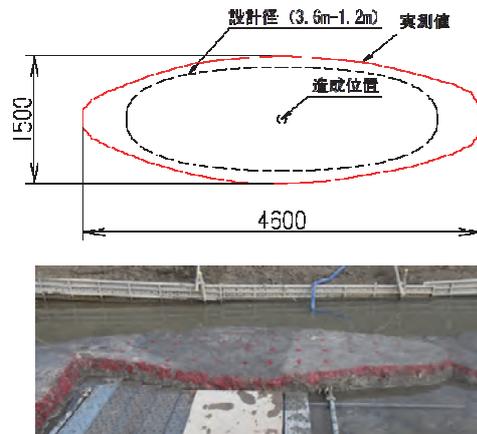


図-11 コラムの出来形および設計径と実測の対比

4. おわりに

Miny マルチ法は、基礎試験および複数の現場における性能確認試験を行い、既設戸建住宅の敷地内で施工できる工法として実用化した。今後平成27年度より市街地液状化対策事業の着工を予定している浦安市をはじめとした各市町村において、本工法の活用により低コストで安心・安全な国土を提供できるよう貢献していきたいと考える。また、実施工によりデータを蓄積し、さらなる安定的な品質確保に向けて信頼性を高めていく所存である。

参考文献

- 1) 浦安市，液状化対策実現可能性検討委員会入手先<<http://www.city.urayasu.chiba.jp/dd.aspx?menuid=12095>>（参照2014.6.30）
- 2) 手塚広明・山内崇寛・川西敦士：高圧噴射攪拌工法で改良された地盤の品質管理手法，地盤工学ジャーナル Vol.8 No.2, pp.251~263, 2013
- 3) 建築物のための地盤改良の設計及び品質管理指針，日本建築センター，pp.184~188, 2002.11
- 4) 建築物のための地盤改良の設計及び品質管理指針，日本建築センター，pp.420~427, 2002.11