

大口径相対攪拌工法の概要と施工事例

KS-S・MIX 工法

島野 嵐

機械攪拌式深層混合処理は、わが国で開発された代表的な軟弱地盤対策工法であり、地中に供給されたセメント等の改良材と原位置土を強制的に攪拌混合し地盤を固化させる地盤改良工法である。幹線道路を代表とする交通網の整備や洪水・高潮などの治水対策など生活や産業の基盤となる公共設備事業に多く採用されてきたが、近年では軟弱地盤対策だけではなく、既設構造物の耐震補強や液状化対策等の需要も増加している。

KS-S・MIX 工法（以下「本工法」という）は、地盤中にスラリー状のセメント系固化材を注入しながら土と固化材を機械的に混合攪拌し化学的に固化する地盤改良工法で、高トルク型の攪拌モーターを使用することにより最大 2,000 mm の大口径施工を実現した。本稿では、本工法の概要を述べると共に実工事における適用例について紹介する。

キーワード：地盤改良, 深層混合処理, 機械攪拌, スラリー攪拌, 大口径, 低変位

1. 工法概要および特徴

本工法は、写真-1 に示す三点支持式杭打機をベースマシンとした深層混合処理工法で、「経済性の向上」、「品質の確実性」、「周辺環境への影響低減」、「高性能システムを用いた施工管理」と4つの特徴を有する。以下に、その詳細について述べる。

(1) 経済性の向上

本工法は高トルク型の攪拌モーターを用いることにより、単軸φ1,600～2,000 mm の大口径施工を可能とした。また、従来のスラリー攪拌工法より適用地盤の範囲が広がっている。本工法の適用地盤について表-1 に示す。

従来のφ1,000 mm × 2 軸（改良面積 1.5 m²）から、単軸のφ2,000 mm（改良面積 3.14 m²）と大きくすることによって、施工本数を大幅に減らすことができ、



写真-1 施工機全景

表-1 適用地盤¹⁾

| 打設長(m) | 適用地盤 | | | |
|---------|------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------|----------------------------|
| | 粘性土 | | 砂質土 | |
| | 標準値 | 最大値 | 標準値 | 最大値 |
| L ≤ 25m | C ≤ 40kN/m ² (N ≤ 4) | C = 100kN/m ² (N = 10) 程度 【層厚2.0m程度】 | N ≤ 10 | N = 40 程度 【層厚2.0m程度】 |

工期の短縮やコスト縮減を図ることができる。また、改良形式は杭式改良とブロック式改良（接円式・ラップ式）の方法があり、改良率に応じてラップ長を任意に変更可能である。

(2) 品質の確実性

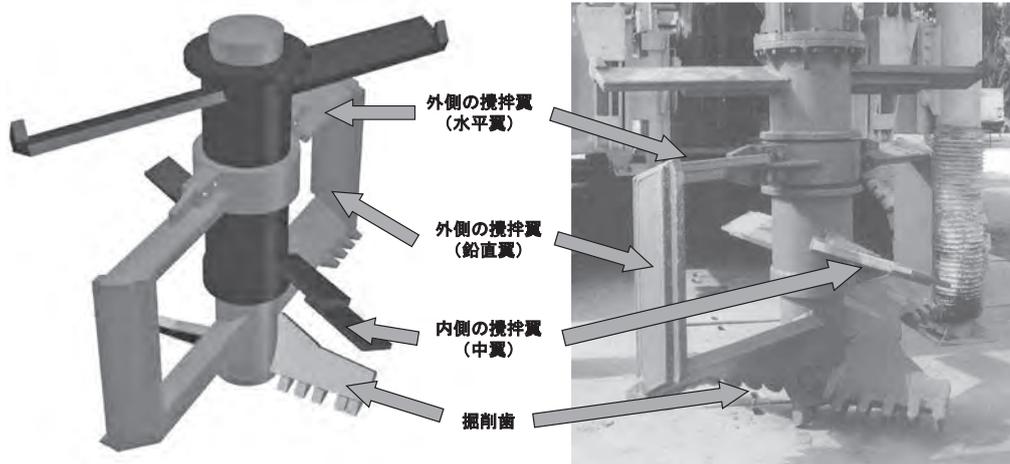
本工法の攪拌翼を図一1に示す。攪拌翼先端の掘削歯によって掘削された掘削土が、カゴ状の攪拌翼内でセメントスラリーと共に相対的に攪拌され、平面的ではなく立体的な攪拌混合を実現すると共に、攪拌混合時における土の「共回り」、「連れ回り」現象を防止して、バラツキのない高品質な改良体を造成することを可能とした。

既往の報告²⁾では図一2に示すように杭頭部の平面的なバラツキを一軸圧縮試験により確認した結果、

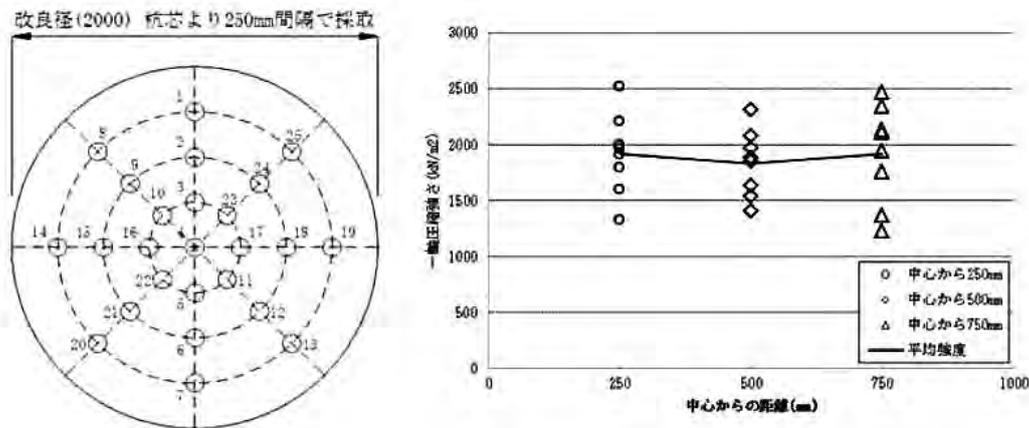
一軸圧縮強度の変動係数CVは19%であった。この値は一般的なスラリー攪拌工法の変動係数CVが25～35%の範囲³⁾であることから他のスラリー攪拌工法と同等以上の品質を有していることを確認している。

(3) 周辺環境への影響低減

外側の鉛直翼が回転しながら削孔壁面と接し原地盤との縁切りをし、その中で外軸の水平翼と内側の中翼とが相対攪拌するため、側方に与える影響が低減し、周辺環境への影響を少なくすることができる。既往の報告²⁾ではN値3以下の粘性土を主体とする軟弱層の改良において杭芯から10m離れた箇所にて地表面変位を測定したところ、水平方向で+3mm、鉛直方向で+1mmであり微小な変位であったことを確認している。



図一1 攪拌翼形状¹⁾



| | 設計基準強度 | 平均強度 | 変動係数 |
|-------|-----------------------|-----------------------|------|
| 材齢28日 | 1300kN/m ² | 1879kN/m ² | 19% |

図一2 平面的な強度分布²⁾

(4) 高性能システムを用いた施工管理

本工法の施工フローを図-3に示す。本工法ではこれらの工程をリアルタイムに表示する施工管理システムを施工機運転席内に設置しており、オペレータはリアルタイムな施工管理が可能である。管理項目は、施工深度・改良速度・セメントスラリー流量（瞬时，積算）・攪拌翼回転数（瞬时，積算）・施工時間・攪拌モーター抵抗値（電流値）であり，これらが画面上に表示される。図-4に施工管理装置の画面表示例を示す。

改良下端が支持地盤に達したか否かを確認する手法

として，一般的には貫入速度・攪拌翼回転速度および電流値の変化により複合的に判定する。近年，これらの表示値を写真撮影により記録するケースが増えているが，撮影時のピントのズレや，画面の反射などにより明瞭な撮影ができない場合がある。本工法ではこれらを回避するため，オペレータがモニター画面をスクリーンショットにより画像保存することができる機能を付加した。これにより，確実な施工記録の保存が可能となった。

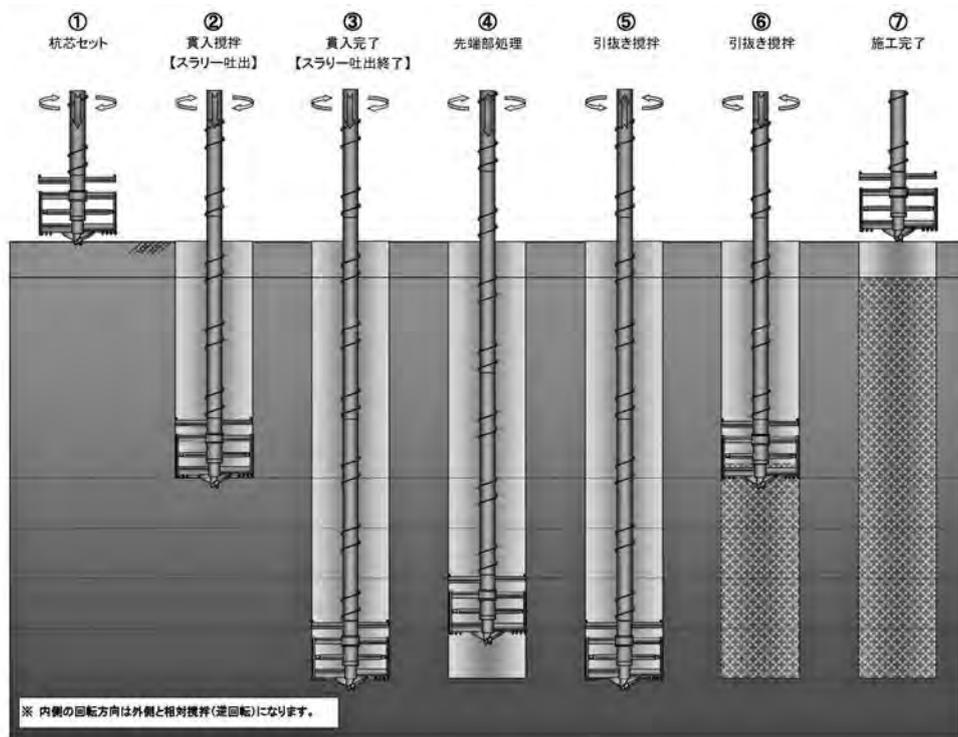


図-3 施工フロー図¹⁾

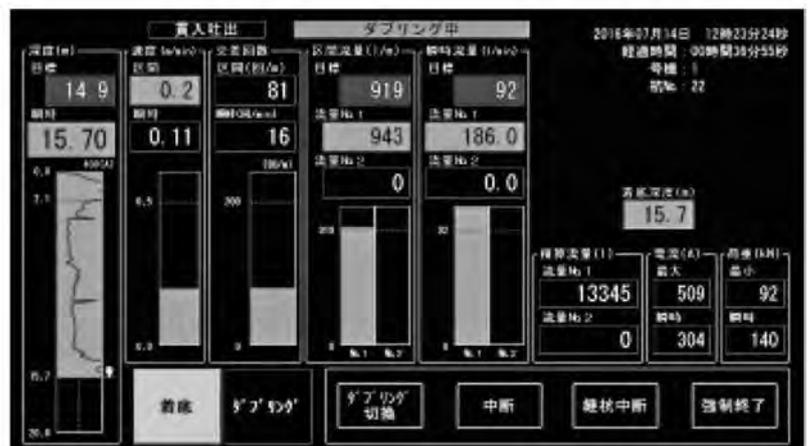


図-4 施工管理装置¹⁾

2. 施工事例

以下に、2つの実現場における本工法の適用事例について述べる。

(1) 地盤強度増強としての適用例

東京ベイエリアに築造される住宅・商業複合開発において、施設内連絡通路の地震時の地盤変形抑制および沈下低減を目的とした地盤改良が必要であった。対象土にN≒30の礫混じり砂があること、N>40の細砂層に改良下端を着低させる必要があることから本工法が採用された。

施工仕様を表-2に、施工概要図を図-5に、施工全景を写真-2に示す。なお、空打ち部については、不等沈下防止として浅層改良により全面改良を行った。

事後の品質確認は全長ボーリングにより採取したコアの一軸圧縮試験により行った。採取したコアを写真-3に示す。結果として全ての供試体の一軸圧縮強度は設計基準強度以上であり、コアの連続性も良好であった。

表-2 施工仕様

| 項目 | 数量等 |
|---------|----------------------------------------------------------|
| 改良径 | φ2,000 mm 杭式改良 |
| 設計強度 | $F_c=1,000 \text{ kN/m}^2$ $q_{uf}=2,410 \text{ kN/m}^2$ |
| 改良対象土 | 礫混じり細砂・シルト細砂 |
| 施工長 | 15.5 ~ 16.5 m (空打ち長 2.2 m) |
| セメント添加量 | 高炉セメント B種 220 kg/m ³ |
| 水セメント比 | W/C=100% |



写真-2 施工全景



写真-3 採取コア

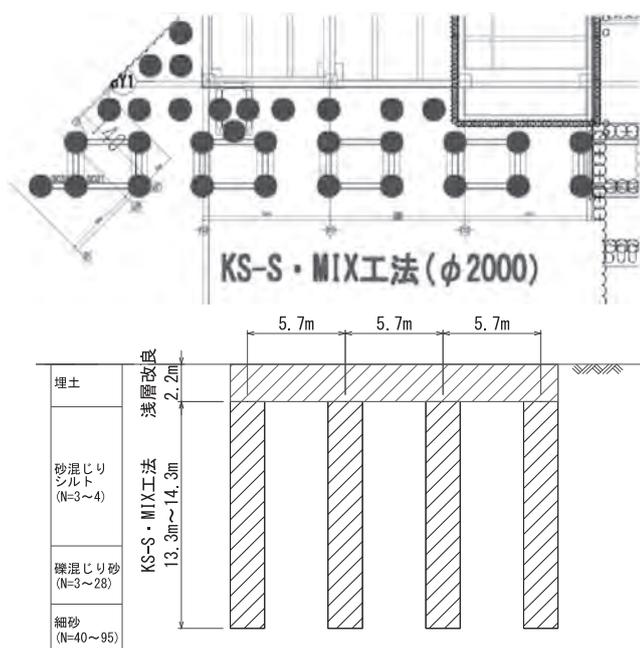


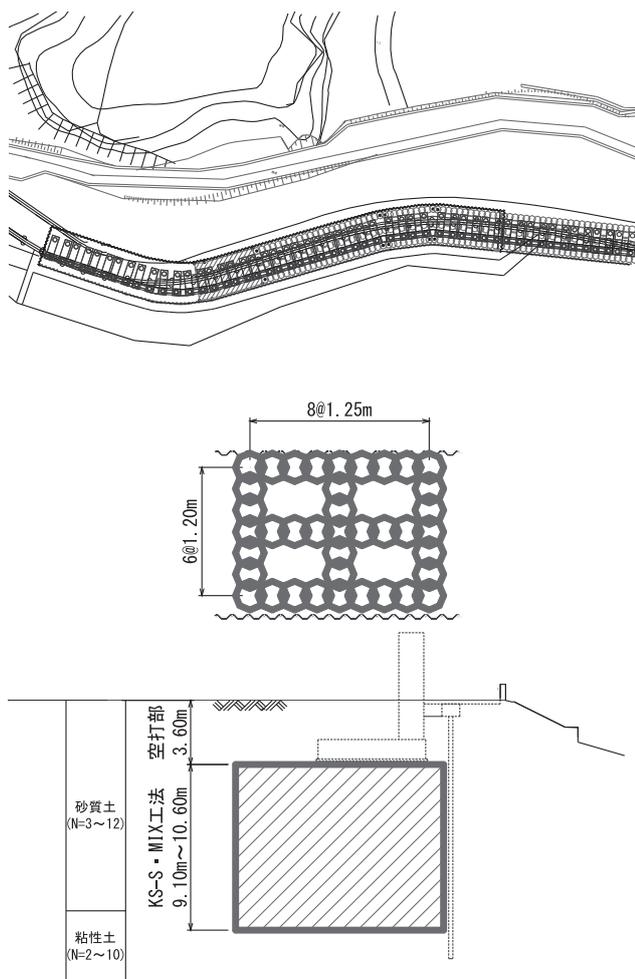
図-5 施工概要図

(2) 河川堤防の液状化対策としての適用例

東日本大震災での津波の遡上によって被害を受けた河川堤防の復旧工事において、堤防下部地盤の液状化防止および沈下低減を目的として本工法が採用された。施工仕様を表-3に、施工概要図を図-6に、施工全景を写真-4に示す。事後の品質確認は全長ボーリングにより採取したコアの一軸圧縮試験により行った。採取したコアを写真-5に示す。なお、本現場は施工中であるが、改良体の一軸圧縮強さやコア採取率は良好な結果を得ている。

表-3 施工仕様

| 項目 | 数量等 |
|---------|--------------------------------------|
| 改良径 | φ1,600 mm ブロック式改良 |
| 設計強度 | $q_{uf}=250 \sim 340 \text{ kN/m}^2$ |
| 改良対象土 | 砂質土 |
| 施工長 | 8.1 ~ 12.4 m (空打ち長 3.6 m) |
| セメント添加量 | 高炉セメント B種 110 kg/m ³ |
| 水セメント比 | W/C=100% |



図一六 施工概要図



写真一四 施工全景



写真一五 採取コア

3. おわりに

本工法は、相対攪拌翼を有する深層混合処理工法であり大口径化によりコスト削減が可能である。また特殊攪拌翼により立体的な攪拌混合および周辺環境への影響低減を実現している。今後は適用地盤の拡大・施工機の改良はもちろん、ICTや情報化施工を視野に入れた施工管理装置の改良にも取り組んでいく所存である。

謝辞

最後に施工実績の掲載に協力頂いた現場関係者各位、執筆にあたり助言を頂いた、あおみ建設(株)・日本基礎技術(株)の関係各位に深謝する。

JCMA

【参考文献】

- 1) あおみ建設・三信建設工業・日本基礎技術:KS-S・MIX工法パンフレット, 平成28年3月
- 2) 見世ら:大口径相対攪拌工法KS-S・MIX工法の施工事例, 土木学会第71回年次学術講演会IV-665,pp.1329-1330, 平成28年9月
- 3) 地盤工学会:地盤改良効果の予測と実際, pp.215-216, 平成12年2月

【筆者紹介】

島野 嵐 (しまの あらし)
三信建設工業(株)
技術本部 課長