31. 低速回転・高トルク型複合相対攪拌翼による 深層混合処理工法の施工性能について

中央大学理工学部 齋藤邦夫 小野田ケミコ株式会社 鈴木孝一 エポコラム協会 原 満生 エポコラム協会 〇高倉功樹

1. はじめに

本工法は、篭状の複合相対攪拌翼を使用し、原土と 吐出させた固化材スラリーを練り込むように混合攪拌 するもので、機械攪拌式の深層混合処理工法に区分さ れる.以下に、複合相対攪拌翼による混合特性を概観 すると共に、建て替え工事等でしばしば遭遇する残置 された既設杭が混在する特殊地盤における施工性能に 関し、実測データに基づいて検討した結果を報告する.

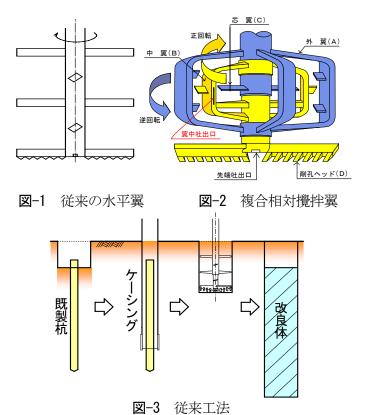
2. 複合相対攪拌工法の概要と特徴

深層混合処理工法に一般に多用される水平攪拌 翼を**図-1** に示す.

水平攪拌翼は一方向に回転し、これに貫入および 引上げ時の上下方向の運動が加えられ、連続した螺 旋状の攪拌軌跡を描く。その軌跡に沿って土壌がせ ん断され、固化材スラリーと原土が攪拌混合される。 そのため、羽根切り回数が重要視され、回転駆動 機は高速回転・低トルク型の仕様となる。

それに対し、複合相対攪拌翼は、図-2に示すように篭形状で、外翼(A)3枚及び中翼(B)・芯翼(C)の各2枚から構成され、外翼(A)及び芯翼(C)は同一方向に回転し、中翼(B)と削孔ヘッド(D)がそれらとは逆方向に回転する複合相対攪拌を行う機構である.土壌の共廻りが防止できると共に、各々交錯する翼体が土壌を立体的に解砕し、練り込みながら固化材スラリーと原土とを攪拌混合するため、回転駆動機は低速回転・高トルク型仕様になり、水平攪拌翼における回転駆動機と比較して4~5倍の掘削トルクを保持している.

以上のような回転駆動機仕様と回転軸の上下に 固定された剛性の高い篭状の攪拌翼との組合せが、 攪拌翼に強力な削孔能力を発揮させ、N値=40~50



の砂礫層や玉石混じり層の削孔・攪拌までも可能となった。また、通常の沖積地盤に対しては、大口径改良コラム(φ2,500 mm)の造成も可能である。

3. 既存杭を有する特殊地盤施工

建替え工事等で遭遇する既存杭等の地中障害物が混在する地盤では、これまで地盤改良に先立ち、既存杭の引抜き等の除去工が実施される。その方法を、図-3に示す。すなわち、事前掘削により既存杭の頭出しを行い、オールケーシング工法等で既存杭を除去した後、地盤改良施工が行われていた。

複合相対攪拌工法は、低速回転・高トルク型の機械仕様であるため、**図-4**に示すように、補助工法無しで既存杭の頭出しを行うこと無く、既存杭の破砕

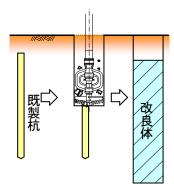


図-4 複合相対攪拌工法

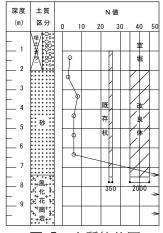


図-5 土質柱状図

と攪拌混合を同時進行させながら改良施工を行うことが可能である.

以下に,同一地盤内において既製杭が残置された場合と,そうでない場合の各2箇所で,複合相対攪拌翼を用いて計4本の改良体を造成することを試みた.そして,造成中の攪拌翼の回転挙動ならびに改良体の強度試験結果を比較し,本工法の適用性を検証した.

3.1 施工概要

改良対象とした地 盤の柱状図を図-5 に

示す. 土質は $GL\pm0.0m\sim-2.0m$ までがコンクリートガラ混じりの埋土, $-2.0m\sim-7.40m$ までが $N=3\sim8$ の砂層,それ以深は $N\ge50$ の風化花崗岩である. 改良体は,この風化花崗岩層を支持層とし,改良径 ϕ 2,000 m0 で施工した. **表**-1 は,既存杭破砕と攪拌混合を同時に行って造成した改良体 A,C と既存杭が無く通常の施工により造成した改良体 B,D の施工仕様である. 改良体 A,C には,残置された既製杭 (PC 杭 ϕ 350 m0 の位置を併記した. また,両改良体のセメント系固化材添加量は $280 \log/m^3$ である.

3.2 施工結果

残置された既製杭を破砕しながら造成した改良体と通常施工の改良体について,回転駆動機の電流値により施工中に受ける抵抗の比較及び一軸圧縮強さを比較検証した.

(1) 電流値

図-6 は、既存杭の破砕を伴いながら攪拌翼が施工中に受ける抵抗と通常の地盤を施工した場合で掘

表-1 施工仕様と既存杭の位置

番号	Α	В	С	D
形状	350	2000	350	2000
改良径(mm)	2,000	2,000	2,000	2,000
既存杭	有り	なし	有り	なし
施工長(m)	7.60	7.80	9.20	8.90
空堀長(m)	2.05	2.05	2.05	2.05
改良長(m)	5.55	5.75	7.15	6.85

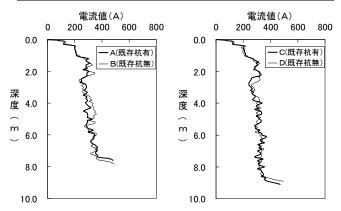


図-6 既存杭の有無と回転駆動機の電流値比較

削抵抗を電流値で表し、深度方向にプロットしたグラフである.

施工長が近似している改良体AとB及び改良体CとDとに区分して比較してある.

全体的な傾向として、表層より 2.0m 付近までは空堀であるため、固化材スラリーの吐出が無く、電流値から、掘削抵抗は深さに対して漸増する傾向が認められる.4つの改良例において、何れの電流値も概ね 300A 程度まで上昇している.

それ以深は、固化材スラリーの吐出に伴い、一旦220A 程度まで下降するが、施工深度が深くなるのに伴い、徐々に350A 程度まで増大している。N≥50の着底部付近の地盤では、急激な電流値の上昇が見られ、電流値が地盤の掘削抵抗の指標となることが判る。また、改良体 A と B、改良体 C と D とでは、共にほとんど同程度の電流値の推移を示すことが確認された。

このことより、既存杭を破砕しながら施工する場合についても、攪拌翼が受ける抵抗は通常施工時の抵抗と特段の差異が無いものと判断される.

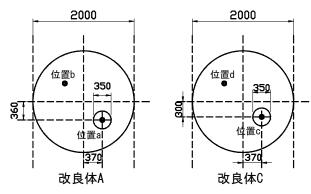


図-7 ボーリングコアの採取位置

表-2 一軸圧縮強度試験結果

	改良体A		改良体C			
	位置a	位置b	位置c	位置d		
	qu(kN/m²)					
上層 2.5~3.5m	6,795	5,750	5,935	6,172		
	6,169	5,917	5,837	5,585		
	5,219	6,852	6,643	6,985		
中層 4.0~5.0m	6,888	6,959	5,590	6,235		
	6,626	6,330	6,510	6,330		
	5,206	5,761	6,790	6,778		
下層 5.5~6.5m	6,494	6,071	6,182	641		
	6,146	6,556	6,388	7,464		
	7,253	6,856	6,458	6,483		
平均値	6,314	6,339	6,259	6,519		
全平均值	6,358 kN/m²					
標準偏差	524 kN/m^2					
変動係数	8.24%					

(2) 一軸圧縮強度試験結果及び出来形

既存杭の破砕を伴う改良体Aと改良体Cの各々に ついて、図-7に示す既存杭の残置されていた位置 a 及びcとその改良体中心点に対して対称となる位置 b及びdの4箇所で異なる深さからコアを採取し、 その一軸圧縮強さを調べた.表-2は、改良体A及び 改良体Cからそれぞれ2本採取したコアの試験結果 である. 改良体 A の a, b 及び改良体 C の c, d の 位置のそれぞれのコアの平均強度は qu= 6,259kN/m²~6,519kN/m²であり、全平均値が qu= 6,358kN/m²となった.また,変動係数はVd=8.24% である. 同一施工域内の通常施工の変動係数 Vd= 7.29%と比較すると、いずれの変動係数も同程度で バラツキに大きな差がないことが確認された. この 結果より, 既存杭を破砕した改良体の品質は安定し ており、通常施工における品質と同等であることが 明らかとなった.

また、写真-1 は改良体 A について改良体の天端ま



写真-1 出来形状况



写真-2 供試体(破砕片)

外翼鉛直部 中翼 中翼 り り り り り れ 大掘削地盤 大掘削地盤

図-8 杭の破砕状況模式図

で掘削し,出来形の 確認を行ったもの である. 10~40mm 程度の既存杭破砕 拘片が改良体全体に 拘り一に分散されて いることが見て取 れる.

写真-2 は、改良体Aの位置bにおけるボーリングコアより採取した中層部の供試体の写真である.内部に既存

杭破砕片の混合が確認できる. 表-2 の一軸圧縮試験 結果を合わせるとその混合度の均一性が判る.

3.3 考察

既存杭が混在した地盤での改良施工の結果を基 に、複合相対攪拌翼の施工性能について考察する.

(1) 既存杭の破砕施工メカニズム

図-8 は、複合相対攪拌翼が地盤中において既存杭を破砕する状況を示している. 解体工事等によりフ

ーチングが除去された後に、建替え工事等を行うため、既存杭の杭頭部は深さ1~3m付近に残置されていることが多い。複合相対攪拌翼を地盤中に掘削・貫入していくと、削孔ヘッドに既存杭が接触する。この時、攪拌翼も地中に貫入されており、3枚の外翼の鉛直部分が改良範囲の外周にある地盤の拘束を受けている状態となる。

その地盤の拘束力は、芯ずれを抑制し、回転駆動機が保持する掘削力が減衰されること無く、攪拌翼から既存杭へ伝達される.

前述したように、既存杭が有る場合と無い場合と で電流値の比較を行っても特段の差異がみられない. また既存杭の頭出しをせずに改良体のどの位置 に杭があっても施工が可能である.

以上より、これらの特長は複合相対攪拌翼の形状と高トルク駆動に大きく起因していると判断する.

(2) 改良体の均一性

改良体出来形の**写真-1**から,改良体の内部に既存杭の破砕片が均一に混合されていること,コア供試体の**写真-2**より既存杭と離れた場所で採取したコアに既存杭の破砕片が確認されたことから,既存杭の破砕片が改良体全体に対して均一に分散されていると判断できる.

図-9 は, 複合相対攪拌翼の攪拌機構を水平断面方向から見た概念図²⁾である.

外翼と中翼の鉛直翼部が回転接近すると、その付近は狭窄による土塊圧砕あるいは土粒子の再配列を伴う圧搾と強制せん断が行われる.

外翼と中翼の交差後は、攪拌翼の通過に伴う引張 作用により、破砕片を含む土塊は再度の再配列を伴 う土塊移動が生じる練り込み攪拌が繰り返される.

また、攪拌翼のテーパー化した羽根断面より、羽根に付着した土塊の剥離を促進させると同時に篭 状の翼中に取り込む.

これらの練り込み攪拌メカニズムは、外翼篭と中 翼篭の相対攪拌部の全域で行われるため、均一で良 好な攪拌となる.よって、既存杭の破砕片は改良体 全体に均一分散されたものと考える.

なお, 既存杭の PC 鋼線は削孔ヘッドに巻きついて引上げられた.

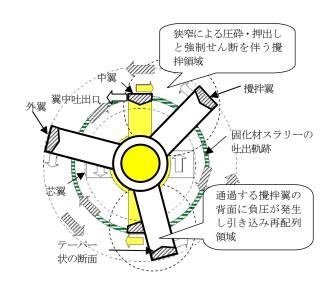


図-9 複合相対攪拌翼の攪拌機構

4. まとめ

実施工の結果より,既存杭が混在した地盤での改 良施工について以下の知見を得た.

- 1) 複合相対攪拌翼で地中に既存杭が存在している場合でも、事前にこれを除去することなく改良施工が可能である.
- 2) 複合相対攪拌翼が受ける既存杭(PC 杭;350mm)の 破砕抵抗は,通常施工の施工と同程度である.
- 3) 既存杭の破砕片が混在する改良体の強度は,通 常施工における改良体の強度と同等であり,破 砕片が混入した供試体についても同様である.
- 4) 既存杭が改良体直径内のどの位置に在っても, 施工が可能である.
- 5) 細片化された既存杭の破砕片は、改良体の内部 に均一に分散する.

以上,特殊な地盤条件下においても複合相対攪拌 工法の施工性・品質が確保できることが判明した.

【参考文献】

- 1) (財) 先端建設技術センター: 先端建設技術・技術審査証明報告書「エポコラム工法(エポコラム -Loto 工法; 大口径 φ 2,500 地盤改良工法)」: pp5~11,2006.3
- 2) 齋藤邦夫,鈴木孝一,原満生,佐藤篤哉,高倉 功樹他:複合相対撹拌翼を用いた深層混合処理工法 の改良原理と適用事例,日本材料学会,第8回地盤 改良シンポジウム,2008.10 (投稿中)